

粘土の $\log(t)$ ならびに $\dot{e}$ 型構成式による一次元圧密解析

東海大学大学院 学生会員○中村 智昭

(株)建設企画コンサルタント 正会員 白子 博明

東海大学工学部 正会員 杉山 太宏・赤石 勝

1. まえがき

標準圧密試験において、ほとんどの粘性土で二次圧密が観察される。二次圧密は時間の対数に比例するので二次圧密を圧密時間の関数として表現する構成式が多い。二次圧密モデルに関する最近の研究は、従来の $\log(t)$ 型から $\dot{e}$ 型に集中しているようである。 $\dot{e}$ 型の構成式を採用した場合、一次元圧密支配方程式自身が与える $\dot{e}$ との関連をどのように解釈するか、新たな課題が存在する。 $\log(t)$ 型あるいは $\dot{e}$ 型構成式を一次元圧密解析に利用する場合、それら構成式の特徴や限界を明確にする必要がある。

この報告は、従来の $\log(t)$ 型構成式ならびに $\dot{e}$ 型構成式による二次圧密を含む一次元圧密解析の比較から、一次圧密中に発生する二次圧密挙動ならびに構成式による一次元圧密解析結果の差異を検討したものである。

2. 一次元圧密方程式と二次圧密モデル

二次圧密を含む一次元圧密解析における $\log(t)$ 型構成式は、式(1)で表される。

$$e(=e_p+e_s)=e_0-C_c^* \cdot \log(\sigma/\sigma_0)-C_a \cdot \log(t/t_0) \quad (1)$$

ここに、 C_c^* は一次圧密量で定義する圧縮指数、 σ は鉛直有効応力、 C_a は間隙比で定義した二次圧密係数、時間 t_0 は圧密層内各点の圧密開始時間であり、時間 t_0 以降で二次圧密が発生すると仮定する。時間 t は t_0 以降の圧密経過時間であり、圧密層全体の圧密経過時間ではない。また、この報告では間隙比速度 $\dot{e}$ を一次圧密速度 $\dot{e}_p$ と二次圧密速度 $\dot{e}_s$ の和として表し、また有効応力を示すダッシュを省略する。

連続条件式とダルシー則から誘導される一次元圧密方程式と(1)式から二次圧密を考慮した一次元圧密方程式(2)が得られる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + m_s / m_p \quad (2)$$

ここに、 $c_v (=k(1+e_0)/\gamma_w/m_p)$, $m_p = -\frac{0.434 C_c^*}{\sigma}$, $m_s = -\frac{0.434 C_a}{t}$, である。右辺第二項は、二次圧密による過剰間隙水圧増分を表す。

陽的差分法により一次元圧密方程式(2)は、式(3)で表される。

$$\Delta u_{y,t+\Delta t} = M \cdot (u_{y-\Delta y,t} - 2 \cdot u_{y,t} + u_{y+\Delta y,t}) + m_s \cdot \Delta t / m_p \quad (3)$$

ここに、 $M = c_v \cdot \Delta t / y^2 \leq 1/2$ である。

$\dot{e}$ 型構成式として式(3)の関口の研究が知られている。^{1), 2)} 式(4)の $\dot{e}$ は、式(5)で表現される。

$$e = e_0 - C_c^* \cdot \log(\sigma/\sigma_0) + C_a \cdot \log(\dot{e}/\dot{e}_0) \quad (4) \quad \dot{e} = \dot{e}_0 \cdot 10^{-\chi/C_a} \quad (5)$$

ここに、 $\chi = e_0 - C_c^* \cdot \log(\sigma/\sigma_0) - e$ である。また $\dot{e}_0$ は、圧密開始時あるいは一次圧密終了時における間隙比速度が設定される。

圧密時間 t を含まない (4)式は、間隙比速度の比を導入することにより一次圧密終了後、時間の対数にほぼ比例する二次圧密を表現するものと思われる。しかし、 $\dot{e}$ が採用されているため、一次圧密中に発生する二次圧密挙動は明確にされない。

この報告では、 $\dot{e}$ 型の構成式を三笠のひずみに関する一次元圧密方程式(6)とリンクさせて二次圧密を含む一次元圧密解析を検討する。³⁾ 陽的差分法により(6)式は(7)式で表される。

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial y^2} \quad (6) \quad \Delta \varepsilon_{y+\Delta t} = M \cdot (\varepsilon_{y-\Delta y,t} - 2 \cdot \varepsilon_{y,t} + \varepsilon_{y+\Delta y,t}) \quad (7)$$

キーワード 一次元圧密、二次圧密、粘土、差分法

連絡先：〒259-1207 平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

3. 計算結果と考察

式(8)と式(9)に示す境界・初期条件で陽的差分法による一次元圧密解析を実施した。計算に用いた土質定数を Table1 に示す。載荷直前の二次圧密速度に関する $\dot{e}_0$ として(10)式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} &\text{式(3)に対して} \\ &u(y=0, t>0) = 0 \\ &u(H \geq y \geq 0, t=0) = u_0 (= \Delta \sigma) \\ &\partial u / \partial y (y=H, t>0) = 0 \\ &\dot{e}_s (H \geq y \geq 0, t=0) = \dot{e}_0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} &\text{式(7)に対して} \\ &\varepsilon(y=0, t>0) = - \int \frac{\dot{e}}{1+e_0} dt \\ &\varepsilon(H \geq y \geq 0, t=0) = 0 \\ &\partial \varepsilon / \partial y (y=H, t>0) = 0 \\ &\dot{\varepsilon}(H \geq y \geq 0, t=0) = -\dot{e}_0 / (1+e_0) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Table 1 Soil Constants			
Cc^*	c_v (cm/min ²)	C_α	e_0 (注)
1.5	0.1	0.05	3
注) $\sigma_0 = 39.2$ kPa における e_0			

ここに、 H は最大排水距離、 u_0 は初期過剰間隙水圧、 α は土の二次圧密特性に依存する定数である。

$$\dot{e}_0 = \alpha \cdot \dot{e}_{24} \quad (10)$$

Fig.1 に示す圧密量-時間曲線は、 $\log(t)$ 型の構成式(1)と間隙水圧に関する圧密方程式(2)による計算結果を白丸印、 $\dot{e}$ 型の構成式(4)とひずみに関する圧密方程式(6)による計算結果を破線で示している。差分法による時間増分 $\Delta t (= 6.25 \cdot 10^{-3} \text{ min})$ に等しい計算上の圧密開始時間から、 $y/H=0$ すなわち排水面に接する土要素の圧密量が時間の対数に比例するように $\dot{e}$ に関する係数 α の値を $3.5 \cdot 10^5$ に設定している。圧密開始当初の圧密量-時間曲線に構成式による差が若干認められるが、全体的には構成式ならびに圧密方程式の違いによる大きな差は認められない。また、 $y/H=0$ と $y/H=1$ の圧密量ならびに平均圧密量 (e_{mean}) の大きさは、圧密量が時間の対数に比例して発生する二次圧密領域で等しくなっており、いずれの構成式でも計算に用いた C_α の大きさに等しい二次圧密が計算されている。Fig.2 と Fig.3 は、土供試体の最大排水距離 H を 1cm と 2cm にした場合の $\log(t)$ 型と $\dot{e}$ 型それぞれの構成式によって計算した圧密量-時間曲線である。両図は構成式と圧密方程式によらずほぼ同じ圧密量-時間曲線になった。 H が変化しても差分法による計算の格子点間隔 Δy を等しくすれば、二次圧密領域における圧密量の大きさは等しくなる。 H が変化した場合、格子点数を等しくし Δy の異なる

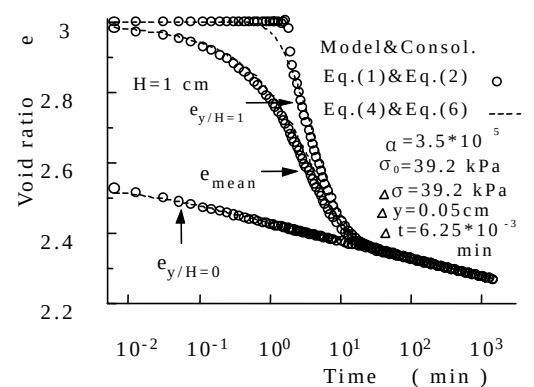


Fig.1 Consolidation time curves due to Eq.(1) and Eq.(4)

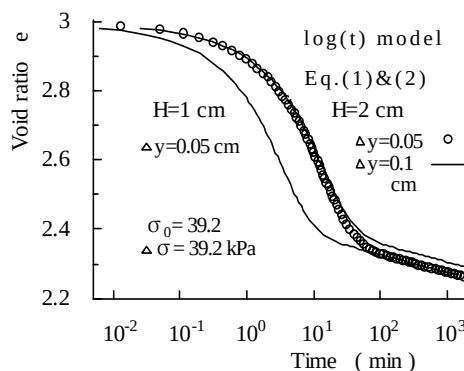


Fig.2 Consolidation time curves (1) based on $\log(t)$ model

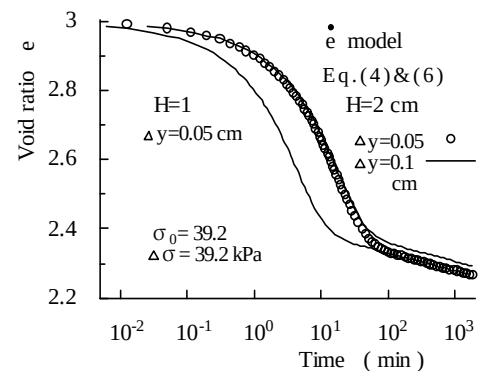


Fig.3 Consolidation time curves (1) based on $\dot{e}$ model

圧密量-時間曲線は、平行移動型となる。すなわち、式(1)と(4)の両構成式による圧密量-時間曲線の計算結果は、差分法による計算条件、格子点数の影響を受ける。

4. まとめ

- 1) $\log(t)$ 型ならびに $\dot{e}$ 型の構成式による二次圧密を含む一次元圧密解析は、ほぼ同じになる。いずれの解析結果でも二次圧密領域で圧密層内各点における圧密量の大きさは等しい。ひずみあるいは間隙水圧と一次元圧密方程式が違って、圧密量-時間曲線の計算結果に有意な差は認められない。
- 2) $\log(t)$ 型ならびに $\dot{e}$ 型の構成式による最大排水距離 H の異なる圧密量-時間曲線の計算結果は、差分法による計算条件、格子点数の影響を受ける。

— 参考文献 —

- 1) Sekiguchi, H. and Torihara, M. : Theory of one dimensional consolidation of clays with consideration of their rheological properties, Soils and Foundations
- 2) Imai, G. and Tang, Y. : A constitutive equation of one-dimensional consolidation derived from inter-connected tests, Soils and Foundations
- 3) 三笠正人：軟弱地盤の圧密，鹿島研究所出版会