

一ツ瀬川上流域における山腹崩壊地からの 濁水発生 の現地観測

OBSERVATION OF TURBIDITY GENERATION IN THE UPSTREAM REGION OF THE HITOTSUSE RIVER WATERSHED

杉尾 哲¹・Donny HARISUSENO²・中村 隼³
Satoru SUGIO, Donny HARISUSENO and Jun NAKAMURA

¹フェロー会員 工博 宮崎大学 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

²学生会員 宮崎大学院 工学研究科土木環境工学専攻 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

³九州電力株式会社 宮崎支店 技術部 (〒880-8544 宮崎市橋通西4-2-23)

The Hitotsuse River which flows in the middle part of Miyazaki Prefecture, Japan, had been in a severe problem of high turbid water prolongation in recent years. Consequently, new countermeasures were needed to improve river environment on the watershed to minimize the problem. In order to obtain a better understanding on the turbidity generation, field measurements of turbid water were performed on a representative collapsed mountain slope in the upstream region of the watershed. Site reconnaissance revealed that there were 3 types of turbid water generation from the collapsed slope, namely: Type A: Erosion on the slope face, Type B: Waterside erosion at the slope toe, and Type C: Waterside erosion in the downstream river bed. The quantitative analysis clarified that most of the turbid material was generated by both Type A and Type B. Therefore, treatment at both the slope face and the slope toe of the collapsed mountain slope were essential to control turbid water generation.

Key Words : Turbid water, turbidity generation, collapsed slope, site reconnaissance, erosion on slope face, waterside erosion at slope toe

1. まえがき

宮崎県中部を流れる一ツ瀬川では、長年にわたって生じている濁水長期化現象の解決が社会的な課題になっている。濁水長期化の解決に向けて、これまでも選択取水施設の設置やその改造など種々の対策が講じられてきた^{1),2)}。しかし、それらの対策は、ダム貯留水の運用を変更するものでしかなかった。濁水長期化の解決は、上流域での濁水発生の防止と併せて図るべきである。

本研究では、これまで対策が採られなかった上流域を対象として、濁水発生の防止を目的とした様々な検討を行っている³⁾。これまでの検討で、一ツ瀬川上流域での濁度の発生形態を分類するとともに、土砂崩壊後に降雨や出水によって崩壊土の微細分が流送されるに連れて濁度が次第に低減する傾向を示すことを明らかにした⁴⁾。本論文では、平成17年の台風14号の襲来時に最上流域の流路に隣接する斜面で発生した大規模な山腹崩壊地を対象として、濁水の発生状況の現地観測を実施すること

によって、崩壊後の山腹崩壊地からの濁水の発生状況を検討し、その発生濁質量を把握することを目的とした。

2. 研究対象地点

一ツ瀬川は、宮崎県の中中部を流れる二級河川で、流域面積 852km²、流路延長 91.3km である。流域の位置を図-1 に示している。熊本県との境界をなす九州山地の間を流れる上流域は、地形が急峻で、四万十層の日向層群に属する頁岩が広く分布している⁵⁾、洪水時に土砂が生産されるとその微細粒子が浮遊して濁水が発生する。一ツ瀬川上流域の西米良で濁度と降水量が観測されているが、その結果によると、流域での基準値となっている 10mg/L を超えた日数(以下、濁水日数という)が近年長期化している。年ごとの濁水日数と降水量の変化を図-2 に示している。全期間の濁水日数の平均は 26.4 日であるが、1992 年までの平均が 11.8 日であったものが、1993 年以降は 43 日に増加している。しかし、両期間に

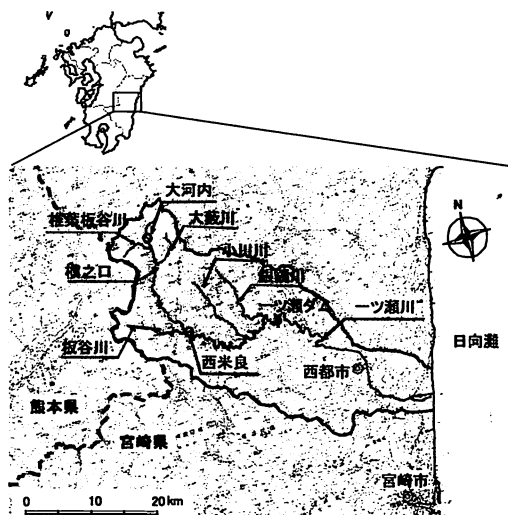


図-1 一ツ瀬川流域の位置図

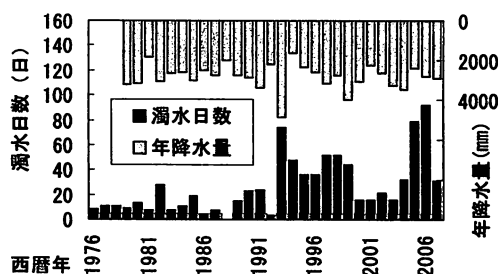


図-2 濁水継続日数と年降水量

年降水量の際立った変化は見られない。1993 年に一ツ瀬川上流域で大規模な土砂崩壊が発生している⁶⁾ことから、これを境に濁水の発生が長期化したものと考えられる。図-3 に一ツ瀬川最上流域の 2006 年の衛星写真を目視判読した崩壊地の位置図を示しているが、崩壊した山腹斜面が数多く点在していることが分かる。

このうち、図-3に示す最上流域の大河内地区では、平成17年の台風14号の襲来時に本川流路に隣接する位置で山腹斜面が大規模に崩壊した。その崩壊地の全景を図-4に示す。この崩壊地の投影面積は10haで、これより上流部に存在する崩壊地の総面積は24haである。崩壊地は、降雨時に濁水の発生源になると考えられることから、この崩壊地を研究対象として、濁水の発生状況の現地観測を実施して、崩壊後の山腹崩壊地からの濁水の発生状況について検討した。

3. 調査

崩壊した山腹斜面からの濁水の発生状況を検討するために、一ツ瀬川上流域に常設されている雨量観測所と流量観測所、濁度観測所のほかに、研究対象の山腹崩壊地の直下を流れている一ツ瀬川流路の崩壊地の上流地点と下流地点に自記記録式の濁度計と水位計を新たに設置し

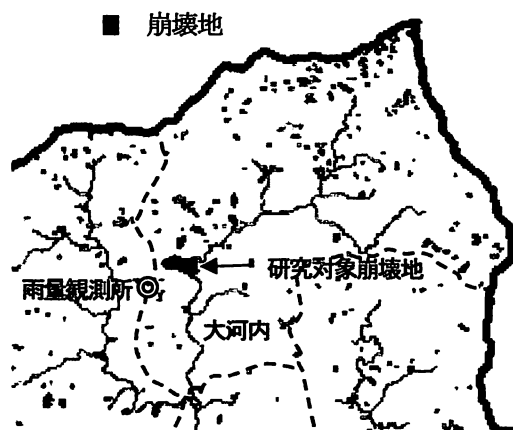


図-3 一ツ瀬川最上流域の崩壊地



図-4 研究対象崩壊地の全景

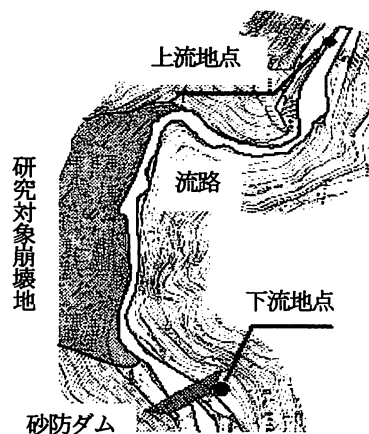


図-5 観測機器の設置位置

て、平成18年の7月下旬から11月中旬まで10分間隔で観測した^{7),8)}。なお濁度計は、いずれも散乱光方式で、常設のものは水質自動観測装置MA-955Dに組み込まれた濁度計（北斗理研）を、新設のものは機動力を考慮して小型メモリークロロフィル濁度計COMPACT-CLW（アレック電子）を用いている。新設の観測位置を図-5に示す。

(1) 流量

研究対象崩壊地のの上流地点で観測した水位をもとに、流量を下記のように算定した。まず、流路内の流れを等流とみなして、流量をマンニング式で算定することとし、

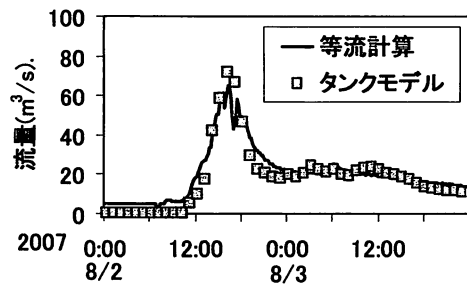


図-6 流量算定結果の比較

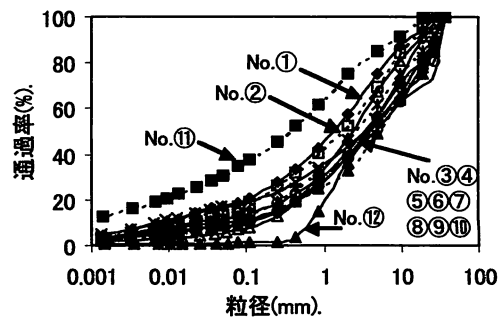


図-10 崩壊地土壌の粒度分布

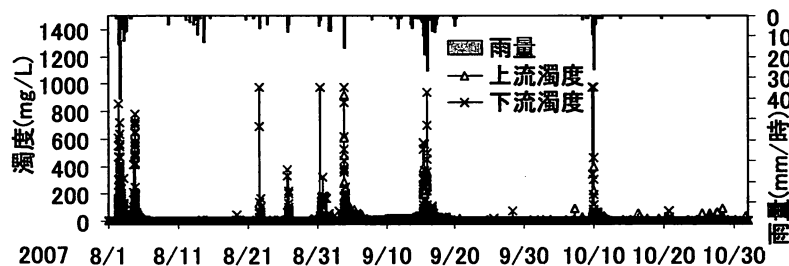


図-7 崩壊地での観測濁度と時間雨量

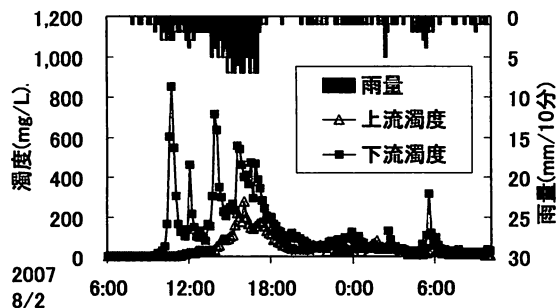


図-8 崩壊地での観測濁度(8/2~8/3)

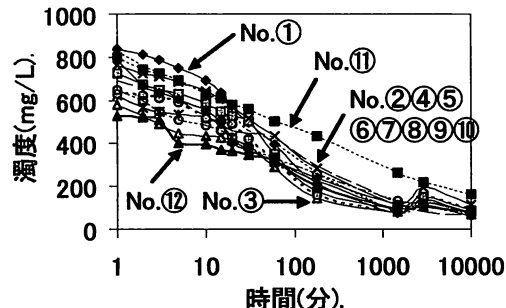


図-11 崩壊地土壌の濁度変化

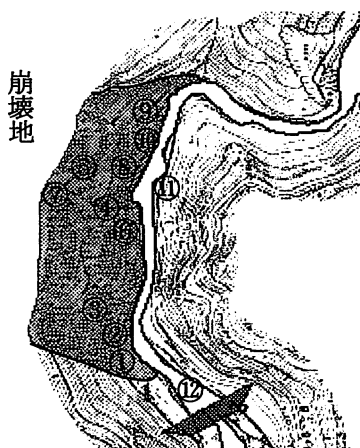


図-9 崩壊地土壌の採取位置

河床こう配を上流地点周辺での測量結果から $I=0.00445$ と与えた。粗度係数は、流量の算定結果が一ツ瀬川の流出解析に使われているタンクモデルからの算定値と全期間で一致するように $n=0.03$ に設定した。台風 5 号の襲来に伴う 8 月 2 日～3 日の降雨時の算定結果をタンクモ

デルによる算定値と比較して図-6 に示している。両者がほぼ一致していることが分かる。研究対象崩壊地の下流地点の流量は、崩壊地上流地点の水位観測位置との流域面積の差を用いて上記のタンクモデルで算定される流量差を上流地点の流量に加えて算定した。

(2) 濁度

観測した上流地点と下流地点の濁度と大河内雨量観測所の時間降雨量を図-7 に示している。8 月 2 日～3 日の観測濁度の変化を図-8 に示しているが、降雨初期に最高値が観測され、下流地点の濁度は変動が激しいのに対して、上流地点の濁度は変動が小さいことが分かる。

(3) 土質試験

崩壊地とその周辺の 12 箇所です砂を採取し、宮崎県地質調査業協同組合土質試験センターに依頼して土質試験を行った。その採取位置を図-9 に示し、粒度分析と濁度試験の結果を図-10 と図-11 に示す。なお、濁度試験では

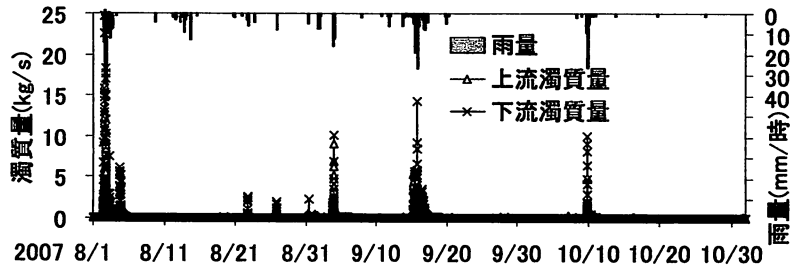


図-12 崩壊地での濁質量

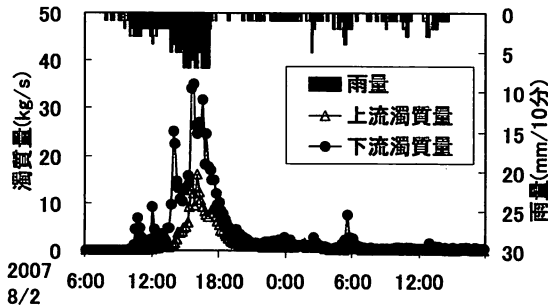


図-13 崩壊地での濁質量(8/2～8/3)

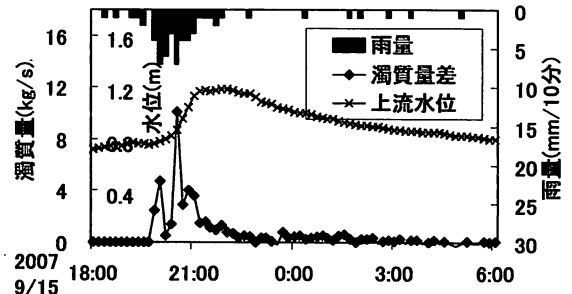


図-16 崩壊地からの発生濁質量(9/15～9/16)

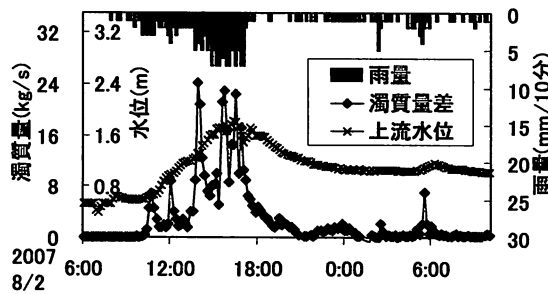


図-14 崩壊地からの発生濁質量(8/2～8/3)

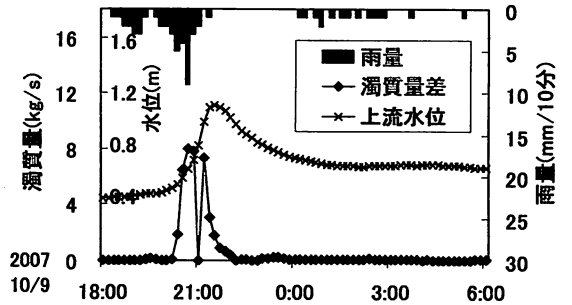


図-17 崩壊地からの発生濁質量(10/9～10/10)

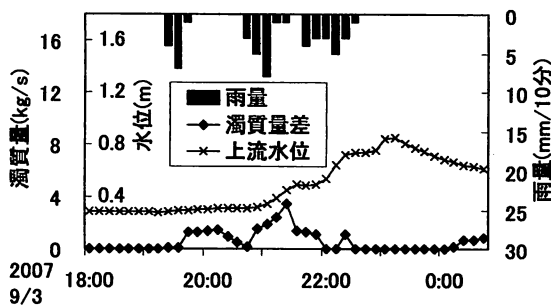


図-15 崩壊地からの発生濁質量(9/3)

初期値を測定限界以下に希釈している。これらの結果によると、崩壊地で採取した土壌の多くは細粒分混じり砂質礫に分類され、シルト分を4.2～10.2%，粘土分を2.2～8.5%含んでいて、一旦流出すると濁度が流域での基準値の10mg/L以下に容易には低下しないことなどが分かる。

4. 濁質量の算定結果

観測濁度と算定流量の積で濁質量を算定できるとみなして、上流地点と下流地点の濁質量を算定した。この結果を図-12に示している。これから、濁質量が10kg/sを超える流出が観測期間に4回発生したことが分かる。このうち、8月2日～3日の濁質量を図-13に示している。観測区間の上流から濁質が流下してくるから、対象とした崩壊地からの発生濁質量は上流地点と下流地点の濁質量を差し引くことで得られる。濁質量が10kg/sを超えた4回分の流出について上流地点と下流地点の濁質量の差を求めて、上流地点の水位と一緒に図-14～17に示す。なお、上流地点の水位は、崩壊地底部の水位とは値は異なるが、崩壊地底部の水位の時間的な変化を表していると考えられる。また、これら図の雨量は、大河内雨量観測所で観測され整数で記録された10分間雨量を描いている。これらの図から、発生濁質量は雨量が大きい時



図-18 崩壊地斜面の浸食状況



図-19 崩壊地底部の浸食状況



図-20 崩壊地下流部の崩落状況

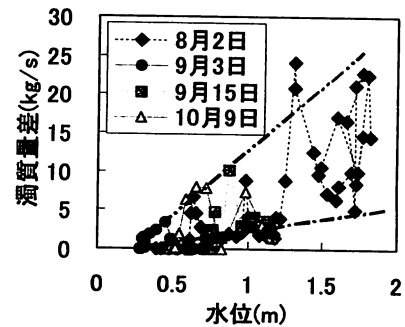


図-21 崩壊地からの発生濁質量

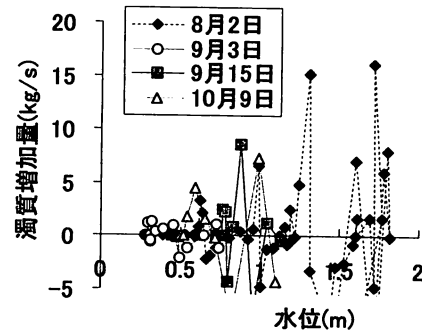


図-22 崩壊地からの発生濁質量

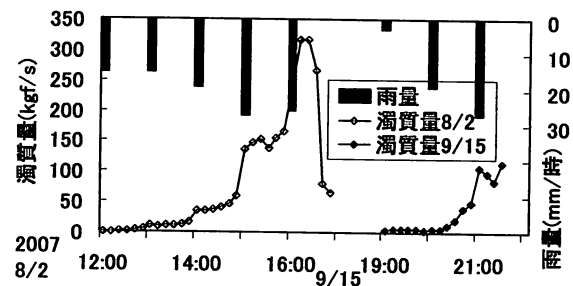


図-23 槇之口観測所の通過濁質量

間帯に大きいですが、雨量強度との相関は低く、水位が上昇する時間帯に不連続的に発生していることが分かる。図-14 から 8 月 2 日～3 日の発生濁質量の総量を求めると 281t となり、図-13 に示した上流地点の濁質量から崩壊地より上流の発生濁質量の総量を求めると 172t となる。研究対象とした崩壊地の面積は 10ha でしかないが、その上流に総面積 24ha の崩壊地などの濁質の発生源があることを考慮すると、研究対象とした崩壊地からの発生濁質量が大きいことが分かる。

5. 考察

(1) 濁水の発生メカニズム

崩壊後の山腹斜面からの濁水発生状況を踏査し観察した結果、崩壊後の山腹斜面からの主な濁水の発生メカ

ニズムを次のように分類できると考えた。

a) 崩壊地斜面での発生

図-18 に崩壊地の山腹斜面の一部を示しているが、地表土がV字型に浸食されている。降雨時に崩壊斜面の表面窪地に降水が集まり、その表面流によって地表土が浸食されて濁水が発生する。

b) 崩壊地底部での発生

図-14 に示したように、8 月 2 日に多量の濁水が発生したが、翌日に撮影した崩壊地底部を図-19 に示している。図左手の岸肩部に鮮明な筋が見えていて、土砂が崩落したことを示している。山腹斜面から崩落した土砂が流路の横に厚く堆積した崩壊地底部では、出水時に水際部の土砂が流水によって浸食されて濁水が発生する。

c) 流路での発生

図-20 に崩壊地の下流部を示しているが、流路内の堆積土砂が明瞭な肩を形成していて、土砂が崩落したことを示している。これから分かるように、上流から流送さ

れた土砂の一部が下流側の河床に一時的に堆積するが、出水時に流水によって浸食されて濁水が発生する。

このうち、a)崩壊地斜面での発生は、降雨時の強い表面流に起因するが、斜面の勾配が大きいため、表面窪地の底部が浸食されて、地表土の上部が不安定になって土砂が不連続的に崩落すると考えられる。b)崩壊地底部での発生は、堆積土砂によって流路が狭められているため水際の土砂の底部が流水によって浸食され、それに連れて堆積土の上部が不安定になって、土砂が不連続的に崩落すると考えられる。c)流路での発生は、出水時に連続的に発生すると考えられる。

図-14～17 に示した崩壊地からの発生濁質量を、横軸に水位を選んで整理すると図-21 のようになり、10 分間隔で算定されている発生濁質量から 10 分毎の発生濁質量の増加量を求めて、これを縦軸に選んで整理すると図-22 のようになる。この図から、濁質量は 10 分間の短時間に急激に増加していて、不連続的に発生していることが確かめられる。

以上を考慮すると、不連続的な濁質量の増大は、a)崩壊地斜面と b)崩壊地底部での発生に因るものと考えられる。これが図-21 の大きな値に相当するから、図-21 においてそれらの集団を直線で結ぶと二点鎖線のようになる。また、小さな値の集団を直線で結ぶと一点鎖線のようになる。一点鎖線で示したものが c)流路で連続的に発生するものや本研究で確認できなかったその他の要因によるものと考えられる。一点鎖線と二点鎖線の値を比較すると、a)崩壊地斜面と b)崩壊地底部での発生濁質量は、c)流路などで連続的に発生する濁質量に比べて 5 倍程度に大きいといえる。

ここで、先に求めた崩壊地からの発生濁質量の総量 281t と土質試験で求めた崩壊地の土砂の密度の平均値 2.764t/m^3 を使って発生濁質の土量を算定すると 102m^3 となる。観測期間中の最大濁度が観測された 8 月 2 日～3 日の高濁度が比較的小さい土量で発生していたことが分かる。当該崩壊地の斜面と崩壊地底部には浸食対策が実施されていないため、今後もこのような濁質の発生が継続すると考えられる。次に、当該崩壊地の下流に常設された槇之口観測所の濁度と流量の観測値から濁質量を求めて、当該崩壊地の発生濁質量と比較した。図-1 に示したように、槇之口観測所では椎葉板谷川と大蔵川からの濁質量が含まれる。ただし、槇之口観測所では高水時に堰を倒伏させるため、倒伏前の時間帯しか観測値がない。図-23 に観測期間内の代表的な発生濁質量を示している。この時間帯の値から図-14 と図-16 の濁質量を算定して比べると、当該崩壊地一箇所の発生濁質量は槇之口観測所を流下する濁質量の 1/10 程度を占めることが分かった。

6. まとめ

一ツ瀬川流域の大河内地区の崩壊地を対象として、崩壊地からの濁水の発生状況について検討した結果、以下のように理解された。

①崩壊地の土壌は細粒分混じり砂質礫に分類され、溶解すると濁度がなかなか低下しない。

②平成18年の7月下旬から11月中旬までの観測期間に、濁質量が 10kg/s を超える流出が4回発生した。

③崩壊地からの濁水発生は、a)崩壊斜面での発生、b)崩壊地底部での発生、c)流路での発生に分類できる。

④崩壊地からの発生濁質量の大部分は、崩壊地斜面と崩壊地底部から発生したもので、流路などで発生する濁質量に比べて大きい。

⑤観測期間中の最大濁度が発生した8月2日～3日の発生濁質の土量は 102m^3 と比較的少なく、今後もこの崩壊地から濁質の発生が継続すると考えられる。

⑥崩壊地からの濁水の発生を抑止するには、崩壊地の斜面と崩壊地底部の浸食対策が重要である。

⑦当崩壊地からの発生濁質量は、槇之口観測所を流下する濁質量の1/10程度を占める。

以上のように、崩壊後の山腹崩壊地からの発生濁質量を把握でき、河川環境の整備のための基礎資料を提供できたと考えている。

謝辞：本研究は、一ツ瀬川及び小丸川上流域森林保全機構からの受託研究の一部として実施したものである。土質試験については宮崎県地質調査業協同組合土質試験センターにご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂井和典ら：一ツ瀬貯水池濁質沈降促進技術の調査研究，電力土木，No. 305，pp. 33-37，2003。
- 2) 武田悦男ら：一ツ瀬発電所選択取水設備の改良とその効果，電力土木，No. 305，pp. 38-42，2003。
- 3) 杉尾哲：一ツ瀬川上流域における濁水発生源及び発生メカニズムに関する調査研究，一ツ瀬川及び小丸川上流域森林保全機構受託研究報告書，2008。
- 4) Harisuseno, D., et al. : Turbidity response to discharge in the upstream region of the Hitotsuse River watershed, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 52, pp. 169-174, 2008。
- 5) 斎藤真ら：椎葉村地域の地質：地域地質研究報告(5万部の1地質図幅)，地質調査所，pp. 6-59，1996。
- 6) 宮崎県土木部：宮崎県における災害文化の伝承，pp. 7，2006。
- 7) 藤田正治ら：山地小流域における土砂動態のモニタリング手法，京都大学防災研究所年報，第46号B，pp. 213-223，2003。
- 8) 小山内信智ら：濁度計を用いた土砂移動緊急監視システムに関する研究，国土技術政策総合研究所資料，第332号，2006。(2008. 4. 3受付)