

不攪乱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 $\dot{\varepsilon}=0.1\sim0.05\%/min$ 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 $1\sim10kPa/min$ 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再構成正規圧密粘性土の二次圧密に関係するもので、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、不攪乱正規・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)}、不攪乱試料の載荷速度効果と二次圧密係数の関係を調べた。

2. 試料および実験方法

実験には、関東地方で採取した 5 種類の不攪乱粘性土を使用した。物理および力学的性質を Table 1 に示す。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 p_c で過圧密比 $OCR(=p_c/p)$ を定義し、 $OCR=2,8$ となるように圧密してから非排水せん断を行った。圧密時より $98.1kPa$ のバックプレッシャーを載荷し、3 種類(もしくは 2 種類)のひずみ速度 $\dot{\varepsilon}=0.1, 0.01, 0.002\%/min$ でせん断した。また、各試料の二次圧密係数 C_{ae} を求めるため、三軸試験と同じ圧密圧力 $p(=\sigma_v)$ で一次元圧密試験を行った。

Table 1 物理および力学的性質

Sample	ρ_s (g/cm^3)	ω_L (%)	ω_p (%)	I_p (%)	Grading (%)			p_c (kPa)	OCR (-)
					sand	silt	clay		
A	2.580	70.5	35.2	35.3	10	75	15	129	1
B	2.690	77.6	40.0	37.6	17	56	27	117.7	1
C	2.560	118.4	52.5	65.9	23	37	40	157	8
D	2.580	58.0	28.5	29.5	21	39	40	235.3	1, 8
E	2.673	55.3	39.1	16.2	35	41	24	313.9	1, 2, 8

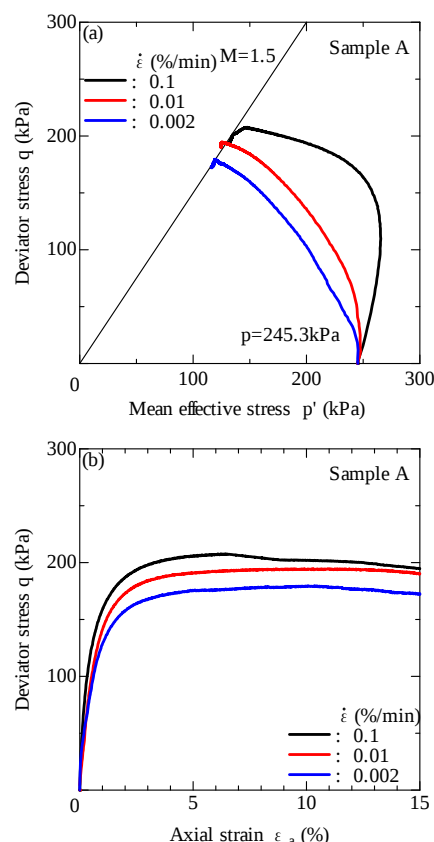
3. 実験結果と考察

3.1 正規圧密試料

Fig.1(a), (b)は、Sample A で実施したひずみ速度制御による CU 試験の結果である。Fig.1(a)ではひずみ速度によって有効応力経路に顕著な違いが現れ、最大軸差応力はひずみ速度で異なっている。また、 $\dot{\varepsilon}=0.1\%/min$ ではせん断初期において有効応力経路が全応力線に沿っている為、間隙水圧の発生量が小さいことが分かる。一般に Sample A のようなシルト分の多い試料のせん断速度は $\dot{\varepsilon}=0.1\%/min$ 程度で良いとされているが¹⁾、今回の実験結果からはそれより遅い速度を選択すべきことが示唆される。一方 Fig.1(b)の応力-ひずみ曲線では、軸ひずみが $0\sim2\%$ 程の小ひずみ領域から載荷速度効果が観察されている。また、最大軸差応力到達時の軸ひずみはひずみ速度によって異なり、ひずみ速度が速いほど小さい軸ひずみで最大軸差応力を発揮することがわかる。

3.2 過圧密試料

Fig.2(a), (b)は過圧密比を変えて行った Sample D の有効応力経路と応力-ひずみ曲線である。Fig.2(a)の過圧密試料の有効応力経路はせん断初期においてほぼ同じ経路を辿っているが、最大軸差応力はひずみ速度で大きく異なっている。再構成試料を用いて載荷速度効果を調べた過去の研究によると $OCR=8$ で載荷速度効果が観察されなくなったという報告があるが⁶⁾、本研究では $OCR=8$ の重過圧密でも顕著な載荷速度効果が観察された。Fig.2(b)の応力-ひずみ曲線からは、せん断初期からせん断速度の違いによる影響が現れていることがわかる。

Fig.1 $p-q$ and $q_p-\varepsilon_a$ relations, Sample A, $OCR=1$

キーワード : 不攪乱試料, 載荷速度効果, 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

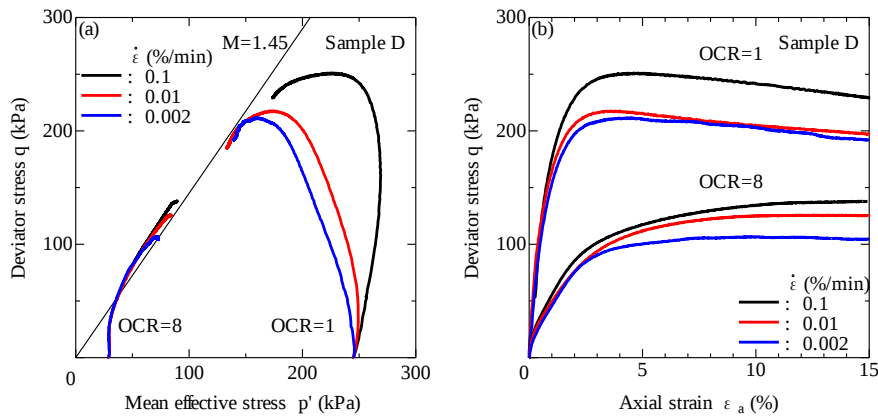
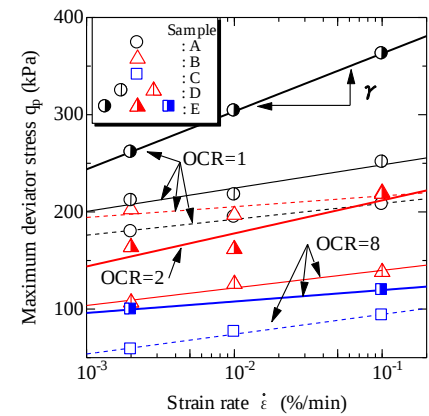
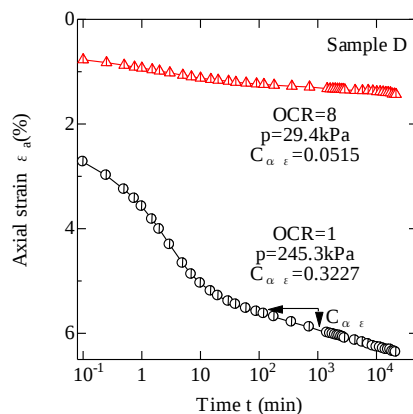
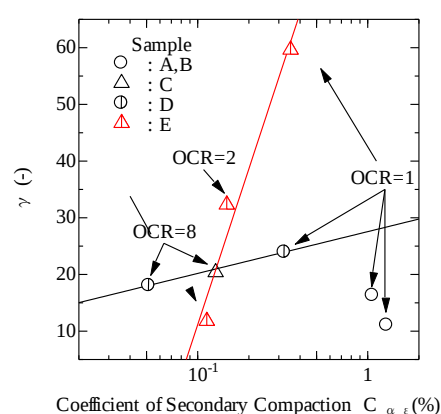
Fig.2 $p-q$ and $q_p - \varepsilon_a$ relationsFig.3 $q_p - \dot{\varepsilon}$ relationsFig.4 $\varepsilon_a - \log t$ relationsFig.5 $C_{\alpha\varepsilon} - \gamma$ relations

Fig.3 は各試料の最大軸差応力とひずみ速度の関係をまとめたものである。全ての試料における最大軸差応力とひずみ速度には既往の研究と同様、右上がりの直線関係が認められる。過圧密比を変えて実験を行った Sample D,E では、過圧密比の増加に伴い強度の増加割合（強度増加係数 γ と定義）がやや減少するが再構成試料ほどの低下量ではなく⁵⁾、不攪乱過圧密試料の载荷速度効果は決して少なくないと言える。

3.3 载荷速度効果と二次圧密係数

Fig.4 は Sample D の圧密量－時間曲線で、周知のとおり過圧密粘土の圧密量と二次圧密係数 $C_{\alpha\varepsilon}$ は、正規圧密よりも小さい。なお、二次圧密係数 $C_{\alpha\varepsilon}$ はひずみで定義している。Fig.3 に示した強度増加係数 γ と Fig.4 に示した一次元圧密試験から求めた二次圧密係数 $C_{\alpha\varepsilon}$ の関係を調べたのが Fig.5 である。強度増加係数 γ は、二次圧密係数の対数に対して直線的に増加して両者の相関性は高いと言える。ただし、試料による違いが顕著で、二次圧密係数が大きくても（OCR=1）強度増加係数が小さいものもある。一般に、载荷速度効果を数値解析に取り入れる場合には、粘性項を表現するためのパラメータとして二次圧密係数が利用されるが、この大小だけで载荷速度効果を定義し、説明することの難しさを示す結果と考えられる。

4. 結言

不攪乱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で比較し、二次圧密係数と強度増加係数 γ との関係について検討した。今回使用した試料では、OCR=8 の重過圧密状態でも正規圧密と変わらないほどの顕著な载荷速度効果が観察された。また、粘性を表すのに利用される二次圧密係数と強度増加係数 γ には、過圧密比の異なる同一試料において相関性が認められたが、試料の違いまでは説明できない可能性が示唆された。不攪乱試料による追加実験で更に確かめる予定である。

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集, 2011.
- 6) Thomas, C.: Rate-dependent undrained shear behavior of saturated clay, Proc. of JI Of Geotechnical Engineering, pp.99-108, 1996.