

色調の異なる照明を利用した切羽における割れ目の走向傾斜の迅速計測手法の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○戸邊勇人 宮嶋保幸 升元一彦

1. はじめに

山岳トンネルの工事において安全かつ合理的な施工を行うには、切羽においてトンネル周辺の地質状況を正確に評価し、その評価に基づいて適切な支保パターンを選定することが重要である。地質状況は、岩盤の強度、風化変質、割れ目の間隔、割れ目の状態、割れ目の走向傾斜（方向）などの項目ごとに評価される。これらの項目のうち、岩盤の強度、風化変質、割れ目の間隔、割れ目の状態については定量的な評価が実現されてきている¹⁾²⁾。一方、割れ目の走向傾斜についてはレーザ測量や写真測量による解析手法が存在するものの、解析に多くの時間を要するため、施工サイクルの中で用いるには実用的でなかった。そこで今回、照明を工夫することで、1枚の写真から割れ目の走向傾斜を迅速に計測する手法を考案したので、その概要を説明する。

2. 計測手法の原理

山岳トンネルの周辺の岩盤には潜在的に割れ目が存在しており、掘削によって岩盤が切羽に露出すると、掘削前まで密着していた割れ目が応力解放によって開口し、割れ目を境界として岩片が落下する。そのため、切羽の表面に現れた岩盤の凹凸は岩盤の割れ目を反映していることが多く、この凹凸の方向を検出することにより、岩盤の割れ目の主要な走向傾斜を計測することができる。

こうした凹凸のある切羽に照明を当てると、その反射光の輝度は、照明からの距離や岩種などの条件が同一であれば、切羽表面の凹凸の方向に左右される。すなわち、切羽の右・上・左からそれぞれ赤・緑・青の光を照射した場合、右側を向いた割れ目は、正面に比べて赤色をより強く反射することになる（図-1）。同様に、上方向を向いた割れ目では緑、左方向を向いた割れ目では青をそれぞれ強く反射する。そのため、異なる方向から異なる色調の照明を照射した切羽の画像を撮影し、正面から白色光を照射した場合に比べてどのように色調が変化するかを計測することにより、割れ目の走向傾斜を判定することができる。

3. 切羽模型を用いた計測の試行

本手法の妥当性を確認するため、厚紙で直径15cmの半円形の切羽の模型を作成し、計測を試行した。切羽の照明は光の三原色である赤・緑・青のLEDを用い、赤を右端、緑を天端（上）、青を左端に、切羽から30cm離れた位置に設置した（図-2）。

模型実験では、割れ目の走向傾斜を突出角 θ と回転角 τ とで定義した。突出角 θ は切羽面と交わる方向であり、切羽に平行であれば $\theta = 0^\circ$ 、切羽から突出するほど増大し最大値は 90° である。一方、回転角 τ は、

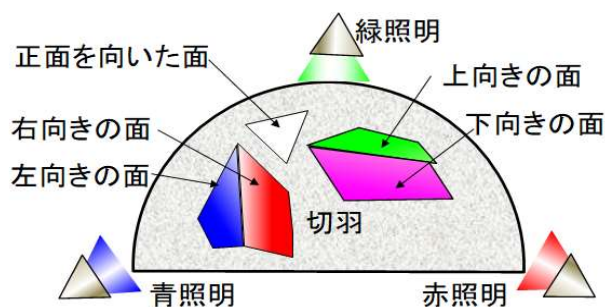


図-1 本計測手法の原理

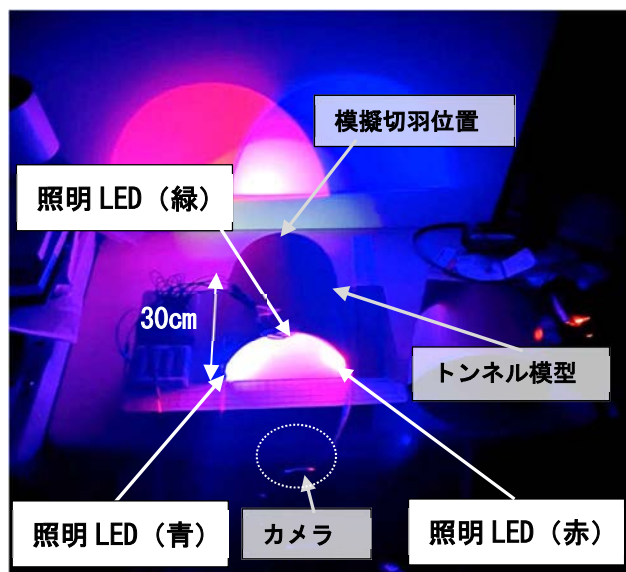


図-2 模型実験の様子（照明の設置）

キーワード：切羽評価、山岳トンネル、走向傾斜、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 TEL 042-485-1111

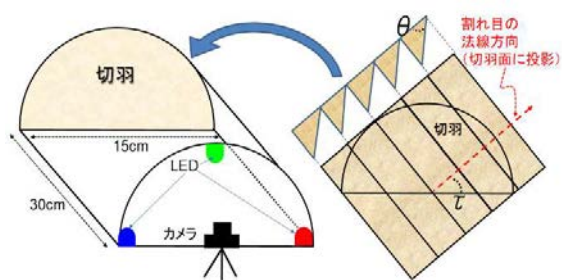
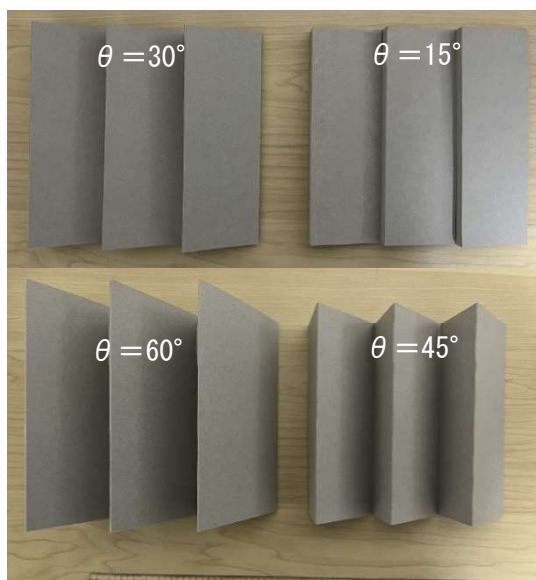
図-3 切羽の模型の模式図と $\theta \cdot \tau$ の定義

図-4 割れ目の模型

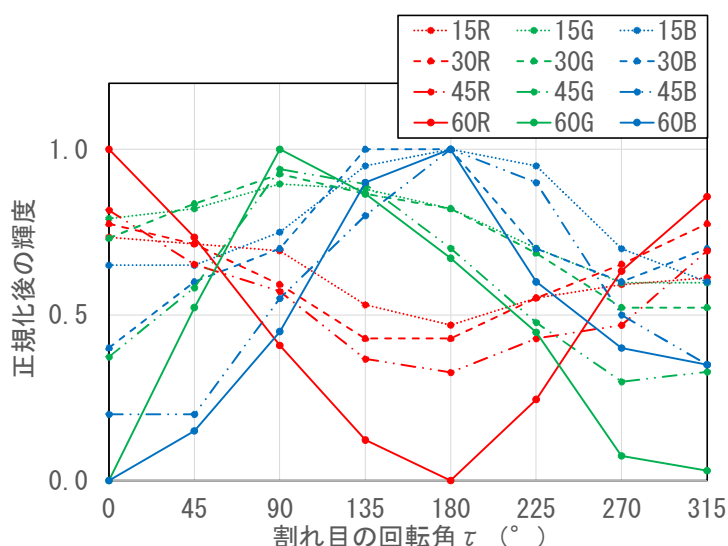


図-5 割れ目の回転角・突出角と RGB の輝度の関

割れ目の法線ベクトルを切羽面に投影した角度であり、切羽面の水平右方向を $\tau = 0^\circ$ とし左回転とともに増大する(図-3)。 τ の最大値は 360° である。

実際の実験では、突出角 θ を 15° 刻みで $15 \sim 60^\circ$ まで変化させた割れ目の模型を使用した(図-4)。この模型を 45° 刻みで $\tau = 0 \sim 315^\circ$ まで回転させながら、デジタルカメラで RGB 値を計測した。RGB 値を計測する位置は、全 LED から等距離となる切羽の下端中央部とした。また、計測された RGB 値は、それぞれ最大値を 1、最小値を 0 に正規化し「輝度」とした。

4. 計測結果と考察

測定結果を図-5 に示す。この図中の凡例は、突出角 θ の色成分を意味する。すなわち、図中の 15R は $\theta = 15^\circ$ の模型で測定された赤(R)の輝度を意味する。

図-5 の結果によると、 $\tau = 0^\circ$ で R が最大、 $\tau = 90^\circ$ で G が最大、 $\tau = 180^\circ$ で B が最大となり、 $\tau = 270^\circ$ では R と B が近い値となり G が低い値を示した。そして各角度の間ではこれらの特徴も中間的な結果となることが確認された。さらに、突出角 θ が大きいほど上記の特徴が顕著となるため、特徴の程度を区別することにより θ の検出も可能なことが確認された。

そのため本手法により、RGB の比率を計測することによって、割れ目の走向傾斜 θ 、 τ の値を検出可能なことが確認された。

5. おわりに

今回、1 枚の写真で岩盤の割れ目の走向傾斜を迅速に検出する方法を考案するとともに、模型実験により検出方法の概略を確認することができた。今後はこの手法を実際の切羽に適用し、より実用的な割れ目の走向傾斜の計測手法の開発を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 戸邊勇人ほか：山岳トンネル切羽の剥落危険度評価システムの開発と現場への適用，第 46 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.81-86，2019。
- 2) 戸邊勇人ほか：画像解析による山岳トンネル切羽の割れ目間隔の定量評価技術と現場への適用，第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集，pp.167-170，2021。