

III-89

異方圧密粘土の複合硬化モデル

熊本大学 正員 平井 弘 義

1. はじめに

等方あるいは異方圧密を受ける粘土の構成則の定式化に関して、複合硬化、異方硬化、限界面などの考え方に基づくモデル化が、最近盛んに行われている。複合硬化モデルは等方硬化と移動硬化を結び付けた硬化則に基づくものであり、Pan & Banerjee による研究がある。¹ 圧密曲面と降伏曲面から成る異方硬化モデルに関しては、Mroz et al.² によるものが挙げられる。Banerjee et al.³ と Dafalias et al.⁴ は限界面を用いて等方及び異方圧密粘土の非排水挙動の予測を行っている。

著者は先に複合硬化および異方硬化モデルに基づく砂の構成則を示し、それらの適用性を明らかにしてきた。⁵⁻⁷ 本研究では、複合硬化モデルを異方圧密された粘土に適用し、非排水試験における力学挙動のシミュレーションを行う。特に、異方圧密時の降伏関数、複合硬化則の表現形式に焦点が向けられている。

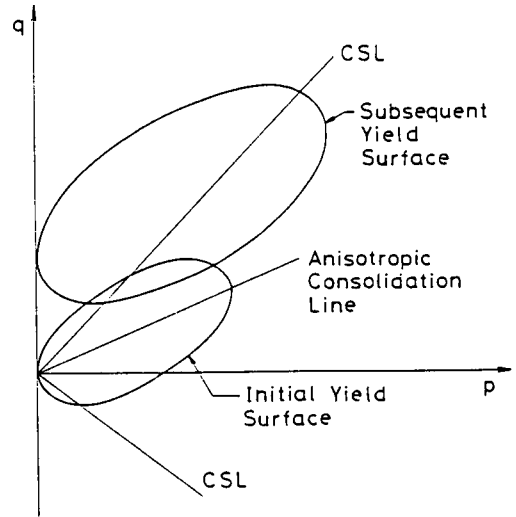


Fig. 1 Yield surface in (p-q) space.

2. 降伏関数、塑性ポテンシャル

提案される複合硬化モデルにおいては、以下の関数が用いられている。

$$\text{降伏関数: } f = \bar{J}_2 / r(\bar{\theta})^2 + m \bar{I}_1^2 + k \bar{I}_1 = 0 \quad (1)$$

$$\text{塑性ポテンシャル: } g = J_2^{1/2} / (R(\theta) I_1) - \eta \ln(I_1/h) = 0 \quad (2)$$

ここに、 I_1 , J_2 , θ は応力 σ_{ij} の不変量、 $\bar{I}_1$, $\bar{J}_2$, $\bar{\theta}$ は $\sigma_{ij} - \beta_{ij} I_1 / 3 - \alpha_{ij}$ の不変量、 β_{ij} は異方圧密を表すテンソル、 α_{ij} は移動硬化を示すテンソル、 m , η は材料定数、 k は等方硬化パラメータ、 $R(\theta)$ と $r(\bar{\theta})$ は次のように定義されている。

$$R(\theta) = 2(1-\bar{R}^2)\cos\theta + (2\bar{R}-1) \{4(1-\bar{R}^2)\cos^2\theta + 5\bar{R}^2 - 4\bar{R}\}^{1/2} / \{4(1-\bar{R}^2)\cos^2\theta + (1-2\bar{R})^2\} \quad (3)$$

$r(\bar{\theta})$ も同様に定義される。図1に式(1)が示されている。

3. 硬化関数

等方硬化パラメータ k および移動硬化テンソル α_{ij} は次の発展式を仮定する。

$$\dot{k} = \phi(\sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} / 3 + n s_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}) \quad (4)$$

$$\dot{\alpha}_{ij} = D \bar{s}_{ij} (\dot{e}_{mn} \dot{e}_{mn})^{1/2} \quad (5)$$

ここに、 ϕ 、 n は材料定数、 e_{ij} 、 e_{ij}' はひずみ、
偏差ひずみ、 D は次のように書ける。

$$D = D' J_2^{1/2} I_1 r(\theta)^2 / \{ 2^{1/2} \bar{J}_2 (1 + W(\theta)^2 I_1^2 / R(\theta)^2)^{1/2} \} \quad (6)$$

4. 応力-塑性ひずみ関係

塑性ひずみ速度は次のように書ける。

$$\dot{e}_{ij} = \Lambda \partial g / \partial \sigma_{ij} \quad (7)$$

さらに、適合条件式は次のようになる。

$$\partial f / \partial \sigma_{ij} \dot{\sigma}_{ij} + \partial f / \partial \alpha_{ij} \dot{\alpha}_{ij} + \partial f / \partial k \dot{k} = 0 \quad (8)$$

式 (1) から (6) までを 式 (7) と (8) に代入すること
によって、塑性の構成関係は求められることにな
る。

5. モデルシミュレーション

非排水条件における粘土の有効応力経路を予測
するために、提案する複合硬化モデルによる数値
解析を試みる。正規圧密された状態については、
図2に過圧密比の種々の値に対して、実験結果と
解析値が示されている。図3は、異方圧密された
粘土の三軸圧縮、伸張試験における実験値と解析
値の比較を示している。提案された複合硬化モデ
ルは、かなりの精度で異方圧密粘土の非排水挙動
を記述しうることがわかる。

参考文献

- 1) Pan, Y. W. et al.: Transitional yielding approach for soils under general loading, J. Eng. Mech. ASCE 113(2), 1987.
- 2) Mroz et al.: Application of an anisotropic hardening model in the analysis of elasto-plastic deformation of soils, Geotechnique 29(1), 1979.
- 3) Banerjee, P. K. et al.: A plasticity model for the mechanical behaviour of anisotropically consolidated clay, Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech. 10, 1986.
- 4) Dafalias, Y. F. et al.: Bounding surface plasticity, III: Application to anisotropic cohesive soils, J. Eng. Mech. ASCE 112(12), 1987.
- 5) Hirai, H.: An elastoplastic constitutive model for cyclic behaviour of sands, Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., 1987(to be published).
- 6) Hirai, H.: A combined hardening model of plasticity for sands, in C. S. Desai et al.(eds), 2nd Int. Conf. on Constitutive Laws for Engineering Materials, Elsevier, 1987.
- 7) Hirai, H.: An anisotropic hardening model for sand subjected to cyclic loading, 3rd Int. Conf. Soil Dynam. Earthq. Engng., 1987.

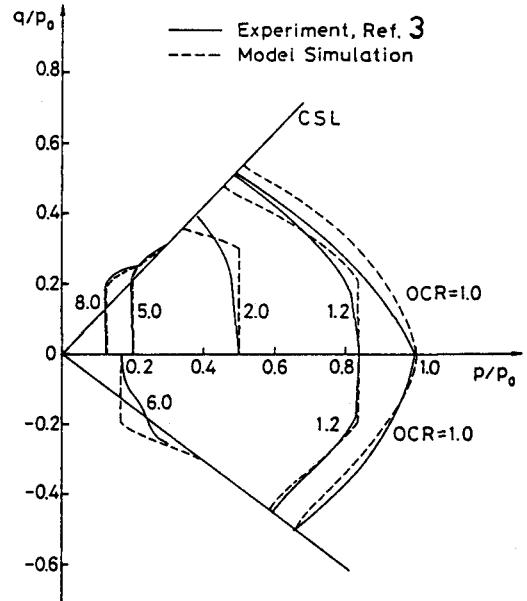


Fig. 2 Simulation of undrained tests of isotropically consolidated Kaolin.

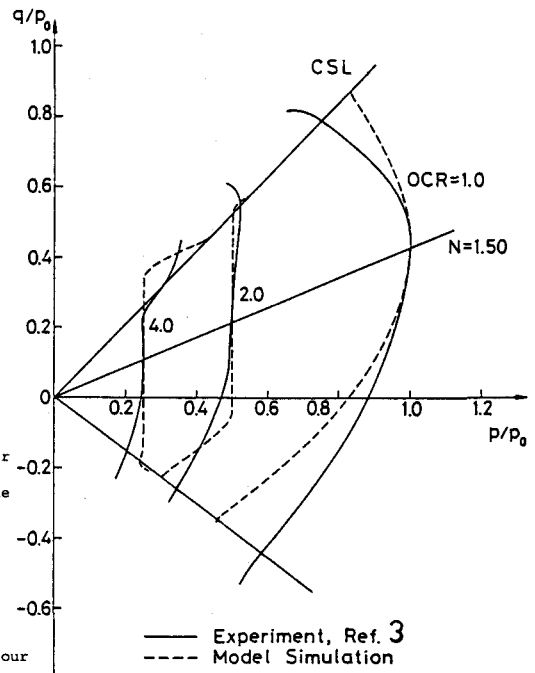


Fig. 3

Simulation of undrained tests of anisotropically consolidated Kaolin.