

AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測支援による災害防止に関する研究開発① — 研究開発項目と実施概要 —

(一財) 先端建設技術センター	正会員	○吉川 正	清水建設(株)	正会員	金岡 幹
(一財) 先端建設技術センター	フェロー	山本 拓治	戸田建設(株)	フェロー	高橋 浩
東洋大学	正会員	曾根 真理	基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員	三木 茂
(株)安藤・間	フェロー	鈴木 雅行	(株)想画	正会員	田中 統蔵
鹿島建設(株)	正会員	宮嶋 保幸	日本システムウェア(株)	正会員	野村 貴律

1. はじめに

トンネル切羽の地質評価や肌落ち発生の兆候と防止の判断については、熟練者や経験豊富な専門技術者による切羽の目視観察や切羽状況の把握など、多くが彼らの経験や勘に頼ってきた。本研究開発は、画像、掘削機器等のデータについて、ICT の活用による迅速な取得・伝送・処理、仕様の共通化による有効活用、機械学習(ニューラルネットワーク等)による迅速な現象の把握と評価を行うものである。その結果、未熟練者によるトンネル切羽の地質評価、肌落ち予測、最適な肌落ち防止対策の計画・実施の支援を可能とするものである。

2. 研究開発項目と成果の概要

研究開発対象は、切羽地質評価と肌落ち予測である。それぞれに対して AI を活用するための研究開発の主な項目と実施のフローを図-1, 2 に、その実施結果の概要を以下に示す。

(1) AI を活用したトンネル切羽の地質評価の支援

1) 既往現場の切羽画像及び同種研究の収集・評価・分析

まず、施工済み9現場の切羽画像を収集して、評価・分析した結果、ピンボケ、色調・コントラストのバラツキ、画素数や照度の不足、切羽が影や黒板で隠れる等、AI による評価に対して、適していない画像が多々あることが分かった¹⁾。

2) 切羽画像の撮影の最適化

AI 活用による切羽地質評価支援用の切羽画像撮影方法の最適化に向け、現場で調査・試験(図-3)を実施して切羽画像撮影要領(案)を提案¹⁾した。

3) 切羽画像の有効活用

色見本を用いた切羽画像の色補正システムや切羽画像から切羽や支保工等の抽出、影、黒板、鏡ボルト等の人工物を認識するシステムを構築し、不適切な画像の有効活用に取り組んだ。

赤みがかった切羽画像に対する白黒色見本の RGB 値による補正例を図-4 に、切羽、支保工等の抽出並びに人工物のラベリングのシステムのイメージを図-5 に示す。

4) 既往及び新規の切羽画像の機械学習の試行

発注者用の切羽判定表の作成に必要な項目の中から、まず、地質区分、風化区分、割れ目の頻度について、機械学習等を活用して図-6 のように、図表の作成、点数化を図った。

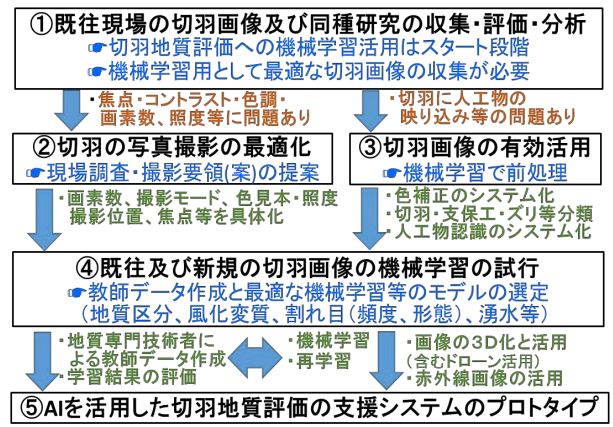


図-1 AI による切羽地質評価支援システム研究開発フロー

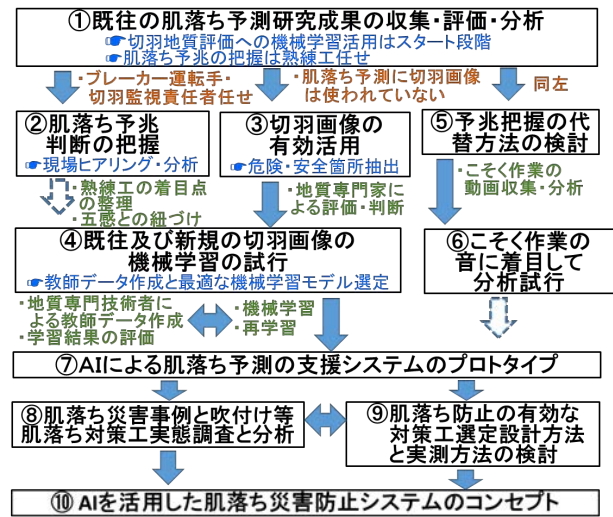


図-2 AI による肌落ち予測支援システム研究開発フロー

撮影画像例	照明	撮影モード	色調
	現場投光機のみ	標準	自然光に近い色合い
	持参投光機 (LED昼光色)	ホワイトバランス蛍光灯	全体的に赤みがかかる
	持参投光器 (LED電球色)	ホワイトバランス白熱灯	全体的に強く青みがかかる
	ジャンボ+現場投光器	標準	僅かに黄色みがある
	ジャンボ+現場投光器 (近)	標準	白飛び(照度大)、僅かな赤み

図-3 切羽画像撮影の最適化に向けた調査・試験結果例



図-4 色見本を用いた補正の例

キーワード トンネル, 切羽画像, 教師データ, 機械学習, 肌落ち災害防止, AI
 連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚2丁目15番6号 (一財) 先端建設技術センター TEL03-3942-3991

表-1 評価対象項目別の使用モデルと教師データの有無

評価対象項目	使用モデル	教師データ
切羽・支保工等区分	SegNet	有
人工物ラベリング	U-Net, YOLOv3	有
地質区分	IIC	無
風化区分	K-means	無
割れ目頻度(間隔)	Canny法	有
肌落ち危険度判定	ResNet50	有

表-1 に評価対象項目別使用モデルと教師データの有無を示す。

5) AI を活用した切羽地質評価の支援システムのプロトタイプ

図-7 に図-6 の AI による出力結果の図と点数表 (図の左下段) を示す。現場技術者は、現場で切羽を観察しながら、タブレット等に表示された出力結果を参考に、切羽判定表を作成する。

(2) AI による肌落ち予測の支援

1) 既往の肌落ち予測研究成果の収集・評価・分析

図-2 に示したように現場における肌落ちの予測は、こそく作業員や切羽監視責任者等の熟練工任せで、また、切羽画像は活用されていないことが分かった。先ずは、肌落ち予測において、AI による切羽画像の有効活用に取り組んだ。

3 現場で、熟練工にヒアリングして、彼らの着目点の把握 やこそく作業の動画の活用も検討したが、本文では割愛する。

2) 既往及び新規の切羽画像の有効活用と機械学習の試行

最初に、地質の専門技術者が切羽画像から肌落ち危険箇所と安全箇所の両方の教師データを抽出した。危険箇所のパターンは、a: トンネル外周部, b: 岩塊の抜け落ち跡, f: 風化変色部, c: 割れ目に沿った切羽の凸凹等 9 パターンについてそれぞれ教師データを作成した。また、教師データと実際の肌落ち画像と比較して、教師データそのものの妥当性も検証した。

それらの教師データと表-1 に示すモデルを用いて学習・予測を実施し、さらに、その結果を専門技術者が評価して、その結果を再学習して肌落ち予測の正答率の向上を図っている (図-8)。

3) AI による肌落ち予測支援システムのプロトタイプ

肌落ち危険箇所の予測結果として、切羽の幾つかの箇所をタブレットやパソコンに黄色の矩形で表示させ、同時に、それらの背面カメラで重ね合わせることで、切羽監視責任者が自分で肌落ち危険箇所を認識及び坑夫への危険予知を支援する (図-9)。

4) AI を活用した肌落ち防災システムのコンセプト

図-2 に示すように、肌落ち災害事例と吹付け等肌落ち対策工実態調査と分析並びに肌落ち防止の有効な対策工選定設計方法と実測方法を検討した。その結果は別の論文で詳述する。

3. まとめ

AI を活用したトンネル切羽の地質評価並びに肌落ち予測の支援システムは正答率の更なる向上と評価対象項目の追加が不可欠である。引き続き研究開発と新規現場での活用と改善を繰り返して、汎用性の高いものに作り込んでいきたいと考える。

なお、本報告は、国土交通省建設技術研究開発助成並びに(一財)先端建設技術センター自主研究開発の成果の一部である。

参考文献

- 1) 木山智裕他：山岳トンネルにおける機械学習用切羽写真についてー現状の写真と撮影環境および撮影方法の提案ー, 年次学術講演会講演概要集, Vol. 75, CS15-22, 2020
- 2) 杉本翔平他：山岳トンネルにおける AI による肌落ち予測に向けた熟練作業員の知見についてー肌落ちにおける熟練作業員の気付きと知見及びその予知方法ー, 年次学術講演会講演概要集, Vol. 75, CS15-18, 2020



図-5 切羽・支保工等の区分と人工物ラベリングイメージ

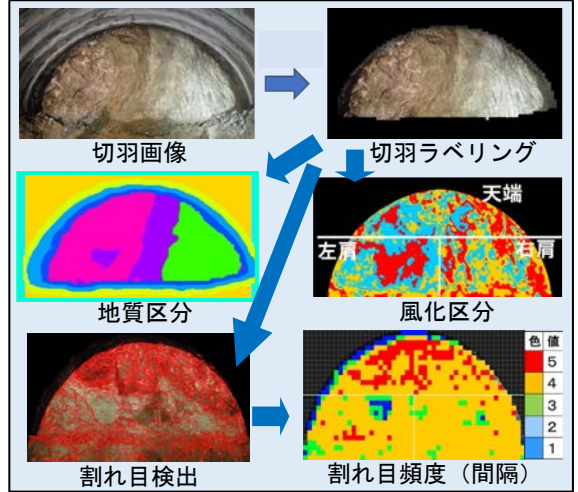


図-6 評価対象項目別の出力結果例



図-7 AI による切羽地質評価支援システム運用イメージ

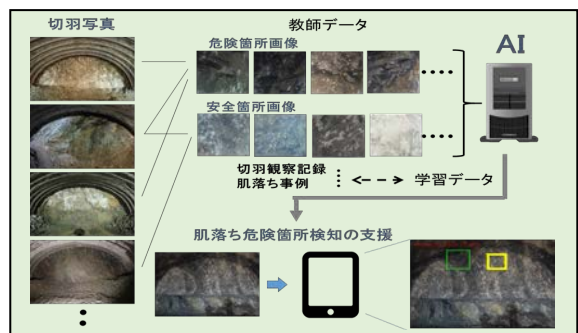


図-8 AI を活用した肌落ち予測システム構築イメージ



図-9 AI を活用した肌落ち予測支援システム運用イメージ