

真空圧密における土圧係数に関する室内試験

佐賀大学 理工学部 学生員 ○川口 勇太郎

佐賀大学 理工学部 正会員 柴 錦春

1. はじめに

真空圧密は有効な軟弱地盤改良法の一つである。真空圧密による地盤の変形特性は載荷圧密と違って、沈下と共に内向きの側方変位が生じる。この側方変位によって、改良領域周辺にクラックが発生し、周辺地盤に影響を与えるので、設計の段階で側方変位を予測することが必要となる。柴ら¹⁾は真空圧密による地盤の内向きの側方変位の計算法を提案したが、必要なパラメータの一つは地盤中の土圧係数である。本研究では、再圧密した有明粘土と有明粘土・砂の混合試料を用いて、室内真空・載荷圧密試験を行って沈下量と試料に作用する水平土圧係数の変化を測定・検討した。

2. 試験装置・試料と試験方法

試験は層別圧密試験機を用いて行った。この装置の圧密セル壁の中間に水平土圧計、底面に過剰間隙水圧計を設定し、真空圧も加えることができる。試料の直径は 60mm、高さ 20mm である。使用した土は有明粘土（液性限界 $w_L=116\%$ 、塑性限界 $w_P=57.5\%$ ）と、有明粘土と砂（2mmふるい通過）の乾燥重量混合比 1:1 の混合土である。

試験方法について、まず、試料の液性限界より高い含水比でよく攪拌したスラリーを真空圧 100kPa で脱気する。脱気されたスラリーを直径 60mm、高さ 60mm のモールドに入れ、20kPa の荷重で両面排水条件で再圧密試料を作成する。圧密期間は 24 時間である。その後再圧密試料を高さ 20mm にカットし、圧密試験の試料になる。

表-1 試験ケース

次に真空圧密における試料中の初期垂直有効応力 (σ'_{v0}) の影響を検討するために、所定の σ'_{v0} で初期圧密を両面排水で 12 時間行う。初期圧密終了後、初期圧密応力を維持しているまま真空・載荷の応力増分 (80kPa) を加えて、本試験の真空・載荷圧密を行う。ただし、本試験は片面排水条件で行う。試験したケースを表-1 に示す。

試料	初期圧密荷重 σ'_{v0} (kPa)	本試験荷重増分 (kPa)	
		載荷圧密	真空圧密
有明粘土 ²⁾	0、40、80、120	80	-80
混合試料	0、40	80	-80

3. 試験結果

①沈下量 図-1 に有明粘土試料の真空・載荷圧密の沈下量を比較している。 $\sigma'_{v0}=80\text{kPa}$ の沈下量の測定に問題があったので含まなかった。また本試験終了時の載荷・真空圧密の沈下量を S_L 、 S_V として、その比を最終沈下量比 (S_L/S_V) として図-2 に示す。試験したケースで $S_V < S_L$ になっている。また σ'_{v0} の増加に伴って S_V と S_L の差は小さくなることを示している。真空圧は試料に等方圧密応力増分を与え、試料が等方変形の傾向があり、その圧密沈下量は載荷圧密のものより小さい傾向がある。柴ら¹⁾は真空圧のみは試料の静止状態(側方変位ゼロ)を維持する水平土圧より大きければ内向きの側方変位が発生する。そうでなければ、真空圧密の沈下量は載荷圧密のものと同じになる。 σ'_{v0} の増加によって、真空圧のみは試料の側方変形ゼロ状態を維持する土圧より小さくなり、試料の変形は一次的になると報告している。試験結果はこの結論をサポートしている。

$$\Delta u = \left\{ 1 - \frac{H_0^2}{4(H_0 - \Delta H)^2} \right\} \Delta u_b \quad (1)$$

ここで H_0 : 初期の試料の高さ、 ΔH : 沈下量

Δu_b : 測定した試料底部の過剰間隙水圧

②土圧係数 試料に与えた水平土圧の変化は試料に内向きの側方変位があるかどうかの直接指標である。土圧係数の算出において試料中の過剰間隙水圧の分布を放物線と仮定する。土圧計中心位置における間隙水圧 Δu は式-(1)で求めた。これを用いて載荷・真空圧密における土圧計位置の有効垂直応力、水平応力を求め土圧係数 (K) は式-(2)で計算した。有明粘土試料の圧密過程の K の

$$K = \frac{(\sigma'_{h0} + \Delta\sigma'_h)}{(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v)} \quad (2)$$

ここで σ'_{h0} : 初期水平応力、 σ'_{v0} : 初期垂直応力

$\Delta\sigma'_h$: 水平応力増分、 $\Delta\sigma'_v$: 垂直応力増分

変化を図-3に示す。マイナス値は、試料とリング間に隙間が生じたことを意味する。載荷・真空圧密は共に圧密の進行に伴って、 K が減少していくことを示している。載荷の場合は最終的な K が σ'_{v0} の影響を受けないのに対し、真空圧密の場合は σ'_{v0} が大きくなるにつれ K が増加し、ゼロに近づく傾向を示した。 K と σ'_{v0} の関係を図-4に示す。

$$\Delta\sigma_{vac} > \frac{K_0 \cdot \sigma'_{v0}}{1 - K_0} \quad (3)$$

ここで K_0 : 静止土圧係数
 σ'_{v0} : 初期垂直応力
 $\Delta\sigma_{vac}$: 真空圧増分

4. ディスカッション

正規圧密試料の静止土圧係数 K_0 は $K_0 = 1 - \sin\phi'$ (ϕ' : 内部摩擦角)で計算できる。混合試料の ϕ' は粘土試料に比べ大きいと考えられる。また試料の ϕ' は $30 \sim 35^\circ$ と仮定すれば $K_0 = 0.43 \sim 0.5$ で計算される。測定した載荷の場合の K は $0.25 \sim 0.3$ で小さすぎると考えられる。その理由として(1)試料・リング間の摩擦力の影響、(2)土圧計の位置の局部応力集中と挙げられる。土圧計は直径10mmの円板形で、リングの円弧形と完璧に一致していないので、その位置で局部の応力変化が発生する。柴ら¹⁾は真空圧密の場合、地盤中に側方変位を発生する条件が式(3)のように提案された。この式により $K_0 = 0.5(\phi' = 30^\circ)$ 、 $0.43(\phi' = 35^\circ)$ の場合、側方変位の発生条件はそれぞれ真空圧密増分 $\Delta\sigma_{vac} > \sigma'_{v0}$ 、 $\Delta\sigma_{vac} > 0.75\sigma'_{v0}$ になる。試験した $\Delta\sigma_{vac}$ は80kPaなので $\sigma'_{v0} > 80\text{kPa}$ と $\sigma'_{v0} > 106\text{kPa}$ であれば真空圧密で側方変位が発生せず、 K 値は0より大きいと推測できる。試験結果(図-4)より再圧密した有明粘土の場合、 $\sigma'_{v0} = 80\text{kPa}$ でも K 値は0より小さかった。はっきりとした原因は分からないが、土圧計とリング形状の不整合によると推測する。

5. まとめ

室内載荷・真空圧密試験の結果の比較によって、真空圧密における試料の土圧係数(K)の変化を検討した。①試験したケースで真空圧密の K がすべてマイナスになった。これは試料の内向きの変形で試料・圧密リング間に隙間が発生した直接的な証拠である。②一定の真空圧(本研究で80kPa)で試料中の初期有効応力(σ'_{v0})の増加により K 値はゼロに近づき、真空圧密の試料の変形は一次元的になる。

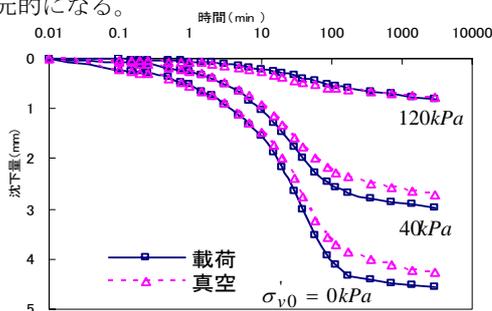


図-1 沈下量比較

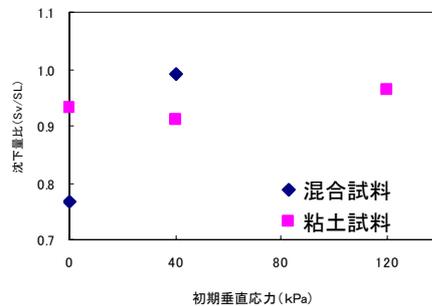


図-2 最終沈下量比

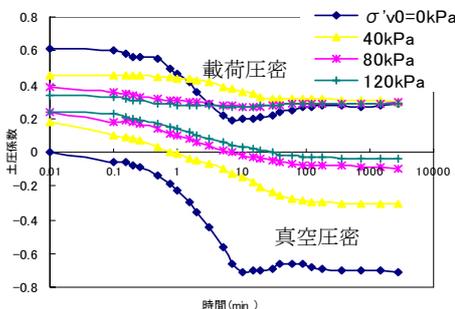


図-3 土圧係数比較

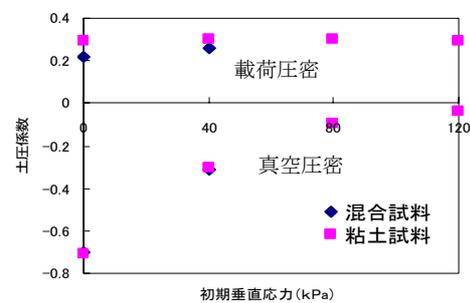


図-4 最終土圧係数比較

参考文献

1) Chai, J.-C., Carter, J.P. and Hayashi, S. (2005). Ground deformation induced by vacuum consolidation, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, vol.131,NO.12, pp.1552-1561
 2) 山口俊央 (2006) .真空圧密における土圧係数に関する研究, 佐賀大学理工学部都市工学科 卒業論文