

画像解析によるトンネル切羽の割れ目間隔の自動解析手法と現場への適用

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

山岳トンネルを合理的に施工するためには、トンネル切羽の評価を適切かつ迅速に行うことが重要である。しかし、現状における切羽評価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、判断に個人差が発生しやすく、そのことが適切な切羽評価の実現の妨げとなっている。切羽評価において着目する地質性状としては、おもに岩盤の強度、風化変質の程度、割れ目の間隔などが挙げられ、これらのうち岩盤強度と風化変質の程度については、迅速に定量評価するための手法の開発が進められている。その一方、割れ目の間隔については、写真測量やレーザ測量などの定量評価手法があるものの、これらは解析に多くの時間を要するため、施工サイクルの一部として現場に適用するには必ずしも適切な手法でなかった。これまで筆者らは、画像解析を応用することにより、切羽の割れ目間隔を迅速かつ定量的に評価する手法を開発してきたが²⁾、その手法の正確性については検証が不十分であった。そこで本研究では、この手法を人工的に作成した割れ目画像に適用して測定の正確性を確認するとともに、実際の切羽にも適用して切羽の部位ごとに割れ目の間隔を定量的に比較できることを明らかにした。その概要について以下に報告する。

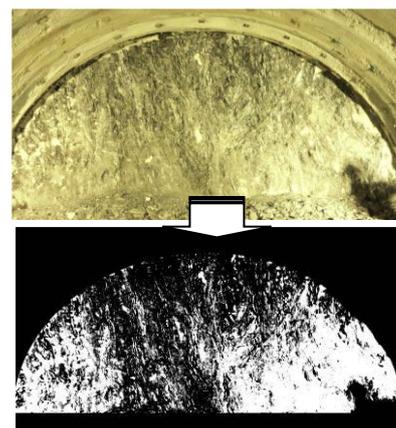


図-1 割れ目の抽出

2. 割れ目間隔の測定法

トンネルの切羽では、節理や劈開などの岩盤中の弱面が割れ目として発現しやすい。こうした割れ目は筋状の凹凸をなしていることが多く、凹面と凸面では照明の当たり方に差が生じるため、切羽の画像中で大きく照度(輝度)の変化する部分を検出することにより割れ目が抽出できる(図-1)。

このように抽出した割れ目は下記の方法で測定する。まず、割れ目を抽出した画像を一定幅のメッシュに分割し、メッシュ内での割れ目の卓越方向を計測する。次に、割れ目の卓越方向に直交する向きにメッシュ内を走査し、横断する割れ目の本数を計測する。最後に、メッシュの幅を割れ目の本数で除し、割れ目間隔を算出する。図-2の赤い走査線での計測を例にすると、割れ目の卓越方向が上下方向であり、メッシュ幅が20ピクセル、割れ目本数が4本であるため、割れ目間隔は $20/4=5$ ピクセルとなる。なお、同一メッシュ内でも割れ目の本数には差があるため、メッシュ内の全走査線で割れ目幅を計測することにより、メッシュ内の割れ目間隔の最小値・最大値・平均値が測定できる。

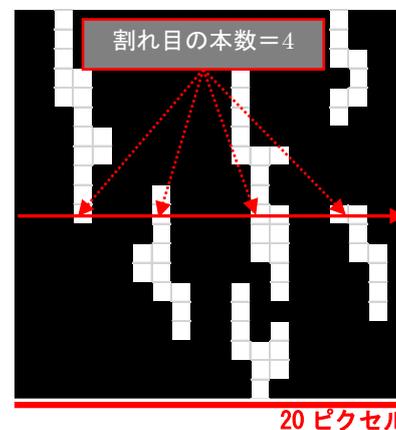


図-2 割れ目間隔の算出

3. 人工切羽画像での測定の検証

この測定法の正確性を確認するため、割れ目の間隔を一定にした切羽画像を人工的に作成し、割れ目間隔の解析を行った(図-3)。人工画像は、全体を 1600×900 ピクセルの画像とし、1メッシュは100ピクセルの正方形、割れ目幅の最小値は5ピクセル、最大値は50ピクセル、平均値は約15ピクセルとなるように作成した。

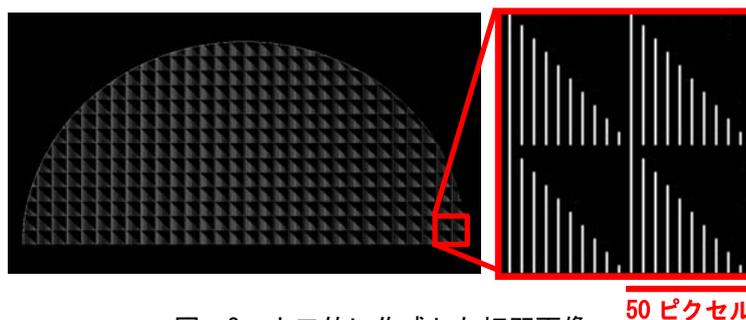


図-3 人工的に作成した切羽画像

キーワード 切羽評価, 割れ目間隔, 画像解析

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 KI ビル 鹿島建設(株) 土木設計本部 地下空間設計部トンネルグループ TEL03-6229-6618

この人工画像を本手法で解析した結果を図-4に示す。これによると、最小値は0~10ピクセル、最大値は40~50ピクセル、平均値は10~20ピクセルの階級に測定値が集中し、これらの階級は人工画像の作成設定値と一致することが確認された。

4. 実際の切羽の解析結果と考察

本手法を実際のトンネル切羽(図-5)に適用した。この切羽を目視観察すると、全体的な割れ目間隔が10~40cmであり、左肩と天端の一部に割れ目間隔の広い領域があることが確認された(図-5の水色点線内の領域)。また、右肩には他の部分より細かい割れ目が多いことも観察された。

図-5の切羽に本手法を適用しメッシュの平均値を比較した結果を図-6に示す。この図から割れ目間隔の特徴を読み取ると、左肩と天端では10~40cmだけでなく40cmを超過する階級にも割れ目間隔が確認されたのに対し、右肩ではすべて10~40cmの結果となった。これは図-5に示した割れ目間隔の広い領域が左肩と天端で検出されたためと考えられる。また、左肩と天端では20~30cmの階級に最頻値が認められたのに対し、右肩ではより狭い10~20cmの階級に最頻値が認められた。このことから、天端・左肩に比べて右肩の割れ目間隔が小さいと判断できる。

以上のことから、本手法による解析結果は、目視観察結果と整合的であり、定量的な比較に使用可能であることがわかった。

なお、今回の解析に用いた切羽写真の解像度は人工切羽画像と同様に1600×900ピクセルであり、1ピクセル≒1cmである。解析時のメッシュ幅も人工画像と同様に100ピクセル(約100cm)とした。

また本研究では、メッシュ内の割れ目間隔について、平均値だけでなく最小値と最大値の比較も行った。その結果、左肩・天端・右肩のいずれの部位においても、最小値では10~20cmの階級に、最大値では90~100cmの階級に、測定値の集中が認められた。

4. おわりに

本研究では、新たに開発した切羽の割れ目間隔の計測手法を、人工画像を使って検証するとともに、実際のトンネルの切羽写真に適用した。その結果、人工画像による検証から割れ目間隔の計測が正確であることが確認されたとともに、トンネルの切羽写真の解析結果から本手法の計測結果が目視観察結果と整合的であることがわかった。

以上のことから、本手法は岩盤の硬さ・風化変質程度などの定量評価技術と組み合わせることにより、切羽観察簿の自動作成を可能にできると考えられる。そのためには、多くのトンネル切羽画像を解析して検証を進める必要がある。

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，2018。
- 2) 工藤ら：切羽写真の画像解析による割れ目間隔の定量評価技術，2020年度土木学会年次講演会講演論文集，2020。

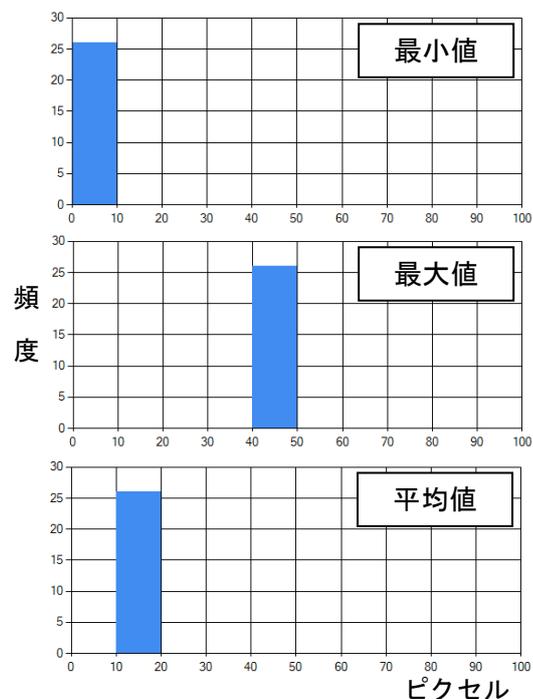


図-4 人工画像の解析結果

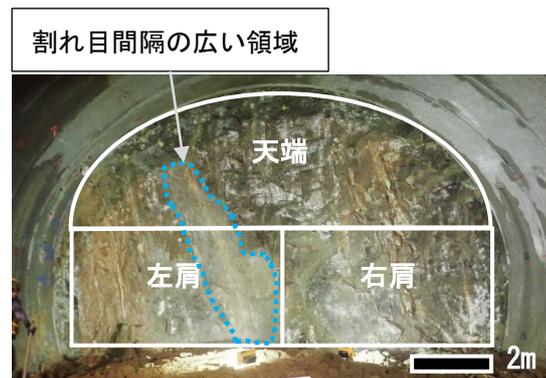


図-5 切羽画像(左右をトリミング)

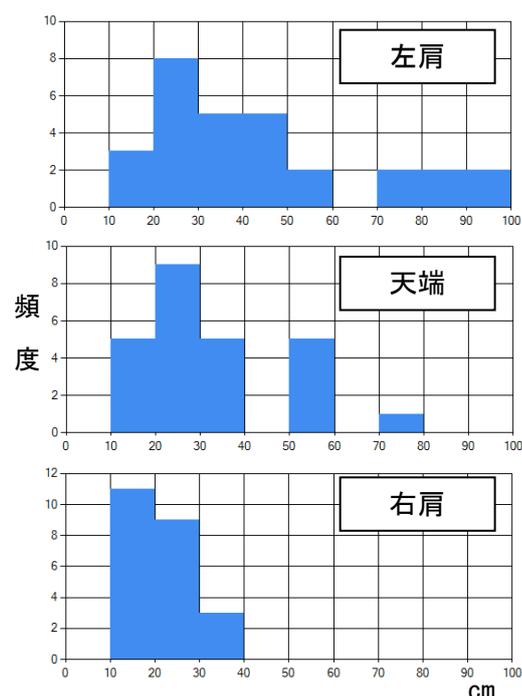


図-6 割れ目間隔の平均値の比較