

溪床勾配と集水面積に基づく土石流による侵食土砂量の推定手法の検討

国土技術政策総合研究所 ○工藤司※、内田太郎、松本直樹、桜井亘

※現:砂防エンジニアリング株式会社

表-1 検討対象流域

地域名	溪流名	所在地	土石流発生年月	分析支川N
登川	姥沢	新潟県南魚沼市	2011年7月	1
	二子沢川	新潟県南魚沼市	2011年7月	3
	柄沢川	新潟県南魚沼市	2011年7月	2
	高棚川	新潟県南魚沼市	2011年7月	2
	土沢	新潟県南魚沼市	2011年7月	3
南木曾	梨子沢	長野県南木曾町	2014年7月	2
藤原岳	西之貝戸川	三重県いなべ市	2012年9月	6
	小滝川	三重県いなべ市	2012年9月	2
防府	阿部谷川	山口県防府市	2009年7月	9
	八幡谷溪流	山口県防府市	2009年7月	5
	松ヶ谷川	山口県防府市	2009年7月	15
	神里川	山口県防府市	2009年7月	1
	上田南川	山口県防府市	2009年7月	3
阿蘇	坂梨地区	熊本県阿蘇市	2012年7月	1
	塩井川2	熊本県阿蘇市	2012年7月	1
	土井川	熊本県阿蘇市	2012年7月	2

58

1. はじめに

土石流による流出土砂量の予測技術は施設規模や警戒区域の設定において重要な技術である。

一般に土石流として流出する土砂量は、対象地点における水による運搬可能土砂の量または溪流内の移動可能土砂の量によって規定されているものと考えられる。このうち、移動可能土砂量は、溪床における堆積物の分布状況と、土石流の流下によって侵食が予想される範囲（侵食可能幅と侵食可能深）の推定によって決定される。侵食可能な土砂量は、河床の土砂の堆積状況に加え、水深や縦断勾配による重力作用に伴うせん断力の影響を受けるものと考えられる。近年では、現地観測によって土石流の水深と侵食深の関係が明らかにされつつある（Schürchら、2011）。しかしながら、侵食可能な土砂量の推定手法について確立されたものは無く、侵食土砂量と水深や縦断勾配の影響についても定量的な評価は十分に行われていない。

そこで本研究では、近年蓄積されてきた土石流発生前後のLiDARデータを用いて、せん断力の指標としての地形量（集水面積と溪床勾配）と侵食規模との実態について分析し、分析結果に基づく侵食土砂量の推定手法について検討した。

2. 検討方法

本研究では、2009年から2014年の間に土石流が発生した5地域16溪流（表-1）の58流路を対象に、地形量（溪床勾配と集水面積）と侵食土砂量の実態の整理と関係性についての分析を行い、その分析結果に基づいた土石流による侵食土砂量の推定手法について検討した。

(1) 地形量と土砂変動量の算出

地形量および土砂変動量は、土石流発生後の空中写真により土砂移動の生じた流路を特定し、特定した流路の縦断方向10m毎に算出した。なお、土砂変動量の算出地点は16溪流で合計4205点であった。地形量（溪床勾配と集水面積）の算出には、土石流発生前のLiDARデータから得られた数値標高モデル（グリッド間隔：5m×5mおよび1m×1m）を用いた。なお、溪床勾配は100m平均勾配（上流50m+下流50m）を求めた。

土砂変動量は、土石流発生前後のLiDARデータから得た数値標高モデル（グリッド間隔：1m×1m）の差分を用いて算出した。

(2) 地形量と土砂変動量との関係の分析

溪床勾配と集水面積の相互の影響と土砂変動量との関係をみるために、溪床勾配を9階級と集水面積を6階級に分類し、土砂変動量を算出した4205地点をそれぞれの階級がクロスするカテゴリーに区分した。その上で、各カテゴリーに属する地点の土砂変動量（m³/m）のパーセンタイル値（10%値、25%値、50%値、75%値、90%値）の算出を行い、溪床勾配、集水面積、土砂変動量の関係について分析した。

3. 結果

(1) 地形量と土砂変動量との関係の分析結果

図-1には、土砂移動の痕跡がみられた流路10m毎の地点における集水面積と溪床勾配の関係を示す。プロットは、10m毎の各地点で算出した侵食または堆積で分離した。

侵食が卓越していた地点は、溪床勾配と集水面積によらず広く分布しており（図-1の青プロット）、堆積が卓越していた地点は、勾配が約2～30°の範囲内にみられた（図-1の赤プロット）。

図-2には、面積-勾配関係と侵食規模（50%タイル値）の関係を示す。階級区分により分類したカテゴリー毎に、侵食と堆積の区別とその大きさ別に色分けした。なお、カテゴリーに該当するプロット数が全プロット数の1%以下であった場合は灰色に色分けしている。

侵食土砂量の最大値は、溪床勾配が20-25°で集水面積が0.1-1.0km²のカテゴリにおいて確認された。また、侵食土砂量の最小値は、溪床勾配が1-5°で集水面積が1-10km²のカテゴリにおいて確認された。

全体的な傾向をみると、溪床勾配が緩く集水面積の小さい領域（図-2の左下）に比べて、溪床勾配が急で集水面積の大きい領域（図-2の右上）の侵食土砂量が大きくなる傾向がみられた。これらの結果から、侵食土砂量は溪床勾配と集水面積の影響を受けていることが考えられた。

4.地形量に基づく侵食土砂量の推定手法の検討

ここでは、前述した溪床勾配・集水面積と侵食規模の関係から土石流による流出土砂量の予測の可能性について検討する。各溪流で土石流発生地点から下流へ10m毎の集水面積・溪床勾配から標準的な侵食量（50%タイル値）を算出したものを順次積算し、LiDARデータから算出した実測の各地点の流出土砂量と比較した。その上で、予測精度の指標として単回帰分析により得られる決定係数 R^2 と切片を0とした回帰式の傾きを算出した。決定係数 R^2 は増加傾向、傾きは増加割合の指標として用いた。

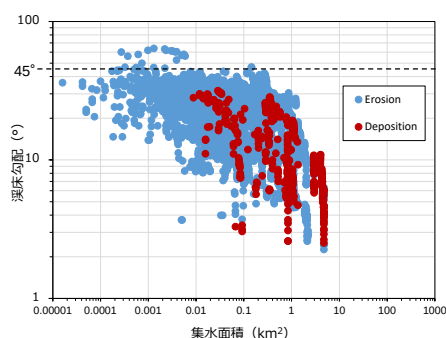


図-1 流路10m 毎の集水面積と溪床勾配の関係

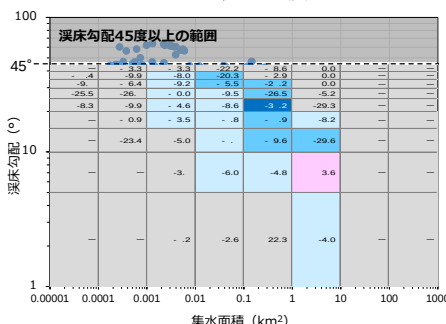


図-2 面積-勾配関係と侵食規模（50%値）の関係

図-3には、推定値と実績値の関係の事例を示す。事例として挙げた高棚川においては、高棚川01と高棚川02の2つの流路で土砂移動が見られた。いずれの溪流でも実績値と推定値に明瞭な相関がみられた。また、高棚川02では、推定値と実績値の増加割合が良く一致しているが（図-3の橙色プロット）、高棚川01では、実績値が推定値の約3倍を示していた（図-3

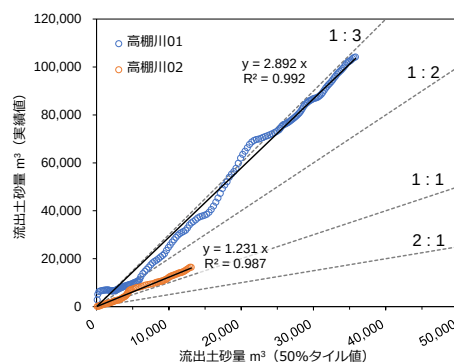


図-3 推定値と実績値の関係（高棚川の例）

の青色プロット）。

図-4には、土石流の実績のあった58支溪流における決定係数 R^2 と切片を0とした回帰式の傾きを示す。適用した溪流の約85%で $R^2 > 0.7$ の高い相関を示した。増加割合については、約60%の溪流においては倍半分の増加割合の範囲であった。

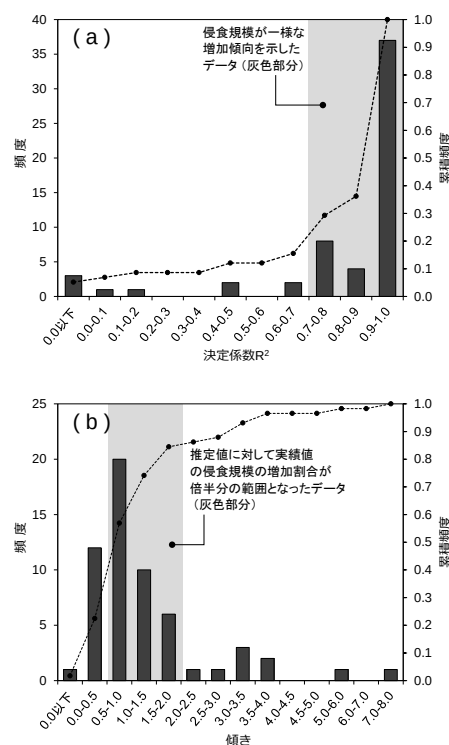


図-3 推定手法の適用結果

5.まとめ

LiDARデータより得た実績データの分析により、集水面積と溪床勾配の規模が共に大きくなるような地点では、侵食土砂量の規模も大きくなっていることを定量的に示した。この結果に基づき、集水面積と溪床勾配の条件から土石流の侵食土砂量を推定する手法について検討すると、対象とした約8割の溪流では地域によらず一定の割合で侵食土砂量が増加していく傾向がみられた。このことは、侵食開始地点の規模が下流の侵食規模に寄与していることを示しているものと考えられるが、詳細な分析が必要である。

参考文献 Schürch, P. (2011) : Geology, 39, p827-830