

粘性土の非排水せん断強度に及ぼす載荷速度の影響

東海大学 学生会員○柳澤 夏樹
東海大学 正会員 杉山 太宏

1. はじめに

自然堆積土および軟岩の力学特性は、圧密降伏応力を基準に正規圧密領域と過圧密領域に区分される。正規圧密された飽和粘性土は、顕著な載荷速度依存性を示すことが知られており、関口・太田モデルをはじめとする多くの弾粘塑性モデルでは二次圧密すなわち体積ひずみの時間依存性でこれを説明している¹⁾²⁾。これに対して過圧密試料は、一般に弾性体で載荷速度効果は存在しないと仮定されることが多いため、過圧密試料や擬似過圧密試料に関する実験や研究は多くない。本研究では、不攪乱および再構成した正規圧密と過圧密粘性土に対してひずみ速度の異なる $\overline{CU}$ 試験を行い、特に過圧密粘土の非排水強度に及ぼす載荷速度効果を正規圧密粘土と比較するとともに、二次圧密係数ならびに物性値との関係について調べた。

2. 試料および実験方法

実験には7種類の粘性土を使用した。物理および力学的性質をTable 1に示す。Sample A, Bは再構成試料で、液性限界以上の含水比で練返した後、一次元圧密容器に詰め、二週間予圧密を行い粘土塊を作成した。Sample C~Gは不攪乱試料である。

TEST-A: Sample A, B に対し平均有効応力 $p_0=98\text{kPa}$ の等方正規圧密条件下で1日圧密した。過圧密条件では、引き続き $p=9.8\text{kPa}$ まで除荷して1日間吸水膨張させた後、過圧密比 OCR が 2, 5 となるよう再載荷・圧密(1日間)してから非排水せん断を行い、過圧密比の影響を調べた。

TEST-B: 試験には Sample C~G を用いた。正規圧密試料は標準圧密試験で求めた圧密降伏応力 p_c 以上の圧力で等方圧密、過圧密試料では過圧密比を p_c で定義($\text{OCR}=p_c/p$)して、 $\text{OCR}=2\sim 10$ となる圧密圧力で等方圧密したのち非排水せん断を行った。

TEST-A,B は圧密時より 98kPa のバックプレッシャーを載荷し、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}=0.1, 0.01, 0.002\%/min$ でせん断した。また、試験で用いた全試料の二次圧密係数を求めるために、三軸試験と同じ圧密圧力 $\sigma_v(=p')$ で一次元圧密試験を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 再構成試料の結果 (TEST-A)

Fig.1 は Sample B で実施したひずみ制御による $\overline{CU}$ 試験の有効応力経路である。OCR=1 ではひずみ速度によって有効応力経路に顕著な違いが表れ、最大軸差応力はひずみ速度で異なる。一方 OCR=2,5 の過圧密試料では、せん断初期においてほぼ同じ経路を辿るが、最大軸差応力はひずみ速度で異なり正規圧密と同様に載荷速度の影響が観察された。

Fig.2 は Sample A,B の最大軸差応力 q_p -ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の関係を過圧密比毎にまとめたものである。両試料における最大軸差応力とひずみ速度には右上がりの直線関係が認められる。また、正規圧密と過圧密でその傾き(強度増加係数 $\gamma=\Delta q_p/\Delta \log \dot{\epsilon}$ と定義)を比較すると、Sample A の強度増加係数 γ は OCR の増加によって明確に減少するが、Sample B の γ は OCR によらずほぼ等しい。過圧密粘土の載荷速度効果を調べた既往の研究³⁾では過圧密比 OCR の増加に伴い速度効果は低減し、OCR=8 では観察されなくなったという報告がある。本研究では OCR=5 が最大ではあるが両試料ともに係数 γ はゼロにはならないことがわかる。

Table 1 Physical and Mechanical properties of sample

Sample	ρ_s (g/cm^3)	ω_L (%)	I_p (%)	Grading (%)			p_c (kPa)	OCR
				Sand	Silt	Clay		
A	2.31	201.0	68.2	$L_i=50$			49	1,2,5
B	2.67	68.4	44.6	5	42	53	49	1,2,5
C	2.58	70.5	35.3	10	75	15	129	1
D	2.69	77.6	37.6	17	56	27	118	1
E	2.56	118.4	65.9	23	37	40	157	8
F	2.58	58.0	29.5	21	39	40	235	1,8
G	2.67	56.4	22.8	35	41	24	314	1,2,8,10

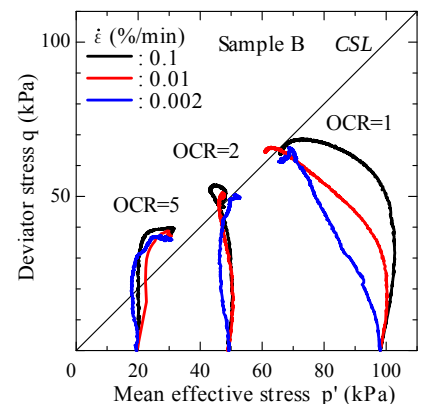
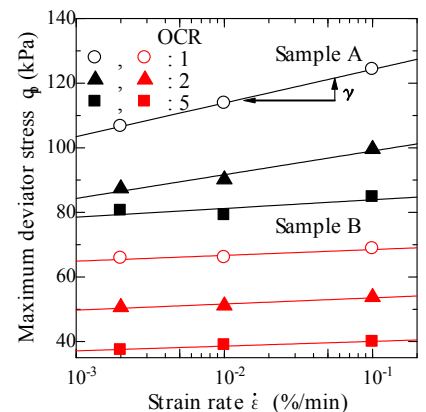


Fig.1 再構成試料の有効応力経路

Fig.2 再構成試料の q_p - $\dot{\epsilon}$ 関係

キーワード 非排水せん断強度, 載荷速度効果, 過圧密, 二次圧密係数

連絡先: 〒259-1219 神奈川県平塚市北金目 1117 TEL 0463-58-1211 Email: sugi@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

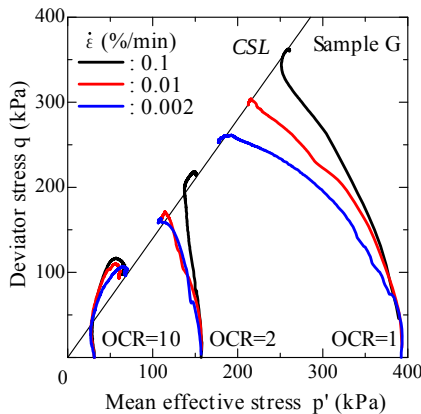


Fig.3 不攪乱試料の有効応力経路

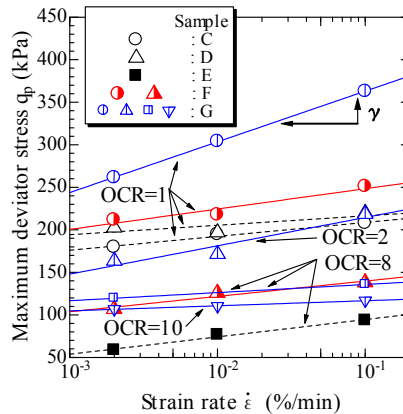
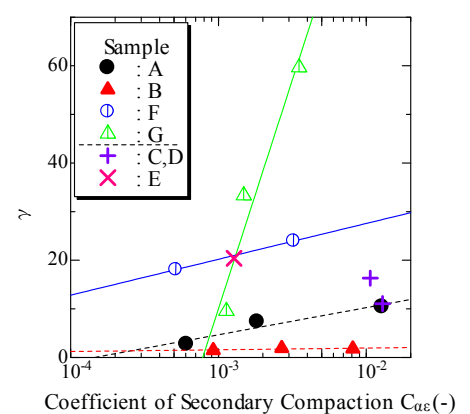
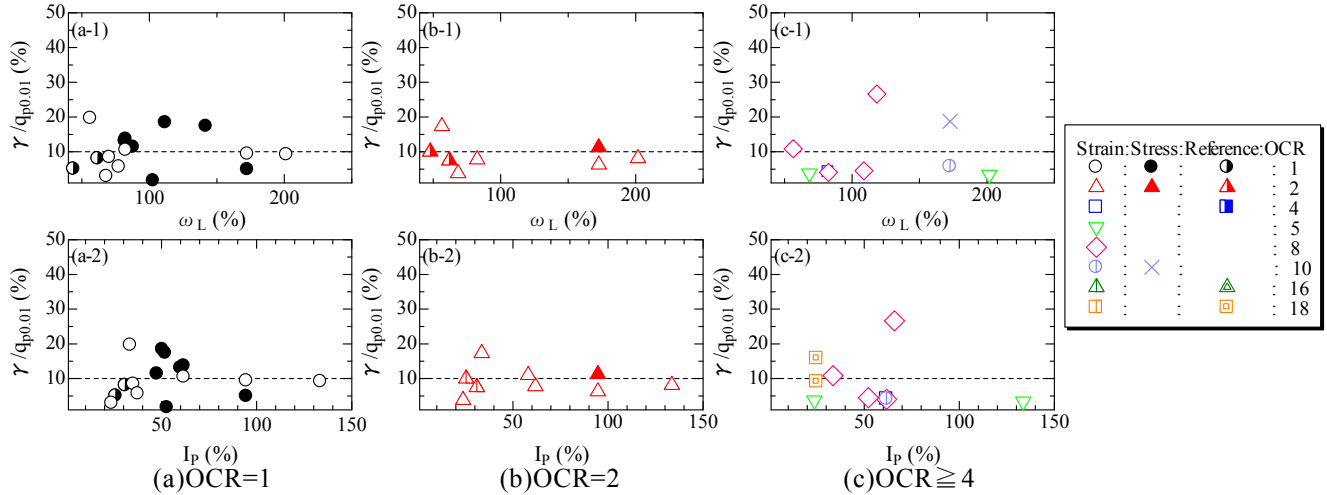
Fig.4 不攪乱試料の q_p - $\dot{\epsilon}$ 関係

Fig.5 強度増加係数-二次圧密係数関係

Fig.6 $I_p, \omega_L - \gamma/q_{p0.01}$ 関係

3.2 不攪乱試料の結果 (TEST-B)

Fig.3 は不攪乱試料 C の有効応力経路である。図から正規圧密・過圧密ともに最大軸差応力はひずみ速度で異なり、載荷速度の影響がより顕著に表れている。Fig.4 は不攪乱試料の最大軸差応力 q_p とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の関係をまとめたもので、過圧密比 OCR を変えた試料 F と G の強度増加係数は、OCR の増加に伴い強度増加係数は減少することが明らかである。OCR が 8 以上であっても強度増加係数はゼロにはならず、再構成試料よりもかなり大きな傾きを示していることが注目される。

3.3 載荷速度効果と二次圧密係数・物性値

Fig.5 は強度増加係数と二次圧密係数の関係を試料毎にまとめたものである。二次圧密係数は過圧密比 OCR の増加によって小さくなるので、過圧密比を変えた試料 A, B, F, G の γ と二次圧密係数には相関性が認められる。 γ は不攪乱試料の方が総じて大きい、これには拘束圧の違いによる影響が含まれている。再構成試料 A, B は同拘束圧下の結果のため両者を比較すると、 γ は二次圧密係数のよって一義的には決まらないようである。

Fig.6 は、 γ と物性値との相関性の有無を調べるために、液性限界 ω_L と塑性指数 I_p との関係を調べた結果である。Thomas.C³⁾は試験結果を統一的に比較するため、 γ を基準ひずみ速度($\dot{\epsilon}_0$)の最大軸差応力 q_p で正規化している。Fig.6 では $\dot{\epsilon} = 0.01\%/min$ の q_p で正規化し、過圧密比 (1, 2, 4 以上) とせん断方法の違い(ひずみ制御(Strain), 応力制御(Stress))を指標にした。図には Thomas.C がまとめた結果(Reference)も併せて記している。 γ と物性値には何らかの関連性が存在すると予想したが、図のように過圧密比やせん断方法に関わらず $\gamma/q_{p0.01} = 10\%$ を中心にばらついていく。

4. 結言

OCR が 8 以上の粘性土の非排水強度にも明確な載荷速度効果が観察された。また、粘性は二次圧密係数で評価されることが多いが、二次圧密係数のみでは γ を決定できない可能性が示唆された。 γ と物性値については更に既存のデータの収集ならびに実験を実施して検討する必要がある。

参考文献 1) Sekiguchi, H. and Ohta, H. : Induced anisotropy and time dependency in clays, Proc. Specialty Session 9, 9th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp.229-239, 1977. 2) Adachi, T. and Oka, F. : Constitutive Equations for Normally Consolidated Clay based on Elastoviscoplasticity, Soils and Foundations, 22, 4, pp.57-70, 1982. 3) Thomas.C : Rate-dependent undrained shear behavior of saturated clay, Proc. of JI Of Geotechnical Engineering, pp.99-108, 1996.