

III-114 主応力方向の回転の影響を考慮した単純せん断試験の解析

名古屋工業大学 正員 松岡 元

主応力値を固定してモールの応力円周に沿って応力状態を回転させる、いわゆる“純粋な”「主応力方向回転試験」によって大きなひずみが発生するが、この事実を説明できる土の構成式は少ない。そこで、まず光弾性材料の丸棒(φ6, 10mm, 長さ20mm)の混合積層体(混合本数比φ6:10mm=4:1)¹⁾を粒状体の2次元モデルとして繰返し単純せん断試験を行い、主応力方向の回転による粒子接点角分布の変化特性を把握した。次に、主応力方向の回転によるひずみも考慮した一般座標表示の土の構成式^{2),3)}に基づいて、単純せん断試験の解析を行った。

1. 主応力方向回転時の粒子接点角分布の変化

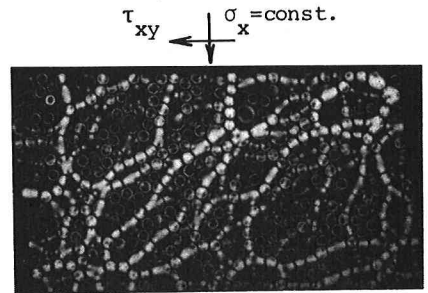
写真-1(a)~(c)は、繰返し単純せん断時の粒子間力の伝達状況の変化を示しているが、主応力方向の回転による粒子構造の変化がよく観察される。図-1(a)~(c)は、写真-1(a)~(c)にそれぞれ対応する、原点から放射状に表示した粒子接点角分布(ヒストグラム)を示したものである。同図より、最大主応力 σ_1 方向に粒子接点角が集中するのが見られ、^{1),4)}主応力方向回転中に起こる粒子構造の変化が激しいのがうかがわれる。このような粒子構造の変化が、主応力方向回転時に発生するひずみの源と考えられる。

2. 一般座標表示の土の構成式に基づいた単純せん断試験の解析

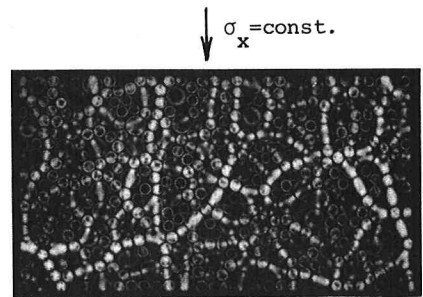
提案モデルは、まず一般面上のせん断・垂直応力比(τ_{xy}/σ_x or τ_{xy}/σ_y)とせん断ひずみ(γ_{xy})の間に双曲線の関係を仮定し、この γ_{xy} を応力パラメータ ϕ_{mo} (動員されている内部摩擦角)、 α (主応力方向の回転角)、 σ_m (平均主応力)に関して全微分をとり、①せん断($d\phi_{mo}$)によるせん断ひずみ増分: $d\gamma_{xy}^s$ 、②主応力方向の回転($d\alpha$)によるせん断ひずみ増分: $d\gamma_{xy}^r$ 、③異方圧密($d\sigma_m$)によるせん断ひずみ増分: $d\gamma_{xy}^{ac}$ を求めている。なお、②の $d\gamma_{xy}^r$ においては、 σ_1 と $d\epsilon_1$ の方向に角度 δ のズレが生じることを考慮している。以上の $d\gamma_{xy}^s$ 、 $d\gamma_{xy}^r$ 、 $d\gamma_{xy}^{ac}$ と応力比~ひずみ増分比関係を組合せることにより、それぞれの垂直ひずみ増分 $d\epsilon_x$ 、 $d\epsilon_y$ を求める。最後に、④等方圧密($d\sigma_m$)によるひずみ増分: $d\epsilon_x^{ic}=d\epsilon_y^{ic}$ を加える。以上より、 $d\phi_{mo}$ 、 $d\alpha$ 、 $d\sigma_m$ は、いずれも一般応力増分($d\sigma_x$ 、 $d\sigma_y$ 、 $d\tau_{xy}$)によって式示されるので、次式のような一般座標表示の定式化が可能となる。

$$\{d\epsilon_x, d\epsilon_y, d\gamma_{xy}\}^T = [D]^{-1} \cdot \{d\sigma_x, d\sigma_y, d\tau_{xy}\}^T \quad (1)$$

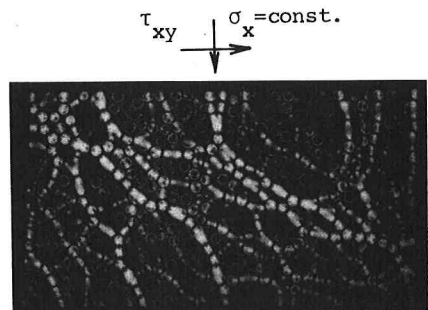
式(1)はある任意面上の応力が変化すればひずみが発生するという“自然な法則”を表現しているため、主応力値を固定して主応力方向のみを回転させる「主応力方向回転試験」によって発生するひずみをも妥当に評価できる。



(a)



(b)



(c)

写真-1 繰返し単純せん断時の粒子間力の伝達状況の変化

さて、排水単純せん断試験の場合には、単純せん断面上の垂直応力 σ_x 一定、側方ひずみ増分 $d\epsilon_y=0$ が解析条件となる。

$$\left. \begin{aligned} d\sigma_x &= 0 \quad (\sigma_x = \text{const.}) \\ d\epsilon_y &= d\epsilon_y^s + d\epsilon_y^r + d\epsilon_y^{ac} + d\epsilon_y^{ic} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、上添字 s, r, ac, ic はそれぞれせん断、主応力方向の回転、異方圧密、等方圧密によるひずみ増分を表す。次に、非排水単純せん断試験の場合には、単純せん断面上の垂直ひずみ増分 $d\epsilon_x=0$ 、側方ひずみ増分 $d\epsilon_y=0$ が解析条件となる。

$$\left. \begin{aligned} d\epsilon_x &= d\epsilon_x^s + d\epsilon_x^r + d\epsilon_x^{ac} + d\epsilon_x^{ic} = 0 \\ d\epsilon_y &= d\epsilon_y^s + d\epsilon_y^r + d\epsilon_y^{ac} + d\epsilon_y^{ic} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

図-2(a)~(c)および図-3(a)~(c)は、それぞれ式(1)、(2)に基づいた豊浦砂($e_0 \approx 0.68$)および藤の森粘土($PI=20\%$)の排水単純せん断の解析結果を示している。実線は初期の静止土圧係数(初期の水平・鉛直応力比) $K_0=0.5$ の場合を、点線は $K_0=0.9$ の場合を表している。非排水単純せん断の解析結果は紙面の都合上当り発表する。なお、解析に用いたパラメーターは以下の通りである。豊浦砂： $k_s=0.23\%$, $K=3.0$, $\phi=40^\circ$, $C_c/(1+e_0)=1.3\%$, $C_s/(1+e_0)=0.578\%$, $\delta=30^\circ$ 、藤の森粘土： $k_s=1.7\%$, $K=3.54$, $\phi=34^\circ$, $C_c/(1+e_0)=10.5\%$, $\delta=30^\circ$ 。なお、これらのパラメーターは通常の三軸試験と圧密試験から求められる。

参考文献

- 1) 松岡・竹田・藤井(1983):第38回土木学会年次講演概要集, III-14, pp. 27-28.
- 2) 松岡・岩田・榊原・鈴木(1986):第21回土質工学研究発表講演集, 133, pp. 341-344.
- 3) Matsuoka, H., Iwata, Y. and Sakakibara, K. (1986): Proc. of 2nd Int. Conf. on Numerical Models in Geomechanics, Ghent, Belgium, pp. 67-78.
- 4) Oda, M. and Konishi, J. (1974): S & F, Vol. 14, No. 4, pp. 25-38.

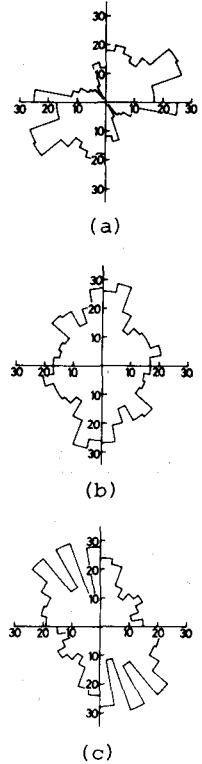


図-1

写真-1(a), (b), (c)に対応する粒子接点角分布(ヒストグラム)

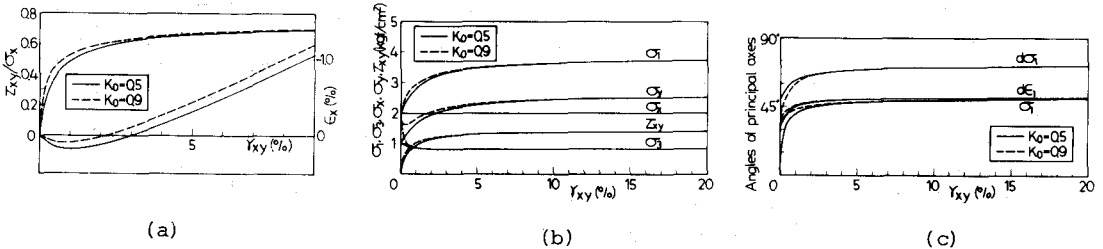


図-2 豊浦砂の排水単純せん断試験の解析結果 (K_0 : 初期の静止土圧係数)

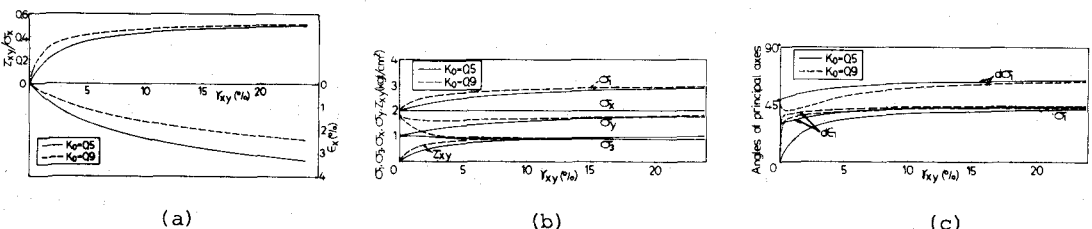


図-3 藤の森粘土の排水単純せん断試験の解析結果 (K_0 : 初期の静止土圧係数)