

火山地域における UAV を活用した危険区域調査手法の開発

株式会社建設技術研究所 家田泰弘、戸舘光、○河野元、伊藤巧
国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 酒匂俊輔、黒木隆、内藤博

1. はじめに

筆者らは UAV と SfM 解析によって、低コストで高い精度を有する地形データを作成できる PPK システムや GIS による位置情報補正等を活用した土石流発生域の空撮・差分解析手法を開発した(家田ほか, 2021)。

2020 年から土石流 1 波の発生直前・直後の地形計測を試みてきたが、2021 年に桜島有村川で 8 月 16 日に発生した 1 波の土石流でその撮影に成功した。撮影された結果をみると、崩壊土砂が河道に堆積する様子や、崩土が再侵食される様子を地形データとして取得し可視化できた。地形過程は詳細に分類・整理されているが(例えば、鈴木, 2000)、定量的に議論するためのデータを取得できたことに本報告の意義がある。今回の PPK 空撮では上流域全域を撮影できなかったため、谷出口である有村川第 3 号砂防堰堤における土石流の通過土砂量とその上流域の土砂移動量を比較することは将来の課題である。

以上のように、本稿は UAV 及び PPK 空撮による土石流 1 波の地形変化の把握手法を主とし、UAV を活用した危険区域の調査手法について検討したものである。

2. 調査対象と方法

2021 年 8 月 16 日に土石流が発生した(大隅河川国道事務所のワイヤーセンサの記録)。その日を挟んだ短い期間である 7 月 27 日および 8 月 27 日に UAV による高精度の PPK 空撮に成功した。

ここでは、土石流の発生状況と降灰状況、PPK 撮影についての撮影条件について述べる。

(1) 土石流発生と雨量状況

対象流域は桜島有村川とし、有村川第 3 号堰堤より上流域を UAV による空撮対象とした。

有村川における 2021 年の土石流発生状況は、国土交通省大隅河川国道事務所の公表データによると、3 月 20 日、3 月 28 日、5 月 5 日、5 月 15 日、6 月 4 日、8 月 16 日の 6 回である。撮影対象となった 8 月 16 日の土石流の発生前後のハイトグラフを図 1 に示す。大隅河川国道事務所公表データでは、土石流発生雨量として 20 分雨量 12 mm/20min、時間雨量 34 mm/hr、連続雨量 49 mm/hr を記録しており、8 月 16 日 13 時頃に土石流が発生していると考えられる。

(2) 降灰状況

2021 年 1 月から 5 月までは数十回程度の噴火が確認されたが、6 月以降は噴火がほとんどない時期であった。8 月 16 日の土石流(以下、土石流は特に指定しない限りこの土石流を指す)の発生時期は噴火回数が少なく降下火砕物が流域に堆積することなく侵食傾向にあった時期と考えられる。後述する地形データへの降下火砕物による地形変化の影響はないと考えてよい。

(3) 撮影条件

有村川第 3 号堰堤の上流域を手塚ほか(2021)に従って 8 つの小流域に区分した(図 2)。侵食過程が著しい小流域 2、6 を主要撮影対象として対地高度 200 ~

300m の範囲で PPK 空撮の計画を立てた。

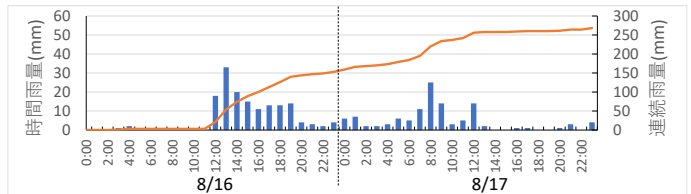


図 1 土石流発生前後の 2021 年 8 月 16 日から 8 月 17 日のハイトグラフ(国土交通省有村観測所)

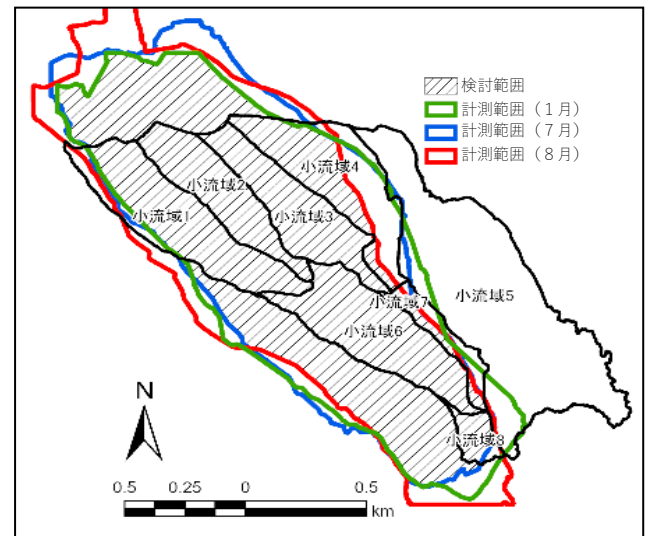


図 2 小流域区分と撮影範囲

3. 結果

小流域 2 における地点 4 (南岳南麓の火砕丘) および、地点 6 (侵食が著しい箇所) を詳細にみる。

地点 4 における差分画像を図 3 で示す。地点 4 は放射状に発達しているガリーに 7 月の段階で火砕物が堆積している様子が見取れ、8 月の段階でガリー底部が部分的に侵食されている様子がオルソ画像から確認された。また、差分画像からは、侵食深が 2~5m 程度であることがわかる。1 波の土石流前後で、侵食が認められ、堆積域が近傍にないことから下流に移動したものと考えられる。

地点 6 における差分画像と陰影図を図 4 に示す。差分画像をみると、斜面で侵食が、その直下で多少の流動を見せるものの、堆積していることが分かる。差分結果から崩壊量 3,100 m³ で堆積量 2,800 m³ と算出された。この崩壊・堆積部分を、地形データから生成した陰影図を背景に詳細にみる。第 1 回・2 回空撮による地形データおよび差分画像から判定された侵食域と堆積域を示し、ここで、第 1 回空撮の 7 月画像には 2021 年 1 月の PPK 空撮画像と比較して判定された侵食域も示した。8 月空撮の画像から、1 月から 7 月までの間に崩壊が発生した斜面を覆うような領域で崩壊が生じたことがわかる。崩壊の直下に堆積域が存在した。

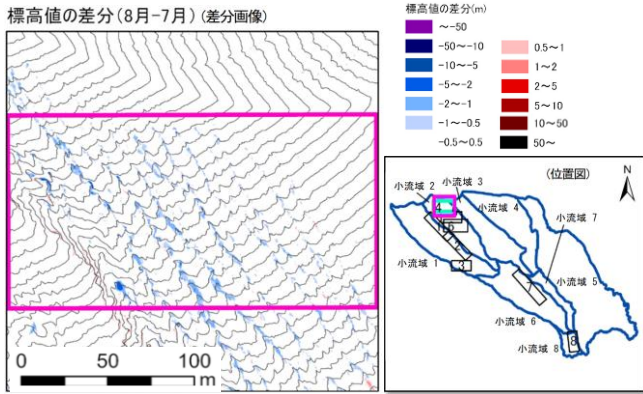
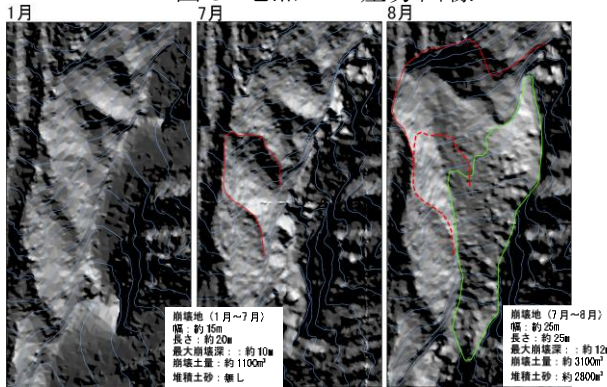


図3 地点4の差分画像



標高値の差分(8月-7月)(差分画像)

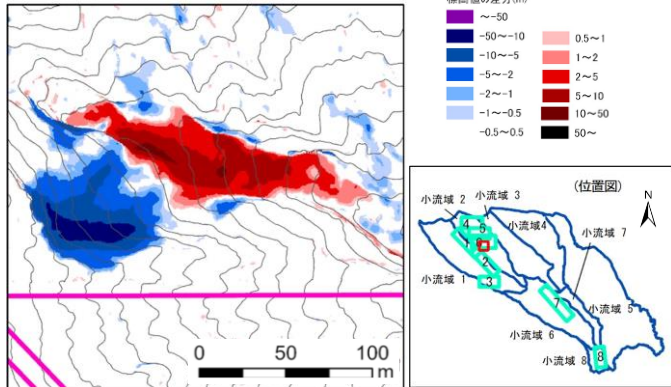


図4 地点6の差分画像と陰影図

4. 考察

地点4の差分画像をみると(図3), 7月時点で凹地が存在していた部分が侵食されていることから, 例えば下川・地頭園(1987)が報告するリル・ガリーの側方侵食の進行過程が計測できている可能性がある。

一方, 地点6の8月に発生した拡大崩壊土砂はその直下に堆積したことから, 土石流発生機構として崩壊がそのまま流動化する説があるが, 今回の空撮期間で発生した土石流はそのような発生形態ではない。河床堆積物の侵食および地点4のリル・ガリーなどの斜面から供給された土砂の輸送によって, 土石流に発展したものと考えられる。また, 地点6の崩壊土砂は8月時点で流路を閉塞する形で堆積している。8月16日以降, 有村川では土石流が観測されておらず, 例年の傾向から春雨前線降雨時期に次回土石流が発生する可能性がある。【※2022.2.18及び, 3.25降雨(71mm/day, 20mm/hr)後の3.30に追加空撮を実施した速報を図6に提示】

PPK空撮結果ではコストはかかるが補正なしでも歪み等のない地形データを作成でき, 迅速かつ広域的な土砂動態の把握が可能となる。しかしながら, PPK空撮は, 今回の有村川源頭域のみを対象とした0.17km²での想定コストが1回100万円程度(解析含まず), 簡易空撮

は, 有村川全域1.8km²で1回60万円程度(解析含まず)となり, コストは10倍程度の差がある。地上基準点が設置できなくとも, PPK空撮のような高精度な地形データ生成技術を用いることで, 数10cm程度の変化を高頻度に計測できることがわかった。今回示した火口近傍では特に有効な撮影方法であると考えられる。さらにPPKを適用しないGNSSのみの簡易空撮でも, 領域は限定されるが誤差分布による補正を行うことでPPKに近い精度で地形変動を捉えられることが確認できた。これらの誤差分布補正作業に要する時間は解析範囲にもよるが30分程度である。

5. 降灰環境下でのUAV運用実験

以上のようなUAVによる空撮による土砂移動状況の調査や, 家田ほか(2021)で示したようなUAVで運搬する調査ユニットによる降灰状況調査により, 火山噴火時の緊急調査にUAVが活用できることが確認できた。基本的にはこれらの調査のためのUAV飛行は噴火活動が低調になったタイミングで実施することを想定しているが, 火山噴火による降灰がある場合にUAVがどの程度安全に運用できるかを確認しておくことが望ましい。そこで, 人為的に降灰環境を作り出し, その中をUAVで飛行試験を行うことで, 調査ユニットの設置等の緊急調査時のUAV運用に対して, 降灰の影響を確認した。降灰は1分間に1mm程度の環境を再現して行った結果, 飛行し続けることを確認できた。また, 極端に降灰量を多くした場合には, 重みによって高度が維持できなくなるが, モーターは停止しない。



図5 調査ユニット実地検証(霧島山2022.4)

にUAVがどの程度安全に運用できるかを確認しておくことが望ましい。そこで, 人為的に降灰環境を作り出し, その中をUAVで飛行試験を行うことで, 調査ユニットの設置等の緊急調査時のUAV運用に対して, 降灰の影響を確認した。降灰は1分間に1mm程度の環境を再現して行った結果, 飛行し続けることを確認できた。また, 極端に降灰量を多くした場合には, 重みによって高度が維持できなくなるが, モーターは停止しない。

6. まとめ

2021.8.16に発生した1波の土石流を挟む7.27と8.27にUAVによるPPK空撮で高精度な地形をSIM解析によって生成した。これによって, これまで撮影されたことのない1波の土石流発生時の上流域の地形変化の一端を捉えることに初めて成功した。

従来の有人機による航空撮影計測と比較して, 低コスト, 高頻度かつ高解像度で実施できるUAV空撮を活用し, このようなデータを蓄積することで, 従来から報告されてきた土石流発生や地形変化過程の定性的な分類を定量化できる可能性がある。それによって, 現地における土石流発生条件やメカニズムを新たに分類・整理して, 分析する可能性が広がる。その分類や分析結果は, 数値計算における境界条件設定(土砂供給)に対しても寄与すると考えられる。

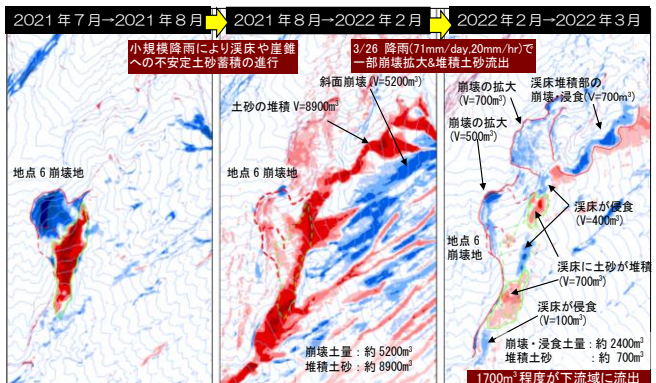


図6 2022年2月及び3月の追加空撮結果(速報)