

## 風化の影響を受けた自然地盤材料を模擬したベントナイト混合材料の膨潤特性の評価

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  
正会員 伊藤 大知, 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<sup>1)</sup>が主であり、得られた結果を自然地盤材料と比較及び検討した報告例<sup>2)</sup>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。著者らは先行研究<sup>3)</sup>にて、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、結果を吸水膨張率－上載圧関係に取りまとめた。今般、次のステップとして、ベントナイト混合材料を用いた自然地盤材料の吸水膨張挙動の模擬を行い、自然地盤材料の膨潤特性の定量的な評価に資するデータを取得した。

## 2. 自然試料による室内試験結果の概要

まず、先行研究<sup>3)</sup>の概要を紹介する。対象試料として、風化の進行度で分類された3種類の火山礫凝灰岩を採用した。表-1に示す仕様に準拠した物理試験・鉱物分析の結果を表-2に示す。自然試料の乾燥密度は概ね0.9～1.4 (g/cm<sup>3</sup>)であり、自然試料にはCa<sup>2+</sup>及びMg<sup>2+</sup>が多く含まれることが分かった。また、メチレンブルー（以下、MB）吸着量の測定結果は22～36 (mmol(+)/100g)であり、純スメクタイトのMB吸着量を140 (mmol(+)/100g)とすると、スメクタイト含有率は16～26%と求まった。上載圧15 (kN/m<sup>2</sup>)の条件での吸水膨張率試験結果は、最も吸水膨張率が大きかったのは不攪乱試料では風化進行度：大の試料で2.4%、攪乱試料では風化進行度：小の試料で17.1%であった。このことから、風化の進行に伴うスメクタイト生成量の増加及び風化の影響による固結・骨格の強度低下が見られ、吸水膨張挙動に影響を及ぼすことが考えられると結論付けた。

表-1 室内試験・鉱物分析の一覧

試験名称	仕様
CEC試験	JGS 0261-2009 <sup>4)</sup>
MB吸着量試験	粘土ハンドブック第三版 <sup>5)</sup>
交換性陽イオン分析	JIS K 0102 <sup>6)</sup>
X線回折分析 (XRD)	軟岩の調査・試験の指針(案) <sup>7)</sup>
吸水膨張率試験	JGS-2121-2009

表-2 先行研究<sup>3)</sup>における実施試験結果

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 <sup>2</sup> %
					Na <sup>+</sup> cmol (+) /kg	K <sup>+</sup> cmol (+) /kg	Ca <sup>2+</sup> cmol (+) /kg	Mg <sup>2+</sup> cmol (+) /kg	総量 cmol (+) /kg		
自然試料① (風化進行度：大)	不攪乱	0.871	少量	42.9	1.8	1.3	11.4	25.6	40.1	36	2.4
	攪乱	0.900									7.3
自然試料② (風化進行度：小)	不攪乱	1.243	少量	38.3	1.6	1.5	25.4	12.6	41.1	22	0.5
	攪乱	1.200									17.1
自然試料③ (未風化)	不攪乱	1.381	少量	29.8	1.0	1.1	21.8	7.9	31.8	24	0.1
	攪乱	1.300									14.0

## 3. ベントナイト混合試料による室内試験結果

## 3.1 対象試料

自然試料の室内試験結果を踏まえ、本研究におけるベントナイト材料として、文献<sup>1)</sup>にてCa<sup>2+</sup>が多く含まれているとされたクニミネ工業(株)製のクニボンドを採用した。また、ベントナイト材料と混合する母材としては、非膨潤性材料の珪石粉を採用した。

表-3 物理試験・鉱物分析の結果

名称	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
			Na <sup>+</sup> cmol (+) /kg	K <sup>+</sup> cmol (+) /kg	Ca <sup>2+</sup> cmol (+) /kg	Mg <sup>2+</sup> cmol (+) /kg	総量 cmol (+) /kg	
ベントナイト材料 (クニボンド)	多量	72.6	11.5	1.3	52.8	13.2	78.8	94

表-3に、ベントナイト材料を対象に実施した物理試験・鉱物分析の試験結果を示す。XRDの結果から、ベントナイト材料にはスメクタイトが多量に含まれていることが定性的に分かった。交換性陽イオン分析の結果から、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>に比べ、Ca<sup>2+</sup>の割合が高いことから、本研究で用いたベントナイト材料はCa型スメクタイトを多く含むと判断される。MB吸着量の測定結果を用いて自然試料と同様の計算を行うと、ベントナイト材料中のスメク

キーワード 粘土鉱物, ベントナイト, スメクタイト, 膨潤特性, 吸水膨張率

連絡先 〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1 電源開発株式会社 (J-POWER) TEL03-3546-2211

タイト含有率が67%と求まる。表-2に示した自然試料の結果と比べると、これは約2.6~4.3倍のス멕タイト含有率といえる。

上記の結果を基に、自然試料と概ね同等のス멕タイト含有率となるようなベントナイト材料と母材から成る混合試料を、表-4に示す3種類の配合を設定して作製した。

### 3.2 吸水膨張率試験の条件

本研究の吸水膨張率試験に用いるベントナイト混合試料については、60°Cで48時間以上の炉乾燥を実施した。供試体の大きさは自然試料の攪乱試料と同様に、直径60(mm)×高さ10(mm)とし、自然試料の攪乱試料の乾燥密度とほぼ同等の1.2(g/cm<sup>3</sup>)となるよう、静的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, 50, 150, 300(kN/m<sup>2</sup>)の4種類とし、試験期間は約7日間とした。

### 3.3 吸水膨張率試験結果・考察

表-5に吸水膨張率試験結果を示す。結果から、上載圧が小さいほど、また、ベントナイト混合率が大きいほど、吸水膨張率が大きくなる傾向が認められる。また、上載圧が大きい場合、吸水膨張率が負となっていて沈下が生じている。これは、上載圧が大きいため吸水膨張挙動が抑制され、圧密沈下やコーラス沈下<sup>9)</sup>などの現象が発生しているものと考えられる。

また、先行研究<sup>3)</sup>と同様に、吸水膨張率—上載圧の関係を整理したものを図-1に示す。なお、自然試料②(風化進行度:小)の吸水膨張率—上載圧関係を重ねて示すほか、各点線は双曲線近似の結果を表す。図-1より、吸水膨張率—上載圧関係は、ベントナイト混合試料と自然試料②が概ね一致しているといえる。しかし、自然試料②(ス멕タイト含有率:16%)と最も類似した関係となっているものは、混合試料③(ス멕タイト含有率:30%)であり、ス멕タイト含有率が一致していない。これは、自然試料とベントナイト混合試料において、ス멕タイトのイオン型が異なることが理由として挙げられる。自然試料②については、表-2のとおり、試料内のCa<sup>2+</sup>及びMg<sup>2+</sup>の割合が大きい。一方、ベントナイト混合試料は自然試料に比べ、交換性陽イオン総量に占めるMg<sup>2+</sup>の割合が小さい。ス멕タイトのイオン型によって膨潤変形特性が異なることは文献<sup>1)</sup>でも考察されていて、今回の試験結果においても、その特徴が現れていると考えられる。

## 4. 結論・今後の課題

本研究で実施したベントナイト混合試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。

- Ca<sup>2+</sup>を多く含むベントナイト材料を採用し、先行研究における自然試料と同等のス멕タイト含有率となるような混合試料を作製して、吸水膨張率試験を実施した。
- 吸水膨張率—上載圧の関係を求めると、自然試料とベントナイト混合試料の間にて概ね一致した傾向が得られた。しかし、ス멕タイト含有率が異なっており、この理由としては、ス멕タイトのイオン型が異なっていた影響で、自然試料の膨潤変形特性がベントナイト混合試料に比べて大きかったことが考えられる。
- 本研究の目的は、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である。今後は、得られた室内試験結果を活用して、膨潤理論評価式<sup>10)</sup>による吸水膨張挙動の評価等に取り組む予定である。

### 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) 田村栄治, 浄内明, 松崎伸一, 長谷川修一: 結晶片岩中のス멕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.
- 3) 工藤寛史, 中村洋一, 藤縄凱, 伊藤大知, 王海龍, 小峯秀雄, 亀谷裕志, 若林徹: 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, 土木学会第76回年次講演会, III-321, 2021.
- 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(第三版), 日本粘土学会, pp.587-588, ISBN: 978-4-7655-0034-0, 2009.
- 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.
- 9) 川上浩: コーラス沈下, 土と基礎, Vol.37, pp.26, 1989.
- 10) Komine, H. and Ogata, N.: Predicting swelling characteristics of bentonites, J. Geotech. Geoenviron., ASCE, Vol. 130, No. 8, pp.818-829, 2004.

表-4 試料名称と材料

名称	材料	ス멕タイト含有率
混合試料①	ベントナイト材料:母材=25:75	17%
混合試料②	ベントナイト材料:母材=35:65	23%
混合試料③	ベントナイト材料:母材=45:55	30%

表-5 吸水膨張率試験結果

名称	ベントナイト混合率 (ス멕タイト含有率)	上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )			
		15	50	150	300
混合試料①	25% (17%)	7.6	2.6	-1.5	-2.8
混合試料②	35% (23%)	11.6	4.6	0.9	-2.3
混合試料③	45% (30%)	16.1	8.7	2.1	-1.5

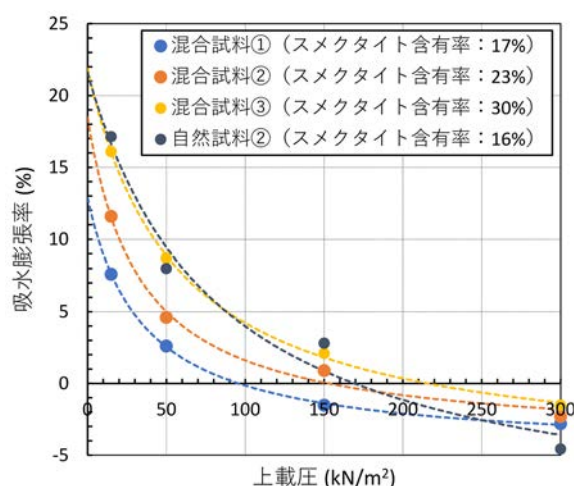


図-1 吸水膨張率—上載圧の関係