

報告

ダム堆砂の簡易処理・河川還元に関する研究

角 哲也¹ 小坪 洋巳² 久保田 明³
三反畑 勇⁴ 天明 敏行⁵ 小高 志郎⁶

Study on Primary Treatment of Dam Sediment and Replenishing to the River

Tetsuya SUMI Hiromi KOTSUBO Akira KUBOTA
Isamu SANDANBATA Toshiyuki TENMYO Shirou KODAKA

ダム堆砂対策としての河川土砂還元において最大の障害は土砂供給時の濁水の発生である。また、採取土砂に含まれる栄養塩の処理も重要な課題である。本報告は、このような細粒土砂や栄養塩を一部含むダムの堆積土砂を対象に、貯水池から土砂を安全に採取し、かつ、下流河川にそのまま還元可能な粒径材料を簡易に抽出するための分級処理手法についての検討を目的とした。実際のダム堆砂を用いて分級処理および置き土の現地実験を実施するとともに、2次元水路による水理実験を行い、分級処理の効果などを検証した。

キーワード: ダム堆砂, 河川還元, スパイラル分級装置, エジェクターポンプ, 濁度

1. はじめに

ダム堆砂対策としての河川土砂還元¹⁾において最大の障害は土砂供給時の濁水の発生²⁾である。また、採取土砂に含まれる栄養塩の処理も重要な課題である。本報告は、このような濁水発生原因となる細粒土砂や栄養塩を一部含むダムの堆積土砂を対象に、貯水池から土砂を安定的に採取し、かつ、下流河川にそのまま還元可能な粒径材料を簡易に抽出するための分級処理手法についての検討を目的としている。

土砂を採取する方法には、エジェクターポンプとスパイラル分級装置を組み合わせた処理システムを用い、現地実験を実施してシステム全体の能力などを把握した³⁻⁵⁾。そして、分級処理した約100 m³の粗粒土砂を用いてダム下流の河川敷で実際に置き土実験を実施し、処理前のダム堆積土砂を用いた場合との比較を行った。また、2次元水路による水理実験を行って分級処理の効果などを検証した⁶⁾。本報では、これら一連の実験結

果について報告する。

2. 現地実験の概要

現地実験は図-1に示すように淀川水系布目ダムの周辺で実施した。以下にダム諸元を示す。

名 称: 布目ダム
所 在 地: 奈良県奈良市北野山町
河 川: 淀川水系布目川
有効貯水容量: 15,400,000 m³
ダム管理者: (独)水資源機構

分級簡易処理の現地実験は、平成19年9月に副ダム直近の広場(桐山さざなみ広場)に堆砂処理プラントを設置して実施した。ダム堆砂は、布目ダムの貯水池容量保全、水質保全等を目的として設置された副ダム貯水池において浚渫されたものを、浚渫土砂の仮置き場所よりダンプトラックで運搬してきて使用した。図-2には今回の現地実験のフローを示す。

¹ 京都大学防災研究所 水資源環境研究センター 教授

² 水資源機構 総合技術センター ダムグループ長

³ 水資源機構 木津川ダム総合管理所 管理課 主幹

⁴ 株式会社間組 技術・環境本部 技術研究所 主席研究員

⁵ 株式会社間組 土木事業本部 技術第三部 課長

⁶ 前澤工業 開発本部 副本部長

河川還元の実験は、平成 20 年 6 月～9 月に、上記の実験で回収した土砂（処理土）と、分級処理を行っていない堆砂（未処理土、仮置き場より採取）を、布目

ダム下流の河川敷に置き土して行った。そして、大雨時のダム放流で置き土が掃流したときの河川水を図-1 に示す位置で採水し、濁度、SS、栄養塩などを分析して置き土の影響を調べた。

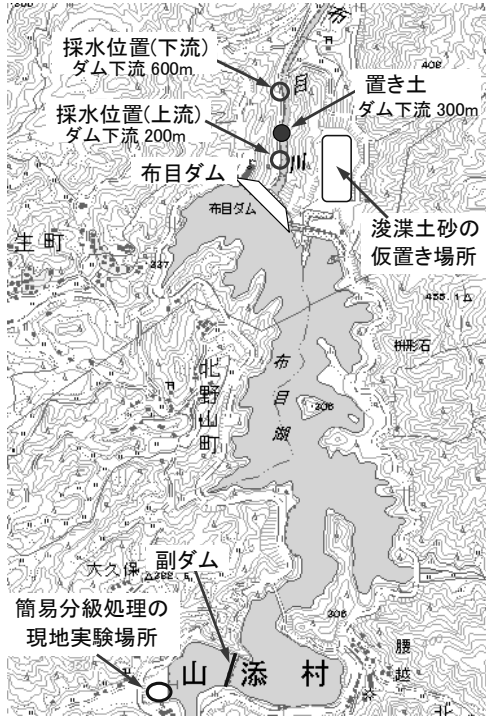


図-1 布目ダムと実験場所

3. ダム堆砂の簡易処理装置の特徴

3.1 エジェクターポンプ

エジェクターポンプ（図-3 参照）は、高圧水を管内に噴射することによって発生する負圧を吸引力とするポンプである⁷⁾。通常の排水ポンプはインペラー（羽車）を回転させることによって揚水力とするために、大きな礫や流木、ひも状の物体はポンプ内で詰まってしまう。しかし、エジェクターポンプは内装管の径以内であれば管内の阻害要素がなく、これらを問題なく吸引・搬送することができる。また、吸引された物体は高圧水と混合して搬出されるために比較的長距離の搬送が可能である。さらに、高圧水吐出口付近に空気を導入することで吸引力が高まるとされているが、空気を導入する副次効果として攪拌・洗浄効果も期待できる。

3.2 スパイラル分級装置

スパイラル分級装置は、泥水中の砂分を沈降分離させて回収するコンパクトな装置である⁴⁾。図-4、図-5 に示すように下部が円錐状の円筒容器で、内部は図-6 のように隔壁によって螺旋状に仕切って流路としている。流路の底部に傾斜したスリット付きの底板を設け、その上に砂分を沈降させる。底板上に堆積した砂分は、スリットを通して容器の下部に落下して貯留し、スクリーコンベアによって排出される。ダム堆砂から微細粒分を除いて粗粒土砂を中心に分級回収することができるので、河川還元時の濁水発生を抑制できる。なお、渦状の流路長を調整することにより必要土砂粒度

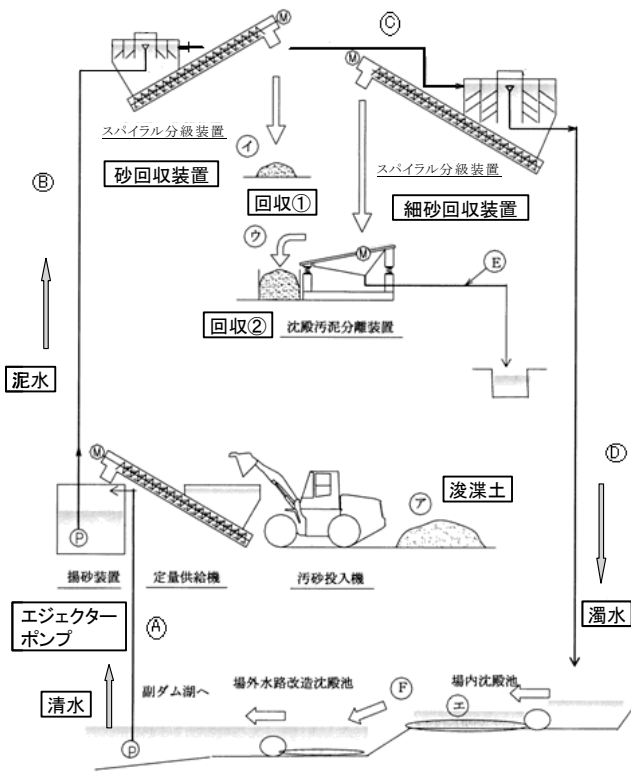


図-2 ダム堆砂の簡易処理の実験フロー

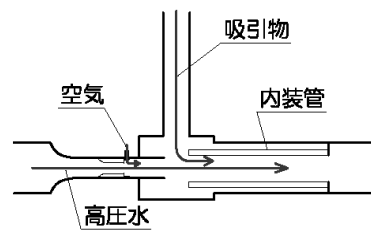


図-3 エジェクターポンプの概念図



図-4 現場実験に用いたスパイラル分級装置

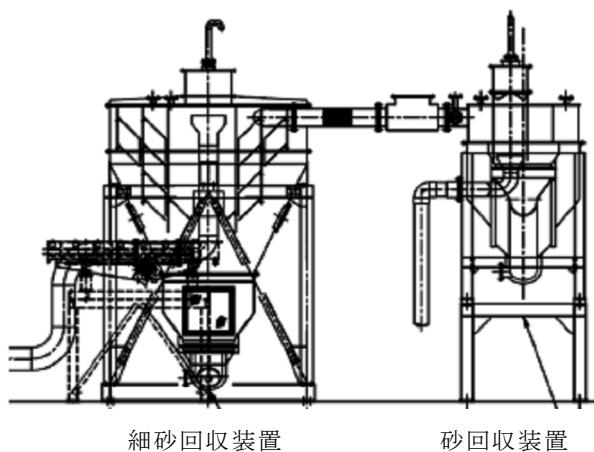


図-5 スパイラル分級装置

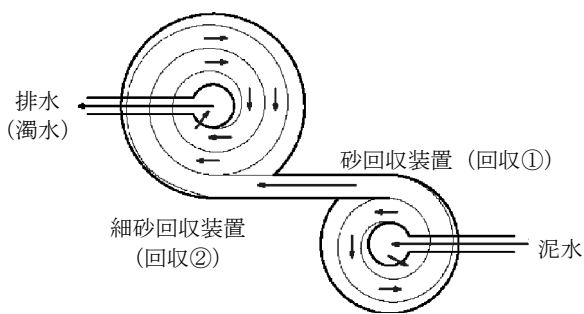


図-6 スパイラル分級装置の流路イメージ (平面図)

の選択分級が可能である。今回は、①流路長が短めの「砂回収装置」と②流路長が長めの「細砂回収装置」の2種類のスパイラル分級装置を連結して使用した。

4. ダム堆砂の簡易処理実験

4.1 実験手順

実験の手順を以下に示す (図-2 参照)。

- ① 副ダムの浚渫土砂を、浚渫土砂仮置き場所からダンプトラックで運搬し、処理プラントの近くに仮置きし、定量供給機に投入する。
- ② 揚砂装置からエジェクターポンプで吸引した浚渫土砂をスパイラル分級装置 (砂回収装置) に送る。揚砂装置には定量の清水を供給する。
- ③ エジェクターポンプによって送られた泥水を1台目のスパイラル分級装置で処理し、沈降分離した砂分を取り出して仮置きする。 [回収①]
- ④ 砂分を分級した後の泥水は2台目のスパイラル分級装置 (細砂回収装置) へ送られ、細砂分を沈殿除去する。分離した細砂は振動ふるい (沈殿汚泥脱水装置) で脱水処理する。 [回収②]
- ⑤ 細砂回収装置からの排水は、沈殿池および水路を締め切った仮池にて細粒分をある程度沈殿除去した後副ダムに放流する。

図-2 のフロー図中の (ア) ~ (エ) は土砂の調査箇所を、(A) ~ (F) は給・排水の調査箇所を示す。なお、1台目のスパイラル分級機 (砂回収装置) によって回収された土砂を回収①、2台目 (細砂回収装置) によって回収された土砂を回収②と呼ぶ。

4.2 実験結果

(1) ダム堆砂の特性

実験に使用したダム堆砂は、平成12年に副ダムよりバックホウ浚渫された土砂で、粒径0.1mm以下の含有率は10~30%程度である。ここで、図-7に示す粒径0.1mm以下の含有率が概ね10%未満の土砂を「粗め堆砂」、また30%程度の土砂を「細かめ堆砂」と呼び、それぞれ代表的な特性を有する堆砂として実験に使用した。なお、マイクロポンプ浚渫船によって浚渫された堆砂の場合には粒径0.1mm以下の含有率が90%近いものもあるが、今回の実験ではそれらは使用しなかった。

(2) 処理装置の性能

装置運転日数は延べ12日間で、その間に155.5 m³の堆砂を処理して108.5 m³の砂を回収した。内訳としては、細かめ堆砂の定常運転10日間で堆砂118.5 m³を処理し、その他に細かめ堆砂の多量投入実験と粗め堆砂の定常運転を1日ずつ実施した。処理能力としては、細かめ堆砂の定常運転では平均2.7 m³/hr、細かめ堆砂

表-1 システムの処理能力と回収土砂量

実験条件	運転 日数	実働 時間 (時:分)	投入 土砂 (m ³)	処理 能力 (m ³ /hr)	回収土砂(m ³) 〔回収率〕		
					回収①	回収②	計
細かめ堆砂 定常運転	10日	44:20	118.5	2.7	61.50 〔52%〕	24.00 〔20%〕	85.50 〔72%〕
細かめ堆砂 多量投入	1日	5:10	23.5	4.5	8.50 〔36%〕	3.00 〔13%〕	11.50 〔49%〕
粗め堆砂 定常運転	1日	3:15	13.5	4.2	10.00 〔74%〕	1.50 〔11%〕	11.50 〔85%〕
合計	12日	52:45	155.5	2.9	80.00 〔51%〕	28.50 〔18%〕	108.50 〔70%〕

の多量投入では 4.5 m³/hr、粗め堆砂の定常運転では 4.2 m³/hr であった。

表-1 に示すように、2 台の処理装置による土砂の回収率は、細かめ堆砂では 72%、粗め堆砂では 85%であった。なお、細かめ堆砂の多量投入では回収率が 49%に低下した。したがって、本処理システムを効率的に運転するには、ダム堆砂の粒度などに応じて投入量を適切に調整する必要がある。

(3) 回収土砂の粒度特性

図-7 に実験に用いた堆砂および回収土砂の粒度を示す。回収土砂はいずれも 0.075 mm 以下の細粒分含有率が 10%以下に減少している。粗め堆砂は細粒分含有率がもともと 8%程度であるが、回収土砂ではその比率がさらに減少して 5%以下となる。なお、後述の置き土実験では、全ての回収土砂を混合して用いた（以下、処理土と呼ぶ）。処理土の粒度を計算で求め、図-7 に「F1+F2+C1+C2」として示した。

図-8 および表-2 は、細かめ堆砂の処理結果（11 日間の回収量と 1 日 1 回の粒度試験結果）から推定した、粒径範囲毎の土砂回収量および回収率である。粒径 2 mm 以上の礫や砂分は 1 台目のスパイラル分級装置（回収①）でほぼ 100%回収されている。また、回収②まで合わせると、0.425 mm 以上の土砂がほぼ 100%回収されている。それ以下の粒径範囲の土砂については、0.075~0.106 mm で約 60%の回収率、0.075 mm 以下の細粒分では約 12%の回収率であった。

(4) 溶出試験による土砂の性状

堆砂および回収土砂について、それぞれプラスチック容器に土砂 200 cc と清水 1000 cc を入れ、5 分間攪拌した後得られた懸濁水に対して水質分析（溶出試験）を行った。図-9 には細かめ堆砂と粗め堆砂の試験結果を対比して示すが、以下では主に細粒分や栄養塩の多い細かめ堆砂の結果について考察する。

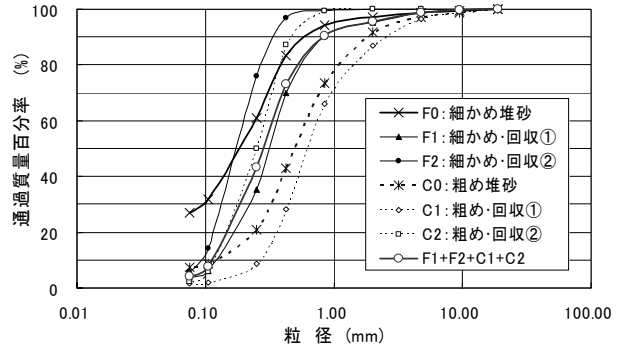


図-7 ダム堆砂と回収砂の粒度分布

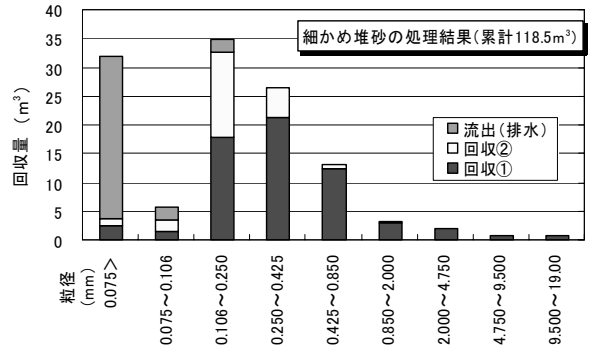


図-8 粒径範囲毎の土砂回収率

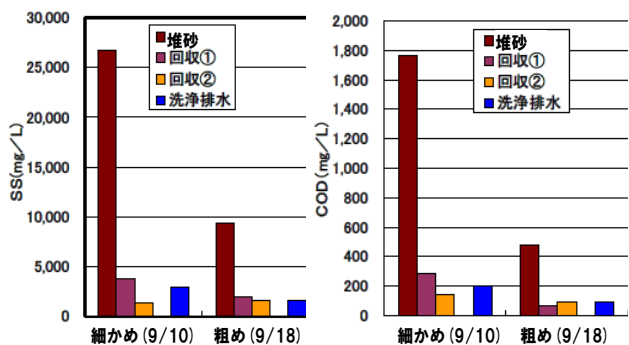
表-2 粒径範囲毎の土砂回収率

分類	粒径範囲(mm)	回収①	回収②	流出(排水)
中礫	9.500~19.00	100.0%	0.0%	0.0%
中礫	4.750~9.500	100.0%	0.0%	0.0%
細礫	2.000~4.750	99.1%	0.5%	0.3%
粗砂	0.850~2.000	90.2%	3.7%	6.1%
中砂	0.425~0.850	95.1%	4.9%	0.0%
中砂	0.250~0.425	80.7%	19.3%	0.0%
細砂	0.106~0.250	51.3%	42.4%	6.3%
細砂	0.075~0.106	24.2%	34.5%	41.3%
シルト・粘土	0.075>	7.4%	4.2%	88.4%
合計		52.0%	20.2%	27.7%

SS（浮遊物質質量）は、回収①で堆砂の約 15%に、回収②では堆砂の 5~10%まで低下している。

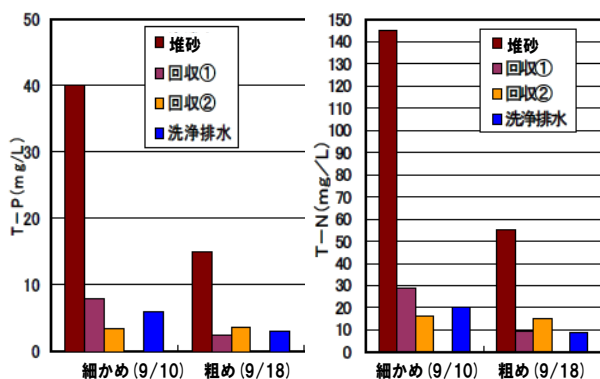
有機物の指標である COD は、回収①で堆砂の約 20%に、回収②では約 10%まで低下している。また、窒素含有率およびりん含有率についても、ほぼ同様の傾向となっている。なお、粗め堆砂の場合には、回収①よりも回収②の方が大きくなっている場合も多いが、概ね堆砂の 10~20%程度に低下している。

これらの分析結果より、投入した堆砂に含まれていた栄養塩類などは、回収①の時点で大幅に除去されていることが確認できた。これは、エジェクターによる



(1) SSの変化

(2) CODの変化



(3) 窒素の変化

(4) りんの変化

図-9 土砂の溶出試験結果

洗浄効果が発揮された結果と考えられる。

5. 河川土砂還元実験

5.1 実験手順

図-10 に河川土砂還元の概念図を示すが、まず、浚渫土砂の仮置き場所より直接採取した土砂 100 m³ (未処理土) を布目ダム下流の河川敷に置き土した。そして、大雨時のダム放流で置き土が掃流したときの河川水を、置き土の上流と下流 (図-1 参照) で採水し、濁度, SS, 栄養塩などの水質分析を行った。

次に、現地実験で分級・回収した土砂約 100 m³ (処理土) を置き土して同様の調査を行い、下流域に及ぼす影響を比較検討した。採水は原則として、①置き土が掃流され始めた時点から、②約 1 時間毎を目安に、③放流量が変化した時、④ダム放流量のピーク時、⑤置き土が全て掃流された時 (または放流量が低下して置き土が掃流されなくなった時) に実施した。

5.2 調査結果

未処理土に対する放流・採水状況を図-11 に示す。

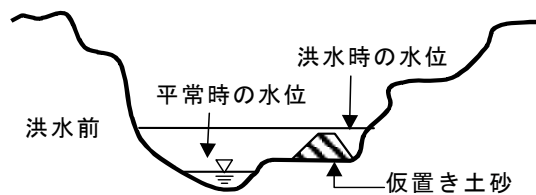


図-10 河川土砂還元の概念図

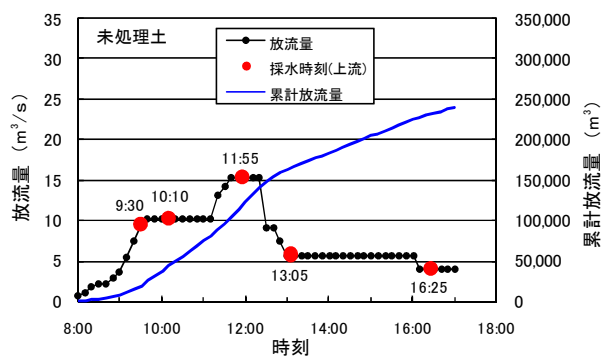
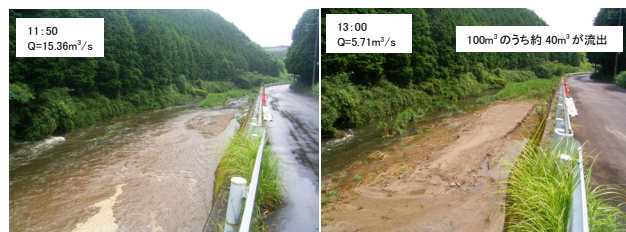


図-11 未処理土に対する放流・採水状況



(1) 置き土100 m³

(2) 掃流開始時



(3) 放流ピーク時

(4) 実験終了時

図-12 未処理土の河川還元実験状況

当日は局地的な雨により最大 15 m³/s の放流が行われた。置き土は放流量が概ね 8 m³/s を超えたころから掃流され始め、最終的に約 40 m³ の置き土が掃流された。実験状況を図-12 に示す。なお、残った未処理土はすべて撤去し、引き続き処理土を置き土した。

処理土に対する放流・採水状況を図-13, 図-14 に示す。放流量は 15 時頃の 13 m³/s をピークに夕方には一時的に 10 m³/s 以下に減少したが、夜半にかけて 20 m³/s まで増加した。ただし、採水調査は日没前の 16:30 頃

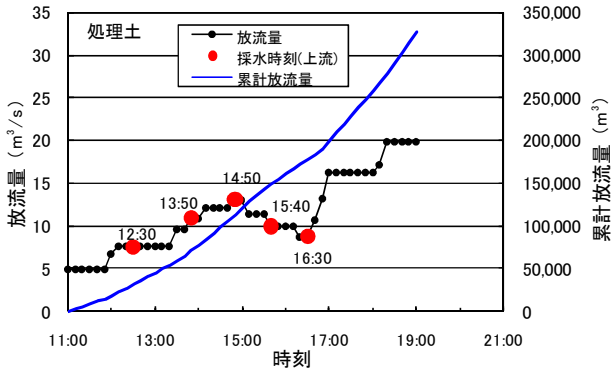


図-13 処理土に対する放流・採水状況



(1) 掃流開始時 (2) 採水終了時点

図-14 処理土の河川還元実験状況

に打ち切った。その時点での掃流土砂量は目視観測によって約 50 m³ と推定された。なお、翌日の放流終了時にはすべての置き土が流出していた。

採水調査結果を図-15 に示す。いずれも、置き土の上流と下流で比較すると、全ての項目（濁度、SS、COD、溶解性 COD、全窒素、溶解性全窒素、全リン）において置き土による影響（値の増加）が確認された。ただし、濁度と SS 以外の項目は比較的变化が小さい。ここで、最も変化の大きい SS に着目し、未処理土の場合と処理土の場合を比較すると、処理土の方が SS の増加傾向が小さい（図-15 (3)、(4) 参照）。このことから、ダム堆砂を分級処理して河川還元を行えば、未処理の場合に比べて河川の濁りに対するインパクトを低減できることが示唆される。

6. 水理実験

6.1 実験手順

河川還元の現地実験では、放流状況の違いや採水回数が少ないことなどにより、処理土と未処理土の厳密な比較が難しい。そこで、現地実験に用いた堆砂（図-7）を用いて水理実験を実施して、堆砂の種類等を変化させたときの置き土の流下状況や下流の濁度などを調

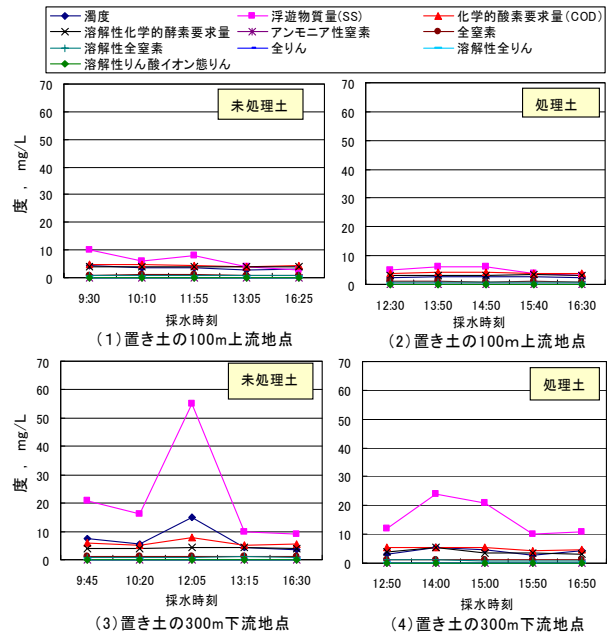


図-15 採水調査結果（未処理土と処理土の比較）

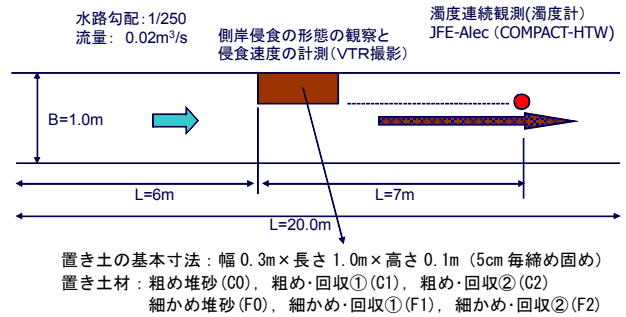


図-16 水路実験の概要

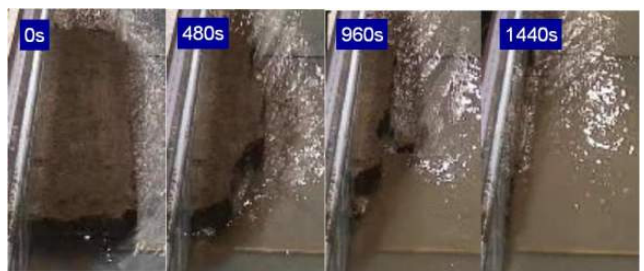


図-17 水路実験の状況

べた（図-16 参照）。実験は、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの「1 m 幅局所流実験水路」を用いた（図-17 参照）。

6.2 実験結果

水路下流で発生する濁度の代表的な測定結果を図-18 に示す。濁質分となる細粒分含有率が高い細かめ堆砂（F0）が、回収①（F1）、回収②（F2）に比べて高い

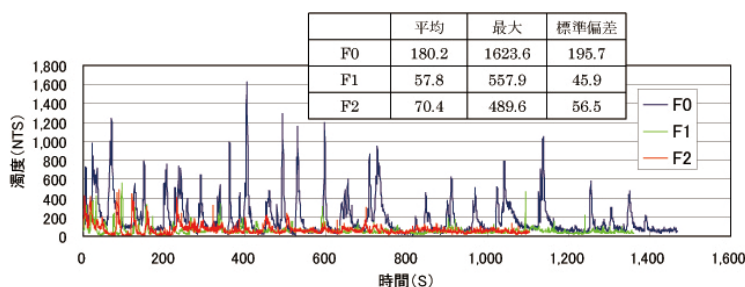


図-18 置き土侵食時の発生濁度の比較

濁度を発生している点は、現地実験結果と同様であるが、濁度は間欠的な変化を示している。これは、粘着性の高い土砂がある程度侵食を受けても崩れずに踏ん張り、オーバーハング（ひさし）状になった段階で崩れるといったサイクルを繰り返した結果と考えられる。なお、濁度ピークの後は緩やかな低減曲線が見られており、次の崩壊までの間、水中に落ち込んだ土砂中の濁質分が流水に洗われて次第に濁度が低下している様子が捉えられている。

7. まとめ

今回の実際のダム堆砂を用いた実機レベルでの現地実験および水理実験等により以下の成果を得た。

- ① 本処理システムの処理能力（3～4 m³/hr）、分級性能（土砂回収率70～80%）、栄養塩の洗浄効果（COD、窒素含有率、りん含有率などを約80%低減）を定量的に把握し、河川還元用土砂を効率的に抽出する手法の有効性を確認した。
- ② 分級処理した粗粒土砂を用いると、未処理の堆砂を河川還元した場合に比べて濁度など水質悪化への影響を低減できることが確認できた。
- ③ 堆砂吸引から分級、河川還元までの一連の処理の有効性およびシステム導入の有効性を確認することができた。

参考文献

- 1) 岡野眞久, 菊井幹男, 石田裕哉, 角 哲也: ダム貯水池堆砂とそのダム下流河川還元についての研究, 河川技術論文集, **10**, 191-196, 2004
- 2) 角 哲也, 早瀬 学, 大矢通弘: 細粒分を多く含むダム堆砂を河川還元する場合の環境影響の把握, 河川技術論文集, **11**, 297-302, 2005
- 3) 角 哲也, 久保田 明, 淵上吾郎, 三反畑 勇, 吉越一郎, 小高志郎: ダム堆砂の河川還元利用における簡易処理手法に関する研究, 河川技術論文集, **14**, 253-258, 2008
- 4) 角 哲也, 久保田 明, 三反畑 勇, 吉越一郎, 番場則之: ダム堆砂の河川還元利用における簡易処理手法に関する検討(その1) 土木学会, 第63回年次学術講演会, pp. 2-131, 2008
- 5) 角 哲也, 淵上吾郎, 久保田 明, 小高志郎, 松原陽一, 天明敏行: ダム堆砂の河川還元材利用における簡易処理手法に関する検討(その2) 土木学会, 第63回年次学術講演会, pp. 2-132, 2008
- 6) 角 哲也: ダム堆砂の河川還元利用における簡易処理手法の開発と土砂還元模型実験, 土木学会環境水理部会研究集会 in 白浜, 2008
- 7) 大矢通弘, 早瀬 学, 稲垣夏郎, 角 哲也: ダム堆砂の湖内移送を目的とした特殊エジェクターの基本性能実験, 土木学会, 第60回年次学術講演会, pp. 2-100, 2005

(2009年5月18日 受理)

Water turbidity is one of the biggest problems in case of reservoir sediment replenishment to the river. Moreover, the processing of the nutrients contained in the collected sediment is also another crucial problem. The purpose of our study are; how to dredge sediment from reservoirs safely, and how to produce the appropriate grain sized material from the sediment which contain very fine sediments or nutrients. We carried out field examination for spiral classifiers and replenishment tests to examine the effect of this treatment system for the reduction of water turbidity. Also we carried out laboratory flocculation and sedimentation tests against the suspended solids, and flow channel tests.

Key words : reservoir sediment, reservoir sediment replenishing to the river, spiral classifiers, ejector pump, turbidity