

真空圧密要素実験における負圧伝播過程の解析

五洋建設(株) 正 新舎 博 正 熊谷隆宏
五洋建設(株) 正 堤 彩人

1. はじめに

真空圧密の現場圧密管理方法としては、地盤の沈下挙動から平均圧密度を推定する方法が一般的であるが、粘土層内に埋設した間隙水圧計の負圧挙動を利用する方法も実施されている。しかしながら、粘土層内の間隙水圧挙動は負圧作用場所(通常、PVD)からの距離によって相違し、かつ沈下と応力の関係が非線形であるため、単純に負圧の測定値を平均圧密度に換算することはできない。すなわち、間隙水圧のデータを有用するためには、沈下とその地点での間隙水圧の両者について、実測と解析との整合性を図り、解析結果から平均圧密度を推定する必要がある。本文では、室内で実施した真空圧密要素実験と FEM 圧密解析の負圧の伝播過程を比較し、FEM 圧密解析の適用性について考察した。

2. 真空圧密要素実験¹⁾

使用した粘土は東京港有明粘土であり、その物理特性と段階載荷圧密試験で求めた圧密定数を表1に示す。

2.1 実験方法

圧密実験の供試体は直径10cm×高さ10cmであり、圧密容器内に含水比を110%に調整した粘土を入れ、容器上部にメンブレンを被せて密封した。メンブレンは折り重ね部を多く設けて、沈下に追従するように配慮した。実験は-80kN/m²の負圧を与えたものと、80kN/m²の正圧(背圧は50kN/m²)を与えたものの2ケースを実施した。正圧実験の場合は、図1の圧密容器を三軸セル内に入れて実験した。間隙水圧計(直径6mm×厚さ3mm)は容器側面に開けた穴から2.5cmの高さ毎に差し込み、穴はゴム栓で密封した。

2.2 実験結果

時間～沈下曲線を図2、および間隙水圧挙動を図3に示す。負圧と正圧の場合の沈下曲線はほぼ同一であり、沈下量は約3cmであった。間隙水圧挙動を見ると、負圧および正圧の場合の挙動は類似しており、負圧面あるいは排水面(正圧の場合)である砂層面からの距離の増加とともに、負圧の伝播あるいは間隙水圧(正圧の場合)の消散が遅れていることがわかる。また、負圧の場合で、間隙水圧が約-60kN/m²に達した後の間隙水圧挙動を見ると、負圧が増加するのではなく、逆に減少している。この結果は、粘土層内の微小な気泡が負圧によって膨張した影響であると考えられる。

表1 粘土の土質特性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	粘土分 (%)	シルト分 (%)	砂分 (%)
2.60	83.3	40.1	57.3	34.8	7.9
有効応力 p (kN/m ²)			$e = -0.474 \ln p + 1.604$		
透水係数 k (m/day)			$e = 0.658 \ln k + 7.757$		

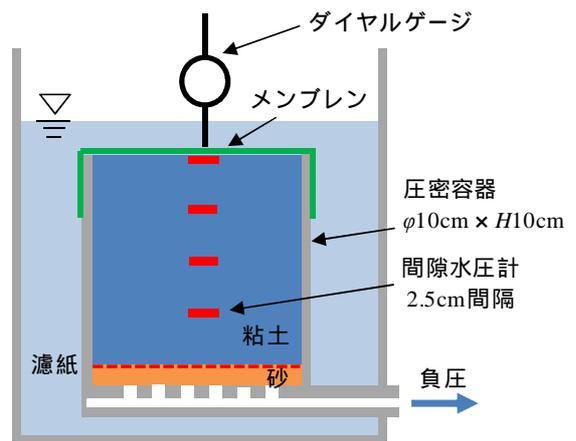


図1 圧密容器

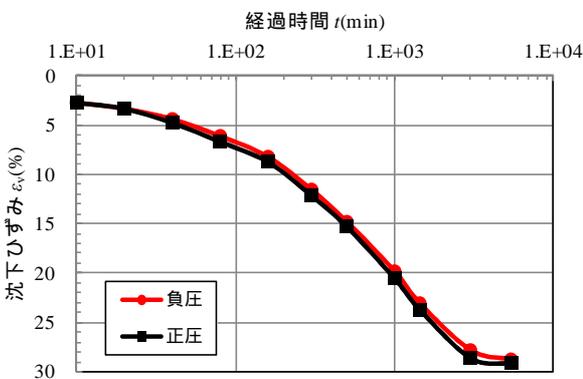


図2 時間～沈下曲線

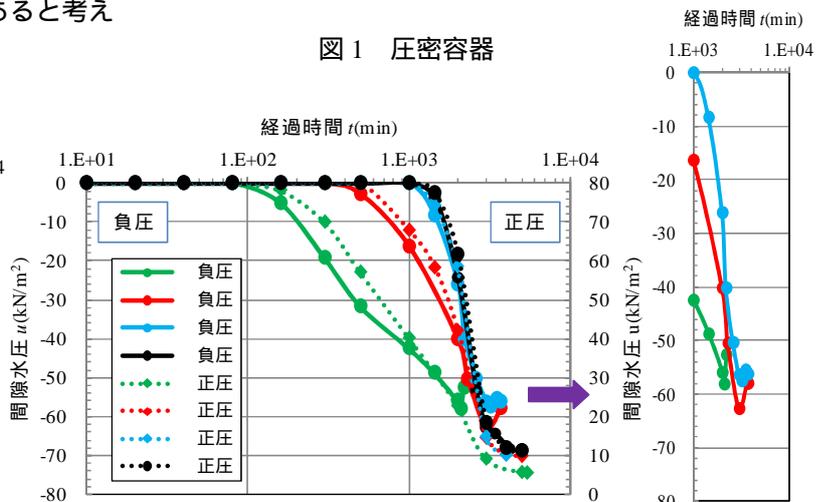


図3 時間～間隙水圧挙動

負圧挙動(拡大)

キーワード：真空圧密、間隙水圧、FEM 解析

連絡先：〒320-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設(株)技術研究所 TEL0287-39-2116

3. FEM 圧密解析

図 1 をモデル化して、一次元の FEM 圧密解析を実施した。入力定数を表 2 に示す。使用したプログラムは「DACSAR」である。

3.1 弾性圧密解析

最初に、弾性圧密解析を実施し、実測と解析の沈下曲線を一致させた。ラメの定数を $\lambda=11.43\text{kN/m}^2$ 、 $\mu=7.62\text{kN/m}^2$ 、および透水係数 k を $2.00 \times 10^{-4}\text{m/day}$ (一定値) とすると、図 4 に示すように、沈下曲線はよく一致した。

その際の間隙水圧挙動を図 5 に示す。実測と解析の間隙水圧挙動はまったく一致しなかった。この理由は、弾性圧密解析では沈下ひずみ ~ 有効応力関係が直線であると設定したためであり、粘土の圧密特性である非線形性(間隙比 e ~ 有効応力 $\ln p$ 関係が直線)が考慮されていないためと考えられる。

3.2 弾塑性圧密解析

そこで、粘土を弾塑性体と設定し、圧密解析を実施した。構成式には修正 Cam Clay モデルを用い、入力定数は表 2 に示す方法²⁾で決定した。すなわち、 λ, M を一定値で固定し、 κ/λ を変化させて、最終沈下量を実測値と一致させた。(なお、三軸圧縮試験は実施していないので、内部摩擦角 ϕ' は 30° と設定した)。一方、透水係数は段階載荷圧密試験で得られた $e \sim \ln k$ 関係をそのまま用いた。時間 ~ 沈下曲線を図 4 に示す。実測と解析の沈下曲線はほぼ一致することがわかる

図 6 に、実測と解析で得られた間隙水圧挙動を示す。解析での間隙水圧は、 \sim の測定地点のすべてにおいて、実測と比較的よく一致することがわかる。この結果、弾塑性 FEM 圧密解析は、沈下および間隙水圧挙動の解析方法として、極めて有効であると考えられる。なお、 \sim と地点の経過時間が 2000 分後において、実測と解析とで隔たりが認められる。このことは、FEM 解析は微小ひずみ条件であり、実測で生じた層厚の変化の影響が考慮されていないためと考えられる。

4. まとめ

直径 10cm x 高さ 10cm の供試体を用いて、粘土層内の負圧の伝播過程を測定し、FEM 圧密解析の結果と比較した。その結果、次の結論を得た。

- (1) 弾性圧密解析において、沈下は一致したが、粘土層内の間隙水圧挙動はまったく一致しなかった。
- (2) 弾塑性圧密解析を実施すると、沈下および間隙水圧挙動とも比較的よく一致した。

現場で、粘土層内の間隙水圧挙動を測定することは有効であるが、間隙水圧挙動から平均圧密度を推定するためには弾塑性圧密解析を実施する必要があると考えられる。

参考文献：1) 渡義治, 新舎博, 林健太郎：プラスチックドレーン材を利用した真空圧密工法に関する実験, 地盤と建設, Vol.2, No.1, pp.33-40, 1984. 2) A. Iizuka and H. Ohta : A determination procedure on input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.-87, 1987.

表 2 FEM 圧密解析の入力定数

解析区別	入力定数		備考
	パラメータ	値	
弾性解析	λ (kN/m ²)	11.43	
	μ (kN/m ²)	7.62	
	k (m/day)	2.00E-04	一定
弾塑性解析	λ	0.474	0.4343 C_c
	A	0.185	$1-\kappa/\lambda$
	M	1.2	$M=6 \sin\phi'/(3-\sin\phi')$
	e_0	2.86	$w_0=110\%$
	D	0.0839	$D=(\lambda-\kappa)M/(1+e_0)$
	k (m/day)	$e=0.658 \ln k + 7.757$	5.64E-04から減少

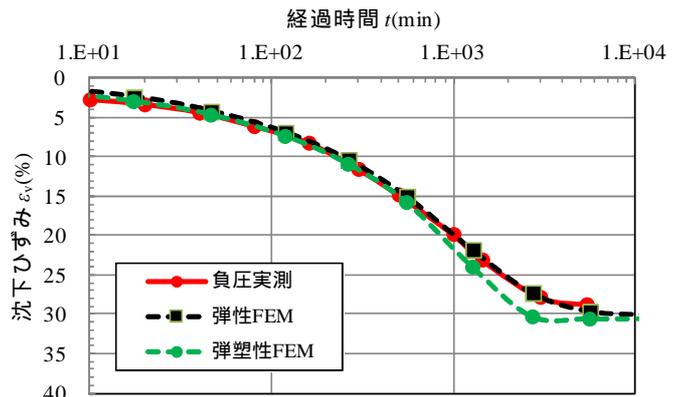


図 4 沈下曲線 (弾性・弾塑性圧密解析)

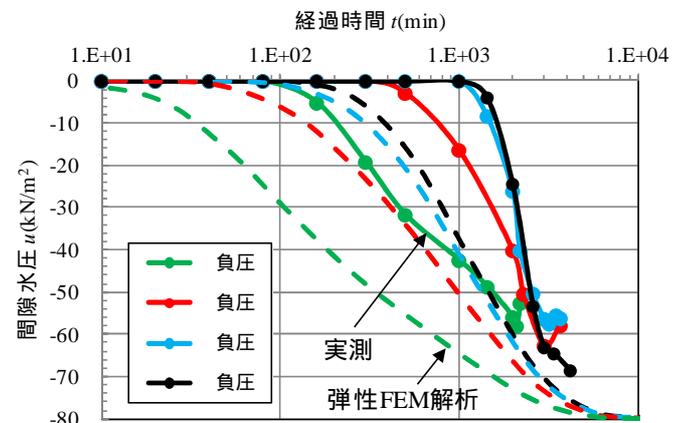


図 5 間隙水圧挙動 (弾性圧密解析)

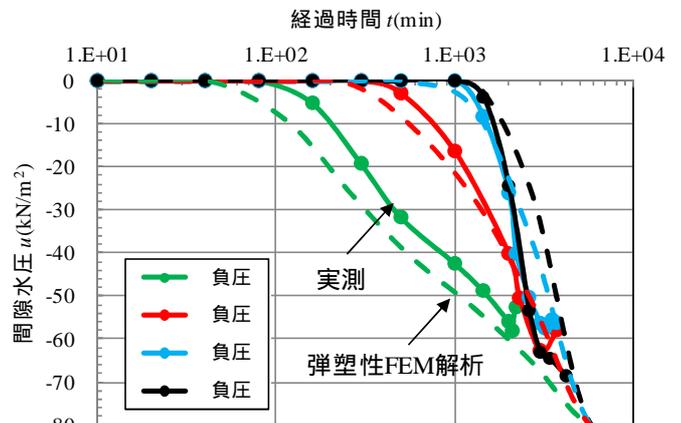


図 6 間隙水圧挙動 (弾塑性圧密解析)