一ツ瀬ダム上流域における長期濁水化に 関与する土砂分布地点と地質構造との関係

村上 俊樹¹・鈴木 祥広^{2*}・大石 博之³・中尾 登志雄⁴

¹九州電力㈱ 宮崎支社 技術部 (〒880-8544 宮崎市橋通西四丁目2番地23号)

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

³西日本技術開発㈱ 土木本部 調査解析部 (〒810-0004 福岡市中央区渡辺通一丁目1番地1号)

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

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

長期濁水化が顕在化しているダム流域内の広範囲の多数地点(71地点)において土砂試料を採取し、濁り継続試験を実施した。試験結果に基づき、長期濁水化の発生源となり得る危険度を設定・評価した。また、現地地質調査結果から、既存地質図における同一地質区分内をさらに詳細に分帯し、地質ブロック図を作成した。ここで明らかにした地質ブロックの分布と危険度が高い試料が採取された地点との間には整合性の高い関係があり、地質ブロックのレベル4分布域からは「危険度3」の試料採取が特徴的に多く得られていることが確認できた。この成果は、濁水長期化に関与している土砂分布域を特定するための基礎資料として大いに有用なものであり、今後の濁水抑制対策計画に資するものと評価できる。

Key Words : dam reservoir, upstream, long-term turbidity, fine particles, geological structure

1. はじめに

ダム貯水池における長期濁水化問題は、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¹⁾。九州南部の宮崎県一ツ瀬川でも、大規模な水力発電用ダムが建設された昭和38年以降、濁度10度以上の濁りが、約20日間以上継続するような長期濁水化が顕在化し²⁾、現在もなお洪水後に発生している。特に、平成17年9月の台風14号襲来後、翌年5月までの8か月間にも及ぶ、超長期間にわたり濁水が継続した。長期濁水化がもたらす一般的な弊害として、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^{3,6)}が、長期濁水化を防止するために水力発電所の運転を規制する等の場合が生じてきており⁷⁾、極めて重大な社会問題に発展した。これまで、各研究機関、電力各社の調査・研究により、流域土砂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⁸⁾や貯水池における濁水流動シミュレーションの検討^{9,10)}、濁質水を考慮したダムの最適制御に関する議論¹¹⁾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。一ツ瀬川水系でも、それらを応用したダム対策がすでに実施されているが¹²⁾、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。村田¹³⁾により本流域もすでに地質図は作成され、地層構造の概観は理解されているものの、県内全域を対象としているため、本流域における複雑な構造を把握するには至っていない。江頭と芦田¹⁴⁾は、山地流域における裸地が微細土砂の生産場になることを示している。また、Kouhpeimaら¹⁵⁾は小規模山岳流域の微細堆積物源を追跡し発生源として特定している。他にも、河川や河口堆積物の供給源の特定に関する研究報告^{16,17)}は多くあるが、一ツ瀬川でみられるような非常に期間の長い濁水発生との関係を論じた研究はみられない。

そこで本研究では、長期濁水化が重大な社会問題に発展している九州の一ツ瀬川水系を対象とし、効果的かつ優先的な濁水発生抑制に向けた上流域対策の足掛かりとするため、長期濁水化を引き起こす土砂の採取地点と地質図(構造)を明らかにし、長期濁水化に深く関与していると推測される土砂分布域の特定を試みた。

2. 調査・実験方法

(1) 現地調査と土砂採取

図-1 一ツ瀬ダム流域調査位置図

一ツ瀬ダム流域において、衛星写真、森林計画図、路線図、森林簿、聞き取り調査結果から調査候補地リストを作成した。そのリストをもとに、濁水の発生源と推定される山斜面が大規模に崩落し、土砂が露出している裸地、伐採跡地・新植地の裸地および林道・作業道等の裸地の法面を調査した。なお、降雨時は濁りの出る谷を調査した。土砂試料は、各地点の裸地法面において地層が明瞭に区分される層の中央付近から、各層毎にプラス

チック製スコップを用いて湿潤状態で500g～1kgを採取した。試料数は2009年～2011年の3か年で計71地点、122試料である。

(2) 濁り継続試験

濁りの継続試験は、一定量の水に一定量の土砂を溶かし、一定時間振とう分散処理後、静置し、ある深さでの濁度の変化を長期的に測定する方法で実施した。まず、

【振とう分散処理直後】

【24時間静置後】

図-2 濁り継続試験における濁り長期化の様子（代表例）

採取土砂を室内で風乾させ、土塊の破碎、2mmの篩で篩別処理を行い、砂分を分けた。土砂サンプルを0.013g秤量して25mlの専用セルにいれ、純水25mlを加えた。これを超音波洗浄機（SHARP, UT-105）を用いて、15分×2回の合計30分間の振とう分散処理を行った後静置し、濁度（ホルマジン濁度、FTU）の変化を光透過型の濁度計（HACH, DR2000）を用いて測定した。同一試料を用いて、長期間連続して濁度を測定する場合、採水は攪乱の影響が大きいため実験法として適当でない。また多数試料の同時に測定することも考慮すべき条件であったことから、専用セル内の濁度を、乱さず短時間で直接測定ができる本手法を採用した。なお、濁度計の光路位置は、専用セル内水面から14mmである。濁度変化は、試料の濁度が10FTU未満となるまで1～3日毎に連続して測定した。濁度変化の測定期間は42日間とした。専用セル内での濁り継続期間が20日を超える試料については、ダム貯水池での濁水長期化の原因になり得るものと考えられる。

(3) 危険度の判定

濁り継続試験で、測定濁度が10FTU未満になるまでの日数から長期濁水化リスクを評価した。濁水は20日以上継続すると苦情が発生し、逆に5日以内であれば許容されている実態がある。これを考慮し、濁り継続日数20日以上を「危険度3」、11～19日を「危険度2」、6日～10日を「危険度1」、5日以内を「危険度0」と定義した。

図-3 濁り継続試験の結果

表-1 長期濁水化リスク評価結果

	危険度3	危険度2	危険度1	危険度0	計
一ツ瀬川本流域	9 (21)	14 (33)	8 (18)	12 (28)	43 (100)
板谷川流域	5 (16)	9 (28)	7 (22)	11 (34)	32 (100)
小川川流域	3 (38)	2 (25)	0 (0)	3 (37)	8 (100)
銀鏡川流域	14 (45)	1 (3)	4 (13)	12 (39)	31 (100)
ダム貯水池周辺	1 (13)	3 (37)	3 (37)	1 (13)	8 (100)
計	32 (26)	29 (24)	22 (18)	39 (32)	122 (100)

数字は試料数、()は割合%

(4) 基盤岩の地質分布調査

長期濁水の原因となる粒子は、基盤の岩石が風化・崩壊することで生産される土砂から発生するものと考えられる。そのため、基盤岩の地質と長期濁水の原因土砂の分布は相関性が高いものと推察される。そこで、本研究では対象エリアの地表地質踏査を実施し、一ツ瀬ダム流域内でみられる基盤岩の岩種・岩相、地質構造（地層の走向傾斜や褶曲構造の有無など）、断層・変質帯等の有無とその特徴などを把握することとした。その結果は地質図（地質ブロック図）として集成した。

(5) 危険度と岩種の関連性検討

GISを用いて、地質ブロック図に各地点毎の危険度をプロットし、高い危険度の分布域と岩種との相関から、関連性を評価した。

3. 結果と考察

(1) 現地調査結果

対象地域の流域面積は415km²と広大で、現地調査地点は、一ツ瀬川本流域で17地点、板谷川流域で23地点、小川川流域で6地点、銀鏡川流域で20地点、ダム貯水池

表-2 地質対比表

本調査結果				既存地質区分		
区分	変成レベル	新鮮部	風化部	宮崎県： 宮崎県地質図 第5版	地質調査所： 「尾鈴山地域 の地質」	地質調査所： 「椎葉村地域 の地質」
粘板岩	レベル4			乱雑層	混在相	メランジエ 基質相
頁岩（破断された 砂岩含む）	レベル3				砂岩泥岩 破断相	砂岩泥岩 破断相
スランブ頁岩	レベル2				泥岩相	頁岩相
整然頁岩	レベル1			泥岩		

周辺5地点となった（図-1）。1地点あたり1～4層に20～100cmの幅で明瞭に区分できた。各層は明褐色のアカホヤ火山灰を多く含む部分や単褐色～暗褐色の礫混じり粘性土および岩片混じりの暗灰色粘性土などがみられ、複雑な地層構造であることが容易にみとれた。特に連続した断層破碎帯沿いにみられた黒～黒灰色の粘性土が、どの流域でも確認され、広い範囲で分布していることがわかった。

(2) 濁り継続試験結果

振とう分散処理直後と24時間静置後の濁り状態の代表例を図-2に示す。また、各試料が10FTU未満になるまでの濁り継続日数を図-3に示す。濁度10FTU以下まで数日で低下するもの、10～20日で低下するもの、20日以上要するものなどがあった。特に42日目の測定最終日まで10FTU未満にならなかった試料を流域毎にみると、一ツ瀬川本流：3試料/全43試料（7%）、板谷川：4/32（13%）、小川川：1/8（13%）、銀鏡川：6/31（19%）、

ダム貯水池周辺：0/8（0%）で、銀鏡川が絶対数も流域内割合も最高値となった。

(3) 長期濁水化リスク評価

濁りの継続試験結果を元に、長期濁水化リスク評価を行った。評価結果を表-1に示す。これより、どの流域にも「危険度3」の試料が含まれているが、特に銀鏡川流域が多く、45%を占めた。

(4) 基盤岩の地質分布

宮崎県地質図¹³⁾によれば、本研究の調査対象範囲は四万十県層群日向層群の乱雑層と砂岩優勢層が主な地質として分布するものとされている。しかしながら、本研究での地質踏査の結果、宮崎県地質図に示されている乱雑層は多様な地質を呈することが明らかとなった。そこで「乱雑層」とよばれる地層の範囲の中から更に濁水発生源として注目すべきエリアを特定することを目指し、調査で認められた岩相のバリエーションに基づいて表-2

図-4 地質ブロック図（一ツ瀬ダム流域）

に示すような区分による分帯を試みた。当地域の地質は低角度の衝上断層が繰り返しみられ典型的な付加体の地質構造を呈している。岩盤は付加体の形成過程において変成作用を受けており、その程度は地質の生成年代が古いものほど高くなっているものと考えられる。ここでは、現地で見られた地質的な岩相の違いに基づき、岩石の変成の程度を表す呼称として、レベル1～4と表記した。表

-2に示すようにレベル1からレベル4に向かって変成度は高くなっていることを示している。

レベル4の岩相は、石英分結脈の発達した粘板岩質頁岩（一部千枚岩に近い岩相もあり）であることを特徴としている。泥質岩の中にはブロック状に破断された砂岩が含まれるほか、玄武岩質の火山岩類のブロックが含まれることも多い。この地質ブロックは地質調査所「尾

図-5 変成レベル毎の危険度分布と危険度3の割合

鈴山地域の地質」図副¹⁸⁾に示されるところの混在相と、また地質調査所「椎葉村地域の地質」図副¹⁹⁾ではメランジェ基質相と呼称されている地質に対比されるものと判断した。

レベル3ではレンズ状の砂岩ブロックと鱗片状へき開の発達した頁岩質泥質部を伴う岩相が認められる。また、小褶曲・小断層等の構造も多くみられる点も特徴的である。地質構造や岩石の構成などはレベル4に近い部分もあるものの、石英分結脈の発達がみられないことで区別することができる。この地質ブロックは地質調査所「尾鈴山地域の地質」図副および「椎葉村地域の地質」図副では砂岩、泥岩破断相と呼称されている地質に対比されるものと判断した。

レベル2およびレベル1は日向層群に一般的にみられる岩相であり、整然と成層した頁岩を主体とするものと、地層が未固結時に受けたとみられる変形により小褶曲（スランプ褶曲）が発達するものを指す。

この他、砂岩優勢層や砂岩との互層状を呈する岩相、市房山から連なる深成岩類や小規模な貫入岩体などがみられた。

(5) 危険度と岩種の関連性検討

本研究では、この地域の主要な岩種である乱雑層相当の泥質岩類に着目し、その変成度と危険度との関連性を評価した。図-4に地質ブロック図に危険度を示したものを、また図-5に泥質岩の変成レベルと濁り継続時間に基づく危険度との対比結果を示す。長期濁水化の原因となり得る濁り継続時間は「危険度3」に相当することから、図-5には「危険度3」の割合も併せて示した。これによると、レベル1・2からレベル4に向けて、「危険度3」の割合が大きくなっていることが分かる。このことから、レベル4の地質ブロックから長期濁水化の原因となる濁質が特に多く生産されている可能性が想定できる。レベル4は、四万十層群の泥質岩の中でも変成度が高い岩相を呈するものであり、変成に伴い生じる粘土鉱物類

（イライト、緑泥石等）を相対的に多く含んでいるものと考えられる。このような地質が断層や風化により微細化、土壌化した濁質には多くの粘土鉱物が含まれ、そのことが濁り継続時間の長期化に結びついている可能性が推察される。特にレベル4とレベル3の境界部となる「大藪衝上断層」沿いに「危険度3」が集中しているのは、衝上断層により微細化が進んでいるからと考えられる。逆に、レベル1・2については、「危険度0-2」の試料数が相対的に多くっており、危険度の高い濁質を生産する可能性の低いエリアと評価できる。ただし、図-4に示すように、両地質ブロック内においても「危険度3」が散見されている。これらは、地層の境界部等に、局所的に存在する断層や変質帯によるものと推定される。

4. まとめ

長期濁水化現象が、非常に大きな社会問題となっている一ツ瀬ダム流域内の広範囲の多数地点（71地点）において土砂試料を採取し、濁り継続試験を実施した。試験結果に基づき、長期濁水化の原因発生源となり得る危険度を設定、評価した。また、現地地質調査結果から、既存地質図における同一地質区分内をさらに詳細に分帯し、地質ブロック図を作成した。地質ブロックの分布と危険度との間には整合性の高い関係があり、地質ブロックのレベル4分布域からは「危険度3」の試料採取が特徴的に多く得られていることが確認できた。

この成果は、濁水長期化に関与している土砂分布域を特定するための基礎資料として大いに有用なものであり、濁水発生抑制のための施策をこの領域に集中させることによって、その効果をさらに高めることが可能となると考えている。

今後、基盤となる地質および危険度の高い試料に対する鉱物的な特性を詳細に分析することによって、長期濁水化リスクの高い土砂の生産メカニズムをさらに詳細に解明する予定である。また、地層の境界に発達する断層や貫入岩帯の周辺など特殊な要因が働いていることが考えられる箇所についても濁り危険度との関連を究明していきたい。

謝辞：本研究を実施するに当たり、児湯広域森林組合西米良支所の黒木支所長ほか支所の皆様には、土砂崩壊地や林道・作業道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) 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.

- 2) 水沼栄三, 前田訓次: 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.
- 3) 松尾直規: ダム貯水池の水質問題, 電力土木, No. 238, pp. 3-18, 1992.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 田崎和江, 縄谷奈緒子, 国峯由貴江, 森川俊和, 名倉利樹, 脇元理恵, 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 高埴琢馬, 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.
- 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) 村田明広, 宮崎県の四万十帯の地質 宮崎県地質図第 5 版説明書, 1998.
- 14) 江頭進治, 芦田和男: 山地流域における微細土砂の生産場と流出過程に関する研究, 京都大学防災研究所年報, Vol.24(B-2), pp.239-250, 1981.
- 15) Kouhpeima, A., Feizania, S., Ahmadi, H. : Tracing fine sediment sources in small mountain catchment, *Water Science & Technology*, Vol. 63.10, pp.2324-2330, 2011
- 16) Walling, D.E. : Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, *Science of Total Environment*, Vol.344, pp.159-184, 2005
- 17) Dubrulle, C., Lesueur, P., Boust, D., Dugue, O., Poupient, N., Lafite, R. : Source discrimination of fine-grained deposits occurring on marine beaches: The Calvados beaches (eastern Bay of the Seine, France), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 72, pp.138-154, 2007
- 18) 木村克己, 巖谷敏光, 三村弘二, 佐藤喜男, 佐藤岱生, 鈴木祐一郎, 坂巻幸雄: 尾鈴山地域の地質, 5 万分の 1 地質図副, 地質調査所, 1991.
- 19) 斉藤眞, 木村克己, 内藤一樹, 酒井彰: 椎葉村地域の地質, 5 万分の 1 地質図副, 地質調査所, 1996.

(2012. 5. 25 受付)

Relationship between the distribution points of sand containing difficult-to-settle fine particles and the geological structure in an area upstream from a dam: The case study on Hitotsuse Dam Basin, Miyazaki

Toshiki MURAKAMI¹, Yoshihiro SUZUKI², Hiroyuki OISHI³ and Toshio NAKAO⁴

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

²Dept. of Civil and Environmental Engineering, Miyazaki University

³Investigation and Analysis Engineering Dept., West Japan Engineering Co., Inc.

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

Through a soil survey, the authors collected soil samples from different strata at locations where landslide had occurred in the upstream area of a dam reservoir suffering from long-term turbidity. And soil specimens that might be responsible for accelerating the turbidity were obtained from the soil samples, using a simple suspension method. The soil specimens were categorized into four risk levels, indicating their degree of turbidity. Further, we prepared a detailed geological block diagram, which specifies different geological structures based on metamorphic grades. As a result, it was found that there was a significant correlation between the distribution of geological structure and the locations where high-risk-level soil samples were collected. This information is useful for determination of the distribution of soil structure at specific locations where there is soil causing turbidity, contributing to effective countermeasures for long-term turbidity in dam reservoirs.