

大阪大学工学部 正会員 松井 保

大阪大学工学部 正会員 ○ 阿部 信晴

1. まえがき

著者は、これまでに弾塑性構成式による多次元圧密の数値解析手法を提案して、飽和粘土の多次元圧密問題を解明してきた。そこでは、単に沈下挙動や過剰間隙水圧の消散過程からだけでなく、圧密変形時の地盤内変位や応力経路挙動からも多次元圧密挙動を考察して、多次元圧密における粘土のダイレイタンスの影響を明らかにした。一方、二次圧密に顕著に示されるように粘土における変形の時間依存性も圧密挙動の全般にわたって大きい影響を与えると考えられる。そこで、本報告では弾-粘塑性構成式による多次元圧密の数値解析法の基礎式と粘土の弾-粘塑性モデルを示し、さらに簡単な解析例に対する計算結果を示してその有用性を検討している。

2. 弾-粘塑性多次元圧密解析の基礎式

まず、弾-粘塑性構成式を用いる場合の応力-ひずみ関係を示すが、ここでは、降伏関数 F 及び塑性ポテンシャル Q は一般的に次の形式で与えられるものとする。

$$F = F(\sigma', \epsilon_{vp}, t, \bar{K}) = 0 \quad (1) \quad Q = Q(\sigma', \epsilon_{vp}, t, \bar{K}') = 0 \quad (2)$$

応力速度とひずみ速度の関係は次式で与えられる。

$$\dot{\sigma}' = \left(D - \frac{D \bar{a} \bar{a}^T D}{A + \bar{a}^T D \bar{a}} \right) \left\{ \dot{\epsilon} - \frac{\left(\frac{\partial F}{\partial t} \right) \bar{a}}{A} \right\} = \bar{D} (\dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}^c) \quad (3)$$

そして、(3)式の微小時間増分 Δt 間における応力増分とひずみ増分の関係式は次式で与えられる。

$$\Delta \sigma' = (\mathbf{I} + \bar{D} \mathbf{G})^T \bar{D} (\Delta \epsilon - \Delta t \dot{\epsilon}^c) = (\bar{D}^{-1} + \mathbf{G})^T (\Delta \epsilon - \Delta t \dot{\epsilon}^c) = \bar{D} (\Delta \epsilon - \Delta t \dot{\epsilon}^c) \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{I}$: 単位マトリックス、 $\mathbf{G} = \mathbf{G} \Delta t \left\{ \frac{\partial \dot{\epsilon}^c}{\partial \sigma'} \right\}_t$

(4)式を用いて、多次元圧密解析の基礎式を誘導すると次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta \mathbf{f} + \Delta \mathbf{f}^c + \mathbf{L} \mathbf{u}_{i,t} &= \mathbf{K} \Delta \mathbf{U} + \mathbf{L} \mathbf{u}_{i,t+\Delta t} \\ - (1 - \beta_2) \mathbf{C}^T \mathbf{u}_t &= \mathbf{L}^T \Delta \mathbf{U} + \beta_2 \mathbf{C}^T \mathbf{u}_{t+\Delta t} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここで、 $\Delta \mathbf{f}^c = \mathbf{V} \mathbf{B}^T \bar{D} (\Delta t \dot{\epsilon}^c)$

なお、詳細な誘導過程と notation は文献(4, 5) を参照されたい。

3. 弾-粘塑性構成式

ここで用いている弾-粘塑性モデルの降伏関数 F 、塑性ポテンシャル Q はそれぞれ次式で与えられる。

降伏関数

$$F = \bar{f} - \bar{K} = 0 \quad (6) \quad \bar{f} = \epsilon_a \ln \left\{ 1.0 + \left(\frac{\dot{\epsilon}_{vo}}{\epsilon_a} t \right) \exp \left(\frac{f}{\epsilon_a} \right) \right\} \quad (7)$$

$$f = \left(\frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \right) \left[\ln \left(\frac{p'}{p'_0} \right) + \left(\frac{\alpha_a}{\alpha_a - 1} \right) \ln \left\{ \frac{M_a + (\alpha_a - 1) \eta}{M_a + (\alpha_a - 1) \eta_{k0}} \right\} \right] \quad \text{主働応力状態} \quad (8)$$

$$f = \left(\frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \right) \left[\ln \left(\frac{p'}{p'_0} \right) + \left(\frac{\alpha_p}{1 - \alpha_p} \right) \ln \left\{ \frac{M_p + (1 - \alpha_p) \eta_{k0}}{M_p + (1 - \alpha_p) \eta} \right\} \right] \quad \text{受働応力状態} \quad (9)$$

塑性ポテンシャル

$$Q = g - \bar{K}' = 0 \quad (10)$$

$$g = p' \left\{ \frac{M_a + (\alpha_a - 1) \eta}{M_a + (\alpha_a - 1) \eta_{k0}} \right\}^{\left(\frac{\alpha_a}{\alpha_a - 1} \right)} \quad \text{主働応力状態} \quad (11)$$

$$q = p \left\{ \frac{M_p + (1 - \alpha_p) \eta_{k0}}{M_p + (1 - \alpha_p) \eta} \right\}^{\frac{\alpha_p}{1 - \alpha_p}} \quad \text{受働応力状態} \quad (12)$$

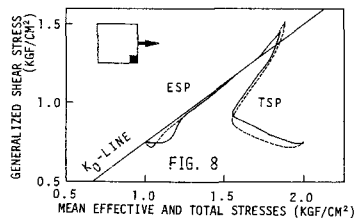
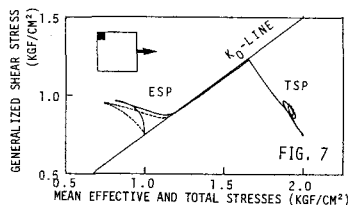
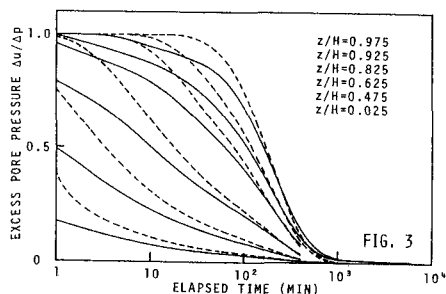
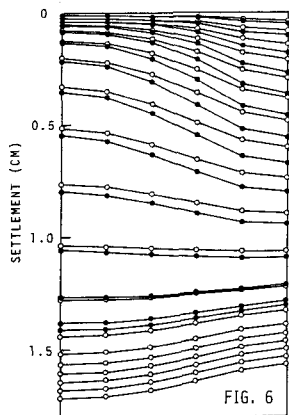
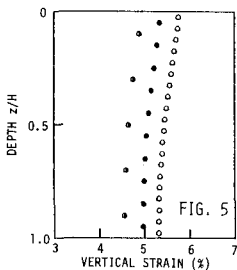
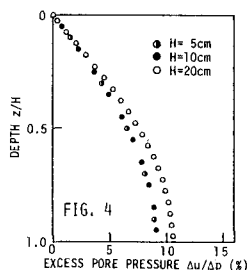
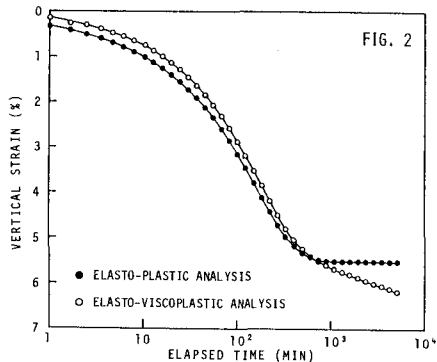
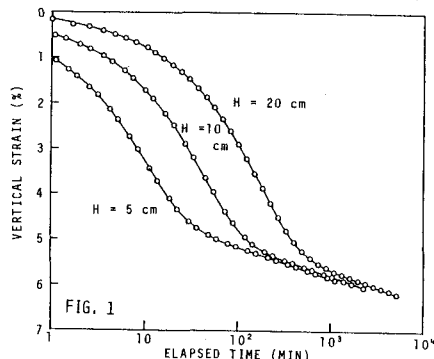
なお、詳細な誘導過程と notation (は文献4) を参照されたい。

また、間隙比の減少に伴う透水係数 k_v の低下は次式により評価している。

$$k_v = k_{v0} \exp(-\Delta e / \nu) \quad (13) \quad k_h = k_{h0} \exp(-\Delta e / \nu_h) \quad (14)$$

4. 数値計算例

一次元圧密及び簡単な平面ひずみ圧密の弾-粘塑性圧密解析結果が以下に示されている。また、弾塑性解析結果も同時に示されている。説明は紙面の都合で講演時に行いたい。



5. あとがき

今後、解析結果を模型実験結果と比較検討することにより解析法の改良を進めるつもりである。

参考文献

- 1) 松井阿部: 第15回土質工学研究発表会, pp. 253-256
- 2) 松井阿部: 第35回土木学会年講, Ⅲ-57, pp. 113-114
- 3) 松井阿部: 第16回土質工学研究発表会
- 4) Matsui, T. & Abe, N.: Soils and Foundations, Vol. 21, No. 1, pp. 79-95
- 5) 松井阿部: 第34回土木学会年講, Ⅲ-153, pp. 303-304
- 6) Sekiguchi, H. & Ohta, H.: Proc., Specialty Session 9, 9th ICSMFE, pp. 229-238
- 7) Berre, T. & Iversen, I.: Géotechnique, Vol. 22, No. 1, pp. 53-70
- 8) Mesri, G.: J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 99, No. SM1, pp. 123-137
- 9) 網干: 第32回土木学会年講, Ⅲ-100, pp. 180-181
- 10) 網干松田: 第33回土木学会年講, Ⅲ-54, pp. 97-98
- 11) 網干松田: 土と基礎, Vol. 29, No. 3, pp. 19-24