

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② ー機械学習モデルによる肌落ち予測アプリケーションの実用化ー

(一財) 先端建設技術センター 正会員 ○吉川 正 基礎地盤コンサルタンツ (株) 正会員 三木 茂
 (一財) 先端建設技術センター フェロー 山本 拓治 NSW (株) 正会員 野村 貴律
 (一財) 先端建設技術センター 正会員 橋立 健司 鹿島建設 (株) 正会員 宮嶋 保幸
 (一財) 先端建設技術センター 河原 一弘 清水建設 (株) 正会員 垣見 康介
 (株) 安藤・間 正会員 鶴田 亮介 戸田建設 (株) 正会員 辻川 康人

1. はじめに

筆者らは、AI 技術及び画像処理技術を用いて山岳トンネルの肌落ち予測の支援システムの開発を進めている^{1),2)}。AI による肌落ちの予測支援において、地質の専門技術者による切羽画像から肌落ちの危険性の高い箇所と肌落ちの危険性が低い箇所の教師データの作成、岩石グループごとの学習による予測精度の向上、さらに現場での利便性の向上を目指して、現場における切羽画像の撮影や通信の機器として汎用的に使用されている iPhone による AI を活用した肌落ち予測アプリケーションを開発した (写真-1)。ここでは、2 種類の機械学習のアルゴリズムによる予測結果及び今後の予測精度の向上に向けた取り組みについて報告する。

2. 学習モデルと予測精度の検証

1) 過学習及び汎化性能について

図-1 に示すように全データ 1,256 枚のうち 70% (879 画像) を教師データに用いて機械学習を行い、20% (251 画像) を検証データで機械学習したモデルを検証し、残りの 10% (126 画像) に対して、肌落ち予測を実施した。HR-Net(High-Resolution Net)を用いた学習においては、epoch 数が 50 付近で損失が収束し、80 以上で過学習となる傾向が見られたので、使用する iPhone のアプリケーションの epoch 数は 64 に設定した。

テストデータに対する予測の精度を図-2 に示す IoU (Intersection over Union)を用いて評価した結果、テスト画像における損失(loss)が 0.014、精度が 81.85%と良好な結果が得られた。なお、予測箇所と正解箇所の領域の縦横の大きさは 50~100cm 程度である。過学習を防ぎ、汎化性能を向上させる目的で使われる交差検証の結果を表-1 に示す。全データを 5 分割して検証した結果、モデルごとの精度は、72.7~82.6%、平均値は、79.2%と所定の精度が得られた。



図-1 学習データ構成とモデルの学習過程

$$IoU = \frac{\text{予測箇所と正解箇所が重なった部分のピクセル}}{\text{予測箇所と正解箇所のピクセルの合計}}$$

表-1 交差検証の結果

モデル	精度
モデル1	79.3%
モデル2	80.2%
モデル3	82.6%
モデル4	72.7%
モデル5	81.0%

K = 5 (全体のデータを5分割)

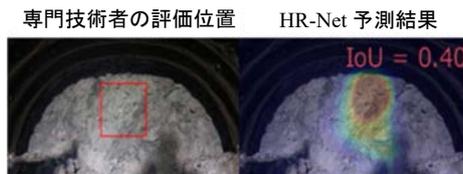


写真-2 iPhone の肌落ち予測画像と IoU



$$\text{精度} = \frac{\text{IoU} > 0 \text{ を満たす画像枚数}}{\text{テスト画像全体}}$$

図-2 精度検証の考え方

キーワード AI 山岳トンネル 切羽 肌落ち 機械学習

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚 2-15-6 (一財) 先端建設技術センター TEL03-3942-3991

地質の専門技術者の評価と予測結果を写真-3 に示す。HR-Net は、学習が収束し、予測結果は、専門技術者の評価位置と重なっている。深さが 50 層の畳み込みニューラルネットワーク Resnet50 は、データ数が多くなって肌落ちのバリエーションが増えると学習が収束せずにヒートマップが切羽部分以外の堆積ずりの部分も含めたランダムな肌落ち予測結果となった。

2) 地質の専門技術者による検証

地質の専門技術者が、切羽画像と切羽観察記録を見て、肌落ちの危険性が高いと評価した四角の赤枠と HR-Net による肌落ち予測のヒートマップの予測箇所との合致状況について、地質グループごとに比較した評価結果の一覧を表-2 に示す。主に発破掘削が用いられて凹凸あるいはひび割れなどが顕著な中硬質の岩石グループは、正答率が 90%以上と高く、機械掘削が用いられる傾向にある軟質の岩石グループは、正答率は 75%程度である。今回、地質の専門技術者は、現場の切羽そのものを見ないで教師データの作成並びに肌落ちの評価を実施しており、評価精度のさらなる向上には実現現場での肌落ち発生あるいはその予兆が見られる切羽画像に肌落ち箇所を正しく記載したデータの作成と収集が必要である。

3. 現場情報を反映した肌落ち教師データの作成・運用

iPhone の活用において、AI を活用した肌落ち予測アプリケーションに加え、撮影した切羽画像に現場で肌落ち発生あるいはその予兆が見られる箇所を四角形の枠で囲み、教師データを作成して別のフォルダに送信するシステムを図 3 のように開発・運用している。

4. まとめ

HR-Net を用いた iPhone 上の AI を活用した肌落ち予測アプリケーションの運用において、IoU による評価及び交差検証の結果によると、肌落ち予測精度は 80%程度となった。また、切羽画像の撮影から AI による肌落ち予測までの時間は、10 秒程度と短く、現場の関係者にストレスを与えない程度である。

今後、現場での教師データの作成、伝達及び再学習を行うことで、アプリケーションの予測精度を向上させるとともに、大型モニター、プロジェクター、重機の運転席のモニター等で肌落ち予測結果をリアルタイムで確認できるシステムを構築していく予定である。

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) 吉川正ら：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－，令和 4 年度土木学会学術講演会，CS14-25, 2021.
- 2) 村井和彦ら：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⑥－AI による肌落ち予測支援システムのプロトタイプについて，令和 3 年度土木学会学術講演会，CS14-30, 2021.

専門技術者の評価位置 HR-Net 予想(新モデル) Resnet50 予想(旧モデル)

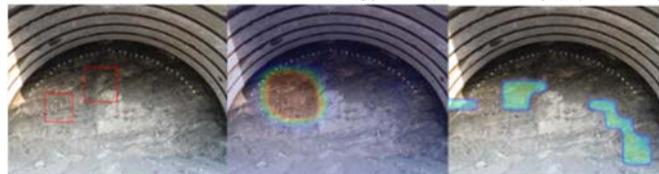


写真-3 専門技術者の評価，HR-Net 及び Resnet50 の予測結果

表-2 地質の専門技術者と HR-Net による肌落ち予測結果

岩石グループ	地質の専門家の評価と AI による肌落ちアプリの予測の一致と不一致の切羽数			正答率 (%) (○+△)/全数
	○ほぼ一致	△一部一致	×不一致	
硬質塊状	141	30	16	91
中硬質塊状	198	38	26	90
中硬質層状	30	6	0	100
軟質塊状	29	1	10	75
軟質層状	193	70	98	73

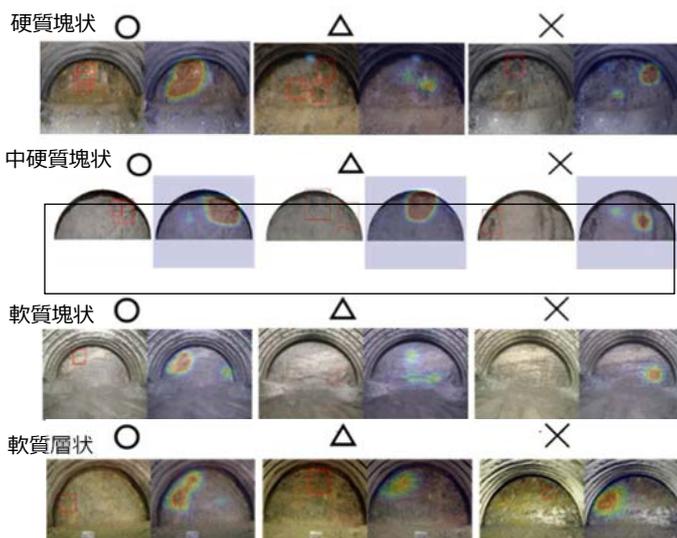


写真-4 地質の専門技術者と HR-Net による肌落ち予測結果

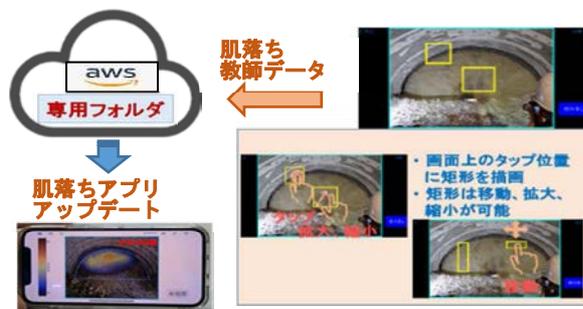


図-3 iPhone 画面上での肌落ち教師データの作成及び肌落ち予測アプリのアップデートのイメージ