

土の初期構造を評価するパラメータとして、ダイレイタンシーの最小点(最大圧縮点)でのセン断ヒズミ γ_0 、垂直ヒズミ ε_0 に着目することは意味があるように思われる。ここでは、この γ_0 、 ε_0 によってセン断中のセン断ヒズミ γ 、垂直ヒズミ ε を正規化する(normalize)ことにし、垂直ヒズミ $(\varepsilon/\varepsilon_0)$ ・セン断ヒズミ (γ/γ_0) 間のユニークな関係式を見い出した。また、このヒズミ間の関係式と応力比・ヒズミ増分比関係(いわゆる応力・ダイレイタンシー関係と同等)を建立させて、セン断時の応力・ヒズミ関係式を誘導したので報告する。

さらに、空間滑動面(Spatial Mobilized Plane; SMP)上のセン断・有効垂直応力比 τ_{SMP}/σ_{SMP} —セン断ヒズミ γ_{SMP} —垂直ヒズミ ε_{SMP} 間の関係式として次式を提案している¹⁾。

$$\frac{\tau_{SMP}}{\sigma_{SMP}} = (\mu' - \mu) \cdot \ln \frac{\gamma_{SMP}}{\gamma_0} + \mu \quad \text{----- (1)}$$

$$\varepsilon_{SMP} = \frac{\mu - \mu'}{\lambda} \cdot \gamma_{SMP} \left\{ \ln \frac{\gamma_{SMP}}{\gamma_0} - 1 \right\} \quad \text{---- (2)}$$

ここに、 λ 、 μ 、 μ' は試料が決まればほぼ一定となる土質パラメータであり、 γ_0 は ε_{SMP} の最大圧縮点での γ_{SMP} を意味している。さて、 ε_{SMP} の最大圧縮値を ε_0 とすれば、 ε_0 は $\gamma_{SMP} = \gamma_0$ のときの ε_{SMP} であるから、(2)式より、

$$\varepsilon_0 = \frac{\mu' - \mu}{\lambda} \cdot \gamma_0 \quad \text{----- (3)}$$

(3)式を用いて(2)式を変形すれば、 $(\varepsilon_{SMP}/\varepsilon_0)$ と (γ_{SMP}/γ_0) の関係式として次式を得る。

$$\frac{\varepsilon_{SMP}}{\varepsilon_0} = \frac{\gamma_{SMP}}{\gamma_0} \cdot \left\{ 1 - \ln \frac{\gamma_{SMP}}{\gamma_0} \right\} \quad \text{----- (4)}$$

上式は、 ε_{SMP} 、 γ_{SMP} をそれぞれ ε_0 、 γ_0 で normalize さえすれば、試料およびその状態のいかににかかわらず全く同一の関係で表わされることを意味している。このことは、土の本性に立脚する興味ある関係と思われるので、砂および粘土試料についてこの整理を行ってみた。

図-1は豊浦標準砂の三軸圧縮試験(平均有効主応力 $\sigma_m = 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、初期間隙比 $e_0 = 0.668$)および三軸伸張試験($\sigma_m = 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $e_0 = 0.660$)と通称藤の森粘土(粘土粉末の練返し再圧密粘土で、 $LL = 44.7\%$ 、 $PL = 24.7\%$)の三軸圧縮試験($\sigma_m = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $e_0 = 0.822$)および三軸

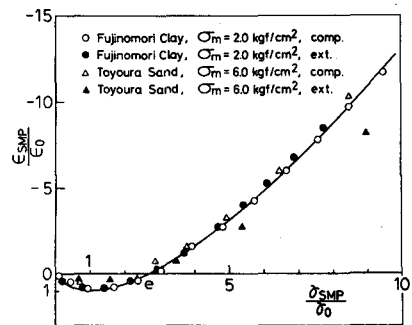


図-1 粘土と砂の $\varepsilon_{SMP}/\varepsilon_0 \sim \gamma_{SMP}/\gamma_0$ 関係

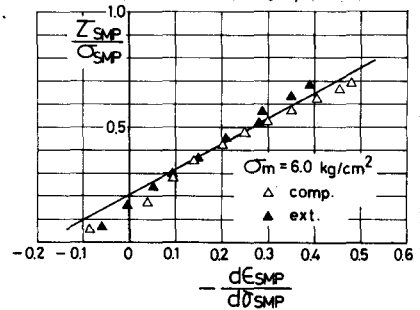


図-2 豊浦砂の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim -d\varepsilon_{SMP}/d\sigma_{SMP}$ 関係

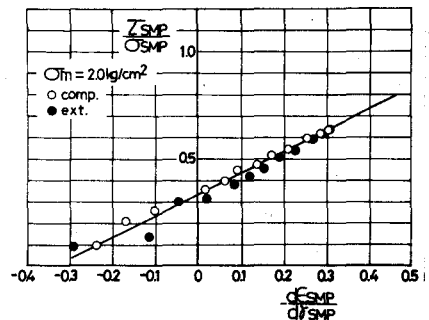


図-3 藤の森粘土の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim -d\varepsilon_{SMP}/d\sigma_{SMP}$ 関係

伸張試験 ($\sigma_m = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$, $e_0 = 0.837$) の結果を ($\varepsilon_{smp}/\varepsilon_0$) と (γ_{smp}/γ_0) の関係でプロットしたものである。三軸圧縮・伸張条件とも豊浦砂の場合 $\gamma_0 = 0.10\%$, $\varepsilon_0 = 0.014\%$, 藤の森粘土の場合 $\gamma_0 = 1.7\%$, $\varepsilon_0 = 0.26\%$ とした。SMP上の整理の長所として、三軸圧縮から三軸伸張まで相異なる主応力下において (平面ヒズミ条件を含む), 二のように同一のパラメータで表現できることがあげられよう。なお、豊浦砂の場合は γ_0 , ε_0 の値が小さいので、この図ではセン断の途中までしかプロットされていない。図中の実曲線は (4) 式の関係を示している。(4) 式を変形すれば、 $\varepsilon_{smp}/\gamma_{smp} = (\varepsilon_0/\gamma_0) \cdot (1 + \ln \gamma_0) - 2.3 (\varepsilon_0/\gamma_0) \cdot \log_{10} \gamma_{smp} \dots (5)$ となるので、片対数紙に $\varepsilon_{smp}/\gamma_{smp} \sim \log_{10} \gamma_{smp}$ 関係で実験値をプロットすれば、その直線勾配と $\gamma_{smp} = 1\%$ のときの $\varepsilon_{smp}/\gamma_{smp}$ の値から γ_0 , ε_0 の値を決定することが出来る。

さて、土の応力・ヒズミ間のユニークな関係は少ないが、(4) 式はその一つとみる事ができよう。もう1式あれば応力・ヒズミ関係式を導きけるので、土のユニークな関係式として定評がある応力・ダイレイタンシー式を採用する。種々の形のものが提案されているが、次式を用いる。¹⁾

$$\frac{\tau_{smp}}{\sigma_{smp}} = \lambda \cdot \left(-\frac{d\varepsilon_{smp}}{d\gamma_{smp}} \right) + \mu \dots (6)$$

(6) 式がどの程度成立するかを示したのが、図-2, 3である。試料、応力条件にかかわらず、それぞれほぼ1本の直線上にプロットされるようである (豊浦砂: $\lambda = 1.1$, $\mu = 0.21$, 藤の森粘土: $\lambda = 1.0$, $\mu = 0.33$)。 (4), (6) 式を連立して解けば、次のような応力・ヒズミ関係式が求まる。

$$\gamma_{smp} = \gamma_0 \cdot \exp \{ (X - \mu) / (\lambda \varepsilon_0 / \gamma_0) \} \quad \text{ここに } X \equiv \tau_{smp} / \sigma_{smp} \dots (7)$$

$$d\gamma_{smp} = \{ \gamma_0^2 / (\lambda \varepsilon_0) \} \cdot \exp \{ (X - \mu) / (\lambda \varepsilon_0 / \gamma_0) \} \cdot dX \equiv G_1 \cdot dX \dots (8)$$

$$d\varepsilon_{smp} = \{ (\mu - X) / \lambda \} \cdot d\gamma_{smp} = \{ (\mu - X) / \lambda \} \cdot G_1 \cdot dX \equiv E_1 \cdot dX \dots (9)$$

主応力と主ヒズミ増分の方が一致し、SMP上の τ_{smp} と $d\gamma_{smp}$ の方向が一致するものとすれば、主ヒズミは次式によって算定される。¹⁾

$$d\varepsilon_i = d\varepsilon_{smp} + \frac{\sigma_i - \sigma_{smp}}{\tau_{smp}} \cdot \frac{d\gamma_{smp}}{2} \quad (i = 1, 2, 3) \dots (10)$$

図-4, 5, 6, 7に上述のパラメータ (λ , μ , γ_0 , ε_0) を用いた (8), (9), (10) 式による計算値と実験値の比較を示す。

参考文献 1) Matenoka & Nakai (1977): Stress-Strain Relationships of Soil Based on the "SMP", Preprints of Specialty

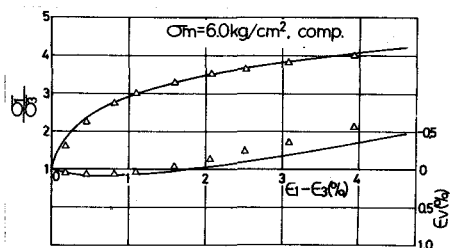


図-4 豊浦砂の三軸圧縮条件下の $\sigma_1/\sigma_3 \sim (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \sim \varepsilon_v$ (体積ヒズミ) 関係

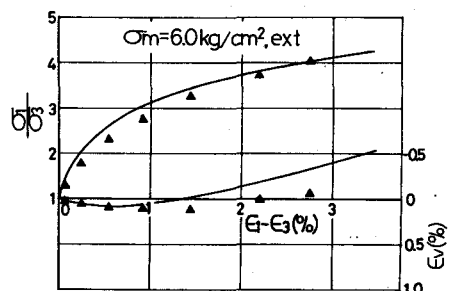


図-5 豊浦砂の三軸伸張条件下の $\sigma_1/\sigma_3 \sim (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \sim \varepsilon_v$ (体積ヒズミ) 関係

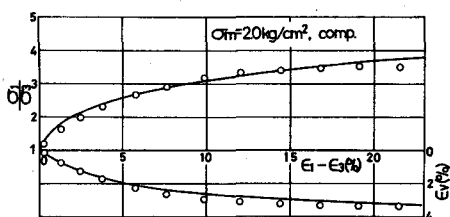


図-6 藤の森粘土の三軸圧縮条件下の $\sigma_1/\sigma_3 \sim (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \sim \varepsilon_v$ (体積ヒズミ) 関係

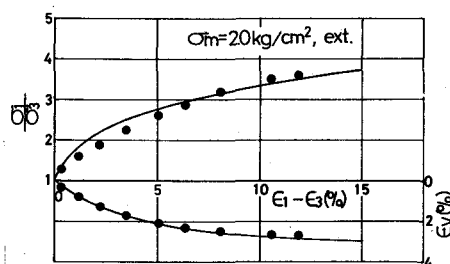


図-7 藤の森粘土の三軸伸張条件下の $\sigma_1/\sigma_3 \sim (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \sim \varepsilon_v$ (体積ヒズミ) 関係