

チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム  
流域総合土砂管理事業  
準備調査

最終報告書

Volume I

2023 年 10 月

独立行政法人  
国際協力機構（JICA）

八千代エンジニアリング株式会社  
日本工営株式会社  
独立行政法人水資源機構

|        |
|--------|
| 中欧     |
| JR (P) |
| 23-019 |





チュニジア共和国  
農業省 ダム大規模水理施設総局

チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム  
流域総合土砂管理事業  
準備調査

ファイナル・レポート

要約

2023 年 10 月

独立行政法人 国際協力機構

八千代エンジニアリング株式会社  
日本工営株式会社  
独立行政法人水資源機構



## 1 調査対象の概要

チュニジア国内最大貯水容量を持つ多目的ダムであるシディサレムダムにおいて、近年、貯水池内の堆砂問題が顕在化してきており、今後も貯水池上流域から供給される流入土砂の将来予測結果から、今後 10 年以内の中規模の洪水が発生すれば、現在の利水容量、将来の利水容量を確保できない可能性が危惧されている。

このような背景のもと、国際協力機構（以下、JICA）により「メジェルダ川洪水対策事業にかかる案件実施促進調査」（以下、「SAPI」という）が 2017 年から 2018 年にかけて実施された。

シディサレムダム貯水池区間を対象とした対策は、SAPI 以前に提案されていなかった。SAPI において提案されるシディサレムダムの堆砂対策では、既に貯水池に堆砂した土砂を下流に排出する必要があるが、土砂を排出する際には、下流河川の流下能力の低下や環境への影響等を考慮することが不可欠であり、シディサレムダム貯水池の堆砂対策とダム下流 D1 ゾーンの河川改修事業を切り離して考えることはできない。ダムと河川で課題を抱えるメジェルダ川流域にとって、流域を一貫した総合的な土砂管理（総合土砂管理事業）が必要であることが SAPI 調査で提案され、本調査により、その検討を行うこととなった。

2022 年現在、シディサレムダムの貯水池の上流地域は、ドイツ復興金融公庫（KfW）の融資により U1、M と U2 ゾーンの洪水対策プロジェクトが進行中である。また、最下流地域の D2 ゾーンは、円借款によって工事が進行中である。以下に、実施中の事業対象地域と本事業の位置を示す。



図 1-1 実施中の事業対象地域と本事業の位置

本業務は、SAPI の調査結果を踏まえ、メジェルダ川治水計画基本条件設定、シディサレムダム堆砂にかかる対策代替案を比較・検討（シディサレムダム貯水池堆砂対策）、及び同ダム直下の河川（D1 ゾーン）の治水対策（D1 ゾーン河川改修）の検討を行い、円借款事業の形成を念頭にフィージビリティを確認することを目的とする。

## 2 シディサレムダムの堆砂の現状

堆砂の進行により、貯水池容量は減少している。（図 2-1）ダム供用開始から現在までの 36 年間で、当初の貯水容量の約 20%である 191 Million m<sup>3</sup>が堆砂により失われ、現在の有効貯水量は 786 Million m<sup>3</sup>となっている。容量別にみれば、治水容量は 6%、利水容量は 23%損失していることになる。

## 貯水池容量の変化

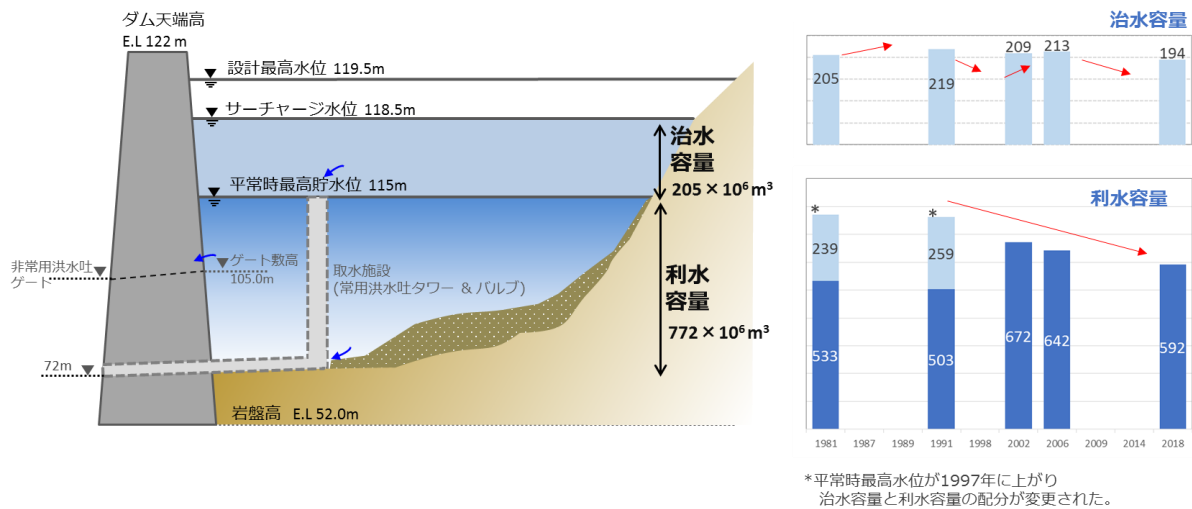


図 2-1 貯水池容量の経年変化

2018 年の測量成果とダム建設前の 1972 年の測量成果の差分から、堆積厚を算出した。堆積厚の平面分布を図 2-2 に示す。堆砂は貯水池全域で発生しており、ゾーン毎 (A~F) の堆砂量を整理すると、ゾーン C、D、E で比較的堆砂量が多く、河床が高いゾーン E、F では治水容量にも堆砂が確認される。貯水池内の総堆砂量は 191 Million  $\text{m}^3$  であるが、A に 12%、B に 8.5%、C に 21.4%に、D に 23%、E に 22.7%、F に 12.4%堆砂している。

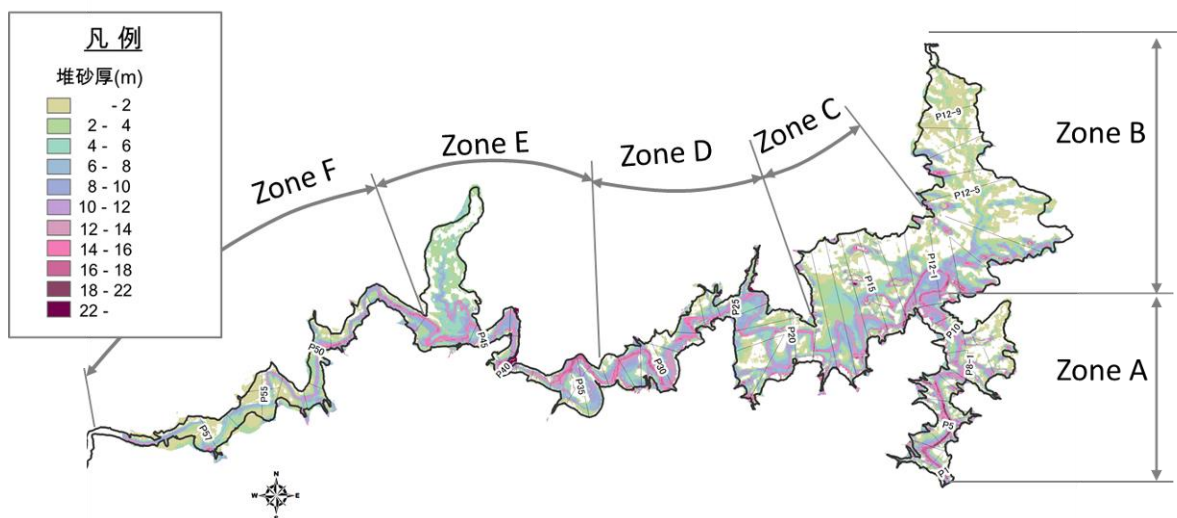


図 2-2 貯水池内の堆積厚の平面分布

貯水池の堆積土砂の粒度分布は、全区間において、30~45%を粘土分、55~70%をシルト分が占めている。また、貯水池内のゾーンによる大きな違いは確認されていない。採取された堆積物はいずれも圧密されており、固く締まっている状態であった。

また、本調査において、貯水池へ流入する流量と SS 濃度の関係を図 2-3 に示す。メジェルダ川においては流量が  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  を超えるときに急激に濁度が上昇することが明らかとなった。流量と水位に基づき、各排砂施設の操作を行う。

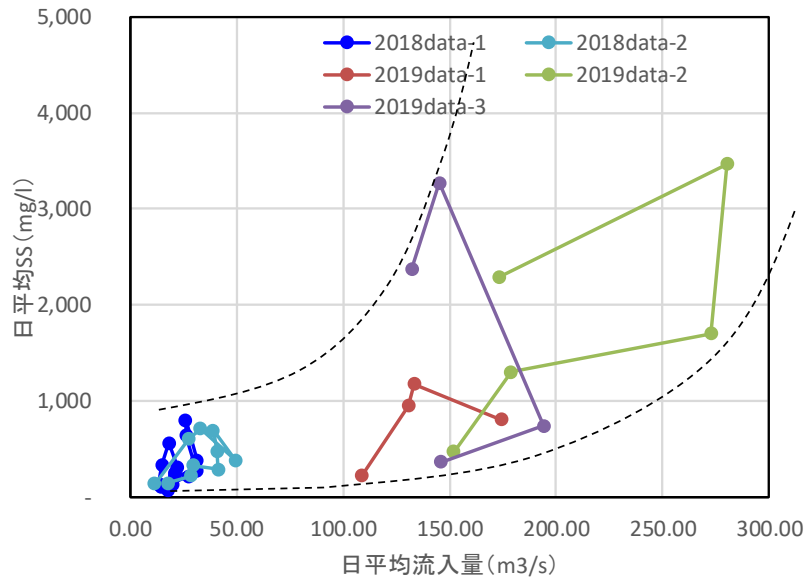


図 2-3 観測結果に基づく流入量と流入 SS 濃度の関係

### 3 シディサレムダムの堆砂の将来予測

構築した解析モデル（一次元堆砂予測解析）を用いて、堆砂対策を実施しない場合の将来 100 年間の予測計算を行った。堆砂形状、堆砂量の予測結果を図 3-1 と図 3-2 に示す。

今後、治水容量・利水容量共に堆積が進むが、特に利水容量内への堆積が顕著である。100 年後の堆砂量は約 510 million m<sup>3</sup> となり、総貯水容量 960 million m<sup>3</sup> の約 50% が土砂で埋まると予測された。

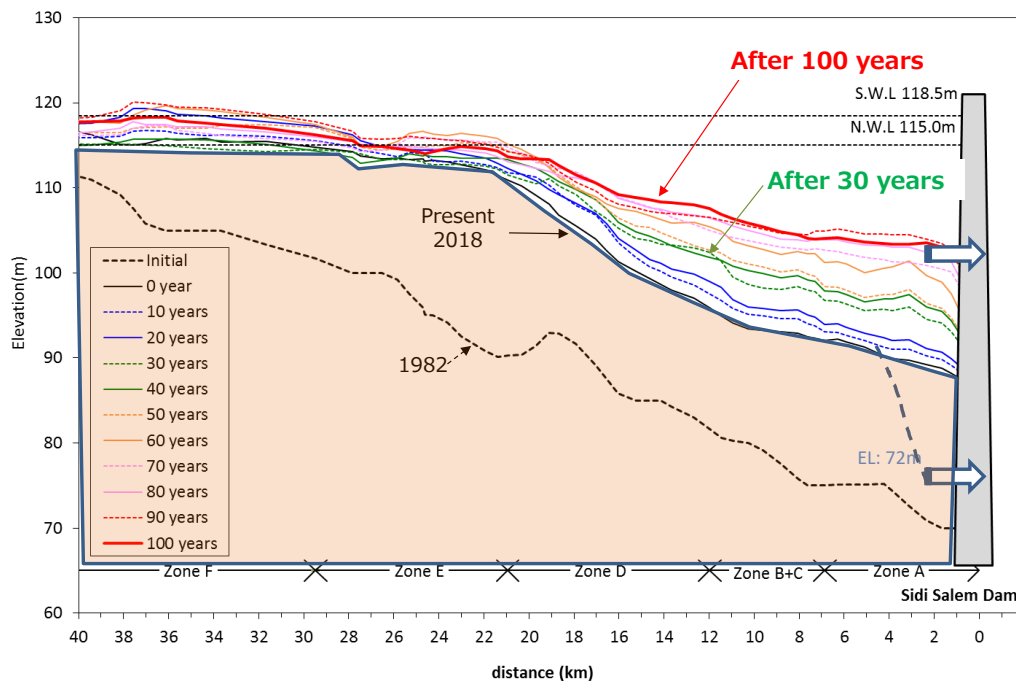
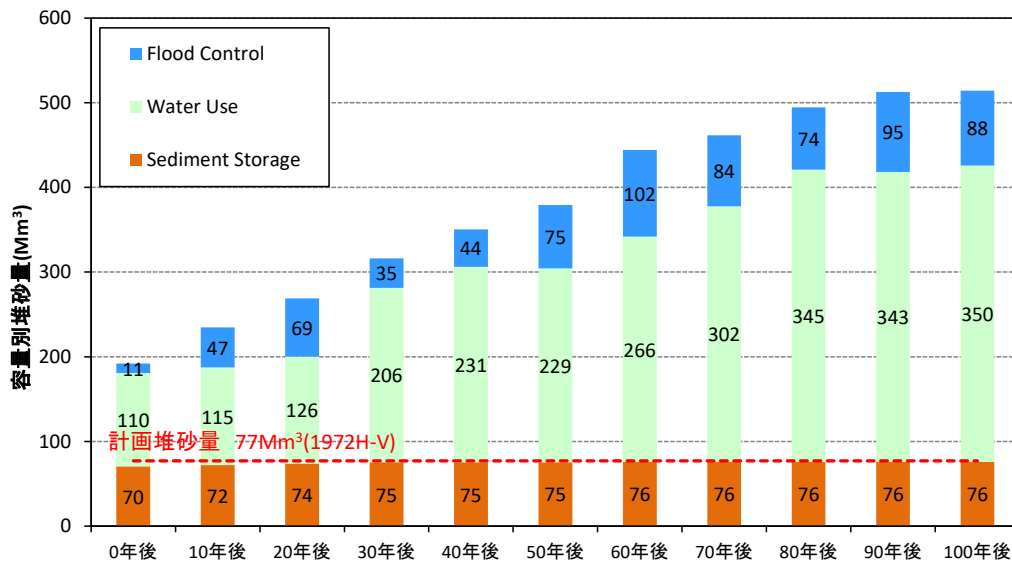


図 3-1 将来 100 年間の堆砂形状の予測結果



※治水容量内の堆砂量については、横断方向の堆砂、湾曲部の堆砂の影響を考慮するため、再現計算結果との誤差を基に補正を行っている。

図 3-2 将来 100 年間の堆砂量の予測結果 (2018～2118 年)

#### 4 シディサレムダム貯水池堆砂対策

##### 基本方針と対策メニュー

シディサレムダム貯水池堆砂対策の基本戦略として、①ゾーン D で堆砂デルタの進行を抑制する②ゾーン B,C への土砂の拡散を抑制する、の二つを設定した。それらを満たすための対策メニュー一覧とそれらの概要を以下の図 4-1 と表 4-1 に示す。

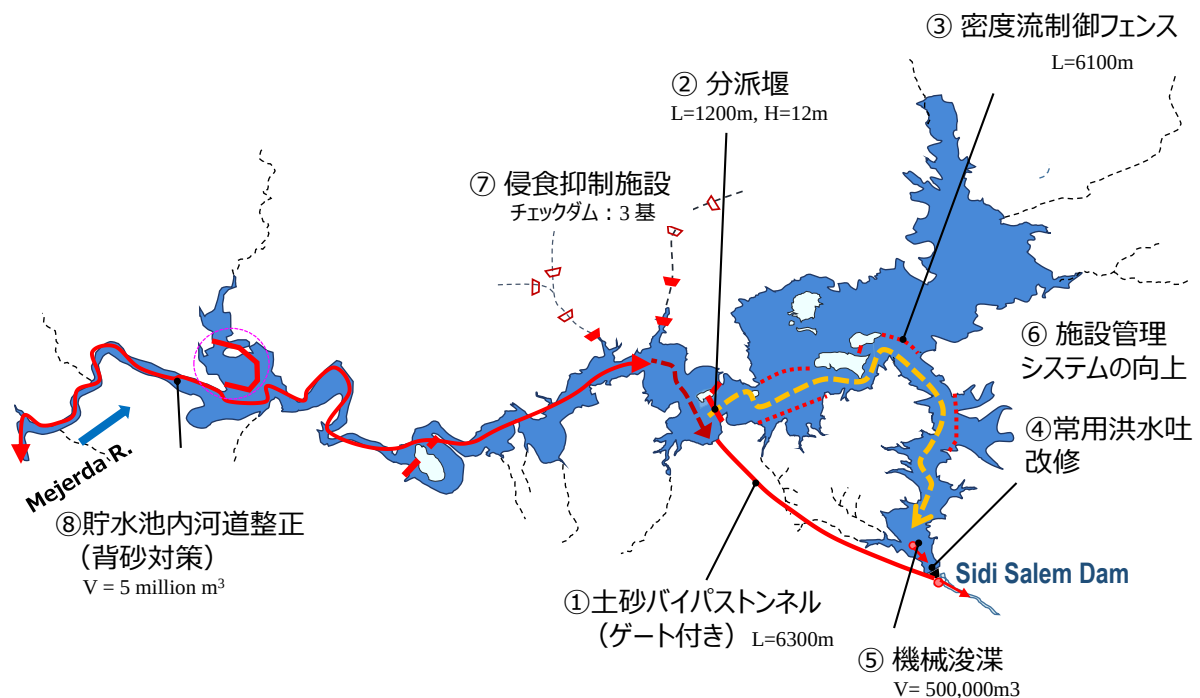


図 4-1 シディサレムダム貯水池貯水池堆砂対策一覧

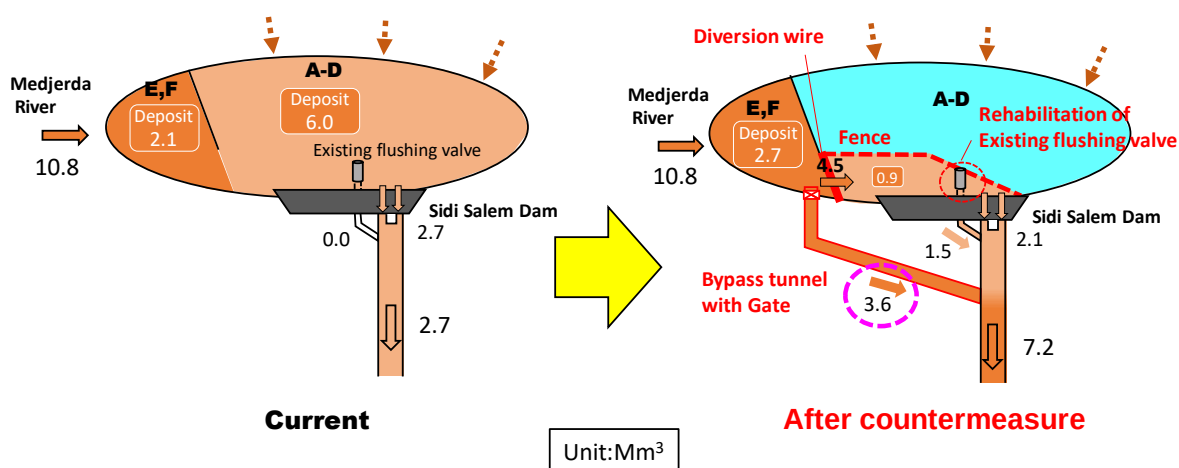
表 4-1 シディサレムダム貯水池貯水池堆砂対策概要

|   | 対策施設                | 役割                                                                                                                                                           |
|---|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 土砂バイパストンネル          | ゾーンDに到達した土砂（高濃度の濁水）を大量かつ確実に直接ダム下流へ排出する。                                                                                                                      |
| 2 | 分派堰                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>土砂バイパス呑口部の水位をコントロールする</li> <li>堰上流部で流入土砂を補足させる</li> </ul>                                                             |
| 3 | 密度流制御フェンス           | 流入する濁水をフェンスによって下流へ流下させ、B,Cゾーンへの拡散を抑える。                                                                                                                       |
| 4 | 常用洪水吐改修             | 貯水容量の確保                                                                                                                                                      |
| 5 | 機械浚渫                | 貯水容量の確保（掘削量：500,000m <sup>3</sup> ）                                                                                                                          |
| 6 | 施設管理システムの向上         | ダム管理システムのアップグレード                                                                                                                                             |
| 7 | 侵食抑制施設              | 上流域の渓流からの流入土砂を抑制する（3基）                                                                                                                                       |
| 8 | 貯水池内河道整正            | <p>流入濁水を高濃度のまま土砂バイパストンネル地点まで導いてダム下流へ排砂するために、貯水池内河道を整える。（掘削量：5,000,000m<sup>3</sup>）</p> <p>なお、ゾーンFにおいて流路幅H=50mとして掘削を行うことで、上流域への影響と掘削量を抑えることができ、最も効果的である。</p> |
| 9 | 密度流コントロールに必要な非構造物対策 | 貯水池の水位・濁度の監視モニタリングシステム                                                                                                                                       |

### 貯水池堆砂対策の効果

運用シミュレーション結果を基に土砂収支を算出した結果を図 4-2 に示す。

- 事業実施前は貯水池内に8.1 Million m<sup>3</sup>が堆積している。一方、堆砂対策後、貯水池内へ流入した土砂は土砂バイパストンネルによって3.6 Million m<sup>3</sup>がダム下流へ直接排出される。
- その結果、貯水池内への堆積は8.1 Million m<sup>3</sup>から3.6 Million m<sup>3</sup>に大きく減少する。



対象洪水：2015.2 洪水 ( $Q_p = 557\text{m}^3 / \text{s}$ )

図 4-2 プロジェクト後の土砂収支の変化

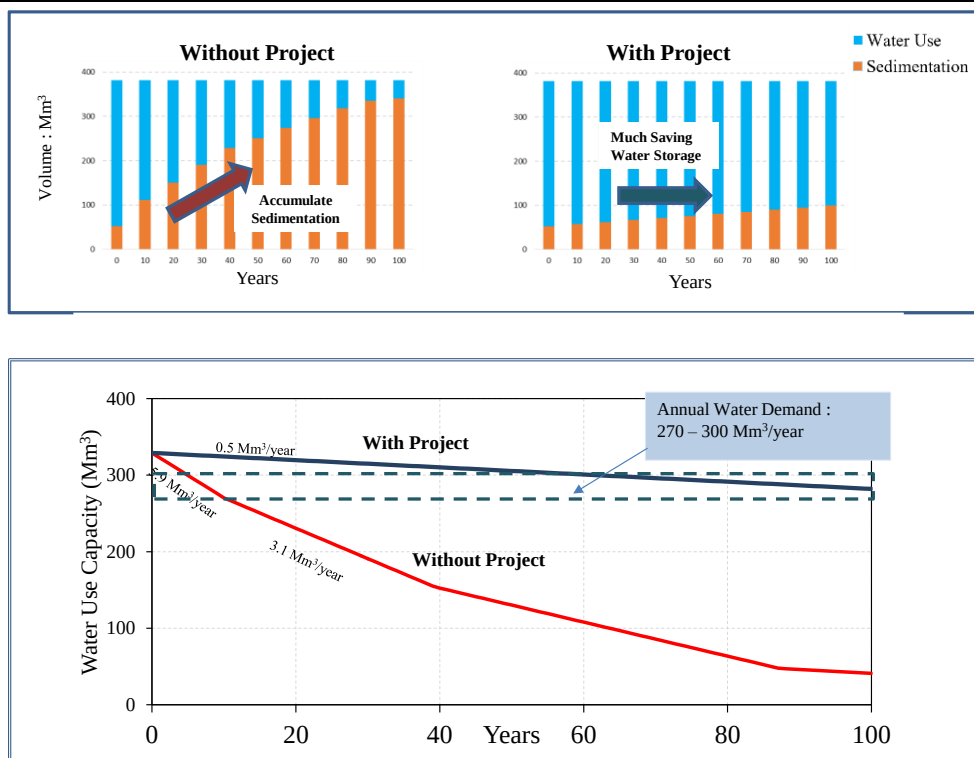


図 4-3 無対策/プロジェクト実施後の利水容量の将来予測

無対策とプロジェクト実施後の利水容量の将来予測を図 4-3 に示す。解析結果から、シディサレムダムの年間水利用量は過去実績で 270–300Mm<sup>3</sup> と推定されるが、無対策の場合、最短で 10 年後には利水容量が年間の水利用量を下回り、ダムの利水機能に影響を及ぼす危険性がある。また、無対策の場合、緊急性の高いシナリオでは、10 年後に利水容量の 18% (59Mm<sup>3</sup>) を損失、30 年後に 42% (138Mm<sup>3</sup>) を損失、100 年後に 88% (288Mm<sup>3</sup>) を損失するリスクがある。

一方、対策を実施することで、年間堆砂量を 0.5 Million m<sup>3</sup>/year に抑制することが可能になり、年間水需要を 100 年後も維持することが可能になると推定される。



## 5 D1 ゾーン河川改修

D1 ゾーンで目標とする治水安全度は、基本的にマスタープランを踏襲するものとし、**1/10 年確率規模の計画高水流量**とする。D1 ゾーンにおける 1/10 年確率規模の計画流量配分は、**600m<sup>3</sup>/s**を設定する。(図 5-1)

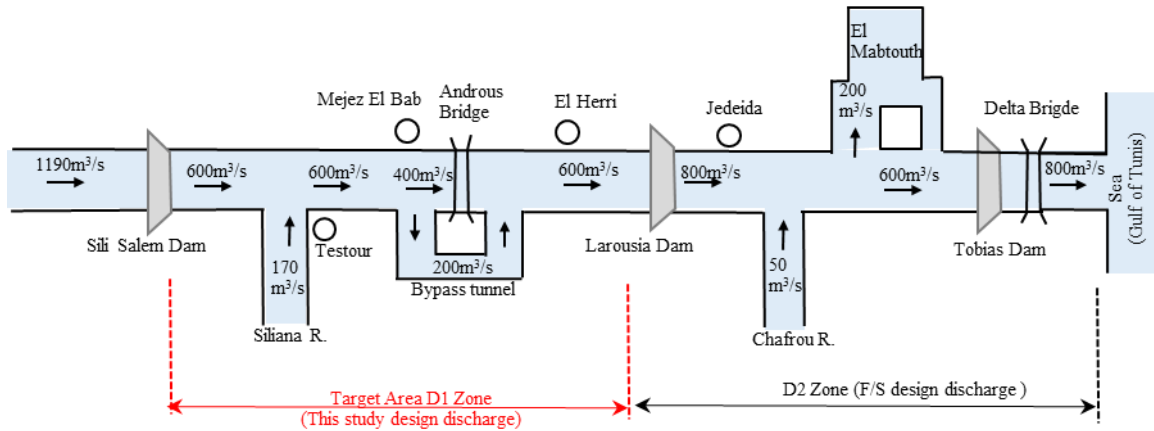


図 5-1 本調査で採用した D1 ゾーン計画流量配分図 (1/10 年確率規模)

本事業の整備メニューを図 5-2 に示す。

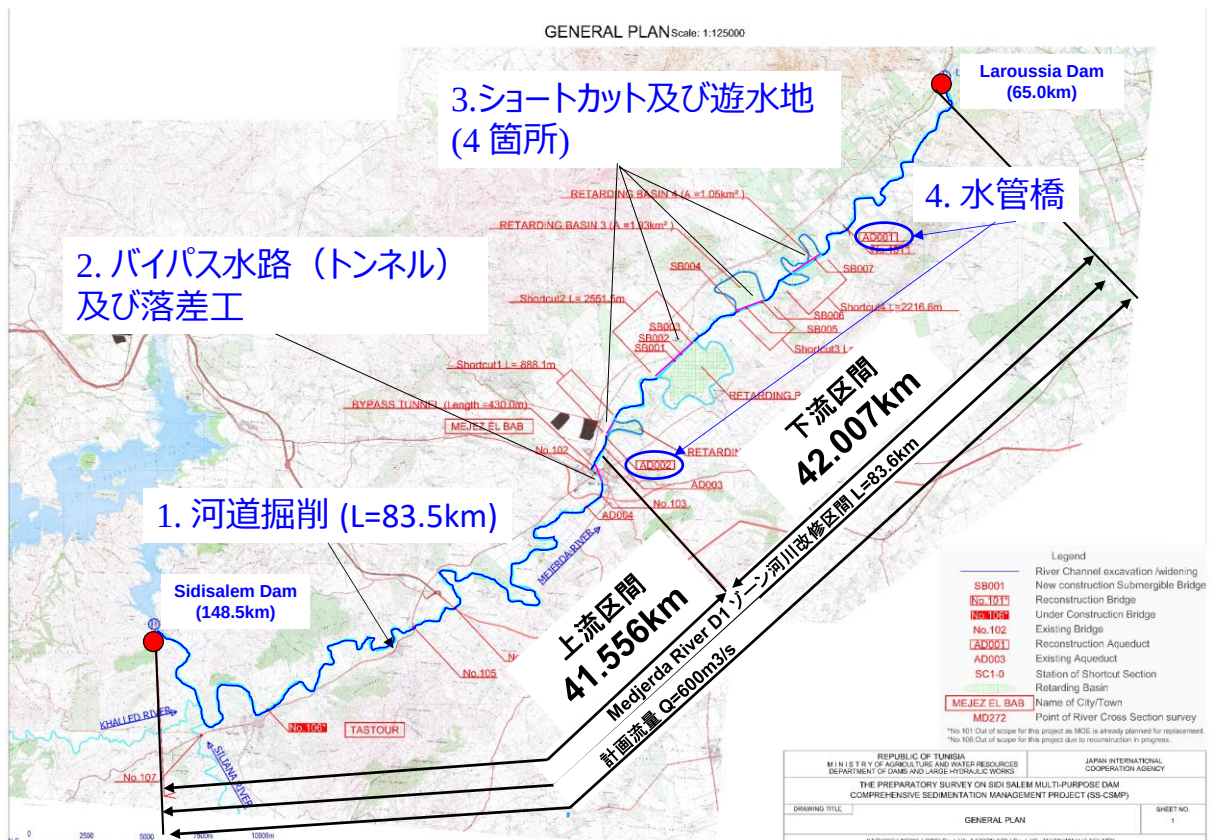


図 5-2 D1 ゾーン河川改修対象区間と整備メニュー

D1 ゾーンの計画断面については、①計画高水流量②低水路部の濁水流下特性（100<sup>3</sup>/s）③河道の安定性を考慮し、以下の図 5-3 のように設定した。

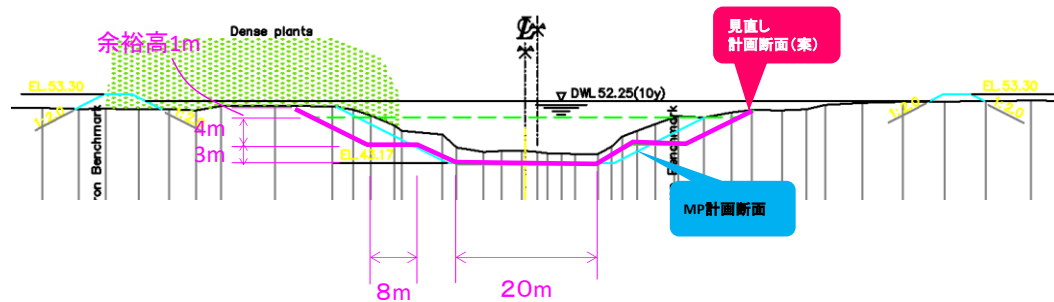


図 5-3 計画標準断面

また、整備メニューの中で、Mejez EL Bab 付近においては、歴史的遺産としてのアンダールス歴史橋地点が狭窄部となり流下能力が不足する。しかし、チュニジア側の要請により、歴史橋の保存を行うため、バイパス水路を以下の通り、検討した。（表 5-1）

表 5-1 バイパス開水路案とバイパス水路（トンネル）案の比較

| 対策案    | バイパス開水路案                                                                                                                    | バイパス水路（トンネル）案                                                                                                |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 平面イメージ |                                                                                                                             |                                                                                                              |
| 利点     | <ul style="list-style-type: none"> <li>歴史橋上流部の取水堰付近の流下の流下能力不足にも対応できる</li> <li>開水路のため施工が比較的容易</li> <li>維持管理が比較的容易</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>水路延長短縮</li> <li>トンネル上部利用が可能</li> </ul>                                |
| 要検討事項  | <ul style="list-style-type: none"> <li>私有地に係るため用地買収が必要</li> <li>道路横断部にて新規橋梁・カルバートが必要</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>適切な施工方法を検討する必要がある</li> <li>暗渠の維持管理</li> <li>上下流の水面勾配の確保が必要</li> </ul> |
| 評価     | <ul style="list-style-type: none"> <li>経済性に劣る</li> <li>土地収用や環境的側面で課題が大きい。</li> </ul>                                        | <p>&lt;採用&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>経済性に優れる</li> <li>土地収用が不要</li> </ul>                 |

## 6 メジェルダ川流域総合土砂管理

メジェルダ川流域全体の総合土砂管理計画は、水・土壌保全及び農業生産からの技術的なアプローチと社会・組織的なアプローチの両面から、①土砂移動の回復・保全、②治水・利水安全度の確保、③農地保全・農民生活の改善を目標とし、農地開発計画国家戦略の目標達成に寄与するものである。

技術的なアプローチでは各ゾーンにおける表層土壌侵食や河岸侵食等の土砂生産域の特性を考慮した対策を検討する。社会的なアプローチでは関係行政機関（DGBGTH, DGAFTA, DGF 等）及びプライベートセクターの参加型を推進する。メジェルダ川流域の各ゾーンにおける基本戦略と本調査で検討した対策メニューを図 6-1 と表 6-1 それぞれ示す。

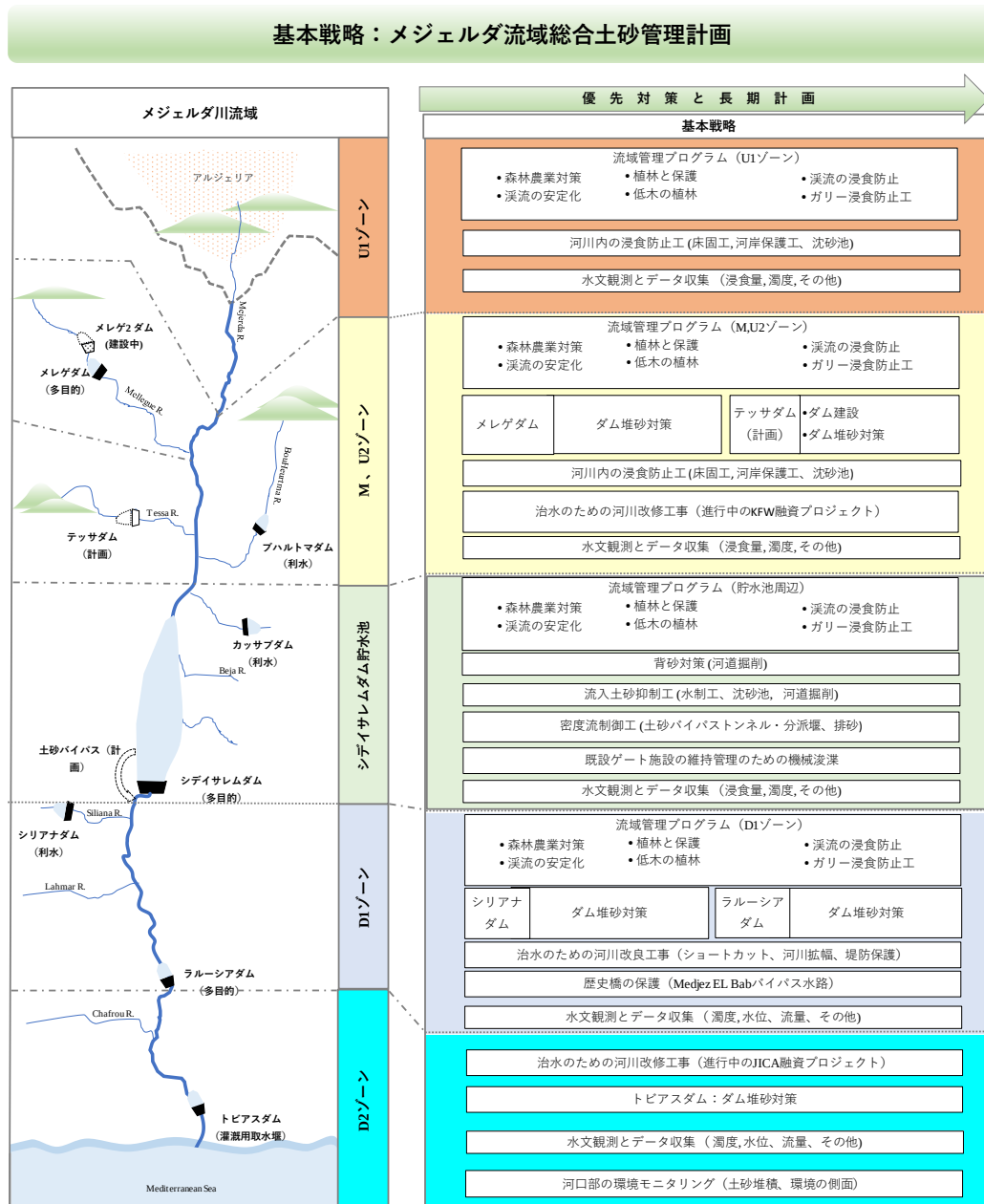


図 6-1 メジェルダ川流域総合土砂管理計画の基本戦略 (案)

表 6-1 メジェルダ川流域総合土砂管理における対策メニュー (案)

| 対策案               | 概要                                                                         |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 流域保全対策            | 土壌保全効果のある森林農業対策、植林と保護、低木の植林、作物パターンの変更等によるアグロフォレストリー対策及びガリー侵食防止対策、溪流侵食防止対策等 |
| 河道内の侵食防止対策        | 各支川において河道の安定化を向上させるために、床固工や河岸保護工、沈砂池等を整備                                   |
| ダム建設による土砂流出防止対策   | ダムの新設                                                                      |
| 既設ダムの堆砂対策         | 各既設ダムへの流入土砂特性や現状を考慮した対策                                                    |
| 水文・土砂動態の観測とモニタリング | 濁度、水位、流量などの水文データを長期的に観測                                                    |

また、本調査ではシディサレムダム貯水池の上流域で荒廃の発達している小流域を選定し、流域保全対策のパイロット事業を実施する。このパイロット事業を通じて、農業省内の関係部局との連携、農地所有者との情報共有と将来の実施体制の構築、行政機関と住民等の意識向上、技術移転等の効果が得られ、流域全体の水平展開として期待される。

メジェルダ川流域全体の広さを考慮すると、小規模なパイロット流域における流域管理計画が必要であると考えられた。予備的な USLE 分析と土地被覆分析の結果およびシディサレムダムに近いこと等から、2つのパイロットプロジェクト流域、(1) Wad Zghayyou 川流域、(2) Wad Koudyat as Safra 川流域を対象地とした。

メジェルダ川流域の総合土砂管理計画に関する現状及び課題を整理するとともに、総合的な土砂管理対策の方針、流域保全パイロット事業の概略検討を行った。今後の総合土砂管理計画実施に向けて、以下の検討を進めていく必要がある。

- 流域保全対策に関しては、適切に表層土壌侵食リスク、流域特性等を評価するために、土壌保全に係るインベントリ（土壌侵食、土地利用、土壌地質、作物パターン等）、水資源に係るインベントリ（既存の開発計画、降雨量、排水対策、水利用等）について、より詳細調査を実施する必要がある。また、これに基づき、社会経済的条件を考慮したニーズを確認した上で、流域保全対策と土地利用の統合等の検討が必要になる。
- 提案しているシディサレムダム貯水池におけるパイロット事業の実施を通じて、実施体制の構築、行政機関及び住民等の意識向上、技術移転、成功事例等の効果が得られ、流域全体の水平展開の観点から重要だと考えられる。
- 既設ダム貯水池では、シディサレムダム、メレゲダムやシリアナダム等で堆砂が進行していることによって、将来、利水、治水容量がひっ迫し、ダムの機能を低下させる懸念がある。そのため、既設ダム貯水池の堆砂対策を実施することが急務である。特に最も重要なシディサレムダムである。また、堆砂対策は、各ダムの特性を踏まえた個別対策を検討するのではなく、流域全体の総合的な土砂管理の観点から、上流ダムも含めたダム群堆砂対策を検討すべきである。
- 流域総合土砂管理計画を立案するためには、河川、森林、ダム、堰、海岸の多岐にわたる分野の管理関係者、研究機関や利用関係者の参加が必要である。ダム管理を担当している DGBGTH を始め、DGACTA（農地計画・管理・保全局）や DGF(森林局)、地方開発を担当している CRDA が連携し、様々な関係者を巻き込みながら、運営を行っていかなければならない。

## 7 環境影響評価

チュニジアの政令によると、EIA 実施事業には、本事業のコンポーネントである「洪水対策事業」、「土砂浚渫事業」及び「河川改修事業」はリストアップされていない。従って、国内法によれば、本プロジェクトで計画されている活動には、EIA や環境許認可は必要ない。本事業及び関連するサブプロジェクトの実施は、環境許認可を担当する ANPE への EIA の正式な提出を必要としない。但し、2020 年 1 月に ANPE にヒアリングを行ったところ、事業の規模や影響等を踏まえて個別に EIA 実施の必要性を検討する必要があるため、計画の概要が決定した時点で ANPE と DGBGTH で協議を行う必要がある。

本調査において行った事業による環境への影響の予備的検討で特に影響が大きいと考えられる項目について以下に示す。

表 7-1 今後検討すべき環境への影響に関する項目

| 検討項目                         | 懸念事項                                                                                                               |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| メジェルダ川水生生態環境への影響             | メジェルダ川上流域は NGO を主体として生態系調査が行われるなど、保護区等に指定はされていないものの、現時点で豊富な生態系が維持されている地域である。                                       |
| ダム下流の農業への影響                  | 土砂バイパストンネルの運用による洪水時の放流により下流河川に濁度の高い貯留水が放流されることとなり、濁度の高い河川水からの取水により農地への影響・部分的に自然に遊水地となるエリアが発生するなどの一時的な影響を受ける可能性がある。 |
| 掘削残土の発生による影響                 | 機械浚渫による掘削残土は湖内の土砂となり、嫌気的な環境の堆砂が発生する可能性が高い。残土処理により生じる影響として、再利用又は土捨て場への運搬中に生じる交通の混乱可能性が考えられる。                        |
| (下流のラムサール湿地（エルマブトゥゥ湿地）への影響検討 | メジェルダ川流域の最下流にはエル・マブトゥゥ湿地がラムサール湿地として指定されている。同湿地と本プロジェクトでは十分距離があり、影響はほとんどないと考えられる                                    |
| 文化遺産への影響                     | 歴史的保護建造物であるアンダルース歴史橋について                                                                                           |

また、本事業において住民移転は発生しない。用地取得については、D1 ゾーン河川改修の中で、蛇行区間をショートカットする際に必要となる区間がある。現在、ほとんどが農地となっているが、事業実施前の用地取得計画書作成時に現地調査を行い、適切な補償を行う必要が有る。

チュニジア共和国  
農業省 ダム大規模水理施設総局

チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム  
流域総合土砂管理事業  
準備調査

ファイナル・レポート

Volume I

2023 年 10 月

独立行政法人 国際協力機構

八千代エンジニアリング株式会社  
日本工営株式会社  
独立行政法人水資源機構



チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム流域総合土砂管理事業準備調査

レポート構成

写真

略語集

ファイナル・レポート：Volume I

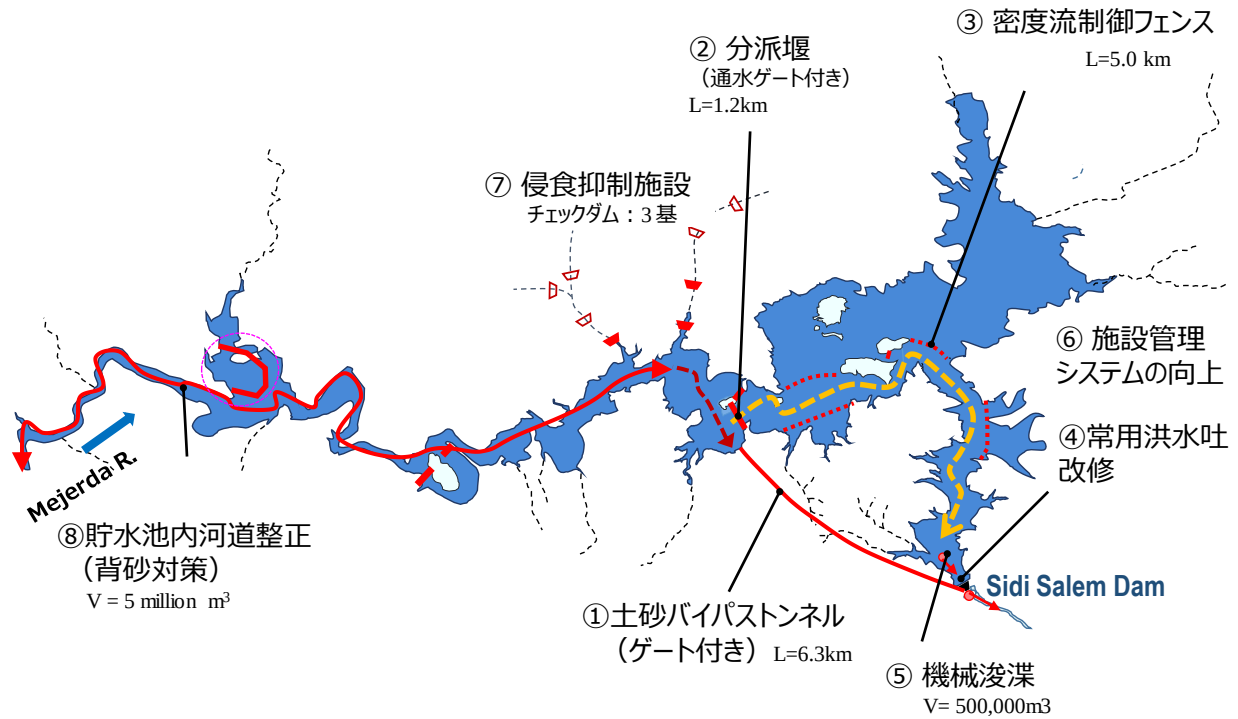
ファイナル・レポート：Volume II

別冊資料集

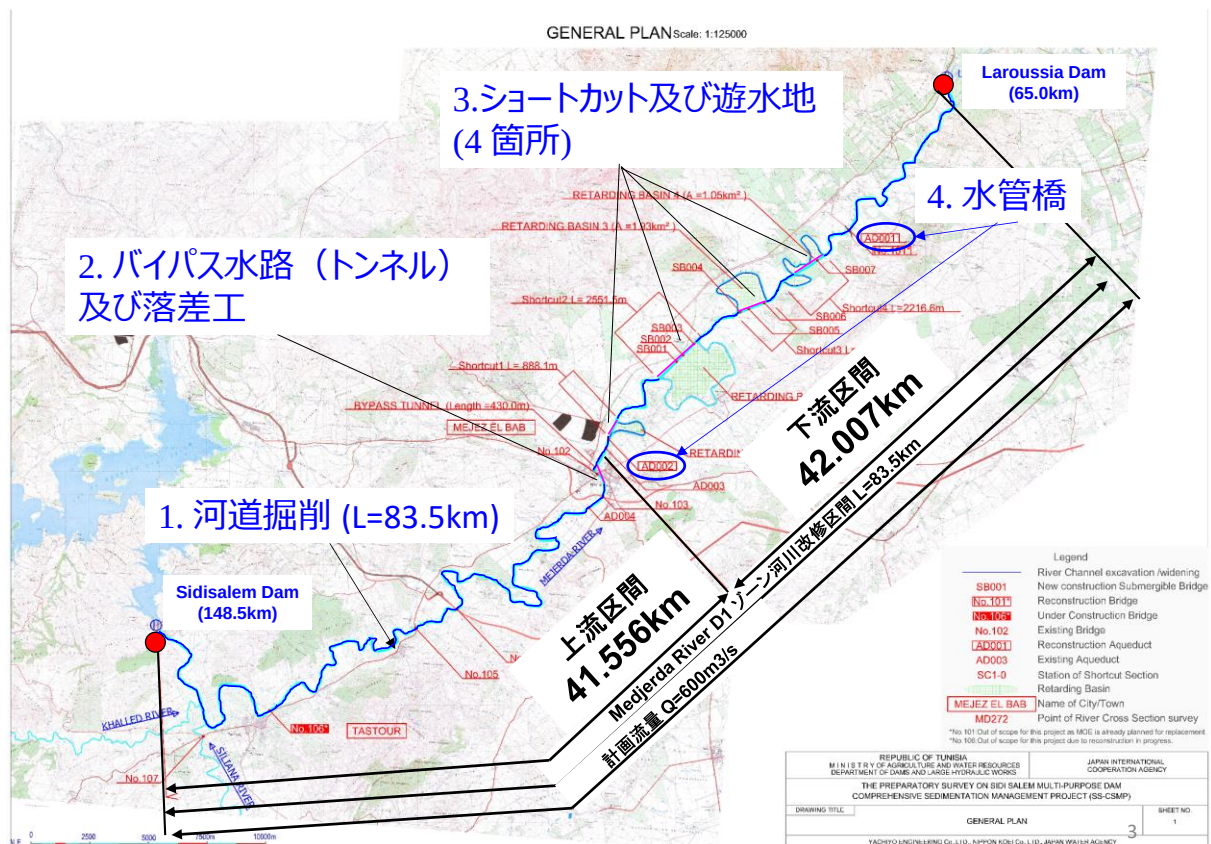




調査対象地域位置図



シディサレムダム貯水池貯水池堆砂対策一覧





## 写真



貯水池上流の堆砂進行具合 (Zone E)  
(2022.3)



貯水池上流の堆砂進行具合 (Zone E)  
(2022.3)



貯水池内農家への聞き取り (2022.3)



ダム技術者への聞き取り (2022.3)



貯水池内の農地 (2022.3)



Zone D (2022.3)





アンダールース橋（歴史橋）（2022.3）



Zone A(洪水吐)（2022.3）



シリアナ川支川のチェックダム  
(2022.3)



シリアナ川支川のチェックダム  
(2022.3)



シリアナ川（下流から撮影）（2022.3）



CRDA 職員への聞き取り（2022.3）





シリアナダム (2022. 3)



シリアナダム貯水池 (2022. 3)



DGBGTH meeting (2022.3)



MDCI meeting (2022.4)



DGF Meeting(2022.3)



Medjez El Bab(2022.4)

チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム流域総合土砂管理事業準備調査

略語集

1. チュニジア政府機関

| Abbreviations/Acronyms | Japanese     | French                                                                         |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| ANGED (MEn)            | 国家廃棄物管理局     | Agence Nationale de Gestion des Déchets                                        |
| ANPE (MEn)             | 環境保護局        | Agence Nationale de Protection de l'Environnement                              |
| CNE                    | 国家水委員会       | Comité National de l'Eau                                                       |
| CRC                    | 調停委員会        | Commission de Reconnaissance et de Conciliation                                |
| CRDA (MoA)             | 農業開発事務所      | Commissariats Régionaux au Développement Agricole                              |
| DGACTA (MoA)           | 農地計画・管理・保全局  | Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles |
| DGBGTH (MoA)           | ダム・大規模水理事業総局 | Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques             |
| DGCES (MoA)            | 水質・土壌保全局     | Direction Générale de la Conservation des Eaux et du Sol                       |
| DGEQV (MEn)            | 環境生活局        | Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de la Vie               |
| DGF (MoA)              | 森林局          | Direction Générale des Forêts                                                  |
| DGGREE (MoA)           | 農村技術・水利総局    | Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux                |
| DGPA (MoA)             | 農業水産局        | Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture                             |
| DGPC(MEq)              | 道路・橋梁局       | Directeur Général des Ponts et Chaussées                                       |
| DGRE (MoA)             | 水資源総局        | Direction Générale des Ressources en Eau                                       |
| INAT (MoA)             | 国家農学研究所      | Institut National Agronomique de Tunisie                                       |
| INM (MT)               | 国家気象研究所      | Institut National de la Météorologie                                           |
| INP(MCSP)              | 国家文化遺産研究所    | Institut National du Patrimoine                                                |
| INS (MEP)              | 国家統計研究所      | Institut National de la Statistique                                            |
| MCSP                   | 地方農業漁業組合     | Ministère de la Culture et de la Sauvegarde du Patrimoine                      |
| MdA                    | 農業省          | Ministère de l'Agriculture                                                     |
| MDEAF                  | 国土保全省        | Ministère des Domaines de l'Etat et des Affaires Foncières                     |
| MdP                    | 文化遺産省        | Ministère du Patrimoine                                                        |
| MEn                    | 環境省          | Ministère de l'Environnement                                                   |
| MEP                    | 国際開発協力省      | Ministère de l'Economie et de la Planification                                 |
| MEq                    | 設備省          | Ministère de l'Equipeement                                                     |
| MF                     | 経済省          | Ministère des Finances                                                         |
| MT                     | 運輸省          | Ministère des Transport                                                        |
| ONAS (MEn)             | 国家住民保護局      | Office National de l'Assainissement                                            |

|              |          |                                                                    |
|--------------|----------|--------------------------------------------------------------------|
| ONPC         | 国家住民保護局  | Office National de la Protection Civile                            |
| OTC (MEn)    | 地籍事務所    | Office de la Topographie et du Cadastre                            |
| SECADENORD   | 北部水路管理公社 | Société d'Exploitation du Canal et des Adductions des Eaux du Nord |
| SNCFT        | チュニジア鉄道  | Société Nationale des Chemins de Fer Tunisiens                     |
| SONEDE (MoA) | 国家水道公社   | Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux       |
| ULAP         | 地方農業漁業組合 | Union Locale des Agriculteurs et des Pêcheurs                      |

## 2. 国際ドナー

| Abbreviation | Japanese     | French                                                                    |
|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------|
| EU           | ヨーロッパ連合      | Union Européenne                                                          |
| JICA         | 国際協力機構       | Agence Japonaise de Coopération Internationale                            |
| KfW          | ドイツ復興金融公庫    | Kreditanstalt für Wiederaufbau                                            |
| UNESCO       | 国際連合教育科学文化機関 | Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture |
| WB           | 世界銀行         | La Banque Mondiale                                                        |

## 3. その他

| Abbreviation | Japanese   | French                                                 |
|--------------|------------|--------------------------------------------------------|
| AR           | 人工更新       | La Régénération Artificielle                           |
| BOD          | 生物化学的酸素要求量 | Demande biochimique en oxygène                         |
| COD          | 化学的酸素要求量   | Demande chimique en oxygène                            |
| D/D          | 詳細設計       | Conception détaillée                                   |
| DCP          | 簡易貫入試験     | Pénétration dynamique du cône                          |
| EIA          | 環境影響評価     | Etude d'Impact sur l'Environnement                     |
| EIRR         | 内部収益率      | Taux Interne de Rentabilité Economique                 |
| EL           | 標高         | Élévation                                              |
| F/S          | 協力準備調査     | Etude de Faisabilité                                   |
| FFWS         | 洪水予警報システム  | Système de prévision des inondations et d'alerte       |
| FR           | 最終報告書      | Rapport final                                          |
| GCM          | 全球気候モデル    | Modèle de circulation générale                         |
| GDP          | 国内総生産      | Produit intérieur brut (PIB)                           |
| GEOSS        | 全球地球観測システム | Système mondial des systèmes d'observation de la Terre |
| GEV          | 極値分布       | Généralisée de la valeur extrême                       |

|           |                          |                                                                                                      |
|-----------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GIS       | 地理情報システム                 | Système d'Information Géographique                                                                   |
| GPRS      | 一般パケット無線サービス             | General Packet Radio Service                                                                         |
| GSM       | 携帯通信用グローバルシステム           | Groupe Spécial Mobile                                                                                |
| HWL       | 高水位                      | Niveau des Plus Hautes Eaux                                                                          |
| IPCC AR5  | 気候変動に関する政府間パネル 第5次評価報告書  | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - Rapport annuel 5                    |
| ITR       | インテリムレポート                | Rapport intérimaire                                                                                  |
| JPY       | 日本円                      | Yen Japonais                                                                                         |
| M/P       | マスタープラン                  | Plan Directeur                                                                                       |
| NATM      | 新オーストリアトンネル工法            | Nouvelle méthode autrichienne de creusement de tunnels                                               |
| NWL       | 通常水位                     | Retenue Normale                                                                                      |
| O&M       | 操作及び維持管理                 | Exploitation et Maintenance                                                                          |
| ORSEC     |                          | Organisation de la Réponse de Sécurité Civile                                                        |
| PMF       | 可能最大洪水流量                 | Crue Maximale Probable                                                                               |
| PMP       | 可能最大降水量                  | Précipitations Maximales Probables                                                                   |
| PMU       | プロジェクト管理ユニット             | Unité de gestion de projet                                                                           |
| RCP       | 代表的濃度経路                  | Voies de Concentration Représentatives                                                               |
| SAPI      | 「メジェルダ川洪水事業」にかかる案件実施促進調査 | Assistance spéciale pour la mise en œuvre du projet de lutte contre les inondations de Mejerda       |
| SMS       | ショートメッセージサービス            | Short Message Service                                                                                |
| SS        | 浮遊砂                      | Matières solides en suspension                                                                       |
| STEG      | チュニジア電力公社                | Société tunisienne de l'électricité et du gaz                                                        |
| STORAPIL  | 上下水道局                    | Société de Transport d'Hydrocarbure par Pipe-Line                                                    |
| SYCOHTRAC | リアルタイム情報収集・洪水警報システム      | SYstème de COLlecte des mesures Hydrologiques en Temps Réel et Annonce des Crues des oueds tunisiens |
| TELECOM   | チュニジア通信局                 | Tunisie Télécom                                                                                      |
| TND       | チュニジアディナール               | Dinars tunisiens                                                                                     |



|       |                |                                                                   |
|-------|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| TOR   | タームズ・オブ・レファレンス | Termes de Référence                                               |
| USCS  | 統一土質分類法        | Système unifié de classification des sols                         |
| VAT   | 付加価値税          | Taxe sur la valeur ajoutée                                        |
| WFDEI | 全球気象データ        | méthodologie WATCH Forcing Data appliquée aux données ERA-Interim |
| ZICO  | 野鳥保護区          | Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux                  |

チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム流域総合土砂管理事業準備調査

**ファイナル・レポート: Volume I**

目次

|       |                                |      |
|-------|--------------------------------|------|
| 第1章   | 序論.....                        | 1-1  |
| 1.1   | 調査の背景.....                     | 1-1  |
| 1.2   | 調査の目的.....                     | 1-3  |
| 1.3   | 調査対象地域.....                    | 1-3  |
| 1.4   | 調査の内容と工程.....                  | 1-3  |
| 1.5   | 調査実施体制.....                    | 1-3  |
| 第2章   | 調査流域の現状 .....                  | 2-1  |
| 2.1   | チュニジアの自然・社会概況.....             | 2-1  |
| 2.1.1 | 自然条件.....                      | 2-1  |
| 2.1.2 | 社会経済状況.....                    | 2-5  |
| 2.2   | チュニジアの水資源セクターの現状・課題 .....      | 2-12 |
| 2.2.1 | チュニジアにおける水資源の現状・課題 .....       | 2-12 |
| 2.2.2 | チュニジアにおける給水網の現状 .....          | 2-14 |
| 2.3   | 対象流域における水資源セクターの現状・課題 .....    | 2-19 |
| 2.3.1 | メジェルダ川流域給水網に関する現状と課題 .....     | 2-19 |
| 2.3.2 | シディサレムダムの利水需要 .....            | 2-21 |
| 2.3.3 | メジェルダ川流域における洪水対策事業の現状・課題 ..... | 2-27 |
| 2.4   | 水資源セクターの上位計画・関連法令 .....        | 2-29 |
| 2.4.1 | 水資源セクターの関連法令 .....             | 2-29 |
| 2.4.2 | 水資源セクターの上位計画 .....             | 2-31 |
| 2.5   | チュニジアにおける開発計画 .....            | 2-33 |
| 2.5.1 | チュニジアの長期国家開発計画 .....           | 2-33 |
| 2.5.2 | 海外ドナー支援による水資源開発の動向 .....       | 2-33 |
| 2.5.3 | 本邦及び国際機関支援による洪水対策事業 .....      | 2-38 |
| 第3章   | 水理・水文解析.....                   | 3-1  |
| 3.1   | 水文条件の概要.....                   | 3-1  |
| 3.1.1 | 背景と目的.....                     | 3-1  |

|       |                                     |      |
|-------|-------------------------------------|------|
| 3.1.2 | 実施方針.....                           | 3-2  |
| 3.1.3 | 水文資料の収集と分析のための加工.....               | 3-3  |
| 3.1.4 | 調査対象地域の降雨特性.....                    | 3-6  |
| 3.1.5 | 洪水流量特性.....                         | 3-8  |
| 3.2   | 現況河道の流下能力.....                      | 3-10 |
| 3.2.1 | 水系の現状.....                          | 3-10 |
| 3.2.2 | 現況河道の流下能力.....                      | 3-14 |
| 3.2.3 | 過去に発生した洪水特性.....                    | 3-17 |
| 3.3   | 水文データの収集.....                       | 3-21 |
| 3.3.1 | 水文調査のために観測された大気データ.....             | 3-21 |
| 3.3.2 | 観測河川流量.....                         | 3-27 |
| 3.4   | 洪水解析.....                           | 3-28 |
| 3.4.1 | 分析へのアプローチ.....                      | 3-28 |
| 3.4.2 | HEC-HMS モデル.....                    | 3-29 |
| 3.4.3 | モデルの分割ブロック.....                     | 3-30 |
| 3.4.4 | モデルキャリブレーション.....                   | 3-31 |
| 3.4.5 | 計画降雨の設定.....                        | 3-36 |
| 3.4.6 | 設計洪水流量の設定.....                      | 3-47 |
| 3.4.7 | 洪水調節のための貯水池運用.....                  | 3-49 |
| 3.4.8 | 設計洪水流量の決定（引き伸ばし率、時空間分布を考慮した方法）..... | 3-50 |
| 3.5   | 流量配分計画.....                         | 3-65 |
| 3.6   | 既設ダムの最適運用方法の検討.....                 | 3-67 |
| 3.6.1 | メジェルダ川流域の既設および計画中ダムの諸元.....         | 3-67 |
| 3.6.2 | 洪水時の貯水池運用調整の基本ルール.....              | 3-71 |
| 3.6.3 | 既設主要2ダムの特徴と実際の運用.....               | 3-73 |
| 3.6.4 | 既設主要ダムの洪水調節運用のキャリブレーション.....        | 3-78 |
| 3.6.5 | 既設主要ダムの最適洪水調節運用方法の検討.....           | 3-81 |
| 3.6.6 | 貯水池運用計算とダム安全対策検討.....               | 3-88 |
| 第4章   | 対象地域における気候変動に係る考察.....              | 4-1  |
| 4.1   | 検討の目的.....                          | 4-1  |
| 4.2   | 検討の方針.....                          | 4-1  |
| 4.3   | 洪水に関わる気候変動リスクの評価.....               | 4-4  |
| 4.3.1 | 評価指標.....                           | 4-4  |
| 4.3.2 | 年間雨量.....                           | 4-5  |
| 4.3.3 | D99.....                            | 4-5  |
| 4.3.4 | R99.....                            | 4-5  |
| 4.3.5 | Irp.....                            | 4-5  |
| 4.4   | メジェルダ川の洪水に関する気候変動リスク.....           | 4-6  |

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 第5章 シディサレムダム貯水池の現状と現地調査結果 .....    | 5-1  |
| 5.1 シディサレムダムの概要 .....              | 5-1  |
| 5.1.1 ダムの諸元 .....                  | 5-1  |
| 5.1.2 ダム貯水池の運用 .....               | 5-2  |
| 5.1.3 ダム維持管理の現状 .....              | 5-3  |
| 5.1.4 常用洪水吐の嵩上げ .....              | 5-4  |
| 5.2 ダム貯水池の堆砂状況 .....               | 5-4  |
| 5.3 貯水池の堆砂メカニズム .....              | 5-6  |
| 5.4 貯水池内の詳細調査結果 .....              | 5-8  |
| 5.4.1 ダム本体付近の堆砂状況 .....            | 5-8  |
| 5.4.2 貯水池内旧鉄道切土沿いの堆砂状況調査 .....     | 5-10 |
| 5.4.3 貯水池溪岸の状況 .....               | 5-12 |
| 5.4.4 土砂バイパストンネル計画地周辺の地質調査結果 ..... | 5-13 |
| 5.4.5 分派堰計画地周辺の土質・地質調査結果 .....     | 5-31 |
| 5.4.6 ダム貯水池内の濁度調査 .....            | 5-38 |
| 第6章 ダム貯水池の将来堆砂予測と濁水流動解析 .....      | 6-1  |
| 6.1 一次元堆砂予測解析 .....                | 6-1  |
| 6.1.1 再現計算 .....                   | 6-1  |
| 6.1.2 年間土砂収支の経年変化 .....            | 6-5  |
| 6.1.3 ゾーン毎の堆砂量の経年変化 .....          | 6-8  |
| 6.1.4 主要洪水による堆砂状況 .....            | 6-10 |
| 6.2 将来予測計算 .....                   | 6-16 |
| 6.2.1 計算条件 .....                   | 6-16 |
| 6.2.2 計算結果 .....                   | 6-18 |
| 6.3 堆砂対策の緊急性に関する分析 .....           | 6-21 |
| 6.3.1 気候変動によって想定されるリスク .....       | 6-21 |
| 6.3.2 リスクを考慮した緊急性の高い堆砂進行シナリオ ..... | 6-23 |
| 6.4 三次元濁水流動解析 .....                | 6-26 |
| 6.4.1 解析手法の概要 .....                | 6-26 |
| 6.4.2 解析条件の設定 .....                | 6-29 |
| 6.4.3 仮想洪水波形による濁水の挙動解析 .....       | 6-33 |
| 6.4.4 実際の洪水波形による濁水流動現象の分析 .....    | 6-38 |
| 6.4.5 三次元濁水流動解析のまとめ .....          | 6-44 |
| 第7章 ダム貯水池堆砂対策計画の策定 .....           | 7-1  |
| 7.1 ダム最適運用の検討 .....                | 7-1  |
| 7.1.1 貯水池運用の現状 .....               | 7-1  |

|       |                            |      |
|-------|----------------------------|------|
| 7.1.2 | 利水補給の実態.....               | 7-3  |
| 7.1.3 | 洪水調節操作の実態.....             | 7-8  |
| 7.1.4 | 今後望まれる洪水調節操作 .....         | 7-12 |
| 7.2   | 堆砂対策の策定.....               | 7-14 |
| 7.2.1 | 貯水池の現状の土砂収支バランス .....      | 7-14 |
| 7.2.2 | 堆砂対策候補の抽出.....             | 7-15 |
| 7.2.3 | 基本戦略 .....                 | 7-20 |
| 7.3   | 各対策の検討（フルメニュー） .....       | 7-23 |
| 7.3.1 | 分派堰の検討.....                | 7-23 |
| 7.3.2 | 分派堰の通水ゲートの検討 .....         | 7-28 |
| 7.3.3 | 土砂バイパストンネルのルート案の比較検討 ..... | 7-31 |
| 7.3.4 | 既設排砂ゲート活用.....             | 7-40 |
| 7.3.5 | 密度流制御フェンス .....            | 7-42 |
| 7.3.6 | 沈砂池.....                   | 7-47 |
| 7.3.7 | 河道整正 .....                 | 7-50 |
| 7.4   | 堆砂対策による長期的な堆砂軽減効果の予測 ..... | 7-50 |
| 7.4.1 | 予測条件.....                  | 7-50 |
| 7.4.2 | 予測結果 .....                 | 7-55 |
| 7.5   | 貯水池対策メニューの検討.....          | 7-59 |
| 7.5.1 | フルメニュー対策 .....             | 7-59 |
| 7.5.2 | 優先メニュー対策.....              | 7-60 |
| 7.6   | 掘削土砂の有効活用検討.....           | 7-63 |
| 7.6.1 | 一般的な有効活用のメニュー .....        | 7-63 |
| 7.6.2 | シディサレムダムの堆砂を用いた現地試験.....   | 7-64 |
| 第8章   | 堆砂浚渫・掘削対策の検討 .....         | 8-1  |
| 8.1   | チュニジア及び隣国における浚渫の現状 .....   | 8-1  |
| 8.2   | 基本条件.....                  | 8-2  |
| 8.2.1 | ゾーン区分の設定 .....             | 8-2  |
| 8.2.2 | 浚渫・掘削の施工条件 .....           | 8-2  |
| 8.2.3 | 対象土砂量の整理.....              | 8-3  |

非公開情報

非公開情報

|                                                                 |       |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| 第 9 章 ダムの運用・操作と維持管理 .....                                       | 9-1   |
| 9.1 土砂バイパストネル等による密度流コントロールの運用と操作 .....                          | 9-1   |
| 9.1.1 前提条件の整理 .....                                             | 9-1   |
| 9.1.2 密度流コントロールの検討結果 .....                                      | 9-3   |
| 9.1.3 密度流コントロール施設の制御方法 .....                                    | 9-9   |
| 9.2 洪水時における土砂バイパストネルの排砂運用の検証 .....                              | 9-13  |
| 9.3 各施設の維持管理 .....                                              | 9-14  |
| 第 10 章 ダム堆砂に伴う上流・下流への影響検討 .....                                 | 10-1  |
| 10.1 バックサンド対策の検討 .....                                          | 10-1  |
| 10.1.1 シディサレムダムにおけるバックサンド現象の現状 .....                            | 10-1  |
| 10.1.2 検討方法 .....                                               | 10-2  |
| 10.1.3 検討結果 .....                                               | 10-7  |
| 10.1.4 最適な掘削形状の検討 .....                                         | 10-13 |
| 10.2 下流河道への排砂計画 .....                                           | 10-15 |
| 10.2.1 解析条件 .....                                               | 10-15 |
| 10.2.2 下流河道への影響 .....                                           | 10-16 |
| 10.2.3 河道改修及び堆砂対策による影響と対応策 .....                                | 10-19 |
| 10.2.4 500 m <sup>3</sup> /s 規模の洪水発生時における効果・影響に関するケーススタディ ..... | 10-20 |
| 第 11 章 ダム下流 D1 ゾーンの河川改修計画 .....                                 | 11-1  |
| 11.1 地形・地質の概要 .....                                             | 11-1  |
| 11.2 地質調査結果 .....                                               | 11-2  |
| 11.2.1 調査の目的 .....                                              | 11-2  |
| 11.2.2 ボーリング調査位置 .....                                          | 11-2  |
| 11.2.3 地質分布 .....                                               | 11-3  |
| 11.2.4 標準貫入試験結果 .....                                           | 11-7  |
| 11.2.5 地下水位 .....                                               | 11-8  |
| 11.2.6 室内試験結果 .....                                             | 11-8  |
| 11.3 土質工学的考察 .....                                              | 11-12 |
| 11.3.1 地層の分布 .....                                              | 11-12 |
| 11.3.2 各土質の工学的特性 .....                                          | 11-13 |
| 11.4 河川改修計画の策定 .....                                            | 11-16 |
| 11.4.1 基本高水流量 .....                                             | 11-16 |
| 11.4.2 現況河道特性 .....                                             | 11-19 |
| 11.4.3 現況流下能力の検討 .....                                          | 11-25 |



|         |                                        |       |
|---------|----------------------------------------|-------|
| 11.4.4  | 河川改修計画の基本方針 .....                      | 11-30 |
| 11.4.5  | 平面計画 .....                             | 11-32 |
| 11.4.6  | 縦断計画 .....                             | 11-38 |
| 11.4.7  | 横断計画 .....                             | 11-46 |
| 11.5    | アンダルス歴史橋における分流施設検討 .....               | 11-51 |
| 11.5.1  | Mejez el Bab バイパス水路案の課題 .....          | 11-52 |
| 11.5.2  | 代替案 Mejez el Bab バイパス水路（トンネル）の検討 ..... | 11-54 |
| 11.6    | 遊水地による超過洪水対策の考え方 .....                 | 11-62 |
| 11.7    | 各計画案の比較検討結果 .....                      | 11-64 |
| 11.8    | 土地利用計画の検討 .....                        | 11-65 |
| 11.8.1  | 土地利用計画の目的 .....                        | 11-65 |
| 11.8.2  | 対象地区の土地利用の現状と課題 .....                  | 11-66 |
| 11.8.3  | 河川改修との土地利用の関連性 .....                   | 11-71 |
| 11.8.4  | 土地利用に向けた安全性の確保 .....                   | 11-72 |
| 11.8.5  | 災害対策に係る建築規制 .....                      | 11-76 |
| 11.8.6  | 土地利用に係る法制度面の課題 .....                   | 11-77 |
| 11.8.7  | 土地利用に向けた提案と地域開発ビジョンの設定 .....           | 11-78 |
| 11.8.8  | 想定事業の概略的評価 .....                       | 11-85 |
| 11.8.9  | 評価結果に基づく土地利用事業の優先順位 .....              | 11-89 |
| 11.8.10 | 事業実施の際に直面し得る課題 .....                   | 11-90 |
| 第 12 章  | 氾濫解析 .....                             | 12-1  |
| 12.1    | 氾濫解析モデル .....                          | 12-2  |
| 12.2    | 氾濫解析モデルの作成 .....                       | 12-3  |
| 12.3    | 2003 年洪水の再現 .....                      | 12-16 |
| 12.4    | 確率規模別氾濫解析結果 .....                      | 12-17 |
| 12.4.1  | 270m メッシュモデルにおける確率規模別氾濫解析結果 .....      | 12-17 |
| 12.4.2  | 90m メッシュモデルにおける確率規模別氾濫解析結果 .....       | 12-25 |
| 12.5    | 解析結果の整理 .....                          | 12-26 |
| 12.5.1  | 各ケースの比較 .....                          | 12-26 |
| 12.5.2  | ピーク流量と遊水池の効果 .....                     | 12-27 |
| 12.6    | 確率規模別氾濫解析結果 各ショートカットのみの場合 .....        | 12-34 |
| 第 13 章  | 河床変動解析 .....                           | 13-1  |
| 13.1    | 基本条件 .....                             | 13-1  |
| 13.1.1  | シディサレムダム下流のメジェルダ川流域の流量データ .....        | 13-1  |
| 13.1.2  | 河川縦断・横断データ .....                       | 13-2  |
| 13.1.3  | 河床変動量 .....                            | 13-6  |
| 13.1.4  | 粒度分布データ .....                          | 13-8  |

|        |                              |       |
|--------|------------------------------|-------|
| 13.2   | 一次元河床変動解析 .....              | 13-11 |
| 13.2.1 | 解析モデル .....                  | 13-11 |
| 13.2.2 | 解析条件 .....                   | 13-13 |
| 13.2.3 | 計算結果 .....                   | 13-16 |
| 13.3   | 将来予測 .....                   | 13-24 |
| 13.3.1 | 将来予測条件 .....                 | 13-24 |
| 13.3.2 | 将来予測結果 .....                 | 13-26 |
| 13.4   | 土砂対策による影響分析 .....            | 13-31 |
| 13.4.1 | シディサレムダムでの堆砂対策による影響の分析 ..... | 13-31 |
| 13.4.2 | 河川改修に伴う影響の分析 .....           | 13-38 |
| 13.4.3 | ラルーシアダムによるスルーシングの効果検討 .....  | 13-45 |
| 13.4.4 | 河道改修及び堆砂対策による影響と対応策 .....    | 13-51 |
| 13.4.5 | 河床変動解析のまとめ .....             | 13-51 |

チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム流域総合土砂管理事業準備調査

図リスト

|       |                                             |      |
|-------|---------------------------------------------|------|
| 図 11  | シディサレムダム貯水池における年平均土砂収支及び貯水容量への影響 .....      | 1-1  |
| 図 12  | SAPI で提案された堆砂対策の基本戦略 .....                  | 1-2  |
| 図 13  | メジェルダ川流域の洪水対策事業 .....                       | 1-3  |
| 図 14  | メジェルダ川流域図 .....                             | 1-4  |
| 図 15  | 作業計画 .....                                  | 1-5  |
| 図 16  | 実施体制 .....                                  | 1-6  |
|       |                                             |      |
| 図 21  | メジェルダ川流域の地形概要 .....                         | 2-1  |
| 図 22  | メジェルダ川下流部の沖積層の形成概要 .....                    | 2-2  |
| 図 23  | チュニジア国 降水量と気温（50 年平均） .....                 | 2-2  |
| 図 24  | 調査地周辺のテクトニクス .....                          | 2-3  |
| 図 25  | チュニジア国広域地質概要図 .....                         | 2-4  |
| 図 26  | メジェルダ川流域の土地利用分類 .....                       | 2-5  |
| 図 27  | チュニジアの人口推移 .....                            | 2-5  |
| 図 28  | チュニジアの生産セクター別の全付加価値額（時価）の推移 .....           | 2-8  |
| 図 29  | チュニジアの生産セクター別の全付加価値額（時価）に占める割合の推移 .....     | 2-9  |
| 図 210 | ベジャ県の土地利用 .....                             | 2-10 |
| 図 211 | マヌーバ県の土地利用 .....                            | 2-11 |
| 図 212 | 生産セクター別の就業者数の割合 .....                       | 2-11 |
| 図 213 | チュニジアの水資源ポテンシャル（左：水資源の総量、右：水資源の利用量） .....   | 2-12 |
| 図 214 | 飲料水の取水源の平均割合 .....                          | 2-13 |
| 図 215 | 国内の水供給量の推移（2010-2021） .....                 | 2-13 |
| 図 216 | チュニジア国内の給水網 .....                           | 2-15 |
| 図 217 | チュニジア国内の主な給水システム .....                      | 2-17 |
| 図 218 | チュニジア農業省が管理又は計画しているダム一覧 .....               | 2-18 |
| 図 219 | 農業省の給水システム強化計画（2015 年と 2050 年） .....        | 2-18 |
| 図 220 | 北部地域の給水網システムとその管理区分 .....                   | 2-19 |
| 図 221 | 北部地域における SONEDE の表流水取水量の推移（2010~2021） ..... | 2-20 |
| 図 222 | メジェルダ川流域におけるダム位置図 .....                     | 2-21 |
| 図 223 | MEDJERDA CAP-BON CANAL 給水システム .....         | 2-22 |
| 図 224 | 北部給水からの MEJERDA CAP-BON 運河への給水網強化（案） .....  | 2-22 |
| 図 225 | BEJAOUA ポンプ場における取水量（2009-2021） .....        | 2-23 |
| 図 226 | 国内供給水に占めるシディサレムダムからの供給割合 .....              | 2-23 |

|        |                                                                                         |      |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 図 2 27 | 既設灌漑取水施設の位置 .....                                                                       | 2-24 |
| 図 2 28 | 既設灌漑施設の位置 (D1 ゾーン) .....                                                                | 2-24 |
| 図 2 29 | 既設灌漑施設の位置 (D2 ゾーン) .....                                                                | 2-26 |
| 図 2 30 | 排水路の建設ルート .....                                                                         | 2-28 |
| 図 2 31 | 1952 年以降の下流部の工事概要 .....                                                                 | 2-28 |
| 図 2 32 | チュニジアにおけるダム開発状況 .....                                                                   | 2-31 |
| 図 2 33 | 2008 年マスタープランの各ゾーンの便益-費用比率 (B/C) .....                                                  | 2-39 |
| 図 2 34 | D2 ゾーンの洪水対策事業の概要 .....                                                                  | 2-43 |
| 図 2 35 | D2 ゾーン的设计高水流量配分図 (1/10 年確率規模) .....                                                     | 2-44 |
| 図 2 36 | ラルーシアダムの位置図 .....                                                                       | 2-45 |
| 図 2 37 | ラルーシアダムの平面図 .....                                                                       | 2-45 |
| 図 2 38 | ラルーシアダムの横断図 (下流より) .....                                                                | 2-46 |
| 図 2 39 | ラルーシアダムの改修概要 .....                                                                      | 2-47 |
|        |                                                                                         |      |
| 図 3 1  | M/P および F/S のシディサレムダム下流の計画高水流量配分図 .....                                                 | 3-1  |
| 図 3 2  | M/P および SAPI の流量配分図 .....                                                               | 3-2  |
| 図 3 3  | 信頼性が低く除外した降雨データの例(観測所名に赤丸をつけた AIN HAMRAYA のみ<br>80MM となっており、周辺他観測記録の状況から不正確と判断される)..... | 3-4  |
| 図 3 4  | グリッド降雨データ作成に用いた降雨観測所と再解析値の分布 .....                                                      | 3-4  |
| 図 3 5  | 年間雨量の 35 年間気候値 .....                                                                    | 3-5  |
| 図 3 6  | 可能蒸発散能の 35 年間気候値 .....                                                                  | 3-5  |
| 図 3 7  | メジェルダ川流域の等雨量線図 (年平均降雨量 : 1949-2006) .....                                               | 3-6  |
| 図 3 8  | 降水量の月変動の地域差 .....                                                                       | 3-6  |
| 図 3 9  | アルジェリア国内メジェルダ川流域の雨量観測所地点での年平均降水量 .....                                                  | 3-8  |
| 図 3 10 | アルジェリア国内メジェルダ川流域の月平均降水量の例 .....                                                         | 3-8  |
| 図 3 11 | 年最大流量観測値およびその発生月 .....                                                                  | 3-9  |
| 図 3 12 | メジェルダ川流域の河系 .....                                                                       | 3-11 |
| 図 3 13 | メジェルダ川本川および主要支川河床縦断図 .....                                                              | 3-13 |
| 図 3 14 | 2007 年時点の河道縦断および通水能力 (メジェルダ川、シディサレムダム上流) ....                                           | 3-15 |
| 図 3 15 | 2007 年の河道縦断および通水能力 (メジェルダ川、シディサレムダム下流) .....                                            | 3-16 |
| 図 3 16 | 1973 年 3 月洪水時の実績氾濫域図 .....                                                              | 3-18 |
| 図 3 17 | 2003 年 1 月洪水時のシディサレムダム流入量および放流量の流量曲線、貯水位.....                                           | 3-19 |
| 図 3 18 | 2004 年 1 月洪水時の降雨、シディサレム貯水位、放流量 .....                                                    | 3-20 |
| 図 3 19 | 雨量観測所ごとの年間利用可能性の割合 (1/2) .....                                                          | 3-23 |
| 図 3 20 | 雨量観測所ごとの年間利用可能性の割合 (2/2) .....                                                          | 3-24 |
| 図 3 21 | 統計的に検出された異常値の視覚的検証の例 (近傍観測所の同日の雨量との比較による)<br>3-25                                       |      |
| 図 3 22 | 利用可能な IN-SITU 観測所と 0.1° 格子.....                                                         | 3-25 |

|        |                                                                                             |      |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 図 3 23 | 利用可能な観測所および対応するグリッドの WFDEI データを使用して作成された、 $0.1^{\circ}$ グリッドの降雨データセットへの補間を実行する擬似測点の位置 ..... | 3-26 |
| 図 3 24 | 作成しグリッド降雨データから計算された長期（1979 年から 2013 年）年間平均降雨量-27                                            |      |
| 図 3 25 | 河川流量記録が最も長い観測所位置図 .....                                                                     | 3-28 |
| 図 3 26 | HEC-HMS モデルの分割ブロック（31 小流域） .....                                                            | 3-30 |
| 図 3 27 | HEC-HMS モデルのキャリブレーション結果 .....                                                               | 3-34 |
| 図 3 28 | 各調査でのモデルのキャリブレーション結果の比較（JENDOUBA 地点） .....                                                  | 3-35 |
| 図 3 29 | 各調査でのモデルのキャリブレーション結果の比較（BOU SALEM 地点） .....                                                 | 3-35 |
| 図 3 30 | 5 つの水文地帯におけるメジェルダ川流域の区分 .....                                                               | 3-36 |
| 図 3 31 | U1 ゾーン下流端の JENDOUBA 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関                                                 | 3-37 |
| 図 3 32 | M ゾーン下流端の MELLEGUE 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関                                                  | 3-37 |
| 図 3 33 | U2 ゾーン下流端のシディサレムダムで観測された最大流量と累積降雨量との相関...                                                   | 3-38 |
| 図 3 34 | D1 ゾーン下流端の EL HERRI 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関...                                              | 3-38 |
| 図 3 35 | D1 ゾーン下流端の JEDEIDA VILLE 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関                                            | 3-39 |
| 図 3 36 | 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果（U1 ゾーン） .....                                                      | 3-41 |
| 図 3 37 | 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果（M ゾーン） .....                                                       | 3-42 |
| 図 3 38 | 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果（U2 ゾーン） .....                                                      | 3-43 |
| 図 3 39 | 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果（D1 ゾーン） .....                                                      | 3-44 |
| 図 3 40 | 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果（D2 ゾーン） .....                                                      | 3-45 |
| 図 3 41 | 本調査と 2009 年マスタープランで計算された降雨強度の比較 .....                                                       | 3-46 |
| 図 3 42 | 基本高水の決定（国土交通省河川砂防技術基準同解説；平成 17 年版） .....                                                    | 3-52 |
| 図 3 43 | 異常降雨のチェックの考え方 .....                                                                         | 3-53 |
| 図 3 44 | 時間分布による棄却を行った計画降雨波形の例（ゾーン-U1+M+U2+D1） .....                                                 | 3-54 |
| 図 3 45 | 計算洪水ピーク流量と異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量およびボックスプロットによる中央値とカバー率 75%値.....                               | 3-63 |
| 図 3 46 | 異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量の比流量と流域面積の関係 .....                                                       | 3-64 |
| 図 3 47 | 流量配分図（ダムあり）[異常降雨棄却後の最大値].....                                                               | 3-66 |
| 図 3 48 | メジェルダ川流域の既設および計画中のダムの位置図（概念図） .....                                                         | 3-68 |
| 図 3 49 | メジェルダ川流域の既設および計画中のダムの位置図 .....                                                              | 3-68 |
| 図 3 50 | メレゲダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果 .....                                                             | 3-78 |
| 図 3 51 | メレゲダムの貯水池水位－面積－容量曲線（2014 年） .....                                                           | 3-78 |
| 図 3 52 | シディサレムダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果 .....                                                          | 3-79 |
| 図 3 53 | シディサレムダムの貯水池水位と貯水容量 .....                                                                   | 3-79 |
| 図 3 54 | シディサレムダムの貯水池水位－面積－容量曲線（2018 年） .....                                                        | 3-79 |
| 図 3 55 | シリアナダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果(1/2).....                                                        | 3-80 |
| 図 3 56 | シリアナダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果(2/2).....                                                        | 3-80 |
| 図 3 57 | シリアナダムの貯水池水位－面積－容量曲線（2012 年） .....                                                          | 3-81 |

|        |                                                                                |       |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 図 3 58 | メレゲダムの 2003 年 1 月洪水波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ                                  | 3-86  |
| 図 3 59 | メレゲダムの設計洪水（2003 年 3 月）波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ                               | 3-86  |
| 図 3 60 | シディサレムダムの 2003 年 1 月洪水波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ                               | 3-87  |
| 図 3 61 | シディサレムダムの設計洪水（2009 年 4 月）波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ                            | 3-87  |
| 図 3 62 | シリアナダムの 2003 年 1 月洪水波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ                                 | 3-88  |
| 図 3 63 | シリアナダムの設計洪水（2007 年 3 月）波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ                              | 3-88  |
| 図 3 64 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/200 年確率規模）                                        | 3-90  |
| 図 3 65 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/500 年確率規模）                                        | 3-90  |
| 図 3 66 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/1,000 年確率規模）                                      | 3-91  |
| 図 3 67 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/10,000 年確率規模）                                     | 3-91  |
| 図 3 68 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、PMF 設計洪水）                                           | 3-92  |
| 図 3 69 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・1.0M 嵩上げ、1/1,000 年確率規模；設計洪水波形）                           | 3-93  |
| 図 3 70 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・1.0M 嵩上げ、1/1,000 年確率規模；2003 年 1 月洪水波形）                   | 3-94  |
| 図 3 71 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/1,000 年確率規模）                                    | 3-96  |
| 図 3 72 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/10,000 年確率規模）                                   | 3-96  |
| 図 3 73 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、PMF 設計洪水）                                         | 3-97  |
| 図 3 74 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水実績）                                   | 3-97  |
| 図 3 75 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/10,000 年確率規模）                | 3-98  |
| 図 3 76 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた PMF）                           | 3-98  |
| 図 3 77 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行運用ルール、非常用洪水吐容量 2 倍、設計洪水 1/10,000 年確率規模）                    | 3-100 |
| 図 3 78 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8M 嵩上げ、設計洪水 PMF）                      | 3-102 |
| 図 3 79 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8M 嵩上げ、2003 年 1 月洪水波形 PMF）            | 3-102 |
| 図 3 80 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8M 嵩上げ、常用洪水吐敷高（NWL）+1.7M 上昇、設計洪水 PMF） | 3-103 |
| 図 3 81 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/500 年確率規模）                                        | 3-105 |
| 図 3 82 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/1,000 年確率規模）                                      | 3-105 |

|       |                                                                              |       |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 図 383 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/10,000 年確率規模）                                   | 3-106 |
| 図 384 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、PMF 設計洪水）                                         | 3-106 |
| 図 385 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/500 年確率規模）                   | 3-107 |
| 図 386 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/1,000 年確率規模）                 | 3-107 |
| 図 387 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/10,000 年確率規模）                | 3-108 |
| 図 388 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた PMF）                           | 3-108 |
| 図 389 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール、非常用洪水吐変更なし、ダム高+0.3M 嵩上げ、設計洪水波形 1/10,000 洪水）            | 3-109 |
| 図 390 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール、非常用洪水吐 1.1 倍、ダム高嵩上げなし、設計洪水波形 1/10,000 年確率規模）           | 3-110 |
| 図 391 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール、非常用洪水吐 2 倍、ダム高+1.6M 嵩上げ、設計洪水波形 PMF）                    | 3-112 |
| 図 392 | シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール、非常用洪水吐 2 倍、ダム高+1.6M 嵩上げ、2003 年 1 月洪水波形 1/10,000 年確率規模） | 3-112 |
| 図 41  | 不確実性の要因とその幅の概念                                                               | 4-1   |
| 図 42  | NK-CLIMVAULT の画面イメージ                                                         | 4-3   |
| 図 43  | 平均年間雨量の将来気候シナリオごとの変化                                                         | 4-7   |
| 図 44  | D99 の将来気候シナリオごとの変化                                                           | 4-8   |
| 図 45  | R99 の将来気候シナリオごとの変化                                                           | 4-9   |
| 図 46  | 集水域ブロック M（計画降雨日数 3 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率                                        | 4-10  |
| 図 47  | 集水域ブロック U1（計画降雨日数 2 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率                                       | 4-11  |
| 図 48  | 集水域ブロック U1-M-U2（計画降雨日数 5 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率                                  | 4-12  |
| 図 49  | 集水域ブロック U1-M-U2-D1（計画降雨日数 6 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率                               | 4-13  |
| 図 410 | 集水域ブロック U1-M-U2-D1-D2（計画降雨日数 6 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率                            | 4-14  |
| 図 51  | シディサレムダムの平面図及び鳥瞰写真                                                           | 5-1   |
| 図 52  | シディサレムダムの容量配分                                                                | 5-2   |
| 図 53  | 貯水池内堆砂量の経年変化                                                                 | 5-4   |
| 図 54  | 貯水池容量の経年変化                                                                   | 5-5   |
| 図 55  | 貯水池内の堆積厚の平面分布                                                                | 5-5   |
| 図 56  | サンプリング土砂の例とゾーン毎の粒度分布                                                         | 5-6   |
| 図 57  | 堆砂縦断形状の変化                                                                    | 5-7   |



|        |                                                 |      |
|--------|-------------------------------------------------|------|
| 図 5 8  | シディサレムダム貯水池における土砂移動形態のイメージ .....                | 5-8  |
| 図 5 9  | ダム周辺の堆砂状況 .....                                 | 5-8  |
| 図 5 10 | 常用洪水吐・取水施設周辺の堆砂形状（2020 年 1 月測量） .....           | 5-9  |
| 図 5 11 | 調査位置 .....                                      | 5-10 |
| 図 5 12 | 鉄道切割沿い DCP 調査結果 .....                           | 5-11 |
| 図 5 13 | 鉄道切土付近想定地質断面図 .....                             | 5-12 |
| 図 5 14 | シディサレムダム貯水池周辺で見られる溪岸侵食 .....                    | 5-13 |
| 図 5 15 | ボーリング調査位置（土砂バイパストンネル沿い） .....                   | 5-14 |
| 図 5 16 | ボーリング調査位置（土砂バイパストンネル沿い） .....                   | 5-15 |
| 図 5 17 | 土砂バイパストンネル沿いボーリング概要図 .....                      | 5-15 |
| 図 5 18 | 土砂バイパストンネル沿いボーリングコア写真 .....                     | 5-16 |
| 図 5 19 | 土砂バイパストンネル呑口（TB-1）付近地質・岩盤状況 .....               | 5-19 |
| 図 5 20 | 土砂バイパストンネル上流案吐き口（TB-2）付近地質・岩盤状況 .....           | 5-20 |
| 図 5 21 | 土砂バイパストンネル下流案吐き口（TB-3）付近地質・岩盤状況 .....           | 5-21 |
| 図 5 22 | 計画土砂バイパストンネル沿い想定地質断面図 .....                     | 5-23 |
| 図 5 23 | 計画土砂バイパストンネル沿い想定トンネルタイプ分類（上流案） .....            | 5-28 |
| 図 5 24 | 計画土砂バイパストンネル沿い想定トンネルタイプ分類（下流案） .....            | 5-28 |
| 図 5 25 | 調査位置 .....                                      | 5-31 |
| 図 5 26 | 分派堰沿いボーリング調査結果 .....                            | 5-32 |
| 図 5 27 | 分派堰沿い DCP 調査結果 .....                            | 5-32 |
| 図 5 28 | 分派堰沿い調査結果 .....                                 | 5-33 |
| 図 5 29 | 分派堰下流案付近想定地質断面図 .....                           | 5-34 |
| 図 5 30 | 分派堰下流案付近想定地質断面図 .....                           | 5-34 |
| 図 5 31 | 分派堰下流案付近地形図 .....                               | 5-36 |
| 図 5 32 | 分派堰下流案付近堆積物および基盤岩の N 値の分布想定図 .....              | 5-37 |
| 図 5 33 | 分派堰下流案付近 N 値の分布模式図 .....                        | 5-37 |
| 図 5 34 | 濁度調査の調査位置 .....                                 | 5-39 |
| 図 5 35 | 貯水池内への濁度計の設置器材 .....                            | 5-39 |
| 図 5 36 | 定点連続観測結果（2020.1.26～2020.7.9） .....              | 5-42 |
| 図 6 1  | 再現計算期間におけるシディサレムダムの貯水位・流入量・放流量（1982～2017） ..... | 6-2  |
| 図 6 2  | 堆砂形状の再現結果 .....                                 | 6-3  |
| 図 6 3  | 目的容量別の堆砂量の再現結果 .....                            | 6-3  |
| 図 6 4  | シディサレムダムの年堆砂量と累積堆砂量の経年変化(計算結果) .....            | 6-4  |
| 図 6 5  | シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（全期間）(計算結果) .....           | 6-5  |
| 図 6 6  | シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（1997-2017）(計算結果) .....     | 6-7  |
| 図 6 7  | ゾーン毎の累積堆砂量の経年変化(計算結果) .....                     | 6-9  |
| 図 6 8  | 2003 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量（計算結果） .....         | 6-11 |
| 図 6 9  | 2009 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量（計算結果） .....         | 6-12 |

|        |                                    |      |
|--------|------------------------------------|------|
| 図 6 10 | 2012 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量（計算結果）  | 6-13 |
| 図 6 11 | 出水規模別の流入土砂量の総量と割合（1982-2017）       | 6-14 |
| 図 6 12 | シディサレムダムの土砂収支図（1997～2017 年）（計算結果）  | 6-15 |
| 図 6 13 | 将来予測計算に用いた流入土砂量条件                  | 6-17 |
| 図 6 14 | 将来 100 年間の堆砂形状の予測結果                | 6-18 |
| 図 6 15 | 将来 100 年間の堆砂量の予測結果（2018～2118 年）    | 6-18 |
| 図 6 16 | 目的別貯水容量の変化                         | 6-19 |
| 図 6 17 | 目的容量別堆砂量及び貯水容量の推移                  | 6-19 |
| 図 6 18 | ゾーン毎の堆砂量の推移（計算結果）                  | 6-20 |
| 図 6 19 | 将来予測によるゾーン A～C の堆砂量の変化             | 6-21 |
| 図 6 20 | 2009 年洪水時の堆砂形状の変化（再現結果）            | 6-22 |
| 図 6 21 | ゾーン別堆砂量の予測結果（無対策）                  | 6-23 |
| 図 6 22 | リスクを考慮した堆砂進行シナリオ（無対策）              | 6-24 |
| 図 6 23 | 堆砂進行シナリオによる利水容量内の堆砂量の推移            | 6-24 |
| 図 6 24 | 堆砂進行シナリオ（無対策）による利水容量への影響（10 年後）    | 6-25 |
| 図 6 25 | 堆砂進行シナリオ（無対策）による利水容量への影響（30 年後）    | 6-25 |
| 図 6 26 | 堆砂進行シナリオ（無対策）による利水容量への影響（100 年後）   | 6-25 |
| 図 6 27 | 宍道湖における植物プランクトンの計算                 | 6-26 |
| 図 6 28 | 筑後川における塩水遡上の計算                     | 6-27 |
| 図 6 29 | 三次元濁水解析の対象領域                       | 6-30 |
| 図 6 30 | 想定される洪水時流入濁水の挙動                    | 6-30 |
| 図 6 31 | 三次元解析の計算メッシュ                       | 6-31 |
| 図 6 32 | 解析に用いた洪水波形                         | 6-31 |
| 図 6 33 | シディサレムダム地点における洪水の生起確率              | 6-32 |
| 図 6 34 | 2003 年 1 月洪水波形                     | 6-39 |
| 図 6 35 | 2015 年 2 月洪水波形                     | 6-39 |
| 図 6 36 | 貯水池内の濁度の平面分布（解析結果） ※湖底から 5 M 上部の濃度 | 6-41 |
| 図 6 37 | 貯水池内の濁度の鉛直分布（解析結果）                 | 6-42 |
| 図 6 38 | ダム地点の密度の鉛直分布（解析結果）                 | 6-43 |
| 図 6 39 | シディサレムダム貯水池で推定される洪水時の濁水メカニズム       | 6-44 |
| 図 7 1  | シディサレムダムの貯水池運用実績（1982-2017）        | 7-2  |
| 図 7 2  | シディサレムダムの年間流入量・放流量（実績値：2000-2018）  | 7-3  |
| 図 7 3  | シディサレムダムの放流設備別の運用実績（1983-2018）     | 7-5  |
| 図 7 4  | ラルーシアダムの取水量の経年変化                   | 7-6  |
| 図 7 5  | シディサレムダムの利水補給とラルーシアダムの取水量の比較       | 7-6  |
| 図 7 6  | シディサレムダムの利水補給とラルーシアダムの取水量の比較       | 7-7  |
| 図 7 7  | シディサレムダムの洪水調節実績（2005 年 1 月洪水）      | 7-9  |
| 図 7 8  | シディサレムダムの洪水調節実績（2012 年 2 月洪水）      | 7-10 |

|        |                                                       |      |
|--------|-------------------------------------------------------|------|
| 図 7 9  | シディサレムダムの洪水調節実績（2015 年 2 月洪水） .....                   | 7-11 |
| 図 7 10 | シディサレムダムの土砂収支図（再現計算 1997-2017） .....                  | 7-14 |
| 図 7 11 | 将来予測によるゾーン毎の堆砂速度（計算結果） .....                          | 7-21 |
| 図 7 12 | シディサレムダムにおける堆砂対策のイメージ .....                           | 7-22 |
| 図 7 13 | 分派堰による背水影響の分析イメージ .....                               | 7-23 |
| 図 7 14 | 分派堰のゲート施設位置（案） .....                                  | 7-28 |
| 図 7 15 | バイパス（上流案）の呑口敷高と分派流量の関係による運用評価 .....                   | 7-33 |
| 図 7 16 | 土砂バイパス施設の排砂操作イメージ .....                               | 7-33 |
| 図 7 17 | 過去の主要洪水と比較した選定洪水の規模 .....                             | 7-35 |
| 図 7 18 | 土砂バイパス運用シミュレーション結果 .....                              | 7-36 |
| 図 7 19 | 土砂バイパス運用シミュレーション結果 .....                              | 7-37 |
| 図 7 20 | 土砂バイパス運用シミュレーション結果（堆砂減少率） .....                       | 7-39 |
| 図 7 21 | 排砂ゲート、タワー取水口と堆砂標高の関係 .....                            | 7-41 |
| 図 7 22 | 密度流制御フェンスの配置計画（案） .....                               | 7-42 |
| 図 7 23 | 貯水位に伴う密度流制御フェンスの状態 .....                              | 7-43 |
| 図 7 24 | シディサレムダムにおける流入量と流入土砂量の関係 .....                        | 7-47 |
| 図 7 25 | シディサレムダムの堆積土砂の粒度分布 .....                              | 7-49 |
| 図 7 26 | ストークス式による土粒子の沈降速度 .....                               | 7-49 |
| 図 7 27 | 効果予測を行う堆砂対策の概要 .....                                  | 7-51 |
| 図 7 28 | 土砂バイパストンネルと分派堰の位置図 .....                              | 7-52 |
| 図 7 29 | 密度流制御フェンスの配置と横断面への反映方法 .....                          | 7-53 |
| 図 7 30 | 土砂バイパス＋密度流制御フェンスの複合案の施設位置図 .....                      | 7-54 |
| 図 7 31 | 各対策実施時における現在からの堆砂量の経年変化 .....                         | 7-57 |
| 図 7 32 | 各対策実施時の将来 100 年後の目的別貯水容量の変化① .....                    | 7-58 |
| 図 7 33 | 各対策実施時の将来 100 年後の貯水容量の変化② .....                       | 7-58 |
| 図 7 34 | 貯水池対策（フルメニュー対策）の全体図 .....                             | 7-59 |
| 図 7 35 | 貯水池対策（優先メニュー対策）の全体図 .....                             | 7-60 |
| 図 7 36 | 優先メニューとフルメニューによる対策効果の比較 .....                         | 7-62 |
| 図 7 37 | 堆積土の有効活用 .....                                        | 7-63 |
| 図 7 38 | 堆積土の採取イメージ .....                                      | 7-64 |
| 図 7 39 | ソイルセメントの含水比と強度の関係 .....                               | 7-67 |
| 図 7 40 | ソイルセメントの試験結果（まとめ） .....                               | 7-72 |
| 図 7 41 | 砂試料採取地点位置 .....                                       | 7-74 |
| 図 7 42 | レンガ作製試験状況 .....                                       | 7-75 |
| 図 7 43 | たわみ試験の概要 .....                                        | 7-76 |
| 図 7 44 | タイルの製作試験状況 .....                                      | 7-77 |
| 図 8 1  | CSD500 with X-mas tree commissioned and at work ..... | 8-1  |
| 図 8 2  | シディサレムダム貯水池のゾーン区分 .....                               | 8-2  |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 図 83 シディサレムダム 貯水位の変動状況 ..... | 8-2 |
|------------------------------|-----|



|                                                 |      |
|-------------------------------------------------|------|
| 図 91 土砂バイパストンネル等による密度流コントロールのイメージ .....         | 9-2  |
| 図 92 観測結果に基づく流入量と流入 SS 濃度の関係 .....              | 9-2  |
| 図 93 ダム管理システムの概念図 .....                         | 9-10 |
| 図 94 密度流コントロールに必要なモニタリング（貯水池内） .....            | 9-11 |
| 図 95 密度流コントロールに必要なモニタリング（SSD 下流河川） .....        | 9-12 |
| 図 96 堆砂対策施設を考慮した洪水調節計算（対象洪水：2003 年 1 月洪水） ..... | 9-13 |
| 図 97 既設排砂施設の水路部の状況（2017 年時点） .....              | 9-14 |
| 図 98 分派堰上流（ゾーン D）における将来の堆砂予測結果 .....            | 9-15 |
| 図 99 日本における水路トンネルの維持管理フロー（例） .....              | 9-16 |
| 図 101 シディサレムダムの堆砂による上流市街地への影響 .....             | 10-1 |
| 図 102 シディサレムダム上流域の土砂堆積状況 .....                  | 10-2 |
| 図 103 バックサンド対策の検討フロー .....                      | 10-2 |
| 図 104 バックサンド対策の掘削ケース一覧 .....                    | 10-3 |

|         |                                                   |       |
|---------|---------------------------------------------------|-------|
| 図 10 5  | バックサンド対策の水位・流量条件 .....                            | 10-6  |
| 図 10 6  | バックサンド対策の掘削土砂量の算出（ケース 3） .....                    | 10-11 |
| 図 10 7  | バックサンド対策の掘削土砂量の算出（ケース 4） .....                    | 10-11 |
| 図 10 8  | バックサンド対策の掘削土砂量の算出（ケース 5） .....                    | 10-12 |
| 図 10 9  | 最適な掘削幅（B=50m） ケース .....                           | 10-14 |
| 図 10 10 | メジェルダ川全体の粒径別堆積土砂量の比較（将来 91 年後） .....              | 10-16 |
| 図 10 11 | メジェルダ川の河床変動高の計算結果の比較（将来 91 年目） .....              | 10-17 |
| 図 10 12 | シディサレムダムの放流量と放流 SS 濃度の関係 .....                    | 10-18 |
| 図 10 13 | 洪水規模別の総流入土砂量と流量発生回数（1982-2017） .....              | 10-20 |
| 図 10 14 | 検討対象洪水の設定（1982-2017） .....                        | 10-21 |
| 図 10 15 | ゲート操作が洪水流量に与える影響 .....                            | 10-21 |
| 図 10 16 | プロジェクト後の土砂収支の変化 .....                             | 10-22 |
| 図 10 17 | プロジェクト後の貯水池土砂収支の変化 .....                          | 10-23 |
| 図 10 18 | プロジェクト後の下流河川の濁りの変化 .....                          | 10-24 |
| 図 11 1  | 調査範囲の地質概要 .....                                   | 11-1  |
| 図 11 2  | D1 ゾーンボーリング調査位置 .....                             | 11-2  |
| 図 11 3  | ボーリングコア写真および簡易ボーリングログ .....                       | 11-4  |
| 図 11 4  | 簡易ボーリング柱状図 .....                                  | 11-5  |
| 図 11 5  | 想定概略地質断面図 .....                                   | 11-6  |
| 図 11 6  | 深度、土質と N 値の関係 .....                               | 11-8  |
| 図 11 7  | M/P の D1 及び D2 ゾーン計画流量配分図（1/10 年確率規模） .....       | 11-17 |
| 図 11 8  | D2 ゾーンの F/S の計画高水流量配分図（1/10 年確率規模） .....          | 11-17 |
| 図 11 9  | 本調査で再検討した計算結果（1/10 年確率規模） .....                   | 11-18 |
| 図 11 10 | 本調査で採用した D1 ゾーン計画流量配分図（1/10 年確率規模） .....          | 11-18 |
| 図 11 11 | 対象 D1 ゾーンの主要河川横断構造物及び都市の位置図 .....                 | 11-19 |
| 図 11 12 | 対象 D1 ゾーンの現状河床勾配及び川幅（2020 年測量データ） .....           | 11-20 |
| 図 11 13 | D1 ゾーンの代表断面 .....                                 | 11-21 |
| 図 11 14 | D1 ゾーン河道の堆積状況（2007 年～2020 年） .....                | 11-22 |
| 図 11 15 | D1 ゾーン河床材料の粒度分布 .....                             | 11-22 |
| 図 11 16 | D1 ゾーンの河川代表横断の堆積状況（2007 年～2020 年） .....           | 11-23 |
| 図 11 17 | D1 ゾーンの維持掘削の施工方法（掘削前後の比較） .....                   | 11-24 |
| 図 11 18 | 対象 D1 ゾーンの河道の状況 .....                             | 11-24 |
| 図 11 19 | D1 ゾーン現況縦断及び現況断面水位計算結果 .....                      | 11-27 |
| 図 11 20 | D1 ゾーン現況河道の流下能力（2020 年） .....                     | 11-28 |
| 図 11 21 | M/P の計画縦断図 .....                                  | 11-29 |
| 図 11 22 | M/P の平面計画案 .....                                  | 11-32 |
| 図 11 23 | M/P のバイパス水路平面図 .....                              | 11-33 |
| 図 11 24 | M/P のバイパス水路の代替案として検討する MEDJEZ EL BAB バイパス水路 ..... | 11-33 |

|         |                                        |       |
|---------|----------------------------------------|-------|
| 図 11 25 | 計画案-2 の落差工の位置図.....                    | 11-34 |
| 図 11 26 | 蛇行部のショートカットの位置図.....                   | 11-35 |
| 図 11 27 | 計画案-3 の平面図.....                        | 11-36 |
| 図 11 28 | ショートカット及び遊水地の候補地の位置図.....              | 11-37 |
| 図 11 29 | M/P の計画縦断.....                         | 11-40 |
| 図 11 30 | MP の計画縦断形状 (D1 ゾーン) .....              | 11-41 |
| 図 11 31 | 計画案-1 の計画縦断形状.....                     | 11-42 |
| 図 11 32 | 計画案-2 の計画縦断形状 (計画案-1+落差工) .....        | 11-43 |
| 図 11 33 | 計画案-3 の計画縦断形状 (計画案-2+ショートカット) .....    | 11-44 |
| 図 11 34 | 計画案-4 の計画縦断形状 (計画案-3+遊水地) .....        | 11-45 |
| 図 11 35 | M/P の本川標準断面形状.....                     | 11-46 |
| 図 11 36 | M/P のバイパス水路の標準断面形状.....                | 11-47 |
| 図 11 37 | 本調査の計画断面形状.....                        | 11-48 |
| 図 11 38 | シディサレムダムの年間放流量.....                    | 11-49 |
| 図 11 39 | シディサレムダム流入部における SS 濃度と流量の関係 (実測) ..... | 11-49 |
| 図 11 40 | D1 ゾーンの将来予測の堆積土砂量.....                 | 11-49 |
| 図 11 41 | 現況河道と計画河道の 100 年後の将来予測比較結果.....        | 11-50 |
| 図 11 42 | 計画標準断面.....                            | 11-51 |
| 図 11 43 | アンダールス (ANDROUS) 歴史橋の現状 (上流より) .....   | 11-51 |
| 図 11 44 | 現況土地利用の調査写真.....                       | 11-52 |
| 図 11 45 | 現況地形 (ASTER DEM) .....                 | 11-53 |
| 図 11 46 | M/P 案のバイパス水路築造時に必要となる橋梁.....           | 11-53 |
| 図 11 47 | バイパス開水路案とバイパス水路 (トンネル) 案の計画ルート .....   | 11-54 |
| 図 11 48 | バイパス開水路案における橋梁計画位置.....                | 11-55 |
| 図 11 49 | バイパス水路設置計画地周辺の地層構成.....                | 11-56 |
| 図 11 50 | バイパス水路標準断面図.....                       | 11-57 |
| 図 11 51 | バイパス水路施工手順(地中連壁工法).....                | 11-58 |
| 図 11 52 | MEJEZ EL BAB バイパス水路の水理計算結果.....        | 11-61 |
| 図 11 53 | 三次元流況解析結果.....                         | 11-62 |
| 図 11 54 | 遊水地による超過洪水対策の考え方.....                  | 11-63 |
| 図 11 55 | 遊水地断面のイメージ.....                        | 11-63 |
| 図 11 56 | 土地利用計画提案対象地域.....                      | 11-65 |
| 図 11 57 | EL BAB 土地利用計画図.....                    | 11-67 |
| 図 11 58 | D1 地区で計画されているショートカット配置図.....           | 11-72 |
| 図 11 59 | 10・20・50・100 年確率規模での対象地区の浸水予測の凡例.....  | 11-73 |
| 図 11 60 | 10・20・50・100 年確率規模での対象地区の浸水予測.....     | 11-74 |
| 図 11 61 | 50 年確率規模での対象地区の浸水予測と土地利用と開発制限地区.....   | 11-76 |
| 図 11 62 | 土地利用計画提案対象エリア.....                     | 11-80 |
| 図 11 63 | 提案イメージ図(市街地地区).....                    | 11-81 |

|         |                                                              |       |
|---------|--------------------------------------------------------------|-------|
| 図 11 64 | 提案イメージ図(河川流域地区) .....                                        | 11-82 |
| 図 11 65 | 提案イメージ図(遊水地地区) .....                                         | 11-83 |
| 図 11 66 | アンダーラース橋南側の川辺開発のイメージ例 .....                                  | 11-89 |
| 図 12 1  | 氾濫解析の検討フロー .....                                             | 12-1  |
| 図 12 2  | 氾濫モデルの概念図 .....                                              | 12-2  |
| 図 12 3  | モデル地盤高 (270M メッシュ) .....                                     | 12-4  |
| 図 12 4  | 土地利用分類 .....                                                 | 12-5  |
| 図 12 5  | 連続式の差分格子 .....                                               | 12-8  |
| 図 12 6  | X 方向運動量式の差分格子 .....                                          | 12-9  |
| 図 12 7  | Y 方向運動量式の差分格子 .....                                          | 12-10 |
| 図 12 8  | 段落ち .....                                                    | 12-11 |
| 図 12 9  | 段上がり .....                                                   | 12-11 |
| 図 12 10 | モデル化水路の概念図 .....                                             | 12-13 |
| 図 12 11 | モデル化した構造物 .....                                              | 12-15 |
| 図 12 12 | 2003 年洪水の再現 .....                                            | 12-16 |
| 図 12 13 | 各解析結果の整理方法の一例 (W=1/20) .....                                 | 12-17 |
| 図 12 14 | 各浸水深の差の分布 (W=1/10) .....                                     | 12-18 |
| 図 12 15 | 各浸水深の差の分布 (W=1/20) .....                                     | 12-19 |
| 図 12 16 | 各地域での浸水深の差 (ショートカットー河川改修) の分布 (W=1/20) .....                 | 12-20 |
| 図 12 17 | 各浸水深の差の分布 (W=1/50) .....                                     | 12-21 |
| 図 12 18 | 各地域での浸水深の差 (ショートカットー河川改修) の分布 (W=1/50) .....                 | 12-22 |
| 図 12 19 | 各浸水深の差の分布 (W=1/100) .....                                    | 12-23 |
| 図 12 20 | 各地域での浸水深の差 (ショートカットー河川改修) の分布 (W=1/100) .....                | 12-24 |
| 図 12 21 | ピーク流量と氾濫水の流出・流入に関する縦断図 (W=1/10) .....                        | 12-27 |
| 図 12 22 | ピーク流量と氾濫水の流出・流入に関する縦断図 (W=1/20) .....                        | 12-28 |
| 図 12 23 | ピーク流量と氾濫水の流出・流入に関する縦断図 (W=1/50) .....                        | 12-29 |
| 図 12 24 | ピーク流量と氾濫水の流出・流入に関する縦断図 (W=1/100) .....                       | 12-30 |
| 図 12 25 | 遊水池周辺の氾濫の様子 (ショートカット案, W=1/100) .....                        | 12-31 |
| 図 12 26 | 最大浸水深 (左) と水位・流量ハイドロ (右上・右下) (ショートカット+A 案,<br>W=1/100) ..... | 12-31 |
| 図 12 27 | ピーク流量と氾濫水の流出・流入に関する縦断図 (W=1/100) .....                       | 12-32 |
| 図 12 28 | 各ケースの浸水深の差分 (W=1/100) .....                                  | 12-33 |
| 図 13 1  | シディサレムダム、シリアナダム、ラルーシアダムの運用データ (日データ) .....                   | 13-2  |
| 図 13 2  | メジェルダ川の河川縦断データ (D1 ゾーン: 2008 年測量、D2 ゾーン: 計画河道) .....         | 13-3  |
| 図 13 3  | D1 ゾーンの河川断面 (2008 年測量断面) .....                               | 13-4  |
| 図 13 4  | D2 ゾーンの河川断面(計画断面).....                                       | 13-5  |
| 図 13 5  | D1 ゾーンの河床変動量 (2007～2020 年) .....                             | 13-6  |



|         |                                                                 |       |
|---------|-----------------------------------------------------------------|-------|
| 図 13 6  | D1 ゾーンの河川断面の比較 (2007~2020 年測量)                                  | 13-7  |
| 図 13 7  | メジェルダ川・支川及びシディサレムダム堆砂における粒度分布調査結果 (粒径加積曲線)                      | 13-8  |
| 図 13 8  | メジェルダ川及び支川における粒度分布調査結果 (粒度区分占有率)                                | 13-9  |
| 図 13 9  | 河床材料調査地点                                                        | 13-10 |
| 図 13 10 | 一次元河床変動解析の実施フロー                                                 | 13-11 |
| 図 13 11 | 流入量・貯水位の時系列 (2008 年~2018 年)                                     | 13-14 |
| 図 13 12 | 流入土砂量の時系列 (2008 年~2018 年)                                       | 13-14 |
| 図 13 13 | ダム放流土砂量・支川別流入土砂量の設定条件                                           | 13-15 |
| 図 13 14 | ゾーン毎の粒径別堆積土砂量計算結果 (計算終了時点)                                      | 13-16 |
| 図 13 15 | メジェルダ川の河床変動計算結果 (2008 年~2018 年)                                 | 13-17 |
| 図 13 16 | メジェルダ川の流下土砂量時系列の計算結果 (2008 年~2018 年)                            | 13-18 |
| 図 13 17 | メジェルダ川の粒径区分別堆砂量・流砂量・流砂量割合の縦断分布図の計算結果 (2018 年時点)                 | 13-19 |
| 図 13 18 | 土砂収支計算結果②                                                       | 13-20 |
| 図 13 19 | 再現計算から推定された D1, D2 ゾーンの土砂収支図                                    | 13-21 |
| 図 13 20 | 流入土砂量条件と堆積土砂の関係                                                 | 13-21 |
| 図 13 21 | SS 濃度時系列の計算結果 (2008 年~2018 年)                                   | 13-22 |
| 図 13 22 | 流量規模別の平均 SS 濃度 (左図: 実数軸、右図: 対数軸)                                | 13-23 |
| 図 13 23 | メジェルダ川の年最大流入量 (シリアナ川合流後) とシディサレムダム及びシリアナ川からの年間流入土砂量 (将来 100 年間) | 13-25 |
| 図 13 24 | ゾーン毎の粒径別堆積土砂量計算結果 (将来 100 年目)                                   | 13-26 |
| 図 13 25 | メジェルダ川の河床変動計算結果 (将来 100 年間)                                     | 13-27 |
| 図 13 26 | メジェルダ川の流下土砂量時系列の計算結果 (将来 100 年間)                                | 13-28 |
| 図 13 27 | メジェルダ川の粒径区分別堆積土砂量・流砂量・流砂量割合の縦断分布図の計算結果 (将来 100 年後)              | 13-29 |
| 図 13 28 | 将来 100 年間の SS 濃度時系列の計算結果                                        | 13-30 |
| 図 13 29 | 将来 100 年間の流量規模別の平均 SS 濃度 (左図: 実数軸、右図: 対数軸)                      | 13-31 |
| 図 13 30 | メジェルダ川の将来 100 年間の流入土砂量条件 (上段: 実数軸、下段: 対数軸)                      | 13-32 |
| 図 13 31 | メジェルダ川全体の河床堆積土砂量の経年変化の計算結果の比較 (将来 100 年間)                       | 13-34 |
| 図 13 32 | メジェルダ川全体 (D1, D2 ゾーン) の粒径別堆積土砂量の計算結果の比較 (100 年後)                | 13-36 |
| 図 13 33 | メジェルダ川の河川改修時の標準断面図                                              | 13-38 |
| 図 13 34 | D1, D2 ゾーンの河道の堆積土砂量の経年変化                                        | 13-40 |
| 図 13 35 | 各領域における 10 年ごとの堆積量の経年変化                                         | 13-41 |
| 図 13 36 | 各河道地形における粒径別堆砂量の比較 (将来 100 年後)                                  | 13-44 |
| 図 13 37 | シディサレムダムの年最大放流量と発生頻度 (2004~2018 年)                              | 13-45 |
| 図 13 38 | 各領域におけるラルーシアダムスルーシング実施時の堆積量の経年変化                                | 13-46 |

チュニジア共和国  
シディサレム多目的ダム流域総合土砂管理事業準備調査

表リスト

|       |                                                                      |      |
|-------|----------------------------------------------------------------------|------|
| 表 11  | 国内支援委員会メンバー（2020 年 3 月現在） .....                                      | 1-3  |
| 表 21  | 人口と人口増加率（2011~2021） .....                                            | 2-6  |
| 表 22  | チュニジア及び対象流域の氾濫原に含まれる県（GOVERNORATE）・郡<br>（DELEGATION）の人口・世帯数・住宅数..... | 2-6  |
| 表 23  | BEJA と MANOUBA における人口の推移 .....                                       | 2-7  |
| 表 24  | 取水源別の給水量の内訳（2010~2021） .....                                         | 2-13 |
| 表 25  | チュニジアにおける主な給水システム .....                                              | 2-14 |
| 表 26  | 北部地域における SONEDE の表流水取水量の内訳(2010~2021).....                           | 2-20 |
| 表 27  | メジェルダ川流域ダム特性 .....                                                   | 2-21 |
| 表 28  | D1 ゾーンの既設取水施設の特徴 .....                                               | 2-25 |
| 表 29  | D2 ゾーンの既設取水施設の特徴 .....                                               | 2-26 |
| 表 210 | 既往の河川関連事業の概要 .....                                                   | 2-27 |
| 表 211 | ダム事業の概要（洪水調節） .....                                                  | 2-28 |
| 表 212 | 水法の構成 .....                                                          | 2-29 |
| 表 213 | 災害防止、災害対策、救援組織に関する法律第 39-1991 号（1991 年 6 月 8 日）の概要.....              | 2-29 |
| 表 214 | 国と地域の災害管理計画と災害委員会に関する法令の概要 .....                                     | 2-30 |
| 表 215 | 全体の水資源の総量の開発状況の推移（1956~2020） .....                                   | 2-32 |
| 表 216 | 近年のダムの開発状況 .....                                                     | 2-32 |
| 表 217 | 主なチュニジアにおいて支援実績のある国際機関 .....                                         | 2-33 |
| 表 218 | 国際機関のチュニジアにおける支援実績 .....                                             | 2-34 |
| 表 219 | STPCI 資金の内訳 .....                                                    | 2-35 |
| 表 220 | 各プロジェクトの支援ドナーの内訳 .....                                               | 2-36 |
| 表 221 | STPCI プログラム各メニューの計画図 .....                                           | 2-37 |
| 表 222 | 既往の海外支援ドナーによる洪水対策事業 .....                                            | 2-38 |
| 表 223 | マスタープランの洪水防御事業 .....                                                 | 2-40 |
| 表 224 | 全体実施スケジュール .....                                                     | 2-41 |
| 表 225 | 事業費概要 .....                                                          | 2-42 |
| 表 226 | 経済評価結果 .....                                                         | 2-42 |
| 表 227 | ラルーシアダムの改修事業費用 .....                                                 | 2-47 |

|        |                                                     |      |
|--------|-----------------------------------------------------|------|
| 表 3 1  | 小降水量の記録（流域平均雨量 1968/69－2005/06） .....               | 3-7  |
| 表 3 2  | 大降雨量の記録（流域平均雨量 1968/69－2005/06） .....               | 3-7  |
| 表 3 3  | 確率洪水流量（単位：M3/S） .....                               | 3-9  |
| 表 3 4  | メジェルダ川本川および主要支川の流路長 .....                           | 3-10 |
| 表 3 5  | メジェルダ川流域面積 .....                                    | 3-12 |
| 表 3 6  | 2003 年 3 月洪水と 2000 年 5 月洪水のシディサレムダム流入量・放水量の比較 ..... | 3-19 |
| 表 3 7  | WFDEI 再分析データの利用された大気変数の詳細 .....                     | 3-21 |
| 表 3 8  | 同日の測定値のヒストグラムの目視検査によって異常値が特定された日付と測点 .....          | 3-22 |
| 表 3 9  | HEC HMS の流域モデル .....                                | 3-29 |
| 表 3 10 | HEC HMS の河道モデル .....                                | 3-30 |
| 表 3 11 | 各水文地帯の設計降雨イベント期間 .....                              | 3-39 |
| 表 3 12 | 各ゾーン別年最大 N-日流域平均降水量 .....                           | 3-40 |
| 表 3 13 | 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果（U1 ゾーン） .....             | 3-41 |
| 表 3 14 | 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果（M ゾーン） .....              | 3-42 |
| 表 3 15 | 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果（U2 ゾーン） .....             | 3-43 |
| 表 3 16 | 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果（D1 ゾーン） .....             | 3-44 |
| 表 3 17 | 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果（D2 ゾーン） .....             | 3-45 |
| 表 3 18 | 設計降雨量の概要 .....                                      | 3-46 |
| 表 3 19 | 選定した洪水イベント（U1 ゾーン） .....                            | 3-47 |
| 表 3 20 | 選定した洪水イベント（M ゾーン） .....                             | 3-48 |
| 表 3 21 | 選定した洪水イベント（U1+M+U2 ゾーン） .....                       | 3-48 |
| 表 3 22 | 選定した洪水イベント（U1+M+U2+D1, D2 ゾーン） .....                | 3-49 |
| 表 3 23 | 洪水調節計算で考慮したダムの諸元 .....                              | 3-50 |
| 表 3 24 | 本調査で設定した異常計画降雨の棄却基準 .....                           | 3-53 |
| 表 3 25 | 降雨の空間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-U1） .....                     | 3-55 |
| 表 3 26 | 降雨の空間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-M） .....                      | 3-55 |
| 表 3 27 | 降雨の空間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-U1+M+U2） .....                | 3-56 |
| 表 3 28 | 降雨の空間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-U1+M+U2+D1&D2） .....          | 3-56 |
| 表 3 29 | 降雨の時間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-U1） .....                     | 3-57 |
| 表 3 30 | 降雨の時間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-M） .....                      | 3-57 |
| 表 3 31 | 降雨の時間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-U1+M+U2） .....                | 3-58 |
| 表 3 32 | 降雨の時間分布による計画降雨の棄却（ゾーン-U1+M+U2+D1&D2） .....          | 3-58 |
| 表 3 33 | 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果（U1 ゾーン） .....               | 3-59 |
| 表 3 34 | 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果（M ゾーン） .....                | 3-59 |
| 表 3 35 | 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果（U1+M+U2 ゾーン） .....          | 3-59 |
| 表 3 36 | 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果（U1+M+U2+D1&D2 ゾーン） .....    | 3-60 |
| 表 3 37 | 異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量とマスタープラン（2009 年）の計算洪水ピーク<br>流量   | 3-64 |
| 表 3 38 | メジェルダ川流域の既設および計画中のダムの諸元 .....                       | 3-70 |

|        |                                                                 |       |
|--------|-----------------------------------------------------------------|-------|
| 表 3 39 | 洪水時の貯水池運用に関する基本的規則 .....                                        | 3-71  |
| 表 3 40 | メレゲダムの貯水池運用ルール（洪水時） .....                                       | 3-77  |
| 表 3 41 | メレゲダムの貯水池運用ルール（減衰期） .....                                       | 3-77  |
| 表 3 42 | メレゲダムの貯水池運用ルール（貯水池水位の上昇期間） .....                                | 3-77  |
| 表 3 43 | 各ダム地点の確率降雨 .....                                                | 3-82  |
| 表 3 44 | メレゲダム流域（M ゾーン）の 3 日間可能最大降水量（PMP） .....                          | 3-83  |
| 表 3 45 | シディサレムダム流域（U1+M+U2 ゾーン）の 5 日間可能最大降水量（PMP） .....                 | 3-84  |
| 表 3 46 | シリアナダム流域（D1 ゾーン）の 3 日間可能最大降水量（PMP） .....                        | 3-85  |
| 表 3 47 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、設計洪水） .....                          | 3-89  |
| 表 3 48 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形） .....                | 3-89  |
| 表 3 49 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・ダム高+1.0M 嵩上げ、設計洪水） .....                  | 3-93  |
| 表 3 50 | メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・ダム高+1.0M 嵩上げ、2003 年 1 月洪水波形） .....        | 3-93  |
| 表 3 51 | メレゲダムの貯水池運用ルール（洪水時） .....                                       | 3-94  |
| 表 3 52 | メレゲダムの貯水池運用ルール（減衰期） .....                                       | 3-94  |
| 表 3 53 | シディサレムダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、設計洪水） .....                       | 3-95  |
| 表 3 54 | シディサレムダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形） .....             | 3-95  |
| 表 3 55 | シディサレムダムの提案操作ルール（1/10,000 確率洪水対策） .....                         | 3-99  |
| 表 3 56 | シディサレムダム貯水池運用計算結果（提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8M 嵩上げ、設計洪水 PMF） ..... | 3-101 |
| 表 3 57 | シリアナダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、設計洪水） .....                         | 3-104 |
| 表 3 58 | シリアナダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形） .....               | 3-104 |
| 表 3 59 | シリアナダムの貯水池運用ルール（現行ルール） .....                                    | 3-111 |
| 表 4 1  | ERA-5 LAND HOURLY DATA の概要 .....                                | 4-2   |
| 表 4 2  | 評価に利用した GCM のリスト .....                                          | 4-3   |
| 表 4 3  | 洪水に関わる降雨の ETCCDI 極端気候指標 .....                                   | 4-4   |
| 表 4 4  | 集水域ブロックごとの計画降雨日数 .....                                          | 4-6   |
| 表 5 1  | シディサレムダム及び貯水池の基本諸元 .....                                        | 5-1   |
| 表 5 2  | シディサレムダムの各種施設の現状 .....                                          | 5-3   |
| 表 5 3  | 調査諸元 .....                                                      | 5-10  |
| 表 5 4  | ボーリング調査位置（土砂バイパストンネル沿い） .....                                   | 5-13  |
| 表 5 5  | トンネルルート沿いの岩級区分基準（概要） .....                                      | 5-17  |
| 表 5 6  | 室内試験項目と仕様 .....                                                 | 5-17  |
| 表 5 7  | 室内試験結果 .....                                                    | 5-17  |
| 表 5 8  | 土砂バイパストンネル沿い地質層序 .....                                          | 5-22  |

|        |                                             |      |
|--------|---------------------------------------------|------|
| 表 5 9  | 岩盤等級区分基準の例.....                             | 5-24 |
| 表 5 10 | コア細区分の例.....                                | 5-25 |
| 表 5 11 | トンネルタイプの分類基準.....                           | 5-26 |
| 表 5 12 | トンネルタイプ特定基準.....                            | 5-26 |
| 表 5 13 | 岩石区分（表 5 12 中の分類）.....                      | 5-27 |
| 表 5 14 | 土砂バイパストンネル沿いのトンネルタイプ分類（農水省基準による）.....       | 5-27 |
| 表 5 15 | 調査諸元.....                                   | 5-31 |
| 表 5 16 | 一軸圧縮試験結果一覧.....                             | 5-36 |
| 表 5 17 | 堆積物のコーン貫入抵抗と一軸圧縮強度、粘着力の換算（参考値）.....         | 5-38 |
| 表 5 18 | 濁度調査の概要.....                                | 5-39 |
| 表 5 19 | 濁度計の設置状況.....                               | 5-40 |
| 表 5 20 | 多地点水質観測結果（観測日：2020.3.3）.....                | 5-41 |
| 表 6 1  | 再現計算条件.....                                 | 6-1  |
| 表 6 2  | シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（1982-2017）（計算結果）.....  | 6-6  |
| 表 6 3  | シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（1997-2017）（計算結果）.....  | 6-8  |
| 表 6 4  | ゾーン毎の堆砂量（1997～2017 年）.....                  | 6-15 |
| 表 6 5  | 流入土砂量に関する各種統計手法による評価結果.....                 | 6-16 |
| 表 6 6  | シディサレムダムの推定平均年流入土砂量の計算結果.....               | 6-16 |
| 表 6 7  | 将来予測計算条件.....                               | 6-17 |
| 表 6 8  | 解析モデルの主な基礎方程式.....                          | 6-28 |
| 表 6 9  | 主な解析条件の設定.....                              | 6-29 |
| 表 6 10 | 濁水の解析結果（FLOOD1:QP=1,000 M3/S）.....          | 6-34 |
| 表 6 11 | 濁水の解析結果（密度の縦断分布：FLOOD 1:QP=1,000 M3/S）..... | 6-35 |
| 表 6 12 | 濁水の解析結果（FLOOD2:QP=500 M3/S）.....            | 6-36 |
| 表 6 13 | 濁水の解析結果（密度の縦断分布：FLOOD 2:QP=500 M3/S）.....   | 6-37 |
| 表 6 14 | 実際の洪水波形による解析条件の設定.....                      | 6-38 |
| 表 7 1  | シディサレムダムの年間流入量・放流量（実績値：2000-2018）.....      | 7-3  |
| 表 7 2  | シディサレムダムの近年の洪水調節実績.....                     | 7-9  |
| 表 7 3  | 堆砂対策及び D1 改修後の洪水調節操作（案）.....                | 7-12 |
| 表 7 4  | 将来変更操作(案)による洪水調節計画（設計洪水波形）.....             | 7-13 |
| 表 7 5  | 将来変更操作(案)による洪水調節計画（2003 年 1 月洪水波形）.....     | 7-13 |
| 表 7 6  | ゾーン毎の堆砂量（1997～2017 年）.....                  | 7-14 |
| 表 7 7  | （A）流入土砂対策.....                              | 7-16 |
| 表 7 8  | （B）堆積土砂対策.....                              | 7-17 |
| 表 7 9  | （C）排砂促進対策.....                              | 7-18 |
| 表 7 10 | （その他）治水容量の増強策【参考】.....                      | 7-19 |
| 表 7 11 | 堆砂対策目標の設定.....                              | 7-20 |

|        |                                          |      |
|--------|------------------------------------------|------|
| 表 7 12 | 背水計算の計算ケース .....                         | 7-24 |
| 表 7 13 | 主な背水計算結果その 1 .....                       | 7-25 |
| 表 7 14 | 主な背水計算結果その 2 .....                       | 7-26 |
| 表 7 15 | 背水による影響評価結果（一覧） .....                    | 7-27 |
| 表 7 16 | ゲート形式の比較選定（検討条件：B10m×H3m×2 門） .....      | 7-30 |
| 表 7 17 | 土砂バイパス効果の計算条件 .....                      | 7-34 |
| 表 7 18 | 過去の主要洪水と選定した洪水波形 .....                   | 7-35 |
| 表 7 19 | 運用シミュレーションによる効果の比較結果 .....               | 7-38 |
| 表 7 20 | 運用シミュレーションによる堆砂量の変化（1 洪水当り） .....        | 7-39 |
| 表 7 21 | 既設排砂ゲートの活用ケース .....                      | 7-41 |
| 表 7 22 | 既設排砂ゲートの活用による排砂効果 .....                  | 7-42 |
| 表 7 23 | 密度流制御フェンスの基本諸元（案） .....                  | 7-43 |
| 表 7 24 | 密度流制御フェンス効果の解析条件 .....                   | 7-44 |
| 表 7 25 | 密度流制御フェンスの効果（3 次元濁水解析結果） .....           | 7-45 |
| 表 7 26 | 密度流制御フェンスの効果（3 次元濁水解析結果） .....           | 7-46 |
| 表 7 27 | 沈砂池の計画諸元 .....                           | 7-48 |
| 表 7 28 | 効果予測に関する計算条件 .....                       | 7-50 |
| 表 7 29 | 土砂バイパスの計算条件 .....                        | 7-51 |
| 表 7 30 | 堆砂対策の実施による堆砂縦断形状の変化 .....                | 7-56 |
| 表 7 31 | 貯水池対策の概要（フルメニュー対策） .....                 | 7-59 |
| 表 7 32 | 貯水池対策（優先メニュー対策の抽出） .....                 | 7-60 |
| 表 7 33 | 有効活用調査 .....                             | 7-64 |
| 表 7 34 | 貯水池堆積土砂の現地採取風景 .....                     | 7-65 |
| 表 7 35 | 現地で採取した土砂の保管状況 .....                     | 7-66 |
| 表 7 36 | 現地発生土砂によるソイルセメント試験（その 1） .....           | 7-68 |
| 表 7 37 | 現地発生土砂によるソイルセメント試験（その 2） .....           | 7-69 |
| 表 7 38 | 現地発生土砂によるソイルセメント試験（その 3） .....           | 7-70 |
| 表 7 39 | 現地発生土砂によるソイルセメント試験（その 4） .....           | 7-71 |
| 表 7 40 | 作製したソイルセメント供試体 .....                     | 7-72 |
| 表 7 41 | ソイルセメントの強度の基準（※） .....                   | 7-73 |
| 表 7 42 | レンガ焼き上げ温度条件と比較試験項目 .....                 | 7-75 |
| 表 7 43 | タイル焼き上げ温度条件と比較試験項目 .....                 | 7-76 |
| 表 8 1  | ゾーン区分別の堆積土砂量（単位：m <sup>3</sup> /年） ..... | 8-3  |
| 表 8 2  | 各ゾーンにおける堆砂除去の必要性 .....                   | 8-3  |

非公開情報

非公開情報

|         |                                                             |       |
|---------|-------------------------------------------------------------|-------|
| 表 9 1   | 密度流コントロールの運用イメージ その 1.....                                  | 9-5   |
| 表 9 2   | 密度流コントロールの運用イメージ その 2.....                                  | 9-6   |
| 表 9 3   | 密度流コントロールの運用イメージ その 3.....                                  | 9-7   |
| 表 9 4   | 密度流コントロールの運用イメージ その 4.....                                  | 9-8   |
| 表 9 5   | 整備が必要なシステム一覧.....                                           | 9-9   |
| 表 9 6   | 日本における水路トンネルの点検内容.....                                      | 9-17  |
| 表 10 1  | バックサンド掘削形状（ケース 1・2）.....                                    | 10-4  |
| 表 10 2  | バックサンド掘削形状（ケース 3・4）.....                                    | 10-5  |
| 表 10 3  | バックサンド掘削形状（ケース 5）.....                                      | 10-6  |
| 表 10 4  | 堆砂掘削による水位低下効果の計算結果.....                                     | 10-7  |
| 表 10 5  | バックサンド掘削形状（ケース 1・2）.....                                    | 10-8  |
| 表 10 6  | バックサンド掘削形状（ケース 3・4）.....                                    | 10-9  |
| 表 10 7  | バックサンド掘削形状（ケース 5）.....                                      | 10-10 |
| 表 10 8  | バックサンド対策の掘削量.....                                           | 10-11 |
| 表 10 9  | バックサンド対策における掘削形状の比較評価.....                                  | 10-13 |
| 表 10 10 | 感度分析の計算条件.....                                              | 10-15 |
| 表 10 11 | D1・D2 ゾーンにおける将来の河床変動に伴う影響と対応策（案）.....                       | 10-19 |
| 表 10 12 | 2015 年 2 月洪水による水収支・土砂収支の変化.....                             | 10-23 |
| 表 11 1  | ボーリング調査一覧.....                                              | 11-2  |
| 表 11 2  | 標準貫入試験結果一覧（D1 ゾーン）.....                                     | 11-7  |
| 表 11 3  | 近隣の河川水位から想定される各孔の地下水位.....                                  | 11-8  |
| 表 11 4  | 室内試験項目および仕様.....                                            | 11-9  |
| 表 11 5  | 室内試験項目および数量.....                                            | 11-9  |
| 表 11 6  | 統一土質分類法（USCS : THE UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM）..... | 11-9  |
| 表 11 7  | 粒度試験および比重試験結果一覧.....                                        | 11-10 |

|         |                                           |       |
|---------|-------------------------------------------|-------|
| 表 11 8  | 圧密試験結果一覧                                  | 11-12 |
| 表 11 9  | D1 ゾーン調査地域の想定地質層序                         | 11-13 |
| 表 11 10 | 各土質と工学的特性                                 | 11-13 |
| 表 11 11 | N 値と C 及び $\Phi$ の関係                      | 11-14 |
| 表 11 12 | N 値と一軸圧縮強度の関係                             | 11-15 |
| 表 11 13 | N 値と変形係数の関係                               | 11-15 |
| 表 11 14 | 各土層の力学特性                                  | 11-15 |
| 表 11 15 | 各ボーリングの支持層までの深度とその上位の粘土層の分布               | 11-16 |
| 表 11 16 | 水理計算条件                                    | 11-25 |
| 表 11 17 | 構造物諸元                                     | 11-26 |
| 表 11 18 | 河川改修計画案一覧表                                | 11-31 |
| 表 11 19 | ショートカットの概要 (案)                            | 11-34 |
| 表 11 20 | 水理計算条件                                    | 11-38 |
| 表 11 21 | 構造物諸元                                     | 11-39 |
| 表 11 22 | バイパス水路 (トンネル) 工法比較                        | 11-59 |
| 表 11 23 | バイパス開水路案とバイパス水路 (トンネル) 案の比較               | 11-60 |
| 表 11 24 | バイパス水路における水理計算条件                          | 11-61 |
| 表 11 25 | D1 ゾーン河道における河川改修計画案の比較検討                  | 11-64 |
| 表 11 26 | 本章で提案する土地利用計画に関する法令の主な内容                  | 11-67 |
| 表 11 27 | 土地利用検討対象地区における河川改修ショートカット提案               | 11-71 |
| 表 11 28 | 各地区の提案内容一覧                                | 11-84 |
| 表 11 29 | 提案プログラムの評価指標 (案)                          | 11-85 |
| 表 11 30 | 各評価指標の評価視点及び方法                            | 11-86 |
| 表 11 31 | 各土地利用事業の評価                                | 11-87 |
| 表 11 32 | 各地区の評価結果に基づく土地利用事業の優先順位                   | 11-89 |
| 表 12 1  | 氾濫原の土地利用分類と設定した粗度係数                       | 12-3  |
| 表 12 2  | 氾濫モデル内の構造物                                | 12-12 |
| 表 12 3  | 氾濫モデルの条件                                  | 12-14 |
| 表 12 4  | D1 ゾーンおよび各地点での浸水体積 ( $W=1/10$ )           | 12-18 |
| 表 12 5  | D1 ゾーンおよび各地点での浸水体積 ( $W=1/20$ )           | 12-20 |
| 表 12 6  | D1 ゾーンおよび各地点での浸水体積 ( $W=1/50$ )           | 12-22 |
| 表 12 7  | D1 ゾーンおよび各地点での浸水体積 ( $W=1/100$ )          | 12-24 |
| 表 12 8  | 各遊水池の浸水体積 (貯留量) ( $W=1/20, 1/50, 1/100$ ) | 12-25 |
| 表 12 9  | 各ケースの特徴                                   | 12-26 |
| 表 13 1  | 解析モデルの概要                                  | 13-12 |
| 表 13 2  | 一次元河床変動解析条件                               | 13-13 |
| 表 13 3  | 土砂収支計算結果①                                 | 13-20 |



|         |                                        |       |
|---------|----------------------------------------|-------|
| 表 13 4  | 将来予測計算条件.....                          | 13-24 |
| 表 13 5  | 感度分析の計算条件.....                         | 13-33 |
| 表 13 6  | 河床変動高の経年変化.....                        | 13-35 |
| 表 13 7  | 粒径別堆砂量の感度分析結果.....                     | 13-37 |
| 表 13 8  | 河床粒度分布の感度分析結果.....                     | 13-37 |
| 表 13 9  | 河川改修による影響分析の計算条件.....                  | 13-39 |
| 表 13 10 | 各河道地形における 10 年ごとの河床変動高の変化.....         | 13-42 |
| 表 13 11 | 各河道地形における 10 年ごとの河床変動高の変化.....         | 13-43 |
| 表 13 12 | スルーシングの有無における河床高変化（現況河道）.....          | 13-48 |
| 表 13 13 | スルーシングの有無における河床高変化（改修河道）.....          | 13-49 |
| 表 13 14 | スルーシングの有無における河床高変化（改修河道＋Shortcut）..... | 13-50 |
| 表 13 15 | D1・D2 ゾーンにおける将来の河床変動に伴う影響と対応策（案）.....  | 13-51 |

## 第1章 序論

### 1.1 調査の背景

#### (1) シディサレムダム貯水池における堆砂の現状

チュニジア共和国（以下「チュニジア」という）は国土の半分が半乾燥地帯に位置し、チュニジア北部に位置する首都チュニスの年平均降水量は 512mm（1991～2021 年）と僅少である。また、チュニジアは、表流水と地下水を合わせ 4,800 百万  $\text{m}^3$ /年の水資源量を有するが、表流水の約 8 割が、当国唯一の河川であるメジェルダ川流域が位置するチュニジア北部に集中している。同川の中流にあるシディサレムダムは、1981 年に建設された同国で最大のアースダムである。貯水池面積は約 90 $\text{km}^2$ 、総貯水容量は 9.8 億  $\text{m}^3$ 、流域面積 1.8 万  $\text{km}^2$  を有する。同ダムは多目的ダムであり、下流域の洪水被害の解消、農業開発、首都チュニス及びその近郊への灌漑用水、都市用水、電力供給に多大なる効果をもたらしている。一方で、近年では貯水池内の堆砂問題が顕在化してきており、今後もダム堆砂が進行した場合には洪水調節機能をはじめとしたダム機能が適切に発揮できない可能性が危惧されている。このような背景のもと、貴機構により「メジェルダ川洪水対策事業にかかる案件実施促進調査」（以下、「SAPI」という）が 2017 年から 2018 年にかけて実施された。SAPI では、堆砂の進行によりダム供用開始から現在までの 36 年間で、当初の貯水容量の約 20%（1.9 億  $\text{m}^3$ ）が堆砂により失われ、現在の有効貯水量は 7.9 億  $\text{m}^3$  となっていることが明らかとなった。容量別にみれば、治水容量は 5%、利水容量は 23% 損失していることになる。また、年間流入土砂は、平均 6.6 百万  $\text{m}^3$ /年と判明した。

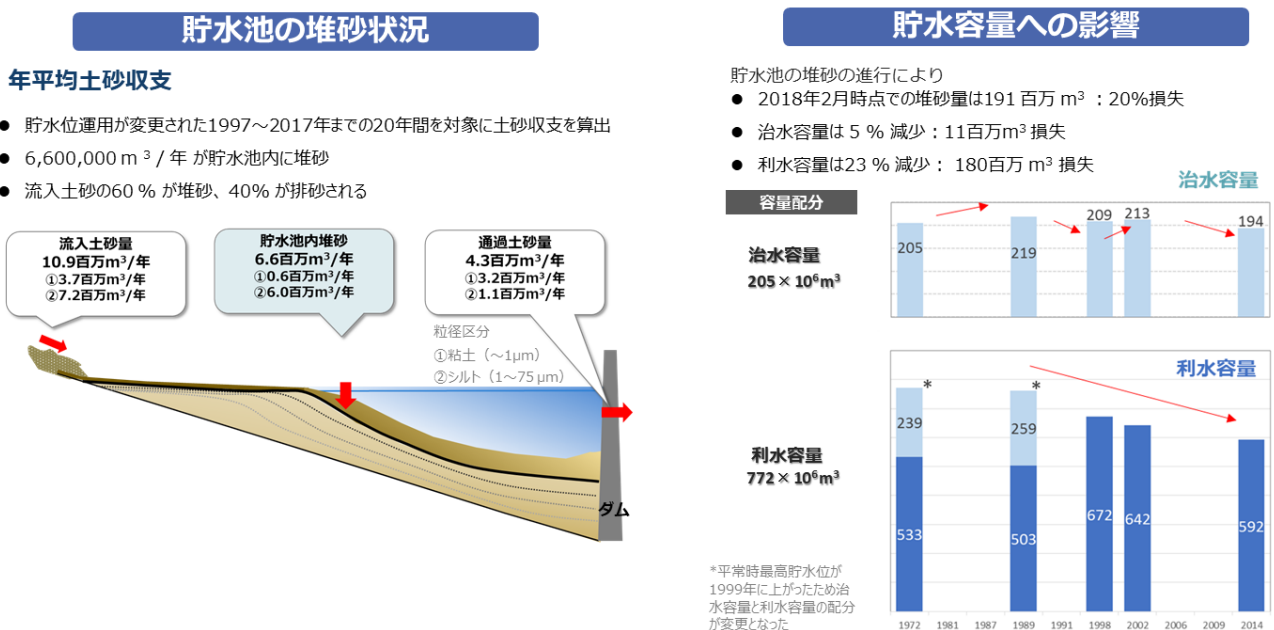


図 1-1 シディサレムダム貯水池における年平均土砂収支及び貯水容量への影響

#### (2) SAPI にて提案された堆砂対策の基本戦略

SAPI では、貯水池内ゾーンの堆砂傾向を踏まえ、堆砂対策の基本戦略が設定された。シディサレムダムの貯水池は図 1-2 に示す通り複雑な形状となっているが、同図に示すゾーン E まで堆砂デルタが進行しており、今後水深の深いゾーン B、C へ流入土砂が堆砂すると、対策範囲が拡大して除去

が困難になるため、ゾーン D で堆砂デルタの進行を抑制し、また、ゾーン B、C においては土砂の拡散を抑制するというものである。また、同ダムの地理的特徴、対象土砂の特性などから、「流入土砂対策」「堆積土砂対策」「排砂促進対策」を方針として現地に適用できる複数の対策メニューが提案された。堆砂対策事業の実現にあたっては、更なる詳細調査の元、効果的且つ現実性の高い対策及びその組み合わせを検討する必要がある。

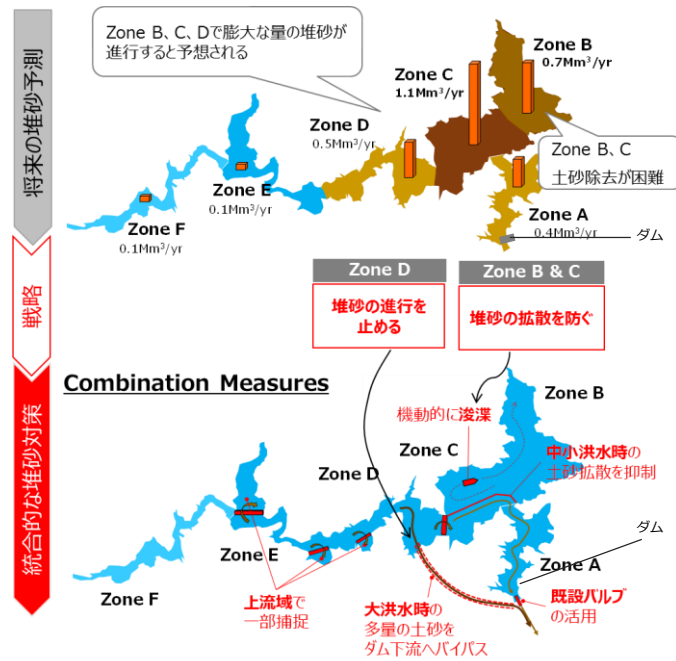


図 1-2 SAPI で提案された堆砂対策の基本戦略

### (3) メジェルダ川流域での洪水対策事業の現状

メジェルダ川流域では 2000 年以降に集中豪雨が頻発して発生しており、2003 年 1 月に発生した大洪水ではダム下流域で甚大な氾濫被害が発生した。この状況を受けて、JICA により 2006 年から 2008 年にかけて開発調査「メジェルダ川総合流域管理計画調査」が実施され、そのなかでメジェルダ川の洪水対策マスタープラン（以下「M/P」という）が策定された。M/P においてメジェルダ川流域はシディサレムダムを基点として、上流の 3 ゾーン（U1、U2、M）と下流の 2 ゾーン（D1、D2）に分割されている。現在、上流の 3 ゾーンはドイツ復興金融公庫（以下「KfW」という）により洪水対策事業の検討が進められており、最下流の D2 ゾーンは我が国の円借款により事業が実施されている。

シディサレムダム貯水池区間を対象とした対策は、SAPI 以前に提案されていなかった。SAPI において提案されるシディサレムダムの堆砂対策では、既に貯水池に堆砂した土砂を下流に排出する必要があるが、土砂を排出する際には、下流河川の流下能力の低下や環境への影響等を考慮することが不可欠であり、シディサレムダム貯水池の堆砂対策とダム下流 D1 ゾーンの河川改修事業を切り離して考えることはできない。ダムと河川で課題を抱えるメジェルダ川流域にとって、流域を一貫した総合的な土砂管理が必要であることが SAPI 調査で提案され、本調査により、その検討を行うこととなった。



図 1-3 メジェルダ川流域の洪水対策事業

## 1.2 調査の目的

本業務は、SAPI の調査結果を踏まえ、メジェルダ川治水計画基本条件設定、シディサレムダム堆砂にかかる対策代替案を比較・検討、同ダム直下の河川（D1 ゾーン）の治水対策の検討を行い、円借款事業の形成を念頭にフィージビリティを確認することを目的とする。

## 1.3 調査対象地域

本調査の対象地域は、チュニジア北部メジェルダ川流域のシディサレムダムおよび同ダム下流の D1 ゾーンである（図 1-4 参照）。

## 1.4 調査の内容と工程

本調査の調査内容と工程を整理して、図 1-5 に示す。

## 1.5 調査実施体制

本調査は、総勢 20 名の団員を 4 つのグループに分け、それぞれにグループリーダーを配置して実施する。調査の実施体制を図 1-6 に示す。

また、本調査ではダム堆砂対策、河川整備、ダム操作・維持管理計画等に関する技術面に関し、外部有識者からの助言・意見を聴取するための国内支援委員会を設置する。国内支援委員会のメンバーは表 1-1 のとおりである。

表 1-1 国内支援委員会メンバー（2020 年 3 月現在）

| 氏名    | 所属先・役職                            | 担当             |
|-------|-----------------------------------|----------------|
| 角 哲也  | 京都大学防災研究所 教授                      | 委員長／総括         |
| 櫻井 寿之 | 一般財団法人ダム技術センター 主席研究員              | 委員／ダム堆砂対策      |
| 服部 敦  | 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川部 水防災システム研究官  | 委員／河川整備        |
| 空閑 健  | 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 流水管理室 企画専門官 | 委員／ダム操作・維持管理計画 |



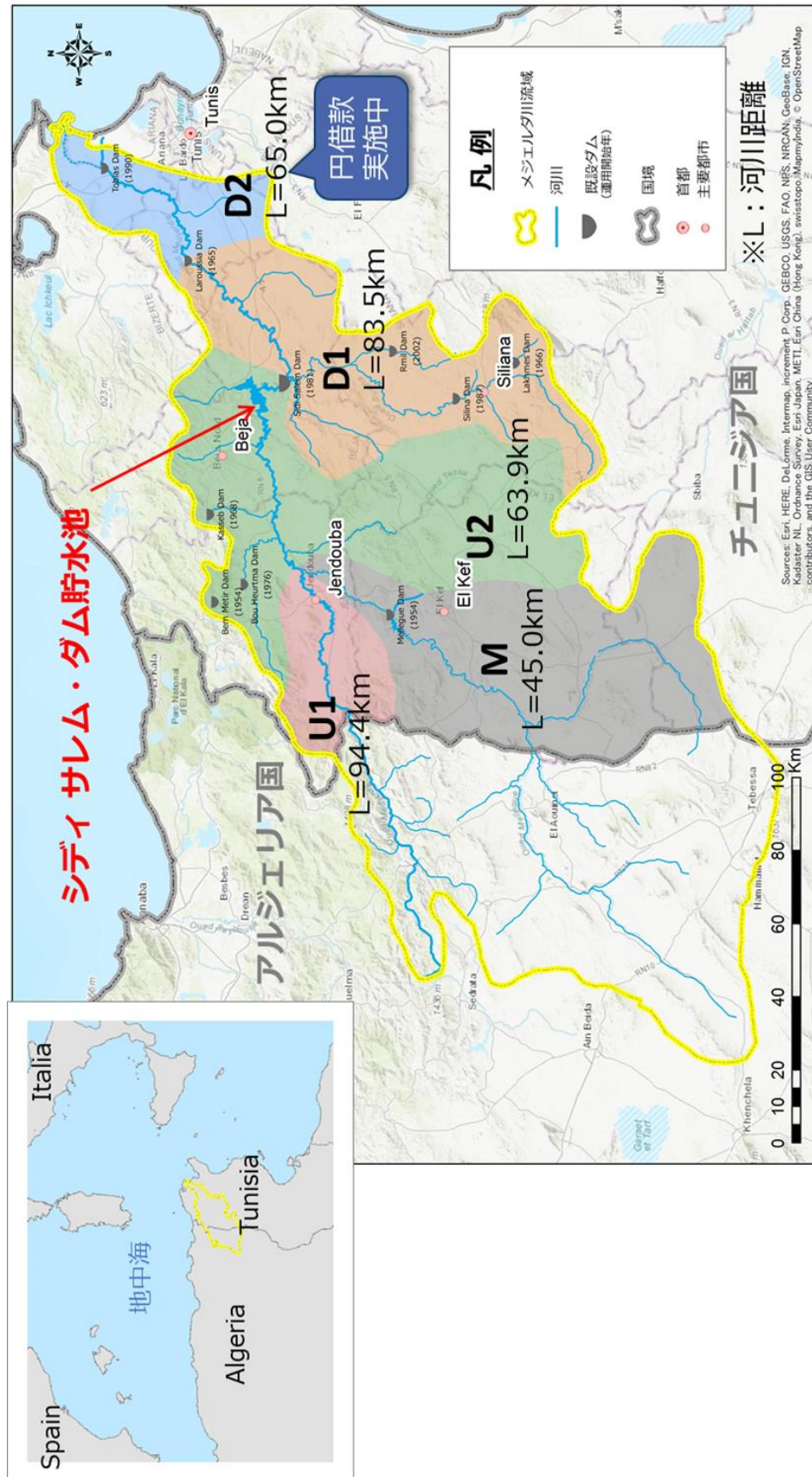
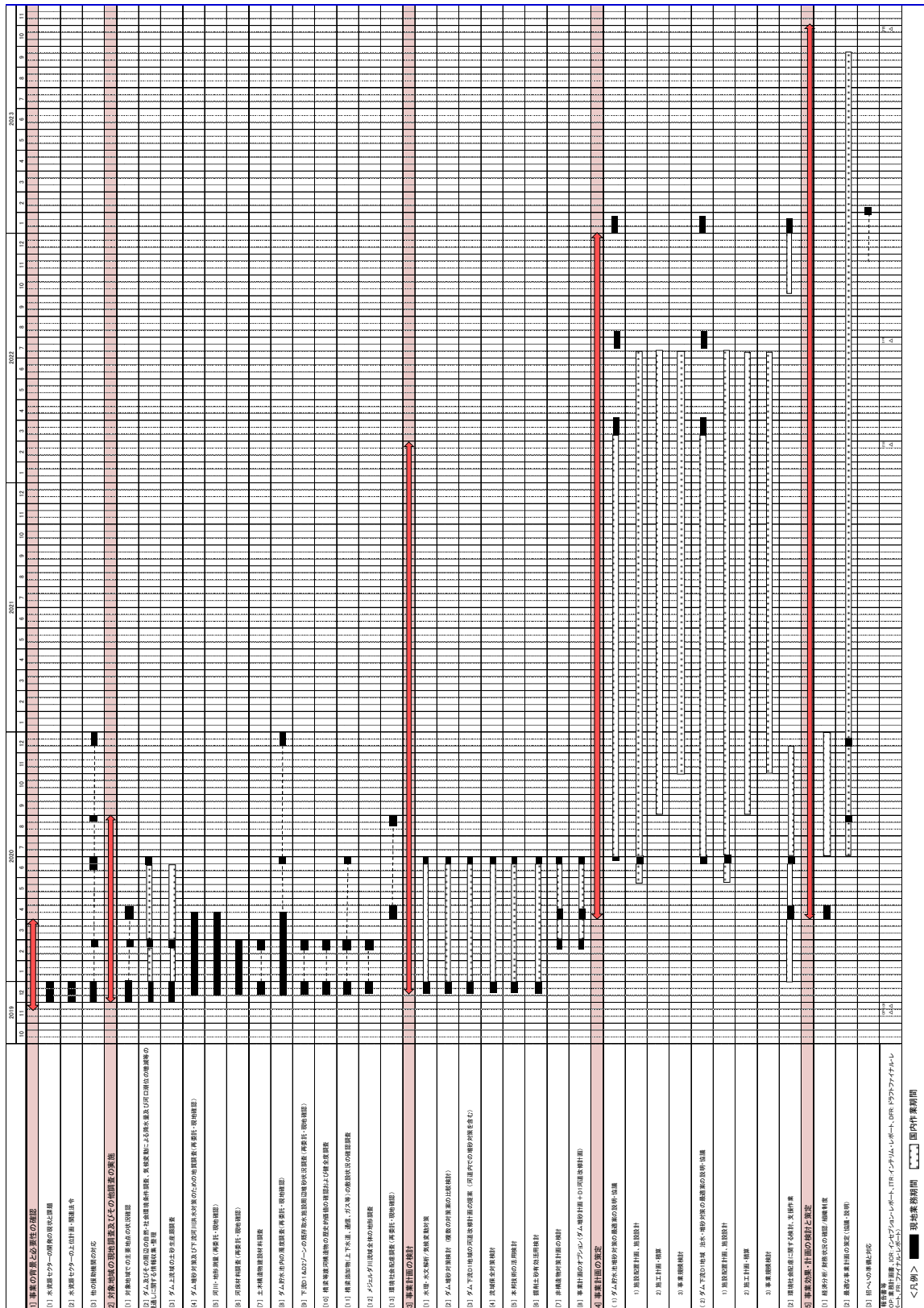


図 1-4 メジエルダ川流域図

1-5



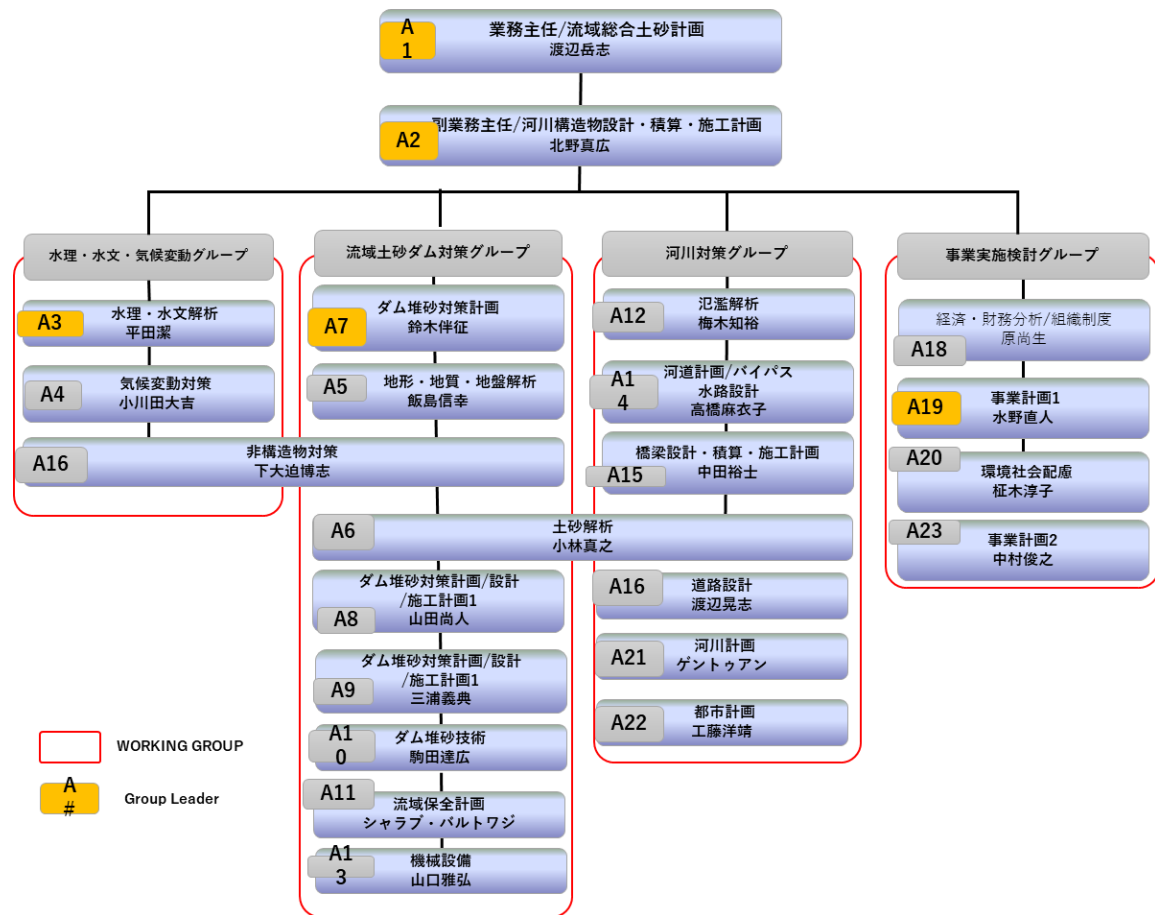


図 1-6 実施体制

## 第2章 調査流域の現状

### 2.1 チュニジアの自然・社会概況

#### 2.1.1 自然条件

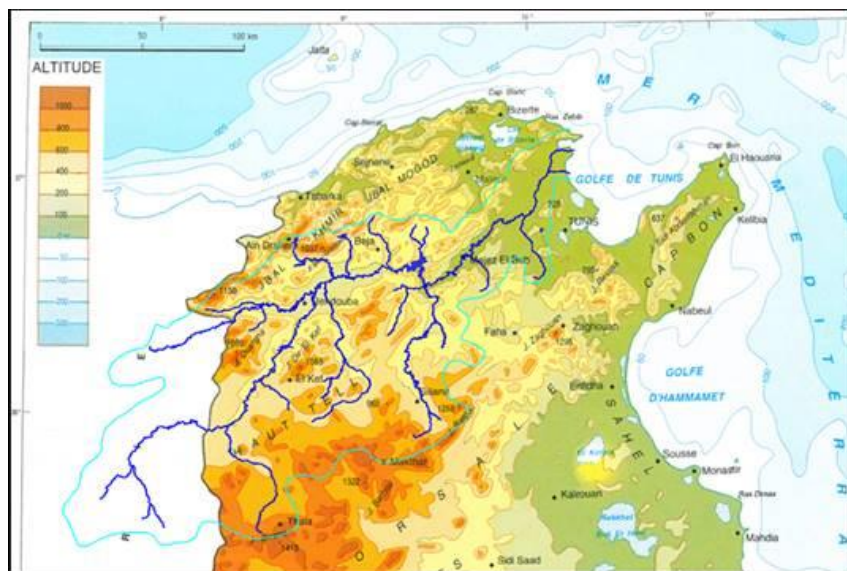
##### (1) 地形

メジェルダ川は、図 2-1 に示すようにアトラス山脈北東部に源を発し、アルジェリア国北東部からチュニジア国北部を流れ、チュニス湾に注ぐ国際河川である。本川流路長は 484km（チュニジア国内は 312km）でチュニジア国では最長河川である。その流域には農耕地が広がり、農業用水の主要供給河川であり、また流域及びチュニスを含む周辺都市用水の主要供給河川となっている。

流域の地形は、源流部からシディサレムダム下流のサタラ川との合流点付近までは山地部およびこれらの山地の間に形成された小規模な沖積平野からなる。ブッサレム、ジャンズーバなどの中規模都市がこの沖積平野上に形成されている。その下流のツブルバ付近までは丘陵状の地形を呈する。ツブルバより下流～河口部まではいわゆる沖積平野からなる。この沖積平野の形成については、次項に概要を説明している。

主要な支川は、シディサレムダム上流域には右支川のメレゲ川、テッサ川が合流する。左支川はカッサ川およびベジャ川である。各支川の流域面積は、右支川のメレゲ川およびテッサ川が左支川でカッサ川およびベジャ川よりも遙かに広い。

これらの支川のうち、メレゲ川には既存のメレゲ第 1 ダム（高さ約 100m）が建設されているが、ダム貯水池への土砂流入が多いために堆砂量が多くなり、ダムの機能に低下が見られるために第 1 ダムの上流域にメレゲ第 2 ダムが建設されている。



出典：JICA 調査団

図 2-1 メジェルダ川流域の地形概要



図 2-2 には、メジェルダ川下流域から河口部付近までの沖積層形成時のチュニス湾の海退と沖積層の形成の概要を示している。

図 2-2 には、ウティカ（チュニス）湾の海退の過程について古文書や考古学的資料に基づいて示している。ウティカ湾は氷河期後の約 6,000 年前の海進（日本における縄文海進）により形成され、現在のメジェルダ川まで湾が入り込んでいた。その後、海退に伴ってメジェルダ川からの礫や砂などを主体とした河川堆積物および粘性土からなる海成の堆積物により徐々に湾が埋められ、古代末にはほぼ湾は埋め立てられ、中世から現代にかけて現在の海岸が形成された。ガール・エル・メル・ラグーン（Ghar El Melh lagoon）はウティカ湾の最後の痕跡である。

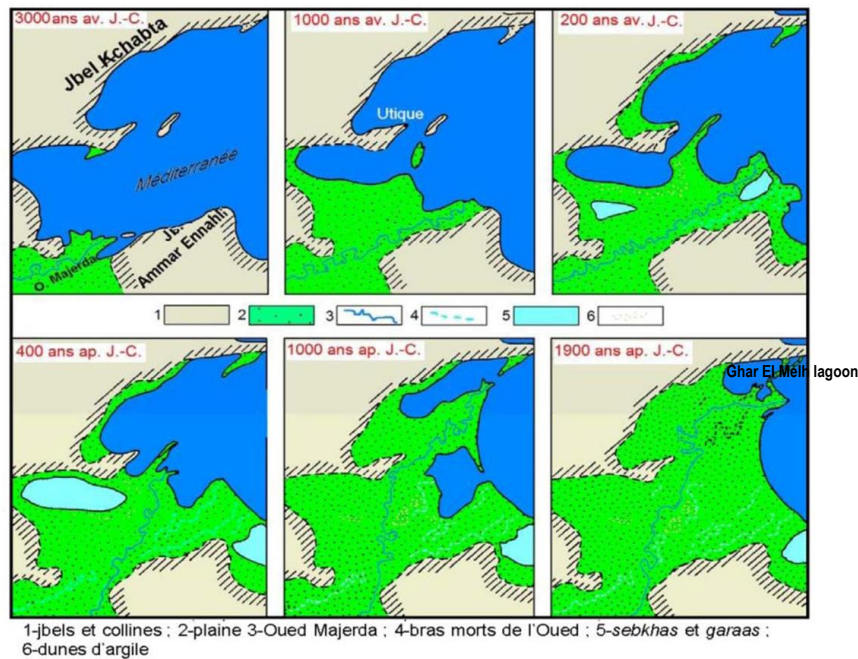
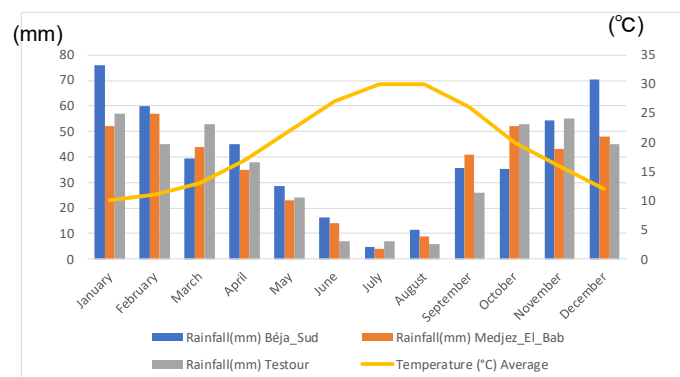


図 2-2 メジェルダ川下流部の沖積層の形成概要

## (2) 気候

図 2-3 には、チュニジア国農業省が設置している Tesour 地区、Medjez El Bab 地区、Beja Sud 地区の 3 か所に観測所の観測結果による最近 50 年間の気温と降水量の平均を示している。



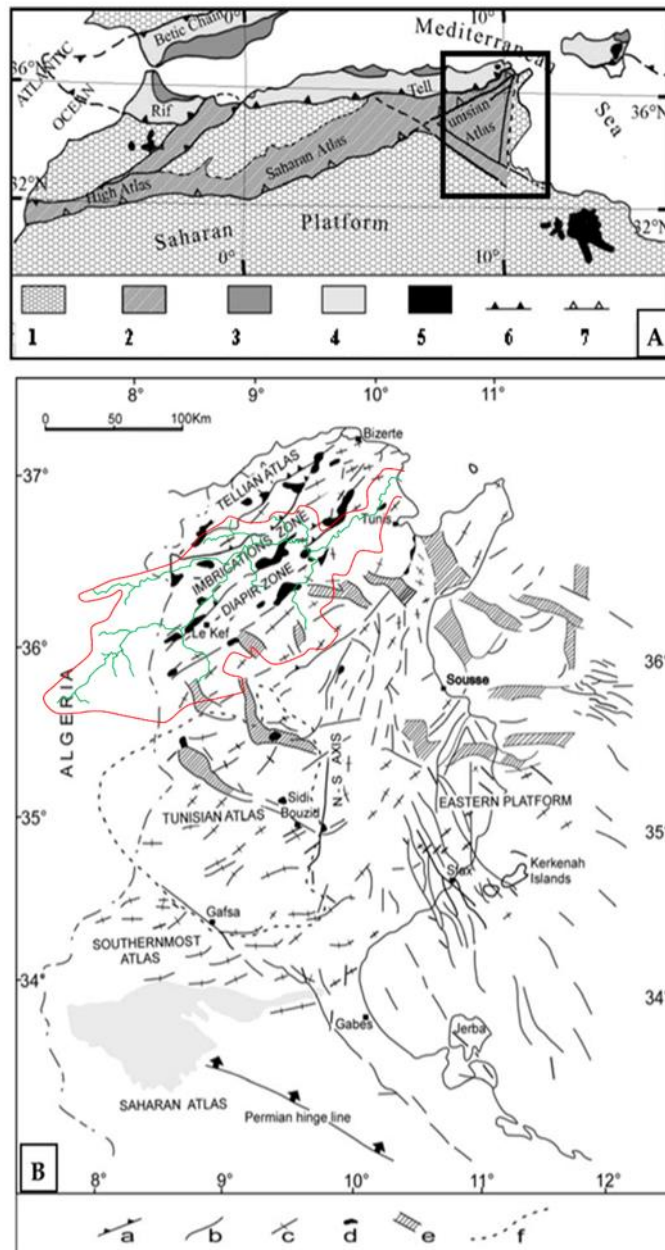
出典：Ministry of Agriculture (<http://www.agridata.tn/fr/dataset/moyenne-des-precipitations-beja>)

図 2-3 チュニジア国 降水量と気温（50 年平均）

### (3) 地質

既往文献によるメジェルダ川流域の広域地質状況を図 2-4 に示している。

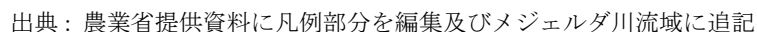
メジェルダ川は図 2-4 に示すように、主にサハラン・アトラスを北東に流下し、チュニス湾に注ぐ。広域構造帯区分では、主にダイアピル・ゾーン (Diapir Zone)、一部、覆瓦構造ゾーン (Imbrication Zone) に位置し、構造帯の境界に北西側から南東側に押し上げる衝上断層が存在する。その間では、南西－北東方向に伸びる褶曲構造が発達している。山地・丘陵の稜線部が背斜となる傾向がある。



A: 全体状況, B: テクトニクス概略図, 1: 大陸卓状地, 2: 大陸間地塊, 3: 結晶質地塊, 4: リフ及びテリアン・アトラス, 5: 新生代火山岩, 6: 衝上断層, 7: 南アトラス前縁, a: 主要衝上断層, b: 主要断層, c: 主要背斜, d: 三畳系, e: 地溝, f: カサリン島範囲

出典: Tunisian Transtensive Basin in Tethyan Geodynamic Context and Their Post-Tortonian Inversion

図 2-4 調査地周辺のテクトニクス



#### (4) 土地利用

図 2-6 にメジェルダ川流域の土地利用分類図を示す。ジェルダ川流域の土地利用は概ね農耕地であり、その他、低木地、放牧地が広がっている。市街地は、沿川に点在している程度である。また、シディサレムダム貯水池周辺は、主にオリーブや小麦などの農地、牧草地として利用されている。

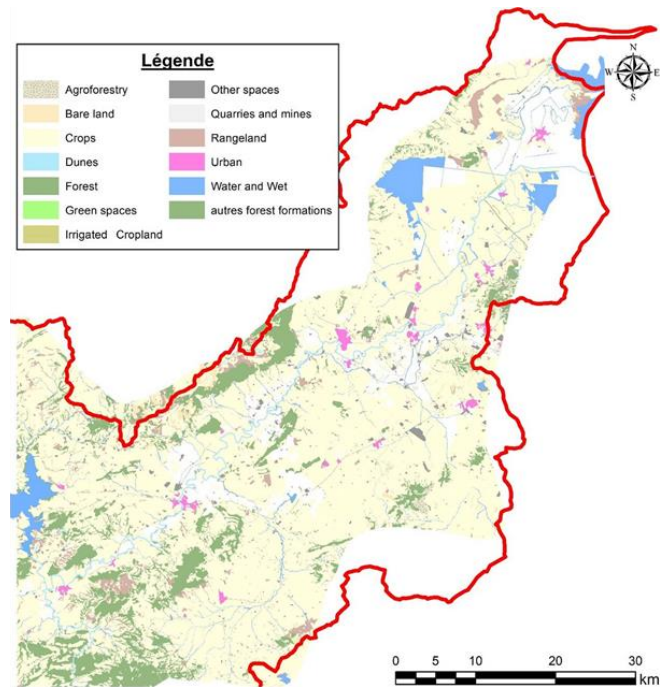


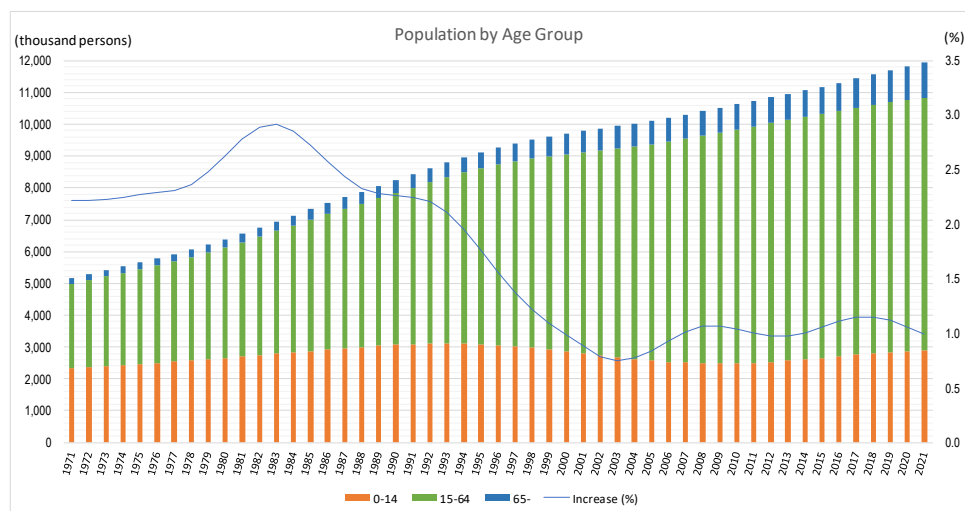
図 2-6 メジェルダ川流域の土地利用分類

## 2.1.2 社会経済状況

### (1) 人口・世帯

#### (a) 人口

チュニジアでは人口センサスが 10 年に一度行われている。最新の 2014 年に人口・住宅センサスによると、全体人口は 11,007,326 人である。2015 年以降については世界銀行が公表している World Development Indicators より人口のデータを引用した。これらのデータに基づき、1971 年以降のチュニジアの人口の年齢階層別の推移を図 2-7 に示す。



出典：World Development Indicators

図 2-7 チュニジアの人口推移



なお、直近の10年(2011~2021)について人口の推移を以下の表 2-1 に示す。2021年時点は11,935,765人である。

表 2-1 人口と人口増加率 (2011~2021)

|        | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 人口[千人] | 10742 | 10847 | 10953 | 10983 | 11180 | 11304 | 11433 | 11565 | 11695 | 11819 | 11936 |
| 人口増加率  | 1.00  | 0.98  | 0.98  | 1.01  | 1.06  | 1.11  | 1.15  | 1.15  | 1.12  | 1.06  | 0.99  |

チュニジアの人口増加率は1980年代から減少し始め、1990年代半ば以降は2%/年以下となり、2000年以降は1%/年前後で推移している。直近5年間の65歳以上の高齢者人口の増加率は平均で4.2%となっており、2021年時点で全体に占める65歳以上の高齢者人口の割合は9.2%となっている。

#### (b) 世帯数・住宅数

2004年及び2014年のセンサス調査の結果に基づき、チュニジア全土及び対象流域の氾濫原に含まれる県(Governorate)・郡(Delegation)の人口・世帯数・住宅数を表 2-2 に整理した。なお、2021年については統計局が公表している最新の情報により氾濫原に含まれる県(Beja と Manouba)の人口推移について表 2-3 に示す。

対象流域の氾濫原に含まれる県(Governorate)・郡(Delegation)では、人口の伸びに比べて、世帯数、住宅数が大幅に増加している、すなわち、一世帯当たり、住宅一軒当たりの人数が減少していることが読み取れる。

表 2-2 チュニジア及び対象流域の氾濫原に含まれる県(Governorate)・郡(Delegation)の人口・世帯数・住宅数

| Governorate<br>Delegation | 2004                     |                         |                       |                     |                   |                     |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|                           | Population<br>(thousand) | Household<br>(thousand) | Persons/<br>Household | House<br>(thousand) | Persons/<br>House | House/<br>Household |
| Tunisia                   | 9,910.9                  | 2,185.8                 | 4.5                   | 2,500.8             | 4.0               | 1.1                 |
| <b>Béja</b>               | <b>304.5</b>             | <b>68.6</b>             | <b>4.4</b>            | <b>72.1</b>         | <b>4.2</b>        | <b>1.1</b>          |
| Mjez elbeb                | 39.0                     | 8.7                     | 4.5                   | 8.6                 | 4.5               | 1.0                 |
| Testour                   | 32.8                     | 7.3                     | 4.5                   | 7.8                 | 4.2               | 1.1                 |
| <b>Manouba</b>            | <b>335.9</b>             | <b>70.8</b>             | <b>4.7</b>            | <b>74.3</b>         | <b>4.5</b>        | <b>1.0</b>          |
| Jdaïda                    | 40.3                     | 8.3                     | 4.8                   | 8.7                 | 4.6               | 1.0                 |
| Tebourba                  | 41.1                     | 8.2                     | 5.0                   | 8.3                 | 4.9               | 1.0                 |
| El Battane                | 17.3                     | 3.5                     | 4.9                   | 3.4                 | 5.1               | 1.0                 |

| Governorate<br>Delegation | 2014                     |                         |                       |                     |                   |                     |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|                           | Population<br>(thousand) | Household<br>(thousand) | Persons/<br>Household | House<br>(thousand) | Persons/<br>House | House/<br>Household |
| Tunisia                   | 10,982.8                 | 2,713.0                 | 4.0                   | 3,289.9             | 3.3               | 1.2                 |
| <b>Béja</b>               | <b>303.0</b>             | <b>76.8</b>             | <b>3.9</b>            | <b>85.2</b>         | <b>3.6</b>        | <b>1.1</b>          |
| Mjez elbeb                | 41.7                     | 10.4                    | 4.0                   | 11.5                | 3.6               | 1.1                 |
| Testour                   | 33.6                     | 8.3                     | 4.1                   | 9.4                 | 3.6               | 1.1                 |
| <b>Manouba</b>            | <b>379.5</b>             | <b>95.4</b>             | <b>4.0</b>            | <b>103.3</b>        | <b>3.7</b>        | <b>1.1</b>          |
| Jdaïda                    | 44.7                     | 10.8                    | 4.1                   | 11.6                | 3.9               | 1.1                 |
| Tebourba                  | 43.5                     | 10.8                    | 4.0                   | 10.9                | 4.0               | 1.0                 |
| El Battane                | 19.0                     | 4.6                     | 4.2                   | 4.8                 | 4.0               | 1.1                 |

| Governorate<br>Delegation | 2014/2004                |                         |                               |                     |                           |                             |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|
|                           | Population<br>(thousand) | Household<br>(thousand) | <i>Persons/<br/>Household</i> | House<br>(thousand) | <i>Persons/<br/>House</i> | <i>House/<br/>Household</i> |
| Tunisia                   | 1.11                     | 1.24                    | 0.89                          | 1.32                | 0.84                      | 1.06                        |
| <b>Béja</b>               | <b>1.00</b>              | <b>1.12</b>             | <b>0.89</b>                   | <b>1.18</b>         | <b>0.84</b>               | <b>1.06</b>                 |
| Mjez elbeb                | 1.07                     | 1.20                    | 0.90                          | 1.34                | 0.80                      | 1.12                        |
| Testour                   | 1.03                     | 1.13                    | 0.91                          | 1.21                | 0.85                      | 1.07                        |
| <b>Manouba</b>            | <b>1.13</b>              | <b>1.35</b>             | <b>0.84</b>                   | <b>1.39</b>         | <b>0.81</b>               | <b>1.03</b>                 |
| Jdaida                    | 1.11                     | 1.30                    | 0.86                          | 1.33                | 0.84                      | 1.03                        |
| Tebourba                  | 1.06                     | 1.32                    | 0.81                          | 1.31                | 0.81                      | 1.00                        |
| El Battane                | 1.10                     | 1.30                    | 0.84                          | 1.42                | 0.77                      | 1.09                        |

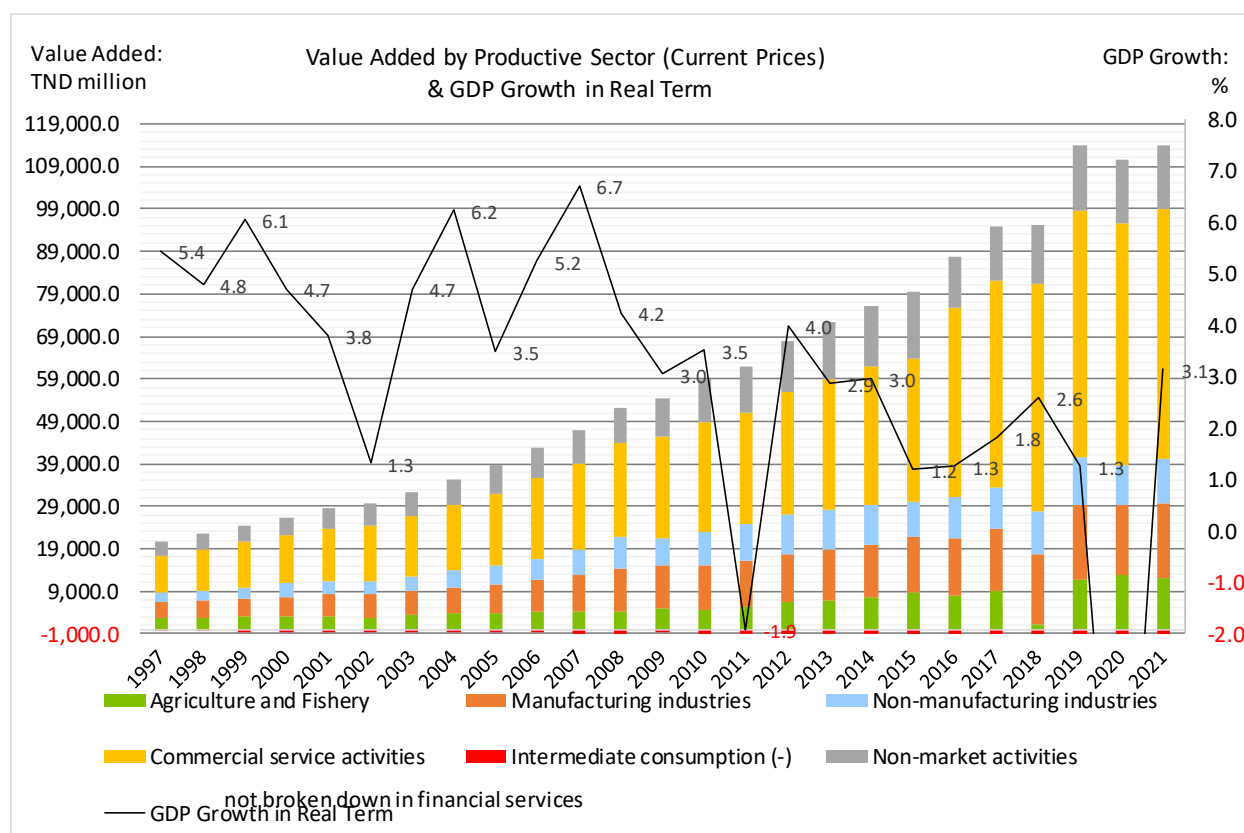
表 2-3 Béja と Manouba における人口の推移

| Governorate<br>Delegation | 2004                     | 2014                     | 2021                     |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                           | Population<br>(thousand) | Population<br>(thousand) | Population<br>(thousand) |
| Tunisia                   | 9,910.9                  | 10,982.8                 | 11,935.7                 |
| Béja                      | 304.5                    | 303.0                    | 308.1                    |
| Manouba                   | 335.9                    | 379.5                    | 423.1                    |

## (2) 経済

### (a) チュニジアの国内総生産（GDP）

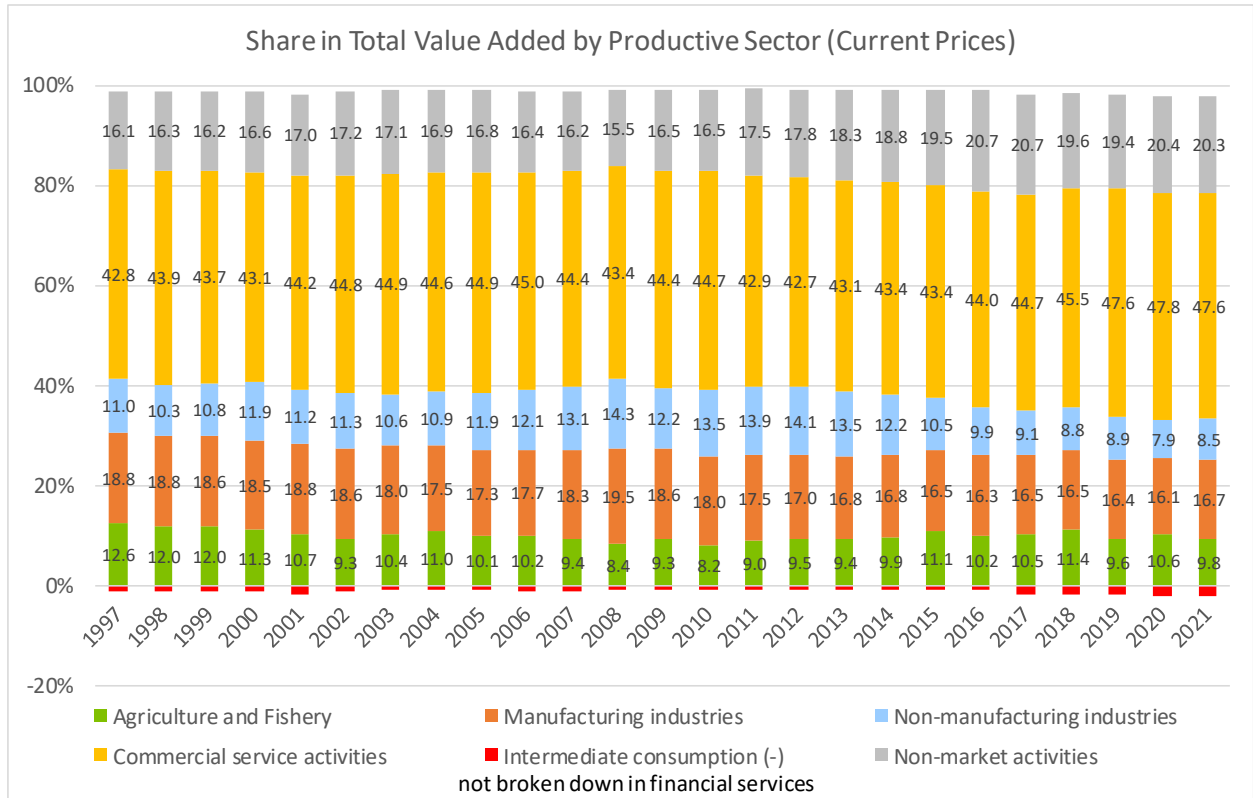
チュニジアの生産セクター別の付加価値額（時価）と GDP 実質成長率の 1997 年以降の推移を図 2-8 に、生産セクター別の全付加価値額（時価）に占める割合の推移を図 2-9 に示す。チュニジア経済は 1997 年から 2010 年までは、2002 年を除き年率 3.0%～6.7% で成長をしたが、2011 年にはマイナス成長に転じた。翌 2012 年には経済は年成長 4.0% までに率急回復したが、その後 2015 年までにかけて年成長率は 1.2% までに鈍化した。2016 年以降、経済成長は緩やかながら加速し、2018 年の経済成長率は 2.6% に至った。しかしながら、COVID19 の世界的な感染拡大で、チュニジアの経済も大きな打撃を受けており、2020 年は -8.7% と落ち込み、2021 年には 3.1% と回復の兆しを見せている。



出典：生産セクター別の全付加価値額：統計局、GDP 成長率：World Development Indicators

図 2-8 チュニジアの生産セクター別の全付加価値額（時価）の推移

チュニジアの生産セクター別の全付加価値額（時価）に占める割合はこの 20 年間で大きな変化は見られない。農業・漁業セクターのシェアは天候などの影響から 8.2%～12.5% 推移している。製造業のシェアは約 19% から 17% 程度にまでに低下している。この原因は伝統的な製造業である繊維・衣類部門、化学工業（リン酸など）部門などの落ち込みを、機械・電気部門の伸びが補っていないからである。行政サービス部門が占める付加価値の割合は、約 16% から約 20% に増加している。



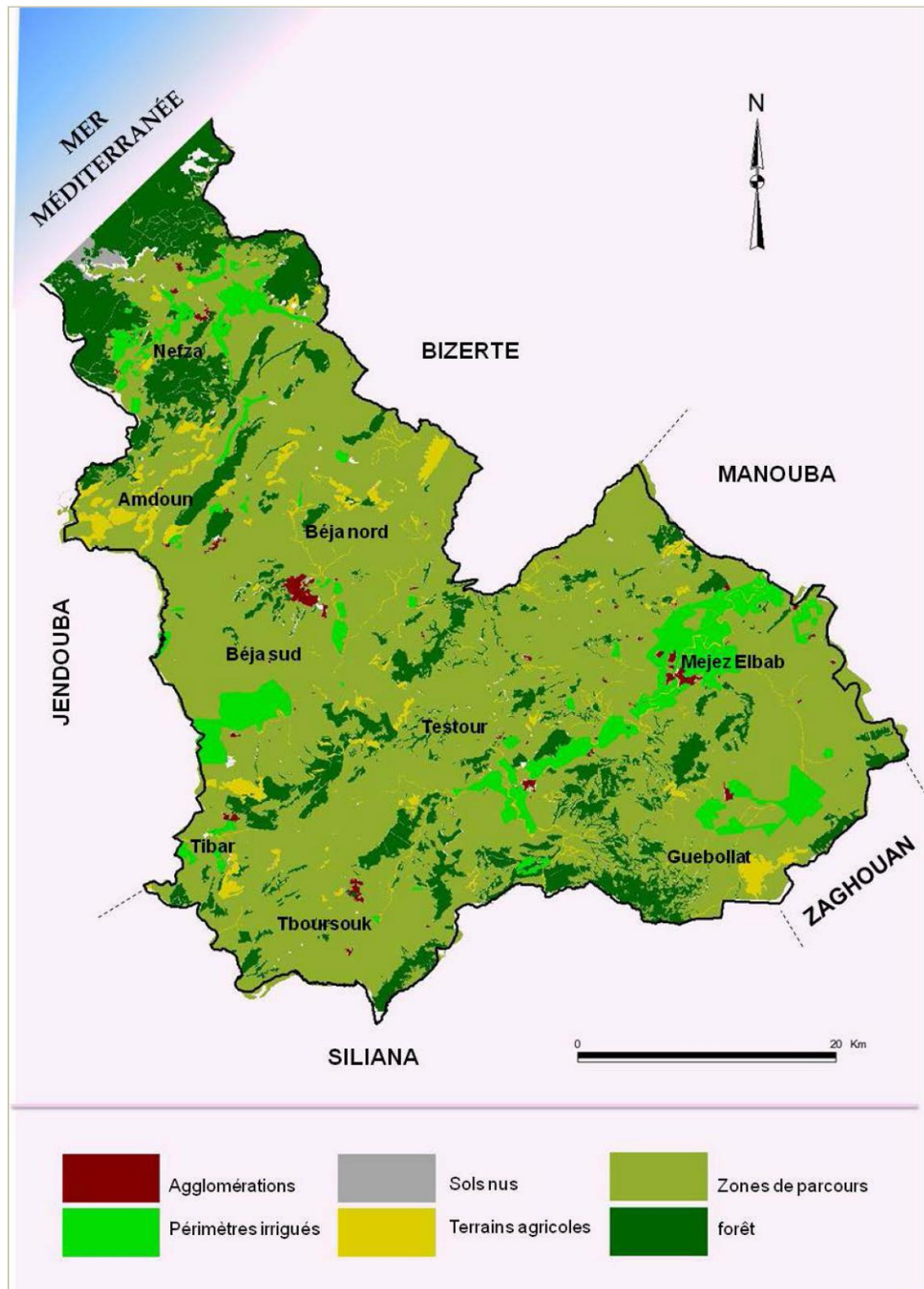
出典：統計局

図 2-9 チュニジアの生産セクター別の全付加価値額（時価）に占める割合の推移

(b) 対象流域に含まれる県（Governorate）・郡（Delegation）の土地利用と産業

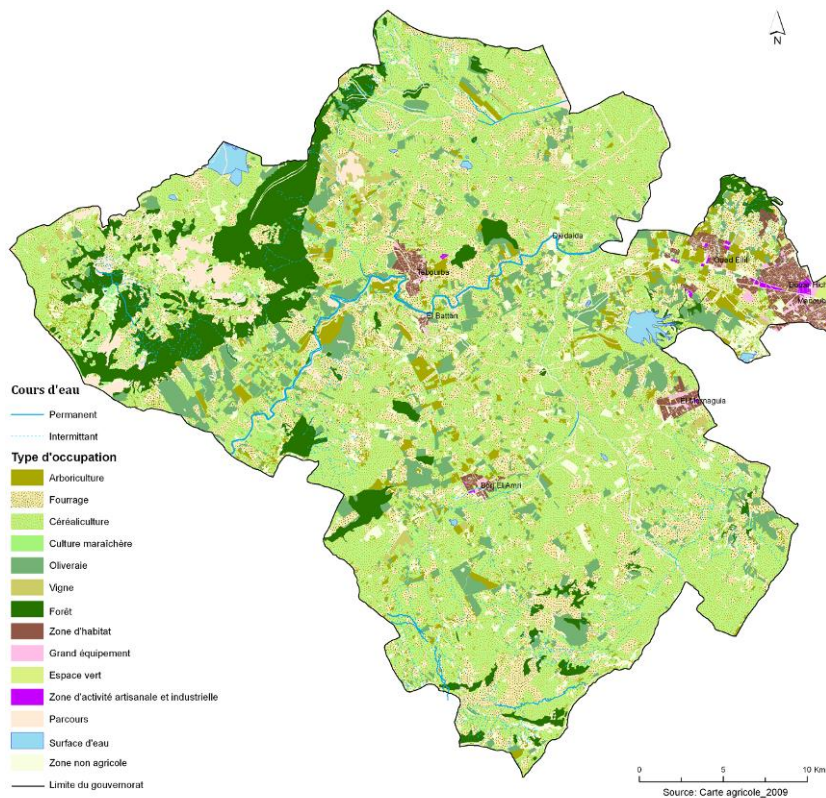
ベジャ県及びマヌーバ県の土地利用をそれぞれ図 2-10 及び図 2-11 に示す。いずれの県においてもメジェルダ川沿いで土地開発が進んでいる。





出典：Atlas Numérique du Gouvernorat de Béja（データ出所）CDRA Béja 2013

図 2-10 ベジャ県の土地利用

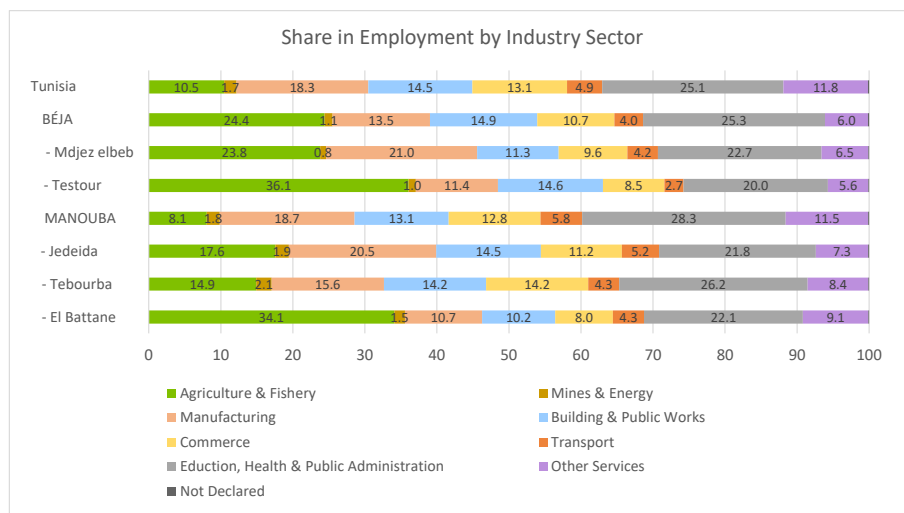


Carte 33 : OCCUPATION DU SOL

出典：Atlas du Gouvernorat de Manouba (データ出所) Carte agricole 2009

## 図 2-11 マヌーバ県の土地利用

図 2-12 にチュニジア及び対象流域の氾濫原に含まれる県 (Governorate) ・郡 (Delegation) の生産セクター別の就業者数の割合を示す。対象流域の氾濫原に含まれる県 (Governorate) ・郡 (Delegation) では一般的に全国平均に比べ農業従事者の割合が高くなっているが、マヌーバ県の平均は全国平均に比べて農業部門の従事者割合は低く、製造業従事者の割合が高く、都市型の就業者分布となっている。



出典：2014 年人口。住宅センサスの結果

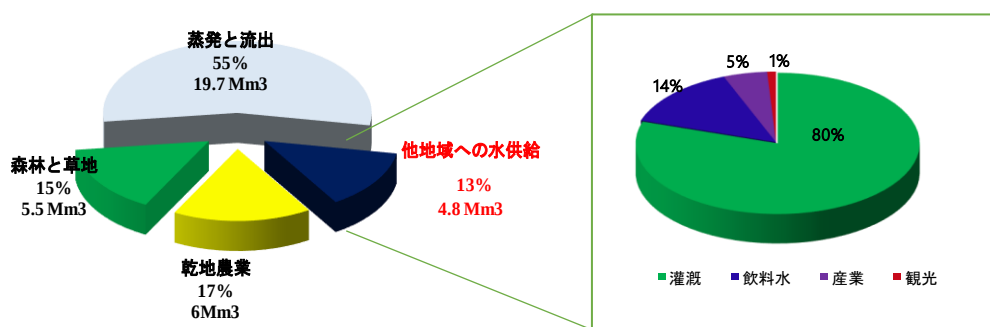
## 図 2-12 生産セクター別の就業者数の割合

## 2.2 チュニジアの水資源セクターの現状・課題

### 2.2.1 チュニジアにおける水資源の現状・課題

#### (1) 現状

チュニジアにおける全体の平均年間総降水量は 3.6 億 m<sup>3</sup>、そのうち活用できる水資源の総量は 4800 百万 m<sup>3</sup> である。図 2-13 にチュニジアの水資源ポテンシャルを示す。チュニジアにおける水資源の利用の 8 割は農業用の灌漑利用となっている。

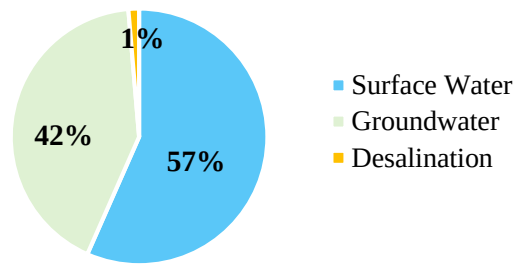


出典：DGBGTH 提供資料

図 2-13 チュニジアの水資源ポテンシャル（左：水資源の総量、右：水資源の利用量）

水資源総量の 14%がチュニジアでは飲料水として利用されている。地方によって気候が大幅に異なるため、水資源の取水源は地域によって異なる。水源は、図 2-14 に示すようにダム貯水池からの表流水、地下水源、海水淡水化プラントによるものに大別される。国内全体の飲料水需要の 57%は表流水取水で、42%は地下水揚水、1%は海水淡水化により賄われている。

北部地域は降水量が多く、表流水の 8 割が集中している。一方、半乾燥気候の中部と乾燥気候の南部では、中部の都市 Sfax や Mahdia へ Mejerda 川流域から表流水供給量全体の 3 割程度を輸送している。また、南部の都市 Gabes や Zarzis 周辺は表流水からの取水はなく、地下水と海水淡水プラントから給水している。なお、日本のスファックス海水淡水化施設建設事業が 2017 より実施されている。チュニジアにおける工業用水、家庭用給水の全体給水量は毎年、増加傾向にある。その傾向は 2010 年と 2019 年の給水量を比較すると、543 百万 m<sup>3</sup> から 759 百万 m<sup>3</sup> に増加しており、年増加率は、平均で約 4.5%となっている。なお、本調査時点では 2020 年以降の給水量のデータは現在公表されていない。(図 2-15)



出典：JICA 調査団

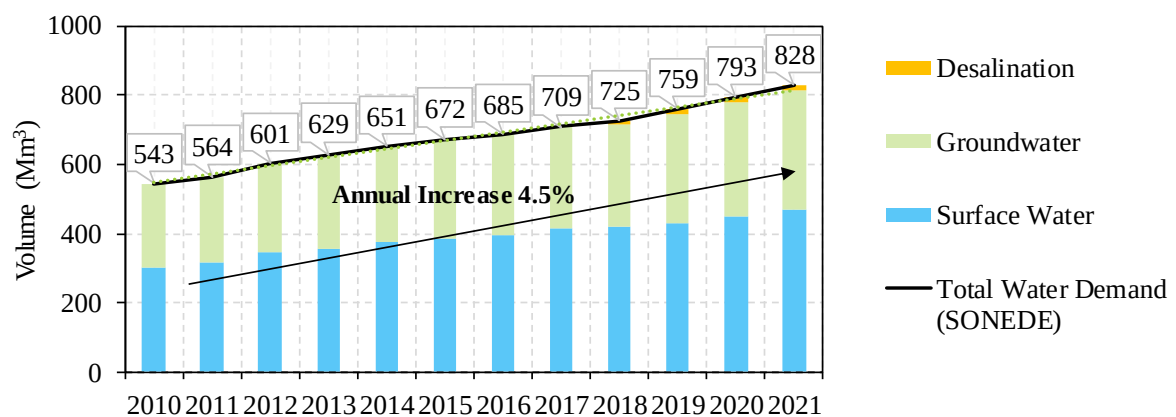
図 2-14 飲料水の取水源の平均割合

表 2-4 取水源別の給水量の内訳 (2010~2021)

Uni: Mm<sup>3</sup>

| Source                             | 2010        | 2011        | 2012        | 2013        | 2014        | 2015        | 2016        | 2017        | 2018        | 2019        | 2020        | 2021        |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Total Water Supply (SONEDE)</b> | <b>543</b>  | <b>564</b>  | <b>601</b>  | <b>629</b>  | <b>651</b>  | <b>672</b>  | <b>685</b>  | <b>709</b>  | <b>725</b>  | <b>759</b>  | <b>793</b>  | <b>828</b>  |
| Surface Water                      | 302.0       | 319.2       | 344.8       | 356.2       | 374.2       | 387.8       | 395.6       | 413.4       | 420         | 431.2       | 450.6       | 470.9       |
|                                    | 56%         | 57%         | 57%         | 57%         | 58%         | 58%         | 58%         | 58%         | 58%         | 57%         | 57%         | 57%         |
| Groundwater                        | 241.4       | 244.5       | 256.5       | 272.5       | 276.4       | 283.7       | 289.7       | 295.2       | 297.4       | 315         | 329.2       | 344.0       |
|                                    | 44%         | 43%         | 43%         | 43%         | 42%         | 42%         | 42%         | 42%         | 41%         | 42%         | 42%         | 42%         |
| Desalination                       | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -           | 7.8         | 12.4        | 13.0        | 13.5        |
|                                    | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -           | 1%          | 2%          | 2%          | 2%          |
| <b>Total</b>                       | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>100%</b> |

出典：JICA 調査団 (2020,2021 については調査団による推定)



出典：JICA 調査団 (なお、2020-21 年については調査団による推定)

図 2-15 国内の水供給量の推移 (2010~2021)

## (2) 課題

チュニジアにおける水資源セクターにおける課題を以下に示す。

- チュニジア全土をカバーできる給水システムは整備途中である。北部で生まれる余剰な水資源の有効利用や中部・南部における干ばつのリスク緩和を目的として、北部から他の地域への給水システムを強化する持続可能な技術的解決策が必要である。
- 水資源に余裕のある北部地域のダムからの海への放流量を最小限に抑え、貯水量を最大化するために中部地域の貯水池整備を強化する。
- 気候変動による超過洪水対策のリスクに備えて、既存のダムの洪水調節容量を確保する必要がある。
- 中部・南部における農業開発は地下水に依存しており、過剰取水のリスクが存在する。該当地域における農村開発を促進するために、雨期に北部地域の余剰水を利用する。
- 人口は沿岸部に集中しており、給水網も沿岸部に集中している。都市部と農村部における水量と水質の公平性を維持する必要がある。（給水率：都市部 100%、農村部 95%）

### 2.2.2 チュニジアにおける給水網の現状

1969 年に策定された北部給水網のマスタープランの一環として、メジェルダ川流域や北部の降水量が多い流域（Bizerte, Jendouba など）から、チュニスや運河沿いの沿岸部、Shel、Sfaz を中心に大規模な給水網の整備を行った。図 2-16 にチュニジア国内の全体の給水網を示す。

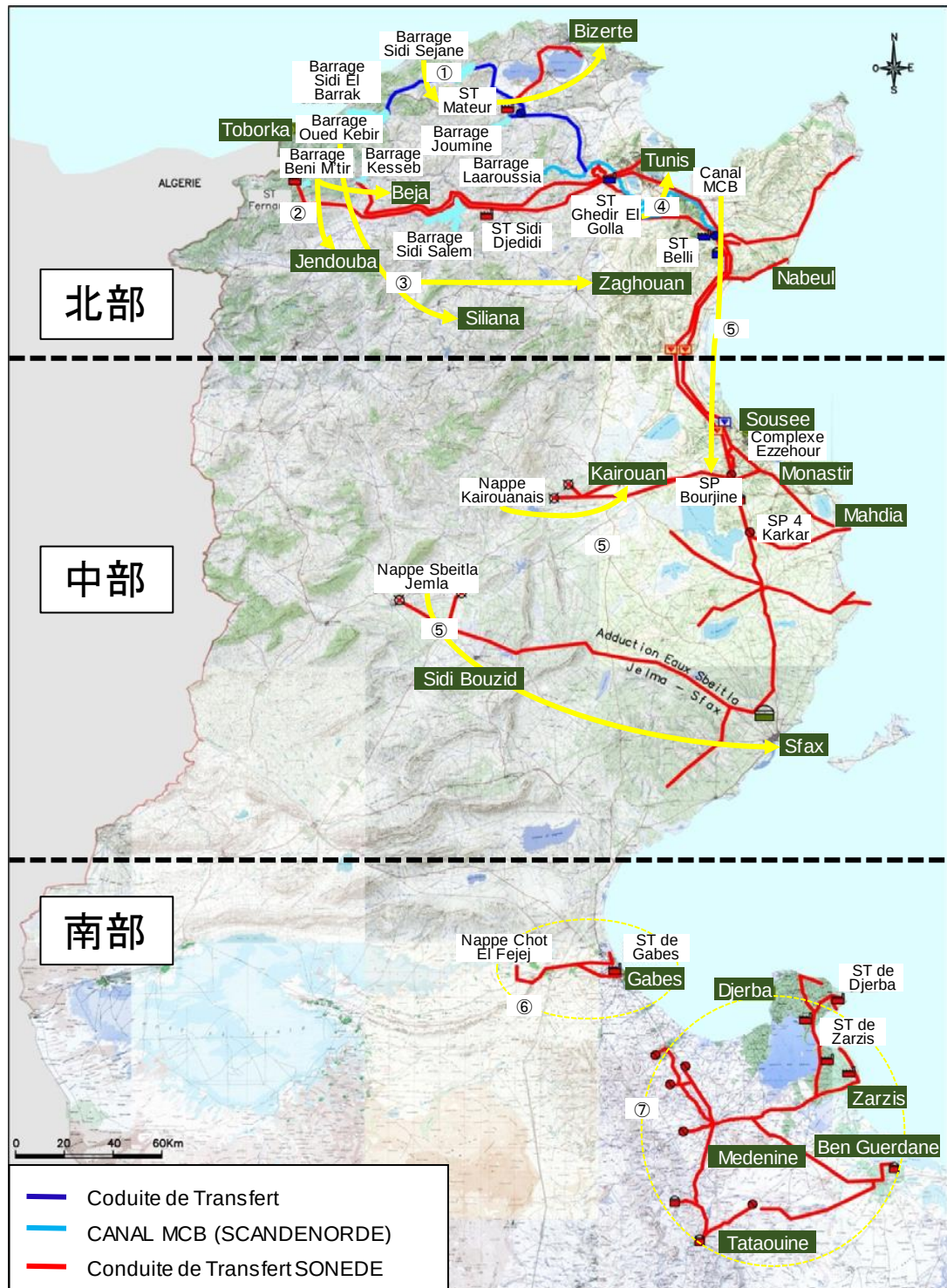
チュニジア国内の主な 7 つの給水システムを以下の表 2-5 に、各システムにおける取水と供給網について図 2-17 に示す。図に示す通り、チュニジアの給水システムは北部・中部・南部に分かれている。また、中南部では 4 つの地下水帯水層（Kairouan, Jelma, Chott el Fejjej, Zeuss Koutine）からの給水システムが開発されており、SONEDE が運営・管理している。（KfW(1998)の支援など）

加えて、南部地域の水供給を強化するために、海水淡水化プラントを整備した。（Gabes (1995), Jerba (2000), Zarzis (1999) Ben Guerdène (2013)）

表 2-5 チュニジアにおける主な給水システム

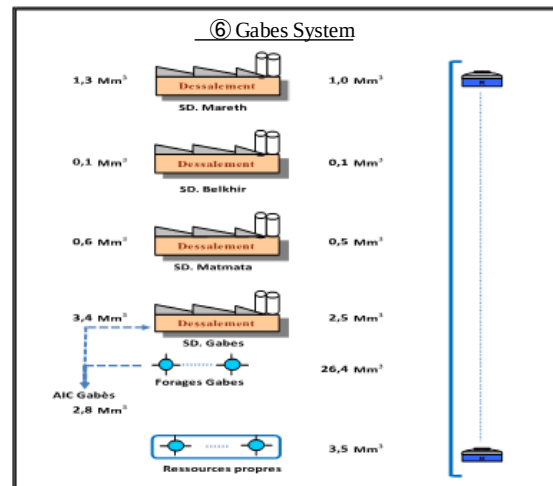
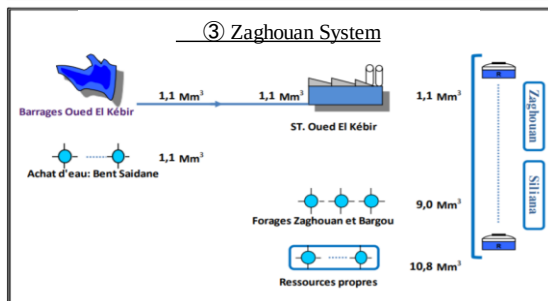
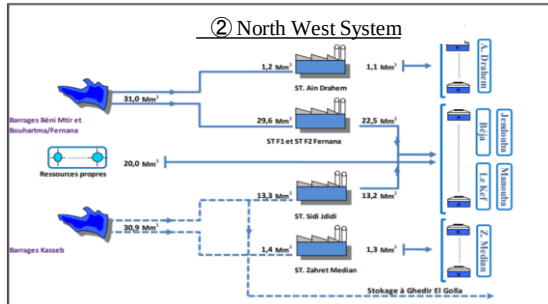
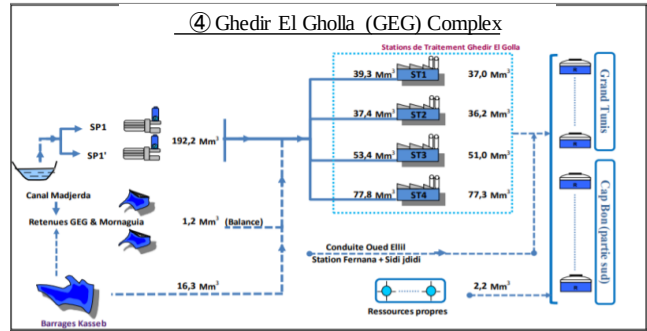
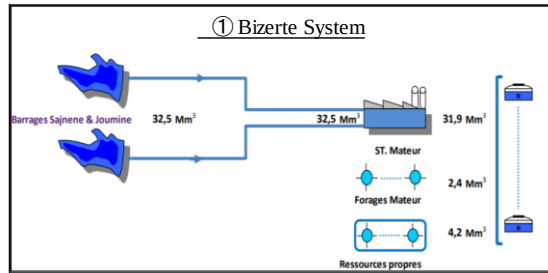
|   | システム名                           | 取水源       |
|---|---------------------------------|-----------|
| ① | Bizerte System                  | 表流水・地下水   |
| ② | North West System               | 表流水・地下水   |
| ③ | Zaghuan System                  | 表流水・地下水   |
| ④ | Ghedir El Gholla (GEG) Complex  | 表流水・地下水   |
| ⑤ | Belli and Northern Water System | 表流水・地下水   |
| ⑥ | Gabes System                    | 地下水       |
| ⑦ | South Tunisia System            | 地下水・海水淡水化 |





出典：SONEDE - National Potable Water Security Investment Program、SONEDE より調査団加筆

図 2-16 チュニジア国内の給水網



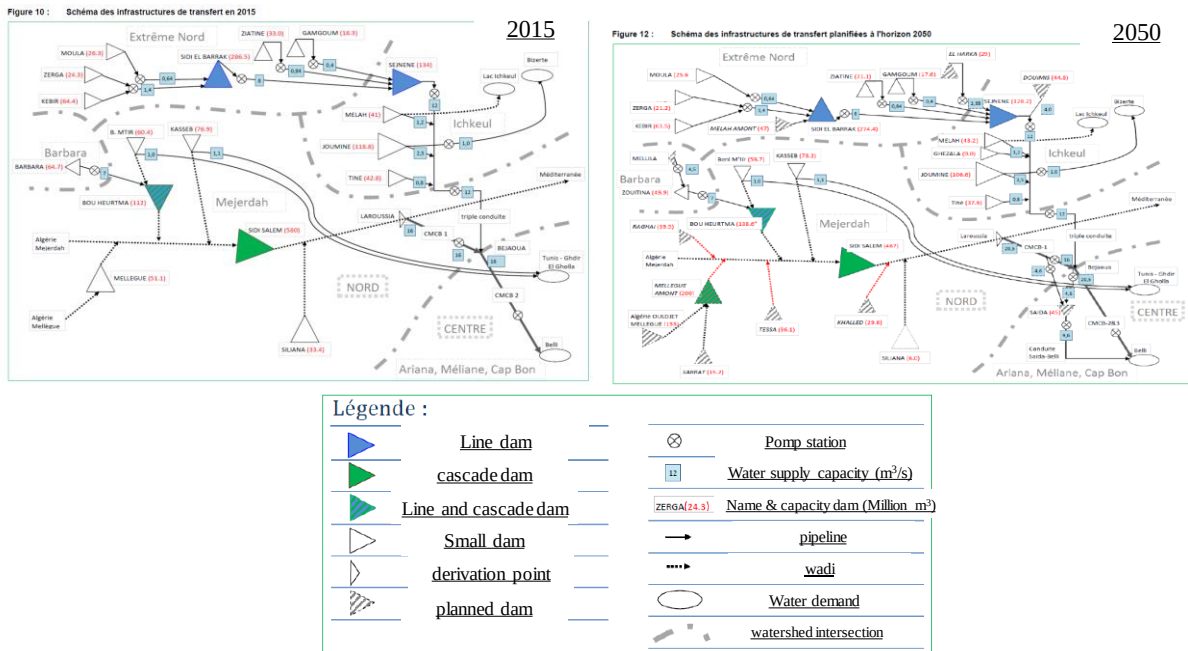






出典：DGBGTH

図 2-18 チュニジア農業省が管理又は計画しているダム一覧



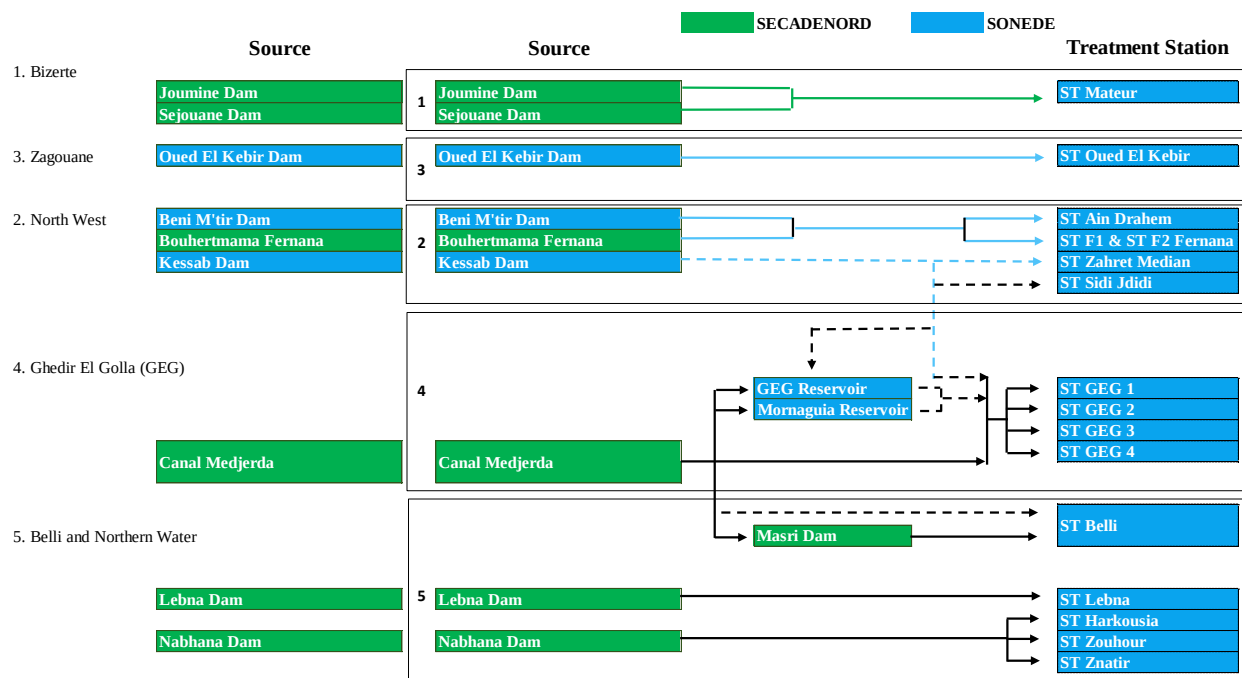
出典：DGBGTH 提供資料

図 2-19 農業省の給水システム強化計画（2015 年と 2050 年）

## 2.3 対象流域における水資源セクターの現状・課題

### 2.3.1 メジェルダ川流域給水網に関する現状と課題

上水公社である SONEDE は Kasseb と Sfax を水源とする送水システムを運営している。また、北部水路公社である SCANDENORD は北方水域の運河と給水システムを公的に運営する農業省の監督下の産業・商業機関（EPIC）であり、Sidi Salem、Sejnane、Joumine、Sidi El Barrak の各ダムからの取水を管理している。前述の 7 つの給水システムのうち、チュニジア北部地域にある①～⑤については SONEDE と SCANDENORD で管理が分かれており、その管理区分を図 2-20 に示す。



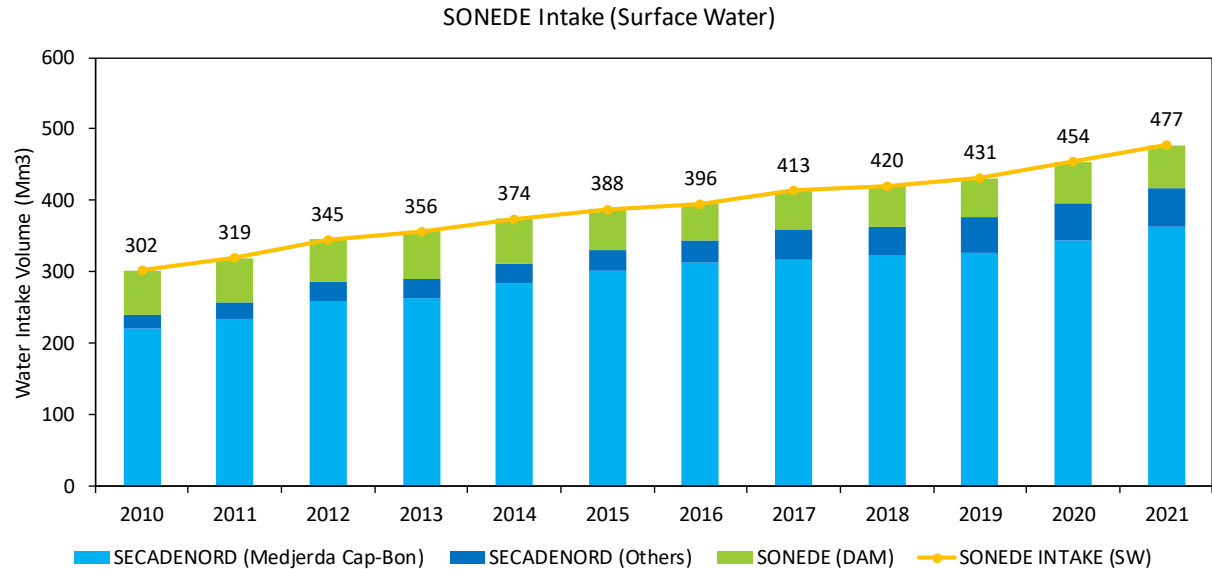
出典：JICA 調査団

図 2-20 北部地域の給水網システムとその管理区分

SONEDE の主な取水水源は SONEDE が管理するダムや取水施設、SCADENORD が管理する Mejerda Cap Bon 運河や他の取水施設からの購入に大別される。図 2-21 に SONEDE の表流水の 2010 年 - 2021 年までの取水水源の実績の推移を示す。SONEDE の取水量全体の 84% は SCANDENORDE から購入しており、Mejerda Cap-Bon 運河からの取水量は SONEDE 取水量全体の 76% に相当する。

このうち SONEDE が管理するダムは 4 つあり、表 2-6 に示すように、SONEDE 管理のダムからの取水は少なく（16%）、Mejerda Cap-Bon 運河に依存しているのが現状である。

また、全体の表流水の 82% が北部で確保されているのに対し、中部と南部はそれぞれ 12% と 6% である。このように地域間の水資源量や飲料水需要に差があることから、SONEDE は北部と南部、西部と東部の間で送水する政策を行っている。



出典：JICA 調査団（2020,2021 については調査団による推測）

図 2-21 北部地域における SONEDE の表流水取水量の推移（2010~2021）

表 2-6 北部地域における SONEDE の表流水取水量の内訳(2010~2021)

Uni: Mm³

| Source                                          | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>1.Total water Purchase (SECADENORD)(a~d)</b> | 239.4 | 256.0 | 285.5 | 289.9 | 311.5 | 330.2 | 343.3 | 358.3 | 362.8 | 376.1 | 395.6 | 416.2 |
| <b>a. Total Canal Medjerda Cap-Bon</b>          | 220.4 | 234.2 | 259.0 | 261.7 | 283.0 | 300.3 | 312.0 | 317.4 | 322.8 | 327.2 | 344.2 | 362.0 |
| Eau du Nord (GEG)                               | 122.3 | 131.7 | 153.5 | 147.4 | 164.0 | 173.6 | 177.3 | 183.3 | 185.0 | 192.2 | 202.2 | 212.7 |
| Masri                                           | 4.8   | 7.1   | 8.1   | 7.8   | 7.0   | 10.1  | 14.4  | 14.2  | 11.8  | 9.0   | 9.5   | 10.0  |
| Belli SP                                        | 93.3  | 95.4  | 97.4  | 106.5 | 112.0 | 116.6 | 120.3 | 119.9 | 126.0 | 126.0 | 132.5 | 139.4 |
| <b>b. Sajenane &amp; Joumine</b>                | 17.5  | 19.6  | 22.3  | 23.3  | 24.0  | 24.6  | 24.5  | 26.3  | 29.3  | 32.5  | 34.2  | 36.0  |
| <b>c. Nebhana &amp; Lebna</b>                   | 1.5   | 2.2   | 4.2   | 4.9   | 4.5   | 5.3   | 1.6   | 6.7   | 2.9   | 7.3   | 7.7   | 8.1   |
| <b>d. Bouhertma Fernana 2</b>                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 5.2   | 7.9   | 7.8   | 9.1   | 9.6   | 10.1  |
| <b>2.Total Dams Intake (SONEDE) (a~d)</b>       | 62.6  | 63.2  | 59.3  | 66.3  | 62.7  | 57.6  | 52.3  | 55.1  | 57.2  | 55.1  | 58.0  | 61.0  |
| <b>a. Beni M'tir</b>                            | 26.6  | 24.9  | 27.8  | 30.4  | 29.9  | 31.5  | 25.7  | 24.5  | 27.0  | 21.9  | 23.0  | 24.2  |
| <b>b. Kasseb</b>                                | 35.7  | 35.4  | 29.9  | 36.9  | 30.1  | 30.2  | 31.2  | 32.0  | 30.9  | 30.9  | 32.5  | 34.2  |
| <b>c. Balance Mornaguia G Golla &amp; Masri</b> | -0.4  | 2.0   | 0.4   | -1.6  | 1.7   | -5.0  | -5.0  | -2.0  | -1.0  | 1.2   | 1.3   | 1.3   |
| <b>d. Oued Kebir</b>                            | 0.7   | 0.9   | 1.2   | 0.6   | 1.0   | 0.9   | 0.4   | 0.6   | 0.3   | 1.1   | 1.2   | 1.2   |
| <b>3. Total Surface Water (1+2)</b>             | 302   | 319   | 345   | 356   | 374   | 388   | 396   | 413   | 420   | 431   | 454   | 477   |

出典：Rapport Statistiques 2015 and 2019 (SONEDE)（2020,2021 については調査団による推測）

### 2.3.2 シディサレムダムの利水需要

#### (1) シディサレムダムの給水システムの現状と課題

メジェルダ川流域において現在稼働中のダムは9基であり、建設中または、設計・計画段階にあるものは6基である。それらの概要と位置を以下に示した。

表 2-7 メジェルダ川流域ダム特性

| ダム                   | 集水面積<br>(km <sup>2</sup> ) | 最高水位総貯水容量<br>(100 万 m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| シディ・サレム (Sidi Salem) | 18,191                     | 959.5                                |
| メレゲ 2* (Mellegue 2)  | 10,100                     | 334.0                                |
| ブ・ヘルトマ (Bou Heurtma) | 390                        | 164.0                                |
| メレゲ (Mellegue)       | 10,309                     | 147.5                                |
| シリアナ(Siliana)        | 1,040                      | 125.1                                |
| テッサ(Tessa)*          | 1,420                      | 125.0                                |
| カセブ (Kasseb)         | 101                        | 92.6                                 |
| ベン・メティール(Ben Metir)  | 103                        | 73.4                                 |
| サラート* (Sarrath)      | 1,850                      | 48.5                                 |
| ベジャ*(Beja)           | 72                         | 46.0                                 |
| カレド(Khalled)*        | 303                        | 37.0                                 |
| シャフル* (Chafrou)      | 217                        | 14.0                                 |
| ラクメス(Lakhmes)        | 127                        | 8.4                                  |
| ルミル(Rmil)            | 232                        | 6.0                                  |

注     \*: 建設中または、設計・計画段階

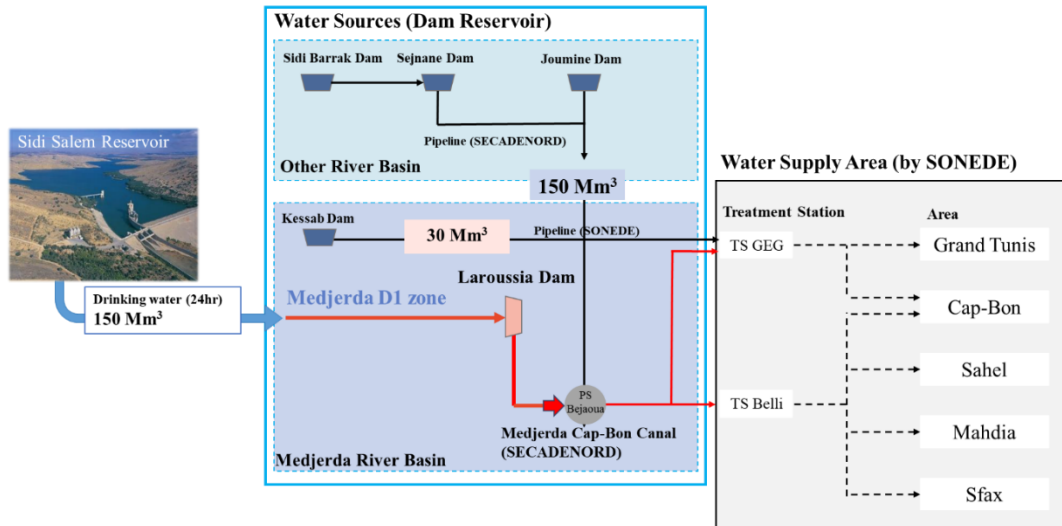


出典：JICA 調査団

図 2-22 メジェルダ川流域におけるダム位置図



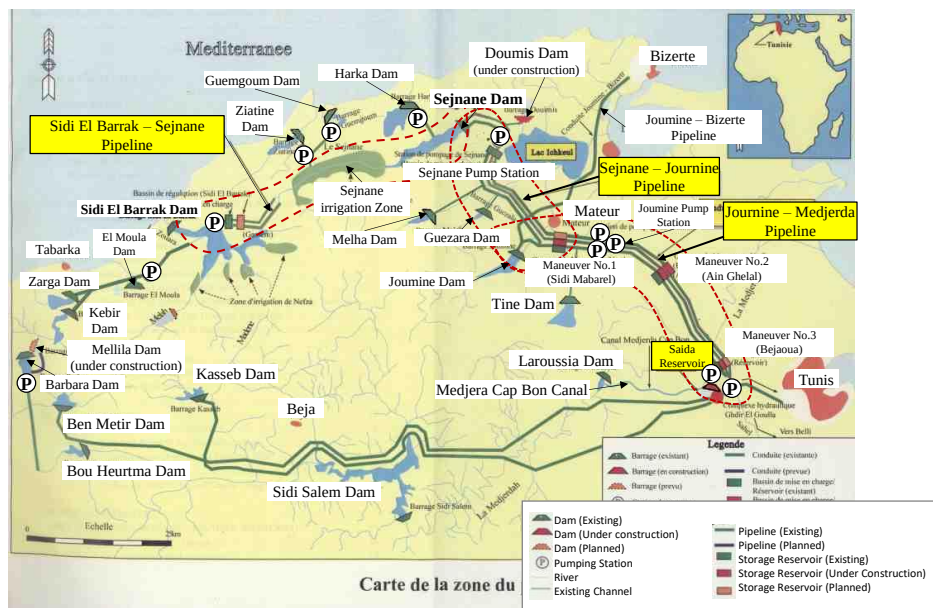
シディサレムダム貯水池から、Medjerda Cap-bon 運河を通じて表流水が送水されている。この運河では、北部の kessab ダムとシディサレムダムからの放流水が合流して、以下の図 2-23 に示す Guedir El Golla (GEK) と Belli の処理場まで送水されている。そして最終的には、東部の Grand Tunis と Cap-Bon 地域、南部の Sahel、Mahdia、Sfax の各地域に送水されている。



出典：JICA 調査団

図 2-23 Medjerda Cap-Bon Canal 給水システム

Medjerda Cap-Bon 運河の主要水源はシディサレムダムであるが、水需要の増加や近年の干ばつの影響により、北部の Sidi Barrak ダム、Sejnane ダム、Joumine ダムからの取水により、水供給不足を補っている。SECADENORD は、以下の図 2-24 に示すように、北部ダムからの既存水道管に加え、El Moula ダム、Zerga ダム、Kebir ダムからの追加水道管および新規送水により、Medjerda Cap-Bon 運河への給水量を強化する計画を進めている。

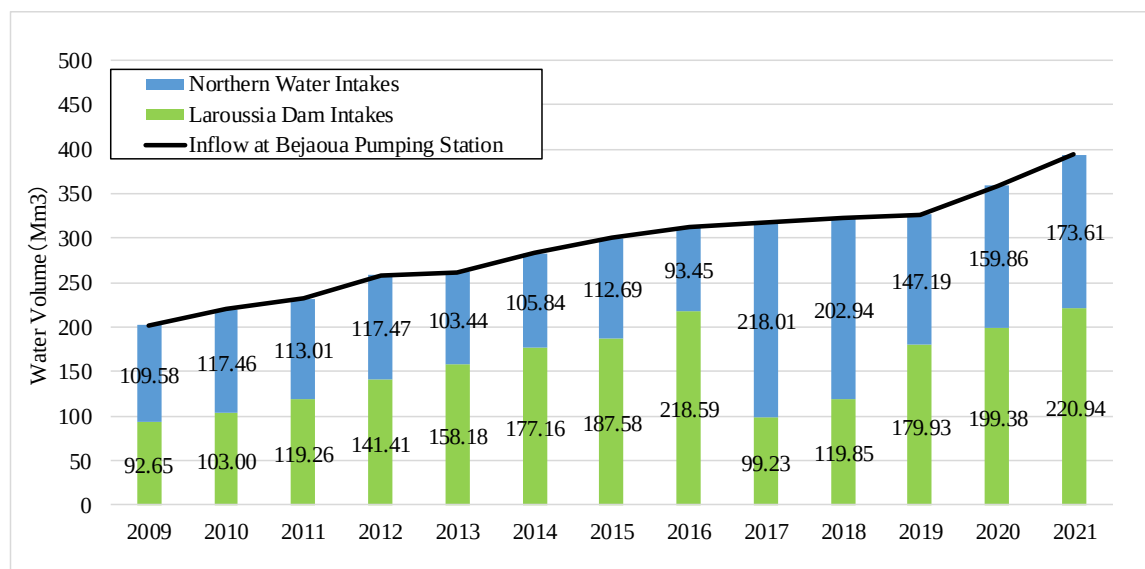


出典：DGBGTH

図 2-24 北部給水からの Mejerda Cap-Bon 運河への給水網強化（案）

2009 年から 2019 年までに Sidi Salem とメジェルダ川以北にあるダムから Bejaoua ポンプ場を経由して送水された Medjerda Cap-Bon 運河への給水量を図 2-25 に示す。

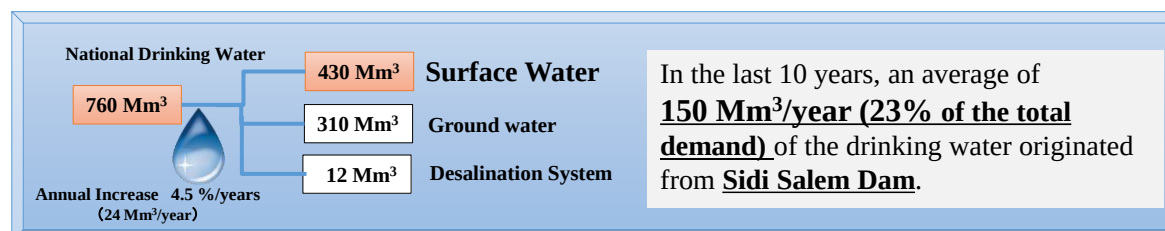
2017 年と 2018 年は半分以上の取水量をメジェルダ川以北の北部地域からの取水で賄っていることがわかる。このようにメジェルダ流域の渇水がある年には北部地域からの取水と組み合わせた運用が必要であることが伺える。



出典：JICA 調査団（2020、2021 は調査時点では非公表だったため、調査団による推測）

図 2-25 Bejaoua ポンプ場における取水量（2009-2021）

過去 10 年間のシディサレムダムからの飲料水の需要は平均 150Mm³/年と推定され、地表水需要の 42%、国の飲料水需要の 23%に相当する。（図 2-26）シディサレムダムは、各地域への主要な供給源であり、人口増加や産業の拡大だけでなく、気候変動の影響もあり、今後も需要は増加し続けると考えられる。今後、シディサレムダム内の堆砂が進み、ダムの貯水容量が低下すると、各地域は水供給の低下と水不足のリスクにさらされる。そのため、シディサレムダムの貯水容量を保全し、Medjerda Cap-Bon 運河への継続的な水供給を確保するための緊急対策を講じる必要がある。



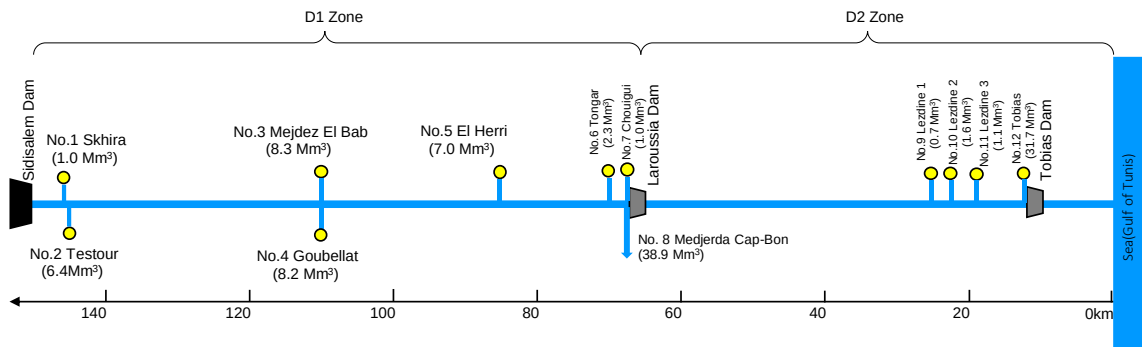
出典：JICA 調査団

図 2-26 国内供給水に占めるシディサレムダムからの供給割合



## (2) 下流ゾーンの既設取水施設

シディサレムダム下流河道の D1 および D2 ゾーンには、稼働中の既設取水施設があり、両岸に広がる農地への灌漑用水が供給されている。既設のラルーシアダムからの給水は、Medjerda Cap-Bon 水路（開水路）を経由し、上水施設へ運ばれている。図 2-27 に既設灌漑取水施設の位置を示す。



出典: indicated volumes are referring to the irrigation volumes for 2020.

図 2-27 既設灌漑取水施設の位置

D1 ゾーンは、Medjerda Cap-Bon 水路の取水口を含む 8 つの灌漑取水施設が存在し、それぞれの取水施設の位置を図 2-28 に示す。

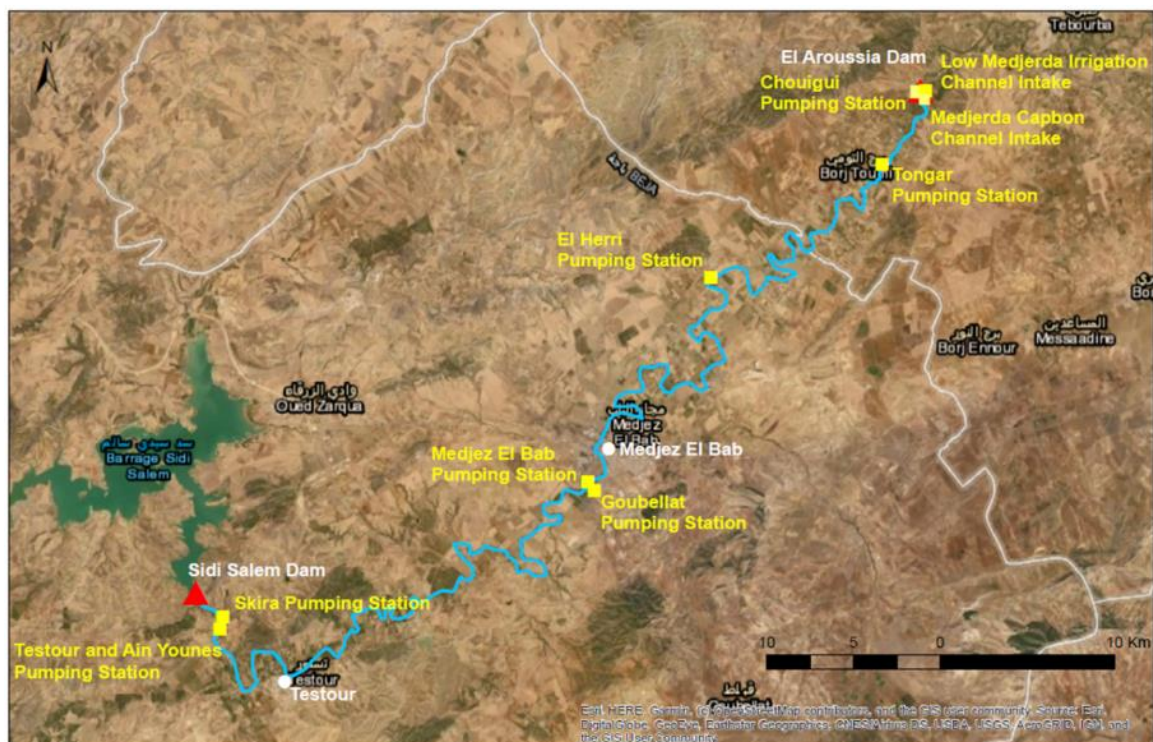


図 2-28 既設灌漑施設の位置 (D1 ゾーン)

D1 ゾーンに存在する灌漑取水施設の特徴を表 2-8 に示す。(詳細は別冊資料集を参照)

表 2-8 D1 ゾーンの既設取水施設の特徴

|                                  | D1 ゾーン       |                     |                             |                             |                              |                             |           |                  |
|----------------------------------|--------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|------------------|
| 施設名                              | Skhira       | Testour             | Medjez El Bab               | Goubellat                   | El Herri                     | Tongar                      | Chouigui  | Medjerda Cap-Bon |
| 場所                               | Left Bank    | Right Bank          | Left Bank                   | Right Bank                  | Left Bank                    | Left Bank                   | Left Bank | Right Bank       |
| パイプライン                           | DN250 x 2000 | DN800 x 3000 + 5000 | DN900 x 2000 + DN800 x 2000 | DN1000 x1500 + DN1000 x3000 | DN1000 x 5000 + DN1000 x8000 | DN300 x 3500 + DN500 x 4000 | -         | -                |
| 最大灌漑面積 (ha)                      | 900          | 2000                | 3600                        | 3800                        | 3000                         | -                           | -         | -                |
| 主要作物                             | Vegetable    | Fruit trees         | Vegetable                   | Vegetable                   | Fruits tree                  | -                           | -         | -                |
| 2020 年実績の年間取水量 (m <sup>3</sup> ) | 976,892      | 6,422,787           | 8,282,983                   | 8,198,341                   | 6,972,521                    | 2,246,852                   | 976,892   | 38,868,986       |
| ポンプ数                             | 3            | 6                   | 8                           | 4                           | 9                            | 6                           | 3         | -                |
| ポンプ容量 (m <sup>3</sup> /s)        | 3x0.1        | 3x0.34 + 3x0.15     | 3x0.4 + 5x0.34              | 4x0.5                       | 5x0.39+5x0.43                | 3x0.1 + 3x0.13              | 3 x 0.1   | -                |
| 全容量 (m <sup>3</sup> /s)          | 0.3          | 1.47                | 2.9                         | 2.0                         | 4.1                          | 0.69                        | 0.3       | -                |

出典： Data in Italic are estimated.

灌漑農地での主要な作物は、野菜と果樹で構成されている。Medjerda Cap-Bon 水路の取水口を除いて、メジェルダ本川からの揚水は 2 月から 11 月に行われる。2020 年に Medjerda Cap-Bon 水路の 39 Mm<sup>3</sup> の取水量に加えて、D1 ゾーンの総取水量は 34Mm<sup>3</sup> に達している。

D2 ゾーンの主な取水口は Lezdine 1、Lezdine 2、Lezdine 3、および Tobias のポンプ場である。取水施設の位置を図 2-29 に示す。



図 2-29 既設灌漑施設の位置 (D2 ゾーン)

D2 ゾーンの取水施設の特徴を表 2-9 に示す（詳細は別冊資料集を参照）。

表 2-9 D2 ゾーンの既設取水施設の特徴

| 施設名                            | D2 ゾーン                      |                            |                             |                           |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|                                | Lezdine 1                   | Lezdine 2                  | Lezdine 3                   | Tobias                    |
| 場所                             | Left Bank                   | Left Bank                  | Left Bank                   | Left Bank                 |
| パイプライン                         | DN400 x 1000                | DN500 x 500                | DN500 x 500                 | DN1250 x 6000             |
| 最大灌漑面積 (ha)                    | 384                         | 512                        | 471                         | 1968                      |
| 2020 年の年間取水量 (m <sup>3</sup> ) | 680,540                     | 1,611,590                  | 1,065,518                   | 31,736,440                |
| ポンプ数                           | 5                           | 5                          | 5                           | 6                         |
| ポンプ容量 (m <sup>3</sup> /s)      | 0.065 m <sup>3</sup> /s x 5 | 0.09 m <sup>3</sup> /s x 5 | 0.085 m <sup>3</sup> /s x 5 | 0.6 m <sup>3</sup> /s x 6 |
| 全容量 (m <sup>3</sup> /s)        | 0.33                        | 0.45                       | 0.43                        | 3.60                      |

D2 ゾーンでは、メジェルダ川からの総取水量は 2020 年に 35Mm<sup>3</sup> と推定された。

### 2.3.3 メジェルダ川流域における洪水対策事業の現状・課題

#### (1) 既往の河川事業

メジェルダ川における洪水対策の一環として実施されてきた河川関連事業の概要を以下に整理した。

表 2-10 既往の河川関連事業の概要

| Name of the Project                                                | Year Commenced | Purpose & Description of the Project                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.Drainage Channel Construction Project                            | 1909           | Drainage for lowland areas in El Mabtouh Plain<br>1) Construction of Trapezoidal Channel (L=30km)<br>2) Channel Construction along the MejerdaRiver (L=0.95km)                                                                                                                                              |
| 2.Lowland Areas Development Plan in Mejerda River                  | 1952           | Lower to water level and improvement of the flow capacity<br>1)Short-cut of curved reach and removal of bridge at Protville<br>2)Short-cut of curved reach at Menzel Reached<br>3)Improvement of older structures at Jedaïd and El Battan<br>4)Construction of dykes<br>5)Construction of diversion channel |
| 3. Irrigation and Drainage Project in Galaat Andalous – Ras Djebel | 1994           | 1) Improvement of Tobias Barrage (Movable Barrage)<br>2) Pipe irrigation by pumps (irrigated area: 11,675 ha)                                                                                                                                                                                               |

出典： Project D'irrigation et de Drainage Galaat Andlous-Ras Djebel Rapport Final (MA,1992.6)

上表に示した 1.の改修工事は El Mabtouh 湿地の排水を目的としたもので、1909 年、公共事業局により、水路底部幅 (Width of Channel Bottom) 4m、法勾配 (Slope Gradient) 1/1 及び縦断勾配 (Longitudinal Gradient) 0.15m /km (1/6666) による長さ 30km の台形水路が建設された。

さらに、メジェルダ川左岸沿いに全長 950m の水路が建設された。El Mabtouh 湿地から Ghar El Melh Lagoon (ポルト・ファリナ) 方向への排水ルートを図 2-30 に赤破線で示す。

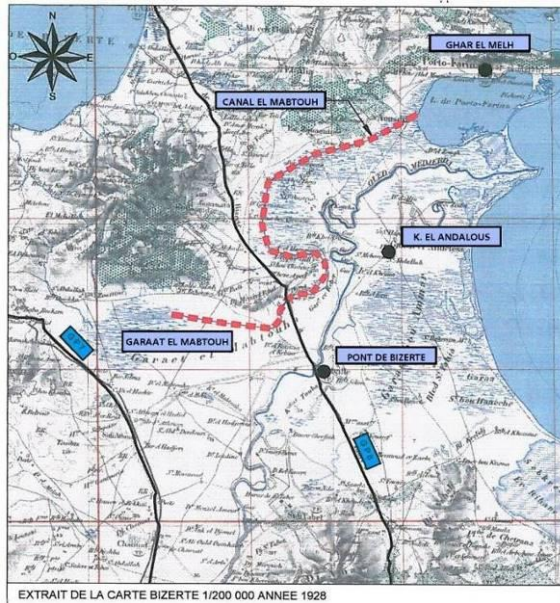
1931 年 12 月の洪水後には、計画高水位を下げ、流下能力を改善し、洪水発生頻度を減らすために上表 2.よりメジェルダ川流域低地整備計画を実施した。この計画では以下の事業が実施された。

- 1) プロトヴィル (Protville) の湾曲部と橋梁の撤去
- 2) メンゼル・ラシェド (Menzel Rached) の湾曲部のショートカット
- 3) ジュデイダ (Jedeida) とエル・バタン (El Battan) の旧構造物の整備
- 4) 流下能力向上のための堤防建設
- 5) 放水路の建設 (トビアス堰～河口の間の現河道)

これらは、大規模な工事であることから、毎年の予算規模にあわせ、またその年の事業効果を観察してその結果を次年度工事にフィードバックできるよう、数回に分けて実施された。プロトヴィル湾曲部に関する最初の工事は、1952 年に開始された。トビアス (Tobias) 堰は、灌漑区域への取水位の確保を目的として建設され、上表 3.に示すように 1990 年代には、可動堰に改良された。トビアスの可動堰は、メジェルダ川下流における流量調節上きわめて重要な役割を果たしている。放水路 (現河道) 及び可動堰は 1990 年代に完成した。この可動堰整備により、メジェルダ川は川筋を変え、現在見る姿となった。元の川筋は灌漑用水路に転用されている。上表 2.と 3.の工事概要を以下に示す。

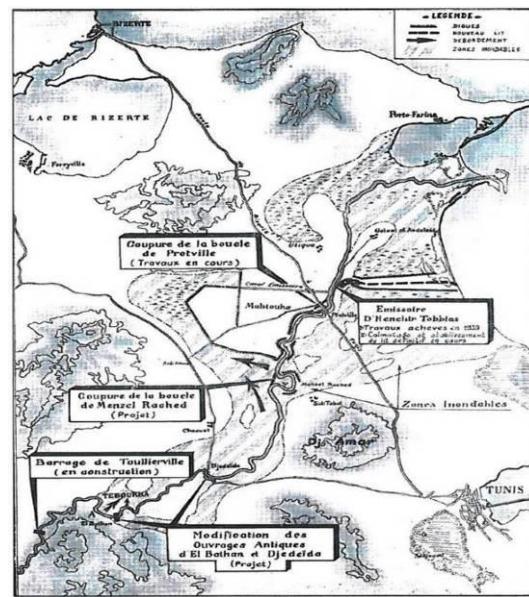
しかしながら、2000 年以降に集中豪雨による被害が頻発して発生しており、2003 年にはシディサレムダム下流において氾濫被害が発生した。現状の河川整備事業だけでは被害を防ぐためには不十分であると言える。





出典：Collection B Bouvet

図 2-30 排水路の建設ルート



出典：Collection B Bouvet

図 2-31 1952 年以降の下流部の工事概要

## (2) 既往のダム事業

メジェルダ川流域における放水路設置や堤防建設以外の構造物による洪水対策は、ダム事業である。メジェルダ川におけるダム事業は、農業用水、飲料水、発電用水等の水資源開発を中心として展開されてきたが、メレゲダム、シディサレムダム等は、洪水調節の機能も有している。メジェルダ流域における洪水調節が可能なダムは、以下の 8 ダムである。

表 2-11 ダム事業の概要（洪水調節）

| Dam            | River       | Year | C. Area<br>(km <sup>2</sup> ) | Normal Water Level(m) |                              | Surcharge WL & Flood Control Volume |                              |                                    |             |
|----------------|-------------|------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------|
|                |             |      |                               | El<br>(m)             | Volume<br>(Mm <sup>3</sup> ) | El<br>(m)                           | Volume<br>(Mm <sup>3</sup> ) | Flood Volume<br>(Mm <sup>3</sup> ) | ERD<br>(mm) |
| Sidi Salem     | Mejerda     | 1981 | 18,191                        | 115.0                 | 674.0                        | 119.5                               | 959.5                        | 285.5                              | 15.7        |
| Mellegue       | Mellegue    | 1954 | 10,309                        | 260.0                 | 44.4                         | 269.0                               | 147.5                        | 103.1                              | 10.0        |
| Bou Heurtma    | Bou Heurtma | 1976 | 390                           | 221.0                 | 117.5                        | 226.0                               | 164.0                        | 46.5                               | 119.2       |
| Silliana       | Silliana    | 1987 | 1,040                         | 388.5                 | 70.0                         | 395.5                               | 125.1                        | 55.1                               | 53.0        |
| Kasseb         | Kasseb      | 1968 | 101                           | 292.0                 | 81.9                         | 294.4                               | 92.6                         | 10.7                               | 105.9       |
| Ben Metir      | Bou Heurtma | 1954 | 103                           | 435.1                 | 57.2                         | 440.0                               | 73.4                         | 16.2                               | 157.3       |
| Lakhmes        | Silliana    | 1966 | 127                           | 517.0                 | 7.2                          | 521.1                               | 8.4                          | 1.2                                | 9.4         |
| Rmil           | Rmil        | 2002 | 232                           | 285.0                 | 4.0                          | 288.0                               | 6.0                          | 2.0                                | 8.6         |
| Total (8 Dams) |             |      |                               |                       |                              |                                     |                              | 520.3                              |             |

Note: ERD(Equivalent Rainfall Depth,mm) = Flood Control Volume/Catchment Area

洪水調節容量は、8 ダムの合計で 5.20 億 m<sup>3</sup> である。このうちシディサレムダムとメレゲダムで 3.88 億 m<sup>3</sup> となり、全体容量の 75%を占めている。そのため、シディサレムダムの洪水調節における役割はメジェルダ川流域において極めて重要である。

## 2.4 水資源セクターの上位計画・関連法令

### 2.4.1 水資源セクターの関連法令

チュニジア国の水セクターに係る政策は、1975年に制定された「水法」(Code des Eaux)に基づき、農業省が決定している。「水法」は、フランス植民地時代(1881～1956年)に制定された水資源管理に関する法規を取りまとめて1975年に制定された。「水法」は1975年以降、一部条項が改正され、社会経済開発、水需要の推移、資源保存に必要な環境問題などに関連する条項が追加され、2017年版が最新版となっている。

水法は、全9章からなっており、各章の内容は表 2-12 の示すとおりである。

表 2-12 水法の構成

| 章 No. | 内容         | 章 No. | 内容       | 章 No. | 内容      |
|-------|------------|-------|----------|-------|---------|
| 1     | 公共水域       | 4     | 地役権      | 7     | 水質汚濁と洪水 |
| 2     | 公共水域の保全と政策 | 5     | 公共水域使用認可 | 8     | 水利組合    |
| 3     | 水利権        | 6     | 水資源の利用   | 9     | 司法と罰則   |

出典：水法

洪水に関する規定は第7章第2項洪水対策の第140条から第152条に定められており、その内容は次のとおりである。

- 1) 洪水対策のための調査研究、工事の実施の権限は、国家にあることの規定
- 2) 河道内の洪水防御の妨げになる行為の規制
- 3) 洪水防御のための堤防を損傷した場合の罰金の規定
- 4) 農用地の排水事業の実施に関する規定

土壌・水保全法(1995年)と森林法(1993年)も総合的水資源管理(IWRM)に関連する基本法である。また、洪水などの災害管理に関する組織制度は、主として下記の法律と法令に基づいて設定されている。これらの法令は、洪水だけでなく、火事、地震、嵐、テロなどの被害を軽減する活動を行うための計画の策定、資機材の調達、人材の確保等の体制整備、および、実施のための手続きを定めたものである。

#### a) 災害防止、災害対策、救援組織に関する法律第39-1991号(1991年6月8日)

この法律では、国と地域レベルにおける災害管理の基本的事項が16ヵ条により規定されている。その概要は表 2-13 のとおりである。

表 2-13 災害防止、災害対策、救援組織に関する法律第39-1991号(1991年6月8日)の概要

| 条項の No. | 内容                         |
|---------|----------------------------|
| 1       | 災害の定義                      |
| 2       | 国と地域の災害管理計画                |
| 3       | 国と地域の災害委員会                 |
| 4       | 内務省と各県知事間の調整               |
| 5       | 災害管理活動に使用できる設備と人材に関する包括的統計 |
| 6       | 国と地域の災害管理計画の実施指令           |
| 7～15    | 災害時における設備と人材の徴用            |
| 16      | 従前の規定の廃止                   |

出典：災害防止、災害対策、救援組織に関する法律第39～1991号(1991年6月8日)

- b) 国と地域の災害管理計画と災害委員会に関する法令第942～1993号(1993年4月26日)および 法令第942～1993号の修正に関する法令第2723～2004号(2004年12月21日)これらの法令は、国と地域レベルにおける災害管理計画と災害委員会について規定している。その概要は表 2-14のとおりである。

表 2-14 国と地域の災害管理計画と災害委員会に関する法令の概要

| 条項の<br>No. | 内容                     |
|------------|------------------------|
| 1          | 国と地域の災害管理計画と災害委員会の実施手段 |
| 2          | 諸計画策定時に考慮すべき点          |
| 3          | 諸計画の策定と承認              |
| 4          | 地域計画と国家計画の方向付け         |
| 5          | 地域計画の承認と国家災害委員会への付託    |
| 6          | 災害の種類                  |
| 7          | 特定の漸進的事業               |
| 8          | 実施開始                   |
| 9          | 専門職員との事前会議開催           |
| 10         | 命令権の付与                 |
| 11         | 措置終了命令                 |
| 12         | 国家災害委員会の構成員            |
| 13         | 国家災害委員会の会議             |
| 14         | 地域災害委員会の構成員            |
| 15         | 地域災害委員会の会議             |
| 16         | これら法令の実施               |

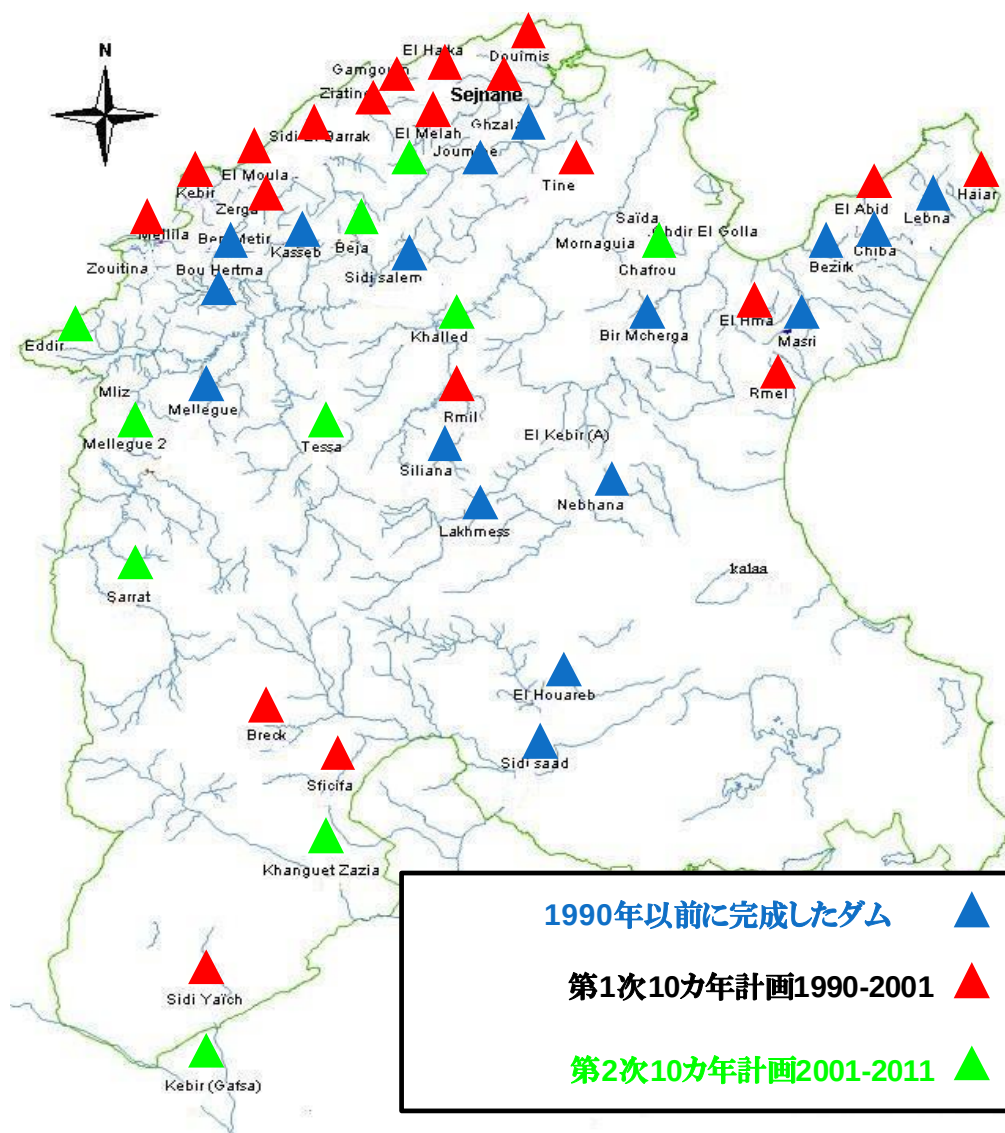
出典：国と地域の災害管理計画と災害委員会に関する法令第 942-1993 号（1993 年 4 月 26 日）および  
法令第 942～1993 号の修正に関する法令第 2723-2004 号（2004 年 12 月 21 日）



## 2.4.2 水資源セクターの上位計画

水資源計画は、以下の前述の水法に基づき、地域区分に合わせて3つの計画に分かれている。これらの計画は、ダムによる集水、パイプラインによる送水、配水、利用、利用可能な資源の開発のための整備に重点を置いている。1975年から農業省によって、それぞれの計画の具体化とサービスを実施している。図 2-32 はチュニジアの水資源開発計画に基づくダム開発状況である。

- 北部上水マスタープラン(Tunis, Bizerte et.)
- 中部上水マスタープラン(Sfax)
- 南部上水マスタープラン(Gabes, Ben Guerdène etc. )



出典：DGBGTH 提供資料

図 2-32 チュニジアにおけるダム開発状況

チュニジアの開発可能な水資源の総量は 4800 百万 m<sup>3</sup> と推計されており、それらを効率よく活用するためにダム・地下水井戸・貯水池の整備を計画・実施している。農業省が計画している全体の水資源の総量の開発状況の推移（表流水・地下水）を以下に示す。

表 2-15 全体の水資源の総量の開発状況の推移（1956~2020）

| 年                        | 1956                                                               | 1990                                                       | 2008                                                         | 2017                                                         | 2020                                                          |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 達成度 (%)                  | 8                                                                  | 57                                                         | 88                                                           | 90                                                           | 100                                                           |
| 集水量 (百万 m <sup>3</sup> ) | 500                                                                | 2600                                                       | 4100                                                         | 4300                                                         | 4800                                                          |
| 内容                       | -3 ダム<br>-Kebir, Mellegue,<br>-Beni Mtir<br>-550 簡易な井戸<br>-2000 井戸 | -17 ダム<br>-22 ヒルダム.<br>-83 湖.<br>-1800 簡易な井戸<br>-100000 井戸 | -29 ダム<br>-224 ヒルダム.<br>-827 湖.<br>-5017 簡易な井戸<br>-138000 井戸 | -37 ダム<br>-230 ヒルダム.<br>-950 湖.<br>-5300 簡易な井戸<br>-138000 井戸 | -41 ダム<br>-275 ヒルダム.<br>-1800 湖.<br>-6000 簡易な井戸<br>-138000 井戸 |

出典：DGBGTH 提供資料

また、近年のダムの開発状況を以下に示す。

表 2-16 近年のダムの開発状況

| 年                        | 2017 以前 | 2017                                                       | 2017                                                | 2020                                                                                                        |
|--------------------------|---------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 達成度 (%)                  | 74      | 85                                                         | 95                                                  | 100                                                                                                         |
| 集水量 (百万 m <sup>3</sup> ) | 2246    | 2412                                                       | 2809                                                | 2994                                                                                                        |
| 内容                       | -37 ダム  | 建設中のダム<br>-Douimiss<br>-Mellègue amont<br>-Saida<br>-Kalaa | 計画済みのダム<br>-Tessa<br>-Khalled<br>-Eddir<br>-Chafrou | 計画中のダム<br>-Siliana aval<br>-Belassoued<br>-Oued Raghai<br>-Ghezala (BV -<br>Bouhertma)<br>-Ouzafa (Siliana) |

出典：DGBGTH 提供資料

調査団に DGBGTH へのヒヤリング（2019）によると、これら運用中のダムの初期総容量が 2793 百万 m<sup>3</sup> に対して、調査時点において 2169 百万 m<sup>3</sup> となっていることが確認された。以下の示すダムにおいては堆砂の影響が大きく、特に本対象流域におけるシディサレムダムへの影響は全体の給水システムに多大な影響を及ぼす。

- ✓ Mellègue (1954, 建設年): 72 % (初期容量に対する堆砂割合, 2019)
- ✓ Sidi Salem (1981): 34 %
- ✓ Siliana (1987): 52 %
- ✓ Sidi Saad (1981): 36 %
- ✓ Nebhana (1965): 32 %

## 2.5 チュニジアにおける開発計画

### 2.5.1 チュニジアの長期国家開発計画

チュニジアでは経済発展と社会開発を効果的に進めるための指標を盛り込んだ国家開発計画を 5 年ごとに設定している。2016 年に公表された「国家開発計画 2016-2020」の政策軸の内、「良好な環境および天然資源の適正利用に向けた準備」において、水資源の有効活用を掲げている。そして、現在策定中の「国家開発計画 2023-2025」（コロナ禍による影響で 2 年の遅延、以下「3 か年計画」）でも引き続き、開発軸としてグリーン経済・循環型経済を支援することを検討している。なお、調査時点（2022.3）では本計画の検討事項として持続可能な水資源開発とシディサレムダムの課題および再生事業の関係性について議論が行われたことを確認している。

また、チュニジアにおける水資源分野における開発課題の研究のために、AfDB と KfW による共同出資による研究プロジェクト「EAU2050」（チュニジアにおける水分野の研究 2050）を 2019 年より実施中である。本研究では、2050 年までの短期・中期・長期な解決策を全世界的な視点で整理し、水分野における実施方針と戦略について提示することを目的に行われている。また、水資源分野に関わる管理者が政策決定や計画を行うために活用することも目的の一つである。

### 2.5.2 海外ドナー支援による水資源開発の動向

チュニジアにおける水資源開発では、各国や地域の国際機関の資金援助により、都市部や農村部の灌漑や上水システムのための集水、送水、輸送、配水、取水に関する水インフラの整備が進んでいる。主なチュニジアにおいて支援実績のある国際機関とその実績を以下に示す。

表 2-17 主なチュニジアにおいて支援実績のある国際機関

| 略称        | 国際機関            |
|-----------|-----------------|
| BM/BIRD   | 世界銀行/国際復興開発銀行   |
| KfW       | ドイツ復興金融公庫       |
| AFD       | フランス開発庁         |
| JICA/JBIC | 国際協力機構/国際協力銀行   |
| BAD       | アフリカ開発銀行        |
| BID       | イスラム開発銀行        |
| FADES     | 経済社会開発のためのアラブ基金 |
| FAD       | アブダビ基金          |
| FSD       | サウジアラビア開発基金     |
| FKD       | クウェート開発基金       |
| BEI       | 欧州投資銀行          |

出典：DGBGTH 提供資料

表 2-18 国際機関のチュニジアにおける支援実績

| 国際機関                     | Project name                                                                                                  | Loan amount        | Year of signing of the loan contract | Year of the loan closing |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| IBRD<br>世界銀行             | Drinking water supply of Sfax                                                                                 | 23 million USD     | 1974                                 | 1980                     |
|                          | Drinking water supply of Tunis Cape Bon                                                                       | 21 million USD     | 1977                                 | 1984                     |
|                          | Drinking water Supply of medium-sized cities and rural towns                                                  | 25 million USD     | 1979                                 | 1983                     |
|                          | Drinking water supply of rural centers                                                                        | 20 million USD     | 1994                                 | 2003                     |
|                          | Drinking water supply of Greater Tunis                                                                        | 29 million USD     | 1994                                 | 2003                     |
|                          | Urban drinking water supply                                                                                   | 31 million EUR     | 2005                                 | 2014                     |
| KfW<br>ドイツ復興金融公庫         | Drinking water supply of Ghomrassen, Tataouine and South shore of Bizerte                                     | 20 million DM      | 1979                                 | 1988                     |
|                          | Drinking water of the South of Tunisia                                                                        | 70 million DM      | 1980                                 | 1988                     |
|                          | Improving the quality of water in the South of Tunisia                                                        | 25 million EUR     | 2004                                 | 2014                     |
|                          | Construction of a seawater desalination plant in Jerba                                                        | 60 million EUR     | 2013                                 | 2017                     |
| ADB<br>アフリカ開発銀行          | Drinking water supply of the Sahel                                                                            | 5 million UA       | 1978                                 | 1987                     |
|                          | Supply drinking water to the Industrial Zone of GABES                                                         | 8 million UA       | 1979                                 | 1986                     |
|                          | Drinking water supply of the Cap Bon                                                                          | 19.2 million UA    | 1984                                 | 1990                     |
| IDB<br>イスラム開発銀行          | Strengthening of the production of drinkable water for the SAHEL and SFAX from the Northern waters            | 3.7 million USD    | 1997                                 | 2005                     |
|                          | Strengthening of the production of drinkable water for the SAHEL and SFAX from the Northern waters            | 19 million USD     | 1997                                 | 2005                     |
|                          | Strengthening of the primary supply system for the region of KAIROUAN and the SAHEL                           | 17 million USD     | 1999                                 | 2005                     |
| SDF<br>サウジアラビア開発基金       | Drinking water supply in the Sahel                                                                            | 160 million SR     | 1977                                 | 1985                     |
|                          | Supply of drinking water of the city of SFAX                                                                  | 161.5 million SR   | 1982                                 | 1995                     |
| KDF<br>クウェート開発基金         | Drinking water supply of Bizerte                                                                              | 7.8 million DK     | 1981                                 | 1988                     |
|                          | Drinking water supply of Greater Tunis                                                                        | 6,3 million DK     | 1987                                 | 1995                     |
| FADES<br>経済社会開発のためのアラブ基金 | Drinking water supply of GABES                                                                                | 3.3 million DK     | 1979                                 | 1986                     |
|                          | Drinking water supply in the Sahel                                                                            | 4 million DK       | 1983                                 | 1988                     |
| AFD<br>フランス開発庁           | Supply of drinking water in rural centres - Programme 1                                                       | 19.3 million EUR   | 1999                                 | 2003                     |
|                          | Supply of drinking water in rural centres - programme 2                                                       | 33 million EUR     | 2003                                 | 2010                     |
|                          | Supply of drinking water in the Sahel from the Kairouan                                                       | 25 million EUR     | 2002                                 | 2008                     |
|                          | Drinking water supply of rural areas                                                                          | 21 million EUR     | 2009                                 | 2014                     |
|                          | SONEDE Program to secure the capacity of production and supply of drinking water                              | 40 million EUR     | 2012                                 | 2015                     |
|                          | Drinking water supply of rural areas                                                                          | 20 million EUR     | 2013                                 | 2019                     |
| OECF<br>(Japan)          | Project for drinking water and sanitation in South Tunisia - Desalination plant for brackish water in Jerba   | 5991.8 million JPY | 1995                                 | 2002                     |
| JICA                     | Improvement of the drinking water service rate in rural areas of the governorate of Jendouba and part of Beja | 5412 million JPY   | 2006                                 | 2016                     |
|                          | Urban drinking water supply                                                                                   | 6094 million JPY   | 2012                                 | 2020                     |
|                          | Dealitation plant in Sfax                                                                                     | 36676 million JPY  | 2017                                 | 2024                     |
| EIB<br>欧州投資銀行            | Doubling of primary supply pipe between BELLI and SOUSSE                                                      | 60 million EUR     | 2001                                 | 2008                     |

出典：JICA 調査団

現在、DGBGTH では、STPCI プログラム（Water Strage and Transfer, Flood Protection）と呼ばれる北部地域の導水計画の見直しが検討されている。これは、既存の SPCI プログラム（Water Strage and Flood Protection）に導水パイプラインを追加したアップグレードされたプログラムであり、北部の既設ダムに導水パイプラインを追加して導水量を増加させることが目的である。

表 2-19 に STPCI プログラムの資金の内訳を示す。本プログラムでは、KfW の資金（洪水対策プロジェクトとしての有償、無償資金、ダムに関する有償）に加えて、EU や欧州投資銀行、韓国によるグリーンファンドが共同で出資して実施するプログラムである。各ドナーの出資しているプロジェクトについてを表 2-20 に示す。STPCI のうち、B: No regret measures は 116 百万 TND、C-3: OM3 – Nebhana 間の給水網強化は 639 百万 TND で「3 か年開発計画」では計約 755 百万 TND の実施を検討している。全体計画は 2035 年完成を目標としており、総額は 3218 百万 TND である。

表 2-19 STPCI 資金の内訳

| コンポーネント                                             |                                            |                                   | 総額            | 実施メニュー                                                                    |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                                     |                                            |                                   | TND           |                                                                           |
|                                                     | 1                                          | Flood Control Project U1+M and U2 | 377 327 068   | U1, U2, M ゾーンの河川改修（河道掘削）                                                  |
|                                                     | 2                                          | Raghai Dam                        | 191 345 083   | Raghai ダムの建設                                                              |
|                                                     | 3                                          | Raised Sidi Saad                  | 55 824 484    | Sidi Saad ダムの嵩上げ                                                          |
| A                                                   | SPCI Program total                         |                                   | 624 496 635   |                                                                           |
| B                                                   | Non regret Measures                        |                                   | 116 304 885   | ポンプ場と操作施設の改修、貯水池の建設・改修、Sejnene-OM3 間の給水能力の強化、小水力発電の改修、西 Sejnene 運河と排水路の改修 |
|                                                     | 1.a                                        | Barrage Melah Amount              | 291 720 000   | Melah 上流ダム建設                                                              |
|                                                     | 1.b                                        | Melah Amount-Sejnene              | 121 264 000   | Sejnene 運河への重力式送水網の整備                                                     |
|                                                     | 2                                          | Sejnene - Bejaoua                 | 876 425 264   | Sejnene – Bejaoua 間の給水網の強化（ポンプ場・パプラインの整備）                                 |
|                                                     | 3                                          | Bejaoua - Nebhana                 | 639 437 656   | Bejaoua - Nebhana 間の給水網の強化（ポンプ場・パプラインの整備）                                 |
|                                                     | 4                                          | Nebhana - Sidi Saad               | 548 606 344   | Nebhana - Sidi Saad 間の給水網の強化（ポンプ場・パプラインの整備）                               |
| C                                                   | Total transfert + Melah dam Upstream (1~4) |                                   | 2 477 453 264 |                                                                           |
| D                                                   | Complement BouHeurtema                     |                                   | 29 616 446    | BouHeurtema ダムの改修                                                         |
| E                                                   | Supplement for CMCB2                       |                                   | 23 742 742    | MCB 運河の改修                                                                 |
| Cost for STPCI (A. PCI + B. Melah A + C. Transfert) |                                            |                                   | 3 218 254 784 |                                                                           |

出典：DGBGTH

表 2-20 各プロジェクトの支援ドナーの内訳

| コンポーネント                                             |                                     |                      | 総額            | Source of funding in millions of euros |      |             |            |         |     |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------|----------------------------------------|------|-------------|------------|---------|-----|
|                                                     |                                     |                      | TND           | KfW.<br>pci                            | KfW  | KfW.<br>don | UE.<br>don | f. vert | BEI |
|                                                     | 1                                   | PCI U1+M et U2       | 377 327 068   | 94.6                                   |      |             |            |         |     |
|                                                     | 2                                   | Raghai Dam           | 191 345 083   |                                        | 51.1 |             |            |         |     |
|                                                     | 3                                   | Raised Sidi Saad     | 55 824 484    | 10                                     | 4    |             |            |         |     |
| A                                                   | SPCI Program total                  |                      | 624 496 635   |                                        |      |             |            |         |     |
| B                                                   | Non regret Measures                 |                      | 116 304 885   |                                        | 30   |             |            |         |     |
|                                                     | 1.a                                 | Barrage Melah Amount | 291 720 000   |                                        |      |             |            |         |     |
|                                                     | 1.<br>b                             | Melah Amount-Sejnene | 121 264 000   |                                        |      |             |            |         |     |
|                                                     | 2                                   | Sejnene - Bejaoua    | 876 425 264   |                                        |      |             |            | 100     | 127 |
|                                                     | 3                                   | Bejaoua - Nebhana    | 639 437 656   |                                        |      | 73.3        | 40         |         |     |
|                                                     | 4                                   | Nebhana - Sidi Saad  | 548 606 344   |                                        |      |             |            |         |     |
| C                                                   | Total transfert + Melah dam Upsream |                      | 2 477 453 264 |                                        |      |             |            |         |     |
| D                                                   | Complement BouHeurtema              |                      | 29 616 446    | 6.4                                    |      |             |            |         |     |
| E                                                   | Supplement for CMCB2                |                      | 23 742 742    |                                        | 5.2  |             |            |         |     |
| Cost for STPCI (A. PCI + B. Melah A + C. Transfert) |                                     |                      | 3 218 254 784 | 104.6                                  | 85.1 | 73.3        | 40         | 100     | 127 |

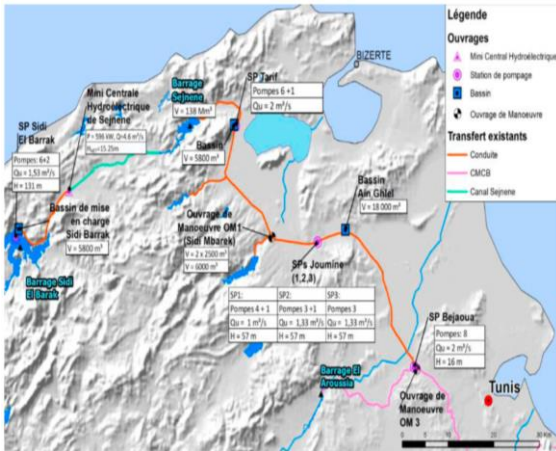
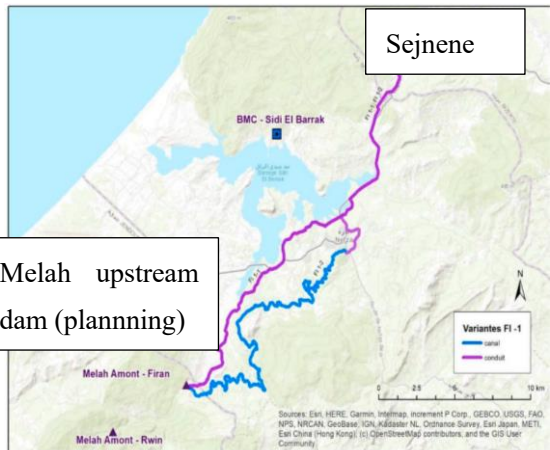
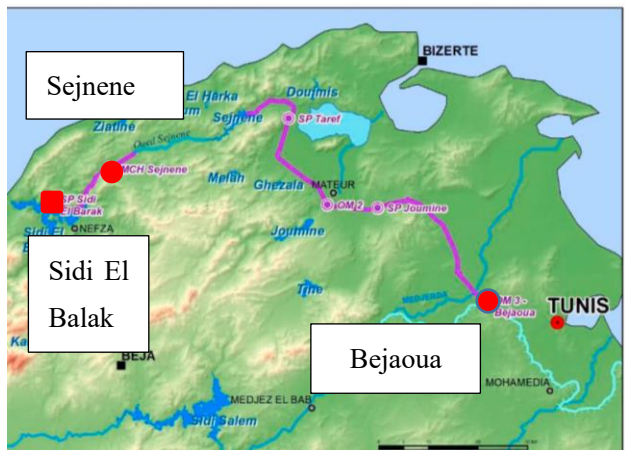
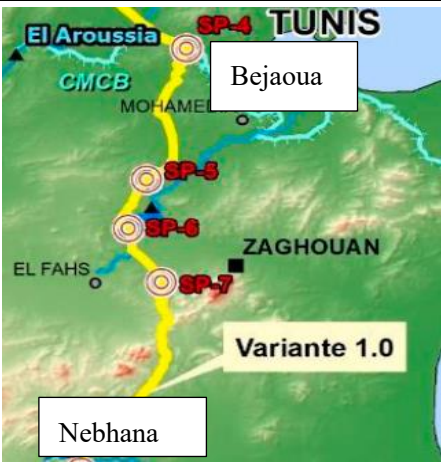
\*pci: flood contorol project, don: donation, UE, European Union, f.vert: Green fund from Korea, BEI: European Investment Bank

出典：DGBGTH 提供資料



STPCI プログラムのうち、2023-2025 年の 3 か年計画で予定されているメニューを表 2-21 に示す。

表 2-21 STPCI プログラム各メニューの計画図

|                                                                                     |                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                                                                             |
| No regret measures (優先対策)                                                           |                                                                                                                                                             |
|   |                                                                          |
| <p>1. a. Melah 上流ダムの建設</p> <p>1. b. Sejnene 水路への給水網の整備</p>                          | <p>2. 給水能力の強化</p> <p>a) Sidi El Balak- Sejenene 間で <math>4\text{m}^3/\text{s}</math></p> <p>b) Sejnene – Bejaouda 間で <math>10\text{m}^3/\text{s}</math></p> |
|  |                                                                         |
| <p>3. Bejaoua – Nebhana ダム間で <math>4\text{m}^3/\text{s}</math> の給水能力の強化</p>         | <p>4. Nebhana ダム-Sidi Saad ダム間で <math>4\text{m}^3/\text{s}</math> の給水能力の強化</p>                                                                              |

出典：DGBGTH 提供資料



### 2.5.3 本邦及び国際機関支援による洪水対策事業

メジェルダ川流域でドナー支援により実施されている洪水対策事業を表 2-22 に示す。

メジェルダ川における洪水対策事業は、JICA をはじめとする国際協力の支援によりダム事業や河川事業等が進められてきた。近年の洪水対策事業としては、2000 年以降の洪水を受けて JICA により 2006 年～2008 年にかけて開発調査「メジェルダ川総合流域管理計画調査」が実施され、そのなかでメジェルダ川の洪水対策マスタープラン（以下、M/P と呼ぶ）が策定された。

その後、同 M/P の優先事業について 2010 年～2012 年に協力準備調査である「メジェルダ川に係る気候変動影響を考慮した総合流域管理・洪水対策検討調査」が実施された。同調査と並行して実施された「メジェルダ川流域気候変動影響評価」（以下、両業務を総称して F/S と呼ぶ）では、シディサレムダム下流域の計画高水流量配分を再度検討し、D2 ゾーンの洪水対策を提案している。D1 および D2 ゾーンの流量配分は、M/P 時点から若干変更されており、より新しい情報、より流域の特性に合わせた解析モデルによるものとなっている。しかしながら F/S では、シディサレムダム上流域に位置する U1、M、U2 ゾーンの計画高水流量配分については再検討されていない。

一方、ドイツ復興金融公庫（以下 KfW）により、上流部の U1 ゾーンの洪水対策事業の検討が始められており、その基本条件としての計画高水流量はこれまで日本が進めてきた流域全体の治水計画と整合する必要がある。このためにも流域全体の計画高水流量の検討を早期に実施する必要がある。なお、F/S に基づき、最下流の D2 ゾーン洪水対策事業は、2016 年に締結された円借款により実施されている。現在は、施工業者契約が締結済みである。

表 2-22 既往の海外支援ドナーによる洪水対策事業

| 実施年       | 種類                 | 名称                                                                                                                                | 支援元        |
|-----------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1977      | Loan               | Funding construction project for Sidi Salem Dam                                                                                   | World Bank |
| 1997      | Loan               | Flood Control Project in Urban Areas                                                                                              | JICA       |
| 2005      | Study              | Greater Tunis Flood Control Study Phase 1                                                                                         | JICA       |
| 2006-2008 | Development Survey | The Study on Integrated Basin Management Focused on Flood Control in Mejerda (M/P)                                                | JICA       |
| 2007      | Loan               | Greater Tunis Flood Control Project                                                                                               | JICA       |
| 2010-2013 | Feasibility Study  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Development of Flood Prevention Measure</li> <li>Climate Change Impact Analysis</li> </ul> | JICA       |
| 2012      | Feasibility Study  | Study for Protection Against Floods in Northern and Western part of Tunis                                                         | AfDB       |
| 2016-2025 | Loan               | Flood Control Project in D2                                                                                                       | JICA       |
| 2017      | Loan               | Improvement of Larroussia Dam                                                                                                     | KfW        |
| 2019～     | FS/Loan            | River Improvement Work in U1 and U2 Zone                                                                                          | KfW        |

出典：JICA 調査団

## (1) メジェルダ川流域のマスタープラン概要

以下に JICA 支援により検討された洪水 M/P の概要について述べる。

### 1) マスタープランの基本方針

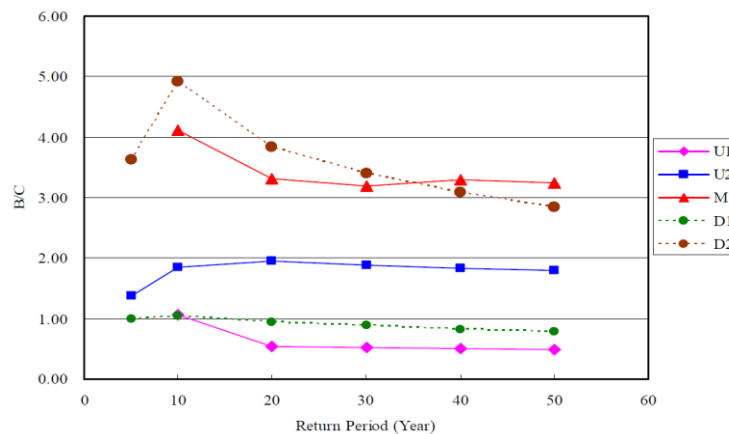
M/P の計画目標年次は、2030 年と設定されており、M/P の基本方針は以下のとおりである。

- 包括的な洪水防御は統合洪水管理の基本概念に基づき、現実的かつ実践的な対策を提案する。
- 水供給リスクと洪水防御リスクとがトレードオフの関係となるため、メジェルダ川流域の洪水防御計画は、水供給の安全度を確保するための水利用計画との調和を図る。
- 洪水からの完全な防御は技術的に実現不可能であり、また経済面や環境面でも現実的ではない。洪水対策は洪水被害の軽減を目的とすべきであり、そのためには構造物対策と非構造物対策との適切な組み合わせが重要となる。
- 洪水対策は、洪水のリスクや被害に対する洪水氾濫地区の住民の期待と調和のとれたものとするべきである。

### 2) 治水安全度

D1 ゾーンで目標とする治水安全度については、マスタープランを踏襲するものとする。マスタープランでは、以下に示すように、治水安全度別の B/C を算定し、B/C が最大となる安全度を採用している。

各ゾーンの B/C と治水安全度の関係を図 2-33 に示す。検討結果より D1 ゾーンの目標治水安全度は 1/10 年確率規模となる。なお、D1 ゾーンの 1/10 年確率規模の B/C の比率は、1.0 を超えている。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2008)

図 2-33 2008 年マスタープランの各ゾーンの便益-費用比率 (B/C)

### 3) マスタープランで提案された洪水対策事業

M/P では、計画目標年次である 2030 年までに洪水対策事業の確実かつ適切な効果を実現させるために、洪水対策マスタープランでは以下の構造物対策および非構造物対策プロジェクトが提案された。

(a) 構造物対策：メジェルダ川の沿川の市町村地域及び農地を計画高水以下の洪水に対して防御する。

- 河川改修プロジェクト：計画高水までを河川から越流させず安全に流下させる  
チュニジア国内のメジェルダ川流域は 15,830km<sup>2</sup> と広大な面積を有しており、河川改修プロジェクトでは D2、D1、U2、U1+M の 4 ゾーンに分割して実施することを提案している。D2、D1、U1+M ゾーンは 1/10 年確率規模の洪水流量が、また、U2 ゾーンは 1/20 年の規模洪水流量がそれぞれ治水安全度として採用された。メジェルダ川流域の河川改修プロジェクトは、河道改修、El Mabtouh 遊水地、Medjez el Bab 市及び Bou Salem 市でのバイパス水路から構成され、その主要諸元を以下に示す。
- 貯水池洪水調節機能強化プロジェクト：7 箇所の既設および将来整備される貯水池（シディサレム、メレゲ2、シリアナ、その他）について相互の連携運用も図りながら洪水調節の方法を改善して下流河道での洪水ピーク流量の最小化を図る。

表 2-23 マスタープランの洪水防御事業

| River Improvement Works                               |              | Unit           | D2      | D1      | U2      | U1+M    |
|-------------------------------------------------------|--------------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| <b>I. Improvement of Mejerda River</b>                |              |                |         |         |         |         |
| 1) Embankment                                         |              |                |         |         |         |         |
| a) Length                                             |              | km             | 55.9    | 70.6    | 67.5    | 12.6    |
|                                                       | (Left bank)  | km             | 29.4    | 36.7    | 34.8    | 6.5     |
|                                                       | (Right bank) | km             | 26.5    | 33.9    | 32.7    | 6.1     |
| b) Height                                             |              | m              | 0.5-2.5 | 0.5-2.5 | 2.5-4.5 | 1.0-3.0 |
| 2) Channel excavation/widening                        | Length       | km             | 63.8    | 81.2    | 42.7    | 61.1    |
| 3) Sluice gate                                        |              | nos.           | 47      | 72      | 42      | 6       |
| 4) Renewal of existing steel bridge/aqueduct          |              | site           | 3       | 1       | 1       |         |
| 5) Raising of existing railway bridge                 |              | site           | 1       |         |         |         |
| <b>II. Construction of El Mabtouh Retarding Basin</b> |              |                |         |         |         |         |
| 1) Inlet channel                                      |              | km             | 11.9    |         |         |         |
| 2) Outlet channel                                     |              | km             | 7.8     |         |         |         |
| 3) Surrounding dike                                   | Length       | km             | 10.1    |         |         |         |
|                                                       | Height       | m              | 2.0-4.0 |         |         |         |
| 4) Design storage capacity                            |              | m <sup>3</sup> | 50 mil. |         |         |         |
| <b>III. Construction of Bypass Channel</b>            |              |                |         |         |         |         |
| 1) Bypass channel                                     | Length       | km             |         | 4.5     | 7.7     |         |
| 2) Channel bottom width                               |              | m              |         | 15      | 25      |         |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2008)

(b) 非構造物対策：超過洪水発生時の減災ならびに構造物対策による洪水防御効果の确实かつ持続的な発現を図る。

- 既存洪水予警報システム（FFWS）強化プロジェクト：貯水池洪水調節機能強化プロジェクトおよび避難・水防体制強化プロジェクトを効率的、効果的に展開するために必要となる早期の洪水情報の提供を行う事業である。
- 避難・水防体制強化プロジェクト：洪水による人的被害を避け、また資産被害を最小限に抑える事業である。
- 組織能力開発プロジェクト：提案された洪水対策を計画・設計から維持管理まで効果的に実施できるように実効性の高い統合された実施体制を構築する事業である。
- 洪水氾濫原規制・管理プロジェクト：メジェルダ川の沿川の低平地における超過洪水による洪水リスクおよび被害の最小化を図る事業である。

4) 全体実施スケジュール

マスタープラン全体の実施スケジュールは以下の通りである。

表 2-24 全体実施スケジュール

| Schemes of Master Plan                                       | Agency     | Planning Period |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------------------------------|------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|
|                                                              |            | 2008            | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |  |  |  |  |  |  |
| Study on M/P                                                 |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| Preparatory activities*                                      |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| (1) Structural Measures                                      |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| 1) Strengthening flood control function of reservoirs        | MARH       |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| 2) River improvement                                         | MARH/MEHAT |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| - D2 (River Mouth-Laroussia Dam)                             |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| - D1 (Laroussia Dam-Sidi Salem Dam)                          |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| - U2 (Sidi Salem Dam-M/M Confl.**)                           |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| - U1+M (M/M Confl.*- National Boundary w/Algeria)            |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| (2) Non-structural Measures                                  |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| 1) Strengthening FFWS                                        | MARH       |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| 2) Strengthening evacuation & flood fighting system          | MOI        |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| 3) Organizational capacity development                       | MARH       |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| - First stage: Establishment of permanent division/direction |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| - Second stage: Pilot project                                |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| - Third stage: Establishment of O&M agency                   |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| 4) Flood plain regulation/management                         | MARH       |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |
| National Development Plan                                    |            |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |

Notes: \* including Feasibility & Detailed Studies, fund arrangements, procurement of consulting services, etc. \*\* M/M Confl.=Mejerda-Mellegue Confluenc

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2008)

## 5) 事業費

マスタープランの想定事業費の概要は下表に示すとおりである。

表 2-25 事業費概要

| (1) Structural measures                                                                         |                     |                     | (2) Non-structural measures                           |                     |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Projects                                                                                        | 10 <sup>3</sup> TND | 10 <sup>6</sup> Yen | Projects                                              | 10 <sup>3</sup> TND | 10 <sup>6</sup> Yen |
| 1) Strengthening flood control function of reservoirs                                           | 5,772               | 527                 | 1) Strengthening existing FFWS                        | 5,592               | 510                 |
| 2) River improvement                                                                            | 553,785             | 50,502              | 2) Strengthening evacuation and flood fighting system | 2,910               | 2,485               |
| - D2 Zone                                                                                       | 133,574             | 12,181              | 3) Organizational capacity development                | 7,135               | 651                 |
| - D1 Zone                                                                                       | 173,657             | 15,837              | 4) Flood plain regulation/management                  | 5,238               | 478                 |
| - U2 Zone                                                                                       | 186,475             | 17,005              |                                                       |                     |                     |
| - U1+M Zone                                                                                     | 60,079              | 5,479               |                                                       |                     |                     |
| Total of (1)                                                                                    | 559,557             | 51,029              | Total of (2)                                          | 20,875              | 1,904               |
| Grand total: (1) + (2) = 580,432 10 <sup>3</sup> TND (equivalent to 52,933 10 <sup>6</sup> Yen) |                     |                     |                                                       |                     |                     |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2008)

## 6) 洪水対策事業の経済評価

各ゾーンにおける個別事業および全体事業の経済的内部収益率（EIRR）は、下表に示すとおりに算定された。EIRR は 12.0%～33.7%で、全てがチュニジアで一般的に使用されている社会的割引率である 12%を越える結果となった。また、12%の割引率を使用して算出された経済的純現在価値（ENPV）および費用便益比率（B/C）は、それぞれ 0 および 1 を越える結果となった。

表 2-26 経済評価結果

|                            | Zone D2 | Zone D1 | Zone U2 | Zone U1+M | Whole Projects |
|----------------------------|---------|---------|---------|-----------|----------------|
| EIRR (%)                   | 33.7    | 20.5    | 14.6    | 12.1      | 25.0           |
| ENPV (10 <sup>6</sup> TND) | 230.31  | 19.96   | 13.60   | 0.29      | 264.16         |
| B/C ration                 | 5.83    | 2.73    | 1.28    | 1.01      | 3.04           |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2008)

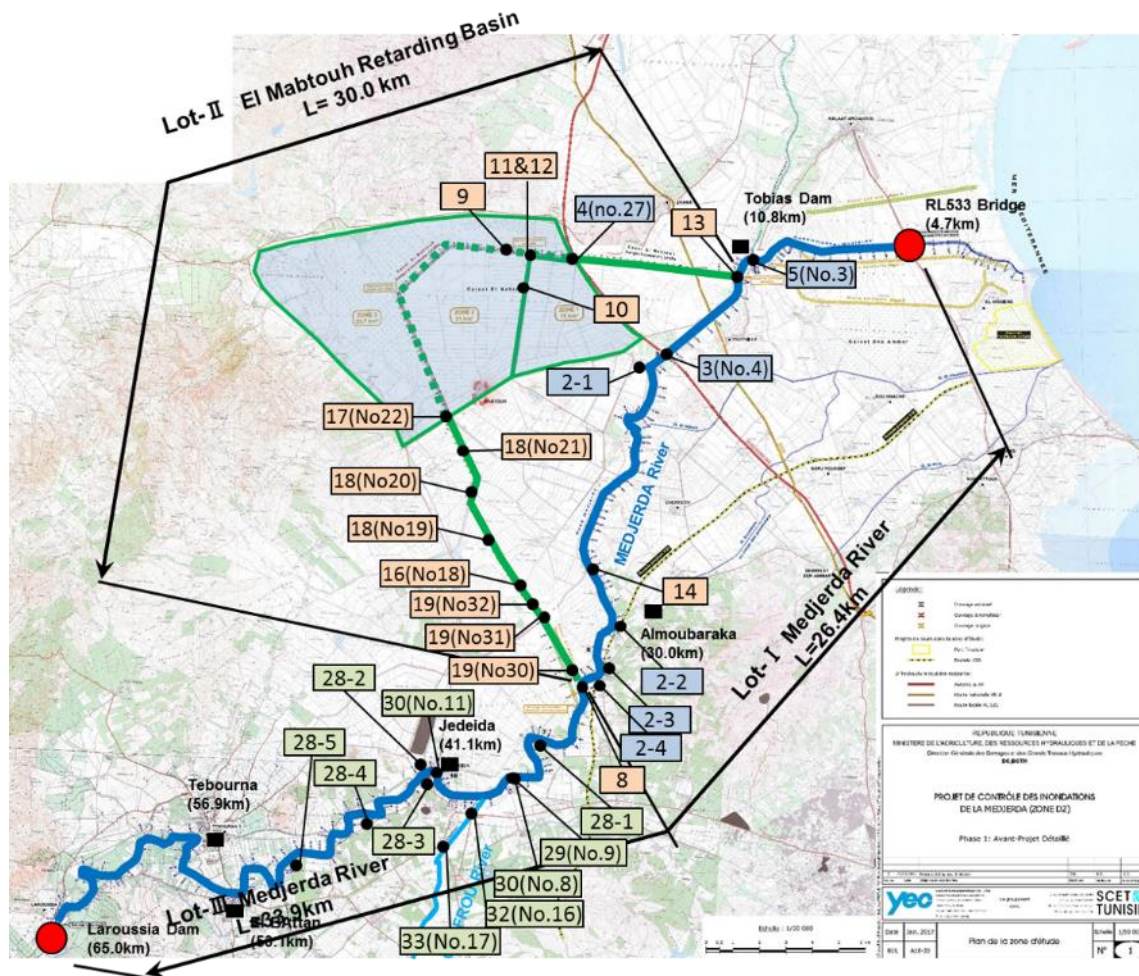


## (2) D2 ゾーンの河川事業の概要

以下に、現在 JICA 支援により実施中のメジェルダ川下流区間の河川改修事業について述べる。

### 1) D2 ゾーンの対象区間

協力準備調査 (F/S) は、2010 年～2012 年にかけて実施されており、シディサレムダム下流域の計画高水流量配分を再度検討し、D2 ゾーンの洪水対策を提案している。なお、F/S に基づいた D2 ゾーン洪水対策事業については 2016 年に締結された円借款により事業が実施されている。現在は施工業者選定が終了した。D2 ゾーンの洪水対策事業では、EL Mabtough 遊水地とバイパス排水路、及び河道改修の組合せによる構造物対策が実施されている。D2 ゾーンの河道流路延長は 64.97km である。D2 ゾーンの洪水対策事業の概要を以下に示す。

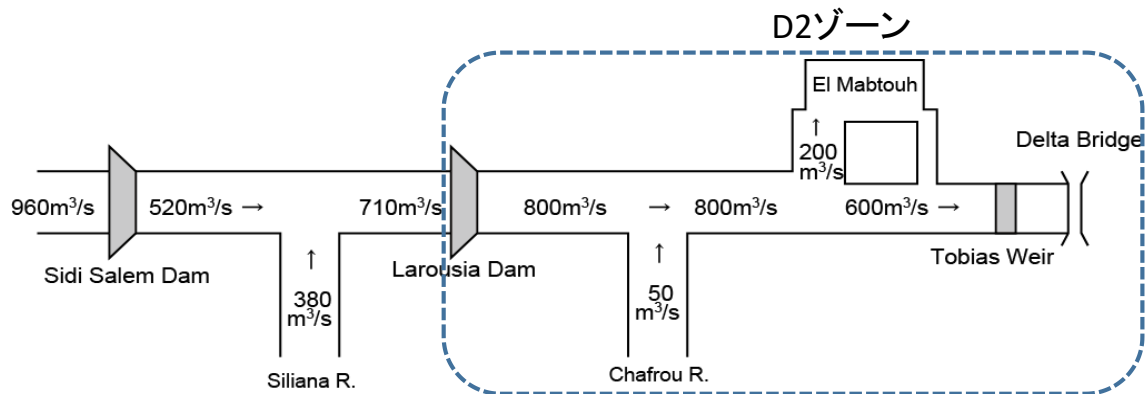


出典：JICA 調査団

図 2-34 D2 ゾーンの洪水対策事業の概要

## 2) 事業規模

D2 ゾーンの洪水対策事業では、下流にある Jedeida 地域、Tebourba 地域、および沿川の農地での浸水被害を防ぐために河川改修を実施するものである。河川改修を対象とする区間は、デルタ橋から上流のラルーシアダムまでの 64.97km である。対象区間の設計高水流量は、 $800\text{m}^3/\text{s}$  である。 $800\text{m}^3/\text{s}$  のうち、 $200\text{m}^3/\text{s}$  は、EL Mabtouh 遊水地に貯留される計画である。設計規模を超える超過洪水、地球温暖化による大規模な洪水に対しては、ダム管理システム、洪水予警報システム等を設置して、河川改修と並行して実施する必要がある。



出典：メジェルダ川に係る気候変動影響を考慮した総合流域管理・洪水対策検討調査(F/S), JICA(2012)

図 2-35 D2 ゾーン的设计高水流量配分図 (1/10 年確率規模)

## 3) 洪水対策

### (a) 河川改修及び遊水地の組合せによる構造物対策

河川改修は、1/10 年確率規模に相当する洪水流量（ $600\sim 800\text{m}^3/\text{s}$ ）を安全に流下させる断面を確保するものとする。構造物対策としては、主に堤防工事や河道掘削等の河川改修工事、遊水地工事、および放水路工事となる。

### (b) 非構造物対策

非構造物対策は、超過洪水や気候変動への対応策として、構造物対策と合わせて実施する。



### (3) ラルーシアダムの改修事業概要

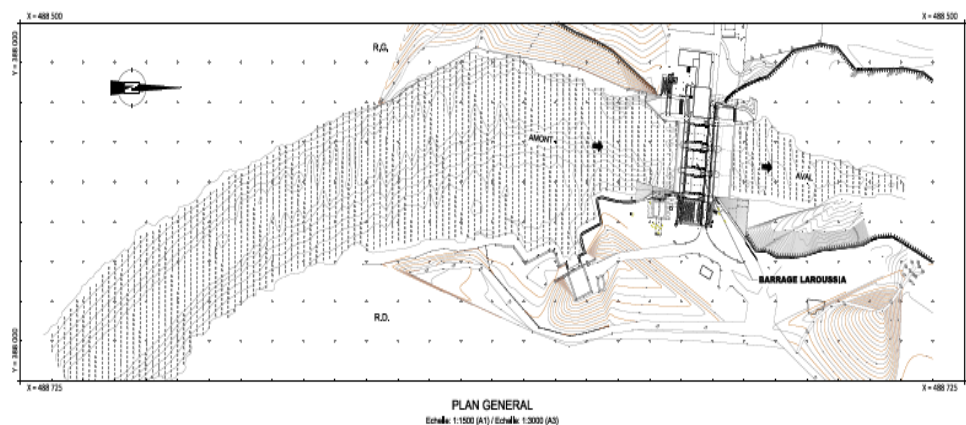
#### 1) 現状

ラルーシアダム (Laroussia dam) は 1957 年に完成した灌漑用水・上水用水・発電用水 (irrigation, domestic water, power generation) を目的としたダムであり、1957 年から運用を開始した。ラルーシアダムは、図 2-36 に示すように Tebourba から約 10km 上流に位置する。ラルーシアダムは、堤高 42 (m.NGT)、堤頂長 106.3m、鋼製テンターゲート (3 ゲート幅 15m) 式のダムである。発電出力 (Generating Power) は、4,900kVA である。ダム上流左岸には、Medjerda - Cap Bon 水路、4,000ha の Chouigui 地区の灌漑用水取水口が設置されている。ダム上流右岸には、32,000ha の Lower Mejerda Valley 地区の灌漑用水のため、取水口(13m<sup>3</sup>/s)が設置される。ラルーシアダムの概要 (位置図、平面図、横断面図) を以下に示す。



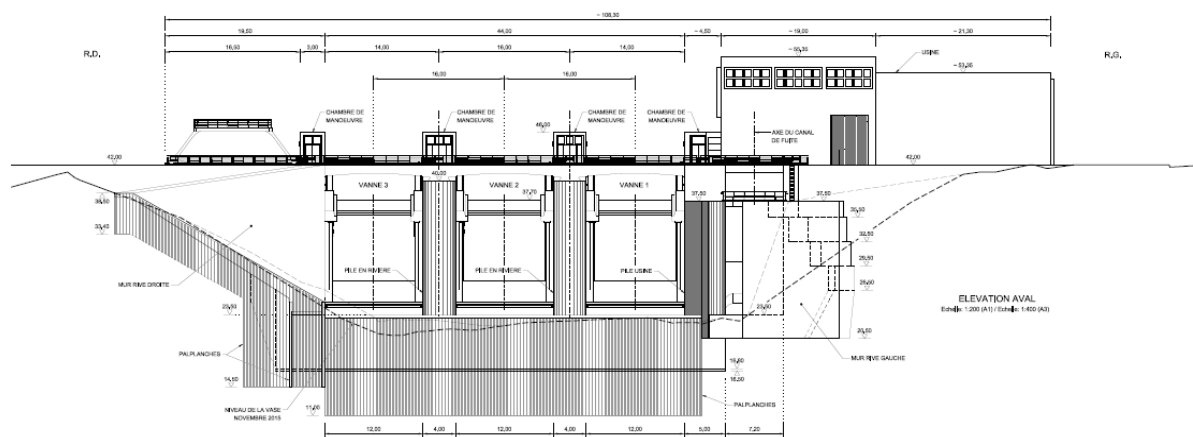
出典：ラルーシアダムの改修計画、kfw(2017)

図 2-36 ラルーシアダムの位置図



出典：ラルーシアダムの改修計画、kfw(2017)

図 2-37 ラルーシアダムの平面図



出典： ラルーシアダムの改修計画、kfw(2017)

図 2-38 ラルーシアダムの横断図（下流より）

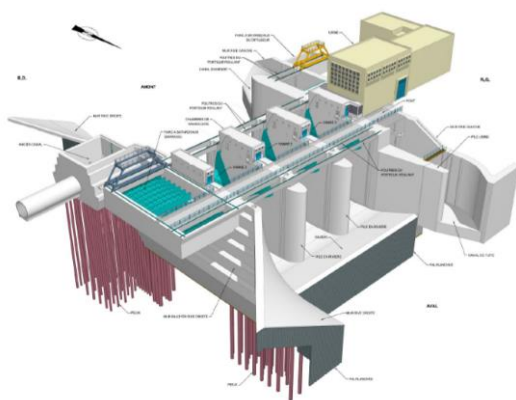
## 2) 改修事業

1957 年に運用を開始して 60 年以上を経過したラルーシアダムは、2017 年にドイツ復興金融公庫（KfW）によりダム耐用年数の延長や安全性を確保するために改修事業の計画が策定された。改修事業では、管理室、取水施設の改修やダム本体の補強等の大幅な工事が実施される。改修事業の全体スケジュールは、36 ヶ月であり、改修事業費用及び改修内容は以下のとおりである。

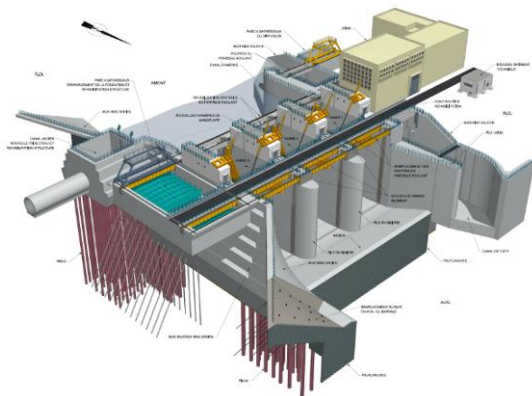
表 2-27 ラルーシアダムの改修事業費用

| Work and Supply Package                            | Amount (€) | Taxes (€) | ATI (€)    |
|----------------------------------------------------|------------|-----------|------------|
| 100 Site Facilities                                | 460,000    |           |            |
| 200 Geotechnical Rehabilitation                    | 2,175,741  |           |            |
| 300 Infrastructure construction and rehabilitation | 3,769,490  |           |            |
| 400 Hydromechanics equipment rehabilitation        | 6,876,000  |           |            |
| 500 Electrical equipment rehabilitation            | 338,625    |           |            |
| 600 Installation of the auscultation system        | 180,980    |           |            |
| 700 Training for the Dam Staff                     | 220,000    |           |            |
| Total                                              | 14,020,836 | 2,523,750 | 16,544,586 |

出典： ラルーシアダムの改修計画、kfw(2017)



ラルーシアダムの現状



ラルーシアダムの改修後のイメージ

出典： ラルーシアダムの改修計画、kfw(2017)

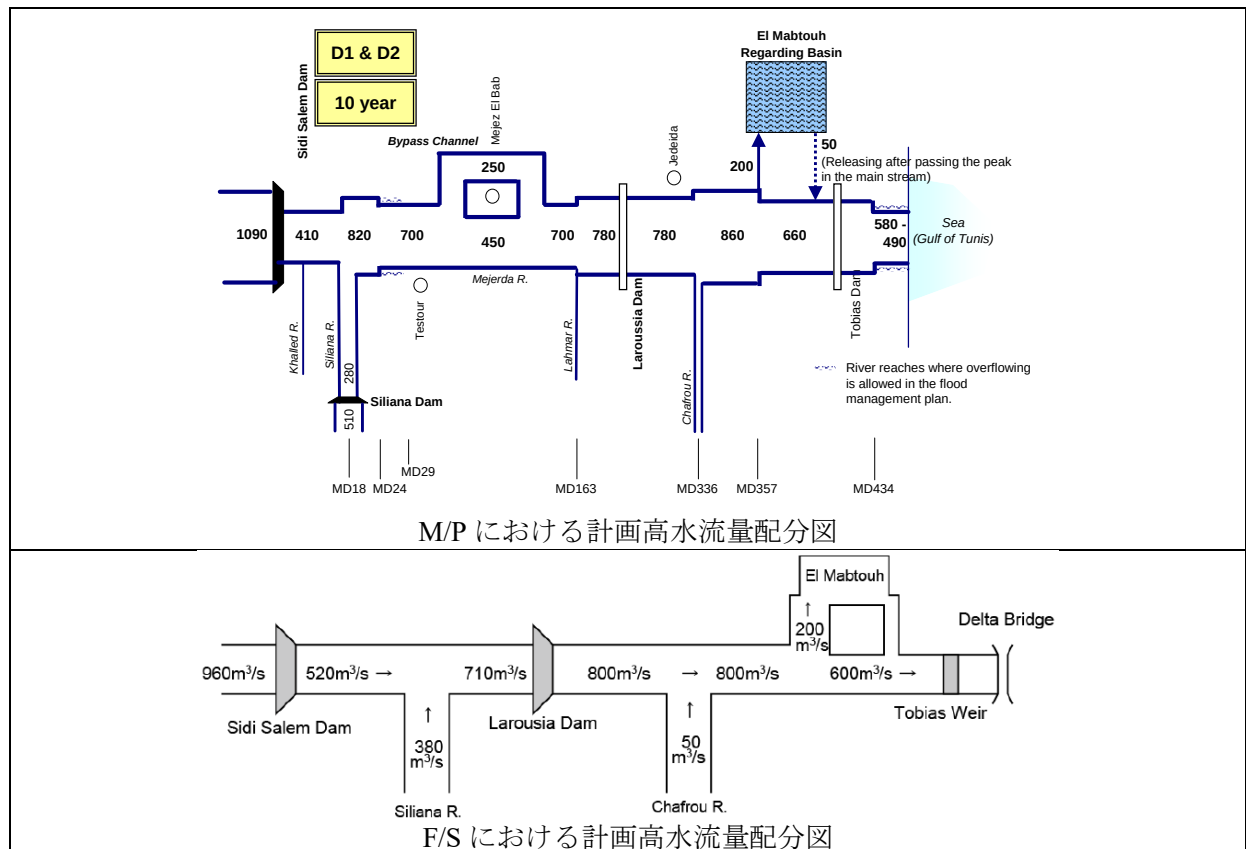
図 2-39 ラルーシアダムの改修概要

### 第3章 水理・水文解析

#### 3.1 水文条件の概要

##### 3.1.1 背景と目的

2006 年から 2008 年にかけて実施された開発調査「メジェルダ川総合流域管理計画調査」(JICA) にてメジェルダ川の洪水対策マスタープラン (以下 M/P) が策定された。その後、2010 年から 2012 年に協力準備調査である「メジェルダ川にかかる気候変動影響を考慮した総合流域管理・洪水対策検討調査」(JICA) および「メジェルダ川流域気候変動影響評価」(JICA) が実施され (両業務をあわせて F/S)、シディサレムダム下流域の計画洪水流量配分が再度検討された。M/P 時点から若干変更がされている。図 3-1 にシディサレムダムより下流における M/P および F/S の計画洪水流量配分図を示す。現在、最下流の D2 ゾーンの河道改修事業は、F/S で再度検討された計画洪水流量配分に基づいている。一方、シディサレムダムより上流区間については、F/S で検討されていない。その後、2018 年 11 月に「メジェルダ川洪水対策事業にかかる案件実施促進調査 (SAPI)」(JICA) が実施された。



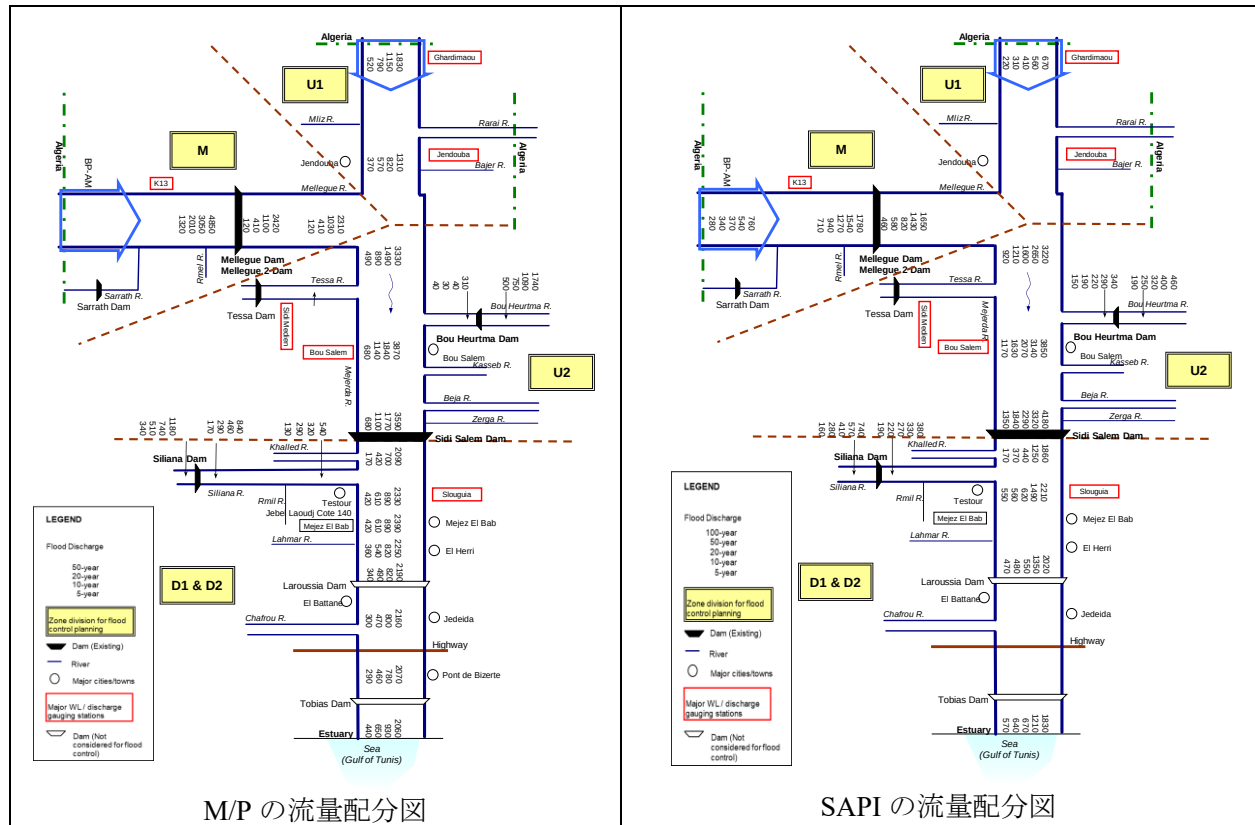
出典：M/P (2009) および F/S (2013) 報告書

図 3-1 M/P および F/S のシディサレムダム下流の計画高水流量配分図

M/P では、HEC-HMS と MIKE-BASIN モデルを用いており、F/S では、WEB-DHM というモデルを用いており、流出解析手法が異なっている。また、F/S ではメジェルダ川上流域の大半を占めるアルジェリア側の降雨に、チュニジア国内の国境付近の降雨観測データをティーセンポリゴンで外挿して検討しているなど、手法や条件の整合がされていない点があった。

ドイツ復興金融公庫 (KfW) により、上流部の U1 ゾーンの洪水対策事業の検討が開始されており、流域全体での一貫した治水計画策定のためには、合理的な計画洪水流量配分を設定することが求められている。

本検討では、水文・流出解析において、妥当性の高い手法を検討し、より合理的な計画流量配分を流域全域で設定することを目的としている。図 3-2 に M/P および SAPI の流量配分図を示す。



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査 (SAPI), JICA(2018)

図 3-2 M/P および SAPI の流量配分図

### 3.1.2 実施方針

より合理的な流量配分を検討するために、既往検討の M/P、F/S および SAPI を踏まえ、以下の方針で検討を実施する。

- **アルジェリア側の降雨記録に再解析値を利用する：** 再解析値である WFDEI (WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim data) を用いる。0.5 度解像度のグリッド・データであるため、観測所データと直接比較できないが、流出解析のための分割流域のような空間範囲を持った流域平均降雨への利用は、ある程度の精度が期待できる。アルジェリアの降雨観測記録が入手できない状況では、次善の策としては、適用可能と判断した。さらに、WFDEI データは 3 時間ピッチとなっており、チュニジア側の日降雨観測データを WFDEI の 3 時間データでの重み付けにより、推定の 3 時間降雨に変換することにも利用できる。
- **蒸発散を考慮した解析の実施：** WFDEI では、降雨以外にも気温、比湿、気圧、短波放射量、風速データが取得できる。これらより、蒸発散量を推定することが可能となる。メジェルダ川は、年間平均降雨量がおおよそ 500mm に対して、年間平均の可能蒸発散能が 1,200mm となる。そのため、降雨のない期間での土壌の湿潤状況の変化が激しいことが予想される。この結果、同じ

降雨量でも流出量が大きく異なることが予想される。これは、計画洪水流量設定においても、不確実性の重要な要因となる。

- **HEC-HMS モデルの適用：** 本調査では、チュニジア側が慣れ親しんでおり、本検討過程の理解のしやすさや、モデルの共有の点がより高いことを重視し、HEC-HMS モデルを用いることとした。また、実績洪水波形に合わせるために実施する、モデルパラメータのキャリブレーションが簡便であり、高い適合性を十分に確保できている。HEC-HMS モデルは、KfW（ドイツ復興金融公庫）が実施中のシディサレムダム上流域の U1・U2 ゾーンでの F/S および D/D でも用いられており、また、アルジェリア大学でもメジェルダ川の解析に HEC-HMS を用いている。HEC-HMS は、アメリカ陸軍工兵隊が無償公開しているソフトウェアであり、入力データ作成、出力データの整理などのインターフェイスが充実している。そのため、本検討成果をチュニジア側に供与することで、将来的に計画洪水流量配分決定モデルに基づいた追加検討をチュニジア側が独自に実施できるなど、技術協力の点で優位性が高い。

### 3.1.3 水文資料の収集と分析のための加工

#### (1) 気象・水文データ

メジェルダ川流域および隣接流域の気象・水文データは、農業水資源省及び気象庁から収集した。農業水資源省では、水資源局とダム及び大規模水利施設局が関連データを保有している。主要収集データは、気象データ、日・時間雨量、日・時間流量である。収集した雨量・流量データは精査して信頼性を確認した上で解析に利用した。

#### (2) 再解析値データ WFDEI

気象観測記録の入手ができないアルジェリア側をカバーすること、また、3 時間間隔のデータが洪水のような短時間の気象情報を必要とする解析に有利となることから、代表的な再解析値である WFDEI を利用した。収集したデータ変数は、以下の通りである。

- 地上 2m の気温
- 下向き短波放射フラックス
- 降雨量
- 地表面気圧
- 地上 2m の比湿
- 地上 10m の風速

入手可能な全期間（35 年間）のデータ(1979 年~2013 年)を収集した。

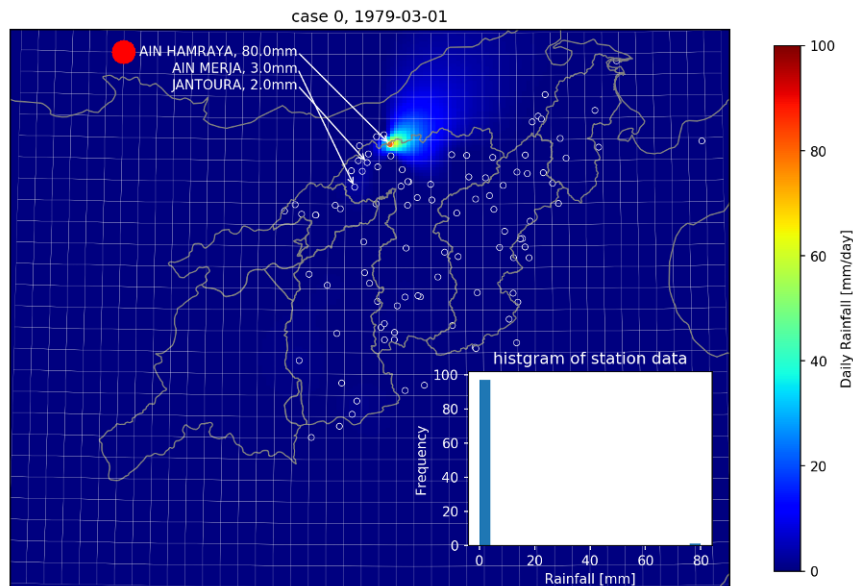
#### (3) 降雨観測データの収集と分析のための加工処理

##### 1) 異常値の除外

メジェルダ流域内、その周縁の降雨観測所の日雨量観測記録を収集した。観測データは、欠測が多い。また、同日の降雨観測値を空間的にプロットして確認したところ、1 点のみ大きな雨量を記録しているものの、その直近の観測所を含め、全域で降雨がないようなデータがあることが確認された。このようなデータをすべて視認で確認し、信頼できない降雨記録を除外して用いた。下図には、除外



した信頼できない降雨データの例を示している。

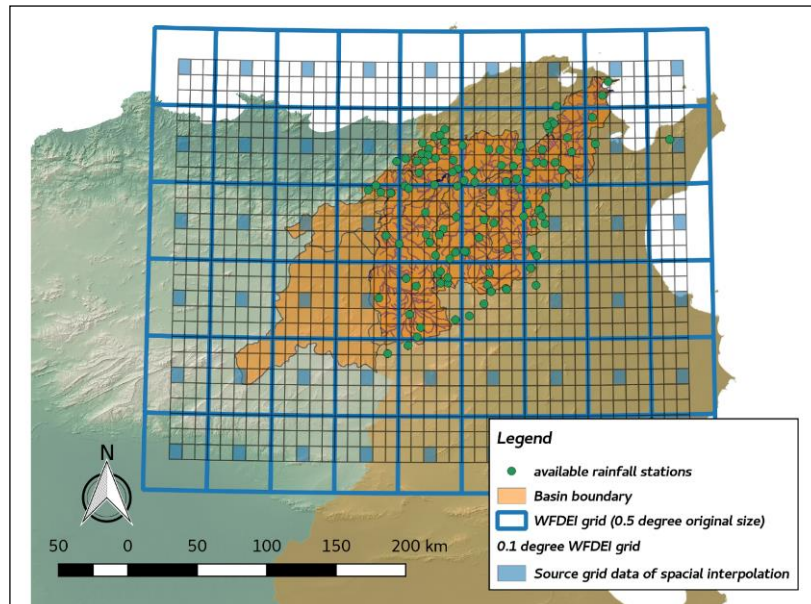


出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-3 信頼性が低く除外した降雨データの例(観測所名に赤丸をつけた Ain Hamraya のみ 80mm となっており、周辺他観測記録の状況から不正確と判断される)

## 2) 観測所データと再解析値データからグリッドデータの作成

収集された観測所データと再解析値グリッドデータを用いて、メジェルダ川全流域をカバーする 0.1 度グリッドを作成した。空間内挿には、Radial Basis Function を用いた。グリッド降雨データに用いた地上観測所と再解析値グリッドを下図に示している。



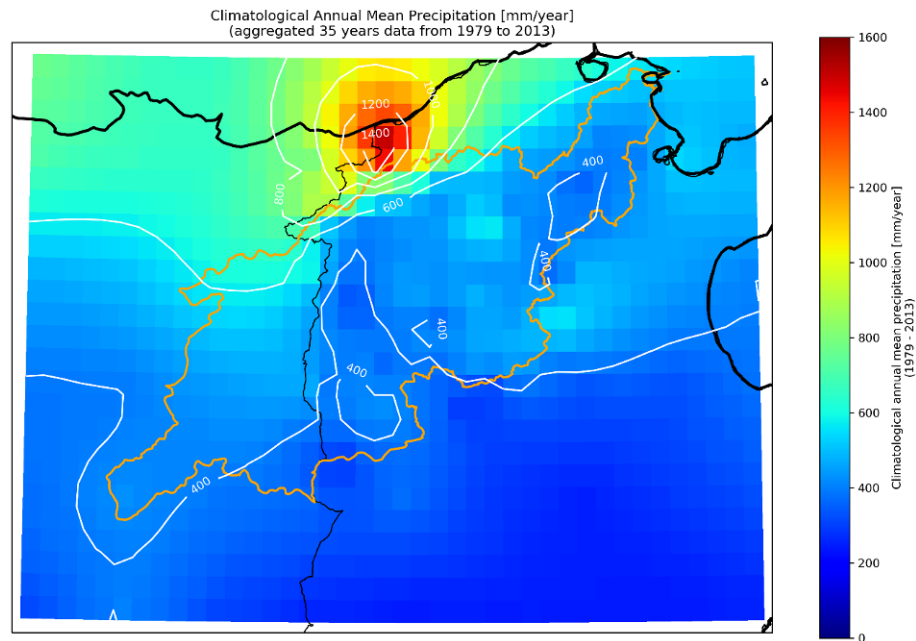
出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-4 グリッド降雨データ作成に用いた降雨観測所と再解析値の分布

#### (4) 降雨気候値および可能蒸発散量の気候値の算出

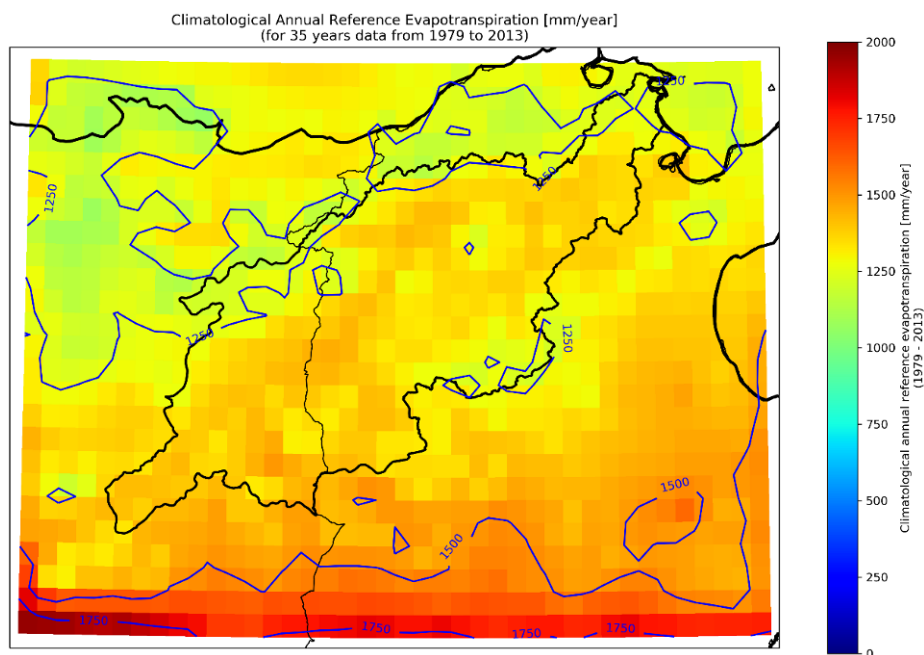
降雨以外に収集した再解析値データを用いて、FAO の修正ペンマン・モンティース法により、FAO の基準蒸発散量を算出した。降雨グリッドデータ、蒸発散能グリッドデータを整理し、35 年間（1979 年～2013 年）での気候値を算出し、図化した。年間値の結果を図 3-5 および図 3-6 に示しているが、年間降雨量がおおよそ 500mm/年なのに対し、蒸発散能が 1,200mm/年となっている。

流域全体として、植生に乏しく、荒地地、土漠となっている区域が多く、無降雨期間では、土壌水分はすぐに蒸発して失われることが推察される。



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

図 3-5 年間雨量の 35 年間気候値



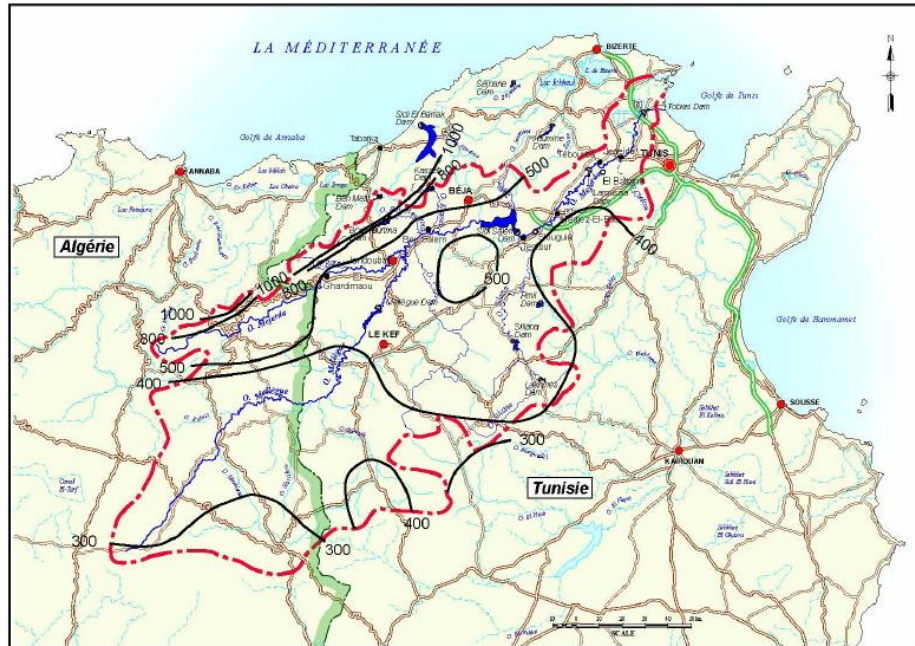
出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

図 3-6 可能蒸発散量の 35 年間気候値

### 3.1.4 調査対象地域の降雨特性

#### (1) 地域的変動と季節的変動

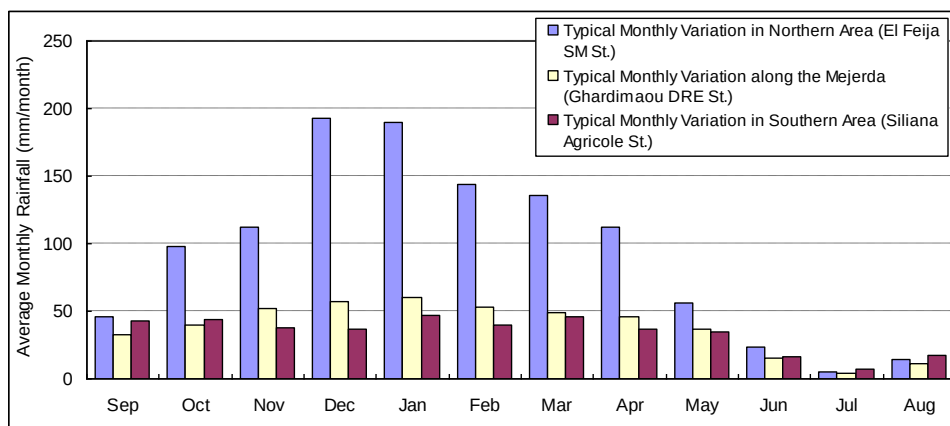
チュニジア国の年平均降水量は、一般的に南の地域ほど少ない傾向にある。チュニジア国の北西端のクミル山地では年平均降水量が 1,500mm に達するのに対し、最南部の地域では 100mm 以下である。調査対象地域内でも同様の傾向が見られ、下記の等雨量線図に示す通り、メジェルダ川流域北部では年平均降水量が 1,000mm を超えるのに対し、南部では約 300mm まで減少する。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-7 メジェルダ川流域の等雨量線図（年平均降雨量：1949-2006）

この地域差は、主として雨期（10 月から 4 月）の降水量の地域差による。下図の通り、調査対象地域北部（メジェルダ川左岸側流域）では、雨期には月平均降水量が大幅に増加し、特に 12 月から 1 月に顕著なピークが発生する。一方、南部（メジェルダ川右岸側流域）では乾期・雨期の月平均降水量の差が北部ほどは顕著ではない。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-8 降水量の月変動の地域差

集中豪雨の発生についても地域的な特性が見られる。年最大日雨量の発生日を見ると、北部地域では11月から1月に集中するのに対し、南部地域では9月から6月までの期間に分散している。

## (2) 年による変動

1968/69 水文年から 2005/06 水文年（水文年は9月から8月）の期間の年間降水量、2年間降水量、3年間降水量の最も小さかった5カ年は下表の通りであるが、チュニジア国で過去80～90年間で記録的な2大渇水であったといわれている1987-88-89年渇水、1993-94-95年渇水の発生時期と一致している。

表 3-1 小降水量の記録（流域平均雨量 1968/69－2005/06）

| 順位 | 年間降水量     |      | 2年間降水量                     |      | 3年間降水量                     |      |
|----|-----------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|
|    | 期間        | mm/年 | 期間                         | mm/年 | 期間                         | mm/年 |
| 1  | 1993/1994 | 316  | 1993 年 9 月 –<br>1995 年 8 月 | 675  | 1992 年 9 月 –<br>1995 年 8 月 | 1092 |
| 2  | 1987/1988 | 347  | 1987 年 9 月 –<br>1989 年 8 月 | 700  | 1987 年 9 月 –<br>1990 年 8 月 | 1113 |
| 3  | 2001/2002 | 350  | 1992 年 9 月 –<br>1994 年 8 月 | 734  | 1999 年 9 月 –<br>2002 年 8 月 | 1228 |
| 4  | 1988/1989 | 353  | 1988 年 9 月 –<br>1990 年 8 月 | 766  | 1991 年 9 月 –<br>1994 年 8 月 | 1303 |
| 5  | 1994/1995 | 359  | 2000 年 9 月 –<br>2002 年 8 月 | 815  | 1976 年 9 月 –<br>1979 年 8 月 | 1319 |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

一方、下表の通り同期間で年間降水量が大きかった年は、大規模洪水が記録された年に一致している。

表 3-2 大降雨量の記録（流域平均雨量 1968/69－2005/06）

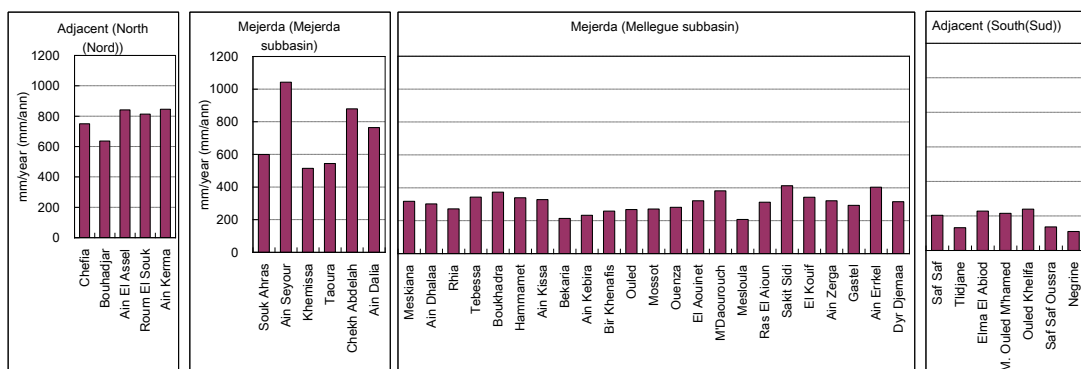
| 順位 | 期間        | 流域年降水量<br>(mm/年) | 期間中に発生した<br>主要洪水 |
|----|-----------|------------------|------------------|
| 1  | 2002/2003 | 780              | 2003 年 1 月洪水     |
| 2  | 1972/1973 | 721              | 1973 年 3 月洪水     |
| 3  | 2003/2004 | 701              | 2004 年 1－2 月洪水   |
| 4  | 1969/1970 | 691              | 1969 年 9－10 月洪水  |
| 5  | 1995/1996 | 676              | -                |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

## (3) アルジェリア国内メジェルダ川流域の月平均降水量、年平均降水量

アルジェリア国内のメジェルダ川流域で観測された月平均・年平均降水量の例を下図に示す。データが限られているため詳細な検討はできないが、入手可能な範囲のデータから、アルジェリア側のメジェルダ川流域内降雨の基本的な特性は下記の通りチュニジア側と類似していると考えられる。

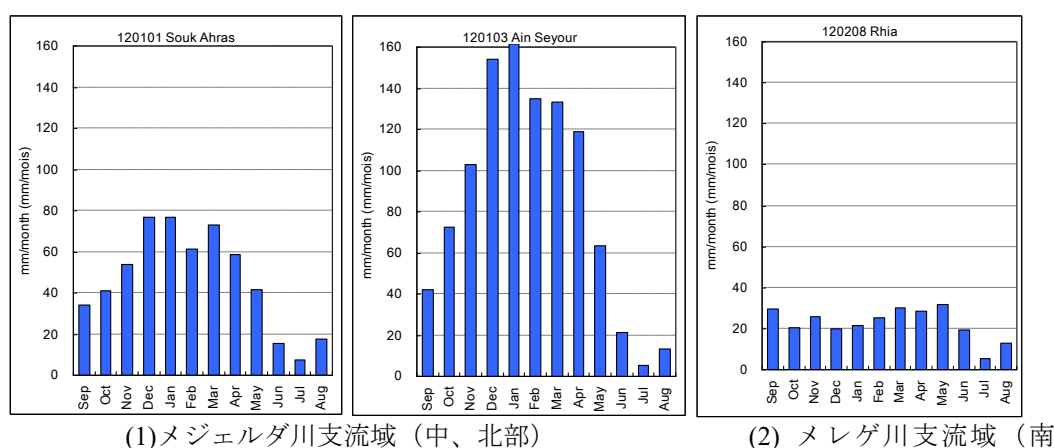
- 年平均降水量は流域最北部で最も大きく、南下するに従い減少する。
- 流域北部に位置する観測所の雨期（10月から4月）の月平均降雨量は南部でのそれとくらべて著しく大きい。



期間：観測初年－2003/2004 年（各降雨観測所）

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-9 アルジェリア国内メジェルダ川流域の雨量観測所地点での年平均降水量



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-10 アルジェリア国内メジェルダ川流域の月平均降水量の例

### 3.1.5 洪水流量特性

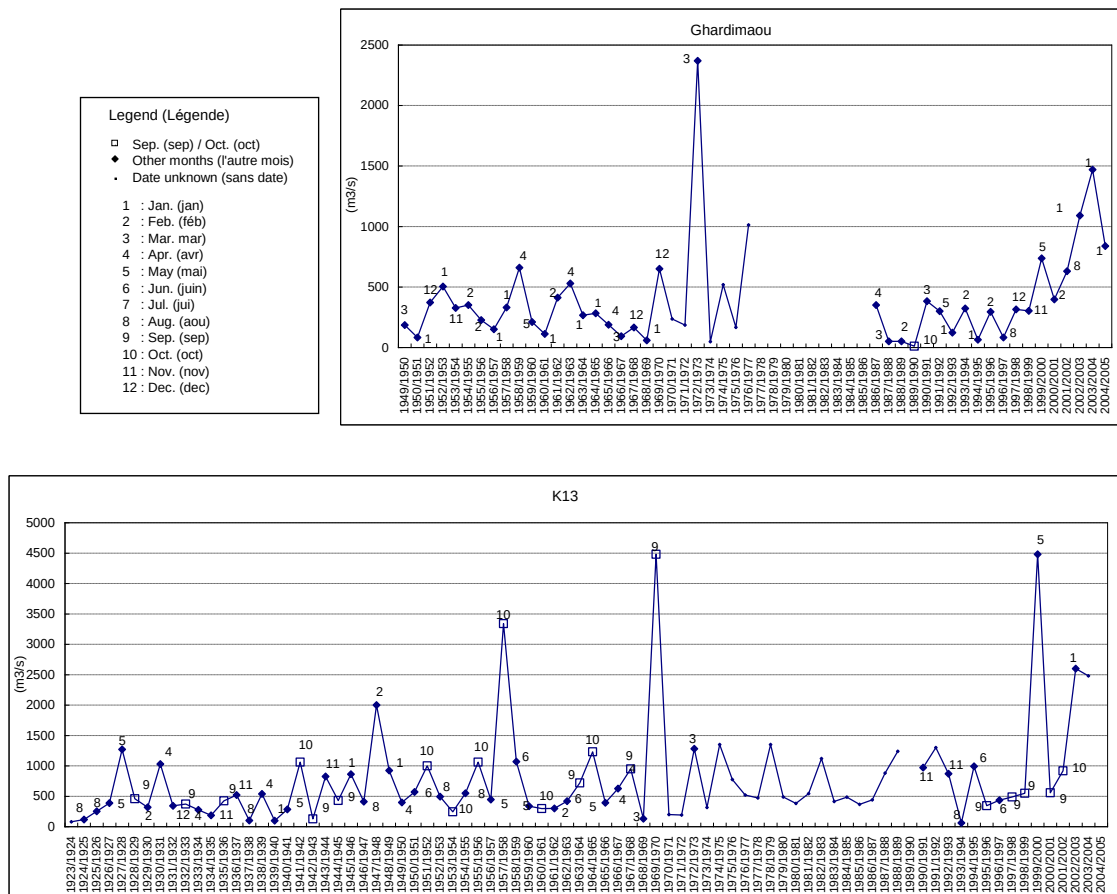
調査対象地域で最も重要な流量観測所であるガルディマウおよびメレゲ K13 観測所における年最大流量とその発生月を下図に示す。ガルディマウは調査対象地域北部メジェルダ川本川上流、メレゲ K13 は調査対象地域南部メレゲ川上流に位置する。グラフから以下の特徴が読み取れる。

- ガルディマウ観測所では、9、10 月に年最大流量を観測することはほとんどなく、年最大流量の発生は 12～2 月に集中している（41 ヶ年中 24 回）。近年の主要洪水をもたらした年最大流量も 12～2 月に観測している。
- K13 観測所で年最大流量が観測されるのは、9 月および 10 月が多い（60 ヶ年中 20 回）。ただし、近年の主要洪水をもたらした年最大流量は他の月に観測されている。（例：2003 年 1 月、2000 年 5 月）

下図から分かるように、両観測所で同時期（同一洪水発生期間中）に年最大流量を記録することもある。両観測所地点で同時（同一洪水）に年最大規模の流量が流入したような場合に、調査対象地域で甚大な被害を及ぼす洪水が発生することになると言える。（例：1973 年 3 月洪水、2003 年 1 月洪



水)



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-11 年最大流量観測値およびその発生月

「水文研究」(“Monographies Hydrologiques”) (1981 年刊) では、1975/76 年までのデータを基に年最大流量の頻度解析を行なっている。M/P 調査では、1975/76 年から 2003/04 年のデータを加え超過確率洪水を見直した。この際、1980 年代以降に一般的になった GEV (一般化極値分布) などの統計的手法も取り入れた。

ガルディマウ観測所、K13 観測所地点での超過確率洪水算出結果を下表に示す。同 2 観測所は、チュニジア国内メジェルダ川流域の洪水条件を決定する重要な観測所である。表中の既存調査および本調査の算出値の差は、本調査では近年の観測値を加えていることと新しい分布関数を検討に加えていることによるものである。

表 3-3 確率洪水流量 (単位 :  $\text{m}^3/\text{s}$ )

| 再現<br>期間 | ガルディマウ |      | メレゲ K13 |      |
|----------|--------|------|---------|------|
|          | 既存調査   | 本調査  | 既存調査    | 本調査  |
| 2 年      | 250    | 250  | 480     | 470  |
| 5 年      | 500    | 520  | 1000    | 940  |
| 10 年     | 750    | 790  | 1510    | 1430 |
| 20 年     | 1050   | 1150 | 2100    | 2080 |
| 50 年     | 1500   | 1830 | 3100    | 3340 |
| 100 年    | 1870   | 2550 | 4050    | 4710 |



| 再現<br>期間 | ガルディマウ        |               | メレゲ K13       |               |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|          | 既存調査          | 本調査           | 既存調査          | 本調査           |
| 分布関数     | Log Normal    | GEV           | Log Normal    | GEV           |
| 使用データ    | '49/50-'76/77 | '49/50-'04/05 | '24/25-'75/76 | '24/25-'03/04 |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

なお、上表の 100 年確率流量の値は、一般的な傾向を示す程度の参考値と考えるべきであろう。50－70 年間のデータを元に発生確率を算出しているため、小さな発生確率の流量の値の信頼性は高いことに留意が必要である。

メジェルダ川流域でのもう 1 つの特性として、右岸側支川（メレゲ川、テッサ川など）で観測される流量波形（ハイドログラフ）はメジェルダ川本川および左岸側支川のものと比較して、ピークが尖ったパルス的な形状を呈することが挙げられる。

### 3.2 現況河道の流下能力

#### 3.2.1 水系の現状

##### (1) 既存水系

##### 1) 水系および流域面積

メジェルダ川流域の河系図と主要支川名を図 3-12 に示す。メジェルダ川本川、メレゲ川、ラライ川の上流部はアルジェリア国内に位置する。本川および主要支川の流路長（アルジェリア国内を含む）は下表の通りである。

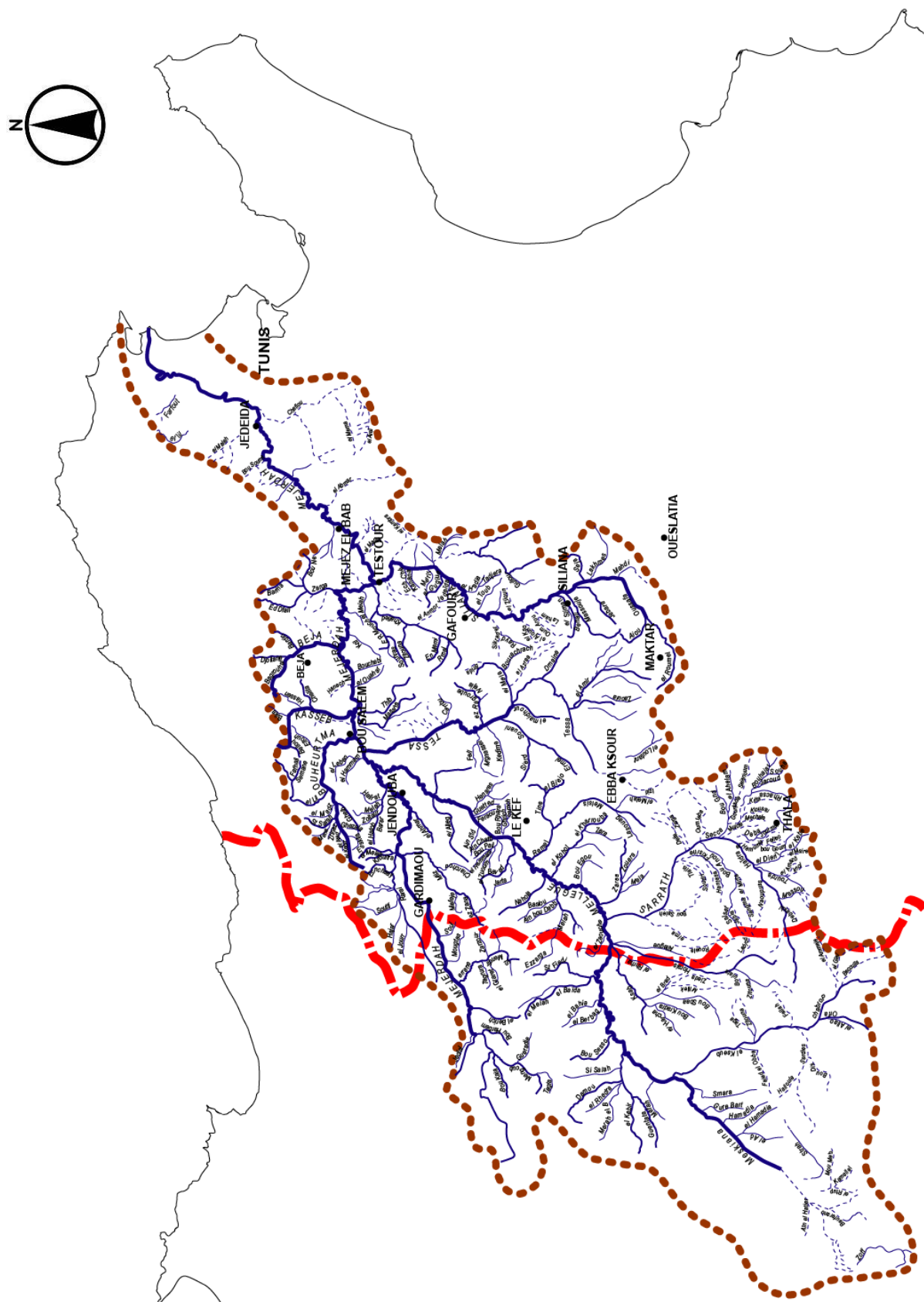
表 3-4 メジェルダ川本川および主要支川の流路長

| 河川名(上流部支川名)                   | 延長     | 河川名(上流部支川名)    | 延長     |
|-------------------------------|--------|----------------|--------|
| メジェルダ                         | 484 km | メレゲ(メスキアナ-メレゲ) | 317 km |
| シリアナ<br>(ルメル-ウサファ-シリアナ)       | 171 km | テッサ            | 143 km |
| ブヘルトゥマ<br>(エルケビル-ルヘザラ-ブヘルトゥマ) | 64 km  |                |        |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

メジェルダ川は、以前は最下流部が 2 つに分流し河口を 2 つ有していた。一方はトビマス地点から北に流れる原河道（自然河道）、もう一方は東に延びるフランス統治時代の 1950 年代に開削された人口放水路である。しかし、1990 年にトビマス地点にトビマス堰（可動堰）が建設された際に原河道（自然河川）側は分岐点で締め切られ、灌漑用水路に転用され河川としての機能を失うことになった。現在のメジェルダ川最下流部の河道は、1950 年代に開削された人工放水路である。

各支川の流域面積を下表にまとめる。計測結果から、メジェルダ川の全流域面積のうち、約 3 分の 1 がアルジェリア国内に位置していることが分かる。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-12 メジェルダ川流域の河系

表 3-5 メジェルダ川流域面積

| 支川名    | 流域面積 (km <sup>2</sup> ) |                | 小計               |
|--------|-------------------------|----------------|------------------|
|        | チュニジア                   | アルジェリア         |                  |
| シャフル   | 610                     | 0              | 610              |
| ラメール   | 530                     | 0              | 530              |
| シリアナ   | 2,190                   | 0              | 2,190            |
| カレッド   | 470                     | 0              | 470              |
| ゼルガ    | 220                     | 0              | 220              |
| ベジャ    | 340                     | 0              | 340              |
| カッセブ   | 280                     | 0              | 280              |
| ブヘルトゥマ | 610                     | 0              | 610              |
| テッサ    | 2,420                   | 0              | 2,420            |
| メレゲ    | 4,430                   | 6,360          | 10,790           |
| ラライ    | 310                     | 40             | 350              |
| その他    | 3,420                   | 1,470          | 4,890            |
| 合計     | 15,830<br>(67%)         | 7,870<br>(33%) | 23,700<br>(100%) |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

前述のトビアス地点で締め切られた原河道の河口部分付近の 323km<sup>2</sup>からの流出は、地形的に現河道に流入できず直接海に流入する。(ただし、上記の 23,700km<sup>2</sup>にはこの 323km<sup>2</sup>が含まれている。)

また、メジェルダ川全流域面積 23,700km<sup>2</sup>の約 80%にあたる 19,400km<sup>2</sup>は、既存ダムの上流に位置し、「管理された流域」(“controlled catchment area”)と呼ばれている。うち、18,100km<sup>2</sup>がシディサレムダム、残りの 1,300km<sup>2</sup>はシリアナダムおよびルミルダムの上流に位置する。

## (2) 河床縦断および河床勾配

### 1) メジェルダ川上流域：シディサレム貯水池上流端ーアルジェリアとの国境(158 km)

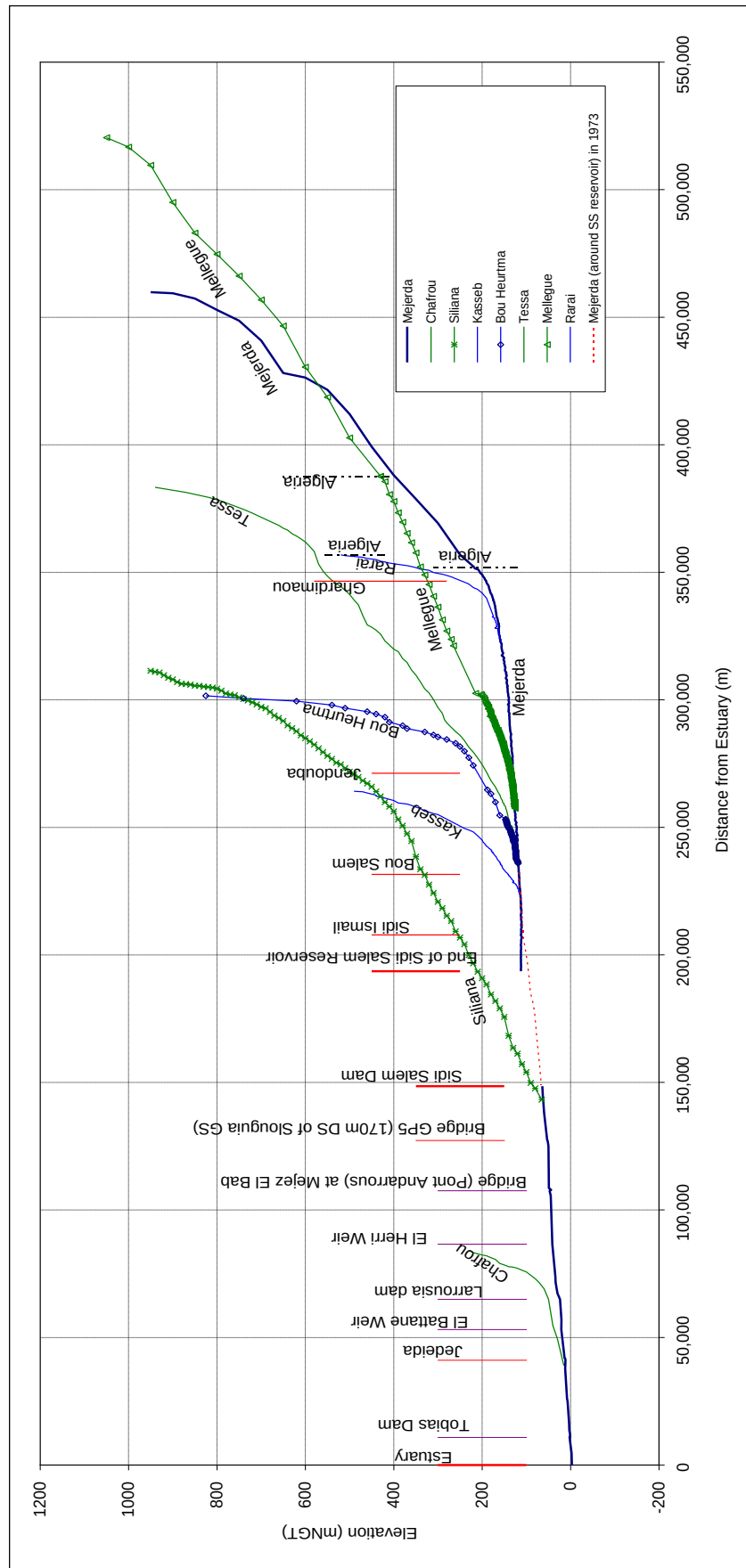
M/P 調査で 2007 年に実施した河川測量結果を基に作成した河床縦断図を図 3-13 に示す。縦断図からシディサレム貯水池上流端付近の約 25km の範囲の河床はほぼ水平であり、この区間では顕著な堆砂が発生していることがわかる。

### 2) メジェルダ川下流域：シディサレムダム河口(148 km)

農業水資源省が 2007 年に行なった河川測量結果を基に作成したシディサレムダムから河口までの河道縦断図を図 3-13 に示す。河床勾配は、概略 1/2,000 から 1/3,000 程度である。縦断図から、ラルーシア堰地点で河床縦断の変曲点が生じており、堰地点上流側の河道区間では河床が高くなっていることが分かる。これは、堰の影響で堆砂が発生しているためと考えられる。ムジェズ・エル・バブ市のアンダルス橋地点、エルバタン市の旧堰地点、およびトビアス堰地点でも河床縦断の変化がみられるが、小規模で局地的な変動に留まっている。

### 3) 支川

メジェルダ川本川および主要支川の河床勾配の概要を下図に示す。上流域に位置する左岸側支川(ラライ川、ブヘルトゥマ川、カッセブ川)が他と比較して急流であることが分かる。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-13 メジェルダ川本川および主要支川河床縦断面図

### 3.2.2 現況河道の流下能力

#### (1) 流下能力算定方法

現況河道の流下能力を不等流計算によって算定した。2007 年に M/P 調査団および農業水資源省が実施した河川測量結果を河道横断面形状データとして使用した。各横断面地点における満水流量を算出し、各区間の最小値を以って河道区間の流下能力とした。

#### (2) シディサレムダムよりも上流の地域

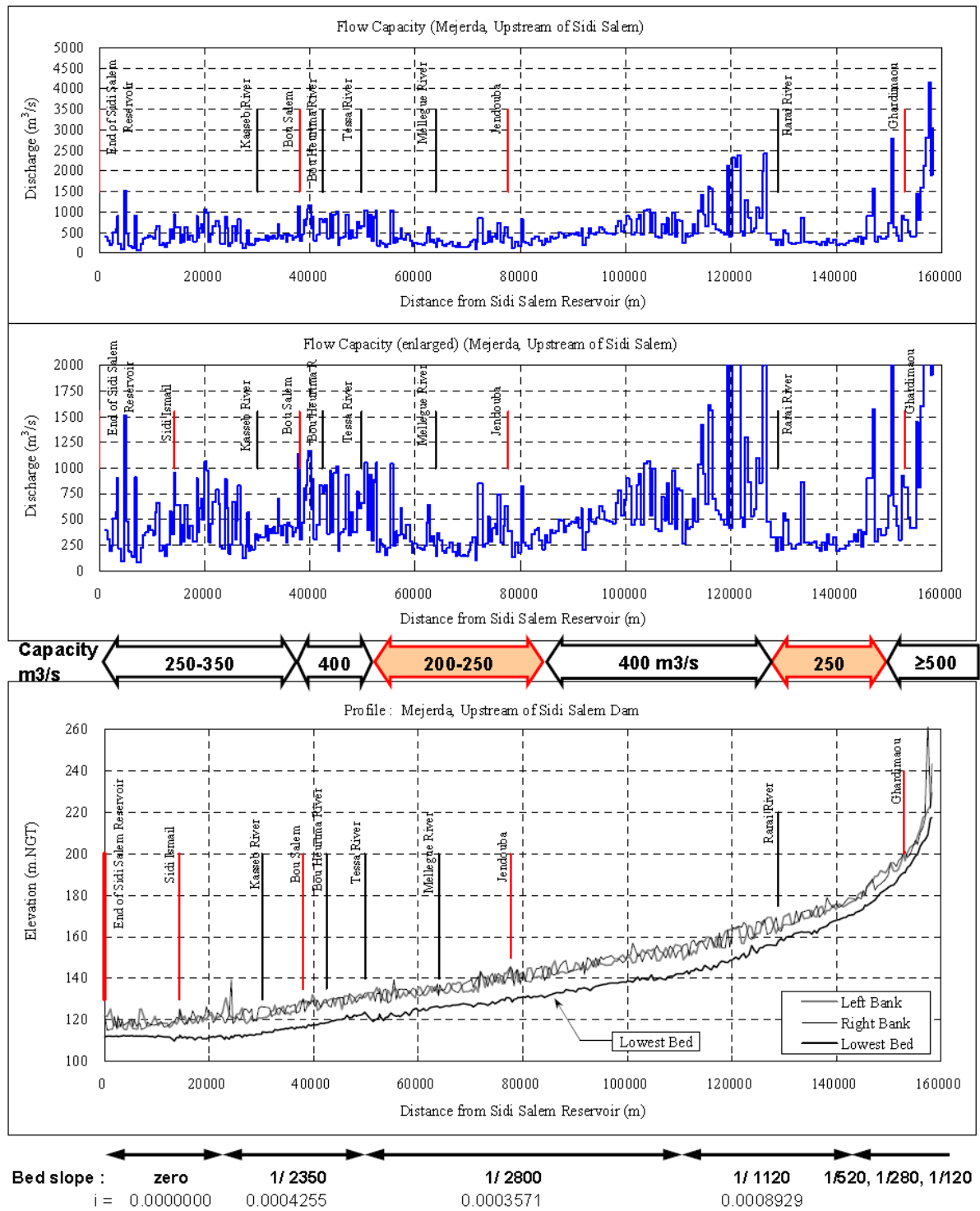
図 3-14 に算出した流下能力および河床勾配を示す。流下能力は区間によってばらつきがあるが、メジェルダ川本川の流下能力は、概略  $200\sim600\text{m}^3/\text{s}$  程度であるといえる。流下能力の算定値が小さい河道区間は、既往の主要洪水で氾濫が顕著であった地区にほぼ一致する。

#### (3) シディサレムダムよりも下流の地域

シディサレムダムから下流におけるメジェルダ川本川の流下能力および河床勾配を図 3-15 に示す。流下能力が特に小さい箇所は下記の区間である。

- ラルーシア堰の上流(ムジェズ・エル・バブ市を含む) ( $150\sim400\text{m}^3/\text{s}$ )
- ジュデイダ市の下流 ( $250\sim300\text{m}^3/\text{s}$ )
- トビアス堰の下流 ( $150\sim300\text{m}^3/\text{s}$ )

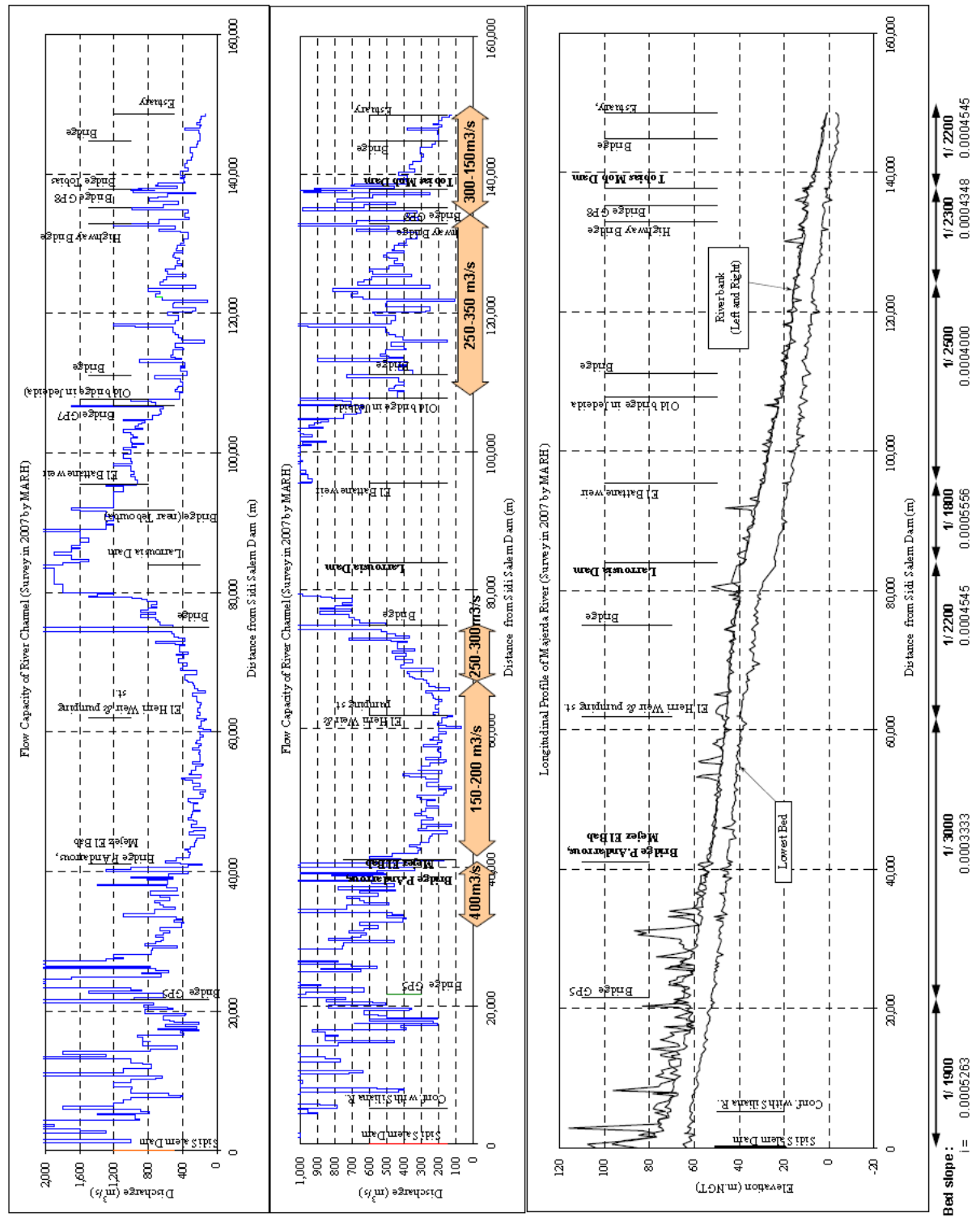
上記の区間も既往の主要洪水で氾濫が顕著であった地区に一致する。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-14 2007 年時点の河道縦断および通水能力（メジェルダ川、シディサレムダム上流）





出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-15 2007 年の河道縦断および通水能力（メジェルダ川、シディサレムダム下流）

### 3.2.3 過去に発生した洪水特性

#### (1) 概 説

メジェルダ川流域はこれまでに多くの洪水に見舞われてきたが、本節では下記に挙げる近年の主要洪水について水文学的観点から見た特性を述べる。

- 1973 年 3 月洪水（1973 年 3 月に発生）
- 2000 年 5 月洪水（2000 年 5 月に発生）
- 2003 年 1 月洪水（2003 年 1 月から 2 月に発生）
- 2004 年 1 月洪水（2003 年 12 月から 2004 年 2 月に発生）
- 2005 年洪水（2005 年 1 月から 3 月に発生）

#### (2) 全体的な特性

過去の洪水の発生月を見ると、メジェルダ川流域では、流域平均雨量が最大となる 12 月から 1 月のみならず、9 月から 5 月ごろまでのいずれの月にも何らかの被害を生じさせた規模の洪水が発生している。これは、前述ように年最大規模の大きな降雨やアルジェリア国側からの流入量の発生時期、降雨・流量の特性が流域南部と北部で大きく異なることによる。例えば、下記の事象が影響している。

- 12 月から 2 月頃の期間は、左岸側流域（北部）の降水量が大きく、アルジェリア国側からメジェルダ川本川（ガルディマウ観測所地点）へ年最大規模の大きな流量が流入してくることも多い。
- 右岸側流域（南部）では、年最大日雨量規模の集中豪雨が年によって 9 月から 5 月頃までのいずれの月にも発生がみられる。
- 右岸側流域からの流出は一般的に尖った形状の流量波形を示し、ピークが急激に到達する。

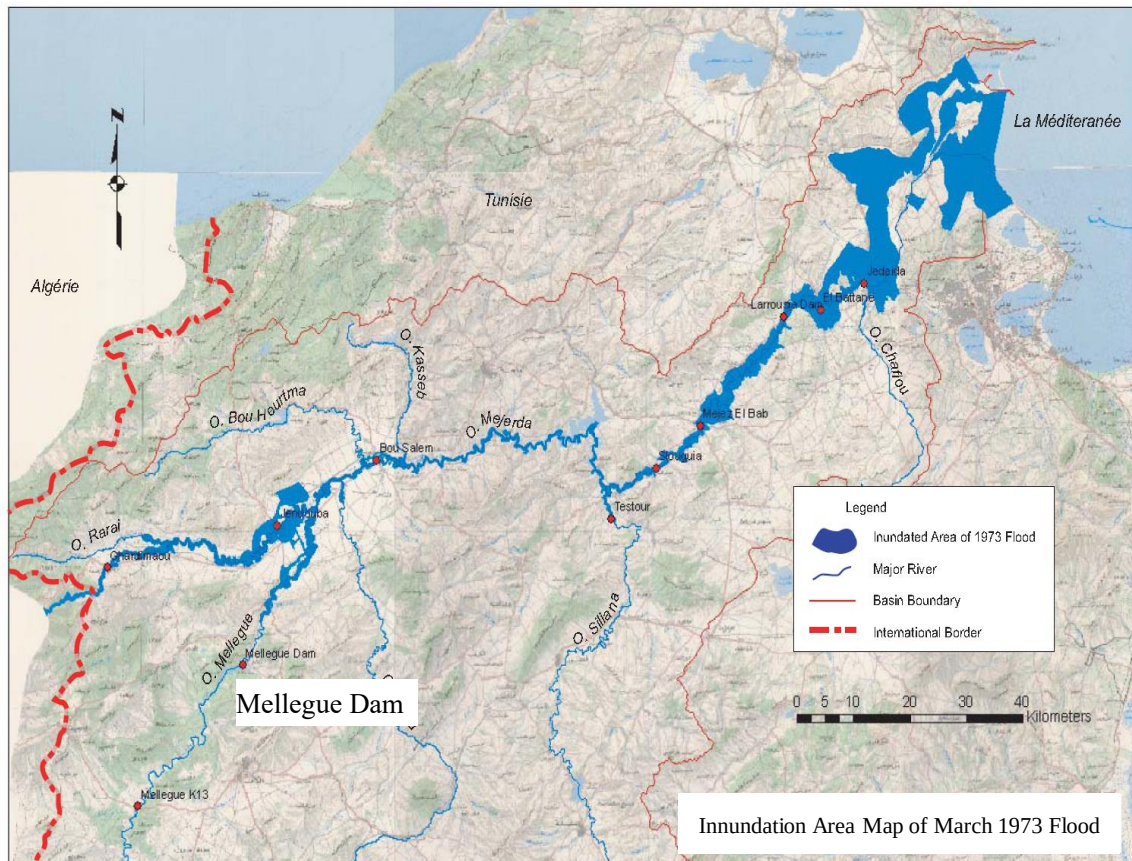
アルジェリア側からメジェルダ川本川（ガルディマウ観測所地点）への流入と左岸地域での降雨のピーク、及びメレゲ川への流入（K13 観測所地点）と右岸地域での降雨のピークは発生しやすい時期が異なり、同時に発生しないことが多いが、これらが同時期に発生することがある。こうした場合に、流域では 1973 年 3 月洪水や 2003 年 1 月洪水のような大規模洪水が発生している。

#### (3) 1973 年 3 月洪水の水文特性

1973 年 3 月洪水はメジェルダ川全区間に渡り、大規模な氾濫をもたらした。同洪水の実績氾濫域図を図 3-16 に示した。1973 年当時にシディサレムダムは建設されておらず、また、本川最下流部には原河道とトビアスでの放水路の 2 つの河口があった。

同洪水は、降雨の時間分布、アルジェリア国からの流入波形、本川での洪水流の波形のいずれもが「大きな単一ピーク」を示したことが特徴である。ガルディマウ観測所地点での最大流量は、1/80 年確率規模であったと推算される。降雨の範囲は流域全体に及んでおり、雨量は流域平均でも 1/15 年から 1/25 年確率規模（6 日雨量）程度に達した。アルジェリアからの急激で大きな流入と流域全体を覆った大規模な集中降雨によってメジェルダ川流域各地で大きな洪水流量が発生することになった。多数の地点で流量が河道の流下能力を超え、各地で大規模な氾濫が発生するに至った。

同洪水の場合は、降雨、高水位の継続時間は短く、氾濫も 1 週間程度以下とそれほど長くなかったと言われている。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-16 1973 年 3 月洪水時の実績氾濫域図

#### (4) 2000 年 5 月洪水の水文特性

2000 年 5 月洪水では、メジェルダ川上流域でのみ氾濫被害が発生した。この洪水の水文的特徴としては下記が挙げられる。

- メレゲ川 (K13 流量観測所地点) への既往最大規模の大きな流入および尖った単一ピークの流入波形
- 降雨の地域的偏在

K13 観測所地点での最大流量は 1/90 年確率規模に達したと算定される一方で、ガルディマウ観測所地点でのメジェルダ川本川への流入量は 1/5 年から 1/10 年確率規模程度である。調査対象地域内の降雨は、メレゲ川、テッサ川、ラライ川流域に集中している。

洪水発生が乾期の開始間近の時期であったため水供給に備えてメレゲダムの貯水位が高かったこともあり、上流から洪水流が流入した際に放流せざるを得なかった。メレゲダムからの放流量により下流の河道で流下能力を越え、氾濫が発生した。ただし、シディサレムダムの洪水調節効果により、氾濫が発生したのは同ダム上流地域のみであった。

#### (5) 2003 年 1 月洪水の水文特性

2003 年 1 月洪水の特徴としては、下記が挙げられる。

- ガルディマウ観測所地点、K13 観測所地点とも洪水流入波形がピークを複数有する
- 複数ピークの降雨

メジェルダ川本川上流のガルディマウ観測所地点での最大流量は 20 年確率程度であったが、洪水の総流入量（30 日間に 4 ピークの総計 197 百万 m<sup>3</sup>）の発生頻度確率は 1/70 程度になる。

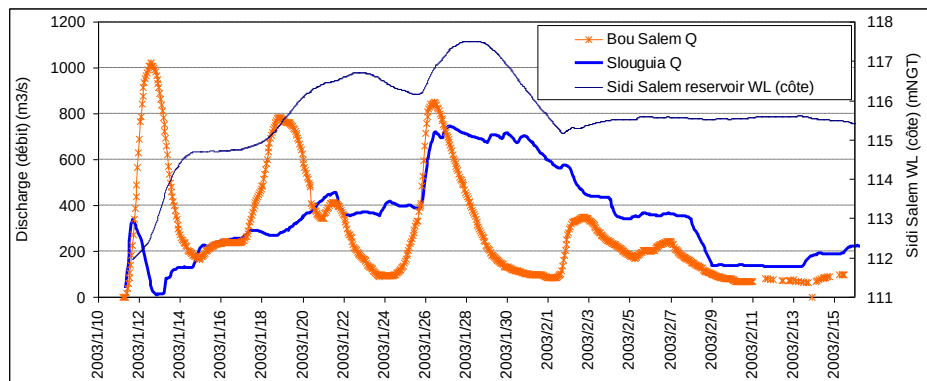
2000 年 5 月洪水と 2003 年 1 月洪水の比較から 2003 年 1 月洪水の特徴が説明できる。下表の通り、2000 年 5 月洪水と 2003 年 1 月洪水のシディサレム貯水池への最大流入量はほぼ同規模である。しかし、ピークが 1 回であった 2000 年 5 月洪水の場合と異なり、4 回のピークが連続して発生した 2003 年 1 月洪水ではシディサレムダムからの放流量を下流域の無害流量以下に抑えることができなかった。

表 3-6 2003 年 3 月洪水と 2000 年 5 月洪水のシディサレムダム流入量・放流量の比較

| 洪水           | 最大流入量<br>(シディサレム)      | 総流入量 (ブサレム観測<br>所地点の 30 日間累計) | 最大放流量<br>(シディサレム)     | ピーク個数 |
|--------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------|
| 2000 年 5 月洪水 | 1022 m <sup>3</sup> /s | 157 Million m <sup>3</sup>    | 52 m <sup>3</sup> /s  | 1 回   |
| 2003 年 1 月洪水 | 1065 m <sup>3</sup> /s | 827 Million m <sup>3</sup>    | 740 m <sup>3</sup> /s | 4 回   |

出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

洪水時のブサレム観測所地点およびスルギア観測所地点の流量波形、シディサレムダム貯水位を下図に示す。ブサレム地点の流量波形はシディサレム貯水池への流入、スルギア地点の流量波形は同ダムからの放流量の時間変化に相当する。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-17 2003 年 1 月洪水時のシディサレムダム流入量および放流量の流量曲線、貯水位

スルギア地点で 1 月 11 日に観測された第 1 回目のピークはシディサレムダムの下流でメジェルダ川に合流するシリアナ川流域からの流出によるものであり、シディサレムダムで制御することはできなかった。その後、上流から第 1 番目と第 2 番目の洪水ピークが貯水池に到達したが、ダムの洪水調節効果により放流量は 300–400m<sup>3</sup>/s 程度に抑えられている。しかし、第 3 番目のピークが到達したことで放流量を 740m<sup>3</sup>/s まで増加する結果になった。さらに、比較的規模は小さかったものの第 4 番目のピークが到達したことで放流量の低減が遅れたことがわかる。

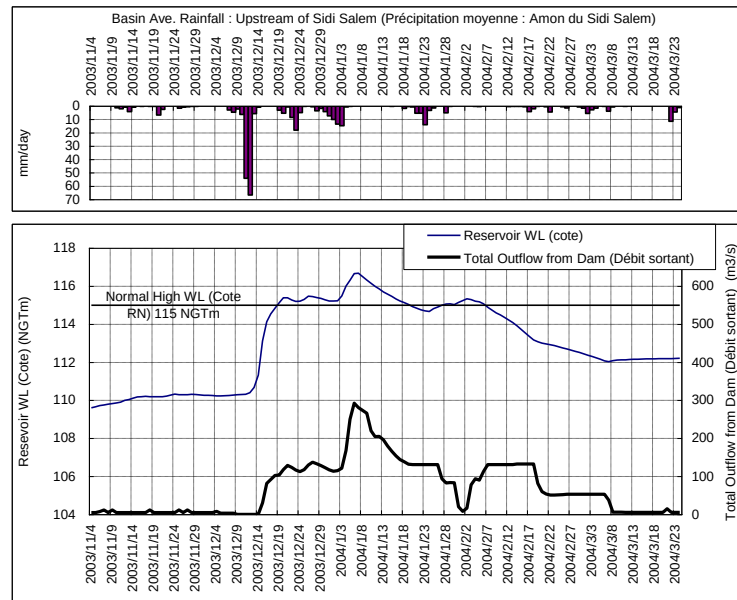
このように、洪水流のピークが複数回発生したことで、シディサレムダム上流地域および下流地域ともに氾濫期間が長引く結果になった。特に下流地域で湛水が長期に及ぶことになり、場所によっては 1 ヶ月以上も続いた。

## (6) 2004 年 1 月洪水および 2005 年洪水の水文特性

両洪水の水文特性としては、下記が挙げられる。

- ガルディマウ観測所地点の洪水流入波形がピークを複数有する
- 複数ピークの降雨

2003 年 11 月から 2004 年 3 月の日雨量、シディサレム貯水池水位、放流量を下図に示す。2004 年 1 月洪水では、シディサレムダムの放流量ピークは 2004 年 1 月 6 日に観測されているが、この日の直近には大きな降雨は観測されていない。大きな降雨が観測されたのは 2003 年 12 月 10 日から 13 日である（シディサレムダム上流域の流域平均 6 日雨量で 50 年確率に相当）。この降雨の影響で貯水池の水位が常時満水位まで上がっていたところに、12 月 29 日から 1 月 3 日にかけて発生した小～中程度の規模の降雨による流入があり常時満水位を維持するために放流することになった。このため、降雨のピークと放流のピークの発生時期に差が生じ、下流地域では降雨がないのにも関わらず河川水位が上昇し洪水が発生することとなった。2005 年洪水の際にも同様の現象が観測されている。



出典：チュニジア国 メジェルダ川総合流域水管理計画調査(M/P), JICA(2009)

図 3-18 2004 年 1 月洪水時の降雨、シディサレム貯水位、放流量

## (7) 過去の主要洪水の水文特性からの示唆

過去の主要洪水の分析から、メジェルダ川流域では下記の水文現象が甚大な洪水の発生に影響していると考えられる。

- アルジェリア国側からのメジェルダ川本川およびメレゲ川への大規模流入、そしてチュニジア国側流域全体を覆う降雨のうち複数もしくは全てが同時に発生した場合
- 降雨およびアルジェリアからの流入洪水のピークが複数ある場合

さらに、水文条件（自然条件）に加え下記のような水理条件によって洪水の特性つまり被害の大小が左右される。

- 洪水流入時の貯水池水位



- ダム放流量
- 河道および河川構造物（橋なども含む）の通水能力

### 3.3 水文データの収集

#### 3.3.1 水文調査のために観測された大気データ

この節では、メジェルダ川流域の水文モデルの入力として必要な大気データを作成するために実行した手順について説明する。図 3-19 に示すように、チュニジア全体の地上降雨観測所のネットワークはかなり密であるが、アルジェリア側の一部の観測所が疎らであることに加え、これらのデータは入手できなかった。さらに、チュニジア領内のいくつかの観測所の記録が解析期間全体で利用できなかったことを考慮する必要がある。これらの理由により、既存のデータを補足するために、WFDEI（ERA 暫定データに適用される WATCH Forcing Data 手法）と呼ばれる世界的に利用可能な再解析データを使用することを選択した。

他の大気変数（例えば、風速や地表気温）の地上測定に関して、利用可能なデータが現在分析されており、それが WFDEI データセットとどれだけ異なり、本調査で利用できるかを判断した。

#### (1) WFDEI 再解析データセット

WFDEI データセットは、物理モデル（ERA-Interim）の出力と降水量と気温のグローバルグリッドデータセットで修正されたデータの組み合わせである。これらの大気変数のデータセットは、空間分解能が 0.5 度で 1979～2013 年の期間に 3 時間ごとのデータが利用できる。この調査で使用された大気変数を下表に示す。WFDEI データセットは、各 0.5° グリッドの平均高度も提供される。

表 3-7 WFDEI 再分析データの利用された大気変数の詳細

| 変数                         | 注          | 単位                  | 必要な変換         |
|----------------------------|------------|---------------------|---------------|
| 地上(2 m)気温                  | 瞬間値        | Kelvin              | 摂氏            |
| ダウンウェル長波（短波）表面放射束          | 過去 3 時間の平均 | W/m <sup>2</sup>    |               |
| 降雨率、グローバルグリッドデータセットでバイアス補正 | 過去 3 時間の平均 | Kg/m <sup>2</sup> s | mm/hr         |
| 地上気圧                       | 瞬間値        | Pa                  |               |
| 表面（2 m）比湿度                 | 瞬間値        | kg/kg               |               |
| 風速 10m                     | 瞬間値        | m/2                 | 2m wind speed |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

河川流域の範囲に基づいて、大気変数は、座標 6.5°E、34.5°N と 11.0°E、37.5°N のペアによって制限された領域の WFDEI データセットから抽出した。上表で指定されている単位変換は、降雨量と気温 2 m に対して実施した。ただし、10 m の風速から 2 m の風速への変換は、FAO（国連食糧農業機関）によって提案された変換式を適用して行った。



## (2) グリッド降雨データの生成

### 1) 利用可能な降雨観測データの概要

雨量計と自記雨量計の両方で測定された降水量が利用可能であった場合でも、本調査では、雨量計の毎日のデータのみを使用した。メジェルダ川流域の近くに雨量計を備えた観測所の数は 111 であった。WFDEI データセットは 1979～2013 年の期間に対応しているため、111 の雨量計ごとにこの期間の測定の利用可能性を確認した。下図は、1979 年から 2013 年までの年間の利用可能なデータの割合を示している。特に、1999 年に多くの観測所で欠測データの割合が高いことが分かった（下図では利用可能性の割合が低いことが示されている）。さらに、2003 年以降、多くの観測所が観測を停止したり、データが失われたりすることが分かった。データの利用可能性を確認した後、データの異常値を棄却することを目的とした評価を行った。異常値の検出は 2 段階で行った。

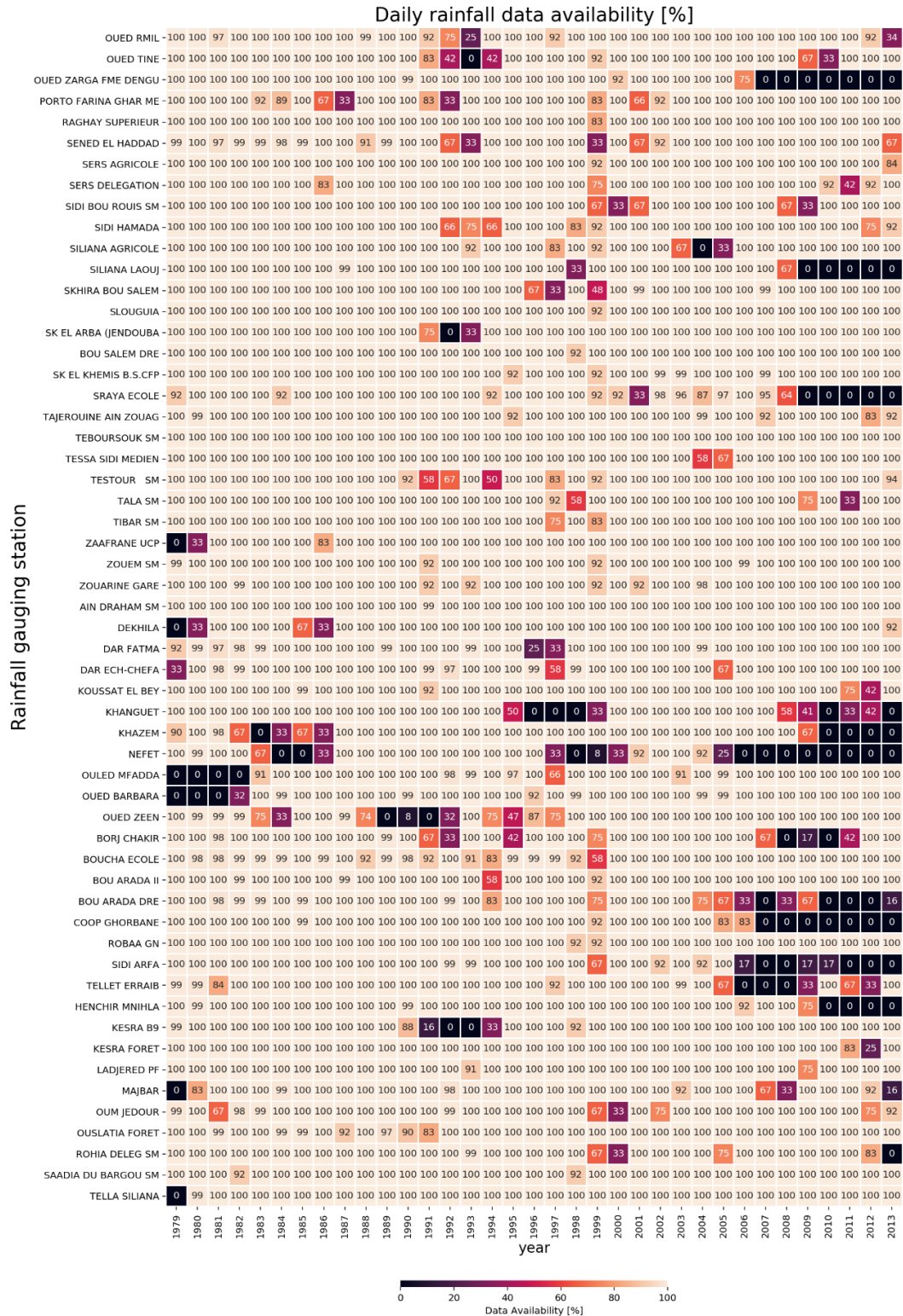
まず、1979 年 1 月 1 日から 2013 年 12 月 31 日までの各日について、すべての測点の毎日の測定値を収集し統計的に比較した。1 日のすべての非ゼロ値を使用して、2 つの統計解析を行い、利用可能性のある異常値を検出し、利用された統計解析は、正規分布母集団からの 1 変量データセットの異常値を検出するために使用される統計解析であるグラブテストと、サンプルデータの四分位範囲の 1.5 倍を超える値が識別されるボックスプロットで行った。異常値としてどちらの統計解析も、サンプルは正規分布であると想定しているため、評価を適用する前に、データをまず対数に変換した。35 年間の 111 観測所の毎日のデータから、196 の潜在的な異常値が検出された。第 2 段階では、対応する日のすべての測点の測定値のヒストグラムを視覚的に検査することにより、196 個の潜在的な異常値それぞれを評価した。異常値の例を図 3-21 に示す。ここでは、1979 年 3 月 1 日の Ain Hamraya 観測所での日雨量測定値が 80 mm であった。ただし、同日の他の測点の測定値（半径が約 10 km にあるものでも）はほぼゼロであった。ヒストグラムを目視で検査した後、表 3-8 に詳細に示した異常値のみを除外した。

表 3-8 同日の測定値のヒストグラムの目視検査によって異常値が特定された日付と測点

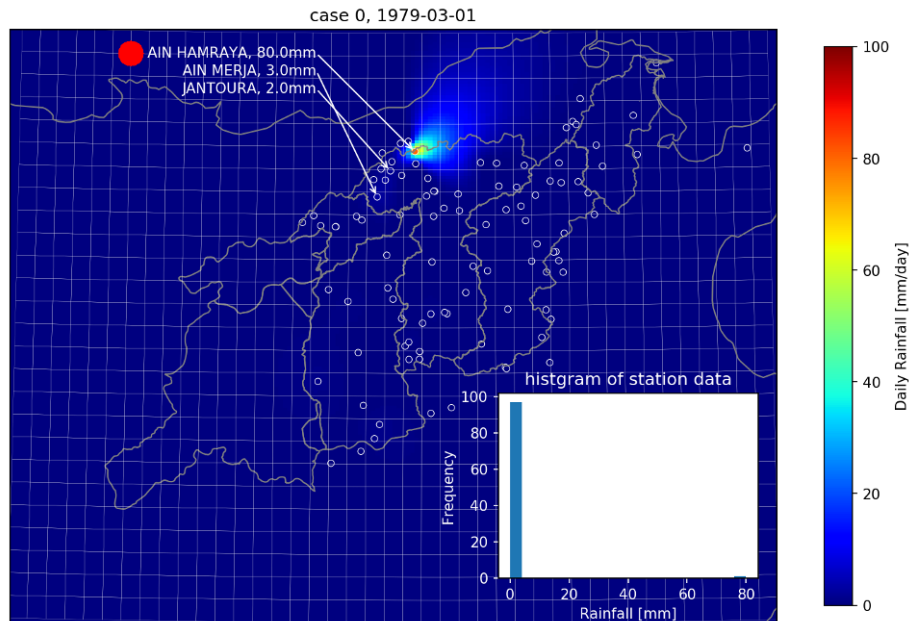
| Case No<br>of 196 | 日付                | 観測所               | Case No<br>of 196 | 日付                | 観測所                  |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1                 | 1979/March/01     | AIN HAMRAYA       | 95                | 1997/December/09  | OUED ZEEN            |
| 2                 | 1979/April/09     | KESRA B9          | 103               | 1999/January/31   | AIN DEBBA            |
| 24                | 1984/April/01     | DAR FATMA         | 104               | 1999/February/05  | AIN BEYA OUED RHEZAL |
| 26                | 1984/December/26  | AIN ZANA          | 105               | 1999/February/09  | AIN BEYA OUED RHEZAL |
| 27                | 1985/January/01   | DAR FATMA         | 106               | 1999/February/12  | AIN TOUNGA SE        |
| 29                | 1985/December/13  | DAR FATMA         | 107               | 1999/February/13  | AIN TOUNGA SE        |
| 32                | 1986/September/27 | DAR FATMA         | 108               | 1999/March/26     | AIN BEYA OUED RHEZAL |
| 35                | 1986/December/16  | OUED BARBARA      | 109               | 1999/May/02       | AIN BEYA OUED RHEZAL |
| 42                | 1988/March/05     | BEN METIR 2 SM    | 111               | 1999/November/30  | AIN TOUNGA SE        |
| 52                | 1990/January/02   | DAR ECH-CHEFA     | 112               | 1999/December/05  | JANTOURA             |
| 59                | 1991/January/29   | DAR ECH-CHEFA     | 123               | 2002/November/28  | AIN BEYA OUED RHEZAL |
| 60                | 1991/September/17 | SILIANA AGRICOLE  | 126               | 2003/January/27   | SENED EL HADDAD      |
| 76                | 1994/October/23   | OUED ZEEN         | 139               | 2004/June/19      | AIN TOUNGA SE        |
| 80                | 1995/September/18 | SIDI BOU ROUIS SM | 168               | 2008/September/25 | KHAZEM               |
| 84                | 1996/September/08 | MAKTAR PF         | 172               | 2009/January/09   | AKOUAT GARE          |
| 85                | 1997/January/09   | OUED ZEEN         | 173               | 2009/January/11   | SK EL KHEMIS B.S.CFP |
| 87                | 1997/February/07  | OULED MFADDA      | 178               | 2010/October/19   | DAR FATMA            |
| 89                | 1997/April/23     | SRAYA ECOLE       | 189               | 2012/April/12     | DEKHILA              |
| 93                | 1997/September/17 | DAR FATMA         | 193               | 2012/December/03  | AIN HAMRAYA          |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）、JICA(2018)

## ファイナル・レポート





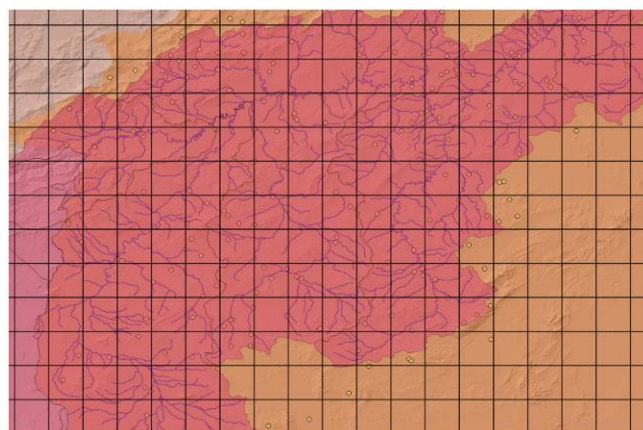


出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-21 統計的に検出された異常値の視覚的検証の例（近傍観測所の同日の雨量との比較による）

#### (a) メジェルダ川流域の水文モデリングのための大気変数の空間分解能の決定

WFDEI データセットの空間分解能（つまり  $0.5^\circ$ ）は、水文学的モデリングで使用するには粗すぎる。したがって、地上観測所データを統合することに加えて、何らかの形式の空間ダウンスケーリングを実行する必要がある。解像度が高すぎると、測点が見つからないグリッドが生成され、その場所で測定されたデータが適切に統合されなくなる可能性があるため、両方のデータセットが統合される空間解像度は、グリッドあたりの測点の密度のバランスをとることによって決定した。選定した空間分解能は  $0.1^\circ$  であり、約 10km に相当する。この空間解像度により、チュニジアの領土の河川流域をカバーするグリッドの大部分に 1～3 つの測点を割り当てることができた（図 3-22）。



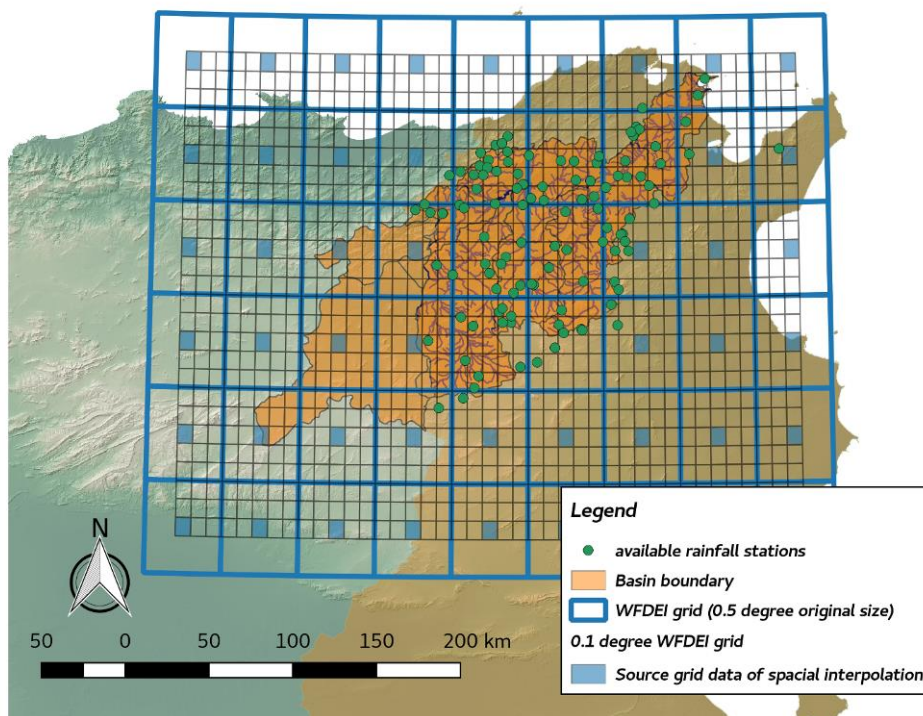
出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-22 利用可能な in-situ 観測所と  $0.1^\circ$  格子

## (b) WFDEI 降雨データのダウンスケーリングの詳細と in-situ 降雨測定との統合

WFDEI データセットは 3 時間ごとであるため、毎日の現場測定と統合するには、WFDEI 降水量データを日次データにも蓄積する必要がある。観測所の降雨日別データは毎日 UTC+1 時間の午前 7 時に記録される。WFDEI 降雨データと現場測定を統合した空間分解能 0.1°のグリッド降雨データを生成するために、次の手順を行った。

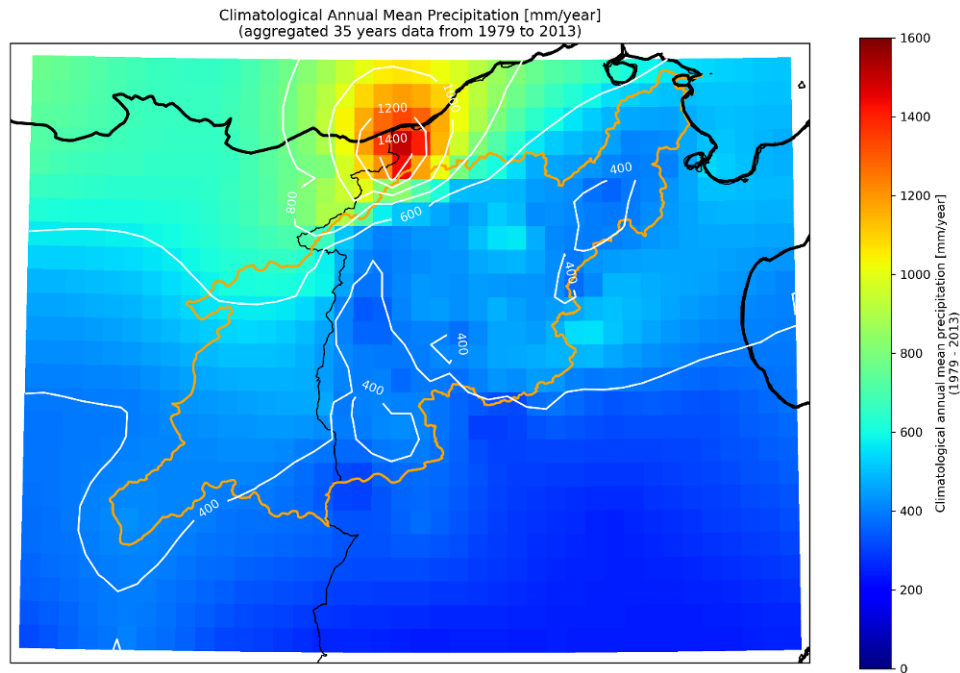
- 測点のみを使用した補間が可能な 0.1°グリッドの場合、測点データのみを使用した。
- メジェルダ川流域の境界の外側でアルジェリアの領土にあるその他の 0.1°グリッドの場合、対応する WFDEI の 0.5°グリッドの中央に、WFDEI 降水量データを含む疑似測点が割り当てた (図 3-23)。
- 放射状基底関数の内挿を使用して、測点と疑似測点の日次データを空間分解能 0.1°のグリッド降雨データセットに内挿した。



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査 (SAPI) , JICA(2018)

図 3-23 利用可能な観測所および対応するグリッドの WFDEI データを使用して作成された、0.1°グリッドの降雨データセットへの補間を実行する疑似測点の位置

上記の詳細な手順により、WFDEI データよりも現地測定データを優先することができ、同時に、データが利用できない地域で降雨データを作成することができた。12 か月の長期年間平均降雨量と長期気候平均降雨量は、0.1°の空間分解能で統合されたデータから計算された (図 3-24)。



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-24 作成しグリッド降雨データから計算された長期（1979 年から 2013 年）年間平均降雨量

### (c) 日降水量データの 3 時間雨量データへの分解

極端なイベントの分析に降雨データを使用できるようにするために、統合された毎日の降雨データを 3 時間の降雨データに分解した。分解は、統合された毎日のデータセットの  $0.1^\circ$  グリッドごとに行った。これは、UTC + 1 時間の午前 7 時前の 24 時間の毎日の降雨の蓄積を表している。

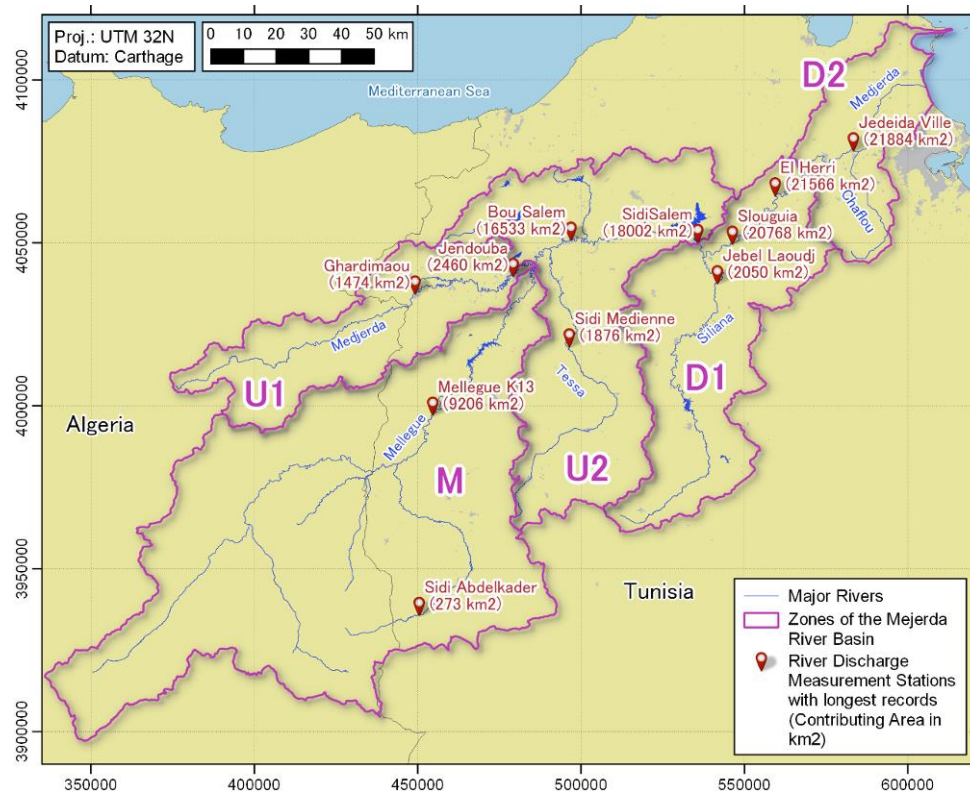
統合データセットを分解するために、元の WFDEI 降雨データセットを使用した。これは、GMT 時間での 3 時間ごとの降雨の累積である。所定の日付および統合された毎日のデータセットの  $0.1^\circ$  グリッドごとに、対応する WFDEI の  $0.5^\circ$  グリッドを特定した。次に、前日の午前 9 時（UTC + 1 時間の午前 10 時）と目標日の午前 6 時（午前 7 時）の間のデータに対応する WFDEI データセットの 3 時間ごとの降雨強度（UTC + 1 時間）は、3 時間ごとの降雨強度を目標日に対応する 8 つの強度の合計である（つまり、午前 9:00、午後 12:00 に対応する WFDEI データの合計、午後 15:00、午後 18:00、午後 21:00、前日の午前 12 時、および対象日の午前 3 時と午前 6 時）。最後に、統合されたデータセットの  $0.1^\circ$  グリッドの 1 日の降水量に、対応する 8 つの重みのそれぞれを乗算し、結果として得られた 3 時間ごとの降水強度に UTC + 1 時間のタイムスタンプを与えた（つまり、午前 10:00、13:00、前日の 00 pm、16:00 pm、19:00 pm、22:00 pm、対象日の午前 1 時、午前 4 時、午前 7 時）。

### 3.3.2 観測河川流量

この節では、利用可能な河川流量の期間を特定する。河川流量の観測データは、水文モデルのキャリブレーションに不可欠である。観測は、地方自治体によって提供されたか、「メジェルダ川総合流域管理計画調査」（マスタープラン）のデジタル記録に対応している。いくつかの観測所の毎時の観測が利用可能であるが、本調査では日平均流量のみを使用した。図 3-25 に示すように、チュニジア全体の地上降雨観測所のネットワークはかなり密であるが、グリッド化された降雨データセットの



利用可能期間である 1979～2013 年（35 年間）の期間で、最も長い観測記録を持つ測点を図 3-25 に示す。



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-25 河川流量記録が最も長い観測所位置図

### 3.4 洪水解析

#### 3.4.1 分析へのアプローチ

本調査では、以下の 3 つの理由により、HEC-HMS モデルを用いることとした。

- モデルのノウハウの共有、再利用の利便性の点で優位性が高いこと
- 実績洪水の十分な再現性を確保できていること
- パラメータのキャリブレーションの容易さ（モデルの妥当性評価）

HEC-HMS は、米国陸軍工兵隊から無償で配布されており、利用ユーザーが国際的に多い。KfW（ドイツ復興金融公庫）が実施中のシディサレムダム上流域の U1・U2 ゾーンでの F/S および D/D でも用いられており、また、アルジェリア大学でもメジェルダ川の解析に HEC-HMS を用いている。パラメータ同定された本検討成果を供与すれば、そのモデルに基づいた追加的な利用がチュニジア側で実施できることは、他のモデルより優位性が高い。

F/S で使用された WEB-DHM モデルおよび SAPI で使用された SHER モデルともに物理的基礎式に基づいた高度なモデルであるが、入出力データの作成、出力結果の整理には、Linux で動作するスクリプトを作成しながら行う必要があり、検討成果をチュニジア側とシェアすることが難しい。また、WEB-DHM モデルについては、計算結果のデータの入手が困難なこと、支川等のキャリブレーションがなされていないこと、などの理由のため、本調査では不採用とした。

SAPI の際に採用した SHER モデルは、計算が複雑（物理モデル）であるため、正確な観測データ

や土壌特性・帯水層地質条件データがない中で、様々な計算ケースを実施し、当該流域が有する妥当な（複雑な）パラメータを設定（同定）するためには、計算時間等の関係から多大な時間と検討費用が必要である。従って、メジェルダ川のような正確な情報（降雨、蒸発散、飽和・不飽和土壌特性、帯水層の地質条件等）が不足している河川流域では、パラメータの同定等に多大な時間が必要である（限られた時間内では難しい）ことから不採用とした。

一方、本検討では、HEC-HMS の取り回しの容易さを活かし、F/S や SAPI の検討よりも多くの地点や洪水ケースでのキャリブレーションを実施し、実績洪水に対してより適合性の高いパラメータ同定を実施することができた。

### 3.4.2 HEC-HMS モデル

HEC-HMS は、樹状分岐流域システムの完全な水文学プロセスを計算するように設計されている。ソフトウェアには、浸透、単位図法、水文ルーティングなど、多くの従来の水文解析手順が含まれている。HEC-HMS には、蒸発散、融雪、土壌水分の計算など、連続シミュレーションに必要な手順も含まれている。高度な機能は、線形準分散流出解析変換（ModClark）を使用したグリッド流出解析も提供されている。モデルの最適化、河川流量の予測、深度領域の縮小、モデルの不確実性の評価、浸食と土砂の輸送、水質評価のための分析ツールも用意されている。

HEC HMS は、分割流域毎に集中型流出モデルを当てはめ、それらを河道モデルでリンクして流出量を算定する HEC-1 の Windows 版である。サブ流域、合流点とそれらをリンクする河道、ダム・貯水池、分岐（分流）、ソースなどからなるモデルである。これらはマウス操作で容易に作成でき、モデルの選択、パラメータの設定、相互モデルの接続、さらには計算結果の表示も容易に行える GUI に優れた統合解析ソフトである。遮断・浸透・蒸発散による損失雨量を算定するための損失モデル、有効降雨から直接の流出量を算定する流出変換モデルと地下水流出に対応する基底流出モデルの 3 つで構成されるモデルがある。

表 3-9 HEC HMS の流域モデル

| 損失モデル          | 流出変換モデル            | 基底流出モデル  |
|----------------|--------------------|----------|
| Green-Apt モデル  | Clark 単位図法         | 逐減曲線法    |
| 初期損失ー一定割合法     | Snyder 単位図法        | 月一定法     |
| SCS カーブナンバー法   | SCS 単位図法           | 線形貯水池モデル |
| 格子状カーブナンバー法    | Kinematic Wave モデル |          |
| 欠損一定損失モデル      | ModClark モデル       |          |
| 長期土壌水分算定モデル    | ユーザー定義による単位図       |          |
| 格子状長期土壌水分算定モデル | ユーザー定義による S-グラフ    |          |

注）SCS とは米国土壌保全局 Soil Conservation Service の略

出典：米国陸軍工兵隊

下表は河道モデルを示しているが、ユーザー独自のモデルを組み込みことはできない。

表 3-10 HEC HMS の河道モデル

| 河道モデル             |                    |
|-------------------|--------------------|
| Lag 法             | Kinematic Wave モデル |
| 修正 Plus 法         | Normal Depth 法     |
| Muskingum 法       | Straddle Stagger 法 |
| Muskingam-Cunge 法 |                    |

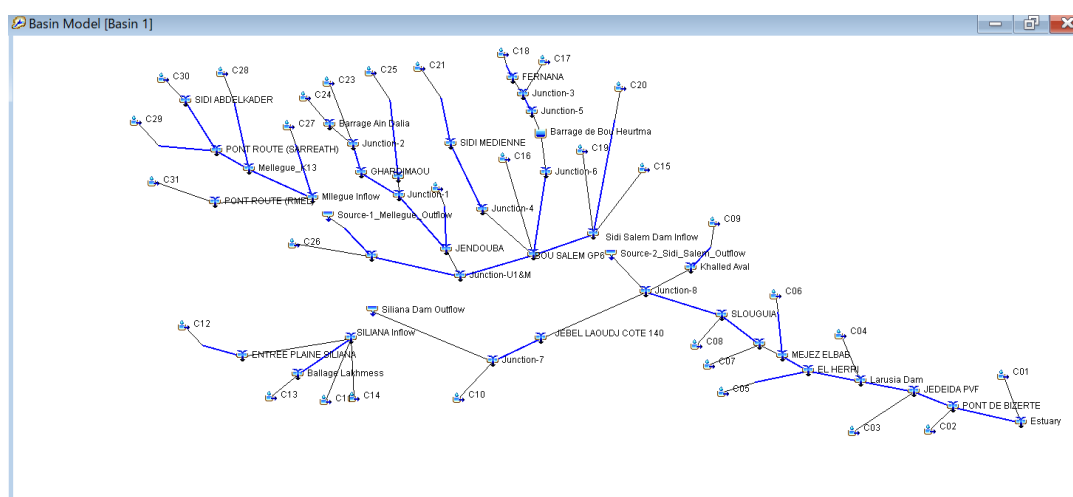
出典：米国陸軍工兵隊

このソフトウェアは、データベース、データ入力ユーティリティ、計算エンジン、結果報告ツールなど、完全に統合された作業環境を備えている。グラフィカルユーザーインターフェイスにより、ユーザーはソフトウェアの異なる部分間をシームレスに移動できる。シミュレーション結果は HEC-DSS (データストレージシステム) に保存され、他のソフトウェアと組み合わせて、水の利用可能性、都市の排水、流れの予測、将来の都市化の影響、貯水池余水路の設計、洪水被害の軽減、氾濫原の規制、およびシステム操作などが可能である。

HEC HMS には、モデルパラメータを最適化プログラムも組み込まれているが、パラメータの意味を十分理解せずに利用すると、一見満足すべき結果を得ることはできるものの、同定したパラメータが非現実的な値になることもあり、最適化には、多くの降雨－流量データや専門的な知識が不可欠である。

### 3.4.3 モデルの分割ブロック

本調査では、下図のように 31 の小流域に分割して流出解析を行った。地形データについては GIS を用いてモデルに必要な要素（面積、地形勾配、河床勾配、河道延長等）を決定した。

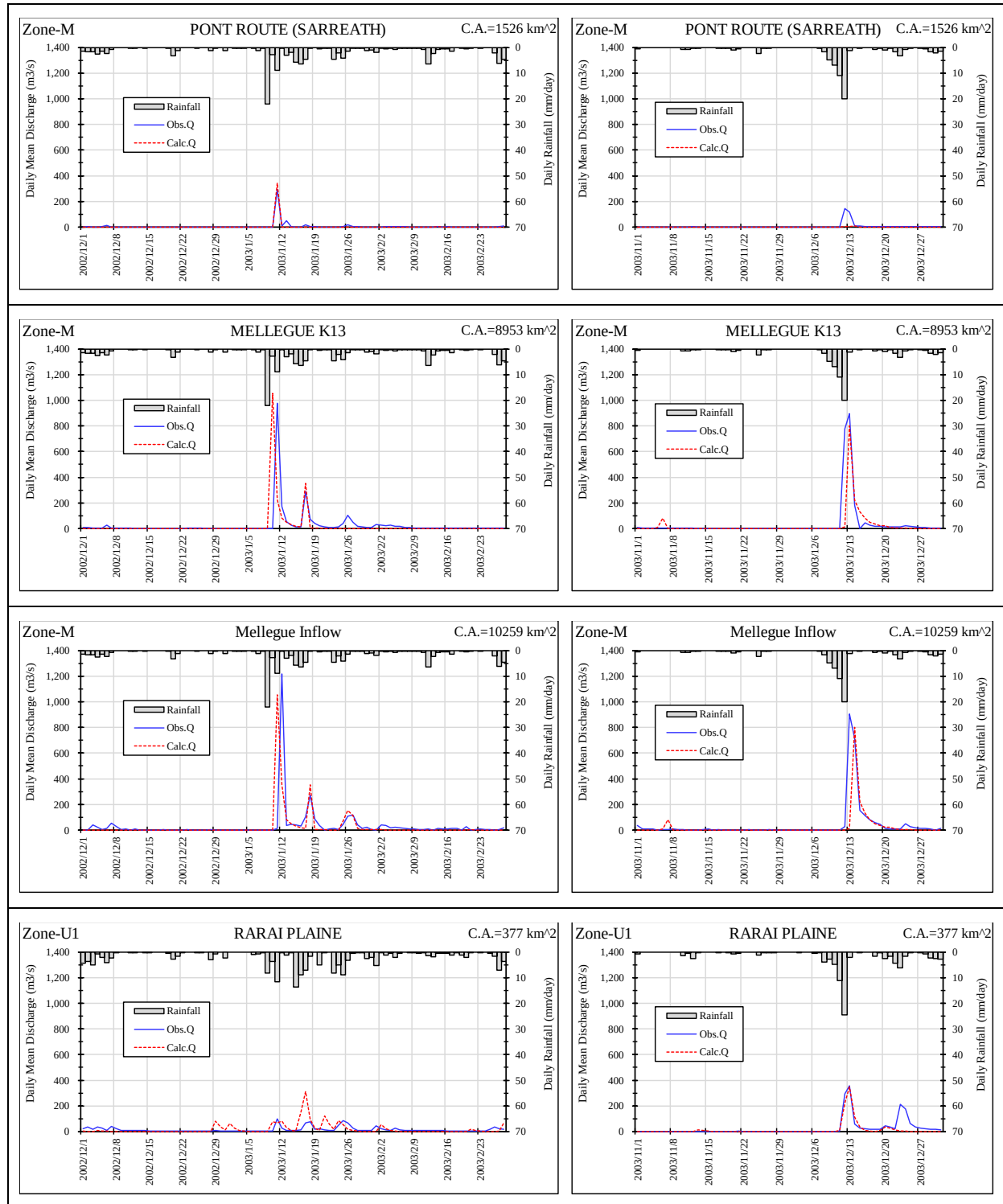


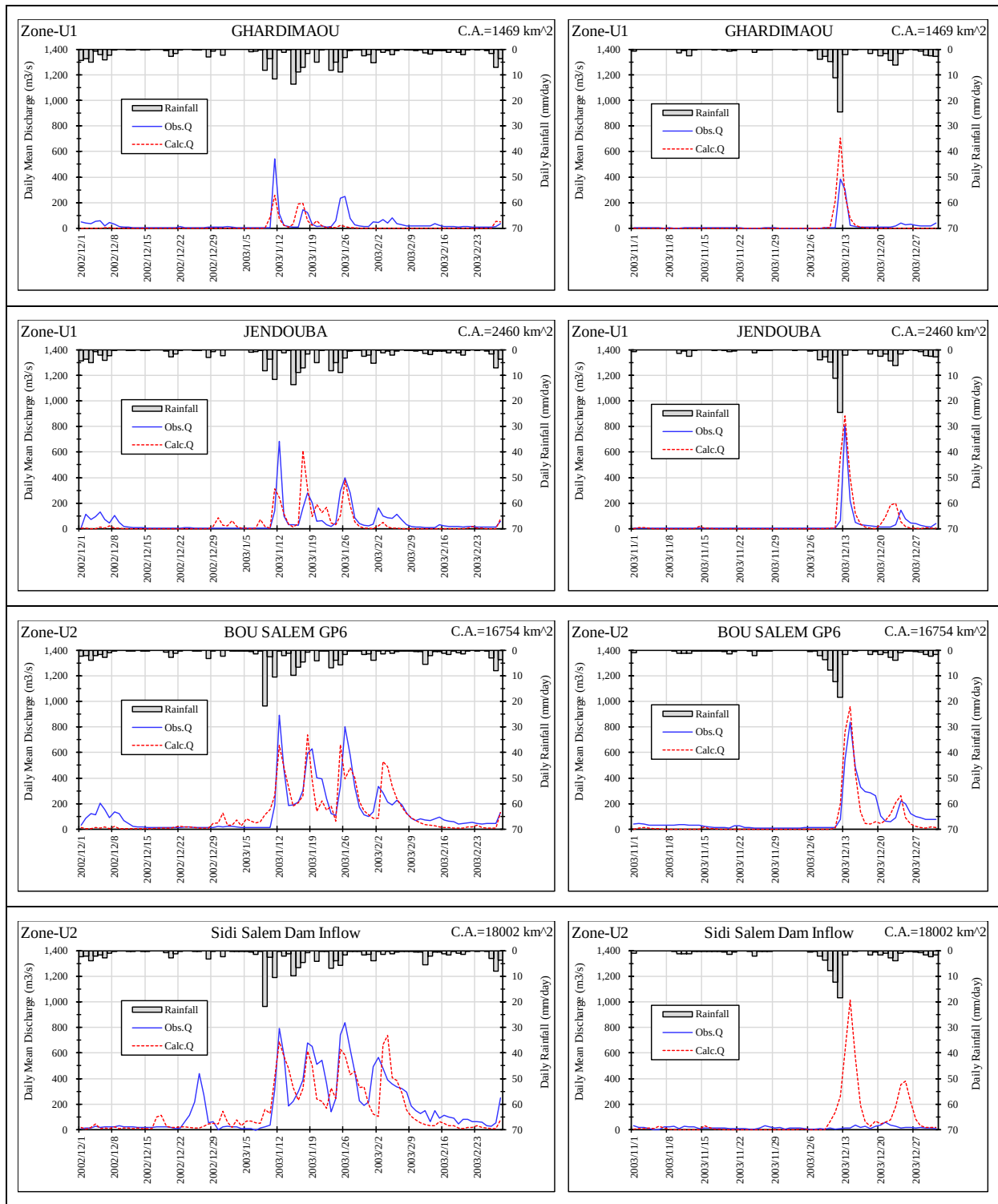
出典：JICA 調査団

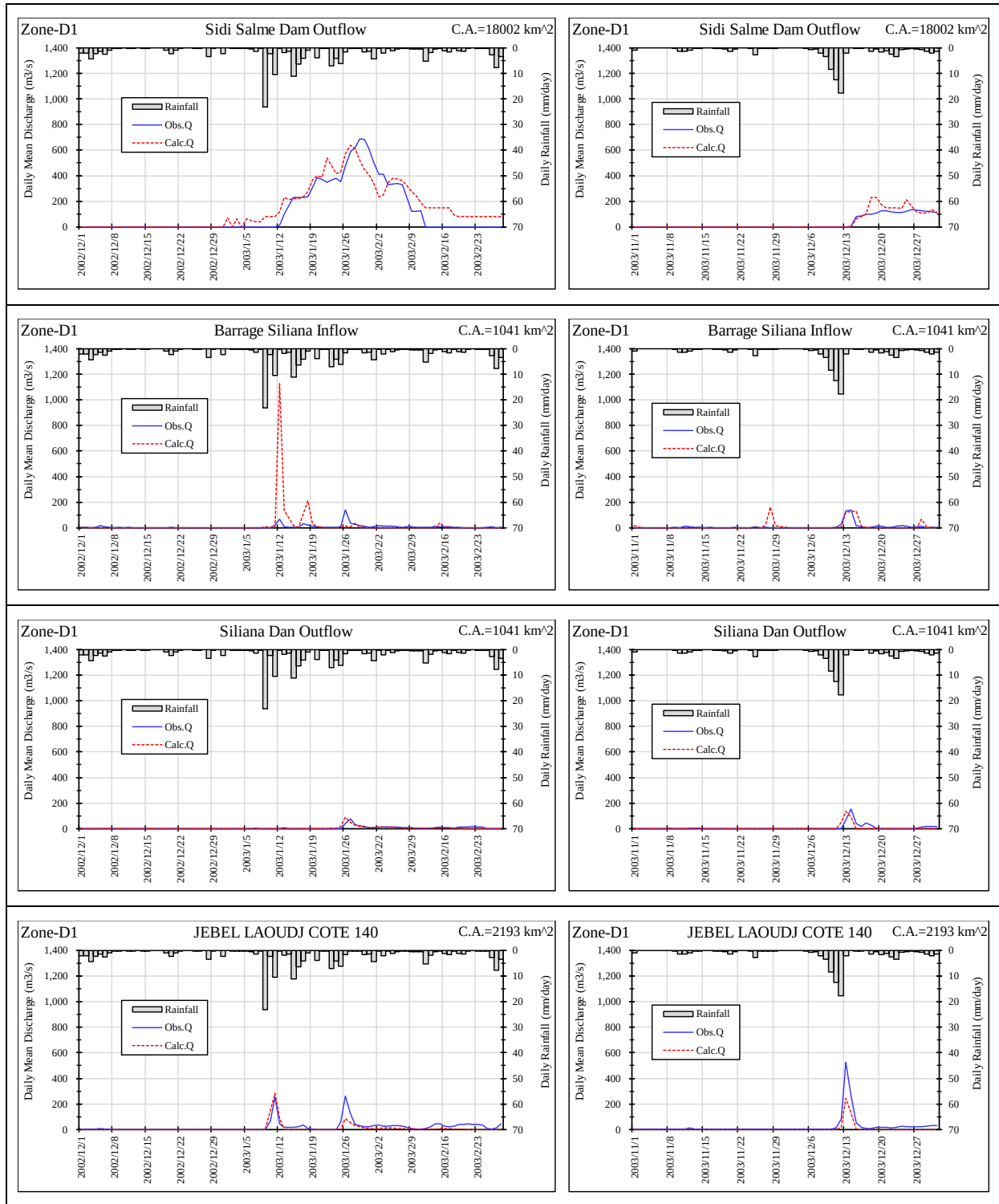
図 3-26 HEC-HMS モデルの分割ブロック (31 小流域)

### 3.4.4 モデルキャリブレーション

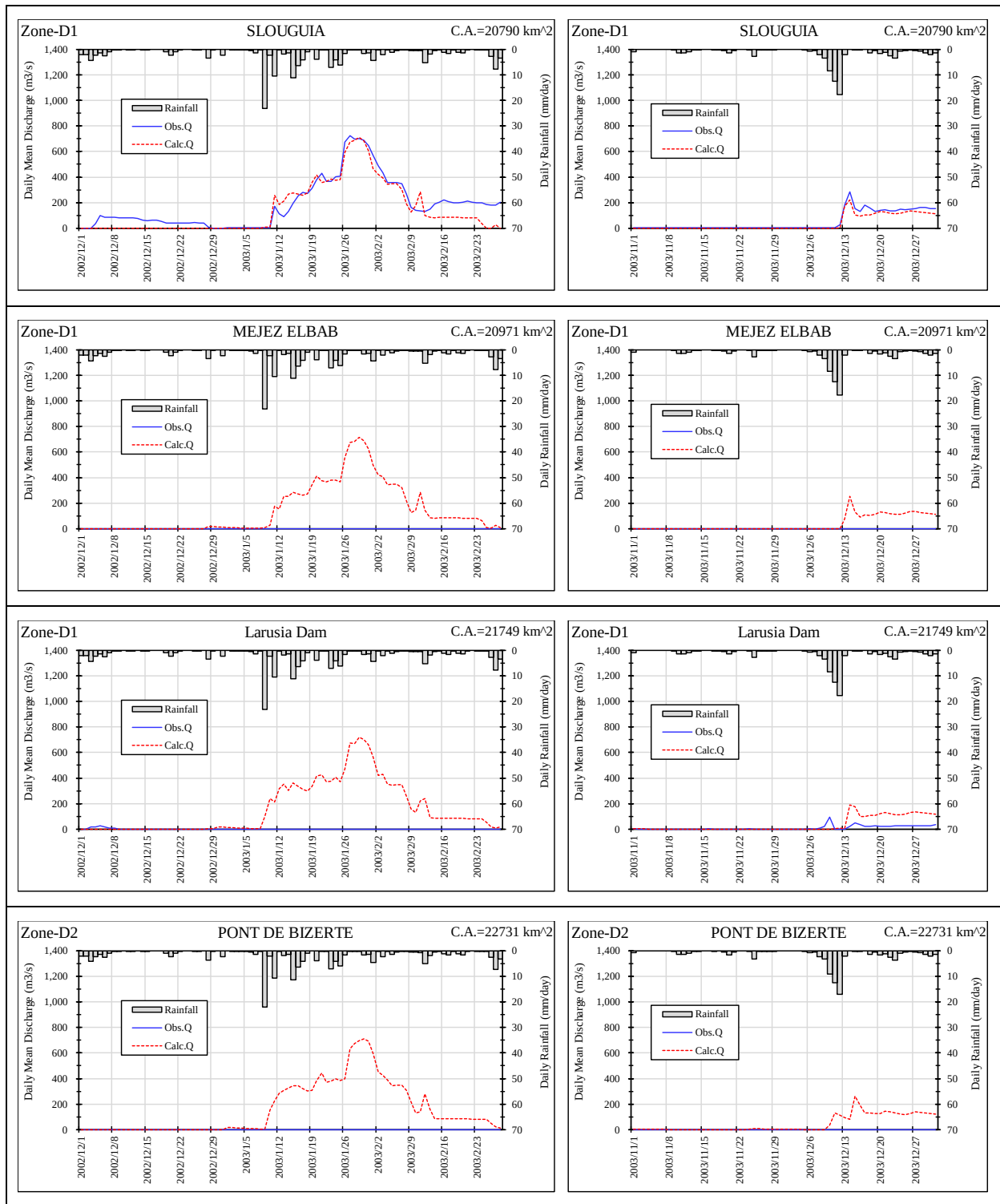
流量観測記録を対象にモデルが算出する流量を合わせることで、キャリブレーションを行った。主な観測所における観測流量と計算流量の比較図を以下に示す。本調査の HEC-HMS モデルで、多地点、多ケースでの再現性検証を行えていることが分かる。







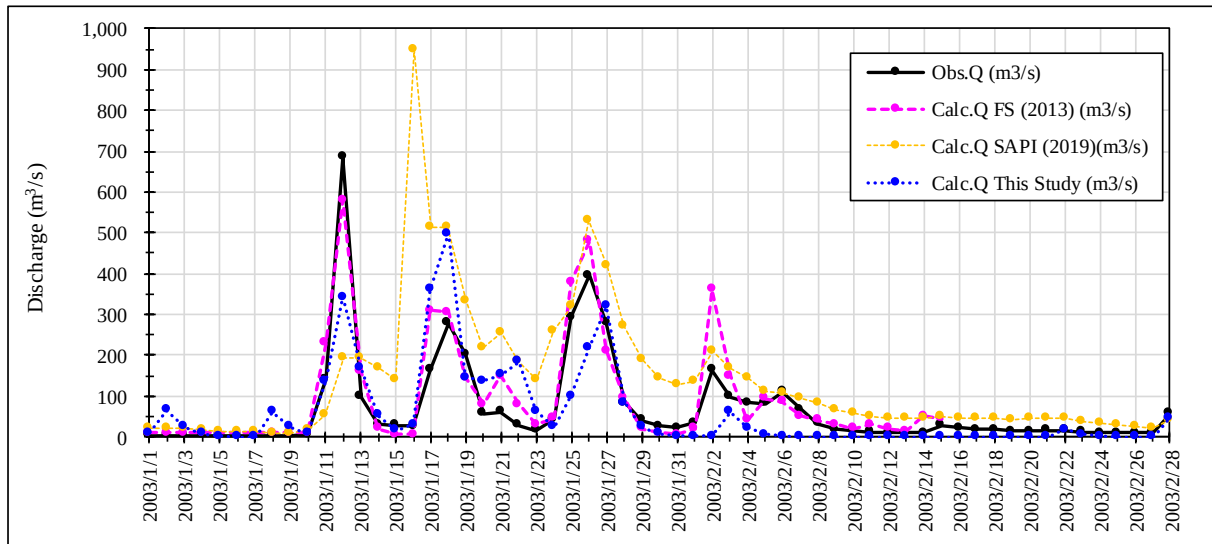




出典：JICA 調査団

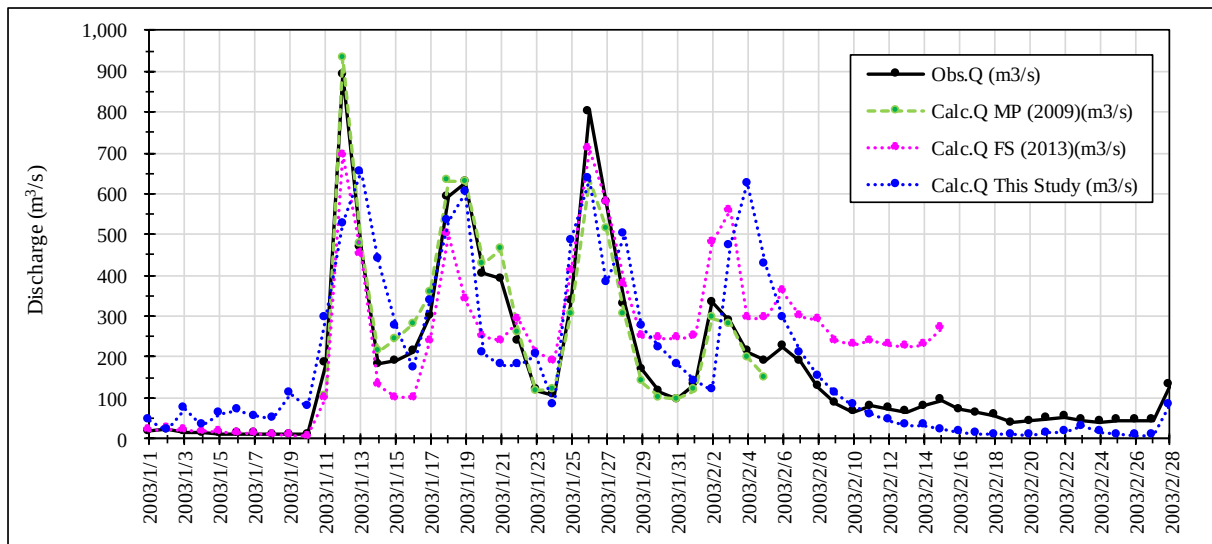
図 3-27 HEC-HMS モデルのキャリブレーション結果

下図に M/P (2009 年)、F/S (2013 年)、SAPI (2018 年) および本調査における各モデルのキャリブレーション結果の比較図を示す。M/P の報告書では Bou Salem 地点のみのキャリブレーション結果が示されているが、実測値とモデルの計算結果が良く合っている。F/S では Jendouba 地点と Bou Salem 地点の 2 か所でのキャリブレーションが示されているが、Jendouba 地点では実測値と計算結果が良く適合しているが、Bou Salem 地点ではあまり合っていない。一方、調査の結果は Jendouba および Bou Salem の両地点で概ね実測値と計算値が良く適合しており、SAPI のモデルキャリブレーション結果よりも改善がみられる。また、前述のように、本調査の HEC-HMS モデルでは、Jendouba と Bou Salem 地点のみならず多地点でのキャリブレーションを行っている。



出典：JICA 調査団

図 3-28 各調査でのモデルのキャリブレーション結果の比較 (Jendouba 地点)



出典：JICA 調査団

図 3-29 各調査でのモデルのキャリブレーション結果の比較 (Bou Salem 地点)

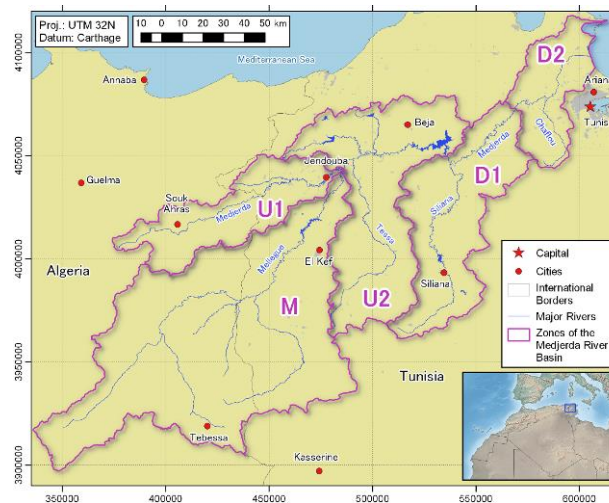
### 3.4.5 計画降雨の設定

計画降雨の設定は、水力や水資源システムの設計で一般的に使用される確率統計解析に基づいている。この統計解析は、さまざまなイベント期間での年間最大降雨の非超過確率を決定することを目的としている。

#### (1) 洪水集中時間の決定

洪水の集中時間は、降雨に対する流域の応答時間である。これは、洪水制御計画で降雨が最も離れた場所から対象河川地点まで移動するのに必要な時間として定義される。計画降雨は、洪水の集中時期に基づいて作成される。

2009年のマスタープランでは、主要な洪水時の空間降雨パターンの分析に基づいて、5つの水文地帯が定義された。M、U1、U2、D1、D2と呼ばれる5つの水文地帯を下図に示す。



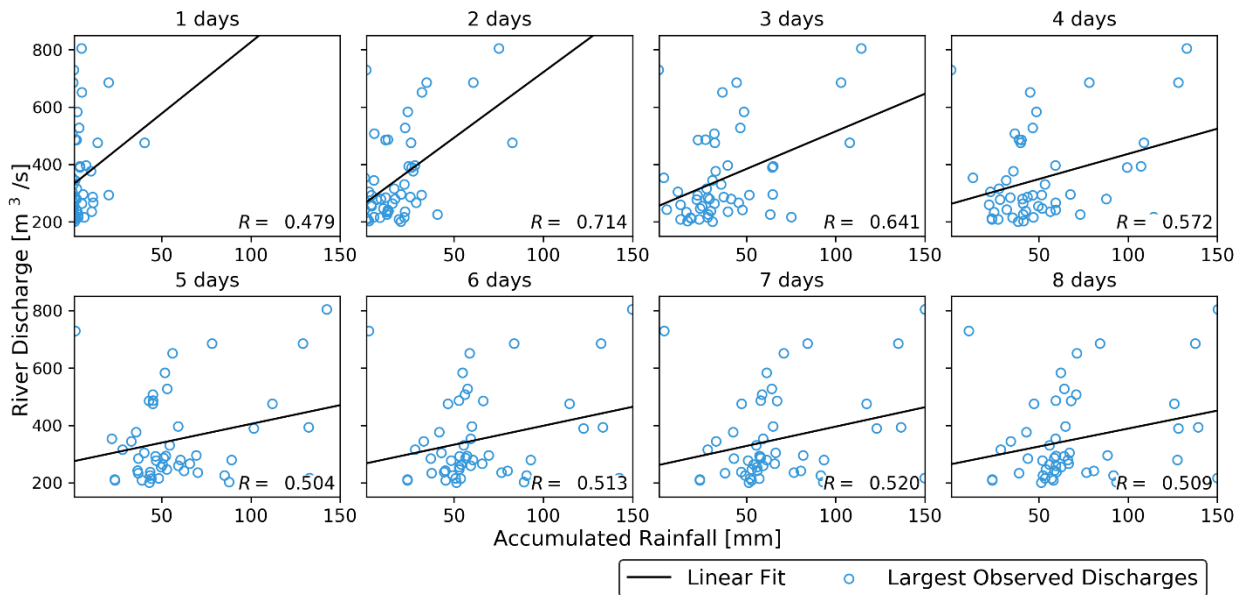
出典：「メジェルド川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

図 3-30 5つの水文地帯におけるメジェルド川流域の区分

各水文地帯では、過去の洪水ピーク流量とそれ以前の累積降雨量の分析を行って、降雨イベントの開始から流出のピークまでにかかる日数で最も頻度の高い洪水集中時間を調べた。この時間を決定する手順は次のとおりである。

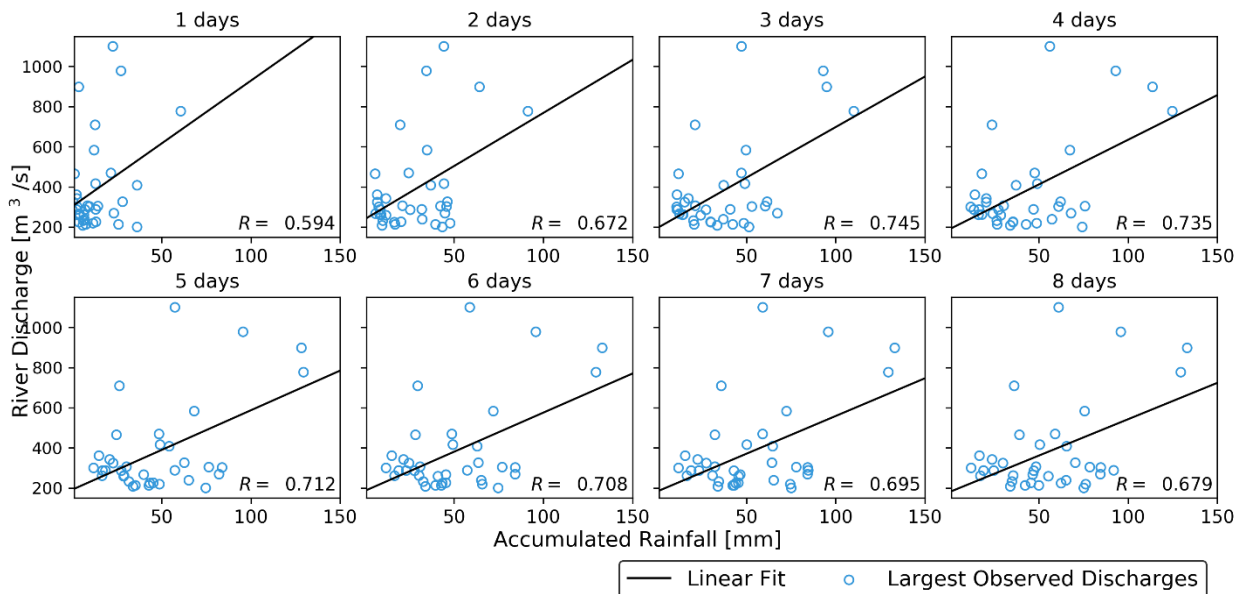
1. 各ゾーンで選択された河川流量観測所について、ある閾値を超えるピークフローの洪水イベントを選定した。閾値は、既存の洪水記録に従って決定されている。
2. 上述で選定された日付のイベント前日までの累積降水量は、グリッド化された降水量データセットを使用して計算される。降水量は、観測所の集水域で累積される。
3. イベントの洪水ピーク流量（ステップ1）および累積された降水量（ステップ2）がグラフにプロットされる。1つのグラフは、さまざまな期間（大きな流量が観測されるまでの日数）について作成される。各ゾーンの洪水集中時間は、ピーク洪水流量と累積降雨との間の最良の相関をもたらす期間を選択することによって決定される。

上記3つのステップの結果を図 3-31 から図 3-35 に示す。累積降雨量は、さまざまな期間について示している。



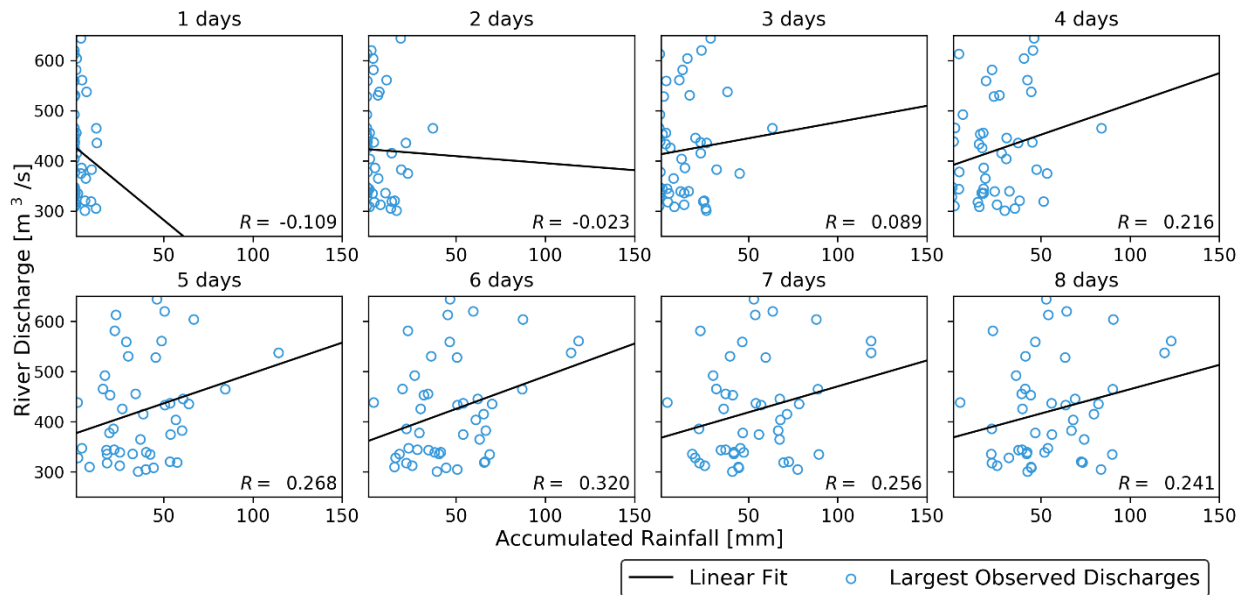
出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-31 U1 ゾーン下流端の Jendouba 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

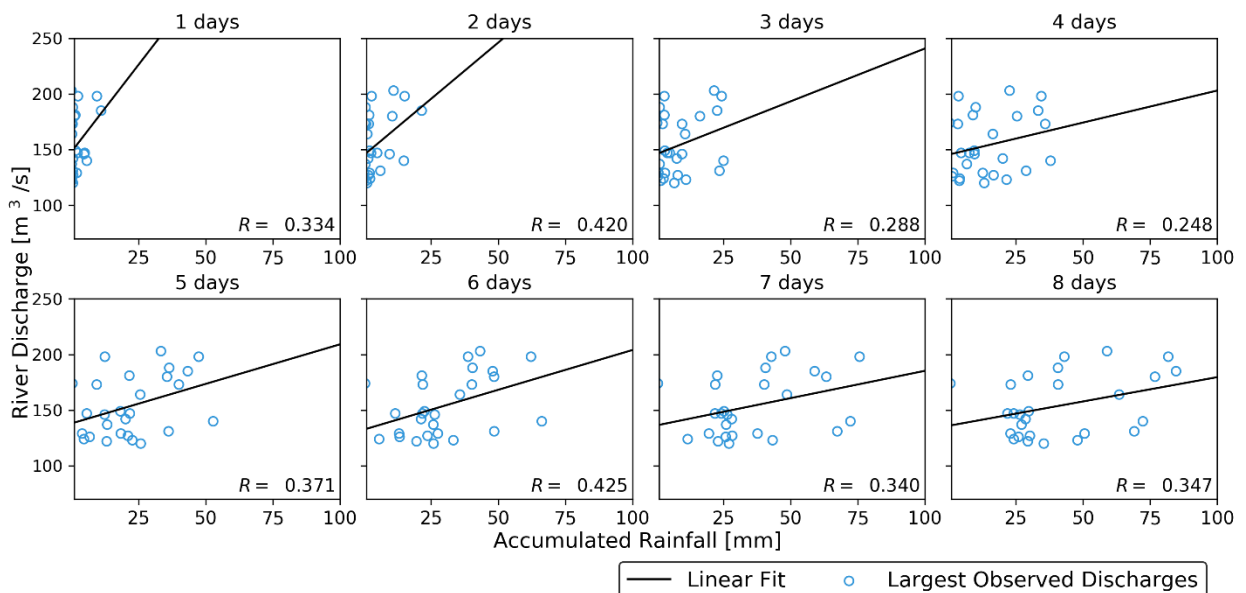
図 3-32 M ゾーン下流端の Mellegue 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

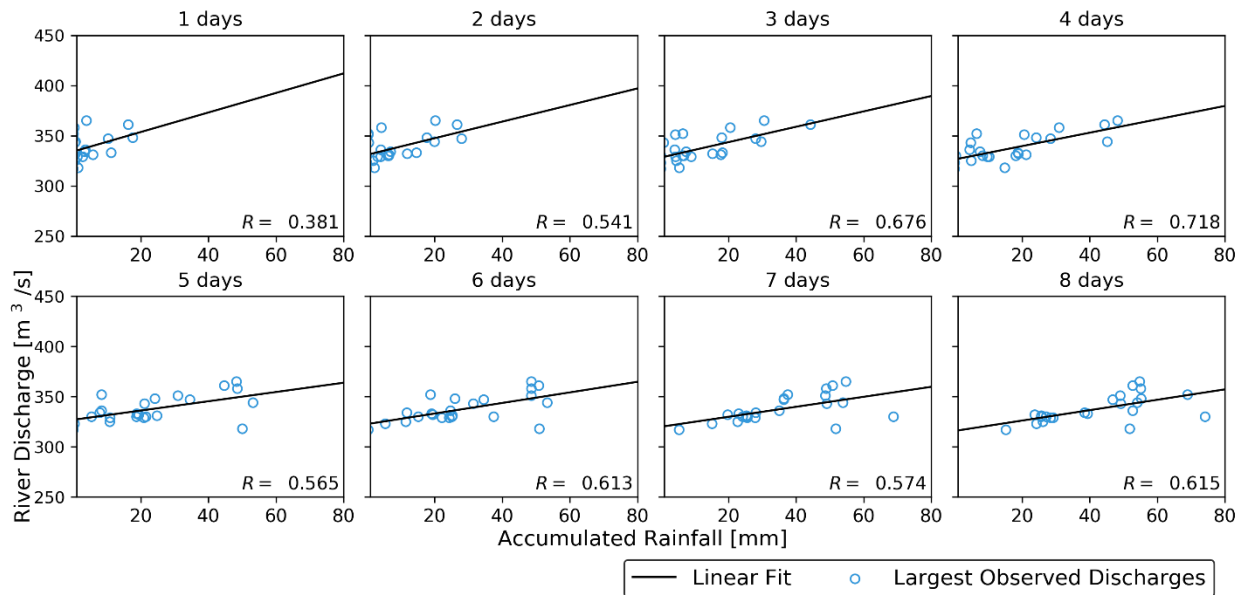
図 3-33 U2 ゾーン下流端のシディサレムダムで観測された最大流量と累積降雨量との相関

上図に示された比較的低い相関関係は、推定であり実際の観測ではない河川流量の結果である。シディサレムダムの貯水池に到達する河川流量は測定されていない。ただし、貯水池の水位と記録された流入/流出（たとえば、降雨、オーバーフロー、余水吐、蒸発散、発電）から、河川流量は概算されている。



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-34 D1 ゾーン下流端の El Herri 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

図 3-35 D1 ゾーン下流端の Jedeida Ville 観測所で観測された最大流量と累積降雨量との相関

上図 3-34 と図 3-35 の場合、利用可能な河川流量観測の短い期間とダムによって引き起こされたラグタイムが、比較的低い相関の理由である可能性がある。

上記の図で得られた結果を分析し、各水文地帯について決定された設計降雨イベント期間を表 3-11 に示す。U2 ゾーンの設計降雨期間は 5 日間と決定したが、6 日間の降雨が最も高い相関期間として評価された。シディサレムダムの河川流量は、貯水池のバランスから推定されたものであり、精度は期待できない。流域全体と U2 ゾーンの位置のバランスにより、5 日降雨が U2 ゾーンの洪水集中時間の適切な期間と判断した。

表 3-11 各水文地帯の設計降雨イベント期間

| 水文ゾーン                        | U1                     | M                      | U1+M+U2           | U1+M+U2<br>+D1 | U1+M+U2<br>+D1+D2 |
|------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 流域面積 (km <sup>2</sup> )      | 2,460                  | 10,769                 | 18,002            | 21,749         | 23,264            |
| 下流端                          | メレゲ川と<br>メジェルダ<br>川合流点 | メレゲ川と<br>メジェルダ<br>川合流点 | シディサレ<br>ムダム      | ラルーシア<br>ダム    | 河口                |
| 流量観測所                        | Jendouba               | Mellegue               | Sidi Salem<br>Dam | El Herri       | Jedeida<br>Ville  |
| 流量観測所の集水域 (km <sup>2</sup> ) | 2,460                  | 9,206                  | 18,002            | 21,566         | 21,884            |
| 流量閾値 (m <sup>3</sup> /s)     | 200                    | 200                    | 300               | 125            | 320               |
| 計画降雨期間 (日)                   | 2                      | 3                      | 5                 | 6              | 6                 |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

## (2) 年最大降水量の頻度分析

選定された流量観測所の利用可能な流量記録において、年最大降雨強度（年間最大降雨）を持つイベントが特定された。年最大降雨のサンプルは、水文頻度分析で頻繁に使用され、極端な強度の降雨イベントの発生を統計的に決定する。



選定された各測点について、年間の最大降雨イベントのサンプルに対して異なる確率分布を適用した。本調査では、4つの確率分布を考慮した。すなわち、一般化極値（GEV）分布、ガンベル分布（一般化極値分布タイプIとも呼ばれる）、平方根指数型最大値分布（SqrtEt）およびピアソントタイプIIIの対数（ログピアソントタイプ3）分布（一般化ガンマ分布とも呼ばれる）の4つである。確率分布のパラメータの推定値をフィッティングすることは、観測流量の利用可能な短い期間によって妨げられ、年間最大降雨イベントのサンプルのサイズが小さくなる場合に対処するために、ジャックナイフ法を利用して、利用可能なデータをリサンプリングした。リサンプリングされたデータへの分布のフィッティングは、確率加重モーメントを利用して実行され、推定された分布は、リサンプリングのエラーと SLSC（Switch Load and Signal Conditioning:  $SLSC \leq 0.04$ ）フィッティング評価の2つの側面を考慮して評価した。フィッティングプロセスの結果を表 3-12～表 3-17 および図 3-36～図 3-40 に示す。これらの表では、LS が最小の分布と、100 年確率に対応するジャックナイフ推定誤差が最小の分布を太字で示している。

表 3-12 各ゾーン別年最大 n-日流域平均降水量

| Year | U1 Zone                    |            | M Zone                     |            | U1+M+U2 Zone               |            | U1+M+U2+D1 Zone            |            | U1+M+U2+D1+D2 Zone         |            |
|------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|
|      | Annual_Max.                | Date       | Annual_Max.                | Date       | Annual_Max.                | Date       | Annual_Max.                | Date       | Annual_Max.                | Date       |
|      | 2-days<br>Rainfall<br>(mm) |            | 3-days<br>Rainfall<br>(mm) |            | 5-days<br>Rainfall<br>(mm) |            | 6-days<br>Rainfall<br>(mm) |            | 6-days<br>Rainfall<br>(mm) |            |
| 1979 | 58.72                      | 1979/4/16  | 52.45                      | 1979/4/17  | 54.48                      | 1979/4/19  | 57.79                      | 1979/4/16  | 57.90                      | 1979/11/5  |
| 1980 | 47.50                      | 1980/4/16  | 54.48                      | 1980/3/6   | 54.01                      | 1980/3/8   | 60.45                      | 1980/3/9   | 59.15                      | 1980/3/9   |
| 1981 | 30.17                      | 1981/9/18  | 29.14                      | 1981/1/1   | 49.13                      | 1981/1/1   | 55.81                      | 1981/1/2   | 54.91                      | 1981/1/2   |
| 1982 | 47.35                      | 1982/11/11 | 50.46                      | 1982/11/11 | 69.14                      | 1982/11/13 | 84.02                      | 1982/11/15 | 83.90                      | 1982/11/15 |
| 1983 | 41.70                      | 1983/11/1  | 39.65                      | 1983/6/22  | 37.89                      | 1983/11/3  | 38.94                      | 1983/10/5  | 37.53                      | 1983/11/4  |
| 1984 | 82.71                      | 1984/12/30 | 66.95                      | 1984/12/30 | 84.57                      | 1984/12/31 | 85.64                      | 1984/12/31 | 86.23                      | 1984/12/31 |
| 1985 | 29.45                      | 1985/5/5   | 41.82                      | 1985/1/1   | 86.23                      | 1985/1/1   | 84.67                      | 1985/1/2   | 85.06                      | 1985/1/2   |
| 1986 | 33.76                      | 1986/3/15  | 31.27                      | 1986/3/20  | 38.07                      | 1986/11/25 | 43.80                      | 1986/3/19  | 42.69                      | 1986/3/19  |
| 1987 | 35.17                      | 1987/3/9   | 39.13                      | 1987/3/10  | 44.09                      | 1987/3/12  | 41.79                      | 1987/3/13  | 39.63                      | 1987/3/13  |
| 1988 | 25.94                      | 1988/3/6   | 30.92                      | 1988/6/8   | 30.11                      | 1988/6/8   | 33.73                      | 1988/3/10  | 33.13                      | 1988/3/10  |
| 1989 | 23.42                      | 1989/2/15  | 31.70                      | 1989/9/1   | 31.20                      | 1989/9/3   | 33.38                      | 1989/9/4   | 32.68                      | 1989/9/4   |
| 1990 | 52.03                      | 1990/12/22 | 75.37                      | 1990/12/23 | 79.37                      | 1990/12/25 | 77.50                      | 1990/12/26 | 76.80                      | 1990/12/26 |
| 1991 | 47.00                      | 1991/3/15  | 52.43                      | 1991/3/16  | 65.49                      | 1991/3/18  | 66.04                      | 1991/3/19  | 63.33                      | 1991/3/19  |
| 1992 | 47.88                      | 1992/5/24  | 59.82                      | 1992/5/25  | 76.05                      | 1992/11/5  | 86.34                      | 1992/11/6  | 83.10                      | 1992/11/6  |
| 1993 | 27.80                      | 1993/5/12  | 30.12                      | 1993/3/27  | 40.43                      | 1993/3/26  | 44.37                      | 1993/3/27  | 43.33                      | 1993/3/27  |
| 1994 | 36.52                      | 1994/2/8   | 34.10                      | 1994/2/18  | 51.63                      | 1994/2/9   | 57.50                      | 1994/2/9   | 57.31                      | 1994/2/9   |
| 1995 | 38.21                      | 1995/9/27  | 40.93                      | 1995/9/21  | 64.14                      | 1995/9/24  | 67.12                      | 1995/9/24  | 64.49                      | 1995/9/24  |
| 1996 | 55.23                      | 1996/2/28  | 33.12                      | 1996/2/7   | 60.32                      | 1996/2/9   | 66.40                      | 1996/2/9   | 65.08                      | 1996/2/9   |
| 1997 | 42.05                      | 1997/11/22 | 42.70                      | 1997/11/23 | 46.80                      | 1997/11/23 | 48.31                      | 1997/11/12 | 49.09                      | 1997/11/12 |
| 1998 | 44.04                      | 1998/9/23  | 46.14                      | 1998/11/28 | 52.32                      | 1998/9/24  | 55.07                      | 1998/9/25  | 55.87                      | 1998/9/25  |
| 1999 | 35.39                      | 1999/11/8  | 45.59                      | 1999/11/29 | 55.96                      | 1999/1/19  | 66.95                      | 1999/1/20  | 68.99                      | 1999/1/20  |
| 2000 | 60.11                      | 2000/5/26  | 49.62                      | 2000/5/26  | 61.11                      | 2000/5/26  | 56.64                      | 2000/5/27  | 54.03                      | 2000/5/27  |
| 2001 | 30.15                      | 2001/1/14  | 37.41                      | 2001/5/5   | 40.12                      | 2001/5/11  | 43.49                      | 2001/5/11  | 42.67                      | 2001/5/11  |
| 2002 | 28.75                      | 2002/11/7  | 34.21                      | 2002/11/7  | 50.70                      | 2002/11/8  | 50.72                      | 2002/11/9  | 50.29                      | 2002/11/9  |
| 2003 | 109.22                     | 2003/12/12 | 109.65                     | 2003/12/12 | 128.80                     | 2003/12/12 | 135.83                     | 2003/12/13 | 135.56                     | 2003/12/13 |
| 2004 | 46.57                      | 2004/11/13 | 55.33                      | 2004/6/16  | 85.40                      | 2004/11/14 | 85.15                      | 2004/11/15 | 84.12                      | 2004/11/15 |
| 2005 | 61.34                      | 2005/12/14 | 58.80                      | 2005/12/14 | 73.74                      | 2005/12/14 | 79.02                      | 2005/12/14 | 81.79                      | 2005/12/14 |
| 2006 | 63.71                      | 2006/12/14 | 48.56                      | 2006/12/15 | 103.30                     | 2006/12/17 | 118.23                     | 2006/12/18 | 123.21                     | 2006/12/18 |
| 2007 | 34.86                      | 2007/12/30 | 50.80                      | 2007/3/10  | 82.60                      | 2007/3/12  | 89.65                      | 2007/3/12  | 90.08                      | 2007/3/12  |
| 2008 | 35.83                      | 2008/12/3  | 30.95                      | 2008/4/1   | 41.85                      | 2008/1/1   | 42.88                      | 2008/1/1   | 44.29                      | 2008/1/1   |
| 2009 | 73.26                      | 2009/4/11  | 73.74                      | 2009/4/12  | 104.84                     | 2009/4/12  | 108.94                     | 2009/4/12  | 109.66                     | 2009/4/12  |
| 2010 | 46.73                      | 2010/11/4  | 47.59                      | 2010/4/18  | 64.82                      | 2010/11/6  | 70.03                      | 2010/11/7  | 69.36                      | 2010/11/7  |
| 2011 | 44.23                      | 2011/10/30 | 42.67                      | 2011/11/1  | 89.80                      | 2011/11/1  | 104.11                     | 2011/11/2  | 106.42                     | 2011/11/2  |
| 2012 | 55.87                      | 2012/2/22  | 45.62                      | 2012/9/2   | 53.88                      | 2012/2/23  | 62.62                      | 2012/3/10  | 64.19                      | 2012/3/10  |
| 2013 | 51.26                      | 2013/11/12 | 32.83                      | 2013/11/13 | 50.48                      | 2013/11/14 | 50.12                      | 2013/11/15 | 48.22                      | 2013/11/15 |

出典：JICA 調査団

表 3-13 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果 (U1 ゾーン)

|                     | Exp          | Gumbel       | SqrtEt       | Gev          | LP3Rs | LogP3        | Iwai | IshiTaka | LN3Q         | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|------|----------|--------------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
| X-COR(99%)          | 0.987        | 0.982        | 0.993        | 0.992        | —     | 0.992        | —    | —        | 0.99         | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(99%)          | 0.972        | 0.995        | 0.994        | 0.995        | —     | 0.994        | —    | —        | 0.994        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(99%)           | <b>0.033</b> | <b>0.041</b> | <b>0.040</b> | <b>0.024</b> | —     | <b>0.023</b> | —    | —        | <b>0.023</b> | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| Log likelihood 対数尤度 | -136.9       | -143.9       | -144.4       | -143.2       | —     | -143         | —    | —        | -143         | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| pAIC                | 277.8        | 291.7        | 292.7        | 292.4        | —     | 292          | —    | —        | 291.9        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| X-COR(50%)          | 0.982        | 0.974        | 0.986        | 0.985        | —     | 0.992        | —    | —        | 0.982        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(50%)          | 0.98         | 0.983        | 0.976        | 0.985        | —     | 0.994        | —    | —        | 0.985        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(50%)           | 0.043        | 0.079        | 0.075        | 0.043        | —     | 0.041        | —    | —        | 0.047        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

| JackKnife Estimated Val | Return Period | Exp   | Gumbel | SqrtEt | Gev   | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q  | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|-------------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
|                         | 2             | 40.8  | 43.6   | 43.5   | 42.5  | —     | —     | —    | —        | 38.8  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 3             | 48.2  | 50.7   | 52.0   | 49.5  | —     | —     | —    | —        | 46.6  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 5             | 57.6  | 58.6   | 62.2   | 57.8  | —     | —     | —    | —        | 57.5  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 10            | 70.3  | 68.6   | 76.2   | 68.6  | —     | —     | —    | —        | 74.3  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 20            | 83.1  | 78.1   | 90.8   | 80.1  | —     | —     | —    | —        | 93.3  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 30            | 90.5  | 83.6   | 99.7   | 86.9  | —     | —     | —    | —        | 105.5 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 50            | 99.9  | 90.5   | 111.4  | 95.5  | —     | —     | —    | —        | 121.9 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 80            | 108.6 | 96.8   | 122.6  | 103.5 | —     | —     | —    | —        | 138.2 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 100           | 112.7 | 99.7   | 128.0  | 107.4 | —     | —     | —    | —        | 146.3 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 150           | 120.1 | 105.1  | 138.2  | 114.4 | —     | —     | —    | —        | 161.6 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 200           | 125.4 | 109.0  | 145.7  | 119.4 | —     | —     | —    | —        | 173.0 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 400           | 138.1 | 118.2  | 164.4  | 131.5 | —     | —     | —    | —        | 202.3 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 500           | 142.2 | 121.1  | 170.6  | 135.4 | —     | —     | —    | —        | 212.3 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 1000          | 155   | 130.3  | 190.6  | 147.1 | —     | —     | —    | —        | 244.9 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 10000         | 197.3 | 160.9  | 264.5  | 181.3 | —     | —     | —    | —        | 373.5 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                         | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

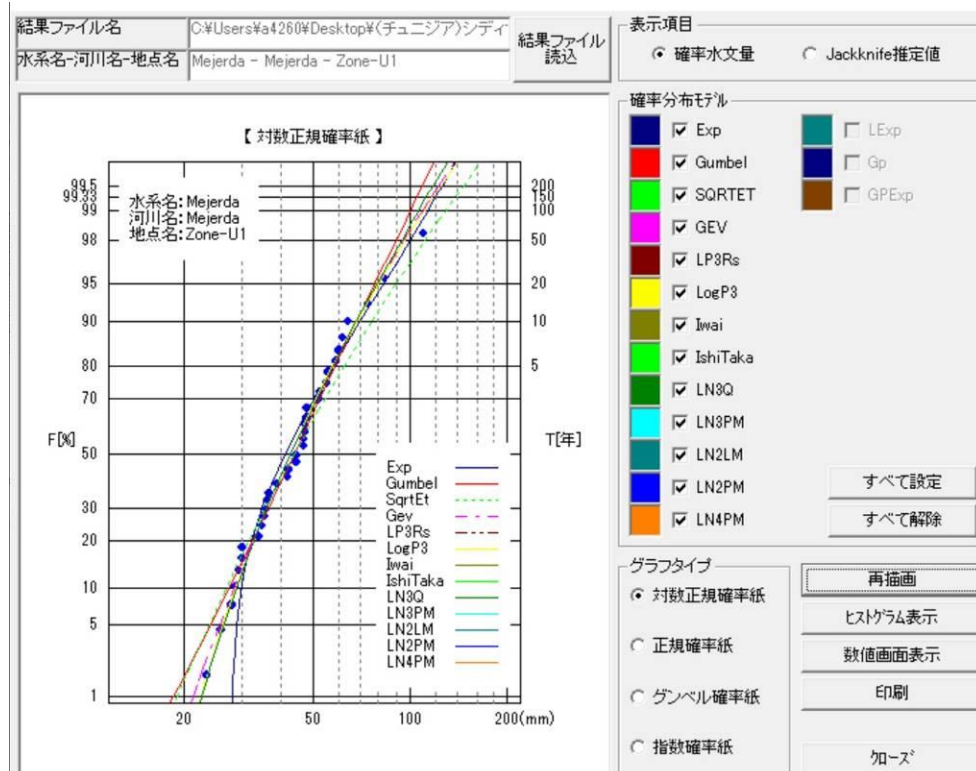
  

| JackKnife 推定誤差           | Return Period | Exp  | Gumbel | SqrtEt     | Gev   | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|--------------------------|---------------|------|--------|------------|-------|-------|-------|------|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
| JackKnife Estimation Err | 2             | 2.3  | 2.6    | 2.3        | 2.6   | —     | —     | —    | —        | 2.6  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 3             | 3.2  | 3.6    | 2.5        | 3.1   | —     | —     | —    | —        | 3.2  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 5             | 4.7  | 4.8    | 2.7        | 4.1   | —     | —     | —    | —        | 4.3  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 10            | 6.9  | 6.5    | 2.9        | 6.4   | —     | —     | —    | —        | 6.7  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 20            | 9.1  | 8.2    | 3.2        | 10.1  | —     | —     | —    | —        | 10.3 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 30            | 10.5 | 9.2    | 3.3        | 13.0  | —     | —     | —    | —        | 12.4 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 50            | 12.2 | 10.5   | 3.5        | 17.2  | —     | —     | —    | —        | 15.6 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 80            | 13.7 | 11.6   | 3.6        | 21.8  | —     | —     | —    | —        | 18.9 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 100           | 14.5 | 12.1   | <b>3.7</b> | 24.2  | —     | —     | —    | —        | 20.6 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 150           | 15.8 | 13.1   | 3.9        | 29.0  | —     | —     | —    | —        | 23.9 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 200           | 16.8 | 13.8   | 3.9        | 32.8  | —     | —     | —    | —        | 26.4 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 400           | 19.1 | 15.5   | 4.2        | 43.1  | —     | —     | —    | —        | 32.8 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 500           | 19.9 | 16.0   | 4.2        | 46.8  | —     | —     | —    | —        | 35.0 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 1000          | 22.2 | 17.7   | 4.5        | 59.7  | —     | —     | —    | —        | 42.3 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 10000         | 30   | 23.3   | 5.2        | 119.0 | —     | —     | —    | —        | 72.0 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 0             | —    | —      | —          | —     | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 0             | —    | —      | —          | —     | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                          | 0             | —    | —      | —          | —     | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

注) SLSC (Standard Least Squares Criterion, 標準最小二乗規準)

注) LS : リサンプリングと最小二乗(Least Squares Method)フィッティング評価の誤差

出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)



出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)

図 3-36 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果 (U1 ゾーン)

表 3-14 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果 (M ゾーン)

|                     | Exp          | Gumbel | SortEt | Gev          | LP3Rs | LogP3        | Iwai | IshiTaka | LN3Q         | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------|--------------|--------|--------|--------------|-------|--------------|------|----------|--------------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
| X-COR(99%)          | 0.983        | 0.97   | 0.985  | 0.988        | —     | 0.989        | —    | —        | 0.988        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(99%)          | 0.984        | 0.994  | 0.992  | 0.993        | —     | 0.991        | —    | —        | 0.99         | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(99%)           | <b>0.038</b> | 0.054  | 0.058  | <b>0.029</b> | —     | <b>0.029</b> | —    | —        | <b>0.033</b> | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| Log likelihood 対数尤度 | -133.6       | -140.2 | -142.1 | -138.8       | —     | -138.1       | —    | —        | -137.9       | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| aAIC                | 271.2        | 284.4  | 288.2  | 283.6        | —     | 282.3        | —    | —        | 281.9        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| X-COR(50%)          | 0.969        | 0.96   | 0.975  | 0.979        | —     | 0.989        | —    | —        | 0.979        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(50%)          | 0.982        | 0.985  | 0.968  | 0.989        | —     | 0.991        | —    | —        | 0.988        | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(50%)           | 0.058        | 0.102  | 0.105  | 0.047        | —     | 0.045        | —    | —        | 0.05         | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

| JackKnife Estimated Value | Return Period | Exp   | Gumbel | SortEt | Gev   | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q   | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
|                           | 2             | 41.9  | 44.5   | 45.1   | 43.1  | —     | 42.8  | —    | —        | 47.0   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 3             | 48.7  | 51.0   | 53.7   | 49.3  | —     | 49.1  | —    | —        | 52.5   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 5             | 57.2  | 58.2   | 64.0   | 56.8  | —     | 56.8  | —    | —        | 56.8   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 10            | 68.8  | 67.2   | 78.2   | 67.3  | —     | 67.6  | —    | —        | 58.8   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 20            | 80.4  | 75.9   | 92.9   | 78.4  | —     | 78.8  | —    | —        | 56.7   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 30            | 87.2  | 80.9   | 101.9  | 85.2  | —     | 85.7  | —    | —        | 53.6   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 50            | 95.7  | 87.1   | 113.7  | 94.1  | —     | 94.8  | —    | —        | 47.5   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 80            | 103.6 | 92.9   | 125.0  | 102.6 | —     | 103.5 | —    | —        | 39.7   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 100           | 107.3 | 95.6   | 130.5  | 106.7 | —     | 107.7 | —    | —        | 35.3   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 150           | 114.1 | 100.5  | 140.8  | 114.4 | —     | 115.6 | —    | —        | 25.8   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 200           | 118.9 | 104.0  | 148.4  | 120.0 | —     | 121.4 | —    | —        | 18.0   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 400           | 130.5 | 112.3  | 167.2  | 133.6 | —     | 135.8 | —    | —        | -4.9   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 500           | 134.3 | 115.0  | 173.5  | 138.1 | —     | 140.5 | —    | —        | -13.5  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 1000          | 145.9 | 123.4  | 193.6  | 152.0 | —     | 155.7 | —    | —        | -44.5  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 10000         | 184.4 | 151.2  | 268.0  | 195.2 | —     | 208.0 | —    | —        | -200.7 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —      | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —      | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —      | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

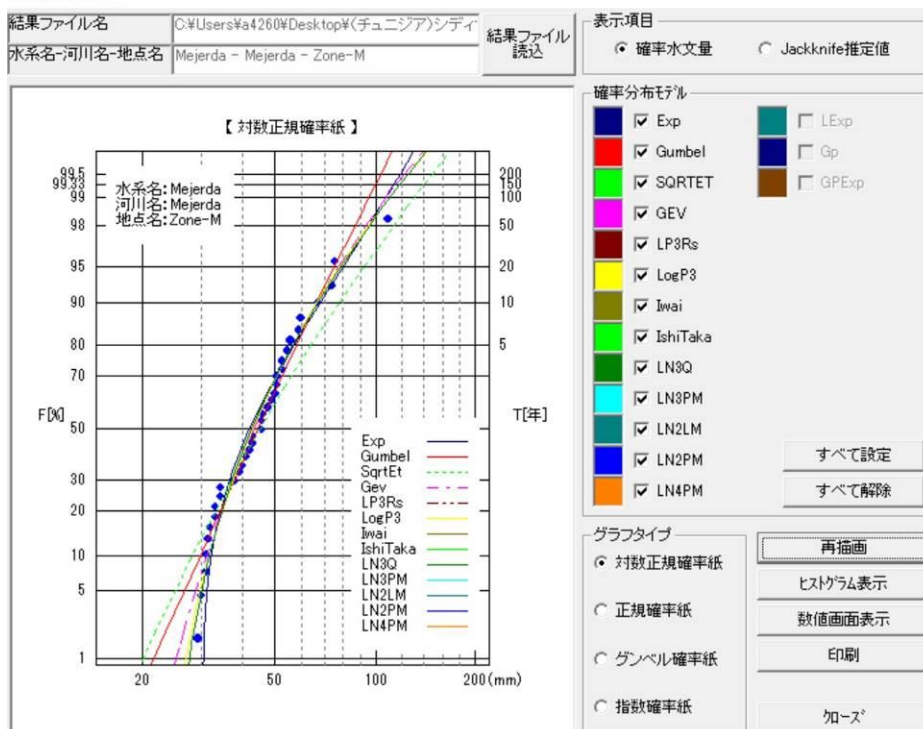
| JackKnife 推定誤差<br>JackKnife Estimation Error | Return Period | Exp  | Gumbel | SortEt     | Gev   | LP3Rs | LogP3       | Iwai | IshiTaka | LN3Q  | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|----------------------------------------------|---------------|------|--------|------------|-------|-------|-------------|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
|                                              | 2             | 2.1  | 2.4    | 2.1        | 2.3   | —     | 2.4         | —    | —        | 2.7   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 3             | 3.0  | 3.4    | 2.2        | 2.9   | —     | 2.9         | —    | —        | 3.1   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 5             | 4.5  | 4.7    | 2.4        | 3.8   | —     | 4.0         | —    | —        | 4.0   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 10            | 6.7  | 6.4    | 2.6        | 6.1   | —     | 6.3         | —    | —        | 6.3   | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 20            | 8.9  | 8.0    | 2.8        | 9.9   | —     | 10.5        | —    | —        | 11.9  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 30            | 10.2 | 9.0    | 2.9        | 12.8  | —     | 13.5        | —    | —        | 15.6  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 50            | 11.9 | 10.2   | 3.1        | 17.3  | —     | 17.9        | —    | —        | 21.0  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 80            | 13.5 | 11.3   | 3.2        | 22.3  | —     | 22.7        | —    | —        | 26.7  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 100           | 14.2 | 11.9   | <b>3.3</b> | 24.9  | —     | <b>25.3</b> | —    | —        | 29.7  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 150           | 15.5 | 12.8   | 3.4        | 30.3  | —     | 30.4        | —    | —        | 35.6  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 200           | 16.5 | 13.5   | 3.5        | 34.5  | —     | 34.4        | —    | —        | 40.1  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 400           | 18.8 | 15.2   | 3.7        | 46.3  | —     | 45.5        | —    | —        | 52.4  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 500           | 19.5 | 15.7   | 3.8        | 50.7  | —     | 49.6        | —    | —        | 56.7  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 1000          | 21.8 | 17.3   | 4.0        | 65.9  | —     | 63.7        | —    | —        | 71.6  | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 10000         | 29.4 | 22.8   | 4.6        | 140.8 | —     | 132.7       | —    | —        | 137.3 | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 0             | —    | —      | —          | —     | —     | —           | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 0             | —    | —      | —          | —     | —     | —           | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 0             | —    | —      | —          | —     | —     | —           | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

注) SLSC (Standard Least Squares Criterion, 標準最小二乗規準)

注) LS : リサンプリングと最小二乗 (LS) フィッティング評価の誤差

出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)

計算結果表示



出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)

図 3-37 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果 (M ゾーン)

表 3-15 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果 (U2 ゾーン)

|                     | Exp          | Gumbel       | SqrtEt       | Gev          | LP3Rs  | LogP3 | Iwai | IshiTaka     | LN3Q         | LN3PM  | LN2LM        | LN2PM        | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|-------|------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|-------|------|----|-------|
| X-COR(99%)          | 0.982        | 0.995        | 0.992        | 0.995        | 1.0    | —     | —    | 0.995        | 0.995        | 1.0    | 0.995        | 0.995        | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(99%)          | 0.965        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 1.0    | —     | —    | 0.996        | 0.996        | 1.0    | 0.996        | 0.996        | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(99%)           | <b>0.039</b> | <b>0.020</b> | <b>0.024</b> | <b>0.019</b> | 0.0    | —     | —    | <b>0.021</b> | <b>0.021</b> | 0.0    | <b>0.021</b> | <b>0.021</b> | —     | —    | —  | —     |
| Log likelihood 対数尤度 | -148         | -155.4       | -155.3       | -155.3       | -155.5 | —     | —    | -155.2       | -155.2       | -155.1 | -155.2       | -155.2       | —     | —    | —  | —     |
| pAIC                | 300          | 314.8        | 314.8        | 316.6        | 316.9  | —     | —    | 316.4        | 316.3        | 316.3  | 316.4        | 314.5        | —     | —    | —  | —     |
| X-COR(50%)          | 0.987        | 0.99         | 0.986        | 0.989        | 1.0    | —     | —    | 0.99         | 0.99         | 1.0    | 0.99         | 0.99         | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(50%)          | 0.987        | 0.987        | 0.985        | 0.987        | 1.0    | —     | —    | 0.987        | 0.987        | 1.0    | 0.987        | 0.988        | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(50%)           | 0.054        | 0.034        | 0.044        | 0.035        | 0.0    | —     | —    | 0.042        | 0.043        | 0.0    | 0.042        | 0.038        | —     | —    | —  | —     |

| JackKnife Estimated Value | Return Period | Exp   | Gumbel | SqrtEt | Gev   | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q  | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
|                           | 2             | 55.2  | 59.1   | 56.7   | 58.7  | 59.1  | —     | —    | 67.2     | 59.1  | 51.4  | 59.4  | 59.2  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 3             | 65.4  | 68.9   | 65.3   | 68.5  | 69.1  | —     | —    | 75.8     | 69.0  | 63.1  | 69.4  | 69.0  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 5             | 78.3  | 79.7   | 75.5   | 79.6  | 80.0  | —     | —    | 81.5     | 80.0  | 79.8  | 80.3  | 79.9  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 10            | 95.8  | 93.4   | 89.3   | 93.7  | 93.6  | —     | —    | 83.7     | 93.5  | 105.6 | 93.6  | 93.4  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 20            | 113.3 | 106.5  | 103.4  | 107.4 | 106.4 | —     | —    | 81.5     | 106.2 | 135.1 | 106.0 | 106.2 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 30            | 123.5 | 114.0  | 112.0  | 115.2 | 113.6 | —     | —    | 78.4     | 113.4 | 154.0 | 112.9 | 113.5 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 50            | 136.4 | 123.5  | 123.2  | 125.0 | 122.5 | —     | —    | 73.0     | 122.2 | 179.5 | 121.4 | 122.7 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 80            | 148.3 | 132.1  | 133.8  | 133.9 | 130.6 | —     | —    | 66.4     | 130.3 | 204.8 | 129.0 | 131.1 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 100           | 153.9 | 136.2  | 139.0  | 138.0 | 134.3 | —     | —    | 62.8     | 134.1 | 217.4 | 132.6 | 135.1 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 150           | 164.2 | 143.6  | 148.7  | 145.5 | 141.1 | —     | —    | 55.5     | 140.9 | 241.3 | 139.1 | 142.4 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 200           | 171.4 | 148.8  | 155.7  | 150.8 | 145.9 | —     | —    | 49.7     | 145.7 | 259.0 | 143.6 | 147.5 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 400           | 188.9 | 161.5  | 173.2  | 163.1 | 157.3 | —     | —    | 33.8     | 157.2 | 304.5 | 154.3 | 160.1 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 500           | 194.5 | 165.5  | 179.0  | 166.9 | 160.9 | —     | —    | 28.1     | 160.9 | 320.0 | 157.7 | 164.1 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 1000          | 212.0 | 178.2  | 197.6  | 178.5 | 172.0 | —     | —    | 8.4      | 172.3 | 370.7 | 168.2 | 176.8 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 10000         | 270.1 | 220.1  | 265.5  | 211.5 | 207.3 | —     | —    | -77.1    | 209.8 | 569.8 | 202.2 | 220.5 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                           | 0             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —    | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

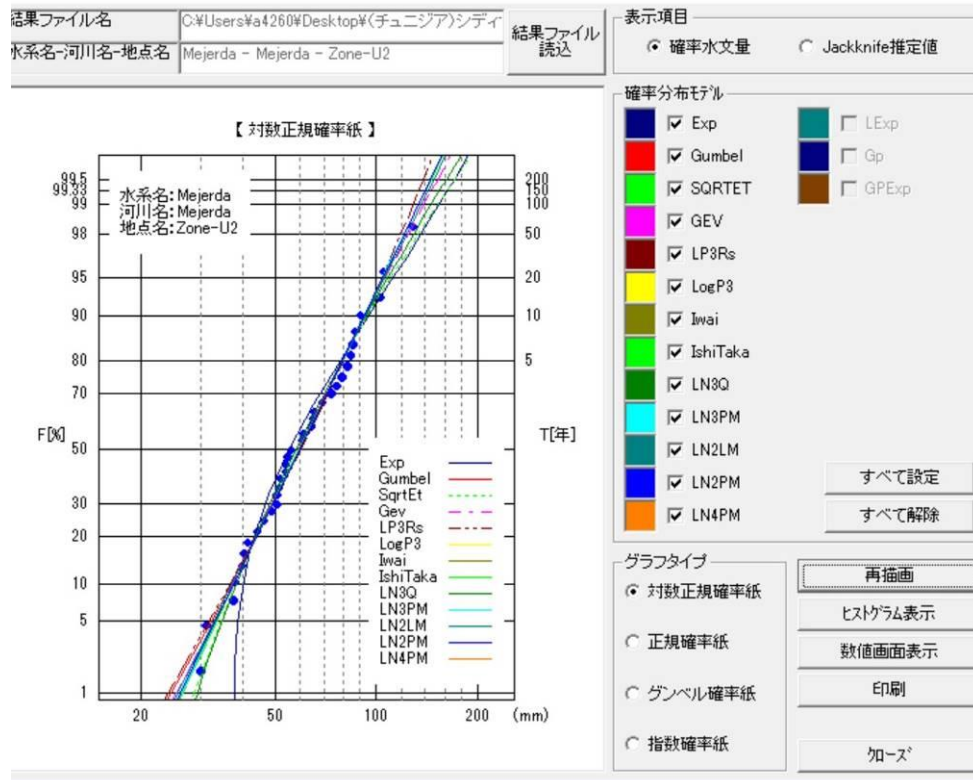
  

| JackKnife 推定誤差             | Return Period | Exp  | Gumbel | SqrtEt      | Gev  | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|----------------------------|---------------|------|--------|-------------|------|-------|-------|------|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
| JackKnife Estimation Error | 2             | 3.3  | 3.5    | 3.4         | 4.1  | 4.0   | —     | —    | 3.6      | 4.1  | 4.8   | 4.1   | 3.5   | 3.5   | —    | —  | —     |
|                            | 3             | 4.0  | 4.4    | 4.1         | 4.9  | 4.8   | —     | —    | 4.4      | 4.9  | 5.1   | 4.9   | 4.3   | 4.3   | —    | —  | —     |
|                            | 5             | 5.4  | 5.6    | 5.1         | 5.8  | 5.7   | —     | —    | 5.5      | 5.8  | 5.4   | 5.8   | 5.6   | 5.5   | —    | —  | —     |
|                            | 10            | 7.6  | 7.2    | 6.5         | 7.3  | 7.4   | —     | —    | 7.5      | 7.3  | 7.3   | 7.3   | 7.6   | 7.3   | —    | —  | —     |
|                            | 20            | 9.8  | 8.9    | 8.1         | 9.8  | 9.7   | —     | —    | 10.2     | 9.6  | 11.2  | 9.6   | 9.8   | 9.3   | —    | —  | —     |
|                            | 30            | 11.2 | 9.9    | 9.1         | 11.8 | 11.4  | —     | —    | 12.0     | 11.3 | 14.2  | 11.3  | 11.1  | 10.5  | —    | —  | —     |
|                            | 50            | 12.9 | 11.2   | 10.5        | 14.9 | 13.7  | —     | —    | 14.5     | 13.8 | 18.7  | 13.7  | 12.9  | 12.2  | —    | —  | —     |
|                            | 80            | 14.5 | 12.3   | 11.8        | 18.5 | 16.2  | —     | —    | 17.1     | 16.4 | 23.5  | 16.3  | 14.6  | 13.7  | —    | —  | —     |
|                            | 100           | 15.3 | 12.9   | <b>12.5</b> | 20.4 | 17.4  | —     | —    | 18.4     | 17.7 | 26.0  | 17.6  | 15.4  | 14.5  | —    | —  | —     |
|                            | 150           | 16.7 | 13.9   | 13.7        | 24.1 | 19.8  | —     | —    | 20.9     | 20.2 | 30.8  | 20.1  | 16.9  | 15.9  | —    | —  | —     |
|                            | 200           | 17.6 | 14.6   | 14.6        | 27.1 | 21.7  | —     | —    | 22.8     | 22.2 | 34.4  | 22.0  | 18.1  | 16.9  | —    | —  | —     |
|                            | 400           | 20.0 | 16.3   | 16.9        | 35.2 | 26.4  | —     | —    | 27.7     | 27.2 | 44.1  | 27.0  | 20.9  | 19.5  | —    | —  | —     |
|                            | 500           | 20.8 | 16.8   | 17.7        | 38.1 | 28.0  | —     | —    | 29.3     | 29.0 | 47.4  | 28.7  | 21.8  | 20.4  | —    | —  | —     |
|                            | 1000          | 23.2 | 18.6   | 20.2        | 47.9 | 33.3  | —     | —    | 34.8     | 34.7 | 58.7  | 34.4  | 24.9  | 23.2  | —    | —  | —     |
|                            | 10000         | 31.2 | 24.3   | 29.6        | 90.7 | 53.8  | —     | —    | 56.7     | 57.5 | 105.2 | 56.9  | 36.1  | 33.4  | —    | —  | —     |
|                            | 0             | —    | —      | —           | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                            | 0             | —    | —      | —           | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
|                            | 0             | —    | —      | —           | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

注) SLSC (Standard Least Squares Criterion, 標準最小二乗規準)

注) LS : リサンプリングと最小二乗 (LS) フィッティング評価の誤差

出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)



出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)

図 3-38 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果 (U2 ゾーン)

表 3-16 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果 (D1 ゾーン)

|                     | Exp          | Gumbel       | SqrtEt       | Gev          | LP3Rs        | LogP3        | Iwai         | IshiTaka     | LN3Q         | LN3PM        | LN2LM        | LN2PM        | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|------|----|-------|
| X-COR(99%)          | 0.982        | 0.995        | 0.992        | 0.995        | 0.993        | 0.995        | 0.995        | 0.995        | 0.994        | 0.995        | 0.995        | 0.995        | 0.995 | —    | —  | —     |
| P-COR(99%)          | 0.972        | 0.996        | 0.995        | 0.996        | 0.995        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996 | —    | —  | —     |
| SLSC(99%)           | <b>0.038</b> | <b>0.021</b> | <b>0.024</b> | <b>0.020</b> | <b>0.028</b> | <b>0.022</b> | <b>0.022</b> | <b>0.024</b> | <b>0.023</b> | <b>0.024</b> | <b>0.023</b> | <b>0.024</b> | —     | —    | —  | —     |
| Log likelihood 対数尤度 | -150.7       | -158         | -157.7       | -157.9       | -158         | -157.6       | -157.5       | -157.7       | -157.5       | -157.7       | -157.8       | -157.7       | —     | —    | —  | —     |
| aAIC                | 305.3        | 319.9        | 319.4        | 321.7        | 322.1        | 321.3        | 321.1        | 321.4        | 321          | 321.5        | 319.5        | 319.5        | —     | —    | —  | —     |
| X-COR(50%)          | 0.987        | 0.989        | 0.986        | 0.989        | 0.989        | 0.995        | 0.989        | 0.989        | 0.988        | 0.989        | 0.989        | 0.989        | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(50%)          | 0.982        | 0.982        | 0.981        | 0.981        | 0.982        | 0.996        | 0.981        | 0.981        | 0.981        | 0.981        | 0.982        | 0.981        | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(50%)           | 0.055        | 0.036        | 0.044        | 0.036        | 0.049        | 0.042        | 0.043        | 0.045        | 0.045        | 0.045        | 0.041        | 0.045        | —     | —    | —  | —     |

| JackKnife Estimated Value | Return Period | Exp   | Gumbel | SqrtEt | Gev   | LP3Rs | LogP3 | Iwai  | IshiTaka | LN3Q  | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
|                           | 2             | 58.9  | 63.1   | 61.5   | 62.6  | 63.3  | 62.5  | 55.7  | 62.2     | 58.8  | 63.5  | 63.2  | 63.2  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 3             | 89.9  | 73.6   | 72.0   | 73.2  | 74.0  | 73.0  | 67.3  | 73.9     | 69.8  | 74.2  | 73.7  | 73.5  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 5             | 83.8  | 85.4   | 84.5   | 85.1  | 85.7  | 84.8  | 83.8  | 85.6     | 84.4  | 85.9  | 85.4  | 85.0  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 10            | 102.7 | 100.1  | 101.5  | 100.4 | 100.2 | 100.0 | 109.0 | 100.1    | 105.1 | 100.2 | 100.0 | 99.2  | —     | —    | —  | —     |
|                           | 20            | 121.6 | 114.2  | 119.1  | 115.2 | 113.8 | 114.7 | 137.2 | 113.6    | 127.3 | 113.4 | 113.9 | 112.7 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 30            | 132.6 | 122.4  | 129.8  | 123.7 | 121.5 | 123.3 | 155.2 | 121.3    | 141.1 | 120.8 | 121.8 | 120.4 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 50            | 146.5 | 132.5  | 143.8  | 134.4 | 130.9 | 134.1 | 179.3 | 130.8    | 159.2 | 129.9 | 131.8 | 130.1 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 80            | 159.3 | 141.8  | 157.2  | 144.0 | 139.4 | 144.1 | 203.0 | 139.4    | 176.7 | 138.1 | 140.9 | 138.9 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 100           | 165.4 | 146.3  | 163.7  | 148.6 | 143.4 | 148.9 | 214.8 | 143.5    | 185.2 | 142.0 | 145.2 | 143.1 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 150           | 176.5 | 154.3  | 175.8  | 156.8 | 150.6 | 157.6 | 237.0 | 150.8    | 201.3 | 148.9 | 153.1 | 150.7 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 200           | 184.3 | 159.9  | 184.7  | 162.6 | 155.7 | 163.9 | 253.4 | 156.0    | 213.0 | 153.8 | 158.7 | 156.2 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 400           | 203.2 | 173.6  | 206.8  | 176.2 | 167.8 | 179.0 | 295.3 | 168.4    | 242.6 | 165.4 | 172.3 | 169.3 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 500           | 209.2 | 178.0  | 214.1  | 180.4 | 171.6 | 183.9 | 309.4 | 172.4    | 252.6 | 169.1 | 176.7 | 173.6 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 1000          | 228.1 | 191.6  | 237.7  | 193.4 | 183.4 | 199.4 | 355.7 | 184.8    | 284.6 | 180.6 | 190.5 | 186.9 | —     | —    | —  | —     |
|                           | 10000         | 290.8 | 236.8  | 324.4  | 231.0 | 221.3 | 251.8 | 534.3 | 225.7    | 405.3 | 217.8 | 238.1 | 232.7 | —     | —    | —  | —     |
| 0                         | —             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0                         | —             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0                         | —             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

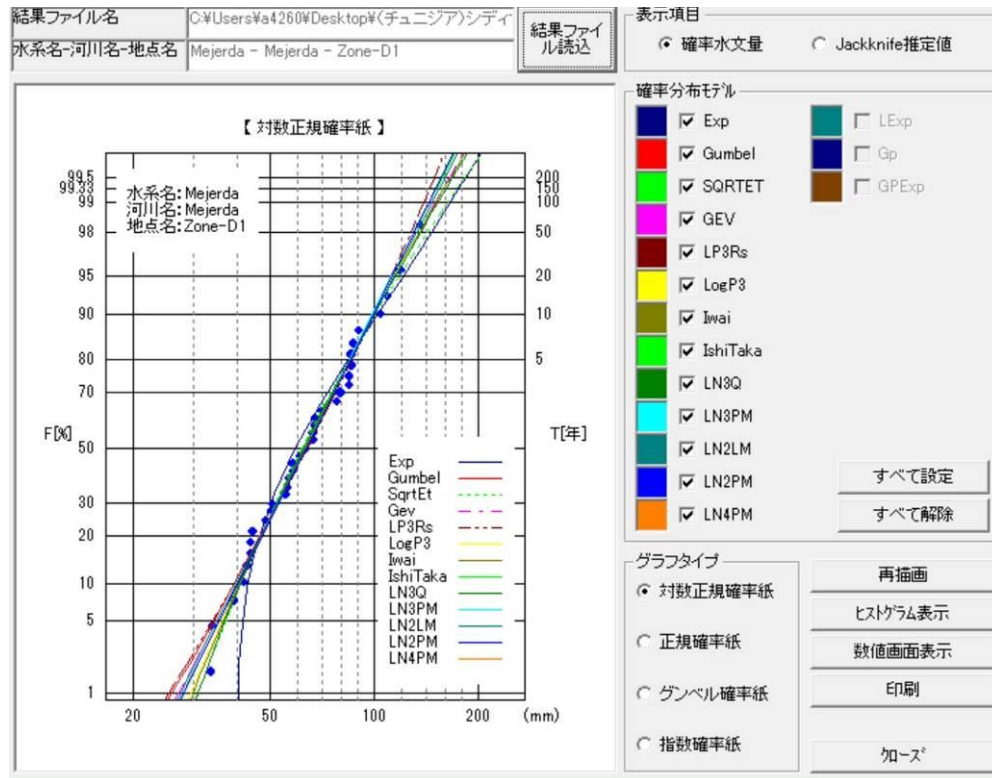
  

| JackKnife 推定誤差<br>JackKnife Estimation Error | Return Period | Exp  | Gumbel | SqrtEt | Gev  | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|----------------------------------------------|---------------|------|--------|--------|------|-------|-------|------|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
|                                              | 2             | 3.5  | 3.8    | 3.7    | 4.4  | 4.3   | 4.3   | 4.0  | 4.4      | 5.2  | 4.4   | 3.8   | 3.8   | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 3             | 4.4  | 4.7    | 4.7    | 5.2  | 5.2   | 5.1   | 4.8  | 5.3      | 5.6  | 5.3   | 4.7   | 4.6   | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 5             | 5.9  | 6.0    | 6.1    | 6.2  | 6.3   | 6.1   | 6.0  | 6.3      | 6.0  | 6.3   | 6.1   | 5.9   | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 10            | 8.2  | 7.8    | 8.3    | 7.9  | 7.9   | 7.9   | 8.0  | 7.8      | 7.5  | 7.8   | 8.2   | 7.9   | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 20            | 10.6 | 9.7    | 10.6   | 10.6 | 9.9   | 10.5  | 10.4 | 9.9      | 10.7 | 9.9   | 10.5  | 10.0  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 30            | 12.1 | 10.7   | 12.2   | 12.8 | 11.2  | 12.4  | 12.1 | 11.4     | 13.3 | 11.4  | 11.9  | 11.3  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 50            | 14.0 | 12.1   | 14.2   | 16.3 | 13.2  | 15.3  | 14.5 | 13.6     | 17.3 | 13.5  | 13.8  | 13.1  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 80            | 15.7 | 13.3   | 16.1   | 20.1 | 15.3  | 18.4  | 17.0 | 15.9     | 21.5 | 15.8  | 15.6  | 14.7  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 100           | 16.5 | 13.9   | 17.1   | 22.2 | 16.3  | 20.1  | 18.3 | 17.0     | 23.7 | 17.0  | 16.5  | 15.6  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 150           | 18.0 | 15.0   | 18.9   | 26.3 | 18.4  | 23.3  | 20.7 | 19.3     | 28.1 | 19.2  | 18.2  | 17.1  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 200           | 19.1 | 15.8   | 20.3   | 29.5 | 20.0  | 25.8  | 22.5 | 21.1     | 31.4 | 21.0  | 19.4  | 18.2  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 400           | 21.7 | 17.6   | 23.7   | 38.2 | 24.1  | 32.7  | 27.3 | 25.6     | 40.1 | 25.5  | 22.4  | 20.9  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 500           | 22.5 | 18.2   | 24.8   | 41.3 | 25.5  | 35.1  | 29.0 | 27.2     | 43.1 | 27.1  | 23.4  | 21.8  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 1000          | 25.1 | 20.1   | 28.5   | 52.0 | 30.2  | 43.3  | 34.4 | 32.5     | 53.3 | 32.3  | 26.7  | 24.8  | —     | —    | —  | —     |
|                                              | 10000         | 33.7 | 26.3   | 42.5   | 98.3 | 48.7  | 79.6  | 56.5 | 53.6     | 95.4 | 53.3  | 38.7  | 35.7  | —     | —    | —  | —     |
| 0                                            | —             | —    | —      | —      | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0                                            | —             | —    | —      | —      | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0                                            | —             | —    | —      | —      | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

注) SLSC (Standard Least Squares Criterion, 標準最小二乗規準)

注) LS : リサンプリングと最小二乗 (LS) フィッティング評価の誤差

出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)



出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)

図 3-39 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果 (D1 ゾーン)

表 3-17 年最大降雨量のサンプルへの分布フィッティングの結果 (D2 ゾーン)

|                     | Exp          | Gumbel       | SortEt       | Gev          | LP3Rs        | LogP3        | Iwai         | IshiTaka     | LN3Q         | LN3PM        | LN2LM        | LN2PM        | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|------|----|-------|
| X-COR(99%)          | 0.982        | 0.994        | 0.991        | 0.994        | 0.992        | 0.994        | 0.994        | 0.994        | 0.994        | 0.994        | 0.994        | 0.994        | 0.994 | —    | —  | —     |
| P-COR(99%)          | 0.974        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.995        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996        | 0.996 | —    | —  | —     |
| SLSC(99%)           | <b>0.038</b> | <b>0.023</b> | <b>0.025</b> | <b>0.022</b> | <b>0.029</b> | <b>0.022</b> | <b>0.022</b> | <b>0.024</b> | <b>0.023</b> | <b>0.024</b> | <b>0.023</b> | <b>0.024</b> | —     | —    | —  | —     |
| Log likelihood 対数尤度 | -151.6       | -158.8       | -158.5       | -158.6       | -158.9       | -158.4       | -158.3       | -158.5       | -158.3       | -158.5       | -158.6       | -158.5       | —     | —    | —  | —     |
| pAIC                | 307.2        | 321.6        | 320.9        | 323.3        | 323.7        | 322.8        | 322.6        | 323          | 322.6        | 323          | 321.1        | 321          | —     | —    | —  | —     |
| X-COR(50%)          | 0.984        | 0.986        | 0.982        | 0.985        | 0.986        | 0.994        | 0.985        | 0.986        | 0.985        | 0.986        | 0.986        | 0.986        | —     | —    | —  | —     |
| P-COR(50%)          | 0.981        | 0.98         | 0.979        | 0.98         | 0.981        | 0.996        | 0.98         | 0.98         | 0.98         | 0.98         | 0.981        | 0.98         | —     | —    | —  | —     |
| SLSC(50%)           | 0.056        | 0.041        | 0.047        | 0.041        | 0.054        | 0.046        | 0.046        | 0.049        | 0.048        | 0.049        | 0.045        | 0.049        | —     | —    | —  | —     |

| JackKnife Estimated Value | Return Period | Exp   | Gumbel | SortEt | Gev   | LP3Rs | LogP3 | Iwai  | IshiTaka | LN3Q  | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
| 2                         | 58.4          | 62.7  | 61.0   | 62.1   | 62.9  | 62.0  | 62.0  | 59.1  | 62.8     | 68.4  | 63.1  | 62.7  | 62.7  | —     | —    | —  | —     |
| 3                         | 69.7          | 73.5  | 71.8   | 72.9   | 73.9  | 72.7  | 72.7  | 69.5  | 73.8     | 78.1  | 74.2  | 73.5  | 73.3  | —     | —    | —  | —     |
| 5                         | 84.0          | 85.6  | 84.6   | 85.2   | 86.0  | 84.9  | 84.3  | 84.3  | 85.8     | 85.9  | 86.2  | 85.6  | 85.1  | —     | —    | —  | —     |
| 10                        | 103.4         | 100.7 | 102.0  | 101.0  | 100.9 | 100.6 | 100.6 | 105.8 | 100.7    | 91.6  | 100.8 | 100.6 | 99.8  | —     | —    | —  | —     |
| 20                        | 122.8         | 115.2 | 120.1  | 116.5  | 114.8 | 116.0 | 128.9 | 114.6 | 93.3     | 114.4 | 115.0 | 113.8 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 30                        | 134.1         | 123.6 | 131.2  | 125.5  | 122.7 | 125.0 | 143.3 | 122.5 | 92.6     | 122.0 | 123.3 | 121.9 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 50                        | 148.4         | 134.0 | 145.6  | 138.8  | 132.4 | 136.4 | 162.4 | 132.4 | 90.1     | 131.5 | 133.7 | 131.9 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 80                        | 161.6         | 143.6 | 159.3  | 147.1  | 141.1 | 147.0 | 180.9 | 141.3 | 86.3     | 140.0 | 143.2 | 141.2 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 100                       | 167.8         | 148.1 | 166.1  | 152.0  | 145.3 | 152.1 | 189.9 | 145.5 | 83.9     | 144.0 | 147.8 | 145.6 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 150                       | 179.1         | 156.3 | 178.6  | 160.8  | 152.7 | 161.4 | 207.0 | 153.1 | 78.9     | 151.1 | 156.0 | 153.6 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 200                       | 187.2         | 162.2 | 187.7  | 167.1  | 157.9 | 168.0 | 219.5 | 158.5 | 74.7     | 156.2 | 161.9 | 159.3 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 400                       | 206.6         | 176.2 | 210.5  | 182.0  | 170.3 | 184.2 | 251.2 | 171.4 | 62.4     | 168.3 | 176.2 | 173.1 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 500                       | 212.8         | 180.7 | 218.1  | 186.7  | 174.2 | 189.5 | 261.9 | 175.6 | 57.7     | 172.1 | 180.9 | 177.6 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 1000                      | 232.2         | 194.7 | 242.5  | 201.1  | 186.4 | 206.2 | 296.5 | 188.5 | 41.2     | 184.1 | 195.4 | 191.6 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 10000                     | 296.6         | 241.1 | 332.1  | 244.4  | 225.6 | 263.4 | 428.0 | 231.5 | -37.5    | 223.1 | 245.9 | 240.2 | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0                         | —             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0                         | —             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0                         | —             | —     | —      | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

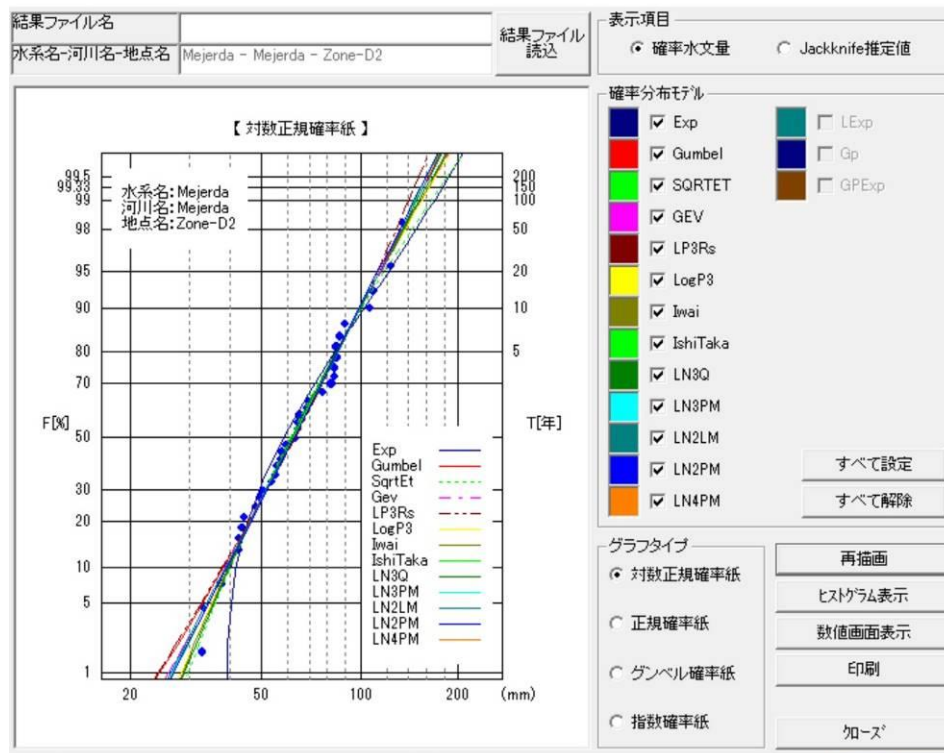
  

| JackKnife推定誤差 | Return Period | Exp  | Gumbel | SortEt | Gev  | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---------------|---------------|------|--------|--------|------|-------|-------|------|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|----|-------|
| 2             | 3.6           | 3.9  | 3.8    | 4.4    | 4.4  | 4.3   | 4.2   | 4.5  | 5.2      | 4.6  | 3.8   | 3.8   | —     | —     | —    | —  | —     |
| 3             | 4.5           | 4.9  | 4.9    | 5.3    | 5.5  | 5.2   | 5.0   | 5.5  | 5.7      | 5.5  | 4.8   | 4.8   | —     | —     | —    | —  | —     |
| 5             | 6.1           | 6.3  | 6.4    | 6.4    | 6.6  | 6.3   | 6.2   | 6.6  | 6.3      | 6.6  | 6.3   | 6.1   | —     | —     | —    | —  | —     |
| 10            | 8.5           | 8.2  | 8.6    | 8.2    | 8.1  | 8.2   | 8.2   | 8.1  | 7.6      | 8.1  | 8.5   | 8.2   | —     | —     | —    | —  | —     |
| 20            | 11.1          | 10.0 | 11.1   | 11.0   | 9.8  | 10.8  | 10.7  | 9.9  | 10.4     | 9.9  | 11.0  | 10.5  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 30            | 12.6          | 11.2 | 12.7   | 13.2   | 10.9 | 12.8  | 12.3  | 11.2 | 12.7     | 11.2 | 12.5  | 11.9  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 50            | 14.5          | 12.6 | 14.8   | 16.7   | 12.6 | 15.8  | 14.7  | 13.1 | 16.2     | 13.1 | 14.5  | 13.7  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 80            | 16.3          | 13.9 | 16.9   | 20.7   | 14.3 | 19.0  | 17.2  | 15.2 | 20.0     | 15.1 | 16.5  | 15.5  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 100           | 17.2          | 14.8 | 17.9   | 22.8   | 15.2 | 20.7  | 18.4  | 16.2 | 22.0     | 16.2 | 17.4  | 16.8  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 150           | 18.7          | 15.6 | 19.8   | 27.0   | 16.9 | 24.0  | 20.8  | 18.3 | 25.9     | 18.2 | 19.2  | 18.0  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 200           | 19.8          | 16.4 | 21.2   | 30.3   | 18.3 | 26.6  | 22.6  | 19.8 | 28.9     | 19.8 | 20.5  | 19.1  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 400           | 22.5          | 18.3 | 24.8   | 39.5   | 21.8 | 33.8  | 27.3  | 24.0 | 36.8     | 24.0 | 23.8  | 22.1  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 500           | 23.4          | 18.9 | 26.0   | 42.7   | 23.1 | 36.3  | 28.9  | 25.4 | 39.6     | 25.4 | 24.9  | 23.1  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 1000          | 26.1          | 20.9 | 29.9   | 54.0   | 27.2 | 45.0  | 34.3  | 30.3 | 48.9     | 30.2 | 28.4  | 26.3  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 10000         | 35.0          | 27.3 | 44.5   | 104.2  | 44.1 | 83.6  | 55.9  | 50.0 | 87.4     | 50.0 | 41.5  | 38.0  | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0             | —             | —    | —      | —      | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0             | —             | —    | —      | —      | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |
| 0             | —             | —    | —      | —      | —    | —     | —     | —    | —        | —    | —     | —     | —     | —     | —    | —  | —     |

注) SLSC (Standard Least Squares Criterion, 標準最小二乗規準)

注) LS : リサンプリングと最小二乗 (LS) フィッティング評価の誤差

出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)

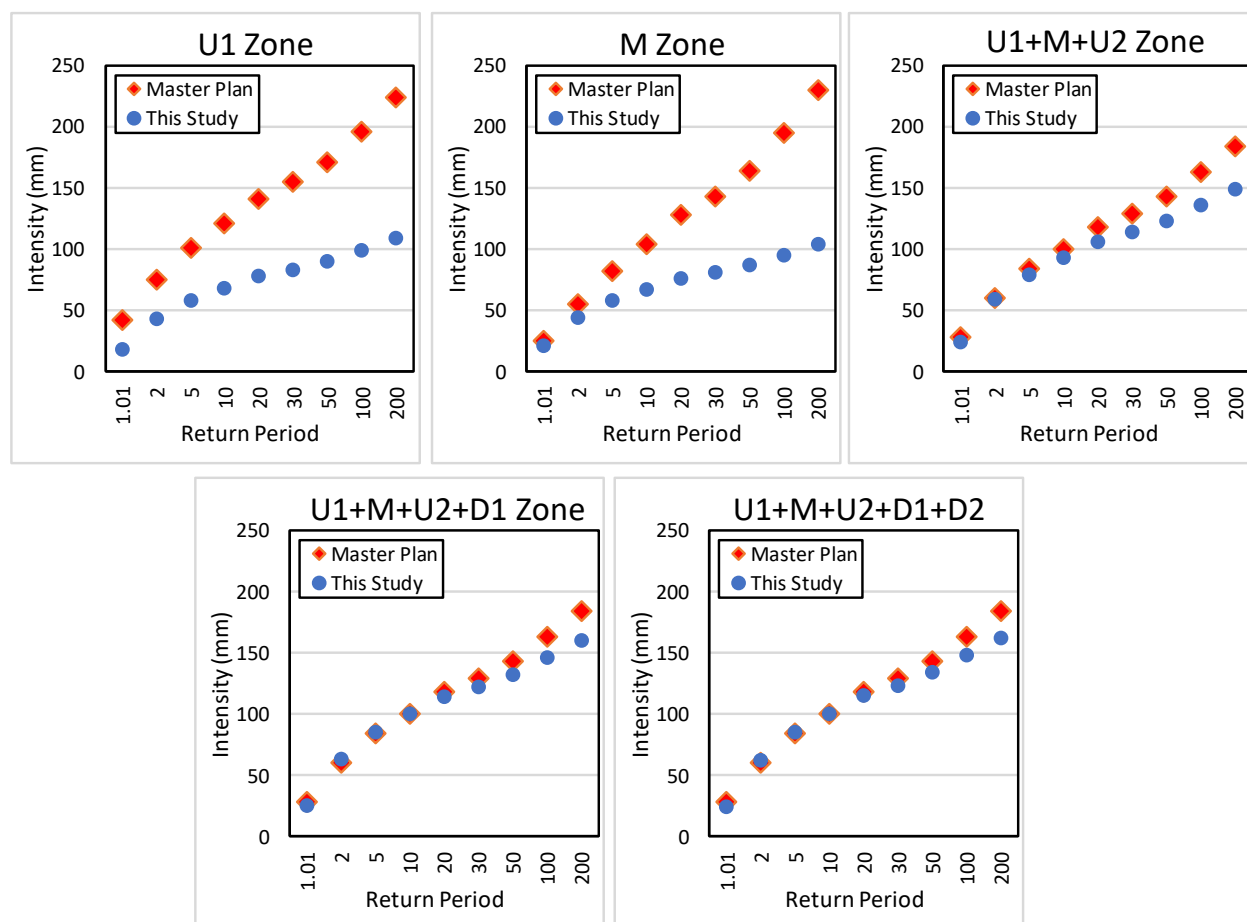


出典 : JICA 調査団 (JICE 水文統計ユーティリティに基づく)

図 3-40 年最大降雨量と確率分布モデルのフィッティング結果 (D2 ゾーン)



2009 年のマスタープランでは、6 日に等しい降雨イベント期間がすべての水文学的ゾーンに採用されたことに言及する価値があるが、本調査では、各ゾーン別に最適な期間を決定することを選択した。このプロジェクトで決定された降雨強度と 2009 年のマスタープランで決定された降雨強度の比較を下図に示す。表 3-18 に、すべての水文地帯および 5、10、20、50、および 100 年確率の計画降雨の概要を示す。



出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

図 3-41 本調査と 2009 年マスタープランで計算された降雨強度の比較

表 3-18 設計降雨量の概要

| zone                  | Design Rainfall Duration [days] | Rainfall Amount of the Return Periods [mm] |          |          |          |          |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                       |                                 | 5-year                                     | 10-year  | 20-year  | 50-year  | 100-year |
| U1                    | 2 days                          | 62.2 mm                                    | 76.2 mm  | 90.8 mm  | 111.4 mm | 128.0 mm |
| M                     | 3 days                          | 56.8 mm                                    | 67.6 mm  | 85.7 mm  | 94.8 mm  | 107.7 mm |
| U1 + M + U2           | 5 days                          | 75.5 mm                                    | 89.3 mm  | 103.4 mm | 123.2 mm | 139.0 mm |
| U1 + M + U2 + D1      | 6 days                          | 85.4 mm                                    | 100.1 mm | 114.2 mm | 132.5 mm | 146.3 mm |
| U1 + M + U2 + D1 + D2 | 6 days                          | 85.6 mm                                    | 100.7 mm | 115.2 mm | 134.0 mm | 148.1 mm |

出典：JICA 調査団（JICE 水文統計ユーティリティに基づく）

### 3.4.6 設計洪水流量の設定

#### (1) 設計洪水流量に関する調査方針

計画をより堅牢にし、降雨強度の不確実性を考慮するために、設計洪水シナリオの数をできるだけ多く考慮する必要がある。洪水シナリオは、以下のプロセスによって生成した。

1. 各水文地帯の洪水集中時間内の降雨量で洪水イベントを抽出し、流域平均雨量を洪水イベントの選定に利用した。
2. 洪水集中時間内のピーク降雨量を設計降雨量に拡大した。

すべての水文地帯のすべての洪水シナリオの洪水流量は、較正された流出モデルによって得られる。

#### (2) 洪水イベントの選定

各水文ゾーンの洪水イベントは、各ゾーンの洪水集中時間内のピーク降水量によって選定した。ピーク降雨量の引伸しは、計画降雨に対する引伸し後のピーク降雨の合理性を維持するために、計画降雨の半分よりも大きくなるように選定した。各ゾーンのイベント番号は異なっている。すべてのゾーンで選定した洪水イベントは、表 3-19 から表 3-22 に示した。なお、計算を簡便にするため、D2 ゾーンにも D1 ゾーンの降雨を適用した。

表 3-19 選定した洪水イベント (U1 ゾーン)

| rainfall events |            |            |                    | peak 2 days rainfall |            | total rainfall<br>amount[mm] |
|-----------------|------------|------------|--------------------|----------------------|------------|------------------------------|
| No.             | start date | end date   | duration<br>[days] | amount<br>[mm]       | start date |                              |
| 1               | 2003-12-06 | 2003-12-15 | 10                 | 106.7                | 2003-12-11 | 149.4                        |
| 2               | 1984-12-19 | 1985-01-05 | 18                 | 96.4                 | 1984-12-29 | 220.4                        |
| 3               | 2005-12-06 | 2005-12-18 | 13                 | 76.1                 | 2005-12-13 | 109.1                        |
| 4               | 2009-03-29 | 2009-04-15 | 18                 | 73.2                 | 2009-04-10 | 173.4                        |
| 5               | 1996-02-26 | 1996-03-06 | 10                 | 67.9                 | 1996-02-27 | 89.1                         |
| 6               | 2003-01-06 | 2003-01-22 | 17                 | 67.6                 | 2003-01-15 | 189.2                        |
| 7               | 1979-04-09 | 1979-04-21 | 13                 | 67.1                 | 1979-04-15 | 112.8                        |
| 8               | 2000-05-21 | 2000-05-29 | 9                  | 66.8                 | 2000-05-25 | 104.7                        |
| 9               | 2009-01-03 | 2009-01-15 | 13                 | 65.6                 | 2009-01-12 | 104.1                        |
| 10              | 2013-11-09 | 2013-11-17 | 9                  | 64.4                 | 2013-11-11 | 104.0                        |
| 11              | 2006-12-13 | 2006-12-20 | 8                  | 63.8                 | 2006-12-13 | 105.3                        |
| 12              | 2012-02-20 | 2012-02-25 | 6                  | 57.9                 | 2012-02-21 | 77.4                         |
| 13              | 2005-04-09 | 2005-04-14 | 6                  | 56.6                 | 2005-04-09 | 84.9                         |
| 14              | 1995-09-11 | 1995-09-29 | 19                 | 56.4                 | 1995-09-26 | 132.0                        |
| 15              | 2011-10-19 | 2011-11-03 | 16                 | 52.9                 | 2011-10-29 | 109.2                        |
| 16              | 2004-11-10 | 2004-11-18 | 9                  | 52.5                 | 2004-11-13 | 83.4                         |
| 17              | 2010-11-01 | 2010-11-09 | 9                  | 51.7                 | 2010-11-02 | 119.1                        |
| 18              | 2004-06-12 | 2004-06-19 | 8                  | 50.9                 | 2004-06-15 | 82.1                         |
| 19              | 1992-05-21 | 1992-05-28 | 8                  | 49.9                 | 1992-05-24 | 85.1                         |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

表 3-20 選定した洪水イベント (Mゾーン)

| rainfall events |            |            |                 | peak 3 days rainfall |            | total rainfall amount[mm] |
|-----------------|------------|------------|-----------------|----------------------|------------|---------------------------|
| No.             | start date | end date   | duration [days] | amount [mm]          | start date |                           |
| 1               | 2003-12-08 | 2003-12-16 | 9               | 112.8                | 2003-12-10 | 135.3                     |
| 2               | 2003-01-07 | 2003-01-29 | 23              | 101.2                | 2003-01-09 | 207.8                     |
| 3               | 2009-03-29 | 2009-04-16 | 19              | 74.7                 | 2009-04-10 | 136.7                     |
| 4               | 1984-12-19 | 1985-01-11 | 24              | 74.4                 | 1984-12-28 | 139.0                     |
| 5               | 1990-12-21 | 1990-12-31 | 11              | 70.4                 | 1990-12-21 | 96.5                      |
| 6               | 1992-05-17 | 1992-05-31 | 15              | 63.2                 | 1992-05-23 | 82.9                      |
| 7               | 2005-12-09 | 2005-12-17 | 9               | 59.6                 | 2005-12-12 | 72.2                      |
| 8               | 2004-10-30 | 2004-11-17 | 19              | 59.1                 | 2004-10-31 | 151.8                     |
| 9               | 2004-06-07 | 2004-06-20 | 14              | 58.4                 | 2004-06-14 | 85.7                      |
| 10              | 1979-04-09 | 1979-04-21 | 13              | 56.6                 | 1979-04-15 | 88.4                      |
| 11              | 2000-05-06 | 2000-05-30 | 25              | 54.5                 | 2000-05-24 | 108.9                     |
| 12              | 2006-12-13 | 2006-12-20 | 8               | 49.6                 | 2006-12-13 | 88.7                      |
| 13              | 1991-03-14 | 1991-03-22 | 9               | 49.4                 | 1991-03-14 | 64.1                      |
| 14              | 2003-03-28 | 2003-04-08 | 12              | 49.3                 | 2003-04-03 | 77.8                      |
| 15              | 1992-12-17 | 1992-12-21 | 5               | 48.9                 | 1992-12-16 | 48.2                      |
| 16              | 2012-01-22 | 2012-02-26 | 36              | 48.5                 | 2012-02-20 | 133.0                     |
| 17              | 2009-01-09 | 2009-01-16 | 8               | 48.3                 | 2009-01-11 | 57.6                      |
| 18              | 1982-11-09 | 1982-11-20 | 12              | 48.3                 | 1982-11-09 | 72.8                      |
| 19              | 1992-11-01 | 1992-11-10 | 10              | 47.9                 | 1992-11-03 | 85.9                      |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

表 3-21 選定した洪水イベント (U1+M+U2ゾーン)

| rainfall events |            |            |                 | peak 5 days rainfall |            | total rainfall amount[mm] |
|-----------------|------------|------------|-----------------|----------------------|------------|---------------------------|
| No.             | start date | end date   | duration [days] | amount [mm]          | start date |                           |
| 1               | 2003-12-06 | 2004-01-08 | 34              | 132.1                | 2003-12-08 | 227.7                     |
| 2               | 2003-01-06 | 2003-02-25 | 51              | 110.3                | 2003-01-09 | 328.7                     |
| 3               | 2009-03-29 | 2009-04-28 | 31              | 109.0                | 2009-04-08 | 231.9                     |
| 4               | 2006-12-05 | 2006-12-30 | 26              | 106.6                | 2006-12-13 | 144.8                     |
| 5               | 1984-12-19 | 1985-01-13 | 26              | 106.2                | 1984-12-28 | 162.6                     |
| 6               | 2011-09-20 | 2011-11-10 | 52              | 97.5                 | 2011-10-28 | 176.0                     |
| 7               | 2004-10-24 | 2004-11-20 | 28              | 86.6                 | 2004-11-10 | 168.8                     |
| 8               | 2007-03-06 | 2007-04-10 | 36              | 81.2                 | 2007-03-08 | 147.9                     |
| 9               | 1990-12-10 | 1991-01-02 | 24              | 79.6                 | 1990-12-21 | 117.2                     |
| 10              | 2005-12-07 | 2005-12-23 | 17              | 78.4                 | 2005-12-10 | 88.8                      |
| 11              | 2004-06-07 | 2004-06-22 | 16              | 73.8                 | 2004-06-13 | 86.0                      |
| 12              | 2010-10-08 | 2010-11-21 | 45              | 73.8                 | 2010-11-02 | 144.0                     |
| 13              | 1992-11-01 | 1992-11-15 | 15              | 70.3                 | 1992-11-01 | 82.4                      |
| 14              | 1992-05-17 | 1992-05-31 | 15              | 70.1                 | 1992-05-21 | 79.4                      |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

表 3-22 選定した洪水イベント (U1+M+U2+D1, D2 ゾーン)

| rainfall events |            |            |                 | peak 6 days rainfall |            | total rainfall amount[mm] |
|-----------------|------------|------------|-----------------|----------------------|------------|---------------------------|
| No.             | start date | end date   | duration [days] | amount [mm]          | start date |                           |
| 1               | 2003-12-06 | 2004-01-09 | 35              | 137.9                | 2003-12-08 | 224.8                     |
| 2               | 2006-12-05 | 2006-12-31 | 27              | 119.1                | 2006-12-13 | 157.7                     |
| 3               | 2002-12-28 | 2003-03-06 | 69              | 117.4                | 2003-01-09 | 399.9                     |
| 4               | 2009-03-29 | 2009-04-29 | 32              | 114.3                | 2009-04-07 | 235.9                     |
| 5               | 2011-09-13 | 2011-11-11 | 60              | 108.5                | 2011-10-28 | 188.8                     |
| 6               | 1984-12-19 | 1985-02-04 | 48              | 100.8                | 1984-12-28 | 189.3                     |
| 7               | 2004-10-23 | 2004-11-21 | 30              | 87.5                 | 2004-11-10 | 166.2                     |
| 8               | 2007-03-06 | 2007-05-13 | 69              | 86.3                 | 2007-03-07 | 240.3                     |
| 9               | 2005-08-16 | 2005-12-26 | 133             | 84.5                 | 2005-12-09 | 297.2                     |
| 10              | 1992-11-01 | 1992-11-13 | 13              | 81.3                 | 1992-11-01 | 83.0                      |
| 11              | 1982-10-20 | 1982-11-24 | 36              | 80.4                 | 1982-11-10 | 188.0                     |
| 12              | 1990-10-28 | 1991-01-03 | 68              | 78.4                 | 1990-12-21 | 239.3                     |
| 13              | 2004-06-07 | 2004-06-24 | 18              | 77.1                 | 2004-06-12 | 85.5                      |
| 14              | 2010-10-08 | 2010-11-22 | 46              | 76.9                 | 2010-11-02 | 140.1                     |
| 15              | 2005-12-27 | 2006-02-19 | 55              | 75.5                 | 2006-01-03 | 229.0                     |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI）, JICA(2018)

### 3.4.7 洪水調節のための貯水池運用

2009 年のマスタープランでは、メジェルダ川流域で 9 つの稼働中のダムと計画または建設中の他の 6 つのダムが確認された。これら 9 つのダムのうち、治水目的で完全に稼働できるのは 2 つだけである。すなわち、メレゲダム（1 億 4,700 万立方メートルの内、10,310 万立方メートルは洪水調節に使用可能）とシディサレムダム（9 億 5,950 万立方メートルの容量で、2 億 8,550 万立方メートルは洪水調節に使用可能）である。

河川流量と貯水池水位の記録を観察することにより、2003 年の異常洪水時に、メレゲダムが設計された治水能力の 96%を使用し、シディサレムダムが 55%を使用したことを特定できた。洪水吐（つまり、余水吐と底部ゲート）が制御可能であるという事実により、メレゲダムはその洪水制御能力をほぼ完全に使用することがでる。シディサレムダムには、2 つのタイプの余水吐がある。3 つのゲートで制御される主洪水スピルウェイと、1 つの制御されない朝顔型の余水路である。制御されていない余水吐は比較的小さく、最大流量は 700m<sup>3</sup>/s である。この流量は、シディサレムダムの下流河道の通水能力に相当する。この制御されない余水吐の容量が比較的小さいため、水位が上昇しても洪水調節容量が使用可能である。

他の既存の貯水池の主な目的は、乾季に水を貯水および分配すること、または取水用の背水を提供することである。これらのダムは制御されていない余水路を備えており、通常、実際の洪水時には完全な洪水制御能力に達しない。

現在の状態での洪水制御は、確率分析、河川ネットワークの接続形態（つまり、河川の合流点と貯水池間の距離）、および余水吐に関する通常の水位で推定される潜在的な流入の考慮に基づいて行われる。各ダムのオーバーフロー堰と他の出口の容量、最大貯水池容量を持つ 4 つのダムの特性を表 3-23 に示す。

表 3-23 洪水調節計算で考慮したダムの諸元

| Name of dam                      |                                       | Bou Heurtma  | Mellegue   | SidiSalem  | Siliana      |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------|------------|------------|--------------|
| Spillway                         | Crest level (m)                       | 221          | 255.2      | 105        | 388.5        |
|                                  | controlled / uncontrolled             | uncontrolled | controlled | controlled | uncontrolled |
| Normal Water Level               | Elevation (m)                         | 221          | 260        | 115        | 388.5        |
|                                  | Initial Capacity (Mil m3)             | 117.5        | 182.2      | 762        | 70           |
|                                  | Actual Total Capacity (Mil m3)        | 117.5        | 44.4       | 674        | 70           |
| Maximum high-water level (spill) | Dam crest elevation (m)               | 228          | 270        | 122        | 398          |
|                                  | Elevation (m)                         | 226          | 269        | 119.5      | 395.5        |
|                                  | Total Volume (Mil m3)                 | 164          | 147.54     | 959.48     | 125.05       |
|                                  | Spillway Capacity (m <sup>3</sup> /s) | 2500         | 5261       | 4870       | 3200         |
|                                  | Bottom outlet (m <sup>3</sup> /s)     | 163          | 625        | 550        | 183          |

出典：「メジェルダ川洪水対策事業」にかかる案件実施促進調査（SAPI），JICA(2018)

### 3.4.8 設計洪水流量の決定（引き伸ばし率、時空間分布を考慮した方法）

#### (1) 対象降雨の時間分布および地域分布

国土交通省「河川砂防技術基準同解説」（平成 17 年版）によれば、対象降雨の時間分布および地域分布の決定について、以下のように記載されている。

#### 2.5.4 対象降雨の時間分布および地域分布の決定

対象降雨の時間分布および地域分布は、既往洪水等を検討して設定した相当数の降雨パターンについて、その降雨量を定められた規模に等しくなるように定めるものとする。この場合において、単純に引き伸ばすことによって著しく不合理が生ずる場合には、修正を加えるものとする。

#### 解説

対象降雨の降雨量が与えられた場合には、残りの 2 個の要素、すなわち、その時間分布および地域分布を定めて、計画降雨を作成しなければならない。

この場合の考え方としては大別して次の 2 つの方法がある。

1 つは、これら 3 個の要素、すなわち、降雨量、時間分布および地域分布相互間の統計的もしくは気象学的な関係を明らかにして、降雨量が与えられた場合の時間分布および地域分布をその関係に基づいて定める方法である。

他の 1 つの方法は、降雨量を定めた後、過去に生起したいくつかの降雨パターンをそのまま伸縮して時間分布と地域分布を作成し、それらがこれら要素間の統計的な関係からみて特に生起し難いものであると判定されない限り採用するという方法である。

通常後者を用いるほうが単純でわかりやすいので、ここではこれを用いることとしたが、既往の降雨の選定にあたっては、大洪水をもたらしたものやその流域において特に生起頻度の高いパターンに属する降雨を落とさないよう注意しなければならない。選定すべき降雨の数はデータの存在期間の長短に応じて変化するが、通常 10 降雨以上とし、その引き伸ばし率は 2 倍程度に止めることが望ましい。

降雨量を引き伸ばすことによって生ずる不合理なこととは、地域分布に大きな偏りがある降雨や、時間的に高強度の雨量の集中がみられる降雨において、その河川のピーク流量に支配的な継続時間における降雨強度が計画降雨のそれとの間で、超過確率の値において著しい差異を生ずる

場合があることである。

具体的な処理法としては次のような例が考えられる、

1. 地域分布に大きな隔たりがある降雨を引き伸ばした結果、流域の一部地域での降雨量が著しく大きくなり、当該一部地域の降雨の超過確率が、計画規模の超過確率に対して著しく差異があるような場合には、対象降雨として採用することが不適当であると考えられるため、当該降雨パターンの引き伸ばし降雨を対象降雨から棄却すること。
2. 短時間に降雨が比較的集中しているパターンを引き伸ばした結果、洪水のピーク流量に支配的な継続時間内の降雨強度の超過確率が、計画規模の超過確率に対して著しく差異があるような場合には、対象降雨として採用することが不適当で、あると考えられるため、当該降雨パターンの引き伸ばし降雨を対象降雨から棄却すること。
3. 上記 1. 及び 2. の降雨パターンについて、地域分布や時間分布に修正を加え、超過確率の著しい差異を是正することにより、対象降雨として採用すること。

## (2) 基本高水の決定

また、国土交通省「河川砂防技術基準同解説」（平成 17 年版）によれば、「基本高水の決定」について以下のように記述されている。

### 2.6.1 基本高水の決定

基本高水は、本章 2.6 で選定する対象降雨について、適当な洪水流出モデルを用いて洪水のハイドログラフを求め、これを基に既往洪水、計画対象施設の性質等を総合的に考慮して決定するものとする。

#### 解説

対象降雨が既に選定されているので、適当な洪水流出モデルを用いて洪水のハイドログラフを計算することは容易であるが、どのハイドログラフを基に基本高水を決めるかについては慎重な検討が必要である。

基本高水の決定の過程は下図のようになる。

対象降雨（群）の選定に当たっては、地域分布、時間分布等の検討を行い、引き伸ばし率 2 倍程度にする場合が多い。

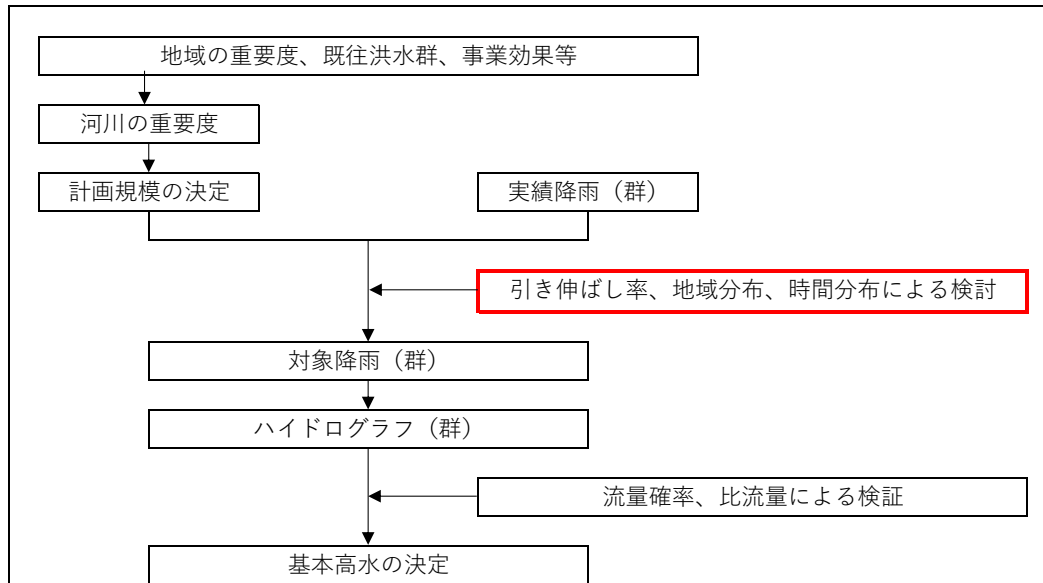
ハイドログラフの計算には、ダム、遊水地等の洪水調節施設は存在しないものとし、発電ダム等の利水ダムについては、操作規程に従った洪水時の操作を考慮するものとする。

通常、地域分布、時間分布等の検討結果で不適切な降雨を棄却されているので、計算されたハイドログラフ群の中から、最大流量となるハイドログラフのピーク流量を基本高水のピーク流量とする。

また、流量観測データが十分蓄積されているような場合には、流量確率を用いたり、また、中小河川では合理式による値と比較を行う等により、基本高水のピーク流量を検証することや、比流量を用いて、本支川バランス、上下流バランスや流域の気候特性や計画規模が同規模の他河川とのバランスを考慮することが必要である。

このほか、基本高水の決定方法としては、降雨量のほか、降雨の地域分布及び時間分布を多くの資料から確率評価する等により計画規模に対するピーク流量を定める方法等がある。





出典：国土交通省「河川砂防技術基準同解説」（平成 17 年版）

図 3-42 基本高水の決定（国土交通省河川砂防技術基準同解説；平成 17 年版）

日本の国土交通省「社会資本整備審議会河川分科会」（平成 15 年 11 月 28 日）によれば、「基本高水設定におけるカバー率について」、下記のような記述がある。

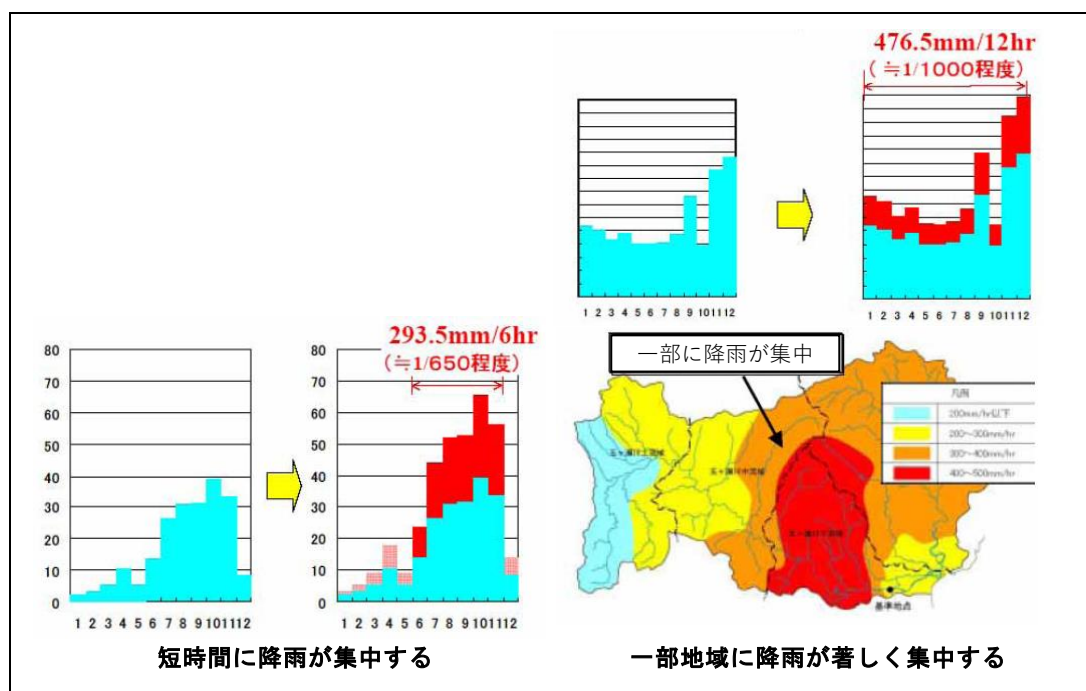
- 基本高水のピーク流量は、過去に生じた複数の降雨（実績降雨群）の降雨量を計画降雨量まで引き伸ばして作成したハイドログラフ（雨量分布図）から、流出モデルを用いて設定されることが一般的である。
- 実績降雨の中には時間的または地域的に偏った降り方をしたものも含まれているので、このような実績降雨を計画降雨量までそのまま引き伸ばすと、その偏りが一層強化され、結果的に、生起することが極めて稀な降雨になっている場合があり得る。
- そのため、計画規模に対応する流量を適切に算定する観点から、実績降雨群を計画降雨量まで引き伸ばした降雨群のうち、降雨の時間分布、地域分布の超過確率が極端に大きく、計画に用いるには適切でない降雨については、検討対象から棄却することが望ましい。
- カバー率と呼ばれているものは、実績降雨群を計画降雨量まで引き伸ばして計算される流量群のうち、基本高水のピーク流量がどの程度充足しているか（カバーしているか）の割合を示している。このカバー率を用いて基本高水のピーク流量を決定する方法は、時間分布、地域分布の著しい偏りのある降雨から計算される流量を棄却するための経験的な手法と考えられる。
- しかし、（日本）全国の直轄河川の治水計画において、基本高水のピーク流量がカバー率から決定されている河川はほとんどなく（一部において見られるが、いずれも著しい偏りのある降雨から計算される流量を棄却している）、現在では、以下のような手法により基本高水のピーク流量が決定されている。
- 計画降雨量まで引き伸ばした降雨のうち、時間分布、地域分布が極端に偏った降雨を、蓄積された降雨実績等のデータや各種の確率分布モデルを用いて特定し、基本高水のピーク流量を検討する対象降雨から棄却している。

- 時間分布、地域分布が極端に偏った降雨を棄却して残った降雨群は、いずれも治水計画として考慮すべき必要があるため、基本高水のピーク流量としては、これらの降雨群を用いた計算流量の最大値を採用することとしている。

### (3) 異常降雨の棄却

実績降雨群の降雨量を計画降雨量に引き伸ばすにあたり、以下のように降雨の時間分布および地域分布に著しく不合理を生ずる場合は、計画対象降雨から棄却する。

1. 短時間に降雨が集中する場合
2. 一部地域に降雨が著しく集中する場合



出典：日本の国土交通省「社会資本整備審議会河川分科会」（平成 15 年 11 月 28 日）

図 3-43 異常降雨のチェックの考え方

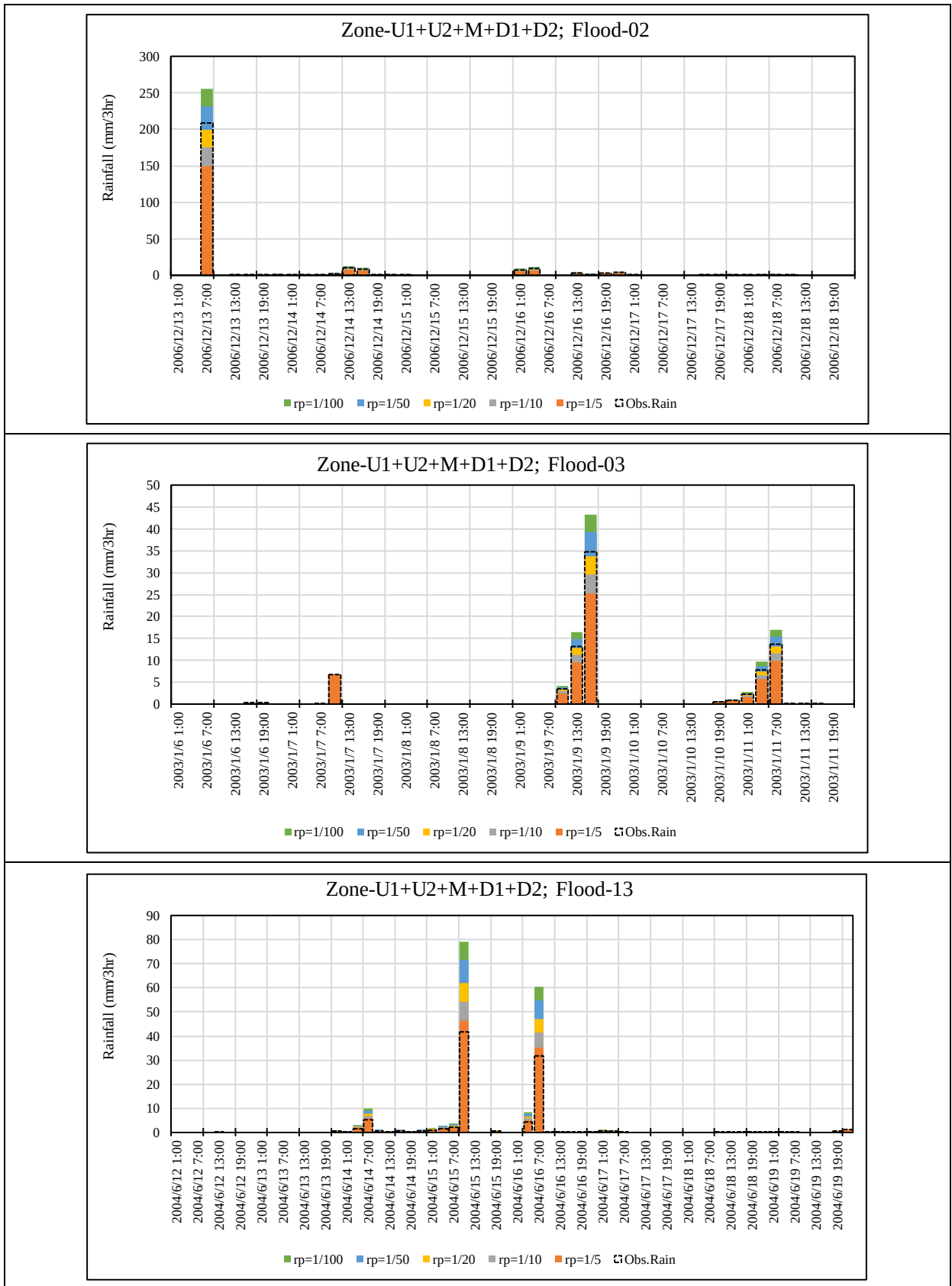
本調査では、前述の各ゾーン別の 14 ケースの計画降雨について、下記の基準で異常降雨を棄却した。

表 3-24 本調査で設定した異常計画降雨の棄却基準

| No. | 棄却項目    | 棄却の説明                                   | 棄却基準  |
|-----|---------|-----------------------------------------|-------|
| 1   | 降雨の時間分布 | (100 年確率の最大降雨強度)/(計画降雨の引伸し期間中の総雨量)      | >20%  |
| 2   | 降雨引伸し率  | (100 年確率の最大降雨強度)/(実績降雨の最大降雨強度)          | >2.0  |
| 3   | 降雨確率規模  | 100 年確率の最大降雨強度の確率年(年)                   | >実績最大 |
| 4   | 降雨の空間分布 | 各小流域の 100 年確率の最大 n 日総降雨量(mm/n 日)の確率年(年) | >実績最大 |

出典：JICA 調査団

下図に時間分布による棄却（短時間に降雨が集中するケースを棄却）を行った計画降雨波形の例（D1ゾーンの例）を示す。



出典：JICA 調査団

図 3-44 時間分布による棄却を行った計画降雨波形の例（ゾーン-U1+M+U2+D1）

下表に、計画降雨の空間分布による棄却結果を示す。

表 3-25 降雨の空間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン-U1)

| Flod Type  | Total Rainfall (mm/2-days) of Return Period of 100-yr |            |                   |              | Basin Average Rainfall |
|------------|-------------------------------------------------------|------------|-------------------|--------------|------------------------|
|            | JENDOUBA                                              | GHardimaou | Barrage Ain Dalia | RARAI PLAINE |                        |
| Basin No.  | C22                                                   | C23        | C24               | C25          |                        |
| C.A. (km2) | 555.8                                                 | 1,273.4    | 195.5             | 377.4        | <b>2,402.0</b>         |
| f01        | 118.59                                                | 133.57     | 131.10            | 123.53       | <b>128.32</b>          |
| f02        | 95.98                                                 | 134.19     | 139.98            | 153.32       | <b>128.82</b>          |
| f03        | 71.39                                                 | 154.54     | 126.86            | 147.28       | <b>131.91</b>          |
| f04        | 174.55                                                | 77.91      | 64.66             | 229.29       | <b>122.98</b>          |
| f05        | 76.98                                                 | 145.10     | 140.21            | 162.54       | <b>131.68</b>          |
| f06        | 198.26                                                | 88.37      | 50.04             | 197.46       | <b>127.82</b>          |
| f07        | 77.53                                                 | 153.87     | 161.79            | 118.38       | <b>131.27</b>          |
| f08        | 82.77                                                 | 143.56     | 184.52            | 137.79       | <b>131.92</b>          |
| f09        | 71.72                                                 | 150.37     | 156.45            | 136.93       | <b>130.55</b>          |
| f10        | 115.95                                                | 125.55     | 111.86            | 150.66       | <b>126.16</b>          |
| f11        | 179.53                                                | 94.44      | 76.33             | 173.87       | <b>125.14</b>          |
| f12        | 101.30                                                | 146.58     | 149.79            | 117.56       | <b>131.80</b>          |
| f13        | 185.14                                                | 75.26      | 73.76             | 237.59       | <b>126.07</b>          |
| f14        | 195.38                                                | 83.00      | 82.74             | 162.52       | <b>121.47</b>          |

| Flod Type  | Return Period (Year) of Total Rainfall (mm/2-days) of 1/100-year Flood |            |                   |              | Obs.Max.=<br><b>495-yr</b> | Judge of Rejection by Spatial Distribution |
|------------|------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------------------------------|
|            | JENDOUBA                                                               | GHardimaou | Barrage Ain Dalia | RARAI PLAINE | Max. Rainfall Intensity    |                                            |
| Basin No.  | C22                                                                    | C23        | C24               | C25          |                            |                                            |
| C.A. (km2) |                                                                        |            |                   |              |                            |                                            |
| f01        | 35.94                                                                  | 67.40      | 50.35             | 18.74        | <b>67.4</b>                |                                            |
| f02        | 14.13                                                                  | 69.01      | 70.19             | 52.68        | <b>70.2</b>                |                                            |
| f03        | 5.12                                                                   | 149.84     | 42.96             | 42.72        | <b>149.8</b>               |                                            |
| f04        | 362.51                                                                 | 8.09       | 4.20              | 735.35       | <b>735.3</b>               | Rejection                                  |
| f05        | 6.45                                                                   | 104.57     | 70.79             | 72.54        | <b>104.6</b>               |                                            |
| f06        | 965.47                                                                 | 12.04      | 2.43              | 243.68       | <b>965.5</b>               | Rejection                                  |
| f07        | 6.59                                                                   | 146.07     | 158.71            | 15.67        | <b>158.7</b>               |                                            |
| f08        | 8.19                                                                   | 98.63      | 371.35            | 30.74        | <b>371.4</b>               |                                            |
| f09        | 5.19                                                                   | 127.83     | 129.94            | 29.83        | <b>129.9</b>               |                                            |
| f10        | 32.23                                                                  | 49.66      | 24.52             | 48.03        | <b>49.7</b>                |                                            |
| f11        | 445.34                                                                 | 15.18      | 6.49              | 107.48       | <b>445.3</b>               |                                            |
| f12        | 17.60                                                                  | 110.65     | 101.30            | 15.23        | <b>110.6</b>               |                                            |
| f13        | 561.49                                                                 | 7.31       | 5.90              | 980.81       | <b>980.8</b>               | Rejection                                  |
| f14        | 857.17                                                                 | 9.81       | 8.25              | 72.49        | <b>857.2</b>               | Rejection                                  |

出典：JICA 調査団

表 3-26 降雨の空間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン-M)

| Flod Type  | Total Rainfall (mm/6-days) of Return Period of 100-yr |                  |              |                        |                  |                   | Basin Average Rainfall |
|------------|-------------------------------------------------------|------------------|--------------|------------------------|------------------|-------------------|------------------------|
|            | MELLEQUE GP17-Jendou                                  | Barrage Mellegue | MELLEQUE K13 | PONT ROUTE (SARREAT H) | SIDI ABDELKA DER | PONT ROUTE (RMEL) |                        |
| Basin No.  | 26                                                    | 27               | 28           | 29                     | 30               | 31                |                        |
| C.A. (km2) | 242.0                                                 | 913.1            | 7,427.1      | 1,268.3                | 257.6            | 392.9             | <b>10,501.0</b>        |
| f01        | 106.33                                                | 102.68           | 195.50       | 182.97                 | 117.08           | 115.06            | <b>178.92</b>          |
| f02        | 93.04                                                 | 99.17            | 122.12       | 98.31                  | 56.64            | 82.52             | <b>113.49</b>          |
| f03        | 120.42                                                | 139.82           | 262.80       | 218.80                 | 45.98            | 106.66            | <b>232.35</b>          |
| f04        | 112.42                                                | 139.15           | 293.84       | 258.45                 | 110.49           | 139.86            | <b>261.67</b>          |
| f05        | 97.10                                                 | 103.37           | 166.45       | 154.35                 | 71.88            | 85.60             | <b>152.56</b>          |
| f06        | 96.08                                                 | 111.95           | 112.38       | 161.14                 | 85.56            | 66.18             | <b>115.47</b>          |
| f07        | 120.73                                                | 114.12           | 244.50       | 135.27                 | 127.43           | 159.34            | <b>211.06</b>          |
| f08        | 71.41                                                 | 107.48           | 136.38       | 141.43                 | 48.93            | 74.01             | <b>128.50</b>          |
| f09        | 154.54                                                | 150.71           | 167.48       | 125.72                 | 118.13           | 141.98            | <b>158.51</b>          |
| f10        | 81.51                                                 | 91.04            | 160.52       | 147.35                 | 62.90            | 68.74             | <b>145.24</b>          |
| f11        | 69.50                                                 | 72.25            | 51.19        | 61.71                  | 67.44            | 57.58             | <b>55.35</b>           |
| f12        | 367.96                                                | 220.13           | 273.13       | 202.20                 | 338.33           | 443.42            | <b>270.11</b>          |
| f13        | 41.68                                                 | 49.87            | 146.08       | 88.99                  | 66.03            | 86.16             | <b>124.21</b>          |
| f14        | 71.37                                                 | 86.57            | 138.54       | 168.80                 | 83.02            | 64.60             | <b>132.00</b>          |

| Flod Type  | Return Period (Year) of Total Rainfall (mm/6-days) of 1/100-year Flood |                  |              |                        |                  |                   | Obs.Max.=<br><b>211-yr</b> | Judge of Rejection by Spatial Distribution |
|------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
|            | MELLEQUE GP17-Jendou                                                   | Barrage Mellegue | MELLEQUE K13 | PONT ROUTE (SARREAT H) | SIDI ABDELKA DER | PONT ROUTE (RMEL) | Max. Rainfall Intensity    |                                            |
| Basin No.  | 26                                                                     | 27               | 28           | 29                     | 30               | 31                |                            |                                            |
| C.A. (km2) | 242.0                                                                  | 913.1            | 7,427.1      | 1,268.3                | 257.6            | 392.9             |                            |                                            |
| f01        | 8.17                                                                   | 13.73            | 931.46       | 262.44                 | 35.73            | 9.07              | <b>931.5</b>               | Rejection                                  |
| f02        | 3.98                                                                   | 12.08            | 107.99       | 9.11                   | 1.18             | 2.77              | <b>108.0</b>               |                                            |
| f03        | 15.96                                                                  | 53.24            | 3,610.17     | 1,088.48               | 0.44             | 6.92              | <b>3,610.2</b>             | Rejection                                  |
| f04        | 11.02                                                                  | 51.95            | 6,019.92     | 5,252.78               | 27.22            | 18.20             | <b>6,019.9</b>             | Rejection                                  |
| f05        | 5.01                                                                   | 14.08            | 445.95       | 84.26                  | 3.62             | 3.16              | <b>446.0</b>               | Rejection                                  |
| f06        | 4.73                                                                   | 19.25            | 73.81        | 110.30                 | 8.20             | 1.26              | <b>110.3</b>               |                                            |
| f07        | 16.18                                                                  | 20.84            | 2,594.36     | 39.50                  | 53.18            | 28.98             | <b>2,594.4</b>             | Rejection                                  |
| f08        | 0.96                                                                   | 16.36            | 179.05       | 50.44                  | 0.60             | 1.88              | <b>179.1</b>               |                                            |
| f09        | 61.13                                                                  | 79.23            | 458.67       | 27.04                  | 37.26            | 19.20             | <b>458.7</b>               | Rejection                                  |
| f10        | 1.95                                                                   | 8.97             | 377.66       | 63.81                  | 1.94             | 1.44              | <b>377.7</b>               | Rejection                                  |
| f11        | 0.83                                                                   | 4.52             | 2.01         | 2.13                   | 2.68             | 0.77              | <b>4.5</b>                 |                                            |
| f12        | 6,528.30                                                               | 998.38           | 4,307.51     | 563.08                 | 5,200.58         | 1,118.31          | <b>6,528.3</b>             | Rejection                                  |
| f13        | 0.05                                                                   | 2.00             | 245.29       | 6.29                   | 2.43             | 3.23              | <b>245.3</b>               | Rejection                                  |
| f14        | 0.95                                                                   | 7.62             | 192.42       | 149.50                 | 7.12             | 1.16              | <b>192.4</b>               |                                            |

出典：JICA 調査団

表 3-27 降雨の空間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン-U1+M+U2)

| Flood Type | Total Rainfall (mm/5-days) of Return Period of 100-yr |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                       |                 |                   | Basin Average Rainfall |
|------------|-------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|----------|--------|----------|----------------|-----------|-------------|------------------|--------------|-----------------------|------------------|---------------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------------------|
|            | Sidi Salem Dam                                        | BOU SALEM GP6 | KEF RHIRA (Barrage de Bou Heurtma) | FERNAN A | AVAL   | PONT GP6 | SIDI MEDIEN NE | JENDOU BA | GHARDI MAOU | Barrage Ain Dala | RARAI PLAINE | MELLEG UE GP17-Jendou | Barrage Mellegue | MELLEG UE K13 | PONT ROUTE (SARREATH) | SIDI ABDELKADER | PONT ROUTE (RMEL) |                        |
| Basin No.  | C15                                                   | C16           | C17                                | C18      | C19    | C20      | C21            | C22       | C23         | C24              | C25          | C26                   | C27              | C28           | C29                   | C30             | C31               |                        |
| C.A. (km2) | 1211.3                                                | 1281.3        | 230.1                              | 150.8    | 166.7  | 176.5    | 1,845.8        | 555.8     | 1,273.4     | 195.5            | 377.4        | 242.0                 | 913.1            | 7,427.1       | 1,268.3               | 257.6           | 392.9             | 17,965.5               |
| f01        | 122.74                                                | 124.57        | 229.12                             | 219.42   | 133.12 | 132.25   | 133.56         | 144.43    | 148.53      | 142.30           | 158.16       | 145.95                | 143.81           | 138.41        | 135.54                | 154.75          | 123.28            | 139.04                 |
| f02        | 111.52                                                | 118.22        | 147.85                             | 118.87   | 67.26  | 98.26    | 240.45         | 101.80    | 91.06       | 89.92            | 97.57        | 136.42                | 192.63           | 106.98        | 221.53                | 121.66          | 359.49            | 138.87                 |
| f03        | 174.61                                                | 170.56        | 269.38                             | 221.14   | 129.24 | 177.74   | 173.95         | 164.44    | 136.93      | 114.08           | 212.59       | 158.11                | 180.22           | 98.89         | 141.13                | 100.11          | 218.60            | 138.91                 |
| f04        | 253.09                                                | 169.45        | 222.23                             | 185.42   | 225.84 | 291.47   | 152.02         | 189.04    | 100.32      | 81.61            | 191.42       | 176.50                | 193.08           | 93.69         | 145.62                | 113.09          | 137.66            | 138.99                 |
| f05        | 131.02                                                | 142.56        | 347.79                             | 303.08   | 150.70 | 177.65   | 104.72         | 147.04    | 217.89      | 236.13           | 263.41       | 150.70                | 149.86           | 122.16        | 91.35                 | 87.64           | 130.73            | 138.87                 |
| f06        | 398.15                                                | 280.88        | 433.59                             | 295.69   | 207.01 | 413.81   | 160.74         | 157.46    | 85.97       | 94.35            | 127.81       | 172.41                | 118.73           | 67.01         | 102.34                | 70.41           | 119.57            | 139.00                 |
| f07        | 142.77                                                | 140.65        | 254.81                             | 157.21   | 141.40 | 170.01   | 148.44         | 122.53    | 116.94      | 123.61           | 131.73       | 111.43                | 158.93           | 126.82        | 178.21                | 119.67          | 174.75            | 138.79                 |
| f08        | 111.04                                                | 106.43        | 178.99                             | 134.86   | 118.59 | 111.37   | 193.78         | 97.83     | 160.00      | 158.57           | 124.73       | 117.79                | 123.56           | 118.68        | 231.14                | 206.94          | 152.37            | 138.86                 |
| f09        | 129.39                                                | 134.94        | 249.94                             | 205.22   | 94.10  | 124.86   | 136.85         | 123.49    | 130.73      | 130.13           | 158.22       | 116.20                | 138.94           | 124.57        | 219.60                | 175.89          | 162.15            | 138.95                 |
| f10        | 146.76                                                | 139.06        | 270.29                             | 146.86   | 152.30 | 192.50   | 171.44         | 84.51     | 196.64      | 178.71           | 165.55       | 135.85                | 140.38           | 114.01        | 144.76                | 90.24           | 181.42            | 138.98                 |
| f11        | 167.30                                                | 158.47        | 174.63                             | 131.14   | 130.89 | 150.38   | 131.95         | 139.34    | 153.16      | 150.71           | 156.40       | 166.65                | 105.01           | 133.93        | 135.41                | 128.42          | 104.89            | 138.90                 |
| f12        | 176.78                                                | 169.88        | 292.18                             | 243.22   | 83.24  | 202.85   | 95.76          | 196.35    | 181.21      | 168.99           | 236.77       | 156.00                | 141.86           | 123.79        | 86.09                 | 105.18          | 120.30            | 138.86                 |
| f13        | 109.02                                                | 129.66        | 88.58                              | 85.07    | 95.15  | 110.57   | 200.07         | 95.24     | 153.61      | 154.41           | 110.38       | 123.79                | 114.93           | 114.05        | 278.77                | 172.93          | 141.76            | 138.72                 |
| f14        | 114.46                                                | 135.73        | 138.58                             | 195.63   | 99.56  | 78.53    | 129.24         | 161.11    | 166.36      | 175.95           | 158.80       | 167.39                | 119.80           | 138.11        | 155.21                | 119.02          | 133.79            | 138.84                 |

| Flood Type | Return Period (Year) of Total Rainfall (mm/5-days) of 1/100-year Flood |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                       |                 |                   | Max. Rainfall Intensity | Judge of Rejection by Spatial Distribution |
|------------|------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|----------|--------|----------|----------------|-----------|-------------|------------------|--------------|-----------------------|------------------|---------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
|            | Sidi Salem Dam                                                         | BOU SALEM GP6 | KEF RHIRA (Barrage de Bou Heurtma) | FERNAN A | AVAL   | PONT GP6 | SIDI MEDIEN NE | JENDOU BA | GHARDI MAOU | Barrage Ain Dala | RARAI PLAINE | MELLEG UE GP17-Jendou | Barrage Mellegue | MELLEG UE K13 | PONT ROUTE (SARREATH) | SIDI ABDELKADER | PONT ROUTE (RMEL) |                         |                                            |
| Basin No.  | C15                                                                    | C16           | C17                                | C18      | C19    | C20      | C21            | C22       | C23         | C24              | C25          | C26                   | C27              | C28           | C29                   | C30             | C31               |                         |                                            |
| C.A. (km2) | 1,211.3                                                                | 1,281.3       | 230.1                              | 150.8    | 166.7  | 176.5    | 1,845.8        | 555.8     | 1,273.4     | 195.5            | 377.4        | 242.0                 | 913.1            | 7,427.1       | 1,268.3               | 257.6           | 392.9             |                         |                                            |
| f01        | 6.75                                                                   | 0.90          | 6.39                               | 14.69    | 16.79  | 4.34     | 17.04          | 32.62     | 49.41       | 37.60            | 16.87        | 40.48                 | 36.71            | 231.18        | 16.12                 | 133.53          | 6.38              | 231.2                   | Rejection                                  |
| f02        | 4.57                                                                   | 0.80          | 1.40                               | 1.10     | 1.19   | 1.12     | 1,078.11       | 5.47      | 3.96        | 3.77             | 1.85         | 26.16                 | 279.80           | 36.78         | 489.78                | 26.92           | 346.41            | 1,078.1                 | Rejection                                  |
| f03        | 28.48                                                                  | 2.14          | 13.56                              | 15.35    | 14.37  | 16.74    | 81.69          | 75.46     | 29.70       | 10.89            | 123.04       | 70.64                 | 166.98           | 22.10         | 20.13                 | 9.49            | 54.10             | 167.0                   | Rejection                                  |
| f04        | 129.62                                                                 | 2.09          | 5.61                               | 6.11     | 697.97 | 160.09   | 34.88          | 211.49    | 5.95        | 2.62             | 56.82        | 163.97                | 285.04           | 16.90         | 24.05                 | 17.78           | 32.47             | 698.0                   | Rejection                                  |
| f05        | 8.82                                                                   | 1.27          | 58.75                              | 127.17   | 34.04  | 16.70    | 5.57           | 36.40     | 1,038.30    | 2,311.97         | 786.56       | 50.31                 | 47.22            | 89.39         | 2.79                  | 5.19            | 9.65              | 2,312.0                 | Rejection                                  |
| f06        | 824.08                                                                 | 16.81         | 292.28                             | 105.09   | 327.38 | 792.78   | 48.92          | 56.32     | 3.17        | 4.58             | 5.57         | 136.01                | 12.93            | 3.55          | 4.31                  | 2.25            | 5.69              | 824.1                   | Rejection                                  |
| f07        | 12.52                                                                  | 1.22          | 10.32                              | 2.95     | 23.42  | 13.67    | 30.35          | 13.03     | 12.35       | 16.55            | 6.43         | 8.33                  | 68.86            | 117.36        | 87.70                 | 24.45           | 23.46             | 117.4                   | Rejection                                  |
| f08        | 4.49                                                                   | 0.64          | 2.50                               | 1.66     | 9.36   | 1.98     | 176.28         | 4.63      | 81.78       | 76.79            | 4.98         | 11.14                 | 15.81            | 72.90         | 717.15                | 1,669.14        | 14.06             | 1,669.1                 | Rejection                                  |
| f09        | 8.38                                                                   | 1.10          | 9.43                               | 10.18    | 3.50   | 3.34     | 19.36          | 13.57     | 22.62       | 22.04            | 16.91        | 10.36                 | 29.98            | 102.88        | 453.61                | 371.46          | 17.74             | 453.6                   | Rejection                                  |
| f10        | 14.01                                                                  | 11.99         | 13.79                              | 2.26     | 36.30  | 24.10    | 74.11          | 2.65      | 408.44      | 185.88           | 22.10        | 25.49                 | 31.82            | 55.48         | 23.24                 | 5.88            | 26.98             | 408.4                   | Rejection                                  |
| f11        | 23.91                                                                  | 1.70          | 2.31                               | 1.51     | 15.35  | 7.81     | 16.01          | 26.35     | 60.56       | 54.40            | 15.83        | 104.45                | 7.31             | 177.89        | 16.04                 | 37.33           | 3.49              | 177.9                   | Rejection                                  |
| f12        | 29.95                                                                  | 2.11          | 20.77                              | 27.15    | 2.26   | 30.61    | 3.93           | 287.30    | 207.48      | 121.33           | 297.43       | 64.14                 | 33.85            | 98.31         | 2.26                  | 12.12           | 5.82              | 297.4                   | Rejection                                  |
| f13        | 4.16                                                                   | 0.99          | 0.46                               | 0.46     | 3.65   | 1.92     | 224.99         | 4.15      | 61.78       | 63.98            | 2.95         | 14.67                 | 11.04            | 55.62         | 4,750.71              | 321.90          | 10.74             | 4,750.7                 | Rejection                                  |
| f14        | 5.08                                                                   | 1.11          | 1.17                               | 7.95     | 4.36   | 0.40     | 14.41          | 65.64     | 108.11      | 164.73           | 17.28        | 108.05                | 13.52            | 227.23        | 35.20                 | 23.69           | 8.56              | 227.2                   | Rejection                                  |

出典：JICA 調査団

表 3-28 降雨の空間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン-U1+M+U2+D1&D2)

| Total Rainfall (mm/5-days) of Return Period of 100-year |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|---------------------------------------------------------|---------|------------------|-------------|------------|----------|-------------|---------------|------------|-------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------|----------------|---------------|------------------------------------|----------|--------|----------|----------------|-----------|-------------|------------------|--------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|----------|--------|
| Flood Type                                              | Estuary | PONT DE BIZIERTE | REDEIDA FVF | Lamaia Dam | EL HERRI | MEJER ELBAR | Mejor Bab GP5 | SL/OUGA IA | Khalid Aval | JEREL LACOUT COTE 146 | Barrage Sliana | ENTREE PLAINES Sliana | Barrage Lahiana | Barrage Sliana | Bou SALEM GP6 | KEF RHIRA (Barrage de Bou Heurtma) | FERNAN A | AVAL   | PONT GP6 | SIDI MEDIEN NE | JENDOU BA | GHARDI MAOU | Barrage Ain Dala | RARAI PLAINE | MELLEG UE GP17-Jendou | Barrage Mellegue | MELLEG UE K13 | PONT ROUTE (SARREATH TH) | SIDI ABDELKADER | PONT ROUTE (RMEL) | Basin Average Rainfall |          |        |
| Basin No.                                               | 1       | 2                | 3           | 4          | 5        | 6           | 7             | 8          | 9           | 10                    | 11             | 12                    | 13              | 14             | 15            | 16                                 | 17       | 18     | 19       | 20             | 21        | 22          | 23               | 24           | 25                    | 26               | 27            | 28                       | 29              | 30                | 31                     |          |        |
| C.A. (km2)                                              | 454.4   | 231.4            | 748.4       | 195.5      | 293.6    | 83.1        | 97.8          | 145.0      | 448.5       | 1,352.4               | 967.2          | 387.8                 | 127.4           | 8.0            | 1,211.3       | 1,281.3                            | 230.1    | 150.8  | 166.7    | 176.5          | 1,845.8   | 555.8       | 1,273.4          | 195.5        | 377.4                 | 242.0            | 913.1         | 7,427.1                  | 1,268.3         | 257.6             | 392.9                  | 17,965.5 |        |
| f01                                                     | 138.39  | 132.74           | 146.74      | 121.40     | 107.74   | 105.03      | 107.12        | 110.78     | 145.11      | 221.43                | 214.52         | 193.20                | 225.26          | 128.90         | 129.30        | 255.20                             | 225.97   | 128.71 | 137.31   | 147.77         | 147.95    | 160.97      | 153.98           | 161.93       | 148.40                | 146.52           | 145.71        | 139.14                   | 162.52          | 129.30            | 147.82                 |          |        |
| f02                                                     | 235.10  | 231.03           | 326.10      | 352.13     | 361.51   | 301.58      | 389.69        | 258.56     | 215.54      | 177.48                | 192.17         | 163.13                | 400.22          | 119.83         | 265.27        | 178.01                             | 275.08   | 195.55 | 236.54   | 306.15         | 193.64    | 198.31      | 489.09           | 90.41        | 200.45                | 185.25           | 202.37        | 38.84                    | 132.13          | 118.78            | 190.65                 | 189.77   | 145.89 |
| f03                                                     | 52.45   | 48.52            | 70.77       | 97.71      | 112.23   | 95.71       | 102.24        | 118.16     | 131.64      | 87.45                 | 235.11         | 231.81                | 331.15          | 234.43         | 114.31        | 121.08                             | 150.08   | 121.18 | 68.58    | 108.11         | 247.03    | 101.78      | 51.64            | 91.72        | 99.42                 | 119.04           | 295.20        | 114.48                   | 231.63          | 124.01            | 279.18                 | 145.89   |        |
| f04                                                     | 184.03  | 164.04           | 194.32      | 221.32     | 204.72   | 210.84      | 296.59        | 149.38     | 181.51      | 128.53                | 169.75         | 154.38                | 224.80          | 119.63         | 248.22        | 179.69                             | 227.88   | 185.05 | 189.97   | 188.35         | 188.44    | 141.53      | 118.22           | 239.05       | 162.92                | 188.40           | 141.53        | 118.22                   | 239.05          | 162.92            | 188.40                 | 141.53   |        |
| f05                                                     | 170.18  | 129.08           | 230.48      | 241.83     | 230.03   | 245.72      | 214.68        | 134.28     | 280.32      | 103.39                | 201.78         | 193.72                | 954.12          | 207.48         | 420.21        | 295.12                             | 458.28   | 312.18 | 209.70   | 448.02         | 103.78    | 164.70      | 101.48           | 99.13        | 133.03                | 180.25           | 124.13        | 79.30                    | 107.27          | 734.03            | 125.52                 | 141.78   |        |
| f06                                                     | 128.51  | 125.04           | 122.13      | 129.78     | 97.99    | 96.89       | 89.11         | 82.08      | 89.11       | 83.91                 | 81.92          | 73.82                 | 141.78          | 81.63          | 146.98        | 149.38                             | 379.81   | 324.38 | 171.19   | 203.77         | 188.38    | 152.65      | 229.64           | 249.18       | 274.81                | 159.03           | 159.13        | 177.28                   | 95.50           | 92.38             | 145.11                 | 133.41   |        |
| f07                                                     | 138.99  | 122.03           | 123.94      | 129.38     | 122.24   | 120.38      | 139.38        | 148.78     | 210.28      | 153.03                | 147.41         | 266.12                | 172.98          | 154.48         | 185.38        | 153.48                             | 177.68   | 177.11 | 138.68   | 147.45         | 138.05    | 164.52      | 131.18           | 184.08       | 124.18                | 188.49           | 141.53        | 131.18                   | 184.08          | 124.18            | 188.49                 | 141.53   |        |
| f08                                                     | 133.19  | 131.24           | 161.12      | 136.23     | 130.48   | 139.77      | 137.27        | 133.53     | 133.43      | 125.51                | 215.18         | 138.28                | 207.12          | 234.23         | 115.43        | 110.03                             | 145.03   | 145.03 | 125.08   | 115.53         | 203.54    | 164.81      | 166.58           | 164.63       | 131.31                | 124.04           | 133.78        | 123.08                   | 245.58          | 233.08            | 158.98                 | 152.98   |        |
| f09                                                     | 120.11  | 109.42           | 215.08      | 91.35      | 139.03   | 122.08      | 135.18        | 151.72     | 212.28      | 108.71                | 186.14         | 141.44                | 158.08          | 205.13         | 156.83        | 145.11                             | 301.38   | 131.86 | 90.78    | 202.46         | 177.48    | 90.97       | 209.26           | 155.75       | 103.34                | 139.78           | 141.64        | 119.53                   | 147.01          | 91.01             | 185.87                 | 153.88   |        |
| f10                                                     | 151.18  | 152.78           | 162.72      | 144.47     | 164.60   | 166.80      | 166.72        | 168.78     | 208.72      | 210.30                | 210.30         | 204.90                | 412.21          | 210.70         | 231.12        | 163.20                             | 139.97   | 189.08 | 184.64   | 227.28         | 163.20    | 143.75      | 145.94           | 146.05       | 118.08                | 205.48           | 190.00        | 188.32                   | 213.37          | 118.08            | 128.30                 | 144.82   |        |
| f11                                                     | 188.98  | 64.57            | 70.78       | 67.17      | 102.66   | 109.04      | 119.08        | 136.78     | 127.62      | 167.12                | 207.62         | 221.02                | 287.80          | 215.28         | 380.08        | 120.42                             | 85.18    | 78.62  | 188.58   | 182.48         | 198.87    | 88.10       | 1                |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
| f12                                                     | 137.55  | 125.78           | 137.72      | 137.22     | 129.58   | 128.34      | 144.62        | 184.04     | 195.51      | 128.53                | 112.27         | 137.57                | 154.38          | 154.78         | 170.97        | 165.13                             | 188.08   | 133.03 | 150.84   | 154.88         | 146.75    | 146.72      | 153.92           | 153.98       | 175.83                | 123.68           | 137.64        | 133.62                   | 134.98          | 131.30            | 146.28                 |          |        |
| f14                                                     | 188.19  | 303.78           | 104.20      |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |
|                                                         |         |                  |             |            |          |             |               |            |             |                       |                |                       |                 |                |               |                                    |          |        |          |                |           |             |                  |              |                       |                  |               |                          |                 |                   |                        |          |        |

表 3-29 降雨の時間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン-U1)

| Flood Type | Period        |               | Peak<br>Obs.Rain<br>(mm/3hr) | Provable Rainfall Intensity |          |          |          |          | Enlargement Rate |          |          |          |          | 2.00                               |
|------------|---------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|----------|------------------------------------|
|            |               |               |                              | 5-yr                        | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   | 5-yr             | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   | Rejected by<br>Enlargement<br>Rate |
|            | Start<br>Date | End<br>Date   |                              | (mm/3hr)                    | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr)         | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) |                                    |
| f01        | 2003/Dec/11   | ~ 2003/Dec/12 | 16.08                        | 9.38                        | 11.49    | 13.69    | 16.79    | 19.30    | 0.58             | 0.71     | 0.85     | 1.04     | 1.20     |                                    |
| f02        | 1984/Dec/29   | ~ 1984/Dec/30 | 11.49                        | 7.41                        | 9.08     | 10.82    | 13.28    | 15.25    | 0.65             | 0.79     | 0.94     | 1.16     | 1.33     |                                    |
| f03        | 2005/Dec/13   | ~ 2005/Dec/14 | 13.49                        | 11.02                       | 13.50    | 16.08    | 19.73    | 22.67    | 0.82             | 1.00     | 1.19     | 1.46     | 1.68     |                                    |
| f04        | 2009/Apr/10   | ~ 2009/Apr/11 | 14.77                        | 12.55                       | 15.37    | 18.32    | 22.47    | 25.82    | 0.85             | 1.04     | 1.24     | 1.52     | 1.75     |                                    |
| f05        | 1996/Feb/27   | ~ 1996/Feb/28 | 15.13                        | 13.85                       | 16.97    | 20.22    | 24.81    | 28.51    | 0.92             | 1.12     | 1.34     | 1.64     | 1.88     |                                    |
| f06        | 2003/Jan/15   | ~ 2003/Jan/16 | 13.70                        | 12.60                       | 15.44    | 18.40    | 22.57    | 25.94    | 0.92             | 1.13     | 1.34     | 1.65     | 1.89     |                                    |
| f07        | 1979/Apr/15   | ~ 1979/Apr/16 | 11.81                        | 10.95                       | 13.42    | 15.99    | 19.62    | 22.54    | 0.93             | 1.14     | 1.35     | 1.66     | 1.91     |                                    |
| f08        | 2000/May/25   | ~ 2000/May/26 | 11.15                        | 10.37                       | 12.71    | 15.15    | 18.58    | 21.35    | 0.93             | 1.14     | 1.36     | 1.67     | 1.92     |                                    |
| f09        | 2009/Jan/12   | ~ 2009/Jan/13 | 11.07                        | 10.49                       | 12.85    | 15.31    | 18.79    | 21.59    | 0.95             | 1.16     | 1.38     | 1.70     | 1.95     |                                    |
| f10        | 2013/Nov/11   | ~ 2013/Nov/12 | 8.10                         | 7.83                        | 9.59     | 11.43    | 14.02    | 16.11    | 0.97             | 1.18     | 1.41     | 1.73     | 1.99     |                                    |
| f11        | 2006/Dec/13   | ~ 2006/Dec/14 | 43.58                        | 42.46                       | 52.01    | 61.98    | 76.04    | 87.37    | 0.97             | 1.19     | 1.42     | 1.74     | 2.01     | Rejection                          |
| f12        | 2012/Feb/21   | ~ 2012/Feb/22 | 13.14                        | 14.12                       | 17.29    | 20.61    | 25.28    | 29.05    | 1.07             | 1.32     | 1.57     | 1.92     | 2.21     | Rejection                          |
| f13        | 2005/Apr/9    | ~ 2005/Apr/10 | 17.53                        | 19.25                       | 23.58    | 28.10    | 34.47    | 39.61    | 1.10             | 1.35     | 1.60     | 1.97     | 2.26     | Rejection                          |
| f14        | 1995/Sep/26   | ~ 1995/Sep/27 | 20.31                        | 22.40                       | 27.44    | 32.70    | 40.12    | 46.10    | 1.10             | 1.35     | 1.61     | 1.98     | 2.27     | Rejection                          |

降雨引伸し期間中の実績降雨と確率降雨の3時間ピーク雨量の確率年 (Zone-U1)

| Flood Type | Period        |               | Observed<br>Rainfall<br>(mm/3hr) | Return Period (Year) of Maximum Rainfall Intensity |                   |                   |                   |                    | Obs.Max.=        | 110 -yr |
|------------|---------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------|
|            |               |               |                                  | Rejected by                                        |                   |                   |                   |                    | Return<br>Period |         |
|            | Start<br>Date | End<br>Date   |                                  | 5-yr<br>(mm/3hr)                                   | 10-yr<br>(mm/3hr) | 20-yr<br>(mm/3hr) | 50-yr<br>(mm/3hr) | 100-yr<br>(mm/3hr) |                  |         |
| f01        | 2003/Dec/11   | ~ 2003/Dec/13 | 2.63                             | 0.35                                               | 0.75              | 1.44              | 3.10              | 5.21               |                  |         |
| f02        | 1984/Dec/29   | ~ 1984/Dec/31 | 0.75                             | 0.14                                               | 0.31              | 0.60              | 1.28              | 2.16               |                  |         |
| f03        | 2005/Dec/13   | ~ 2005/Dec/15 | 1.36                             | 0.64                                               | 1.37              | 2.63              | 5.66              | 9.53               |                  |         |
| f04        | 2009/Apr/10   | ~ 2009/Apr/12 | 1.92                             | 1.04                                               | 2.22              | 4.29              | 9.22              | 15.51              |                  |         |
| f05        | 1996/Feb/27   | ~ 1996/Feb/29 | 2.09                             | 1.51                                               | 3.22              | 6.21              | 13.35             | 22.46              |                  |         |
| f06        | 2003/Jan/15   | ~ 2003/Jan/17 | 1.44                             | 1.06                                               | 2.26              | 4.36              | 9.38              | 15.78              |                  |         |
| f07        | 1979/Apr/15   | ~ 1979/Apr/17 | 0.83                             | 0.63                                               | 1.34              | 2.58              | 5.55              | 9.33               |                  |         |
| f08        | 2000/May/25   | ~ 2000/May/27 | 0.67                             | 0.51                                               | 1.09              | 2.10              | 4.52              | 7.61               |                  |         |
| f09        | 2009/Jan/12   | ~ 2009/Jan/14 | 0.65                             | 0.53                                               | 1.14              | 2.19              | 4.72              | 7.93               |                  |         |
| f10        | 2013/Nov/11   | ~ 2013/Nov/13 | 0.20                             | 0.18                                               | 0.38              | 0.73              | 1.57              | 2.65               |                  |         |
| f11        | 2006/Dec/13   | ~ 2006/Dec/15 | 110.08                           | 99.86                                              | 213.58            | 411.76            | 885.49            | 1,489.66           | Rejection        |         |
| f12        | 2012/Feb/21   | ~ 2012/Feb/23 | 1.24                             | 1.62                                               | 3.46              | 6.66              | 14.33             | 24.11              |                  |         |
| f13        | 2005/Apr/9    | ~ 2005/Apr/11 | 3.63                             | 5.16                                               | 11.04             | 21.28             | 45.76             | 76.98              |                  |         |
| f14        | 1995/Sep/26   | ~ 1995/Sep/28 | 6.32                             | 9.11                                               | 19.49             | 37.57             | 80.80             | 135.93             | Rejection        |         |

出典：JICA 調査団

表 3-30 降雨の時間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン-M)

| Flood Type | Period        |               | Observed<br>Rainfall<br>(mm/3hr) | Provable Rainfall Intensity |          |          |          |          | Enlargement Rate |          |          |          |          | 2.00                               |
|------------|---------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|----------|------------------------------------|
|            |               |               |                                  | 5-yr                        | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   | 5-yr             | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   | Rejected by<br>Enlargement<br>Rate |
|            | Start<br>Date | End<br>Date   | (mm/3hr)                         | (mm/3hr)                    | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr)         | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) |                                    |
| f01        | 2003/Dec/12   | ~ 2003/Dec/14 | 13.97                            | 7.03                        | 8.37     | 9.76     | 11.74    | 13.34    | 0.50             | 0.60     | 0.70     | 0.84     | 0.95     |                                    |
| f02        | 2003/Jan/10   | ~ 2003/Jan/12 | 21.20                            | 11.90                       | 14.17    | 16.51    | 19.87    | 22.57    | 0.56             | 0.67     | 0.78     | 0.94     | 1.06     |                                    |
| f03        | 2009/Apr/11   | ~ 2009/Apr/13 | 13.05                            | 9.93                        | 11.81    | 13.77    | 16.57    | 18.82    | 0.76             | 0.90     | 1.05     | 1.27     | 1.44     |                                    |
| f04        | 1984/Dec/29   | ~ 1984/Dec/31 | 9.12                             | 6.97                        | 8.29     | 9.67     | 11.63    | 13.21    | 0.76             | 0.91     | 1.06     | 1.27     | 1.45     |                                    |
| f05        | 1990/Dec/22   | ~ 1990/Dec/24 | 11.06                            | 8.92                        | 10.62    | 12.38    | 14.89    | 16.92    | 0.81             | 0.96     | 1.12     | 1.35     | 1.53     |                                    |
| f06        | 1992/May/24   | ~ 1992/May/26 | 11.23                            | 10.08                       | 12.00    | 13.99    | 16.83    | 19.12    | 0.90             | 1.07     | 1.25     | 1.50     | 1.70     |                                    |
| f07        | 2005/Dec/13   | ~ 2005/Dec/15 | 9.38                             | 8.94                        | 10.63    | 12.40    | 14.91    | 16.94    | 0.95             | 1.13     | 1.32     | 1.59     | 1.81     |                                    |
| f08        | 2004/Nov/1    | ~ 2004/Nov/3  | 6.69                             | 6.42                        | 7.65     | 8.91     | 10.72    | 12.18    | 0.96             | 1.14     | 1.33     | 1.60     | 1.82     |                                    |
| f09        | 2004/Jun/15   | ~ 2004/Jun/17 | 7.10                             | 6.90                        | 8.22     | 9.58     | 11.52    | 13.09    | 0.97             | 1.16     | 1.35     | 1.62     | 1.84     |                                    |
| f10        | 1979/Apr/16   | ~ 1979/Apr/18 | 11.78                            | 11.82                       | 14.07    | 16.40    | 19.73    | 22.41    | 1.00             | 1.19     | 1.39     | 1.67     | 1.90     |                                    |
| f11        | 2000/May/25   | ~ 2000/May/27 | 6.98                             | 7.27                        | 8.65     | 10.08    | 12.13    | 13.78    | 1.04             | 1.24     | 1.44     | 1.74     | 1.97     |                                    |
| f12        | 2006/Dec/14   | ~ 2006/Dec/16 | 26.22                            | 30.01                       | 35.72    | 41.64    | 50.09    | 56.91    | 1.14             | 1.36     | 1.59     | 1.91     | 2.17     | Rejection                          |
| f13        | 1996/Mar/15   | ~ 1996/Mar/17 | 3.37                             | 9.92                        | 11.80    | 13.76    | 16.55    | 18.80    | 2.94             | 3.50     | 4.09     | 4.91     | 5.58     | Rejection                          |
| f14        | 2003/Apr/4    | ~ 2003/Apr/6  | 15.68                            | 18.06                       | 21.50    | 25.06    | 30.15    | 34.25    | 1.15             | 1.37     | 1.60     | 1.92     | 2.19     | Rejection                          |

降雨引伸し期間中の実績降雨と確率降雨の3時間ピーク雨量の確率年 (Zone-M)

| Obs.Max=   |             |               |                                                    |          |          |          |          |           | 60 -yr                    |
|------------|-------------|---------------|----------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|---------------------------|
| Flood Type | Period      |               | Return Period (Year) of Maximum Rainfall Intensity |          |          |          |          |           | Rejected by Return Period |
|            | Start Date  | End Date      | Obs.Rain                                           | 5-yr     | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr    |                           |
|            |             |               | (mm/3hr)                                           | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr)  |                           |
| f01        | 2003/Dec/12 | ~ 2003/Dec/14 | 2.7                                                | 0.5      | 0.7      | 0.9      | 1.6      | 2.3       |                           |
| f02        | 2003/Jan/10 | ~ 2003/Jan/12 | 17.0                                               | 1.6      | 2.9      | 5.2      | 12.1     | 24.0      |                           |
| f03        | 2009/Apr/11 | ~ 2009/Apr/13 | 2.2                                                | 1.0      | 1.6      | 2.6      | 5.3      | 9.3       |                           |
| f04        | 1984/Dec/29 | ~ 1984/Dec/31 | 0.8                                                | 0.5      | 0.7      | 0.9      | 1.5      | 2.3       |                           |
| f05        | 1990/Dec/22 | ~ 1990/Dec/24 | 1.3                                                | 0.8      | 1.2      | 1.8      | 3.5      | 5.8       |                           |
| f06        | 1992/May/24 | ~ 1992/May/26 | 1.4                                                | 1.0      | 1.7      | 2.8      | 5.6      | 10.1      |                           |
| f07        | 2005/Dec/13 | ~ 2005/Dec/15 | 0.9                                                | 0.8      | 1.2      | 1.8      | 3.5      | 5.8       |                           |
| f08        | 2004/Nov/1  | ~ 2004/Nov/3  | 0.4                                                | 0.4      | 0.6      | 0.8      | 1.2      | 1.7       |                           |
| f09        | 2004/Jun/15 | ~ 2004/Jun/17 | 0.5                                                | 0.5      | 0.6      | 0.9      | 1.5      | 2.2       |                           |
| f10        | 1979/Apr/16 | ~ 1979/Apr/18 | 1.6                                                | 1.6      | 2.8      | 5.1      | 11.7     | 23.1      |                           |
| f11        | 2000/May/25 | ~ 2000/May/27 | 0.5                                                | 0.5      | 0.7      | 1.0      | 1.7      | 2.6       |                           |
| f12        | 2006/Dec/14 | ~ 2006/Dec/16 | 60.3                                               | 156.9    | 661.6    | 2,943.0  | 24,816.0 | 138,445.5 | Rejection                 |
| f13        | 1996/Mar/15 | ~ 1996/Mar/17 | 0.2                                                | 1.0      | 1.6      | 2.6      | 5.3      | 9.3       |                           |
| f14        | 2003/Apr/4  | ~ 2003/Apr/6  | 4.2                                                | 7.7      | 18.3     | 45.0     | 162.5    | 457.3     | Rejection                 |

出典：JICA 調査団



表 3-31 降雨の時間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン-U1+M+U2)

| Flood Type | Period      |               | Observed Rainfall (mm/3hr) | Provable Rainfall Intensity |          |          |          |          | Enlargement Rate |          |          |          |          | Rejected by Enlargement Rate |
|------------|-------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|----------|------------------------------|
|            |             |               |                            | 5-yr                        | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   | 5-yr             | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   |                              |
|            | Start Date  | End Date      |                            | (mm/3hr)                    | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr)         | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) |                              |
| f01        | 2003/Dec/11 | ~ 2003/Dec/15 | 15.81                      | 9.04                        | 10.69    | 12.38    | 14.75    | 16.64    | 0.57             | 0.68     | 0.78     | 0.93     | 1.05     |                              |
| f02        | 2003/Jan/12 | ~ 2003/Jan/16 | 20.96                      | 14.34                       | 16.97    | 19.64    | 23.41    | 26.41    | 0.68             | 0.81     | 0.94     | 1.12     | 1.26     |                              |
| f03        | 2009/Apr/11 | ~ 2009/Apr/15 | 15.78                      | 10.93                       | 12.92    | 14.96    | 17.83    | 20.12    | 0.69             | 0.82     | 0.95     | 1.13     | 1.27     |                              |
| f04        | 2006/Dec/16 | ~ 2006/Dec/20 | 49.27                      | 34.91                       | 41.29    | 47.81    | 56.96    | 64.27    | 0.71             | 0.84     | 0.97     | 1.16     | 1.30     |                              |
| f05        | 1984/Dec/31 | ~ 1985/Jan/4  | 8.14                       | 5.79                        | 6.84     | 7.93     | 9.44     | 10.65    | 0.71             | 0.84     | 0.97     | 1.16     | 1.31     |                              |
| f06        | 2011/Oct/31 | ~ 2011/Nov/4  | 14.01                      | 10.85                       | 12.83    | 14.86    | 17.70    | 19.97    | 0.77             | 0.92     | 1.06     | 1.26     | 1.43     |                              |
| f07        | 2004/Nov/13 | ~ 2004/Nov/17 | 9.96                       | 8.69                        | 10.28    | 11.90    | 14.18    | 15.99    | 0.87             | 1.03     | 1.19     | 1.42     | 1.61     |                              |
| f08        | 2007/Mar/11 | ~ 2007/Mar/15 | 12.27                      | 11.41                       | 13.50    | 15.63    | 18.63    | 21.01    | 0.93             | 1.10     | 1.27     | 1.52     | 1.71     |                              |
| f09        | 1990/Dec/24 | ~ 1990/Dec/28 | 10.29                      | 9.76                        | 11.54    | 13.36    | 15.92    | 17.96    | 0.95             | 1.12     | 1.30     | 1.55     | 1.75     |                              |
| f10        | 2005/Dec/13 | ~ 2005/Dec/17 | 9.19                       | 8.84                        | 10.46    | 12.11    | 14.43    | 16.28    | 0.96             | 1.14     | 1.32     | 1.57     | 1.77     |                              |
| f11        | 2004/Jun/16 | ~ 2004/Jun/20 | 9.11                       | 9.32                        | 11.03    | 12.77    | 15.21    | 17.16    | 1.02             | 1.21     | 1.40     | 1.67     | 1.88     |                              |
| f12        | 2010/Nov/5  | ~ 2010/Nov/9  | 4.86                       | 4.98                        | 5.88     | 6.81     | 8.12     | 9.16     | 1.02             | 1.21     | 1.40     | 1.67     | 1.88     |                              |
| f13        | 1992/Nov/4  | ~ 1992/Nov/8  | 10.48                      | 11.26                       | 13.31    | 15.42    | 18.37    | 20.73    | 1.07             | 1.27     | 1.47     | 1.75     | 1.98     |                              |
| f14        | 1992/May/24 | ~ 1992/May/28 | 13.60                      | 14.64                       | 17.32    | 20.05    | 23.89    | 26.96    | 1.08             | 1.27     | 1.47     | 1.76     | 1.98     |                              |

降雨引伸し期間中の実績降雨と確率降雨の3時間ピーク雨量の確率年 (Zone-U1+M+U2)

| Flood Type | Period      |               | Observed Rainfall (mm/3hr) | Return Period (Year) of Maximum Rainfall Intensity |          |          |          |          | Rejected by Return Period |
|------------|-------------|---------------|----------------------------|----------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------|
|            |             |               |                            | 5-yr                                               | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   |                           |
|            | Start Date  | End Date      | (mm/3hr)                   | (mm/3hr)                                           | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) |                           |
| f01        | 2003/Dec/11 | ~ 2003/Dec/13 | 3.14                       | 1.17                                               | 1.49     | 1.90     | 2.69     | 3.54     |                           |
| f02        | 2003/Jan/12 | ~ 2003/Jan/14 | 6.65                       | 2.53                                               | 3.71     | 5.49     | 9.51     | 14.73    |                           |
| f03        | 2009/Apr/11 | ~ 2009/Apr/13 | 3.12                       | 1.54                                               | 2.06     | 2.77     | 4.21     | 5.88     |                           |
| f04        | 2006/Dec/16 | ~ 2006/Dec/18 | 413.80                     | 50.92                                              | 129.16   | 334.36   | 1,271.39 | 3,691.12 | Rejection                 |
| f05        | 1984/Dec/31 | ~ 1985/Jan/2  | 1.03                       | 0.73                                               | 0.85     | 0.99     | 1.24     | 1.48     |                           |
| f06        | 2011/Oct/31 | ~ 2011/Nov/2  | 2.41                       | 1.52                                               | 2.03     | 2.73     | 4.14     | 5.76     |                           |
| f07        | 2004/Nov/13 | ~ 2004/Nov/15 | 1.34                       | 1.11                                               | 1.40     | 1.77     | 2.47     | 3.22     |                           |
| f08        | 2007/Mar/11 | ~ 2007/Mar/13 | 1.87                       | 1.65                                               | 2.24     | 3.06     | 4.73     | 6.71     |                           |
| f09        | 1990/Dec/24 | ~ 1990/Dec/26 | 1.40                       | 1.30                                               | 1.68     | 2.20     | 3.19     | 4.30     |                           |
| f10        | 2005/Dec/13 | ~ 2005/Dec/15 | 1.19                       | 1.14                                               | 1.44     | 1.83     | 2.57     | 3.36     |                           |
| f11        | 2004/Jun/16 | ~ 2004/Jun/18 | 1.18                       | 1.22                                               | 1.56     | 2.01     | 2.88     | 3.82     |                           |
| f12        | 2010/Nov/5  | ~ 2010/Nov/7  | 0.64                       | 0.65                                               | 0.74     | 0.84     | 1.02     | 1.19     |                           |
| f13        | 1992/Nov/4  | ~ 1992/Nov/6  | 1.44                       | 1.62                                               | 2.18     | 2.96     | 4.56     | 6.43     |                           |
| f14        | 1992/May/24 | ~ 1992/May/26 | 2.27                       | 2.65                                               | 3.91     | 5.83     | 10.21    | 15.96    |                           |

出典：JICA 調査団

表 3-32 降雨の時間分布による計画降雨の棄却 (ゾーン- U1+M+U2+D1&D2)

| Flood Type | Period      |               | Observed Rainfall (mm/3hr) | Provable Rainfall Intensity |          |          |          |          | Enlargement Rate |          |          |          |          | Rejected by Enlargement Rate |
|------------|-------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|----------|------------------------------|
|            |             |               |                            | 5-yr                        | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   | 5-yr             | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   |                              |
|            | Start Date  | End Date      | (mm/3hr)                   | (mm/3hr)                    | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr)         | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) |                              |
| f01        | 2003/Dec/8  | ~ 2003/Dec/13 | 17.99                      | 11.24                       | 13.17    | 15.03    | 17.44    | 19.25    | 0.62             | 0.73     | 0.84     | 0.97     | 1.07     |                              |
| f02        | 2006/Dec/13 | ~ 2006/Dec/18 | 68.18                      | 54.31                       | 63.66    | 72.62    | 84.26    | 93.03    | 0.80             | 0.93     | 1.07     | 1.24     | 1.36     |                              |
| f03        | 2003/Jan/9  | ~ 2003/Jan/14 | 24.09                      | 18.06                       | 21.17    | 24.15    | 28.02    | 30.94    | 0.75             | 0.88     | 1.00     | 1.16     | 1.28     |                              |
| f04        | 2009/Apr/7  | ~ 2009/Apr/12 | 15.43                      | 11.83                       | 13.87    | 15.82    | 18.36    | 20.27    | 0.77             | 0.90     | 1.03     | 1.19     | 1.31     |                              |
| f05        | 2011/Oct/28 | ~ 2011/Nov/2  | 13.11                      | 11.41                       | 13.37    | 15.26    | 17.70    | 19.55    | 0.87             | 1.02     | 1.16     | 1.35     | 1.49     |                              |
| f06        | 1984/Dec/28 | ~ 1985/Jan/2  | 7.37                       | 5.83                        | 6.83     | 7.79     | 9.04     | 9.99     | 0.79             | 0.93     | 1.06     | 1.23     | 1.35     |                              |
| f07        | 2004/Nov/10 | ~ 2004/Nov/15 | 10.77                      | 10.43                       | 12.22    | 13.95    | 16.18    | 17.87    | 0.97             | 1.13     | 1.29     | 1.50     | 1.66     |                              |
| f08        | 2007/Mar/7  | ~ 2007/Mar/12 | 12.30                      | 12.76                       | 14.96    | 17.06    | 19.80    | 21.86    | 1.04             | 1.22     | 1.39     | 1.61     | 1.78     |                              |
| f09        | 2005/Dec/9  | ~ 2005/Dec/14 | 11.29                      | 11.72                       | 13.74    | 15.67    | 18.18    | 20.08    | 1.04             | 1.22     | 1.39     | 1.61     | 1.78     |                              |
| f10        | 1992/Nov/1  | ~ 1992/Nov/6  | 10.87                      | 11.59                       | 13.59    | 15.50    | 17.98    | 19.86    | 1.07             | 1.25     | 1.43     | 1.65     | 1.83     |                              |
| f11        | 1982/Nov/10 | ~ 1982/Nov/15 | 11.21                      | 13.39                       | 15.69    | 17.91    | 20.77    | 22.94    | 1.19             | 1.40     | 1.60     | 1.85     | 2.05     | Rejection                    |
| f12        | 1990/Dec/21 | ~ 1990/Dec/26 | 9.62                       | 10.10                       | 11.84    | 13.51    | 15.67    | 17.31    | 1.05             | 1.23     | 1.40     | 1.63     | 1.80     |                              |
| f13        | 2004/Jun/12 | ~ 2004/Jun/17 | 11.47                      | 12.55                       | 14.72    | 16.79    | 19.48    | 21.51    | 1.09             | 1.28     | 1.46     | 1.70     | 1.87     |                              |
| f14        | 2010/Nov/2  | ~ 2010/Nov/7  | 4.25                       | 4.43                        | 5.20     | 5.93     | 6.88     | 7.59     | 1.04             | 1.22     | 1.39     | 1.62     | 1.79     |                              |

降雨引伸し期間中の実績降雨と確率降雨の3時間ピーク雨量の確率年 (Zone-U1+M+U2+D1&D2)

| Flood Type | Period      |               | Obs.Rain (mm/3hr) | Return Period (Year) of Maximum Rainfall Intensity |          |          |          |          | Rejected by Return Period |
|------------|-------------|---------------|-------------------|----------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------|
|            |             |               |                   | 5-yr                                               | 10-yr    | 20-yr    | 50-yr    | 100-yr   |                           |
|            | Start Date  | End Date      | (mm/3hr)          | (mm/3hr)                                           | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) | (mm/3hr) |                           |
| f01        | 2003/Dec/8  | ~ 2003/Dec/10 | 3.92              | 2.02                                               | 2.45     | 2.93     | 3.72     | 4.44     |                           |
| f02        | 2006/Dec/13 | ~ 2006/Dec/15 | 539.74            | 138.36                                             | 346.16   | 834.24   | 2,612.67 | 6,179.65 | Rejection                 |
| f03        | 2003/Jan/9  | ~ 2003/Jan/11 | 7.14              | 3.95                                               | 5.36     | 7.18     | 10.50    | 13.98    |                           |
| f04        | 2009/Apr/7  | ~ 2009/Apr/9  | 3.05              | 2.15                                               | 2.62     | 3.17     | 4.07     | 4.91     |                           |
| f05        | 2011/Oct/28 | ~ 2011/Oct/30 | 2.43              | 2.06                                               | 2.50     | 3.00     | 3.82     | 4.57     |                           |
| f06        | 1984/Dec/28 | ~ 1984/Dec/30 | 1.38              | 1.19                                               | 1.31     | 1.44     | 1.63     | 1.79     |                           |
| f07        | 2004/Nov/10 | ~ 2004/Nov/12 | 1.93              | 1.87                                               | 2.23     | 2.64     | 3.29     | 3.88     |                           |
| f08        | 2007/Mar/7  | ~ 2007/Mar/9  | 2.25              | 2.35                                               | 2.91     | 3.58     | 4.68     | 5.73     |                           |
| f09        | 2005/Dec/9  | ~ 2005/Dec/11 | 2.03              | 2.12                                               | 2.59     | 3.13     | 4.00     | 4.82     |                           |
| f10        | 1992/Nov/1  | ~ 1992/Nov/3  | 1.95              | 2.09                                               | 2.55     | 3.07     | 3.92     | 4.71     |                           |
| f11        | 1982/Nov/10 | ~ 1982/Nov/12 | 2.02              | 2.50                                               | 3.13     | 3.89     | 5.16     | 6.38     |                           |
| f12        | 1990/Dec/21 | ~ 1990/Dec/23 | 1.73              | 1.81                                               | 2.15     | 2.53     | 3.13     | 3.67     |                           |
| f13        | 2004/Jun/12 | ~ 2004/Jun/14 | 2.07              | 2.30                                               | 2.85     | 3.49     | 4.54     | 5.54     |                           |
| f14        | 2010/Nov/2  | ~ 2010/Nov/4  | 1.02              | 1.04                                               | 1.12     | 1.20     | 1.32     | 1.42     |                           |

出典：JICA 調査団

表 3-33 から表 3-36 に各ゾーン別の計画降雨群の時間分布、空間分布と確率規模による棄却結果を示す。

表 3-33 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果（U1 ゾーン）

| Flood Type | Period        |             | Observed<br>Rainfall<br>(mm/48hr) | Total Rainfall Amount of Design Rainfall |           |           |           |           | 20%       | Rejected by<br>Time<br>Distribution | Rejected by<br>Enlargement<br>Rate | Rejected by<br>Return<br>Period | Rejected by<br>Spatial<br>Distribution | Overall<br>Rejection<br>Judgement |
|------------|---------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|
|            |               |             |                                   | Rainfall                                 | 5-yr      | 10-yr     | 20-yr     | 50-yr     | 100-yr    |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
|            | Start<br>Date | End<br>Date |                                   | (mm/48hr)                                | (mm/48hr) | (mm/48hr) | (mm/48hr) | (mm/48hr) | (mm/48hr) |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f01        | 2003/Dec/11 ~ | 2003/Dec/12 | 229.91                            | 134.09                                   | 164.27    | 195.75    | 240.15    | 275.94    | 7.0%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f02        | 1984/Dec/29 ~ | 1984/Dec/30 | 205.51                            | 132.61                                   | 162.46    | 193.59    | 237.51    | 272.90    | 5.6%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f03        | 2005/Dec/13 ~ | 2005/Dec/14 | 170.41                            | 139.21                                   | 170.55    | 203.22    | 249.33    | 286.48    | 7.9%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f04        | 2009/Apr/10 ~ | 2009/Apr/11 | 155.49                            | 132.07                                   | 161.79    | 192.79    | 236.53    | 271.78    | 9.5%      |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f05        | 1996/Feb/27 ~ | 1996/Feb/28 | 154.87                            | 141.83                                   | 173.75    | 207.04    | 254.01    | 291.86    | 9.8%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f06        | 2003/Jan/15 ~ | 2003/Jan/16 | 148.68                            | 136.83                                   | 167.62    | 199.74    | 245.06    | 281.57    | 9.2%      |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f07        | 1979/Apr/15 ~ | 1979/Apr/16 | 149.34                            | 138.53                                   | 169.72    | 202.23    | 248.12    | 285.09    | 7.9%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f08        | 2000/May/25 ~ | 2000/May/26 | 148.92                            | 138.59                                   | 169.78    | 202.31    | 248.21    | 285.19    | 7.5%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f09        | 2009/Jan/12 ~ | 2009/Jan/13 | 144.90                            | 137.37                                   | 168.29    | 200.54    | 246.03    | 282.70    | 7.6%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f10        | 2013/Nov/11 ~ | 2013/Nov/12 | 135.01                            | 130.44                                   | 159.80    | 190.41    | 233.61    | 268.42    | 6.0%      |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f11        | 2006/Dec/13 ~ | 2006/Dec/14 | 168.40                            | 164.07                                   | 201.00    | 239.52    | 293.86    | 337.64    | 25.9%     | Rejection                           | Rejection                          | Rejection                       |                                        | Rejection                         |
| f12        | 2012/Feb/21 ~ | 2012/Feb/22 | 132.38                            | 142.21                                   | 174.22    | 207.60    | 254.70    | 292.66    | 9.9%      |                                     | Rejection                          |                                 |                                        | Rejection                         |
| f13        | 2005/Apr/9 ~  | 2005/Apr/10 | 129.10                            | 141.77                                   | 173.68    | 206.95    | 253.91    | 291.74    | 13.6%     |                                     | Rejection                          |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f14        | 1995/Sep/26 ~ | 1995/Sep/27 | 127.36                            | 140.46                                   | 172.07    | 205.04    | 251.56    | 289.05    | 15.9%     |                                     | Rejection                          | Rejection                       | Rejection                              | Rejection                         |

出典：JICA 調査団

表 3-34 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果（M ゾーン）

| Flood Type | Period        |               |                        | Observed<br>Rainfall<br>(mm/3days) | Total Rainfall Amount of Design Rainfall |                     |                     |                     |                      | 20%       | Rejected by<br>Time<br>Distribution | Rejected by<br>Enlargement<br>Rate | Rejected by<br>Return<br>Period | Rejected by<br>Spatial<br>Distribution | Overall<br>Rejection<br>Judgement |
|------------|---------------|---------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|
|            |               |               |                        |                                    | Ratio of<br>Intensity /<br>Tot.Amount    |                     |                     |                     |                      |           |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
|            | Start<br>Date | End<br>Date   | Rainfall<br>(mm/3days) |                                    | 5-yr<br>(mm/3days)                       | 10-yr<br>(mm/3days) | 20-yr<br>(mm/3days) | 50-yr<br>(mm/3days) | 100-yr<br>(mm/3days) |           |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f01        | 2003/Dec/12   | ~ 2003/Dec/14 | 245.41                 | 123.54                             | 147.03                                   | 171.39              | 206.20              | 234.25              | 5.7%                 |           |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f02        | 2003/Jan/10   | ~ 2003/Jan/12 | 223.67                 | 125.59                             | 149.47                                   | 174.23              | 209.61              | 238.13              | 9.5%                 |           |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f03        | 2009/Apr/11   | ~ 2009/Apr/13 | 161.77                 | 123.01                             | 146.40                                   | 170.65              | 205.30              | 233.24              | 8.1%                 |           |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f04        | 1984/Dec/29   | ~ 1984/Dec/31 | 157.38                 | 120.20                             | 143.06                                   | 166.76              | 200.62              | 227.92              | 5.8%                 |           |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f05        | 1990/Dec/22   | ~ 1990/Dec/24 | 151.78                 | 122.44                             | 145.72                                   | 169.87              | 204.36              | 232.16              | 7.3%                 |           |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f06        | 1992/May/24   | ~ 1992/May/26 | 137.27                 | 123.29                             | 146.73                                   | 171.04              | 205.77              | 233.77              | 8.2%                 |           |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f07        | 2005/Dec/13   | ~ 2005/Dec/15 | 128.99                 | 122.91                             | 146.28                                   | 170.51              | 205.13              | 233.05              | 7.3%                 |           |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f08        | 2004/Nov/1    | ~ 2004/Nov/3  | 124.60                 | 119.69                             | 142.45                                   | 166.05              | 199.77              | 226.95              | 5.4%                 |           |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f09        | 2004/Jun/15   | ~ 2004/Jun/17 | 123.37                 | 119.91                             | 142.71                                   | 166.36              | 200.13              | 227.37              | 5.8%                 |           |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f10        | 1979/Apr/16   | ~ 1979/Apr/18 | 125.23                 | 125.65                             | 149.55                                   | 174.32              | 209.72              | 238.26              | 9.4%                 |           |                                     |                                    |                                 | Rejection                              | Rejection                         |
| f11        | 2000/May/25   | ~ 2000/May/27 | 116.38                 | 121.20                             | 144.25                                   | 168.15              | 202.29              | 229.82              | 6.0%                 |           |                                     |                                    |                                 |                                        |                                   |
| f12        | 2006/Dec/14   | ~ 2006/Dec/16 | 124.64                 | 142.67                             | 169.80                                   | 197.93              | 238.12              | 270.52              | 21.0%                | Rejection | Rejection                           | Rejection                          | Rejection                       | Rejection                              | Rejection                         |
| f13        | 1996/Mar/15   | ~ 1996/Mar/17 | 42.12                  | 124.01                             | 147.59                                   | 172.04              | 206.98              | 235.14              | 8.0%                 |           | Rejection                           |                                    | Rejection                       | Rejection                              | Rejection                         |
| f14        | 2003/Apr/4    | ~ 2003/Apr/6  | 114.33                 | 131.75                             | 156.80                                   | 182.78              | 219.89              | 249.81              | 13.7%                |           | Rejection                           | Rejection                          |                                 | Rejection                              | Rejection                         |

出典：JICA 調査団

表 3-35 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果（U1+M+U2 ゾーン）

| Flood Type | Period      |               | Observed Rainfall<br>(mm/5days) | Total Rainfall Amount of Design Rainfall |                     |                     |                     |                      | 20%                             | Rejected by Time Distribution | Rejected by Enlargement Rate | Rejected by Return Period | Rejected by Spatial Distribution | Overall Rejection Judgement |
|------------|-------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|            | Start Date  | End Date      |                                 | 5-yr<br>(mm/5days)                       | 10-yr<br>(mm/5days) | 20-yr<br>(mm/5days) | 50-yr<br>(mm/5days) | 100-yr<br>(mm/5days) | Ratio of Intensity / Tot.Amount |                               |                              |                           |                                  |                             |
|            |             |               |                                 |                                          |                     |                     |                     |                      |                                 |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f01        | 2003/Dec/11 | ~ 2003/Dec/15 | 280.00                          | 160.08                                   | 189.34              | 219.23              | 261.21              | 294.71               | 5.6%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f02        | 2003/Jan/12 | ~ 2003/Jan/16 | 241.37                          | 165.20                                   | 195.40              | 226.25              | 269.57              | 304.14               | 8.7%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f03        | 2009/Apr/11 | ~ 2009/Apr/15 | 233.68                          | 161.83                                   | 191.41              | 221.63              | 264.08              | 297.94               | 6.8%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f04        | 2006/Dec/16 | ~ 2006/Dec/20 | 262.37                          | 185.90                                   | 219.88              | 254.59              | 303.35              | 342.25               | 18.8%                           |                               |                              | Rejection                 | Rejection                        | Rejection                   |
| f05        | 1984/Dec/31 | ~ 1985/Jan/4  | 220.33                          | 156.64                                   | 185.27              | 214.53              | 255.60              | 288.39               | 3.7%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f06        | 2011/Oct/31 | ~ 2011/Nov/4  | 208.94                          | 161.85                                   | 191.43              | 221.66              | 264.10              | 297.97               | 6.7%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f07        | 2004/Nov/13 | ~ 2004/Nov/17 | 182.86                          | 159.46                                   | 188.60              | 218.38              | 260.20              | 293.57               | 5.4%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f08        | 2007/Mar/11 | ~ 2007/Mar/15 | 174.41                          | 162.27                                   | 191.92              | 222.23              | 264.78              | 298.74               | 7.0%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f09        | 1990/Dec/24 | ~ 1990/Dec/28 | 169.47                          | 160.70                                   | 190.08              | 220.09              | 262.23              | 295.87               | 6.1%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f10        | 2005/Dec/13 | ~ 2005/Dec/17 | 166.00                          | 159.82                                   | 189.03              | 218.88              | 260.79              | 294.24               | 5.5%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f11        | 2004/Jun/16 | ~ 2004/Jun/20 | 156.61                          | 160.22                                   | 189.50              | 219.42              | 261.44              | 294.97               | 5.8%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f12        | 2010/Nov/5  | ~ 2010/Nov/9  | 152.25                          | 155.82                                   | 184.30              | 213.40              | 254.26              | 286.87               | 3.2%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f13        | 1992/Nov/4  | ~ 1992/Nov/8  | 150.84                          | 161.96                                   | 191.56              | 221.80              | 264.28              | 298.17               | 7.0%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f14        | 1992/May/24 | ~ 1992/May/28 | 153.72                          | 165.46                                   | 195.71              | 226.61              | 270.00              | 304.63               | 8.8%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |

出典：JICA 調査団

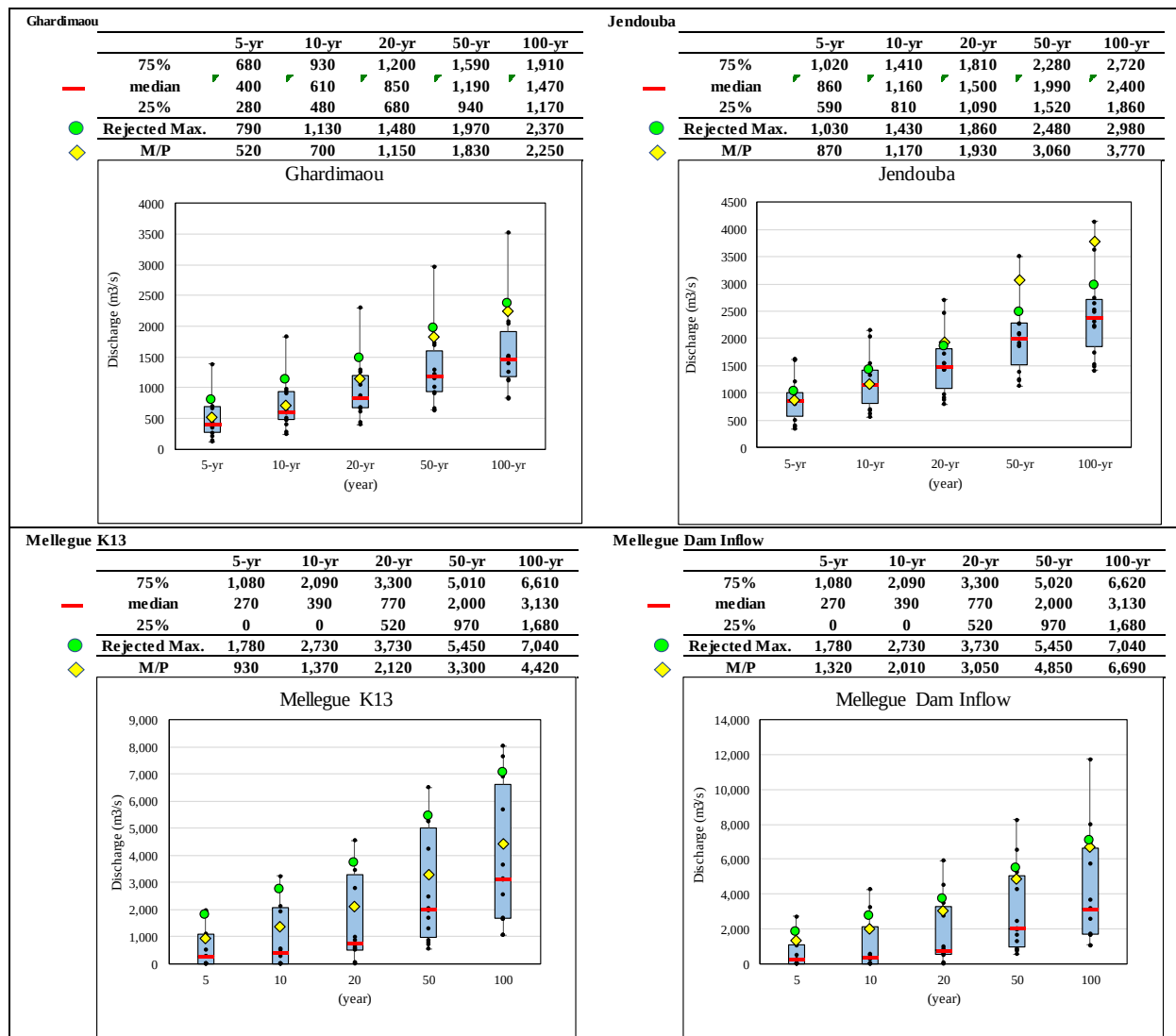
表 3-36 計画降雨群の時空間分布と確率規模による棄却結果 (U1+M+U2+D1&D2 ゾーン)

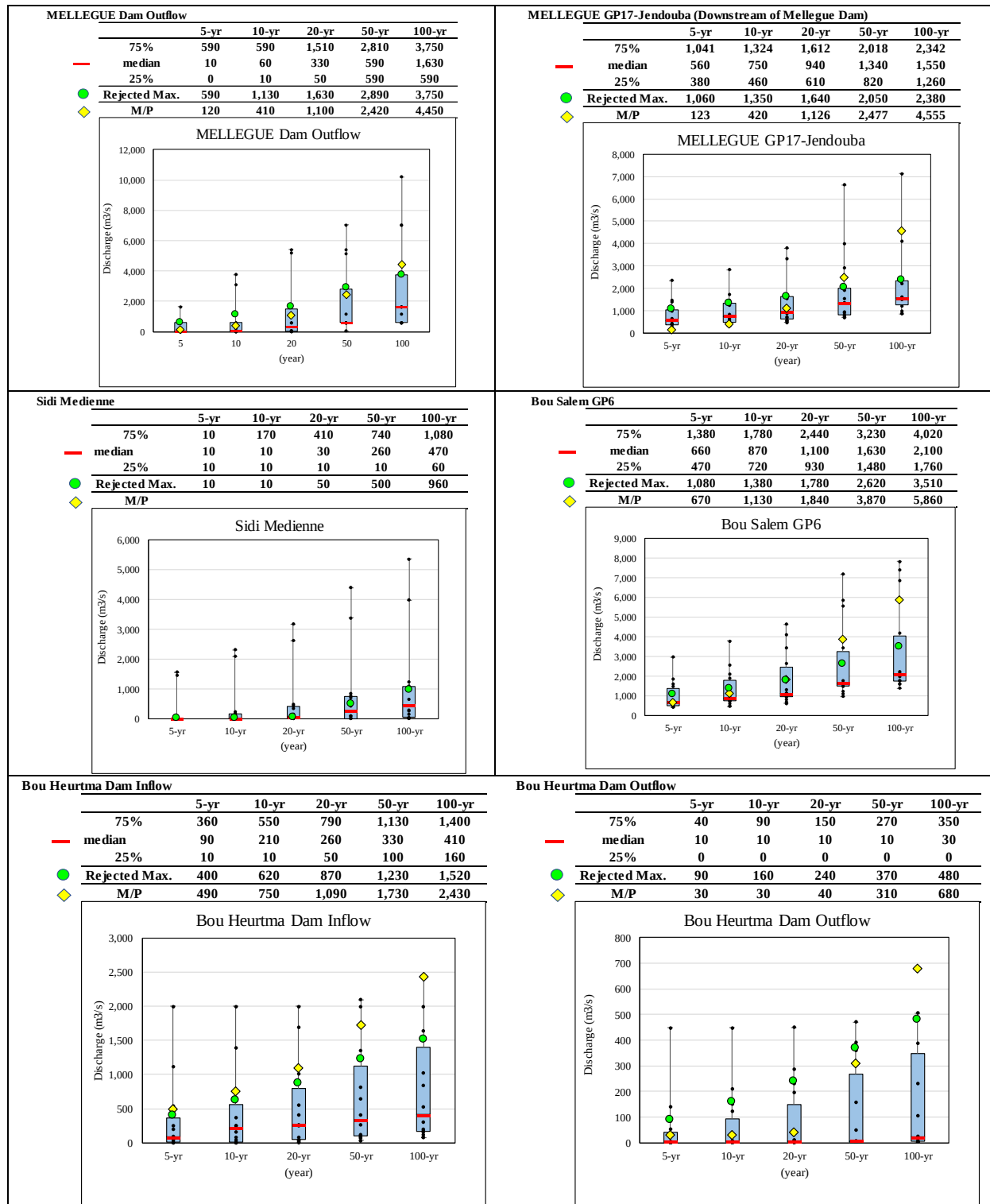
| Flood Type | Period      |               | Observed Rainfall (mm/6days) | Total Rainfall Amount of Design Rainfall (mm/6days) |        |        |        |        | Ratio of Intensity / Tot.Amount | Rejected by Time Distribution | Rejected by Enlargement Rate | Rejected by Return Period | Rejected by Spatial Distribution | Overall Rejection Judgement |
|------------|-------------|---------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|            | Start Date  | End Date      |                              | 5-yr                                                | 10-yr  | 20-yr  | 50-yr  | 100-yr |                                 |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f01        | 2003/Dec/8  | ~ 2003/Dec/13 | 292.94                       | 183.00                                              | 214.50 | 244.71 | 283.92 | 313.49 | 6.1%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f02        | 2006/Dec/13 | ~ 2006/Dec/18 | 317.02                       | 252.50                                              | 295.97 | 337.66 | 391.76 | 432.57 | 21.5%                           | Rejection                     |                              | Rejection                 | Rejection                        | Rejection                   |
| f03        | 2003/Jan/9  | ~ 2003/Jan/14 | 250.02                       | 187.45                                              | 219.71 | 250.66 | 290.83 | 321.12 | 9.6%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f04        | 2009/Apr/7  | ~ 2009/Apr/12 | 246.84                       | 189.30                                              | 221.88 | 253.14 | 293.70 | 324.29 | 6.3%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f05        | 2011/Oct/28 | ~ 2011/Nov/2  | 232.82                       | 202.62                                              | 237.50 | 270.95 | 314.37 | 347.11 | 5.6%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f06        | 1984/Dec/28 | ~ 1985/Jan/2  | 207.64                       | 164.14                                              | 192.40 | 219.50 | 254.67 | 281.20 | 3.6%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f07        | 2004/Nov/10 | ~ 2004/Nov/15 | 183.92                       | 178.02                                              | 208.66 | 238.05 | 276.20 | 304.96 | 5.9%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f08        | 2007/Mar/7  | ~ 2007/Mar/12 | 184.43                       | 191.27                                              | 224.19 | 255.77 | 296.75 | 327.66 | 6.7%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f09        | 2005/Dec/9  | ~ 2005/Dec/14 | 172.88                       | 179.42                                              | 210.30 | 239.92 | 278.37 | 307.36 | 6.5%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f10        | 1992/Nov/1  | ~ 1992/Nov/6  | 167.92                       | 179.03                                              | 209.84 | 239.40 | 277.76 | 306.69 | 6.5%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f11        | 1982/Nov/10 | ~ 1982/Nov/15 | 171.58                       | 204.87                                              | 240.14 | 273.96 | 317.87 | 350.97 | 6.5%                            |                               | Rejection                    |                           | Rejection                        | Rejection                   |
| f12        | 1990/Dec/21 | ~ 1990/Dec/26 | 164.63                       | 172.93                                              | 202.70 | 231.25 | 268.31 | 296.25 | 5.8%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f13        | 2004/Jun/12 | ~ 2004/Jun/17 | 167.51                       | 183.33                                              | 214.89 | 245.16 | 284.44 | 314.07 | 6.8%                            |                               |                              |                           |                                  |                             |
| f14        | 2010/Nov/2  | ~ 2010/Nov/7  | 155.47                       | 162.05                                              | 189.94 | 216.70 | 251.42 | 277.61 | 2.7%                            |                               |                              |                           | Rejection                        | Rejection                   |

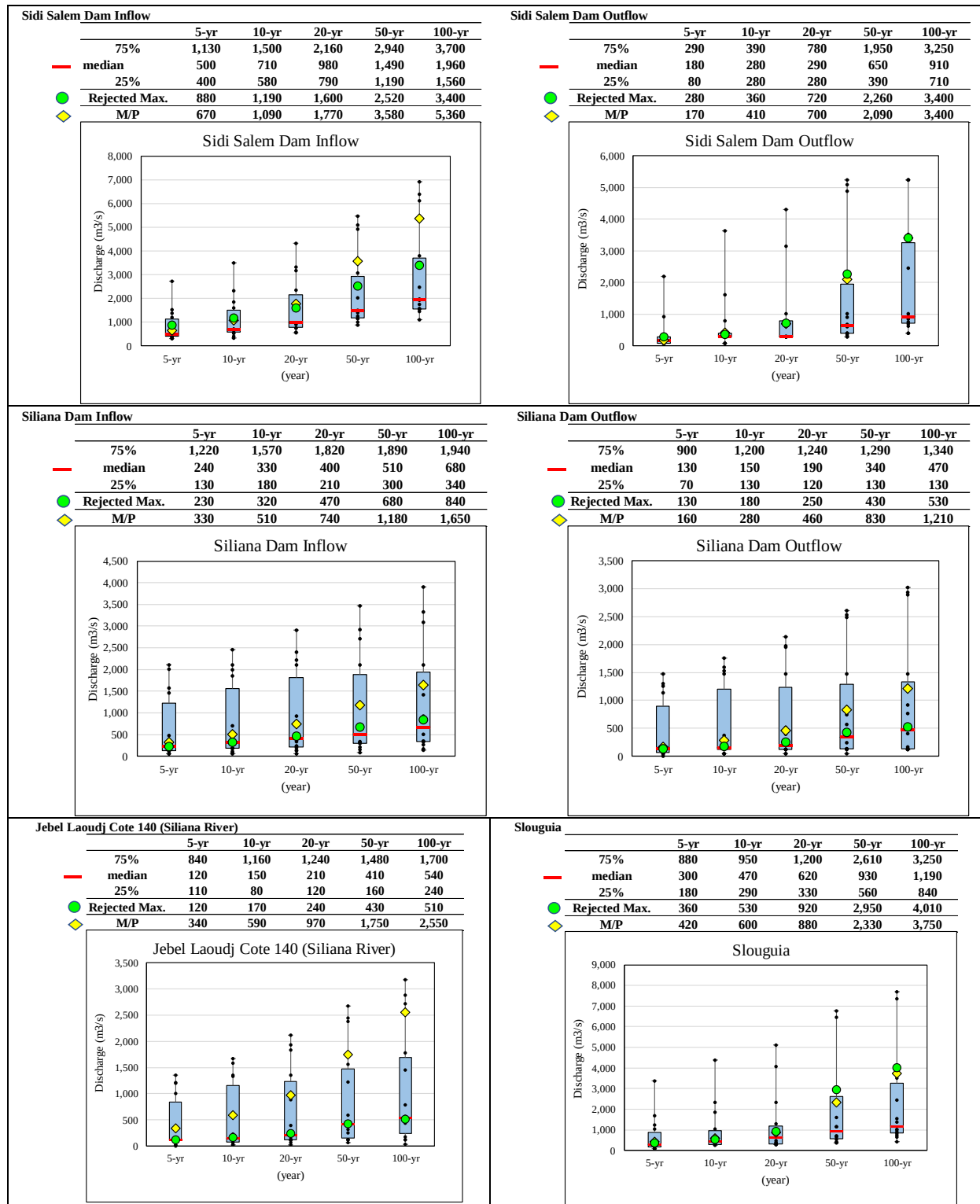
出典：JICA 調査団

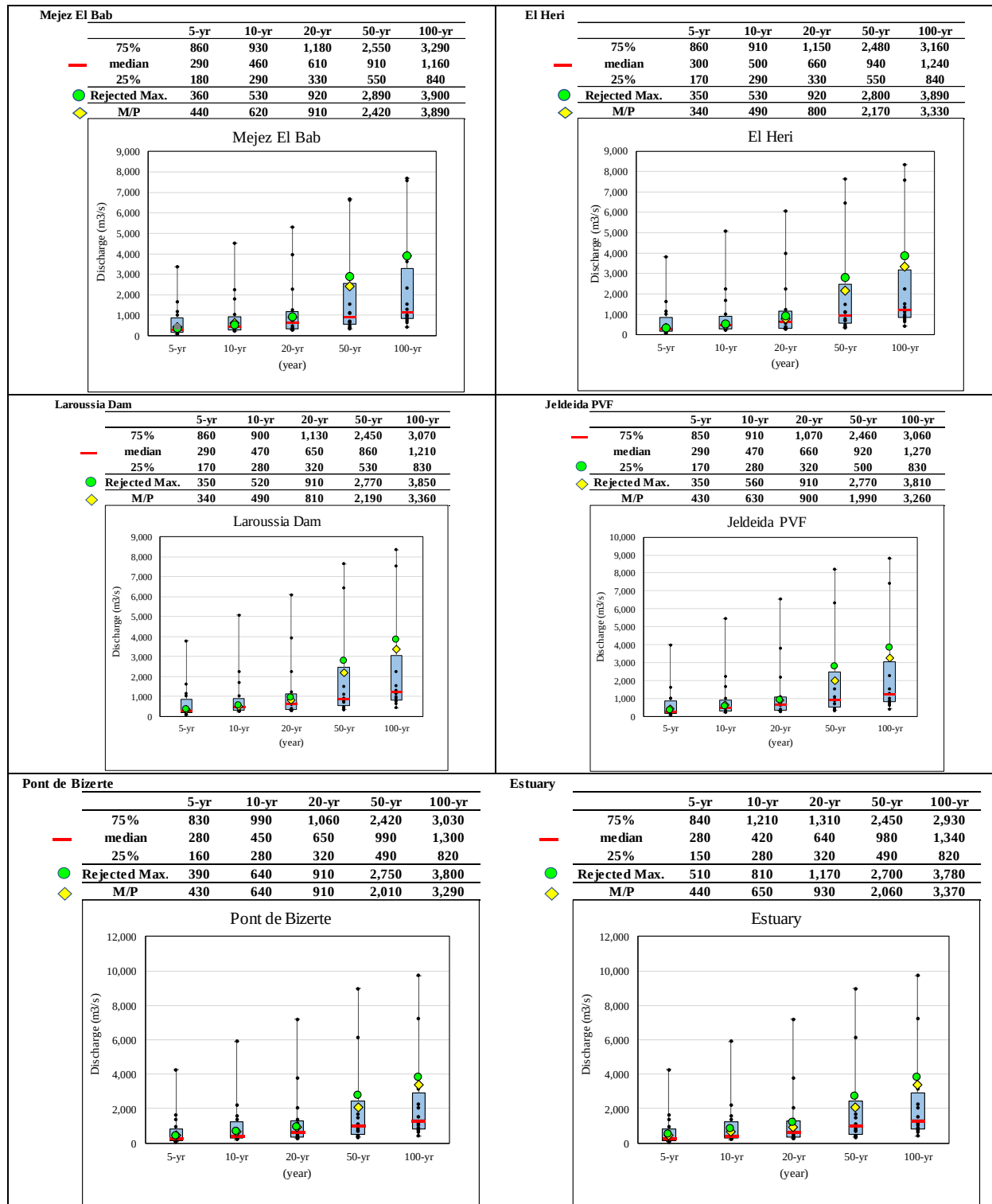
#### (4) 異常降雨の棄却後の設計洪水ピーク流量

以下に異常降雨の棄却後の最大設計洪水ピーク流量と、ボックスプロットの中央値 (Median) およびカバー率 75%値、マスタープランの洪水ピーク流量を示す。









出典：JICA 調査団

図 3-45 計算洪水ピーク流量と異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量およびボックスプロットによる中央値とカバー率 75% 値

シディサレムダムの下流域の D1 および D2 ゾーンでは、異常降雨棄却後の洪水ピーク流量は、1/5 から 1/20 確率規模で、マスタープラン（2009 年）とほぼ同程度になったが、1/50 確率規模以上では大きな値となっている。



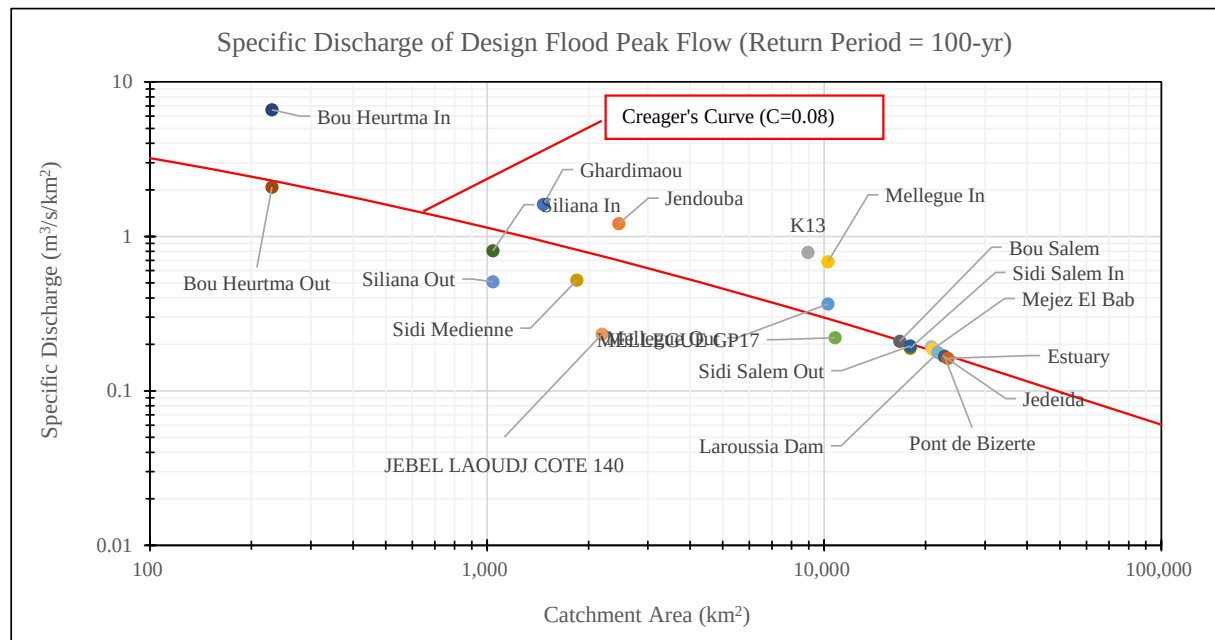
下表に、異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量とマスタープランの計画洪水ピーク流量の比較を示す。

表 3-37 異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量とマスタープラン（2009 年）の計算洪水ピーク流量

| Zone        | Site                        | Catchment Area (km <sup>2</sup> ) | 5-year                  |           |                    | 10-year    |           |                    | 20-year    |           |                    | 50-year    |           |                    | 100-year   |           |                    |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------|--------------------|------------|-----------|--------------------|------------|-----------|--------------------|------------|-----------|--------------------|
|             |                             |                                   | This Study              | MP (2009) | Deferen-<br>ce (%) | This Study | MP (2009) | Deferen-<br>ce (%) | This Study | MP (2009) | Deferen-<br>ce (%) | This Study | MP (2009) | Deferen-<br>ce (%) | This Study | MP (2009) | Deferen-<br>ce (%) |
|             |                             |                                   | Unit: m <sup>3</sup> /s |           |                    |            |           |                    |            |           |                    |            |           |                    |            |           |                    |
| U1          | Ghardimaou                  | 1,469                             | 790                     | 520       | 34%                | 1,130      | 790       | 30%                | 1,480      | 1,150     | 22%                | 1,970      | 1,830     | 7%                 | 2,370      | 2,250     | 5%                 |
|             | Jendouba                    | 2,460                             | 1,030                   | 871       | 15%                | 1,430      | 1,323     | 7%                 | 1,860      | 1,926     | -4%                | 2,480      | 3,065     | -24%               | 2,980      | 3,768     | -26%               |
| M           | K13                         | 8,953                             | 1,780                   | 930       | 48%                | 2,730      | 1,370     | 50%                | 3,730      | 2,120     | 43%                | 5,450      | 3,300     | 39%                | 7,040      | 4,420     | 37%                |
|             | Mellegue In                 | 10,259                            | 1,780                   | 1,320     | 26%                | 2,730      | 2,010     | 26%                | 3,730      | 3,050     | 18%                | 5,450      | 4,850     | 11%                | 7,040      | 6,690     | 5%                 |
|             | Mellegue Out                | 10,259                            | 590                     | 120       | 80%                | 1,130      | 410       | 64%                | 1,630      | 1,100     | 33%                | 2,890      | 2,420     | 16%                | 3,750      | 4,450     | -19%               |
|             | Mellegue GP17 Jendouba      | 10,501                            | 1,060                   | 1,351     | -27%               | 1,350      | 2,057     | -52%               | 1,640      | 3,122     | -90%               | 2,050      | 4,964     | -142%              | 2,380      | 6,848     | -188%              |
| U2          | U1+M                        | 12,961                            | 1,080                   | 480       | 56%                | 1,380      | 890       | 36%                | 1,700      | 1,490     | 12%                | 2,140      | 3,330     | -56%               | 2,500      | 5,240     | -110%              |
|             | Bou Heurtma In              | 230                               | 400                     | 490       | -23%               | 620        | 750       | -21%               | 870        | 1,090     | -25%               | 1,230      | 1,730     | -41%               | 1,520      | 2,430     | -60%               |
|             | Bou Heurtma Out             | 230                               | 90                      | 30        | 67%                | 160        | 30        | 81%                | 240        | 40        | 83%                | 370        | 310       | 16%                | 480        | 680       | -42%               |
|             | Sidi Medienne (Tessa River) | 1,846                             | 10                      | -         | -                  | 10         | -         | -                  | 50         | -         | -                  | 500        | -         | -                  | 960        | -         | -                  |
|             | Bou Salem GP6               | 16,754                            | 1,080                   | 670       | 38%                | 1,380      | 1,130     | 18%                | 1,780      | 1,640     | 8%                 | 2,620      | 3,870     | -48%               | 3,510      | 5,860     | -67%               |
|             | Sidi Salem In               | 18,002                            | 880                     | 670       | 24%                | 1,190      | 1,090     | 8%                 | 1,600      | 1,770     | -11%               | 2,520      | 3,580     | -42%               | 3,400      | 5,360     | -58%               |
|             | Sidi Salem Out              | 18,002                            | 280                     | 170       | 39%                | 360        | 410       | -14%               | 720        | 700       | 3%                 | 2,260      | 2,090     | 8%                 | 3,520      | 3,400     | 3%                 |
|             | Siliana In                  | 1,041                             | 230                     | 330       | -43%               | 320        | 510       | -59%               | 470        | 740       | -57%               | 680        | 1,180     | -74%               | 840        | 1,650     | -96%               |
| D1          | Siliana Out                 | 1,041                             | 130                     | 160       | -23%               | 180        | 280       | -56%               | 250        | 460       | -84%               | 430        | 830       | -93%               | 530        | 1,210     | -128%              |
|             | Jebel Laoudj Cote 140       | 2,193                             | 120                     | 337       | -181%              | 170        | 590       | -247%              | 240        | 969       | -304%              | 430        | 1,749     | -307%              | 510        | 2,549     | -400%              |
|             | Slouguia                    | 20,790                            | 360                     | 420       | -17%               | 530        | 600       | -13%               | 920        | 880       | 4%                 | 2,950      | 2,330     | 21%                | 4,010      | 3,750     | 6%                 |
|             | Mejez El Bab                | 20,888                            | 360                     | 327       | 9%                 | 530        | 471       | 11%                | 920        | 778       | 15%                | 2,890      | 2,103     | 27%                | 3,900      | 3,419     | 12%                |
|             | Laroussia Dam               | 21,749                            | 350                     | 340       | 3%                 | 520        | 490       | 6%                 | 910        | 810       | 11%                | 2,770      | 2,190     | 21%                | 3,850      | 3,560     | 8%                 |
| D2          | Jedeida PVF                 | 22,498                            | 350                     | 352       | -0%                | 560        | 507       | 9%                 | 910        | 838       | 8%                 | 2,770      | 2,265     | 18%                | 3,810      | 3,683     | 3%                 |
|             | Pont de Bizerte             | 22,731                            | 390                     | 355       | 9%                 | 640        | 512       | 20%                | 910        | 847       | 7%                 | 2,750      | 2,289     | 17%                | 3,800      | 3,721     | 2%                 |
|             | Estuary                     | 23,264                            | 510                     | 440       | 14%                | 810        | 650       | 20%                | 1,170      | 930       | 21%                | 2,700      | 2,060     | 24%                | 3,780      | 3,370     | 11%                |
|             | Average (all)               | -                                 | -                       | -         | 7%                 | -          | -         | -4%                | -          | -         | -14%               | -          | -         | -29%               | -          | -         | -52%               |
| Avera<br>ge | Average (Zone-U1)           | -                                 | -                       | -         | 25%                | -          | -         | 19%                | -          | -         | 9%                 | -          | -         | -8%                | -          | -         | -11%               |
|             | Average (Zone-M)            | -                                 | -                       | -         | 31%                | -          | -         | 22%                | -          | -         | 1%                 | -          | -         | -19%               | -          | -         | -41%               |
|             | Average (Zone-U2)           | -                                 | -                       | -         | 33%                | -          | -         | 18%                | -          | -         | 12%                | -          | -         | -27%               | -          | -         | -55%               |
|             | Average (Zone-D1)           | -                                 | -                       | -         | -42%               | -          | -         | -60%               | -          | -         | -69%               | -          | -         | -                  | -          | -         | -100%              |
|             | Average (Zone-D2)           | -                                 | -                       | -         | 7%                 | -          | -         | 16%                | -          | -         | 12%                | -          | -         | 20%                | -          | -         | 5%                 |

注) 斜体文字の数値は流域面積比で推定した値  
出典：JICA 調査団

下図に、異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量の比流量と流域面積の関係を示す。全体的にクリーガー曲線の包絡線上にあり、上下流および本川・支川での確率規模の整合はとれていると判断できる。メレゲダムの上流はやや大きな比流量となっている。



出典：JICA 調査団

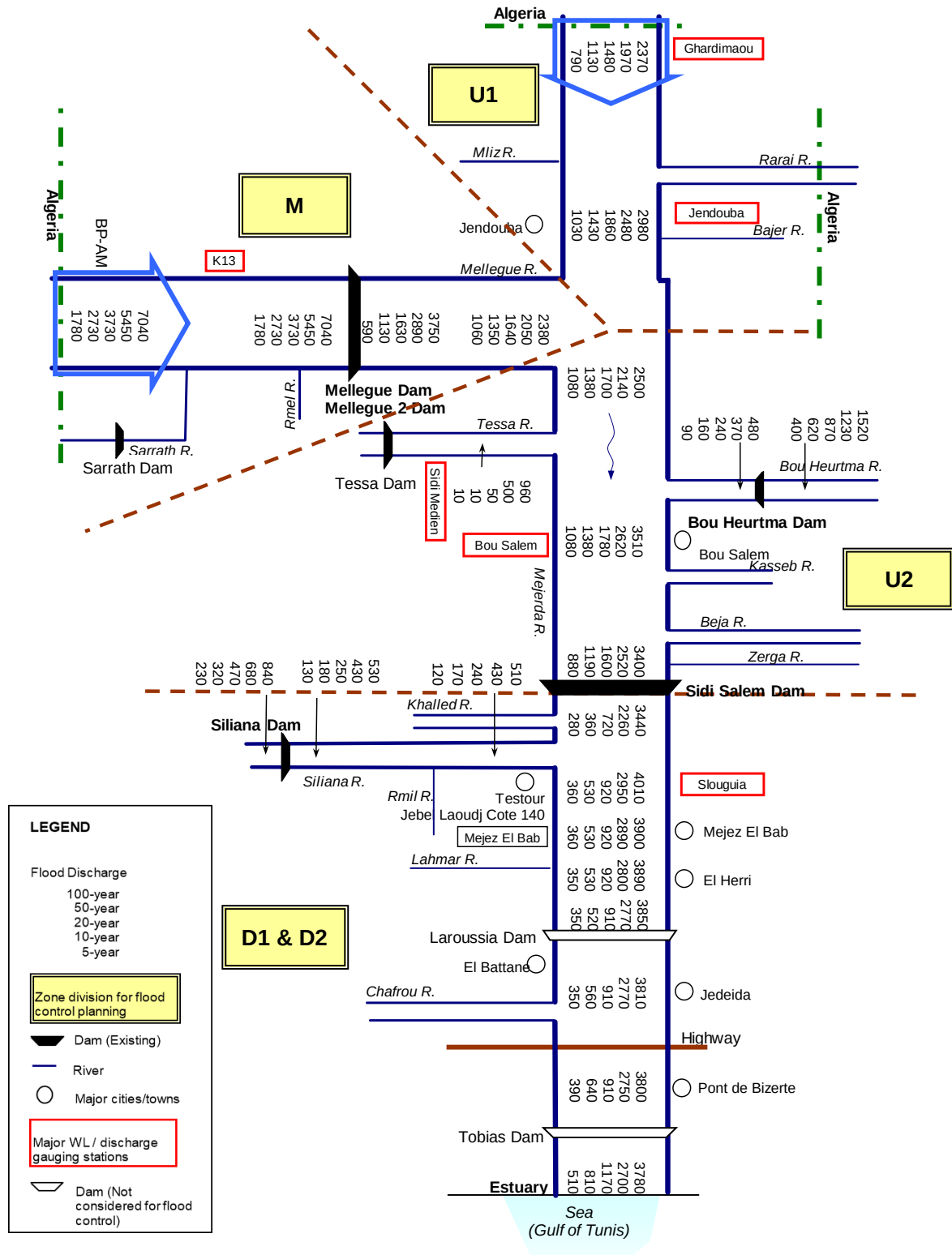
図 3-46 異常降雨棄却後の最大計画洪水ピーク流量の比流量と流域面積の関係

### 3.5 流量配分計画

上記で算定された洪水ピーク流量を基に作成した流量配分図を下図に示す。各サブ流域（ゾーン）の洪水防御レベルとして 1/20 年確率規模を選定した。

M/P（2009 年）の各水文ゾーンの設計洪水防御レベルは、5 つの水文ゾーンで均一ではなかった。つまり、U2 ゾーンは 1/20 年確率規模に設定され、他の 4 つのゾーンは 1/10 年確率規模であった。これらのレベルは、各ゾーンの便益－費用比率（B/C）の最大効率であると判断された。20 年確率規模の B/C の比率はすべてのゾーンで 1.0 を超えていた。

本調査におけるシディサレムダムの下流域の 1/20 年確率規模の流量（異常降雨棄却後の最大値）は  $920 \text{ m}^3/\text{s}$  程度であり、これは F/S で決定された設計洪水流量  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  よりやや大きい。以上の考察に基づき、シディサレムダムの下流域の設計洪水防御レベルは、1/20 年確率規模とする。



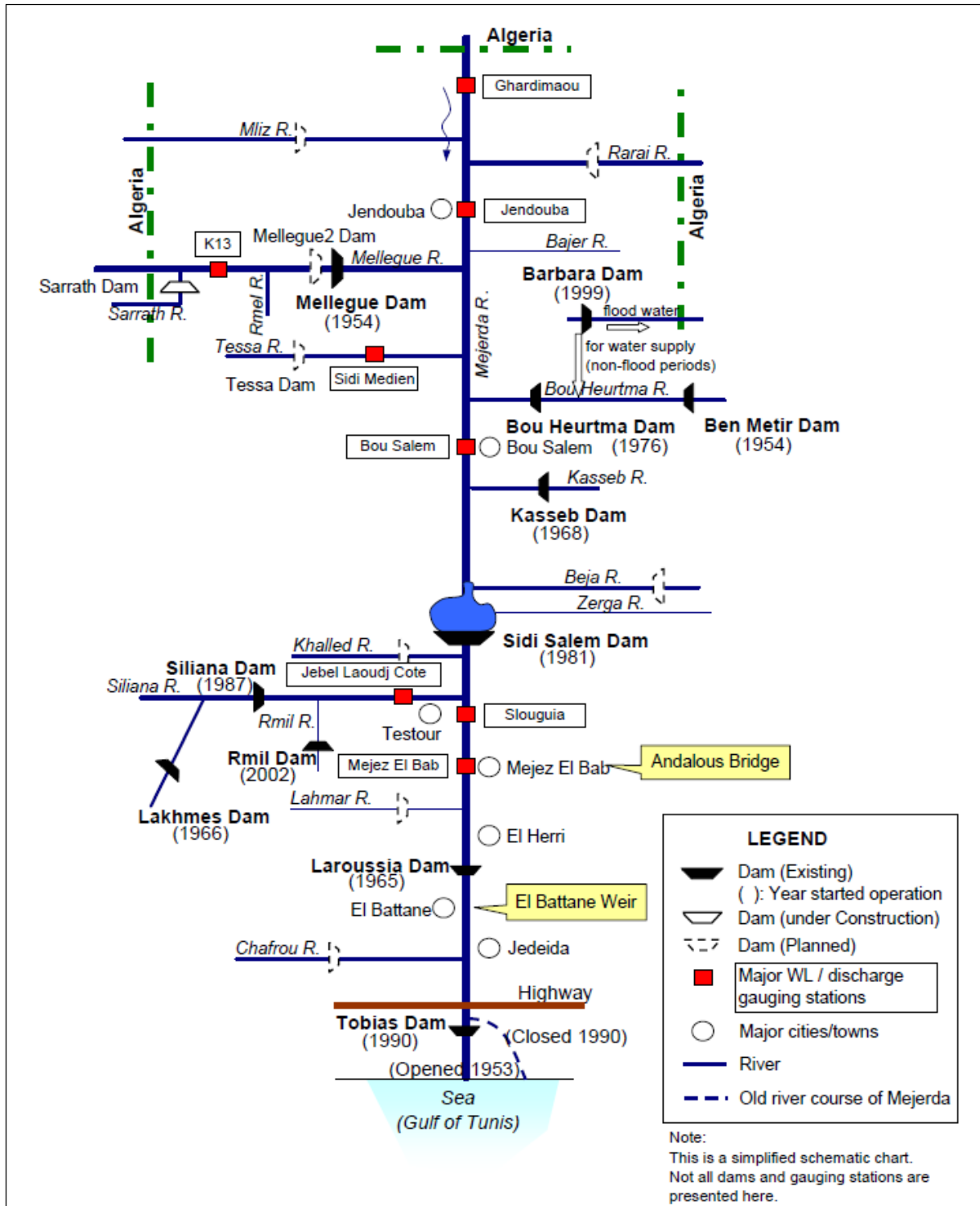
出典：JICA 調査団

図 3-47 流量配分図（ダムあり）[異常降雨棄却後の最大値]

### 3.6 既設ダムの最適運用方法の検討

#### 3.6.1 メジェルダ川流域の既設および計画中ダムの諸元

メジェルダ川流域の既設および計画中のダムの位置図を下図に示す。



出典：「メジェルダ川総合流域水管理計画調査最終報告書」JICA（2009）

図 3-48 メジェルダ川流域の既設および計画中のダムの位置図（概念図）



出典：「メジェルダ川総合流域水管理計画調査最終報告書」JICA（2009）

図 3-49 メジェルダ川流域の既設および計画中のダムの位置図

マスタープラン時（2009 年）の調査結果をもとに、メジェルダ川流域のダムの設計諸元、堆砂量と有効貯水容量を下表のとおり整理した。農業省に聞き取りをしたところ、マスタープラン時に未完成のダムとなっていた、サラ、メレゲ 2、テッサ、カレッド、ベジャの 5 ダムのうち、サラは 2018 年に完成した。メレゲ 2 は現在建設工事中で 2022 年に完成予定、テッサとカレッドは詳細設計が完了し建設工事発注に向けた政府内の手続き中である。ベジャについては、F/S の段階で実行不可と判断されたため建設中止となっている。

表のうち堆砂量は、マスタープラン最終報告書の付表 T-8 ページのデータに基づき記入した。各ダムの年間堆砂量は、EAU2000（2000 年を目標年次とした水資源開発計画）や DBGTH の調査結果に基づくものと推察される。



表 3-38 メジェルド川流域の既設および計画中のダムの諸元

| ダム名 | 状況(2019)             | 完成年                        | 設計諸元    |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          | 堆砂量と有効貯水容量の算出(2030年まで)                 |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          | 年間堆砂量(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> per year) |
|-----|----------------------|----------------------------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|
|     |                      |                            | 目的      | 流域面積(km <sup>2</sup> )           | ダム高(m)        | 設計最高水位(m)                   | 常時満水位(m)              | 総貯水容量(Mm <sup>3</sup> )                  | 利水容量(Mm <sup>3</sup> )                  | 治水容量(Mm <sup>3</sup> )                   | 2010                                   |                                          | 2020                                   |                                          | 2030                                   |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          | 堆砂量(Mm <sup>3</sup> )                  | 有効貯水容量(Mm <sup>3</sup> )                 | 堆砂量(Mm <sup>3</sup> )                  | 有効貯水容量(Mm <sup>3</sup> )                 | 堆砂量(Mm <sup>3</sup> )                  | 有効貯水容量(Mm <sup>3</sup> )                 | 堆砂量(Mm <sup>3</sup> )                                           | 有効貯水容量(Mm <sup>3</sup> ) |                                                |
| Dam | Present Status(2019) | Completion of Construction | Purpose | Catchment Area(km <sup>2</sup> ) | Dam Height(m) | Maximum High Water Level(m) | Normal Water Level(m) | Storage Volume at MHWL(Mm <sup>3</sup> ) | Storage Volume at NWL(Mm <sup>3</sup> ) | Flood Control Capacity(Mm <sup>3</sup> ) | Dead Storage in 2010(Mm <sup>3</sup> ) | Active Storage in 2010(Mm <sup>3</sup> ) | Dead Storage in 2020(Mm <sup>3</sup> ) | Active Storage in 2020(Mm <sup>3</sup> ) | Dead Storage in 2030(Mm <sup>3</sup> ) | Active Storage in 2030(Mm <sup>3</sup> ) | Annual Sediment Volume(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> per year) |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       |                                          |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |
|     |                      |                            |         |                                  |               |                             |                       | </                                       |                                         |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                        |                                          |                                                                 |                          |                                                |

出典：JICA 調査団（農業省の情報に基づく）

### 3.6.2 洪水時の貯水池運用調整の基本ルール

マスタープラン最終報告書の付表 T-20~22 に掲載されている洪水時の貯水池運用調整の基本ルールは以下のとおりである。

表 3-39 洪水時の貯水池運用に関する基本的規則

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ダム名    | シディサレムダム（管理中）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 調整するダム | Mellegue (Mellegue2), Bou Heurtma and Siliana Dams.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 流量基準点  | Ghardimaou, Jendouba, Bou Salem, Jebel Laoudj, Gauging Stations (GSs)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 貯水池運用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>シディサレムダムの水位が常時満水位（もしくは常時満水位に近い状態）であり、ダム上流の流量（例えばメレゲダム放流量、ジェンドゥーバとブサレム観測所の流量）がダム下流河川の通水能力より大きい場合は、通水能力分を最大として事前放流※をすることが推奨される。</li> <li>原文にある「pre-release」を「事前放流」と訳したが、ここでの事前放流は日本のそれとは意味が異なる。日本の事前放流は、台風の接近時など大規模な降雨が予測される場合、降雨の 1~2 日前に放流し貯水位を下げ貯水容量を特別に確保すること（利水容量を一時的に治水容量に振り返ること）である。このルールではそうではなく、洪水初期に排砂ゲートから下流河道の流下能力以下の放流をし、それ以上の流入量はダムに貯め込む（洪水調節に入る）ということの意味している。水位が上昇し、朝顔型洪水吐きの敷高を超えると、あとは自然越流方式の洪水調節となる（このときには排砂ゲートは全閉が基本）。</li> <li>シディサレムダムからの事前放流量は、カレッド川とシリアナ川からの流入量に制限される。事前放流は、ジェベルラオジ観測所の流量と調整されなければならない。</li> <li>メレゲダムの放流量あるいはガーディマウ、ジェンドゥーバ、ブサレム観測所の流量が 3,000 m<sup>3</sup>/s に達した場合※は、即座に双方の底部排水ゲートと非常用洪水吐きのうち 1 ゲートを全開させることが推奨される。</li> <li>ダム流入量が 3,000m<sup>3</sup>/s を超えると、ダム本体を守るための非常操作に入る。この操作に入ると下流は大被害となる。</li> <li>メレゲダムの放流量あるいはガーディマウ、ジェンドゥーバ、ブサレム観測所の流量が 5,000 m<sup>3</sup>/s に達し、かつそれら流量が継続的に増加する傾向がある場合は、即座に双方の底部排水ゲートと非常用洪水吐きの 3 ゲート全てを全開させ、最大限の放流をすることが推奨される。</li> <li>シディサレムダムの貯水位が設計最大水位である 119.50m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるためできるだけ多くの排水ゲートを開放する必要がある。</li> </ul> |
| ダム名    | メレゲダム（管理中）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 調整するダム | Bou Heurtma, Tessa Dams                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 流量基準点  | Border with Algeria, the Sarrath River, K 13 GS, Jendouba GS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 貯水池運用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>メレゲダムの水位が常時満水位（もしくは常時満水位に近い）であり、ダム上流の流量（例えばアルジェリアからの流入量、サラス川や K13 観測所の流量）がダム下流河川の通水能力より大きい場合は、通水能力分を最大としてメレゲダムから事前放流をすることが推奨される。</li> <li>ジェンドゥーバからシディサレムダム間のメジェルダ川の最大流下能力を超過させないよう、メレゲダムからの事前放流量は、ジェンドゥーバ観測所の流量や、ブヘルトゥマ川とテッサ川の洪水状況に応じて調整されなければならない。</li> <li>メレゲダム上流（アルジェリア国境地点のメレゲ川やサラ川等）の流量が 1,500m<sup>3</sup>/s に達した場合は、即座に双方の底部排水ゲートを全開し 600m<sup>3</sup>/s まで放流量を増加させることが推奨される。</li> <li>メレゲダムの貯水位が設計最大水位である 269.00m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるためできるだけ多くの排水ゲートを開放する必要がある。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ダム名    | ブヘルトゥマダム（管理中）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 調整するダム | Mellegue (Mellegue2), Tessa, Ben Metir, Mellegue Dams                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 流量基準点  | Fernana, Jendouba GSs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 貯水池運用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>ブヘルトゥマダムの水位が常時満水位（もしくは常時満水位に近い状態）であり、ダム上流の流量（例えばベンメティルダムからの放流量あるいは、フェルナナ観測所の流量）がダム下流河川の通水能力より大きい場合は、通水能力分を最大としてブヘルトゥマダムの底部排水ゲートから事前放流をすることが推奨される。</li> <li>ジェンドゥーバからシディサレムダム間のメジェルダ川の最大流下能力を超過させない</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | <p>いよう、ブヘルトゥマダムからの事前放流量は、ジェンドゥーバ観測所の流量やメレゲダムからの放流量、そしてテッサ川の洪水状況に応じて調整されなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ブヘルトゥマダムの貯水位が自然調節方式の洪水吐き敷高（221.00m）に達したらすぐに、できるだけ長時間、一定の放流量（ダム下流の最大流下能力と同量）となるようにブヘルトゥマダムの底部排水ゲートを徐々に閉める。底部排水ゲートは洪水のピークに達するまでに全閉させる。</li> <li>➤ ブヘルトゥマダムの貯水位が設計最大水位である 226.00m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるため底部排水ゲートを（部分的にもしくは完全に）開放する必要がある。</li> <li>➤ ダム貯水位がピークに達した後は、洪水調節容量を回復させる必要がある。最初の開放期間は、自然調節方式の洪水吐き敷から自然越流させる。自然越流により貯水量を減じさせた後は、ダム下流のブヘルトゥマ川の最大流下能力の範囲内で放流する。この 2 番目の期間は、底部排水ゲートを徐々に開けて、常時満水位に達するまで（つまり、洪水調節容量が全て確保されるまで）放流を継続させる。</li> </ul>                                                                                                                                                                        |
| ダム名    | シリアナダム（管理中）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 調整するダム | Sidi Salem, Lakhmes Dams                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 流量基準点  | Jendouba, Bou Salem, Oussafa, Slouguia GSs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 貯水池運用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ シリアナダムの水位が常時満水位（もしくは常時満水位に近い状態）であり、ダム上流の流量（例えばラクメスダムからの放流量あるいは、オウサファ観測所の流量）がダム下流河川の通水能力より大きい場合は、通水能力分を最大としてシリアナダムの底部排水ゲートから事前放流をすることが推奨される。</li> <li>➤ シディサレムダム下流のメジェルダ川の最大流下能力を超過させないように、シリアナダムからの事前放流量は、スロウギア観測所の流量やシディサレムダムからの放流量に応じて調整されなければならない。</li> <li>➤ シリアナダムの貯水位が自然調節方式の洪水吐き敷高（388.50m）に達したらすぐに、できるだけ長時間、一定の放流量（ダム下流の最大流下能力と同量）となるようにシリアナダムの底部排水ゲートを徐々に閉める。底部排水ゲートは洪水のピークに達するまでに全閉させる。</li> <li>➤ シリアナダムの貯水位が設計最大水位である 395.50m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるため底部排水ゲートを（部分的にもしくは完全に）開放する必要がある。</li> <li>➤ ダム貯水位がピークに達した後は、洪水調節容量を回復させる必要がある。最初の開放期間は、自然調節方式の洪水吐き敷から自然越流させる。自然越流により貯水量を減じさせた後は、ダム下流のシリアナ川の最大流下能力の範囲内で放流する。この 2 番目の期間は、底部排水ゲートを徐々に開けて、常時満水位に達するまで（つまり、洪水調節容量が全て確保されるまで）放流を継続させる。</li> </ul>    |
| ダム名    | メレゲ2ダム（建設中）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 調整するダム | Mellegue, Bou Heurtma and Tessa Dams                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 流量基準点  | Border with Algeria, the Sarrath River, K 13 GS, Jendouba GS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 貯水池運用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ メレゲダムとメレゲ2ダムはカスケードダムとして運用される。洪水の流量上昇時には先に上流ダムを満水にさせ、流量下降時には先に貯水池を空にさせることが推奨される。</li> <li>➤ メレゲ川流域の大規模洪水時など、メレゲダムから大量の放流が必要な場合は、メレゲダムからより多くの水を放流させるため、洪水流量上昇期間中にメレゲ2ダムの底部排水ゲートを最大開度まで開放させる。この場合、ダム流入のピーク時に再び底部排水ゲートを全閉させる。この操作によって、洪水調節容量を最大限活用し、ダムからのピーク流量を減少させると同時にピークのタイミングを遅らせることが可能となる。</li> <li>➤ メレゲ2ダムの貯水位が設計最大水位である 304.00m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるため底部排水ゲートを（部分的にもしくは完全に）開放する必要がある。このダム操作中は、双方のダムの安全に関するリスクも考慮する必要がある。</li> <li>➤ メレゲ2ダムの貯水位がピークに達した後は、洪水調節容量を回復させる必要がある。最初の開放期間は、自然調節方式の洪水吐き敷から自然越流させて下流のメレゲダムへ放流する。そしてメレゲダムを貯水池のバッファとして利用する。自然越流により貯水量を減じさせた後は、メレゲ川の最大流下能力の範囲内でメレゲ2ダムから放流する。この 2 番目の期間は、メレゲ2ダムのみから放流し、メレゲダムの水位の安定を保つ。メレゲ2ダムが常時満水位に達したら（つまり、洪水調節容量が全て確保されたら）メレゲダムの放流を継続させる。</li> </ul> |
| ダム名    | サラダム（管理中）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 調整するダム | Mellegue (Mellegue 2), Tessa and Ben Metir Dams                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 流量基準点  | Sidi Abdelkader, Sarrath Pont Route, K 13 GSs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 貯水池運用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ サラダムの水位が常時満水位（もしくは常時満水位に近い状態）であり、ダム上流の流量（例えばシディアブデルカデルあるいはサラポントロウテ観測所の流量）がダム下流河川の通水能力より大きい場合は、通水能力分を最大としてシリアナダムの底部排水ゲートから事前放流をすることが推奨される。</li> <li>➤ 事前放流は、アルジェリアからのメレゲ川流量や、K13 観測地点の流量あるいは予測流量、さらにはメレゲダム、メレゲ2ダムの状況により調整されなければならない。</li> <li>➤ サラダムの貯水位が自然調節方式の洪水吐き敷高（546.00m）に達したらすぐに、できるだけ長時間、一定の放流量（ダム下流の最大流下能力と同量）となるようにサラダムの底部排水ゲートを徐々に閉める。底部排水ゲートは洪水のピークに達するまでに全閉させる。</li> <li>➤ サラダムの貯水位が設計最大水位である 552.00m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるため底部排水ゲートを（部分的にもしくは完全に）開放する必要がある。</li> <li>➤ ダム貯水位がピークに達した後は、洪水調節容量を回復させる必要がある。最初の開放期間は、自然調節方式の洪水吐きから自然越流させる。自然越流により貯水量を減じさせた後は、ダム下流のサラ川の最大流下能力の範囲内で放流する。この 2 番目の期間は、底部排水ゲートを徐々に開けて、常時満水位に達するまで（つまり、洪水調節容量が全て確保されるまで）放流を継続させる。</li> </ul>                  |
| ダム名    | テッサダム（詳細設計中）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 調整するダム | Mellegue (Mellegue2), Bou Heurtma Dams.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 流量基準点  | Sers Ville, Jendouba GSs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 貯水池運用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ テッサダムの水位が常時満水位（もしくは常時満水位に近い状態）であり、ダム上流の流量（例えばセルスヴィル観測所の流量）がダム下流河川の通水能力より大きい場合は、通水能力分を最大としてシリアナダムの底部排水ゲートから事前放流をすることが推奨される。</li> <li>➤ ジェンドゥーバからシディサレムダム間のメジェルダ川の最大流下能力を超過させないよう、テッサダムからの事前放流量は、ジェンドゥーバ観測所の流量や、メレゲダムとブヘルトゥマダムからの放流量と調整されなければならない。</li> <li>➤ テッサダムの貯水位が自然調節方式の洪水吐き敷高（361.00m）に達したらすぐに、できるだけ長時間、一定の放流量（ダム下流の最大流下能力と同量）となるようにテッサダムの底部排水ゲートを徐々に閉める。底部排水ゲートは洪水のピークに達するまでに全閉させる。</li> <li>➤ テッサダムの貯水位が設計最大水位である 369.00m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるため底部排水ゲートを（部分的にもしくは完全に）開放する必要がある。</li> <li>➤ ダム貯水位がピークに達した後は、洪水調節容量を回復させる必要がある。最初の開放期間は、自然調節方式の洪水吐きから自然越流させる。自然越流により貯水量を減じさせた後は、ダム下流のテッサ川の最大流下能力の範囲内で放流する。この 2 番目の期間は、底部排水ゲートを徐々に開けて、常時満水位に達するまで（つまり、洪水調節容量が全て確保されるまで）放流を継続させる。</li> </ul> |

出典：「メジェルダ川総合流域水管理計画調査最終報告書」JICA（2009）

### 3.6.3 既設主要 2 ダムの特徴と実際の運用

#### (1) シディサレムダム

シディサレムダムは、チュニジア国にとって、代表的なダムである。規模的にも貯水量が最大である他、チュニジアの最大かつ最重要河川であるメジェルダ川の本川に位置しているためである。換言すると、チュニジア国の水管理システムの中心に位置している。ダムの諸元の表に追加して、参考情報を以下に示す。

- シディサレム多目的ダムは 1975～1981 年に建設。中央洒水壁型ロックフィルダム。
- 灌漑面積=10,600 ha。
- ダム高 70m、堤頂長 340m、堤堆積 4.5 Million m<sup>3</sup>、流域面積=18,259 km<sup>2</sup>、貯水池面=90 km<sup>2</sup>。

- 洪水調節容量=427Million m<sup>3</sup>、利水容量=695Million m<sup>3</sup>（1999年に550Million m<sup>3</sup>→695Million m<sup>3</sup>になった）、総貯水容量=977Million m<sup>3</sup>。（洪水調節容量=205Million m<sup>3</sup>、利水容量=722Million m<sup>3</sup>との情報もある）。
- 非常用洪水吐（ラジアルゲート）=幅 15m×高さ 13.5m×3 門、洪水吐容量=1,400×3=4,200 m<sup>3</sup>/s、洪水吐数高=El.105m。
- NWL=El.115m、サーチャージ水位=El.118.5m、設計洪水位 El.119.5m、ダム天端高 El.122.66m。
- 発電設備 1 タービン（縦軸カプラン水車）、設備容量=36MW（通常 20MW）、通常の発電使用水量は 65～90m<sup>3</sup>/s。19,000W、32,000V。管理は電力公社 Tunisian Company Electricity & Gas (STEG)による。
- 発電公社（STEG）のオペレーションは MoA からの要請により灌漑必要水量と飲料水必要水量を発電水量として放流する。発電使用水量は 80～100m<sup>3</sup>/s で電力需要のピーク時間帯（AM8:00～12:00、18:00～21:00）に放流・発電している。洪水期は 24 時間運転をしている。
- 夏季の発電使用水量は 2Million m<sup>3</sup>、通常期の発電使用水量は 5,000m<sup>3</sup>/day 程度である。
- 洪水時は、発電使用水量（最大 100m<sup>3</sup>/s）以上の放流が必要となった場合は、排砂ゲート（最大 600m<sup>3</sup>/s）を開放して操作している。
- 排砂設備（Bottom Valve、排砂ゲートトンネル）Q=600m<sup>3</sup>/s。
- 常用洪水吐（朝顔型自然越流タイプ）Design Q=700m<sup>3</sup>/s。El.115m。
- 当初計画年間土砂流入量（WB,F/S）4.0Million m<sup>3</sup>、計画排砂量（計画）=3.2Million m<sup>3</sup>、M/P 時（1981～2006 年、25 年間）土砂流入量=5.1～5.9Million m<sup>3</sup>、2006～2014 年（8 年間）の平均土砂流入量=12.9Million m<sup>3</sup>。
- 主要洪水：2000 年、2003 年、2004 年、2005 年、2012 年、2015 年。2003 年洪水の土砂流入量は 40Million m<sup>3</sup>。
- 2016～2018 年は Drought Year だった。
- 常用洪水吐（朝顔型自然越流式）は当初建設当時数高 El.110m であったが、仏コンサルタントによるレビューの結果、常用洪水吐数高が 1997 年に 1.5m 嵩上され、1999 年にさらに 3.5m 嵩上されて計 5m 嵩上され、現在の El.115m になった。これにより 145Million m<sup>3</sup> の容量増となった。
- フランスのコンサルタント（Coyne et Bellier）が 1999 年にダム操作規則を再検討し、現在のダム操作はこの規則に従っているとのこと。このダム操作規則 Excel 計算シートがある。
- シディサレムダムはチュニジアで唯一の洪水流入量予測計算を行い、ダム操作をしている。
- 5 日前の事前放流を考慮している。2 時間毎の貯水池水位の上昇スピードで事前放流量を決めている。
- 1999 年の仏コンサルタントのレビューの結果、洪水吐操作は、El.118m までは常用洪水吐（朝顔型自然越流）で行い、El.118m からは非常用洪水吐 Spillway で操作することになったが、現在まで非常用洪水吐 Spillway は使用したことがない。
- 設計洪水ピーク流量は、1999 年仏コンサルタントのレビューで、1/10 年=1,680m<sup>3</sup>/s、1/100 年=3,360m<sup>3</sup>/s、1/10,000 年=7,720m<sup>3</sup>/s に改定された。設計洪水の継続時間は 72 時間（3 日間）。
- 貯水池水位が El.115m のとき貯水池延長は 30km にもなる。
- 洪水期の初期は排砂ゲートを開放し、貯水池水位を El.114m 程度にしている。
- 2018 年 2 月の洪水期のデータを見ると、El.114.35m 程度に貯水池水位を抑えるように運用しており、発電放流 70～80m<sup>3</sup>/s、排砂ゲートからの放流 60～140m<sup>3</sup>/s、合計 140m<sup>3</sup>/s 程度（V=540Million m<sup>3</sup>）になるように操作していた。
- 事前放流のため、洪水予測の精度向上が重要であり、チュニジア国気象庁（INM）と仏気象庁（Meteo France）が共同でメジェルダ川上流に近年中に 1 台の気象レーダーを設置する予定。気象レーダーはアルジェリア側もカバーする予定。

- 現在は排砂ゲート（トンネル）は水位コントロールのみに使用しており、洪水期の排砂目的では使用していない。
  - 排砂ゲートでの水のサンプリングを行い濁度が少ない時に放流している。
  - 2005 年までは洪水時に排砂ゲートトンネルから排砂操作を実施していたが、排砂操作を停止している。2009、2012、2015 年の洪水時にも排砂目的の放水はしなかった。
  - ただし、排砂バルブ・管が土砂で詰まらないように定期的（10 日毎）に排砂ゲートを操作している。ゲート開度は 50cm 程度開けている。
  - 非常用洪水吐（Spillway）のテンターゲート上部に越流板が設置されており、ゲート上部の越流を許容する構造となっていた。
  - ダム堤体内部の監査廊に入ったが漏水が多くみられた。漏水量などの測定・監視は行われていない。
  - 雨期の制限水位に当たると考えるが、現在の貯水池操作では、9 月から 1 月の雨期には、El. 110.0m に水位制限している。
  - 堆積土砂の調査では、1991 年に 52 Million m<sup>3</sup>、1997 年に 87 Million m<sup>3</sup>、2002 年に 140 Million m<sup>3</sup> という結果を得ている。
  - 下流への放流口は 5 ヶ所ありその最大流量（ゲート付の場合は全開したとして）は次のようになる。
    - 非常用洪水吐（ゲート下端部の越流天端 El 110.0m）:4,200 m<sup>3</sup>/s
    - 常用洪水吐/堤体内 Outlet(越流天端 El 115 m): :600 m<sup>3</sup>/s
    - 堤体内 Outlet(bottom かんがい用): :100 m<sup>3</sup>/s
    - 水力発電用 Outlet: :100 m<sup>3</sup>/s
    - 土砂吐 Outlet: :600 m<sup>3</sup>/s
- 上記のうち、2003 年洪水時には、土砂吐 Outlet を開けたとのこと。
- 2003 年の洪水時には、最大 704 m<sup>3</sup>/s で計 2,000 Million m<sup>3</sup> 放流した。
  - 現在のダム水位の操作では、基本的には、5 月から 8 月までは、El 105～115m、9 月の初めに El 105～108m にする。3 月には、HWL 115m にする。
- また、農業省へのヒアリングによれば現在のシディサレムダムの運用は以下のとおりである。
- 1999 年の仏コンサルタント Coyne et Bellier 社作成のシディサレムダムのコントロール・マニュアル及び貯水池運用支援 Excel マクロソフトウェアは、1999 年以降は現場（シディサレム管理事務所）では使用していない。
  - ダムのオペレーターは MOA チュニス本部からの指示に従って各ゲート操作を行う。
  - ダムの操作は MOA 本部の Flood Management Committee in Permanent Meeting という組織が決定し、現場（ダム管理事務所）に指示している。
  - この組織は MOA 大臣（Chaired by the Minister）または Secretary of State with a Specialist Staff for all direction により組織されている。
  - 洪水時は、現場（ダム管理事務所）からは毎時、水位と各ゲート開度を Committee に報告している。Committee は貯水池の上下流の状況や下流の氾濫状況などを考慮してダムからの放流量を指示している。
  - Committee は洪水時の下流河道の流下能力 300 m<sup>3</sup>/s（1,300 m<sup>3</sup>/s ではなく現在は河道の堆砂により流下能力が減少している）になるように放流量を決めている。
  - 1999 年以降は、貯水池水位は El.112m 程度を目標水位として維持するように操作している。El.110m では利水容量が少なく、El.115m（NWL）では洪水調節容量が少なすぎて危険であることから洪水期の制限水位を



El.112m 程度としている。

- 2003 年 1 月洪水の際も、現場でのゲート操作は MOA 本部の Committee の指示により運用していた。2003 年洪水時も El.112m 程度から洪水調節を開始し、洪水後も El.112m に戻すようにしていた。
- 2003 年洪水以降、洪水期制限水位を El.112m としている。

## (2) メレゲダム

メレゲダムは、第 1 の支川であるメレゲ川に位置するが、このメレゲ川流域は、合流点から上流の本川の流域より大きい。また、メジェルダ流域のダムの中で、シディサレムダムとメレゲダムのみが、洪水目的を含んでいる。ダムの諸元の表に追加して、参考情報を以下に示す。

- 1954 年完成のコンクリート・マルチプル・アーチ（5 連）ダム＋右岸副ダム。
- ダム高 65m、堤頂長 470m、総貯水池容量 360Million m<sup>3</sup>、貯水池面積 1,600ha、貯水池延長 18km。
- 洪水調節、灌漑、水力の多目的ダム。
- 設計はフランスのコンサルタント Coyne et Belie。
- 流域面積 10.400 km<sup>2</sup>。平均利水容量 192Million m<sup>3</sup>。最大貯水位 El.270.0m。
- ダム天端 El. 270m（パラペット高 1 m 含まず）、HWL: El 260m
- 総貯水池容量 360Million m<sup>3</sup> の約 70% の貯水容量が堆砂によって埋まっている。堆砂位はダム基礎高（El.70m）より 49m の高さまで堆積している。現在の総貯水容量は 109Million m<sup>3</sup>。
- 3.6Million m<sup>3</sup>/年の土砂流入量がある。
- 排砂ゲート 2 門（10m<sup>3</sup>/s×2 バルブ）。1954 年完工から 1990 年代まで使用していたが、その後、排砂設備のメタリック・ボールバルブの故障により現在は使用していない。
- 排砂設備の構造は土砂と圧送空気をベンチリーで混合させ放流させるタイプ。古い設計なので故障すると修理できない。手動操作ゲートであった（オートマチックではない）。
- 非常用洪水吐 3 門（カウンターウェイト・テンターゲート 15m×15m×3）。計 5,00m<sup>3</sup>/s（1,800m<sup>3</sup>/s×3 門）の排水能力。常用洪水吐は 2 門。600m<sup>3</sup>/s×2 門。
- 下流の灌漑面積 400ha。灌漑時の貯水位は 216m（発電用と同じ）。
- 近年では 2013 年洪水が大きく 50Million m<sup>3</sup>（262Million m<sup>3</sup>？）の流入があった。
- 流域は半乾燥地（Semi-Arid）。乾燥年で流域が乾燥し植生が少なくなると土砂流入量が増える。
- 土砂流入量は春が少なく、夏から秋にかけて増加する。
- 4～5 年毎に乾燥期と湿潤期の周期がある。（エルニーニョ現象などの影響か）
- 土砂浸食は場所によって異なるが、メレゲ川流域の平均地形勾配は急であり総じて土砂浸食が激しい。
- メレゲダム地点の主要洪水は、1969 年、1973 年、2000 年、2003 年、2008 年であり、この洪水では非常用洪水吐を操作した。
- 現在のダムは、2020 年頃までの寿命と見込まれている。土砂堆積が進み、2000 年に貯水池の深淺測量をしたが、1954 年に 330Million m<sup>3</sup> あった貯水量が、2000 年には、163Million m<sup>3</sup> に減っていた。つまり、54% が埋まっていた。単純計算で、1 年で約 1% の貯水量が減っていることになる。
- 雨期 9～2 月、2000 年 5 月には、乾期なのに上流で豪雨があり、緊急放水したので、下流が氾濫した。
- 現在、上流に同規模のダム計画があり、2010 年又は 2011 年から、3～4 年間で完成予定。（貯水量 190 Million m<sup>3</sup>）

なお、本調査で入手したメレゲダムの操作規則は、以下のようになっている。

表 3-40 メレゲダムの貯水池運用ルール（洪水時）

| 貯水池流入量<br>(m <sup>3</sup> /s) | ダムのゲート操作                                                                                                                       |                                                                                                   |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 700～2300                      | 2つの排水ゲートの全開放: 287 m <sup>3</sup> /s x 2 :<br>タービン 20 m <sup>3</sup> /s:<br>放流量合計:                                              | 574 m <sup>3</sup> /s<br>20 m <sup>3</sup> /s<br>594 m <sup>3</sup> /s                            |
| 2300～2800                     | 上記の維持<br>2つのメインバルブの2 m開放: 270 m <sup>3</sup> /s x 2:<br>放流量合計:                                                                 | 594 m <sup>3</sup> /s<br>540 m <sup>3</sup> /s<br>1134 m <sup>3</sup> /s                          |
| 2800～3350                     | 2つの排水ゲートの全開放: 287 m <sup>3</sup> /s x 2 :<br>タービン 20 m <sup>3</sup> /s:<br>2つのメインバルブの4 m開放: 520 m <sup>3</sup> /s x 2<br>放流量合計 | 574 m <sup>3</sup> /s<br>20 m <sup>3</sup> /s<br>1040 m <sup>3</sup> /s<br>1634 m <sup>3</sup> /s |
| 3350以上                        | 全てのゲートを大きく開放する。流量は標高268で2,500から3,750 m <sup>3</sup> /sに増加させる。                                                                  |                                                                                                   |

出典: 農業省

表 3-41 メレゲダムの貯水池運用ルール（減衰期）

| 貯水池水位            | K13地点の流量                                                                             | 流 量                                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 265.5m以上         | 300～2100 m <sup>3</sup> /s<br>300 m <sup>3</sup> /s以下                                | 294 m <sup>3</sup> /s (2つの排水ゲートの全開放とタービン20 m <sup>3</sup> /s)<br>287 m <sup>3</sup> /s (1/1排水ゲート開放)                                                  |
| 265.5～<br>265.0m | 1000～2300 m <sup>3</sup> /s<br>100～1000 m <sup>3</sup> /s<br>100 m <sup>3</sup> /s以下 | 287 m <sup>3</sup> /s (1/1排水ゲート開放)<br>74 m <sup>3</sup> /s (排水ゲートの1/4開放とタービン20 m <sup>3</sup> /s) 20 m <sup>3</sup> /s<br>(タービン20 m <sup>3</sup> /s) |

出典: 農業省

流入流量は、貯水池水位の変化の記録と放流量データに基づいて、ダムで継続的に評価される。放流量の調整は 30 分ごとに行われる。

表 3-42 メレゲダムの貯水池運用ルール（貯水池水位の上昇期間）

| 貯水池水位       | ゲートバルブ操作                                                                                                                                                              |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 貯水池水位265m以下 | 洪水が始まったらすぐに、水車（タービン）を最大速度まで回す。さらに低下することなく、水車回転速度を観察する。<br>－ 定格に達し、所定の時間に流入量が遮断流量を必要としない場合、必要に応じて排水ドレインを開いて排水して遮断流量（上表を参照）を直ちに解放する。<br>流入量が定格排水容量を超える場合は、すべてのバルブを全開する。 |
| 貯水池水位265m以上 | 2,000 m <sup>3</sup> /sを超えて放出することなく、タービンと排水口とアウトレットによって水位を安定させる試みを行う。                                                                                                 |

出典: 農業省

### (3) 洪水時の貯水池運用の実際

ダム運用記録によると、多くのダムにおいて過去の最高水位が、これまでに一度もサーチャージ水位に達していない。これは、過去の大洪水（例えば、2003 年の洪水）において、洪水調節容量が十分に活用されなかったことを意味している。

操作記録によれば、シリアナ貯水池の洪水調節容量の 13%が 2003 年 12 月に洪水調節目的に使用され、ブヘルトゥマ貯水池の洪水調節容量の 18%が 2003 年 1 月に使用されている。両ダムとも洪水調節のために自然越流調節方式の洪水吐が設置されている。シディサレムダムには洪水吐が 2 つあ

り、主洪水吐は 3 つのゲートによって洪水調節を行っており、副洪水吐は自然越流調節方式（朝顔型）となっている。本ダムでは、2003 年 1 月に比較的大きな洪水調節容量（55%）が貯留された。

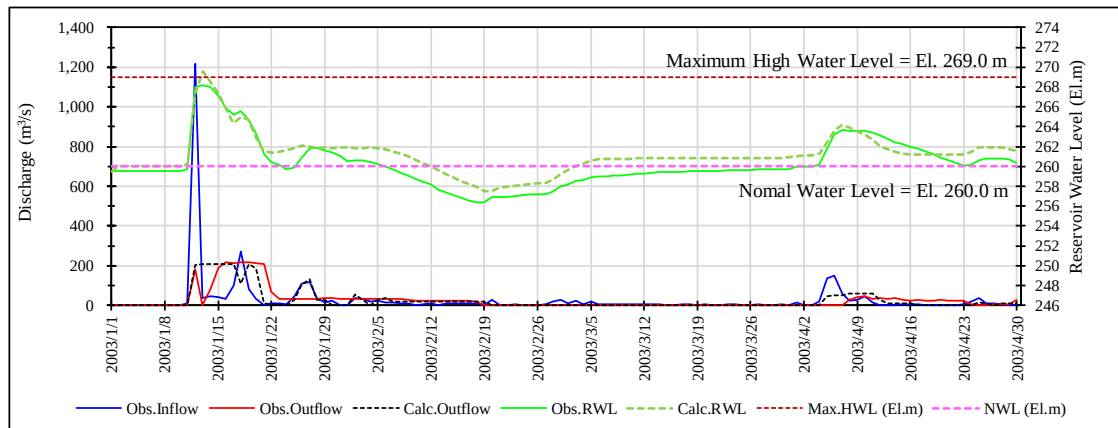
一方、メレゲダムではゲート式洪水吐が設置されており、洪水時に洪水吐、底部放水口などからの放流が効果的に調整されている。2003 年 12 月には、計画洪水調節容量のほぼ全て（98.6 百万  $\text{m}^3$  = 計画洪水調節容量の 96%）が洪水のピーク流量を低減させるために活用されている。

このように、洪水の規模や発生位置・時間分布など様々な関連事項があるが、メジェルダ川流域においてはダムの総洪水調節容量の少なくとも約半分が実際の洪水調節のために使用されてきたといえる。

### 3.6.4 既設主要ダムの洪水調節運用のキャリブレーション

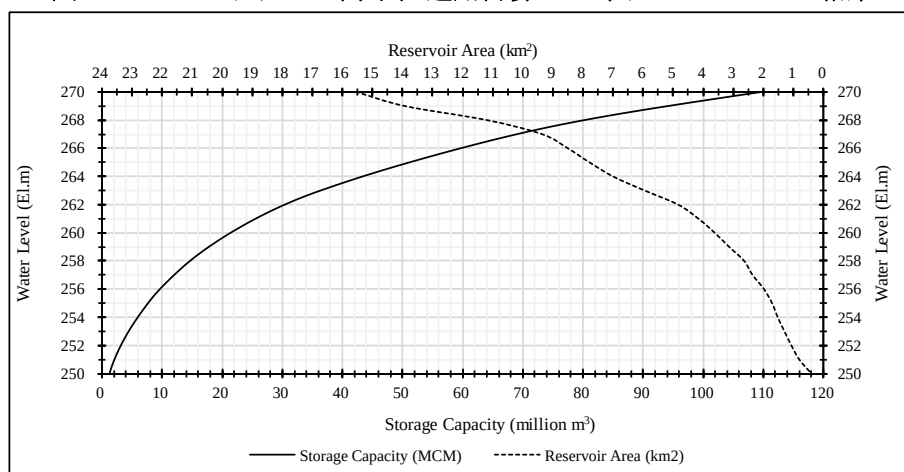
#### (1) メレゲダム

上記で示したメレゲダムの貯水池運用ルールに基づき、実運用データからルールを一部見直し、洪水時の貯水池運用計算を行った。貯水池運用計算モデルのキャリブレーション結果を下図に示す。実測貯水池水位と計算水位、実測放水量と計算放流量は良く適合している。



出典：JICA 調査団

図 3-50 メレゲダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果

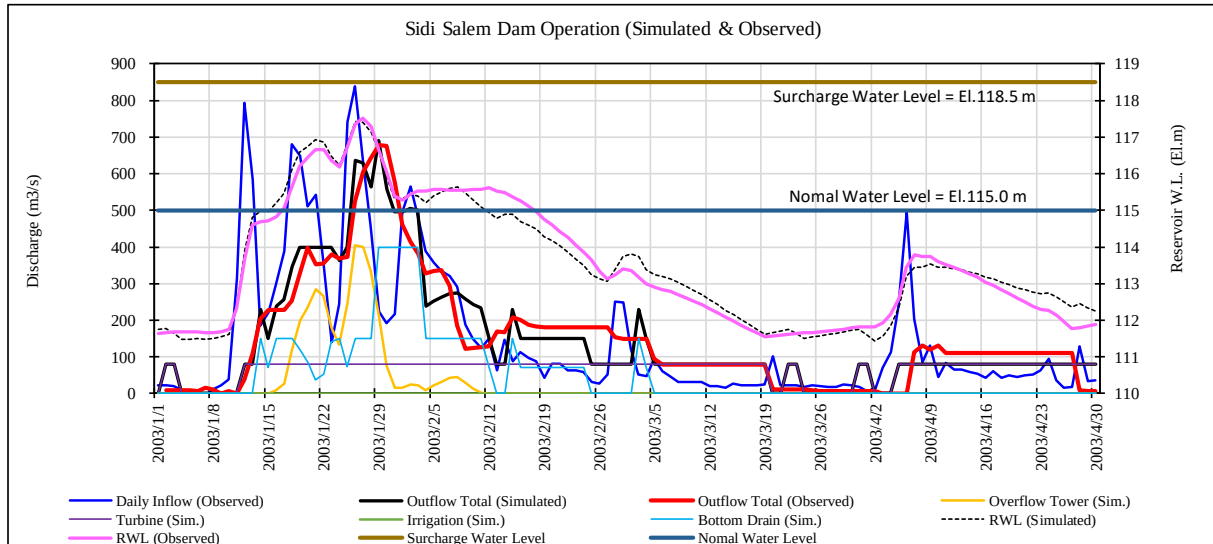


出典：JICA 調査団（農業省のデータに基づく）

図 3-51 メレゲダムの貯水池水位－面積－容量曲線（2014 年）

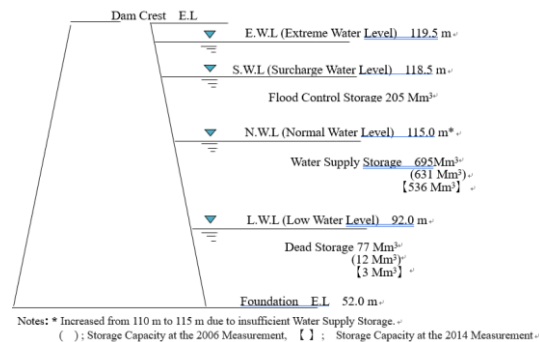
## (2) シディサレムダム

農業省より入手したシディサレムダムの貯水池運用ルールに基づき、実運用データからルールを一部見直し、洪水時の貯水池運用計算を行った。貯水池運用計算モデルのキャリブレーション結果を下図に示す。実測貯水池水位と計算水位、実測放水量と計算放流量は良く適合している。



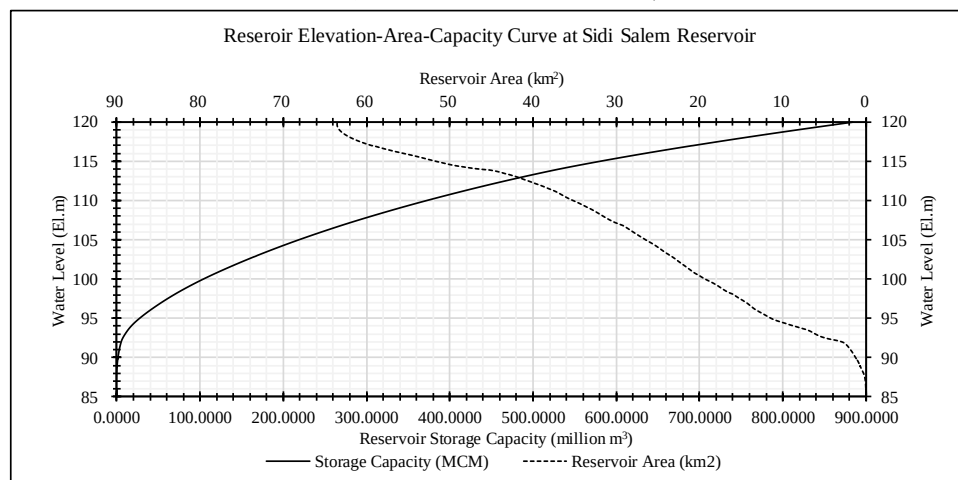
出典：JICA 調査団

図 3-52 シディサレムダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果



出典：Manual/Guideline for Flood Management at Sidi Salem Dam, September 2017, Yachiyo Engineering Co., Ltd./SCET

図 3-53 シディサレムダムの貯水池水位と貯水容量

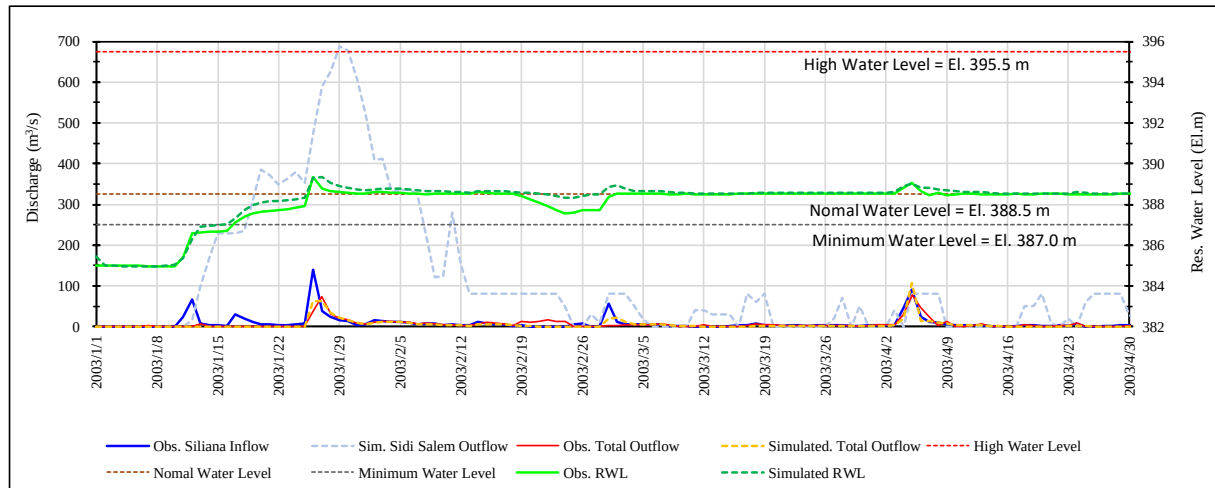


出典：JICA 調査団（農業省のデータに基づく）

図 3-54 シディサレムダムの貯水池水位－面積－容量曲線（2018 年）

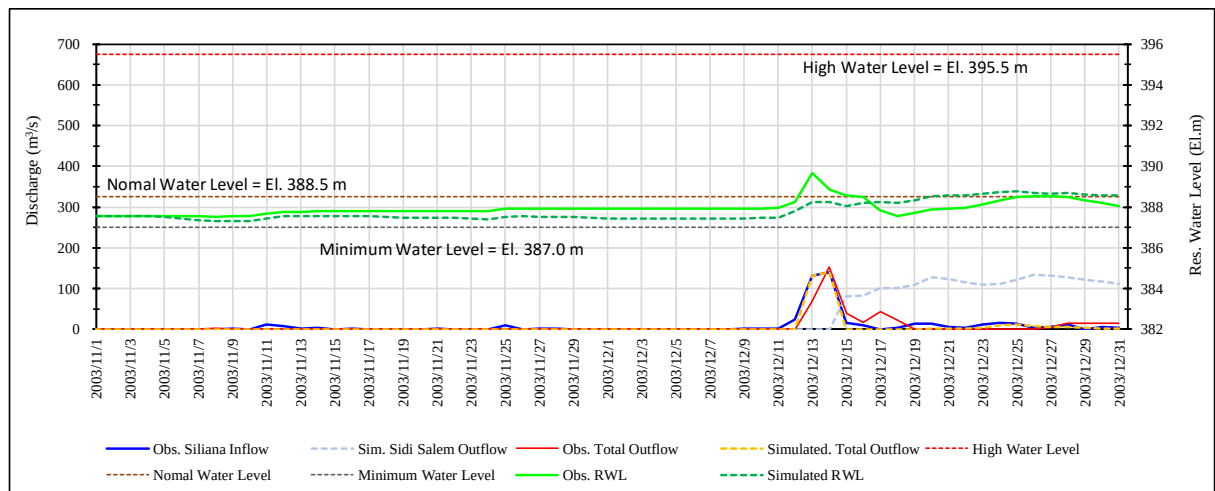
### (3) シリアナダム

農業省より入手したシリアナダムの実運用データから運用ルール推定し、洪水時の貯水池運用計算を行った。なお、シリアナダムの洪水時の貯水池運用は、シリアナダムの流入量だけではなく、シディサレムダムからの放流量も考慮して運用されている。貯水池運用計算モデルのキャリブレーション結果を下図に示す。実測貯水池水位と計算水位、実測放水量と計算放流量は良く適合している。



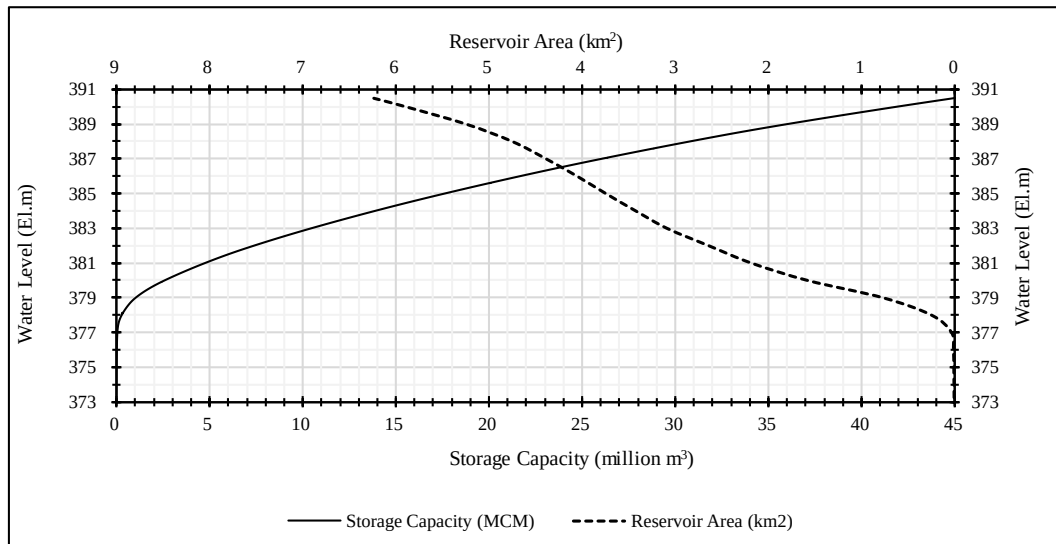
出典：JICA 調査団

図 3-55 シリアナダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果(1/2)



出典：JICA 調査団

図 3-56 シリアナダムの貯水池運用計算のキャリブレーション結果(2/2)



出典：JICA 調査団

図 3-57 シリアナダムの貯水池水位－面積－容量曲線（2012 年）

### 3.6.5 既設主要ダムの最適洪水調節運用方法の検討

メジェルダ川の既設ダムのうち、洪水調節効果が大きい 3 つのダム（メレゲダム、シディサレムダム、シリアナダム）の最適洪水調節運用方法について、以下の手順で検討する。

1. まず、現在の貯水池運用ルールにしたがって、可能最大洪水流量（PMF）が発生した場合にダムが安全であるか確認する。仮にダムが安全でない場合は、貯水池運用ルールや洪水期の最適初期水位の検討を行う。
2. PMF が発生しても、ダムが安全であると確認できた場合は、設計洪水ハイドログラフ（2 ケース）に対して、利水容量を最大にし、かつダムが安全である最適貯水池運用ルールの検討を行う。

#### (1) 可能最大降水量（PMP）

メレゲダムの流域（M ゾーン）、シディサレムダムの流域（U1 + M + U2 ゾーン）およびシリアナダムの流域（D1 ゾーン）の可能性最大降水量（PMP）は、表 3-44 から表 3-46 に示すように、WMO のハーシュフィールド法を用いて推定した。表に示すとおり、それぞれの地点の 3 日間、5 日間および 3 日間の PMP は、それぞれ、290 mm/72 時間、457 mm/120 時間および 678 mm/72 時間と算定された。

#### (2) 各ダム地点の確率降雨

メレゲダムの流域（M ゾーン）、シディサレムダムの流域（U1 + M + U2 ゾーン）およびシリアナダムの流域（D1 ゾーン）の確率降雨の算定結果を下表に示す。



表 3-43 各ダム地点の確率降雨

| ダム地点       | メレゲダム流域                 |                   | シディサレムダム流域               |                   | シリアナダム流域                 |                   |
|------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| X-COR(99%) | 0.970                   |                   | 0.995                    |                   | 0.996                    |                   |
| P-COR(99%) | 0.994                   |                   | 0.996                    |                   | 0.995                    |                   |
| SLSC(99%)  | 0.054                   |                   | 0.020                    |                   | 0.020                    |                   |
| 対数尤度       | -140.2                  |                   | -155.4                   |                   | -170.4                   |                   |
| pAIC       | 284.4                   |                   | 314.8                    |                   | 344.8                    |                   |
| X-COR(50%) | 0.960                   |                   | 0.990                    |                   | 0.994                    |                   |
| P-COR(50%) | 0.985                   |                   | 0.987                    |                   | 0.985                    |                   |
| SLSC(50%)  | 0.102                   |                   | 0.034                    |                   | 0.034                    |                   |
| 確率年        | 3日間確率雨量<br>(mm) (LogP3) | JackKnife<br>推定誤差 | 5日間確率雨量<br>(mm) (SqrtEt) | JackKnife<br>推定誤差 | 3日間確率雨量<br>(mm) (SqrtEt) | JackKnife<br>推定誤差 |
| 2          | 42.8                    | 2.4               | 56.7                     | 3.4               | 72.7                     | 5.4               |
| 3          | 49.1                    | 2.9               | 65.3                     | 4.1               | 87.2                     | 7.0               |
| 5          | 56.8                    | 4.0               | 75.5                     | 5.1               | 104.6                    | 9.3               |
| 10         | 67.6                    | 6.5               | 89.3                     | 6.5               | 128.6                    | 12.8              |
| 20         | 78.8                    | 10.5              | 103.4                    | 8.1               | 153.6                    | 16.7              |
| 30         | 85.7                    | 13.5              | 112.0                    | 9.1               | 168.9                    | 19.2              |
| 50         | 94.8                    | 17.9              | 123.2                    | 10.5              | 189.0                    | 22.5              |
| 80         | 103.5                   | 22.7              | 133.8                    | 11.8              | 208.2                    | 25.8              |
| 100        | 107.7                   | 25.3              | 139.0                    | 12.5              | 217.6                    | 27.4              |
| 150        | 115.6                   | 30.4              | 148.7                    | 13.7              | 235.2                    | 30.4              |
| 200        | 121.4                   | 34.4              | 155.7                    | 14.6              | 248.1                    | 32.7              |
| 400        | 135.8                   | 45.5              | 173.2                    | 16.9              | 280.3                    | 38.4              |
| 500        | 140.5                   | 49.6              | 179.0                    | 17.7              | 291.0                    | 40.3              |
| 1,000      | 155.7                   | 63.7              | 197.6                    | 20.2              | 325.5                    | 46.5              |
| 10,000     | 208.0                   | 132.7             | 265.5                    | 29.6              | 453.1                    | 69.9              |

出典：JICA 調査団（JICE 水文統計ユーティリティに基づく）

表 3-44 メレゲダム流域 (M ゾーン) の 3 日間可能最大降水量 (PMP)

| Station: M Zone |      | CA (km <sup>2</sup> ) = 10,769  |  |
|-----------------|------|---------------------------------|--|
| No.             | Year | Annual Max.n-days Rainfall (mm) |  |
|                 |      | Duration (hour)                 |  |
|                 |      | 72 hr                           |  |
|                 |      | (3 day)                         |  |
| 1               | 1979 | 52.4                            |  |
| 2               | 1980 | 54.5                            |  |
| 3               | 1981 | 29.1                            |  |
| 4               | 1982 | 50.5                            |  |
| 5               | 1983 | 39.6                            |  |
| 6               | 1984 | 66.9                            |  |
| 7               | 1985 | 41.8                            |  |
| 8               | 1986 | 31.3                            |  |
| 9               | 1987 | 39.1                            |  |
| 10              | 1988 | 30.9                            |  |
| 11              | 1989 | 31.7                            |  |
| 12              | 1990 | 75.4                            |  |
| 13              | 1991 | 52.4                            |  |
| 14              | 1992 | 59.8                            |  |
| 15              | 1993 | 30.1                            |  |
| 16              | 1994 | 34.1                            |  |
| 17              | 1995 | 40.9                            |  |
| 18              | 1996 | 33.1                            |  |
| 19              | 1997 | 42.7                            |  |
| 20              | 1998 | 46.1                            |  |
| 21              | 1999 | 45.6                            |  |
| 22              | 2000 | 49.6                            |  |
| 23              | 2001 | 37.4                            |  |
| 24              | 2002 | 34.2                            |  |
| 25              | 2003 | 109.7                           |  |
| 26              | 2004 | 55.3                            |  |
| 27              | 2005 | 58.8                            |  |
| 28              | 2006 | 48.6                            |  |
| 29              | 2007 | 50.8                            |  |
| 30              | 2008 | 30.9                            |  |
| 31              | 2009 | 73.7                            |  |
| 32              | 2010 | 47.6                            |  |
| 33              | 2011 | 42.7                            |  |
| 34              | 2012 | 45.6                            |  |
| 35              | 2013 | 32.8                            |  |

|                                                                                                                                                                            |                                                                                                   |                    |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|
| $n$                                                                                                                                                                        | Number of Data (Length of Record)                                                                 | (years)            | 35     |
| $m$                                                                                                                                                                        | Maximum                                                                                           | (mm)               | 109.7  |
| $\bar{X}_n$                                                                                                                                                                | Mean Annual Maximum Rainfall                                                                      | (mm)               | 47.0   |
| $\bar{X}_{n-m}$                                                                                                                                                            | Mean (excluding maximum)                                                                          | (mm)               | 45.2   |
| $S_n$                                                                                                                                                                      | Standard Deviation                                                                                | (mm)               | 16.3   |
| $S_{n-m}$                                                                                                                                                                  | Standard Dev. (w/o. max)                                                                          | (mm)               | 12.3   |
| $\bar{X}_{n-m} / \bar{X}_n$                                                                                                                                                |                                                                                                   |                    | 0.96   |
| $S_{n-m} / S_n$                                                                                                                                                            |                                                                                                   |                    | 0.75   |
| <b>Adjustment of mean (<math>\bar{X}_n</math>) for maximum observed amount and record length:</b>                                                                          |                                                                                                   |                    |        |
| $F_{x1}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $\bar{X}_n$ ) for maximum observed amount (from Figure 2.4.25)                | (%)                | 98%    |
| $F_{x2}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $\bar{X}_n$ ) for record length (from Figure 2.4.27)                          | (%)                | 101%   |
| $AD\bar{X}_n$                                                                                                                                                              | Adjusted $\bar{X}_n$ ( $AD\bar{X}_n = \bar{X}_n * F_{x1} * F_{x2}$ )                              | (mm)               | 46.3   |
| <b>Adjustment of standard deviation for maximum observed amount and record length:</b>                                                                                     |                                                                                                   |                    |        |
| $F_{s1}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $S_n$ ) for maximum observed amount (from Figure 2.4.26)                      | (%)                | 84%    |
| $F_{s2}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $S_n$ ) for record length (from Figure 2.4.27)                                | (%)                | 103%   |
| $ADS_n$                                                                                                                                                                    | Adjusted $S_n$ ( $ADS_n = S_n * F_{s1} * F_{s2}$ )                                                |                    | 14.0   |
| $K_m$                                                                                                                                                                      | Function of rainfall duration and mean of annual series (from Figure 2.4.24)                      |                    | 17     |
| <b>Unadjustment point values of PMP:</b>                                                                                                                                   |                                                                                                   |                    |        |
| $X_{m(u)}$                                                                                                                                                                 | Unadjustment point values of PMP: ( $X_{m(u)} = AD\bar{X}_n + K_m * ADS_n$ )                      | (mm)               | 284    |
| <b>Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values:</b>                                                                                                      |                                                                                                   |                    |        |
| $T$                                                                                                                                                                        | Number of observation unit (fixed time interval of rainfall observation)                          | (hour)             | 3      |
| $F_o$                                                                                                                                                                      | Adjustment Factor ( $T$ ) for observation unit (from Figure 2.4.28)                               | (%)                | 101%   |
| $X_{m(t)}$                                                                                                                                                                 | Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values:<br>( $X_{m(t)} = X_{m(u)} * F_o$ ) | (mm)               | 287    |
| (Note: If annual series data had been compiled from fixed observational time interval instead of hourly data, the adjustment factor for all duration would have been 1.13) |                                                                                                   |                    |        |
| <b>Adjustment of point PMP to study area (catchment area):</b>                                                                                                             |                                                                                                   |                    |        |
| $CA_b$                                                                                                                                                                     | Covered Area of Rainfall Data (if point rainfall : 25 km <sup>2</sup> )                           | (km <sup>2</sup> ) | 25     |
| $CA$                                                                                                                                                                       | Study Area (Catchment Area)                                                                       | (km <sup>2</sup> ) | 10,769 |
| $F_{CA}$                                                                                                                                                                   | Area Reduction Factor for point rainfall to area (from Depth - Area Analysis)                     | (%)                | 100.0% |
| <b>PMP</b>                                                                                                                                                                 | <b>PMP for study area</b> ( $PMP = X_{m(t)} * F_{CA}$ )                                           | (mm)               | 287    |
|                                                                                                                                                                            | (rounded PMP)                                                                                     | (mm)               | 290    |

Source: Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation, WMO-No. 1045

出典：JICA 調査団

表 3-45 シディサレムダム流域 (U1+M+U2 ゾーン) の 5 日間可能最大降水量 (PMP)

| Station: U1+M+U2 Zone |      | CA (km <sup>2</sup> ) = 18,002  |       |
|-----------------------|------|---------------------------------|-------|
| No.                   | Year | Annual Max.n-days Rainfall (mm) |       |
|                       |      | Duration (hour)                 |       |
|                       |      | 120 hr<br>(5 day)               |       |
| 1                     | 1979 | M                               | 54.5  |
| 2                     | 1980 |                                 | 54.0  |
| 3                     | 1981 |                                 | 49.1  |
| 4                     | 1982 |                                 | 69.1  |
| 5                     | 1983 |                                 | 37.9  |
| 6                     | 1984 |                                 | 84.6  |
| 7                     | 1985 |                                 | 86.2  |
| 8                     | 1986 |                                 | 38.1  |
| 9                     | 1987 |                                 | 44.1  |
| 10                    | 1988 |                                 | 30.1  |
| 11                    | 1989 |                                 | 31.2  |
| 12                    | 1990 |                                 | 79.4  |
| 13                    | 1991 |                                 | 65.5  |
| 14                    | 1992 |                                 | 76.0  |
| 15                    | 1993 |                                 | 40.4  |
| 16                    | 1994 |                                 | 51.6  |
| 17                    | 1995 |                                 | 64.1  |
| 18                    | 1996 |                                 | 60.3  |
| 19                    | 1997 |                                 | 46.8  |
| 20                    | 1998 |                                 | 52.3  |
| 21                    | 1999 |                                 | 56.0  |
| 22                    | 2000 |                                 | 61.1  |
| 23                    | 2001 |                                 | 40.1  |
| 24                    | 2002 |                                 | 50.7  |
| 25                    | 2003 |                                 | 128.8 |
| 26                    | 2004 |                                 | 85.4  |
| 27                    | 2005 |                                 | 73.7  |
| 28                    | 2006 |                                 | 103.3 |
| 29                    | 2007 |                                 | 82.6  |
| 30                    | 2008 |                                 | 41.9  |
| 31                    | 2009 |                                 | 104.8 |
| 32                    | 2010 |                                 | 64.8  |
| 33                    | 2011 |                                 | 89.8  |
| 34                    | 2012 |                                 | 53.9  |
| 35                    | 2013 |                                 | 50.5  |

|                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                 | Duration (hour)    |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|
|                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                 | 120 hr<br>(5 day)  |        |
| <i>n</i>                                                                                                                                                                   | Number of Data (Length of Record)                                                                                                               | (years)            | 35     |
| <i>m</i>                                                                                                                                                                   | Maximum                                                                                                                                         | (mm)               | 128.8  |
| <i>X<sub>n</sub></i>                                                                                                                                                       | Mean Annual Maximum Rainfall                                                                                                                    | (mm)               | 62.9   |
| <i>X<sub>n-m</sub></i>                                                                                                                                                     | Mean (excluding maximum)                                                                                                                        | (mm)               | 61.0   |
| <i>S<sub>n</sub></i>                                                                                                                                                       | Standard Deviation                                                                                                                              | (mm)               | 22.6   |
| <i>S<sub>n-m</sub></i>                                                                                                                                                     | Standard Dev.(w/o.max)                                                                                                                          | (mm)               | 19.8   |
| <i>X<sub>n-m</sub> / X<sub>n</sub></i>                                                                                                                                     |                                                                                                                                                 |                    | 0.97   |
| <i>S<sub>n-m</sub> / S<sub>n</sub></i>                                                                                                                                     |                                                                                                                                                 |                    | 0.88   |
| <b>Adjustment of menas (<i>X<sub>n</sub></i>) for maximum observed amount and record length:</b>                                                                           |                                                                                                                                                 |                    |        |
| <i>F<sub>s1</sub></i>                                                                                                                                                      | Adjustment Factor ( <i>X<sub>n</sub></i> ) for maximum observed amount (from <a href="#">Figure 2.4.25</a> )                                    | (%)                | 99%    |
| <i>F<sub>s2</sub></i>                                                                                                                                                      | Adjustment Factor ( <i>X<sub>n</sub></i> ) for record length (from <a href="#">Figure 2.4.27</a> )                                              | (%)                | 101%   |
| <i>ADX<sub>n</sub></i>                                                                                                                                                     | Adjusted <i>X<sub>n</sub></i> ( <i>ADX<sub>n</sub></i> = <i>X<sub>n</sub></i> * <i>F<sub>s1</sub></i> * <i>F<sub>s2</sub></i> )                 | (mm)               | 62.6   |
| <b>Adjustment of standard deviation for maximum observed amount and record length:</b>                                                                                     |                                                                                                                                                 |                    |        |
| <i>F<sub>s1</sub></i>                                                                                                                                                      | Adjustment Factor ( <i>S<sub>n</sub></i> ) for maximum observed amount (from <a href="#">Figure 2.4.26</a> )                                    | (%)                | 99%    |
| <i>F<sub>s2</sub></i>                                                                                                                                                      | Adjustment Factor ( <i>S<sub>n</sub></i> ) for record length (from <a href="#">Figure 2.4.27</a> )                                              | (%)                | 103%   |
| <i>ADS<sub>n</sub></i>                                                                                                                                                     | Adjusted <i>S<sub>n</sub></i> ( <i>ADS<sub>n</sub></i> = <i>S<sub>n</sub></i> * <i>F<sub>s1</sub></i> * <i>F<sub>s2</sub></i> )                 |                    | 22.9   |
| <i>K<sub>m</sub></i>                                                                                                                                                       | Function of rainfall duration and mean of annual series (from <a href="#">Figure 2.4.24</a> )                                                   |                    | 17     |
| <b>Unadjustment point values of PMP:</b>                                                                                                                                   |                                                                                                                                                 |                    |        |
| <i>X<sub>m(uo)</sub></i>                                                                                                                                                   | Unadjustment point values of PMP: ( <i>X<sub>m(uo)</sub></i> = <i>ADX<sub>n</sub></i> + <i>K<sub>m</sub></i> * <i>ADS<sub>n</sub></i> )         | (mm)               | 452    |
| <b>Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values:</b>                                                                                                      |                                                                                                                                                 |                    |        |
| <i>T</i>                                                                                                                                                                   | Number of observation unit (fixed tim interval of rainfall observation)                                                                         | (hour)             | 3      |
| <i>F<sub>o</sub></i>                                                                                                                                                       | Adjustment Factor ( <i>T</i> ) for observation unit (from <a href="#">Figure 2.4.28</a> )                                                       | (%)                | 101%   |
| <i>X<sub>m(t)</sub></i>                                                                                                                                                    | Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values:<br>( <i>X<sub>m(t)</sub></i> = <i>X<sub>m(uo)</sub></i> * <i>F<sub>o</sub></i> ) | (mm)               | 457    |
| (Note: If annual series data had been compiled from fixed observational time interval instead of hourly data, the adjustment factor for all duration would have been 1.13) |                                                                                                                                                 |                    |        |
| <b>Adjustment of point PMP to study area (catchment area):</b>                                                                                                             |                                                                                                                                                 |                    |        |
| <i>CA<sub>b</sub></i>                                                                                                                                                      | Covered Area of Rainfall Data (if point rainfall : 25 km <sup>2</sup> )                                                                         | (km <sup>2</sup> ) | 25     |
| <i>CA</i>                                                                                                                                                                  | Study Area (Catchment Area)                                                                                                                     | (km <sup>2</sup> ) | 18,002 |
| <i>F<sub>CA</sub></i>                                                                                                                                                      | Area Reduction Factor for point rainfall to area (from Depth - Area Analysis)                                                                   | (%)                | 100.0% |
| <b>PMP</b>                                                                                                                                                                 | <b>PMP for study area</b> ( <i>PMP</i> = <i>X<sub>m(t)</sub></i> * <i>F<sub>CA</sub></i> )                                                      | (mm)               | 457    |
|                                                                                                                                                                            | (rounded PMP)                                                                                                                                   | (mm)               | 460    |

Source: Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation, WMO-No. 1045

出典：JICA 調査団

表 3-46 シリアナダム流域 (D1 ゾーン) の 3 日間可能最大降水量 (PMP)

| Station: Siliana Dam Basin |      | CA (km <sup>2</sup> ) = 1,041   |       |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
|----------------------------|------|---------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|------|-----|
| No.                        | Year | Annual Max.n-days Rainfall (mm) |       |                                                                                                                                                                            |                                                                                    | Duration (hour)    |        |      |     |
|                            |      | Duration (hour)                 |       |                                                                                                                                                                            |                                                                                    | 72 hr (3 days)     |        |      |     |
|                            |      | 72 hr (3 days)                  |       |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 1                          | 1979 | M                               | 71.7  | $n$                                                                                                                                                                        | Number of Data (Length of Record)                                                  | (years)            | 35     |      |     |
| 2                          | 1980 |                                 | 121.5 | $m$                                                                                                                                                                        | Maximum                                                                            | (mm)               | 199.7  |      |     |
| 3                          | 1981 |                                 | 61.2  | $\bar{X}_n$                                                                                                                                                                | Mean Annual Maximum Rainfall                                                       | (mm)               | 81.6   |      |     |
| 4                          | 1982 |                                 | 152.3 | $\bar{X}_{n-m}$                                                                                                                                                            | Mean (excluding maximum)                                                           | (mm)               | 78.1   |      |     |
| 5                          | 1983 |                                 | 114.8 | $S_n$                                                                                                                                                                      | Standard Deviation                                                                 | (mm)               | 38.0   |      |     |
| 6                          | 1984 |                                 | 61.3  | $S_{n-m}$                                                                                                                                                                  | Standard Dev.(w/o.max)                                                             | (mm)               | 32.4   |      |     |
| 7                          | 1985 |                                 | 52.2  | $\bar{X}_{n-m} / \bar{X}_n$                                                                                                                                                |                                                                                    |                    | 0.96   |      |     |
| 8                          | 1986 |                                 | 37.5  | $S_{n-m} / S_n$                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    | 0.85   |      |     |
| 9                          | 1987 |                                 | 51.1  | <b>Adjustment of menas (<math>\bar{X}_n</math>) for maximum observed amount and record length:</b>                                                                         |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 10                         | 1988 |                                 | 45.1  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 11                         | 1989 |                                 | 36.0  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 12                         | 1990 |                                 | 59.9  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 13                         | 1991 |                                 | 64.5  | $F_{x1}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $\bar{X}_n$ ) for maximum observed amount (from Figure 2.4.25) | (%)                | 98%    |      |     |
| 14                         | 1992 |                                 | 70.0  | $F_{x2}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $\bar{X}_n$ ) for record length (from Figure 2.4.27)           | (%)                | 101%   |      |     |
| 15                         | 1993 |                                 | 46.1  | $AD\bar{X}_n$                                                                                                                                                              | Adjusted $\bar{X}_n$ ( $AD\bar{X}_n = \bar{X}_n * F_{x1} * F_{x2}$ )               | (mm)               | 80.4   |      |     |
| 16                         | 1994 |                                 | 78.0  | <b>Adjustment of standard deviation for maximum observed amount and record length:</b>                                                                                     |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 17                         | 1995 |                                 | 78.3  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 18                         | 1996 |                                 | 99.2  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 19                         | 1997 |                                 | 85.0  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 20                         | 1998 |                                 | 58.8  | $F_{s1}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $S_n$ ) for maximum observed amount (from Figure 2.4.26)       | (%)                | 95%    |      |     |
| 21                         | 1999 |                                 | 58.3  | $F_{s2}$                                                                                                                                                                   | Adjustment Factor ( $S_n$ ) for record length (from Figure 2.4.27)                 | (%)                | 103%   |      |     |
| 22                         | 2000 |                                 | 56.2  | $ADS_n$                                                                                                                                                                    | Adjusted $S_n$ ( $ADS_n = S_n * F_{s1} * F_{s2}$ )                                 |                    | 36.9   |      |     |
| 23                         | 2001 |                                 | 95.8  | $K_m$                                                                                                                                                                      | Function of rainfall duration and mean of annual series (from Figure 2.4.24)       |                    | 16     |      |     |
| 24                         | 2002 |                                 | 92.1  | <b>Unadjustment point values of PMP:</b>                                                                                                                                   |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 25                         | 2003 |                                 | 168.1 |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 26                         | 2004 |                                 | 69.7  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 27                         | 2005 |                                 | 104.2 |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 28                         | 2006 |                                 | 199.7 | $X_{m(u)}$                                                                                                                                                                 | Unadjustment point values of PMP: ( $X_{m(u)} = AD\bar{X}_n + K_m * ADS_n$ )       |                    |        | (mm) | 671 |
| 29                         | 2007 |                                 | 98.8  | <b>Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values:</b>                                                                                                      |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 30                         | 2008 |                                 | 32.8  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 31                         | 2009 |                                 | 102.9 |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 32                         | 2010 |                                 | 52.3  |                                                                                                                                                                            |                                                                                    |                    |        |      |     |
| 33                         | 2011 |                                 | 128.1 | $T$                                                                                                                                                                        | Number of observation unit (fixed tim interval of rainfall observation)            | (hour)             | 3      |      |     |
| 34                         | 2012 |                                 | 92.2  | $F_o$                                                                                                                                                                      | Adjustment Factor ( $T$ ) for observation unit (from Figure 2.4.28)                | (%)                | 101%   |      |     |
| 35                         | 2013 |                                 | 60.4  | $X_{m(t)}$                                                                                                                                                                 | Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values:                     |                    |        | (mm) | 678 |
|                            |      |                                 |       | $(X_{m(t)} = X_{m(u)} * F_o)$                                                                                                                                              |                                                                                    |                    |        |      |     |
|                            |      |                                 |       | (Note: If annual series data had been compiled from fixed observational time interval instead of hourly data, the adjustment factor for all duration would have been 1.13) |                                                                                    |                    |        |      |     |
|                            |      |                                 |       | <b>Adjustment of point PMP to study area (catchment area):</b>                                                                                                             |                                                                                    |                    |        |      |     |
|                            |      |                                 |       | $CA_b$                                                                                                                                                                     | Covered Area of Rainfall Data (if point rainfall : 25 km <sup>2</sup> )            | (km <sup>2</sup> ) | 25     |      |     |
|                            |      |                                 |       | $CA$                                                                                                                                                                       | Study Area (Catchment Area)                                                        | (km <sup>2</sup> ) | 1,041  |      |     |
|                            |      |                                 |       | $F_{CA}$                                                                                                                                                                   | Area Reduction Factor for point rainfall to area (from Depth - Area Analysis)      | (%)                | 100.0% |      |     |
|                            |      |                                 |       | <b>PMP</b>                                                                                                                                                                 | <b>PMP for study area (<math>PMP = X_{m(t)} * F_{CA}</math>)</b>                   |                    |        | (mm) | 678 |
|                            |      |                                 |       |                                                                                                                                                                            | (rounded PMP)                                                                      |                    |        | (mm) | 680 |

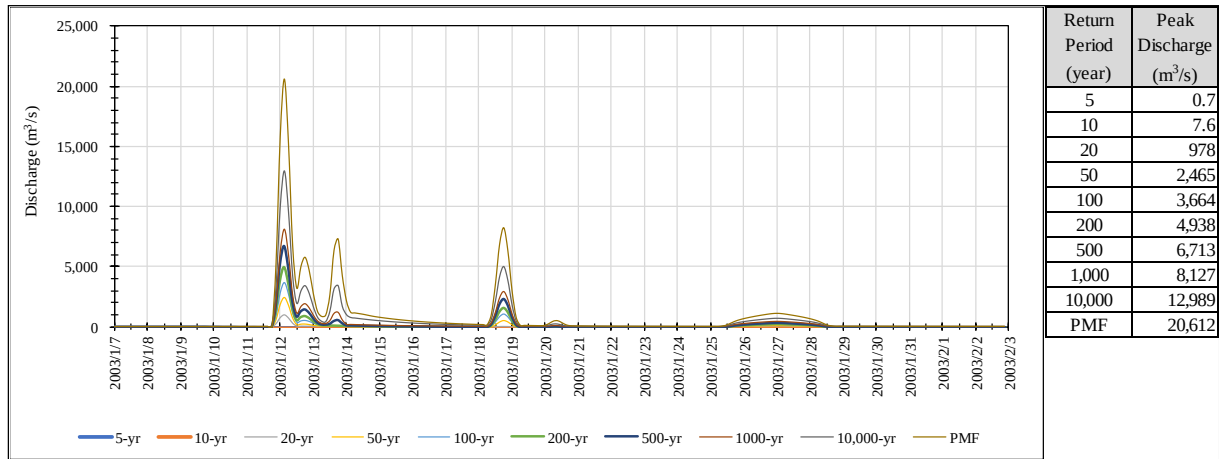
Source: Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation, WMO-No. 1045

出典：JICA 調査団

### (3) 確率洪水流入量と PMF ハイドログラフ

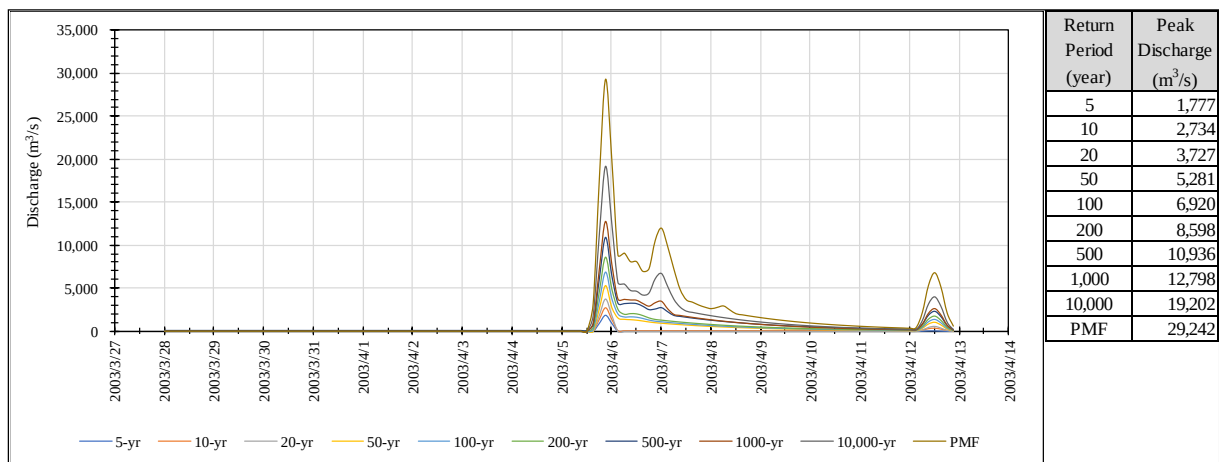
#### 1) メレゲダム

メレゲダム地点の確率降雨と可能最大降水量 (PMP) を用いて、2003 年 1 月洪水のハイドログラフと、3.4.8 節で選定した設計洪水ハイドログラフ (2003 年 3 月洪水) の波形を引伸ばした。HEC-HMS モデルで算定した確率規模洪水と可能最大洪水流量 (PMF) のハイドログラフを下図に示す。



出典：JICA 調査団

図 3-58 メレゲダムの 2003 年 1 月洪水波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ

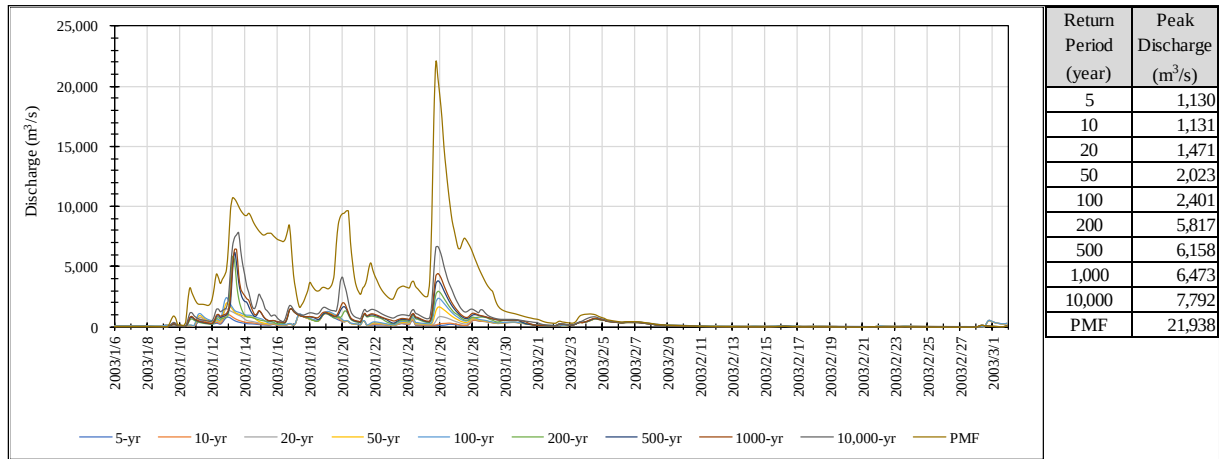


出典：JICA 調査団

図 3-59 メレゲダムの設計洪水（2003 年 3 月）波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ

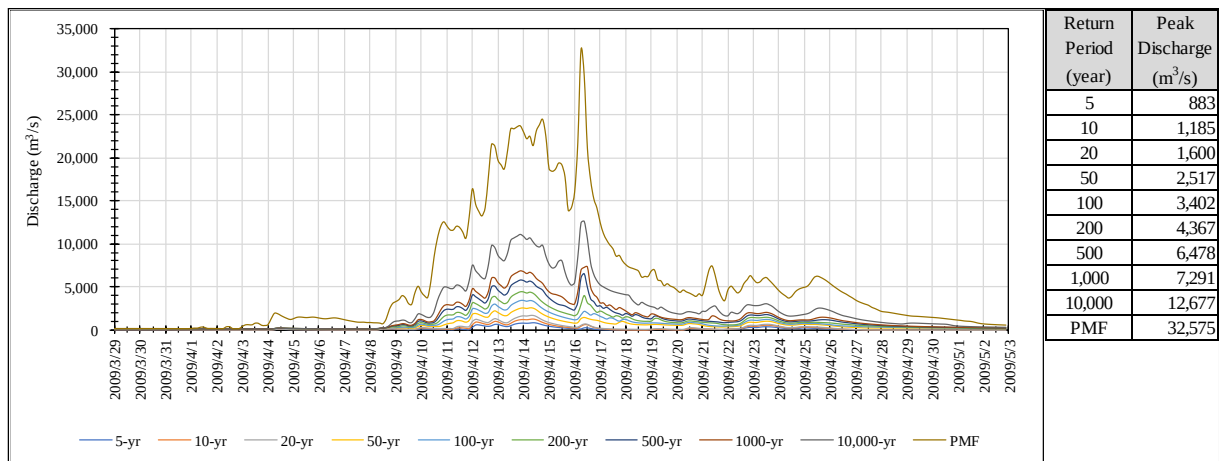
## 2) シディサレムダム

シディサレムダム地点の確率降雨と可能最大降水量（PMP）を用いて、2003 年 1 月洪水のハイドログラフと、3.4.8 節で選定した設計洪水ハイドログラフの波形（2009 年 4 月洪水）を引伸ばした。HEC-HMS モデルで算定した各確率規模洪水と可能最大洪水流量（PMF）のハイドログラフを下図に示す。



出典：JICA 調査団

図 3-60 シディサレムダムの 2003 年 1 月洪水波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ

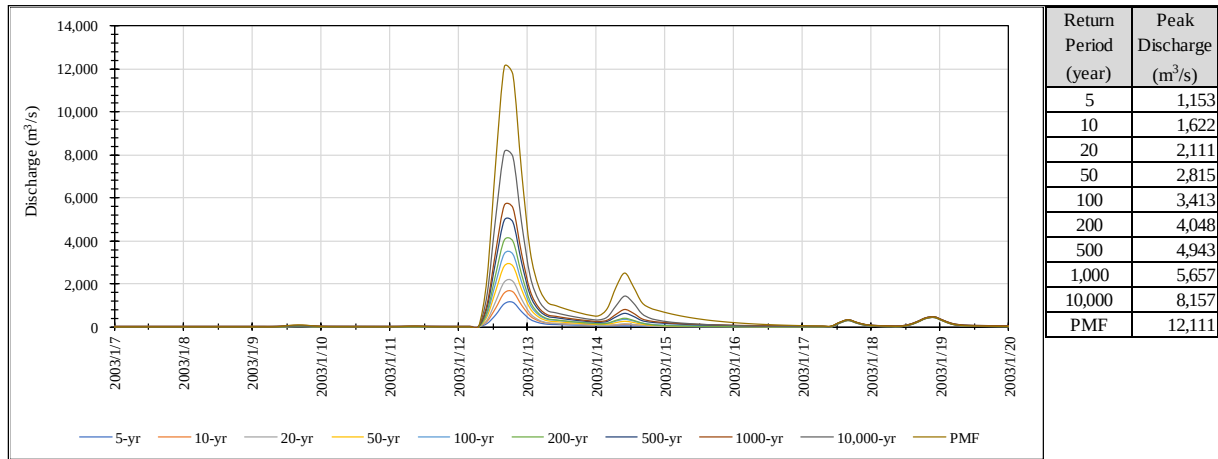


出典：JICA 調査団

図 3-61 シディサレムダムの設計洪水（2009 年 4 月）波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ

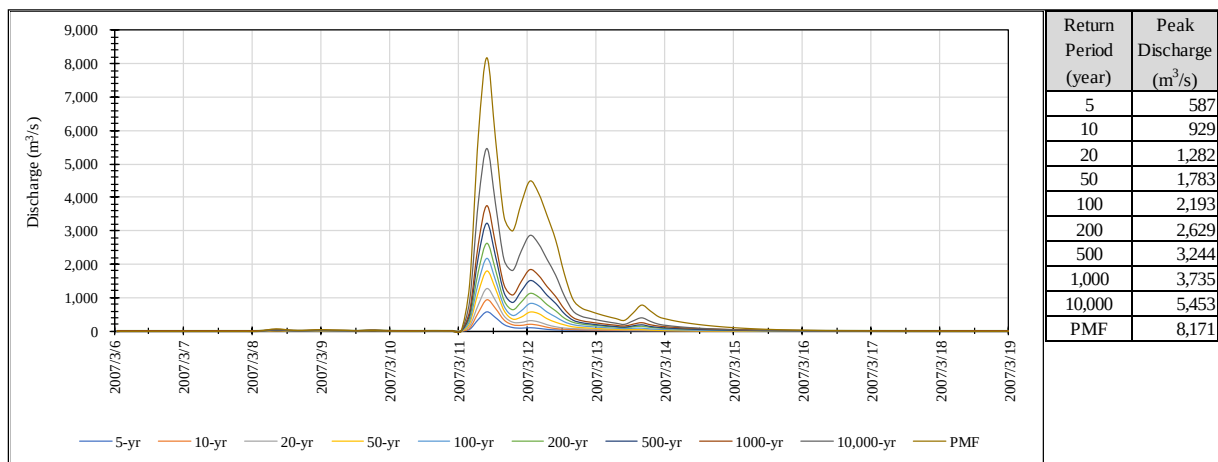
### 3) シリアナダム

シリアナダム地点の確率降雨と可能最大降水量（PMP）を用いて、2003 年 1 月洪水のハイドログラフと、3.4.8 節で選定した設計洪水ハイドログラフの波形（2007 年 3 月洪水）を引伸ばした。HEC-HMS モデルで算定した確率規模洪水と可能最大洪水流量（PMF）のハイドログラフを下図に示す。



出典：JICA 調査団

図 3-62 シリアナダムの 2003 年 1 月洪水波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ



出典：JICA 調査団

図 3-63 シリアナダムの設計洪水（2007 年 3 月）波形を用いた各確率規模洪水と PMF ハイドログラフ

### 3.6.6 貯水池運用計算とダム安全対策検討

既設 3 ダム（メレゲダム、シディサレムダム、シリアナダム）の最適貯水池運用を検討するにあたり、まず、設計洪水が流入した際にダムが安全であるかを確認し、必要であれば対策案を検討した。そのうえで、既設ダムの最適運用ルールを検討を行った。

#### (1) メレゲダム

##### 1) 現行貯水池運用ルールとダム諸元に基づく計算結果

現行の貯水池運用ルールと現行のダム諸元における確率規模洪水ハイドログラフの貯水池運用計算結果を下図および下表に示す。1/200 年確率規模まではダム天端高を越流することはないが、1/500 年確率規模以上ではダム天端を越流する結果となった。メレゲダムはコンクリート・マルチプル・アーチダムであり、多少の越流は許容できるものと考えられるが、PMF では越流高が 10m 近くなることが予測され危険である。このため何らかの対策が必要と考えられる。洪水吐の改造は構造的に困難であり、また、10m 超えるダム高の嵩上げも現実的ではない。1/10,000 年確率規模での越流高は 4.75



m と想定されることから、5m 程度のダム高の嵩上げができれば安全であると考えられる。

なお、メレゲダムの上流では、新規のダム（通称メレゲ2ダム）建設が行われている。このダムの F/S 報告書では、1/10,000 年確率規模の設計洪水ピーク流量として 30,000 m<sup>3</sup>/s が考慮されて設計されている。このため、メレゲダムでは、上流のメレゲ2ダムでの洪水調節がなされるものと想定し、可能であれば 1/1,000 年確率規模の設計洪水ピーク流量対策として 1.5 m 程度の嵩上げを行うことが望ましい。

なお、ダム天端高を越流する場合は、貯水池容量曲線を外挿し、ダム天端幅全体で越水が起きるものとして計算した。また、ダムは決壊しないものとして計算した。

表 3-47 メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、設計洪水）

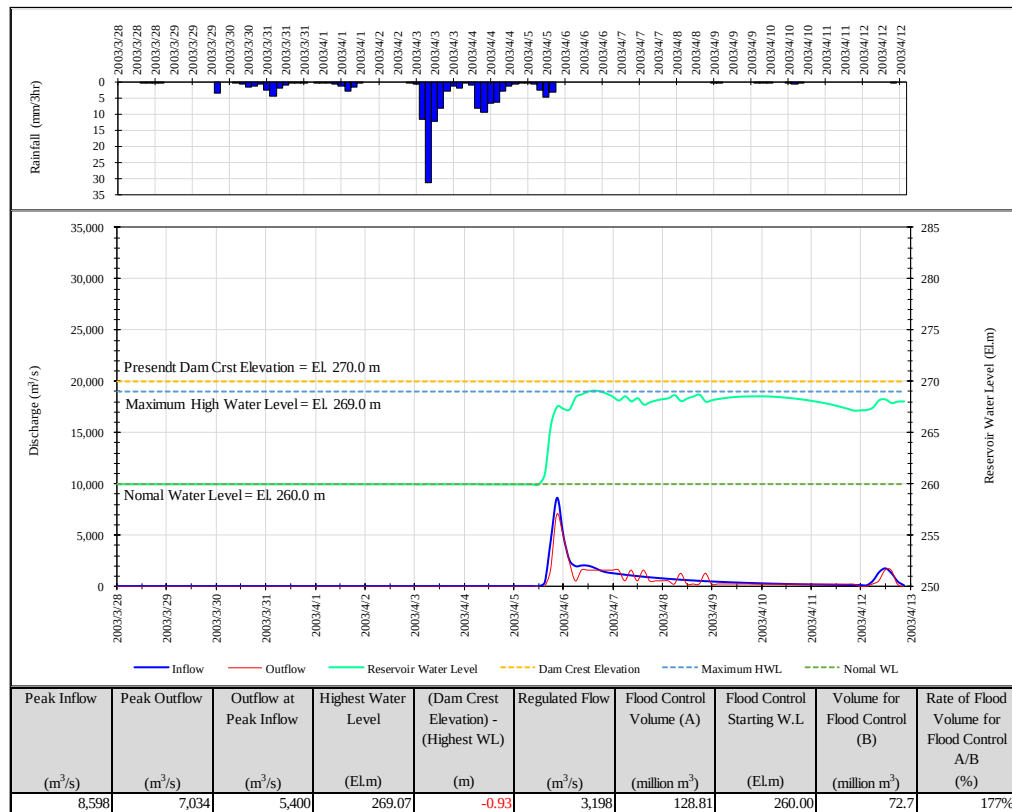
| 確率年       | 最大流入量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大流入量の<br>時の放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大水位<br>(ELm) | ダム天端高－<br>最大水位<br>(m) | 調節流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 洪水調節容量<br>(A)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節開始<br>水位<br>(ELm) | 貯水池の洪水<br>調節容量 (B)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節容量の<br>比率 A/B<br>(%) | 注  |
|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|----|
| 5-yr      | 1,777                        | 594                          | 0                                      | 263.59        | -6.41                 | 1,777                       | 25.42                                      | 260.00                | 72.7                                            | 35%                      | -  |
| 10-yr     | 2,734                        | 1,134                        | 0                                      | 265.49        | -4.51                 | 2,734                       | 40.28                                      | 260.00                | 72.7                                            | 55%                      | -  |
| 20-yr     | 3,727                        | 1,634                        | 0                                      | 267.23        | -2.77                 | 3,727                       | 56.34                                      | 260.00                | 72.7                                            | 78%                      | -  |
| 50-yr     | 5,281                        | 2,894                        | 0                                      | 268.80        | -1.20                 | 5,281                       | 85.00                                      | 260.00                | 72.7                                            | 117%                     | -  |
| 100-yr    | 6,920                        | 3,750                        | 2,116                                  | 268.76        | -1.24                 | 4,804                       | 97.68                                      | 260.00                | 72.7                                            | 134%                     | -  |
| 200-yr    | 8,598                        | 7,034                        | 5,400                                  | 269.07        | -0.93                 | 3,198                       | 128.81                                     | 260.00                | 72.7                                            | 177%                     | -  |
| 500-yr    | 10,936                       | 7,280                        | 5,400                                  | 271.01        | 1.01                  | 5,536                       | 173.60                                     | 260.00                | 72.7                                            | 239%                     | 越流 |
| 1,000-yr  | 12,798                       | 8,156                        | 5,400                                  | 271.43        | 1.43                  | 7,398                       | 190.50                                     | 260.00                | 72.7                                            | 262%                     | 越流 |
| 10,000-yr | 19,202                       | 13,829                       | 5,400                                  | 274.75        | 4.75                  | 13,802                      | 266.77                                     | 260.00                | 72.7                                            | 367%                     | 越流 |
| PMF       | 29,242                       | 27,048                       | 5,400                                  | 279.76        | 9.76                  | 23,842                      | 423.41                                     | 260.00                | 72.7                                            | 583%                     | 越流 |

出典：JICA 調査団

表 3-48 メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形）

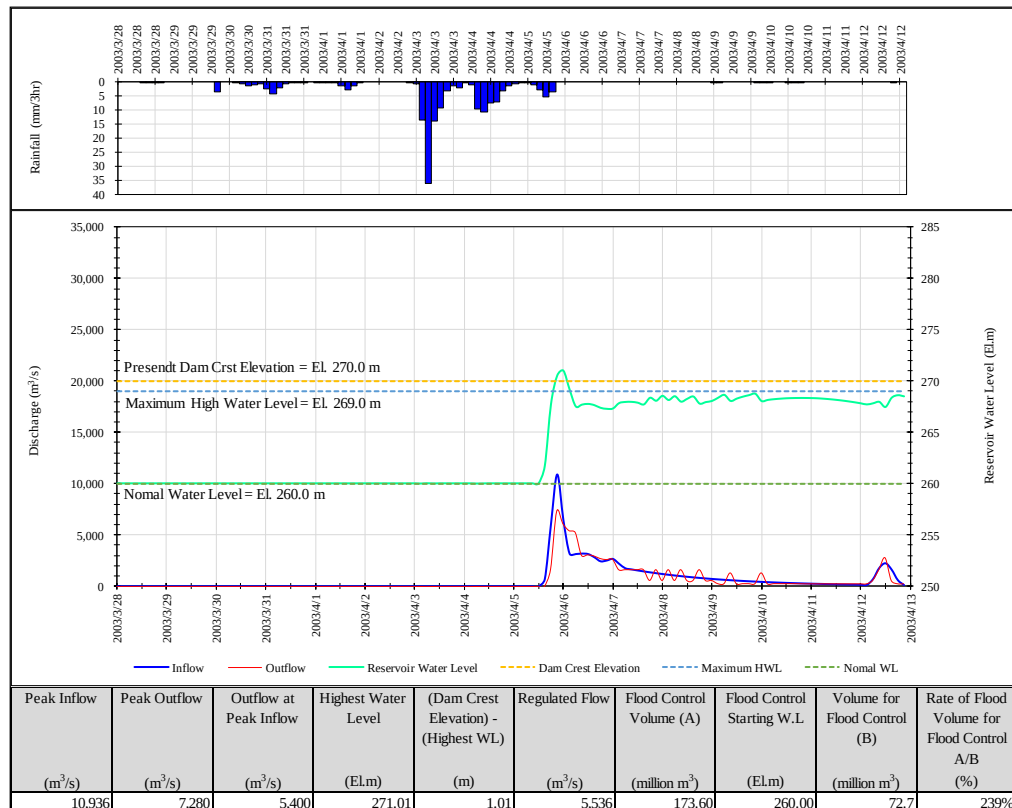
| 確率年       | 最大流入量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大流入量の<br>時の放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大水位<br>(ELm) | ダム天端高－<br>最大水位<br>(m) | 調節流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 洪水調節容量<br>(A)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節開始<br>水位<br>(ELm) | 貯水池の洪水<br>調節容量 (B)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節容量の<br>比率 A/B<br>(%) | 注  |
|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|----|
| 2003      | 1,219                        | 594                          | 0                                      | 267.61        | -2.39                 | 1,219                       | 60.54                                      | 260.00                | 72.7                                            | 83%                      | -  |
| 5-yr      | 1                            | 10                           | 0                                      | 260.00        | -10.00                | 1                           | 0.04                                       | 260.00                | 72.7                                            | 0%                       | -  |
| 10-yr     | 4                            | 10                           | 0                                      | 260.00        | -10.00                | 4                           | 0.04                                       | 260.00                | 72.7                                            | 0%                       | -  |
| 20-yr     | 978                          | 594                          | 0                                      | 262.67        | -7.33                 | 978                         | 16.12                                      | 260.00                | 72.7                                            | 22%                      | -  |
| 50-yr     | 2,465                        | 1,134                        | 0                                      | 267.24        | -2.76                 | 2,465                       | 56.45                                      | 260.00                | 72.7                                            | 78%                      | -  |
| 100-yr    | 3,664                        | 1,634                        | 0                                      | 268.76        | -1.24                 | 3,664                       | 72.21                                      | 260.00                | 72.7                                            | 99%                      | -  |
| 200-yr    | 4,938                        | 3,750                        | 1,210                                  | 268.54        | -1.46                 | 3,728                       | 92.44                                      | 260.00                | 72.7                                            | 127%                     | -  |
| 500-yr    | 6,713                        | 5,400                        | 3,766                                  | 268.43        | -1.57                 | 2,947                       | 122.53                                     | 260.00                | 72.7                                            | 169%                     | -  |
| 1,000-yr  | 8,127                        | 7,034                        | 5,400                                  | 268.88        | -1.12                 | 2,727                       | 140.50                                     | 260.00                | 72.7                                            | 193%                     | -  |
| 10,000-yr | 12,989                       | 9,147                        | 5,400                                  | 272.18        | 2.18                  | 7,589                       | 205.85                                     | 260.00                | 72.7                                            | 283%                     | 越流 |
| PMF       | 20,612                       | 19,164                       | 5,400                                  | 276.99        | 6.99                  | 15,212                      | 330.57                                     | 260.00                | 72.7                                            | 455%                     | 越流 |

出典：JICA 調査団



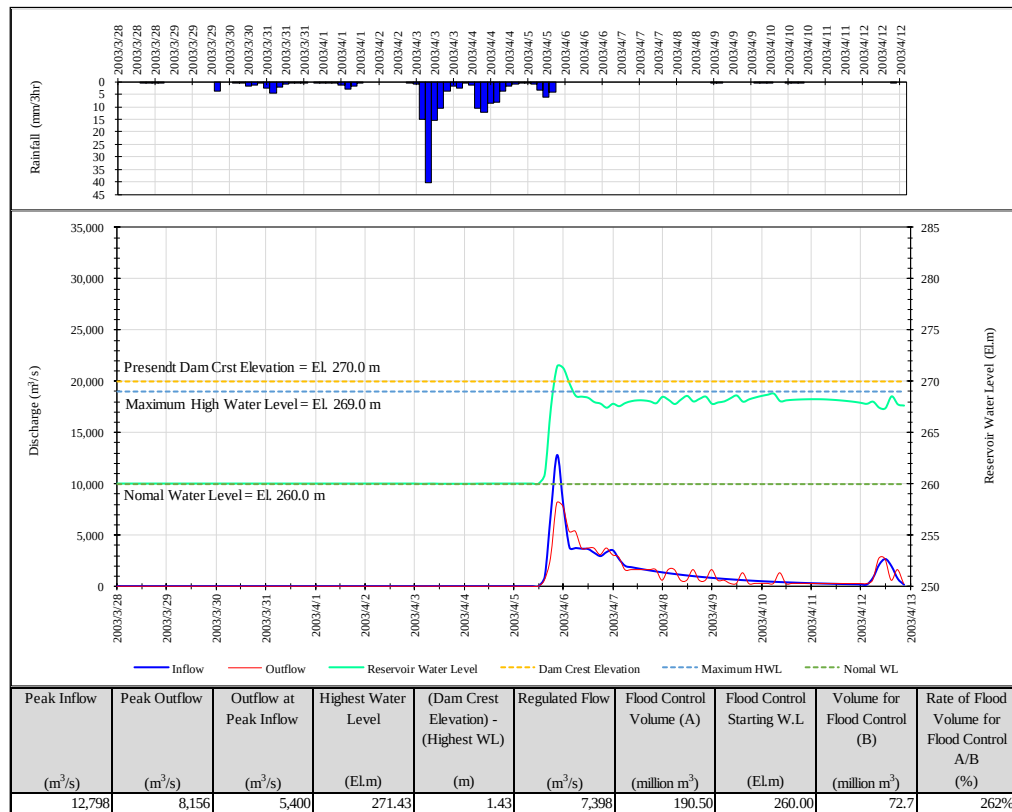
出典：JICA 調査団

図 3-64 メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/200 年確率規模）



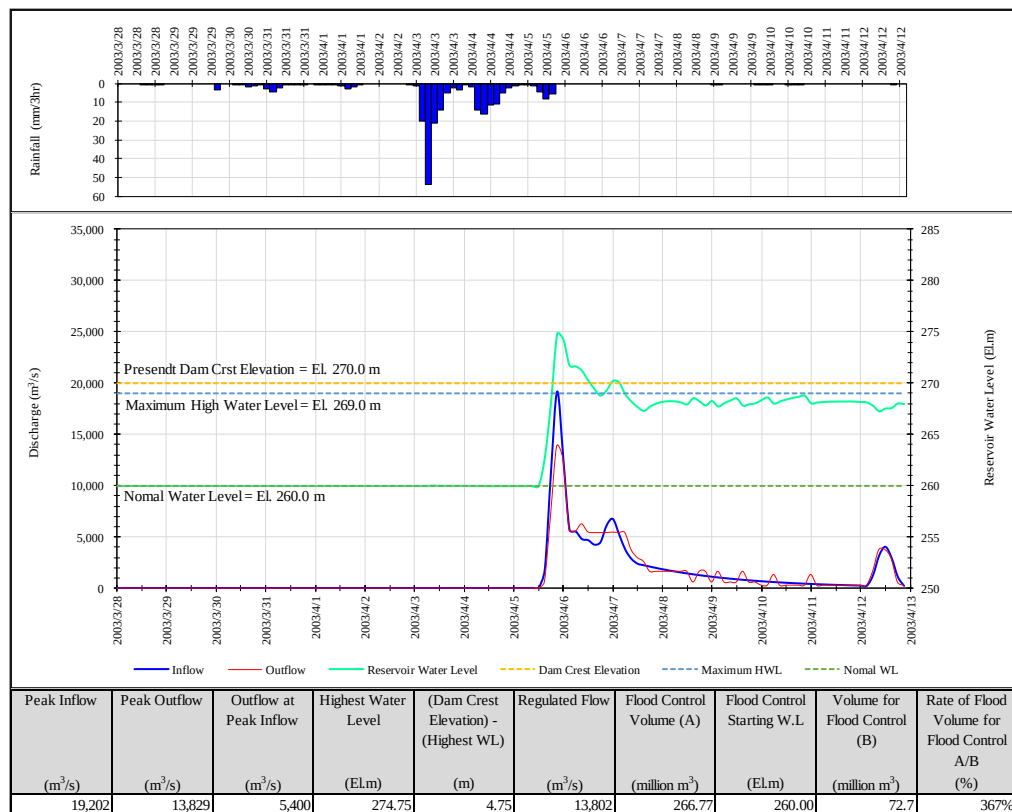
出典：JICA 調査団

図 3-65 メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/500 年確率規模）



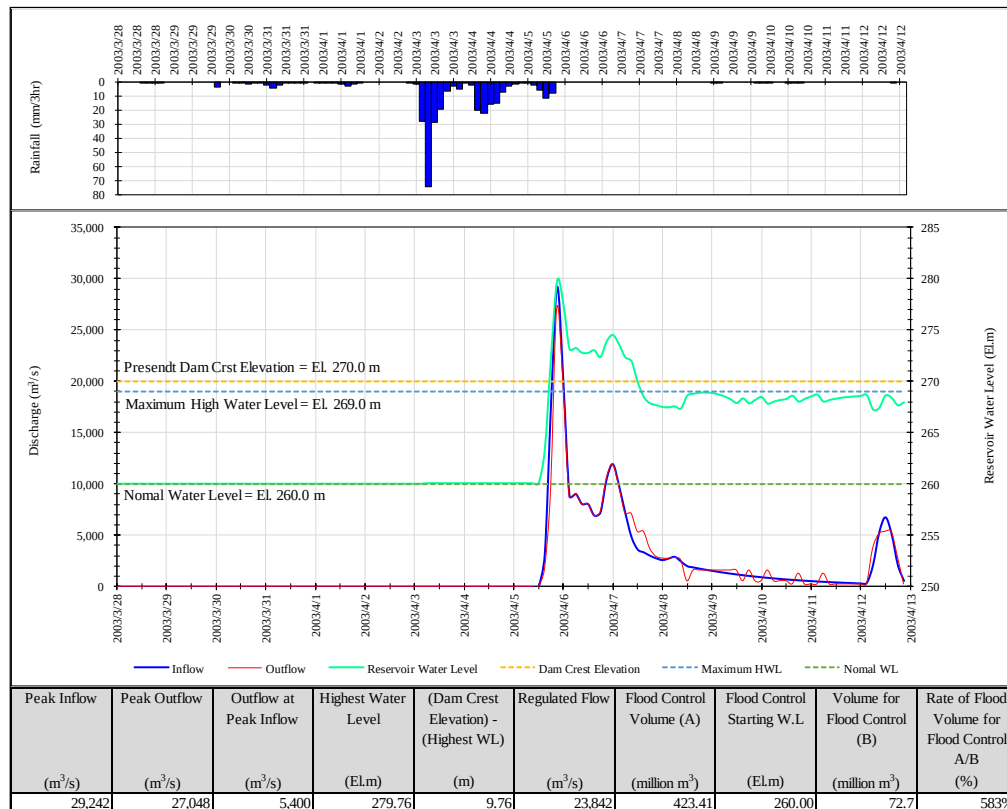
出典：JICA 調査団

図 3-66 メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/1,000 年確率規模）



出典：JICA 調査団

図 3-67 メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/10,000 年確率規模）



出典：JICA 調査団

図 3-68 メレゲダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、PMF 設計洪水）

## 2) 洪水時最適貯水池運用ルールとダム再生計画の提案

現行のメレゲダムの洪水調節開始水位は、標高 268.0m から開始することになっている。洪水期は、この洪水調節開始水位を-8.0m 下げ標高 260.0m から開始することを提案する。また、洪水期の制限水位を現行の NWL の標高 260.0m よりも-7.0m 下げて標高 253.0m にしておくことを推奨する。また、ダム天端高を 1.0m 嵩上げする。これらの対策により 1/1,000 年確率規模までの設計洪水に対応でき、ダム天端を越流することはない。なお、現行の貯水池運用ルールは変更しないでも良い。

構造上可能であれば、ダム天端高を+1.0m 嵩上げすることにより、下表に示すように 1/1,000 年確率規模洪水まで対応可能である。なお、これらの対策を行っても 1/10,000 年確率規模および PMF には対応できないことが明らかとなった。上記の対策案をまとめると以下のようになる。

- 現行の貯水池運用ルールは変更しない。
- ただし、洪水調節開始水位を-8.0m 下げ標高 260.0m から開始することを提案する。
- 洪水期の制限水位を現行の NWL の標高 260.0m よりも-7.0m 下げて標高 253.0m にしておくことを推奨する。
- 構造上可能であれば、ダム天端高を+1.0m 嵩上げすることを提案する。

表 3-49 メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・ダム高+1.0m 嵩上げ、設計洪水）

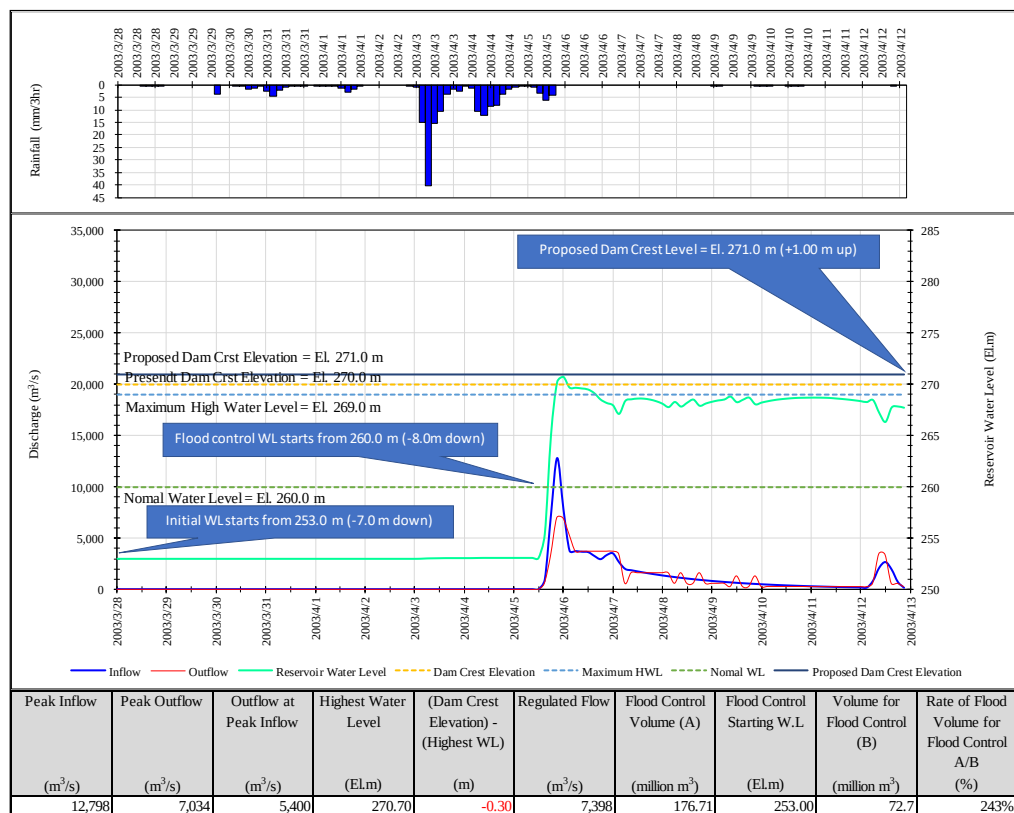
| 確率年       | 最大流入量<br>(m³/s) | 最大放流量<br>(m³/s) | 最大流入量の<br>時の放流量<br>(m³/s) | 最大水位<br>(ELm) | ダム天端高－<br>最大水位<br>(m) | 調節流量<br>(m³/s) | 洪水調節容量<br>(A)<br>(million m³) | 洪水調節開始<br>水位<br>(ELm) | 貯水池の洪水<br>調節容量 (B)<br>(million m³) | 洪水調節容量の<br>比率 A/B<br>(%) | 注  |
|-----------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------|-----------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|----|
| 5-yr      | 1,777           | 594             | 0                         | 260.78        | -10.22                | 1,777          | 8.61                          | 253.00                | 72.7                               | 12%                      | -  |
| 10-yr     | 2,734           | 2,720           | 1,586                     | 261.98        | -9.02                 | 1,148          | 20.94                         | 253.00                | 72.7                               | 29%                      | -  |
| 20-yr     | 3,727           | 2,914           | 1,280                     | 264.45        | -6.55                 | 2,448          | 37.01                         | 253.00                | 72.7                               | 51%                      | -  |
| 50-yr     | 5,281           | 3,193           | 1,548                     | 268.79        | -2.21                 | 3,733          | 76.07                         | 253.00                | 72.7                               | 105%                     | -  |
| 100-yr    | 6,920           | 3,391           | 1,704                     | 268.77        | -2.23                 | 5,217          | 82.63                         | 253.00                | 72.7                               | 114%                     | -  |
| 200-yr    | 8,598           | 3,750           | 2,116                     | 268.84        | -2.16                 | 6,482          | 110.90                        | 253.00                | 72.7                               | 153%                     | -  |
| 500-yr    | 10,936          | 7,034           | 5,400                     | 269.19        | -1.81                 | 5,536          | 140.06                        | 253.00                | 72.7                               | 193%                     | -  |
| 1,000-yr  | 12,798          | 7,034           | 5,400                     | 270.70        | -0.30                 | 7,398          | 176.71                        | 253.00                | 72.7                               | 243%                     | -  |
| 10,000-yr | 19,202          | 13,175          | 5,400                     | 275.44        | 4.44                  | 13,802         | 285.52                        | 253.00                | 72.7                               | 393%                     | 越流 |
| PMF       | 29,242          | 23,878          | 5,400                     | 279.70        | 8.70                  | 23,842         | 421.34                        | 253.00                | 72.7                               | 580%                     | 越流 |

出典：JICA 調査団

表 3-50 メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・ダム高+1.0m 嵩上げ、2003 年 1 月洪水波形）

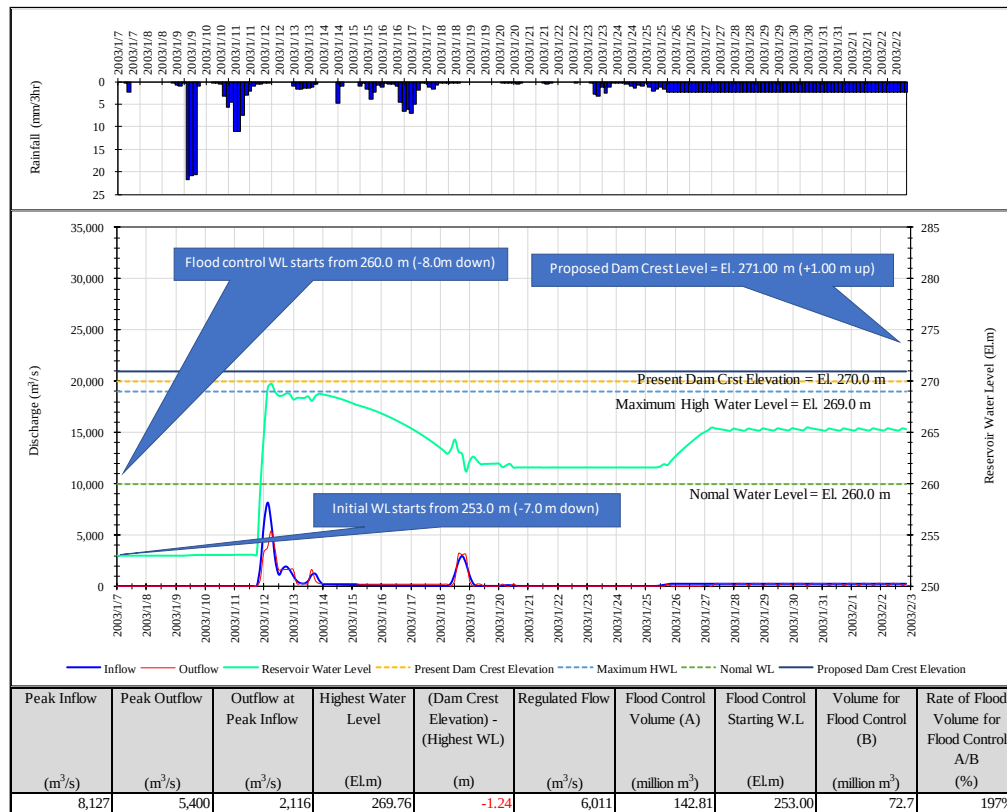
| 確率年       | 最大流入量<br>(m³/s) | 最大放流量<br>(m³/s) | 最大流入量の<br>時の放流量<br>(m³/s) | 最大水位<br>(ELm) | ダム天端高－<br>最大水位<br>(m) | 調節流量<br>(m³/s) | 洪水調節容量<br>(A)<br>(million m³) | 洪水調節開始<br>水位<br>(ELm) | 貯水池の洪水<br>調節容量 (B)<br>(million m³) | 洪水調節容量の<br>比率 A/B<br>(%) | 注  |
|-----------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------|-----------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|----|
| 2003      | 1,219           | 594             | 0                         | 265.95        | -5.05                 | 1,219          | 44.21                         | 253.00                | 72.7                               | 61%                      | -  |
| 5-yr      | 1               | 0               | 0                         | 253.05        | -17.95                | 1              | -16.89                        | 253.00                | 72.7                               | -23%                     | -  |
| 10-yr     | 4               | 0               | 0                         | 254.49        | -16.51                | 4              | -16.80                        | 253.00                | 72.7                               | -23%                     | -  |
| 20-yr     | 978             | 594             | 0                         | 261.98        | -9.02                 | 978            | 2.42                          | 253.00                | 72.7                               | 3%                       | -  |
| 50-yr     | 2,465           | 2,895           | 1,761                     | 264.29        | -6.71                 | 703            | 30.51                         | 253.00                | 72.7                               | 42%                      | -  |
| 100-yr    | 3,664           | 2,988           | 1,311                     | 265.40        | -5.60                 | 2,353          | 39.07                         | 253.00                | 72.7                               | 54%                      | -  |
| 200-yr    | 4,938           | 3,225           | 1,525                     | 267.11        | -3.89                 | 3,413          | 59.36                         | 253.00                | 72.7                               | 82%                      | -  |
| 500-yr    | 6,713           | 3,750           | 1,883                     | 268.50        | -2.50                 | 4,830          | 105.18                        | 253.00                | 72.7                               | 145%                     | -  |
| 1,000-yr  | 8,127           | 5,400           | 2,116                     | 269.76        | -1.24                 | 6,011          | 142.81                        | 253.00                | 72.7                               | 197%                     | -  |
| 10,000-yr | 12,989          | 8,713           | 5,400                     | 272.87        | 1.87                  | 7,589          | 220.95                        | 253.00                | 72.7                               | 304%                     | 越流 |
| PMF       | 20,612          | 16,226          | 5,400                     | 276.81        | 5.81                  | 15,212         | 325.35                        | 253.00                | 72.7                               | 448%                     | 越流 |

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3-69 メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・1.0m 嵩上げ、1/1,000 年確率規模；設計洪水波形）



出典：JICA 調査団

図 3-70 メレゲダムの貯水池運用計算結果（提案ルール・1.0m 嵩上げ、1/1,000 年確率規模；2003 年 1 月洪水波形）

以上の対策を行った場合のメレゲダムの操作規則は、以下のように提案される。

表 3-51 メレゲダムの貯水池運用ルール（洪水時）

| 貯水池流入量<br>(m³/s) | ダムのゲート操作                                                                                |                                               |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 700～2300         | 2つの排水ゲートの全開放: 287 m³/s x 2 :<br>タービン 20 m³/s:<br>放流量合計:                                 | 574 m³/s<br>20 m³/s<br>594 m³/s               |
| 2300～2800        | 上記の維持<br>2つのメインバルブの2 m開放: 270 m³/s x 2:<br>放流量合計:                                       | 594 m³/s<br>540 m³/s<br>1134 m³/s             |
| 2800～3350        | 2つの排水ゲートの全開放: 287 m³/s x 2 :<br>タービン 20 m³/s:<br>2つのメインバルブの4 m開放: 520 m³/s x 2<br>放流量合計 | 574 m³/s<br>20 m³/s<br>1040 m³/s<br>1634 m³/s |
| 3350以上           | 全てのゲートを大きく開放する。流量は標高268で2,500から3,750 m³/sに増加させる。                                        |                                               |

出典：農業省

表 3-52 メレゲダムの貯水池運用ルール（減衰期）

| 貯水池水位         | K13地点の流量                                      | 流 量                                                                                 |
|---------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 265.5m以上      | 300～2100 m³/s<br>300 m³/s以下                   | 294 m³/s (2つの排水ゲートの全開放とタービン20 m³/s)<br>287 m³/s (1/1排水ゲート開放)                        |
| 265.5～ 265.0m | 1000～2300 m³/s<br>100～1000 m³/s<br>100 m³/s以下 | 287 m³/s (1/1排水ゲート開放)<br>74 m³/s (排水ゲートの1/4開放とタービン20 m³/s) 20 m³/s<br>(タービン20 m³/s) |

出典：農業省

## (2) シディサレムダム

### 1) 現行貯水池運用ルールとダム諸元に基づく計算結果

現行の貯水池運用ルールと現行のダム諸元における設計洪水および 2003 年 1 月洪水のハイドログラフを用いた貯水池運用計算結果を下図および下表に示す。2009 年 4 月洪水のハイドログラフの波形を用いた設計洪水のケースでは、1/1,000 年確率規模まではダム天端高を越流することはないが、1/10,000 年確率規模および PMF ではダム天端を越流する結果となった。シディサレムダムはセンターコア・ロックフィルダムであり、多少の越流は許容できるものと考えられるが、PMF では越流高が 10m を超えることが予測され危険である。PMF に対応するには、何らかの対策が必要と考えられる。非常用洪水吐の改造（増設）やダム高の嵩上げが必要と考えられる。もし技術的に可能で、ダム高の嵩上げをする場合、センターコアの嵩上げも必要となる。

なお、ダム天端高を越水する場合の計算は、貯水池容量曲線を外挿し、ダム天端幅全体で越水が起きるものとして計算した。また、ダムは決壊しないものとして計算した。

表 3-53 シディサレムダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、設計洪水）

| 確率年       | 最大流入量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大流入量の<br>時の放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大水位<br>(El.m) | ダム天端高－<br>最大水位<br>(m) | 調節流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 洪水調節容量<br>(A)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節開始<br>水位<br>(El.m) | 貯水池の洪水<br>調節容量 (B)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節容量の<br>比率 A/B<br>(%) | 注  |
|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|----|
| 5-yr      | 883                          | 280                          | 280                                    | 114.86         | -7.80                 | 603                         | -6.77                                      | 112.00                 | 269.0                                           | -3%                      | -  |
| 10-yr     | 1,185                        | 375                          | 308                                    | 116.00         | -6.66                 | 877                         | 53.63                                      | 112.00                 | 269.0                                           | 20%                      | -  |
| 20-yr     | 1,600                        | 743                          | 400                                    | 117.45         | -5.21                 | 1,200                       | 138.55                                     | 112.00                 | 269.0                                           | 51%                      | -  |
| 50-yr     | 2,517                        | 2,258                        | 772                                    | 119.72         | -2.94                 | 1,745                       | 285.03                                     | 112.00                 | 269.0                                           | 106%                     | -  |
| 100-yr    | 3,402                        | 3,519                        | 3,372                                  | 119.90         | -2.76                 | 31                          | 297.04                                     | 112.00                 | 269.0                                           | 110%                     | -  |
| 200-yr    | 4,367                        | 4,340                        | 4,340                                  | 120.01         | -2.65                 | 27                          | 304.78                                     | 112.00                 | 269.0                                           | 113%                     | -  |
| 500-yr    | 6,478                        | 5,230                        | 5,230                                  | 120.48         | -2.18                 | 1,248                       | 337.77                                     | 112.00                 | 269.0                                           | 126%                     | -  |
| 1,000-yr  | 7,291                        | 5,230                        | 5,230                                  | 121.97         | -0.69                 | 2,061                       | 446.99                                     | 112.00                 | 269.0                                           | 166%                     | -  |
| 10,000-yr | 12,677                       | 9,714                        | 8,853                                  | 126.81         | 4.15                  | 3,824                       | 851.65                                     | 112.00                 | 269.0                                           | 317%                     | 越水 |
| PMF       | 32,575                       | 23,457                       | 21,477                                 | 133.23         | 10.57                 | 11,098                      | 1,508.32                                   | 112.00                 | 269.0                                           | 561%                     | 越水 |

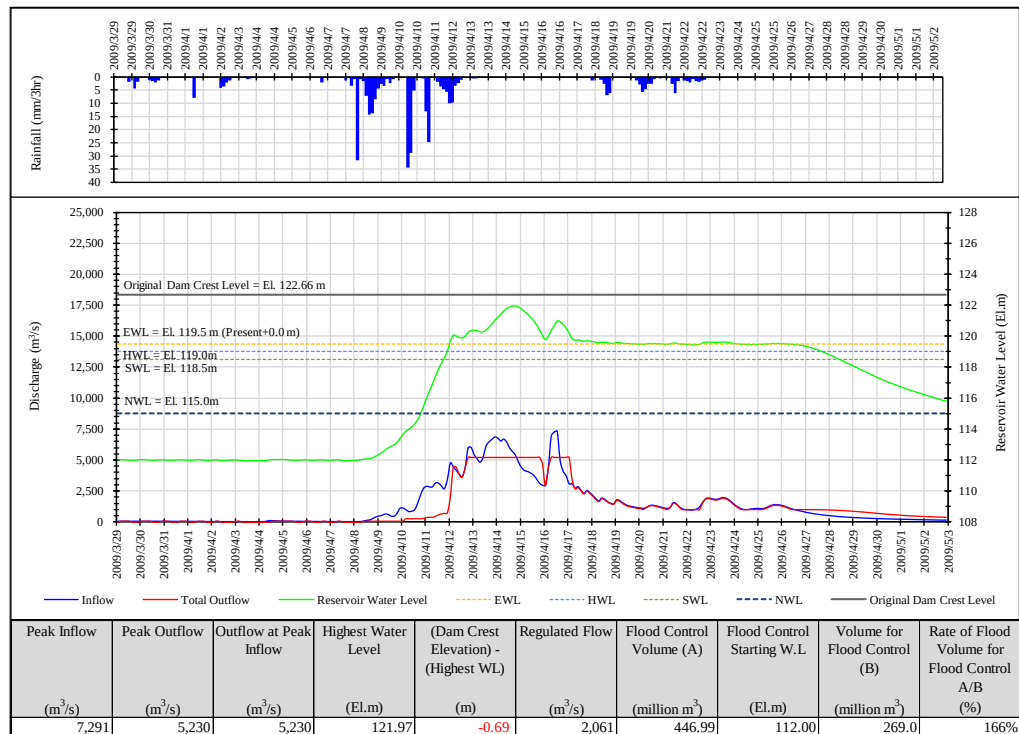
出典：JICA 調査団

表 3-54 シディサレムダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形）

| Provable<br>Year | Peak Inflow<br>(m <sup>3</sup> /s) | Peak Outflow<br>(m <sup>3</sup> /s) | Outflow at<br>Peak Inflow<br>(m <sup>3</sup> /s) | Highest Water<br>Level<br>(El.m) | (Dam Crest<br>Elevation) -<br>(Highest WL)<br>(m) | Regulated Flow<br>(m <sup>3</sup> /s) | Flood Control<br>Volume (A)<br>(million m <sup>3</sup> ) | Flood Control<br>Starting W.L.<br>(El.m) | Volume for<br>Flood Control<br>(B)<br>(million m <sup>3</sup> ) | Rate of Flood<br>Volume for Flood<br>Control A/B<br>(%) | Rate of Flood<br>Volume for<br>Flood Control<br>A/B<br>(%) |
|------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 2003             | 2,448                              | 740                                 | 0                                                | 117.73                           | -4.93                                             | 2,448                                 | 155.97                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 58%                                                     | -                                                          |
| 5-yr             | 1,130                              | 358                                 | 286                                              | 115.88                           | -6.78                                             | 843                                   | 47.22                                                    | 112.00                                   | 269.0                                                           | 18%                                                     | -                                                          |
| 10-yr            | 1,131                              | 400                                 | 349                                              | 116.51                           | -6.15                                             | 782                                   | 82.50                                                    | 112.00                                   | 269.0                                                           | 31%                                                     | -                                                          |
| 20-yr            | 1,471                              | 670                                 | 280                                              | 117.16                           | -5.50                                             | 1,191                                 | 121.19                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 45%                                                     | -                                                          |
| 50-yr            | 2,023                              | 850                                 | 280                                              | 117.92                           | -4.74                                             | 1,743                                 | 167.74                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 62%                                                     | -                                                          |
| 100-yr           | 2,401                              | 846                                 | 281                                              | 117.90                           | -4.76                                             | 2,120                                 | 166.36                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 62%                                                     | -                                                          |
| 200-yr           | 5,817                              | 1,016                               | 400                                              | 119.26                           | -3.40                                             | 5,417                                 | 253.63                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 94%                                                     | -                                                          |
| 500-yr           | 6,158                              | 2,979                               | 400                                              | 119.80                           | -2.86                                             | 5,758                                 | 290.11                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 108%                                                    | -                                                          |
| 1,000-yr         | 6,473                              | 3,907                               | 496                                              | 119.94                           | -2.72                                             | 5,977                                 | 300.12                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 112%                                                    | -                                                          |
| 10,000-yr        | 7,792                              | 5,230                               | 4,980                                            | 120.91                           | -1.75                                             | 2,812                                 | 368.76                                                   | 112.00                                   | 269.0                                                           | 137%                                                    | -                                                          |
| PMF              | 21,938                             | 9,268                               | 6,753                                            | 126.53                           | 3.87                                              | 15,185                                | 1,009.36                                                 | 112.00                                   | 269.0                                                           | 375%                                                    | Overflow                                                   |

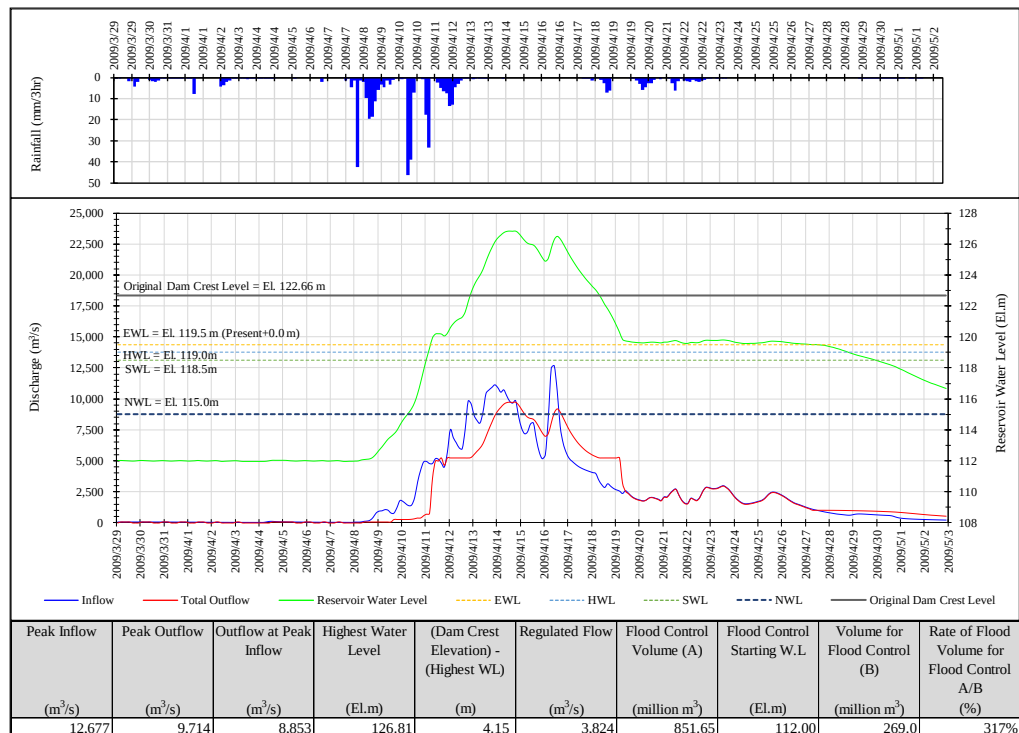
出典：JICA 調査団





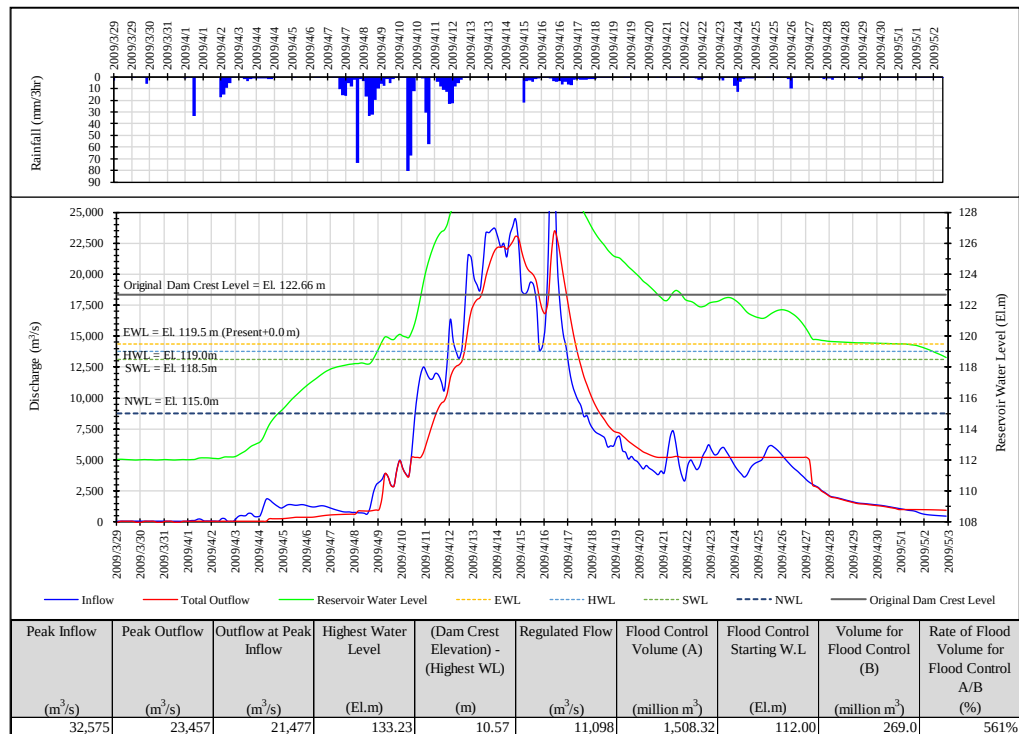
出典：JICA 調査団

図 3-71 シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/1,000 年確率規模）



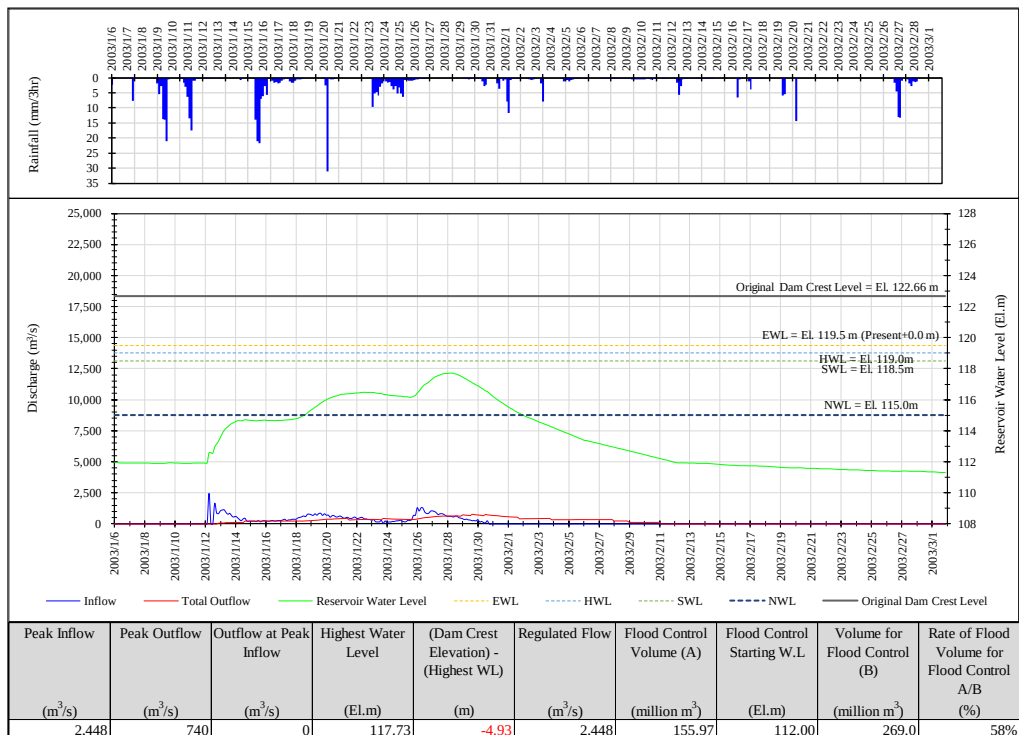
出典：JICA 調査団

図 3-72 シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/10,000 年確率規模）



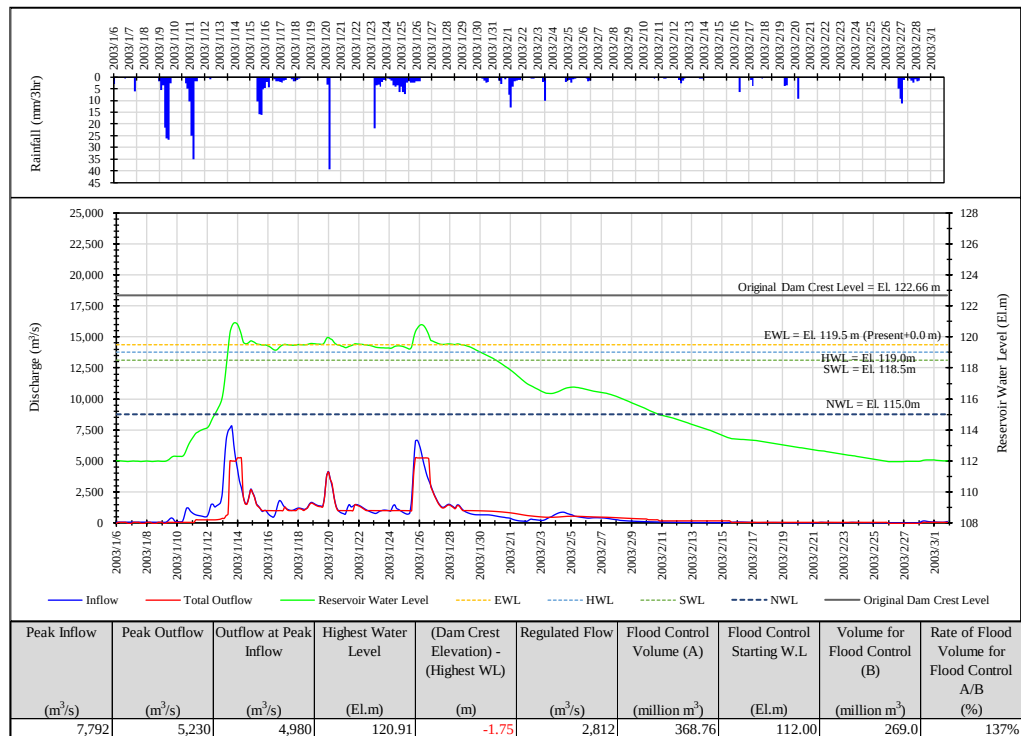
出典：JICA 調査団

図 3-73 シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、PMF 設計洪水）



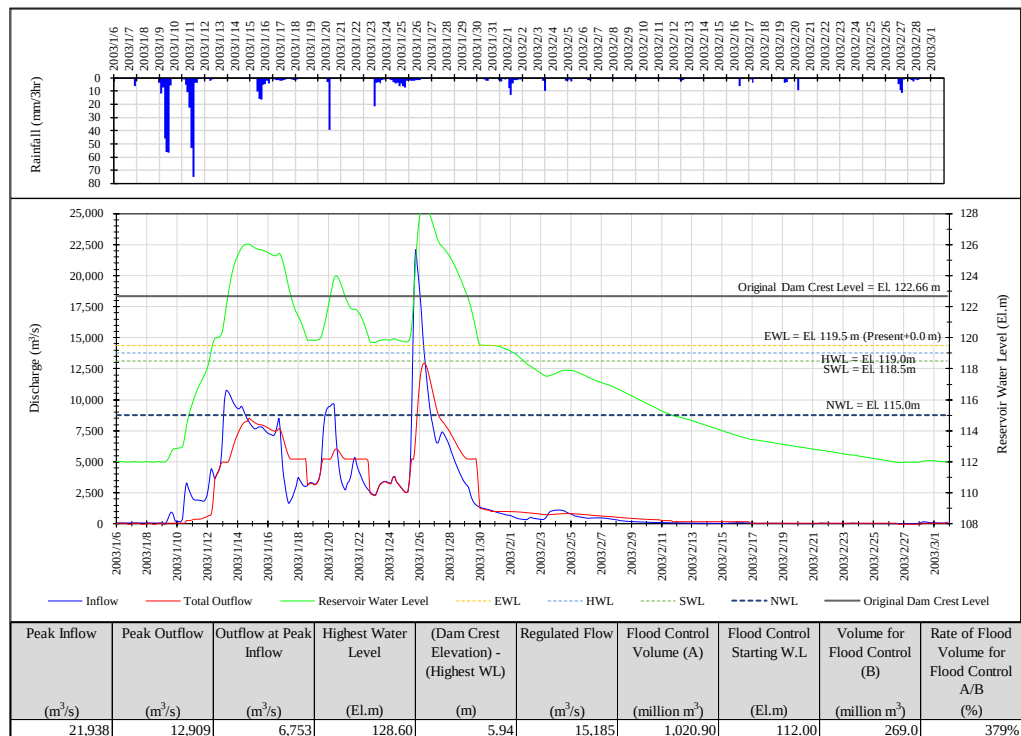
出典：JICA 調査団

図 3-74 シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水実績）



出典：JICA 調査団

図 3-75 シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/10,000 年確率規模）



出典：JICA 調査団

図 3-76 シディサレムダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた PMF）

## 2) 洪水時最適貯水池運用ルールとダム再生計画の提案

現行のシディサレムダムの貯水池運用ルールとダム諸元では、設計洪水（2009 年 4 月洪水波形）では 1/1,000 確率年まで、2003 年 1 月洪水波形では 1/10,000 年確率規模までダム天端を越水することはない。設計洪水（2009 年 4 月洪水波形）では、下図に示すように、現行の運用ルールであっても、非常用洪水吐ゲートを現行の 2 倍すれば 1/10,000 年確率規模までダム天端を越水することはない。この場合、提案されるダム運用操作ルールは、下表のようになる。

表 3-55 シディサレムダムの提案操作ルール（1/10,000 確率洪水対策）

### 【非常用洪水吐ゲート操作ルール】

| 条件                                              | 放流量                                                      |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 貯水池水位 119.5m 以上かつ流入量が 8,400m <sup>3</sup> /s 以下 | 放流量＝流入量                                                  |
| 貯水池水位 119.5m 以上かつ流入量が 8,400m <sup>3</sup> /s 以上 | 放流量＝8,400m <sup>3</sup> /s（1,400m <sup>3</sup> /s×6 ゲート） |

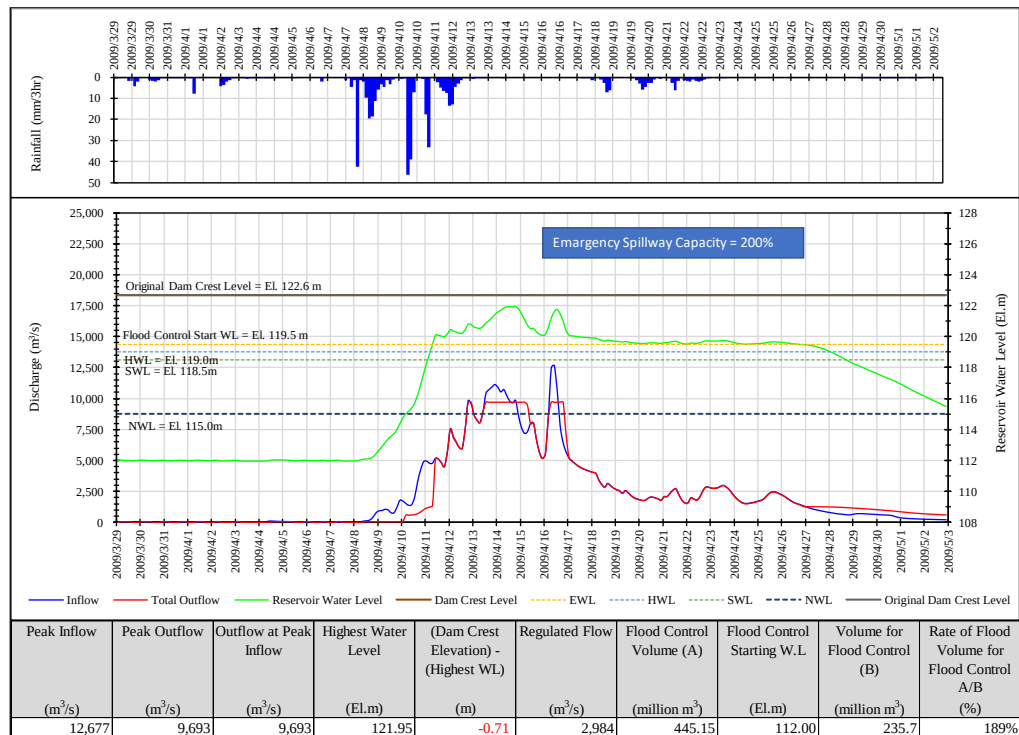
### 【発電用タービン操作ルール】

| 条件              | 放流量                     |
|-----------------|-------------------------|
| 貯水池水位 112.0m 以上 | 放流量＝80m <sup>3</sup> /s |

### 【底部排砂ゲート操作ルール】

| 条件                                                                                                                                          | 放流量                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 貯水池水位 113.5m 未満                                                                                                                             | 放流量＝0m <sup>3</sup> /s                             |
| 貯水池水位 115.3m 以上かつ 1 時間前の底部排砂ゲートの放流量が 250m <sup>3</sup> /s 以上                                                                                | 放流量＝250m <sup>3</sup> /s                           |
| 貯水池水位 115.0m 以上かつダムからの総放流量が 400m <sup>3</sup> /s 以下                                                                                         | 放流量＝600m <sup>3</sup> /s                           |
| 貯水池水位 115.0m 以上かつ 116.0m 未満                                                                                                                 | 放流量＝600m <sup>3</sup> /s－底部排砂ゲート以外からの放流量           |
| 貯水池水位 116.0m 以上で水位上昇期                                                                                                                       | 放流量＝ダム下流通水能力（400m <sup>3</sup> /s）－底部排砂ゲート以外からの放流量 |
| 貯水池水位 117.0m 以上で水位上昇期かつ 600m <sup>3</sup> /s－底部排砂ゲート以外からの放流量がダム下流通水能力（400m <sup>3</sup> /s）以下                                               | 放流量＝600m <sup>3</sup> /s                           |
| 貯水池水位 116.0m 以上 117.0m 未満で水位低減期かつ常用洪水吐からの放流量が 300m <sup>3</sup> /s 未満、600m <sup>3</sup> /s－底部排砂ゲート以外からの放流量がダム下流通水能力（400m <sup>3</sup> /s）以下 | 放流量＝600m <sup>3</sup> /s                           |
| 貯水池水位 115.7m 以上で水位低減期かつ常用洪水吐からの放流量が 260m <sup>3</sup> /s 以上                                                                                 | 放流量＝250m <sup>3</sup> /s                           |
| 貯水池水位 115.0m 以上で水位低減期                                                                                                                       | 放流量＝250m <sup>3</sup> /s－底部排砂ゲート以外からの放流量           |
| 貯水池水位 115.0m 未満で水位低減期                                                                                                                       | 放流量＝600m <sup>3</sup> /s－底部排砂ゲート以外からの放流量           |

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3-77 シディサレムダム貯水池運用計算結果  
(現行運用ルール、非常用洪水吐容量 2 倍、設計洪水 1/10,000 年確率規模)

### 3) PMF 対応のためのダム再生案

設計洪水および 2003 年 1 月洪水の両ケースとも PMF の場合はダム天端を越水することとなり、シディサレムダムのような大規模貯水池の場合危険である。したがって本検討では、PMF に対処するために必要な貯水池運用ルールおよびダム諸元の検討を行う。

まず、現行のダム諸元を保持し、貯水池運用ルールのみでの対応を検討したが、いずれの検討ケースにおいても PMF に対応する（ダム天端を越水させない）ことはできなかった。次にダム諸元の変更と貯水池運用ルールの変更ケースの検討を行った。検討ケースは以下の 5 ケースである。

1. 非常用洪水吐を増設するケース
2. ダム高の嵩上げを行うケース（現在のダム天端高は EL.122.66m）
3. 常用洪水吐（朝顔型自然越流タイプ）の越流高（NWL）を変更するケース
4. 非常時水位（現行 EWL=EL.119.5m）を変更するケース
5. 洪水期の初期水位（制限水位）を低く設定するケース（現在の制限水位は EL.112.0m と設定）
6. ダム底部の排砂ゲートからの放流量を変化するケース（現行の放流能力は 600m³/s）

また、上記 6 つのケースの複合案についても検討した。

なお、常用洪水吐（朝顔型自然越流タイプ）の敷高は、現在は EL.115.0m（NWL）になっているが、これは建設当初の敷高 EL.110m から 1999 年に 5m 上昇させた改造が行われている。この常用洪水吐の高さ（Normal Water Level）もパラメータとして設定した。また、排砂ゲート（ボトムアウトレット）

トンネルからの放流も検討した。ただし、排砂ゲートトンネルの構造的な改変や放流量の増大は技術的に困難であるので、排砂ゲートからの放流開始水位をパラメータとして設定した（NWL-1.5mとした）。以上のケースを検討した結果、設計洪水ハイドログラフのPMFに対応するためには、以下の対策が必要である。

- 現場での混乱が生じるため、現行の貯水池運用ルールの変更はしない。
- ただし、非常用洪水吐の洪水調節開始水位を現在の標高 119.50m から-2.0m 下げ、標高 117.50m から開始することを提案する。
- 非常用洪水吐を 5 倍の容量にする必要がある。
- ダム高を 0.8m 嵩上げする必要がある。この場合、ダムのセンターコアも嵩上げする必要がある。
- 排砂ゲートからの放流能力は 600m<sup>3</sup>/s であるが、通常洪水時のシディサレムダム下流の流下能力を考慮して 200m<sup>3</sup>/s とした。PMF のような異常洪水が発生した際の余裕放流量として 400m<sup>3</sup>/s を追加放流できることになる。

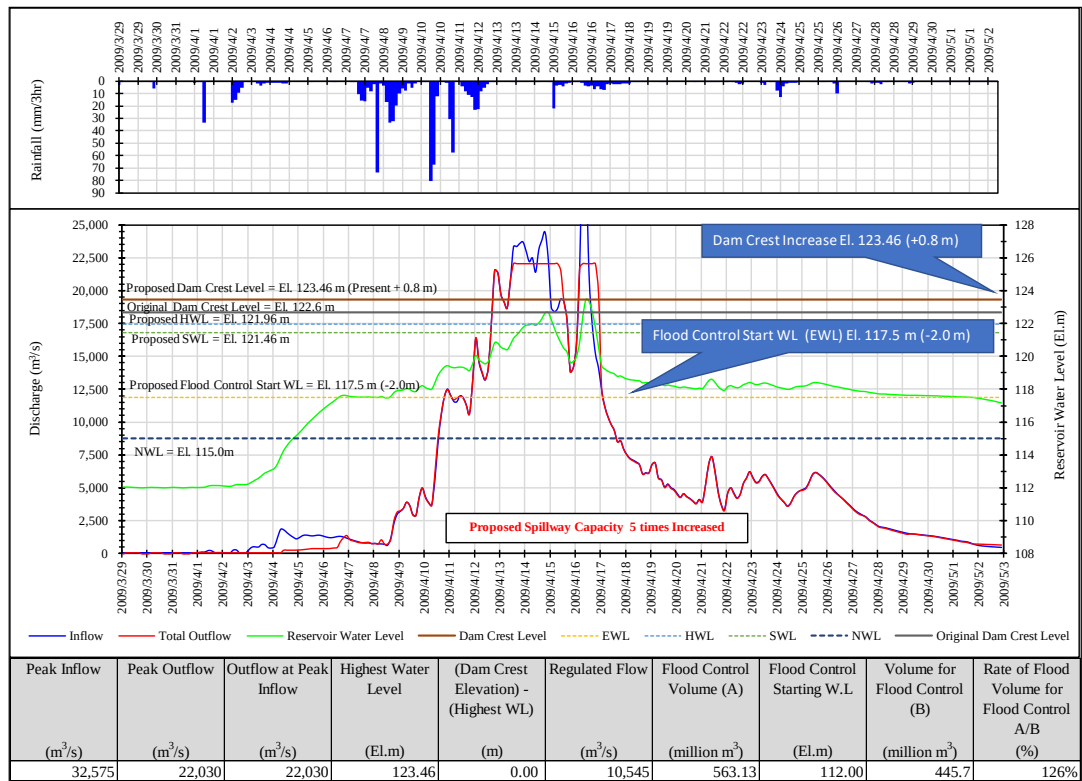
なお、利水容量を最大限確保するため、朝顔型常用洪水吐敷高は変えずに標高 115.00m を維持することとし、洪水期の制限水位（初期水位）も現行の標高 112.00m とした。

上記の対策、すなわち、非常用洪水吐の容量を 5 倍にし、+0.8m のダム天端の嵩上げを行った場合、常時満水位（HWL）は標高 121.96m となる。HWL（標高 121.96m）-NWL（標高 115.00m）のシディサレムダムの貯水池の洪水調節容量は、現行の 269.0 million m<sup>3</sup> から 445.7 million m<sup>3</sup> に 1.66 倍に増大することとなる。

表 3-56 シディサレムダム貯水池運用計算結果  
(提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8m 嵩上げ、設計洪水 PMF)

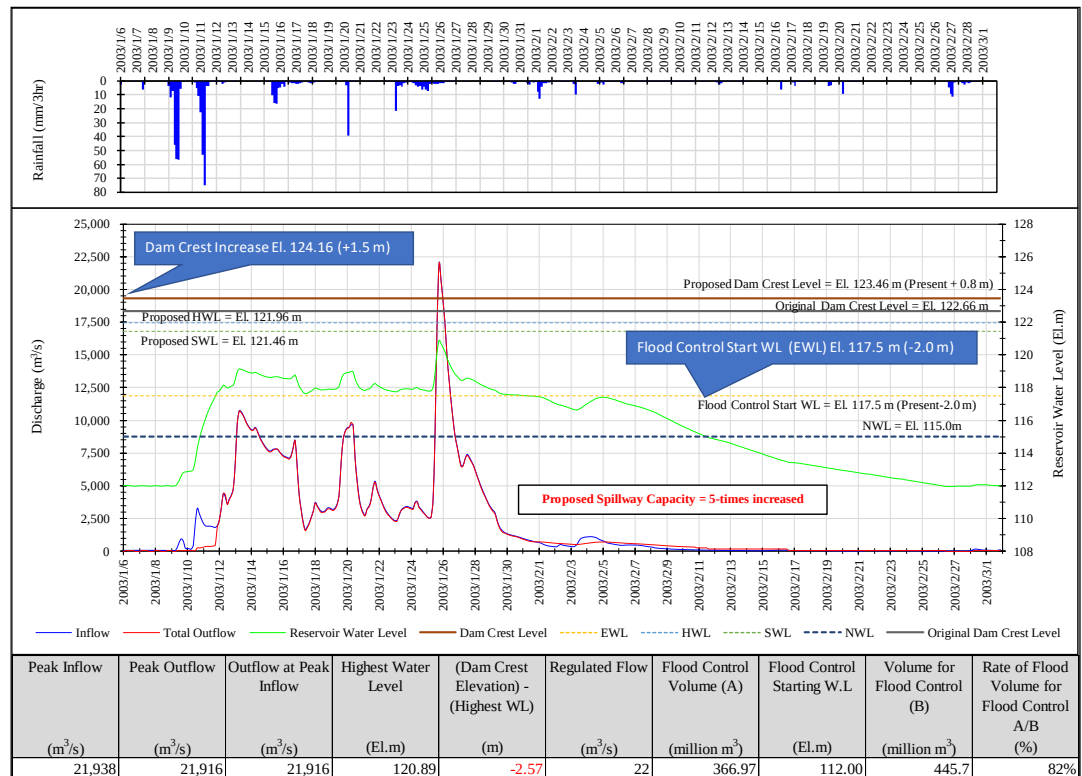
| No. | 検討ケース                          | 検討結果                                   | 非常用洪水吐のサイズ<br>(%) | ダム天端の嵩上げ高<br>(m) | 常用洪水吐の敷高(NWL)<br>(EL.m) | EWL<br>(EL.m) | 洪水期制限水位(初期水位)<br>(EL.m) | ダム底部排砂ゲート放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大水位<br>(EL.m) | ダム天端高<br>(EL.m) | 余裕高<br>(m) | ダム天端の越流 |
|-----|--------------------------------|----------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------|-----------------|------------|---------|
| 1   | 非常用洪水吐の増設のみ                    | 非常用洪水吐のサイズを6倍に拡張                       | 600%              | +0.00            | 115.00                  | 119.50        | 112.00                  | 200                                 | 124.35         | 122.66          | -2.00      | 越流      |
| 3   | ダム高の嵩上げのみ                      | +10mの嵩上げをしても不可                         | 100%              | +11.00           | 115.00                  | 119.50        | 112.00                  | 200                                 | 142.69         | 133.66          | -9.00      | 越流      |
| 2   | 常用洪水吐（朝顔型自然越流タイプ）の越流高(NWL)変更のみ | NWLを-5.0m下げても不可                        | 100%              | +0.00            | 110.00                  | 119.50        | 112.00                  | 200                                 | 133.23         | 122.66          | -11.00     | 越流      |
| 4   | 非常時水位(EWL)の変更のみ                | EWLをEl. 115mに下げても不可                    | 100%              | +0.00            | 115.00                  | 115.00        | 112.00                  | 200                                 | 133.23         | 122.66          | -11.00     | 越流      |
| 6   | 洪水期制限水位（初期水位）を低く設定             | 制限水位（初期水位）を-5.0m下げても不可                 | 100%              | +0.00            | 115.00                  | 119.50        | 107.00                  | 200                                 | 133.23         | 122.66          | -11.00     | 越流      |
| 8   | ダム底部排砂ゲートからの放流量を変化             | 排砂ゲートからの放流量を600m <sup>3</sup> /sにしても不可 | 100%              | +0.00            | 115.00                  | 119.50        | 112.00                  | 600                                 | 133.12         | 122.66          | -10.00     | 越流      |
| 9   | 上記ケース1～6の複合最適提案ケース             | 右記参照                                   | 500%              | +0.80            | 115.00                  | 117.50        | 112.00                  | 200                                 | 123.08         | 123.46          | 0.00       | -       |

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3-78 シディサレムダム貯水池運用計算結果  
(提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8m 嵩上げ、設計洪水 PMF)

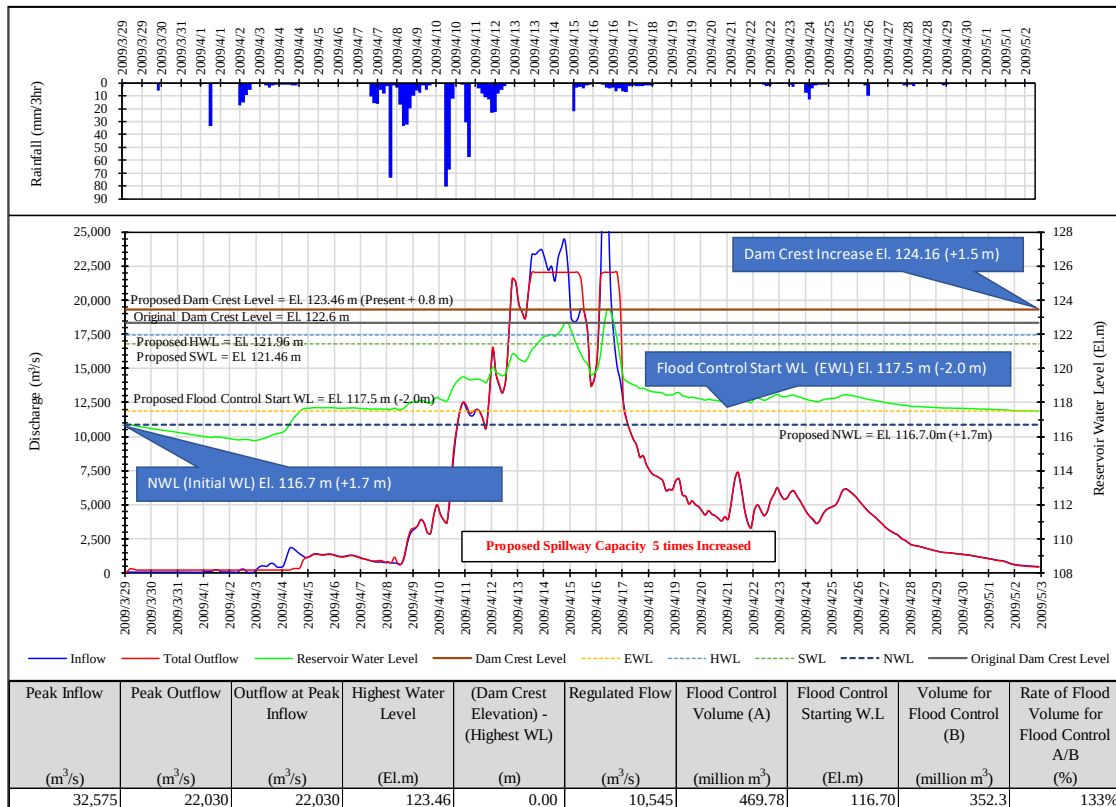


出典：JICA 調査団

図 3-79 シディサレムダム貯水池運用計算結果  
(提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8m 嵩上げ、2003 年 1 月洪水波形 PMF)



さらに、設計洪水の PMF に対応する対策（提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8m 嵩上げ）を実施しながら利水容量を増大するためには、朝顔型常用洪水吐敷高を現行の標高 115.0m から+1.7m 敷高を上げ標高 116.7m にし、NWL および洪水期制限水位（初期水位）をこの水位（標高 116.7m）にすれば、利水容量を増大することができる。この場合でも、下図に示すように設計洪水の PMF にも対応可能であり、ダム天端を越水しない。この結果、シディサレムダム貯水池の利水容量（NWL-LWL）は、現行の 574.53 million m<sup>3</sup> から 667.89 million m<sup>3</sup> と約 1.16 倍増加する。



出典：JICA 調査団

図 3-80 シディサレムダム貯水池運用計算結果

（提案ルール、非常用洪水吐 5 倍、ダム高+0.8m 嵩上げ、常用洪水吐敷高（NWL）+1.7m 上昇、設計洪水 PMF）

### (3) シリアナダム

#### 1) 現行貯水池運用ルールとダム諸元に基づく計算結果

現行の貯水池運用ルールと現行のダム諸元における設計洪水（2007 年 3 月洪水波形）および 2003 年 1 月洪水のハイドログラフを用いた貯水池運用計算結果を下図および下表に示す。設計洪水（2007 年 3 月洪水波形）では 1/1,000 年確率規模まではダム天端高を越流することはないが、1/10,000 年確率規模および PMF ではダム天端を越流する結果となった。また、2003 年 1 月洪水のハイドログラフの波形を用いた設計洪水のケースでは、1/500 年以上の確率規模および PMF でダム天端を越流する結果となった。

シリアナダムはセンターコア・ロックフィルダムであり、多少の越流は許容できるものと考えられるが、設計洪水（2007 年 3 月洪水波形）の PMF では越流高が 3.38m を超えることが予測され危険で

ある。PMF に対応するには、何らかの対策が必要と考えられる。非常用洪水吐の改造（増設）やダム高の嵩上げが必要と考えられる。もし技術的に可能で、ダム高の嵩上げをする場合、センターコアの嵩上げも必要となる。

なお、ダム天端高を越水する場合の計算は、貯水池容量曲線を外挿し、ダム天端幅全体で越水が起きるものとして計算した。また、ダムは決壊しないものとして計算した。

表 3-57 シリアナダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、設計洪水）

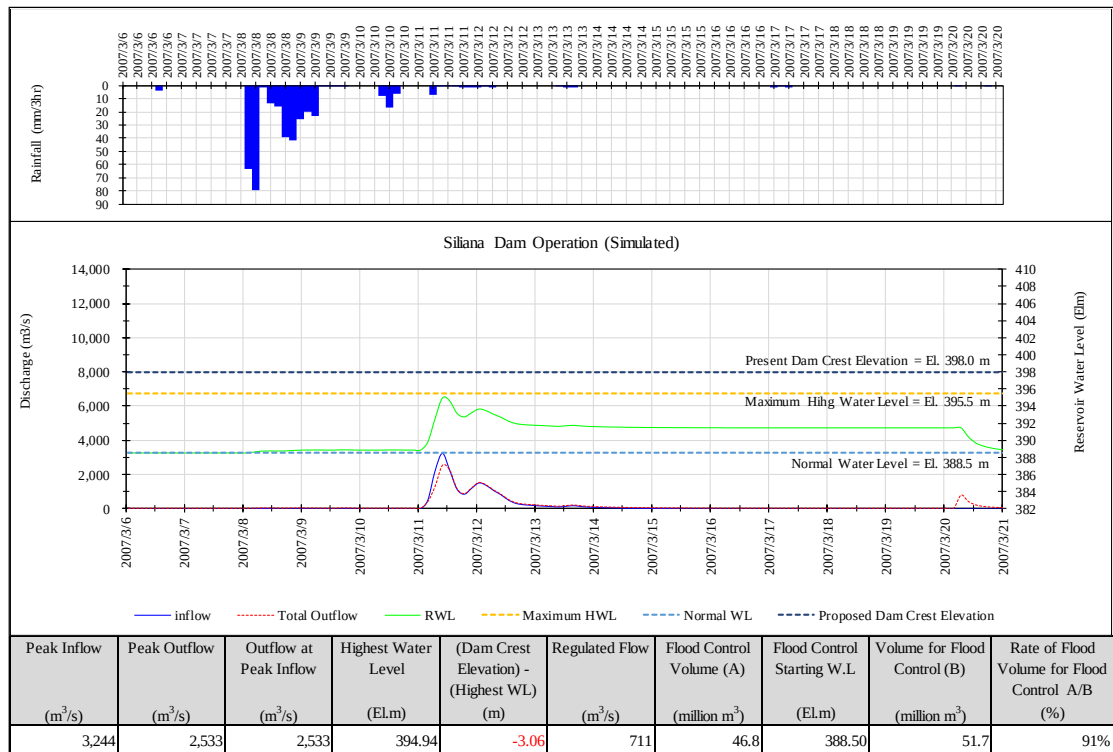
| 確率年       | 最大流入量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大流入量の<br>時の放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大水位<br>(ELm) | ダム天端高－<br>最大水位<br>(m) | 調節流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 洪水調節容量<br>(A)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節開始<br>水位<br>(ELm) | 貯水池の洪水<br>調節容量 (B)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節容量の<br>比率 A/B<br>(%) | 注  |
|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|----|
| 5-yr      | 587                          | 401                          | 397                                    | 389.85        | -8.15                 | 191                         | 7.74                                       | 388.50                | 51.7                                            | 15%                      | -  |
| 10-yr     | 929                          | 631                          | 592                                    | 390.53        | -7.47                 | 336                         | 13.39                                      | 388.50                | 51.7                                            | 26%                      | -  |
| 20-yr     | 1,282                        | 871                          | 812                                    | 391.48        | -6.52                 | 470                         | 19.69                                      | 388.50                | 51.7                                            | 38%                      | -  |
| 50-yr     | 1,783                        | 1,296                        | 1,296                                  | 392.53        | -5.47                 | 486                         | 27.27                                      | 388.50                | 51.7                                            | 53%                      | -  |
| 100-yr    | 2,193                        | 1,630                        | 1,630                                  | 393.25        | -4.75                 | 562                         | 32.73                                      | 388.50                | 51.7                                            | 63%                      | -  |
| 200-yr    | 2,629                        | 2,047                        | 2,047                                  | 394.06        | -3.94                 | 582                         | 39.31                                      | 388.50                | 51.7                                            | 76%                      | -  |
| 500-yr    | 3,244                        | 2,533                        | 2,533                                  | 394.94        | -3.06                 | 711                         | 46.78                                      | 388.50                | 51.7                                            | 91%                      | -  |
| 1,000-yr  | 3,735                        | 3,171                        | 3,171                                  | 395.87        | -2.13                 | 564                         | 55.13                                      | 388.50                | 51.7                                            | 107%                     | -  |
| 10,000-yr | 5,453                        | 4,784                        | 4,784                                  | 398.26        | 0.26                  | 669                         | 78.65                                      | 388.50                | 51.7                                            | 152%                     | 越流 |
| PMF       | 8,171                        | 8,171                        | 8,171                                  | 401.38        | 3.38                  | 0                           | 113.84                                     | 388.50                | 51.7                                            | 220%                     | 越流 |

出典：JICA 調査団

表 3-58 シリアナダムの貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形）

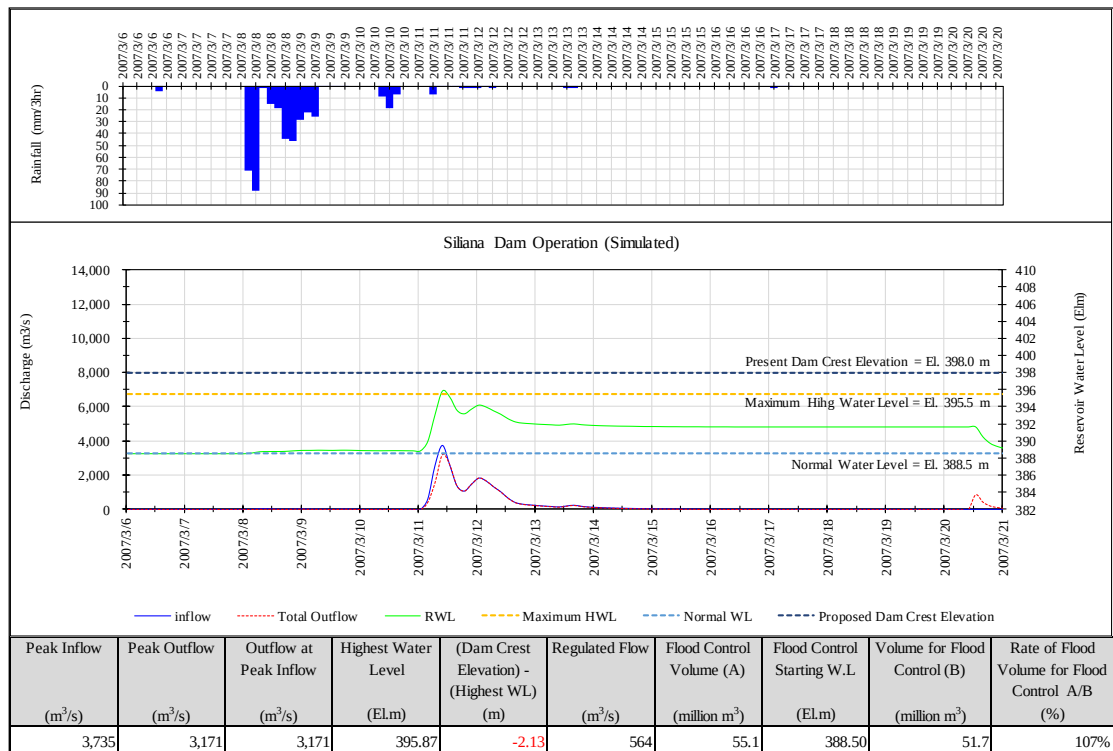
| 確率年       | 最大流入量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大流入量の<br>時の放流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 最大水位<br>(ELm) | ダム天端高－<br>最大水位<br>(m) | 調節流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 洪水調節容量<br>(A)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節開始<br>水位<br>(ELm) | 貯水池の洪水<br>調節容量 (B)<br>(million m <sup>3</sup> ) | 洪水調節容量の<br>比率 A/B<br>(%) | ダム天端の越<br>流 |
|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------|
| 5-yr      | 1,153                        | 802                          | 802                                    | 391.29        | -6.71                 | 350                         | 18.42                                      | 388.50                | 51.7                                            | 36%                      | -           |
| 10-yr     | 1,622                        | 1,371                        | 1,371                                  | 392.69        | -5.31                 | 251                         | 28.49                                      | 388.50                | 51.7                                            | 55%                      | -           |
| 20-yr     | 2,111                        | 1,848                        | 1,848                                  | 393.68        | -4.32                 | 264                         | 36.17                                      | 388.50                | 51.7                                            | 70%                      | -           |
| 50-yr     | 2,815                        | 2,592                        | 2,081                                  | 395.05        | -2.95                 | 734                         | 47.71                                      | 388.50                | 51.7                                            | 92%                      | -           |
| 100-yr    | 3,413                        | 3,257                        | 2,652                                  | 396.01        | -1.99                 | 760                         | 56.40                                      | 388.50                | 51.7                                            | 109%                     | -           |
| 200-yr    | 4,048                        | 3,812                        | 3,344                                  | 396.87        | -1.13                 | 703                         | 64.57                                      | 388.50                | 51.7                                            | 125%                     | -           |
| 500-yr    | 4,943                        | 4,670                        | 4,179                                  | 398.11        | 0.11                  | 764                         | 77.03                                      | 388.50                | 51.7                                            | 149%                     | 越流          |
| 1,000-yr  | 5,657                        | 5,527                        | 4,849                                  | 399.02        | 1.02                  | 808                         | 86.76                                      | 388.50                | 51.7                                            | 168%                     | 越流          |
| 10,000-yr | 8,157                        | 8,157                        | 8,157                                  | 401.18        | 3.18                  | 0                           | 111.44                                     | 388.50                | 51.7                                            | 216%                     | 越流          |
| PMF       | 12,111                       | 12,111                       | 12,111                                 | 403.64        | 5.64                  | 0                           | 142.53                                     | 388.50                | 51.7                                            | 276%                     | 越流          |

出典：JICA 調査団



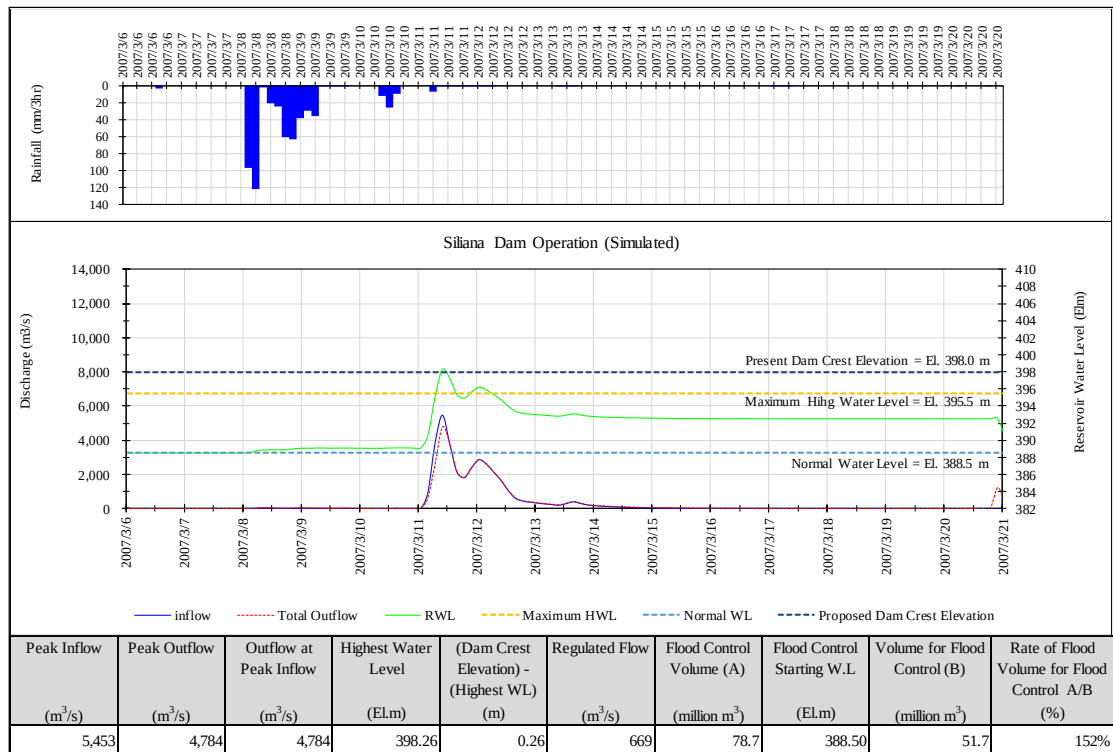
出典：JICA 調査団

図 3-81 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/500 年確率規模）



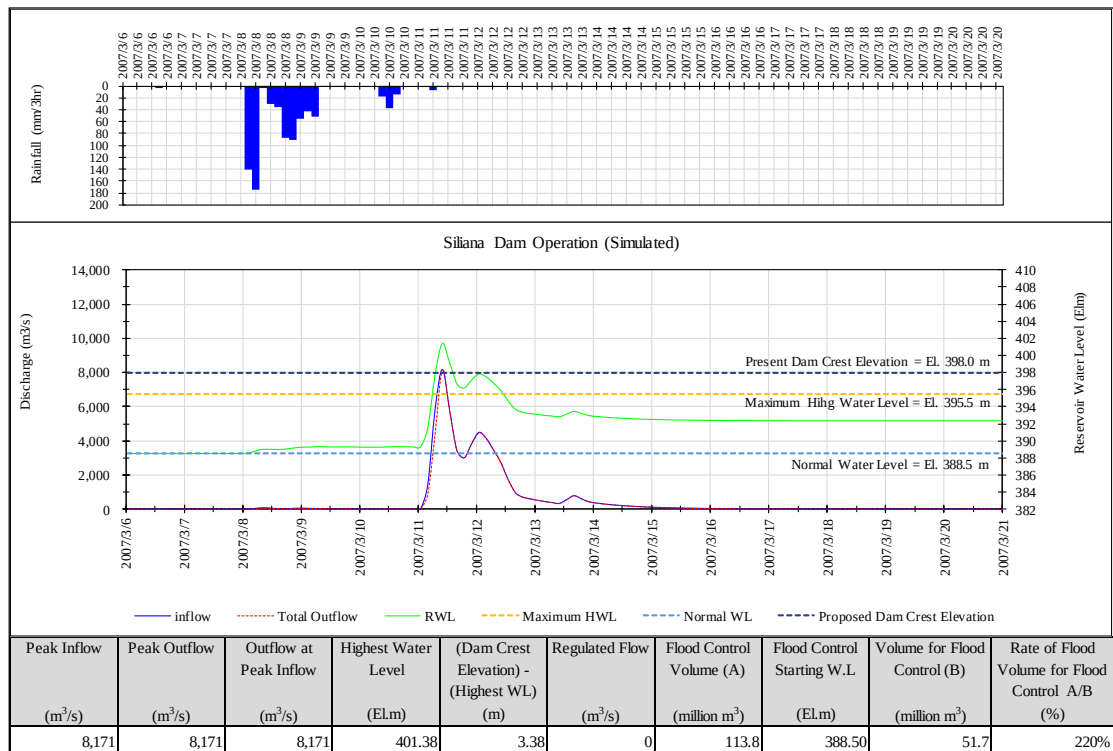
出典：JICA 調査団

図 3-82 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/1,000 年確率規模）



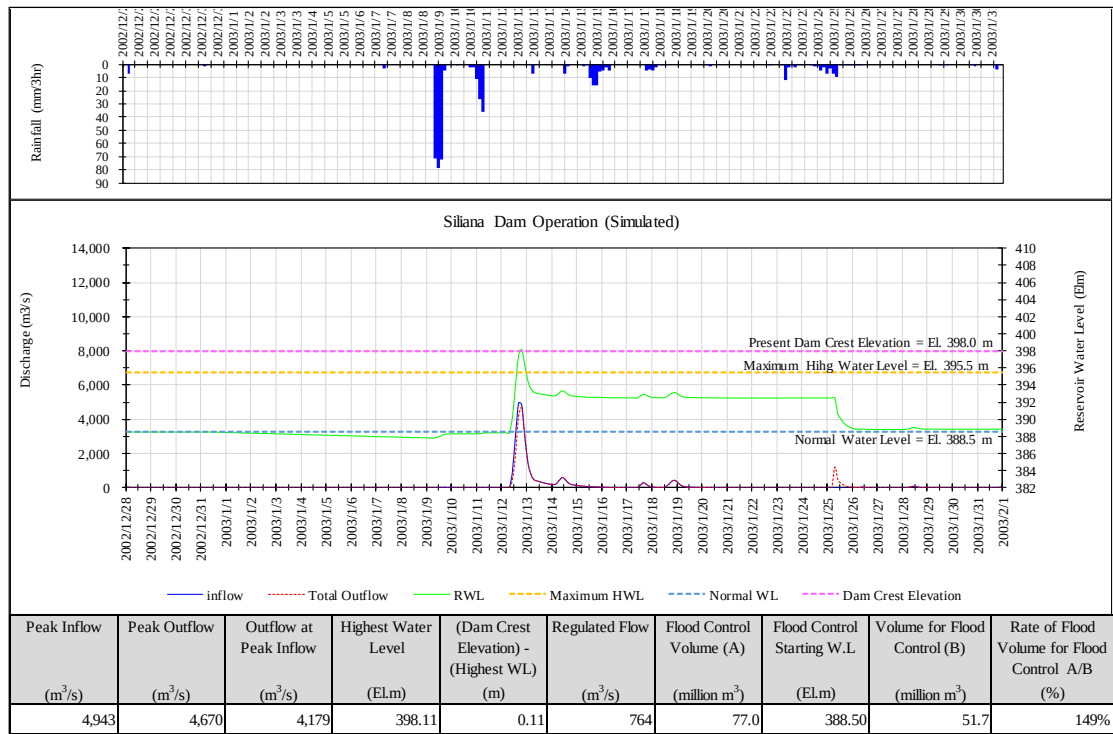
出典：JICA 調査団

図 3-83 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、1/10,000 年確率規模）



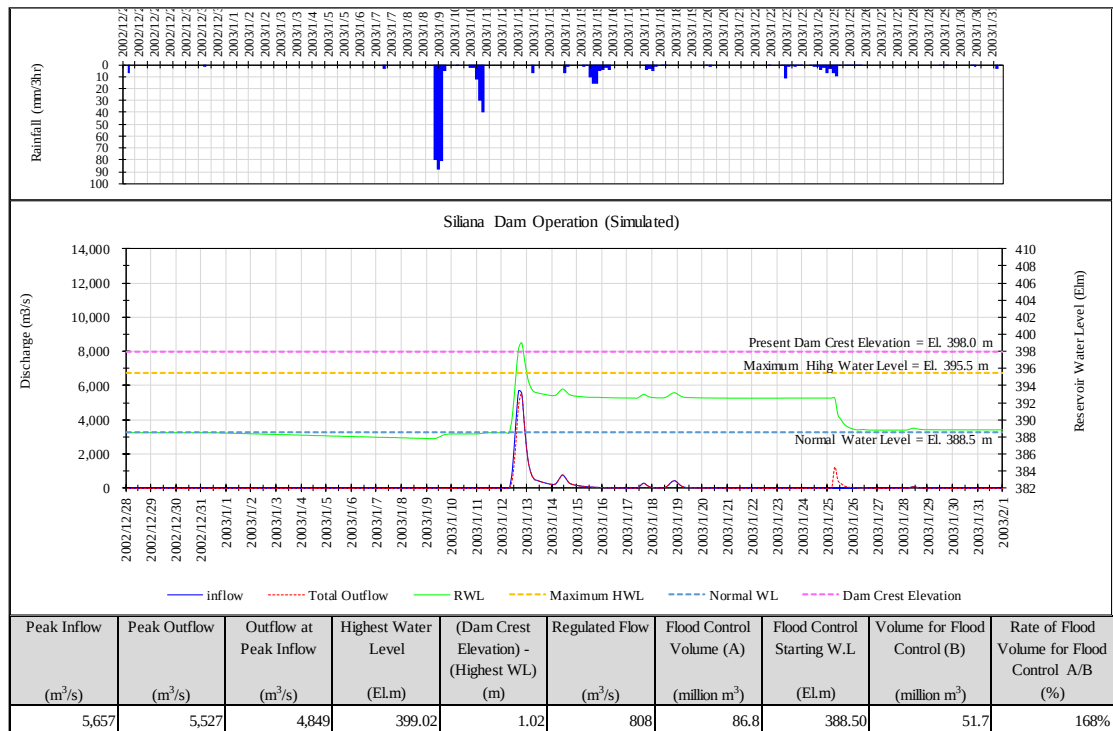
出典：JICA 調査団

図 3-84 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、PMF 設計洪水）



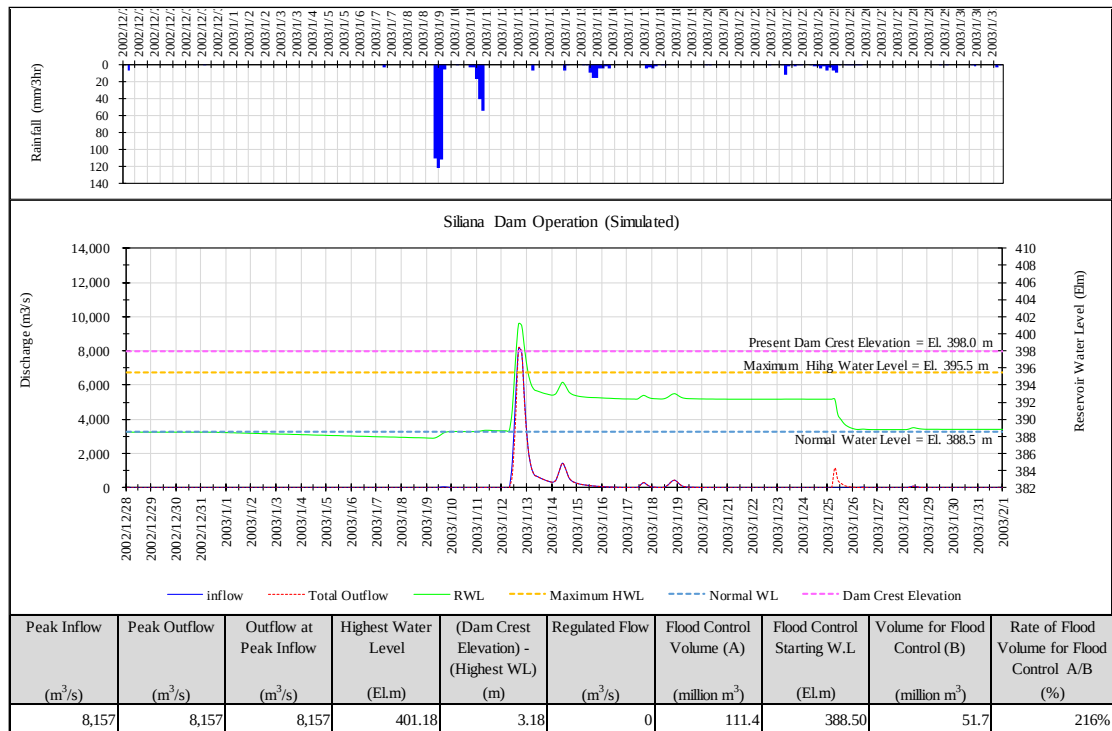
出典：JICA 調査団

図 3-85 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/500 年確率規模）



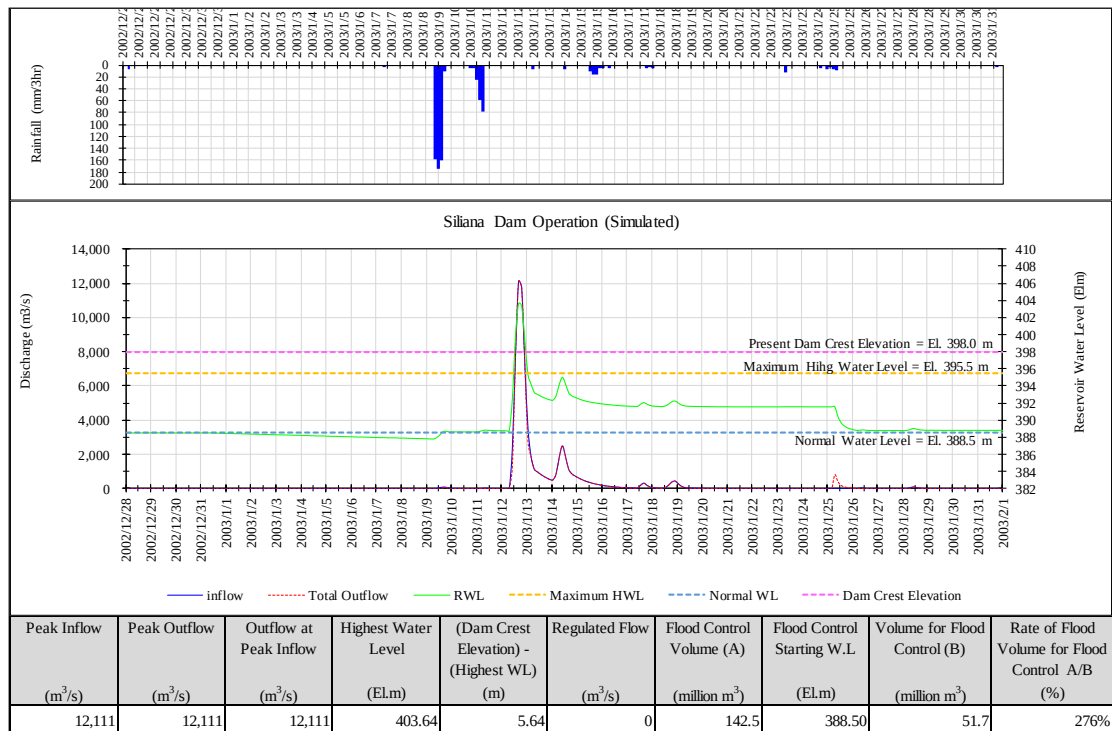
出典：JICA 調査団

図 3-86 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/1,000 年確率規模）



出典：JICA 調査団

図 3-87 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた 1/10,000 年確率規模）

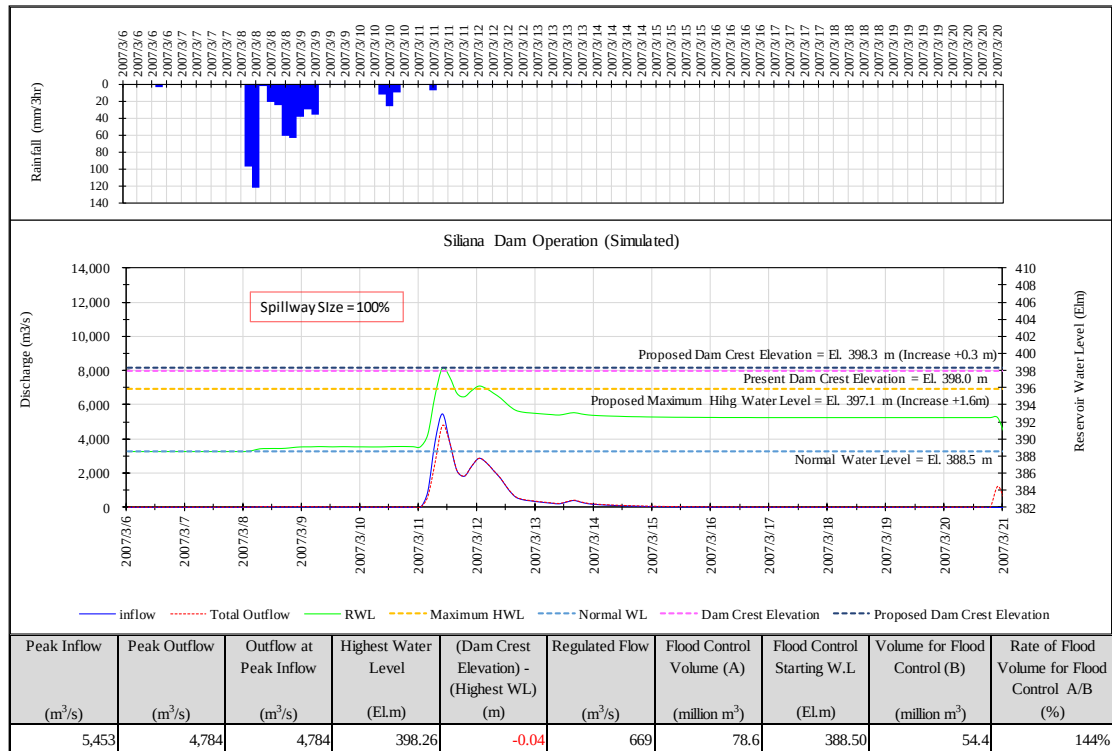


出典：JICA 調査団

図 3-88 シリアナダム貯水池運用計算結果（現行ルール・現行諸元、2003 年 1 月洪水波形を用いた PMF）

## 2) 1/10,000 年確率規模洪水対策のダム再生計画の提案

現行の貯水池運用ルールとダム諸元では、設計洪水（2007 年 3 月洪水波形）では 1/1,000 年確率規模まで、2003 年 1 月洪水波形では 1/500 年確率規模までダム天端を越水することはない。設計洪水（2007 年 3 月洪水波形）で 1/10,000 年確率規模までの対応するためには、下図のとおりダム天端高を+0.3m 嵩上げする必要がある。この場合、非常用洪水吐きの改造は必要ない。

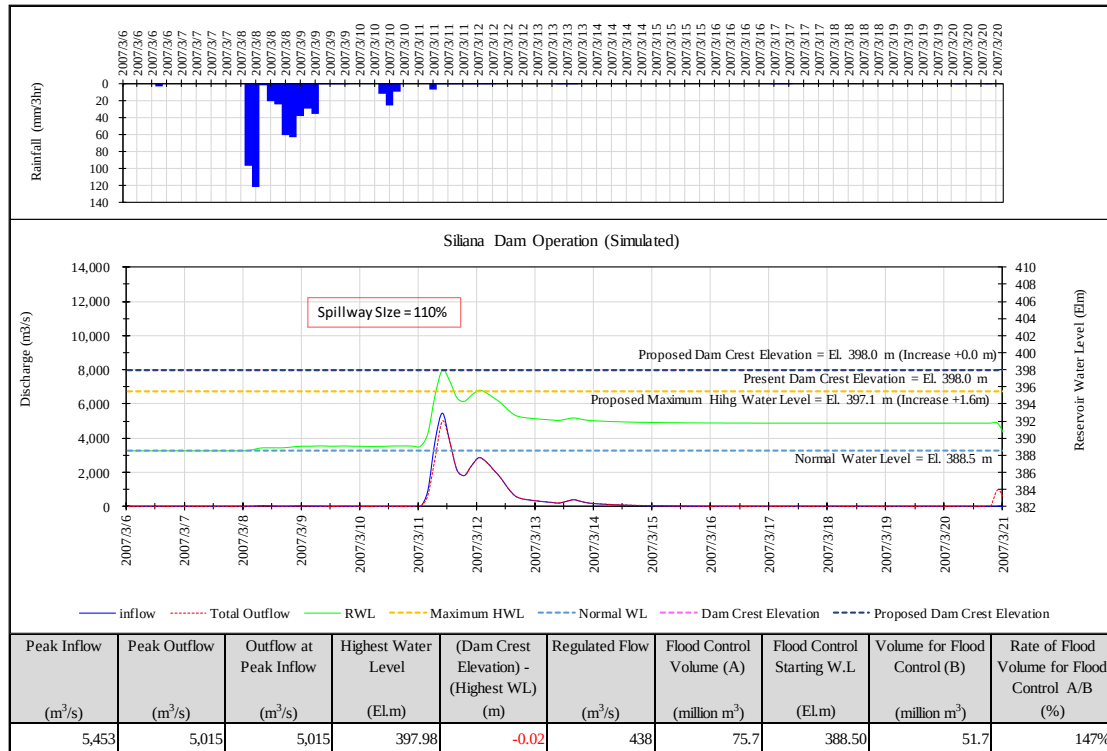


出典：JICA 調査団

図 3-39 シリアナダム貯水池運用計算結果  
(現行ルール、非常用洪水吐変更なし、ダム高+0.3m 嵩上げ、設計洪水波形 1/10,000 洪水)

一方、非常用洪水吐の改造のみで対応する場合、非常用洪水吐の越流延長を 1.1 倍にすれば、下図に示すように、設計洪水（2007 年 3 月洪水波形）では 1/10,000 年確率規模までダム天端を越水することはない。





出典：JICA 調査団

図 3-90 シリアナダム貯水池運用計算結果

(現行ルール、非常用洪水吐 1.1 倍、ダム高嵩上げなし、設計洪水波形 1/10,000 年確率規模)

### 3) PMF 対応のためのダム再生案

設計洪水および 2003 年 1 月洪水の両ケースとも PMF の場合はダム天端を越水することとなり、シリアナダムのような大規模貯水池の場合危険である。したがって本検討では、PMF に対処するために必要な貯水池運用ルールおよびダム諸元の検討を行う。

まず、現行のダム諸元を保持し、貯水池運用ルールのみでの対応を検討したが、いずれの検討ケースにおいても PMF に対応する（ダム天端を越水させない）ことはできなかった。次にダム諸元の変更と貯水池運用ルールの変更ケースの検討を行った。検討ケースは以下の 5 ケースである。

1. 非常用洪水吐を増設するケース
2. ダム高の嵩上げを行うケース（現在のダム天端高は El.398.0m）
3. 常用洪水吐（自然越流タイプ）の越流高（現在は El. 388.5m）を変更するケース
4. 洪水期の初期水位（制限水位）を低く設定するケース（現在の制限水位は El.388.5m と設定）

また、上記 4 つのケースの複合案についても検討した。以上のケースを検討した結果、設計洪水ハイドログラフの PMF に対応するためには、以下の対策が必要である。

- 現場での混乱が生じるため、現行の貯水池運用ルールの変更はしない。
- 非常用洪水吐を 2 倍の容量にする必要がある。自然越流式の非常用洪水吐の越流延長を現在

の2倍にする必要がある。

- ダム高を 1.6m 嵩上げする必要がある。この場合、ダムのセンターコアも嵩上げする必要がある。

なお、利水容量を最大限確保するため、非常用洪水吐敷高は変えずに標高 388.5m を維持することとし、洪水期の制限水位（初期水位）も現行の標高 388.5m とした。

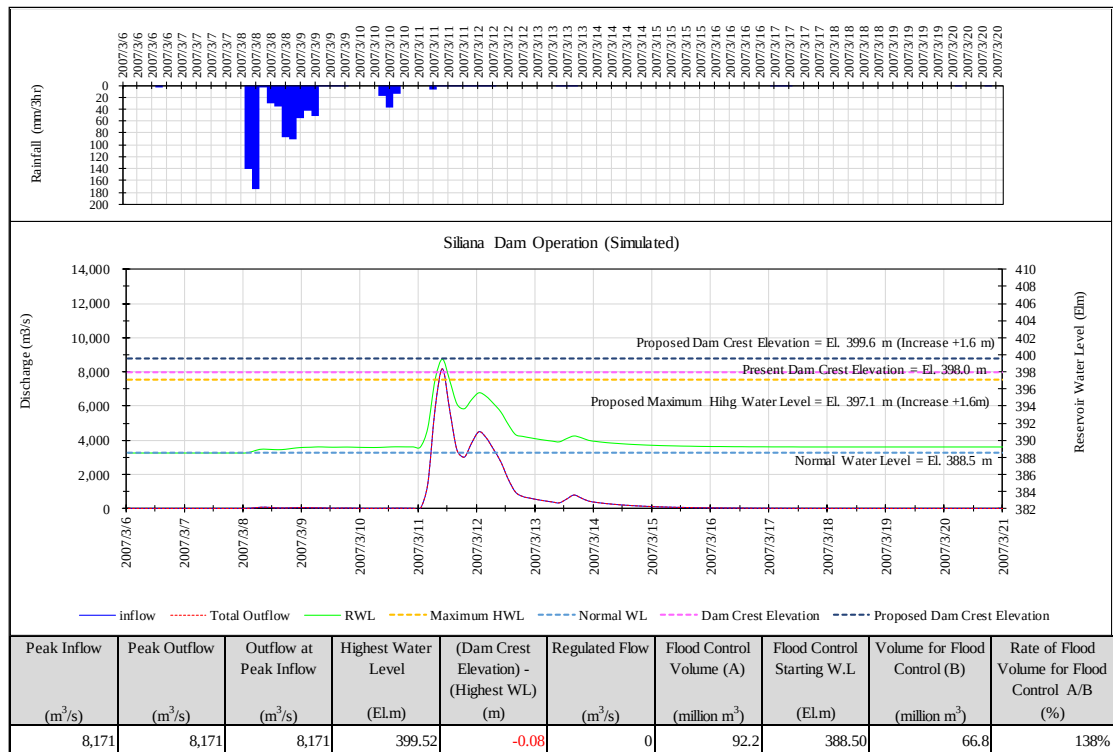
上記の対策、すなわち、非常用洪水吐の容量を 2 倍にし、+1.6m のダム天端の嵩上げを行った場合、常時満水位（HWL）は標高 397.1m となる。HWL（標高 397.1m）- NWL（標高 388.5m）のシリアナダムの貯水池の洪水調節容量は、現行の 51.7 million m<sup>3</sup> から 66.8 million m<sup>3</sup> に 1.29 倍に増大することとなる。これらの対策により、設計洪水（2007 年 3 月洪水波形）では PMF まで、2003 年 1 月洪水波形では 1/10,000 年確率規模までダム天端を越水することはない。

シリアナダムの運用については、下記に示すような現行の運用ルールに従うことが推奨される。

表 3-59 シリアナダムの貯水池運用ルール（現行ルール）

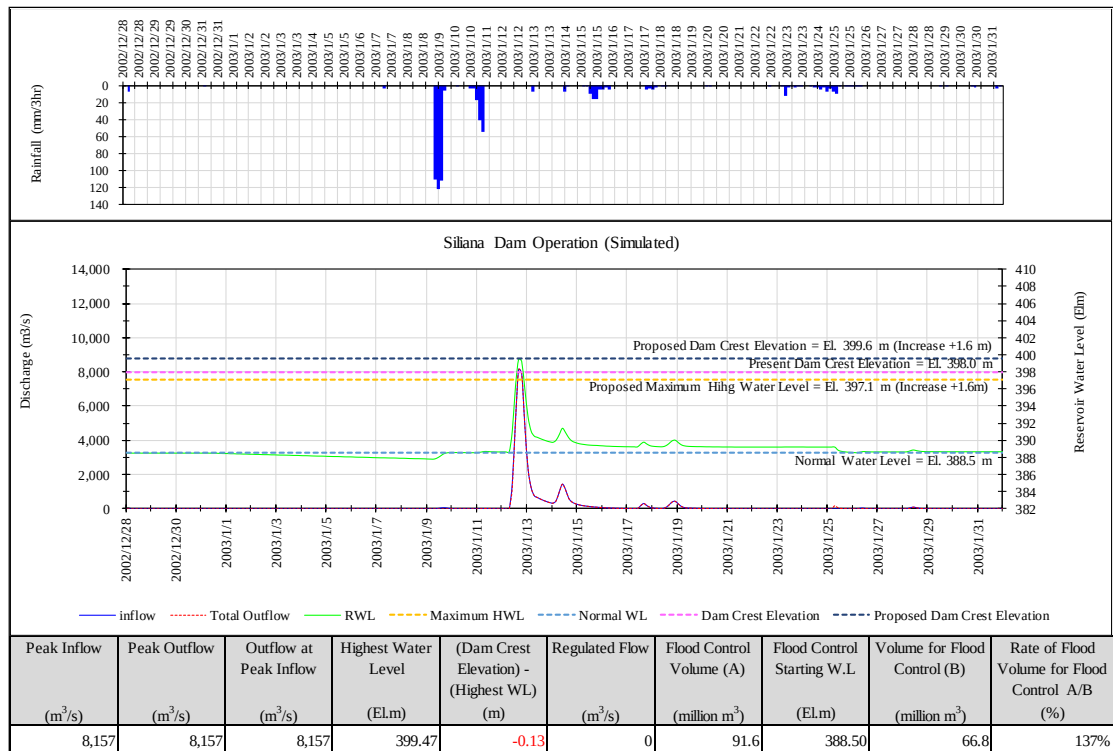
|    |                                                                                                                                                                                     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | シリアナダムの水位が常時満水位（もしくは常時満水位に近い状態）であり、ダム上流の流量（例えばラクメスダムからの放流量あるいは、オウサファ観測所の流量）がダム下流河川の通水能力より大きい場合は、通水能力分を最大としてシリアナダムの底部排水ゲートから事前放流をすることが推奨される。                                         |
| 2. | シディサレムダム下流のメジェルダ川の最大流下能力を超過させないように、シリアナダムからの事前放流量は、スロウギア観測所の流量やシディサレムダムからの放流量に応じて調整されなければならない。                                                                                      |
| 3. | シリアナダムの貯水位が自然調節方式の洪水吐き敷高（388.50m）に達したらすぐに、できるだけ長時間、一定の放流量（ダム下流の最大流下能力と同量）となるようにシリアナダムの底部排水ゲートを徐々に閉める。底部排水ゲートは洪水のピークに達するまでに全閉させる。                                                    |
| 4. | シリアナダムの貯水位が設計最大水位である 395.50m に達したら即座に、それ以上の水位上昇を抑えるため底部排水ゲートを（部分的にもしくは完全に）開放する必要がある。                                                                                                |
| 5. | ダム貯水位がピークに達した後は、洪水調節容量を回復させる必要がある。最初の開放期間は、自然調節方式の洪水吐きから自然越流させる。自然越流により貯水量を減じさせた後は、ダム下流のシリアナ川の最大流下能力の範囲内で放流する。この 2 番目の期間は、底部排水ゲートを徐々に開けて、常時満水位に達するまで（つまり、洪水調節容量が全て確保されるまで）放流を継続させる。 |

出典：「メジェルダ川総合流域水管理計画調査最終報告書」JICA（2009）



出典：JICA 調査団

図 3-91 シリアナダム貯水池運用計算結果  
(現行ルール、非常用洪水吐 2 倍、ダム高+1.6m 嵩上げ、設計洪水波形 PMF)



出典：JICA 調査団

図 3-92 シリアナダム貯水池運用計算結果  
(現行ルール、非常用洪水吐 2 倍、ダム高+1.6m 嵩上げ、2003 年 1 月洪水波形 1/10,000 年確率規模)

## 第4章 対象地域における気候変動に係る考察

### 4.1 検討の目的

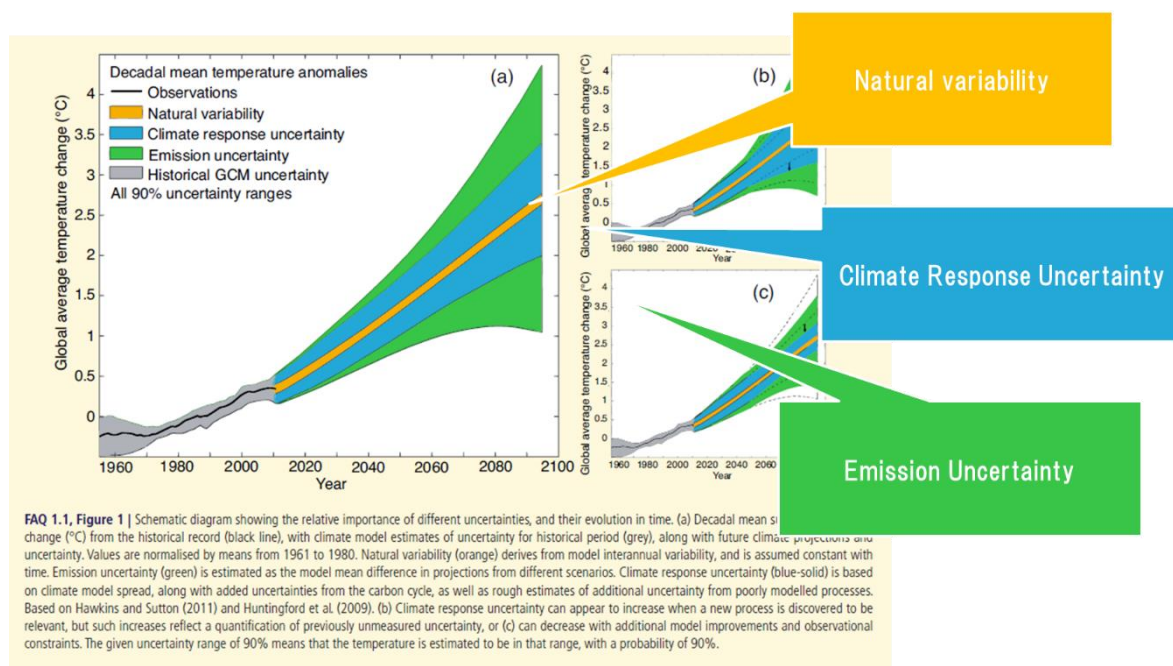
本事業における将来の気候変動の影響を評価し、リスクの緩和効果について「JICA Climte-FIT」を参照し、検討を行う。本事業は治水対策およびダムの土砂流入抑制、貯水池機能維持を目的としていることから、洪水に関する気候変動リスクについて評価をする。

### 4.2 検討の方針

気候変動の将来予測情報には、国際的に最もオーソライズされている IPCC で活用されている CMIP5 の GCM モデルのアウトプットを活用する。

GCM の計算格子の空間解像度は、モデルによって異なるが、100km~300km 程度の粗い格子となっている。メジェルダ川での流域スケールには、GCM の空間解像度は粗いため、また、GCM には、系統的な誤差が含まれているため、適切なバイアス補正とダウンスケーリングを行う。

気候変動の将来予測には、様々な要因の不確実性が含まれている。将来の気候変動リスクを把握するためには、この不確実性要因を可能な限り網羅することが望ましい。図 4-1 には、IPCC AR5 で用いられている不確実性の要因とその幅を概念的に示したものである。Climate Response Uncertainty は、GCM ごとに異なる将来予測をしていることを示し、Emission Uncertainty は、想定する社会情勢に起因する温暖化ガス(Greenhouse gas, GHG)の排出シナリオによってもたらされる不確実性である。



出典: IPCC AR5

図 4-1 不確実性の要因とその幅の概念

本検討では、以下の方針で洪水に関する気候変動リスクを評価する。

- 現況気候情報には、欧州中期予報センター(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts,

ECMWF)による再解析値データである ERA5 Land hourly data を用いる。ERA5 Land hourly data の諸元は、表 4-1 にまとめている。

- RCP シナリオは、多くの GCM の出力結果が公開されている RCP4.5 と 8.5 を対象とする。
- GCM は、入手可能で RCP4.5 と 8.5 の出力結果が入手可能な 28 のモデルを対象とした。
- バイアス補正と 0.5 度グリッドまでのダウンスケーリングには、日本工営で開発された TR3S と呼ばれる手法を用いた。TR3S は、気候トレンドを保存しつつ、月ごとの気候値やその生起分布といった一般的なバイアス手法で考慮される統計特性以外にも年々変動特性も考慮できる手法である。Water Resources Research 誌の Volume 55, Issue 5 に掲載されている。なお、NK Climvault という WEB サイトには、TR3S による CMIP5 の降雨と気温のバイアス補正情報を公開している。(図 4-2 参照)
- 0.1 度への将来気候予測情報のダウンスケーリングは、ERA5 の降雨データに対して、将来気候の降雨変化率を与える Delta Change Method で行った。

表 4-1 ERA-5 Land hourly data の概要

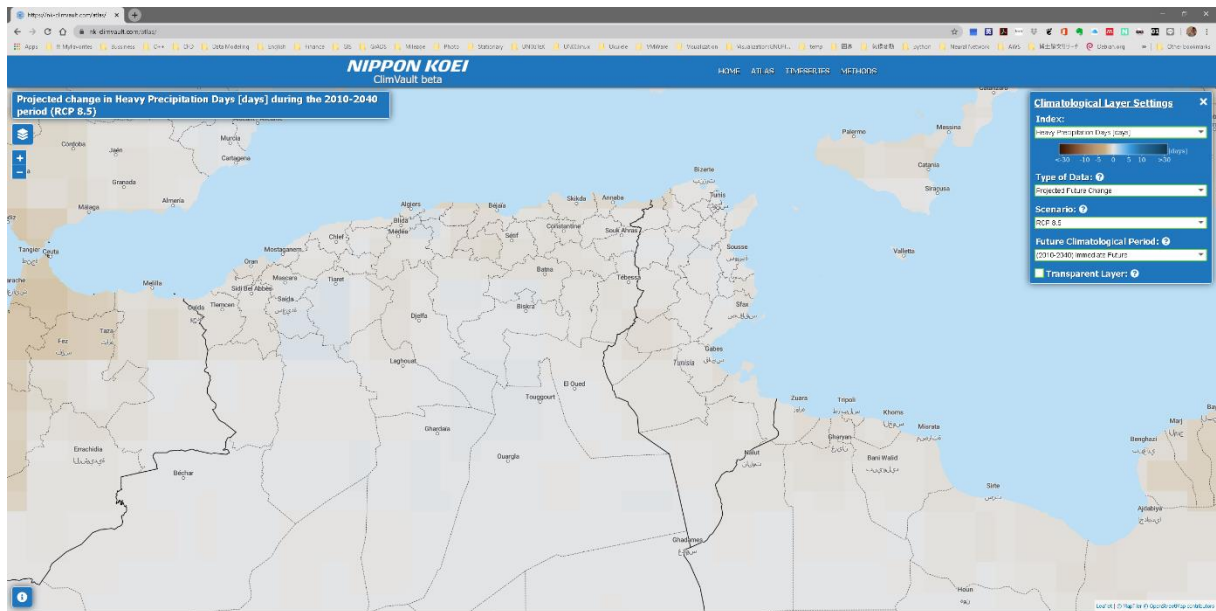
| Items                 | Description                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Data type             | Grid                                                                                                                                                                        |
| Horizontal covertage  | Global                                                                                                                                                                      |
| Horizontal resolution | 0.1o × 0.1o; Native resolution is 9km.                                                                                                                                      |
| Vertical coverage     | From 2m above the surface level, to a soil depth of 289cm                                                                                                                   |
| Vertical resolution   | 4 levels of the ECMWF surface model;<br>Layer 1: 0-7cm<br>Layer 2: 7-28cm<br>Layer 3: 28-100cm<br>Layer 4: 100-289cm<br>Some parameters are defined at 2m over the surface. |
| Temporal coverage     | Junuary 1981 to present                                                                                                                                                     |
| Temporal resolution   | Hourly                                                                                                                                                                      |
| File format           | GRIB                                                                                                                                                                        |
| Update frequency      | Monthly with a delay of about three months relatively to actual data.                                                                                                       |

出典: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>

表 4-2 評価に利用した GCM のリスト

| No. | LongName      | No. | LongName       |
|-----|---------------|-----|----------------|
| 1   | ACCESS1-0     | 15  | GFDL-ESM2M     |
| 2   | ACCESS1-3     | 16  | HadGEM2-CC     |
| 3   | bcc-csm1-1-m  | 17  | HadGEM2-ES     |
| 4   | BNU-ESM       | 18  | inmcm4         |
| 5   | CanESM2       | 19  | IPSL-CM5A-LR   |
| 6   | CCSM4         | 20  | IPSL-CM5A-MR   |
| 7   | CESM1-BGC     | 21  | IPSL-CM5B-LR   |
| 8   | CESM1-CAM5    | 22  | MIROC5         |
| 9   | CMCC-CM       | 23  | MIROC-ESM-CHEM |
| 10  | CMCC-CMS      | 24  | MIROC-ESM      |
| 11  | CNRM-CM5      | 25  | MPI-ESM-LR     |
| 12  | CSIRO-Mk3-6-0 | 26  | MPI-ESM-MR     |
| 13  | FGOALS-g2     | 27  | MRI-CGCM3      |
| 14  | GFDL-ESM2G    | 28  | NorESM1-M      |

出典: JICA 調査団



出典: <https://nk-climvault.com/>

図 4-2 NK-Climvault の画面イメージ

## 4.3 洪水に関わる気候変動リスクの評価

### 4.3.1 評価指標

極端気候の変化を評価するのに利用される ETCCDI の指標では、洪水に関わるものとして、表 4-3 に示すようなものがある。

ETCCDI の指標を参考に、以下の指標で評価した。

- 平均年間雨量
- D99: 現況気候データの 99%tile の雨量をしきい値 R99 とし、将来気候で R99 を超過する日数の平均年間値
- R99: D99 でカウントされる降雨の平均年間雨量
- Irp: 治水計画で採用されている洪水到達時間の毎年最大値雨量をもとに算出した、再現期間に対応する降雨強度の変化率

治水計画で採用されている 5 つのブロックについて、流域下流端に対する集水域の流域平均雨量を算出し、上記の指標を算出し、28 の GCM, 2 つの RCP シナリオでのアンサンブル分析を行った。

表 4-3 洪水に関わる降雨の ETCCDI 極端気候指標

| Index   | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R10mm   | Annual count of days when PRCP $\geq$ 10mm: Let RR <sub>ij</sub> be the daily precipitation amount on day I in period j. Count the number of days where: RR <sub>ij</sub> $\geq$ 10mm                                                                                                                                                                                                                          |
| R20mm   | Annual count of days when PRCP $\geq$ 20mm: Let RR <sub>ij</sub> be the daily precipitation amount on day I in period j. Count the number of days where: RR <sub>ij</sub> $\geq$ 20mm                                                                                                                                                                                                                          |
| Rnnmm   | Annual count of days when PRCP $\geq$ nmm, nn is a user defined threshold: Let RR <sub>ij</sub> be the daily precipitation amount on day i in period j. Count the number of days where: RR <sub>ij</sub> $\geq$ nmm                                                                                                                                                                                            |
| R95pTOT | Annual total PRCP when RR > 95p. Let RR <sub>wj</sub> be the daily precipitation amount on a wet day w (RR $\geq$ 1.0mm) in period I and let RR <sub>wn95</sub> be the 95 <sup>th</sup> percentile of precipitation on wet days in the 1961-1990 period. if W represents the number of wet days in the period, then:<br>R95p <sub>j</sub> = Sum(RR <sub>wj</sub> where RR <sub>wj</sub> > RR <sub>wn95</sub> ) |
| R99pTOT | Annual total PRCP when RR > 99p. Let RR <sub>wj</sub> be the daily precipitation amount on a wet day w (RR $\geq$ 1.0mm) in period I and let RR <sub>wn99</sub> be the 99 <sup>th</sup> percentile of precipitation on wet days in the 1961-1990 period. if W represents the number of wet days in the period, then:<br>R99p <sub>j</sub> = Sum(RR <sub>wj</sub> where RR <sub>wj</sub> > RR <sub>wn99</sub> ) |

出典: [http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)



#### 4.3.2 年間雨量

年間雨量の将来変化をボックスプロットで整理したものを図 4-3 に示している。

年間雨量は、いずれの集水域でも将来にかけて減少していくことが予測される。モデルによっては、現況よりも多くの雨量を予測しているがアンサンブルの中央値や四分位で見れば、減少していくことの蓋然性が高い。

また、より温暖化が進むケースである、RCP8.5 のシナリオの方が RCP4.5 よりも年間雨量の減少量が多い。同じ RCP シナリオでは、将来に向けて時間が進むほど、年間雨量の減少量が多くなる。つまり、メジェルダ川の地域では、温暖化が進行するに連れ、年間雨量の減少が進むことが把握される。

#### 4.3.3 D99

現況気候における年間の 99%タイル雨量をしきい値とし、これを超える降雨日の平均年間日数を評価したものである。つまり、高強度降雨の生起頻度を簡易に把握できる指標である。

図 4-4 に将来気候ケースの D99 の変化について、ボックスプロットを用いて示している。

高強度降雨の発生日数も将来の気候変動が進むに連れ、減少していくことが把握できる。ただし、近未来の 2010-2039 年での評価では、いずれの集水域ブロックで発生日数がやや増加している。

#### 4.3.4 R99

図 4-5 には、D99 を超過した降雨の年間総量を求め、将来気候シナリオでの変化を整理したものを示している。

D99 の評価と同様に、気候変動が進むに連れ、R99 も減少していくことが確認できる。近未来の 2010-2039 年の評価では、R99 は現況気候の値よりも大きくなっている。

#### 4.3.5 Irp

治水計画に用いている集水域ブロックに応じた洪水到達時間（表 4-4 参照）の毎年最大値雨量より、5, 10, 20, 50, 100 年の再現期間に対する確率降雨強度を現況気候と将来気候について算出し、現況気候から将来気候への変化率を評価した。確率密度分布関数には、一般化極値分布(GEV, Generalized Extreme Value Distribution)を用いた。

図 4-6 から図 4-10 にそれぞれの集水域ブロックにおける、再現期間ごとの確率降雨量の変化の分布をボックスプロットで示している。

他の指標での評価結果と同様に、近未来では、中央値が現況に対してやや大きくなり、中期将来でも現況とほぼ同じ、または、やや大きめになる。長期将来では、現況気候とほぼ同じ、もしくはやや小さくなるという結果となっている。

表 4-4 集水域ブロックごとの計画降雨日数

| 集水域ブロック               | 計画降雨日数 |
|-----------------------|--------|
| U1                    | 2 日    |
| M                     | 3 日    |
| U1 + M + U2           | 5 日    |
| U1 + M + U2 + D1      | 6 日    |
| U1 + M + U2 + D1 + D2 | 6 日    |

#### 4.4 メジェルダ川の洪水に関する気候変動リスク

将来気候予測情報を用いて、近未来、中期未来、長期未来での降雨に関するアンサンブル分析を行った。メジェルダ川では、以下のような気候変動リスクが生じると把握された。

- 年間雨量が将来に向かって、減少していく。温暖化ガスがより多く排出されるほど、年間雨量の減少量が多くなることが予測される。
- 洪水をもたらす高強度降雨の生起頻度とその量については、近未来の 2010-2039 年では、現状とほぼ同じ程度かやや増加することが予測される。しかし、中期未来の 2040-2069 年、長期未来の 2070-2099 年と進むに連れ、生起頻度と雨量ともに平均的に僅かに減少していく。
- したがって、メジェルダ川の地域においては、洪水に関する気候変動リスクは、現状とほぼ変わらない状況から、僅かに洪水リスクが少なくなっていくことと考えられる。
- 一方、気温は世界的に確実に上昇するものであり、年間雨量が少なくなることより、水資源リスクがかなり深刻になることが予測される。
- 本プロジェクトで検討されているダムの堆砂対策として、洪水時の高濃度土砂を含む洪水流を排砂バイパスから排出することが年に数回必要であり、下流側の河道改修事業と併せたダムの持続可能な利水運用を促進することが重要である。

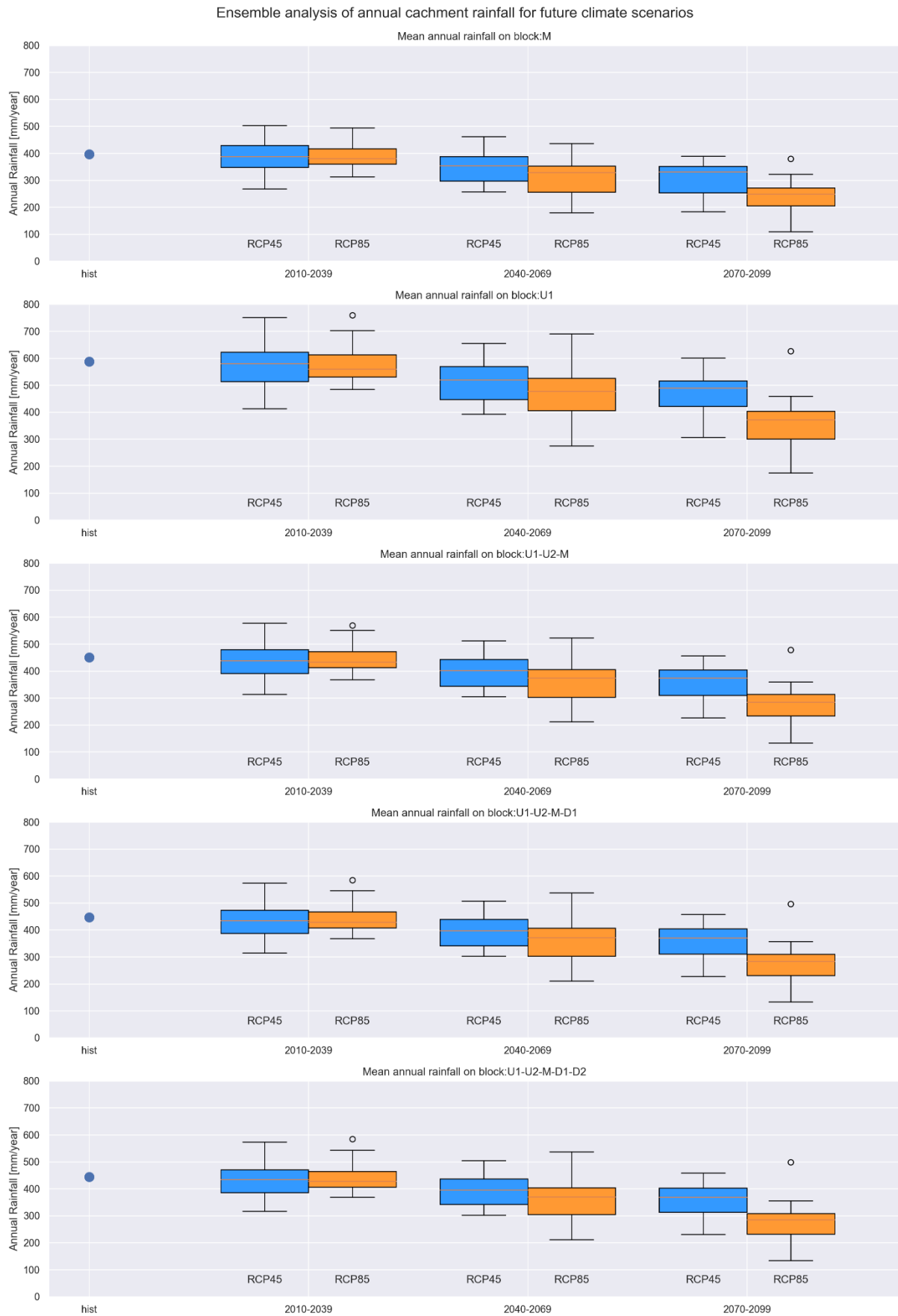


図 4-3 平均年間雨量の将来気候シナリオごとの変化

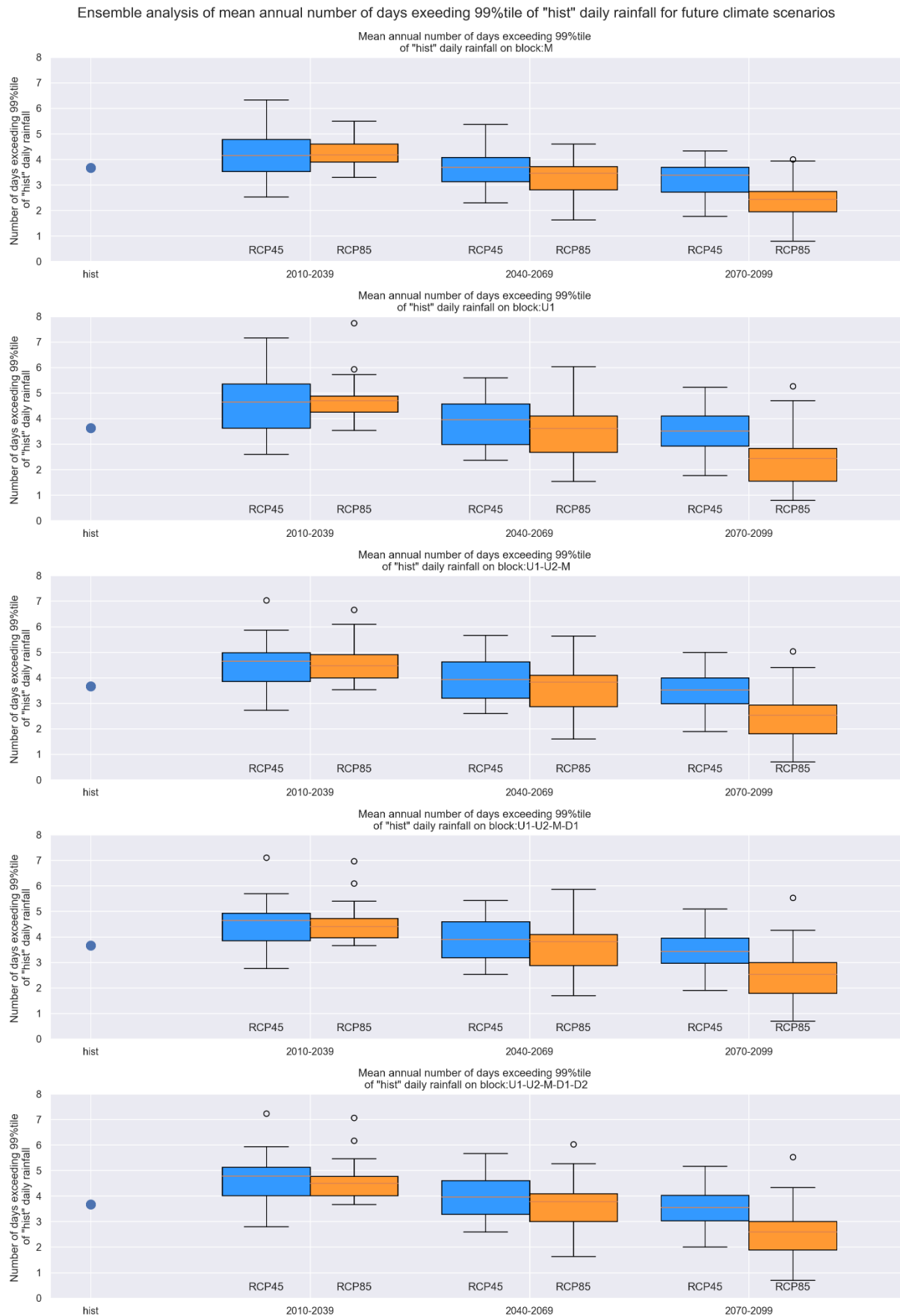


図 4-4 D99 の将来気候シナリオごとの変化

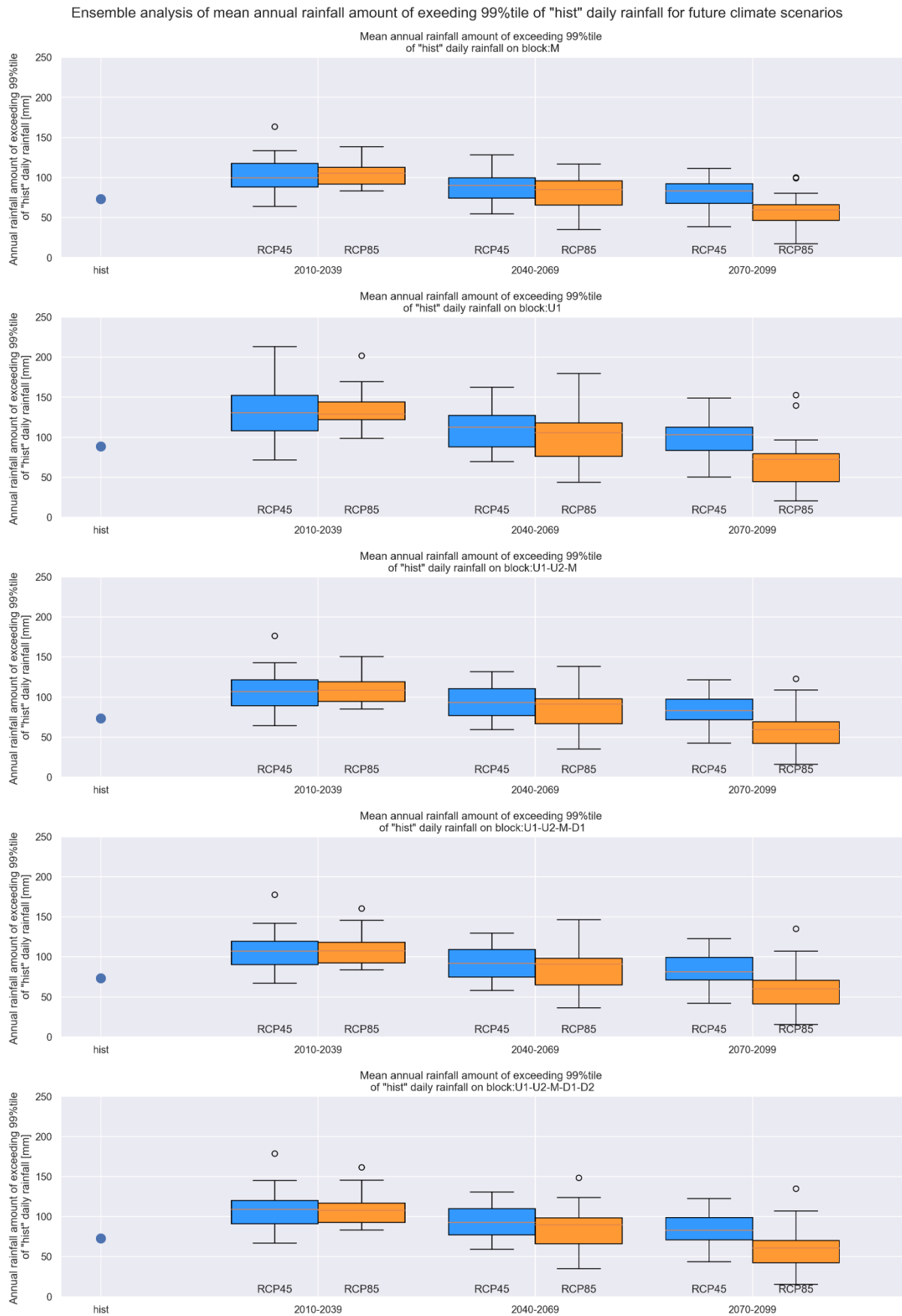


図 4-5 R99 の将来気候シナリオごとの変化

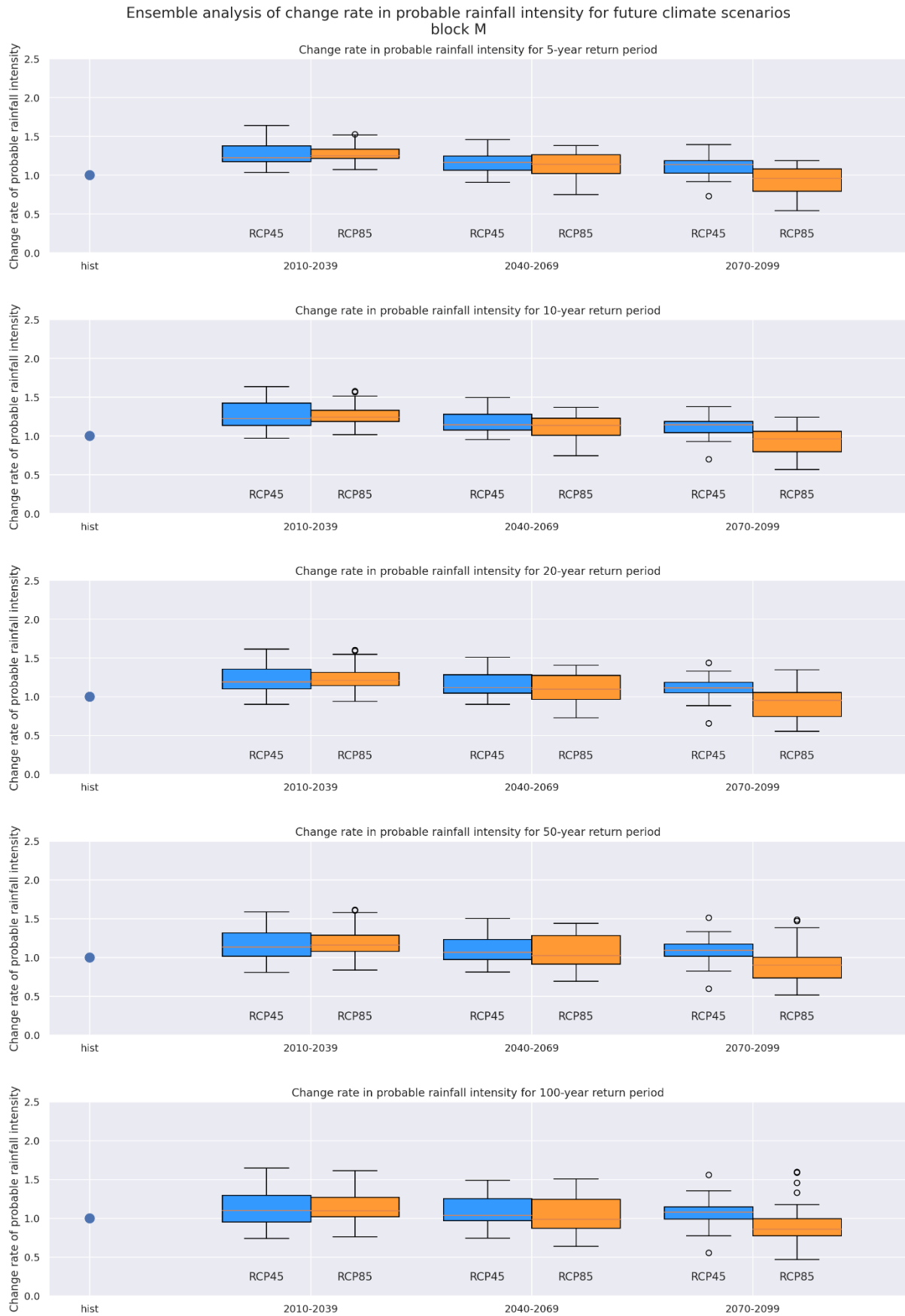


図 4-6 集水域ブロック M（計画降雨日数 3 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率

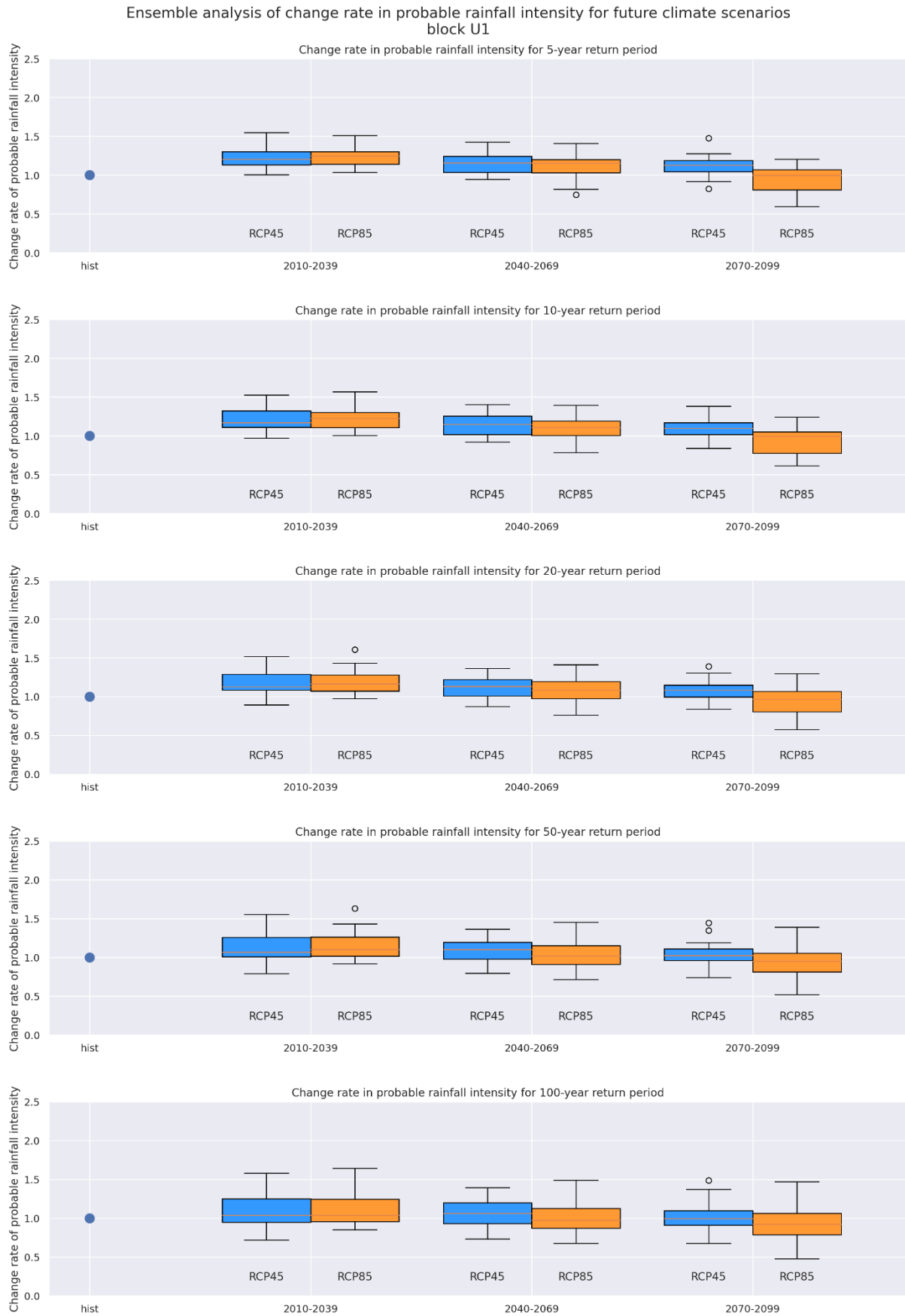


図 4-7 集水域ブロック U1（計画降雨日数 2 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率



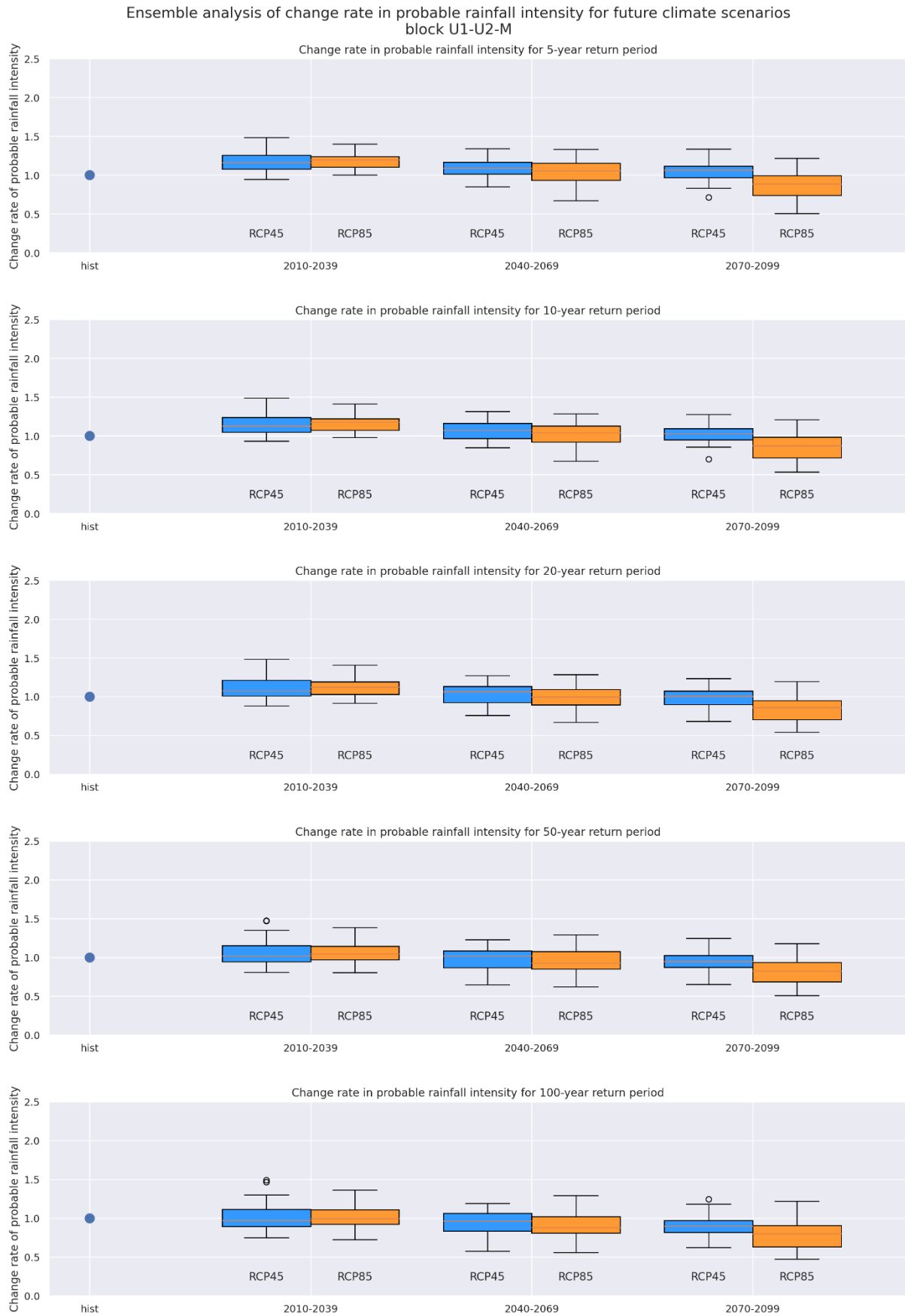


図 4-8 集水域ブロック U1-M-U2（計画降雨日数 5 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率

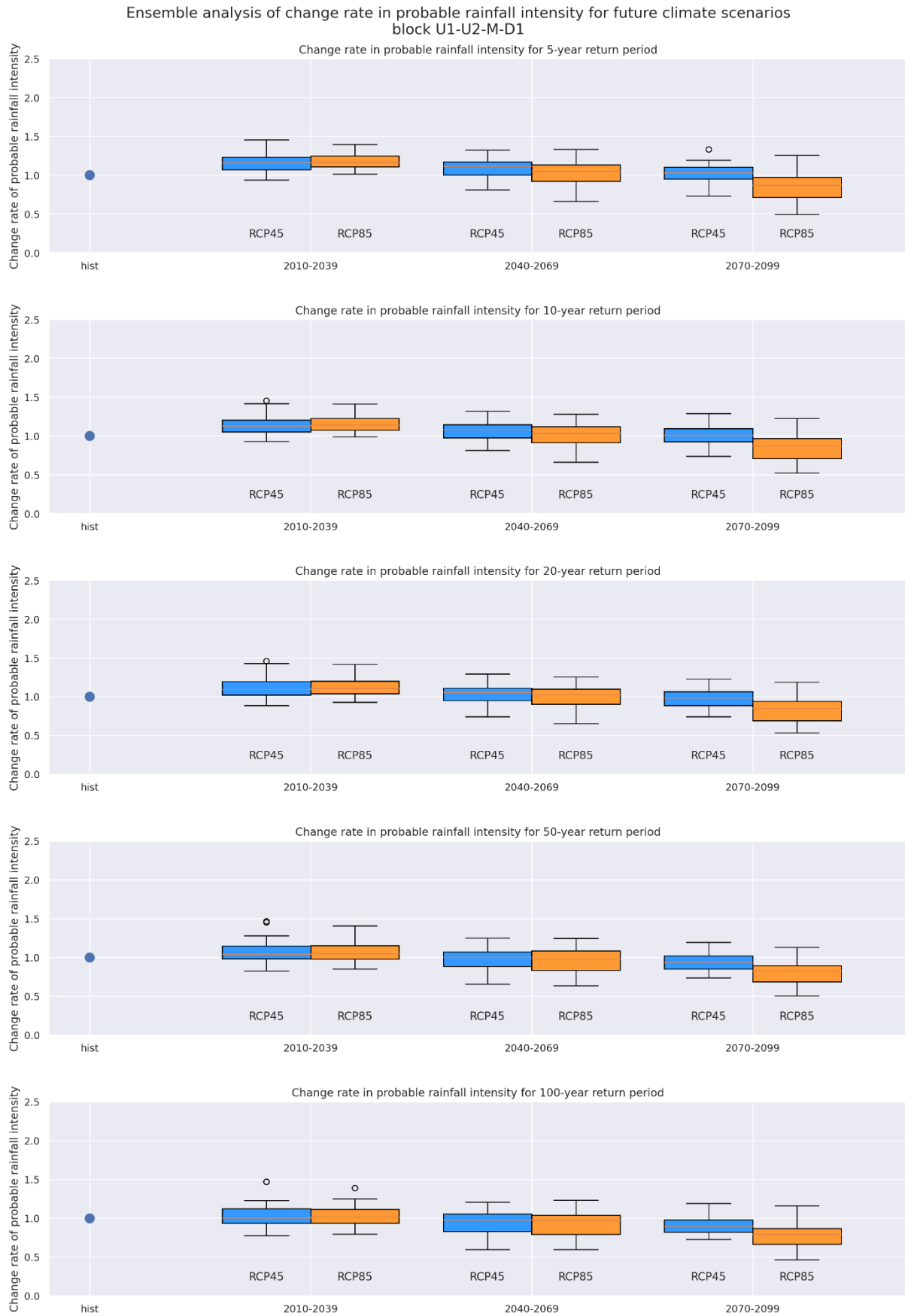


図 4-9 集水域ブロック U1-M-U2-D1（計画降雨日数 6 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率

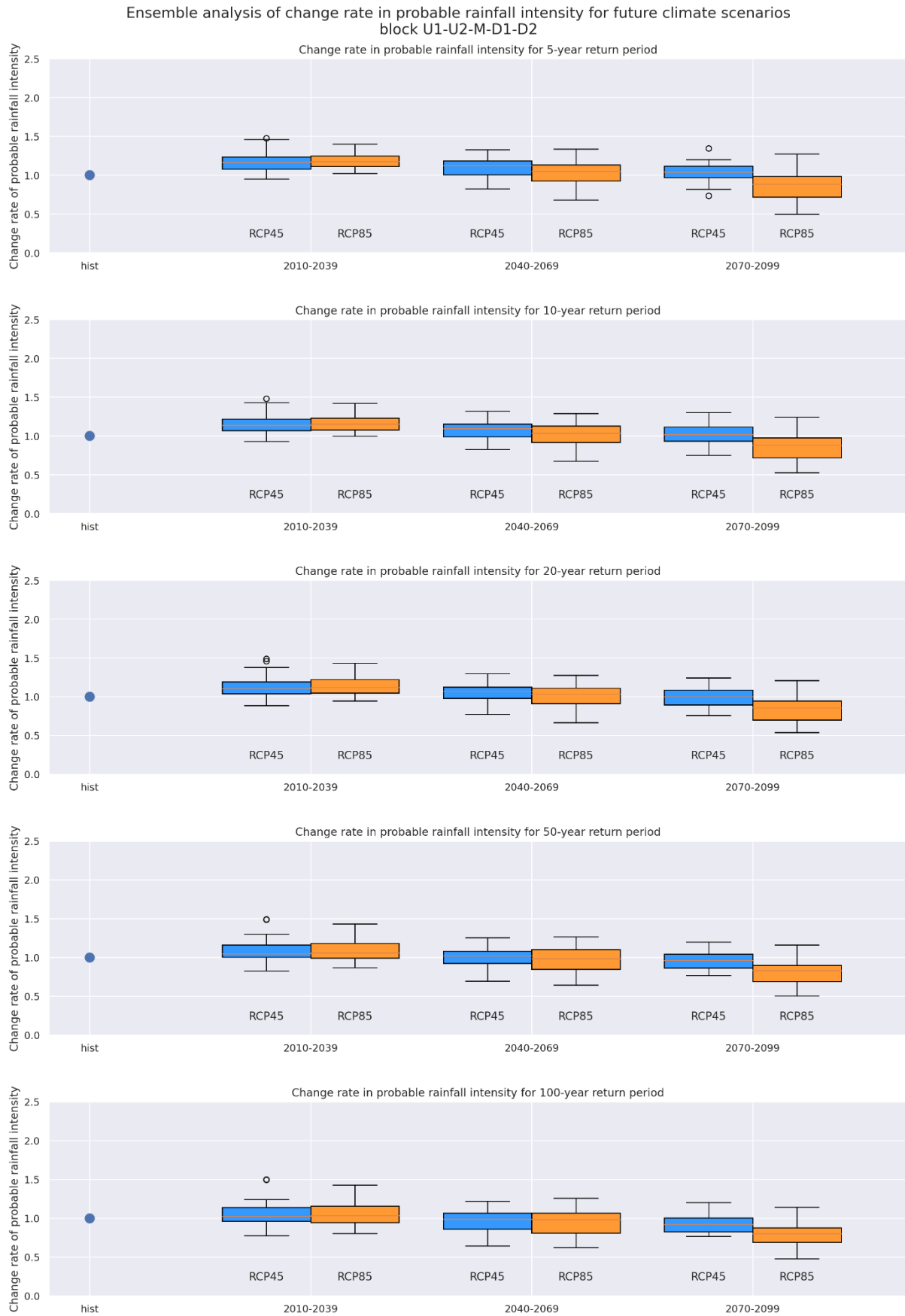


図 4-10 集水域ブロック U1-M-U2-D1-D2（計画降雨日数 6 日間）の確率規模別雨量強度の変化倍率

## 第5章 シディサレムダム貯水池の現状と現地調査結果

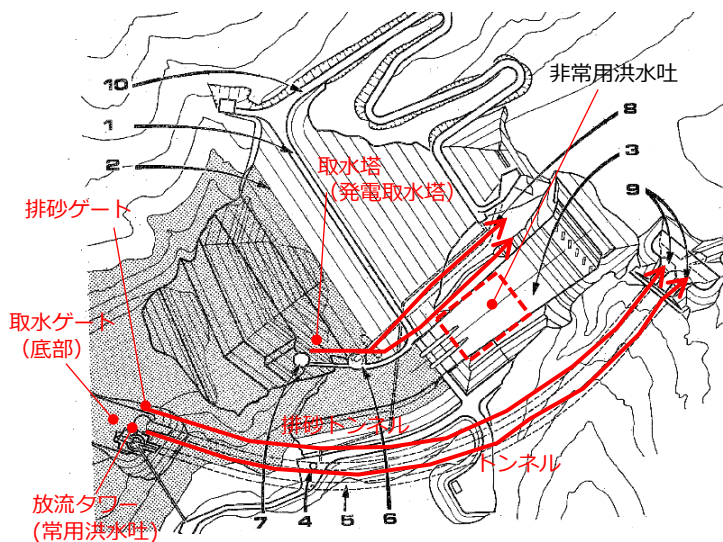
### 5.1 シディサレムダムの概要

#### 5.1.1 ダムの諸元

メジェルダ川中流域に 1981 年に建設されたシディサレムダムは貯水池面積 80～90km<sup>2</sup>、容量 977 Million m<sup>3</sup>を持つチュニジア最大のロックフィルダムである。同ダムは治水、利水（水道用水及び農業用水）、発電（20～36 MW）の機能を持つ多目的ダムであり、下流域の洪水被害の解消とこれに伴う農業開発、チュニス及びその近郊への灌漑用水、水道用水、電力の供給と多大なる経済効果をもたらしている。シディサレムダム及び貯水池の基本諸元を表 5-1 に示す。

表 5-1 シディサレムダム及び貯水池の基本諸元

|       |                                   |                      |                              |
|-------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 建設    | 1981                              | 常用満水位                | EL.115.0 m<br>(5m 嵩上げ 1997)  |
| 目的    | 多目的ダム                             | サーチャージ水位             | EL.118.5 m                   |
| ダムタイプ | Rock-fill                         | 設計最高水位               | EL.119.5 m                   |
| 本体ダム高 | 70 m                              | 非常用洪水吐               | 15 m x 13.50 m x 3 nos.      |
| 天端長   | 340 m                             | ダム天端高                | EL.122.0 m                   |
| 総貯水容量 | 977,000,000 m <sup>3</sup>        | 水力発電設備 容量            | 36 MW<br>(Normal Ope. 20 MW) |
| 流域面積  | 18,250 km <sup>2</sup>            | 常用洪水吐放流量             | 700 m <sup>3</sup> /s        |
| 貯水池面積 | 約 90 km <sup>2</sup>              | 非常用洪水吐放流量            | Max 4,200 m <sup>3</sup> /s  |
| 灌漑面積  | 16,600 ha<br>(Improved 32,800 ha) | 排砂施設放流量<br>(ゲート・バルブ) | 600 m <sup>3</sup> /s        |



出典: Barrage Sidi Salem sur l'Oued Medjerda,チュニジア国設備省

図 5-1 シディサレムダムの平面図及び鳥瞰写真

### 5.1.2 ダム貯水池の運用

シディサレムダムの機能は洪水調節と利水に大別される。シディサレムダムの容量配分を図 5-2 に示す。一般的なダムの容量配分として、治水容量、利水容量から成る有効貯水容量の下に、堆砂容量が設けられるが、農業省より入手したダム計画当初の報告書や資料では、堆砂容量が明確に示されていない。

本調査では、以下に示す容量配分を基本として、現在の堆砂状況等を整理した。

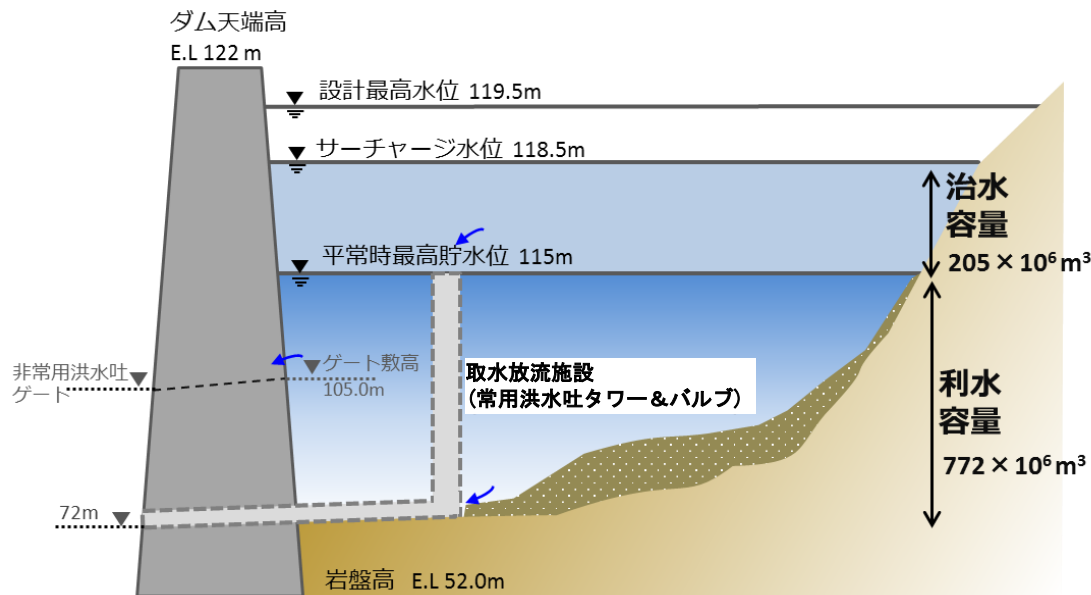


図 5-2 シディサレムダムの容量配分

#### (1) 洪水調節施設

シディサレムダムの常用洪水吐はタワー型流入口からの自然越流方式となっている。また、取水タワーの底部にはバルブと 2m×2m のゲートが設置されているが、近年はこのゲートからは取水されていない。非常用洪水吐はダムの右岸側に設置されているが、ダムの運用が開始されてから一度も開けられていない。

#### (2) 利水放流施設

農業用水や水道用水のための取水は、近年は、基本的に発電用の取水塔により行われている。取水塔には三つの取水ゲートが設けられており、うち二つは敷高 89.0m であり、一つは敷高 97.5m である。取水された水は底部のゲートを通して下流へ放流される。

#### (3) 排砂施設

排砂施設は前述のタワー（洪水調節施設）に隣接して設置されており、最大 600m<sup>3</sup>/s の放流能力を有する施設である。放流ゲートは貯水池底部に設置されている。1982 年から 2005 年までは、洪水が発生した際は、堆砂対策としてフラッシングが実施されていた。濁水調査のための理化学試験、水質試験も併せて行われていたが、2005 年以降は予算不足等の理由から実施されなくなった。同国関係

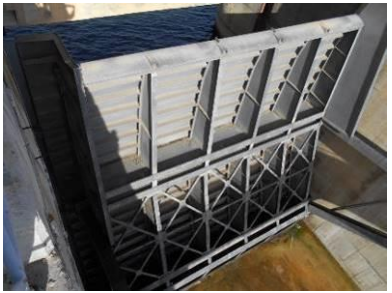
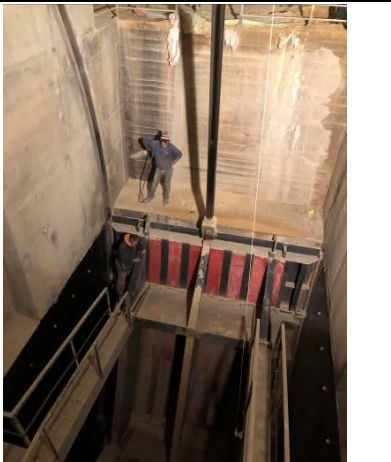


者も、フラッシングが堆砂対策に有効であることは理解している一方で、貴重な水を無駄にしたいくないという考えがあり、近年、フラッシングは実施されていない。

### 5.1.3 ダム維持管理の現状

ダム施設の維持管理（点検）に関しては、非常用洪水吐、排砂ゲートなど機械設備に関しては職員によって定期的の実施されているとのことである。非常用洪水吐についても水密がとれており、漏水はほとんど見られなかった。また、排砂バルブも土砂で詰まらないように定期的に排砂ゲートを操作している。調査団が視察した際も、排砂ゲートを操作して小流量だが放流操作を確認することができた。なお、貯水池の深浅測量は管理開始（1981 年）から 2018 年までに 4 回しか実施されていない。

表 5-2 シディサレムダムの各種施設の現状

| ダム管理事務所                                                                             | ダム天端                                                                                 | 常用洪水吐（朝顔型）                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
| 発電用取水塔                                                                              | 非常用洪水吐シュート                                                                           | 非常用洪水吐テンターゲート                                                                         |
|  |  |  |
| ダム天端（上流側）                                                                           | 排砂ゲートのメンテナンス                                                                         | 非常用洪水吐の補修                                                                             |
|  |  |  |

#### 5.1.4 常用洪水吐の嵩上げ

シディサレムダム建設当初、常用洪水吐の越流頂は EL.110m であったが、ダム供用開始後、1997 から 1999 年にかけて、利水容量の確保を目的に常用洪水吐タワーの 5m のかさ上げ工事が実施された。このかさ上げによって越流頂標高は EL.115m となり、計画利水容量は 550 Million m<sup>3</sup> から現在の 772 Million m<sup>3</sup> に増強された（40%増）が、一方で計画治水容量は 427 Million m<sup>3</sup> から 205 Million m<sup>3</sup>（52%減少）に縮小された。そのため、ダムの洪水調節機能は計画当初の 100 年規模洪水に対応できなくなった。なお、嵩上げ後の平均的な貯水位は EL.111m 前後で運用されており、EL.115m（現在の常時満水位）まで貯留されることは洪水発生時以外ほとんど見られない。

### 5.2 ダム貯水池の堆砂状況

シディサレムダムの近年の堆砂状況について述べる。

#### (1) 堆砂量の経年変化

堆砂量の経年的変化を図 5-3 に示す。2018 年までの総堆砂量は 191 Million m<sup>3</sup> である。大規模出水は、貯水池内の堆砂進行に大きく影響するものと考えられるが、既往深淺測量のタイミングは必ずしも出水時期に対応していないため、その関係性については、7 章で述べる 1 次元河床変動解析によるダム堆砂の再現計算結果に基づき整理した。

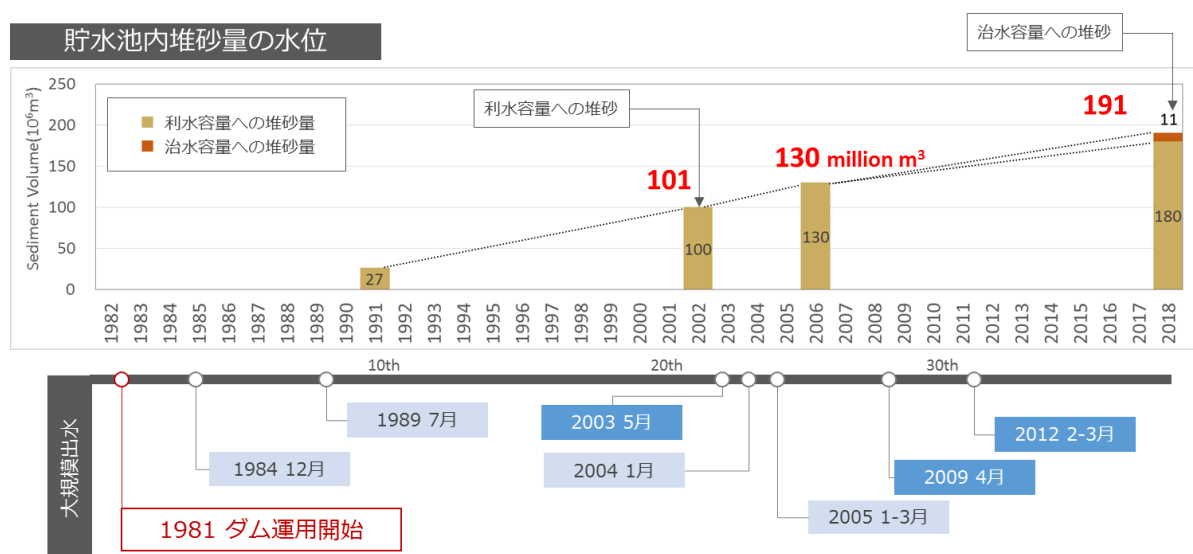


図 5-3 貯水池内堆砂量の経年変化

#### (2) 貯水池容量の損失状況

堆砂の進行により、貯水池容量は減少している。ダム供用開始から現在までの 36 年間で、当初の貯水容量の約 20%である 191 Million m<sup>3</sup> が堆砂により失われ、現在の有効貯水量は 786 Million m<sup>3</sup> となっている。容量別にみれば、治水容量は 6%、利水容量は 23%損失していることになる。



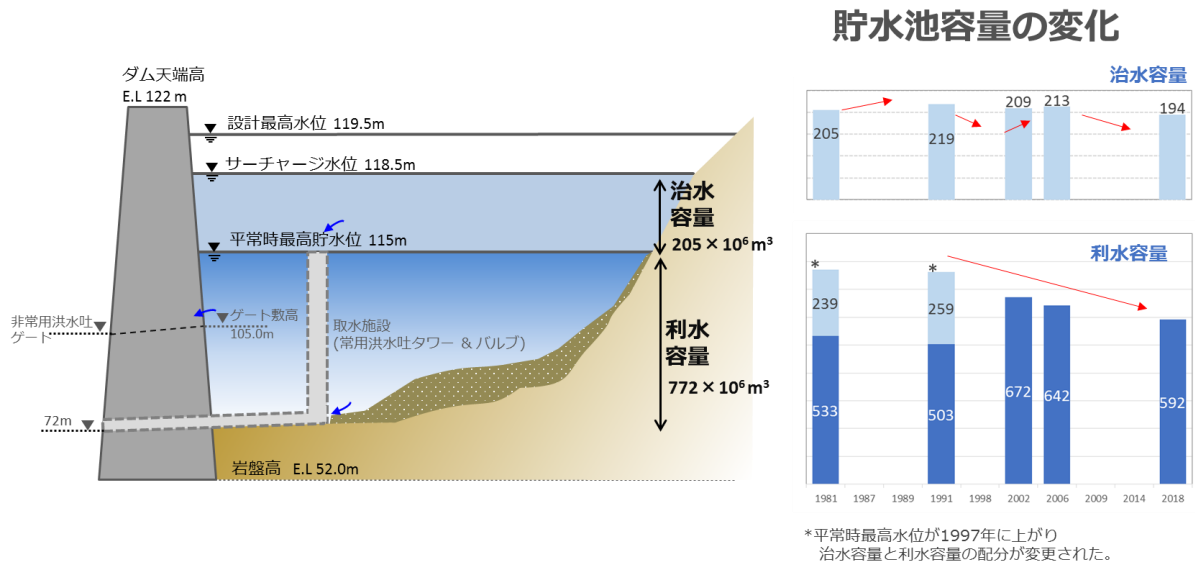


図 5-4 貯水池容量の経年変化

### (3) 堆砂の平面的分布

2018 年の測量成果とダム建設前の 1972 年の測量成果の差分から、堆積厚を算出した。堆積厚の平面分布を図 5-5 に示す。堆砂は貯水池全域で発生しており、その厚は 12 m 以上である。ゾーン毎の堆砂量を整理すると、ゾーン C、D、E で比較的堆砂量が多く、河床が高いゾーン E、F では治水容量にも堆砂が確認される。貯水池内の総堆砂量は 191 Million  $\text{m}^3$  であるが、A に 12%、B に 8.5%、C に 21.4%に、D に 23%、E に 22.7%、F に 12.4%堆砂している。

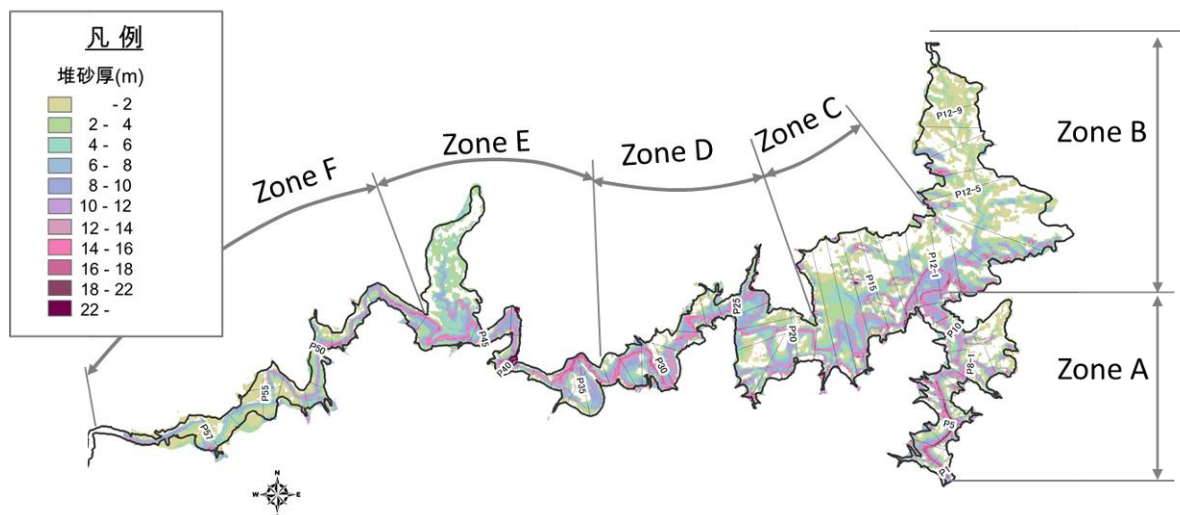


図 5-5 貯水池内の堆積厚の平面分布

### (4) 堆砂の粒度分布

貯水池の堆積土砂の粒度分布は、全区間において、30～45%を粘土分、55～70%をシルト分が占めている。また、貯水池内のゾーンによる大きな違いは確認されていない。採取された堆積物はいずれも圧密されており、固く締まっている状態であった。

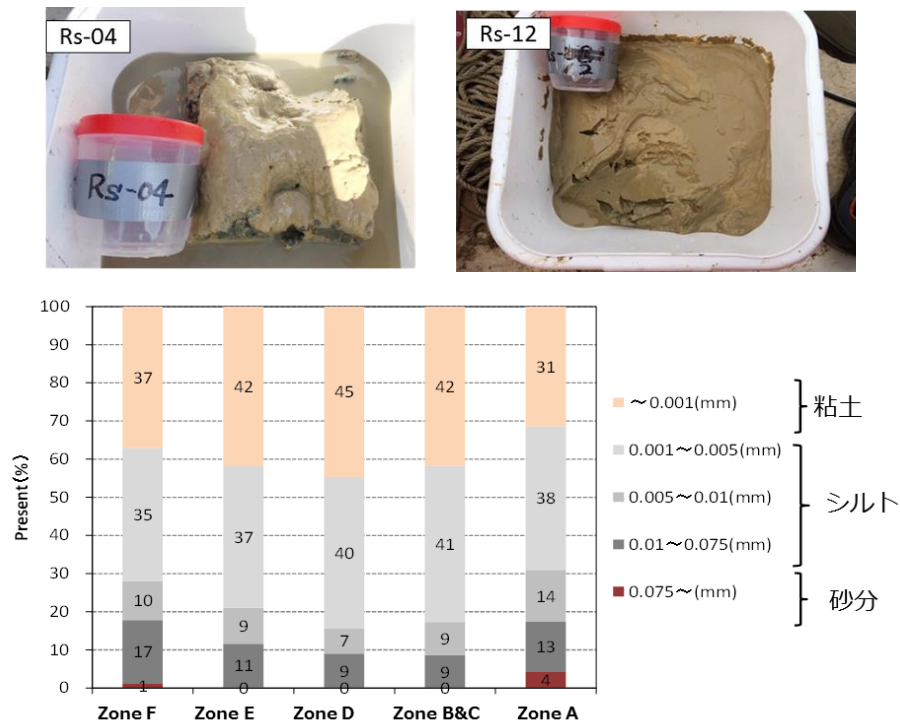


図 5-6 サンプルング土砂の例とゾーン毎の粒度分布

### 5.3 貯水池の堆砂メカニズム

#### (1) 堆砂の縦断形状

図 5-7 に貯水池内の縦断図を示す。堆砂は貯水池全体に厚く堆積している。堆砂の肩らしきものがゾーン E と D の境界付近に形成されており、ゾーン D より下流で急に深くなっている。2006 年と 2018 年を比較すると、堆砂肩がゾーン E の上流端からゾーン D の上流端まで、8~10km 程度移動していることが確認された。ゾーン B の堆積厚は同じ標高のゾーン E と比較すると堆積厚は薄く、こちらに存在する小規模支川からの土砂流入は少ないと推定される。

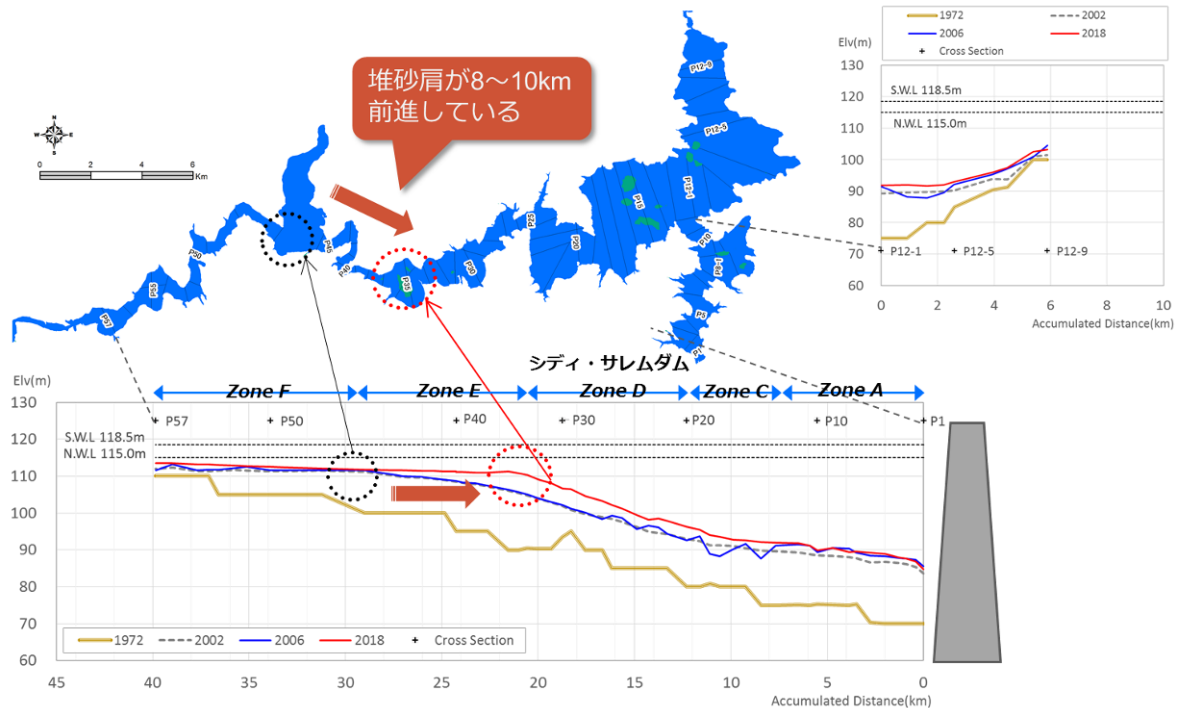


図 5-7 堆砂縦断形状の変化

## (2) 堆砂メカニズム

堆積物の粒度分布や測量結果から、シディサレムダム貯水池における土砂堆積メカニズムを以下のように推定した。

- シディサレムダム貯水池への流入土砂のほとんどはメジェルダ川本川由来であり、 $5\ \mu\text{m}$  以下の粘土・シルト分が全体の 7~8 割を占めている。
- 沈降速度が非常に小さいため、水深の浅い区間では堆積は少なく、水深の深い所で堆積が進みやすい。高濃度の濁水は清澄な水よりも重いため、水深の深い場所に到達すると、密度流として湖底を這うように進み、全域に拡散し堆積する。
- 水深が浅い範囲（ゾーン F, E 等）では、堆積せずに濁水として土砂が流下すると考えられる。なお、当該ゾーンには蛇行部や支川（ベジャ川）の氾濫原が存在しており、これら拡幅部に濁水が滞留して局所的に堆積が進行することがある。
- 水深が比較的深い範囲（ゾーン D~A）では、高濃度の密度流が湖底を流下すると考えられる。特に、ゾーン D には堆砂肩の先端があり、今後この肩がさらに前進する。なお、ゾーン B と C は水深が深く、平面的に広い区間であり、濁水は地形の影響で平面的に複雑に拡散しながら、エリア全域に堆積が進行すると考えられる。

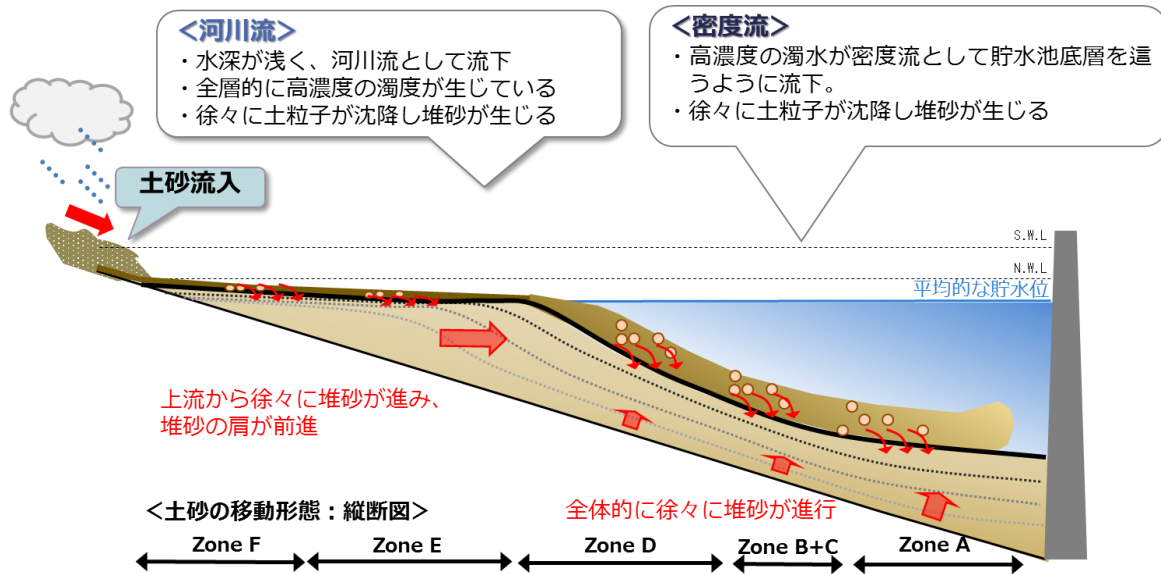


図 5-8 シディサレムダム貯水池における土砂移動形態のイメージ

## 5.4 貯水池内の詳細調査結果

### 5.4.1 ダム本体付近の堆砂状況

図 5-9 は深浅測量の成果をもとにダム周辺の堆砂状況を三次元で表現したものである。現在の堆砂高はダムの発電取水口程度まで到達しており、今後も堆砂が進めば、シディサレムダムの堆砂による課題は貯水容量の損失のみならず、ゲート閉塞など取水施設の動作不良となる危険性も高い。

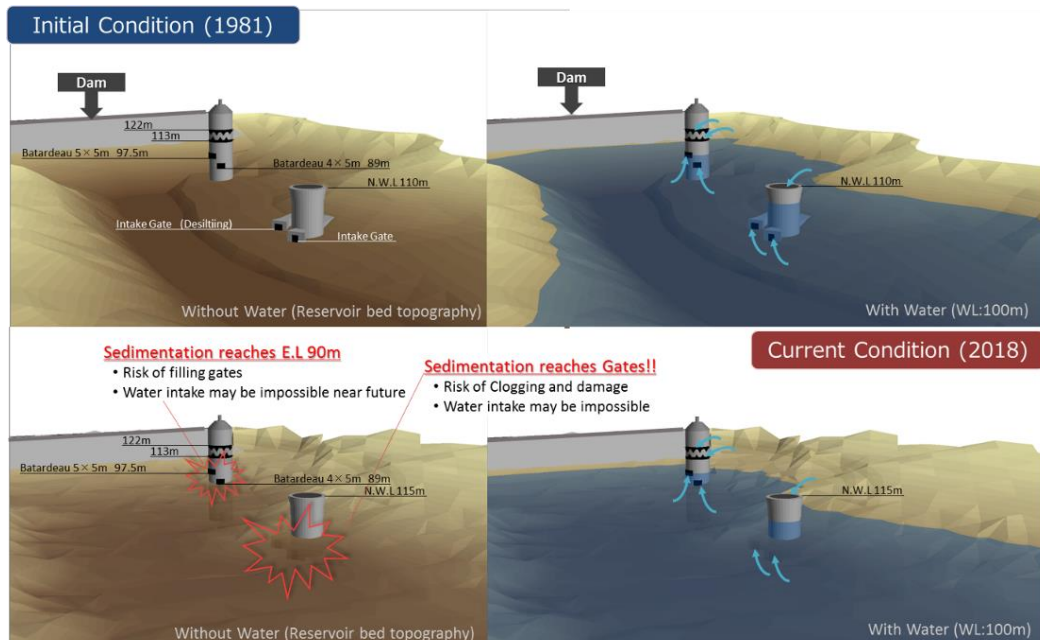


図 5-9 ダム周辺の堆砂状況



図 5-10 は本準備調査で 2020 年 1 月に実施した取水施設周辺の詳細な地形測量結果である。これより、以下の状況が明らかとなっている。

- 排砂ゲートの敷高は EL.72.6m であるが、常用洪水吐（タワー）周辺はすり鉢状の地形が形成されており、最深河床で EL.80m まで埋没していることが確認された。よって、現状では少なくとも 7m 程度ゲートが埋没しており、いつ閉塞してもおかしくない状況と言える。
- 一方、発電取水塔の取水口は 2 口箇所あり、それぞれ EL.89.0m、EL.97.5m である。こちらは最深河床で EL.89.5m まで堆積が進行しているが、常時、発電取水していることもあり、すり鉢状の地形は形成されておらず、現在の利用状況が維持されれば埋没のリスクは比較的小さいと言える。

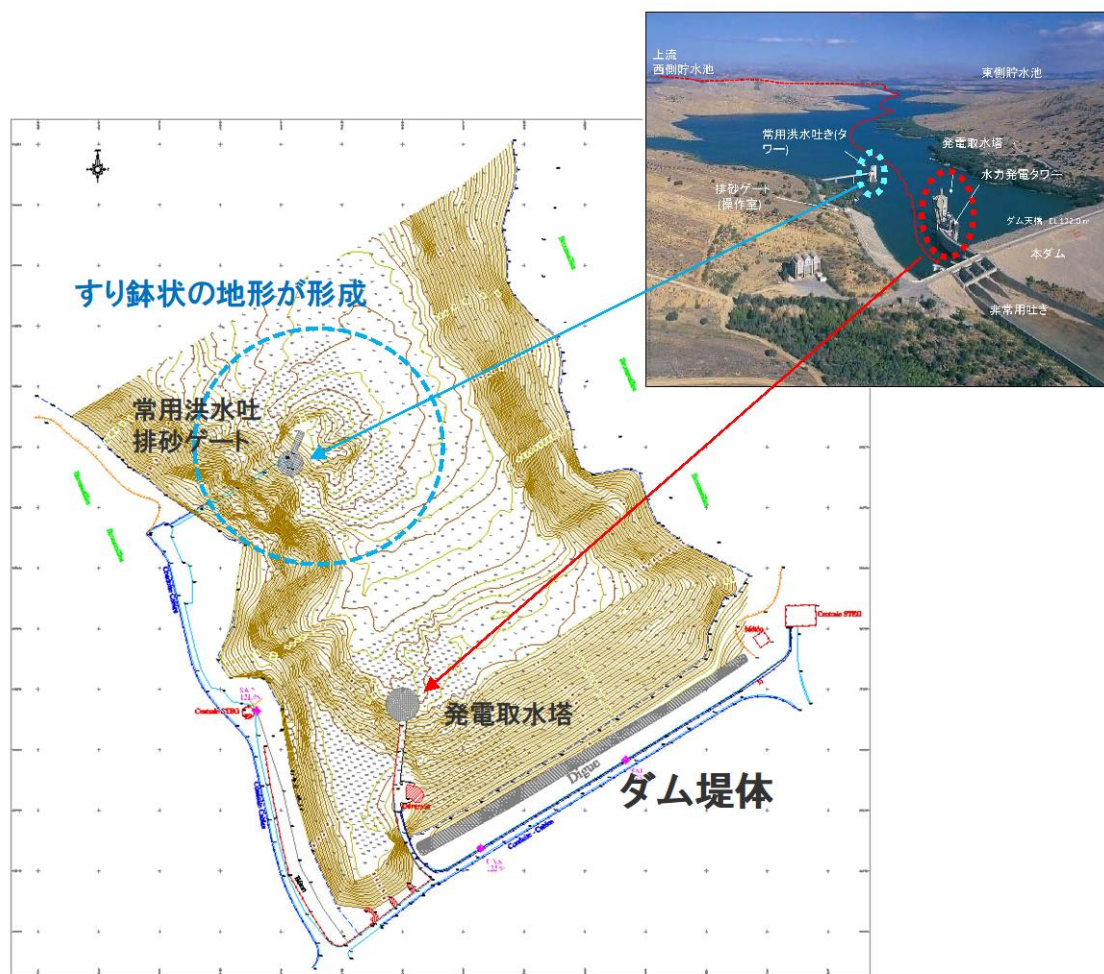


図 5-10 常用洪水吐・取水施設周辺の堆砂形状（2020 年 1 月測量）

#### 5.4.2 貯水池内旧鉄道切土沿いの堆砂状況調査

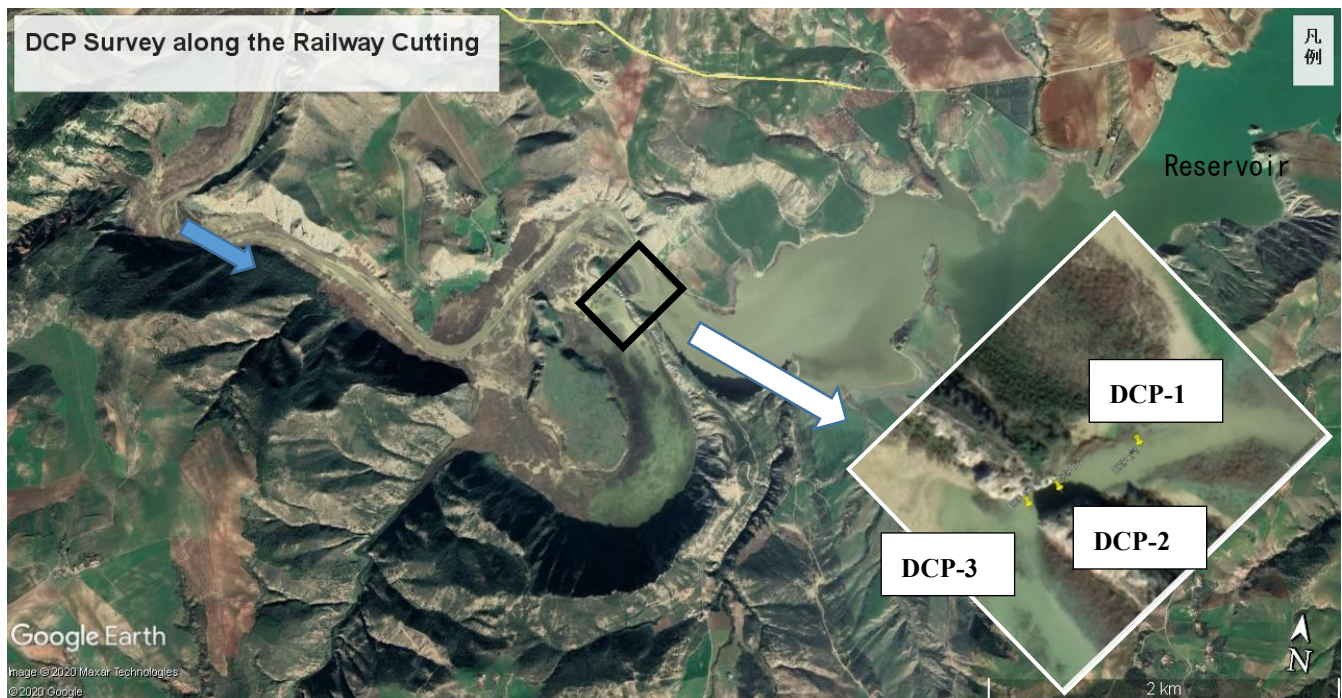
##### (1) 概要および調査位置

貯水池上流側メジェルダ川蛇行部の旧鉄道切割沿いで、ダム建設後の細粒堆積物の堆積状況（厚さ）を把握する目的で DCP 調査を実施した。

DCP 調査は、表 5-3 および図 5-11 に示す 3 地点で実施した。DCP 調査は、主にシディサレムダム建設後に堆積した堆積物の厚さおよび深度を確認することを目的とし、基盤に達する深度まで実施した。

表 5-3 調査諸元

| No.   | Depth (m) | Note                              |
|-------|-----------|-----------------------------------|
| DCP-1 | 11.4      | Sediment from 0 m                 |
| DCP-2 | 11.0      | Reservoir water until 2 m depth   |
| DCP-3 | 11.2      | Reservoir water until 2.6 m depth |



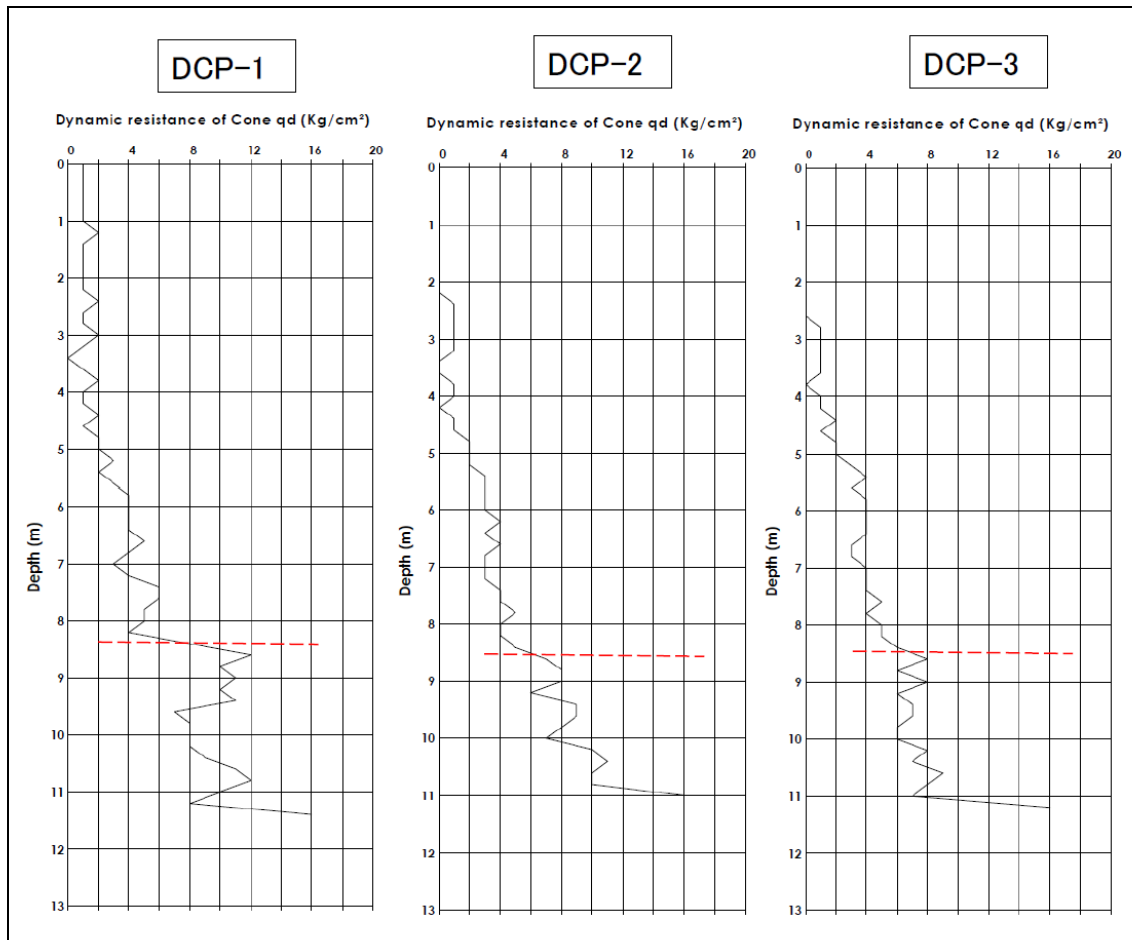
出典：JICA 調査団

図 5-11 調査位置

##### (2) DCP 試験結果

本調査で実施した各 DCP 地点の結果は図 5-12 に示している。

各地点の 0m は、観測時の貯水位の水面である。DCP-1 は堆積物からなる地表面と貯水面がほぼ同じ標高であり、DCP-2 および DCP-3 では、各々水面から 2m 程度、2.5m 程度で堆積物の上面に達していることを示している。また、貫入抵抗の変化状況から、いずれの DCP 地点も調査実施時の貯水面よりも 8m 程度の深度までダム建設後の堆積物が堆積しているものと考えられる。



出典：JICA 調査団

図 5-12 鉄道切割沿い DCP 調査結果

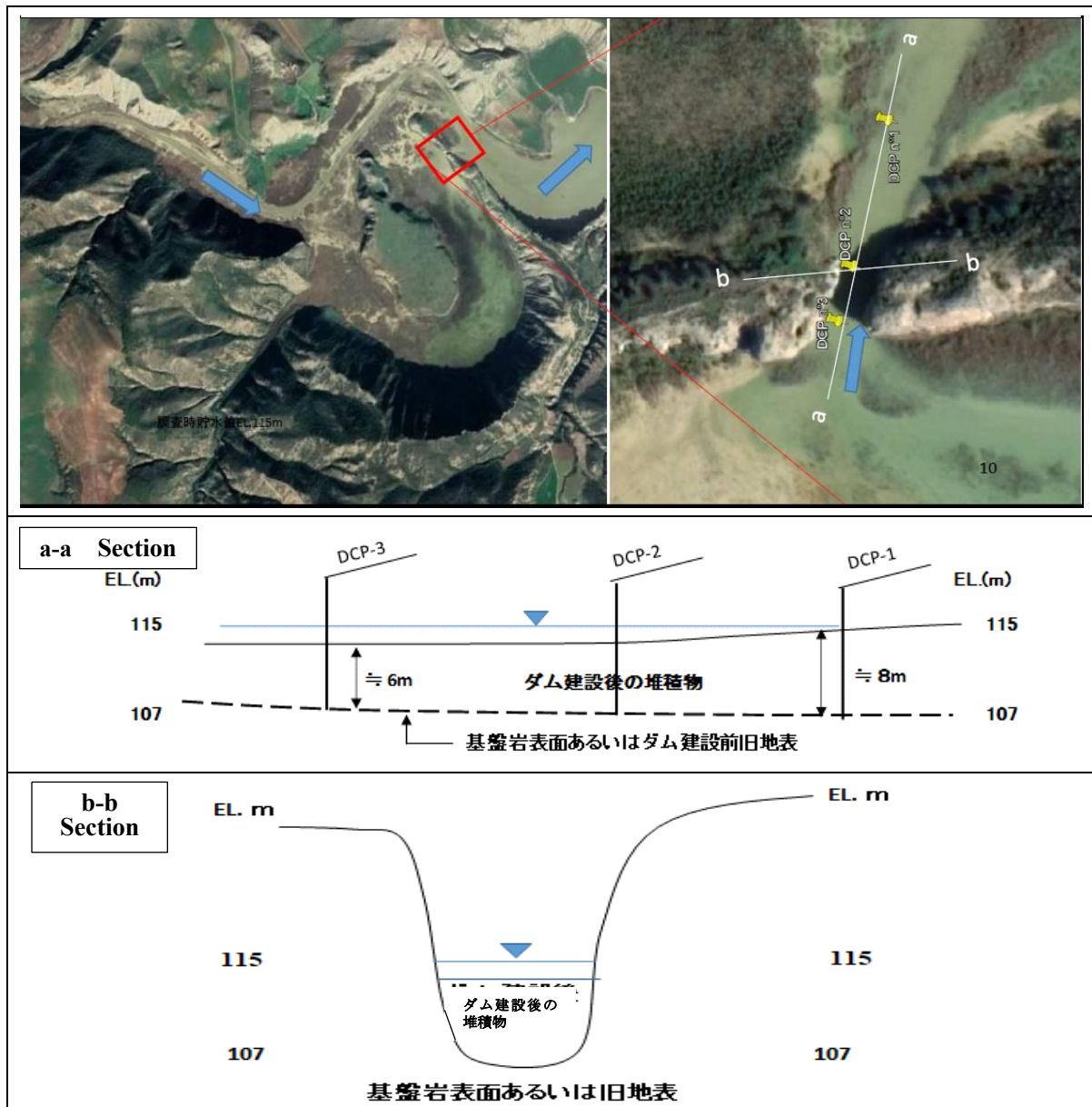
### (3) 想定地質断面

図 5-13 には、鉄道切割沿いの調査位置、断面位置および断面毎の模式地質分布を示している。

調査時（2020 年 7 月 17 日）の貯水池の水面標高は EL.115m であり、各 DCP の結果の 0m 深度を標高 EL.115 m として断面図を作成した。

堆積物の下面までの水面からの深さは約 8m、堆積物の厚さは約 6～8m であり、シディサレムダム建設前の鉄道敷設面の地表標高は約 EL.107m であると考えられる。





出典：JICA 調査団

図 5-13 鉄道切土付近想定地質断面図

### 5.4.3 貯水池溪岸の状況

#### (1) 土地利用

貯水池周辺は主にオリーブや小麦などの農地、牧草地として利用されている。農地は等高線に沿って耕作されるなど、ガリー侵食を防ぐ工夫などが見られる。

#### (2) 溪岸侵食

貯水池内の堆積物は、流域からの土砂流出のみならず、貯水池周辺の溪岸侵食による影響も想定される。貯水池周辺の白亜紀から新第三期にかかる地質分布範囲では傾斜が緩やかであるが、三畳紀地質の範囲や断層部では急峻な地形であり、溪岸侵食が発生していると考えられる。

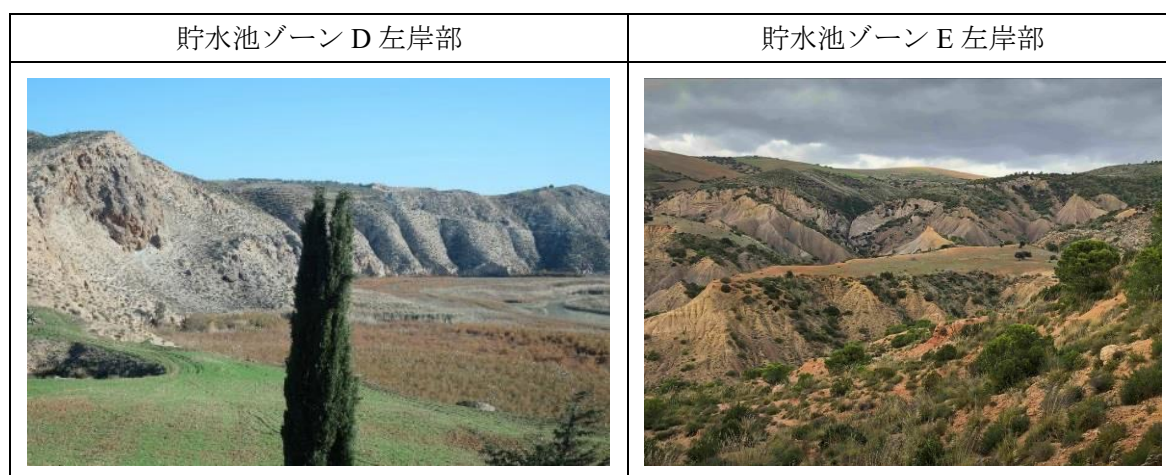


図 5-14 シディサレムダム貯水池周辺で見られる溪岸侵食

#### 5.4.4 土砂バイパストンネル計画地周辺の地質調査結果

##### (1) 地質調査（ボーリング調査）結果

##### 1) 調査位置

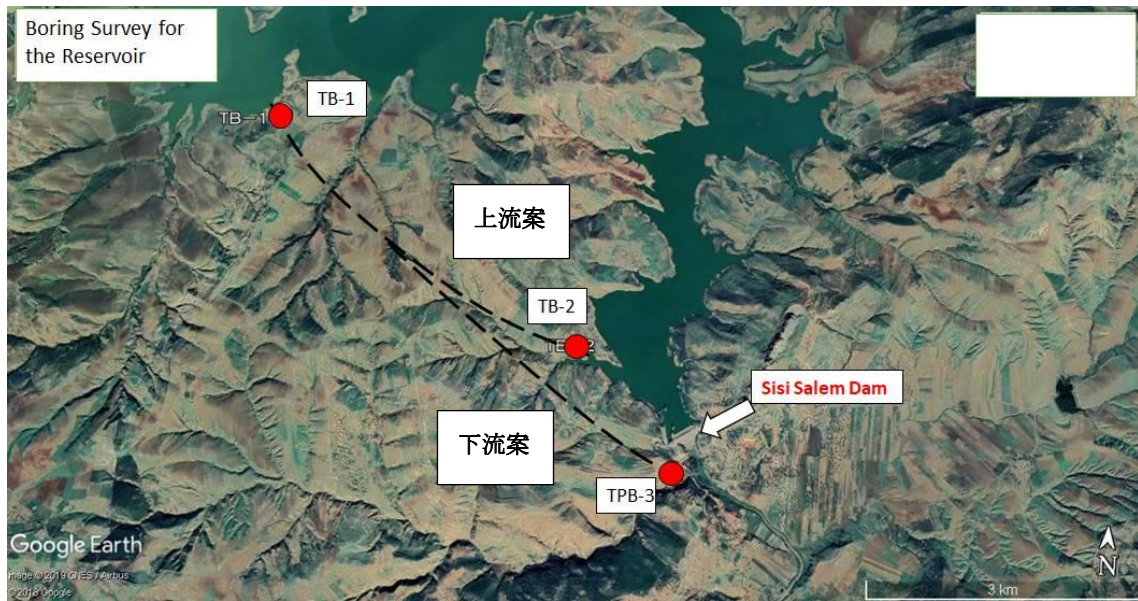
土砂バイパストンネル沿いのボーリング調査は、表 5-4 および図 5-15 に示す 3 地点で実施した。

TB-1 は、土砂バイパストンネルの呑口付近の地質および岩盤状況を把握することを目的として実施した。TB-2 は同トンネルの上流案の出口（吐き口）付近、TB-3 は同下流案の出口（吐き口）付近の地質および岩盤状況を把握することを目的として実施した。

表 5-4 ボーリング調査位置（土砂バイパストンネル沿い）

| No.of Boring | Depth (m) | Elevation (masl)* | Latitude       | Longitude     |
|--------------|-----------|-------------------|----------------|---------------|
| TB-1         | 20        | 131               | 36°37' 15.9" N | 9°20'32.80" E |
| TB-2         | 20        | 121               | 36°35' 52.7" N | 9°22'53.1" E  |
| TB-3         | 20        | 80                | 36°35' 11.5" N | 9°23'43.9" E  |
| Total        | 60        |                   |                |               |





出典：JICA 調査団

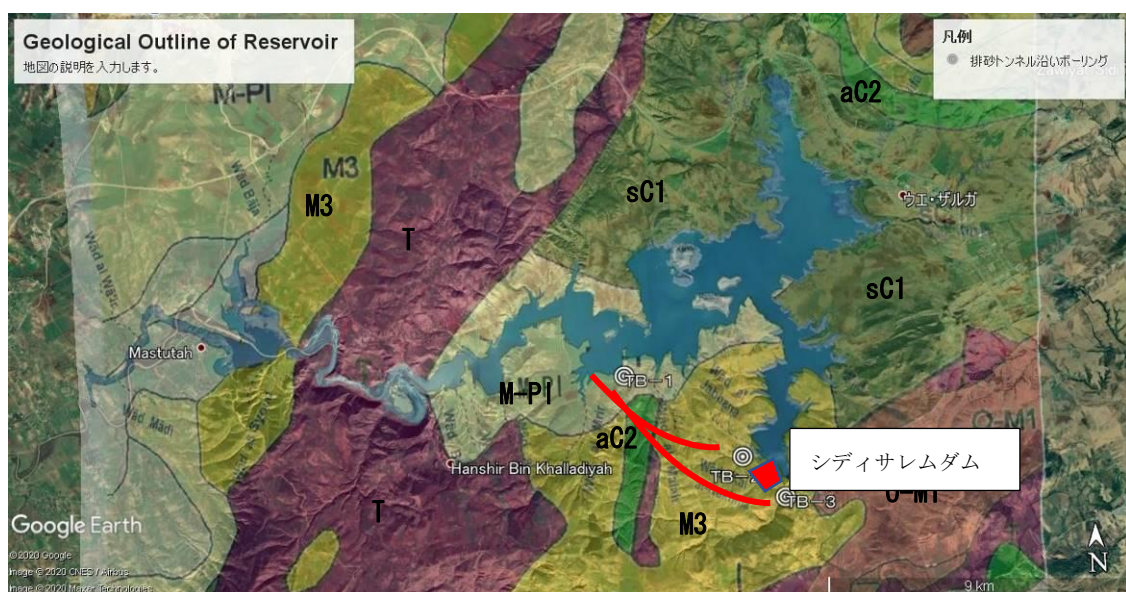
図 5-15 ボーリング調査位置（土砂バイパストンネル沿い）

## 2) 地質状況

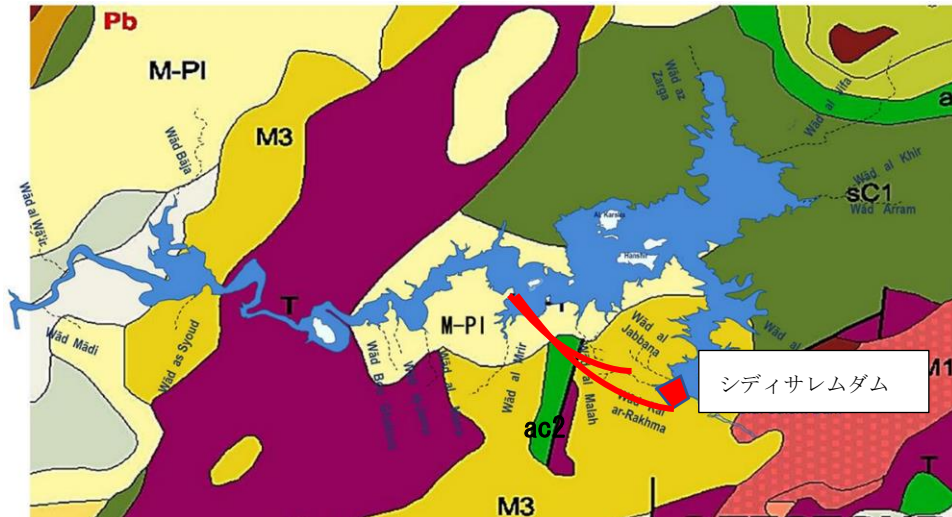
### (a) 地質概要

土砂バイパストンネル沿いの地質状況の詳細は、5.4.4 (4) に詳述しているが、ここでは概要を記述する。

上流案および下流案沿いともに新生代新第三紀に形成された頁岩、砂岩などの堆積岩が主体として分布する。下流案トンネル出口付近には中生代三畳紀に形成された砂岩・粘板岩主体の堆積岩が分布する。既往地質図に表示されているトンネル入り口付近の中生代白亜紀層（aC12）および三畳紀層（T）は、今回実施した地表概査では確認できなかった。



出典：carte\_geologique\_500\_000.pdf を調査団が加工

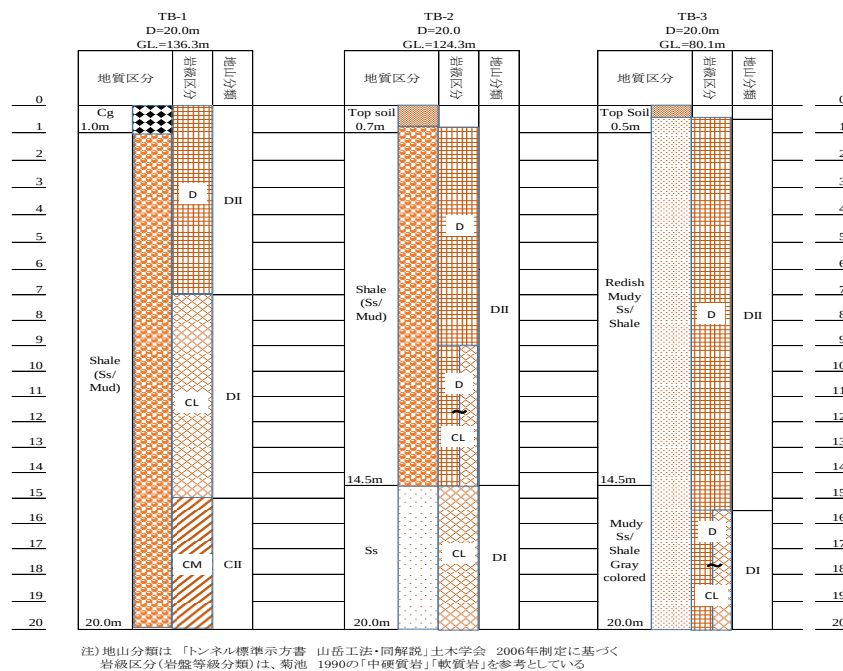


出典：carte\_geologique\_500\_000.pdf を調査団が加工

図 5-16 ボーリング調査位置（土砂バイパストンネル沿い）

## (b) ボーリング調査結果

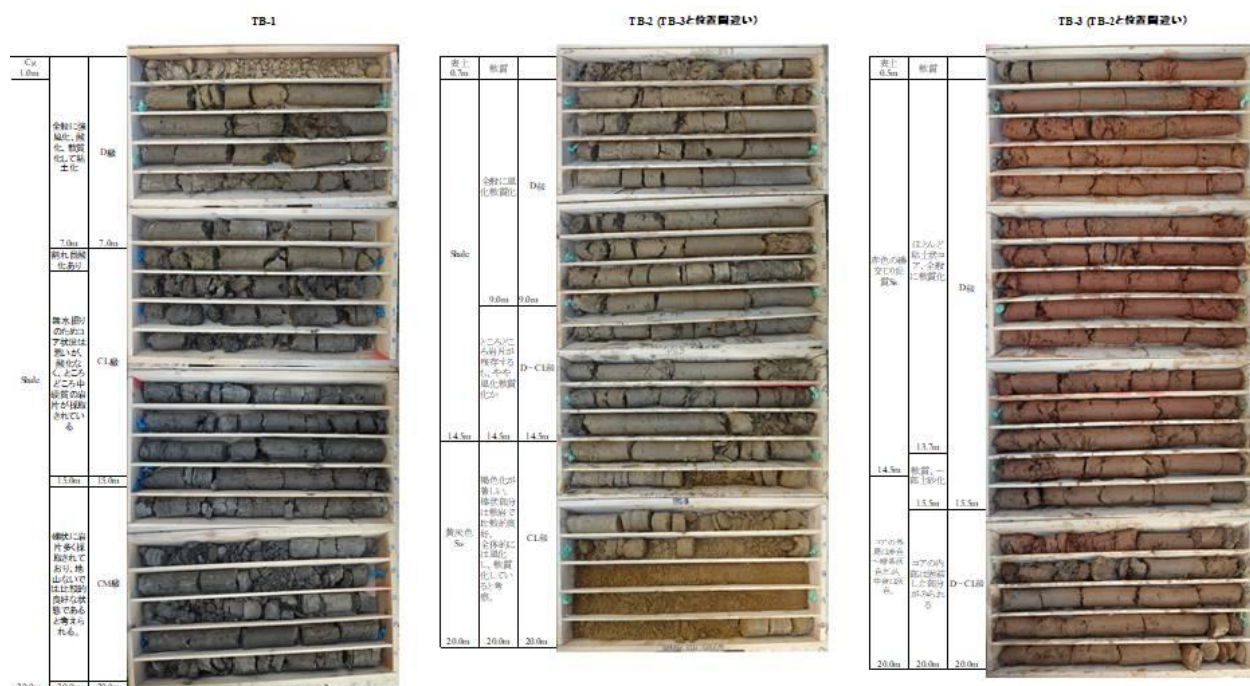
本調査で掘削した各ボーリングの結果は図 5-17 の簡易柱状図および図 5-18 のコア写真に示している。



出典：JICA 調査団

図 5-17 土砂バイパストンネル沿いボーリング概要図





出典：JICA 調査団

図 5-18 土砂バイパストンネル沿いボーリングコア写真

各ボーリング孔の地質状況は以下の通りである。

- TB-1：新生代新第三紀に形成された頁岩を主体とする。
- TB-2：10m 程度の深度までは TB-1 同様に頁岩が分布するが、それ以深は砂岩が分布する。
- TB-3:赤色化した泥質岩あるいは砂岩からなる。これは中生代三畳紀に形成された砂岩・粘板岩であり、主に風化により軟質化しているものと推定する。

### (c) 岩盤状況

岩盤状況を示すためにボーリングコアについて岩級区分を行った。その結果は、図 5-17 および図 5-18 に併記している。

岩級区分に当たっては、ボーリングにより採取された試料がすべて無水掘りで採取されており、掘削時に地山の状態が乱されたものとなっていることが前提であり、コア観察に当たってはこの点に留意した。

表には、岩級区分の基準例を示している。一般的に岩級区分は「岩片の硬さ」「割れ目の状態」「割れ目の間隔」の3要素により区分される。岩級区分は、これらの要素と工学的特性を関連づけて岩盤を区分するものである。室内試験、地表踏査結果あるいはトンネル調査の場合には弾性波探査による速度値なども参考として対象地域の岩盤をランク分けし、例えば CL 級の岩盤がどのように分布しているかを把握するものである。

本調査では坑口部に 3 本のボーリングを実施し、地表概査によりトンネルルート沿いの地質および岩盤状況を確認し、その結果に基づいてトンネルタイプ区分の基礎資料とした（岩盤状況とトンネルタイプの分類については、5.4.4 (2) 岩盤状況とトンネルタイプ分類を参照）。

なお、岩級区分基準については 5.4.4 (2) 1) 岩級区分に記述している。

表 5-5 トンネルルート沿いの岩級区分基準（概要）

| 岩級区分   | 記 述                                                                         |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|
| CM 級   | 採取されるコアに酸化・褐色化は見られず、礫状に硬質な岩片が多く採取されており、地山内では比較的良好な状態であると考えられる。              |
| CL 級   | 棒状コアが一部で採取されるが、割れ目が多く発達し、割れ目沿いおよび岩片の褐色化が認められる。あるいは、岩片の酸化は見られないが、中硬質の岩片が混じる。 |
| D～CL 級 | コアの内部に固結した部分や所々に岩片が存在するが、軟質である。                                             |
| D 級    | 全般に強風化、軟質化して粘土化している。風化のため褐色味を帯びる                                            |

出典：JICA 調査団

## (2) 室内試験

### 1) 試験項目

本調査で実施した室内試験は以下の通りである。

表 5-6 室内試験項目と仕様

| 試験項目   | 仕 様           |
|--------|---------------|
| 比重試験   | NF P94 054    |
| 三軸圧縮試験 | BS1377 part 7 |

これらの試験は、調査地点に分布する地質の工学的特性を把握するために実施した。

### 2) 試験結果

本調査で実施した室内試験結果を表 5-7 に示している。

表 5-7 室内試験結果

| 試験孔・深度 |           | 一軸圧縮試験結果 |                     | 比重                  |
|--------|-----------|----------|---------------------|---------------------|
| 孔番     | 深度        | kpa      | kgf/cm <sup>2</sup> | (t/m <sup>3</sup> ) |
| BP-1   | GL.-1.8m  | 623.98   | 6.4                 | 2.25                |
|        | GL.-6.8m  | 971.37   | 9.9                 | 2.23                |
|        | GL.-17.8m | 142.12   | 1.4                 | 2.40                |
|        | 平均        | 579.16   | 5.91                | 2.29                |
| BP-2   | GL.-4.8m  | 946.65   | 9.7                 | 2.24                |
|        | GL.-8.5m  | 698.12   | 7.1                 | 2.68                |
|        | GL.-19.8m | 436.00   | 4.4                 | 2.40                |
|        | 平均        | 693.59   | 7.07                | 2.44                |
| BP-3   | GL.-8.7m  | 519.00   | 5.3                 | 2.45                |
|        | GL.-14.8m | 629.38   | 6.4                 | 2.22                |
|        | GL.-19.8m | 996.56   | 10.2                | 2.85                |
|        | 平均        | 714.98   | 7.29                | 2.51                |

出典：JICA 調査団

以下には各試験結果の概要について記述する。

#### (a) 一軸圧縮試験

今回実施した室内試験は、無水掘りで採取されたボーリングコアについて実施しており、掘削時に地山の状態が乱された試料として採取されており、地山内での岩盤状況あるいは岩片の硬さが実際のものより小さくでているものと考えられる。そのため一軸圧縮試験の結果については絶対値での検討ではなく、相対的な数値の違いについて検討する必要があると考える。

各ボーリング地点でのテストサンプルの地質は、TB-1 と TB-2 が新生代の新第三紀堆積岩であり軟岩に属し（一軸圧縮強度は  $200 \text{ kgf/cm}^2$  未満）、TB-3 は中生代の三畳紀堆積岩であり、基本的には硬岩からなる（一軸圧縮強度が  $200 \text{ kgf/cm}^2$  以上、一般的には  $500 \text{ kgf/cm}^2$  以上）。この試験結果は、各地点の表面から風化した岩片の試験結果を示しているが、全般に一軸圧縮強度は一般に小さい傾向を示している。

今後の調査では、適切なボーリング法で採取した試料を用いて室内試験（岩石試験）を行うことが必要である。

#### (b) 比重

前述のように各ボーリング地点でのテストサンプルの地質は、TB-1 および TB-2 が新生代の新第三紀堆積岩であり、TB-3 が中生代の三畳紀堆積岩である。

各試験結果にはばらつきがありますが、平均値から見ると BP-3 が最も比重が高く、また、個々の試験結果では、他のボーリング地点（TB-1 および TB-2）の比重が各々 2.45 および 2.85 よりも高い結果を示している。これは、TB-3 の岩盤の形成時期が古いため比重が高いことを示している。

TB-1 および TB-2 の結果については、各試験値のばらつきを考慮すると平均値に多少の違いはあるものの、有意差はないと考えられる。

一軸圧縮試験と同様に、今後、NATM 工法によるトンネル設計条件を検討するために地山特性（地形、地質、地下水）を把握するために実施する地質調査においては適切なボーリング工法で採取した試料を用いて室内試験（岩石試験）を実施する必要があると考える。

なお、今後、トンネル設計を行い、建設時までにはトンネル設計条件を検討するために必要と考えられる地質調査項目とその流れについては後述の章に記述している。

### (3) 地表地質概査の結果

#### 1) 流入口付近の地質・岩盤状況

トンネル出口付近は、新生代の礫岩、頁岩/砂岩互層からなる。

岩片は地表部付近では風化により褐色・軟質化が認められ、ばらばらとした礫状の堆積物が認められるが、岩片が比較的新鮮な部分では固結度が良好である。

呑口坑口は規模の大きい崩壊地形を避けて選定する必要がある。



ボーリング実施箇所



実施した道路わきにやや規模の大きい崩壊跡地形がある



上の写真の南、坑口候補地  
小規模な崩壊跡地が認められる



斜面下部の状況



比較的新鮮な岩盤  
上は礫岩、下は頁岩

む岩盤



出典：JICA 調査団

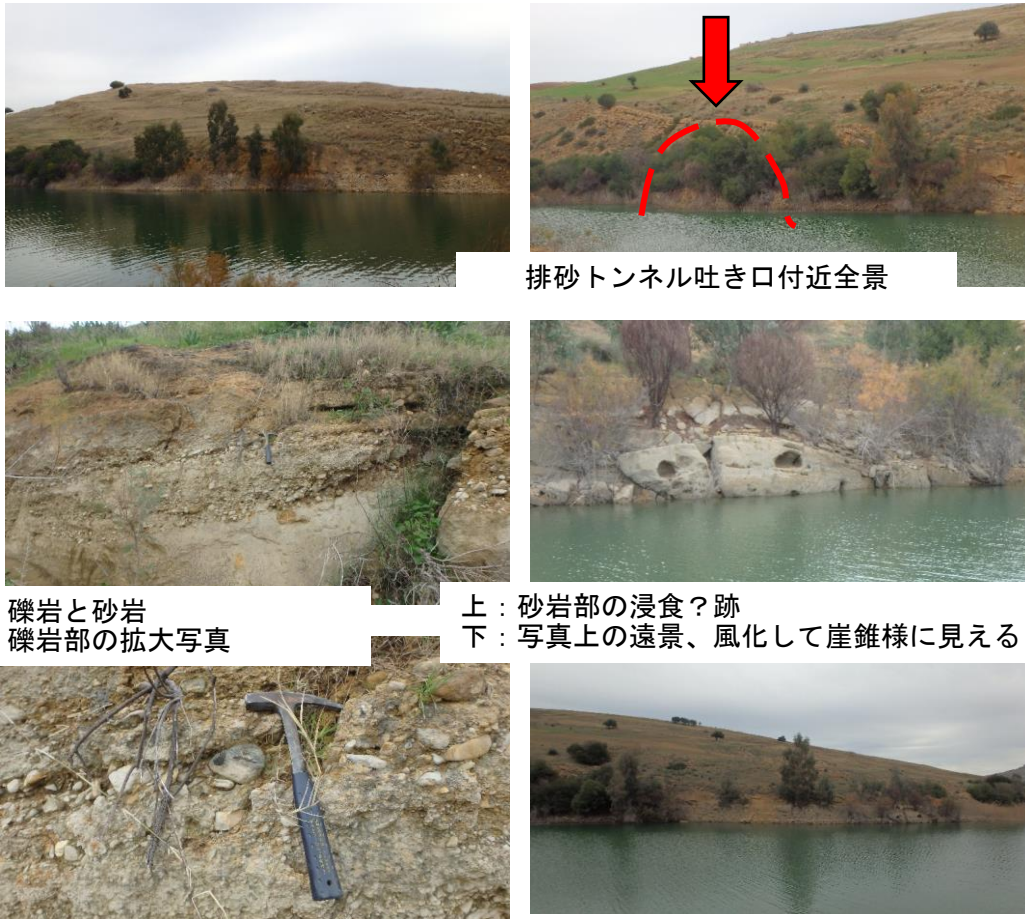
図 5-19 土砂バイパストンネル呑口（TB-1）付近地質・岩盤状況

## 2) 上流案出口付近の地質・岩盤状況

トンネル出口付近は、新生代の礫岩、頁岩/砂岩互層からなる。

岩片は地表部付近では風化により褐色・軟質化が認められるが、斜面部でも比較的固結度が良好である。ただし、地形が緩斜面を形成するため尾根の高標高部での風化深度は厚いものと推定される。

斜面部で一部岩盤に穴が空いているが、溶食されるような地層ではないため成因は不明。



上：礫岩と砂岩  
下：礫岩部の拡大写真

上：砂岩部の浸食？跡  
下：写真上の遠景、風化して崖錐様に見える

出典：JICA 調査団

図 5-20 土砂バイパストンネル上流案吐き口（TB-2）付近地質・岩盤状況

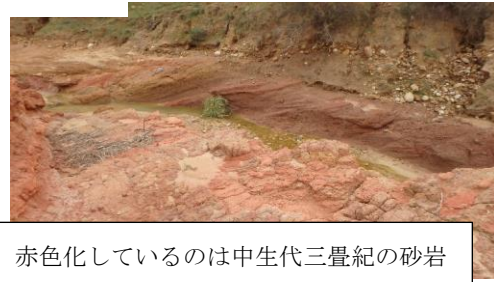
### 3) 下流案出口付近の地質・岩盤状況

尾根高標高部には、新生代の礫岩、頁岩層などが下位の中生代三畳紀の地層を不整合に覆って分布する。これら新生代の地層は風化により軟質化、礫状化している。

トンネル出口付近には、中生代三畳紀とされる赤色化した粘板岩、砂岩、礫岩の互層が堆積している。これら三畳紀の堆積物に風化は認められるが、岩片は硬質な部分が多い（踏査の結果）。また、粘板岩では層理面沿いの節理が発達している。



全般に岩片は赤色化している。  
岩片は新鮮部では極めて硬質。  
岩種は、砂岩、粘板岩および礫岩を主体とする。



赤色化しているのは中生代三畳紀の砂岩  
礫岩および粘板岩（泥岩）



トンネル吐き口付近全景  
トンネル天端付近は、上位の礫岩と下位の赤色砂  
岩類との境界の直下となる。  
底盤は、下流の沢部よりも深い深度である。

出典：JICA 調査団

図 5-21 土砂バイパストンネル下流案吐き口（TB-3）付近地質・岩盤状況

#### (4) 地質工学的考察

##### 1) 地質状況

##### (a) 地質層序

土砂バイパストンネル計画地点付近の想定地質層序を表に示す。地質層序は、既存文献資料および現地地質概査結果に基づいて調査団が作成したものである。

地質層序表には、現地概査により確認した各地層の地質工学的特性も併せて示している。



表 5-8 土砂バイパストンネル沿い地質層序

| 地質年代 | シンボル | 地層名 | 記 事                                                                             | 地質工学的特性                                                        |
|------|------|-----|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 新生代  | 第四紀  | dt  | 斜面地形の下部に分布する二次堆積物。性状は母岩に依存する。未固結であり、締まりは悪い。<br>分布は全般に薄い。                        | 軟質である。                                                         |
|      |      | al  | 中小河川の河床部に分布する。<br>分布は全般に小範囲で厚さも薄い。                                              | 軟質である。                                                         |
|      | 新第三紀 | TSh | 既存文献地質図の M-Pl に相当する。<br>砂岩層および礫岩層の薄層が挟在する頁岩を主体とした堆積物。<br>トンネル沿いの呑口部周辺に分布する。     | 砂岩と同様。<br>この付近では小規模な斜面崩壊跡が認められる。                               |
|      |      | TCg | M-Pl および下位の M3 中に挟在する。<br>砂岩層および頁岩層の薄層が挟在し、礫岩を主体とした堆積物。呑口部でやや厚く分布し、吐き口部で薄く分布する。 | 砂岩と同様。<br>礫岩中の礫は円礫を主体とし、場所によって礫径がやや異なるものの概ね 5cm 程度以下である。       |
|      |      | TSs | 既存文献地質図の M3 に相当する。<br>所々に礫岩の薄層が挟在する。<br>全般に地層の傾斜が下流側で緩傾斜となり、上流側ではやや地層の傾斜がきつくなる。 | 軟岩である。トンネルルート沿いの広範囲に分布する。<br>風化部は、軟質となっている。新鮮部は、比較的固結している。     |
| 中生代  | 三疊紀？ | MSs | 特徴的な赤色から赤褐色を呈する。<br>砂岩および粘板岩を主体とする。<br>トンネル下流案の吐き口付近に広く分布する。                    | 岩片は新鮮部では硬質であり、硬岩からなる。<br>粘板岩部は層理面沿いの節理がやや発達している。<br>風化部は軟質となる。 |

出典：JICA 調査団

## (b) 土砂バイパストンネルルート沿いの地質分布

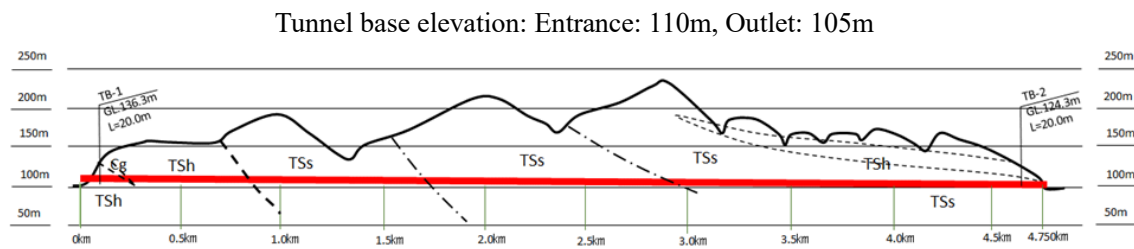
上流案および下流案計画土砂バイパストンネル沿いの想定地質断面を①および②に示している。

地質状況については、トンネル入り口からトンネル出口手前までの地質構成および構造に大差はないが、

図 5-22 に示すようにトンネル出口付近で②下流案では中生代三疊紀の砂岩/粘板岩を主体として地層が分布する。また、この付近では中生代三疊紀の地層を新第三紀層が不整合に覆っているため、やや透水性の高い基底礫層が境界部に挟在していることが考えられる。

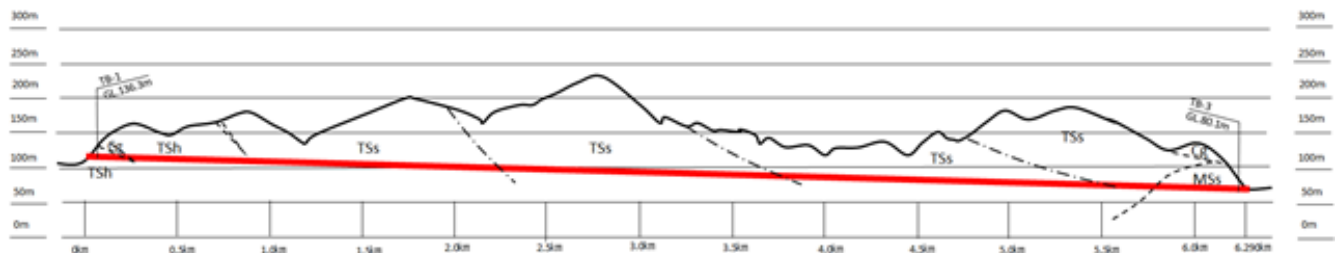
また、本調査で実施した地表地質概査の結果では、新第三紀層の地層の傾斜がトンネル出口付近では緩いが、トンネル入り口に行くに従って徐々に急になる傾向が認められる。特に入り口周辺付近では、頁岩類 (TSh) の示す地層の傾斜が比較的高角度となる地点も確認されており、これまでの現地調査では TSs と TSh の境界部の地質状況の詳細は不明であるが、断層が分布する可能性も否定できない。

① 上流案ルート



Source : JICA Study Team

② 下流案ルート



Source : JICA Study Team

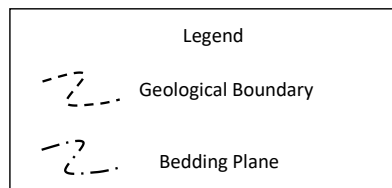


図 5-22 計画土砂バイパストンネル沿い想定地質断面図

## 2) 岩盤状況とトンネルタイプ分類

### (a) 岩級区分

岩級区分とは、岩盤をボーリング調査により採取されるボーリングコアを①岩片の硬さ、②コアの形状および③割れ目の状態の三要素に着目して区分を行い、地山の岩盤をランク分けし、地山内の岩盤等級区分を行うために実施する。また、岩盤等級区分による区分ごとに岩盤の工学的特性を設定し、構造物の設計が行われる。

岩級区分基準は、表 5-9 に示すように大まかな定性的な指標はあるが、工学的特性と岩級区分あるいは岩盤等級区分はサイトごとの特性と関連づけて設定することができる。

表 5-9 岩盤等級区分基準の例

|      | 硬質岩                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 中硬質岩                                                                                                                                                                                                                                     | 軟質岩                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 岩盤等級 | 一定の目安としては、新鮮な岩石のASTMピースの軸圧縮強度が800kgf/cm <sup>2</sup> 以上のものである。岩石ハンマーによる打撃では一般に金属音を発する。                                                                                                                                                                                                                            | 一定の目安としては新鮮な岩石のASTMピースの軸圧縮強度が600～200kgf/cm <sup>2</sup> の範囲にあるものである。岩石ハンマーによる打撃ではかなりしまった音を生ずるが一般には金属音を生じない。この範囲にあるもののうち、軟質側のもは岩石ハンマーの矢頭部による打撃で岩石の表面におずかにくぼみを生ずる場合もある。                                                                    | 一定の目安としては新鮮な岩石の軸圧縮強度が200kgf/cm <sup>2</sup> 以下のものである。岩石ハンマーによる打撃では強い破壊した音を生じ、ときには破壊する場合もある。岩石ハンマーの矢頭部による打撃では岩石の表面に容易にくぼみが生ずる。                                                                                                                        |
| A    | 岩質は極めて新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は全く風化変質しておらず、また節理はほとんど分布していない。岩盤としては極めて堅固、緻密である。                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| B    | 岩質は新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子はほとんど風化変質していない。また節理の分布はまばらであり、密着している。岩盤としては堅固、緻密である。                                                                                                                                                                                                                                   | 岩質は新鮮であり、構成粒子は二次的な風化変質を全く受けていない。また節理などの割れ目はほとんど分布していない。岩盤としては堅固である。この場合、軟質側に近いものについては、上記のような性質であっても、すでにこのクラスに属するものがある。                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| C    | Cu<br>岩質はおおむね新鮮、堅固であるが、火成岩では造岩鉱物中、長石類および雲母、角閃石などの有色鉱物がわずかに風化変質している場合もあり、また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する粘土質および有色鉱物がわずかに風化変質している場合もある。節理はかなり分布しており、また節理面は風化変質をうけて変色汚染されている場合が多く、ときには風化物質がうすく付着していることもあるが、一般にはおおむね密着している。岩盤としては堅固である。                                                                                        | 岩質は新鮮であり、構成粒子は二次的な風化変質をうけていない。また節理の分布はまばらで密着している。岩盤としてはおおむね堅固である。ただしこの場合、軟質側に近いものについては、このような性質で自然に属するものがある。                                                                                                                              | このクラスの対象となる岩石は、中硬質岩に近いもの（新鮮な岩石の軸圧縮強度が150kgf/cm <sup>2</sup> 以上）である。岩質は新鮮で、構成粒子は風化変質を全く受けておらず、また節理はほとんど分布していない。                                                                                                                                       |
|      | Cu<br>岩質は一般にやや風化変質している。このうち火成岩では石英を除き、長石類および有色鉱物は風化を受け、しばしば褐色あるいは赤褐色を示している。また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する粘土質および有色鉱物が風化変質し、火成岩の場合と同様、しばしば褐色あるいは赤褐色を示している。節理は開口し、しばしば粘土あるいは風化物質を挟んでいる。このクラスの岩石中では細かな毛髪状割れ目が多量にはいれ込んでいることが多いので岩石ハンマーで打撃すれば、この毛髪状割れ目を分離面として破壊することがしばしばある。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が密しく、クラックな状態を示すものもこのクラスに含まれる。 | 構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物がやや風化変質しているものが多い。風化程度としてはあまり進んでいないが、岩石が中硬質の岩石であるので、絶対的な硬さとしてはやや軟質な感じをうける。節理はかなり分布しており、やや開いていることが多く、節理面は風化変質をうけて変色汚染されており、しばしば粘土の薄層、風化物質を挟んでいる。このクラスの岩盤は毛髪状割れ目がある程度存在するので、岩石ハンマーによる打撃ではこの毛髪状割れ目を分離面として、しばしば破壊する。 | 岩質は新鮮であり、構成粒子も二次的な風化変質をうけていない。また、節理はほとんど分布していないが、あるいは分布していてもまばらであり、しかも密着している。節理としては風化はほとんど受けていないが、原岩が軟質な岩石であるので、絶対的な硬さとしては、軟質な感じをうける。岩石ハンマーの矢頭部による打撃で岩盤の表面に容易に凹痕が生ずる。この場合、軸圧縮強度が100～200kgf/cm <sup>2</sup> 程度以下のものではすでにこのクラスに属するC <sub>2</sub> に属する。 |
|      | C <sub>2</sub><br>火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受けているために、岩石全体としても一般に褐色あるいは赤褐色を示す。節理は開口し、粘土および風化物質の挟み込みに、このクラスの岩石では細かな毛髪状割れ目の分布が著しく、さらにこの割れ目に沿って風化も進んでいるので、岩石ハンマーによる打撃によって容易に破壊あるいは凹痕を生ずる。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が密しく、石粒状の風化を示すものもこのクラスに含まれる。                                                                          | 構成粒子は風化変質し、節理程度は著しく低くなり、原岩が中硬質の岩石であるので、絶対的な硬さとしてはかなり軟質な感じをうける。節理はかなり分布している。節理は開口し、また風化物質、粘土層を著しく挟み込んでいる。このクラスの岩盤では毛髪状割れ目に沿って、かなり風化がすすんでいるので、岩石ハンマーによる打撃によっても容易に破壊する。                                                                     | 構成粒子はやや風化変質を受け、節理程度は著しく低下している。岩盤としては絶対的な硬さとしては、極めて軟質な感じをうける。岩石ハンマーの矢頭部で打撃すると、しばしば矢頭部は岩盤に突きささる。                                                                                                                                                       |
| D    | 火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受け、しばしば砂状および粘土状を示す部分が見られる。このクラスの岩盤では節理の分布はむしろ不明瞭である。                                                                                                                                                                                                                                   | 構成粒子は風化変質が著しくすすみ、節理程度は著しく低下し、しばしば砂状および粘土状を示している。このクラスのものは、割れ目の分布はむしろ不明瞭である。                                                                                                                                                              | 構成粒子の節理程度は極めて低くなり、大部分は砂状あるいは泥土状を示している。                                                                                                                                                                                                               |
| 該地岩石 | (1) 深成岩、中深成岩および火山岩などの火成岩類がこれに該当する。<br>(2) 中生代以前の砂岩、礫岩、チャート、石灰岩および堆積岩類などの堆積岩および火山砕屑岩がこれに該当する。ただし粘板岩、頁岩は原則的には除外する。<br>(3) 変成岩のうち、片麻状の片麻岩はこれに該当する。ただし、榴石片麻岩は除外する。<br>その他、新第三紀の堆積岩および火山砕屑岩にもこれに該当するものもある。                                                                                                             | 新第三紀中新世以前の第三紀の堆積岩（泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩）および火山砕屑岩（凝灰岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩および溶結凝灰岩）の大部分がこれに該当する。ただし、第四紀の溶結凝灰岩にはこれに該当するものもある。                                                                                                                             | 新第三紀新第三紀以降の堆積岩（泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩）および火山砕屑岩（凝灰岩、凝灰角礫岩および火山角礫岩）の大部分がこれに該当する。ただし、第四紀の火山砕屑岩には、これに該当するものもある。                                                                                                                                                 |

出典：菊池の岩盤等級区分基準（塊状岩盤）（菊池,1990,106-107）



| (a) 岩盤の区分基準         |     |                                 |                      |     |                               |
|---------------------|-----|---------------------------------|----------------------|-----|-------------------------------|
| (a) 下基ダム（花崗岩・安山岩の例） |     |                                 | (b) 樹花ダム（凝灰角礫岩の例）    |     |                               |
| 区分要素                | 細区分 | 内 容                             | 区分要素                 | 細区分 | 内 容                           |
| 岩塊の硬さ               | A   | 堅 硬 <sup>1)</sup>               | 硬 さ                  | A   | 堅 硬 <sup>1)</sup>             |
|                     | B   | 一部堅硬、一部軟質、全体にやや軟質 <sup>2)</sup> |                      | B   | 中程度あるいは硬軟が入り混じる <sup>3)</sup> |
|                     | C   | 軟 質 <sup>2)</sup>               |                      | C   | 軟 質 <sup>3)</sup>             |
| 割れ目の間隔              | I   | 50cm以上                          | 割れ目の間隔 <sup>4)</sup> | I   | 50cm以上                        |
|                     | II  | 50～15cm                         |                      | II  | 50cm～15cm                     |
|                     | III | 15cm以下                          |                      | III | 15cm以下                        |
| 割れ目の状態              | a   | 密 着                             | 角礫の量比 <sup>5)</sup>  | a   | 50%以上                         |
|                     | b   | 間 口 状                           |                      | b   | 50～20%                        |
|                     | c   | 粘土をはさむ                          |                      | c   | 20%以下                         |

〔注〕 1) ハンマーで火花が出る程度。 2) ハンマーで強打して1回で割れる程度。 3) ハンマーでくずせる程度。  
 4) ここでの数値は一例であり、現場条件で異なる。 5) 例算]a中の面積比

| (b) 岩盤の評価（下基ダムの例） |      |                                          |
|-------------------|------|------------------------------------------|
| 評価区分              | 評 価  | 細区分の組み合わせ                                |
| [A]               | 良 好  | A Ia, A Ib, B Ia, B Ib                   |
| [B]               | やや良好 | A Ic, A Ha, A Hb, B Ic, B Ha, B Hb, C Ia |
| [C]               | やや不良 | A Hc, C Ib, C Ic, C Ha, C Hb             |
| [D]               | 不 良  | 残りの組み合わせ                                 |

表 5-10 コア細区分の例

(1) 【コア硬軟区分判定表】

| 記号 | 硬軟区分            |
|----|-----------------|
| A  | 極硬。ハンマーで容易に割れない |
| B  | 硬。ハンマーで金属音      |
| C  | 中硬。ハンマーで容易に割れる  |
| D  | 軟。ハンマーでボロボロに砕ける |
| E  | 極軟。マサ状、粘土状      |

(2) 【コア形状区分判定表】

| 記号   | コア形状                                 |
|------|--------------------------------------|
| I    | 長さ50cm以上の棒状コア。                       |
| II   | 長さが50～15cmの棒状コア。                     |
| III  | 長さが15～5cmの棒状～片状コア。                   |
| IV   | 長さが5cm以下の棒状～片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの。 |
| V    | 主として角礫状のもの。                          |
| VI   | 主として砂状のもの。                           |
| VII  | 主として粘土状のもの。                          |
| VIII | コアの採取ができないもの。スライムも含む。                |

(3) 【コア割れ目状態判定表】

| 記号 | 割れ目状態区分                               |
|----|---------------------------------------|
| a  | 密着している、あるいは分離しているが割れ目沿いの風化・変質は認められない。 |
| b  | 割れ目沿いの風化・変質は認められるが、岩片はほとんど風化・変質していない。 |
| c  | 割れ目沿いの岩片に風化・変質が認められ軟質となっている。          |
| d  | 割れ目として認識できない角礫状、砂状、粘土状コア。             |

【出典】

ボーリング柱状図作成要領（案）解説書（改訂版）。日本建設情報総合センター。1999

## (b) トンネルタイプの分類基準と分類

これまでに記述した岩盤等級区分は、計画ルート沿い地山岩盤状況の全容を把握するために実施している。ここでは、地山の岩盤状況に基づいて具体的な水路トンネルを建設する際の岩盤区分について検討する。水路トンネル設計のための基準として以下の基準を用いた。

「農林省土地改良事業計画設計基準 水路トンネル編 (平成 26 年 7 月)」  
農林水産省農業振興局整備部設計課監修 公益社団法人 農業農村工学会 発行

表 5-11 トンネルタイプの分類基準

| Type of Tunnel |    | Geological Condition                        |                      | Steel Seat Pile |                              | Shotcrete/Rock Bolts          |                      |                            |        |                           |                      |
|----------------|----|---------------------------------------------|----------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------|--------|---------------------------|----------------------|
|                |    |                                             |                      | Suport Work     | Lining                       | Design Thickness of Shotcrete | Length of Rock Bolts | Distribution of Rock Bolts |        | Spacing of Steel Supports | Lining               |
|                |    |                                             |                      |                 |                              |                               |                      | Spacing                    | Length |                           |                      |
|                |    |                                             |                      |                 |                              | (cm)                          | (cm)                 | (m)                        | (m)    | (m)                       |                      |
| A              |    | 亀裂の少ない新鮮な岩                                  |                      | 無支保またはロックボルト    | 無筋コンクリート又は吹き付けコンクリート         | 0又は5                          | -                    | -                          | -      | -                         | 無筋コンクリート又は吹き付けコンクリート |
| B              | B1 | 亀裂おあるやや風化した岩、または軟岩                          | 鋼製支保工（アーチ、側壁ともに掛け矢板） | 無筋コンクリート        | 5                            | 0.4 De                        | 1.5                  | 2.0                        | -      | 無筋コンクリート                  |                      |
|                | B2 |                                             |                      |                 | 10                           |                               |                      | 1.5                        |        |                           |                      |
| C              |    | 風化岩・破砕岩・硬土                                  |                      |                 | 無筋コンクリート                     | 10                            | 0.5De                | 1.2-1.0                    | 1.2    | 1.2 (H-100程度)             | 無筋コンクリート             |
| D              | D1 | 著しい風化岩、断層破砕帯、軟質土砂等                          | 切羽が自立する地山            |                 | 鋼製支保工（アーチ：縫地矢板 側壁：掛矢板及び縫地矢板） | 無筋コンクリート                      | 15                   |                            |        | 1.0                       | 1.0                  |
|                | D2 |                                             |                      | 鉄筋コンクリート        |                              | 鉄筋コンクリート                      |                      |                            |        |                           |                      |
| E              |    | 切羽が自立しないために鏡止めが必要となったり、支保工が沈下したり、押出があるような地山 |                      |                 | 鉄筋コンクリート                     | 20                            | 0.6De                | less than 1.0              | 0.8    | 0.8 (H-100程度)             | 鉄筋コンクリート             |

表 5-12 トンネルタイプ特定基準

| タイプ | 地質状態              |            |                                                                                                                                                 | 弾性波速度 (km/sec)                                                   | 見かけの地山強度 比 Fc | 岩盤等級 (参考) |
|-----|-------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|
| A   | 亀裂の少ない岩盤          | 亀裂状態       | α: マッシブなものからかなり多いものまでの範囲<br>β: 少ないものから多少ある程度のもので<br>γ: ほとんどない                                                                                   | α群: 4.5以上<br>β群: 4.0以上<br>γ群: 3.0 以上                             | 10以上          | A,B       |
|     |                   | 岩石試験圧縮試験   | α: 1,200 kgf/cm <sup>2</sup> 以上<br>β: 800 kgf/cm <sup>2</sup> 以上<br>γ: 500 kgf/cm <sup>2</sup> 以上                                               |                                                                  |               |           |
|     |                   | 地山ポアソン比    | 0.16 - 0.23                                                                                                                                     |                                                                  |               |           |
|     |                   | 地圧         | 作用しない                                                                                                                                           |                                                                  |               |           |
| B   | 亀裂のあるやや風化した岩又は軟岩  | 亀裂及び破碎状態   | α: 亀裂多くところどころ小断層はさみ、場所によっては破碎質帯<br>β: 亀裂が多くところどころ小断層はさむ<br>γ: 亀裂が多少ある軟岩<br>δ: 軟岩                                                                | α群: 3.0 - 4.5<br>β群: 2.5 - 4.0<br>γ群: 2.0 - 3.0<br>δ群: 2.0 以上    | 6 - 10以上      | CH, CM    |
|     |                   | 岩石試験圧縮試験   | α: 600 - 1,200 kgf/cm <sup>2</sup><br>β: 400 - 1,000 kgf/cm <sup>2</sup><br>γ: 200 - 500 kgf/cm <sup>2</sup><br>δ: 50 - 200 kgf/cm <sup>2</sup> |                                                                  |               |           |
|     |                   | 地山ポアソン比    | 0.18 - 0.35                                                                                                                                     |                                                                  |               |           |
|     |                   | 地圧         | 一般には作用しないが、破碎質や湧水で作用することがある                                                                                                                     |                                                                  |               |           |
| C   | 風化岩、破碎帯、硬土        | 亀裂及び破碎状態   | α: 破碎帯<br>β: 破碎帯もしくは、亀裂や小断層が多い<br>γ: 亀裂が多く、破碎帯又は軟岩<br>δ: 軟岩又は固結度の悪いもの(よく締まった硬土砂も含む)<br>一般に切羽全面又は一部が崩壊してくるような場合に適用する                             | α群: 1.8 - 3.0<br>β群: 1.5 - 2.5<br>γ群: 1.0 - 2.0<br>δ群: 0.8 - 2.0 | 2 - 6         | CM, CL    |
|     |                   | 岩石試験圧縮試験   | 50 kgf/cm <sup>2</sup> 以下                                                                                                                       |                                                                  |               |           |
|     |                   | 地圧         | 作用する                                                                                                                                            |                                                                  |               |           |
| D   | 著しい風化岩、断層破碎帯、軟質土砂 | 亀裂、破碎、軟質状態 | α: β: 破碎帯及び湧水区間<br>γ: 破碎帯又は軟質岩で固結度が低い<br>δ: 破碎帯又は固結度が非常に悪い<br>一般に未固結の堆積土等で、切羽全体が湧水により自立せずに流動化する場合や、湧水が著しく多い破碎帯に適用する                             | α群: 1.8 以下<br>β群: 1.5 以下<br>γ群: 1.0 以下<br>δ群: 0.8 以下             | 2.0以下         | CL, D     |
|     |                   | 岩石試験圧縮試験   | 50 kgf/cm <sup>2</sup> 以下                                                                                                                       |                                                                  |               |           |
|     |                   | 地圧         | 作用する                                                                                                                                            |                                                                  |               |           |

表 5-13 岩石区分 (表 5-12 中の分類)

表-6 岩石区分

| 群   | 岩 石 名                                 |
|-----|---------------------------------------|
| α 群 | ① 古生層、中生層 (粘板岩、砂岩、礫岩、チャート、石灰岩、輝緑凝灰岩等) |
|     | ② 深成岩 (花崗岩、閃緑岩等)                      |
|     | ③ 半深成岩 (ひん岩、花崗はん岩、輝緑岩等)               |
|     | ④ 火山岩 (粗粒玄武岩、玄武岩等)                    |
|     | ⑤ 変成岩 (片岩類、片麻岩、千枚岩、ホルンフェルス等)          |
| β 群 | ① 剥離性の著しい変成岩 (片岩類、片麻岩)                |
|     | ② 剥離性の著しいまたは細層理の古生層、中生層 (千枚岩、粘板岩、頁岩等) |
|     | ③ 火山岩 (流紋岩、石英粗面岩、安山岩等)                |
|     | ④ 古第三紀層の一部 (珪質頁岩、珪質砂岩等)               |
| γ 群 | 古第三紀層～新第三紀層 (頁岩、砂岩、礫岩、凝灰岩、凝灰角礫岩等)     |
| δ 群 | ① 新第三紀層 (泥岩、シルト岩、砂岩、凝灰岩等)             |
|     | ② 洪積層、新第三紀層の一部 (低固結層、未固結層、土丹、砂等)      |
|     | ③ 表土、崩壊土                              |

(注) ①本表は、トンネル標準示方書 (山岳工法)・同解説 (平成 18 年度版) を引用している。

②表中の洪積層については、平成 22 年に国際地質科学連合 (IUGS) において、地質時代区分の名称としての使用は廃し、更新世を使用することとしている。

### 3) トンネルルート沿いの岩盤状況とトンネルタイプ

本検討では地山全体の岩盤状況とその分布を想定し、その結果に基づいて農林省土地改良事業計画設計基準 水路トンネル編 (平成 26 年 7 月)」により地山内に建設される水路トンネル沿いのトンネルタイプを分類した。

トンネル沿い地山状況から前述の表 5-11～表 5-13 に示す分類基準に基づいてトンネルタイプを分類した結果の概要を表 5-14 に示す。表 5-14 には一般的な岩級区分も併せて示している。

表 5-14 土砂バイパストンネル沿いのトンネルタイプ分類 (農水省基準による)

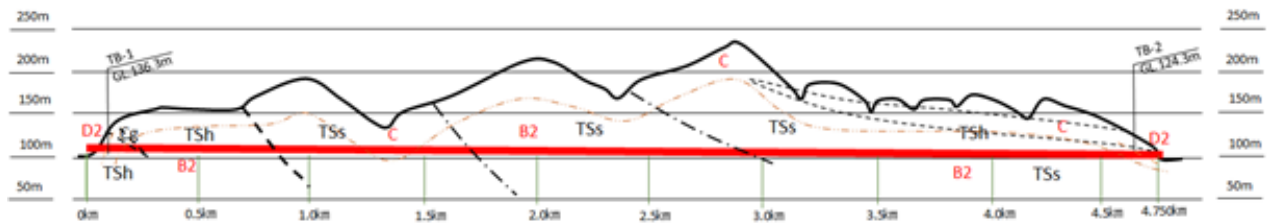
| 地形・岩盤状況                   | 岩級区分          | トンネルタイプ | 備 考                   |
|---------------------------|---------------|---------|-----------------------|
| トンネル坑口部・推定断層破砕帯           | D 級<br>D～CL 級 | D2      | 坑口部および断層沿い各々 5m 程度を想定 |
| トンネル坑口付近風化部<br>あるいはその他風化部 | CL 級          | C       | 坑口風化部、かぶりの薄い地山        |
| 地山内部                      | CM 級          | B2      | 地山深部深浅部               |

出典：JICA 調査団

#### (a) 上流案ルート

表層は全般にやや風化した状態である。地山深部では比較的固結度が高く、良好な状態であろうと考えられる。その間は表層部ほど顕著ではないものの、風化が及んでいるものと想定される。ただし、地表踏査の結果では強風下部は全般に浅い。

上流案沿いでは、上流側入り口 (呑み口) から 1.3km 程度の地点に深い沢地形が形成されており、その区間ではトンネル上部の地形が浅くなることか、その区間ではトンネル沿いの岩盤にやや風化が及んでいるものと考えられる。



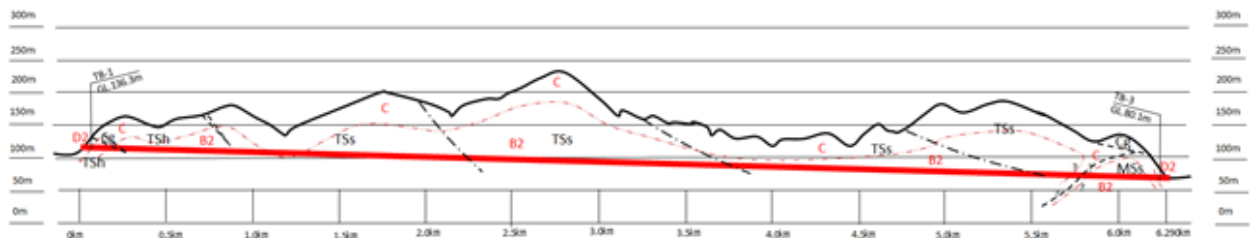
出典：JICA 調査団

図 5-23 計画土砂バイパストンネル沿い想定トンネルタイプ分類（上流案）

## (b) 下流案ルート

上流案ルートと基本的な岩盤の風化の状況は変わらないものと考えられる。

下流案沿いでは下流放出口付近には中生代三畳紀の固結度が良好な堆積岩類が分布するものの、この付近ではその上位に新第三紀層が堆積しており、その境界部には不整合面が形成されていると考えられることから、不整合面地はやや深部まで風化が厚いものと考えられる。



出典：JICA 調査団

図 5-24 計画土砂バイパストンネル沿い想定トンネルタイプ分類（下流案）

## 4) トンネル建設上の課題

### (a) 概要

#### 1) これまでの調査の概要

本調査では、計画トンネルルート上下流案沿いのトンネル入り口部に1孔、各案のトンネル出口部で各々1孔、合計2孔、全体で3孔のボーリング調査を実施し、併せてトンネルルート周辺の地表地質概査を実施しているが、トンネル地質調査としては初期段階の調査である。

本調査で実施したボーリング調査では、計画トンネル入り口および出口付近のごく一部の地質・岩盤状況を把握した。また、地表地質概査では、既存の地質図をもとにトンネル周辺に出現する地質および地表部での岩盤状況を確認した。

#### 2) 地質・地形概要

このように本調査で実施した調査は初期段階の調査であるが、その結果では以下のことが確認あるいは推定された。

- ✓ 計画計画トンネルルート沿いの地質は、新第三紀中新世～鮮新世に形成された頁岩、砂岩および礫岩が主体として分布し、トンネル出口付近には中生代に三畳紀に形成された砂岩、粘板岩が分布すること確認された。
- ✓ トンネルルートに主体的に分布する頁岩、砂岩および礫岩は基本的に「軟岩」に分類されるものである。今回のボーリング調査は、トンネル入り口、出口箇所の表層部でのボーリング調査であることから、これらのボーリング地点では地表の風化の影響を受け軟質となっているが、これらは地山深部の新鮮部では比較的固結した状態であると推定される。
- ✓ トンネル出口付近に分布する砂岩、粘板岩についても同様に地表の風化の影響を受け軟質となっている部分の確認された。一方、これら砂岩、粘板岩は支川ぞいの河床部では極めて硬質であることが確認でき、これらの砂岩、粘板岩は基本的に新鮮部では極めて硬質な岩盤からなり、トンネル沿いの地山深部の風化の影響が及ばないあるいは影響の小さい区間では極めて硬質な岩盤状況であると推定される。
- ✓ また、トンネル入り口部および出口部では地形的に崩壊地形あるいは崩壊懸念地形が認められるが、これらの地形は規模が小さいことから坑口の配置、設計により対応は可能であろうと考えられる。

### 3) 地下水概要

これまでに地下水位に関するデータはないが、本調査で実施したトンネル計画地点周辺の地表地質概査の結果では、地山の地下水位が比較的高いことが考えられる。これは、表層の風化部を除いて深部の新鮮部では岩盤に緩みが少なく良好な状態であることを示唆している可能性もあるが、基盤岩中に断層が存在する場合には、断層箇所をトンネルで掘削した場合に多量の湧水が発生することも考えられるため、今後、地質調査により断層の分布、連続性および性状を把握し設計条件を検討してゆく必要がある。

本調査で実施した調査は初期段階の調査であるが、上記の状況からは軟弱地盤から硬岩からなる岩盤基礎まで適用性のある山岳トンネル工法である NATM 工法による本地点でのトンネル掘削には地形・地質上の致命的な問題点はなく建設は可能である判断している。

なお、現時点で、想定される地形・地質的な主な留意点として以下の点が挙げられる。

#### (b) 地形・地質的な留意点

今回実施した現地地表踏査およびボーリング調査の結果から、トンネルルート沿いでは以下のような地形・地質面での留意点が挙げられる。

##### 1) トンネル坑口部付近の地すべり懸念地形および崩壊地形

- 地すべりあるいは崩壊地形については、貯水池側流入口 TB-1 付近およびトンネル下流案出口 TB-3 付近で認められる。貯水池側流入口 TB-1 付近で見られる地すべり懸念地形または崩壊地形は小規模であることからこれらを避けてトンネル坑口を配置することは可能と考える。

- トンネル下流案出口 TB-3 付近は、中生代の地層を新生代第三紀が不整合に覆って堆積しており、中生代の地層には地すべり、崩壊地形は認められないが新生代第三紀層は全般に風化が進行して崩壊しやすく、小規模な崩壊地形が認められる。坑口部の設計により対処する必要がある。

## 2) 断層

- 既存地質図によれば計画トンネル沿いには断層は存在していない。また、これまでの地表概査でも断層露頭は確認していない。しかし、貯水池側流入口 TB-1 付近に分布する新第三紀層の頁岩層（Tsh）は、東側に分布する砂岩層（Tss）に比べ地層の傾斜が急傾斜となる傾向がみられる。また、頁岩層（Tsh）と砂岩層（Tss）の境界も周辺地域での断層のトレンドである NE-SW 方向であることから、この付近に断層が分布する可能性も考えられる。
- 断層が存在する場合には、トンネルルートはこの断層を通過することとなる。その場合には、周辺の岩盤が破碎され軟質化しており、また、断層周辺の透水性が低く、断層破碎部の透水性が高いために地下水が集まりやすくなることが考えられる。

## 3) 地下水位・その他

- トンネルルート沿いの地山の地下水位については、これまでデータはないが、地下水位は比較的高い可能性がある。
- 計画トンネル下流案出口付近(TB-3)では、中生代三畳紀の地層を新第三紀層が不整合に覆っており、この不整合面付近は全般に固結度が低く、やや透水性の高い基底礫層が境界部に挟在していることが考えられる。  
上流案および下流案の入り口側坑口（TB-1）から 1.5 km 程度の距離には、切込みのやや深い沢地形が認められる。この付近の沢には流水が認められることから、この付近の地形が比較的緩やかであるものの、地下水位は比較的高いことが考えられる。
- トンネル計画をさらに検討する場合には、地形調査および地質調査を実施し、精度を上げる必要がある。

## (c) NATM によるトンネル設計条件検討のための今後の地質調査について

本調査結果のトンネル地山分類は、農林省土地改良事業計画設計基準 水路トンネル編（平成 26 年 7 月）」による水路トンネルのトンネル地山分類を行っているが、今後、トンネル設計当たっては、詳細なボーリング調査等を実施し、その結果に基づいた NATM 工法のためのトンネル地山分類を行う必要がある。

なお、今後、建設時までにはトンネル設計条件を検討するために必要と考えられる地質調査項目とその流れについて後述の章に記述している。



#### 5.4.5 分派堰計画地周辺の土質・地質調査結果

##### (1) 調査位置

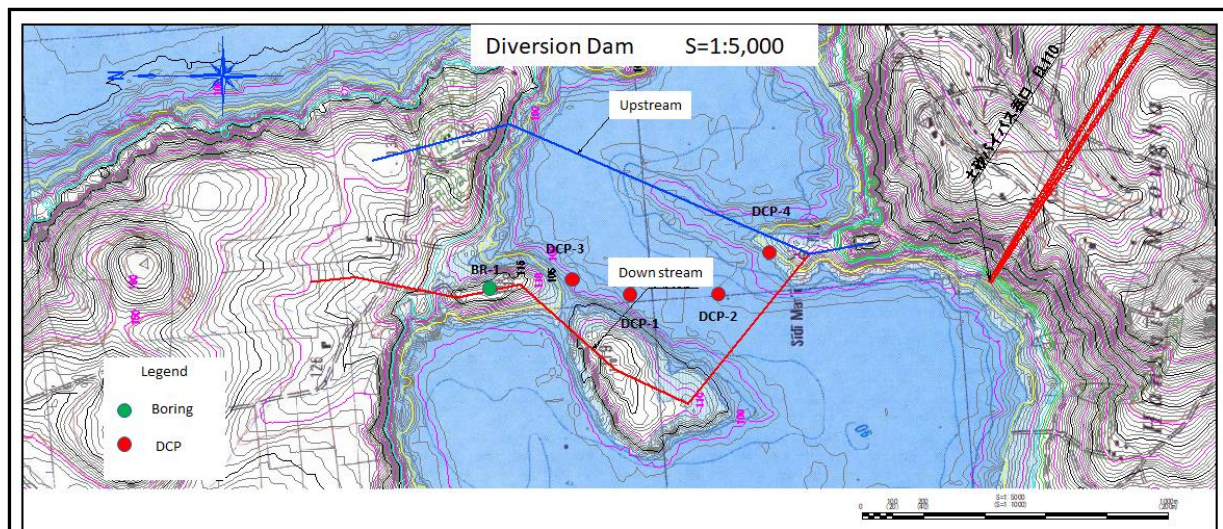
土砂バイパストンネル沿いのボーリング調査は、表 5-15 および図 5-25 に示す地点で実施した。調査は図に示すように下流案付近で実施した。

BR-1 は、メジェルダ川沿いの島部で実施した。DCP はいずれも貯水域の湖面から実施した。

ボーリング BR-1 は、基盤岩の地質および岩盤状況を把握することを目的として実施した。また、DCP は主にシディサレムダム建設後に堆積した堆積物の厚さおよび深度を確認することを目的とし、基盤に達する深度まで実施した。

表 5-15 調査諸元

| No.   | Depth (m) | Coordinates    |               | Note       |
|-------|-----------|----------------|---------------|------------|
|       |           | X              | Y             |            |
| BR-1  | 15.0      | 36°38'10.44" N | 9°20'31.16" E | Boring     |
| DCP-1 | 21.6      | 36°37'52.86" N | 9°20'28.20" E | DCP survey |
| DCP-2 | 21.2      | 36°37'44.30" N | 9°20'29.10" E | ditto      |
| DCP-3 | 5.0       | 36°38'1.28" N  | 9°20'30.96" E |            |
| DCP-4 | 4.0       | 36°37'38.62" N | 9°20'33.60" E |            |

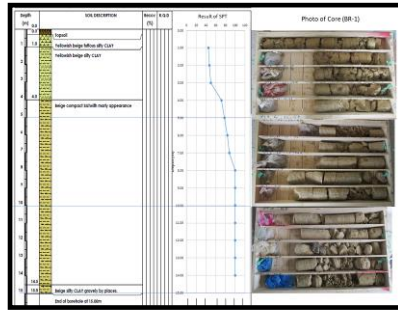


出典：JICA 調査団

図 5-25 調査位置

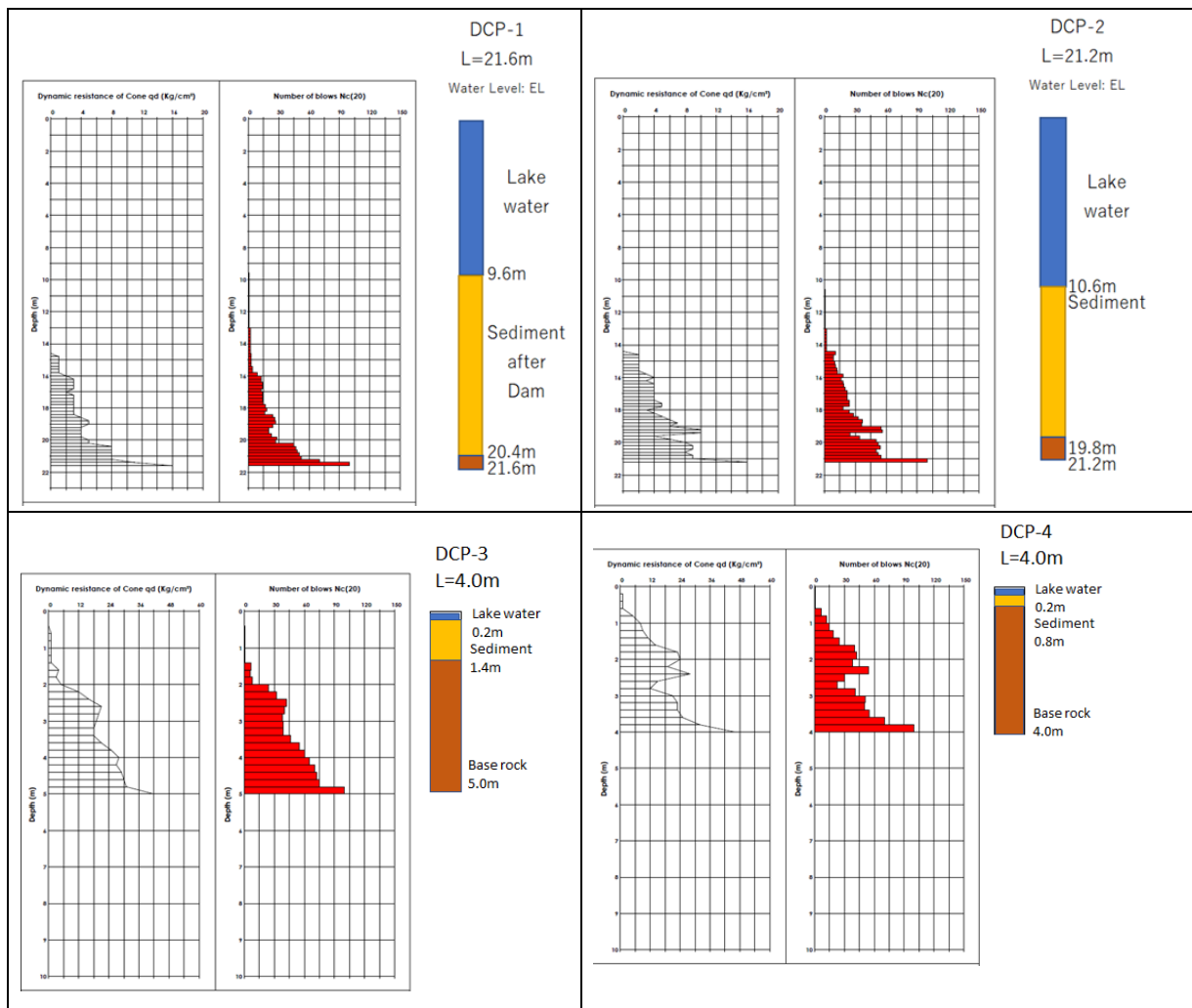
##### (2) ボーリング調査および DCP 試験結果

本調査で掘削した各ボーリングの結果は図 5-26 の簡易柱状図およびコア写真に示している。また、DCP 調査結果は、図 5-26 に各々示している。



出典：JICA 調査団

図 5-26 分派堰沿いボーリング調査結果



出典：JICA 調査団

図 5-27 分派堰沿い DCP 調査結果

ボーリング調査および DCP 調査で確認あるいは想定される各地点の地質状況および土質状況は以下の通りである。

- TB-1：新生代新第三紀に形成された砂岩および頁岩を主体とする。風化深度は浅く、着岩後すぐに比較的良好な岩盤状況となり、3m 以深は N 値 50 以上である。
- DCP-1：堆積物は水深 9.6m から確認できる。20.4m まで 10.8m の厚さで堆積物が堆積している。

- DCP-2：堆積物は水深 10.6m から確認できる。19.8m 付近まで 9.2m 程度の厚さで堆積物が堆積している。DCP-1 同様、堆積物は非常に軟質である。
- DCP-3：堆積物は水深 0.4m から確認できる。堆積物の厚さは 1m 程度であり、それ以深は基盤岩からなると考えられる
- DCP-4：堆積物は水深 0.2m から確認できる。堆積物の厚さは 0.8m 程度であり、それ以深は基盤岩からなると考えられる
- 対象地域付近の堆積物の厚さは、場所により多少差はあるものの、9～11m、平均 10m 程度の厚さで堆積していることが確認された。また、貯水面下の斜面部ではあまり厚く堆積していないことが確認された。

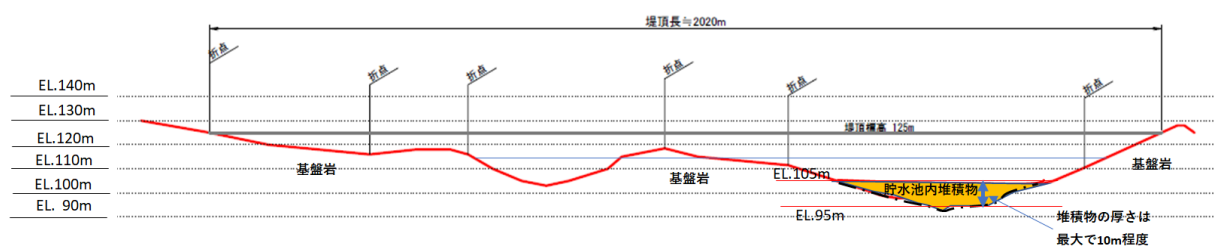
| BR-1                |         | DCP-1                | DCP-2                | DCP-3                | DCP-4                |
|---------------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| L=15.0m<br>EL.=116m |         | L=21.6m              | L=21.2m              | L=5.0m               | L=4.0m               |
|                     | N value | Water Level: EL.115m | Water Level: EL.115m | Water Level: EL.115m | Water Level: EL.115m |
| 0                   | 45      |                      |                      |                      | EL. 115m             |
| 1                   | 47      |                      |                      |                      |                      |
| 2                   | 50      |                      |                      |                      |                      |
| 3                   | 72      |                      |                      |                      |                      |
| 4                   | 78      |                      |                      |                      |                      |
| 5                   | 84      |                      |                      |                      |                      |
| 6                   | 88      |                      |                      |                      |                      |
| 7                   | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 8                   | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 9                   | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 10                  | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 11                  | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 12                  | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 13                  | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 14                  | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 15                  | 100     |                      |                      |                      |                      |
| 16                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 17                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 18                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 19                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 20                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 21                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 22                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 23                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 24                  |         |                      |                      |                      |                      |
| 25                  |         |                      |                      |                      |                      |

図 5-28 分派堰沿い調査結果

## 地質狀況

1本のボーリング調査および4本のDCPの結果であり、分派堰付近の基盤岩地質状況については十分に把握されていない。しかしながら、シディサレムダム建設後に貯水池内に堆積した堆積物の厚さについては、4本のDCPの結果により大まかな傾向を把握することができた。

図 5-29 には、分派堰下流案付近の想定される地質断面図を示している。



出典： JICA 調査団

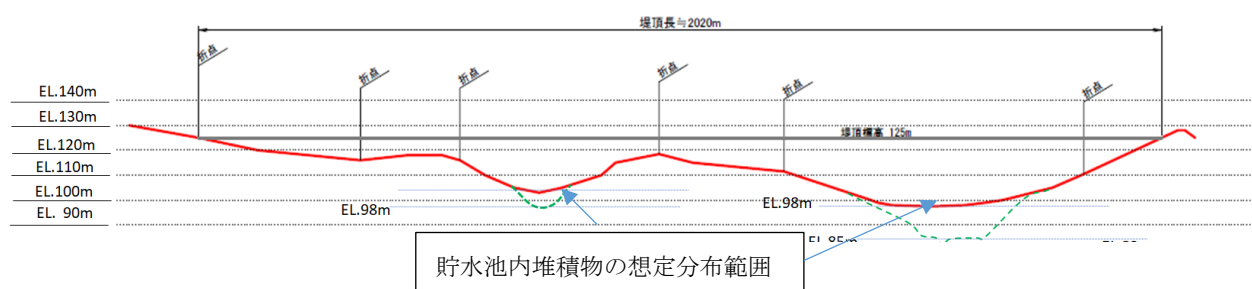
図 5-29 分派堰下流案付近想定地質断面図

分派堰付近の地質状況は以下の通りである。

- 分派堰計画地点付近の基盤岩は、新生代新第三紀に形成された堆積岩である礫岩、砂岩および頁岩を主体として構成される。
- シディサレムダム建設前の地表部は、ダム建設後に堆積した堆積物で覆われている。この堆積物の厚さは旧地形の谷底平野部分で 10m 程度である。また、貯水池の水位 105m より深い部分の斜面部の堆積物の厚さは薄いものと思われる。
- 谷底平野の基盤岩上位にはダム建設前に段丘堆積物などが堆積しているものと考えられるが、DCP の結果ではこれらの段丘堆積物は薄いものと考えられる。

#### (4) 2018 年実施深浅測量結果と DCP 結果による堆積物の分布状況の比較

2018 年 SAPI の際に実施した深浅測量結果に基づいて推定した分派堰下流案沿いの堆積物の分布状況を図 5-30 に示している。深浅測量の結果では、メジェルダ川本川沿いでは堆積物の上面標高は EL.98 m 程度と観測された。また、メジェルダ川の旧地表（河床部）標高はダム建設前の地形図から EL.85m 程度と想定していた（川の深い箇所では EL.82m 程度）。



出典： JICA 調査団

図 5-30 分派堰下流案付近想定地質断面図

一方、本調査で実施した DCP 調査の結果では、前出の図に示しているようにメジェルダ川本川沿いの貯水池内堆積物の上面標高は EL.105 m 程度であることが確認され、旧地表（河床部）標高は堆積物の厚さから EL.95m 程度であることが確認された。



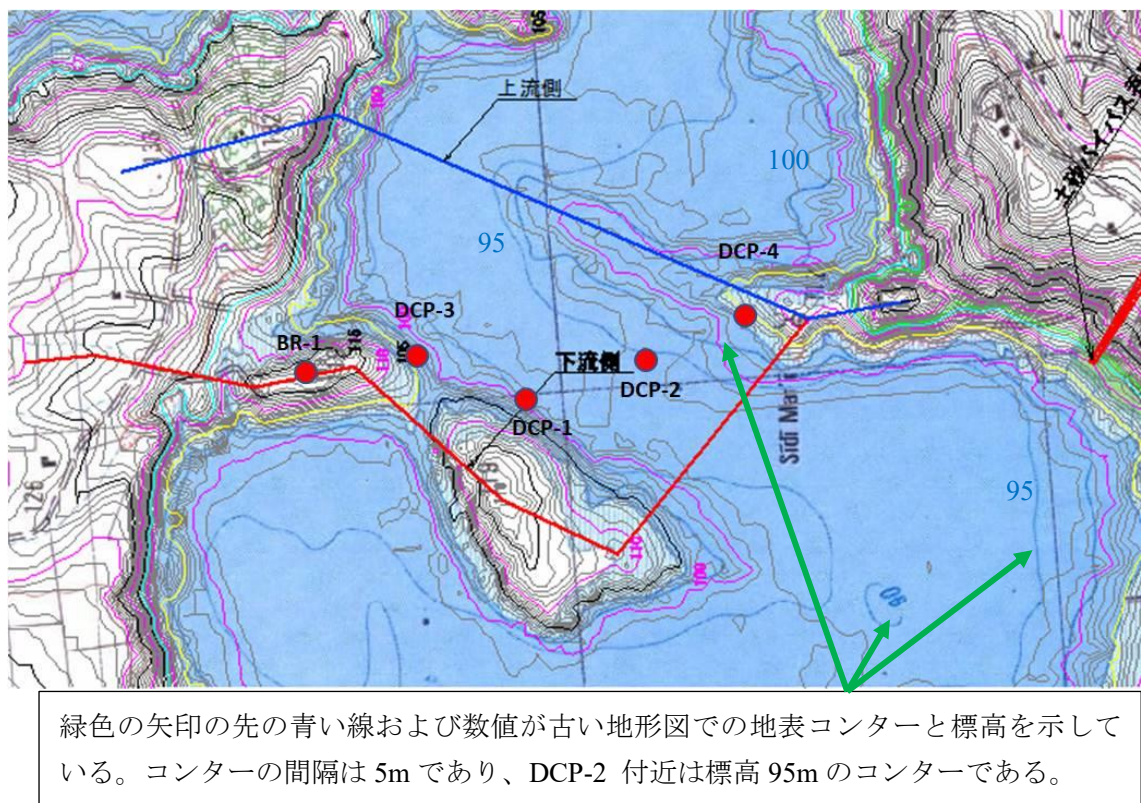
これら両者の観測結果については以下のように考える。

DCP 調査は、観測時の貯水池の水位を基準標高として、金属製ロッドにて堆積物の上面深度、基盤岩と堆積物の境界深度を直接物理的に捉えることが可能である。一方、深淺測量では DCP 調査同様に観測時の貯水池水位を基準標高とするものの、水面付近から発射した音波が湖底の積物の上面に反射することにより堆積物上面までの深度を測定することを前提としている。しかしながら、DCP では堆積物の上面を金属製ロッドで確認できることと比べ、深淺測量では音波が湖底に堆積した堆積物上位に存在する懸濁した状態の浮遊物に反射することも否定できず、両者を比較した場合、観測精度としては DCP 調査の方が高いと考える。

上記の推定から、本調査で実施した DCP による深度確認がより精度が高いと考えられ、対象地点周辺の状況については以下のようにであると推定する。

- ・貯水池内堆積物堆積前のこの付近の旧地表(河床部)標高は EL.95 m 程度
- ・この付近の貯水池内堆積物の現時点での上面標高は EL.105m 程度
- ・この付近の貯水池内堆積物の堆積厚さは最大で 10m 程度
- ・上流案左岸側の水深の浅い地点には堆積物は分布しない。

なお、図 5-31 にはダム建設前の地表面コンター（ダム建設前に作成された古い地形図の地形コンター）を示している。古い地形図で DCP-2 地点付近の旧地表（河床部）標高は EL.95m 程度であり、今回の DCP 調査から推定される深度と近似している。



出典： JICA SAPI 2018

図 5-31 分派堰下流案付近地形図

## (5) 基盤岩の岩盤状況と堆積物の状況

### 1) 基盤岩の岩盤状況

#### (a) ボーリング調査結果による基盤岩の岩盤状況

ボーリング調査の結果、着岩後、3m 程度の深度で N 値 50 以上となっており、地表部でも風化深度は比較的浅いものと考えられる。

表 5-16 には、ボーリングコアを対象として実施した一軸圧縮試験の結果を示しており、一軸圧縮強度は 11~24kgf/cm<sup>2</sup> 程度となっている。

表 5-16 一軸圧縮試験結果一覧

| No. of Test | Sampling Depth (GL.-m) | Compressive Strength |                     |
|-------------|------------------------|----------------------|---------------------|
|             |                        | kpa                  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| BR-1-1      | 8.50-8.70              | 1320.2               | 13.6                |
| BR-1-2      | 10.40-10.70            | 1074.1               | 10.95               |
| BR-1-3      | 13.20- 13.50           | 2391.6               | 24.38               |

#### (b) DCP 結果による基盤岩の岩盤状況

DCP の結果による貫入抵抗から基盤岩の N 値を想定すると、DCP-3 の 4m（着岩後 3m 程度）以深および DCP-4 の 4.5m（着岩後 4m 程度）以深で N 値が 10 程度と想定される。

以上の結果から、基盤岩の風化深度は全般に浅いものと考えられ、基盤岩の N 値は、これまでに貯水池周辺で実施されたボーリング調査の結果も参考として、着岩後 5m 程度の深度までは  $10 > N \geq 5$ 、それ以深は  $N \geq 30$  と想定した。

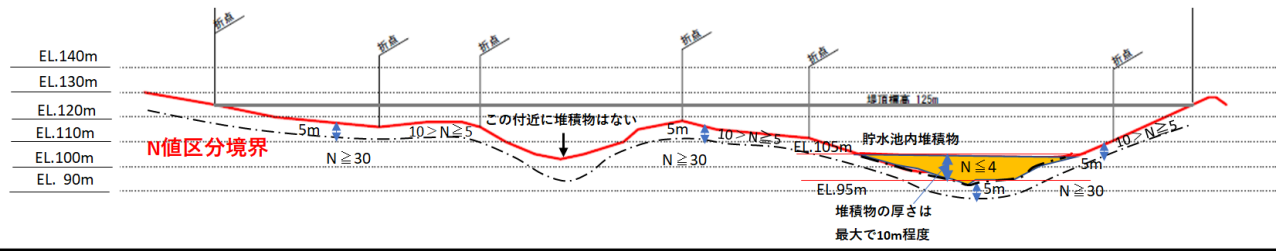
### 2) 堆積物の状況

シディサレムダム建設後に堆積した堆積物は、本 DCP 調査の結果、鉄道切土で実施した DCP 調査の結果および既往ボーリング調査標準貫入試験結果から、非常に軟質な堆積物であり、N 値は概ね 4 以下の軟弱な堆積物からなり、堆積物表層部では N 値は 1 以下であると考えられる。

### 3) 基盤岩および堆積物の N 値分布

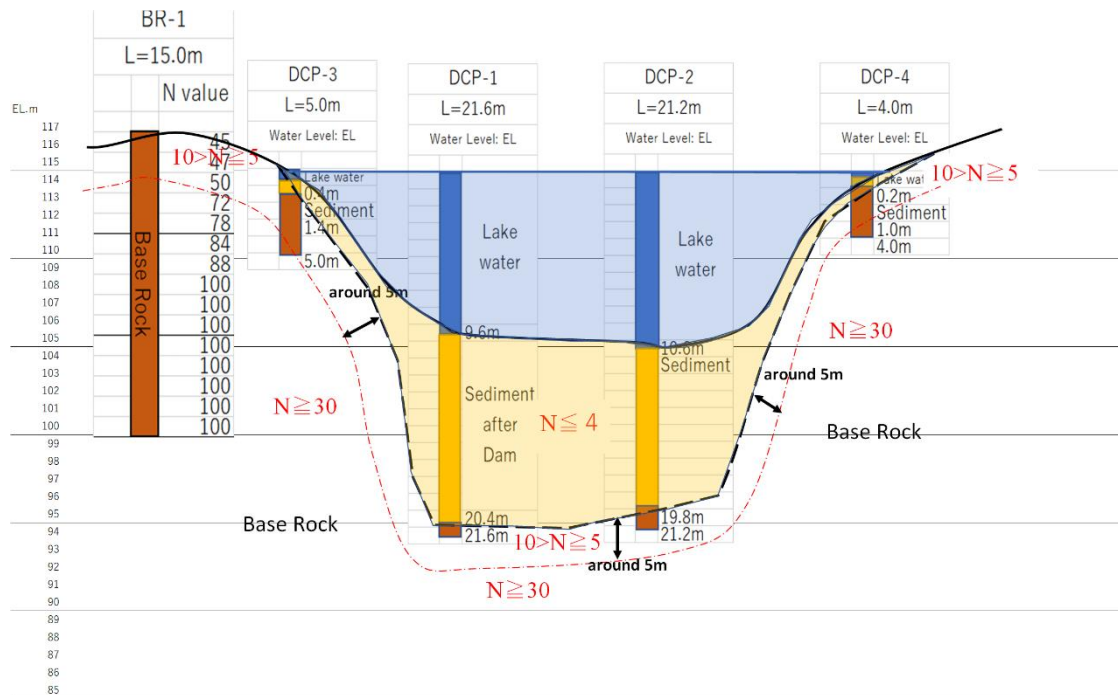
図 5-32 には、本調査の結果に基づいて想定した分派堰下流案サイトの基盤岩および堆積物の N 値の分布状況を模式的に示しており、図 5-33 には、堆積物および基盤岩の分布状況および N 値分布の模式を示している。





出典：JICA 調査団

図 5-32 分派堰下流案付近堆積物および基盤岩の N 値の分布想定図



出典：JICA 調査団

図 5-33 分派堰下流案付近 N 値の分布模式図

なお、表 5-17 には、本調査で実施した DCP 調査の結果の貫入抵抗に基づいて換算した堆積物の一軸圧縮強度 ( $q_u$ )および粘着力( $c$ )を参考値として示している。

表 5-17 堆積物のコーン貫入抵抗と一軸圧縮強度、粘着力の換算 (参考値)

| No. of DCP | 堆積物の基底深度 (m) | 堆積物の貫入抵抗 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 換算一軸圧縮強度 $q_u$ ( $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ ) | 換算粘着力 $c = q_u/2$ ( $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ ) |
|------------|--------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| DCP-1      | 20.4         | 1-5                                  | 0.2 - 1.0                                   | 0.1 - 0.5                                      |
| DCP-2      | 19.8         | 2-5                                  | 0.4 - 1.0                                   | 0.2 - 0.5                                      |
| DCP-3      | 1.4          | 1-5                                  | 0.2 - 1.0                                   | 0.1 - 0.5                                      |
| DCP-4      | 1.0          | 5                                    | 1.0                                         | 0.5                                            |

注) 一軸圧縮強度： $q_u = 0.2 \times$  コーン貫入抵抗、粘着力： $c = 0.1 \times$  コーン貫入抵抗

#### 4) 分波堰設計のための今後の地質調査について

今後の分派堰設計のためには、計画軸を含めた構造物周辺の細粒軟質堆積物の堆積面上面標高、堆積面の厚さ、基盤岩の分布深度、堆積物の物理的力学的性状、基盤岩の力学的性状の深度方向および面的な広がり把握を必要があることから、これらを確認するための調査項目を提案し後述の章に記述している。

##### 5.4.6 ダム貯水池内の濁度調査

シディサレムダムの堆砂は洪水時に流入する高濃度の濁水が主要因と推測されるが、その実態はこれまで明らかにされていない。堆砂対策を検討するにあたり、その実態の把握は重要である。

濁度調査の方法及び調査期間等を表 5-18、調査地点を図 5-34 に示す。

#### (1) 多地点移動観測

多地点連続観測は貯水池内をボートで移動して多地点で水温と濁度の鉛直分布を計測する。平常時の月 1 回の観測と洪水直後のイベント観測を実施する計画であるが、現在のところ、洪水が発生していないため、平常時の観測のみが実施されている。なお、1～2 月は強風等が続き、波浪が大きく、ボートによる移動調査は安全の確保のため中止となった。

#### (2) 定点連続観測

定点観測は濁度の時間変化を把握するため、貯水池内の 4 地点及び流入部とダム直下の放流部の 6 箇所に計測器を設置している。

表 5-18 濁度調査の概要

| 大項目     | 中項目    | 設定内容                  |
|---------|--------|-----------------------|
| 定点連続観測  | 調査期間   | 2020.1.26～            |
|         | 設置地点数  | 流入 1、湖内 4、放流 1        |
|         | 計測時間   | 20 分間隔                |
|         | 観測水質項目 | 濁度、水温                 |
| 多地点移動観測 | 調査時期   | 定期：月 回程度<br>イベント時：洪水時 |
|         | 設置地点数  | 12 地点程度               |
|         | 計測方法   | 鉛直方向に 1m ピッチで計測       |
|         | 観測水質項目 | 水温、濁度、水深              |

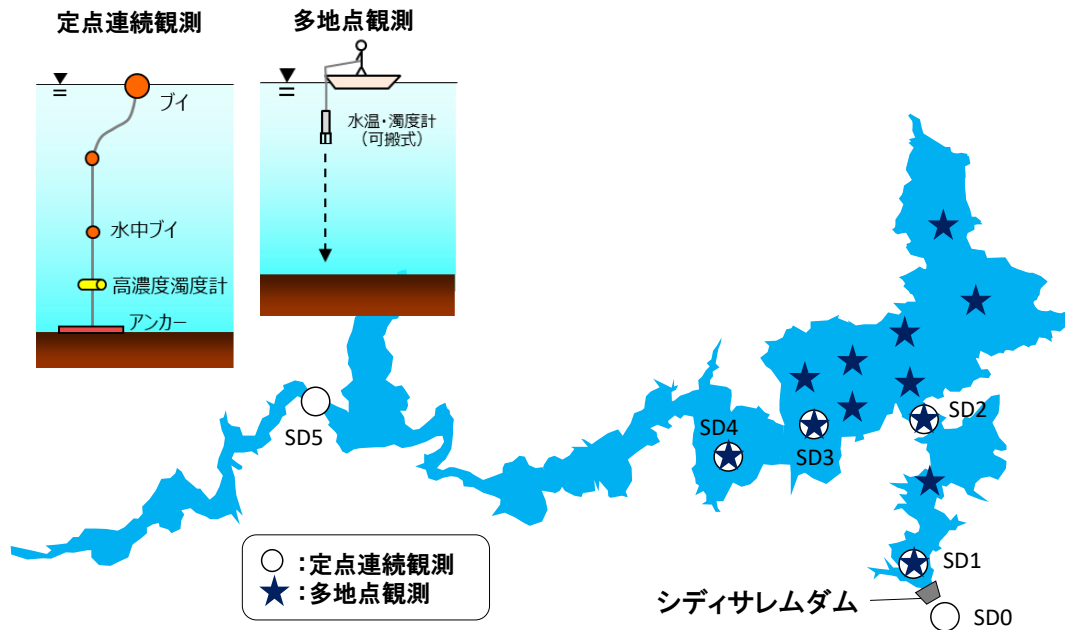


図 5-34 濁度調査の調査位置



図 5-35 貯水池内への濁度計の設置器材

表 5-19 濁度計の設置状況

| SD-0                                                                               | SD-1                                                                               | SD-2                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |  |   |
| SD-3                                                                               | SD-4                                                                               | SD-5                                                                                 |
|  |  |  |

### (3) 観測結果

#### 1) 多地点移動観測

2020 年 3 月 3 日に実施された多地点観測結果を表 5-20 に示す。

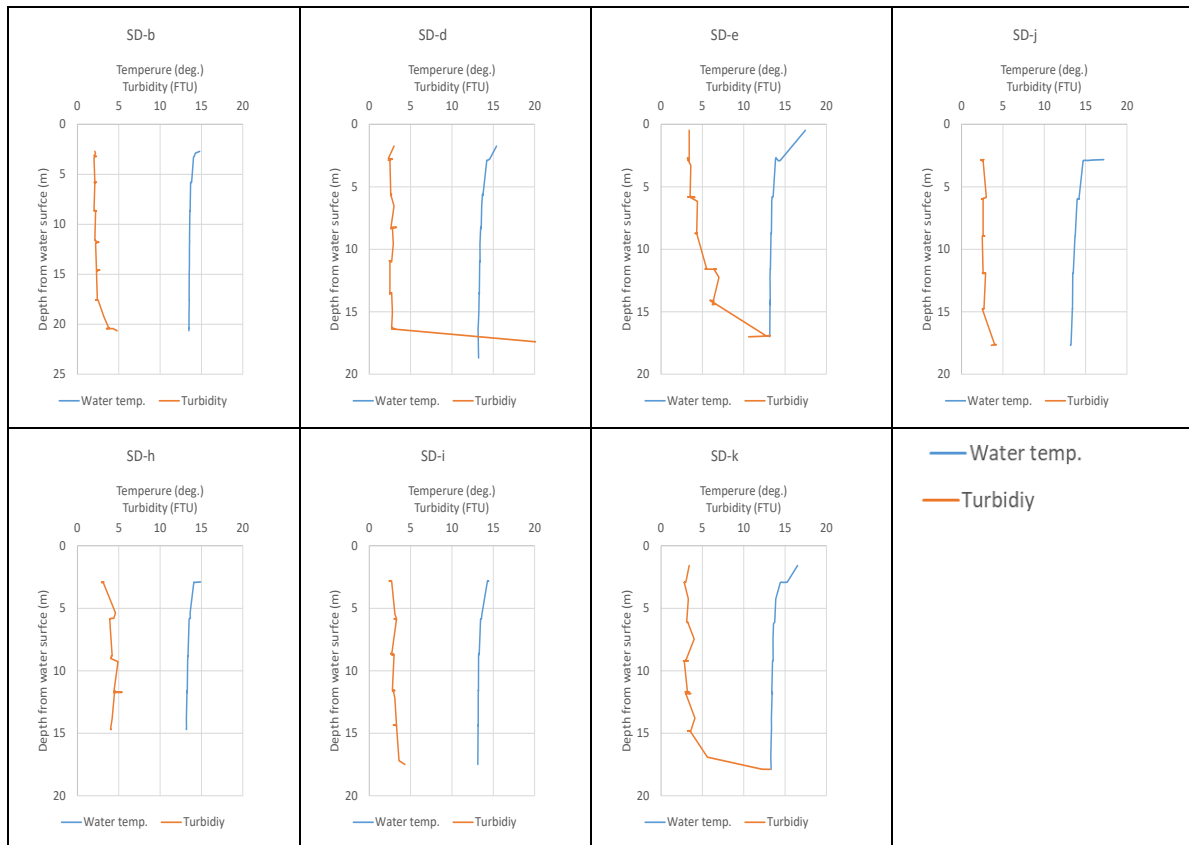
- 水温はどの地点も 13℃前後と水深方向にほぼ一様であった。チュニジアの雨季は 12 月～5 月頃であり、気温も低いため、水温成層は形成されていない。
- 濁度は場所によっては底部でやや高い箇所が見られるが、高くても 10～40 度であり、洪水時に発生する濁度のオーダー（数千～数万度）に比べると非常に低い数値であり、洪水による濁度上昇の可能性は低い。

#### 2) 連続観測

2020 年 1 月 26 日から 7 月 9 日における多地点観測結果を図 5-36 に示す。

- 水深は測定器の設置水深であるため各地点で異なるが、いずれも大きな水位上昇は見られず、洪水が発生していない様子わかる。
- 水温は設置当初はいずれも 12℃程度で同じ水温であったが、7 月の時点では水深の浅い計測器と深い計測器で 5℃程度差が生じており、水温成層が形成されている。
- 濁度も大きな増加は見られないが、最上流の SD4 のみ最近、多少の濃度上昇が認められる。貯水位が低下しており、堆砂面から巻き上がっている可能性がある。

表 5-20 多地点水質観測結果（観測日：2020.3.3）



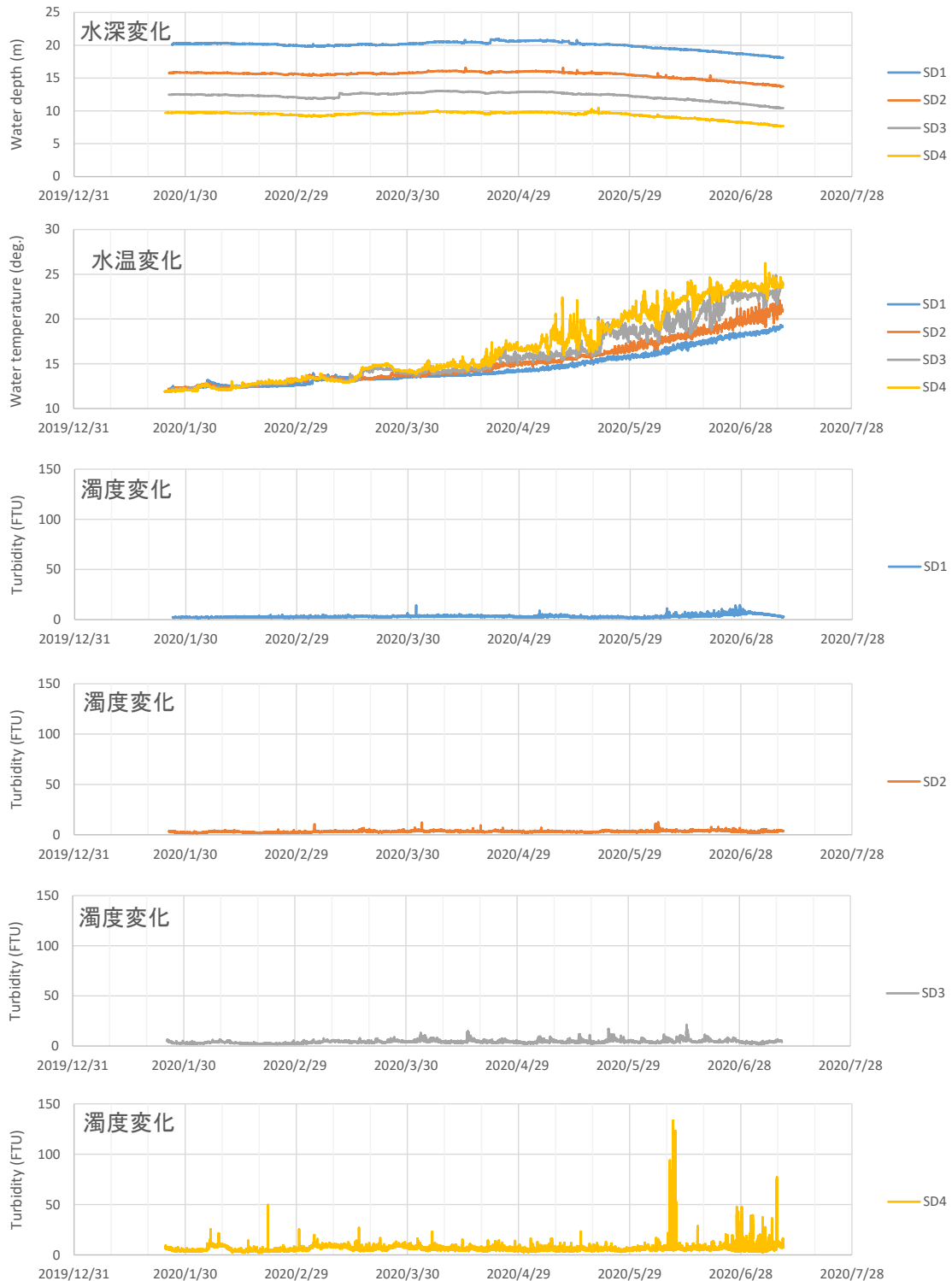


図 5-36 定点連続観測結果 (2020.1.26~2020.7.9)

#### (4) 今後の対応

貯水池内の濁度調査に関しては 2022 年 4 月から農業省が継続して実施中である。今後得られるデータを再検証して事業開始後の詳細設計に反映することが必要である。



## 第6章 ダム貯水池の将来堆砂予測と濁水流動解析

### 6.1 一次元堆砂予測解析

#### 6.1.1 再現計算

##### (1) 再現計算の条件

再現計算条件を表 6-1 に、再現計算期間におけるダムの運用データ(貯水位・流入量・放流量)を図 6-1 に示す。

再現計算期間は 1982 年(ダム供用開始)～2017 年の 36 年間とした。なお、ダムの運用データが欠測となっている期間が、1988/9～1989/8、1990/9～1991/8、1996/9～1999/8、2008/9～2009/8、2005/3～8 の約 6.5 ヶ年分存在した。欠測期間については、ダム上流に位置するブサレム地点の流量観測データからダム流入量を推定し、過去の平均的なダム放流量と H-V カーブ(貯水位と貯水容量の関係式)から貯水位を推定した。

表 6-1 再現計算条件

| 項目設定  | 内容                                                                                                     | 備考                          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 計算期間  | 1982 年～2017 年 (36 年間)                                                                                  | シディサレムダム<br>1982 年竣工        |
| 計算領域  | シディサレムダム貯水池                                                                                            |                             |
| 初期地形  | 1972 年測量データより設定                                                                                        |                             |
| 流量条件  | ダム実績流入量を上流端に設定<br>※欠測期間については、ブサレム地点の流量観測データから補間                                                        | 時間データの記録が存在しないため<br>日データを使用 |
| 水位条件  | ダム実績貯水位を下流端に設定<br>※欠測期間については、平均的な放流量を設定し、H-V 式から貯水位を計算して補間した。                                          |                             |
| 流入土砂量 | 濁度観測データから作成した Q-Qs 式より設定<br>$Q_s = \alpha Q^\beta$ ( $\alpha = 2.51 \times 10^{-5}$ 、 $\beta = 1.80$ ) | トライアル計算によって係数 $\alpha$ を補正  |
| 粒径区分  | 0.1 $\mu\text{m}$ ～75 $\mu\text{m}$ を 4 区分とし、代表粒径を設定                                                   |                             |
| 粗度係数  | 0.020                                                                                                  |                             |
| その他   | 空隙率 0.7, 水の密度 $10^3 \text{ kg/m}^3$ , 土砂の密度 $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$                          |                             |

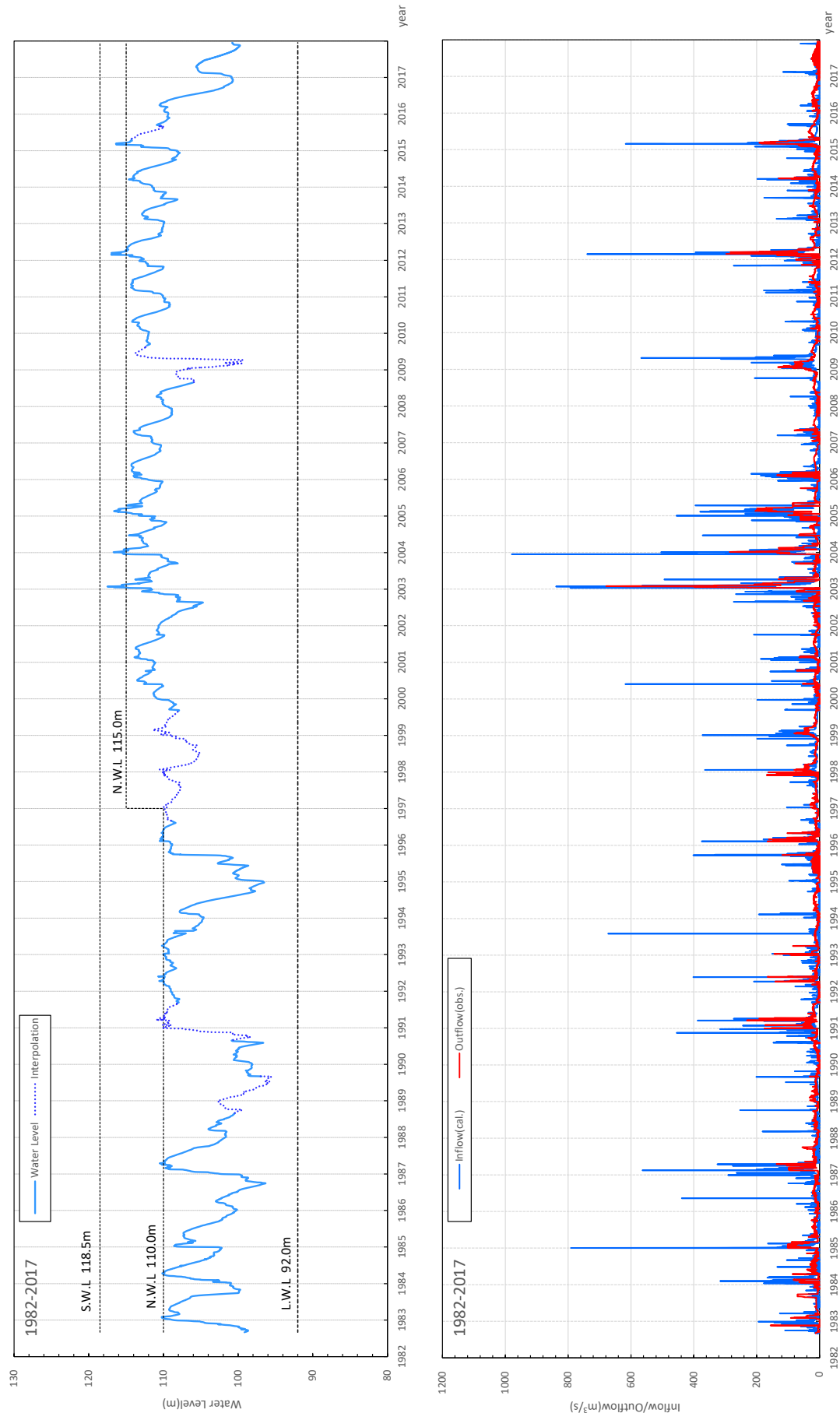


図 6-1 再現計算期間におけるシディサレムダムの貯水位・流入量・放流量 (1982～2017)

## (2) 堆砂形状及び堆砂量の再現性

解析モデルの再現性を検証するため、堆砂形状と容量別堆砂量を実測と計算で比較した。堆砂形状の再現結果を図 6-2 に、目的容量別堆砂量の再現結果を図 6-3 に示す。また計算結果の概要を以下に示す。

- 堆砂形状については **2017 年の平均河床高が良好に再現された。**
- 目的容量別の堆砂量についても、各容量内の堆砂量が良好に再現された。
- なお、治水容量内の堆砂量が計算値でやや過小となった。これは、実際には河川横断方向に堆砂が生じていることや、湾曲部等で堆砂が進行し、一次元河床変動解析モデルでは表現できない部分が誤差として生じていると考えられる。

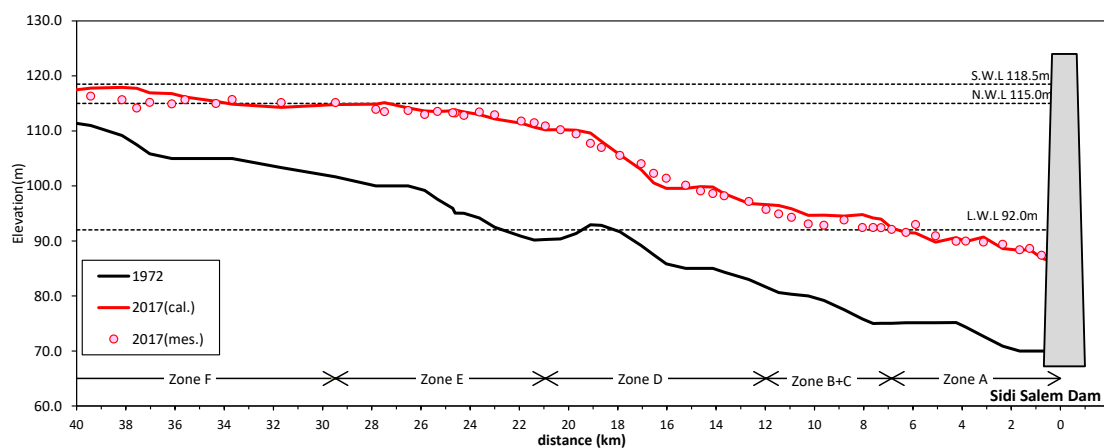


図 6-2 堆砂形状の再現結果

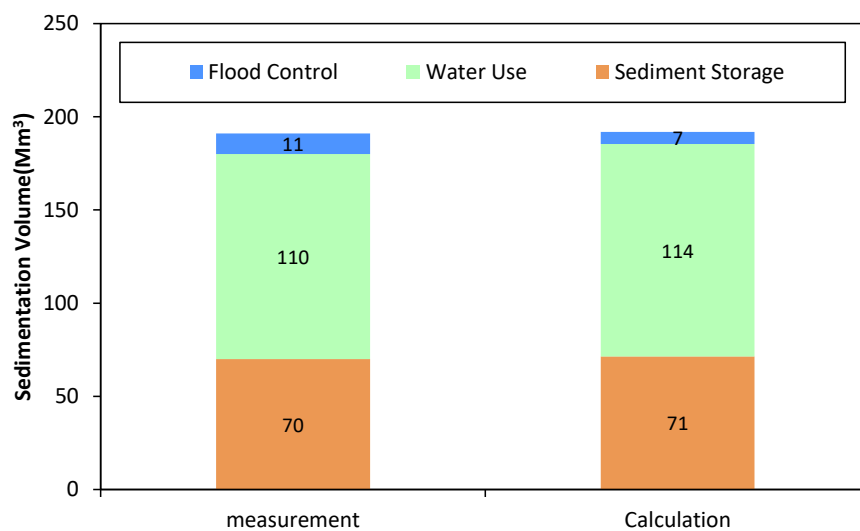


図 6-3 目的容量別の堆砂量の再現結果

### (3) 年堆砂量と累積堆砂量の経年変化

再現計算結果から得られた年堆砂量と累積堆砂量の経年変化を図 6-4 に示す。以下に、シディサレムダムの経年的な堆砂傾向についてまとめた。

- シディサレムダムでは、ダム竣工後から経年的に堆砂が進行している。
- 大規模な洪水が複数あった 2003 年に 35 million m<sup>3</sup> 程度の膨大な堆砂が生じたと推定される。
- 2004 年以降、大きな出水が頻発し、堆積速度が急激に上昇したと推定される。

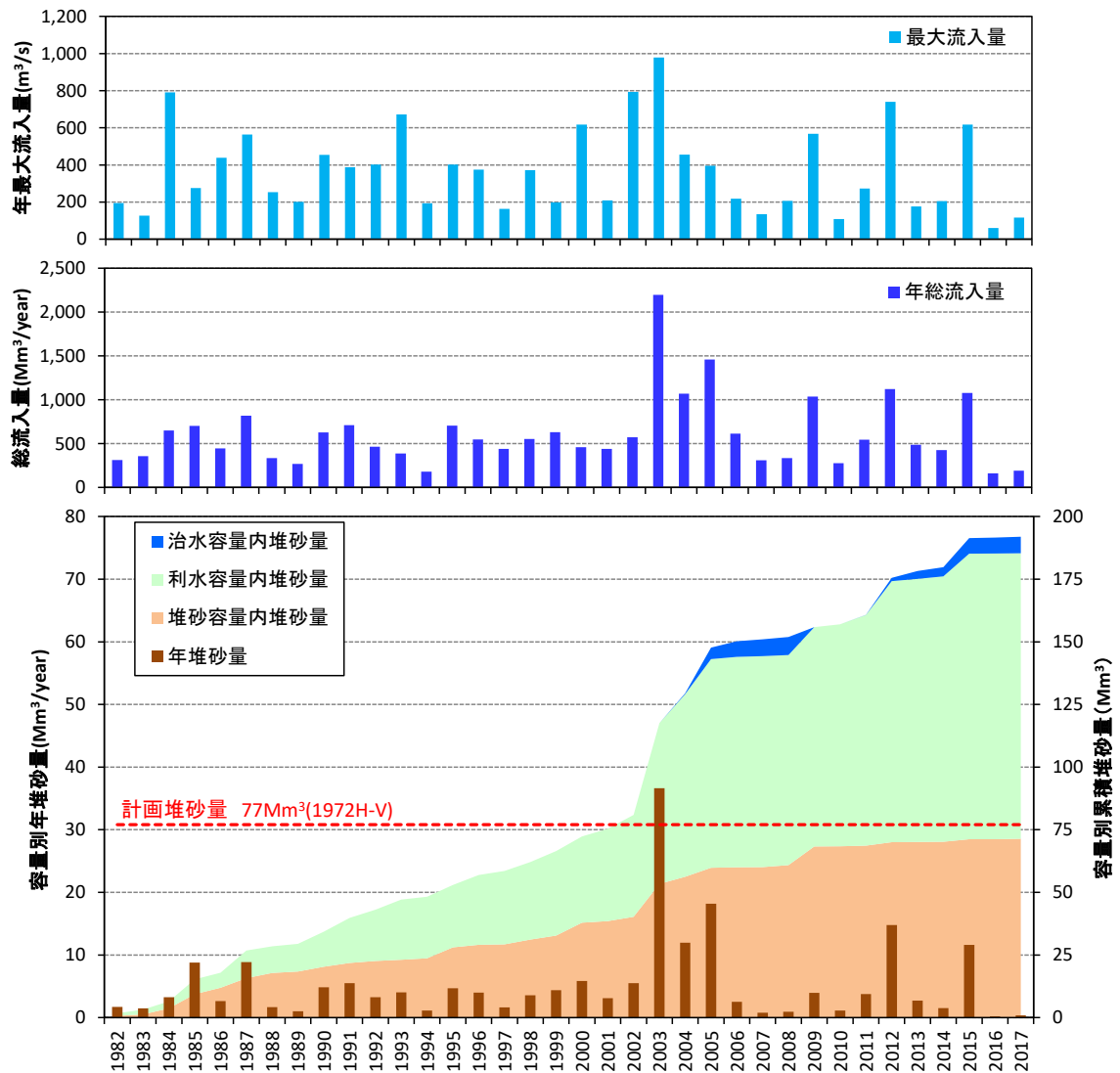


図 6-4 シディサレムダムの年堆砂量と累積堆砂量の経年変化(計算結果)

## 6.1.2 年間土砂収支の経年変化

### (1) 全期間

再現計算結果から推定されたシディサレムダムの年間土砂収支を図 6-5 に示す。

- 年間の流入土砂量は洪水の発生回数によって 1～80 million m<sup>3</sup> の範囲で変動すると推定される。
- 2003 年の大規模洪水発生以降、2004、2005、2009、2012、2015 に 15 million m<sup>3</sup> 以上の大きな流入土砂が頻発しており、2003 年以前と比較して洪水の発生傾向が変化している可能性がある。
- 全期間における平均土砂流入量は 8.6 million m<sup>3</sup>/年、平均堆積土砂量は 5.4 million m<sup>3</sup>/年であり、流入土砂の捕捉率は約 60%、通過率は約 40%である。

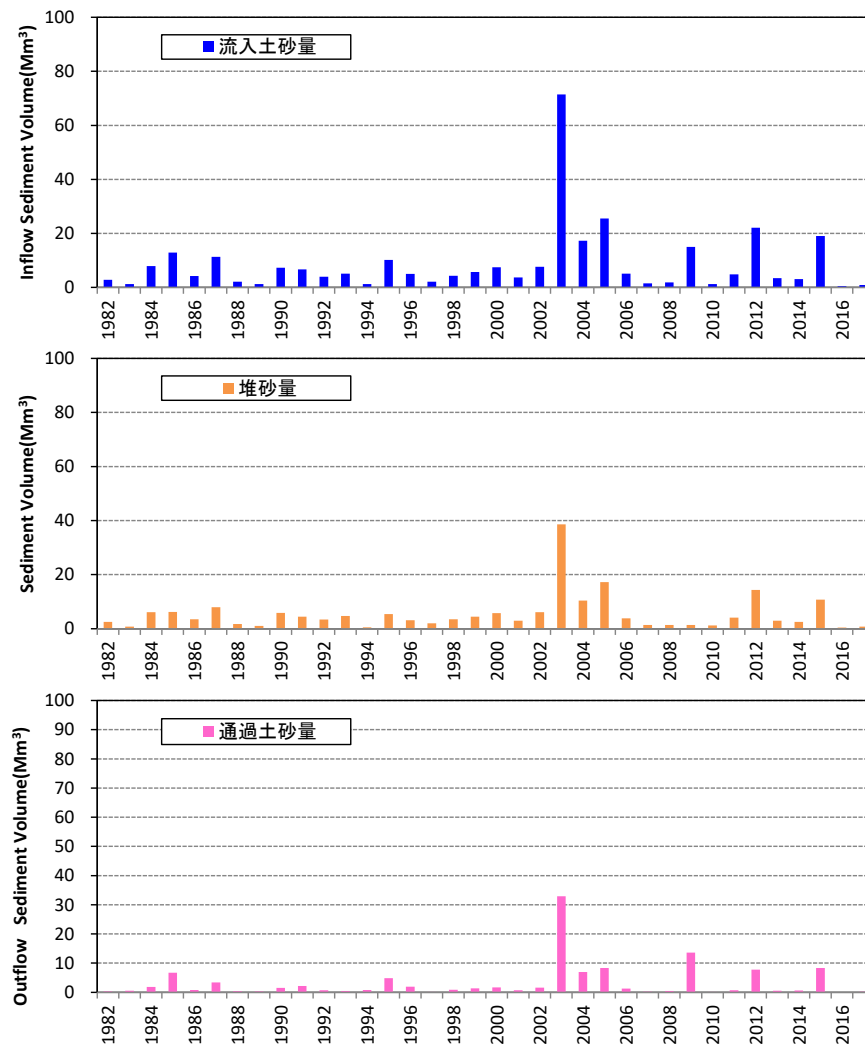


図 6-5 シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（全期間）（計算結果）

表 6-2 シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（1982-2017）（計算結果）

| 経過<br>年数 | 年    | 流入土砂量 | 堆砂量   | 捕捉率 | 通過土砂量 | 通過率 |
|----------|------|-------|-------|-----|-------|-----|
|          |      | (Mm3) | (Mm3) | %   | (Mm3) | %   |
| 1        | 1982 | 2.80  | 2.50  | 89% | 0.30  | 11% |
| 2        | 1983 | 1.29  | 0.77  | 60% | 0.51  | 40% |
| 3        | 1984 | 7.89  | 6.08  | 77% | 1.81  | 23% |
| 4        | 1985 | 12.90 | 6.16  | 48% | 6.74  | 52% |
| 5        | 1986 | 4.22  | 3.47  | 82% | 0.75  | 18% |
| 6        | 1987 | 11.32 | 7.91  | 70% | 3.41  | 30% |
| 7        | 1988 | 2.12  | 1.71  | 80% | 0.41  | 20% |
| 8        | 1989 | 1.28  | 1.01  | 78% | 0.28  | 22% |
| 9        | 1990 | 7.33  | 5.81  | 79% | 1.51  | 21% |
| 10       | 1991 | 6.67  | 4.47  | 67% | 2.20  | 33% |
| 11       | 1992 | 4.03  | 3.36  | 83% | 0.67  | 17% |
| 12       | 1993 | 5.13  | 4.67  | 91% | 0.46  | 9%  |
| 13       | 1994 | 1.31  | 0.53  | 41% | 0.78  | 59% |
| 14       | 1995 | 10.24 | 5.38  | 53% | 4.86  | 47% |
| 15       | 1996 | 5.03  | 3.14  | 62% | 1.89  | 38% |
| 16       | 1997 | 2.15  | 1.99  | 92% | 0.16  | 8%  |
| 17       | 1998 | 4.31  | 3.46  | 80% | 0.85  | 20% |
| 18       | 1999 | 5.77  | 4.45  | 77% | 1.32  | 23% |
| 19       | 2000 | 7.45  | 5.79  | 78% | 1.65  | 22% |
| 20       | 2001 | 3.73  | 2.99  | 80% | 0.74  | 20% |
| 21       | 2002 | 7.66  | 6.08  | 79% | 1.58  | 21% |
| 22       | 2003 | 71.45 | 38.56 | 54% | 32.89 | 46% |
| 23       | 2004 | 17.33 | 10.42 | 60% | 6.91  | 40% |
| 24       | 2005 | 25.57 | 17.26 | 67% | 8.31  | 33% |
| 25       | 2006 | 5.10  | 3.82  | 75% | 1.28  | 25% |
| 26       | 2007 | 1.55  | 1.35  | 87% | 0.20  | 13% |
| 27       | 2008 | 1.85  | 1.40  | 76% | 0.44  | 24% |
| 28       | 2009 | 15.02 | 1.39  | 9%  | 13.63 | 91% |
| 29       | 2010 | 1.31  | 1.19  | 91% | 0.12  | 9%  |
| 30       | 2011 | 4.82  | 4.13  | 86% | 0.69  | 14% |
| 31       | 2012 | 22.14 | 14.35 | 65% | 7.79  | 35% |
| 32       | 2013 | 3.47  | 2.95  | 85% | 0.53  | 15% |
| 33       | 2014 | 3.12  | 2.51  | 80% | 0.61  | 20% |
| 34       | 2015 | 19.05 | 10.75 | 56% | 8.30  | 44% |
| 35       | 2016 | 0.46  | 0.37  | 80% | 0.09  | 20% |
| 36       | 2017 | 0.96  | 0.73  | 76% | 0.23  | 24% |
| 平均       |      | 8.6   | 5.4   | 63% | 3.2   | 37% |



## (2) 運用変更後の年間土砂収支（1997～2017）

次に常時満水位を EL.115m に変更した 1997 年以降における年間土砂収支を整理した結果を示す。

- 年間の流入土砂量は洪水の発生回数によって 1～80 million m<sup>3</sup> の範囲で変動すると推定される。
- 1997 年以降における平均的な土砂流入量は 10.7 million m<sup>3</sup>/年、堆積土砂量は 6.5 million m<sup>3</sup>/年であり、捕捉率は約 60%、通過率は約 40%である。
- 2003 年以降、2004 年、2005 年、2009 年、2012 年、2015 年と 500～800 m<sup>3</sup>/s の中規模洪水が頻発しており、堆砂の進行が顕著になっている。なお、2009 年は渇水時に中規模洪水が発生したため、貯水池内の堆積土砂が侵食され、ダム下流へ流出する結果となった。

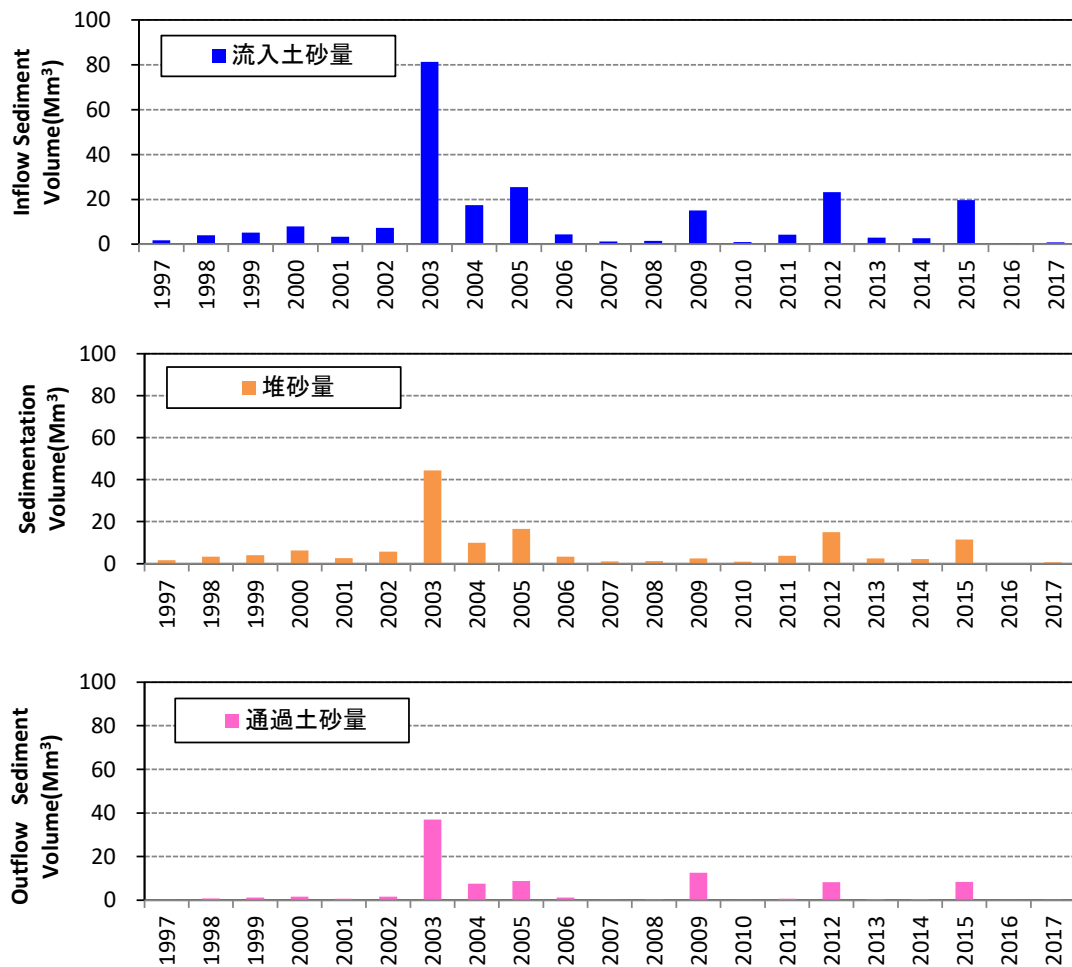


図 6-6 シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（1997-2017）（計算結果）

表 6-3 シディサレムダムの年間土砂収支の経年変化（1997-2017）（計算結果）

| 経過<br>年数 | 年    | 流入土砂量 | 堆砂量   | 捕捉率 | 通過土砂量 | 通過率 |
|----------|------|-------|-------|-----|-------|-----|
|          |      | (Mm3) | (Mm3) | %   | (Mm3) | %   |
| 16       | 1997 | 2.15  | 1.99  | 92% | 0.16  | 8%  |
| 17       | 1998 | 4.31  | 3.46  | 80% | 0.85  | 20% |
| 18       | 1999 | 5.77  | 4.45  | 77% | 1.32  | 23% |
| 19       | 2000 | 7.45  | 5.79  | 78% | 1.65  | 22% |
| 20       | 2001 | 3.73  | 2.99  | 80% | 0.74  | 20% |
| 21       | 2002 | 7.66  | 6.08  | 79% | 1.58  | 21% |
| 22       | 2003 | 71.45 | 38.56 | 54% | 32.89 | 46% |
| 23       | 2004 | 17.33 | 10.42 | 60% | 6.91  | 40% |
| 24       | 2005 | 25.57 | 17.26 | 67% | 8.31  | 33% |
| 25       | 2006 | 5.10  | 3.82  | 75% | 1.28  | 25% |
| 26       | 2007 | 1.55  | 1.35  | 87% | 0.20  | 13% |
| 27       | 2008 | 1.85  | 1.40  | 76% | 0.44  | 24% |
| 28       | 2009 | 15.02 | 1.39  | 9%  | 13.63 | 91% |
| 29       | 2010 | 1.31  | 1.19  | 91% | 0.12  | 9%  |
| 30       | 2011 | 4.82  | 4.13  | 86% | 0.69  | 14% |
| 31       | 2012 | 22.14 | 14.35 | 65% | 7.79  | 35% |
| 32       | 2013 | 3.47  | 2.95  | 85% | 0.53  | 15% |
| 33       | 2014 | 3.12  | 2.51  | 80% | 0.61  | 20% |
| 34       | 2015 | 19.05 | 10.75 | 56% | 8.30  | 44% |
| 35       | 2016 | 0.46  | 0.37  | 80% | 0.09  | 20% |
| 36       | 2017 | 0.96  | 0.73  | 76% | 0.23  | 24% |
| 平均       |      | 10.7  | 6.5   | 61% | 4.2   | 39% |

### 6.1.3 ゾーン毎の堆砂量の経年変化

ゾーン毎の堆砂量の経年変化を図 6-7 に示す。

- 貯水池上流のゾーン E とゾーン F では、経年的な堆砂が徐々に進行する。渇水で貯水位が低下した 2009 年では、洪水で堆砂が流出して減少している。
- 貯水池中流のゾーン D とゾーン B+C では、2003 年の大規模洪水時に大きな堆砂が生じている。また貯水位が低下した 2009 年においては、上流部の堆砂が流下して堆砂量が増加している。
- 貯水池下流のゾーン A では全期間を通じて堆砂が経年的に徐々に進行している。

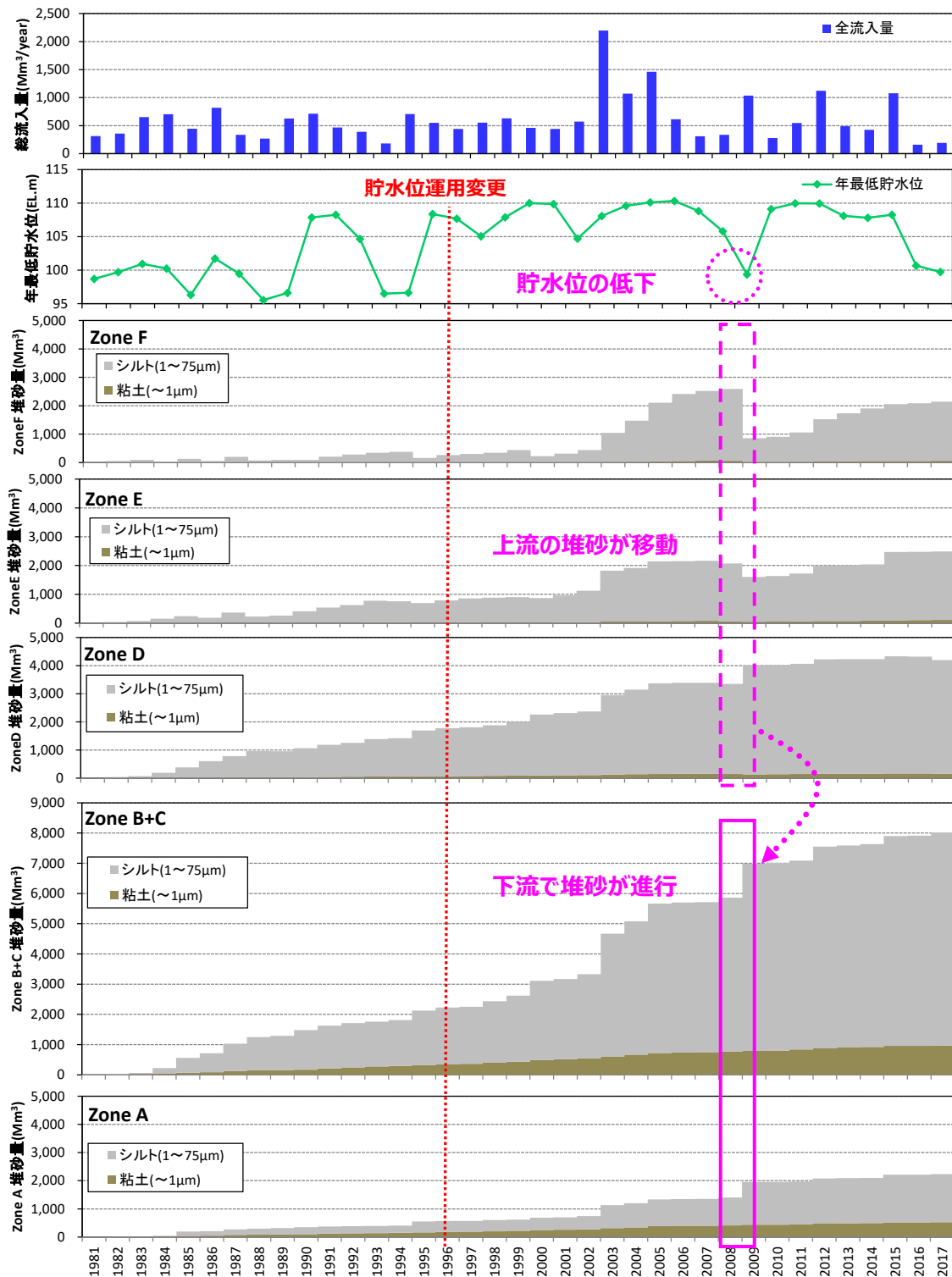


図 6-7 ゾーン毎の累積堆砂量の経年変化(計算結果)

#### 6.1.4 主要洪水による堆砂状況

主要洪水の堆砂状況を確認するため、以下の代表的な3ヶ年をピックアップし、個々の堆砂特性について考察した。

2003年：既往最大の洪水が発生した年

2009年：渇水時に比較的大きな洪水を迎えた年

2012年：常時満水位時に洪水を迎えた年

##### (1) 2003年の堆砂特性

2003年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量を図 6-8 に示し、以下に特徴をまとめる。

- 2003年は1月～2月に大規模洪水( $Q_p=839 \text{ m}^3/\text{s}$ )が発生し、また12月にも大規模洪水( $Q_p=979 \text{ m}^3/\text{s}$ )が発生している。
- 堆砂形状は全域で上昇している様子が伺え、特にゾーン F、ゾーン E、ゾーン D で堆砂が大きく生じている。
- 再現計算の結果、36.3 million  $\text{m}^3$  の堆積が生じたと考えられる。

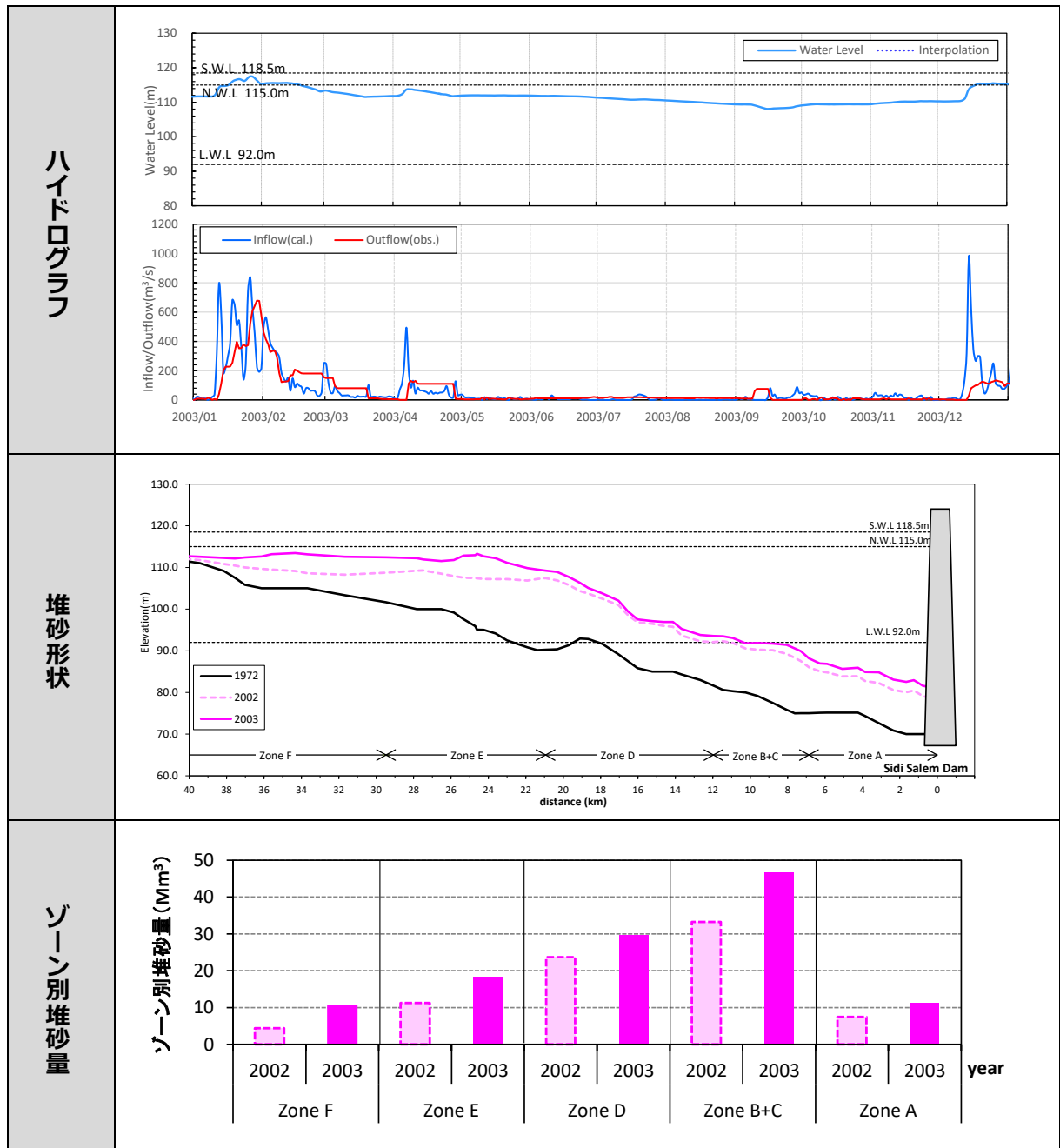


図 6-8 2003 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量 (計算結果)

## (2) 2009 年の堆砂特性

2009 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量を図 6-9 に示す。

- 2009 年は 4 月までに貯水位が EL.100.0 m 以下に低下し、その後、中規模洪水で貯水位が回復したと推定される。
- 貯水池上流部のゾーン F～ゾーン D では堆砂が洪水時の流れによって流下し、貯水池中下流部のゾーン B+C やゾーン A で堆砂が進行した。
- 再現計算の結果、1.4 million m<sup>3</sup> の堆積が生じた。渇水時の洪水であったため、流入土砂（約 15 million m<sup>3</sup>）の大半は堆積せず、ダム下流へ通過したと推察される。

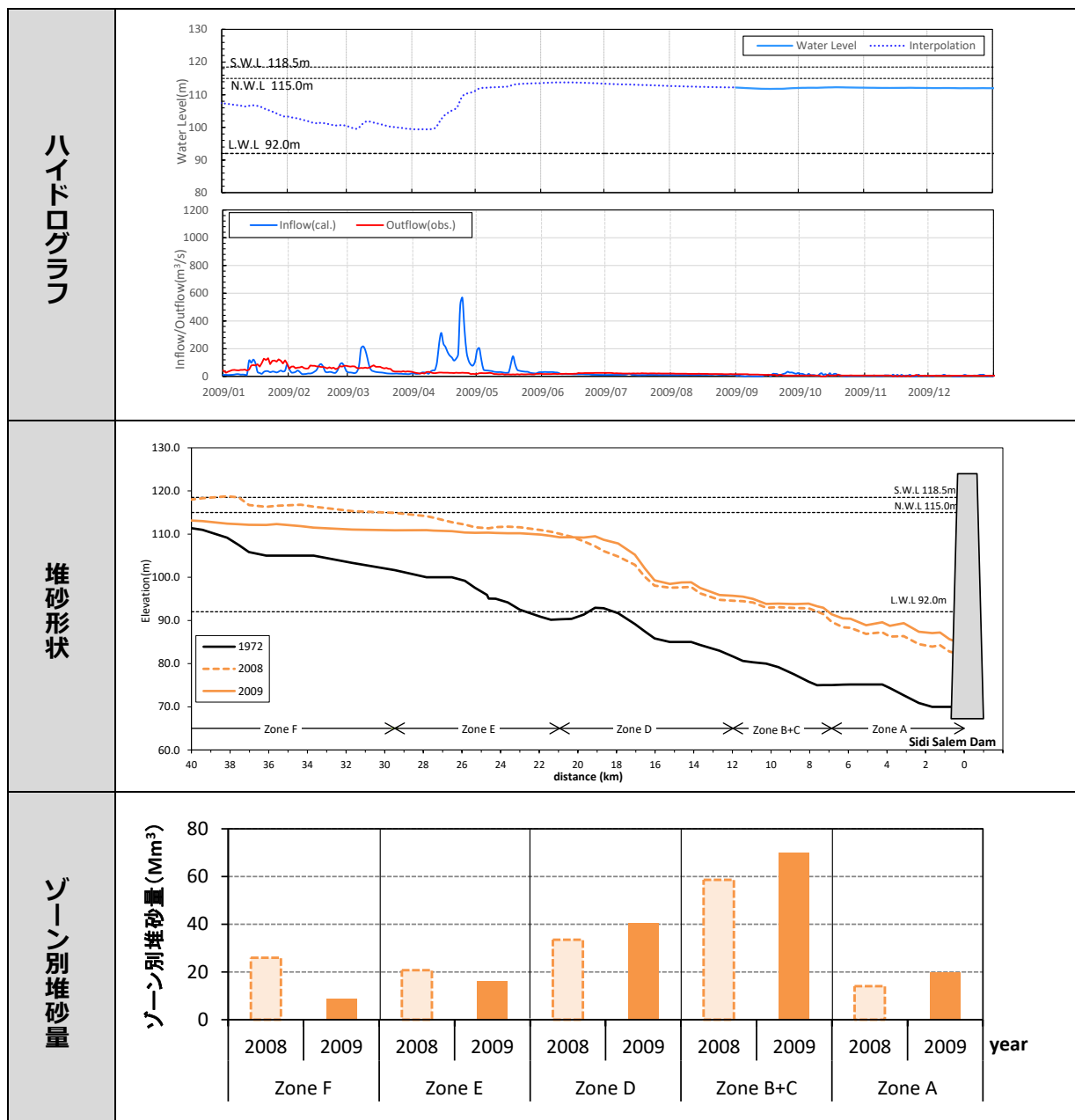


図 6-9 2009 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量（計算結果）



### (3) 2012 年の堆砂特性

2012 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量を図 6-10 に示し、以下に特徴をまとめる。

- 2012 年では 2 月に中規模洪水が発生している。また貯水位は常時満水位に近く、大きな水位低下は見られない年であった。
- ゾーン F～ゾーン A の全域で堆砂が進行しており、大きな浸食箇所は見られない。
- 再現計算の結果、14.6 million m<sup>3</sup> の堆積が生じたと考えられる。

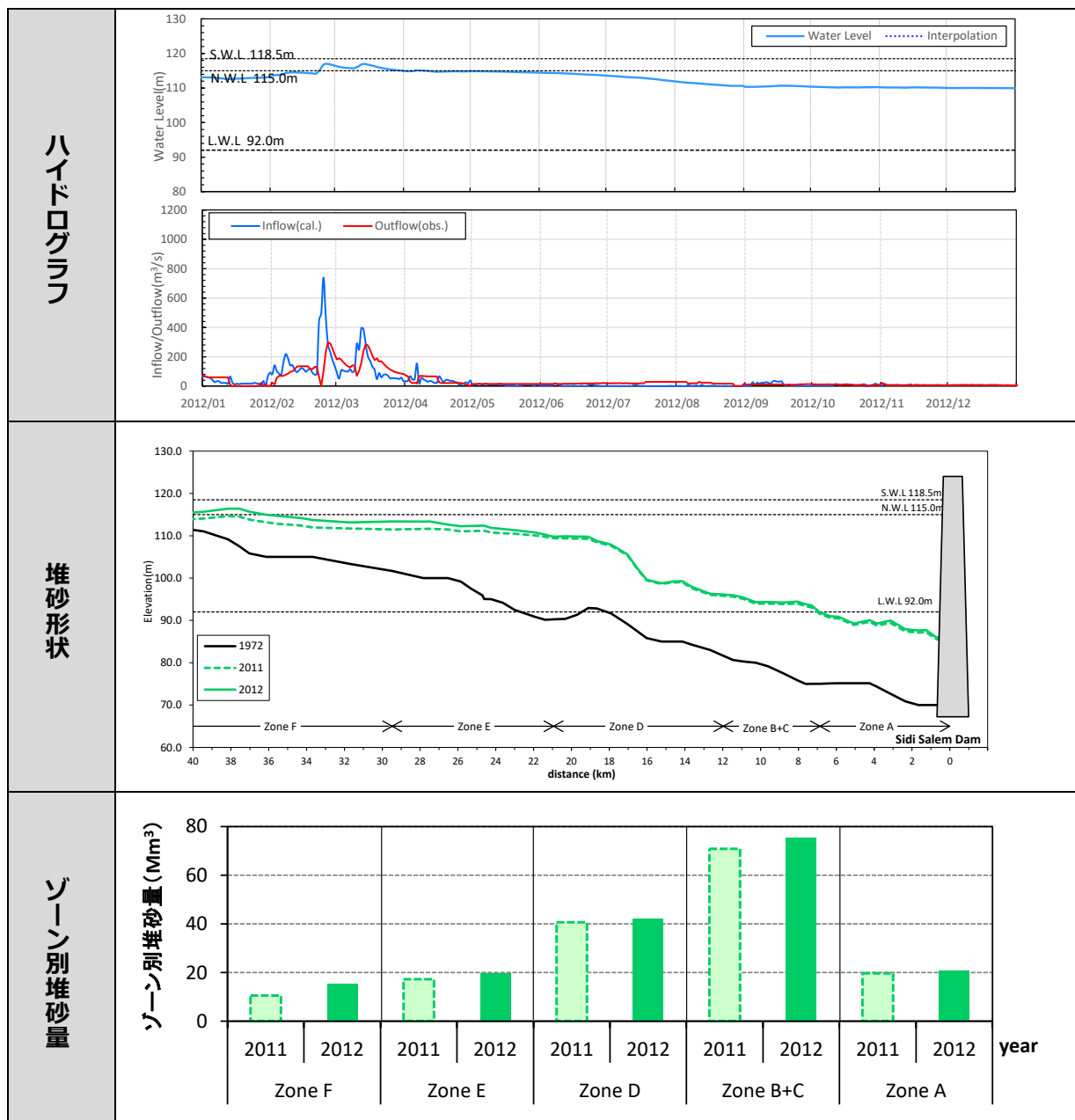


図 6-10 2012 年のハイドログラフ・堆砂形状・ゾーン別堆砂量（計算結果）

#### (4) 洪水規模と流入土砂量の関係

洪水規模と流入土砂量の関係を調べるため、出水規模別の流入土砂量の頻度分布を作成した（図 6-11）。出水規模を以下のように区分した。

- 小規模出水：毎年発生する出水規模、日平均ダム流入量  $Q \leq 100 \sim 500 \text{ m}^3/\text{s}$
- 中規模出水：5 年に 1 回程度の頻度で発生する規模、 $Q \leq 500 \sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$
- 大規模出水：10 年に 1 回程度の頻度で発生する規模、 $Q > 800 \text{ m}^3/\text{s}$

以下に、シディサレムダムの洪水規模と流入土砂量の関係をまとめる。

- 小規模出水時の流入土砂量は、全体の約 43%を占めている。
- 中規模出水時の流入土砂量は、全体の約 24%を占めている。
- 大規模出水時の流入土砂量は、全体の約 26%を占めている。

以上から、シディサレムダムでは、流入土砂は小規模出水でも多く流入するため、様々な出水規模に対応した堆砂対策が必要と考えられる。

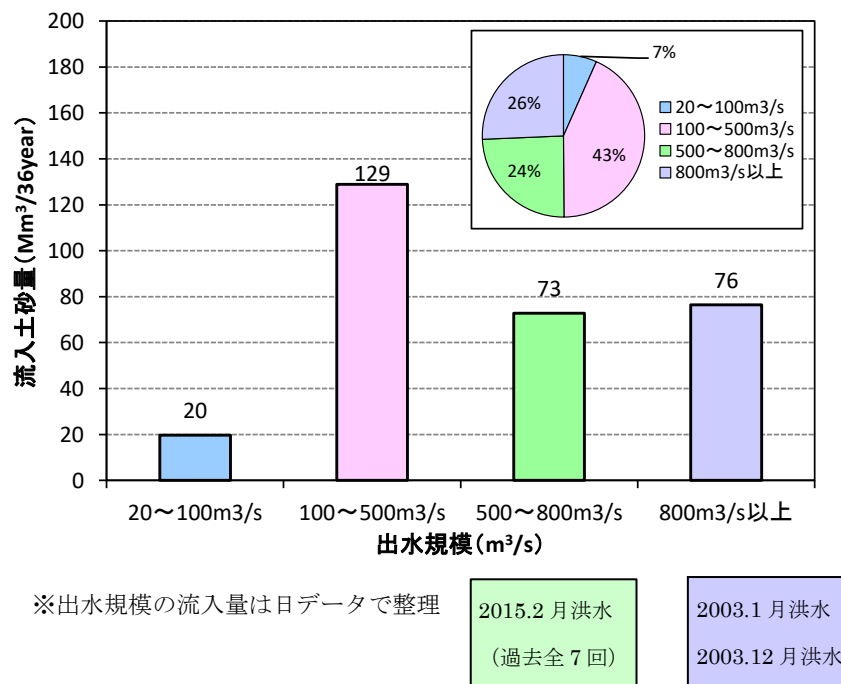


図 6-11 出水規模別の流入土砂量の総量と割合（1982-2017）

## (5) 土砂収支

堆砂対策の対象となる土砂量を把握するため、シディサレムダムの堆砂の再現計算結果を基に土砂収支を算出した。土砂収支図を図 6-12 に、ゾーン毎の堆砂量を表 6-4 に示す。なお、ここでは貯水位運用が変更されて貯水池の堆砂特性が変化した 1997 年以降を対象とした。

その結果、シディサレムダムでは流入土砂量 10.6 million m<sup>3</sup>/年に対し、貯水池内に 6.4 million m<sup>3</sup>/年（約 60%）が堆積し、4.2 million m<sup>3</sup>/年（約 40%）が通過すると推定される。

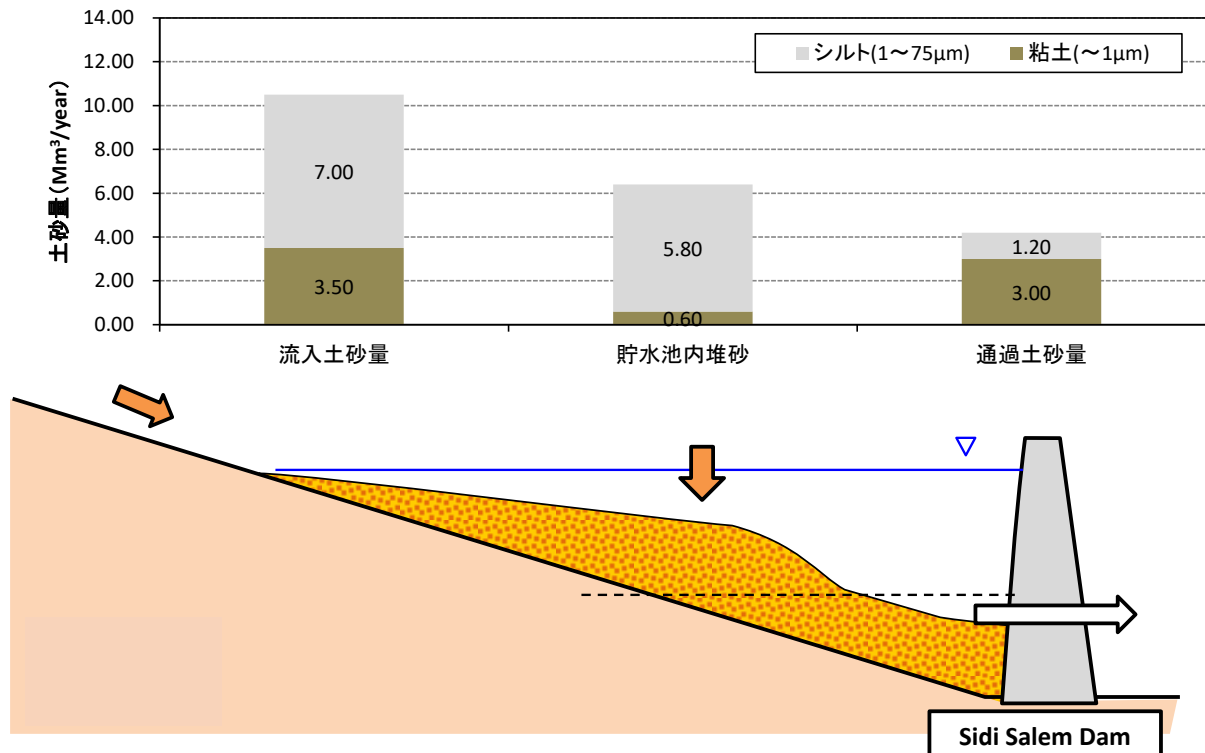


図 6-12 シディサレムダムの土砂収支図（1997～2017 年）（計算結果）

表 6-4 ゾーン毎の堆砂量（1997～2017 年）

| ゾーン   | F    | E    | D    | B+C  | A    | 全体  |
|-------|------|------|------|------|------|-----|
| ①粘土   | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.29 | 0.16 | 0.6 |
| ②シルト  | 0.87 | 0.77 | 1.11 | 2.46 | 0.63 | 5.8 |
| Total | 0.90 | 0.81 | 1.15 | 2.75 | 0.79 | 6.4 |

（単位：10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>）

## 6.2 将来予測計算

### 6.2.1 計算条件

#### (1) 統計解析を用いた将来の土砂流入量の推定

国土交通省が公表した「ダム貯水池土砂管理の手引き（案）、2018年3月」に示される手法と同様の手法で、シディサレムダムにおける年間の流入土砂量を推定した。再現計算で使用した L-Q 式によって推定された過去の年間流入土砂量(表 6-2)を用い、水文統計で用いられる統計処理手法により、確率年別の流入土砂量を算出したのち（表 6-5）、年間流入土砂量の期待値を算出した。

その結果、シディサレムダムの平均年間流入土砂量は 8.3million m<sup>3</sup>/年と推定された（表 6-6）。

表 6-5 流入土砂量に関する各種統計手法による評価結果

| 項 目                |     | 流入土砂量 |        |            |         |            |            |           |           |           |           |           |           |           |       | SLSC(0.04の平均値) |
|--------------------|-----|-------|--------|------------|---------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|----------------|
|                    |     | 指数分布  | ガンベル分布 | 平方根指数型最大分布 | 一般化極地分布 | 対数ピアソンⅢ型分布 | 対数ピアソンⅢ型分布 | 3母数対数正規分布 | 3母数対数正規分布 | 3母数対数正規分布 | 3母数対数正規分布 | 2母数対数正規分布 | 2母数対数正規分布 | 4母数対数正規分布 |       |                |
|                    |     |       | Exp    | Gumbel     | SqrtEt  | Gev        | LP3Rs      | LogP3     | Iwai      | IshiTaka  | LN3Q      | LN3PM     | LN2LM     | LN2PM     | LN4M  |                |
|                    |     |       | L積率法   | L積率法       | 最尤法     | L積率法       | 実数空間法      | 対数空間法     | 岩井法       | 石原・高瀬法    | クインタイル法   | 積率法       | 積率法       | 積率法       | 積率法   |                |
| 標本数(0を除く)          |     | 37    | 37     | 37         | 37      | 37         | 37         | 37        | 37        | 37        | 37        | 37        | 37        | 37        | 37    |                |
| 確率比堆砂量             | 2   | 5     | 7      | 2          | 5       | 4          | 4          | 5         | —         | 5         | —         | 5         | 5         | —         | 5     |                |
|                    | 3   | 9     | 11     | 5          | 7       | 8          | 7          | 7         | —         | 7         | —         | 7         | 7         | —         | 7     |                |
|                    | 5   | 14    | 15     | 9          | 11      | 13         | 11         | 12        | —         | 11        | —         | 12        | 11        | —         | 11    |                |
|                    | 10  | 21    | 20     | 16         | 17      | 21         | 19         | 19        | —         | 19        | —         | 19        | 18        | —         | 18    |                |
|                    | 20  | 28    | 25     | 24         | 26      | 30         | 29         | 29        | —         | 28        | —         | 28        | 27        | —         | 28    |                |
|                    | 30  | 32    | 28     | 29         | 32      | 36         | 37         | 36        | —         | 34        | —         | 34        | 33        | —         | 34    |                |
|                    | 50  | 37    | 32     | 36         | 43      | 44         | 48         | 46        | —         | 44        | —         | 44        | 42        | —         | 45    |                |
|                    | 80  | 41    | 35     | 43         | 56      | 51         | 61         | 57        | —         | 54        | —         | 54        | 52        | —         | 56    |                |
|                    | 100 | 43    | 36     | 46         | 63      | 55         | 68         | 63        | —         | 60        | —         | 59        | 57        | —         | 62    |                |
|                    | 150 | 47    | 39     | 52         | 78      | 61         | 82         | 75        | —         | 71        | —         | 69        | 67        | —         | 74    |                |
|                    | 200 | 50    | 41     | 57         | 91      | 66         | 94         | 85        | —         | 79        | —         | 77        | 75        | —         | 83    |                |
| 400                | 57  | 46    | 70     | 130        | 77      | 127        | 110        | —         | 102       | —         | 99        | 96        | —         | 111       |       |                |
| 600                | 61  | 49    | 78     | 161        | 84      | 151        | 128        | —         | 118       | —         | 114       | 110       | —         | 130       |       |                |
| 800                | 63  | 51    | 83     | 186        | 89      | 169        | 142        | —         | 131       | —         | 126       | 121       | —         | 146       |       |                |
| 1000               | 65  | 53    | 88     | 209        | 93      | 185        | 153        | —         | 141       | —         | 135       | 130       | —         | 159       |       |                |
| SLSC               |     | 0.128 | 0.160  | 0.120      | 0.029   | 0.074      | 0.023      | 0.024     | —         | 0.025     | —         | 0.024     | 0.025     | —         | 0.025 |                |
| jackknife推定誤差(100) |     | 14    | 12     | 9          | 28      | 31         | 33         | 24        | —         | 31        | —         | 20        | 19        | —         | 26    |                |
| 採用手法               |     |       |        |            | ○       |            | ○          | ○         |           | ○         |           | ○         | ○         |           | ◎     |                |

表 6-6 シディサレムダムの推定平均年流入土砂量の計算結果

| 確率分布モデル：抽出した手法の平均値 |      |                |                        |             |                                |                                         |                                            |
|--------------------|------|----------------|------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| No.                | ①確率年 | ②超過確率<br>$P_i$ | ③区間確率<br>$P_{i-1}-P_i$ | ④確率年対応の年堆砂量 | ⑤区間平均年堆砂量<br>$(v_{i-1}+v_i)/2$ | ⑥区間年堆砂量期待値<br>$\Delta v_i = ③ \times ⑤$ | ⑦平均年堆砂量期待値<br>$V_i = V_{i-1} + \Delta v_i$ |
| 1                  | 1    | 1.0000         | —                      | 0           | —                              | —                                       | —                                          |
| 2                  | 2    | 0.5000         | 0.5000                 | 5           | 2                              | 1.1                                     | 1.1                                        |
| 3                  | 3    | 0.3333         | 0.1667                 | 7           | 6                              | 1.0                                     | 2.1                                        |
| 4                  | 5    | 0.2000         | 0.1333                 | 11          | 9                              | 1.2                                     | 3.3                                        |
| 5                  | 10   | 0.1000         | 0.1000                 | 18          | 15                             | 1.5                                     | 4.8                                        |
| 6                  | 20   | 0.0500         | 0.0500                 | 28          | 23                             | 1.2                                     | 6.0                                        |
| 7                  | 30   | 0.0333         | 0.0167                 | 34          | 31                             | 0.5                                     | 6.5                                        |
| 8                  | 50   | 0.0200         | 0.0133                 | 45          | 40                             | 0.5                                     | 7.0                                        |
| 9                  | 80   | 0.0125         | 0.0075                 | 56          | 50                             | 0.4                                     | 7.4                                        |
| 10                 | 100  | 0.0100         | 0.0025                 | 62          | 59                             | 0.1                                     | 7.5                                        |
| 11                 | 150  | 0.0067         | 0.0033                 | 74          | 68                             | 0.2                                     | 7.8                                        |
| 12                 | 200  | 0.0050         | 0.0017                 | 83          | 78                             | 0.1                                     | 7.9                                        |
| 13                 | 400  | 0.0025         | 0.0025                 | 111         | 97                             | 0.2                                     | 8.1                                        |
| 14                 | 600  | 0.0017         | 0.0008                 | 130         | 121                            | 0.1                                     | 8.2                                        |
| 15                 | 800  | 0.0013         | 0.0004                 | 146         | 138                            | 0.1                                     | 8.3                                        |
| 16                 | 1000 | 0.0010         | 0.0003                 | 159         | 152                            | 0.0                                     | 8.3                                        |
| 推定平均流入土砂量＝         |      |                |                        |             |                                | 8.3 (Mm <sup>3</sup> /年)                |                                            |

## (2) 将来予測条件

将来予測計算の条件を表 6-7 に示す。現在から将来 100 年間の予測計算を行うに際し、シディサレムダムの運用変更後の 1997 年から 2017 年の流入データを繰り返し使用した。なお、2003 年については、年間の流入土砂量が 150～200 年確率相当と考えられるため、計算中盤の 55 年目にのみ使用した。

表 6-7 将来予測計算条件

| 項目設定  | 内容                                                                                                     | 備考                                                           |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 計算期間  | 将来 100 年間<br>※1997 年～2017 年の繰り返し波形、2003 年波形は 55 年目のみ使用                                                 |                                                              |
| 計算領域  | シディサレムダム貯水池                                                                                            |                                                              |
| 初期地形  | 2018 年の測量データを基に設定                                                                                      |                                                              |
| 流量条件  | ダム実績流入量を上流端に設定<br>※欠測期間は、ブサレム地点の流量観測データによって補間                                                          | 時間データの記録が存在しないため日データを使用                                      |
| 水位条件  | ダム実績貯水位を下流端に設定<br>※欠測期間は、平均的な放流量を設定し、H-V 式から貯水位を計算した。                                                  |                                                              |
| 流入土砂量 | 濁度観測データから作成した Q-Qs 式より設定<br>$Q_s = \alpha Q^\beta$ ( $\alpha = 2.51 \times 10^{-5}$ , $\beta = 1.80$ ) | 年平均流入土砂量が 8.3 million m <sup>3</sup> /年となるように係数 $\alpha$ を補正 |
| 粒径区分  | 0.1 $\mu\text{m}$ ～75 $\mu\text{m}$ を 4 区分し、各区分で代表粒径を設定                                                |                                                              |
| 粗度係数  | 0.020                                                                                                  |                                                              |
| その他   | 空隙率 0.7, 水の密度 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> , 土砂の密度 2.65×10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>         |                                                              |

※再現計算と異なる部分

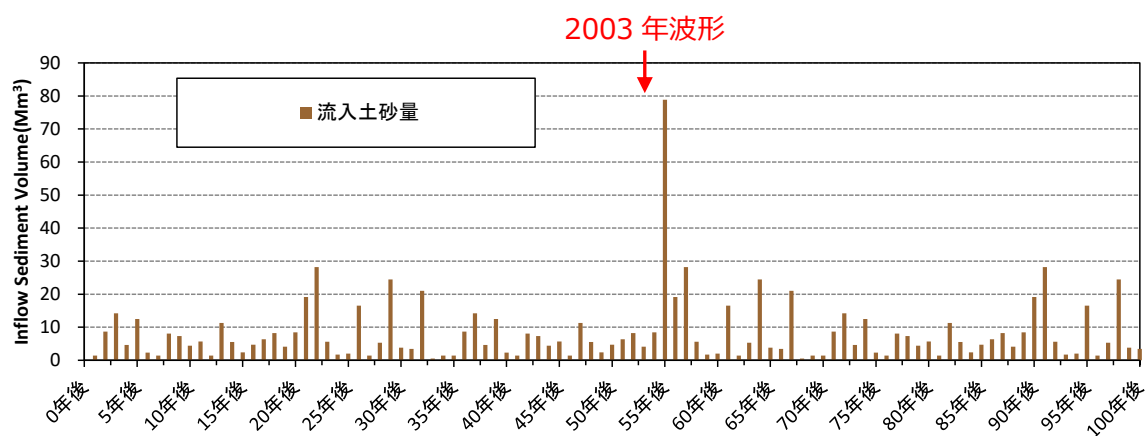


図 6-13 将来予測計算に用いた流入土砂量条件

## 6.2.2 計算結果

### (1) 将来の堆砂量と堆砂形状

構築した解析モデルを用いて、堆砂対策を実施しない場合の将来 100 年間の予測計算を行った。堆砂形状、堆砂量の予測結果を図 6-14、図 6-15 に示す。

今後、治水容量・利水容量共に堆積が進むが、特に利水容量内への堆積が顕著である。100 年後の堆砂量は約 510 million m<sup>3</sup> となり、総貯水容量 960 million m<sup>3</sup> の約 50% が土砂で埋まると予測された。

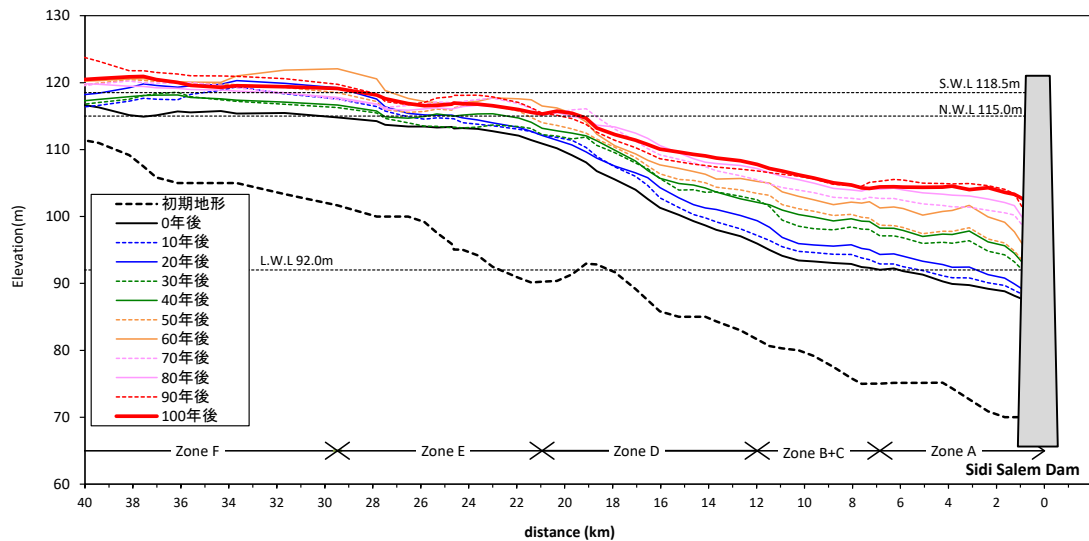
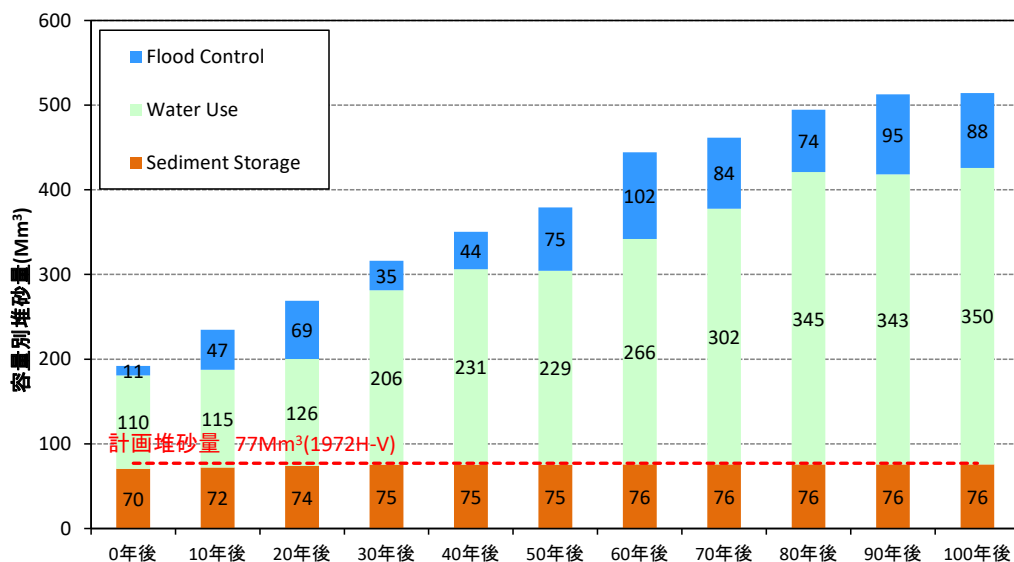


図 6-14 将来 100 年間の堆砂形状の予測結果



※治水容量内の堆砂量については、横断方向の堆砂、湾曲部の堆砂の影響を考慮するため、再現計算結果との誤差を基に補正を行っている。

図 6-15 将来 100 年間の堆砂量の予測結果 (2018～2118 年)

## (2) 目的別容量の変化

目的別の貯水容量及び堆砂量の変化を図 6-16、図 6-17 に示す。

- 治水容量内の堆砂は洪水時の水位低下の影響を受けるため、増減を繰り返しながら徐々に進行する。**最短で 20 年後に治水容量が 137 million m<sup>3</sup> まで減少する可能性がある**が、2003 年の大規模洪水時の洪水調節量が約 203 million m<sup>3</sup> であることを踏まえると、**今後 20 年以内に堆砂対策を講じることが重要**である。
- 利水容量も堆砂が徐々に進行する。現状から 100 年後、利水容量は 695 million m<sup>3</sup> から 345 million m<sup>3</sup> まで大幅に減少すると予想される。

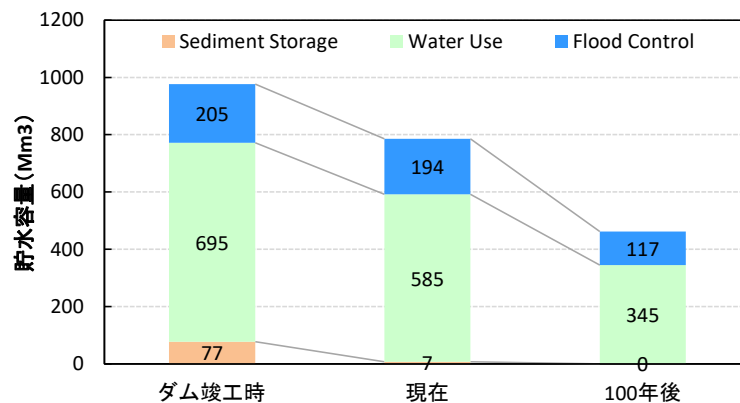
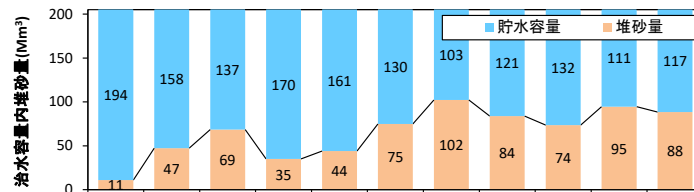


図 6-16 目的別貯水容量の変化

### a) 治水容量



### b) 利水容量

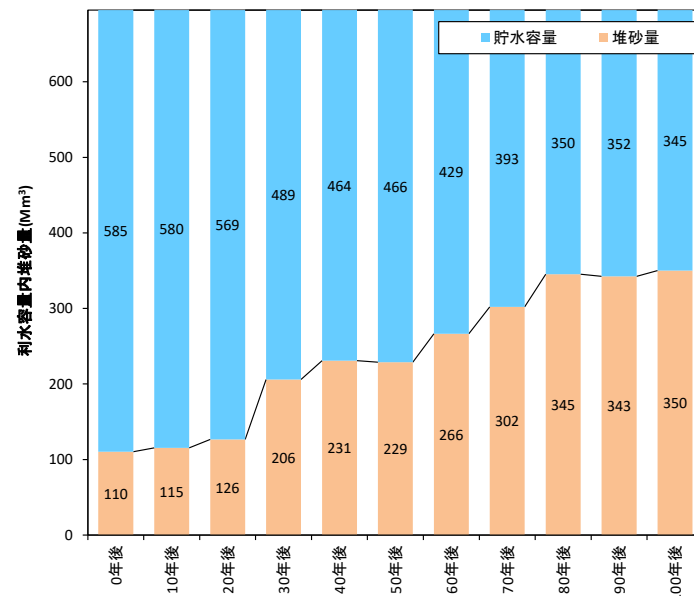


図 6-17 目的容量別堆砂量及び貯水容量の推移



### (3) ゾーン別の将来の堆砂傾向

ゾーン毎の将来の堆砂量の推移を図 6-18 に示す。

- ゾーン E, F は現状で堆砂がかなり進行している。そのため、堆砂量は緩やかに増加するものの今後大きな増加はない。
- 今後、貯水池中流域のゾーン B, C, D で顕著な堆積が進行すると予測される。

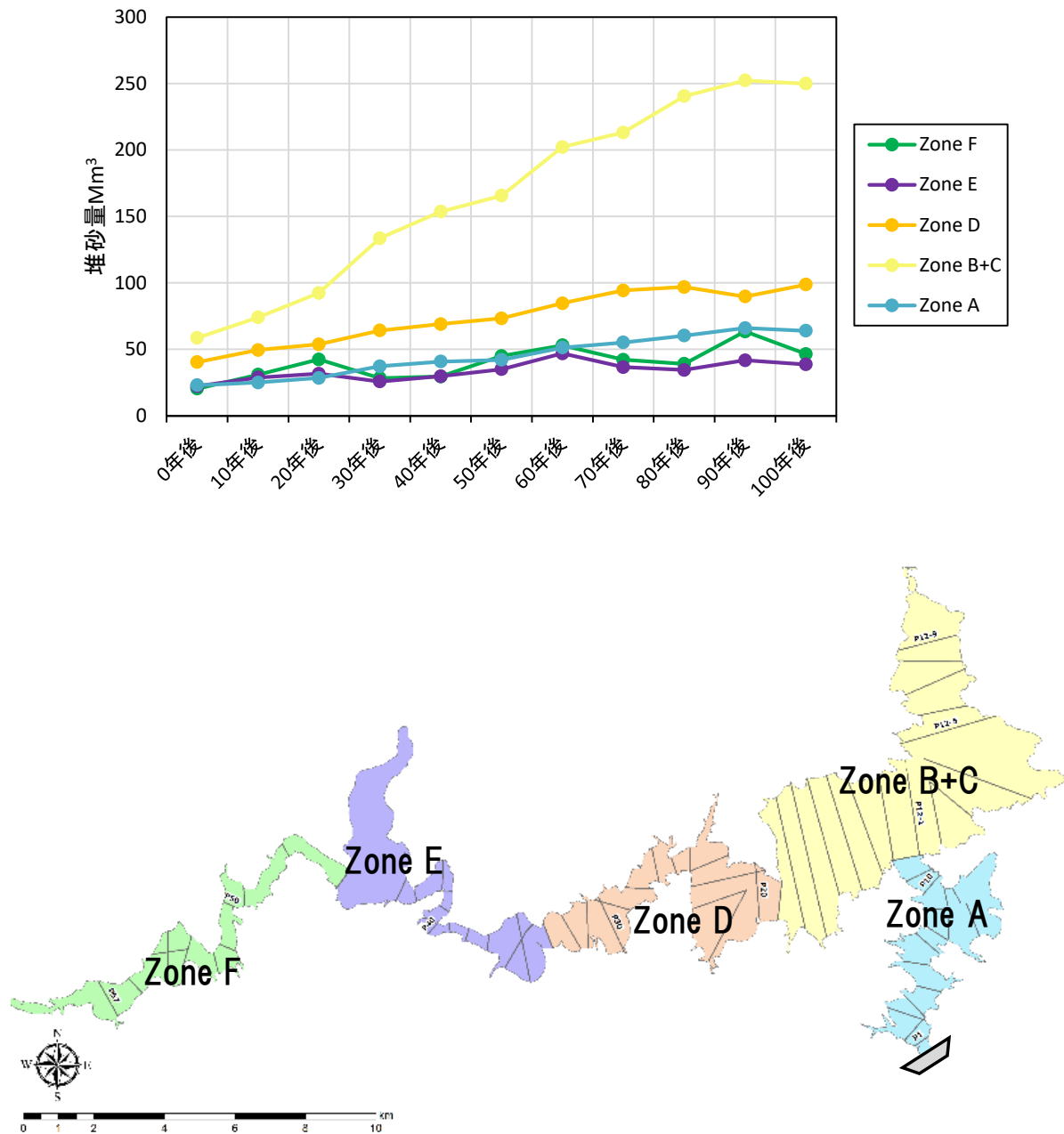


図 6-18 ゾーン毎の堆砂量の推移（計算結果）

### 6.3 堆砂対策の緊急性に関する分析

前節ではシディサレムダムにおける現状から将来 100 年後までの堆砂形状を予測したが、この予測は 100 年後の堆砂形状と堆砂量を予測することが目的であり、途中の堆砂量の詳細な変化まで予測しているものではない。一方で、最近の気候変動の影響を踏まえると、2003 年と同規模の洪水や最近の渇水のような異常気象が近い将来に再発生することが懸念される。

そこで、本節では 6.1.2 で計算した将来予測結果を用い、気候変動によって想定される異常洪水や渇水の頻発による堆砂のリスク分析を実施した。

#### 6.3.1 気候変動によって想定されるリスク

##### (1) 異常洪水の発生

気候変動によるリスクとして、2003 年洪水のような大規模洪水が近い将来に再び発生することが考えられる。図 6-19 に無対策におけるゾーン A～C の堆砂量の将来予測結果を示すが、20 年後から 30 年後にかけて堆砂量が 50 million m<sup>3</sup> も増加している。これは当該期間の予測に使用した洪水波形の中に 2003 年洪水が含まれているためである。この結果から、近い将来、同規模の洪水が発生すると、ゾーン A～C の利水容量内において急激に堆砂が進行するリスクが示唆された。

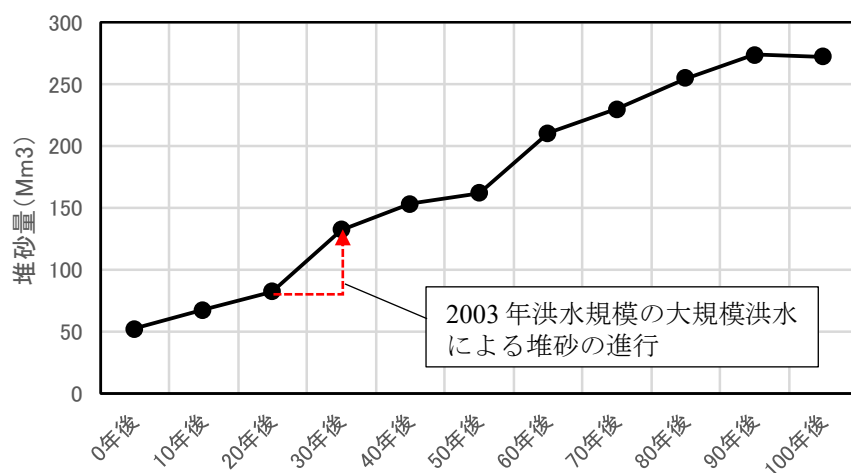


図 6-19 将来予測によるゾーン A～C の堆砂量の変化

##### (2) 渇水の頻発

大規模洪水の発生以外のリスクとして渇水の影響が考えられる。図 6-20 はシディサレムダムの 2009 年における堆砂の再現結果である。洪水後にゾーン EF の堆砂が減少して、ゾーン A～D の堆砂が増加している。これは洪水前に貯水位が EL.100m 付近まで低下する渇水が発生したため、洪水によって上流に堆積していた土砂が貯水池の下流へ移動したことが原因と考えられる。このような堆砂の移動は、渇水が発生すれば今後も発生する可能性がある。したがって、貯水池上流部への堆砂は、貯水池下流（ゾーン A～C）の利水容量を減少させるリスク因子と見なされる。

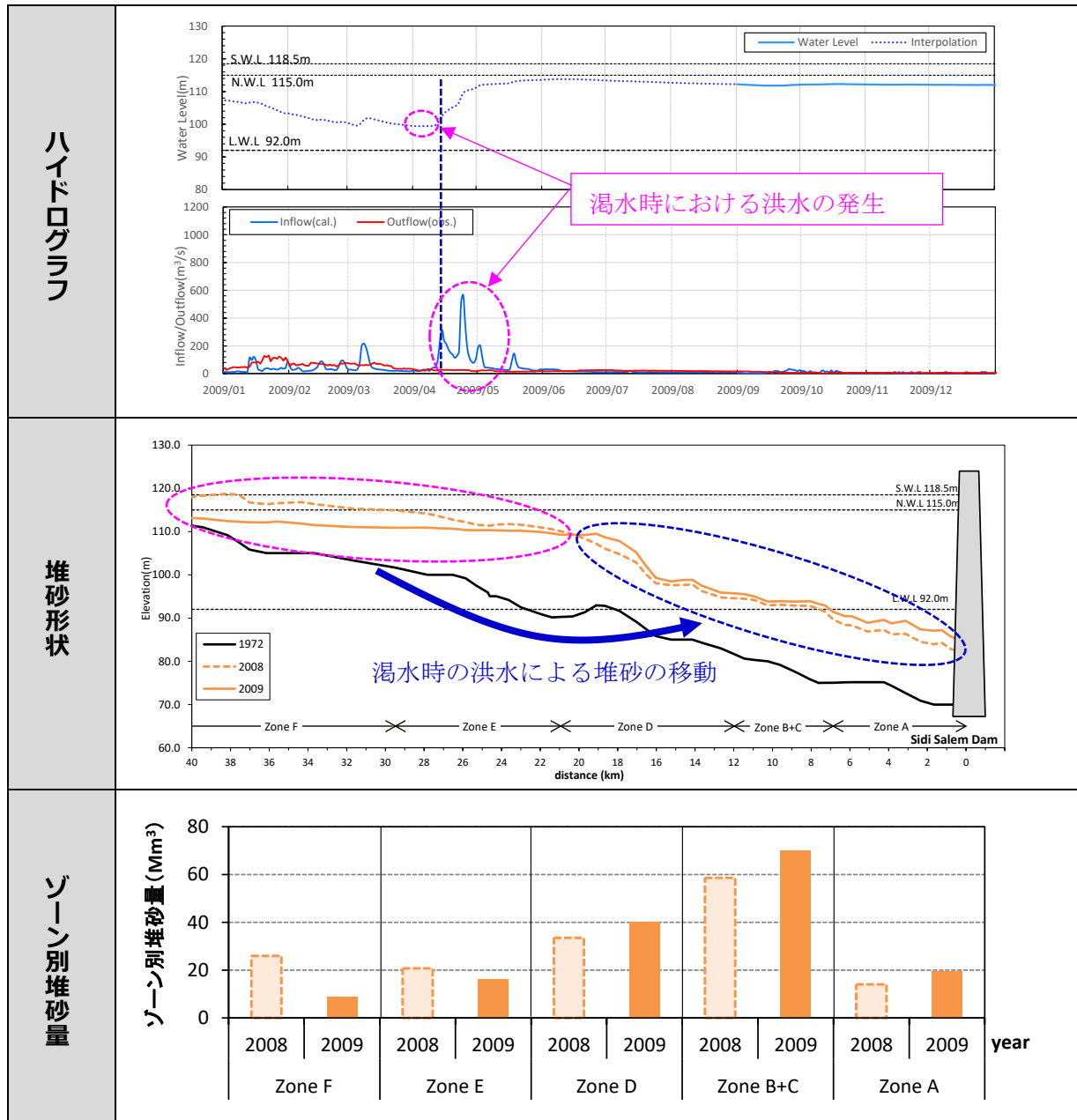


図 6-20 2009 年洪水時の堆砂形状の変化（再現結果）

### 6.3.2 リスクを考慮した緊急性の高い堆砂進行シナリオ

前述のリスク因子を考慮した緊急性の高い堆砂進行シナリオを検討した。異常洪水については、2003 年洪水と同規模の洪水が今後 10 年以内に発生することを想定する。また、渇水については、今後、ゾーン DEF への堆砂が渇水時の洪水によってゾーン ABC へ移動することを想定する。

以上の想定を踏まえ、緊急性の高い堆砂進行シナリオとして、以下を設定した。

- 今後 10 年後までの無対策時におけるゾーン ABC の年平均堆砂量は異常洪水の発生によって 5 million m<sup>3</sup>/年とする。10 年後以降は 100 年後までの平均的な堆砂量 2.2 million m<sup>3</sup>/年とする (図 6-21 参照)。
- ゾーン DEF から ABC への堆砂の移動量として、将来 100 年後までのゾーン DEF の年平均堆砂量 0.9 million m<sup>3</sup>/年 (図 6-21 参照) を設定する。

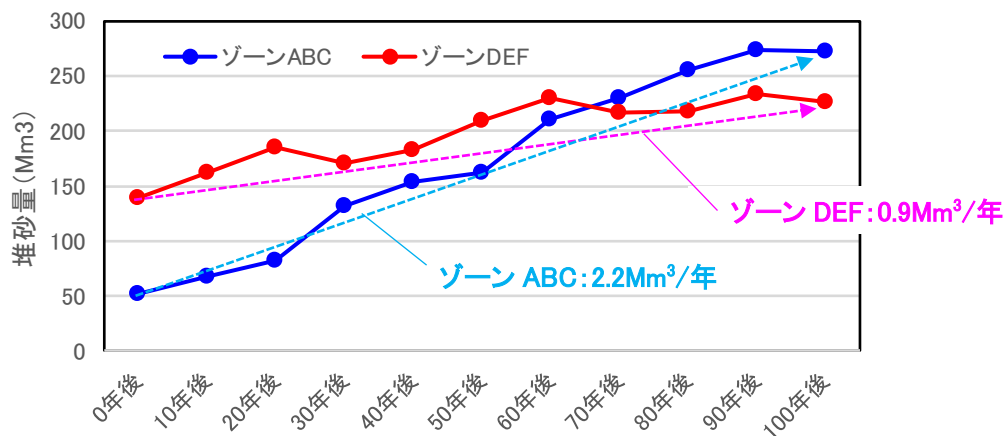


図 6-21 ゾーン別堆砂量の予測結果 (無対策)

以上の設定によるゾーン ABC の利水容量内の今後の堆砂量及び利水への影響を図 6-22～図 6-26 に整理した。なお、同図には堆砂対策後の予測結果も含まれているが、この結果は後述する 7 章で詳述している。これより以下のことが示唆される。

- シディサレムダムの年間水利用量は過去実績で 270–300 million m<sup>3</sup>と推定されるが、無対策の場合、最短で 10 年後には利水容量が年間の水利用量を下回り、ダムの利水機能に影響を及ぼす危険性がある。
- 無対策の場合、緊急性の高いシナリオでは、10 年後に利水容量の 18% (59 million m<sup>3</sup>) を損失、30 年後に 42% (138 million m<sup>3</sup>) を損失、100 年後に 88% (288 million m<sup>3</sup>) を損失するリスクがある。

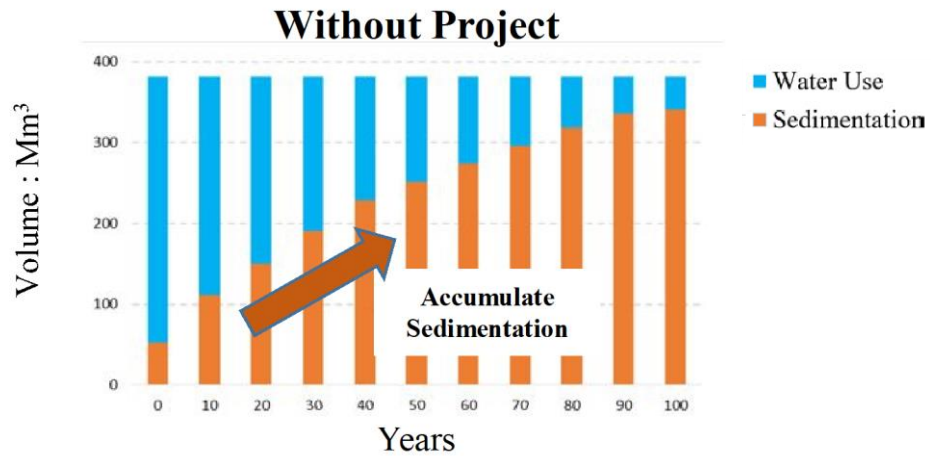


図 6-22 リスクを考慮した堆砂進行シナリオ（無対策）

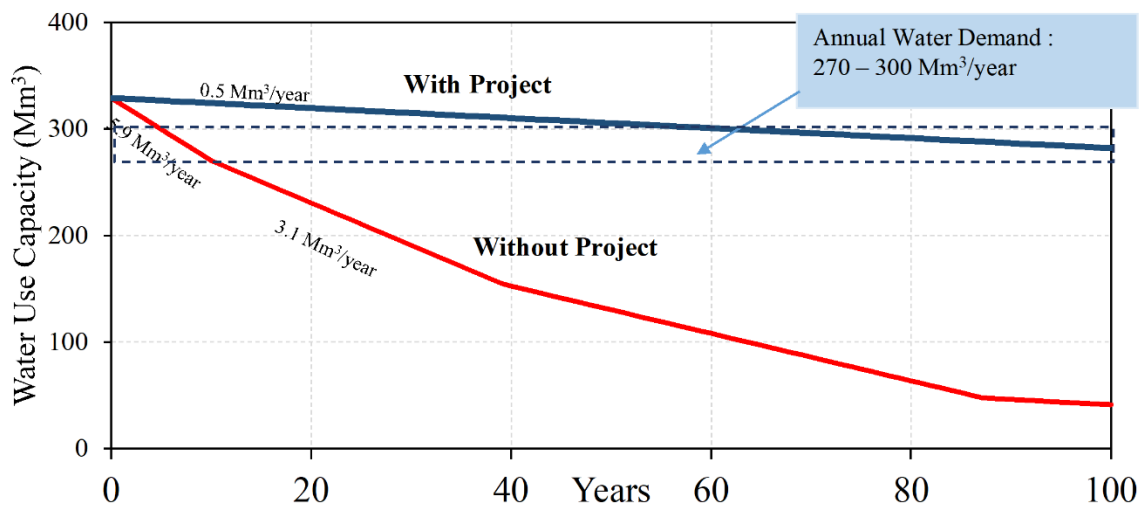


図 6-23 堆砂進行シナリオによる利水容量内の堆砂量の推移

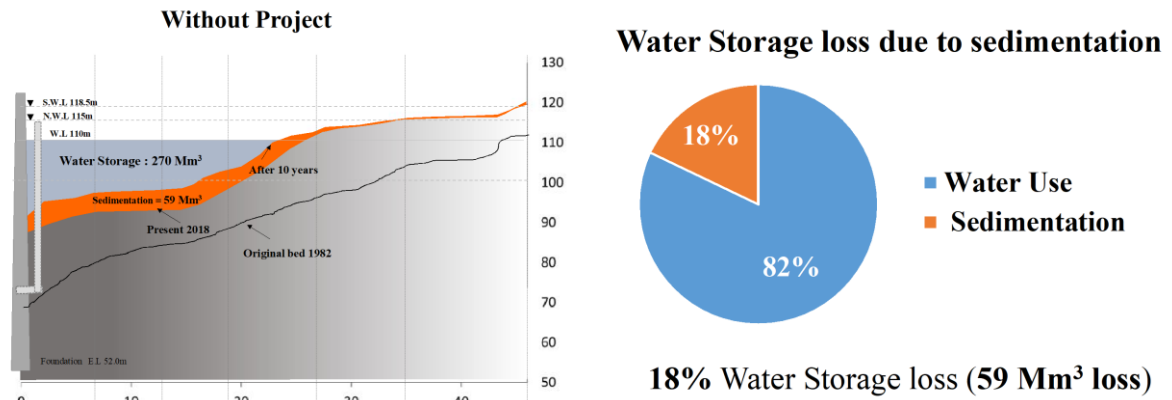


図 6-24 堆砂進行シナリオ（無対策）による利水容量への影響（10 年後）

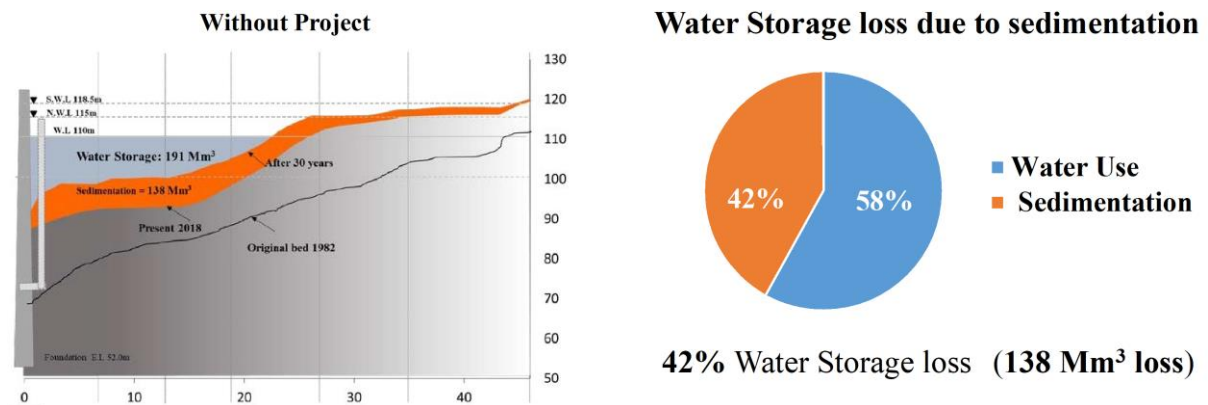


図 6-25 堆砂進行シナリオ（無対策）による利水容量への影響（30 年後）

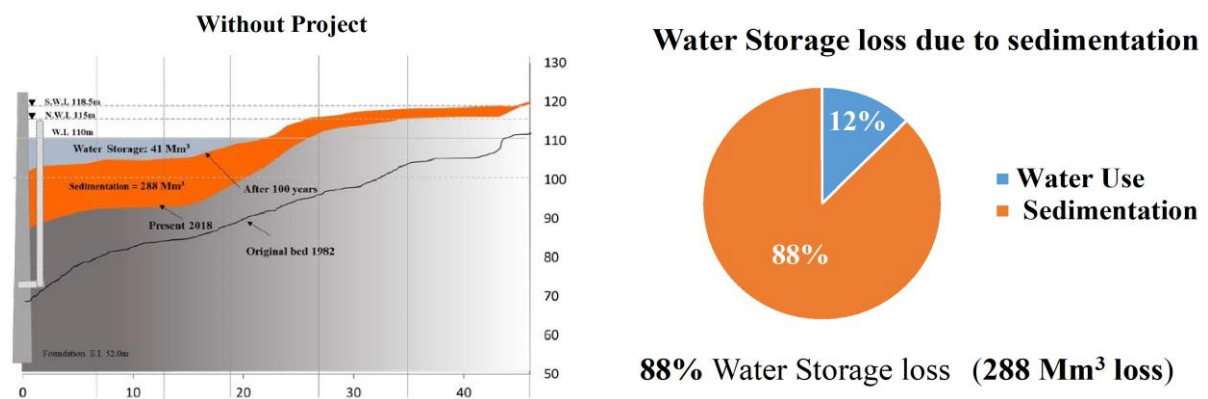


図 6-26 堆砂進行シナリオ（無対策）による利水容量への影響（100 年後）

## 6.4 三次元濁水流動解析

シディサレムダムの流入土砂の大半は洪水時に流入する高濃度の濁水であり、ゾーン B, C のように貯水池形状が平面的に広がるエリアでは、比重の重たい濁水が底層へ潜りながら平面的に拡散する複雑な流動が生じると推測される。その場合、当該貯水池における堆砂対策の1つとして流入濁水を制御するフェンスの設置が有効である可能性が高いが、現地において洪水時の濁水の流動現象が過去に一度も調査されていないため、実態が十分に把握できていない。そこで、三次元濁水流動解析を実施し、洪水時の濁水の流動現象を予測する。なお、後述の8章ではフェンスの対策効果を検証するための三次元濁水流動解析も実施した。

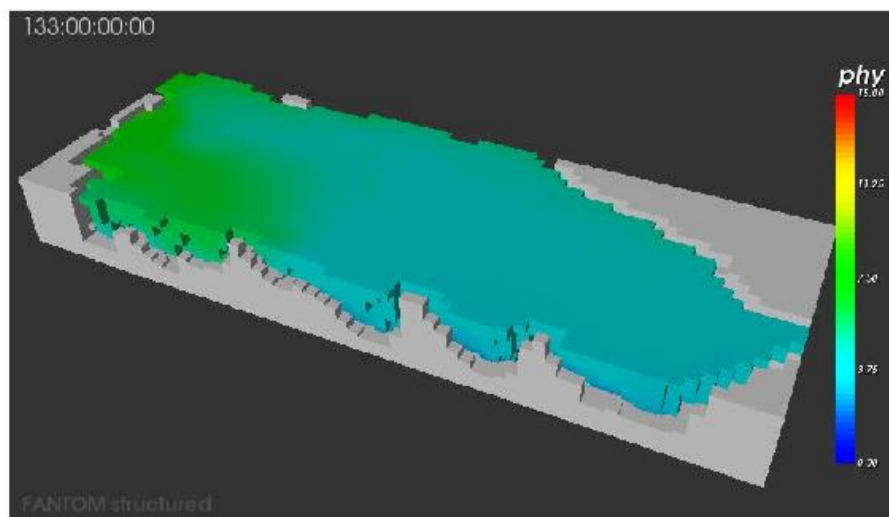
### 6.4.1 解析手法の概要

#### (1) モデルの選定

本業務の対象水域である東浜水路の水理・水質特性を再現できる水質予測シミュレーションモデルを構築した。使用するモデルは、自然水域での計算実績が豊富な公立大学法人首都大学東京が開発した三次元環境流体モデル（Fantom3D）を選定した。Fantom3D による自然水域での計算事例を以下に示す。

#### ■閉鎖性水域：宍道湖（島根県）

島根県東部に位置する平均水深 4.5 m の汽水湖を対象に生態系モデルのシミュレーションを行った研究事例である。植物プランクトンの増殖を予測するにあたり、湖の平面的な水温分布や風による三次元的な流動を計算し、植物プランクトンの生産因子となる栄養塩濃度（窒素、リン等）の増減を予測している。



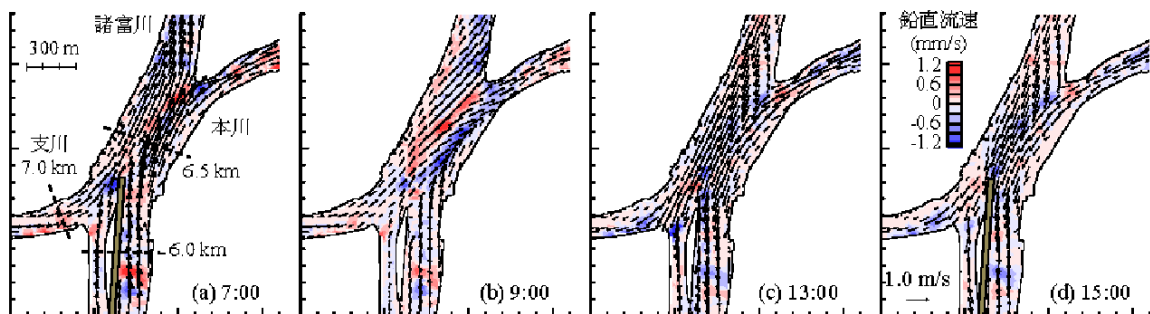
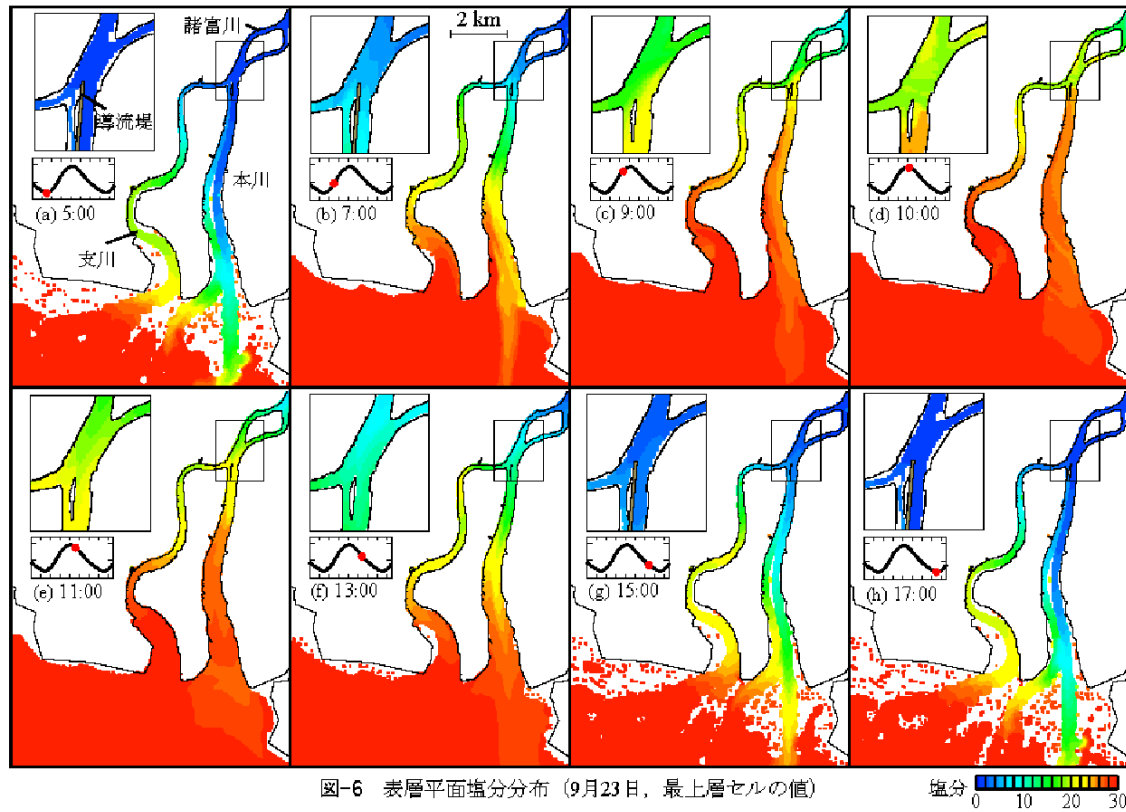
出典：土木学会水工学委員会 環境水理部会 2015「宍道湖における三次元湖沼生態系モデルの開発と検証」

図 6-27 宍道湖における植物プランクトンの計算



# ■感潮河川：筑後川

九州地方を流れる筑後川の感潮域を対象に塩水遡上のシミュレーションを行った研究事例である。河口部の潮位変動に伴って海水が河口部へ遡上する現象を予測している。支川と本川が分岐しており、河川水の下流向きの流れと海水の上流向きの流れがぶつかる複雑な流れが再現された。



出典：土木学会論文秀 B1（水工学）Vol.73, No.4, I\_1039-1044, 2017

「分岐合流を有する感潮河道における塩水遡上運動の三次元流動シミュレーション」

図 6-28 筑後川における塩水遡上の計算

## (2) 基礎方程式

基礎方程式は、非圧縮とブシネスク近似を施した三次元 Navier-Stokes 式と連続式である。乱流モデルは k-ε モデルを用いることとした。土砂による濁りについては SS 濃度の輸送方程式を考慮した。SS とは Suspended Solid（浮遊懸濁物質）の略語であり、水中を浮遊する細かい土粒子を意味する一般的な水質指標である。また、貯水池内の水温分布が濁水の流動に影響を及ぼす可能性があるため、水温の輸送方程式も考慮した。表 6-8 にモデルで使用される主な計算式を示す。

表 6-8 解析モデルの主な基礎方程式

| 計算対象    | 基礎式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 流速の計算   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・連続式 <math display="block">\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0</math> </li> <li>・基礎方程式：三次元 Navier-Stokes 式 <math display="block">\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{\mu}{3\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)</math> <math display="block">\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \frac{\mu}{3\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)</math> <math display="block">\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{\mu}{3\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)</math> </li> </ul> |
| 乱流混合の計算 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・乱流モデル：k-ε <math display="block">\frac{D(k)}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left( v_L \frac{\partial k}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( v_{Lk} \frac{\partial k}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( v_{Tk} \frac{\partial k}{\partial z} \right) = P_r + G - \varepsilon</math> <math display="block">\frac{D\varepsilon}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left( v_{L\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( v_{L\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( v_{T\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) = C_1 \frac{\varepsilon}{k} P_r - C_1 (1 - C_3) \frac{\varepsilon}{k} G + C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}</math> <math display="block">\frac{D\delta}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left( v_{L\delta} \frac{\partial \delta}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( v_{L\delta} \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( v_{T\delta} \frac{\partial \delta}{\partial z} \right) = S</math> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 水温の計算   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・温度（熱量）の輸送方程式 <math display="block">\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} =</math> <math display="block">\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left( \frac{v}{S_c} + \frac{v_l}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left( \frac{v}{S_c} + \frac{v_l}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \left( \frac{v}{S_c} + \frac{v_l}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \right\}</math> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| SS の計算  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・SS の輸送方程式 <math display="block">\frac{\partial SS}{\partial x} + u \frac{\partial SS}{\partial x} + v \frac{\partial SS}{\partial y} + (w + w_0) \frac{\partial SS}{\partial z} =</math> <math display="block">\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left( \frac{v}{S_c} + \frac{v_l}{\sigma_t} \right) \frac{\partial SS}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left( \frac{v}{S_c} + \frac{v_l}{\sigma_t} \right) \frac{\partial SS}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \left( \frac{v}{S_c} + \frac{v_l}{\sigma_t} \right) \frac{\partial SS}{\partial z} \right\}</math> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

ここに、 $u, v, w$ ：それぞれ x, y 方向（水平）流速および z 方向（鉛直）流速(m/s)、 $\rho$ ：平均密度 ( $\text{kg/m}^3$ ：水温と塩分の関数)、 $\nu$ ：動粘性係数、 $k$ ：乱れのエネルギー、 $\varepsilon$ ：粘性散逸率、 $\delta$ ：相対密度差(浮力)、 $w_0$ ：沈降速度(m/s)、 $T$ ：水温( $^{\circ}\text{C}$ )、 $SS$ ：SS 濃度(mg/l)である。

#### 6.4.2 解析条件の設定

主な解析条件を表 6-9 に示す。先に述べたように本解析はシディサレムダムにおける洪水時の濁水の挙動を明らかにすることを目的の 1 つとしている。本準備調査では洪水時の濁水流動を捉えるため、2020 年 1 月から濁度調査を定期的実施しているが、現状では検証可能な洪水時の観測データが取得できていない。そこで、本解析では現時点で把握できている基礎的なデータを基に解析モデルを構築した。そのうえで、仮想的な洪水による三次元濁水解析を実施し、現地で発生する濁水の挙動を推察した。

表 6-9 主な解析条件の設定

| 項目   | 内容                                                                                                                           | 備考                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 対象領域 | シディサレムダム貯水池（ゾーン A～D）                                                                                                         |                                                         |
| 対象洪水 | 仮想的な一山洪水波形<br>洪水期間：14 days、ピーク流量：500、1000 m <sup>3</sup> /s                                                                  | 2020 年 1 月から濁度調査を実施しているが、洪水が発生していないため、検証可能な実測データが未取得のため |
| 時間刻み | dt=20sec                                                                                                                     |                                                         |
| 流入条件 | メジェルダ川（本川）<br>（流入 SS）= $\alpha \times$ （ダム流入量） <sup><math>\beta</math></sup><br>$\alpha=2.51 \times 10^{-5}$ 、 $\beta=1.802$ | 1 次元堆砂シミュレーションによる再現計算の流入 SS 式を採用                        |
| 地形条件 | 2018 年 1 月測量成果を基に作成<br>平面グリッド（dx,dy）：100～400 m メッシュ<br>鉛直グリッド（dz）：2 m メッシュ                                                   | 最新成果である 2017 年測量成果を基に作成                                 |
| 初期条件 | 流速：初期流速は全域で 0<br>水温：2020 年 2 月 28 日の水温鉛直分布（※）<br>貯水位：EL.108 m                                                                | ※本年度実施中の濁度調査結果を基に、洪水が発生する雨季の水温分布を設定                     |
| 気象条件 | 気温・湿度・日射・風速・風向・大気圧の観測データ                                                                                                     |                                                         |

## (1) 対象領域の設定

計算対象領域を図 6-29 に示す。解析領域はゾーン A～D の区間とした。ゾーン E, F は図 6-30 に示すように堆砂が進んでいるため水深も浅く、河道幅も狭いため、濁水は断面一様に流れ込むと考えられる。本解析では水深が深く、貯水池が平面的に広がって濁水の挙動が複雑になるゾーン A～D を対象とすることとした。

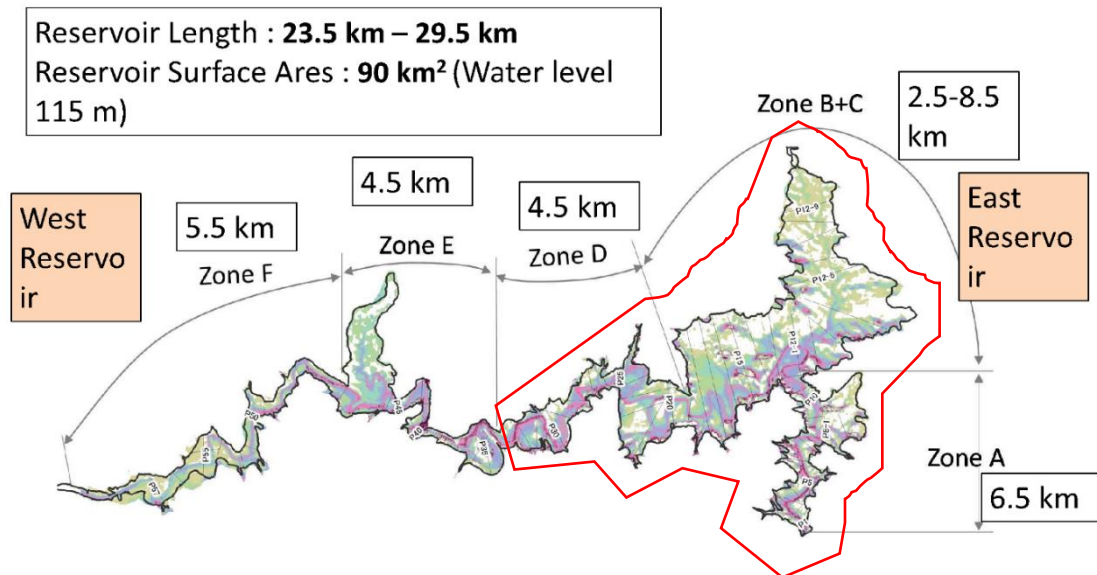


図 6-29 三次元濁水解析の対象領域

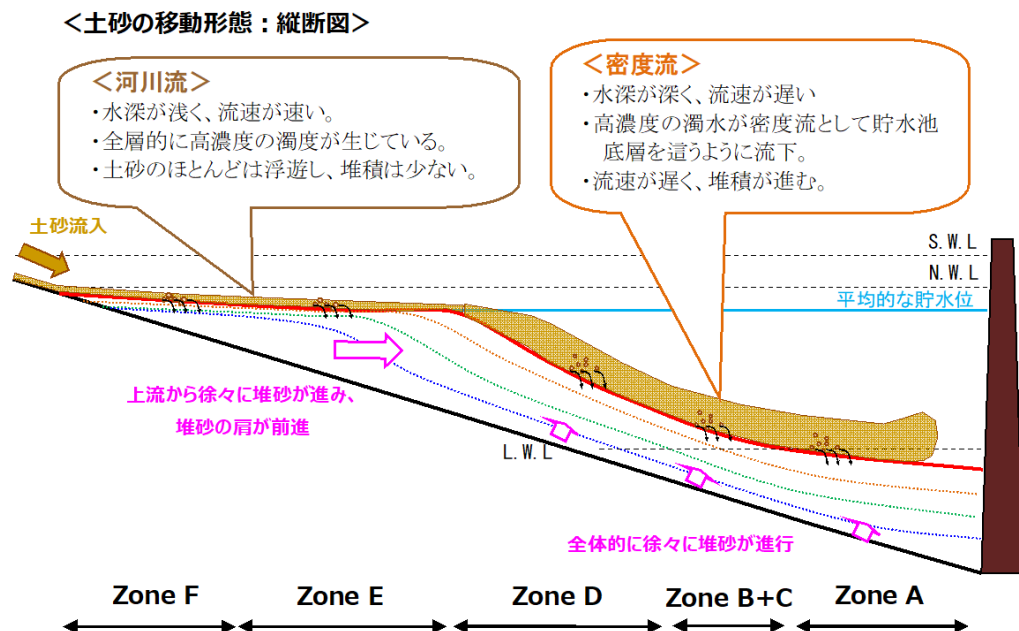


図 6-30 想定される洪水時流入濁水の挙動

対象領域の計算メッシュを図 6-31 に示す。洪水時の流入のほとんどはメジェルダ川本川であることから、計算メッシュは本川側であるゾーン A、C、D を 100～200m と細分化し、濁水の平面的な流動を再現可能とした。

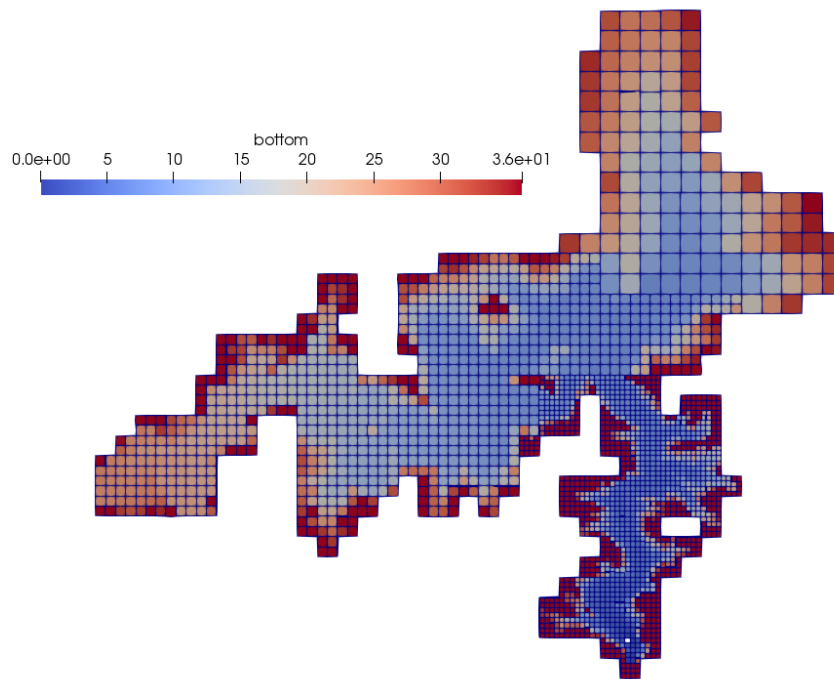


図 6-31 三次元解析の計算メッシュ

## (2) 洪水波形の設定

解析モデルによる濁水の挙動を確認するため、仮想的な洪水波形を設定した。洪水のピーク流量は 500、1000  $\text{m}^3/\text{s}$  の 2 ケースとした。生起確率は別途実施の水文統計解析の結果を踏まえると、概ね 5 年、20 年確率程度である。洪水の継続時間は 14 日間とした。

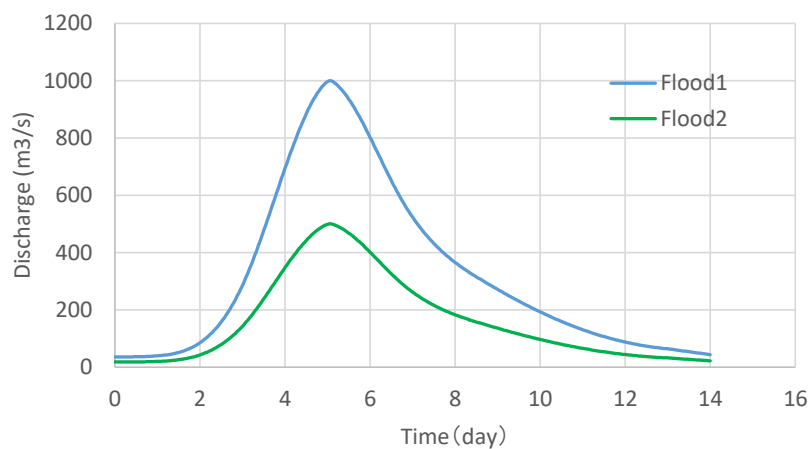


図 6-32 解析に用いた洪水波形

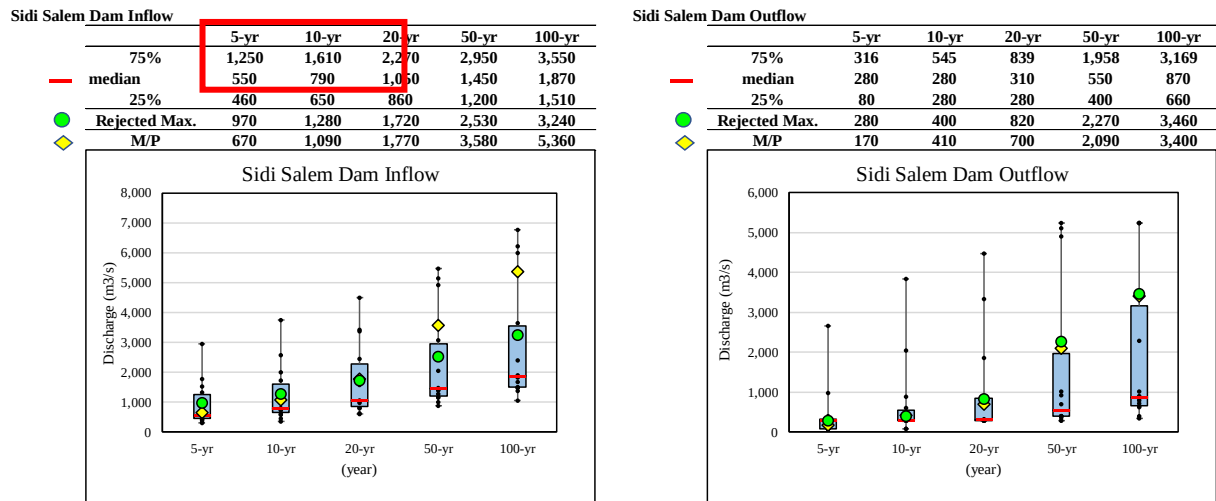


図 6-33 シディサレムダム地点における洪水の生起確率

### (3) SS の沈降・巻き上げの取り扱い

貯水内における流入 SS は非常に高濃度のため貯水池底層に潜入し、湖底を這うように移動すると考えられるが、その際、濁水中の土粒子の沈降や浮上の現象がどのようなになっているのかは現在のところ、観測データが得られていないため不明である。そこで本業務では沈降・浮上は無視して現象を把握することとした。なお、実際の現象において流入濁水は貯水池内に拡散後、時間経過と共に徐々に沈降堆積するが、粒径が微細なため 1 ヶ月以上の時間スケールの現象と考えられ、本業務で扱う洪水期間（2～3 日間）においては沈降の影響は比較的小さいものと考えられる。

本解析で注目しているのは流入濁水による密度流の発生状況（規模、ダム地点への到達状況）であるが、流入濁水の SS 濃度自体は過年度に観測されていることから、密度流の発生の有無については本解析モデルによって傾向を把握可能と判断している。

### 6.4.3 仮想洪水波形による濁水の挙動解析

仮想洪水波形による貯水池内の濁水の解析結果を以下に示す。

#### (1) ピーク 1000 m<sup>3</sup>/s の仮想洪水による結果

ピーク流入量が 1000 m<sup>3</sup>/s の仮想洪水による流入濁水の三次元的な流動現象を表 6-10、縦断的な濁度コンター図を表 6-11 に示す。これらの結果より以下のことが言える。

- 濁水が貯水池上流から徐々に流入する様子が認められる。
- ゾーン B, C に侵入すると平面的に拡散しながらゾーン A にも濁水の進入する様子が見られる。
- 最終的にはすべてのエリアに濁水が拡散する。
- 縦断コンター図を見ると、高濃度の濁水が貯水池内の底部に沿ってダム地点まで流下している様子が認められ、密度流が形成されていることがわかる。濁水の流入から約 3 日後にダム地点へ到達する結果となった。

#### (2) ピーク 500 m<sup>3</sup>/s の仮想洪水による結果

ピーク流入量が 500 m<sup>3</sup>/s の仮想洪水による流入濁水の三次元的な流動現象を表 6-12、縦断的な濁度コンター図を表 6-13 に示す。これらの結果より以下のことが言える。

- 基本的な濁水の挙動は 1000 m<sup>3</sup>/s の仮想洪水の場合と類似しているが、洪水の総流入量が小さいため、すべてのエリアに濁水が分布する状況にはなっていない。
- 縦断コンター図を見ると、濃度としては比較的低いが、ピーク流量 500 m<sup>3</sup>/s の場合でも、1000 m<sup>3</sup>/s の仮想洪水と同様の密度流が形成されている。
- 濁水の流入から約 4 日後にダム地点へ到達する結果となった。1000 m<sup>3</sup>/s の場合と比較するとダム地点への到達時間は遅くなる傾向が認められる。



表 6-10 濁水の解析結果 (Flood1:Q<sub>p</sub>=1,000 m<sup>3</sup>/s)

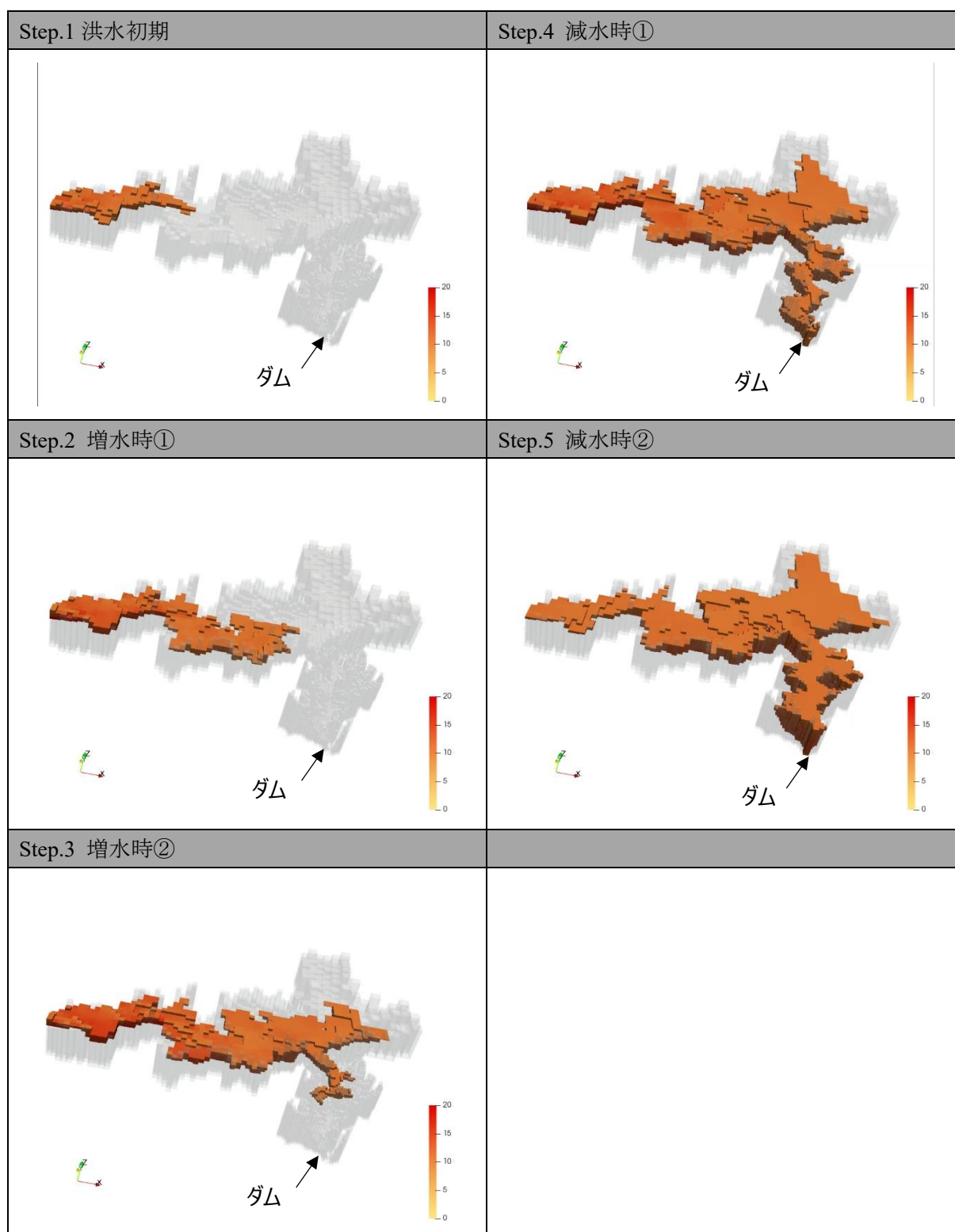
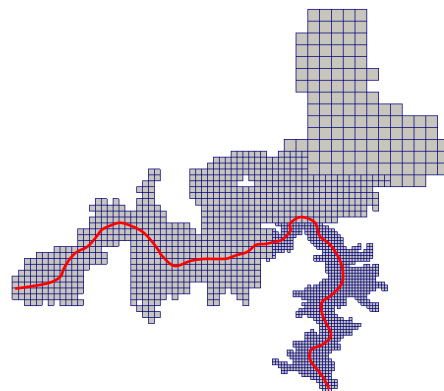
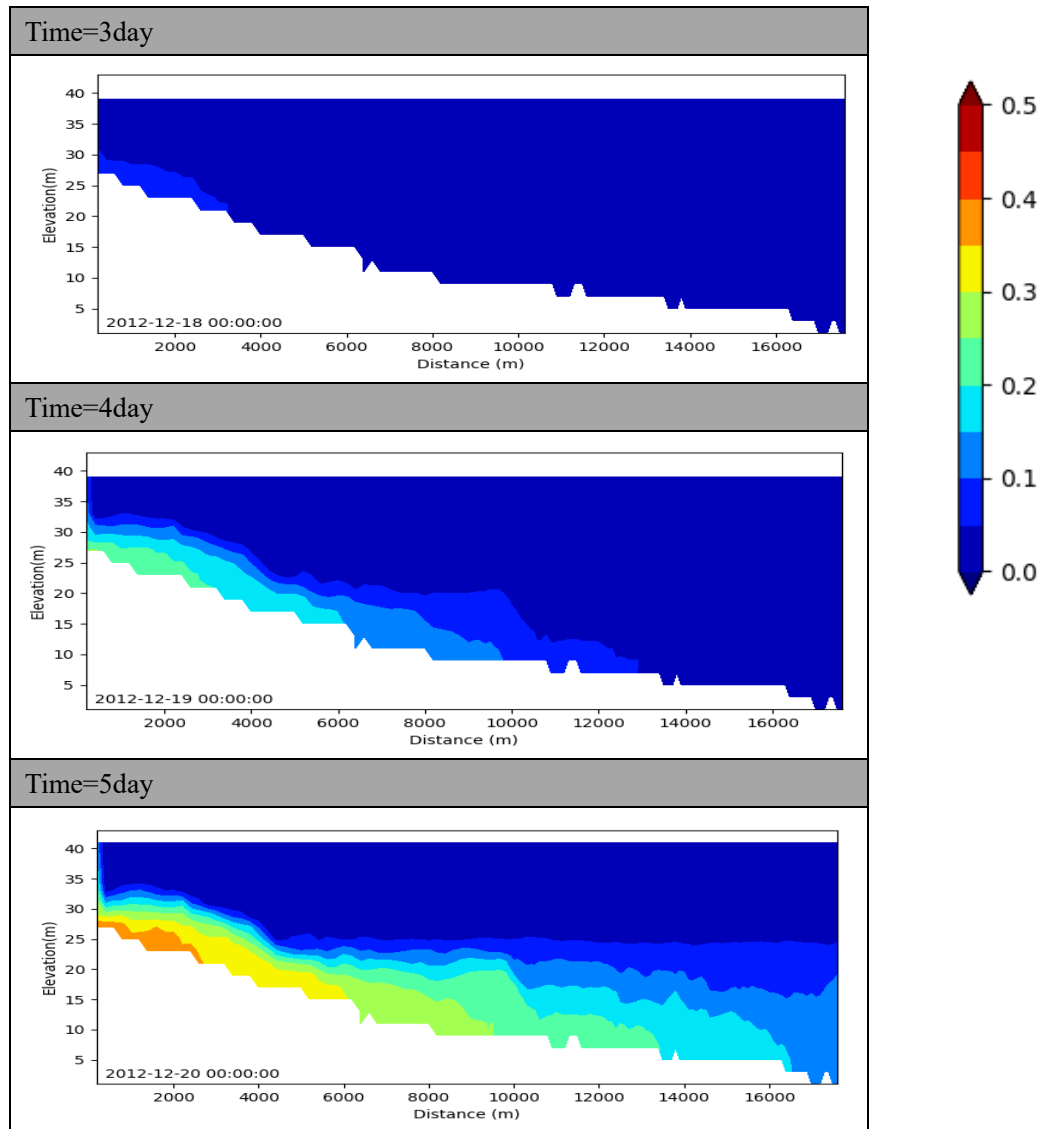


表 6-11 濁水の解析結果（密度の縦断分布：Flood 1:Qp=1,000 m<sup>3</sup>/s）



※縦断コンター図は平面図上の赤線  
に沿って作成

表 6-12 濁水の解析結果 (Flood2:Qp=500 m<sup>3</sup>/s)

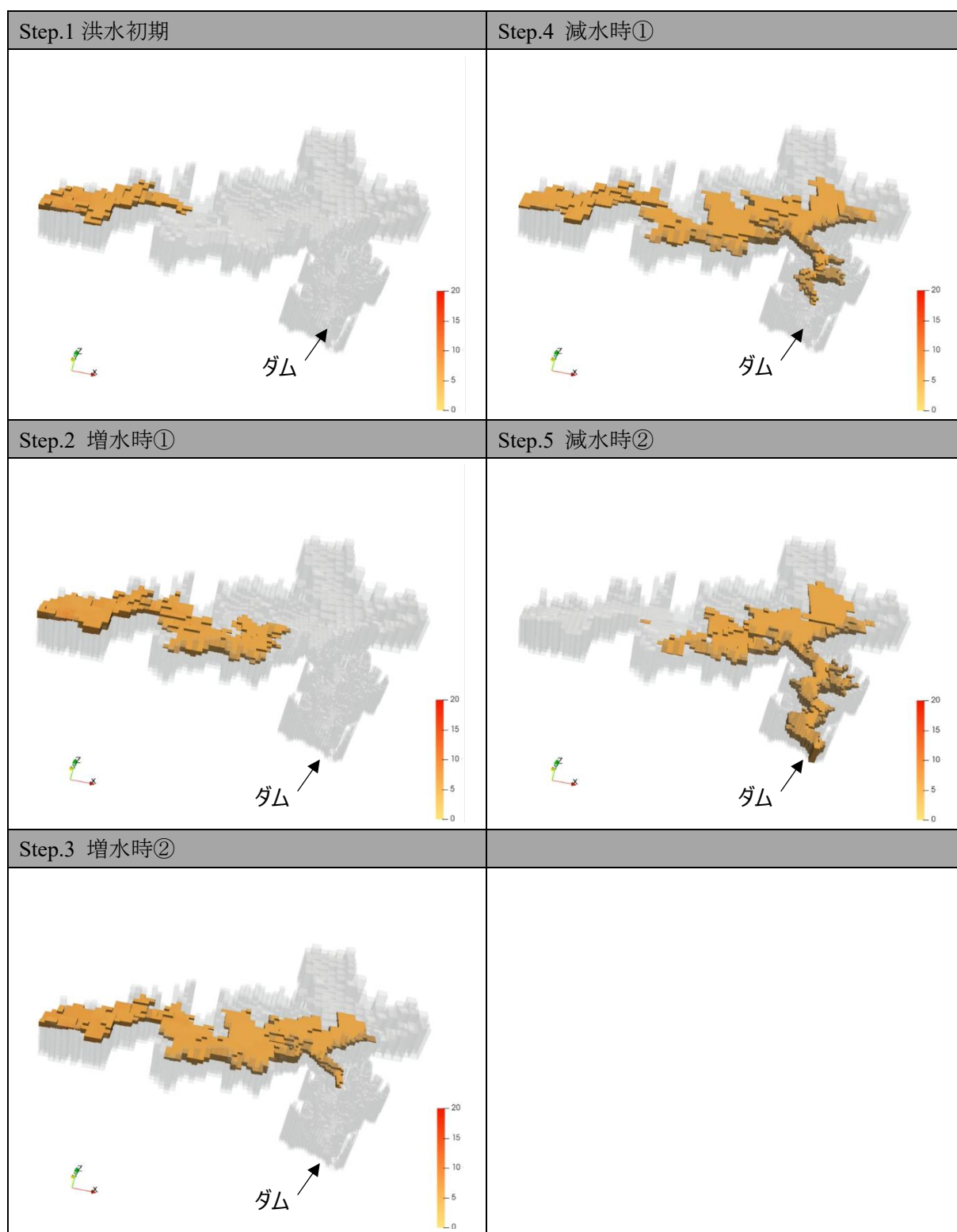
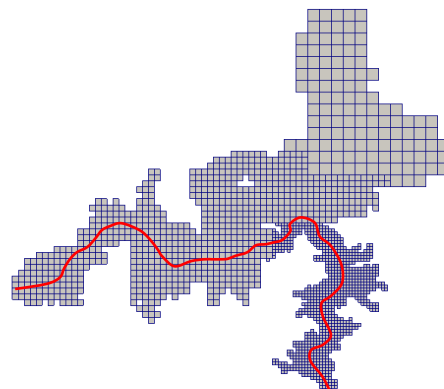
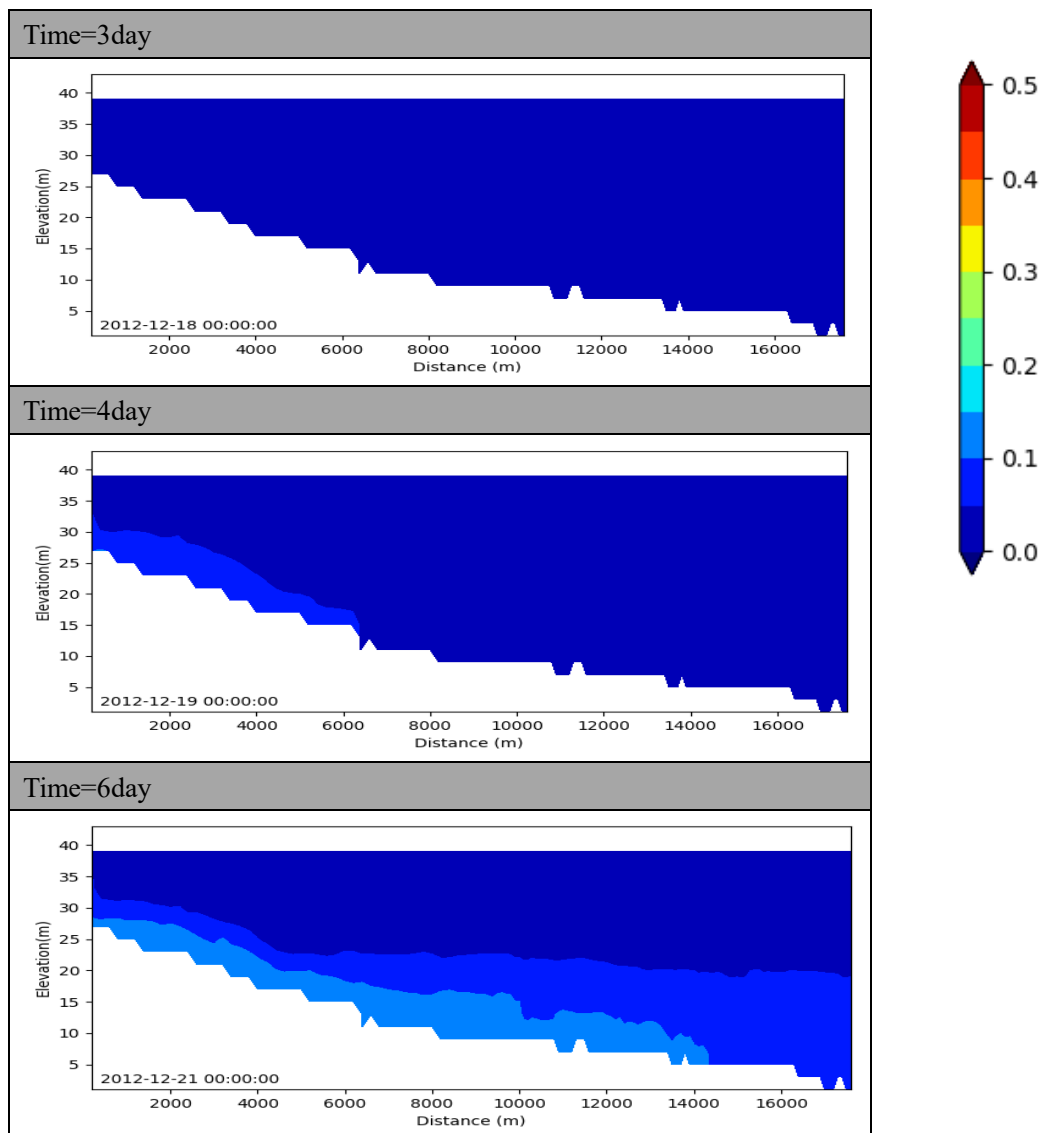


表 6-13 濁水の解析結果（密度の縦断分布：Flood 2:  $Q_p=500 \text{ m}^3/\text{s}$ ）



※縦断コンター図は平面図上の赤線  
に沿って作成

#### 6.4.4 実際の洪水波形による濁水流動現象の分析

7.3.3 において仮想的な洪水波形を用いて流入濁水の定性的な傾向分析を実施した結果、現地で発生する規模の洪水波形において密度流が形成され、貯水池全体に広がる傾向やダム地点まで密度流が到達する様子が認められた。そこで、本モデルを用いて、過去の実際の洪水波形を用いて、洪水発生時に生じたと推測される濁水の拡散状況の再現を試みた。

##### (1) 解析条件の設定

解析条件を表 6-14 に示す。

表 6-14 実際の洪水波形による解析条件の設定

| 項目   | 内容                                                                                                        | 備考                                  |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 対象領域 | シディサレムダム貯水池（ゾーン A～D）                                                                                      |                                     |
| 対象洪水 | No.1：2003 年 1 月洪水<br>No.2：2015 年 2 月洪水                                                                    | ※観測流入量を使用                           |
| 時間刻み | dt=20sec                                                                                                  |                                     |
| 流入条件 | メジェルダ川（本川）<br>（流入 SS） $=\alpha \times$ （ダム流入量） $^{\beta}$<br>$\alpha=2.51 \times 10^{-5}$ 、 $\beta=1.802$ | 1 次元堆砂シミュレーションによる再現計算の流入 SS 式を採用    |
| 地形条件 | 2018 年 1 月測量成果を基に作成<br>平面グリッド（dx,dy）：100～400 m メッシュ<br>鉛直グリッド（dz）：2 m メッシュ                                | 最新成果である 2017 年測量成果を基に作成             |
| 放流操作 | シディサレムダムの既存のダム操作ルール                                                                                       | 第 3 章の水理・水文解析で整理された既存の操作ルールを適用      |
| 初期条件 | 流速：初期流速は全域で 0<br>水温：2020 年 2 月 28 日の水温鉛直分布（※）<br>貯水位：EL.108 m                                             | ※本年度実施中の濁度調査結果を基に、洪水が発生する雨季の水温分布を設定 |
| 気象条件 | 気温・湿度・日射・風速・風向・大気圧の観測データ                                                                                  |                                     |

## (2) 対象洪水波形

本解析で使用する洪水波形を図 6-34、図 6-35 に示す。計算では現地の主要洪水である 2003 年 1 月と、2015 年 2 月の 2 洪水を対象とする。2003 年洪水は継続時間が非常に長く、約 50 日程度、洪水が継続していた。洪水時の流入ボリュームは約 12 億  $\text{m}^3$  である。2015 年洪水の継続時間は 10 日程度であり、現地で発生する洪水としては比較的良好に見られる規模である。

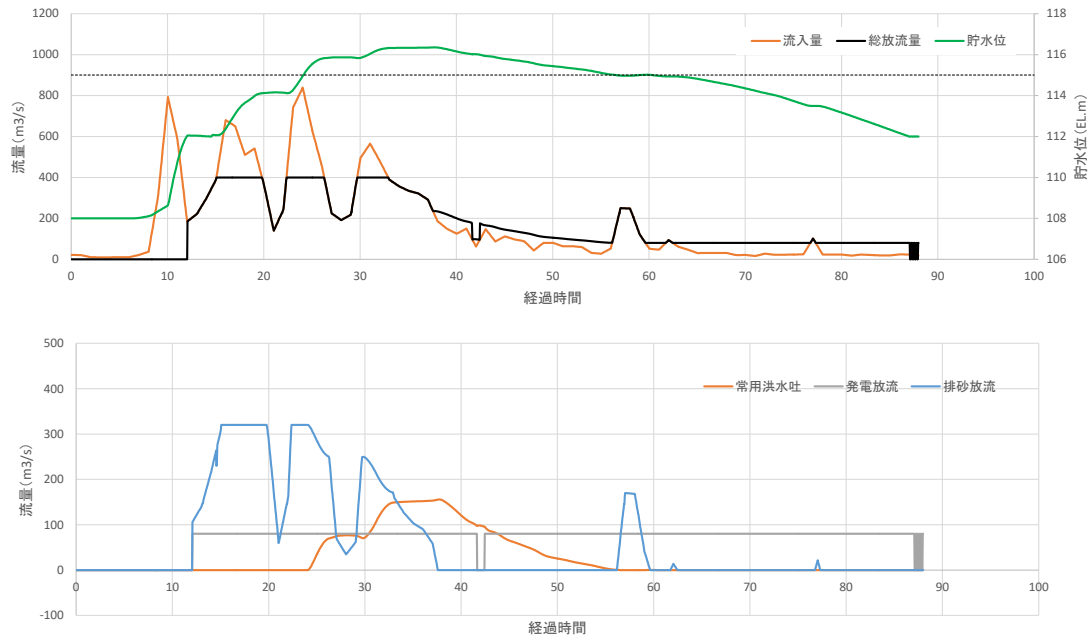


図 6-34 2003 年 1 月洪水波形

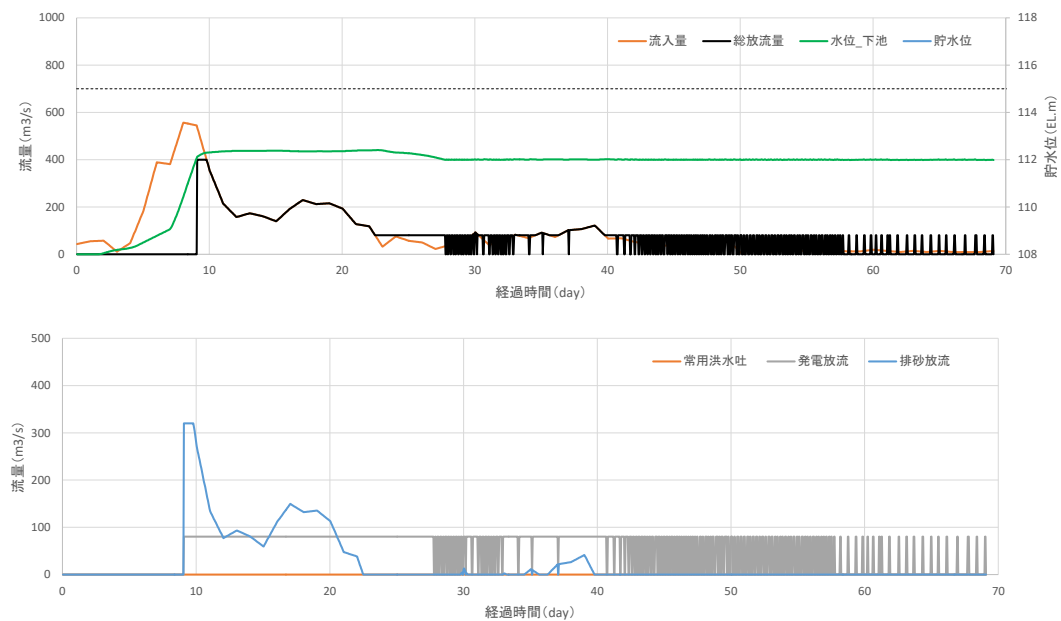


図 6-35 2015 年 2 月洪水波形

### (3) 解析結果

解析結果を図 6-36～図 6-38 に示す。

#### 1) 2003 年 1 月洪水による濁水の挙動

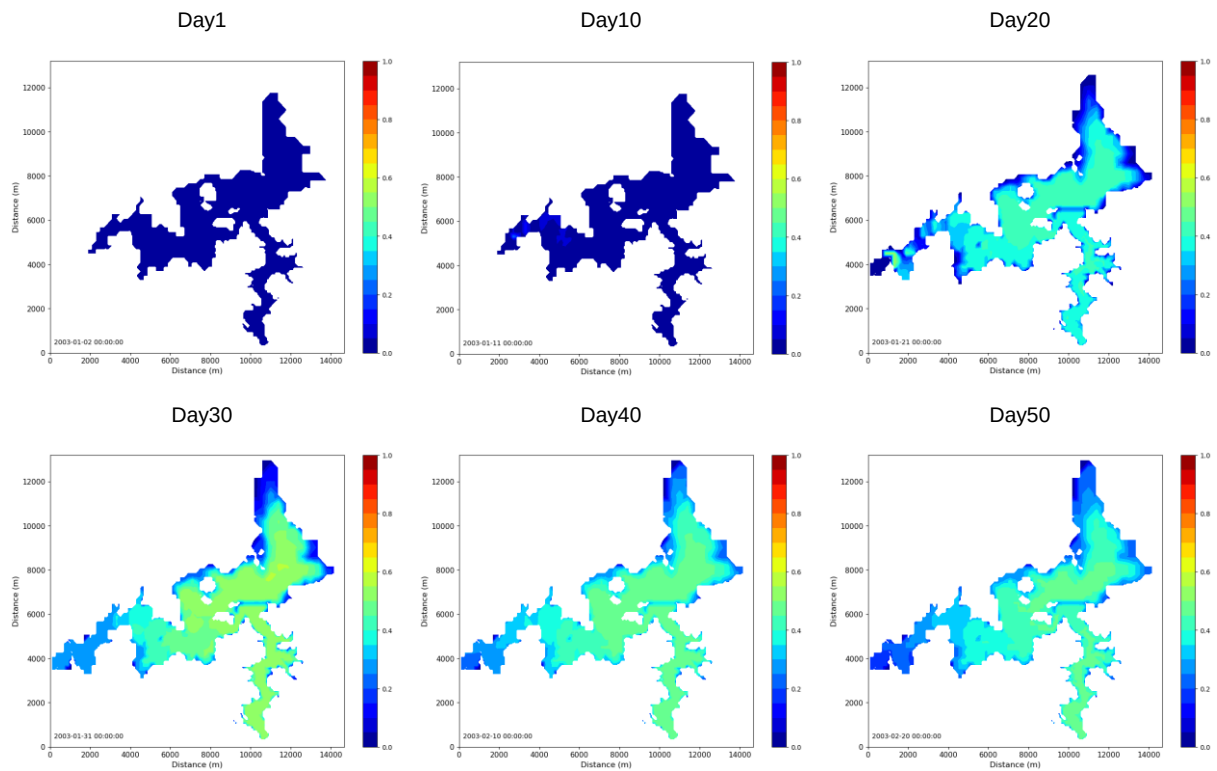
- 2003 年 1 月洪水においては、1 山目の直後の時点ですでに貯水池全域に濁水が拡散している様子がわかる。これは初期貯水位が常時満水位やや低い水位のため、洪水時の濁水を利水容量に貯留したためである。
- しかし、1 山目以降、2～4 山目のピーク流入時は排砂ゲートによって放流操作を実施しているが、貯水池全域に拡散した濁水が減少する様子は明確には認められない。
- 縦断図を見ると、貯水池の水深は概ね 20～25 m に対して、10～15 m の厚さで濁水層が分布している様子が認められた。

#### 2) 2005 年 2 月洪水による濁水の挙動

- 2005 年 2 月洪水でも 2003 年 1 月洪水と類似した挙動が認められたが、濁水の濃度としては 2003 年の半分程度となった。しかし、それでも密度流として底層を這うように流下し、ダム地点まで到達している様子が認められた。
- このようにピーク流量が 500 m<sup>3</sup>/s 程度の洪水でも、貯水池全域に拡散しながらも、ダム地点まで濁水が底層を流下している様子が見られた。



(a) 2003 actual flood



(b) 2015 actual flood

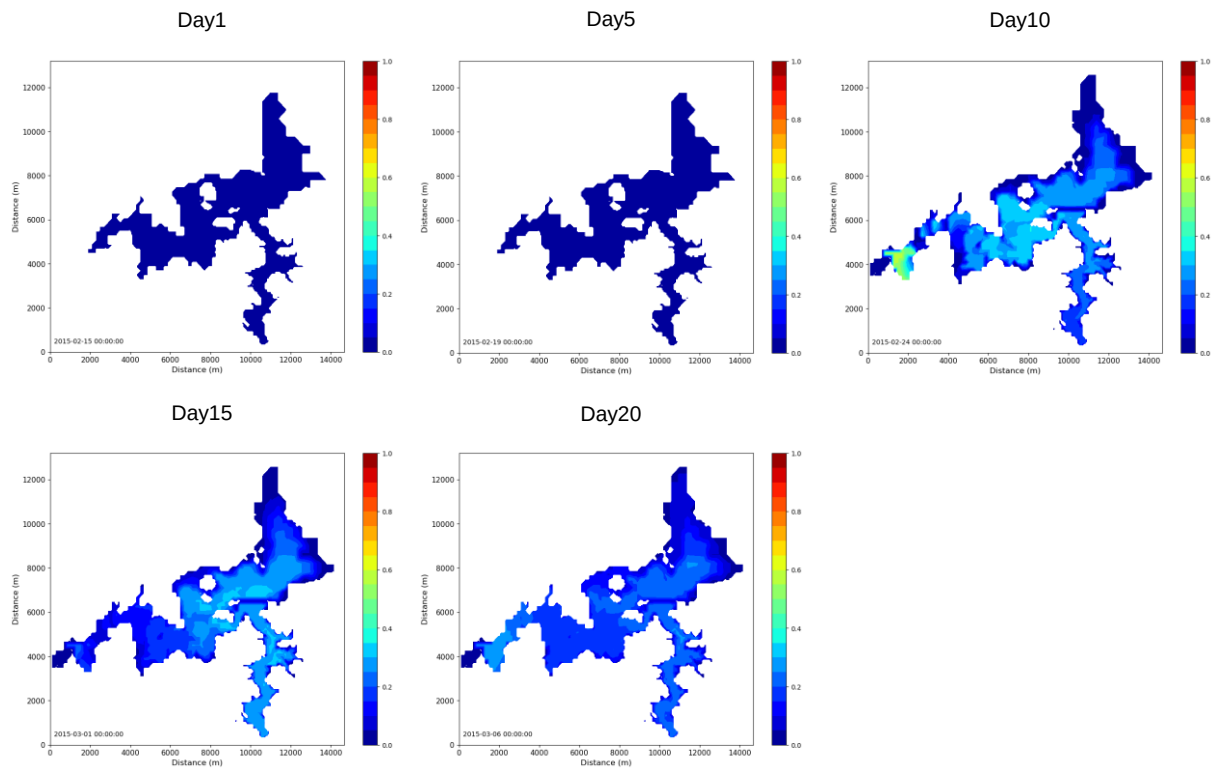
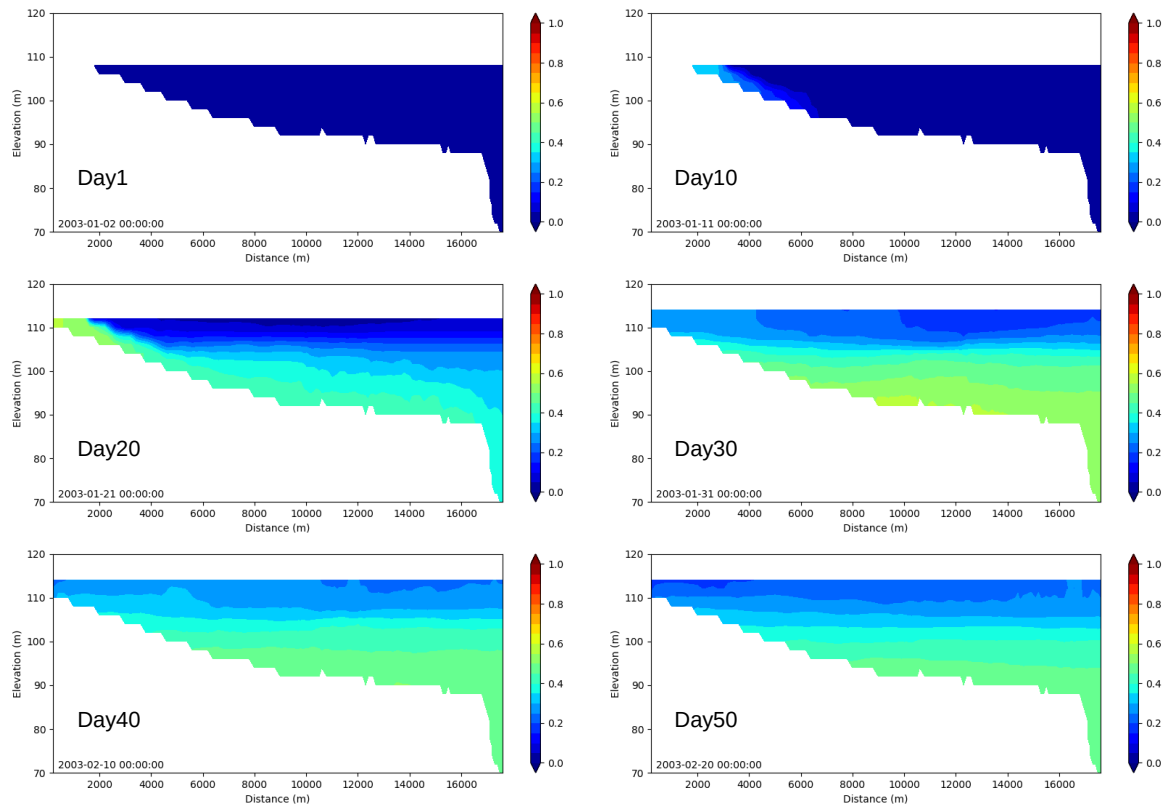


図 6-36 貯水池内の濁度の平面分布（解析結果） ※湖底から 5 m 上部の濃度

(a) 2003 actual flood



(b) 2015 actual flood

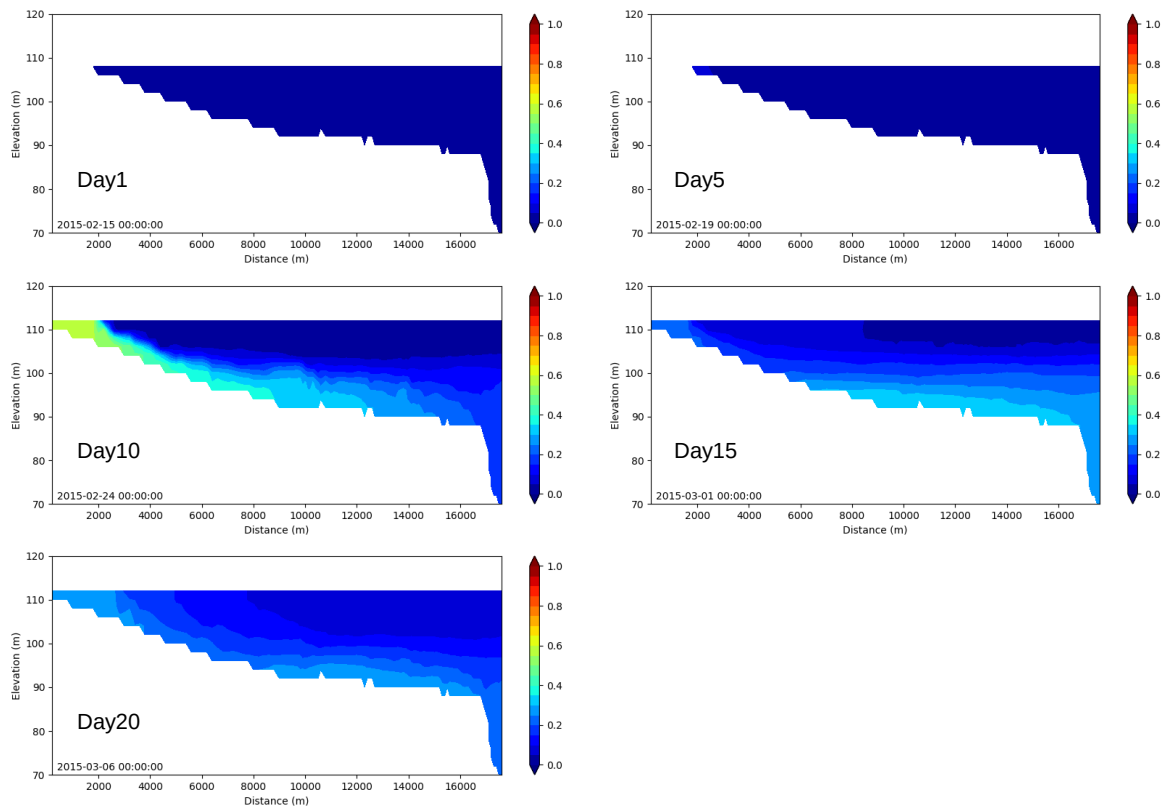
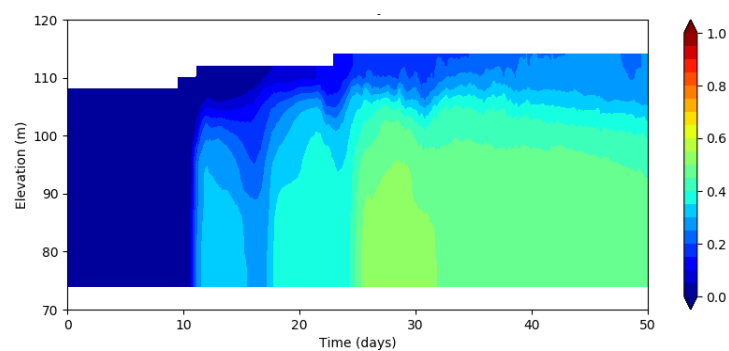


図 6-37 貯水池内の濁度の鉛直分布（解析結果）

(a) 2003 actual flood



(b) 2015 actual flood

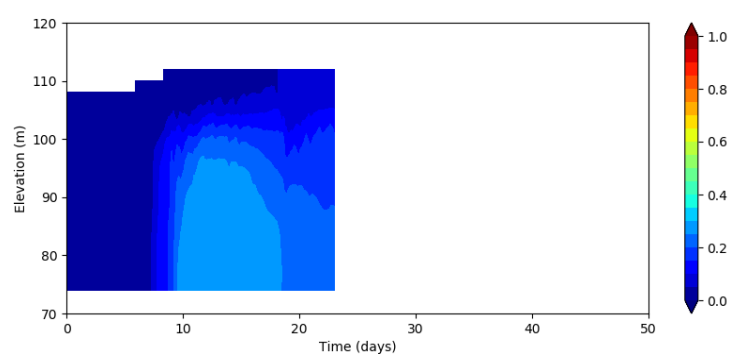


図 6-38 ダム地点の密度の鉛直分布（解析結果）

#### 6.4.5 三次元濁水流動解析のまとめ

三次元濁水解析モデルを構築し、実際にシディサレムダムで発生した 2003 年洪水、2015 洪水波形を用いて濁水の挙動解析を実施した。その結果、水深の急に深くなるゾーン A～D において濁水が底部に潜り込み、貯水池全域に拡散しながら、ダム堤体地点まで到達する様子が認められた。

現状では貯水池内における洪水時の濁度データが得られていないため、検証はできていないが、現地で大規模な密度流が形成され、底層全域に濁水が拡散する可能性が示唆された。このようなメカニズムによって貯水池全域に大量の土砂が堆積していることが推察される。

その一方、濁水が密度作用で底層を流動する性質を利用し、擁壁等で濁水の流れる方向を制御すれば効果的に堆砂対策を講じることができる可能性も示唆された。

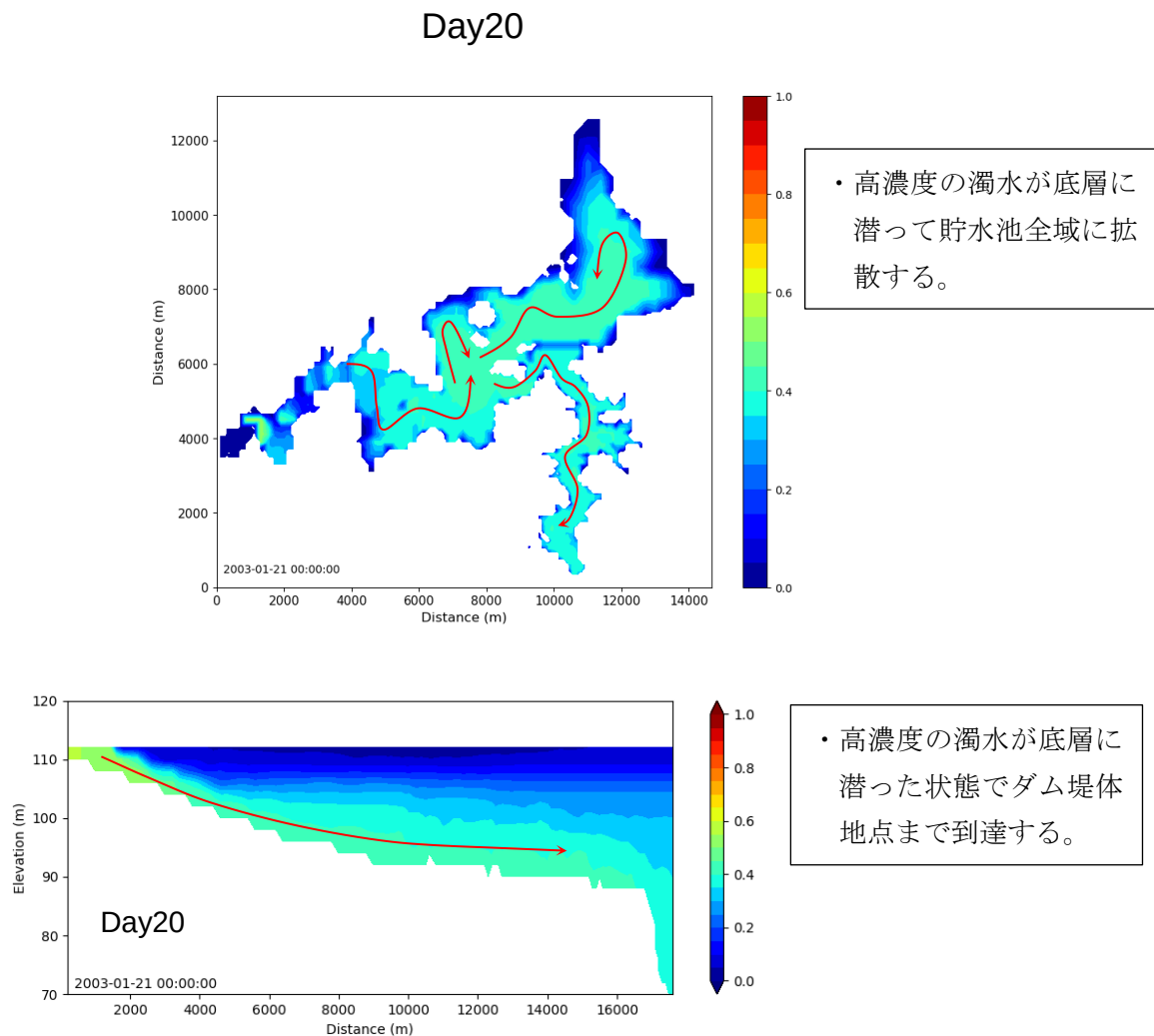


図 6-39 シディサレムダム貯水池で推定される洪水時の濁水メカニズム