

### 三次元LiDARによる土石流流量計測の試み

国立研究開発法人土木研究所 ○影山大輔<sup>※1</sup>, 池島剛<sup>※2</sup>, 清水武志, 伊藤誠記

※1:現 国土交通省北海道開発局建設部河川計画課 ※2:現 日本工営株式会社

#### 1. はじめに

土石流ピーク流量の正確な推定は、砂防堰堤の安定計算や水通し形状の設計に必要不可欠である。

土石流ピーク流量の推定方法には、土石流の観測事例から導かれた、土石流ピーク流量と土石流総流量の相関関係に基づく手法が採用されることが多い(水山・上原, 1984)。この推定手法で参照される観測事例は、日本国内では桜島や焼岳での土石流が大半を占めている。この原因の一つは、発生頻度の低い土石流観測に対する人的・金銭的コストの高さにあると考えられる。

近年、自動運転や産業用ロボットに用いられる三次元的に測距が可能なLiDAR(以下、「三次元LiDAR」という。)が安価に入手可能となった。三次元LiDARを用いれば、従来よりも、時間的・空間的に高分解能かつ人的・金銭的コストを低減した土石流流量観測が実施できる可能性がある。しかし、従来の三次元LiDARでの土石流流量観測は光学カメラ映像などを併用して行われており、人的・金銭的コストの低減の観点では課題が多い。このため、本研究では三次元LiDARのみでの土石流流量の計測を試み、初めて土石流流量を計測ができたため、その計測結果を報告する。

#### 2. 方法

##### 2.1 観測対象

桜島有村川は、鹿児島県鹿児島市桜島に位置する溪流である。有村川の上流域は桜島南岳の火口付近に位置し、桜島噴火による火砕物が堆積し、年数回程度の土石流が発生する。国土交通省大隅河川国道事務所(以下、「大隅河川国道事務所」という。)は有村川流域で砂防施設を整備しており、有村3号堰堤ではCCTVカメラ、超音波流速計、荷重計による土石流観測を実施している。

対象土石流は、2024年8月28日に発生した土石流とした。解析対象データは、CCTVカメラ映像から土石流ピーク流量に達したと考えられる時間帯の20時39分02秒から20時39分32秒の間とした。

##### 2.2 三次元LiDARの設置方法

三次元LiDARはLivox社製のAVIA(以下、「計測器」という。)を用いた。計測器は、視野角70.4度の範囲内で、1秒あたり240,000点を測距する。計測モードは、池島ら(2024)を参考に、雨滴によるノイズを防止するため、最も強い反射光のみ保存するモードとした。計測器を有村3号堰堤の右岸側の水通し部肩に俯角35度で設置した。計測データの局地座標系のX軸は流路を横断する方向、Y軸は土石流の流下方向となるよう調整した。計測器の制御には小型シングルボードコンピュータのRaspberry Piを用いた。計測器で常時計測

すると膨大なデータ量となり高頻度のデータ回収を要するため、3分毎に30秒だけ計測した。

##### 2.3 計測データの処理方法

土石流水深 $h_e$ は、土石流発生時と土石流発生前の、鉛直方向の座標値の各中央値の差分とした。解析領域は有村3号堰堤の水通し底面の下流端から上流方向に10 cmの範囲を、流路を横断する方向に幅10 cmで分割した範囲とした(図-1)。土石流発生前の座標値として、降雨開始前の2024年8月27日00時00分02秒の計測データを参照した。

土石流の表面流速 $v_s$ は、吉永ら(2017)が示した半理論式(1)を用いて求めた。

$$v_s = \frac{L}{\alpha} \sqrt{\frac{g}{2(H+h_e)}} \dots \dots \dots (1)$$

ここにLは土石流の水脈飛距離(m)、 $\alpha$ は係数、gは重力加速度(9.81 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)、Hは計測高(m)、 $h_e$ は落下直前の土石流の水深(m)である。土石流の水脈飛距離Lは水通し下流端と土石流水脈の、流下方向の座標値の各中央値の差分とした。解析領域は、水通し高からの計測高Hが中央で1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 mとなる幅10 cmの範囲を、流路を横断する方向に幅10 cmで分割した範囲とした(図-1)。係数 $\alpha$ は、吉永ら(2017)と同様に、Hong *et al.*, (2010)を参考に1.312とした。

土石流の平均流速 $v$ は、吉永ら(2017)と同様に、水山・上原(1984)を参考に、土石流の表面流速 $v_s$ に0.7を乗じて求めた。

土石流流量Qは、流路を横断する方向に10cmピッチで分割した解析領域ごとに土石流水深 $h_e$ に土石流の平均流速 $v$ を乗じた値を、合計した値とした。

土石流水深 $h_e$ 、水脈飛距離 $v$ 、流量Qの計測結果はCCTVカメラ映像と比較し定性的に評価した。

データ処理はPythonで行った。計測データの積算時間は1秒間とした。座標変換で、局地座標系を調整した。解析領域内に計測データが存在しない場合は欠測とし、内挿補完は行わなかった。

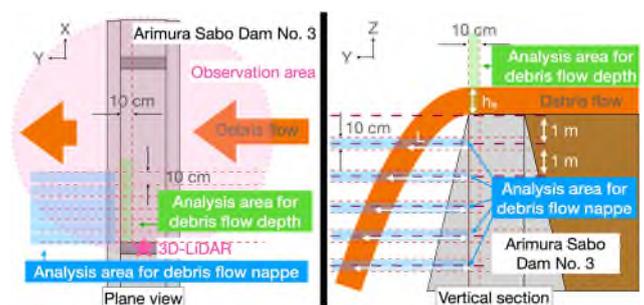


図-1 解析領域のイメージ図(水深・飛距離)

泉山寛明・石塚忠範 (2017) : レーザ測距儀を用いたナップ飛距離及び水深の計測方法の提案と流速推定への応用, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 1, p. 46-53

### 3. 結果と考察

土石流水深 $h_e$ の計測結果を, 図-2に示す。縦軸は土石流水深 (m), 横軸は水通し右岸側端部からの距離 (m) である。土石流は右岸側に偏流し, 土石流水深は, 右岸端部から5 m~6 mの範囲で最大となった。この結果は同時刻に記録されたCCTVカメラ画像 (図-3) と整合的である。

土石流の水脈飛距離 $L$ の計測結果を, 図-4に示す。縦軸が水脈飛距離 (m), 横軸は水通し右岸側端部からの距離 (m) である。シンボル色は計測高を示し, 赤色が1 m, 青色が2 m, 黄色が3 m, 緑色が4 m, 紫色が5 mのときの計測結果を示す。計測高2 m以上のケースでは, CCTVカメラ画像 (図-3) と比較すると, 一部の計測結果は水飛沫を計測したと考えられる。

土石流の表面流速 $v_s$ の推定結果を図-5に示す。縦軸が流速 (m/s), 横軸は水通し右岸側端部からの距離 (m) である。半理論式による流速の推定結果は水脈飛距離を正しく計測したと考えられる範囲では計測高 $H$ に関わらず, 近い値を示した。

土石流流量 $Q$ の推定結果を図-6に示す。縦軸が流量 ( $m^3/s$ ), 横軸は時間である。解析対象の30秒間での土石流ピーク流量 $Q_p$ は  $8.9 m^3/s$ であった。有村川の土石流ピーク流量については, 地頭菌ら (1997) が, 1991年~1996年発生の77事例では $1.9\sim 98.2 m^3/s$ の範囲であり,  $10 m^3/s$ 毎の度数分布では $0 m^3/s\sim 10 m^3/s$ の範囲の頻度が最大であったと報告している。本研究で推定した土石流ピーク流量  $8.9 m^3/s$ は上記の最頻範囲内である。対象土石流の規模はCCTVカメラ映像 (図-3) によれば小規模であり, 本稿の推定値には一定程度の妥当性があると考えられる。

今後はさらなる妥当性の検証のため, 本稿の推定値と他の計測機器での計測結果を比較する必要がある。

### 謝 辞

大隅河川国道事務所のみなさまには, 観測サイト及び観測データの提供でご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

### 引用文献

- 池島剛 (2024) : 桜島・有村川におけるLiDARを用いた土石流観測, 土木研究所資料, 令和5年度交流研究員報告書概要版, p. 83-86
- 地頭菌隆・下川悦郎・寺本行芳 (1997) : 桜島における土石流河川の流出特性, 鹿大演研報, Vol. 25, p. 9-20
- Hong, Y. M. Huang, H. S. and Wan, S. (2010) : Drop characteristics of free-falling nappe for aerated straight-drop spillway, Journal of Hydraulic Research, Vol. 48, No. 1, p. 125-129
- 水山高久・上原信司 (1984) : 土石流の水深と流速の観測結果の検討, 砂防学会誌, Vol. 37, No. 4, p. 23-26
- 吉永子規・清水武志・水谷佑・高橋佑弥・藤村直樹・

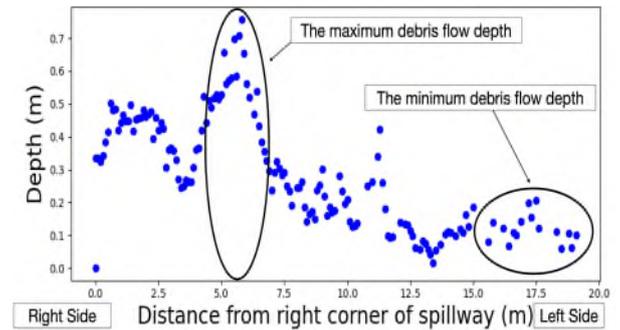


図-2 土石流水深 $h_e$ の計測結果

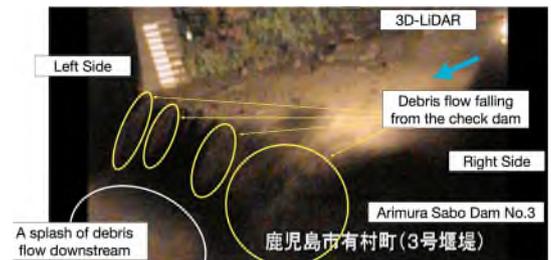


図-3 CCTVカメラ画像

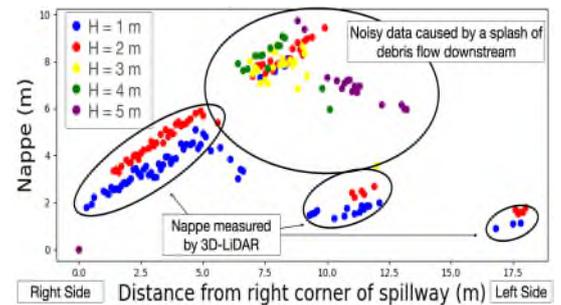


図-4 土石流の水脈飛距離 $L$ の計測結果

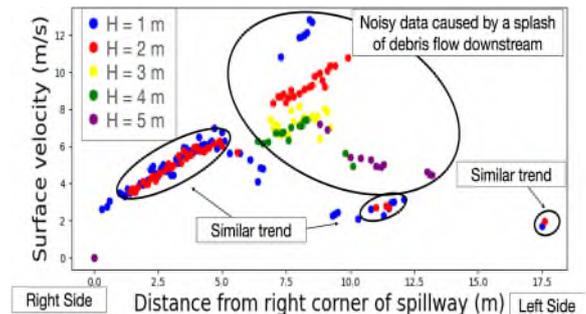


図-5 土石流の表面流速 $v_s$ の推定結果

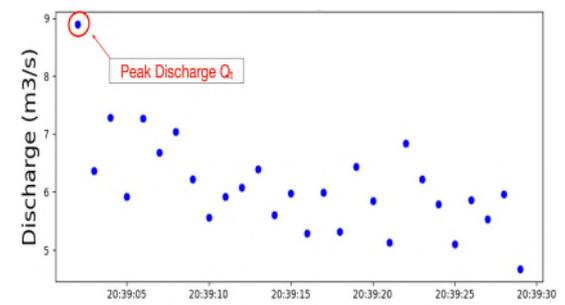


図-6 土石流流量 $Q$ の推定結果