

航空レーザ測量データによる流下痕跡計測結果を用いた土石流ピーク時の流速および流量推定の試み

国土交通省 国土技術政策総合研究所 ○平田 育士、山越 隆雄
筑波大学 生命環境系 内田 太郎

1. はじめに

土石流ピーク時の流速や流量は、土石流対策において重要な要素である。従来、土石流発生渓流におけるピーク流量の推定は、現地調査による流下痕跡の計測結果をもとに行われる場合が多かった。しかし、現地調査には労力を要するため、上流から下流かけて多数の地点で推定が行われている渓流は限られている。一方、近年、土石流発生前後の航空レーザ測量データが蓄積されてきており、これらの差分データをもとに流下痕跡を調査することができれば、渓流内の多数の地点での流量の推定が可能になる。さらに、流下過程におけるピーク流量の増減に影響をおよぼす要因を分析することができれば、土石流の流動特性が新たに明らかになることが期待される。そこで本研究は、航空レーザ測量によって得られたDEMの差分データを用い、土石流の流速および流量の推定を試みた。

2. 方法

2.1. 対象渓流

土石流発生前後に航空レーザ測量が実施されており、土石流流下延長が長く明瞭な湾曲部が存在し、かつ支川合流が少ないなどの観点から、2014年に土石流が発生した長野県南木曾町の大梨子沢(図-1)を対象とした。

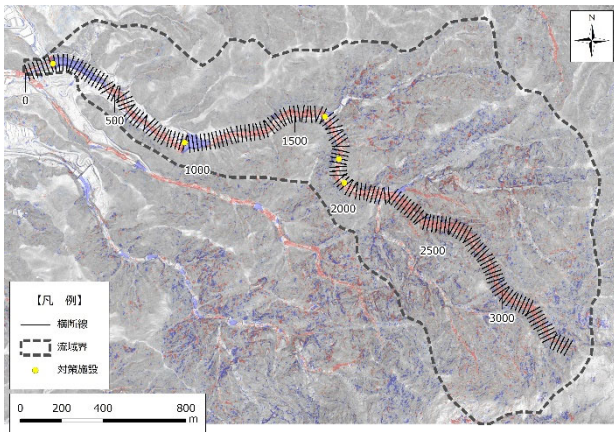


図-1. 対象流域の平面図

2.2 流下痕跡の計測

大梨子沢との合流点を原点として20m間隔で172本の横断線を設定し(図-1)、横断線ごとに差分データから差分断面図を作成した。過去の検討結果¹⁾を参考に、差分断面図上で溪床付近において0.2m以上の

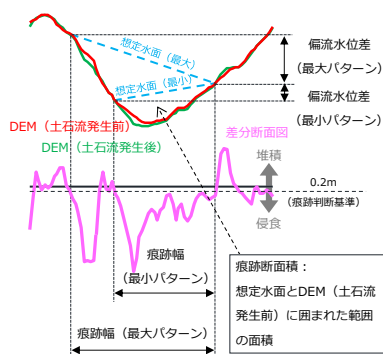


図-2. 痕跡の判断イメージ

侵食が認められる範囲を土石流痕跡範囲と判断し、痕跡の幅と断面積を計測した(図-2)。

2.3 流速の推定

流速は、土石流が湾曲部を流下する際の偏流水位差を用いる手法によって推定することとし、Scheidl *et al.* (2015)が提案する式(2)を式(1)に代入した式(3)を用いて計算した。ここに、 v :流速(m/s)、 R_c :曲率半径(m)、 g :重力加速度(m/s²)、 θ_c :溪床勾配、 Δh :偏流水位差(m)、 B :流下(痕跡)幅(m)、 k^* :係数、 F_r :フルード数(= v/\sqrt{gh})、 h :平均水深(m)であり、曲率半径以外は差分データから計測あるいは設定が可能である。

$$v^2 = \frac{R_c \cdot g \cdot \cos \theta_c \cdot \Delta h}{B \cdot k^*} \quad (1)$$

$$k^* = 4.4 F_r^{-1.19} \quad (2)$$

$$v = \left[\frac{R_c \cdot \Delta h \cdot g^{0.40} \cdot \cos \theta_c}{4.4 \cdot B \cdot h^{0.60}} \right]^{1.23} \quad (3)$$

曲率半径は、Prochaska *et al.* (2008)が用いた3点を通る円の半径を求める手法を用いた。ここでは、中央の点から上下等距離離れた3点を用いて曲率半径を算出することとし、中央の点から上下流の点までの距離を検査距離とした。検査距離によって、同じ地点であっても曲率半径が変化するため、検査距離の影響評価が必要である。式(1)より、仮に流速の場所による違いが小さいとすると R_c が小さくなるほど $\Delta h/B$ は大きくなることから、 R_c が適切に設定された場合に $1/R_c$ と $\Delta h/B$ の相関係数が最大になると考え、横断線の配置間隔(20m)に合わせて段階的に検査距離を変化させて R_c を計算し、相関係数が最大となる検査距離を採用することとした。

2.4 流量の推定

痕跡断面積の計測結果と流速の推定結果を式(4)に代入し、流量を推定した。ここに、 Q :流量、 A :流下(痕跡)断面積(m²)、 V :流速(m/s)である。

$$Q = A \cdot V \quad (4)$$

2.5 推定結果の検証

差分データから各地点の流出土砂量が得られるため、これをもとにピーク流量を推定した。

推定にあたっては、土石流は1波であったとの仮定のもと、各地点の土砂濃度は土石流の平衡濃度式で算出し、土石流のハイドロ形状は三角形で近似し、継続時間を変化させ、ピーク流量を算出した(図-3)。

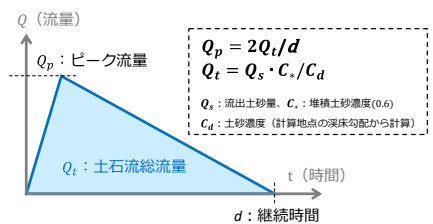


図-3. 流出土砂量をもとにしたピーク流量計算イメージ

3. 結果と考察

3.1 流下痕跡の計測

差分断面図を確認した結果、136 データで痕跡範囲が判断可能であり、これらのデータに対し差分断面図上で痕跡幅と痕跡断面積を計測した。このうち 52 データでは、20 cm以上の侵食範囲が一定程度の広がりがあり、痕跡範囲が一意に決められなかったため、想定される最大パターンと最小パターンを計測した(図-2)。また、痕跡範囲の判断パターンに応じて3つのデータセットに分類し、以降の検討に用いた(表-1)。

表-1. データセットの分類

分類	データ内容	データ数
最小パターン	痕跡が一意に決まるデータと、一意に決まらない場合は最小パターンを採用したデータ	136
最大パターン	痕跡が一意に決まるデータと、一意に決まらない場合は最大パターンを採用したデータ	136
平均パターン	痕跡が一意に決まるデータと、一意に決まらない場合は最大パターンと最小パターンの平均を採用したデータ	136

3.2 流速および流量の推定

検査距離の影響を検討した結果、3データセットともに検査距離が140mの時に $1/R_c$ と $\Delta h/B$ の相関係数が最大となった(図-4)。そこで、以降、検査距離は140mを採用した。

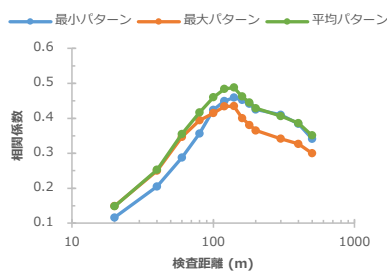


図-4. 検査距離と相関係数の関係

曲率半径を計算の上、データセットごとに流速を推定した。内湾側の偏流水位差が高くなる場合の水位差を負の値で表すと、式(3)より流速を計算することができないが、除外するとデータに偏りが生じるため、このような場合は便宜的に計算結果の正の最小値を下回る値(0.1m/s)を与えた。推定結果はばらつきが大きいため、あわせて400m区間の中央値を、中央値を算出する区間を移動させながら計算した(移動中央値と呼ぶ、図-5)。さらに、流速と同様に流量の計算結果についても移動中央値を計算した(図-5)。内湾側の偏流水位差が高くなる場合は、便宜的に計算結果の正の最小値を下回る値(10m³/s)を与えた。

3.3 推定結果の検証

痕跡から算出したピーク流量と、差分データの流出土砂量から算出したピーク流量を比較した(図-5)。

平均パターンの移動中央値を見ると、2,000mから2,500mでは流量が下限値となる区間があるが、これは支川合流により痕跡が適切に得られなかったためと考える。また、750mから1,500mでは継続時間が上流側より短くなっている区間があり、計算結果が過大であると考えられるが、その原因は特定できていない。これら以外の区間では、流量は3,000m付近で最大となり、これより下流側では多少の変動はあるものの概ね1,000m³/sから2,000m³/sの範囲におさまり、流下とともに継続時間が長くなる傾向が見られる。また、計算結果は、地震計の観測結果から推定される継続時間の最長時間(30

分)⁴⁾を超えない範囲におさまっているため、計算結果が示す傾向は妥当であると考えられよう。

4. まとめと今後の課題

本研究の手法を用いることで、上流から下流にかけて、多数のピーク流量に関する情報が得られる。地点間のばらつきも大きく、各地点の精度は必ずしも高くはない可能性も考えられるが、全体的な傾向が得られることを示した。また、偏流が明瞭で適切に推定できていると考えられる区間の計算結果からは、流出土砂量が上流から下流に向けて増加するにもかかわらず、土石流ピーク流量は概ね一定の範囲におさまり、継続時間は流下とともに長くなる可能性が見出された。

一方、適切な計算結果が得られなかった区間の原因の分析や、曲率半径計算の際の検査距離は土石流の規模や渓流の地形に依存すると考えられるものの、その関係性の把握には至っていないなどの課題が残っている。今後、事例を増やして研究を進める。

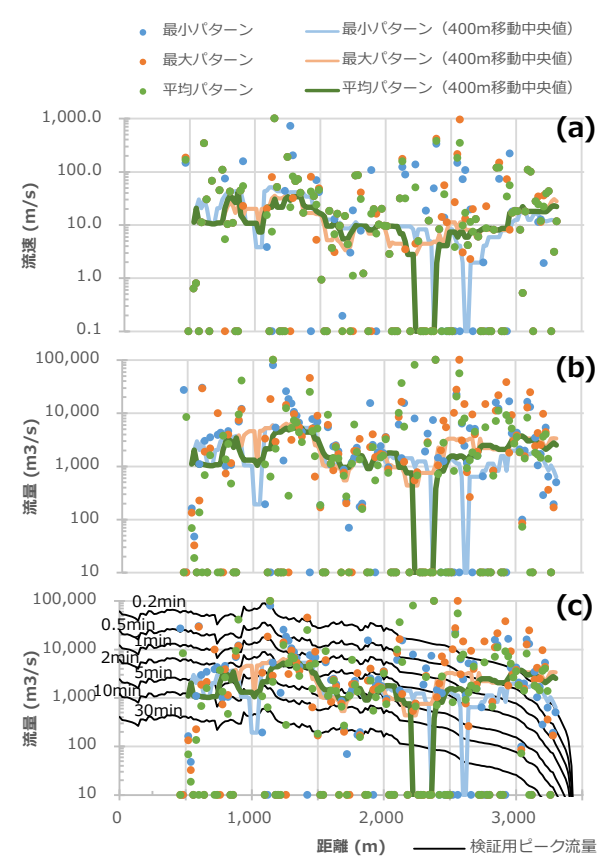


図-5. 流速の計算結果(a)、流量の計算結果(b)、および流量の検証結果(c)

【参考文献】

- 1) 平田ら, 2020, 砂防学会研究発表会概要集, R2-013
- 2) C. Scheidl et al., 2015, Canadian Geotechnical Journal, vol. 52, no. 3, pp. 305-317
- 3) A. B. Prochaska et al., 2008, Landslides 5, pp. 431-444
- 4) 梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会, 2014, 梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会報告書