

## 桜島有村川での観測で得られた土石流表面形状による土石流の水量評価

国立研究開発法人土木研究所 ○高橋 佑弥, 水野 秀明\*, 藤村 直樹  
八千代エンジニアリング株式会社 横尾公博, 池田誠, 小室知栄

\*: 現 九州大学大学院農学研究院

### 1. はじめに

土石流・流木対策施設の設計において、マンニングの粗度係数といった係数は過去の観測結果に基づいて値を設定している。これらの数値のうちマンニングの粗度係数は土石流の流速を推定するために重要な変数で、土石流に含まれる土砂の容積濃度や密度、粒径分布といった条件によって変わると考えられる。そこで、著者らは、土石流の粗度係数の時間変化並びにそれと土砂の容積濃度との関係を明らかにすることを目的として、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所の協力のもと有村川第3号砂防堰堤に測域センサーを設置して土石流の流下断面を横断方向と縦断方向で観測している。本稿ではこれまでの観測結果と土石流水理量の算出結果を報告する。

### 2. 土石流観測

#### 2.1 観測場所

本研究では南岳火口南縁を源頭部に持ち、桜島南東斜面を流域とする有村川に設置されている有村川3号砂防堰堤（以下、3号堰堤と称す）周辺で観測を実施している。有村川源頭部は大きな崩壊地となっており、その下流では露岩した溶岩の上を流下し3号堰堤に至る。3号堰堤は堤高10mの不透過型砂防堰堤で、集水面積は1.55 km<sup>2</sup>、堆砂敷の河床勾配は3.4度、源頭部までの平均勾配は29.1度となっている。有村川主流路は堆砂敷の上流部で大きく右岸方向に湾曲しており、3号堰堤水通しでは土石流が左岸に偏流して流下するのが大きな特徴である。河床材料の土質試験結果によると礫の密度は2.689 g/cm<sup>3</sup>、堆積土砂の容積土砂濃度は0.644であった。

#### 2.2 観測体制

土石流の縦・横断表面形状の観測のために北陽電気株式会社製の測域センサーUXM-30LX-EWを3号堰堤水通しの上空約9mに2基設置した（図-1）。これにより0.25度ピッチ20Hz間隔で土石流の表面形状を取得することが可能となる。測域センサーは表面形状しか取得できないため、出水時の流況を確認するためにインターバルカメラを3号堰堤水通し周辺に5台設置している。また、九州地方整備局大隅河川国道事務所により設置された土石流荷重計および超音波式速度計の観測データ、CCTVの映像から、土石流単位体積重量の算出や流況の確認を行った。

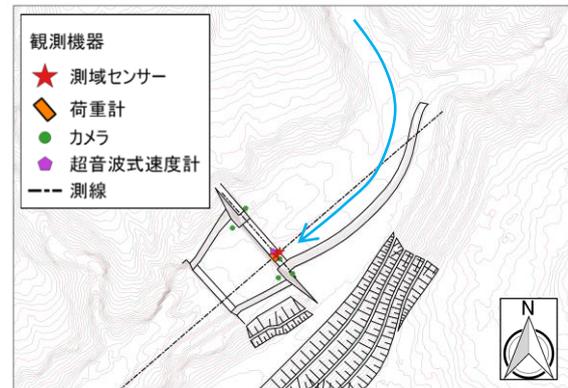


図-1 有村川3号堰堤周辺観測機器配置図

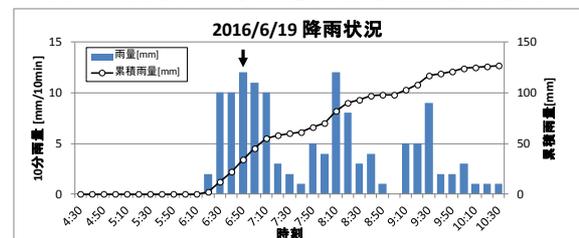


図-2 対象イベント時の降雨状況

### 3. 評価対象の土石流

有村川では2016年にワイヤーセンサーの切断される土石流（水深60cm以上）の発生が6回記録された。この内、土石流の縦・横断形状と荷重が比較的明瞭に記録された6月19日出水の評価対象とした。土石流発生時間は午前6時47分でワイヤーセンサーの1段目を切断した。土石流発生時の時間雨量は70 mm/h、累積雨量は160 mmだった（図-2）。

### 4. 土石流水理量の算出

#### 4.1 土石流流速の算出

土石流流速の算出には縦断測線の測域センサー観測データを用い、水通しから仮定の基準面までの流脈飛距離と落下時間を半理論式に代入して算出した<sup>1)</sup>。算出した半理論式による土石流流速を超音波式速度計で観測した流速とともに図-3 a)に示す。

#### 4.2 土石流濃度の算出

土石流の容積土砂濃度  $c_d$  は清水、礫、土石流の単位体積重量 ( $\gamma_p, \gamma_s, \gamma_d$ ) より次式で算出した<sup>2)</sup>：

$$c_d = (\gamma_d - \gamma_p) / (\gamma_s - \gamma_p)$$

ここに、土石流の単位体積重量  $\gamma_d$  は大隅河川国道事務所が土石流荷重計で観測した土石流底面垂直応力  $P$ 、荷重計の平面積  $A_{FP}$ 、横断測線の測域センサーにより観測した荷重計上を通過する土石流流下面積  $A$ 、荷重計の奥行き  $L$  を用いて次式により算出

した：

$$\gamma_d = PA_{FP}/AL$$

算出にあたっては土石流の鉛直方向の加速度は無視できるほど小さいとし、土石流水深が比較的小さい時には荷重計上に土砂の堆積が起こり観測値に影響すると考えられるため、算出対象時間はピーク周辺の時間帯のみとした。算出した土石流の容積濃度時刻歴を図-3 b)に示す。

## 5. 土石流水理量の評価

### 5.1 マニング式との比較

観測によって得られた土石流水深と土石流流速についてマニング式

$$U = R^{3/2}(\sin \theta)^{1/2}/n$$

と比較を行った(図-4)。径深  $R$  は荷重計上の土石流水深、河床勾配  $\theta$  はレーザー測量より読み取った3号堰堤堆砂勾配( $3.4^\circ$ )とした。観測によって得られた散布図は出水初期では粗度係数( $n$ )は0.03の理論曲線に乗っていたが、水深が増えるに連れ、0.1を超える高い粗度係数へシフトし、後続流では再び低い粗度係数へ戻るような分布となっている。

### 5.2 高橋の土石流流速式との比較

次に理論式である高橋の土石流濃度式

$$U = \frac{2}{5d} \sqrt{\frac{g \sin \theta}{a_1 \sin \alpha} \left[ c_d + (1 - c_d) \frac{\rho}{\sigma} \right] \left[ \left( \frac{c_*}{c_d} \right)^{1/3} - 1 \right]} h^{3/2}$$

と比較を行った(図-5)。堆積土砂の容積土砂濃度  $c_*$ 、礫密度  $\sigma$  は現地材の土質試験結果(0.64, 2.69  $t/m^3$ )、 $a_1 \sin \alpha$  は一般値(0.02)を用いた。代表粒径  $d$  についてはデータが得られていないため想定値(3 cm)とした。得られた散布図はピーク周辺に低い土砂濃度が分布しており、理論式の傾向は明確には現れなかった。

## 5. おわりに

土石流の粗度係数の時間変化並びにそれと土砂の容積濃度との関係を明らかにすることを目的として、有村川において土石流の流下断面を縦・横断方向で観測し、その結果から土石流の濃度及びマニングの粗度係数の時間変化を推定した。マニングの粗度係数は土石流の先頭部では徐々に大きくなり、後続流部では徐々に小さくなっており水山らの報告<sup>3)</sup>と整合する傾向となった。一方で、土石流の土砂容積濃度の時間変化は先頭部に  $c_d = 0.1 \sim 0.2$  程度の低い値が現れ、後続部では比較的高く  $c_d = 0.2 \sim 0.4$  程度であった。このような傾向を示した原因を今後明らかにしていきたいと考えている。

## 謝辞

本研究の実施にあたり九州地方整備局大隅河川国道事務所より観測のご支援と貴重なデータを提供いただきました。ここに感謝申し上げます。

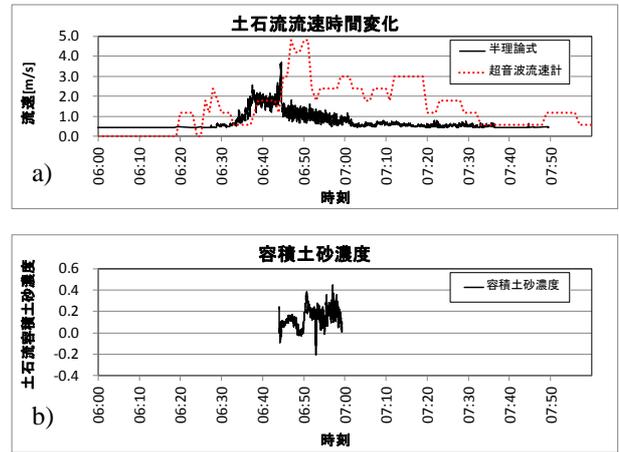


図-3 土石流水理量の算出結果

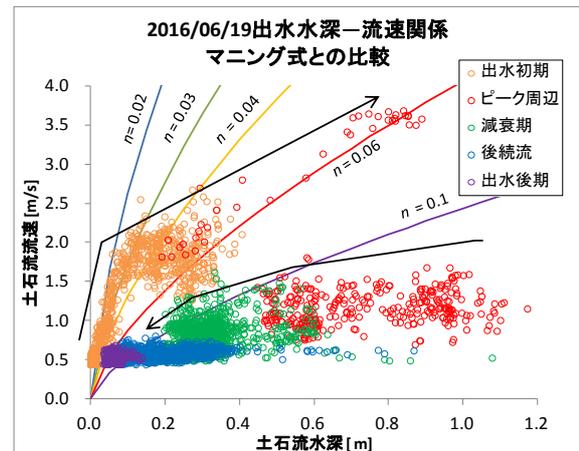


図-4 観測値とマニング式(実線)の比較

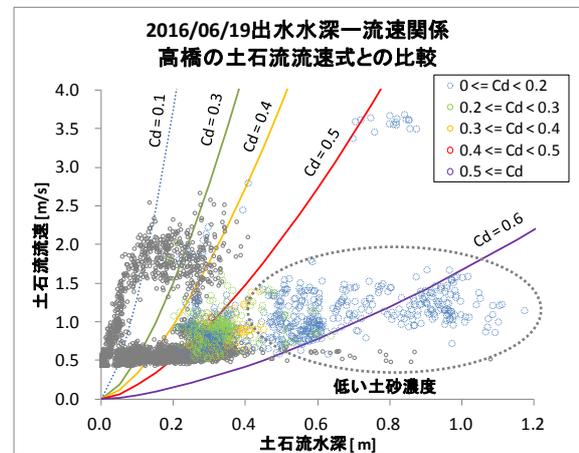


図-5 観測値と高橋式(実線)の比較

## 参考文献

- 1) Y. Takahashi, et al. (2016), A New Technique for Measuring Surface Profiles of Debris Flows Occurring after Volcanic Eruptions, Proc. of CoV-9
- 2) 吉永ら (2014): 桜島有村川において2013年9月1・2日に発生した土石流の単位体積重量計測, 砂防学会要旨
- 3) 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 (新砂防), Vol. 37, No. 4, pp. 23-26