

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④
 -AI を活用した切羽地質評価支援システムのプロトタイプについて-

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
 (一財)先端建設技術センター フェロー 山本 拓治 (一財)先端建設技術センター 正会員 村井 和彦
 (株)安藤・間 フェロー 鈴木 雅行 鹿島建設(株) 正会員 宮嶋 保幸
 清水建設(株) 正会員 小島 英郷 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

1. はじめに

筆者らは、AI 技術と画像処理技術を用いる山岳トンネル切羽評価支援システムを構築している¹⁾。本稿では、一連の検討を踏まえて作成した切羽地質評価の支援システムのプロトタイプ開発について概要を報告する。

2. システムの概要

本システムは、切羽画像より AI 技術を用いて表-1 に示す切羽観察票に記載の評価項目を自動で算出するシステムである。現在、風化変質、割れ目の頻度、割れ目の形態についてのプロトタイプシステムが完成しており、順次評価項目を増やしている。また、地質スケッチを自動で作成するシステムの構築にも取り組んでいる。

2-1. 地質区分(地質スケッチ)の評価

地質区分の評価は、教師なし学習である IIC²⁾ (Invariant Information Clustering) を使用している。IIC のアルゴリズムでは、図-1 の x と x' のペアとなる画像から相互情報量を最大化するように学習を行いクラス分類している。クラス分類数は事前にパラメータ設定を行うことで数を制限することができ、25 色に設定し

た。IIC の特徴は色の境界や割れ目等の鋭角な特徴をクラス分類することができることである。表-2 は地質専門家が解析結果を評価したものであり、概ね良好と部分的に良好を合わせると 70% 以上の適合が見られた。図-2 に IIC の結果画像を示す。岩種等の地質境界については、まだ問題がある。

表-2 地質区分の評価

判定内容	該当数	○:概ね良好	△:部分的に良好	×:悪い
切羽区分	115	53	31	31
風化・茶褐色に変色	72	30	30	12
地質境界	56	1	15	40

2-2. 割れ目の頻度の評価

割れ目の頻度の評価は、Canny 法によりエッジ検出し、その結果を実際の割れ目の頻度と相関させる線形回帰による手法を採用した。Canny 法とは画像のノイズ削減・輝度勾配の検出・非極大値の抑制を行うことでエッジ検出を行う手法である。今回は切羽上の割れ目のある箇所を短

表-1 切羽観察票の例

評価区分 (掘削地点の地山の状態と変動)				評価区分		
				左側	天端	右側
圧縮強度	1. $0c \leq 100MPa$ ハンマー打撃はね返る	2. $100MPa > 0c \geq 20MPa$ ハンマー打撃で砕ける	3. $20MPa > 0c \geq 5MPa$ 軽い打撃で砕ける	4. $5MPa \leq 0c$ ハンマー刃先食いこむ		
風化変質	1. なし・健全	2. 岩面に沿って変色、強度やや低下	3. 全体に変色、強度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、破砕、当初より未固結	3	3 2
風化変質	1. 間隔 $d \leq 1m$ 割れ目なし	2. $1m > d \geq 20cm$	3. $20cm > d \geq 5cm$	4. $5cm \leq d$ 破砕当初より未固結	4	4 4
割れ目の頻度	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土を挟む、当初より未固結		
割れ目の形態	1. ランダム方形	2. 柱状	3. 層状、片状、板状	4. 土砂状、細片状、当初より未固結	3	3 3
湧水	1. なし・湧水程度	2. 湧水程度	3. 集中湧水	4. 全面湧水		
水による変化	1. なし	2. 腐みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊、流出		

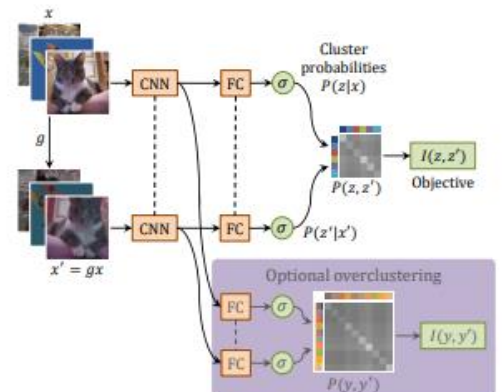


図-1 IIC アルゴリズム

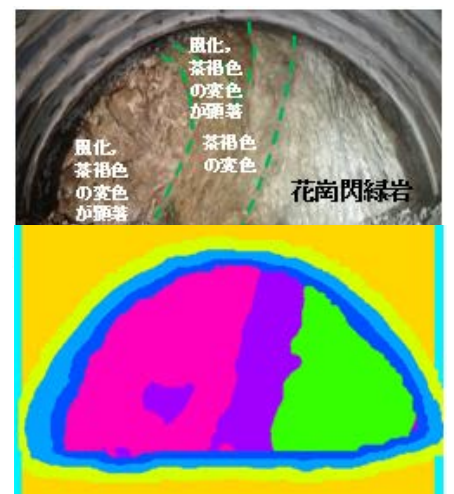


図-2 IIC の結果画像

キーワード 山岳トンネル、AI、切羽画像、深層学習、画像分類手法

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

径で区切り、エッジ検出を行った結果から割れ目密度を計算して入力データとした。また地質専門家によって入力画像の短径内の割れ目の頻度を実測し評価した数値データを教師データとして線形回帰による予測を行った。入力データについては、割れ目のある箇所短径で区切った実測画像 19 枚を使用した。線形回帰の結果を図-3 に示す。その結果、割れ目の頻度（間隔）は $(y) = 3.53 \times$ 密度の逆数 (x) となった。図-4 は切羽画像の例、図-5 は割れ目の頻度の解析結果と評価点である。天端、右肩、左肩の面積割合が計算されるため、より定評的であり実際の現場評価との整合性も高い確率で確認された。

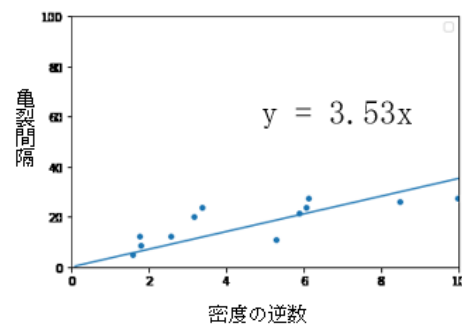


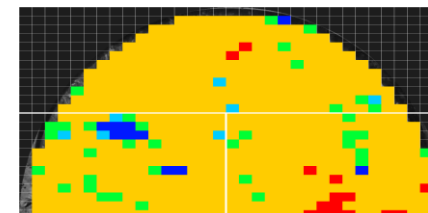
図-3 線形回帰の結果

2-3. 風化変質の評価

風化変質の評価は K-means によるクラスタリング、ベイズ最適化によるラベル評価を手法として採用した。K-means は与えられたデータを任意のクラスタ数に分け、クラスタの重心を計算した後、クラスタの再配置を行うステップを、繰り返すことによってデータを任意の数のクラスタに分類する手法である。今回の場合は画像のピクセルを入力、クラスタ数を 10 とすることで、入力データに対する代表的な RGB のデータを推定するように学習を行った。ベイズ最適化とはパラメータ探索の手法の 1 つであり、ベイズ更新を用いることで高効率なパラメータ探索が可能となる手法である。今回の場合、K-means でピクセル毎に 10 クラスに分類したデータと地質専門家による評価点が最適となるようにパラメータ推定を行った。教師データは、各評価点に対応した典型的な切羽画像 78 枚を、再度地質専門家により、左肩、天端、右肩の区分で再評価したものを使用した。図-6 は風化変質の解析結果である。風化変質の正答率も比較的高い精度となることが確認された。



図-4 切羽画像



評価点	左肩	天端	右肩
1	5%	0%	1%
2	2%	1%	0%
3	10%	4%	6%
4	83%	94%	87%
5	0%	1%	7%
結果	4	4	4

図-5 割れ目の頻度の解析結果

3. まとめ

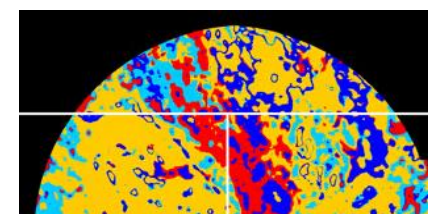
今回のプロトタイプの開発では、撮影条件の極端に悪い暗い画像、低解像度、色ずれした画像はできるだけ対象外とし、極力品質の良い画像のみを選別することで評価を行ったが、参考文献 1 に示す撮影基準に従った画像ではないため現場ごとの画像品質にばらつきがみられ、正答率にも元画像の品質が大きく影響している。特に、地質区分、風化変質については色に左右されるため、色ずれが発生しないよう色見本や色補正が重要となる。

また、割れ目の頻度については画像の解像度が重要な要素を占めるため、高解像度（800 万画素以上の解像度）が望ましい。

今後の展開としては、データ数を増やすことで未知のテストデータに対する識別能力を高めて、正答率の向上を目指すとともに、他の地質評価区分についても検討を進める予定である。

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、② 2021 年土木学会学術年次講演会論文（投稿中）
- 2) Xu Ji, João F. Henriques, Andrea Vedaldi: Invariant Information Clustering for Unsupervised Image Classification and Segmentation, arXiv preprint arXiv:1807.06653v4 [cs.CV] 22 Aug 2019.



評価点	左肩	天端	右肩
1	8%	23%	23%
2	13%	17%	17%
3	70%	48%	42%
4	9%	13%	19%
結果	3	3	3

図-6 風化変質の解析結果