

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がある¹⁾。本工法による最大の真空圧は-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は負圧（大気圧以下）となり、それ以深の部分では間隙水圧が正圧のままで低下する¹⁾。これまでに三軸圧縮試験機による真空圧密試験方法を提案するとともに、等方応力状態における飽和粘土の真空圧密・非排水せん断特性を明らかにしてきた^{2), 3)}。しかし、一般に自然地盤の堆積過程は一次元的であり、初期状態は K₀ 応力状態である。したがって、地盤要素の変形および強度特性も異方的である場合が多い。

本文では、K₀ 応力状態における飽和粘土に真空圧密を行い、真空圧密挙動とその後の非排水せん断特性について文献 3) の結果と比較・検討した。

2. 試験方法 間隙水圧が負圧まで低下する真空圧密試験を実施するためには、二重セル型三軸試験機（内セル水には脱気水を使用、体積変化は内セル水の水位変化を差圧計により測定、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）を用いることを提案している^{2), 3)}。NSF 粘土（G_s=2.756, w_L=61.1%, I_p=27.4）を鉛直圧密圧力 $\sigma_{v0}'=98\text{kPa}$ で一次元的に予圧密し、直径 5cm 高さ 10cm に成形した。供試体と管路を二重負圧で 3 時間脱気した後、背圧 196kPa を 20 時間载荷した。まず、圧密前 B 値を測定したのち、軸ひずみ速度一定で側方ひずみ $\varepsilon_r \leq \pm 0.05\%$ となるように側圧を手動制御した。有効鉛直応力 $\sigma_{v0}'=196\text{kPa}$ まで K₀ 圧密（K₀=0.57）を行い、全応力 σ_{v0} で 1 時間放置し過剰間隙水圧を消散させ初期状態（K₀ 応力状態）とした。その後、 $\Delta p=78.4\text{kPa}$ だけセル圧を増加させる通常の「载荷圧密」と、セル圧を一定に保ち背圧を $\Delta p=78.4\text{kPa}$ だけ減少させる「真空圧密（ $u>0$ ）」、背圧を 0 kPa まで解除し、-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（ $u<0$ ）」の 3 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および体積ひずみに対する 3t 法を用いた。圧密後、0.08%/min の軸ひずみ速度で非排水せん断を行った。試験後直ちに供試体の含水比分布も測定した。なお、比較のため初期圧密圧力 $p_0=196\text{kPa}$ で等方圧密した初期状態（等方応力状態）に対する同様の試験も実施した³⁾。

3. 試験結果および考察 図-1(a)~(d)に圧密過程における間隙水圧（ u ）、過剰間隙水圧比（ $\Delta u / \Delta p$ ）、軸ひずみ（ ε_a ）、側方ひずみ（ ε_r ）の経時変化を示す。応力状態および圧密方法によらず圧密時間は $3t=75\sim 90$ 分であった。(a)より圧密方法の違いから u の値は異なるが、時間の経過とともにそれぞれの背圧に収束する。(b)より $\Delta u / \Delta p$ の経時変化はすべての試験でほぼ一致しており、応力状態および圧密方法による圧密速度の差はない。一方、(c)より等方応力状態では K₀ 応力状態の場合より ε_a は大きい、(d)より ε_r はほぼ等しい。

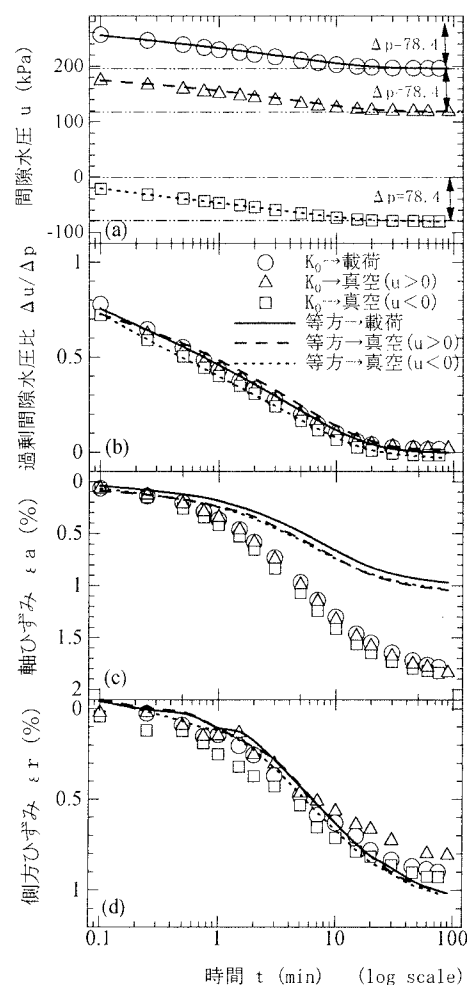


図-1 圧密過程の経時変化

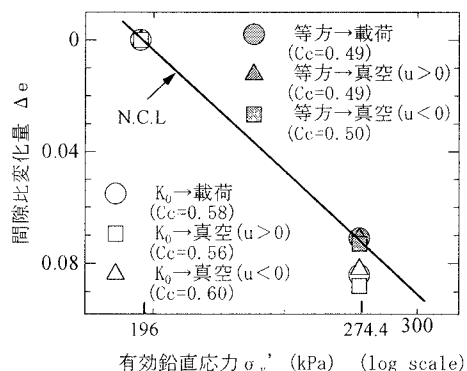


図-2 間隙比変化量と有効鉛直応力の関係

図-2 に間隙比変化量と有効鉛直応力の関係および圧縮指数 C_c を示す。一般に等方応力状態の場合も、標準圧密試験から求めた C_c と一致する。 K_0 応力状態から真空圧密した場合は等方応力状態よりも C_c は大きくなる。このことは、自然堆積地盤に真空圧密工法を行うと圧密量が大きくなることを示唆している。

図-3(a)～(c)に非排水せん断過程の主応力差($q=\sigma_1-\sigma_3$)、間隙水圧(u) および過剰間隙水圧(Δu)と軸ひずみ(ϵ_a)との関係を示す。(a)より K_0 応力状態はせん断前に q が作用しており、等方応力状態の場合に比べてせん断直後の剛性が大きい。しかし、 q_{max} は圧密方法および応力状態によらずほぼ等しい。一方、(b)より u は背圧の値からそれぞれ増加し、(c)より K_0 応力状態を受けた場合は等方応力状態よりも Δu が小さくなる。 q_{max} 時の間隙水圧係数 $A_r=\Delta u_r/\Delta q_r$ は等方応力状態を受けた場合は 1.17～1.23、 K_0 応力状態を受けた場合には 1.63～1.77 となり応力状態の影響を受けている。

図-4 に圧密から非排水せん断までの有効応力経路を示す。 K_0 圧密時では $K_0=0.57$ の線を辿り、その後の圧密過程では主応力差増分 $\Delta q=0$ で p' 軸と平行となる。非排水せん断時では、 K_0 応力状態を受けた場合は、等方応力状態を受けた場合に比べ Δu が小さいため経路が立ち上がるが、破壊時にはすべての試験がほぼ同じ破壊線 ($M=1.04$, $\phi'=26.4^\circ$, $c'=0$) にいたる。セラミックディスクを用いると間隙水圧を精度良く測定することができ、载荷圧密と真空圧密は等しくなる。

図-5 に破壊時の主応力差 q_f と試験後含水比 w_f の関係を示す。図中の 2 つの破壊線は別途求めたものであり、同一の w_f に対して、 K_0 圧密の方が q_f は大きい。 K_0 応力状態から真空圧密した場合の強度は 2 つの破壊線の間に位置する。このことは、真空圧密を受けた地盤内のせん断強度は、一次元圧密された同一の含水比に対する地盤内のせん断強度より小さくなることを示唆している、これは、等方的な真空圧密により発達していた異方的な土の構造が破壊されるためと考えられる。また、試験後の含水比と間隙比から飽和度を計算すると、すべての試験でほぼ 100%であり、真空圧密の場合にも供試体はほぼ飽和状態であるといえる。

4.まとめ 自然堆積地盤に真空圧密工法を施工することを再現した三軸試験結果から得られた結論は以下のとおりである。(1) 载荷圧密と真空圧密の挙動は等しい。(2) K_0 応力状態から真空圧密した場合の方が一次元圧密した場合よりも圧密量は大きくなるが、同一含水比に対するせん断強度は K_0 応力状態から真空圧密した場合の方が小さい。(3) すべての試験で供試体はほぼ飽和状態である。今後は圧密圧力を変えた試験を行い、さらに検討する。

【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：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，pp.112-113，1999. 3)鈴木ら：三軸圧縮試験における粘土の長期真空圧密・非排水せん断特性，土木学会第 56 回年次学術講演会，pp.90-91，2001.

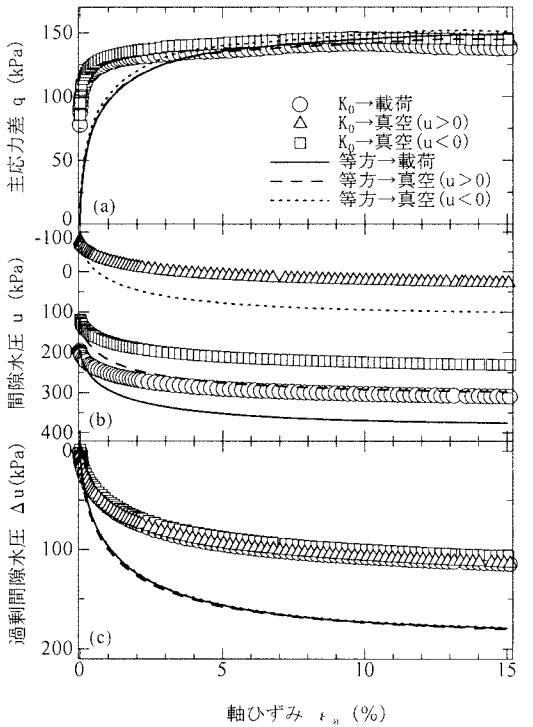


図-3 主応力差・間隙水圧・過剰間隙水圧-軸ひずみ関係

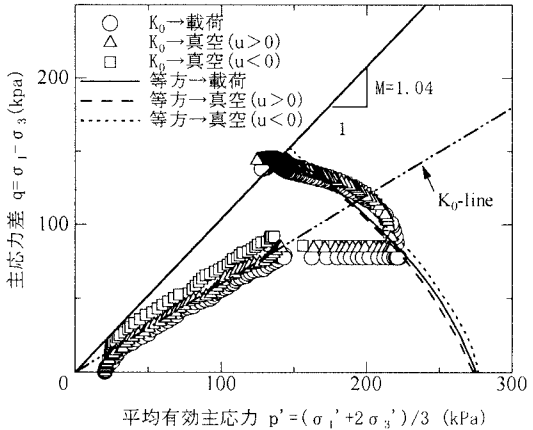


図-4 有効応力経路

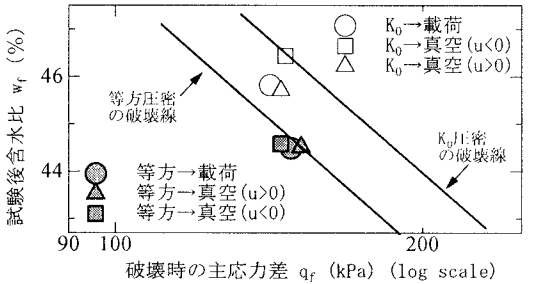


図-5 破壊時の主応力差と試験後含水比の関係