

漸増載荷と二次圧密を考慮した一次元圧密解析

(株) オオバ 正会員 ○飯沼 孝一  
 新日本開発工業 (株) 正会員 赤石 勝  
 東海大学大学院 学生会員 吉富 隆弘  
 東海大学 正会員 杉山 太宏

1. まえがき

一次圧密中から二次圧密が発生すると仮定する二次圧密モデルを利用して、差分法による圧密沈下量時間関係の計算法を検討した。二次圧密に起因する過剰間隙水圧増分への対応を考えるため、それと等価な漸増載荷の計算を行い二次圧密挙動と比較する<sup>1)</sup>。

漸増載荷による最大排水距離の異なる粘土の圧密沈下量時間曲線がアイソタック型になるには、漸増載荷増分が二次圧密で発生する過剰間隙水圧増分と類似なことを示す<sup>2)</sup>。

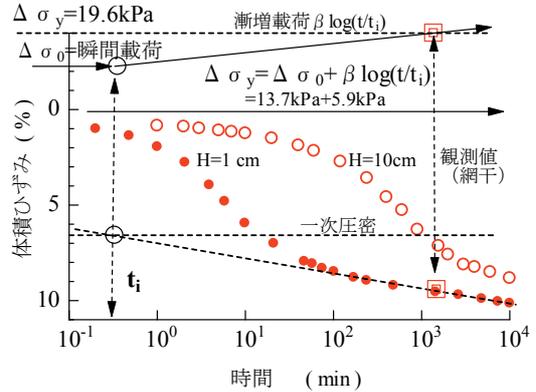


図-1 漸増載荷による圧密曲線

2. 一次元圧密方程式と二次圧密モデル

漸増載荷の一次元圧密方程式が式(1)である。式 (2) に示す圧密速度(=体積ひずみ速度)  $\dot{\epsilon}$  を一次・二次圧密成分の和とし、一次元圧密を支配する連続条件式に代入すれば、瞬間載荷で圧密中載荷重一定の二次圧密を考慮した式(3)が得られる<sup>3)</sup>。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon} = \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial t}\right) = \dot{\epsilon}_p (= -m_p * \dot{u}) + \dot{\epsilon}_s \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v * \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\dot{\epsilon}_s}{m_p} \quad (3)$$

ここに、 $u$ は間隙水圧、 $t$ は時間、 $y$ は圧密層内の位置座標、 $\partial \sigma_y / \partial t$ は載荷速度、 $c_v (= k / (\gamma_w m_v))$ は全圧密量で定義する圧密係数、 $k$ は透水係数、 $\gamma_w$ は水の単位体積重量、 $m_v$ は全圧密量で定義する体積圧縮係数、 $\dot{\epsilon}_p$ と $\dot{\epsilon}_s$ はそれぞれ一次・二次圧密速度、 $m_p$ は一次圧密量で定義される体積圧縮係数である。式(3)右辺第2項は、二次圧密で発生する過剰間隙水圧増分である。

標準圧密試験で観察される二次圧密挙動から、二次圧密量を式(4)で表す。

$$\Delta \epsilon_s = \alpha * \ln(t/t_i) * \Delta \sigma_y' / \Delta \sigma_y \quad (4)$$

ここに、 $\alpha$ は二次圧密係数、 $\Delta \sigma_y' / \Delta \sigma_y$ は圧密中の有効応力増分と載荷重の比で、圧密層内位置 $y$ における圧密度 $U_y$ に相当する。また、 $t_i$ は二次圧密発生開始時間である。この $t_i$ は、時間の対数に対してプロットした圧密量時間曲線の勾配から二次圧密係数 $\alpha$ を求め、二次圧密係数を求めた直線部分の延長線と仮定した一次圧密量の交点として(図-1参照)式(5)から求める。

$$t_i = t_f * \exp(-\Delta \epsilon_{sf} / \alpha) \quad (5)$$

ここに、 $\Delta \epsilon_{sf}$ は標準圧密試験の圧密時間1日後、 $t_f$ の二次圧密量である。

3. 土質定数と計算条件

図-1の観測値は、網干の有名な寸法効果に関する実験結果である<sup>4)</sup>。図-1の赤丸印で示す最大排水距離 $H=1\text{cm}$ の実験結果から計算に用いる土質定数、体積圧縮係数 $m_v = 4.8 * 10^{-3} \text{ 1/kPa}$ 、圧密係数 $c_v = 0.05 \text{ cm}^2/\text{min}$ を求めた。

瞬間載荷の荷重増分を $\Delta \sigma_y = 19.6 \text{ kPa}$ と、漸増載荷では、差分法による二次圧密を考慮した一次元圧密解析と比較するため、式(6)で表す。

キーワード 一次元圧密解析, 二次圧密, 漸増載荷, アイソタック型, 平行移動型

連絡先 〒153-0043 東京都目黒青葉台 4-4-12-101 号 (株)オオバ TEL. 03-3460-0138 E-mail: koichi\_iinuma@k-ohba.co.jp

$$\Delta \sigma_y = \Delta \sigma_0 + \beta * \log(t/t_i) \quad (6)$$

ここに、 $\Delta \sigma_0$ は仮定する一次圧密量に対応する瞬間載荷増分、 $\beta$ は載荷速度定数である。排水面に接する土要素は、載荷直後に一次圧密量が発生する。二次圧密を考慮しない漸増載荷では、瞬間載荷増分 $\Delta \sigma_0$ による圧密量を一次圧密量に等しくする。漸増載荷による圧密量は、時間 $t_i$ 以降の二次圧密量の経時変化に等しくなるよう定数 $\beta = \alpha/m_v$ から計算し、 $\beta = 6.92 * 10^{-3} \text{kPa}$ とした。この報告では、一次元圧密方程式(1), (3)を用い、陽的差分法により圧密量時間関係を計算する。差分法の格子点間格は、最大排水距離を10分割した。

#### 4. 計算結果と考察

##### 4-1 漸増載荷の圧密量時間関係 (H=10cm)

図-2の実線は、H=10 cm 供試体に対する漸増載荷の圧密量時間関係の計算結果であり、計算に用いた土質定数と載荷速度は、図-1のH=1cmと同じである。赤丸印はHの異なる網干の実験結果で、式(1)と式(6)による漸増載荷の圧密量時間関係はアイソタック型になることが分かる。

##### 4-2 瞬間載荷で二次圧密を考慮した圧密量時間関係 (H=10cm)

図-3の実線は、H=10 cm 供試体に対する二次圧密を考慮した瞬間載荷の圧密量時間関係である。計算結果は平行移動型であり、網干の実験結果に近い。二次圧密を考慮した計算では、載荷増分は圧密中一定である。圧密開始時間以降に発生する二次圧密に伴う過剰間隙水圧増分は、圧密層内各点で異なるため、平行移動型の圧密量時間関係が計算されると考えられる。

漸増載荷では、 $t_i$ 時間以降、時間とともに載荷重が増加し、発生する過剰間隙水圧増分は、圧密層内すべての位置に設定される。このことが圧密量時間関係の計算結果に及ぼす影響の違いと考えられる。また、アイソタック型の圧密量時間関係を計算するためには、式(4)と異なる二次圧密モデルが必要と考えられる。

#### 5. むすび

二次圧密を考慮した一次元圧密解析とほぼ同じ計算結果の得られる漸増載荷の一次元圧密解析を実施した。

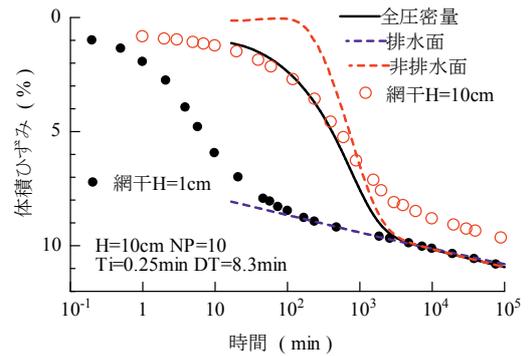


図-2 漸増載荷による圧密曲線

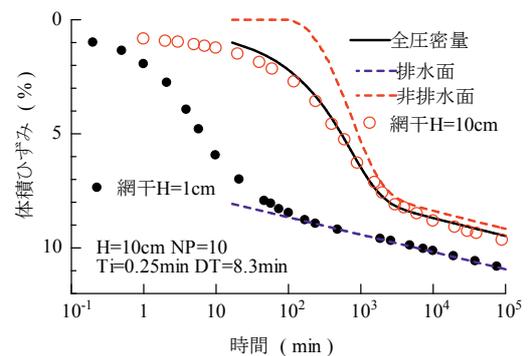


図-3 二次圧密を考慮した瞬間載荷の圧密曲線

二次圧密を考慮した一次元圧密解析は、平行移動型の圧密時間曲線が計算されるのに対し、漸増載荷のそれはアイソタック型になった。今後は、 $H^2$  則に関する仮説の検討に、本報告とは別の二次圧密モデルを用い有限要素法で類似の検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) R.E.Olson : Consolidation under time depending loading, Proc.ASCE,Vol.103, GT1,pp.55-60,1977.
- 2) 飯沼孝一, 杜 磊, 赤石 勝, 杉山 太宏 : 全圧密量中の二次圧密の仮定とひずみの圧密方程式, 東海大学紀要工学部, vol.53, No2, pp.85-90, 2013
- 3) 白子博明, 杉山太宏, 外崎明, 赤石勝 : 一次圧密中に発生する二次圧密の推定, 土木学会論文集 C, Vol. 64, No. 3, pp. 556-570, 2008
- 4) Aboshi, H. : An experimental investigation on the similitude in the consolidation of a soft clay, including the secondary settlement, Proc. 8th ICSMFE, Vol.4, No.3, pp.88-89, 1973