

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

UAVによる急崖の地形モデルを用いた亀裂面の認定手法の検討

研究代表者氏名 奥水健一¹⁾

研究分担者氏名 卜部厚志²⁾, 川上源太郎¹⁾, 石丸 聡¹⁾, 高見雅三¹⁾, 小安浩理¹⁾, 加瀬善洋¹⁾

¹⁾北海道立総合研究機構 地質研究所 ²⁾新潟大学

研究要旨

急崖斜面における不安定岩盤の所在を、簡便かつ効果的に把握する手法を確立するため、UAV-SfM測量により、1)高精度な三次元地形モデル作成を可能とする地上基準点(以下、GCP)の配置条件、および2)三次元地形モデルから亀裂面を推定する手法とその精度について検討を行った。1)では、GCPを「斜面下部」、「斜面下部と中央部」、「斜面下部と上部」の3つの配置条件にした場合に得られる地形モデルを比較した結果、「斜面下部と上部」が最も効果的な配置であることを確認した。2)では、三次元地形モデルを自由に回転させて亀裂の延長部を確認し、広い範囲から亀裂面上の任意3点を選択して平面の構造を抽出した後、その亀裂面の走向・傾斜を実測値と比較した結果、5°以内の範囲に収まることを確認した。以上により、従来に比べて斜面形状や亀裂面の走向・傾斜を簡便かつ効果的に求められることが明らかとなった。

A. 研究目的

北海道の日本海沿岸に発達する急崖斜面では大規模な岩盤崩壊が過去に多発しており、斜面前面に保全対象物が存在する場所では予め不安定岩盤の所在を把握しておく必要がある。従来、規模の大きな不安定岩塊の把握には航空レーザー測量データが用いられてきたが、近接写真を撮影することが困難であるなどの課題があった。そのため、詳細な斜面形状や亀裂面を簡便かつ効果的に把握する手法の開発が望まれている。

近年、UAV-SfM測量により生成された高精度な三次元地形モデルから、詳細な斜面形状を把握することが可能となっている。しかし直立する急崖斜面においては、精度の高い地形モデルを作成する手法は確立されていない。

急崖におけるUAVの撮影条件については、昨年度の共同研究成果により、「鉛直下方」、「斜め45度下方」、「水平方向」の3方向からの撮影画像を用いてSfM処理することで、点群の欠落が少ないモデルを構築できることを示した。しかし、地形モデルの精度はGCPの配置条件にも依存する。急崖斜面の場合はGCPの設置場所や設置個所数に制限が生じることが多いことから、効果的なGCPの配置条件について検討を行う必要がある。

一方、三次元地形モデルを活用し、岩盤の亀裂面を簡便かつ自動的に抽出する技術も近年開発が進んでいる(例えば、Thiele et al. (2017))。

その精度は地形モデルの精度に依存するとともに抽出手法に依存する部分も大きいと考えられ、十分な検討を行う必要がある。

本研究では、試験地として選定した急崖斜面において、高精度な三次元地形モデルを作成する上で最も効果的なGCPの配置条件について検討した結果と、得られた三次元地形モデルから抽出した亀裂を対象に、推定された亀裂面の走向・傾斜値を実測値と予察的に比較した結果を紹介する。

B. 研究手法

B-1 調査地の選定

UAV-SfM測量の精度を検討するためには、事前に精度の高い地形データが得られている斜面を対象とする必要がある。そこで対象斜面において、はじめに地上レーザー測量(以下、TLS測量)による地形データを取得することとした。また急崖斜面にはGCPの設置が困難であることから、位置を特定しやすい特徴的な地形形状の箇所にノンプリズムトータルステーション測量により取得した座標値を与えて、GCPとして用いることとした。それらの測量作業を容易に実施できる場所として、北海道泊村弁天島の急崖を調査地として選定した。

弁天島は積丹半島の南西部に位置し、中新世磯谷層の粗粒な火砕岩類から構成される。検討斜面の比高は最大で約53m、幅は約97mである。斜面下には波食棚が広がっており、岩盤中の亀裂と

その走向・傾斜を現地で精度よく確認・計測することが可能である。

B-2 使用機材、ソフトウェアおよび手順

はじめに調査斜面の正確な斜面形状を把握するため、TLS 測量による地形モデル（以下 TLS モデル）を取得し、このモデルを正解モデルとし、UAV による地形モデルとを比較した。TLS 測量は、TOPCON® GLS-2000 を用いて実施した。

UAV-SfM 測量は、DJI 社の Phantom 4 Pro を用いて行った。対象急崖に対して「鉛直下方」、「斜め 45° 下方」、「水平方向」の 3 方向から空撮を行い、SfM 解析ソフト（Agisoft 社の Photoscan Professional）により三次元地形モデルを作成した（以下 UAV モデル）。モデルのジオリファレンスに必要な GCP は、斜面下の水平面と急崖面上にそれぞれ配置した。斜面下の GCP はコンクリートタイルの格子の角に配置し、その座標値を、Spectra 社の ProMark120 を用いた GNSS 測量により取得した。一方、急崖面の GCP は鉛直方向になるべく等間隔となるよう配置し、崖の先端部や色調のコントラストなど写真上で特定しやすい箇所を選定した。斜面上の GCP の座標値は、SOKKIA 社の CX-105F を用いたノンプリズムトータルステーション測量により取得した。

作成した地形モデル間の差は、3D 点群データ処理オープンソースソフトウェアである Cloud Compare の C2C (Cloud-to-Cloud) 距離計算機能を用いて算定した。その際、比較対象モデルの各点について最も近くに位置する点の組み合わせを選び、両点間の距離の絶対値として求めた。

三次元地形モデルを用いた亀裂面の抽出は、Cloud Compare の Trace a polyline by point picking ツールで同一亀裂面上の任意 3 点を選択して求めた。任意 3 点を抽出する際には、三次元地形モデルを自由に回転させて亀裂の延長部を十分に確認しながら、広い範囲から選択した。推定された亀裂面の走向・傾斜を Cloud Compare の Fit ツールで算出し、現地でクリノメータを用いて実測した亀裂面の走向・傾斜の値と比較して、地形モデルから抽出した亀裂面の走向・傾斜値の精度を調べた。

B-3 効果的な GCP の配置条件の検討

GCP の配置条件による UAV モデルの精度を比較するため、以下の手順で検討を行った。はじめに、検討斜面に均等となるよう設定した GCP をすべて用いて作成した地形モデル（以下、基準モデル）と TLS モデルを比較し、UAV モデルの精度を確認した。次に地形モデル作成に用いる GCP の組み合わせを変え、3 つの配置条件のモデルと基準モデルとを比較した。GCP の配置条件は、①

「斜面下部のみに GCP を配置したモデル」（以下、下部モデル）、②「斜面下部と中央部」（以下、下部・中央部モデル）、③「斜面下部と上部」（以下、下部・上部モデル）である。①は斜面上に GCP を設定することが不可能な場合を想定した。また②および③は、急崖斜面上に GCP を配置する場合に、どちらの方がより効果的かを検討するために設定した。なお上記 4 つの UAV モデルは、GCP の配置条件以外は同一の条件・手順で解析して作成したものである。地形モデル間の比較は、i) UAV モデルの TLS モデルとの差、ii) 基準モデルと GCP の配置条件が異なる各モデルとの差（基準モデルからの差）を検討した。

C. 研究結果

C-1 効果的な GCP の配置条件

TLS モデルと UAV 基準モデルの差分（UAV モデルの差）を図 1 に示す。図の赤い部分は TLS の欠測範囲であり、黒丸は GCP の位置を示している。モデルの周縁部および亀裂部で差が大きい箇所が確認されたが、それらを除くと差は概ね 10cm 以内に収まっている（図 1）。

また、UAV モデルの基準モデルと、下部モデル、中央部・下部モデル、上部・下部モデルとの差分を、図 2(a),(b),(c) に示す。図 1 と同様に、赤は TLS モデルの欠測範囲、黒丸は GCP の位置を示している。基準モデルと下部モデルを比較すると、GCP から離れるにつれて位置の差が大きくなり、斜面中央部から上部にかけておよそ 50cm 程度の差が確認された（図 2(a)）。次に基準モデルと中央部・下部モデル、および上部・下部モデルとの差を見ると、下部モデルに比べ、いずれも差が小さくなっていった（図 2(b),(c)）。中央部・下部モデルと上部・下部モデルを比較すると、上部・下部モデルの差の方が全体に小さい。ここで GCP の配置数に着目すると、中央部・下部モデルの 6 箇所に対して上部・下部モデルは 5 箇所であり、配置数が 1 箇所少ない。

C-2 三次元地形モデルから抽出した亀裂面の精度

露頭調査による亀裂面の走向・傾斜の実測値と、三次元地形モデルから抽出した亀裂面の走向・傾斜の推定値を比較した結果を表 1 に示す。実測値に対する推定値の差は 5° 以内に収まり、三次元地形モデルから任意 3 点を選択して抽出した亀裂面は精度良く求まっていることが確認された。

D. 考察

早川・小花和(2016)は、TLS は UAV に比べ多方向からの計測が困難であるため、レーザーの陰になる部分で点群が欠落することを報告している。TLS の欠測部分を除くと、UAV 地形モデル（基準

モデル) と TLS モデルの差は概ね 10cm 以内に収まっていることから、UAV モデルは 10cm 程度の精度をもつと考えられる。GCP の配置条件を変えて作成した各 UAV モデルでは、斜面上部・下部モデルが、斜面下部モデルに比べ差が全体に小さく、かつ中央部・下部モデルに比べ GCP の配置数が 1箇所少なかった(図 2)。以上より、高精度な三次元地形モデル作成に効果的な GCP の配置は、「斜面上部と下部」という結果となった。

他方、UAV による三次元地形モデルから推定された亀裂面の走向・傾斜は、実測に近い精度で求められた。したがって斜面上で調査を行うことが困難な大規模急崖斜面では、三次元地形モデルを用いることで亀裂面を精度良くかつ広範囲に渡って迅速に抽出することが可能であり、本手法は極めて有効であると考えられる。

E. 結論

急崖斜面における不安定岩盤の所在を簡便かつ効果的に把握する手法を確立するため、1) 高精度な三次元地形モデルを作成する上で必要となる GCP の配置条件、および 2) 三次元地形モデルから亀裂面を推定する手法とその精度について検討を行った。

1) については、GCP を斜面上部と下部に配置することで、精度の高い地形モデルを効果的に得られる可能性を確認した。2) については、三次元地形モデルのできる限り広い範囲から任意 3 点を選択して亀裂面を推定することにより、走向傾斜の値を実測値と比較して 5° 以内に収まることを確認した。

以上から、UAV-SfM 測量により作成された高精度な三次元地形モデルを用いて斜面形状と亀裂面の走行・傾斜を求めることが可能であることが確認され、急崖斜面における不安定岩盤の所在を簡便かつ効果的に把握できる手法が示された。

文献

早川・小花和(2016):物理探査, 69, 297-309.
Thiele et al (2017): *Solid Earth*, 8, 1241-1253.

F. 研究発表

- 1.論文発表 特になし
- 2.学会発表

(1) 地質研究所成果報告会・2019年5月・かでの 2.7・興水ほか

G. 知的財産権の出願・登録状況 特になし

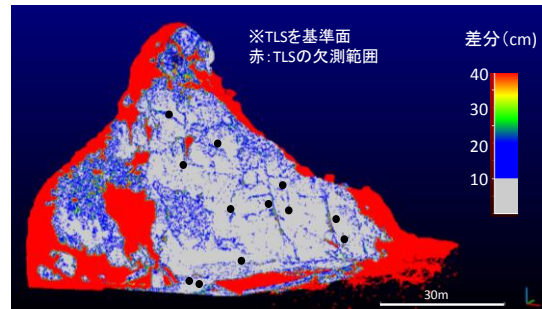


図 1 TLS モデルと UAV 基準モデルの差分

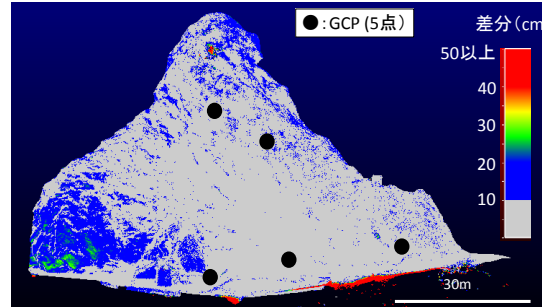
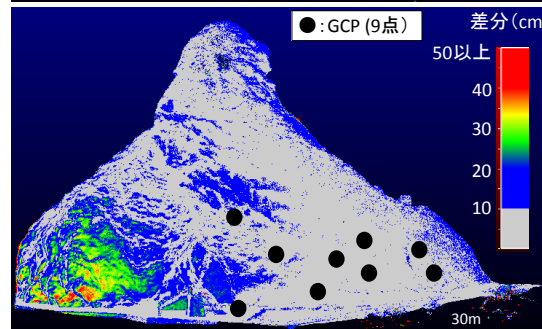
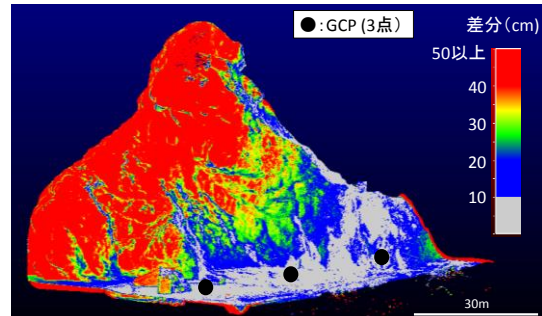


図 2 GCP の配置条件による地形モデル比較
基準モデルと(a):斜面下部モデルとの比較、
(b):斜面中央部・下部モデルとの比較、(c):
斜面上部・下部モデルとの比較

表 1 三次元地形モデルにより推定された亀裂面の走向・傾斜値と露頭調査との比較

	実測		三次元モデル		差	
	走向	傾斜	走向	傾斜	走向	傾斜
crack1	N40E	38NW	N45E	38NW	5	0
crack2	N80E	52N	N85E	50N	5	2
crack3	N62E	90	N63E	89N	1	1
crack4	N80E	62S	N75E	63S	5	1
crack5	N14E	80W	N15E	85W	4	3