

名古屋工業大学 学生員 ○ 外賀 秀明

正員 松岡 元

すでに微視的な観点より粒状体のせん断時の応力・ひずみ関係を導びいている<sup>1)</sup>が、この概念に基づき初期載荷 (1st loading) 時の土質パラメータ  $\mu' (= \mu'_{1st})$ ,  $\gamma_0 (= \gamma_{01st})$  を知って以後のせん断に対する  $\mu', \gamma_0$  の値を予測し、これを用いて 排水・非排水繰返しせん断挙動の解析を行った。

1. 土質パラメータ  $\mu', \gamma_0$  の予測

微視的な観点から粒子接触角  $\theta$  の度数分布を三角形近似することより、滑動面上のせん断・垂直応力比  $\tau/\sigma_N$ , せん断ひずみ増分  $\Delta\gamma$ , 垂直ひずみ増分  $\Delta\epsilon_N$  と  $\theta$  の平均値  $\bar{\theta}$  (てに抵抗する角度  $\theta$  ととき正) との関係として次式を提案している<sup>1)</sup>。

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

$$\Delta\gamma = \frac{\pi/2 + 3\bar{\theta}}{\frac{\pi^2}{24} a e^{-b\bar{\theta}} - (\pi/2 + 3\bar{\theta})} \cdot \Delta\bar{\theta} \quad \text{--- (2)}$$

$$\Delta\epsilon_N = \frac{6\bar{\theta} - \pi \cdot \sin 3\bar{\theta}}{\pi \cdot \cos 3\bar{\theta}} \cdot \Delta\bar{\theta} \quad \text{--- (3)}$$

ここに  $\phi_m$  は粒子間摩擦角,  $\lambda, \mu$  は土質パラメータで  $\mu = \tan \phi_m$ ,  $\lambda$  は  $\mu$  に依存する係数である。また  $a, b$  はパラメータであるが  $\bar{\theta}_f$  (破壊時の  $\bar{\theta}$ ) = 0.61 の場合に定まる  $(a, b)$  の値の組<sup>2)</sup>を用いて式(1)~(3)より得られた  $\tau/\sigma_N \sim \gamma \sim \epsilon_N$ ,  $\tau/\sigma_N \sim \epsilon_N/\gamma$  関係がそれぞれ図-1, 2である。図より 大きな幅を持つ応力・ひずみ関係も  $\tau/\sigma_N \sim \epsilon_N/\gamma$  関係にすればかなりユニークに整理されるのがわかる。図中  $\bar{\theta}_0$  はせん断開始点での  $\bar{\theta}$  である(なお, 図-1の4本の

曲線は全て等しい強度を持つため  $\gamma$  の非常に大きなところでは一致する)。図-3は  $\bar{\theta}_0$  を変えた場合の  $\tau/\sigma_N \sim \epsilon_N/\gamma$  関係であるが両端を  $\bar{\theta}_0$  と  $\bar{\theta}_f$  で抑えられた山なりの曲線となることがわかる。従来よりこの曲線の主要部分(図中破線)の縦軸切片を  $\mu'$  としているが、これらの山なりの曲線はほぼ相似であることから次式を得る。

$$\mu' - \mu = \pi \cdot (\bar{\theta}_f - \bar{\theta}_0) \quad \text{--- (4)}$$

ここで,  $\pi$  は図-2, 3より 0.2程度の係数となり、せん断履歴によって強度 ( $\bar{\theta}_f$ ) が変化しないと考えれば  $\mu'$  は  $\bar{\theta}_0$  を反映するパラメータとなる。また, 図-4に示すように逆方向せん断開始時においてはせん断方向が逆転するため  $\bar{\theta}_0$  の値は前載荷終了時の  $\bar{\theta}$  の値の符号を変えたものとして評価

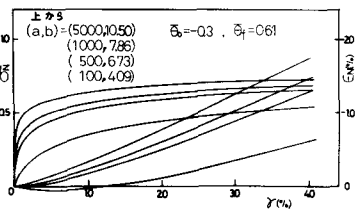


図-1  $\tau/\sigma_N \sim \gamma \sim \epsilon_N$  関係

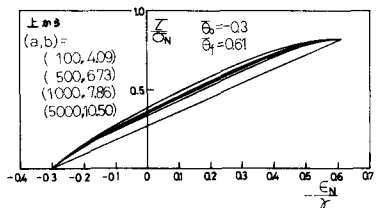


図-2  $\tau/\sigma_N \sim \epsilon_N/\gamma$  関係

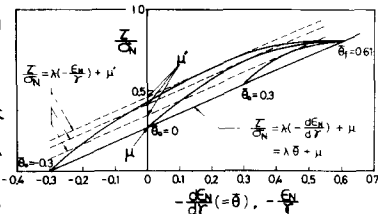


図-3  $\mu'$  と  $\bar{\theta}_0$  の関係

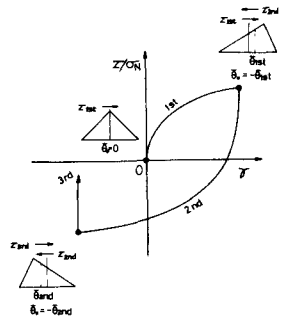


図-4 応力・ひずみ関係と粒子接触角分布の変化特性

される。さて、 $\gamma_0$ は $\epsilon_N$ の最大圧縮点での $\gamma$ の値であるが、着着の一人は次式を与えている<sup>2)</sup>。

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \exp\left(\frac{\epsilon/\sigma_N - \mu}{\mu' - \mu}\right) \quad \text{--- (5)}$$

これに式(1)を代入し破壊時の $\gamma$ ,  $\bar{\sigma}$ をそれぞれ $\gamma_f$ ,  $\bar{\sigma}_f$ とすれば、

$$\gamma_f = \gamma_0 \cdot \exp\left(\frac{\lambda \cdot \bar{\sigma}_f}{\mu' - \mu}\right) \quad \text{--- (6)}$$

これと式(4)より、

$$\gamma_0 = \gamma_f \cdot \exp(-\lambda/\kappa) \cdot \exp\left[\frac{\lambda \cdot (-\bar{\sigma}_0)}{\kappa(\bar{\sigma}_f - \bar{\sigma}_0)}\right] \quad \text{--- (7)}$$

ここで1st loading時には $\bar{\sigma}_0 \approx 0$ とし、またどのような応力比から

逆方向にせん断しても破壊に至るまでに生じる $\gamma$ は等しい(図-5参照)と仮定すれば、次式を得る。

$$\gamma_0 = \gamma_{01st} \cdot \exp\left[\frac{\lambda \cdot (-\bar{\sigma}_0)}{\kappa(\bar{\sigma}_f - \bar{\sigma}_0)}\right] \quad (8)$$

以上より単調荷重試験を行いパラメータ $\lambda, \mu, \mu', \gamma_{01st}$ および強度を得れば、以後の逆方向せん断に対する $\mu', \gamma_0$ の値は、式(1)から得られる $\bar{\sigma}_0$ を令し式(4), (8)で順次予測されることになる。なお $\lambda, \mu$ は材質に依存するパラメータであるためせん断履歴にかかわらず一定値をとる。

2. 排水・非排水繰返しせん断の

解析

上述の考え方を空間滑動面(SMP)に基づく構成式<sup>3)</sup>に組み込むことにより解析を行った。応力条件は三軸圧縮・伸張の繰返し載荷であり、解析に用いたパラメータは全てやや密結めの豊洲標準砂を想定している。また図-11での繰返し回数 $N$ としては、図-9に示

される有効応力経路が破壊線に沿ったときの値を採用している。詳細は紙面の都合上当日発表する。

謝辞：御助言を頂いた本学山内教授、中井講師、東大龍岡助教、実験を助けて頂いている学部生宇井君に謝意を表す。

参考文献 1) 外賀・松岡(1981): 第36回土本年誌, III, PP.13-14. 2) 松岡香川・中井(1977): 土学会論文報告集, 第206号, PP.15-105.

3) 中井・松岡(1981): 土学会論文報告集, 第306号, PP.23-34. 4) 金谷・鈴木(1979): 名古屋工業大学卒業論文

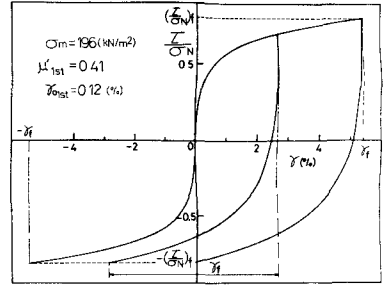


図-5 破壊まで応力比を上げた場合の $\epsilon/\sigma_N \sim \gamma$ 関係

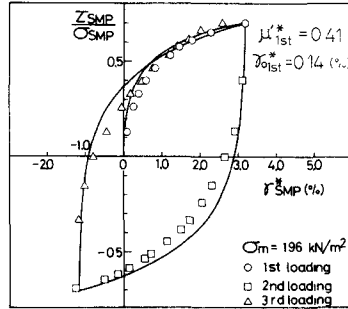


図-6 主応力比4の排水繰返し試験の実測値(プロット)と解析値

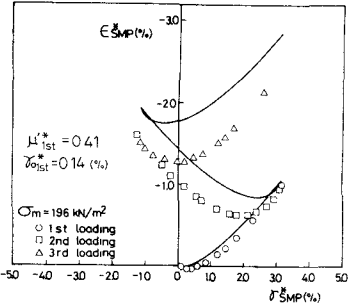


図-7 左記試験の実測値(プロット)と解析値

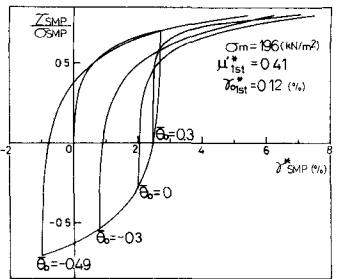


図-8 種のの応力比からの逆方向排水せん断時の $Z_{SMP}/O_{SMP} \sim \sigma_{SMP}$ 関係の解析値

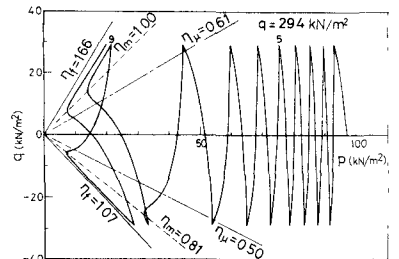


図-9 非排水繰返しせん断時の有効応力経路の解析値

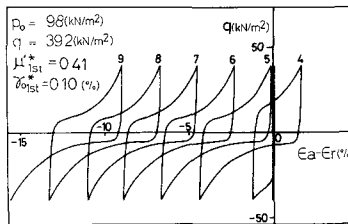


図-10 非排水繰返しせん断時の主応力差 $\sigma_a \sim \sigma_r$ 関係の解析値

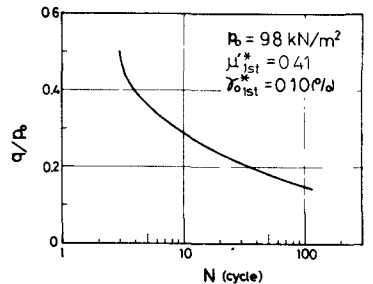


図-11 液状化強度 $q/P_0 \sim$ 繰返し回数 $N$ の関係