

不飽和未圧密カオリン粘土の力学特性に関する実験的研究

名古屋工業大学 学生会員
 名古屋工業大学 学生会員
 名古屋工業大学 非会員
 名古屋工業大学 正会員

○近藤良文
 馬俊男
 泉宏行
 張鋒

1. はじめに

浚渫土を用いて埋立地盤を造成する際、地盤を処理する為の処分場確保が困難な場合やコストの問題から軟弱な粘性土を直接的に使用する場合がある。すぐに供用をしない埋立地を造成する場合は、固化処理を行わず長時間の自然圧密過程を経る。その場合、埋め立てから数十年が経過しても圧密が完了していない未圧密状態で長く存在している。このような未圧密の地盤で土構造物を作る際、地盤強度は圧密が完了した正規圧密地盤よりも低いため、その力学挙動を正確に把握することは重要である。しかし、要素試験においては、未圧密状態の自立した供試体の作成が困難であり、未圧密の度合の定量的な評価が難しいことから、研究の前例が少ない。

そこで予備圧密期間を本来の一週間ではなく、一日で行うことで未圧密の正規圧密カオリン粘土を作成し、三軸圧縮試験を実施する。

2. 試料概要

試験にはカオリン粘土を使用した。表-1にカオリン粘土の材料特性を示す。また図-1にカオリン粘土の締固め曲線、図-2に粒形加積曲線を示す。

表-1 カオリン粘土の材料特性

Liquid limit w_L [%]	58.70
Plastic limit w_p [%]	32.70
Specific gravity G_s [-]	2.583
Optimum water content w_{opt} [%]	29.70
Maximum dry density ρ_{dmax} [g/cm ³]	1.402
Compression index λ [-]	0.21
Swelling index κ [-]	0.044
Permeability k [cm/s]	1.05×10^{-6}
Uniformity coefficient U_c [-]	2.40

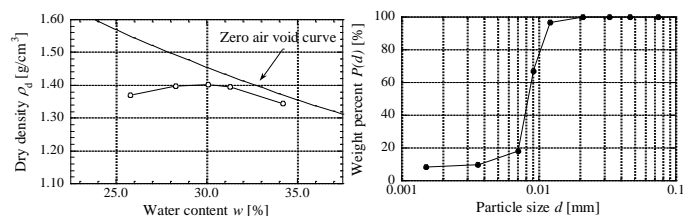


図-1 締固め曲線

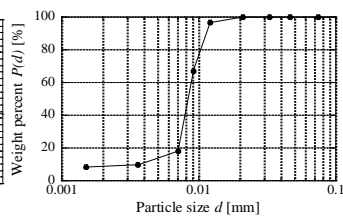


図-2 粒形加積曲線

3. 供試体作成方法

含水比が液性限界の約2倍となるようにカオリン粘土に脱気水を加え、スラリー状になるまで繰り返す。真空攪拌機で負圧を与えながら約1週間攪拌する。攪拌したカオリン粘土を圧密試験機に移し、圧密圧力50kPaで予備圧密を行う。本



写真-1 三軸試験供試体

来1週間の圧密を行うところを、約1日圧密を行い、未圧密試料を作成する。圧密終了後、圧密容器からカオリン粘土を取り出し、8等分にし、ブロックサンプルを切り出す。その後、写真-1に示すようにブロックサンプルを直径50mm、高さ100mmの円柱供試体となるようにモールドを用いて成形し、これを供試体として使用する。

4. 試験概要

三軸圧縮試験では、微細多孔質膜（フィルム）を上下ペDESTALにそれぞれ3枚ずつ設置して実施する。微細多孔質膜は、Merck社製のデュラポア（Durapore）メンブレン、PVDF、親水性、0.1μm、47mm、白色、無地を用いる。寸法は直径47mm、厚さ125μm、空気侵入値480kPa、ポアサイズ0.1μmである。

表-2に試験条件を示す。本稿ではサクシオン30,50,70kPaをそれぞれ1ケースずつ実施した。載荷手順は、初めに非排気・非排水状態で基底応力を20kPa載荷する。排気・排水条件に切り替え、間隙空気圧を載荷することで目標のサクシオンを載荷する。圧密終了後、基底応力を50kPaまで上昇させる。再度圧密の終了を確認し、サクシオン一定制御に切り替え、0.002%/minのひずみ速度でせん断を行う。なお、圧密終了の基準は、「土質試験の方法と解説」から ΔV_r -log t 曲線の最急勾配線に平行で時間が $3t$ となる直線と ΔV_r -log t 曲線が交わった時点とする²⁾。

表-2 試験条件

Test case	s30	s50	s70
Initial Suction s [kPa]	30	50	70
Mean net stress p^{net} [kPa]	50		
Drain condition	Drain and vented condition		
Shar condition	$\sigma_3 = \text{constant}$		
Share rate [%/min]	0.002		

5. 試験結果と考察

表-3に供試体物性値を示す。ここで「供試体作製時」は初期圧密を開始する時点、「試験開始時」は全ての圧密が終了し、せん断を開始する前の時点、「試験終了時」は軸ひずみ15%に到達した時点である。

表-3 サクシオン一定三軸圧縮試験の供試体物性値

Case	供試体作製時			試験開始時			試験終了時		
	w_0 (%)	e_0	S_{r0}	w_0 (%)	e_0	S_{r0}	w_f (%)	e_f	S_{rf}
s30	61.03	1.790	0.922	47.58	1.388	0.885	40.98	1.222	0.866
s50	60.96	1.731	0.910	45.48	1.355	0.867	38.62	1.178	0.847
s70	62.90	1.721	0.944	46.37	1.330	0.901	39.40	1.154	0.882

図-3にサクシオン一定三軸圧縮試験における試験結果を示す。

5.1 水理学的挙動

図-3(a)よりせん断中にサクシオン一定制御ができていることが確認できる。図-3(b)より軸ひずみの増加に伴い、飽和度はわずかに減少しており、その減少幅はサクシオンの値によらず概ね同程度である。また、水分特性曲線からサクシオンが大きいほど飽和度が小さくなるが、今回の試験結果ではs70の飽和度が最も大きくなっている。これは、表-3においてs70の供試体作製時の飽和度が他のケースより高いため、圧密過程での飽和度減少を経ても他のケースより飽和度が高くなったと考えられる。図3(c)より軸ひずみの増加に伴い排水量は増加しており、その値はサクシオンによらず概ね同じ値であることから図3(d)において含水比の減少幅はサクシオンの値によらず概ね同程度となっている。

5.2 力学的挙動

図3(e)より軸ひずみの増加に伴い間隙比は減少しており、その減少幅はサクシオンの値によらず概ね同程度である。図3(f)より軸ひずみの増加に伴い体積ひずみは増加し、せん断終了時にはサクシオンの値に関わらず6~7%となった。軸ひずみ15%に達した時点では、体積ひずみは一定の値に収束しておらず、限界状態に至っていないと考えられる。また、軸ひずみの増加に伴い軸差応力も増加しており、サクシオンの値が大きいほど最大軸差応力が大きくなることが確認された。図3(g)より骨格応力経路は直線的な関係があり、その傾きはサクシオンの値によらず概ね一定であった。また図3(h)より軸ひずみの増加に伴い応力比は増加しており、その値はサクシオンの値によらず同程度であった。

以上のように、図3(b)~(d)のような水理学的挙動はサクシオンによらず同様の挙動を示し、図3(f)~(h)のような力学挙動についてはサクシオンによる規則性が確認された。

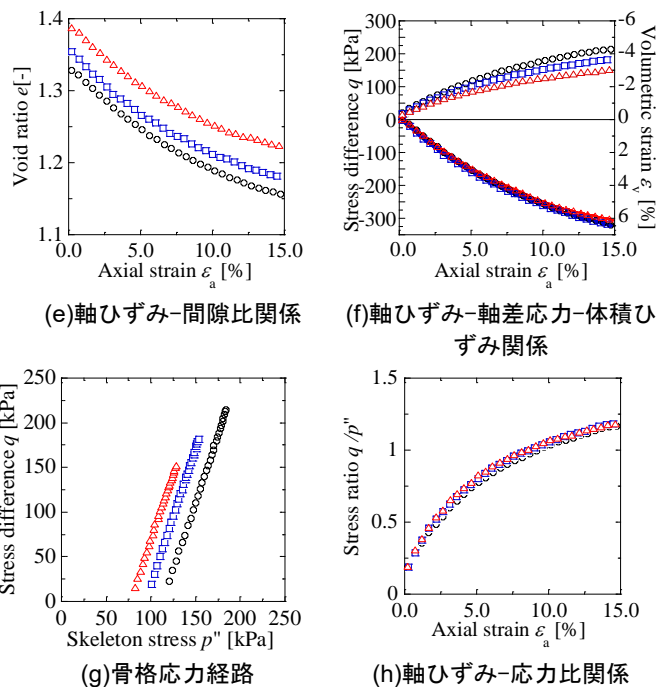
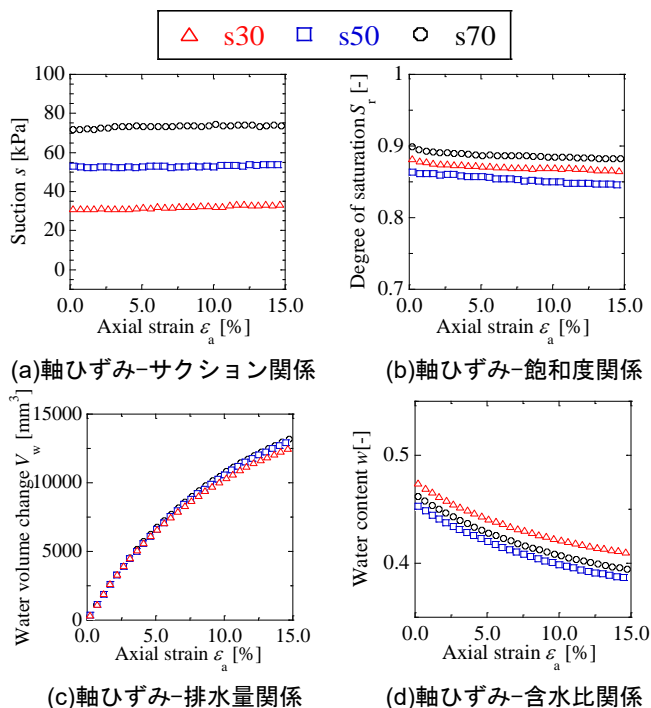


図-3 サクシオン一定三軸圧縮試験における試験結果

6. まとめ

本稿では、サクシオン一定条件下で三軸圧縮試験を実施し、不飽和未固結カオリン粘土のせん断挙動を調べた。以下に本稿で得られた知見について示す。

- [1] 不飽和未圧密粘土では、飽和度等の水理学的挙動にサクシオンによる影響は確認されなかったが、力学挙動に関してはその影響に規則性が存在することが確認できた。即ち、サクシオンが高ければ、せん断強度も高くなる。
- [2] 不飽和未圧密粘土における骨格応力経路は直線的であり、その傾きはサクシオンの値によらず概ね同程度である。
- [3] 不飽和未圧密粘土では、軸ひずみの増加に伴い体積ひずみが増加（膨張）し、その値はサクシオンの値によらず概ね一定である。
- [4] 不飽和未圧密粘土では、軸ひずみ15%を得るようにせん断を行っても限界状態には至らない。

不飽和未圧密地盤材料は埋立地盤でよく見られるが、その力学挙動はさほど注目されていなかった。本研究はまだ研究の初期段階にあるため、今後実験ケースを増やして、データを蓄積していく必要がある。

7. 参考文献

- [1] 佐藤恒夫: 中部国際空港埋立用地造成への管中混合固化処理工法の適用, 土木学会論文集 No.749/VI-61,33-47,2003.12.
- [2] 地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会(2000): 土質試験の方法と解説—第一回改訂版—, 社団法人 地盤工学会