

二次圧密の初期条件に関する仮定

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

1. まえがき

一次圧密中から発生していると推測される二次圧密挙動に関する仮定は、一次元圧密量時間曲線に影響する。最大排水距離の異なる供試体の圧密量時間曲線には、二次圧密挙動の影響により二つの仮説がある。二次圧密を考慮した一次元圧密解析では、一次圧密中の二次圧密挙動に関する仮定を明確にする必要がある。この報告では、二次圧密の初期速度に関する仮定次第で、計算される二次圧密を含む一次元圧密量時間曲線は、平行移動型、アイソタック型のいずれの仮説にも対応することを示す。

2. 二次圧密モデルの初期速度

二次圧密量を式(1)で表し、その速度は式(2)である。

$$\Delta \varepsilon_s = \alpha * \ln(t/t_i) \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}_s = \alpha/t \quad (2)$$

ここに、 $\Delta \varepsilon_s$ は二次圧密量、上付きの“・”は速度、下付き添え字 s は二次圧密を意味する。 α は二次圧密係数、 t は圧密層内各地点の圧密開始後の経過時間、 t_i は二次圧密発生開始時刻である。

式(1)を採用するには t_i を知る必要がある¹⁾。しかし、圧密層内各地点での二次圧密の発生は、圧密開始直後か、圧密開始後に有効応力がある程度増加した後か、明らかでない。式(1)は時間原点が不明確なため、ひずみ速度を用いた式(3)のような二次圧密モデルの方が合理的だと言われているが、二次圧密の初期速度 $\dot{\varepsilon}_i$ も適切に決定することが難しい²⁾。

$$\dot{\varepsilon}_s = \dot{\varepsilon}_i * \exp(-\Delta \varepsilon_s/\alpha) \quad (3)$$

二次圧密は一次圧密中から発生すると考えられてきたが、測定する全圧密量から二次圧密量を分離測定できないため、一次圧密中の二次圧密挙動はすべて推測であり、実験による検証は困難である³⁾。標準圧密試験の圧密量時間曲線から式(1)と式(3)の二次圧密発生開始時刻 t_i と二次圧密の初期速度 $\dot{\varepsilon}_i$ を推測するには、それぞ

れ式(4)と式(5)が考えられる^{1),4)}。

$$t_i = t_f * \exp(-\Delta \varepsilon_{sf}/\alpha) \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}_i = \dot{\varepsilon}_{sf} * \exp(\Delta \varepsilon_{sf}/\alpha) \quad (5)$$

ここに、 t_f は圧密時間で、標準圧密試験では1日とする。 $\Delta \varepsilon_{sf}$ は時間 t_f までに発生した二次圧密量、二次圧密速度は $\dot{\varepsilon}_{sf} = \alpha/t_f = \alpha$ 1/dayである。

網干の H^2 則に関する実験結果から二次圧密の初期速度を算定し、式(3)で計算した二次圧密のみの経時変化が図-1の実線である⁵⁾。標準圧密試験に相当する最大排水距離 $H=1$ cm の二次圧密量を全圧密量の30%と仮定すると、 $\dot{\varepsilon}_i$ は1.1 1/dayと計算される。 H の変化により $H=1$ cm の二次圧密の初期速度を H^2 で除した値を用いると、実測値に近い仮説 A、平行移動型の圧密量時間曲線が計算される⁶⁾。

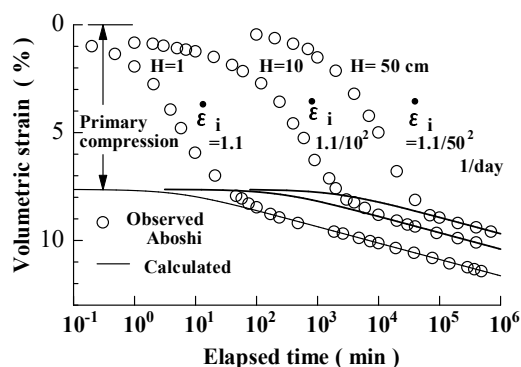


図-1 二次圧密の初期速度

3. 計算結果と考察

図-2に示す松田の分割型圧密試験結果を利用して、差分法による二次圧密を考慮した一次元圧密解析に必要な土質定数を決定した^{7),8)}。最大排水距離 $H=10$ cm、圧密荷重増分 88.3 kPa、圧密時間約 13.1 日後の全圧密量から体積圧縮係数 $m_v=7.5*10^{-4}$ 1/kPa、二次圧密係数 $\alpha=0.0023$ 、圧密係数 $c_v=0.014$ cm²/min、二次圧密量を全圧密量の20%と仮定した。

図-2の計算には、式(2)の二次圧密モデルを採用した。

キーワード：一次元圧密、二次圧密、差分法

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 TEL：0463-58-1211 E-mail：yoshidomi.tk@gmail.com

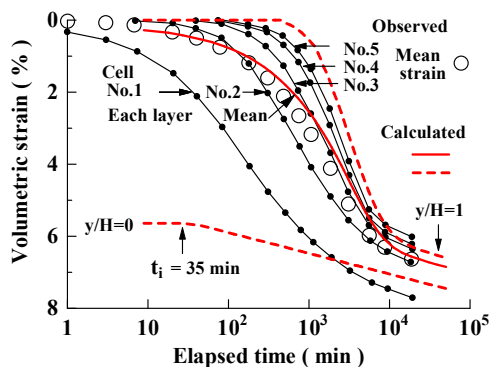


図-2 二次圧密開始時刻の影響 (式(2) ; t_i 変化)

平均圧密時間曲線の実測値から求めた平均 $t_i \approx 350$ 分であるが、計算では圧密層内の排水面からの距離 y により t_i を 35 分 ($y/H=0$) ~ 1200 分 ($y/H=1$) と変化させた。この変化によって、実験結果のように圧密時間 10^4 分以降の圧密量が距離 y により異なる結果を再現できた。

ひずみ速度による式(3)の二次圧密モデルを用いた計算結果が図-3 である。式(5)で計算した二次圧密の初期速度 $\dot{\epsilon}_i$ は 5.6×10^{-2} 1/day である。平均圧密時間曲線の実測値に近い計算結果が得られているが、非排水面 ($y/H=1$) の圧密量は二次圧密領域において平均圧密量と等しくなっている。圧密層内のすべての位置に、式(5)から求めた二次圧密の初期速度 $\dot{\epsilon}_i$ を用いたためである。供試体の分割片 No.5 の圧密時間曲線から求める二次

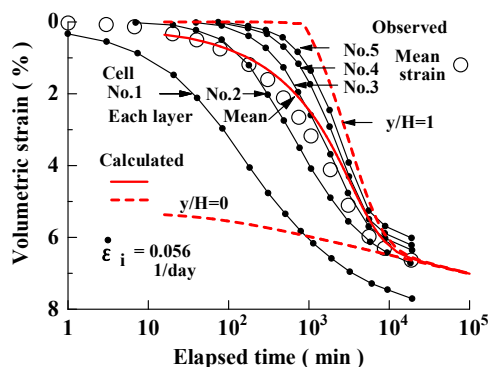


図-3 二次圧密の初期速度の影響 (式(3) ; $\dot{\epsilon}_i$ 平均値)

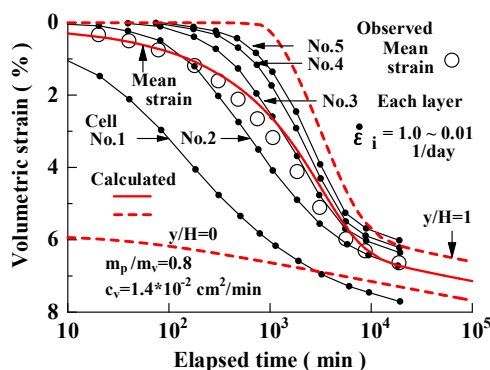


図-4 二次圧密の初期速度の影響 (式(3) ; $\dot{\epsilon}_i$ 変化)

圧密の初期速度は、採用したそれと異なるはずである。すなわち、圧密開始時刻は圧密層内のすべての位置で異なるが、図-3 の計算では二次圧密発生の遅れが反映されないために、すべての圧密量が同じ大きさに計算された。

式(3)の二次圧密モデルによる圧密層内の計算結果が実測値に近づくように、二次圧密の初期速度 $\dot{\epsilon}_i$ を $1.0 \sim 0.01$ 1/day と設定した計算結果が図-4 である。計算では、平均圧密量が実測値と一致することを前提とした。圧密層内各位置の圧密開始遅れに対応する二次圧密の初期速度 $\dot{\epsilon}_i$ を採用すれば、圧密層内各位置で異なる大きさの二次圧密量を計算することができる。

一次圧密中の二次圧密挙動の仮定が、圧密時間曲線の計算結果に大きく影響することを明らかにした。

4. むすび

二次圧密考慮した一元圧密解析は、二次圧密の初期速度に関する仮定に基づくもので、実験での検証は困難である。圧密層内の圧密開始時間の違いに伴う二次圧密の発生遅れを考慮すると、圧密層内の位置による二次圧密量分の差だけ圧密量が異なる。二次圧密の発生遅れを無視すれば、圧密層内のすべての位置の二次圧密量は同じ大きさになることが確認された。

参考文献

- 1) 吉富隆弘, 赤石勝, 飯沼孝一, 杉山太宏 : 一次圧密中の二次圧密挙動と H^2 則, 第 14 回地盤工学会関東支部発表会, 2017.
- 2) Leroueil, S., Kabbaj, M., Tavenas, F. and Bouchard, R. : Stress-strain-strain rate relation for the compressibility of sensitive clays, *Geotechnique*, Vol.35, No.2, pp.159-180, 1985.
- 3) Taylor, D. W. : *Fundamentals of Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1948.
- 4) 飯沼孝一, 今井誉人, 赤石勝, 杉山太宏 : 一次元圧密における有効応力経路と塑性ポテンシャル, *土木学会論文集 C*, Vol.71, No.2, pp.119-124, 2015.
- 5) Aboshi, H. : An experimental investigation on the similitude in the consolidation of a soft clay, including the secondary creep settlement, *Proc. 8th ICSMFE*, Vol.4, No.3, pp.88-89, 1973.
- 6) Ladd, C.C. et al. : Stress-deformation and strength characteristics, *Proc. 9th ICSMFE*, Vol.2, State of the art report, pp.421-494, 1977.
- 7) 松田博, 網干寿夫 : 層別計測にもとづく粘土層の事前圧密工法に関する基礎的研究, *土木学会論文報告集*, Vol.33, No.2, pp.249-258, 1983.
- 8) 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.565-570, 2008.