

桜島における土石流間隙流体土砂濃度の観測

京都大学 ○宮田秀介, (株)ハイドロテック 野中理伸, 京都大学 藤田正治
国土交通省 大隅河川国道事務所 久保世紀, 安藤詳平

1. はじめに

土石流は土砂と水が混合して流下する現象であり、大きな被害をもたらす可能性がある。現象解明のために、世界各地で観測が行われている (Hürlimann et al., 2019)。土石流は非常に激しい現象のため、映像や非接触型による表層部の計測が大部分であり、土石流の内部に関しては情報が乏しいのが現状である。

間隙流体に含まれる細粒土砂は液相のようにふるまうだけでなく、流体密度の上昇により土石流の流動性を高めることが指摘されている (Hotta et al., 2013)。ただし、実スケールにおいてこのような解析に供することのできる間隙流体密度の実測値はほとんどない。

本研究では桜島の有村川に比誘電率計測により土石流の間隙流体の濃度を直接的に観測するシステムを構築し、荷重計による土石流全体の濃度計測 (大坂ら, 2013) との比較を試みた。

2. 方法

2.1 観測地概要

観測は鹿児島県の桜島南部に位置する有村川流域において行った。有村川流域は桜島の南岳の南東斜面にあたり、南岳山頂火口 (2006~2017年) および昭和火口 (2018年以降) での活発な活動により火山灰などの噴出物が上流部に継続的に供給されている。流路の平均河床勾配は 1/4.2, 流域面積は 4.22 km² である (大坂ら, 2013)。土石流は年間を通じて発生しており、桜島では野尻川について土石流発生頻度が高い。

2.2 観測方法

有村川 3 号砂防堰堤の約 40 m 上流の左岸側に採水窓を有する観測用ボックスカルバートを設置し、土石流の間隙流体のみを導流し計測した (図-1)。ボックスカルバートのサイズは幅 1.0 m, 高さ 1.5 m, 奥行 2.0 m の鉄筋コンクリート製である。側面の中央に 0.8×0.8 m の採水窓が設けられており、土石流の粗粒土砂が流入しないよう、採水窓は外側に側溝用グレーチング材 (格子間隔: 短辺 3.3 cm) を固定した (図-1)。左岸側護岸にコンクリート基礎を用意し、ボックスカルバートは基礎に固定し、護岸とカルバ

ートの隙間もコンクリートで埋めた。カルバート上流側もコンクリートで整形し、護岸と接続が滑らかになるように処理した。周辺の河床の勾配が約 7.5° であるのに対し、ボックスカルバートの勾配は約 5° であった。

ボックスカルバート内に TDR センサー (Campbell Scientific 製, CS650) を高さ 10, 30, 50, 70 cm に設置し、比誘電率 (計測精度 ±1.4) および温度 (精度 ±0.1°C) を 5 秒間隔で計測した。TDR センサーは壁面から下流側に 45° の方向に固定し、受感部であるプローブの周辺約 10 cm に壁面や底面、他のセンサーの影響を受けずに流体の比誘電率のみを計測できるようにした。TDR センサーで計測した比誘電率から間隙流体濃度 C_{mud} への変換は宮田ら (2021) に詳しい。

土石流全体の土砂濃度 C_{df} の計測は有村川 3 号砂防堰堤の水通し部 (幅 20.5 m) に設置された土石流荷重計にて行った。土石流荷重計は水通し部に設置された流下方向 2 m, 幅 4 m, 厚さ 32 mm の鋼板の 4 隅にロードセルがとりつけられたものであり、荷重を 100 kHz で計測し、1 分ごとの平均値を採用した。土石流の流深は測域センサーもしくは超音波水位計で計測されるが、これらの測器が正常に計測できないときには土石流監視カメラの画像から流深を推定した。

土石流に含まれる細粒土砂および粗礫の濃度 (C_F および C_C) はそれぞれ以下の式で求めた。

$$C_F = (1 - C_C)C_{mud}$$

$$C_C = C_{df} - C_F$$

3. 結果と考察

間隙流体濃度の観測を開始した 2021 年 3 月から 6 月初旬は土石流が繰り返し発生した。その後、観測用ボックスカルバート周辺河床が数十 cm 低下してカルバートに流体が取り込まれにくくなったため、2022 年 7 月までは間隙流体の土砂濃度は計測されなかった。ここではボックスカルバートの TDR センサーおよび堰堤の土石流荷重計の両方で計測することができた 2021 年 5 月 15 日の出水の観測結果を図-2 に示す。XRAIN による総降雨量、最大 10 分間降雨

はそれぞれ 65.3mm, 14.3 mm (13:50) であった。

土石流の流深は 13:55 に最大の 1.0 m となり, 単位面積当たり荷重は 2.53 t/m² となった。大坂ら (2013) の用いた土砂の密度を用いると, このとき C_{df} = 52.1% であった (図-3)。土石流全体の土砂濃度 C_{df} は, 一部の負の値 (密度が 1 以下) を除くと 3.0~63.7% であり, その変動は土石流の流量と概ね一致した。

ボックスカルバートで計測された間隙流体土砂濃度 C_{mud} は, 高さ 10, 30 cm のセンサーで約 60% の値が継続した (図-2)。これはボックスカルバート内で土砂が堆積し, センサーが埋没したためと考えられる。これらのデータを除いた間隙流体土砂濃度 C_{mud} は 16.7~52.0% であった (図-3)。

ボックスカルバートでの TDR センサーおよび土石流荷重計の観測結果から求めた細粒土砂および粗礫の濃度はそれぞれ, 14.5~39.0, 0~41.8 % であった (図-3)。ここでの細粒土砂と粗礫は流動形態によって分類されたものであり, 境界となる粒径を明確に定められるものではない。観測データを蓄積し, 数値シミュレーションによる解析と組み合わせることで土石流の流動過程の理解が進むと考えられる。

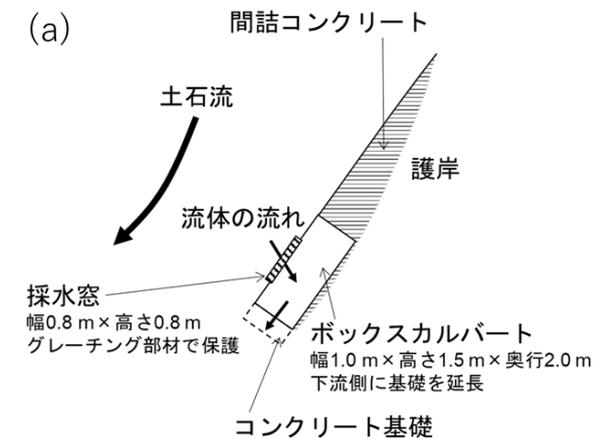


図-1 観測用ボックスカルバートの (a) 設置図および (b) 概観

引用文献

Hotta, N., Kaneko, T., Iwata, T., Nishimoto, H. (2013): Journal of Mountain Science, 10(2), 233-238.

Hürlimann, M., Coviello, V., Bel, C., Guo, X., Berti, M., Graf, C., Hübl, J., Miyata S., Smith, J.B., Yin, H-Yuan (2019): Earth-Science Reviews, 199, Article 102981.

大坂剛・高橋英一・國友優・山越隆雄・能和幸範・木佐洋志・石塚忠範・宇都宮玲・横山康二・水山高久 (2013) : 砂防学会誌, 65(6), 46-50

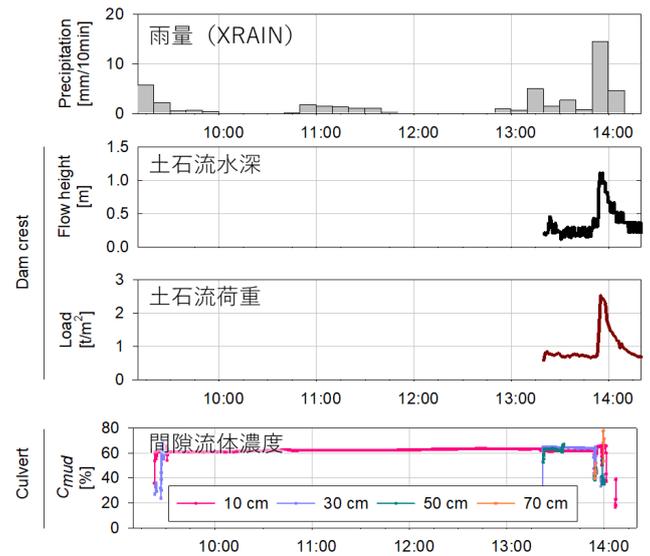


図-2 2021年5月15日の土石流観測結果

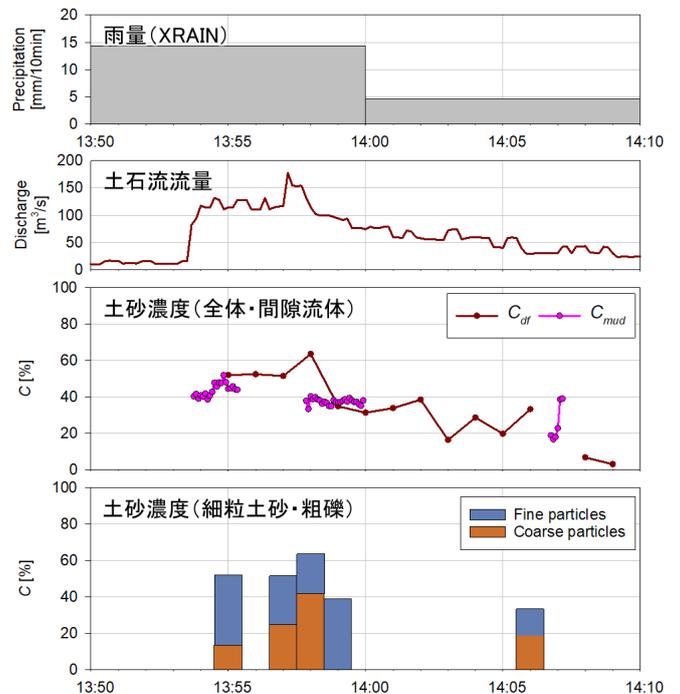


図-3 2021年5月15日土石流の全体, 間隙流体, 細粒土砂, 粗礫の土砂濃度