

中空ねじりせん断試験機を用いた年代効果を有する不攪乱粘土の単純せん断特性

石川島播磨重工業株式会社 正会員 ○山本覚
山口大学工学部 正会員 兵動正幸
山口大学工学部 正会員 中田幸男
山口大学大学院 学生会員 渡辺真悟

1. まえがき 自然地盤は非常に長時間にわたってゆっくりと形成されているため、①二次圧密②セメンテーション③リーチング④乾燥応力などの様々な作用を受けて構造が発達するとされている。¹⁾これらの作用は年代効果と呼ばれており、粘土の強度、圧密特性に及ぼすその重要性について多くの研究者によって指摘されてきた。これまで粘性土地盤の原位置強度を求める方法として一軸圧縮試験や三軸圧縮、伸張試験によることが多かったが、単純せん断試験によるデータはあまり得られていないのが現状である。本研究は、現場から採取された年代効果を有する不攪乱粘土に対し、中空ねじりせん断試験機²⁾を用いて非排水単調および繰返し単純せん断試験を行うことにより、不攪乱粘土の三次元単純せん断状態における基礎的データの収集および特性を把握することを目的としたものである。

2. 試料および試験概要

実験に用いた試料は、広島港出島地区より固定ピストン式シンウォールサンプラーを用いて採取した不攪乱海成粘土である。表-1 に試料の物理的性質を示す。また図-1 には深さ方向に対する試料の圧密降伏応力 p_c 、有効土被り圧 p_0 、年代効果を表す p_c/p_0 および一軸圧縮試験より得た圧縮強度 q_u の分布を示している。まずシンウォールから粘土試料を脱型し、供試体として外径 7cm、内径 3.5cm、高さ 7cm の中空円筒供試体に成形した。供試体作成後、三軸セルにセットされた供試体に対し、所定の圧密圧力になるように K_0 状態に近い側方土圧係数 $K=(\sigma_r/\sigma_z=\sigma_\theta/\sigma_z)=0.5$ を保ったまま、段階的に荷重のステップを刻んで異方圧密を行った。異方圧密終了後、単純せん断条件を満足させながらせん断試験を行うために、せん断中に高さの変化が生じないように軸荷重の制御を行い、せん断中に体積変化を生じさせないよう非排水状態で内空部の水の出入りを遮断して試験を行った。単調単純せん断試験では、圧密降伏応力の異なる試料に対して初期有効上載圧 σ'_{zc} を数種類変化させ、試料番号 F-3 T-8,T-10 については正規圧密領域および過圧密領域で、F-4 T-4 については正規圧密領域のみで試験を行った。また繰返し単純せん断試験では、正規(F-4 T-4,T-8)および過圧密領域(F-3 T-8,T-10)において繰返しねじりせん断応力比 $\sigma_{z\theta-cyc}/\sigma'_{zc}$ を数種類変化させた。尚、試験は単調および繰返しせん断試験ともにひずみ制御方式で行い、せん断ひずみ速度を単調試験では 0.1%/min、繰返し試験では 1.0%/min とした。本研究では、各シンウォールごとに不攪乱粘土が原位置において有している年代効果を圧密降伏応力を土被り圧で除した過圧密比としての p_c/p_0 により表し、試験時における過圧密比を p_c/σ'_{zc} により評価した。

3. 単調単純せん断特性 図-2(a),(b)は中間主応力 σ_2 の相対的な大きさを示す中間主応力係数 b とせん断ひずみ $\gamma_{z\theta}$ の関係を示したものである。通常三軸圧縮では $b=0$ となり三軸伸張では $b=1$ の値をとる。図中に最大せん断応力時における中間主応力係数もあわせて記している。両試料ともに最大せん断応力時の中間主応力係数は σ'_{zc}

表-1 試料の物理的性質

試料番号	サンプリング深度(m)	G_s	w_L (%)	w_p (%)	I_p	p_c (kPa)	p_0 (kPa)
F-4 T-4	4.00~4.80	2.612	138.8	41.1	97.7	25	15.0
F-4 T-8	8.00~8.80	2.638	139.0	48.3	90.7	36	28.5
F-3 T-8	10.00~10.80	2.650	128.0	41.6	86.4	75	35.6
F-3 T-10	12.00~12.80	2.682	57.0	21.6	35.4	100	45.5

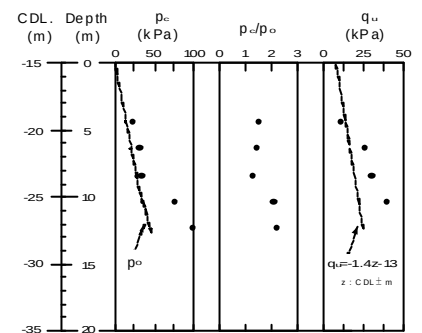


図-1 深度方向における p_c , p_0 , q_u の分布

キーワード：中空ねじり試験、単純せん断、不攪乱粘土、年代効果

によらず $b_f=0.25$ 付近の値を示し、せん断が進行するにつれて緩やかに減少していく傾向が認められる。さらに、 σ_{zc}' が大きいほどその減少傾向が少ないようである。図-3(a),(b)は、鉛直軸 z と最大主応力方向とのなす角で定義される主応力方向角 α_σ とせん断応力 $\gamma_{z\theta}$ の関係を示すものである。図中に最大せん断応力時における主応力方向角 $\alpha_{\sigma f}$ もあわせて記している。両試料ともにせん断初期に主応力の方向が大きく回転し、せん断応力が最大となる時点では σ_{zc}' によらず $\alpha_{\sigma f}=30\sim 40^\circ$ を示している。またせん断が進行するにつれては大きくなり、(a)よりも(b)で σ_{zc}' の大きいものほど α_σ の回転がより大きくなる傾向がある。これは、せん断中にせん断応力 $\sigma_{z\theta}$ 、有効鉛直応力 σ_z' とともに減少するが、その減少量が $\sigma_{z\theta}$ に比べて σ_z' の方が多いことによると考えられる。また σ_z' の減少量は正規圧密ほど多くなるので、その結果せん断ひずみが発達するにつれて α_σ も拘束圧に依存して大きく回転してしまうことになった。

4. 繰返し単純せん断特性 図-4はせん断ひずみ速度 1.0%/min でそれぞれの年代効果を有する粘土に対し、繰返しせん断応力比 $\sigma_{z\theta-cyc}/\sigma_{zc}'=0.250$ のものについて正規圧密領域および過圧密領域で行った試験の有効応力経路とせん断応力・せん断ひずみ関係を示している。図中、単調単純せん断試験結果を破線で示している。両供試体ともに载荷初期に大きく有効主応力が減少しているが、(b)の過圧密の方は、単調単純せん断試験結果より得られた破壊線に沿うような形で最終的に定常なループを描いている様子が認められる。図-5に対応するせん断応力・せん断ひずみ関係を示した。(a)の正規圧密の方が少ない繰返し回数で破壊に至っており、過圧密粘土と比べて繰返しによる剛性の低下が少ないうちに急激に破壊に至っていることが確認された。一方過圧密粘土は剛性が徐々に低下しながらせん断ひずみが発達しており、正規圧密に比べ粘り効果が認められる。

5. まとめ 単調単純せん断試験では、最大せん断

応力時の中間主応力係数は σ_{zc}' によらず $b_f=0.25$ 付近の値を示し、せん断が進行するにつれて緩やかに減少していく傾向が認められた。また最大せん断応力時の主応力方向角 $\alpha_{\sigma f}$ は σ_{zc}' によらず $\alpha_{\sigma f}=30\sim 40^\circ$ を示し、せん断が進行するにつれて主応力方向角は大きくなり σ_{zc}' の大きいものほど主応力方向角の回転がより大きくなる傾向が認められた。繰返し単純せん断試験では、正規圧密粘土は繰返しによる剛性の低下が少ないうちに急激に破壊に至り、過圧密粘土は剛性が徐々に低下しながらせん断ひずみが発達して粘り効果が認められた。

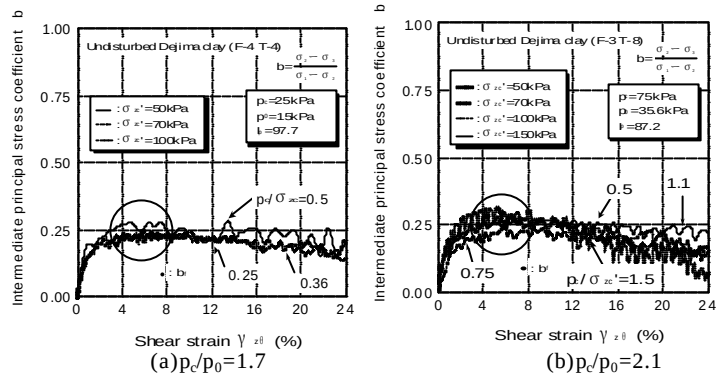


図-2 中間主応力係数 b とせん断ひずみの関係

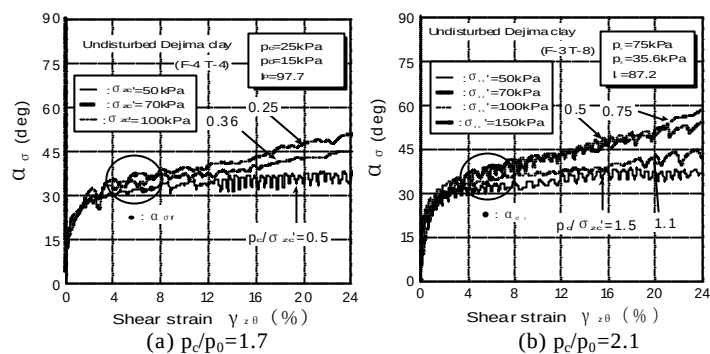


図-3 主応力方向角 α_σ とせん断ひずみの関係

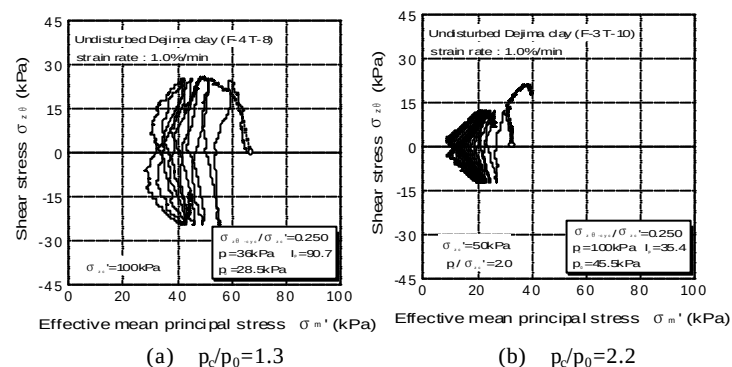


図-4 せん断応力と平均有効主応力の関係

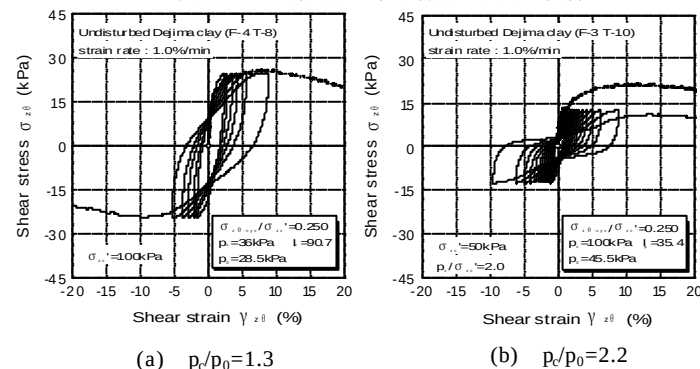


図-5 せん断応力とせん断ひずみの関係