

小規模溪流における土石流ピーク流量と流出土砂量の関係

土木研究所 火山土石流チーム 石田孝司・今森直紀
株式会社オリエンタルコンサルタンツ ○秋山怜子・光永海斗
矢渡 岳・有間 航

1. はじめに

平成 30 年西日本豪雨をはじめ、小規模な溪流からの土石流により顕著な被害が発生する場合がある。「砂防基本計画策定指針」（土石流・流木対策編）等に基づく対策では、土石流ピーク流量を外力とした対策を基本としている。この中で、土石流ピーク流量は経験式により推定することとしているが、土石流ピーク流量の観測は難しく、これまで整理されている事例も、火山地帯や土石流頻発地帯における事例等が多い（例えば欧ら，1991）。一方、土石流対策を必要とする多数の小規模溪流では、流水が少なく水筋も明瞭でない場合も多く、土石流発生前の溪流の状態から流下断面を想定することは難しい。本稿では、平成 30 年西日本豪雨及び令和 3 年 8 月豪雨により土石流が発生した溪流について、現地調査に基づき算出した流出土砂量と航空 LP 成果の差分解析による流出土砂量、現地調査で確認した流下痕跡及び侵食断面をもとに推定した土石流ピーク流量と航空 LP より推定した土石流ピーク流量を比較し、既往文献に準じて土石流総流出土砂量と土石流ピーク流量の関係を整理した。

2. 計測項目

現地調査及び航空 LP の差分解析は、広島県内において令和 3 年 8 月豪雨及び平成 30 年西日本豪雨で土石流が発生した合計 9 溪流を対象とした（図 1）。なお、大半の溪流で地質は花崗岩である。現地調査による土石流流下断面は、土石流発生時の痕跡と思われる樹幹に付着した土砂や傷、堆積物などをもとに、流下幅及び流動深を計測した。ただし、土石流流下時の河床変動はわからないため、最も浅い場合（河床＝元河床）と、最も深い場合（河床＝侵食後の河床）の両方を想定した（図 2）。航空 LP に基づく代表流下断面は、下式により侵食範囲面積と、総流出土砂量（前後差分解：侵食土砂量－堆積土砂量）より算出した。

$$A_d = \frac{V}{L} \quad \dots (1) \quad H_d = \frac{V}{A_1} \quad \dots (2)$$

ここに、 A_1 ＝侵食範囲面積、 A_d ＝土石流侵食断面積、 L ＝侵食範囲の溪流長、 H_d ＝土石流水深、 V ＝総流出土砂量とする。また、土石流ピーク流量はマンニング式に基づき、粗度係数は 0.1（土石流）とした。

3. 計測結果：

対象溪流の計測結果を表 1 に示す。流域面積はいずれも 0.1 km² 未満である。流域全体の勾配の指標となる見通し角は、計画基準点から土石流発生源頭の上端部までの比高と直線距離から算出した。流下痕跡が複数確認された溪流については、土石流ピーク流量が最大になる

1 ピーク流量算出結果

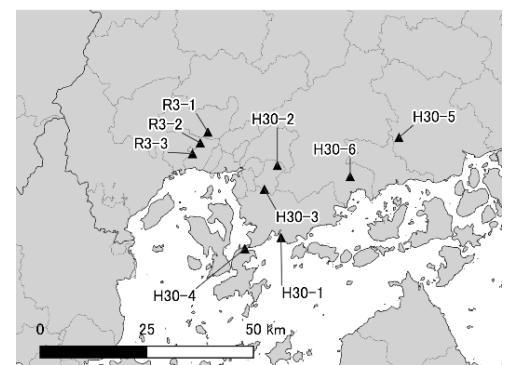


図 1 調査対象溪流位置図

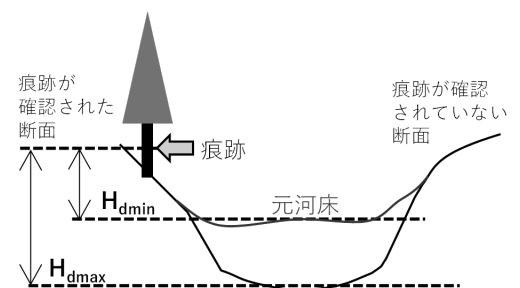


図 2 ピーク流量算出断面

溪流名	流域面積 km ²	見通し 角 degree	砂防基礎調査 区域調査		航空LP								現地調査								備考	
			最速 流路 延長 m	土石流 ピーク流 量 Q _{sp} m ³ /s	平均的な流下断面からマニング式で推定								総流出 土砂量 V m ³	最大				最小				
					総流出 土砂量 V m ³	侵食範囲 の溪流長 L m	侵食範囲 面積 A ₁ m ²	下流端 勾配 I 1/N	流下断面 積 A _d m ²	土石流 水深 H _d m	ピーク 流量 Q _{sp} n=0.1 m ³ /s	下流端 勾配 I 1/N		流下幅 B _{max} m	侵食深 H _{dmax} m	ピーク 流量 Q _{spmax} n=0.1 m ³ /s	下流端 勾配 I 1/N	流下幅 B _{min} m	侵食深 H _{dmin} m	ピーク 流量 Q _{spmin} n=0.1 m ³ /s		
H30-1	0.0101	22.9	120	11.1	576	58	338	2.10	9.9	1.7	92.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	撤去済み	
H30-2	0.0261	23.5	258	32.5	3,215	180	2,934	2.39	17.9	1.1	117.9	2,268	2.39	20.0	1.2	168.3	2.39	-	-	-	-	
H30-3	0.0527	27.7	402	54.1	13,640	666	11,686	2.98	20.5	1.2	128.1	16,662	1.79	23.0	6.3	3454.9	1.69	9.4	0.3	11.1	流下痕跡	
H30-4	0.0136	22.2	130	12.9	1,369	227	1,994	3.18	6.0	0.7	25.7	622	3.18	2.0	0.5	3.4	3.18	-	-	-	人工改変	
H30-5	0.0454	14.2	291	48.3	1,222	254	2,038	6.60	4.8	0.6	13.2	1,667	6.60	3.4	1.2	17.8	6.60	-	-	-	-	
H30-6	0.0360	25.0	376	24.6	7,292	368	7,371	2.77	19.8	1.0	114.6	5,330	1.90	17.9	1.6	267.1	2.35	17.9	0.5	32.9	流下痕跡	
R3-1	0.0174	28.7	235	15.9	1,031	212	1,985	2.15	4.9	0.5	20.4	749	1.64	7.2	2.0	164.9	1.74	7.2	1.7	120.7	流下痕跡	
R3-2	0.0208	24.0	194	23.0	5,689	146	2,658	2.12	39.0	2.1	422.3	2,823	2.12	15.0	2.2	364.3	2.12	-	-	-	-	
R3-3	0.0609	21.0	275	26.8	7,211	282	3,736	3.39	25.6	1.9	211.0	2,486	3.39	15.0	1.5	156.9	3.70	15.0	0.7	46.4	流下痕跡	

断面の最大値と最小値を示し、痕跡が確認できなかった溪流は、最下流断面から算出した値を最大値とした。最初に基準点上流の流出土砂量について、航空 LP の差分解析による土砂量と、現地の侵食断面調査による土砂量を比較したところ、航空 LP のほうが多い傾向が得られた（図 3）。この理由として、侵食深が深い溪流の場合、現地で発災前の河床高の想定が難しいためだと考えられる。また、最も流出土砂量が多かった H30-3 は、流下経路が長く、侵食断面の形状が不連続であったのに対し、現地調査の断面は各流路・谷次数で 1 断面のみであり、土石流の流下断面を代表できていないことに起因して現地調査が過大評価となった可能性がある。前後の航空 LP が無い場合、現地調査による把握が基本となるが、侵食深が大きい溪流ほど過小評価になりやすく、誤差は 1.5～2 倍程度と考えられる。

4. 小規模溪流における土石流総流出土砂量と土石流ピーク流量の関係

本稿の対象溪流について、式 (1)、(2) に示す航空 LP に基づく土石流ピーク流量と、痕跡・流下断面に基づく土石流ピーク流量を比較した（図 4）。両者は 10 倍程度の差となる場合もあるが、現地調査に基づく場合でも、想定する河床高の位置の違いにより 10～100 倍程度の差が生じる場合もある。そのため、航空 LP から土石流ピーク流量を推定した場合でも、現地調査と比較して極端に乖離することはないと考えた。その上で、流下痕跡及び流下断面から算出された土石流ピーク流量、航空 LP に基づく土石流ピーク流量と土石流総流出土砂量の関係について、既往資料に加筆した（図 5）。小規模溪流を対象とした本稿及び今森ら（2022）が対象とした事例では、総流出土砂量が既往の調査結果に対し相対的に小さく、概ね係数 $\alpha = 0.01 \sim 0.1$ の範囲に分布する。この結果から、土石流総流出土砂量のうちピーク時前後で流出する土砂量の割合が高いことが示唆される。このため、小規模溪流の場合、土石流発生域、流下区間および堆積区間の距離が短く急勾配であることが多く、移動開始から短時間で土砂が流出すると推察される。

5. まとめ

本報では広島県内の小規模溪流を対象とし、土石流ピーク流量の簡便な調査方法に関する検討および土石流総流出土砂量と土石流ピーク流量の関係を明らかにした。今後、花崗岩以外の地域における事例も蓄積し、小規模溪流特有の土石流ピーク流量の実態を明らかにすることと考える。本稿の作成にあたり広島西部山系砂防事務所及び広島県土木建築局にデータ提供、現地調査のご協力をいただきました。感謝申し上げます。

【引用文献】 欧ら（1991）：砂防学会誌，44（4），p24-29，今森ら（2022）：砂防学会研究発表会要旨集，p 607-608

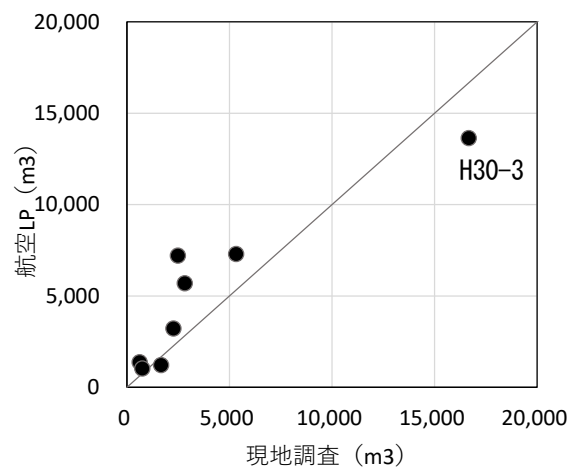


図 3 流出土砂量の比較

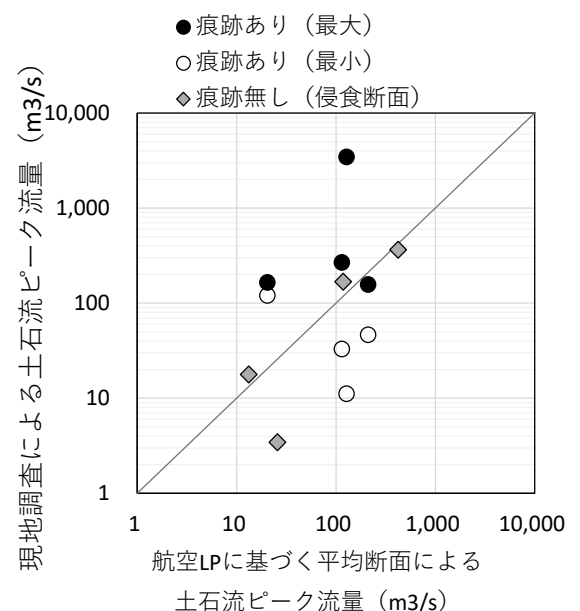


図 4 土石流ピーク流量の比較

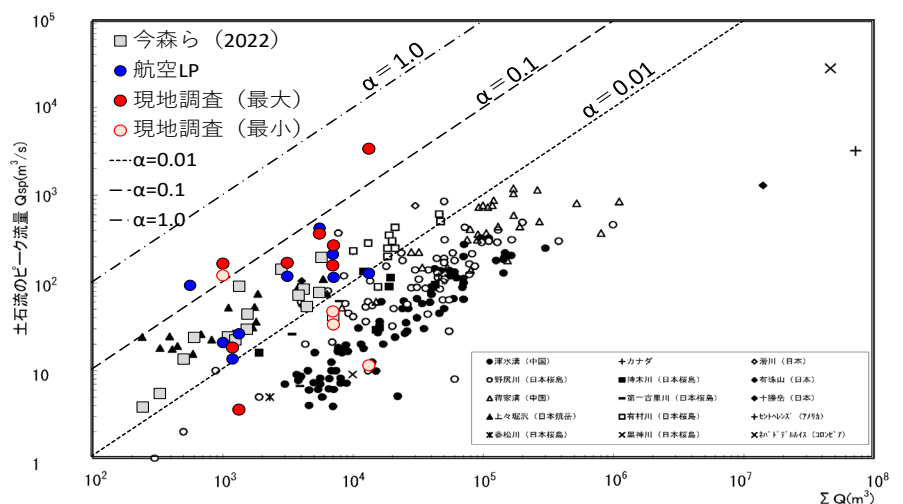


図 5 土石流総流出土砂量と土石流ピーク流量関係

砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編に加筆）※過年度成果については、航空 LP に基づく方法と同様の方法で算出。土石流総流出土砂量はすべて航空 LP に基づく。