

粘土の長期真空圧密・三軸圧縮試験

信州大学大学院 学○鈴木俊介
信州大学工学部 正 梅崎健夫 正 河村 隆

1.はじめに 地盤改良工法の一つに真空圧密工法¹⁾がある。本工法は真空ポンプを用いて地盤内の圧力を低下させるものであり、達成できる最大の真空圧は地表面付近において-78.4kPa 程度であり、この場合、深度約 8m までの部分の間隙水圧が負圧となる¹⁾。不攪乱試料を用いて真空圧密を行う場合、圧密時間が長時間におよぶため、真空を長時間負荷することになる²⁾。本文は、NSF 粘土を用いて真空を長時間負荷した長期真空圧密・三軸圧縮試験の妥当性について検討した。さらに、長期真空圧密特性およびせん断特性についても考察した。

2.試験方法 谷村ら^{2) 3)}は間隙水圧が負圧まで低下する真空圧密を実施するためには、二重セル型の不飽和土用三軸試験機（内セル水には脱気水を使用し、体積変化は内セル水の水位変化を差圧計により測定し、間隙水圧はセラミックディスク（AEV=274.4kPa、直径 4cm）を介して測定する。）を用いることを提案している。試料は NSF 粘土（ $G_s=2.756$, $w_L=61.1\%$, $I_P=27.4$ ）である。純水を加えて含水比 120%に練り返し、鉛直圧密圧力 $\sigma_v=98\text{kPa}$ で 7 日間一次元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① $p_0=196$ および②294kPa の二種類の圧密圧力で先行圧密した後 $\Delta p=78.4\text{kPa}$ 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の二種類の圧密方法を周面排水により実施した。圧密時間は、軸ひずみに対する 3t 法により判定した一次圧密の終了時間および 24 時間の二種類とした。所定の時間圧密した後、0.07%/min の軸ひずみ速度で非排水せん断を行う計 8 ケースの試験を実施した。試験後直ちに供試体の含水比分布も測定した。なお、載荷キャップに設置したポーラスストーン（直径 0.5cm）を介した間隙水圧も同時に測定した。

3.試験結果および考察 図-1 に圧密過程における過剰間隙水圧比・体積ひずみ・軸ひずみの経時変化を示す。一次圧密の終了時間は圧密方法に依らず 3t=80~120 分であった。また、24 時間の圧密時間は、3t 時間の 7~9 倍の 20t~28t に相当する。図-1(a)~(c)より一次圧密と同様、真空圧密と載荷圧密の二次圧密挙動はほぼ一致し、二次圧密係数 ($C_\alpha=\Delta e/\Delta \log t$) 0.009 を得た。軸ひずみと体積ひずみは 1 対 3 となっており、等方応力状態を満たしている。差圧計を用いた体積ひずみの測定と比較するため、従来のビューレットの測定も行ったが、真空圧密において管路中に気泡が発生し、時間の経過とともに発生した気泡がさらに膨張したため、正確に測定できなかった。したがって、差圧計を用いて体積変化を測定することが有

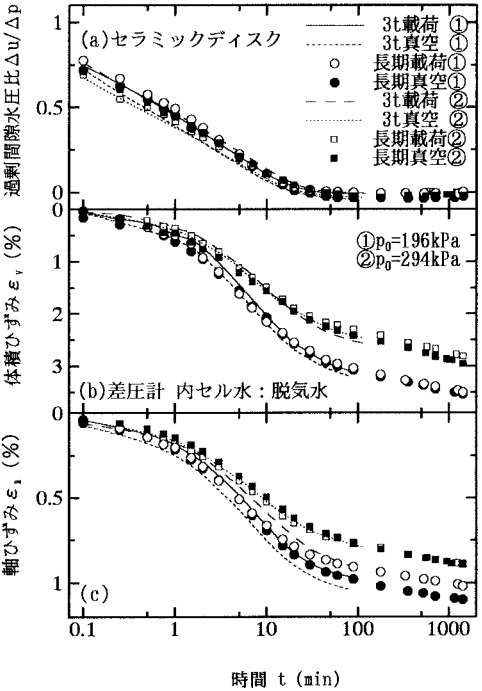


図-1 過剰間隙水圧比・体積ひずみ・軸ひずみの経時変化

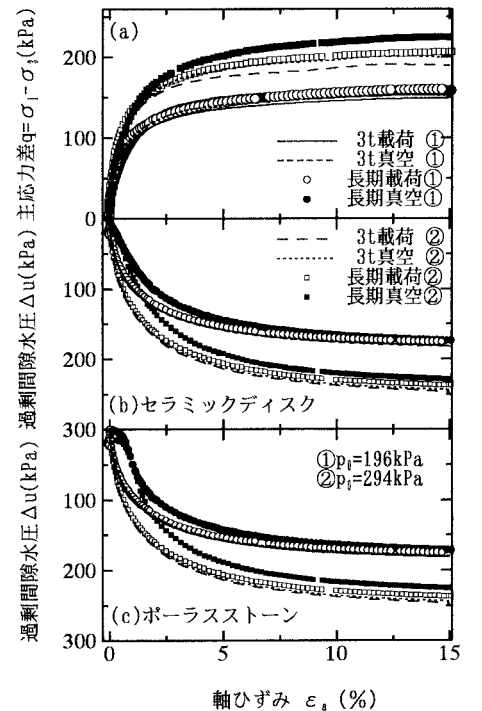


図-2 主応力差・過剰間隙水圧・軸ひずみ関係

効である。

図-2(a)・(c)に主応力差および過剰間隙水圧と軸ひずみの関係を示す。図-2 (a), (b)より長期载荷および長期真空圧密を受けた粘土において、二次圧密による強度増加が生じている。つまり、過剰間隙水圧が一次圧密の場合よりも小さく、主応力差が大きくなる擬似過圧密のせん断特性が見られる。図-2(c)のポーラスストーンでは、長期真空圧密を受けた場合、せん断初期の過剰間隙水圧が測定されていない。一方、図-2(b)に示すようにセラミックディスクを用いると過剰間隙水圧を測定できる。

図-3(a), (b)にせん断過程における有効応力経路を示す。主応力差最大時を破壊と定義する。図-3(a)よりセラミックディスクを用いた場合、真空圧密・载荷圧密ともに正規圧密状態の破壊線上($M=1.04$)に至る。長期真空圧密の方が長期载荷圧密よりも強度が大きい。これは、長期真空圧密時に生じる気泡に間隙水が流入し非排水状態を完全に満たしていないためであると考えられる。また、せん断中に管路の気泡が小さくなっていくを確認している。図-3 (b)においてポーラスストーンを用いると、せん断初期には過剰間隙水圧がほとんど測定されないため、このときの有効応力経路は排水せん断の有効応力経路($p': q=1:3$)とほぼ等しい。その後、管路の気泡が間隙水で満たされると過剰間隙水圧が測定され、他の試験結果に近づく。

図-4 に破壊時の主応力差 q_f と試験後の含水比 w_f の関係を示す。図中の直線は、飽和度 $S_r=100\%$ のときの破壊線(傾き $\alpha=(C_c \cdot S_r/G_s)=17.41$)である。真空圧密を長時間受けた場合においては、明らかに含水比の低下が認められる。また、すべての試験結果が飽和度 $S_r=100\%$ で計算した破壊線付近にあることより、供試体はほぼ飽和状態であるといえる。谷村ら²⁾は3t時間で圧密を打ち切った载荷圧密と真空圧密の強度は、ほぼ一致することを示している。しかし、長期真空圧密の強度の方が、長期载荷の強度よりも大きくなっている。これは、長期真空圧密時に生じる気泡に間隙水が流入し非排水状態を完全に満たしていないため、せん断中に含水比が低下するためであると考えられる。

4. まとめ 一連の検討から以下に示す主な結論が得られた。①長期真空圧密の場合でも、体積変化を内セル水の水位変化を差圧計を用いて計測することができる。長期真空圧密と長期载荷圧密の体積変化は等しい。②セラミックディスクを用いると長期真空圧密においても、間隙水圧を正確に計測できる。③せん断過程においてセラミックディスクを用いても、長期真空圧密の有効応力経路は異なり、強度は大きくなるが、強度定数は等しい。④長期真空圧密過程において管路内に気泡が生じ、せん断過程において完全な非排水条件が満たされないため、強度が増加する。⑤長期真空圧密・三軸圧縮試験は難しく、さらに検討が必要である。

【参考文献】1)梅崎ら：軟弱地盤改良における真空圧密工法の適用性，第44回地盤工学シンポジウム，pp.217-222，1999。
2)谷村ら：三軸圧縮試験における不攪乱海成粘土の真空圧密・非排水せん断特性，第35回地盤工学研究発表会，pp.547-548，2000。3)谷村ら：等方応力状態における粘土の真空圧密挙動，第34回地盤工学研究発表会，pp.495-496，1999。

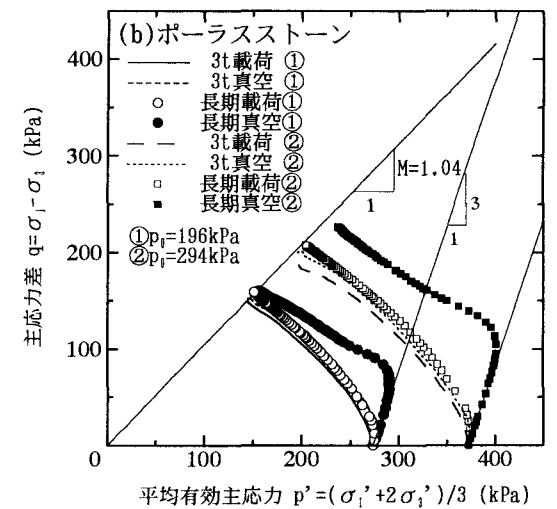
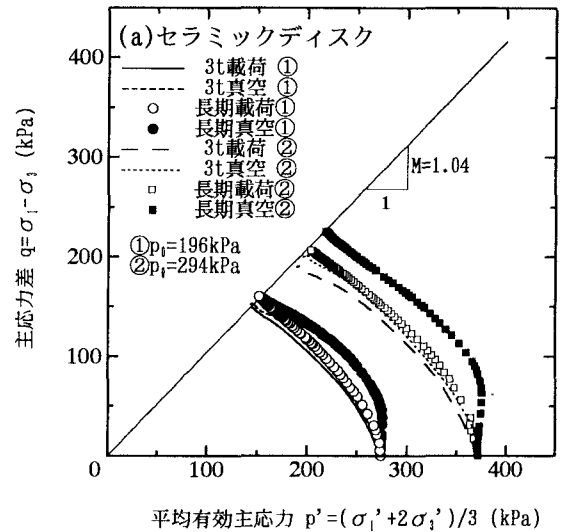


図-3 有効応力経路

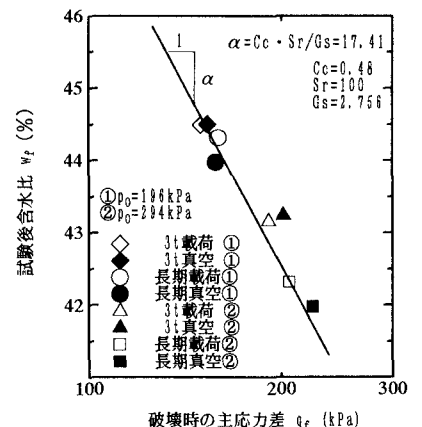


図-4 破壊時の主応力差と試験後含水比の関係