

赤谷川流域における土砂動態観測及び分析評価

志岐 朋哉¹・植西 清¹・吉田 英明¹・秋山 陽平¹

¹筑後川河川事務所 九州北部豪雨復興出張所 (〒838-1511 福岡県朝倉市杷木池田483番地1)

筑後川水系赤谷川流域では、平成29年7月の九州北部豪雨（以降、H29.7出水）の影響で土砂流出が活発なため、被災後より土砂流出活発期間終了の判断に資すること等を目的に、継続的に土砂動態を観測している。観測は、水文観測、地形変化、流砂量、河床材料等、幅広く実施しており、観測結果を用いて降雨と土砂流出の関係等、様々な視点より分析し評価した。本論では、観測内容と各調査結果を用いた分析評価結果を報告する。

キーワード 平成29年7月九州北部豪雨, 土砂動態, 定点観測, 流砂量観測, 河床材料調査

1. はじめに

赤谷川は、筑後川の河口から約 60km の地点に流入する右支川であり、流域面積は 20.1 km²である。地質特性は、風化花崗岩（マサ土）及び変成岩類が多くを占める。特に、マサ化が進行した斜面は、大雨による地下水の飽和により強度が著しく低下する特徴がある。

H29.7 出水では、赤谷川流域内の松末小学校雨量観測所（福岡県）で7月5日の17時から18時の1時間に137mmの非常に激しい降雨を記録した。また、近傍の北小路公民館雨量観測所（福岡県）では、7月5日の14時から15時の1時間に124mm、7月5日の10時から22時の12時間に792mmの降雨を記録した。

これにより赤谷川流域では、山地域から約 266 万 m³の土砂が発生し、約 164 万 m³が流出、山地域には約 102 万 m³の堆積土砂（不安定土砂）が残存した。また、下流の河川域（平地部）でも 25 万 m³の土砂が発生し、山地域からの流出土砂と合わせ 121 万 m³が堆積した。これにより、特に赤谷川本川（支川乙石川との合流点である 4K 付近下流）では大量の土砂により河道が埋塞し、これと相まって土砂・流木を含む河道の流下能力を超過した洪水流が田畑へ流路を拡大し、沿川家屋等に甚大な被害が発生した（図-1）。



図-1 赤谷川3k付近の河道埋閉塞及び被災状況

このような状況を踏まえ、赤谷川流域では「一定規模の降雨への対応」として、土砂・流木の流出対策が進められている。また、実際の流出土砂量に応じ、例えば溪流内の流出土砂量が、H29.7 出水以前の状態に戻った（土砂流出活発期間が終了した）と判断された場合には、砂防施設の管理方法を見直す等の順応的な対応を計画しており、被災直後より土砂動態観測を実施している。本稿では、これまで蓄積された観測データより、山地域を中心とした土砂動態を分析し、被災後約4年が経過した現状の土砂流出状況の現時点での評価を報告する。

2. 土砂動態観測の目的

赤谷川流域で土砂動態観測を行う目的は、土砂流出活発活動期間終了の判断のためである。これは、流域内の新規砂防堰堤は、流出土砂の量、質の時間的な変化を考慮した計画堆砂勾配の考え方を取り入れているためである。具体には、土砂流出が活発な期間の計画堆砂勾配は元河床勾配の 1/3 で堆砂すると想定しており、これに基づき除石管理を計画している。一方、将来的に安定した状態に戻ったと判断された後の計画堆砂勾配は元河床勾配の 2/3 で堆砂すると考え、これに基づき管理を行う計画としている。そのため、土砂流出活発期間終了の判断は重要であり、適切なタイミングで行う必要があるため、経年的に土砂動態観測を行っている。

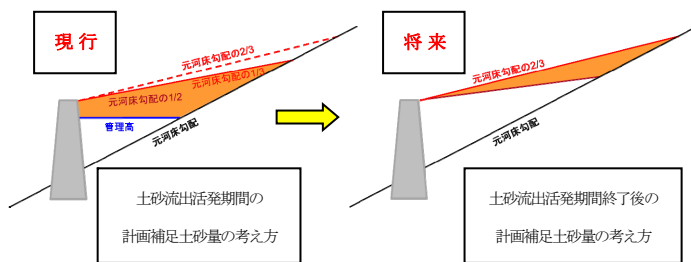


図-2 赤谷川流域における砂防計画の考え方

3 土砂動態観測の観測項目・観測手法

表-1、図-3 に被災後継続し実施している観測内容、観測地点等を示すが、大別すると、水文、地形、流砂量、河床材料に関する内容である。なお、航空レーザ測量は流域全体を対象に主要出水後等に年1~2回（これまでに計7回実施：6時期間の差分解析が可能）、定点写真調査は出水期前後、主要出水後を基本に年4~5回実施している。また、河床材料調査は出水期前、出水期後を基本に年2回程度実施している。流砂量観測は、令和2年度よりハイドロフォンや観測柵による掃流砂観測と濁度計や浮遊砂採取器による浮遊砂観測を実施している。

表-1 継続し実施している観測内容

観測内容	調査地点	調査頻度	備考
水文 (継続調査地点)	雨量(継続調査地点)	1地点	10分
	水位(継続調査地点)	1地点	10分
地形	航空レーザ測量	流域全体	年1~2回
	定点写真(地上撮影、UAV撮影)	山地：9流域 河川：9地点	年5回程度 ※出水期前後、 中小含む出水後
流砂量	音響式掃流砂量計(ハイドロフォン)	山地：2地点	15分間隔
	濁度計	同上	同上
浮遊砂	観測ピット	山地：2地点 河川：2地点	同上
	水位計 浮遊砂採取器	同上	同上
河床材料 (容積法・線格子法)	山地：10地点 河川：24地点	年2回程度	出水期前後を基本

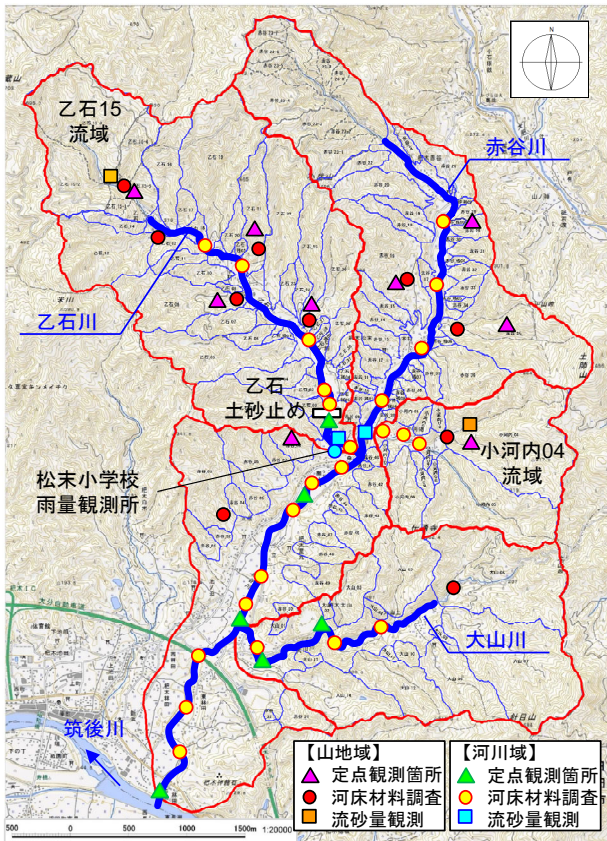


図-3 観測地点位置図

4 現状の土砂流出状況

土砂流出状況は、降雨規模により異なるため、表-2 に H29.7 出水以降の主要出水時の降雨量、確率規模を示す。これによると、降雨規模は R2.7 出水が最も大きい。また、以降に示す流出土砂量との相関が高い 24 時間雨量に着目すると、R1.7、R2.6、R3.7 出水（以降、類似降雨①）は 100~200mm 程度で類似しており、H30.7、R1.8、R3.8.12 出水（以降、類似降雨②）は 200~300mm 程度で類似している。

表-2 H29.7出水以降の主要な降雨（松末小学校）

主要出水	1時間雨量		24時間雨量		連続雨量(mm)	備考
	雨量(mm)	確率規模	雨量(mm)	確率規模		
H29.7出水	137	400年確率以上	-	-	-	137mm観測以降欠測
H30.7出水	34	2年確率以下	275	5~10年確率	428	類似降雨②
R1.7出水	15	2年確率以下	111	2年確率以下	168	類似降雨①
R1.8出水	49	3~5年確率	267	5~10年確率	435	類似降雨②
R2.6出水	20	2年確率以下	125	2年確率以下	134	類似降雨①
R2.7出水	57	5~10年確率	403	30~50年確率	932	H29.7出水以降最大
R3.7出水	52	3~5年確率	107	2年確率以下	122	類似降雨①
R3.8出水	29	2年確率以下	212	3~5年確率	653	類似降雨②

※確率規模は、H15(2003)~R1(2019)のデータより確率計算にて算定
 (データ期間が少なく、H29(2017)の九州北部豪雨のデータを入れると確率規模別雨量が大きくなるため、H29のデータは除いている)
 ※連続雨量とは、前後24時間以上の無降雨期間に挟まれた期間内の累積降雨量を指す

(1) 土砂移動量（航空レーザ測量）からみた分析・評価

航空レーザ測量時の航空写真より2時期の土砂移動域を目視判読し、土砂移動域内のLP差分値より土砂移動量を推定した結果を表-3に示す。

表-3 H29.7出水以降4年間の山地内の土砂移動量

時期	LP取得時期	主な出水	堆積量(m³)					侵食量(m³)				
			赤谷川	乙石川	大山川	小河内川	計	赤谷川	乙石川	大山川	小河内川	計
H30年度	H29.7~H30.7	H30.7出水	3,639	18,858	60	4,784	27,341	7,257	29,615	314	8,961	46,147
R1年度	H30.7~R1.8	R1.7出水	790	10,103	0	328	11,221	1,204	15,234	0	388	16,826
R1年度	R1.8~R1.9	R1.8出水	4,208	4,585	0	2,656	11,449	5,285	8,523	0	9,143	22,951
R2年度	R1.9~R2.8	R2.7出水	14,489	10,201	0	4,429	29,119	29,301	37,531	0	18,339	85,171
R3年度	R2.8~R3.10	R3.8出水	2,536	5,029	0	3,623	11,187	2,618	4,060	0	2,993	9,671
合計			25,662	48,776	60	15,820	90,317	45,665	94,963	314	39,824	180,766
時期	LP取得時期	主な出水	流出土砂量(侵食量-堆積量)(m³)					比流出土砂量(m³/km²)				
			赤谷川	乙石川	大山川	小河内川	計	赤谷川	乙石川	大山川	小河内川	流域計
H30年度	H29.7~H30.7	H30.7出水	3,618	10,757	254	4,328	18,957	729	1,989	83	2,477	1,249
R1年度	H30.7~R1.8	R1.7出水	3,966	5,131	0	60	5,605	83	949	0	34	369
R1年度	R1.8~R1.9	R1.8出水	2,040	3,938	0	6,487	12,493	411	733	0	3,713	758
R2年度	R1.9~R2.8	R2.7出水	18,328	27,330	0	13,910	59,568	3,692	5,053	0	7,962	3,924
R3年度	R2.8~R3.10	R3.8出水	499	543	0	288	1,330	100	100	0	165	88
合計			28,451	47,699	254	25,073	97,953	5,731	8,818	83	14,351	6,452

※R3.7出水後もLPを取得しているが、土砂移動が確認されなかったため未記載

これによると、堆積量は乙石川が最も多く、4年間の累計では約48,800m³の堆積があったと推定される。乙石川、小河内川では比較的出水規模の大きいH30、R2年度に堆積量が多くなっているが、R2.7出水の規模が大きかったにもかかわらず、R2年度はH30年度よりも堆積量が減少している。

侵食量は、乙石川が最も多く、4年間の累計では約95,000m³の侵食があったと推定される。出水規模が大きいくほど、侵食量が多くなる傾向を示している。

流出土砂量は、R2年度が最も多く約60,000m³であり、4年間累計では約98,000m³である。河川別には、乙石川が最も多く全体の約50%を占める。

比流出土砂量で確認すると、R2年度が最も多い。河川別には小河内川流域が最も多く、年別にみてもその傾向は変わらない。なお、過去に算定された近傍ダムの比生産土砂量 (320 m³ / km² / 年) と比較すると、R2年度までは320 m³ / km² / 年を上回っているが、R3年度は被災後初めて下回る結果となっている。

また、得られた流出土砂量は、データ取得期間内の最大降雨時の流出土砂量と仮定し、24時間雨量と流出土砂量の関係を図4のとおり整理した。ここで24時間雨量にしたのは、年間2出水の流出土砂量が把握可能なR1、3年度の降雨量 (1、2、3、6、12、24時間雨量) と流出土砂量との相関を算定すると24時間雨量が最も高かったためである。類似降雨①に着目すると、R1.7とR3.7出水の情報得られており、R3.7出水の流出土砂量はR1.7出水と比べ小さい。類似降雨②でも、H30.7、R1.8、R3.8出水の順に経年的に減少傾向にあり、土砂流出は落ち着き傾向を示している。R2.7出水は、H29.7出水以降で最大の降雨量であり、流出土砂量も他の出水と比較し大きい。各年の傾向を踏まえると、土砂流出量が一気に増加するのは24時間雨量が300mm程度以上になるときであると考えられる。

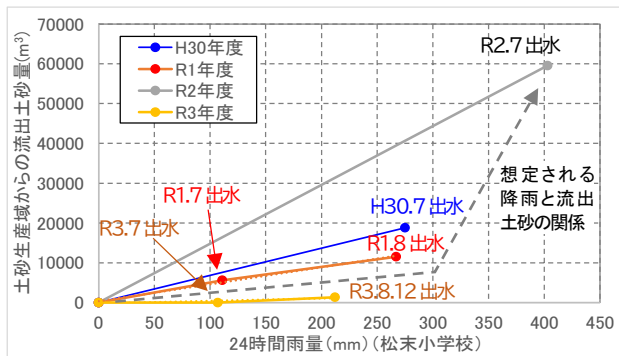


図4 24時間雨量と流出土砂量の関係

以上のとおり、流域全体としてみると土砂流出は落ち着き傾向がみられる。ただし、単元流域 (全108流域) に着目すると、19流域 (赤谷川: 7流域、乙石川: 9流域、小河内川: 3流域) で6時期間中3時期間で土砂移動が確認されており、土砂移動が活発な単元流域が存在すると判断される (図5)。これらの単元流域に対しては、新規の砂防堰堤を整備する等、土砂流出対策は進んでいるものの、今後も土砂動態観測の目的を踏まえると注視が必要である。なお、これらの流域の主な表層地質に着目すると、花崗岩類を主とする流域が11流域と多い。

(2) 定点写真からみた分析・評価

類似降雨①を対象に土砂移動が確認された単元流域数を整理すると、R1.7出水では6流域、R2.6出水では4流

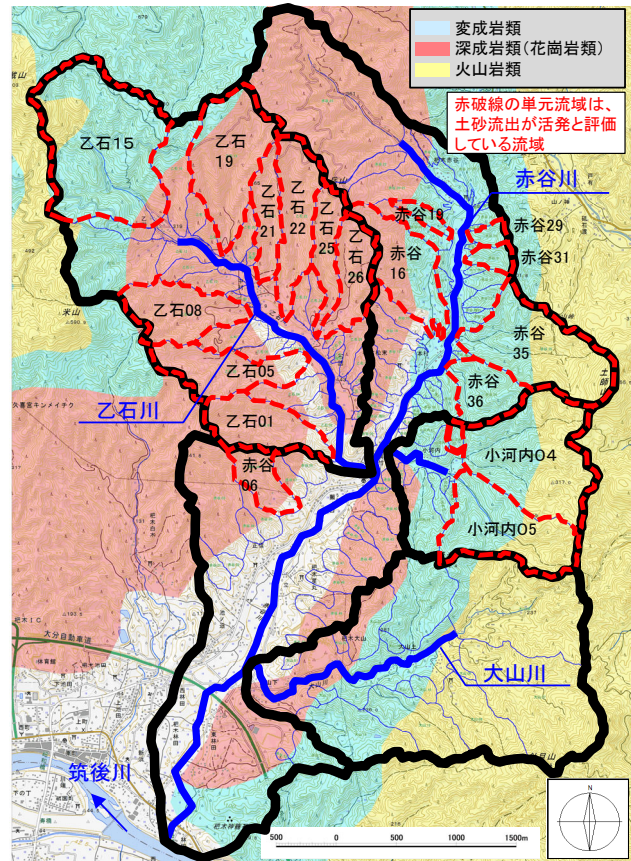


図5 土砂移動が活発な単元流域と表層地質の関係

域、R3.7出水では5流域であり、土砂移動が確認された流域数は、R2.6出水では減少したが、R3.7出水では増加した。この要因は、R2.6出水では時間最大雨量20mmに対し、R3.7出水では52mmであったためと考える。ただし、R2.6出水では、図6 (上) のとおり乙石21流域で新たな斜面崩壊が発生する等、土砂移動の規模が大きい。R3.7出水は細粒土砂の流出・堆積が主である図6 (下)。また、R1.7出水では、時間最大雨量15mmに対し6流域で土砂移動を確認したが、時間雨量が3倍以上のR3.7出水では5流域と1流域減少している。以上の点より、山地域内は僅かながら安定傾向に近づいていると判断される。

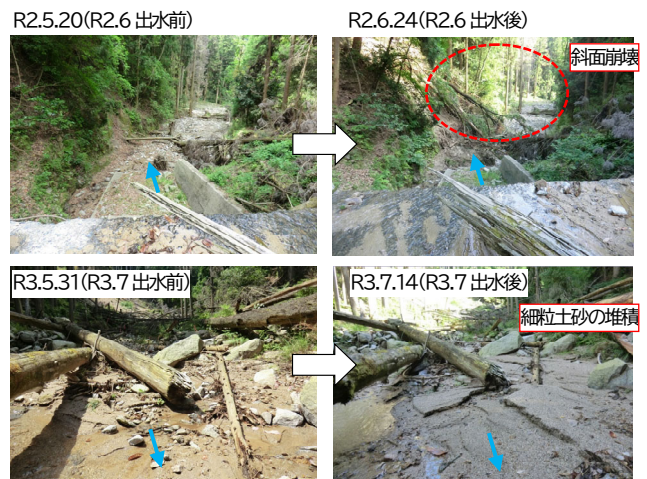


図6 乙石21流域内の各出水時の土砂移動状況

次に類似降雨②を対象に土砂移動が確認された単元流域数を整理すると、R1.8出水では6流域、R3.8出水では5流域であり、土砂移動が確認された流域数は減少している。各出水の土砂移動の特徴を整理すると、R1.8出水では、図-7（左から2列目）のとおり渓流内での斜面崩壊や側岸侵食、比較的大きな礫の移動、複数の崩壊地での土砂移動が確認されており、土砂移動の規模が大きい。一方、R3.8出水（図-7の一番右）では赤谷16での河岸侵食、赤谷35で崩壊地の拡大がみられたが渓流内では細粒土砂の流出、堆積が主であり、崩壊地内の土砂移動は確認されない。この要因は、R1.8出水はR3.8出水に対し24時間雨量が約50mm多く、短時間雨量も強いため、その影響も考えられるが、被災後数年が経過し、渓流内の土砂移動が落ち着きつつあることによる影響も大きいと考えている。

(3) 流砂量観測結果からみた分析・評価

流砂量観測は、令和2年度より実施している。山地域では乙石15、小河内04の2流域で掃流砂量、浮遊砂量を観測している。また、河川域では乙石川最下流部及び赤谷川（乙石川合流点付近）で浮遊砂量を観測している。

図-8に山地域における流砂量観測機器設置状況を示すが、掃流砂量は、音響式掃流砂量計（ハイドロフォン）により掃流砂量その他、平均粒径を計測している。更には、観測結果の妥当性を評価できるよう観測柵を設置し、ロードセルによりハイドロフォンと同時刻に重量を計測している他、主要出水後は柵内に堆積した土砂を採取し粒度試験を実施している。浮遊砂量については、濁度計を設置し、観測結果は現地材を用い作成した濁度計出力値と堆積土砂濃度の関係式（キャリブレーション式）にて推定している。また、浮遊砂の質を把握するため、濁度計設置箇所には浮遊砂採取器も設置し、こちらも観測柵同様、主要出水後は採取器で捕捉された浮遊砂を試験し

分析している。

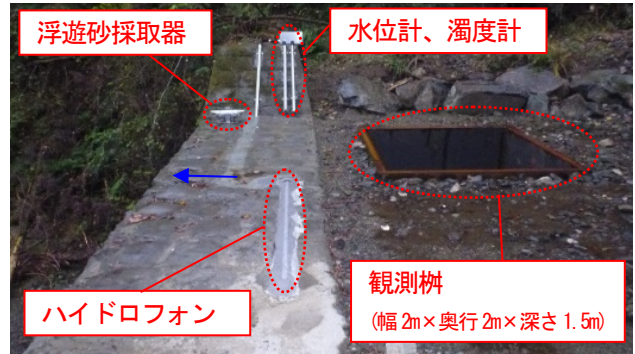


図-8 流砂量観測機器設置状況（乙石15流域内：令和2年度）

以降、流砂量の分析・評価結果を示す。分析にあたっては、令和2年度に得られた6出水、令和3年度に得られた3出水について、同視点で評価できるように各出水で得られた最大24時間雨量と同一期間における流砂量を抽出し、上流域面積で除した24時間比流砂量を用いることとした。これを年度別に整理し、関係式を作成した結果を図-9に示す。ここで、浮遊砂量は、水深が小さくデータが得られていない出水もあるため掃流砂量の関係を示す。これによると、R3年度は同一降雨量に対し比流砂量が減少している。以上より、流砂量観測結果からも、土砂流出は落ち着きつつあると判断される。

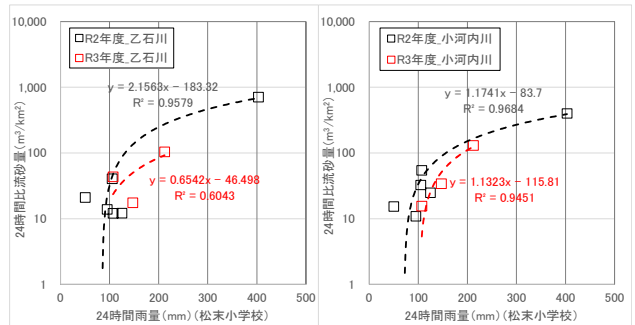


図-9 年度別の24時間比掃流砂量（左：乙石15、右：小河内04）



図-7 主な溪流におけるR3.8出水後までの土砂移動状況（上：赤谷16、中：赤谷35、下：乙石21流域内）

(4) 河床材料調査結果からみた分析・評価

河床材料調査は、H29.7出水以降に計8回実施しており、調査地点は基本的に同地点としている。継続的な調査地点は、表-1のとおり山地内10地点、河川内24地点の計34地点であり、調査手法は容積法が主である。

調査結果は、調査地点の粒度構成等の時系列変化が分かるよう粒径加積曲線の重ね合わせ図による整理の他、河川域の調査結果については縦断的な変化が分かるよう粒度構成比縦断図として整理している。以降、考察を示すが、ここでは特に河床変動への影響や土砂流出を考察しやすい砂（2mm）以下の細粒分に着目し記載する。

図-10に赤谷川本川の調査時点別の粒度構成比縦断図を示す。赤谷川本川は、被災後に河口から乙石川合流点までの約4kmの区間に2つの仮設土砂止めが設置され令和元年度出水期まで設置されていた。それまでは、土砂止めにより細粒分が捕捉され、その下流では特に非出水期にて細粒分の割合が減少する傾向がみられた。これは、出水が少ないため、流下土砂の多くが土砂止めにより捕捉されていたためと考える。ただし、出水又は出水期後の調査では、細粒分の割合が増加している。この要因については、土砂止めを超過した流水が土砂を流下させ、勾配が緩くなる下流域で堆積したためと考える。

次に土砂止め撤去後の分析・評価結果を示す。出水期前の調査結果では、全体的に細粒分の割合が増加傾向にある一方、出水又は出水期後の調査では、細粒分の割合が減少している。これは、出水期前に堆積した細粒分が、出水により流出したと考える。なお、この傾向は各河川同様であり、以上を踏まえると、非出水期における小出水により流出した土砂が河川内に堆積し、出水期中の中規模以上の出水時に流出するサイクルを毎年繰り返していることになるが、砂以下の割合の変化率は経年的に減少傾向にあり、土砂動態は落ち着き傾向にあると判断される。

図-11には、山地域内の調査結果より代表的な3地点の粒度構成比の時系列変化を示す。細粒分に着目すると経年的に割合は減少傾向にある。これは、被災直後に山地域内に残存していた細粒分が時間の経過とともに流出し、粗粒化傾向にあることを示している。なお、近年の細粒分割割合は比較的似た値を示していることを踏まえると、土砂流出は落ち着き傾向にあると判断される。

5. おわりに

これまでに、H29.7 出水以降に継続して実施している土砂動態観測の内容や分析・評価結果を示した。各調査結果とともに、土砂流出は落ち着きつつあると判断される。ただし、単元流域でみると、花崗岩類が主たる表層地質の流域では、未だ土砂動態が活発であると評価される。そのため、今後の出水期、台風期の土砂動態の観測結果も踏まえた検討を進めていく方針である。

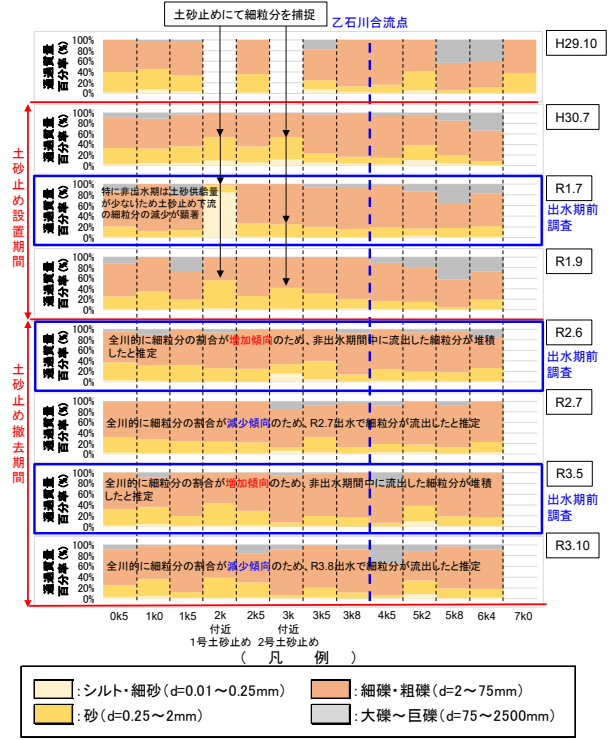


図-10 赤谷川本川の粒度構成比縦断図

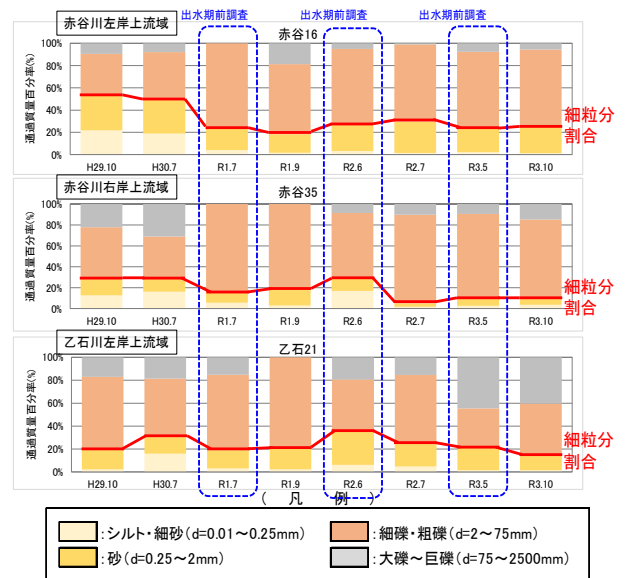


図-11 山地域内の代表箇所における粒度構成比の時系

参考文献

- 1) 北川ら、花崗岩中に見られる粘土細脈の応用地質学的重要性、応用地質学会中四国発表論文集 11-15、1995年。
- 2) 筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 (2017) : 筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会報告書 p76
- 3) 大規模土砂生産後に生じる活発な土砂流出に関する対策の基本的考え方 (案) , 国土技術政策総合研究所資料第 1115 号
- 4) 株式会社建設技術研究所 (2020) : 平成 31 年度赤谷川流域土砂動態観測検討業務報告書
- 5) 国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所 HP : 第 5 回筑後川土砂動態調査に関するワーキンググループ資料