

UAV を利用した堆砂変化量の検討事例と地盤工学分野における利活用について

玉野総合コンサルタント(株)	正会員	○長谷川 謙二
玉野総合コンサルタント(株)		安藤 智史
玉野総合コンサルタント(株)		山本 尚
玉野総合コンサルタント(株)		近藤 拓巳

1. はじめに

近年、無人航空機(UAV : Unmanned aerial vehicle 通称ドローン)の導入が比較的手軽になってきており、多分野での利活用が試行されている。

UAV による地形解析の特徴としては、

- ① 地上からとは違った視点から、地形や土砂移動状況を安全に確認できる。
- ② 航空機や衛星画像を用いた航空写真測量やレーザー測量(LP)と比べてローコストで測量調査ができる。
- ③ 3D 地形モデルを作成することで、任意の方向から地形の解析が行える。
- ④ 任意の箇所の断面図を作成する等、地形解析が容易に出来る。

等、短時間で広範囲の撮影や 3D データ化が可能で、作業の効率化及びコスト削減を図ることが出来る。

本調査事例では、土石流の発現場場で UAV を用いて空中写真撮影を行い、写真解析で堆砂地の数値地形モデル(DEM)を作成し、土石流発生前後の地形変化量から砂防施設内への移動土砂量の解析を行った。

作業手順は以下の通りである。

- ① UAV 空中写真撮影
- ② 写真解析による点群データ、オルソフォト作成
- ③ 地形モデル・DEM 作成
- ④ GIS を用いた地形変化量算出

2. 空中写真撮影

2.1 調査場所

調査対象は、堤高 22m、堤長 300m の重力式コンクリート構造の不透過型砂防ダムである。上流からの土砂流出の頻度が高く、竣工後 20 年あまりで満砂状態にある。

平成 28 年 8 月に土石流が発生し、作業条件としては撮影当日に土砂変化量の算出が必要で、撮影及び解析に関する時間的制約から、測量精度よりも作業時間を優先して行った。

また、縦断測量による杭が設置されていたが、度重なる土砂流入で消失してしまっているために、基準となる点が無く不動点としては砂防施設のみという状況であった。

さらに、砂防上流域であることから河床が急勾配であり、不安定な堆積土砂があることから、縦断方向の移動は慎重に行う必要があった。また、堆砂域の標高差は約 80m であった。

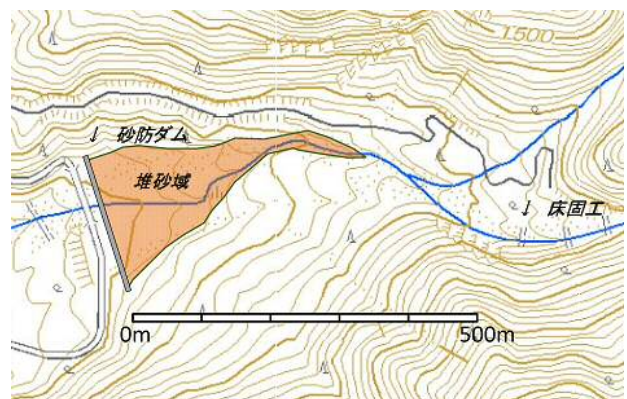


図-1 調査場所概要

2.2 空中写真撮影に使用した UAV

撮影には Phantom4 (DJI 社製) を用いた。諸元は以下の通りである。

- ・重量：1.38kg, サイズ：350 mm
- ・写真解像度：4,000×3,000 ピクセル
- ・GIS による位置情報の把握+超音波センサによるポジショニング機能による安定飛行
- ・カメラチルト (ジンバル付) 機能による安定した画像取得
- ・バッテリー容量：5,350mAh (最大飛行時間：28 分, 実働 15 分程度)



図-2 使用機器 (Phantom4)

2.3 撮影条件と撮影作業

1) 撮影高度と飛行コース

飛行高度は、2.5cm の解像度が得られる対地高度 50m(撮影面積は約 60m×80m)を原則とした。また、国土地理院の公共測量マニュアル(案)¹⁾ ではオーバーラップ率 60%程度, サイドラップ率 30%以上と規定されていることから、今回の調査は規定をカバーできるようにオーバーラップ率 75%サイドラップ率は 60%以上を確保出来るように飛行コースの設定をした (図-3 参照)。

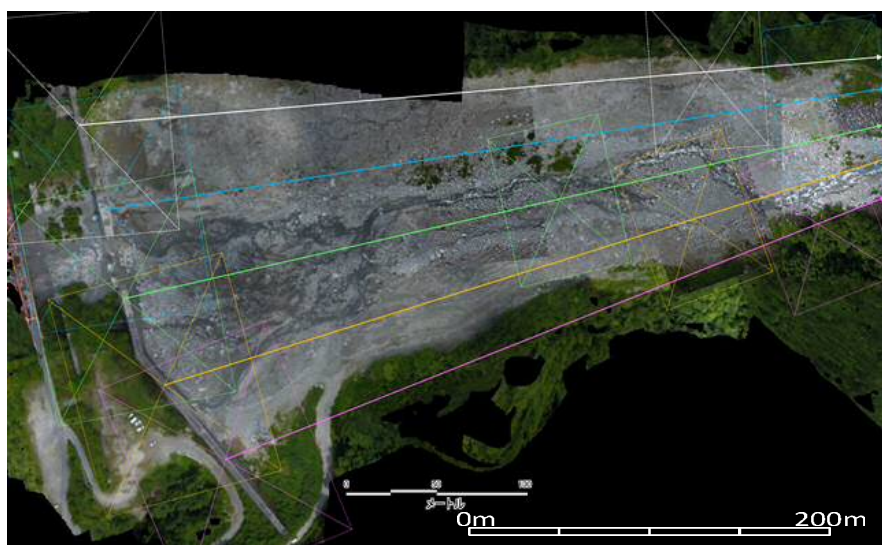


図-3 調査対象地の飛行コース

2) 安全管理・人員配置

国土交通省の定める「ドローン規制法(改正航空法)」では、高度 150m 以上の航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域や、人や建物から 30m 未満での飛行や落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域等において無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ、地方航空局長の許可を受ける必要がある。しかし、当該地は人家等がない上流域であり、航空ルートからも離れていることから許可申請は行っていない。

また、安全管理及び機体の見失い防止を目的として、撮影は、操縦者、ナビゲーター及び機体と周辺監視係の 3 名体制で作業を行った。

3. 地形解析

写真の 3D 処理には、Agisoft PhotoScan (フォトスキャン) を使用した。複数枚の静止画からテクスチャポリゴンモデル、オルソフォトや DSM (Digital Surface Model)を自動生成する機能を有する。SFM(Structure from motion)による写真解析で、点群、オルソフォトを作成した。

3D データの解析は、GIS ソフトを使用した。3D 点群データを 50cm メッシュのグリッドデータに変換、新旧のグリッドデータの差分より地形変化量を流出土砂量とした。

ただし、最新の地形データ及びオルソ画像が取得されたのが平成 25 年度（図-4、左写真）であり、今回の土石流発生までにも数回の土砂流出が報告されているものの、土石流発生直前の地形データがなく、旧地形は参考データとして作業を行った。また、現地では、中心杭が設置後の土石流等により不明となっていたため、砂防ダム本体と上流の床固工等を不動点として標定作業を行った。

また、GIS ソフトを用いて、点群データより平成 25 年度取得データとの 50cm メッシュのグリッドデータを作成し、3 年前の地形データとの地形変化量の差分図（図-5）を作成した。不動点と認識できる地点の標高値が 5 m 程度誤差として生じたため、座標変換機能を利用することで不動点での差分をゼロとなるようにデータを修正した。

当該地は土砂流出が激しい溪流であり、対比基準とした平成 25 年度測量・撮影以降にも土石流が発生している他、小規模な土砂流出あるいは掃流による河床低下もあるため、純粹に今回の土石流による数値とは限定できない。そこで、現地で確認した新たな土砂流出範囲の差分図と重ね合わせ、範囲内（図-5 参照）の地形変化量を流出土砂と見なして計算を行った。

今回新たに土石が堆積した範囲の 50cm メッシュ差分データより算出した結果、土砂量は $26,500\text{m}^3$ と見積もることができた。

【平成 25 年度】

【平成 28 年 8 月】

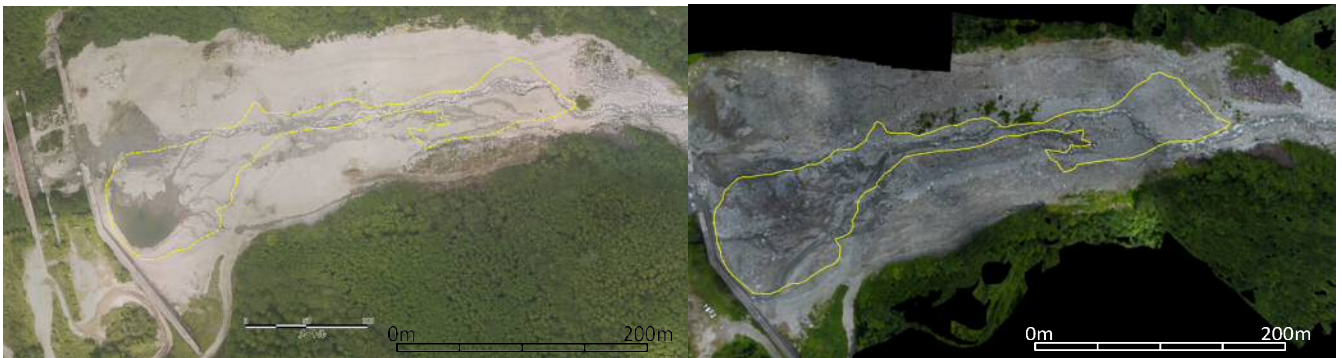


図-4 平成 25 年度の堆砂状況との対比（黄線範囲が今回の土石流堆積物の主部）

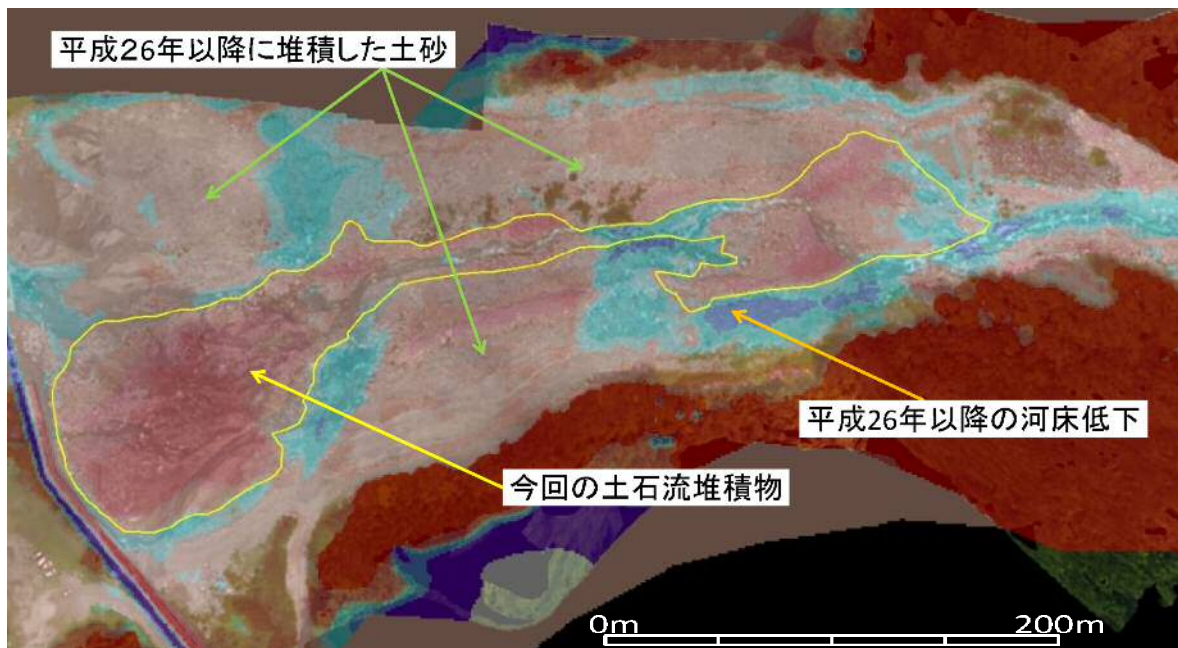


図-5 平成 25 年度と今回の土砂流出状況の差分図

（暖色系がプラス（河床上昇），寒色系がマイナス（河床低下））

4. 課題点

平成 28 年観測の第 1 回目と第 2 回目の堆砂の変化を確認するために、差分図（図-6）を用いて対比を行った。データ上は、対象範囲の上・下流端で増加，中央部で減少となっている。

しかし、現地確認及び陰影図の判読によれば、下流の土砂採取による凹凸が読み取れるものの、堆砂面に変化が認められないことから、現実には差分は生じておらず測定誤差によるものと考えられる。

その理由として、

- ①傾斜地盤で取得したことにより一定の対地高度が維持できなかった、
- ②使用機器（fantom4）の GPS の性能上測定誤差が生じた、
- ③中央付近では基準となる標定点が確保できなかった

ことによる複合的な要因があると推察される。

誤差の値としては、溪床勾配が比較的大きい対象範囲の中央部付近で標高で 1 ～ 2 m、溪床勾配が比較的小さい両端付近では約 1 m の誤差を含んでいると判断できる。

ただし、河床材料の粒径は数 10cm オーダーの礫を主体として最大礫径で 2m 程度であり、地表面は起伏に富んでいることから、土砂量の概要を緊急的に把握する上では今回の測定精度であっても問題は少ないと考える。

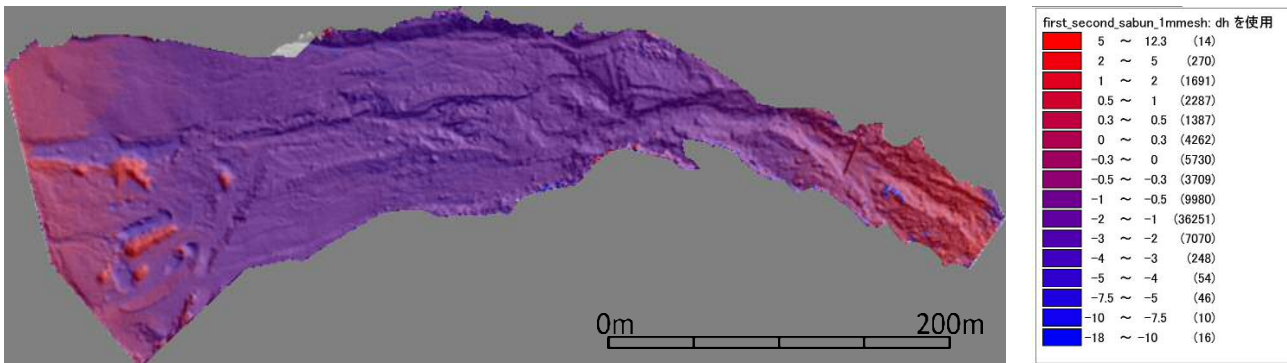


図-6 今回の土砂流出直後と 3 ヶ月後の観測結果の比較（差分図）

5. おわりに

限られた条件の中で地形変化量の解析を行い、一定の成果は得られたが、地形変化がほとんど無い状況での測量成果の比較検証では、測定精度（標高）は必ずしも良好ではなかった。これは、標定点の不足と飛行コース設定の不備が大きな要因である。

精度を追求するには、国土国土地理院のマニュアル等²⁾に準じ、所定の標定点を設定して撮影・解析を行うことが必要³⁾であるが、緊急的に、かつ安全に土砂移動現象や土砂災害の実態を把握するためには UAV を用いた空中撮影や空中写真を利用した地形解析は地盤災害を対象とする地盤工学分野においても有用な手法と考える。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院 (2016): UAV を用いた公共測量マニュアル(案)
- 2) 国土地理院時報 2015, No.127: UAV による空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証
- 3) 栗木光之輔. (2015): 無人航空機 (UAV) の利活用検討について, 平成 27 年度中部地方整備局管内事業研究発表会資料.