

## 山地域から下流の河道への流出土砂量の評価手法について

株式会社建設技術研究所 ○潮見 礼也、大坪隆三、中島奈桜  
国土交通省国土技術政策総合研究所 山越隆雄 坂井佑介、平田育士

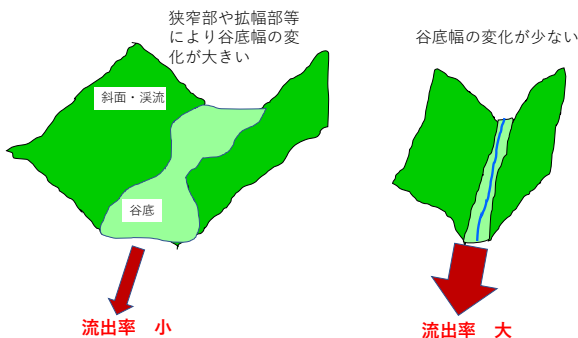
### 1. はじめに

平成29年7月九州北部豪雨や平成30年7月豪雨、令和元年東日本台風において甚大な被害をもたらした土砂・洪水氾濫は、山地域で生産された土砂が下流域に大量に流出することによって発生することが知られている。また、同様の土砂・洪水氾濫が発生する恐れのある流域は全国に数多く存在することが考えられ、そのような流域における被害を未然に防ぐためには、土砂・洪水氾濫が発生する危険度を比較的簡易に判定する手法が必要である。

土砂・洪水氾濫被害の発生する危険度を事前に把握するためには、山地流域から下流域への流出土砂量を一定の精度で把握する必要があるが、筆者らは山地域の生産土砂量に対する下流域への流出土砂量の割合（流出率）は、各山地流域単位での地形条件（勾配や谷幅等）に影響を受けているのではないかと考えた。図1）。

そこで、流出率に影響を及ぼす地形条件およびその関係性を明らかにするために、山地流域における流出率と地形的要素について統計分析を実施し、流出率推定式の構築を試みた。さらに、災害実績の生産土砂量および流出率推定式を用いて流出土砂量を算出し、実績と比較することで流出土砂量推定手法の妥当性について検証した。本稿では、上記手法の一連の検討手法および検証結果について報告するものである。

下流への土砂流出量を減じる 下流への土砂流出量を減じる  
地形的要素が大きい流域 地形的要素が小さい流域



### 2. 分析手法

推定手法の作成で対象とする流域として平成 29 年 7 月九州北部豪雨による筑後川右岸流域赤谷川、北川、桂川および平成 30 年 7 月豪雨による総頭川、大屋大川、中畑川、推定手法の検証で対象とする流域として

令和元年度台風 19 号による五福谷川を選定し、収集した災害前の LP データから GIS により水系網を作成し、50m 区間毎に河道の地形条件を計測し、それらの情報を山地流域に集約した。ここで、土砂移動形態が土石流区間において発生・流下区間である溪床勾配 10 度程度となる流域規模（流域面積）に着目し、Montgomery, 2001 を参考に流域面積が 0.2~1.0km<sup>2</sup> の流域を山地流域として設定した。なお、個々の山地流域への集約方法は平均値と標準偏差を用いた。また、災害前後の LP データから生産土砂量、堆積土砂量を算出し、それらの土砂収支から流出土砂量、流出率を算出した。（表 1）

まず、どのような地形条件下で土砂が流れやすいかを明らかにするために、作成で対象とする流域において流出率を目的変数、地形量を説明変数としたロジスティック回帰分析を実施した。

次に、分析したロジスティック回帰式を流出率推定式とし、実績の生産土砂量を乗じることで推定の流出土砂量を算出し、実績の流出土砂量と比較する。さらに、構築した流出率推定式を検証で対象とする流域に適用して検証を行った。

表 1 山地流域に集約した地形量

変数	地形量（山地流域）		備考	
	項目	集約方法		
説明変数	平均勾配 (m)	平均値、標準偏差	上下流端の標高データから算出	
	勾配比	平均値、標準偏差	上流/下流（大きいほど急勾配から緩勾配に変化）	
	平均谷幅 (m)	平均値、標準偏差	理論式により算出した土石流の流下幅	
	谷幅比	平均値、標準偏差	上流/下流（小さいほど拡幅している）	
	湾曲角 (度)	平均値、標準偏差	屈曲部の内角（小さいほど屈曲している）	
	水深 (m)	平均値、標準偏差	理論式により算出した土石流水深	
	谷密度	-	河道延長/流域面積	
	合流点数	合計	部分流域内の合流点数	
	目的変数	流出率	-	流出土砂量/生産土砂量
	その他	生産土砂量	合計	災害前後のLP差分解析結果（差分マイナス）
堆積土砂量		合計	災害前後のLP差分解析結果（差分プラス）	
流出土砂量		-	災害前後のLP差分解析結果	

### 3. 分析結果

#### 3.1 ロジスティック回帰分析結果（流出率推定式）

ロジスティック回帰分析の結果構築された流出率推定式を表2に示す。なお、説明変数は表1の全てを使用し、ステップワイズ法による変数選択の結果、最も決定係数の高い回帰式を採用した。

分析の結果、溪床勾配の標準偏差、谷幅の標準偏差

が統計的に有意な説明変数として取り込まれた回帰式が作成され、溪床勾配、谷幅の標準偏差が小さいほど流出率が大きくなる関係性が示唆された（表 2）。これは、勾配変化点や狭窄部、拡幅部等の形状変化の少ない流路において流出率が高くなることを表しており、このような地形的特徴をもつ山地流域については流出率が高くなる可能性が考えられる。

流出率の推定値と実績値を比較した結果を図2に示す。6流域の評価結果については、0.5～1.0の区間においては、推定値と実績値が概ね1対1の関係となっていることから、比較的実績と整合する結果となっている。一方、0.5以下では実績と整合しない点が多くなる結果となった。このことから、構築した推定式は、全体的に流出率の高いサンプルの予測精度を重視した結果と考えられる。

検証流域である五福谷川での整合性は、0～0.75の範囲では、実績に対し推定値が過大に評価される結果となった（図2）。これは、流出率推定式が五福谷川の災害現象、地形特性を精度良く表現することができていないことや、流出率の高いサンプルの予測精度が高い推定式の特徴が、より顕著に反映されたことが考えられた。

表 2 ロジスティック回帰分析結果（流出率推定式）

分析流域	回帰式	モデルの統計量		地形条件 (有意な説明変数のみ記載)
		P値	決定係数 (Nageikertesの 擬似決定係数)	
6流域 (赤谷川、北川、桂川、総頭川、大屋大川、中畑川)	$P$ (流出率) $=1/(1+\exp(-(-0.0660 \times x1 - 0.0790 \times x2 + 0.0408 \times x3 + 2.5709)))$	0.0048	0.0698	溪床勾配標準偏差:小 谷幅の標準偏差:小

x1: 溪床勾配標準偏差、x2: 谷幅標準偏差、x3: 合流点数

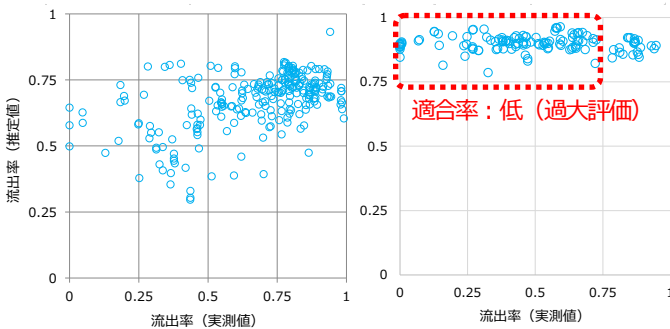


図2 流出率の実績と推定値（左図：6流域、右図：五福谷川）

### 3.2 流出土砂量の算出結果

構築した流出率推定式および実績の生産土砂量を用いて、流出土砂量を算出した。なお、前述のように、構築した流出率推定式は、流出率の低いサンプルの予測精度が低いことが課題として挙げられるため、算出した流出土砂量は試算結果であることに留意されたい。流出土砂量の実績値と推定値の関係を図3、図4に示す。

6流域および五福谷川ともに、近似式の傾きが、ほ

ぼ1.0となっていることから、全体としては実績の流出土砂量を良好に予測できている結果となった。ただし、流出土砂量の少ないサンプルに着目すると、実績に対し、2倍程度過大に算出されているサンプルも見られる。これは、前述の流出率の低い地点の予測精度が低い流出率推定式の特徴が反映されたことによるものである。

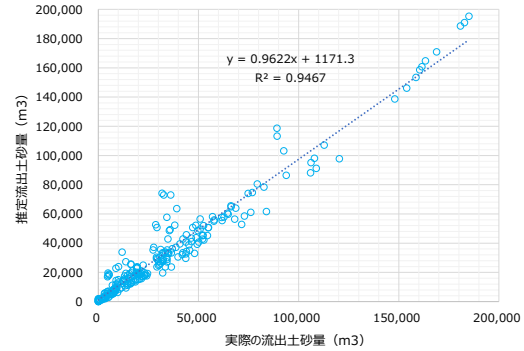


図3 流出土砂量の実績と推定値（6流域）

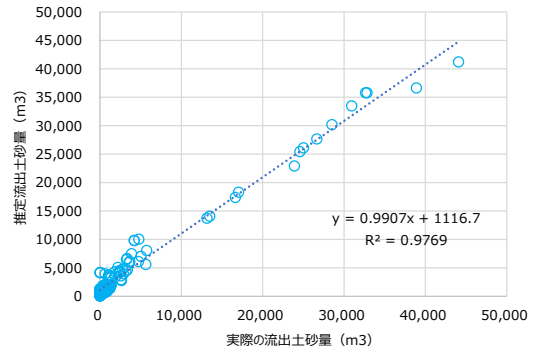


図4 流出土砂量の実績と推定値（五福谷川）

## 4. まとめ

本研究により、以下に関する知見が得られた。

- ・ロジスティック回帰分析により、有意な流出率推定式が構築されたことにより、流出率と地形条件（勾配、谷幅の標準偏差）と一定の関係性があることが示唆された。ただし、流出率の低い箇所における整合率に関しては課題を残す結果となった。
- ・構築した流出率推定式を用いて、流出土砂量を推定する一連の手法を示した。
- ・検証結果から、個々の流域によって流出率に影響を及ぼす地形条件が異なることが想定されることから流域ごとの、より詳細な検証が必要である。

今回は、流域面積（0.2～1.0km<sup>2</sup>）を限定し分析を行ったが、今後はより汎用性を高めるため、小規模な流域面積（0.2km<sup>2</sup>以下）での流出率推定式の構築や流域の特性を踏まえた、より詳細な検討を実施する必要があると考えている。また、土砂生産プロセス（斜面崩壊、溪床浸食）や土砂移動現象を区分し詳細に分析を実施し、流出率の低いサンプルも含め、全体の流出率の予測精度向上を進めたいと考えている。