

中間主応力の影響を考慮した三軸試験データ解析法

鹿児島大学工学部 学 火山憲司 正 三隅浩二

1. はじめに タイトルに示す‘中間主応力の影響を考慮した’は、応力の第1, 第2不変量だけでなく‘応力の第3不変量の影響までも考慮した’と言い換えてもよい。カムクレイモデルを代表とするケンブリッジモデルの降伏曲線は π 面上で円形だが、ここで登場する逆解析モデル(SMP*モデルと呼ぶ)は、中井の t_{ij} -Cam clayモデル¹⁾をベースにした構成式なので、逆解析して得られる降伏曲線は π 面上でおむすび形をしている。

2. SMP*の概念を導入した三軸試験データ解析法

図1のプロットは、平均主応力一定多段階載荷の部分排水三軸試験より得られたダイレイタンシー挙動を示している。プロットを走るラインは図中に示す実験公式を実験結果にあてはめたものである。この式より、ケンブリッジモデルのパラメータMに対してDが求められる。

さて、図2～図4は、図1の挙動をSMP*モデルで逆解析して得たものである。式(1)～式(9)の諸式は、SMP*モデルを示している。式(1)は、空間滑動面上の垂直応力 t_n とせん断応力 t_s を応力の不変量 J_1, J_2, J_3 で示したものである。式(2)は、応力比Xと塑性ひずみ増分比Yの定義式を示したものである。 $d\varepsilon_{SMP}^{*P}, d\gamma_{SMP}^{*P}$ は、主ひずみ増分ベクトルの空間滑動面上に垂直な成分ならびに平行な成分である。

図2の太線は、ダイレイタンシー効果を含まない純粋な摩擦係数($X+Y$)の変化を示している。なぜ $X+Y$ が摩擦係数なのかは式(3)によって理解することができる。式(3)の一番左側の等号は塑性外部消散率の定義を意味する。左から2番目の等号は仮定ではなく左辺の式の変形によりストレートに右辺の式が誘導されたことを示す等号である。右辺の形は塑性内部消散率そのものである²⁾ことから $X+Y$ を摩擦係数と見なすことができる。さて、図2より $X+Y$ は次第に小さくなり限界状態で $M^*(=X_t+Y_t)$ に到達する。図2には参考のため t_{ij} -Cam clayモデルの摩擦係数($X+Y=M^*$)も波線で記している。 M^*, X_t, Y_t 等の限界状態パラメータは式(6), 式(7)にまとめて記した。図2の原点を通る細線は、 $Y=0$ の状態を示している。このラインを基準にすれば、 $Y \sim X$ 関係の情報を得ることができる。

図3は、式(8)により得られた空間滑動面上の降伏曲線の形³⁾を表している。式に含まれる $D^*(\neq D)$ は限界状態で得られるパラメータであり、式(7)で表される。 C_{2t}, B_{2t}, B_{4t} は、式(4)および式(5)で表される限界状態パラメータである。図3には、塑性ひずみ増分ベクトルを2本だけ示している。 β_{SMP} は塑性ひずみ増分ベクトル方向であり、式(9)より得られる。さて、図3の X_t は、塑性ひずみ増分ベクトルが縦軸方向を向くときの応力比Xを示している。この状態は限界状態($X=X_t$)ではなく $d\varepsilon_{SMP}^{*P}=0$ の状態を意味している。

図4は、式(9)より得られた塑性ひずみ増分ベクトル方向の変化⁴⁾を示している。 $X=X_t$ のとき $\beta_{SMP}=90^\circ$ となっていてつじつまがまっていることがわかる。図2では、 $X=X_t$ の状態は $Y=0$ となっていることがわかる。

3. おわりに 本報告の冒頭で記したように、SMP*モデルの降伏曲線は π 面上でおむすび形をしている。このことは圧縮せん断試験の解析結果(降伏曲線および弾塑性パラメータ)から三主応力制御試験で得られるすべての応力径路のせん断挙動を予測できることを意味している。今回は等方圧密粘土に対してこのSMP*モデルの適用を試みた。次回は異方圧密粘土に対してこのモデルの適用性を確かめたい。

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分冊の1, pp.409-412, 1982
- 2) Atkinson, J.H. and Bransby, P.L.: The Mechanics of Soils, McGRAW-HILL University Series in Civil Engineering, p.254, 1978
- 3) 森崎孝史, 三隅浩二: SMP理論に基づく正規圧密粘土の降伏曲線の逆解析, 平成5年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.666-667, 1994
- 4) 三隅浩二, 赤塚芳弘ほか: 空間滑動面上の流れ則に基づく塑性ひずみ増分ベクトル方向の逆解析, 第29回土質工学研究発表会平成6年度発表講演概要集3分冊の1, pp.591-592, 1994

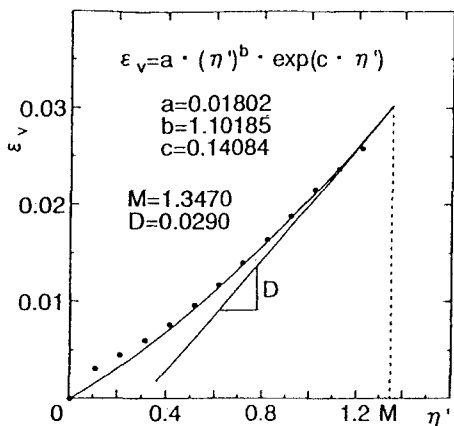


図1 ダイレイタンスー挙動

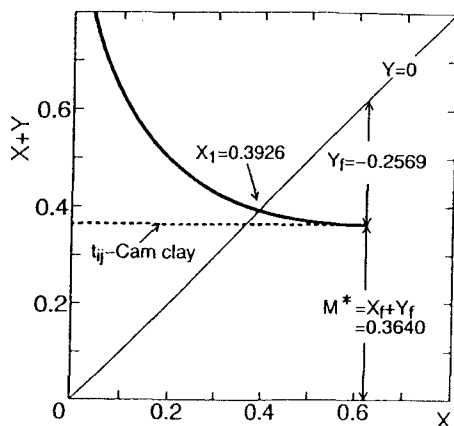


図2 摩擦係数 \$(X+Y)\$ の変化

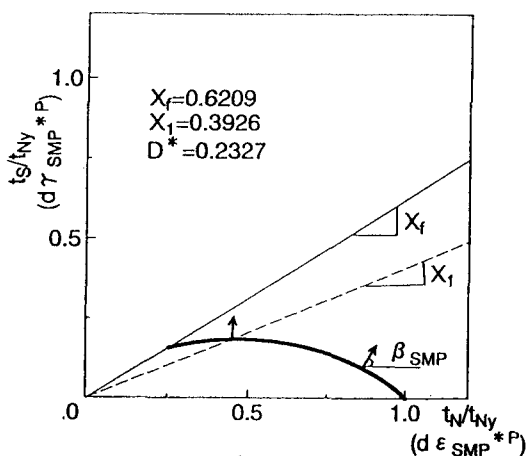


図3 SMP*モデルによる降伏曲線

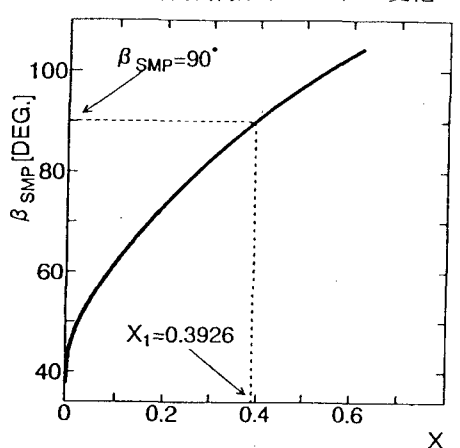


図4 塑性ひずみ増分ベクトル方向の変化

$$\left. \begin{aligned} I_N &= 3J_1/J_2 \\ I_S &= (J_1 J_2 J_3 - 9J_3^2)^{1/2}/J_2 \end{aligned} \right\} (1) \quad \left. \begin{aligned} X &= I_S/I_N \\ Y &= d\epsilon_{SMP}^*P/d\gamma_{SMP}^*P \end{aligned} \right\} (2)$$

$$dw_{ex}^*P = I_N d\epsilon_{SMP}^*P + I_S d\gamma_{SMP}^*P = (X+Y) I_N d\gamma_{SMP}^*P \rightarrow dw_{in}^*P \quad \dots (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} d\epsilon_v \\ d\epsilon_s \end{aligned} \right\} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 \\ C_3 & C_4 \end{bmatrix} \left\{ \begin{aligned} dp^* \\ dq \end{aligned} \right\} \quad \dots (4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} dI_N \\ dI_S \end{aligned} \right\} = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 \\ B_3 & B_4 \end{bmatrix} \left\{ \begin{aligned} dp^* \\ dq \end{aligned} \right\} \quad \dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} X_i &= \sqrt{2/3} (\sqrt{R_i} - 1/\sqrt{R_i}) \\ Y_i &= (1 - \sqrt{R_i}) (\sqrt{2} (\sqrt{R_i} + 0.5))^{-1} \\ &\quad R_i = (\sigma_i/\sigma_3)_i \end{aligned} \right\} (6) \quad \left. \begin{aligned} M^* &= X_i + Y_i \\ D^* &= C_{2i} I_{Ni} / (B_{2i} Y_i + B_{4i}) \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\left. \begin{aligned} I_N/I_{Ny} &= \exp \{ \ln(I_N/I_{Ny0}) - \epsilon_v^*/D^*M^* \} \\ I_S/I_{Ny} &= I_N X/I_{Ny} \end{aligned} \right\} (8) \quad \beta_{SMP} = 90^\circ - \tan^{-1} Y \quad \dots (9)$$