

名古屋工業大学

正員 ○ 松岡 元

清水建設(元・名工大院生)

正員 鈴木 好実

過圧密土のせん断時の変形機構を微視的観点から考察し、空間滑動面(SMP)の概念¹⁾を導入することにより、過圧密土のせん断時の応力・ひずみ関係式を誘導した。この関係式はすでに過圧密粘土について実験的に検証されている²⁾が、ここでは過圧密砂の三軸圧縮・伸張試験(平均主応力 σ_m 一定条件)結果によって検討した。

過圧密履歴を受けた土は、除荷後の等方応力に対する膨張傾向は解除されているが、せん断応力に対する膨張傾向はまだ内在されていると考え、図-1に示すようなせん断により $\bar{d} \cdot |\Delta\theta|$ だけ滑動するとともに $\Delta\bar{d}$ だけ粒子間距離が増加するモデルを仮定する。これは、高い拘束圧のもとで土粒子間にめり込んでいた土粒子が、低い拘束圧に変わってせん断とともに急こう配で乗り上がることを想定したものである。このモデルに基づけば、滑動面上のせん断・垂直応力比 τ/σ_N 、せん断ひずみ増分 $d\gamma$ 、垂直ひずみ増分 $d\varepsilon_N$ と粒子接点角 θ の平均値 $\bar{\theta}$ との間には次の関係式が成立する^{2),3)}。

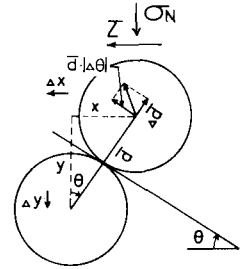


図-1 過圧密土のせん断変形機構のモデル図

$$\frac{\tau}{\sigma_N} = \frac{\pi \cdot \sin(3\bar{\theta} + \phi_\mu) - 6\bar{\theta} \cdot \cos\phi_\mu}{\pi \cdot \cos(3\bar{\theta} + \phi_\mu) + 6\bar{\theta} \cdot \sin\phi_\mu} \div \lambda \bar{\theta} + \mu \quad (1)$$

$$d\gamma = |\Delta\theta| + \frac{6\bar{\theta} - \pi \cdot \sin 3\bar{\theta}}{\pi \cdot \cos 3\bar{\theta}} \cdot \frac{\Delta\bar{d}}{\bar{d}} \quad (2)$$

$$d\varepsilon_N = \frac{6\bar{\theta} - \pi \cdot \sin 3\bar{\theta}}{\pi \cdot \cos 3\bar{\theta}} \cdot |\Delta\theta| - \frac{\Delta\bar{d}}{\bar{d}} \quad (3)$$

$$|\Delta\theta| = \frac{\pi/2 + 3\bar{\theta}}{(\pi^2/24) \cdot a \cdot \exp(-b \cdot \bar{\theta}) - (\pi/2 + 3\bar{\theta})} \cdot \Delta\bar{\theta} \quad (\bar{\theta} \geq 0) \quad (4)$$

$$= \frac{\pi/2 - 3\bar{\theta}}{(3\bar{\theta}^2 - \pi \cdot \bar{\theta}/2 + \pi^2/24) \cdot a \cdot \exp(-b \cdot \bar{\theta}) - (\pi/2 - 3\bar{\theta})} \cdot \Delta\bar{\theta} \quad (\bar{\theta} < 0) \quad (5)$$

ここに、 ϕ_μ は粒子間摩擦角、 $\lambda, \mu (= \tan \phi_\mu)$ は土質パラメータである。また a, b はせん断にともなう構造の変化の仕方を表わすパラメータで、せん断強度 $(\tau/\sigma_N)_f$ に対応する $\bar{\theta}_f (= \{(\tau/\sigma_N)_f - \mu\}/\lambda)$ との間には次の関係式が成立する³⁾。

$$(\pi^2/24) \cdot a \cdot \exp(-b \cdot \bar{\theta}_f) - (\pi/2 + 3\bar{\theta}_f) = 0 \quad (6)$$

さて、ここでは図-2に示すように $\Delta\bar{d}/\bar{d}$ が $|\Delta\theta|$ に対して双曲線的に増加すると仮定して解析を試みた。すなわち、

$$\Delta\bar{d}/\bar{d} = |\Delta\theta| / (m + n |\Delta\theta|) \quad (7)$$

式(1)~(7)より、滑動面上の基本関係式($\tau/\sigma_N \sim d\varepsilon_N/d\gamma$ 関係と $\tau/\sigma_N \sim \varepsilon_N/\gamma$ 関係)を計算すると一例として図-3, 4を得る。ここに、 $\bar{\theta}_0$ はせん断開始時の $\bar{\theta}$ である。一方、図-5, 6は正規圧密および過圧密(OCR=2, 4, 8)の豊浦砂(初期間隙比 $e_0 \approx 0.68$)の三軸圧縮試験結果を対応する関係で整理したものである。ここに、 τ_{SMP}/σ_{SMP} はSMP上のせん断・垂直応力比、 $d\varepsilon_{SMP}^*, d\gamma_{SMP}^*$ は主ひずみ増分ベクトルのSMPに垂直な成分、平行な成分を意味している。なお、すでに図-3, 4のような

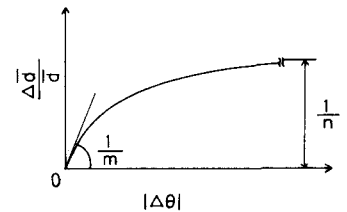


図-2 $\Delta\bar{d}/\bar{d} \sim |\Delta\theta|$ 関係

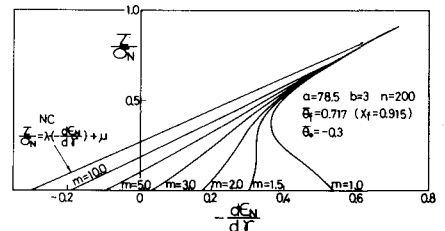


図-3 $\tau/\sigma_N \sim \Delta\bar{d}/\bar{d}$ 関係の計算値

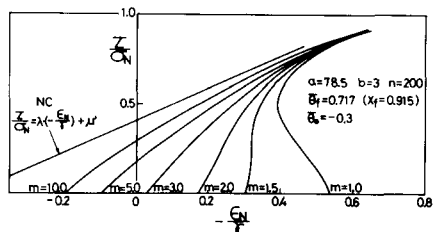


図-4 $\tau/\sigma_N \sim \varepsilon_N/\gamma$ 関係の計算値

元々2次元的な解析から得られた滑動面上の関係が、図-5, 6のようなSMP上の関係として成立することが確かめられている。

図-3, 4が図-5, 6の実測値の傾向とよく類似しているので、過圧密土の変形機構として図-1のようなモデルを想定すること

も可能ではないと思われる。図-3,4において $n=200$ ということは最終段階でも $\Delta \bar{d}$ は $\bar{d}$ の $1/200$ であることを意味しており (図-2参照), ごくわずかな量の変形特性に影響を及ぼすのがわかる。詳細は文献2)にゆずるが, 単純化のため図中の曲線を直線に近似して解析を進めた(図-5,6の関係を直線と仮定しその直線こう配, 縦軸切片をそれぞれ $(\lambda_{oc}^*, \mu_{oc}^*), (\lambda_{oc}^*, \mu_{oc}^*)$ とした)。図-7(a),(b),(c),(d) は正規圧密および過圧密 (OCR=2,4,8) の豊浦砂の三軸圧縮・伸張試験結果(プロット)と上述のSMP上の基本関係式に基づいて計算された主応力比・主ひずみ関係(実線, 破線)の比較を示したものである。計算に用いた土質パラメータの一覧を表-1に示す。なお, 詳細は省略するが, これらのパラメータは正規圧密状態とある1つの過圧密比(OCR)での三軸圧縮試験結果より推定することが可能である²⁾。最後に, 図-8,9は過圧密の豊浦砂と藤の森粘土²⁾の破壊時の主応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ とOCRの関係を示したものである。

謝辞

御援助をいただいた本学山内利彦教授, 中井照夫講師に謝意を表する。

文献

- 1) 中井・松岡(1980): 土木学会論文報告集, 303号。
- 2) 松岡・鈴木(1982): 第17回土質工学研究発表会 (投稿中)。
- 3) 外賀・松岡(1981): 第36回土木学会年次講演会, III-7。

表-1 豊浦砂の土質パラメータ

	NC	OCR 2	OCR 4	OCR 8
λ_{oc}^*	0.9	1.1	1.2	1.4
μ_{oc}^*	0.27	0.17	0.08	-0.02
μ_{oc}^*	0.41	0.29	0.19	0.10
γ_0^* comp.	0.10	0.022	0.0056	0.0036
(%) ext.	0.10	0.021	0.0050	0.0024

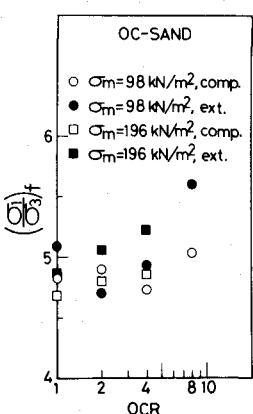


図-8 豊浦砂の破壊時の主応力比~OCR関係

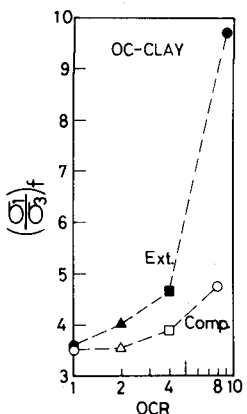


図-9 藤の森粘土の破壊時の主応力比~OCR関係

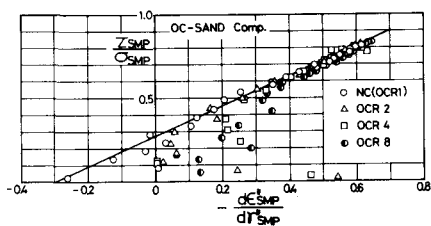


図-5 豊浦砂の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim -d\epsilon_{SMP}^*/d\gamma_{SMP}^*$ 関係

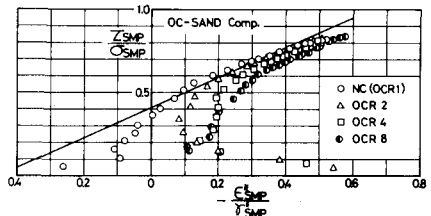


図-6 豊浦砂の $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim -\epsilon_{SMP}^*/\gamma_{SMP}^*$ 関係

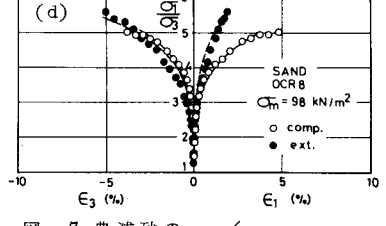
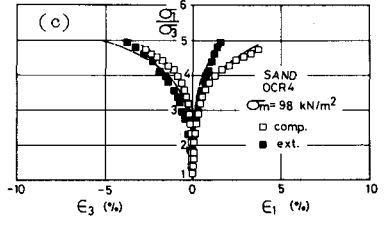
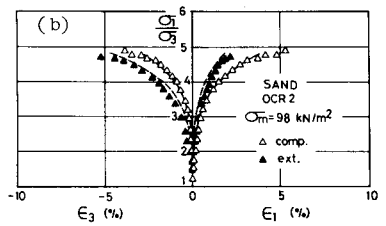
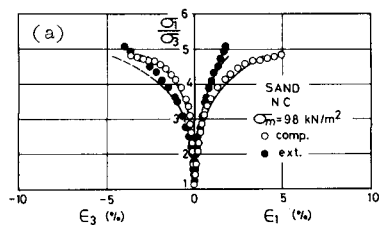


図-7 豊浦砂の $\sigma_1/\sigma_3 \sim \epsilon_1, \epsilon_3$ 関係