

# インドネシア国

## ウォノギリ多目的ダム貯水池堆砂対策計画調査

### 結論・提言

#### 1. 序

本最終報告書は、2004年3月9日に国際協力機構（JICA）とインドネシア国公共事業省水資源総局（DGWR）の間で締結されたウォノギリ多目的ダム貯水池堆砂対策計画調査に関する実施細則（Scope of Work）に基づき作成したものである。

#### 2. 調査の目的

本調査の目的は、下記のとおりである。

- 1) ウォノギリ多目的ダムの堆砂問題に対し、長期的にダムを維持管理できるマスタープランを策定する。
- 2) 優先プロジェクトについて、フィージビリティ調査を実施する。
- 3) 貯水池堆砂対策や流域保全の調査・計画・設計手法、ダムの運営及び流域保全行政について技術移転を行う。

また、上記目的を達成することで到達を目指す調査の上位目標は、以下のとおりである。

- 1) 同調査結果で提案するプロジェクトが事業化され、ウォノギリダムが長期的にその機能を維持することができるようになること。
- 2) インドネシア国をはじめとする、同様の問題を抱えている貯水池に対し、解決策とその調査手法を提示すること。

#### 3. 結論・提言

マスタープラン調査及びフィージビリティ調査の結論を以下に示す。

- 1) ウォノギリ多目的ダムは1981年の完成以降、ソロ川流域で唯一の大規模貯水池として、流域の社会的繁栄、地域並びに国家の経済発展に多大な貢献を果たしている。
- 2) ウォノギリダム堤体直上流から流入するクドワン川からの土砂及びゴミ流入によりダム取水口の機能に支障が生じている。2006年の調査結果から、取水口上流に位置するクドワン川流入部の堆砂の厚さは最大20 mに達していることが判明した。既に堆砂が取水口周辺に達しており、取水口埋没の危険性も予測されている。適切な貯水池土砂管理システムを構築することが緊急の課題である。
- 3) ウォノギリ貯水池に堆積した土砂の主な生産源は、流域内の畑地と村落からの土壌浸食によるものと特定された。流域の年平均土壌浸食量は年平均貯水池流入土砂量約320万 $\text{m}^3$ の約93%を占める。このような高い土壌浸食率は、土壌保全技術の未熟さや流域住民の貧困に起因し、急峻な山岳地域まで開墾が進んだ過度の土地利用によるものである。支流域別では、クドワン川流域が最大の土壌浸食源である。
- 4) マスタープラン調査の結果、緊急対策案（本事業）が提案された。本事業は、施設的対策と流域保全対策を組合せ、クドワン川から貯水池へ流入する土砂対策を講じて、取水機能の維持を図ることを目的としたものである。“クドワン川流域保全対策”は、流域の活発な土壌浸食を抑制し、これにより流域から貯水池へ流

入する土砂量を低減させるものである。施設の対策として提案された“新設ゲート付貯砂ダム”は貯水池を貯砂ダムと本貯水池に分離し、クドワン川から流入する土砂を新設するゲートからダム下流へ排出し、これにより取水口周辺部の堆砂量は著しく減少することになる。

- 5) クドワン川から流入する大部分の土砂とゴミは、貯砂ダム内に完全に捕捉されることになり、現在の取水口の堆砂問題は完全に解決されるであろう。貯砂ダム内に捕捉された土砂とゴミは、新設ゲートから容易に排出することが可能である。
- 6) 流域保全対策はコミュニティベースの管理下で実施され、土壌浸食を防止すると共に、土地利用形態を改善し、収量を増加させることで、現地の農民の生計向上が図られることになろう。包括的な流域保全事業は農民の経済状況を安定化させ、貧困解消に大きく貢献することになる。
- 7) 本事業は技術的及び経済的観点から妥当と判断された。内部経済収益率（EIRR）は16.9%である。本事業はウォノギリダムの持続的な運用を可能にし、地域住民の生活の安定を図るとともに国家経済発展の観点からも社会的繁栄をもたらすことになろう。

マスタープラン調査及びフィージビリティ調査結果に基づき、以下を提言する。

- 1) ウォノギリダムは、インドネシア国における最重要の社会資本施設の一つであり、同国のライフラインである。ウォノギリダムの貯水効果による経済的価値は計り知れないほど高い。DGWR と JICA で 2004 年 3 月に交わされた合意事項において、本調査の上位目標として、長期的にウォノギリ貯水池の機能を維持するためマスタープランで提案された緊急対策プロジェクトの事業化を掲げている。貯水池流入土砂問題に対し緊急的な対応が必要であり、取水口機能を維持するため本事業を可能な限り早急に実施すべきである。
- 2) 人口密度の高いジャワ島では、貯水池の水は貴重な水資源で、万一貯水池が満砂した場合それを代替することは極めて困難である。現実的な観点からも、ウォノギリ貯水池と同規模の貯水池を新たに建設することは難しい。インドネシアの既存貯水池において、本調査で用いた技術的アプローチや解決策を駆使し、貯水池堆砂問題を解決していくことが強く望まれる。

# インドネシア国

## ウォノギリ多目的ダム貯水池堆砂対策計画調査

### 最終報告書

#### 要 約

#### 目 次

報告書の構成  
序文  
伝達状  
位置図  
調査の結論・提言  
目次  
略語

頁

#### **第1部 マスタープラン調査**

1.	序論.....	1
1.1	調査の背景.....	1
1.2	調査の目的.....	1
1.3	調査対象地域.....	1
1.4	調査全体スケジュール.....	2
1.5	調査組織.....	2
2.	調査対象地域の現況.....	2
2.1	社会・経済状況.....	2
2.2	地形・地質.....	3
2.3	水文・気象.....	3
2.4	土壌・土地利用.....	4
2.5	農業.....	6
2.6	流域保全.....	6
3.	貯水池堆砂状況.....	6
3.1	ウォノギリ多目的ダム.....	6
3.2	貯水池堆砂実績.....	8
3.3	貯水池堆砂の地質調査.....	9
3.4	取水口前面の堆砂状況.....	10
4.	流域の土砂生産源と土砂生産量.....	10

4.1	土砂生産源調査.....	10
4.2	ガリー浸食、地すべり.....	10
4.3	河岸浸食、道路法面浸食.....	10
4.4	土壌浸食量.....	11
4.5	土砂生産源毎のウォノギリ貯水池への年平均流入土砂量.....	11
5.	貯水池堆砂シミュレーション.....	12
5.1	解析モデル.....	12
5.2	2004/2005年の再現計算.....	12
5.3	1993-2004年雨期の再現計算.....	13
5.4	ウォノギリ貯水池の土砂バランス.....	14
6.	現地排砂実証試験.....	16
6.1	排砂実証試験概要.....	16
6.2	予備試験結果.....	16
6.3	本試験結果.....	16
7.	堆砂対策マスタープラン策定の基本方針.....	16
7.1	将来の堆砂状況の概算（無対策の場合）.....	16
7.2	マスタープランの目標設定.....	17
7.3	マスタープラン策定の基本方針.....	17
8.	貯水池堆砂対策施設の検討.....	18
8.1	代替案の選定.....	18
8.2	取水口機能維持及びゴミ対策.....	19
8.3	クドワン川流入土砂対策.....	21
8.4	その他の支川からの流入土砂対策.....	23
9.	流域保全対策の検討.....	24
9.1	流域保全に対する総合的アプローチ.....	24
9.2	流域保全計画の策定.....	25
10.	初期環境調査（IEE）.....	31
11.	堆砂対策マスタープランの策定.....	31
11.1	緊急対策（クドワン川からの流入土砂対策）.....	31
11.2	中期対策（その他の支川からの流入土砂対策）.....	31
11.3	優先事業の選定.....	32
11.4	事業実施計画.....	34
11.5	事業費の概算.....	34
11.6	事業の経済評価.....	34
11.7	維持管理能力.....	35
11.8	流域保全・管理に係わる組織体制.....	35

第2部	フィージビリティ調査
-----	------------

12.	概要、調査対象地域.....	37
-----	----------------	----

13.	フィージビリティ調査対象地域の現況.....	37
13.1	社会経済状況.....	37
13.2	地形・土壌.....	38
13.3	土地利用.....	38
13.4	クドワン川流域の土壌浸食量の推定.....	39
13.5	新設ゲート付貯砂ダム建設地点の地質状況.....	39
14.	新設ゲート付貯砂ダムの運用操作に関する検討.....	39
14.1	新設ゲート付貯砂ダムの計画洪水処理能力の照査.....	39
14.2	ウォノギリダム下流河川の濁度解析.....	40
14.3	貯水池水位低下速度の検討.....	40
15.	新設ゲート付貯砂ダムのフィージビリティ設計.....	40
15.1	設計条件、設計基準.....	40
15.2	新設ゲート、新設洪水吐.....	41
15.3	締切堤.....	42
15.4	越流堤.....	42
16.	クドワン川流域保全計画.....	42
16.1	基本構想.....	42
16.2	流域保全計画の策定.....	42
17.	環境影響評価（EIA）.....	44
18.	事業費の積算.....	45
19.	事業の経済評価.....	46
20.	事業実施計画.....	46
20.1	事業の実施機関.....	46
20.2	事業の運営組織.....	46
20.3	現地・村落レベルの流域保全活動組織の構築.....	47
21.	維持管理計画.....	47
21.1	流域事務所の設立に伴う組織改変.....	47
21.2	貯砂ダムの運用・操作.....	48
22.	流域管理の組織強化.....	52
23.	技術移転.....	52
24.	結論・提言.....	53
24.1	結論.....	53
24.2	提言.....	54
25.	2007年5月30日開催のステアリング・コミティー会議.....	55

## 表 目 次

		頁
表 1	主要 5 支川、残流域からのダムへの平均月流入量.....	3
表 2	ウォノギリダム流域の土地利用.....	4
表 3	ウォノギリ多目的ダム基本諸元.....	7
表 4	2005 年時点での各貯水容量および喪失率.....	8
表 5	ウォノギリダム流域の土砂流達率.....	12
表 6	土砂生産源毎の年平均流入土砂量.....	12
表 7	取水口機能維持及びゴミ対策代替案の建設費と評価結果.....	20
表 8	取水口機能維持及びゴミ対策代替案の比較表.....	T-1
表 9	クドワン川流入土砂対策の評価結果.....	23
表 10	クドワン川流入土砂対策代替案の比較表.....	T-2
表 11	その他の支川からの流入土砂対策代替案の比較表.....	T-3
表 12	流域管理対象面積の概要.....	25
表 13	土地分類基準.....	26
表 14	流域保全対象地区の土地単位のコード.....	T-4
表 15	流域保全対象地区の土地単位の面積(ha).....	T-4
表 16	支流域別の目標流域保全対象地区.....	T-5
表 17	テラスの改善方法.....	27
表 18	ベンチテラスに対する基本的植生対策.....	28
表 19	流域保全に対する農業対策.....	28
表 20	流域保全事業の工事数量.....	29
表 21	流域保全事業によって期待される支流域別貯水池流入土砂量の軽減.....	29
表 22	流域保全事業によって期待される全流域地目別年平均流亡土量の軽減.....	30
表 23	事業の段階実施.....	32
表 24	ウォノギリ貯水池堆砂対策事業の実施スケジュール.....	34
表 25	概算事業費.....	35
表 26	ウォノギリダム流域保全・管理における組織体制上の問題点と推奨する対策.....	35
表 27	クドワン川流域及びウォノギリダム流域の現況土地利用の比較.....	38
表 28	設計条件.....	41
表 29	主要施設及び数量.....	41
表 30	クドワン川流域の流域保全目標計画対象地区.....	T-6
表 31	クドワン川流域保全対策の工事数量.....	43
表 32	クドワン川流域保全事業で期待される年平均流亡土砂量の地目別軽減量.....	44
表 33	本事業の環境影響評価の結果.....	45
表 34	事業費総括表.....	45
表 35	事業の全体工程表.....	46
表 36	ウォノギリダム操作規則.....	48

## 目 次

	頁
図 1 調査全体スケジュール .....	2
図 2 ウォノギリダム上流の支川流域図 .....	5
図 3 ウォノギリダム上流の土地利用図 .....	5
図 4 ウォノギリダム上流のテラス整備状況図.....	5
図 5 貯水池運用ルールと貯水池配分 .....	7
図 6 1980 年から 2005 年のウォノギリ貯水池容量の経年変化.....	9
図 7 1980 年、1993 年、2005 年のウォノギリ貯水池の貯水池容量曲線.....	9
図 8 ウォノギリ貯水池の堆積土砂の粒度構成.....	10
図 9 ウォノギリダム流域の 1ha あたり年平均流亡土量.....	11
図 10 土砂生産源毎の年平均流入土砂量の比率.....	12
図 11 計算格子とウォノギリ貯水池の河床標高コンター図(2004 年 10 月).....	13
図 12 ウォノギリ貯水池の現況の土砂バランス図.....	14
図 13 1993-2004 年間のウォノギリ貯水池堆砂シミュレーション結果.....	15
図 14 水位差利用型の排砂工法の模式図（左）、実証試験位置図（右） .....	16
図 15 ウォノギリ貯水池における将来の貯水池容量の予測.....	17
図 16 ウォノギリ貯水池の堆砂状況を示す衛星画像.....	18
図 17 ウォノギリ貯水池堆砂問題に対する施設対策の代替案.....	19
図 18 既設取水口の改造案（左）と取水口の付替案（右） .....	19
図 19 既設取水口の 2 重スクリーン化（左）、クドワン川流入部の流木止工の例（右） .....	20
図 20 浚渫工（左）、水位差利用型の排砂工法（右） .....	20
図 21 クドワン川流入土砂対策の基本レイアウト.....	21
図 22 クドワン川流入土砂対策工の堆砂シミュレーション結果.....	22
図 23 ウォノギリダム流域における土地利用区別年平均流亡土量.....	25
図 24 流域保全対策策定のための土地単位作成手順.....	26
図 25 改良テラスの標準設計概要図 .....	27
図 26 流域保全事業によって期待される村落別年平均流亡土量の軽減.....	30
図 27 100 年後のウォノギリダムの堆砂状況.....	32
図 28 緊急対策（上）ならびに中期対策（下）実施後のウォノギリ貯水池における年間 土砂バランス図 .....	33
図 29 新設スピルウェイ地点の地質縦断図 .....	F-1
図 30 締切堤地点の地質縦断図 .....	F-2
図 31 豊水年（1998/1999）における現況と堆砂対策実施後のダム下流河川の SS 濃度変 動の比較結果 .....	F-3
図 32 新設ゲート付貯砂ダム計画平面図 .....	F-4
図 33 新設洪水吐平面図 .....	F-5
図 34 締切堤平面図・構造図 .....	F-6
図 35 越流堤平面図・構造図 .....	F-7
図 36 実施運営組織 .....	47

図 37	流域保全事業の村落、現地レベルにおける実施体制.....	F-8
図 38	中央政府、州、県／市レベルの水資源管理組織と流域事務所の関係.....	F-9
図 39	ソロ川流域事務所の組織図.....	F-9
図 40	貯砂ダムの月別運用概要図 (1/3)~(3/3).....	49

## 付 録

付録 1	Scope of Work
付録 2	Minutes of Meeting on Scope of Work
付録 3	Minutes of Meeting on Inception Report
付録 4	Minutes of Meeting on Progress Report (1)
付録 5	Minutes of Meeting on Progress Report (2)
付録 6	Minutes of Meeting on Progress Report (3)
付録 7	Minutes of Meeting on Interim Report
付録 8	Minutes of Meeting on Draft Final Report
付録 9	Minutes of Meeting on Draft Final Report



## 略 語 (1/4)

Abbreviation	Indonesian	English	日本語
ADB	Bank Pembangunan Asia	Asian Development Bank	アジア開発銀行
AMDAL	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan	Environmental Impact Analysis	環境影響分析(インドネシア国)
APBD	Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah	Provincial Government Development Budget (Provincial Budget)	州政府の開発予算
APBN	Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara	Central Government Development Budget (National Budget)	中央政府の開発予算
BAKOSURTANAL	Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional	National Coordination Agency for Surveys and Mapping	インドネシア国土地理院
Balai PSDA	Balai Pengelolaan Sumber Daya Air	Regional Office of Water Resources Management	水資源管理地方事務所
Balai PDAS	Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai	Regional Office of Watershed	流域管理地方事務所
BAPEDAL	Badan Pengendalian Dampak Lingkungan	Environmental Impact Management	環境影響管理機関
BAPEDALDA	Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Propinsi	Provincial Office of Environmental Impact Management Agency	州の環境管理事務所
BAPEEDA	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat I	Regional Development Planning Agency of Province	州の開発計画局
BAPPENAS	Badan Perencanaan Pembangunan	National Development Planning Agency	インドネシア国開発計画局
BB	BB	Brachiaria Brizantha	ブリザンタ(熱帯イネ科牧草の一種)
BBI	Balai Benih Induk	Seed Production Center	種子供給センター
BBLH	Biro Bina Lingkungan Hidup	Bureau of Environmental Guidance	環境指導局
B-C	-	Net Present Value	正味現在価値
BD	-	Brachiaria Decumbens	デクンベン(熱帯イネ科牧草の一種)
BIMAS	Bimbingan Masal	Mass Guideline for Agricultural	農業開発指導要領
BKPH	Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan	Forest Administration Sub-unit	森林管理支局
BMG	Badan Meteorologi dan Geofisika	Meteorological and Geophysical Agency	気象・地球物理局
BOD	-	Biochemical Oxygen Demand	生物化学的酸素要求量
BP2TPDAS	Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengolahan Daerah Aliran Sungai	Watershed Management Technology Center, Surakarta, Ministry of Forestry	森林省流域保全技術センター
BPDAS Solo	Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Solo	Solo River Management Office of Ministry of Forestry	森林省ソロ川流域管理事務所
BPKH	Balai Pemantapan Kawasan Hutan	Forest Area Consolidation Bureau	森林地区統合局
BPPHH	Balai Pengendalian Peredaran Hasil Hutan	Forestation Result of Agricultural Extension Office	森林化農業普及事務所
BPS	Biro Pusat Statistik	Central Bureau of Statistics	中央統計局
BPTP Terpadu	Balai Pengkajian Teknologi Pertanian	Integrated Agricultural Technology Assessment Center	統合農業技術評価センター
BPTPH	Balai Proteksi Tanaman Pangan dan Hortikultura	Provincial Plant Protection Center	州の植林保護センター
Cd	-	Cadmium	カドミニウム
CDMP	-	Comprehensive Development and Management Plan Study for Bengawan Solo River Basin under Lower Solo River Improvement Project	ロワーソロ河川改修事業ソロ川流域総合開発管理計画調査
COD	Kebutuhan Oksigen untuk proses kimia	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
Cr	Khrom	Chromium	クロム
Cu	-	Copper	銅
CWL	Tinggi Muka Air Kendali	Control Water Level	制限水位
DAS	Daerah Aliran Sungai	Watershed, Catchment	流域
DEM	-	Digital Elevation Method	デジタル標高データ
DEPDAGRI	Departemen Dalam Negeri	Ministry of Home Affairs	内務省
DEPHUT	Departemen Kehutanan	Ministry of Forestry	森林省
DEPKES	Departemen Kesehatan	Ministry of Health	厚生省
DEPTAN	Departemen Pertanian	Ministry of Agriculture	農業省
DFWL	Tinggi Muka Air Banjir Rencana	Design Flood Water Level	設計洪水位
DG	Direktorat Jendral	Directorate General	総局(長)
DGLWM	Direktorat Jendral Pengelolaan Lahan dan Air	Directorate General for Land and Water Management	土地水管理総局
DGWR	Direktorat Jenderal Sumber Daya Air	Directorate General of Water Resources	水資源総局
DHF	-	Dengue Hemorrhagic Fever	デング出血熱
Dinas LHKP	Dinas Lingkungan Hidup, Kehutanan dan Pertambangan	Environment, Forestry and Mining Services of kabupaten Wonogiri	ウォノギリ県環境・森林・鉱山部
DIP	Daftar Isian Proyek	Approved Project Budget	プロジェクト承認予算
DIPERTA	Dinas Pertanian Tanaman Pangan Daerah Propinsi Jawa Timur	Provincial Agricultural Service of Central Java	中部ジャワ州の農業部

## 略 語 (2/4)

Abbreviation	Indonesian	English	日本語
DO	Oksigen Terlarut	Dissolved Oxygen	溶存酸素
DPRD	Dewan Perwakilan Rakyat Daerah	Regional House of Representatives	地方議会
DPU	Departemen Pekerjaan Umum	Ministry of Public Works	公共事業省
EFWL	Tinggi Muka Air Banjir Ekstra	Extra Flood Water Level	異常洪水位
EIA	Analisis Dampak Lingkungan	Environmental Impact Assessment	環境影響調査
EIRR	-	Economic Internal Rate of Return	経済的内部収益率
EU	Uni Eropa	European Union	欧州連合
FAO	Badan Pangan Dunia	Food and Agriculture Organization	国連農業食料機関
FORDA	Litbang Departemen Kehutanan	Forestry Research & Development Agency	森林研究開発機関
GDP	-	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Sistem Informasi Geografis	Geological Information System	地理情報システム
GMU	Universitas Gadjah Mada	Gadjah Mada University	ガジャマダ大学
GNKPA	Gerakan Nasional Kemitraan Penyelamatan Air	National Movement of the Partnership for Water Preservation	水保全国家運動プログラム
GNP	Pendapatan Nasional	Gross National Product	国民総生産
GOI	Pemerintah Indonesia	Government of Indonesia	インドネシア国政府
GOJ	Pemerintah Jepang	Government of Japan	日本国政府
GPS	Sistem Posisi Global	Global Position System	全地球測位システム
GRDP	Produk Domestik Regional Bruto	Gross Regional Domestic Product	地域内総生産
GERHAN	Gerakan Nasional Rehabilitasi Hutan dan Lahan	National Movement for Forest & Land Rehabilitation	森林及び土地改修国家運動プログラム
H-A	-	Relation between reservoir water level and reservoir surface area	貯水池水位－貯水池面積(曲線)
H-V	-	Relation between reservoir water level and reservoir capacity volume	貯水池対位－貯水池容量(曲線)
HKTI	Himpunan Kerukunan Tani Indonesia	Farmer's Association	農業組合
HPI	Indek Kemiskinan	Human Poverty Index	貧困指標
IBRD (WB)	Bank Dunia	International Bank of Reconstruction and Development (World Bank)	国際復興開発銀行(世界銀行)
IEE	Pengkajian Pendahuluan Lingkungan	Initial Environmental Examination	初期環境影響調査
IPAIR	Iuran Pelayanan Irigasi	Irrigation Service Fee	灌漑サービス料
IPEDA	Iuran Pen. Bangunan Daerah	Village Land Tax, Provincial Development Tax	村落地税、州開発税
ISPA	Infeksi Saluran Pernafasan Atas	Upper Respiratory Nasopharynx	-
JAMALI	Sistem Interkoneksi Jawa-Madura-Bali	Java-Madura-Bali power generation	ジャワマドゥラバリ発電システム
JBIC	-	Japan Bank of International Cooperation	国際協力銀行
JICA	-	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
JIS	Standar Industri Jepang	Japanese Industrial Standards	日本工業規格
JPY, Yen	Yen	Japanese Yen	日本円
K2TA	Kelompok Konservasi Tanah dan Air	Soil and Water Conservation Farmer	土水保全農業グループ
KBD	Kebun Bibit Desa	Seeding Garden Village	-
KCI	-	Potassium Chloride	塩化カリウム
KESBANLINMAS	Badan Kesatuan Bangsa dan Perlindungan Masyarakat	National Unity and Society Protection Board	インドネシア社会保護局
KIMPRASWIL	Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah	Ministry of Housing and Regional Infrastructure	住居・地方社会資本省
KPH	Kesatuan Pemangku Hutan	Forest Administration Unit	森林管理部署
KT	Kelompok Tani	Farmers' Group at Village Level	村落レベルの農民グループ
KUD	Koperasi Unit Desa	Village Cooperative Unit	村落共同体
LHKP Wonogiri	Lingkungan Hidup, Kehutanan dan Pertambangan	Forestry Sub-services of Wonogiri Human Environment, Forestry and Mining Services Office	ウォノギリ県人間、環境、森林、鉱山局森林支局
LKMD	Lembaga Ketahanan Masyarakat Desa	Village Social Activities Group, Village Welfare Institution	村落社会活動グループ
LPTP	NGO (Lembaga Pengembangan Teknologi - Perdesaan)	-	-
LSM	Lembaga Swadaya Masyarakat	Nongovernmental Organization (NGO)	非政府組織
LWL	Tinggi Muka Air Rendah	Low Water Level	低水位
M&E	Pemantauan dan Evaluasi	Monitoring and Evaluation	モニタリング・評価
MOU	Nota Kesepahaman	Memorandum of Understanding	覚書
MT I	Musim Tanam I	Cropping Season I	1期作付期 : 10月-1月
MT II	Musim Tanam II	Cropping Season II	2期作付期 : 2月-5月
MT III	Musim Tanam III	Cropping Season III	3期作付期 : 6月-9月
NGO	Lembaga Swadaya Masyarakat	Non Governmental Organization	非政府組織

## 略 語 (3/4)

Abbreviation	Indonesian	English	日本語
NHWL	Tinggi Muka Air Normal	Normal High Water Level	常時満水位
NO2	Nitrit	Nitrogen Dioxide	二酸化窒素
NO3	Nitrat	Nitrogen Trioxide	三酸化窒素
NTU	-	Nephelometric Turbidity Unit	濁度単位
O&M, O/M	Operasi dan Pemeliharaan	Operation and Maintenance	維持管理
Otonomi daerah	Otonomi Daerah	-	地方分権化政策
OECF	-	Overseas Economic Cooperation Fund	海外経済協力基金(旧JBIC)
OTCA	Lembaga Kerjasama Teknis Luar Negei	Overseas Technical Cooperation Agency	海外技術協力事業団(旧JICA)
P4K	Pembinaan Peningkatan Pendapatan Petani-Nelayan Kecil	Farmer Groups of Small-Scale Farmers	小規模農家グループ
Pb	-	Lead	鉛
P2AT	Proyek Pengembangan Air Tanah	Groundwater Development Project	地下水開発プロジェクト
P3A, HIPPA	Perkumpulan Petani Pemakai Air, Himpunan Petani Pemakai Air	Water User's Association (WUA)	水利組合
PABBS	Proyek Penyediaan Air Baku Bengawan	Bengawan Solo River Water Supply	ソロ川給水プロジェクト
PBS	Proyek Bengawan Solo	Bengawan Solo River Basin Development Office	ソロ川開発事務所
PCM	Pertemuan Konsultasi Masyarakat	Public Consaltaiton Meeting	公開会議
PDAM	Perusahaan Daerah Air Minum	Regional Drinking Water Supply	地域上水供給公社
PDAS	Pengelolaan Daerah Aliran sungai	Watershed Management	流域管理
PDRB	Produk Domestik Regional Bruto	Product Domestic Regional Brutto	地域内総生産
Perum	Perusahaan Umum	Public Corporation	公共協調
PERSEPSI	NGO (Perhimpunan untuk Studi dan Pengembangan Ekonomi dan Sosial)	-	NGOの名称
pH	Nilai Keasaman	pH value	ペーハー、水素イオン指数
PHBM	Pengelolaan Hutan Bersama Masyarakat	Community Participated Forest	住民参加型森林管理
PJP	Pembangunan Jangka Panjang	Twenty-Five Year Long Term Development Plan	25ヵ年長期開発計画
PIPWS Bengawan Solo	Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo	Bengawan Solo River Basin Development Office	ソロ川開発事務所
PJT	Perum Jasa Tirta	Public Water Service Corporation	水公団
PKL	Penyuluh Kuhutan Lapangan	Field Forestry Extension Worker	森林現地普及員
PKSDABS	Proyek Pengembangan Konservasi Sumber Daya Air Bengawan Solo	Bengawan Solo River Water Resources Conservation Development Project	ソロ川水資源保全開発事務所
PLTA Wonogiri	Pusat Listrik Tenaga Air Wonogiri	Wonogiri Power Station	ウォノギリ発電所
PMF	Banjir Maksimum yang mungkin terjadi	Probable Maximum Flood	異常洪水流量
PO4	-	Phosphoric Tetroxide	四酸化リン
PPL	Penyuluh Pertanian Lapangan	Field Extension Workers	現地普及員
ppm	Seper juta	parts per million	PPM (10 <sup>-6</sup> )
PPTPA	Penitia Pelaksana Tata Pengaturan Air	River Basin Water Resources Management Committee	流域水資源管理会議
PRA	Analisa Partisipatori Pedesaan	Participatory Rural Appraisal	住民参加型評価
PROPENAS	Program Pembangunan National	Five-Year National Development Program	国家5ヵ年開発計画
PSAPBBS	Proyek Pengelolaan Sumber Air dan Pengendalian Banjir Bengawan Solo	Bengawan Solo River Water Resources Management and Flood Control Project	ソロ川水資源管理、洪水調節プロジェクト
PSDA	Pekerjaan Umum Sumber Daya Air	Water Resource Management	水資源管理
PT CMA	PT Citra Mandala Agritrans	-	-
PTPA	Panitia Tata Pengaturan Air	-	-
PU	Pekerjaan Umum	Ministry of Public Works	公共事業省
REI	-	Rain Erosivity Index	降雨浸食指標
RENSTRA	Rencana Strategis	Strategic Plan	地域5ヵ年開発計画
REPEDA	Rancangan Peraturan Daerah	Annual Plan	地域年間開発計画
Rp.	Rupiah	Indonesian Rupiah	インドネシアルピー
RPH	Resort Pemangkuhan Hutan	Field Unit of KPH	森林管理部署の現地部署
RTL	Rencana Tindak Lanjut	Field Technical Planning in Upper Solo Watershed Protection Project in Wonogiri Watershed	ソロ川上流域保全プロジェクトのウォノギリ流域の現地技術計画
RTT	Rencana Teknis Tahunan	Yearly Technical Planning in Upper Solo Watershed Protection Project in Wonogiri Watershed	ソロ川上流域保全プロジェクトのウォノギリ流域の年間技術計画
RUTRK-RDTRK	Rencana Umum/Detail tata Ruang Kota	General City Site Plan, Detailed City Site	一般都市現地計画
RWL	Muka Air Waduk	Reservoir Water Level	貯水位
SBRLKT	Sub Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah	Sub Unit for Land Rehabilitation and Soil Conservation	土壌保全、リハビリテーション支所
SCF	Faktor Konversi Standar	Standard Conversion Factor	基準換算率

## 略 語 (4/4)

Abbreviation	Indonesian	English	日本語
SDR	Nisbah Pengantaran Sedimen	Sediment Delivery Ratio	土砂流達率
SEA	Penilaian Lingkungan Strategis	Strategic Environmental Assessment	戦略的環境評価
SFC	Perum Perhutani	State Forest Corporation	国家森林公社
SHFD	Debit banjir tertinggi standar	Standard Highest Flood Discharge	計画高水流量
SI	-	Stress Index	ストレスインデックス
SS	Padatan Tersuspensi	Suspended Solid	浮遊物
SWOT	Kekuatan, Kelemahan, Kesempatan,	Strength, Weakness, Opportunity, Threat	強み、弱み、機会、脅威
TDS	Total Padatan Terlarut	Total Dissolved Solid	全溶解物質量
TIU	Unit Pelaksana Teknis	Technical Implementation Unit	技術の実施部門
TOR	Kerangka Acuan Kerja	Terms of Reference	業務指示書
TSS	Total Padatan Tersuspensi	Total Suspended Solid	全浮遊物量
UKL	Upaya Kelola Lingkungan	Environmental Management Efforts	環境管理活動
UNDP	Badan Pangan Dunia	United Nations Development Programme	国連開発計画
UPL	Upaya Pemantau Lingkungan	Environmental Monitoring Efforts	環境モニタリング活動
UPR	Unit Pembenihan Rakyat	Community Nursery Unit	共同種苗所
UPTD	Unit Pelaksana Teknis Daerah	Local Technical Implementation Unit	地方技術の実施部門
US\$, USD	Dollar Amerika	US dollar	米ドル
USAID	-	US Agency for International Development	米国国際開発庁
USLE	Persamaan Kehilangan Tanah Umum	Universal Soil Loss Equation	土壌流亡予測式
VAP	Rencana Kerja Desa	Village Action Plan	村落活動計画
WC3	Komite Koordinasi Konservasi DAS	Watershed Conservation Coordinating Committee	流域保全協議会議
WKPP	Wilayah Kerja Penyuluhan Pertanian	Working Area of Agricultural Extension	農業普及区域
WM	Pengelolaan Daerah Aliran sungai (DAS)	Watershed Management	流域管理
WRM	Pengelolaan Sumber Daya Air (SDA)	Water Resource Management	水資源管理
Zn	Seng	Zinc	亜鉛

## 第1部 マスタープラン調査

### 1. 序論

#### 1.1 調査の背景

ウォノギリ多目的ダムは、インドネシア国ジャワ島最大の河川であるソロ川最上流に位置し、ソロ川流域 16,100 km<sup>2</sup>における唯一の大規模貯水池である。1980年12月29日に湛水を開始し、1981年にダムが完成して以来、ウォノギリダムは洪水調節、灌漑用水供給、生活用水供給、発電を目的とした多目的ダムとして、流域の経済発展に多大な貢献を果たしてきた。

しかし、地域特有の気象と土壌の特徴に加え、過度に開墾の進んだ流域の土地利用特性により、貯水池の堆砂が急速に進行している。このまま何も対策を講じなければ、堆砂の進行により貯水容量を損失し貯水池機能が低下する恐れがある。特に取水口周辺部では、流域最大の支川（クドワン川）から大量の土砂とゴミが流入することにより堆砂の進行が著しく速く、取水口埋没の問題が顕在化しつつある。早急に取水機能を維持するための対策を講じるとともに、将来の貯水容量を確保するため、抜本的かつ恒久的な堆砂対策を策定し実施すべき状況にある。



ウォノギリダム鳥瞰図

#### 1.2 調査の目的

本調査の目的は、下記のとおりである。

- 1) ウォノギリ多目的ダムの堆砂問題に対し、長期的にダムを維持管理できるマスタープランを策定する。
- 2) 優先プロジェクトについて、フィージビリティ調査を実施する。
- 3) 貯水池堆砂対策や流域保全の調査・計画・設計手法、ダムの運営及び流域保全行政について技術移転を行う。

また、上記目的を達成することで到達を目指す調査の上位目標は、以下のとおりである。

- 1) 同調査結果で提案するプロジェクトが事業化され、ウォノギリダムが長期的にその機能を維持することができるようになること。
- 2) インドネシア国をはじめとする、同様の問題を抱えている貯水池に対し、解決策とその調査手法を提示すること。

#### 1.3 調査対象地域

本調査の対象地域は、下記のとおりである。

- 1) ウォノギリ多目的ダム集水域（貯水池面積 90 km<sup>2</sup>、集水域 1,260 km<sup>2</sup>）
- 2) ウォノギリ多目的ダムからマディウン川との合流点までのソロ川

## 1.4 調査全体スケジュール

本調査の全工程は36ヶ月で、フェーズ1：マスタープランの策定を2004年8月から2006年6月に実施し、引き続いてフェーズ2：マスタープランで選定した優先事業のフィジビリティ調査を2006年7月から2007年7月に実施した。

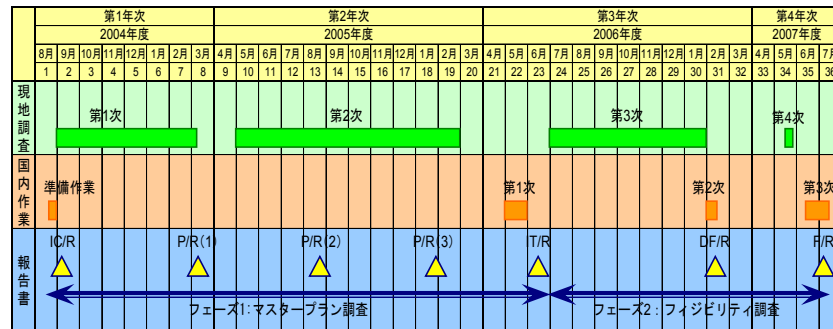


図1 調査全体スケジュール

## 1.5 調査組織

本調査のカウンターパート機関は、国家レベルでは公共事業省水資源総局、現地レベルではソロ川開発事務所（PBS）である。関連機関のメンバーが参加するステアリングコミッティならびにテクニカルワーキンググループが中央と地方政府に組織された。

## 2. 調査対象地域の現況

### 2.1 社会・経済状況

#### (1) 開発計画

現在、インドネシア国では第2次25ヵ年長期開発計画（PJP II 1994 - 2019）、並びに第2次国家5ヵ年開発計画（PROPENAS 2005 - 2009）が実施されている。2005 - 2009年の国家5ヵ年開発計画では、2009年の年平均経済成長率の目標値を7.6%に掲げている。

ウオノギリ県では、地域開発計画（RENSTRA 2006 - 2010）が実施中されている。当計画には土壌保全に関連するいくつかの事業も含まれ、その計画は同県の年開発計画（REPEDA）に反映されている。

#### (2) 人口

2004年のウオノギリダム流域（ウオノギリ県）の人口は1,007千人、ウオノギリ灌漑地区（中部ジャワ州のカランガニヤール、スコハルジョ、クラーテン、スラーゲンの4県）の人口は3,632千人である。ウオノギリダム流域の人口密度は553人/km<sup>2</sup>であり、中部ジャワ州で最も人口密度の低い県である。

#### (3) 経済状況

インドネシア国の近年の経済成長率は、これまでの長期間の平均値を下回っているものの、その成長率は上昇を続けている。2005年の一人当たりGDPは7.946百万ルピアである。同国政府は2005年から2009年の平均成長率を6.6%と予測している。2006年1月時点の年間インフレーションは17%である。

#### (4) ウオノギリダム流域の経済構造

ウオノギリダム流域の経済は、農業の占める比率が圧倒的に高くGRDPの52%、雇用の65%を占める。年間の農家の総収入はウオノギリ灌漑地域で7.6百万ルピア

(2002年)、ウォノギリダム流域で約5百万ルピア(2003年、うち2.2百万ルピアが農業活動収入)である。ウォノギリダム流域では、2002年時点で246千人以上の住民(総人口の約25%)が毎月102,900ルピア以下で生計を立てている。一方、ダム下流の地域ではダム建設後一度も大規模な洪水発生がなく、経済及び生活基盤が安定すると共に住民の生活が向上し、また、ウォノギリ灌漑地域では、ウォノギリダムにより通年の灌漑用水が供給され米の著しい増産による便益がもたらされている。現在、ウォノギリダム流域は、電力面などで裨益しているが、所得面では、ウォノギリダム下流域との経済格差が広がっている。本計画では、ウォノギリダム流域における農業収益の向上策を含んだ計画を策定することが強く求められている。

また、ウォノギリ県では失業問題が主要な社会問題になっている。ウォノギリ県BAPPEDAによれば、同県の失業者数は1997年に14,345人、2000年に57,380人で、毎年増加している。同県における雇用機会の減少は、県外への出稼ぎ労働者数の増加を引き起こしている。

## 2.2 地形・地質

### (1) 地形

ソロ川はジャワ島最大の河川で、流域面積は約16,100 km<sup>2</sup>、河川総延長は約600 kmである。第三紀火山のラウ山の南西斜面を源流とし山地沿いに西方に流下する。ソロ川源流は次第にその流向を北方に変え、アラン川、テモン川、ティルトモヨ川と合流し、ウォノギリダム直上流でクドワン川と合流する。ウォノギリダムの下流では、ラウ山の周りを時計回りに旋回するように流れ、スラカルタ市、スラーゲン市周辺に広がる沖積平野を流下した後、ガウィ市でマディウン川と合流する。その後、チェプ市を北方に流下し、東北東に流れを変えた後、スラバヤ市から北西約30 kmの地点でジャワ海に流れ込んでいる。

### (2) 地質

調査対象地域はラウ山の南西山麓に位置し、ソロ岩帯と南方山岳岩帯の境界部に属する。これらの属するジャワ岩帯は東西へ広がり遙か東方のバリ島まで達している。ウォノギリダムならびに貯水池一帯は、第三紀中新世の火山性角礫岩、凝灰角礫岩、凝灰砂岩、石灰質の砂質土、石灰岩で構成され、南方山岳岩帯に属す。ソロ岩帯の第四紀火山生成物が、ウォノギリダムの右岸側ならびにクドワン川流域に分布している。

## 2.3 水文・気象

調査対象地区は、熱帯モンスーン気候帯に属し、11月から4月までの雨期と5月から10月までの乾期に分かれる。1975 - 2005年間の36観測所の観測データによれば、ダム流域の年平均雨量は1,990 mmで、年間平均日蒸発量は5.3 mm/dayである。表1に1993 - 2005年間のウォノギリダム流域主要5支川の平均月流入量を示す。時間流量はダムの水位記録並びに流域の雨量記録を基に降雨流出解析により算定した。

表1 主要5支川及び残流域からのダムへの平均月流入量

(単位: 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)

流域	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
クドワン	22.9	38.7	50.0	81.1	82.6	44.6	10.7	7.5	5.0	2.2	3.2	5.9	354.3
ティルトモヨ	11.6	26.7	29.9	49.0	48.5	26.9	6.3	4.4	3.4	0.6	0.3	2.8	210.4
デモン	2.2	5.0	6.7	10.3	9.7	5.1	1.1	0.8	0.5	0.0	0.1	0.5	41.9
ソロ	8.1	17.7	22.2	36.0	34.9	16.4	3.8	3.0	2.0	0.2	0.3	1.8	146.4
アラン	7.8	15.2	18.7	27.4	30.0	12.3	3.0	2.4	1.0	0.1	0.2	1.7	119.8
残流域	7.0	13.6	16.5	25.5	25.0	13.7	3.5	2.5	1.7	0.4	0.6	1.8	111.7
全流域	59.6	116.9	144.1	229.3	230.6	119.0	28.3	20.5	13.6	3.6	4.7	14.3	984.4

注) : 1993年11月 - 2005年6月のデータに基づく。 出典 : JICA 調査団

ダム建設後の洪水実績は、1988年2月5日にダム流入量のピーク値が既往最大で2,880 m<sup>3</sup>/s、1985年に既往2番目のピーク値2,720 m<sup>3</sup>/s規模の洪水が発生している。

## 2.4 土壌・土地利用

### (1) 地形・土壌

ウォノギリダム流域は全流域面積の約30%が傾斜度25%以上で、特にティルトモヨ及びソロ川流域は急峻地が多い。このような急峻な地形が、土壌浸食の大きな要因の一つとなっている。

ウォノギリダム流域に分布する土壌は、Mediteran（地中海土壌）42%、Lithosol（岩屑土壌）25%、Grumusol（グルムソル土壌）21%及びLatosol（ラテライト性土壌）12%の4つの土壌グループから構成されている。これらの土壌はいずれも重殖土であるが土壌浸食に脆弱で、特にMediteran及びLatosolは、碎易性、孔隙率が高いため、土壌浸食が顕著である。

### (2) 土地利用

貯水池上流域の川沿いの低平地は稲作農地として利用され、標高200 - 1,000 mの地域でも農地利用が主である。丘陵地の大部分は尾根近くまで開墾されている。本調査において、現地踏査並びに衛星画像（2003年）、インドネシア国国土地理院のデータをもとに、ダム流域の土地利用データを精査した。その結果、2003年時点で流域面積の約90%が水田、村落、畑地、果樹・プランテーションで、森林面積は僅か1%未満であることが判明した。また、ダム建設以降、ダム流域内の森林が減少し、畑地が増加しており、このような土地利用の変化が流域の土砂流出環境に大きな変化をもたらした主因の一つとして考えられる。

表2 ウォノギリダム流域の土地利用

地 目	面積 (ha)	比率 (%)
(1) 水田	30,495	24.5
(2) 村落	26,764	21.6
- 村落敷地	(7,289)	(5.9)
- 村落内畑地	(19,475)	(15.7)
(3) 畑地	39,761	32.0
(4) 果樹・プランテーション	12,867	10.3
(5) 森林	281	0.2
(6) 森林公団地	12,779	10.3
- 森林	(385)	(0.3)
- 他の利用（植林過程の小木や畑地）	(12,394)	(10.0)
(7) その他（湖、道路、河川等）	1,384	1.1
合 計	124,331	100.0

出典：本 JICA 調査における現地踏査並びに衛星画像（2003）・インドネシア国国土地理院（BAKOSURTANAL）のデータ解析結果による。

### (3) 畑地のテラス化状態

畑地は、その土壌保全形態で分類すると、ベンチテラスの畑地（ベンチテラスの維持管理状況で良好、普通、不良の3種類）（48%）、伝統的テラスの畑地（11%）、リッジテラス（19%）、テラス無し（21%）及び複合的畑地（リッジテラスとテラス無しの複合）（1%）、混合的畑地（複合的畑地と伝統的テラスの複合）の6種類から構成されている。ベンチテラスの畑地の大部分は、世銀が1988/89 - 1994/95年実施したプロジェクト（Upper Solo Watershed Protection Project）で建設されたものである。しかし、流域の殆どのテラスで維持管理が不良になっているため、テラス形状及び関係構造物が劣化し、土壌浸食の大きな要因の1つとなっており、テラス形状の改



善を含む改修事業が必要である。また、畑地の約 4 割が、リッジテラス、複合的畑地あるいはテラス無しの土壤保全形態であり、全流域における土壤浸食の最大の問題となっている。

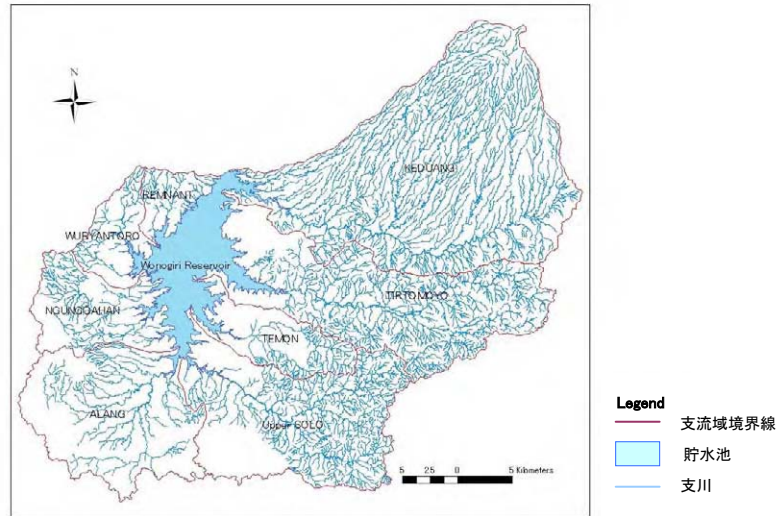


図 2 ウォノギリダム上流の支川流域図

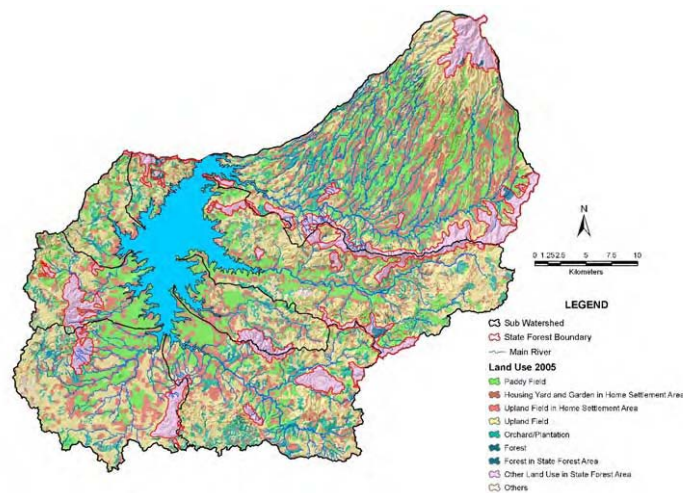


図 3 ウォノギリダム上流の土地利用図

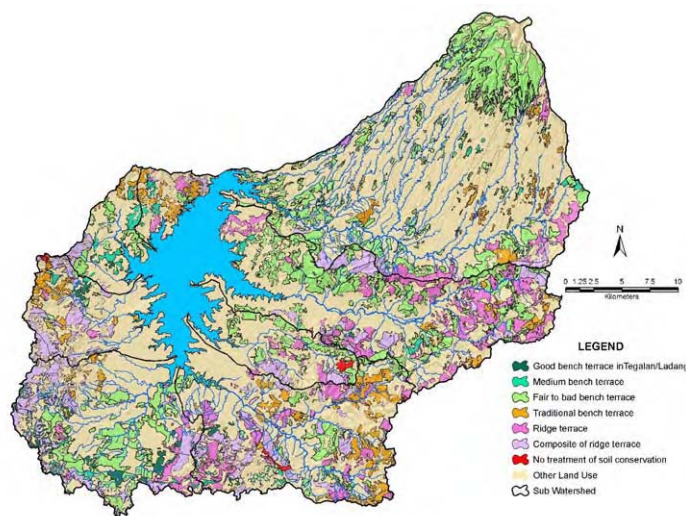


図 4 ウォノギリダム上流のテラス整備状況図

出典: JICA 調査団

## 2.5 農業

農業セクターは、ウォノギリダム流域における最大の経済分野であり、全流域の GRDP の 52% (2002 年) を占め、作物サブセクターが農業セクターの GRDP の 85% を占めている。作物サブセクターは水田からの米並びに畑地における、畑作物、花卉園芸作物、エステート作物の生産によるものである。稲作は斜面の棚田で行われており、一方畑地の作物生産は、水田の高位に位置する急斜面から緩斜面に広がる土地で行われている。

ウォノギリダムはウォノギリ県を含む下流 5 県に灌漑用水を供給し、その灌漑面積は約 29,600 ha である。稲作 3 期作が行われ収穫高は年平均 4.4 トン/ha、農家総数は 45,200 世帯である。灌漑域には 181 の水利組合が設立され、水利用代として年間 1.5 - 5 万ルピア/ha を徴収し、主に施設の維持費に充当されている。

2003 年における畑地の作付率は MT-I (第 1 作 10 月～1 月) で 100%、MT-II (第 2 作 2 月～5 月) で 40%、(キャッサバの面積は含まない) MT-III (第 3 作 6 月～9 月) で 1%であり、年間作付率は 140%である。MT-II の作付率は Kecamatan (郡) により大きな違いがあり、その範囲は 9 - 94%であるが、当期間は、まだ雨期で降水量が多く、MT-II で作付けされていない部分 (約 60%の畑地) は土壌浸食を受けやすく生産土砂の要因と推定される。

## 2.6 流域保全

2003 年から政府関係組織、プライベートセクター及び住民の協力の下で、全国 372 県 300 万 ha を対象にして流域機能の回復、荒廃森林・土地資源の改修、災害・洪水・崩壊等の軽減を目的とした森林及び土地改修国家運動プログラム (National Movement for Forest and Land Rehabilitation : GERHAN) が開始された。ウォノギリダム流域は本プログラムの主対象地域の一つであり、2003 年には 8,950 百万ルピア、2004 年には 11,283 百万ルピアが国家予算から充当され、2004 年は 11,000 ha を対象に事業が実施されている。

## 3. 貯水池堆砂状況

### 3.1 ウォノギリ多目的ダム

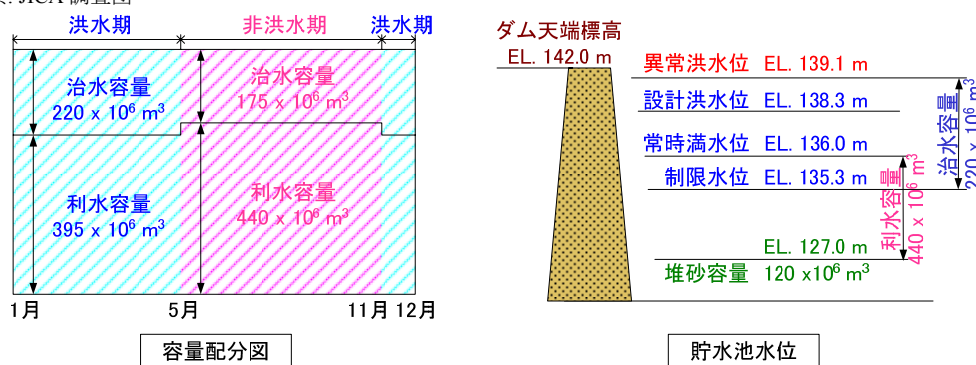
#### (1) ウォノギリ多目的ダム基本諸元

ウォノギリダムは洪水調節、灌漑用水供給、発電用水供給を目的とした多目的ダムである。ウォノギリダムの基本諸元を下表に、貯水池運用ルールと容量配分を下図に示す。

表3 ウォノギリ多目的ダム基本諸元

型式	中央遮水型 ロックフィルダム	洪水吐(ラジアルゲート)	H 7.5 m x W7.8 m x 4 門
堤高	40 m	常時満水位	EL. 136.0 m
堤頂長	830 m	設計洪水水位	EL. 138.3 m
堤体積	1,223,300 m <sup>3</sup>	異常洪水水位	EL. 139.1 m
集水面積	1,350 km <sup>2</sup>	ダム天端標高	EL. 142.0 m
湛水面積	90 km <sup>2</sup>	洪水調整時の一定放流量	400 m <sup>3</sup> /s
総貯水容量	735 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	ダム設計洪水流量	5,100 m <sup>3</sup> /s
有効貯水容量	615 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	異常洪水流量	9,600 m <sup>3</sup> /s
治水容量	220 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	発電施設	
利水容量	440 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	設備容量	12.4 MW
堆砂容量	120 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	定格落差	20.4 m
堆砂位	EL. 127.0 m	最大使用水量	75 m <sup>3</sup> /s
制限水位 (洪水期)	EL. 135.3 m	年間発生電力量	50,000 MWh/年

出典: JICA 調査団



出典: JICA 調査団

図5 貯水池運用ルールと貯水池配分

(2) ウォノギリ貯水池運用

1) 貯水池運用

年平均総流入量は約 12.3 億 m<sup>3</sup>、流出率は 0.46、年流出高は 912 mm である。雨期に洪水吐から年平均 2.1 億 m<sup>3</sup> が、発電所からは年平均 9.3 億 m<sup>3</sup> が放流されている。平均月流入量は、2 月が最大で 110.8 m<sup>3</sup>/s、8 月が最低で 2.3 m<sup>3</sup>/s である。

2) 洪水調節

ダム堤体の越水安全性を確保するため、洪水期間中のダム水位は、制限水位 (CWL) 135.3 m を超えないように運用される。治水容量は 2.2 億 m<sup>3</sup> で、ダム計画高水流入 4,000 m<sup>3</sup>/s を 400 m<sup>3</sup>/s にカットする。ダムの下流 13 km に位置するチョロ堰からジュルク橋 (スラカルタ市 5km 下流) の区間は、1994 年にソロ上流河川改修プロジェクトが完了し、10 年確率洪水に対し安全が確保されている。

3) ウォノギリ灌漑事業

1986 年のウォノギリ灌漑事業完成後、灌漑用水はダム下流のチョロ堰 (固定堰) で取水され、総延長 94 km の幹線水路、総延長 105 km の 2 次水路により灌漑用水を 29,330 ha に供給している。チョロ堰の乾期の平均月流量は 22~30 m<sup>3</sup>/s である。

4) ウォノギリ発電所

ウォノギリ発電所はダム直下流に位置し、設備容量 12.4 MW、年間発電電力量 50,000 MWh の発電運転を実施している。発電使用水量は灌漑用水供給に完全に従属しており、平均使用水量は 20~25 m<sup>3</sup>/s である。

(3) ゴミ流入状況

雨期の初期に取水口に流入するゴミが取水口のトラッシュラックに付着し、取水口の閉塞を誘発している。これらのゴミはキャッサバ、メイズ等の刈取後の残渣やビニールやプラスチックゴミなどの生活ゴミを含んでいる。また、これらのゴミはすべてクドワン川から流入していることが現地で確認されている。ウオノギリ発電所では、閉塞により損失水頭が急激に上昇しそれが1.5 m以上になれば発電を停止し、ダイバーによる人力の除塵作業に入る。雨期の初期は貯水位が低く、クドワン川の河道が取水口付近まで形成されているのでゴミが直接取水口近傍まで運ばれてしまう結果になっている。

3.2 貯水池堆砂実績

(1) 既往の堆砂量調査

ウオノギリ貯水池では、過去に数回の貯水池堆砂量調査が実施されている。既往の堆砂調査において、1980 - 1988 年間の年平均堆砂量を 15.6 百万 m<sup>3</sup>/年、1981 - 1993 年間の年平均堆砂量を 18.5 百万 m<sup>3</sup>/年と推定した結果も示されている。しかし、過去の堆砂量調査のいずれも堆砂量の推定精度が低く信頼性は低い。

(2) 現在の貯水池堆砂実績

現況の貯水池堆砂形状ならびに一雨期の堆砂進行状況を把握することを目的として、GPS とエコサウンダーによる貯水池深浅測量を、2004 年 10 月 - 11 月（2004/2005 年雨期前）と 2005 年 7 月（2004/2005 年雨期後）に実施した。この深浅測量結果と既往の地形図をもとに、1980 年（ダム建設前）、2004 年 9 月、2005 年 7 月の貯水池内堆砂コンター図を作成し、10 m 毎の DEM に変換後、貯水容量の変化を推定した。下表に 2005 年時点での各貯水容量の減少率を示す。尚、同じ推定手法で比較するため、ダム建設前の貯水池地形図を基に堆砂コンター図を作成し 1980 年時点の貯水容量を推定した。

表 4 2005 年時点での各貯水容量および喪失率

貯水容量	貯水容量 (百万 m <sup>3</sup> )		堆砂による喪失容量	
	1980	2005	差分(百万 m <sup>3</sup> )	元容量に対する比率(%)
治水容量 (El. 135.3 - 138.3 m)	232	230	2	0.9
利水容量 (El. 127.0 - 136.0 m)	433	375	58	13.4
堆砂容量 (below El. 127.0 m)	114	58	56	49.1

注 1：1980 年の貯水容量は DEM を基に再算定した値である。

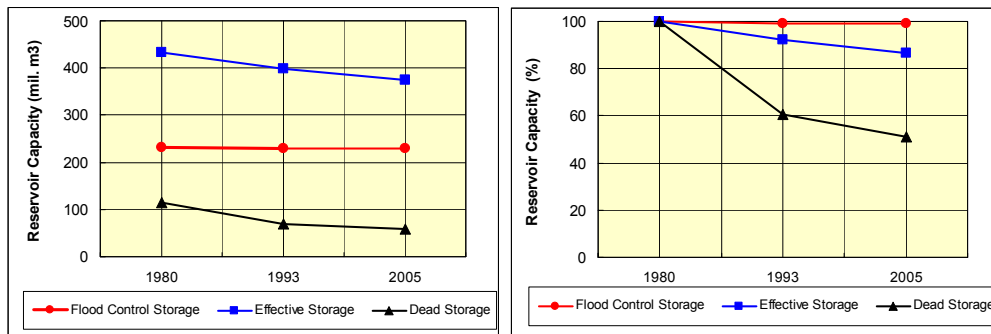
注 2：図 5 に示すように、ウオノギリダムでは治水容量と利水容量が EL. 135.3 m - EL. 136.0 m の範囲で重なっている。

出典：JICA 調査団

- 2005 年時点での総堆砂量は約 114 百万 m<sup>3</sup> で、総貯水容量の約 16% (=114 百万 m<sup>3</sup>/735 百万 m<sup>3</sup>) が堆砂により失われた。年平均の総貯水容量の喪失率は約 0.64%/年 (=16%/25 年) である。
- 堆砂容量の堆砂量は約 56 百万 m<sup>3</sup> で 49.1% が堆砂により喪失した。
- 有効貯水容量の堆砂量は約 58 百万 m<sup>3</sup> で 13.4% が堆砂により喪失し、86.6% に減少した。
- 治水容量の堆砂量は 0.9% で減少はほとんどなく、現時点では対 PMF のダム安全性は確保されている（但し、貯水池運用規則の遵守下で）。

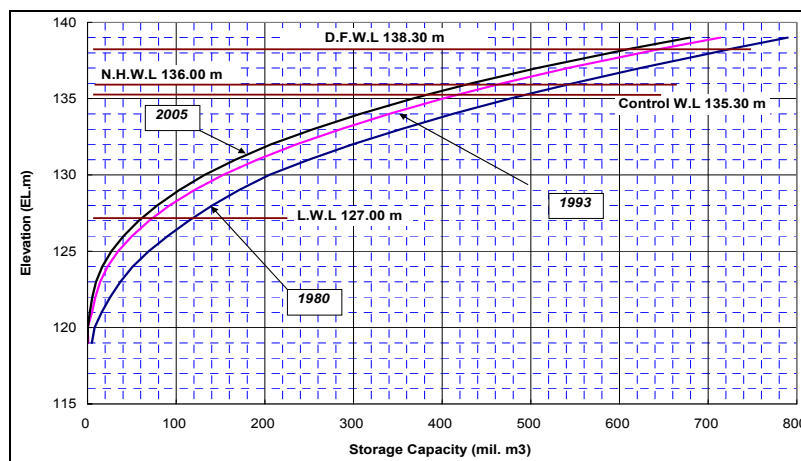
(3) 貯水池堆砂速度の推定

下図に貯水池容量の経年変化を示す。1993年にウォノギリ貯水池の深淺測量が実施されており、その測量結果も堆砂コンター図を作成し再評価した。年平均堆砂量は1993年までの13年間で約5.7百万 m<sup>3</sup>/年、2005年までの25年間で約4.5百万 m<sup>3</sup>/年。1993年以降は堆砂のスピード低下が顕著である。また、2004/2005年雨期の測量実績の堆砂量は約2.3百万 m<sup>3</sup>である。1993年以降の堆砂スピードの低下は、i) ダム完成後の1980年代に大出水が多く発生したこと、また、ii) 1989 - 1994年に実施された世銀資金によるウォノギリダム流域の流域保全事業の効果も含まれるものと推察される。



出典：JICA 調査団

図6 1980年から2005年のウォノギリ貯水池容量の経年変化

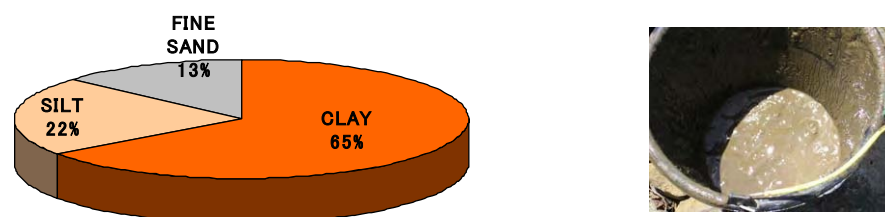


出典：JICA 調査団

図7 1980年、1993年、2005年のウォノギリ貯水池の貯水池容量曲線

3.3 貯水池堆砂の地質調査

貯水池内の堆砂の粒度分布・性状の把握を目的として、2004年10月 - 11月に貯水池内12箇所でもーリング調査を実施した。ウォノギリ貯水池の堆砂の粒度構成は、粘土分が約65%、シルト分が22%、シルト分より粗い砂分が13%である。堆砂の乾燥密度は、1.064 g/cm<sup>3</sup> (空隙率約60%)、湿潤密度は1.639 g/cm<sup>3</sup>である。



出典：JICA 調査団

図8 ウォノギリ貯水池の堆積土砂の粒度構成

### 3.4 取水口前面の堆砂状況

ソロ川開発事務所（PBS）は2ヵ月毎に取水口前面の堆砂モニタリングを実施している。取水口最前面の堆砂面は2005年7月時点で約EL.123.7mで、取水口天端と堆砂面の間隔は約3.3mであった。2004年10月から2005年7月にかけて堆砂面は約2.1m上昇しEL.125.8mに達した。その後2005年10月までの乾期の間の堆砂面は安定していた。堆砂プロファイルから安定勾配は、取水口前面の堆砂の1/20 - 1/30程度である。

## 4. 流域の土砂生産源と土砂生産量

### 4.1 土砂生産源調査

ウォノギリ貯水池に流入する流域の土砂生産源として、i) ガリー浸食、ii) 地すべり等の崩壊、iii) 流入支川の河岸浸食、iv) 道路法面からの浸食、及びv) 耕作地からの土壌浸食がある。土壌浸食を除くガリー浸食、地すべり、河岸浸食、道路法面浸食の4つの土砂生産源と各々の概略の土砂生産量を推定することを目的として現地踏査を実施した。耕作地からの年平均流亡土量は後述するUSLE式を用いて推定した。

### 4.2 ガリー浸食、地すべり

2004年から2005年に実施した現地踏査の結果、流域全体で71箇所のガリー浸食と25箇所の地すべりが確認された。ガリー浸食はクドワン川流域に集中し、最大の規模のものは高さ5-8m、幅15-20m、長さ200mであった。

全流域で活動的な地すべりは少なく、全体的に規模も小さい。地すべり箇所数はクドワン川流域に多いが（小規模）、量的にはティルトモヨ川流域が大きい（比較的大規模）。ティルトモヨ川流域の大規模な地すべりは、既に植生が回復し安定化しつつある。

ガリー浸食の発達過程ならびに地すべりの発生状況に関する聞き取り調査・現地踏査の結果から、年間の土砂生産量を、ガリー浸食から年間約5.2万m<sup>3</sup>、地すべりから年間約1.0万m<sup>3</sup>と推定した。

### 4.3 河岸浸食、道路法面浸食

ウォノギリダム流域の主要支川は、殆ど護岸が整備されていない自然河川である。河岸の大部分が浸食されやすい細粒分で構成されている。特に蛇行部、支流合流部、河川構造物の上下流等で大きな河岸浸食が発生している。アラン川流域が最も活発で、支流や灌漑水路により低地部の河岸段丘が大きな浸食を受けている。全流域の河岸浸食は総区間数136箇所、総延長25,900mであった。道路法面の浸食は流域全体に分布し、総区間数584箇所、総延長36,500mであった。

単位長さあたりの浸食量は、流域保全技術センター（BP2TPDAS）が1994 - 1995年の雨期に実施した現地観測・測定結果を参照し、河岸に対し年平均浸食量3.44m<sup>3</sup>/m

年、道路に対し 0.20 m<sup>3</sup>/m/年を適用した。全流域合計で年間河岸浸食量は 89,000 m<sup>3</sup>、年間道路法面浸食量は約 7,300 m<sup>3</sup> と推定された。

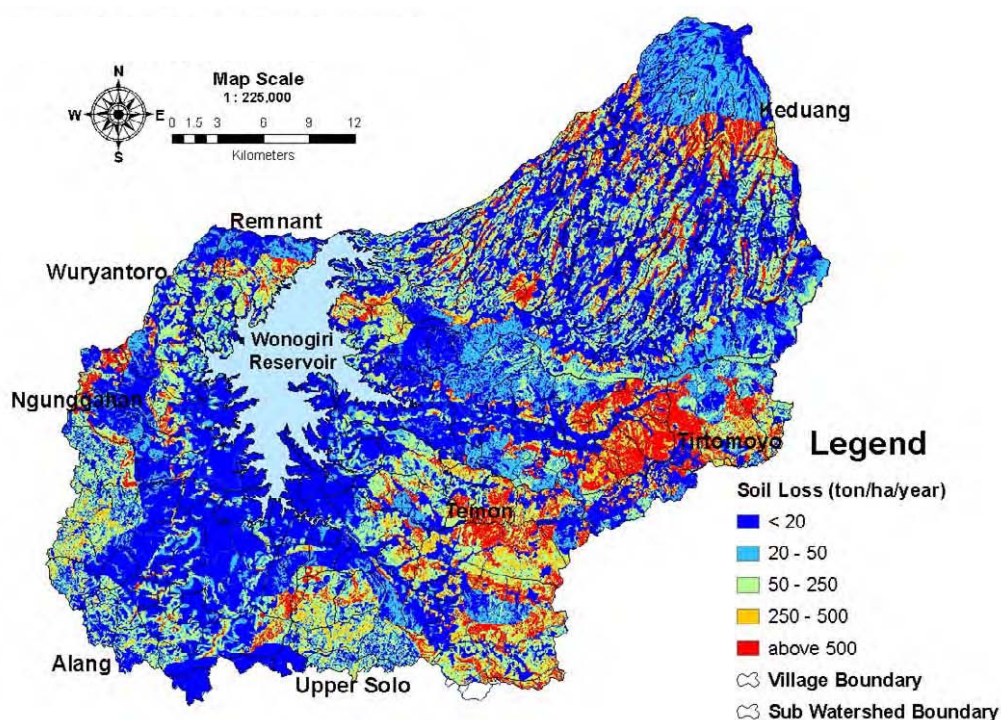
#### 4.4 土壌浸食量

土壌浸食モデルは、公共事業省や森林省の流域保全ガイドラインで採用されている USLE 式を使用した。本モデルは、農地に係わる年平均流亡土量を算出する経験式で 1 ヘクタール当たりの年平均流亡土量を 5 つの因子で推定する方法である。

$$A=R * K * LS * C * P$$

A: 年平均流亡土量 (ton/ha/年)、R: 降雨因子、K: 土壌受食性因子、LS: 地形因子、C: 植生因子、P: 保全工因子

流域の降雨、地形、土壌、土地利用、保全工分布を GIS データ化し、各因子のパラメータを選定して、流域別並びに土地利用別に年平均流亡土量を推定した。結果、ウォノギリダム上流域の年平均流亡土量は約 17.3 百万トン(堆砂や堆積ベースで 139 トン/年/ha) と推定された。



出典：JICA 調査団

図9 ウォノギリダム流域の 1 ha あたり年平均流亡土量

#### 4.5 土砂生産源毎のウォノギリ貯水池への年平均流入土砂量

##### (1) 土壌浸食土砂の土砂流達率

貯水池流域で浸食された土壌の大部分は、貯水池に流入する前に流域内に堆積し、その残りの土砂が貯水池へ流入する。土壌浸食量（生産土砂量）と貯水池流入土砂量の比率を土砂流達率（SDR: Sediment Delivery Ratio）と呼ぶ。

各流域の年平均土壌浸食量、その他の発生源からの生産土砂量、並びにウォノギリ貯水池の堆砂実績を元に、土壌浸食土砂の貯水池への流達率を推定した。結果を下表に示す。なお、ガリー浸食、地すべり、河岸浸食、道路法面浸食の土砂流達率は

100%と想定した。

表 5 ウォノギリダム流域の土砂流達率

支流	クドワン	ティルトモヨ	デモン	ソロ	アラン	全流域
土砂流達率 SDR (%)	23.6	10.4	6.7	16.5	32.9	18.1

出典：JICA 調査団

(2) 土砂生産源毎の貯水池への年平均流入土砂量

各土砂生産源の生産土砂量の湿潤密度を 1.6 ton/m<sup>3</sup>、空隙率を 40%と想定し、貯水池堆砂ベースに換算して、土砂生産源毎に貯水池への年平均流入土砂量を推定した。

流域の土壌浸食量が貯水池流入土砂量の 93%を占め、土壌浸食以外の浸食量の総量は僅か 7%である。土壌浸食以外の生産源の割合は、河岸浸食 55%、ガリー浸食 33%である。

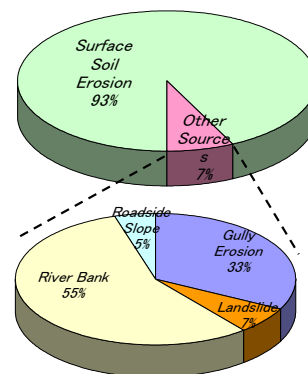


図 10 土砂生産源毎の年平均流入土砂量の比率

表 6 土砂生産源毎の年平均流入土砂量

(単位：m<sup>3</sup>/year)

支流域	ガリー浸食	地すべり	河岸浸食	道路法面浸食	表層土壌浸食	合計
クドワン	67,880	2,930	9,780	3,690	1,134,300	1,218,580
ティルトモヨ	90	11,730	19,760	2,480	469,700	503,760
デモン	30	0	11,350	600	61,000	72,980
ソロ	220	440	11,040	1,990	591,300	604,990
アラン	7,330	0	66,620	730	326,600	401,280
残流域	0	0	11,850	1,170	363,900	376,920
合計	75,550	15,100	130,400	10,660	2,946,800	3,178,510

出典：JICA 調査団

## 5. 貯水池堆砂シミュレーション

### 5.1 解析モデル

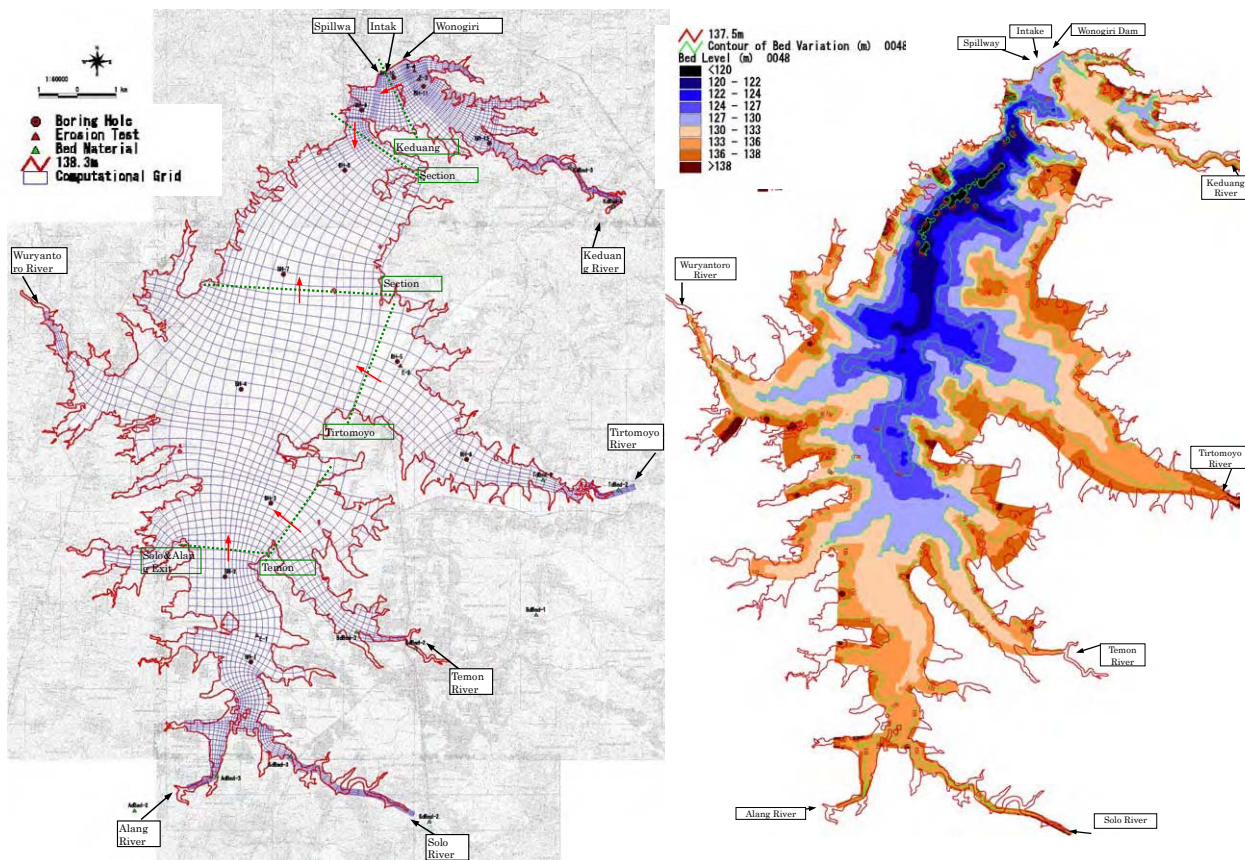
平面 2 次元移動河床解析モデル - NKhydro2D モデルにより、ウォノギリ貯水池の堆砂シミュレーションを実施した。解析モデルの座標・計算格子には、境界適合型直交曲線座標系を使用し、格子数は約 3,700、格子サイズは 3~330 m である。計算精度向上のため、主要支川流入部及びダム堤体上流部の計算格子間隔が最も小さくなっている。また、土砂輸送は混合砂を対象とし、混合粒径土砂 (0.001~19 mm) を 9 分割して解析を実施した。

### 5.2 2004/2005 年の再現計算

2004 年から 2005 年雨期のウォノギリ貯水池堆砂の再現シミュレーションを実施した。貯水池水位変動、貯水池内堆砂量・粒度分布、浮遊砂 SS 濃度分布、発電放流土砂量・粒度分布等を観測結果と比較した結果、解析値は実測値を良好に再現し、本堆砂解析モデルのウォノギリ貯水池堆砂シミュレーションへの適用可能性が検証された。再現計算結果から、以下の点が判明した。



- クドワン川を除く貯水池上流主要支川の洪水流の流速は、流入部付近では速いがダム中央部では非常に遅くなり、これらの流入土砂の殆どがクドワン川流入部まで到達せず、ダム湖上流部に堆積する。
- 貯水位が低い雨期の初期はクドワン川からの流入土砂がダム湖中央に向けて逆流し、クドワン川流入部に加え貯水池狭窄部上流側にも堆積する。



出典：JICA 調査団

図 11 計算格子とウォノギリ貯水池の河床標高コンター図 (2004 年 10 月)

- 2004/2005 期間の堆砂量は、貯水池上流主要支川の流入部で著しく大きく、各支川流入部の河床が 0.1 - 0.3 m 程度上昇する。一方、ダム中央部の河床上昇は小さく、0.02 m 以下である。
- 2004/2005 期間のダム放流土砂量は 141,000 m<sup>3</sup> で、放流土砂成分の殆どはシルト粘土成分である。
- 2004/2005 期間の貯水池全体の土砂捕捉率は 91%、クドワン川流入土砂に対しては約 83% で、シルト分 (D>0.016 mm) 以上の土砂成分はほぼ全量が捕捉される。

### 5.3 1993-2004 年雨期の再現計算

上記の解析モデルにより 1993 - 2004 年のウォノギリ貯水池の貯水池堆砂シミュレーションを実施した。なお、ダム上流主要支川の流入土砂の境界条件には、2004/2005 期間に観測した流量 - 浮遊砂濃度曲線とその粒度分布を適用した。1993 - 2004 年間の貯水池堆砂形状の変化、クドワン川流入部、ソロ川上流部の堆砂形状縦断面図を図 13 に示す。再現計算結果から、以下の点が判明した。

- ソロ川・アラン川流入部の堆砂の肩が貯水池中央部に向けて進行し、テモン川流

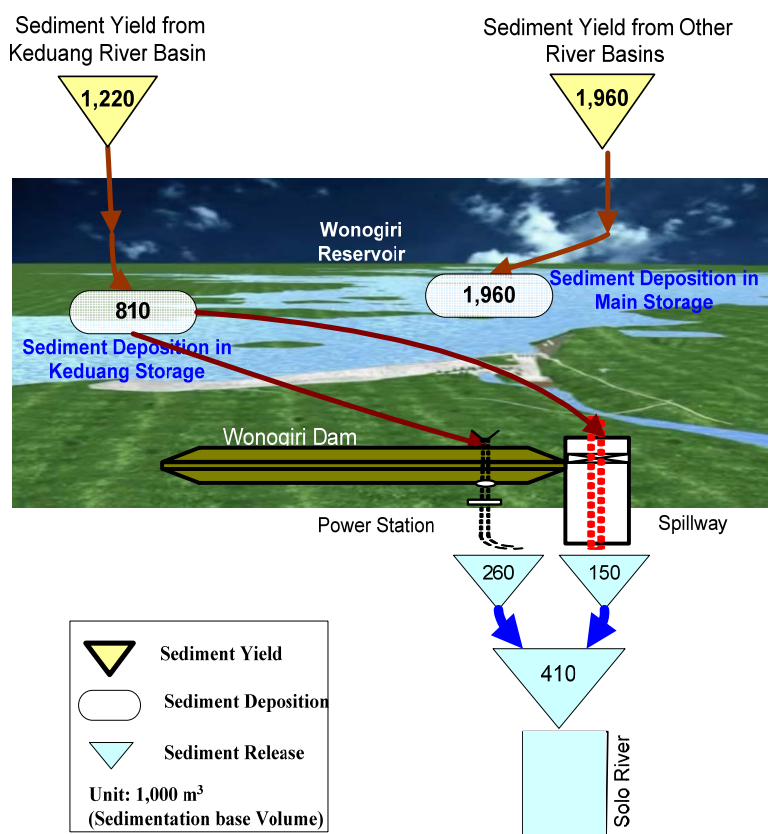
入部付近まで達している。当地点の 1993 - 2004 期間の河床上昇は約 2 m である。

- 貯水池中央部の当期間の河床上昇は約 0.1 - 0.3 m である。
- クドワン川流入部の堆砂は最も深刻で、当期間の最大河床上昇高は約 4.0 m である。
- 取水口周辺ならびにクドワン川からダム湖中央に向けての逆流部の当期間の河床上昇は約 2 m である。

#### 5.4 ウォノギリ貯水池の土砂バランス

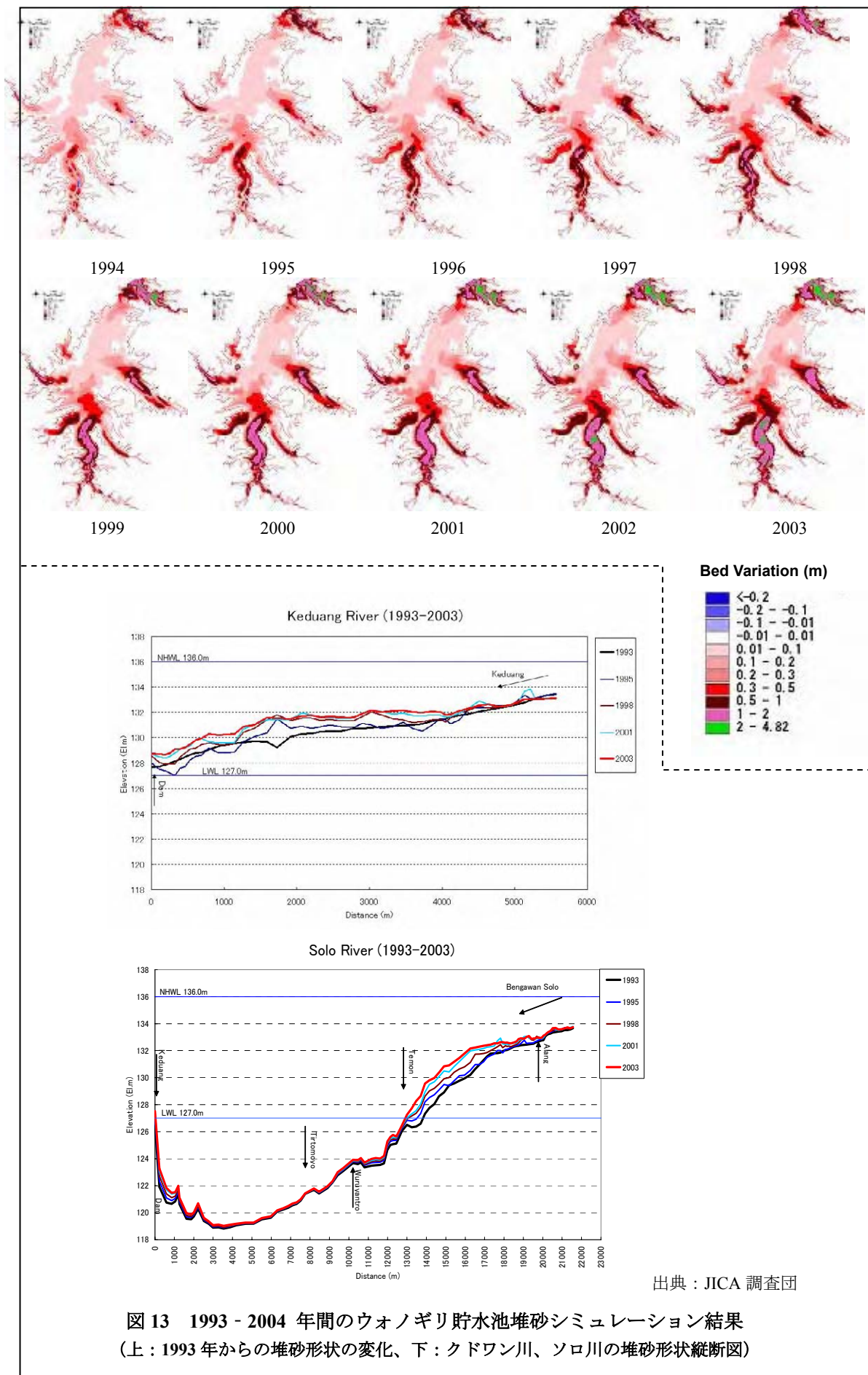
上記の解析結果より、1993 年から 2005 年の 12 年間のウォノギリ貯水池の流入土砂量、放流土砂量、堆砂量を算定し、貯水池の土砂バランスを以下のように推定した。

- 過去 12 年間（1993 - 2005）のウォノギリ貯水池への年平均流入土砂量は 3.18 百万 m<sup>3</sup> である。うち、クドワン川からの年平均流入土砂量は 1.22 百万 m<sup>3</sup>（約 38%）である。
- 年平均土砂放流量は 0.41 百万 m<sup>3</sup> と推定され、発電放流口から年平均 0.26 百万 m<sup>3</sup>、余水吐から年平均 0.15 百万 m<sup>3</sup> である。
- 年平均貯水池堆砂量は、2.77 百万 m<sup>3</sup>（=3.18 - 0.41）である。
- 1993 - 2005 年間の貯水池全体からみた流入土砂の平均捕捉率は 0.87 である。



出典：JICA 調査団

図 12 ウォノギリ貯水池の現況の土砂バランス図

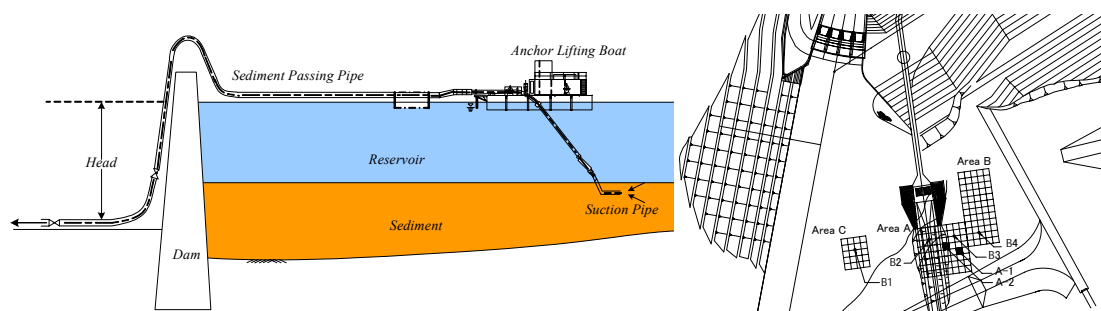


## 6. 現地排砂実証試験

### 6.1 排砂実証試験概要

堆積土砂の大半が微細粒土砂でありゴミ流入が多いウォノギリ貯水池における水位差利用型の排砂工法の適応可能性を確認することを目的として、2005年9月12日 - 10月31日の期間に排砂実証試験を実施した。

排砂装置は機動性の高い移動式を採用した。排砂システムは、鋼製台船に取りつけた掘削装置によりダム上下流の水位差を利用して堆砂を吸上げ、排砂管を通じて余水吐に設置する受水槽へ排出するシステムである。試験期間中は、排砂をダム下流へ直接放流させない方針とし、受水槽まで配送した土砂のうち粗粒分は受水槽に堆積させ、細粒分は受水槽から返送水槽へ越流させた後ポンプにて貯水池へ返送した。



出典：JICA 調査団

図 14 水位差利用型の排砂工法の模式図（左）、実証試験位置図（右）

### 6.2 予備試験結果

予備試験として、i) サイドロータリー、ii) ジェットノズル、iii) 無対策の3形式の掘削装置の比較試験を実施した。各装置とも、管路流量 9.5 - 12.5 m<sup>3</sup>/分、堆砂深さ 1 - 3 m の条件下で、水位差を利用したサイフォン機能に支障はなく、単位時間当たり排砂量、消費電力、排砂濃度、ゴミ対応面から比較評価した結果、サイドロータリー式の掘削装置の優位性が確認された。サイドロータリー式の掘削装置による排砂時の体積濃度（含泥率）は 3.66 - 8.48%であった。

### 6.3 本試験結果

本試験として、サイドロータリー式の掘削装置を適用し、堆砂深さ 4 m まで、流量、掘削深の諸ケースに対し排砂能力試験を実施した。その結果、排砂時の最大体積濃度は 13%程度で、ウォノギリ取水口前面に堆積したゴミ混じりの堆砂（最大径 130 mm の小石、長さ 600 mm 程度の植生ゴミ、150 mm 四方の生活ゴミ（ビニール袋等）は、本工法により管路内、装置内に堆積せず排出されることが確認された。また、取水口前面の堆砂は深度方向に圧密されている傾向があるが、本工法による掘削には支障がないことが確認された。

## 7. 堆砂対策マスタープラン策定の基本方針

### 7.1 将来の堆砂状況の概算（無対策の場合）

図 12 に示す現況（1993 - 2005 年の 13 年間平均）のウォノギリ貯水池の年間の土砂バランスを基に、将来の貯水池容量の減少を概算した。堆砂実績から堆砂容量と利水容量に同量ずつ堆砂するものとし、治水容量には堆砂なしと想定した。結果を下図に示す。このまま無対策であれば、50 年後の 2051 年までに有効容量は約 28% 損失し堆砂容量は 100% 消失する。100 年後の 2105 年の有効容量の消失は 62% である。

有効容量の 50%消失時期は 2062 年頃と予想される。

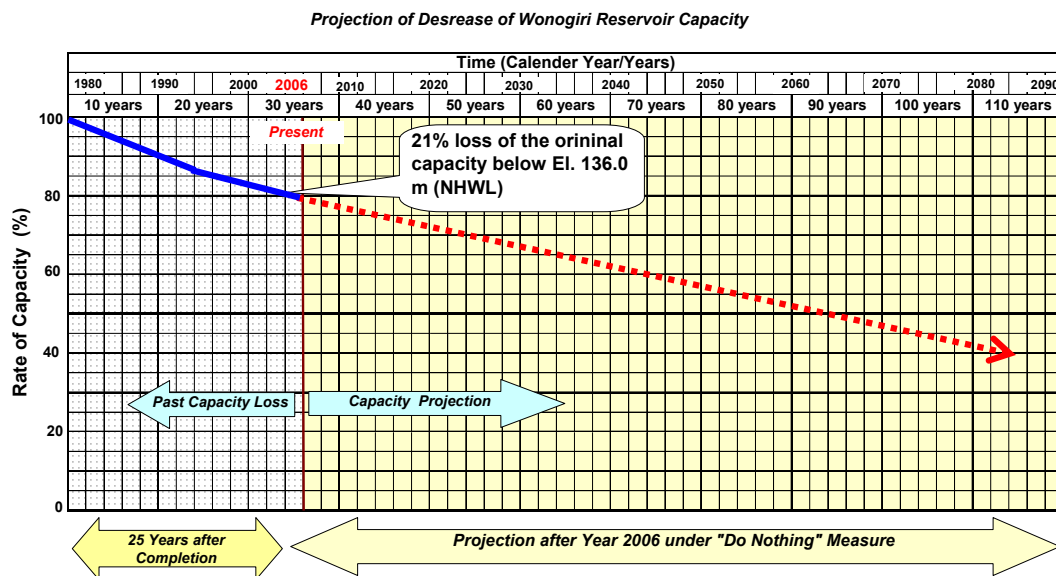


図 15 ウォノギリ貯水池における将来の貯水池容量の予測

## 7.2 マスタープランの目標設定

基礎調査結果に基づき、貯水池堆砂対策マスタープランの目標を以下のように設定した。

- 将来 100 年間の長期にわたり貯水池機能を維持し、継続して住民の生活向上ならびに社会発展に貢献する。
- いかなる規模の洪水に対してもウォノギリダムの安全性を確保し、将来にわたり貯水池操作規則を遵守し、計画洪水に対し適切かつ安全な貯水池運用を実施する。
- ウォノギリ貯水池を持続的に管理していくため、施設の対策のみならず流域保全対策を実施し、ウォノギリダム上流域の住民の貧困軽減に寄与する。

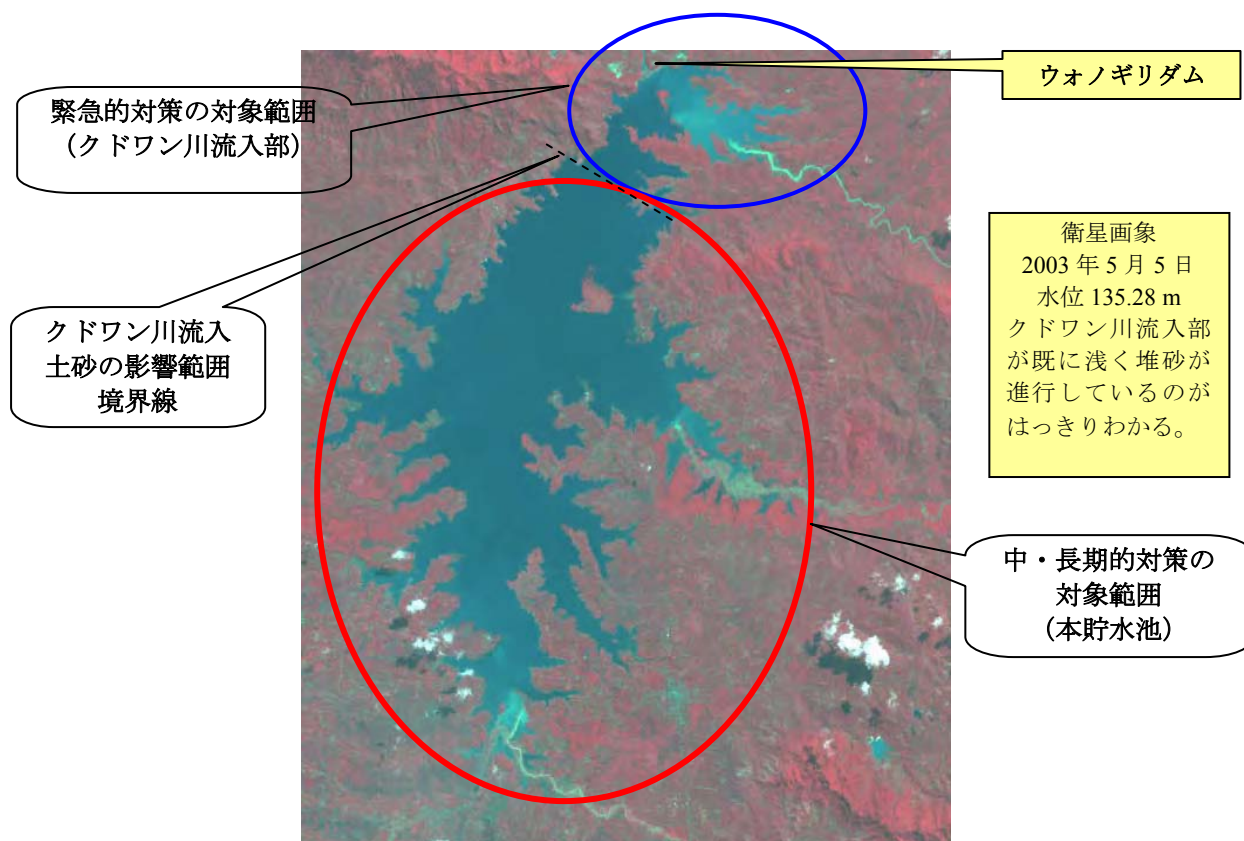
## 7.3 マスタープラン策定の基本方針

上記の目標を達成するため、貯水池堆砂対策マスタープラン策定の基本方針を以下のように設定した。

- 基本的には計画時点の有効貯水容量の回復（堆砂の全量除去）とその維持が求められるが、毎年多量の土砂が流入することからこうした要望に応えることは非現実的であり経済的にもかなりの困難が予想される。よって、将来にわたって貯水池機能（灌漑・発電への水供給）を維持するために、堆砂の進行速度を緩和し（貯水池への流入土砂量の軽減）貯水池寿命の延命化を図ることが現実的である。
- 計画堆砂量は 1978 年の原設計時の計画年堆砂量 1.2 百万  $m^3$  以下とする。超過量（最大 1.6 百万  $m^3$ /年）を施設対策及び流域保全対策で対応する。
- 緊急対策は取水口の取水機能維持（取水口閉塞対策）とし、基本的にはクドワン川からの流入土砂対策となる。取水口閉塞対策としてクドワン川から流入するゴミ対策も含める。確実性・即効性が要求されることから施設の施策が必要である。
- 貯水池堆砂解析の結果から、クドワン川以外のティルトモヨ川、テモン川、ソロ川、アラン川からの流入土砂は取水口前面には殆ど到達しないこと、また流入部に形成された堆砂の肩の貯水池内への進行速度は非常に遅いことから、中長期対

策として流入土砂量の軽減を目的とした流域保全を実施する。

- 現況の貯水池運用は1991年以降、常時満水位 El.136.0 m を超えて El.137.0 m 程度まで慣例的にほぼ毎年貯水している。平均的には El.136 m~El.137 m 間の容量分、約 0.75 億 m<sup>3</sup> を溜め込んでいる。これはダム下流の水利用者の需要に応じる方策ではあるが、ダムの安全性を低下させている。貯水池操作規則を遵守することは現状の利水供給量を減少させることになるが、全てのダム受益者はダムの安全確保に最大限留意すべきである。以下に述べる堆砂対策の代替案の技術的検討では、貯水池操作規則を遵守するものとして実施する。



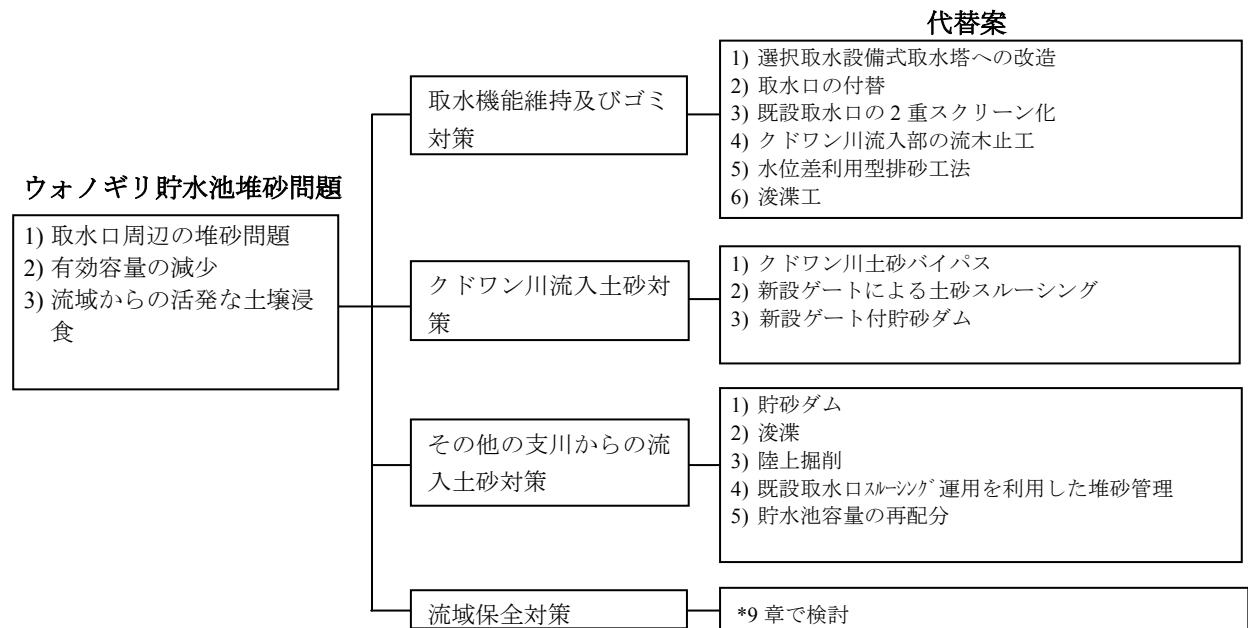
出典：JICA 調査団

図 16 ウォノギリ貯水池の堆砂状況を示す衛星画像

## 8. 貯水池堆砂対策施設の検討

### 8.1 代替案の選定

貯水池堆砂対策の施設的対策として、i) 取水機能維持・ゴミ対策、ii) クドワン川流入土砂対策、及び iii) その他支川からの流入土砂対策に分けて代替案を選定し比較検討した。



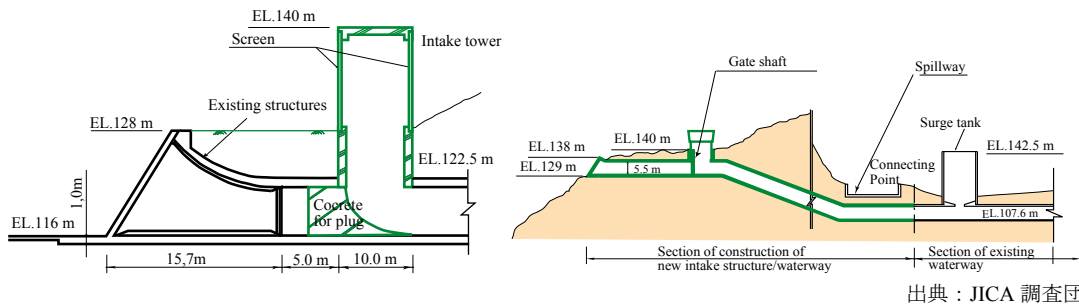
出典：JICA 調査団

図 17 ウォノギリ貯水池堆砂問題に対する施設対策の代替案

## 8.2 取水口機能維持及びゴミ対策

### (1) 既設取水口の選択取水設備への改造及び取水口の付替

既設取水口の選択取水設備式取水塔への改造ならびに取水口の付替案は、工事期間中の取水口周辺のドライ工事を要し、工事期間中の利水供給の停止が必要となり、工事費も他案に比べ割高となる。また、これらの案は取水口前面の堆砂を一時的に回避する対策であるため、将来は堆砂が進行し現状と同様の取水口閉塞問題が再発する可能性がある。



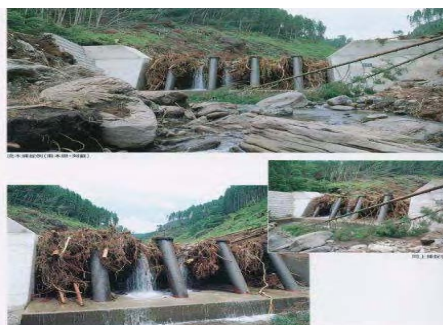
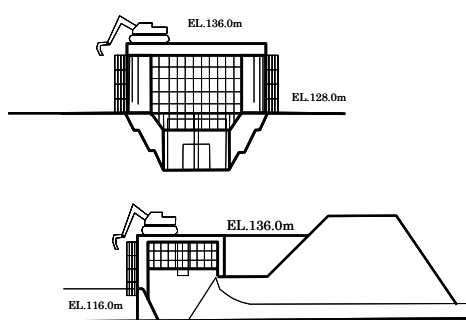
出典：JICA 調査団

図 18 既設取水口の改造案（左）と取水口の付替案（右）

### (2) 既設取水口の2重スクリーン化及びクドワン川流入部の流木止工

取水口閉塞を引き起こすゴミの発生源であるクドワン川から流入するゴミ対策案として、既設取水口のスクリーンの2重化案並びにクドワン川流入部の流木止工の設置案を検討した。

前者は既設取水口外周にスクリーンを新設し、アプローチ道路をとりつけバックホウ等より機械的な除去を可能とすることで除塵作業の簡易化を図るものである。後者はクドワン川流入部に鋼製スリット式の流木止工を設置し、定期的なごみ除去により流入するゴミの量を軽減するものである。これらのゴミ対策案は、恒久対策の補助的な案として位置付けられる。

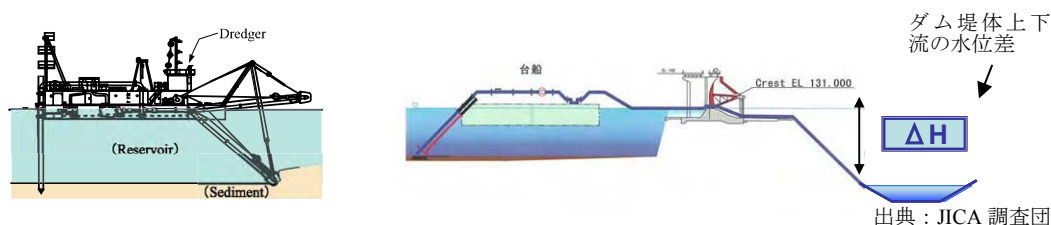


出典：(左) JICA 調査団、(右) 流木止設置例 (熊本県)

図 19 既設取水口の 2 重スクリーン化 (左)、クドワン川流入部の流木止工の例 (右)

(3) 浚渫工及び水位差利用型の排砂工法

浚渫工は維持管理費が割高となるが、その効果は确实でまた取水口前面のゴミ混じりの堆砂除去も可能である。一方、本調査で実証試験を実施した水位差利用型排砂工法は維持管理費が浚渫工に較べ安価であるが、必要水位差の関係から利用可能期間が限定的となる。流域保全対策、クドワン川流入土砂対策を実施しその効果が発揮された場合も、大規模出水時の想定外の土砂・ゴミ流入による取水口前面閉塞の危険性は残されており、その際の非常用対策としても位置づけられる。



出典：JICA 調査団

図 20 浚渫工 (左)、水位差利用型の排砂工法 (右)

(4) 取水口機能維持及びゴミ対策代替案の評価

各代替案の建設費用と評価を下表に示す。また、各代替案の技術的適用性及び社会環境影響評価結果を表 8 に示す。いずれの代替案も取水口の機能を維持するための補助的な工法であり、取水口前面の堆砂、ゴミ問題に対する恒久的な解決策とはならない。

後述するクドワン川流入土砂対策と平行して検討した結果、恒久対策工（新設ゲート付貯砂ダム案）により取水口周辺部の堆砂量は大幅に減少するが、クドワン川からの流入土砂の一部が継続して取水口周辺に堆積する可能性があることが貯水池堆砂シミュレーションにより判明した。加えて、恒久対策が完成するまでの期間、現在取水口周辺の河床に堆積している土砂とゴミを除去する必要がある。よって、取水口機能維持及びゴミ対策として、浚渫工や水位差利用型の排砂工法維持浚渫を補足的な対策として提案する。

表 7 取水口機能維持及びゴミ対策代替案の建設費と評価結果

代替案	建設費 (直工)	評価
1) 選択取水設備式取水塔への改造	\$3,160,000	恒久対策にはならない
2) 取水口の付替え	\$8,800,000	恒久対策にはならない
3) 既設取水口の 2 重スクリーン化	\$3,670,000	ゴミ対策の補助工法
4) クドワン川流入部の流木止工	\$1,370,000	ゴミ対策の補助工法
5) 水位差利用型排砂工法	\$2,875,000	取水口堆砂対策の補助工法
6) 浚渫	\$4,456,700	取水口堆砂対策の補助工法

出典：JICA 調査団



### 8.3 クドワン川流入土砂対策

#### (1) クドワン川土砂バイパス

クドワン川貯水池流入部上流に分流堰を設置し、バイパストンネル（L=6.4 km）とダム下流ソロ川の支川の河道改修（L=2.4 km）により、大量の土砂を含んだクドワン川の洪水を貯水池へ流入する前にバイパスしてダム下流に放流する対策である。家屋移転を最小化するためトンネル案を採用した。バイパス設計流量は、規模と排砂効率を検討し効率の高い 50 m<sup>3</sup>/s に設定した。ただし、バイパス設計流量の制約のため、完全にクドワン川の洪水をバイパス放流することはできず、一部の土砂が取水口に流入するので、取水口機能維持のための補助対策が必要である。

#### (2) 新設排砂ゲートによる土砂スルーシグ

ダム堤体右岸側に敷高 El.127.0 m のラジアルゲートを設置し、雨期の初期の貯水位が低い時にクドワン川洪水を川の状態で貯水池内をスルーさせ、ダム下流に放流する対策である。

ウオノギリダムは貯水池回転率が年平均 2 回程度と小さく、雨期の初期の土砂スルーシグ運用に大量の貯水を使用するので、渇水の場合、貯水位が常時満水位まで回復しないリスクがある。

#### (3) 貯水池の分離（新設ゲート付貯砂ダムの建設）

上記 (2) 案との違いは、ダム堤体右岸側からダム正面にある半島を結ぶ形で締切堤防を設置し、貯水池を貯砂ダムと貯水池本体に分離することである。貯水池の連結部として締切堤上流の半島の付け根部に越流堤を配置する。貯砂ダムには排砂施設として、ダム堤体右岸側に敷高 El.127.0 m のラジアルゲートを設置する。

本対策の技術的な利点は、貯水池を分離することにより貯砂ダムを空にすることが可能で、貯水池本体の水位を下げずにクドワン川の流入土砂をダム下流へ排出することが可能となる点である。なお、排砂操作は貯水池本体の水位が常時満水位に達した時点で実施するため、現況同様の貯水池の利水運用が可能となる。

また、クドワン川からの土砂と流木等のゴミを貯砂ダムにせき止めるので、取水口のある本貯水池への負荷は大幅に軽減される。

社会環境面では、全ての構造物がダ



出典: JICA 調査団

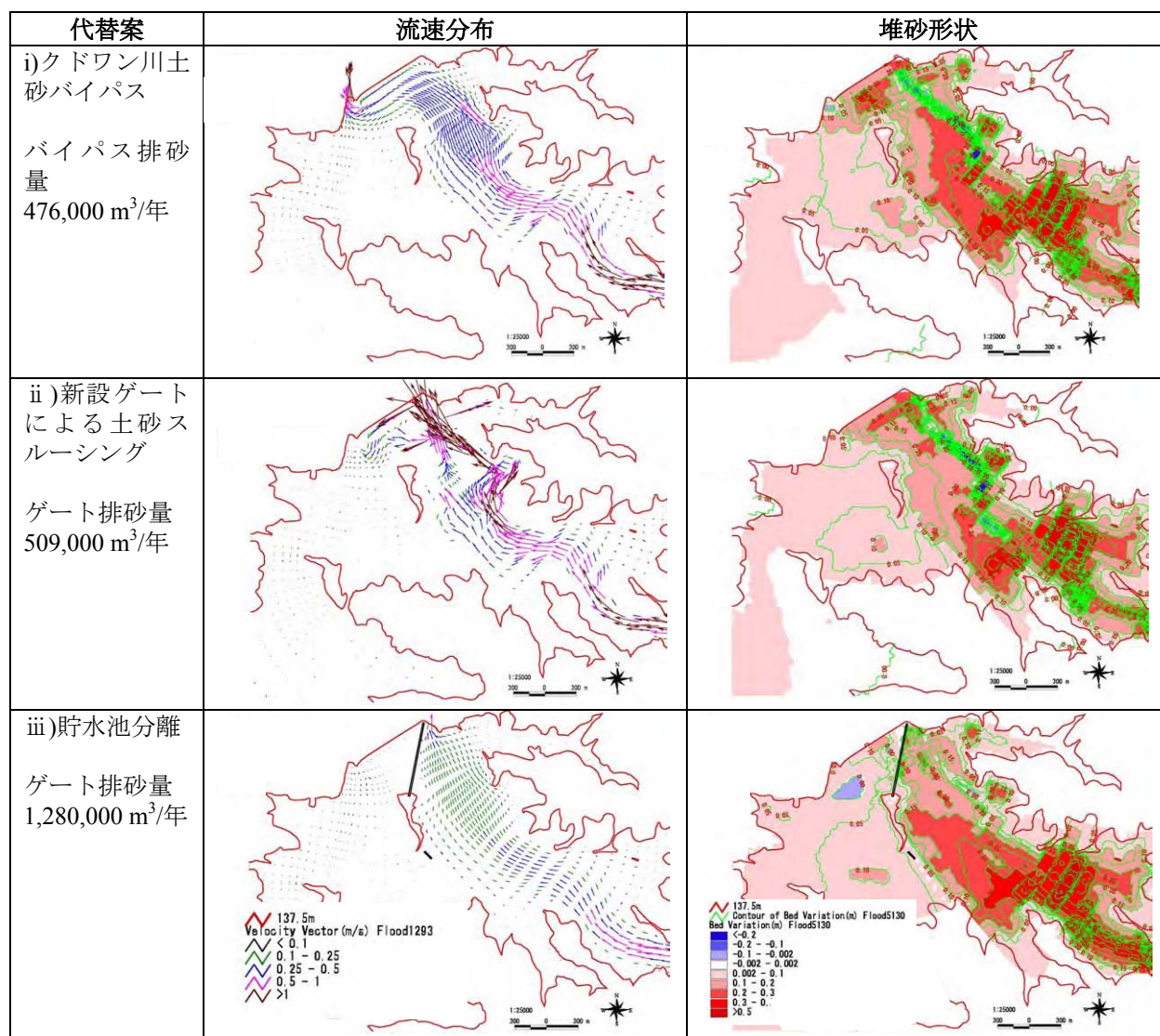
図 21 クドワン川流入土砂対策の基本レイアウト

ム管理用地内に建設可能で、住民移転等を伴わないことから、社会環境に対する負荷が小さく工事着工が容易である。

(4) クドワン川流入土砂対策工の排砂シミュレーション

前述した貯水池堆砂解析モデルを利用して、クドワン川流入土砂対策工の3案、i) クドワン川バイパス案、ii) 新設ゲートによる土砂スルーシング案、iii) 新設ゲート付貯砂ダム案に対し、貯水池堆砂シミュレーションを実施し、各案の排砂量、排砂に必要な水量、排砂効率、貯水池堆砂形状の変化を評価した。検討ケースは、支川流量、流入土砂量の変動を勘案し、1993 - 2005 年の流量観測結果から、渇水年（2004/2005）、平水年（1995/1996）、豊水年（1998/1999）の3ケースの水文年（11月から4月）を選定した。

解析結果を下図に示す。



出典：JICA 調査団

図 22 クドワン川流入土砂対策工の堆砂シミュレーション結果

(5) クドワン川流入土砂対策工の選定

各代替案の建設コストならびに排砂量 1m<sup>3</sup> 当たりの建設単価を下表に示す。また、各代替案の適用性、社会環境影響評価の比較結果を表 10 に示す。下表に示す比較の結果、以下の利点から新設ゲート付貯砂ダム案をクドワン川流入土砂対策案として

選定した。

- 取水口トラッシュラックの目詰まりを引き起こしていたクドワン川から流入する流木等のゴミを貯砂ダムに完全に閉じこめることが可能となる。
- クドワン川から流入する土砂の一部は越流堤を通して取水口のある本貯水池に流入するが、大部分が貯砂ダムに堆積するため、取水口周辺部の堆砂量が大幅に減少する。
- 貯水池を分離することにより貯水池本体の水位を保ちながら、クドワン川貯水池を空にすることが可能となる。これにより、排砂運用中も本貯水池は現況同様の利水運用が可能となり、また排砂時は貯砂ダムの水位を下げることで濁水のみでなく堆積土砂も含めて高濃度で土砂を排出でき排砂効果が高まる。
- 工事範囲は、公共用地内であり社会環境影響は小さい。

表9 クドワン川流入土砂対策の評価結果

代替案	建設費	排砂量1m <sup>3</sup> 当たりの事業費	対策工からの排砂量
1) クドワン川土砂バイパス	\$82,940,000	\$10.7/m <sup>3</sup>	476,000 m <sup>3</sup> /year
2) 新設ゲートによる土砂スルーシング	\$35,630,000	\$4.7/m <sup>3</sup>	509,000 m <sup>3</sup> /year
3) 新設ゲート付貯砂ダム	\$47,090,000	\$3.8/m <sup>3</sup>	1,280,000 m <sup>3</sup> /year

注1: 対策工の排砂量は、1998/1999年の豊水年のダム流入量条件下において、貯水池堆砂シミュレーションにより推定された値である。排砂量1m<sup>3</sup>当たりの事業費は、建設費ならびに将来50年間に必要な維持管理費を基に算定した値である。

注2: 上記代替案2)と3)の新設ゲートは4門を想定している。

出典: JICA 調査団

## 8.4 その他の支川からの流入土砂対策

### (1) 浚渫工、乾期掘削、貯砂ダム及び砂防ダム

その他の支川からの流入土砂量は 1.96 百万 m<sup>3</sup>/年と推定され、工事可能日当たり 10,000 m<sup>3</sup>/日程度の土砂排出能力が必要となる。これを単一の対策で実施することは、土捨て場の確保及び施工能力の面で非現実的である。貯砂ダムを河川流入部に建設し、浚渫工や乾期掘削工などの複数の対策工を組み合わせる案は、確実に土砂を排出可能であるが、莫大な維持管理費用がかかる。また、流域の砂防ダム群の建設は、堆砂の主成分が細粒分であることから、砂防ダムによるその捕捉効果は極めて低く、採用は難しい。

### (2) 既設取水口を利用した堆砂の貯水池内移動

貯水池運用を変更し、雨期の初期の1-2ヶ月間、発電流量を最大 70 m<sup>3</sup>/s とし貯水池水位を低く保つことで、有効貯水容量内の堆砂を堆砂容量へ移動させ、有効貯水容量の維持・回復を図る案が考えられる。当案は、雨期の初期に大量の水を放流することになるので雨期の後半に貯水位が NHWL El.136.0 m に回復せず、乾期の灌漑用水供給に支障を来す可能性がある。

### (3) ダムの嵩上げ

ダムを嵩上げし有効貯水容量を増加させる案である。将来、貯水池容量が極度に減少した際に有望な対策案となりうる。但し、2005年8月22日のステアリングコミッティにおいて、大きな社会環境インパクトが予想されることから現時点对策案と

して採用することは困難であると結論付けられている。

#### (4) その他の支川からの流入土砂対策代替案の評価

各代替案の技術的評価、社会環境影響評価結果を表 11 に示す。浚渫工、乾期掘削工、貯砂ダム等の堆砂除去策は、堆砂の除去量も膨大であり土捨場の確保や維持管理コスト面で現実的な対応策とは考えられない。また、既設取水口を利用した堆砂の貯水池内移動案は、雨季初期に相当量の無効放流運用をすることになるため、渇水年に常時満水位まで貯水位が回復しないリスクがありかなりの抵抗が予想される。

従って、その他の支川からの流入土砂対策は、中長期的に貯水池流入量を減少させる効果が期待でき、かつ土壌保全とアグロフォレストリの導入、その他支援プログラムにより流域の貧困対策としても期待される流域保全対策を提案する。

## 9. 流域保全対策の検討

### 9.1 流域保全に対する総合的アプローチ

貯水池流入土砂の大半は、耕作地からの土壌浸食によるものである。流域の土壌は重埴土で土壌浸食に脆弱で、降雨強度も高く、地形的にも急傾斜地である。さらに、貧困に起因した土地開発圧力により、急傾斜地まで畑地開墾され適切な耕種法や保全策がなされていない。また、地域住民による森林地区での不法伐採や耕作が行われている。そのため、耕作地からの土壌浸食量が多くなる結果となっている。従って、土壌浸食量を低減し、貯水池への流入土砂量を減少させるには、施設的対策のみならず、住民参加型の抜本的な貧困対策を視野にいれた総合的な流域保全対策が必要となる。また、流域保全事業については近年、行政の意識も高まっており、実効性の高い計画を立案する。

1989 - 1994 年に実施された世銀の流域保全事業で畑地をテラス化（約 22,000 ha）し堆砂スピードの低下も見られたことから、テラスのない畑地や村落内畑地のテラス化と既存テラス（維持管理が悪くかなりの土壌浸食が発生している）のリハビリと同時にアグロフォレストリーを中心とした流域保全事業を実施すれば、流入土砂量の軽減が期待できる。

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流域保全活動を推進してゆくことが必要である。

技術的なアプローチに関しては、流域の土壌は細粒質で、大規模な砂防ダムの建設は土壌浸食防止効果が低く、経済性も低く対象としない。今回土壌浸食試験で「改良ベンチテラス」による土壌浸食防止効果が高いことが証明されているので、①既存ベンチテラスはその改良、ベンチテラスがない農地では改良テラスの造成を行うと共に、植生による法面やリップ等の保護を行い、ベンチテラスの機能の強化を図る。② アグロフォレストリー（果樹・エステート作物、樹木等）を導入し土壌浸食を防止すると共に、農業の生産性の向上と次世代への農業所得の資源の獲得を図る。③農業を基礎にした水・土壌保全、作付体系、作物収量、土壌等の改善技術を導入する。④ さらに植生と側溝構築により村落敷地縁からの浸食土量を軽減する。

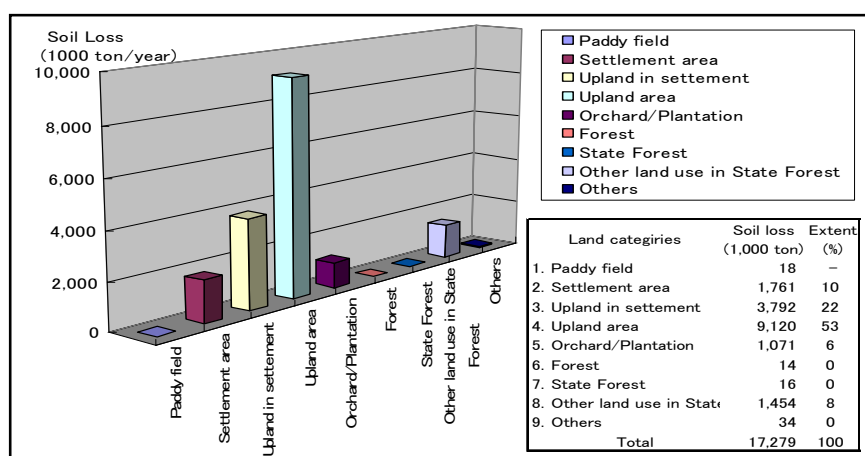
社会・組織的なアプローチに関しては、過去の全面的な top-down 方式では事業が成功した例が少なく、基本的には本計画の実施はコミュニティの住民参加を中心とした bottom-up 方式を採用する。従って、計画から事業実施後のモニタリングまで住民が参加するよう計画するが、村落開発等のソフト分野については NGO に、また技術面でコンサルタントから支援を受ける体制とする。事業の活動状況（資金を含め）の透明性をうるために、事業実施コミッティを村落レベルで設置する。流域保全事

業は短期間で大きな便益を発生することが期待できないことから、住民の動機付けの目的で参加住民に対する適切なインセンティブの導入を行う。

## 9.2 流域域保全計画の策定

### (1) 土地利用から見た計画対象地区

耕作地からの流亡土量は年間約 17.3 百万トンと推定され、土地利用地目別では畑地からの浸食土量が全体の 53%、村落内に分布する畑地から 22%、村落から 10%、森林公園所有地（成長した森林地を除く、裸地・生育途中の森林地）から 8%で、これらの 4 地目で全体の 93%を占めている。一方水田、果樹/プランテーション、森林公園所有の成長した森林地、その他の利用地目からの流亡土量は少ない。また、森林公園所有地は公団自身によって管理・運営されており森林の再生事業を実施中である。



出典: JICA 調査団

図 23 ウォノギリダム流域における土地利用区分別年平均流亡土量

従って、流域保全計画対象地区は、①畑地（ベンチテラス、伝統的テラス及び複合畑地）、②村落内畑地、及び ③村落の合計面積、66,600 ha とする。流亡土量は全体の 85%を占める。

表 12 流域管理対象面積の概要

地目	面積(ha)	(%) *	備考
畑地	39,800	32	畑作物が栽培されている dry farming area、低平地から急峻な傾斜地まで広がっている。
村落内畑地	7,300	16	粗密度の永年作物/樹木がある、主に畑作物が栽培されている村落地
村落	19,500	6	永年作物/樹木/果樹のある家屋地、庭地
合計	66,600	54	

\*:ウォノギリダム流域（124,300 ha）に対する占有率  
出典: JICA 調査団

### (2) 計画対象地区の分類と 目標流域保全計画対象地区の選定

#### 1) 計画地区分類

流域保全管理の改善或いは土壌流亡土量の軽減は、基本的には USLE 式の作物係数（C factor）と保全係数（P factor）を改善する事によって実施される。

従って、流域保全計画策定のため、①土地利用地目、②傾斜度、③テラス保全形状の 3 条件に対し、表 13 に示したような分類基準を設定し、図 24 に示した手順に従って、ウォノギリダム流域の流域保全対象地区を計 35 土地単位（land unit）に区分

した。以降この土地単位ごとに土壌・水保全対策と土地管理・農業生産性向上対策を策定する。

2) 目標流域保全計画対象地区

最終的な目標計画対象地区は下記上記 66,600 ha から下記の手順で決定した。

- 流域保全事業は流域ベースでなく、村落ベースで行い、森林公園団所有の土地は目標対象地区から除外する。
- ウォノギリダム流域全体に対し 20 m x 20 m ポリゴン単位をベースにして、各 35 の土地単位毎に、年平均流亡土量（トン/年）と年平均 ha 当たりの流亡土量を計算する。
- 上記の計算結果から流域にある各村落に対し、年平均流亡土量（トン/年）と年平均 ha 当たりの流亡土量を計算する。第 1 段階のスクリーニングとして、年平均流亡土量が 50 トン/ha 以下か或いは村落の面積が 100ha 以下である村落を対象から除外する。第 2 段階のスクリーニングは、上記で選定された村落に対し、流亡土量源である畑地、村落内畑地及び村落に対し、その 3 つの土地の年平均流亡土量（トン/ha/年）の合計が、50 トン/ha/年以下の村落を除外する。（180 村選定）
- 目標流域保全対象地区は、表 16 に示すとおり流域全体で 34,400 ha となる。選定 180 村落は、支流域でクドワン川流域 83 村、テモン川流域 8 村、ティルトモヨ川流域 29 村、ソロ川流域 25 村、アラン川流域 19 村、グンガハン川流域 7 村、ウルヤントロ川流域 7 村及び残流域 2 村となる。

(3) 流域保全計画

流域保全計画は、3 対策から構成されている。

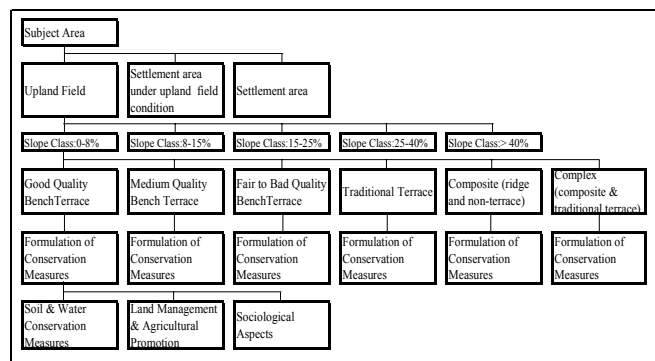
1) ベンチテラス構築と植生手段による水・土壌保全

短期間に土壌浸食防止の効果を得ること及び持続的に土壌及び流域を保全する目的で、畑地及び村落内畑地に対しテラスの改善と造成を行う。改善方法は、表 17 の通りである。また改良ベンチテラスの標準概要図はおおよそ下図に示す通りである。

表 13 土地分類基準

項目	分類の基準	コード
土地利用	畑地	U
	村落内畑地	P
	村落宅地	H
傾斜	0 - 8%	S1
	8 - 15%	S2
	15 - 25%	S3
	25 - 40%	S4
	40%	S5
テラス形状と状態	ベンチテラス地	
	- 良好	T1
	- 普通	T2
	- 不良	T3
	伝統的テラス地	T4
	複合的畑地 (リッジテラス/無処理)	T5
	混合的畑地 (伝統的テラス/複合的畑地 1)	T6

出典: JICA 調査団



出典: JICA 調査団

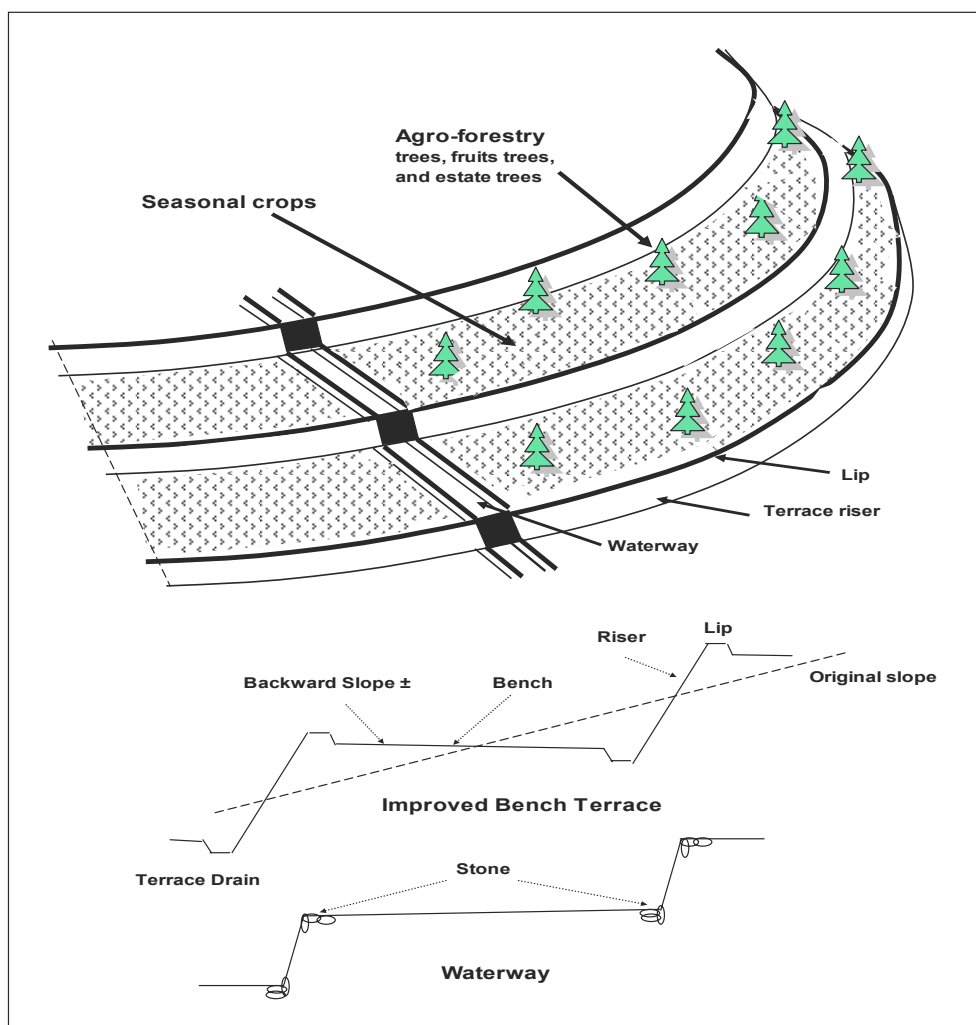
図 24 流域保全対策策定のための土地単位作成手順

表 17 テラスの改善方法

対策	コンポーネント
構造物手段	ベンチテラス改善と造成 集水路と落差工の改善 村落内のサイドディッチの改善
植生手段	リップの強化 法面の強化 村落敷地縁の強化

出典: JICA 調査団

また、サイトへのアクセス状況、急峻地形の状態、大木の植生状況、被覆の必要性、農民の工事に参加する割合の不確定要因を考慮して、ベンチテラス導入率を傾斜区分ごとに決定した。テラスの造成は、傾斜区分 25%以下の場合 100%行い、25 - 40% は 80%、40%以上は 60% 行うものと想定した。



出典: JICA 調査団

図 25 改良テラスの標準設計概要図

植生による土壌浸食対策の対象は、テラス・ベンチ、テラス法面、リップ、村落敷地の周縁であるあるが、本計画に導入する草及び木の種類/品種の選定は、現在まで導入されている種類/品種を対象に、i) 被覆度、ii) 成長速度/成長容易度、iii) 経済的利用・経済性及び、iv) 農家の意向の 4 要素を検討して選定した。

表 18 ベンチテラスに対する基本的植生対策

植生による対策	植生	種・品種
テラス・リップ - リップの安定	草	エレファントグラス, <i>Panicum muticum</i> , キンググラス
	低木	Lamtoro, <i>Glyricideae speium</i> , <i>Flemingia congesta</i> Roxb etc.
テラス・法面 - 法面の安定	草	BB ( <i>Brachiaria brizantha</i> ), BD ( <i>Brachiaria decumbens</i> ), ローカル匍匐型草
村落敷地縁	低木	<i>Flemingia congesta</i> Roxb etc.

出典: JICA 調査団

## 2) 土壌・農業の改良技術及びアグロフォレストリの導入

農業観点からみた流域保全管理への対策は、表 19 に要約される。畑作物の改良農業技術を導入すると共に農民参加型普及活動の強化と実施を通して、改良技術を農民・農民組合に普及させる。アグロフォレストリは、土壌・水の保全と農業生産対策として導入され、農業収入の向上と将来予想される農業労働力減少に対する対策としている。現地調査から判断して、農林省或いは森林省が推奨しているアグロフォレストリの導入率の約 50%を本計画で採用した。傾斜勾配によってアグロフォレストリの導入率を考慮し、8%以下の畑地は、5%、8 - 15%では 12.5%、15 - 25%では 25%、25 - 40%では、37.5%、40%以上は 50%とした。導入する果樹は、マンゴ、ドリアン、ランブータン、カシューナッツ、丁子、カカオ、ムリンジョ、シトラス、樹木は、マホガニー、センゴン、ソノケリング等が推奨作目であるが、選択は農家の意志に従うことになる。

表 19 流域保全に対する農業対策

項目	対策
土壌・水保全に対する土地管理	圃場の改善
	土地利用の改善
アグロフォレストリ導入	アグロフォレストリ開発促進
作物生産	作付体系と農業技術開発

出典: JICA 調査団

## 3) ソフト・コンポーネント（流域保全実施のための支援プログラム）

農民（受益者）の参加の下で総合的な流域保全事業を実施することが、保全事業の円滑な運営を行う上で必須である。そのため、流域保全実施のための組織形成、受益者の啓発、技術訓練、事業に対する実施及び運営訓練、土地管理と農業生産性の向上、村落開発、モニタリング・評価等に関する支援プログラムを流域保全工事と共に実施する。

支援プログラムとして、(1)土壌・水保全に対する支援計画は、i) 農民・農民グループ啓発パッケージプログラム、ii) 保全の運営建設のパッケージプログラム、iii) フィールドスタッフの啓発プログラム等の土壌・水対策の支援プログラム、(2) 土地管理及び農業生産促進支援プログラムは、i) 技術開発プログラム、ii) 展示プログラム、iii) 果樹・樹木パイロット展示プログラム、iv) 農民・農民グループ訓練プログラム、v) 耕種支援プログラム、vi) 畑作物種子生産プログラム、vii) 普及活動のための後方業務強化等の土地管理・農業生産促進対策支援プログラム、(3) 社会開発支援プログラムは、i) 村落評価、ii) 土壌保全のための村落アクション計画、iii) 開発委員会の設立、iv) 村落無償基金ガイダンス、v) 教育等のコミュニティ開発支援プログラムで構成されている。



(4) 工事数量と農民負担

ウォノギリダム流域保全計画の工事数量は下記の表の通りである。農民参加方式を導入し、切土・盛土、掘削、積石工事は、農民受益者が総工事量の 25%、政府が 75% を分担し、また植生工事に関しては、政府と受益者で 50%づつ分担する。必要建設資材・農業資材は、政府が 100%補助するものとする。

表 20 流域保全事業の工事数量

工 種	単 位	工事数量 合計	工 種	単 位	工事数量 合計
		(1,000)			(1,000)
1. 土地造成 Land preparation			2. 側溝 (村落内敷地)		
1) テラス工			1) 側溝		
(1) 切土・盛土	m <sup>3</sup>	22,224	(1) 石材	m <sup>3</sup>	37
2) 集水路・落差工			(2) 掘削工	m <sup>3</sup>	53
(1) 石材	m <sup>3</sup>	164	(3) 石積工	m <sup>3</sup>	33
(2) 掘削工	m <sup>3</sup>	191	2) 生け垣用低木		
(3) 石積工	m <sup>3</sup>	149	(1) 生け垣用の低木	nr	8,346
3) リップ、法面被覆工			(2) 生け垣用低木の整備工	m <sup>2</sup>	1,043
(1) リップ被覆用草の種子	nr.	304,731	3. アグロフォレストリィ/畑作 導入		
(2) リップ被覆用低木の種子	nr.	18,284	1) アグロフォレストリィ/畑作 導入	Ls	1
(3) 法面被覆用草の種子	nr.	432,330	4. サポートプログラム		
(4) リップ被覆工	m	91,420	1) サポートプログラム	Ls	1
(5) 法面被覆工	m <sup>2</sup>	86,466			

出典：JICA 調査団

(5) 流域保全事業で期待される貯水池流入土砂量軽減の効果

表 6 に示すように、畑地からの表層土壌浸食に起因する貯水池への年平均流入土砂量は、現況の 2.95 百万 m<sup>3</sup>/年である。下表の 21 及び 22 に示すように流域保全事業により、1.61 百万 m<sup>3</sup>/年 (現況の約 55%) に軽減されることが期待される。

表 21 流域保全事業によって期待される支流域別貯水池流入土砂量の軽減

支流域	現 況		流域保全実施後		軽減量	
	流入土砂量 (堆砂ベース)	流亡土砂量	流入土砂量 (堆砂ベース)	流亡土砂量	流入土砂量 (堆砂ベース)	流亡土砂量
	(1,000m <sup>3</sup> )	(1,000 トン)	(1,000m <sup>3</sup> )	(1,000 トン)	(1,000m <sup>3</sup> )	(1,000 トン)
(1)クドワン	1,134	5,112	718	3,237	416	1,875
(2)ティルトモヨ	470	4,786	229	2,331	241	2,455
(3)テモン	61	974	29	457	32	517
(4)ソロ	591	3,808	297	1,914	294	1,894
(5)アラン	327	1,057	159	516	167	541
(6)グンガハン	183	777	75	317	109	460
(7)ウルヤントロ	85	360	61	260	24	100
(8)残流域	96	405	40	170	55	235
合計	2,947	17,279	1,609	9,202	1,338	8,077

注 1：貯水池流入土砂量は次式から算定した。

$$(\text{貯水池流入土砂量 (m}^3\text{)}) = (\text{浸食土砂量(トン)}) \times (\text{流域毎の Sediment Delivery Ratio}) / (\text{堆砂の乾燥密度 } 1.064 \text{ (トン/m}^3\text{)})$$

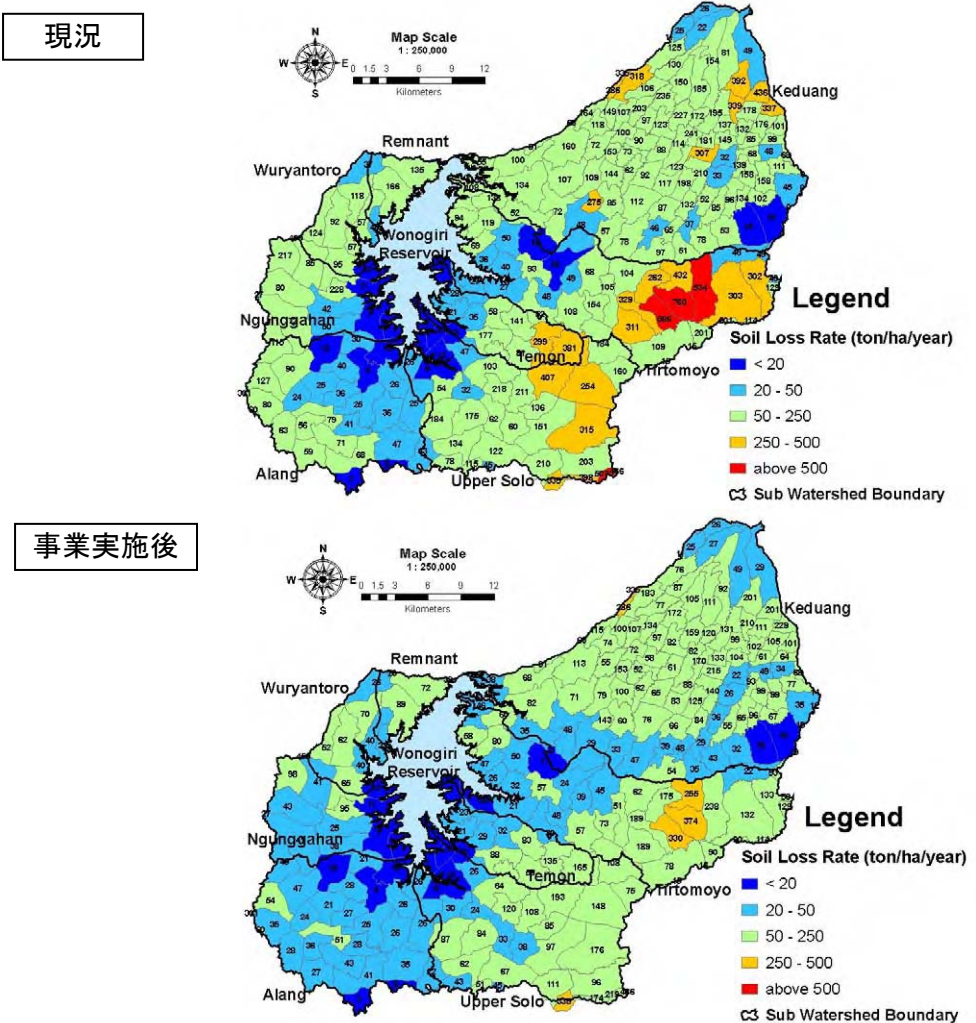
注 2：上記の流入土砂量は、すべて畑地からの表層土壌浸食に起因する貯水池への年平均流入土砂量を対象としている。

出典：JICA 調査団

表 22 流域保全事業によって期待される全流域地目別年平均流亡土量の軽減

土地利用地目	年平均流亡土量(1,000 トン)		軽減年平均流亡土量 (1,000 トン)
	現況	流域保全事業実施後	
(1)水田	18	18	0
(2) 村落			
(i) 村落敷地	1,761	1,564	197
(ii) 村落内畑地	3,792	2,373	1,419
(3) 畑地	9,120	3,856	5,264
(4) 果樹・プランテーション	1,071	1,071	0
(5) 森林	14	14	0
(6) 森林公団地			
(i) 森林	16	16	0
(ii) 他の利用 (植林過程の小 木や畑地)	1,454	256*	1,198
(7) その他 (湖、道路、河川等)	34	34	0
<b>合計</b>	<b>17,279</b>	<b>9,202</b>	<b>8,077</b>

注: \*: 森林公団の他の利用地からの年平均流亡土量は、植林過程に発生する害虫被害やその他のリスクを考慮し、将来、森林公団の他の利用地の 90%が森林地になるものと仮定した。 出典: JICA 調査団



出典: JICA 調査団

図 26 流域保全事業によって期待される村落別年平均流亡土量の軽減

## 10. 初期環境調査 ( I E E )

ウォノギリダム流域、マディウン川合流点までのソロ川を対象として、初期環境調査 (IEE) を実施するとともに、ドラフト・スコーピングの見直しを行った。

IEE において、マスタープラン調査で検討した各プロジェクトコンポーネントの物理的環境 (地形・地質、水文、水質、底質、地下水、土壌等)、自然環境 (植生、陸上動植物、水生生物、貴重種等)、社会・経済環境 (人口統計、土地利用、貯水池周縁グリーンベルト、内水面漁業、社会経済開発計画、水利用、ごみ問題、本プロジェクトに対する認識等) の現状を把握し、建設前、建設工事中、操業時の環境影響を評価した。

検討の結果、プロジェクトの各コンポーネントは重大な社会環境影響を及ぼすものではなく、適切な管理により負の影響を低減することができるものと判断された。また、コンポーネントの種類・規模についても、インドネシアが定めた環境影響評価制度 (AMDAL) で環境影響評価を実施すべき規模には該当していない。以上より、本プロジェクトは、カテゴリ B<sup>1</sup> に分類できるものと判断される。

## 11. 堆砂対策マスタープランの策定

### 11.1 緊急対策 (クドワン川からの流入土砂対策)

クドワン川からの流入土砂対策として、新設ゲート付貯砂ダム案と流域保全事業を提案する。流域保全対策事業の対象地区は、83 村で 11,260 ha である。この効果が適正に発揮されれば、貯水池流入土砂量を年平均 42 万 m<sup>3</sup> 減少できるものと想定される。この効果と貯砂ダム案の設計排砂量 70 万 m<sup>3</sup>/年 (ゲート規模を 4 門から 2 門に減少<sup>2</sup>) を合わせることで、図 28 に示すように現クドワン川年平均流入土砂量 122 万 m<sup>3</sup> の大半を処理することが可能となる。

また、取水口周辺にはクドワン川の流入土砂が越流堤を通して年間 10 万 m<sup>3</sup> 流入するため、取水口周辺の堆砂の維持管理を目的として浚渫工を補助工法として組み合わせる。

以上より、クドワン川貯水池では施設対策、流域保全対策により土砂バランスが確保される。

### 11.2 中期対策 (その他の支川からの流入土砂対策)

その他の支川からの土砂流入対策として、ティルトモヨ川流域 29 村、テモン川流域 8 村、ソロ川流域 25 村、アラン川流域 19 村、その他の流域 16 村の計 97 村、23,120 ha を対象地区として流域保全対策を実施する。全ての対策工の効果が確実に発揮さ

<sup>1</sup> カテゴリ A : 環境や社会への重大で望ましくない影響のある可能性を持つようなプロジェクト。また、影響が複雑であったり、先例がなく影響の予測が困難であるような場合、影響範囲が大きかったり影響が不可逆的である場合。さらに、相手国政府等が定めた環境に関連する法令や基準等で詳細な環境影響評価の実施が必要となるプロジェクト。影響は、物理的工事が行われるサイトや施設の領域を超えた範囲に及びうる。カテゴリ A には、原則として、影響を及ぼしやすいセクターのプロジェクト、影響を及ぼしやすい特性を持つプロジェクト及び影響を受けやすい地域あるいはその近傍に立地するプロジェクトが含まれる。

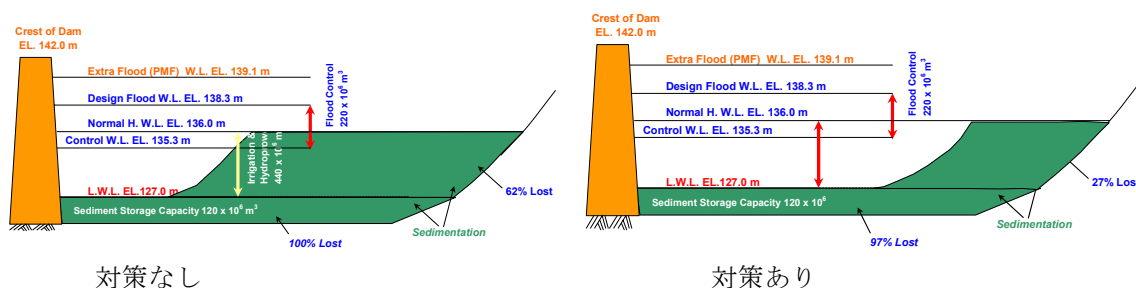
カテゴリ B : 環境や社会への望ましくない影響が、カテゴリ A に比して小さいと考えられる協力事業。一般的に、影響はサイトそのものにしか及ばず、不可逆的影響は少なく、通常の方策で対応できると考えられる。

(出典 : JICA 環境社会配慮ガイドライン、2004 年 4 月)

<sup>2</sup> 主報告書 11.3.1 節に詳述しているように、2006 年 7 月 16 日に開催されたステアリングコミッティ会議にてマスタープランが承認されたが、貯砂ダム案の建設費低減の強い要望があった。このため、ゲート門数を変化 (1 門から 4 門まで) させて堆砂シミュレーションを実施し、単位排砂量当たりの直接工事費で比較検討した結果、ゲート数は 2 門が最適と決定した。

れ維持管理されれば、年平均 92 万 m<sup>3</sup> の貯水池流入土砂量の減少を期待できる。これにより、図 28 に示すようにクドワン川を除く支川からの年平均流入土砂量 196 万 m<sup>3</sup> は約 104 万 m<sup>3</sup> に軽減し、計画堆砂量の 120 万 m<sup>3</sup>/年以下で堆砂管理することが可能となる。

下図は本マスタープランを実施した場合と実施しない場合の 100 年後のウォノギリ貯水池の堆砂形状である。貯水池堆砂対策事業の実施により、有効貯水容量の損失は 62%から 27%に軽減される。



出典：JICA 調査団

図 27 100 年後のウォノギリダムの堆砂状況

### 11.3 優先事業の選定

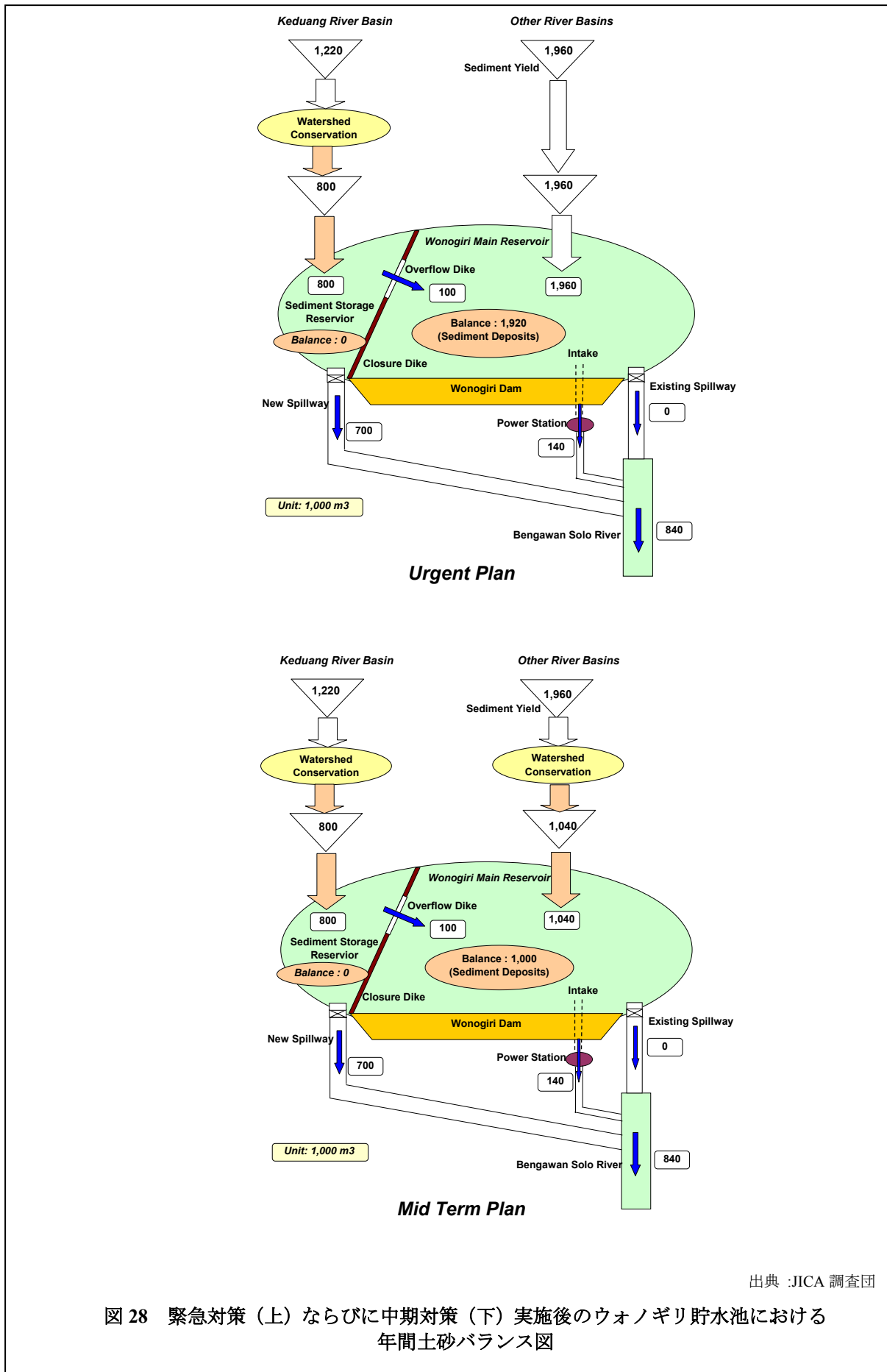
本堆砂対策事業は、緊急・中・長期の 3 ステージにて段階実施する。各ステージの目標・目的を下表に示す。緊急対策である取水口機能維持を目的とした新設ゲート付貯砂ダムの建設及びクドワン川の流域保全事業を優先プロジェクトとして選定し、第 2 フェーズで優先プロジェクトのフィージビリティ調査を実施した。

表 23 事業の段階実施

事業実施フェーズ	目的
<b>1. 緊急対策</b>	<b>■取水機能の維持</b>
a. 新設ゲート付貯砂ダムの建設	■ クドワン川から流入する土砂とゴミを貯水池分離施設により取水口と分離し、新設排砂ゲートから排砂する。
b. クドワン川流域の流域保全	■ クドワン川流域の土壌浸食量の抑制と貯水池流入土砂量の軽減
c. 取水口周辺の維持管理浚渫	■ 取水口周辺の堆砂とゴミ流入に起因する取水口閉塞の回避
<b>2. 中期対策</b>	<b>■ウォノギリ貯水池機能の維持</b>
a. その他の支川流域の流域保全	■ クドワン川以外の流域における土壌浸食量の抑制と、それによる貯水池流入土砂量の軽減
<b>3. 長期－継続対策</b>	<b>■ウォノギリ貯水池機能の維持</b>
a. 流域保全工の継続的なりハビリテーション	■ ウォノギリダム流域の流域保全工の機能の維持

出典：JICA 調査団

なお、長期－継続対策として、流域保全工のリハビリテーションを提案した。これは、事業実施後の流域保全工の機能を維持することを目的としたものである。



出典 : JICA 調査団

図 28 緊急対策（上）ならびに中期対策（下）実施後のウォノギリ貯水池における年間土砂バランス図

また、事業実施と平行して、貯水池堆砂状況のモニタリング、i) 3年毎の貯水池深浅測量、ii) 雨期2ヶ月毎の取水口前面堆砂測量を実施することが推奨される。貯水池堆砂のモニタリングの継続によってのみ、その量と変動を確実・正確に把握することが可能となる。これにより、流域保全対策事業による流入土砂量の軽減量もモニタリングされることになる。

### 11.4 事業実施計画

マスタープランで提案されたウォノギリ貯水池堆砂対策事業の実施スケジュールを下表に示す。

表 24 ウォノギリ貯水池堆砂対策事業の実施スケジュール

対 策	2006					2010					2015					2020					2025				
	5 years					10 years					15 years					20 years									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
1 緊急対策																									
(1) 資金調達																									
(2) 新設ゲート付貯砂ダム																									
(3) クドワン川流域の流域保全																									
(4) 取水口周辺の維持管理浸漕																									
2 中期対策																									
(1) 資金調達																									
(2) その他の支川流域の流域保全																									
1) ティルトモヨ																									
2) ソロ上流																									
3) アラン																									
4) テモン																									
5) ゲンガハン																									
6) ウルヤントロ																									
7) 残流域																									
3 長期-継続対策																									
(1) 流域保全工の継続的なリハビリテーション																									
4 モニタリング																									
取水口周辺堆砂状況の定期モニタリング																									
貯水池全体堆砂状況の定期モニタリング																									

凡例: □ 資金調達    ▨ 設計    ■ 建設    ◻ 調達

出典：JICA 調査団

### 11.5 事業費の概算

マスタープランで提案されたウォノギリ貯水池堆砂対策事業の概算事業費は表 25 のとおりである。

### 11.6 事業の経済評価

緊急対策事業の経済的妥当性は、事業実施後 50 年間の経済的内部収益率 (EIRR) で評価し、機会均等費用は 12% と想定した。事業便益は、“事業を実施した場合”、“事業を実施しなかった場合” に得られる将来便益の差で算定した。

本事業の事業便益は、灌漑、発電、流域保全便益から成る。灌漑及び発電便益の算定は“事業無し”の場合、2022 年にダム前面のクドワン川流入部が満砂状態となるため、その時点で灌漑用水・発電取水の供給が不能となり取水機能を喪失するものと想定した。流域保全便益は、土地の改善による農業生産の向上とアグロフォレストリーによる果樹生産の向上から発生する便益である。

本事業の EIRR は 16.4% であり、経済的裨益効果は極めて高い。

表 25 概算事業費

対 策	事業費 (US\$ 1000)
1. クドワン川流入土砂対策、ゴミ対策	
a. 新設ゲート付貯砂ダムの建設	36,070
b. クドワン川流域の流域保全	13,835
c. 取水口周辺の維持管理浚渫	3,586
小 計	53,491
2. その他の支川流域の流域保全	
a. ティルトモヨ川流域	10,433
b. ソロ川流域	11,049
c. テモン川流域	2,418
d. アラン川流域	4,856
e. グンガハン川流域	2,807
f. ウルヤントロ川流域	2,148
g. 残流域	1,349
小 計	35,060
合 計	88,551

出典：JICA 調査団

### 11.7 維持管理能力

ウォノギリダムの運用操作、維持管理の責任機関は水公団 (PJT I) ソロ支所である。2003 年にソロ川開発事務所 (PBS) からその権限を委譲された。主な収入はウォノギリ発電所、ダム下流の飲料水・工業用水利用者からの水利使用量である。これらの収入の一部がダムの維持管理費として充当され、2005 年は 6,106 百万ルピアである。

水公団 (PJT I) ソロ支所は上記収入の 30% を最大限として維持管理費として使用できることになっている。2005 年の実績では、維持管理費は全収入の 24% であった。しかし現時点では、水公団ソロ支所が割り当てている維持管理費は、通常土木施設の維持管理に必要とされている費用 (建設費の約 1.3% 程度) の 4% に過ぎない状況である。

### 11.8 流域保全・管理に係わる組織体制

ウォノギリダム流域における現地、州、国家レベルの流域保全・管理組織体制に関する組織調査を実施した。一般的な観点から見れば、既存の流域管理組織の体制は十分なものといえる。しかし、いくつかの重大な問題点が指摘されており、その対応策として以下の点が提言される。

表 26 ウォノギリダム流域保全・管理における組織体制上の問題点と推奨する対策

問題点	提 言
1. 私有林、国有林不法伐採に見られるような法的執行力の欠如	ウォノギリ県に、中部及び東部ジャワ州知事と中央政府担当機関からの行政及び財源支援に裏付けられたセクター横断的なタスクフォースを設立する。
2. 県・州レベルの地方政府における資金・財源の不足	地方分権化政策の一環として、中央政府 (森林省、農業省) はより多くの予算 (資金) の移転を行うとともに、県の森林・農業分野の現地スタッフやリソースを強化する。

3. ウォノギリダム流域保全管理を行うセクター横断的な管理体制の不在	ウォノギリ県及びパチタン県のメンバーからなるウォノギリダム流域保全調整委員会を早急に設立する。
4. 私有林と国有林に対する中央政府の規定が標準化されていない。	BPDAS Solo（森林省ソロ川流域管理事務所）は、ソロ川流域における非国有林と同様に森林公団の活動も管理すべきである（現状では管理責任が国有林以外に限られている）。
5. 流域保全・管理が十分に重要視されていない。	上記に加え、ウォノギリ県の環境・森林・鉱山部の下に森林事務所があるが（Sub Dinas）、これを森林部（Dinas）に格上げし組織強化する。

出典：JICA 調査団