

地質調査の DX 推進に向けた QGIS の活用

(株)藤井基礎設計事務所 佐藤 成修

1. はじめに

近年、建設業界ではデジタルトランスフォーメーション (DX) の推進が急務とされている。DX は業務の効率化やコスト削減を可能にし、競争力を高める重要な手段である。

建設業界の DX は 3D モデル、点群、UAV 撮影など、日々新技術が進歩している。しかし、地質調査の分野では、効率を向上させるという点での進展が乏しい状況である。

従来の地質調査は、多くの場合紙の図面や手作業に依存していた。これにより、情報の共有や管理に多くの手間と時間がかかり、効率性に欠けていた。現場でデータを収集する際、例えば見通しの悪い場所では、紙の図面を用いた位置情報の正確な取得が難しく、その結果、誤差やデータの不整合が生じることが多くあった。こうした非効率性を解消し、より正確で迅速な地質調査を実現するためには、デジタル技術の導入が不可欠である。

本発表では、地質調査における現状と課題を概観し、GIS ソフトウェアである QGIS の活用を提案する。

QGIS は、地理空間データの表示、編集、解析を可能にするオープンソースの GIS ソフトウェアであり、地質調査データの効率的な管理と解析に役立つ。さらに、QGIS のモバイル版アプリである「QField」を使用することで、現場での位置情報の取得と整理が容易になる。具体例を示しながら、QGIS と QField を用いた地質調査の効率化の方法について詳述し、最後に今後の課題と展望について考察する。

2. QGIS について

QGIS (Quantum GIS) とはオープンソースの GIS ソフトのことで、地理空間データの表示、編集、解析を可能にする。QGIS は有志による開発が進んでおり、多様なプラグインをサポートしており、ユーザーはさまざまな機能を追加してカスタマイズすることができる。この柔軟性により、地質調査データの効率的な管理と解析が可能になる。

3. モバイルアプリ「QField」の活用

QGIS を用いた効率化の方法として、調査データを地理情報として一元管理し、必要な情報を簡単に検索・表示できる。QField は QGIS のデータを手元のスマートフォンで表示することを可能にする。スマートフォンの GPS と連動させることで QGIS の情報を現場で利用できるようになる。

図-1 の計画案平面図は、QGIS で作成した道路の基礎

調査に使用した平面図である。道路計画は 3 案あり、一番適当な案を現地踏査から選定した。

林間部での道路基礎調査では、図-2のように木々が生い茂り見通しがほとんどない状態で調査を行う必要があった。図面内で現在位置がわかることで踏査がより円滑に進むのではないかと考え、QField を利用しルートマップの作成を行った。

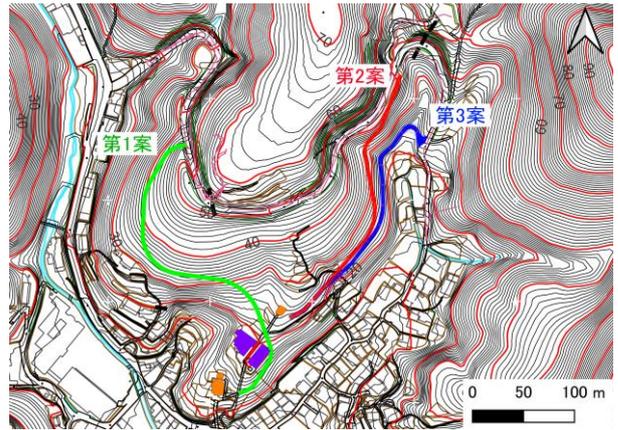


図-1 道路計画案平面図



図-2 調査地内の写真
位置の目安になる地物が近くはない

CAD 図面、地形図データ (dem, 基盤図等) を QGIS に取り込む。現地踏査に必要な地物情報の整理を行う。取り込んだデータを、スマートフォンないしタブレット端末に転送する。QField (図-3) は、QGIS のデータをインポートして利用でき、現地でも GIS データを閲覧することが可能である。

調査員は現地で QField を起動し、GPS を利用して自分の現在位置をリアルタイムで確認する。見通しが悪い場所や地物が少ない場所でも、デバイスの画面上で現在位

置が道路計画の線形上にあるかどうかを容易に確認できる。これにより、地図と照らし合わせる手間が省け、調査の効率が大幅に向上する。

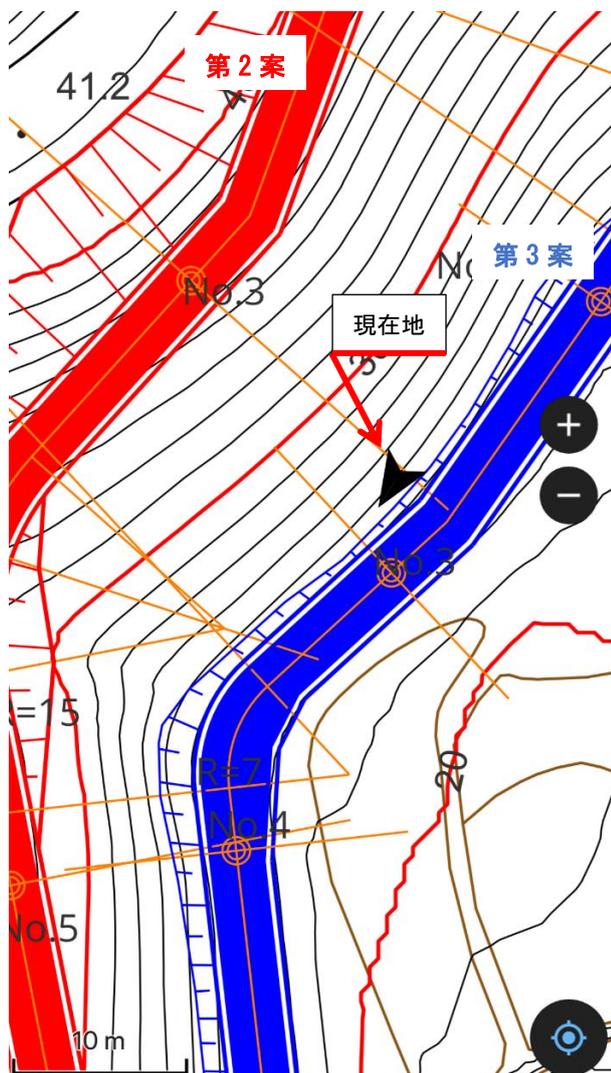


図-3 スマートフォン用アプリ「QField」(画面上が北方向)
現在地は第三案付近であると表示される

4. 現地踏査後の情報整理

従来の現地踏査後の情報整理は、紙の平面図に記入した、露頭のポイントをCADで記載し、写真整理、露頭記載の文章をまとめており、かなりの時間を要した。また、それらの情報が、ばらばらにフォルダに分類されているため、探すだけで苦勞する。QGISではデータの所在をデータフィールドに記入し、それを地図上に表示できるので情報処理の幅が広がる。

露頭の写真をスマートフォンで撮影することで、画像ファイルは座標データを持つ。画像ファイルから位置情報を含むデータを抽出し、CSV形式で写真番号、座標、露頭の状態等必要な情報をまとめる。CSVファイルを、QGISに取り込むことで、撮影したポイントに点が落とせる。

従来の情報整理の方法がデジタル化されたただだが、

QGISは成形用にhtmlを定義することで、できることの幅が広がる。

CSVファイル内に画像ファイルのファイルパスを入れたセルを追加する。QGIS内に落とした写真のポイントにカーソルを合わせることで、図-4のように、露頭名、写真、露頭の状態についてのコメントが表示されるようになる。

写真の画像データ、露頭情報の文字データと違う形式のデータを一括で表示することが可能となる。毎度欲しい情報を各フォルダから探すことなく、QGIS内でマウスカーソルを合わせることで、必要な情報が瞬時に表示される。

他には、ボーリングの柱状図、コア写真も同じ方法で表示することができた。

QGIS内に情報を集約することで、詳細な解析や報告書作成に活用することも容易である。このように、QGISと、QFieldの活用により、道路の基礎調査は従来よりも正確かつ効率的に行えるようになった。



図-4 QGIS内での露頭写真表示
左上赤丸の写真ポイントにマウスカーソルを合わせることで表示

5. おわりに

QGISとその関連ツールを活用することで、地質調査の手法の改善と効率化が図れた。情報の集約と管理、現場での位置情報の整理、情報の視覚化を通じて、現行の問題を解決し、作業の効率を大幅に向上させることが可能である。しかし、技術の進展とともに新たな課題も生じるため、継続的な改善と適応が必要である。

こうしたデジタル技術の応用により、最も重要な地質観察に多くの時間を取ることができるようになり、より質の高い地質調査が可能になることを期待している。

山岳トンネル切羽の岩盤判定に AI を用いた検証事例

UICコンサルタント株式会社 ○岡谷 実治子, 鬼村 雅和
 五大開発株式会社 荒木 光一
 国土交通省 中国地方整備局 山陰西部国道事務所 重谷 隆太

1. はじめに

山岳トンネル工事では、トンネル掘削時に切羽の地質状況を評価するために切羽観察を実施している。この切羽観察は、切羽近傍で技術者が目視で確認する事が中心であり、その精度、定量化や安全性が観察時の課題となっている。近年は建設 DX の推進や安全性を解決するため、遠隔臨場で切羽観察を実施する取り組みが行われている。しかし、遠隔臨場で行う場合、ディスプレイに映る画像で岩盤を判定するため、現地で直接切羽を確認するよりも情報量が減り、誤認識等から過大・過小施工が生じてしまう可能性がある。

そこで、本稿では遠隔臨場により低下した判定者に対する情報量を補完するために、切羽写真と切羽観察データシートを用いた岩盤判定 AI 技術の有効性を検証する。

2. 学習データセット(教師データ)の作成

今回の学習ならびに判定には、トンネル施工者から日々提出される切羽記録写真を用いた。岩盤判定は左肩・中央・右肩の箇所毎に判定するため、岩盤判定 AI も同様に画像を分割して行った(図-1)。ただし、分割した画像サイズでは AI で扱うには大きく、また、この分割だけでは学習データ数としては少ないため、左肩・中央・右肩に分割した画像をさらに分割した画像(以降、分割画像と呼ぶ)で岩盤判定を行った。また、学習データとして用いる分割画像を増加させるため、左肩・中央・右肩の各画像を、図-2のように分割画像の範囲を示すウィンドウをスライドし重複させながら分割画像を作成した¹⁾。



図-1 左肩・中央・右肩への分割

ウィンドウの半分スライド

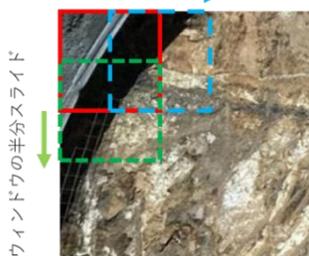


図-2 分割画像を作成するウィンドウとスライド

3. 岩盤判定に用いるプログラムの作成

岩盤判定は、切羽を構成する岩石名と8つの観察項目を判定するため、以下の計9つの AI を作成した。

なお、教師データにはなく、AI にとって未知となる情報に対しては『判定不能』とし、判定を地質技術者へ促す結果を出すようにプログラムを構築した。

○作成した岩盤判定 AI

- A. 圧縮強度判定 AI B. 風化変質判定 AI
- C. 割目間隔判定 AI D. 割目状態判定 AI
- E. 走向傾斜判定 (走向がトンネル軸と直角) AI
- F. 走向傾斜判定 (走向がトンネル軸と平行) AI
- G. 湧水量判定 AI H. 劣化判定 AI I. 岩石名判定 AI

4. AI による岩盤判定検証

今回の岩盤判定 AI による検証は、山口県の山陰道におけるトンネル施工現場にて、支保パターン変化時に行う岩盤判定(第2~4回)で実施した。

(1) 第2回岩盤判定における検証結果(坑口から140m)

図-3に切羽写真を示す。表-1より、岩盤判定 AI の加重平均点は、現場にいた技術者の平均値と約1点の差である。各観察項目は、現場にいた技術者と半分以上一致した。岩石名の判定結果は凝灰岩であり実際の岩種と一致した。



図-3 坑口から140mの切羽写真

表-1 技術者と岩盤判定 AI の評価点比較(第2回)

| 判定者 | | A | B | C | D | H,I | 評価点計 | 加重平均点 |
|-----------------|----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 圧縮強度 | 風化変質 | 割目間隔 | 割目状態 | 湧水劣化 | | |
| 技術者1 (国土交通省) | 右肩 | 18 | 13 | 11 | 14 | 0 | 56 | 38 |
| | 中央 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | |
| | 左肩 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | |
| 技術者2 (国土交通省) | 右肩 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | 32 |
| | 中央 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | |
| | 左肩 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | |
| 技術者3 (国土交通省) | 右肩 | 24 | 7 | 6 | 7 | 0 | 44 | 39 |
| | 中央 | 18 | 7 | 6 | 7 | 0 | 38 | |
| | 左肩 | 18 | 7 | 6 | 7 | 0 | 38 | |
| 技術者4 (施工業者) | 右肩 | 18 | 7 | 6 | 7 | 1 | 39 | 39 |
| | 中央 | 18 | 7 | 6 | 7 | 1 | 39 | |
| | 左肩 | 18 | 7 | 6 | 7 | 1 | 39 | |
| 技術者5 (施工業者) | 右肩 | 18 | 7 | 6 | 7 | 0 | 38 | 38 |
| | 中央 | 18 | 7 | 6 | 7 | 0 | 38 | |
| | 左肩 | 18 | 7 | 6 | 7 | 0 | 38 | |
| 岩盤判定AI | 右肩 | 18 | 7 | 0 | 14 | 0 | 39 | 40 |
| | 中央 | 18 | 7 | 6 | 7 | 0 | 38 | |
| | 左肩 | 18 | 13 | 0 | 14 | 0 | 45 | |

(2) 第3回岩盤判定における検証結果(坑口から178m)

図-4に、切羽写真を示す。表-2より、岩盤判定 AI の加重平均点は、全技術者より低い点数となった。この点数の差は、技術者の主観的な評価範囲と岩盤判定 AI の評価範囲が異なったためであると考えられる。各観察項目は、現場にいた技術者と半分以上一致した。岩石名の判定結果は凝灰岩であり実際の岩種と一致した。



図-4 坑口から 178m の切羽写真

表-2 技術者と岩盤判定 AI の評価点比較(第3回)

| 判定者 | | A | B | C | D | H,I | 評価点計 | 加重平均点 |
|-----------------|----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 圧縮強度 | 風化変質 | 割目間隔 | 割目状態 | 湧水劣化 | | |
| 技術者1 (国土交通省) | 右層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 1 | 33 | 33 |
| | 中央 | 12 | 7 | 6 | 7 | 1 | 33 | |
| | 左層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 1 | 33 | |
| 技術者2 (国土交通省) | 右層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | 22 |
| | 中央 | 6 | 0 | 0 | 7 | 0 | 13 | |
| | 左層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | |
| 技術者3 (国土交通省) | 右層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | 25 |
| | 中央 | 12 | 0 | 0 | 7 | 0 | 19 | |
| | 左層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | |
| 技術者4 (施工業者) | 右層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | 25 |
| | 中央 | 6 | 7 | 0 | 0 | 0 | 13 | |
| | 左層 | 12 | 13 | 6 | 14 | 0 | 45 | |
| 技術者5 (施工業者) | 右層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | 24 |
| | 中央 | 6 | 0 | 0 | 7 | 0 | 13 | |
| | 左層 | 12 | 13 | 6 | 7 | 0 | 38 | |
| 岩盤判定AI | 右層 | 12 | 0 | 0 | 7 | 0 | 19 | 18 |
| | 中央 | 12 | 0 | 6 | 0 | 0 | 18 | |
| | 左層 | 12 | 0 | 6 | 0 | 0 | 18 | |

(3) 第4回岩盤判定における検証結果(坑口から230m)

図-5に、切羽写真を示す。表-3より岩盤判定 AI の加重平均点は、技術者の加重平均点と類似する点数となった。この際、国土交通省の技術者3は現地に臨場して岩盤判定を行っており、その評価点数は32点となり、AI の判定により近い結果となっている。各観察項目は、現場にいた技術者と半分以上異なる結果となった。



図-5 坑口から 230m の切羽写真

表-3 技術者と岩盤判定 AI の評価点比較(第4回)

| 判定者 | | A | B | C | D | H,I | 評価点計 | 加重平均点 |
|-----------------|----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 圧縮強度 | 風化変質 | 割目間隔 | 割目状態 | 湧水劣化 | | |
| 技術者1 (国土交通省) | 右層 | 12 | 7 | 6 | 7 | 0 | 32 | 21 |
| | 中央 | 6 | 7 | 0 | 0 | 0 | 13 | |
| | 左層 | 12 | 7 | 0 | 7 | 0 | 26 | |
| 技術者2 (国土交通省) | 右層 | 12 | 7 | 0 | 7 | 0 | 26 | 26 |
| | 中央 | 6 | 13 | 0 | 7 | 0 | 26 | |
| | 左層 | 12 | 7 | 0 | 7 | 0 | 26 | |
| 技術者3 (国土交通省) | 右層 | 12 | 13 | 6 | 14 | 0 | 45 | 32 |
| | 中央 | 6 | 7 | 0 | 7 | 0 | 20 | |
| | 左層 | 12 | 13 | 6 | 14 | 0 | 45 | |
| 技術者4 (施工業者) | 右層 | 12 | 13 | 6 | 7 | 0 | 38 | 25 |
| | 中央 | 6 | 7 | 6 | 7 | 0 | 26 | |
| | 左層 | 6 | 7 | 0 | 0 | 0 | 13 | |
| 技術者5 (施工業者) | 右層 | 6 | 7 | 6 | 7 | 0 | 26 | 27 |
| | 中央 | 12 | 13 | 0 | 7 | 0 | 32 | |
| | 左層 | 6 | 7 | 0 | 7 | 0 | 20 | |
| 岩盤判定AI | 右層 | 18 | 13 | 6 | 7 | 0 | 44 | 29 |
| | 中央 | 12 | 0 | 6 | 7 | 0 | 25 | |
| | 左層 | 12 | 0 | 6 | 7 | 0 | 25 | |

5. まとめ

今回実施した検証より、次に挙げる問題点が明らかとなったため、今後の検討課題とする。

(1) 切羽写真と切羽観察データシートの対応

今回 AI に学習させた教師データは、施工者から提供された切羽観察データシートであるため、安全側に考慮された学習データが蓄積していると考えられる。

今後は、図-6の切羽全体のスケッチ画像のように、地質技術者が中立の立場で判断した画像データを用いることで、教師データの品質が向上するため、AI の判定精度が上昇するまでの期間は、教師データとして与えていく必要がある。



図-6 切羽全体のスケッチ例

(2) 圧縮強度・走向傾斜の判定項目について

実際に岩片を叩いて評価する圧縮強度や、奥行方向の情報を含む走向傾斜については画像による判定では限界があるため、針貫入試験値で得られる実測強度や、3次元データ等を学習データとして用いる必要がある。

6. 謝辞

本検証を行うにあたり、施工者である佐藤工業(株)より、データの提供と様々な協力を賜った。ここに深謝致します。

《引用・参考文献》

- 1) 荒木光一, 藤田達大, 鬼村雅和, 山縣宏紀; 2022年7月「深層学習によるボーリングコア画像からの岩種区分判定の基礎検討」第57回地盤工学研究発表

多波長スペクトルデータと AI を用いた 岩種・風化・亀裂の定量的な判別手法の研究

(株)地圏総合コンサルタント ○中井 康生, 福岡 航治, 中川 清森, 清水 桜
北海道大学 中村 真一郎

1. はじめに

構造物の計画・設計・施工に利用される岩盤分類は、岩種、風化の程度、亀裂の性状などの要素から評価される。これらの多くは目視等の定性的な判断に基づく。そのため、技術者の主観や技術的能力差が入りやすいことや、実際の施工状況における地質性状との差異が生じることが指摘されている¹⁾²⁾ (例えば、青砥ほか, 2004. 宇津木, 2018)。したがって、定量的な判別手法の構築が必要と考える。

本研究では、野外露頭で取得したハイパースペクトル (以下, HS) データ, および RGB 画像を用いて、岩種・風化の程度・亀裂の AI 判別モデルを作成し、岩盤の分類要素の定量的な判別手法を検討した。

2. 方法

2.1 撮影対象と目視観察結果

本研究では、異なる性状の岩盤を一度に撮影できる場所として、愛媛県松山市内に分布する和泉層群砂岩泥岩互層³⁾の露頭2箇所 (Loc. 1, Loc. 2) を撮影対象とした (図-1)。

【Loc. 1】上位層 (Ss1) は弱風化砂岩が分布する。色調は灰～褐灰色を示す。層理面 (N68° 54' S) に沿った亀裂 (N16° E58W) や高角 (N32° W88° E) の亀裂が10～20cm 間隔で発達する。下位層 (Ms1) は弱風化の砂質泥岩が分布する。色調は暗灰～灰色を示す。層理面に沿った亀裂 (N62° E32° S) が5～10cm 間隔で発達する。

【Loc. 2】上位層 (Ss2) は弱風化砂岩が分布する。色調は灰～褐色を示す。約30cm 毎に高角の亀裂 (N2° W66° S) が発達し、亀裂面は風化している。下位層 (Ms2) は風化泥岩が分布する。色調は暗褐～褐色を示す。1～3cm 間隔で亀裂が発達し、角礫状を呈する。

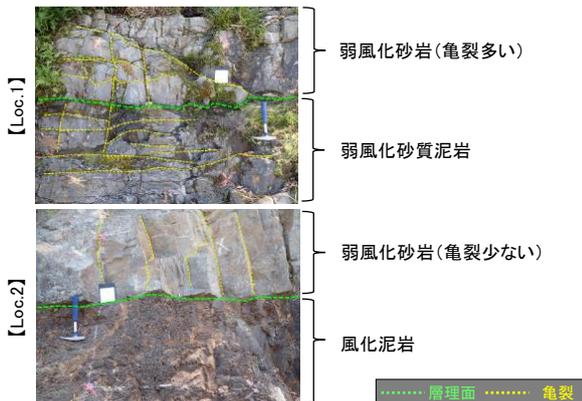


図-1 対象露頭における岩種, 風化程度, 亀裂性状

2.2 使用機材

HS データは、HS カメラ: Specim IQ (Spectral Imaging 社) で露頭を撮影し取得した。Specim IQ は撮影対象からの光を400～1,000nm の波長領域で、204のバンドに分光したスペクトルデータが得られる機材である。RGB 画像は、iPhone13 (Apple 社) の内蔵カメラで撮影した。

2.3 AI 画像認識を用いた判別モデルの作成

岩種・風化の程度、亀裂の定量的な評価の手法として、AI 画像認識を用いた判別モデルを作成した。

岩種と風化程度の判別モデルは、HS データを使用し、畳み込みニューラルネットワーク (以下, CNN) の手法で作成した。学習の際は、取得した HS データから「Ss1」, 「Ms1」, 「Ss2」, 「Ms2」, 「背景」に該当する領域を取り出し、それぞれの領域に当該のラベルを付けた。作成した岩種・風化判別モデルを HS-CNN モデルと呼ぶ。

亀裂の判別モデルは、RGB 画像を使用し、セマンティックセグメンテーション (以下, SS) の一つである SegNet を用いて作成した。SS はピクセル単位で対象物を認識し判別する画像認識の手法である。学習の際は、無造作に選択した亀裂に「亀裂」のラベル付けし、残りの領域に「背景」のラベル付けをした。

撮影方向による輝度差を利用して亀裂を明確に判別するため、RGB 画像を3方向から撮影した。上記の3枚の RGB 画像を、鳥瞰画像変換により全て正面方向の画像 (多視点 RGB 画像) に変換した (図-2)。通常の RGB 画像から作成した亀裂判別モデルを RGB-SegNet モデル、多視点 RGB 画像から作成したモデルを多視点 RGB-SegNet モデルとし、判別精度を比較した。

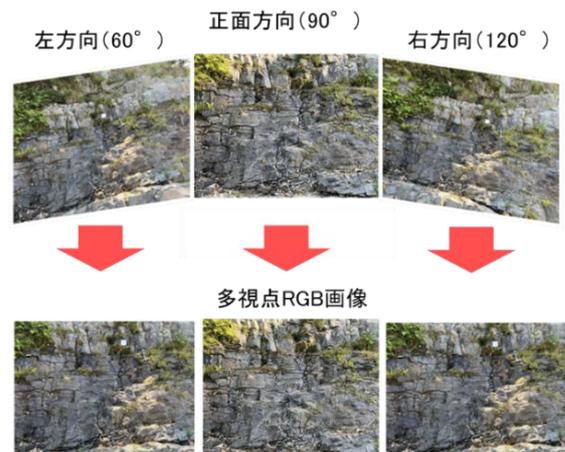


図-2 多視点 RGB 画像の作成イメージ

3. 結果・評価

3.1 岩種・風化判別モデル

未学習データを用いてモデルによる判別を行い、判別結果の正答率（判別精度）を評価した。判別精度は95.2%と高い結果が得られた。図-3に、対象とした露頭写真と判別結果を可視化した画像を併せて示す。可視化画像は、岩種・風化程度の分布を色毎に表示している。

可視化画像上での岩種の分布境界（層理面）は、目視観察の結果と概ね一致した。また、同一岩種でも、風化程度の違いを明確に判別した。今回作成した岩種・風化判別モデルは、岩種と風化程度の分布状況を認識できる手法と評価できる。

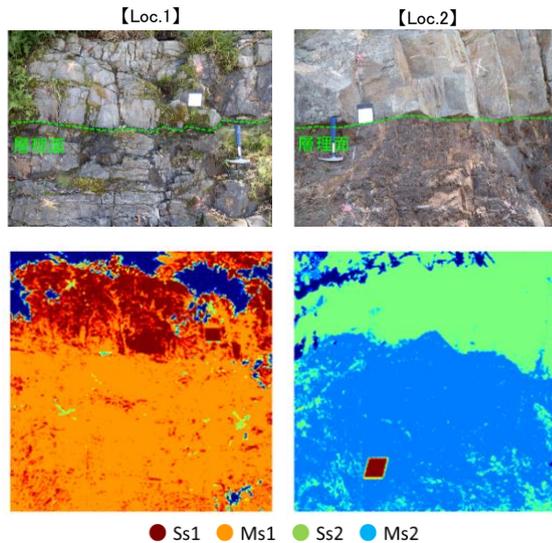


図-3 HS-CNN モデルによる判別結果の可視化画像

3.2 亀裂判別モデル

(1) モデル作成結果と評価

未学習データを用いてモデルによる判別を行い、ラベル付けした亀裂に対する抽出率（判別精度）を評価した。RGB-SegNet モデルの判別精度は、Loc. 1：80.1%、Loc. 2：85.4%であった。多視点 RGB-SegNet モデルの判別精度は、Loc. 1：86.4%、Loc. 2：84.7%であった。両モデルとも高い判別精度が得られた。図-4に、ラベル付けした亀裂箇所と、可視化した RGB-SegNet モデルおよび多視点 RGB-SegNet モデルによる判別結果を示す。可視化画像上で、亀裂と判定したピクセルを黄色で表示している。

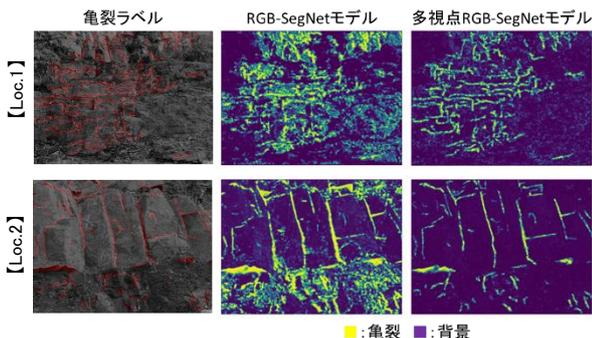


図-4 亀裂判別モデルによる判別結果の可視化画像

両モデルともに、ラベル付けした亀裂については高い精度で抽出したが、ラベル付けしていない亀裂は抽出しなかった。また、RGB-SegNet モデルでは、亀裂として不確実な構造を亀裂として抽出した。一方、多視点 RGB-SegNet モデルによる判別は、学習した亀裂ラベルに基づいた確実な亀裂のみを抽出した。

(2) 亀裂間隔の算出

多視点 RGB-SegNet モデルによる判別結果の可視化画像を用いて、亀裂の間隔を算出した（表-1）。算出の際は、亀裂領域の外周線を抽出し、最も距離の近い亀裂領域との距離を亀裂間隔として求めた。

算出した亀裂間隔の平均はそれぞれ、Ss1：14.8cm、Ms1：5.1cm、Ss2：17.3cm、Ms2：39.7cmであった（表-1）。亀裂を抽出できなかった Ms2を除き、算出結果は目視観察結果の範囲内に収まっていた。

表-1 亀裂間隔の算出結果

| 露頭 | 岩盤 | 判別結果からの算出 | 目視観察 |
|--------|-----|-----------|---------|
| Loc. 1 | Ss1 | 14.8cm | 10~20cm |
| | Ms1 | 5.1cm | 5~10cm |
| Loc. 2 | Ss2 | 17.3cm | 約30cm |
| | Ms2 | 39.7cm | 1~3cm |

3.3 岩盤分類への活用の可能性

HS-CNN モデルは高い精度で岩種、風化の程度を判別できた。また、多視点 RGB-SegNet モデルは、ラベル付けした亀裂の構造を明瞭に抽出し、亀裂間隔の算出も可能であった。ただし、ラベル付けしていない亀裂は抽出できなかったため、より正確な亀裂の抽出にはラベルの付け方について検討する必要がある。上記の課題を解決し、これら2つのモデルを組み合わせることで、岩盤分類に活用できる可能性がある。

4. まとめと今後の展望

本研究では、HS データ、および RGB 画像から、岩種・風化・亀裂の AI 判別モデルを作成し、目視観察の結果と同等の評価を行うことができた。今後は、実用化に向けて、他地点の砂岩層・泥岩層を対象に、本研究のモデルの精度検証やモデル精度の向上が必要である。

《引用・参考文献》

- 1) 青砥澄夫, 菊山浩喜 (2004) : ボーリングコア観察定量化への試み-コアの帯磁率測定による地層区分・風化度指標-, 全地連技術フォーラム2004論文集, 論文 No. 121.
- 2) 宇津木慎司 (2018) : マルチスペクトルカメラ, AI を利活用した施工現場地質状況自動評価システムの構築, 建設機械施工, Vol. 70, No. 11, p15-11.
- 3) 20万分の1地質図福「松山」(第2版) (2016) : 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.

機械学習による関東平野の浅部地盤の平均 S 波速度分布の予測

応用地質株式会社 ○西村 武, 松山 尚典, 眞鍋 俊平, 鈴木 晴彦
防災科学技術研究所 先名 重樹

1. はじめに

防災科学技術研究所（以下、防災科研）では、地震調査研究推進本部による全国地震動予測地図¹⁾の作成支援業務として、地震動予測のための広域地盤構造モデルを構築している（先名ほか、2023²⁾など）。このモデルでは、ボーリングデータ・微動アレイ観測データ・地震観測データを用いて作成されている。これらの結果の1つである深度 30m までの平均 S 波速度（以下、AVS30 という）とそれから算出した地震動増幅率は地震ハザードステーション（J-SHIS¹⁾）で公開されている。ここで、地盤データの空間補間は、基本的に、250m メッシュの微地形区分（若松ほか、2020³⁾）を用いたクリギング法で行っている。

本検討では、現状の手法の改良を目指し、微動アレイ観測データを用いた機械学習により、地域的な地盤特性の変化を考慮したモデル化の可能性を検討した。また、先名ほか（2023）で示されている関東平野の 250m メッシュの AVS30 分布との比較を行った。

2. 解析手法とモデル、モデルの精度比較方法

(1) 解析概要およびデータ整理

入力値を地形情報から作成した各種特徴量、出力値を AVS30 (m/s) とした機械学習および重回帰分析による予測モデルを作成した。地形情報は地図上の位置（緯度・経度など）と地形に関する特徴量の組み合わせで表現される表形式のデータとして扱った。

解析には、防災科研によって実施された13,372点の微動アレイ観測データのうち、AVS30が得られている12,264点のデータを用いた。検討に用いた特徴量は、①緯度 (Lat)、②経度 (Lon)、③標高 (Ev)、④傾斜 (Tilt)、⑤微地形区分 (GEOM ID)、⑥山地までの距離 (Dm)、⑦台地までの距離 (Dp)、⑧河川までの距離 (Dr)、⑨海岸線までの距離 (Dc) の9つである。

表-1 本検討で使用したモデル

| Case 名 | 入力データの 種類 | 入力データ の割合 |
|-----------------------------|---------------|--------------|
| 重回帰分析： Case0 | ③④⑤⑥⑧⑨ | 80% |
| 入力データの割合の 変更： Case1-1 | ①②③④⑤⑥ ⑦⑧⑨ | 80% |
| Case1-2 | 同上 | 20% |
| Case1-3 | 同上 | 5% |
| 入力データの種類の 変更： Case2-2 | ③④⑤⑥⑧⑨ | 80% |

(2) 解析手法と作成したモデル

機械学習の手法には TensorFlow⁴⁾を用いたニューラルネットワークを使用した。入力データの割合および入力データの種類を変えた機械学習モデルを複数作成し、推定精度に与える影響について比較・検証を行った。表-1に本検討で作成した機械学習モデルを示す。データセットの中から、表-1に示した割合のデータをランダムにサンプリングしたものを教師データとして予測モデルを構築した。残りを検証データとして予測モデルの評価を行った。ランダムサンプリングの際に特定の微地形区分にサンプルが偏らないよう、微地形区分ごとにデータを分割し、サンプリングを変えた100通りの解析を行った。

重回帰分析は表-1に示す6つの特徴量を用いて微地形区分ごとに解析を行った。松岡ほか（2005）⁵⁾を参考に、式-1はそれぞれの特徴量の対数による線形重回帰モデルとした。ここで a, b, c, d, e, f は偏重回帰係数、σ は標準偏差である。

$$\log AVS30 = a + b \log E_p + c \log Tilt + d \log D_m + e \log D_r + f \log D_c \pm \sigma \dots \text{式-1}$$

(3) モデルの予測精度比較方法

各モデルの予測精度は、i 番目の地点における AVS30 の予測値を $VS_{pre}(i)$ 、測定値を $VS_{trg}(i)$ とした場合、式-2で示す二乗和平均平方根 (RMSE) で評価した。各解析ケースで検証データに対する RMSE を計算し、モデルによる再現精度を比較した。機械学習モデルでは100通りの解析の RMSE の平均値を用いて評価した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log VS_{pre}(i) - \log VS_{trg}(i))^2} \dots \text{式-2}$$

3. 予測値と測定値の比較によるモデル精度の検討

図-1に各モデルの AVS30の測定値 (Target) と予測値 (Prediction) の関係の一例を示す。表-2にモデル毎の100通りの平均 RMSE および予測値の精度（予測値と測定値の誤差 RMSE を真数に置き換えた値）を示す。

Case1-1, Case1-2, Case1-3と入力データの割合が減少していくとともに RMSE の値が高くなり、入力データの割合が高いモデルの方が、微動アレイ観測から求めた AVS30との差が小さい（予測精度が良い）傾向にある。入力データの種類を変更した Case1-1, Case2-2を比較すると、Case1-1の RMSE が小さいことから、入力データとして使用する特徴量を増やすと予測精度が向上することがわかる。Case2-2（機械学習）と Case0（重回帰分析）を比較すると、機械学習モデルの RMSE の方が小さく、重回帰分析よりも機械学習の予測精度が良いことがわかる。

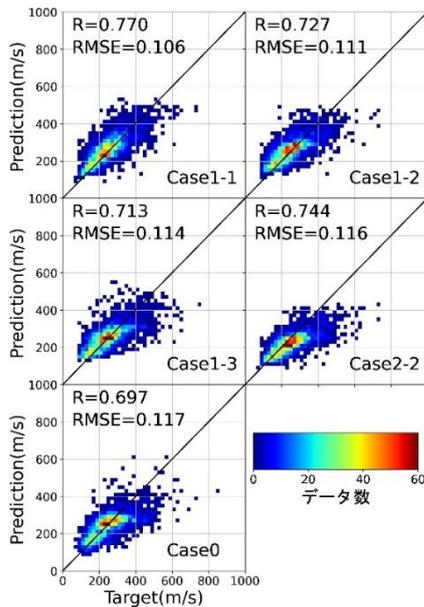


図-1 モデル毎の AVS30 の測定値(横軸)と予測値(縦軸)

表-2 各モデルのデータ数と RMSE

| モデルケース | 入力データ数 (データ密度) | RMSE (対数表示) | 予測値の 精度(倍) |
|---------|-------------------------------|----------------|---------------|
| Case0 | 9,798 (1km ² /1 点) | 0.122 | 0.755-1.324 |
| Case1-1 | 9,798 (1km ² /1 点) | 0.106 | 0.783-1.276 |
| Case1-2 | 2,447 (4km ² /1 点) | 0.111 | 0.774-1.291 |
| Case1-3 | 606 (16km ² /1 点) | 0.116 | 0.766-1.306 |
| Case2-2 | 9,798 (1km ² /1 点) | 0.110 | 0.776-1.288 |

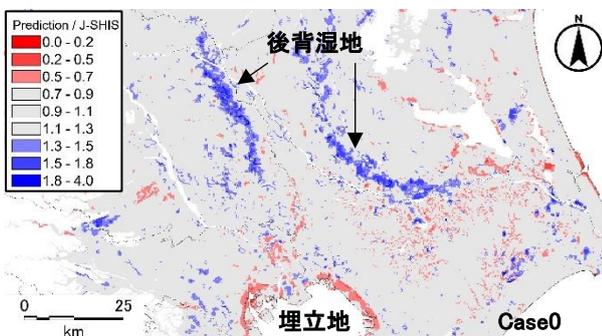
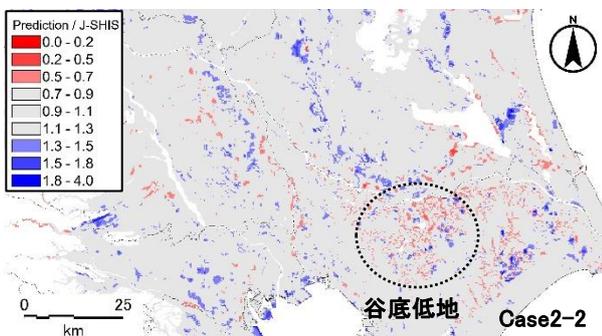


図-2 250m メッシュの予測 AVS30(Prediction)と J-SHIS による AVS30(J-SHIS)との比(上図: Case2-2, 下図: Case0)

4. AVS30分布の予測と J-SHIS モデルとの比較

予測モデルを用いた関東平野の250m メッシュの AVS30 分布を作成し、先名ほか (2023) の結果に J-SHIS モデルの AVS30 との比を求めて両者を比較した (図-2)。

機械学習 Case2-2 との比較では、平野部の領域の AVS30 の予測値は、J-SHIS モデルの値の 0.7-1.3 倍程度であり、概ね妥当な予測となっている。北部や西部の山側の領域で、J-SHIS モデルとの違いが大きい青色の領域が離散的に分布しており、機械学習モデルの予測のほうが大きい傾向がある。その原因として、山際は平野部に比べて観測点が少なく、学習データが少ないために予測を困難にさせていると推察される。

重回帰分析 Case0 との比較では、利根川・中川流域の後背湿地で、J-SHIS モデルよりも AVS30 が大きい傾向にある。一方、東京湾沿岸部の埋立地では、重回帰モデルのほうが著しく小さい傾向がある。

また、下総台地内の谷底低地では、手法に関わらず予測値のほうが J-SHIS モデルを下回る傾向にある。

5. まとめ

本検討による成果は、次のとおりである。

- 同一の地形特徴量を用いた場合、入力データの割合が大きいほうが、測定値との違いが小さい。
- 機械学習および重回帰分析により予測した AVS30 を J-SHIS モデルと比較すると、機械学習モデルの方が、より J-SHIS に近い予測を与える。
- 予測モデルによる関東平野の AVS30 の分布をみると、機械学習モデルでは、山地を除く平野部で概ね J-SHIS モデルと類似した傾向となったが、重回帰分析モデルでは特定の微地形区分で大きく乖離することとなった。

今後は各モデルにおける特徴量の寄与度について比較を行い、手法によって予測結果が異なる要因について検討を行う予定である。また、このような解析の基礎となる地形情報についても分解能を上げたデータを作成し、機械学習に適用していくことを計画している。

《引用・参考文献》

- 1) 防災科学技術研究所：J-SHIS, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (最終閲覧日2024. 5. 28)
- 2) 先名重樹, 藤原広行, 前田宜浩, 森川信之, 岩城麻子, 河合伸一, 谷田貝淳, 佐藤将, 鈴木晴彦, 稲垣賢亮, 松山尚典: 強震動評価のための浅部・深部統合地盤構造モデルの構築, 防災科学技術研究所研究資料, 第498号, pp.1-259, 2023.
- 3) 若松加寿江, 松岡昌志: 地形・地盤分類250m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, No. 40, pp. 24-27, 2020.
- 4) TensorFlow Developers: TensorFlow (v2.16.0-rc0). Zenodo. <https://www.tensorflow.org/> (最終閲覧日2024. 5. 28)
- 5) 松岡昌志, 若松加寿江, 藤本一雄, 翠川三郎: 日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均 S 波速度分布の推定, 土木学会論文集, No. 794/I-72, pp. 239-251, 2005.

微地形表現図の作成における簡易なフィルタリング方法の提案

西部技術コンサルタント株式会社 ○梶原 彩花, 田邊 信男

1. はじめに

近年、レーザ測量で取得した3次元点群データを地形解析や防災点検等で活用する機会が増えている。¹⁾3次元点群データから地形解析を行うにはデータを加工する必要がある。測量によって取得したばかりのオリジナルデータは建物や植生等地表遮蔽物も座標として含まれているため、それらを除いた地表面を表すデータ（以下グラウンドデータと記す）を生成する。そして、グラウンドデータを内挿補間して格子状のデータ（以下グリッドデータと記す）を算定する。グリッドデータに加工することによってはじめて勾配や斜面の凹凸などの微地形量、標高差分値を算出することができる。しかし、オリジナルデータからグラウンドデータを生成する過程に専門技術者の手動によるフィルタリングが含まれるが、高度な技術力を必要とするため正確なグラウンドデータの生成は難しい。このような現状を踏まえ、本稿ではオリジナルデータからグリッドデータの生成過程において、誰でも簡易にかつ精度を落とすことなくグリッドデータを生成する方法を提案する。

2. 検討対象地域

本研究では、岡山県総社市の落石崩壊斜面を対象とした。斜面上に小さな崖と落石露頭が分布しており、針葉樹と広葉樹がおよそ1:1の割合で生育している。

3. 解析工程

本研究で提案する解析工程を一般的な解析工程に重ねて以下に示す。(図-1)

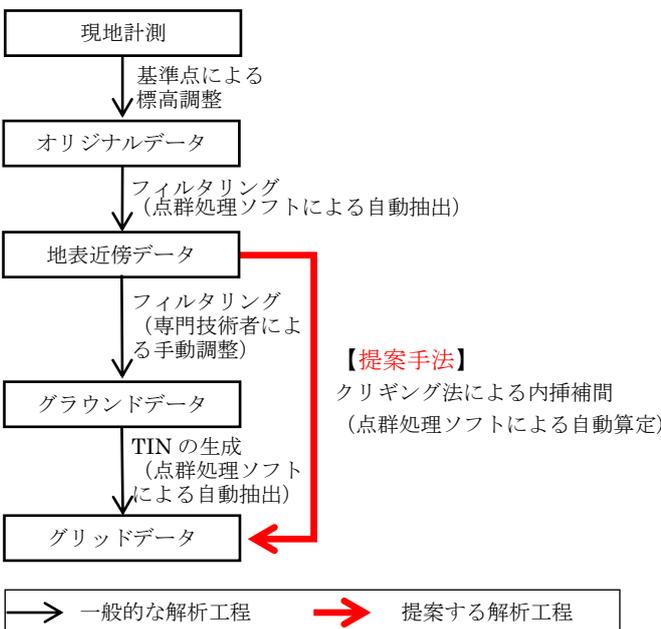


図-1 提案する解析工程

(1) グラウンドデータについて

グラウンドデータは一般的に点群処理ソフトによるフィルタリングを自動で行い、その後専門技術者の目視判読によって地表遮蔽物とみられる点群を手動で削除する。図-2はオリジナルデータとグラウンドデータを重ね合わせた断面図である。この図は UAV レーザ測量により取得したデータであり、地表面付近に多数のオリジナルデータが集中していることがわかる。

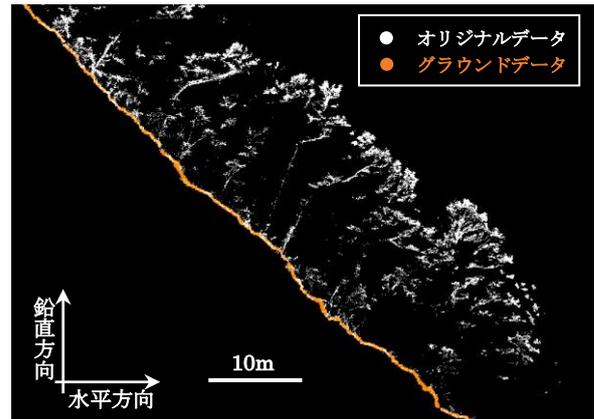


図-2 オリジナルデータとグラウンドデータの比較

(2) 内挿補間方法

一般的な点群処理ソフトでオリジナルデータから自動フィルタリングを行った点群データ（以下地表近傍データと記す）とグラウンドデータの比較を行った。(図-3) 地表近傍データはデータ数も多く、詳細な地形を読み取れる反面、地表遮蔽物も反映している。これより、点群処理ソフトでフィルタリングしたデータをそのままグリッドデータに反映することで、より詳細な地形を表現できる可能性がある。そこで、点群処理ソフトで得られた地表近傍データから内挿補間を行った。本研究ではクリギング法を内挿補間として使用した。クリギング法は空間データの内挿推定の一手法であり、確率論的に最適な値を推定する方法である。²⁾

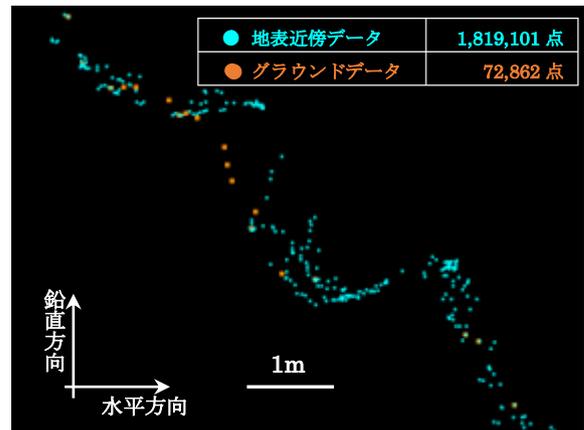


図-3 地表近傍データとグラウンドデータの比較

(3) グリッドデータの比較

地表近傍データを用いたグリッドデータ（提案方法）とグラウンドデータを用いたグリッドデータ（一般的な方法）を比較した。クリギング法によって10cmのグリッドデータを生成し、グリッドごとに差分を算出した。（図-4(b)(c)）赤い部分は一般的な方法で作成したグリッドデータの方が標高が高く、青い部分は提案方法で作成したグリッドデータの方が標高が高いことを示している。図-4の(b)(c)より青色のグリッドは、等高線が密で標高の高い部分に集中し、赤色のグリッドは、標高の低い部分に集中していることが読み取れる。図-4の(a)における黄色の点は、グリッドデータの標高差が50cmを超えた座標である。凸状の岩石露頭や小崖と重なっており、周辺地形と比較して突出した形状を示す地形である。また、図-4(a)の赤い点の座標を(b)(c)に表示させると、青いグリッドの直下に位置している。以上の結果より、地表近傍データを用いたグリッドデータは、図-4(a)の岩石露頭の形状を適切に表現できている。

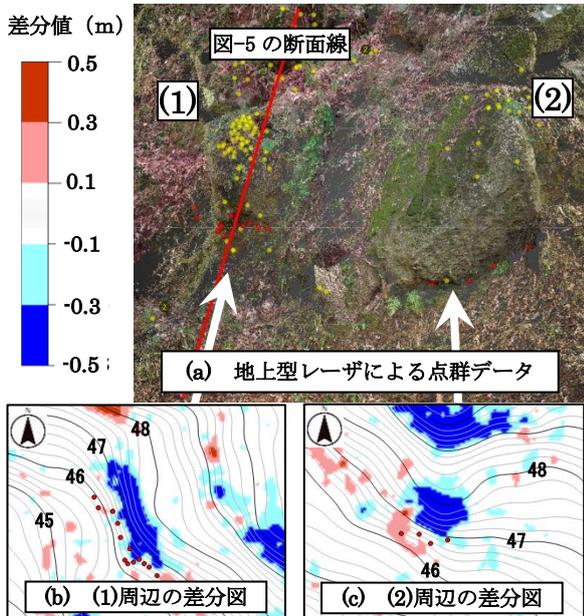


図-4 地上型レーザによる点群データと差分図

次に、グリッドデータの断面を図-5に示す。(A)点では、オリジナルデータとして存在していた点群がなくなり、グラウンドデータから生成したグリッドデータは地表近傍データから生成したグリッドデータに比べて下方に位置している。ところが実際は、この場所に岩石露頭が存在している。(図-4) 岩石露頭や崖などの微地形は、斜面上において特異な形状であることからグラウンドデータ生成の手動調整時に不要な点群として削除された、あるいはTINの生成時に代表点から外されたと考えられる。(B)点は、崖下のデータであるが、地表近傍データよりグラウンドデータの方が上に位置しており、凹地の特性を詳細に反映していない。このように、代表点がまばらに抽出されると凹凸のある地盤線を直線近似することとなり、図-5の左下図で示した通り、崖の上部では地表

近傍データから生成したグリッドデータの方が標高が高く、崖の下部ではグラウンドデータから生成したグリッドデータの方が標高が高くなる。

以上の結果から、斜面上の平坦面では本研究で生成したグリッドデータも一般的な方法で生成されたグリッドデータもほぼ同等であることが確認できた。しかし、地形の特異点では本研究で生成したグリッドデータの方が現地の地形をより正確に反映している。この地形の特異点は、調査技術者が現地調査する際に重要なポイントであるため、この分布を調査前に知ることは、現地調査の効率化や安全性確保に寄与する。

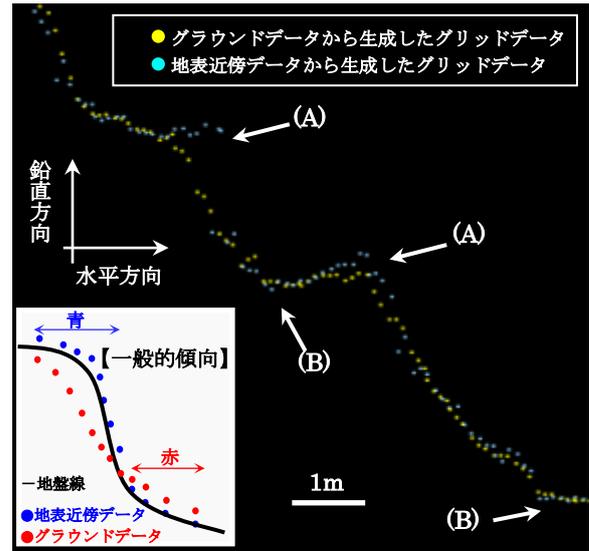


図-5 断面上の2つのグリッドデータ分布と一般的傾向

4. まとめと課題

本研究では、オリジナルデータからグリッドデータの生成工程において、誰でも簡易に、精度良く生成することが可能となった。従来の手法と比較すると、作業効率が上がり、専門技術者の労力を削減することができる。また、本研究のグリッドデータは一般的な方法で生成したグリッドデータよりも岩石露頭や小崖の凹凸をより詳細に抽出することができた。

一方で課題もある。本提案では、手動調整のフィルタリング作業を削除しているため、グラウンドデータが必要な場合には対応していない。また、汎用的な点群処理ソフトを用いて検討しているため専門的なソフトに比べてデータ数の上限やフィルタリング条件等機能的に劣っていると推測される。地形や産状に応じて点群処理ソフトの最適な生成条件の検討は必要となる。

《引用・参考文献》

- 1) 崎田晃基, 菊地輝行, 西山哲: 地形量図を用いたサポートベクトルマシンによる落石発生源の検出, 地盤工学ジャーナル, 17巻, 2号, pp.147-157, 2022.
- 2) 阪田義隆: クリギング入門 - 空間データ推定の確率的アプローチ, p240, コロナ社, 2021.

斜面点検調査における MR 技術の利用

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング ○伏木 秀斉, 三浦 理司

1. はじめに

斜面点検調査は、防災対策事業や日常の道路維持管理の一環として、災害の発生をできる限り未然に防止し被害を最小限に抑えることを目的として実施される⁽¹⁾。転石や落石、崩壊跡地といった危険事象を現地で直接発見できる業務であり、迅速かつ正確な観察記録が必要とされる(写真-1)。しかし当社の現状の点検調査は地形図からの判読を用いて情報を用紙に記録し、点検後に清書する方法を取っており、点検結果の完成に時間がかかるといった課題が発生している。これらを解決するために当社では Mixed Reality 技術(以下 MR)技術を利用し、点検調査の高精度化、効率化を図っている。

本論では MR 技術の利用による斜面防災への効果と、テスト使用を通じて挙げられた課題を報告する。



写真-1 調査中に確認された斜面上の転石

2. MR 技術について

MR 技術とは拡張現実 (AR) と仮想現実 (VR) を組み合わせた技術であり(表-1)、現実世界と仮想世界を重ね合わせてそれらの情報を同時に表示できる⁽²⁾(写真-2)。

表-1 各デジタル技術の特徴

| 技術名 | 特徴 |
|-----------|-------------------------|
| 拡張現実 (AR) | 現実世界に仮想現実を投影する技術 |
| 仮想現実 (VR) | 現実世界を無視して仮想現実を構築する技術 |
| 複合現実 (MR) | 現実世界と仮想現実影響し合う空間を構築する技術 |



写真-2 MR 技術を利用して見られる空間のイメージ

さらに現実世界に映し出した仮想のデジタル情報に直接アクセスし、機能的に操作することで点検調査における以下の利点が考えられる。

(1) 事象情報の評価の統一化

斜面の危険性は、起きている危険事象とその規模による採点方式で判断される。現在の調査では事象の記録結果に対しての評価が、調査者の習得度によりやや左右されてしまう恐れがある。

MR 空間中のカルテへの記入は事象とその規模毎に選択式にし、選択結果毎の評点を設定することで事象情報の評価基準を統一化することができる。

(2) 点検結果カルテ作成の効率化

現在の調査では現地で記録した事象情報を、カルテ用紙上で清書することでカルテを作成しているが、現地作業とカルテ作成作業を別で行うことで、成果物を完成させるまでに多くの時間を要する。

MR 技術を利用して現地空間に電子カルテを映し出すことで調査中に確認された事象およびその特徴を即座に入力できる(写真-3)。現地で得られた情報をカルテに直接入力作成し、点検結果の完成までにかかる時間を大幅に削減される。また、一度確認した事象を、位置情報を含めてデータ内に保存することで定期的な点検を行う際に経年による事象の変状を瞬時に照らし合わせ、正確に判断できる。

(3) 現場の安全性の向上

現在の点検では紙を用いての記録を行っており、記録中には周囲確認が不足して怪我や事故に繋がる恐れがあったが、空間にカルテを映すことで記録中にも周囲状況を見ながら行えるため、従来よりも周囲の安全を確保できる。

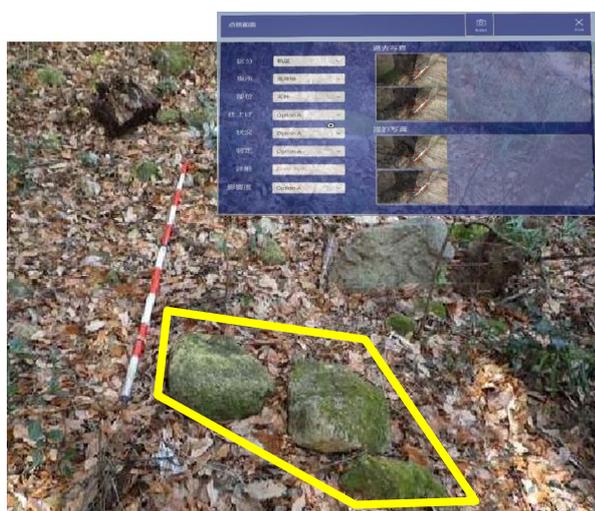


写真-3 MR空間でのカルテ作成画面

3. MR技術利用の課題

テスト段階としてMR技術を野外で使用した結果、実践的な利用にあたり新たな利点と課題が浮上した。現地使用者の視点から挙げられる課題は以下の通りである。

(1) 点検評価項目の不足

登録しているカルテのデータは、テスト段階ではあるが現状では点検結果の選択項目が危険度評価に対して十分に細分化できていない。たとえば、同じ評点となっている事象でもその規模の違いによって危険度と判定される重要度が異なることが想定される。今後は防災カルテの安定度調査表における採点基準を参考に項目を細分化し、評価基準をより高精度に統一化することが求められる。

(2) MR機材の持続時間

当社ではMR技術を用いるヘッドマウントディスプレイとして、Hololens2を使用している。この機材のバッテリー駆動時間は2～3時間と短く、複数のディスプレイを持ち歩く必要が生じる。したがって、ディスプレイのバッテリーの長寿命化に対する工夫（たとえば、使用時間の短縮化、使用対象の選別等）が求められる。

4. MR技術利用の展望

MR技術について斜面点検に対する利用を中心とした開発及び課題克服が進められているが、現在取り組んでいる開発を基に、今後は対策工が完了したインフラの点検調査にも活用可能である。

近年は社会インフラの高齢化が懸念され、インフラを更新する際に生じる多額の費用及び長期間の工事が問題となっている。これらへの対策として劣化や損傷が進行する前に補修、修繕対策を行う予防保全維持管理という考え方が導入されている。当社の点検調査においても斜面对策工の損傷や経年劣化が多く確認されており（写真-4）、保全事業においてもMR技術を利用することで迅速な作業及び保全箇所の対策対象決定を可能にし、施設効果の効果的な維持修繕につなげられることが期待される。



写真-4 モルタル工の経年劣化による剥離およびひび割れ

また、開発が進む毎に行うテスト使用はMR技術の操作スキルを習得する機会としても活用できる。当社では斜面防災点検としてのMR技術の操作経験がある人員が少なく、実践使用を見据えた操作スキルを習得している人材が限られていることが現状である。今後のテスト使用の機会に複数の人員が係ることで、開発段階の課題をより早期にかつ多く発見できるとともにMR技術の実践使用に到達するまでに操作技術の習得者を多く育成できることが期待される。

5. おわりに

本論では斜面防災点検調査におけるMR技術の利点、使用における現状の課題及び展望を確認した。MR技術の有効利用の可能性は多岐にわたり、将来的には多方向の点検、調査への導入が期待される。導入を実現させるために自身に取り組めることとして、MR技術の知識をより深め、斜面防災点検以外の調査においてもMR技術を活かせる機会の創出ができる立場になっていきたいと考えている。また操作スキルをより高め、MR技術を扱う人材をより多く育成できる様な指導に携われる立場になっていきたいと考えている。今後も社会実装に向けてMR開発者と現場調査者の間でより多くのコミュニケーションを取り合い、浮かび上がった課題を解決して開発を進める所存である。

《引用・参考文献》

- (1) 財団法人道路保全技術センター：防災カルテ作成・運用要領，1996.12
- (2) Microsoft Build：Mixed Realityに関するドキュメント
(<https://learn.microsoft.com/ja-jp/windows/mixed-reality/>)

【CO93】

ドローンおよびフォトグラメトリを活用した落石調査の事例

株式会社キタック ○田中 悦司, 遠藤 雄治, 池田 真彦, 戸貝 直樹, 田中 文男

1. はじめに

本調査地は、一般国道402号に面する最大斜度約80度、最大高さ約50mの崖で、既往の道路安定度調査において、要対策と判定されていた斜面である。落石対策工検討に必要な設計対象落石径や安定度を決定するために落石調査を実施した。



写真-1 調査対象斜面

これまでの急崖における落石調査では、ロープアクセスにより斜面を近接目視し、落石の分布、サイズ、安定度を把握していたが、急崖においては見通しが効かず、実際に近接するまで落石が分布するか等不明なことが多かった。そのため、落石の有無に関わらず隅々までロープアクセスにより近接する必要があるため、作業の効率化を図ることが課題であった。

近年、各分野においてドローンによる空撮が多く用いられるようになった。また、写真から3Dモデルを作成するフォトグラメトリという技術も確立された。そのため、落石調査の効率化を目的として、ドローンおよびフォトグラメトリを活用し、落石調査を提案・実施した。

2. 調査地の地質

調査地周辺には新第三期中新世の安山岩溶岩・火成岩が広く分布している。また、調査地の露岩表面部は破碎され、径5cm~20cmの礫を含有する礫岩状を示す(写真-2)。本層は海水中において火山活動の際に流れた溶岩が水と接触、急冷され破碎・角礫化した岩石(ハイアロクラスタイト)である。



写真-2 調査地の露岩状況

3. ドローンによる空撮、フォトグラメトリ

フォトグラメトリとは、様々な角度から撮影した対象物の写真を合成し、3Dモデルを作成する技術である。本調査の対象は高さ50mにおよぶ斜面で、様々な角度から写真を撮るには空撮する必要があったため、撮影にはドローンを用いた。撮影に用いた機体はDJI社製のPhantom4で、一般的に普及している機体である。空撮では、2秒毎に1枚自動で撮影するモードを用い、合計1300枚の写真を撮影した。撮影時間は1時間弱であった。

フォトグラメトリにより作成した3Dモデルを図-1に示す。フォトグラメトリでは、Bentley Systems社製のContext Captureというソフトウェアを用いた。1300枚の写真を合成するため処理時間は3日程かかったが、システム操作は15分程度である。

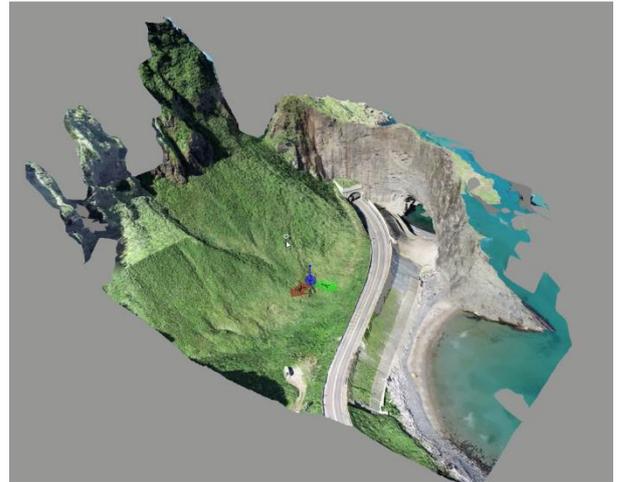


図-1 生成された3Dモデル

4. 3Dモデルの活用と効果

図-1に示した3Dモデルを用い、調査対象斜面を任意の視点で観察することができるようになったことで、現地調査前に、近接して調査すべきポイントと近接する必要のないポイントが事前に把握可能となった。結果として近接目視のための適切なロープアクセスの位置を選定でき、現地調査の効率化につながった。

また、調査対象斜面を真正面から捉えた3Dモデルのキャプチャ画像を作成し、現地調査の野帳として用いた(図-2)。従来であれば平面図を用い、現地の地形と図面上の位置を見比べながら落石の位置を特定し図面に描き込んでいく。しかし、自らの位置を平面図から読み取るためには読図力が必要となり、位置特定にも時間を要する。3D化した画像を野帳に用いることで、現地での位置特定が容易となり、作業効率化につながった。



図-2 野帳として用いたキャプチャ画像(抜粋)

調査結果の取りまとめでは、現地で確認した落石の位置を3Dモデル上に描画した(図-3)。これにより平面図上での説明よりも、視覚的に危険性や現地状況を伝える事が可能となった。



図-3 3Dモデル上に描画した落石位置(抜粋)

設計を行う上で平面図に落石位置を投影する必要があるが、3Dモデル上に描画したオブジェクトは、平面図に貼り付けることができ、落石の位置を従来に比べ高精度で表すことが可能となった(図-4)。

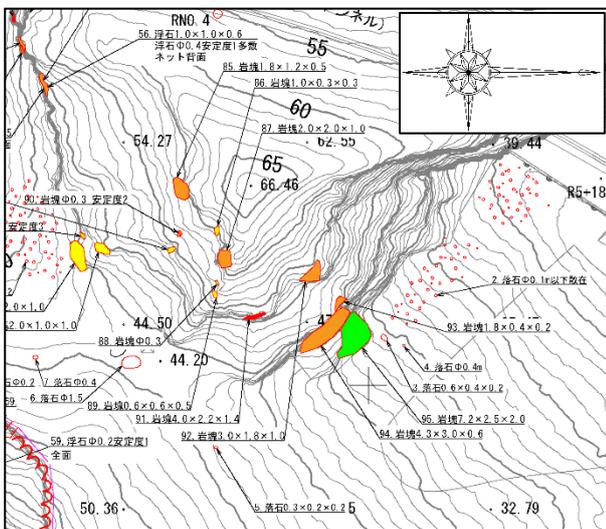


図-4 3Dモデル上に描画した落石位置(抜粋)

ただし、3Dモデル上のオブジェクトを平面図に貼り付けるためには、3Dモデルから点群データおよび等高線を作成し(Context Capture)、その等高線に3Dモデル上で描画したオブジェクトを貼り付け(Civil3D)、その図面から測量平面図に再度オブジェクトを貼り付ける(汎用CAD)、という手順を踏む必要があり、少々時間を要した。

5. まとめと課題

ドローンによる空撮写真およびフォトグラメトリにより生成された3Dモデルを用いる事により、現地調査前に斜面全体の状況および落石の分布を把握することができ、①現地での的確なロープアクセス実施が可能となった。また、キャプチャ画像を野帳として用いることで②現地での位置把握が容易となり、精度共に作業時間の短縮に繋がった。3Dモデル上に結果を描画することで、③発注者への報告が分かりやすくなり、④平面図上での落石位置の精度も向上した。

今後の課題としては以下4つが考えられる。1つ目は、3Dモデル上での落石サイズの計測である。3Dモデル上ではサイズ計測が可能となっており、実寸のサイズと3Dモデル上でのサイズに誤差が生じるのかを検証する必要がある。2つ目に面積に応じた撮影枚数の把握である。今回撮影した枚数が1300枚であり、データの容量が大きく、ストレージの圧迫につながるため、面積に応じた撮影枚数を把握する必要がある。3つ目に、3Dモデル上で示した結果を平面図へ貼り付ける方法の簡略化である。先述の通り、浮石等を3Dモデル上から平面図に投影するには手間と時間を要する。よって簡略化する方法を見つけることで作業効率化に繋がると考えられる。4つ目に樹木で覆われた斜面の撮影方法を確立することである。3Dモデルは写真をもとに作成されるため、樹木などの影響で対象斜面が隠れてしまう事がある。

以上4点の課題を解決することで、落石調査のさらなる精度向上と効率化が可能となる。

ドローンによる空撮技術、フォトグラメトリ技術、3D CADの技術は、日々目まぐるしく進歩している。今後も最新の情報を入手し、活用できそうな技術は実践していき、効率化および生産性の向上に努めていきたい。

UAV LiDAR による横ずれ断層の横ずれ量解析事例

中央開発株式会社 ○後藤 慧, 細矢 卓志, 斎藤 勝

1. はじめに

地形解析のための詳細地形データを取得する手段として、LiDAR 機器搭載 UAV を使用したレーザ測量の活用が期待されている。本手法は、上空から照射したレーザが植生をすり抜けることで地表面の点群データを取得でき、高密度の地形モデルを構築できるという利点を持つ。

活断層の調査では、近年、植生がある場所の地形判読にレーザープロファイラ（以下 LP）データが活用されるようになってきている。一方、UAV を用いたレーザ測量は、LP データより低高度で撮影するため、より細かな地形を判読できる可能性がある。本論では、横ずれ断層地形の詳細地形データの取得と変位量解析を目的として、UAV レーザ測量を実施した事例を報告する。

2. 調査概要

調査対象の活断層は、中部地方に分布する北北西-南南東方向に連続する断層で、平均変位速度や活動間隔、最新活動時期等が不明であった。この活断層の活動性評価のために、地表に断続的に分布する断層地形を手がかりとして、地形地質踏査やオールコアボーリング、地形測量等を用いた総合的な地質調査を行った（文部科学省研究開発局・国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2024）¹⁾。

地形測量の対象地は、浸食量がやや大きい一級河川本流の右岸側に発達した河成段丘と、その段丘面を支流河川が開析して生じた複数の谷が分布する地域である。これらの谷と周辺の尾根には、断層の横ずれ運動により形成されたと思われる系統的な屈曲地形が存在する（図-1）。対象地内の谷は空中写真や既存の公開 DEM データでは地形の判読が難しく、既往調査・研究における判読結果の検証・再解釈のために詳細な地形測量を実施する予定であった。しかし、トータルステーション等を用い

た現地測量を行う場合も、草木の繁茂による視界確保の難しさや、人工改変地を考慮する必要があるなど複数の課題があった。そのため、UAV レーザ測量を実施し詳細地形モデルを作成・評価し、測量範囲内の地形を包括的に捉えて解析を行った。

3. UAV レーザ測量手法

本調査で使用した UAV は Matrice 300 RTK であり、搭載した LiDAR モジュールは Zenmuse L1（いずれも DJI 社製）である。LiDAR モジュールの仕様を表-1 に示す。測量では解析用の地表点群データおよび現地状況確認用のオルソ画像（SfM 画像）を取得・作成することとした。飛行ミッションはジンバルの照射角度を変えたレーザ測量飛行 2 回と、LiDAR モジュール搭載 RGB カメラを使用した写真撮影飛行 1 回の計 3 回を行った。飛行計測の諸元を表-2 に示す。3 回のミッションを行うのにかかった飛行時間は合計で約 30 分であった。

点群データの処理には DJI 社製の DJI Terra および Blue Marble Geographics 社製の Global Mapper Pro を使用し、植生の点群除去およびグラウンド点群データ作成を行った。オルソ画像の作成には Agisoft 社製の Metashape Professional を使用した。

表-1 LiDAR モジュール (Zenmuse L1) の仕様

| | |
|---------|--|
| 測定距離 | 450 m @ 反射率 80 %, 0 klx 190 m @ 反射率 10 %, 100 klx |
| 計測点数 | 最大 480,000 点/秒 |
| システム精度 | 水平 : 10 cm / 50 m 垂直 : 5 cm / 50 m |
| 最大リターン | 3 |
| 写真サイズ | 5472 × 3648 (3:2) |
| カメラ焦点距離 | 8.8 mm / 24 mm (35mm 換算) |

表-2 飛行計測諸元

| 区分 | 飛行高度 (m) | ジンバル角度 (°) | 計測面積 (m ²) | 点群密度 (点/m ²) | 地上解像度 (cm/pixel) |
|-------|----------|------------|------------------------|--------------------------|------------------|
| LiDAR | 80 | -90 | 12745 | 574 | 1.64 |
| LiDAR | 80 | -60 | 12745 | 574 | 1.64 |
| 連続写真 | 100 | -90 | 12745 | — | 2.18 |

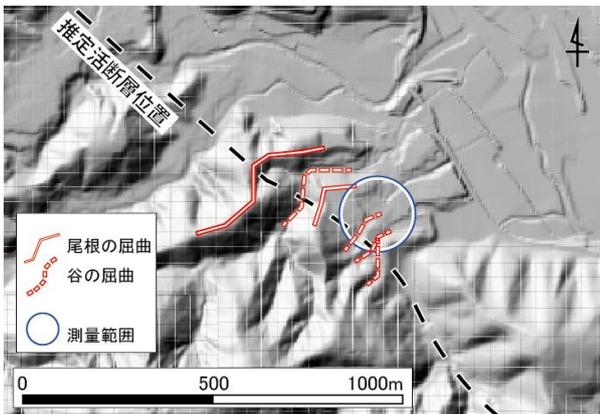


図-1 調査位置図²⁾

4. 測量結果

レーザ測量によって取得した点群データから0.1mメッシュの高精度数値標高モデル (DEM) を作成し、陰影段彩図や等高線図等の適切な地形表現図を作成して解析に使用した (図-2)。地形モデルからは、2つの谷が左横ずれ的に折れ曲がった形状を成し、図中の B 谷の前面に尾根が張り出して『閉塞丘』が形成されている様子が確認できた。また B 谷内および植生に覆われていた山地斜面の広範囲に、連続した階段状の地形が認められた。

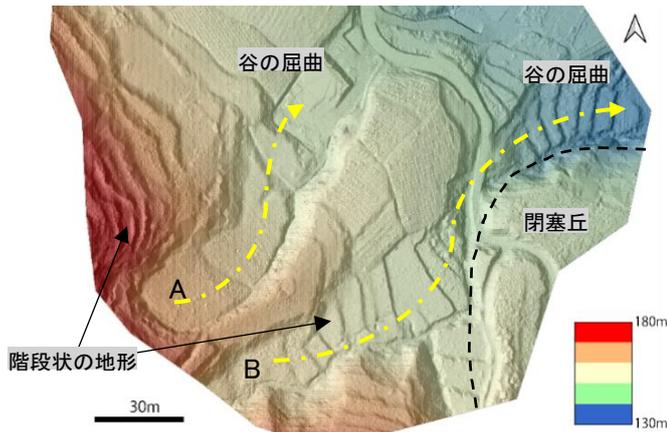


図-2 DEM を加工した地形表現図の例 (陰影段彩図)

5. 解析検討結果

(1) 土地利用状況

作成した地形モデルを基に、現地調査の結果とオルソ画像から判読される現地状況を踏まえ、土地利用図を作成した (図-3)。山地斜面を含む広範囲に認められる階段状の地形は放棄地を含む農地で、特に B 谷内の地形は面が水平に近いこと・谷に流水があり水はけの悪い土壌が堆積していたことなどから水田跡であると考えられる。B 谷内の水田は谷底のほぼ全域を占めており、谷底の低地をくまなく利用するように複雑に区分されて分布している。A 谷・B 谷を隔てる丘陵地部 (尾根部) は畑地として整備されており、尾根のずれ量の正確な値を判読することは困難であった。

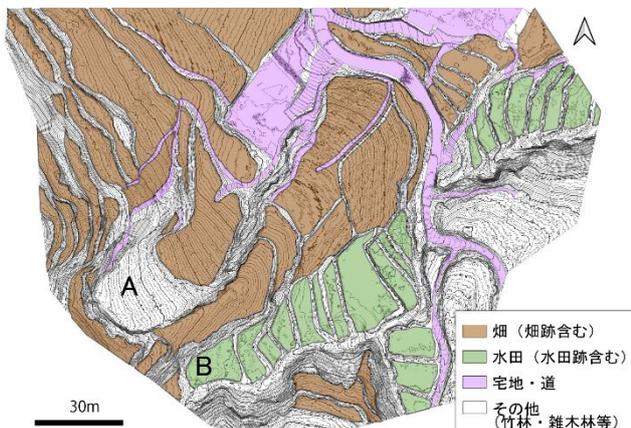


図-3 土地利用図

(2) 谷の屈曲形状に関する検討

今回の UAV レーザ測量で得た地形モデルでは、A 谷・B 谷の屈曲量が異なり、B 谷より A 谷の屈曲量が少なく判読される。しかし A 谷は馬蹄形をなす上端部や、北壁面側に階段状地形の不連続が見られることなどから、崩壊地形である可能性が高いと判断した (図-4)。北壁面の張り出しは崩壊土砂によるものと考えられることから、A 谷は断層運動による変位量の判読には適切でないとは判断した。

一方で B 谷は流水の存在する浸食谷であり、閉塞丘の張り出しによって河道が流向を変えていることから、B 谷の屈曲形状は断層運動による横ずれ変位量の判読に適していると判断した。B 谷の北壁面側は宅地や農地としての改変が見られるが、閉塞丘の発達する南側壁面は上流から下流にかけて谷壁の追跡が可能である。歩道を境界に南側壁面の伸長方向をそれぞれ直線化すると、谷壁の左横ずれ変位量は約 35m であると解釈できる (図-4)。

以上のことから、詳細地形モデルを作成することにより、谷の屈曲量や、断層運動の方向について明らかにすることができた。

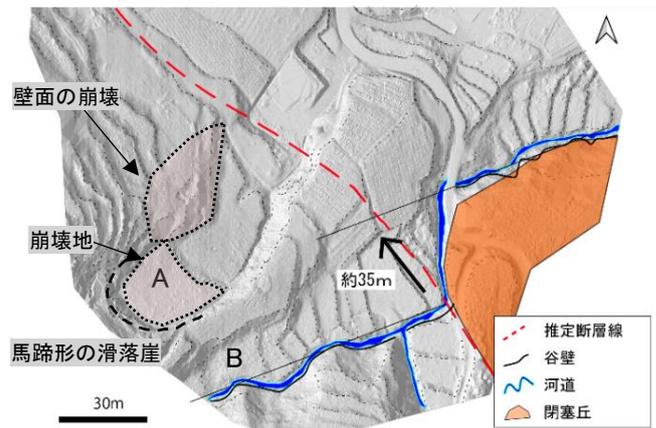


図-4 谷の屈曲形状と変位量の解釈

6. まとめ

LiDAR 搭載 UAV を使用したレーザ測量により、植生があり地形が複雑で判読が難しかった山間部の断層変位地形を捉え、地形の解釈や活動性の評価に役立てることができた。UAV レーザ測量は、調査地に山林を含む場合にも詳細な地形を把握することができ、活断層調査のほか、斜面調査や災害調査などで今後も様々な応用が期待される。

《引用・参考文献》

- 1) 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人産業技術総合研究所 (2024) 活断層評価の高度化・効率化のための調査手法の検証 令和5年度 成果報告書
- 2) 国土地理院地図 (陰影起伏図) に加筆,
<https://maps.gsi.go.jp/> (最終閲覧日 2024/5/20) .

災害対応時における空間情報データの活用事例

株式会社村尾技建 ○草野 亙, 松永 京子, 田中 倫久, 江村 剛, 長谷川 和弘

1. はじめに

地理空間情報活用推進基本計画が策定されて以降、航空 LP データをはじめとした空間情報データの公開が進められている。地質調査においても激甚化・頻発化する自然災害への迅速な対応として空間情報データの活用が進められている。空間情報データを適切に用いることで迅速な対応や情報共有が可能になるなどの利点があるが、手法については模索段階である。

本報告では、災害対応時において空間情報データを活用した地質調査事例を紹介する。

2. 令和6年能登半島地震により発生した岩盤崩壊斜面の地質調査

(1) 概要

令和6年能登半島地震の発生により、震央から離れた急峻な海岸部を通る道路上斜面で崩壊が発生した。その後、隣接斜面にて岩盤崩壊が発生した。調査地は、急峻で地表踏査は困難であり、再度の崩壊も考えられた。このため、UAVによるSfM（多視点ステレオ写真測量）を実施し、作成された立体モデルを用いて、発生源の特定や今後の危険個所の抽出を行った。

(2) 課題と問題点

課題は再崩壊した斜面や隣接斜面において、今後同様な崩壊が発生する可能性を推測し、必要な地質調査計画を立案することである。問題点は①災害発生地は海岸に面した急崖斜面であり、地表踏査による現状把握や岩盤崩壊の発生源の目視確認が困難であること。②加えて当該道路は幹線道路であり災害対応として迅速な対応が求められたことである。

(3) SfMによる地形判読と2時期の地形解析

上記の対応策として以下の二つの手法により現地状況の把握を試みた。

① UAVによるSfMと地形判読

SfMにより作成された立体モデルによる地形判読から、地表の地形・地質状況の確認と、岩盤の特徴についてとりまとめた(図-1)。当地の地質は基岩の花崗岩の上に崖錐堆積物が堆積していることが判明した。また、花崗岩には節理等の亀裂が発達していることが判読できた。

② 2時期の点群データによる地形解析

被災地では地震後とその後の隣接斜面の崩壊後の2回のSfMデータを取得することができた、そこから得られた2時期のDSM(Digital Surface Model: 数値表面モデル)を比較することにより、発生した崩壊規模の推定を行った。なお、2時期データの位置合わせとして、ICP(Iterative Closest Point)手法を用いた。

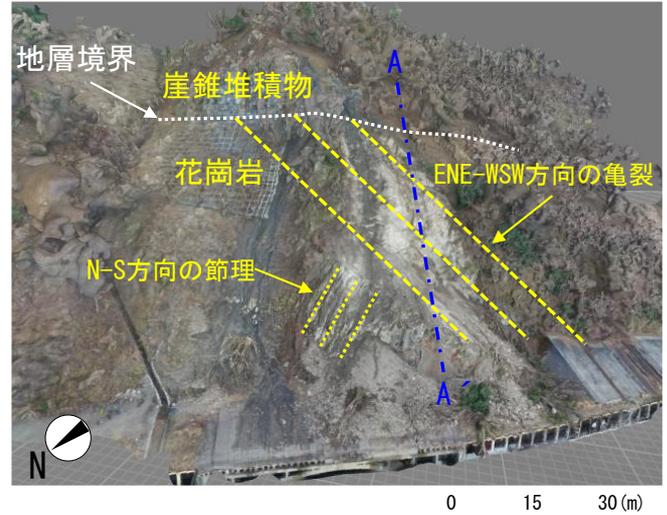


図-1 SfMによる地形判読結果

地形解析の結果、崩壊はA-A'断面において長さ約17m、厚さ約5mの規模であり、崩壊の形態が岩盤崩壊であったことが判明した(図-2)。

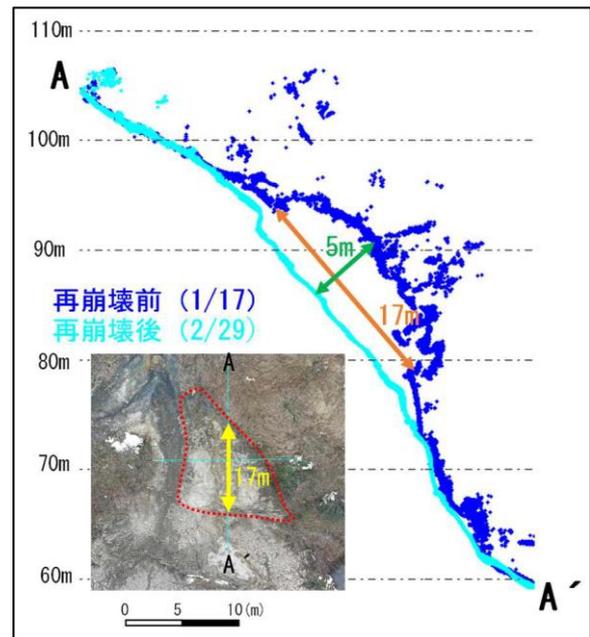


図-2 SfMによる地形判読結果

(4) 危険個所の抽出

崩壊の発生形態より、今後想定される災害箇所の抽出を行った。想定される崩壊発生形態別に図-3のとおり4ブロックを抽出した。

(5) 結果

当該現場では人が立ち入れない急崖斜面において UAVを用いた SfMによる地形解析や ICP 手法を用いた2時期の地形解析を行い、現地状況や崩壊発生形態を把握することができた。空間情報データを用いて迅速な対応ができたことによりその後の詳細調査計画の立案までスムーズに業務を遂行できた。



図-3 今後想定される災害箇所の抽出

3. 地すべりにおける点群データを用いた解析事例

(1) 概要

新潟県東部の阿賀町(旧津川町)において令和5年春期に急激な融雪に伴う幅48m、長さ75mの地すべりが滑動した。早急に地すべり対策を進める上で、地すべりブロックの範囲と移動方向を推定し、調査・観測地点を適切に配置する必要があった。このため、2時期の点群データを用いた標高差解析と変動ベクトル解析を行い、地すべりの範囲や移動方向の推定を行った。

(2) 標高差解析

2時期の点群データを比較して取得し、標高差分の大きさを色調の濃淡で表現した解析図を図-4に示す。

音無川左岸部では、崩壊の前後で顕著に標高が上昇している。これは、地すべり土塊が押し出されたため、すべり面は河床付近まで連続していると判断された。

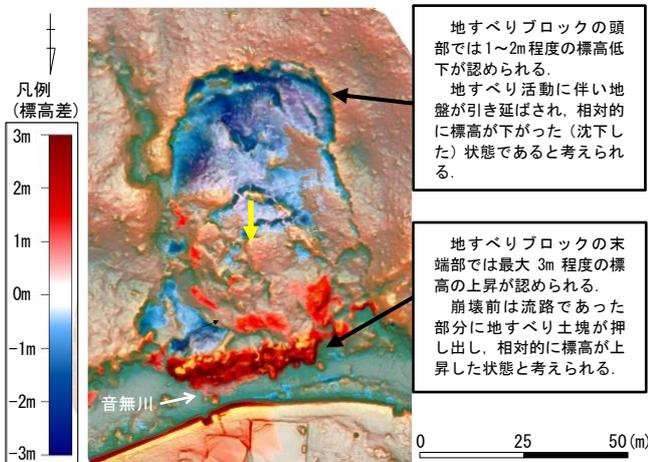


図-4 2時期の赤色立体地図からの標高差解析

(3) 変動ベクトル解析

① 解析手法

解析はICP (Iterative Closest Point) をさらに発展

させ点群の構成する面と面の距離を最小化することも考慮したCCICP(Classification and Combined ICP) 手法¹⁾²⁾を適用した。

② 解析結果

3次元的な移動方向と移動量を表現した解析図を図-5に示す。今回滑動した地すべりブロックは概ね南北方向に移動しているが、中段から下部にかけては左右に開く方向にも変位が発生している。特に右側部では、沢地形に向かって表層部が崩壊している様子が読み取れる。

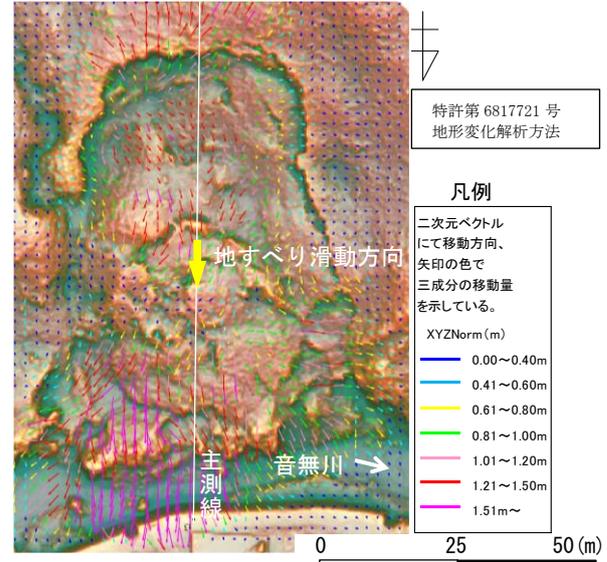


図-5 変動ベクトル解析結果

(4) 結果

標高差解析と変動ベクトル解析により地すべりブロックの範囲と移動方向を推定し、ボーリング調査地点を選定した。また、現地調査結果と動態観測結果等と合わせて、地すべり発生機構の検討に活用できた。

4. おわりに

今回紹介した事例では、SfM や点群データをはじめとした空間情報データやそれを利用した解析手法により、災害時において重要な即効性を確保することができた。

一方で、様々な解析手法の地質調査への活用については課題や改善点もあるため、これらを踏まえた上で今後も空間情報データを地質調査へ活用していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) S. Takai, H. Date, S. Kanai, Y. Niina, K. Oda, and T. Ikeda (2013) : Accurate registration of MMS pointclouds of urban areas using trajectory, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-5/W2, pp. 277-282.
- 2) K. Oda, S. Hattori, T. Takayama (2016) : Detection of Slope Movement by Comparing Point Clouds Created by SFM Software, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B5, pp. 553-556.