

ダム堆砂細粒分除去技術ガイドラインについて

Guideline for Dam Sediment Fine Grain Removal Technology

研究第二部 主任研究員 坂口 宗 功
研究第二部付部長 小野 雅 人
研究第二部 上席主任研究員 若尾 拓 志
土砂研技術委員長 片山 裕 之
土砂研技術副委員長 浅田 英 幸
土砂研技術副委員長 山崎 智 弘

ダムに堆積した土砂は、治水・利水・発電といったダム本来の機能を阻害し、下流河川への土砂供給の不足といった流域全体に影響も及ぼすため、ダムの堆積土砂対策を促進することが重要である。ダムの堆積土砂対策の促進にあたっては、ダムの堆積土砂を流域における「資源」と捉え、下流河川への土砂還元や建設資材等への有効活用を図ることが重要となるが、細粒分含有率の高い土砂は、土砂還元のための置き土に活用する際の環境面の基準や、建設資材としての要求品質を満たすことが困難な場合がある。そのため、細粒分含有率の高い土砂は有効活用できず、土砂処分場に処分せざるを得ない場合がある。

(一財)水源地環境センターと(一社)ダム水源地土砂対策技術研究会(以下、土砂研)は、ダム湖の掘削・浚渫土砂の有効活用の促進を図るため、掘削・浚渫土から細粒分や礫、塵芥を取り除き良質な砂分を抽出する「ダム堆砂分級工法」の研究開発に取り組み、これまでの現地実証実験等を通じて目標とする細粒分除去効果が確認できた。分級工法の普及に向け、分級工法の調査・設計・施工・積算の各段階で参考となる「ダム堆砂分級技術 技術ガイドライン」(以下、ガイドライン)を作成している。本稿では、分級工法の概要および、ガイドラインの内容について紹介し、分級工法の普及に関する今後の取り組みの検討課題について報告する。

キーワード：ダム維持管理、ダムの長寿命化、ダム堆砂対策、分級工法、細粒分除去、土砂還元

Sediment accumulated in dams impedes their fundamental functions such as flood control, water supply, and power generation, and affects the entire watershed by reducing sediment supply to downstream rivers. Therefore, promoting measures to address sediment accumulation in dams is crucial. In promoting measures against sediment accumulation in dams, it is important to view the accumulated sediment as a “resource” within the watershed and to seek its effective utilization, such as returning it to downstream rivers or using it as construction materials. However, sediment with a high proportion of fine particles may be difficult to use as soil setting for sediment return due to environmental standards, or it may be difficult to meet the required quality standards for use as construction materials. Consequently, sediment with a high fine-grained content may not be effectively utilized and may have to be disposed of at sediment disposal sites.

The Water Resources Environment Center (General Incorporated Foundation) and the Association of Water Resources Sedimentation Technology (General Incorporated Association) (hereinafter referred to as the Doshaken) To promote the effective utilization of excavated and dredged sediment, they have undertaken research and development of the “Dam Sediment Grading Method,” which extracts high-quality sand by removing fine particles, gravel, and debris from excavated and dredged material. Through field verification tests to date, the targeted fine particle removal effectiveness has been confirmed. To promote the adoption of the classification method, the “Dam Sediment Classification Technology Guideline” (hereinafter referred to as the Guideline) is creating. These Guideline provide reference material for the investigation, design, construction, and cost estimation stages of the classification method. This paper introduces the overview of the classification method and the content of the Guideline, and report on issues to be considered for popularization of the classification method.

Key words : Dam maintenance and management, extending dam service life, dam sedimentation countermeasures, graded construction method, fine sediment removal, sediment reduction

1. はじめに

近年、気候変動に起因すると推定される降雨の激甚化、それに伴う河川の氾濫、浸水被害が相次ぎ、治水・利水・発電といったダム機能を確保するため、堆積土砂の掘削除去を行う重要性が増している。国土交通省ではダムリフレッシュ事業¹⁾として、堆砂対策(堆砂除去)を計画的・集中的に実施する予防保全対策に取り組んでおり、ダム堆積土砂の除去を行うダムが今後とも増加すると予想される。堆砂除去と同時に除去した土砂の処分や有効活用の検討も必要となり、分級工法は有効活用の選択肢を増やすためのひとつの手段となる。

当センターは土砂研と共同で平成29年度よりダム堆砂分級工法の研究開発に取り組み、現地実証実験を通じて目標とする細粒分除去効果が確認できた²⁾。これまでに得られた成果から、分級工法をダムの堆砂対策に合理的に組み入れるための調査、設計、施工、積算ならびに適用事例を掲載したガイドラインを作成している。本ガイドラインは、ダムの堆砂対策において、堆積土砂の有効活用のために分級工法の導入を検討するダム管理者および調査・設計を担う建設コンサルタント、工事を担当する建設会社のほか、流域関係者等にも参考となる内容としている。本稿では、ガイドライン公表に先立って、分級工法開発の経緯やガイドラインを作成した背景に触れ、分級工法の概要および、ガイドラインのポイントとなる内容について紹介する。また、分級工法の普及に関する今後の取り組みの検討課題について報告する。

2. 分級工法の開発経緯

分級工法は掘削・浚渫土から良質な砂分を抽出することを目的としており、港湾土木分野で広く採用されている浚渫土分級技術を応用した技術である。ただし、ダムの堆積土砂対策に分級(=細粒分除去)工程を追加することによるコスト増加がダム管理者の負担になることを考慮すれば、当該技術を低コストで提供することが望まれる。そこで、分級システムの基本開発コンセプトとして、利用実績と汎用性のある個々の装置を組み合わせ、一連のシステムとして分級品質と作業効率を高めることに重点を置き、低コスト化と要求品質に対して柔軟に対応できるシステム構築を目指した。分級後の土砂の目標品質は、さまざまな有効活用分野で要求される粒度規定をおおむね満足できる、細粒分含有率(Fc) ≤ 10%に設定した。有効活用分野ご

との粒度規定例を表-1に示す。

表-1 有効活用分野ごとの粒度規定例

利用分野	用途	粒度範囲 (mm)	Fc の規定
環境材	ダム下流還元(置土)	10以上~0.075	5%程度以下
	養浜材	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
	SCP用・サンドマット用砂	5.0~0.075	10%以下
	SCP用・VD用砂	5.0~0.075	5%以下
コンクリート材料	SC細骨材(無筋・鉄筋・舗装)	5.0~0.15	2~10%以下
	SC細骨材(プレバックド)	5.0~0.15	5~30%以下

2.1 過年度実験の経緯

目標とする分級技術の開発のため、過年度に実施した計4回の実験の経緯を図-1に示す。

代表的な実験として、最後に実施した第4回実験(令和5年度)の概要を以下に記載する。各年度の実験の概要、結果については前報²⁾を参照されたい。

第4回実験は、分級精度の確認、有機物の除去、実験設備の現地適用性の確認を目的に、矢作ダム近傍ヤードにおいて現地実験を実施した。また、貧栄養化の課題を抱える海域への栄養塩供給の可能性を視野に、分級後の土砂と水に含まれる栄養塩の分析も実施している。機械構成自体は令和4年度から変更はないが、現地条件に適用させるため、処理能力を向上させた機械を採用している。実験試料は矢作ダムから堆積土砂の提供を受けた下記の2種類の試料をブレンドし、実験用に粒度分布の異なるCase1~6の試料を配合・作製した。各試料の配合一覧を表-2に示す。なお、Case5は分級システムの再現性を確認するためのものであり、Case3と同程度のブレンド比率としている。

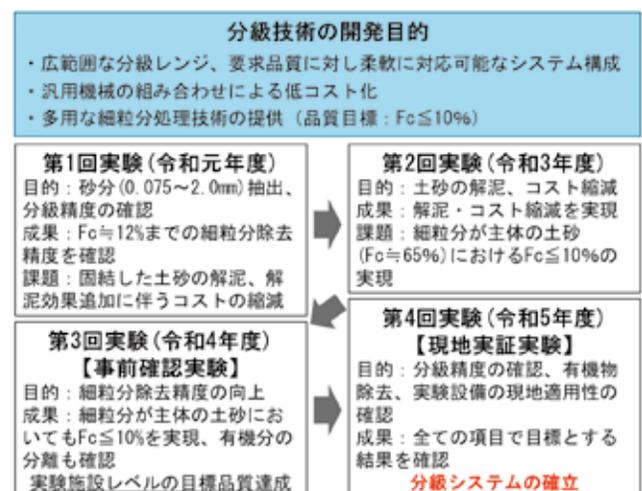


図-1 過年度の実験の経緯

- ・ 試料①：砂分卓越土砂（細粒分含有率Fc：3.9%）
- ・ 試料②：細粒分卓越土砂（細粒分含有率Fc：41.2%）

実験結果を図-2に示す。Fcが40%程度の場合2、Case4を除くCaseでは二次処理までで、目標のFc \leq 10%になっている。また、三次処理まで実施すれば、すべてのCaseでFc \leq 10%を満足する。分級効果の一例として、Case1における分級システム投入前の試料を図-3、各ポイントにおける回収物を図-4～図-6に示す。

分級システムの構成と土砂の流れを図-7、分級プラント全景を図-8に示す。

表-2 試料の配合一覧

Case	ブレンド比率 試料①：試料②	Case	ブレンド比率 試料①：試料②
Case1	1：0 (Fc：3.9%)	Case4	1：4 (Fc：38.2%)
Case2	0：1 (Fc：41.2%)	Case5	1：1 (Fc：17.4%)
Case3	1：1 (Fc：15.4%)	Case6	1：2 (Fc：30.5%)

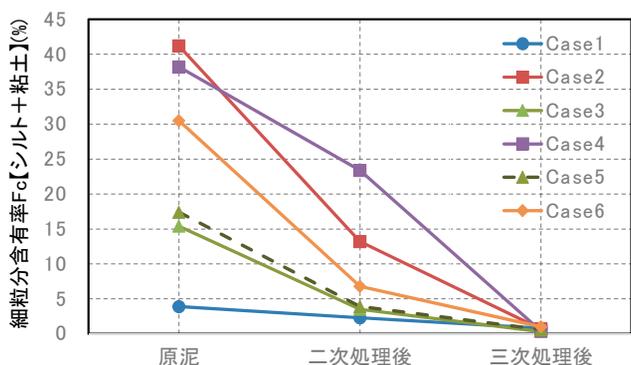


図-2 令和5年度実験 実験結果



図-3 分級システム投入前の試料 (Case1)

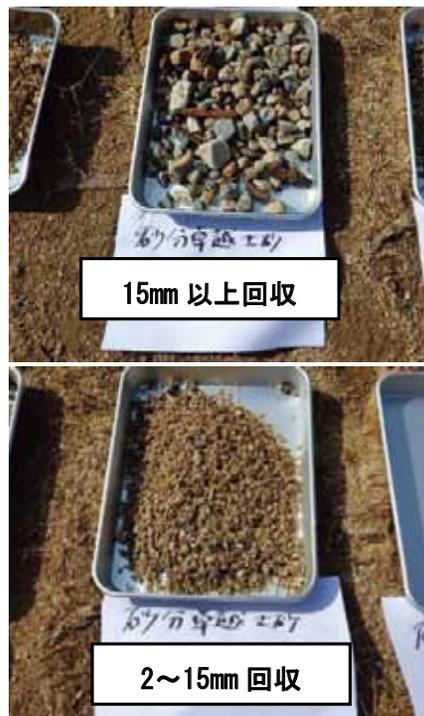


図-4 一次処理回収物 (Case1)



図-5 二次処理回収物 (Case1)

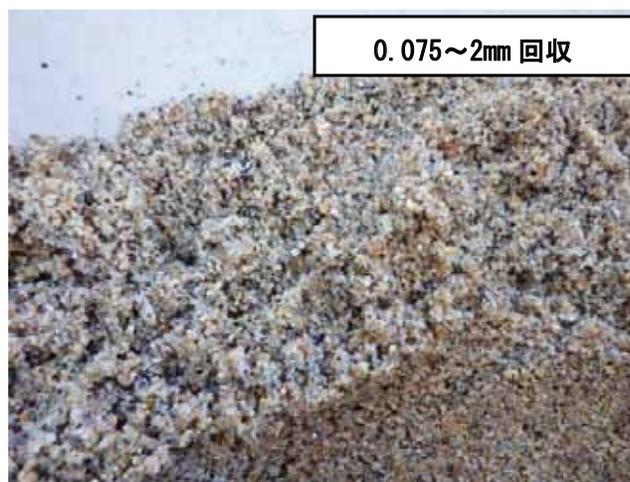


図-6 三次処理回収物 (Case1)

一次処理:ドラムウォッシャー
団粒化した土砂を解泥する



二次処理:湿式サイクロン
遠心力で、粒径0.075mmを境に分級



三次処理:ハイメッシュセバレーター
再洗浄して、0.075mm未満を除去する

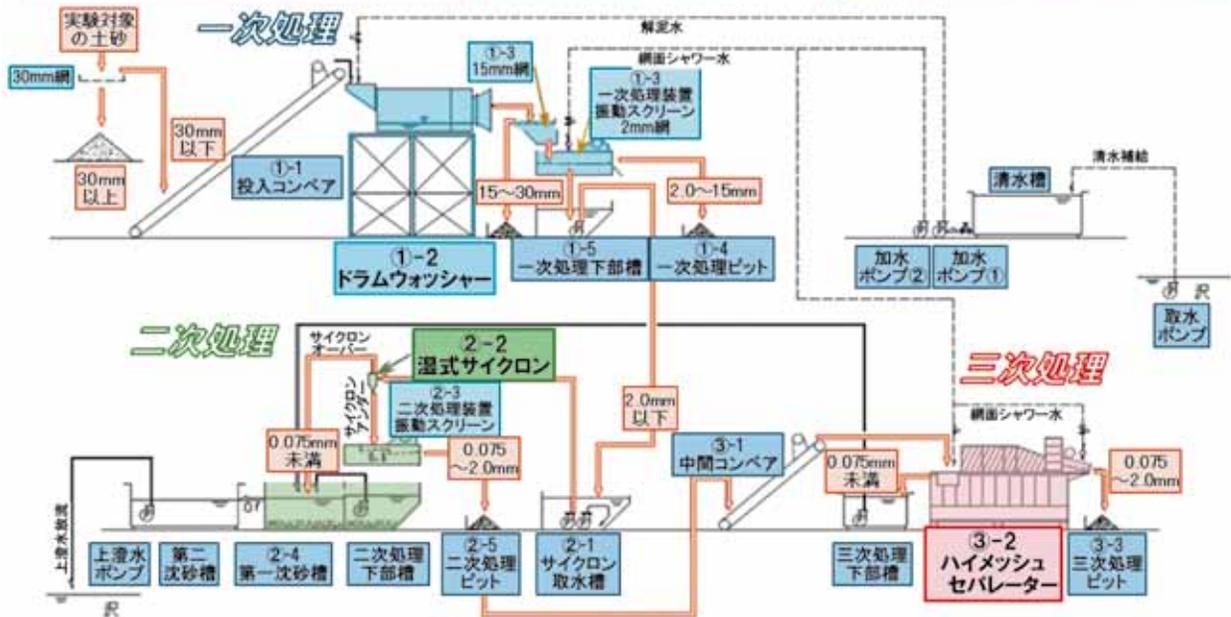


図-7 令和5年度分級システムの構成と土砂の流れ

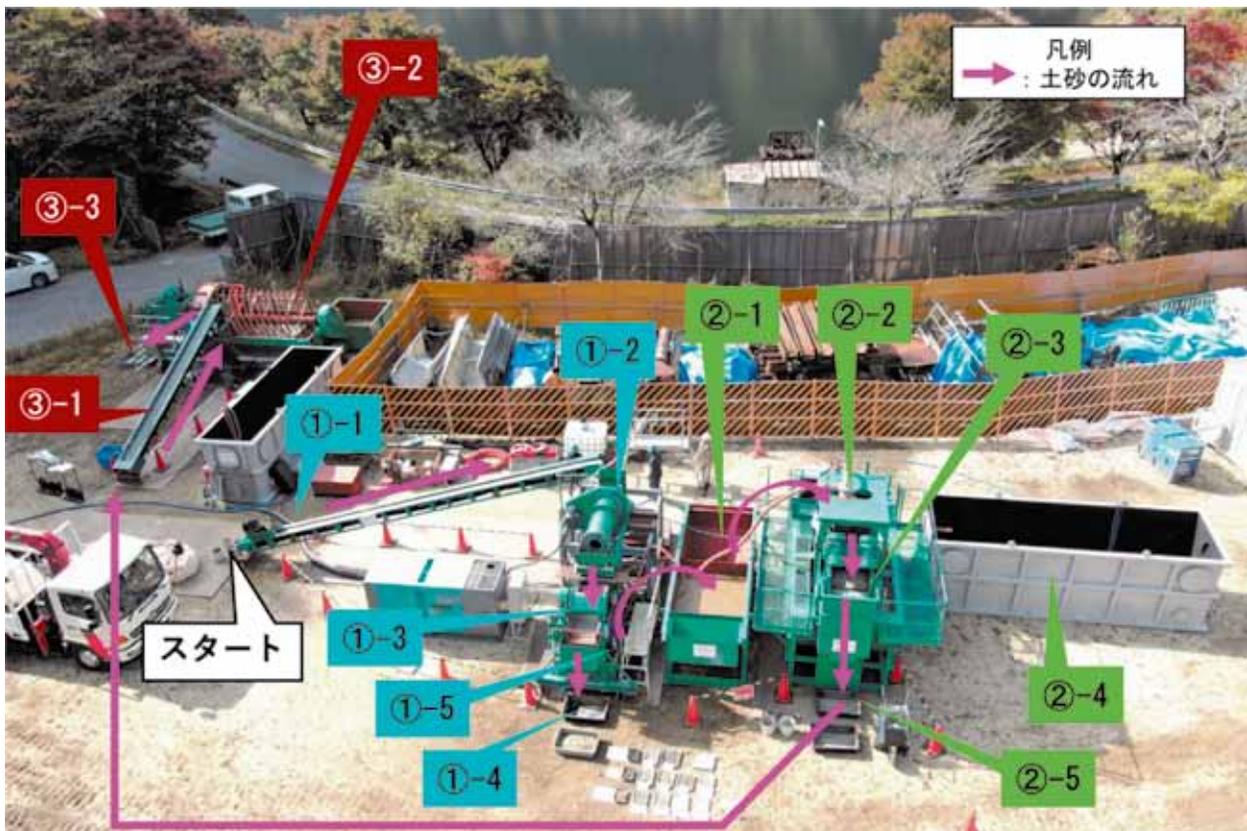


図-8 令和5年度分級実験プラント全景 (設備の番号は図-7と紐づけ)

3. ガイドラインの内容

ガイドラインの構成を図-9に示す。ここでは各章のポイントとなる内容について紹介していく。

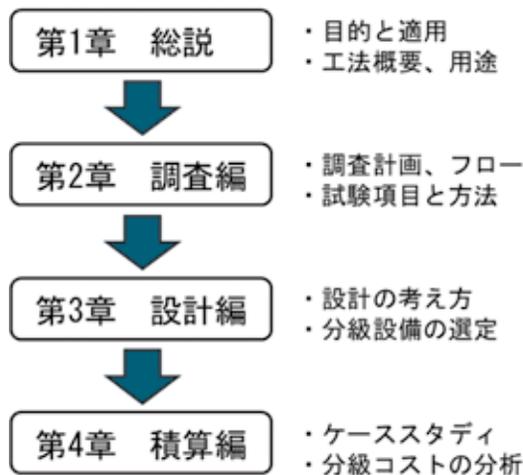


図-9 ガイドラインの構成

3.1 第1章 総説

3.1.1 目的と適用

ダム堆積土砂分級工法は、主にダム貯水池で掘削・浚渫されたダム堆砂を砂・礫分と細粒分(粘土・シルト分)に分離する用途に適用される。広範な粒径分布を呈するダム堆砂から、利用者ニーズに合った品質(粒径レンジ)の土砂を低コストで抽出することを工法適用の目標としている。

3.1.2 工法の概要

ダム堆砂分級工法は、サイクロン式遠心分離機を主要装置とするいくつかの装置の組合せにより一連の分級システムを構築する。分級システムは土砂に一定量の加水を行い、スラリー化させたものを対象とする湿式分級方式である。

分級システムは、2000年代初頭より港湾分野における浚渫土砂の処分量減容化、底質浄化や、トンネル工事におけるシールド残土の処理等に用いられてきた土砂の分級技術を応用させたものである。港湾浚渫土砂やシールド残土とダム堆砂を比較すると、ダム堆砂は以下のような特徴がある。

- ・広範かつ複雑な粒度分布を呈する
- ・草木類等の夾雑物や有機分が大量に含まれる
- ・細粒分主体の港湾部の浚渫土砂に比べ砂粒径以上の粗粒分含有量が多い

このような特徴を有するダム堆砂に適用するため、

段階的に分級を行うことで、ダム堆砂から有効活用に適した砂礫分を効率的に抽出することを可能とした。

3.1.3 工法の用途

分級工法の適用により、掘削・浚渫したダム堆砂から利用目的に応じた粒度品質の土砂を抽出することが可能である。分級後の土砂は総合土砂管理の視点から、その地域・流域の建設用資材や環境保全・修復用の資材として有効利用することが望まれる。有効利用先について、表-3に示すような項目が挙げられる。

細粒分土砂については利用用途が限られており、大半が処分される傾向にあるが、河川堤防やフィルダム等の盛土の難透水性材料や、建設発生土や建設汚泥を原料に、固化材や混和剤を加えて流動性を高めた流動化処理土への活用の可能性がある。また、過年度の現地実験の結果から、栄養塩が分級後の細粒分に濃縮されることが確認できたことから、例えば田畑などの圃場整備における表土供給や、貧栄養化の問題を抱える内湾への栄養塩供給への活用も選択肢の一つであると考えられる。

表-3 土質区分による有効利用方法

堆砂性状	土質区分	粘土・シルト主体 (下流部)	砂主体 (中流部)	礫・砂主体 (上流部)
	建設利用		土壌改良材・客土・	コンクリート骨材・盛土材・
農業利用		肥料 他	路盤材・埋戻材 他	
窯業利用		陶土・レンガ材・セ	河川供給材・養浜材・湿地復	
環境利用		メント原料 他	元材 他	

3.2 第2章 調査編

調査フローを図-10に示す。

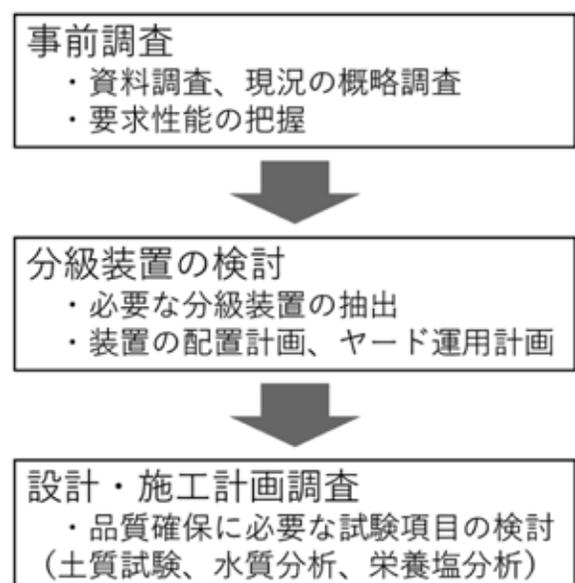


図-10 分級システムの調査フロー

分級工法によるダム堆砂分級計画の作成には、ダムごとの堆砂性状や要求品質が必要になるため、調査内容全体を視野に入れ、系統的に整理された調査計画を作成する必要がある。対象となるダム等における分級装置の搬入出路や用地確保と設置地盤の支持力、浚渫や掘削後の土砂ならびに、分級後の土砂の仮置場と搬入出路や頻度、分級用水の確保や処理方法などの情報から、十分な調査計画を立てる。調査で入手した情報をもとに「第3章 設計編」で分級システムの設計を行っていく。

3.3 第3章 設計編

3.3.1 設計条件

「第2章 調査編」で得られた調査結果に基づき、設計条件を設定し、搬入出路や設置ヤードの条件に対応した分級設備を選定する。図-11に概略の設計フローを示す。

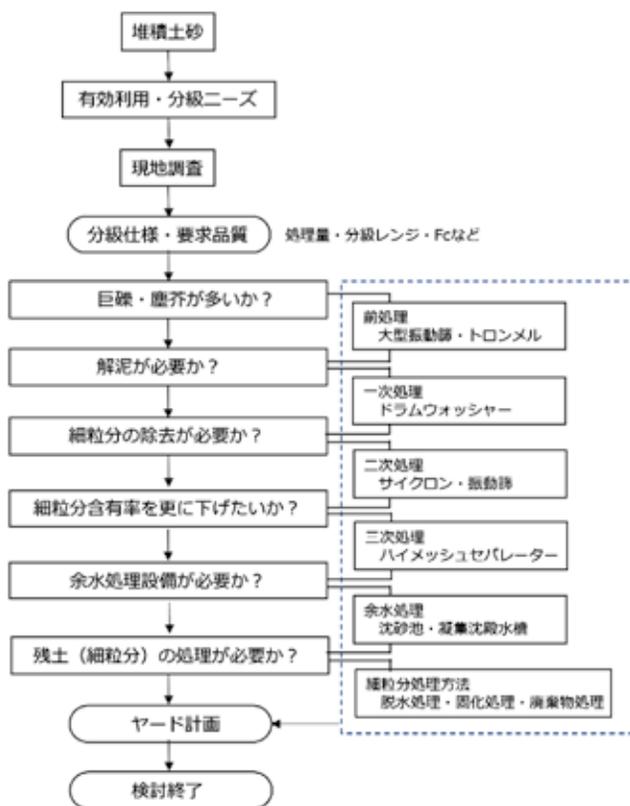


図-11 分級工法の設計フロー

3.3.2 分級設備の選定

土質性状や分級ニーズに応じて、設備の組み合わせを行う。以下に各設備の概要を示す。

(1) トロンメル【前処理】

トロンメルは、回転式の円筒状のスクリーン装置であり、特に100mm以上の大礫の除去を目的としている。トロンメルの実機写真を図-12に示す。



図-12 トロンメル

(2) ドラムウォッシャー (DW)【一次処理】

DWは、対象土砂の固結した細粒分を洗浄処理により解泥する機械装置である。回転するドラム(円筒)の中で対象土砂の細粒分を洗い落とす仕組みとなっている。DWの実機写真を図-13に示す。



図-13 ドラムウォッシャー (DW)

(3) サイクロン【二次処理】

サイクロンは遠心力を利用した空気や液体の流れにより、泥水内の砂分と細粒分の密度差を利用して分離する。サイクロンの実機写真を図-14に示す。

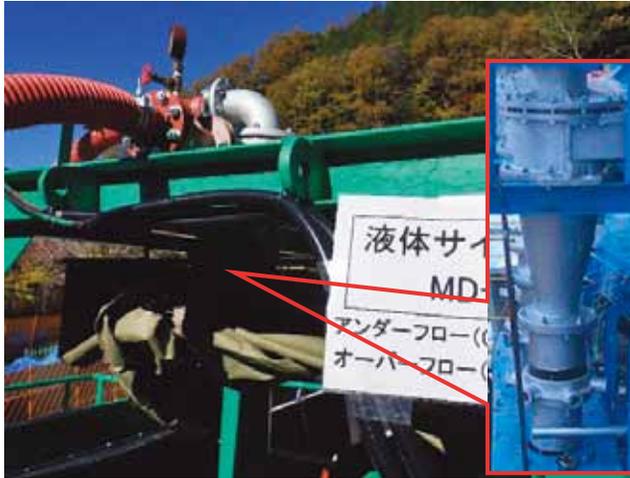


図-14 サイクロン

(4) 振動篩【一次処理・二次処理】

異なる網目サイズのふるい上にて、対象土砂を振動させることで、目的とする粒径の粒子を分級することができる。振動篩の実機写真を図-15、図-16に示す。



図-15 振動篩（一次処理施設）

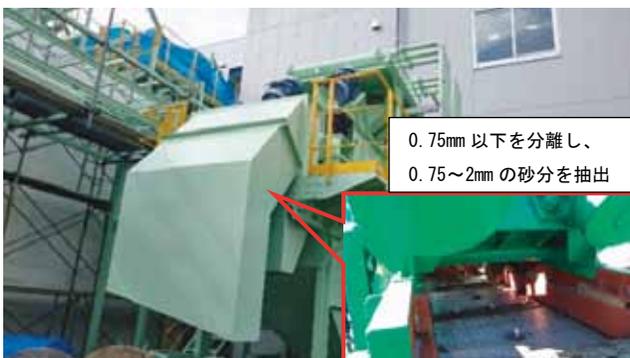


図-16 振動篩（二次処理施設）

(5) ハイメッシュセパレータ (HM)【三次処理】

HMは、緩速な水流を利用して砂分から細粒分を取り除く装置である。HMの実機写真を図-17に示す。



図-17 ハイメッシュセパレータ (HM)

(6) 脱水処理設備【余水処理、細粒分処理】

脱水処理装置は、分級設備に用いた洗浄水（余水）に含まれる細粒分（Fc）を分離、回収する装置である。脱水処理方法として、機械脱水、袋詰脱水、固化処理から選定する。参考として、機械脱水設備（フィルタープレス）の実機写真を図-18に示す。



図-18 機械脱水設備（フィルタープレス）

3.4 第4章 積算編

3.4.1 ケーススタディ

過年度の現地実証実験等で得られたデータからコスト分析を行った。

以下に、分級工法を適用した際のコスト分析例を示す。

- ・現地実験を行った実績のある矢作ダムにおいて、矢作ダムの堆積土砂を対象に、矢作ダムの現地サイトにて分級を実施
- ・分級設備は現地実験と同様に協力会社工場のある千葉県から運搬
- ・分級対象土砂の浚渫・掘削の費用、分級設備の運搬費などは今回の試算では対象外
- ・年間の分級処理量はさまざまなダム堆砂対策の参考となるよう、2万 m^3 、6万 m^3 、10万 m^3 の3ケース
- ・分級（一次～三次処理）と余水処理まで含めた設備を現地に設置
- ・コスト削減の工夫として、長期使用可能な設備について償却期間を1～10年まで考慮した設備購入案と設備レンタル案のコスト比較を実施
- ・コストは分級する堆積土砂量で除した処理量当たりの価格（円/ m^3 ）

上記条件におけるコスト試算結果を図-19に示す。

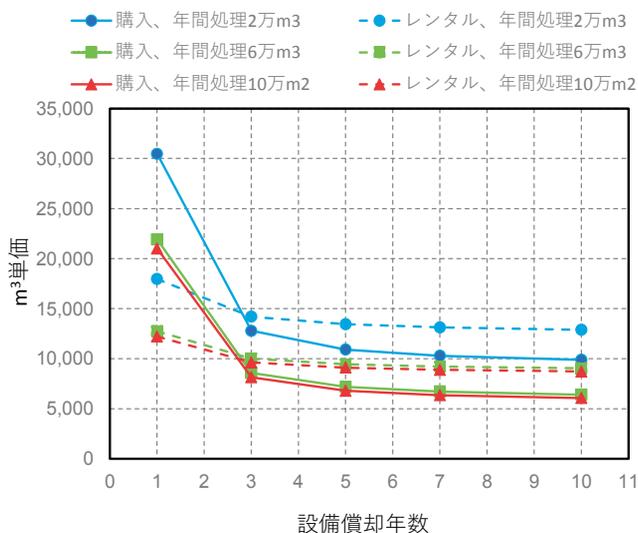


図-19 コスト試算結果（矢作ダム）

コスト試算結果より下記の情報が確認できた。

- ・購入案とレンタル案のコスト比較では、3年以上の償却の場合、購入の方がコストは安くなる。
- ・年間処理量を6万 m^3 以上、設備の償却期間を5年以上とすると、分級の全体コストは5～6,000円/ m^3 程

度と試算される。

- ・余水処理コストは、上記の全体コストの30～40%程度となる。

3.4.2 分級システム導入に向けた検討

分級システムの導入を検討する際に考慮すべき事項として、以下の項目が考えられる。

- ・分級システム導入に係るコスト（イニシャルコスト）
- ・分級設備の維持管理および運転に係るコスト（ランニングコスト）
- ・有効活用により生じる収入（砂利販売等）
- ・土砂の処分コスト

これらは処分地や有効活用先までの距離、土砂の要求品質、地域性など、ダムごとの条件に大きく影響される。

また、単純にコスト換算できない効果として、流域全体の土砂供給の観点から、下流還元量の増加（河川環境の維持・回復）や侵食海岸への土砂供給（海岸保全・国土保全）などが考えられる。

4. 今後の取り組みに関する課題

今後、ガイドラインが公表されることで、分級工法がダム堆砂対策の一助として普及し、土砂を資源とした有効活用の促進が望まれる。分級システムの導入に向けては以下に示す検討課題が考えられる。

4.1 コスト面の検討

分級システムは低コスト化を目指したものではあるが、従来の堆砂対策に分級システムを導入することによるコスト負担増加は、導入検討の際に大きなハードルになる。コスト軽減案として以下の手法が考えられる。

- ・ダムリフレッシュ事業やダム再編事業などの内容に今後の維持管理対策として、あらかじめ分級システムの導入を組み込み、導入時のイニシャルコストを事業費で補填するスキームを確立できれば、運用時のダム管理者の負担軽減につながる。
- ・総合土砂管理の取り組みなど、複数の需給者が存在する場合、分級システムを活用することにより、有効活用先から求められる複数の要求品質に対応できる可能性がある。土砂を提供する側と有効活用する側の複数の組織で分級システムに係るコストを分担することができれば、一組織あたりのコスト負担の軽減になる。

また、土砂を提供する側と有効活用する側の役割分担や費用負担、どの程度良質な土砂を抽出できるか、要求される土砂量や品質などを総合的に勘案し、分級システム導入による採算性の見通しを立てる必要がある。

4.2 分級システム導入に適したダムを選定

分級システムの導入に適したダムは以下の条件を有していると考えられる。

- ・除去した土砂の有効活用先が見つからないため、堆砂対策を進めることができない
- ・除去した土砂の処分費用が課題
- ・流域で土砂の活用ニーズがある

上記の条件を満たすダムの中でも特に、除去すべき堆砂量が多いダムは分級工法の適用性が高いと考えられる。

また、効率的な土砂ニーズの調査方法のひとつに「建設発生土の官民有効利用マッチングを行うシステム」の活用が考えられる。

5. おわりに

本分級工法は、ダム堆積土砂から良質な砂分を抽出する技術である。置き土による土砂還元の際、細粒分土砂による濁水の発生などが問題になっている河川の場合、分級土砂を活用することにより濁水防止のほか、流砂環境再生の観点からも一定の役割を果たすものと考えられる。

令和7年7月にダム堆積土砂対策に関する行政機関との連携について、国土交通省と土砂研、当センターを交えた意見交換が行われた。これを機に、分級技術の活用や、分級土砂を資源に再利用するスキームの構築など、ダム堆積土砂有効活用の取組の推進が期待される。

今後、分級システムの社会実装により得られる新たな知見や、ガイドライン利用者からの要望などを踏まえて、ガイドラインを更新していく予定である。

なお、本稿は共同研究者である土砂研の関係者を含め、分級工法の開発にかかわってきた方々の協力に基づく成果である。ここに記して、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 第4回 気候変動に対応したダムの機能強化のあり方に関する懇談会 資料2, 国土交通省HP, https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/dam_kondankai/dai04kai/03_shiry002.pdf, (参照 2025-09-17)
- 2) 坂口宗功, 奥克史, 小野雅人, 谷田部拓, 峯松麻成, 浅田英幸, 片山裕之: ダム堆砂細粒分除去技術の開発と今後の展望. 令和5年度研究成果 水源地環境技術研究所 所報. pp.36-44. 一般財団法人水源地環境センター. 2024.