

中空供試体を用いた土の引張試験機について

ブリタ工業 技術研究所 正員 福島 伸二
ブリタ工業 技術研究所 正員 石井 武美

1. 手紙がき

土質工学で扱う問題のうち土の引張強度特性が必要となるのは (1) 斜面安定問題において斜面上部に現われる引張領域と考えて解析する時、(2) フィルダムコアソールのハイドロフクチャリングに対する安定性を評価する時、(3) 土の引張や圧縮領域にわたる全体的な破壊規準 ($\sigma = f(\sigma)$) を求める場合などが考えられる。土の引張強度を求める試験機は数多く製作されてきたが正確に土の引張強度を評価できるものは少なく、その目的に応じて使い分けているのが現状であろう。ここでは正確に土の引張強度を求めるために製作した中空供試体を用いた引張試験機 (Hollow Cylinder Test) とその適用性について述べる。この試験機は元々 Kirkpatrick, W. M. (1957)¹⁾ が三次元応力下の土の強度特性を調べるのに使用したものと同型式である。

2. 中空供試体を用いた引張試験機

中空供試体を用いた引張試験システムを Fig. 1 に示してある。この試験機は通常の三軸セルのキャップ、ペダスタルを中空供試体用キャップ (ロッド付)、ペダスタルに交換したもので、外径 $d_o = 10 \text{ cm}$ 、内径 $d_i = 6.8 \text{ cm}$ 、高さ $h_s = 10 \text{ cm}$ の中空供試体の内・外側面はラバー・メソレンであり、上下端面はドーナツ型のアクリル円筒に接している。このアクリル円筒と供試体間には摩擦除去用のメソレンとシリコングリースの互層がはめられている。軸荷重はキャップに取り付けられたロードセルにより測定する。中空供試体の外側圧力 (P_o) はセル圧で加え、内側と外側の圧力差 ($P_i - P_o$) は供試体内側に水を一定流量で流し込んで変位制御を加えて供試体を破壊させるものである。供試体の半径方向 (σ_r)、接線方向 (σ_θ) は半径方向に一定であるため供試体の平均的な σ_r , σ_θ と求めた上は何らかの修正係数が必要である。ここでは Kirkpatrick, W. M. の方法により

$$\sigma_\theta = (P_o - P_i (r_i/r_o)) / (1 - (r_i/r_o)^2) = \sigma_r$$

$$\sigma_r = \sigma_i = \sigma_o / \lambda, \quad \lambda = 1 + \ln(P_i/r_o) / \ln(r_i/r_o)$$

のように決定する二式に可。この引張試験の特徴として

- 次の二点が考えられる。
- (1) セル中の過剰間隙水圧を測定可能な有効応力での引張強度を知る事ができる。(2) 平面ひずみ条件 ($\epsilon_z = \epsilon_a = 0$) である。(3) セル中の土が径路は σ_r が減少する方向に変化する試験である。

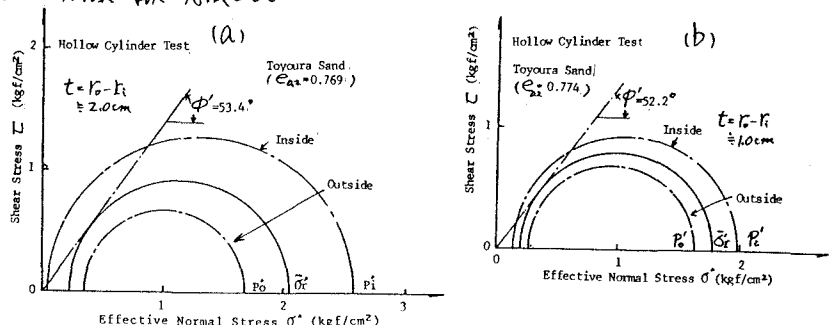


Fig. 2. 供試体の応力状態 (σ'_{θ})_{max} 時 (a) $t = 2 \text{ cm}$ (b) $t = 1 \text{ cm}$

3. 豊浦砂に関する実験

試験は供試体を用意し $P_1 = P_0 = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ まで等方圧密した後、軸変位を拘束して (平面ひずみ $\varepsilon_z = \varepsilon_a = 0$)、供試体内の圧力 P_1 の増加によって非排水条件で供試体を破壊させた。供試体内中空モルトに空気乾燥状態の砂を空中落下法で作製し水で湿潤させた後凍結して準備した。Fig. 2 (a), (b) にそれぞれ供試体内厚 $t = t_0 - t_i = 2 \text{ cm}$ と 1 cm の場合の最大応力比 $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{\max}$ 時に示す Mohr の円周を示してある。このうち実験は Karkpatrick の方法で求めた σ'_1 と σ'_3 を、Fig. 3(a) 応力-ひずみ曲線より一対鎖線は供試体内厚 $t = t_i$ と

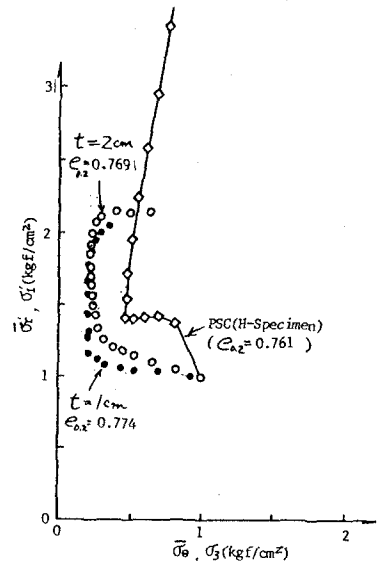
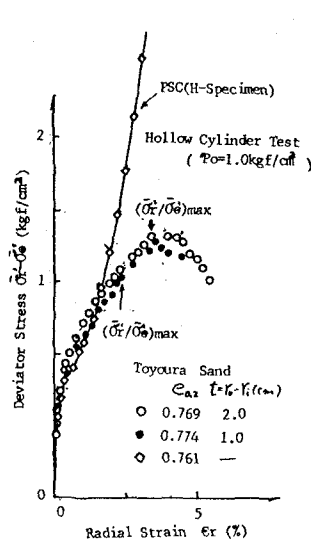


Fig. 3(b) 有効応力経路

外側における σ'_3 ($\sigma'_3 = \lambda P_0 R/P_0$) を示している。此供試体が要素として一様な応力、ひずみ状態にあるが肉厚に關係なく同じ σ'_1 , σ'_3 を示すことができる。供試体内、外の応力差は肉厚が大きい場合の方が大きい。平均的な応力比 (σ'_1/σ'_3) は肉厚に關係なくその差は小さいことがわかる。この場合 $C = 0$ とおいて求めた内部摩擦角 $\phi = \sin^{-1}[(\sigma'_1 - \sigma'_3)/(\sigma'_1 + \sigma'_3)]$ の差は約 $\Delta\phi = 1.2^\circ$ である。この試験の三軸圧縮試験に比較すれば精度の高い結果を得ることはできず、内部摩擦角を求めるのではなく実用的な問題に用いる土の破壊模準 ($t = t_i$) などを求める場合には二つの程度の差は許されるものと考えられる。低拘束圧領域 (この場合 σ'_3 は $0.1 \sim 0.15 \text{ kgf/cm}^2$) では、特に土の引張強度の問題に与える場合には内部摩擦角より破壊時のせん断応力 (t_i) の方がより重要だからである。

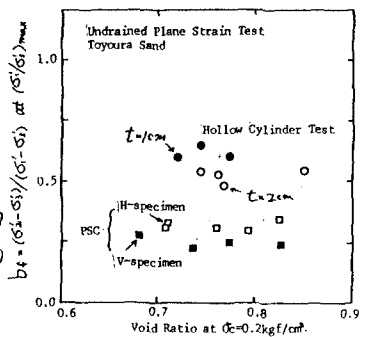


Fig. 4 $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{\max}$ 時の b 値

Fig. 3(a), (b) に肉厚 $t = 2 \text{ cm}$ と 1 cm の場合の応力-ひずみ曲線、有効応力経路とそれと示してある。これは Fig. 2 から Karkpatrick の方法から求めた σ'_1 , σ'_3 による応力-ひずみ曲線、有効応力経路は肉厚に關係なく一一致を示していることがわかる。このことは Karkpatrick の方法の二種の試験に対する実用性を示しているといえる。次に通常の平面ひずみ圧縮試験 (異方性に関しては H-Specimen (σ'_1 方向と主軸方向が一致) の場合) の引張試験と同条件の結果と比較してある。Fig. 3(a), (b) に平面ひずみ圧縮試験 (PSC) の結果も共に示してあるが、両試験の経路は同じ平面ひずみ条件であってもかなりの差がみられる。二つの試験の差は PSC では供試体はより線が現れるなどの間隙水圧の上昇量に非常に大きくかなりの大きな偏差を示していることである。本来有効応力の原理が成り立つならば同じ条件での非排水試験では有効応力経路は唯一であることを考えると、これらの差の原因は何だろうか。Fig. 4 に両試験に得られた $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{\max}$ 時の b 値 ($b = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/(\sigma'_1 + \sigma'_3)$) を示してあるが PSC では $b = 0.2 \sim 0.3$ であるのに対し、引張試験では $b = 0.5 \sim 0.6$ と 2 倍の値を示している。これらの両試験の差については今後の研究が必要であろう。

4. まとめ

中空供試体を用いた引張試験において、その平均的な応力決定のために何らかの特殊な取扱が必要であるが、単に実用的な目的で用いる破壊模準線 ($t = t_i$) を求めるのであれば Karkpatrick の方法は有効である。

2) Karkpatrick, W. M. (1957): The Condition of Failure for Sands, Proc. of 4th I.C.S.M.F.E., Vol. I, pp. 172-178.