

Ⅲ - A196

Biot の圧密方程式と透水係数の変化を考慮した数値計算例

法政大学 学 板倉 大祐
法政大学 正 草深 守人
三英電業 飯泉 陽平
大林道路 五十嵐孝司

1. まえがき

圧密支配方程式を数値的に解く際に、これまでは圧密の進行過程で透水係数を一定として扱う場合が多かったように思われる。本文では、圧密・透水試験を実施し、圧密の進行過程における透水係数の変化を体積ひずみ（間隙比）と関係付け、これを Biot の圧密支配方程式に適用した計算例について考察した。

2. 圧密・透水試験

粘土の透水係数の変化は、体積圧縮による間隙の減少に加えてせん断変形による粒子配列構造の変化によっても生じるものと思われる。このため、試験装置は、等方および異方圧密が可能な三軸圧縮試験機に透水試験機能を持たせたものを使用した。試料は、CH 級の粘土に含水比が液性限界の 10% 増しとなるように加水し、十分均一に攪拌した後、載荷圧 3.0 kgf/cm² の K 状態で再圧密した土塊から φ50×H20 mm の供試体を切り出したものを用いた。圧密載荷圧は $p = 3.25 \rightarrow 7.25$ kgf/cm² まで等間隔 5 段階載荷とし、各荷重段階毎に圧密終了時の透水試験を実施した。試験結果を透水係数と体積ひずみの関係で整理し、図 1 に示す。

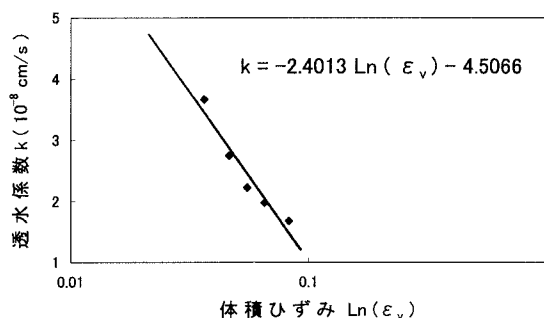


図 1 透水係数と体積ひずみの関係

ただし、この試験結果は、 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = p$ の等方圧密状態に対するものであり、先に述べたせん断変形を含む載荷条件での試験結果は含まれていない。

3. Biot の圧密支配方程式に基づく計算例

本文に示す計算例は、Biot の圧密支配方程式として知られている以下の式(1)と式(2)をガラーキン法により離散化した有限要素法に従っている。

土粒子骨格構造の変形に関する支配方程式は、通常のオイラーの支配方程式に有効応力の概念を取入れることにより次式で与えられている。

$$G \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + (G + \lambda) \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial \phi}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\sigma}_{ij}'}{\partial x_j} + F_i = 0 \quad (1)$$

間隙水の排水に関する支配方程式は、ポテンシャル流れを仮定した浸透流の支配方程式に体積含水率と体積ひずみの関係を考慮して、次式で与えられている。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) - \chi \gamma_w \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

図 2 は、先に述べた圧密透水試験の試験値と計算値を比較したものである。計算値は、透水係数を図 1 に示す関係式に従って変化させた場合と全圧密過程で一定（圧密開始時の最大値と終了時の最小値）とした場合を示している。いずれの計算値も試験値と良く対応しているように思われるが、排水経路が $H/2 = 1.0$ cm と短いことを考えると、透水係数が圧密の進行速度に与える影響はかなり大きいものと思われる。

図 3 は、図 2 と全く同じ粘土が厚さ $H = 5.0$ m で堆積している場合を想定して、載荷時間と沈下量の関係

キーワード：圧密、粘土、透水係数、体積ひずみ、有限要素法

連絡先：〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部土木工学科

を透水係数の違いにより比較したものである。現実に近いこの計算例によれば、例えば、透水係数を一定として扱った場合の圧密度 $U = 70, 80, 90\%$ 圧密に要する時間は、透水係数の変化を考慮した場合と比較してそれぞれおよそ 1.3 倍 (3 ヶ月), 1.4 倍 (6 ヶ月), 1.4 倍 (8 ヶ月) のような大きな差異を生じる結果となる。

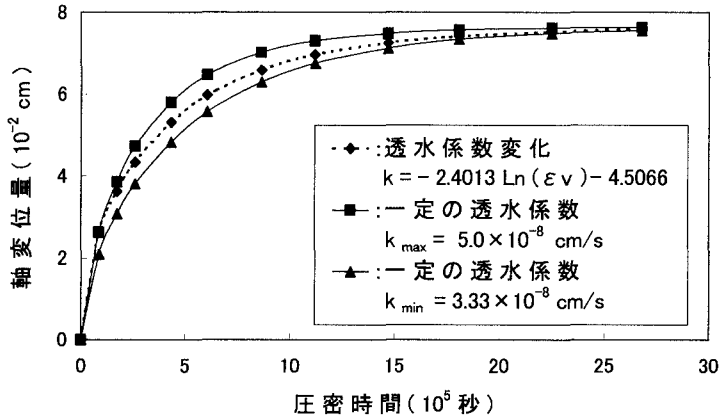


図 2 軸変位量と圧密時間の関係

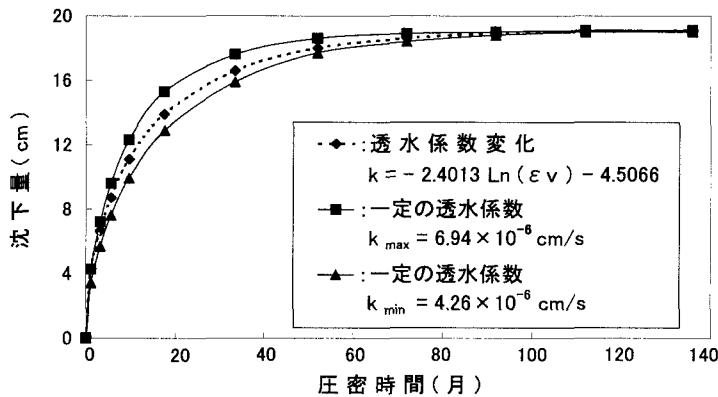


図 3 沈下量と圧密時間の関係

4. あとがき

圧密の進行とともに減少する透水係数を、圧密荷重を維持した状態での透水試験により測定した。本試験での圧密荷重の範囲は、多くの現実の問題で遭遇する荷重よりやや大きく設定されていることから、圧密前後の透水係数は数倍程度の差であった。しかしながら、この程度の差であっても、指定圧密度に達するまでの所要時間の予測には大きな影響を及ぼすであろうことを示唆した。自然状態での初期圧密圧力が本実験のそれに比べてかなり小さい範囲にあるような地表面近くに堆積している軟弱な粘土層では、本実験からも予測出来るように圧密の進行による透水係数の変化はさらに大きく、この変化を圧密解析に考慮する重要性は予想以上に大きいものとする。このことから、今後はさらに低い範囲の圧密荷重に対する透水係数の変化やせん断変形の影響等について検討していく必要がある。

参考文献

- [1] 深田宏, 三隅浩二, 前田吾郎: 等方圧密, 部分排水せん断を被る三軸供試体の透水係数変化の考察, 土木学会第 52 回年次学術講演会, 第Ⅲ部-A165, pp.330-331, 1997.
- [2] 沢田敏男, 鳥山光司: 圧密諸係数に関する一考察, 土と基礎, Vol.13, No.435, pp.19-22, 1965.