

マルチスペクトル画像解析を用いた岩石劣化度合評価手法の検討

長崎大学工学部 学生会員 ○毛利 元紀 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 学生会員 前田 悠社 (株)熊谷組 正会員 手塚 仁 青木 宏一

1. はじめに

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るため、定量的な評価を自動で行う手法の確立が求められている。そこで本研究では、切羽面における岩石の風化に着目して、マルチスペクトルカメラによる画像の解析を行うことで、岩石の風化による特徴についての検討を行うことを目的とする。

2. 実験方法

2.1 マルチスペクトル画像を用いた評価手法

本研究で使用するマルチスペクトルカメラ (SPECIM IQ) で撮影されるスペクトル画像は、不可視光域を含む 408~991nm の波長中、204 バンドの電磁波を 512×512 ピクセルで記録される。使用する供試体は石灰岩、砂岩、花崗岩、玄武岩の四種類を用いる。撮影の際には既往の研究¹⁾より、光度を一定に保つため、室内を暗室として、光源をカメラの水平面上を 0°C とした時の 45° の位置に設置し、カメラは供試体から 1m の位置で固定した (図 1)。光源は波長の欠けがないハロゲンライト (OSURAMHPL575/120) を用いる。また、ホワイトリファレンスパネル (WR) を撮影対象内に入れて撮影を行うことで、環境や光量の違いによって生じるデータのばらつきを抑えている (図 2 以降のグラフの反射強度はホワイトリファレンスが 1 とする)。

本実験では、数回撮影された画像の同じ箇所を解析するために、供試体の表面に格子メッシュをつけて (写真 1)、撮影を行った。また、再現性を高めるために、データを解析する位置を中心と左下、右上の 3 か所に設定した。

2.2 劣化方法

風化は自然界の中で長期間に渡り進行するもので、実験室で風化に近い形で再現する必要がある。短期間で供試体の劣化を促進させるために、電気炉 (ヤマト化学株式会社 FO300) を用いて、石灰岩、花崗岩は 400°C、砂岩は 350°C、玄武岩は 300°C で 1 時間加熱後、水冷 30 分間を 1 セットとして、これを繰り返して行うことで供試体を強制的に劣化させた。

2.3 解析方法

既往の研究¹⁾では反射強度と波長のグラフの劣化前後を比較し、各波長の相関係数を用いた評価を行っており、変化点の部分的な評価となっていた。また、石灰岩や砂岩ではグラフの波形の差が小さかったため、劣化度合いの評価が難しかった。そこで、劣化前後で各波長の反射強度の低下率を算出することで全体的な評価できるのではないかと考えた。データ解析の際、SNV 変換 (反射強度の平均を 0 にするもの) を行っていたが、反射強度の低下率で劣化度合いの評価をするにあたって SNV 変換を行うと低下率が 0 になってしまうので、本研究は SNV 変換を行わずに解析を行った。下記に SNV 変換の式を示す。

$$\text{SNV 変換の式} \quad F(x) = \frac{\{f(x) - \bar{f}(x)\}}{\sigma}$$

$F(x)$: 正規化後の関数

$f(x)$: 元の関数 (反射率)

$\bar{f}(x)$: 元の関数の平均 (反射率)

σ : 標準偏差

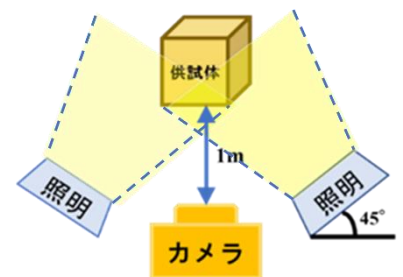


図 1 室内撮影の模式図

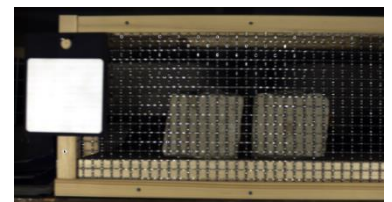


写真 1 砂岩と WR の設置

3. 実験結果と考察

解析箇所を 3 通り (岩石の真ん中, 左下, 右上) で比較した所, 図 2 に示すように解析箇所の変更による反射強度の大きな変化は見られなかった. ここでは石灰岩の解析結果のみを示しているが, 他の 3 種類の岩石の結果も同様となった. これより, 解析箇所による誤差はあまりないと考える.

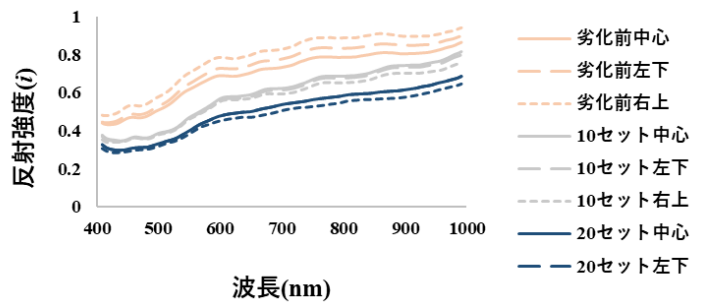


図 2 解析場所 3 通りの比較 (石灰岩)

図 3 には劣化前, 5, 10, 15, 20, 25 セット後の解析結果を示した. 図 3 の横軸は波長(nm)を, 縦軸は反射強度(i)を表す. 石灰岩, 砂岩, 花崗岩については劣化の進行につれて反射強度の大きな低下がみられた. 玄武岩については, 劣化前後で反射強度の低下はあったが他の岩石ほどの低下はみられなかった.

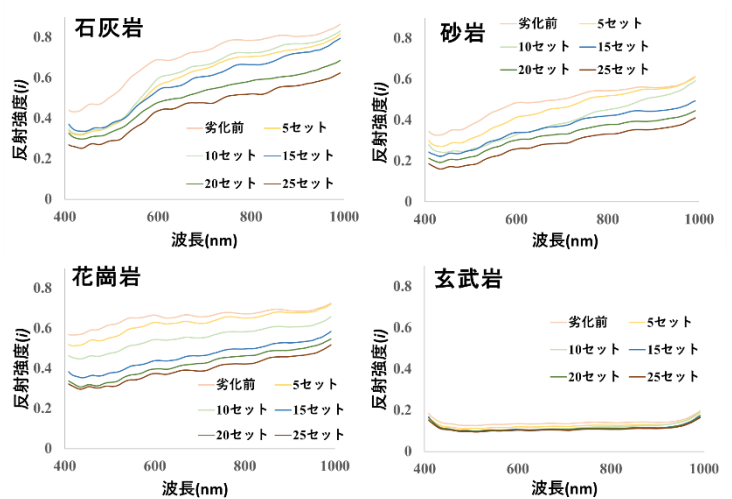


図 3 反射強度と波長の解析結果

表 1 には各岩石の反射強度の低下率を示す. 低下率は劣化前の反射強度を基準としている. 約 100nm ごとに区切り, 低下率(%)を示した. 全波長(408nm~991nm)の中で橙色の所が最大の低下率を示した波長区間, 水色の所が最小の低下率を示した波長区間である. 石灰岩, 砂岩, 花崗岩は 408nm~498nm で最大の低下率を示した. なお, 石灰岩, 砂岩, 花崗岩の 408nm~498nm は既往の研究¹⁾で算出した相関係数にも低下がみられた波長区間であった. 最小の低下率の波長区間は 4 種類の岩石ともに 899nm~991nm であった.

表 1 各岩石の反射強度の低下率 (%)

玄武岩については他の岩石に比べて強制劣化を重ねても反射強度の低下率は大きくならなかった. これは元の反射強度が低いことが原因で生じたものであると考える. よって, 玄武岩については SNV 変換を行わずに反射強度やその低下率で評価することは難しいと考える.

石灰岩	408-498(nm)	498-598(nm)	598-699(nm)	699-798(nm)	798-899(nm)	899-991(nm)
5セット	28	26	14	11	10	7
10セット	27	23	10	9	7	4
15セット	24	26	19	17	14	9
20セット	33	34	28	27	25	22
25セット	42	41	35	35	32	29

砂岩	408-498(nm)	498-598(nm)	598-699(nm)	699-798(nm)	798-899(nm)	899-991(nm)
5セット	14	14	7	3	-1	-3
10セット	25	31	24	18	10	2
15セット	29	29	25	21	18	17
20セット	38	37	32	30	27	25
25セット	49	47	42	38	35	32

花崗岩	408-498(nm)	498-598(nm)	598-699(nm)	699-798(nm)	798-899(nm)	899-991(nm)
5セット	9	8	5	4	3	1
10セット	22	21	17	15	13	11
15セット	38	37	32	28	25	22
20セット	46	44	38	33	30	26
25セット	48	47	42	39	35	31

玄武岩	408-498(nm)	498-598(nm)	598-699(nm)	699-798(nm)	798-899(nm)	899-991(nm)
5セット	11	12	11	10	9	7
10セット	20	24	20	17	13	6
15セット	20	24	23	21	19	15
20セット	18	21	21	20	19	17
25セット	21	24	23	23	22	19

4. おわりに

本研究では反射強度の相対低下率を用いて岩石の劣化度合いの評価を試みた. 結果的に石灰岩, 砂岩, 花崗岩については反射強度の低下率から岩石の劣化度合いの評価が可能であった. これらの岩石供試体は反射強度の低下の余地があると考えられるため, 更に劣化を進行させ, 低下率を算出していく. 玄武岩については本研究の解析方法では劣化度合いの評価は難しかったために, 別の解析方法を検討する必要があると考える.

参考文献: 1) 原駿平ら: マルチスペクトル画像による岩石劣化度合いの評価, 令和 3 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.445-446, 2022.