

第1章 貯水池

1.1 貯水池の現況

ダム貯水池の堆砂は、一般的には建設時に100年分の堆砂量を見越して設計されている。しかし、中央構造線に位置する天竜川等に見られるように、計画を越えた堆砂が進みダム本来の機能が保てないダムが顕在化してきている。一方、ダム下流域では土砂の供給が遮断されることで、河床洗掘が進み護岸基礎等が浮き上がったたり、海岸線の砂浜の後退・浸食が進む等の問題が発生している。また、河床の砂利減少等による生物の生息場の消失や外来種の繁殖等、生態系に変化が起きている。

このような背景を踏まえ、ダム貯水池本来の機能回復あるいは再開発を実施するにあたり、貯水池の堆砂対策だけを考えるのではなく、水域全体を土砂の移動と捉えた流砂系として、総合的な排砂対策が強く求められている。

1.1.1 ダム堆砂の現況

平成17年度に各ダムの管理者が実施した堆砂の調査結果によると、国土交通省に報告のあった964ダムの堆砂率（総貯水容量に対する実績堆砂量の比）は平均で約8%となっている（表-1.1.1）。また、地域別では、中部地方の堆砂率が高い状況になっている（図-1.1.1）。

表-1.1.1 ダム堆砂の調査結果³⁵⁾ 17年度現在

ダム管理者	調査ダム数	堆砂率
国土交通省直轄	411	平均 6%
水資源機構		
都道府県		
発電専用	328	平均 12%
その他の利水専用	235	平均 6%
計	974	平均 8%

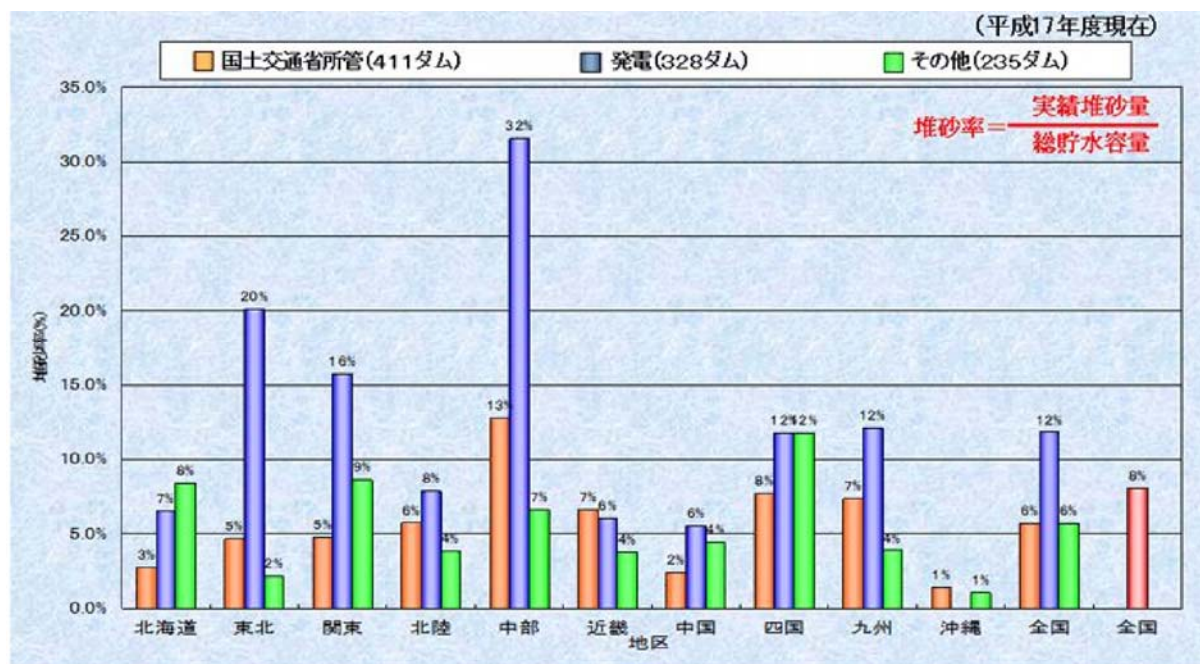


図-1.1.1 地域別堆砂状況³⁵⁾

堆砂量の多いダムが中部地域に偏っている原因としては、中央構造線、糸魚川静岡構造線の大断層があり、年間の降水量が多いことも影響していると考えられる。このため、山地部における山腹崩壊・土石流による災害の発生、荒廃山地からの流出土砂がダム貯水池の堆砂を進行させている。それらは、図-1.1.2の土砂生産量強度マップからも概ね一致している。

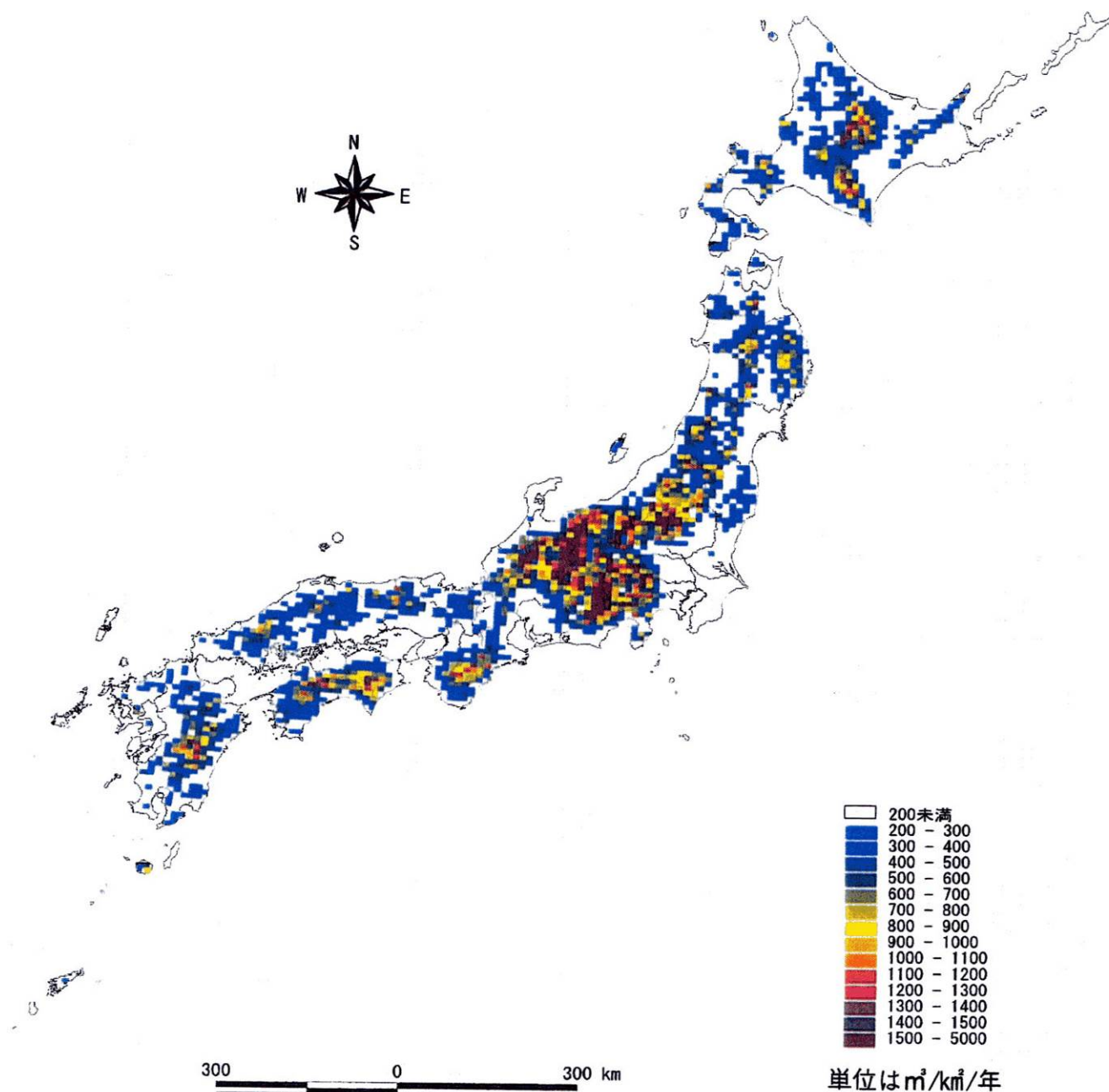


図-1.1.2 土砂生産量強度マップ²⁾

また、図-1.1.3をみると、発電ダムが堆砂率上位50ダムの内大半を占めている。その理由として、発電ダムは山間奥地の急流部に設けられるケースが多いことや、他方、堆砂が進んでも有効落差を維持できれば貯水容量は発電にあまり影響がないこと等が考えられる。表-1.1.2は、電力専用ダムにおける1,000万m³以上堆砂している水系の堆砂量と堆砂率を示したものである。それらのうち堆砂量の多い上位10水系を図-1.1.4に示す。

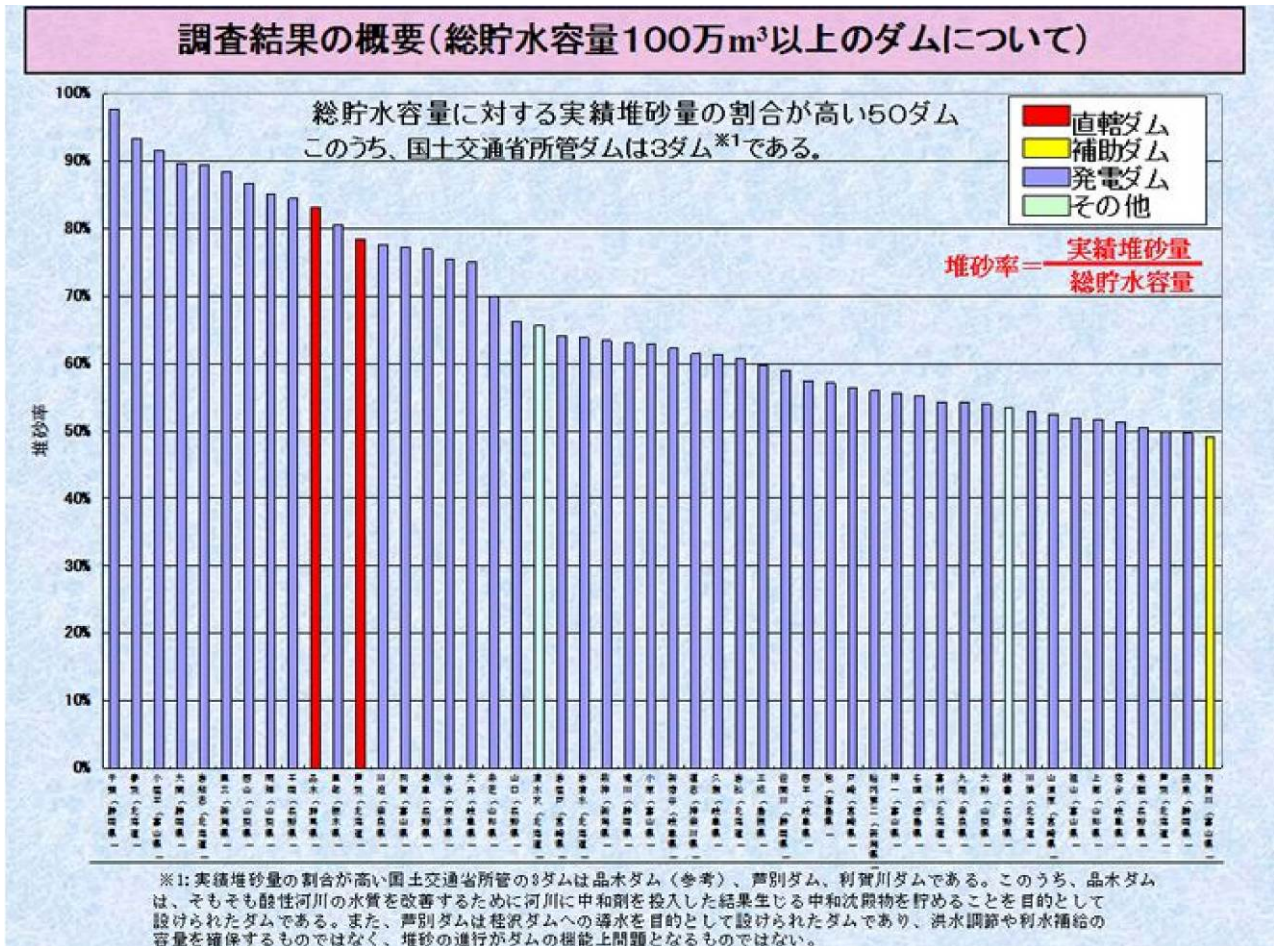


図-1.1.3 堆砂率の高いダム³⁵⁾

表-1.1.2 電力専用ダムにおける堆砂量の多い水系⁴⁾

順位	水系(地域)	総貯水量(千m ³)	堆砂量(千m ³)	堆砂率(%)	地点数
1	天竜川(中部)	522,506	183,502	35.1	9
2	大井川(中部)	289,022	117,015	40.5	9
3	木曾川(中部)	648,775	100,807	15.5	27
4	庄川(北陸)	598,368	67,813	11.3	14
5	阿賀野川(東北)	1,400,996	56,729	4.0	20
6	信濃川(中部・東北)	536,102	50,661	9.4	28
7	新宮川(近畿)	703,384	38,713	5.5	10
8	黒部川(北陸)	210,417	34,056	16.2	3
9	石狩川(北海道)	148,644	32,777	22.1	10
10	利根川(関東)	619,149	26,908	4.3	19
11	北上川(東北)	351,997	26,099	7.4	9
12	相模川(関東)	147,575	25,508	17.3	7
13	吉野川(四国)	538,917	24,505	4.5	12
14	耳川(九州)	151,803	22,139	14.6	7
15	神通川(北陸)	193,612	21,926	11.3	10
16	大淀川(九州)	157,902	20,630	13.1	7
17	十勝川(北海道)	239,906	20,622	8.6	7
18	那賀川(四国)	77,491	19,981	25.8	3
19	一ツ瀬川(九州)	280,796	17,170	6.1	4
20	富士川(関東・中部)	75,342	17,112	22.7	8
21	小丸川(九州)	83,595	16,149	19.3	4
22	九頭竜川(北陸)	422,541	12,809	3.0	7
23	雄物川(東北)	109,898	11,432	10.6	7
24	静内川(北海道)	271,410	10,775	4.0	5
25	手取川(北陸)	267,271	10,357	3.9	4
26	赤川(東北)	97,853	10,221	10.4	4
27	三面川(東北)	185,040	10,097	5.5	3

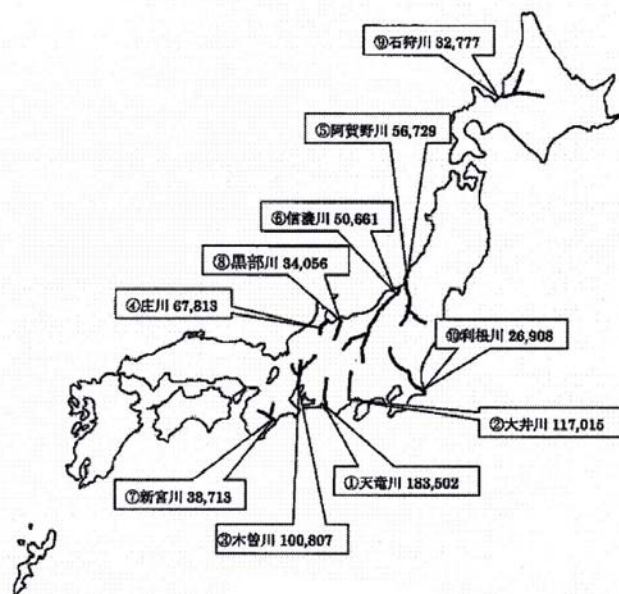


図-1.1.4 堆砂量の多い上位10水系⁴⁾ (単位:千m³)

1.1.2 ダム堆砂の性状

(1) ダム堆砂の形状

ダム堆砂は、図-1.1.5における図-①が典型的な形状であり、流入土砂量、粒度分布、貯水池の規模・形状、水温成層などの履歴によって変化する。実際に大別すると図-②のような形状となることが多い。Ⅰ型は、掃流砂、浮遊砂ともに多量に流入する場合に形成され、デルタ肩の高さは低水位付近にあることが多い。Ⅱ型は、掃流砂の流入がほとんどなく、大部分が微細な浮遊砂の場合であり、直上流に大規模な貯水池がある場合にこの形式となることが多い。Ⅲ型は、浮遊砂が少ない流域で、かつ、堆砂の比較的初期の段階に生じる。Ⅳ型は、掃流砂堆積層と浮遊砂堆積層との区別が明瞭ではなく、ダムに近いほど堆積層厚が厚くなる場合で、比較的規模の小さい貯水池で見られる。

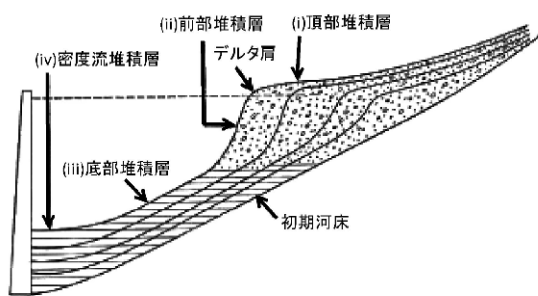


図 - ① 典型的な堆砂形状と堆砂過程²⁾

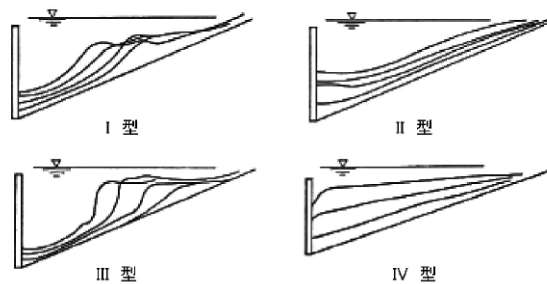


図-② 堆砂形状の基本型と堆砂過程²⁾

図-1.1.5 堆積土砂の経過³⁶⁾

(2) ダムの堆砂土砂の成分

ダムの堆砂は、貯水池末端で流速が急激に低下し河水の掃流力が弱まるため、図-1.1.6のように末端部から粒径の大きい掃流砂が堆積し、ウォッシュロード(シルト系)と浮遊砂(細粒土砂:粒径 1mm 以下)が堤体まで達する。河川を流下するこれらの土砂がダム貯水池に流入すると、貯水池の持つ堆積特性に応じて粒径ごとに分級された堆砂デルタが形成される。

貯水池内の堆砂領域は、①頂部堆積層 (Topset beds)、②前部堆積層 (Foreset beds) および③底部堆積層 (Bottomset beds) に大別され、デルタを構成する①および②には河床を転動してきた掃流砂および浮遊砂のうち粒径の比較的粗い部分(0.1~0.2mm以上)が堆積している。このうち②はデルタの肩を通過した掃流砂がその直下に堆積し、それに浮遊砂による影響が加わって形成される比較的勾配の急な部分である。デルタは一般に時間経過とともに前進すると同時に、その上流端は上流へ遡上していく。ダム直上流に水平に堆積した③の堆積物はほとんど粒径が0.1mm以下のウォッシュロードであり、主に濁水の密度流に起因するものである。

1.1.3 総合的な土砂管理

ダムは、大量の水を貯めると同時に大量の土砂も貯めており、流砂系における土砂の連続性を遮断し、下流への土砂供給量を減少させる施設となっている。ダム貯水池の土砂管理を行なう場合、貯水池の有効容量の減少に対する堆砂対策という観点からの取り組みを転換し、国土管理、総合的な土砂管理という観点でダムの堆砂対策、土砂管理を考えていくことが求められている。

平成10年7月に河川審議会総合政策委員会の総合土砂管理小委員会の報告が出されたが、その中で流域の安全確保、利活用、環境の保全を適正に実施するため、森林を含む山地部から海岸域までの土砂の移動領域の全体を「流砂系」という新しい概念で捉えた総合的な土砂管理の推進が謳われている。図-1.1.7に流砂系総合土砂管理計画図を示す。

すなわち、従前の土砂管理は、水系一貫の観点で河川管理の中で行われてきたが、今回の報告では、水系と異なる流砂系という新たな対象領域を設定し、その観点で土砂管理を行なうべきとしている。これは、土砂が洪水等により河川を流下しているため、水の管理と密接な関連を有するものがあるが、水系とは別に海岸域も含めた流砂系という観点から、水理管理と並ぶ国土管理の一つの柱として総合的に取り組むことが必要との認識によるものである。

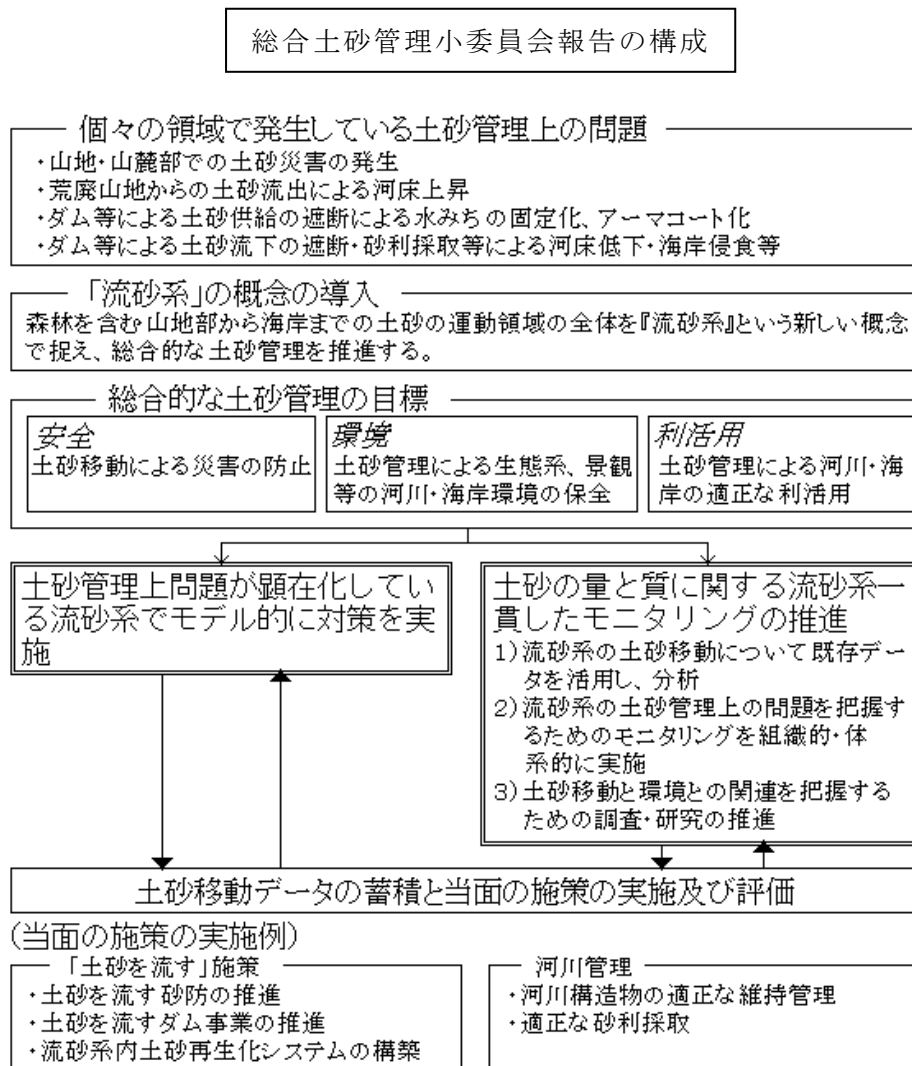


図-1.1.7 流砂系総合土砂管理計画図¹⁾

□事例 1：北陸地方整備局管内の総合土砂管理

北陸地域は、図-1.1.8 に示すように北アルプスに代表される火山地域や荒廃地域が上流に広がり、また、日本でも有数の多雨多雪地帯でもあること等から、ひとたび大雨になると、山は崩壊し、洪水や河川に流れこんだ多量の土砂は、大きな災害を引き起こしてきている。

土砂による災害を防ぐために、砂防ダムの建設をはじめとする砂防事業が進められてきたが、自然界の物質循環のなかでの土砂の流れに対して人の手を加えた結果、著しい堆砂によるダム機能の低下、平野部や河口部での河床の低下、海岸線の後退などの問題を引き起こしている。このため、これからの土砂の管理にあたっては、水の循環と同様、水源から河口・海岸までを視野に入れ、バランスのとれた総合的な対策が欠かせないものとなっている(図-1.1.9)。

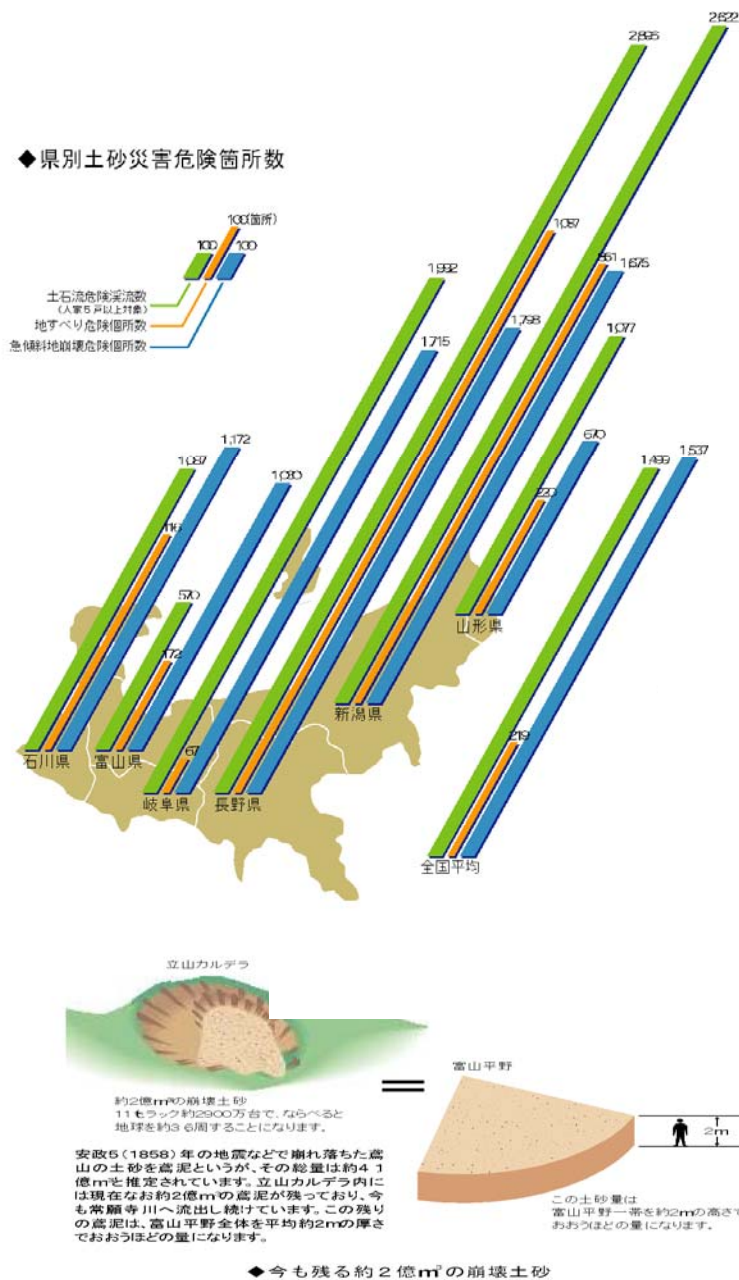


図-1.1.8 北陸地域の自然環境 33)



図-1.1.9 流砂系全体の総合的な土砂管理²⁹⁾

■ 施策 1 (砂防ダム)

防災機能を確保しつつ、下流への土砂供給を確保しうる砂防事業を推進するため、砂防工事は貯砂の目的から、土砂の調整を目的とするものになってきた。

- ・ オープンタイプの砂防ダムの設置
- ・ 既設砂防ダムのスリット化等

■ 施策 2 (貯水ダム)

土砂を流すダム事業を推進する。

- ・ 排砂設備の設置
- ・ ダム下流の土砂を自然に流すためのダム放流等

■ 施策 3 (平野部)

土砂再生化システムを構築する。

- ・ 砂防ダム・貯水ダム等の堆積土砂を除石・搬送し、下流河道への還元や海岸の養浜等へ活用

■ 効果

- ・ 適正な量と質の土砂を下流へ供給
- ・ 自然な河川環境の再生
- ・ 砂浜の再生 (図-1.1.10)



黒部川海岸部

図-1.1.10 砂浜の再生⁴⁰⁾

□事例 2：耳川における総合土砂管理

河川管理者である宮崎県は、河川の安全、水の利用及び河川環境の保全の観点から、これらの土砂に起因する様々な問題を流域全体で正しく捉え、山地からダム、河川、海岸までの流域全体の土砂の流れを管理する総合的な土砂管理を推進している。九州電力は、深刻化するダムの堆砂問題について耳川水系総合土砂管理におけるダム領域の行動計画として検討を行い、その結果、これまでダムで遮断されてきた河川本来の土砂の流れを取り戻すことを目指し、山須原ダム、西郷ダム及び大内原ダムの連携によるダム通砂運用を基軸とした行動計画を策定して進めている。

・ダムの改造および通砂のイメージ

山須原ダムは9mの切り下げ、西郷ダムは4mの切り下げを行う

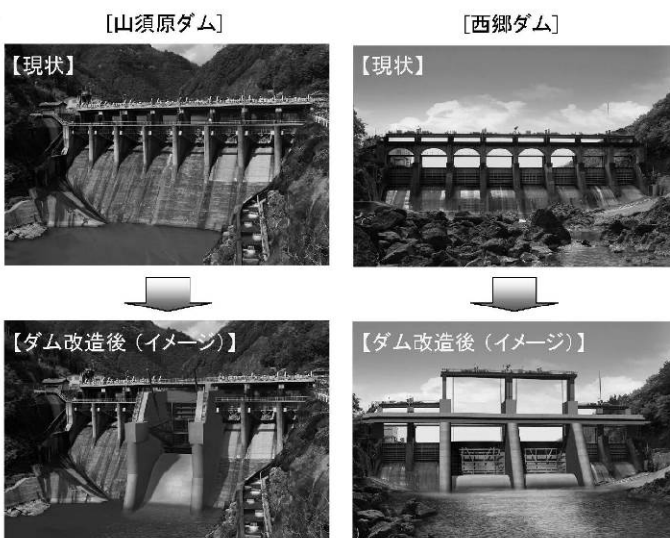


図-1.1.11 ダム改造イメージ³⁸⁾

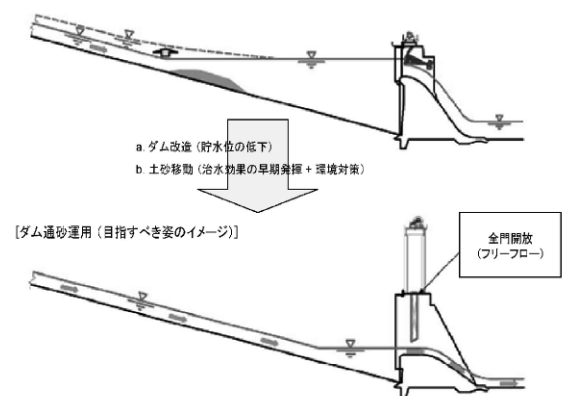


図-1.1.12 ダム通砂運用イメージ³⁸⁾

・貯水池土砂移動計画の対策目標

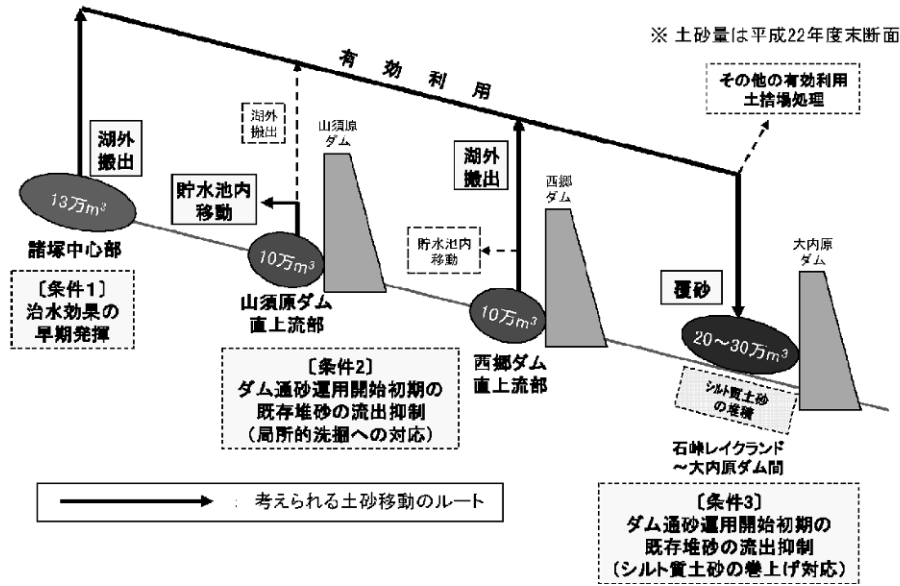


図-1.1.13 貯水池土砂移動計画の対策目標³⁸⁾

□事例 3：総合土砂管理における砂浜再生事例

ジェットポンプ式サンドバイパス工法

- ・堆積した砂を浸食された海岸に運搬

静岡県福田漁港では、天竜川から供給された土砂が、福田漁港側に堆積して航路を埋めてしまうと同時に、隣接する浅羽海岸側では砂の供給が不足して浸食が進むという二つの課題を抱えていた。現場に導入した工法は、砂が堆積する部分に特殊なジェットポンプを設置して、そこから砂を吸い上げ、海水と混ぜ、供給したい地点までパイプラインで輸送する工法である。

ジェットポンプで砂を吸い上げる仕組みは、海水をポンプで取り込んで圧力を上げ、その高圧水を海底の砂に向けて噴射し、海底の砂を液状化させ、スラリー状にする。海底に噴出するノズルの近くにはコーンミキサーと呼ぶ受け口部に向かって高圧水を上向きに噴出するノズルを設け、このノズル周辺で発生する負圧を利用し、液状化したスラリーをコーンミキサー部に吸い込む。スラリーは海上の栈橋に設けた“とい”まで持ち上げられ、といの傾斜に沿って移動した後、振動ふるいに到達する。ここで礫などを除去した後、見かけの体積濃度が約15%となるように調整する。最後に濃度調整したスラリーをポンプによって海岸の浸食域まで運ぶ。このシステムにより約2.2kmを輸送する。



図-1.1.14 サンドバイパスイメージ³⁹⁾



図-1.1.15 サンドバイパス全景³⁹⁾



図-1.1.16 ジェットポンプを設置した採砂棧橋³⁹⁾



図-1.1.17 架設棧橋から斜杭を打設³⁹⁾



図-1.1.18 2.2キロ離れた海岸に砂を送り出す³⁹⁾

1.2 排砂技術の概要

1.2.1 技術概要

貯水池の排砂技術は、従来から貯水池内の水位をできるだけ低下させて、掘削や浚渫をする方法が採用されてきた。近年では、制限水位等による水位低下の制約、掘削することでの濁水の発生および経済性、環境復元等の課題から多種多様な方法が実施されてきている。

それらの排砂リニューアル技術について、図-1.2.1に示すように貯水池上流側で流入土砂を食い止め処理する技術と、貯水池内に堆積した土砂を処理する技術に分類し、これら工法技術の背景や目的ならびに技術概要について事例を挙げて解説する。さらに、最近の新しい技術開発について紹介する。また、本章で使われる工法用語の説明について下表に示す。

<工法用語の説明>

貯砂ダム	貯水池上流端に堰を設置して土砂を堆積させ、掘削排除する施設
排砂バイパス	貯水池上流端から土砂等を取り込んで、排砂トンネル水路によって下流へ流す施設
掘削・浚渫	掘削は、貯水池上流部等に堆積した土砂を、陸上掘削機械等で採取・移動する方法 浚渫は、ポンプ船やグラブ船等で水中に堆積した土砂を採取・移動する方法
フラッシング	貯水位を低下させ、流入水の掃流力により堆積土砂をダム下流へ放出させる方法
スルーシング	土砂流入の多い洪水期に貯水位を低位に維持して、そのまま流入土砂を通過させる方法 密度流排出も同様な方法
密度流排砂	スルーシングの一種で、高濃度の土砂を混入した流れが比較的深い貯水池内をあまり拡散せずに密度流となって流下する特性を利用して、ダム堤体に到達するタイミングに合わせてゲート放流等により排出する方法
渦動排砂管	スリットを有する管に濃度の高い底面付近の水を取り込み、管内に発生する渦によって土砂をダム下流へ流送する方法
水圧吸引土砂排除工法	貯水池上下流の水位差等の圧力差を利用して、管内に土砂を吸引し下流へ流送する方法
ウォッシュロード	河川中に浮遊している浮遊流砂(シルト系)
浮遊砂	浮遊状態で流下していくウォッシュロードとを含めて浮遊砂(粒径1mm以下砂)という
掃流砂	流水によって流掃される砂礫土砂

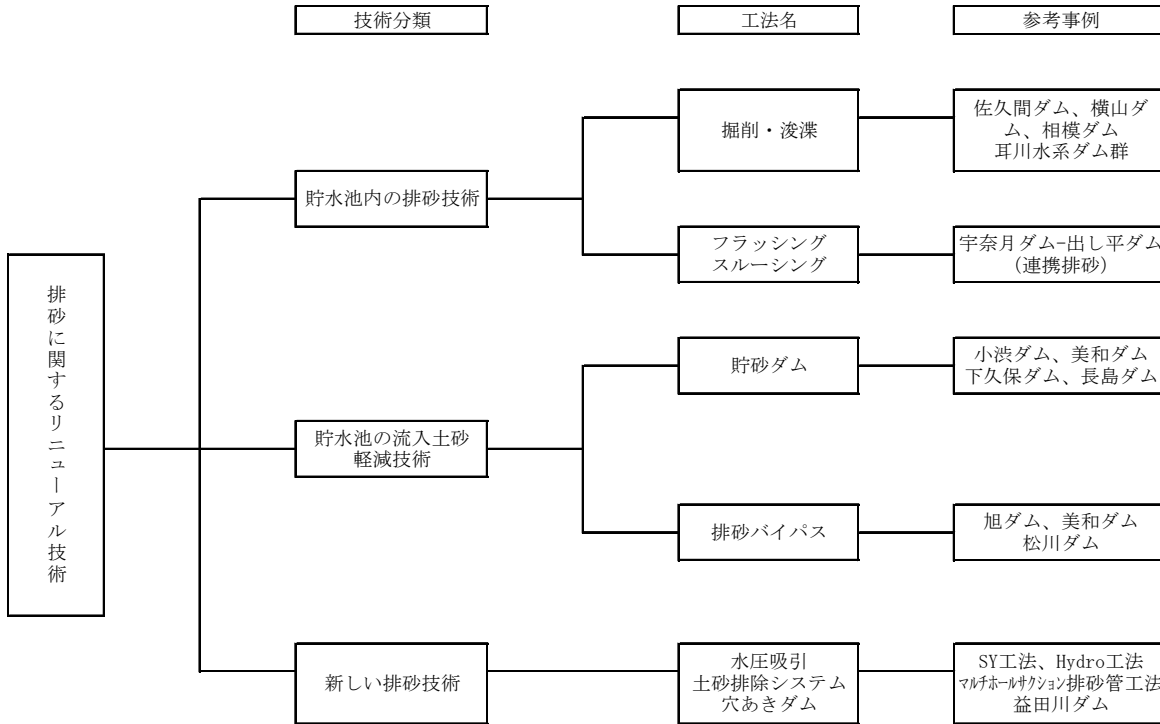


図-1.2.1 貯水池における排砂技術の分類

1.2.2 既往の排砂事例

昭和初期から建設された発電ダムでは、従来から満砂後は洪水時に排砂門やクレスト余水吐き等から排砂してきたようである。これに対して、満砂していない貯水池においては、陸上掘削や浚渫による機能回復を行っている事例が多い。

1) 開水路による排砂事例

① 千頭ダム、大間ダム、寸又川ダム

千頭ダム:排砂路によって洪水時に増水期 70 m³/s~減水期 40 m³/s の間で排砂している。

大間ダム:ダムクレスト余水吐きに設けたテンダーゲートの操作で排砂している。

寸又川ダム:クレストゲートの操作により排砂している。

② 平岡ダム、泰阜ダム

平岡ダム:排砂設備は持たないが、洪水時にダムの洪水吐きゲートを全開することにより排砂し、貯水池上流では砂利採取も行っている。

泰阜ダム:排砂隧道を取水口の近くに設け、1回当たり 130,000 m³の排砂をしている。

③ 小屋平ダム、仙人谷ダム

これらは黒部川中流域の重力式コンクリートダムで、排砂門から洪水時に排砂している。

2) 排砂管による排砂事例

大井川水系井川ダムには、φ 2300mm の排砂管が設置されており、年 1 回程度の操作機器点検時に、300,000 m³程度の排砂が行われている。

3) 掘削、浚渫による排砂事例

① 小渋ダム:計画堆砂量 2,000 万 m³に対して、実績堆砂量のほうがわずかに多いため、貯水池末端に貯砂ダムを建設し、ここで土砂を堆積させ掘削している。

② 美和ダム:昭和 34 年から昭和 48 年までに、185 万 m³の陸上掘削、浚渫による排砂を行ってきた。その後の検討で、水深 10m まではポンプ船を導入し排砂している。

③その他ダム:電力系ダム等の既往事例における目的、施工法および土砂処分等の実績を表-1.2.2に示す。

最近の電力ダムの堆砂対策の調査によれば、ダムが設置運用されて以来、2004年12月末までに外に排除したダム・調整池は、全354箇所のうち114箇所あり、外に排除した排砂量が把握されていない36箇所を含めると、全体の42%程で実施されている。その調査結果を表-1.2.1に示す。

表の中の「湖内移動」とは、有効容量内に堆積したものを貯水池内で移動させることをいう。この方法は、死水容量の空スペースに有効容量に堆積した土砂を移動することで、外への搬出量を少なくする方法である。図-1.2.2に佐久間ダムと雨畑ダムの死水容量の関係を示す。

「流砂促進」とは、貯水池水位を低下させて中・上流部を河道状態として土砂を下流部へ移動させる方法である。また、「排砂放流等」は、排砂ゲート等排砂設備から下流へ排砂することである。

表-1.2.1 堆砂排除実績⁴⁾

排除方法	排除総量(千m3)	比率(%)	件数	備考
浚渫	24,800	35.2	44	外に数量不明7件
土石採取	20,843	29.6	41	外に数量不明8件
掘削排除	1,376	1.9	6	段丘処理を含む
湖内移動	9,801	13.9	11	
排砂放流等	6,488	9.2	6	自然流下を含む、量不明21件
流砂促進	6,940	9.8	1	
排除利用試験	162	0.2	4	
フラッシング	120	0.2	1	土砂供給、掃流など
計	70,530	100.0	114	

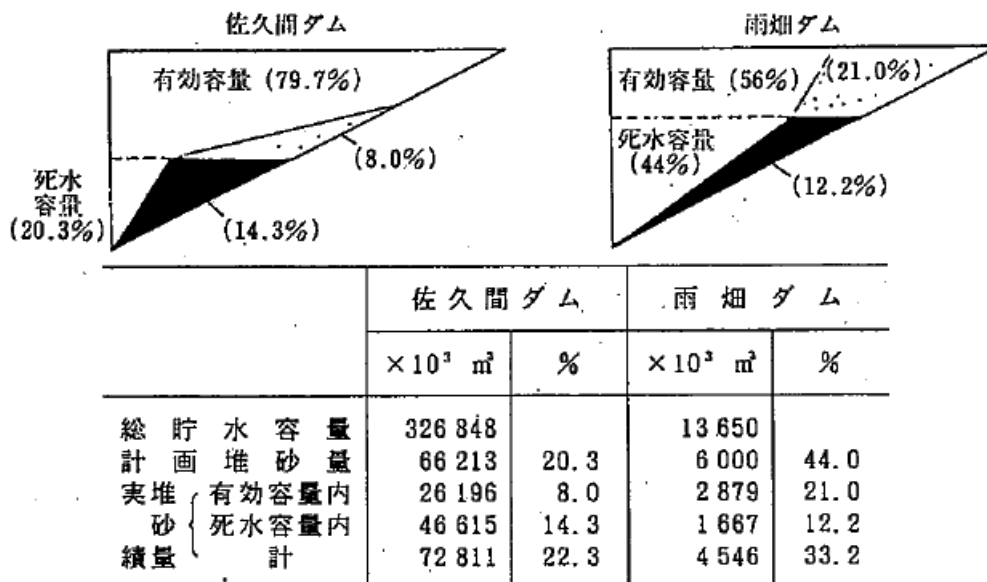


図-1.2.2 佐久間ダムと雨畑ダムの堆砂量と死水容量の関係³⁾

表-1.2.2 陸上・水上(浚渫)掘削によるダム排砂の実績事例 (28)

ダム名	管理者	目的		掘削		施工方法		処分方法		汚濁対策		余水処理		障害物		浚渫規模						土質条件																	
		洪水災害の防止	発電所の出力増強	取水口付近の堆砂除去	埋砂除去の工法実験	堰体の安全率低下防止	貯水量の確保	陸上掘削	水上掘削	浚渫	運搬	投棄	有効	利用	特になし	汚濁防止対策給	その他	必要なし	自然沈殿	集積沈殿	通過	その他	特になし	雑多ゴミ	その他	水深	面積	土厚	土量 (m ³)	土質分類名	N値	含水比 (%)							
						ポンプ船	グラブ船	バックホウ船	陸上土工機	その他	パイプ	土運船	ダンブトラック	ベルトコンベア	その他											最大 (m)	平均 (m)	幅 (m)	延長 (m)	平均 (m)	最大 (m)	最小 (m)	平均 (m)	最大 (m)	最小 (m)				
いわらし 岩知志 発電所	北海道 電力				○				○																16	12	14	60	105			4			16,600	砂質土	-		
ひがし 八久和 貯水池	東北 電力			○																				30	10	20	50	500	25,000	10	5	4	100,000	砂質土	5~30	25~ 130			
うまが 上田 発電所	東北電 気工事				○																			-	-	9	57	70	3,990	-	-	4.7	18,475	砂質土	0~20	40~ 150			
うまが 上田 発電所	東北 電力				○																			-	-	9	-	5,100	-	-	2.4	12,100	砂質土	0~20	40~ 150				
しほま 第2豊美 発電所	東北 電力				○																			-	-	7.5	-	-	-	-	-	6,010	砂質土	-					
しほま 品木 ダム	建設省				○																			5	0	2.5	80	75	6,000	3	0.5	1	5,580	粘性土	0~5	100~ 300			
沖浦 ダム	建設省				○																			12	8	10	140	300	14,000	10.2	2	5.4	76,250	砂質土	2~6	70~ 90			
あらいし 浅瀬石 川災害 復旧	青森県				○																			-	-	-	-	170,000	-	-	0	1.6	277,695	砂質土	15	40~ 70			
あらいし 相模 ダム	神奈川 県企業 局				○																			5	0	2.5	120	500	60,000	4	1	1.35	81,000	粘性・ 砂質土	0~10	40~ 150			
貯水池 底泥除 去実験	--				○																			25.7	22.4	23.8	10	90	900	1.5	-	0.3	169	砂質土	10~ 30	19~ 83.3			
貯水池 底泥除 去実験	--				○																			31.8	30	30.9	10	80	800	2.3	-	0.9	433	砂質土	10~ 30	26.9 ~ 73.4			