

赤外線を用いたトンネル切羽の粘土鉱物量評価手法の開発

奥澤 康一*・久保 大樹**・小池 克明***

1. 研究の目的

膨潤性粘土鉱物が土壌や岩石に含まれている場所で工事を行った場合、盤膨れや構造物の変形といった被害が発生することがある。膨潤性粘土鉱物の含有率は、一般に試料を採取して X 線回折分析やメチレンブルー吸着量試験等を実施して測定されるが、手間や時間がかかる。また、膨潤性粘土鉱物の分布は不均質であることが多く、少数の試料の分析では膨潤性粘土鉱物を含む地山を見落とす可能性がある。特に山岳トンネルの施工では、全線にわたっての事前調査が難しいことが多く、膨潤性粘土鉱物を原因とした盤膨れや押し出しが、施工中や供用開始後に発生している。そのため、施工時に膨潤性粘土鉱物の有無を簡便に判別する手法が求められている。

そこで筆者らは、盤膨れ等の原因となる膨潤性粘土鉱物の含有率を非接触で面的かつ迅速に計測する手法として、赤外線画像による評価手法の開発を行っている。膨潤性粘土鉱物の一つであるモンモリロナイトと膨潤しない鉱物を混ぜ合わせた模擬試料の反射スペクトルをスペクトルメーターにて測定した結果、モンモリロナイトが吸収する波長と吸収しない波長の赤外線反射率の比（赤外線反射率比）を用いることで、赤外線画像から粘土鉱物含有率を評価できる可能性を示した（奥澤ほか, 2020）。さらに、岩石試料の赤外線反射率比と、試料に含まれるスメクタイトの含有率や含水比に負の相関があることを見出した（奥澤ほか, 2023）。本報告では、膨潤性粘土鉱物の含有率を面的に推定する方法として赤外線カメラを使用し、膨潤性粘土鉱物を含む山岳トンネル切羽面を対象に、膨潤性粘土鉱物含有率と赤外線反射率比の関係を検討した結果について報告する。

2. 研究の方法

岩石試料を対象に赤外線カメラを用いて検討を行った。対象としたのは膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトを含む凝灰岩、安山岩、玄武岩である。これらの岩石は熱水変質作用を受けており、X 線回折分析の結果、スメクタイトを 1~96%含んでいる。

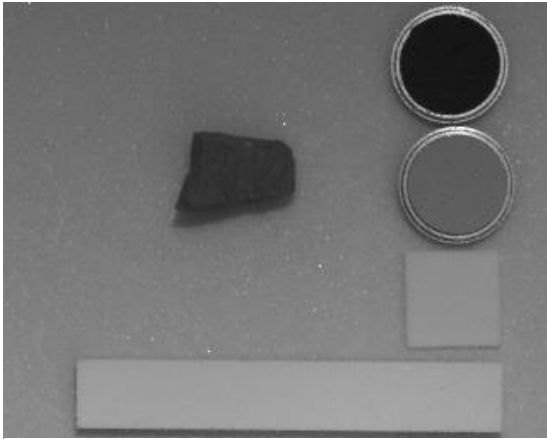
これらの岩石試料を波長 1000~2350 nm の赤外線に感度を持つ赤外線カメラにて撮影した。赤外線カメラには、バンドパスフィルターを装着して特定の波長帯のみを撮影するようにした。赤外線光源にはハロゲンランプを使用した。バンドパスフィルターとして、モンモリロナイトが吸収する波長 1420, 1900, 2210, 2347 nm の赤外線を透過するもの、吸収しない波長として、波長 1116, 1710 nm の赤外線を透過するものの計 6 枚を用意した。各バンドパスフィルターの透過率や半値幅が異なっているため、試料と同時に反射率が既知である反射板を複数撮影した。撮影した赤外面像の例を第 1 図に示す。

反射率が既知の複数の反射板の輝度から、反射率を求めるための相関式を画像ごとに取得した。岩石試料を代表していると思える 3 点を画像の中から選定し、相関式から各点における赤外線反射率を求め、それらの平均を当該試料の赤外線反射率とした。得られた赤外線反射率から、スメクタイトが吸収する波長の赤外線反射率を、スメクタイトが吸収しない波長の赤外線反射率で除した赤外線反射率比を求めた。得られた結果の例を第 2 図に示す。最も相関が強かった 1420 nm/1710 nm の場合で、決定係数 0.65 の負の相関が得られた。

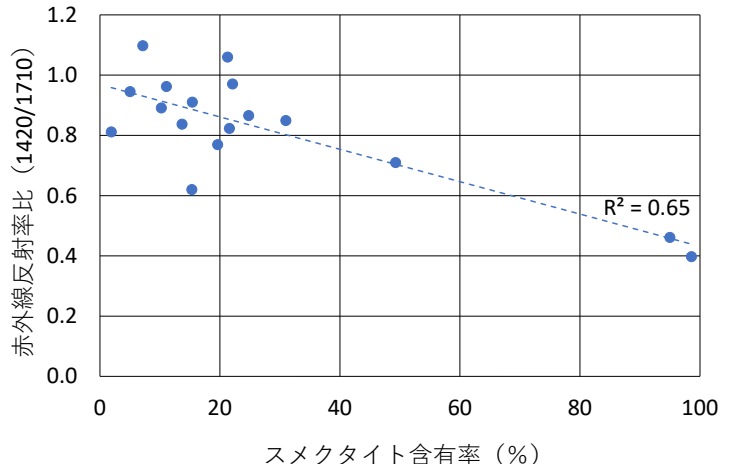
3. 得られた成果

奥澤ほか(2023)で検討したトンネル切羽のスメクタイト含有率は 76~95%とほぼ飽和状態に近く、切羽面ではほぼ完全に赤外線が吸収されてしまったため、他のトンネルにて再度撮影を行った。撮影を行ったトンネル切羽面の地質は熱水変質を受けた安山岩である。トンネル切羽面には安全上近づけないため、同一地点の掘削ズリを 3 試料採取して X 線回折分析を行ったところ、スメクタイトが 1.0~18.5%、イライト-スメクタイト混合層鉱物が 12.6~37.2%含まれていた。ただし、これらの鉱物の回折

*(株)大林組技術研究所, **京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻・助教, ***同・教授



第1図 岩石試料の赤外線画像の例
(波長 1420 nm. 中央が大きさ約 6 cm の試料. 右側上から反射率がおおよそ 2%, 50%, 80%, 100%の反射板)



第2図 熱水変質を受けた岩石試料の赤外線反射率比とスメクタイト含有率の例 (バンド比 1420 nm / 1710 nm)

角のピークは重なっていることから、測定の精度は低い。スメクタイトとイライトースメクタイト混合層鉱物の合計は 31.1~38.2%であった。撮影に使用したバンドパスフィルターは、岩石試料と同じ 6 枚である。反射率校正用の反射板は、反射率 80%程度と 2%程度の 2 枚とした。赤外線光源にはハロゲンランプを使用した。トンネル切羽面の可視画像を第 3 図に、赤外線画像の例を第 4 図に示す。

得られた赤外線画像について、反射率が既知な反射板の輝度を基準として各ピクセルの赤外線反射率分布を求めた。得られた赤外線反射率分布について、スメクタイトが吸収する波長の赤外線反射率を、スメクタイトが吸収しない波長の赤外線反射率で除した赤外線反射率比をピクセルごとに求めた。トンネル切羽面の赤外線反射率比分布の例を第 5 図に示す。これから、吹付コンクリートのうち赤外線が照射されている領域はほぼ一様に緑色を示し、反射率比 1 前後となっているのがわかる。一方切羽面では、特に切羽面の右側に青色が集中している部分が認められ、切羽中央には緑~赤の反射率比の高い領域が認められた。これらは切羽面内の膨潤性粘土鉱物や含水比の高い領域、低い領域を示している可能性があると考えられる。

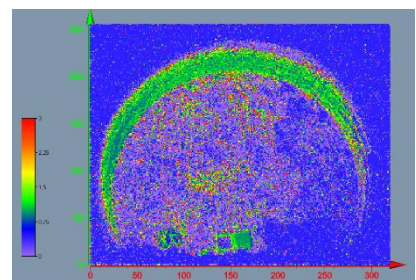
以上のように本研究により、赤外線画像からトンネル切羽の粘土鉱物の含有量の分布を、ある程度の精度で推定できることがわかった。今後は、インバート部やボーリングコアなど、直接試料を採取できる場所での撮影を行い、赤外線反射率と膨潤性粘土鉱物や含水比との関係を検討する予定である。



第3図 トンネル切羽面の可視画像



第4図 赤外線画像の例 (波長 1116 nm)



第5図 赤外線反射率比分布の例 (バンド比 1420 nm / 1710 nm)

発表論文

奥澤康一・久保大樹・小池克明 (2023) 赤外線画像による山岳トンネル切羽面の膨潤性粘土鉱物の含有率の推定. 第 34 回日本情報地質学会講演会講演要旨集, pp. 5-6.

参考文献

奥澤康一・久保大樹・小池克明 (2020) 赤外線画像を用いた膨潤性粘土鉱物の含有割合評価の試み. 土木学会第 75 回年次学術講演会講演概要集, III-51.
奥澤康一・久保大樹・小池克明 (2023) 赤外線画像による岩石中の膨潤性粘土鉱物の含有率評価. 第 49 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.237-240.