

AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発①

－複合解析モデルの適用例（その2）－

| | | | | | |
|----------------|------|-------|--------------|-----|-------|
| 基礎地盤コンサルタンツ（株） | 正会員 | ○三木 茂 | 日本システムウェア（株） | 正会員 | 野村 貴律 |
| （一財）先端建設技術センター | 正会員 | 吉川 正 | （株）安藤・間 | 正会員 | 辰巳 順一 |
| （一財）先端建設技術センター | フェロー | 山本 拓治 | 鹿島建設（株） | 正会員 | 白鷺 卓 |
| （一財）先端建設技術センター | 正会員 | 橋立 健司 | 清水建設（株） | 正会員 | 上岡 真也 |
| （一財）先端建設技術センター | | 河原 一弘 | 戸田建設（株） | 正会員 | 杉山 崇 |

1. はじめに

筆者らは、AI 技術と画像処理技術を用いて山岳トンネルの切羽観察作業の支援システムの開発を進めている¹⁾。AI による予測精度の向上を目指して、観察項目間の相関性を利用し、さらに前切羽の観察記録結果を利用する複合解析モデルを構築し、いくつかのトンネルに適用した²⁾。しかし、適用できる岩石グループが限られていた。その後、未構築の岩石グループにおける教師データの作成と学習を進め、切羽観察記録の国交省形式と NEXCO 形式の全ての岩石グループについて適用できるようになった。ここでは、新たに硬質塊状岩と中硬質・軟質塊状岩のトンネルについて、画像モデルと複合解析モデルの適用結果と比較を示す。

2. 画像モデルと複合解析モデル

表-1 は切羽観察支援システムに使用した深層学習モデルである。画像モデルは、表-1 に示した学習モデルを用いて切羽画像から観測項目の評価区分を行うモデルである。複合解析モデルは、画像モデルで得られた評価結果を回帰予測により補正を加え、さらに観察該当切羽の前（掘削済み）切羽の観察結果から再評価するモデルである。回帰予測には、過去の切羽観察評価データから LightGBM により作成した補正テーブルを用いている。また、前切羽の観察結果からの再評価にも LightGBM を用いている。

表-1 深層学習モデル（国交省形式）

| 観察項目 | 使用モデル |
|---------|--------------|
| 切羽の状態 | ECA-NFNet-L0 |
| 素掘り面の状態 | ECA-NFNet-L0 |
| 圧縮強度 | ECA-NFNet-L0 |
| 風化変質 | K-means |
| 割れ目の頻度 | Canny 法 |
| 割れ目の状態 | ECA-NFNet-L0 |
| 割れ目の形態 | ECA-NFNet-L0 |
| 湧水 | ECA-NFNet-L0 |
| 水による劣化 | ECA-NFNet-L0 |

3. 適用例

適用したトンネルは、硬質塊状岩（花崗閃緑岩）の A トンネル（発破掘削，197 切羽）と、中硬質・軟質塊状岩（弱固結凝灰角礫岩）の B トンネル（機械掘削，153 切羽）である。両トンネルとも国交省形式で切羽観察が実施された。図-1 に、A トンネルの天端における評価項目、圧縮強度と割れ目の状態について、トンネルに沿った実際の観察結果による評価区分と支援システム AI による評価区分を示す。また、表-2 と表-3 に、A トンネルと B トンネルの天端における各観察項目の正答率を示す。なお、正答率は実際の観察記録を正答とした割合である。

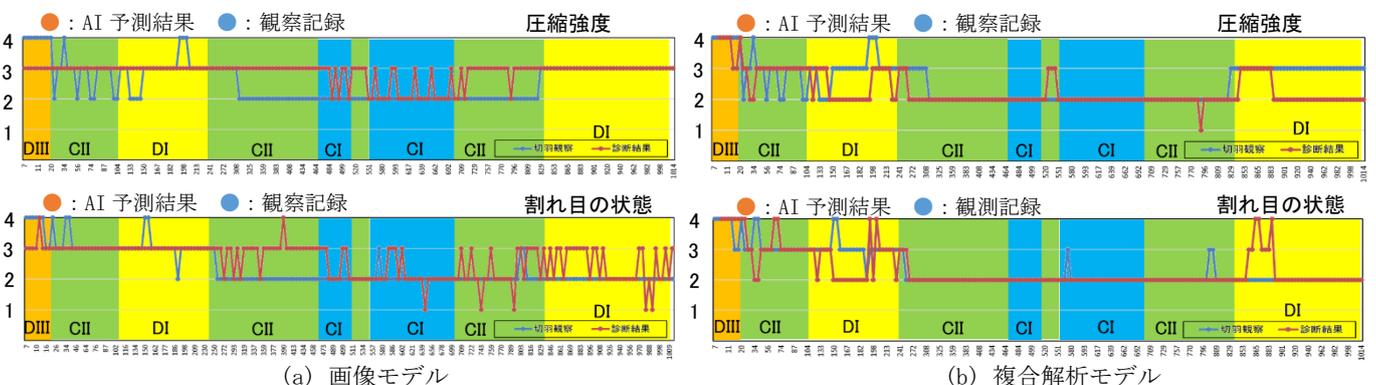


図-1 トンネルに沿った予測結果と観察結果の比較（A トンネル：天端）

キーワード AI 山岳トンネル 切羽観察記録

連絡先 〒136-8577 東京都江東区亀戸 1-5-7(錦糸町プライムタワー) 基礎地盤コンサルタンツ(株) TEL03-6861-8873

A トンネルでは、切羽観察結果（図-1 青色プロット）とAI予測結果（図-1 橙色プロット）を比較すると、複合解析モデルの予測結果は画像モデルに比較して、観察結果と予測結果の追従性がよい。B トンネルについても、複合解析モデルの予測結果は画像モデルにより追従性がより結果となっている。

A トンネルの正答率は、画像モデルの場合、0.2 から 0.65 であり、教師データとした観察結果にも人による評価のバラツキがあることを考慮し、観察結果と予測結果の評価に 1 ランクの差を許容すると、正答率は多くの観察項目で 0.9 以上である。複合解析モデルの正答率は 0.4 から 0.9 であり、同様に予測結果の評価に 1 ランクの差を許容すると、正答率は 0.95 を超す。画像モデルでは観察項目の湧水と水による劣化が、複合解析モデルでは風化変質と割れ目の頻度が低い正答率を示す。B トンネルの正答率は、画像モデルの場合、0.2 から 0.5 であり、観察結果と予測結果の誤差を 1 ランク許容すると、正答率は 0.67 以上の値となる。複合解析モデルでは、0.25 から 0.95 の正答率を示し、予測結果の誤差を 1 ランク許容すると 0.64 以上となり、観察項目の湧水と水による劣化を除くと、0.84 以上の正答率となる。画像モデルでは多くの観察項目で 0.2 から 0.3 の低い正答率であったが、複合解析モデルでは正答率 0.3 以下となる観察項目は水による劣化である。水に関連する項目の正答率が低い理由は、湧水が発生していたデータが少なかったことと、静止画では湧水の画像が明確に確認できない場合が多いことに起因すると思われる。

画像モデルの正答率が複合解析モデルより高い場合もあるが、一般的に複合解析モデルの正答率が高く、複合解析モデルの効果が得られたといえる。一方、図-2 は複合解析モデルについて、A、B トンネルの正答率を比較したものである。観察項目の素掘り面の状態、圧縮強度、風化変質の正答率は同程度である。一方、B トンネルでは切羽の状態、湧水、水による劣化で A トンネルより正答率が悪く、A トンネルでは割れ目の形態が B トンネルより正答率が悪い。A トンネルは硬質塊状岩であったが、B トンネルでは土被り圧が薄く土砂状から弱固結状の切羽が連続し、集中湧水がみられたことが AI の予測結果に影響していると推定される。

4. まとめ

硬質塊状岩と中硬質・軟質塊状岩のトンネルについて、画像モデルと複合解析モデルの正答率を比較した結果、多くの観察項目で正答率の向上がみられた。一方、岩石グループの違いにより、複合解析モデルの正答率が向上する観察項目や程度が異なること、正答率がばらつくことが示された。岩石グループによるばらつきを改善することが今後の課題となる。なお、本報告は（一財）先端建設技術センター共同研究開発の成果の一部である。

参考文献

- 1) 野村貴律ら：AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発③－AI を活用した複合解析モデルについて－，令和 4 年度土木学会学術講演会，CS14-31，2022。
- 2) 三木茂ら：AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発④－複合解析モデルの適用結果－，令和 4 年度土木学会学術講演会，CS14-32，2022。

表-2 A トンネル（硬質塊状岩）の正答率

| 観察項目 | 画像モデル | 複合解析モデル |
|---------|-------------|-------------|
| 切羽の状態 | 0.55 (0.93) | 0.88 (0.99) |
| 素掘り面の状態 | 0.39 (0.94) | 0.75 (1.00) |
| 圧縮強度 | 0.56 (1.00) | 0.64 (0.99) |
| 風化変質 | 0.39 (0.90) | 0.51 (0.98) |
| 割れ目の頻度 | 0.65 (0.94) | 0.40 (0.96) |
| 割れ目の状態 | 0.59 (0.99) | 0.83 (0.96) |
| 割れ目の形態 | 0.60 (-) | 0.46 (-) |
| 湧水 | 0.19 (0.96) | 0.53 (0.99) |
| 水による劣化 | 0.19 (0.81) | 0.58 (0.96) |

()は±1 ランクの誤差を許容した場合の正答率

表-3 B トンネル（中硬質・軟質塊状岩）の正答率

| 観察項目 | 画像モデル | 複合解析モデル |
|---------|-------------|-------------|
| 切羽の状態 | 0.23 (0.87) | 0.36 (0.93) |
| 素掘り面の状態 | 0.24 (0.90) | 0.70 (0.99) |
| 圧縮強度 | 0.41 (1.00) | 0.62 (0.97) |
| 風化変質 | 0.50 (0.75) | 0.60 (0.99) |
| 割れ目の頻度 | 0.33 (0.69) | 0.49 (0.84) |
| 割れ目の状態 | 0.20 (0.73) | 0.60 (0.98) |
| 割れ目の形態 | 0.19 (-) | 0.95 (-) |
| 湧水 | 0.22 (0.67) | 0.32 (0.84) |
| 水による劣化 | 0.31 (1.00) | 0.25 (0.64) |

()は±1 ランクの誤差を許容した場合の正答率

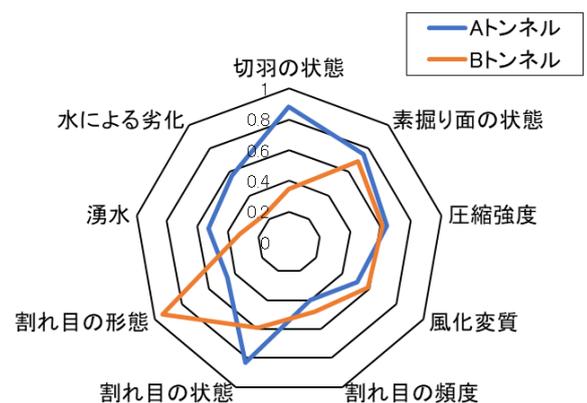


図-2 複合解析モデルの正答率の比較