

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第4362号

土木研究所資料

土石流により溪床が侵食された溪流での
土砂移動実態調査報告
—平成26年8月広島豪雨における土石流の事例—

平成29年12月

国立研究開発法人土木研究所
土砂管理研究グループ火山・土石流チーム

Copyright © (2017) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土石流により溪床が侵食された溪流での土砂移動 実態調査報告

—平成26年8月広島豪雨における土石流の事例—

土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員 水野秀明
主任研究員 藤村直樹
交流研究員 黒岩知恵

概 要

本研究では、土石流が発生したものの頻発しない溪流で現地観測を行い、土石流発生後に残存した不安定土砂の短期的な土砂移動実態を明らかにするとともに、土砂移動の規模等を推定する際に重要な情報となるマンシングの粗度係数の算出を試みた。観測では平成26年広島豪雨により土石流が発生した堆積岩(泥岩)地域を対象とした。2015年10月～2016年12月までの観測により、礫等の土砂移動と細粒分を主体とする土砂移動は繰り返し発生した。単一の降雨量と土砂移動との関係を見ると、礫等の土砂移動の発生条件は、それぞれ累積雨量は20mm以上、時間雨量は6mm/h以上、10分間雨量は2.5mm/10min以上であった。長期間降雨と短期間降雨を指標とすると、累積雨量が20mm以下で、時間雨量が5mm以下もしくは10分間雨量が2mm/10min以下では土砂移動は発生しなかった。土砂移動状況の観測結果は、既往の土砂移動領域区分(高橋、1982)に基づいて整理した。粗度係数は、土砂移動時の流量の増減とともに時系列的に変動し、ピーク流量時は0.18を示した。この値は、山地流路における粗度係数の概略値(社団法人土木学会、2001)よりも大きい傾向であった。今回得られた粗度係数は、流路の構成土砂の粒径に対し水深が比較的小さい流況の観測結果に基づいたものであるため、今後は水深が大きい流況での観測データを蓄積する必要がある。

キーワード：不安定土砂、現地観測、粗度係数、降雨量、平成26年8月広島土砂災害

目次

1. はじめに	1
2. 研究対象流域	3
2.1 流域の概要	3
2.2 土砂災害発生時の降雨	10
2.3 土石流が発生した後の溪流の状況	12
2.3.1 不安定土砂の状況	12
2.3.2 土質特性	16
3. 研究方法	23
3.1 現地観測の概要	23
3.2 土砂移動状況の観測	25
3.2.1 観測方法	25
3.2.2 土砂移動状況の分析方法	29
3.3 粗度係数の把握	32
3.3.1 水深の観測方法	32
3.3.2 粗度係数の算出方法	44
4. 研究結果と考察	46
4.1 土石流が発生した後の状態における土砂移動の実態	46
4.1.1 土砂移動状況	46
4.1.2 降雨量と土砂移動	55
4.1.3 長期および短期間降雨量と土砂移動	61
4.1.4 濁水の流出開始時期と降雨量	63
4.1.5 土砂移動の発生有無	64
4.2 土石流が発生した溪流の粗度係数	71
4.2.1 土砂流出時の粗度係数	71
4.2.2 径深と流速との関係	77
5. まとめと今後の課題	78
謝辞	78
引用文献	79

巻末資料

巻末 1 インターバルカメラの画像	巻末 1-1
巻末 2 濁水の流出開始時の状況	巻末 2-1

1. はじめに

土石流が発生した直後、地方自治体や国の関係機関は溪流内に残存する不安定土砂の状況を調査して二次災害の可能性を評価し、警戒体制への助言などのソフト面での対応、仮設構造物による応急対策などのハード面での対応が必要となる。そのためには、土石流が発生した後の状態における土砂流出時の流動形態を推定する必要がある。ここで、土石流が発生した後の溪流の例として、平成26年広島土砂災害後の状況を写真1.1.1に示す。土石流発生後は、溪床の堆積土砂の粒径構成や横断形状等の変化に伴って、土砂移動形態や流況も変化することが想定され、これらをふまえた土砂流動形態の予測が重要である。桜島の有村川、三重県西之貝戸川および大谷崩一の沢などのように土石流が頻発する溪流での観測事例は多く蓄積され(例えば、清水ら、2015；小山内ら、2006；沼本ら、2004；今泉ら、2003)、これらの観測結果をもとに土石流の発生条件や流動特性が明らかにされている。しかしながら、土石流が頻発しない溪流では土石流発生後のフィールドでの観測事例はほとんどなく、土石流が発生した後の土砂移動状況について不明な点が多い。このため、土石流が発生した直後の対応において警戒すべき現象やその外力を想定することが難しく、現地状況に即した対応を迅速に行うことが困難となっている場合も多くある。

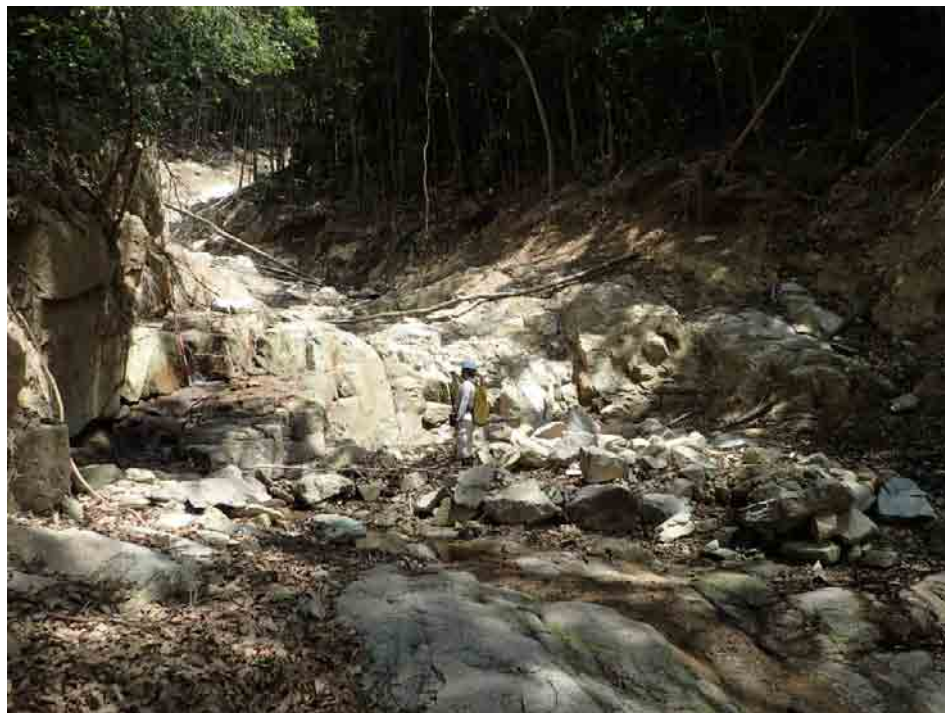
そこで、本研究では、土石流が発生したものの頻発しない溪流において現地観測を行い、土石流が発生した後の状態における土砂移動の実態を明らかにすることを目的とした。現地観測は、平成26(2014)年8月豪雨による広島土砂災害において土石流が発生した広島市安佐南区に位置する土石流危険溪流を対象に、平成27(2015)年10月から平成28(2016)年12月までの期間に行った。本報では、土石流が発生した後の溪流において、1) 災害後の降雨により短期的に生じた土砂移動の状況、2) 土砂移動の規模等を想定する際に重要な情報であるマンシングの粗度係数の算出を試みた結果を報告する。

i) 平成 26 年 8 月広島土砂災害後の溪流；堆積岩地域



2015 年 5 月 28 日撮影（下流より望む）

ii) 平成 26 年 8 月広島土砂災害後の溪流；花崗岩地域



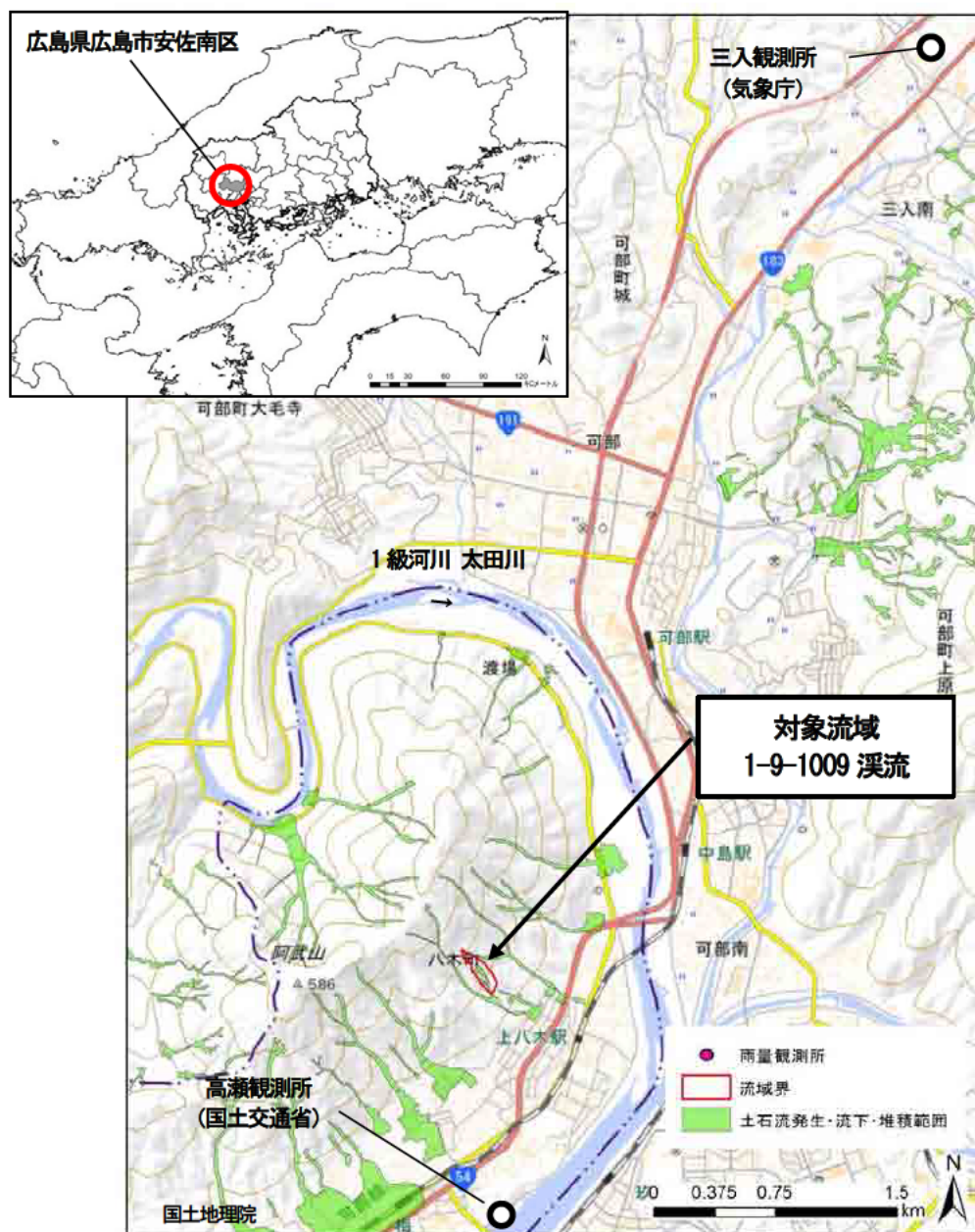
2015 年 5 月 27 日撮影（下流より望む）

写真 1.1.1 土石流が発生した後の溪流の状況
（広島県広島市安佐南区八木地区）

2. 研究対象流域

2.1 流域の概要

本研究の対象流域の位置を図 2.1.1 に示す。本研究では、広島県広島市安佐南区八木地区に位置する太田川右支溪の1-9-1009 溪流を対象とした。対象流域は、平成26年8月豪雨災害において土石流が多発した阿武山南斜面に位置する土石流危険溪流であり、同流域でも豪雨を誘因とした土石流が発生した。流域面積は0.021 km²、標高は140～320m程度である。谷出口地点から土石流源頭部までの主流路長は220 m、平均溪床勾配は27.4°である。



※土石流発生・流下・堆積範囲は、既往判読結果（国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所、2014）のGISデータを図示

図 2.1.1 対象流域の位置

対象流域を含む広島西部山系では、表 2.1.1 に示すように平成 26 年 8 月広島土砂災害の前後に航空レーザ計測が実施されている。

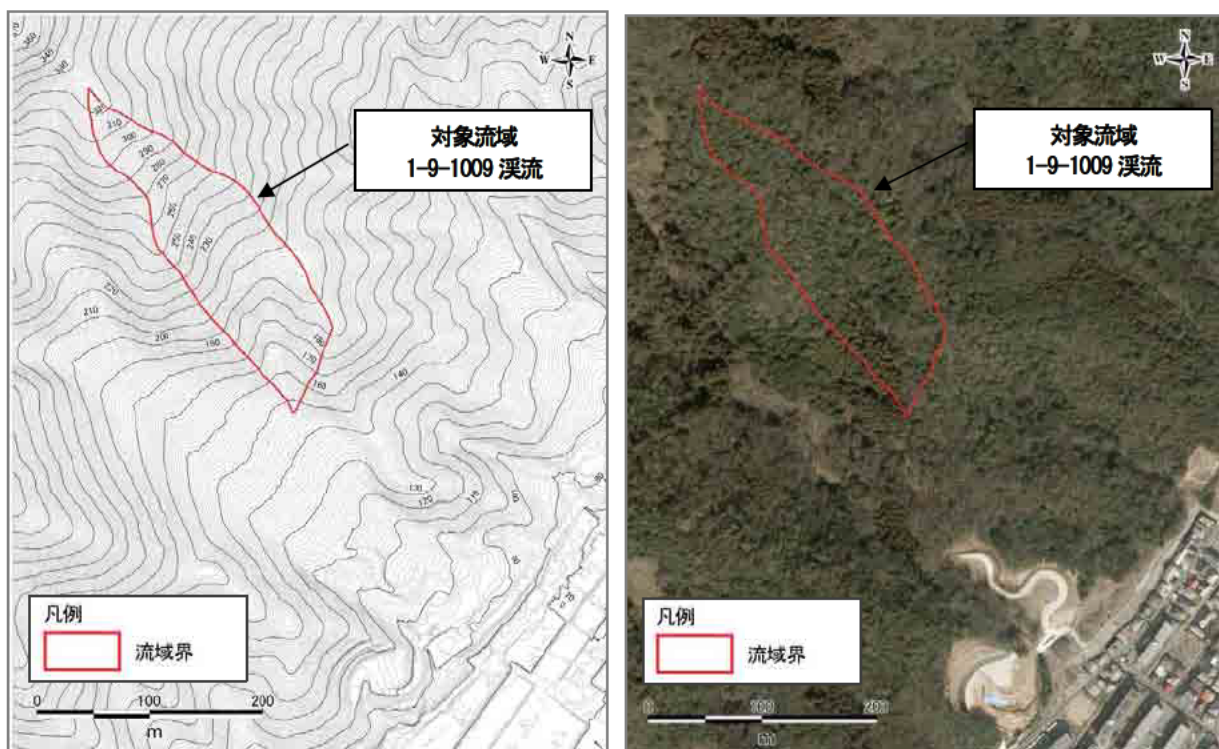
表 2.1.1 航空レーザ計測データの諸元

	計測時期	計測密度	出典	流域概要の整理 に用いたデータ
災害前	2009（平成 21）年 12 月 ～2010（平成 22）年 3 月	4 点/m ² 以上	広島西部山系管内砂防基図データ 構造化検討業務報告書 (平成 22 年 3 月)	・等高線 (1 m) ・オルソ画像 ・1m グリッド(標高)データ
災害後	2014（平成 26）年 8 月 25 日	10 点/m ² 以上	広島西部山系航空レーザ緊急測量 業務報告書 (平成 26 年 11 月)	・等高線 (1 m) ・オルソ画像 ・1m グリッド(標高)データ

※データ提供：国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所

これらのデータを用いて作成した対象流域における土石流発生前後の等高線図とオルソ画像図を図 2.1.2 に示す。災害前後の航空レーザ計測データをもとに、土石流発生前の地盤高から発生後の地盤高を差し引くことにより求めた 1m メッシュ間隔の地盤差分図を図 2.1.3 に示す。平成 26 年 8 月豪雨により、対象流域では、本川上流部の 2 箇所と右支溪源頭部の 1 箇所の合計 3 箇所で表層崩壊が発生し、下流へと土砂が流出している。崩壊地では深さ 0.5～1.4m 程度の侵食傾向が見られ、中～下流部にかけての土石流の流下区間では、侵食深は 1.2～1.4m 程度となっている。また、土石流発生前の 2009～2010 年時点では、流域のほぼ全域が植生によって覆われていたのに対し、土石流が発生した後は流域の概ね 20%が裸地化した状態となった。

i) 土石流発生前 2009 (平成21) 年12月～2010 (平成22) 年3月



ii) 土石流発生後 2014 (平成26) 年8月25日

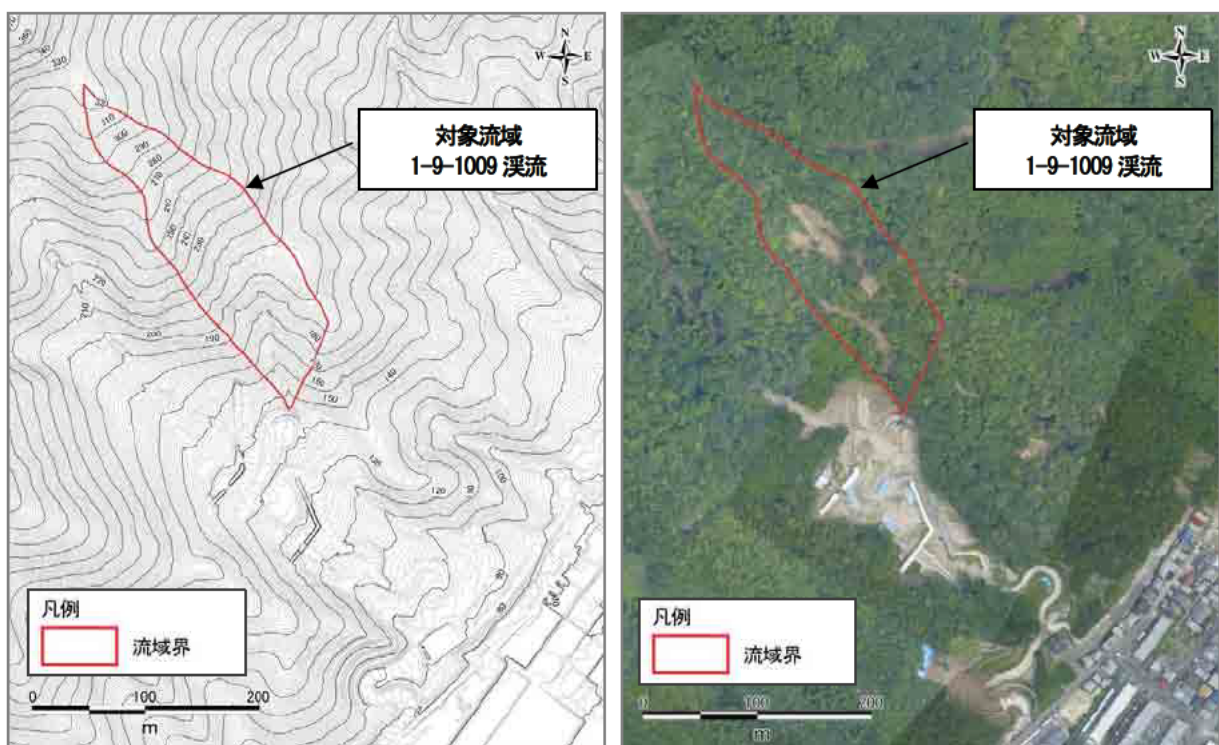
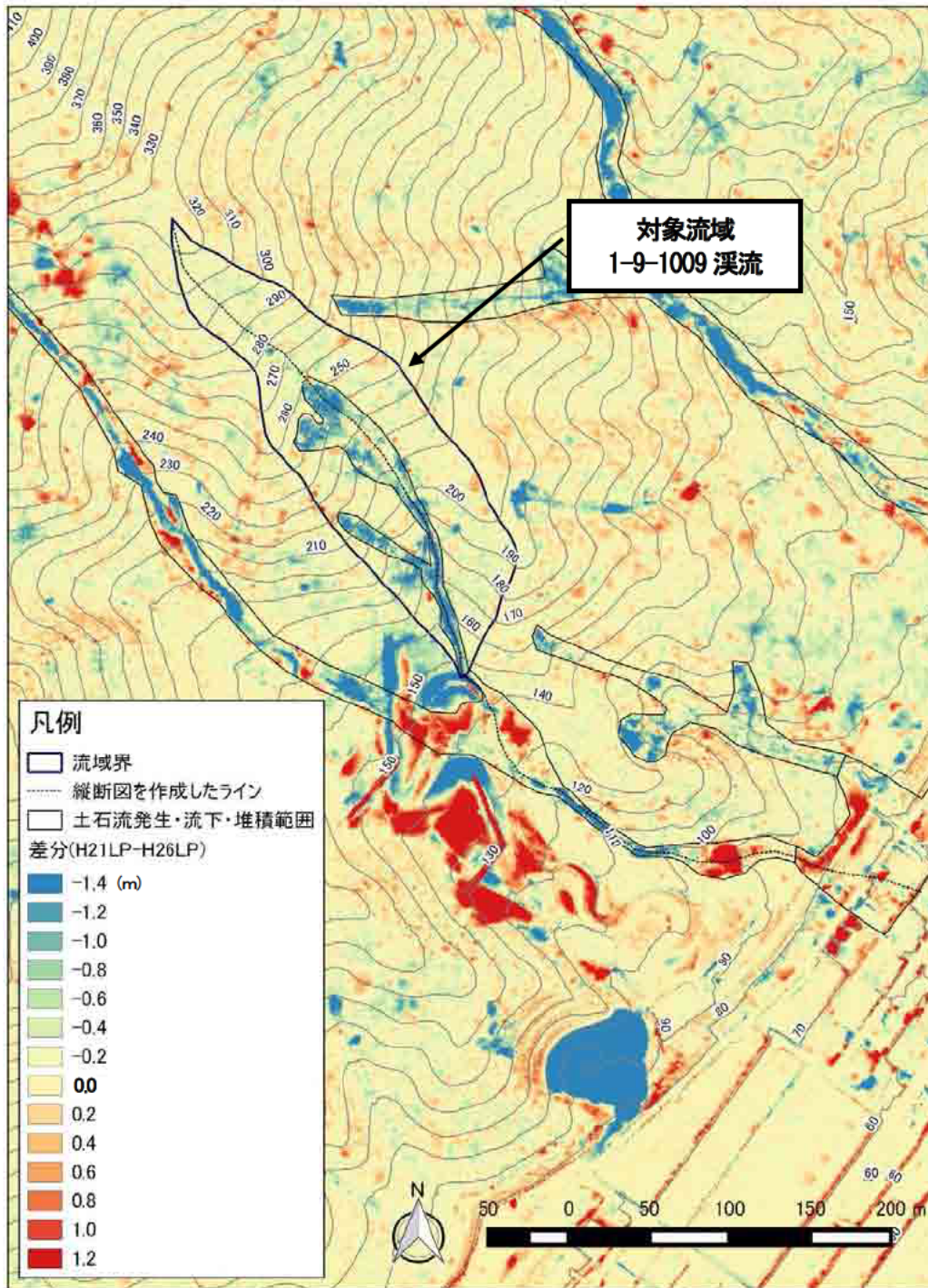


図 2.1.2 災害前後の等高線図とオルソ画像図



※土石流発生・流下・堆積範囲は、既往判読結果（国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所、2014）のGISデータを図示

図 2.1.3 土石流発生前後の地盤差分図

災害後の航空レーザ計測データをもとに作成した本川の縦断面図を図 2.1.4 に示す。縦断面図は、図 2.1.3 中の点線で示したラインに沿って作成した。本川源頭部の崩壊地の勾配は 34.9° 、崩壊地下流から右支川合流地点までの区間では 29.0° 、右支川合流地点から谷出口までの区間では 17.8° となっている。谷出口地点から土石流の堆積区間末端までの勾配は 14.2° であった。

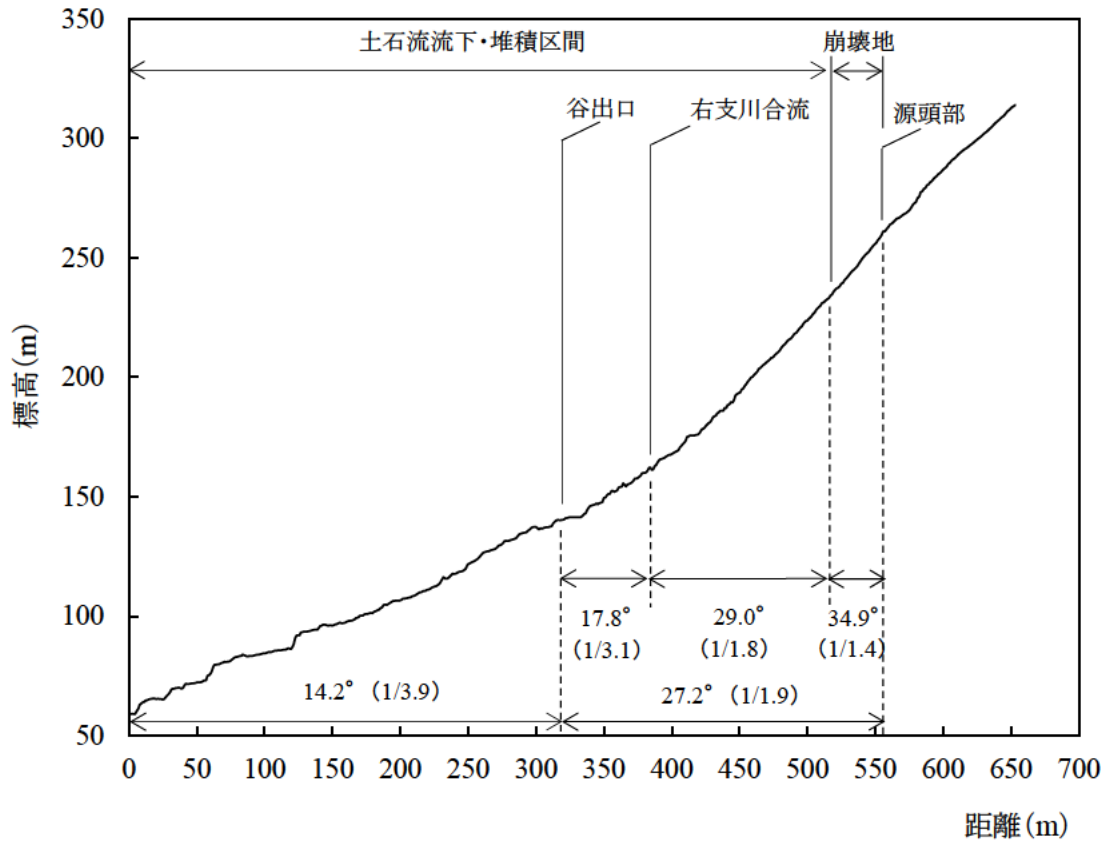
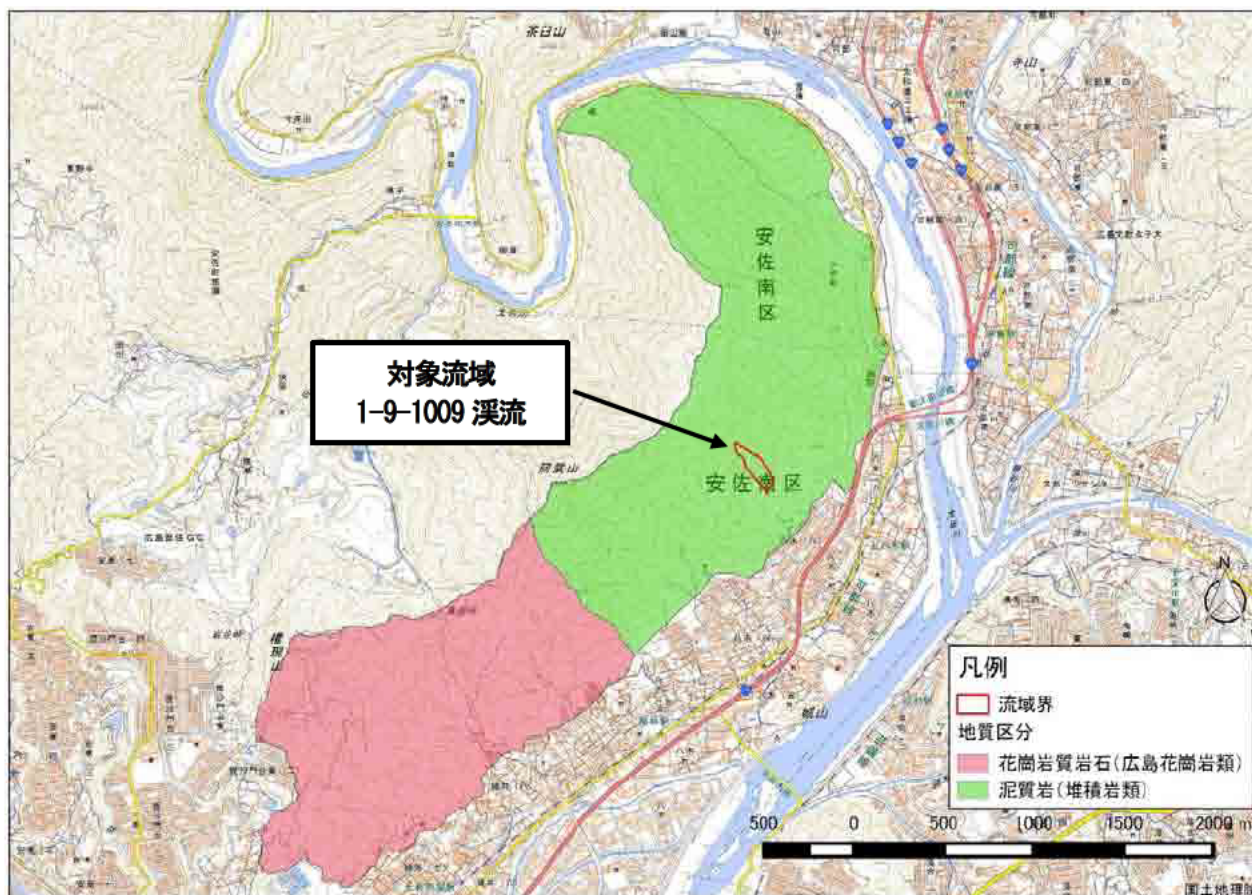


図 2.1.4 本川の縦断面図

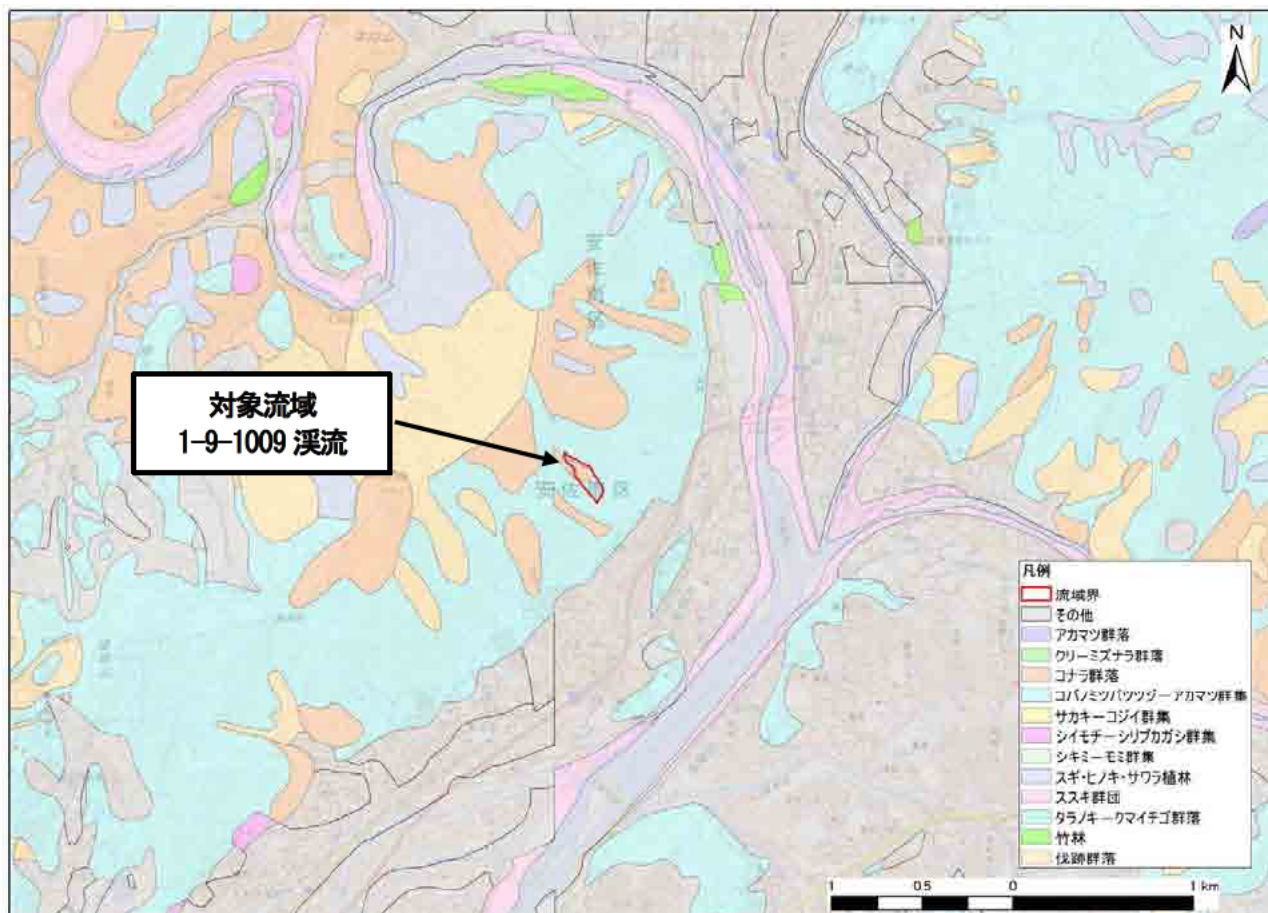
図 2.1.5 は、既往研究（野池ら、2015）において既往地質図と現地調査から整理された阿武山南斜面の概略地質区分図である。阿武山南斜面の地質は、西側は広島花崗岩類、東側は砂岩・泥岩からなる泥質岩（堆積岩類）に大別される。本研究で対象とした 1-9-1009 溪流の地質は堆積岩類からなり、流域下流の一部に広島花崗岩類の砂礫も混在していた。



※既往研究（野池ら、2015）による地質区分の GIS データをもとに作成。地質区分の凡例は 5 万分の 1 表層地質図を参考に記載

図 2.1.5 対象流域の概略地質図

対象流域の植生図を図 2.1.6 に示す。流域の植生は、コナラやツツジ類等からなる落葉広葉樹を主体とし、常緑広葉樹が混交した二次林によって構成される。また、現地の植生状況を確認したところ、流域下流部の右岸側や谷出口周辺にスギ林が分布していた。



※環境庁発行 現存植生図 1/50,000 (環境省自然環境局生物多様センター公表 GIS データ) をもとに作成

図 2.1.6 対象流域の植生図

2.2 土砂災害発生時の降雨

対象流域近傍の高瀬観測所（国土交通省）と三入観測所（気象庁）における災害時の時間雨量と累積雨量の時系列変化を図 2.2.1 に示す。雨量観測所の位置は、図 2.1.1 に示したとおりである。

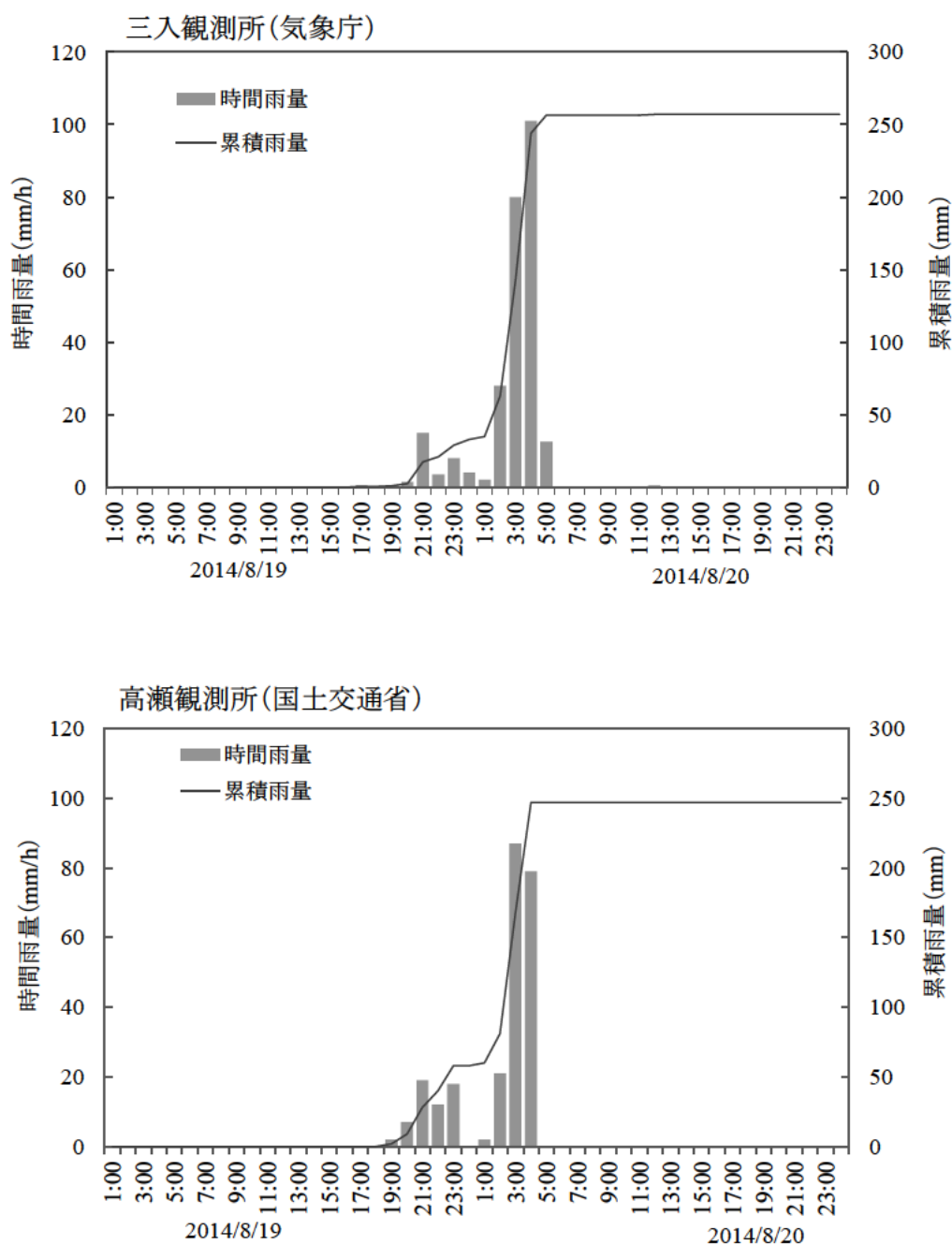


図 2.2.1 平成 26 年 8 月豪雨災害時の時間雨量と累積雨量（三入観測所・高瀬観測所）

三入観測所では、8月19日16:00から8月20日12:00にかけて累積雨量は257mm、最大時間雨量は101mm/h（8月20日3:00～4:00）であった。高瀬観測所では、8月19日18:00から8月20日4:00にかけて累積雨量は247mm、最大時間雨量は87mm/h（8月20日2:00～3:00）であった。両観測所ともに8月19日の21:00前後に15～20mm/hの降雨が記録されている。その後、8月20日の2:00～4:00の2時間にわたって、三入観測所では80mm/h、101mm/h、高瀬観測所では87mm/h、79mm/hを記録しており、この2時間の降雨量は160mm以上と、猛烈な豪雨が短期間にもたらされたことがわかる。なお、既往の災害報告資料（海堀ら、2014）で整理された過去40年程度の年超過確率規模を見ると、災害時の最大時間雨量は、高瀬観測所では300～400年、三入観測所では500年以上の規模に相当する。

三入観測所における災害時の10分間雨量の時系列変化を図2.2.2に示す。0.5mm/10min以上の降雨が記録されたのは8月19日16:50から8月20日11:10までであり、とくに8月20日の2:10から4:00までの降雨強度は11～21.5mm/10minと強く、この期間に171.5mmの降雨がもたらされた。

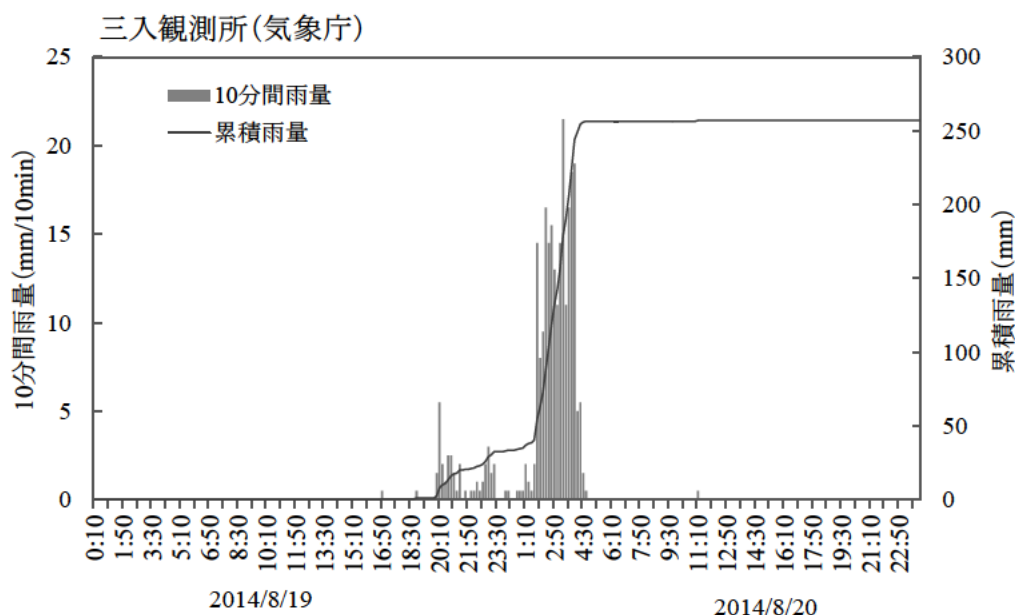


図 2.2.2 平成 26 年 8 月豪雨災害時の 10 分間雨量と累積雨量（三入観測所）

2.3 土石流が発生した後の溪流の状況

本節では、土石流が発生した後の状態における流域内の不安定土砂の状況と土質特性を把握するために実施した現地調査および土質試験の結果を示す。

2.3.1 不安定土砂の状況

土石流が発生した後の対象流域の全景を写真 2.3.1 に、流域内の状況写真を平面図に示したものを図 2.3.1 に示す。また、現地状況を縦断面図に示したものを図 2.3.2 に示す。

2016年12月22日時点では、土石流が発生した後に溪岸等の一部では地衣類の侵入が見られたが、崩壊斜面や溪床は植生は回復しておらず、裸地化したままの状態であった。流域上流から下流までのほぼ全ての区間で、深さ1.0～1.5m程度の厚い堆積層で覆われている。

本川上流と右支溪にある崩壊地では、いずれにおいても表面侵食が進行しており、雨滴侵食や面上侵食箇所では、その下方の緩勾配箇所や段差地形となった場所に、侵食により生産された細粒分の土砂が堆積していた(写真 2.3.2)。また、複数箇所でリル侵食が発達し、溝沿いやその下方に5cm程度以上の粗流分の礫が堆積していた(写真 2.3.2)。リル侵食の最大深さは30cm程度、最大幅は50cm程度であった。崩壊地の勾配は、本川左岸側では 32° 、本川右岸側では 37° 、右支溪では 40° であった。

土石流が流下した区間では、2次的に侵食されて形成された流路があり、土石流発生後の降雨時はその中を集中的に雨水が流下しているようである。流路の大きさを簡易測量したところ、流域中流部の⑤地点では幅2.0m、深さ2.5m、右支溪との合流地点の⑧地点では幅2.5m、深さ1.4m、谷出口地点直上流の⑨地点では幅1.3m、深さ1.6mであった。これらの流路区間には、局所的な段差地形となった溪床上に、上流から流出してきた土砂や周辺の堆積層が侵食されて残存した土砂が堆積しており、主に細粒分と20cm以上の粒径の土砂で構成されていた(写真 2.3.4)。溪床勾配は、⑤、⑧および⑨地点ではそれぞれ 28° 、 22° 、 17° であった。



写真撮影：2016年7月27日（下流より望む）

写真 2.3.1 対象流域の状況

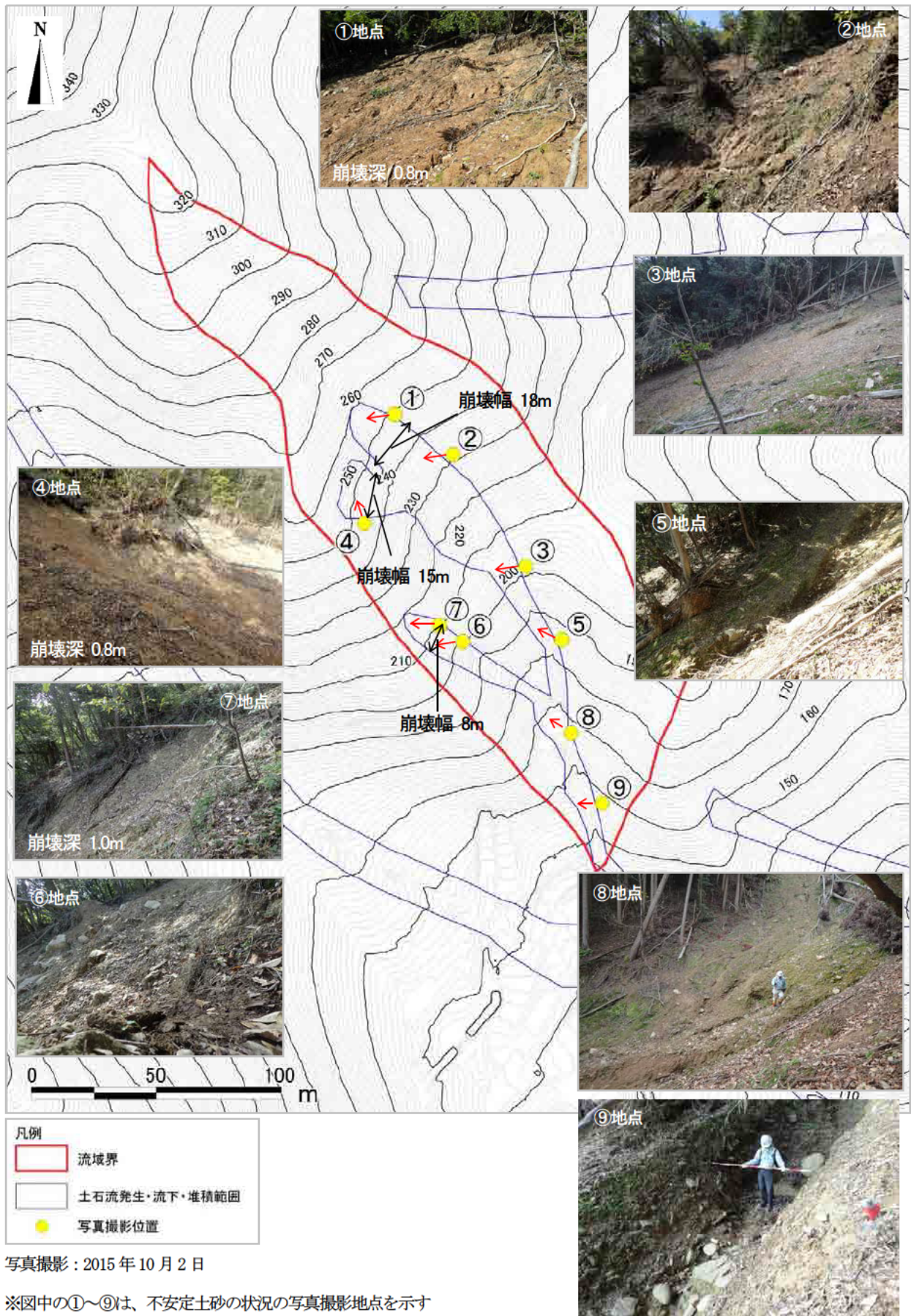
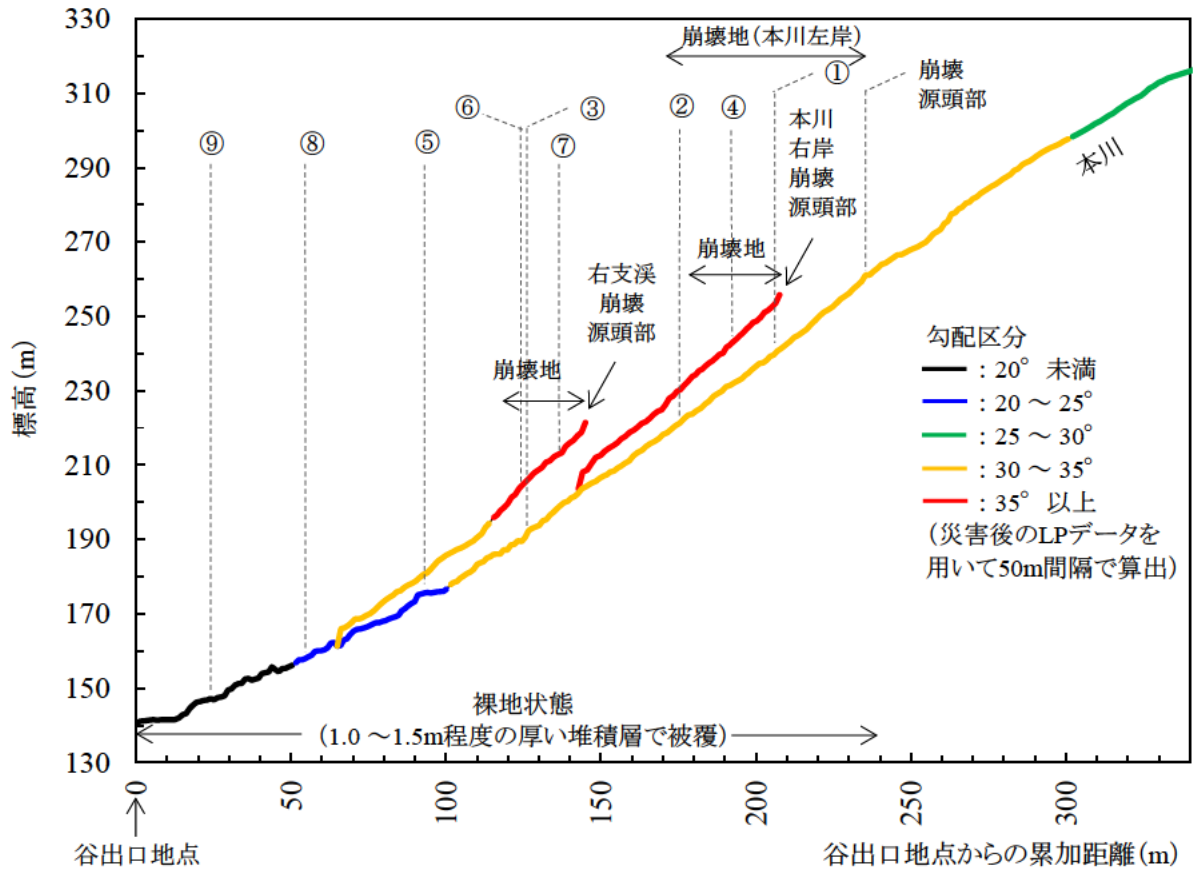


図 2.3.1 不安定土砂の状況と現地写真（平面図）



※図中の①～⑨は、図 2.3.1 中の写真撮影地点を示す

図 2.3.2 不安定土砂の状況 (縦断面)



2016年6月17日撮影 (左岸側方より望む)

写真 2.3.2 崩壊斜面上にある細粒分の堆積土砂 (①地点)



2015年9月11日撮影（下流より望む）

写真 2.3.3 崩壊斜面上にある粒径5cm程度以上の堆積土砂（①地点）



2016年7月27日撮影（下流より望む）

写真 2.3.4 溪床上にある堆積土砂（⑤地点）

2.3.2 土質特性

土石流発生後に流域内に残存した土砂の土質特性を把握するため、図 2.3.1 に示した①地点付近（崩壊斜面下方）、⑤地点（中流部の溪床）および⑧地点（右支川との合流地点下流の溪床）の計3地点で土砂を採取し、表 2.3.1 に示す土質試験と礫径調査を実施した。

表 2.3.1 土質試験および現地調査の内容

内容		基準等	試料数
土粒子の密度試験		JIS A 1202-2009	3 試料
土の含水比試験		JIS A 1203-2009	3 試料
岩石の密度試験		JGS 2132-2009	3 試料
粒度分布	土の粒度試験 ふるい分析・沈降分析 (粒径5cm程度未満 対象)	JIS A 1204-2009	3 試料
	礫径調査 (粒径5cm程度以上 対象)	長径・中径・短径を現地計測	3 地点で実施

出典 社団法人地盤工学会(2013):地盤材料試験の方法と解説(訂正第3刷)

各地点の代表箇所に調査用の枠を設置し、土石流が発生した後に堆積した土砂を対象として各調査を実施した。調査用の枠の大きさは、①地点では60cm 四方、⑤地点と⑧地点では1m 四方とした。調査の手順は次のとおりである。まず、粒度分布調査として、調査枠内にある粒径5cm 程度以上の礫全てを対象に、長径・中径・短径の3径を計測した。これらよりも粒径の小さい土砂については、土質試験 基本と手引き（社団法人地盤工学会、2010）に準拠し、四分法により現地から攪乱試料を採取し、室内で土の粒度試験（JIS A 1204-2009）を実施した。同試料を用いて、土粒子の密度試験（JIS A 1202-2009）、土の含水比試験（JIS A 1203-2009）も実施した。また、礫径調査の対象とした礫から、調査地点ごとに1個を持ち帰り、室内で岩石の密度試験（JGS 2132-2009）を実施した。現地での土砂採取および礫径調査は2016年1月7日に、室内での土質試験は2016年1月20～27日に実施した。土質試験用の試料採取と礫径調査の状況を写真 2.3.5 に、各地点の代表箇所に設置した調査枠と堆積土砂の状況を写真 2.3.6 に示す。



2016年1月7日撮影

写真 2.3.5 現地での土砂採取および礫径調査の状況

調査地点①

崩壊斜面下方

調査枠
60cm×60cm



調査地点⑤地点

本川中流部
の溪床

調査枠
1m×1m



調査地点 No. 8

本川下流部(右支
川との合流地点
下流)の溪床

調査枠
1m×1m



2016年1月7日撮影

写真 2.3.6 調査枠の設置状況

土質試験結果の一覧表を表 2.3.2 に、粒径構成を図 2.3.3 に示す。土粒子の密度は、①地点、⑤地点および⑧地点でそれぞれ 2.706、2.685、2.683 g/cm³であり、3 地点の平均値は 2.691 g/cm³であった。崩壊斜面下方の①地点ではシルト分が 39.7 %、粘土分が 28.7 %を占めており、細粒分主体の土砂により構成されている。これに対して、本川中流の⑤地点と下流の⑧地点では、礫分は両地点とも 50 %以上、砂分は 20%前後であり、砂・礫主体の土砂により構成されている。

表 2.3.2 土質試験結果一覧表

項目		土砂採取地点						
		①地点 (崩壊下方)		⑤地点 (中流溪床)		⑧地点 (下流溪床)		
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.706		2.685		2.683		
自然含水比 w_n %		19.8		11.8		10.6		
粒度	石分 (75mm以上) %	-		-		-		
	礫分 ¹⁾ (2~75mm) %	粗礫分 (19~75mm) %	16.8	4.1	63.0	39.9	54.3	23.5
		中礫分 (4.75~19mm) %		7.1		17.9		20.9
		細礫分 (2~4.75mm) %		5.6		5.2		9.9
	砂分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	粗砂分 (0.850~2mm) %	14.8	1.8	19.6	7.6	26.5	11.7
		中砂分 (0.250~0.850mm) %		5.4		7.1		9.3
		細砂分 (0.075~0.250mm) %		7.6		4.9		5.5
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %	39.7		13.1		14.0		
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	28.7		4.3		5.2		
	最大粒径 mm	26.5		75		53		
	60% 粒径 D_{60} mm	0.0379		18.9284		6.9232		
	50% 粒径 D_{50} mm	0.0195		11.2602		2.8764		
	30% 粒径 D_{30} mm	0.0056		0.9131		0.5753		
	10% 粒径 D_{10} mm	-		0.0270		0.0202		
	均等係数 U_c	-		701.05		342.73		
曲率係数 U'_c	-		1.63		2.37			
分類	地盤材料の分類名	砂まじり 礫質粘性土		粘性土質 砂質礫		粘性土質 砂質礫		
	分類記号	(CsG-S)		(GCsS)		(GCsS)		

1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率

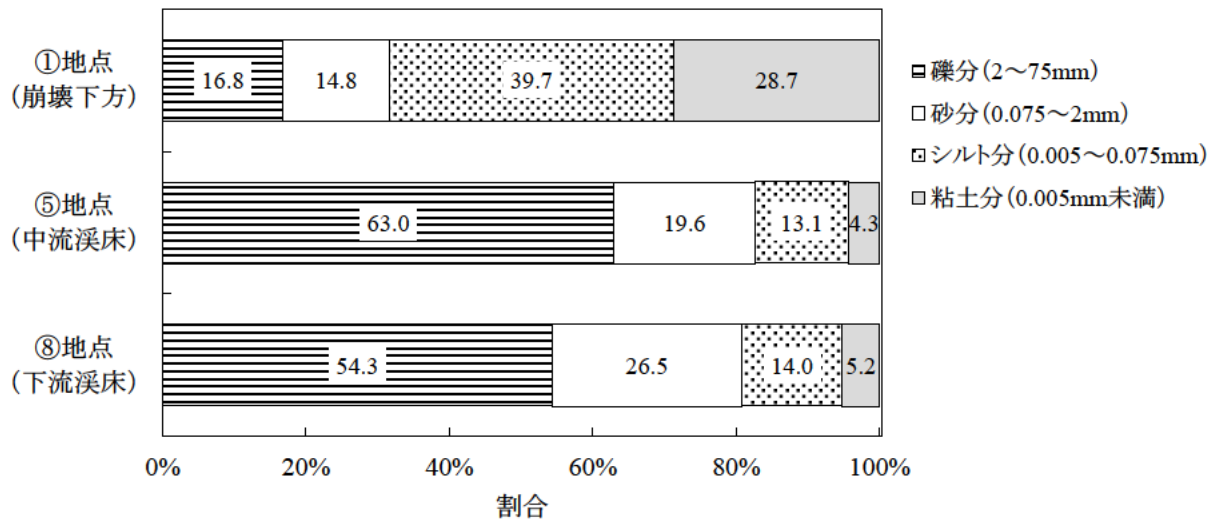


図 2.3.3 粒径構成 (粒径 5cm 程度以下を対象とした粒度試験結果より整理)

岩石の密度試験結果を表 2.3.3 に示す。流域の大部分を占める堆積岩の岩石の密度は、①地点、⑤地点および⑧地点でそれぞれ 2.69、2.616、2.701 g/cm³ であり、3 地点の平均値は 2.669 g/cm³ であった。下流部の⑧地点にあった花崗岩の岩石の密度は 2.642 g/cm³ であった

表 2.3.3 岩石の密度試験結果

採取地点		①地点 (崩壊下方)	⑤地点 (中流溪床)	⑧地点 (下流溪床)	
地質名		堆積岩	堆積岩	堆積岩	花崗岩
含水比 w (%)		2.8	0.5	1.0	0.7
各状態における密度 (g/cm ³)	自然	2.093	2.387	2.334	2.369
	飽和	2.277	2.466	2.453	2.454
	乾燥	2.036	2.375	2.310	2.352
	見かけ	2.690	2.616	2.701	2.624
吸水率 w _a (%)		11.9	3.8	6.2	4.3
有効間隙率 n _e (%)		24.2	9.0	14.3	10.2

粒径 5cm 程度未満の土砂を対象とした土の粒度試験結果を表 2.3.4 に、その結果をもとに作成した粒径加積曲線を図 2.3.4 に示す。50%粒径は、調査地点 No. 1、No. 5、No. 8 地点でそれぞれ 0.02、11.26、2.88 mm であった。

表 2.3.4 土の粒度試験結果

採取地点	①地点(崩壊下方)		⑤地点(中流溪床)		⑧地点(下流溪床)	
	粒径 (mm)	通過質量 百分率(%)	粒径 (mm)	通過質量 百分率(%)	粒径 (mm)	通過質量 百分率(%)
ふるい 分析	75	-	75	100	75	-
	53	-	53	95.9	53	100
	37.5	-	37.5	83.3	37.5	92.7
	26.5	100	26.5	70.9	26.5	85
	19	95.9	19	60.1	19	76.5
	9.5	92.6	9.5	48	9.5	64.2
	4.75	88.8	4.75	42.2	4.75	55.6
	2	83.2	2	37	2	45.7
	0.85	81.4	0.85	29.4	0.85	34
	0.425	78.2	0.425	24.7	0.425	27.7
	0.25	76	0.25	22.3	0.25	24.7
	0.106	70.1	0.106	18.5	0.106	20.5
	0.075	68.4	0.075	17.4	0.075	19.2
	沈降 分析	0.0476	63.2	0.0558	14.9	0.0567
0.0346		58.8	0.0405	12.6	0.041	14.5
0.0227		52.7	0.0264	9.9	0.0266	11.5
0.0137		43.9	0.0155	8.2	0.0157	8.9
0.0099		38.9	0.0111	7.1	0.0112	7.6
0.0072		33.5	0.008	5.5	0.008	6.6
0.0037		25.7	0.004	3.9	0.0041	4.8
0.0016		20.1	0.0017	3.2	0.0017	3.6

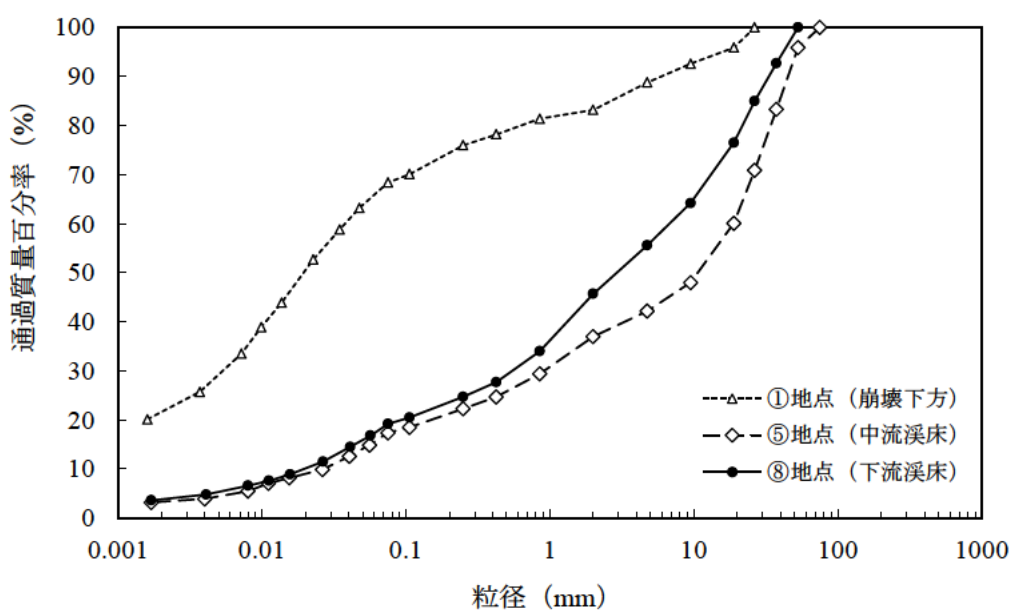


図 2.3.4 粒径加積曲線

粒径5cm程度以上の礫を対象とした長径・中径・短径の計測結果とこれらの3径を平均して求めた平均径を表2.3.5に示す。また、調査地点ごとにとりまとめた平均径と長径の最大値の縦断変化を図2.3.5に示す。

表 2.3.5 礫径調査結果

①地点 崩壊下方

礫 No.	長径 (cm)	中径 (cm)	短径 (cm)	平均径 (cm)
1	9.3	7.2	3.3	6.6
2	6.5	7.0	1.5	5.0
3	10.3	6.5	3.2	6.7
最大値	10.3	7.2	3.3	6.7
最小値	6.5	6.5	1.5	5.0
平均値	8.7	6.9	2.7	6.1
中央値	9.3	7	3.2	6.6

⑤地点 中流溪床

礫 No.	長径 (cm)	中径 (cm)	短径 (cm)	平均径 (cm)
1	16.8	9.5	8.8	11.7
2	10.0	7.2	3.3	6.8
3	11.0	6.3	3.4	6.9
4	7.7	6.1	4.2	6.0
5	16.5	6.6	3.5	8.9
6	10.8	8.2	5.0	8.0
7	8.2	5.4	4.8	6.1
8	12.2	5.6	4.7	7.5
9	11.5	8.2	7.6	9.1
10	10.8	6.4	5.0	7.4
11	7.8	6.2	2.7	5.6
12	9.8	4.2	3.7	5.9
13	10.8	7.6	4.4	7.6
14	11.8	6.0	2.7	6.8
15	10.2	6.0	5.6	7.3
16	7.9	3.0	4.8	5.2
17	7.5	6.2	2.7	5.5
18	7.5	4.7	2.5	4.9
19	7.7	5.5	1.1	4.8
20	7.6	5.4	2.3	5.1
21	6.8	3.7	3.4	4.6
22	8.0	5.6	2.2	5.3
23	11.0	4.2	4.7	6.6
24	11.8	6.0	4.2	7.3
25	9.0	7.5	3.6	6.7
26	6.4	3.6	3.8	4.6
27	6.4	4.5	3.3	4.7
28	5.2	3.6	3.5	4.1
29	8.4	6.0	3.2	5.9
30	6.3	3.2	2.4	4.0
31	9.6	4.4	5.2	6.4
32	11.0	5.8	3.7	6.8
33	9.1	6.2	5.4	6.9
34	6.3	5.8	5.2	5.8
35	5.7	3.8	2.4	4.0
36	7.3	5.0	2.1	4.8
37	5.5	3.6	2.7	3.9
38	6.0	3.6	2.8	4.1
39	5.8	4.6	2.7	4.4
40	7.1	5.4	3.3	5.3
41	5.4	4.1	3.0	4.2
42	6.5	3.8	2.6	4.3
43	6.7	3.4	1.2	3.8
44	5.0	4.7	2.6	4.1
45	5.7	4.0	2.6	4.1
46	8.0	3.0	2.2	4.4
47	5.5	4.0	2.6	4.0
最大値	16.8	9.5	8.8	11.7
最小値	5.0	3.0	1.1	3.8
平均値	8.5	5.3	3.6	5.8
中央値	7.8	5.4	3.3	5.5

⑧地点 下流溪床

礫 No.	長径 (cm)	中径 (cm)	短径 (cm)	平均径 (cm)
1	11.3	5.0	4.6	7.0
2	8.9	6.8	3.4	6.4
3	8.2	5.5	5.0	6.2
4	10.5	8.8	4.6	8.0
5	12.0	4.6	3.7	6.8
6	6.0	5.4	3.1	4.8
7	12.9	4.0	3.0	6.6
8	13.2	8.5	6.8	9.5
9	14.5	9.6	8.0	10.7
10	10.2	6.5	5.0	7.2
11	7.9	5.4	3.2	5.5
12	6.5	5.0	1.1	4.2
13	9.2	7.2	4.3	6.9
14	6.5	5.3	4.3	5.4
15	8.5	8.0	5.5	7.3
16	12.0	9.7	4.0	8.6
17	11.2	8.2	4.8	8.1
18	11.6	9.4	5.2	8.7
19	21.5	11.8	7.5	13.6
20	19.3	11.6	7.0	12.6
21	10.5	7.2	4.1	7.3
22	8.0	5.3	4.7	6.0
23	6.5	3.4	2.9	4.3
24	6.7	3.8	5.2	5.2
25	7.0	5.2	1.8	4.7
26	6.0	6.2	1.9	4.7
27	10.2	5.2	1.6	5.7
28	9.2	6.6	4.0	6.6
29	26.6	14.3	3.2	14.7
30	6.5	3.5	2.0	4.0
31	9.1	5.6	4.3	6.3
32	8.2	5.1	2.6	5.3
33	12.8	8.5	4.2	8.5
34	14.2	8.0	6.1	9.4
35	7.8	3.2	4.3	5.1
36	13.2	9.5	5.6	9.4
37	8.0	6.4	4.5	6.3
38	10.1	9.8	2.8	7.6
最大値	26.6	14.3	8.0	14.7
最小値	6.0	3.2	1.1	4.0
平均値	10.6	6.9	4.2	7.2
中央値	9.7	6.5	4.3	6.7

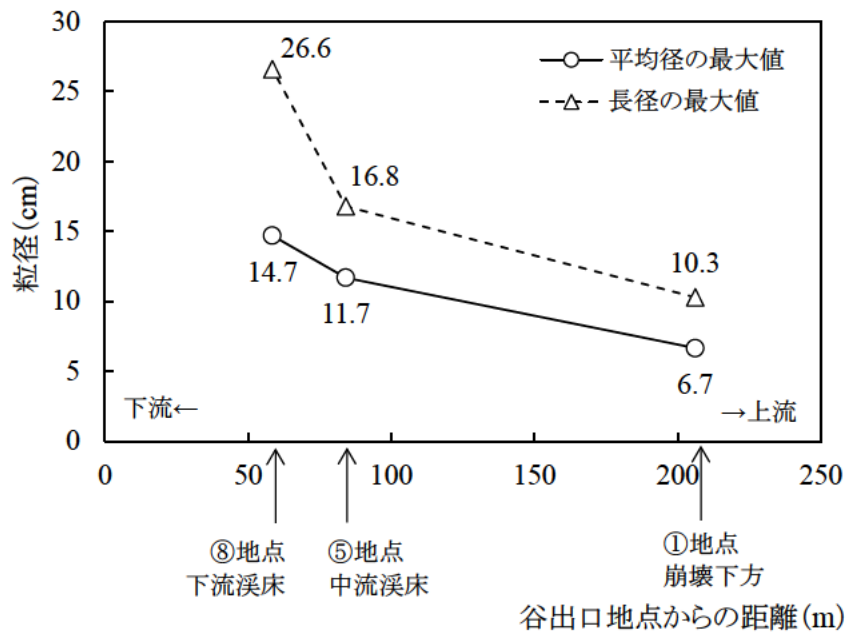


図 2.3.5 礫径調査結果をもとに粒径の縦断変化

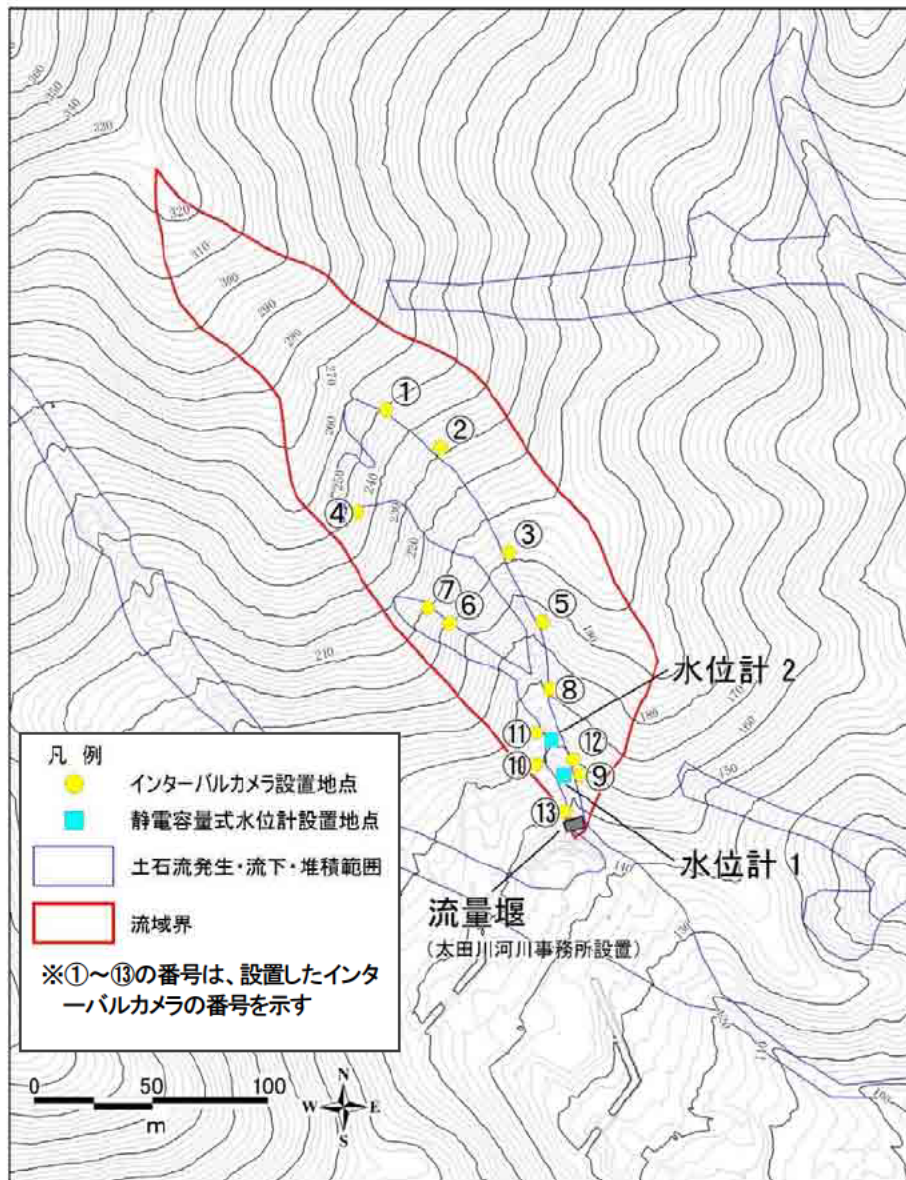
表 2.3.5 と図 2.3.5 より、平均径と長径の最大値は最上流の①地点では 6.7 cm、10.3 cm であった。中流部の⑤地点と下流部の⑧地点における平均径と長径の最大値は、それぞれ⑤地点では 11.7 cm、16.8 cm、⑧地点では 14.7 cm、26.6 cm であり、下流側ほど粗粒分が多い傾向であった。また、長径の最大値は、⑧地点での 26.6 cm (礫 No. 29) であった。

なお、既往調査 (太田川河川事務所、2016) において、当該流域で採取した深さ 0.5~1m の溪床堆積物を対象に、三軸圧縮試験 (JGS 0523-2000; 圧密非排水 CU-bar) が実施されており、内部摩擦角は $\phi = 33.65^\circ$ 、粘着力は $c = 3.22 \text{ kN/m}^2$ であったことが報告されている。

3. 研究方法

3.1 現地観測の概要

土石流が発生した後の状態における短期的な土砂移動の実態を連続的に把握するため、流域内の複数地点にインターバルカメラを設置した。また、出水時に生じる溪流内の水頭の変化から、土石流が発生した後の状態における流路の粗度係数を把握することを目的として、水深の変動を連続的に計測するために、谷出口付近に静電容量式水位計を設置した。インターバルカメラと静電容量式水位計の設置地点を図 3.1.1 に、設置期間を表 3.1.1 に示す。



※等高線と土石流発生・流下・堆積範囲は、既往資料（国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所、2014）の災害後の航空レーザ計測データと GIS データをもとに作成

図 3.1.1 観測機器の設置箇所図

表 3.1.1 設置機器と設置期間

観測目的	設置機器	設置地点※ ¹	設置期間※ ²	観測間隔
土砂移動 状況	インターバル カメラ	①	2015/10/2～2016/12/22	6～11月：5分もしくは10分 それ以外の期間：1時間
		②	2015/10/2～2016/12/22	
		③	2015/10/2～2016/12/22	
		④	2015/10/2～2016/12/22	
		⑤	2015/10/2～2016/12/22	
		⑥	2015/10/2～2016/12/22	
		⑦	2015/10/2～2016/12/22	
		⑧	2015/10/2～2016/12/22	
		⑨	2015/10/2～2016/12/22	
		⑩	2016/1/7～2016/12/22	
		⑪	2016/9/7～2016/12/22	
		⑫	2016/9/7～2016/12/22	
		⑬	2016/9/7～2016/12/22	
粗度係数 (水頭の変化)	静電容量式 水位計	水位計 1	2016/9/7～2016/12/22	5分
		水位計 2	2016/9/7～2016/12/22	

※1：設置地点は、図3.1.1中の観測機器の設置箇所である

※2：設置期間は、観測機器を設置した日から撤収した日までの期間である

図 3.1.1 と表 3.1.1 に示したように、インターバルカメラは2015年10月2日から2016年12月22日の期間に、計13地点に設置した。インターバルカメラの撮影間隔は、6月から11月までの出水期を含む期間は5分もしくは10分、それ以外の期間は1時間とした。静電容量式水位計は、2016年9月7日から2016年12月22日の期間に計2地点に設置し、観測間隔は5分とした。これらの観測方法については、3.2節（土砂移動状況の観測）と3.3節（粗度係数の把握）で詳述する。

なお、谷出口地点には、図 3.1.1 に示したように、国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所により流量堰が設置されており、2015年10月28日より10分間隔で流量が計測されている（国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所、2016）。

3.2 土砂移動状況の観測

3.2.1 観測方法

土砂移動状況の観測に用いたインターバルカメラ（Brinno 社製、TimeLapseCamera TLC200）を写真3.2.1に示す。同カメラは単3形アルカリ電池4本で駆動し、内蔵のSDカードが記録媒体となっている。現地でのインターバルカメラの設置状況を写真3.2.2に示す。カメラは、周辺にある樹木の幹や金属製ペグで地面に打ち込んで設置した支柱に、結束バンドとビニールテープを用いて固定した。日照不足によりインターバルカメラでの撮影ができない夜間は、自動的に電源を切る設定とした。設置後は、6～11月にかけての出水期は1～2ヶ月程度を基本に、電池交換と撮影データの回収（SDカードの交換）を行った。



写真 3.2.1 現地観測に用いたインターバルカメラ（防水ケース装着）

i) カメラ③ 設置状況



2015年10月2日撮影

ii) カメラ⑩ 設置状況



2016年9月23日撮影

写真 3.2.2 インターバルカメラの設置状況例

図 3.1.1 に示したインターバルカメラ①～③の撮影内容を写真 3.2.3～3.2.4 に示す。カメラ①、②、④、⑥および⑦は、崩壊斜面下方に堆積（残存）した土砂の移動状況を把握するために設置した。カメラ③、⑤、⑧、および⑨は、溪床に堆積した土砂の移動状況を把握することために設置した。カメラ⑩は谷出口地点およびその下流での流況を、カメラ⑪と⑫は静電容量式水位計設置箇所周辺の水深の変動状況を、カメラ⑬は流量堰地点での流出状況の変化を確認するために設置した。

カメラ① 崩壊斜面・斜面下方の堆積土砂



2016年6月17日撮影

カメラ② 崩壊斜面・斜面下方の堆積土砂



2016年7月27日撮影

カメラ③ 溪床の堆積土砂



2016年6月17日撮影

カメラ④ 崩壊斜面・斜面下方の堆積土砂



2016年6月18日撮影

カメラ⑤ 溪床の堆積土砂



2016年6月18日撮影

カメラ⑥ 崩壊斜面・斜面下方の堆積土砂



2015年10月4日撮影

カメラ⑦ 崩壊斜面・斜面下方の堆積土砂



2016年6月17日撮影

カメラ⑧ 溪床の堆積土砂



2016年6月18日撮影

写真 3.2.3 インターバルカメラ①～⑧による撮影範囲

カメラ⑨ 溪床の堆積土砂



2015年9月24日撮影

カメラ⑩ 谷出口地点とその下流の流況



2016年1月8日撮影

カメラ⑪ 静電容量式水位計設置箇所(水位計2)



2016年9月7日撮影

カメラ⑫ 静電容量式水位計設置箇所(水位計1)



2016年9月7日撮影

カメラ⑬ 流量堰



2016年10月27日撮影

写真 3.2.4 インターバルカメラ⑨～⑬による撮影範囲

3.2.2 土砂移動状況の分析方法

対象流域近傍の高瀬観測所もしくは三入観測所のどちらかで連続雨量 3mm 以上の降雨があった期間を対象に、インターバルカメラの画像から目視により土砂移動状況を分析した。土砂移動状況の分析基準を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 インターバルカメラを用いた土砂移動状況の分析基準

区分	土砂移動	土砂移動状況と判断基準	カメラ画像の分析結果		
			谷出口地点での水深上昇の有無	水深上昇時の濁水の発生有無	溪床の1cm以上の礫の移動有無
1	有	礫の移動を伴う土砂移動	有	有	有
		谷出口地点で水深が上昇し、水深上昇時に継続的な濁水の発生が見られ、降雨前後で溪床にあった1cm以上の礫の移動を確認した場合（中礫以上の土砂の移動があったと推定）			
2	有	細粒分の土砂移動	有	有	無
		谷出口地点で水深が上昇し、水深上昇時に継続的な濁水の発生が見られたが、降雨前後で1cm以上の礫の移動が見られなかった場合（砂や細粒分を主体とする土砂移動であったと推定）			
3	有	【該当なし】 礫の移動を伴う土砂移動	有	無	有
		谷出口地点で水深が上昇し、濁水ではなかったものの、降雨前後で溪床にあった1cm以上の礫の移動を確認した場合			
4	無	土砂移動なし（谷出口地点で水深上昇）	有	無	無
		谷出口地点で水深が上昇したものの、濁水ではなく、降雨前後で溪床にあった1cm以上の礫の移動も見られなかった場合（水深の上昇はあったが、土砂移動はなかったと推定）			
5	有	【該当なし】 礫の移動を伴う土砂移動	無	有	有
		谷出口地点での水深の上昇は見られなかったが、その他地点で濁水が発生し、降雨前後で1cm以上の礫の移動を確認した場合			
6	有	【該当なし】 細粒分の土砂移動	無	有	無
		谷出口地点での水深の上昇は見られなかったが、その他地点では濁水が発生しており、降雨前後で1cm以上の礫の移動が見られなかった場合			
7	有	【該当なし】 礫の移動を伴う土砂移動	無	無	有
		谷出口地点での水深の上昇は見られず、濁水の発生も見られなかったものの、降雨前後で1cm以上の礫の移動を確認した場合			
8	無	土砂移動なし（変状なし）	無	無	無
		谷出口地点での水深の上昇や濁水の発生が見られず、降雨前後で1cm以上の礫の移動も確認されなかった場合（水深の上昇や濁水の発生、土砂移動などの変状がなかったと推定）			
9	対象外（夜間）	夜間のため観測不可であり、土砂移動状況は不明であった	—	—	—
10	対象外（欠測）	カメラの不具合等による欠測であり、土砂移動状況は不明であった	—	—	—
11	対象外（積雪）	積雪であり、整理対象外とした	—	—	—

土砂移動状況は、谷出口地点の上流に設置したカメラ⑨の画像を基本として、1) 谷出口地点での水深の上昇の有無、2) 水深上昇時の濁水の発生有無、3) 谷出口地点でカメラ画像から視認できる溪床上の1cm以上の礫の変状の有無の3つに着目して整理した。谷出口地点での水深の上昇については、写真 3.2.5 に示したように、カメラ⑨の撮影範囲内に設置した長さ15cmの目印用の杭を指標として、降雨により水深が上昇したかどうか判断した。濁水の発生の有無は、写真 3.2.6 に示したように、観測開始後の連続3mm以上の降雨イベントのうち、日中に鮮明な画像を記録した降雨イベントNo.5でのカメラ⑨の画像を基準として、これと比較して、画像の濃淡から濁水であったかどうかを判断した。礫の移動の有無は、写真 3.2.7 に示したように、インターバルカメラ画像から視認できる谷出口地点周辺での溪床上の1cm以上の礫に着目し、それらの変状（侵食や堆積）や粒径構成の変化の有無を目視により確認した。なお、降雨期間が夜間であり画像が取得できなかった場合、カメラ⑨が欠測であった場合および降雪があった場合は、分析の対象外とした（表中の区分9～11）。

以上に基づき、土砂移動状況は区分1～8に整理したが、次章（4.1.1 土砂移動状況）で後述するように、本観測では区分3、5、6および7の4つの状況は確認されなかった。



撮影日時：2016/1/29 11:24:17（降雨イベント14）、カメラ⑨地点



撮影日時：2016/2/13 9:02:09（降雨イベント15）、カメラ⑨地点

写真 3.2.5 水深上昇時のインターバルカメラの画像例



撮影日時：2015/11/18 7:16:01 (降雨イベント5)、カメラ⑨地点

写真 3.2.6 濁水発生時のインターバルカメラ画像例

i) 降雨前後で溪床上の1cm以上の礫の移動があった場合



撮影日時：左 2016/6/24 7:43:51、右 2016/6/25 11:10:46 (降雨イベント41)

ii) 降雨前後で溪床上の1cm以上の礫の移動がなかった場合



撮影日時：左 2016/6/27 15:04:25、右 2016/6/29 5:58:15 (降雨イベント42)

写真 3.2.7 溪床の礫の移動時のインターバルカメラ画像例

3.3 粗度係数の把握

3.3.1 水深の観測方法

溪流内の水深の変動は、写真 3.3.1 に示す静電容量式水位計（TruTrack 社製、SE-TR/WT250）を用いて 5 分間隔で計測した。水位計の長さは 54.5 cm、太さは 2cm、重量は 500g で、水位センサーと温度センサー、データロガーおよび電池が内蔵されている。水位計の起動、計測間隔の設定およびデータ回収等の作業は、専用のソフトウェア（TruTrack 社 OmniLog ソフト Omni 7）をインストールしたパソコンで実施した。パソコンと水位計の接続には、付属の USB コード（RS232C ケーブル）を用いた。水位計付属の USB コードを写真 3.3.2 に、水位計とパソコンの接続状況を写真 3.3.3 に示す。



写真 3.3.1 静電容量式水位計

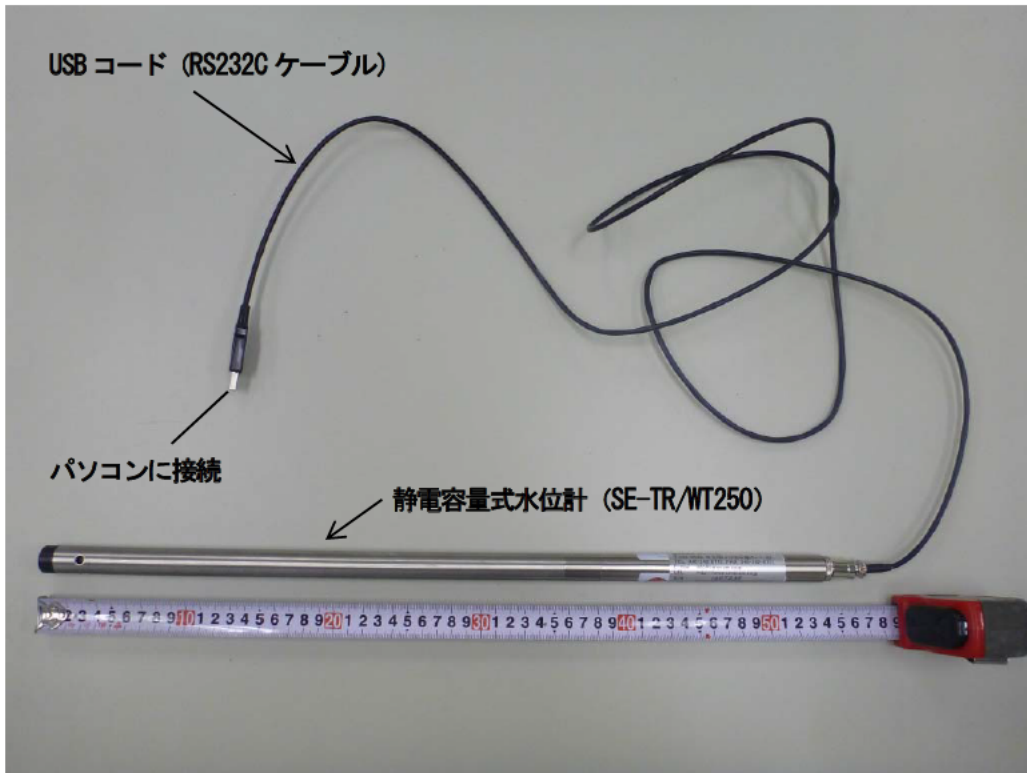


写真 3.3.2 付属の USB コードと水位計の接続状況



2016年9月7日撮影

写真 3.3.3 水位計とパソコンの接続状況

静電容量式水位計を設置した2地点(図3.1.1)の縦断的な位置関係を図3.3.1に、それぞれの水位計設置地点の溪床の横断図を図3.3.2に示す。また、水位計の設置地点の溪床の状況を写真3.3.4に、水位計の設置状況を写真3.3.5～写真3.3.7に示す。水位計設置箇所の横断地形は、図3.3.2のii)に示したように次章(4.1.1 土砂移動状況)で詳述する降雨イベント59(2016.9.17～9.20)時の土砂移動により流出土砂が堆積し、その形状が変化した。

上流側と下流側の水位計設置箇所の高低差は6.1m、水平距離は16.1m、2点間の溪床勾配は 20.8° である。水位計は2箇所とも右岸側に配置し、写真3.3.7の左の写真に示すように水準器を用いて鉛直方向に設置した。また、水位計が出水時に流出しないように、溪床と溪岸に金属製のペグを設置して支柱とし、この支柱にビニールテープ、結束バンドおよび番線を用いて水位計本体や水位計の上部を固定した。水位計の流入口付近には、落葉・落枝等が混入しないように保護用のネットを設置した(写真3.3.8の右の写真)。設置後は、1ヶ月間隔を基本にデータ回収とメンテナンスを実施した。

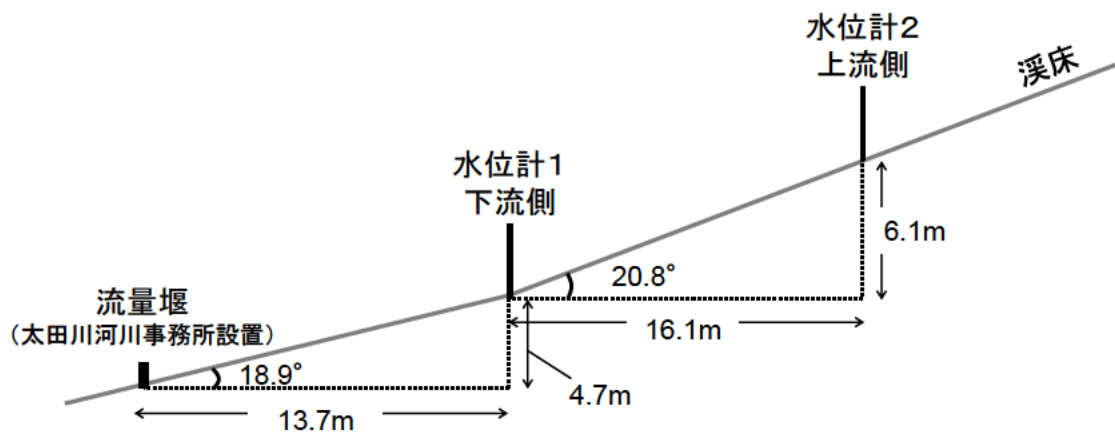
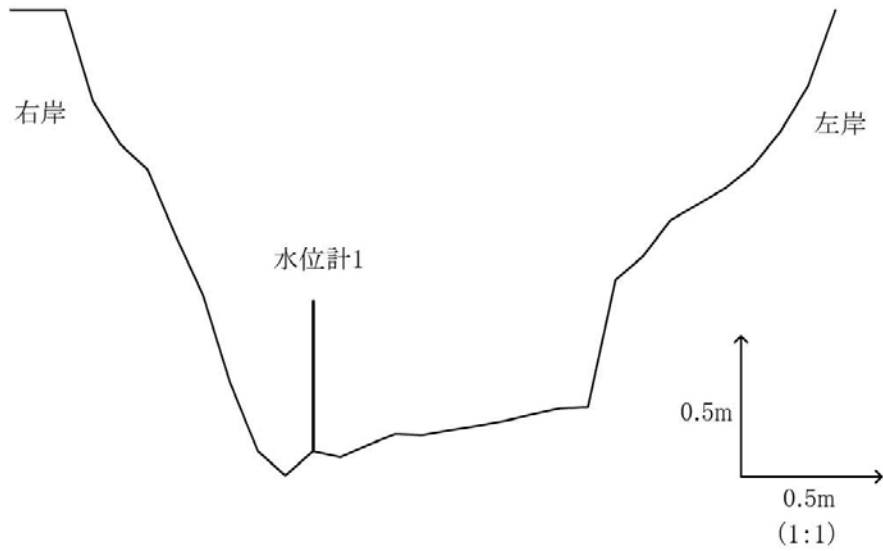


図 3.3.1 静電容量式水位計の設置地点の縦断図

下流側 水位計1

i) 水位計設置後 (2016.9.7) ~降雨イベント59 (2016.9.20) 時点



ii) 降雨イベント59 (2016.9.20) 以降

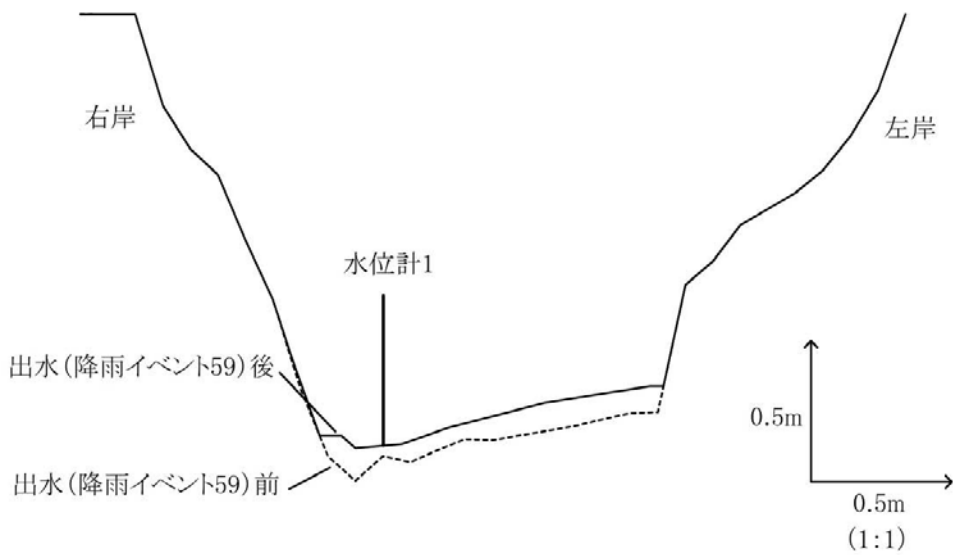


図 3.3.2(1) 水位計1(下流側)設置地点の横断面図

上流側 水位計2 (水位計設置後 (2016. 9. 7) ~水位計撤去前)

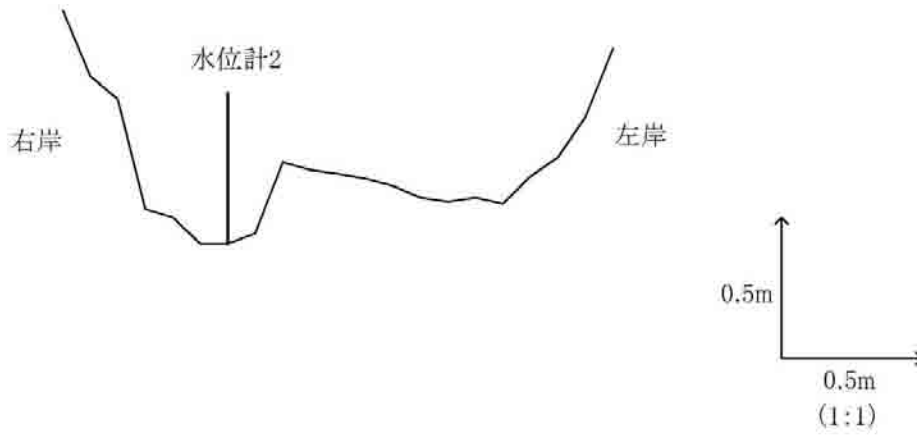


図 3. 3. 2 (2) 水位計2(上流側)設置地点の横断面図

下流側 水位計 1

i) 水位計設置後の状況 (写真撮影 : 2016. 9. 7)



ii) 降雨イベント 59 後の状況 (写真撮影 : 2016. 9. 23)



写真 3.3.4(1) 水位計 1(下流側)設置地点の溪床

上流側 水位計2

水位計設置後の状況 (写真撮影：2016. 9. 7)

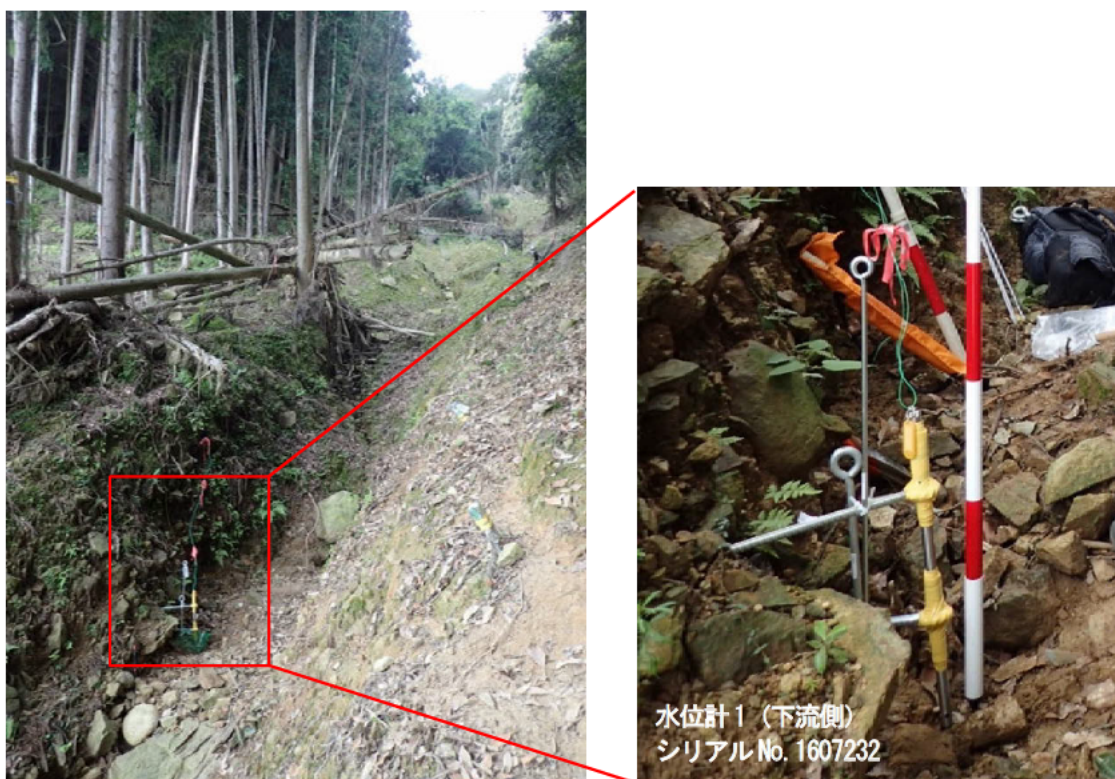


写真 3.3.4(2) 水位計2(上流側)設置地点の溪床



2016年9月7日撮影 (下流より望む)

写真 3.3.5 静電容量式水位計の設置状況 (全景)



2016年9月7日撮影 (下流より望む)

写真 3.3.6 下流側の水位計1の設置状況



2016年9月7日撮影 (下流より望む)

写真 3.3.7 上流側の水位計2の設置状況



2016年9月7日撮影 (下流より望む)

写真 3.3.8 水位計の設置状況の確認と落葉保護ネット

静電容量式水位計を現地に設置するにあたり、室内でキャリブレーションを実施した。キャリブレーションは、写真 3.3.9 に示したように水位計と実測用のメジャーを容器に設置して、水深を変動させて同時刻の計測データと実測データを取得し、これらを比較することで実施した。水深の実測データは、水面に鉛直方向に設置したメジャーから、目視により読み取ったものである。

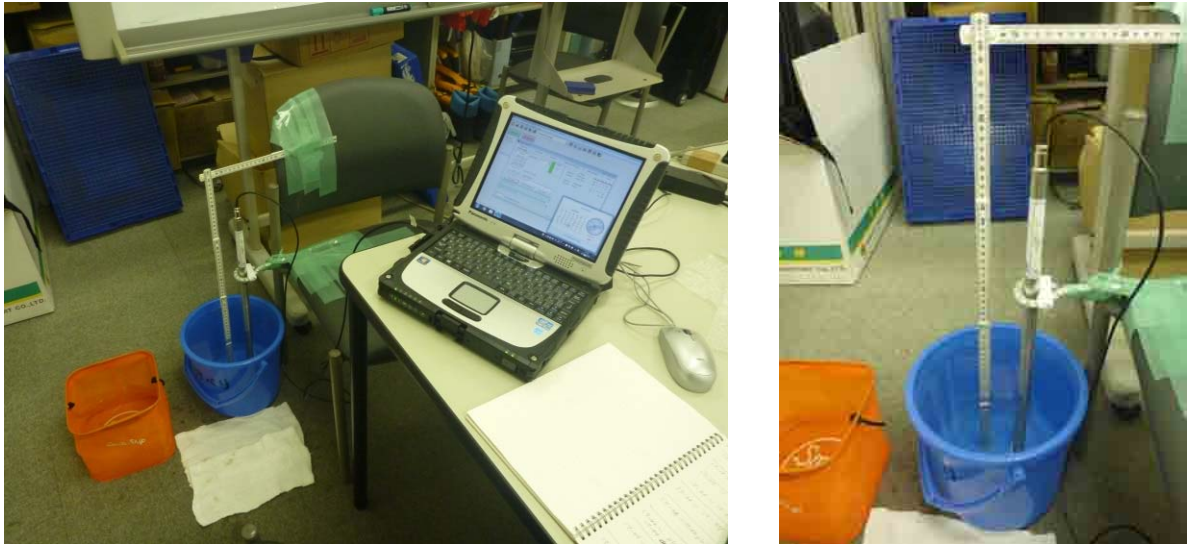


写真 3.3.9 水位計のキャリブレーションの状況

水深の計測値と実測値との関係を図 3.3.3 に示す。いずれの水位計においても、計測値は実測値に対して 39 mm 程度低い値を示した。水深がない状態（実測値の水深が 0mm の場合）では、計測値は負の値を示した。また、実測値の水深が小さいと、水位計のデータは負の値を示し、この負の値をとる場合は水深の上昇に対して一様な応答を示さなかった。これらの結果をふまえ、静電容量式水位計の補正には(3.1)～(3.2)式を用いることとし、水位計の計測値が 0mm 以上を示す場合は+39 mm の補正を行うこととし、計測値が負の値を示す場合は 0mm として取り扱うこととした。なお、補正後の水深の計測値と実測値との関係は図 3.3.4 に示したとおりである。

<静電容量式水位計の補正值>

- ・計測値 > 0mm の場合は、+39 mm とする

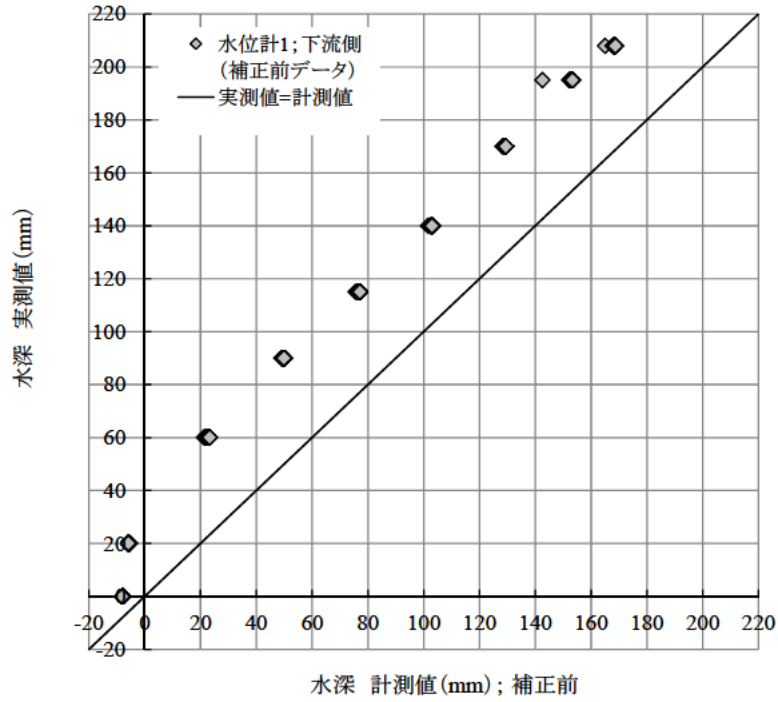
$$H_y = H_x + 39.0 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

- ・計測値 ≤ 0mm の場合は、一律 0mm とする

$$H_y = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ここに、 H_y ：補正後の水深データ(mm)、 H_x ：静電容量式水位計により計測した水深データ(mm)である。

i) 水位計1 (シリアルNo. 1607232 ; 下流側設置) 補正前



ii) 水位計2 (シリアルNo. 1607238 ; 上流側設置) 補正前

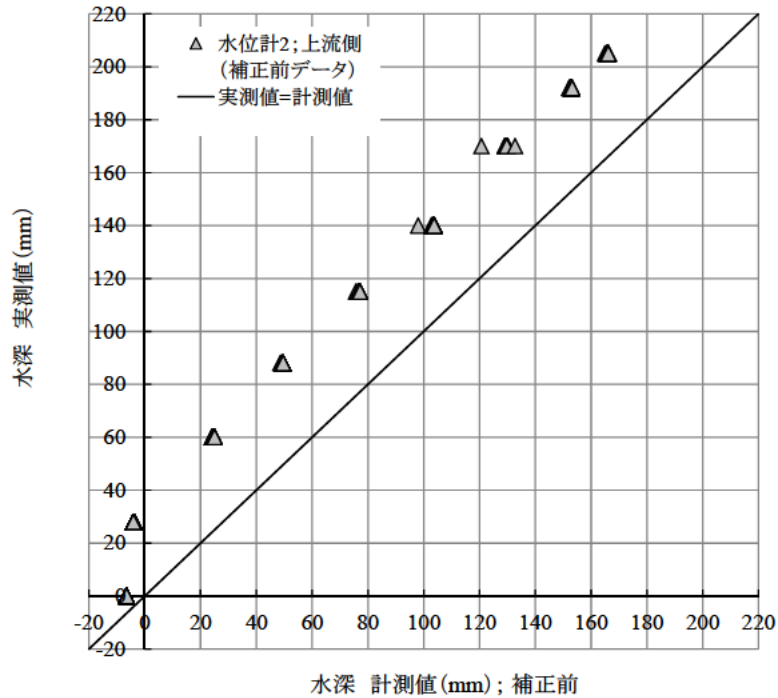
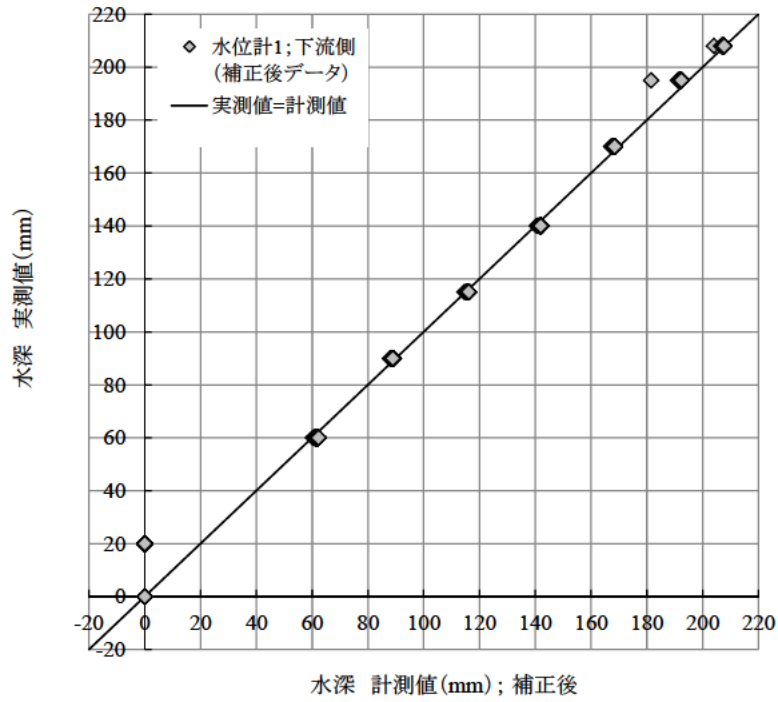


図 3.3.3 水深の実測値と補正前の計測値

i) 水位計1 (シリアルNo.1607232 ; 下流側設置) 補正後



ii) 水位計2 (シリアルNo.1607238 ; 上流側設置) 補正後

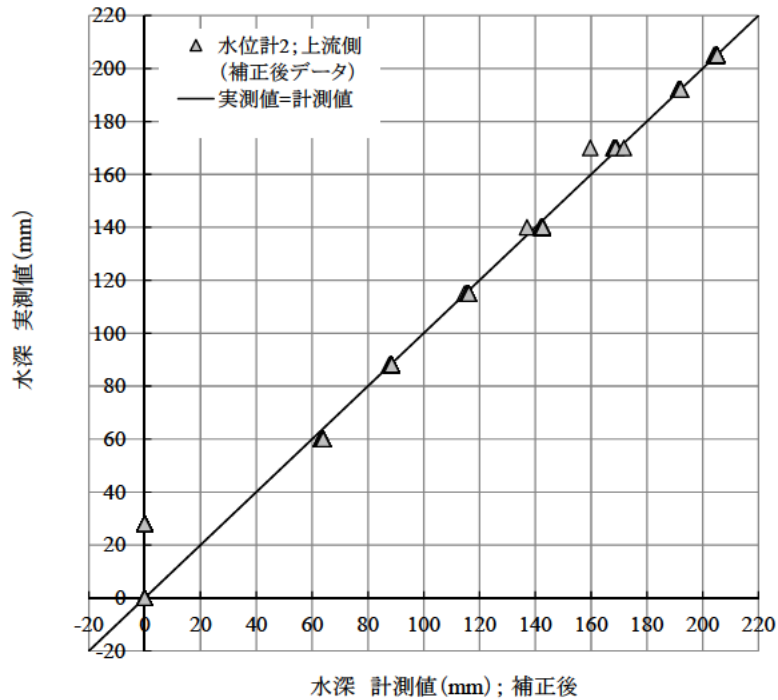


図 3.3.4 水深の実測値と補正後の計測値

3.3.2 粗度係数の算出方法

土石流が発生した後の流路の粗度係数は、前項 (3.3.1 水深の観測方法) の方法で得た 2 地点の水深や流量等の現地計測データをもとに、自然河川での不等流を計算する場合のエネルギー方程式と連続方程式からなる基礎式を用いて、逆算して求めた。

自然河川では、水路の断面形状、勾配ならびに粗度が縦断的に変化しているため、計算の基礎式は(3.3)式で表される (林、1996)。同式では、エネルギー勾配を Manning 形で表示している。

$$\underbrace{-S + \frac{dh}{dx}}_{\text{水面勾配}} + \underbrace{\frac{Q^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{\alpha}{A^2} \right)}_{\text{速度水頭勾配}} + \underbrace{\frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2}}_{\text{摩擦勾配}} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

ここに、S : 水路床勾配、h : 水深、x : 基準水平線上の距離、Q : 流量、A : 流水断面積、n : Manning の粗度係数、R : 径深である。また、その他の変数は、図 3.3.5 に示すの流れの模式図を用いて (3.4) ~ (3.6) 式で表すことができる。

$$S = \frac{dz_b}{dx} = -\tan \theta \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

$$-S + \frac{dh}{dx} = \frac{d}{dx} (z_b + h) = \frac{dy}{dx} \quad (\text{y は基準線から測った水位}) \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2} = S_e = -\frac{dH}{dx} \quad (\text{H は全水頭}) \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

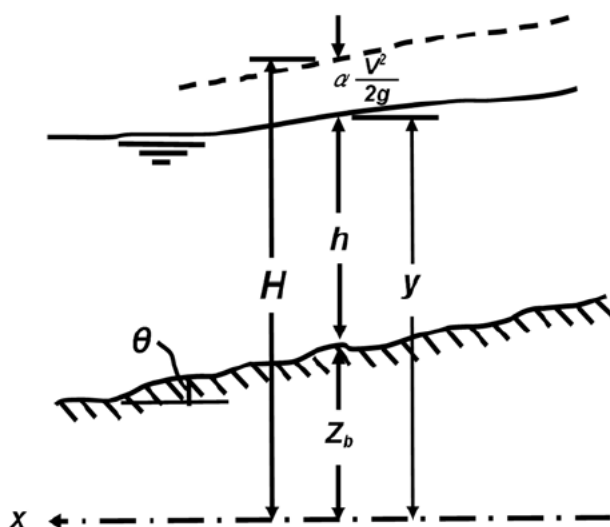


図 3.3.5 自然河川での定常流の計算模式図 (林(1996)をもとに作成)

なお、水位 (y) を用いた場合は (3.3) 式は次のように表すことができる。

$$\frac{dy}{dx} + \frac{Q^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{\alpha}{A^2} \right) + \frac{n^2 Q^2}{R^{4/3} A^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

以上に示した基礎式に基づき、図 3.3.1 に示す水位計設置箇所 の 2 地点間で流量 (Q) を一定と想定して、水路床勾配、水深勾配、速度水頭勾配および摩擦勾配のうちの流量 (Q) ・径深 (R) ・流水断面積 (A) を実測データから整理し、粗度係数 (n) を逆算した。粗度係数 (n) は、2 地点間で同時に水深データを取得することができた降雨イベントを対象に、10 分間隔で算出した。ここで、水路床勾配 (S) は、2 地点間の勾配である 20.8° を用いた (図 3.3.1)。水深勾配は、静電容量式水位計により計測した各地点の水深データをもとに算出した。速度水頭の補正係数は、 $\alpha = 1$ とした。速度水頭勾配と摩擦勾配の項に含まれる流量 (Q) は、国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 (2016) により設置された流量堰での 10 分間隔の流量データを用いた。摩擦勾配のうちの径深 (R) と流水断面積 (A) は、2 地点それぞれで算出した値の平均値を用いた。各地点の径深 (R) と流水断面積 (A) は、各地点での水深データの計測結果と図 3.3.2 に示した横断地形形状から求めた。

4. 研究結果と考察

本章では、現地観測データをもとに以下についてとりまとめた。

- (1) 土石流発生後の短期的な土砂移動状況
- (2) 土石流が発生した後の状態における溪流の粗度係数

4.1 土石流が発生した後の状態における土砂移動の実態

ここでは、前章(3.2 土砂移動状況の観測)の方法で取得したインターバルカメラの画像データをもとに、2015年10月2日～2016年12月22日の期間を対象に、土石流が発生した後の溪流での短期的な土砂移動状況の変化、降雨と土砂移動との関係を取りまとめた。また、既往の土砂移動領域区分(高橋、1982)に基づき、土砂移動の発生状況を考察した。

4.1.1 土砂移動状況

三入観測所もしくは高瀬観測所において連続雨量3mm以上であった降雨イベントを対象に、土砂移動の発生回数をとりまとめたものを表4.1.1に、土砂移動の状況を一覧表で整理したものを表4.1.2に示す。表4.1.2には、降雨イベントごとに両観測所での積算雨量と最大時間雨量、三入観測所での最大10分間雨量、インターバルカメラ画像の撮影状況も併記した。また、礫の移動を伴う土砂移動があった場合は、降雨前後の画像を比較することにより推定した土砂移動時の最大粒径の大きさ、谷出口地点の直上流(カメラ⑨地点)での溪床の侵食・堆積状況を分析した結果も併記した。なお、表4.1.1中の夜間と欠測時を除く区分1(礫の移動を伴う土砂移動)、区分2(細粒分の土砂移動)、区分4(土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇))、区分8(土砂移動なし(変状なし))および区分11(積雪)については、降雨期間中と降雨前後のカメラ⑨のインターバルカメラの画像を巻末資料1に添付した。

観測期間に降水量が連続3mm以上であったのは計73回で、このうち礫の移動を伴う土砂移動(区分1)は13回、細粒分の土砂移動(区分2)は13回であった。土砂移動が発生しなかった降雨イベントは18回あり、このうち4回は谷出口地点で水深は上昇したが土砂の移動が確認されなかったもので(区分4)、残りの14回は降雨期間中に濁水の発生や流出量の増加などの変状は見られなかった(区分8)。なお、表4.1.1中の区分3、5～7の4つの状況は、今回の観測期間中は確認されなかった。

表 4.1.1 土砂移動の発生回数

区分	土砂移動状況	カメラ画像の分析結果			回数	備考
		谷出口地点での水深上昇の有無	水深上昇時の濁水の発生有無	溪床の1cm以上の礫の移動有無		
1	礫の移動を伴う土砂移動	有	有	有	13	降雨イベントNo.59で、最大粒径20～30cm程度の土砂移動が発生
2	細粒分の土砂移動	有	有	無	13	—
3	礫の移動を伴う土砂移動	有	無	有	0	該当なし
4	土砂移動なし (谷出口地点で水深上昇)	有	無	無	4	—
5	礫の移動を伴う土砂移動	無	有	有	0	該当なし
6	細粒分の土砂移動	無	有	無	0	該当なし
7	礫の移動を伴う土砂移動	無	無	有	0	該当なし
8	土砂移動なし (変状なし)	無	無	無	14	—
9	対象外 (夜間であり観測不可)	—	—	—	21	—
10	対象外 (カメラの不具合等による欠測)	—	—	—	8	—
11	対象外 (積雪)	—	—	—	2	—
合 計					75	三入もしくは高瀬観測所で連続3mm以上の全イベント

表 4.1.2(1) 降雨量と土砂移動状況一覧表；2015年10月27日～2016年6月13日

年	降 雨 イ ベ ン ト No.	高瀬観測所 (国土交通省) ※1			三入観測所 (気象庁) ※1			土砂移動状況 ※2			インターネットカメラによる撮影間隔 (min) ※3													
		期 間		累積雨量 mm	期 間		累積雨量 mm	最大時間雨量		区分	推定最大粒径 cm	⑨地点降雨後の状況	2015年 観測開始						2016年 観測開始					
		mm/h	記録時間	mm	mm/h	記録時間	mm	mm/h	記録時間	mm	記録時間	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	
2015	1	10/27 15:00 ~ 10/27 19:00	23	10	10/27 17:00 ~ 18:00	17	9	10/27 17:00 ~ 18:00	5.5	10/27 17:40 ~ 17:50	2	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
	2	11/1 20:00 ~ 11/2 6:00	23	5	11/2 2:00 ~ 3:00	21.5	3.5	11/2 0:00 ~ 1:00	1	11/2 0:30 ~ 0:40	9	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
	3	11/7 17:00 ~ 11/9 19:00	26	4	11/8 21:00 ~ 22:00	30	7.0	11/8 22:00 ~ 23:00	2.5	11/8 22:00 ~ 22:10	4	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
	4	11/13 10:00 ~ 11/15 0:00	31	6	11/13 21:00 ~ 22:00	41	6.5	11/13 21:00 ~ 22:00	4	11/14 11:50 ~ 12:00	1	堆積	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
	5	11/17 9:00 ~ 11/18 20:00	67	14	11/17 17:00 ~ 18:00	70	14.0	11/17 17:00 ~ 18:00	4.5	11/17 17:20 ~ 17:30	2	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
	6	11/25 11:00 ~ 11/25 15:00	5	2	11/25 11:00 ~ 12:00	4.5	1.5	11/25 12:00 ~ 13:00	0.5	11/25 10:50 ~ 11:00	8	-	次	5	60	次	60	60	60	60	60	60	-	-
	7	12/2 18:00 ~ 12/3 3:00	29	6	12/2 19:00 ~ 20:00	26.5	5.5	12/2 19:00 ~ 20:00	1.5	12/2 18:50 ~ 19:00	9	-	次	次	60	次	60	60	60	60	60	60	-	-
	8	12/10 9:00 ~ 12/11 6:00	65	9	12/10 23:00 ~ 12/11 0:00	57.5	7.5	12/10 23:00 ~ 12/11 0:00	2	12/10 23:20 ~ 23:30	9	-	次	次	60	次	60	60	60	60	60	60	-	-
	9	12/20 22:00 ~ 12/21 9:00	13	2	12/21 1:00 ~ 2:00	12.5	2.5	12/21 3:00 ~ 4:00	0.5	12/20 21:10 ~ 21:20	9	-	次	次	60	次	60	60	60	60	60	60	-	-
	10	12/23 12:00 ~ 12/23 16:00	3	1	12/23 12:00 ~ 13:00	4	1.5	12/23 14:00 ~ 15:00	0.5	12/23 12:40 ~ 12:50	8	-	次	次	60	次	60	60	60	60	60	60	-	-
	11	12/31 15:00 ~ 12/31 20:00	4	2	12/31 15:00 ~ 16:00	2.5	0.5	12/31 2:00 ~ 13:00	0.5	12/31 12:50 ~ 13:00	8	-	次	次	60	次	60	60	60	60	60	60	-	-
	12	1/17 17:00 ~ 1/19 15:00	34	5	1/17 20:00 ~ 21:00	42.5	6.0	1/17 20:00 ~ 21:00	1.5	1/17 18:30 ~ 18:40	9	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-
	13	1/24 13:00 ~ 1/25 14:00	5	2	1/25 11:00 ~ 12:00	13.5	3.0	1/24 23:00 ~ 1/25 0:00	0.5	1/24 6:00 ~ 6:10	11	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-
	14	1/28 17:00 ~ 1/30 1:00	34	4	1/29 10:00 ~ 11:00	32.5	3.5	1/29 11:00 ~ 12:00	1	1/29 11:10 ~ 11:20	2	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-
	15	2/13 5:00 ~ 2/14 3:00	63	12	2/13 8:00 ~ 9:00	55.5	10.0	2/13 8:00 ~ 9:00	3.5	2/13 8:50 ~ 9:00	1	堆積	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-
	16	-	-	-	-	31.5	6.0	2/20 3:00 ~ 2/21 5:00	1.5	2/20 12:00 ~ 13:00	2	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-
	17	-	-	-	-	5	1.0	2/29 2:00 ~ 3:00	1	2/29 3:00 ~ 3:10	11	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-
18	-	-	-	-	7.5	2.5	3/6 13:00 ~ 3/6 22:00	1	3/6 15:00 ~ 15:10	8	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
19	3/9 4:00 ~ 3/9 8:00	8	3	3/9 6:00 ~ 7:00	34	5.5	3/9 2:00 ~ 3/9 16:00	1.5	3/9 11:20 ~ 11:30	2	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
20	3/13 19:00 ~ 3/14 5:00	7	1	3/13 19:00 ~ 20:00	6.5	1.0	3/13 18:00 ~ 3/14 5:00	0.5	3/13 18:50 ~ 19:00	9	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
21	3/18 11:00 ~ 3/19 2:00	17	3	3/18 14:00 ~ 15:00	20	2.5	3/18 9:00 ~ 3/19 2:00	2	3/18 14:50 ~ 15:00	8	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
22	3/31 21:00 ~ 4/1 15:00	18	3	4/1 10:00 ~ 11:00	20	3.5	4/1 10:00 ~ 11:00	1	4/1 4:00 ~ 4:10	4	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
23	4/3 18:00 ~ 4/4 6:00	14	2	4/3 18:00 ~ 19:00	13	2.5	4/3 18:00 ~ 19:00	0.5	4/3 15:30 ~ 15:40	9	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
24	4/6 21:00 ~ 4/7 17:00	54	10	4/7 8:00 ~ 9:00	50.5	7.5	4/7 9:00 ~ 10:00	3	4/7 11:20 ~ 11:30	2	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
25	4/13 15:00 ~ 4/13 21:00	32	15	4/13 17:00 ~ 18:00	29	14.5	4/13 17:00 ~ 18:00	3.5	4/13 17:30 ~ 17:40	1	堆積	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
26	4/16 0:00 ~ 4/17 9:00	50	12	4/17 5:00 ~ 6:00	44	11.5	4/17 5:00 ~ 6:00	3.5	4/17 5:50 ~ 6:00	2	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
27	4/21 6:00 ~ 4/21 19:00	48	10	4/21 11:00 ~ 12:00	47	9.0	4/21 11:00 ~ 12:00	2.5	4/21 11:40 ~ 11:50	1	堆積	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
28	4/27 1:00 ~ 4/28 6:00	39	8	4/27 22:00 ~ 23:00	33	6.0	4/27 22:00 ~ 23:00	1.5	4/27 22:20 ~ 22:30	9	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
29	5/3 12:00 ~ 5/3 19:00	40	13	5/3 16:00 ~ 17:00	38	14.0	5/3 16:00 ~ 17:00	3.5	5/3 16:30 ~ 16:40	8	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
30	5/6 9:00 ~ 5/7 8:00	9	3	5/6 11:00 ~ 12:00	7.5	2.0	5/6 11:00 ~ 12:00	0.5	5/6 9:10 ~ 9:20	8	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
31	5/9 3:00 ~ 5/11 2:00	64	6	5/10 12:00 ~ 13:00	62.5	7.5	5/10 12:00 ~ 13:00	2.5	5/10 12:30 ~ 12:40	1	侵食	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
32	5/16 2:00 ~ 5/16 19:00	47	14	5/16 12:00 ~ 13:00	58.5	21.0	5/16 12:00 ~ 13:00	8.5	5/16 12:50 ~ 13:00	10	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	
33	5/24 0:00 ~ 5/25 19:00	27	4	5/24 0:00 ~ 1:00	29	6.5	5/25 0:00 ~ 1:00	2.5	5/25 11:40 ~ 11:50	10	-	次	次	次	次	次	次	次	次	次	次	-	-	
34	5/29 10:00 ~ 5/30 6:00	20	3	5/29 12:00 ~ 13:00	16.5	3.5	5/29 12:00 ~ 13:00	1	5/29 12:00 ~ 12:10	10	-	次	次	次	次	次	次	次	次	次	次	-	-	
35	6/4 13:00 ~ 6/5 7:00	28	3	6/4 22:00 ~ 23:00	28	2.5	6/4 16:00 ~ 17:00	1	6/4 22:00 ~ 22:10	10	-	次	次	次	次	次	次	次	次	次	次	-	-	
36	6/7 1:00 ~ 6/7 11:00	25	12	6/7 4:00 ~ 5:00	12	3.5	6/7 3:00 ~ 4:00	2	6/7 3:30 ~ 2:40	10	-	次	次	次	次	次	次	次	次	次	次	-	-	
37	6/8 23:00 ~ 6/9 6:00	53	22	6/9 3:00 ~ 4:00	73	27.5	6/9 1:00 ~ 2:00	8.5	6/9 1:40 ~ 1:50	10	-	次	次	次	次	次	次	次	次	次	次	-	-	
38	6/12 12:00 ~ 6/13 3:00	20	4	6/12 18:00 ~ 19:00	19	4.0	6/12 19:00 ~ 20:00	1.5	6/12 19:00 ~ 19:10	10	-	次	次	次	次	次	次	次	次	次	次	-	-	

※1 降雨予一タのうち、-は交差値を示す

※2 1:礫の移動を伴う土砂移動、2:細粒分の土砂移動、4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)、8:土砂移動なし(変状なし)、9:対象外(夜間)、10:対象外(欠測)、11:対象外(積雪)である

※3 数値は撮影間隔(分)、次は欠測、-はカメラ設置前で予一タ未取得である

つぎに、観測期間内に確認した土砂移動状況区分1、2、4および8の4つを対象に、それらの発生状況の推移を概観した。図 4.1.1 は、土砂移動状況の違いを指標として、各降雨イベントの積算雨量と最大時間雨量を時系列で整理したものであり、図の(1)には高瀬観測所、(2)には三入観測所の降雨状況を示した。同図には静電容量式水位計で計測した2地点の水深の変化を併記するとともに、三入観測所については各降雨イベントの最大10分間雨量も示した。図 4.1.1 より、2015年11月下旬～2016年1月と2016年11～12月の冬期を除いて、土砂移動が繰り返し発生していることがわかる。礫の移動を伴う土砂移動(区分1)は2016年6～7月と9月の出水期に集中しているのに対し、細粒分の土砂移動(区分2)はこれら以外の期間においても継続的に発生している。

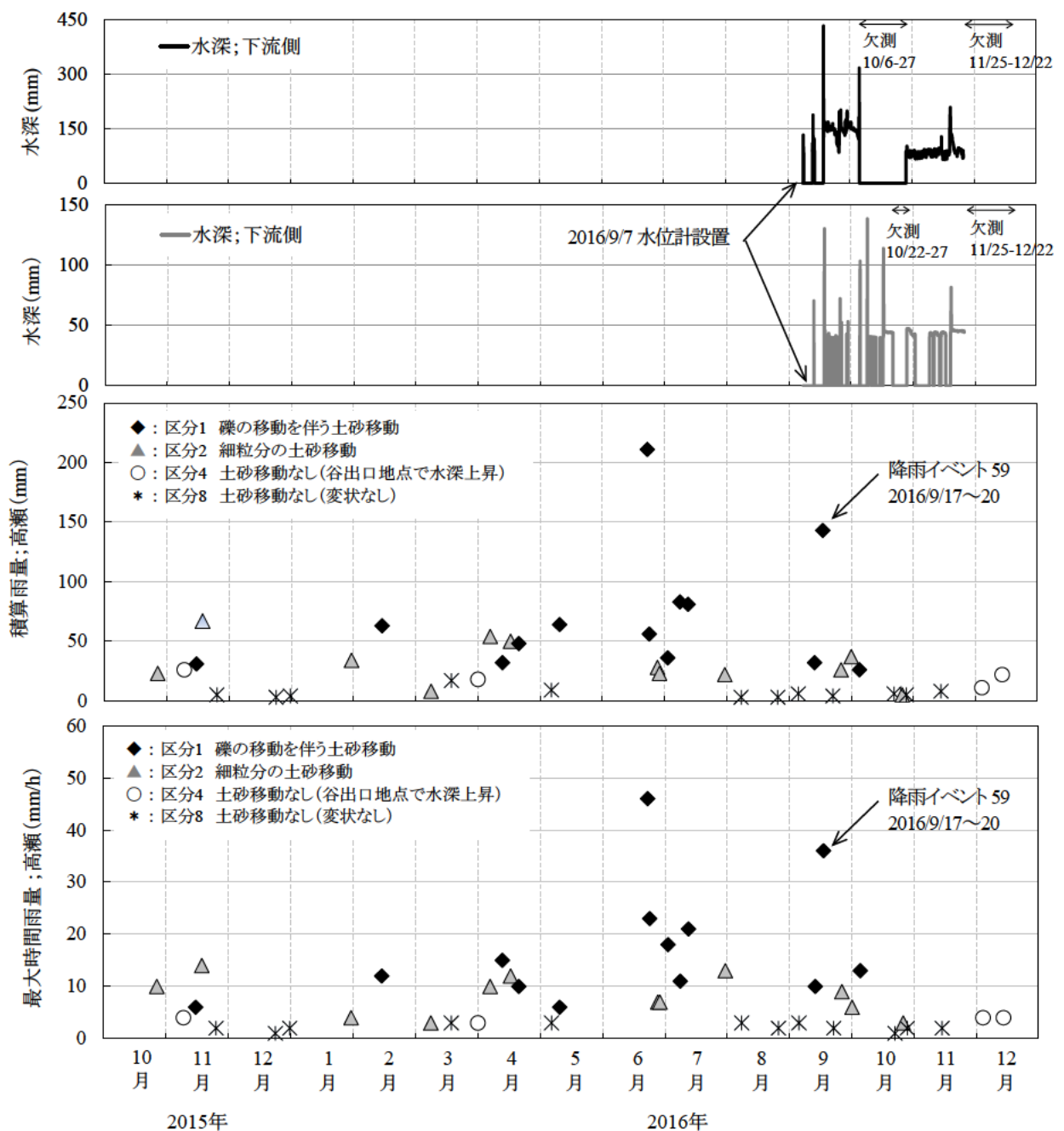


図 4.1.1(1) 土砂移動状況と高瀬観測所の降雨量の時系列変化

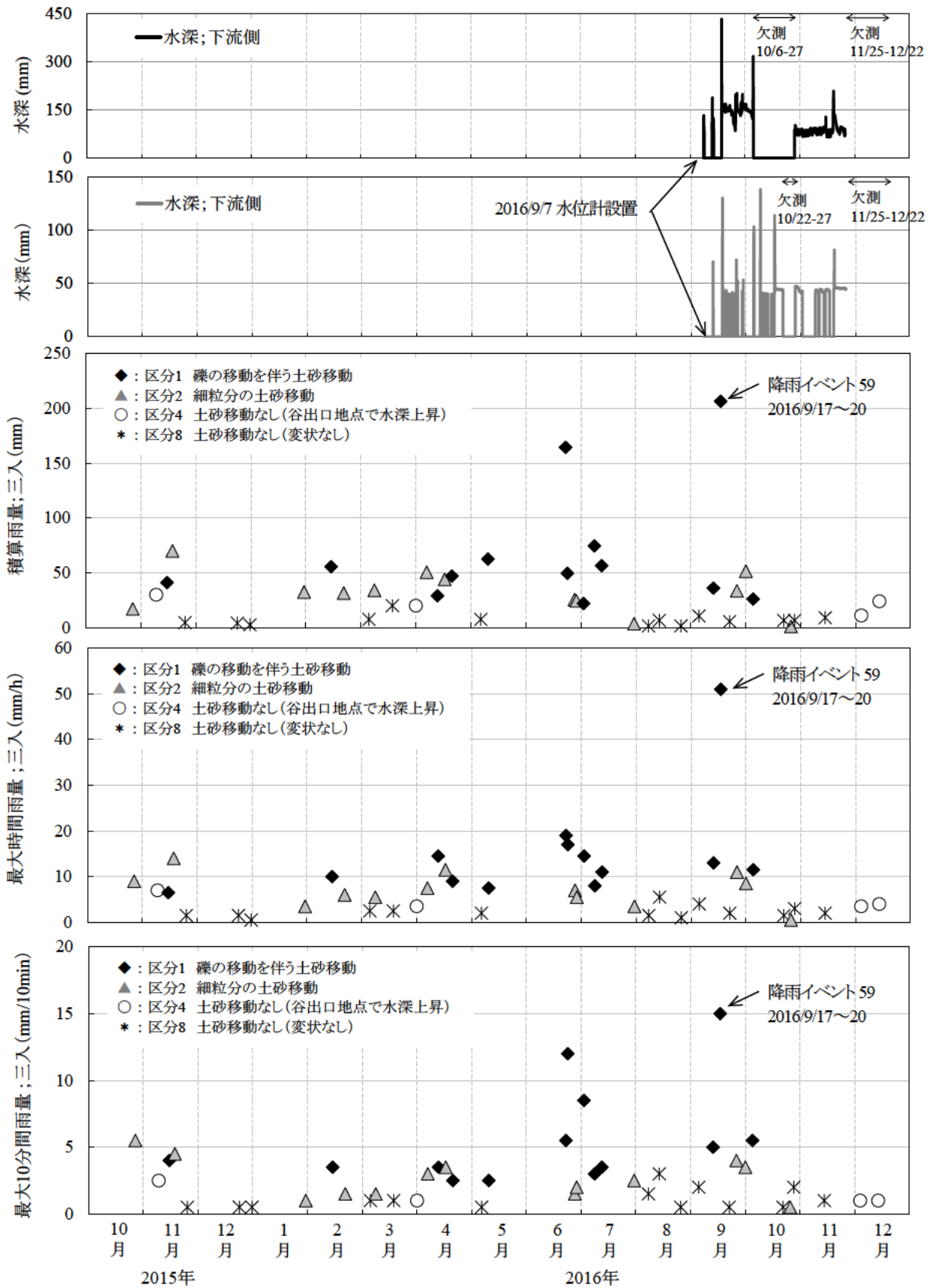


図 4.1.1(2) 土砂移動状況と三入観測所の降雨量の時系列変化

2016年9月17日～9月20日にかけての降雨イベントNo. 59では、最大粒径が20～30cm程度の土砂移動が発生しており、観測期間で土砂移動の規模が最大であったと推定される。この降雨イベントによる土砂流出前後の状況を写真4.1.1～4.1.2に、溪流内の侵食状況を写真4.1.3に示す。当該イベント時の累積雨量と最大時間雨量は三入で206.5mm、51mm/h、高瀬で143mm、36mm/hであり、最大時間雨量は三入では年超過確率10年以上、高瀬では5年程度の規模に相当する。なお、三入観測所の最大時間雨量は、2014年8月20日の土石流発生後から現在に至るまでで最大であった。



写真 4.1.1 流域下流部における土砂流出前後の状況（流量堰地点）

2016. 9. 23 撮影：土砂流出後（土砂の堆積状況を右岸下流より望む）



2016. 9. 23 撮影：土砂流出後（土砂の堆積状況を下流上方より望む）



写真 4.1.2 流域下流部における流出土砂の堆積状況（流量堰地点）

2016. 9. 23 撮影：溪床の侵食状況（下流より望む）

※下流部を中心に溪床侵食が進行している箇所が見られ、侵食深は40cm程度であった



写真 4.1.3 流域下流部における溪床侵食の状況（水位計2の上流地点）

4.1.2 降雨量と土砂移動

三入観測所と高瀬観測所の積算雨量、最大時間雨量および最大10分間雨量といった単一の降雨量を指標として、土砂移動状況による降雨量の相違をとりまとめた。図4.1.2は、土砂移動状況の区別に降雨イベントを集計し、積算雨量の最小値・25%値・中央値・75%値・最大値をとりまとめたものである。また、表4.1.3はこれらのデータと土砂移動状況ごとの積算雨量の平均値を算出した結果を示したものである。

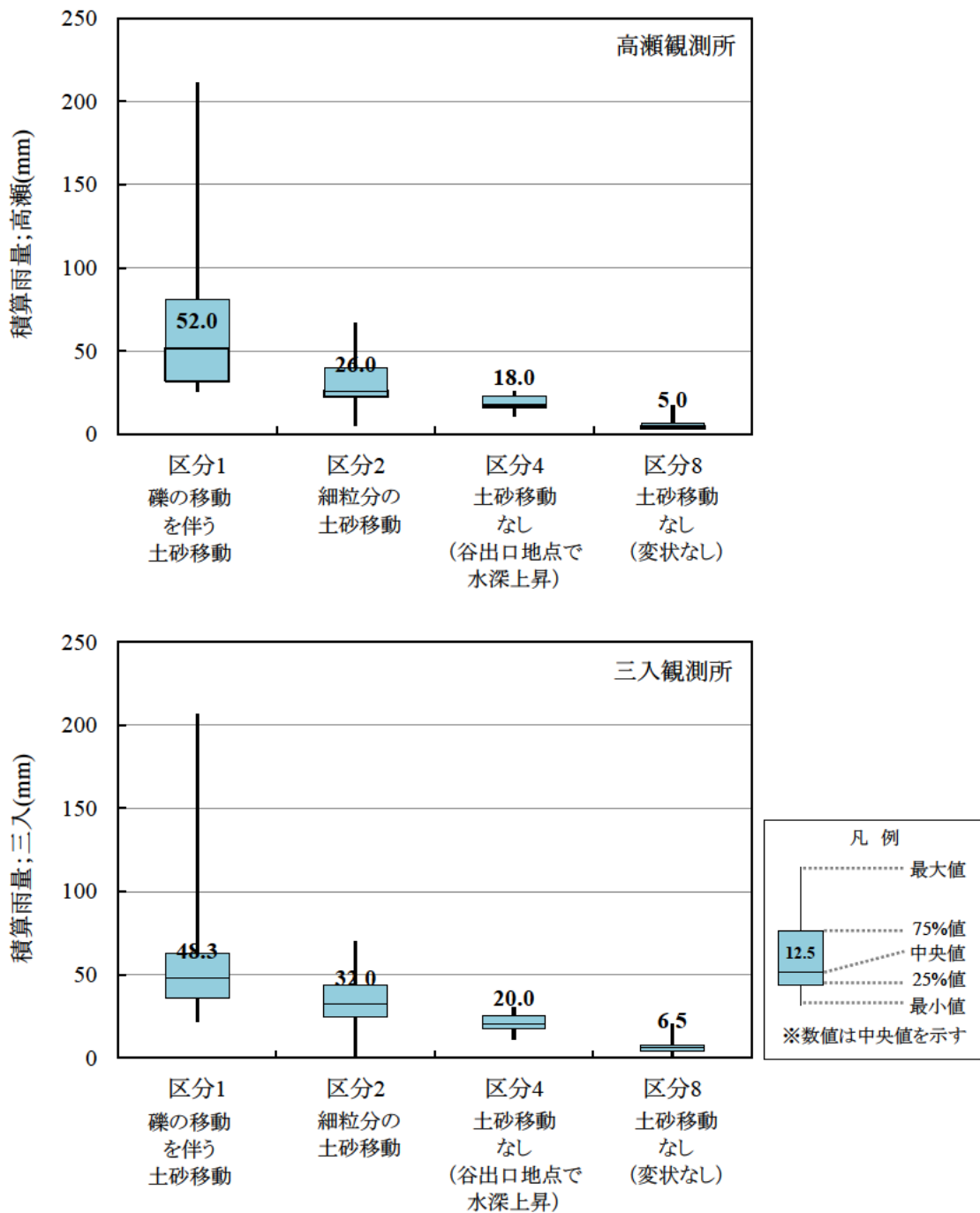


図 4.1.2 土砂移動状況と積算雨量との関係 (高瀬観測所・三入観測所)

表 4.1.3 土砂移動状況別の積算雨量（高瀬観測所・三入観測所）

	積算雨量(mm)							
	高瀬観測所				三入観測所			
	区分1 礫の移動を伴う 土砂移動	区分2 細粒分の 土砂移動	区分4 土砂移動なし (谷出口地点で 水深上昇)	区分8 土砂移動なし (変状なし)	区分1 礫の移動を伴う 土砂移動	区分2 細粒分の 土砂移動	区分4 土砂移動なし (谷出口地点で 水深上昇)	区分8 土砂移動なし (変状なし)
回数	13	13	4	14	13	13	4	14
最大値	211.0	67.0	26.0	17.0	206.5	70.0	30.0	20.0
75%	81.0	40.3	23.0	6.5	62.5	44.0	25.5	7.5
中央値	52.0	26.0	18.0	5.0	48.3	32.0	20.0	6.5
25%	32.0	22.8	16.3	3.8	36.0	24.5	17.8	4.1
最小値	26.0	5.0	11.0	3.0	22.0	1.0	11.0	1.5
平均値	69.7	31.4	19.3	6.1	67.0	32.2	21.3	6.7

積算雨量と土砂移動との関係を見ると、礫の移動を伴う土砂移動（区分1）は20mm以上の降雨で発生したのに対し、細粒分の土砂移動は数mm程度の降雨でも発生したことがわかる。土砂移動が発生しなかった区分4と8の積算雨量の最大値は、それぞれ30mm程度、20mm程度であり、総雨量が20～30mm程度の降雨では土砂移動が発生しない場合もあったことがわかる。積算雨量の平均値を指標として土砂移動状況を見ると、礫の移動を伴う土砂移動（区分1）では65mm程度、細粒分の土砂移動（区分2）では30mm程度、流出量が増加したものの土砂移動が発生しない場合（区分4）は20mm程度、土砂移動や流出の増加などの変状が生じない場合（区分8）は6mm程度であった。

つぎに、上記の積算雨量の場合と同様に、土砂移動状況ごとに最大時間雨量をとりまとめたものを図 4.1.3 と表 4.1.4 に示す。

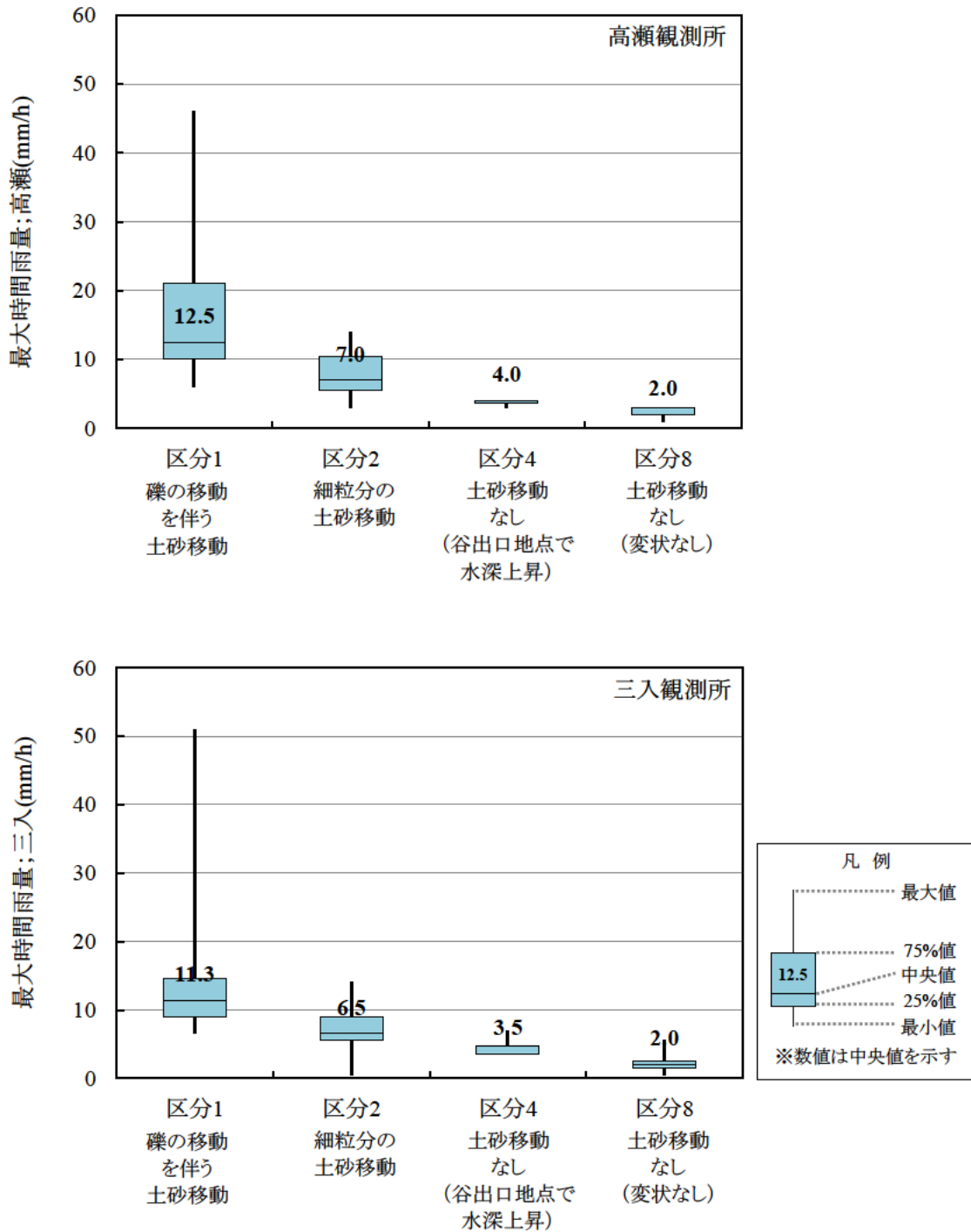


図 4.1.3 土砂移動状況と最大時間雨量との関係 (高瀬観測所・三入観測所)

表 4.1.4 土砂移動状況別の最大時間雨量（高瀬観測所・三入観測所）

	最大時間雨量(mm/h)							
	高瀬観測所				三入観測所			
土砂移動状況	区分1 礫の移動を伴う 土砂移動	区分2 細粒分の 土砂移動	区分4 土砂移動なし (谷出口地点で 水深上昇)	区分8 土砂移動なし (変状なし)	区分1 礫の移動を伴う 土砂移動	区分2 細粒分の 土砂移動	区分4 土砂移動なし (谷出口地点で 水深上昇)	区分8 土砂移動なし (変状なし)
回数	13	13	4	14	13	13	4	14
最大値	46.0	14.0	4.0	3.0	51.0	14.0	7.0	5.5
75%	21.0	10.5	4.0	3.0	14.5	9.0	4.8	2.5
中央値	12.5	7.0	4.0	2.0	11.3	6.5	3.5	2.0
25%	10.0	5.5	3.8	2.0	9.0	5.5	3.5	1.5
最小値	6.0	3.0	3.0	1.0	6.5	0.5	3.5	0.5
平均値	17.5	8.2	3.8	2.2	14.8	7.2	4.5	2.2

最大時間雨量と土砂移動との関係を見ると、礫の移動を伴う土砂移動（区分1）は6mm/h以上の降雨で発生したのに対し、細粒分の土砂移動（区分2）は数mm/h程度の降雨で発生したことがわかる。土砂移動が発生しなかった区分4と8の最大時間雨量の最大値は7mm/h以下であり、この程度の降雨強度では土砂移動が発生しない場合もあったことがわかる。最大時間雨量の平均値を指標として土砂移動状況を見ると、礫の移動を伴う土砂移動（区分1）では15mm/h程度、細粒分の土砂移動（区分2）では8mm/h程度、流出量が増加したものの土砂移動が発生しない場合（区分4）は5mm/h程度、土砂移動や流出の増加などの変状が生じない場合（区分8）は2mm/h程度であった。

先に示した積算雨量や最大時間雨量の場合と同様に、土砂移動状況ごとに三入観測所の最大10分間雨量をとりまとめたものを図4.1.4と表4.1.5に示す。

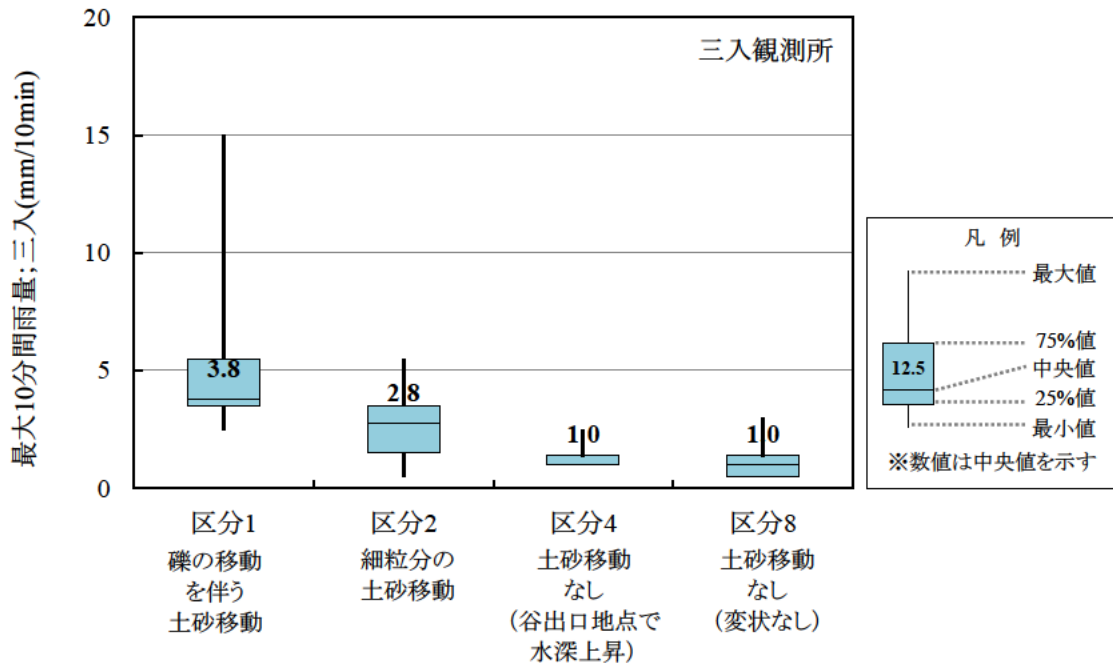


図 4.1.4 土砂移動状況と最大10分間雨量との関係（三入観測所）

表 4.1.5 土砂移動状況別の最大10分間雨量（三入観測所）

	最大10分間雨量(mm/10min)			
	三入観測所			
土砂移動状況	区分1 礫の移動を伴う 土砂移動	区分2 細粒分の 土砂移動	区分4 土砂移動なし (谷出口地点で 水深上昇)	区分8 土砂移動なし (変状なし)
回数	13	13	4	14
最大値	15.0	5.5	2.5	3.0
75%	5.5	3.5	1.4	1.4
中央値	3.8	2.8	1.0	1.0
25%	3.5	1.5	1.0	0.5
最小値	2.5	0.5	1.0	0.5
平均値	5.7	2.7	1.4	1.1

礫の移動を伴う土砂移動（区分1）は2.5mm/10min以上の降雨で発生したのに対し、細粒分の土砂移動（区分2）は0.5～5.5mm/10minの降雨で発生した。土砂移動が発生しなかった区分4と8の最大10分間雨量の最大値は3mm/10minであった。最大10分間雨量の平均値を指標として土砂移動状況を見ると、礫の移動を伴う土砂移動（区分1）では6mm/10min程度、細粒分の土砂移動（区分2）では3mm/10min程度、流出量が増加したものの土砂移動が発生しない場合（区分4）は2mm/10min程度、土砂移動や流出の増加などの変状が生じない場合（区分8）は1mm/10min程度であった。

以上の結果をもとに、観測期間に確認した土砂移動現象のうち土砂流出の規模が大きかったと考えられる礫の移動を伴う土砂移動（区分1）に着目して降雨条件を見ると、積算雨量では20mm以上、最大時間雨量では6mm/h以上、最大10分間雨量では2.5mm/10min以上の場合に土砂移動が発生したことが明らかとなった。

4.1.3 長期および短期間降雨量と土砂移動

ここでは、長期間降雨と短期間降雨との組み合わせと土砂移動状況との関係を概観した。高瀬観測所と三入観測所での累積雨量および最大時間雨量と土砂移動状況との関係をとまとめた図 4.1.5 より、累積雨量が 30mm 以下で最大時間雨量が 5mm/以下であった場合は、土砂移動が発生しない場合 (区分 4 と 8) が多いことがわかる。これらよりも降雨強度が大きくなると土砂移動が発生し、細粒分の土砂移動 (区分 2) は累積雨量が 30~50mm 程度で最大時間雨量が 5~13mm/h の降雨規模で卓越した。さらに降雨強度が大きくなると、細粒分の土砂移動 (区分 2) に加えて、礫の移動を伴う土砂移動 (区分 1) も見られた。累積雨量が 75mm 程度以上で時間雨量 15mm/h 以上の降雨では、土砂移動の形態は礫の移動を伴う土砂移動 (区分 1) に限られた。

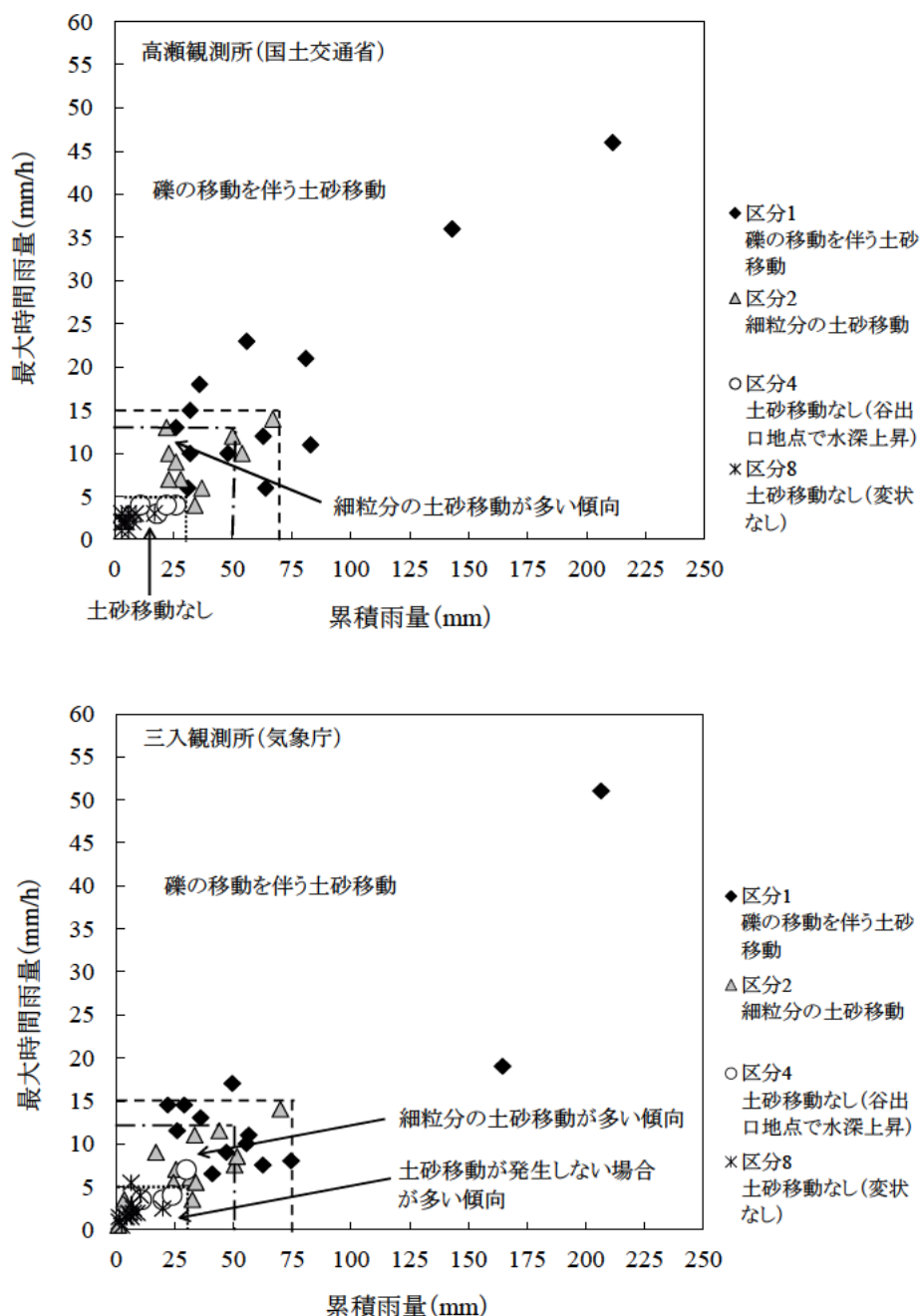


図 4.1.5 土砂移動状況と累積雨量および最大時間雨量との関係 (高瀬・三入)

つぎに、三入観測所での累積雨量および最大10分間雨量と土砂移動状況との関係を取りまとめたものを図4.1.6に示す。同図より、累積雨量が20mm以下で最大10分間雨量が2mm/10min以下の場合には、土砂移動が発生しない場合(区分4と48)が多かった。これらよりも降雨強度が大きくなると土砂移動が発生しており、累積雨量が20~40mmで最大10分間雨量が2~3mm/10minの降雨では、細粒分の土砂移動(区分2)が多い傾向であった。さらに高強度の降雨では礫の移動を伴う土砂移動が卓越するようになり、累積雨量が75mm以上で最大10分間雨量が6mm/10min以上となると、礫の移動を伴う土砂移動(区分1)の発生に限定された。

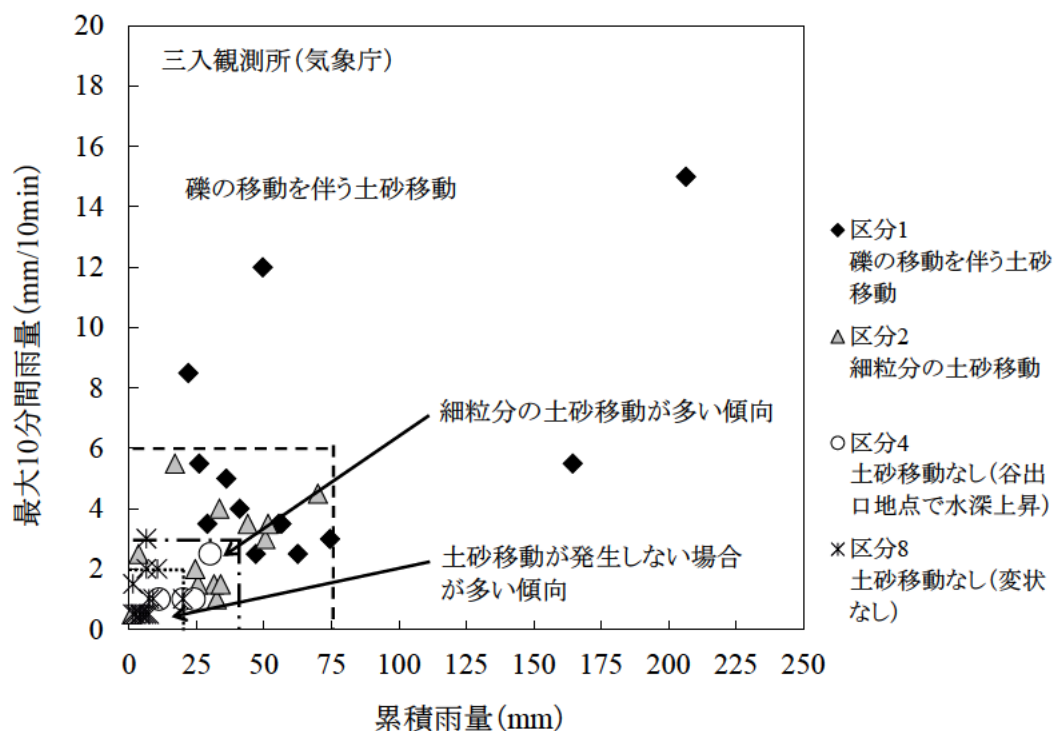


図 4.1.6 土砂移動状況と累積雨量および最大10分間雨量との関係(三入)

以上の結果、礫の移動を伴う土砂移動(区分1)は、積算雨量が75mm以上で、最大時間雨量が15mm/h以上もしくは最大10分間雨量が6mm/10min以上の場合に発生したことが明らかとなった。

4.1.4 濁水の流出開始時期と降雨量

ここでは、降雨により谷出口地点で濁水の流出が開始した時期と10分間雨量との関係をまとめた。濁水の流出開始時期は、土砂移動が生じた区分1と2のうち、降雨開始から5分もしくは10分間隔でカメラ⑨地点の画像を連続的に取得することができた8つの降雨イベント（No.1、41、43、48、58、61～63）を対象とした。濁水の判断は、前章（3.2.2 土砂移動状況の分析方法）に示した写真3.2.6を基準として、これとインターバルカメラの画像を比較して、同程度の濁りを確認した場合に濁水の流出開始とした。

濁水の流出開始時期とその時点の10分間雨量およびその時点までの10分間雨量の積算値をとりまとめた結果を図4.1.7に示す。また、濁水の流出開始前と流出開始時の状況を巻末資料2に添付した。

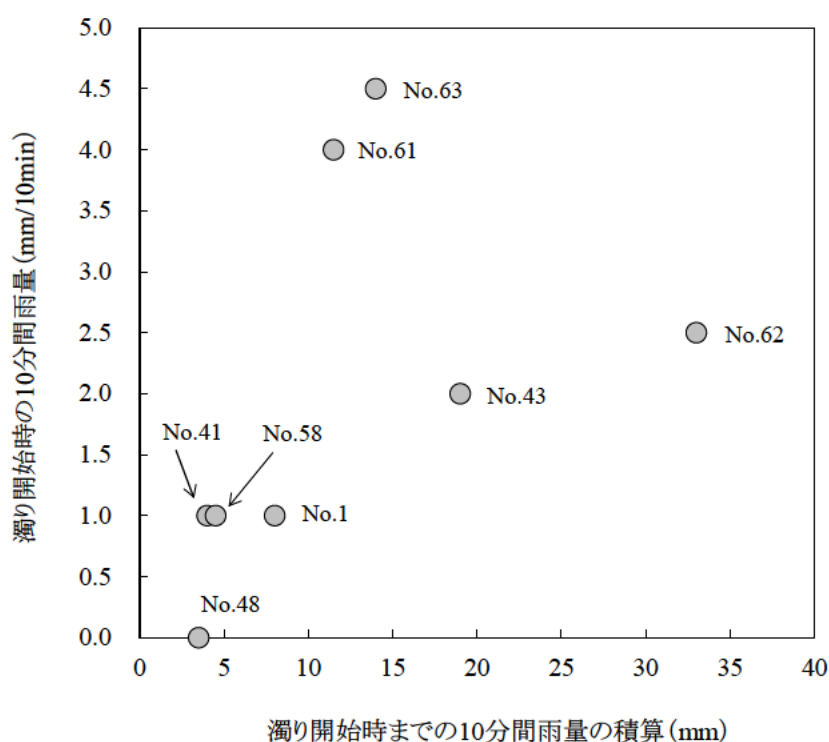


図 4.1.7 濁水の流出開始時点の10分間雨量とそれまでの10分間雨量の積算値（三入）

図4.1.7より、少なくとも10分間雨量の積算値が3.5mm以上となった場合に、濁水の流出が開始したことがわかる。また、濁水の流出が開始したときの10分間雨量を見ると、降雨イベントNo.48では0mmであった。この1事例を除くと、濁水の流出が開始したときの10分間雨量は1.0mm/10min以上であった。

4.1.5 土砂移動の発生有無

ここでは、既往研究（高橋、1982）により示された非粘着性材料の土砂移動形態の発生領域区分を用いて、対象流域における土砂移動状況を整理した。ここで、本研究で対象とした不安定土砂は、前章（2.3.1 不安定土砂の状況）で示したように溪流内に存在する土砂であり、既往研究と同様に粘着性をほぼ無視できるものと仮定した。

図 4.1.8 は、対象流域での土砂移動形態の領域区分を図示したものである。各領域を区分する曲線は、前章（2.3.2 土質特性）に示した土質試験や粒径調査等の現地計測データをもとに(4.1)～(4.5)式を用いて与えた。

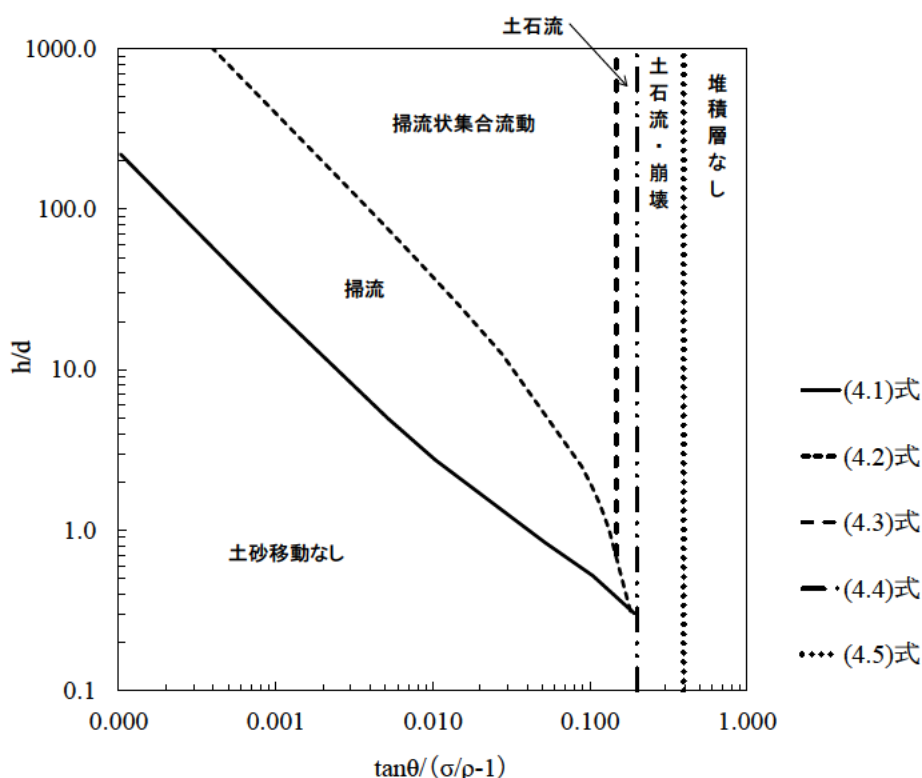


図 4.1.8 対象流域での土砂移動の領域区分図

$$\frac{\rho u_*^2 c}{(\sigma - \rho) g d} = 0.034 \cos \theta \left[\tan \phi - \frac{\sigma}{(\sigma - \rho)} \tan \theta \right] \cdot 10^{0.32(d/h_c)} \quad (4.1)$$

$$\tan \theta = \frac{c_* (\sigma - \rho)}{c_* (\sigma - \rho) + \rho (1 + h/d)} \tan \phi \quad (4.2)$$

$$\tan \theta = \frac{c_* (\sigma - \rho)}{c_* (\sigma - \rho) + \rho (1 + k^{-1})} \tan \phi \quad (4.3)$$

$$\tan \theta = \frac{c_* (\sigma - \rho)}{c_* (\sigma - \rho) + \rho} \tan \phi \quad (4.4)$$

$$\theta = \phi \quad (4.5)$$

ここに、 d : 材料の代表粒径、 h : 水深、 θ : 堆積層の勾配、 σ : 砂礫の密度および ρ : 水の密度、 C_* : 砂礫堆積層の固体分の容積濃度、 u_{*c} : 移動限界摩擦速度、 h_c : 移動限界水深、 ϕ : 砂礫内部摩擦角、 g : 重力加速度、 K : 実験定数 ($\approx 1 \sim 0.7$) である。ここでは、既往資料 (国土交通省国土技術政策総合研究所、2016 ; 高橋、1982) を参考に $C_*=0.6$ 、 $K=0.7$ とした。

この領域区分図に、静電容量式水位計を設置した 2 地点で土砂移動時の水深を計測することができた下記の降雨イベントを対象に、10 分間隔での $\tan \theta (\sigma / \rho - 1)$ と h/d との関係をプロットしたものを図 4.1.9 ~ 図 4.1.13 に示す。図中には、インターバルカメラ画像から判読した濁水の発生状況 (濁り有・無) を記載した。また、両者の関係を整理するために用いたパラメータは表 4.1.6 に示したとおりであり、代表粒径は最大粒径を採用した。パラメータのうち水深については、i) 水位計 1 (下流側) と ii) 水位計 2 (上流側) の 2 地点の径深を用いた場合をそれぞれ示した。

<土砂移動状況をプロットした降雨イベント>

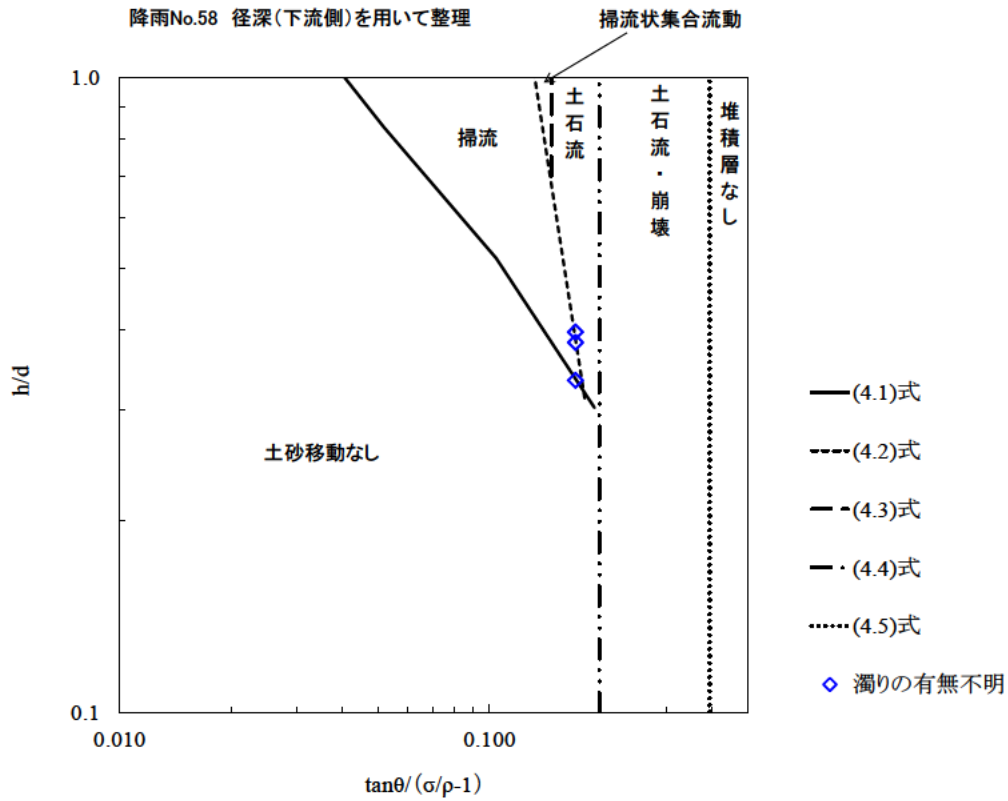
- 1) No. 58 : 2016. 9. 12~9. 13 礫の移動を伴う土砂移動 (区分 1)
- 2) No. 59 : 2016. 9. 17~9. 20 礫の移動を伴う土砂移動 (区分 1)
- 3) No. 61 : 2016. 9. 25~9. 26 細粒分の土砂移動 (区分 2)
- 4) No. 62 : 2016. 9. 28~9. 29 細粒分の土砂移動 (区分 2)
- 5) No. 63 : 2016. 10. 5 礫の移動を伴う土砂移動 (区分 1)

表 4.1.6 土砂移動領域区分の整理に用いたパラメータ

パラメータ	流域の代表値として設定した値
水深 (h)	i) 水位計 1 地点 (下流側) の径深 ii) 水位計 2 地点 (上流側) の径深
代表粒径 (d)	最大粒径 (渓床堆積土砂の長径の最大値 (26.6 cm))
勾配 (θ)	谷出口地点の平均渓床勾配 (17°)
砂礫の密度 (σ)	土質試験結果より求めた流域内 3 地点での平均値 (2.791 g/cm ³)

図 4.1.9~図 4.1.13 より、土砂移動が発生しなかった領域と発生した領域の境界に着目すると、下流側の水位計 1 の径深を用いた場合に、領域区分上の土砂移動なしと実測の濁り無の状況が一致する傾向であった。

i) 水位計1地点(下流側)の径深を用いて整理した場合



ii) 水位計2地点(上流側)の径深を用いて整理した場合

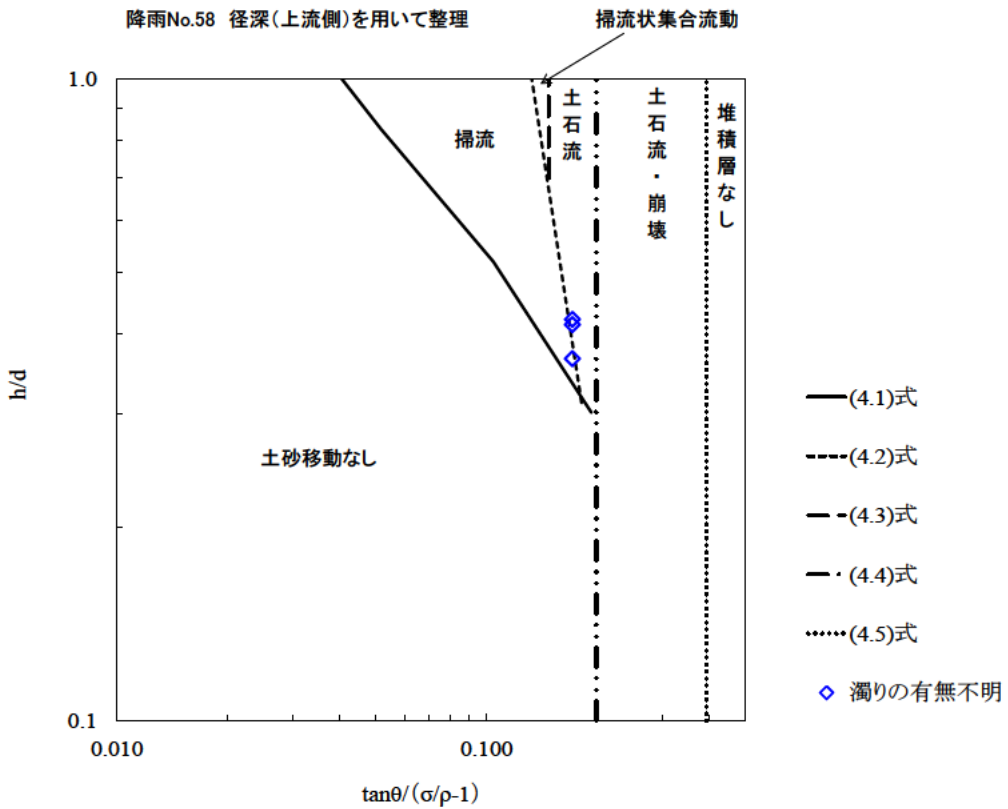
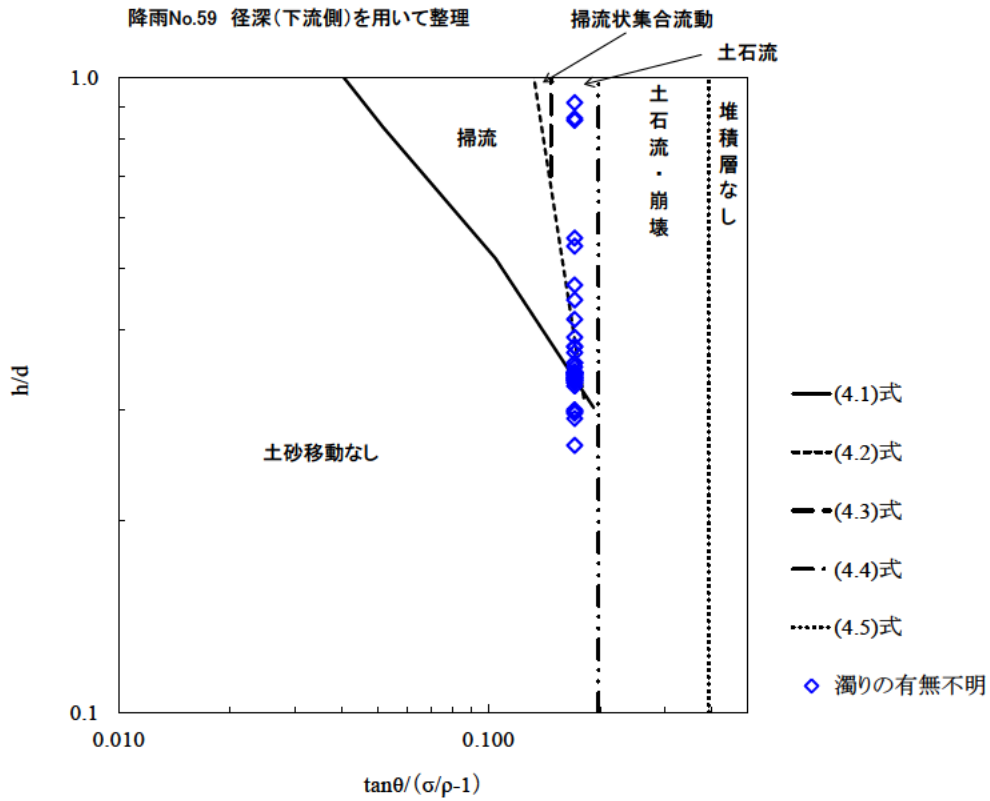


図 4.1.9 土砂移動領域区分と実測した土砂移動状況 (降雨イベント No. 58、区分1)

i) 水位計1地点(下流側)の径深を用いて整理した場合



ii) 水位計2地点(上流側)の径深を用いて整理した場合

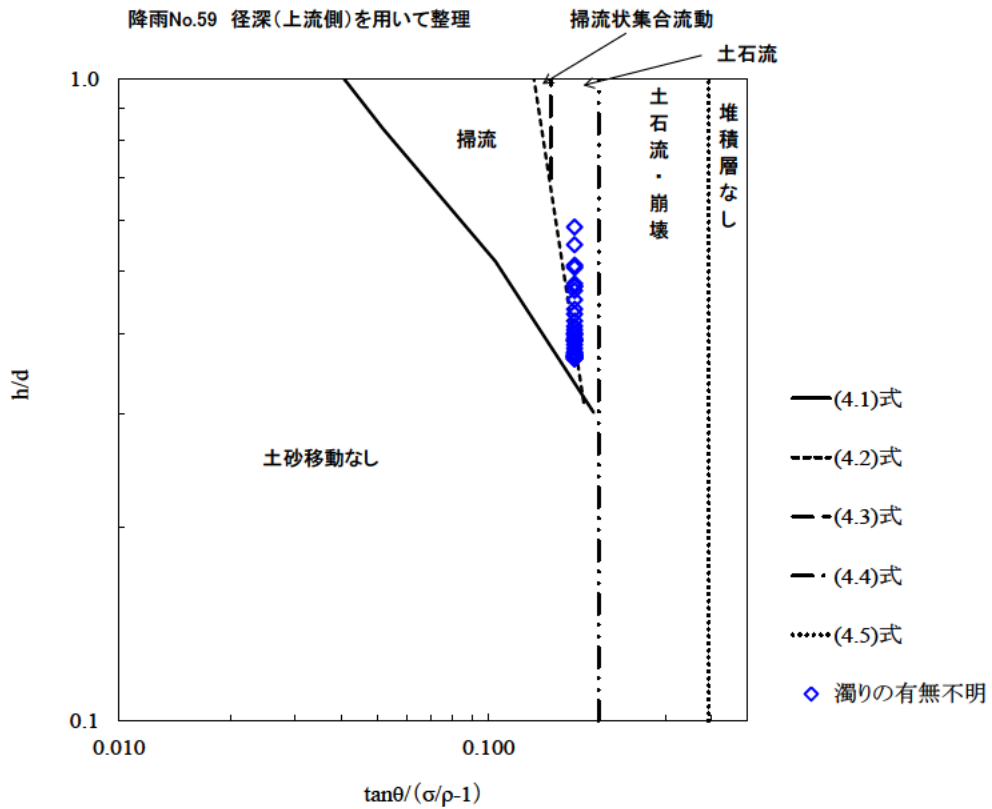
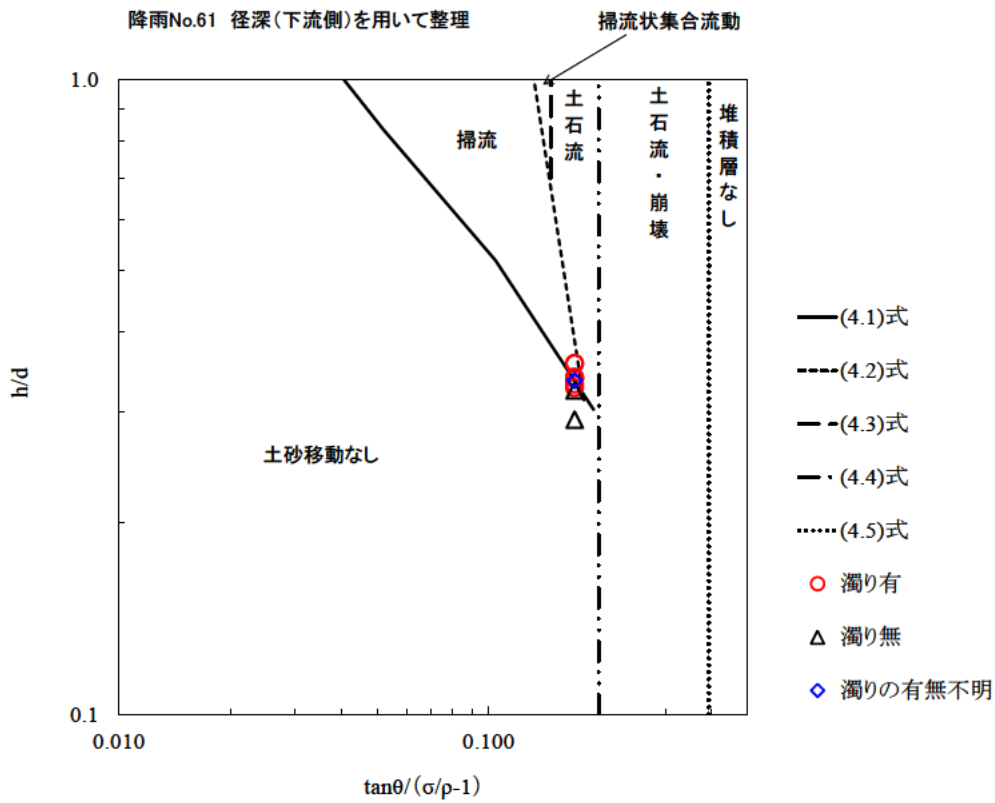


図 4.1.10 土砂移動領域区分と実測した土砂移動状況 (降雨イベント No. 59、区分1)

i) 水位計1地点(下流側)の径深を用いて整理した場合



ii) 水位計2地点(上流側)の径深を用いて整理した場合

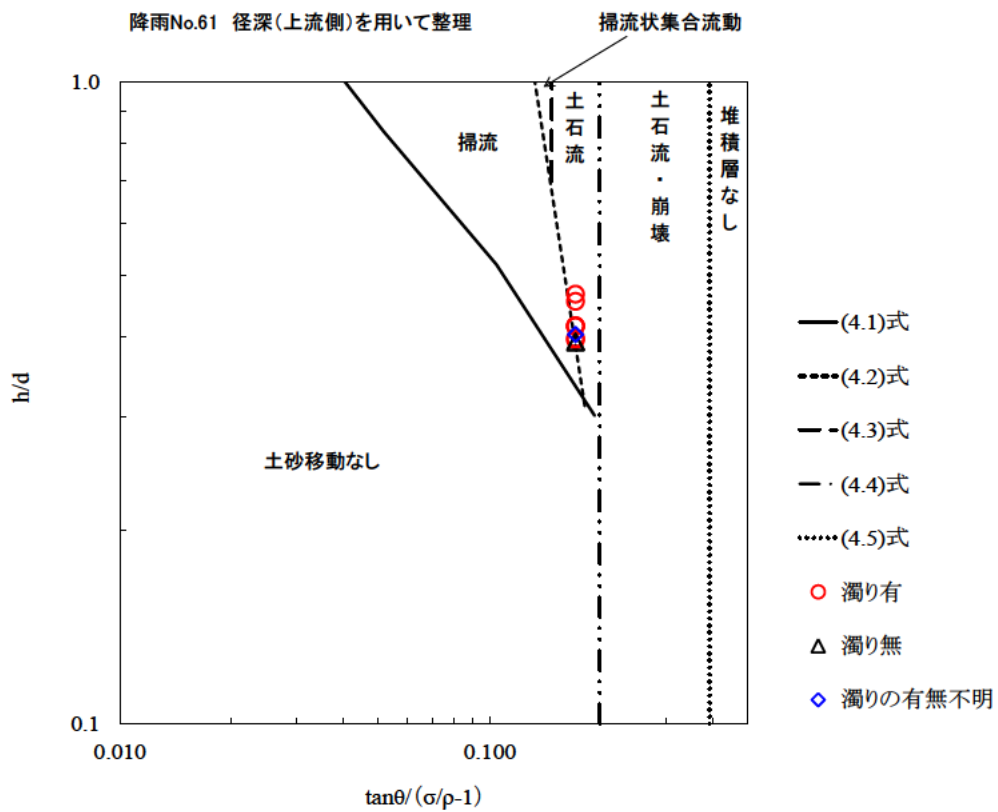
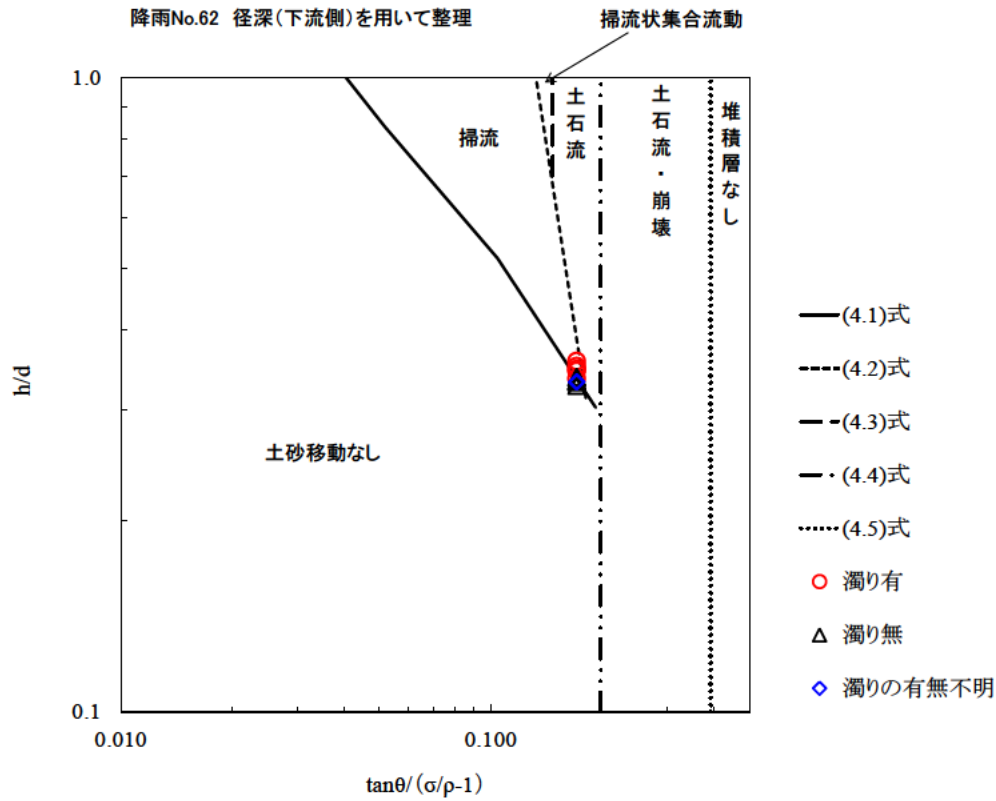


図 4.1.11 土砂移動領域区分と実測した土砂移動状況 (降雨イベント No. 61、区分2)

i) 水位計1地点(下流側)の径深を用いて整理した場合



ii) 水位計2地点(上流側)の径深を用いて整理した場合

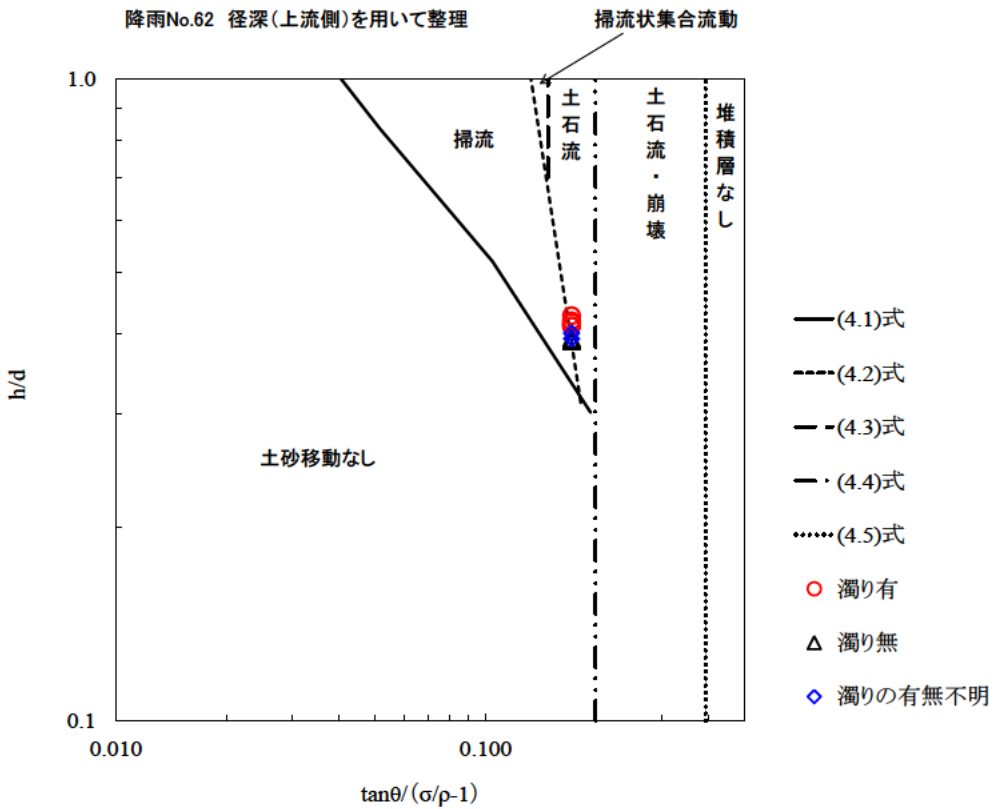
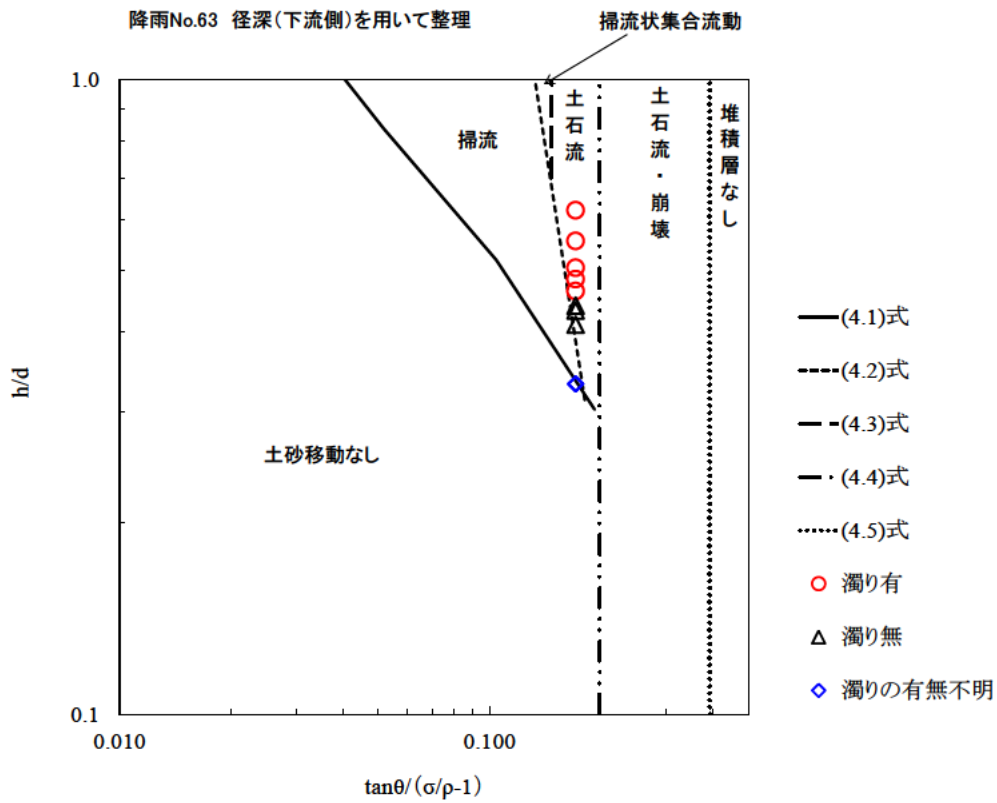


図 4.1.12 土砂移動領域区分と実測した土砂移動状況 (降雨イベント No. 62、区分2)

i) 水位計1地点(下流側)の径深を用いて整理した場合



ii) 水位計2地点(上流側)の径深を用いて整理した場合

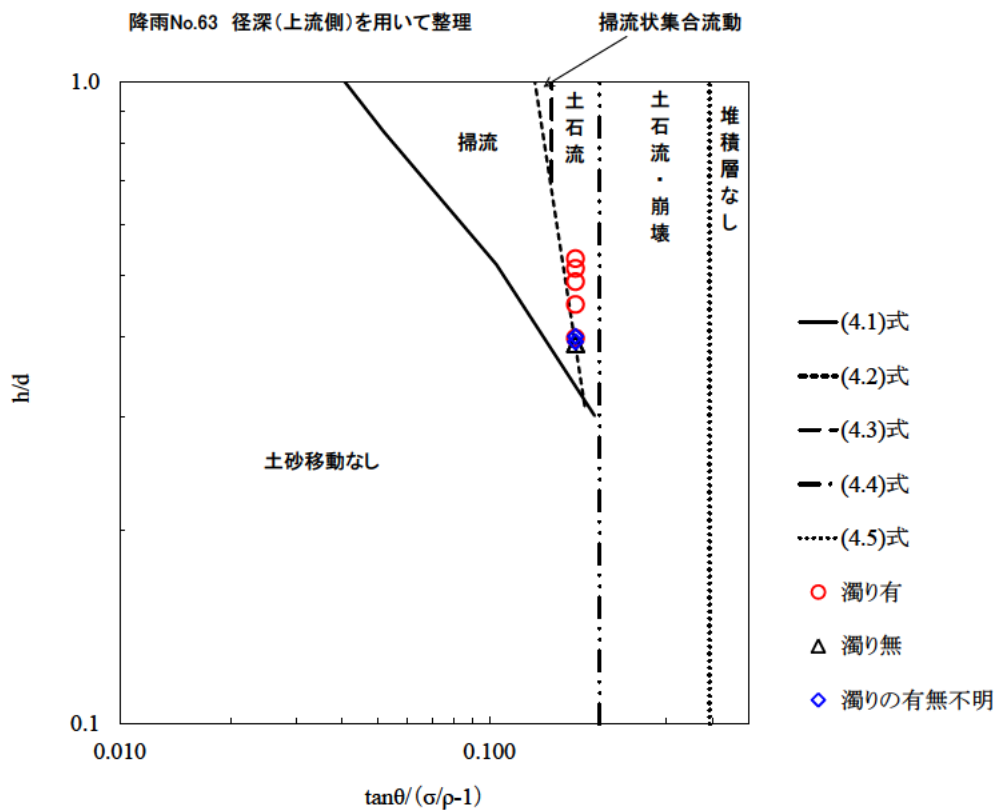


図 4.1.13 土砂移動領域区分と実測した土砂移動状況 (降雨イベント No. 63、区分1)

4.2 土石流が発生した溪流の粗度係数

4.2.1 土砂流出時の粗度係数

本節では、降雨に伴う谷出口地点付近での水深の変化をもとに、土石流が発生した後の状態での流路の粗度係数をとりまとめた。

静電容量式水位計による観測期間である2016年9月7日～12月22日において、下流側の水位計1と上流側の水位計2の2地点で同時に水深データを取得することができた以下の降雨イベントを対象に、前章(3.3.2 粗度係数の算出方法)に示した方法により粗度係数を算出した。

<粗度係数を算出した降雨イベント> ※詳細は表4.1.1に記載

- No. 58 : 2016. 9. 12～9. 13 礫の移動を伴う土砂移動 (区分1)
- No. 59 : 2016. 9. 17～9. 20 礫の移動を伴う土砂移動 (区分1)
- No. 61 : 2016. 9. 25～9. 26 細粒分の土砂移動 (区分2)
- No. 62 : 2016. 9. 28～9. 29 細粒分の土砂移動 (区分2)
- No. 63 : 2016. 10. 5 礫の移動を伴う土砂移動 (区分1)

降雨イベントごとの10分間隔の粗度係数の時系列変化を図4.2.1～図4.2.5に示す。図中には、三入観測所の10分間雨量、図3.1.1に示した水位計1地点(下流側)と水位計2地点(上流側)の水深データ、国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所(2016)により計測された流量データも併記した。

図4.2.1～図4.2.5より、粗度係数は、土砂移動時の流量の増減とともに時系列的に変動していることがわかる。

前章(2.3 土石流が発生した後の溪流の状況)の表2.3.5に示したように、下流部の溪床(⑧地点)では平均礫径は7cm程度であった。今回の観測結果のうち、上流と下流の水位計ともに7cm程度以上の水深を記録した降雨イベントNo.59を見ると(図4.2.2)、ピーク流量時の粗度係数は0.18であった。既往の観測結果によると、粗度係数は自然河道の土石流フロント部では0.10をとることが報告されている(水山・上原、1984)。また、自然流路における粗度係数の概略値は、山地流路の底面に砂利、玉石および若干の大玉石がある場合は0.03～0.05であり、大玉石交りの玉石がある場合は0.04～0.07程度以上となっている(社団法人土木学会、2001)。これらの既往研究で得られた粗度係数と比較すると、対象流域の粗度係数は高い値となった。今回得られた粗度係数は、流路の構成土砂の粒径に対し水深が比較的小さい流況の観測結果に基づいたものであるため、今後は水深が大きい流況での観測データを蓄積する必要がある。

降雨イベント No. 58 (礫の移動を伴う土砂移動; 移動したと推定された最大粒径: 5cm)

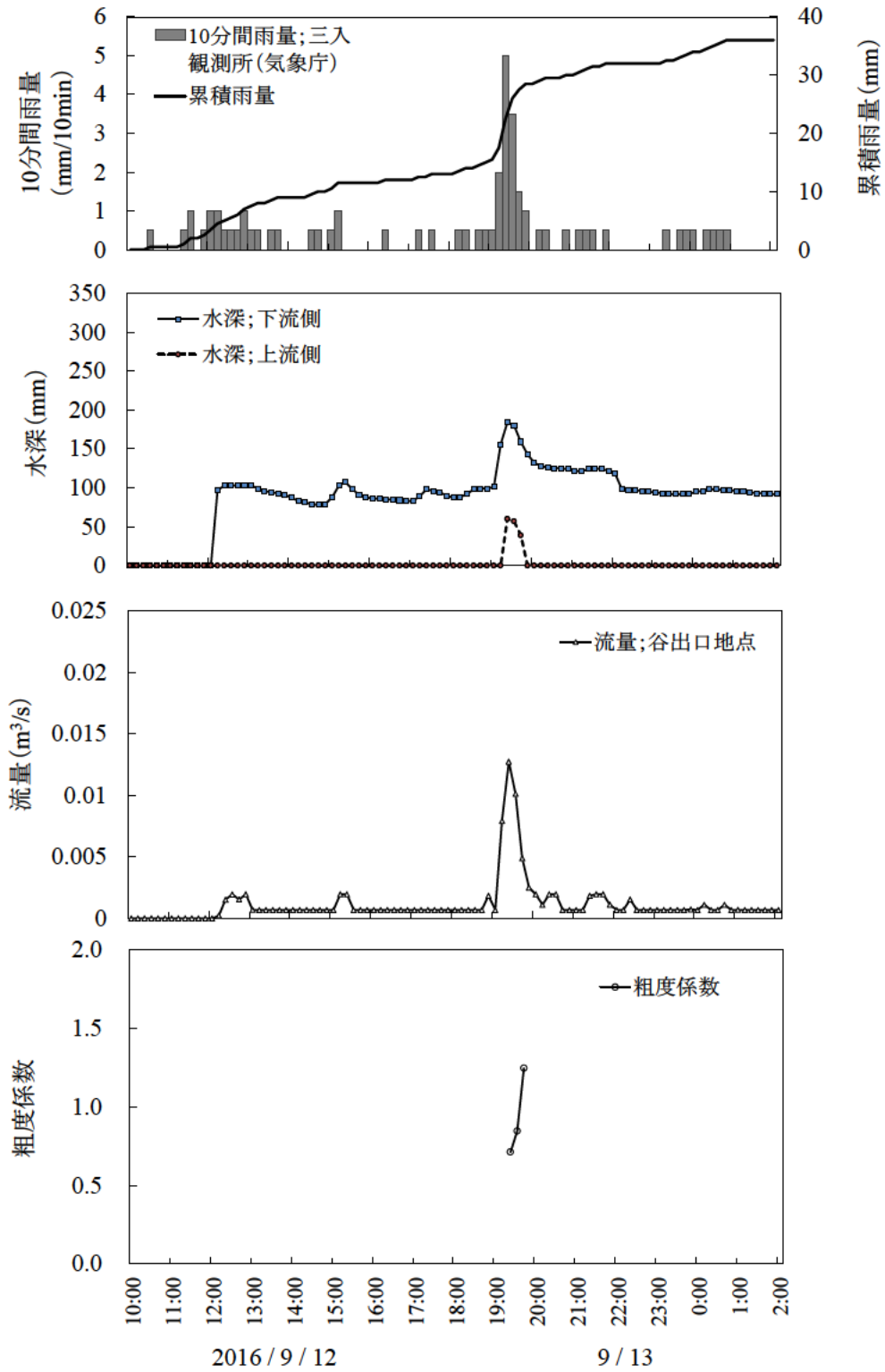


図 4.2.1 粗度係数の算出結果 (降雨イベント No. 58)

降雨イベント No. 59 (礫の移動を伴う土砂移動; 移動したと推定された最大粒径: 20~30cm)

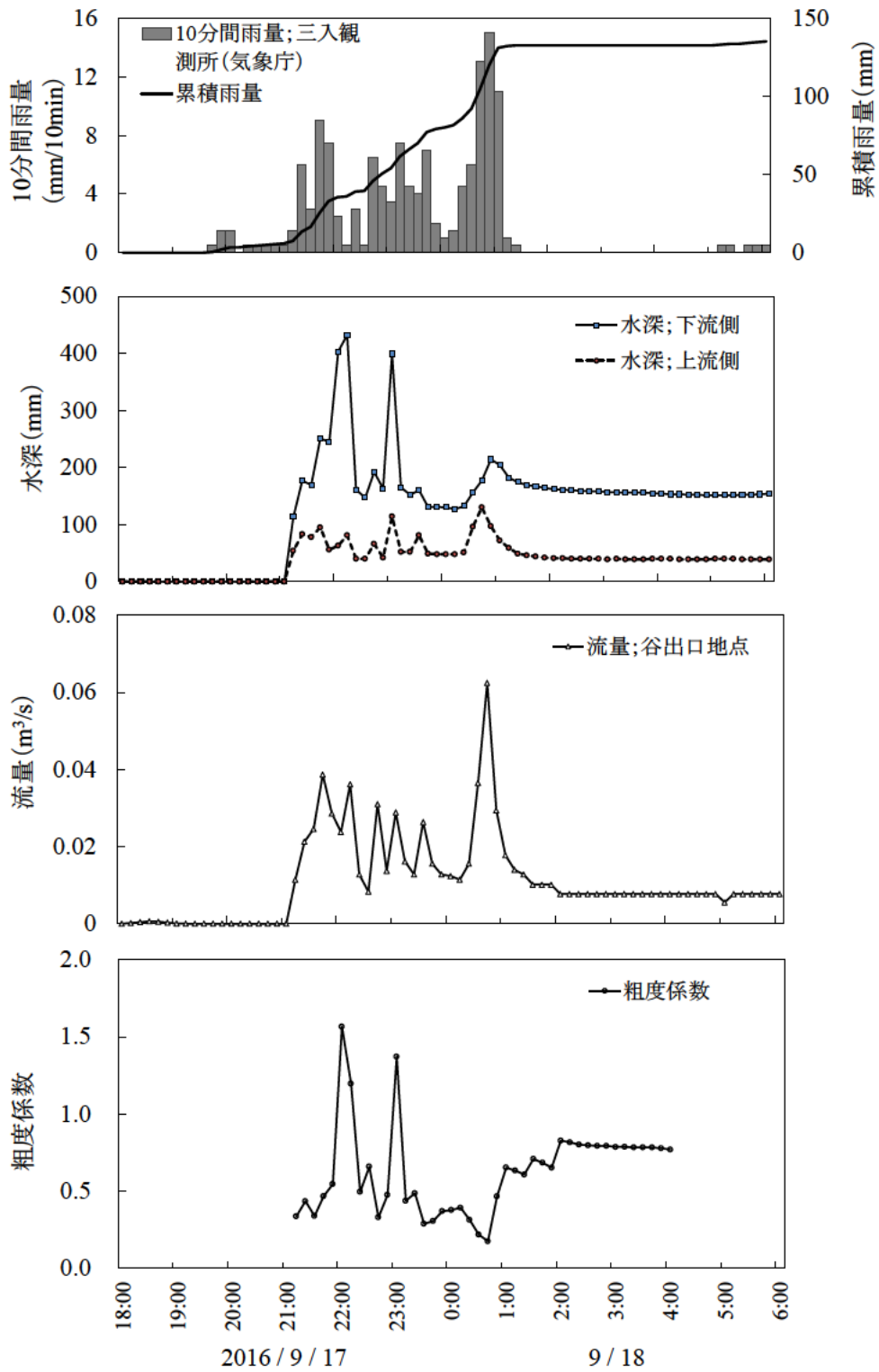


図 4.2.2 粗度係数の算出結果 (降雨イベント No. 59)

降雨イベント No. 61 (細粒分の土砂移動)

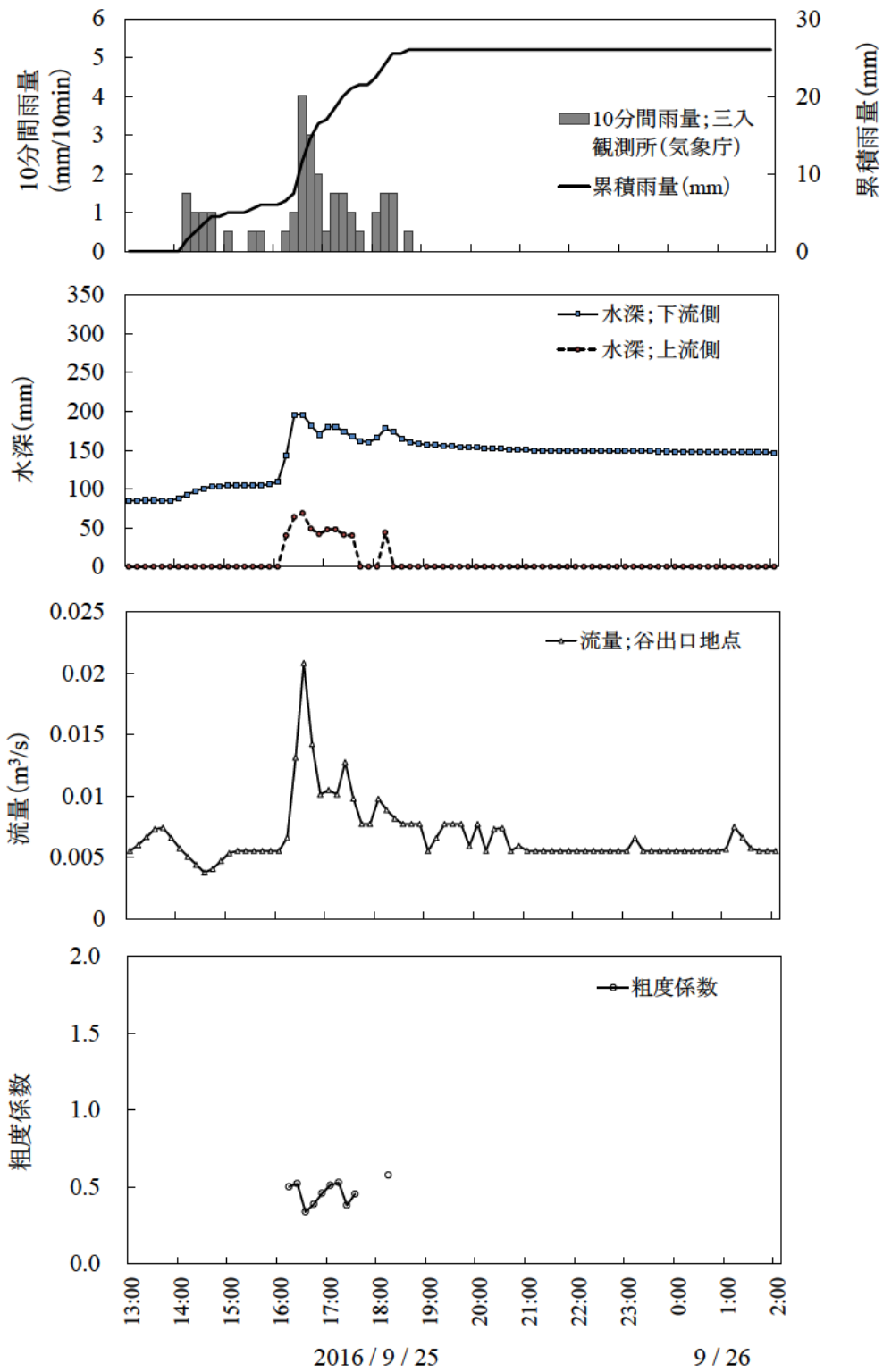


図 4.2.3 粗度係数の算出結果 (降雨イベント No. 61)

降雨イベント No. 62 (細粒分の土砂移動)

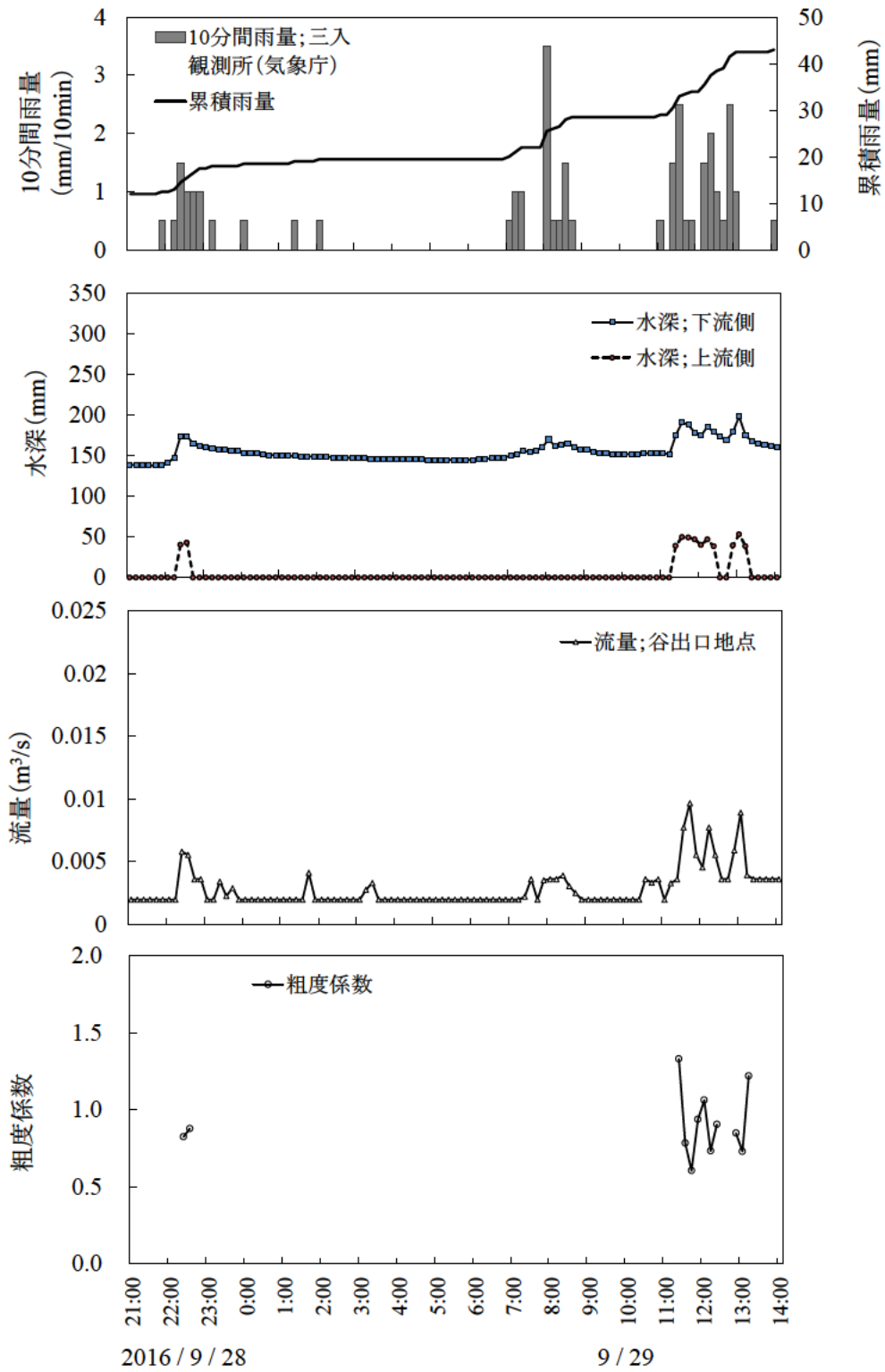


図 4.2.4 粗度係数の算出結果 (降雨イベント No. 62)

降雨イベント No. 63 (礫の移動を伴う土砂移動; 移動したと推定された最大粒径: 5cm)

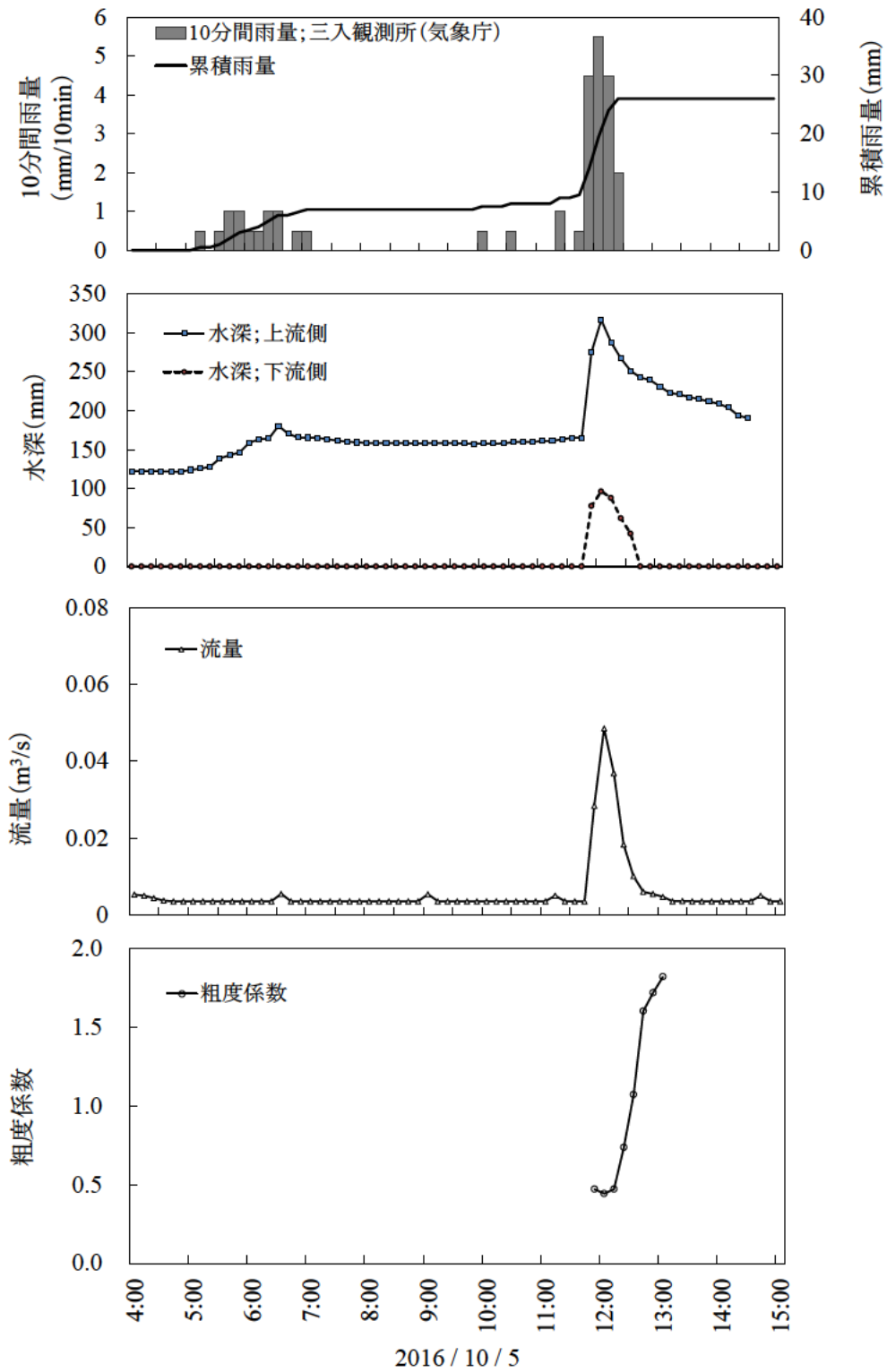


図 4.2.5 粗度係数の算出結果 (降雨イベント No. 63)

4.2.2 径深と流速との関係

水位計を設置した2箇所を対象に、以上に示した5つの降雨イベント時の径深と流速および粗度係数の関係を図4.2.6にとりまとめた。図中の上段には水位計1設置地点での径深、下段は水位計2設置地点での径深を用いた場合の流速との関係をそれぞれ図示した。径深と流速との関係は、場所によってバラつきが大きいことがわかる。

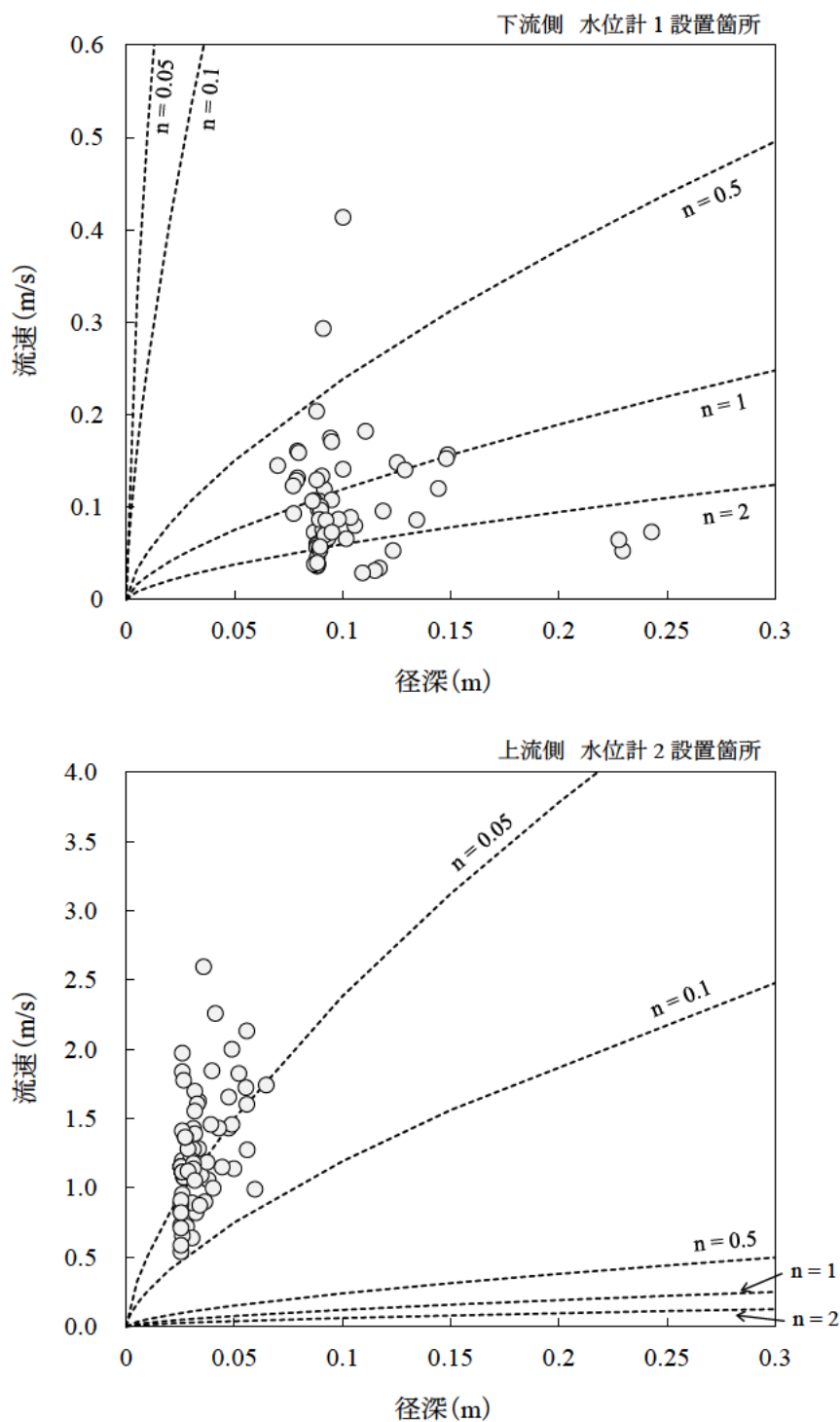


図 4.2.6 径深と流速および粗度係数の関係 (降雨イベント No. 58, 59, 61~63)

5. まとめと今後の課題

本研究では、土石流が発生したものの頻発しない溪流で現地観測を行い、短期的な土砂移動の変化と、土砂移動の規模等を推定する際に重要な情報となるマンシングの粗度係数について新たにデータを取得した。観測では平成26年広島豪雨災害で土石流が発生した堆積岩地域の溪流を対象とし、溪床や崩壊斜面下方に堆積した不安定土砂に着目した。

2015年10月から2016年12月までの現地観測により、対象流域近傍の雨量観測所において連続雨量3mm以上の降雨イベントは73回あり、このうち礫等を主体とする土砂移動は13回、細粒分を主体とする土砂移動は13回発生した。これらの土砂移動現象は、観測期間を通して繰り返し発生した。とくに、礫や石などの土砂移動は、降雨量が大きかった6~7月と9月に集中していたのに対し、細粒分の土砂移動はこれら以外の期間でも継続的に発生した。各降雨イベントの累積雨量、最大時間雨量および最大10分間雨量を指標として土砂移動の発生条件を見ると、礫等の土砂移動は、累積雨量は20mm以上、時間雨量は6mm/h以上、10分間雨量は2.5mm/10min以上の場合にそれぞれ発生したことが明らかとなった。長期間降雨と短期間降雨の組み合わせを指標として土砂移動状況を見ると、累積雨量が20mmよりも小さく、時間雨量が5mm/h以下もしくは10分間雨量が2mm/10min以下の場合には土砂移動が発生しない傾向であった。これら以上の降雨がもたらされた場合は土砂移動が発生し、積算雨量が75mm以上で、最大時間雨量が15mm/h以上もしくは最大10分間雨量が6mm/10min以上になると、確認された土砂移動状況の区分は「礫の移動を伴う土砂移動」に限定された。また、既往の土砂移動領域区分（高橋、1982）に基づいて土砂移動の発生の有無を整理した。

土砂流出時における水深の観測結果をもとに粗度係数の推定を試みた結果、粗度係数は、土砂移動時の流量の増減とともに時系列的に変動し、ピーク流量時は0.18を示した。この値は、山地流路における粗度係数の概略値（社団法人土木学会、2001）よりも大きい傾向であった。今回得られた粗度係数は、流路の構成土砂の粒径に対し水深が比較的小さい流況の観測結果に基づいたものであるためである。

以上に示した結果は、広島市の土石流危険溪流を対象とした現地観測により得られたものである。土石流が発生した後の土砂移動の変化は、溪床勾配、不安定土砂の量、粒径および土質特性などの多くの要因が関係する複雑な現象であることから、今後さらに現地観測データを蓄積する必要がある。とくに、今回取得することができなかった水深が大きい流況での観測データを蓄積する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所の関係者の皆様には貴重な資料をご提供いただくとともに、現地観測に際し多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 林泰造 (1996) : 基礎水理学 第9章 開水路の流れⅠー総論、第10章 開水路の流れⅡー漸変不等流、不定流、二層流、p. 226-287、鹿島出版会
- 今泉文寿・土屋智・逢坂興宏 (2003) : 荒廃溪流源頭部の砂礫堆積地で発生する土石流の流動特性、砂防学会誌、Vol. 56、No. 2、p. 14-22
- 海堀正博・石川芳治・里深好文・松村和樹・中谷加奈・長谷川祐治・松本直樹・高原晃宙・福塚康三郎・吉野弘祐・長野英次・福田真・中野陽子・島田徹・堀大一郎・西川友章 (2014) : 2014年8月20日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害、砂防学会誌 Vol. 67、No. 4、p. 49-59
- 環境省自然環境局生物多様センター : 自然環境調査 Web-GIS 1/5 万現存植生図
http://www.biodic.go.jp/kiso/vg/vg_kiso.html#mainText
- 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 (2010) : 広島西部山系管内砂防基図データ構造化検討業務報告書、平成22年3月
- 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 (2014) : 広島西部山系航空レーザー緊急測量業務報告書、平成26年11月
- 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 (2016) : 平成27年度広島西部山系斜面観測外評価検討業務報告書、平成28年3月
- 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2016) : 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 解説、国土技術政策総合研究所資料第904号、平成28年4月、p. 25、30-31
- 国土交通省国土政策局国土情報課 : 5万分の1都道府県土地分類基本調査 表層地質図
http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/1_national_map_5-1.html
- 水山高久 (2015) : 不安定土砂、砂防学会誌、Vol. 67、No. 5、p. 78
- 水山高久・上原信司 (1984) : 土石流の水深と流速の観測結果の検討、砂防学会誌、Vol. 37、No. 4、p. 23-26
- 野池耕平・松澤 真・木下篤彦・高原晃宙・水野秀明・西岡恒志・荒木義則・島田 徹 (2015) : 花崗岩類分布域における山地の開析過程に応じた表層崩壊発生場の特性、日本地形連合2015年秋季大会発表要旨、P5
- 沼本晋也・近藤観慈・林出郎・西本利彦・前川壮吉 (2004) : 2003年8月8日台風10号により三重県藤原町で再発生した土石流、砂防学会誌、Vol. 56、No. 6、p. 20-26
- 小山内信智・水野秀明・林真一郎・沖中健起 (2006) : 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、平成18年7月
- 社団法人土木学会 (1999) : 水理公式集 平成11年版、第2章 洪水流の解析 2.2.1 平均流速公式と粗度、p. 87-90、丸善株式会社
- 社団法人地盤工学会 (2013) : 地盤材料試験の方法と解説 (訂正第3刷)
- 社団法人地盤工学会 (2010) : 土質試験 基本と手引き (第2回改定版)
- 清水武志・吉永子規・水谷佑 (2015) : 桜島有村川流域における土石流観測と斜面侵食観測、砂防学会誌、Vol. 67、No. 5、p. 71-74
- 高橋保 (1982) : 土石流の停止・堆積機構に関する研究 (3) ー土石流扇状地の二次侵食ー、京都大学防災研究所年報、第25号B-2、p. 327-348

巻末資料1 インターバルカメラの画像

 <p>TLC200 2015/10/27 17:03:24</p> <p>撮影日時:2015/10/27 17:03:24</p>	<p>降雨イベント No.1</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>TLC200 2015/10/27 14:03:25</p> <p>撮影日時:2015/10/27 14:03:25</p>	<p>降雨イベント No.1</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>TLC200 2015/10/28 08:36:00</p> <p>撮影日時:2015/10/28 08:36:00</p>	<p>降雨イベント No.1</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>



撮影日時:2015/11/08 13:54:19

降雨イベント
No.3

土砂移動区分
4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)

降雨時の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/07 16:01:34

降雨イベント
No.3

土砂移動区分
4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/10 06:49:39

降雨イベント
No.3

土砂移動区分
4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/14 11:50:13

降雨イベント
No.4

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

土砂移動の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/13 07:22:25

降雨イベント
No.4

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/15 08:02:53

降雨イベント
No.4

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/18 07:16:01

降雨イベント
No.5

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

土砂移動の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/17 09:13:13

降雨イベント
No.5

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2015/11/19 08:03:39

降雨イベント
No.5

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)

 <p>撮影日時: 2015/11/25 12:01:31</p>	<p>降雨イベント No.6</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/11/25 07:01:32</p>	<p>降雨イベント No.6</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/11/26 08:58:20</p>	<p>降雨イベント No.6</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/12/23 14:17:50</p>	<p>降雨イベント No.10</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/12/23 08:17:51</p>	<p>降雨イベント No.10</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/12/24 16:04:35</p>	<p>降雨イベント No.10</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時:2015/12/31 16:06:09</p>	<p>降雨イベント No.11</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2015/12/31 10:06:09</p>	<p>降雨イベント No.11</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/01/01 17:07:46</p>	<p>降雨イベント No.11</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時:2016/01/29 11:24:17</p>	<p>降雨イベント No.14</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/01/28 08:07:40</p>	<p>降雨イベント No.14</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/01/31 08:02:26</p>	<p>降雨イベント No.14</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/02/13 09:02:09</p>	<p>降雨イベント No.15</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/02/12 16:50:42</p>	<p>降雨イベント No.15</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/02/14 16:53:41</p>	<p>降雨イベント No.15</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>



撮影日時:2016/02/20 08:07:08

降雨イベント
No.16

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

土砂移動の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/02/19 16:45:38

降雨イベント
No.16

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/02/21 11:43:37

降雨イベント
No.16

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/03/06 15:38:08

降雨イベント
No.18

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨時の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/03/06 07:38:11

降雨イベント
No.18

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/03/07 17:24:29

降雨イベント
No.18

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)

 <p>撮影日時: 2016/03/09 11:37:19</p>	<p>降雨イベント No.19</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/03/08 17:20:53</p>	<p>降雨イベント No.19</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/03/10 12:18:39</p>	<p>降雨イベント No.19</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/03/18 15:08:48</p>	<p>降雨イベント No.21</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/03/18 07:08:50</p>	<p>降雨イベント No.21</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/03/19 13:25:14</p>	<p>降雨イベント No.21</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/04/01 11:05:43</p>	<p>降雨イベント No.22</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/03/31 16:49:29</p>	<p>降雨イベント No.22</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/04/02 09:51:53</p>	<p>降雨イベント No.22</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/04/07 09:02:54</p>	<p>土砂移動の状況 No.24</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/04/06 12:41:37</p>	<p>土砂移動の状況 No.24</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/04/08 17:39:00</p>	<p>土砂移動の状況 No.24</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時:2016/04/13 17:34:11</p>	<p>土砂移動の状況 No.25</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/04/13 06:34:13</p>	<p>土砂移動の状況 No.25</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/04/14 12:35:23</p>	<p>土砂移動の状況 No.25</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>TLC200 2016/04/17 05:53:26</p> <p>撮影日時:2016/04/17 05:53:26</p>	<p>土砂移動の状況 No.26</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>TLC200 2016/04/16 17:27:20</p> <p>撮影日時:2016/04/16 17:27:20</p>	<p>土砂移動の状況 No.26</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>TLC200 2016/04/18 07:44:36</p> <p>撮影日時:2016/04/18 07:44:36</p>	<p>土砂移動の状況 No.26</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>


 <p>撮影日時: 2016/04/21 11:42:35</p>	<p>土砂移動の状況 No.27</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/04/20 17:21:30</p>	<p>土砂移動の状況 No.27</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/04/22 10:23:42</p>	<p>土砂移動の状況 No.27</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時:2016/05/06 11:18:15</p>	<p>土砂移動の状況 No.30</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/05/05 15:07:12</p>	<p>土砂移動の状況 No.30</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/05/07 18:34:19</p>	<p>土砂移動の状況 No.30</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時:2016/05/10 12:22:15</p>	<p>土砂移動の状況 No.31</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/05/09 06:31:17</p>	<p>土砂移動の状況 No.31</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2016/05/11 18:13:25</p>	<p>土砂移動の状況 No.31</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/06/19 05:24:11</p>	<p>土砂移動の状況 No.40</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/06/18 18:52:15</p>	<p>土砂移動の状況 No.40</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/06/24 06:58:48</p>	<p>土砂移動の状況 No.40</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/06/24 09:13:49</p>	<p>土砂移動の状況 No.41</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/06/24 07:03:49</p>	<p>土砂移動の状況 No.41</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/06/25 10:45:46</p>	<p>土砂移動の状況 No.41</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>TLC200 2016/06/27 18:59:24</p> <p>撮影日時:2016/06/27 18:59:24</p>	<p>土砂移動の状況 No.42</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>TLC200 2016/06/27 15:04:25</p> <p>撮影日時:2016/06/27 15:04:25</p>	<p>土砂移動の状況 No.42</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>TLC200 2016/06/29 05:58:15</p> <p>撮影日時:2016/06/29 05:58:15</p>	<p>土砂移動の状況 No.42</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/06/29 11:58:15</p>	<p>土砂移動の状況 No.43</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/06/29 06:03:14</p>	<p>土砂移動の状況 No.43</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/07/01 10:22:06</p>	<p>土砂移動の状況 No.43</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>



撮影日時:2016/07/03 14:35:55

土砂移動の状況
No.44

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

土砂移動の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/07/03 13:00:54

土砂移動の状況
No.44

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/07/05 12:04:43



土砂移動の状況
No.44

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)

 <p>撮影日時: 2016/07/08 10:45:20</p>	<p>土砂移動の状況 No.45</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/07/07 18:03:27</p>	<p>土砂移動の状況 No.45</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/07/11 18:31:00</p>	<p>土砂移動の状況 No.45</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/07/13 06:15:01</p>	<p>土砂移動の状況 No.46</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/07/12 19:02:58</p>	<p>土砂移動の状況 No.46</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/07/15 16:03:58</p>	<p>土砂移動の状況 No.46</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>



撮影日時:2016/07/31 17:22:57

土砂移動の状況
No.48

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

土砂移動の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/07/31 14:22:58

土砂移動の状況
No.48

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/08/01 10:39:54

土砂移動の状況
No.48

土砂移動区分
2:細粒分の土砂移動

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/08/08 14:58:40

土砂移動の状況
No.50

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨時の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/08/08 13:08:39

土砂移動の状況
No.50

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/08/09 05:45:37

土砂移動の状況
No.50



土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)

 <p>撮影日時: 2016/08/14 15:55:29</p>	<p>土砂移動の状況 No.51</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/08/14 12:25:29</p>	<p>土砂移動の状況 No.51</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/08/14 17:40:30</p>	<p>土砂移動の状況 No.51</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/08/26 17:09:58</p>	<p>土砂移動の状況 No.53</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/08/26 11:59:57</p>	<p>土砂移動の状況 No.53</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/08/27 06:32:09</p>	<p>土砂移動の状況 No.53</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/09/05 08:31:41</p>	<p>土砂移動の状況 No.56</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/09/04 17:29:25</p>	<p>土砂移動の状況 No.56</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/09/05 18:01:41</p>	<p>土砂移動の状況 No.56</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/09/12 12:29:29</p>	<p>土砂移動の状況 No.58</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/09/11 17:12:12</p>	<p>土砂移動の状況 No.58</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/09/13 10:36:46</p>	<p>土砂移動の状況 No.58</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>



撮影日時:2016/09/18 07:33:08

土砂移動の状況
No.59

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

土砂移動の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/09/17 16:00:46

土砂移動の状況
No.59

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/09/21 11:45:10

土砂移動の状況
No.59

土砂移動区分
1:礫の移動を伴う土砂移動

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/09/22 10:37:28

土砂移動の状況
No.60

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨時の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/09/21 17:55:12

土砂移動の状況
No.60

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨前の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)



撮影日時:2016/09/22 13:27:28

土砂移動の状況
No.60

土砂移動区分
8:土砂移動なし(変状なし)

降雨後の状況

谷出口地点上流(カメラ⑨)

 <p>撮影日時: 2015/09/25 16:35:34</p>	<p>土砂移動の状況 No.61</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/09/25 13:30:35</p>	<p>土砂移動の状況 No.61</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/09/26 14:12:59</p>	<p>土砂移動の状況 No.61</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/09/29 12:55:05</p>	<p>土砂移動の状況 No.62</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/09/27 17:30:16</p>	<p>土砂移動の状況 No.62</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/09/30 15:07:26</p>	<p>土砂移動の状況 No.62</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/10/05 11:59:17</p>	<p>土砂移動の状況 No.63</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/04 17:36:54</p>	<p>土砂移動の状況 No.63</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/05 17:44:20</p>	<p>土砂移動の状況 No.63</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/10/22 12:00:28</p>	<p>土砂移動の状況 No.66</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/22 07:30:29</p>	<p>土砂移動の状況 No.66</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/23 06:53:02</p>	<p>土砂移動の状況 No.66</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/10/26 10:30:28</p>	<p>土砂移動の状況 No.67</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>土砂移動の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/26 08:30:29</p>	<p>土砂移動の状況 No.67</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/26 15:00:27</p>	<p>土砂移動の状況 No.67</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/10/28 16:24:48</p>	<p>土砂移動の状況 No.68</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/28 10:04:46</p>	<p>土砂移動の状況 No.68</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/29 07:32:17</p>	<p>土砂移動の状況 No.68</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時:2015/11/14 16:26:39</p>	<p>土砂移動の状況 No.70</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2015/11/13 16:49:08</p>	<p>土砂移動の状況 No.70</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時:2015/11/15 11:04:16</p>	<p>土砂移動の状況 No.70</p> <p>土砂移動区分 8:土砂移動なし(変状なし)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/12/04 13:28:06</p>	<p>土砂移動の状況 No.73</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/12/04 08:28:06</p>	<p>土砂移動の状況 No.73</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/12/05 10:30:43</p>	<p>土砂移動の状況 No.73</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/12/13 14:51:21</p>	<p>土砂移動の状況 No.74</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/12/12 12:03:42</p>	<p>土砂移動の状況 No.74</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/12/14 12:04:03</p>	<p>土砂移動の状況 No.74</p> <p>土砂移動区分 4:土砂移動なし(谷出口地点で水深上昇)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/01/24 10:56:12</p>	<p>降雨イベント No.13</p> <p>土砂移動区分 11:対象外(積雪)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/01/23 16:04:38</p>	<p>降雨イベント No.13</p> <p>土砂移動区分 11:対象外(積雪)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/01/25 16:52:48</p>	<p>降雨イベント No.13</p> <p>土砂移動区分 11:対象外(積雪)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/03/01 07:26:11</p>	<p>降雨イベント No.17</p> <p>土砂移動区分 11:対象外(積雪)</p> <p>降雨時の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/02/28 16:38:22</p>	<p>降雨イベント No.17</p> <p>土砂移動区分 11:対象外(積雪)</p> <p>降雨前の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/03/01 13:26:07</p>	<p>降雨イベント No.17</p> <p>土砂移動区分 11:対象外(積雪)</p> <p>降雨後の状況</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

卷末資料 2 濁水の流出開始時の状況

	<p>降雨イベント No.1</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
<p>撮影日時: 2015/10/27 16:48:26</p>	
	<p>降雨イベント No.1</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
<p>撮影日時: 2015/10/27 17:03:24</p>	

 <p>撮影日時: 2016/06/24 08:28:48</p>	<p>降雨イベント No.41</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/06/24 08:33:50</p>	<p>降雨イベント No.41</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/06/29 11:08:15</p>	<p>降雨イベント No.43</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/06/29 11:58:15</p>	<p>降雨イベント No.43</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/07/31 15:47:57</p>	<p>降雨イベント No.48</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/07/31 15:57:58</p>	<p>降雨イベント No.48</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2016/09/12 11:59:28</p>	<p>降雨イベント No.58</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2016/09/12 12:04:28</p>	<p>降雨イベント No.58</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

 <p>撮影日時: 2015/09/25 16:05:37</p>	<p>降雨イベント No.61</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/09/25 16:20:35</p>	<p>降雨イベント No.61</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

	<p>降雨イベント No.62</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
<p>撮影日時: 2015/09/29 11:20:05</p>	<p>降雨イベント No.62</p> <p>土砂移動区分 2:細粒分の土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
	<p>撮影日時: 2015/09/29 11:25:05</p>

 <p>撮影日時: 2015/10/05 11:39:18</p>	<p>降雨イベント No.63</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>濁水の発生前</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>
 <p>撮影日時: 2015/10/05 11:44:18</p>	<p>降雨イベント No.63</p> <p>土砂移動区分 1:礫の移動を伴う土砂移動</p> <p>濁水の流出開始</p> <p>谷出口地点上流(カメラ⑨)</p>

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No. 4362 December 2017

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754

