

## 山岳トンネル切羽観察における割れ目スケッチの自動化と主要割れ目方向の定量化

鹿島建設(株) 正会員 ○工藤翔太 戸邊勇人 宮嶋保幸 山下 慧

## 1. はじめに

山岳トンネル工事において適切な施工を行うには、迅速かつ定量的に切羽を評価することが重要である。切羽は岩盤の強度・風化変質程度・割れ目間隔などの項目ごとに評価されており、これらの項目については迅速に定量評価する手法が開発されてきている。しかし、定量化しにくい割れ目の特徴、たとえば切羽における割れ目の主要な方向を記録する方法については、現在のところ目視によるスケッチや記載が中心となっており、スケッチに要する時間が施工サイクルに負担を与えることや、記載に個人差が生じることなどの課題が残されている。

筆者らは、このような問題を軽減するため、切羽における割れ目を自動的にスケッチするとともに、その主要な方向を迅速かつ定量的に記録する手法を開発したので、その概要を報告する。なお今回開発した手法では、通常の切羽観察に使う道具のみを使い、これにより1分未満で割れ目の主要な方向を検出することができた。

## 2. 開発した手法

切羽から割れ目を抽出するだけであれば、切羽写真に対しエッジ検出を施すことで実現できる(図-1)。しかし、それだけでは割れ目の主要な方向を検出できないため、割れ目の方向を一定の手順で選別する手法を開発したり。

まず切羽を適当なメッシュに分割し、メッシュ内で割れ目の卓越する方向を検出する。割れ目の卓越する方向は、メッシュ内で方向を変えながら割れ目の連結率を算出し、最大の連結率を示す方向を検出することによって求める。連結率とは、線状構造の連続程度を数値化したものである。説明を簡単にするため、幅20ピクセルのメッシュ内に白色の画素で割れ目が示された図を用いる(図-2)。図-2の(a)では上端から下端まで連続した割れ目が存在していないため、20ピクセルの長さで割れ目の連続する割合、すなわちこの場合の連結率は0である。次に、(b)に示すようにメッシュ幅を半分の10ピクセルにすると、4メッシュ中の1メッシュ(黄色でハッチしたメッシュ)で上下両端に連続した割れ目が存在するため、この場合の連結率は $1/4=0.25$ と算出される。同様に、メッシュ幅5ピクセルの場合には、16中8メッシュ(赤色のメッシュ)で割れ目が連続しているため、この場合の連結率は0.5と算出される。このようにメッシュ幅を変えながら連結率を計算し、その結果から回帰曲線を得ると、その回帰式はメッシュ幅 $x$ と連結率 $y$ の関数 $y=f(x)$ に近似できる。このとき、この関数を積分した結果は連結率の合計であり、これを**RCT(Rate of Connection)**値と定義する(図-3)。

メッシュ内で連結率を計測する方向を変えながらRCT値を算出した場合、割れ目の主要な方向と連結率の計測方向が一致した場合に、高いRCT値が計測される。そのため、定性的には高いRCT値を示した方向のみを、RCT値に比例する長さの線で描画すると、メッシュの位置における主要な割れ目の方向が抽出できる。この方法で、切羽の割れ目の自動スケッチが可能となる。



図-1 エッジ検出による割れ目の抽出

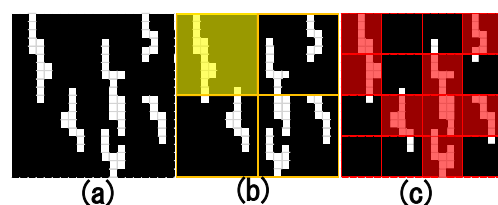


図-2 連結率の計算法

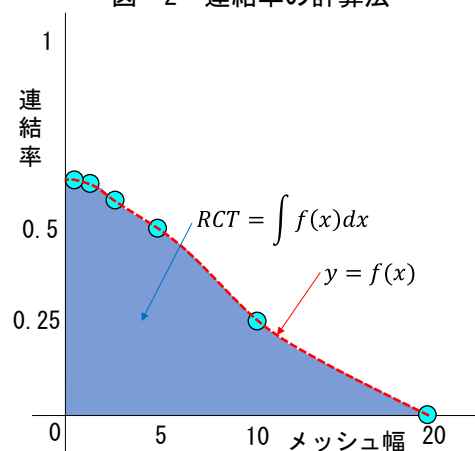


図-3 連結率とRCT値の算出

キーワード 山岳トンネル, 切羽観察, 画像解析

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 TEL042-485-1111

### 3. 現場への適用例

現場の切羽の解析例として、今回の手法を用いて図-1の切羽写真から作成した自動スケッチを図-4に示す。また、同じ切羽を目視によりスケッチした図を比較対象として同図に示す。両者を比較すると、概ね割れ目の密集している位置が一致しているため、自動スケッチは目視によるスケッチの代替にできることがわかった。なお、この自動スケッチはメッシュ幅20ピクセルにて作成した。このメッシュ幅を選定した理由を次に記す。

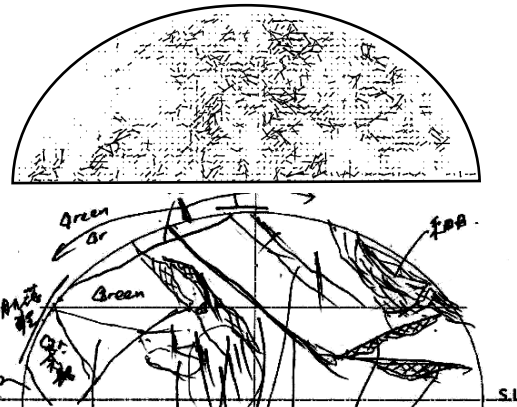


図-4 自動スケッチ（上）と目視によるスケッチ（下）の比較

### 4. 適切なメッシュ幅の選定

今回の開発では、スケッチの自動化だけではなく、切羽内の割れ目の主要な方向の検出が可能であるが、そのためには、メッシュ幅を適切に設定する必要がある。

割れ目の主要な方向を検出するには、原則的には小さいメッシュ幅が適していると考えられる。この理由は、切羽の中には、あらゆる方向の割れ目が混在しているため、大きいメッシュ幅を設定すると、長く太い割れ目のみが目立つことになると考えられるためである。しかしながら、極端に小さいメッシュ幅では適切な方向を検出できないため（1ピクセルのメッシュ幅では割れ目の方向が計測できない）、メッシュ幅を選択するには、割れ目の方向の特徴を捉えることができるメッシュ幅の中で、最小の幅を用いることが適切と考えられる。

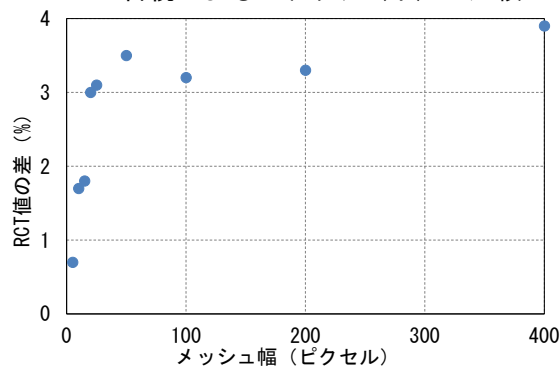


図-5 メッシュ幅とRCT値の差

今回の解析において、割れ目の方向を捉えているか否かを判断するには、方向間でRCTの合計値を比較し、その差が十分に大きいことを確認することが適当である。すなわち、割れ目の主要方向が全く捉えられていない場合には、全方向のRCT値の差が0に近い結果になると考えられる。そこで、図-1に示した切羽写真を用い、切羽内の全メッシュのRCT値を $10^\circ$ 刻みの方向別に合計し、RCTの最大値と最小値の差を計算した（図-5）。このとき、異なるメッシュ幅の間で比較を行うため、RCT値の差はRCT値の合計値に対する百分率として規準化した。

図-5に示すように、5～15ピクセルのメッシュ幅ではRCT値の差が小さく、20ピクセル幅以上ではほぼ同様の差を示すことがわかった。すなわち、メッシュ幅5、10、15ピクセルでは、最大RCT値と最小RCT値の差がそれぞれ0.7%、1.7%、1.8%と小さい差となった。一方、20ピクセル以上ではおおむね3～4%前後を示していた。これらのことから、本切羽に本手法を適用した場合20ピクセル幅のメッシュが適切と判断した。なお、最適なメッシュ幅は、同じ岩種・条件で撮影した場合には同一となった。そのため、同様の岩種が連続する現場では、最初に最適なメッシュ幅を選定することにより、本システムは自動的に運用可能である。

### 5. まとめ

本稿では、通常の切羽観察に用いるカメラを使い、切羽における割れ目のスケッチを自動的に行うとともに、割れ目の主要な方向を定量的に検出する手法を開発した。これにより、すでに定量化可能となっている岩盤の強度・風化変質程度・割れ目の間隔などの評価結果との数値的な比較が可能になるだけでなく、切羽観察帳票の定量化・自動作成も可能になると考えられる。今後、定量化された切羽情報と、内空変位などの施工中の計測値とを比較し、相互の関係を解明することで、切羽評価から適切な支保パターンを自動的に選定することも期待できるため、技術開発を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) 白鷺ら：切羽崩落事故ゼロのためのIoTによるリアルタイム切羽崩落予測システム，2018年度土木学会年次講演会講演論文集，VI-016,2018.