

ダム貯水池掘削・浚渫土の下流土砂還元や有効利用を促進するダム堆砂分級工法の開発

浅田 英幸・片山 裕之・峯松 麻成

ダムが持つ洪水調節や利水等の機能の健全性を保つうえで、ダム堆砂対策は必要不可欠な維持管理項目である。ダム貯水池の掘削・浚渫工法は堆砂対策として最も一般的であるが、土砂にシルト・粘土等の細粒分が多く含まれると、置土による下流土砂還元や建設材・養浜材等への有効利用が図り難く対策の障害となる。「ダム堆砂分級工法」は、掘削・浚渫土に含まれる細粒分および粗礫・夾雑物を粒度分級により取り除き、品質の良い砂分を抽出する工法である。本稿では、分級システム実機を用いたダム現地分級実験の成果、分級処理の経済性検討、実装化に向けた取組みや展望について紹介する。

キーワード：ダム堆砂, 分級, 掘削・浚渫, 下流土砂還元, 有効利用, 細粒分除去

1. はじめに

近年、気候変動の影響を受けて豪雨による水災害が頻発化・激甚化している。ダムは洪水時に下流河川の水位を下げ、万一の場合にも流域の浸水被害を軽減するための洪水調節機能を有するのをはじめ、生活用水・農業用水・工業用水を都市に供給する利水機能、そして地球温暖化対策としての再生可能エネルギーを生産する水力発電機能など様々な役割を担う。こうしたダムの諸機能を健全に維持するうえで、ダム貯水池の有効貯水容量を安定して確保することが重要な課題であり、ダムで捕捉される堆砂を計画的に排除する対策を継続して実施することが必要となる。

国土交通省が策定した「ダム再生ビジョン」¹⁾では、既設ダムの機能を半永久的に維持していくとの理念に立ち、各ダムの堆砂特性等に考慮しつつ早期に堆砂対

策を検討・実施することが望ましいとされている。これは対策の前倒しにより、その技術的難易度や投入コスト、環境負荷等を抑制するアセットマネジメントの考え方に基づくものである(図-1²⁾を参照)。

堆砂対策の中心をなす排砂工法の詳細分類を図-2

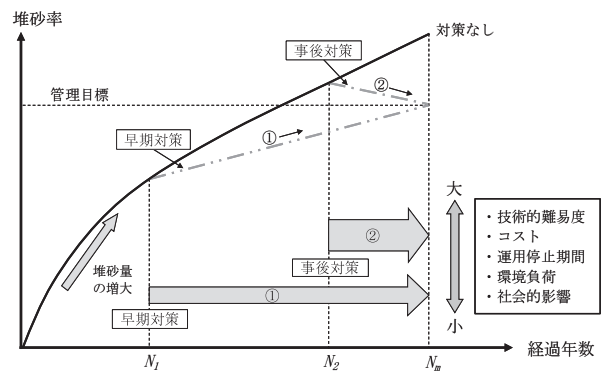


図-1 アセットマネジメントの堆砂対策への適用イメージ²⁾

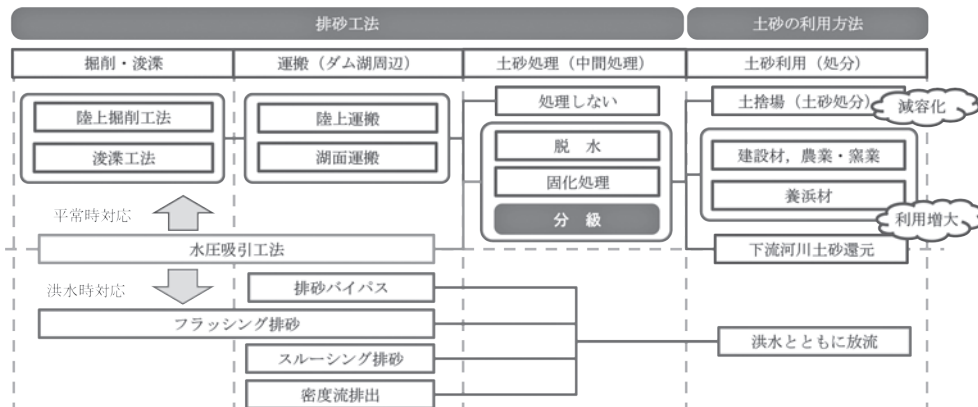


図-2 主要な排砂工法の分類

に示す。このうち、ダム堆砂の掘削・浚渫工法は、平常時に実施可能な最も一般的な排砂工法であるが、対象土に細粒分が多く含まれると、下流還元材（＝掘削・浚渫土をダム堤体下流河川に置土し流下させる）としての適性や有効利用先が限定され、堆砂対策推進の障害となる場合もある。そのため、筆者らは掘削・浚渫土の粒度特性を改善することにより土砂の品質を高め、下流還元量の増加や有効利用先の拡大を図ることを目的とした「ダム堆砂分級工法」の開発を進めている。

2. ダム堆砂分級工法の概要

ダム堆砂を置土として下流土砂還元させる場合、河床変動の抑制、河床材料の粗粒化改善、生物環境の維持・保全といった目的に応じた粒度特性を示す土砂を用いることにより、下流河川の環境改善効果がより高まるものと期待される。また、掘削・浚渫土に含まれる細粒分を除去することにより、置土の固結化防止や下流還元時の濁りの低減も期待できる。ただし、置土による下流土砂還元は洪水流を外力とする自然営力のみを利用する対策行為であり、これに細粒分除去のプロセスを追加することによるコスト増加は、ダム管理者への負担を増やすことになるため、低コストの細粒分除去技術の開発が望まれる。

ダム堆砂には分級処理をはじめ、脱水処理、安定処理、高度処理と段階別の処理方法と様々な有効利用が検討され、その用途から建設材料、農業利用、窯業利用、環境利用に区分されることが知られている³⁾。開発中のダム堆砂分級工法は、掘削・浚渫土砂に含まれる細粒分（＝粒径 0.075 mm 以下のシルト・粘土分）を機械的に取り除くもので、抽出した砂や礫は、表一に示すように下流還元材のほか、骨材、盛土材、ドレーン材等の建設材料、養浜材等の環境材料として有効利用が可能となる。細粒分含有率（Fc）が規定値を満たし、利用ニーズに適した分級土砂であれば、有

価物としての提供が見込めるため、その便益を分級処理に掛かる費用から差し引くことができる。また、除去された細粒分を最終的に土砂処分する場合でもその土量が減容化され、土砂処分場の延命化につながる。

ダム堆砂を対象とした分級検討の事例⁴⁾はこれまでもあるが、対象土の土質特性や、確保できる作業ヤードの広さ、水処理の制約条件等に影響を受けるため、対象サイトを選定しての現地実験やケーススタディを行い、分級技術の適用性を十分に確認することが望ましい。そこで、「① 広範囲な分級レンジに適用できる技術」、「② 低コスト技術」、「③ 多様な細粒分処理技術の提供」を目標に、千葉県・高滝ダムにおいてダム堆砂分級工法の現地実験を実施した。

3. 高滝ダム現地分級実験

高滝ダムは千葉縣市原市にある洪水調節と水道用水等の利水容量を有する多目的ダムである。1990年の完成以来、ダム流域の養老川の活発な土砂生産の影響を受け堆砂が進行している。ダム堆砂対策としての堆積土砂の掘削・浚渫が行われているほか、試験的な置土・下流還元の実績も有する。現地分級実験は、高滝ダム管理事務所の協力の下、写真一に示す上流側の導流堤上を実験ヤードとして、写真二に全景を示す分級処理システム実機をセットし、ダム関係者への見学会を兼ねた公開実験として実施した。

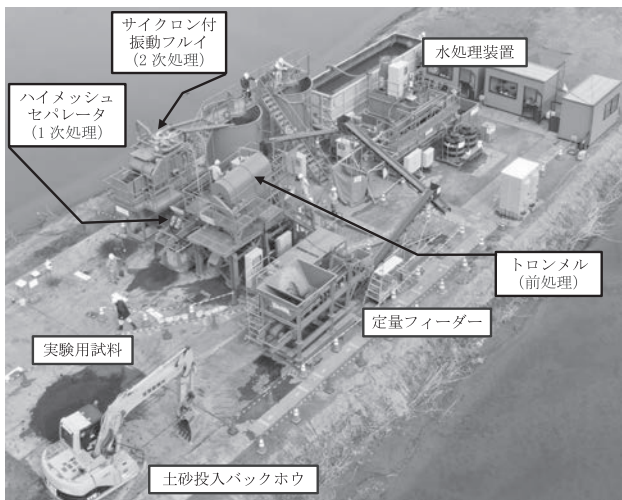
分級処理システムは、写真三に示すとおり 10 mm 以上の塵芥・礫を除去する前処理として回転フルイに水洗浄を付加したトロンメル、2 mm 以上の砂礫分を除去する 1 次処理に振動フルイに水洗浄を付加したハイメッシュセパレータ、0.075 mm 以上の砂分を抽出する 2 次処理としてサイクロンと水処理を付加した振動フルイを組み合わせ、実験試料量に適した処理能力 50m³/日の分級システムを構築した。なお、1 次処理、2 次処理のフルイ工程は網目サイズを変え

表一 利用分野別の用途と土砂粒度範囲の例

利用分野	用途	粒度 (mm)	Fc の規定
環境材料	下流還元材 (置土)	10~0.075	5% 程度以下
	養浜材 (実績例)	75~0.075	8% 程度
建材	珪砂 7 号代替材	0.3~0.075	18% 程度
地盤材料	埋戻し用砂	5.0~0.075	10% 以下
	サンドコンパクション用砂	5.0~0.075	10% 以下
	サンドドレーン用砂	5.0~0.075	5% 以下
コンクリート材料	SC 細骨材	5.0~0.15	2~10% 以下

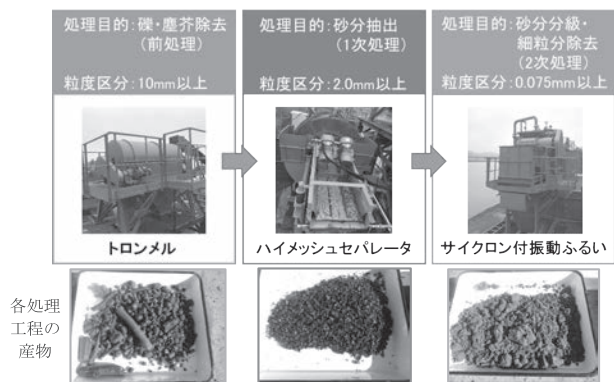


写真一 高滝ダム分級実験ヤード



写真一2 実験用分級システム

目標粒度：0.075mm～2.0mm（細粒分混入率（Fc）は10%以下）
 （ふるい網目やサイクロンの処理容量・流入圧力を変えることで分級レンジは可変）



写真一3 分級処理システムの構成

ることで、また2次処理のサイクロンは処理容量や流入圧力を変えることで分級レンジを変えることが可能である。

2次処理を通過した泥水の貯留処理には、写真一4に示す細粒分を凝集沈殿処理する水処理設備を用意した。なお、分級過程では土砂解泥用に加水（＝湿式分級）を行うが、分級後の泥水を水質環境基準に適合したPAC+高分子凝集剤により凝集沈殿させ、その上水を循環・再利用することで水使用量を抑制したうえ、実験中にダム湖への放流等は行わないようにした。

この実験で選定した分級処理装置の組合せは、いずれも汎用性があり、安定した稼働実績を持つ機械設備の基本セットであるため、ダムの持つ様々なニーズに合わせて、適切な機種・能力・セット数を組み合わせることが可能である。

4. 現地分級実験の結果

現地分級実験は日程を分けて、都合3回を実施した。1回あたり約10m³の土砂を、前処理、1次処理、



写真一4 細粒分を凝集沈殿処理する水処理設備

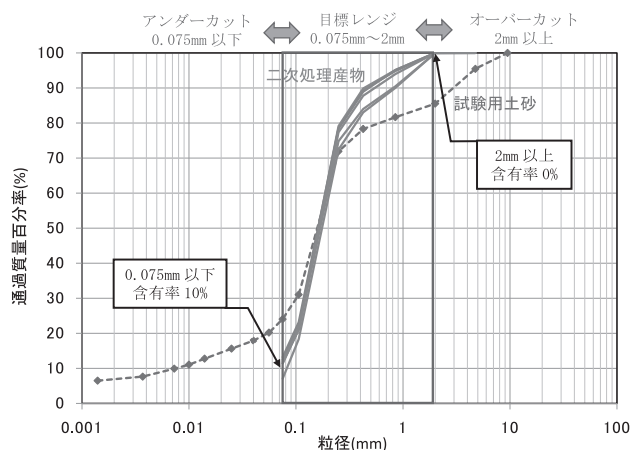
・分級の過程で土砂解泥のために加水（＝湿式分級）を行う
 ・2次処理後の泥水中の細粒分をPAC+高分子凝集剤（＝水質環境基準適合品）により凝集沈殿させたうえ、循環・再利用（＝水使用量の抑制）

2次処理、水処理の一連の処理工程を連続して行った。また、試験用土砂の粒度分布に偏りが生じないように、実験当日の処理開始前にバックホウで適度に混合した。

実験結果のうち、2次処理（＝サイクロンアンダー+振動フルイ）により抽出された砂分（＝目標分級レンジ：0.075mm～2mm）の粒径加積曲線を図一3に示す。予備稼働2回と本実験3回を合わせ、得られた5回分の分級砂の粒度分布はいずれもほぼ等価で、本システムによる高い分級処理品質の再現性が確認された。

分級砂のオーバーカットレンジである2mm以上の含有率はほぼ0%になっており、目的の性能が確認された。一方、アンダーカットレンジの0.075mm以下の細粒分含有率（Fc）は目標としていた10%を概ね満足した。細粒分については、実験ヤードと水処理の制約から水洗浄能力がやや不足していたと考えられること、また試験で用いた浚渫土砂が陸上ヤードに一定期間仮置きされ細粒分の固結が進んでいた点や、木切れや落葉片が比較的多く混入し、これらに付着した細粒分を十分に除去しきれなかった点も影響したと考えられる。

ただし、前出の表一1のとおり、一般的な建設材料としての細粒分含有率（Fc）の規定値は10%前後であり、シルト・粘土塊や木片等は、解泥や比重分級



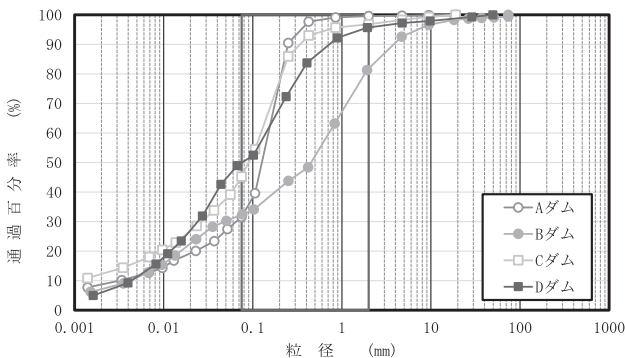
図一3 分級処理土（2次処理）の粒径加積曲線

工程を追加・改良することで除去精度を上げることができる。全体的には目標とした分級レンジの処理性能が確認され、要求に応じた粒度品質の土砂を安定して供給できるシステム構築ができたと考えられる。

5. ダム堆砂分級工法の経済性検討

分級処理によりダム堆砂の下流土砂還元や有効利用が促進されれば、様々な便益を生む一方で、分級処理プロセスを追加することはダム堆砂対策コストを増加させるため、それに係る費用を精度良く把握することが、事業の実施・継続判断に不可欠である。本検討では、立地条件や堆砂特性の異なる4つのダムを対象に、分級コストと分級装置の配置計画について分析・評価を行った。

検討対象のA～Dの4ダムは、いずれも堆砂問題が顕在化し、貯水池内の堆砂浚渫・掘削工事が長期に亘り行われている。各ダムにおける堆砂の粒径加積曲線の一例を図一4に示す。分級コストシミュレーションは、この粒度組成に基づき行った。各ケースの検討条件を表一2にまとめる。分級処理は年間を通じて行うものとし、各ダムの掘削・浚渫実績または公開されている計画に基づき最大処理土量を設定、その50%の土量とした場合も検討ケースに加えた。現地分級実験から、分級過程で発生する余水（泥水）の処理コストが全体費用に占める割合が大きいことが明らかとなったため、余水処理の有無もケースに反映する。



図一4 各ダムにおける堆砂の粒径加積曲線の例

表一2 分級コストシミュレーションのケース

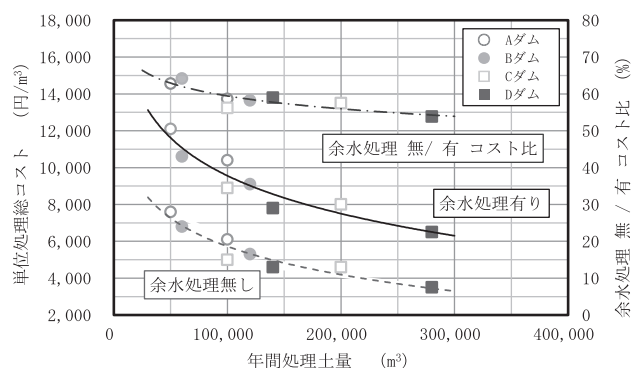
ダム名称	年間処理土量 (m ³)		余水処理		Fc (%)	装置運搬距離 (km)
	最大	1/2	有	無		
Aダム	100,000	50,000	有	無	32	10
Bダム	120,000	60,000	有	無	32	390
Cダム	200,000	100,000	有	無	45	130
Dダム	280,000	140,000	有	無	50	330

分級装置は新規購入とし、首都圏内の基地工場からダム現地まで陸送する。検討ケースは全16ケース（＝4ダム×2土量×余水処理有・無）となる。なお、分級処理装置は現地分級実験と同様のシステム構成とし、処理土量に応じたセット数を配置するものとした。

分級コストシミュレーションで得られた年間処理土量と単位m³当りの処理総コスト（以下、単位処理総コスト）の関係を図一5に示す。各ダム検討条件に応じ多少のばらつきは見られるものの、処理土量が5万～28万m³の間でその増加とともに単位処理総コストは減少する。また、同図中に示した余水処理「有り」に対する「無し」のコスト比は60%前後となり、これも処理土量の増加とともに漸減する。

表一3には単位処理総コスト中の工事比率を示す。最も割合の高い費目は機械購入費であり、全体の58～68%を占める。一方で、直接工事費は施工費と仮設費を合わせて30%前後となっている。また、単位処理総コストをイニシャルコストとランニングコストに分解すると、処理土量や余水処理の有・無に依らず、イニシャルコストが約80%を占めることが分かる。ただし、本検討では、機械購入費を1年間の工事に一括計上しているが、長期運用で設備費を減価償却すれば、年間コストを抑制することが可能である。

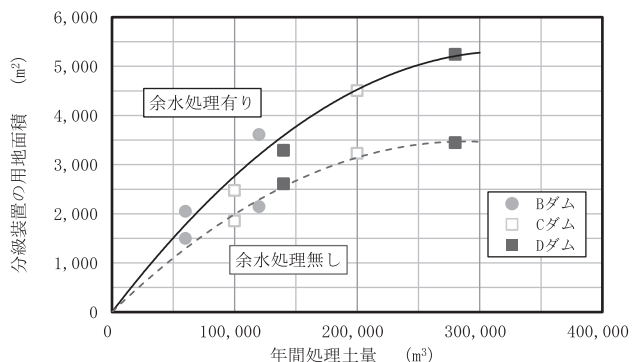
続いて、分級処理装置の配置に必要な用地面積を図一6に示す。ただし、搬入土砂と搬出分級土砂のストックヤード面積は含んでいない。処理土量約15万m³までは用地面積がほぼ直線的に増加するが、それ以上では面積の伸びが緩やかになる傾向を確認できる。



図一5 処理土量と単位処理総コストの関係

表一3 単位処理総コスト中の工事費比率

余水処理の有無	工事費比率 (%)				イニシャルコスト	ランニングコスト
	直工・施工費	直工・仮設費	電力費	機械購入費		
有り	18～20	8～13	4～6	63～68	79～80	20～21
無し	18～21	10～16	4～6	58～67	77～80	20～23



図一六 処理土量と分級装置の用地面積の関係

6. 分級精度向上と低コスト化に向けて

高滝ダム現地分級実験の結果から本分級システムにより、一定の分級品質を確保できることが確認された。ただし、当初の開発目標達成のためには、変化に富んだ土質特性を有する様々なダム堆砂への適用性を高めるとともに、分級フローを集約しシステムの簡素化を図ることが重要である。中でも細粒分の除去精度を向上させるには、一定期間陸上に仮置きされ、細粒分の固結が進行した土砂を十分に加水・解泥してから分級することが有効である。

現在、写真一五に示すようなドラムウォッシャーを前処理に組み込み、固結した細粒分の解泥効果の確認を行っている。また、これにより十分に解泥され安定した濃度の土砂スラリーを分級装置に送ることが可能となれば、多段階分級からサイクロン付き振動フルイを中心とする分級工程に集約できるため、設備の簡素化と分級処理コストの削減に繋がると考えられる。



写真一五 ドラムウォッシャー（実験機）と解泥確認状況

7. おわりに

2020年度の時点で国土交通省が所轄する全国571ダムのうち、洪水調節容量内への堆砂が進行してるダムは310ダムあり、そのうち洪水調節容量の余裕の範囲（=2割程度）に収まっていないダムも16ダムある⁵⁾。16のダムとも、既に堆砂対策を実施中あるいは検討中ではあるが、これら対策緊急性の高いダムに限らず頻発・激甚化する豪雨災害への備えとして、早期に堆砂対策に取り組むことがいずれのダムでも重要と考える。

本工法の適用によりダム堆砂の下流還元や有効利用が促進できれば、技術的難易度が比較的低い掘削・浚渫工法は、多くのダムで早期計画・着手が可能な堆砂対策となり得る。ダム堆砂分級工法の一刻も早い完成を目指して今後とも開発を続けていく。

なお、ダム堆砂分級工法の開発にあたっては、(一財)水源地環境センターのご支援・ご指導を頂いている。ここに記して、感謝の意を表します。

JICMA

《参考文献》

- 1) 「ダム再生ビジョン」, 国土交通省水管理・国土保全局, 2017年6月
- 2) 「ダム貯水池土砂管理の手引き(案)」, 国土交通省水管理・国土保全局, 2018年3月
- 3) 「ダム堆砂リサイクルのコスト分析とPFIによる事業化検討」, 大矢通弘・角哲也・嘉門雅史, ダム工学, No.13 (2), pp.90-106, 2003年
- 4) 「ダム堆砂の簡易処理・河川還元に関する研究」, 角哲也・小坪洋巳・久保田明・三反畑勇・天明敏行・小高志郎, ダム工学, No.19 (3), pp.165-171, 2009年
- 5) 「国土交通省所管ダムの堆砂状況について」, 国土交通省 HP, (https://www.mlit.go.jp/river/dam/taisa/taisha_joukyouR2.pdf)

【筆者紹介】



浅田 英幸 (あさだ ひでゆき)
ダム水源地土砂対策技術研究会
技術委員会
技術委員長
(所属会社：東亜建設工業)



片山 裕之 (かたやま ひろゆき)
ダム水源地土砂対策技術研究会
技術委員会
技術副委員長
(所属会社：五洋建設)



峯松 麻成 (みねまつ まなり)
ダム水源地土砂対策技術研究会
技術委員会
技術副委員長
(所属会社：東洋建設)