

SMP理論に基づく正規圧密粘土の降伏曲線の逆解析

鹿児島大学工学部 学 森崎考史 正 三隅浩二

1. はじめに tij -カムクレイモデル¹⁾において降伏曲線の形を未知とした弾塑性構成式を土の挙動にあてはめて、降伏曲線ならびに弾塑性パラメータを決定する方法を提案する。このモデルが、オリジナルカムクレイモデルに代表されるケンブリッジ学派の構成式と異なるのは、①降伏関数が応力の第1, 2, 3不変量(すなわち3主応力)で表現されていること、②流れ則は塑性主ひずみ増分ベクトルと主応力ベクトルの空間活動面(SMP面)へのベクトル変換成分の関係を規定していること、③降伏曲線の形を具体的に決めていないこと、の3点である。このモデルのことを本報告ではSMP*モデルと呼ぶことにする。

2. SMP*モデルによる降伏曲線の逆解析 式(1)は塑性挙動をSMP*モデルで表したときの弾塑性構成式を示している。右辺第1項はカムクレイモデルと同じ $\ln p'$ に対して線形な等方弾性挙動、右辺第2項は塑性挙動である。ここに、 $[SMP*]$ は $\{d\epsilon_N, d\epsilon_S\}^T$ による $\{d\epsilon_{smp}, d\gamma_{smp}\}^T$ の発生をSMP*モデルで表したマトリックス、 $[A]$ は $\{d\epsilon_{smp}, d\gamma_{smp}\}^T$ を $\{d\epsilon_U, d\epsilon_S\}^T$ に変換するマトリックス、 $[B]$ は $\{dq, dp\}^T$ を $\{d\epsilon_N, d\epsilon_S\}^T$ に変換するマトリックスであり、いずれも 2×2 マトリックスである。以下の式で、 A_1, A_2 は $[A]$ の1行1列ならびに1行2列の成分を表す。 B_2, B_4 は $[B]$ の1行2列ならびに2行2列の成分を表す。

さて、次に逆解析手順を示す。式(2)は、 $C_2 = d\epsilon_U^d / dq$ 、すなわちダイレイタンスの発生メカニズムを決める変形係数である。 C_2 は塑性onlyなので C_2 をはかれば、SMP*モデルの塑性変形のメカニズムを決定することができる。式(3)は限界状態時に式(2)が満足する関係を表している。この式の右辺は限界状態時の応力状態より計算できる(たとえば Y_f, X_f は $R_f = (\sigma_1 / \sigma_3)_f$ より式(4)を用いて計算できる)ので、 $M^* = X_f + Y_f$ 、 $D^* M^* = (\lambda - \kappa) / (1 + e_0)$ を決定することができる。ここで、 $D^* M^*$ を式(2)に用いれば、せん断中のデータよりSMP*モデルの塑性ひずみ増分比($Y = d\epsilon_{smp} / d\gamma_{smp}$)～応力比($X = d\epsilon_S / d\epsilon_N$)関係が得られる。図1は繰り返して再圧密した藤の森粘土の三軸圧縮試験より得られた $Y \sim X$ 関係の1例を示す。この図より藤の森粘土が tij -カムクレイモデル¹⁾の $Y \sim X$ 関係($Y = M^* - X$)を満たしていないことがわかる。

次に、塑性挙動 $[SMP*]$ を決定することができる。すなわち図1の $Y \sim X$ 関係より N, S, H を順番に求めることができる。SMP*モデルは関連流れ則を仮定しているので $[SMP*]$ は対称行列となる。式(6)は、降伏曲線の形が未知でも成り立つ塑性体積ひずみの式である。この式を変形して正規化された降伏曲線の式、式(7)が得られる。図2は、図1と同じ藤の森粘土の三軸試験データより得られた降伏曲線の形を示している。

3. おわりに 現在、提案手法を応力径路の異なる種々の三軸試験結果に適用し、塑性ひずみ増分方向の応力径路依存性を調べている。なお、今回のSMP*モデルは、関連流れ則に従わない塑性成分として知られる中井の塑性圧縮のメカニズム²⁾を含んでいない。

参考文献

- 1) 中井照夫, 松岡元, 三原泰司: 土質材料の新たな力学量と弾塑性理論への適用, 第17回土質工学研究発表会講演集, 2の1, pp.409-412, 1982.
- 2) Teruo Nakai, Hajime Matsuoka: A Generalized Elastoplastic Constitutive Model for Clay in Three-dimensional Stresses, Soils and Foundations Vol.26, No.3, pp.81-98, 1988.

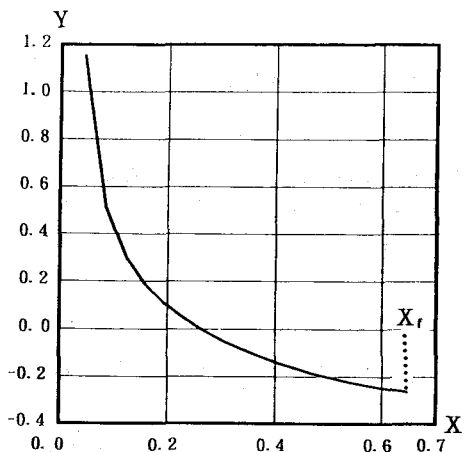


図1 SMP モデルより得られたY～X関係

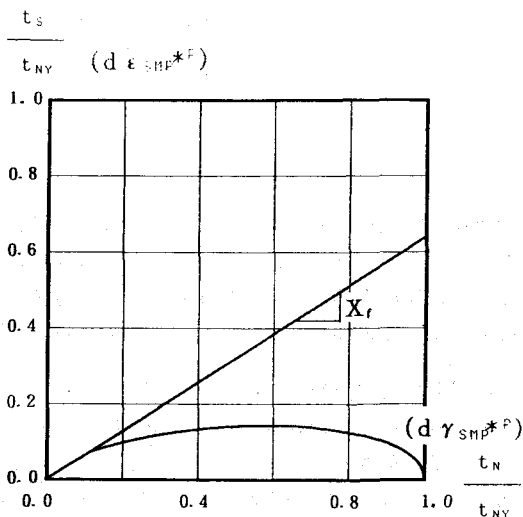


図2 SMP モデルより得られた降伏曲線

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} d\epsilon_v \\ d\epsilon_s \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} C_1 & C_2 \\ C_3 & C_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K^{-1} & 0 \\ 0 & (3G)^{-1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SMP^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$C_2 = (YB_2 + B_4) / (Y + X) D^* M^* / t_N \dots\dots\dots (2)$$

$$D^* M^* = C_{2f} t_{Nf} (Y_f B_{2f} + B_{4f})^{-1} M^* \dots\dots\dots (3)$$

$$X_f = \sqrt{2}/3 (\sqrt{R_f} - \sqrt{1/R_f}), Y_f = (1 - \sqrt{R_f}) \{ \sqrt{2}(\sqrt{R_f} + 0.5) \}^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} SMP^* \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} HN^2 & HNS \\ \text{sym.} & HS^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H = (A_1 N + A_2 S)^{-1} \\ S = N/Y \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5) \\ N &= C_2 (A_1 Y + A_2) / (A_1 B_2 Y + A_2 B_2 + A_1 B_4 + A_2 B_4 Y^{-1}) \end{aligned}$$

$$\epsilon_v^P = D^* M^* \int_0^X \frac{dX}{Y + X} = D^* M^* \left(-\ln \frac{t_N}{t_{NY}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{t_N}{t_{NY}} = \exp \left(- \frac{\epsilon_v^d}{D^* M^*} \right), \quad \frac{t_s}{t_{NY}} = \frac{t_N}{t_{NY}} X \dots\dots\dots (7)$$