

ダム貯水池土砂管理の手引き（案）

平成30年3月

国土交通省
水管理・国土保全局 河川環境課

まえがき

国土交通省ではこれまで、治水・利水の課題に対処するため、流域の特性に応じ、河道、遊水地、放水路等の整備と組み合わせながらダムを整備してきた。

ダムは、洪水調節、流水の正常な機能の維持及び利水補給等、多様な目的を持つ重要な社会資本であり、これらの目的が達成されるよう流水の管理を行うとともに、その前提となるダムの安全性及び機能を長期にわたり有効に、かつ持続的に活用していくためには、PDCA サイクルによる貯水池の維持管理及び流水の管理や中長期的な維持管理方針を定めたダムの長寿命化計画による保全対策等を実施していくことが重要である。

また、平成 29 年 6 月には、既存ダムを有効活用するダム再生の取り組みを一層推進するための方策として「ダム再生ビジョン」を策定している。

一方、国土交通省が所管する河川管理施設のダムにおいては、既に 50 年以上を経過したダムが増加している状況であり、堆砂容量を超えて堆砂が進行することによる洪水調節や利水補給といったダムが有する機能への支障が懸念されている。

ダムの堆砂容量は有限であることから、既設ダムの機能を長期的に有効活用していくためには、各種調査等により貯水池の堆砂状況の特徴を面的及び縦断的に把握し、堆砂対策へのアセットマネジメントの採用や知見の蓄積、新たな工法の積極的な導入等に向けた検討を進め、より効果的・効率的な堆砂対策を推進し、長期にわたり既設ダムを有効活用できるようにしていくことが重要である。

こうした状況を踏まえ、今後の貯水池の堆砂対策をより効果的・効率的に推進する観点から、有識者を交えた「管理ダムの貯水池土砂管理に関する検討会」(座長:角 哲也 京都大学防災研究所 水資源環境研究センター教授)を設立し、本検討会で技術的な指導・助言を得て、貯水池の土砂管理のための調査や堆砂対策の実施判断等を「ダム貯水池土砂管理の手引き(案)」としてとりまとめた。

本手引きの記載事項を参考にダム貯水池における土砂管理の取り組み等を進めつつ、今後のより一層の的確かつ効果的な土砂管理が図られることを期待する。

なお、本手引きは、作成時点における技術的知見により作成しているため、今後、ダムの貯水池土砂管理に関する知見を積み重ね、新たな技術や知見等を踏まえ、必要に応じて本手引きを改訂する。

管理ダムの貯水池土砂管理に関する検討会

委員名簿

座長

角 哲也 京都大学防災研究所 水資源環境研究センター 教授

委員

中川 一 京都大学防災研究所長

土屋 智 静岡大学 農学部 環境森林科学科 教授

植田 彰 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水環境研究官

櫻井 寿之 国立研究開発法人土木研究所水工研究グループ 水理チーム 主任研究員

丸山 準 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 流水管理室長

宇根 寛 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 保全課 総合土砂企画官

二木 涉 国土交通省 北陸地方整備局 河川部 広域水管理官

栗木 信之 国土交通省 中部地方整備局 河川部 河川保全管理官

中岡 浩三 国土交通省 四国地方整備局 河川部 河川情報管理官

※敬称略 平成30年2月現在

ダム貯水池土砂管理の手引き（案）

目次

	頁
1. 総説	1
1.1 目的	1
1.2 適用範囲	3
1.3 位置付け	4
1.4 使用する語句の定義	4
2. 貯水池土砂管理のための調査・観測	5
2.1 基本調査	7
2.2 詳細調査	10
3. 堆砂対策の実施判断	18
3.1 堆砂進行度の把握	19
3.1.1 実績平均年堆砂量の把握	19
3.1.2 評価指標と管理水準	19
3.1.3 堆砂進行度の評価区分	20
3.2 堆砂対策の実施判断	21
3.3 対策必要量の検討	28
3.3.1 推定平均年堆砂量の算出	28
3.3.2 平均年残堆砂容量の算定	31
3.3.3 年対策必要量の算定	32
3.3.4 維持掘削可能量の検討	33
4. 記録の整理・蓄積	35

《巻末資料》

- I. アセットマネジメントの堆砂対策への適用について
- II. 調査・観測について
- III. 評価指標について
- IV. 堆砂対策の検討

1. 総説

1.1 目的

本手引きは、将来にわたり貯水池機能が確実に発揮できるよう、ダム管理者自らが堆砂状況を踏まえて適正な貯水池土砂管理を実現することを目的とし、「貯水池土砂管理のための調査・観測」、「堆砂対策の実施判断」、「記録の整理・蓄積」について、基本的な考え方を示すものである。

<解説>

ダムは、洪水調節、流水の正常な機能の維持及び利水補給等多様な目的を持つ重要な社会資本であり、これらの目的が達成されるよう流水の管理を行うとともに、その前提となるダムの安全性及び機能を長期にわたり保持することが求められる。国土交通省が所管する河川管理施設のダムにおいては、既に管理開始から50年以上を経過したダムが増加しており、このようなダムでは、堆砂容量を超えて堆砂が進行することによる洪水調節や利水補給等のダムが有する機能への影響が懸念されている。

堆砂量が堆砂容量以下であっても、貯水池内の堆砂の縦断・平面形状においては、ダムごとに局所的に堆砂する場所が異なり、堆砂の場所によってはダムが有する機能への障害や、堆砂に起因する浸水など貯水池上流への影響も懸念される。そして、現時点ではダム管理上支障が無くとも、堆砂が計画を上回る速度で進行しているダムでは早期に対策を講じなければ、今後、適切な貯水池運用に支障をきたす可能性もあり、ダムを長期にわたり有効に利活用していくためには適切に維持管理を行う必要がある。

また、堆砂の排除方法を検討する場合は、土砂の粒度分布、含水比、流木等の混入状況、還元物質の含有状況等の堆砂の性状を把握する必要がある。特に、堤体近傍の堆砂に関しては、洪水吐を計画堆砂位より低い位置に設置している例もあり、放流時に土砂を巻き上げることにより放流設備の摩耗や放流水質に影響を与える可能性があることから、洪水吐高と堆砂高との関係を把握するとともに、その物理・化学特性にも留意する必要がある。

現在、ダムの維持管理が適切に行われているかについて学識者等を交えて評価する場として、「ダム等の管理に係るフォローアップ制度」が設けられており、堆砂状況についての分析・評価がなされている。貯水池土砂管理を行う際には、このような貯水池の堆砂状況に関する情報を収集し、有効に活用することが必要である。

次頁に、本手引きの流れを示す。

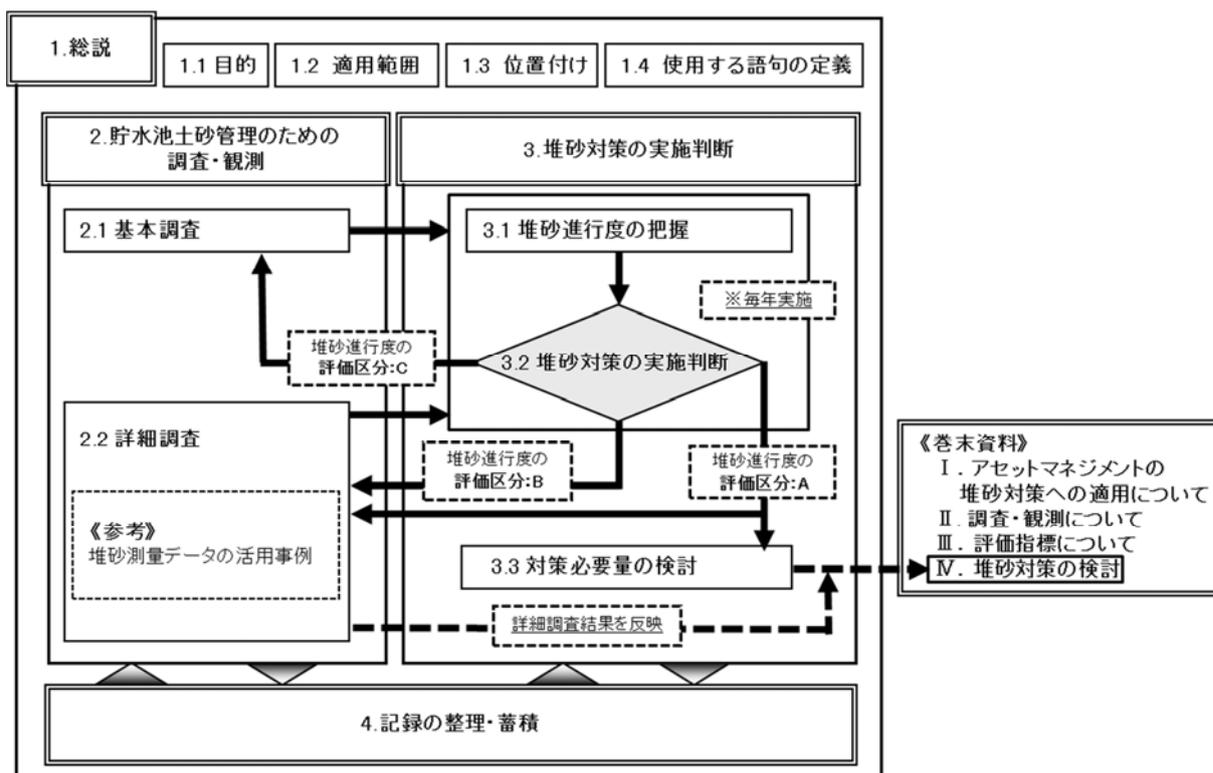


図 1.1 ダム貯水池土砂管理の手引きの流れ

<参 考>

ダム施設の維持管理について

ダム施設の維持管理については、平成 25 年に河川法（昭和 39 年法律第 167 号）の一部改正により、同法第 15 条の 2 において河川管理者又は許可工作物の管理者は、河川管理施設又は許可工作物を良好な状態に保つように維持し、修繕し、もって公共の安全が保持されるように努めなければならないことが定められた。

また、同年、河川法施行令（昭和 40 年政令第 14 号）の一部改正により、ダム、堤防その他の国土交通省令で定める河川管理施設等は、1 年に 1 回以上の適切な頻度で、適切な時期に、目視その他適切な方法で点検を行い、点検その他の方法により河川管理施設等の損傷、腐食、その他の異状があることを把握したときは、河川管理施設等の効率的な維持及び修繕が図られるよう、必要な措置を講じることが定められた。国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編（ダム編）は、ダムの維持管理における標準的な技術を体系化したものであり、「ダム施設及び貯水池の維持管理」、「流水管理」及び「ダムの管理に係るフォローアップ」から構成されている。

貯水池内の土砂の維持管理に関する事項は、「第 2 章 ダム施設及び貯水池の維持管理」の「第 1 節 ダム施設及び貯水池の計画的な維持管理 1. 3 貯水池の維持管理」で貯水池機能の保持、貯水池及びその周辺の環境を良好な状態に保全する上での課題把握の観点から、水文・水理観測及び気象情報の収集、堆砂調査、水質調査等により状態を定期的・継続的に把握し、それらの結果を総合的に分析・評価した上で、必要な対策を行うことが必要であることが整理されている。また、「第 2 節 ダム施設及び貯水池の状態把握 2. 3. 2 堆砂調査」で堆砂状況の調査や堆砂対策の検討に必要な項目を把握することが示されており、さらに、「第 4 節 貯水池の維持管理対策 4. 2 堆砂対策」で堆砂調査結果等を総合的に分析・評価した上で、必要な堆砂対策を行うことが示されている。

1.2 適用範囲

本手引きは、河川管理施設として設置された管理中のダムに適用する。

<解説>

(1) 本手引きの対象ダム施設

本手引きは、河川法第3条の規定に基づく河川管理施設のダム（同法第17条に規定する兼用工作物のダム、特定多目的ダム法第2条に規定する多目的ダム、独立行政法人水資源機構法第2条に規定する特定施設を含む。）の貯水池土砂管理に適用する。なお、恒久的な堆砂対策を実施中あるいは検討中のダムは含まない。

(2) 貯水池土砂管理の範囲

本手引きにおける貯水池土砂管理の範囲は下図の赤枠内で示す貯水池及び下流河川の一部を対象とする。

山地から海岸までを対象とした流砂系の「総合的な土砂管理」においては、貯水池の堆砂対策のみならず、下流河川の環境改善を対象としている。このため、土砂移動に関する問題が顕在化している水系等においては、総合的な土砂管理の観点を含めた貯水池の堆砂対策の検討と下流河川等の状況把握が別途必要である。

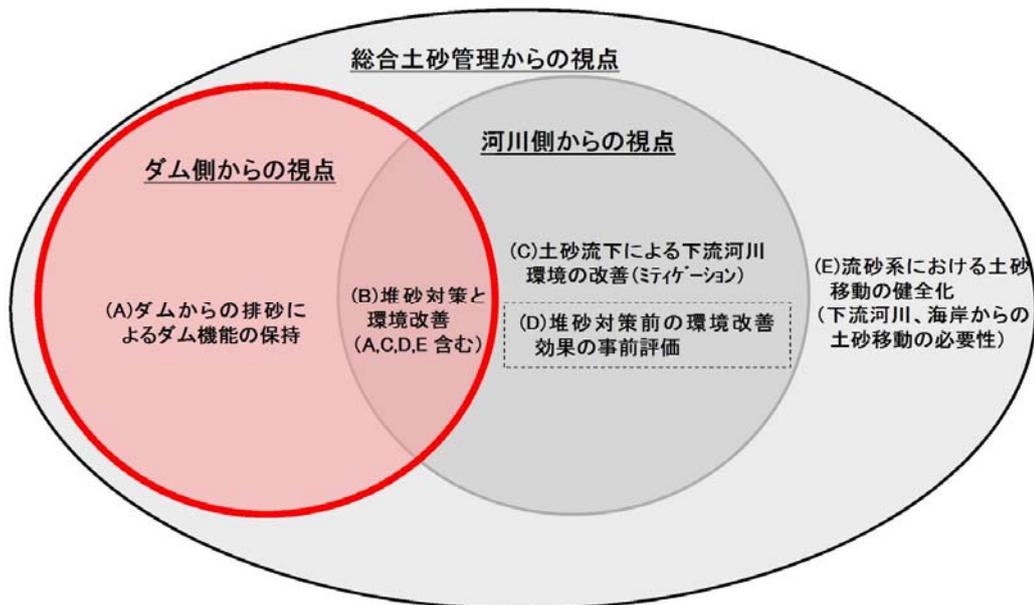


図 1.2 堆砂対策の目的（赤枠内：本手引きの適用範囲）

1.3 位置付け

本手引きは、貯水池土砂管理のための調査・観測、堆砂対策実施の判断の考え方について、基本的な考え方を体系的にとりまとめたものである。

<解説>

ダム貯水池における土砂管理については、「国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編)」において「第2章 第4節 貯水池の維持管理対策 4.2 堆砂対策」として記載されている。本手引きは、この河川砂防技術基準の参考資料として、今後多くのダムで実施されるであろう貯水池土砂管理において、必要となる調査計画の立案や、ダム管理者自らが貯水池の堆砂状況をみて、貯水池の“堆砂進行度”、堆砂対策が必要となる“時期”などについて確認・判断を行うことを目指し、貯水池土砂管理についての「基本的な考え方」を体系的にとりまとめたものである。

1.4 使用する語句の定義

本手引きで使用する語句を次のように定義する。

(1)堆砂進行度

貯水池内の堆砂が貯水池の各機能に与える影響の程度。

(2)ダム接続河川

貯水池へ流入する河川（支川も含む。）。

(3)管理水準

堆砂対策の実施判断を行う評価指標の目安。

(4)残余年数

各評価指標が管理水準に至るまでの年数。

(5)平均年堆砂量

①実績平均年堆砂量：堆砂進行度の把握を行う際に、対象期間における実績年堆砂量（排除量を戻した値）の累計を年数で除して算出した量。

②推定平均年堆砂量：年対策必要量を算定する際に、当該ダムの実績年堆砂量から統計処理により算出したもの。あるいは、その他の手法を用いて算出した今後堆積する量を見込んだ量。

(6)供用残余期間

堆砂計画の計画期間からダム竣工後の経過年数を引いた期間。

(7)平均年残堆砂容量

評価時点における堆砂容量の残量を当該ダムの供用残余期間で除して算出した量。

(8)年対策必要量

推定平均年堆砂量から平均年残堆砂容量を減じて算出した量。

2. 貯水池土砂管理のための調査・観測

貯水池土砂管理のための調査・観測は、堆砂形態を把握するために実施する「基本調査」と、堆砂対策を検討するための必要な情報を得るために実施する「詳細調査」からなり、ダムの特性を踏まえ堆砂状況に応じて実施する。

<解説>

貯水池及び流入部河床の堆砂機構は、多くの因子に支配される複雑な現象である。貯水池土砂管理の実施に当たっては、堆砂を生起する因子の把握及び貯水池内における縦断的かつ面的な堆砂状況について適切に調査・観測を実施し、経年的な変化から各ダムの貯水池の堆砂の特徴を認識することで、より効率的・効果的な対策に結び付けていくことが重要である。

堆砂状況については、これまで堆砂調査(国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編(ダム編) 第2章 第2節 2.3.2 堆砂調査)により堆砂量及び堆砂形状が把握されてきた。一方、貯水池流入土砂や堆砂の粒径など他の詳細な特性等については、堆砂対策実施ダム以外では把握される例が少なかった。

貯水池においては、貯水池上流端部に比較的粒径の大きな砂礫が堆積し、粒径の細かなシルト・粘土分は堤体直上部に水平に堆砂するなど、粒径に応じて貯水池内で分級が生じることが知られている。このため、貯水池の堆砂特性やこれからの堆砂傾向を考える上で、貯水池流入土砂の面的な分布及び堆砂の粒径等を把握することが、今後の貯水池土砂管理において重要である。

また、ダム下流河川環境についてはダム完成前後にモニタリング調査等で把握するが、その後、堆砂がある程度進行し堆砂対策検討のための調査が開始されるまでの間、しばらく調査を実施しない期間が生じてしまうことがある。下流河川への土砂還元などの堆砂対策の検討に当たり、下流河川環境を把握するため、調査項目、調査範囲、調査頻度等を設定し、継続的に調査データを取得することが重要である。

さらに、堆砂を生起する要因であるダム流域における地形・地質や地被の状況は、当該流域における土砂生産特性に直接的に影響するものであるが、今後、顕在化しつつある気候変動の影響や森林整備等の環境変化により変化することが想定される。したがって、このような流域内の状況についても調査を行い、経年的にデータを蓄積し、変化の傾向を把握していくことが重要である。

以上のような観点を踏まえ、貯水池の堆砂状況は、従前より実施されてきた調査等により経年的に把握することを基本とし、堆砂状況に応じて重点的に調査・観測する項目を追加していくこととする。

なお、貯水池斜面の地すべり等の大規模崩壊についての調査は、別途調査で対応されているため、貯水池土砂管理のための調査・観測の対象外とする。

貯水池土砂管理のための調査・観測は、通常のダム管理で行う「基本調査」で堆砂状況を経年的に把握し、次に、堆砂状況から評価される堆砂進行度及び堆砂対策検討の判断結果に応じて、「詳細調査」を行い、貯水池土砂管理に必要な流域や貯水池・流入土砂の性状等を把握する。調査項目は下図のとおりとし、それぞれの調査手法は「国土交通省 河川砂防技術基準 調査編」によることを基本とする。

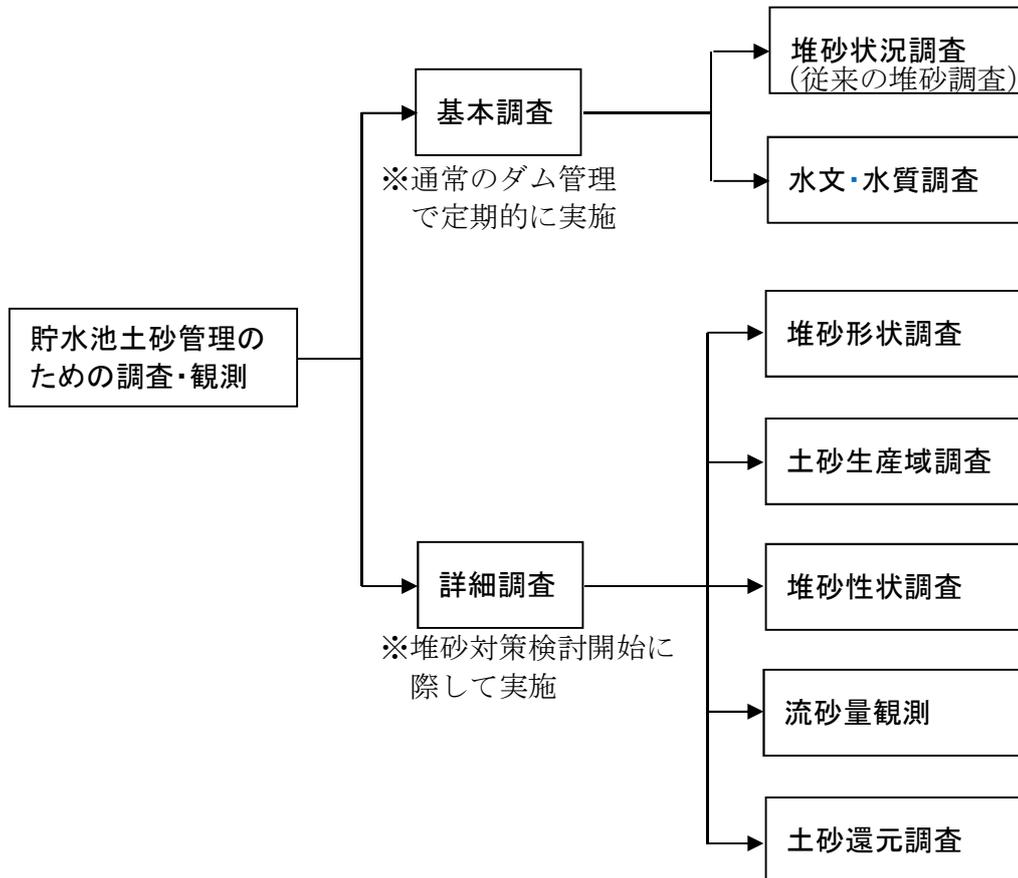


図 2.1 貯水池土砂管理のための調査・観測の構成

2.1 基本調査

基本調査は、堆砂によってダムが有する機能に及ぼす影響を把握するために継続的に実施する。ダム管理上定期的に行っている基本的な調査であり、「堆砂状況調査」と「水文・水質調査」からなる。

<解説>

貯水池土砂管理のための調査・観測における基本調査は、堆砂進行度の評価や堆砂対策検討の必要性等を把握するためのものであり、通常のダム管理で定期的に行っている調査を基本とする。なお、基本調査の調査データは供用開始時点から整理することを基本とするが、一部の調査項目についてはダム毎の特性に応じて計画段階からの実施を検討することが望ましい。供用開始直後の数年間は、貯水池周辺の斜面崩壊等の初期堆砂の影響が含まれるため、供用開始後 10 年間は基本調査による継続的な状態の監視、データの蓄積を行うとともに、貯水池の堆砂状況把握に努める必要がある。

【1】調査項目

貯水池の土砂管理において最も重要な事項である堆砂状況については、堆砂状況調査により堆砂量及び堆砂の特徴として、堆砂縦断形状、堆砂平面分布を把握する。また、出水等の外力や貯水池運用の変化等が堆砂状況に影響を及ぼすことから、通常のダム管理上実施している調査項目（貯水位、流入量・放流量、降水量、水質等）についても、堆砂量と各項目との関係を表やグラフで整理するなど、堆砂状況と関連付けて整理しておくことが重要である。

(1)堆砂状況調査

貯水池内の横断測量、航空レーザ測量、深淺測量、レーザ測深等により、縦断的かつ面的に経年的な貯水池堆砂形状を把握する。なお、貯水池の堆砂特性（面的、地形状況等）を加味した上で、個々のダムの堆砂状況に応じて堆積しやすい箇所や容易に陸上掘削可能な場所等を把握しておくことが望ましい。また、経年的な堆砂量（貯水池容量）を算出することで堆砂進度を把握する。

堆砂量については、容量別（標高別）の堆砂量の把握を目的として、全堆砂量、有効貯水容量内堆砂量、洪水調節容量内堆砂量、堆砂容量内堆砂量に分けて算出する。

(2)水文・水質調査

1)降水量

基礎的な情報である降水量は、年間降水量、年最大日降水量等と、崩壊地面積や年堆砂量等との関係を整理することで、堆砂の影響因子、堆砂の進行状況を分析することが可能となる。

2)貯水位、流入量・放流量

貯水位から算出した貯水量、貯水率、流入量、放流量等のデータをもとにダム運用を行っている。貯水位や流入量の変化が堆砂形状・堆砂量に与える影響は大きく、堆砂進行度の分析や貯水池堆砂シミュレーションを実施する上での与条件として活用することが可能である。

3)水質調査（濁度）

濁度は、水中の浮遊物質の量を測定したものではないが、自動計測が可能である。そのため、SS（懸濁物質）及び粒度分布の調査結果と併せて、濁度とSSの関係を整理しておくことで、ウォッシュロードとして流入してくる浮遊物質の量及び沈降速度の情報として活用できる。

【2】調査手法及び調査頻度

基本調査の調査手法及び調査頻度については、下表2.1を基本とする。また、表2.2に貯水池土砂管理に必要な基本調査の調査内容で得られる情報及びその活用内容一覧を示す。堆砂状況調査については、複数の調査手法があるので現場の状況に応じて選択する必要がある。

表 2.1 各調査項目の調査手法と調査頻度（基本調査）

分類	調査目的	調査項目	調査領域	調査手法	調査頻度	備考
基本調査	堆砂状況調査 堆砂特性の把握	堆砂状況	貯水池	横断測量 航空レーザ測量 深淺測量 レーザ測深	1年に1回基本	ダムの堆砂状況調査要領(案) 河川砂防技術基準 調査編
		水文・水質調査 水文・水質特性の把握	降水量	ダム流域	テレメータ レーダ雨量	毎正時
	貯水位、 流入量・放流量		貯水池	テレメータ	毎正時	同上
	水質(濁度)		貯水池 ダム接続河川	採水・分析 (自動観測)	月に1回 (自動観測は 原則として 日に1回以上)	「ダム貯水池水質調査要領」 に準拠

※調査データの整理は、供用開始からを基本とする。

表 2.2 貯水池土砂管理に必要な基本調査の調査内容で得られる情報及びその活用例

分類	調査項目	調査領域	調査手法	調査頻度	調査で得られる情報							情報の活用内容										
					横断面	縦断面	堆砂量	堆砂形状(縦断的)	堆砂形状(面的)	降水量	貯水位	流入量・放流量	水質	土砂管理	貯水池特性把握(縦断的)	貯水池特性把握(面的)	土砂流入量予測	堆砂状況予測	堆砂排除工法検討	施工計画		
基本調査	堆砂状況調査	貯水池	横断測量	1回/年(基本)	○	○	○	○						○	○			○	○	○		
			航空レーザ測量		○	○	○	○						○	○	○			○	○	○	
			深淺測量		○	○	○	○							○	○				○	○	○
			レーザ測深		○	○	○	○	○						○	○	○			○	○	○
	降水量	ダム流域	テレメータ	毎正時						○					○							
			レーダ雨量							○					○							
	水文・水質調査	貯水位	貯水池	テレメータ	毎正時						○				○				○	○	○	
		流入量・放流量	貯水池	貯水位換算								○			○				○	○	○	
水質(濁度)	貯水池 ダム接続河川	採水・分析 (自動観測)		1回/月 (自動観測は 原則として 1回/日以上)									○	○				○	○			

なお、堆砂状況調査は「ダムの堆砂状況調査要領（案）」、「国土交通省 河川砂防技術基準調査編」によることを基本とし、ダムの状況により必要に応じて見直すものとする。
 測量方法については、下図に示すとおりいくつかの手法に分類できる。

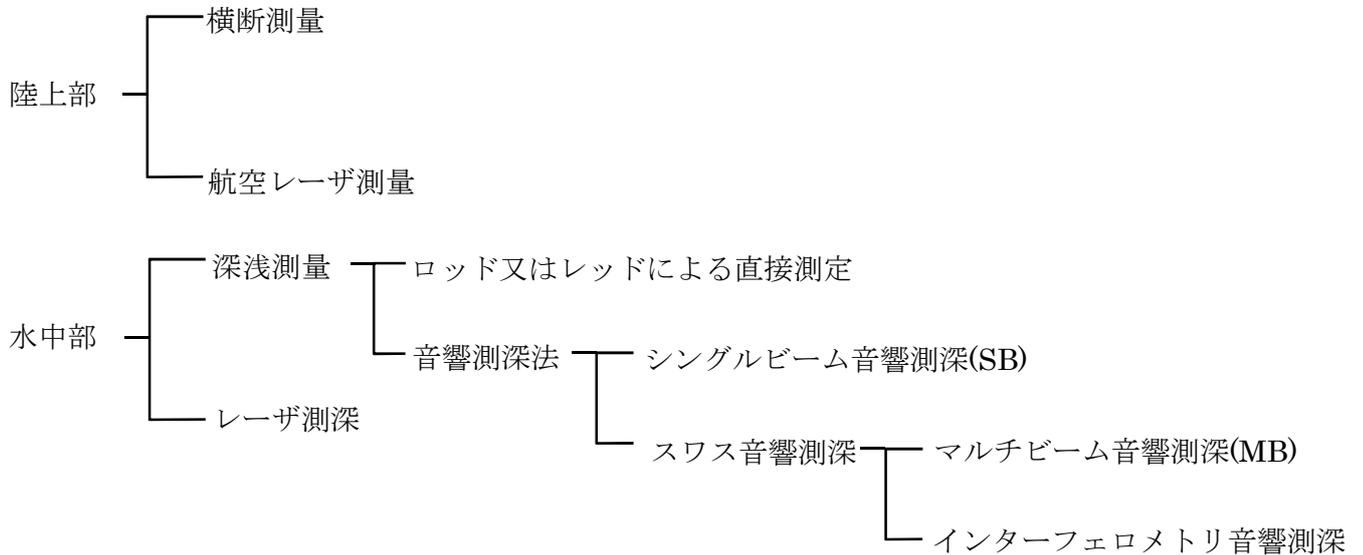


図 2.2 貯水池堆砂測量手法の分類

音響測深法では、従来からのシングルビームによる方法だけでなく、マルチビーム等による面的測量が可能な手法の採用が望ましい。堆砂状況の調査を面的測量で行う場合、縦横断測量と面的測量とでは得られる堆砂量の値が異なる場合もあることから、調査方法を変更する場合はコスト等も踏まえつつ両者を一時併用するなど、堆砂の経年的な変化の把握に支障がないよう努める。

堆砂量の経年変化の状況が一時的に大きな変動を示す場合はその原因を調査し、必要に応じて調査方法の変更などを行うことが望ましい。

なお、測量方法については、新たな測量技術が開発され、その測量技術が有効な場合は活用していくことが望ましい。

2.2 詳細調査

詳細調査は、堆砂対策の検討開始に向けてより詳しく貯水池の堆砂状況を把握するための調査である。基本調査に加えて、堆砂進行度の評価及び堆砂対策の実施判断結果に応じて行う調査であり、「堆砂形状調査」、「土砂生産域調査」、「堆砂性状調査」、「流砂量観測」、「土砂還元調査」からなる。

<解説>

詳細調査は、貯水池の堆砂状況や堆砂の進行により堆砂対策検討開始に向けた調査が必要となった場合等に実施する。基本調査に加えて、別途、調査項目を追加する。

【1】調査項目

堆砂の進行により堆砂対策検討開始に向けた調査が必要となった場合、ダム計画当時と比べて土砂生産特性が変化している可能性がある。調査期間中に大規模崩落等が発生した場合は、更なる土砂生産特性の変化が予想されるので、改めて調査を実施することが望ましい。

なお、将来の堆砂状況の予測や今後流入する土砂の対策を検討する際は、現状の堆砂の形状や性状に加えて、ウォッシュロードも含めた貯水池流入土砂量、粒度分布及び比重等を把握する必要がある。また、総合的な土砂管理の視点では、土砂還元調査として、下流河川の状況についても把握する。

本調査で得られた堆砂に関するデータは、総合的な土砂管理における水系内の土砂移動の把握、流域条件が類似するダムへの貯水池流入土砂量や性状等を推定するための基礎資料となるものである。

(1)堆砂形状調査

詳細調査の初期段階では、マルチビーム音響測深等による面的測量を実施し、貯水池全体の堆砂形状を詳細に把握する。基本調査で実施している堆砂状況調査の測線間隔変更等を行うことで、より詳細な堆砂形状を把握し、堆砂対策を検討する際の基礎情報として活用することが可能となる。

なお、堆砂形状調査結果は、貯水池の貯水位-容量曲線（H-Vカーブ）の更新や、堆砂対策施設の効果検証の際の基礎情報として活用することが可能である。

以下に堆砂形状調査に当たっての留意点を示す。

- ・測線間隔を変更する場合は、デルタ肩付近の測量精度が重要となるため、前年度までの測量による堆砂縦断形状をもとに、デルタ肩の直上下流の測線間隔を2~4等分することを目安に測線を追加する。
- ・堆砂形状調査は単に全体の堆砂率に注目するだけでなく、今後の大出水で有効貯水容量内の何れの範囲に堆積するかという視点が重要である。
- ・マルチビーム音響測深等による面的測量は、必ずしも毎年実施する必要はなく、例えば大規模出水後に実施するなど、状況に応じて調査頻度を設定する。
- ・マルチビーム音響測深を実施した場合、前年の結果と比較している場合が多いが、建設前のコンターと比較することも有効である。

(2)土砂生産域調査

1)地形・地質

ダム上流域の地形（起伏度、傾斜度、地形勾配）及び地質構造（構成比）は、貯水池流入土砂に関係し、ダムによっては地形・地質と比堆砂量との間に高い相関が得られる。そのため、今後の堆砂量や貯水池流入土砂量を設定（近傍類似ダムからの推定等）する際の基礎情報として活用することが可能となる。

2)崩壊地面積

ダム上流域の崩壊地面積についても、ダムによっては比堆砂量との間に高い相関が得られる。そのため、大規模出水等による崩壊によって、ダム上流域の土砂生産特性が変わる場合があり、今後の堆砂量や貯水池流入土砂量を予測する際の基礎情報として活用することが可能となる。

3)ダム接続河川堆積土砂量

山腹や河岸における斜面崩壊等により生産された土砂は、一旦、河床等に崖錐として堆積し、その後の出水により再移動することで、貯水池に流入する。

そのため、河床に堆積している土砂量を調査し、さらには、出水前後の地形変化から、堆砂の再移動量を調査し、今後の堆砂量や貯水池流入土砂量を予測する際の基礎情報として活用することが可能である。

以下にダム接続河川堆積土砂量調査に当たっての留意点を示す。

- ・具体的な調査方法については、砂防事業等の既往の調査結果があれば参考にする。
- ・ダム接続河川堆積土砂量調査の結果に基づき流出土砂量を算出する場合は、砂防基本計画等における流域内の「移動可能土砂量^{*}」や「運搬可能土砂量^{*}」の考え方を参考とする。

※「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」、国総研資料 第904号、H28.4.

(3)堆砂性状調査

1)堆砂性状

一般に、貯水池流入土砂は、種々の粒径が混合したものであり、大粒径の砂礫は流速が急減する背水の upstream 端部付近に堆積してデルタを形成し、ダムサイトの方へ進行する。一方、小粒径の浮遊土砂は大部分がデルタ下流へ浮遊を続け、ほぼ現河床に平行に堆積し、さらに、ダム直上流部では水平に堆積する傾向にある。

このように、貯水池堆砂は、その粒度によって分級され堆砂形状を変化させながら貯水池内に順次堆積していくため、場所によって性状が異なる。堆砂性状の粒度分布を把握することで、堆砂の特性を明確にするとともに、貯水池内の場所ごとの適切な土砂管理手法を選択し検討することが可能となる。

以下に堆砂性状調査に当たっての留意点を示す。

- ・貯水池堆砂の性状を把握するため、ボーリング調査を実施する場合は、分級作用による堆砂形状や堆砂の粒径が異なることを踏まえ、縦断方向に①デルタ肩、②貯水池上流端部、③ダムサイトの3箇所を基本とし、貯水池の延長等により、それぞれの間を補う補助地点を1～2地点追加設定する。
- ・横断方向の端部等で顕著に堆積がみられる場合は、必要に応じて、横断方向にも補助地点を追加する。

2)河床材料

貯水池の堆砂は、ダム接続河川から供給されるものであり、供給元であるダム接続河川の河床材料を把握することは貯水池堆砂性状の把握とともに重要である。

なお、本情報は、貯水池堆砂シミュレーションを実施する上での与条件として活用することが可能である。

以下に河床材料調査に当たっての留意点を示す。

- ・調査対象が広大な範囲となる場合は、「本川」に絞って調査することも検討する。
- ・特に貯水池上流のダム接続河川の調査精度を上げることが、貯水池堆砂の予測精度を上げることに繋がる。
- ・河床材料の変化など出水前後の比較が有効であり、可能な範囲で出水前の河床の状況を把握しておくことが望ましい。
- ・河床の状況を把握する方法として、写真撮影も有効な手段であり、堆砂測量等を活用し継続的に記録する方法もある。
- ・写真や画像については、調査精度を上げるため、スケールや標定点を入れることが重要である。
- ・スケールとなるものや標定点を設置する箇所は、出水後にすぐに撮影できようにあらかじめ決めておくなど平常時からの準備が重要である。

(4)流砂量観測

将来の堆砂状況の変化予測や今後流入してくる土砂の対策を検討する場合には、現状で堆砂している土砂の量、性状のみならず、ウォッシュロードも含めた貯水池流入土砂そのものの量及び粒度分布、比重、粒径別沈降速度などを把握しておく必要がある。

また、出水時にウォッシュロードや浮遊砂として貯水池に流入してくる微細土砂の量及び沈降速度を把握するためにはSS及び粒度分布の調査結果が必要となる。

流入量と濁度・SSの関係を整理することで、微細土砂の流入量を把握するとともに、貯水池堆砂シミュレーションを実施する上でのウォッシュロード成分、浮遊砂の流入条件として活用することが可能となる。

以下に流砂量観測に当たっての留意点を示す。

- ・SSは自動観測ができないため、自動観測ができる濁度とSSの関係を整理しておく必要がある。
- ・観測地点は、貯水池上流のダム接続河川とし、採水作業、観測機器設置等の利便性を考慮し、橋梁や水位観測施設等に設定する。
- ・同等な貯水池流入土砂が見込まれるダム接続河川が複数ある場合は、それぞれのダム接続河川で観測を実施する。
- ・流砂量観測の結果は、流域の状況や取得データの精度等を勘案して整理する。
- ・堆砂対策工法の詳細検討や今後の貯水池流入土砂量の把握等に必要な場合は、掃流砂観測を実施する。

(5)土砂還元調査

「下流河川土砂還元マニュアル（案）第2版」に準拠したものとし、下流河川への土砂還元

を実施する可能性を踏まえて、置き土に関する調査項目（性状、流下状況）と下流河川に関する調査項目（物理環境、生物環境、その他）を設定する。

【2】調査手法及び調査頻度

詳細調査の調査手法及び調査頻度については、下表 2.3 を基本とする。また、表 2.4 に貯水池土砂管理に必要な詳細調査の調査内容で得られる情報及びその活用内容一覧を示す。同一調査項目で複数の調査手法があるものについては、現場の状況に応じて選択する必要がある。

表 2.3 各調査項目の調査手法と調査頻度（詳細調査）

分類	調査目的	調査項目	調査領域	調査手法	調査頻度	備考	
詳細調査	堆砂形状調査	堆砂形状の把握	堆砂形状	貯水池	マルチビーム等による面的測量	・初期段階で1回 ・大規模出水後	河川砂防技術基準 調査編
					必要に応じて基本調査の内容変更等（測線間隔等）	3～5年に1回	
	土砂生産域調査	流域の土砂生産特性の把握	地形・地質	ダム流域	国土数値情報	対策検討開始までに1回	多目的ダムの建設
			崩壊地面積	ダム流域	航空写真判読 LP測量	・対策検討開始までに1回 ・大規模出水後	・同上 ・河川砂防技術基準 調査編
			ダム接続河川 堆積土砂量調査	ダム流域	LP測量 現地調査	・対策検討開始までに1回 ・大規模出水後	・河川砂防技術基準 調査編 ・砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説
	堆砂性状調査	堆砂、河床材料の性状把握	堆砂性状	貯水池	土砂採取・分析 ボーリング調査	3～5年に1回	河川砂防技術基準 調査編
			河床材料	ダム接続河川	土砂採取・分析	3～5年に1回	同上
	流砂量観測	流入土砂量の把握	濁度・SS	ダム接続河川	採水・分析 自動観測	出水時	「ダム貯水池水質調査要領」に準拠
	土砂還元調査	下流河川の環境影響の把握	置き土調査	下流河川	「下流河川土砂還元マニュアル(案)第2版」に準拠		
			下流河川調査	下流河川			

表 2.4 貯水池土砂管理に必要な詳細調査の調査内容で得られる情報及びその活用例

分類	調査項目	調査領域	調査手法	調査頻度	調査で得られる情報										情報の活用内容							
					横断面	縦断面	堆砂量	堆砂形状(縦断的)	堆砂形状(面的)	地形・地質	ダム上流域土砂量	粒度分布	流入土砂量	土砂管理	貯水池特性把握(縦断的)	貯水池特性把握(面的)	土砂流入量予測	堆砂状況予測	堆砂排除工法検討	施工計画		
詳細調査	堆砂形状	貯水池	マルチビーム等による面的測量	初期段階で1回 大規模出水後	○	○	○	○	○							○	○	○	○	○		
	土砂生産域調査	地形・地質	ダム流域	国土数値情報	対策検討開始までに1回						○					○				○	○	
		崩壊地面積	ダム流域	航空写真判読	対策検討開始までに1回 大規模出水後							○					○					
				LP測量									○					○				
	ダム接続河川 堆積土砂量調査	ダム流域	LP測量	対策検討開始までに1回 大規模出水後							○					○						
	堆砂性状調査	貯水池	土砂採取・分析	3～5年に1回								○					○			○	○	○
			ボーリング調査	3～5年に1回									○					○			○	○
	河床材料	ダム接続河川	土砂採取・分析	3～5年に1回								○					○			○	○	○
			濁度・SS	ダム接続河川	採水・分析 自動観測	出水時							○	○	○			○	○	○	○	○
	土砂還元調査	置き土調査	下流河川	※「下流河川土砂還元マニュアル(案)第2版」に準拠。																		
下流河川調査		下流河川	※「下流河川土砂還元マニュアル(案)第2版」に準拠。																			

<参 考>

■堆砂測量データの活用事例①（貯水池操作と堆砂の進行の関係）

堆砂測量により取得するデータについては、過去からの堆砂測量についても整理することで、堆砂傾向等を掴むことが可能となる。

図1は、中部地方の小渋ダムの標高ごとの堆砂量と貯水容量の変化を10年ごとに示したものである。これによれば、貯水池操作と堆砂の進行の関係が容易に理解される。

小渋ダムでは梅雨期（6－7月）及び台風期（8－9月）に、洪水貯留に備えてそれぞれEL.592m及びEL.604.8mに貯水位が低下される。これらの定期的な貯水位の低下により、貯水池上流端部に一時的に堆積した土砂が更に貯水池の深部に効果的に輸送されている。

出典) 角哲也、「日本におけるダム堆砂データベースと適切な貯水池土砂管理方策の選択」,ICOLD 2013 International Symposium.

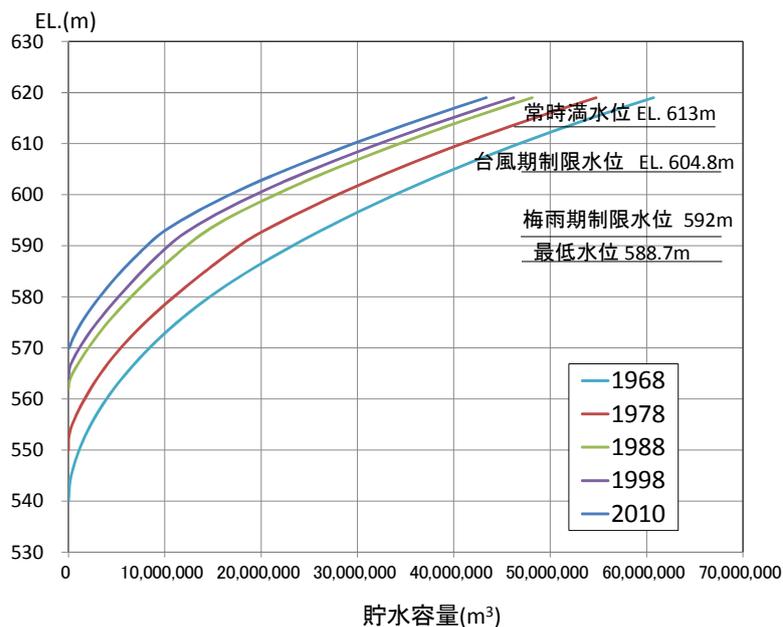
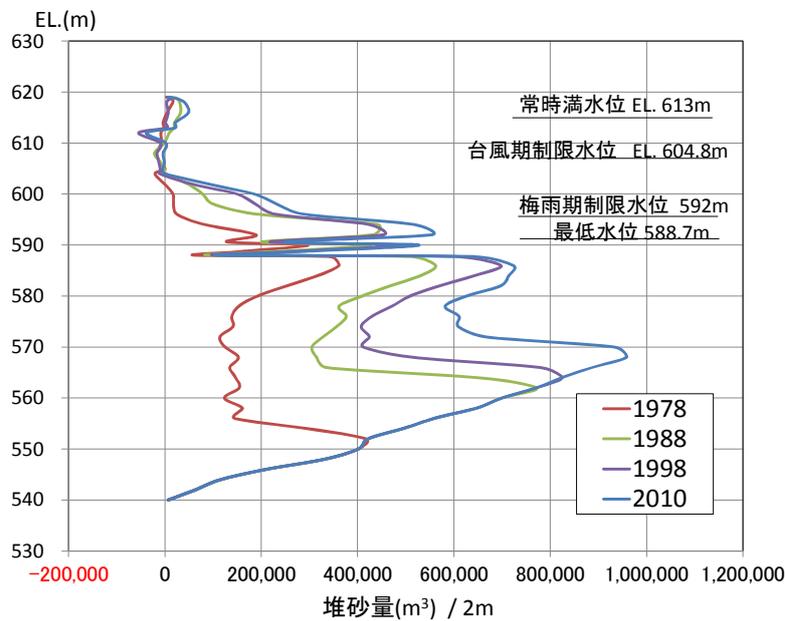
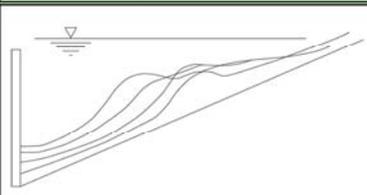
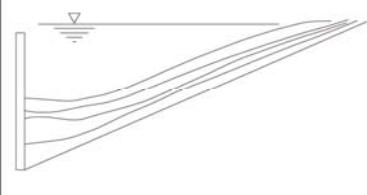
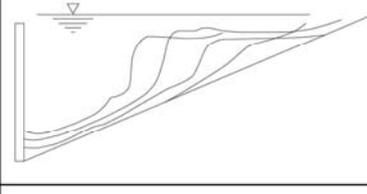
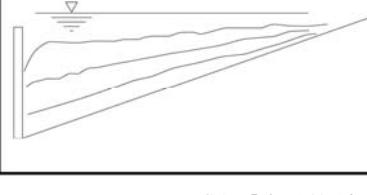


図1 標高ごとの堆砂量と貯水容量の変化（小渋ダム）

■堆砂測量データの活用事例②(堆砂形状の基本分類)

貯水池の堆砂形状については、我が国各地の堆砂形状の調査結果より、下表に示すような基本型に分類される。

表 1 堆砂形状の基本分類

基本分類	堆砂形状	特徴
I型		<ul style="list-style-type: none"> ・掃流砂、浮遊砂とも相当量流入する場合にみられる。 ・流域にかなり崩壊地が存在し、土砂生産が活発な所でみられる。 ・デルタ肩は常時満水位付近にみられる。 (ただし、デルタ肩の位置は、各ダム の運用によって異なる)
II型		<ul style="list-style-type: none"> ・流入土砂のほとんどが微細な浮遊砂の場合に形成される。 ・直上流に大規模な貯水池がある場合、あるいは貯水池上流に緩勾配区間があり、掃流砂の流入が少ないような場合に多くみられる。
III型		<ul style="list-style-type: none"> ・浮遊砂の供給源が少ない流域でかつ堆砂の比較的初期段階においてあらわれる形状である。
IV型		<ul style="list-style-type: none"> ・規模の小さな貯水池でダム付近まで著しく土砂が堆積している場合にみられる形状である。

出典)「多目的ダムの建設—平成 17 年版」編集・発行/財団法人ダム技術センター

堆砂測量データから得られる貯水池の最深河床高データより、図 2 に示すような無次元堆砂形状縦断面図を作成することで、堆砂形状の基本分類や堆砂肩の位置(標高、縦断距離)、堆砂の顕著な箇所、運用水位と堆砂の関係性及び洪水吐高と堆砂高との関係性等が把握でき、当該ダムの堆砂特性・堆砂傾向の理解が容易となる。

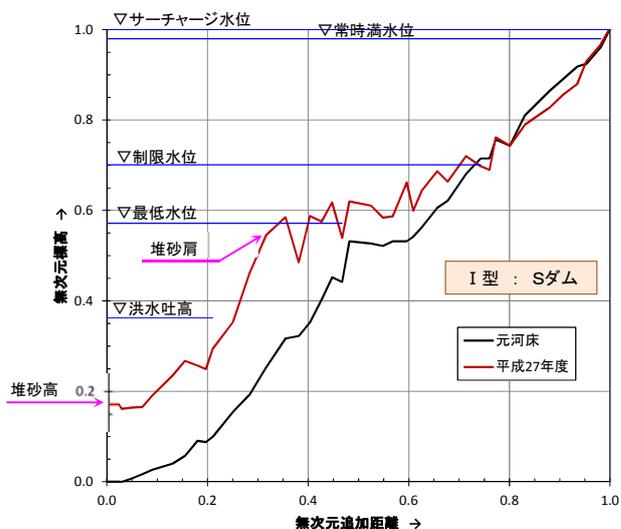


図 2 無次元堆砂形状縦断面図の例 (I型)

■堆砂測量データの活用事例③(堆砂平面形状把握)

航空レーザ測量やマルチビーム音響測深等の測量データから、貯水池の堆砂形状をデータ化(三次元地形モデル)し、三次元画像を作成することで、目視による面的な堆砂状況の把握が可能となる。

また、三次元地形モデルデータから作成した、任意(横断方向、縦断方向等)の断面図は、堆砂対策検討において、堆砂状況の把握や対策施設検討のための基礎データ、概略の粒径推定等、様々な活用することができる。

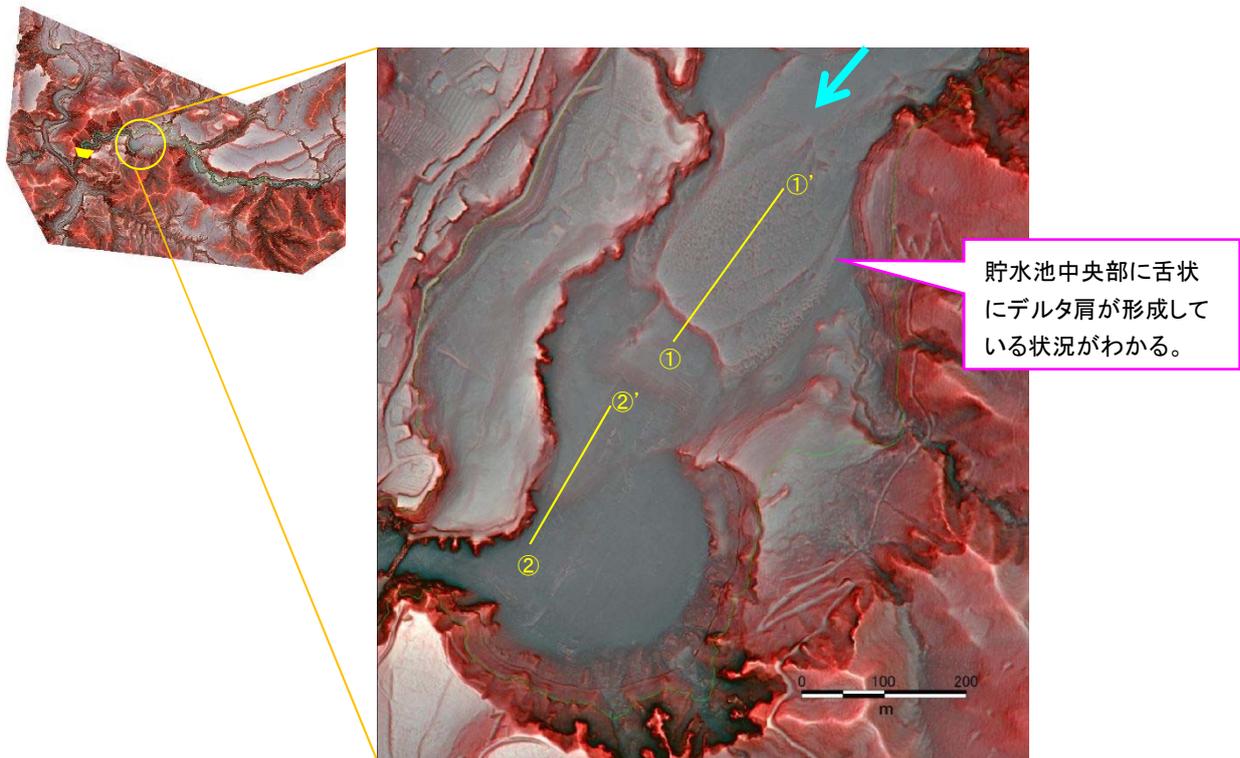


図3 三次元画像による堆砂平面形状の把握例 (赤色立体地図: 菌原ダム)

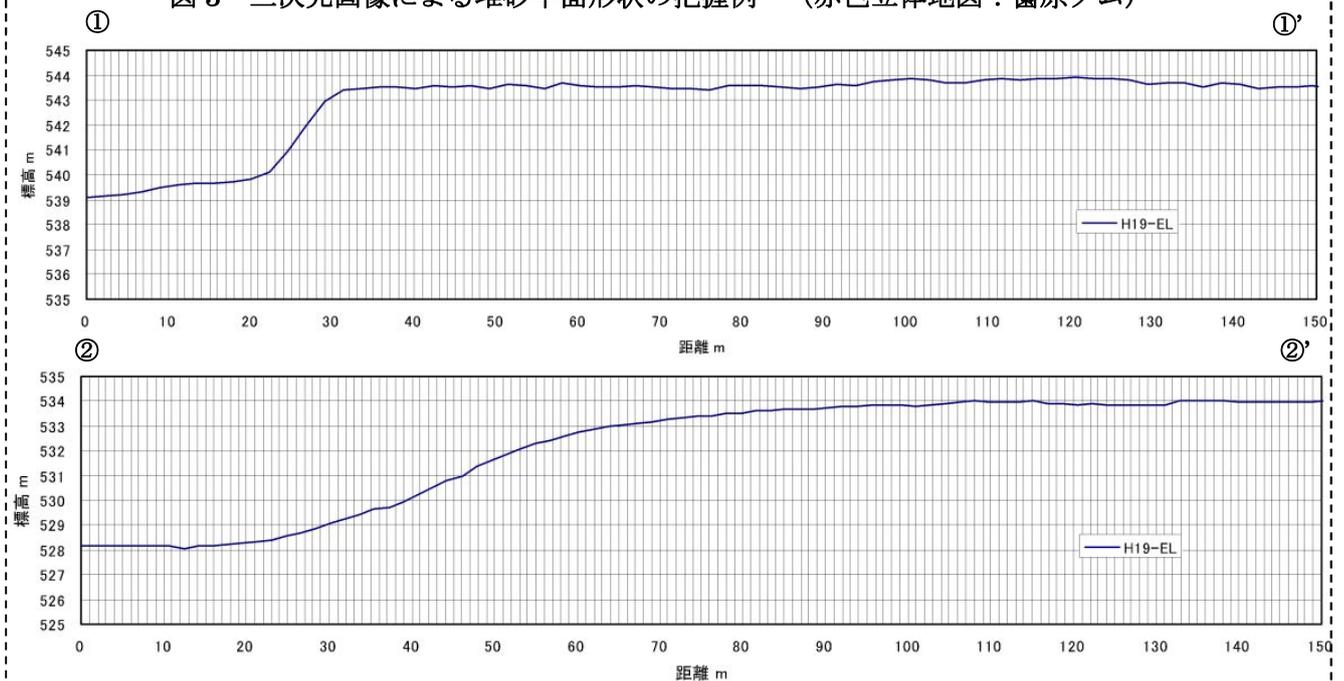


図4 三次元地形モデルより作成した任意断面形状 (菌原ダム)

■堆砂測量データの活用事例④(局所的な堆砂状況の把握)

作成年度の異なる三次元地形モデルデータの差分から、局所的に堆積傾向のある箇所等を把握することができる。

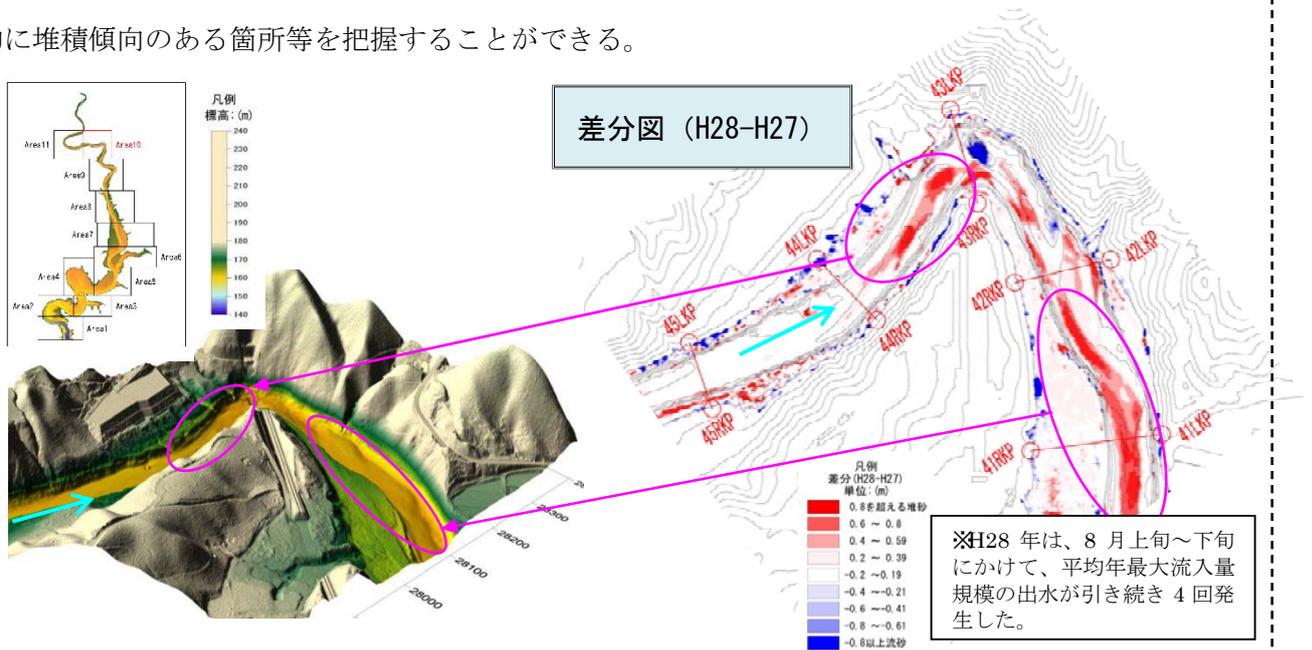


図5 三次元地形モデルを用いた局所的な堆積箇所の把握例 (四十四田ダム)

また、下図に示すように、ダム接続河川の流入部や湾曲部内岸等は堆積傾向にある。三次元画像等を確認し、土砂が堆積しやすく、かつ陸上掘削が容易な箇所等を事前に把握しておくことで、維持掘削や堆砂対策を検討する際の参考とすることができる。

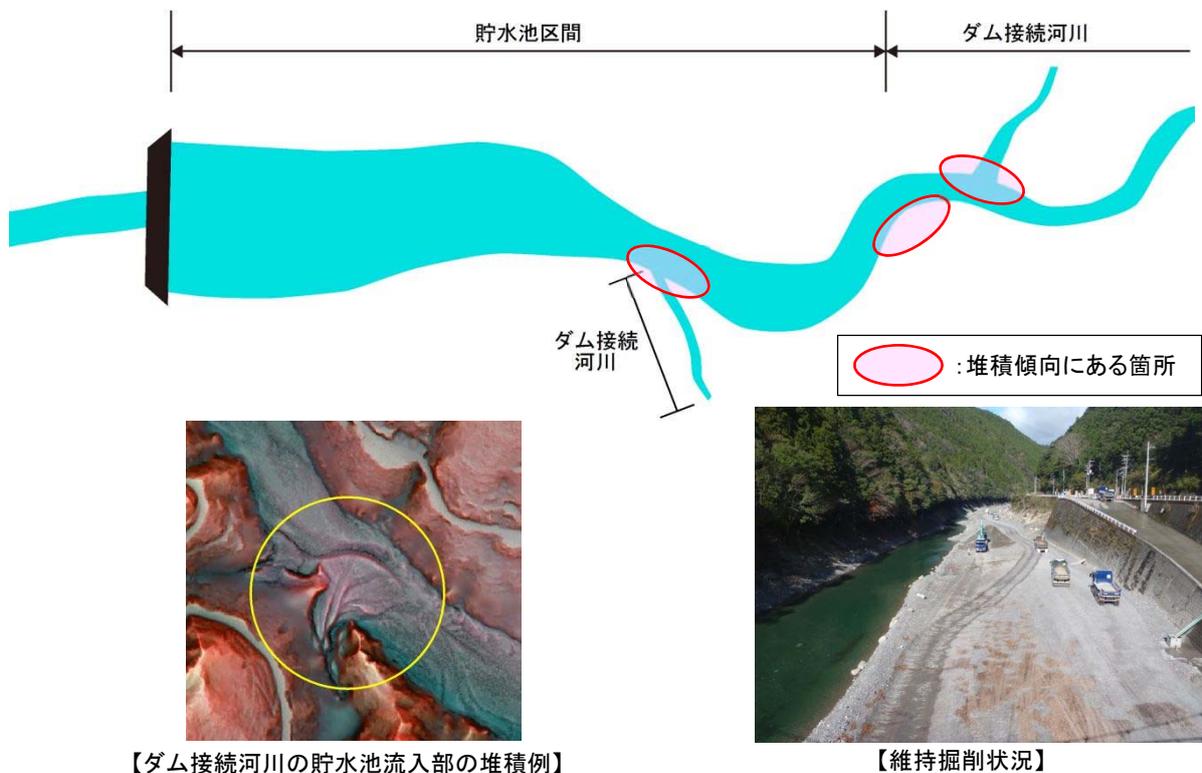


図6 土砂が堆積しやすい箇所の把握例

3. 堆砂対策の実施判断

堆砂対策の実施は、堆砂が貯水池に与える影響を評価し、現時点における堆砂進行度、個別ダムの状況等を踏まえ判断することを基本とする。

<解説>

(1)実施判断を行うに当たっての課題

- ①貯水池への堆砂がダムの有する機能に及ぼす影響の程度は、堆積箇所や堆積量により異なると考えられる。したがって、合理的な貯水池土砂管理を推進していくためには、貯水池の堆砂状況や影響が顕在化するまでの残余年数に応じ、講じるべき対策の内容を明確にする必要がある。
- ②例えば掘削・浚渫等の工法により堆砂を排除することが合理的と判断されるダムでは、対策の実施判断から実際に対策を講じるまでの期間が比較的短期間で済むと考えられるが、土砂バイパスなど新たに施設を建設する場合などを考えると、建設が完了し供用を開始するまでに十数年程度の期間を要するものもあると考えられる。
- ③貯水池の堆砂計画では、土砂の堆積は貯水池底部に水平に堆砂することを前提として計画が成されていることに対し、実際は堆砂の一部は有効貯水容量へも堆砂する斜め堆砂を呈している。これまでの貯水池土砂管理は、堆砂形状によらず実績平均年堆砂量が計画で想定している年堆砂量の内数であれば対策の必要性が無いものとして判断されていた。一方、実際には有効貯水容量への堆砂が進行しており、当該堆砂がダムの有する機能に影響を与えるおそれがある。
- ④洪水調節容量内への堆砂は、直ちに洪水調節計画に影響を与えるものではないが、洪水調節機能へ影響を与えるおそれがある。ただし、自然調節方式（ゲートレス、ゲート開度固定）による洪水調節を行っているダムでは、洪水調節機能への影響を個別に確認する必要がある。
- ⑤貯水池土砂管理に関する技術的難易度や、環境負荷、ライフサイクルコスト等を最小化するためには、できる限り早期に対策を開始することも重要である。

(2)実施判断の考え方

堆砂対策の実施を判断するためには、現時点における貯水池の堆砂進行度を把握した上で、堆砂進行度を評価するための指標とその管理水準を踏まえ、当該水準に対する残余年数により貯水池土砂管理を推進していくことが合理的であると考えられる。

また、堆砂対策施設によっては、堆砂対策検討開始から対策効果発現までの期間は相当年を要することが想定されるため、維持掘削等の当面の対策も含め、堆砂対策の検討を開始する時期、今後必要な検討を判断する。

堆砂対策の実施判断は、以下の考え方（流れ）に従って検討する。

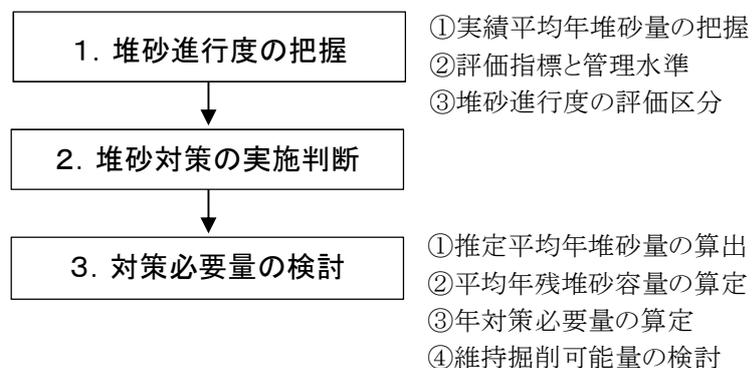


図 3.1 検討の考え方（流れ）

3.1 堆砂進行度の把握

3.1.1 実績平均年堆砂量の把握

実績平均年堆砂量は、対象期間における実績年堆砂量（排除量を戻した値）の累計を年数で除して算出し、ダムが有する機能に影響を与える有効貯水容量内及び洪水調節容量内の堆砂量と総貯水容量内の堆砂量のそれぞれに区分して把握する。

<解説>

堆砂進行度の把握に必要な実績平均年堆砂量の算出は、現場のダム管理者自らが確認・判断できるようにできる限り簡易な方法によるものとし、堆砂状況調査で得られる経年的な実績堆砂量の累計を対象期間の年数で単純平均して求める。

なお、今後、全てのダムにおいて容量別（標高別）堆砂量が把握されていく状況を踏まえ、取り扱う土砂量を「全堆砂量」、「洪水調節容量内堆砂量」、及び「有効貯水容量内堆砂量」の3区分で取り扱うこととする。ここで、排除量は容量別に応じて堆砂量に戻すことを基本とする。

堆砂量及び実績平均年堆砂量の算出に当たり、貯水池法面崩壊等の初期堆砂の影響等を排除するため、供用開始後3年目までの堆砂量は使用しないことを基本とする。なお、初期堆砂の影響がみられない、または、3年を超えても明確に初期堆砂の影響がみられるダムについては、状況に応じて判断する。

3.1.2 評価指標と管理水準

堆砂対策の実施判断は、堆砂容量に対する堆砂率、洪水調節容量の余裕に対する堆砂率及び有効貯水容量に対する堆砂率を評価指標とし、これらの管理水準をもって行うことを基本とする。なお、洪水調節容量の余裕とは、洪水調節容量と洪水調節計画で計算されている容量との差であり、ダムごとに異なるため個々のダムで確認する必要がある。

<解説>

貯水池の堆砂対策の評価指標は、評価指標①（堆砂容量に対する堆砂率）、評価指標②（洪水調節容量の余裕に対する堆砂率）、評価指標③（有効貯水容量に対する堆砂率）とし、管理水準は、評価指標①に対しては、全堆砂量が堆砂容量の70%、評価指標②に対しては、洪水調節容量内堆砂量が洪水調節容量の余裕の15%、評価指標③に対しては、有効貯水容量内堆砂量が有効貯水容量の5%を目安とする。

表 3.1 評価指標と管理水準

把握すべき影響	評価指標	管理水準 (目安)	評価に使用する 堆砂量
貯水池機能への影響	① 堆砂容量に対する 堆砂率	70%	全堆砂量
洪水調節機能への影響	② 洪水調節容量の余裕 に対する堆砂率	15%	洪水調節容量内 堆砂量
貯水池機能への影響	③ 有効貯水容量に対す る堆砂率	5%	有効貯水容量内 堆砂量

3.1.3 堆砂進行度の評価区分

各評価指標における残余年数を算定し、堆砂進行度を踏まえた評価区分を判定する。

<解説>

堆砂進行度は、各評価指標が管理水準に至るまでの残余年数を下表により算定し、いずれか短い残余年数によって、当該ダムの評価区分を判定するものとする。

表 3.2 評価指標と残余年数の算定方法

評価指標	算定方法		
① 堆砂容量に対する 堆砂率	a	管理水準 までの残率 [%]	$70\% - (\text{全堆砂量} \div \text{堆砂容量}) \times 100[\%]$
	b	今後の堆砂量 の進行見込み [%/年]	$\frac{[\text{実績平均年堆砂量(全量)} - \text{平均年対策量(全量)}] [\text{千 m}^3/\text{年}]}{\div \text{堆砂容量} [\text{千 m}^3]} \times 100$
	c	残余年数 [年]	a/b
② 洪水調節容量 の余裕に対する 堆砂率	a	管理水準 までの残率 [%]	$15\% - (\text{洪水調節容量内堆砂量} \div \text{洪水調節容量の余裕}) \times 100[\%]$
	b	今後の堆砂量 の進行見込み [%/年]	$\frac{[\text{実績平均年堆砂量(洪水調節容量内)} - \text{平均年対策量(洪水調節容量内)}] [\text{千 m}^3/\text{年}]}{\div \text{洪水調節容量の余裕} [\text{千 m}^3]} \times 100$
	c	残余年数 [年]	a/b
③ 有効貯水容量 に対する 堆砂率	a	管理水準 までの残率 [%]	$5\% - (\text{有効貯水容量内堆砂量} \div \text{有効貯水容量}) \times 100[\%]$
	b	今後の堆砂量 の進行見込み [%/年]	$\frac{[\text{実績平均年堆砂量(有効貯水容量内)} - \text{平均年対策量(有効貯水容量内)}] [\text{千 m}^3/\text{年}]}{\div \text{有効貯水容量} [\text{千 m}^3]} \times 100$
	c	残余年数 [年]	a/b

※1 堆砂量及び実績平均年堆砂量の算定に当たっては、供用開始後 3 年目までの堆砂量は、貯水池法面崩壊等の初期堆砂の影響を排除するため使用しないことを基本とする。なお、初期堆砂の影響がみられない、または、3 年を超えても明確に初期堆砂の影響がみられるダムについては、状況に応じて判断する。

※2 実績平均年対策量は近年の実績対策量(排除量等)をもとに平均的な値を用いる。

残余年数と評価区分の関係については、恒久的な堆砂対策の実績から、残余年数 20 年未満を評価区分 A とする。また、河川整備計画の計画対象期間が概ね 30 年であることから、30 年を調査・観測の見直しを行う節目とし、残余年数 20 年以上～30 年未満を評価区分 B、残余年数 30 年以上を評価区分 C とする。

表 3.3 評価のための残余年数と評価区分の関係

残余年数	評価区分
20 年未満	A
20 年以上～30 年未満	B
30 年以上	C

3.2 堆砂対策の実施判断

堆砂対策の実施判断は、貯水池内の堆砂進行度に応じて、「堆砂対策検討開始」、「堆砂対策検討開始に向けた調査実施（基本調査＋詳細調査）」及び「堆砂状況の把握（基本調査）」に分けて評価するとともに、維持掘削の実施状況等を踏まえて行う。なお、大規模出水等によって非定常的に発生する堆砂に対しては、当該事象が生じた段階で対策を講じることとする。

<解説>

堆砂対策の実施は、貯水池及び貯水池上流端部の平年的な堆砂状況、突発的な大規模堆砂の発生状況、及び下流河川への土砂還元の要請等を踏まえ判断する。このうち、貯水池内の平年的な堆砂状況については、堆砂進行度の評価を行い、その評価に応じた対策を講じていくこととし、大規模堆砂の発生及び個別ダムの場合においては、当該事象が生じた段階で対策を講じることとする。

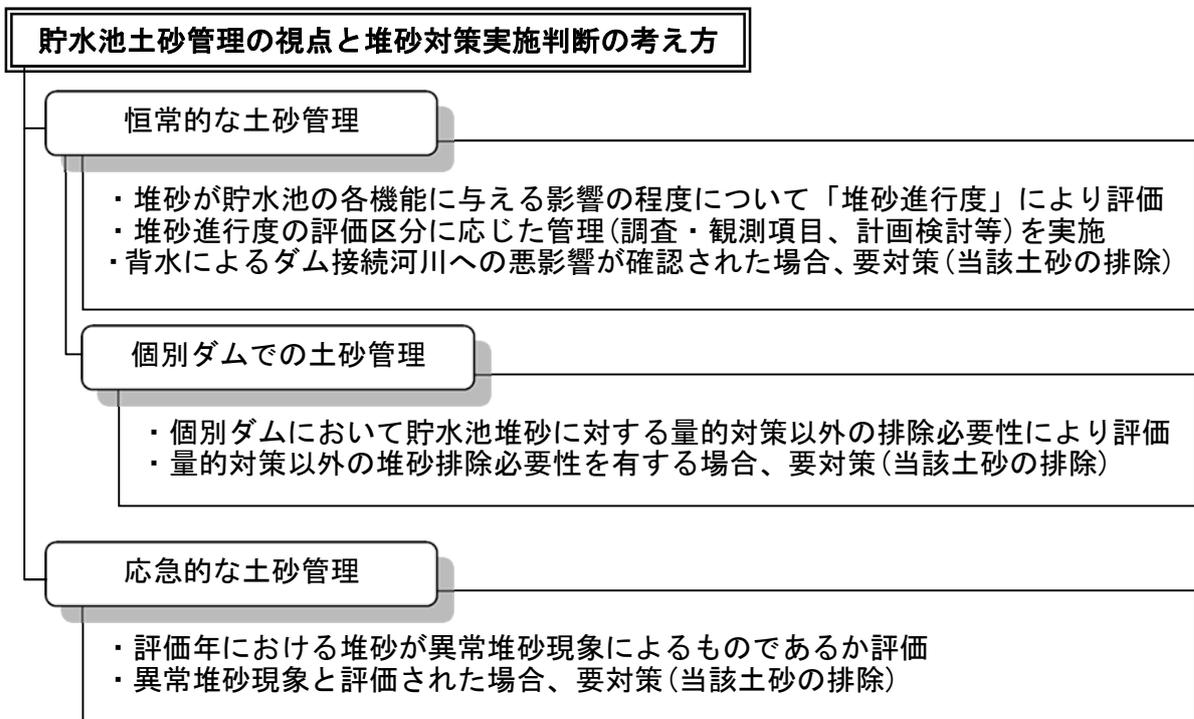


図 3.2 貯水池土砂管理の視点と考え方

堆砂対策の判断は、前項で整理した堆砂進行度の評価区分をもとに、当該堆砂進行度ランクで必要となる対策（調査・観測や計画立案等）を講じていくことを基本とする。なお、堆砂進行度は変動する貯水池流入土砂を均した平均的な堆砂状況に対する評価値であるため、大規模堆砂が生起した場合（非常時）の計画年堆砂量に対する乖離状況、及び下流河川への土砂還元等個別ダムの有する事情により対策を講じる必要が生じた場合は堆砂進行度評価とは別途で評価する。また、経過年数が少ないダムについて大規模堆砂が発生した際は、堆砂進行度の評価において大規模堆砂の影響を大きく受ける。このような場合は、堆砂進行度評価における今後の堆砂の推定が課題となるため、大規模堆砂が生じた後は、流域内モニタリングにより崩壊地の状況を把握し、適切に今後の貯水池流入土砂量を推定し、堆砂進行度を評価する必要がある。

堆砂進行度評価・堆砂対策実施判断の流れをフローチャートで整理したものを図 3.3 に示す。

図 3.3 に示すフローチャートは、基本調査（堆砂状況調査）結果を反映し、堆砂対策の最適な検討開始時期を判断するものであり、基本的には、貯水池堆砂測量の実施ごとにフローチャートで堆砂進行度評価・堆砂対策実施判断を行う。

また、堆砂進行度の評価区分ごとに講じるべき対策は表 3.4 のとおりである。堆砂進行度評価結果は、堆砂状況によっては年ごとに大きく変化する場合があるため、ある年において堆砂進行度の評価区分が大きく低下しても翌年には回復する場合が考えられる。したがって、大規模堆砂等により急激に堆砂進行度の評価区分が低下した場合、堆砂進行度の評価区分に加え、その大規模堆砂が今後も継続するの否かを把握（流域内の新規崩壊地の発生状況や既往崩壊地の拡大状況等）した上で必要な対策を講じることが必要である。

表 3.4 堆砂進行度の評価区分に応じた対策内容

残余年数	評価区分	対策内容
20 年未満	A	堆砂対策検討開始
20 年以上～30 年未満	B	堆砂対策検討開始に向けた調査実施（基本調査＋詳細調査）
30 年以上	C	堆砂状況の把握（基本調査）

なお、堆砂進行度の評価区分 B 又は C となるダムについては、調査・観測により堆砂状況を把握するとともに、現時点における堆砂進行度、維持掘削の実施状況・維持掘削可能量等を踏まえ、図 3.4 に示す「維持掘削・恒久対策検討判断フロー」に従い、恒久対策の検討開始時期を遅らせる対策あるいは恒久対策の必要性を判断するものとする。

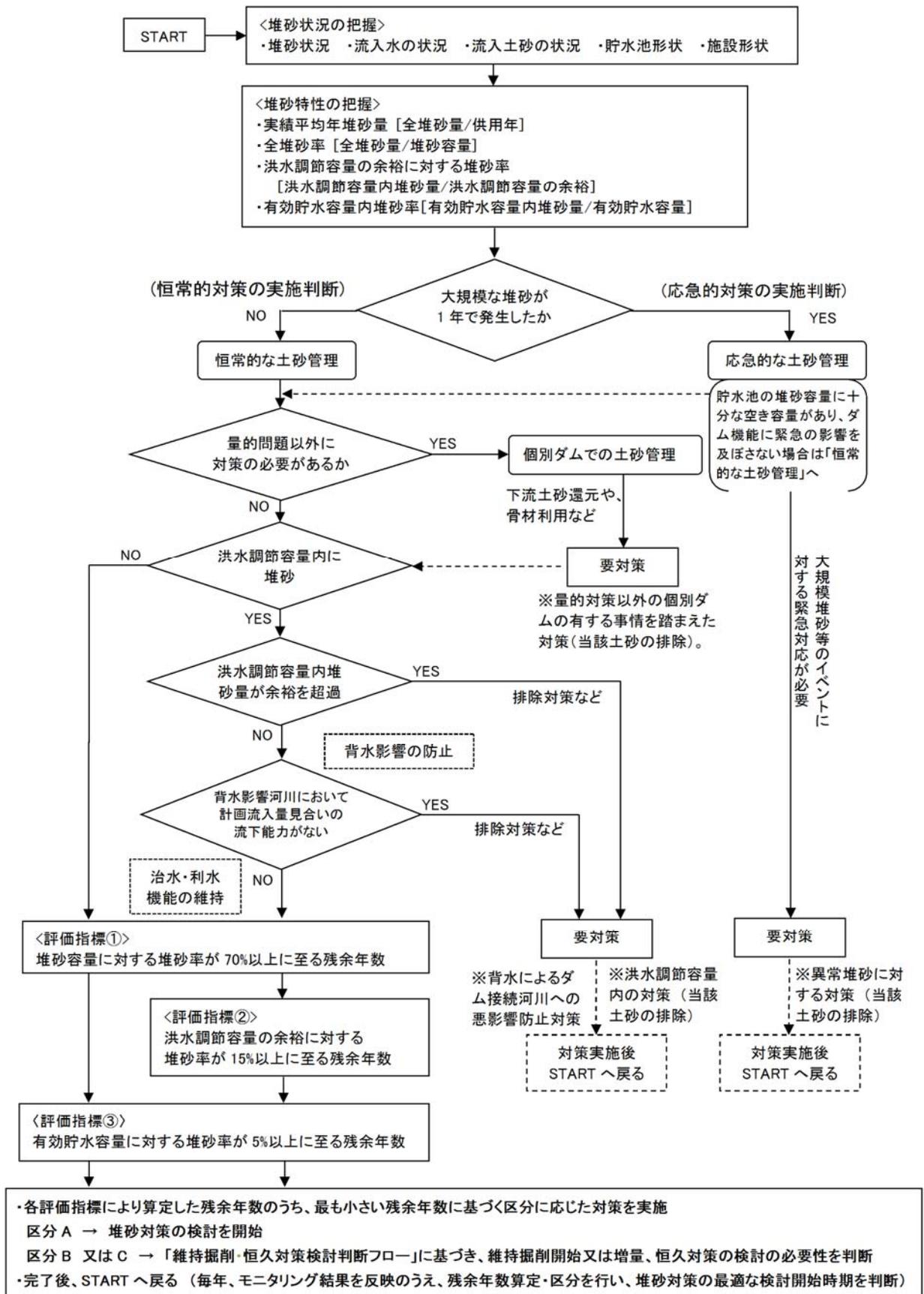


図 3.3 堆砂進行度評価・堆砂対策実施判断フロー

ここで、図 3.4 に示す「維持掘削・恒久対策検討判断フロー」における維持掘削とは、掘削量が実績平均年堆砂量に満たない掘削（貯砂ダム堆砂の掘削等を含む。）であり、現状の堆砂の進行を遅くする、あるいは、現状の堆砂量をできる限り増加させない対策をいう。また、恒久対策とは、堆砂対策施設の建設や貯水池運用の変更等で実績平均年堆砂量と同等、あるいは、上回る対策量により、今後の堆砂の進行を遅らせる、または、堆砂量を減少させる対策をいう。

なお、「維持掘削・恒久対策検討判断フロー」における「維持掘削で対応可能か」では、基本的には維持掘削で供用後 100 年後の堆砂率が 100%を越えない状態を維持できるか否かで判断するが、個別ダムの事情によりコスト面、技術面を踏まえて判断することも必要である。

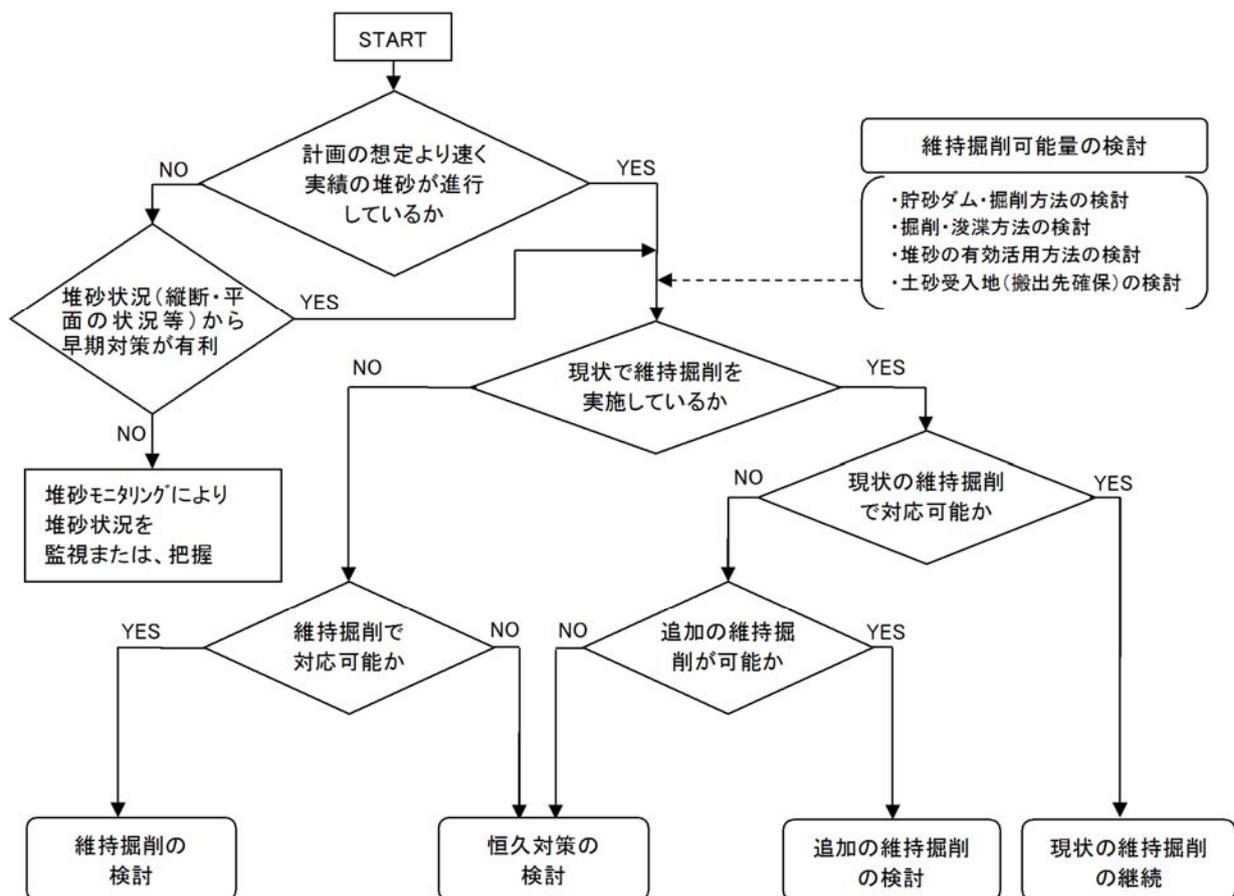


図 3.4 維持掘削・恒久対策検討判断フロー

毎年、調査・観測結果を反映し、「堆砂進行度評価・堆砂対策実施判断フロー」により堆砂対策の最適な検討開始時期の判断、「維持掘削・恒久対策検討判断フロー」により、今後、必要な維持掘削あるいは恒久対策の検討を判断する。

縦断的・平面的堆砂状況から早期対策が有利と判断される場合は、計画の想定より実績の堆砂が遅い状況においても維持掘削の検討を進める。

評価区分（A、B、C）に応じた対策内容の概念図を以下に示す。

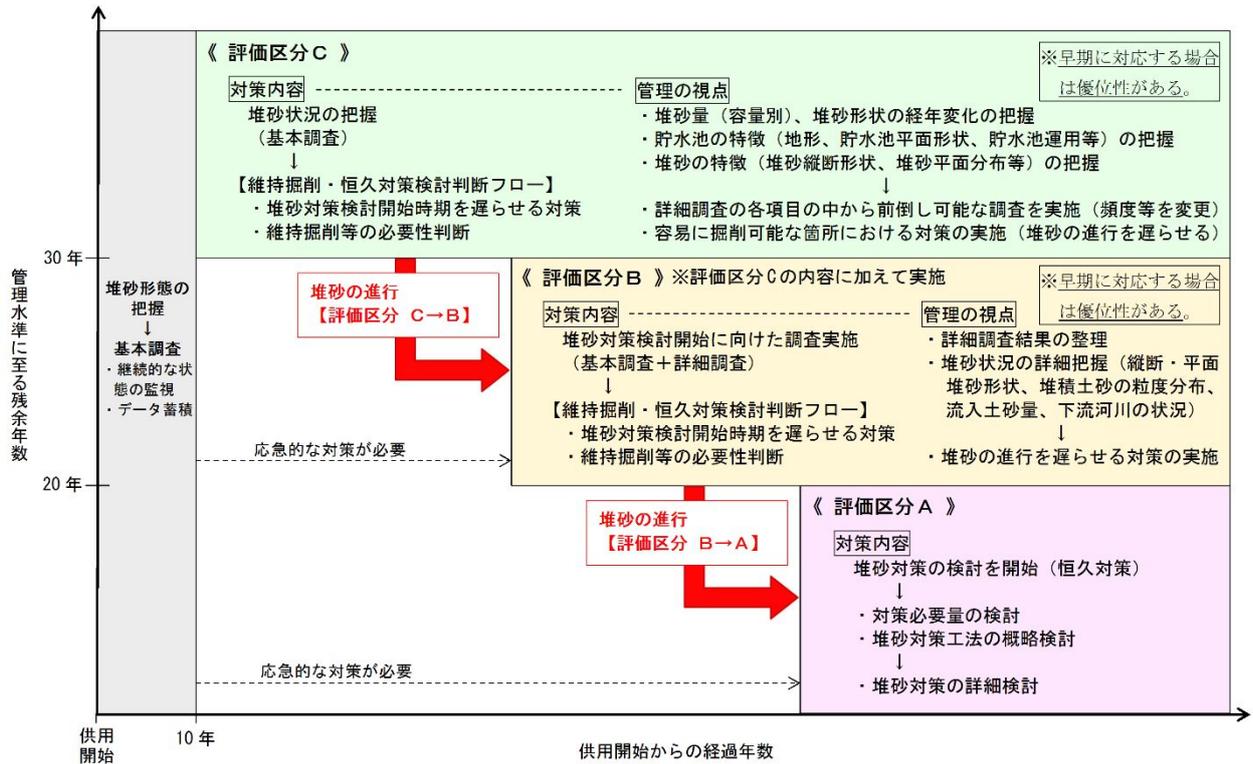


図 3.5 評価区分（A、B、C）に応じた対策内容の概念図

<参 考>

■大規模堆砂の考え方

堆砂対策の実施を判断する上で、恒常的、または、応急的対策の実施を判断するための大規模堆砂の発生については、以下を参考に判断する。

①最大年堆砂比率（最大年堆砂量／計画年堆砂量）

全国ダムについて、最大年堆砂比率（最大年堆砂量／計画年堆砂量）の分布をみると、堆砂比率 15 を境に、その存在状況が比較的明確に区分され、15 未満のダムが全体の約 75%を占め、15 以上が約 25%を占める。

また、最大年堆砂比率と掘削又は浚渫の実績の関係を整理すると、最大年堆砂比率が 15 以上の時、最も掘削又は浚渫の実施割合が高い（図 2 参照）ことから、計画年堆砂量の 15 倍を超える堆砂が生じた場合、予防・保全のための対策を行うことが考えられる。

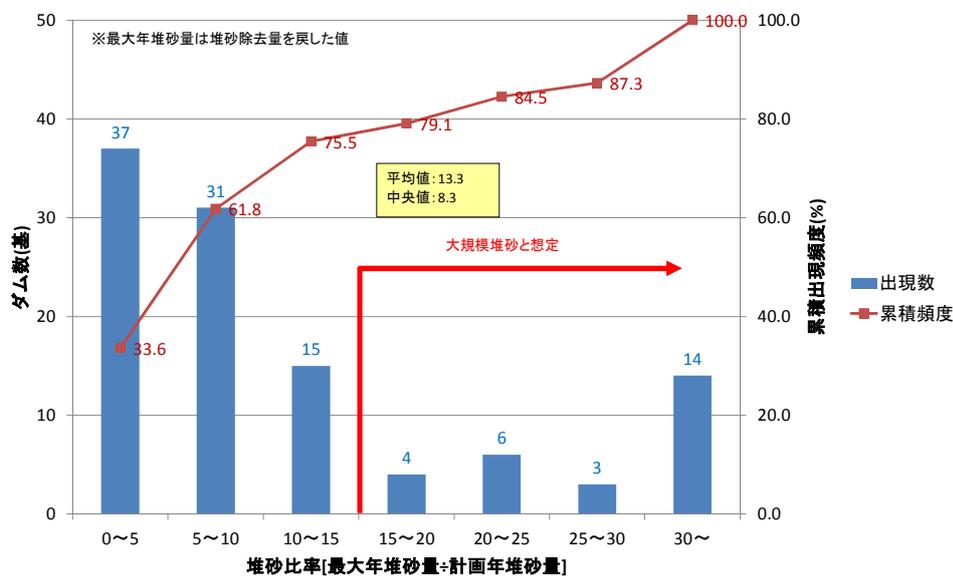


図 1 全国ダムにおける堆砂比率分布

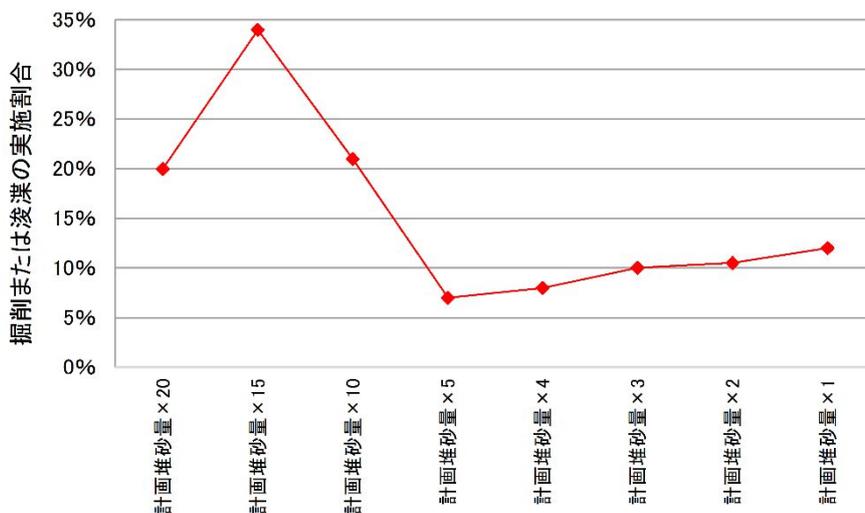


図 2 最大年堆砂量／計画年堆砂量の適合率

②災害復旧の採択条件

「直轄ダムの洪水調節容量内の土砂等の堆積に係る災害復旧事業について」において、「総貯水容量内の堆砂の程度が年計画堆砂量の3倍」を超える場合が、災害復旧の採択条件の1つとなっている。

そのため、大規模堆砂の発生判断基準として、「総貯水容量内の堆砂の程度が年計画堆砂量の3倍」とする場合も考えられる。

○直轄ダムの洪水調節容量内の土砂等の堆積に係る災害復旧事業について

平成4年4月9日 建設省河開発63号
各地方建設局河川部長あて
建設省河川局開発課長通達

直轄ダム異常堆砂災害採択基準等

土砂等の堆積の程度

ダムの洪水調節容量内に土砂等が異常に堆積した場合における災害復旧事業は、異常天然現象による総貯水容量内の堆砂の程度が年計画堆砂量の3倍を超え、かつ、当該異常天然現象による洪水調節容量内の堆砂量がおおむね3万立方メートル以上である場合として、当分の間運用するものとする。

3.3 対策必要量の検討

対策必要量は、推定平均年堆砂量、平均年残堆砂容量をもとに算定するが、維持掘削も含め検討する。

<解説>

我が国の多くのダムでは、100年分の堆砂容量が貯水池の下流部に水平に確保されている。これは年平均で見ると堆砂容量(m³)÷100(年)の土砂が貯水池へ堆積することを想定していることになるが、実際には堆砂量が大きく変動するため、堆砂計画の計画期間全体でみて堆砂容量内に収まっていれば問題がないという考えである。

一方、実際の堆砂状況を見ると貯水池に水平に堆砂しているダムは少なく、流入土砂の一部は有効貯水容量内に堆砂、即ち斜め堆砂していることがわかる。このため、堆砂が生じる部位によっては、堆砂量が堆砂容量内にあったとしても、今後も堆砂が進行するとダムが有する機能に支障が生じる可能性があると考えられる。

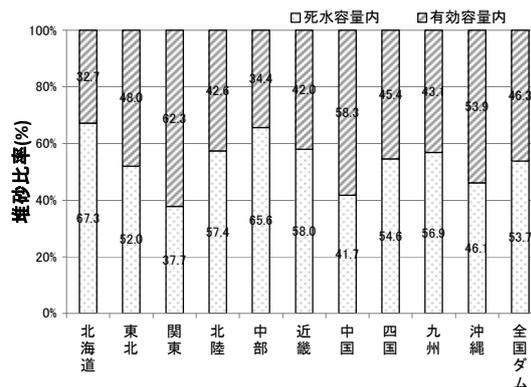


図 3.6 全堆砂量に占める部位別の堆砂比率

したがって、ダムが有する機能を保持し、適切に貯水池土砂管理を推進していくためには、堆砂特性を把握した上で、今後の推定平均年堆砂量、平均年残堆砂容量、年対策必要量、維持掘削可能量等を検討し、維持掘削を含めた対策を講じていくことが必要となる。

なお、本手引きでは管理ダムの貯水池における堆砂計画の計画期間が概ね 100 年であるという現状に基づき、供用後 100 年後の堆砂率が 100%となるよう対策必要量を算定することを基本とする。

ただし、供用から長期間が経過しているなど配慮すべき事項があるダムについては、堆砂対策検討時から 100 年後の堆砂率が 100%となるよう対策必要量を算定している事例もある。

対策必要量の検討は、堆砂進行度が評価区分 A となった場合に、堆砂対策検討を実施する際の対策必要量の概略を把握するために実施する。

3.3.1 推定平均年堆砂量の算出

年対策必要量を算定するための推定平均年堆砂量は、総貯水容量内堆砂量については、当該ダムの実績年堆砂量データから統計処理により算出することを基本とし、有効貯水容量内堆砂量については、評価時点の累積堆砂量を供用期間で除すことにより算出する。

<解説>

ダムでは、堆砂測量によりほぼ毎年の貯水池堆砂量が把握されている。堆砂は自然現象であるため、年変動を伴って推移するが、この年変動は比較的大きいのが通例である。したがって、例えば貯砂ダムによる土砂の捕捉や掘削、土砂バイパスによる下流河川への土砂排出を検討するに当たっては、堆砂現象の年変動を評価することが必要となる。

ダム接続河川に堆積している土砂量や堆砂の経年的な変化傾向（上流域のダム建設等含む。）を把握しておき、近い将来どのような移動が起こるか予想できれば、残余年数の精度を上げることが可能である。

貯水池堆砂現象の変動の表現方法には、利用目的に応じて様々な方法があるが、具体的に提案されているのは、年堆砂量を確率評価する方法がある。

貯水池における推定平均年堆砂量は、総貯水容量内堆砂量については、堆砂測量により得られる堆砂量のデータを基に統計処理を実施し、期待値として算出することを基本とする。有効貯水容量内堆砂量については、貯水池運用や人為的な要因による堆砂の移動が生じるため、統計処理による推定平均年堆砂量の推定には馴染まないため、評価時点の累積堆砂量を供用期間で除すことにより算出する。

なお、算定に当たり使用する実績年堆砂量データは、堆砂排除量を戻した量で評価することに留意する必要がある。

ただし、年堆砂量のデータ数が10年程度未満のダム、推定平均年堆砂量の期待値と実績値の乖離が大きいダムなど、統計処理による年堆砂量の算定が望ましくないと判断されるダムについては、評価時点の累積堆砂量を供用期間で除すことにより推定平均年堆砂量を算出する。年堆砂量は、ダムの配置等による影響もあることから、特に、上流にダムがある場合等は期待値と実績値の乖離が大きくなる傾向があることにも留意する。

統計処理による推定平均年堆砂量の期待値については、今後のデータ蓄積等により精度を検証していく必要がある。

表 3.5 推定平均年堆砂量期待値算出表

年平均超過確率	年堆砂量	区間平均年堆砂量	区間確率	推定平均年堆砂量	推定平均年堆砂量の累計=推定平均年堆砂量の期待値
N_0	V_0	—	—	—	—
N_1	V_1	$(V_0+V_1)/2$	$N_0 \cdot N_1$	$v_1=(N_0 \cdot N_1) \times ((V_0+V_1)/2)$	v_1
N_2	V_2	$(V_1+V_2)/2$	$N_1 \cdot N_2$	$v_2=(N_1 \cdot N_2) \times ((V_1+V_2)/2)$	v_1+v_2
...
N_m	V_m	$(V_{m-1}+V_m)/2$	$N_{m-1} \cdot N_m$	$v_m=(N_{m-1} \cdot N_m) \times ((V_{m-1}+V_m)/2)$	$v_1+v_2+\dots+v_m$

堆砂実績データを基に、統計処理により算出

<参 考>

■統計処理による推定平均年堆砂量の算出と0以下データを含む補正方法について

貯水池堆砂データには、0やマイナスのデータを含むものが比較的多い。年最大降雨量といった水文資料では、0以下の数値はあり得ない異常データとして棄却することが妥当と考えられるが、貯水池堆砂データでは必ずしも異常データということは出来ない。0付近のデータは、小出水しかない場合には十分にあり得る事象であると考えられる。

堆砂測量では、測量誤差が比較的大きいといった問題もあり、微小な堆砂量は堆砂量の実質的な変動ではなく、計測誤差の範囲で変動することも考えられる。また、貯水位が低下するような年には、土砂の排出や貯水池内での土砂移動が生じる場合もある。その他に、微細粒子の圧密促進によるマイ

ナスデータが生じる場合がある。重錘法と音響測深法といった堆砂測量方法の変更による計測精度の変化によってもマイナスデータが生じ得る。このように、0以下のデータもまた生じ得る現象であるといえる。

0以下のデータが生じ得るということは、0以下のデータがある際に、標本数 N を変えずに確率分布形の当てはめを行わなければならないことを示している。

ここで、観測値として得られた年堆砂量とその非超過確率の関係に対する確率分布形の当てはめ、即ちプロットイング・ポジション公式は、一般に次式にて統一して表現することができる。

$$F(V_i) = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha} \dots\dots\dots \text{数式 1}$$

ここに、 N : 標本数、 i : 標本値(年堆砂量)を大きさの順に並べたときの小さい方からの順位、 V_i : 順位に並べたときの i 番目の標本値、 $F(V_i)$: V_i のプロットイング・ポジション(プロットする非超過確率値)、 α : 定数(0.4)である。

今、標本数が N で、このうち N_a 年分の年堆砂データが 0 以下であったとする。このようなデータについて、データ順位 $i > N - N_a$ のみの領域を対象にした確率分布形の当てはめを行うことを考える。0 以下のデータを除いた場合の、プロットイング・ポジションを考えると、上式において、 N を $N - N_a$ 、 i を $i - N_a$ と置き換えたものになっている。従って、0 以下を除いたプロットイング・ポジションを $F'(V_j)$ ($j = i - N_a \geq 1$) とすると、

$$F'(V_j) = \frac{j - \alpha}{N - N_a + 1 - 2\alpha} = \frac{i - N_a - \alpha}{N - N_a + 1 - 2\alpha} \dots\dots\dots \text{数式 2}$$

であり、同じ年堆砂量に対応する上式のプロットイング・ポジションには次の関係がある。

$$F(V_i) = aF'(V_j) + b \dots\dots\dots \text{数式 3}$$

ここに、 a 、 b は定数であり、

$$a = \frac{N - N_a + 1 - 2\alpha}{N + 1 - 2\alpha}$$

$$b = \frac{N_a}{N + 1 - 2\alpha}$$

である。

上式を用いて、0 以下のデータを省略した場合の当該年堆砂量に対する非超過確率を、データを省略しない場合のそれに変換・修正することができる。なお、変換後の非超過確率の適用範囲は、

$$F(V_s) \geq \frac{N_a + 1 - \alpha}{N + 1 - 2\alpha} \dots\dots\dots \text{数式 4}$$

である。

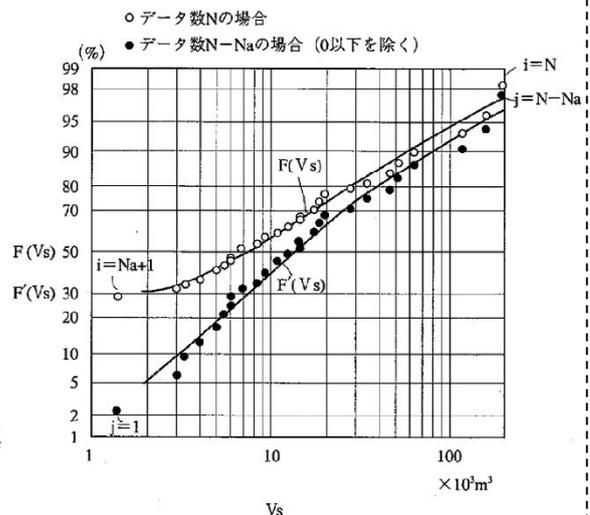


図 正データのためのデータへの確率分布形の当てはめ例

<参考となる資料>

- 1) 「高水計画検討の手引き(案)」、(財)国土開発技術センター、平成 11 年 2 月。
- 2) 柏井ら、「年堆砂量変動の確率評価」、ダム技術 No.196 (2003.1)。
- 3) 柏井ら、「水文統計ユーティリティを用いた年堆砂量変動の確率評価」、ダム技術 No.206 (2003.11)。
- 4) 「多目的ダムの建設—平成 17 年版」(第 3 巻 調査 2 編) 編集・発行/財団法人ダム技術センター。

3.3.2 平均年残堆砂容量の算定

平均年残堆砂容量は、評価時点における堆砂容量の残容量を当該ダム の 供用 残余 期間 で 除す こと により 算定 する こと を 基本 と する。

<解 説>

平均年残堆砂容量は、堆砂容量、評価時点における全堆砂量、当該ダム の 供用 残余 期間 から、以下のとおり算出する。なお、ここで供用残余期間は、100年 から 評価 時点 の ダム 供用 期間 を 差し 引いた 期間 と する。

$$\text{○平均年残堆砂容量} = (\text{堆砂容量} - \text{評価時点の全堆砂量}) / \text{供用残余期間} \quad [\text{m}^3/\text{年}]$$

上式における供用残余期間が対策期間の上限であることから、下図に示すとおり、対策の実施が遅れる程に必要となる年間対策量が増大することになる。（対策量の総量は同じ）

したがって、特に、堆砂が計画の見込みを超過しているダムなどにおいては、堆砂状況を踏まえて適切かつ早急に対策を講じる必要がある。

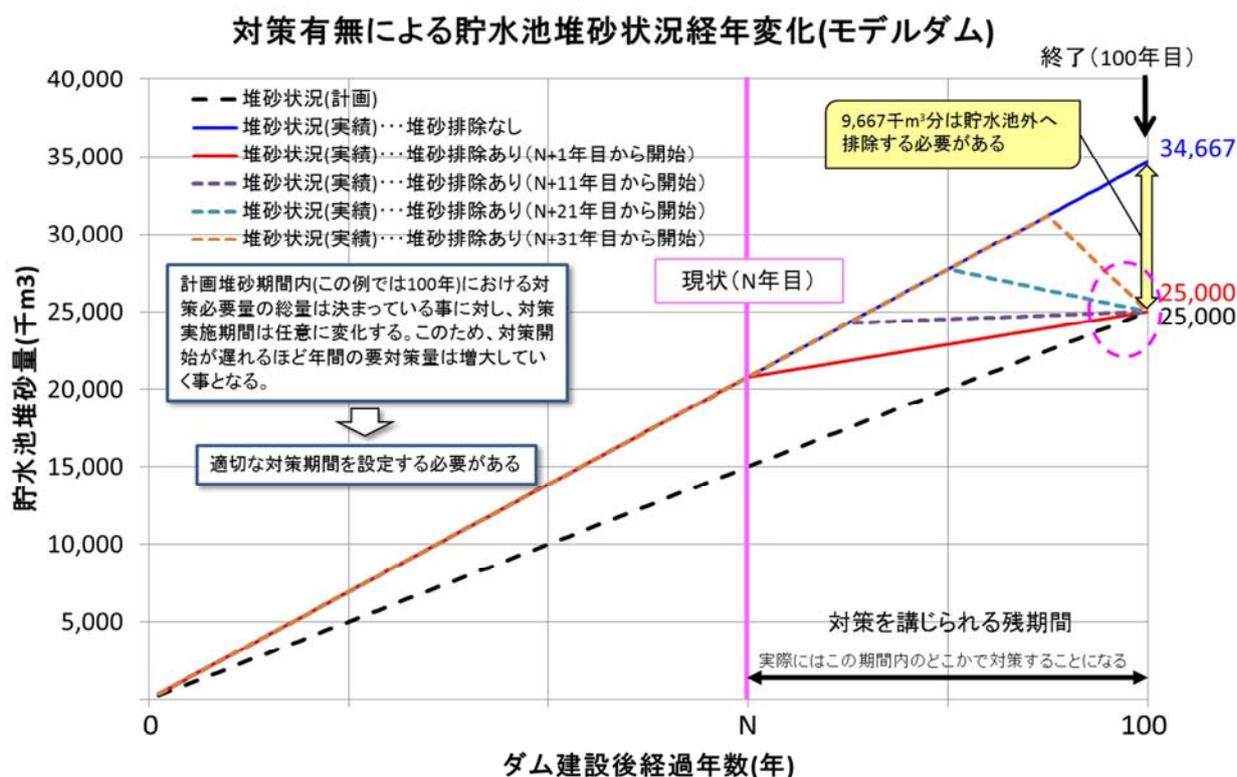


図 3.7 モデルダムにおける対策期間の違いによる貯水池堆砂状況の比較

3.3.3 年対策必要量の算定

年対策必要量は、推定平均年堆砂量から平均年残堆砂容量を減じることにより算定することを基本とする。

<解説>

評価時点における貯水池内の全堆砂量（下図の④）のうち、有効貯水容量堆砂量を堆砂容量（下図の①）内の堆砂量と見なして、当該ダムの供用残余期間で堆砂を許容できる容量（①－④）を求める。これを供用残余期間で除すことによって平均年残堆砂容量（下図の②）を求める。

貯水池に流入して堆積する推定平均年堆砂量（下図の⑤）から上記で求めた平均年残堆砂容量（②）を差し引いた量（⑤－②）が年対策必要量である。

①堆砂容量 [m³]

②平均年残堆砂容量：（①堆砂容量－④評価時点全堆砂量）／供用残余期間 [m³/年]

③年対策必要量：⑤推定平均年堆砂量－②平均年残堆砂容量 [m³/年]

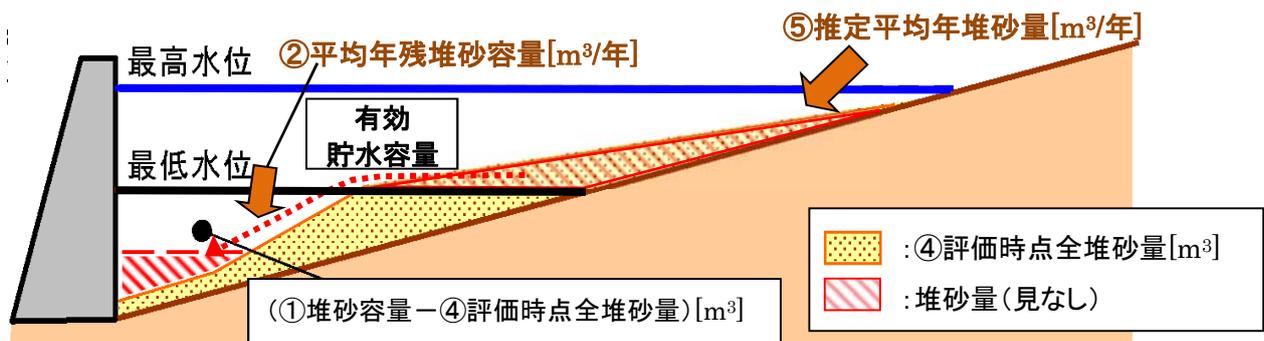


図 3.8 年対策必要量の算出の考え方

なお、有効貯水容量内に偏って堆砂が進行し、堆砂容量内における残堆砂容量にはある程度の空きがある場合には、上記の算定において、年対策必要量が計算上ゼロとなることがある。こうした場合には、対策の必要性がないとは判断しないで、堆砂の状況や、算出した推定平均年堆砂量、堆砂対策工法の選定における対策工法の適用性も踏まえた上で、該当ダム個別対応として有効貯水容量内の堆砂の排除を検討する必要があることに留意する。

貯水池土砂管理の観点から、対策必要量を算定する際には、同時に土砂還元の観点から下流河川の状況（河床低下、粗粒化、生物生息・生育環境等）に応じた供給土砂量についても検討しておく方が望ましい。

3.3.4 維持掘削可能量の検討

維持掘削可能量は、各ダムの運用方法や立地条件、周辺状況等を踏まえ検討する。

<解説>

堆砂対策を検討するに当たり、維持掘削可能量を検討しておく必要がある。

維持掘削可能量については、各ダムで運用方法や立地条件、周辺状況等が異なるため、個別ダムにおいて、以下の点を踏まえて、現実的な維持掘削可能量を算出する。

(1)貯砂ダムの設置、貯水池堆砂の掘削・浚渫方法の検討

貯水池上流端部に、貯水池流入土砂を軽減するための貯砂ダム（堆砂を排除）を設置するためには、貯砂ダムの構造・規模・位置、貯砂容量、搬出計画（重機、仮置場、坂路等）、運搬計画（搬出先等）、概算工事費等を検討する必要がある。

また、貯水池堆砂を排除する掘削・浚渫を行うためには、貯水池運用（貯水位低下）、掘削・浚渫箇所、搬出計画（重機、濁水対策、仮置場、坂路等）、運搬計画（搬出先等）等を検討する必要がある。

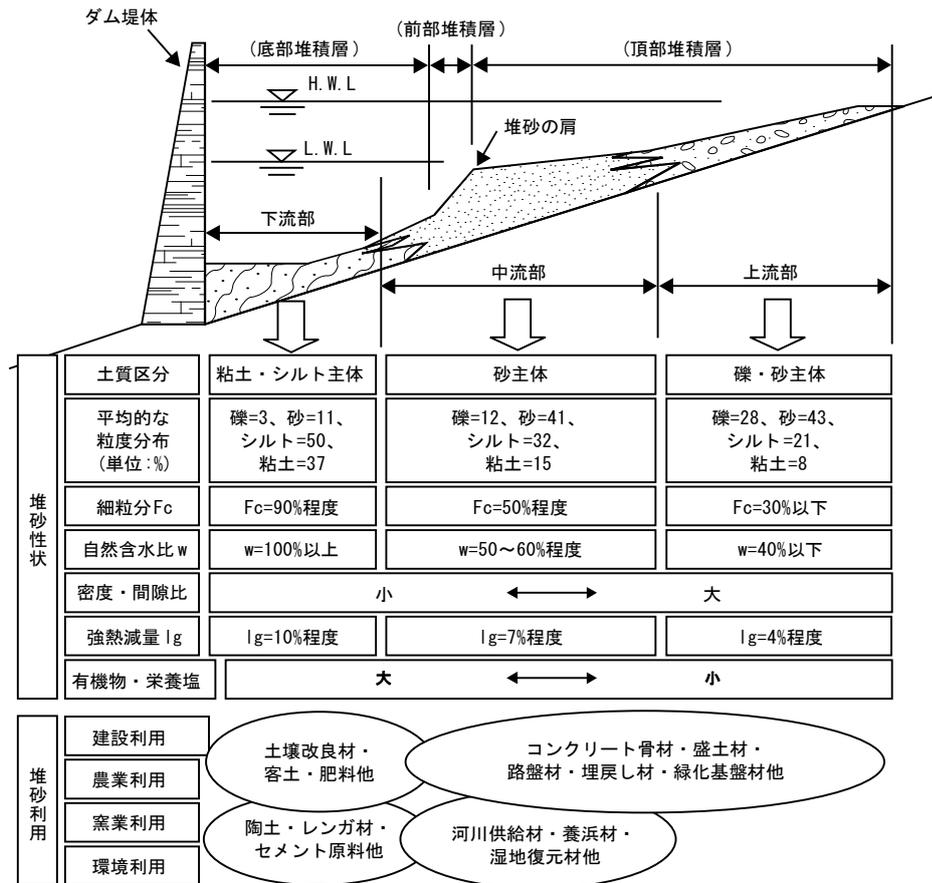
(2)排除土砂の有効活用方法の検討

排除土砂の有効活用方法としては、建設・農業等におけるリサイクル資源としての利用と環境利用に大別される。前者はコンクリート骨材や盛土材、客土等への利用で、後者は下流河川への還元（供給）材等への利用である。

貯水池堆砂は、貯水池内の縦断位置により、上流部（礫・砂主体）、中流部（砂主体）、下流部（粘土・シルト主体）の3つに区分でき、それぞれの平均的な性状は図 3.9 に示すとおりである。

中・上流部の砂・礫主体の材料は、コンクリート用骨材や盛土材などの建設材料としての利用、下流部の粘土・シルト主体の材料は、細粒分に含まれる有機物や栄養塩等を活用した農業利用や、粘土成分を活用した窯業利用などが考えられる。

そのため、貯水池堆砂の有効活用方法を検討するためには、堆砂の性状を把握するためのボーリング調査・粒度試験、堆砂の化学試験（含有量、溶出試験、有害物質の有無）等の実施、堆砂を有効活用するための費用等を検討しておく必要がある。



出典) 大矢、角、嘉門：「ダム堆砂の性状把握とその利用法」、ダム工学 Vol.12、No.3、2002

図 3.9 貯水池堆砂の性状と利用法

(3)土砂受入地（搬出先確保）の検討

土砂受入地の検討では、排除土砂の受け入れ可能な候補地の選定、受入可能量の検討、土砂受入地の構造検討、運搬計画（運搬経路、運搬距離等）、施工計画、概算工事費等の検討が必要となる。また、ダム周辺は急峻な山地部となっており、排除土砂の受け入れが可能な候補地は限られるため、場合によっては、貯水池周辺の谷部を造成する等の対応が必要である。

下流河川への土砂還元方法として、置き土計画を想定している場合は、土砂受入地（ストックヤード）の候補に置き土予定地点を含めて検討が必要である。

土砂受入地周辺の環境調査を実施し、重要種、貴重種等の有無の確認、土砂受け入れが動植物へ与える影響等について検討する必要がある。

4. 記録の整理・蓄積

今後の対策の検討や対策の見直しをする場合に備え、必要不可欠な情報である貯水池の堆砂対策の実施判断結果や、堆砂対策実施状況、調査結果・観測データ等についての記録を、収集・整理し、蓄積していくものとする。

<解説>

ダムが有する機能を保持・回復することを目的に行う堆砂対策実施状況や調査結果・観測データの記録は、現時点での評価や対策のためだけでなく、将来における効率的な維持管理に重要な役割を果たすものである。貯水池の堆砂進行度評価には過去のデータを含めた傾向管理が重要で、今後の予測につながるるとともに、大規模堆砂等が発生した場合などは、前後の状態を比較することにより貯水池の安全性を的確に評価することができる。したがって、堆砂進行度評価、調査結果・観測データ等の記録は、系統的に収集・整理し保管・管理するものとする。

貴重な情報を共通の知識として活用するため、整理・保管は様式を統一して行うことが望ましい。また、収集した各種データは、GIS（地理情報システム〔Geographic Information System〕）、CIM〔Construction Information Modeling〕により一元管理することで各種指標の変化状況を把握することにより、一層の管理効率化が期待できる。そのためには、電子化などにより極力全データを保管しておくことが望ましい。

《 卷末資料 》

I.アセットマネジメントの堆砂対策への適用について

II.調査・観測について

1. 測量について
2. 詳細調査についての補足事項

III.評価指標について

IV.堆砂対策の検討

1. 堆砂対策工法選定の手順
2. 堆砂対策工法の一次スクリーニング
3. 堆砂対策工法の二次スクリーニング
4. 堆砂対策工法の決定

I. アセットマネジメントの堆砂対策への適用について

ダム堆砂容量は有限であることから、将来にわたり既設ダムの機能を確実に発揮していくためには、堆砂の排除をより容易に実施する手法の検討等の調査・研究を進めていく必要がある。近年では、アセットマネジメントをダムの堆砂対策へ適用する考え方もみられる。

堆砂の進行による堆砂量の増大を堆砂率の時間的変化として捉えると下図のように考えることができ、ライフサイクルコスト最小化の観点から、様々な対策の組合せにより堆砂対策の開始時期、対策量等を検討することが可能となる。

本手引きの本編では、管理ダムの貯水池における堆砂計画期間が概ね 100 年であるという現状に基づき、供用後 100 年後の堆砂率が 100%となるよう対策必要量を算定することを基本としている。一方で、ダム再生ビジョンによる既設ダムの機能を半永久的に維持していくとの理念から、各ダムの堆砂特性などを考慮し、より早期に対策を検討・実施することが望ましく（下図の①：**早期対策**）、新たな対策期間・管理目標の設定も視野に、早期段階から常に意識をもって維持管理を行っていくことが重要である。

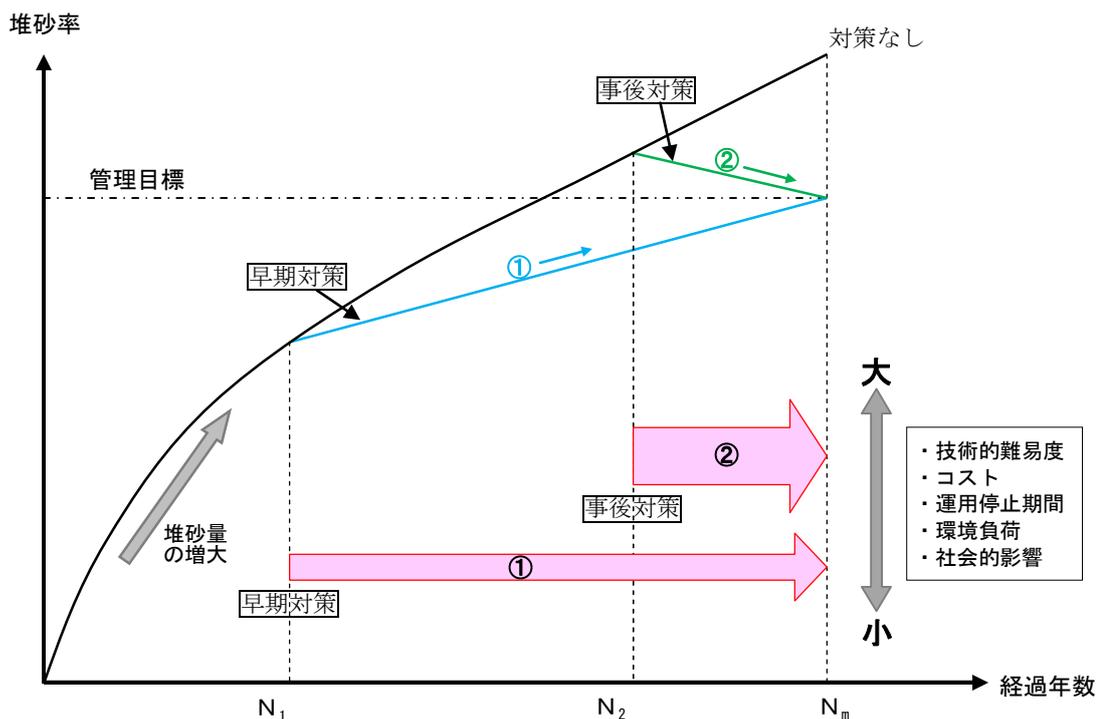


図 アセットマネジメントの堆砂対策への適用のイメージ

堆砂の進行に応じ、堆砂対策により排除すべき土砂量は、後になればなるほど増大するおそれがあり、これらを限られた期間で処理しようとする、技術的難易度、コスト、堆砂排除に伴う運用停止期間及び大量の土砂を搬出・輸送・処分するための環境負荷が増大することが想定される（上図の②：**事後対策**）。

そのため、一度に排除する土砂量のある限度に抑えて堆砂対策の実現可能性を維持するために、早期に堆砂対策に着手することが望ましい（上図の①：**早期対策**）。

Ⅱ. 調査・観測について

貯水池土砂管理のための調査・観測は正確かつ精度の高い情報を得るために、それら手法の特徴を十分理解した上で実施することが望ましい。また、最新の技術についても積極的に取り入れることに努める。ここでは、基礎調査・詳細調査において参考となる情報について記述する。

1. 測量について

①測量方法

◇陸上部

(1)横断測量

中心杭等を基準にして地盤の変化点の標高や距離を求め、横断面図を作成する。

(2)航空レーザ測量

航空機に搭載したレーザスキャナから地上にレーザ光を照射し、地上から反射するレーザ光との時間差より得られる地上までの距離と、GNSS(GPS)測量機、IMU(慣性計測装置)から得られる航空機の位置情報より、地上の標高や地形の形状を精密に調べる新しい測量方法である。

◇水中部

(1)ロッド又はレッドによる直接測定

ロッドを直接、または、船を停船しロープ又はワイヤーに錘をつけたものを水底まで下ろしてその長さで水深を測る（点の測深）。

水深が大きい場合は測定が困難となる。

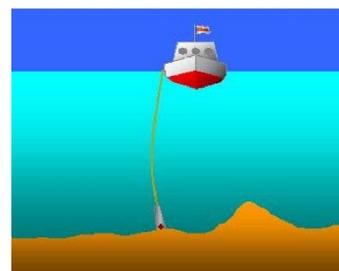


図 1.1 レッド測量

(2)音響測深法

船から発信された音波が水底で反射されて戻ってくるまでの時間を測定することにより水深を計測するシステムである。測定に当たっては、水温や深度による音速度補正、波浪や潮汐の影響補正等が必要となる。

近年では、船の左右方向に指向角が広く前後方向に指向角が狭い音波を発射して、船の真下の水深だけでなく船の左右方向の水深まで一度に測量することができるスワス音響測深が利用されている。

(a) シングルビーム音響測深(SB) : [単素子音響測深、多素子音響測深]

・ 単素子音響測深

音波を海底に発信し、跳ね返って戻ってくるまでの時間から水深を測る。船を航行しながらの測深が可能（線の測深）である。水中の音の速さは約 1500m/s（さまざまな条件により変動）で空中の4倍以上の速さで伝わる。

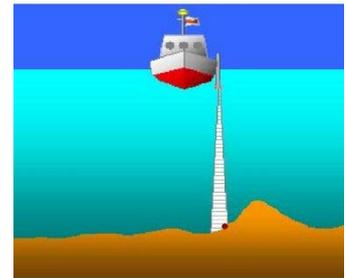


図 1.2 単素子音響測深

・ 多素子音響測深

素子(送受波器)を複数使用することにより、単素子よりも一度に幅広く測深することが可能（多重線の測深）であるが、多く取り付けても測深できる幅は限定的である。

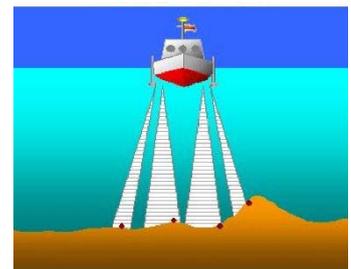


図 1.3 多素子音響測深

(b) マルチビーム音響測深(MB)

一度に多数の音波を扇状に発信し、非常に精密な海底地形を把握することができる（面の測深）。

水底を計測するには理想的な測深であるが、システムが複雑で非常に高価である。

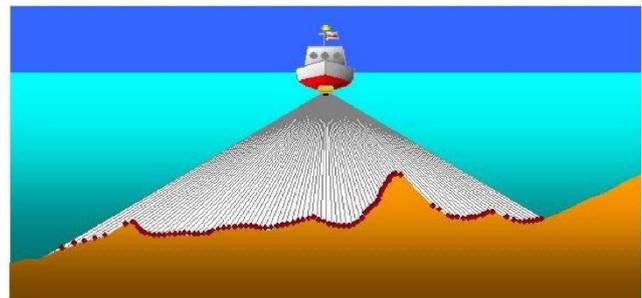


図 1.4 マルチビーム音響測深

(c) インターフェロメトリ音響測深

サイドスキャンソナータイプのスワス測深機である。マルチビームが角度ごとの音波の戻り時間を計測するのに対し、インターフェロメトリでは時間ごとに角度の位相差を検出する。そのため、インターフェロメトリ測深機には片側に2~3個の受信アレーが装備されている。インターフェロメトリ測深機を使用する利点は、1) スワス幅が極めて広い、2) サイドスキャンイメージの取得が可能、などが挙げられる。

マルチビーム音響測深と同様に、システムが複雑で非常に高価である。

(3) レーザ測深

赤色のレーザー光（主に水面で反射される）と緑色のレーザー光（主に水底で反射される）を併用して両者の反射時間の差から水深を測定する手法である。航空機は高度 500m 程度を飛行し、発射されるレーザー光は機体の左右にスキャン（走査）されるため、航空機の直下の水深だけでなく左右に幅を持って多数の水深値を短時間に得ることができる。

現在の技術で測深できる深さは透明度が高い場所でも水深 50m 程度までであるとされており、測量船での測深が困難な岩場などの浅瀬が存在する水域での測量を効率的に行うことができる。

貯水池では、水深が浅く、透明度が高い貯水池上流端部付近での使用が有効と考えられるが、現在、貯水池についての使用事例は殆ど報告されていないことから、当該手法を採用する場合には、他手法と併用し、精度を確認しておく必要がある。

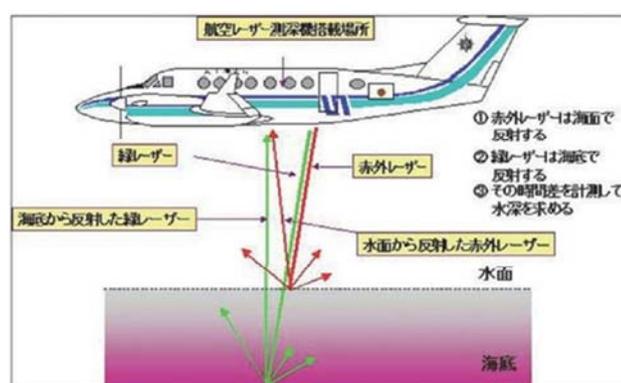


図 1.5 レーザ測深

出典 1：河川砂防技術基準 調査編 平成 26 年 4 月改定 国土交通省 HP より
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/

出典 2：第九管区海洋情報部 HP より
http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/sokuryo/sokuryo_history.htm

出典 3：沿岸海洋調査株式会社 HP より
<http://www.engan.jp/chikei/multibeam.html>

② マルチビームとシングルビームによる違い

マルチビーム (MB) とシングルビーム (SB) の大きな違いは、ビームの照射範囲から生じる計測範囲の違いであり、SB は線的に、MB は面的に水面から水底へ向けビームを照射する。測深精度は水深・地形等により異なるが、面的に情報を取得できる MB の方が地形状況を詳細に表現できる。

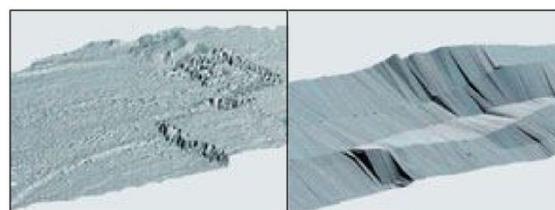


図 1.6 MB (左) と SB (右) による測量結果

両手法による測量結果の違いを、SB による線的な測量結果と、MB による面的な測量結果で比較すると、SB では、測線間の距離がある場合、かなり粗い地形図 (測量結果) となることがわかる (図 1.6)。そのため、MB の計測範囲を SB で補うためには測線を追加し測線間隔を密にする必要がある。

また、SB 測深では照射範囲の最浅部を水深として採用するため、発信音波の入射角・指向角が大きいほど、凹凸の大きな地形や斜面部では実水深よりも浅く測量される（図 1.7）。

MB 測深では、水深を計画測線に近接するメッシュデータから距離重量配分により求めるため、ほぼ計画測線上の水深が得られるが、SB 測深では GPS 等によって所定の精度で位置測定したとしても、等高線が測線に対して斜めに交わる場合は、位置の偏位により水深も大きく異なることに注意する。

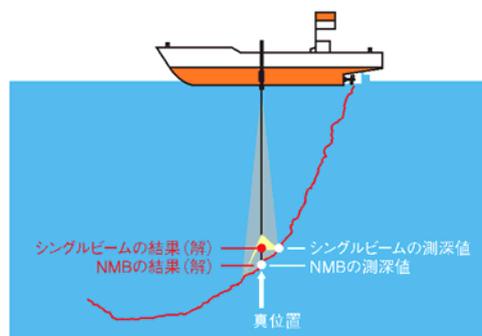


図 1.7 斜面部における計測水深の違い

出典) 末次ら,「堆砂測量手法の概要とその得失」,財団法人ダム水源地環境整備センター,リザーバー,2008.3.

③水中部(深淺測量)測量方法の概要

水中部(深淺測量)の測量方法については、各ダムの貯水池特性や測量コスト等を踏まえ、下表の特徴を考慮して適切に選定する。

表 1.1 測量方法の特徴比較表

調査方法	重錘法 (レッド測量)	シングルビーム 音響測深(SB)	マルチビーム 音響測深(MB)	インターフェロメ トリ音響測深	レーザ測深
測深精度	○	○	◎	◎	◎
測深日数	○	◎	◎	◎	◎
測深 コスト	○	○	△	△	△
斜め方向 の測深	×	×	○	○	○
3次元の面 情報の生成	×	×	○	○	○
貯水池での 用途区分	狭い区域、湖底面 変状が少ない場 合向き、水深が浅 い場合向き	狭い区域、湖底面 変状が少ない場 合向き	広い区域、湖底面 変状、湖面形状の 変化が多い場合 向き	広い区域、湖底面 変状、湖面形状の 変化が多い場合 向き	広い区域、湖底面 変状が多い場合向 き(ただし、水質 のきれいな場所でも 水深 50m 程度)

◎…最適、○…適、△…可、×…不適

④測量データに基づく堆砂量の算定

測量データより直接求められるのは水深で、水深に基づく水容量より堆砂量を求めたり、水位から求めた堆砂面の標高より堆砂量を求める必要がある。具体的には、測線の断面の変化から求める平均断面法と面的な変化から求めるメッシュ法がある。

測線から求める平均断面法は、断面形のデータがあれば算定可能で、多くのダムで採用されている。一方、水深の面的データから堆砂量を求めるメッシュ法は、メッシュの大きさにより影響を受けるが、メッシュの大きさが 5m 以下であれば差異はほとんどない。ただし、断面積が大きく変動する区間では差異が大きくなることがあるため留意する必要がある。

出典) 末次ら,「堆砂測量手法の概要とその得失」,財団法人ダム水源地環境整備センター,リザーバー,2008.3.

2. 詳細調査についての補足事項

①貯水池における一般的な堆砂機構

貯水池流入土砂は、一般にさまざまな粒径が混合したものであり、粒径ごとの流動・沈降特性の違いにより貯水池内で分級され堆積する。こうした分級作用による最も典型的な堆砂の縦断形状は、図1に示すように、頂部堆積層、前部堆積層、底部堆積層、密度流堆積層の4層により形成されるものである。

頂部堆積層及び前部堆積層はいわゆるデルタと呼ばれるものであり、河床付近を転動・滑動して移動する掃流砂及び浮遊砂のうち河床付近の濃度分布が高い比較的大きな粒径成分により構成される。図示されるように、貯水池内での急激な流速低減による沈降・堆積により形成される前部堆積層の勾配は、下流河床に比べ急勾配となる。また、頂部堆積層のそれは元河床に比べ緩勾配となる。貯水位が一定であれば、堆砂の進行に伴い、このデルタは貯水位付近に肩を保ちながら前進し、頂部堆積層の上流端はより上流へと遡上する。上流河道で河床上昇が生じるのはこのためであり、上流河道の河床上昇の問題は、頂部堆積層形状の推定及び制御の問題として捉えることができる。その主たる対象は掃流砂及び粒径の比較的大きな浮遊砂である。

底部堆積層及び密度流堆積層はウォッシュロード及び浮遊砂の比較的小さい粒径成分により構成される。底部堆積層は濁水流下時の沈降現象により生じる堆積層であり、元河床にほぼ平行に堆積する。また、密度流を形成してダム地点まで流入・堆積したのが密度流堆積層である。なお、浮遊砂とウォッシュロードの違いであるが、ウォッシュロードは浮遊成分のうち河道部にみられない微粒子成分として定義されている。流動形態は浮遊であるが、出水中に河川流中に取り込まれて輸送され、ほぼ一様な水深方向の濃度分布をもつ特徴を有している。その粒径は河川ごとに異なることが予想されるが、一般的には $100\mu\text{m}$ 程度以下の微細粒子とされている。

出典)「多目的ダムの建設—平成17年版」編集・発行/財団法人ダム技術センター

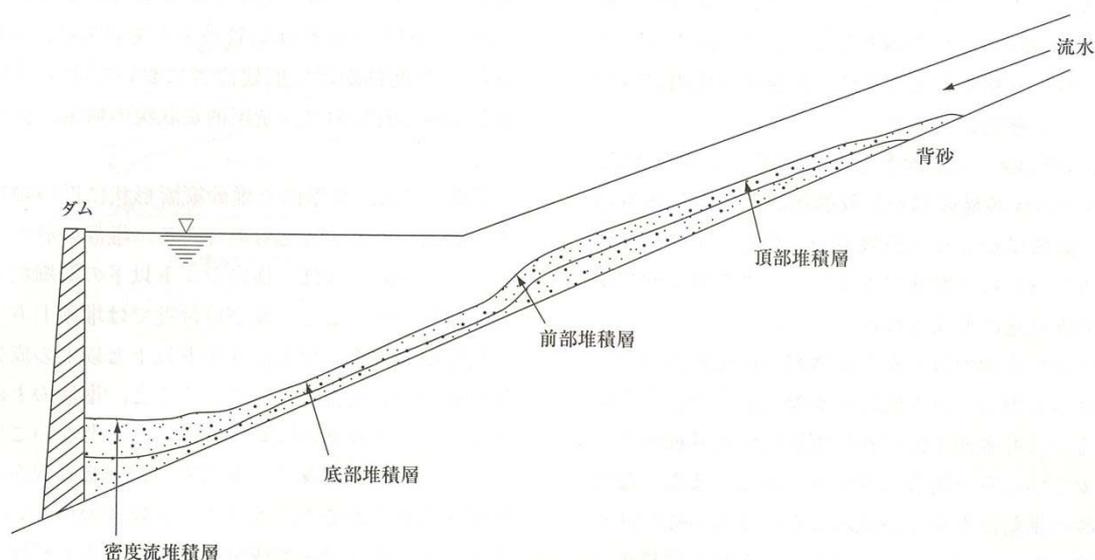


図 2.1 典型的な堆砂の縦断形状

②堆砂形状調査における測線間隔変更の考え方

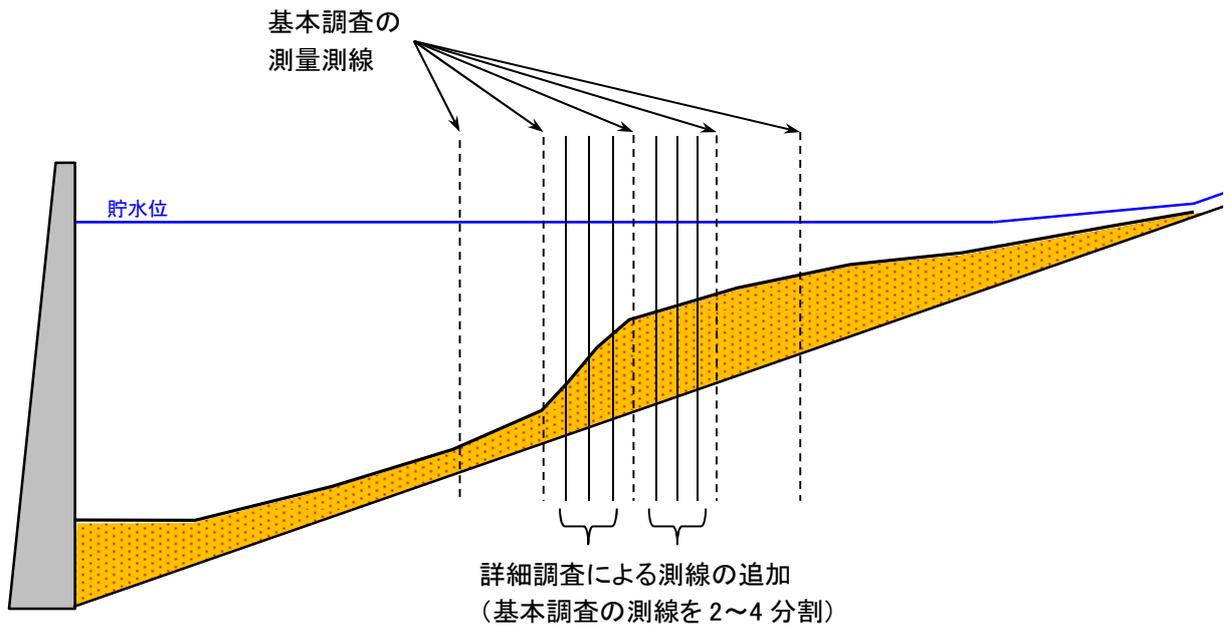


図 2.2 詳細調査における測線追加の考え方

③ボーリング調査地点の考え方

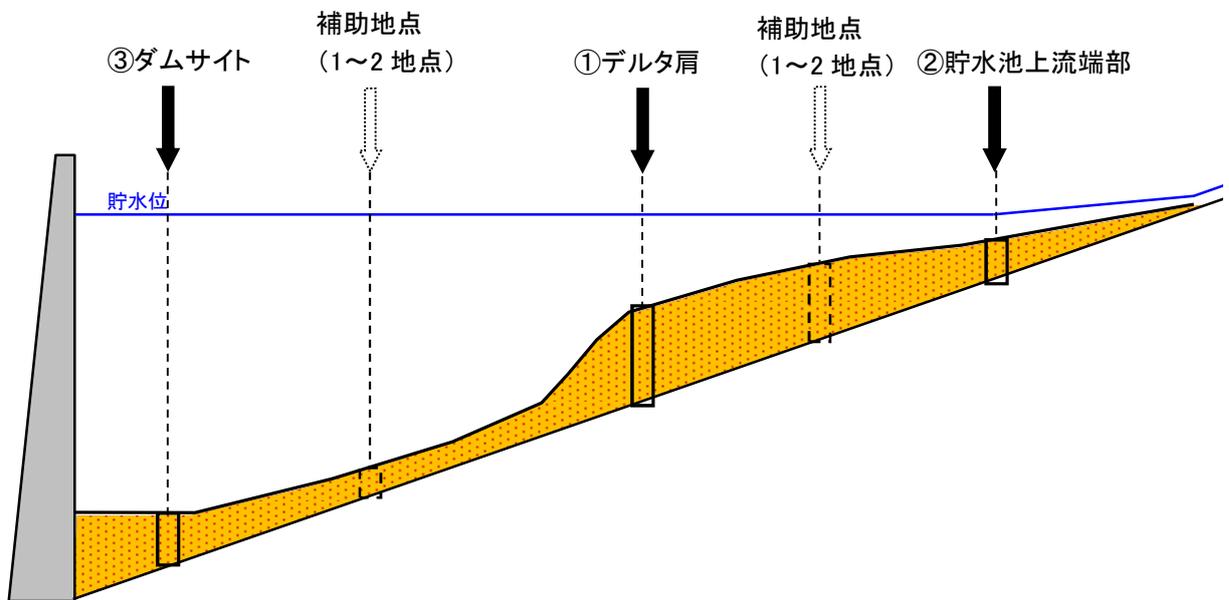


図 2.3 ボーリング調査地点の考え方

④ボーリング調査データの活用事例

ボーリング調査による堆砂性状調査によって取得するデータについては、ボーリング位置ごと、深度別の粒度分布が把握可能である。これにより、土質区分（粘土・シルト、細砂、中砂、粗砂、砂礫等）の粒度分布や性状分布を把握することができる。また、各断面において土質区分ごとの断面積が分かれば、区間距離から土質区分ごとの体積が分かり、堆砂全体の粒度構成を推計することが可能となる。

出典) 岡野眞久、「ダム貯水池流砂技術の堆砂対策への適用に関する研究」,京都大学学位論文,2005年.

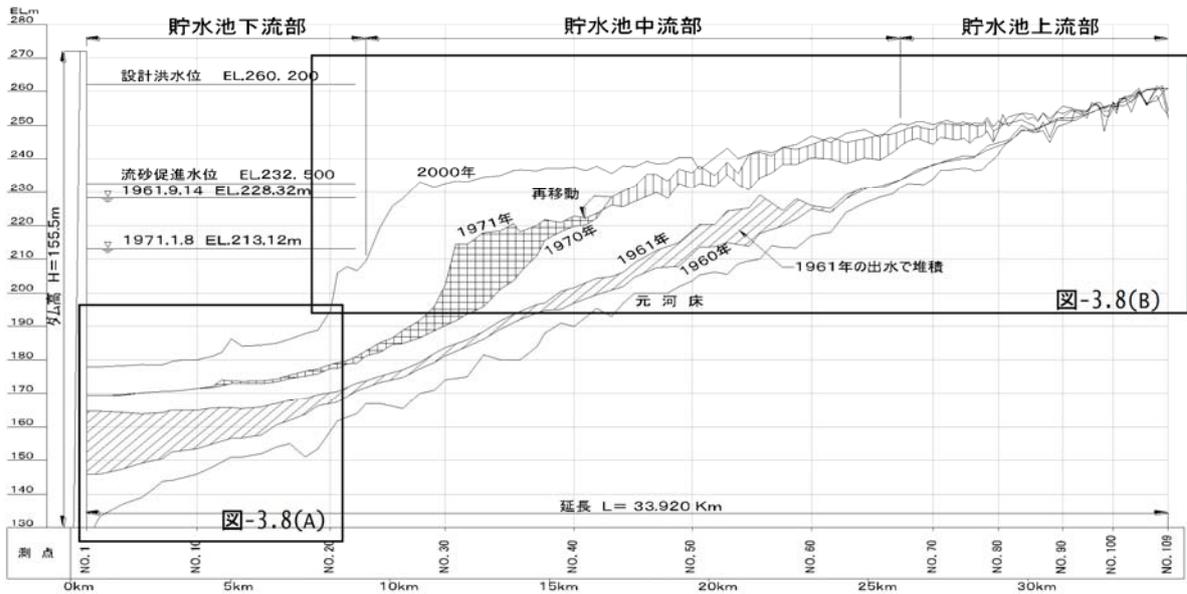
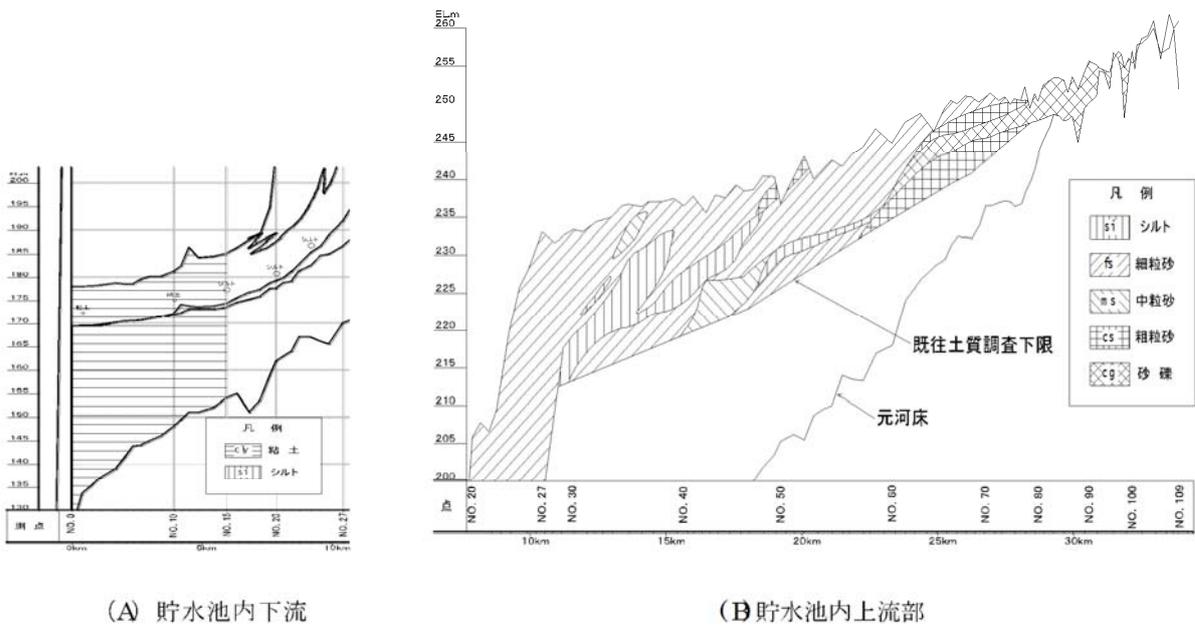


図 2.4 佐久間ダム貯水池堆砂進行経年変化図



(A) 貯水池内下流

(B) 貯水池内上流部

図 2.5 佐久間ダム貯水池堆砂の土層区分

Ⅲ.評価指標について

手引きにおける 3 つの評価指標は、貯水池の堆砂対策を行う判断要素として重要な意味を持つ。ここでは、各評価指標の管理水準の設定根拠について記述する。

◇評価指標①(堆砂容量に対する堆砂率)について

ダムが有する機能の維持のためには、大規模出水時に堆砂しても対応できることが必要であるという観点から、全国の国土交通省及び独立行政法人水資源機構が管理するダムにおける「最大年堆砂量/堆砂容量」を降順に整理した上で、平均値から標準偏差を考慮した範囲に入るダムをカバー対象とした。カバー対象ダムの中の最大値（蓮ダム 23.6%）を考慮して、堆砂容量に対する堆砂率が 70%（堆砂容量の空き容量分が 30%）であれば、大規模出水時の堆砂に対してもカバー率 95%程度で対応できると考えられるため、この値を設定した。

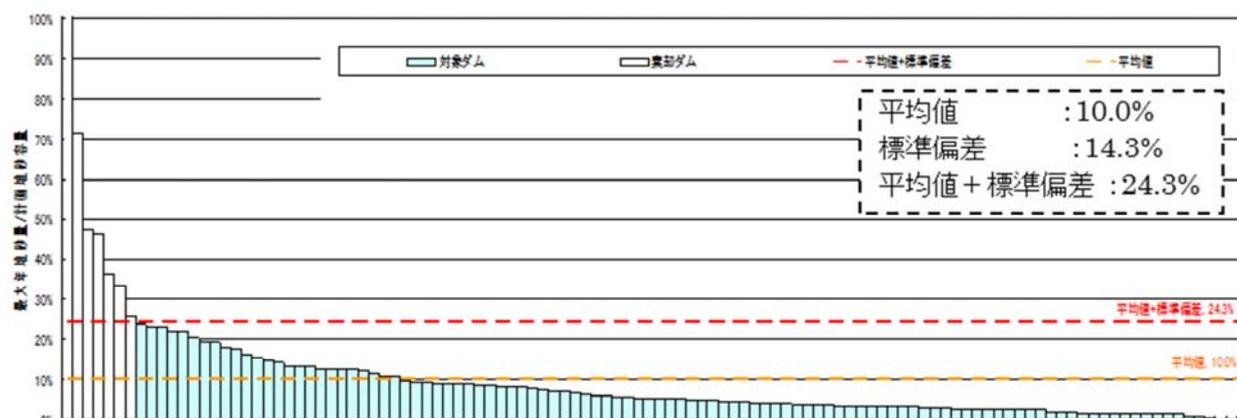


図 1 堆砂容量に対する最大年堆砂量の割合（平成 24 年）

◇評価指標②(洪水調節容量の余裕に対する堆砂率)について

土砂が洪水調節容量の部分にも堆積することがあることも考慮して、洪水調節容量は、一般的に、2 割程度の余裕を見込んでいる。

（参考）洪水調節容量に 2 割程度の余裕を見込む理由は、以下の要因が考えられる。

1. 洪水波形の予測に関する不確実性
2. 洪水調節操作における制約
 - ①迎洪水位が低い場合のすり付け操作
 - ②放流の原則によって生じる制約
3. 貯水池内の堆砂による影響
4. その他、ゲート操作の放流量増加が段階的になる影響、貯水池の測量誤差、洪水時における貯水位計測誤差 等

出典 1) 金銅ら、「ダム洪水調節容量に計画上の余裕が必要となる要因とその定量的評価」、土木技術資料 47-11（2005）

出典 2) 「洪水調節容量の算定にあたって 2 割程度の余裕を見込む理由」ダム技術 No.298（2011.7）

また、洪水調節容量については、河川砂防技術基準 計画編（H16）で次のように記載されている。

「洪水調節のための貯水容量（洪水調節容量）は、洪水調節計画で対象とするハイドログラフ及び調節方式から設定するものとする。この場合、原則として 2 割程度の余裕を見込むものとする。」

ここで、全国の独立行政法人水資源機構が管理するダムにおける洪水調節容量の余裕に対する堆砂率と、堆砂対策の実施有無の関係（図 2 参照）をみると、洪水調節容量の余裕に対する洪水調節容量内堆砂量の割合が 15%を上回るダムは、全て堆砂対策を実施、または、検討中となっていることから、この値を管理水準に設定した。

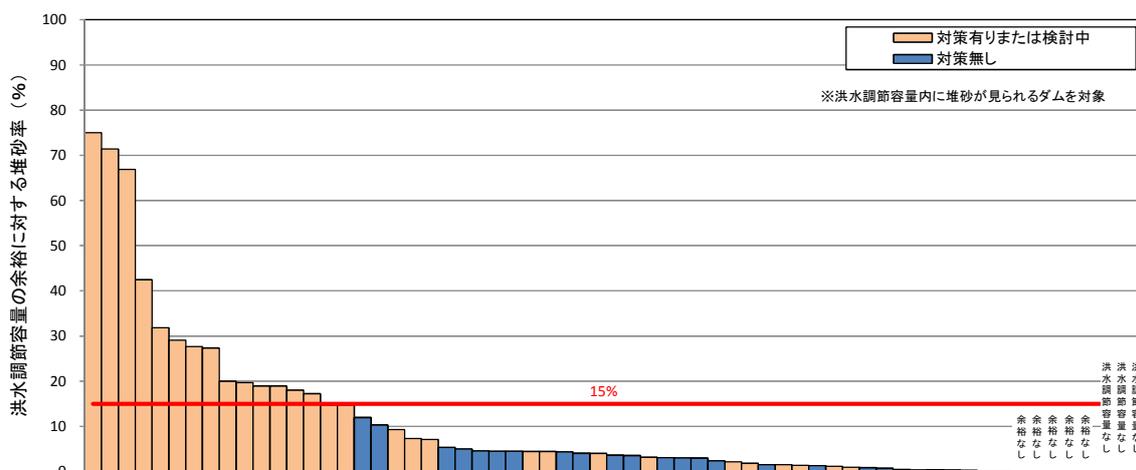


図 2 洪水調節容量の余裕に対する堆砂率と堆砂対策実施有無の関係（平成 26 年）

洪水調節容量の余裕が 2 割以上のダムにおいては、堆砂量は 15%以上の相当程度まで許容できると考えられ管理水準の引き上げが可能と思われる。一方、洪水調節容量の余裕が 1 割のダムでは、余裕に占める割合が相対的に大きくなることを踏まえると、当該容量内での堆砂の許容量は 15%が上限と考えられる。

以下のダムについて本指標を適用する際には配慮を要する。

1. 洪水調節容量に 2 割程度の余裕を見込んでいないダム。
2. 洪水調節容量決定波形を大きく上回る流入波形が、治水計画で想定されているダム。
(計画流入波形のカバー率が著しく低いダム)

◇評価指標③(有効貯水容量に対する堆砂率)について

貯水池の堆砂計画では、一般的に土砂の堆積は貯水池底部に水平に堆砂することを前提として計画されていることに対し、実際は堆砂の一部は有効貯水容量へも堆砂する斜め堆砂を呈しており、当該堆砂が貯水池機能に影響を与えるおそれも考えられる。

全国の国土交通省及び独立行政法人水資源機構が管理するダムにおいて、有効貯水容量内堆砂率で5%を超えているダムは概ね堆砂対策有り又は検討中である。また、「ダムの管理 例規集」における堆砂測量頻度を上げる基準（要注意のダムと判断される基準）は5%であることから、有効貯水容量に対する堆砂率を評価指標とした管理水準として5%を目安とするものとした。

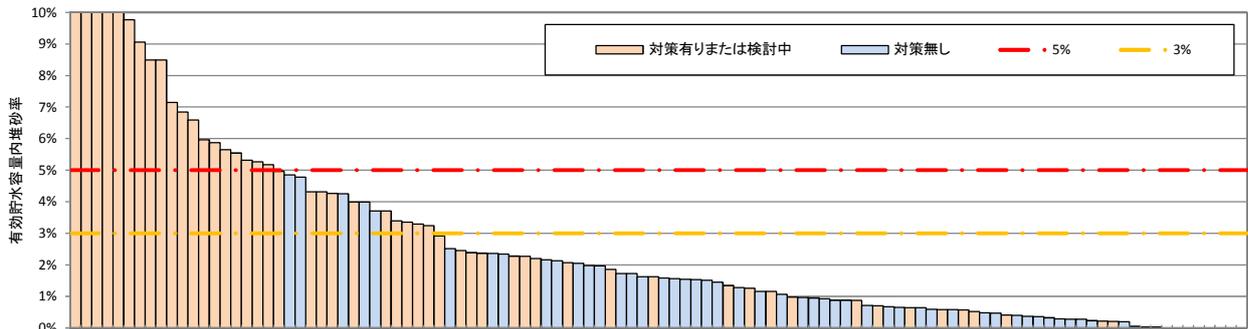


図3 有効貯水容量内堆砂率（平成26年：排除量戻し無し）

チェック項目	説明図	チェック内容	基準値
<p>⑥ 貯水池上流部における水位上昇量の確認</p>		<p>① 現在洪水水位が用地買収線を越えている箇所の有無</p> <p>有・無 対策の予定がある場合は、その内容を示す</p>	<p>洪水水位が用地買収線を越えている箇所が無い</p>
<p>① 洪水調節容量の確認</p>		<p>① 治水容量（計画） 〇.〇〇〇km³</p> <p>② 治水容量内の堆砂量（前年度） 〇〇〇km³</p> <p>③ 堆砂量の治水容量に占める割合 〇〇%</p>	<p>堆砂量の治水容量に占める割合が5%以下</p>
<p>⑥ H-Vの確認</p>		<p>① 有効容量（計画） 〇.〇〇〇km³</p> <p>② 有効容量内の堆砂量（前年度） 〇〇〇km³</p> <p>③ 最低水位以下において下流河川へ放流可能容量（施設配座） 〇.〇〇〇km³</p> <p>④ 堆砂量の有効容量に占める割合（前年度） 〇〇%</p> <p>⑤ ②/①-②+③×100</p>	<p>堆砂量の有効容量に占める割合が5%以下</p>
<p>① 洪水発生の有無</p>	<p>確認事項：当該年に基準値を上回る洪水が発生した場合は、全側線（全測量実施範囲）で堆砂測量を実施する。当該年の洪水発生の有無は次年度に報告する。</p>	<p>① 当該年に発生した最大流入量</p> <p>（次年度報告）</p>	<p>当該年に発生した最大流入量が 〇.〇〇〇m³/s以下</p> <p>1/5年確率流量：〇.〇〇〇m³/s 洪水量：〇.〇〇〇m³/s 基準値（どちらか大きな値）：〇.〇〇〇m³/s</p>

図4 「ダムの管理 例規集」における堆砂測量頻度の基準（一部加工）

IV. 堆砂対策の検討

本手引きは、「貯水池土砂管理のための調査・観測」、「堆砂対策の実施判断」、「記録の整理・蓄積」について、基本的な考え方を示したものであり、具体的な堆砂対策の検討までは対象としていない。堆砂対策については、個別ダム状況に応じて、様々な対応が成されているが、ここでは、堆砂対策工法を選定するに当たり、参考となる考え方について記述する。

堆砂対策の検討は、当該ダムの今後の計画堆砂年を踏まえた上で、各ダムの特性及び各堆砂対策工法の適用性に応じた工法を選定する。

その際、総合土砂管理の観点から必要とされる下流還元土砂の量と粒径についても考慮するものとする。

堆砂対策は、掘削・浚渫や土砂バイパス、フラッシング・スルーシング等の複数工法が存在する。工法を選定に当たっては、貯水池の特性を踏まえた適用性、工法が要求する適用に当たっての制約条件、及び社会・自然環境への影響や経済性、各工法の排砂能力等を勘案して選定することが必要となる。

1. 堆砂対策工法選定の手順

堆砂対策工法を選定は、一次スクリーニング、二次スクリーニング、詳細比較検討の順に行う。

一次スクリーニングでは、貯水池特性に応じた工法を判断するため、総貯水容量に対する堆砂量及び流入水量を指標として、適用の可能性のある工法を概略選定する。二次スクリーニングでは、対策のしやすさや効率性を評価するため、各工法に要求される地形や設計上の制約条件を踏まえた上で、適用可能な工法と不適な工法を判定する。詳細比較検討では、適用可能な工法について、事業効果と経済性、排砂能力、環境への影響等の比較検討を行うことにより、単独又は組み合わせによる最適案を選定する。

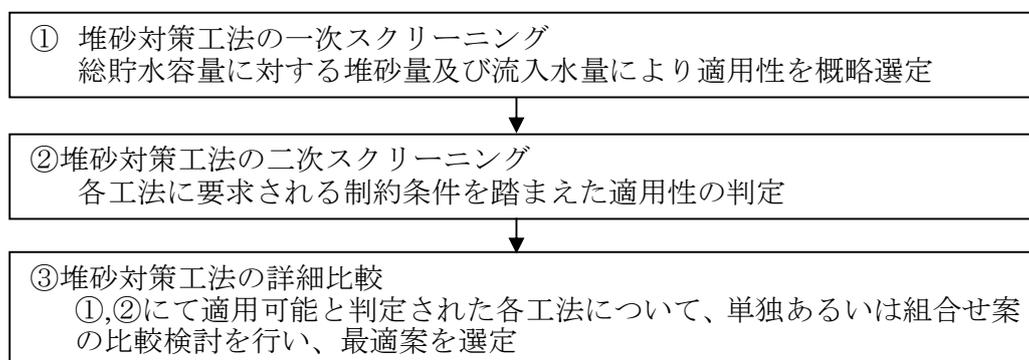


図 1.1 堆砂対策工法選定の手順

2. 堆砂対策工法の一次スクリーニング

堆砂対策工法の一次スクリーニングでは、総貯水容量に対する堆砂量及び流入水量を指標として、当該ダムにおいて適用の可能性がある工法を選定する。

堆砂対策工法は、貯水池流入土砂に対し、洪水時の掃流力を活用し抜本的に対策を講じるフラッシング・スルーシング、土砂バイパス、貯水池の水頭差を利用した水圧吸引工法等、また、機械力により土砂を排除する掘削・浚渫工法（貯砂ダムも含む。）、及び排除可能な土砂量は少ないものの、補助的工法として密度流排砂(条件によっては出水時の濁水を効率的に排除することが可能)等の手法がある。

流体力を活用する方法は、現有施設が活用できる場合を除き新たな施設を建設することが必要となるのが一般的であり、年対策必要量がある程度多量でなければ、経済的合理性をもって対策を実施することが困難となる。したがって、貯水池流入土砂量が適用の制約となる。

フラッシング・スルーシングは、排砂後の貯水位回復が必要なため、流入量が多い（貯水池回転率が大きい）ことが制約となる。土砂バイパスは利水容量確保のための貯水位回復後に分派する運用が基本となるため、ある程度貯水池回転率が大きいことが望ましい。水圧吸引工法はサイフォン原理を利用するため、貯水位を高く保つためにある程度貯水池回転率が大きいことが望ましい。反対に、密度流排砂は、貯水池内に形成された躍層により生じる密度流を活用する対策手法であるため、回転率が小さく躍層が形成されやすいダムに向いている。したがって、これらの各工法の適用には、貯水池への流入水量が制約条件となる。

また、機械力による掘削・浚渫工法の場合、年対策必要量が多すぎると処理コストが増大するため、上記とは逆の意味から貯水池流入土砂量が適用の制約条件となる。

これらの観点から、堆砂対策工法の一次スクリーニングは、総貯水容量に対する堆砂量及び流入水量を指標として行うことが合理的である。

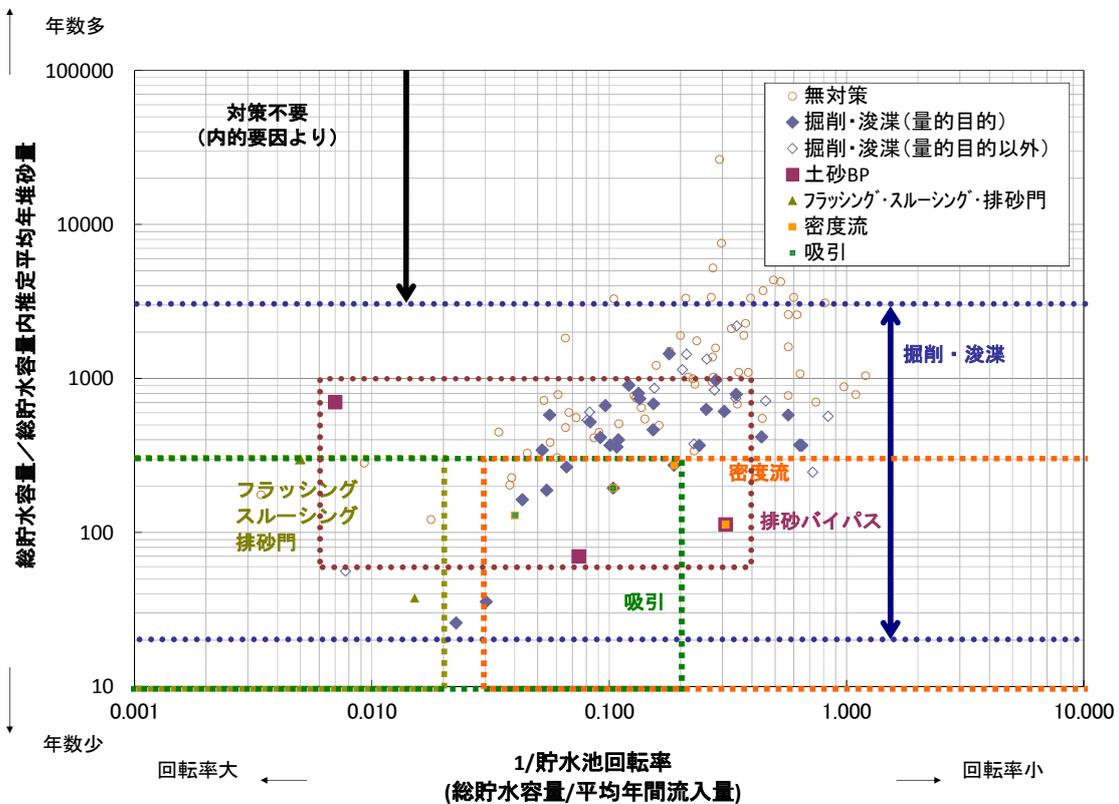
この一次スクリーニングで用いる指標は、下記のとおりである。なお、流入水量や推定平均年堆砂量等を算定する際には、当該ダム上流におけるダムの有無による影響を受けることが考えられるため、上流ダムの堆砂状況や運用状況等を把握することが必要である。

表 2.1 堆砂対策工法一次選定指標

指標	内容
CAP(Capacity)	総貯水容量
MAR(Mean Annual Runoff)	平均年間流入量
MAS(Mean Annual Sediment Inflow)	平均年間土砂流入量
CAP/MAR	1/貯水池回転率
CAP/MAS	総貯水容量/総貯水容量内推定平均年堆砂量

工法判断の目安は、密度流排砂以外の工法は、全国の国土交通省及び独立行政法人水資源機構が管理するダムにおける堆砂対策工法の適用実績より、前述の指標と各工法との関係をもとに設定し、密度流排砂は成層形成と回転率との関係に着目して設定している。当該目安を踏まえ作成した以下の関係図を用い、当該ダムの貯水池回転率及び推定平均年堆砂量に対する総貯水容量の割合をプロットすることにより、適用可能な対策工法について概略選定する。

- ◆全国ダムの堆砂対策工法の適用実績について
- 我が国の国土交通省及び独立行政法人水資源機構が管理するダムにおいて、堆砂対策の実績を有するダムについて1/貯水池回転率（平均年間流入量に対する総貯水容量の割合）及び推定平均年堆砂量に対する総貯水容量の割合の関係について整理した。
 - 貯水位を低下させる必要があるフラッシング・スルーシング、利水容量確保のための貯水位上昇後に分派する土砂バイパス、水頭差を確保するために貯水位の高い方がよい水圧吸引工法、貯留水が滞留する必要がある密度流排砂については、水量の観点から適用に制約を受ける。
 - 掘削・浚渫工法は、水量の観点から適用に制約を受けない。



※上記の密度流にプロットされているダムは、結果的に密度流となったダムであり、計画的には実施されていない。
 ※吸引（機械的対策）を実施しているダムはなく、上記のプロットは計画段階のダムとなっている。

図 2.1 堆砂対策工法概略選定図

表 2.2 回転率と成層形成の関係

評 価	α	α_7
成層が形成される可能性が十分ある。	<10	<1
成層が形成される可能性がある程度ある。	10~30	1~5
成層が形成される可能性がほとんどない。	30<	5<

岩佐義朗(1990)より一部引用

ここに、 α : 年回転率、 α_7 : 夏期7月の回転率

(出典：平成18年度発行「ダム貯水池水質用語集」信山社発行)

<事例紹介>

■各堆砂対策の概要

掘削



掘削状況（美和ダム）



積み込み・運搬状況（三春ダム）

■水位低下時に有効貯水容量内の堆砂をバックホウなどの重機を用いて掘削・搬出する。

- * 比較的粒径を選ばず掘削が可能
- * 掘削土砂の処理について検討が必要（仮置き・運搬など）

浚渫



バックホウ浚渫（相模ダム）

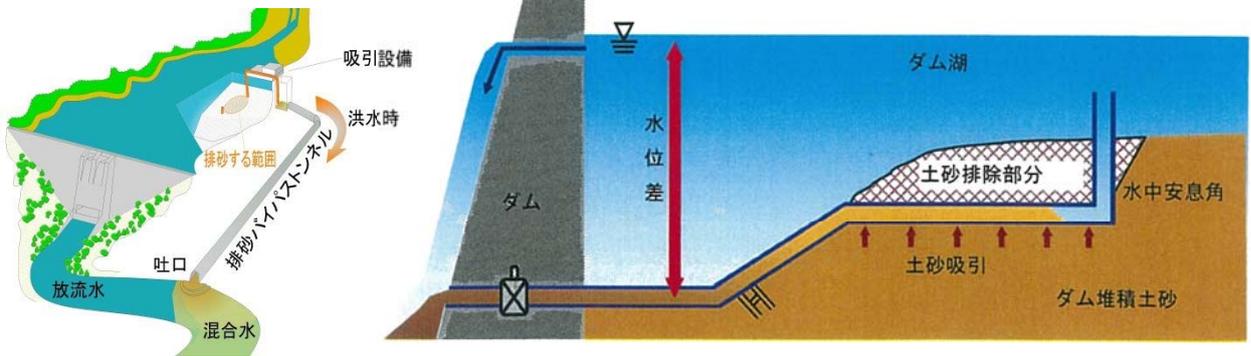


揚砂場（佐久間ダム）

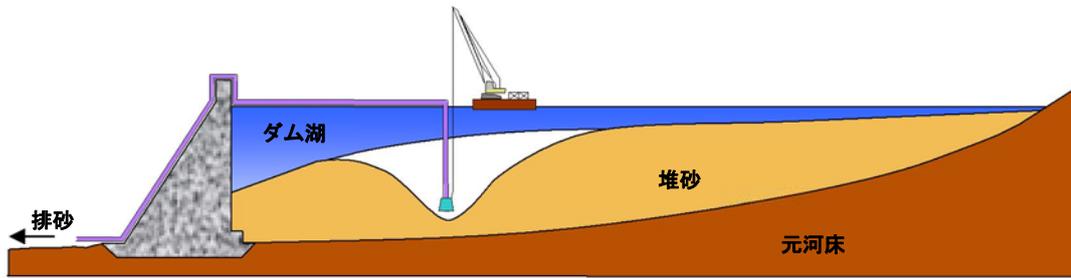
■貯水池内の堆砂を浚渫船やポンプ船等を用いて浚渫する。

- * 浚渫土砂の処理について検討が必要（仮置・運搬など）
- * 浚渫の際は濁水の発生についても対策が必要

水圧吸引工法



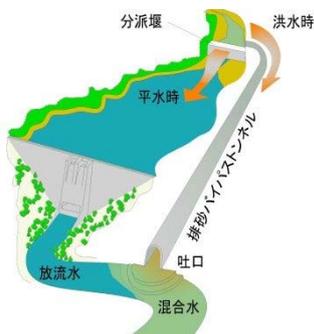
固定式水圧吸引工法の模式図



移動式水圧吸引工法の模式図

- 土砂吸引設備により、水圧差（サイフォンの原理）を利用して流下する水とともに土砂を排除する。

土砂バイパス



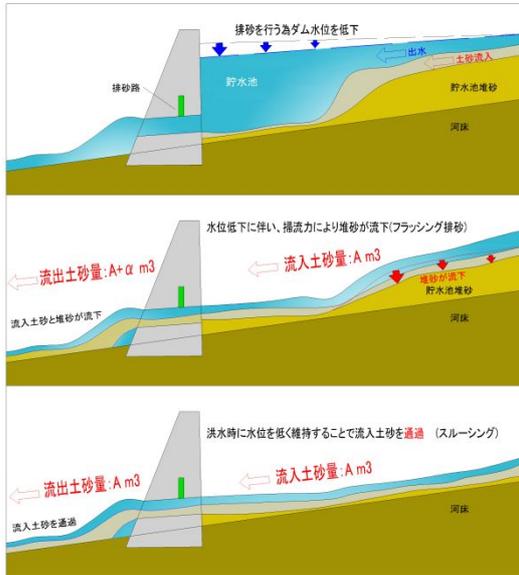
バイパストンネル（美和ダム）



減勢工（美和ダム）

- 貯水池上流に分派堰を設置し、洪水時に貯水池流入土砂をトンネルに導き下流河川へ流下させる。

フラッシング排砂・スルーシング排砂



■フラッシング排砂

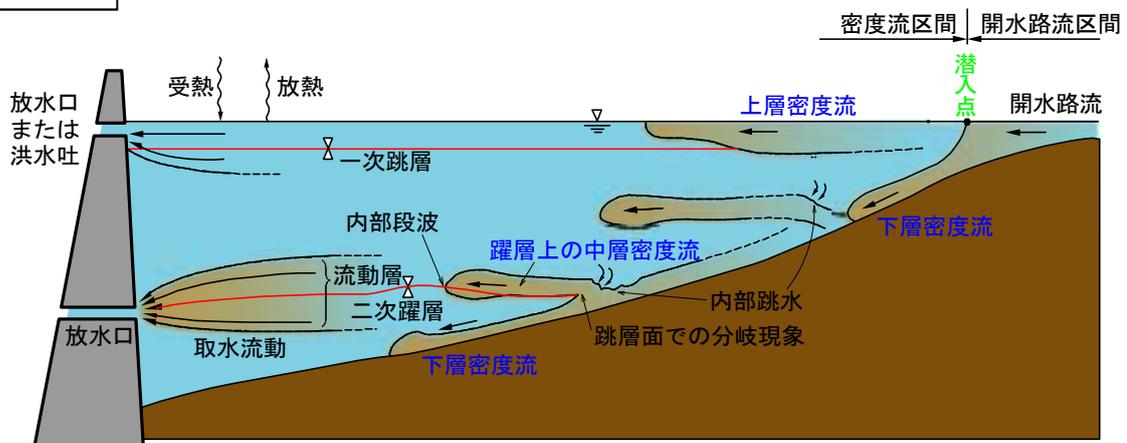
- ・洪水時にダムの水位を低下させ、貯水池内の堆砂を下流へ排砂する。

■スルーシング排砂

- ・洪水時に低水位を維持することにより、洪水による貯水池流入土砂を下流へ通過させる。
- * 貯水位を下げることのできるダムで実施可能

フラッシング排砂・スルーシング排砂の模式図

密度流排出



■洪水時に河床近くの微細土砂を密度流※を用いて、下流へ排出する。

※) 密度流とは、貯水池の水温分布等により、密度の高い土砂の流れが河床近くにできること。

3. 堆砂対策工法の二次スクリーニング

堆砂対策工法の二次スクリーニングでは、一次スクリーニングにより選定された工法に対して、各工法が要求する固有の制約条件から適用性を判断し、適用の可能性がある工法を選定する。

堆砂対策工法は、当該手法を実際に適用するに当たっての工法固有の制約条件がある。したがって、前節で概略選定した工法について、それぞれの制約条件を踏まえた適用性の判断を行う必要がある。

ここで、掘削・浚渫工法は、多くのダムで実績があり、工法適用の制約を受けにくいこと、機械的対策（水圧吸引工法）は、現時点において技術開発中の排砂工法であることから、二次スクリーニングの対象外とする。ただし、前述の一次スクリーニングにより掘削・浚渫工法及び機械的対策（水圧吸引工法）が適用可能と概略選定されたダムについては、後述の詳細検討による比較を行い、最終的な工法選定を行うものとする。

各工法の制約条件による適用性の判断一覧表を表 3.1 に示す。基本的には、表 3.1 において、各工法の該当判定項目の全条件を満たす場合に適用性があると判断する。ただし、これらの制約条件は、他基準や既往事例を参考とした目安であるため、各ダムの特性・個別事情に応じた柔軟な対応が必要と判断される場合においては、この限りではない。

表 3.1 各工法の制約条件による適用可能性の判断一覧表

判定項目	1.フラッシング・スルーシング	2. 土砂バイパス	3.密度流排出
◆利用水量の確保が可能 ・ $\beta \leq 0.1$ ここに、 β ：排砂時使用水量の平均年間流入量に占める割合 (=貯水池容量/平均年間流入量)	○	—	—
◆排砂ゲートあるいは放流管が低標高又は低標高に設置可能 ・ $H_D/H_{max} \leq 0.3$ [フラッシング・スルーシング] ここに、 H_D ：ゲートによる低下可能な水深 H_{max} ：最高水深 ・ $H_D/H_{max} \leq 0.5$ [密度流排出] ここに、 H_D ：放流管による低下可能な水深 H_{max} ：最高水深	○	—	○
◆排砂時に下流環境へ悪影響を与えない	○	—	—
◆貯水池形状が施設設置に適している ・(河道型:1本の河道に貯水池を形成)、あるいは(支川合流型:2本の河道が流入し貯水池を形成)	—	○	—
◆トンネル内の掃流力確保可能 ・ $I \geq 1/100$ ここに、 I :トンネル勾配	—	○	—
◆施設計画・設計上の制約条件(上限値の目安)等を満たす ・貯水池上流域面積(400km ²) ・延長(10km) ・設計流量(400m ³ /s) ・設計流速(15m/s)	—	○	—
◆密度流の発生条件 ・貯水池回転率 (MAR/CAP) ≤ 10	—	—	○
検討対象項目に対する該当数	/3	/3	/2
適用性の判断・・・適用可の工法に●印入力 (※適用可=検討対象項目が全て該当する場合)			

注：上表の○印欄は検討対象の該当項目、—印欄は検討対象外の項目

(1)フラッシング・スルーシング排砂の判定項目について

1)利用水量の確保が可能か

フラッシング排砂やスルーシング排砂に必要な条件として、貯水位低下・開水路放流・貯水位回復の一連の操作により必要となる十分な水量を確保可能なことがあげられる。そのため、貯水池容量と年間流入土砂量に対する年間流入水量の大きさが重要であり、水量が大きいダムほど排砂操作が容易となる。

そこで、利用水量が確保可能かどうかの判定基準としては、以下のとおり設定する。

排砂時に使用する水量を V （= CAP ）、排砂使用水量が平均年間貯水池流入水量に占める割合 β （= V/MAR ）とする。

ここに、 CAP ：貯水池容量(m^3)、 MAR ：平均年間流入水量($m^3/年$)

使用水量の条件は、 $\beta \leq 0.1$ を設定する。

（多目的ダムの建設 第7巻 管理編（平成17年度版）より）

2)排砂ゲートが低標高か、または、低標高に設置可能か

フラッシング排砂やスルーシング排砂に必要な条件としては、ダム貯水位を低下し、かつ排砂中に開水路で放流可能な規模の底部放流設備（排砂ゲート）を有することがあげられ、なおかつ排砂ゲートが低い位置にあるほど効果的な排砂が可能となる。

そこで、適用性の判定として、“排砂ゲートが低標高に設置されている”、あるいは“改造工事等により設置可能である”かどうかを概略的に判定する。

設置位置（高さ）に関する判定基準を以下のとおり設定する。

ゲート高さについては、平常時最高貯水位からの水位低下率（DDR）に着目する。

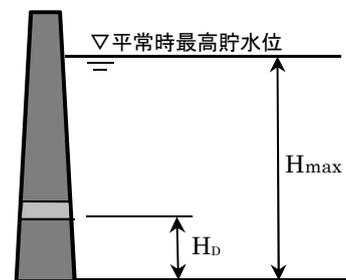
$$\text{平常時最高貯水位からの水位低下率 (DDR)} = 1 - H_D/H_{\max}$$

ここに、 H_D ：ゲートによる低下可能な水深、 H_{\max} ：最高水深

既往の研究成果*)によると、「平常時最高貯水位からの水位低下率（DDR）」が0.7以上（ $H_D/H_{\max} \leq 0.3$ ）であることが排砂の成功要因であるとされている。

ゲート高さの条件は、 $H_D/H_{\max} \leq 0.3$ を設定する。

*) Atkinson, E. : The feasibility of flushing sediment from reservoir, HR Wallingford, OD137, 1996)



3)フラッシング排砂時の土砂が下流環境に重大な悪影響を与えないか

フラッシング排砂やスルーシング排砂では、特にフラッシング排砂時に、貯水池内に堆積している土砂を高濃度で排出するため、下流環境へのインパクトが大きく、ダム直下流に貴重種等が存在する場合には重大な悪影響を及ぼすことも予見される。

そこで、フラッシング排砂時の土砂が下流環境に重大な悪影響を与えることがないかどうかを概略的に判定する。

(2)土砂バイパスの判定項目について

1)貯水池形状が土砂バイパスに適しているか

土砂バイパスは、出水時において、貯水池の上流端部付近から土砂を含んだ流水を貯水池を迂回させてダム下流河川へ放流するものであり、バイパストンネル配置、貯水池流入土砂の排出効率の面から貯水池に流入する河川が少ないほど適用性は高くなる。

そこで、貯水池形状が土砂バイパスに適しているかどうかの判定基準としては、以下のとおり設定する。

なお、ダム接続河川が3本以上の場合においても、全流入土砂量のうち特定の河川からの流入土砂が非常に多い場合や、合流位置と土砂バイパス呑口位置との関係により、土砂バイパスを十分適用可能な場合も想定されることから、ダムごとに柔軟な判断が必要である。

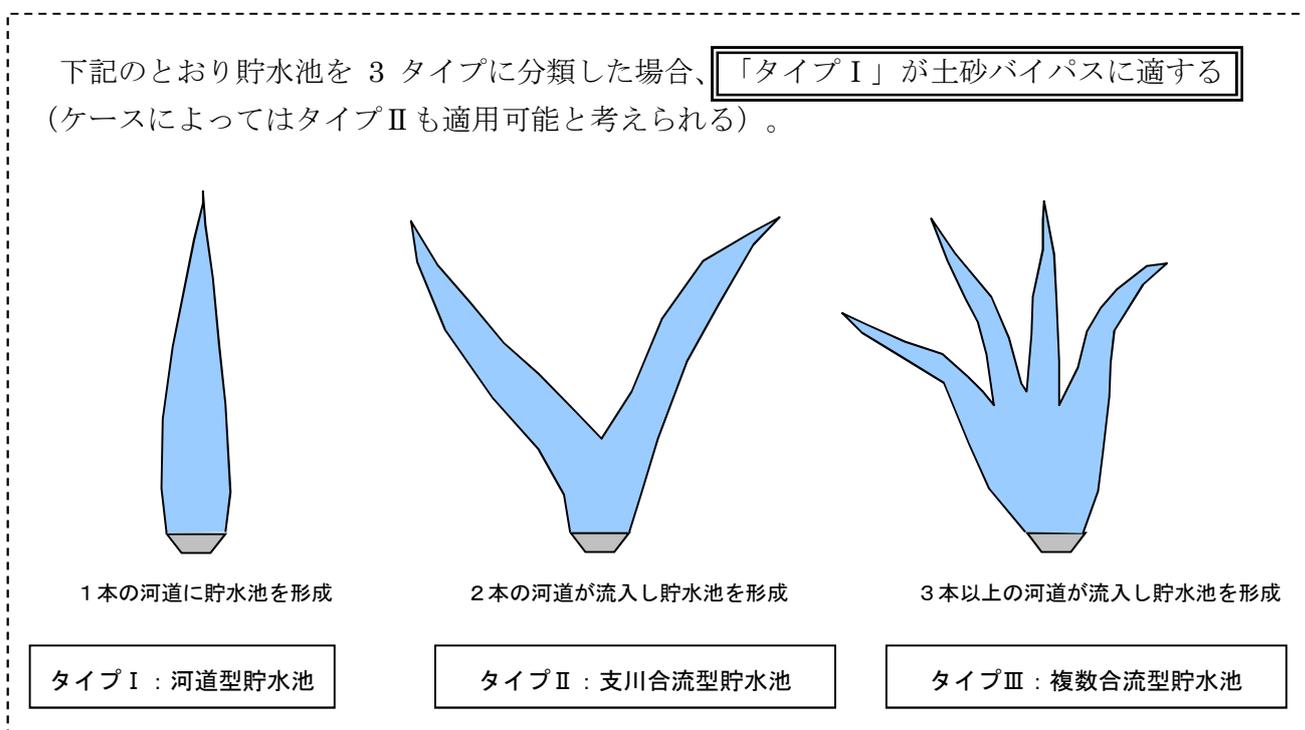


図 3.1 貯水池タイプによる土砂バイパスの適用性

2) トンネル内掃流力が確保可能か

土砂バイパスにおいて、閉塞等が発生するとトンネル構造の損傷等重大な被害を招くおそれがあるため、安定して土砂を流下させる必要がある。詳細な設計段階において、バイパストンネルが閉塞しないかどうかは、トンネル内河床変動計算や水理模型実験により確認する必要があるが、ここでは概略的なチェックとして、トンネル内で所定の掃流力が確保可能かどうかを判定する。

そこで、元河床（ダムが無かったところの自然河道状態）見合い以上の掃流力を確保するという観点、ならびに従来の土砂バイパスの実績を重視し、勾配に関する判定基準としては、以下のとおり設定する。

トンネル勾配 $I \geq$ 元河床勾配

または、

$I \geq 1/100$ （実績最緩勾配である美和ダムの事例、細粒分のみ対象）

なお、掃流力が確保できるかどうかについては、簡易計算等により掃流力を算出し、排砂対象とする粒径の土砂を十分流下可能であることを確認することが必要である。その際の対象粒径は、ウォッシュロード～掃流砂とすることを基本とするが、確保可能なトンネル勾配との関係や維持管理面から細粒分のみを対象とすることも考えられる。

表 3.2 日本及びスイスにおける土砂バイパスの事例（バイパス諸元）

ダム名	バイパス諸元									
	トンネル 完成 年	トンネル 形状	トンネル 断面 B×H(m)	延長 (m)	一般部 トンネル 勾配	集水 面積 (km ²)	設計 流量 (m ³ /s)	設計 流速 (m/s)	対象 粒径 (mm)	稼働 状況
美和	2005	馬蹄形	2r=7.8	4,308	1/100	311.1	300	10.8	Wash load	1~2回/年
旭	1998	幌型	3.8×3.8	2,350	1/35	39.2	140	11.4	dm:50,d90:300	16回/年
小渋	2016	馬蹄形	2r=7.95	3,999	1/50	288.0	370	15.8	dm:10,d90:70	—
松川	2016	幌型	5.2×5.2	1,417	1/25	60.0	200	15.0	dm:10,d90:60	—
Egschi	1976	円形	2r=2.8	360	1/38.5	109.0	50	10	dm:100,d90:300	10日/年
Palagnedra	1977	馬蹄形	6.2×6.1	1,760	1/50	138.0	250	13	dm:74,d90:160	2~5日/年
Pfaffensprung	1922	馬蹄形	4.7×4.8	282	1/33.3	30.0	220	14	dm:250,d90:2,700	約200日/年
Rempen	1986	馬蹄形	3.4×3.4	450	1/25	82.7	80	12	dm:60,d90:200	1~5日/年
Runcahez	1962	幌型	3.8×4.5	572	1/71.4	50.0	110	9	dm:230,d90:500	4日/年
Solis	2012	幌型	4.4×4.7	968	1/52.6	900.0	170	11	dm:60,d90:150	1~10日/年

3) 施設計画・設計上の制約条件（上限値の目安）等を満たすか

土砂バイパスは、出水時に流水とともにそれに含まれる土砂をダム下流河川へ放流する施設であり、施設の主要部分はトンネル部である。このトンネル部の建設に当たっては他工法に比べて初期コストがかかる傾向にあることから、施設規模（断面、延長等）は極力小さくすることが望ましい。

そこで、上記の事例における土砂バイパスの施設諸元等を考慮して、流域規模や地形・地質等から、トンネル断面や延長が非常に大規模になって経済性で不利になることなどが想定される場合や設置ルート確保が困難な場合には、工法の適用不可として除外する。

(3)密度流排出の判定項目について

1)密度流が発生するか

密度流排出は、貯水池の水温分布等により形成された躍層により河床近くに生じる密度の高い土砂の流れ（密度流）を用いて、下流へ細粒土砂を流下させるものであることから、その適用条件として密度流が発生することが必要である。

そこで、密度流の発生判定として、貯水池に成層が形成されるかどうかを確認するものとし、判定基準は下表より、 $\text{貯水池回転率 (MAR/CAP)} \leq 10$ と設定する。

表 3.3 年平均貯水池回転率 MAR/CAP による方法*)

判 定	指 標	MAR/CAP
成層が形成される可能性が十分ある		< 10
成層が形成される可能性がある程度ある		10-30
成層が形成される可能性はほとんどない		30 <

ここに、MAR ; 年間総流入水量、CAP ; 総貯水容量

*)土木工学ハンドブック p.p.1375

2)放流管が低標高か、または、低標高に設置可能か

密度流排出は、河床近くの密度流を利用して細粒土砂を排出するものであることから、放流管が低い位置にあるほど高い排砂効率が期待できる。

そこで、適用性の判定として、放流管が低標高に設置されている、あるいは改造工事等により設置可能であるかどうかを概略的に判定する。

また、設置位置（高さ）に関する判定基準は、前述のフラッシング・スルーシング排砂の判定でも示した H_D/H_{max} を用いて既往事例より密度流排出については $H_D/H_{max} \leq 0.5$ と設定する。

4. 堆砂対策工法の決定

堆砂対策工法の一次スクリーニング及び二次スクリーニングで選定された工法について詳細検討を行い、当該ダムにおける最適な堆砂対策工法を決定する。なお、詳細検討においては、複数工法の組合せも踏まえ、今後の計画堆砂年における堆砂対策規模を設定する。

前述の一次・二次スクリーニングによって適用性があると判定された工法を対象に、「事業効果と経済性」、「排砂能力」、「社会資本の持続性」、「社会環境・河川環境への影響に対する対応可能性」の観点から詳細検討を行い、最適な対策工法、あるいは工法の組合せを決定する。

なお、土砂バイパスやフラッシング・スルーリング等、ダム下流河川に対して土砂を排出する対策工法を選定する場合は、実験や数値シミュレーション等により、ダム下流河川への排砂の影響を十分推定し、河川の維持管理上の支障や下流の河川環境の悪化が生じないような恒久堆砂対策施設の操作方法の詳細を検討する必要がある。

堆砂対策工法の詳細検討に当たっての視点は下記のとおりである。

視点① 事業効果と経済性

各堆砂対策の事業効果と経済性として、ライフサイクルコスト（＝イニシャルコスト＋ランニングコスト）、土砂排出単価、工期等を評価する。

なお、堆砂対策の選定に当たっては、事業の妥当性評価の観点からの経済性評価も重要であるが、いまだ評価手法が確立していないため、本手引きでは、経済性評価として、“ライフサイクルコスト比較による経済性評価”までを対象としている。

視点② 排砂能力

各堆砂対策の排砂能力として、排砂能力、排砂可能な土砂粒径、排砂運用操作の容易性、排出土砂量のコントロール、及び確実性等を評価する。

視点③ 社会資本の持続性

各堆砂対策の社会資本の持続性として、維持管理（日常メンテナンス、施設修繕頻度、施設更新等）、危機管理への対応性等を評価する。また、必要に応じて、計画堆砂年の見直しを踏まえた堆砂対策規模を検討する。

視点④ 社会環境、河川環境への影響に対する可能性

各堆砂対策の社会環境、河川環境に対する影響として、下流に供給可能な土砂量（上下流の土砂連続性確保、下流河道の流下能力の確保）、下流河川の物理環境への影響（河床上昇等）、貯水池内及び下流河川の水質への影響（濁質巻き上げや濁水放流等）、社会環境への影響（排砂による影響、貯水池運用ルールの影響等）等を評価する。

なお、社会環境への影響については、関係機関との協議結果や行政判断により評価が異なることに注意が必要である。

また、総合土砂管理の観点からも下流河川への土砂還元を実施することが望ましいと考えられる場合は、水系の特性や下流河川、海岸で必要とする土砂の量や性状（質）を踏まえ、堆砂対策工法の検討を行う必要がある。

表 4.1 堆砂対策工法詳細検討の観点

	評価項目	フラッシング・スルージング		土砂バイパス		掘削・浚渫		水圧吸引		密度流排出	
		A案	B案	A案	B案	A案	B案	A案	B案	A案	B案
【視点①】 事業効果と 経済性	経済性	<ul style="list-style-type: none"> ・ライフサイクルコスト (イニシャルコスト+ランニングコスト) ◎：5,000円/m³以下 ○：7,000円/m³以下 △：7,000円/m³以上 ◎：10年以下 ○：15年以下 △：15年以上 									
	効率性 (土砂排出単価)										
【視点②】 排砂能力	工期										
	排砂能力	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の排砂能力を安定して確保可能か ◎：シルト・粘土、砂、礫まで対応可能 ○：シルト・粘土、砂の対応可能 △：シルト・粘土のみ対応可能 ◎：特に問題ない △：運用が煩雑となる 									
【視点③】 社会資本の 持続性	排砂可能な土砂粒径の範囲										
	排砂運用操作の容易性										
【視点④】 社会環境 への影響に 対する対応 可能性	排出土砂量のコントロール	<ul style="list-style-type: none"> ◎：排出土砂量のコントロールが可能 △：排出土砂量のコントロールが困難 ◎：同様の施工実績が多数あり ○：同様の施工実績が少数あり △：同様の施工実績がなし 									
	確実性										
【視点③】 社会資本の 持続性	維持管理	<ul style="list-style-type: none"> ◎：日常点検・メンテナンスが容易 △：日常点検・メンテナンスが困難 ◎：施設修繕頻度が高い △：施設修繕頻度が低い ◎：機能を維持しながら施設更新が可能 △：機能を維持しながら施設更新が不可能 ◎：被災後の再稼働(点検・補修等)が容易 △：被災後の再稼働(点検・補修等)が困難 									
	危機管理への対応性										
【視点④】 社会環境 への影響に 対する対応 可能性	下流に供給する土砂量 (上下流の土砂連続性の確保)	<ul style="list-style-type: none"> ◎：貯水池流入土砂量の30%以上 ○：貯水池流入土砂量の10%以上 △：貯水池流入土砂量の10%以下 ◎：下流河川の河床上昇が発生しない △：下流河川の河床上昇が発生する ◎：下流域の利害関係者への影響が小さい(調整可能) △：下流域の利害関係者への影響が大きい(調整困難) ◎：利水ユーザーへの影響が小さい(調整可能) △：利水ユーザーへの影響が大きい(調整困難) 									
	下流河川の物理・生物環境への影響										
【視点④】 社会環境 への影響に 対する対応 可能性	社会環境への影響										
	貯水池運用による影響(貯水池運用ルール)										
<p>選択案に残される課題</p> <p>総合評価</p>											
<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度の土砂を排出 ・貯水池の運用 ・トンネル内摩擦対策 ・土捨て場の確保 ・高濃度の土砂を排出 ・高濃度の土砂を排出 ・高濃度の土砂を排出 											

選定された工法工法の組み合わせを念頭に、
はついで比較検討する。

* 河川環境への影響については、対策ごとの「排砂量」や「排砂時の土砂濃度(濁水の発生)」 「生態系への影響」にも留意する必要がある
 * 必要に応じて、CO2の削減効果についても検討項目に加えるものとする