

名古屋工業大学

正員 松岡 元

〃

正員 中井照夫

岡山県庁(元名工大学部生)

正員 野村幸宣

以前より粘土の応力・ひずみ関係が、砂の場合と同じ提案式によ、
て説明できることを実験データによって検証してきた。こゝでは、正規
および過圧密粘土の三軸圧縮・伸張条件下の平均有効主応力 σ_m -定
試験を行ない、空間滑動面 (Spatial Mobilized Plane; SMP)²⁾ に
基づいて解析を試みた。

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土 (通称藤の森粘土,
LL=44.7%, PL=24.7%) 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。ゴム・スリーブ、3 紙の張力の影響を除去するた
め、厚さ 0.03 mm のゴム・スリーブを用い、側方排水用 3 紙は巻かずに
試料の上下端面からのみ排水を許した。排水試験であるため、軸ひ
ずみ速度 $\dot{\epsilon}_a$ は十分おそい $\dot{\epsilon}_a = 0.8\%/\text{day}$ (0.63 mm/day) を
採用した。また排(吸)水量の測定では、ビュレット内の水の蒸発
量をダミーのビュレットにより補正した。なお、全 2 の実験は恒温
室 (20.0℃ ± 0.5℃) 内で行なわれた。

2. 空間滑動面 (SMP) に基づいた応力・ひずみ関係

粒子接点が無ランダムに存在する場合に、各粒子接点での
粒子の平均的な滑動方向は主ひずみ増分ベクトル ($d\epsilon_1, d\epsilon_2, d\epsilon_3$) の方
向に一致すると考えられる。^{2), 3)} こゝで、主ひずみ増分ベクトルの SMP
に垂直な成分、平行な成分をそれぞれ $d\epsilon_{SMP}^*$, $d\delta_{SMP}^*$ と表記すれば、
これらのひずみ成分と SMP 上のせん断・垂直応力比 τ_{SMP}/σ_{SMP} の間
に次のようなユニークな関係式が成立することが見出されている。^{2), 3)}

$$\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} = \lambda^* \cdot (-d\epsilon_{SMP}^*/d\delta_{SMP}^*) + \mu^* \quad \text{----- (1)}$$

$$\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} = \lambda^* \cdot (-\epsilon_{SMP}^*/\delta_{SMP}^*) + \mu^* \quad \text{----- (2)}$$

式 (1), (2) を連立して解けば次式が得られる。

$$d\delta_{SMP}^* = \frac{\delta_0^*}{\mu^* - \lambda^*} \cdot \exp\left(\frac{X - \mu^*}{\mu^* - \lambda^*}\right) \cdot dX \quad \text{----- (3)}$$

$$d\epsilon_{SMP}^* = \frac{\mu^* - X}{\lambda^*} \cdot d\delta_{SMP}^* \quad (X \equiv \tau_{SMP}/\sigma_{SMP}) \quad \text{----- (4)}$$

こゝに、(λ^* , μ^* , δ_0^*) は土質パラメータである。 $d\delta_{SMP}^*$ と τ_{SMP}
の方向が一致するとすれば、 a_i を SMP の法線方向余弦、 b_i を
 τ_{SMP} の方向余弦として、 $d\epsilon_{SMP}^*$, $d\delta_{SMP}^*$ の主ひずみ増分 $d\epsilon_i$ への変
換は次式で与えられる。^{2), 3)}

$$d\epsilon_i = a_i \cdot d\epsilon_{SMP}^* + b_i \cdot d\delta_{SMP}^* \quad (i=1, 2, 3)$$

$$= \sqrt{J_3/(\sigma_1\sigma_2)} \cdot d\epsilon_{SMP}^* + \left\{ (\sigma_1\sigma_2 - 3J_3)/\sqrt{\sigma_1J_2(J_2 - 9J_3)} \right\} \cdot d\delta_{SMP}^* \quad \text{--- (5)}$$

こゝに、 $J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$, $J_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1$, $J_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3$

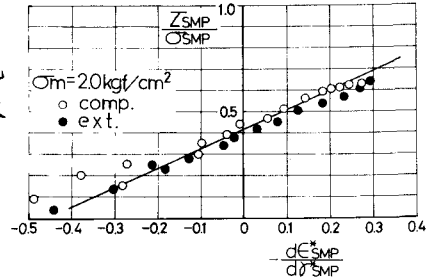


図-1 正規圧密粘土の三軸圧縮・伸張条件下
の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim -d\epsilon_{SMP}^*/d\delta_{SMP}^*$ 関係。

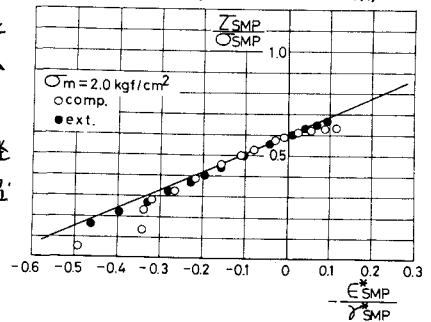


図-2 正規圧密粘土の三軸圧縮・伸張条件下
の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim -\epsilon_{SMP}^*/\delta_{SMP}^*$ 関係。

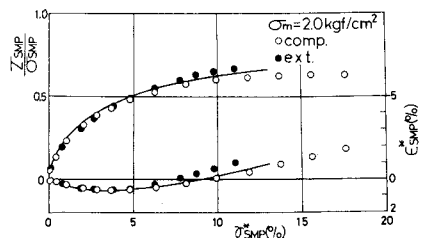


図-3 正規圧密粘土の三軸圧縮・伸張条件下
の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim \delta_{SMP}^*$, $\epsilon_{SMP}^* \sim \delta_{SMP}^*$ 関係。

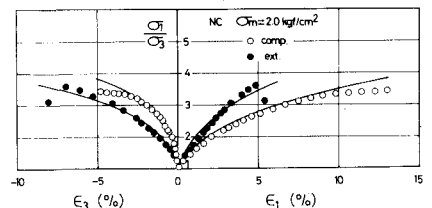


図-4 正規圧密粘土の三軸圧縮・伸張条件下
の主応力比 ~ 主ひずみ関係。

$$\text{なお, } \tau_{SMP} / \sigma_{SMP} = \sqrt{(J_1 J_2 / 9 J_3) - 1} \quad \text{----- (6)}$$

$$d\epsilon_{SMP}^* = d\epsilon_1 \cdot a_1 + d\epsilon_2 \cdot a_2 + d\epsilon_3 \cdot a_3 \quad \text{----- (7)}$$

$$d\gamma_{SMP}^* = \sqrt{(d\epsilon_1 a_2 - d\epsilon_2 a_1)^2 + (d\epsilon_2 a_3 - d\epsilon_3 a_2)^2 + (d\epsilon_3 a_1 - d\epsilon_1 a_3)^2} \quad \text{----- (8)}$$

3. 正規および過圧密粘土の応力・ひずみ特性

まず図-1, 2 は正規圧密粘土の三軸圧縮・伸張試験 ($\sigma_m = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$) 結果を, 式(1), (2)に対応させて整理したものである。また図-3 は式(3), (4)に対する整理である。これらの図より, $\lambda^* = 0.9$, $\mu^* = 0.42$, $\mu^{**} = 0.60$, $\delta_0^* = 3.3\%$ と決定した。図-1~3 において注目すべきことは, SMP上の整理によれば 圧縮 (○印)・伸張 (●印) 条件ともユニークに規定されることである。次に図-4 は上記のパラメータ値を用いて式(3)~(5)により算定された計算値と実測値の比較を示している。なお, 同図より破壊時の主応力比が圧縮・伸張条件とも約3.5程度であるのがみられる。

さて, 過圧密粘土の変形挙動は正規圧密粘土のように単純には解析されないが, 軽く過圧密されている場合 (OCR 2 程度まで) にはあるひずみ (降伏点ひずみのようなもの) 以降は正規圧密の場合の延長線上にみられるようである。すなわち, 図-5 の点線で示した $\tau/\sigma_N \sim \gamma$ 関係, $\epsilon_N \sim \gamma$ 関係が正規圧密粘土のものであるとすれば, 近似的にこれらの原点を (δ_k, ϵ_k) だけ平行移動した曲線で説明されるようである。詳細は省略するが, 過圧密比 (OCR) 2 の場合にいく実測値より δ_k, ϵ_k の値を決定し, 上記の考え方にしたが, 式(3), (4)による計算曲線を入れたのが図-6 である。図-7 は式(3)~(5)によって主応力比・主ひずみ関係に変換した計算値と実測値の比較を示している。ここで留意すべきは, この計算には上記の正規圧密粘土の土質パラメータが用いられていることである。なお, 図-6, 7 の▲印で示す三軸伸張試験では, 破壊近くになつたからゴム・スリーブに水漏れが生じたが参考までに示した。図-8, 9 に OCR 4 の場合の三軸圧縮・伸張試験 ($\sigma_m = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$) の結果, 図-10 に OCR 8 の場合の三軸圧縮試験 ($\sigma_m = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$) の結果を示す。例えば, 図-4, 7, 8, 10 の三軸圧縮試験結果を比較すれば, OCR が大きくなる程, 破壊時の主応力比は大きくなり, 破壊時の主ひずみは小さくなるのがみられる。

謝辞 日頃御援助いただいた工学部山内利彦教授, 実験に協力していただいた鈴木好実技官に感謝いたします。

文献 1) 松岡・中井 (1974): Proc. of JSCE, No. 232, pp. 59-70.

2) 中井・松岡: 3主応力下の土のせん断挙動に関する統一的理解, 土木学会論文報告集 (投稿中)。

3) 松岡・中井・石崎: 空間滑動面に基いた異方性土の応力・ひずみ関係, 土木学会論文報告集 (投稿中)。

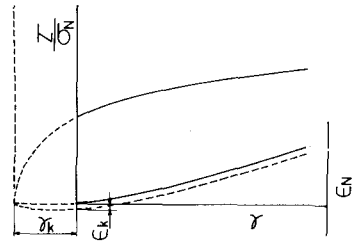


図-5 $\tau/\sigma_N \sim \gamma$, $\epsilon_N \sim \gamma$ 関係の原点の平行移動。

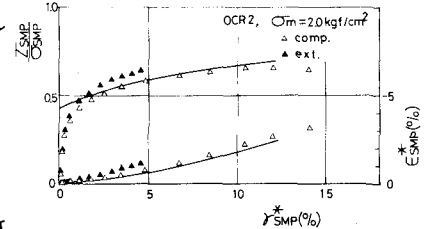


図-6 過圧密粘土 (OCR 2) の三軸圧縮・伸張条件下の $\tau_{SMP} / \sigma_{SMP} \sim \gamma_{SMP}^*$, $\epsilon_{SMP}^* \sim \gamma_{SMP}^*$ 関係。

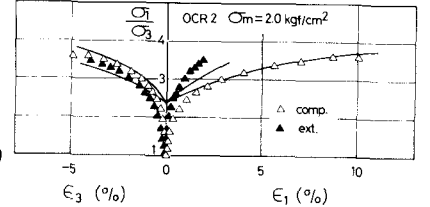


図-7 過圧密粘土 (OCR 2) の三軸圧縮・伸張条件下の主応力比・主ひずみ関係。

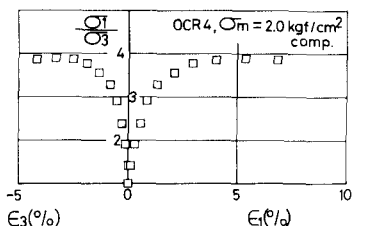


図-8 過圧密粘土 (OCR 4) の三軸圧縮条件下の主応力比・主ひずみ関係。

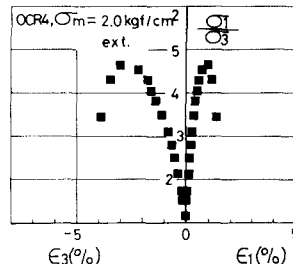


図-9 過圧密粘土 (OCR 4) の三軸伸張条件下の主応力比・主ひずみ関係。

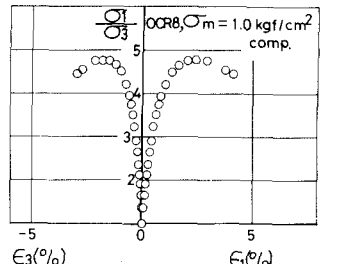


図-10 過圧密粘土 (OCR 8) の三軸圧縮条件下の主応力比・主ひずみ関係。