

III-455

軟岩の中空円筒試験

フジタ工業(株) 技術研究所 福島 伸二

1. まえがき

軟岩盤中に大空間やトンネルなどの地下構造物を安全かつ経済的に建設するには、軟岩の力学的特性を十分調べる必要がある。特にこれらの地下構造物の建設は岩盤に空間掘削による応力解放、つまり拘束圧が低下するような応力変化を与えることになり、軟岩が破壊するときの拘束圧は非常に低く、場所によっては拘束圧が負になり引張応力状態になることも考えられる。ここではこのような圧縮応力から引張応力領域にわたる非常に低い拘束圧領域における軟岩の強度特性を調べるために製作した中空円筒試験機と、これを用いた試験結果について述べる。

2. 中空円筒試験機

新たに製作した中空円筒試験機は三軸圧縮試験用の三軸セル¹⁾をそのまま使用し、部品を交換するのみで中空円筒試験ができるものであり、その三軸セル部分を図-1に示してある。この試験機の基本的な構成は土質材料用の試験機²⁾と同じである。供試体寸法は外径 $d_o=5\text{cm}$ 、内径 $d_i=3\text{cm}$ 、高さ $h=10\text{cm}$ の中空円筒形で、その内・外側はラバーメンブレンで覆い、上・下端面にはシリコングリースとテフロンシートの互層をおいて摩擦を除去している。本試験機の全体システムを図-2に示してある。この試験機の特徴は過剰間隙水圧を測定し結果を有効応力で整理できること、背圧 σ_{BP} が加えられることである。試験は以下に行なう。供試体は外圧(p_o)と内圧(p_i)等しくして等方圧密した後($p_o=p_i$)、非排水条件にして外圧一定のまま内圧のみをコントロールシリンダーにより供試体内側に水を流量一定で流入させることにより増加させてせん断する。これを供試体が破壊するまで続ける。この時供試体高さは固定(平面ひずみ試験)して、軸荷重はキャップヘッドに設置したロードセルにより測定する。せん断中供試体内側に流入する水量(ΔV_i)は差圧計により測定し、この流入した水量から直径変化を計算する。

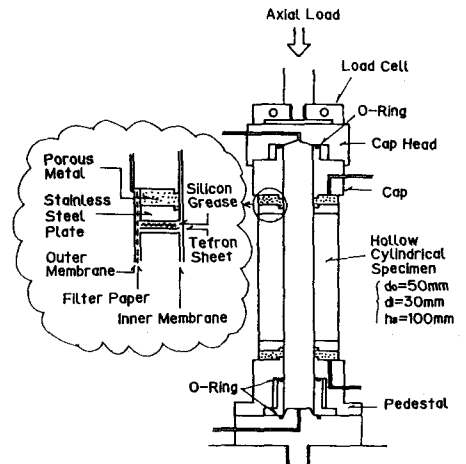


図-1 中空円筒試験機

3. 供試体の応力・ひずみの計算

供試体の半径応力(σ_r)、接線応力(σ_θ)は半径方向に非一様に分布しているので、供試体を代表する応力を求めるには何らかの特別な取扱いが必要である。これらの応力の計算法としては次の3種類がある。

(1) 弾性論による方法

$$(\sigma_\theta)_E = A - B, \quad (\sigma_r)_E = -A - B$$

$$A = 4 \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 p_o \left(1 - \left(\frac{p_i}{p_o} \right) \right) / \left(1 - \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 \right) \left(1 + \left(\frac{r_i}{r_o} \right) \right)^2$$

$$B = p_o \left(\left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 \left(\frac{p_i}{p_o} \right) - 1 \right) / \left(1 - \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 \right)$$

(2) Kirkpatrick の方法¹⁾ 2)

$$(\sigma_\theta)_K = (p_o - p_i (r_i/r_o)) / (1 - (r_i/r_o))$$

$$\lambda = 1 + \ln(p_i/p_o) / \ln(r_i/r_o), \quad (\sigma_r)_K = (\sigma_\theta)_K / \lambda$$

(3) 平均法

$$(\sigma_\theta)_A = (\sigma_\theta)_K, \quad (\sigma_r)_A = (p_o + p_i) / 2$$

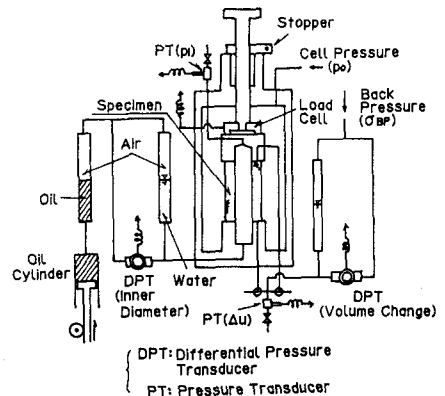


図-2 試験システム全体図

これら3種の応力計算法について内・外径比 $r_i/r_o=0.6$ として内・外圧比(p_i/p_o)をパラメータにして比較したものが図-3(a),(b)に示してある。これらの図から内・外圧比が大きいほど計算法により差があることがわかる。しかしここで対象としているような軟岩では $p_i/p_o < 5.0$ であり計算法による差は小さいので、ここでは計算が簡単な平均法により応力 σ_r, σ_θ を計算することにする。この試験では半径応力が最大主応力

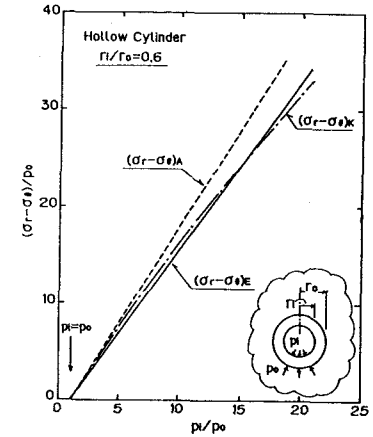
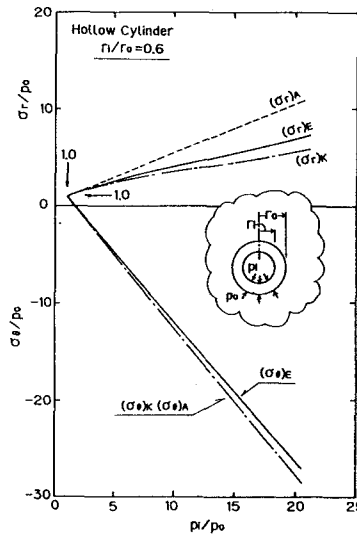


図-3(b) 偏差応力 ($\sigma_r - \sigma_\theta$) の比較

($\sigma_1 = \sigma_r$)、接線応力が最

小主応力($\sigma_3 = \sigma_\theta$)となる。ひずみの計算は土質材料における試験¹⁾と同様に求めている。しかし軟岩の場合変形が小さく内側メンブレンの変形あるいは供試体への貫入などの影響のために誤差が大きく問題があり、今後さらに検討が必要である。

図-3(a) 応力の計算法の比較

4. 試験結果

試験材料は大谷石（多孔質凝灰岩）で、完全に飽和させるために真空水槽内に約1か月放置したものを使用した。図-4に拘束圧 $p_o = 0.0, 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ における中空円筒試験から得られたMohrの応力円を示してある。同図には三軸圧縮試験から得られた結果を示してある。中空円筒試験では破壊時の最小主応力は引張応力領域まで低下している。圧縮領域における破壊包絡線をそのまま引張領域まで延長すれば引張強度が得られる。この包絡線がそのまま延長できるかどうかは三軸圧縮試験と中空円筒試験における供試体の応力状態の相異を考慮しなければならないだろう。

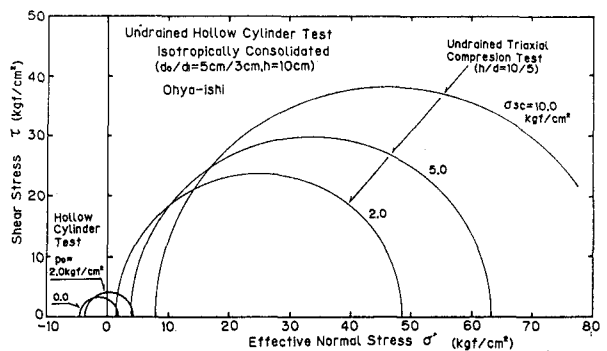


図-4 Mohrの応力円

は引張応力領域まで低下している。圧縮領域における破壊包絡線をそのまま引張領域まで延長すれば引張強度が得られる。この包絡線がそのまま延長できるかどうかは三軸圧縮試験と中空円筒試験における供試体の応力状態の相異を考慮しなければならないだろう。

5. まとめ

軟岩の引張応力状態まで含む低拘束圧領域における強度特性を調べるために中空円筒試験機を製作した。しかし試験方法にひずみの測定などに問題があり今後さらに検討が必要である。

参考文献

- 1) 福島伸二・石井武美：土の中空供試体を用いた引張り試験機の適用性、土と基礎、Vol. 33, No. 12, pp27-33, 1985.
- 2) 福島伸二：軟岩の三軸圧縮・平面ひずみ圧縮状態における強度特性、第21回岩盤力学に関するシンポジウム、pp426-430, 1989.
- 3) Kirkpatrick, W.M.: The Condition of Failure for Sands, Proc. of 4th ICSMFE, Vol. I, pp172-178, 1957.