

無人航空機を用いた危険斜面の測量制度向上に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 29～平 30

担当チーム：防災地質チーム

研究担当者：山崎 秀策・倉橋 稔幸

【要旨】

本報告はアプローチが困難な危険斜面における新たな測量・モニタリング手法の提案を目的として、無人航空機による空撮と写真測量技術を用いて斜面の3次元モデルを作成し、異なる時期に作成したモデル間を精密に重ね合わせる手法を活用し、岩盤斜面の差分解析を実施した。その結果、岩盤斜面の形状を高密度かつ相対誤差1cm程度の精度で3次元点群モデルとして再現できることを明らかとした。また、岩盤斜面の安定箇所を基準とすることで不安定化部において±1cm程度の微小変位を検出可能とする調査・モニタリング手法の提案を行った。

キーワード：岩盤斜面、無人航空機、写真測量、斜面モニタリング、三次元地形モデル

1. はじめに

急崖や崩壊斜面の調査・モニタリングには落石や滑落など常に2次災害の危険が伴う。また、地上からレーザー測量が困難な位置・距離にある急崖斜面においては効率的かつ安全な測量調査手法が確立されておらず、災害調査・維持管理における課題である。最近の小型無人航空機(UAV: Unmanned aerial vehicle)の市販化と並行して、写真測量技術(SfM: Structure from Motion)が実用段階に至ったことにより、両技術を複合したUAVを用いた写真測量手法(UAV-SfM)では、cm精度で平面地形の測量が可能となりつつある。一方、危険斜面を対象としたモニタリングでは、斜面の微細な変位をmmレベルで計測する必要があり、さらなる測量精度の向上が求められている。そこで本研究では、従来手法で計測およびアプローチが困難であった岩盤斜面における新たな測量・モニタリング手法の提案を目的に、UAV-SfM手法により作成した斜面形状モデル間の差分解析精度を向上させることで、危険斜面を対象とした新たな調査・モニタリング手法としての有効性を検証した。

2. 研究方法

2.1 危険斜面に適応可能な測量・モニタリング手法の検討 (SfM手法の検討)

SfM技術による斜面の3次元モデル化手法自体の検証として、地上から撮影したデジタルカメラ画像を用いた斜面の解析を実施した。岩盤崩壊が発生した斜面を対象に(図-1)、複数期間において撮影距離50-80mの地上から、市販デジタルカメラにより多視点画像を

撮影した。撮影画像からSfM解析ソフトウェアを使用し3次元点群モデルを出力し、点群処理ソフトウェアを用いて3次元点群モデル間の差分解析を実施した¹⁾。

2.2 アプローチが困難な斜面における測量・モニタリング手法の現地実験 (UAV-SfMの現地実証実験)

UAV-SfM手法が、アプローチが困難な危険斜面における測量・モニタリング手法として適応できるか検討するため、幅約50m、高さ約50mの自然岩盤斜面を対象に、異なるUAVを用いて距離10-40mの空撮写真を複数時期に撮影した。撮影画像を元にSfMソフトウェアにより3次元地形の点群モデルの作成を行った。通常、3次元モデル間の差分解析には、現地でGNSS測量を行い、モデル内あるいは撮影画像に位置情報を付加する必要がある。本研究ではより簡易的な手法として、高精度なGNSS測量を実施せず、作成モデルから高密度の露岩部を抽出した上でICP法²⁾による重ね合わせを行うという手法を提案し、差分解析の精度向上を試みた³⁾。

3. 研究結果

3.1 危険斜面に適応可能な測量・モニタリング手法の検討に関する実験結果

実際の斜面崩壊現場を対象にSfM技術で作成した3次元点群モデルは、既存の航空レーザー測量結果に対して2桁以上の高い点群密度(500-2000点/m²)で斜面形状を再現した(図-1左)¹⁾。また、作成時期の異なるモデル間を差分解析し、崩壊土の堆積や浸食などの斜面変状の経時的变化の定量解析を実施した(図-1右)。その結果、SfM技術を用いることで危険斜面に対

して遠方から安全に斜面形状を再現し、差分解析により斜面形状の変化を定量的にモニタリングできることを明らかとした¹⁾。一方で、モデル間の重ね合わせに数メートルの誤差が生じること、死角部のモデル化が不可能であるという課題が残った。

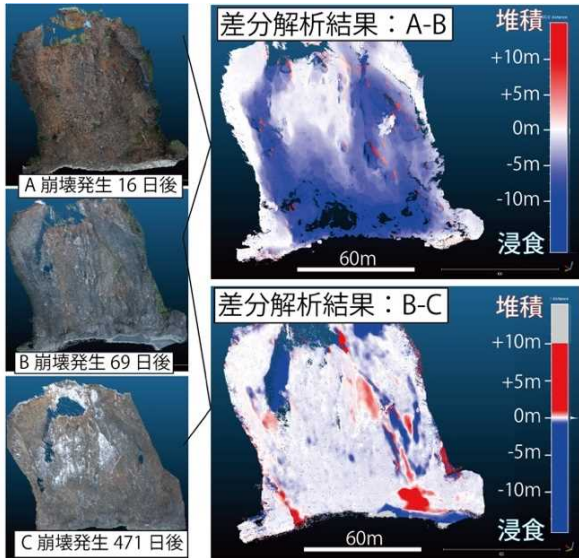


図-1 崩壊斜面のデジタルカメラ画像を用いた写真測量手法(SfM)によるモデル化と差分解析結果¹⁾

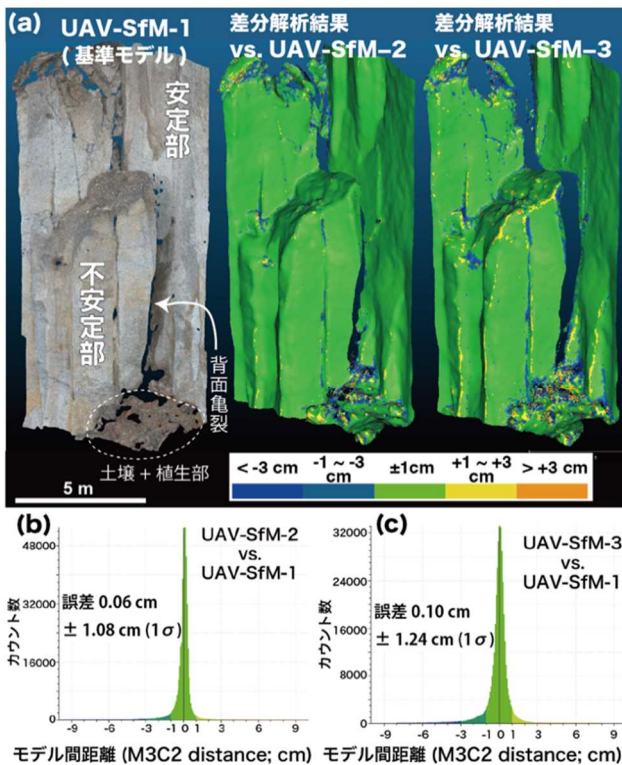


図-2 UAV-SfMモデル間の高精度フィッティング手法の適用と差分解析手法による斜面形状の高精度解析結果³⁾

3. 2 アプローチが困難な斜面における測量・モニタリング手法の現地実験結果

不安定部を含む鉛直岩盤斜面を対象に、地上レーザー測量結果(平均点群密度 450 点/m²)と UAV-SfM モデル(同、8500-43000 点/m²)との差分解析を行った³⁾。UAV-SfM モデルから樹木や岩盤の影部などを除去し、レーザー測量結果と ICP 法により精密に重ね合わせ、差分解析した結果、UAV-SfM モデルが誤差±1cm 程度の精度を持つことを明らかとした。また同様に複数時期の UAV-SfM モデル間で、安定部を基準に重ね合わせ、差分解析を行うことで、1cm 程度の閾値を持って不安定部の変状を検出できることを明らかとした(図-2)³⁾。

4. まとめ

本研究では、小型無人航空機を使用した写真測量技術(UAV-SfM)による定量的な斜面モニタリング手法の提案を目的として、UAV-SfMによる岩盤斜面の3次元点群モデルを作成し、モデル間を精密に重ね合わせた後に差分解析を行うことで、以下の知見を得た。

- 1) 空撮距離 10~40 m での UAV-SfM モデルは、岩盤斜面の露岩部を数千~数万点/m²の高い点群密度かつ相対誤差 1cm 程度の精度で、斜面形状を再現することが可能である。
- 2) 斜面の安定部を基準に複数の UAV-SfM モデルを精密に重ね合わせ、差分解析を実施することで、不安定化部の±1 cm 程度変位を検出可能であることを示した。これは、UAV-SfM 不安定岩盤背面の開口亀裂の進展を露岩平面部の差分として検出・モニタリングできることを意味する。

今後の課題として、本研究提案の手法による差分解析の精度について、斜面の状況や地質条件が異なる箇所を検証する必要がある。加えて、斜面変状が進行する実際の不安定岩盤斜面を対象に本手法によるモニタリングを行い、実現象に対する有効性を実証する必要がある。

参考文献

- 1) 山崎 秀策, 日外 勝仁, 倉橋 稔幸:「写真測量技術による岩盤形状変化の差分解析」, 第 61 回(平成 29 年度)北海道開発技術研究発表会, 防 3, pp.1-5, 2018
- 2) 増田 健:「ICP アルゴリズム」, 情報処理学会研究報告, Vol. 2009-CVIM-168, No. 23, pp.1-8, 2009
- 3) 山崎 秀策, 日外 勝仁, 倉橋 稔幸:「UAV-SfMによる岩盤斜面形状の計測・モニタリング精度の検証」, 寒地土木研究所月報, No. 793, pp.21-27, 2019