

ハイパースペクトルカメラを利用した切羽情報の取得

前田建設工業(株) 正会員 ○長谷川 航, 大久保 弘, 石崎 雄三, 森 勇貴, 後藤 信男

1. はじめに

山岳トンネルにおける掘削支保パターンは、掘削中の切羽観察に基づいて地山判定を行い決定している。その切羽観察は現場技術者による目視観察で行われているが、複雑な地山条件下では現場技術者の能力に評価が左右されることが、熟練技術者の不足に対する生産性向上の要望、さらに切羽観察時の掘削作業中断により工程が遅延するなどの課題があり、より合理的かつ迅速な地山判定手法が求められている。本稿では、切羽の地山評価の効率性と信頼性の向上に寄与する可能性のあるハイパースペクトルカメラ（以下、HSC）を用いてデータ取得を継続的行った結果を報告する。

2. カメラ技術の概要

通常の RGB カメラではスペクトルバンドが 3 バンドのみに識別、x, y 方向の 2 次元の平面データを色や光の強度で表現され、人間の視覚情報に近いイメージを取得できる。一方、HSC では平面データに加えて 100 ～200 バンド以上の波長情報も加わり、波長ごとに分光して撮影できることから、目視や RGB カメラよりも多くの情報が得られるとともに、目視観察の様な定性的な評価ではなく定量的な評価が可能になる。今回はスペクトルバンド数が 204 バンドである Spectral Imaging 社の SPECIM IQ の HSC を使用した。SPECIM IQ は持ち運び可能なハンディタイプの HSC であり、トンネル切羽全面の情報を 1 度の撮影で取得可能である。撮影データのスペクトル情報を取得し、特徴別に対象素材を見分けるなど、評価に必要な機能はすべてカメラに搭載されており、PC が無くても撮影したその場で高度なスペクトル解析を実施することが可能である。本報告では、切羽の緻密なスペクトルパターンの特徴を割り出し、地山の風化程度を評価した。

表-1 SPECIM IQ 技術仕様

スペクトルカメラ	400 - 1000 nm (CMOS)
内蔵ビューファインダーカメラ	5 メガピクセル
ストレージ	SDカード (最大 32 GB)
バッテリー	5200mAh リチウムイオン (Type 26650)
稼働できる時間	約100回測定
ディスプレイ&キーボード	タッチスクリーン (4.3インチ)、物理的機能ボタン13個
カメラインターフェース	USB Type-C
重さ	207 x 125.5 x 74 mm
サイズ	1.3 kg
分光器のF値	F/1.7
波長域	400 - 1000 nm
スペクトル解像度FWHM	7 nm
空間ピクセル数	512
スペクトルバンド数	204 (ビニング 2x、ビニング 3x可)
ピークSN	400:1未満
撮影距離	150mm - ∞
FOV (撮影視野角)	31 x 31 deg
FOV (撮影視野)	0.55 x 0.55 m (距離1 mの場合)
動作温度	0 ~ 40℃
動作湿度	95%、結露なし

3. 撮影手順

当該技術を掘削断面積 104 m²の山岳トンネルに適用した。精度の高いスペクトル情報を取得するためには撮影時の被写体に十分な光量が必要になるため、500W のハロゲン照明を 3 台ずつ、切羽の左右に設置し十分な光量を与えて撮影した。(図-1、写真-1) ずり出し終了後、切羽手前にハロゲン照明を設置、HSC は手振れ防止のために三脚で固定し、切羽全体が写るように切羽から約 30m 離れた箇所に設置した。一回の撮影時間は約 5 分で、切羽ごとに撮影を行った。

キーワード 山岳トンネル、ハイパースペクトルカメラ

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木技術部 TEL 03-5276-5166

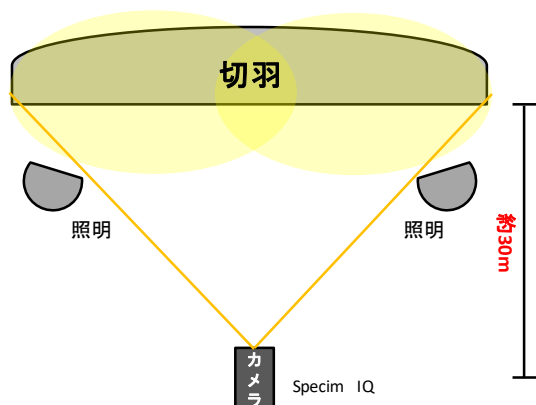


図-1 撮影イメージ



写真-1 撮影状況

4. 解析結果と切羽写真との比較

当該トンネルの地質は泥岩および泥岩砂岩互層である。解析に適用した切羽のRGB画像を写真-2に示す。写真-2を参考に新鮮部（青）、弱風化部（緑）、強風化部（赤）の3クラスの風化区分を一部抽出し、スペクトルパターンを決定した。3クラスのスペクトルパターンを示した図-2より、風化度合いによって波長の違いを読み取ることができる。抽出したスペクトルパターンを切羽全体に適用し風化程度評価を行った画像を図-3に示す。目視では全体に新鮮～弱風化泥岩が広く、部分的に節理沿いに褐色を帯びた強風化泥岩の分布がみられるが、HSCを使用することによって地質情報をさらに精度よく迅速に読み取ることができた。

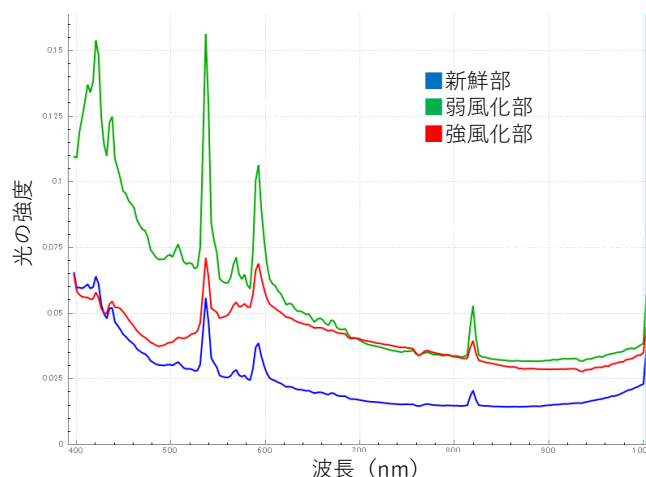


図-2 スペクトルパターン



写真-2 切羽写真

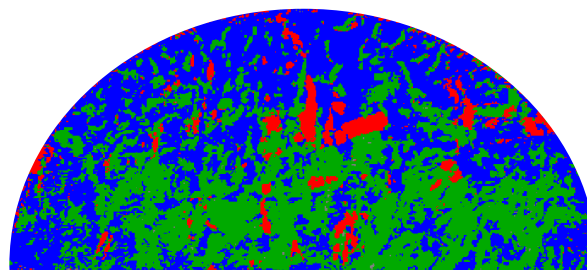


図-3 風化程度評価画像

5. おわりに

山岳トンネルの作業時間が限られた掘削サイクルにおいて、HSCを用いて精度の高い切羽情報を継続的に読み取ることができた。HSCは目視観察の様な定性的な評価ではなく、定量的に評価ができることを確認した。また、継続的なデータの取得は地山評価の質の向上に寄与するだけでなく、AIを活用した切羽判定の教師データとしての活用も可能になると考えられる。

今後の課題としては、撮影開始から掘削の再開までに約5分の作業中断となることから、施工機械への車載など撮影方法の工夫が必要である。また、自然光が混じる坑口付近では、スペクトル解析補正のための「ホワイトリファレンス測定」の実施頻度が重要であることが明らかとなり、今後検討を加えていきたい。

さらに、実際のHSC撮影時では豊富な情報量を取得するために、通常の坑内設備である波長域の狭いLED照明の他に光の波長域が広範囲であるハロゲン照明を別途準備して使用している。しかしハロゲン照明は発光効率性の悪さが問題である。そのため、効果的な画像を取得するためには幅広い波長を含み強い出力をもつLED照明が望まれる。今後は赤外線領域まで対応可能でより情報量を多く取得できるHSCを導入するなど、精度の向上に努めていきたい。