

B-73 鉱物学的解析によるダム堆砂の 発生源追跡に関する研究

○荒生 靖大¹・伊藤 健一²・大石 博之³・村上 俊樹⁴・鈴木 祥広^{5*}

¹宮崎大学大学院工学研究科土木環境工学専攻（〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西一丁目1番地）

²宮崎大学国際連携センター（〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西一丁目1番地）

³西日本技術開発株式会社 調査解析部（〒160-0004 福岡市中央区渡辺通一丁目1番地）

⁴九州電力株式会社 技術部（〒880-8544 宮崎県橘通西四丁目2番地）

⁵宮崎大学工学部社会環境システム工学科（〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西一丁目1番地）

* E-mail: suzuki@civil.miyazaki-u.ac.jp

1. はじめに

我が国のダム貯水池における堆砂問題は、大規模なダムの建設が開始された1950年代以降に顕在化している。特に、我が国の河川流域は、急峻な地形や脆弱な地質、および水文学的条件によって、土砂流出が発生しやすい特性を有している。ダムはこのような環境下に建設するため、国土交通省管轄の多目的ダムの4分の1では、計画の2倍以上の速さでダム堆砂が進行している¹⁾。

九州南部の宮崎県一ツ瀬川水系に存在する、水力発電を目的とした九州最大の一ツ瀬ダム（総貯水容量261,315,000 m³）では、1963年（昭和38年）の建設当初から50年間にわたって土砂が堆積している。また、一ツ瀬ダムの年間の堆砂量は、全国で10番目（390,000 m³/年）に多く、ダム堆砂の問題が非常に深刻である²⁾。さらに、ダム堆砂の進行によって、貯水容量の減少や上流の河床の上昇に伴い、洪水時における道路や家屋の浸水が懸念されている³⁾。そこで中流域では、貯砂ダムや土砂バイパス、排砂設備の設置など様々な対策が検討されているが、一ツ瀬ダムにおける堆砂問題の解決には至っていない。したがって、ダム堆砂の抜本的な解決には、上流域の土砂発生源を特定することが極めて重要である。しかしながら、一ツ瀬ダムの上流域は、複雑な地層構造で裸地領域は年々増加傾向にあるため、崩壊地や地層構造の調査のみでは、土砂発生源を特定することが非常に困難である。そこで本研究では、一ツ瀬ダムを対象とし、ダム上流域に存在する各地層帯から採取した土砂と、ダム貯水池に堆積した土砂の鉱物学的特徴を解析し、両者の類似性からダム堆砂の発生源を追跡した。

2. 試料および実験方法

(1) 試料採取

図1に、一ツ瀬ダム貯水池とダム上流域の調査地点を示す。本研究では、一ツ瀬ダム貯水池内で調査ボーリングを実施し、基盤岩の上層部である深度16 mまでの柱状試料を採取した。また、ダム堆砂の発生源の候補である一ツ瀬ダム上流域の土砂は、主要な10地点の地層帯から、母岩、変成を受けた中層、およびその上層の三つの土砂、岩石、粘土を採取し、合計29試料とした。

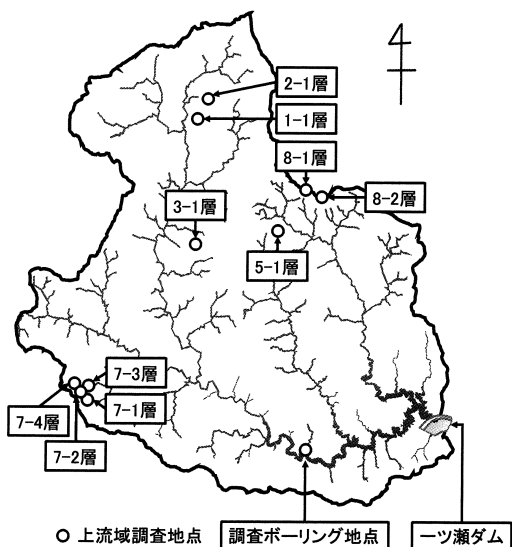


図1 一ツ瀬ダム貯水池と上流域の調査地

(2) 試料作成

柱状試料は、粒径や色調など土砂の基本的な特徴の違いによって14層に区分した。さらに、鉱物学的特徴の違いを比較するため、全岩試料（計14試料）と、20 μm のふるいを通した粒径20 μm 以下（以降、 $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料とする）の試料（計12試料）を各層から採取し分析に供した。全岩試料については、自動乳鉢で粉碎した粉末試料を用いた。なお、4層目と11層目は、粒径が大きく20 μm のふるいを通過量がわずかであり、解析に必要な $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料が得られなかった。

ダム上流域の各地点の地層帯において採取した母岩と最上層の岩石は、表面に付着している粘土を水道水で洗浄した後に室温で風乾した。中層の粘土質の土砂は、真空凍結乾燥装置による乾燥を行った。風乾および凍結乾燥後の全試料は、ハンマーで1 cm径以下に粉碎し、その後自動乳鉢で粉碎した粉末試料を分析に供した。

(3) 鉱物学的解析方法

全試料は、粉末X線回折（X-ray diffraction：XRD）分析によるX線回折パターンを取得し、得られたピークから含有鉱物を同定した。なお、各粉末試料は、塩化マグネシウム処理、塩化カリウム処理、エチレングリコール処理、加熱処理（300 $^{\circ}\text{C}$ 、および550 $^{\circ}\text{C}$ で1時間加熱）の5種を作成し分析した⁴⁾。また、エネルギー分散型蛍光X線（energy dispersive X-ray spectroscopy：EDX）分析により、全試料に含まれる各元素を測定した。全岩試料と粒径20 μm 以下の試料については、構成粒子の形状を比較するため、走査型電子顕微鏡（scanning electron microscope：SEM）による鉱物の表面観察と、標準土色帖による土色分類を行った。

3. 結果と考察

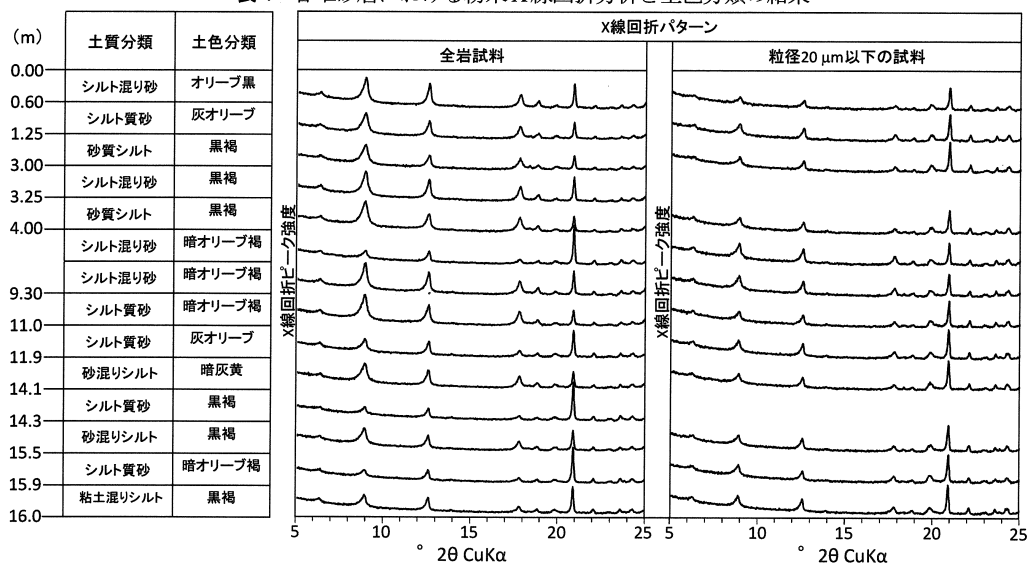
(1) ダム堆砂における各堆砂層の比較

表1に、各堆砂層における土色分類とXRD分析の結果を示す。各層の土色は比較的暗い色（黒色、褐色、灰色）であり、顕著な違いは観察されなかった。全岩試料および $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料の全試料における未処理のXRD分析の結果、全試料は類似した回折パターンを示した。また、全岩試料と $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料の全試料において、同一の6種類の鉱物（Anorthite, Chlorite, illite, Kaolinite, Muscovite, Quartz）が同定された。EDX分析で成分組成を測定した結果、全岩試料と $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料において、全試料の成分元素の平均値に対する各試料間の成分元素は、高い相関を示した（全岩試料： $r = 0.999 \sim 1.000$ 、 $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料： $r = 0.996 \sim 0.999$ ）。全岩試料と $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料の各試料間の成分組成は、ほぼ均等であった。SEMによって鉱物を表面観察すると、全岩試料は数10 μm から最大500 μm の角張った粒子であった。一方の $\leq 20 \mu\text{m}$ 試料では、5 μm の微細な平板上の粒子が観察された。なお、各試料間では、構成粒子の形状に明瞭な違いは観察されなかった。16 mの柱状試料を14層に土質分類し、それぞれの試料について、鉱物組成、成分元素、構成粒子の形状、および堆砂の土色から比較した結果、全ての試料間において極めて高い類似性が認められた。したがって、一ツ瀬ダム貯水池に堆積した土砂は、50年間特定の同質の地層帯から流入していることが示唆された。

(2) ダム上流域の土砂とダム堆砂の類似性

ダム上流域の土砂とダム堆砂の類似性は、「X線回折ピーク強度比」と「成分元素」の2項目について、それ

表1 各堆砂層における粉末X線回折分析と土色分類の結果



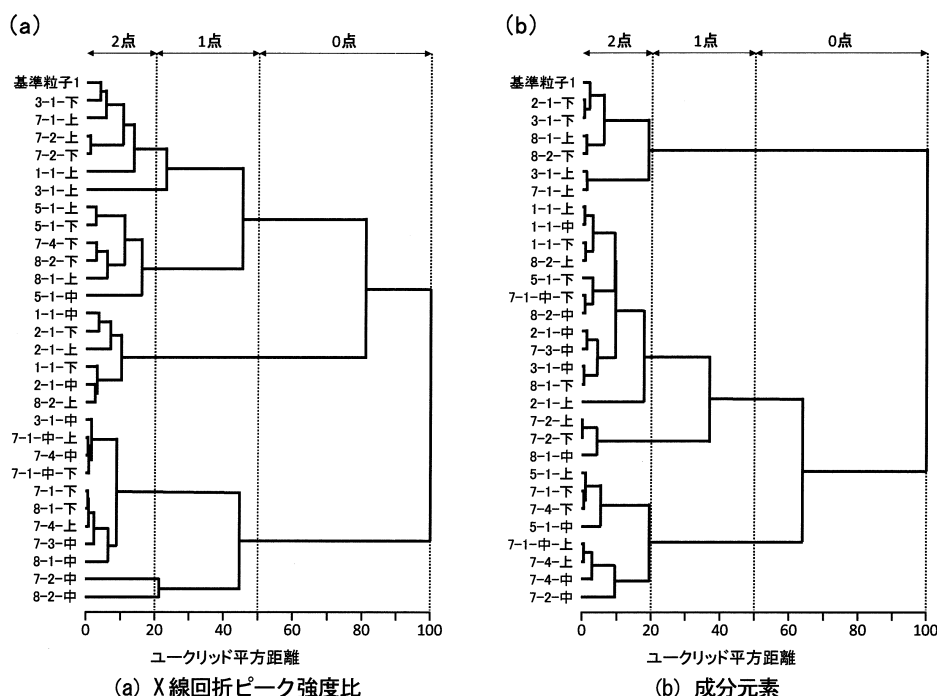


図2 X線回折ピーク強度比と成分元素におけるクラスター分析結果の樹形図

ぞれクラスター分析を行い、各試料間の類似性を解析した。各クラスター分析の結果を点数化し、ダム堆砂との類似性の高さを総合点から評価した⁹⁾。評点は、全試料が最終的に結合する距離の20%以内で結合すれば2点、50%以内に結合すれば1点、50%を超える場合には0点を与え、合計0～4点で評価した。なお、ダム堆砂は、実験項目の全てにおいて、試料間の類似性が確認されたことから、代表的な「全岩試料（第1層目）」を基準粒子1とした。

図2に、X線回折ピーク強度比および成分元素についてクラスター分析を行った結果を示す。基準粒子1（ダム堆砂）と最も類似性の高い上流域の土砂は、評点4の3-1下層と7-1上層となった。すなわち、一ツ瀬ダム堆砂と同質である地点3の3-1下層および地点7の7-1上層は、同一の地層帯であると推察される。3-1下層の岩盤は変成作用を受けた頁岩層であり、7-1上層は風化が著しく進行した頁岩層である。風化および変成岩地帯は、雲母質や粘土質の岩石が多く、地すべりを引き起こしやすい地帯となっている。したがって、3-1下層および7-1上層は、他の地層帯と比較して、土砂流出が特に発生しやすい地層帯である。以上の結果から、基準粒子1と非常に高い類似性を示した地点3の3-1下層および地点7の7-1上層は、50年間にわたって一ツ瀬ダムに堆積している土砂の発生源である可能性が極めて高い。本研究で実施した鉱物学的解析手法によって、ダム堆砂の発生源を特定できることがわかった。

4. まとめ

- (1) 鉱物組成、成分元素、構成粒子の形状、および土色の全てにおいて、全試料において極めて高い類似性が確認された。一ツ瀬ダム貯水池に堆積している土砂は、50年間特定の地層帯から流入している可能性が高い。
- (2) X線回折ピーク強度比と成分元素の二つの評価点から、基準粒子1（ダム堆砂）と最も類似していた試料は、地点3の3-1下層と地点7の7-1上層であった。ダム堆砂の発生源は、地点3の3-1下層と地点7の7-1上層であると推察される。

参考文献

- 1) 末次忠司, 野村隆晴, 瀬戸楠美, 坂本辰哉 (2008) ダムの堆砂対策技術ノート(第1版), pp.18-19.
- 2) 九州電力株式会社(2009) ダム・貯水池の土砂管理の検討(案), pp.1-6.
- 3) 大矢通弘, 角哲也, 嘉門雅弘(2002) ダム堆砂の性状把握とその利用法, ダム工学, 12(3), pp.174-184.
- 4) 日本粘土学会編(2009) 粘土ハンドブック(第3版), pp.502-503, 技報堂出版.
- 5) Murakami, M., Suzuki, Y., Oishi, H., Ito, K., Nakao, T., (2013) Tracing the source of difficult to settle fine particles which cause turbidity in the Hitotsuse reservoir, Japan, *Journal of Environmental Management*, **120**, 37-47.