

京都大学防災研究所 正員 ○松岡 元
 京都大学大学院 学生員 北村良介
 " " 渡田光敬

前回は砂を試料とした多軸試験(供試体寸法: $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 10\text{cm}$)結果を報告した¹⁾が、ここでは粘土試料について同じ多軸試験機による平均主応力 σ_m 一定の排水三軸圧縮試験および平面ヒズミ試験も行ない、通常のNGI型三軸圧縮試験(供試体寸法: $\phi 3.5\text{cm}$, 高さ 8cm)結果と比較するとともに、主として空間モービライズド面²⁾(Spatial Mobilized Plane; 略称 SMP)に基づいて解析した。この主応力が制御でき、かつ平面ヒズミ試験ができる多軸試験機の概要、実験方法については前回とほぼ同様であるので、文献¹⁾を参照された。用いた試料は粘土粉末の練返し再圧密粘土 ($LL=55.0\%$, $PL=34.0\%$, $G_s=2.65$)で、通称藤の森粘土と呼ばれているものである。なお、多軸試験機およびNGI型三軸試験機の軸方向変位速度はともに $4.4 \times 10^{-4} \text{ mm/min}$ とした。

まず提案している SMP 上のセリ断・有効垂直応力比 τ/σ_N 、垂直ヒズミ増分 $d\epsilon_N$ 、セリ断ヒズミ増分 $d\gamma$ と主応力、主ヒズミ増分との関係は次式で表わされる²⁾

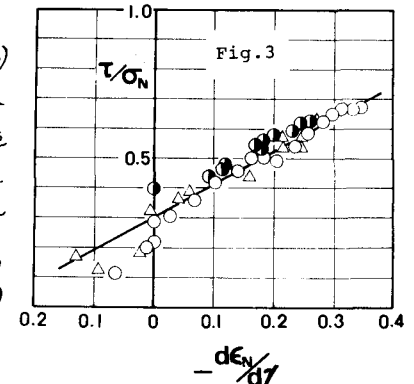
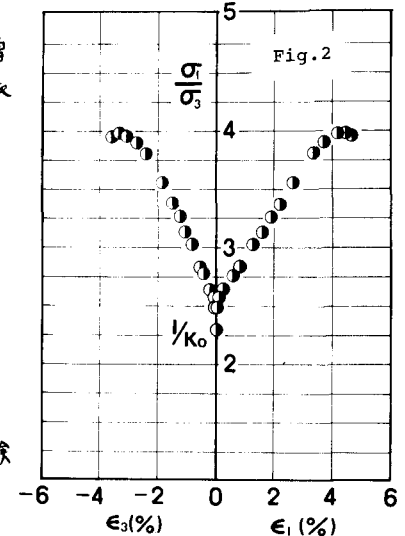
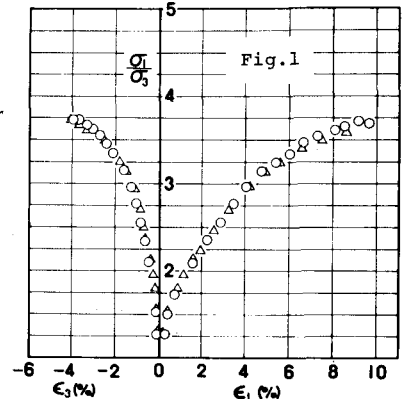
$$\frac{\tau}{\sigma_N} = \sqrt{\frac{J_1 \cdot J_2 - 9J_3}{9J_3}} \quad \text{---(1)}, \quad d\epsilon_N = \frac{J_3}{J_2} \left(\frac{d\epsilon_1}{\sigma_1} + \frac{d\epsilon_2}{\sigma_2} + \frac{d\epsilon_3}{\sigma_3} \right) \quad \text{---(2)}$$

$$d\gamma = 2 \cdot \frac{J_3}{J_2} \sqrt{\frac{(d\epsilon_1 - d\epsilon_2)^2}{\sigma_1 \sigma_2} + \frac{(d\epsilon_2 - d\epsilon_3)^2}{\sigma_2 \sigma_3} + \frac{(d\epsilon_3 - d\epsilon_1)^2}{\sigma_3 \sigma_1}} \quad \text{---(3)}$$

$$\text{すなわち、} J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3, \quad J_2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1, \quad J_3 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \quad \text{---(4)}$$

なお、 $\epsilon_N = \sum d\epsilon_N$, $\gamma = \sum d\gamma$ とし計算している。

Fig. 1 は多軸試験機による排水三軸試験結果 (○印: 平均有効応力 $\sigma_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$, セリ断直前の初期含水比 $w_i = 30.9\%$) と NGI 型三軸試験機による排水三軸圧縮試験結果 (△印: $\sigma_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$, $w_i = 31.4\%$) を、有効主応力比 σ_1/σ_3 と主ヒズミ ϵ_1, ϵ_3 の関係で比較したものである。この図の両試験機によるほぼ同じ結果が得られるのがみられる。Fig. 2 は多軸試験機による排水平面ヒズミ試験結果 ($\sigma_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$, $w_i = 29.6\%$) の同じ整理を示している。平面ヒズミ試験の場合、 σ_2 方向の変位拘束板の間隔をセル外から調節できないので、まず K_0 圧密 ($K_0 = 0.435$) を $\sigma_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ まで行なったのちセリ断した。Fig. 3 は式(1)~(3)を用いて計算した SMP 上の $\tau/\sigma_N \sim d\epsilon_N/d\gamma$ 関係、Fig. 4 は $\tau/\sigma_N \sim \epsilon_N/\gamma$ 関係の整理を示している。これらの図より、多少のバラツキはあるが多軸試験機による三軸圧縮試験 (○印)、平面ヒズミ試験 (●印) および NGI 型三軸試験機による三軸圧縮試験 (△印) の結果がほぼ同一の直線上に整理されるのがみられる。Fig. 4 において、特に



せん断初期にプロットが直線よりはずれるようであるが、この部分では ϵ_N や γ の絶対値が小さいので実際には実問題にはならないようである。なお、Fig. 3, 4 はモービライズド面上の基本式³⁾

$$\frac{\tau}{\sigma_N} = \lambda \left(-\frac{d\epsilon_N}{d\gamma} \right) + \mu \quad \text{----- (5)}, \quad \frac{\tau}{\sigma_N} = \lambda \left(-\frac{\epsilon_N}{\gamma} \right) + \mu' \quad \text{----- (6)}$$

を意識して整理したものである。また式(5), (6)より次式が導びかれる³⁾

$$\frac{\tau}{\sigma_N} = (\mu' - \mu) \cdot \ln \frac{\gamma}{\gamma_0} + \mu \quad \text{---- (7)}, \quad \epsilon_N = \frac{\mu - \mu'}{\lambda} \cdot \gamma \cdot \left\{ \ln \frac{\gamma}{\gamma_0} - 1 \right\} \quad \text{---- (8)}$$

この式(7), (8)に対応して整理したのが Fig. 5, 6 である。ここで、 λ , μ , μ' , γ_0 はせん断に関する土質係数であって、Fig. 3, 4, 5 より $\lambda = 1.1$, $\mu = 0.30$, $\mu' = 0.44$, $\gamma_0 = 0.8\%$ であることがわかる。

Fig. 5, 6 中の実曲線は、これらの係数値を用いて(7), (8)式によって計算したものである。なお、Fig. 5 には Fig. 6 の K_0 圧密後の平面ヒズミ試験結果も平行移動して示してある。Fig. 5 より、SMP 上の $\tau/\sigma_N \sim \gamma \sim \epsilon_N$ 関係で整理すれば、上記3個の試験結果がほぼ同じ関係式に於てユニークに規定できそうに見える。このことは、同じ初期構造をもつ砂についてはすでに実験的に検証していることである。²⁾

さて、SMP 上の τ/σ_N が一定という降伏条件 ($J_1, J_2, J_3 = \text{const.}$ となる) を提案しているが、Fig. 7 に正八面体面上で表わしたこの降伏条件(実曲線)と Mohr-Coulomb の条件(一点鎖線)および上記3個の試験結果のプロットを示す。この図において、三軸圧縮試験 ($\circ, \Delta$ 印) では破壊時の応力のみを、 K_0 圧密後の平面ヒズミ試験では K_0 状態から破壊に至るまでの応力経路を示した。この図より、この試料は $\sigma_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ (一定) の三軸圧縮条件および K_0 圧密後の平面ヒズミ条件において、ほぼ $(\tau/\sigma_N)_{\text{SMP}} = \text{const.}$ という破壊条件を満足するのみがみられる。なお、Fig. 5 より破壊時だけでなく、せん断ヒズミ γ がある値をとるとき $(\tau/\sigma_N)_{\text{SMP}}$ もほぼ一定となる、すなわち等価線と $(\tau/\sigma_N)_{\text{SMP}} = \text{const.}$ 線が対応するのではないかと期待される。今後は、三軸伸張条件や他の多軸条件下のデータを集積して、上述の問題を検証するとともに、このSMPに基づいて土の構成式を規定していきたいと考えている。

参考文献 1) 松岡・北村：多軸試験機による土の応力-ひずみ特性について、第29回土木学会年次講演会、Ⅲ-28, 1974, pp. 53-54.

2) 松岡：空間モービライズド面の意義について、第10回土質工学研究発表会、1975, pp. 157-160.

3) 松岡：Stress-Strain Relationship of Sands Based on the Mobilized Plane, Soils and Foundations, Vol. 14, No. 2, 1974, pp. 47-61.

