

三軸圧縮試験による珪藻質軟岩のひずみ速度依存性

(株)伊藤建設 正会員 小池 慶一
東海大学 正会員 杉山 太宏・赤石 勝

1. まえがき

自然堆積土の力学特性は、圧密降伏応力 p_c を基準に正規圧密領域と過圧密領域に区分して検討されることが多い。正規圧密された飽和粘土や軟岩は、顕著なひずみ速度依存性を示すことが知られているが、過圧密土の時間依存性を調べた研究は多くない¹⁾。今回試験の対象とした珪藻質軟岩のせん断特性については、前川によって詳細に調べられており²⁾、正規圧密した珪藻質軟岩にも極めて高い時間依存性が存在する³⁾。実際の設計では、このようなひずみ速度依存性をどのように考慮するのか、現行の試験法を採用し速度依存性を無視しても安全側の結果が得られるのかなど明確にする必要がある。この報告では、正規圧密と正規圧密後吸水除荷した過圧密珪藻質軟岩のひずみ速度依存性を、せん断方法の異なる等方圧密非排水三軸圧縮(CU)試験によって比較した。

2. 試料および実験方法

実験には、石川県珠洲市で採取した珪藻質軟岩を用いた。一辺が約 40cm 程度の立方体に切り出された亀裂や不連続面の存在しない岩塊から、直径 5cm、高さ 10cm の供試体を成形した。粉碎した細粒分(420 μ m 以下)から求めた物性値と一軸圧縮強さ q_u を表-1 に示す。

表-1 珪藻質軟岩の物理的性質

ρ_s (g/cm ³)	ω_n (%)	ω_L (%)	ω_p (%)	q_u (MN/m ²)
2.183	120 ~ 130	172.7	94.7	1.9 ~ 2.1

ひずみ速度制御による CU 試験： a. 成形した試料を 0.25 ~ 3.43 MN/m² の平均有効応力で 2 日間等方圧密後、ひずみ速度 0.1%/min でせん断した(TEST-A)。

b. 吸水除荷による過圧密領域のひずみ速度依存性を調べるために、後述する圧密降伏応力 p_c よりも大きな 2.94MN/m² で 2 日間等方圧密(OCR=1)した後、1.47MN/m² (OCR=2)と 0.294MN/m² (OCR=10)まで吸水膨張させた試料に対して、0.002%/min から 1.0%/min のひずみ速度でせん断した(TEST-B)。

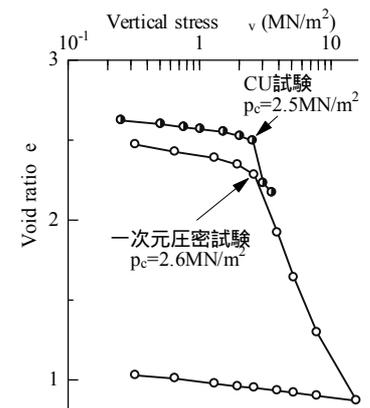
荷重(応力)制御による等方圧密 CU 試験： c. TEST-B の試験と同じく OCR=1,2,10 で等方圧密後、の各ひずみ速度で得られた最大軸差応力 q_{max} と、 q_{max} までのせん断時間をそれぞれ十等分して段階的に軸荷重のみ載荷し、せん断方法の違いによる速度効果と強度・変形特性を比較した(TEST-C)。

3. 実験結果と考察

図-1 は、TEST-A の CU 試験と、20MN/m² まで段階載荷が可能な一次元圧密試験から得られた珪藻質軟岩の e -log σ_v 曲線で、両結果から試料の圧密降伏応力 p_c は約 2.5MN/m² である。

TEST-A の有効応力経路と応力 - ひずみ関係を示したのが図-2(a), (b)である。図-2(a)の有効応力経路より、正規圧密領域にある試料は、せん断中かなり大きな間隙水圧を発生し、軸差応力 q が最大値 q_p に到達以降も間隙水圧が増加しながら軟化している。そのため、有効応力比 ($=q/p$) の最大値と q_p 到達時の e は異なる。また、圧密圧力 0.98MN/m² で過圧密領域 (OCR($=p_c/p$) 2.5) にある試料も、せん断中そして q_p 到達以降も正の間隙水圧が発生している。図-2(b)の応力 - ひずみ関係は、いずれもひずみ硬化 - 軟化型の脆性的な挙動を示すが、圧密圧力あるいは過圧密比によって q_p 到達後の q の減少速度が異なり、軟化の過程は 3 グループに大別されるようである。また、 p_c 以下の残留強度は 1 ~ 1.23MN/m² で q_p の 60% 程度を示し、 q_p 到達時のひずみは 2% 前後である。

図-3(a), (b)は、ひずみ速度を変えた TEST-B の結果である。有効応力経路に与えるひずみ速度の影響は、正規圧密試料が最も顕著で、過圧密試料では q_p に達する間際までほぼ同経路を辿っている。前川は、等方圧密排水三軸圧縮(CD)試験から珪藻質軟岩の降伏曲面を求め、その形状はオリジナル Cam-clay モデル(O.C.C モデル)の降伏関数で

図-1 一次元圧密と等方圧密による e -log σ_v 関係

キーワード：珪藻質軟岩、せん断速度依存性、非排水強度、過圧密、非排水三軸圧縮試験

連絡先：〒259-1292 平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

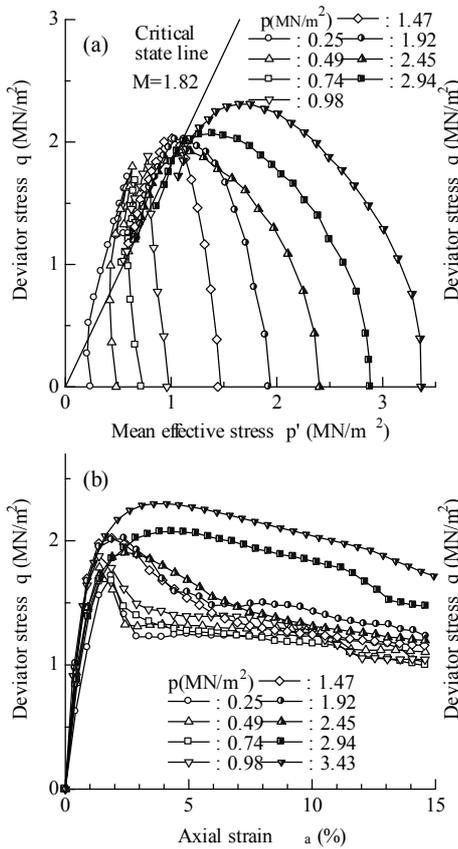


図-2 TEST-A の試験結果

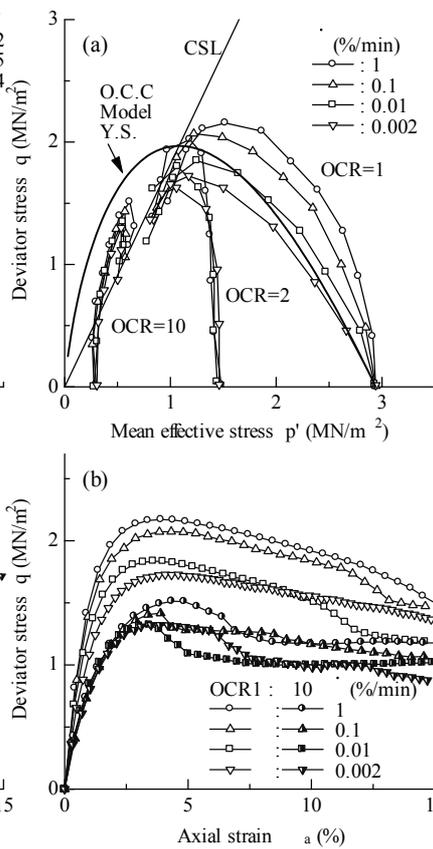


図-3 TEST-B の試験結果

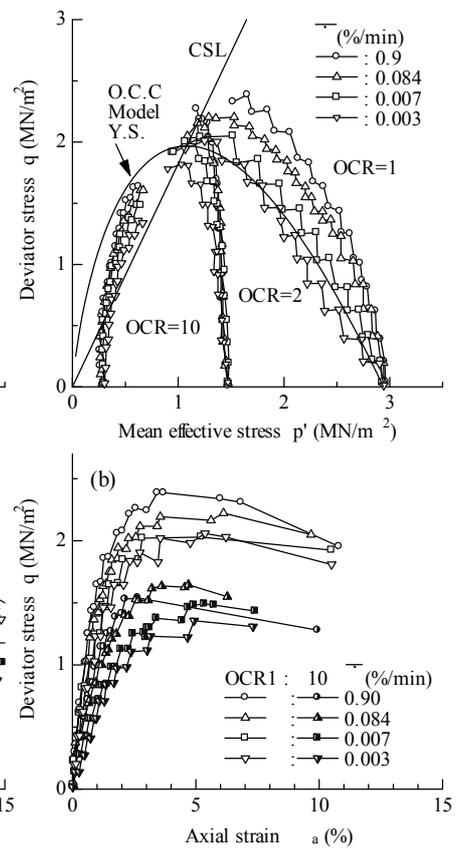


図-4 TEST-C の試験結果

表現可能とした²⁾。図-3(a)の実線はOCCモデルの降伏曲面で、限界状態線 CSL の勾配は正規圧密試料の q_{max} から求めた。せん断速度 0.01%/min 以下の正規圧密試料では、有効応力経路が降伏曲面内に入ってしまうため、時間依存性を考慮するとこの降伏曲面には問題があると思われる。図-3(b)の応力 - ひずみ関係は OCR=1 と 10 の結果で、両者とも q_p の大きさはひずみ速度の影響を受けるが、 q_p を示すひずみ量に顕著な差は見られない。TEST-B の過圧密試料は TEST-A のそれと異なり、一度正規圧密履歴を受けている。図-2 の結果と比較すると、 q_p は減少しやや延性的な挙動を示すことができる⁴⁾。

荷重制御で行った TEST-C の結果が図-4(a), (b)である。実際には軸荷重の載荷時間間隔を変化させているので、各載荷段階中でせん断速度は変化する。しかし、TEST-B の結果と比較するために、凡例のように q_p 到達時（破壊時）のひずみと所要時間によって平均ひずみ速度 $\bar{\epsilon}$ で表している。有効応力経路ならびに応力 - ひずみ関係のいずれも、 q_p の大きさを除けば図-3 に示した TEST-B の結果と大差ない結果となった。図-5 に q_p とひずみ速度の関係を示した。過圧密比の大きな試料ほど、軸ひずみ速度の増加に伴う q_p の増加割合は小さいことがわかる。また、荷重制御の q_p の方がひずみ制御よりも相対的に大きくなることがわかる。

4. あとがき

正規圧密と過圧密領域にある珪藻質軟岩の三軸 \overline{CU} 試験により、有効応力経路と応力 - ひずみ関係からせん断速度依存性について検討した。正規圧密試料よりも少ないが、過圧密試料でも速度依存性が観察されること、荷重制御による軸差応力の最大値 q_p はひずみ制御よりも大きくなることを示した。珪藻質泥岩はセメンテーション作用により非常に構造が発達しているため、この影響と速度依存性について更に調べる必要がある。

- 参考文献 - 1) 西, 岡本, 江刺: 各種載荷条件下における泥岩の強度 - 変形特性とその統一的解釈, 土木学会論文集, 第 338 号, pp.149-158, 1983. 2) 前川, 宮北: 珪藻質軟岩の力学的特性, 土木学会論文集, 第 334 号, pp.135-155, 1983. 3) 廖, 赤石, 林: 珪藻質泥岩の応力 - ひずみ - 時間関係に及ぼすせん断速度の影響, 東海大学紀要工学部, Vol.35, No.1, pp.193-198, 1995. 4) 重松, 八嶋他: 岐阜県美濃地方に分布する珪藻土の工学的性質と切取り面安定, 土木学会論文集, No.687/ -56, pp.139-154, 2001.9.

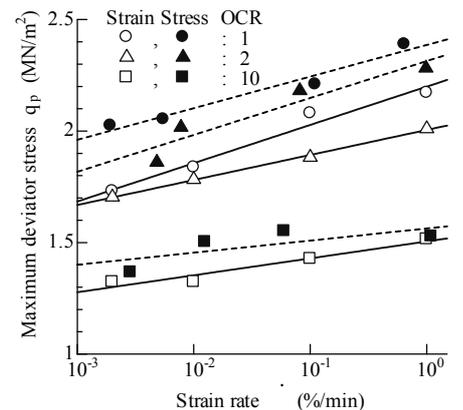


図-5 せん断方法と過圧密比によるせん断速度と q_p の比較