

火山地域における GPS センサー・SfM 解析等を活用した土石流調査手法の開発

(株) 建設技術研究所 ○ 轉秀明、家田泰弘、清水万莉子、近藤圭悟、藤井朗汰、大坪隆三
国土交通省 九州地方整備局 九州防災・火山技術センター 矢野敦久、井上遙

1. はじめに

土石流等の発生検知のためにワイヤーセンサーや振動計などが設置されるが、電源や通信機器が必要であり、流出物によって破損した場合は観測ができなくなる。これまで、UAV で運搬設置する技術は開発、検証されてきたが、UAV で回収まで行う技術は見当たらなかった。今回は、GPS センサーの動作評価に加えて、UAV での運搬設置、回収を行う手法の検証を行った。また、降灰後の土石流流出状況を把握する手法として、UAV 空撮による画像データによる SfM 解析から DSM 及びオルソ画像を作成し、地形データの差分解析による地形変化の把握を行った。

2. GPS センサーを用いた土砂移動検知ユニット

2.1 GPS センサーの概要

検証では、UAV での運搬設置を想定して開発された、以下の特徴を持つユニットを選定した。今回は、これに UAV で回収するための機構工夫を施した。

- GPS センサー、LoRa 通信機はバッテリー稼働
- 小型ケースに格納して UAV で運搬、設置
- GPS センサーの位置はクラウドで監視
- 流出土砂でケースが流下することで土砂移動を検知



図 1 土砂移動検知イメージ (左)、試験に使用した機材 (右)

2.2 実施試験

野尻川(鹿児島市野尻町)に、令和 7 年 11 月 6 日から 12 月 19 日までの 44 日間ユニットを設置し、ユニット位置の監視を続けた。データを受信する基地局は、大隅河川国道事務所桜島砂防出張所の屋上を借用して設置した。

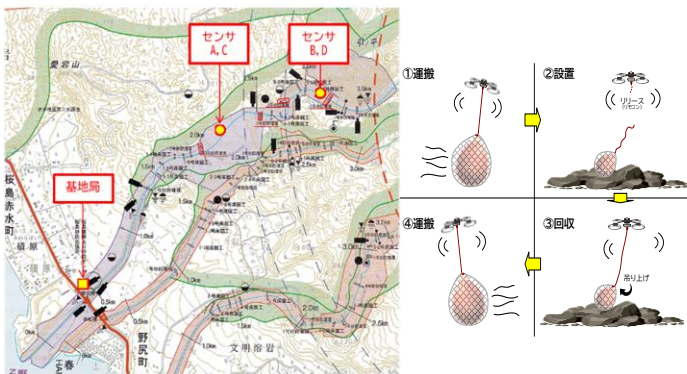


図 2 ユニットの運搬設置、回収のイメージ

2.3 試験結果

2.3.1 運搬設置、回収

UAV によるセンサーの運搬設置と回収はそれぞれ 6 回ずつ行い、いずれもトラブルなく円滑な作業ができた。設置に要した時間は UAV 離陸から帰還までは 3 分程度、回収時は 6 分程度であった。



図 3 UAV での運搬設置、回収状況

2.3.2 ユニット位置の監視

試験期間中に 10mm 以上の降雨は 4 回あったが、ユニットが移動するほどの出水ではなかったため、移動の検知はなかった。試験最終日に、作業員がユニットを下流側に移動させた際は移動を検知、記録していることが確認できた。データの取得間隔は 1 分間で設定した。



図 4 クラウド上でのユニット位置の監視

2.3.3 データ検証

試験では 4 台のユニットを設置したが、有効データ率に差が生じた。設置場所(上流、下流)、時期、ケース塗装の有無の違いがあるが、これらの違いによる特異な点は確認できなかった。GPS センサーの製造メーカーに照会したところ、ケース内に格納している LoRa アンテナの向きが原因のひとつとして考えられるとの回答を得たところである。ユニットに使用したバッテリーは 12V10Ah と 45Ah の 2 種類であり、45Ah では 22 日間連続稼働した。30 日間の連続稼働には 60Ah 以上が必要となる。

3. UAV 及び地上撮影画像を用いた土石流発生状況調査

3.1 SfM 解析による土石流発生前後の地形変化把握

3.1.1 UAV 空撮による地形データ取得

火山噴火時の降灰後に繰り返し発生する土石流流出状況を把握する手法として、従来の LP 計測に加えて、低コストで高頻度の調査が可能な UAV 空撮による土石流発生前後の地形計測を 2021 年 1 月～2024 年 9 月にかけて実施してきた。取得画像による SfM 解析から DSM 及びオルソ画像を作成し、各期間の地形データの差分解析を行い出水前後の地形変化を把握した。特に 2021 年に顕著な崩壊が発生した昭和火口火砕丘脚部に位置する地点 6 では、断続的に溪岸崩壊が発生し、一時的に土砂が閉塞、一定レベルに達すると流出する動きを繰り返しており、火砕丘からの土砂流出を調節している可能性があることが分かった。

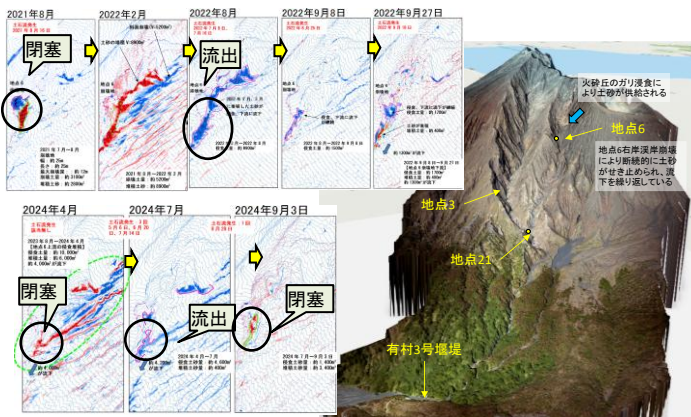


図 5 地点 6 の土砂移動の変遷

3.1.2 地上カメラ撮影による地形データ取得

これまでの UAV 空撮による計測に加え、緩勾配箇所や流路蛇行部、ガリーなど、UAV 地形変化データ分析により把握した土砂が堆積・流出しやすい箇所について、簡易に高頻度なデータを取得するため方法として、「地上カメラ撮影による SfM 解析」を検討した。これまでに差分解析等の分析から部分的に一定程度の精度を持つことが確認された。本年度は、新たに地形データ取得時の撮影方法についての検討を行った。部分的に観測頻度を補完する安価で簡易な手法としての有用性を確認できた。

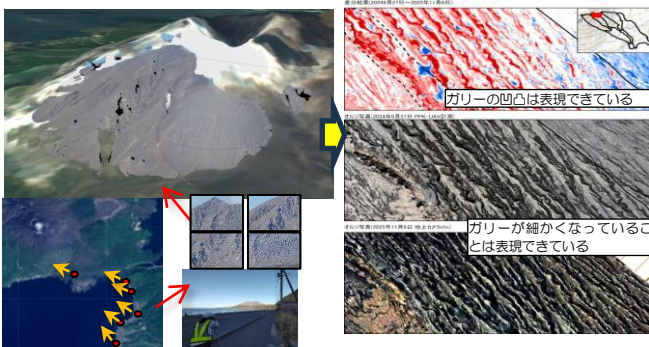


図 6 地上カメラ撮影による地形データ作成状況

3.2 地形変化に応じて発生する土石流の特性分析

これまでのデータから把握した土石流発生前後の地形変化より、土砂動態の経年的な変化を確認し、有村川流域における土石流の流出特性を分析した。3 号堰堤に至る土

石流の発生源は、①中～下流の堆積土砂の侵食による流下、②上流域の崩壊土砂の流下の 2 つに分類される。

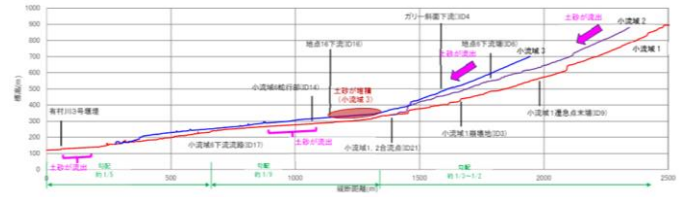


図 7 縦断形状例①下流流路から土砂が流出 (2024.4~7)

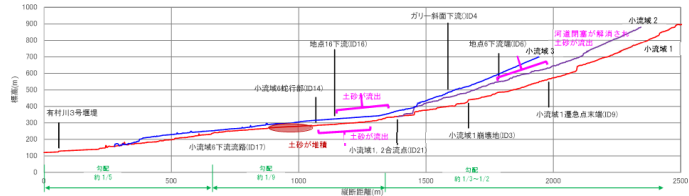


図 8 縦断形状例②上流域から土砂が流出 (2022.3~8)

土石流発生時の降雨や水位データと比較し、傾向を分析した。①は全体的に 10 分雨量に対する水位が低い傾向、②は 10 分雨量に対する水位が高い傾向が見られた。②のような、源頭部において大規模な土砂移動が発生し、下流に一気に到達するような場合には、比較的規模の大きな土石流が発生するということが確認された。

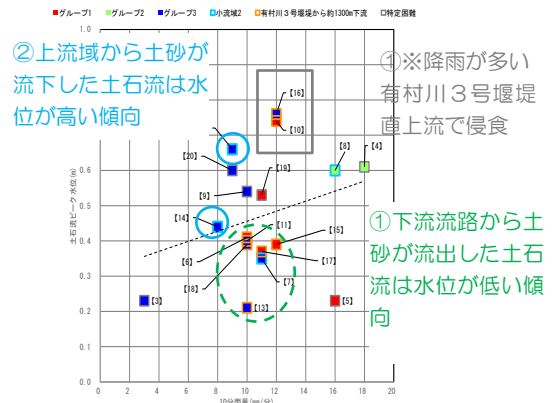


図 9 土石流の発生源別に水位・雨量の関係

4. まとめ

これまでの研究でも UAV による機器の運搬設置は確認されているが、今回の試験によって回収が実現できたことは大きな成果であり、立入規制区域内に緊急的にセンサーを設置する必要がある場面での活用が期待される。GPS ユニットの土砂移動のみならず、通常の土石流後の応急対策や河道閉塞対応、動態検知などへの適用も可能と考える。

地形データ取得方法については、地上カメラによる簡便な手法も活用できることが確認された。これにより、地形データの取得がより安全、低コスト、高頻度に可能となる。土石流発生前後の地形変化を高頻度に分析し、降灰後土石流シミュレーション時の条件設定等に適用することで、より実態に合った高精度な警戒避難体制の構築が可能となる。

<参考文献>

家田泰弘・河野元・酒匂俊輔・黒木隆・内藤博, 「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, 2023 年 1 月

清水万莉子, 家田泰弘, 他「火山地域における UAV・IoT センサー・SfM 技術等を活用した危険区域調査手法の開発」, 令和 7 年度砂防学会研究発表会概要集 P-016