

III-316 三軸セルを用いた深い地盤の透水試験法

(株)フジタ 技術研究所 福島伸二・香川和夫
 茨城大学 工学部 佐藤研一

1. まえがき

大深度地下の開発で掘削対象となるのは砂質土やシルトの互層の未固結地盤が多く、掘削の事前調査ではその地盤の強度・変形特性とともに、掘削切羽面の地下水流動に対する安定性の評価や掘削による地下水環境の変化予測のための透水性調査も重要である。一般に原地盤の透水性はボーリング孔を利用した現場透水試験により調べられるが、この方法は地盤の方向による透水性を区別して求めることは難しく、また成層地盤の各地層毎の透水性や、深い地盤の試験には適していない。そこで本報告では深い地盤からサンプリングした試料の鉛直および水平方向の透水性を調べることができる三軸セルを用いた透水試験方法の適用性について検討した結果をまとめたものである。

2. 三軸セルを用いた透水試験装置

この透水試験は図-1に示すように通常の三軸セルを使用し、三軸試験用キャップ・ベDESTALを供試体形状に応じた透水試験用キャップ・ベDESTALに交換して拘束圧下で土の透水試験を行うものである。三軸セルを用いた透水試験の利点は原位置地盤中の応力状態の下での透水性が求められること(供試体の応力状態が明確)、供試体に背圧 σ_{BP} を加えて飽和度を高められること、必要に応じて透水試験後に三軸圧縮試験が可能であることが上げられる¹⁾。円柱供試体の試験は図-1の円形キャップ・ベDESTALとポーラスストーン円板を用いる。立方体供試体の試験は図-2の円形キャップ・ベDESTALとポーラスストーン円板を用いる。立方体供試体(78mmx78mmx78mm)の試験ではキャップ・ベDESTALがそれぞれ供試体に接する部分の正方形断面部(78mmx78mm)と円形メンブレンをシーリングする円形断面部($\phi 112$ mm)の二つの部分からなっている。供試体上・下端面にはポーラスストーン板(78mmx78mmx厚さ5mm)をおく。透水係数は両ビュレットの断面積が同じ($a_A = a_B = a$)であれば次式から求まる。

$$k = 2.303 \cdot h_s \cdot a \cdot \log_{10} (H_1/H_2) / 2 \cdot A_s \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

中空円筒供試体を用いる透水試験は水を供試体に流すシステムは図-1、図-2の試験法と同じであるが、この装置は図-3に示すように供試体の内側円筒面から放射状に水を流して水平方向の透水係数を調べるためのものである。この透水試験における透水係数は図-4示すようにビュレット間の水頭差(H)は時間のみの関数であること($H=H(t)$)、また供試体の内・外円筒間の水頭差(h)は供試体の半径位置と時間の関数であること($h=h(r,t)$)を考慮すると次式のように求められる²⁾。

$$k = (2.303)^2 \cdot a \cdot \log_{10} (r_0/r_i) \cdot \log_{10} (H_1/H_2) / 4 \cdot \pi \cdot h_s \cdot (t_2 - t_1) \quad (2)$$

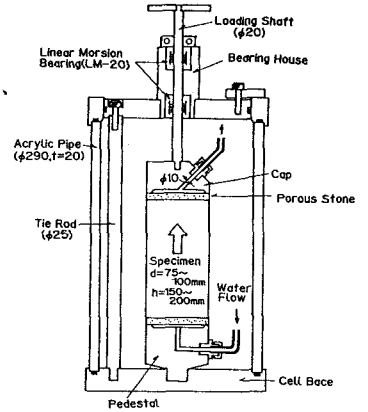


図-1 三軸セルを用いた透水試験(円柱供試体)

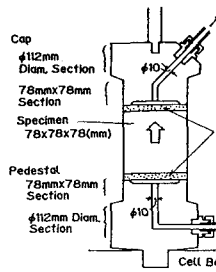


図-2 立方体供試体

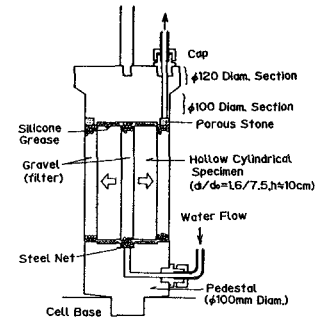


図-3 中空円筒供試体

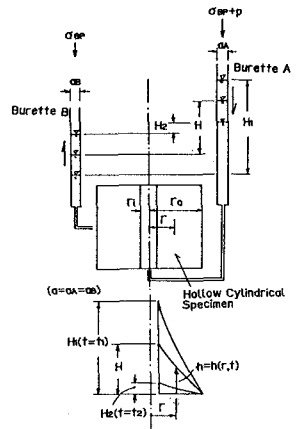


図-4 中空円筒供試体による透水係数

3. 豊浦砂の透水特性

円柱供試体は通常の三軸試験と同様に空中落下法により作製し、飽和させて試験した。立方体供試体は内側寸法78mmx78mmx78mmの榭型モールド内に空中落下法で砂を入れた後、不飽和状態にして約-20°Cの冷凍庫内で凍結させて作製した。また中空円筒供試体は内径φ75mm、高さ100mmの二つ割りモールド内に空中落下法により砂を入れ、立方体供試体と同様の手順で凍結させた後直径φ16mmのドリルで孔をくり抜いて作製した。図-5に円柱供試体の拘束圧 $\sigma_c=1.0\text{kgf/cm}^2$ における透水試験により求めた豊浦砂の透水係数(k_v)と密度($e_{1.0}$)の関係を片対数グラフ上にプロットしてある。これより透水係数は間隙比が大きくなるほど大きくなること、また片対数プロット上で透水係数と間隙比はほぼ直線関係にあることがわかる。図-6に円柱供試体と立方体供試体を用いた透水試験により供試体形状による影響を示してある。両供試体の透水係数は同じで形状による影響がなく、立方体供試体により豊浦砂の透水係数の異方性を調べても問題がないことがわかる。立方体供試体による透水係数の異方性をみてみると豊浦砂の鉛直透水係数より水平透水係数がやや大きく、密な場合の方がこの異方性の傾向が大きくほぼゆる詰め： $k_H \approx 1.2 \cdot k_v$ 、密詰め： $k_H \approx 1.4 \cdot k_v$ である。図-7に立方体供試体と中空円筒形供試体を用いた水平方向透水係数を求めるための試験結果をプロットしてある。中空円筒供試体を用いた透水試験による結果は立方体供試体を用いた透水試験の結果よりやや小さい値を与え約7~8割程度の値になっているが、供試体形状や透水原理の違いにもかかわらず近い値になっていると言えよう。したがって深い地盤の各地層からコア試料が採取できれば、鉛直透水係数は円柱供試体を用いた、また水平透水係数は中空円筒供試体を用いた各透水試験により地層別に透水性を求めることが可能であろう。ただし中空供試体を用いた透水試験では図-7にあるように水平透水係数を過小評価してしまう可能性があるため、この問題については現在検討中である。

4. まえがき

ここで述べた透水試験装置は大深度地下開発で問題となるような深い地盤の透水性調査に適用できる。この装置は三軸セルを利用した拘束圧下での透水試験であり、ボーリングにより採取したコア試料から円柱供試体と中空円筒供試体を作製し、三軸セル内で原位置における応力状態にして各地層における鉛直・水平透水係数を求めることができる。特に掘削時の切羽の地下水流動に対する安定性に関係する掘削断面内や天端部の透水性を正確に測定できるものと考えられる。

参考文献

- 1) Fukushima, S. and Ishii, T.: An Experimental Study of the Influence of Confining Pressure on Permeability Coefficients of Filldam Core Materials, Soils and Foundations, Vol. 26, No. 4, pp32-46, 1986.
- 2) 当山道三: 土質力学(第19版), 第6.6節 円筒放射形透水試験機, pp101-102, 1976

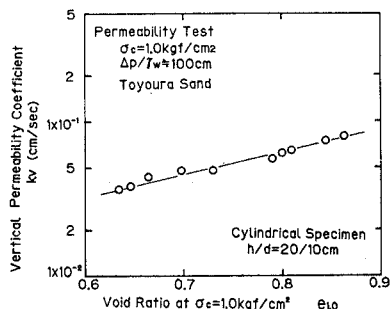


図-5 $k_v \sim e_{1.0}$ 関係(円柱供試体)

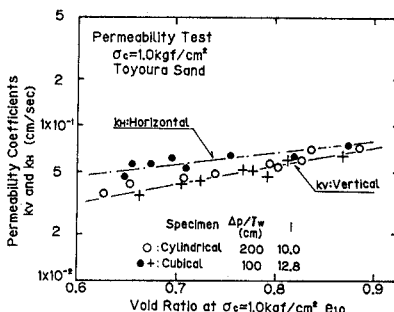


図-6 供試体形状・異方性の影響

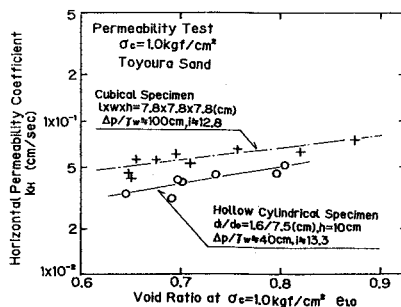


図-7 中空供試体による水平透水係数