

桜島・有村川における UAV 地形計測と測域センサを用いた土砂移動実態

(国研) 土木研究所：○池島剛※¹，清水武志，影山大輔※²，伊藤誠記

※¹：現 日本工営株式会社，※²：現 北海道開発局建設部河川計画課

1. はじめに

活発な火山噴火活動を続ける桜島の有村川は、南岳の南東側斜面の溪流で、流域の多くが南岳及び昭和火口から噴出した火山灰等に被覆され、常時流水は無い。降雨に伴い土石流が発生することから、国土交通省大隅河川国道事務所と九州技術事務所、(国研)土木研究所は協働して土石流観測を実施している(例えば大坂ら，2013；池島ら，2025)。本稿では、三者による地形変化及び土石流の観測結果を示し、観測から推定される土石流ハイドログラフを土木研究所で開発した DFSS(山崎ら，2022)で説明できるか試行した結果を示した。

2. 対象土石流と観測箇所の概況

観測データがある程度揃っている 2022 年 8 月 25 日に発生した土石流を対象とした。観測箇所の有村川 3 号砂防堰堤は、堤高 10 m で満砂しており、河床勾配は現況で 1/28.6 である。観測機器は同堰堤の水通し部の左岸側に設置している(図 1)。

3. 方法

3.1 観測による流域内移動土砂量と流出土砂量

1 回の土石流発生前後の流域内の土砂変動量を測るために九州技術事務所は「令和 4 年度 危険区域における土砂生産域調査手法等検討業務」にて UAV-SfM 地形測量を実施しており、本稿では 2022 年 8 月 9 日と 2022 年 9 月 8 日のデータを用いる。測量時には通常の UAV 撮影方法(以下、簡易測量という。)に加え、専用アンテナにより撮影後に高い位置精度に補正する PPK 測量による撮影が実施されている(家田ら，2023)。上の 2 つの撮影方法による位置精度の違いは 2022 年 2 月に計測された航空 LiDAR 測量データ(以下、LP データ)と比較して確認する。2 つの撮影方法によるデータの歪みは Cloud Compare の ICP 機能で補正する。また、UAV 計測の尾根部等の空白データは LP データで補間する。2 時期の差分量から流域内の移動土砂量を推定する。

流下土砂量は有村川第 3 号堰堤における超音波流速計による流速及び測域センサによる流下断面面積の積として算出する。測域センサは北陽電機(株)製の UXM-30LAH-EWA である。超音波流速計のデータは、大隅河川事務所が実施した「R4 桜島土石流流出解析検討業務」における 1 分間隔の計測データを利用する。測域センサによる流下断面面積の計測結果は、1 秒平均で整理する(今森ら，2024)。

流域内の移動土砂量とその谷出口にあたる有村川第 3 号砂防堰における流出土砂量を比較する。

3.2 数値計算による推定

DFSS は、降雨-流出解析と土石流一次元河床変動計算及び二次元氾濫解析を組合せたプログラムであり、各々の計算を個別に実施し連動させることができる(図 2)。本稿は降雨-流出解析と土石流一次元

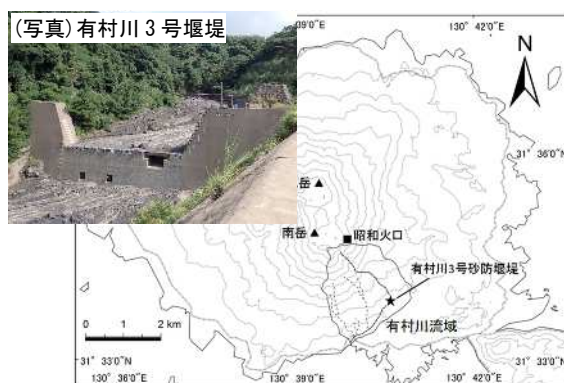


図1 桜島・有村川流域の位置と流域諸元

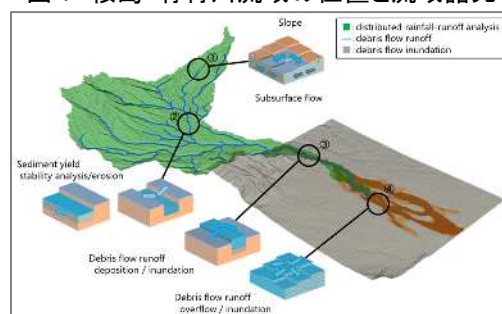


図2 DFSS のモデル概念図³⁾



図3 UAV-SfM 地形差分の結果⁵⁾

河床変動計算を組合せる。DFSS で用いた地形データは、2022 年 8 月 9 日の UAV 計測結果を用い、雨量データは上述の大隅河川国道事務所の業務で整理された有村川 3 号堰堤上流域の XRAIN データ(10 分雨量)である。代表粒径は大隅河川事務所が実施した河床材料調査結果(D₅₀)の 5 mmを用いる。DFSS の土石流一次元河床変動計算の河道は、上の地形データ用いて WhiteboxTools による D8 で作成する。

4. 結果

4.1 有村川 3 号堰堤での流出土砂量

UAV 撮影の画像から作成した地形データは、図 2 に示す 2 種類の UAV 撮影方法の結果を合成する必要

がある。PPK 測量の結果は LP データとほぼ同じであったが、簡易測量の結果は、PKK 測量や LP 測量と比較して標高が 30 m～50 m 程度低い結果であり、ICP 機能により LP 測量に合わせるように補正した。2 時期の UAV-SfM を差分した結果を図 3 に示す。図 4 に、測域センサで計測した流下断面積と超音波流速計の計測結果を示す。最大値は、流下断面積で 13.7 m²(水深 0.56 m)、流速は 7 m/s だった。図 5 に、作成したハイドログラフと XRAIN のハイレートグラフを示す。最大流量は 61 m³/s、最大雨量は 13.7 mm/10 分だった。総流量は 42,000 m³で、土砂濃度を 0.47～0.25 とした場合の流出土砂量は 10,000～15,000 m³であり、UAV-SfM の差分結果と調和的である。なお、土砂濃度は大隅河川国道事務所計測している荷重計データの最小値と中央値を使用した。

4.2 DFSS の計算結果

4.1 にて補正後の地形データで生成した河道網を図 6 に示す。DFSS の計算条件を表 1 に示す。代表粒径と砂礫密度は計測値であり、その他は推定値である。降雨データは XRAIN(10 分雨量)を使用した。

計算結果を図 7 に示す。1 波目のピーク流量は観測結果の半分程度であったが、2 波目と 3 波目は同程度であった。また、ピーク流量の出現タイミングは約 15 分遅れ、流量の低減も緩やかであった。

5. 考察

測域センサと超音波流速計を用いた流出土砂量の推定は UAV-SfM の地形差分量と調和的であり、測域センサの有効性を確認できた。また、DFSS による数値計算については、想定される UAV 測量による地形データを調整する必要性が確認された。

ハイドログラフのピーク位置や大きさについては、山崎ら(2022)では同じ流域を 1 つの主流路として計算することで計測結果と一致した結果を示しており、河道網の密度の影響が示唆される。また、ピーク流量の遅れについては、降雨-浸透過程における鉛直浸透モデルの不具合や、河道に流入する水を地下水として与えて河床堆積層の安定解析を行っていること等が影響している可能性があり、今後の改良の方向性として考えられる。

7. おわりに

測域センサによる土石流計測事例から機器の有用性を示し、DFSS の検証データとして活用を試みた。今後は、DFSS のモデル精度の向上を図り、他の出水での検証を進める。なお、有村川 3 号堰堤の改築に伴い、観測箇所を野尻川 1 号及び 7 号堰堤に移設した。また、測域センサは 2024 年に故障し、三次元 LiDAR による計測に移行して近赤外線での観測は継続中である。最後に、大隅河川国道事務所および九州技術事務所には各種観測データをご提供いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

■参考文献

- 1) 家田泰弘ら(2023)：桜島有村川における 1 回の土石流による地形変化，砂防学会誌，Vol. 75，No. 5，p. 15-21

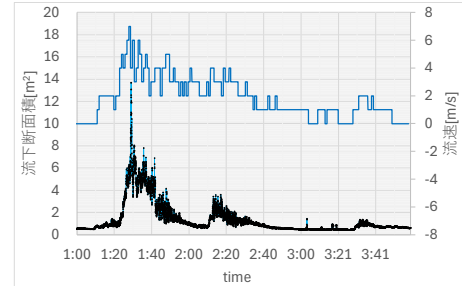


図4 測域センサ(流下断面積)と超音波流速計(流速)の計測結果(2022/8/25)

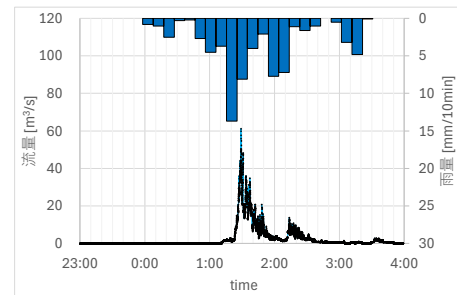


図5 ハイレートグラフとハイドログラフ

表1 DFSS の主な計算条件

メッシュ間隔	10m × 10m	初期地下水位	0 m
土層厚	0.5 m	含水比	0.2
降灰厚	0.1 m	代表粒径	5mm
透水係数	1.0×10^{-3} cm/s	砂礫密度	2.699 g/cm ³



図6 DFSS で使用した流路網

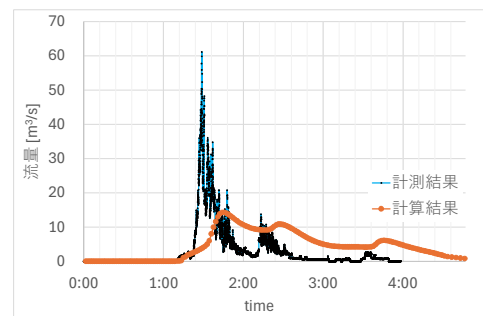


図7 現地計測結果のハイドログラフと DFSS 計算結果

- 2) 池島剛ら(2024)：有村川における測域センサを用いた土石流観測について，令和 6 年度砂防学会研究発表会概要集，p. 781-782
- 3) 今森直紀ら(2024)：二次元レーザースキャナによる土石流の流量観測手法，土木研究所資料，第 4445 号
- 4) 山崎祐介ら(2022)：降雨流出解析と連動した土石流の流出・氾濫解析法，土木研究所資料，第 4419 号
- 5) 大阪剛ら(2013)：桜島における土石流荷重計による単位体積重量測定，砂防学会誌，Vol. 65，No. 6，p. 46-50