

“一般” 応力経路下の粒状体の応力・ひずみ特性

名古屋工業大学 正員 松岡 元、学生員 ○鈴木 康之、村田 卓則

中垣内 一、藤本 徳郎、福元 信一

三軸試験機によるストレス・プローブ試験や三主応力制御試験は任意の応力経路を与える試験と言われているが、これらの試験では主応力の方向が固定されている。しかし、実際の地盤では、フーチング下の土要素や繰返し単純せん断下の土要素のように、主応力方向が変化する場合が多くみられる。そこで、ここではアルミ丸棒積層体(φ1.6, 3mm, 長さ50mm)を試料とした「2次元一般応力試験機」(一般応力 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ を独立に制御可能)を用いて、1)せん断(応力比の変化)と主応力方向の回転(モールの応力円に沿って回転)が同時に生じる経路、2)せん断終了後に主応力方向の回転が生じる経路、3)主応力方向の回転後にせん断が生じる経路の試験を行い、すでに提案している主応力方向の回転の影響を評価できる一般座標表示の土の構成式¹⁾²⁾によって解析した。

1. モールの応力円表示による3種の“一般” 応力経路

図-1は、モールの応力円表示による点A₁から点B₂に至る3種の“一般” 応力経路を示している。今回は、この3種の応力経路に沿う次のような試験を行った。

TEST①(点A₁→点B₁→点B₂):せん断後に主応力値を一定に保ったまま主応力方向を回転させる試験。

TEST②(点A₁→点B₂):せん断と主応力方向の回転を同時に行う試験。

TEST③(点A₁→点A₂→点B₂):主応力値を一定に保ったまま主応力方向を回転させた後にせん断する試験。

注目すべきは、上記の3種の応力経路の始点A₁と終点B₂が全て同じであることと、点A₁, A₂の主応力値($\sigma_1=0.45, \sigma_3=0.35$ (kgf/cm²))が同じであり、点B₁, B₂の主応力値($\sigma_1=0.5, \sigma_3=0.3$ (kgf/cm²))が同じであることである(図-1参照)。したがって、通常的主応力空間や(p, q)空間では、上記の3種の応力経路の差は表現できない。このことは、応力の不変量(主応力値で規定される応力パラメーター)で定式化されている土の構成式では、主応力方向の回転(主応力値一定のもとでの)によるひずみを評価できないことを意味している。

2. 主応力回転の影響を評価できる一般応力表示の土の構成式

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})の間に双曲線関係を仮定し、この γ_{xy} を応力パラメーター 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

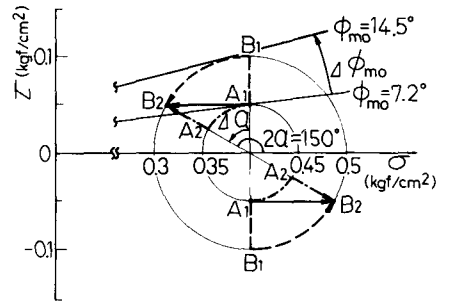


図-1 モールの応力円表示による3種の“一般” 応力経路

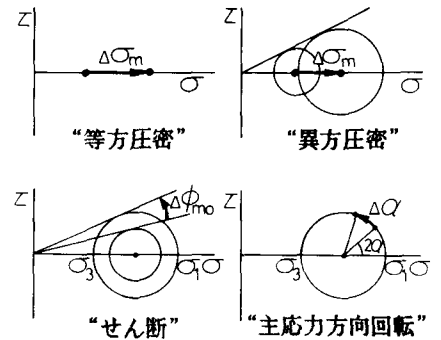


図-2 等方圧密、異方圧密、せん断、主応力方向回転に対応する、モールの応力円表示による応力変化

($d\sigma_m$)によるせん断ひずみ増分: $d\tau_{xy}^{ac}$ を求めている。なお、②の $d\tau_{xy}^r$ 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。上記の $d\tau_{xy}^s$, $d\tau_{xy}^r$, $d\tau_{xy}^{ac}$ と応力比~ひずみ増分比関係(Flow Ruleに対応)を組み合わせることにより、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(図-2参照)。以上より、 $d\phi_{m0}$, $d\alpha$, $d\sigma_m$ はいずれも一般応力増分($d\sigma_x$, $d\sigma_y$, $d\tau_{xy}$)で式示されるので、次式のような一般応力増分と一般ひずみ増分を直接結び付けた土の構成式の定式化が可能となる。^{1),2)}

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

3. 3種の“一般”応力経路下の実測値と解析値の比較

図-3(a)~(c)は、前述のTEST①, ②, ③による3種の異なった一般応力経路下の実測値と解析値の比較を、主応力比(σ_1/σ_3)とひずみ($\epsilon_x, \epsilon_y, \tau_{xy}, \epsilon_1, \epsilon_3, \epsilon_1-\epsilon_3, \epsilon_v = \epsilon_1 + \epsilon_3$)の関係で示したものである。(a)図と(c)図において、主応力比が変化していない部分は、主応力値を一定に保って主応力方向のみを回転させていることを示している(図-1参照)。また、(b)図は主応力比を増加(せん断)させると同時に、主応力方向も回転させる場合を示している。これらの図より、モールの応力円で表示された一般応力経路上で始点 A_1 と終点 B_2 は3種の経路とも同じであるが、ひずみの出方に大きな差異があるのがみられる。つまり、ひずみの“一般”応力経路依存性が存在することがわかる。また、解析値は応力経路の違いによる実測値の傾向をよく説明しているのがみられる。なお、図-4は、TEST②について提案モデル中の主応力方向の回転によるひずみをゼロとした場合の解析結果と実測値の比較を示している。この図より、せん断と主応力方向の回転が同時に起こる場合にも、主応力方向の回転によるひずみの影響を無視できないことがわかる。以上の解析に用いたアルミ丸棒積層体のパラメーターは $\phi=24^\circ$, $k_s=0.31\%$, $\lambda=0.8$, $\mu=0.19$, $\delta=30^\circ$ である。

謝辞 せん断と主応力方向の回転が同時に起こる経路での提案モデルの検証の必要性を述べた本学中井照夫助教に謝意を表す。

文献 1)松岡・岩田・榊原(1986):Proc. of 2nd Int. Symp. on Numerical Models in Geomechanics, Ghent, pp.67-78.
2)松岡・榊原(1987):S & F, Vol.27, No.4, pp.73-88.

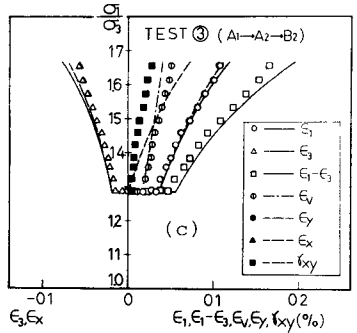
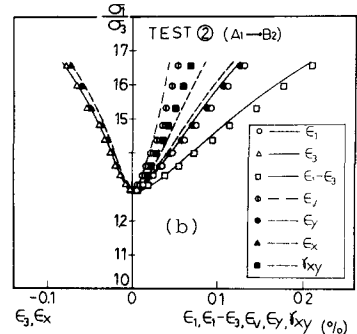
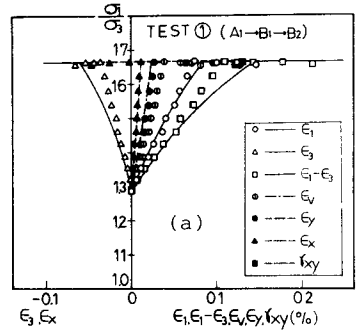


図-3 3種の“一般”応力経路の実測値と解析値の比較

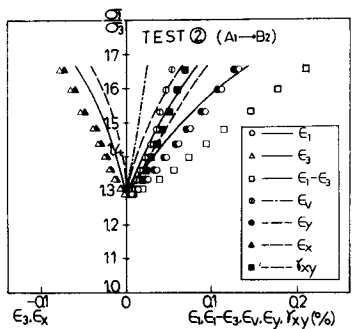


図-4 主応力方向回転によるひずみを無視した解析値と実測値の比較 (TEST②)