ハイパースペクトルカメラによる蛇紋岩中のアスベスト検知技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○飛田南斗 白鷺 卓 戸邉勇人 宮嶋保幸 升元一彦 秋田大学 安達 毅 不破勢登 正会員 川村洋平 学生会員 大和田済熙

1. はじめに

蛇紋岩は、葉片状や粘土状の場合に膨張性地山となるため、山岳トンネル掘削工事における施工上要注意の岩種である。特に、蛇紋石の一種であるクリソタイル(アスベスト)を含む場合には換気などの特殊な対策が必要となるため、その出現は早期に把握することが望ましい。しかしながら、ずりやカッティングス中のクリソタイルを検知するには専門業者の分析が不可欠であり、コストも時間もかかる。飛田ほか(2021)¹⁾では、ハイパースペクトル(HS)カメラで撮影した画像を畳み込みニューラルネットワーク(CNN)により深層学習し、地質技術者でも見分けるのが難しい蛇紋岩と緑色岩を簡便に判別できる技術の開発に成功した。本研究ではこの技術を応用し、蛇紋岩

中のクリソタイルを検知・定量評価できる技術の開発を試みたので報告する. 2.実験方法・手順

2.1 対象試料

本研究では、次の4試料を用いた(図-1):①クリソタイル繊維の鉱物標本、②蛇紋岩を含む地山から取得された蛇紋岩カッティングス(粒径5-20mm)、③クリソタイルを多量に含む蛇紋岩を粉砕したもの(粉末)、④ ②と同一地山で取得された蛇紋岩を粉砕したもの(粉末)、各試料における クリソタイルの重量濃度は、①100wt.%、②0.06wt.%(同地域10試料の中央 値)、③1.82wt.%、④0.47wt.%である。このうち、試料①と試料②を用いて 深層学習を行い、試料③と試料④を用いて学習モデルをテストした。

2.2 HSカメラによる撮影

HS カメラは、通常のデジタルカメラと異なり、x-y 方向の二次元の画像 データに加え、撮影対象からの反射光を 100 以上に分光した波長データ(HS データ)が取得可能である.つまり、縦横の二次元平面に加えて波長方向へ の奥行を持つ三次元データが得られる.当試験で使用した Spectral Imaging 社の Specim IQ は、波長 400-1000nm(可視光から近赤外線領域の一部の波 長まで)を 204 個の波長帯に分光することが可能である.

暗室において透明な袋に入った対象試料を,光源むらを少なくするために スタジオボックスを使用し, HS カメラの波長域をカバーできるハロゲンラ ンプで左右から照らして撮影した(図-2).透明な袋はアスベスト飛散防 止のために必要であるが,撮影結果への影響がないことは事前に確認した. 光源の照度は撮影対象の位置で 3000-3500 ルクスとなるように調整した.

2.3 HS データの処理

※()内はクリソタイル濃度
写真一辺は約5cm



③ 蛇紋岩 粉砕 (1.82wt.%)

④ 蛇紋岩 粉砕 (0.47wt.%)

図-2 HS カメラの撮影環境

HS データの前処理工程を図-3 に示す.得られた HS データは縦横それぞれ 512 ピクセル,奥行き 204 バンド のデータである.このデータを縦横で 128 等分し,縦横それぞれ 4 ピクセルに分割した.その後,この分割された データの各バンドにおいて,16 ピクセルの平均をとり,縦横1 ピクセル,奥行き 204 バンドのデータセットとした.この操作により,一度の撮影で得られる HS データは 16384 個となる.深層学習に用いた試料①と試料②では 撮影を三度ずつ実施し,それぞれ計 49152 個の HS データを準備した.

キーワード:蛇紋岩, アスベスト, ハイパースペクトルカメラ, 深層学習 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 042-489-8499

2.4 HS データの深層学習

試料①の HS データを「クリソタイル」, 試料②の HS データを「蛇紋 岩」とラベリングし, CNN による深層学習を行った. 学習データ:検証デ ータは 9:1 に設定し, エポック数(学習回数)は 50 とした.

なお、実際には試料②にもわずかにクリソタイルが含まれている.しか しながら、非粉砕で粒径が大きい試料②中では、その多くが粒子内に存在 すると推定される.そのため、撮影画像中にクリソタイルはほとんど出現 せず、HSデータへの影響は軽微と考えた.

2.5 天然蛇紋岩試料を用いた学習モデルの検証

試料③と試料④について, 2.3の処理で得られた HS データの一つずつ を, 2.4の AI により「クリソタイル」または「蛇紋岩」で分類した.

3.実験結果と考察

3.1 HS データの比較・深層学習の結果

試料①と試料②について,代表的な反射光のスペクトルを示す(図-4). 530nm 以降の波長において,スペクトルのパターンに大きな違いがある ことが確認できる.深層学習の結果,学習データ内と検証データに対する 確度はいずれも100%となり,試料が純粋なクリソタイルまたは蛇紋岩で あれば,ほぼ確実に分類できる AI が作成できた.

3.2 蛇紋岩中のクリソタイル含有量の評価

試料③は総数 3804 ピクセルの内 3804 ピクセル(100%)が, 試料④は 総数 2209 ピクセルの内 125 ピクセル(5.7%)が AI によりクリソタイル と判定された. 図-5 において, AI による判定結果を横軸に, 実際のクリ ソタイル含有量を縦軸にプロットした. クリソタイル含有量が多いほど, 画像中でクリソタイルと判定されるピクセル数が多く, 作成した AI によ り蛇紋岩天然試料中のクリソタイルを検知できることが確認できた. ま た, 試料③と試料④の結果に加え, グラフの原点を通過する検量線を求め た. 今後もデータの蓄積が必要であるが, このような検量線を適用するこ とにより, HS カメラの撮影と AI による判定だけで, 蛇紋岩中のクリソタ イル含有量を予測できるようになると考えている.

しかしながら、実際のクリソタイル含有量に対して、AI によるクリソ タイル判定率は非常に大きかった(1.82wt.%に対して 100%,0.47wt.%に 対して 5.7%). この理由としては、次の二点が考えられる:1)繊維状鉱物 のクリソタイルは,他の鉱物と比較して単位重量あたりの面積が大きいた め、画像中でより大きな割合を占めている.2)単位ピクセル中のクリソタ イルが 100%に達しない場合でも、AI はクリソタイルと判定している.



4. おわりに

今後は、クリソタイル含有量が異なる蛇紋岩を AI で判定し、その結果を蓄積することで、図-5の検量線の精度 を向上させていく.確度が十分に向上すれば専門業者の分析が不要となり、施工現場でもクリソタイル含有量が定 量的に把握できるため、蛇紋岩を含む地山におけるトンネル施工の生産性が向上すると考えている.

参考文献

1) 飛田ら:先進ボーリングのカッティングスを利用したハイパースペクトルカメラによる切羽前方の岩種判定技術,第15回岩の力学国内シンポジウム,pp161-165,2021.