

AI を利用したトンネル切羽評価支援ツール

前田建設工業（株）正会員 ○小熊 登 後藤 信男
長谷川 航 水谷 和彦
森田 篤 達 亮太

1. はじめに

複雑な地山条件下で行われることが多いトンネル工事では、地質的な要因によるトラブルに見舞われることが少なくない。一方、最近のセンシング技術、AI を用いるなどした計測データや切羽写真を含む施工時に得られるビッグデータを利活用しながら的確に地山評価を行うことでトラブルを回避できる可能性がある。本紙では、トンネル現場で運用中の AI 切羽評価支援ツールについて報告する。図-1 に示すように地山評価項目である、切羽の状態、素掘り面の状態、風化変質、割目間隔、割目状態、割目の形態、湧水、水による劣化の各項目を AI 評価できるため、事前設計と対比修正しながら施工を進めることが容易となる。システムをクラウド化することで、インターネット環境とタブレット等の端末さえあればどこでも利用でき（写真-1）、地質状況を既往の豊富なデータに基づき素早く評価することで、適切な支保・補助工法の選定や安全性向上が期待できる。

2. 切羽評価支援ツールの概要

開発した AI 切羽観察支援ツールは、画像認識技術を用いて、スペクトルカメラ画像、デジカメ画像等より切羽評価点、地山弾性波速度を評価できる。システム開発には、当社施工のトンネル切羽写真 1 万データ超を用いている。特徴の一つとして、解析手法にブラックボックス（画像枚数が多い場合に、高い予測精度を持つ分析が可能な反面、なぜ画像の特定部分に着目し分析したのか説明が困難な手法）だけでなく、ホワイトボックス（予測結果を導出した理由を説明可能な手法。特に高技能者が着目している点を調整の上、分析に取込むなどチューニングの余地が多い）の 2 手法を適宜選択できることが挙げられる。

結果出力は入力した切羽画像を元に、項目毎に評価点を予測し、現場と親和性のある切羽観察簿形式で表示できる（図-2）。また、出力画面は切羽評価点の分布の他に評価項目別の予測確率も併せて表示できるようにし（図-3）、経験の浅い現場職員の判断支援を行うことを目指した。



写真-1 切羽評価支援ツール使用状況

キーワード AI, 切羽観察, 弾性波速度, スペクトルカメラ

連絡先 〒181-0012 東京都千代田区富士見 2 丁目 10-2 前田建設工業（株）土木技術部 TEL 03-5276-5166

入力した切羽画像を元に、評価点を予測し、現場と親和性のある切羽観察簿形式で結果を表示。特に、分析においては複数手法を活用できるようにし、出力においては評価点の分布も併せて表示する事で現場の判断支援を行う狙い。



図-2 切羽 AI 分析モデル仕様

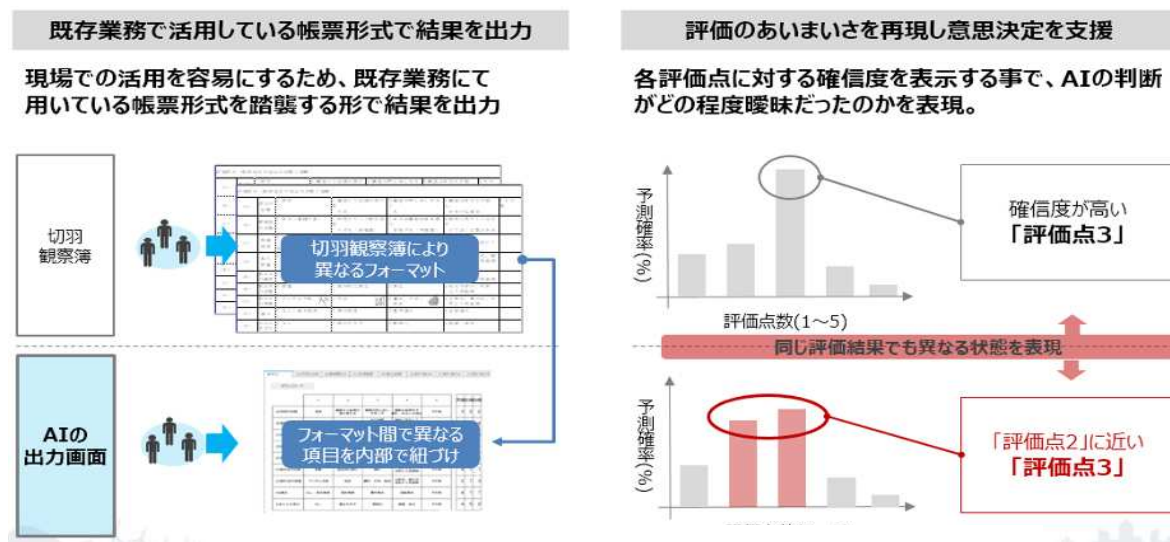


図-3 切羽評価支援ツール出力イメージ

3. 支援ツールの検証(1)

切羽評価支援ツールの精度を検証するため、学習用の画像とは別に検証用データ(画像)を用意し、学習用データを用いてモデルを構築し、検証データに対して予測を実施し予測結果が正解か否かを判定することで行った(図-4)。検証は、AI システムの解析プロセスが判るようなホワイトボックス手法も用いて検証し、着目している点(図-5)やプロセスが判るようにした。

表-1 に示した事例では、(A)切羽の状態、(F)割れ目の状態、(H)湧水 の項目が不正解となっているが、着目点を見ると地質不連続面や色調の異なるように見える箇所に着目しているものの、吹付けが施工されている側壁部にも強く着目し、誤答の一因になっていると思われる。一方、予測結果と実際の切羽評価正答率は高くないが、表-2 に示す通り、2 番目に想定される判定結果も含めると評価できている結果とも評価でき、この画像を用いた技術だけでも経験の浅い現場技術者支援ツールとして機能するものと判断できる。

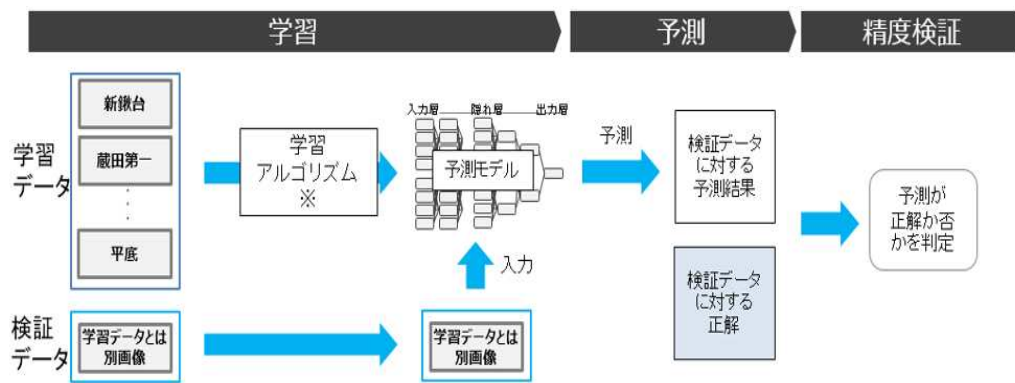


図-4 検証方法フロー

表-1 AI 支援ツール結果例

凡例: ■ 正解 ■ 不正解 予測対象外

予測結果			
	左端	天端	右端
(A)切羽の状態			
(B)素掘面の状態	2	2	2
(C)圧縮強度			
(D)風化変質	2	2	2
(E)割れ目の頻度	3	3	3
(F)割れ目の状態	4	2	4
(G)割れ目の形態	3	3	3
(H)湧水	1	1	1
(I)水による劣化	1	1	1

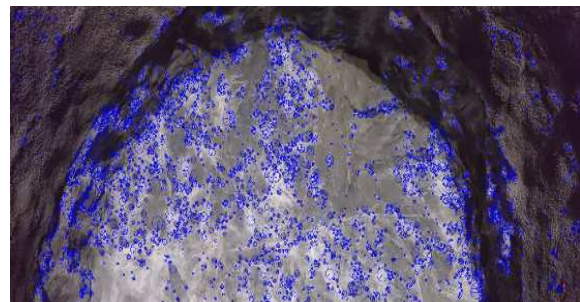


図-5 検証切羽写真と着目点

表-2 AI 支援ツール予測確率例

左端						天端						右端					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
(A)切羽の状態	57.8%	10.7%	10.4%	10.6%	10.5%	(A)切羽の状態	56.9%	11.0%	10.6%	10.8%	10.7%	(A)切羽の状態	56.6%	11.0%	10.7%	10.9%	10.8%
(B)素掘面の状態	24.4%	67.6%	3.3%	2.7%	2.0%	(B)素掘面の状態	31.3%	61.1%	3.1%	2.6%	1.9%	(B)素掘面の状態	40.4%	52.5%	2.9%	2.4%	1.8%
(C)圧縮強度						(C)圧縮強度						(C)圧縮強度					
(D)風化変質	12.0%	57.6%	26.3%	2.6%	1.5%	(D)風化変質	23.2%	52.3%	19.9%	2.9%	1.7%	(D)風化変質	10.4%	66.0%	20.0%	2.2%	1.4%
(E)割れ目の頻度	4.4%	36.1%	46.3%	11.8%	1.4%	(E)割れ目の頻度	4.9%	27.8%	50.1%	15.4%	1.8%	(E)割れ目の頻度	4.5%	40.4%	42.6%	11.0%	1.5%
(F)割れ目の状態	16.0%	25.6%	18.6%	37.8%	2.0%	(F)割れ目の状態	25.9%	46.1%	12.2%	14.0%	1.7%	(F)割れ目の状態	16.7%	26.3%	18.6%	38.3%	2.1%
(G)割れ目の形態	17.7%	16.7%	60.7%	3.1%	1.8%	(G)割れ目の形態	22.1%	25.9%	45.6%	3.9%	2.4%	(G)割れ目の形態	20.8%	31.3%	41.1%	4.1%	2.7%
(H)湧水	84.5%	11.6%	1.8%	1.1%	1.0%	(H)湧水	82.4%	13.0%	2.1%	1.3%	1.2%	(H)湧水	84.2%	11.8%	1.9%	1.1%	1.1%
(I)水による劣化	85.5%	9.8%	1.9%	1.4%	1.4%	(I)水による劣化	90.8%	6.0%	1.2%	1.0%	1.0%	(I)水による劣化	83.0%	11.2%	2.4%	1.8%	1.7%

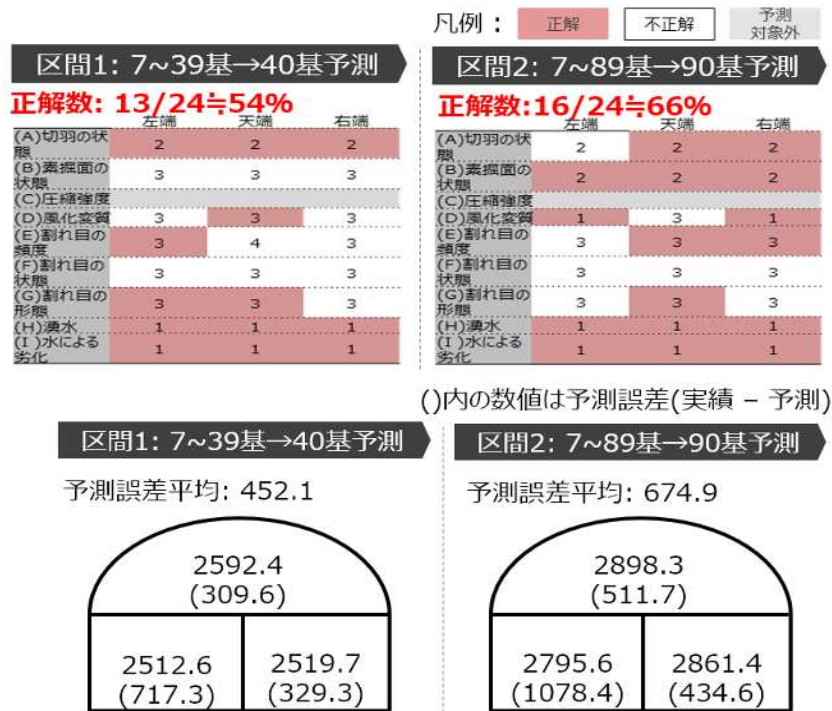


図-6 区間別切羽評価支援ツールの検証結果

上段：切羽評価点，下段：弾性波速度(m/sec)

5. おわりに

本紙では、AI 切羽評価支援ツールについて紹介したが、現在 AI を用いたトンネル地山評価システムを試行中である（図-7）。近い将来のトンネル施工全自動化を目指す中で、地山を評価する「目」の高度化は必須不可欠であり、AI は経験豊富な専門技術者の代わりになるばかりでなく、より高度なレベルの評価ができる可能性が高い。近年、様々なセンシング技術、ビッグデータを比較的容易に収集できる仕組みが整い、確度の高い地山評価を行うことが出来るようになりつつある。施工途中で得られる各種データから有用なデータを抽出するとともに評価判定を高度化していくためには、より多くの教師データを収集しながら AI を利活用していく必要があると思われる。

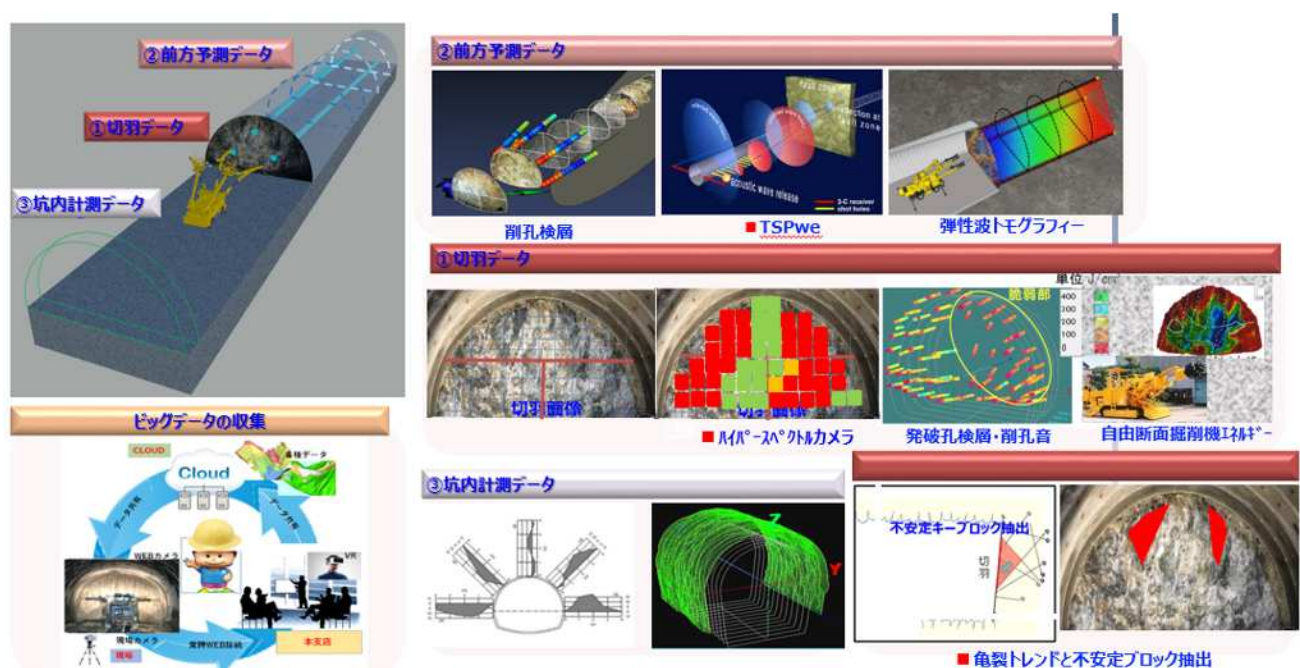


図-7 地山評価 AI システム全体のイメージ