

第 3 章

水源となる河川の何をどのように理解するか？

PMS 方式灌漑事業を開始するにあたって、どのような視点で 水源となる河川を知る必要があるでしょうか。

PMS 方式灌漑事業を計画し実施するためにはまず水源となる河川を知る必要があります。河川は常に変動しており、洪水や渇水などの現象が生じます。洪水時にも渇水時にも河川から安定して取水できる灌漑施設を建設し、施設を適切に運営・維持管理していくためには、洪水時や渇水時の河川の状況を知る必要があります。

対象河川流域や河道に関わる既存関連資料を収集・整理し、現地で聞き取りおよび観察を行い、さらに灌漑施設を計画・設計するために河川測量等を実施します。現地に足を運ぶことが必須です。これら一連の作業を通じて、対象河川について、以下に示す具体的な状況を確認します。

- 河道の変動（安定した濡筋、流れの方向、河床変動） 砂州の変動（安定した砂州、土砂の浸食・堆積）を確認して、どこが取水しやすいか把握します。
- 洪水時・渇水時の河川の流況を観察して、どこが氾濫しやすいか、どこに洪水の力が集中しそうか、渇水時にどの程度の取水が可能かを把握します。
- 洪水による越水や施設の破壊を防ぐため、また、渇水時にも取水できるようにするため、洪水期及び渇水期の河川の水位、流速、流量を把握します。

次ページ以降では、このような河川状況の理解に必要な一連の調査方法について解説していきます。

3.1 なぜ河川状況を理解しなければならないか？

アフガニスタンにおける標高4,500m以下の山々を源流とする流域でも、温暖化が顕著になる以前は、夏季においても山頂付近の積雪が無くなることはなく、夏季の緩やかな雪解け水が地下水を涵養し、冬季（渇水期）にあっても山麓の河川や地下水を潤していた。農民は、これら河川水・地下水を水源として、ジューイ（中小河川からの小規模用水路）やカレーズ（地下水を地表に導く横井戸）等の伝統的灌漑施設を通じて灌漑を行っていた。しかしながら1990年代以降、温暖化が顕著になり、夏季には積雪が消失し、降水があっても地下に涵養されることなく一挙に流下するようになった。このため河川は夏季に水がなくなり、地下水位も大幅に低下した結果、ジューイやカレーズによる取水が困難となり農民の死活問題となっている。図3.1参照。このような問題に対処するためには、カレーズをより深くして再生するか、貯水池を作るかしかなく、それができなければ、水がある時期の農業に集中していかざるを得ない。

一方、標高4,500m以上の山々を源流とする大河川流域では、夏季に雪線が無くなることはなく、冬季でも一定量の水が流れているので取水が可能である。但し、このような大河川では、以前は夏季（洪水期）に雪線が徐々に上昇して融雪水がゆっくりと流出していたが、温暖化の影響から、夏季に雪線が急上昇して急激な融雪出水となり、深刻な洪水が発生している。このため大河川を水源とする場合、洪水被害を最小限に抑え、安定した取水量をいかに確保するかが重要な課題である。

洪水期でも渇水期でも、安全に安定して必要な灌漑用水を河川から取水するために、川の水位を堰上げて用水を引き込む取水堰と取水門が必要である。そして、それら構造物や農地を洪水から守るために、堤防や護岸や水制工などが必要である。このような水利施設や洪水対策施設は、河道内、あるいは河川に隣接して構築される。したがって、安全で安定した構造物を計画・設計していくためには、洪水期や渇水期の河川状況の理解が欠かせない。また、河川に構造物を建設するとその上下流、左右岸の河川の流れに必ず影響を与え河道状況も変化する。さらに、河川から取水すると下流の流況が変化し、特に冬季の流量減少は下流の水利用に影響を与える恐れがある。

以上により、PMS方式灌漑事業において把握すべき河川状況とその把握方法は表3.1のようにまとめられる。まず既存情報を収集・整理して分析し、その後、現地での聞き取りおよび観察を行って河川状況を把握する。そして、施設の計画・設計のための河川測量等を実施する。以上のような観察や調査を実施していく際には、得られた情報やデータを灌漑事業の計画・設計・建設・維持管理にどのように生かしていくかという視点が大事である。

表 3.1 把握すべき河川状況とその把握方法¹⁾

把握すべき河川状況	河川状況の把握方法
<p>•河川流域の状況 流域の地形や植生等を把握して、洪水流出特性、濁水流出特性および地下水涵養状況などを分析する。また、流域内の灌漑地域や都市・村落の存在、土地利用状況など、どのような水資源利用が行われているのかについて把握する。</p> <p>•河道の状況 河道の変動(安定した滞筋、流れの方向、河床変動)および砂州の変動(安定した砂州、土砂の浸食・堆積)を確認し、取水しやすい地点を把握するなど、施設計画・設計に必要な情報を得る。</p> <p>•河川の流況(洪水と濁水状況) 洪水時・濁水時の河川の水位、流速、流量を把握して河川流況を明らかにし、どこが氾濫しやすいか、どこに洪水の力が集中しそうか、濁水時にどの程度の取水が可能かなどを分析し、施設計画・設計に活用する。なお、流砂量・粒径や水質についても把握する。</p> <p>•河川構造物建設による河川の流れ・河道への影響 PMS方式灌漑事業において新たに建設する河川構造物が、その上下流・左右岸に位置する構造物や河道・堤内地に及ぼす影響を検討する。特に、堰建設による上流側水位の堰上げによって新たな洪水氾濫が生じないかどうかについて注意深く検討する。</p> <p>•灌漑用水取水による下流の水利用への影響 国家水資源管理機構(NWARA)水利権局に登録されている水利権を調査し、取水地点近傍における現在の水利用状況を把握し、計画している新規の灌漑用水取水が、取水地点の上下流・左右岸、特に下流側の水利用に影響を及ぼさないかどうかを注意深く検討し、関係者と調整する。</p>	<p>•既存情報の収集と整理 Google Map等の衛星画像、既存の地形図、数値標高モデル、地質図、気象・水文資料、水利権、河川構造物などの既存情報を収集し整理する。</p> <p>•住民への聞き取り調査 必ず現地に行き現地で聞き取りを行う。現地状況や洪水時状況については、位置情報(緯度経度など)および現地写真と共に聞き取り情報を記録する。また、多様な情報を集めて整理し、それらの整合性を確認して、聞き取りの正確性を確認する。</p> <p>•河川状況の観察・観測とその整理 既存情報と聞き取り調査だけでは、情報が不十分であることが多く、現地での観察と観測は、河川状況を把握するためには特に重要である。常に変化する河川状況を把握するには、定期的に現地に足を運び、その時々状況を把握する必要がある。特に、洪水時や低水時の河道や流れの状況は、事業責任者が自ら現地に足を運び観察することを原則とする。写真やスケッチなどを活用して観察・観測結果を整理する。</p> <p>•河川測量・調査検討 河川の横断測量、縦断測量、平面測量を行い、図面を作成する。河床材料調査も河道特性を把握する上で大切である。これら資料をもとに、不等流計算等による河川の水理諸量について検討する。</p>

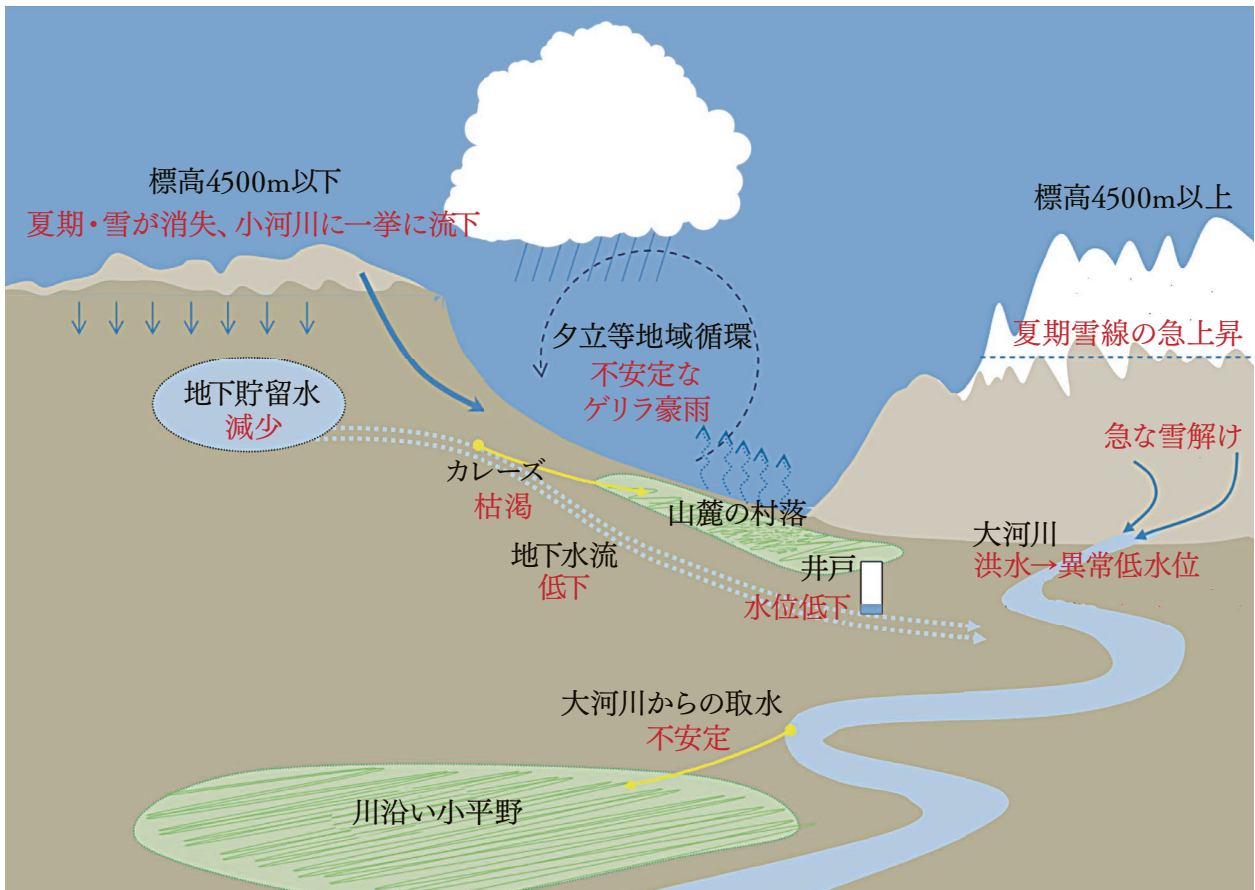


図3.1 アフガニスタンにおける深刻な気候変動が発生した後の河川流域の水循環³⁾

3.2 既存情報の収集と整理

3.2.1 河川流域の状況

河川流域の状況を調査して、当該河川の洪水期の洪水流出や渇水期の渇水流出の特性や降水の地下涵養状況を分析し、灌漑事業の計画、設計、施工、維持管理の基礎資料とする。調査対象項目及び主たる調査内容は以下の通り。

【地形】

Google Map等の衛星画像、既存の地形図⁴⁾、数値標高モデルに基づき、山地、崩壊地、谷底平野、扇状地、氾濫原、旧河道等の地形分類を行い、洪水氾濫や地滑り等の自然災害リスクが高い個所を特定し、取水位置特定の基礎資料とする。また、対象河川流域内の本川・主要支川の流域界、流域面積、主要山脈と標高、水源、水系（本川・主要支川）等を調べ、下記の調査項目【気象・水文】において明らかにすべき水循環及び河川流量分析のための基礎資料とする。さらに現地調査に必要となる、対象河川付近の都市や村落、アクセス道路などの情報を確認する。

【地質】

アメリカ地質調査所(USGS: United States Geological Survey)⁵⁾ Geologic Map、アフガニスタン地質調査所(AGS: Afghanistan Geological Survey)、地盤・水理地質局(DGEH: Department of Geo-Engineering and Hydrogeology)等の既存の地質図や現地踏査に基づき、対象河川流域内の地質を概査し、流域の保水性にかかわる予備調査を行う。一般的には、透水性が高い火成岩や礫岩等の地質を多く含む河川流域は保水性が高く、降水を涵養し、より豊富な乾季の河川流出量を灌漑水源として期待出来る。また保水性が高い流域に灌漑用貯水池を建設した事例では、貯水池周辺の地下水涵養を促し、植生の拡大に役立つことが実証されている。さらに地下水の低下に起因して使用不能となっている多くのカレーズの機能回復につながることも期待できる。

【気象・水文】

対象河川流域の気温、降水量、積雪量等の気象・水文諸量を整理し、さらに上記の地形や地質情報に基づき、対象河川流域の源流や河川の流下方向や地下水涵養状況を分析し、対象流域の水循環の概要を把握する。また流域内の降水に応じて河川流量がどう応答するか、融雪や気温に応じて河川流量がどう応答のかなど流出特性を把握する。必要に応じて流出解析や流出モデル構築などを行い分析する。さらに、降水量等の気象状況の把握は、灌漑事業の工事スケジュール設定や安全管理等に役立つ。分析に必要な気象データは、主に3つの機関(①アフガニスタン運輸・民間航空省気象局(AMD)、②アフガニスタン農業・灌漑・畜産省(MAIL)、③アフガニスタン国家水規制庁(NWARA))から収集可能である。また、河川流量データに関してはNWARAが有力なデータソースとなる。

【植生】

PMS中村哲医師によれば、アフガニスタンの気候変化に起因して、雪線付近にベルト状に広

がっていたヒマラヤスギやクルミの自然林が薄くなり、河沿いの小平野で見られたシーシャム（南アジアに自生するマメ科の常緑広葉樹）が激減し、大地の乾燥化を助長している。このような状況を考慮して Landsat 衛星画像や Provincial Landcover Atlas of Afghanistan (FAO) の 1/500,000 地図等に基づき対象河川流域の時系列の植生変化を確認する。

【河川水質】

河川水質について、上流部の生活排水や農薬等を含む灌漑排水等の影響を確認し、取水地点において灌漑に適した用水を得られるかどうかについての確認は重要である。特に、上流部や近隣に街が開発され工場等が建設されて水質悪化の懸念がある場合は、十分に現況と将来の河川水質を確認する。

【水利施設】

アフガニスタンには、ジューイ（中小河川からの小規模用水路）や1970年代以前にロシア、中国、アメリカ等の援助により建設された大規模な灌漑用の取水堰、貯水池、ダム、ポンプ場等の水利構造物が存在する。さらに地下水を地表へ導くカレーズが存在する。対象河川流域にこれら施設が存在する場合、それら施設の現在の有用性を確認するとともに新規のPMS方式灌漑事業の必要性及び適性を評価する。さらにPMS方式灌漑事業が既存構造物の有効な機能を減じないように留意する。

【洪水対策施設】

アフガニスタンには、これまでの既存プロジェクトなどにより建設されてきた堤防や護岸などの洪水対策施設が存在する。洪水対策施設の存在は、その地域が洪水の脅威にさらされ洪水対策施設が建設されてきた経緯が考えられることから、これらの存在状況を確認して、洪水氾濫のリスクを評価するとともに、その有用性を確認し、PMS方式灌漑事業での対策の必要性及び適正を評価する。

【土地・水資源利用】：対象流域内の灌漑地域や都市・村落の存在およびその他の土地利用状況を確認すると共に、どのような水資源利用が行われているのかについて確認する。土地に関しては、測地地図庁 (AGCHO: Afghan Geodesy and Cartography Head Office) の 1/5,000 公図・地籍測量図から私有地等を確認する。

3.2.2 | 河道状況

(1) 河道の区分とその特徴

河道は、表3.2に示すように、似たような特徴のある区間に分類することができる。一般に河川は、下流ほど流量が増え、水深が深くなり、勾配が緩く、河床材料が小さくなる。これを参考として、対象とする河道の状況や流れの特徴を事前にイメージしておくことが大切である。山がちなアフガニスタンの河川流域は概ね山間地～谷底平野に地形区分され、セグメントとしては下表のM、1、2-1に該当するが、正確な分類を行う場合は、河川測量や河床材料調査などから、対象とする河道の特徴を把握する必要がある。

表3.2 河道の区分とその特徴²⁾、[6]を参照]

	セグメントM	セグメント1	セグメント2		セグメント3
			2-1	2-2	
地形区分	← 山間地 →	← 扇状地 →	← 谷底平野 →		← 自然堤防 → ← デルタ →
河床材料の代表粒径 d _R	多種多様	2cm以上	3cm~1cm	1cm~0.3mm	0.3mm以下
河岸の構成材料	河床河岸に岩が出ていることが多い	表層に砂、シルトが乗ることがあるが、薄く、河床材料と同一物質が占める	細砂、シルト、粘土の混合材料。ただし下部では河床材料と同一		シルト、粘土
勾配の目安	多種多様	1/60~1/400	1/400~1/5,000		1/5,000~水平
蛇行程度	多種多様	曲がりが少ない	蛇行が激しいが、川幅水深比が大きいところでは8字蛇行又は島の発生		蛇行が大きいものもあるが、小さいものもある
河岸浸食程度	非常に激しい	非常に激しい	中 (河床材料が大きいほうが、河道がよく動く)		弱 (ほとんどの河道の位置は動かない)
河道の平均深さ	多種多様	0.5~3m	2~8m		3~8m

緑色：多くのアフガニスタンの河道がここに分類される

(2) 河川構造物の予定地点における河道状況の把握

地形図、Google Map、衛星写真などを利用して、河道区分の特徴を参考にしながら、蛇行状況や河岸浸食の歴史的な変遷を明確にすると共に、湾曲部の外側の川の流れが固定化しているか、そこは岩盤を背にしているか、河道に安定した単砂州があるか、川幅が広い狭いかなど、過去から現在までの河道の変遷状況を確認する。特に、現在の滞筋の場所や過去の滞筋の変遷を確認することが取水堰や取水門の位置を決定する上で重要な要素となる。

河道を横断的に見たときに最も深い場所が滞筋であり、主要な河川水量が流下する部分である。クナール川における滞筋の変遷は、衛星画像から抽出すると、図3.2に示す通りであり、既存のPMS灌漑事業で建設した堰の位置を示している。マルワリード第I・II堰 (Marwarid I・II) やカマ第I・II堰 (Kama I・II) では滞筋の経年変化が極めて少なく安定しており、取水に適していると言える。一方、ミラーン堰 (Miran) では滞筋は頻繁に移動しており、取水口への安定した導水のために河道掘削などの維持管理が不可欠になっている。

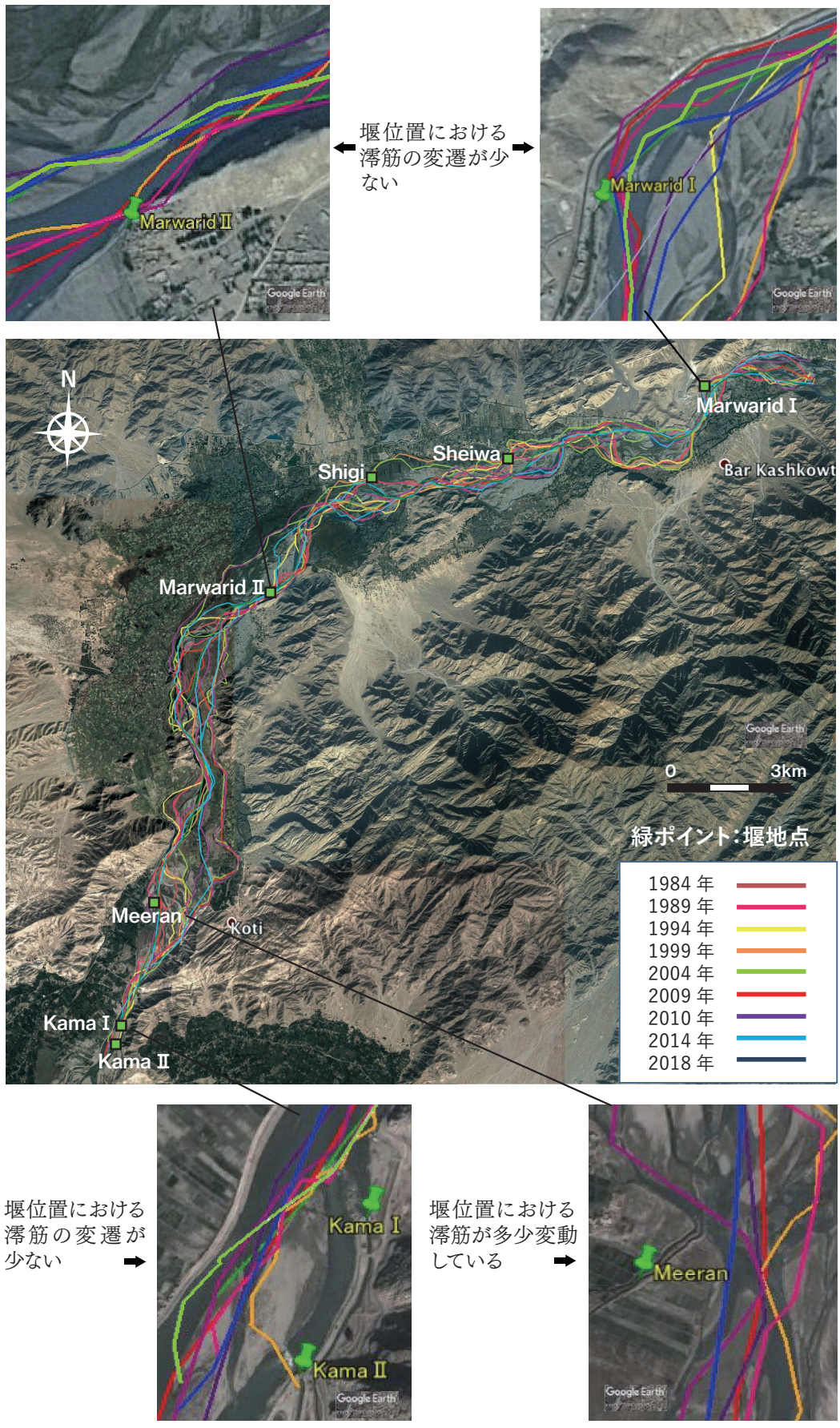


図3.2 滞筋の変遷²⁾

3.2.3 | 洪水時及び低水時の河川流量と流況

洪水時や低水時に河川構造物が安全にその機能を十分発揮できるようにするため、洪水時および低水時の河川流況の情報を収集し確認する。また、灌漑用水取水による上下流、左右岸の河川流況への影響を分析して把握する。

(1) 既存の気象・水文資料の収集・整理

灌漑事業の対象地域近傍の観測所で記録された気象水文資料を収集整理して、洪水流量や濁水流量を確認する。収集すべき気象水文資料の種類は、降水量、気温、河川水位、河川流量などであり、収集先は以下の通りである。

- ・NWARAが雨量年表や流量年表として発行している日毎の降水量や流量等のデータ。参考として図3.3に流量年表と年間変動図の例を示す。そこには、年最大・最小・平均・比流量などの統計値が含まれている。また、NWARAは降水量や流量の発生頻度解析結果を整理して取りまとめている。NWARAでは、国際協力機構による水文・気象情報管理能力強化プロジェクト(JICA-HYMEP)⁷⁾や世界銀行による灌漑設備修復開発プロジェクト(WB-IRDP)⁸⁾を通じて、アフガニスタン全土の水文・気象観測所の整備、データ蓄積および水文・気象分析が実施されており、水文気象データの観測・蓄積および提供体制の構築が進められている。また、流量を算定するための水位についても観測されている。
- ・MAILが所管する農業気象観測所及びAMDが所管する気象観測所で記録された気象データ。
- ・USGSのWebsite⁹⁾から入手可能な過去の流量観測データや水文頻度解析結果。具体的には、1970年代までの流量データ(月最大・最小・平均、流量頻度解析結果など)古いデータのため、現状とは異なっている可能性があることに留意する。

灌漑事業の対象地域近傍の気象・水文観測所とは、取水予定地点から最も近い観測所を意味し、同じ流域内の観測所が望ましい。流域内に観測所がない場合は近くの流域の観測所データを利用するが、流域の流出特性の違いなどに留意する。取水予定地点の流量は、観測所の流量データから、両地点の流域面積比に基づいて計算することを原則とする。すなわち、観測所の比流量から取水予定地点の流量を推定する。気象水文資料は可能な限り長期間のデータ、少なくとも直近の10年以上のデータを収集する。流量データが近傍にない場合に関しては、1年程度の流量観測が求められる(流量観測については3.4.2節参照)。なお、灌漑用水取水により水利用に影響を及ぼす可能性がある下流地点が、遠く離れている場合やその間に支川等の合流がある場合は、下流影響地点の流量データについても同様に調査し推定しておく必要がある。

River basin	Kabul	Code 1-0.000	Water year 2018
River	Kunar	Code 1-4. L00	Elevation 558 m+m.S.I
Station	Pul-i-Kama	Code 1-4. L00 -1A	Drainage Area 26005 Km ²
Gage	Staff	Location Lat. 34.46870566 N	Long. 70.66703066 E

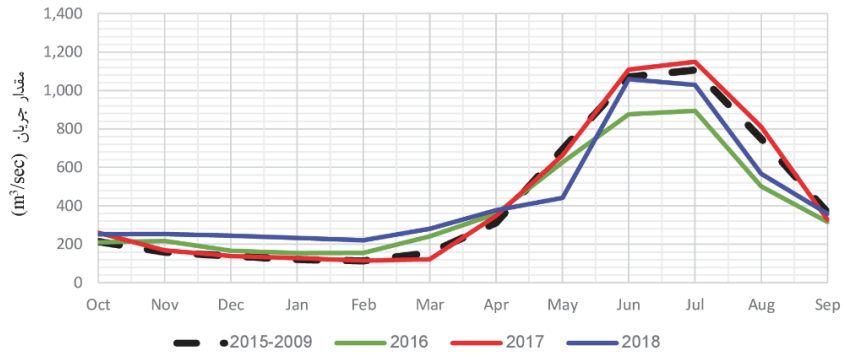
Discharge daily means												
	2017						2018					
Date	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
1	269	261	269	243	227	269	327	386	622	960	622	467
2	251	261	261	243	219	285	360	420	643	1046	622	513
3	251	261	261	243	219	330	414	414	622	1130	608	464
4	261	261	261	243	219	305	396	376	618	1028	616	426
5	243	261	261	243	219	286	376	376	770	977	601	402
6	243	261	243	243	219	267	376	346	994	1028	629	396
7	261	261	243	243	219	243	380	370	1113	1011	622	390
8	261	261	236	236	219	243	420	360	1181	960	608	386
9	269	261	243	243	219	261	626	360	1232	977	694	380
10	261	261	243	243	227	243	471	386	1164	1652	694	380
11	243	261	243	243	227	227	386	467	1130	1062	636	376
12	261	261	261	243	227	236	340	680	1216	977	674	380
13	269	261	261	243	227	326	330	613	1283	1011	694	376
14	261	261	261	236	219	370	326	644	1249	994	674	376
15	261	269	243	227	219	346	316	638	1046	1011	616	366
16	261	261	243	219	219	326	331	613	1181	1198	608	366
17	261	261	243	219	219	286	396	464	1130	1181	694	366
18	261	296	243	219	219	280	444	478	1181	977	662	360
19	261	261	243	219	219	267	460	499	1046	1011	694	360
20	261	261	243	219	219	269	426	492	1412	1096	660	366
21	261	261	261	227	219	243	390	432	1384	1096	662	360
22	261	261	243	227	219	243	366	402	1412	1164	666	346
23	269	261	243	227	219	267	340	376	1384	1249	662	339
24	261	269	236	227	211	280	340	376	1266	1130	680	337
25	269	261	236	227	227	267	340	386	1266	1079	370	334
26	261	261	243	227	211	280	366	380	1130	1011	687	326
27	269	261	243	227	219	296	360	390	922	1046	613	290
28	269	261	261	227	269	306	346	426	687	846	464	243
29	261	269	243	227		306	366	613	694	884	444	189
30	269	261	243	227		296	360	644	884	618	460	169
31	261		243	227		290		601		680	460	

Monthly summary												
Date	6	1	8	16	24	11	16	6	28	31	26	30
Min.	243	261	236	219	211	227	316	346	687	680	370	169
Mean	262	263	246	232	222	281	378	442	1069	1029	666	369
Max.	269	296	269	243	269	370	626	601	1412	1652	636	613
Date	1	18	1	1	28	14	9	31	20	10	11	2
Time												
Mm ³	676.7	666.6	666.4	622.6	636.0	761.6	978.6	1183	2744	2756	1617	931.3

Tot. Runoff	14007	Mm ³		Record	Available	Jan.1967			
Q - m ³ /sec	Min	169	Mean	443	Max	1652	Peak on Record	Q:2360	Jul.18,1973
q-L/sec Km ²	Min	6.41	Mean	17.0	Max	69.7	Lowest on Record	Q:46.0	Feb.26,1976

河川流量年表の例

هایدروگراف مقایسه‌ی استیشن پل کامه



河川流量の年間変動図の例

図3.3 流量年表の例と河川の1年間の水位・流量変化¹⁰⁾

このようにして作成された取水予定地点における長期間の日流量年表を基にして、図3.3のような河川流量の年間変動図を作成し、河川流量の年間変動特性を把握する。すなわち、河川流量は、いつごろからどのくらい増加し、いつ頃から減少し始め、いつどのくらいまで減少していくのかについて把握する。また、各年でどの程度の流量変動があるのかについても確認する。

このような河川の一年間の水位・流量変化のメカニズムを考察することが大切である。流域上流部の山地や周辺の河川の様子を注意深く継続して観察し、1年間の水位・流量変化のメカニズムを説明できる仮説を立て、公的機関が提供するデータや自らのモニタリング結果によって検証していく。また、夏季の山岳部の雪線が上昇していることや雨量減少など、気候変動による影響などにも注意を払う必要がある。このような既存データと観察とモニタリングの継続したサイクルを通じて、当該河川における年間の水位・流量変化のメカニズムの仮説を実証していく姿勢が大事である。

例えば、クナール川流域では、冬の積雪が春先から夏にかけて解け、クナール川の豊富な流量となっており、冬の降雪状況を見れば春から夏の河川水位・流量が概ね推測できる。このような観察と検証を繰り返してきたことで、「クナール川では、厳冬期に降雪が多いと河川流量が安定し、晩冬に降雪が多いと春に洪水が発生しやすい」や、「夏の気温が高いと洪水が発生しやすい」などの現象が分かっている。

一方で、観測データに基づく科学的アプローチも大切である。流域と河川をモデル化してコンピューターによる流出シミュレーションを行い、様々な気象条件や気候変動の下での河川流量が推定可能である。このように、現地での観察やモニタリングと科学的知見を総合して、河川状況を把握していくことが求められる。

なお、流出シミュレーションを実施するためには、流域の雨量・降雪・気温データの整理が必要であり、雨量流出だけではなく、気温に基づく融雪流出モデルの推定も必要である。このような融雪を含む流出モデルが構築できれば、流域における洪水や渇水への理解をより深めることができ、今後の研究が期待される。

(2) 河川流況の整理

1年間の河川流量の変動状況や水量の豊富さや少なさを知るために、図3.4に示すような河川流況曲線を作成する。河川流況曲線は、河川で観測した365日分の流量データを大きい順に並べたものである。日本においては、河川流況をあらわす指標としては以下の4つがある。世界的には河川流況曲線における横軸のパーセントの75% (Q75) や95% (Q95) が低水や渇水の指標としてよく利用されている。

豊水流量：1年を通じて95日 (26%) はこれを下回らない流量

平水流量：1年を通じて185日 (51%) はこれを下回らない流量

低水流量：1年を通じて275日 (75%) はこれを下回らない流量

渇水流量：1年を通じて355日 (97%) はこれを下回らない流量

このような河川流況指標から、ある河川において、ある流量以上 (または以下) の流量が何日く

らい流れており、一定量の灌漑用水を取水した場合に、下流にどの程度の影響を及ぼすかがわかる。同様に、1年間の河川水位データを高い順に並べて図化すると、豊水位、平水位、低水位、渇水位を把握することができる。

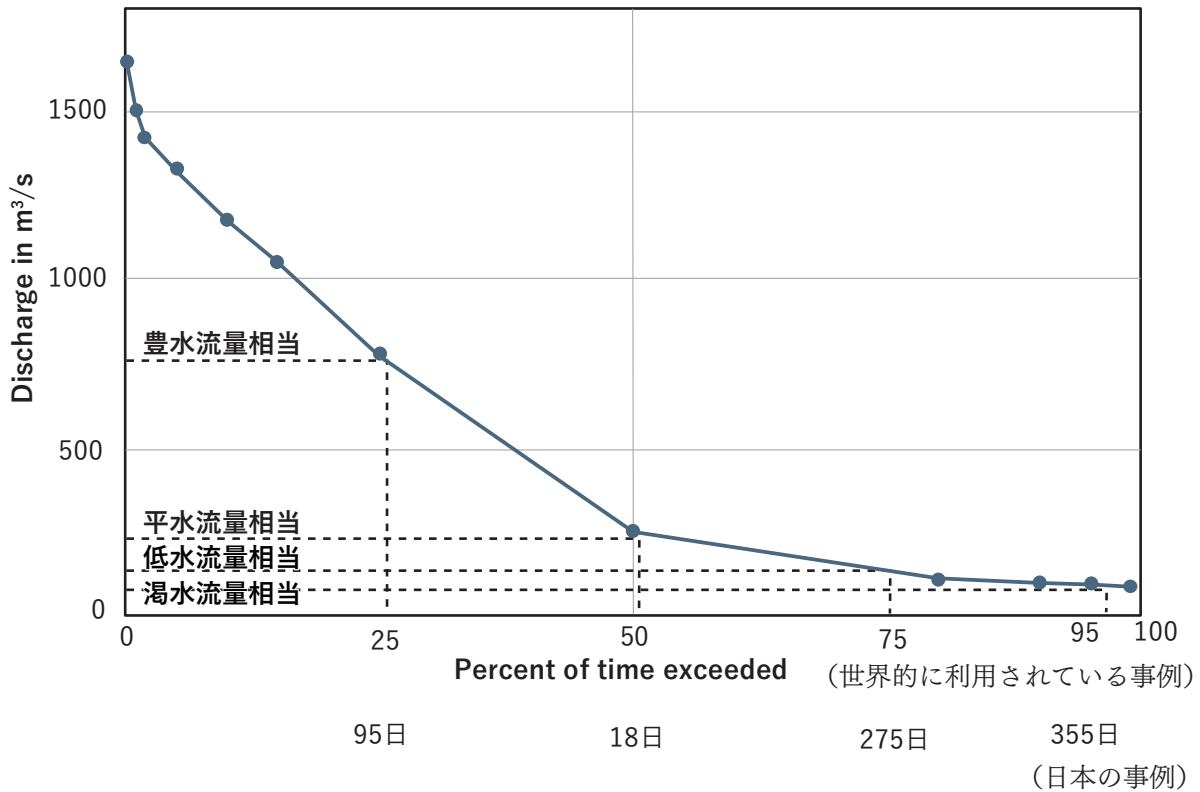


図3.4 河川流況曲線²⁾

(3) 洪水時の河川流量

対象地域においてどのくらいの頻度で(何年に一度)、どのくらいの洪水流量が生じる可能性があるかについては、洪水流量の頻度解析を行うことによって把握できる。図3.5に示すように、流量と確率年の関係をグラフにして確率規模ごとの洪水流量を表すことが出来る。横軸の下は発生確率で上は確率年を表し、縦軸が洪水流量を示している。同図の場合、10年確率(10年に一度)の洪水流量はおおよそ2,000m³/sである。この直線の傾きが大きい場合は、確率年によって洪水流量が大きく異なり、逆に傾きが小さい場合は確率年によって洪水流量がそれほど大きくは変わらないことを示している。一般に、大河川では傾きは緩く、中小河川では傾きは大きい。

長期間の気象・水文データが整備されている場合は、一般に、対象とする確率年を決めて計画洪水流量を定めて、洪水対策施設等を計画・設計している。しかし、データが非常に少ない場合は、上記のようにして求めた確率洪水流量は信頼性が薄い。そのため、気象・水文情報がまだ十分には整備されていないアフガニスタンにおけるPMS方式灌漑事業では、既往最大洪水についての住民への聞き取り情報や洪水痕跡を基にして、既往最大洪水時の水位と流量を対象として河川構造物の計

画・設計を行っている。洪水データが少ない場合でも、図3.5のような確率洪水流量グラフを描くことによって、既往最大洪水が何年確率程度の洪水であったかの目安はつけることが可能である。

以上のように、確率洪水流量を計画・設計に用いる場合は、得られたデータの数や精度を十分に考慮する必要があると共に、気候変動や人為的影響によって過去の傾向とは異なる洪水特性を示す可能性があることにも注意が必要である。

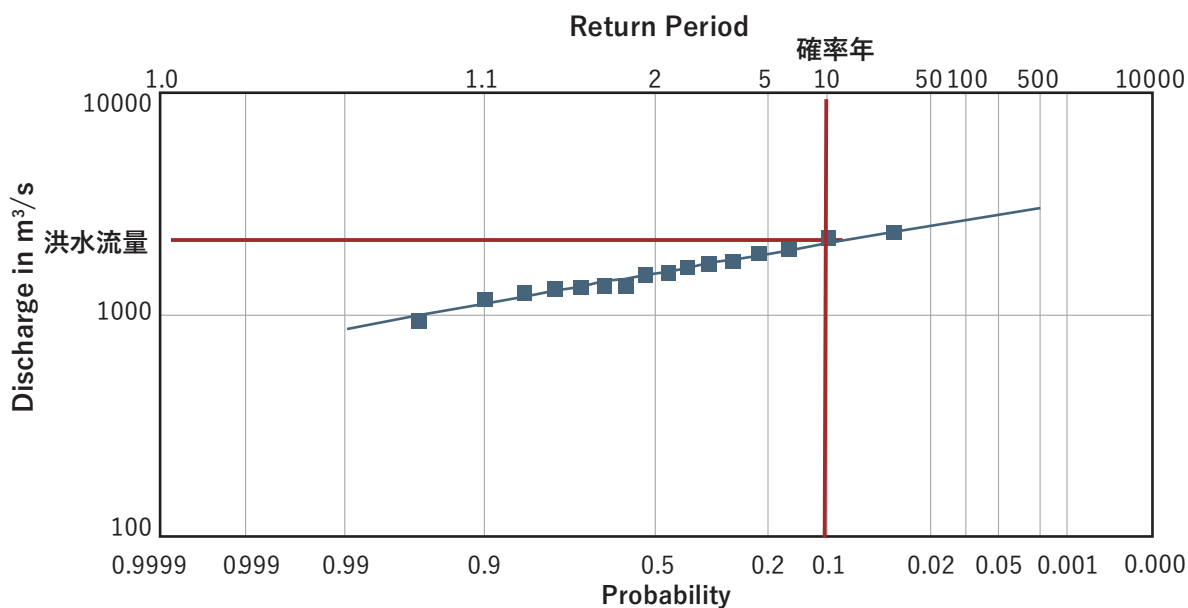


図3.5 確率洪水流量の推定²⁾

(4) 渇水時の河川流量

対象地域においてどのくらいの頻度で（何年に一度）、どのくらい河川流量が少なくなる可能性があるかについては、渇水流量の頻度解析を行うことによって把握できる。上述した洪水時の河川流量と同様に、以下のように、流量と確率年の関係をグラフにして確率規模ごとの渇水流量が算定されており、同図の場合、5年確率（5年に一回発生する）渇水流量はおおよそ80m³/sである。

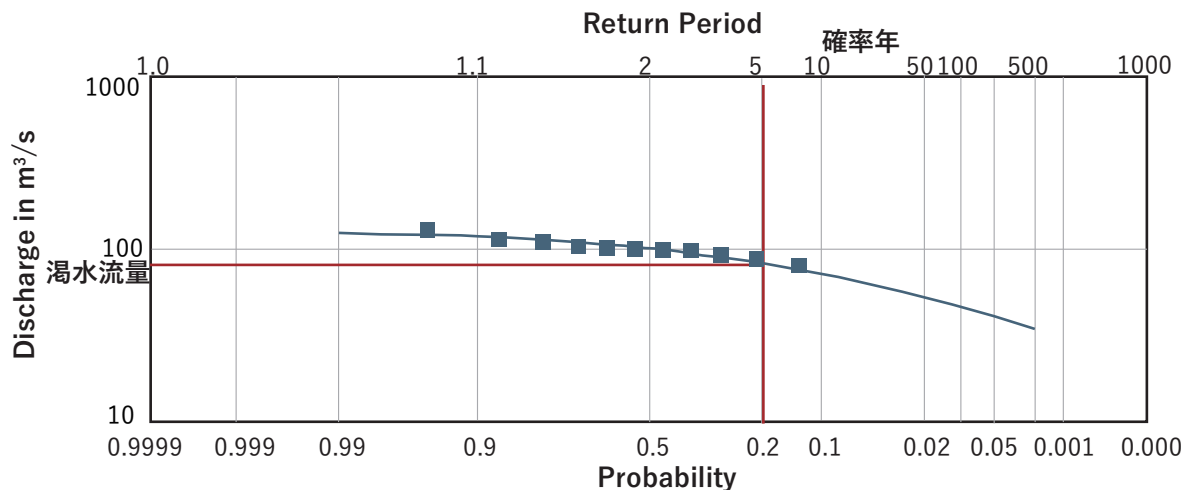


図3.6 確率取水流量の推定²⁾

(5) 新規河川構造物による河道および河川の流れへの影響

取水堰や水制工など、河川構造物を建設すると、多かれ少なかれ、左右岸および上下流のどこかに必ずその影響がでてくる。したがって、PMS方式灌漑施設予定地の左右岸・上下流に位置する、以下のような構造物および河道・堤内地の状況を事前に把握し整理する。

- ・既設あるいは計画の河川構造物（灌漑施設、取水門、水制工、堤防、護岸工など）
- ・洪水時に脆弱だと思われる河道や堤内地の地形・地質および土地利用状況

これらの情報を基にして、PMS方式灌漑事業において新たに建設する河川構造物が、他の構造物および河道や堤内地に及ぼす影響を検討する。例えば、取水堰や水制工の建設による左右岸・上下流の水位上昇や流れの変化および浸食の助長などの可能性を検討する。特に、堰建設による上流側水位の堰上げによって新たな洪水氾濫が生じないかどうかについて注意深く検討する。

3.2.4 | 新たな取水による下流水利用への影響

新たに灌漑用水を取水すれば、必ず下流の流量は減少する。また、上流の水利用が増えれば、本灌漑事業における取水に影響を与える可能性がある。このような影響を把握するためにまずは、NWARA水利権局に登録されている水利権を調査し、上下流・左右岸における現在の水利用状況（だれがどこでどのくらい取水しているか）を把握する。その上で、計画している新規の灌漑用水取水が、上下流・左右岸、特に下流側の水利用に影響を及ぼさないかどうかを注意深く検討する。また、河川流量の一年間の変動を把握して、河川流量に対して取水量が小さいことを確認する。

具体的には次のような検討を行う。計画取水流量と計画取水量を示し、支川等の流入や用水路や灌漑農地からの還元水量等を加えて、図3.7のような河川流量変化図を作成し、新規水利用による下流流量への影響を評価する。もし、新規水利用による下流への影響が大きい場合は、現地の状況を十分に確認すると共に、法律や慣習法に基づいて、下流水利用者の代表および関係政府機関（NWARA、MAIL、MRRDなど）と協議し調整を行う。場合によっては、新規取水量を減少させる、ため池など

を増やす、あるいは下流水利用を事業に組み入れるなど、柔軟な対応が必要である。なお、PMS方式灌漑事業では、ダムや大規模貯水池等による新規水資源開発は想定していない。

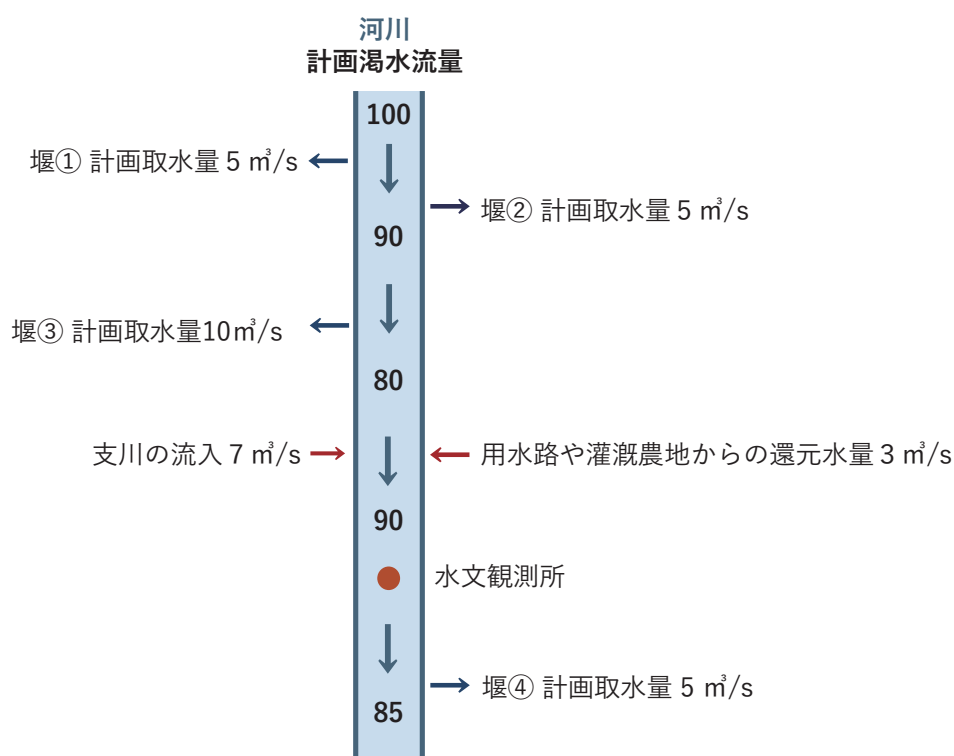


図3.7 新たな取水による下流水利用への影響評価²⁾

3.3 住民への聞き取り調査

対象地域周辺に住む住民は洪水時や低水時の河川状況を良く知っている場合が多い。そこで、住民への聞き取り調査を実施して、河川の水位や水深の変動、洪水時および低水時の流れや水位、および洪水氾濫状況など、PMS方式灌漑事業に役立つ様々な河川の情報を収集し整理する。

3.3.1 | 住民への聞き取り調査の方法

住民への聞き取り調査は、取水堰や取水門および洪水対策施設等の建設予定地点付近の村長や長老および住民や船頭、さらに、灌漑受益地の村長や長老およびミラブや水利用者組合（WUA）または灌漑組合（IA）の代表など、過去と現在の現地状況および河川状況に詳しい住民を対象とし、できるだけ多くの人々から聞き取りを行う。このような住民への聞き取り調査の対象地域、対象者、記録方法および調査項目は表3.3に示している。また、聞き取り調査実施時に活用できる住民への聞き取り調査フォームの一例を表3.4に示す。

表3.3 住民への聞き取り調査の方法とその活用方法²⁾

聞き取り調査対象地域	灌漑受益地および取水堰や取水門および洪水対策施設等の建設予定地点付近	
聞き取り調査の対象者	村長、長老、ミラーブ、WUAまたはIAの代表、住民、船頭など、過去と現在の現地状況および河川状況に詳しい者	
聞き取り調査の記録方法	<ul style="list-style-type: none"> -必ず現地に行き現地で聞き取りを行い、現地で聞き取り結果を回答欄などに記入する。 -聞き取りを行った地点、河川調査地点の緯度経度をGPS等で記録する。 -現地状況や聞き取り内容が確認できる写真を撮影したり、図を描いたりして記録を残す。特に過去の洪水による水位や浸食の痕跡や河道・砂州の変化状況などは必ず写真や図で記録する。 -インタビューが持っている河川状況、洪水時や渇水時の写真を入手することも必要である。 	
聞き取り調査の項目	詳細項目	活用方法
河川の状況	河川の年変動、洪水時および低水時の水位・流量・水質	施設設計に必要な水位の把握や取水地点の選定
	河川流路の位置・安定性、砂州の変動、土砂堆積や洗掘の状況	河道や砂州の安定性など取水のしやすさの把握および取水地点の選定
	近年の雨量、気温、洪水、渇水の変化(頻度、規模、時期など)	気候変動による影響の把握
洪水の状況	洪水発生年月、洪水時の河川の水位	施設設計に必要な洪水位の把握
	洪水氾濫発生場所、浸水範囲(面積、緯度経度座標、割合)、浸水深さ、浸水期間	氾濫状況の把握による堤防や水制などの必要性の確認
	被害状況など	洪水被害状況の把握
渇水の状況	渇水発生年月、渇水時の河川の水位・位置・安定性	施設設計に必要な低水位の把握
	影響範囲(面積、緯度経度座標、割合)、被害状況など	渇水被害状況の把握
既存の構造物と取水状況	新規河川構造物の上下流・左右岸における既存構造物および河川利用状況	新規の施設建設と取水による影響の検討および取水地点の選定

表3.4 住民への聞き取り調査フォームの一例²⁾

日時：	聞き取り場所(GPS座標)：
インタビューワー 名前：	河川調査地点(GPS座標)：
インタビューイ 名前：	連絡先：
村の情報 村名：	連絡先：
人数：	世帯数：
面積：	灌漑面積：
耕地面積：	

I. 河川の状況

1. 河川の水位は1年のうち最大でいつどこまで上がりますか？
回答(写真・図)：

2. 河川の水位は1年のうち最低でいつどこまで下がりますか？
回答(写真・図)：

3. 灌漑に必要な水量は河川にありますか？
回答：

4. 灌漑にするにあたり河川の水質の問題はないですか？
回答：

5. 河川の堰予定地点の流路の位置や形はしばしば変化しますか？
回答(写真・図)：

6. 河川の堰予定地点の砂州の位置や形はしばしば変化しますか？
回答(写真・図)：

7. 近年の降水、気温、洪水、渇水にどのような変化が見られますか？
回答(発生頻度、規模、時期など)：

II. 洪水の状況

8. これまでに最大の洪水水位はいつ発生しましたか、どこまで河川の水位が上がりましたか？
回答(写真・図)：

9. その際、洪水氾濫が発生しましたか。どのくらいの水深、浸水範囲、浸水期間でしたか？
回答(写真・図)：

10. 洪水氾濫はどこから生じましたか？
回答：

11. 河岸の浸食がどこでどのくらい生じましたか？
回答：

12. 被害が発生しましたか。どのくらいの被害でしたか？
回答：

III. 渇水の状況

13. これまでで最もひどい渇水はいつ発生しましたか。その時の河川の水位はどこまで下がりましたか？
回答(写真・図)：

14. 渇水被害が発生しましたか？どのくらいの被害(厳しさや被害額)でしたか？
回答：

IV. 既存の構造物と取水状況

15. これまでどのように河川から取水していましたか(堰の有無など)？
回答：

16. 取水できない時の問題は何でしたか？(頻度、原因、取水できなくなったことによる農作物被害)
回答：

17. 上下流・左右岸で取水または河川の利用はありますか？
回答：

18. どこでどのくらいの量が取水されて、どの地域を灌漑していますか？
回答：

3.3.2 | 聞き取り調査結果の整理

聞き取り調査結果には、聞き取り調査フォームへの記入記録、調査結果を記録した図、撮影した写真、住民から収集した写真などがあり、項目ごとおよび場所ごとに整理する。調査結果の整理に当たっては、まず、情報の正確性を確認する必要がある。

調査員が住民への聞き取りをきちんと実施していない場合もあり得ることから、聞き取り調査時に撮影した写真を精査して、住民への聞き取りが適切に行われていることを確認する。また、住民らは、記憶違いや勘違いなどで誤った情報を提供する場合があります、調査結果を整理する際には、複数の人から得られ回答が互いに整合しているかどうかを確認する。

さらに、3.2節で収集した既存資料・データと聞き取り調査結果を比較して、情報・データの整合性を確認し確実性を高める。例えば、既往最大洪水や既往最大渇水の発生時期および河道や砂州の変遷状況などについては、水文データや衛星写真等から整合性を確認することが可能である。また、周辺地域における灌漑取水状況の聞き取り調査結果は、収集した登録水利権情報と比較して、実態と登録情報の整合性を把握しておく。これらを確認して整合がとれていない場合は、再度聞き取りを行うと共に、既存情報についても再確認し、できるだけ正確な情報の収集に努める。

| 3.4 河川状況の観察・観測

洪水による越水や施設の破壊を防ぎ、低水時にも十分な取水が可能となるように、持続可能で安定したPMS方式灌漑事業を計画し設計するためには、河川の水位、流速、流量等に関する情報が必要である。一方、現在のアフガニスタンにおいては、このような河川状況に関わる情報が不十分であることが多いため、現地での観察と観測による河川状況の把握が特に重要である。河川は常に変化しており、その変化を把握するには定期的に現地に足を運び、その時々状況を把握する必要がある。特に、洪水時や低水時の河道や流れの状況は、事業責任者が自ら現地に足を運び観察することを原則とする。

3.4.1 | 河道状況の観察

(1) 河道状況を観察する視点とその方法

河道状況の観察を始める前に、既存の地形図やGoogle MapやGoogle Earthなどから現地の河道状況を平面的に把握しておく。古い地図や過去の衛星画像等から、また、地元住民への聞き取り調査結果などから、過去から現在までの河道の変遷履歴を整理しておく。

河道状況の観察は、表3.5に示すような視点を持って実施することが大事であり、必ず現場に足を運び、人間の五感を使い、手足を動かして実施することが重要である。

表3.5 河道状況を観察・観測する視点²⁾

洪水時	低水時
<ul style="list-style-type: none"> - どこで洪水氾濫が起ころうか - どこに洪水流が集まり浸食が起きそうか - 砂州はどう変化するか - 河道はどう変化するか 	<ul style="list-style-type: none"> - どこであれば安定して取水できるか - 滞筋の変遷履歴や流れの方向等から安定した滞筋を探す - 河床や砂州の歴史的な変遷状況等から安定した砂州や土砂堆積帯を探す

取水堰と取水門は、灌漑施設の中でも特に重要な構造物であり、その予定地点は、高所から俯瞰して観察し、現地の河道状況を総合的に把握する必要がある。高所がない場合は、取水地点付近の全体が見渡せる場所にやぐらを立てて観察する。河道状況を俯瞰・観察するに当たっては、上表に示した視点を参考として、取水しやすい滞筋や河道の蛇行、岩盤の位置、洪水氾濫が起きやすい低平地、砂州や土砂堆積帯など、取水地点の周辺を含む河道全体の状況を把握する。その全景を平面的に記録してベース地図を作成し、4章の施設配置計画に活用する。

- ・高所から観察し、現地を俯瞰する。
高所がない場合は、やぐらを建て全貌を把握する。



- ・全貌を把握する。



・平面的に把握して記録する。上の現地写真を参考にしながら、滞筋や河川蛇行、岩盤位置、低平地などを記録する。

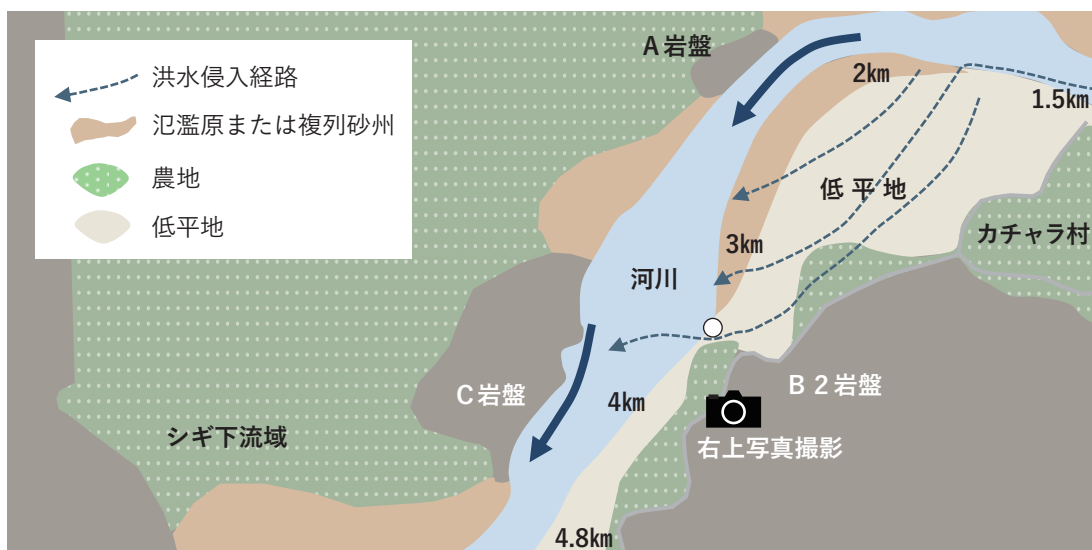


図 3.8 全体を俯瞰した事例^{1),2)}

(2) 洪水時における越水・氾濫場所の観察と整理

以下に示すような、河川地形と洪水による浸食・越水・氾濫・被害との関係性を念頭に置きながら、下記の太字で示した河川地形等に着目して、洪水氾濫が発生し易い場所を観察して確認する。それらの場所は地図等にマークして現地の特徴をメモし、写真やスケッチとして記録しておく。このような情報は、堤防や水制工などの洪水対策工の配置計画や設計に有効活用できる。

- ・**河川が狭まっているところ**では河川流が流下しにくくなり、その上流部は湛水しやすい(写真3.1および写真3.2参照)。
- ・**河道の湛水部**など、流れがゆるやかな場所は水位が上昇しやすく溢水が起きやすい。
- ・**岩盤沿いの河道**は深い急流が多く、大洪水でも流れは変わらないので、取水に適している。一方、**岩盤の対岸**が、岩盤でない場合は浸食が激しく、また、岩盤下流で洪水被害が発生する傾向があり¹⁾、以下のように河川地形や洪水規模によって洪水被害の程度は異なる¹⁾。
 - ・**河川敷**が広いと洪水被害の範囲が広くなり、河川敷の水深が大きいと洪水被害は大きくなる。

- ・河川の洪水流量が大きいと氾濫範囲が広くなり、洪水水深が大きいと洪水被害が大きくなる。
- ・洪水が用水路沿いに侵入すると洪水被害が拡大し、浸食を受けやすい土質であれば被害が発生しやすい。
- ・湾曲部の外岸側など洪水流が当たる水衝部は岩盤でなければ浸食を受けやすい。
- ・自然の巨礫が多数ある河道は、洪水の通り道となっている可能性が高い。
- ・既存の用水路取水口から洪水流が侵入して氾濫の原因になることがある（写真3.3参照）。
既存の洪水防御施設があれば、その地点は過去に洪水被害を受けた可能性が高く、洪水氾濫が生じやすいといえる（写真3.4参照）。
- ・昔から耕作していない場所は、洪水氾濫などの被害を受けやすく、過去に被害を受けた可能性がある。

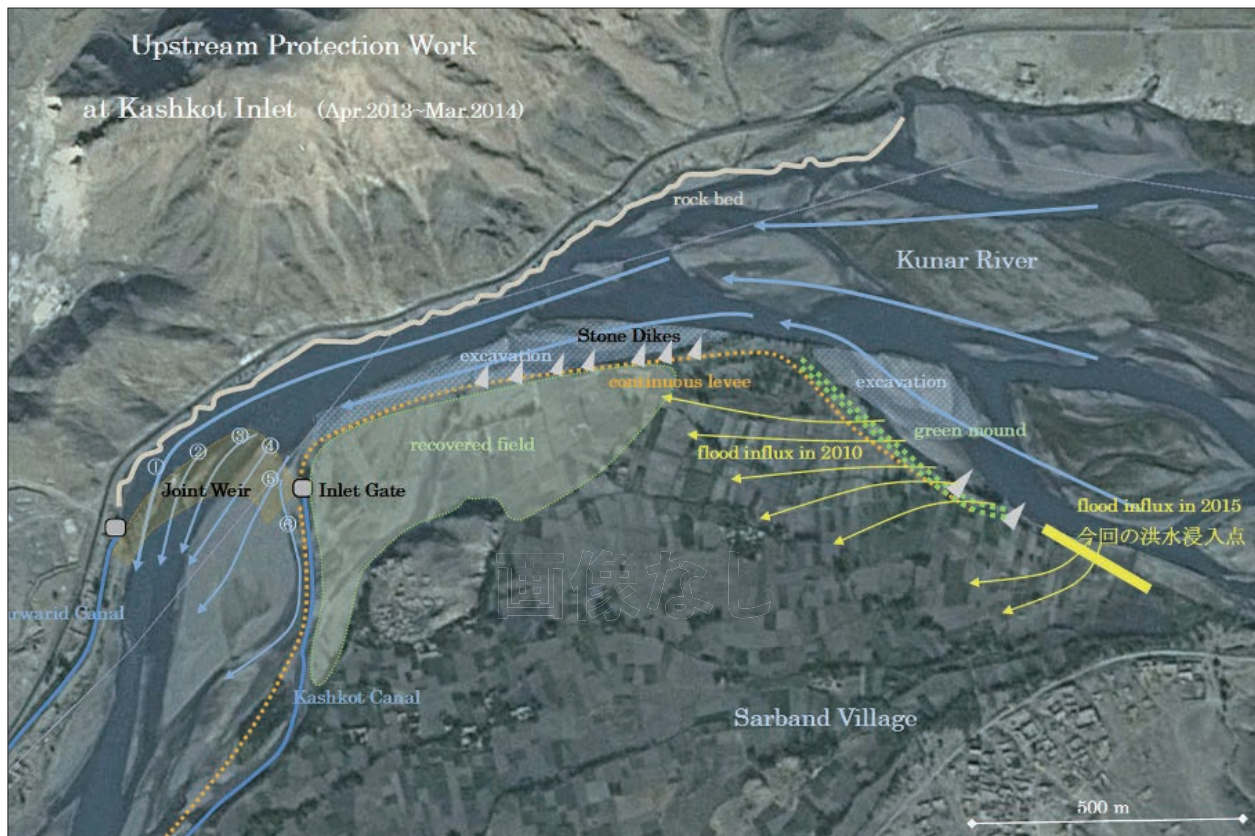


写真3.1 河川が狭まっているところの衛星写真¹⁾



写真3.2 河川の湛水部の写真¹⁾

既存の用水路取水口から洪水流が侵入して氾濫の原因になることがある（危険な取水部の写真。掘削して安易に低地に水を引き込むが、夏には洪水進入路となる。その結果、河岸線が年々後退して耕地が荒れていく。農地の荒廃は自然災害だけではない）。

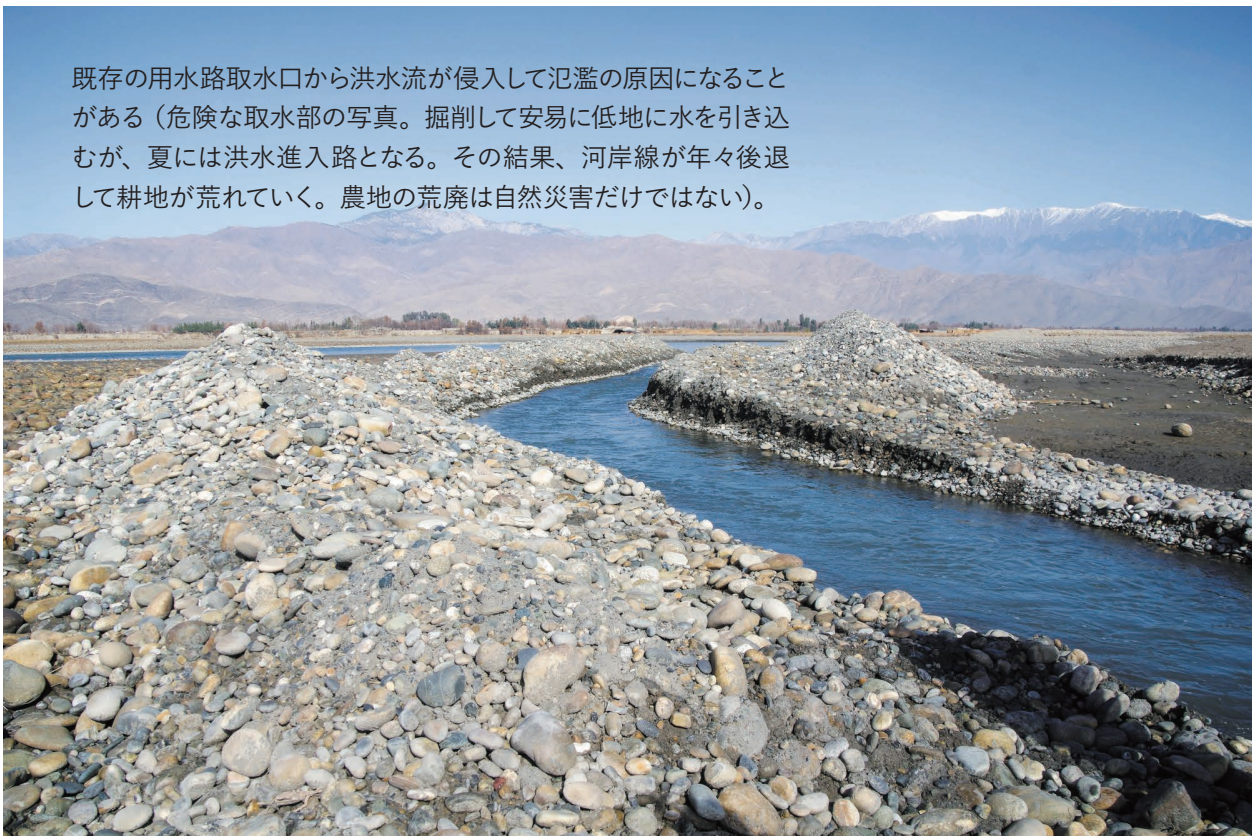


写真3.3 安易な水の引き込みが洪水の水みちを作ることになる事例写真¹⁾



写真3.4 既存の洪水対策施設から洪水氾濫の可能性が想定できる事例写真¹⁾

(3) 砂州変動の観察

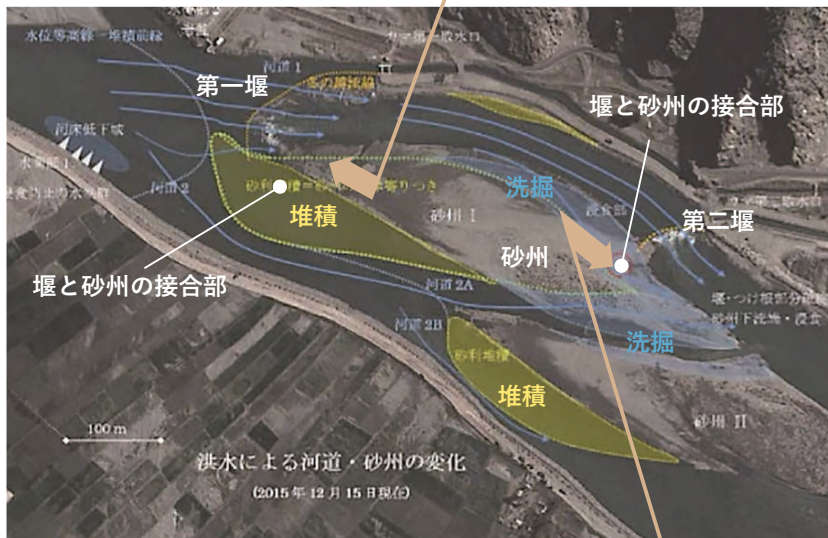
河道の砂州は、長期的に移動したり形が変わったりし、特に大洪水の後は大きく変化する。このような長期的な砂州の変化は、既存の衛星画像や地元住民への聞き取り調査によって、あらかじめ十分に把握する（3.2節および3.3節参照）。その上で、現地において、砂州の移動・変化を長期的かつ定期的に観察し、特に大きな洪水の後の砂州の変化はしっかりと観察する（コラム3-1参照）。また、過去から現在までの砂州の消長だけではなく、今後の砂州変動についても推定する。一般的な河川では、河道が広く流れが緩やかな地点では土砂堆積が著しくなり、河道の直線部では砂州は移動しやすく、湾曲部では砂州は固定される傾向にある。このような一般的な傾向と、対象地域の過去から現在までの砂州変動を考慮して、将来の砂州変動を推定する。

PMS方式灌漑事業における取水堰の築造に当たっては、砂州を一方のアバットとして接岸させることが多い。したがって、対象とする河道における砂州変動の特徴（砂州安定性や河床洗掘状況等）を把握することによって、安全で安定した取水堰や洪水対策施設の計画・設計に極めて重要な情報を与えてくれる。

なお、水理諸量を用いた砂州および洗掘の解析方法は、巻末資料に示しているもので、より詳細な砂州変動の解析を行う場合は参照すること。

コラム3-1：PMSによる砂州の変動の観察

砂利堆積が生じている。堰と砂州の接合部が堆積により保護されている



2015年7・8月の洪水による河道・砂州の変化(黄色部分が堆積箇所、青部分が洗掘箇所)

堰と砂州の接合部に埋設された蛇籠の残骸と浸食された砂州

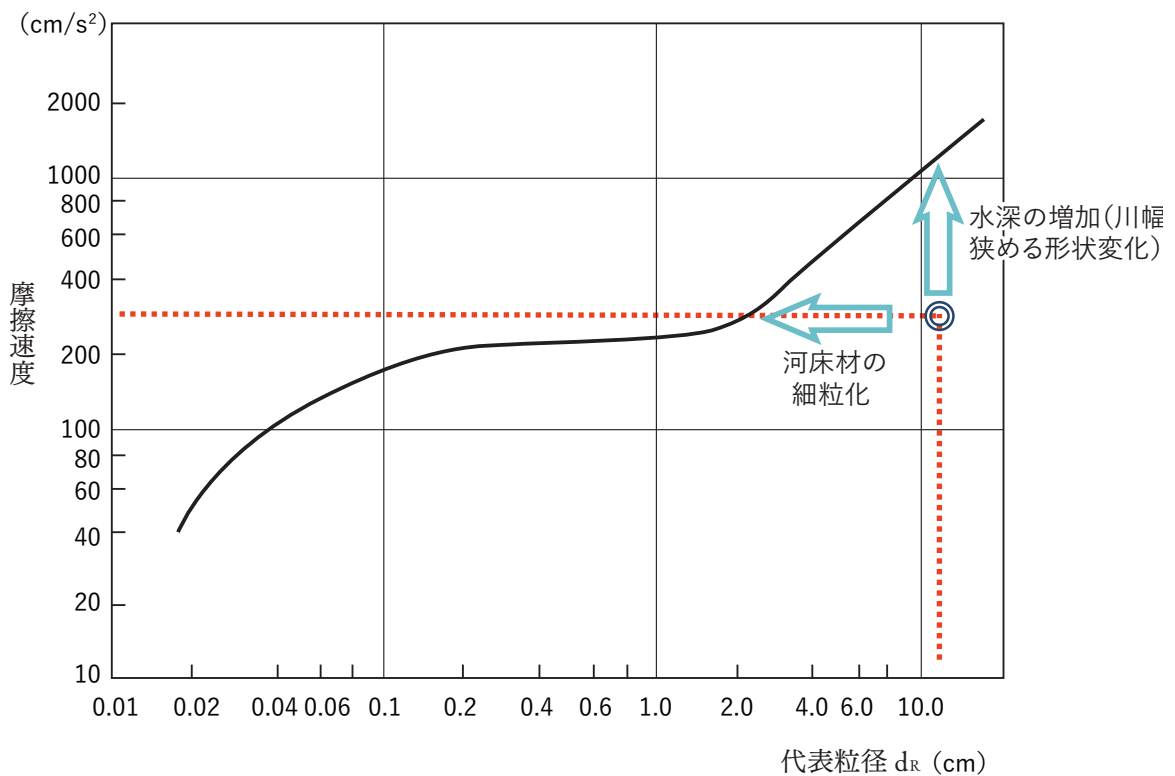


図 砂州の変動¹⁾

(4) 河道の安定性と変動の予測

河道の安定性と変動、すなわち、将来の河床の上昇または低下等の変化を知ることは、洪水対策工や河川施設を計画・設計する上で極めて重要である。そのような河道の安定性と変動を評価する手法の一つに、図3.9がある。この図は、日本の河川の調査から摩擦速度と代表粒径の関係を示したものである。グラフの左下は、比較的流速が緩く、河床材料の粒径が小さい下流区間となっている。逆に右上方向は比較的流速が早く、河床材料の粒径が大きい上流区間となっている。対象とする河川において、摩擦速度 U^* と河床材料の代表粒径 d_R を求めてこのグラフにプロットすることによって、その河道の安定性を評価することが可能である。例えば、プロットした点が黒線から外れている場合は、将来的に、河幅か水深の変化あるいは河床材料の変化が起こり、黒実線に近づくような河道変動が起こると予測される。一方、プロットした点が黒実線に近い場合は、その河道は安定していると言える。

クナール川におけるマルワリードII取水堰付近の河床材料の摩擦速度と代表粒径の関係は、図中の青◎で示すことができる。この点は、黒実線の右下側に位置しており、将来的には河床材料の細粒化、あるいは、摩擦速度の増加（水深増加あるいは川幅減少の変化）が予想される。



Y軸：摩擦速度 ($U^* = \sqrt{gRI}$ 、ここで、R:径深、g:重力加速度、I:河床勾配、移動限界粒径d)、 $R = A$ (流積) / S (潤辺)
X軸：代表粒径 (d_R 、図3.19参照)

図3.9 河道の安定性 2), [12]を参照

なお、水理諸量を用いた河道の安定性および洗掘状況の解析方法は、巻末資料に示しているので、より詳細な河床変動解析を行う場合は参照すること。

(5) 取水堰の配置計画のための河道状況の把握

取水地点の対岸に砂州があり、取水堰をその砂州に着岸させる計画とする場合は、堰計画地点の上下流の河道地形を、以下の点に着目して、注意深く観察し状況を把握する。

- ・洪水時に、取水地点側（砂州の対岸側）に河道の主流が向かってくるかどうか
- ・堰を越流した河川水を河道中央に集めてそのエネルギーを減殺できるか
- ・堰を建設することによって対岸の砂州が浸食されないか

3.4.2 | 河川流況の観察・観測

(1) 河川流況を観察・観測する視点とその方法

河川流況は、地元住民への聞き取り調査結果を事前に分析した後、表3.6に示す視点をもって観察する。

表3.6 河川流況（水位・流速・流量等）を観察・観測する視点とその方法²⁾

項目	時期	観察・観測視点	観察・観測方法	活用
水位	洪水期	- 既往最大洪水時の水位 や毎年の洪水時の水位 - 過去の洪水氾濫における越水位	- 露頭している岩の水位履歴を確認する - 年間を通じた水位の定点観測を行い、洪水期と渇水期の河川水位の変動を把握する	- 堤防高や取水門の高さなどを決める - 堰高を決める
	渇水期	- 既往最大渇水時の水位 や毎年の渇水期の水位	- 事業期間中および事業後も観測体制を整えて水位観測を継続する	
流速	洪水期	- 河川の水みちおよび河岸や堤防沿いの流速	- 目視により流速が速い箇所（浅瀬）や遅い箇所（淵）を定性的に観察する。 - 年間を通じて様々な河川流量における流速を浮子によって簡易的に観測する - 河原の玉石の平均粒径を調査する	- 河川施設に働く洪水流のエネルギーを推定する - 平均粒径と限界流速の関係から河川流速を推定する
流量	洪水期	- 既往最大洪水流量 - 毎年の洪水の流量・流水幅・水深	- 年間を通じて、水位・流速・流水幅・水深を観察し、簡易的に観測する。	- 流水断面積（＝流水幅×水深）に流速を掛けて、様々な時期の概算流量を把握する
	渇水期	- 既往最小渇水流量 - 毎年の渇水期の流量・流水幅・水深		
流砂量および水質	洪水期	- 掃流砂と浮遊砂とウォッシュロードを観察する - 河川水の色を観察する - 臭い、泡立ち、水温など観察する	- 河床を転がる掃流砂を観測する - 河川水を採水して浮遊砂・ウォッシュロードを測定する - 河川水の色は目視または白いバケツなどに水を汲んで観察する - 上流域や近隣に水質を汚染する原因（大都市や工場など）があるか確認する。	- 流砂量から沈砂池容量を決める - 水質の確認 - 河川水の色と温度から洪水の原因が、融雪出水（淡い灰色で冷たい）か、降雨出水（茶褐色など）かは、地元住民の経験などから判別できる場合がある

特に、洪水時にはできる限り現地に赴き、河川流況を実際に自分の目で観察する。その際、安全には十分に注意する。洪水の河川流況は、写真3.5のように写真で記録すると共に、その特徴を把握しノートに記録しておく。



写真3.5 洪水状況¹⁾

(2) 観察・観測結果の整理

河川状況を把握し理解するためには、流速、流量、勾配、地形傾斜、岩盤や砂州の位置と状態、河道法線の湾曲状況、河床材料など、多岐にわたる情報が必要であるが、これらを「一枚の絵の光景」として頭に入れ、それを時間軸で追っていけるようになることが大切である。そのために、観察・観測の現場から事務所に戻ったら、調査記録は次のように整理する。

- 写真やメモは、日付・場所ごとに整理して紙ベースのみならず電子データとしても蓄積し、現地でメモした紙等も保管しておく
- 現地写真はGPSローケーション付き（Geotag）で撮影してその場所が特定できるようにし、右岸、左岸、上流、下流、河川の流れの向きなども示しておく
- 月毎または四半期毎など、定期的に現場メモや写真等を整理して河川の状況変化を確認する
- 洪水後は必ず河道状況の変化を観察し、可能であれば、洪水時の河川流況を観察する

(3) 河川流況を把握するための基本式：マンニングの式

河川の流速および流量は、原則として以下のマンニングの式から計算する。

$$\text{マンニング式} : V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (3.1)^2, [14] \text{を参照}$$

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (3.2)^2, [14] \text{を参照}$$

ここで、Q：河川流量 (m³/s)

V：流水の流速 (m/s)

n：粗度係数（表3.7参照）

A：流水の流下断面 (m²)

R：径深 (m) (= A/S)

S：潤辺 (m)

I：河床勾配

表3.7 一般的な粗度係数の値²⁾、^[13]を参照]

河川や水路の状況		マンニングの n の範囲
自然 河川	平野の小流路、雑草なし	0.025~0.033
	平野の小流路、雑草、灌木有	0.030~0.040
	平野の小流路、雑草多、礫河床	0.040~0.055
	山地流路、砂利、玉石	0.030~0.050
	山地流路、玉石、大玉石	0.040以上
	大流路、粘土、砂質床、蛇行少	0.018~0.035
	大流路、礫河床	0.025~0.040

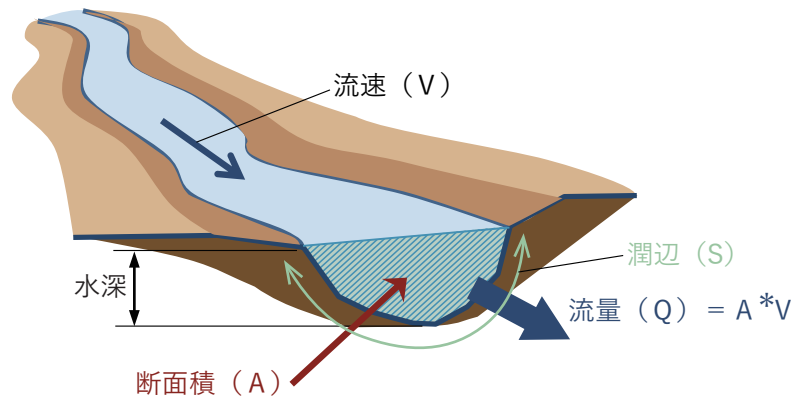


図3.10 流量の算出方法²⁾

(4) 河川水位の観察・観測とその結果の活用

既往最大洪水時や毎年の洪水時の水位は、既存水文資料および地元住民の経験や岩に残された過去の洪水時の水位痕跡などから把握することができる（コラム3-2参照）。河川水位の年間変動は、河川の観察・観測記録から把握することができる（コラム3-2参照）。これらの情報を活用して、堤防や取水門の高さは、ある程度の余裕高を加えて決定する（写真3.6参照）。

渇水期の最低水位も、既存水文資料や地元住民からの聞き取り調査等から把握できる。これを活用して、堰高や取水門敷高は、渇水期においても必要な用水量が余裕を持って取水できるように決定する。



写真3.6 洪水時の水位と取水門天端高の関係¹⁾

(5) 河川流速の観察・観測とその結果の活用

河川流速を推定する方法としては、1) マニング式による方法、2) 現地で直接観測する方法、および3) 河床材料から概略推定する方法、がある。河川流速の直接的な観察・観測は、流量の算定や洪水流のエネルギー推定に必須である。また、低水時に、流速が速い場所（浅瀬）や遅い場所（淵）を、目視により定性的に観察することで、砂州の形成の違いによる瀬や淵の流速状況を確認して、堰や取水門および洪水対策施設の計画・設計に生かしていく。

1) マニング式による方法

マニング式から概略的に河川流速を推定する場合は、流水断面を矩形と仮定して、現地で以下のような簡易測量を行って、得られた川幅と水深および概略の河川勾配から計算する。なお、より正確に河川流速を算定する場合は、3.5節で述べた河川測量を行う必要がある。

- 川幅などの距離：川の両岸に河流と直角にできるだけ直線となるように太い糸を張り、その糸をメートル尺で測る。レーザー距離計があればより簡単に距離を測ることができる（図3.11上写真参照）
- 河川の水深や河道の洗掘深さなど：スタッフ（箱尺）やロッドを河川に立てて水深や洗掘深を測定することができる（図3.11の中写真参照）。
- 縦断勾配や堤防の高さなどの高低差：ホースに水を入れて水平をとり、それによって高低差を測る簡易的な水準測量を行う。この方法は用水路の縦断勾配を測るためにも利用できる。なお、河川縦断勾配は地形図等からも把握しておく。

コラム3-2：河川水位や水深の確認方法

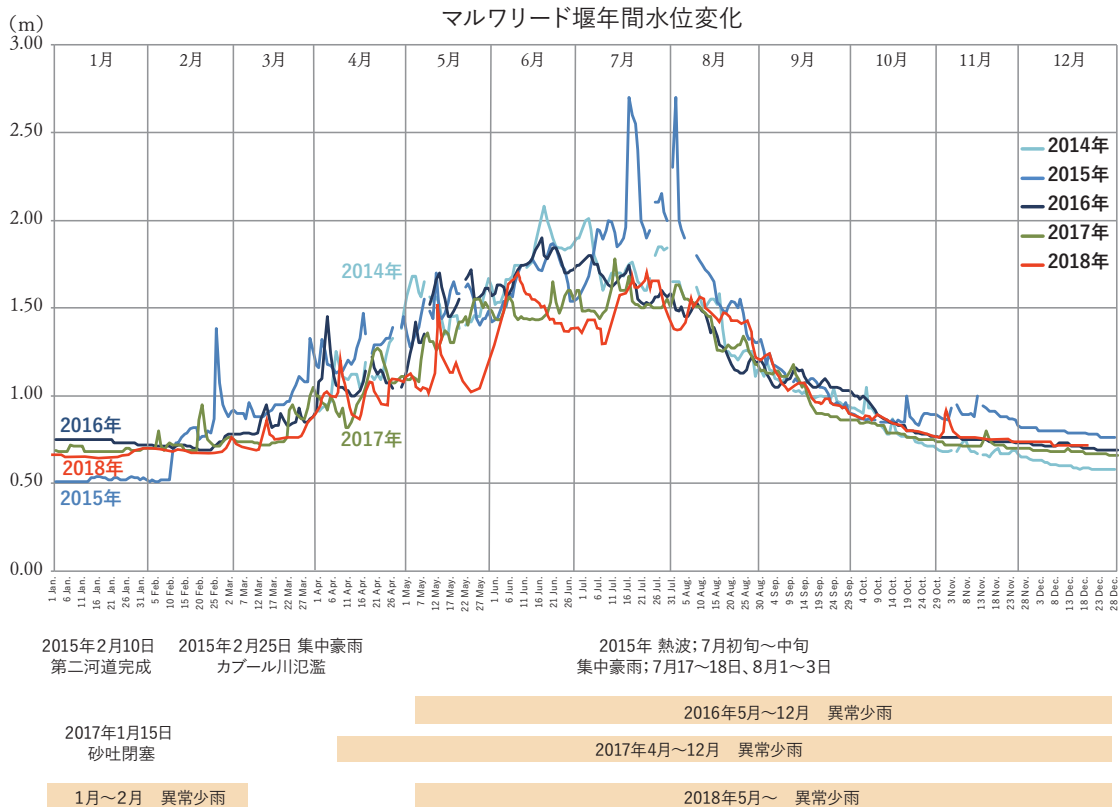
岩に刻印された過去の水位痕跡を把握



地域の状況に明るい船頭への聞き取り



クナール川のマルワリード堰における年間を通した河川水位の観測とその結果



近年のクナール川の河川水位変動の特徴は、2014年以降、夏季の水位が低い傾向があり、特に2018年(赤線)は夏季の水位が低く、水位変動も大きい。

図 河川水位変動および水深の確認方法¹⁾

糸を使った河幅などの距離の簡易測量方法¹⁾



- ・糸を対岸に渡して直線距離をとり、その糸をメートル尺で測る。

水深や洗掘深など、深さの簡易測量方法¹⁾



- ・スタッフやロッドなどを利用した水深測量

水準測量²⁾



- ・ホースを利用した高低差の測量

図3.11 簡易測量による距離や高さ、深さの測定事例

2) 現地で直接観測する方法

現地で流速を直接観測する方法には、流速計による方法や浮子による方法がある。浮子による方法は、図3.12に示すように、浮子が流れる距離と時間から流速を推定するものである。また、流速が速い堰の土砂吐きなどでは浮子を動画撮影して流速を推定することもできる（図3.13参照）。

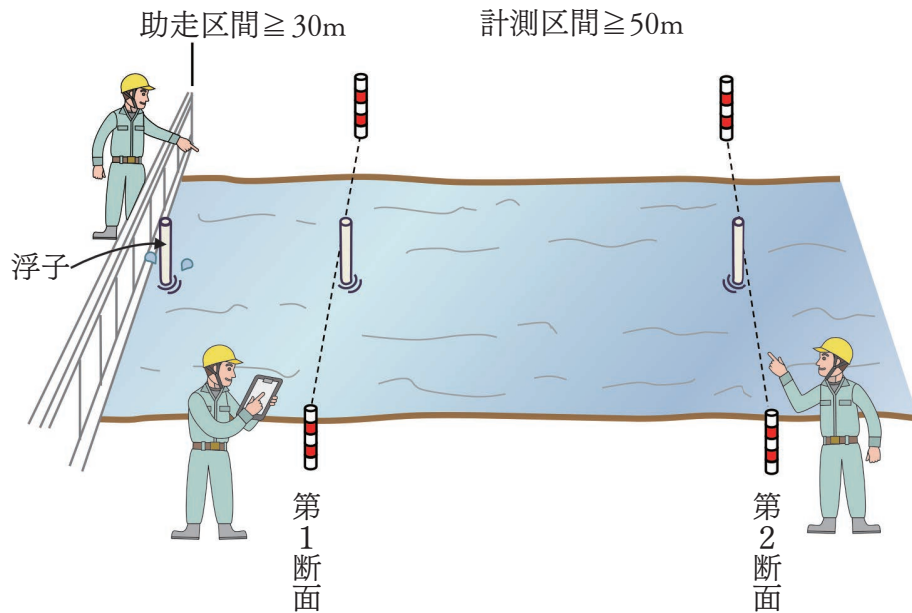
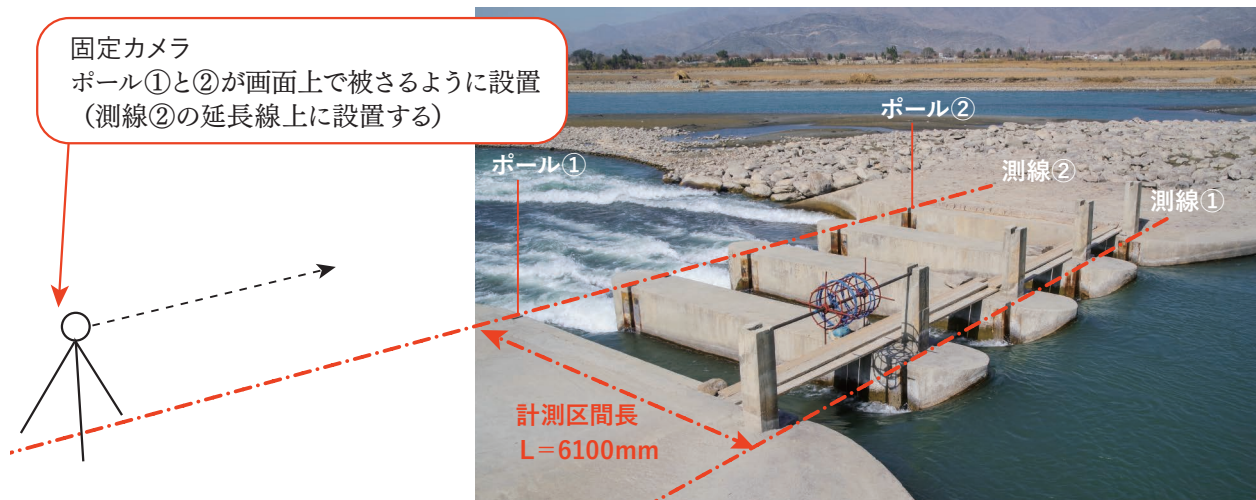


図3.12 浮子による流速観測²⁾



取水堰の土砂吐における動画撮影による流速観測方法（案）

I：測線設定

土砂吐きの上下流2箇所の二重堰板設置箇所に上下流順に測線①と②としてテープを設置する。測線①は流速を測る浮子を投入する場所、測線②は定点カメラで通過時間を確認する場所とする。

II：測線②の左右岸にポール設置

測線②の二重堰板設置箇所の両端にポールを垂直に立てる。この時、動画撮影時に邪魔にならないように、カメラとポールの間に人が立たないようにする。

III：測線②の延長上にカメラ設置

測線②の延長上にカメラを三脚で固定して設置する。この時カメラの中心にポール①と②が重なって写るように固定する。さらに、カメラ右端に測線①上で浮子を投入する様子が写るようにし、動画撮影の際に浮子が着水する様子がはっきりと写るようにする。

IV：浮子投入及び動画撮影

上記I～IIIの注意事項を踏まえたうえで、動画を撮影しながら浮子を測線①から投入する。手前から順番に投入箇所を変えて複数回投入するが必ず測線①の真上から投入する。動画の画面には必ず投入後の浮子の様子が写るように注意する。場合によってはカメラ固定位置を高くして上から見下ろせるようにする。

V：動画編集ソフトを使い時間を計測

市販及び無料の動画編集ソフトを使い、浮子が測線①から測線②を通過する時間をスローモーション等の機能を使って計測する。動画編集ソフトは百分の1秒単位くらいで動画の下にタイムライン表示が出るので、動画を見ていると浮子の着水時間と測線②を通過する時間が解る。この機能を使えば、現地で手作業で計測するより正確な時間がわかる。

図3.13 動画撮影による流速観測^{1),2)}

3) 河床材料から概略推定する方法

洪水時の河川流速は、河床材料の平均粒径からも間接的に概略推定できる。図3.14は、流速と移動限界粒径の関係を示したものであり、河床材料の粒径から概ね過去最大の洪水流の流速を概略的に推定することができる。

この流速と移動限界粒径の関係は、以下に示すマンニングの式、摩擦速度の式および岩垣の式の関係から算定される。

マンニングの式： $V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$ (3.3)

摩擦速度の式： $U_* = \sqrt{gRI}$ (3.4)

岩垣の式：摩擦速度と限界粒径との関係に係る経験式²⁾, [14]を参照

$$\begin{aligned}
 d \geq 0.303 \text{ cm} & ; U_*^2 = 80.9 d_c \\
 0.118 \leq d \leq 0.303 \text{ cm} & ; = 134.6 d_c^{31/32} \\
 0.0565 \leq d \leq 0.118 \text{ cm} & ; = 55.0 d_c \\
 0.0065 \leq d \leq 0.0565 \text{ cm} & ; = 8.41 d_c^{11/32} \\
 d \leq 0.0565 \text{ cm} & ; = 226 d_c
 \end{aligned}$$

ここに、V：流速(m/s)、R：径深(m)、g：重力加速度(m/s²)、I：河床勾配、n：粗度係数、U*：摩擦速度、U*c：移動限界粒径時の摩擦速度、d_c：移動限界粒径(m)

玉石が散在するような河床においては、河原にある平均的な玉石の縦・横・高さの3つの大きさを計測して図3.15に示した式で平均粒径（代表的な大きさの粒径）求める。河床材料調査においては、その河床に洪水流が確かに流れたことを確認し、そして、土石流の流下や人為的な掘削や石材の投棄の場所ではないことを確認しておく必要がある。なお、より詳細な河床材料調査の方法は3.5.1節に示している。

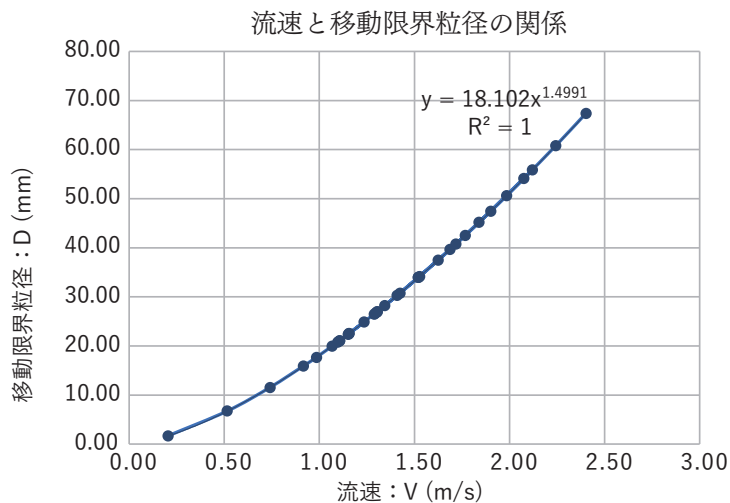


図3.14 移動限界粒径と流速の関係²⁾

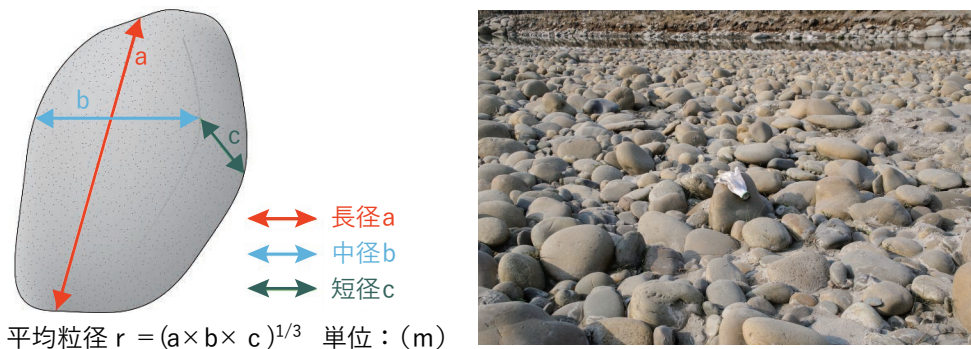


図3.15 玉石の平均粒径の計算方法^{1), 2)}

コラム3-3：河床材料の観察に基づく流速の推定

中村哲医師の言葉：河原の玉石の大きさで、河の流速をかなり正確に推測できることは、よく知られている。護岸や堰の建設の際に、必ず石の大きさを測って流速を想定し、その速さに見合う方法を採用している。重い石は残り、軽い石は流される（2010年4月14日現地報告より）。また、クナール川では一般に河川敷は、表面の薄い砂層直下に玉石の厚い層があり、流速（掃流力）に比例して粒径の大きなものが露出している（2015年10月16日現地報告より）。教科書通りだと秒速3~5mの急流が通過したことになる（2011年2月22日現地報告より）。この場合、石の大きさは25cm~75cmとなる。



写真 河床材料の観察¹⁾

(6) 河川流量の計算とその活用

観察・観測した水位・水深と流速 V 、および簡易観測または測量により得られた流下断面積 A から、 $Q = V \times A$ の計算式で流量 Q を計算する。低水位から洪水位まで、年間を通じた様々な水位と流速と流下断面積の観測結果から、流量と水位の関係を以下の図3.16のようにプロットし、流量と水位の関係式（ H - Q 曲線）を作成する。この H - Q 曲線を用いて、観測された河川水位から河川流量を計算し、年間の流量変動を把握する。

このようにして得られた流量データと近隣水文観測所の既存流量データとを比較することにより、既存水文データの信頼性を検証すると共に、近隣水文観測所の流量データとの相関（図3.17参照）を検討して、相関式を作成する。これを基にして、近隣観測所の流量データから目的とする地点での流量を推定する。既存資料がまったく無い場合は、このような概略観測による流量データを灌漑施設の計画・設計に用いることになるが、概略の推定流量は大きな誤差を含む可能性もあることに注意し、他の流量推定方法とも比較検討し総合的に判断して慎重に活用する。

既存水文資料、住民への聞き取り調査および自らの観察・観測によって、概ね信頼性の高い年間を通じた河川流量データが得られる。これを用いて、再度、河川流況（豊平低濁流量）、確率濁水流量、確率洪水流量などを計算し、より正確な河川流況を把握する。これらの信頼性の高い流量資料を活

用して、必要取水量が取水可能かどうか、灌漑施設の計画・設計、構造物や取水による上下流・左右岸への影響などの検討を実施していく。

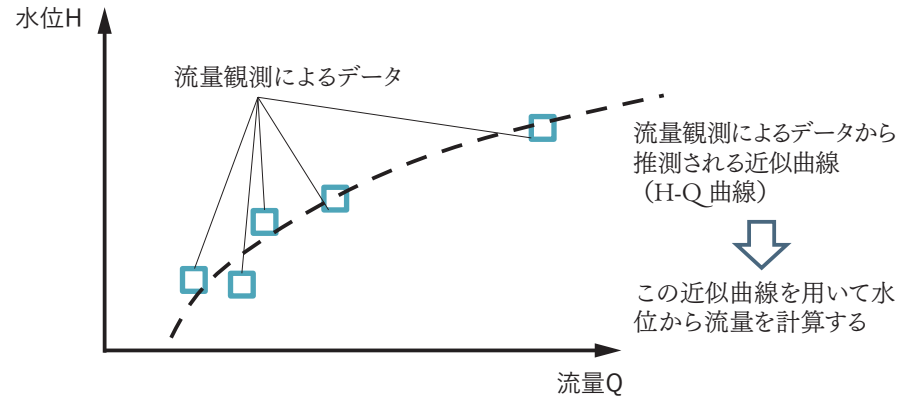


図3.16 水位 (H) - 流量 (Q) の関係²⁾

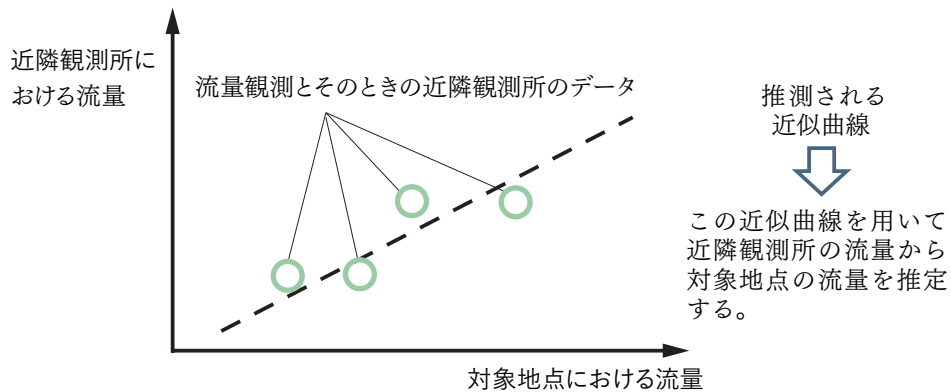


図3.17 近隣水文観測所の流量データとの関係²⁾

(7) 流砂量や水質の観察・観測とその結果の活用

流砂にはウォッシュロード、浮遊砂、掃流砂がある。掃流砂は、堰の土砂吐でできるだけ下流に流し、取水門の敷高や堰板で水路への流入を防ぐことができるが、浮遊砂とウォッシュロードの水路への流入は防ぐことは困難である。掃流砂は必要に応じて観察・観測することとし、ここでは、ウォッシュロードと浮遊砂の観察・観測について述べる。

ウォッシュロードと浮遊砂の観測では、河川の流水をバケツ等で採取して体積を計測し、乾燥させた後に、残された土砂の粒度分布を調べ、土砂の重さを計測して水量に対する土砂の重さとして土砂濃度 (mg/l) を算定する。クナール川のミラーン堰において、最も濁度の高い時期の河川水の土砂濃度は2,000mg/l程度であった。用水路に流入する灌漑用水のウォッシュロードと浮遊砂の粒径特性と土砂濃度は、用水路の最低流速の設定や沈砂池容量の決定に活用する。

ウォッシュロードや浮遊砂が多いと河川水は濁りが強くなるため、河川水の色を観察する。クナール川地域では、河川水の色などから、河川水が茶褐色の場合は降雨による出水（厳密には谷によって土質が異なる）、灰白色で冷たい場合は融雪出水、などと判断できる。様々な地域で様々な判断がで

きる場合があり、地元住民などの知恵を借りて、河川水の色からも河川流況の特徴を把握するべきである。

河川水の水質は、目視で観察すると共に、簡易水質計などを用いて観測する。悪臭や泡立ちなどがある場合は、水質が悪い可能性が高く、十分な水質調査が必要である。特に、近隣に大きな町や工場などがある場合には、汚水が流れ込んでいる可能性があるため、廃水の排出地点の状況を確認する。また、周辺と比べて水温が高い、雪解け水なのに水温が高い、などの状況があれば、廃水が混入している可能性が高い。

3.5 河川調査の方法

PMS方式灌漑施設の計画・設計・建設に必要な詳細な河床材料調査の方法および河川の横断測量、縦断測量、平面測量の方法を以下に示し、新しい測量方法についても紹介する。

3.5.1 | 河床材料調査

河床材料調査は、河床材料のサイズによって三つに分けられる。最大粒径300mm以上の礫河床では面格子法、最大粒径100-300mmの砂礫河床では線格子法、最大粒径75 μ m-100mmの砂河床では容積法を用いる（図3.18参照）。さらに粒径が小さい場合には沈降法を適用する。河床材料調査の結果は、図3.19に示すような粒径加積曲線を作成して加積率60%の粒径を代表粒径とする。このような河床材料特性は、P.97の表3.2に示した河道区分とその特徴の把握や、河川流量・流速の計算に必須のマニング式の粗度係数の推定などに活用でき、河川状況を把握するための重要な資料となる。また、河道の安定性（3.4.1(4)節）や洗掘状況の推定（巻末資料参照）など、詳細な水理解析をするにあたって代表粒径が必要となる。

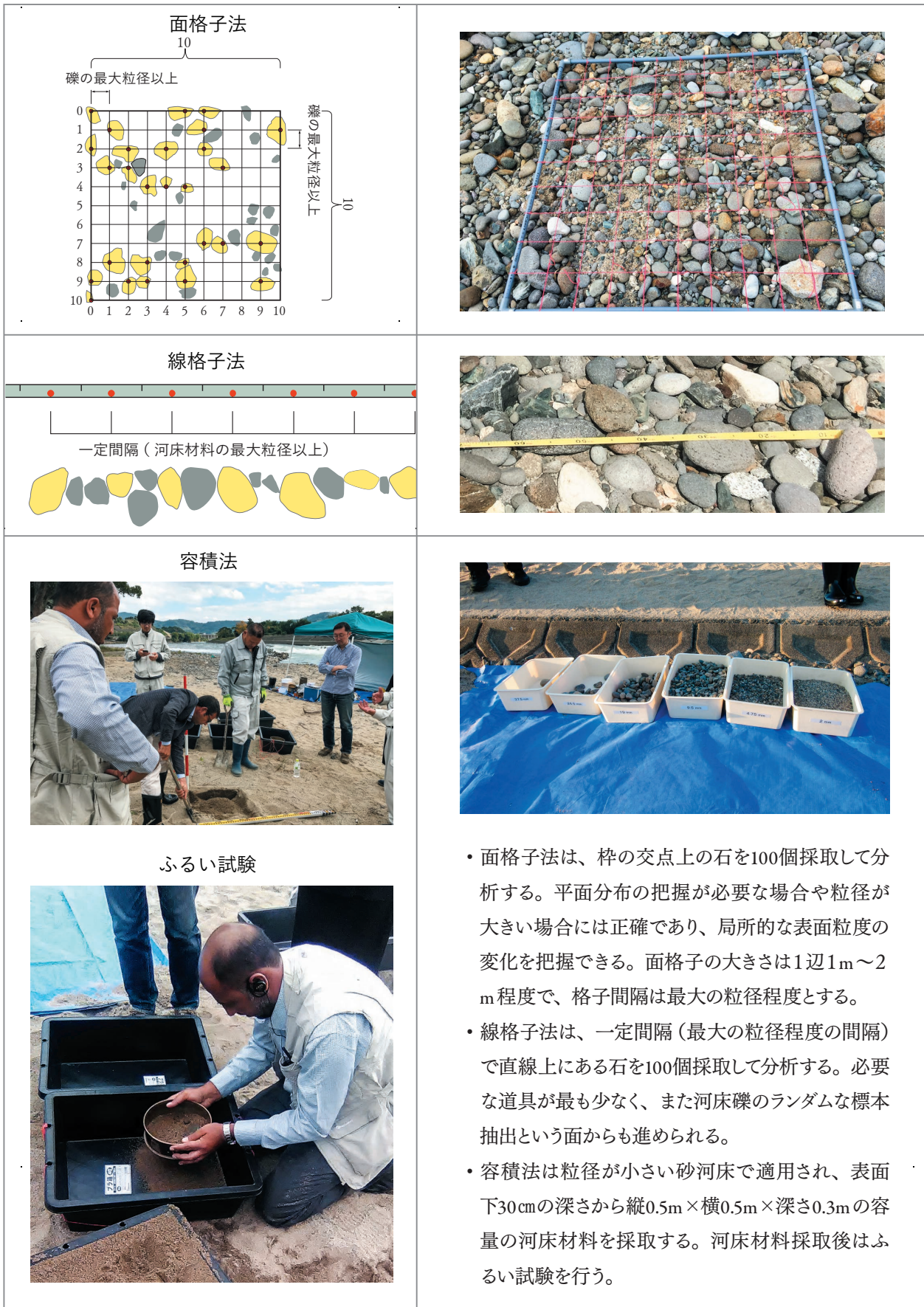


図3.18 河床材料調査²⁾

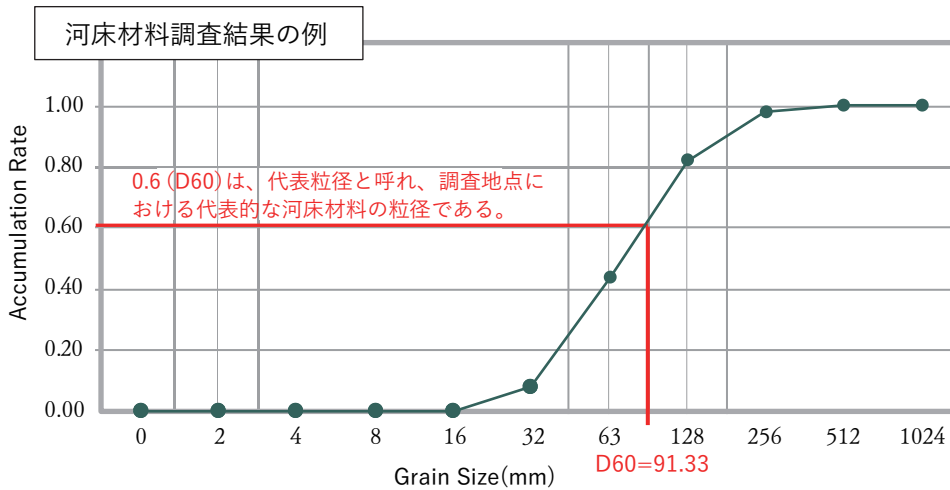
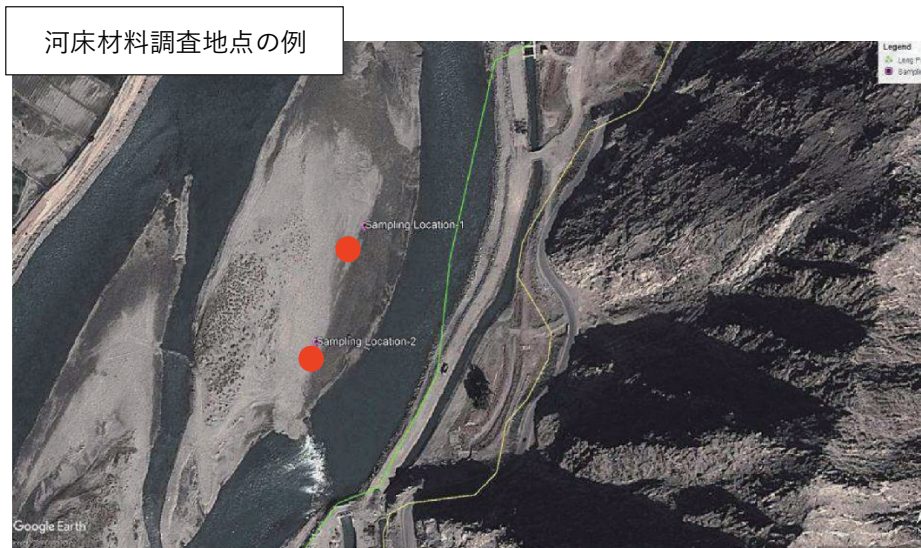


図3.19 河床材料調査結果²⁾

3.5.2 | 河川測量

河川地形の把握および灌漑水路施設の配置・設計のためには、詳細な河川測量が必要である。河川測量においては、トータルステーション等の機器を用いて（写真3.7参照）、河川の横断、縦断、平面の測量を行う。河川の水深が深い箇所については、音響測深器などを利用して水深を観測する（図3.20参照）。測量の結果は、CAD等のソフトウェアを用いて、横断図、縦断図、平面図を作成する（図3.21—図3.23参照）。河川測量は河床を測量しやすい低水時に実施する。測量時には、急な増水に注意する。



写真 3.7 トータルステーションによる河川測量²⁾

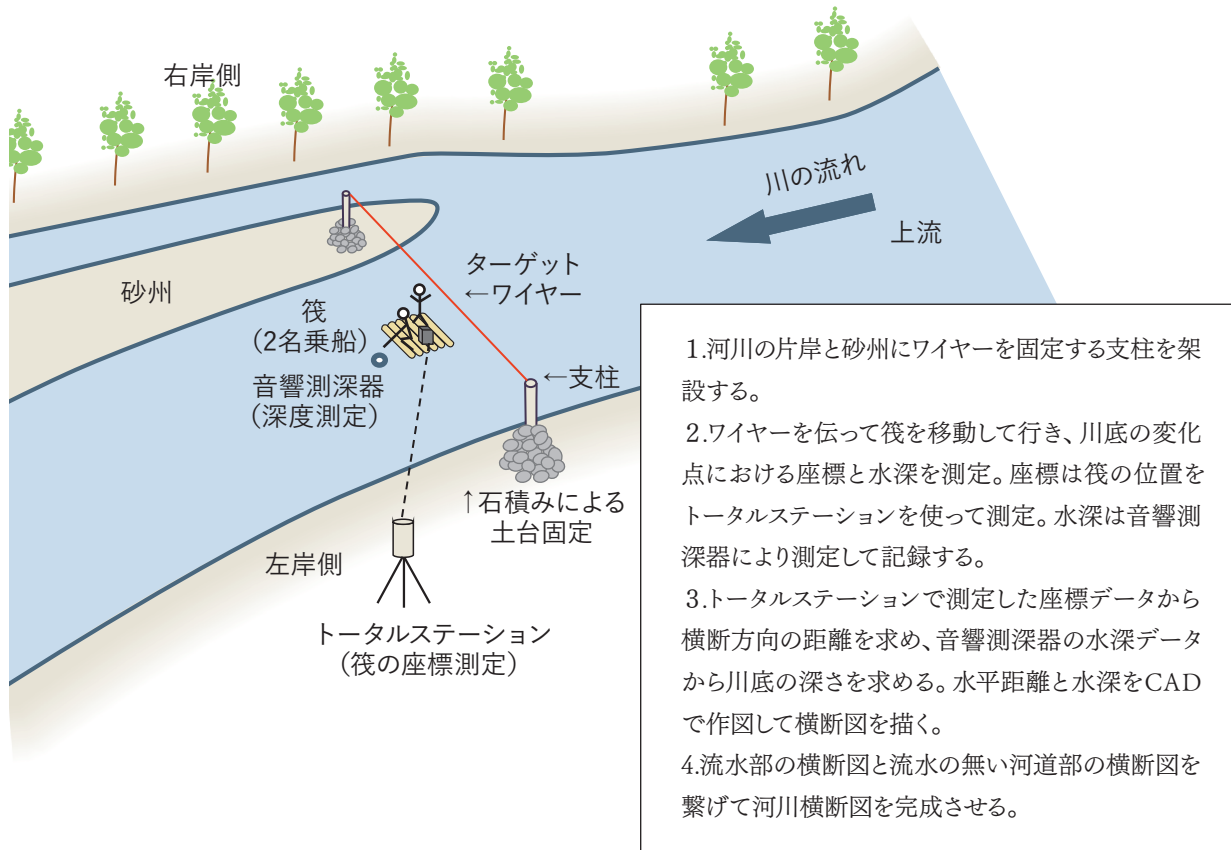


図3.20 河川の水深が深い箇所の測量^{1),2)}

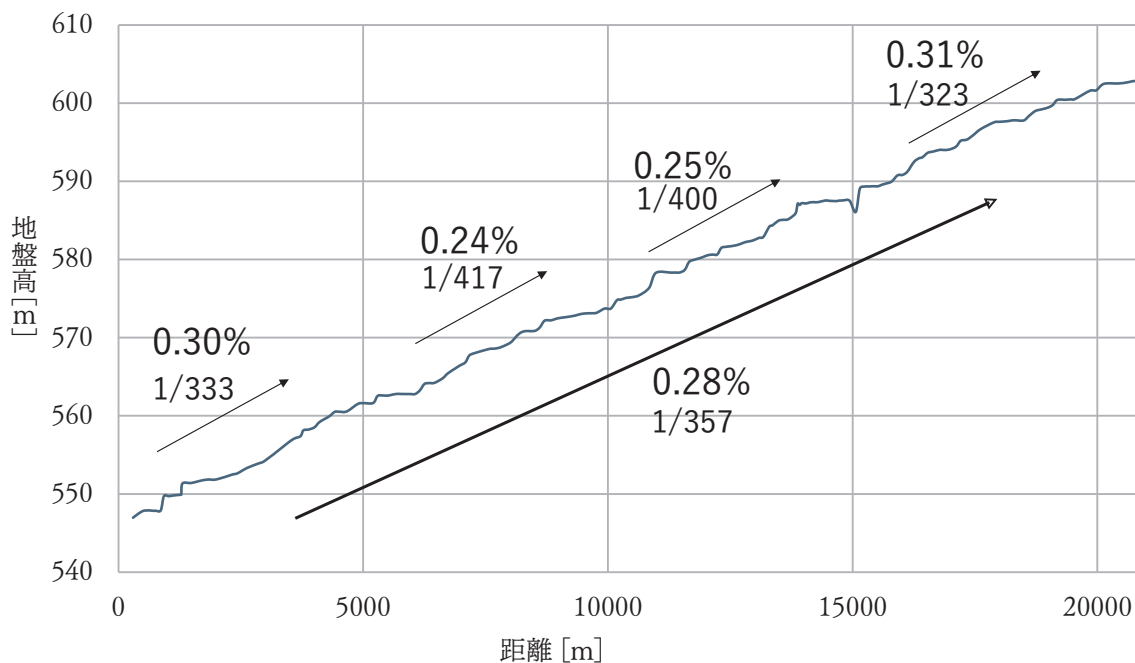


図3.21 縦断面図の例¹⁵⁾

3.5.3 | 新しい河川測量

新たな河川測量の方法として、追尾型トータルステーション、3Dレーザー測量機器、ドローンおよびADCP(超音波多層式流速計)について、以下に使用事例を紹介する。これらは既存のトータルステーションに比べて、より効率的かつ精密な測量を行うことができるため、将来的にアフガニスタンにおいても活用が期待される。

- 追尾型トータルステーションとは、コントロールユニットを内蔵したターゲットを操作して自動追尾型のトータルステーションにより自動で測量が出来る機械であり、省力化を図ることができる。
- 3Dレーザー測量機器は、3次元レーザースキャナーにより、現地状況を3次元の点群データとして記録することにより精密な3次元測量を行うことができる。
- ドローンは近年注目を集めている測量機器で、ドローンにより空撮を行い、それら複数の空撮画像を解析統合することにより3次元データを作ることができる。
- ADCPは、水面下の測量を行えるもので、水面下の河道地形とともに流速を観測することができるため、流量を観測することができる。ADCPはNWARAが導入して実践的な活用を進めている。

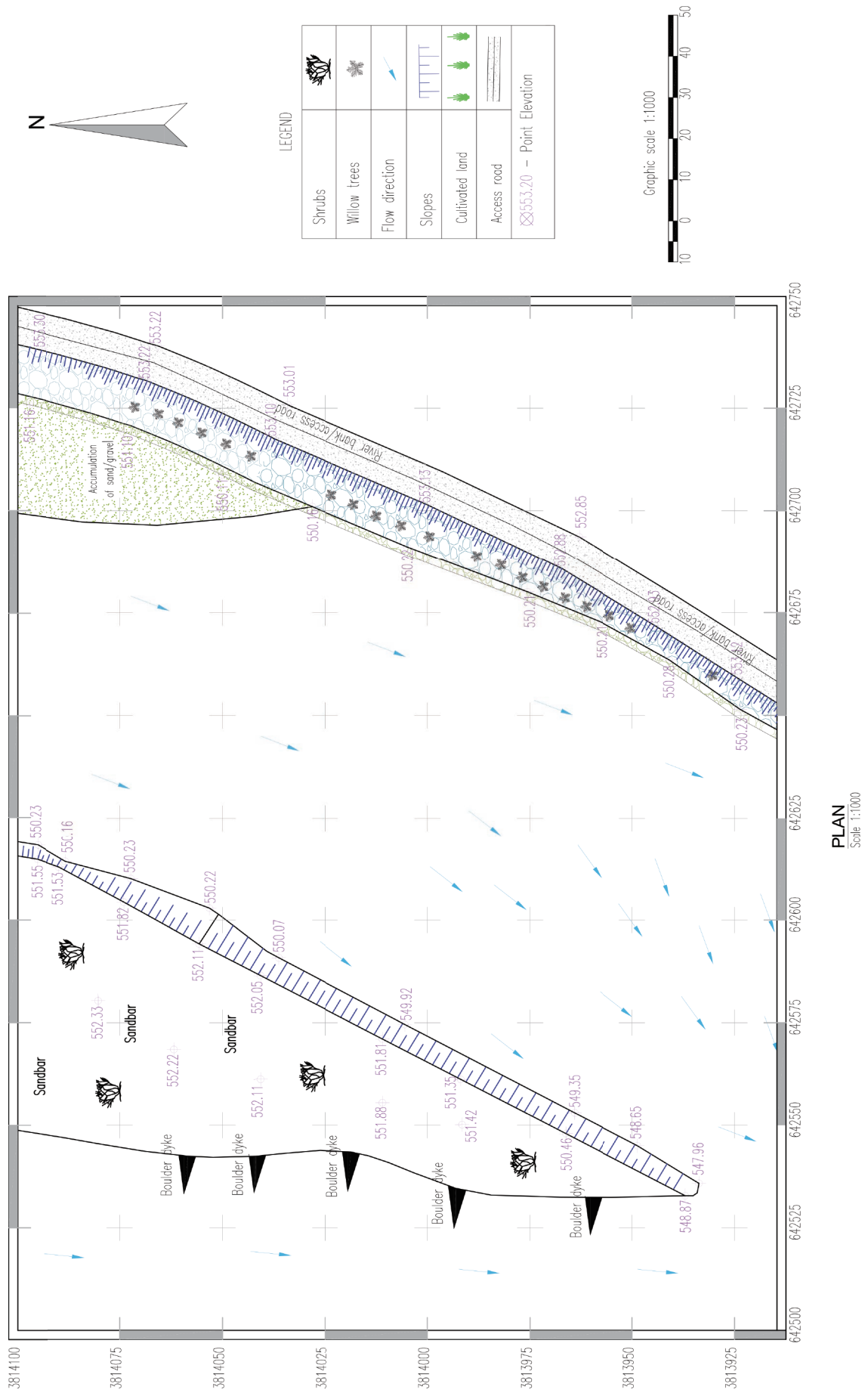


図3.22 平面図の例¹⁵⁾

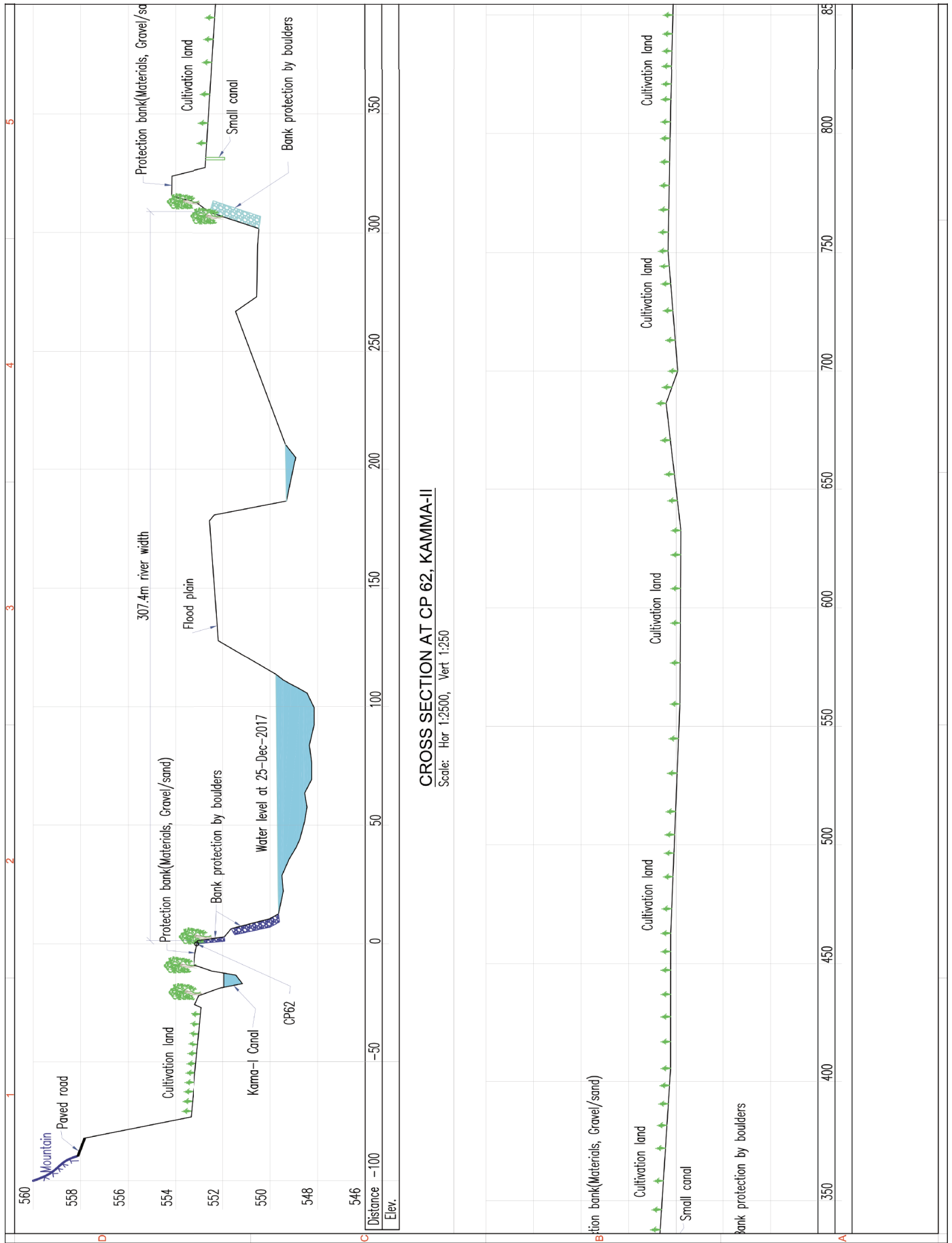


図3.23 横断面図の例¹⁵⁾



追尾型トータルステーションの使用事例²⁾



3Dレーザー測量機器の使用事例²⁾



ドローンの使用事例²⁾



ADCPの使用事例¹⁶⁾

写真3.8 新たな水文観測

3.6 灌漑施設の計画・設計のための基本量（水位、流量、流砂の粒径と量）の設定

次章以降の第4章、第5章にて、灌漑施設（水利施設・洪水対策施設）の設計手法について解説している。灌漑施設を設計するためには、河川における次のような設計条件を設定する必要がある。

- ・取水堰・取水門の設計条件：1) 計画渇水流量・計画渇水位、2) 計画洪水流量・計画洪水位
- ・急勾配主幹用水路・沈砂池、主幹用水路・貯水池等の設計条件：1) 流砂量・流砂径
- ・堤防・石出し水制の設計条件：1) 計画洪水流量・計画洪水位

3.6.1 計画渇水流量・計画渇水位の設定

渇水時においても確実に必要取水量が取水できるように計画するが、どの程度の渇水を想定して水利施設を計画するかをまず決めなければならない。

PMS方式灌漑事業では、コラム3-2に示した河川水位変動のグラフのように、堰地点の河川における年間の水位・流量変動を観察して、渇水期（冬季）の最渇水位を計画渇水位とする。聞き取り調査によりその水位の検証を行う。アフガニスタンは、雪解け水を水源とした河川が多く、最渇水位となる渇水期（冬季）は基底流出しているため、年によってその水位に大きな差がないと考えられる。そのため、ある年の渇水期の水位の観察により、計画渇水位を判断しても渇水位に大きな誤差

は生じないと考えられる。ただし、洪水による河床変動により、年により水位が変わる場合があることに留意する。なお、アフガニスタンでは水文観測の密度が小さいため、適切な場所の水文データが不足している場合もあり、当該地点での濁水位によって計画濁水位を設定することが望ましい。過去に生じたことのある大濁水時の最濁水位が分かる場合には、以下に述べている確率評価などから適切に計画濁水位を設定する。

計画濁水流量は、計画濁水位を流量換算したものとする。流量換算の方法は、3.4.2節を参照する。ただし、河道の断面が計画濁水位を設定したときと同じではない場合、誤差が生じることがある点に留意する。さらに、設定した計画濁水流量がどのくらいの確率規模になるか把握する。一般的に、灌漑事業の計画においては、5年確率濁水流量（日本では10年確率）が計画濁水流量として採用されており、既存のPMS灌漑施設でも5年確率濁水流量においても取水が可能なように計画されている。堰地点の濁水流量の確率評価に利用する資料は、水文観測所地点の資料であること、データが限られていること、気候変動や人為的影響により過去の傾向と異なっている可能性があることなどのため不確実性が高いこと、堰地点の流量との差があることに留意する。したがって、上下流の支川流入や取水量を考慮して、水文観測所地点の流量を計画濁水流量に換算することによって精度を上げることが必要である。確率規模が極端に小さくなる場合は、頻繁に計画濁水流量より小さい流量が発生するということになるため、上記の留意点について計画濁水位から流量換算が妥当か、計画濁水位が妥当か確認して再設定する。また、同様に、確率規模が極端に大きくなる場合には、同様に妥当性を確認して再設定する。

3.6.2 | 計画洪水流量・計画洪水水位の設定

計画洪水流量・計画洪水水位は、堤防や水制工など、河川構造物の洪水に対する安全性を計画する際に対象とする洪水流量・洪水水位である。PMS方式灌漑事業では洪水時の既往最大の痕跡水位を観察または聞き取りで把握して洪水水位を決め、それを流量換算したものを計画洪水流量とする。設定した計画洪水流量がどのくらいの確率規模になるか把握する。計画濁水流量の設定と同様に、留意点や妥当性を確認して必要に応じて再設定する。計画洪水水位は、堰の影響を考慮するため、後述の第5章、5.2.3(2)堤防の縦断設計に示す方法にて算定を行う。

なお、計画水位・計画流量を設定する方法には、観察水位や痕跡水位を参考にする方法と計算による方法がある。既存のPMS灌漑事業では、アフガニスタンにおける気候変動の影響やデータの質・量による計算の不確実性、計算ができる人材が豊富ではない、などにより、観察水位や痕跡水位を参考にする方法で計画水位・計画流量を決めているが、可能な限り計算による方法についても分析して、聞き取りなど多様な資料をみて総合的に判断（クロスチェック）することが必要である。計算による方法とは、対象とする確率年を決めて、水文観測所における確率評価から対象とする確率年の流量を計画流量として、その流量から堰を考慮した条件下での等流計算・不等流計算（観測所地点から堰地点までの計算）などにより水位を算出して計画水位として算定するものである。

3.6.3 | 計画流砂量および計画土砂粒径の設定

計画渇水時または計画洪水時における流砂量と流砂径を設計条件として、表3.8に示すPMS方式灌漑施設を設計する。

表3.8 計画流砂量と計画流砂径を適用する灌漑施設とそれぞれの設計方法²⁾

No.	PMS灌漑施設の設計諸元	設計の方法
1	取水堰における土砂吐きの設計（幅および勾配）	<ul style="list-style-type: none"> ・河道に計画洪水流量が流下した場合に、取水堰の上流から流されて堰の背面に堆積する土砂の礫径を、流速と移動限界粒径の関係から計算で求める。 ・堆積を想定した粒径の土砂が排出できる速度が確保できるように、土砂吐きの幅と底面勾配を、マンニング式を用いて設定する。
2	急勾配主幹用水路の断面および勾配	<ul style="list-style-type: none"> ・渇水期の灌漑水量送水時でも河川から取水した水に含まれる浮遊砂が堆積しないための流速を確保できるように、急勾配主幹用水路の断面（幅・深さ）を設定する。 ・粒径調査により得られた粒径の砂が急勾配主幹用水路の流速で問題なく流され、堆積が生じないか否かの確認を行う。
3	沈砂池の形状	<ul style="list-style-type: none"> ・急勾配主幹用水路から沈砂池に導かれた砂が、沈降可能な沈砂池の形状を設定する。沈砂目標とする粒径の砂が沈降可能な適切な表面負荷率と移動速度が確保できるような形状を設定する。 ・取水した水に含まれる浮遊砂の濃度から堆積土砂量を推定し、沈砂池の浚渫等維持管理頻度との関連からも、適切な沈砂池容量および沈砂池の設置箇所数を設定する。

3.6.4 | 不等流計算による河川の水利諸量の推定

ある一定流量が河川を流れるときの水位や流速を計算する方法としては、等流計算および不等流計算がある。等流計算は、断面形および勾配が縦断的に変化しないと考えられる河川や水路に、時間的に一定の流量が流れる場合に用いられ、マンニングの式で人工水路など水位や流速が計算される。一方、不等流計算は、断面形および勾配がおだやかに変化する河川や水路に、時間的に一定の流量が流れる場合に用いられ、多くの河川の水位や流速の計算に用いられている。また、流量の時間的変化が無視できない場合は、不定流計算方法を用いて河川の水位や流速の縦断的、時間的変化を計算する。

河川の不等流計算を行うには、一定間隔で測量された河川横断面図が必要である。一定間隔とは、200mや500mなどであり、日本では河川測量間隔について200mを標準として河川の規模等によって適切に決めており、不等流計算をする場合には、広い川幅に細かい間隔の横断を入れても、平均的な水面形が得られないため、概ね川幅程度以上の間隔とする考えもあり、河川の規模に応じて適切に決める。上流から下流の複数の河川横断面に一定流量が流れると仮定して不等流計算を行うと、

各断面において河川水位と流速が計算でき、河川水位の縦断形状を把握することができる（図3.24参照）。これは堤防の高さを決める際に有用な情報となる。また、想定する流量での流水幅、水深、流速などの水理諸量の計算結果を用いて、河道の安定性（図3.9参照）や洗掘（巻末資料参照）などの水理解析ができる。不等流計算ができる多くのソフトウェアは無料で配布されており、US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center の HEC-RAS が有名である。

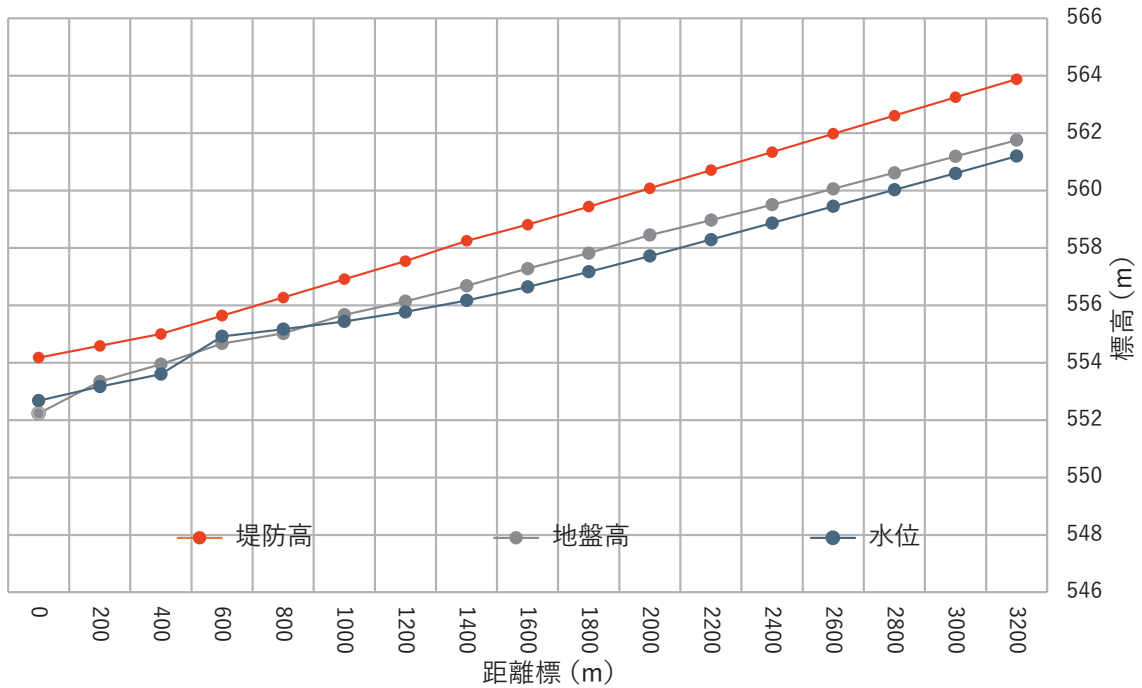


図3.24 不等流計算による河川水位縦断²⁾

