

粘性土の載荷速度効果と二次圧密係数

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

粘性土の強度変形特性を調べる圧密非排水三軸圧縮試験では、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}=0.1\sim0.05\%/min$ が標準とされている¹⁾。JIS ではひずみ制御試験が採用されているが、軟弱地盤上の盛土工事は応力制御条件で近似される。一般的な粘性土の平均強度から、実験室で採用されるひずみ速度を載荷速度に換算すると1~10kPa/minに相当する。過去の施工記録によれば、軟弱地盤上の盛土工事で用いられる載荷速度は概略 $10^{-3}kPa/min$ であるため、実験室のせん断速度は、現場と比較してかなり早いことになる。設計や施工においてどのように載荷速度効果を考慮するのか、また載荷速度効果を無視しても安全側の結果が得られるのかなどについて明らかにする必要がある。従来の研究の多くが正規圧密粘性土の二次圧密に關係するもので、擬似過圧密粘性土や過圧密粘性土を対象とした研究は多くない^{2),3)}。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CU試験を行い^{4),5)}、載荷速度効果と二次圧密係数の關係を調べた。

2. 試料および実験方法

実験には、関東の沖積地盤より採取した7種類の粘性土を使用した。物理および力学的性質を表-1に示す。試験Aでは液性限界以上の含水比で練り返した二種類の粘性土を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。試験Bは不攪乱試料を用いて実験を行った。

実験A: 試料A, Bに対し平均有効応力 $p_0=98kPa$ の等方正規圧密条件下で1日圧密した。過圧密条件では、 $p=9.8kPa$ 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となるよう再載荷してから非排水せん断を行い、過圧密比が載荷速度効果に与える影響を調べた。

実験B: 不攪乱試料C~Gを使用した。正規圧密試料では標準圧密試験で求めた圧密降伏応力以上の圧力で等方圧密を行い、過圧密試料では圧密降伏応力で過圧密比 $OCR(=p_v/p)$ を定義し、 $OCR=8$ となるように圧密してから非排水せん断を行い、載荷速度効果の影響を調べた。

試験A, Bでは圧密時より98kPaのバックプレッシャーを載荷し、3種類のひずみ速度0.1, 0.01, 0.002%/minでせん断した。また、両試験で用いた各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 σ_v で一次元圧密試験を行った。

表-1 物理および力学的性質

試料	ρ_s (g/cm ³)	ω_L (%)	ω_P (%)	Grading (%)			P_c kPa	P kPa
				sand	silt	clay		
A	2.310	201.1	68.2	$L_i = 50$			49	-
B	2.670	68.4	44.6	5	42	53	49	-
C	2.577	70.5	35.3	8	83	8	129	245
D	2.686	77.6	37.6	4	66	2	118	245
E	2.587	61.3	29.4	4	43	53	235	245
F	2.566	54.6	29.6	6	39	55	235	29
G	2.564	118.4	65.9	16	44	40	157	20

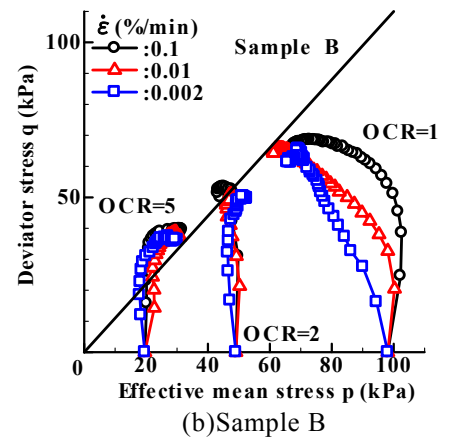
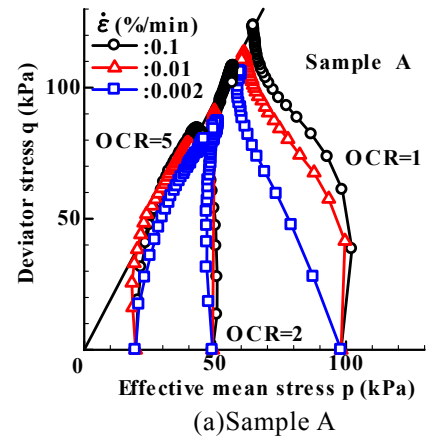


図-1 正規・過圧密試料の有効応力経路

3. 実験結果と考察

3.1 実験A(再構成試料)

図-1(a), (b)は、試料A(有機質粘土)と試料B(粘土)で実施したひずみ速度制御によるCU試験の結果である。両試料において、正規圧密($OCR=1$)の有効応力経路はひずみ速度が小さいほど小さな軸差応力で限界状態に到達し、同じ軸差応力における間隙水压発生量の違いが明確である。これに対して過圧密($OCR=2,5$)では、ひずみ速度による間隙水压ならびに最大軸差応力の差が正規圧密に較べて小さくなっているがこの差はゼロではない。また、図-2の応力ひずみ関係では軸ひずみが0~0.1%の微小ひずみ領域やそれ以上のひずみ発生時にも速度効果が観察されている試料もあった。

図-3は、ひずみ速度と最大軸差応力 q_p の關係を過圧密比毎に調べたものである。正規圧密および過圧密粘性土の q_p は、ひずみ速度の対数に対して直線的に増加(直線の傾きを γ と定義)するが、過圧密比の増加に伴い係数 γ は減少し、減少率は試料によって異なる。

キーワード：載荷速度効果，二次圧密係数，過圧密

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

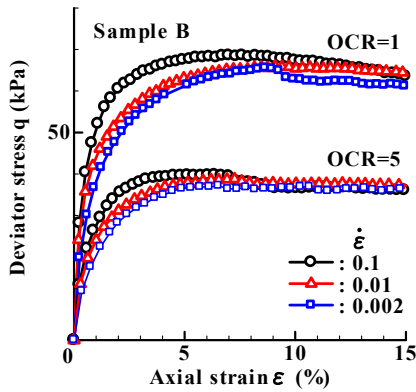


図-2 試料 B の応力ひずみ関係

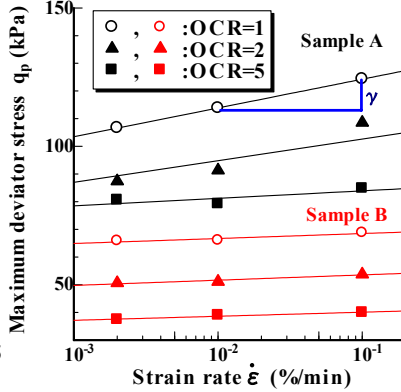


図-3 ひずみ速度と最大軸差応力関係

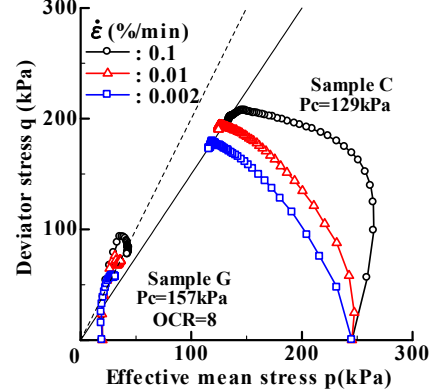


図-4 不攪乱試料の有効応力経路

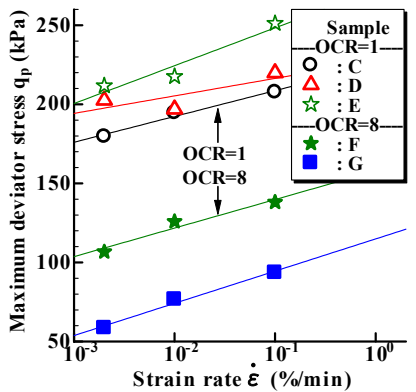


図-5 最大軸差応力とひずみ速度の関係

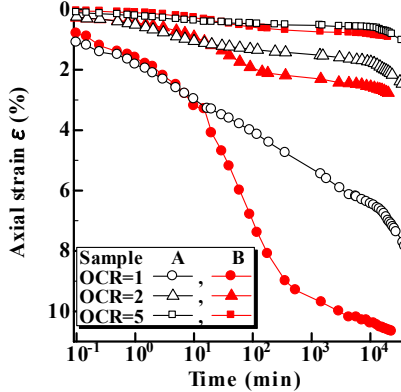


図-6 試料 A, B の圧密曲線

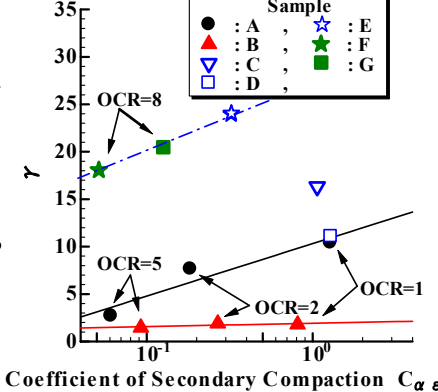


図-7 強度増加係数と二次圧密係数の関係

3.2 実験 B (不攪乱試料)

図-4 は試料 C, G の有効応力経路である。正規圧密試料 C は、再構成試料の結果と同じように、ひずみ速度によって水圧の発生量、有効応力経路ならびに最大軸差応力が異なり、顕著な载荷速度効果が観察された。一方、過圧密試料 G では各ひずみ速度でせん断初期の有効応力はほぼ同じ経路を辿るが、最大軸差応力 q_p の差がかなり大きいことが分かる。再構成試料では過圧密比の増加により q_p の差は減少したが、試料 G は、OCR=8 と重過圧密状態だが顕著な差の表れたことが注目される。ひずみ速度と最大軸差応力の関係を調べたのが図-5 である。今回の試料では正規圧密・過圧密ともにほぼ同程度の強度増加傾向を示し、過圧密ではこれが低下した再構成試料 (図-3) とは異なる結果となった。

3.3 载荷速度効果と二次圧密係数

図-3 と図-5 に示した強度増加係数 γ と図-6 に示した一次元圧密試験から求めた二次圧密係数 $C_{\alpha\epsilon}$ の関係を調べたのが図-7 である。一般に、過圧密粘土の二次圧密係数は正規圧密よりも小さくなる。図-7 の再構成試料 A と B は、図から分かるとおり過圧密比の増加 (1, 2, 5) とともに二次圧密係数 $C_{\alpha\epsilon}$ は小さくなり、強度増加係数 γ も直線的に減少している。再構成試料では、過圧密による载荷速度効果の低下と二次圧密係数の減少に相関性があると考えられる。ただし、試料による違いが顕著である。不攪乱試料では、物性の近い試料 E, F に直線関係が見いだされ、特に OCR=8 の γ が極めて大きいことが明らかである。

4. 結言

粘性土の非排水強度に及ぼすひずみ速度効果あるいは载荷速度効果を、正規圧密と過圧密、再構成と不攪乱試料で比較し、二次圧密係数と強度増加係数 γ の関係について検討した。再構成ならびに一部の不攪乱試料で過圧密比が大きくなると载荷速度効果・強度増加係数は減少し、これは二次圧密係数の減少と相関性がありそうなことが分かった。また、不攪乱試料では過圧密でも再構成試料の正規圧密と変わらないほどの強度増加係数を示す結果が得られた。

参考文献

- 1) 地盤工学会：土質試験の方法と解説，第 7 編 第 3 章 土の三軸試験，pp.472, 2000.
- 2) Sekiguchi, H. : Rheological characteristics of clay, Proc. 9th ICSMFE, Vol.1, pp.289-292, 1977.
- 3) Matsui, T. and Abe, N. : Flow surface model of viscoplasticity for normally consolidated clay, Proc. of NUMOG 2, pp.157-164, 1986.
- 4) 岡二三生, 小高猛司他：再構成過圧密粘土のひずみ速度依存性挙動 - 非排水三軸試験 -, 第 37 回地盤工学研究発表会講演集, pp.241-242, 2002.
- 5) 柳澤夏樹, 杉山太宏：再構成した粘性土の载荷速度効果, 第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2011