

III-165 一次元圧密粘土の非排水せん断特性（特に強度異方性）に対する応力解放の影響

大阪市立大学

東田 淳・三笠正人・門田浩一（現中央開発）

まえがき 粘土地盤から採取した試料と再圧密粘土試料を用いてせん断強度を求める際、拘束圧力の除去、すなわち応力解放の影響が問題となる。従来の研究では、半径方向に圧密排水するK₀圧密三軸試験によって主として粘土供試体の主動せん断における強度低下が調べられている。筆者らは開閉式圧密リングを用いた一次元圧密三軸試験と通常のK₀圧密三軸試験を比べ、両者で粘土の非排水せん断特性がかなり異なることを示した¹⁾。今回はこの一次元圧密三軸試験機を用いて非排水条件で4つの応力解放経路をたどった粘土に対して圧縮、伸張試験を行い、一次元圧密粘土の非排水せん断特性、特に強度異方性に対する応力解放の影響を調べた。

1. 実験方法

相対含水比1.8の練返し粘土（表-1）を0.8kgf/cm²で一次元圧密した再圧密粘土（w₀=54.7%）から直径φ4.25cm、高さ8cmの粘土供試体を切出し、以下の実験を行なった。応力解放過程で間隙水に負圧が働かないように適当なB.P.を加えた後、一次元圧密三軸試験機（図-1）の圧密リングを閉じた状態で供試体に軸圧σ₁=4kgf/cm²とリングの側面摩擦軽減のための側圧σ₃=0.42σ₁を加え、一次元圧密させる。3t₀法で圧密を打ち切り、排水バルブを閉じて、σ₃一定のまま軸ひずみε₁が0になるようにσ₁を減らしながら圧密リングを開く。この時のσ₁、σ₃、uの測定値（平均値）はそれぞれ3.48、1.68、-0.13kgf/cm²となり、これらからK₀=0.50が得られた。ついで非排水条件のまま図-2に示す4種類の全応力経路にそって応力解放をさせた後、非排水条件で圧縮または伸張試験を行った。図-2のA→Bの経路は一次元圧密終了時のA点からσ₃一定のままσ₁をσ₃まで減らすもので、B→Dはそれからさらに等方条件でσ₁とσ₃を0まで減らすものである。また、A→CはK₀=σ₃/σ₁一定の条件でσ₁をコントロールしながらσ₃を0まで減らし（0.02kgf/cm²/minの速度で）、C→Dはそれからさらにσ₃=0のままσ₁を0まで減らすものである。A→C以外の経路の応力減少速度は0.04kgf/cm²/minとした。以上の解放経路を経た粘土供試体をそれぞれA（応力解放無し）、B、C、D_I（A→B→D）、D_K（A→C→D）供試体と呼ぶ。

2. 実験結果

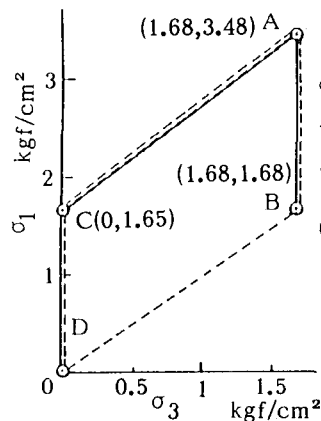


図-2 全応力経路

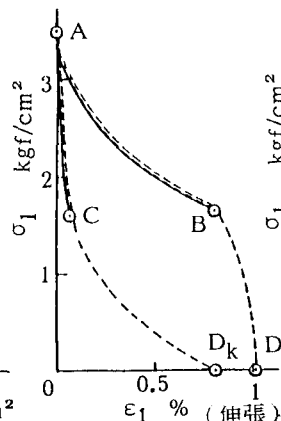


図-3 σ₁-ε₁関係

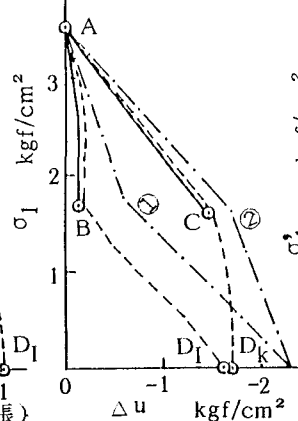


図-4 σ₁-Δu関係

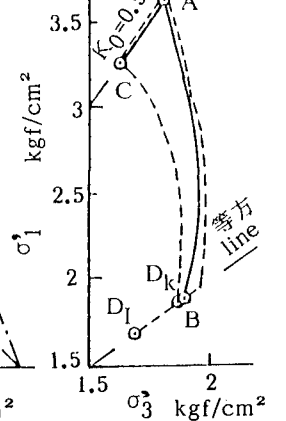


図-5 有効応力経路

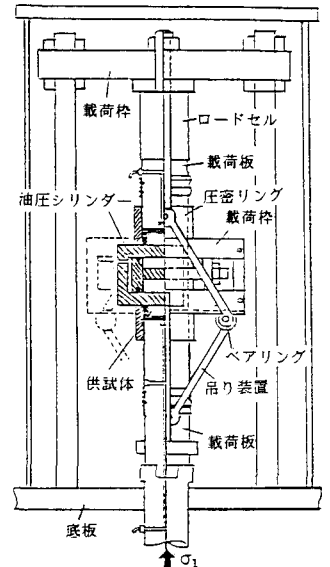


図-1 一次元圧密三軸試験装置

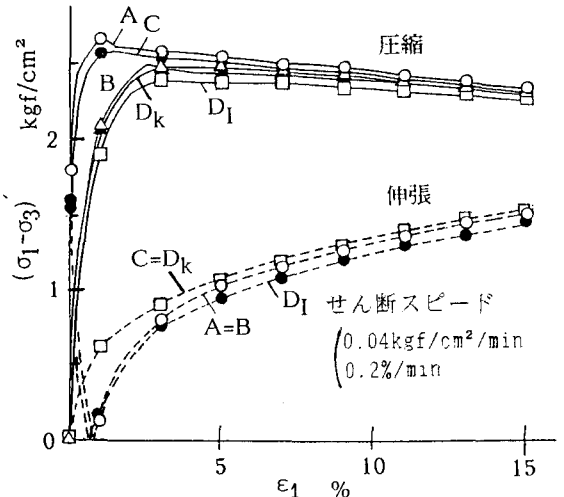
表-1 試料の一次性質

Soil	G _s	w _L (%)	w _p (%)	Ip(%)
S-K70	2.67	67.4	26.3	41.1

堺港採取粘土にカオリンを乾燥重量比1:1で混合

(1) 応力解放過程

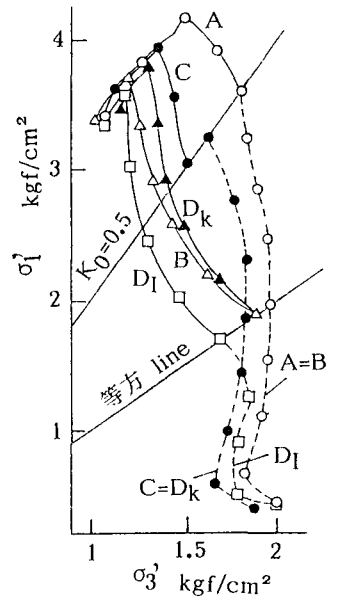
図-3は解放過程における ε_1 と σ_1 の関係で、 K_0 lineから等方lineに移るA $\rightarrow$ B、C $\rightarrow$ D $_K$ 両経路で生じた ε_1 は、等方lineまたは K_0 line上を動くB $\rightarrow$ D $_I$ またはA $\rightarrow$ C両経路で生じた ε_1 に比べ、かなり大きい。図-4は Δu と σ_1 の関係で、図中の①、②lineはそれぞれD $_I$ 、D $_K$ 供試体の全応力変化分に対する $\Delta u = (\Delta \sigma_1 + 2 \Delta \sigma_3) / 3$ を表す。これは土の骨組を等方弾性体と仮定した時の理論値²⁾である。 ε_1 の大きいA $\rightarrow$ B、C $\rightarrow$ D $_K$ 両経路では①、②lineからのズレが大きい、これはせん断ひずみ(伸張)に伴う構造の低位化に起因する負のダイレタンシーと解釈される。有効応力経路は図-5のようになった。



(2) せん断過程

図-6はせん断過程における ε_1 と主応力差の関係で、実線で示した圧縮試験では、 K_0 lineからせん断が始まるA、C供試体と等方lineから始まるB、D $_I$ 、D $_K$ の3供試体に明らかな差がみられ、後者ではA供試体に対して6~10%の強度低下を示す。これに対して破線で示した伸張試験ではどの供試体も $\varepsilon_1 = 1.5\%$ まで主応力差が増加し、A(=B)供試体とD $_K$ (=C)供試体の差は小さく、また、D $_I$ 供試体の強度低下はA供試体に対して3%で圧縮試験ほど大きくない。図-7はレントリウクの応力経路図で、圧縮試験ではB、D $_I$ 、D $_K$ の3供試体は等方lineから垂直に近い角度で立ち上がり、 K_0 lineを越すとC供試体と同様の正のダイレタンシー性状を示す。伸張試験ではD $_I$ 供試体の経路は等方lineから垂直に延びた後、A(=B)、C(=D $_K$)両供試体と同様の挙動を示す。

図-6 軸ひずみ-主応力差関係



3. 強度異方性に対する応力解放の影響

今回の実験ではA、C両供試体の圧縮、伸張の強度比は1.7:1となり、一次元圧密粘土ブロックから切り出した供試体を用いて三軸U試験を行った場合の圧縮、伸張の強度比1.4³⁾よりもかなり大きくなった。この比は $\sigma_1 = \sigma_3 = 0$ まで応力解放したD $_I$ 、D $_K$ 両供試体ではそれぞれ1.6、1.5で、三軸U試験に近づく。これは前述のように応力解放しないA供試体に比べて、D $_I$ 、D $_K$ 両供試体の圧縮強度が低下する一方、伸張強度があまり変化しないためである。このように応力解放の影響が圧縮、伸張両試験で異なる原因は図-8に示すように、応力解放からせん断に至る過程で、圧縮が繰返しせん断変形を受けるのに対して伸張はこの繰返し変形を経験しないことに求められよう。なお、同じ試験機によって今回と類似の試料を用いて行った等方圧密三軸試験（応力解放なし）では圧縮、伸張の強度比はほぼ1となった。以上の結果は三軸U試験の供試体成形時の乱れを考えれば全て斉合する。したがって強度異方性に関する従来の研究では主働、受働の差を過小評価していると見られる。

図-7 レントリウクの応力経路

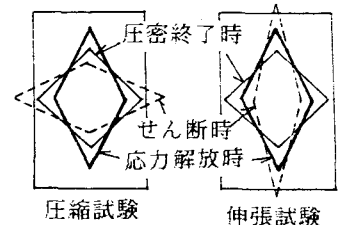


図-8 供試体のせん断変形

参考文献 1) 東田淳・中橋貞雄：一次元圧密並びに K_0 圧密三軸試験による

粘土の非排水せん断特性の比較、第40回土木学会年講、1985。 2) Mikasa, M: Settlement of Clay Layer by Partial Load, Proc. of the 1st National Congress for App. Mech., 1951。 3) 西垣好彦・三笠正人：一軸圧縮試験、土質調査試験結果の解釈と適用法、pp.194。