一次元圧密の二次圧密モデルに関する一考察

東海大学　学生会員○石塚 知己・吉富 隆弘
CPC　正会員　白子 博明
東海大学　正会員　杉山 太宏・赤石　勝

１．はじめに

室内圧密試験で観察される二次圧密挙動は，片対数紙上で直線関係になることが多いが，軟弱地盤上の盛土による長期沈下の観測事例では，沈下速度の減少で一定に最終沈下量に収束する場合もあるようである[1]．室内圧密試験でも，二次圧密係数が圧密時間とともに減少する実験結果が報告されている[2), 3)]．この報告は，既往の二次圧密モデルを利用し，二次圧密に関する長期沈下挙動の簡単な予測法を検討している．

２．二次圧密に関する既往の研究

二次圧密に関する多くの既往の研究では，式(1)で表す二次圧密速度が採用されており二次圧密は一次圧密終了後に発生すると仮定される．式(2)で表す二次圧密速度は，ある時間までに発生した二次圧密量に影響され，時間の関数ではない．一次・二次圧密量をどう仮定するかで，一次圧密中に発生する二次圧密の初期速度が決定されるが[4)]，式(2)で表す二次圧密挙動は式(1)とほぼ同じである．本報では，二次圧密挙動の観測結果に適合させる二次圧密モデルとして，圧密時間とともに二次圧密速度が減少し，一定の二次圧密量に収束する式(3)の適用性を検討する[5)]．式(3)では，定数 n 次第で長期間にわたる二次圧密がある一定値に収束する．定数 β を有効応力の関数とすることも可能である．また，定数 m 値の設定次第で一次圧密中の二次圧密の発生が制御される．

$$\dot{\upsilon}_s = \alpha / t \quad (1)\ ,\quad \dot{\upsilon}_s = \dot{\upsilon}_i \exp(-\Delta\upsilon_s / \alpha) \quad (2)\ ,\quad \dot{\upsilon}_s = \sum_{i=m}^{n} \beta / 10^{-i} \exp(-t / 10^{i}) \quad (3)$$

ここに，$\dot{\upsilon}_s$ は二次圧密速度，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 は体積ひずみで定義された二次圧密係数，t は時間，$\dot{\upsilon}_i$ は二次圧密の初期速度である．

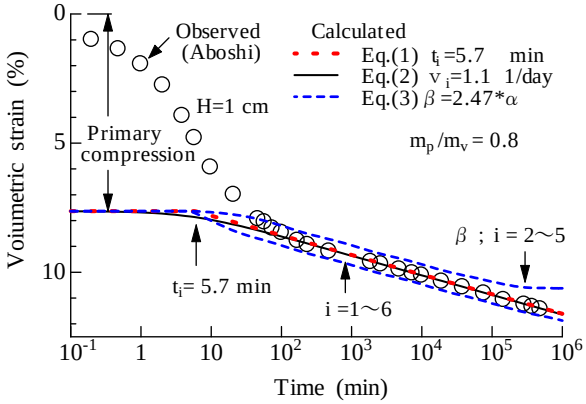
３．実験ならびに計算結果と考察

3.1 二次圧密モデルの定数決定法とその計算結果

図−1 の○印は網干の寸法効果に関する圧密試験結果の一部(H=1cm)である[6)]．

(1) 二次圧密領域の任意時間(1440 分)の全圧密量から一般的な体積圧縮係数 m_v を決定し，一次圧密量で定義する体積圧縮係数 m_p を仮定する．**図−1** では m_p/m_v=0.8 である．

(2) 一次圧密量一定線と二次圧密領域の圧密量時間曲線の交点から，式(1)の二次圧密発生開始時間 t_i=5.7 分を求める．式(1)を用いた計算結果が**図−1** 赤点線である．式(1)と(3)では，圧密開始 t_i 時間以降に二次圧密が発生すると仮定する．定数 n の設定次第で二次圧密の継続時間が決定される．



図−1 網干の圧密試験結果１(H=1cm)

(3) 二次圧密領域と考える圧密量時間曲線の直線部の勾配 α=0.0033 を求める．圧密時間 1440 分における二次圧密速度 $\dot{\upsilon}_s(=\alpha/t)=0.0033/1$ $(1/day)$ と二次圧密量 $\Delta\upsilon_s=0.0192$ を式(2)に代入し，二次圧密の初期速度 $\dot{\upsilon}_i$ =1.1$(1/day)$を求める．式(2)による計算結果が**図−1** の黒実線である．

(4) 式(3)の計算結果が**図−1** の青破線である．定数 β=2.47×α と仮定し，二次圧密速度を計算した結果である．i=1～6(m=1, n=6)と設定すると計算終了時の二次圧密量が若干過大に，i=2～5 とすると二次圧密量が若干過小に計算され，図中矢印で示す圧密時間でほぼ一定の二次圧密量に収束している．式(3)には二次圧密量の大きさをやや再現しにくさがあるが，ある圧密時間で二次圧密が一定値に収束する場合に利用できる．

キーワード　一次元圧密，二次圧密，長期沈下，数値計算，
連絡先　〒259-1292　神奈川県平塚市北金目 4-1-1　東海大学工学部土木工学科　TEL0463-58-1211

3.2 二次圧密係数の変化

図-2 と**図-3** の圧密量時間曲線は，それぞれ渡部らと赤井・佐野による試験結果である [7]. 二次圧密領域の圧密量時間曲線には，いずれも直線性が認められず，圧密時間とともに α は減少する．このため，**図-3** 中に赤点線で示す式(1)で計算した二次圧密時間曲線は，圧密時間とともに大きくずれる．また，**図-3** では K_0 圧密試験中の K_0 値が測定されており(●記号)，二次圧密中の K_0 値の増加が α 減少の要因と指摘されている [2]．m=1，n=3 として計算した式(3)による青破線の結果では，1500 分頃から二次圧密係数 α の減少が計算されているが二次圧密中の K_0 値の増加とは無関係である．多次元圧密条件下の二次圧密予測を考えるには，二次圧密速度と有効応力変化の関係や一次元圧密中の K_0 値の増加と二次圧密速度の関係を明確にする必要がある．

3.3 常磐自動車道神田試験盛土の長期沈下とその計算結果

図-4 は，サンドドレーンが施工された神田試験盛土 B で観測された沈下量時間曲線と計算結果を比較している．長期沈下速度は，圧密時間とともに徐々に減少する傾向が観察される．この長期沈下挙動を計算する場合の問題点は，室内圧密試験の 1 日後の全圧密量が現場ではいつ発生すると仮定するかである．**図-4** の計算では，それを 5000 日後と仮定している．沈下量時間曲線が片対数紙上で直線となる計算結果が得られるが，その計算結果を式(3)の定数 β と n 値の選択により実測値の挙動に近づけることが可能である．また，**図-4** に実線で示した式(2)による計算で用いた二次圧密の初期速度 $\dot{v}_i$ は，圧密試験から仮定した値を 5000 日で除した値とした．関口・太田モデルにより竜田らが行った当試験盛土の有限要素解析で使用された値(概略 $5*10^{-5}$1/day)とは大きく異なる点に留意が必要である [1].

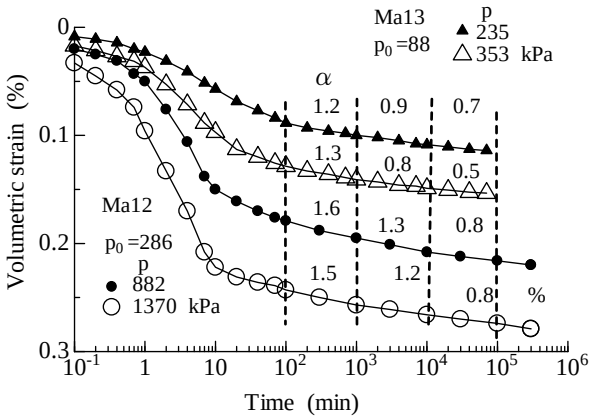


図-2 渡部他の圧密試験結果（大阪粘土 Ma13）

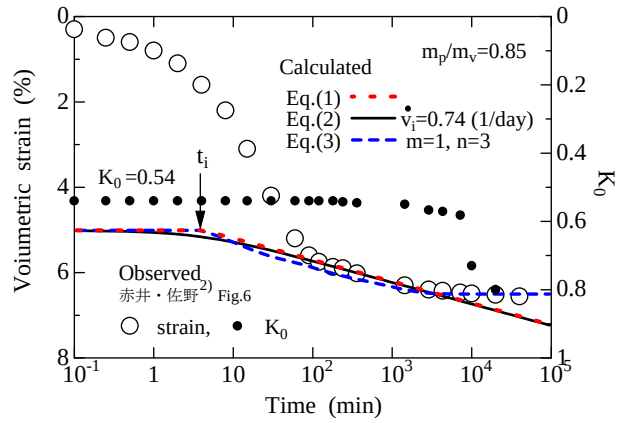


図-3 赤井・佐野の K_0 圧密試験結果

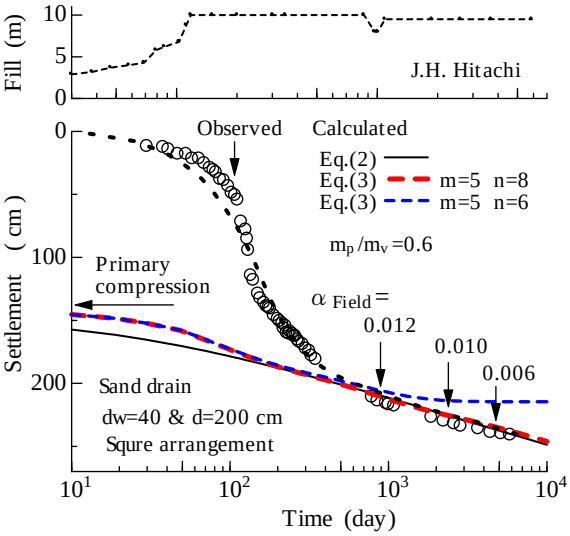


図-4 神田試験盛土の沈下経時変化（サンドドドレーン）

4．おわりに

軟弱地盤の二次圧密に起因する長期沈下時間関係を予測する方法について検討した．提案法は二次圧密速度に関する既往のモデルを積分するだけの簡単なものであるが，次のような特徴がある．1) 標準圧密試験で得られた 1 日後の全圧密量が，圧密時間に関する最大排水距離の二乗則に従う圧密時間に発生すると仮定する．2) 室内試験で測定された 1 日後の全圧密量は一次圧密量と二次圧密量の和として一次圧密量を仮定する．3) 標準圧密試験で測定された二次圧密係数を用い，二次圧密の初期速度あるいは一次圧密中の二次圧密発生開始時間を求める．4) この仮定次第で最大排水距離の異なる圧密沈下量時間曲線は，平行移動型あるいはアイソタック型のいずれにもなる．

参考文献

1) 竜田他；軟弱地盤上の道路盛土の供用後長期変形挙動予測と性能設計への応用,土木学会論文集, No.743, pp.173-187, 2003.
2) 赤井,佐野；二次圧密における粘性土の状態変化,土木学会論文集, No.364,pp.123-131,1985.
3) Tanaka,H.; Consolidation behavior of normally soils around pc value, -Long term consolidation test- , Soils and Foundations, Vol.45,No.3,pp.83-95,2005.
4) 白子,赤石,杉山,外崎；一次圧密中の二次圧密の推定,土木学会論文集 C, Vol.64, No.3, pp.565-570, 2008.
5) 白子,向後,赤石,稲田；レオロジーモデルを用いた二次圧密の予測，東海大学工学部紀要，Vol.23,No.2,pp.84-89,1983.
6) 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.
7) Y. Watabe et. al.;Soil-water coupled analysis based on the Isotache concept for consolidation behavior of Osaka Bay clay, Preprint,43th Annual Meeting of JSSMFE, No.425,pp.849~850, 2008.