

火山噴火時の立入困難地域における UAV による土砂流出状況把握手法について

株式会社建設技術研究所 家田泰弘、吉村真、清野正義、○河野元、中西宏彰
国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 熊井教寿、瀧川健一、黒木隆、姫野徳人

1. はじめに

火山噴火時には砂防部局として土砂災害防止法に基づく緊急調査(土石流発生域の降灰状況や降雨浸透能の変化等)を実施する必要がある。しかし、火山活動が活発化した状況下では土石流発生域に直接立ち入ることができなくなる(噴火警戒レベルに応じた立入規制や降灰等の影響で調査へのリスク増大等)。そのため、遠隔地から UAV 等を活用して調査を行うことで、より安全に必要な情報を収集することが可能となる。それらの情報を取得する方法が課題となるが、これに対し、2017年度から立入困難地域の調査手法を検討しており、2019年度からは UAV による簡易空撮した画像を SfM 解析することで土石流の流出状況を把握する方法について検討を行うと共に、それらの運用手順や体制を確立するマニュアルを作成・更新してきた。

本報告は UAV 空撮及び SfM 解析、PPK 等を活用し、降灰後に繰り返し発生する土石流流出状況(土砂収支、河床変動状況)を把握手法の検討およびその検証結果をまとめたものである。

2. 一般性の高い UAV による簡易な空撮及び SfM 解析による土砂流出状況把握

2019年度は、火山噴火時の緊急調査において機材の調達性が重要であることを念頭に、GCP を設置できない危険区域内での一般性の高い UAV による簡易な空撮・SfM 解析による土砂収支の推定手法を検討した。具体的には、桜島の有村川流域を対象に、Mavic Pro (DJI) による対地高度 200~300m の簡易空撮を複数時期に実施し、SfM 解析による地形モデルを作成した。しかし、構築した地形モデルをそのまま差分解析しても、モデルの歪みや傾きによる誤差が大きく、地形変化をとらえることはできなかった。そこで、解析範囲を分割し、分割区域毎に複数時期の共通不動点における誤差を抽出、内挿することで、地形モデルの傾きや歪みによる誤差の分布を求めた(図1)。この誤差分布図で地形モデルを補正することにより、GCP を設置しない簡易な空撮でも、数十 cm 程度の精度で地形変動を把握することが可能であることを確認した。

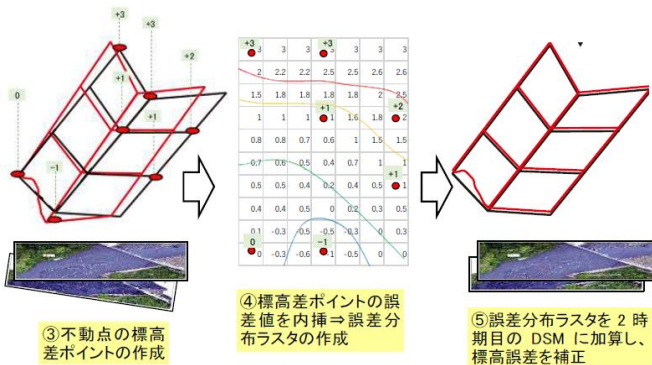


図1. 分割した解析範囲での誤差補正イメージ

このように、領域を分割して誤差分布を求めることで、傾きや歪みを補正することができ、細分化するほど高精度な差分解析ができるが、広範囲に適用するには手間と時間がかかるという課題が残った。

3. PPK 搭載 UAV 空撮による土砂流出状況把握

3.1 課題解決に向けた新技術の活用

簡易空撮による手法の課題に対して、危険区域内で位置精度の高い空撮を行う手法として、「RTK」と「PPK」がある。GCP の設置がなくても高精度な位置情報での撮影が行えるという点では RTK も PPK も同様である。飛行中の機体や操縦の安定性に関しては RTK の方が優れているが通信環境の確保等の課題があり、また、飛行中のリアルタイムな高精度位置情報は必要ないため、昨年度の課題である解析作業に手間と時間がかかる事に対する解決には PPK の導入が有効である。(表1)

表1. UAV による各空撮手法のメリット・デメリット

手法	メリット	デメリット
簡易空撮	一般性が高い	広範囲処理に時間を要す
GCP	一般性が高い	立入りが必要
RTK	一般性はある程度ある	地上局電波の伝送が必要
PPK	長距離飛行に対応	一般性が低い

RTK(Real Time Kinematic): UAV が GNSS だけではなく地上基準局とリアルタイムに通信することで、位置精度の高い空撮を行う手法。

PPK(Post Processing Kinematic): 飛行中は GNSS とのみ通信し、飛行後に地上基準局とタイムスタンプで照合することで、位置精度の高い空撮を行う手法。

そこで、2020年度は、GCP が設置できない条件下において精度を高める解析手法による解析と、更に課題である大面積での差分位置精度の向上手法を検証するために、PPK 技術について実施・検証しその有効性について検討することとした。

3.2 空撮実施状況

簡易空撮による検討と同様に、有村川において 2020年8月~2021年1月の期間に複数回 UAV 空撮を実施し、実施毎に撮影画像を用いて SfM 解析により DSM 及びオルソ画像を作成し、差分解析による土砂収支の推定を行った。

具体的には、PPK を搭載した PHANTOM4 (DJI) と Mavic Pro (DJI) を用いて、2020年8月に第1回、2020年10月に第2回、2021年1月に第3回の空撮を対地高度 200~300m で実施した。(図2)



PHANTOM4+PPK ユニット

MavicPro

図2. 使用した UAV

それぞれ、初期状態、出水直後、最終状態の位置付けで行ったが、本年度は台風による顕著な出水がほとんどない状況であり、火山活動も低調であった。(表2)

表2. 2020年度の空撮実施状況

イベント	桜島噴火回数	空撮
7月	梅雨前線、台風5号	9回
8月	台風10号・前線	0回
9月	台風13号、台風17号	32回
10月	台風19号	62回
11月	台風27号	137回
12月	前線	71回
1月	-	104回
2月	-	129回

3.2 実験結果

①PPKによるUAV空撮結果

各段階の PPK 空撮結果の地形データについて差分解析を行った。第1回(2020.8) PPKと第2回(2020.10) PPK 地形データとの差分解析結果としては、昭和火口南麓のガリー内で、引き続き侵食の進行(5m 未満)が確認できた。PPK 空撮後、個別の補正作業などは行わずに半日程度で高精度な地形モデルを出力可能であった。PPK 空撮結果は後述する簡易空撮のようにオルソ画像の歪みやズレがなく誤差分布による補正を行う必要がなかった。第2回(2020.10)と第3回(2021.2) PPK 地形データとの差分解析結果としては、昭和火口南麓部等にわずかに土砂移動がみられるが、全体としては土砂移動量は極めて少なかった。第2回撮影時から特に大きな降雨等がなかったことから、この結果より精度の高い DSM が取得できていると言える。

PPK による UAV 空撮結果を活用して、3 時期の差分解析結果から流域内の土砂収支の分析を行った。

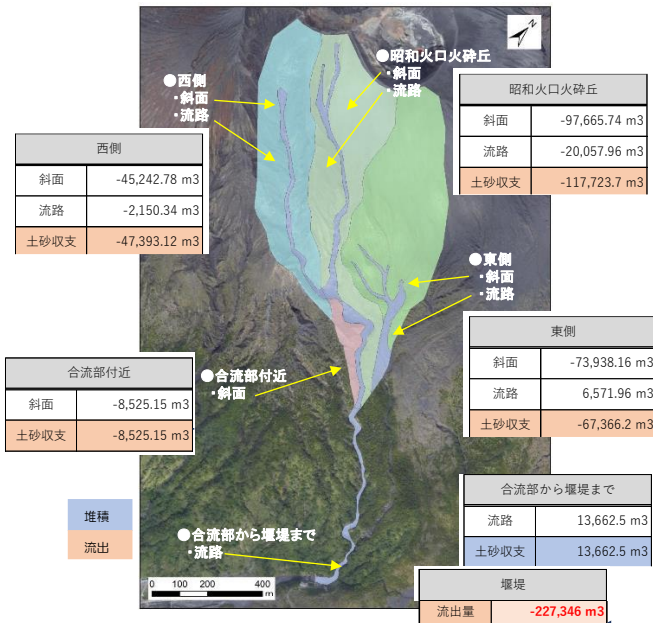


図3. 2019年大隅LPデータから第1回 PPK 空撮を用いた差分解析

大隅河川国道事務所が計測した2019年度LPデータ(2019年12月)から2020年度第1回 PPK 空撮(2020年8月)の解析を行った結果(図3)、この期間だけは、2020年6月、7月の出水の影響を受けており、土砂収支としては、堰堤付近までで「227,346m³」の土砂流出という結果となった。

②簡易空撮によるUAV空撮結果

PPK 空撮により顕著な変動がみられた昭和火口南麓部を対象に、同期間で UAV 簡易空撮と前述の誤差分布補正を行い、差分解析を行った。その結果、図4に示す通り、解析範囲は限定されるが、PPK に近い差分解析結果を得ることができている。(図4)

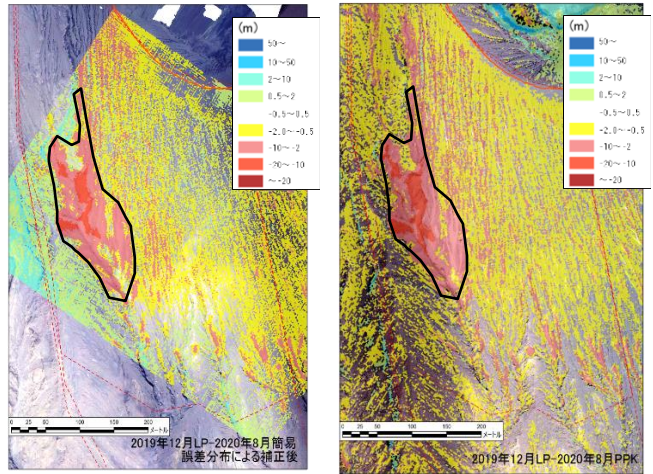


図4. 簡易空撮誤差分布補正による差分解析(左)と PPK 空撮地形データによる差分解析結果(右)

4. 総括

4.1 まとめ

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。一方で、簡易空撮結果においても、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範囲の大きさにもよるが30分程度である。

4.2 今後の展開

これまで、UAV による土砂移動把握のための各手法に関して有効性を検討してきた。検討結果を踏まえ、表3で示すような各手法に適した条件下での使い分けが可能と考えられる。ここに示した使い分けの考え方は一例に過ぎないが、様々な条件下でこれらの手法を試行し、各手法の適用条件を整理することで、地形条件、立ち入り規制の状態、調査の切迫性や実施する頻度等に応じた最適な使い分け方を明らかにできると思われる。

表3. UAVによる土砂移動把握手法の使い分け

手法	メリット	デメリット	各手法の使い分け
簡易空撮	一般性が高い	広範囲処理に時間を要す	狭い範囲での解析、コストを抑える場合
GCP	一般性が高い	立入りが必要	撮影範囲が立入可能な場合
RTK	一般性はある程度ある	地上局電波の伝送が必要	発着点と撮影範囲の距離が500m程度以内、飛行自体に高精度な位置を求められる場合
PPK	長距離飛行に対応	一般性が低い	発着点と撮影範囲の距離が500m程度以内、飛行自体に高精度な位置を求められない場合