

風化の影響を受けた自然地盤材料を対象とした膨潤特性の評価

電源開発 正会員 ○工藤 寛史, 中村 洋一
早稲田大学 学生会員 藤縄 凱, 伊藤 大知
正会員 王 海龍, 小峯 秀雄
応用地質 非会員 亀谷 裕志, 若林 徹

1. 背景・目的

膨潤性粘土鉱物のスメクタイトは、水と反応して体積膨張する性質を有する。スメクタイトの膨潤特性自体は、市販のベントナイト材料を用いた室内試験により評価した事例¹⁾²⁾が主であり、得られた結果を自然地盤材料との比較及び検討した報告例³⁾は少ない。

そこで本研究では、風化の影響を受けた自然地盤材料の膨潤特性を定量的に評価することを目的とする。自然地盤材料を対象として吸水膨張率試験等の各種室内試験を実施し、吸水膨張率-上載圧関係に取りまとめた。室内試験にて得られた結果を用いてベントナイト材料による供試体を作製して同様の試験を実施することにより、自然地盤材料の膨潤挙動の模擬を試行した。なお、ベントナイト材料による室内試験は実施中であるため、本論文では自然地盤材料による室内試験結果とその考察、今後の課題について記述する。

2. 自然試料による室内試験

2.1 対象試料

本研究では、表-1に示す自然試料を対象とする。原位置にて掘削したボーリングコアから、風化の進行度で分類された3種類の火山礫凝灰岩を採取し、それぞれについて不攪乱試料と攪乱試料を作製した。攪乱試料は、不攪乱試料に用いた箇所近傍から採取したボーリングコアを微粉碎し、粒径を150(μm)以下とした。

表-1 試料名称と材料

名称	材料
自然試料①	火山礫凝灰岩 (風化進行度:大)
自然試料②	火山礫凝灰岩 (風化進行度:小)
自然試料③	火山礫凝灰岩 (未風化)

2.2 試験一覧・試験条件

本研究で実施した試験の一覧を表-2に示す。吸水膨張率試験に用いる試料は、事前準備として試験前に風乾→40°C炉乾→60°C炉乾の順番で試料を乾燥させ、含水比を低下させた。図-1に示す乾燥後の不攪乱試料の供試体の写真からは、乾燥収縮による大きな亀裂はほとんどないことが確認できる。また、不攪乱試料はφ60(mm)×h20(mm)、攪乱試料はφ60(mm)×h10(mm)として供試体を作製した。寸法が異なる理由としては、不攪乱試料については含有する礫の影響を小さくするため、攪乱試料については膨潤中に供試体側面から受ける摩擦の影響を低減するためである。攪乱試料の供試体乾燥密度は、不攪乱試料の供試体とほぼ同じになるよう、動的荷重による締固めにより成型及び密度調整を行った。吸水膨張率試験は側方の変形を抑制させた条件のもと、供試体上面に上載圧を作用させた状態で、鉛直方向の吸水膨張率を計測した。上載圧は15(kN/m²)で一定とし、試験期間は約7日間とした。自然試料②の攪乱試料のみ、上載圧15(kN/m²)のほかに20,50,150(kN/m²)の3種類も実施した。

表-2 実施試験一覧

試験名称	仕様
CEC試験	JGS 0261-2009 ⁴⁾
メチレンブルー(MB)吸着量試験	粘土ハンドブック第二版 ⁵⁾
交換性陽イオン分析	JIS K 0102 ⁶⁾
X線回折分析(XRD)	軟岩の調査・試験の指針(案) ⁷⁾
吸水膨張率試験	JGS 2121-2009 ⁸⁾

2.3 試験結果・考察

室内試験結果を表-3に、吸水膨張率の経時変化(縦軸:吸水膨張率、横軸:時間)を図-2に示す。X線回折分析の結果から、本研究で用いた自然試料内にはスメクタイトが含有されていることが分かる。また、交換性陽イオン分析の結果から、Na⁺、K⁺に比べ、Ca²⁺、Mg²⁺の割合が多いことが分かる。このことから、本研究で用いた自然試料に含まれるスメクタイトはCa型あるいはMg型に分類される。



図-1 乾燥後の不攪乱試料の供試体

表-3、図-2に示した吸水膨張率試験の結果から分かるように、全ての自然試料において、不攪乱試料よりも攪乱試料の方が大きな吸水膨張率が測定された。これは、不攪乱試料はボーリングコアから採取したため、原地盤由来の試料内骨格が維持されていたこと、また、攪乱試料は微粉碎して作製したために、膨潤挙動に抵抗すると考えられる骨格が壊されていたことが理由であると考えられる。

試料状態で比較すると、不攪乱試料で最も吸水膨張率が高かったのは自然試料①であった。これは、CEC試験、MB吸着量試験の結果から分かるように、スメクタイトを最も多く含有していること、また、直ナイフにより

キーワード 風化、粘土鉱物、スメクタイト、膨潤特性、吸水膨張率

連絡先 〒160-0004 東京都中央区銀座6-15-1 電源開発株式会社 (J-POWER) TEL 03-3546-2211

容易に削ることが出来るほど、用いた試料の中で基質の骨格が最も弱かったことが理由であると考えられる。

一方、攪乱試料で最も吸水膨張率が高かったのは自然試料②であった。最もスメクタイトを含有する自然材料①よりも吸水膨張率が大きかった原因として、供試体の乾燥密度に着目する。前述の通り、不攪乱試料の供試体の乾燥密度と同等になるように攪乱試料の供試体を作製している。供試体高さは試料状態で共通のため、自然試料①の攪乱試料は他に比べて緩詰め状態で供試体を作製されており、膨潤挙動の発現時には、供試体内部の空隙を埋めるように膨張し、結果的に吸水膨張率が相殺されてしまっていたことが考えられる。

表-3 実施試験結果

名称	試料状態	供試体乾燥密度	XRD スメクタイト含有量	CEC cmol (+) /kg	交換性陽イオン					MB 吸着量 mmol (+) /100g	吸水膨張率 上載圧 : 15kN/m ² %
					Na ⁺ cmol (+)/kg	K ⁺ cmol (+)/kg	Ca ²⁺ cmol (+)/kg	Mg ²⁺ cmol (+)/kg	総量 cmol (+)/kg		
					自然試料① (風化進行度: 大)	不攪乱 攪乱	0.871 0.900	少量	42.9	1.8	1.3
自然試料② (風化進行度: 小)	不攪乱 攪乱	1.243 1.200	少量	38.3	1.6	1.5	25.4	12.6	41.1	22	0.50 17.14
自然試料③ (未風化)	不攪乱 攪乱	1.381 1.300	少量	29.8	1.0	1.1	21.8	7.9	31.8	24	0.08 13.95

自然試料②の攪乱試料について、上載圧を20,50,150 (kN/m²)の3種類で変化させて実施した吸水膨張率試験の結果に基づく、吸水膨張率—上載圧の関係を図-3に示す。図-3より、上載圧が大きいほど吸水膨張率が小さく発現されていることが分かる。また、得られた結果からは既往報告³⁾と同様、双曲線回帰による相関関係が見られた。

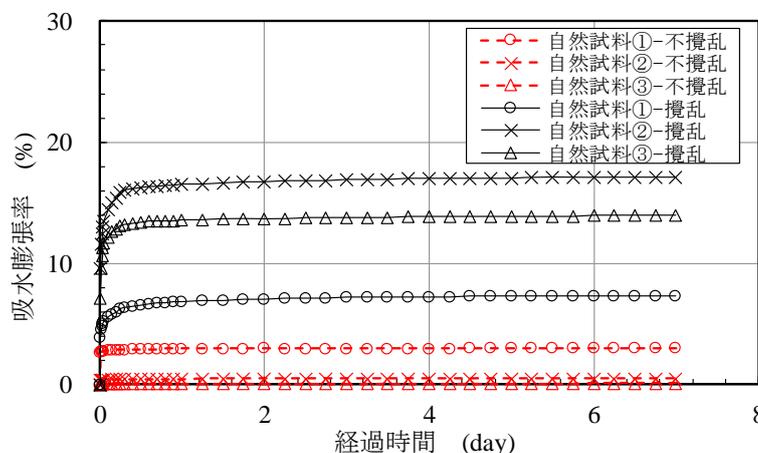


図-2 吸水膨張率の経時変化

3. 結論・今後の課題

本研究で実施した自然地盤材料を用いた試験結果から、結論と今後の課題を以下に列挙する。

- ・ 不攪乱試料と攪乱試料を用意して吸水膨張率試験結果を比較したが、自然地盤材料の風化程度に依らず、粉碎により骨格を崩した攪乱試料の方がより大きな吸水膨張率を示した。
- ・ 吸水膨張率—上載圧関係を求めたところ相関が見られた。実際の自然地盤において、鉛直方向の膨潤挙動を抑制するために、十分な上載圧を载荷する対策は有効であると考えられる。
- ・ 不攪乱試料と攪乱試料を用意して各種の室内試験を実施したが、攪乱試料の膨潤特性はスメクタイト含有量の傾向と一致しなかった。供試体の乾燥密度を統一させた条件で吸水膨張率試験を実施し、初期乾燥密度の影響を確認する必要がある。
- ・ 先述した通り、市販のベントナイト材料を用いた検討を行い、今回得られた結果と比較・考察する予定である。

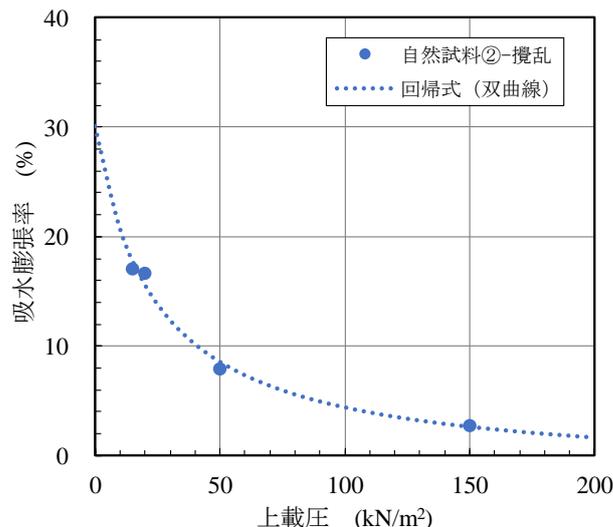


図-3 吸水膨張率—上載圧の関係

参考文献

1) 小峯秀雄, 緒方信英: 砂・ベントナイト混合材料および各種ベントナイトの膨潤特性, 土木学会論文集, No.701/III-58, pp.378-385, 2002.
 2) 小峯秀雄, 小山田拓郎, 尾崎匠, 磯さち恵: 締固めた粉体状ベントナイト各種の水分移動特性と膨潤挙動に関する考察, 土木学会論文集 C, Vol.74, No.1, pp.63-75, 2018. 3) 田村栄治, 浄内明, 松崎伸一, 長谷川修一: 結晶片岩中のスメクタイト含有破砕帯の膨潤特性と隆起メカニズム, 応用地質, Vol.48, No.2, pp.80-89, 2007. 4) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会, Vol.1, pp.361-367, ISBN:978-4-88644-083-9, 2009. 5) 日本粘土学会: 粘土ハンドブック, 日本粘土学会, pp.587-588, ISBN:4-7655-0017-9, 1987. 6) 日本産業規格: JIS K 0102, 工業排水試験方法, 2019. 7) 土木学会: 軟岩の調査・試験の指針(案), 土木学会, pp.77-84, ISBN:4-8106-0086-6, 1991. 8) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会, Vol.1, pp.271-284, ISBN:978-4-88644-083-9, 2009.