

オドメーターにおける真空圧・載荷荷重組合せによる粘性土の圧密変形特性

佐賀大学 理工学部 学生員 ○横山 和久

佐賀大学 理工学部 斎藤 昭則

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¹⁾。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、設計の段階で地盤の変形量（沈下、側方変位）を予測することが必要となる。本研究はオドメーター条件における室内真空・載荷荷重を組合せた圧密試験を

表 1 試験したケース

ケース	真空圧 p_{vac} (kPa)	載荷荷重 p_L (kPa)
1	-80	80(30 分毎に 20kPa)
2	-80	80(30 分毎に 10kPa)
3	-80	80(15 分毎に 10kPa)
4	-80	80(10 分毎に 10kPa)
5	-80	80(真空圧を加えた 10 分後 15 分毎に 10kPa)
6	-80	100(同上)
7	-80	120(同上)
8	-80	80(即時) ²⁾

を行い、試料の沈下量、土圧係数の変化を測定し、その比較・検討によって試料の圧密変形特性における真空圧と載荷荷重の割合と載荷速度の影響を明らかにする。

2. 圧密試験

試験は層別圧密試験機を用いて行った。この装置は真空圧を加えることができ、試料に作用する水平土圧、底部の過剰間隙水圧を測定できる。供試体の直径は 60mm、高さ 20mm である。使用した土は有明粘土（液性限 $w_L=120.5\%$ 、塑性限界 $w_p=60.3\%$ ）であった。試験方法について、まず、有明粘土を攪拌し、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製する。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、圧密試験の供試体になる。次に真空圧・80kPa をかけ、80~120kPa の載荷荷重を段階的に加えて、圧密試験を行う。測定項目は供試体の沈下量、底部の水圧(u_b)及び側面の土圧(全応力)である。試験したケースを表 1 にまとめている。

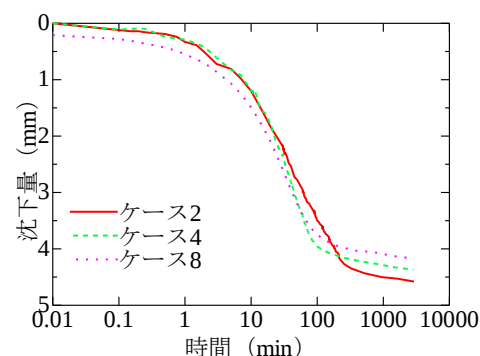


図 1 沈下量の変化

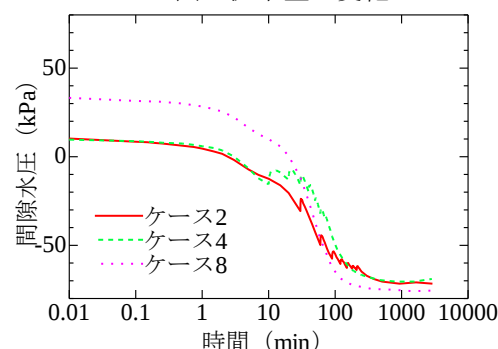


図 2 過剰間隙水圧の変化

3. 試験結果及び考察

載荷荷重 (p_L) (盛土等) は地盤の沈下と外向きの側方変位を引起す。一方、真空圧 (p_{vac}) によって地盤の沈下と内向きの変形が発生する。都市部で隣接施工の場合、地盤の側方変位量を抑制する技術が求められる。概念的に載荷荷重と真空圧の組合せによって、地盤の側方変位を抑制することが可能である。

(a) 載荷速度の影響。図 1 に p_L の載荷速度が異なるケースの沈下量を比較している。ケース 8(即時載荷)試験結果は川口²⁾によるものである。即時載荷の沈下速度が速かったが、試験した p_L の段階載荷の各ケースの沈下曲線について明確な差が見られない。しかし、図-2 と 3 にそれぞれ示している過剰間隙水圧 u_b (供試体底部) と土圧係数 (K) の変化に影響が及んでいる。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³⁾し、土圧計中心位置における間隙水圧を求め、これを用いて載荷・真空圧密における土圧計位置の水平方向の有効応力（リングの拘束による部分）を求めた。そして土圧係数 (K) は式(1)で計算した。

$$K = \frac{(\sigma'_{h0} + \Delta\sigma'_h)}{(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v)} \quad (1)$$

ここで σ'_{h0} 、 σ'_{v0} ：初期水平、垂直有効応力、 $\Delta\sigma'_h$ 、 $\Delta\sigma'_v$ ：水平、垂直応力増分である。式(1)で定義している土圧係数(K)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。供試体と圧密リング間に隙間が生じたら、土圧計の測定値は真空圧（マイナス）になり、ここでこのマイナス圧力を負のリングからの拘束圧と扱い、 K 値はマイナスになる。つまり、マイナス K 値は供試体とリング間に隙間が出た指標になる。図2、3に示すように、載荷速度の増加に伴って u_b 値、圧密過程の K 値が増加した。しかし最終 K 値にあまり影響がなかった。 K 値は静止土圧係数(K_0)より大きければ地盤中外向きの側方変位が発生、 K_0 値より小さければ内向きの側方変位が生じる。正規圧密された有明粘土の K_0 値を 0.5 ($K_0=1-\sin\phi'$ 、 $\phi'=30^\circ$)と仮定すると図3に示すように、即時載荷の場合、圧密の初期段階で $K > K_0$ 、段階載荷の場合、 K 値の大部分は K_0 より小さい。同じ条件を現場に適用すれば、即時載荷の場合、外向きの側方変位が発生する可能性があるが、段階載荷の場合、内向きの変位が発生し、載荷速度が速いケースの内向き変位量が小さいと考える。

(b)真空圧と載荷荷重の割合 (p_L/p_{vac}) の影響。真空圧・80kPa をかけて 10 分間圧密した後、15 分毎に 10kPa 載荷荷重を加え、最終的に載荷荷重(p_L)を 80、100、120kPa になる 3 ケース(ケース 5, 6, 7)の K 値は図4に示している。この場合 p_L の増加によって最終 K 値も増加した。また、 $p_L=100$ kPa と 120kPa の K 値はゼロより大きく、供試体とリング間に隙間が発生しなかったと考える。川口²⁾は真空圧密のみの最終 K 値に供試体に与えた初期垂直有効応力 σ'_{v0} の影響を検討し、 $p_{vac}=-80$ kPa に対し σ'_{v0} は 100kPa 以上であれば、 K 値はゼロより大きくなる結果が報告された。川口²⁾のデータと本研究の結果を K と $(p_L + \sigma'_{v0})/p_{vac}$ の関係で、整理したものを図5に示す。図5から供試体に作用する最終 K 値は $(p_L + \sigma'_{v0})/p_{vac}$ の値で決まることが分かる。

4. まとめ

オドメーターにおける真空圧 (p_{vac}) と載荷荷重 (p_L) の組合せの圧密試験を行い、その結果の比較・検討により以下のことが分かった。(a)載荷荷重の載荷速度は圧密過程の供試体に作用する土圧係数 (K) に影響を及ぼし、速度が速いほど K 値が大きい。(b)供試体の初期垂直有効応力を σ'_{v0} とし、 $(p_L + \sigma'_{v0})/p_{vac}$ 値は供試体に作用する最終 K 値を左右する。 $(p_L + \sigma'_{v0})/p_{vac}$ 値が大きいほど K 値が大きい。(c) p_L の載荷速度、 p_L/p_{vac} 値の調整によって地盤の側方変位を抑制することが可能である。

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) 川口勇太郎 (2009) .真空圧密における地盤の変形特性に関する研究,佐賀大学大学院工学研究科都市工学専攻修士論文
- 3) 日本工業標準調査会 (2000) 日本工業規格「土の定ひずみ速度載荷に圧密試験方法」(JIS 1227)

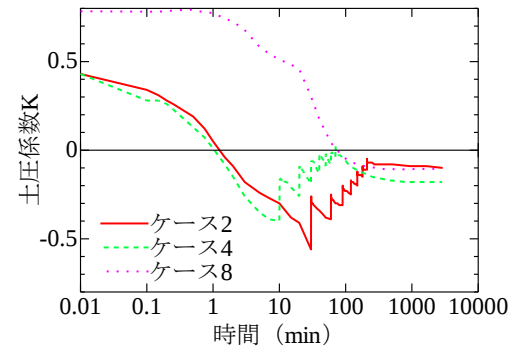


図3 K 値における載荷速度の影響

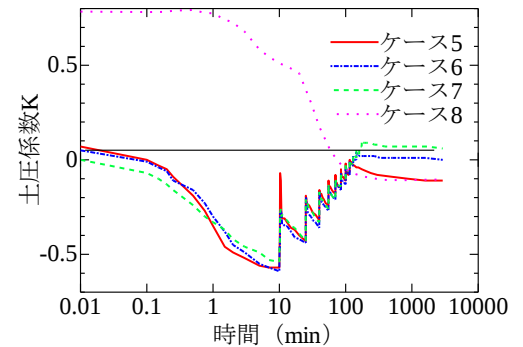


図4 K 値における p_L/p_{vac} の影響

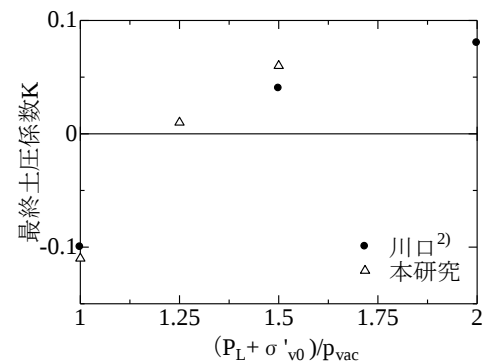


図5 最終 K 値における載荷荷重と真空圧の割合の影響