

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

粘性土は顕著な時間依存性挙動を示し、これが基礎地盤や工構造物の変形および安定性に大きな影響を与えることは良く知られている。したがって、粘性土の変形挙動を境界値問題として解析し、的確に予測するためには、粘性土の弾塑性特性と時間依存特性の両者を考慮しうる弾粘塑性構成式の確立が不可欠である。本報告では、流動曲面理論に基づく正規圧密粘土の弾/粘塑性構成式を提案している。

2 流動曲面理論

流動曲面理論は、弾塑性理論と同様な理論構成の中に時間依存性の内部変数や粘性効果を表現する内部変数を導入することによって、時間とともに変化する隆状曲面という概念に基づいて構成されている。

いま、時間依存性の内部変数を w とすれば、流動曲面は次式で表わされる。

$$f = f(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^{vp}, K, w(\sigma_{ij}, \eta)) = 0 \quad (1)$$

または、

$$f = f(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^{vp}, K, \eta) = 0 \quad (2)$$

ここに、 σ_{ij} , ε_{ij}^{vp} , K , η はそれぞれ有効応力テンソル、粘塑性ひずみテンソル、ひずみ硬化パラメータ、時間 t のみの関数であるパラメータである。そして、流動曲面理論による弾/粘塑性構成関係式は次式で与えられる。

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = H_{ijkl} \dot{\sigma}_{kl} + h \left(\frac{\partial f}{\partial \sigma_{mn}} \dot{\sigma}_{mn} + \frac{\partial f}{\partial \eta} \frac{d\eta}{dt} \right) \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} \quad (3)$$

ここに、

$$h = - \left\{ \frac{\partial f}{\partial \varepsilon_{ij}^{vp}} \varepsilon_{ij}^{vp} + \frac{\partial f}{\partial K} K \left(\frac{\partial g}{\partial \sigma_{mn}} \right) \right\}^{-1} \quad (4)$$

また、 g は粘塑性ポテンシャル関数である。

したがって、流動曲面モデルを構成するためには流動関数(曲面) f と粘塑性ポテンシャル関数 g を決定することが必要であるが、著者らは既に移行方程式による流動曲面の誘導手法を提案している。^{3), 4)}

3 正規圧密粘土の移行方程式と流動曲面

正規圧密粘土の流動曲面モデルとして、粘塑性体積ひずみ ε_v^{vp} とひずみ硬化パラメータとする等方硬化モデルを考える。そして、時間依存性の内部変数として粘性体積ひずみ ε_v^v を用い、その移行方程式を次式に基づいて誘導する。すなわち、正規圧密粘土の体積クリープ特性は多くの場合、次式によって表現されることが多い。

$$\dot{\varepsilon}_v^c = \frac{\dot{\varepsilon}_v^c}{(1 + \beta \varepsilon_v^c)^{\alpha+1}} \quad (5)$$

ここに、 $\dot{\varepsilon}_v^c$, ε_v^c は体積クリープ速度およびその初期値である。また、

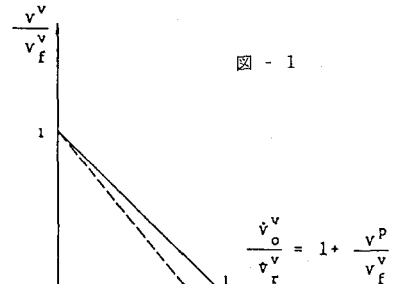


図 - 1

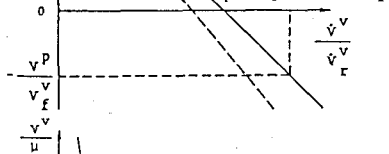


図 - 2

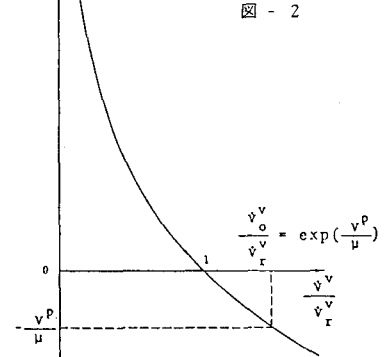
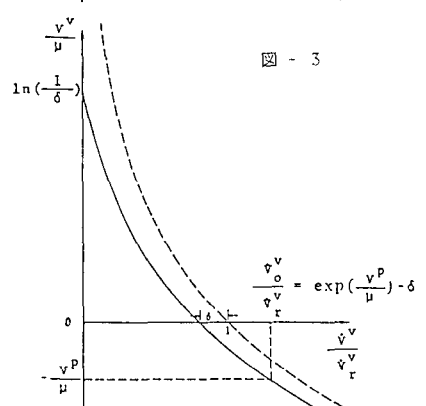


図 - 3



は経過時間であり、 α, β は材料定数である。

(5)式を粘性体積ひずみに関する関係式と見なせば、これに基づいて粘性体積ひずみ v^p の移行方程式は次のように導かれる。

$$\alpha \neq 0, \frac{v^p}{\alpha\beta} = 1 - (1 + \beta t) \frac{v^p}{v^p} \quad (6)$$

$$\alpha = 0, \frac{v^p}{\mu} = -\ln\left(\frac{v^p}{v^p}\right) \quad (7)$$

ニニに、 α, β, μ は材料定数であり、 v^p は基準粘性体積ひずみ速度である。図-1, 2はこの移行曲線を示したものであるが、図-1の破線はこの移行曲線が時間とともに変化することを示している。(6)式, (7)式の移行方程式から、著者の提案している誘導手法

によってそれぞれ次の流動曲面が得られる。

$$\alpha \neq 0, f = \left(-\frac{v^p}{\alpha\beta} + v^p\right) \left\{1 - \frac{1}{(1 + \beta t)^\alpha}\right\} - v^p = 0 \quad (8)$$

$$\alpha \neq 0, f = \mu \ln \left\{1 + \left(\frac{v^p}{\mu t}\right) \exp\left(-\frac{v^p}{\mu}\right)\right\} - v^p = 0 \quad (9)$$

ニニに、 v^p は基準粘性体積ひずみ速度 v^p によって規定される基準粘性状態における体積ひずみであり、応力の関数として評価される。一方、図-3に示す移行曲線、すなわち(10)式によって示される移行方程式から同様にして(11)式の流動曲面が得られる。

$$\frac{v^p}{\mu} = -\ln\left(\frac{v^p}{v^p} + \delta\right) \quad (10)$$

$$f = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ \left[1 - \exp\left(-\frac{\delta}{\mu} v^p t\right)\right] \exp\left(-\frac{v^p}{\mu}\right) + \delta \exp\left(-\frac{\delta}{\mu} v^p t\right) \right\} \right] - v^p = 0 \quad (11)$$

ニニに、 δ は材料定数である。(8)式, (9)式 (11)式のいずれの流動曲面によっても正規圧密粘土の時間依存性挙動の表現は可能であるが、図-4はこの移行曲線を用いて行った一次元二次圧密解析結果を示したものである。(8)式によれば比較的多様な収束性の二次圧密特性を表現し得ることがわかる。また、(9)式では次下が時間の対数に比例して生じる非収束性の二次圧密特性が表現される。一方、(11)式では、初期には時間の対数に比例する収束性性状を示した後やがて収束する二次圧密特性が表現される。そして、沈下速度が比較的大きい領域における(9)式と(11)式による次下挙動はほとんど一致している。このような二次圧密特性の相違はこの流動曲面によって表現される時間依存性挙動の一般的特徴を反映している。すなわち、(8)式, (11)式が収束性の時間依存性性状を示すのに対して、(9)式は非収束性の時間依存性性状を示す。これは図-1 ~ 3からも明らかのように移行曲線の基準体積ひずみ軸と交わるか否かの相違によっている。一般に基準体積ひずみ軸(図1)と交わらない移行曲線から導かれる流動曲面モデルは収束性の時間依存性挙動を示さない。また、(9)式と(11)式による時間依存性挙動の類似性は図-3に示される移行曲線の形状からも明らかであろう。

参考文献

- 1) 松井阿部: 粘土の弾粘塑性構成式について, 第18回土質工学研究発表会発表講演集
- 2) 松井阿部: 流動曲面理論による粘土の弾粘塑性構成式, 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集, 第3部
- 3) 松井阿部: 講座 土の構成式入門 5. 弾塑性体理論と適用(その3), 土と基礎, Vol. 32, No. 1
- 4) 松井阿部: 正規圧密粘土の弾粘塑性構成式, 第19回土質工学研究発表会発表講演集

