

(25) 物理・化学的性状解析によるダム貯水池の 長期濁水化の原因となる難沈降性粒子の 発生源追跡手法の提案

村上 俊樹¹・鈴木 祥広^{2*}・瀬崎 満弘²・伊藤 健一³・中尾 登志雄⁴

¹九州電力株式会社 宮崎支店技術部 (〒880-8544 宮崎県橋通西四丁目2-23)

²宮崎大学工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花西一丁目1番地)

³宮崎大学国際連携センター (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花西一丁目1番地)

⁴宮崎大学農学部森林緑地環境科学科 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花西一丁目1番地)

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

濁水長期化が顕在化しているダムの上流域付近における崩落箇所を調査し、その地点の各地層から土砂を採取した。簡易懸濁実験によって多数の土砂試料から濁水長期化に寄与しうる試料を選定し、それらの土砂およびダム底泥に含まれる難沈降性粒子の物理・化学的性状を解析することにより、ダム底泥との類似性から長期濁水化する原因土砂の発生源を追跡した。粒度分布、粒子成分組成および検出された鉱物の結晶形から判断すると、ある地点の地層の土砂とダム底泥に含まれる難沈降性粒子は、同一の粒子である可能性が高く、ダムに流入・堆積する難沈降粒子の発生源であると推察された。本研究で実施した調査および物理・化学的性状の解析により、具体的に問題となる土砂の発生源を追跡できる可能性が示唆された。

Key Words : dam reservoir, long-term turbidity, fine particles, source tracing method, physical-chemical analysis

1. はじめに

ダム貯水池における濁水長期化問題は、大規模なダムの建設が開始された昭和30年代以降にわが国において顕在化した。濁水長期化がもたらす弊害として、浄水処理への障害、水産資源への影響、散水による農作物への土粒子の付着、親水域のレクリエーション価値の低下、あるいは水域生態系への影響などが挙げられる¹⁾。これまで、各研究機関、電力各社の調査・研究により、流域土壌状態を均一と仮定した一洪水における濁質生産量の議論²⁾や貯水池における濁水流動シミュレーションの検討³⁾、濁質水を考慮したダムの最適制御に関する議論⁴⁾がなされ、すでにいくつかの有用な研究が報告されている。対策として、崩壊地法面緑化などの濁水発生の抑止、濁水制御膜や選択取水設備の設置などの濁水貯留の軽減、放流水消水希釈などの濁水流下の低減⁵⁾が実施されている。一方、河川に関する社会的な要求も、近年一段と厳しくなっており、従来の対策だけでは十分な対処ができず、濁水長期化を防止するために水力発電所の運転を規制する等のケースが生じてきている⁶⁾。九州南部の宮崎県においても、水力発電やその他を目的としたダム貯水池が

多数点在しており、そのうちのいくつかは濁水長期化が顕在化しており極めて重要な流域の問題となっている¹⁾²⁾。濁水長期化は台風等の豪雨によって上流域の森林が崩壊し、土壌が露出して降雨時に微細粒子を含む土砂粒子がダム貯水池に貯留され³⁾⁴⁾、沈降性の低い微細粒子が長期間貯水池内に浮遊滞留することが、基本的な発生機構であると広く認識されている。しかしながら、抜本的な解決には至っていない。解決できない理由として、ダム上流域において、年々増加する山地崩壊が多数偏在することによって濁水発生量が増加するにもかかわらず、上流域の地層構造は複雑で、濁水発生源が特定できていないことが挙げられる。

小丸川水系では、図-1に示すように、上流部支流に渡川ダム、本流に松尾ダム、戸崎ダム、川原ダムが存在し洪水発生後の濁水長期化が顕在化しており、抜本的な解決策がないまま現在に至っている。著者らの研究により、ダム堆積土砂に含まれる難沈降性粒子の画像解析、元素分析およびX線回折の結果を総合的に解析することによって、各ダムの堆積土砂を特徴付けることが可能となり、小丸川水系の松尾ダムおよび川原ダムにおける濁水化(長期濁水化と洪水時濁水化を含む)の懸濁粒子の起源

は、渡川ダムの堆積土砂であることが推察された¹⁶⁾。そこで、この手法を応用することによって長期濁水の発生源となる崩壊土砂の追跡が可能であると考えた。

本研究では、懸濁粒子の起源として推察された渡川ダム堆積土砂の供給源（生産現場）の追跡を目的として、同手法をその上流域付近で数カ所の大規模な崩落土砂に当てはめ、その適用の可能性を検討したものである。

2. 調査・実験方法

(1) 調査地点と土砂・底泥の採取方法

小丸川水系上流部本流の松尾ダムと上流部支流の渡川ダムの上流域付近において、山斜面が大規模に崩落し、土砂が露出している5箇所（P1, P2, P3, P4, P5）を選定した（図-1）。土砂採取地点の地質は四万十層群のうち、P1, 5は神門層の剪断泥質岩、P2は日向層群渡川層の頁岩層、P3は日向層群鬼神野層、P4は日向層群渡川層の砂岩頁岩互層に相当している^{16,17)}。土砂試料は、各地点において地層が明瞭に区分される層の中央付近から、プラスチック製スコップを用いて採取した。本来、照合させる試料としては、渡川ダム貯水池内に長期間浮遊している濁水を採取する方が望ましいが、調査期間中に長期濁水が発生しなかったため、ダム底泥を照合試料とした。渡川ダムでは、堤体近傍の底泥をエクマンバージ採泥器（15cm×15cm）を用いて採泥した。3～5回の採泥を行い、均一に混合した底泥をダム底泥試料とした。採取した試料は、P1地点5層（P1-1, P1-2, P1-3, P1-4, P1-5）、P2地点3層（P2-1, P2-2, P2-3）、P3地点3層（P3-1, P3-2, P3-3）、P4地点3層（P4-1, P4-2, P4-3）、P5地点4層（P5-1, P5-2, P5-3, P5-4）およびダム底泥の計19試料である。

(2) 簡易懸濁実験

採取した試料の中から沈降性の悪い土砂をスクリーニングするため、簡易懸濁実験を行った。比色管（透明ガラス管）に、水（30mL）に対する試料の添加率が1%（0.3mg）となるように調整し、全ての試料について、同時に同一の転倒速度で10回転倒混合した後、清置し、その後の清澄の程度を目視で調べた。また、24時間後の上澄水の濁度も測定した。

(3) 懸濁・清澄化実験と難沈降性粒子の回収方法

本研究では難沈降性粒子の分析・解析を目的とすることから、簡易懸濁実験で選定された難沈降性粒子を含む試料を対象として、懸濁・清澄化の様子を追跡するとともに、土砂試料とダム底泥試料からの難沈降性粒子を分離・回収した。屋内実験室において、0.5 m³の円形



図-1 ダム位置図と土砂採取地点

大型水槽（透明ポリカーボネイト製）に水道水0.5 m³（水深61 cm）を入れ、湿重量1.0 kg-wetの堆積土砂を15Lのバケツ内で激しく攪拌・懸濁させた状態で、大型水槽に注入し、攪拌棒を用いて激しく3分間混合した。水量に対する堆積土砂の添加率は0.2%である。攪拌終了後、直ちにシリンドリングを用いて上層水（水面から水深約20cmの層）を25 mL分取し、試水の濁度を測定した。攪拌直後すなわち静置開始直後を初期濁水（ $t=0$ hr）とし、上層の濁度の変化を経時的に48時間まで測定した。この間における水温は、17℃のほぼ一定であった。続いて、大型水槽の上層に残留する難沈降性の粒子を含む約40Lの濁水をサイホン（水面から20cmすなわち底面から41cmの位置に固定）で採水した。粒子の分析に必要な粒子量を確保するため、回収した上層濁水を遠心分離（3000 rpm, 10分）で濃縮分離し、微細粒子を回収した。ここで回収された粒子は、48時間後においても上層で懸濁浮遊する粒子であることから、この水槽上層部（上層約1/3）を構成する粒子を“難沈降性粒子”と定義し、110℃で乾燥させた後に分析に供した。

(4) 難沈降性粒子の沈降試験（シリンドリングテスト）

試料4.0g-wetと水道水2000 mLを1分間激しく混合した（試料濃度0.2%）。直ちに2000 mL容積のメスシリンドリに移し、濁水の清澄する界面の沈降した距離（cm）を経時的に測定し、難沈降性粒子の沈降速度を求めた。沈降試験はインキュベーター内において25℃恒温条件で実施し、空調ファンによる気流の影響を防ぐため、メスシリンドリの上部はラップで密閉した。なお、試料と水道水は試験前にあらかじめ25℃に調整した。

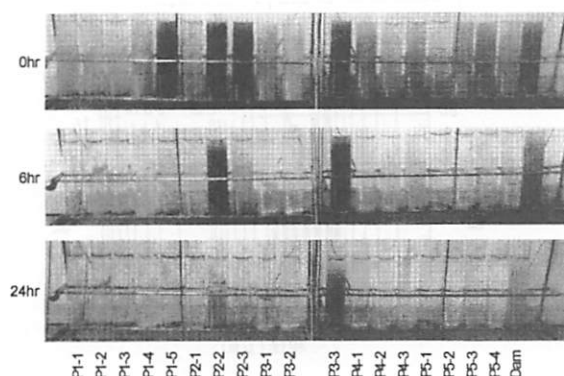


写真-1 簡易懸濁実験における経過時間ごとの
各試料の清澄化の様子

表-1 簡易懸濁実験の24時間後における
各試料上層水の濁度

試料名	懸濁水色	濁度(度)	試料名	懸濁水色	濁度(度)
P1-1	黄土色	4.26	P3-2	黄土色	2.71
P1-2	黄土色	2.58	P3-3	灰色	108.50
P1-3	黄土色	2.83	P4-1	黄土色	4.63
P1-4	黄土色	5.56	P4-2	黄土色	3.97
P1-5	灰色	3.16	P4-3	黄土色	6.26
P2-1	黄土色	5.75	P5-1	黄土色	3.19
P2-2	灰色	38.50	P5-2	黄土色	3.39
P2-3	灰色	3.19	P5-3	赤茶色	3.14
P3-1	黄土色	4.21	P5-4	黄土色	3.49
			ダム底泥	灰乳色	29.44

(5) 難沈降性粒子の分析項目と方法

濁度は、標準物質を精製カオリンとし、積分球式光電光度法の濁度計（三菱化学、SET-PT-706D型）を用いて測定した。単位は、度（カオリン）である。粒度分布は、粒子試料を水に懸濁させ、回分セルに入れて10分間攪拌した後、レーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所、SALD-3000）によって粒子径を測定し、粒子の分級毎の粒子数から粒度分布を求めた。成分組成は、粒子粉体試料を粉砕器を用いて200メッシュ程度に粉砕した後、加圧形成し、蛍光X線分析装置（リガク、Simultix 12）によって粒子に含まれる各元素を測定した。鉱物組成は、粒子粉体試料を粉砕器を用いて200メッシュ程度に粉砕した後、測定容器に入れ、X線回折装置（リガク、RINT TTR）によって粒子の結晶形を同定した。画像解析は、粒子粉体試料をカーボンテープに固定した後、金蒸着処理を行い、走査電子顕微鏡（日本電子、JSM-5800LV）によって粒子画像を観察し、SEM画像を撮影した。

(6) 成分組成と鉱物組成の解析法

成分組成は、各割合を用いてクラスター分析によって解析した。クラスター間の距離は、グループ内平方和を最小とするウォード法を用いた。鉱物組成については、量比が不明なため、ダム底泥に含まれている結晶形の有無による単純な解析から評価した。

3. 結果と考察

(1) 難沈降性粒子を含む土砂試料のスクリーニング

簡易懸濁実験において、転倒混合直後から経過時間ごとの各試料の懸濁水の清澄化の様子を写真-1に示す。崩落箇所の土砂懸濁水の色は、各試料によって特徴的であ

り、大まかに分類すると、黄土色、灰色および赤茶色に区分された（表-1）。黄土色を呈した試料が最も多く13試料であり、灰色の試料は4試料、赤茶色は1試料であった。P1-1、P1-2、P1-3は混合直後から懸濁粒子は沈降し、上層水は速やかに清澄の状態になった。6時間後には、P2-1、P2-2、P3-3、P4-3およびダム底泥の懸濁水は上層水でも濁りが残留する様子が観察されたが、それ以外の試料は清澄化されつつあった。特徴的である灰色の懸濁水の試料を比較すると、P1-5とP2-3は清澄化が速く、これに対してP2-2とP3-3は非常に清澄化が遅かった。類似した色を呈しても、清澄化が著しく異なる土砂があることがわかった。また、ダム底泥の懸濁水の色は、混合直後は灰色に近い色を呈したが、6時間後には黄土色に変化したように観察された。P2-2、P3-3およびダム底泥は、24時間後においても上層水に相当量の濁りが認められた。

表-1には、24時間後における各試料の上層水（10ml）の濁度を示す。崩落箇所から採取した土砂試料について、残留濁度の高い順から難沈降性粒子を含む試料を選定すると、P3-3、P2-2、P4-3、P2-1となった。また、ダム底泥試料にも難沈降性粒子を含んでいることが再確認された。P3-3、P2-2、P4-3、P2-1およびダム底泥の試料について、以降の検討を行うことにした。

(2) 堆積土砂懸濁水の清澄化と上澄水の残留濁度

各土砂試料とダム底泥を500Lの大型水槽（直径1,072mm×高さ770mm）に水深61cmまで水を入れ懸濁させたときの上層水の濁度の経時変化を図-2に示す。P2-2とP3-3は、24時間後においても初期濁度の約1/2程度が上層に残留し、48時間後においてもそれぞれ87.5度と63.7度と高い濁度を示した。P2-1とP4-3の上層水の濁度は、いずれも約30度に低下した。48時間後のP4-3の上層水の濁度は10.9度に低下し、わずかに懸濁粒子が残留した。

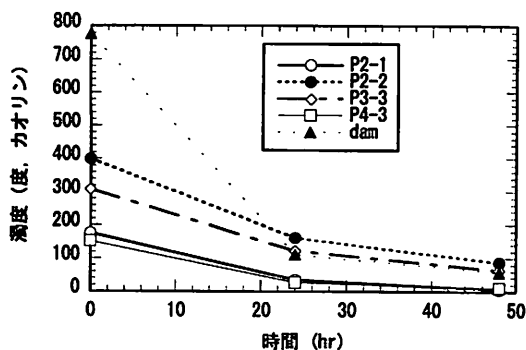


図-2 大型水槽（500L）懸濁実験における
上層水の濁度の経時変化

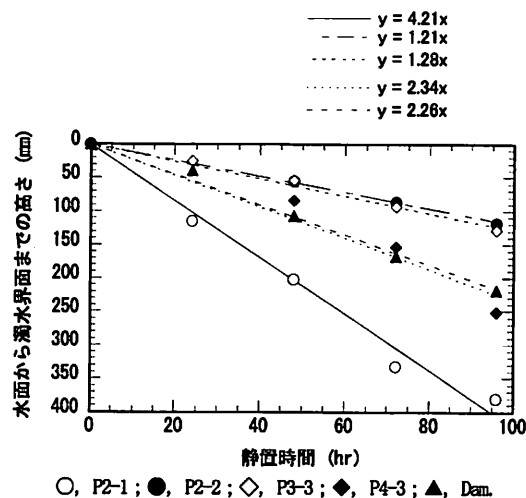


図-3 シリンダーテストにおける濁水界面
の沈降距離の経時変化

なお、P2-1の上層水の濁度は48時間後に6.0度まで低下した。一方、ダム底泥の懸濁水は撹拌直後において約780度と極めて高く、時間の経過とともに濁度は減少したものの、48時間後においても上層水に懸濁粒子が約60度の高濃度に残留した。これは、前回のダム底泥の消澄化と残留濁度の傾向と同じであった。

48時間後において、各試料の上層水40Lを採水し、それぞれの試料に含まれる難沈降性粒子を回収した。ただし、P2-1の上層水は残留した粒子が極めて少なく、実験方法に示した操作では粒子を回収することができなかった。したがって、P2-2、P3-3、P4-3およびダム底泥から回収した難沈降性粒子（4試料）について、物理・化学的性状の解析を行った。

(3) 難沈降性粒子の沈降速度（シリンダーテスト結果）

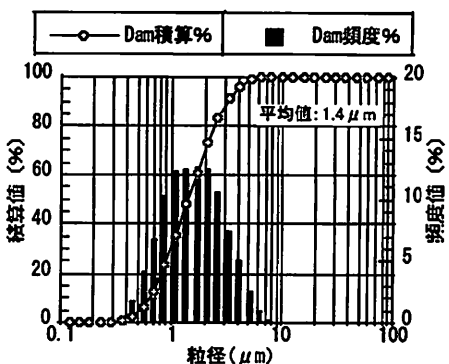
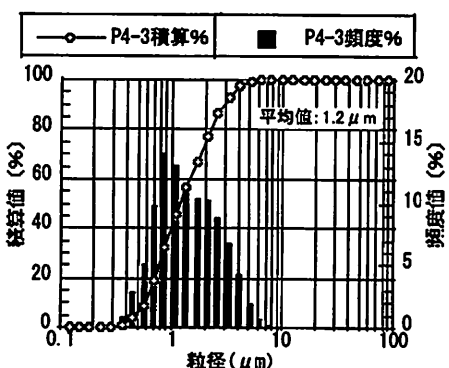
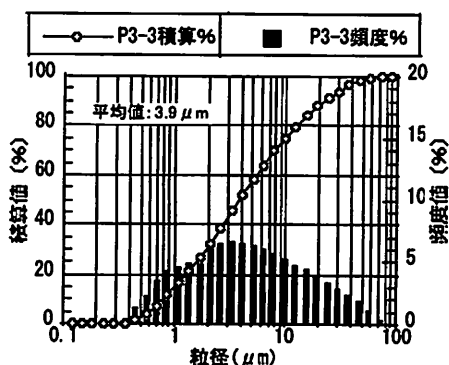
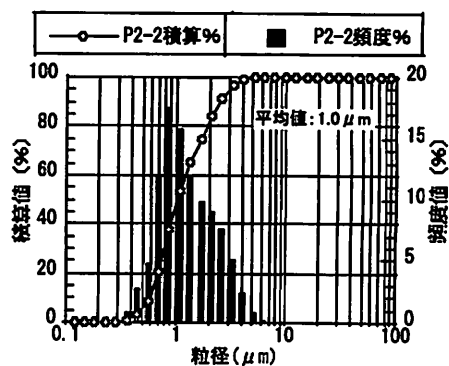


図-4 難沈降性粒子の粒度分布

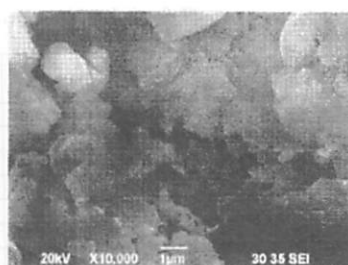
試料懸濁水（0.2%）をシリンダーに移して静置させたところ、時間の経過とともに、上層の薄い濁水と下層の濃い濁水との間で界面が形成されたので、その界面の変化を測定した。シリンダーテストによる沈降時間に対する水面と濁水界面の高さの変化を図-3に示す。時間の経過とともに直線的に濁水界面は沈降した。この濃い濁水を形成する層が沈降し得る難沈降性粒子と判断し、その界面の沈降速度を求めた。P2-1の沈降速度が最も速く、4.21mm/hrであった。P2-2とP3-3はいずれも灰色の懸濁水であるが、沈降速度もそれぞれ1.21mm/hrと1.28mm/hrでほぼ同一であった。また、P4-3とダム底泥の沈降速度も近い値を示し、それぞれ2.34mm/hrと2.26mm/hrであった。簡易懸濁実験でスクリーニングされた土砂試料とダム底泥には、1~2 mm/hrの極めて沈降速度の遅い難沈降性粒子が含まれていることがわかった。なお2年前のダム底泥による沈降試験でも約2mm/hrの沈降速度が示されている。

(4) 難沈降性粒子の粒度分布

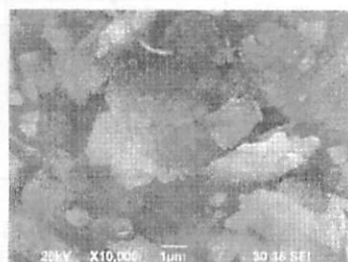
各土砂試料とダム底泥の懸濁水の上層（20cm層）に48時間後も浮遊していた難沈降性粒子の粒度分布を図-4に示す。P2-2の難沈降性粒子の平均粒径は $1.0\mu\text{m}$ と最も小さく、積算値80%における粒径は $2.0\mu\text{m}$ であり、ほとんどの粒子は $2.0\mu\text{m}$ 以下であった。一方、P3-3の難沈降性粒子の平均粒径は $3.9\mu\text{m}$ と最も大きく、積算値80%における粒径は $11.4\mu\text{m}$ であり、粒度分布（粒径加積曲線）も他の試料と比較して全く異なる曲線を示した。P4-3とダム底泥の粒度分布（粒径加積曲線）は極めて類似した曲線を示し、平均粒径はそれぞれ $1.2\mu\text{m}$ と $1.4\mu\text{m}$ であった。P4-3とダム底泥の積算値80%における粒径も $2.2\sim 2.4\mu\text{m}$ であり、ほとんどの粒子は $2.4\mu\text{m}$ 以下であった。難沈降性粒子の粒度分布から4つの試料を比較すると、P3-3のみが粒径が大きく、粒径頻度値の粒径範囲が広い特徴を有していることがわかった。P3-3は、他の試料と比較して粒径が大きいのにもかかわらず沈降速度が遅い要因として、粒子成分組成と結晶形の違いが影響したのではないかと考えられる。

(5) 難沈降性粒子の形状

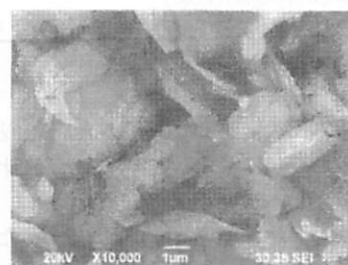
各土砂試料とダム底泥の難沈降性粒子のSEM画像を観察すると、大きさは $1\sim 5\mu\text{m}$ 前後の粒子が多く、薄い平板状でギザギザした形状であった（写真-2）。この形状は小丸川水系のダム堆積土砂に含まれる難沈降性粒子の形状¹⁵⁾と類似していた。いずれの形状も極めて類似しており、SEM画像から各粒子の違いを判別することは困難であった。



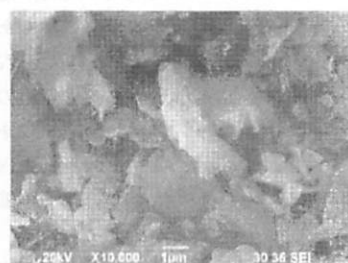
P2-2



P3-3



P4-3



ダム底泥

写真-2 難沈降性粒子のSEM画像（ $\times 10,000$ ）

(6) 懸濁粒子の成分・鉱物組成

土砂とダム底泥における難沈降性粒子（48hr浮遊）の成分組成と鉱物組成の分析結果を表-2に示す。なお、結晶形は成分組成%から推定して存在量が多い順に表記している。各試料について、鉱物の基本元素であるSi, Al, Fe, K, Mg, Caの組成%を比較すると、P4-3とダム底泥は、いずれの元素においても極めて近い値を示した。特にFe

表-2 各土砂試料における難沈降性粒子の成分組成と鉱物組成の分析結果

試料		P2-2	P3-3	P4-3	ダム底泥
成分分析 (%)	Si (as SiO ₂)	25.29 (54.09)	25.97 (55.55)	24.03 (51.40)	24.77 (52.99)
	Al (as Al ₂ O ₃)	18.32 (34.61)	16.60 (31.37)	15.41 (29.12)	15.46 (29.20)
	Fe (as Fe ₂ O ₃)	1.45 (2.07)	3.24 (4.64)	6.59 (9.42)	6.41 (9.16)
	K (as K ₂ O)	5.16 (6.21)	5.05 (6.08)	4.73 (5.70)	4.21 (5.07)
	Mg (as MgO)	0.94 (1.55)	1.37 (2.27)	1.58 (2.62)	1.38 (2.29)
	Ca (as CaO)	0.74 (1.03)	0.76 (1.07)	0.81 (1.13)	0.78 (1.09)
	Ti (as TiO ₂)	0.34 (0.66)	0.54 (0.90)	0.51 (0.84)	0.49 (0.81)
	Zn (as ZnO)	0.25 (0.31)	0.25 (0.31)	0.25 (0.31)	0.24 (0.30)
	Mn (as MnO ₂)	0.03 (0.06)	0.03 (0.05)	0.17 (0.26)	0.11 (0.18)
	S (as SO ₃)	0.08 (0.20)	0.19 (0.48)	<0.02 ()	0.03 (0.07)
結晶形 (X線回折分析法)		①SiO ₂ ; ②Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH)・2H ₂ O; ③KAl ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ④(K, H ₂ O)Al ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ⑤K(Mg, Al) ₂₋₃ (Si ₂₋₃ Al ₁₋₂)O ₈ (OH); ⑥Fe ₂ O ₃ ・H ₂ O	①SiO ₂ ; ③KAl ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ④(K, H ₂ O)Al ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ⑤K(Mg, Al) ₂₋₃ (Si ₂₋₃ Al ₁₋₂)O ₈ (OH); ⑦(Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₂ O ₈ (OH);	①SiO ₂ ; ②Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH)・2H ₂ O; ⑦(Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₂ O ₈ (OH); ③KAl ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ④(K, H ₂ O)Al ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ⑤K(Mg, Al) ₂₋₃ (Si ₂₋₃ Al ₁₋₂)O ₈ (OH);	①SiO ₂ ; ⑦(Mg, Fe) ₂ (Si, Al) ₂ O ₈ (OH); ③KAl ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ④(K, H ₂ O)Al ₂ Si ₂ AlO ₈ (OH); ⑤K(Mg, Al) ₂₋₃ (Si ₂₋₃ Al ₁₋₂)O ₈ (OH);
【備考】()内は標準酸化物換算値					
①二酸化ケイ素(Quartz:石英) ②水酸化ケイ酸7水合物(Hallorsite:ハロイサイト, ハロイ石) ③水酸化ケイ酸7水合物(Muscovite:マスコバイト, 白雲母) ④水酸化ケイ酸7水合物(Illite:イライト, 粘土鉱物) ⑤水酸化ケイ酸7水合物(Clinoclase:クリノクロア, 斜緑泥石) ⑥酸化鉄1水合物(Green Rust) ⑦水酸化ケイ酸7水合物(Clinoclase:クリノクロア, 斜緑泥石)					

の組成%には各試料の特徴がみられた。P4-3とダム底泥のFeの組成%はほぼ一致しており、それぞれ6.59%と6.41%であった。これに対して、P2-2のFeは、その他の試料と比較して極端に小さく1.45%であった。また、P3-3もP4-3とダム底泥のFeの組成%と比較すると1/2程度低かった。重鉱物に含まれるとされるMnの組成%は、P2-2とP3-3はいずれも0.03%と極めて微量であるのに対して、P4-3とダム底泥はいずれも0.1%以上であった。Sの成分%はP3-3のみが0.19%であり、その他の試料よりも際だって高い。これをクラスター分析(ワード法)した結果の樹状図を図-5に示す。ダム底泥とP4-3とは成分組成が非常に類似していると判断される。鉱物の結晶形についてみると、P4-3とダム底泥において、Fe成分を多く含むクリノクロア(斜緑泥石)が上位に位置されている。また、ダム底泥でハロイサイトが検出されていない他は、P4-3とダム底泥で検出された結晶形の種類および推定存在量の順序は一致した。一方、P2-2のみから酸化鉄1水合物が検出され、クリノクロアは検出されていない。P3-3ではクリノクロアが検出されているものの、位置づけは最下位となっている。これをダム底泥に見られる結晶形の有無について評価したものを表-3に示す。P3-3、P4-3は、ダム底泥と同一の結晶がすべて含まれており、類似していると判定される。類似性の判断については、成分組成%および鉱物の結晶形ごとの定量値の二つの解析から判定することが望ましいと考えている。そ

こで、結晶形(X線回折)結果もクラスター分析することを検討したが、今回の分析では鉱物組成比などの定量的な変数データが得られず、結晶形の有無の事実しか得られていないことから定性的な判断を加えた。

以上から成分と鉱物組成の両方の解析結果から総合的に評価すると、ダム底泥とP4-3が同一の粒子である可能性は高いと推察された。しかしながら、今回の解析結果から難沈降性粒子の発生地と推察したP4地点は、渡川ダムに直接流入しないダム下流に位置しているという矛盾する結果が生じた。今回の調査では、点在する多数の崩落箇所において採取可能な地点を選定せざるを得なかった現地の事情のため、不完全なスクリーニングと追跡結果になってしまった。現段階では、P4-3試料と同一の地質が渡川ダム上流域の未調査の崩落箇所にも存在し、そこで発生した粒子が渡川ダム底泥に堆積したのではないかと考えている。発生源を特定するためには、さらに面的な土砂試料採取と解析に加えて、詳細な地質学的調査も平行して実施すべきである。今後の課題としたい。

4. まとめ

簡易懸濁実験によって、多数の土砂試料から濁水長期化に寄与しうる試料を簡便に選定し、それらの土砂およびダム底泥に含まれる難沈降性粒子の物理・化学的性

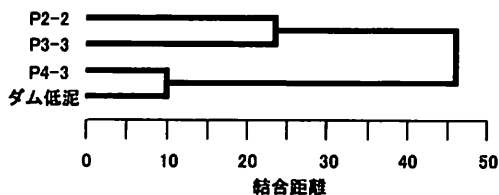


図-5 成分組成におけるクラスター分析結果（樹状図）

表-3 各試料におけるダム底泥に含まれる結晶形の有無一覧

ダム底泥の結晶形	P2-2	P3-3	P4-3
二酸化ケイ素（石英）	有	有	有
水酸化ケイ酸アルミニウム鉄マグネシウム（クリノクロア）	無	有	有
水酸化ケイ酸アルミニウムカリウム（マスコバイト）	有	有	有
水酸化ケイ酸アルミニウムオキシニウムカリウム（イライト）	有	有	有
水酸化ケイ酸アルミニウムマグネシウムカリウム	有	有	有
評 価	×	○	○

状を解析することにより、ダム底泥との類似性から濁水長期化の原因土砂の発生源を追跡した。粒度分布、粒子成分組成および検出された鉱物の結晶形から判断すると、P4-3の土砂とダム底泥に含まれる難沈降性粒子は、同種の粒子である可能性が高いと推察された。本研究で実施した土砂崩落箇所の調査と土砂試料のスクリーニング、および難沈降性粒子の物理・化学的性状による解析によって、具体的に問題となる土砂の発生源を追跡できる可能性が示唆された。

謝辞：本研究の一部は、平成20年度受託研究「物理・化学的性状解析による渡川ダムに流入する難沈降性粒子の発生源追跡調査」（一ツ瀬川及び小丸川上流域森林保全機構）によって行われたものである。本研究をとりまとめるにあたり情報提供等ご協力をいただいた。また、宮崎県地質調査業協同組合土質試験センターの澤山重樹氏には、土砂崩壊地での試料採取にご協力いただいた。ここに記して、関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松尾直規：ダム貯水池の水質問題，電力土木，No. 238，pp. 3-18，1992.
- 2) 宮永洋一：環境保全と対策(1)-貯水池の水質問題と対策-，電力土木，No.12，pp. 122-127，1992.
- 3) 福田正晴：ダム貯水池の水質問題とその対策，大ダム，No. 141，pp. 50-55，1997.
- 4) 田崎和江，縄谷奈緒子，国峯由貴江，森川俊和，名倉利樹，臨元理恵，朝田隆二，渡辺弘明，永井香織，池田頼正，佐藤一博，瀬川宏美，宮田浩志郎：黒部川出し平ダムおよび富山湾における堆積物の特性-懸濁粒子が魚類に与える影響の検討-，地質学雑誌，Vol. 108，No. 7，pp. 435-452，2002.
- 5) 横山勝英，石川忠晴，梅田信：濁質生産量の推定方法に関する研究，ダム工学，Vol. 10，No.4，pp.311-322，2000.
- 6) 白砂孝夫，安芸周一：貯水池濁水現象と水理学的軽減対策，発電水力，No.126，pp3-25，1973.
- 7) 櫻井寿之，柏井条介：貯水池流動鉛直2次元モデルにおけるモデルレベルによる計算結果の比較，ダム工学，Vol. 15，No.2，pp.106-119，2005.
- 8) 高埴琢磨，池淵周一，小尻利治：濁質水を考慮したダム制御に関する一考察，京都大学防災研究所年報，B，22(B-2)，pp.167-178，1979.
- 9) 土木学会，エネルギー土木委員会，新技術・エネルギー小委員会，堆砂・濁水分科会：ダム貯水池堆砂・濁水問題への取り組みと課題，報告書，pp.32-57，2001.
- 10) 電気事業連合会水質保全問題検討 WG：水質保全問題検討活動報告書，pp. 1-8，2000.
- 11) 水沼栄三，前田剛次：一ツ瀬ダム湖の濁りについて，宮崎大学農学部研究報告，Vol. 22，No. 2，pp. 239-245，1975.
- 12) 中山浩章，村上俊樹，中村隼：一ツ瀬ダム・貯水池の濁水長期化に対する実効性のある対策について，第41回ダム技術講演討論会テキスト，pp.74-84，2009.
- 13) 中村昭，今井瑞穂，横道雅巳：多目的ダム貯水池，第24回水理講演会論文集，pp. 259-264，1980.
- 14) 鈴木藤一郎，福田正晴：河川の濁水発生機構に関する研究，建設省技術研究会報告，pp. 801-805，1981.
- 15) 鈴木祥広，出口近士，関戸知雄，塩盛弘一郎，杉尾哲：宮崎県小丸川水系のダム堆積土砂に含まれる難沈降粒子の物理・化学的性状，土木学会論文集 G，Vol.65，No.1，pp. 16-25，2009.
- 16) 今井功，寺岡易司，奥村公男，小野晃司：1:50,000 地質図副「神門」，地質調査所，1979.
- 17) 斉藤真，木村克己，内藤一樹，酒井彰：1:50,000 地質図副「椎葉村」，地質調査所，1996.

(2010.5.21 受付)

Source Tracing Method for Difficult-to-Settle Fine Particles as the Causative Factor of Long-Term Turbidity in Dam Reservoirs through Physical-Chemical Analysis

Toshiki MURAKAMI¹, Yoshihiro SUZUKI², Mitsuhiro SEZAKI², Kenichi ITOU³
and Toshio NAKAO⁴

¹Technical Dept., Miyazaki Branch, Kyusyu Electric Power Co., Inc.

²Dept. of Civil and Environmental Engineering, Miyazaki University

³Dept. of Geo Environmental Preservation Center for International Relations, Miyazaki University

⁴Dept. of Biological Production and Environmental Science, Miyazaki University

The authors propose a source tracing method for difficult-to-settle fine particles as a cause of long-term turbidity in dam reservoirs. Soil samples of different strata were collected at a location where landslip had occurred in an area upstream from a dam with turbid water. Using a simple suspension method, specimens, which might cause the acceleration of turbidity, were selected from the soil samples. Then, the physical and chemical properties of difficult-to-settle fine particles contained in the specimens were analyzed. Based on a similarity assessment, that is comparison with properties of the bottom mud collected from the dam, a possible source of soil contributing to turbidity was traced. As a result, judging from the similarities of particle distributions and compositions, and mineral crystalline forms, it is probable that the difficult-to-settle fine particles contained in the soil sampled at one specific location were identical to those contained in the bottom mud. It was considered that this soil could be flowing into the dam, resulting in deposits in the bottom, and causing long-term turbidity. It is suggested that our approach combining a survey and physical-chemical analysis has the potential to be effective in tracing the source of substances causing turbidity in dam reservoirs.