

スメクタイトを含む堆積軟岩の性状と膨張性地山の分布の推定

上山試錐工業(株) ○神山 裕幸
高木 博道
中野 利広
加地 真

1. はじめに

スメクタイトは堆積軟岩や変質火山岩などによく含まれる代表的な膨潤性粘土鉱物であり、交換性陽イオン組成によってCa型とNa型に分類される。このうちNa型スメクタイトは特に膨潤性が大きく、せん断強度が低いため、地すべりや盤ぶくれ、切土のり面の崩壊など、地質工学上重大なトラブルを引き起こすことが多い。

本稿では、堆積軟岩地域において道路建設に伴う切土を目的として実施した地質調査の事例を紹介する。近隣地域におけるこれまでの地質調査結果によると、Na型スメクタイトが検出されている箇所は、いずれも地すべり箇所または切土のり面の崩壊箇所に該当している。このため当該地域においては、地盤に含まれるスメクタイトのタイプと分布の把握が、安全かつ経済的な切土のり面の設計・施工のための重要課題として位置づけられる。

ここではまず、当該地の堆積軟岩のスレーキング特性・液性限界・比抵抗と、含有されるスメクタイトの交換性陽イオン組成との関連性について述べる。続いて、これらを踏まえ、比抵抗法二次元探査により得られた比抵抗分布をもとに膨張性地山の分布について考察する。

2. 調査地概要

調査地は、新第三紀中新世の砂岩・泥岩が分布する山岳地域に属する。調査対象区間は、計画路線が狭長な山稜の稜線上を2～3段の両切土により通過する箇所である。露岩箇所においては、層理面は、概ね計画路線と平行な走向を有し、R側に急傾斜（60°前後）する。

3. スメクタイトを含む岩の諸性状

ここでは、ボーリングにより採取した弱～未風化岩試料を対象として実施したX線回折分析、乾湿繰返し試験、液性限界試験の結果と、φ66mmのボーリング孔で実施した電気検層（電極間隔a=40cm）の結果を述べる。

(1) スメクタイトのタイプとスレーキング特性

X線回折分析の結果（表-1）、泥岩の一部からは膨潤性に富むNa型スメクタイトに特徴的なピーク（ $2\theta=6.95\sim7.10^\circ$ ）が検出された。一方、その他の泥岩と砂岩からはCa型スメクタイトに特徴的なピーク（ $2\theta=5.60\sim5.90^\circ$ ）が検出された。

乾湿繰返し試験の結果（図-1）、Na型スメクタイトを含む試料は2回目の水浸で膨潤し泥状化した。一方、Ca型を含むその他の泥岩と砂岩は細片化～細粒化する

ものの、泥状化まで至らなかった。また、前者は $M=67\sim96\%$ と高い吸水量増加率を示したのに対し、後者の吸水量増加率は最大で $M=22\%$ にとどまった（図-2）。すなわち前者は後者と比較して著しく吸水膨張性に富むことが把握された。

これらの結果は、含有されるスメクタイトがCa型かNa型かによってスレーキングによる岩の劣化形態や吸水特性が異なるとする従来の知見¹⁾と調和的である。

表-1 X線回折分析結果

| 試料名 | 岩種 | Qz | Pl | Kf | Py | Mc | Chl | Sm | Sm回折角度(2θ) | Smタイプ区分 |
|------|----|----|----|----|----|----|-----|----|------------|---------|
| 14-1 | 砂岩 | ◎ | △ | + | — | — | — | △ | 5.90° | Ca型 |
| 15-1 | 砂岩 | ◎ | ○ | △ | — | — | — | △ | 5.65° | Ca型 |
| 16-1 | 砂岩 | ◎ | ○ | △ | — | — | — | + | 5.65° | Ca型 |
| 16-2 | 泥岩 | ◎ | ○ | △ | — | — | — | + | 5.67° | Ca型 |
| 17-1 | 砂岩 | ◎ | ○ | + | — | — | — | + | 5.60° | Ca型 |
| 17-2 | 泥岩 | ◎ | ◎ | + | — | — | — | △ | 5.60° | Ca型 |
| 18-1 | 泥岩 | ◎ | ○ | — | — | — | — | △ | 6.95° | Na型 |
| 18-2 | 泥岩 | ◎ | △ | — | — | — | — | △ | 6.95° | Na型 |
| 19-1 | 泥岩 | ◎ | △ | — | + | + | + | △ | 7.10° | Na型 |

凡 例

◎：極多量 ○：多量 △：中量 +：少量 —：微量
Qz：石英 Pl：斜長石 Kf：カリ長石 Py：黄鉄鉱
Mc：雲母類 Chl：緑泥石 Sm：スメクタイト

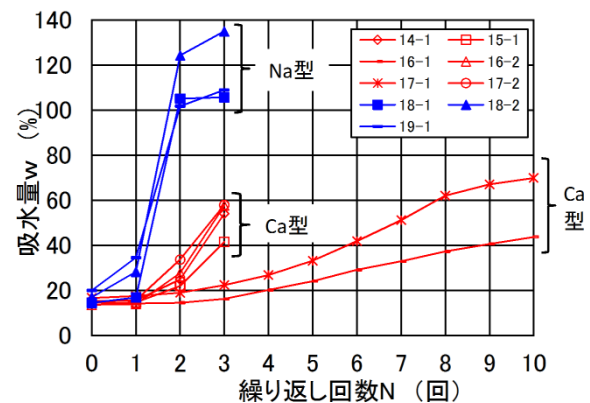


図-1 乾湿繰返し試験結果

(2) 液性限界

液性限界 w_L は、Ca型スメクタイトを含む試料（ $w_L < 54\%$ ）とNa型スメクタイトを含むもの（ $w_L = 86\sim98\%$ ）とでは明瞭に異なる値を示しており、吸水量増加率 M と強い正の相関関係にあることが把握された（図-2）。すなわち、従来指摘されてきた^{2), 3)}とおり、液性限界は軟岩の膨潤性の評価指標として有効であるといえる。

(3) 比抵抗

電気検層により得られた地盤の比抵抗 ρ は吸水量増加率 M や液性限界 w_L と強い負の相関関係にあり、また、

含有されるスメクタイトのタイプによって明瞭に異なる値を示している。すなわち、 $\rho=15\Omega\text{m}$ 程度を境として、これよりも高い比抵抗を示すものは Ca 型、低い比抵抗を示すものは Na 型のスメクタイトを含む岩に対応している（図-3）。この結果は、比抵抗が当該地域の堆積軟岩の膨潤性の評価指標となりうることを示している。

なお、スメクタイトが地盤の比抵抗を下げる効果は大きく、特に Na 型スメクタイトはわずかに含まれるだけでも地盤の比抵抗を著しく低下させることが知られている⁴⁾。今回の結果は、この知見から期待される傾向とよく整合する。

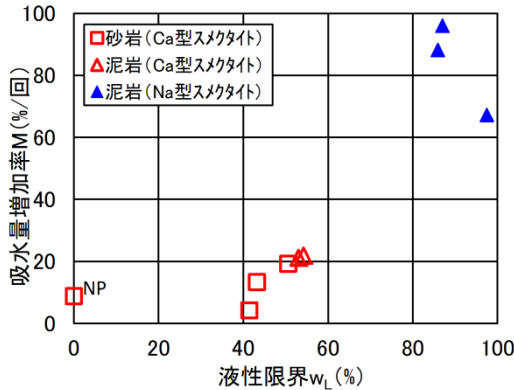


図-2 液性限界 w_L と吸水量増加率 M の関係

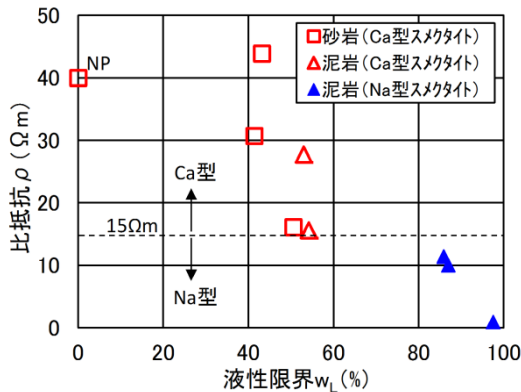


図-3 液性限界 w_L と電気検層による比抵抗 ρ の関係

4. 膨張性地山の分布の推定

図-4に比抵抗法二次元探査結果の一例として計画路線横断方向の比抵抗断面図を示す。この比抵抗断面図より、計画路線のL側のり面付近には $15\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗帯が広く分布していることがわかる。ボーリング及び室内試験の結果も併せて考えると、この低比抵抗帯は、膨潤性に富むNa型スメクタイトの分布域に該当すると推察される。すなわち、L側のり面は、応力開放に伴う吸水膨張により劣化しやすく、斜面の安定を確保する上でそれだけ厳しい条件下にあるといえる。

一方、R側のり面を対象としたボーリング及び室内試験の結果からは膨潤性に富むNa型スメクタイトを検出するに至っていない。しかしながら、比抵抗分布をみると、L側から延びる $15\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗帯がR側のり面下部

にも及んでおり、当該箇所にも膨潤性に富む岩が出現する可能性が想定される。すなわち、ボーリングで捉えきれなかった、当該のり面の安定を脅かす要素が電気探査によって把握されたといえる。

なお、表層付近に $100\Omega\text{m}$ 程度～ $1000\Omega\text{m}$ を超える高比抵抗帯が分布しているが、これは当該箇所が不飽和部に該当することに加え風化に伴い著しく亀裂・空隙に富んでいることを反映しているものとみられる。

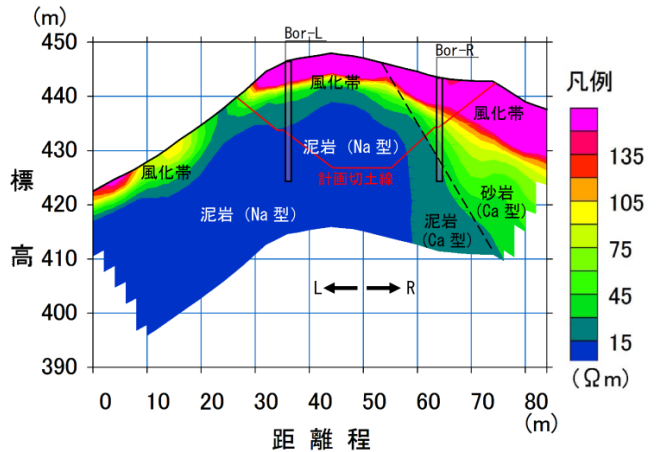


図-4 比抵抗法二次元探査結果

5. おわりに

本事例では、当該地域の堆積軟岩のスレーキング特性・液性限界・比抵抗が、含有されるスメクタイトの交換性陽イオン組成と密接に関係していることを示した。そしてこのことを踏まえ、比抵抗法二次元探査により Na 型スメクタイトを含む膨張性地山の分布の把握を試みた。その結果、ボーリングのみでは捉えきれなかった、計画のり面の安定を脅かす要因を把握するに至った。

本事例で示したように、膨張性地山に伴われるトラブルを予見する上で電気探査は有効な手段になりうるといえる。ただし、地盤の比抵抗を左右する要因は多岐にわたる。比抵抗分布の解釈にあたっては、無論、個々の事例毎に、ボーリングデータなどの情報も併せて総合的に判断を下すことが重要である。

《引用・参考文献》

- 1) 石田良二・西川総明：スメクタイトを含む軟岩の諸性質（1）－交換性陽イオンと吸水特性－，粘土化学，vol.32，pp.97～107，1992。
- 2) 奥園誠之・竹内孝光：膨張性岩地山における切土ノリ面設計コウ配について，日本道路公団試験所報告，昭和51年度，pp.37～44，1977。
- 3) 竹内孝光・岩竹喜久磨：泥岩の風化特性について，日本道路公団試験所報告，昭和52年度，pp.37～47，1978。
- 4) 高倉伸一：粘土鉱物を含む試料の比抵抗と物理・化学・力学特性との関係，物理探査，第53巻，pp.415～426，2000。