

マルチスペクトル画像による岩石劣化度合いの評価

長崎大学工学部 学生会員 ○原 駿平 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 木村晃彦 前田悠杜 榊熊谷組 正会員 手塚 仁 青木宏一

1. 研究の背景・目的

トンネル建設では、施工段階においてトンネル切羽の地質状況を直接詳細に観察することにより、事前に想定していた地質と実際との差異を評価し、その状況に応じて支保パターンの変更や追加対策工を検討する必要がある。現在目視で行われている切羽の評価は観測者の経験に大きく左右され、定量的に評価することが難しいため、これらの評価の高度化・自動化が求められている。そこで、本研究では切羽面における岩石の劣化度合いに着目し、ハイパースペクトルカメラによるマルチスペクトル画像解析を行い、切羽の状況を定量的に評価することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 ハイパースペクトルカメラを用いた撮影・解析手法

本研究で撮影するマルチスペクトル画像は 408~991nm の波長帯域を 196 バンド記録する。使用する供試体は写真-1 で示す砂岩、石灰岩、花崗岩及び玄武岩の 4 つの岩石である。撮影条件は既往の研究¹⁾を参考に設定した。解析手法として、今回の実験では、数回にわたって撮影した画像の同じ位置を解析するために、供試体の表面に格子をつけて各供試体を同じ大きさの 9 メッシュに分割して解析を行い、反射強度(i)と波長(nm)の比較、相関係数(r)を用いて劣化度合いを評価した。用いた相関係式は式(1)である。 f_i は岩石のある一点における各波長の反射強度、 g_i は劣化実験を行った f_i と同じ岩石の同一点における各波長の反射強度である。相関係数は大きくなると劣化実験前後で岩石の色が同じであり、相関係数が小さくなると劣化実験前後で岩石の色が変わったということを表している。



写真-1 実験で使用了供試体

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n f_i g_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n f_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n g_i^2}} \quad (1)$$

2.2 劣化実験

電気炉を用い、300℃で1時間加熱後、水冷30分を1セットとしてこれを繰り返すことで、供試体を強制的に劣化させた。劣化度合いの判定方法としてショア硬度計を用いて劣化表面の強度(硬さ)を測定する。

3. 実験結果と考察

表-1 に劣化実験に伴うショア硬さ(Hs)を示す。4種類の供試体はショア硬さが低くなっているため、強制的に劣化したことが示された。ここでショア硬さ(Hs)とは式(2)で求められ、 k はショア硬さとするための係数、 h は跳ね上がり高さ(mm)、 h_o は供試体の表面上からの一定の高さ(mm)である。

表-1 劣化実験に伴うショア硬さ (Hs)

岩 種	劣化前	2セット後	4セット後
砂 岩	22	20	18
石灰岩	21	18	18
花崗岩	72	70	65
玄武岩	46	40	38

$$Hs = k \frac{h}{h_o} \quad (2)$$

図-1 は各岩種の劣化前、劣化させた2セット後、4セット後の反射強度を波長ごとに正規化し、平均化して比較したものである。砂岩及び石灰岩では、劣化前後の解析結果に変化は見られなかった。原因としては、既往の研究¹⁾では600℃で劣化させていたが、今回の実験では300℃で劣化させたため、温度が低かったためと考える。花崗岩では560~680nmで反射強度が低下し、玄武岩では劣化させていくと408~650nm付近で反射強度が低下した。これは既往の研究²⁾と同様、供試体が劣化したため赤色風化が起こったと考えられる。

相関係数を用いて解析した結果を表-2 に示す。波長 408～991nm においては、2 セット後と 4 セット後の比較では、全ての供試体について相関係数に大きな変化は見られなかった。そこで、波長帯域を可視光範囲である 408～780nm にも絞って解析を行ったが、相関係数に大きな変化は見られなかったため、解析対象となる波長帯域を砂岩は 560nm～680nm、石灰岩は 580～620nm、花崗岩は 650～780nm 及び玄武岩は 500～600nm の範囲で解析を行った。このように波長帯域を設定した理由は既往の研究¹⁾により、砂岩は 560～680nm、石灰岩は 580～620nm 及び花崗岩は 650～780nm で反射強度が低下し、供試体の劣化度合いを評価することができたため、反射強度が低下した波長帯域で相関係数を用い劣化度合いの評価が可能と考えたためである。一方、玄武岩は表-1 より劣化実験を繰り返すとショア硬さが低下、図-1 より 500～600nm で反射強度が低下し、供試体の劣化度合いを評価することができたため、反射強度が低下した 500～600nm の波長帯域で相関係数を用いると他の 3 つの岩石と同様に劣化度合いを評価することが可能と考えた。解析対象となる波長帯域を絞って解析した結果を表-3 に示す。砂岩は 2 セット後と 4 セット後の相関係数に変化はなく、図-1 においても劣化前後で大きな変化は見られなかったため、劣化実験を継続し、劣化度合いの評価を行う必要がある。一方、石灰岩、花崗岩及び玄武岩は相関係数が低下した。このような結果を得られた理由は図-1 において岩石別に設定した波長帯域で反射強度が低下しており、供試体が劣化し、赤色風化が起きたためと考えられる。したがって、石灰岩、花崗岩及び玄武岩は設定した波長帯域で劣化が起き、赤色風化による相関係数の低下により、岩石の劣化度合いの評価が可能であると考ええる。

表-2 波長帯域別の相関係数

岩 種	相関係数 (408～991nm)		相関係数 (408～780nm)	
	2セット後	4セット後	2セット後	4セット後
砂 岩	0.66	0.66	0.99	0.99
石灰岩	0.71	0.73	0.99	0.99
花崗岩	0.61	0.62	0.98	0.98
玄武岩	0.42	0.42	0.88	0.87

表-3 波長帯域を絞った相関係数

岩 種	相関係数	
	2セット後	4セット後
砂 岩 (560～680nm)	0.97	0.97
石灰岩 (580～620nm)	0.97	0.87
花崗岩 (650～780nm)	0.97	0.92
玄武岩 (500～600nm)	0.88	0.86

4. まとめ

今回の研究では相関係数を用いて岩石の劣化度合いの評価を試みた。408～991nm、408～780nm という波長帯域では全ての供試体の相関係数に変化は見られなかったが、各岩石で波長帯域を絞ると相関係数が低くなり、砂岩以外の供試体では劣化度合いの評価を行うことができた。さらに可視光範囲内で評価が可能なら、RGB 画像でも劣化度合いを評価できるのではないかと考える。今後はデータの蓄積を進めていくとともに RGB 画像での解析も検討していく。

参考文献

- 1) 前田悠杜ら：マルチスペクトルカメラによる岩石の風化度合いの定量的評価の試み，令和 2 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.319-320, 2021
- 2) 三浦清：深成岩類の風化に関する研究，応用地質，14 巻 3 号，1973

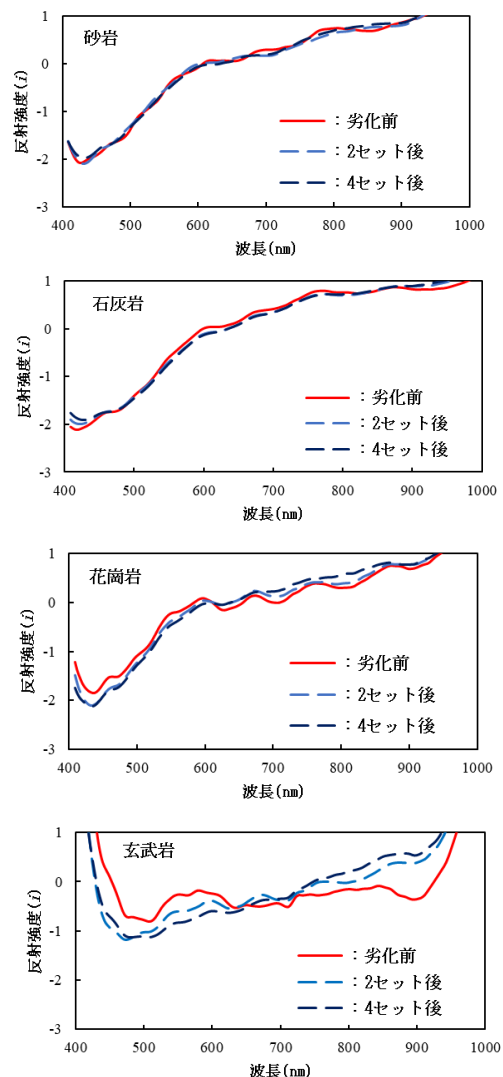


図-1 反射強度と波長との比較