

粘性土の弾性係数に影響を及ぼす諸要因

Factors affecting on elastic modulus of clay

北海道大学大学院 ○学生会員 松田 圭大(K e i t a M A T S U D A)
 函館工業高等専門学校 正 会 員 川口 貴之(Takayuki KAWAGUCHI)
 北海道大学大学院 正 会 員 田中 洋行(Hiroyuki T A N A K A)
 北海道大学大学院 正会員 三田地利之(Toshiyuki M I T A C H I)

1. はじめに

一般に、自然粘土地盤は異方圧密条件下で長期間の排水クリープ状態にある。そのため、粘性土の排水クリープが弾性係数に与える影響を把握することは、実地盤における変形挙動を理解する上で重要である。また、各種弾性係数が等方応力状態における排水クリープによって増加することは良く知られており、等方応力下での排水クリープが弾性係数に与える影響については多くの成果が報告されている¹⁾。筆者らは、非排水せん断中ならびにその途中で行われた偏差応力一定の排水クリープ過程における弾性係数の変化について調べており²⁾、本文ではその後に実施された実験結果も含めた考察を報告する。

2. 試験概要

使用した試料は、粉末乾燥状態で市販されている NSF 粘土($\rho_s=2.78\text{g/cm}^3$, $w_L=55\%$, $IP=26$)を予圧密セル内において鉛直応力 150kPa で一次元圧密し、高さ $h=100\text{mm}$ 、直径 $\phi=50\text{mm}$ に成形したものを使用した。

表 - 1 は本研究で実施した試験条件をまとめたものである。全ての試験において、平均有効主応力 $p'=300\text{kPa}$ まで応力増加速度 0.5kPa/min で等方圧密し、試験 1 は過圧密比 $OCR=2$ 、試験 2 については過圧密比 $OCR=4$ まで応力除荷速度 -1.0kPa/min で等方膨張させた。なお、圧密の打ち切りは 3t 法に従った。圧密終了後、試験 1、2 についてはせん断速度 $0.2\%/min$ で非排水単調載荷を行った。また、他の試験については非排水単調載荷中に所定の軸ひずみ ε_a (表 - 1 参照)において偏差応力 $q(=\sigma'_a-\sigma'_r)$ 一定の排水クリープを行った後、 $\varepsilon_a=15\%$ まで非排水単調載荷を行った。なお、全ての試験において、圧密・膨張終了時ならびに単調載荷・排水クリープ過程の複数点において非排水条件下のヤング率 E_u を測定し、その推移を観察した。

圧密終了後に実施した非排水繰返し試験条件は、片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}=0.005\%$ 、載荷速度 $d\varepsilon_a/dt=0.2\%/min$ とし、

表 - 1 試験条件

試験名	OCR	クリープ履歴 (軸ひずみ)	クリープ時の 偏差応力 q (kPa)
	1	なし	----
		あり(0.5%)	113.5
		あり(1.0%)	135.6
	2	なし	----
		あり(1.0%)	110.8
		あり(0.08%)	38.9
	4	なし	----
		あり(0.4%)	49.9

得られた $q \sim \varepsilon_a$ 関係の頂点を結ぶ傾きから弾性係数 E_u を測定した(図 - 1(a))。また、圧密終了後には同速度での非排水単調載荷試験(以下、せん断過程)を行い、所定の ε_a で実施した微小ひずみ(0.01%)の除荷・再載荷における $q \sim \varepsilon_a$ 関係の線形近似線の傾きを弾性係数 E_u とした(図 - 1(b))。また、試験 1、2、3 についてはせん断過程における所定の ε_a において、セル圧ならびに軸応力を制御することで q 一定の排水クリープ履歴を与え(図 - 2 参照)、その過程の幾つかの時点で非排水繰返し載荷を実施し、 E_u を測定した。なお、排水クリープ後には再び同速度での非排水単調載荷を実施(以下、再せん断過程)し、せん断過程と同様に E_u を測定した。

3. 試験結果・考察

図 - 2 は、表 - 1 に示した全ての試験の応力経路図である。図中において、排水クリープ履歴を有する試験 1、2 では試験 3 よりも高い非排水せん断強度を示していることが分かる。これは、排水クリープ開始直後における

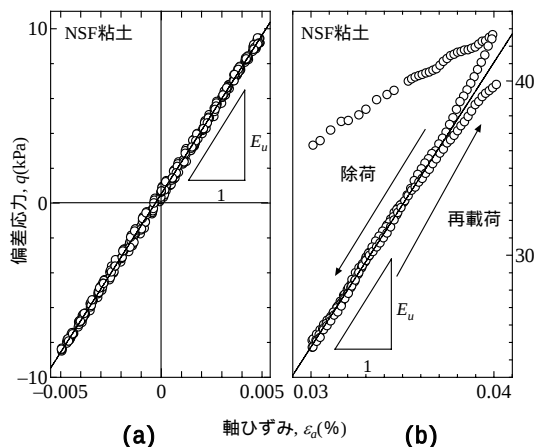


図 - 1 弾性係数の測定例

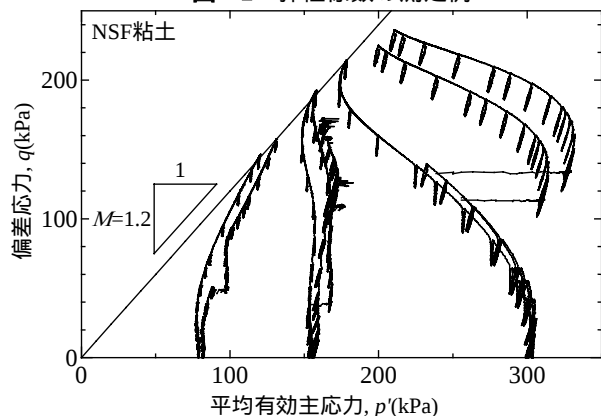
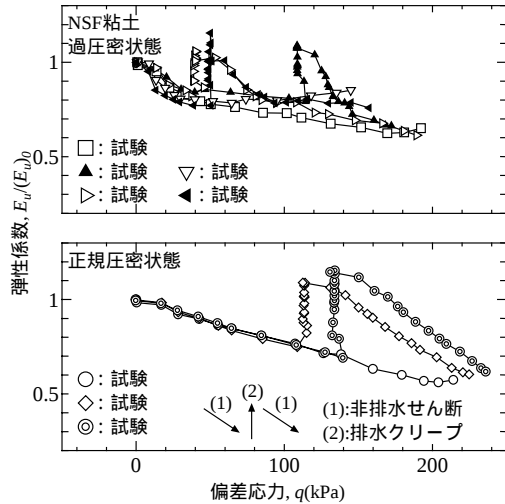


図 - 2 有効応力経路

図-3 $E_u/(E_u)_0 \sim q$ 関係

過剰間隙水圧の消散ならびに排水クリープ過程で生じた間隙比 e の減少によるものと思われる。なお、全ての試験から得られた限界状態線の傾き M は一定であった。

図-3 は、非排水せん断開始時から終了までの E_u と q の関係を表したものである。なお、縦軸は圧密終了時に測定した非排水ヤング率 $(E_u)_0$ で正規化している。せん断開始時において正規圧密状態にある試験 (OCR=1) (下図) において、圧密後に実施された非排水せん断過程では、せん断の進行とともに E_u が減少していることが分かる。その後試験 (2) において、非排水せん断後に実施された排水クリープ過程では E_u が大きく増加し、その後再び行われた非排水せん断直後には急激に減少するものの試験 (1) より得られた $E_u/(E_u)_0 \sim q$ 関係に近づき、その後は試験 (1) と同様の関係に収束する傾向が確認できる。

また、過圧密状態にある試験 (OCR=2), 試験 (OCR=4) (上図) についても非排水せん断中の p' の変化が異なるにもかかわらず、試験 (1) と同様の傾向を示していることが分かる。ここで、非排水せん断中の e の変化は 0 であり、試験 (1) における非排水せん断中の p' はほぼ一定であることに着目する(図-2 参照)と、せん断応力もしくはせん断ひずみが弾性係数を減少させる要因の一つであると考えられる。

図-4 は E_u の変化を p' に対して整理したものである。せん断開始時において正規圧密状態にある試験 (OCR=1) では、せん断過程では E_u は減少、その後の排水クリープ過程(試験 (2))では E_u は増加、再せん断過程では E_u が減少し、その大部分においてほぼ等しい $E_u/(E_u)_0 \sim p'$ 関係が得られている。また、排水クリープを有する試験においては、排水クリープに伴う E_u の増加と再せん断に伴う E_u の減少はそれぞれほぼ同じ経路を辿り、 p' に対してほぼ一義的であることが確認できる。

図-5 は試験 (1), (OCR=2), (OCR=4) の q 一定排水クリープ時における弾性係数と体積ひずみ ε_v の経時変化である。試験 (1) におけるクリープ期間中の ε_v は増加(圧縮)し、試験 (2) の ε_v は増加の後に途中から減少(膨張)に転じているにもかかわらず、弾性係数は両試験ともに一貫して(最終測定点を除く)増加していることが分かる。なお、試験 (2) についても試験 (1) と同様な傾向が見られた。両試験ともにクリープ期間中の p' はわずかながらも増加

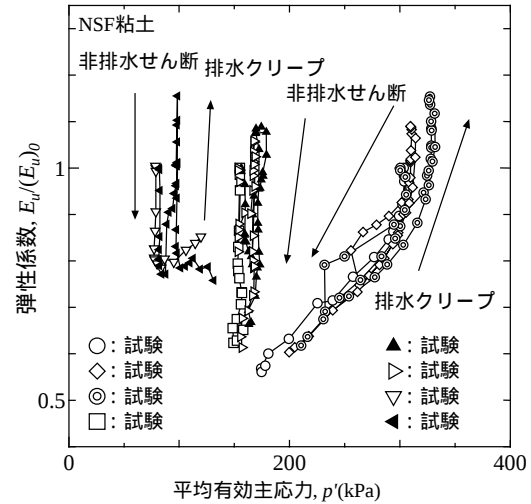
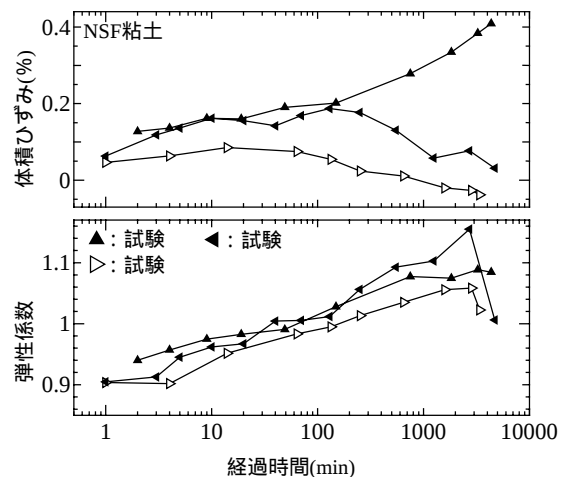
図-4 $E_u/(E_u)_0 \sim p'$ 関係

図-5 弾性係数、体積ひずみ～経過時間関係

しているが、間隙比の増減に関わらず増加傾向にあることを考慮すれば、この期間中における弾性係数の変化に占める排水クリープの影響割合(排水クリープが弾性係数を増加させる効果)はかなり大きいと推測される。ただし、最終測定点で弾性係数が減少傾向を示すことや体積ひずみの変化と弾性係数の変化に時間的なズレがある可能性、更には p' の変化が与える影響(度合)などについては今後の検討が必要だと考えている。

4. まとめ

- 1) せん断ひずみおよびせん断応力は E_u を減少させる要因であると考えられる。
- 2) 排水クリープに伴う E_u の増加とその後の非排水せん断に伴う E_u の減少は p' に対してほぼ一義的であることを確認した。
- 3) 排水クリープは E_u を増加させる大きな要因であると推測される。

参考文献

- 1) 例えば、川口ら：クリープおよびせん断ひずみ履歴が粘性土の小ひずみ域での変形挙動に及ぼす影響、地盤工学会北海道支部技術報告集第39号、pp.215-224、1999
- 2) 松田ら：排水クリープ挙動に着目した粘性土の弾性係数の支配要因に関する検討、第40回地盤工学研究発表会 pp.329-330、2005