

## UAV 搭載レーザによる立山工事専用軌道沿い斜面の計測と落石点検への活用

国土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所 高橋 至、柳川 磨彦、村元 陽介  
 国土交通省北陸地方整備局新潟国道事務所 山根 恭子  
 アジア航測株式会社 ○熊倉 歩、高山 陶子、澤 陽之

## 1. はじめに

立山砂防事務所では、常願寺川上流域からの土砂流出による災害を防止するため砂防工事を進めており、工事に必要な人員、資機材の輸送、運搬には、工事専用軌道および工事用道路が重要な役割を担っている。これら軌道や道路沿いの斜面は、火山噴出物や山体崩壊土砂の堆積物から成り、固結度が低いことから侵食の影響を受けやすく、山岳積雪地の特徴である積雪及び融雪により、斜面の安定度が急激に変化する。通行の安全確保のため毎年落石・岩盤崩壊を対象にした防災点検を行っており、点検の際には目視により対策工背後の落石捕捉状況や浮石・転石の移動距離、脚部の侵食状況などから斜面の安定度を評価している。点検ポイントは急峻かつ高所に位置するため登攀困難な箇所が多くあるが、無積雪時の短い工事期間の中で、通行を妨げることなく、効率的に精度良く点検を実施する必要がある。

本研究では、点検の効率化と精度向上を図るため、斜面状況の変化を面的、定量的に把握して目視点検を補足する手法を検討した。機動力に優れた小型無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）により撮影した高解像度の空中写真と三次元形状復元技術（Structure from Motion, SfM）を用いて2時期における斜面の三次元モデルデータを作成し、CCICP(Classification and Combined ICP) 手法により、斜面の経年変化を確認した。また、UAV 搭載型レーザにより崩壊地や落石発生源の周辺状況を計測し、斜面の落石点検への活用方法を検討した。

## 2. 対象地区

軌道における防災カルテ点検箇所の中から、3Dモデル作成対象箇所として七郎スイッチバック（以下、SB）を、UAV レーザ計測対象箇所として平成29年5月に表層崩壊が発生した妙寿SBを選定した。

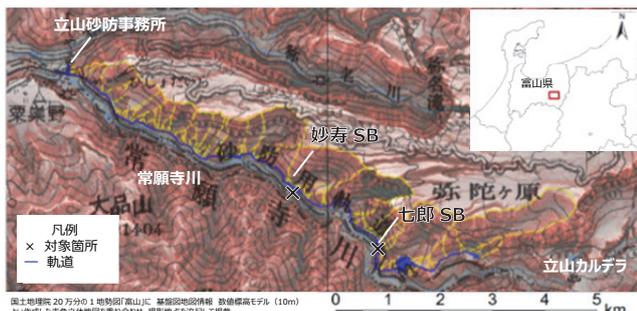


図-1 対象箇所位置図

## 3. UAV による斜面情報の取得

## 3.1 空中写真撮影およびレーザ計測

2017年10月24日にUAVを用いて空中写真撮影とレーザ計測を行った。撮影に使用したUAV機体はSPIDER, 使用したカメラはSONY α 7Rである。斜面の複雑な形状をもれなく取得するため、オーバーラップ率65%以上となるよう撮影した。撮影は、事前にコース設定し、自動操縦により対象物に対して平行移動して撮影した。

UAVレーザ計測に使用した機体はSPIDER-EX, 搭載したレーザ計測機はRIEGL VUX-1である。事前に、カメラを搭載した別機体を用いて自律航行による確認飛行を行い、そのルートに沿って手動で飛行させた。計測範囲は約0.16km<sup>2</sup>, 計測密度は0.064m/点, 取得したデータ点数は208,008,621点であった。



図-2 使用したUAV

## 3.2 調整用基準点測量

SfMについては、3次元モデル作成時に位置合わせのため、撮影写真上で軌道の距離程の位置を読み取り、既知の座標値を取得した。UAVレーザ計測では水平位置及び標高の調整のため、対象地域内に調整点を選定のうえ対空標識を設置し、ネットワーク型RTK-GNSSにより観測した。

## 3.3 3次元モデル作成

撮影した写真画像をもとに、ステレオマッチング手法により特徴点の標高情報を自動取得し、X, Y, Zの座標を持った点群データとワイヤーフレームモデルにテクスチャ画像を貼り付けて3次元モデルを作成した。作成には、Bentley社製「Context Capture」を使用した。作成したモデルは、アジア航測製ビューワー「LaVFinder」に搭載した。

## 3.4 UAVレーザの計測データ解析

三次元計測データから公共測量作業規程の準則に準じたフィルタリング処理により、地表面の点群(グラウンド)データを作成した。さらにTIN法による内挿補間により、0.2m間隔のDEMを作成した。

## 4. 活用検討

### 4.1 点検ポイントの経年変化の把握

SfMの結果、平成28年及び29年撮影の地上解像度約1cmの空中写真から3Dモデルを作成し、落石対策工の状態や背後の土砂・倒木の堆積状況(図-3)、垂直な露岩部等の斜面状況をj確認することができた。

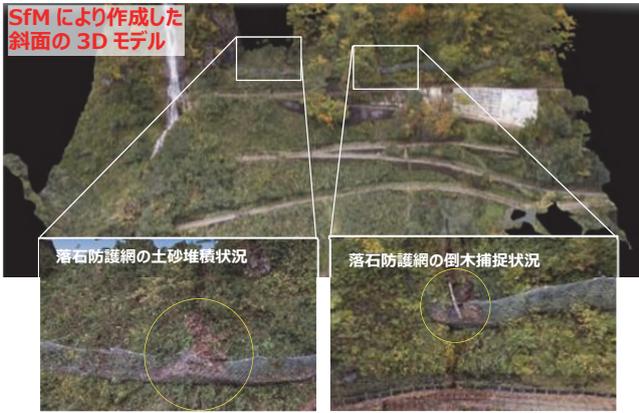


図-3 作成した3Dモデルのキャプチャ(対策工の状況)

また、この2時期の3Dモデルについて、空中三角測量によって得られたジオメトリを基に、複数画像間の同一地点(特徴点)を画像マッチングによって抽出し、高密度の色付き点群を生成した。

複数の点群間で位置合わせを行う一般的な手法としてICP(Iterative Closest Point)手法がある。これは、2つの点群間の最近傍点を対応点として求め、対応点の距離を縮小する幾何変換を推定する処理を繰り返すことで、自動的な位置合わせを可能とするものである。本検討では、さらに点群の構成する面と面の距離も最小化することも考慮した手法

(CCICP: Classification and Combined ICP) <sup>1)</sup>を適用した。この手法では、前後の点群が絶対位置の情報を持っていないとしても、点群の相対的な分布形状の位置合わせを行うことで、変位を求めることができる(図-4)。

CCICPによる2時期の変位ベクトルを計算した結果を図-5に示す。移動方向をベクトルで、変位(XYZ 3成分合成値)を色付けで示している。数十cm~数m単位の変位が算出された部分があるが、ノイズと思われる変化のほうが多い状況であった。これは、対象地が植生に覆われた斜面であることから、植生の影響が大きく、変化抽出が難しかったものと推察される。

さらに特徴点の内挿補間により2cmDSMを作成し、標高差分したところ、対策工背後の倒木や土砂堆積の変化を確認することができた。

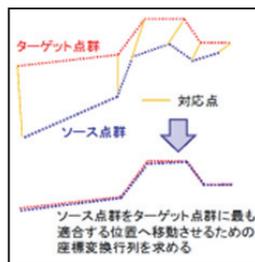


図-4 CCICPによる位置合わせ

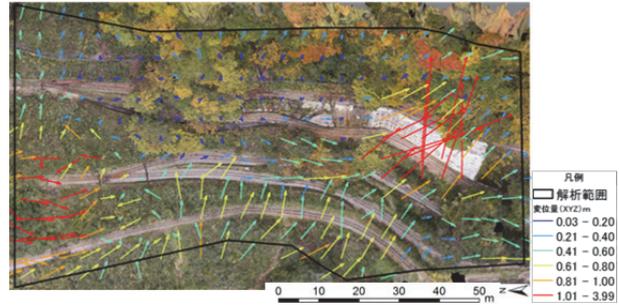


図-5 CCICP実行結果

### 4.2 レーザ計測データによる斜面状況の把握

レーザ計測データから作成した0.2m間隔のDEMより「赤色立体地図」を作成し、現地踏査により把握した現地状況と照合した(図-6)。その結果、植生被覆のある場所を含めた斜面全体の微地形や巨礫(概ね0.5m以上)の位置関係を把握できた。

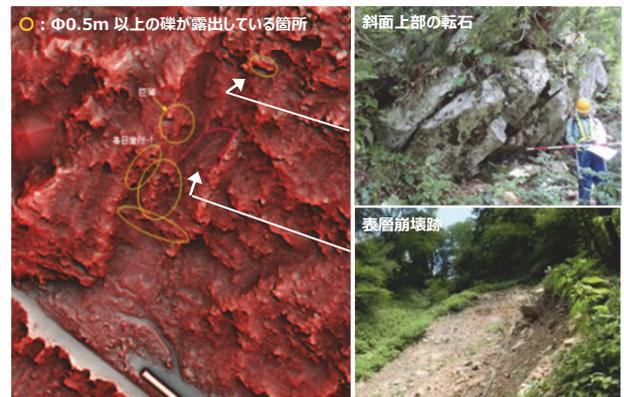


図-6 UAVレーザ計測データから作成した赤色立体地形図と現地状況

## 5. まとめ

UAVを用いた空中写真撮影とSfM手法は構造物や裸地、岩盤など被覆物が少ない対象物の微細な変化を面的に捉えることができ、経年変化も表現可能である。また、UAV搭載型レーザを用いた計測により、ある程度の植生被覆があっても斜面全体の微地形や巨礫の位置関係を詳細に把握することが可能である。これらの手法を組み合わせることで効率的に精度良く斜面状況を把握することで落石や岩盤崩壊に対する工事専用軌道及び工事用道路の安全確保を進めていく。

### 参考文献

- 1) S.Takai, H.Date, S.Kanai, Y.Niina, K.Oda, and T. Ikeda : Accurate registration of MMS point clouds of urban areas using trajectory, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-5/W2, pp.277-282, 2013.