

Ⅲ－37

圧密沈下解析のためのオンライン実験システム

東北大学大学院工学研究科 学生員 ○仁藤浩司 権 永哲

東北大学大学院工学研究科 正会員 仙頭紀明 渦岡良介 風間基樹

1 研究の背景と目的

1.1 既往の圧密解析における問題点

粘土の一次元圧密に対する Terzaghi の理論を適用すると、圧密による沈下量や沈下時間を解析的に算定できる。しかしこの理論は、粘土骨格の力学特性が単純なモデルで表されると仮定して展開されたものである。特に圧密中の透水係数(k)、体積圧縮係数(m_v)、層厚が一定であるとする仮定は、実際の粘土においては物理的に認め難い。このため、この理論を用いて算定された結果が実際の現象を十分再現できないこともある。

そこで、この理論適用上の制限を克服するために三笠¹⁾、Gibson^{2),3)}らは、Terzaghi の基本仮定である微小変形の代わりに有限変形理論を用いて圧密支配方程式を導き、圧密中の k 、 m_v などの変化を考慮した非線形有限変形圧密理論を開発し、実際の圧密現象に対して一般化させた。

しかし、非線形な応力－ひずみ特性や透水係数の予測においては、計算が複雑になり、適当なパラメータ設定が難しいという課題が残されている。特に高有機質土(Peat)や超軟弱粘土のように初期含水比が非常に高く、圧密中の k 、 m_v などの変化も大きい土の圧密特性の高精度な予測は困難であるのが現状である。

1.2 研究の目的と獨創性

古くから高有機質土や超軟弱粘性土地盤上の建設工事において、圧密促進や圧密後の強度増加が工学的に問題となっており、圧密後の沈下量、沈下時間に対する高精度な予測が必要となっている。しかしこのような地盤に対して、圧密中における物性(k 、 m_v など)の変化を考慮した予測法はほとんど提案されていない。そこで本研究では、圧密沈下量、沈下時間を高精度に予測するため、粘土の非線形圧縮特性を要素試験から取り込みながら圧密支配方程式を逐次解いていく圧密オンライン実験手法を開発する。

圧密オンライン実験とは、圧密支配方程式を解く際、構成モデルを用いずに実際の供試体に体積ひずみを与え、その際得られる間隙水压を支配方程式に取り込んで、次

ステップの体積ひずみを求める手法である。この手法を用いて実際の材料が有する非線形変形特性を直接支配方程式に取り込むことにより、構成モデルの影響を受けない定量的な予測が可能となる。

2. 有限変形圧密理論

本研究の対象となる高圧縮性粘土は、圧密中 k 、 m_v 、層厚が大きく変化するため、微小変形圧密理論¹⁾では扱いきれない。そこで圧密支配方程式を導く際用いられる自然ひずみの代わりに、圧密状態によって変化しない原始座標 z_0 を変数にもつ公称ひずみを用いる。

このような考えに基づき、有限ひずみの圧密を扱うために、原始状態で厚さ δz_0 の粘土要素のある時刻における厚さを δz とすると、圧密比は、

$$\zeta = \frac{\delta z_0}{\delta z} = \frac{f_0}{f} = \frac{1+e_0}{1+e} \quad (1)$$

体積変化に関する連続式は、

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial \zeta}{\partial t} = \zeta^2 \frac{\partial v}{\partial z_0} \quad (2)$$

Darcy 則、構成方程式より流速 v は、

$$v = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial p}{\partial z} = c_v \frac{\partial e}{\partial z} = c_v \frac{\partial \zeta}{\partial z_0} \quad (c_v: \text{圧密係数}) \quad (3)$$

(2)、(3)より圧密支配方程式は次式のようになる。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \zeta^2 \frac{\partial}{\partial z_0} \left(c_v \frac{\partial \zeta}{\partial z_0} \right) = \zeta^2 \left\{ c_v \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z_0^2} + \frac{\partial c_v}{\partial \zeta} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial z_0} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

3 圧密オンライン実験方法

3.1 圧密オンライン実験装置

・圧密試験機本体

圧縮性の高い土を対象としているため、標準圧密試験機を改良して供試体寸法は直径 60mm × 高さ 60mm とする。圧密容器はアクリル製にし、圧密中の土の挙動を観察できるようにする。

・計測装置

圧密セル室内と試料の底面に発生する間隙水压を測

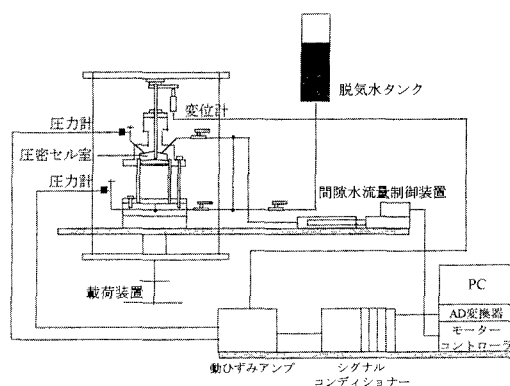
定するため、容量 500 kPa 圧力計 2 個、圧密沈下量を測定するため、容量 50mm の変位計 1 個使用する。

・間隙水流量制御装置

装置はピストン、駆動モーター、間隙水セル室で構成される。計算された体積ひずみを供試体に与えるため、ピストンは直径 20mm で、駆動モーターの分解能が 0.0002mm/pulse のものを使用する。なお本装置は試料飽和のための背圧供給にも利用する。

・制御装置およびデータ取得装置

間隙水流量とデータ取得装置の制御にはパーソナルコンピュータを使用する。



3.2 圧密オンライン実験手順

- 1) 供試体を製作し、圧密容器、間隙水流量制御装置、配管に脱気水を満たす。
- 2) 圧密セルに背圧を段階的に加え、供試体を飽和させる。
- 3) 段階圧密荷重 Δq を供試体に載荷する。
- 4) 図-1 に示すように、圧密支配方程式の逐次解析を行う。
 - ① 現在の過剰間隙水圧 p_i 、圧密比 ζ_i 、透水係数 k_i から次のステップの圧密比 ζ_2 を計算する。
 - ② ζ_2 から計算される体積ひずみを、間隙水流量制御装置を用いて供試体に加え、過剰間隙水圧 p_2 を測定する。
 - ③ p_2 からダルシー則を用いて次のステップに適用する透水係数 k_2 を算定する。
 - ④ 段階圧密圧力の載荷時間に達したら p_i に Δq を加えて、次のステップの圧密比を計算する。
- 4) 段階圧密圧力の載荷時間まで①～④の過程を繰り返す。
- 5) 最終圧密圧力まで③～⑤を繰り返す。
- 6) 実験終了

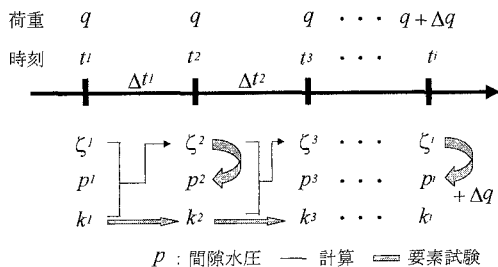


図-1 圧密支配方程式の逐次解析

図-2 に圧密オンライン実験システムの概略図、圧密試験機本体、間隙水圧制御装置を示す。

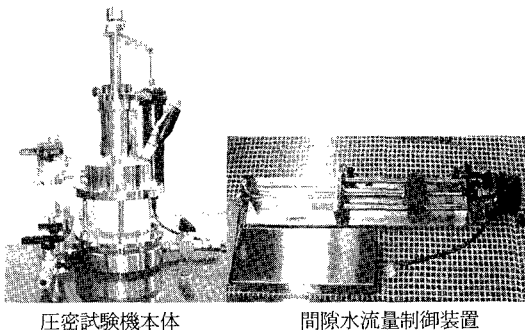


図-2 圧密オンライン実験システム

4 まとめ

圧密オンライン実験の原理と実験装置、実験手順を示した。今後、本システムの検証と装置の多連化を行い、現場の沈下データと比較検討を行う予定である。

5 参考文献

- 1) 三笠正人：軟弱粘土の圧密、新圧密理論とその応用、鹿島出版
- 2) Gibson, R. E., England, G. L. and Hussey, M. J. L.(1967) : The Theory of one-dimension consolidation of saturated clays, I. Finite nonlinear consolidation of thin homogeneous layers, *Geotechnique*, 17, pp.261～273
- 3) Gibson, R. E., Schiffman, R. L., and Cargil, K. W. (1981), : The Theory of one-dimension consolidation of saturated clays, II. Finite nonlinear consolidation of thick homogeneous layers, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.18, pp.280～293