

画像処理による亀裂判定および切羽評価手法

前田建設工業株式会社
前田建設工業株式会社
アジアクエスト株式会社

正会員 ○荒木 広夢
正会員 五味 春香
海野 悠真

正会員 伊藤 竜馬
後藤 信男

1. はじめに

山岳トンネルの掘削においては、切羽を正確に評価して施工に反映させることが重要である。特に、岩盤の亀裂の状況によっては、崩落災害や落石等の発生が懸念され、安全性を確保する上で大きな問題である。そこで、筆者らは、掘削後の切羽面画像を処理することで、亀裂に関する切羽評価を自動化する手法を開発した。本論文では、手法の内容について述べる。

2. 亀裂抽出の判定基準

亀裂の判定基準は、近畿地方整備局のトンネル地山等級判定マニュアルに準拠した¹⁾。切羽観察記録を作成するための本マニュアルでは、亀裂に関する事項は、表-1に示すように (E) 割れ目の頻度、(F) 割れ目の状態、(G) 割れ目の形態の3項目が示されており、それぞれ評価1から評価4までの4段階に区分されている。

3. 機械学習と亀裂抽出の方法

機械学習にあたって、割れ目の頻度、割れ目の形態は約3700枚、割れ目の形態は約3000枚の切羽画像を用いて精度検証を行った。

亀裂検出の流れを表-2に示す。本手法では、①ガウシアンフィルタから⑥ハフ変換までの処理を順次行うことで亀裂を抽出した。

表-2 変換処理の流れ

順序	名称	処理内容
①	ガウシアンフィルタ	ガウス関数を用いて画像をぼかす
②	グレースケール変換	RGB 画像をグレースケールに変換する
③	2 値化処理	ピクセル毎に白黒の 2 値に変換する
④	ノイズ除去	Non-local Means フィルタを用いてノイズを除去する
⑤	スケルトン化	線を細く (細線化) する
⑥	ハフ変換	細線から線分を抽出する

4. 評価方法と結果

表-2の処理で得られた亀裂の情報から、割れ目の頻度、割れ目の状態および割れ目の形態の各指標について、以下の方法で特徴量を抽出し、その後、分類モデルにかけることで評価を行う。以下に、各特徴量の算出方法と分類モデルについて示す。

(1) (E) 割れ目の頻度に関する特徴量

まず、各線分*i*と他の線分*j*との距離 d_{ij} を求める。ここで線分間の距離 d_{ij} は、式(1)で定義される。ただし、 c_i と c_j はそれぞれ線分*i*と線分*j*の中心座標である。

$$d_{ij} = ||c_i - c_j||$$

(1)

表-1 亀裂に関する項目の判定基準 (トンネル地山等級判定マニュアル, 国土交通省近畿地方整備局)

(E)	割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1m$ 割れ目なし	2. $1m > d \geq 20cm$	3. $20cm > d \geq 5cm$	4. $5cm \geq d$ 破碎当初より未固結
(F)	割れ目の状態	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
(G)	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 

キーワード 山岳トンネル, 切羽観察, AI, 画像処理, 亀裂, 割れ目

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見2丁目10番2号
前田建設工業株式会社 TEL03-5276-5551

次に、線分 i の重み付け係数 q_i を求める。線分 i の長さ l_i を 1 つの画像内で正規化した値を l_i' 、全ての画像で正規化した値を l_i'' とする。 q_i を式 (2) に示す。

$$q_i = 0.35 * l_i' + 0.65 * l_i'' \tag{2}$$

続いて、線分 i のスコア s_i を求める。線分 i の中心から $R=20$ ピクセルの範囲内に存在する線分 j との距離の和を d_i とすると、 s_i は式 (3) で求められる。

$$s_i = q_i * \sum_j (d_{ij} \leq R) d_{ij} \tag{3}$$

最後に、すべての線分 i についてスコア s_i を計算し、その和を割れ目の頻度に関する特徴量 μ を式 (4) に示す。

$$\mu = \sum_i s_i \tag{4}$$

(2) (F) 割れ目の状態に関する特徴量

抽出された線分と直交するような線分を定義し、その線分上のグレースケール値の移動平均を輝度の移動平均と定義する。抽出する区間は、元の線分上を含む 5 ピクセルとする。各線分事の輝度の移動平均値から、最大値、最小値、平均値、中央値、80/100 文位点、20/100 分位点を特徴量とする。

(3) (G) 割れ目の形態に関する特徴量

水平方向正の向きの単位ベクトルを定義し、抽出した線分との余弦を求める。定義域は $(0, \pi)$ の値を取るものとする。得られた余弦の値域は $(-1, 1)$ であり、これを線分の向きを表現する特徴量とする。

(4) 分類モデル

分類モデルに決定木およびルールベースを利用し、(1) ～ (3) の方法で得られた特徴量を評価 1 から評価 4 の 4 段階で学習を行った。分類モデルに決定木を利用したのは、使用する特徴量が少なく、データ量が限られており、解釈が容易のためである。決定木モデルとルールベースモデルの結果を 6 : 4 の比率で加重平均を取り、最終的な分類結果とした。

5. 亀裂の評価結果

図-1 に亀裂評価結果の一例を示す。左図が亀裂可視化前の画像、右図が亀裂可視化後の画像であり、亀裂を青線で示している。左右画像を比較すると、天端

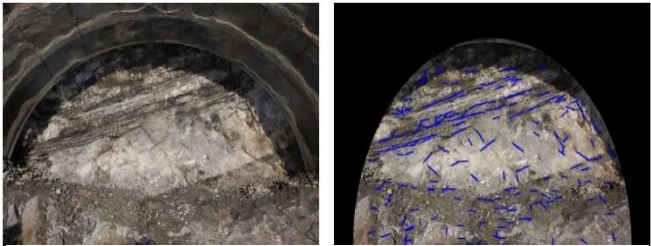


図-1 亀裂を可視化した画像の例

部に卓越している低角度の亀裂（ここでは層理面）や、切羽中央部でこれにほぼ直交する連続性の不良な亀裂も正しく抽出していることが分かる。

正解率、再現性、適合率のそれぞれについて、表-3 に 5 分割交差検証、表-4 にテストセットに対する評価結果を示す。テストセットについては、学習データのうち、2 現場分の画像をテストデータとした。結果、交差検証においては、約 50%、テストデータにおいては、約 45%の精度を達成した。

表-3 5 分割交差検証の評価結果

モデル	交差検証		
	正解率	再現性	適合率
(E) 割れ目の頻度	51.3%	50.9%	50.1%
(F) 割れ目の状態	49.9%	47.2%	47.2%
(G) 割れ目の形態	54.0%	49.4%	50.2%

表-4 テストセットの評価結果

モデル	テストセット		
	正解率	再現性	適合率
(E) 割れ目の頻度	46.0%	44.3%	43.1%
(F) 割れ目の状態	46.7%	45.3%	45.3%
(G) 割れ目の形態	47.2%	44.3%	44.1%

6. おわりに

本研究では、画像処理を用いた自動評価および可視化手法を開発した。本手法は、画像から亀裂と特徴量を抽出するため、近畿地整以外の評価基準に対しても柔軟に適用可能である。今後は、本手法を現場導入し、有用性を検証する予定である。

参考文献

1) 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）平成 28 年 7 月