

AI を活用した切羽評価システムの評価精度向上の取り組み

(株)奥村組 正会員○今泉 克彦 塩貝 悟 正会員 尾迫 一樹
山田 昂平 正会員 倉田 桂政 正会員 浜田 元
(株)sMedio 園田 香織

1. はじめに

山岳トンネル工事では、支保パターンの選定や補助工法の要否判断などのため、切羽観察が実施されている。切羽観察では、圧縮強度、風化変質、割れ目の状態などの観察項目について採点を行い、これらの採点を総合して切羽の地山状態を数値化し評価している。一方、切羽観察は、技術者の知識や経験により判断が異なるなどの課題があり、これらの課題解決の一つとして、AI を活用した切羽画像の解析技術に関する研究開発が進められている。本稿では、AI を活用した切羽評価システム¹⁾をトンネル現場に導入し、掘削の進捗に伴ってAI 学習モデルを適宜更新して、本システムと技術者の切羽評価結果を比較・検討したので報告する。

2. 対象現場と切羽観察の概要

本システムを試行した現場は、延長 899m の 2 車線道路トンネルであり、付加体構造に特有の砂岩、泥岩が複雑に入り混じる地質で構成されている。切羽観察は、トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）²⁾に準じて実施している。切羽観察では、切羽照度を 200Lx 程度とし、観察者を 1 名に固定（岩判定検査時は除く）している。また、切羽写真は、約 800 万画素のカメラ（iPad に付帯）により撮影している。

3. AI 学習モデルの作成

AI 学習モデルは、技術者による各観察項目の採点と切羽写真（以下、切羽データ）を教師データとし、学習方法に CNN（Convolutional Neural Network）を用いて作成している。なお、AI 学習モデルに切羽写真を入力して得られる採点は、多クラス分類によって、最も確率の高い採点が結果として示される。

AI 学習モデルは、表-1 に示すとおり、トンネル掘削の進捗に応じて、観察項目ごとに Ver.1～3 のモデルを作成し更新している。Ver.1 は対象現場と地質が類似する既施工の複数トンネルでの切羽データを教師データとして作成したモデル、Ver.2 は Ver.1 の切羽データに対象現場の切羽データを追加し教師データにして作成したモデル、Ver.3 は対象現場の掘削済みの切羽データのみを教師データにして作成したモデルである。なお、AI 学習モデルの Ver.更新は、技術者の採点を正として、AI 学習モデルの採点の合致率（以下、正解率）が 70%を下回る観察項目に対して原則実施することとした。

4. AI 学習モデルの更新に伴う正解率の推移

AI 学習モデル Ver.1～3 を用いて各観察項目の採点を行い、技術者の採点と比較して求めた正解率を表-2 に示す。Ver.1 の正解率は、観察項目 I を除き 50%を下回っている。Ver.2(267～441：断面区間を記す)の正解率は、Ver.1 に比べ全体的に向上し、観察項目 C,E,F,H,I で 70%以上となっているが、観察項目 A,B,D,G では 55～67%に留まっている。Ver.3 に更新した観察項目 A,B,D,G の正解率は、Ver.2(267～441)に比べ向上し、観察項目 G を除いて 70%以上となっている。なお、Ver.2(267～441)と Ver.2(267～759)の比較から、Ver.3 へ更新しなかった観察項目 C,E,H,I の正解率は、採点断面数が増えても概ね同程度となっている。

表-1 AI 学習モデル作成の経過

AI学習モデル	AI学習モデル作成に用いた教師データ
Ver.1	・すべての観察項目(9項目)について、対象トンネルと地質が類似する既施工の複数トンネルでの技術者による各観察項目の採点と切羽写真(切羽データ)を教師データとして使用し、モデルを作成。教師データは323セット。
Ver.2	・すべての観察項目(9項目)について、Ver.1の切羽データに、対象トンネルの掘削済みの切羽データを追加し教師データとして使用し、モデルを作成。教師データは540セット。
Ver.3	・観察項目のうち、(A)切羽の状態、(B)素掘面の状態、(D)風化変質、(G)割れ目の形態について、対象トンネルの掘削済みの切羽データのみを教師データとして使用し、モデルを作成。教師データは287セット。

キーワード 山岳トンネル, AI, CNN, 画像, 切羽観察, 地山評価

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組 技術本部 技術研究所 TEL 029-865-1521

表-2 AI 学習モデルの各 Ver. での正解率（トンネル掘削時）

AI学習モデル	採点断面の区間と数		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)
	断面区間	断面数	切羽の状態	素掘面の状態	圧縮強度	風化変質	割れ目の頻度	割れ目の状態	割れ目の形態	湧水	水による劣化
Ver.1	8～266	93	46.6%	39.1%	37.6%	34.8%	47.3%	21.9%	38.4%	32.3%	82.4%
Ver.2	267～441	52	54.5%	57.1%	76.9%	66.7%	70.5%	78.2%	55.1%	84.6%	97.4%
	267～759	158	—	—	70.7%	—	70.5%	78.7%	—	89.2%	97.3%
Ver.3	442～759	106	74.2%	77.4%	—	83.6%	—	—	66.4%	—	—

5. AI 学習モデルの更新に伴う正解率向上の要因分析

AI 学習モデルの各 Ver. と断面区間をパラメータとして、各観察項目の正解率を求めた結果を表-3 に示す。Ver.2 or Ver.3 では、観察項目 A,B,D,G に対し Ver.2、観察項目 C,E,F,H,I に対し Ver.3 を使用している。また、Ver.3(全項目)では、観察項目 A～I のすべてに対し Ver.3 を使用している。表-3 から、Ver.1 の正解率は、いずれの断面区間でも I を除き 50%を下回っており、表-2 の Ver.1(8～264)の正解率と同様に低い値となっている。断面区間 267～441 において、表-3 の Ver.1 と表-2 の Ver.2 の正解率を比べると、Ver.2 の方が高くなっている。断面区間 442～759 において、表-3 の Ver.1、Ver.2 or Ver.3、Ver.3(全項目)の正解率を比べると、Ver.更新に伴って正解率は向上している。Ver.更新では、教師データとして対象現場の切羽データを使用しており、これが正解率向上の一つの要因と考えられる。Ver.更新の際に、教師データとして対象現場の切羽データを使用することで、対象現場特有の切羽鏡面の色味や割れ目の特徴などが AI 学習モデルで抽出され、効果的な学習が行えたことで、正解率の向上が図れたと考えられる。なお、対象現場の切羽の特徴抽出には、切羽照度の確保、観察者の固定、切羽写真の画素数の設定が寄与していると思われる。

表-3 AI 学習モデルの各 Ver. と断面区間をパラメータとして求めた各観察項目の正解率

AI学習モデル	採点断面の区間と数		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)
	断面区間	断面数	切羽の状態	素掘面の状態	圧縮強度	風化変質	割れ目の頻度	割れ目の状態	割れ目の形態	湧水	水による劣化
Ver.1	267～441	52	41.0%	43.6%	32.1%	35.3%	41.0%	24.4%	21.2%	19.2%	71.8%
	442～759	106	38.4%	24.8%	18.9%	36.8%	42.1%	18.6%	13.5%	21.7%	73.9%
Ver.2 or Ver.3	442～759	106	74.2%	77.4%	67.6%	83.6%	70.4%	78.9%	66.4%	91.5%	97.2%
Ver3(全項目)	442～759	106	同上	同上	78.9%	同上	75.8%	84.0%	同上	同上	97.5%

※AI学習モデル(Ver.2 or Ver.3)：観察項目A、B、D、Gに対しVer.2、観察項目C、E、F、H、Iに対しVer.3を使用
※AI学習モデル(Ver.3(全項目))：観察項目A、B、C、D、E、F、G、H、Iのすべてに対しVer.3を使用

AI 学習モデル Ver.1～3 の教師データと断面区間の切羽データの採点分布（スコア分布）の一例を図-1 に示す。図-1 には、(D)風化変質のスコア分布を示している。断面区間の切羽データのスコア分布は、概ね大きな変化はないと判断される。一方、AI 学習モデルの教師データのスコア分布は Ver.更新に伴い変化し、断面区間の切羽データとの類似性が向上している。Ver.更新に伴う教師データと切羽データのスコア分布の類似性の向上が、正解率の向上に寄与していると考えられる。なお、両者のスコア分布の類似性は他の観察項目においても Ver.更新に伴い向上し、正解率は向上している。

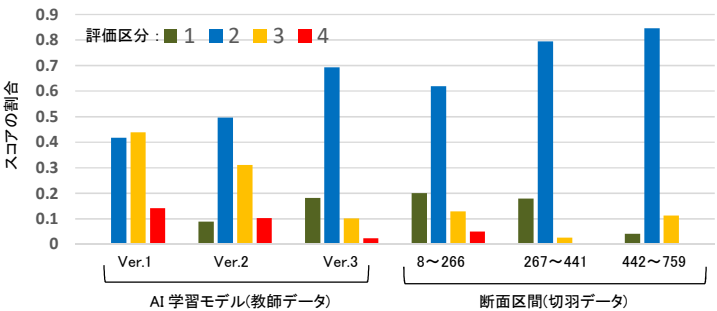


図-1 スコア分布（(D)風化変質）

6. おわりに

掘削初期に作成した AI 学習モデル Ver.1 ではほとんどの観察項目で 50%下回る低い正解率であったが、教師データとして対象現場の切羽データを使用することにより、正解率の向上が図れたことを示した。また、正解率向上の理由として、対象現場特有の切羽鏡面の特徴抽出の向上、AI 学習モデルの教師データと断面区間の切羽データのスコア分布の類似性の向上が考えられることを示した。今後も現場での試行に取り組みたい。

【参考文献】

- 1) sMedio：切羽の AI 評価およびクラウドによるデータ共有システム，NETIS，2022.5.26
- 2) 国土交通省近畿地方整備局：トンネル地山等級判定マニュアル（試行案），2016.7