

異方圧密された珪藻質泥岩の非排水強度変形特性

東海大学 学生会員 ○立石 恵太
東海大学大学院 学生会員 小池 慶一
東海大学 正会員 杉山 太宏・赤石 勝

1. まえがき

土木基礎構造物の大型化，大深度地下開発などに伴い，堆積軟岩の力学特性を調べる研究が行われてきた¹⁾⁻⁴⁾．軟岩の強度変形特性に関する既往の研究のほとんどは，等方圧密した試料による三軸圧縮試験によって検討されている．本研究では，所定の圧密圧力で異方圧密した珪藻質泥岩の強度ならびに変形特性を非排水三軸圧縮試験により調べ，同圧密圧力で等方圧密した結果と比較するとともに，顕著なひずみ軟化挙動を示す過圧密領域の非排水クリープ特性について検討した．

2. 試料および実験方法

石川県珠洲市で採取した珪藻質泥岩^{1),2)}を実験に供した．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)から求めた物理試験の結果を表-1に示す．自然含水比は最大約20%の開きがあったので，120% $\pm$ 5%の試料を使用し，圧密非排水(CU)三軸圧縮試験と非排水三軸クリープ試験を行った．珪藻質泥岩は，極めて多孔質な堆積岩ながらセメンテーション作用による結合が高いという特徴を有している¹⁾．

圧密非排水(CU)三軸圧縮試験：中容量三軸圧縮試験機(最大側圧4.92MN/m²)により，所定の圧密圧力 $p(=(\sigma_1+2\sigma_3)/3)$ で等方ならびに異方圧密終了後，ひずみ速度0.1%/minでせん断した．圧密圧力 p は0.25MN/m²から2.94MN/m²までの8つである．異方圧密は有効応力比 $\eta(=q/p')$ が0.75となるように，等方圧密した後，段階的に水圧の消散を確認しながら軸圧のみを載荷した．等方圧密と $p=1.47$ MN/m²以下の異方圧密では24時間以内で水圧が消散したが， $p=1.96$ MN/m²以上の異方圧密では水圧の消散に1週間を要した．

非排水三軸クリープ試験：所定のクリープ応力 q_c になるまでCU試験と同じ条件および方法で非排水せん断した後， q_c を一定に保つクリープ試験を行った．圧密圧力 p は0.49MN/m²，クリープ応力 q_c はCU試験から得られた最大強度 $q_p(=\sigma_{1max}-\sigma_3)$ の75%から96%として，等方・異方圧密によるクリープ強度と残留強度を比較した．なお，両試験では，0.49MN/m²の背圧を試験期間中作用させた．

3. 実験結果と考察

3.1 CU試験の圧密特性と強度変形特性

まず，CU試験の等方ならびに異方圧密過程について考察する．図-1は圧密後の各供試体の間隙比によって描いた e -log p 関係である．等方圧密と異方圧密の圧密降伏応力 p_c には5kN/m²の差があるが， p_c 以降急激に間隙比が減少することは共通している．異方圧密の減少量がより大きいのは，泥岩の組織形態(構造)の破壊¹⁾がせん断応力(負のダイレイタンス)によってさらに進行したものと推定される．図-2は，軸ひずみ ε_a と体積ひずみ ε_v の比 $\varepsilon_a/\varepsilon_v$ と圧密圧力 p の関係を調べたもので，等方圧密では圧密圧力によらず0.45前後である．この試料が変形に対して異方性を有することを示唆するものである¹⁾．異方圧密の $\varepsilon_a/\varepsilon_v$ は p_c を越えた付近から直線的に増加し， $p=24.53$ kN/m²以上ではほぼ1となって K_0 圧密条件に近い状態となっている．

表-1 珪藻質泥岩の物理特性

ρ_s (g/cm ³)	ω_n (%)	ω_L (%)	ω_p (%)
2.183	108 ~ 128	172.7	94.7

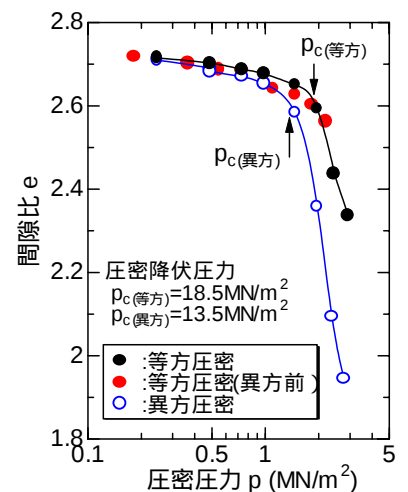


図-1 三軸試験の e -log p 曲線

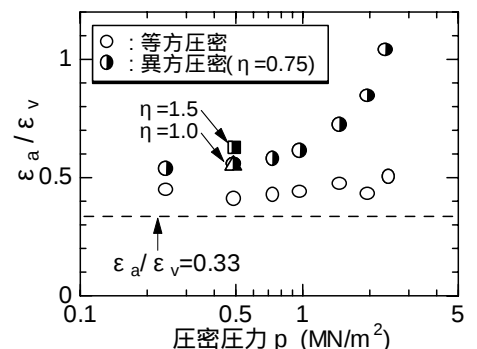
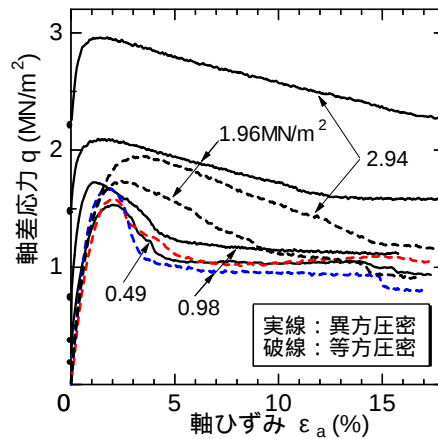


図-2 ひずみ比と圧密圧力の関係

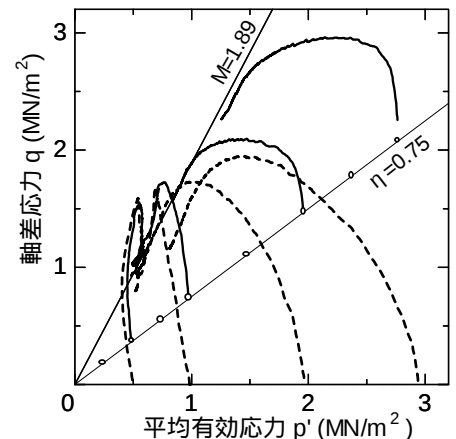
キーワード：珪藻質泥岩，三軸圧縮試験，異方圧密，残留強度，非排水クリープ

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117 TEL 0463-58-1211

図-3(a), (b)は、応力 - ひずみ関係と有効応力経路を4つの圧密圧力で比較したものである。等方圧密を破線で、異方圧密を実線で示した。応力 - ひずみ関係は、ひずみ硬化 - 軟化型の脆性的な挙動を示し、軸ひずみ 18%までで全てが残留強度に達している。等方と異方圧密の違いとして、ピーク強度時のひずみ量は、圧密圧力の増加とともに等方圧密で増加



(a) 応力 - ひずみ関係



(c) 有効応力経路

図-3 等方と異方圧密試料によるCU試験結果

するのに対し、異方圧密では減少して剛性が高まる点、 $p=1.96\text{MN/m}^2$ 以上で、ピーク強度から残留強度へ移行する軸差応力の減少速度(直線の傾き)が異なる点が挙げられる。また、図-3(b)の有効応力経路から、圧密降伏応力 p_c を境に粘性土で観察されるようなダイレイタンス特性の違いが見てとれる。なお、図中に記した M の値は、全試験の最大応力比から求めた平均値である。図-4は、ピーク強度 q_p および残留強度 q_r と平均有効応力の関係を両対数紙上に示したものである。軟岩に関する既往の研究では、このように整理すると過圧密と正規圧密領域の最大・残留強度がほぼ直線で近似できるとされており、図の結果もほぼこれを満足する。しかし、異方正規圧密領域の残留強度は、破線で示した方が相関性は高くなる。この点については、更にデータを収集し検討する必要がある。

3.2 残留強度とクリープ強度

CU試験の q_p と q_r の比 q_r/q_p を圧密圧力に対してプロットしたのが図-5である。等方圧密の q_r/q_p は圧密圧力によらず 0.6 前後、異方圧密では全ての値が等方よりも大きくなり、 p_c 以下では約 0.65 である。図-6(a), (b)は、クリープ試験のクリープ時間とひずみ速度の結果である。凡例に示したように等方・異方圧密とも q_c/q_p が 0.8 以下、すなわちピーク強度の 80% 以下ではクリープ破壊しない結果が得られた。軟岩のクリープ強度は、残留強度とほぼ等しいとする報告があるが⁴⁾、今回使用した試料のクリープ強度は残留強度よりもかなり高い結果となった。

5. まとめ

珪藻質泥岩は、異方圧密によって残留強度 q_r/q_p が増加すること、過圧密領域のクリープ強度は残留強度よりも大きくなること等が明らかとなった。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 夢,赤石他:不連続面のある~,土木学会論文集,第529号,pp.103-111,1995.
- 3) 中山他:繰り返し荷重を受ける堆積軟岩の長期強度の推定,第23回岩盤力学に関するシンポジウム,pp.287-291,1991.
- 4) 西他:各種載荷条件化における~,土木学会論文集,第338号,pp.149-158,1983.

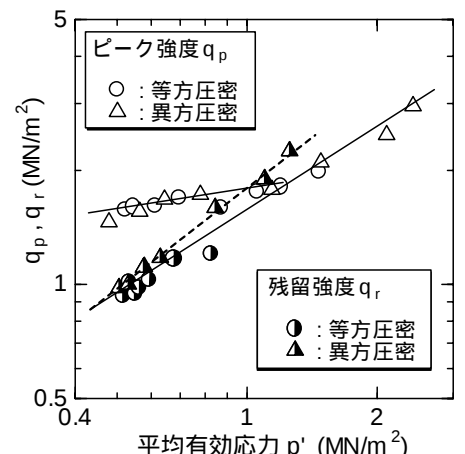


図-4 ピーク強度線と残留強度線

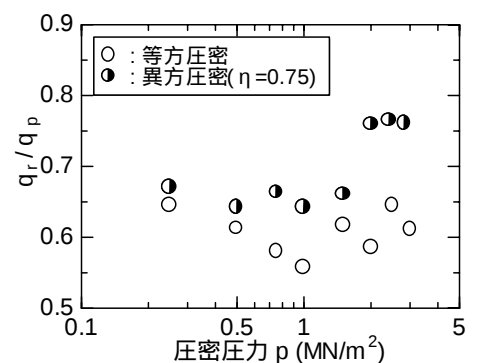
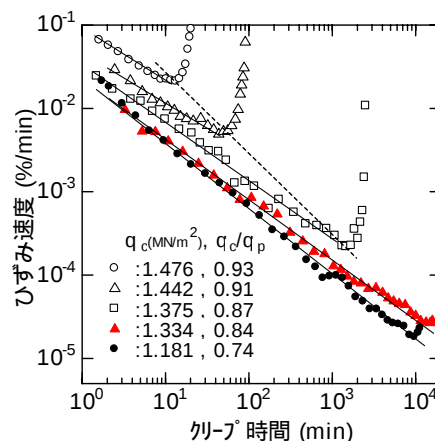
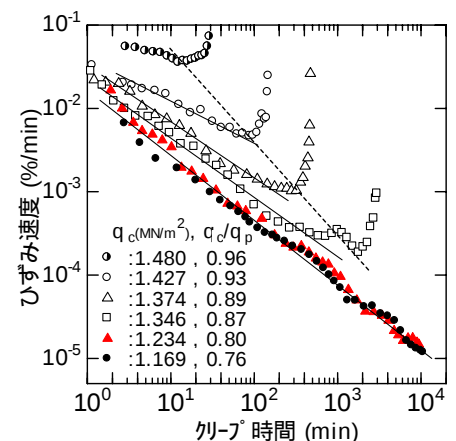


図-5 q_r/q_p と圧密圧力の関係



(a) 等方圧密



(b) 異方圧密

図-6 非排水クリープ試験のクリープ時間とひずみ速度 ($p=0.49\text{kN/m}^2$)