

UAV を用いた山地河川の流域点検について

国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所：吉村元吾，今森直紀，奥山悠木※，松尾嘉和
国際航業株式会社：○山田真悟，渡辺隆吉，島田 徹，郡 典宏，小泉和也
※現所属 林野庁

1. はじめに

近年，災害調査や工事の施工管理等，無人航空機（Unmanned aerial vehicle, 以下，UAV と呼ぶ。）の活用が各分野で試みられている。砂防分野では土砂災害発生後に崩壊や土石流の流下状況の把握に用いられている。那智川流域では，2011 年台風第 12 号により同時多発的な土石流が発生し，現在もなお土砂流出が確認されており，流域内の変状を把握することを目的として現地調査を実施している。そうした，現地作業の効率化・省力化・危険作業回避を期待し，UAV を用いた溪流点検を実施した。その結果，流域の土砂移動状況を短期間で定性的および定量的に把握することができたため報告する。

2. 調査対象箇所

那智川流域は，和歌山県南東部の東牟婁郡那智勝浦町の北東部に位置する流域面積 8.4km² 二級河川である。2011 年の台風第 12 号により土石流が発生したことにより，溪流の樹木が流出し上空から監視できる状態であるため UAV による流域点検に適した環境下にある。

本調査の対象は土石流発生溪流である下記に示す 8 溪流を対象とし，UAV による流域点検を実施した。

- ・陰陽川（流域面積：2.74km²，平均勾配：1/4.5）
- ・内の川（流域面積：0.29km²，平均勾配：1/2.4）
- ・樋口川（流域面積：0.79km²，平均勾配：1/3.1）
- ・平野川（流域面積：0.42km²，平均勾配：1/2.8）
- ・鳴子谷川（流域面積：0.53km²，平均勾配：1/3.3）
- ・蛇ノ谷川（流域面積：0.30km²，平均勾配：1/3.6）
- ・尻剣谷川（流域面積：0.54km²，平均勾配：1/3.9）
- ・金山谷川（流域面積：1.38km²，平均勾配：1/4.7）

3. 調査概要

3.1 使用機材

機材の選定では，土砂流出が激しく流域内にあらかじめ地上標定点(GCP)を設置できない(設置しても長期維持できない)ことを踏まえ，地上標定点なしで 3 次元モデルを作成することが可能な 2 周波 GNSS ロガー搭載した機体を用いることとした。使用した機体はアマチュアワンセルフ社の α-UAV を用いて実施した。

3.2 飛行コース

飛行コースは機体が飛行する区間を目視にて全区間確認できる地点を離発着とし，谷出口から崩壊源頭部まで溪流区間(最大約 1.0km)をなぞるコースを 11 コース設定した。飛行高度は対地高度 150m とした。本調査では，飛行時間の合理化および取得する画像の解像度を一定値とする計画とし，1 コースの斜め飛行を採用した。計画飛行ルートを図-1 に示す。

3.3 飛行日時

撮影は出水期を挟む 2 時期について実施した。

2015 年 2 月（総撮影日数：3.0 日）

2015 年 12 月（総撮影日数：2.5 日）

(15~20 分/Flight×11 Flight)

4. 撮影画像を用いた点検の実施

4.1 定性的な土砂移動状況の把握

UAV により撮影した画像を用いて SfM ソフトウェア(Agisoft 社製 PhotoScan)を使用し，3 次元モデルを作成した。作成した 3 次元モデル(解像度 6cm)からオルソ画像および ElsaMap(標高段彩傾斜量図)を作成し，溪流内の変状状況について判読を実施した。ElsaMap はオルソ画像では影になって視認しにくい溪流やガリ浸食等の微地形等の変化を把握する補助として用いた。オルソ画像および ElsaMap を用いた画像判読の判読では以下に示す変状が明瞭に確認できた。

- ・拡大崩壊の発生（金山谷川崩壊地）(図-2)
- ・崩壊土砂の崩壊地内の堆積（金山谷川崩壊地）
- ・溪流堆積礫の移動（金山谷川）
- ・ガリ侵食の発達(金山谷川)
- ・倒木の発生（陰陽川崩壊地）
- ・植生の回復（全溪流の崩壊地）

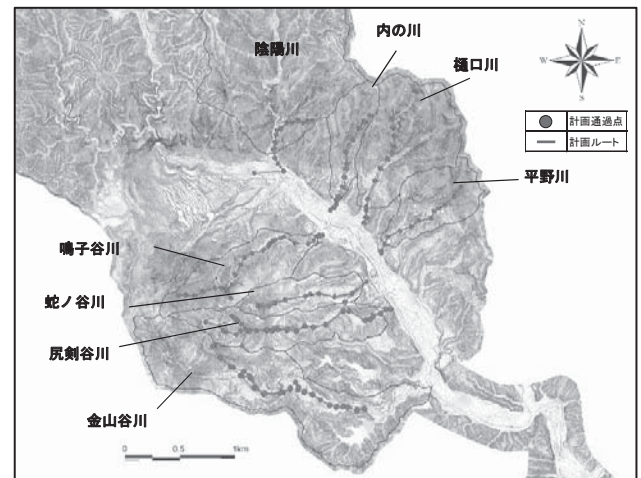


図-1 計画飛行ルート図

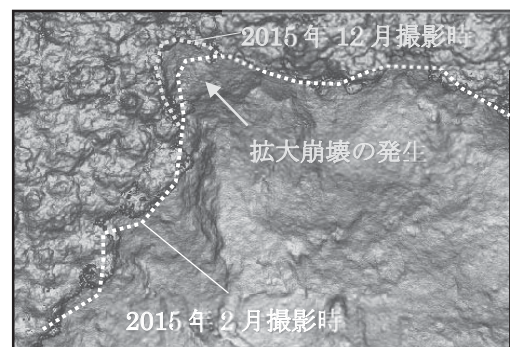


図-2 金山谷川崩壊地の拡大崩壊状況 (ElsaMap)

4. 2 定量的な土砂移動状況の把握

拡大崩壊土砂量を定量的に把握するため、3次元点群を用いて標高差解析を実施した。差解析の実施に関して作成した流域全体の3次元モデルを用いて差解析を実施すると、現地状況と大きく異なる結果(不動点で最大1.8mの差分)となったため、谷出口から溪流を一連(広域)でモデル化したものとは別に崩壊地周辺のみ(狭域)でモデル化したものを作成した。3次元モデル作成の際に2つのモデルの面的な誤差(ズレ)を減らすために、一時期の3次元モデルを作成し、モデル上で仮標定点(4点)を設定し、もう一時期のモデル作成時に仮標定点をコントロールポイントとしてモデル化する処理を別途実施した。処理後は、最大誤差が0.2m程度となった。

金山谷川崩壊地では、地上設置型レーザースキャナによる微地形の計測を実施している。計測された3次元データを用いて、拡大崩壊土砂量および崩壊地全体の土砂流出量を比較として算出した。地上設置型レーザースキャナによる2時期の差解析結果とUAVによる2時期の差解析結果を表-1に示す。また地上設置型レーザースキャナとUAVの微地形計測結果を図-3に示す。比較の結果、3次元モデルによる計測結果と地上設置型レーザースキャナ計測結果には、誤差は確認されるものの、おおむね崩壊地の土砂移動量は一致しており、崩壊地の土砂移動の傾向を読み取ることができている。また、裸地部の微地形表現もガリ浸食や倒木も明瞭に表現されており、急崖の後退量やガリ浸食の深さ等の微地形も定量的に把握することができた。

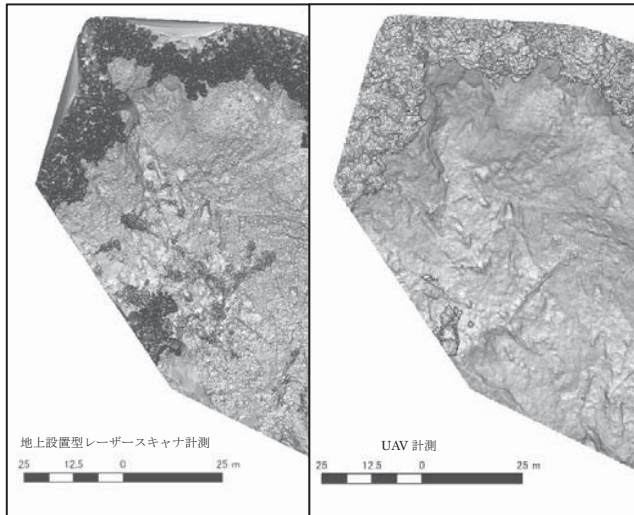


図-3 地上設置型レーザースキャナとUAV計測による微地形計測結果(金山谷川崩壊地)

表-1 標高差解析の精度検証

範囲	UAV計測	地上設置型 レーザースキャナ計測
拡大崩壊部	-190m ³	-220m ³
崩壊地全体	-230m ³	-250m ³

5. 現地踏査とUAVによる流域点検との比較

5. 1 作業の効率化

UAVによる流域点検と人力での流域点検に必要とした日数について表-2に整理する。表-2に示すよう、8溪流の調査完了(撮影終了)までに2.5日と現地踏査実施と比較して3.5日少なくなり効率化が図れた。また、UAVはあらかじめ計画されたルートでGPSによる管理で飛行しているため、誰が点検を行っても同一の飛行コースを飛ばすことができる。つまり、一度飛行コースを設定すれば、同一の結果が得られることになる。これは、人による品質のバラツキやデータの取り漏れがなくなる点においても効率化が図れる。

5. 2 作業の省力化・危険作業の回避

UAVを用いた流域点検は、流域内に立ち入ることなく、流域の状況を把握することができるため作業の省力化につながる。例えば、崩壊土砂量等を定量的に把握するには、地上設置型レーザースキャナ等の計測機材を人力で運搬する必要があり、一日に1~2カ所しか計測できない。一方、UAVを用いれば、別途崩壊地計測に出向くことなく詳細な3次元データが得られるため、作業の省力化となる。また、溪流踏査には落石や滑落などの様々な危険因子が存在する。UAVを用いれば溪流内に人が入ることなく点検を実施できるため、危険作業を回避することができることもメリットの一つに挙げられる。

6. まとめ

流域点検に2周波GNSSロガー搭載したUAV撮影を溪流沿いに1コース実施することで、流域の土砂移動状況を詳細に把握することができることが確認された。また複数時期の撮影を実施することで、人による現地踏査では時間を要する情報(面的かつ定量的な変状把握)を容易に取得・記録できUAVによる流域点検のメリットが確認できた。

しかしながら、崩壊土砂量などの定量把握には、3次元モデルの誤差(ズレ)が大きく影響することが確認されている。本報告においては一時期の3次元モデル上から仮標定点を設定することで、面的な誤差を減らす手法を用いたが、誤差補正の手法については検討の余地が残っている。

7. 今後の課題

UAVによる流域点検は、迅速かつ詳細に流域全体の土砂移動状況を把握することができ、人が溪流に立ち入らない新たな流域調査の手法の一つになり得る可能性が示唆された。今後は溪流堆積礫の移動量の把握や河床材料調査への応用についても検討していきたいと考えている。

表-2 点検日数比較(8溪流点検実績)

	現場作業に必要な日数
UAVによる流域点検	2.5日
人による流域点検(踏査)	6.0日