

### 1. ダム堆砂分級技術の概要

ダム水源地土砂対策技術研究会（以下、土砂研）が、水源地環境センター（以下、WEC）と共同で開発進めるダム堆砂分級技術は、広範な粒径分布を有し、多くの夾雑物を含むダム堆積土砂の有効活用を図るため、利用者ニーズや利用シーンに合った粒径レンジの土砂に分級し、各種建設材料、下流還元材や養浜材などの再生資源としてダム管理者や関係者に提供することを開発目的としている。また、ダム堆積土砂の有効活用が促進されれば、一方で土砂処分量の減容化、ひいては処分場の延命化にも繋がる。



図-1 ダム堆砂分級工法のシステム一例 (R1年度 高滝ダム実)

土砂研・WECが目指すダム堆砂分級技術は、図-1にシステムの一部を示すように新たに開発した分級装置を用いるのではなく、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く工法としている。分級土の利用目的に応じて、個々の装置の組合せを変更するなど柔軟性にも優れる。また、一般的に交通条件に制約が多いダム現地へのアクセスを考慮し、可搬性に適した機体サイズをラインアップしている。

分級技術を適用するにあたり、利用分野ごとの材料の粒度規定例を表-1に、国交省が定める建設発生土の要求品質(国交省ガイドライン)を表-2に示す。ダム堆砂を受入れ可能な利用先が近隣に存在すれば、利用先のニーズに応じた粒度特性や力学特性が得られるかを検討したうえで、分級により品質の高い土砂を供給することが可能である。また、表-2に示す用途のように強度や支持力に関する品質が求められる場合には、一般的に細粒分(粘土・シルト)を一定程度除去することで品質が向上するため、分級過程を追加することは有効であると考えられる。

表-1 利用分野ごとの材料の粒度規定例

利用分野	用途	粒度範囲(mm)	F <sub>c</sub> の規定(実績)	備考
環境材	ダム下流還元(置土)	10以上~0.075	5%程度以下	佐久間ダムは20%程度
	養浜材	75~0.075	8%程度	茅ヶ崎海岸の事例
建材	珪砂(7号)代替材	0.3~0.075	18%程度	産地により異なる
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	
コンクリート材料	SCP用・VD用砂	5.0~0.075	5%以下	圧密を期待
	SC細骨材(無筋・鉄筋・舗装)	5.0~0.15	2~10%以下	F <sub>c</sub> は0.15mm以下
	SC細骨材(プレバグ)	5.0~0.15	5~30%以下	F <sub>c</sub> は0.15mm以下

※ SCP: サンドコンパクションパイル、VD: パーティカルドレーン、SC 細骨材: 高炉スラグ細骨材

表-2 建設発生土の要求品質 (国交省ガイドライン)

用途	最大粒(mm)	粒度規定	強度・支持力
工作物の埋戻し	50	F <sub>c</sub> ≤ 25%	規定のCBR以上
建築物の埋戻し	100	-	通常の施工性確保
土木構造物の裏込め	(100)	細礫分以下 ≥ 25% (F <sub>c</sub> ≤ 25%)	圧縮性が小さい
河川堤防	高規格堤防	φ37.5mm以上の混入率 ≤ 40%	q <sub>c</sub> ≥ 400kN/m <sup>2</sup>
	一般堤防	F <sub>c</sub> = 15~50%	-
宅地造成	(100) (転石 300)	φ37.5mm以上の混入率 ≤ 40%	q <sub>c</sub> ≥ 400kN/m <sup>2</sup> or q <sub>c</sub> ≥ 200kN/m <sup>2</sup>
鉄道盛土	300mm程度	-	上部盛土は k <sub>30</sub> ≥ 70MN/m <sup>2</sup>

### 2. 開発経過

土砂研・WECでは、2017 (H29) 年度にダム堆砂分級技術の開発に着手した。システム設計・ダム現地への適用性調査を経て、2019 (R1) 年度には千葉県・高滝ダムにおいてダム堆砂分級システム実機を用いた現地実証実験を行い、細粒分含有率; F<sub>c</sub> ≒ 30%程度の現地堆積土砂を、F<sub>c</sub> = 10%前後まで低減することができた。

2021 (R3) 年度は、濁り要因除去の観点から、F<sub>c</sub> ≤ 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ため、細粒分除去精度の向上とコスト削減を目的とした追加の現場実験 (= 協力業者の工場敷地内) を行った。また、多様なダム堆砂への適用性を確認するため、矢作ダムを始め、土質性状の異なる相模ダム、高滝ダムにも土砂試料を提供頂き、実験を行っている。

R3年度実験におけるR1年度実験からの変更点は、図-2に示す一部の装置の変更と、複数の装置で別々に行っていた分級処理プロセスを一つの装置にまとめるものであった。これは、① 陸揚げ後一定期間仮置きされ、固結が進んだ細粒分の解泥効果を高めること、および② 分級システムの集約によるコスト低減を目的としたものである。上記の目的は一定程度達成されたが、一方で、F<sub>c</sub> ≥ 50%の土砂では分級品質の目標値であるF<sub>c</sub> ≤ 10%の達成には至らなかった。

続く2022 (R4) 年度は、愛知・岐阜両県に跨る矢作ダムでの現地実証実験を実施し、本分級技術の適用性を確認することを目標に掲げ、R3年度と同じ施設内において、分級システムの更なる改良に取り組んだ。サイクロン付振動スクリーンにより分級抽出された砂分を更にハイメッシュセパレーターで水洗い分級するプロセスを追加することで、細粒分リッチ (F<sub>c</sub> ≥ 50%) なダム堆積土砂であっても、図-3に示すようにF<sub>c</sub> ≤ 10%を満足する結果が得られた。更にその洗浄



図-2 R1年度からR3年度の分級システムの変更点

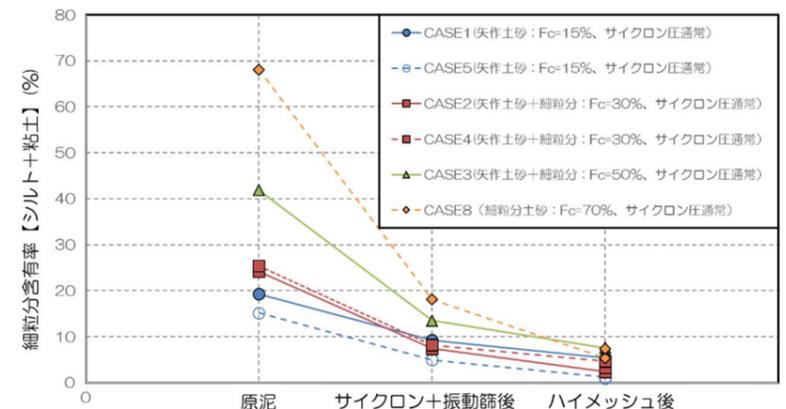


図-3 R4年度の分級実験結果



図-4 ジャミの一例



図-5 R4年度実験での矢作ダム堆砂(左)と分級過程で抽出された有機分(右)

水を循環利用することで、分級コストの大きなウェイトを占める余水処理のコストを削減が可能となる。

こうした、ダム堆砂分級技術の開発プロセスを踏まえて、2023(R5)年度は、矢作ダム現地にて、分級システム実機による現地実証実験を行う。

### 3. 矢作ダムの堆砂対策と課題

1970(S45)年に完成した矢作ダムでは、年間平均約30万m<sup>3</sup>の土砂が流入しており、特に2000(H12)年の東海(恵南)豪雨では、貯水池内に約280万m<sup>3</sup>もの堆砂が発生した。ダム計画堆砂容量1,500万m<sup>3</sup>に対して、現在ほぼ満砂の状態となっており、恒久的な堆砂対策として、土砂バイパストンネルの計画が進められる一方で、貯水池内の維持掘削と地元砂利組合による砂利掘削が継続的に行われている(参照:「令和5年度 矢作ダム事業概要」)。

矢作川の白砂は、本来は園芸用や細骨材にも利用される商品価値の高い砂であるが、恵南豪雨時の湖岸崩壊等により、図-4に一例を示す有機分を多く含む有機質細粒土(=ジャミ)が貯水池内に大量に流れ込み堆積している状況である。こうした堆積土砂は、採取してもそのままの状態では細骨材等としての利用価値が低く、濁りや富栄養化の一因になることから置土等の下流還元材としても活用しにくいと考えられる。

今回、土砂研・WECが矢作ダムにおいて実施する分級工法の現地実証実験は、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本分級システムにより生産できるかを検証するためのものである(図-5を参照)。

### 4. R5年度 現地実証実験の概要

#### ① 実験の目的・目標

- 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分析する。
- 2) 有機物の除去: 分級後の有機物(=木片・植物片等)の除去量を確認する。
- 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) 今回の実験設備で、Fc ≤ 10%以下が実現できることを確認する。また、処理能力を把握する。

#### ② 実験対象土の特性

本実験の対象とする矢作ダム掘削・浚渫土の物理・粒度特性の例を図-6および表-3に示す。掘削・浚渫エリアや工事年度により幅広いレンジで粒度が分布する。分級実験では、『①砂分卓越土砂』と多くの有機物が混入する『②ジャミ』を一定割合で混合するなど様々な粒度の土砂に対して、分級精度の確認を行う予定である。

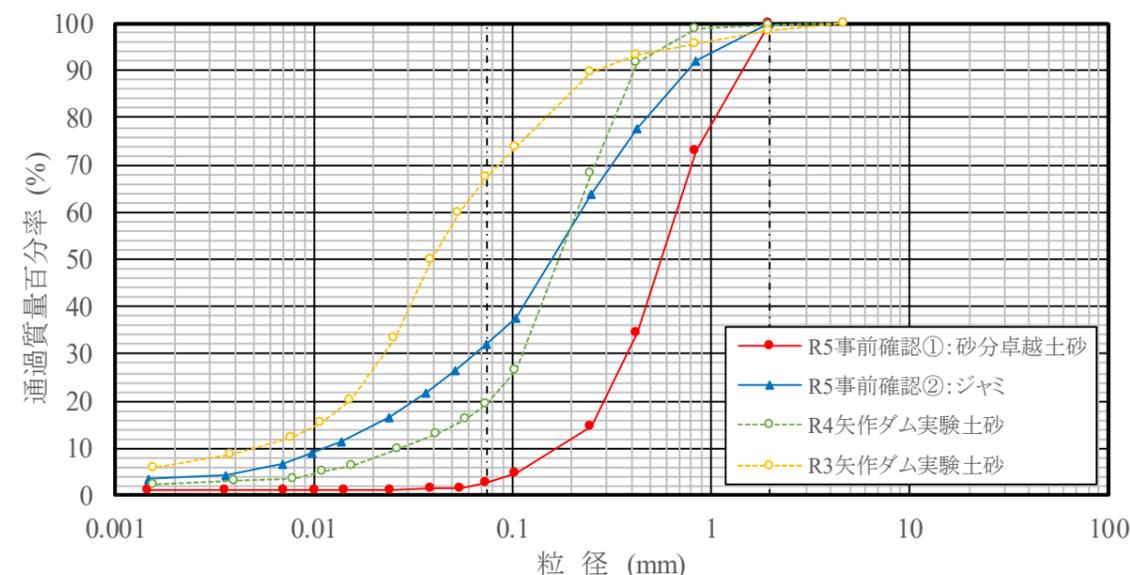


図-6 矢作ダム実験対象土砂の粒度分布

表-3 矢作ダム実験対象土砂の物理特性

試料			R5事前確認① 砂分卓越土砂	R5事前確認② ジャミ	R4矢作ダム 実験土砂	R3矢作ダム 実験土砂
礫分	(2~75mm)	%	0.0	0.0	0.4	1.5
砂分	(0.075~2mm)	%	97.2	68.0	80.3	31.1
シルト分	(0.005~0.075mm)	%	1.7	26.4	16.1	57.7
粘土分	(0.005mm未満)	%	1.1	5.6	3.2	9.7
<b>細粒分含有率 Fc %</b>			<b>2.8</b>	<b>32.0</b>	<b>19.3</b>	<b>67.4</b>
50%粒径	D50	mm	0.561	0.163	0.179	0.040
均等係数	Uc		3.4	19.5	4.8	10.17
曲率係数	Uc'		1.14	1.75	7.70	1.83
pH			6.8	6.6	7.0	5.9
強熱減量	L1		1.2	6.4	3.9	10.5

#### ③ 実験ケースおよび試験項目

本実験では、矢作ダム堆砂を用いた6ケース程度を実施する予定である(状況に応じ、変更の可能性あり)。

Case1: 砂分卓越土砂(=R4年度堆砂除去工事でのダム湖掘削土砂)

Case2: ジャミ(=一定期間仮置きされ、固結度が高く有機物を多く含む土砂)

Case3~4: 砂分卓越土砂とジャミのブレンド材(=細粒分含有率20~30%程度に調整)

Case5~6: 分級品質の再現性確認(=Case1~4の材料に準じブレンド比率を調整)

試験項目は、分級過程の主要なポイントにおいて、以下を実施する

- (1) 粒度分析、含水比測定、物理試験(分級前土砂のみ)
- (2) 栄養塩分析(全窒素・全リン・有機炭素含有量)

表-4 R5 矢作ダム現地分級実験工程表

R5 矢作ダム現地分級実験工程表

項目	備考	月・日																			
		10月		11月																	
		30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>プラント組立</b>																					
仮組(機器搬入・配管・配線)																					
本組・機器運転調整																					
<b>実験試料・解泥品質調製</b>																					
土砂運搬(砂分卓越土砂+ジャミ)																					
矢作ダム試料30mm事前ふるい分け(必要であれば)	(max 3,600kg)																				
ドラムウォッシャーによる解泥品質確認・調整																					
<b>本実験</b>																					
Case1: 砂分卓越土砂																					
Case2: ジャミ																					
Case3: ブレンド試料①(砂分卓越土砂・ジャミ混合)																					
Case4: ブレンド試料②(砂分卓越土砂・ジャミ混合)																					
Case5~6: 見学会(Case1~4のうち、2材料で再現性確認)																					
* Case1~6の日当たり予定は以下の通り																					
・ドラムウォッシャー+振動スクリーンNo.1:AM																					
・サイクロン+振動スクリーンNo.2+ ハイメッシュセパレーター(試料採取含む):PM																					
<b>試料回収(分析)</b>																					
原泥・原水(沢水):物理試験・栄養塩分析																					
分級試料:粒度試験・含水比試験・栄養塩分析																					

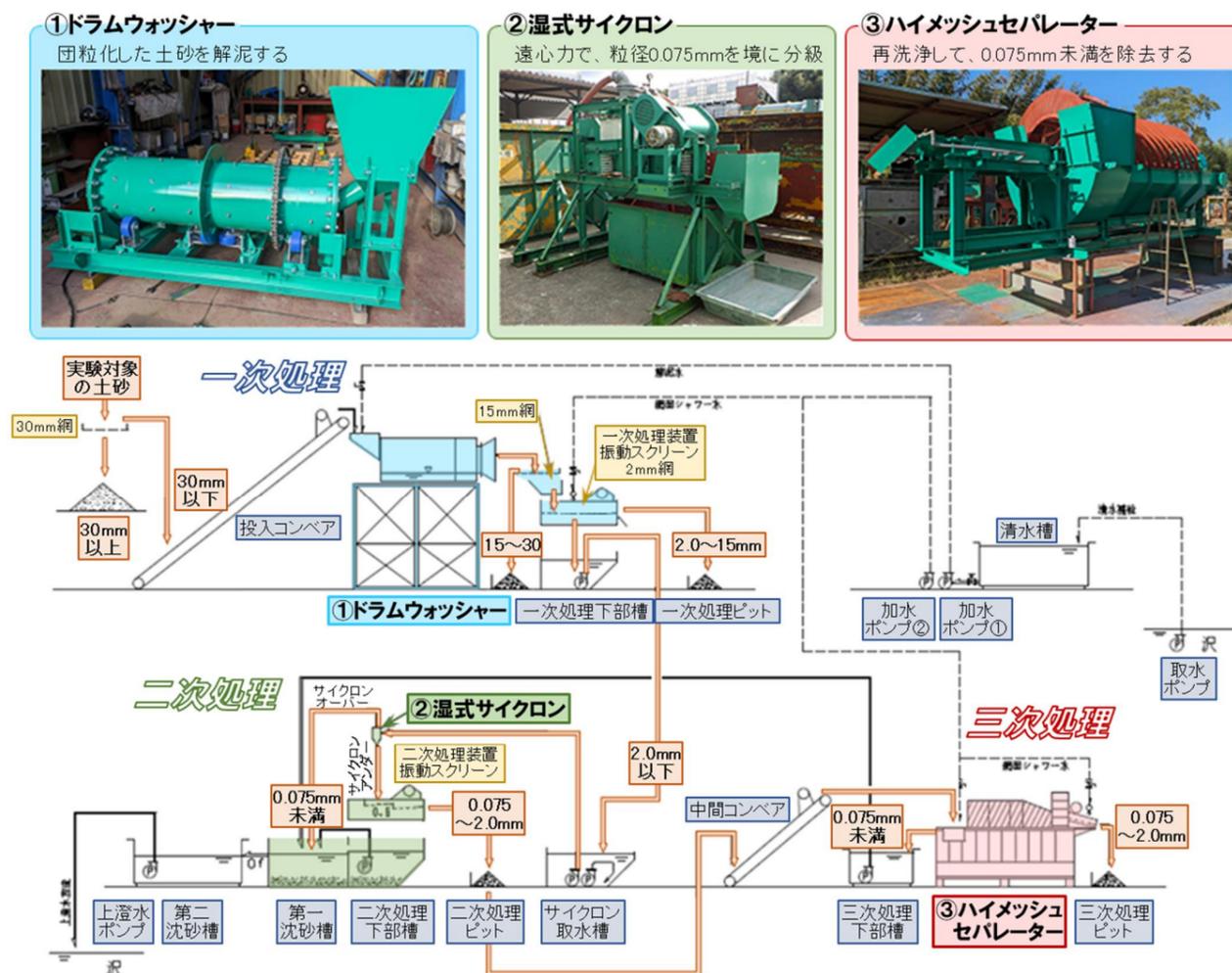


図-7 分級システムの構成と土砂の流れ

#### ④ 分級システムの構成

本実験における分級システムの構成と、土砂の流れを図-7に示す。一次処理において、①ドラムウォッシャーにより土砂の解泥、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、③ハイメッシュセパレーターで砂分を洗浄して、0.075mm以下の細粒分を確実に除去する。なお、三次処理(=③ハイメッシュセパレーター)は、分級土砂の要求水準や経済性に依りて、実施工でのシステムに加えるかを判断する。

#### 5. 実験工程表

本実験の工程を表-4に示す。現地での実験期間は10/31(火)~11/16(木)を予定している。このうち、分級システムの稼働日は6日間であり、Case5、6を行う2日間;11/14(火)~15(水)を公開見学会日に設定している。

#### 6. 見学会のタイムスケジュール

見学会のタイムスケジュールを以下に記す。なお、実施内容は11/14(火)、11/15(水)に共通である。

##### (1) 名古屋駅からの送迎バスをご利用の場合

- 11:30 名古屋駅に集合  
《送迎バスに乗り、現地実験ヤードへ移動》
- 11:30~13:20 送迎バス内において実験概要の説明
- 13:30~14:30 現地実験ヤード周辺にて分級実験見学  
《送迎バスに乗り、旭交流館へ移動》
- 15:00~16:00 旭交流館において質疑応答等  
《送迎バスに乗り、名古屋駅まで移動》
- 18:00頃 名古屋駅において解散

##### (2) 現地実験ヤードに直接お越しの場合

- 13:00 現地実験ヤードに集合
- 13:00~13:20 実験概要の説明
- 13:30~ 現地実験ヤード周辺にて分級実験見学  
《以降は、(1)と同じ行程》



図-8 現地実験ヤード

## 7. 参考文献

- 1) 片山裕之・峯松麻成・浅田英幸・土屋武史(2020): ダム堆砂有効利用促進のための分級工法現地実験, 土木学会第75回年次学術講演会, II-122.
- 2) 浅田英幸・片山裕之・峯松麻成・土屋武史(2021): ダム堆砂有効利用促進のための分級技術の経済性検討, 土木学会第76回年次学術講演会, II-02.
- 3) 浅田英幸・片山裕之・峯松麻成(2022): 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, 建設機械施工, Vol.74, No.6 (通巻 868 号), pp.79-83.
- 4) 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 (2022): ダム堆砂細粒分除去技術の実験的検討, 令和2年度水源地環境技術研究所 所報, pp.57-68.

## 8. Memo