

一次元圧密解析のための弾粘塑性モデル

大阪大学工学部 正会員 阿部 信 晴
 大阪大学大学院 学生会員 ○橋本 和 晃
 大阪大学工学部 学生会員 吉田 圭伊智

1. はじめに

自然堆積粘土地盤の多くは過圧密状態にあるため、その圧密挙動を正確に予測するためには圧密降伏特性を表現しうる弾粘塑性構成モデルが必要となる。筆者らは過圧密粘土の一次元弾粘塑性モデルを提案しており、ここではそのモデルの構成仮定とモデル特性について示す。

2. 一次元弾粘塑性構成モデル

流動曲面モデル

提案している流動曲面モデルは次のような構成仮定とモデル特性を有している。

① ひずみは弾性および粘塑性ひずみから構成される。

$$\dot{\varepsilon}_z = \dot{\varepsilon}_z^e + \dot{\varepsilon}_z^p \quad (1)$$

② 応力が一定の時、粘性ひずみは時間の対数に比例して生じる。すなわち、対数クリープ則を仮定している。しかし、クリープ変形は限りなく続くものではなく、ある有限値に収束する。また、ひずみ速度効果を表現するために基準状態を導入する。これらの特性を考慮した基礎式は次式で与えられる。

$$\dot{\varepsilon}_z^p = -\mu \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}_z^p}{\dot{\varepsilon}_{zr}} + \delta \right) \quad (2)$$

ここに、 $\dot{\varepsilon}_{zr}$ は基準状態を規定する基準ひずみ速度、 δ は粘性変形に対する粘土の内部拘束を表すパラメータであり、基準ひずみ速度で正規化されたひずみ速度である。 μ は粘性を表すパラメータである。

③ 基準状態における基準特性として次式を仮定する。

$$\varepsilon_z^e = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_{z0}} \right) \quad (3)$$

④ 瞬間粘塑性応答は存在しない。すなわち、負荷の瞬間には粘塑性ひずみ ε_z^p は0である。この仮定によって、粘土は弾性的に応答することになり、負荷時のひずみ速度効果が表現される。(2)式を $t=0$,

$\varepsilon_z^p = \varepsilon_z^e + \varepsilon_z^p = 0$ なる初期条件の下で積分することにより、次式の流動曲面を得る。

$$F = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{\varepsilon}_{zr} t \right) \right\} \exp \left(\frac{\varepsilon^p}{\mu} \right) + \delta \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{\varepsilon}_{zr} t \right) \right] = \varepsilon_z^p \quad (4)$$

⑤ 時間-負荷履歴を考慮するために履歴変数 h を導入する。履歴変数 h を導入した流動曲面は次式で与えられる。

$$F = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{\varepsilon}_{zr} t \right) \right\} \exp \left(\frac{\varepsilon^p - h}{\mu} \right) + \delta \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{\varepsilon}_{zr} t \right) \right] = \varepsilon_z^p \quad (5)$$

(5)式によって軽く過圧密された粘土、擬似過圧密粘土の圧密降伏挙動と圧密降伏応力のひずみ速度依存性を表現することができる。履歴変数 h はそれまでに生じた粘塑性ひずみ ε_z^{p*} として評価される。

クリープポテンシャルモデル

(5)式とその時間微分 $\dot{\varepsilon}_z^p$ から時間 t を消去することにより、次式を得る。

$$\dot{\varepsilon}_z^p = \dot{\varepsilon}_{zr} \left\{ \exp \left(\frac{\varepsilon_z^e - h - \varepsilon_z^p}{\mu} \right) - \delta \right\} \quad (6)$$

ここに、 $\langle \rangle$ は、Macaulay bracket である。

(6)式は、内部ひずみ速度が内部拘束ひずみ速度 δ 以下になると外部ひずみ速度を生じない、というモデルの仮定を明確に示す形となっている。

3. 一次元圧密特性

① ひずみ速度効果

基準状態を規定する基準ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{zr}$ を導入することにより、(2)式から $\dot{\varepsilon}_z^p < (1 - \delta) \dot{\varepsilon}_{zr}$ のとき正の粘性ひずみが生じ、 $\dot{\varepsilon}_z^p > (1 - \delta) \dot{\varepsilon}_{zr}$ のとき負の粘性ひずみが生じる。正の粘性ひずみ

はクリープひずみであり、負の粘性ひずみが生じると、粘塑性ひずみ ε_p^v は塑性ひずみ ε^p より小さくなる。これはひずみ速度効果の表現となる。図-1は、正規圧密粘土の定ひずみ速度圧密試験の結果を示したものであるが、ひずみ速度が大きいケースではひずみ速度効果が認められるが、ひずみ速度が小さくなるとクリープによる応力緩和現象が生じる。

②二次圧密特性

対数クリープ則を仮定しているので二次圧密は時間の対数に比例して生じるが、内部拘束ひずみ速度 δ の導入により、内部ひずみ速度が δ 以下になると二次圧密は停止する。図-2は、 δ による正規圧密粘土の二次圧密挙動の相違を示したものである。

③圧密降伏特性

時間-負荷履歴変数 h により、軽く過圧密された粘土、擬似過圧密粘土の圧密降伏挙動と圧密降伏応力のひずみ速度依存性を表現することができる。図-3は履歴変数 h と $\varepsilon_v - \log \sigma_v$ 曲線の関係を示したものであるが、履歴変数 h が大きくなると粘塑性ひずみの発生が抑えられ、降伏挙動が表現されることがわかる。すなわち、降伏挙動を一貫して弾粘塑性状態として解析していることに注意すべきである。図-4, 5は Batiscan clay の定ひずみ速度圧密試験に対するモデルの適用性を示したものである。圧密降伏挙動と圧密降伏応力のひずみ速度依存性はほぼ妥当なものとなっている。

4. まとめ

提案する弾粘塑性構成モデルの構成仮定とモデル特性を明らかにするとともに、その適用性を検討した。

【参考文献】

- 1) Leroueil et al.: Stress-strain-strain rate relation for the compressibility of sensitive natural clays, Geotech. 35, No. 2, pp159-180, 1985.
- 2) 阿部他：一次元圧密におけるひずみ速度の影響について，第23回土質工学研究発表会発表講演集 pp357-360, 1988.
- 3) 阿部他：擬似過圧密粘土の圧密降伏挙動解析，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集Ⅲ pp364-365, 1991.

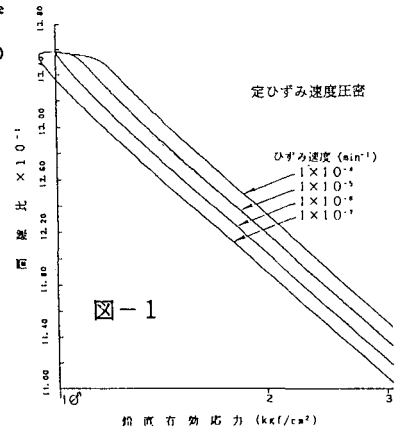


図-1

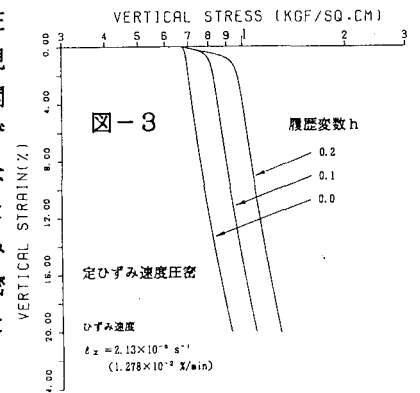


図-3

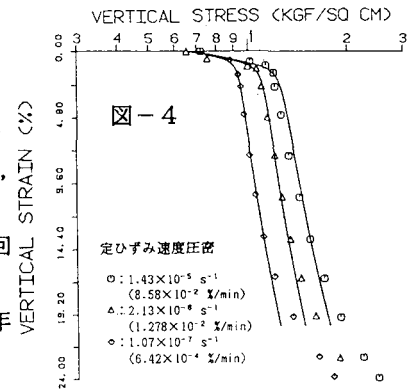


図-4

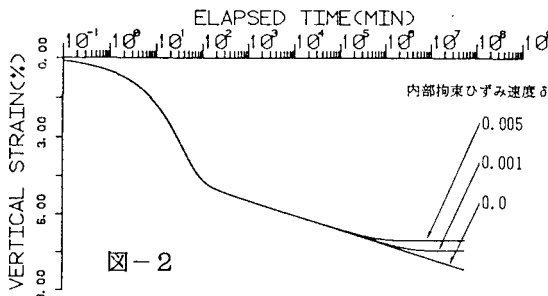


図-2

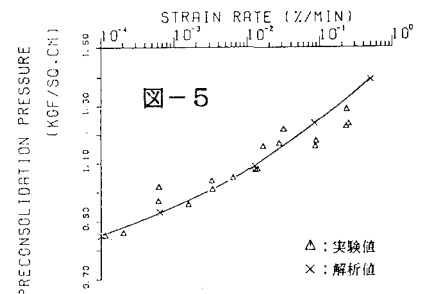


図-5