

スメクタイト系粘土鉱物含有地盤の体積膨張を想定した
膨潤変形挙動に及ぼす初期乾燥密度および有効スメクタイト密度の影響評価

早稲田大学 学生会員 ○藤縄凱, 伊藤大知, 正会員 小峯秀雄, 王海龍
電源開発 正会員 工藤寛史

1. はじめに

膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトを含む地盤において、トンネル掘削地盤や戸建て住宅基礎地盤の盤膨れ、コンクリート基礎および路面の隆起、地すべりや斜面崩壊など地盤被害の事例が報告されている¹⁾。新生代第三紀層や断層破碎帯の地盤で発生し、スメクタイトの吸水に伴う膨潤変形による地盤膨張が関係すると考えられている。また、スメクタイトの乾燥・湿潤による浸水崩壊が原因で岩盤強度を低下させる可能性があるといわれている²⁾。本研究では膨張性地盤を模擬した珪砂・スメクタイト混合供試体を用いて行った膨潤変形試験を通して、一定の鉛直圧下での膨潤特性データを取得しスメクタイト系粘土鉱物を含む膨張性地盤における各種建設に資する基礎データを取得する。本論文では混合供試体の初期乾燥密度および有効スメクタイト密度が膨潤特性に及ぼす影響を定量的に評価した。

2. 混合供試体の作製方法

今回使用した試料は、自然地盤中のガラス質鉱物を模擬する三河珪砂 V5 号（以下、珪砂と呼称する）およびクニミネ工業製の純スメクタイト試料であるクニピア F（以下、KP-F と呼称する）である。まず、KP-F の投入量によりスメクタイト含有率を調整し、初期含水比となるよう加水調整を行いながらミキサーで試料を練り混ぜて混合試料を作製した。その後、図 1 に示す膨潤変形試験装置の底板およびリング、動的締固め試験装置の一部を組み合わせた装置装置の中に混合試料を自由落下させ、突き固め棒で表面を整えながら珪砂・スメクタイト混合供試体を作製した。表 3 は、作製した各混合供試体の諸元である。



図 1 混合供試体作製装置

表 1 珪砂の基本的性質

60%粒径 D_{60} (mm)	0.71
50%粒径 D_{50} (mm)	0.66
30%粒径 D_{30} (mm)	0.54
10%粒径 D_{10} (mm)	0.43
均等係数 U_C	1.65
曲率係数 U_C'	0.96

表 2 KP-F の基本的性質

主な交換性陽イオン	Na
土粒子密度の密度 (g/cm^3)	2.95
液性限界 (%)	839.9
塑性限界 (%)	50.2
塑性指数	789.7
モンモリロナイト含有率 (%)	98

表 3 混合供試体の諸元

珪砂 + KP-F						
初期含水比 (%)	0.73	5.0	1.5	5.0	2.2	5.0
スメクタイト含有率 (%)	10		20		30	
供試体高さ (mm)	9.98	9.92	9.49	9.40	9.80	9.72
供試体直径 (mm)	59.93	59.94	59.93	59.94	59.96	59.95
供試体質量 (g)	39.56	41.45	29.26	30.05	29.82	30.47
初期乾燥密度 (g/cm^3)	1.40	1.41	1.08	1.08	1.05	1.06
測定期間(days)	10	8	40	29	30	41
鉛直圧 (kPa)	5.0					

3. 混合供試体を用いた膨潤変形試験の概要

図 2 は、膨潤変形試験で使用した装置の概要図である。膨潤特性容器の側面上部の通気孔から容器内に浸入した蒸留水を側面と下面で変形が起こらないように抑制した混合供試体に上端面から吸水させた。一定の鉛直圧 5.0 kPa 下で経過時間ごとに混合供試体の上方向の膨潤変形量を測定した。また、膨潤変形の定量的評価として小峯・緒方の研究³⁾を参考に、最大膨潤率を算出した。

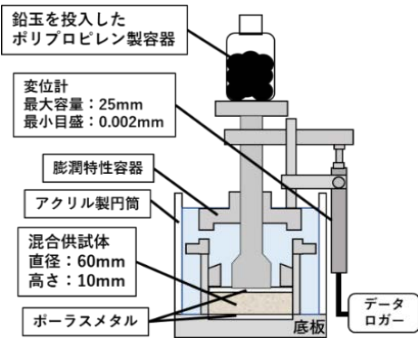


図 2 膨潤変形試験装置概要図

キーワード スメクタイト, 混合供試体, 最大膨潤率, 有効スメクタイト密度

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 社会環境工学科 TEL 03-5286-2940

4. 初期乾燥密度および有効スメクタイト密度を用いた膨潤特性評価

図3は、最大膨潤率および初期含水比の関係である。スメクタイト含有率が同じ場合、最大膨潤率は初期含水比が低い供試体の方が高い結果となった。図4は、最大膨潤率と初期乾燥密度の関係である。初期乾燥密度が高いほど最大膨潤率は低くなり、スメクタイト含有率が同一の場合、最大膨潤率は初期含水比の低い混合供試体の方が高い結果であった。スメクタイト含有率による膨潤変形特性の影響を評価するために、混合供試体中のスメクタイト乾燥質量をスメクタイトおよび空隙の体積で除した有効スメクタイト密度を導入し、最大膨潤率との関係について調査した。本論文では有効スメクタイト密度と表記するが、算出方法は、既往の研究⁴⁾の有効モンモリロナイト密度と同様であり、以下の式(1)、(2)を用いて算出した。

$$\rho_{es} = \frac{C_m \rho_d}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_d}{\rho_{nm}}} \quad \text{式(1)}$$

$$\rho_{solid} = \frac{\frac{100}{C_m} \rho_m}{\left\{ 1 + \left(\frac{100}{C_m} - 1 \right) \frac{\rho_m}{\rho_{nm}} \right\}} \quad \text{式(2)}$$

ここに、 ρ_{es} ：有効スメクタイト密度 (g/cm^3)、 C_m ：スメクタイト含有率 (%)、 ρ_d ：供試体乾燥密度 (g/cm^3)、 ρ_{solid} ：ベントナイトの土粒子密度 (g/cm^3)、 ρ_{nm} ：スメクタイト以外の鉱物の土粒子密度 (g/cm^3)、 ρ_m ：スメクタイトの土粒子密度 (g/cm^3)

図5は、最大膨潤率および有効スメクタイト密度の関係である。有効スメクタイト密度が高くなるほど最大膨潤率も高くなり、スメクタイト含有率30%および自然含水比状態の混合供試体の最大膨潤率が最も高かった。また、それぞれ同じスメクタイト含有率で初期含水比が異なる混合供試体を用いたが、スメクタイト含有率が高くなるにつれて最大膨潤率の差異が小さくなることが分かり、スメクタイト含有率30%時が最も差異が小さかった。

5. まとめ

初期乾燥密度が高いほど最大膨潤率は低くなり、有効スメクタイト密度が高いほど最大膨潤率は高くなった。また、有効スメクタイト密度が高いほど初期含水比の影響が小さくなる傾向にあった。

参考文献 1) 小西純一、鈴木素之、三須尊洋、藤井公博：不攪乱粘土試料の一次元膨潤圧特性とその異方性、土木学会論文集 C, Vol.66, No.2, pp.264-279, 2010.

2) 田中和広、石原朋和：鍋立山トンネル周辺の泥火山の活動と膨張性地山の成因、地学雑誌, Vol.118, No.3, pp.499-510, 2009. 3) 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.373-385, 2002. 4) 棚井憲治、菊池広人、中村邦彦、田中幸久、廣永道彦：ベントナイト系材料の標準的室内試験法構築に向けての試験法の現状調査と試験による検討 - 日本原子力研究開発機構/電力中央研究所共同研究成果報告 - (共同開発), JAEA-Research 2010-025, pp.43-44, 2010.

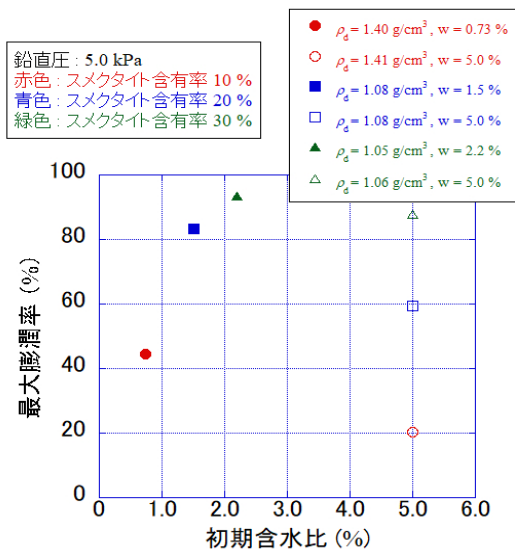


図3 最大膨潤率および初期含水比の関係

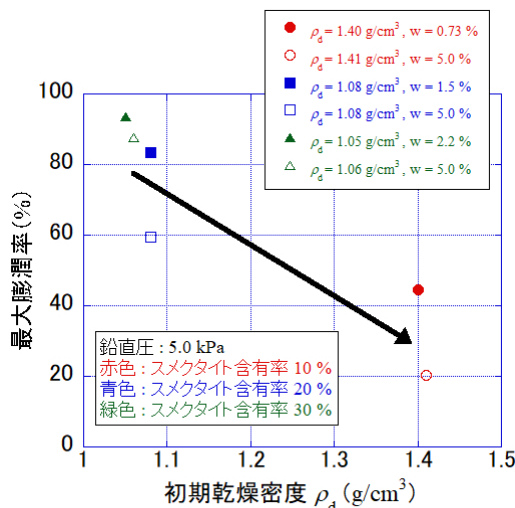


図4 最大膨潤率および初期乾燥密度の関係

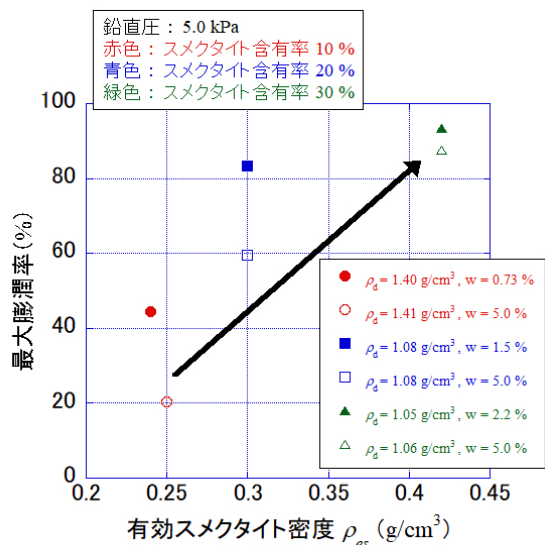


図5 最大膨潤率および有効スメクタイト密度の関係