

画像処理解析による山岳トンネルの切羽剥落危険度予測システムの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○戸邊勇人 宮嶋保幸 白鷺 卓 山本拓治 川端淳一

1. はじめに

山岳トンネル工事では、掘削直後の不安定な切羽に作業が集中するため、切羽の状態を確認して安全を確保することが重要である。現状における切羽の安全性確認は、熟練の作業員や地質技術者による目視判断に依存しているため、その判断結果には個人差が発生しやすい。切羽の安全性を向上させるには、このような判断の個人差を低減することが重要である。

切羽の安全性確認において着目する項目としては、主として、風化変質程度や割目の方向・連続性などの岩盤性状が挙げられる。切羽の岩盤性状を定量的に評価するための技術が確立されれば、安全性に対する判断の個人差は低減できるものと期待される。

筆者らは、これまで画像解析技術を応用し、切羽の岩盤性状を定量評価する技術を開発し、現場に適用してきた^{1),2)}。今回、これらの技術を発展させ、切羽の風化・割目性状の定量的判定結果と切羽の剥落实績とを関連付けることにより、切羽の剥落の発生確率を数値的に予測可能なシステムとしたので、その概要について説明する。

2. 風化変質程度の定量評価方法

岩盤の一般的な性質として、剥落は未風化部分より風化の進んだ部分において発生しやすい。そのため、切羽の風化部分が広いほど、剥落の発生率が高くなると考えられる。

岩盤の風化(化学的風化)は、岩石中のイオンの溶脱と、残留物質からの粘土鉱物生成の過程を経る。粘土鉱物の生成の定量評価にはX線回折分析が最適であるが、この分析は数日間を要するため、迅速性を必要とする切羽の判定には実用的でない。

そのため筆者らは、風化を受けた岩盤が、粘土鉱物の生成とイオンの溶脱により風化前と異なる色調を示す点に着目し、切羽画像の色調をタブレットPCで画像解析することにより風化程度を定量評価する手法を開発した(図-1)¹⁾。この手法を用いて切羽に占める風化部の面積率を算出することにより、剥落の発生の可能性を定量的に見積もることができる。

3. 割目交差箇所の定量評価方法

岩盤の内部には力学的な弱面となる割目が内在しており、トンネル掘削時にはこの割目に沿って岩盤が剥落しやすい。そのため、割目の集中する箇所ほど、剥落が生じやすいと考えられる。また割目は、切羽では凹凸を有する筋として現れやすく、凹部と凸部では照明の反射率に差が生じやすい。そのため、割目は写真上では輝度の差の大きい部分として発現しやすい。この性質を利用し、切羽写真の中で大きく輝度の変化する部分を白点、それ以外を黒点として描画すると、

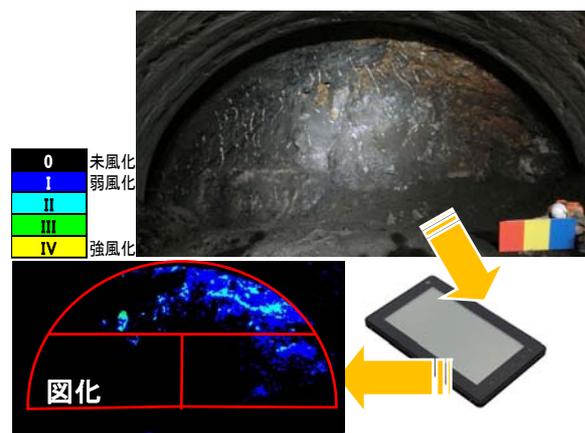


図-1 風化変質判定システムの概念図

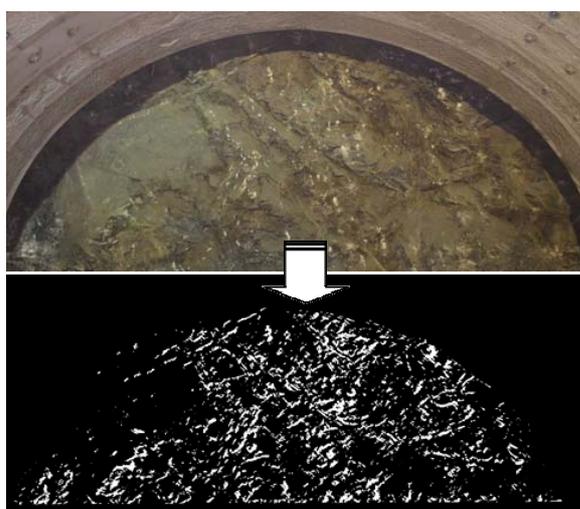


図-2 切羽写真(上)から割目を検出(下)

キーワード 切羽の剥離, 画像解析, 割目評価, 風化変質

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL 042-489-6594

切羽の割目を白い画素として検出することができる (図-2)。

前述のように、割目の集中箇所は剥落しやすい性質をもつが、同一方向の割目だけが集中しても剥落には至りにくいため、異なる方向の割目が交差する箇所を定量的に判定することが重要である。そのため、割目の画像を適切なメッシュに分割し、メッシュ内の主要な2方向の割目(第1成分、第2成分)を検出して(図-3)、隣接メッシュ同士でその方向を比較した。そして割目方向が類似するメッシュ同士を線で連結し(図-4の緑線)、この連結線が交差する箇所(割目交差箇所)を剥離しやすい箇所として検出した(図-4)。この割目交差箇所の密集域を面積で比較することにより、剥落の発生の可能性を切羽間で定量的に比較できる。

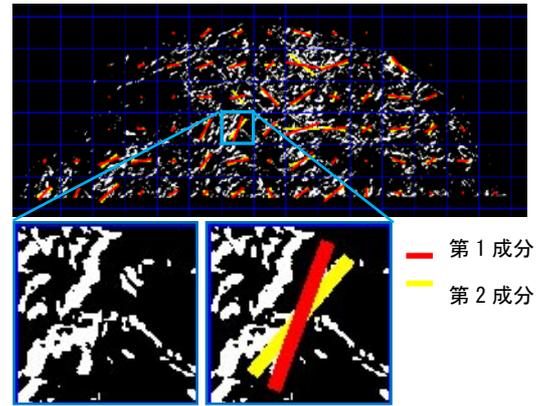


図-3 主要割目2方向の検出

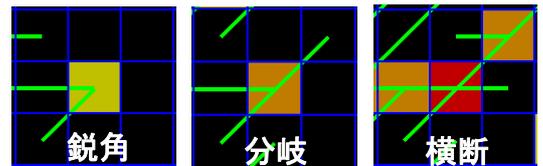


図-4 割目交差箇所の検出

4. 風化・割目の特徴のカテゴリ分け

切羽における風化と割目の発達程度を比較するため、下記に示すようにカテゴリ分けを行った。まず、切羽全体に占める風化部分の割合を前述の方法によって算出しW1~W4の4つのカテゴリに分類した。すなわち、風化部分が切羽全体の60%以上を占め、強く風化した切羽はW1とし、風化部10%以下の弱風化の切羽はW4とした。10~60%の中程度の風化を示す切羽の場合には、風化部分が一部に集中している(偏りのある)ものをW2、切羽内に散在している(偏りのない)ものをW3とした(表-1上)。割目交差箇所についても、同様の方法によりC1~C4のカテゴリに分類した(表-1下)。この4x4=16のカテゴリに基づき、195箇所の切羽(そのうち剥落が発生した切羽:91箇所)を分類した。

表-1 カテゴリの区分

風化性状のカテゴリ	風化部の面積	風化部の偏り
W1	60%以上	---
W2	10~60%	あり
W3		なし
W4	10%以下	---

割目性状のカテゴリ	割目交差密集域の面積	割目交差密集域の偏り
C1	40%以上	---
C2	10~40%	あり
C3		なし
C4	10%以下	---

5. カテゴリ別の切羽剥落発生確率

前述のカテゴリごとに、切羽で剥離が発生する確率を算出した(表-2)。確率は、各カテゴリ内に分類された切羽数を分母、同カテゴリ内で剥落の発生した切羽数を分子として算出した。この表によると、数字の小さい左上のカテゴリほど剥離発生確率が高く(領域1:約75%以上)、逆に右下ほど低い結果となった。

表-2 カテゴリ別の剥落発生確率

		割目性状 Crack			
		C1	C2	C3	C4
風化性状 Weathering	W1	領域1		86%	82%
	W2		77%	31%	56%
	W3		領域2	25%	54%
	W4	100%	56%	50%	領域3 0%

この結果を換言すれば、切羽の風化・割目性状を画像解析で定量評価することにより、剥落の発生を予測することが可能になったといえる。すなわち、表-2の領域1に当てはまる切羽であれば、約75%程度の確率で剥落が発生すると予測できる。

6. まとめ

以上のことから、195箇所の切羽写真を画像解析することにより、剥落を約75%程度の確率で予測できることがわかった。今後は、剥落の予測精度を高めるため、さらに多くの切羽で解析を行う予定である。

参考文献

- 1) 戸邊勇人, 宮嶋保幸, 白鷺卓, 山本拓治, 白松久茂, 岩村武史, 中村祐, 岩熊真一: 山岳トンネル切羽の風化変質判定システムの開発-切羽観察での適用例-, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014.
- 2) 戸邊勇人, 宮嶋保幸, 山本拓治: 切羽写真の画像解析による亀裂分布の定量的解析と現場への適用: 土木学会第72回年次学術講演会, 2017.