

III-457 サクシヨン一定の軸対称応力条件下における不飽和粘性土の変形・破壊挙動とその解析

名古屋工業大学 正会員 ○加藤 正司, 松岡 元
名古屋工業大学大学院 学生会員 川田 善久, 滝脇 泰将
間 組 上田 直稔

1. まえがき 拡張SMP理論¹⁾は粘着成分を有する摩擦性材料（ c, ϕ 材料）の相異なる3主応力（ $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ）下の変形挙動を統一的に表現することができる。今回、この理論の不飽和土への適用性を検討する第一段階として、不飽和粘性土を用いた三軸圧縮（ $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ ）・三軸伸張（ $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ ）試験を行った。以下、その結果について報告する。なお、有効応力は $\sigma' = \sigma - u_a$ （ σ ：全応力、 u_a ：間隙空気圧）で定義し、応力記号として平均有効主応力 $p = (\sigma_a' + 2\sigma_r')/3$ 、サクシヨン $S = u_a - u_w$ （ σ_a' 、 σ_r' ：軸圧および側圧、 u_w ：間隙水圧）を用いる。また、拡張SMP上の垂直応力成分 $\hat{\sigma}_{SMP}$ 、せん断応力成分 $\hat{\tau}_{SMP}$ 、ひずみ相当量の垂直成分 $\hat{\epsilon}_{SMP}^*$ 、せん断成分 $\hat{\gamma}_{SMP}^*$ の定義については既報²⁾と同様である。

2. 実験概要 市販のカオリン粘土（ $G_s = 2.71$, $w_L = 40\%$, $I_p = 12.3$ ）を気乾状態から含水比調整後、締め固めて直径3.5cm、高さ8cmの供試体（ $e_0 = 1.31$, $w_0 = 26\%$, $S_{r0} = 54\%$ ）として実験に用いた。実験装置は不飽和土用に改良した三軸試験装置で、ペDESTAL部分にセラミックディスク（ $E_{INT} = 2.8 \text{ kgf/cm}^2$ ）を埋め込んでいる。また供試体高さの1/4と1/2の点で側方変位計により供試体直径を測定し、それをもとに供試体の変形形状を2次曲線で近似して体積を求めている。実験の応力経路は、図-1中のA点からC1, C2, E1, E2点の各点までSおよびpによる等方圧縮をした後、S、p一定の排水条件下で三軸圧縮・三軸伸張せん断試験を応力制御方式で行っている。

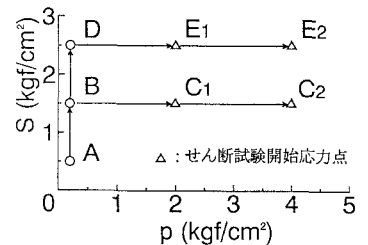


図-1 実験の応力経路

3. 実験結果および考察 図-2は $S = 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の破壊時のモール円とボンド応力 σ_0 を示している。なお、図-1中の点E1, E2で示されるせん断中のサクシヨンが $S = 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合には $\sigma_0 = 0.6 \text{ kgf/cm}^2$ となった。図-3は、pによる圧縮過程（図-1中の点B→C1, B→C2, D→E1, D→E2）における間隙比変化と $\log p$ の関係を示している。図中の実線は $S = 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、破線は $S = 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ の結果をそれぞれ示している。この図からサクシヨンによる圧縮過程の違いにより $S = 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合に先行圧縮応力が大きくなっていることが分かる。図-4中のプロットは $S = 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の $\hat{\tau}_{SMP}/\hat{\sigma}_{SMP} \sim \hat{\gamma}_{SMP}^*/\hat{\epsilon}_{SMP}^*$ 関係を、図-5は $\hat{\tau}_{SMP}/\hat{\sigma}_{SMP} \sim (-d\hat{\epsilon}_{SMP}^*/d\hat{\gamma}_{SMP}^*)$ 関係を示している。図-4、5から拡張SMP理論によれば三軸圧縮・三軸伸張条件にかかわらず結果がほぼユニークに整理されることが分かる。なお、図-5中に示す実線は縦切切片 $\hat{\alpha}^* = 0.45$ 、傾き $\hat{\lambda}^* = 0.7$ の直線である。ここでサクシヨン一定（ボンド応力 σ_0 一定）の場合、図-5の結果を考慮すれば $\tau_N \sim \tau_s$ （ $\hat{\sigma}_{SMP} \sim \hat{\tau}_{SMP}$ ）空間における塑性ポテンシャル関数 g は次式で与えられる^{3), 4)}。

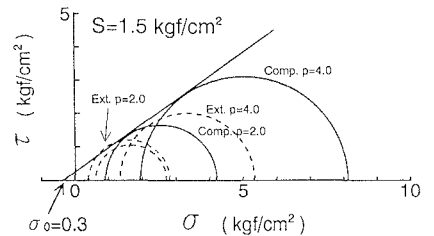


図-2 破壊時のモール円とボンド応力

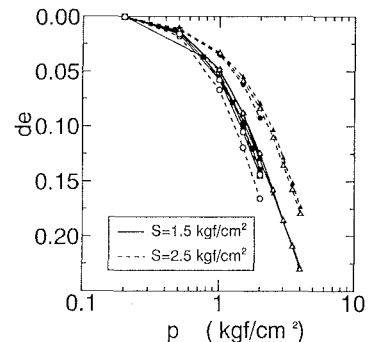


図-3 間隙比 $\sim \log p$ 関係

$$g = \ln \hat{t}_N + \frac{-\alpha}{1-\alpha} \ln \left| 1 - \frac{1-\alpha}{M^*} \frac{\hat{t}_s}{\hat{t}_N} \right| - \ln \left(\frac{W^{*p}}{K} + \hat{t}_{N0} \right) = 0 \quad (1)$$

ここに $\hat{t}_N = \hat{\sigma}_{SMP}$ 、 $\hat{t}_s = \hat{\tau}_{SMP}$ 、 $\alpha = \hat{\lambda}^*$ 、 $M^* = \hat{\mu}^*$ 、 $K = (\lambda - \kappa) / \{\sqrt{3} (1 + e_0)\}$ 、ただし、 λ 、 κ の値は図-3により決定、 e_0 はせん断開始時の間隙比、 $W^{*p} = \int (\hat{t}_{ij} - \sigma_0 \delta_{ij}) d\epsilon_{ij}^p$ で定義される硬化パラメーターである。図-6(a)、(b)は $S=1.5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の圧縮、伸張試験における $\hat{\sigma}_1 / \hat{\sigma}_3 = \{(\sigma_1 + \sigma_0) / (\sigma_3 + \sigma_0)\} \sim \epsilon_1$ 、 $\epsilon_3 \sim \epsilon_v$ 関係をそれぞれ示している。図中のプロットは実測値、実線は式(1)を用いた解析値である。また、図-4中の実線は同じパラメーターを用いて求めた解析値を示している。これらの結果から解析結果は実測値をほぼ妥当に表現していると考えられる。

4. まとめ 今回の結果から、拡張 SMP 理論はサクシオン一定の軸対称応力状態における不飽和土の挙動を表現できると考えられる。今後は相異なる3主応力下の挙動について検討するとともに、サクシオンが変化する場合に生じるコプラス挙動に対しても適用できるように考慮してゆきたい。

謝 辞 本研究の解析において 孫 徳安 氏(名古屋工業大学)の協力を得た。末尾ながら感謝致します。

- 参考文献**
- 1) Matsuoka, H. et al., Soils and Foundations, Vol.30, No.2, pp.119-127, 1990.
 - 2) 加藤 正司 他、第28回土質工学研究発表会講演集、1993。(掲載予定)
 - 3) Nakai, T. and Mihara, Y., Soils and Foundations, Vol.24, No.2, pp.82-94, 1984.
 - 4) Matsuoka, H. et al., 13th I.C.S.M.F.E., 1994。(掲載予定)

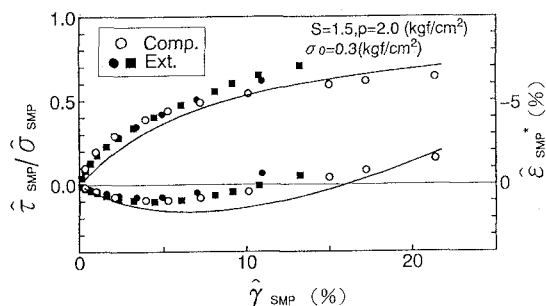


図-4 $\hat{\tau}_{SMP} / \hat{\sigma}_{SMP} \sim \hat{\gamma}_{SMP}^* \sim \hat{\epsilon}_{SMP}^*$ 関係

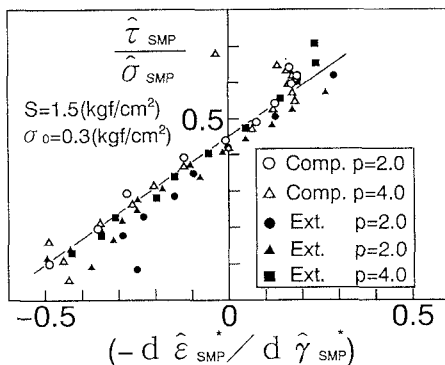


図-5 $\hat{\tau}_{SMP} / \hat{\sigma}_{SMP} \sim (-d\hat{\epsilon}_{SMP}^* / d\hat{\gamma}_{SMP}^*)$ 関係

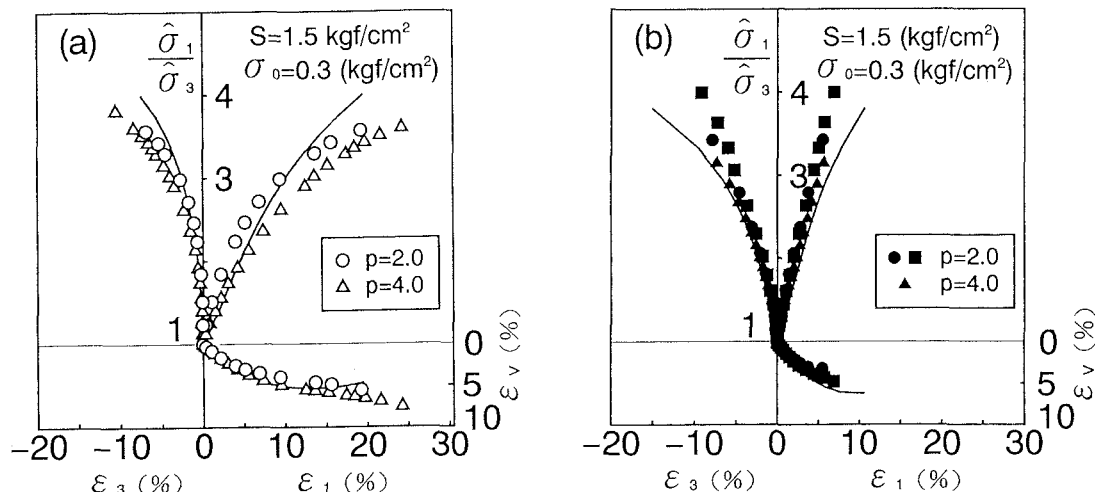


図-6 $\hat{\sigma}_1 / \hat{\sigma}_3 \sim \epsilon_1$ 、 $\epsilon_3 \sim \epsilon_v$ 関係