

等方応力状態から真空圧密・膨潤を受けた粘土の非排水せん断強度

信州大学大学院 学生員○谷村剛嗣
信州大学工学部 正員 梅崎健夫
信州大学大学院 正員 塩野敏昭

1. はじめに 地盤改良工法の一つに真空圧密工法がある。本文は、真空圧密工法における地盤の圧密挙動と圧密終了直後の地盤のせん断強度特性および真空ポンプを停止し長時間放置させた場合の地盤の膨潤挙動とせん断強度特性を、三軸試験装置を用いて、載荷圧密の場合と比較することにより検討した。

2. 試験方法 試料はNSF粘土 ($G_s=2.756$, $w_L=61.1\%$, $I_p=27.4$) である。純水を用いて含水比 120% に練り返し、鉛直圧密応力 $\sigma_v=98\text{kPa}$ で一次的に予圧密した試料を直径 5cm, 高さ 10cm に成形して供試体とした。供試体と管路を二重負圧により約 3 時間脱気して、背圧 196kPa を約 20 時間載荷した。次いで、等方圧密圧力 $p_0=196$ および 294kPa で先行圧密した後、さらに、 $\Delta p=78.4\text{kPa}$ を載荷させる通常の載荷圧密と、背圧を 0kPa まで解除して、 -78.4kPa の負圧 (有効圧密圧力増分 $\Delta p=78.4\text{kPa}$) をビューレットを介して負荷させる真空圧密を周面排水により実施した。また、引き続いて Δp を除荷した膨潤も実施した。圧密および膨潤後、0.07%/min の軸ひずみ速度で非排水せん断を実施した。試験後直ちに供試体の含水比分布も測定した。体積変化量はビューレットによる排水量とともに内セル内の脱気水の水位変化量を差圧計を用いて算定した。間隙水圧は、ペDESTALに設置したセラミックディスク (AEV=274.4kPa, 直径 4cm) とキャップに設置したポーラスストーン (直径 0.5cm) のそれぞれを介した二つの水圧計により個別に測定した。

3. 試験結果および考察 図-1 に有効圧密圧力 $p_0=196 \rightarrow p_1=274.4 \rightarrow p_2=196\text{kPa}$ の (a) 圧密過程および (b) 膨潤過程における過剰間隙水圧比・軸ひずみ・体積ひずみの経時変化を示す。図中の間隙水圧および有効応力はすべてセラミックディスクを介して測定した値であり (ポーラスストーンを介して測定した値もほぼ等しい), 体積変化量はすべてビューレットにより測定した値である (差圧計を用いて算定した値もほぼ等しい)。圧密の終了は軸ひずみに対する 3t 法で決定し、載荷圧密の場合では 80 分, 真空圧密の場合では 85 分である。膨潤の終了は両者とも 20 分とした。なお、圧密および膨潤直前においては $\Delta u/\Delta p$ は 1 であり、過剰間隙水圧の消散は圧密過程で約 30 分, 膨潤過程で約 7 分である。また、圧密過程の体積ひずみは真空圧密の場合の方が若干大きい。また、載荷圧密・真空圧密ともに軸ひずみは体積ひずみの約 1/3 であり、等方圧密条件がほぼ満足されている。

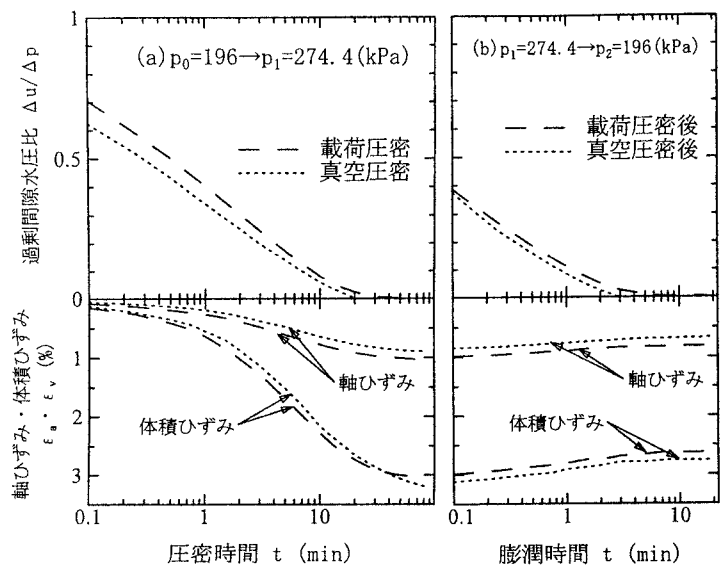


図-1 過剰間隙水圧・軸ひずみ・体積ひずみの経時変化

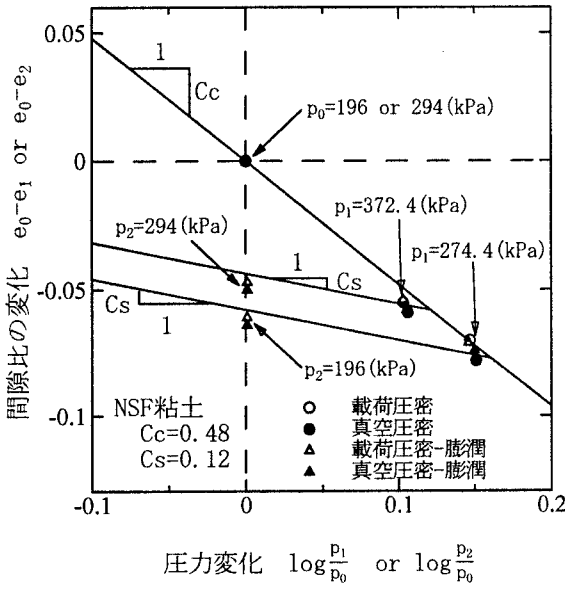


図-2 圧密変化と間隙比の変化の関係

図-2 に圧密過程および膨潤過程における圧密圧力と間隙比の関係を正規化して示す。これは、先行圧密後の状態を原点として、異なる圧密圧力および膨潤後の平均主応力を正規化したものである。先行圧密後 p_1 の値は圧縮指数 $C_c=0.48$ に、載荷圧密および真空圧密後 p_2 の値は膨潤指数 $C_s=0.12$ の線に非常に近い値である。ただし、間隙比の変化量は真空圧密の方が載荷圧密の場合よりも若干大きい。しかし、このことは真空圧密時にビューレット内に現れるごく微小の気泡や真空度の制御の誤差により生じるものであると考えられる。したがって、載荷圧密・真空圧密に有意な差はないものとする。

図-3 に非排水せん断時の有効応力経路を示す。正規圧密（過圧密比 $OCR=1$ ）の載荷圧密の試験結果から破壊定数 $M=1.06$ を求めた。OCR=1 の真空圧密の場合、OCR=1 の載荷圧密の場合に比べて主応力差が若干大きくなる。これも、上述した原因によるものと考えられ、有意な差はない。OCR=1.27, 1.4 の軽い過圧密の場合にも正規圧密状態の破壊線上で破壊する。

図-4 に主応力差・過剰間隙水圧・軸ひずみの関係を示す。なお、図には $p_0=196\text{kPa}$ で先行圧密した試験結果のみを示す。真空圧密の場合と載荷圧密の場合で有意な差は見られない。

図-5 に正規圧密および過圧密状態における強度増加を示す。OCR=1 の載荷圧密の場合と真空圧密の場合ともに強度増加率 $C_u/p=0.27$ である。また、すべての場合において、真空圧密の場合の方が載荷圧密の場合よりも強度が若干大きい、このことも上述の原因によるものであると考えられる。

4. まとめ 三軸セル水として脱気水を使用しなかった場合、真空圧密の場合の方が載荷圧密の場合に比べて排水量が多く、非排水せん断強度も大きくなる¹⁾。しかし、セル水として脱気水を使用する事は大変重要であり²⁾、その場合には、真空圧密と載荷圧密はともに圧密量、その後の非排水せん断強度はほぼ一致している。また、膨潤量、その後の非排水せん断強度もほぼ一致している。さらに、試験後の供試体はほぼ完全飽和状態であることも明らかになった。

【参考文献】

- 1) 千野ら: 真空による粘土の圧密挙動と強度増加特性, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp.593-594, 1998.
- 2) 谷村ら: 等方応力状態から真空圧密を受けた粘土の非排水せん断特性, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集 III-A56, pp.112-113, 1999.

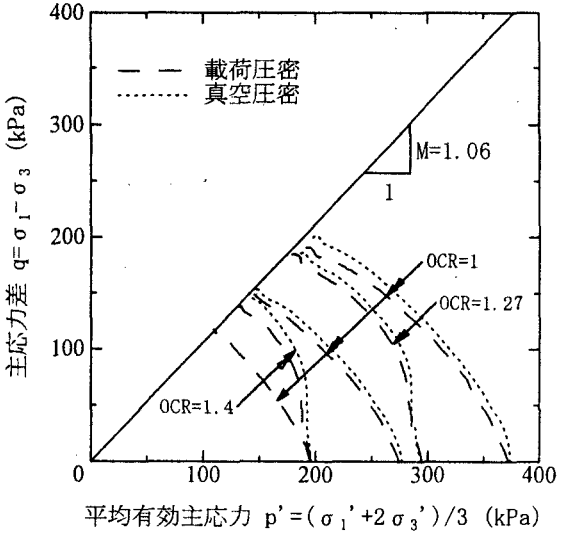


図-3 有効応力経路

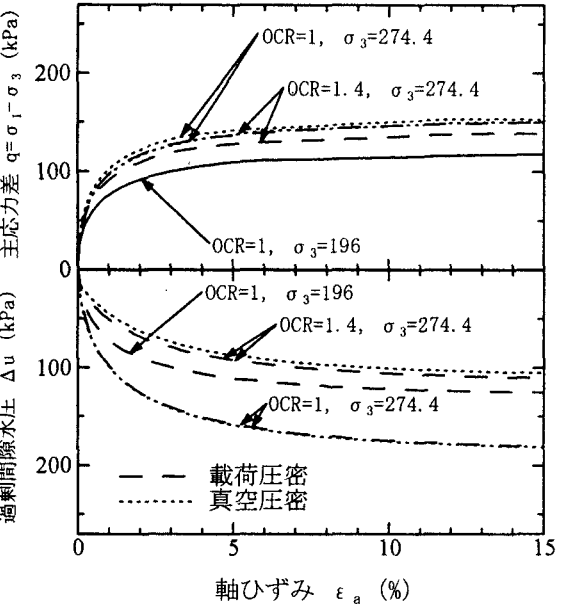


図-4 主応力差・過剰間隙水圧と軸ひずみの関係

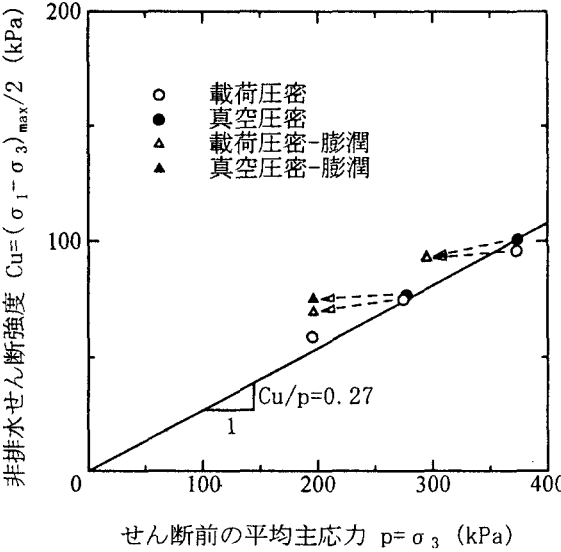


図-5 正規圧密および過圧密状態における強度増加