

主応力回転を含む任意応力経路下の粒状体の変形特性

名古屋工業大学 正会員 松岡 元
 “ 学生会員 安達 哲也, ○水谷 雅裕
 “ 岡田 茂, 奥村 健

主応力方向の回転（モールの応力円周に沿う応力状態の変化）によって生じるひずみと、せん断（主応力比の変化）によって生じるひずみの相関性を検討し、提案構成式^{1), 2)}の妥当性を検証するため、すでに発表しているアルミ丸棒積層体用の2次元任意応力試験機³⁾ (σ_x , σ_y , τ_{xy} を独立に載荷可能)を用いて、主応力方向の回転を伴う4種の任意応力経路試験を行なった。なお、すべての実験において平均主応力 $\sigma_m = (\sigma_x + \sigma_y)/2 = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ (一定)とした。

実験に用いた試料は径1.6, 3mm, 長さ50mmのアルミ丸棒積層体（混合重量比3:2）であり、2次元粒状モデルとして長く用いているものである。図-1~4の(a)図は載荷した任意応力経路 (σ_x , τ_{xy})の経路を示しており、(b), (c)図はそれぞれ1回転目 ($2\alpha = 0^\circ \rightarrow 360^\circ$)と2回転目 ($2\alpha = 360^\circ \rightarrow 720^\circ$ または $2\alpha = 360^\circ \rightarrow 0^\circ$)の各種ひずみ (ε_x , ε_y , γ_{xy} , 体積ひずみ $\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y$)を表わしている。なお、 α は(σ_x , τ_{xy})が働く面と主応力面のなす角度を意味する。図中のプロットは実測値を、曲線は提案構成式による解析値を示している。なお、解析に用いたパラメーターは $\phi = 24^\circ$, $\lambda = 0.9$, $\mu = 0.19$, $k_s = 0.5\%$, $\delta = 30^\circ$ (一定)である。これらのパラメーターの値はせん断試験から決定されるが、主応力方向の回転によるひずみにも適用できるのは興味深い。

図-1は、モールの応力円周に完全に沿った主応力方向の一方回転によって生じた各種ひずみを示している。このように、主応力値 $\sigma_1 = 0.6 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma_3 = 0.4 \text{ kgf/cm}^2$ が全く変化しなくても、ひずみが発生し、特に体積ひずみ ε_v が蓄積されていくのは興味深い。なお、ここでは主応力方向の回転回数と共に発生体積ひずみが小さくなるように解析上の工夫をしている（パラメーターは増えない²⁾）。

図-2は、同じくモールの応力円周に完全に沿った主応力方向の回転によるものであるが、1回転したところ ($2\alpha = 360^\circ$) で逆方向に回転させた場合の各種ひずみを示したものである。逆方向回転の直後には、ひずみの出方が小さいようであるので、 $\Delta(2\alpha) = 30^\circ$ の間だけ主応力方向の回転によるひずみ増分が0であるとして解析値を算定している²⁾。

図-3は、せん断載荷（主応力比の増加、モールの応力円の増大）中に主応力方向の回転・逆回転を与えた場合の実測値（プロット）と解析値（曲線）の比較を示したものである。モールの応力円が大きくなっていくので、後半になるに従って各ひずみの実測値は増大しているが、このような実測値の傾向を解析値はよく説明している。また、逆回転直後 ($2\alpha = 360^\circ$) には、各ひずみの出方が小さくなっているのが見られる。

図-4は、主応力方向の一方回転中にせん断載荷（モールの応力円の増大）・せん断除荷（モールの応力円の減少）を与えた場合の実測値と解析値の比較を示したものである。1回転目のせん断載荷時 ($2\alpha = 0^\circ \rightarrow 360^\circ$) には各ひずみ増分の増大が見られ、2回転目のせん断除荷時 ($2\alpha = 360^\circ \rightarrow 720^\circ$) には各ひずみ増分の減少が見られる。

提案構成式は、①せん断（主応力比の変化、モールの応力円の大きさの変化）によるひずみ増分、②主応力方向の回転（モールの応力円周に沿う応力状態の変化）によるひずみ増分、③異方圧密（主応力比 > 1 、平均主応力の増加）によるひずみ増分、④等方圧密（平均主応力の変化）によるひずみ増分の重ね合わせとして、任意応力経路下の各種ひずみを評価するものである^{1), 2)}。図-1~4より、①せん断によるひずみ増分と②主応力方向の回転によるひずみ増分の相互干渉はあまり顕著ではないようであり、両者のひずみ増分の重ね合わせはほぼ成立するようである。

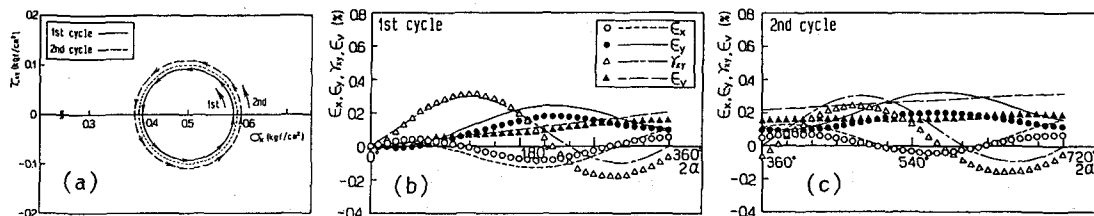


図-1 モールの応力円周に沿った主応力方向の一方回転を与えた場合の各種ひずみの実測値と解析値の比較

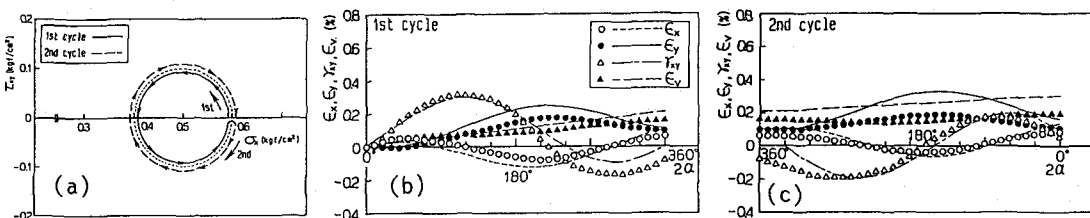


図-2 モールの応力円周に沿った主応力方向の回転・逆回転を与えた場合の各種ひずみの実測値と解析値の比較

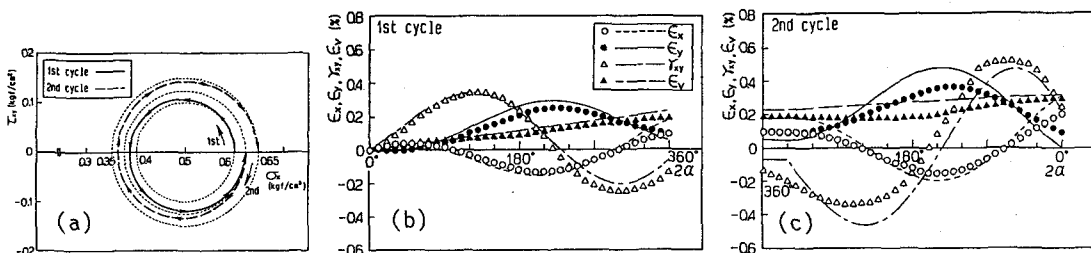


図-3 せん断载荷（モールの応力円の増大）中に主応力方向の回転・逆回転を与えた場合の各種ひずみの実測値と解析値の比較

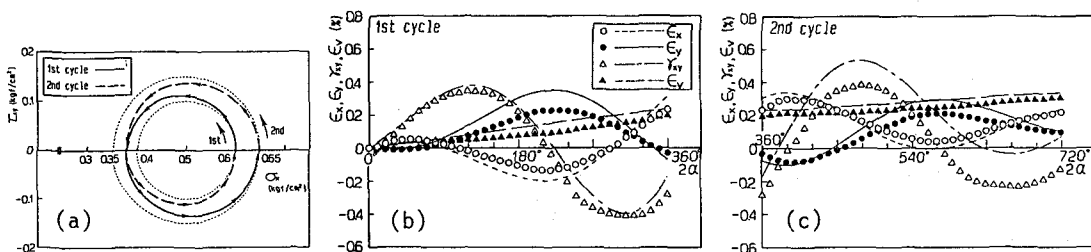


図-4 主応力方向の一方回転中にせん断载荷（モールの応力円の増大）・せん断除荷（モールの応力円の減少）を与えた場合の各種ひずみの実測値と解析値の比較

参考文献

- 1) 松岡・岩田・榊原(1986): Proc. 2nd Int. Symp. on Numerical Models in Geomechanics, Ghent, pp. 67-78.
- 2) 松岡・榊原(1990): S & F, Vol. 30, No. 1, pp. 142-154.
- 3) 松岡・安達・鈴木(1990): 第25回土質工学研究発表会講演集, 192, pp. 515-516.