

III-350 粘着成分を有する摩擦性材料の構成則（その2）

名古屋工業大学 正 員 ○松岡 元
孫 徳安

粒状体のような粒子間にボンドのない摩擦性材料と金属のようなボンドの強固な粘着性材料の中間の特性を持つ材料というのは、すべての工学材料を包含すると考えられる。このような中間材料としての粘着成分を有する摩擦性材料（ c, ϕ 材料）の相異なる3主応力下の応力～ひずみ関係を統一的に評価するため、「拡張された空間滑動面（Extended SMP）」^{1), 2)}の概念に基づいて各種材料の実験データの整理を試みている。ここでは、（ c, ϕ ）材料としてセメント混合砂（混合重量比、水：セメント：砂：混和剤＝4.8：1.0：11.7：1.5、養生期間約3カ月）を選んでExtended SMP上で表現すれば、三軸圧縮条件（ $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ ）・三軸伸張条件（ $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ ）にかかわらず、過圧密粘土の場合³⁾と同様、1本の応力～ひずみ曲線上に整理されることを示す。

図-1に示すように、（ c, ϕ ）材料の場合には $\sigma_o (= c \cdot \cot \phi)$ だけ原点をずらした $\hat{\sigma} \sim \hat{\tau}$ 軸で考えれば、従来のSMPと同じ定式化が可能となる。式を羅列すれば、

$$\hat{\sigma}_i = \sigma_i + \sigma_o \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \hat{J}_1 &= \hat{\sigma}_1 + \hat{\sigma}_2 + \hat{\sigma}_3 \\ \hat{J}_2 &= \hat{\sigma}_1 \hat{\sigma}_2 + \hat{\sigma}_2 \hat{\sigma}_3 + \hat{\sigma}_3 \hat{\sigma}_1 \\ \hat{J}_3 &= \hat{\sigma}_1 \hat{\sigma}_2 \hat{\sigma}_3 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\hat{a}_i = \sqrt{\frac{\hat{J}_3}{\hat{\sigma}_i \hat{J}_2}} \quad (\text{Extended SMPの方向余弦}) \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}_{SMP} = \hat{\sigma}_1 \hat{a}_1^2 + \hat{\sigma}_2 \hat{a}_2^2 + \hat{\sigma}_3 \hat{a}_3^2 \quad (4)$$

$$\hat{\tau}_{SMP} = \sqrt{(\hat{\sigma}_1 - \hat{\sigma}_2)^2 \hat{a}_1^2 \hat{a}_2^2 + (\hat{\sigma}_2 - \hat{\sigma}_3)^2 \hat{a}_2^2 \hat{a}_3^2 + (\hat{\sigma}_3 - \hat{\sigma}_1)^2 \hat{a}_3^2 \hat{a}_1^2} \quad (5)$$

$$d\hat{\epsilon}_{SMP} = d\epsilon_1 \hat{a}_1^2 + d\epsilon_2 \hat{a}_2^2 + d\epsilon_3 \hat{a}_3^2 \quad (6)$$

$$\frac{d\hat{\gamma}_{SMP}}{2} = \sqrt{(d\epsilon_1 - d\epsilon_2)^2 \hat{a}_1^2 \hat{a}_2^2 + (d\epsilon_2 - d\epsilon_3)^2 \hat{a}_2^2 \hat{a}_3^2 + (d\epsilon_3 - d\epsilon_1)^2 \hat{a}_3^2 \hat{a}_1^2} \quad (7)$$

Extended SMP（図-2）上のせん断・垂直応力比 $\hat{\tau}_{SMP}/\hat{\sigma}_{SMP}$ がある一定値に達したとき、粘着成分を有する摩擦性材料が破壊するものとすれば、図-3に示すような破壊規準が得られる。なお、図-2, 3が $\sigma_o = 0$ の時はそれぞれ従来のSMPおよびSMP規準に、 $\sigma_o \rightarrow \infty$ のときはそれぞれ正八面体面およびミーゼス規準に一致するのは興味深い^{1), 4)}。図-4, 5は、セメント混合砂の平均有効主応力 $\sigma_m = 10$ と 20 kgf/cm^2 の三軸圧縮・伸張試験結果の整理（ $\sigma_1/\sigma_3 \sim \epsilon_1, \epsilon_3, \tau_{oct}/\sigma_{oct} \sim \gamma_{oct} \sim \epsilon_{oct}, \hat{\tau}_{SMP}/\hat{\sigma}_{SMP} \sim \hat{\gamma}_{SMP} \sim \hat{\epsilon}_{SMP}, \hat{\tau}_{SMP}/\hat{\sigma}_{SMP} \sim -d\hat{\epsilon}_{SMP}/d\hat{\gamma}_{SMP}$ 関係）を示したものである（ $\sigma_o = 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ ）。興味深いのは、Extended SMP上の整理（（c）, （d）図）では、圧縮・伸張にかかわらず、ほぼ1本の線上に乗ってくることである（図-4（d）と図-5

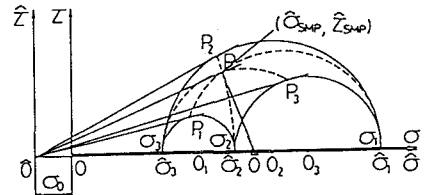


図-1 拡張された空間滑動面(Extended SMP)上の垂直応力 $\hat{\sigma}_{SMP}$ とせん断応力 $\hat{\tau}_{SMP}$

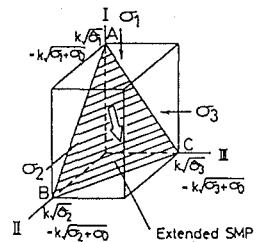


図-2 粘着成分を有する摩擦性材料のための拡張された空間滑動面(Extended SMP)

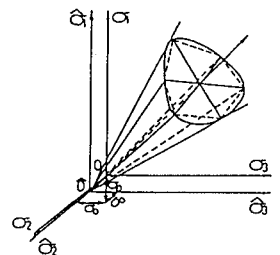


図-3 拡張された空間滑動面(Extended SMP)に基づいた粘着成分を有する摩擦性材料の破壊規準

(d)は同じ線上にプロットされる)。これは粘着成分のない摩擦性材料を従来のSMP上で整理した場合に得られた特性と同じである。

文献 1) 橋口(1975):東工大学位論文, pp.181-184. 2) 松岡他(1989):土木学会第44回年次講演会, III-183, pp.440-441. 3) 松岡他(1990):第25回土質工学研究発表会講演集(印刷中). 4) Ohmaki(1979):Proc. 3rd Int. Conf. on Numerical Method in Geomechanics, pp.465-474.

謝辞 セメント混合砂の実験方法を御教示いただき、実験データを見せていただいた東大生産技研龍岡文夫助教授、渋谷啓助手、住友セメント(株)高橋守男、山田正一両氏に謝意を表します。

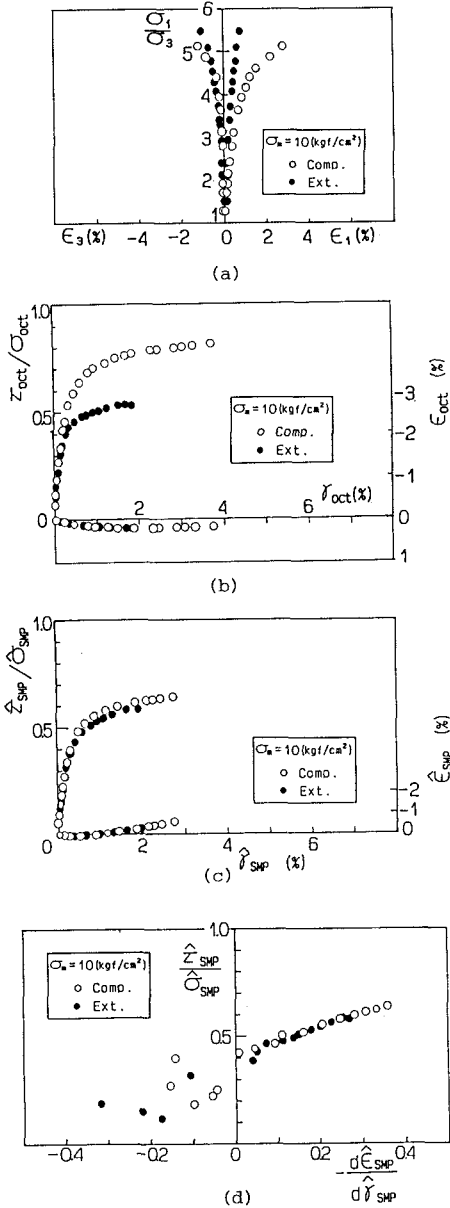


図-4 $\sigma_m = 10 \text{ kgf/cm}^2$ の三軸圧縮・伸張条件下のセメント混合砂の各種の整理

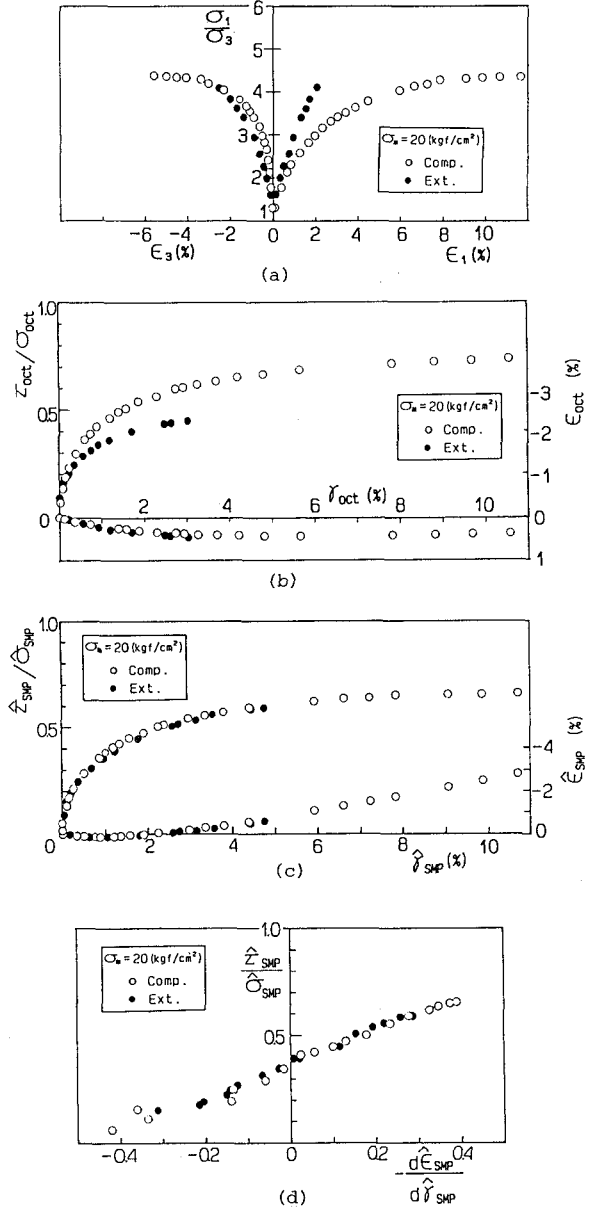


図-5 $\sigma_m = 20 \text{ kgf/cm}^2$ の三軸圧縮・伸張条件下のセメント混合砂の各種の整理