

名古屋工業大学

学生員 ○ 三原 泰司

正 員 中井 照夫

正 員 松岡 元

すでに2方向剛板載荷/1方向液圧載荷方式のセル型多軸試験機を用いて実験を行なっているが、一方向の剛板が押し込まれる時、他方の剛板が引き込まれるように載荷方式を工夫することによって、試料隅角部のアーチングの影響を除去し試験精度の向上を図ってきた。今回は、この試験方法の長所を生かしつつ実験可能な応力範囲を広げたセル型多軸試験機を試作したので、試験機の概略とその試験結果について報告する。また、その試験結果と空間滑動面(SMP)に基づく理論値との比較も行なう。

1. 試作した多軸試験機の概要と実験方法

写真-1および図-1に示すように、試作試験機では、軸圧(σ_a)は剛板を介して鉛直方向のピストンで、水平1方向の応力(σ_r)はセル内の液圧で、他の水平方向の応力(σ_e)は側方の剛板を介してセル内に懸架されたエアシリンダー(復動式)によって載荷される。この装置の特徴は、図-1からわかるように、側方の剛板(σ_e 方向)がゴムスリーブによって包み込まれているため、液圧(σ_r)より小さい側方圧(σ_e)をも載荷できることにある。したがって、本装置によれば、原理上 $\sigma_a, \sigma_r, \sigma_e$ 間の応力の大きさを任意に変えることが可能である。ただ上述したように、剛板で載荷する2主応力の載荷方向(σ_a, σ_e 方向)が共に圧縮側となる場合は両方向間の試料隅角部でアーチングの影響を受けるため、ここでは σ_a を最大主応力、 σ_e を最小主応力になるようにして実験を行なっている。(図-1では $\sigma_a > \sigma_r$ であるため σ_a 方向の剛板とピストンがポイントタッチになっているが、アタッチメントを代えることにより $\sigma_a < \sigma_r$ とすることも可能である)。また、セル内のエアシリンダーは試料への摩擦の影響を軽減させるため、スプリングでつり下げ浮動式としている。そして試料と剛板の間にはシリコングリースを塗ったゴム膜とテフロンシートを挿入して摩擦の除去に努めている。

次に、ひずみの測定については ϵ_a, ϵ_e は2方向のピストンの変位をダイヤルゲージで計ることにより求め、 ϵ_r はビューレットにより測定した供試体の体積ひずみ ϵ_v と ϵ_a, ϵ_e より算定している。なお、液圧で載荷する載荷面の面積に比べ供試体の体積(高さ10cm×幅10cm×奥行7cm)が十分大きいので、液圧の変化によるメンブレンの貫入量補正は行なっていない。

試料は飽和した豊浦砂(平均粒径0.2mm, 均等係数1.3, 比重2.65)をゴム膜に密着させたモールド内で突き棒(径6mm)により締め固めて作製した。(初期間隙比 $e_0=0.70 \sim 0.71$)。実験はすべて応力制御で行っている。

2. 多軸試験結果とその解釈

平均主応力一定($\sigma_m=196$ kgf/cm²)のせん断試験を行なった。その応力経路は

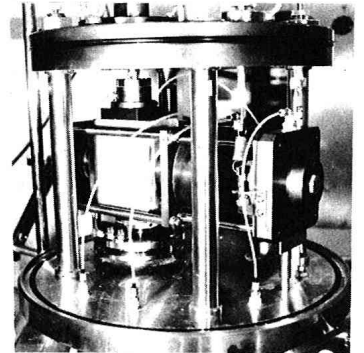


写真-1 試作した多軸試験機セル内部

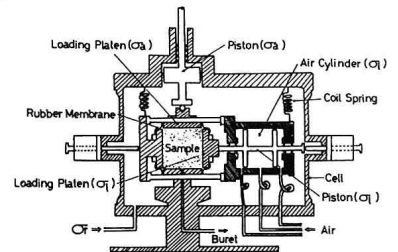


図-1 試作した多軸試験機概略図

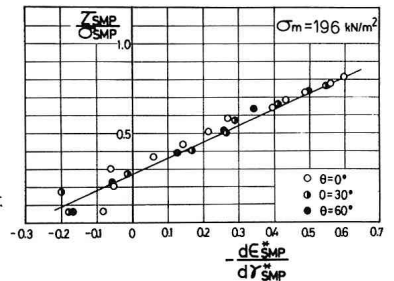


図-2 $Z_{SMP} / \sigma_{SMP} \sim d\epsilon_{SMP}^* / d\gamma_{SMP}^*$ 関係

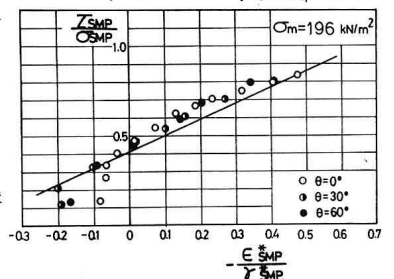


図-3 $Z_{SMP} / \sigma_{SMP} \sim \epsilon_{SMP}^* / \gamma_{SMP}^*$ 関係

$\theta = 0^\circ$ ($\sigma_a > \sigma_r = \sigma_z$; 三軸圧縮条件), $\theta = 30^\circ$ ($\sigma_a > \sigma_r > \sigma_z$; $\sigma_r = \frac{\sigma_a + \sigma_z}{2}$), $\theta = 60^\circ$ ($\sigma_a = \sigma_r > \sigma_z$; 三軸伸張条件) の3つである。(θ : 正八面体面(OCT面)上での応力経路が σ_a 方向となす角度)。

さて、空間滑動面に基いた応力・ひずみ関係式は基本的には次の2つの考え方に基いて解析されている。

1) 空間滑動面(SMP)上のせん断・垂直応力比 τ_{SMP}/σ_{SMP} と主ひずみ増分ベクトルのSMPに垂直な成分および平行な成分で与えられるひずみ増分量($d\epsilon_{SMP}^*$, $d\delta_{SMP}^*$)の間に応力条件に依存しない関係が成立する。

$$\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} = \lambda^* (-d\epsilon_{SMP}^*/d\delta_{SMP}^*) + \mu^* \quad \text{----- (1)}$$

$$\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} = \lambda^* (-\epsilon_{SMP}^*/\delta_{SMP}^*) + \mu^* \quad \text{----- (2)}$$

$$d\delta_{SMP}^* = \left\{ \delta_0^*/(\mu^* - \lambda^*) \right\} \cdot \exp\{(X - \mu^*)/(\mu^* - \lambda^*)\} \cdot dX \quad \text{--- (3)}$$

$$d\epsilon_{SMP}^* = \left\{ (\mu^* - X)/\lambda^* \right\} \cdot d\delta_{SMP}^* \quad (X \equiv \tau_{SMP}/\sigma_{SMP}) \quad \text{--- (4)}$$

2) SMP上の土粒子の滑動成分である $d\delta_{SMP}^*$ の方向は τ_{SMP} の方向に一致する。つまり、 σ_{SMP} , τ_{SMP} の方向余弦を α_i , β_i ($i=1, 2, 3$) とした時 ($d\epsilon_{SMP}^*$, $d\delta_{SMP}^*$) の3主ひずみ増分への変換式は次式で与えられる。

$$d\epsilon_i = \alpha_i \cdot d\epsilon_{SMP}^* + \beta_i \cdot d\delta_{SMP}^* \quad (i=1, 2, 3) \quad \text{--- (5)}$$

図-2, 3は試験結果を式(1), (2)の関係で整理した結果(プロット)と通常の三軸試験機から得られる直線関係($\lambda^*=0.9$, $\mu^*=0.27$, $\delta_0^*=0.41$)を示したものであるが、両者はよく一致している。次に、図-4は実測値を $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim \delta_{SMP}^*$ 関係で整理した結果(プロット)と式(3), (4)による計算曲線($\delta_0^*=0.9\%$)を示したものである。ここに $\theta=0^\circ$ のひずみの実測値は少し大きいようであるが、ほぼよく整理されることがわかる。また、図-5~7は以上の試験の実測値(プロット)と式(3), (4)を式(5)に代入して得られる計算曲線を主応力へ主ひずみ関係で示したものである。

さて、図-8(a)は上述の提案式の基本仮定2)つまり $d\delta_{SMP}^*$ と τ_{SMP} の方向が一致することを直接的に検証するため、 $\theta=30^\circ$ の多軸試験について両者の交角の実測値(0印)を示している。また図-8(b)は既報の試験データと同様に整理したものである。なお、参考までにOCT面上のせん断ひずみ増分 $d\delta_{OCT}$ とせん断応力 τ_{OCT} の方向の交角も●印で示している。図-8(a)(b)より $d\delta_{OCT}$ の方向は応力比が大きくなるに従い τ_{OCT} の方向からはずれるのに対し、 $d\delta_{SMP}^*$ の方向は応力比にかかわらずほぼ τ_{SMP} の方向に一致することが理解される。ところで本試験機では従来の試験機に比べひずみの大きさが相対的に小さくなる傾向がある。この原因としては今回の試料の異方性と偏心荷重を受けたときのアーミーリング内の摩擦が考えられる。今後改良していく予定である。

謝辞

日頃御援助いただいている本学山内利彦教授ならびに多軸試験に協力いただいた若木隆保教授に感謝いたします。

文献 1) 峠・松田; 土木学会論文報告集 第303号 pp.65~77, 1980.

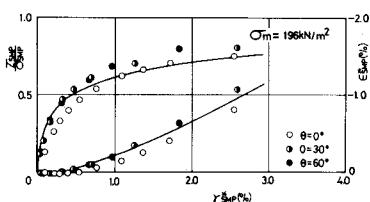


図-4 $\tau_{SMP}/\sigma_{SMP} \sim \delta_{SMP}^* \sim \epsilon_{SMP}^*$ 関係

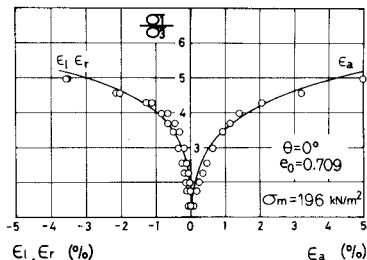


図-5 主応力へ主ひずみ関係($\theta=0^\circ$)

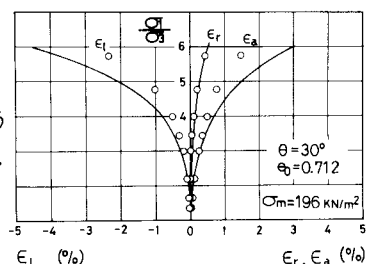


図-6 主応力へ主ひずみ関係($\theta=30^\circ$)

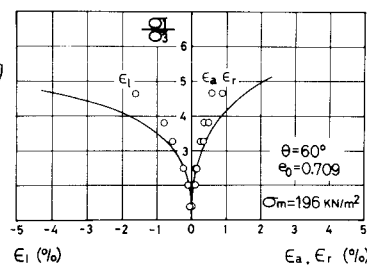
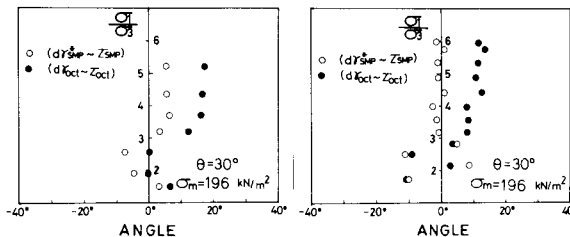


図-7 主応力へ主ひずみ関係($\theta=60^\circ$)



(a) 試作に多軸試験機 (b) 従来の多軸試験機

図-8 $d\delta_{SMP}^* \sim \tau_{SMP}$ の方向の交角及び $d\delta_{OCT} \sim \tau_{OCT}$ の方向の交角。(実測値)