東海大学工学部学生会員五十嵐大地(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

#### 1.まえがき

標準圧密試験を実施すると,各載荷段階で二次圧密が 観察され,各載荷段階で発揮される二次圧密の大きさは 異なる場合が多い.<sup>1)</sup>前の載荷段階における二次圧密と 次の載荷段階で発揮される二次圧密の関係は明らかにさ れていない.一次圧密中に発生していると推測される二 次圧密を分離測定出来ないためである.一次圧密中に発 揮される二次圧密挙動を明確に出来なければ,圧密量な らびに圧密速度の予測精度は信頼できない.

この報告では,一次圧密中に発揮される二次圧密による間隙比速度 *e*<sub>s</sub>を仮定した一次元圧密解析を実施し,*e*<sub>s</sub> に関する仮定の妥当性を数値計算と実験結果から検討する.

2. 一次元圧密方程式と二次圧密モデル

一次元圧密方程式(1)は,連続条件式とダルシー則から 誘導される.

$$\frac{\partial e}{\partial t} (= \dot{e}_{P} + \dot{e}_{S}) = (1 + e_{0}) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k}{\gamma_{\omega}} * \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

ここに, e は間隙比,下付添え字0は初期状態を表し, t は時間, y は圧密層内の位置, k は透水係数, は水の 単位体積重量, u は過剰間隙水圧である.

この報告では,二次圧密に関する多くの既往の研究と 同じように間隙比速度 $\dot{e}$ を一次圧密速度 $\dot{e}_p$ と二次圧密 速度 $\dot{e}_s$ の和として表す.また,一次元圧密粘土の間隙比 e ~鉛直有効応力 ~二次圧密速度 $\dot{e}_s$ 関係を式(2)で表現 する.この報告では有効応力を示すプライムを省略する.

$$e = e_0 - C_C^* * \log(\sigma / \sigma_0) + C_a^* \log(\dot{e}_S / \dot{e}_0)$$
 (2)

ここに, eo は初期間隙比, C<sup>\*</sup>c は一次圧密量で定義す る圧縮指数, o は載荷前の鉛直有効応力, C は間隙比 で定義した二次圧密係数である.

式(2)の $\dot{e}_s$ は,式(3)で表される.

 $\dot{e}_{s} = \dot{e}_{0} * 10^{-\chi/C_{\alpha}}$  (3)

 $\chi = e_0 - C_C^* * \log(\sigma / \sigma_0) - e \quad (4)$ 

ここに, は二次圧密量, $\dot{e}_0$ は,圧密開始直後,すなわち =0における二次圧密速度である.

*e*<sub>p</sub>を式(5)で表し,式(3)との和を式(1)に代入すると式 (6)が得られる.

$$\dot{e}_{p} = -\frac{0.434C_{c}^{*}}{\sigma}\dot{\sigma} = -m_{p}*\dot{\sigma}$$
(5)  
$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_{v}^{*}\frac{\partial^{2}u}{\partial v^{2}} - \dot{e}_{s}/m_{p}$$
(6)

ここに ,  $c^*{}_v$  ( =  $k(1{+}e_0)/$  /mP である .

陽的差分解法により一次元圧密方程式(6)は,式(7)で表 される.

$$u_{y,t+\Delta t} = u_{y,t} + M^* * (u_{y-\Delta y,t} - 2 * u_{y,t} + u_{y+\Delta y,t})$$

+  $m_{_S}$  \*  $\Delta t$  /  $m_{_p}$  (7) ここに , M\*= cv\* t / y<sup>2</sup> 1/2 である .

### <u>3.計算結果と考察</u>

3.1 土質定数と境界条件

 $\dot{e}_s$  モデルによる二次圧密を含む一次元圧密解析に必要 な土質定数は , $c_v$  = 0.1cm<sup>2</sup>/min ,  $C^*{}_c$  = 1.5 ,C = 0.05 ,

<sub>0</sub>= 39.2 kPa における間隙比を e<sub>0</sub> = 3 とする .式(8)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 .

$$\begin{array}{c} u(y=0, t>0)=0\\ u(H \ y \ 0, t=0)=u_{0}(=)\\ u \ y(y=H, t>0)=0\\ \dot{e}_{s}(H \ y \ 0, t=0)=\dot{e}_{0} \end{array} \right|$$
(8)

ここに, H は最大排水距離, uo は初期過剰間隙水圧で ある.

載荷直前の二次圧密速度*e*<sub>0</sub>として式(9)を用いた.

$$\dot{e}_0 = \alpha * \dot{e}_{24} = \alpha * 0.434 * C_{\alpha} / 1440 \quad (1/\min) \quad (9)$$

キーワード : 一次元圧密 , 一次圧密 , 二次圧密 , 過剰間隙水圧 , 圧密量時間曲線 連絡先 : 〒259-1207 平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL0463-58-1211 FAX0463-50-2045



3.2 y/H=0 における e と  $\dot{e}(=\dot{e}_{s})$ の経時変化

y/H=0 における土要素の圧密量時間曲線を Fig.1,  $\dot{e}_s$ の経時変化を Fig.2 に示す. Fig.1 から明らかなように,  $\dot{e}_0$  に関する係数 =3.5\*10<sup>5</sup> とした場合, y/H =0 におけ る圧密量は圧密開始当初より時間の対数に比例する. の値を小さく設定するほど圧密開始当初の二次圧密の発 生は小さく,時間の対数に比例する二次圧密を観察しう る圧密時間が遅くなる.時間の対数に比例する二次圧密 を再現するには, $\dot{e}_s$ が時間の対数に比例する二次圧密 を再現するには, $\dot{e}_s$ が時間の対数に比例して減少する必 要がある の大きな場合ほど $\dot{e}_s$ が時間の対数に比例す る圧密時間が早くなる傾向が Fig.2 より観察される. =1 の場合,載荷前の二次圧密  $\dot{e}_{24}$ のみが継続して発生し,  $10^2$ 分程度まで $\dot{e}_s$ ( $\approx \dot{e}_{24}$ ) は,ほぼ一定である.

# 3.3 圧密量時間曲線

最大排水距離 H=1cm, =3.5\*10<sup>5</sup> と 10<sup>2</sup> を用いて計算 した圧密量時間曲線をそれぞれ実線と破線で Fig.3 に示 した.大きな 値の場合,圧密開始当初から二次圧密が発 生するため平均圧密量(emean)は,大きくなる. の値に よらずy/H=0 と y/H=1 の圧密量ならびに平均圧密量の大 きさは,二次圧密領域で等しくなる.



### 3.4 実験結果と計算結果の比較

Fig.4 は、Berre&Iversen(1972)の圧密試験結果(Test7, No.4 と No.5 印し)である.<sup>2)</sup>  $\sqrt{t}$ 法を用いて圧密係 数  $c_v$  と圧縮指数 $C^*{}_c$ を決定し、二次圧密係数 C は圧密 量時間曲線から求めた.得られた定数は載荷段階ごとに No.4  $C^*{}_c$ =0.08  $c_v$ =0.07 (cm<sup>2</sup>/min) C =0.042, No.5  $C^*{}_c$ =0.3  $c_v$ =0.01 C =0.028 である.  $\dot{e}_0$  は実験結果に適合するよう試行錯誤で =10 (No.4) と =200(No.5)に設定した.Fig.4 に実線で示すように提 案モデルで二次圧密を含む一次元圧密の平均圧密量時間 曲線を再現しうる.また,No.4 で圧密時間 100分,No.5 で 5 分頃から二次圧密が顕著になる.

# <u>4.むすび</u>

一次圧密中の二次圧密速度を仮定した構成式による一次元圧密解析法について検討した.実測値に適合する圧密量時間曲線の再現計算は可能である.供試体底部で測定される過剰間隙水圧挙動と計算結果の大きな差を考えることが,今後の検討課題と思われる.

参考文献:1)安川郁夫,嘉門雅史:土質工学会論文報告集, Vol.27, No.2, pp.93-106, 1987.

2 )Berre,T. & Iversen,K. : oedometer test with different specimen heights on aclay exhibiting large secondary compression, Geotechnique, Vol.22, No.1,pp.53 ~ 70, 1972.