

ダム堆砂細粒分除去技術の開発と今後の展望

Development of Dam Sediment Fine Grain Removal Technology and Future Prospects

研究第二部 主任研究員 坂口 宗功
五洋建設株式会社（前：研究第一部 研究員） 奥 堯史
研究第二部付部長 小野 雅人
東洋建設株式会社（前：研究第二部 研究員） 谷田 部拓
前：土砂研技術委員長 峯 松 麻成
土砂研技術副委員長 浅田 英幸
土砂研技術委員長 片山 裕之

ダム堆砂対策として、貯水池の掘削や浚渫が広く用いられている。掘削・浚渫土に含まれる細粒分が多い場合、建設資材として求められる品質や、下流河川への土砂還元のための置土に利用する際には環境面での必要要件を満たすことが困難な場合がある。そのため、細粒分が多い土砂は活用の用途が限られることが多く、結果として土砂処分場へ運搬し、処分する場合がある。

（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ことで、ダム堆砂対策が適切に実施されることを目的とし、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の分級工法について、平成29年度より汎用性機械の組み合わせによるコスト縮減と細粒分除去精度の向上との両立を目的として共同研究開発を行ってきた。前報で報告した過年度分級実験の結果より、「細粒分含有率が多い土砂における $F_c \leq 10\%$ 」を概ね満足する技術を確立できたものの、分級システム実用化に向けた技術的課題と、求められる要求性能に応じたコスト面の課題が確認された。本稿では、令和5年度に実施した分級工法に関する実験結果の整理を行うとともに、今後の分級技術開発の展望について述べるものである。

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

Measures such as reservoir excavation and dredging are widely used to prevent dam sedimentation. If the excavated or dredged soil contains a large amount of fine fraction, it may be difficult to meet the quality requirements for construction materials or the environmental requirements when used for soil setting for downstream sediment replenishment. As a result, the use of sediments with high fine-grain content is often limited, and as a result, it must be transported to a sediment disposal site for disposal.

The Japan Water Resources Environment Center and Society for Sediment Control Technology of Water Source Areas of Dams have conducted joint research and development since fiscal year 2017 on the classification method for dam sediment sand, which removes fine particles, gravel, and dust from excavated and dredged soil and extracts high-quality sand, with the aim of promoting the effective use of excavated and dredged sediment from dam lakes and thereby ensuring the appropriate implementation of dam sediment control measures. Since fiscal year 2017, we have been conducting joint research and development of a classifying method for dam sand to remove fine grains, gravel, and dust from excavated and dredged soil and to extract high-quality sand. The results of the previous year's classification experiments reported in the previous report indicate that we were able to establish a technology that generally satisfies the requirement of " $F_c \leq 10\%$ in sediments with high fine-grain content," but we have identified technical issues for practical application of the classification system and cost issues in meeting the required performance. This paper summarizes the results of the experiments conducted in FY2023 on the classification method and discusses the future prospects for the development of classification technology.

Key words : Dam maintenance and management, dam life extension, dam sediment control, classification methods, fine grain removal

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、ダムの機能確保のため、堆積土砂の掘削除去を行う重要性が増している。また、令和4年度末時点で、国土交通省所管ダム573ダムのうち、半数を超える319ダムについて、洪水調整容量内に堆砂が発生している¹⁾。ダムの治水機能の維持のため、今後ますます、堆積土砂の掘削を行うダムが増加すると予想される。当財団では、土砂研との共同研究として、平成29年よりダム堆積土砂分級システムの研究開発を行ってきた。このシステムはダム堆砂の掘削土・浚渫土に含まれる細粒分や礫分を除去し、求められている粒度のみを抽出することで、土砂処分場にて埋め立て処分されている土砂の減容化を図り、下流還元材や骨材等の建設資材としての有効活用を促進させるものである。システムの普及には、低コストかつ広範囲な粒度に対応できるものでなくてはならない。そのため、対象土砂の粒度条件に適合した規格・仕様を備えた汎用機械の組み合わせにより対応が可能なダム堆砂分級システムの構築を目標として研究開発を進めてきた。これまで、令和元年度、3年度、4年度に分級実験を実施し、各実験の結果から技術的課題の抽出とシステム改良を重ねてきた²⁾³⁾。本報では令和5年度に矢作ダムで実施した分級実験から得られた知見と今後の展望について報告する。

2. 既往分級実験結果の整理

分級技術の開発目的とこれまでの分級実験の経緯を図-1に示す。さらに、過年度の実験概要を以下に示す。

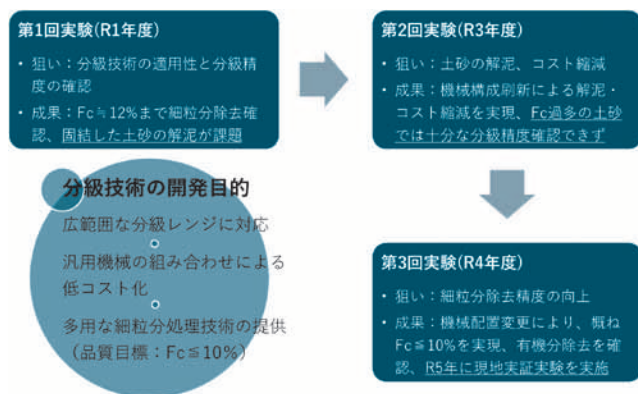


図-1 分級技術の開発目的と実験の経緯

2.1 令和元年度分級実験の概要

高滝ダムの堆積土砂を用いて分級実験を行った。分級プラントの全景を図-2に示す。この実験では砂分(0.075～2.0mm)の抽出を目標とした。

本実験から概ね想定していた結果が得られたものの、細粒分の分離(解泥工程の追加)が課題としてあげられた。



図-2 令和元年度分級実験 分級プラント全景

2.2 令和3年度分級実験の概要

令和元年度実験の結果を踏まえ、土砂の解泥とコスト削減を目的に、分級システムの機器構成を変更した。トロンメルを高効率解泥機のドラムウォッシャー(以下、DWとする)に変更し、ハイメッシュセパレータ(以下、HMとする)とサイクロン付き振動スクリーンをサイクロン・シャワリング機構付き3段振動スクリーン(以下、3段S)に変更した。

実験結果より、解泥効果の確認とコスト削減は一定程度達成されたが、細粒分含有率が高い土砂では分級品質の目標値である $F_c \leq 10\%$ の達成には至らなかった。

2.3 令和4年度分級実験の概要

令和4年度実験は過年度実験の結果から、細粒分含有率が多い土砂への適用性の拡大と細粒分除去精度の向上を目的に、令和3年度の機器構成にHMを追加した。また、矢作ダム堆積土砂を対象とした実験は2ヶ年で計画し、令和4年度を予備実験、令和5年度を現地実証実験と位置づけた。

実験結果として、目標とする「細粒分含有率が比較的高い土砂に対する $F_c \leq 10\%$ 」を概ね達成し、木片・木葉等の有機分の分離にも本システムが有効であることが確認できた。

3. 令和5年度分級実験

3.1 実験の目的

矢作ダムにおいて実施する分級工法の現地実証実験は、 $F_c \leq 10\%$ の高い分級精度が要求される「養浜材」や「下流還元材」としての分級処理を可能にする細粒分除去精度の向上を図り、有機質細粒土を多く含むダム堆砂から建設材料や環境材料として有効利用可能な良質な砂質土を生産できるかを実施目的とする。検証のため、下記項目について実験結果を確認する。

- 1) 分級精度の確認：分級過程の各ポイントで粒度分析を行い、シルト・粘土分の混入率の変化を確認する。
- 2) 有機物の除去：分級後の有機物（＝木片・植物片等）を確認する。
- 3) 栄養塩の確認：分級前後の土砂と水に含まれる栄養塩（＝全窒素・全リン・有機炭素）の量を分析する。
- 4) 実験設備の適用性の確認： $F_c \leq 10\%$ が実現できることを確認する。また、処理能力を把握する。

3.2 実験試料と機器構成

令和5年度分級実験の対象土砂と構築した分級システムの機器構成を以下に示す。

3.2.1 実験試料

R5年度実験の対象土砂は、砂分卓越土砂を基本とするが、細粒分含有率が2.8%と少ない。そのため、砂分卓越土砂単体の試料のほかに分級システムの性能確認を目的として、固結度が高く有機物を含む土砂である「ジャミ」をブレンドした試料を作成し、以下の6種を実験対象とした。

ブレンド比率【砂分卓越土砂：ジャミ】

- Case1. 砂分卓越土砂（細粒分含有率 F_c ：2.8%）
 - Case2. ジャミ（細粒分含有率 F_c ：32.0%）
 - Case3. ブレンド試料①（想定 F_c ：15.8%）【1：1】
 - Case4. ブレンド試料②（想定 F_c ：25.1%）【1：4】
 - Case5. ブレンド試料①（再現）（想定 F_c ：15.8%）【1：1】
 - Case6. ブレンド試料③（想定 F_c ：20.8%）【1：2】
- ※Case5. については分級システムの再現性の確認のため、Case3と同様のブレンド比率1：1のケース

3.2.2 機器構成

本実験で使用する機器類は、R4年度分級システムと同様となる。一次処理において、①DWにより土砂の解泥、および振動スクリーンにより2.0mm以下、2.0

～15mm、15～30mmの3水準に分級する。続いて二次処理において、②湿式サイクロンと振動スクリーンにより2.0mm以下の土砂から、0.075mm以下の細粒分（シルト・粘土）を分離し、砂分を抽出する。その後、三次処理において、③HMで砂分を洗浄して、0.075mm以下の細粒分をさらに除去する。なお、三次処理（＝③HM）は、分級土砂の要求水準や経済性に依じて、実施工でのシステムに加えるかを判断する。

分級システムでの分析用採取試料の採取場所・回収物の区分を表-1に示し、また、分級プラントの全景を図-3に、実験のフローを図-4に示す。

表-1 R5分級システム試料採取場所・回収物区分

機器名称	R5 実験使用機器	回収・分析物
投入コンベア	投入コンベア	原泥
ドラムウォッシャー	ドラムウォッシャー (最大供給寸法 50 mm) (容量 70L)	-
振動スクリーンNo.1	振動スクリーン No. 1 ・ 1 段振動スクリーン (15 mm 固定網+2 mm 目)	・ 15 mm～30 mm (15 mm 固定網) ・ 2 mm～15 mm (2 mm 網) ・ 2mm アンダー
サイクロン	MD-6	・ 0.075～2mm (サイクロンアンダー排出物) ・ ～0.075 mm アンダー (サイクロンオーバー泥水) ・ ～0.075 mm (サイクロンオーバー泥水※上水) ・ ～0.075 mm (サイクロンオーバー泥水※沈殿物)
振動スクリーンNo.2	・ サイクロン付き 1 段 振動スクリーン (0.6 mm ウェッジワイヤ)	・ 0.075～2mm (砂分)
投入コンベア	投入コンベア	-
ハイメッシュセパレーター	ハイメッシュセパレーター (処理能力 40T/h)	・ 0.075～2mm (砂分) ・ 0.075 mm アンダー (ハイメッシュオーバーフロー水)

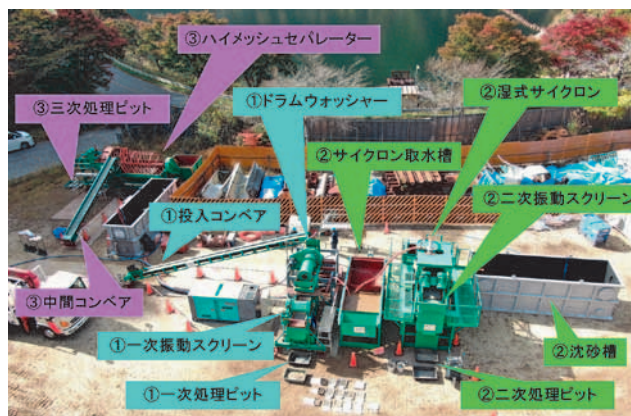


図-3 令和5年度分級実験プラント全景

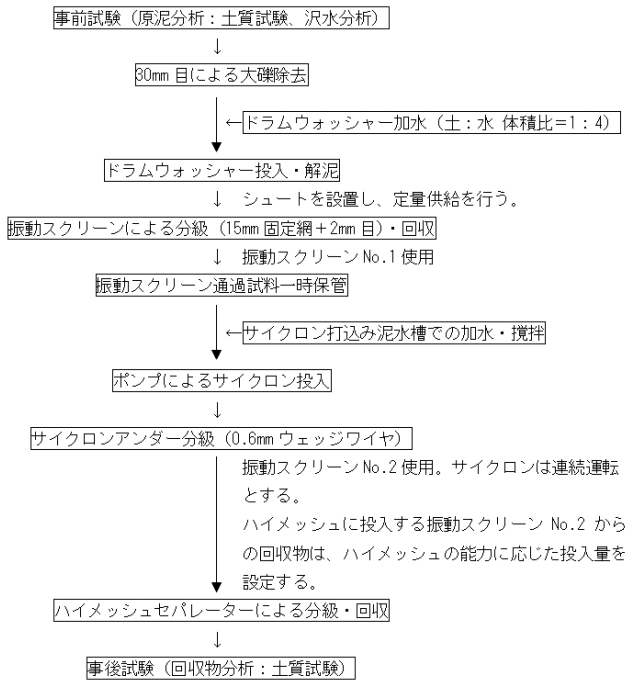


図-4 令和5年度実験フロー

3.3 令和5年度分級実験ケース

各ケースとも、サイクロン+振動スクリーン、HMによる分級工程に供給する試料の必要量を確保するためには、最初にDWによる解泥作業および15mm固定網+振動スクリーン2mm網による礫分除去の工程を経ることとなる。

したがって、サイクロン+振動スクリーン・HMによる分級工程に供給する試料は、均一にスラリー化されたものになると想定されるため、Case3とCase5における再現性確認を除き、ケースごとに1回の実施とする。実験ケースの一覧を表-2に示す。

表-2 令和5年度実験ケース一覧表

実験用試料内容	Case	
	Case1: 砂分卓越土砂	Case2: ジャミ
ブレンド比率 1:0	ブレンド比率 0:1	
Case3: ブレンド試料① (砂分卓越土砂+ジャミ)	Case4: ブレンド試料② (砂分卓越土砂+ジャミ)	
ブレンド比率 1:1	ブレンド比率 1:4	
Case5: ブレンド試料① (再現) (砂分卓越土砂+ジャミ)	Case6: ブレンド試料③ (砂分卓越土砂+ジャミ)	
ブレンド比率 1:1	ブレンド比率 1:2	
	ブレンド比率 (砂分卓越土砂: ジャミ)	

3.3.1 実験フローと採取試料番号、試験対象試料

(1) 実験フローと採取試料番号

概略の実験フローを図-6に示し、各分級工程での採取試料の試料番号は図-5のように定義した。また、図-6には、図-5に示した試料の採取位置を分級システムフローシート上に示した。以降で示す各ケースの実験結果では、試料番号と表示色を統一した。

		試料番号
原泥		CASE●-O
ドラムウォッシャー	15mm固定網	CASE●-D15
	一次処理装置振動スクリーン (2mm網)	CASE●-D2
	一次処理下部槽	CASE●-UT
サイクロン	第一沈砂槽	CASE●-CO
	サイクロンアンダー吐出口	CASE●-CU
	二次処理ビット	CASE●-V
ハイメッシュセパレーター	三次処理ビット	CASE●-HM
	三次処理下部槽	CASE●-HMO

図-5 実験フローと採取試料番号

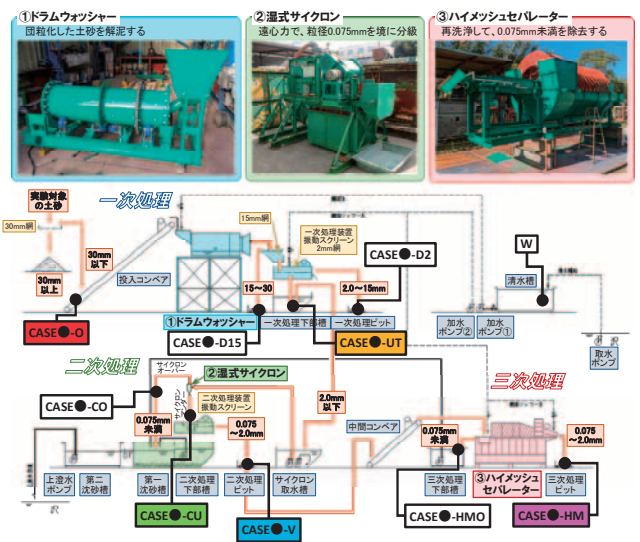


図-6 分級システムフローと採取位置、番号

(2) 土質試験の対象試料

ケース毎の土質試験対象試料一覧を表-3に示す。

表-3 土質試験の対象試料一覧 (CASE毎)

試料番号	採取試料	採取場所	対象試料	採取容器	物理試験一式	粒度試験	含水比
CASE●-O	原泥 (分級前土砂)	投入ペルコン	原泥	ジブブロック	◎		
CASE●-D15	15mm固定網残留物	15mm網	15~30mm	ジブブロック		○	○
CASE●-D2	一次処理装置振動スクリーン2mm網残留物	一次処理ビット	2~15mm	ジブブロック		○	○
CASE●-UT	振動スクリーン通過泥水	一次処理下部槽	2mmアンダー	ポリ瓶		◎	
CASE●-CU	サイクロンアンダー回収物	サイクロンアンダー吐出口	0.075~2mm	ジブブロック		◎	○
CASE●-CO	サイクロンオーバー泥水	第一沈砂槽	0.075mmアンダー	ポリ瓶		◎	○
CASE●-V	二次処理装置振動スクリーンウェッジワイヤ掃出物	二次処理ビット	0.075~2mm (水切り後)	ジブブロック		◎	○
CASE●-HM	ハイメッシュ回収物	三次処理ビット	0.075~2mm (水切り後)	ジブブロック		◎	○
CASE●-HMO	ハイメッシュオーバーフロー水	三次処理下部槽	0.075mmアンダー	ポリ瓶		◎	○



図-7 土質試験対象試料の一例

(3) 栄養塩分析の対象試料

栄養塩分析の対象試料一覧を表-4、表-5にまとめる。栄養塩分析では、表-4に示した分級工程で使用した原水(沢水)と、表-5に示した各分級工程で採取された試料を分析し、これらの分析結果を比較する。なお、CASE●-COでは、採取したサイクロンオーバー泥水を一日静置して上水と沈殿物に分離した。採取試料の一例を図-8に示す。

表-4 栄養塩分析の対象試料(使用した沢水)

試料番号	採取試料	採取場所	対象試料	採取容器	栄養塩分析
W	原水(沢水)	清水槽	沢水	ポリ瓶	○
※ 分級工程で使用する原水(=沢水)の分析を1ケース					1

表-5 栄養塩分析の対象試料一覧(CASE毎)

試料番号	採取試料	採取場所	対象試料	採取容器	栄養塩分析
CASE●-0	原泥(分級前土砂)	投入ベルコン	原泥	ジップロック	○
CASE●-CO-①	サイクロンオーバー泥水(静置後上水)※1	第一洗砂槽	静置後の上水	ポリ瓶	○
CASE●-CO-②	サイクロンオーバー泥水(静置後沈殿物)※2		静置後の沈殿物	ポリ瓶	○
CASE●-V	二次処理装置振動スウェッジワイヤ排出物	二次処理ビット	0.075~2mm	ジップロック	○
CASE●-HM	ハイメッシュ回収物	三次処理ビット	0.075~2mm(水切り後)	ジップロック	○
※1 バケツに取ったサイクロンオーバー泥水を一日静置し、上水のみ採取 ※2 同様に一日静置後の泥水から、上水を除いた沈殿物を採取					5



図-8 栄養塩分析対象試料の一例

3.3.2 令和5年度分級実験の結果

(1) CASE1(砂分卓越土砂、Fc=3.9%)

・細粒分含有率の変化

分級実験の試験結果一覧を表-6に示す。振動スクリーンNo.2・0.6mmウエッジワイヤで水切りされた排出物(CASE1-V)は、Fcが3.9%から2.3%まで減少しており、振動スクリーンNo.2の分級効果は十分あったと考えられる。

さらにHMにて、振動スクリーンNo.2排出物(粒径0.075~2mm)から細粒分を除去した結果、HM回収物(CASE1-HM)は、Fc=0.8%まで減少しており、HMの細粒分の高い除去効果を確認することができた。

表-6 CASE1 分級実験の試験結果一覧表

試料番号	CASE1-0	CASE1-D15	CASE1-D2	CASE1-UT	CASE1-OU	CASE1-CO	CASE1-V	CASE1-HM	CASE1-HMO
礫分(2~75mm) %	26.0	99.2	83.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分(0.075~2mm) %	70.1	0.8	16.1	94.2	82.4	4.6	97.7	99.2	0.0
シルト分(0.005~0.075mm) %	3.1	0.0	0.7	3.7	15.0	76.8	1.6	0.4	100.0
粘土分(0.005mm未満) %	0.8			2.1	2.6	18.6	0.7	0.4	
細粒分含有率 Fc %	3.9	0.0	0.7	5.8	17.6	95.4	2.3	0.8	100.0

・栄養塩・有機物含有量の変化

表-7、図-9の試験水の分析結果から、沢水より、

CASE1-CO-①(サイクロンオーバー泥水の上水)の方が、T-N(全窒素)、T-P(全リン)、TOC(全有機炭素)が多くなっており、栄養塩、有機物の含有量は、細粒分の量に応じて増加している。

なお、CASE1-CO-①の栄養塩の含有量(全窒素(T-N) 1.2mg/L、全リン(T-P) 0.25mg/L)は、環境省の生活環境の保全に関する環境基準の基準値(I類型、全窒素(T-N) 0.2mg/L以下、全リン(T-P) 0.02mg/L以下)、農林水産省から示されている農業用水の要望水質(全窒素(T-N) 1mg/L以下)を超えているため、河川等に直接排出する場合は留意が必要である。

表-7 CASE1 試験水の分析結果一覧

測定項目	試料番号(試験水)	沢水(W)	CASE1-CO-①
T-N(全窒素) mg/L		0.26	1.20
T-P(全リン) mg/L		0.029	0.250
TOC(全有機炭素) mg/L		0.80	4.10

※沢水(W)は全CASE共通検体、CO-①はCOを1日静置した上水

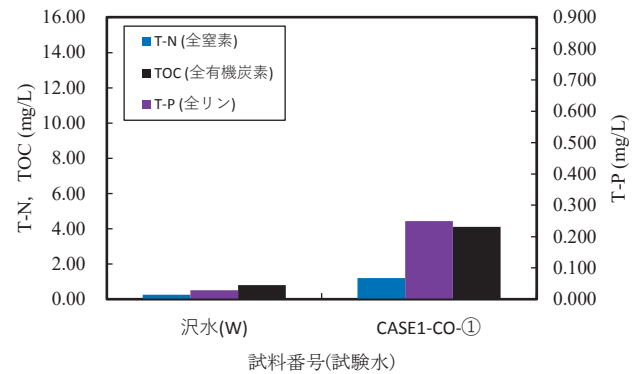


図-9 CASE1 試験水の分析結果の比較

(2) CASE2(ジャミ、Fc=41.2%)

・細粒分含有率の変化

分級実験の試験結果一覧を表-8に示す。振動スクリーンNo.2・0.6mmウエッジワイヤで水切りされた排出物(CASE2-V)は、Fcが41.2%から13.2%まで減少しており、振動スクリーンNo.2の分級効果は十分あったと考えられる。

さらにHMにて、振動スクリーンNo.2排出物(粒径0.075~2mm)から細粒分を除去した結果、HM回収物(CASE2-HM)は、Fc=0.7%まで減少しており、HMの高い細粒分除去効果が確認できた。

表-8 CASE2 分級実験の試験結果一覧表

試料番号	CASE2-0	CASE2-D15	CASE2-D2	CASE2-UT	CASE2-OU	CASE2-CO	CASE2-V	CASE2-HM	CASE2-HMO
礫分(2~75mm) %	7.1	99.7	83.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分(0.075~2mm) %	51.7	0.3	13.8	39.5	81.1	3.3	86.8	99.3	0.0
シルト分(0.005~0.075mm) %	33.1			56.6	16.7	76.6	12.1	0.3	100.0
粘土分(0.005mm未満) %	8.1	0.0	2.4	3.9	2.2	20.1	1.1	0.4	
細粒分含有率 Fc %	41.2	0.0	2.4	60.5	18.9	96.7	13.2	0.7	100.0

・栄養塩、有機物含有量の変化

表-9、図-10の試験水の分析結果より、沢水より、CASE2-CO-①(サイクロンオーバー泥水の上水)の方が、T-N(全窒素)、T-P(全リン)、TOC(全有機炭素)が多くなっており、栄養塩、有機物の含有量は、細粒分の量に応じて増加している。

なお、CASE2-CO-①の栄養塩の含有量(全窒素(T-N) 4.5mg/L、全リン(T-P) 0.78mg/L)は、CASE1矢作ダムより提供された砂分卓越土砂試料(Fc=3.9%)の約3倍であった。CASE2ジャミのシルト・粘土の含有率は40%超で、CASE1の約10倍に起因すると思われる。また、環境省の生活環境の保全に関する環境基準の基準値(I類型、全窒素(T-N) 0.2mg/L以下、全リン(T-P) 0.02mg/L以下)、農林水産省から示されている農業用水の要望水質(全窒素(T-N) 1mg/L以下)を超えているため、河川等に直接排出する場合は留意が必要である。

表-9 CASE2 試験水の分析結果一覧

測定項目	試料番号(試験水)	
	沢水(W)	CASE2-CO-①
T-N(全窒素) mg/L	0.26	4.50
T-P(全リン) mg/L	0.029	0.780
TOC(全有機炭素) mg/L	0.80	8.40

※沢水(W)は全CASE共通検体、CO-①はCOを1日静置した上水

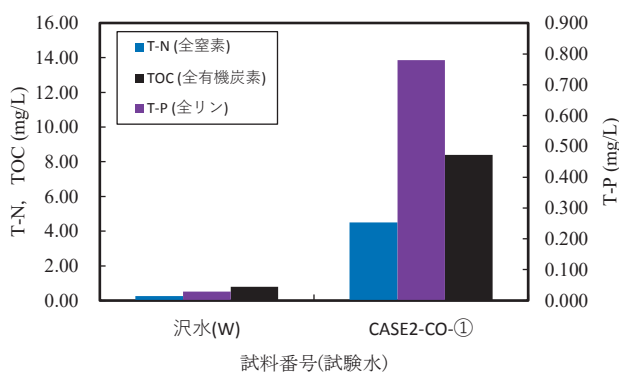


図-10 CASE2 試験水の分析結果の比較

(3) CASE3 (ブレンド比率1:1、Fc=15.4%)

・細粒分含有率の変化

分級実験の試験結果一覧を表-10に示す。振動スクリーンNo.2・0.6mmウエッジワイヤで水切りされた排出物(CASE3-V)は、Fcが15.4%から3.5%まで減少しており、振動スクリーンNo.2の分級効果は十分あったと考えられる。

さらにHMにて、振動スクリーンNo.2排出物(粒径0.075~2mm)から細粒分を除去した結果、HM回

収物(CASE3-HM)は、Fc=0.3%まで減少しており、HMの高い細粒分除去効果を確認することができた。

表-10 CASE3 分級実験の試験結果一覧表

試料番号	CASE3-0	CASE3-D15	CASE3-D2	CASE3-UT	CASE3-OU	CASE3-CO	CASE3-W	CASE3-HM	CASE3-HMO
礫分(2~75mm) %	20.8	90.9	80.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分(0.075~2mm) %	63.8	8.6	17.9	79.8	62.8	2.3	96.5	99.7	1.1
シルト分(0.005~0.075mm) %	12.1			17.3	32.8	72.9	2.9	0.1	
粘土分(0.005mm未満) %	3.3	0.5	1.5	2.9	4.4	24.8	0.6	0.2	98.9
細粒分含有率 Fc %	15.4	0.5	1.5	20.2	37.2	97.7	3.5	0.3	98.9

・栄養塩、有機物含有量の変化

表-11、図-11の試験水の分析結果から、沢水より、CASE3-CO-①(サイクロンオーバー泥水の上水)の方が、T-N(全窒素)、T-P(全リン)、TOC(全有機炭素)が多くなっており、栄養塩、有機物の含有量は、細粒分の量に応じて増加している。

なお、CASE3-CO-①の栄養塩の含有量(全窒素(T-N) 4.0mg/L、全リン(T-P) 0.38mg/L)は、環境省の生活環境の保全に関する環境基準の基準値(I類型、全窒素(T-N) 0.2mg/L以下、全リン(T-P) 0.02mg/L以下)、農林水産省から示されている農業用水の要望水質(全窒素(T-N) 1mg/L以下)を超えているため、河川等に直接排出する場合は留意が必要である。

表-11 CASE3 試験水の分析結果一覧

測定項目	試料番号(試験水)	
	沢水(W)	CASE3-CO-①
T-N(全窒素) mg/L	0.26	4.00
T-P(全リン) mg/L	0.029	0.380
TOC(全有機炭素) mg/L	0.80	7.60

※沢水(W)は全CASE共通検体、CO-①はCOを1日静置した上水

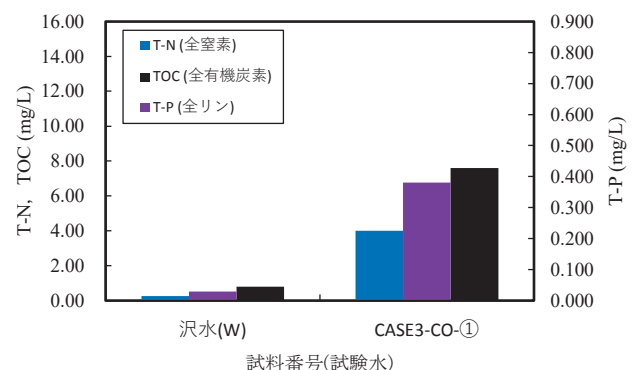


図-11 CASE3 試験水の分析結果の比較

(4) CASE4 (ブレンド比率1:4、Fc=38.2%)

・細粒分含有率の変化

分級実験の試験結果一覧を表-12に示す。振動スクリーンNo.2・0.6mmウエッジワイヤで水切りされた排出物(CASE4-V)は、Fcが38.2%から23.4%まで減少

しており、振動スクリー No.2の分級効果は十分あったと考えられる。

さらにHMにて、振動スクリーンNo.2排出物(粒径0.075～2mm)から細粒分を除去した結果、HM回収物(CASE4-HM)は、Fc=0.4%まで減少しており、HMによる高い細粒分除去効果を確認することができた。

表-12 CASE4 分級実験の試験結果一覧表

試料番号	CASE4-O	CASE4-D1S	CASE4-D2	CASE4-UT	CASE4-CU	CASE4-CO	CASE4-V	CASE4-HM	CASE4-HMO
礫分 (2~75mm) %	9.0	99.4	78.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分 (0.075~2mm) %	52.8	0.4	20.9	55.6	69.7	1.7	76.6	99.6	2.0
シルト分 (0.005~0.075mm) %	29.4			43.1	24.9	82.7	20.2	0.2	98.0
粘土分 (0.005mm未満) %	8.8	0.2	0.7	1.3	5.4	15.6	3.2	0.2	
細粒分含有率 Fc %	38.2	0.2	0.7	44.4	30.3	98.3	23.4	0.4	98.0

・栄養塩、有機物含有量の変化

表-13、図-12の試験水の分析結果から、沢水より、CASE4-CO-①(サイクロンオーバー泥水の上水)の方が、T-N(全窒素)、T-P(全リン)、TOC(全有機炭素)が多くなっており、栄養塩、有機物の含有量は、細粒分の量に応じて増加している。

なお、CASE4-CO-①の栄養塩の含有量(全窒素(T-N)5.7mg/L、全リン(T-P)0.74mg/L)は、環境省の生活環境の保全に関する環境基準の基準値(I類型、全窒素(T-N)0.2mg/L以下、全リン(T-P)0.02mg/L以下)、農林水産省から示されている農業用水の要望水質(全窒素(T-N)1mg/L以下)を超えているため、河川等に直接排出する場合は留意が必要である。

表-13 CASE4 試験水の分析結果一覧

測定項目	試料番号(試験水)	沢水(W)	CASE4-CO-①
T-N(全窒素) mg/L		0.26	5.70
T-P(全リン) mg/L		0.029	0.740
TOC(全有機炭素) mg/L		0.80	14.00

※沢水(W)は全CASE共通検体、CO-①はCOを1日静置した上水

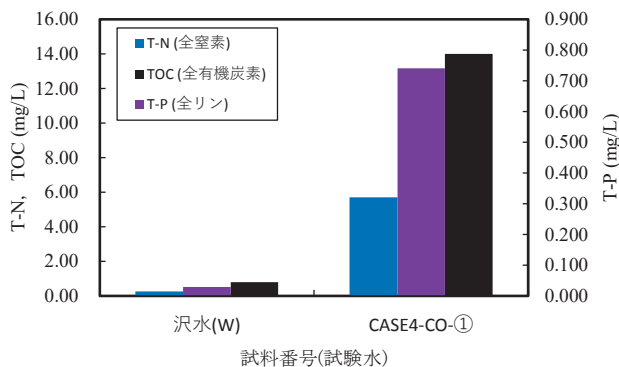


図-12 CASE4 試験水の分析結果の比較

(5) CASE5 (ブレンド比率1:1、Fc=15.4%、再現)

・細粒分含有率の変化

分級実験の試験結果一覧を表-14に示す。振動スクリーンNo.2・0.6mmウエッジワイヤで水切りされた排出物(CASE5-V)は、Fcが17.4%から3.9%まで減少しており、振動スクリーンNo.2の分級効果は十分あったと考えられる。

さらにHMにて、振動スクリーンNo.2排出物(粒径0.075～2mm)から細粒分を除去した結果、HM回収物(CASE5-HM)は、Fc=0.6%まで減少しており、HMの高い細粒分除去効果を確認することができた。

表-14 CASE5 分級実験の試験結果一覧表

試料番号	CASE5-O	CASE5-D1S	CASE5-D2	CASE5-UT	CASE5-CU	CASE5-CO	CASE5-V	CASE5-HM	CASE5-HMO
礫分 (2~75mm) %	34.0	99.5	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分 (0.075~2mm) %	48.6	0.4	10.4	78.2	82.9	8.4	96.1	99.4	3.1
シルト分 (0.005~0.075mm) %	11.8			18.6	14.6	67.6	3.0	0.4	96.9
粘土分 (0.005mm未満) %	5.6	0.1	2.1	3.2	2.5	24.0	0.9	0.2	
細粒分含有率 Fc %	17.4	0.1	2.1	21.8	17.1	91.6	3.9	0.6	96.9

・CASE3の再現性

図-13に示すCASE3とCASE5の粒径加積曲線の比較より、原泥(CASE3-O、CASE5-O)は特に2mm以上の礫分の含有率の違いがあるが、振動スクリーンNo.2排出物(CASE3-V、CASE5-V)とHM回収物(CASE3-HM、CASE5-HM)においては、ほぼ同じ粒度分布を示しており、分級システム効果の再現性を確認できた。

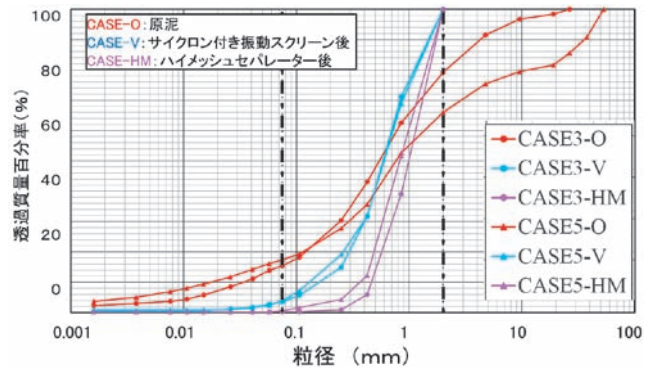


図-13 CASE5 粒径加積曲線の比較

(6) CASE6 (ブレンド比率1:2、Fc=30.5%)

・細粒分含有率の変化

分級実験の試験結果一覧を表-15に示す。振動スクリーンNo.2・0.6mmウエッジワイヤで水切りされた排出物(CASE6-V)は、Fcが30.5%から6.8%まで減少しており、振動スクリーンNo.2の分級効果は十分あったと考えられる。

さらにHMにて、振動スクリーンNo.2排出物(粒径0.075～2mm)から細粒分を除去した結果、HM回収物(CASE6-HM)は、Fc=1.0%まで減少しており、

HMの高い細粒分除去効果を確認することができた。

表-15 CASE6 分級実験の試験結果一覧表

試料番号	CASE6-D	CASE6-D15	CASE6-D2	CASE6-UT	CASE6-CU	CASE6-CO	CASE6-V	CASE6-HM	CASE6-HMO
礫分 (2~75mm) %	16.8	99.0	81.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分 (0.075~2mm) %	52.7	0.7	16.9	65.4	79.4	3.8	93.2	99.0	0.0
シルト分 (0.005~0.075mm) %	22.5			31.3	17.9	77.5	5.7	0.4	100.0
粘土分 (0.005mm未満) %	8.0	0.3	1.7	3.3	2.7	18.7	1.1	0.6	
細粒分含有率 Fc %	30.5	0.3	1.7	34.6	20.6	96.2	6.8	1.0	100.0

・栄養塩、有機物含有量の変化

表-16、図-14の試験水の分析結果から、沢水より、CASE6-CO-①(サイクロンオーバー泥水の上水)の方が、T-N(全窒素)、T-P(全リン)、TOC(全有機炭素)が多くなっており、栄養塩、有機物の含有量は、細粒分の量に応じて増加している。

なお、CASE6-CO-①の栄養塩の含有量(全窒素(T-N) 7.0mg/L、全リン(T-P) 0.47mg/L)は、環境省の生活環境の保全に関する環境基準の基準値(I類型、全窒素(T-N) 0.2mg/L以下、全リン(T-P) 0.02mg/L以下)、農林水産省から示されている農業用水の要望水質(全窒素(T-N) 1mg/L以下)を超えているため、河川等に直接排出する場合は留意が必要である。

表-16 CASE6 試験水の分析結果一覧

測定項目	試料番号(試験水)	沢水(W)	CASE6-CO-①
T-N(全窒素) mg/L		0.26	7.00
T-P(全リン) mg/L		0.029	0.470
TOC(全有機炭素) mg/L		0.80	7.40

※沢水(W)は全CASE共通検体、CO-①はCOを1日静置した上水

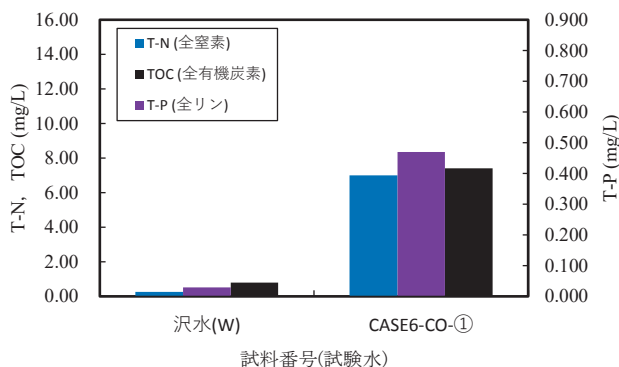


図-14 CASE6 試験水の分析結果の比較

3.3.3 実験の評価

今回の実験結果からは、原泥の細粒分含有率Fcが概ね30%程度であれば、一次・二次処理(DW・サイクロン・振動スクリーン)までの分級過程を経ることで、細粒分含有率Fcを10%以下まで低減できることが確認されたと言える。一方で、原泥の細粒分含有

率Fcが40%程度になると、二次処理後の細粒分含有率Fcは10%以下まで低減されなかったものの、三次処理(HM)の工程を加えることで細粒分含有率Fcが10%以下となった。このことから、原泥の性状に応じて適切な分級設備を組み合わせることで、目標とする細粒分含有率Fcを達成できる可能性が示された。図-15に実施した全ケースにおける細粒分含有率Fcの変化(原泥、二次処理後、三次処理後)を示す。

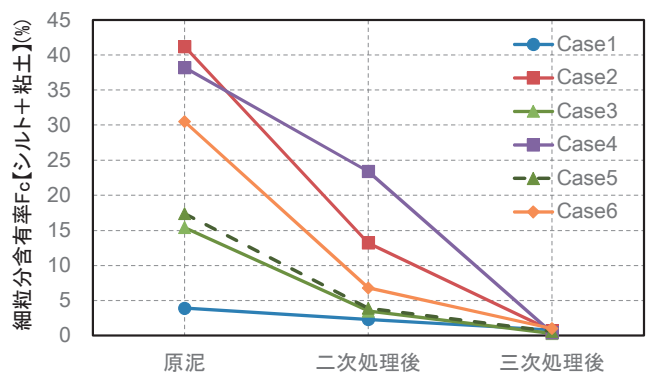


図-15 全ケースの細粒分含有率の変化

Case2における栄養塩分析結果を図-16に示す。なお、栄養塩分析は、各分級過程における回収物(原泥、二次処理サイクロンオーバー泥水1日静置後の沈殿物、二次処理後、三次処理後)を対象とした。T-N(全窒素)、T-P(全リン)、TOC(全有機炭素)の含有量は、原泥、二次処理後、三次処理後の順で少なくなり、また二次処理のサイクロンにより分離された細粒分に多く含有していることから、分級処理の進捗に応じて細粒分が減少し、これに併せて栄養塩・有機分も減少したと考えられる。分級により、細粒分の除去に加え、栄養塩・有機物も効率的に分離できることが示され、目的に応じた分級土砂の有効利用用途の拡がりが見込まれる。⁴⁾

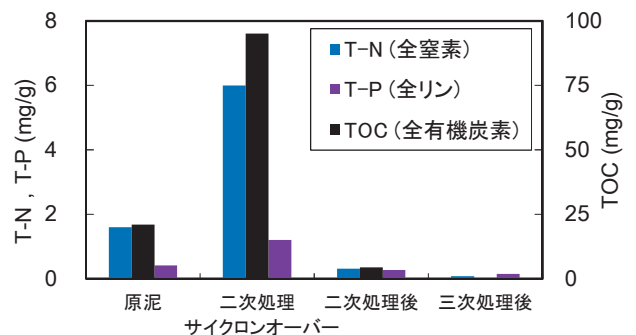


図-16 CASE2の栄養塩分析結果

4. 今後の分級技術の展望

令和5年度の実験において、分級過程の各ポイントにおける分級精度、分級後の有機分の除去、分級前後の栄養塩の含有量について目標を満足する結果が得ら

れ、分級システムの有効性が確認できた。今後、分級システムの実際のダムへの適用に向け、土砂研とともに下記2点の検討に取り組む。

① ダムの条件に応じた分級工法適用性の把握

堆砂が進行しているダムに関するデータ整理・ヒアリングを実施し、ダム周辺地域の条件の把握、下流河川環境を踏まえた分級工法の必要性や、効果などについて検討する。

② 分級コストの分析

これまでの分級実験結果・検討内容を踏まえ、分級工程ごとのコスト分析、その工程により期待される効果を整理する。今後、更なるコスト縮減の検討も行う。また、分級工程に関わるコストだけでなく、その後の分級資源の活用、土砂処分量減少に伴う便益なども含めた堆積対策全体のB/Cを比較検討する。

5. おわりに

本工法の適用によりダム堆砂の下流河川への還元や有効利用の選択肢が増えれば、掘削・浚渫工法をはじめとする堆砂対策に早期着手できる可能性が高まると考えられる。今後も本工法の実用化に向けた取り組みを継続し、ダムの機能維持や機能維持による豪雨災害の被害軽減等に貢献することが重要と考える。

本研究開発の実施に当たり、国土交通省中部地方整備局矢作ダム管理所に実験ヤードの貸与やダム堆砂試料の提供を始め、様々な場面でご指導・ご協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表すとともに、今後も引き続き、ご協力をお願いするものである。

参考文献

- 1) 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_joukyouR4.pdf, (参照 2023-09-20)
- 2) 谷田部拓,中村伸也,小野雅人,土屋武史,峯松麻成,浅田英幸,片山裕之.ダム堆砂細粒分除去技術の実験的検討.令和3年度研究成果 水源地環境技術研究所 所報.一般財団法人水源地環境センター.2022,pp.57-68
- 3) 奥克史,中村伸也,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実験的検討.令和4年度研究成果 水源地環境技術研究所 所報.一般財団法人水源地環境センター.2023,pp.32-41
- 4) 浅田英幸,片山裕之,峯松麻成.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(現地実証実験).建設機械施工,2024,Vol.76,No.6,pp.29-33