

UAV 測量を活用した河岸露頭の岩盤割れ目抽出方法

中央開発株式会社 ○後藤 慧, 細矢 卓志, 石原 隆仙, 彦坂 千遥
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 島田 耕史

1. はじめに

岩盤中の割れ目の発達状況は、対象とする岩盤の強度と透水性を評価する上で極めて重要な要素である。特に地表と地下深部を繋ぐ大きな割れ目は水や物質の移行経路となり、割れ目沿いに酸化・風化を進行させて岩盤の安定性を低下させる要因にもなる。現在、ダムや地下施設の建設においては地質技術者が手作業で岩盤割れ目の分布を計測しているが、広範囲の計測に時間がかかることや、人間が到達できない地点は調査ができない等の課題がある。そこで筆者らは、河岸に露出する岩盤露頭を対象として、空中から対象物を撮影できる UAV（ドローン）を使用した割れ目の抽出を試みた。本論では、現地での UAV 測量の実施段階・取得データの三次元モデル解析段階において展開した手法を紹介し、遠隔による岩盤割れ目抽出の有効性を考察する。

2. 調査概要

(1) 調査対象

UAV 計測は、河岸の岩盤の露出が良い2ヶ所の地点（調査地 A、調査地 B）において実施した。2地点はいずれも三波川変成帯の分布域にあたり、泥質の結晶片岩が露出している。結晶片岩は、変成作用によって発達した片理面が弱線となって剥がれやすいという特性があり、露頭では節理の他に片理面に沿った割れ目や岩盤表面の剥落が認められる。

調査地 A は岩盤露頭が概ね平面的に分布しており、UAV から真下方向を撮影する従来手法での自動マッピングが実施可能であった。一方、調査地 B の露頭は水面から高角度で切り立つ岩壁として発達しており、岩の凹凸、崖からの枝の張り出しなどを考慮して航路を選定し、カメラを横向きにして撮影飛行を行った（図-1）。

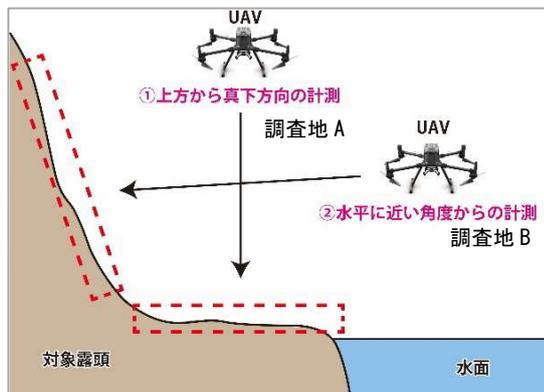


図-1 各露頭と UAV 飛行計測のイメージ

(2) 調査方法

2地点において実施した飛行計測方法を表-1に示す。本調査では、露頭状況に応じて対象を捉えるカメラの角度を適切に設定し、測量の手法としてレーザ測量（LiDAR）と写真測量を使用した。また飛行の手法として、あらかじめ設定した航路上を自動で飛行し撮影する自動撮影と、操縦者が直接機体の進行とカメラのシャッターを操作する手動撮影を実施した。自動操縦ではデータをくまなく取得できるという点、手動操縦では対象物へ接近し小回りを利かせたデータ取得が出来る点でそれぞれメリットがある。UAV は、LiDAR モジュール「Zemuse L1」を搭載した DJI Matrice 300 RTK（以後、大型機と呼称する）を使用して主に自動撮影飛行を行い、小回りが利く DJI Mavic 2 Pro（以後、小型機と呼称する）を使用して手動撮影飛行を実施した。

表-1 各地点における計測実施手法及び作成データ

調査地	No.	手法	飛行方法	対地高度	カメラ角度*	作成データ
A	1	レーザ	自動	50m	-90°	点群データ
	2	連続写真	自動	50m	-90°	オルソ画像・点群データ
	3	連続写真	手動	10m程度	-90°	オルソ画像・点群データ
B	1	レーザ	自動	50m	-40°	点群データ
	2	レーザ	自動	10~20m	0°	点群データ
	3	連続写真	自動	10~20m	0°	点群データ
	4	連続写真	手動	10~20m	0°	点群データ

*カメラ角度は水平を0°、真下方向を-90°とする

UAV レーザ測量で取得したデータ、連続写真の SfM（フォトグラメトリ）解析から作成した三次元モデルは、UAV の GPS 座標やコンパス、傾きの情報などをもとに本来の露頭の向きや姿勢で復元される。大型機と小型機の座標復元精度はやや異なるが、各地点の各測量結果からそれぞれ点群データを構築し、露頭の形状を復元した。平面的モデルが作成可能な調査地 A では、さらに連続写真から GIS データとして使用できるオルソ画像を作成した。

LiDAR 点群データの構築には DJI 社製の DJI Terra を使用し、LiDAR 点群の植生フィルタリングや連続写真の SfM 解析には、Agisoft 社製の Metashape Professional を使用した。データの閲覧と割れ目の抽出では、オートデスク社の Auto CAD 及びオープンソース点群処理ソフトウェアの CloudCompare を使用し、面構造の解析を実施した。

3. データ解析および割れ目の抽出結果

(1) 調査地 A

取得した各データを比較した結果、調査地 A では、手動飛行撮影から作成したオルソ画像が最も割れ目の抽出に適していた。高さ方向からの正射俯瞰画像であるオルソ画像は、割れ目の面と水平面との交線（割れ目の走向）がそのまま線として映し出されるため、GIS ソフト等を使用して XY 座標上で線の方位角の計測が可能である。割れ目の平面的な分布傾向や走向を抽出し、割れ目のトレース線の走向（角度）を CAD 上で計測した。抽出する亀裂の長さは30cm 以上としている。露頭の一部における割れ目判読の様子と抽出結果を図-2及び表-2に示す。調査地 A の露頭では、EW 走向で発達する片理面と交差するように NW 走向の割れ目が発達しており、NE 走向の割れ目は相対的に少ないという傾向が得られた。

取得したデータのうち、レーザ測量の点群は写真測量で構築した点群と比較して粗く、起伏が均されて割れ目の抽出が困難であった。また、大型機の自動飛行で作成したオルソ画像は、小型機の手動飛行より高度を上げる必要があったことから、解像度で劣っていた。

(2) 調査地 B

岩壁状に発達する調査地 B の露頭は、上空から直下撮影で捉えることは困難であり、調査地 A のようなオルソ画像の作成や平面的な解析は実施できない。そこで、測量で取得したデータはそれぞれ点群データの状態で点群処理ソフト「CloudCompare」に読み込み、三次元的な解析を実施した。判読に最も適していたデータは、小型機

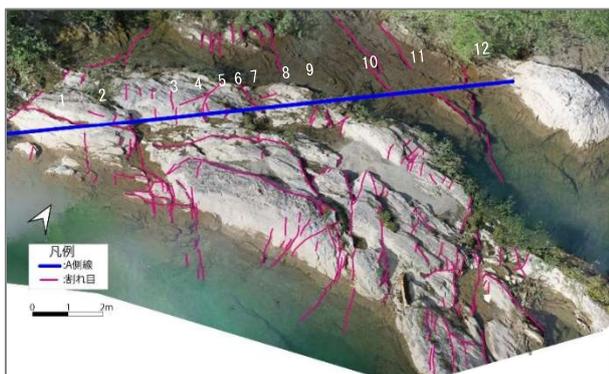


図-2 調査地 A における割れ目の判読

の手動飛行で取得した SfM 点群データである。ソフト上の「Plane Tools」プラグインを使用することで面構造の向きや角度を自動計測することができ、割れ目の走向に加え傾斜も抽出することができた。露頭の一部における割れ目の判読の様子と抽出結果を図-3 及び表-3 に示す。調査地 B の露頭では、NS~N30° E 走向で発達する節理が EW 方向に発達する結晶片岩の片理を切断して割れ目として発達している。NS~N30° E 走向の節理の傾斜は 70° から直角で高角である。

B 地点でもレーザ点群は既述の特性から大きく開口した割れ目以外の抽出が困難であったが、写真測量の点群にない特徴として植生に遮られた壁面のデータを取得しており、走向傾斜の計測を実施できた。調査対象の植生被覆状況によっては一切岩盤が露出していないこともあり、レーザ測量による遠隔調査も効果的であると言える。大型機で撮影した SfM 点群データは、張り出した樹木に小型機以上に航路を制限されたため、小型機の SfM 点群データより点群密度が低くなった。

4. まとめ

UAV の撮影データから撮影対象の本来の形状と姿勢が復元でき、岩盤が露出した一定範囲において、効率的な割れ目の走向・傾斜の取得が可能であることが判明した。一方で、精度検証のためには実測値との対比が必要である。また、データの取得・解析に関しては、調査対象の特性に応じて、測量方法の使い分けや計測時のパラメータなどの設定方法を都度模索し、最適化していくことが求められる。

表-2 図-2において判読した割れ目の走向

No.	走向 真北	No.	走向 真北
1	N 61° E	7	N 52° W
2	N 38° W	8	N 18° W
3	N 39° W	9	N 87° W
4	N 36° W	10	N 77° W
5	N 57° W	11	N 89° E
6	N 38° W	12	N 46° W

表-3 図-3において判読した割れ目の走向傾斜

No.	走向・傾斜
5	NS 78° W
6	N31° E 71° SE
7	N89° W 46° S
8	N83° W 22° N
9	N25° E 72° E
10	N2° E 68° W
11	N8° E 69° W
12	N72° E 62° S

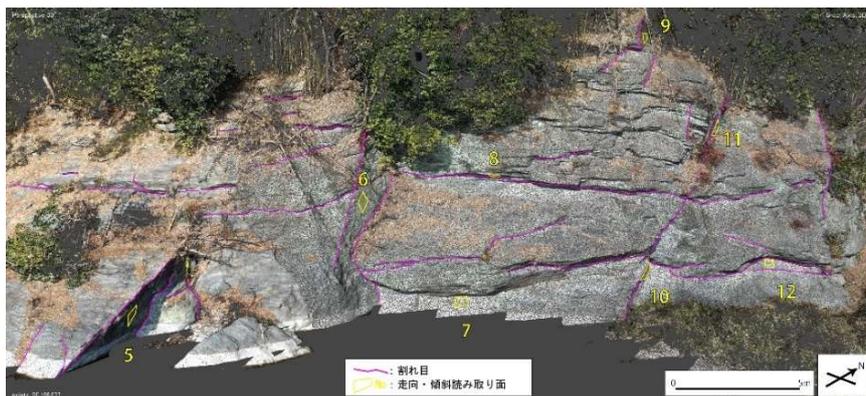


図-3 地点 B における割れ目の判読