

# 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）

峯 松 麻 成・片 山 裕 之・浅 田 英 幸

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、分級システムの開発経緯、実機を用いたダム現地分級実験の成果について紹介する。

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

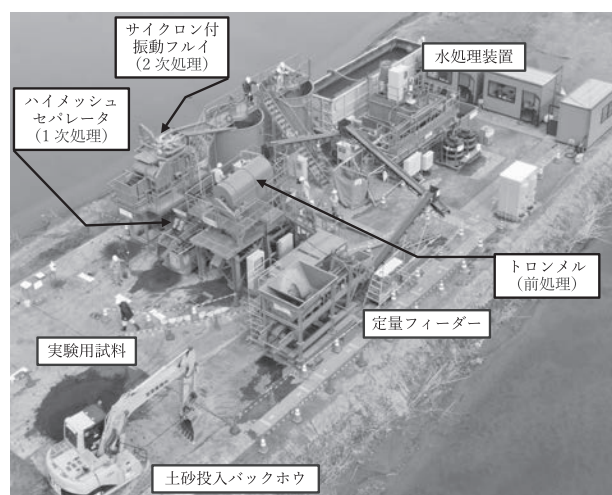
## 1. はじめに

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。

筆者らが開発を進めるダム堆砂分級工法は、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。本誌において、2022年にも本工法の開発状況を報告したが、その後も課題改善・システム改良に取り組んでおり<sup>1)～3)</sup>、それらの成果を紹介する。

## 2. ダム堆砂分級工法の概要

筆者らが目指すダム堆砂分級技術は、写真—1にシステムの一例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



写真—1 ダム堆砂分級工法のシステム一例

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。このため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、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—1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、同表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

表—1 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        | $F_c \leq 25\%$                       | 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 $\geq 25\%$ （ $F_c \leq 25\%$ ） | 圧縮性が小さい                               |
| 河川        | 高規格堤防 | 100       | $\phi$ 37.5 mm 以上の混入率 $\leq 40\%$     | $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$         |
| 堤防        | 一般堤防  | (150)     | $F_c=15 \sim 50\%$                    | －                                     |
| 宅地造成      |       | (100)     | $\phi$ 37.5 mm 以上の<br>混入率 $\leq 40\%$ | $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$         |
|           |       | (転石 300)  |                                       | or $q_c \geq 200 \text{ kN/m}^2$      |
| 鉄道盛土      |       | 300 mm 程度 | －                                     | 上部盛土は $k_{30} \geq 70 \text{ MN/m}^2$ |

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。

### 3. ダム堆砂分級工法の開発経緯

筆者らは 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： $F_c \approx 30\%$  程度の現地堆積土砂を、 $F_c=10\%$  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、 $F_c \leq 10\%$  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ため、細粒分除去精度の向上とコスト縮減を目的とした追加実験を行った。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、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、 $F_c \geq 50\%$  の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。

続く 2022（R4）年度は、愛知・岐阜両県に跨る矢作ダムから試料を提供していただき、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（以下、HM）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（ $F_c \geq 50\%$ ）なダム堆積土砂であっても、図—1 に示すように  $F_c \leq 10\%$  を満足する結果が

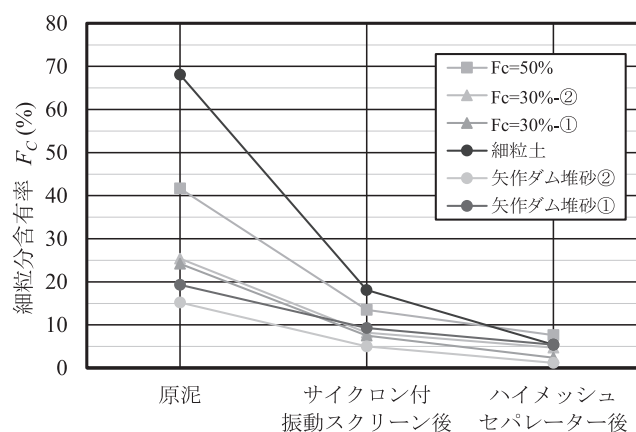
得られた。更にその洗浄水を循環利用することで、分級コストの大きなウェイトを占める余水処理のコスト削減が可能となる。

また、分級することにより、図—2 に示すとおり、木片・木葉等の有機分の分離にも有効であることが確認できた。

こうしたダム堆砂分級技術の開発プロセスを踏まえ、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った。

1970 年に完成した矢作ダムは年間平均約 30 万  $\text{m}^3$  の土砂が流入しており、特に 2000 年の東海豪雨では貯水池内に約 280 万  $\text{m}^3$  もの堆砂が発生した。

矢作川の白砂は、本来は園芸用や細骨材に利用される商品価値の高い砂だが、東海豪雨時の山腹崩壊等により、ジャミと呼ばれる有機質細粒土が貯水池内に大



図—1 R4 年度の分級実験結果



図—2 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)

量に流入堆積した。そのため採取した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もなり採取土砂の活用のためには細粒分の除去に加え、有機分を除去することが望ましい。

#### 4. R5 年度 現地実証実験の概要

R5 年度実験では、矢作ダム堆砂を用いた以下の 6 ケースを実施した。

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, 6：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：分級品質の再現性確認（=Case3 と同等のブレンド比率）

実験ケース一覧を表―2 に示す。

試験項目は、分級過程の主要なポイントにおいて、以下を実施した。

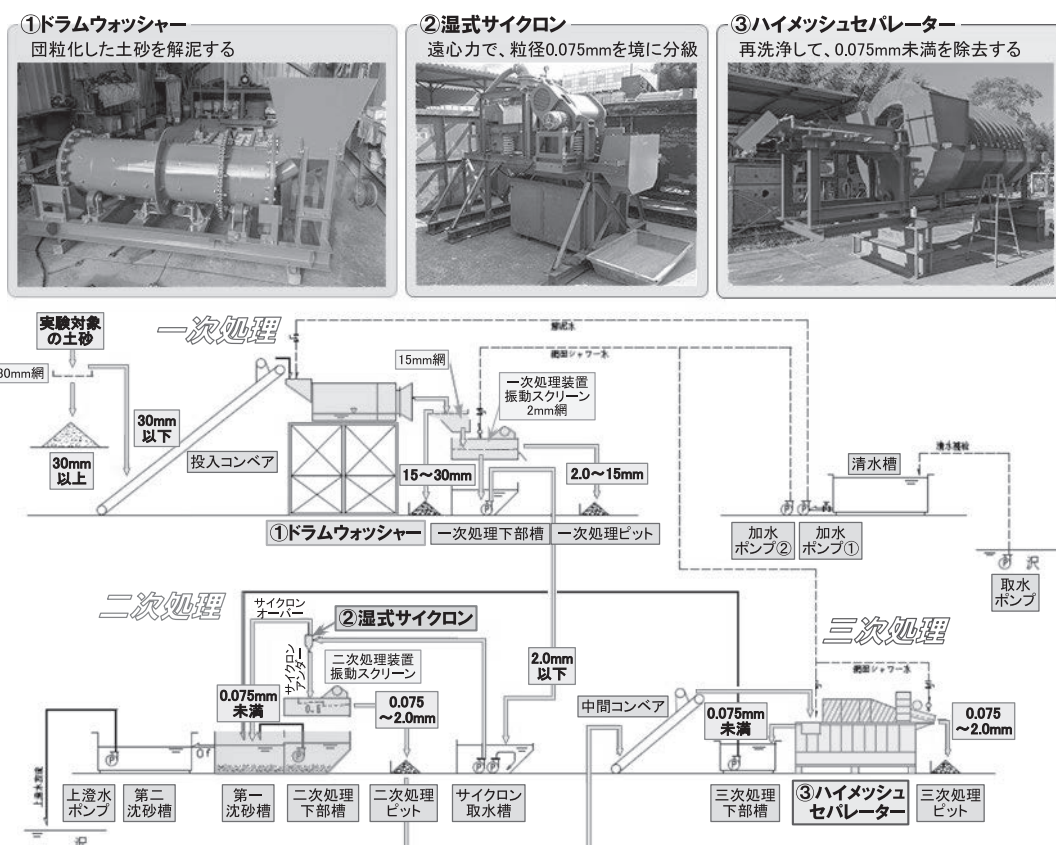
- (1) 粒度分析，含水比測定，物理試験（分級前土砂のみ）
- (2) 栄養塩分析（全窒素・全リン・有機炭素含有量）

表―2 実験ケース

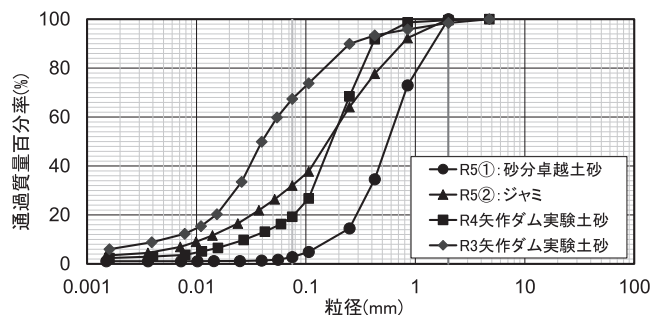
| 実験用試料内容 | Case                              |                               |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------|
|         | Case1：砂分卓越土砂                      | Case2：ジャミ                     |
|         | ブレンド比率 1：0                        | ブレンド比率 0：1  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

本実験における分級システムの構成と、土砂の流れを図―3 に示す。一次処理において、ドラムウォッシャー（以下、DW）による土砂の解泥および一次処理振動スクリーンにより 2.0 mm 以下、2.0～15 mm、15～30 mm の 3 水準に分級する。続いて、二次処理において、湿式サイクロンと二次処理振動スクリーンにより 2.0 mm 以下の土砂から、0.075 mm 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、HM で砂分を洗浄して、0.075 mm 以下の細粒分を確実に除去する。なお、三次処理は、分級土砂の要求水準や経済性に応じて、実施工でのシステムに加えるかを判断することとなる。



図―3 分級システムの構成と土砂の流れ



図一四 矢作ダム実験対象土砂の粒度分布

R5 年度実験で対象とした矢作ダム土砂の粒度分布を図一四に示す。掘削・浚渫場所や採取時期により幅広い範囲の粒度が分布していることがわかる。

## 5. 現地分級実験結果

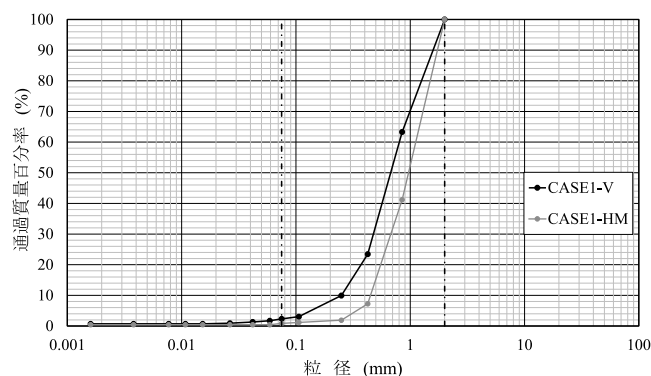
実験ケースのうち、代表的な Case1 (砂分卓越土砂) および Case2 (ジャミ) の分析結果 (粒度分布) を図一五～八に示す。合わせて、再現性の確認を行った Case3 と Case5 の比較結果を図一九に示す。

Case1 においては、サイクロンでの処理後、二次処理振動スクリーンで水切りされた排出物は、 $F_c$  が 3.9% (原泥: CASE1-O) から 2.3% (CASE1-V) まで減少しており、Case2 では 41.2% (CASE2-O) か

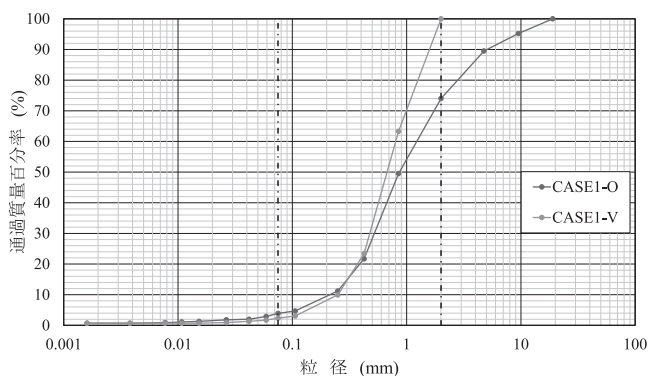
ら 13.2% (CASE2-V) まで減少した。これらの結果より、サイクロン+二次処理振動スクリーンの分級効果は十分あったと考えられる。

さらに HM にて、二次処理振動スクリーン排出物 (粒径 0.075 ~ 2 mm) の細粒分を除去した結果、HM 回収物は、Case1 では  $F_c=0.8\%$  (CASE1-HM) まで、Case2 では  $F_c=0.7\%$  (CASE2-HM) まで減少した。これらより HM の高い細粒分除去効果を確認することができた。

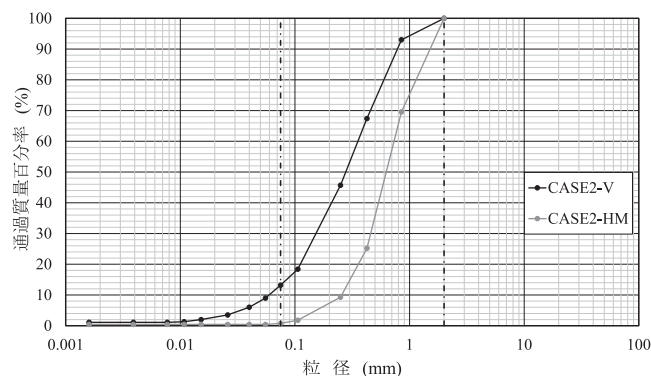
また、図一九に示す Case3 と Case5 の粒径加積曲線の比較より、原泥 (Case3-O, Case5-O) は、特に 2 mm 以上の礫分の含有率に違いがあるが、二次処理振動スクリーン排出物 (Case3-V, Case5-V) と HM 回収物 (Case3-HM, Case5-HM) においては、ほぼ



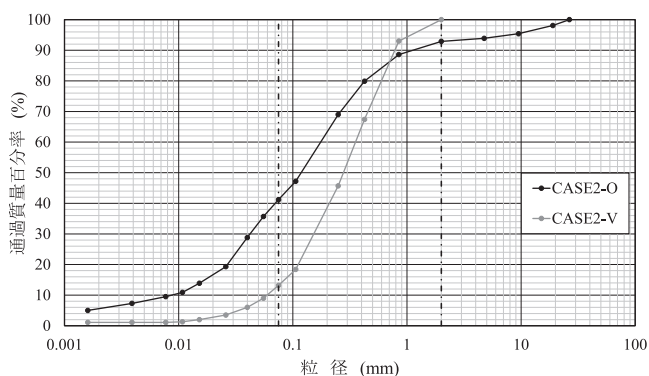
図一七 ハイメッシュ効果検証の粒径加積曲線 (Case1)



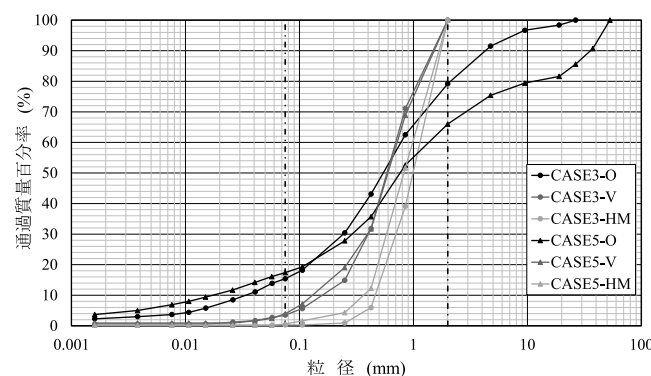
図一五 サイクロン効果検証の粒径加積曲線 (Case1)



図一八 ハイメッシュ効果検証の粒径加積曲線 (Case2)



図一六 サイクロン効果検証の粒径加積曲線 (Case2)



図一九 粒径加積曲線の比較 (Case3, 5)

同じ粒度分布を示しており、本システムによる分級効果の再現性を確認できた。

## 6. まとめ

図—10には、実施した全ケースにおける細粒分含有率  $F_c$  の変化（原泥、二次処理後、三次処理後）を示した。今回の実験結果からは、原泥の細粒分含有率  $F_c$  が概ね30%程度であれば、一次処理、二次処理（DW、サイクロン+二次処理振動スクリーン）までの分級過程を経ることで、細粒分含有率  $F_c$  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  $F_c$  が40%程度になると、二次処理後の細粒分含有率  $F_c$  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  $F_c$  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  $F_c$  を達成できる可能性が示された。

Case2における栄養塩分析結果を図—11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示唆された。

## 7. おわりに

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。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。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。

J C M A

### 《参考文献》

- 1) 片山裕之・峯松麻成・浅田英幸・土屋武史：ダム堆砂有効利用促進のための分級工法現地実験，第75回土木学会年次学術講演会講演概要集，pp. II-122～123，2020。
- 2) 浅田英幸・片山裕之・峯松麻成・土屋武史：ダム堆砂有効利用促進のための分級技術の経済性検討，第76回土木学会年次学術講演会講演概要集，pp. II-02～03，2021。
- 3) 奥克史・中村伸也・小野雅人・谷田部拓・峯松麻成：ダム堆砂細粒分除去技術の実験的検討（続報），令和4年度水源地環境センター所報

### 【筆者紹介】



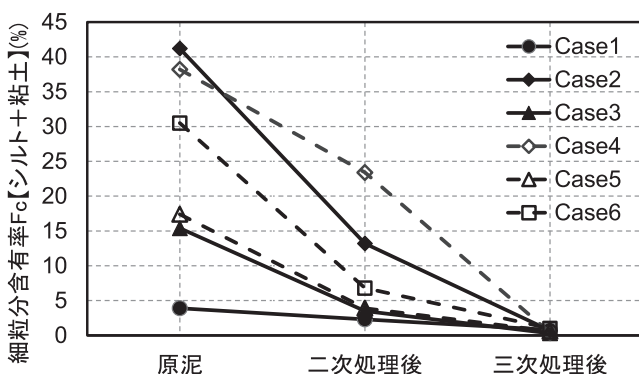
峯松 麻成（みねまつ まなり）  
ダム水源地土砂対策技術研究会  
技術委員会  
技術委員長  
（所属会社：東洋建設株）



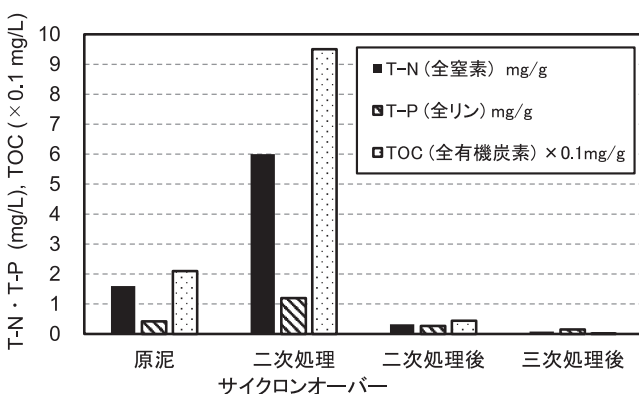
片山 裕之（かたやま ひろゆき）  
ダム水源地土砂対策技術研究会  
技術委員会  
技術副委員長  
（所属会社：五洋建設株）



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  
技術副委員長  
（所属会社：東亜建設工業株）



図—10 全ケースの細粒分含有率の変化



図—11 Case2の栄養塩分析結果