

近赤外線吸収スペクトルを利用したスメクタイトの定量評価技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○山下 慧 熊谷丈瑠

1. はじめに

山岳トンネル工事では、掘削後、時間が経過してから過大な変形が発生し、再掘削を余儀なくされることがある。これは、岩盤に含まれる膨潤性粘土鉱物の吸水膨張による体積増加が原因とされることが多い。これらに対し、適切な対策を施すためには、掘削時にこのような鉱物の含有率を把握することが重要である。従来は、X線分析やメチレンブルー吸着法¹⁾による評価が行われているが、高価かつ分析に時間を要するという課題があった。そこで、代表的な膨張性粘土鉱物であるスメクタイトの含有率を、近赤外線吸収スペクトルによって、安価かつ容易に定量評価できる手法を開発したので報告する。

2. 近赤外線吸収スペクトルを利用したスメクタイトの定量評価

スメクタイトをはじめとする膨潤性粘土鉱物には、結晶構造中に含まれる O-H 結合の分子運動によって、1.9~2.0μm 付近の近赤外線領域に大きな吸収帯があることが知られている²⁾ (図-1)。この特性を利用し、スメクタイト含有率の定量評価を試みた。また、本手法の妥当性は、従来手法であるメチレンブルー吸着法と比較することで検証した。なお、吸収スペクトルの計測には、メチレンブルー吸着法と比較し、迅速かつ容易な計測が可能な LED Microsensor NT 社の LED ミニスペクトルメータを使用した (写真-1, 表-1)。

3. 吸収度による定量評価検証試験

スメクタイトの含有率に応じた吸収スペクトルの特性を把握するため、カオリナイトあるいは灰長石との混合試料による試験を行った。試験には、メノウ乳鉢で 0.425mm 以下に細粒化した後、105℃に設定したオーブン内で 24 時間乾燥させ、表-2 に示す混合比率で調整した試料を用いた。

図-2 にスメクタイトとカオリナイトの混合試料の近赤外線吸収スペクトルの計測結果を示す。これより、スメクタイトの含有率が増加するにつれて、1.94μm 付近の反射率が小さくなる傾向が確認できた。この傾向は灰長石との混合試料にもみられた。そこで、スメクタイト含有率を定量評価するために、1.84μm、1.94μm、2.06μm の 3 波長に着目し、式

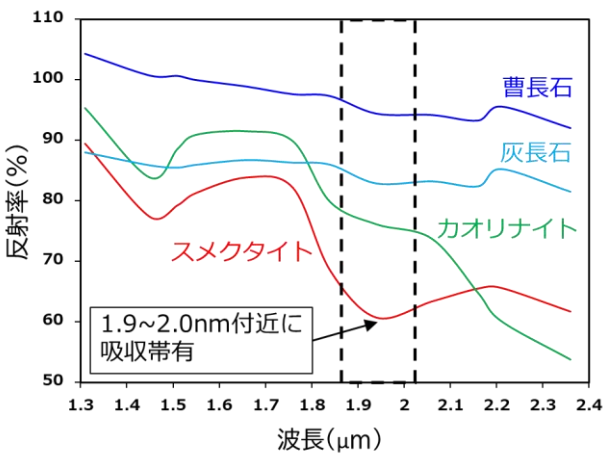


図-1 近赤外線領域の鉱物の吸収スペクトル

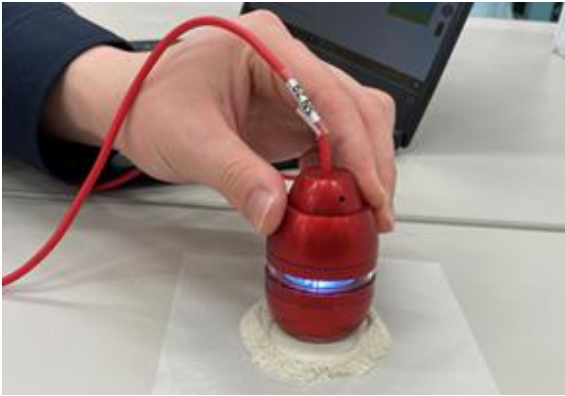


写真-1 LED ミニスペクトルメータ

表-1 従来の評価手法との比較

	メチレンブルー 吸着法	LEDミニスペクトル メータ
費用	△	○※
計測時間	30分~40分	1秒
難易度	要経験	簡単

※複数試料(14 試料以上)を分析する場合、1 試料あたりの分析費用はメチレンブルー吸着法に比べて安価となる

表-2 試料の混合比率

混合試料	混合試料の含有率	スメクタイトの含有率
カオリナイト or 灰長石	100%	0%
	90%	10%
	80%	20%
	50%	50%
	20%	80%
	0%	100%

キーワード 膨潤性粘土鉱物、スメクタイト、近赤外線吸収スペクトル、定量評価

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 1-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-485-1111

(1)に示す吸収度という新たな指標による定量評価手法を考案した。

$$\text{吸収度} = \frac{\text{反射率}_{1.84\text{nm}} / \text{反射率}_{1.94\text{nm}}}{\text{反射率}_{1.94\text{nm}} / \text{反射率}_{2.06\text{nm}}} \quad (1)$$

カオリナイトおよび灰長石との混合試料について、式(1)を使って算出した吸収度とスメクタイトの含有率との関係を図-3に示す。図より、灰長石、カオリナイトのいずれの混合材料に対しても、スメクタイトの含有率が増加するにしたがって、吸収度が同じように増加していることがわかる。このことより、構成する鉱物種が異なる場合でも、吸収度によってスメクタイトの含有率を評価できることがわかった。

4. 現場試料を用いた吸収度による定量評価検証試験

吸収度による評価手法の現場試料への適用性を検証するため、ボーリング掘削時に採取した粘土試料を用いた試験を行った。本試料の吸収スペクトルをLED ミニスペクトルメータで計測し、吸収度から図-3に基づきスメクタイトの含有率を算出するとともに、比較のためメチレンブルー吸着法による定量評価を実施した。吸収度から算出したスメクタイト含有率とメチレンブルー吸着法により算出したスメクタイト含有率の関係を図-4に示す。その結果、吸収度による算出結果がメチレンブルー吸着法による算出結果の誤差±5%範囲に収まっており、従来手法と同程度の精度でスメクタイト含有率を定量評価できることがわかった。結果のバラつきは、メチレンブルー吸着法の測定誤差³⁾と吸収度からスメクタイト含有率を算出する時の近似による誤差が原因だと考えられる。

5. おわりに

今回、スメクタイトの含有率を安価かつ容易に計測できるシステムを開発した。今後は、本手法を膨張性粘土鉱物の含有が懸念されるトンネルに適用し、掘削時の安全管理に活用していきたいと考える。

参考文献

- 1) 日本規格協会(JIS Z2451)：ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法，2019
- 2) 奥田ほか：赤外線吸収スペクトルによる粘土鉱物の研究，粘土科学，2巻 2号 p61-75，1962
- 3) 渡邊ほか：メチレンブルー吸着試験の測定精度を考慮したベントナイトのモンモリロナイト含有率の評価，土木学会論文集C(地圏工学)，Vol.76，No.1，26-39，2020。

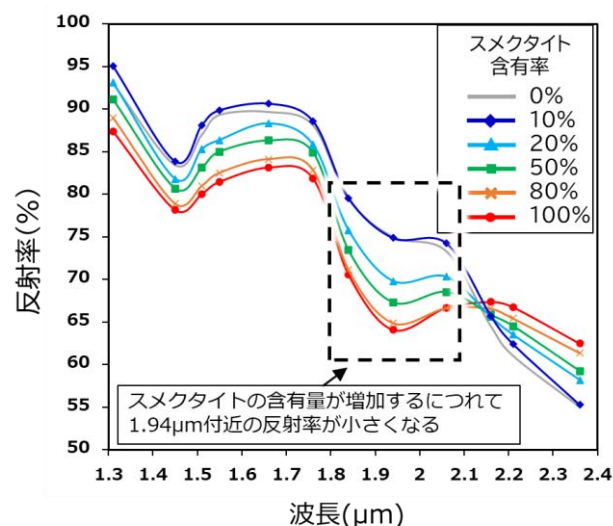


図-2 メクタイトの含有率を変えた時の吸収スペクトル（カオリナイトとの混合試料）

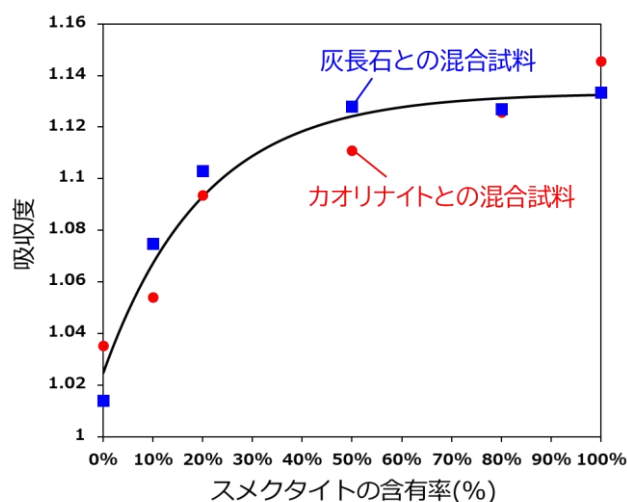


図-3 スメクタイトの含有率と吸収度

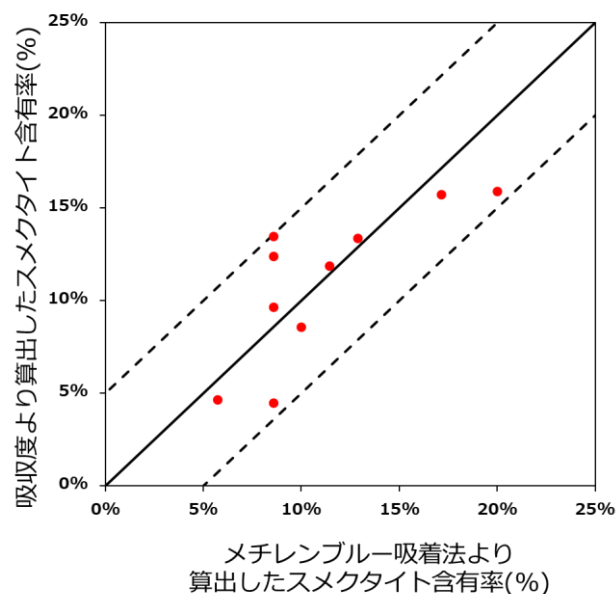


図-4 吸収度による評価結果とメチレンブルー吸着法による評価結果の比較