

土砂・洪水氾濫が発生した流域における流出土砂量の簡易な算出方法および実績との比較

国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室 田中健貴・鈴木啓介

株式会社建設技術研究所 速見智・日名純也・清水万莉子・井上雄登・片岡秀太・岡崎進也

1. はじめに

近年、土砂・洪水氾濫による被害が発生している¹⁾。土砂・洪水氾濫による被害を防ぐため、砂防施設が設置されるが、その配置計画は数値計算によって行われる²⁾。今後進められる土砂・洪水氾濫対策は、比較的小さな流域において実施される機会が多くなると考えられ、このような流域は多数存在すると予想される。つまり、従来のような比較的大きな流域に用いられてきた数値計算だけでなく、効率的で簡易な方法が求められる。

これまで、土石流対策計画は土石流の平衡土砂濃度を用いた方法で立案されてきた³⁾。これは谷出口まで到達する土砂量を求め、この土砂量に対して施設を計画する方法である。土砂・洪水氾濫では、土砂は谷出口付近の比較的大きな流域に用いられてきた数値計算だけでなく、効率的で簡易な方法が求められる。比較的小さな流域においては、土石流と同様に平衡土砂濃度を使用した方法で谷出口に到達する土砂量を推定できる可能性が考えられる。そこで、土砂・洪水氾濫が発生した流域において、土石流および土砂流の平衡土砂濃度式を使い、谷出口までの通過土砂量を推定する方法を検討した。

2. 方法

2.1 評価点の設定

対象は石川県輪島市を流れる塚田川と、評価点として、通過土砂量の算出を行う地点を10点設定した(図1)。それぞれ塚田川本川上流端、支川合流点、谷出口等である。本川の計算は図1 中青色区間で行い、支川は本川との合流点にて計算を行った。検証地点における流域面積は GIS 上で計測を、河床勾配は検証地点における平均河床勾配を 200m 区間で計測した。

2.2 平衡土砂量の算出

設定した評価点ごとに平衡土砂濃度、土砂とともに流出する総流出水量を算出し、平衡土砂量を求める。次に、評価点ごとに上流域の移動可能土砂量を求める。その上で、評価点の通過土砂量は、上流域の移動可能土砂量と平衡土砂量を比較して小さい方とする。この操作を上流から下流へ向かって単位時間毎に行うことで、谷出口までの土砂収支が得られる。

平衡土砂量は式(1)、(2)を勾配によって切りかえて使用した。間隙流体密度は工藤ら(2017)⁴⁾を参考に、比較的低濃度で土砂が移動する状態、一般的に想定される土石流程度の濃度で土砂移動が生じている状態、斜面崩壊等による土砂生産が多い状態を想定し、 1.0 g/cm^3 、 1.2 g/cm^3 、 1.6 g/cm^3 の3通り設定した。

$$C_c = \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m)(\tan \varphi - \tan \theta)} \quad (1)$$

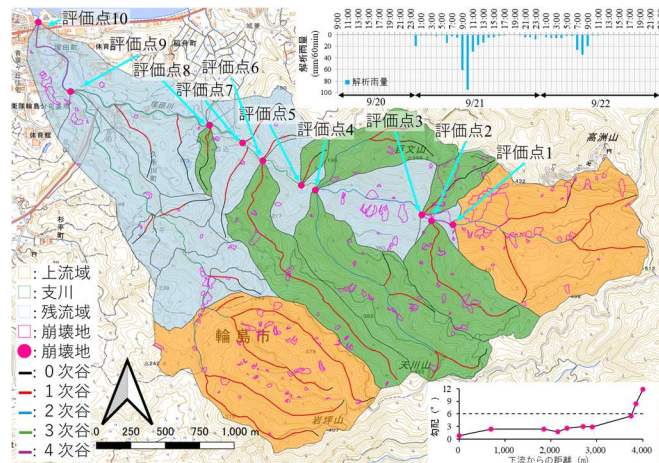


図1 調査対象流域

$$C_c = 6.7 \left\{ \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m)(\tan \varphi - \tan \theta)} \right\}^2 \quad (2)$$

C_c :粗礫土砂の平衡土砂濃度, θ :河床勾配, φ :砂礫の内部摩擦角(一般に 35°), ρ_m :間隙流体密度, σ :砂礫の密度, C^* :渓床堆積土砂の体積土砂濃度

本研究では、工藤ら(2017)に従い、土砂は土石流の骨格を形成する粗礫(粗粒土砂)と間隙流体に含まれる細砂(細粒土砂)から構成されると考えた。土石流および土砂流の正味の土砂濃度(C)は以下の式より算出した。

$$C = C_c + C_f \quad (3)$$

$$\rho_m = \frac{\sigma \cdot C_f + \rho_w \cdot C_w}{C_f + C_w} \quad (4)$$

C :正味の土砂濃度, C_f :細粒土砂の土砂濃度, C_w :流体中の水の割合, ρ_w :清水の密度

工藤ら(2017)を参考に、土石流の発生や土砂・洪水氾濫の発生に寄与したと想定される降雨量を、土砂流出に寄与した降雨量(R_n)を求めた。土砂とともに流出する総流出水量(V_w)は、集水面積に降雨量と流出率を乗じて次式から算出した。

$$V_w = A \cdot R_n \cdot k_f \quad (5)$$

A :集水面積(m^2), R_n :土砂流出に寄与する降雨量(m), k_f :流出率

降雨流出解析における流出率は 1.0 とした。ここで、森林水文学・斜面水文学の研究から山地小流域において降雨総量が十分に大きく流域の湿潤状態が閾値に到達した後は、降雨前の貯留条件や降雨条件に関わらず、降雨強度と比流出量の関係がほぼ等しくなるとの知見に基づき、土石流が発生するような豪雨時には流域の湿潤状態は閾値に達していると仮定した⁴⁾。以上を踏まえ、平衡土砂量は式(6)により求めた。

表1 設定したケース

No.	平衡土砂濃度式	土砂流出寄与降雨量		間隙流体密度 (g/cm ³)	
		供給開始	降雨量	本川	支川
1	式(1), (2)	②9:00~	150.5 mm	1.2	1.6
2	式(1)	②9:00~	150.5 mm	1.2	1.6
3	式(1), (2)	①7:00~	225.6 mm	1.2	1.6
4	式(1), (2)	③10:00~	50.0 mm	1.2	1.6
5	式(1), (2)	②9:00~	150.5 mm	1.0	1.0
6	式(1), (2)	②9:00~	150.5 mm	1.2	1.2
7	式(1), (2)	②9:00~	150.5 mm	1.6	1.6

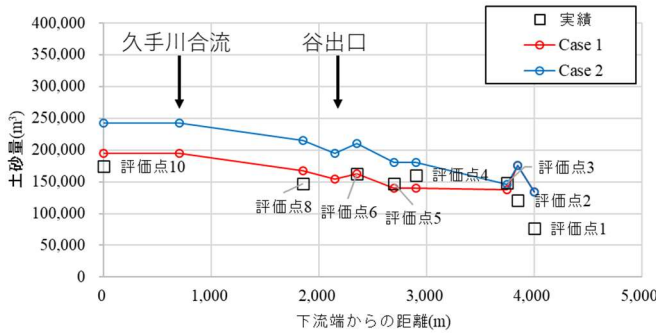


図2 平衡濃度式の違いによる比較

$$V_d = \frac{1}{C_*} \left(\frac{C}{1-C} \right) V_w \quad (6)$$

V_d :平衡土砂量(m³), C_* :渓床堆積土砂の容積率(0.6), V_w :土砂とともに流出する総流出水量(m³)

2.3 設定ケース

平衡土砂濃度式, 土砂供給タイミング, 間隙流体密度を変えた7ケースを設定した(表1)。塚田川では, 土砂流出開始時刻や氾濫開始時刻の明確な時刻は不明であるが, 災害状況より9月21日の9~10時には塚田川本川へ土砂が流出していることから支川からの土砂供給開始はそれよりも早いと推定される。また, 7時に土砂災害警戒情報が, 10時50分には大雨特別警戒が発令されている。以上から, 土砂供給開始タイミングは土砂災害警戒情報発令(パターン①), 氾濫開始(パターン②), 大雨特別警戒発令(パターン③)を踏まえた3パターン想定した。なお, 実績土砂量はLiDARデータ差分から求めた。

3. 結果と考察

全区間にわたって土石流の式を使用したCase2は実績より谷出口付近の通過土砂量が4万m³程度大きくなった。一方で, 途中で濃度式を変えたCase1の方が実績と整合的であった(図2)。これは, 土砂移動形態が土石流状態から土砂流状態に遷移したためと考えられる。 $\rho=1.2\text{g/cm}^3$ の場合, おおむね6°で土石流の式から土砂流の式に切り替わっており, これによって土砂量が低減し, 実績と整合したと考えられる。このことから, 通過土砂量を推定するためには, 勾配を指標に区間ごとに使い分けることが有効と考えられる。

土砂供給タイミングが異なるケースでは, 他の条件が同じで

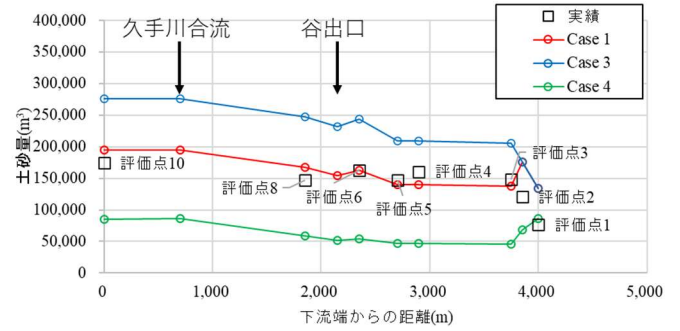


図3 土砂供給タイミングの違いによる比較

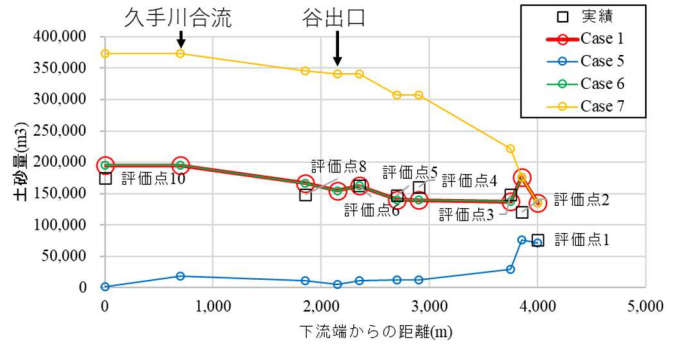


図4 間隙流体密度の違いによる比較

あっても谷出口までの通過土砂量が異なっていた。なお, 氾濫開始タイミングと推定される時間帯(9月21日9時ごろ)から供給を開始するのが, 谷出口での通過土砂量はやや過大であるが, 最も実績と整合的であった(図3)。塚田川では地震時の生産土砂が大量に不安定土砂として存在しており土砂が早いタイミングで移動しやすかったこと, 9時以降に降雨の大部分が降ったことから, 結果としてCase1で比較的整合したと考えられる。

間隙流体密度について, 本川で $\rho=1.2\text{g/cm}^3$ としたcase1, 6が他ケースと比較して実績と整合した(図4)。このことは, 塚田川のように流域内に不安定土砂が存在し, 豪雨時に一定程度高濃度な土砂供給があったと考えられる場合には, 間隙流体密度を大きくする必要があることを示唆する。一方で, 間隙流体密度を本川で 1.6g/cm^3 としたCase7は実績よりも通過土砂量が多くなった。よって, 土砂移動現象を踏まえ, 間隙流体密度を設定する必要がある。

参考文献

- 1) 坂井佑介・山越隆雄・對馬美紗:土砂・洪水氾濫による家屋被害の実態把握と地形分析, 土木技術資料, Vol.63, No.1, p.30-35, 2021
- 2) 国土技術政策総合研究所:河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き(案), 国総研資料, No.1048, p.7-8, 2018
- 3) 国土技術政策総合研究所:土石流・流木対策施設設計技術指針 解説, 国土技術政策総合研究所資料, No. 905, 78p., 2016
- 4) 工藤司・内田太郎・松本直樹・桜井亘:LP 差分データとレーダー雨量データを用いた土石流の流出土砂量を規定する降雨指標に関する考察, 砂防学会誌, Vol.70, No.3, p.3-12, 2017
- 5) 国土交通省: 能登半島での地震・大雨を踏まえた水害・土砂災害対策検討会, 2025