# 1.まえがき

著者らは,間隙比速度*è*が一次圧密速度*è*<sub>p</sub>と二次圧密速 度*è*<sub>s</sub>の和で表されると仮定した二次圧密モデルを提案し, 一次圧密中に発生する二次圧密について検討してきた<sup>1)-3)</sup>. 本研究では,提案したモデルの二次圧密速度*è*<sub>s</sub>の表現方法 を再考して修正し一次圧密中の二次圧密について検討した.

2.二次圧密モデルと土質定数

ー次元圧密試験の再現計算に用いる粘土の間隙比*e* - 鉛 直有効応力  $\sigma'_v$  - 二次圧密速度  $\dot{e}_s$  関係を式(1)で表現する. 式(1)より  $\dot{e}_s$  を求めると式(2)が得られる.

$$e = e_0 - C_c^* \log'(\sigma_v' / \sigma_{v0}') + C_\alpha \log(\dot{e}_s / \dot{e}_i)$$
(1)

$$\dot{e}_s = \dot{e}_i \cdot 10^{-\chi/C_\alpha} \tag{2}$$

$$\chi = e_0 - C_c^* \log(\sigma_v' / \sigma_{v0}') - e$$
(3)

ここに, $e_0$ は初期間隙比, $C_c^*$ は一次圧密量で定義する圧 縮指数, $\sigma'_{v_0}$ は載荷前の鉛直有効応力, $C_\alpha$ は間隙比で定 義した二次圧密係数, $\chi$ は二次圧密量, $\dot{e}_i$ は圧密層内各点 で =0の二次圧密による間隙比速度である.

図-1 は $e - \log \sigma'_v - \dot{e}_s$ の概念図で,荷重増分 $\Delta \sigma$ によっ て圧密前の A 点( $\sigma'_{v0}, e_0, \dot{e}_0$ )から F 点( $\sigma', e_f, \dot{e}_f$ )まで変 化する.I 点( $\sigma', e_i, \dot{e}_i$ )は $\Delta \sigma$ により発生した一次圧密の 終了点で,S 点( $\sigma', e, \dot{e}_s$ )では一次圧密量 $e_0 - e_i$ と二次圧 密量 $e_i - e$ が生じている.式(2)で計算される $\dot{e}_s$ は, $\dot{e}_i$ から 圧密時間の経過とともに減少し,二次圧密量 $\chi$ に依存する. ある圧密時間,例えば F 点が $\Delta \sigma$ を載荷して 24 時間経過後 とすれば,間隙比 $e_f$ あるいは圧縮指数  $C_c$ と二次圧密速度  $\dot{e}_f$ が求められるので,式(2)より $\dot{e}_i$ の算定式(4)が得られる.

$$\dot{e}_i = \dot{e}_f \cdot 10^{(C_c - C_c^*) \cdot \log(\sigma_v' / \sigma_{v0}') / C_\alpha} \tag{4}$$

提案法では,図-1の $C_c^*$ 線上に有効応力がある場合の二次圧密による間隙比速度を $\dot{e}_i$ , $C_c$ 線上にある場合を $\dot{e}_f$ と仮定している. $\dot{e}_i/\dot{e}_f = 1$ であれば載荷前の二次圧密のみが継続し,新たな $\Delta\sigma$ による二次圧密は発生しない.

ー次圧密速度 *è<sub>p</sub>* を式(5)で表し,式(2)の *è<sub>s</sub>* との和を一次 元圧密方程式に代入すると式(6)が得られる.

$$\dot{e}_p = -\frac{0.434 \cdot C_c^*}{\sigma} \dot{\sigma} = -m_p \cdot \dot{\sigma}$$
(5)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v^* \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\dot{e}_s}{m_p}$$
(6)

(株)建設企画コンサルタント 正会員 白子 博明 東海大学 正会員 杉山 太宏・赤石 勝 金沢工業大学 正会員 外崎 明





ここに, u は過剰間隙水圧, t は時間, y は圧密層内の位置,  $c_v^*$ ( $c_v^* = k(1+e_0)/\gamma_{\omega}/m_p$ , k は透水係数,  $\gamma_{\omega}$  は水の単位 体積重量)は一次圧密量で定義する圧密係数である.

提案モデルによる一次元圧密解析に必要な土質定数は,  $C_c^*$ ,  $C_c$ ,  $c_v^*$ ,  $C_\alpha \geq \dot{e}_f$  で表-1 のように設定した.式(7) に示す境界・初期条件で陽的差分解法による一次元圧密計 算を実施した. $\dot{e}_f$  は式(8)で計算し,載荷直前にも $\dot{e}_f$  に等 しい二次圧密速度が発生していると仮定した.

$$\begin{array}{c} u (y=0, t>0)=0 \\ \partial u / \partial y (y=H, t>0)=0 \\ u (H \ y \ 0) = \ u_0 = \Delta \sigma_v (=39.2 \text{ kPa}) \\ \dot{e}_s (H \ y \ 0, t \ 0) = \dot{e}_f \end{array}$$

$$(7)$$

$$\dot{e}_f = 0.434 \cdot C_{\alpha} / 1440 = 1.5 \times 10^{-5}$$
 (1/min) (8)  
表-1 計算に用いた十質定数

$C_c^*$	$C_c$	$c_v^*$ (cm/min <sup>2</sup> )	$C_{lpha}$	$e_0^{(\pm)}$
1~1.5	1.5	0.1	0.05	3
注) $\sigma'_{10} = 39.2 k P a$ における $e_0$				

#### 3.計算結果と考察

図-2は,最大排水距離 H=1cm として, $C_c$ を1.5に固定 し $C_c^*$ を1.5~1に変化させた平均圧密量 - 時間曲線である. 圧縮指数の比 $C_c^*/C_c$ は,一次圧密量と全圧密量の比と同義 で, $C_c$ が一定のため圧密量はほぼ同じ大きさになる. $C_c^*$ = 1と1.2の場合,圧密時間500分以降で時間の対数に比例 する二次圧密挙動が計算され,二次圧密係数は計算に用い た $C_{\alpha}$ =0.05にほぼ等しい.破線で示した $C_c^*$ =1.5(= $C_c$ )では, 載荷前の二次圧密のみが一次圧密中継続して発生するため, 10<sup>2</sup>分頃までは二次圧密の影響が小さく Terzaghi 理論にほ ぼ一致する.

キーワード:一次元圧密 , 二次圧密 , 間隙比速度 , 数値解析 , 荷重増分比

連絡先:〒259-1292 平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045



図-3 の破線と実線は,それぞれ $C_c^*$ =1.5 と1 に対する圧 密層内の二次圧密速度 $\dot{e}_s$ の経時変化を示している.破線で 示した $C_c^*$ =1.5 の $\dot{e}_s$ は,圧密層内の位置 y/H によらず同じ 経時変化である.実線で示した $C_c^*$ =1 では,y/H=0 におい て圧密開始直後 $1.5 \times 10^{-2}$  min<sup>-1</sup>まで急増する.これに対し て y/H>0 の $\dot{e}_s$ は,載荷前の $\dot{e}_f$ から圧密の進行とともに増 大している.有効応力が一定値に近づく頃から圧密層内の 全てが等しくなり,時間の対数に比例して減少している.

図-2,図-3の計算では, $C_c^*/C_c$ の違いにより圧密層内の  $\dot{e}_i/\dot{e}_f$ 値も異なり,全圧密量中の二次圧密量が変化する. 図-2の計算結果から二次圧密のみによる平均圧密量 - 時 間曲線を図-4に示した.図の $\dot{e}_i/\dot{e}_f$ 値は排水面y/H=0で計 算したもので,これが大きいものほど圧密初期から二次圧 密が発生している.載荷前の二次圧密のみが発生する  $\dot{e}_i/\dot{e}_f=1$ 場合も,一日経過後,二次圧密速度が計算される. 図-3と図-4の結果は提案モデルの特徴を示すものである.

### 4.提案モデルによる圧密試験の再現計算

再構成した正規圧密の有機質粘土を使用して,荷重増分 比を変化させた段階載荷の圧密試験を行い,二次圧密挙動 を調べた.この結果から土質定数を求め<sup>3)</sup>,提案モデルに よる再現計算を行った.

図-5は,圧密量 - 時間曲線の実測値と計算結果を比較したもので,計算に用いた各定数と排水面の $\dot{e}_i/\dot{e}_f$ 値を式(4)から求めて表-2に示している.なお,二次圧密係数 $C_\alpha$ は全て 0.034 である.曲線定規法により求めた $C_c^* \geq c_v^*$ を使用して計算した結果には,実測値と若干の差が認められたので,試行錯誤によって主に $C_c^*$ 値を修正した<sup>3)</sup>.図のように計算結果と実測値が一致するよう設定した $C_c^*/C_c$ は, $\Delta\sigma$ 

の減少に伴い減少している.載荷前と圧密開始直後の二次 圧密速度の比である排水面の $\dot{e}_i/\dot{e}_f$ 値は,荷重増分比が1 でも200程度であり,一次圧密中に発揮される二次圧密量 はそれ程大きくないと判断される.また, $C_c^*/C_c$ と同様  $\Delta\sigma$ が小さいほど $\dot{e}_i/\dot{e}_f$ 値はより小さくなっている.

図-5の計算結果から  $\dot{e}_i / \dot{e}_f$  値が大中小となる結果を選択 し、二次圧密速度  $\dot{e}_s$  の経時変化を示したのが図-6 である.  $\dot{e}_s$  は荷重増分比の減少により減少すること、y/H=1 では  $\dot{e}_s$ が最大となる圧密時間が遅れることなどが観察される.こ れらの結果から、荷重増分比の減少は、全圧密量に対する 一次圧密量の割合を低下させて、一次圧密中に発生する二 次圧密挙動と圧密量 - 時間曲線の形状変化に影響するもの と推察される.

## 5.まとめ

一次圧密中の二次圧密速度を仮定した二次圧密モデルを 提案した.提案した二次圧密モデルの適用性が認められる ならば,この報告の粘土試料では,一次圧密中に発揮され る二次圧密量はそれ程大きくなく,荷重増分比が小さくな るほど一次圧密末期あるいはそれ以降二次圧密挙動が顕著 になると言える.

#### 参考文献

- 白子・杉山・赤石:一次圧密中の二次圧密を考慮した一次元 圧密解析,第48回地盤工学シンポジウム平成15年度論文集, pp.425-432,2003.
- 2) 白子・杉山・外崎・赤石:一次圧密中の二次圧密モデル,第 39回地盤工学研究発表会,2004,投稿中.
- 3) 白子・杉山・外崎・赤石:二次圧密を考慮した一次元圧密解 析に必要な土質定数,,第39回地盤工学研究発表会,2004.投 稿中.