

名古屋工業大学 正員 松岡 元
 “ “ 中井 照夫
 “ (現・建設省) 和田 実

以前より、粘土の応力・ヒズミ関係が砂の場合と全く同じ観点から定式化できることも実験的に検証し、粘土粒子の団粒(ped)が近似的に砂粒子1個に対応する挙動を有するためではなからうかと述べた¹⁾。ここでは、粘土の三軸圧縮・伸張条件下の平均主応力一定試験、最小主応力一定試験、最大主応力一定試験および非排水試験(図-1参照)を行ない、空間滑動面(Spatial Mobilized Plane; SMP)に基づく任意応力経路下の土の応力・ヒズミ関係式²⁾の検証を行なった。

1. 実験の概要

試料は市販の粘土粉末の練り返し再圧密粘性土(藤の森粘土, LL=44.7%, PI=20.0)であり、供試体は直径3.5 cm, 高さ8 cmの円筒形に成形した。供試体の上下端面の摩擦を除去するため、供試体の上下面にはシリコン・グリスを塗布したゴム膜を挿入し、排水はろ紙による側方排水とした(伸張試験では3紙の張力が働かないように5センチ状に巻いた)。また側圧が変化する試験では3紙自体の体積変化による排水量の補正も行なった。なお、軸ヒズミ速度は約 $\dot{\epsilon}_a = 1.56 \times 10^{-3} \% / \text{min}$. ($1.25 \times 10^{-3} \text{ mm/min.}$)とし、非排水試験のバック・アップレジャーは 1.0 Kg/cm^2 とした。

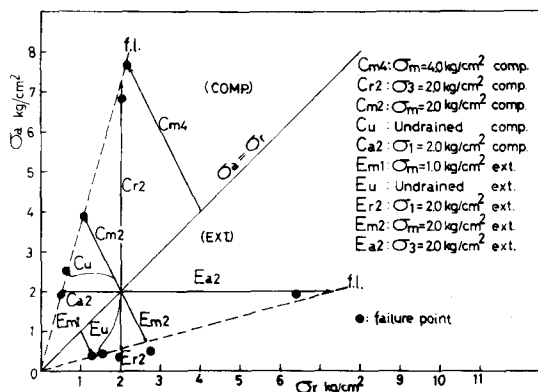


図-1 実験を行なった応力経路および破壊線

2. 任意応力経路下の土の応力・ヒズミ関係式²⁾

SMPに基づいた土の応力・ヒズミ関係式の要点を再録すれば次のようになる。SMP上のセリ断ヒズミ増分、垂直ヒズミ増分、セリ断・有効垂直応力比を $d\gamma_{SMP}$, $d\epsilon_{SMP}$, $X (\equiv \tau_{SMP}/\sigma_{SMP})$ とし、平均有効主応力を σ_m とすれば、セリ断によるヒズミ(添字S)と圧縮によるヒズミ(添字C)の重ね合をも認め、

$$\left. \begin{aligned} d\gamma_{SMP} &= d\gamma_{SMP}^S + d\gamma_{SMP}^C = G_1(X, \sigma_m) \cdot dX + G_2(X, \sigma_m) \cdot d\sigma_m \\ d\epsilon_{SMP} &= d\epsilon_{SMP}^S + d\epsilon_{SMP}^C = E_1(X, \sigma_m) \cdot dX + E_2(X, \sigma_m) \cdot d\sigma_m \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

$$\text{あるいは, } \begin{bmatrix} d\gamma_{SMP} \\ d\epsilon_{SMP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 & G_2 \\ E_1 & E_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX \\ d\sigma_m \end{bmatrix} \text{----- (2)}$$

$$\text{すなわち, } \left. \begin{aligned} G_1 &\equiv \frac{\gamma_0}{\mu' - \mu} \cdot \exp\left(\frac{X - \mu}{\mu' - \mu}\right), & G_2 &\equiv 0.434 \alpha C_d \left\{ \exp\left(\frac{X - \mu}{\mu' - \mu}\right) - \exp\left(\frac{-\mu}{\mu' - \mu}\right) \right\} \frac{1}{\sigma_m} \\ E_1 &= \frac{\mu - X}{\lambda} \cdot G_1, & E_2 &= \frac{\mu - X}{\lambda} \cdot G_2 + \frac{0.434 C_c}{3(1 + e_0)} \frac{1}{\sigma_m} \end{aligned} \right\} \text{---- (3)}$$

ここで、 λ , μ , μ' は試料が決すればほぼ一定となる土質パラメータであるが、 γ_0 は初期の粗子構造や拘束応力 σ_m の影響を受ける係数であり、次式で表わされる。 $\gamma_0 = \gamma_{0i} + C_d \cdot \log_{10} \frac{\sigma_m}{\sigma_{mi}}$ ----- (4)

ここで、 σ_{mi} は σ_m の基準値であり、 γ_{0i} は $\sigma_m = \sigma_{mi}$ のときの γ_0 の値である。 C_d は圧縮指数、 e_0 は初期間隙比、 α は K_0 値より決定される係数である。さて、主応力と主ヒズミ増分の方が一致し、かつSMP上の τ_{SMP} と $d\gamma_{SMP}$ の方向が一致するものとすれば、3主ヒズミ増分 $d\epsilon_i$ は $d\gamma_{SMP}$, $d\epsilon_{SMP}$ より次式で算定される。

$$d\epsilon_i = d\epsilon_{SMP} + \frac{\sigma_i - \sigma_{SMP}}{2 \tau_{SMP}} \cdot d\gamma_{SMP} \quad (i = 1, 2, 3) \text{----- (5)}$$

なお、(5)式は座標変換によって $\{d\epsilon_{ij}\} = [D]^{-1} \{d\sigma_{ij}\}$ なる一般表示形に変換することが出来る。

3. 実験結果との検討

図-2 は、図-1 に示す三軸圧縮側の4個の有効応力経路 (C_{r2} , C_{m2} , C_u , C_{a2}) の場合の有効主応力比 σ_1/σ_3 - 最大主ヒズミ ϵ_1 - 体積ヒズミ ϵ_v 関係での実測値(プロット)と(5)式による計算値を示したものである。また図-3 は、三軸伸張側の4個の経路 (E_{a2} , E_{m2} , E_{r2} , E_u) の場合の同様の整理を示したものである。図中のプロットと計算曲線の説明は一括して図-3 の上に示した。

図-4 は非排水三軸圧縮および三軸伸張試験の有効応力経路の実測値(プロット)と計算値を示している。

計算に用いた土質パラメータは、 $\lambda=1.0$, $\mu=0.34$, $\mu'=0.50$, $\sigma_{mi}=1.0 \text{ kg/cm}^2$, $\delta_{oi}=1.7\%$, $C_d=0.7$, $C_c=0.22$ (膨張指数 $C_s=0.03$), $K_0=0.5$ とした。これらのパラメータは、最少2個の平均主応力一定試験と1個の圧密試験から決めることができる。なお、非排水応力経路の内側では C_c の代りに C_s を用いた(図-1 の C_{a2} 経路の場合)。

以上の図-2, 3, 4 より、提案式による計算値は種々の応力経路の場合の実測値を大略説明できるようである。図-3 の三軸伸張試験の $\sigma_1=2.0 \text{ kg/cm}^2$ の場合、実測値の傾向が特異なのは測定上の問題のように思われる。砂の三軸伸張試験ではこのような応力比が大きくなる傾向はみられなかった(砂の場合、破壊時の主応力比が圧縮と伸張でほぼ一致する³⁾) が、粘土の三軸伸張試験では、紙、ゴムスリーブなどをいろいろ工夫してもさけられなくて難渋した。なお、この粘土の鉛直方向に切り出した試料と水平方向に切り出した試料の強度差はほとんどなかったため、ほぼ等方的な試料と考えられる。

謝辞

御援助をいただいている本学山内利彦教授、実験を手伝っていただいた鈴木好美技官、卒論生太田謙治氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) Matsuoka, H. (1974): Stress-Strain Relationships of Clays Based on the Mobilized Plane, Soils and Foundations, Vol. 14., No. 2, pp. 77-87.
- 2) Matsuoka, H. and Nakai, T. (1977): Stress-Strain Relationship of Soil Based on the "SMP", Preprints of Specialty Session 9, 9th Int. Conf. SMFE, pp. 153-162.
- 3) 阪上・中井・松岡・熱田・渡辺(1977): 任意応力経路下の土の変形特性, 第12回土質工学研究発表会, 64, pp. 247-250.

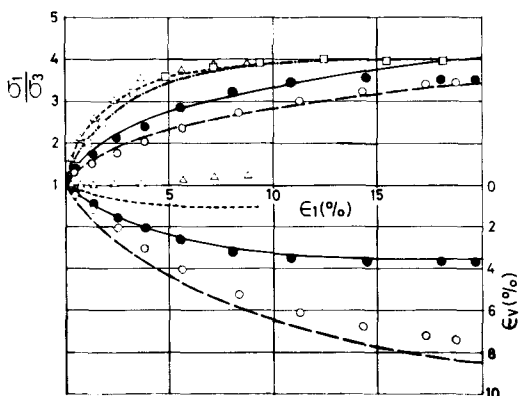


図-2 三軸圧縮条件下の主応力比-最大主ヒズミ-体積ヒズミ関係

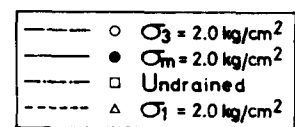


図-3 三軸伸張条件下の主応力比-最大主ヒズミ-体積ヒズミ関係

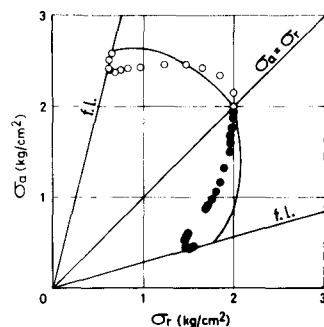


図-4 非排水三軸圧縮・伸張試験の有効応力経路