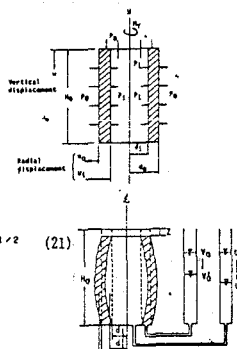
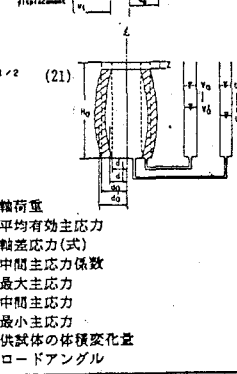




表-1 応力・ひずみ・内圧・外圧・軸荷重の計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>応力パラメータ</b></p> $p = (\sigma_z + \sigma_r + \sigma_\theta) / 3 \quad (1)$ $q = \frac{1}{\sqrt{2}} ((\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2)^{1/2} \quad (2)$ $\theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\sigma_r - \sigma_\theta)}{(2\sigma_z - \sigma_\theta - \sigma_r)} \quad (3)$ $b = \frac{\sigma_z - \sigma_r}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (4)$                      | <p><b>内圧・外圧及び軸荷重の計算式</b></p> $P_0 = \frac{\sigma_r(d_0 + d_i) + \sigma_\theta(d_0 - d_i)}{2d_0} \quad (17)$ $P_i = \frac{\sigma_r(d_0 + d_i) - \sigma_\theta(d_0 - d_i)}{2d_i} \quad (18)$ $V = (\sigma_z(d_0^2 - d_i^2) + d_i^2 P_i - d_0^2 P_0) \pi \quad (19)$ $\sigma_\theta - \sigma_r = r \frac{d\sigma_r}{dr} \quad (23)$                   |                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><b>ひずみパラメータ</b></p> $\epsilon_v = \epsilon_z + \epsilon_r + \epsilon_\theta \quad (5)$ $\gamma_{oct} = \frac{\sqrt{2}}{3} ((\epsilon_\theta - \epsilon_r)^2 + (\epsilon_r - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_\theta)^2)^{1/2} \quad (6)$ $\omega = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\epsilon_r - \epsilon_\theta)}{(2\epsilon_z - \epsilon_\theta - \epsilon_r)} \quad (7)$                                           | <p><b>内径・外径の計算式</b></p> $d_{i2} = \left( \frac{\pi d_{i1}^2 - H_0 - C + U}{\pi(H_0 - z)} \right)^{1/2} \quad (20)$ $d_{o2} = \left( \frac{\pi H_0 (d_{o1}^2 - d_{i1}^2 + d_{i2}^2) - \pi z d_{i2}^2 + V}{\pi(H_0 - z)} \right)^{1/2} \quad (21)$ $S' = \pi(d_{o2}^2 - d_{i2}^2) \quad (22)$                                                        |                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><b>主応力の評価</b></p> $\sigma_1 = \frac{q}{(b^2 - b + 1)^{1/2}} + \sigma_3 \quad (8)$ $\sigma_2 = b(\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_3 \quad (9)$ $\sigma_3 = p - \frac{q}{3(b^2 - b + 1)^{1/2}}(1 + b) \quad (10)$                                                                                                                                                                                                        | <p><b>記号の説明</b></p> <p><math>d_i, d_o</math> : 内径及び外径<br/> <math>u_i, u_o</math> : 半径方向変位<br/> <math>z</math> : 垂直方向変位<br/> <math>H_0</math> : 供試体初期高さ<br/> <math>\epsilon_z</math> : 垂直方向のひずみ<br/> <math>\epsilon_r</math> : 半径方向のひずみ<br/> <math>\epsilon_\theta</math> : 円周方向のひずみ<br/> <math>U</math> : 内容積変化量<br/> <math>C</math> : 内容積リーク量</p> | <p><math>V</math> : 軸荷重<br/> <math>p</math> : 平均有効主応力<br/> <math>q</math> : 軸差応力(式)<br/> <math>b</math> : 中間主応力係数<br/> <math>\sigma_1</math> : 最大主応力<br/> <math>\sigma_2</math> : 中間主応力<br/> <math>\sigma_3</math> : 最小主応力<br/> <math>V</math> : 供試体の体積変化量<br/> <math>\theta</math> : ロードアングル</p> |
| <p><b>平均的な応力とひずみの評価</b></p> $\sigma_z = \frac{V}{\pi(d_o^2 - d_i^2)} + \frac{P_0 d_o^2 - P_i d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} \quad (11) : \epsilon_z = \frac{z}{H} \quad (14)$ $\sigma_r = \frac{P_0 d_o + P_i d_i}{d_o + d_i} \quad (12) : \epsilon_r = - \frac{u_o - u_i}{d_o - d_i} \quad (15)$ $\sigma_\theta = \frac{P_0 d_o - P_i d_i}{d_o - d_i} \quad (13) : \epsilon_\theta = - \frac{u_o + u_i}{d_o + d_i} \quad (16)$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

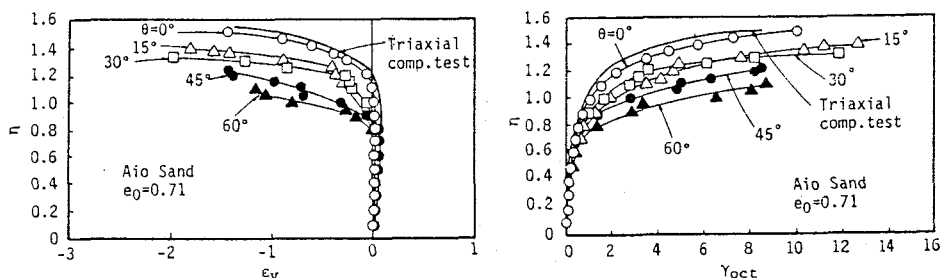


図-3 実験結果

ることにより所定の応力経路でのせん断を開始する。4) 載荷後、供試体の変形が、定常状態（内容積変化、体積変化及び軸方向変位から判断する）に落ち着いたら、内容積変化、体積変化及び軸方向変位の計測により各ひずみ量を計算する。このような手順を各荷重ステップで繰返し行う。なお、応力やひずみなどを評価する数式は表1にまとめて示している。また、内容積変化の測定に関しては補正曲線（供試体がない状態での内圧の変化に伴うビュレットの変化を示す曲線）を利用して補正を行うことにより測定精度を高めている。

iii) 実験結果の一例 --- 図3は、通常の三軸圧縮試験機と試作した中空せん断試験機を用いて同様の試料状態で行った  $p$  一定の三軸圧縮試験結果 ( $b$  値、 $\theta$  値共に0) を比較したものである。中空せん断試験機を用いて得られた  $\eta (=q/p) - \gamma_{oct}$  関係、 $\eta - \epsilon_v$  関係共に、ひずみレベルに関係なく三軸試験機による結果（太い実線）とよい対応を示しており、この試験機の三軸圧縮試験への適用性がうかがえる。図3には、中空せん断試験機を用いて  $\theta$  値=0, 15, 30, 60度一定のもとで行った、 $p$  一定せん断試験の結果もまとめて示している。得られた結果は、真の主応力試験機を用いて行われた同様の試験結果<sup>1) - 3)</sup> と広範なひずみレベルにおいて定性的に良好な対応を示しており、今回試作した試験機の有用性を示唆しているものと考えられる。

#### 4. まとめ

本報告では、主にトルクを負荷しない場合の中空ねじりせん断試験機の操作方法と実験結果の一例を紹介した。この試験機は、内容積変化の測定を行えば主三応力を制御した試験が任意の応力経路下で簡単にできることから、通常の三主応力制御試験機としても利用価値の高いものであると考える。最後に、本試験機の試作及び実験に精力的にご協力頂いた卒業生古川俊也君（現、日本上下水道設計）に感謝の意を表します。

参考文献 1) P.V.Lade & J.M.Duncan: ASCE, Vol.99, NoSM10, 1973. 2) Y.Yanada & K.Ishihara: Soils & Foundations, Vol.19, No.2, 1979. 3) H.Ochiai & P.V.Lade: ASCE, Vol.109, No.10, 1982.