

粘土の水平方向透水係数の評価法

呉工業高等専門学校 正会員 森脇武夫
 呉工業高等専門学校 学生会員 ○佐藤友彦

1. はじめに

一般的に、粘土の透水係数は鉛直方向より水平方向が大きいといわれているが、規準化された試験方法がない水平方向透水係数を実務で用いる場合には $k_h = k_v$ 、すなわち鉛直方向の透水係数と同等とみなして、鉛直方向の透水係数で代替して用いる場合が多い。しかし、軟弱地盤に対して水平方向に排水を行うバーチカルドレーン工法を用いて地盤改良を行うとき、適切な沈下管理をするためには鉛直方向透水係数を代替したものでは不十分であり、粘土の水平方向透水係数を求める必要がある。また海面埋立地などの廃棄物から出る汚染水の遮水層には、在来の粘土ライナーが多く用いられているが、その性能評価にも鉛直方向の透水係数のみが規定されている。しかし、土壌汚染においては水平方向の汚染も問題となり、一般に水平方向透水係数の方が大きいといわれていることから、現在の鉛直方向の透水係数を用いた性能評価では不十分であると考えられる。そこで本研究では、三次元圧密試験機を用いた軸対象内向き放射流れによる定ひずみ速度載荷圧密試験により水平方向透水係数を求める試験方法によって、下松粘土、尾道糸崎粘土、出雲粘土の攪乱、不攪乱の試料を用いてそれぞれに対して鉛直、水平方向に排水を行う定ひずみ速度載荷による圧密試験を行った。そして得られたデータを比較することにより、本試験によって従来の方法と同等の粘土の圧縮特性を得ることができるとともに水平方向透水係数を算出できるかを検討する。

2. 水平方向透水係数の測定法

通常の鉛直方向排水条件の定ひずみ速度載荷圧密装置と図1に示す三次元圧密試験機による中空円柱供試体を用いた水平方向排水条件の定ひずみ速度載荷圧密試験装置を用いて下松粘土、出雲粘土、尾道糸崎港粘土の攪乱、不攪乱試料に対して定ひずみ速度載荷による圧密試験を行った。そして実験で測定した非排水面における間隙水圧を用いて、次の式から鉛直方向透水係数 k_v (m/s)¹⁾、水平方向透水係数 k_h (m/s)²⁾を算出する。

$$k_v = \frac{g_n \rho_w \dot{\epsilon} H_0 H_t}{2u_t} \times \frac{1}{100 \times 100 \times 60}$$

$$k_h = \frac{\rho_w g}{2u_e} \dot{\epsilon} \cdot r_e^2 \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) - \frac{1}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{r_w}{r_e} \right)^2 \right\} \right] \times \frac{1}{100 \times 100 \times 60}$$

ここに、

- $\dot{\epsilon}$: 供試体に与えたひずみ速度 (%/min)
- H_0 : 供試体の初期高さ (cm)
- H_t : 時間 t における供試体高さ (cm)
- g_n : 標準の重力加速度 (9.81m/s²)
- ρ_w : 水の密度 (g/cm³)
- u_t, u_e : 時間 t における非排水面の間隙水圧 (kN/m²)
- r_e : 供試体外周面の半径 (cm)
- r_w : 供試体内周面の半径 (cm)

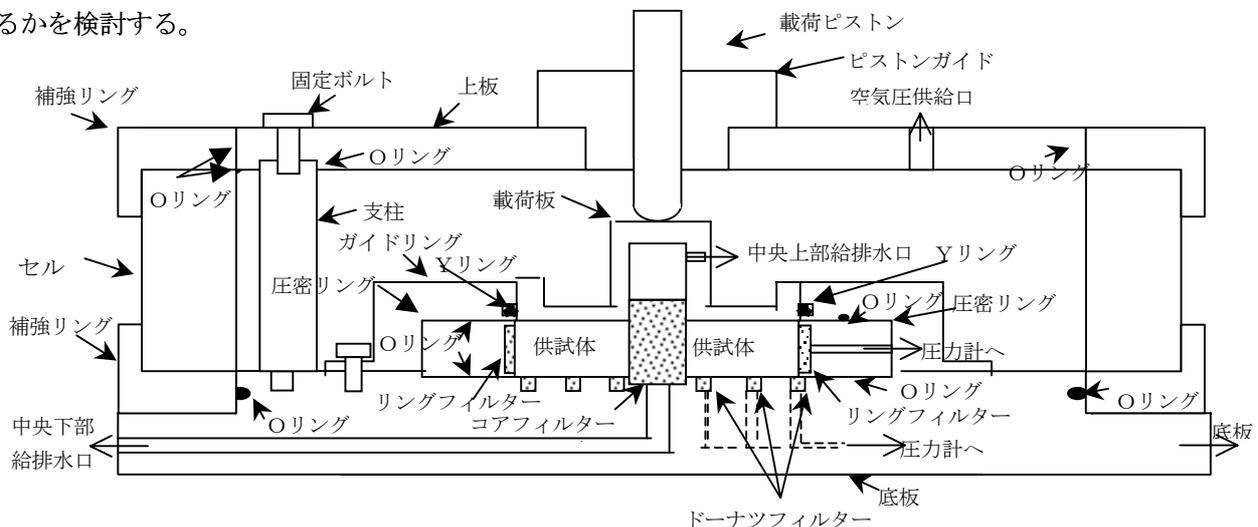


図1 三次元圧密試験装置図

3. 実験結果と考察

(1) 排水方向の違いが透水係数に及ぼす影響

図は省略するが、それぞれの粘土において初期間隙比の違いによる差こそ若干みられたものの、鉛直方向排水と水平方向排水の試験から得られた圧縮曲線はひずみ速度に関わらずほぼ一致した。このことから、鉛直方向排水の定ひずみ速度載荷圧密試験と同様に、今回新しく行った水平方向排水の試験方法でも粘土固有の e - $\log p$ 曲線を計測することが可能であるといえる。

図 2 と 3 は鉛直方向排水と水平方向排水の定ひずみ速度圧密試験から算出した間隙比_透水係数関係を比較したものである。図 2 の下松粘土では不攪乱試料の水平排水の場合に透水性が高く、同じ間隙比においては鉛直方向排水のものと同程度から 3 倍程度の差が見られ、圧密終了時においても同程度の差が見られる。また、攪乱試料の鉛直方向排水と水平方向排水の透水性にはあまり差は見られない。これは、粘土の初期構造の異方性によって生じる鉛直方向と水平方向の透水性の差が、攪乱によって無くなるためだと考えられる。加えて、この試料では攪乱後の両排水方向と不攪乱の鉛直方向のデータにも差は見られない。これは今回用いた下松粘土の不攪乱試料は一度攪乱したものを実験室内で再圧密したものであり、粘土の初期構造の異方性を完全には再現できなかったためだと考えられる。

図 3 の出雲粘土では、不攪乱の水平方向排水の透水係数は圧密初期では攪乱試料の両方向排水に対して 3 倍程度大きく、不攪乱試料の鉛直方向排水に対しては 10 倍程度大きく、その差は圧密が進行するにつれて減少している。このことから土の初期構造の異方性が土の透水性に大きく影響していることがわかる。また鉛直方向排水の不攪乱試料と攪乱試料でも透水性に関して大きな差が見られる。この差も圧密が進行するにつれて減少しているが、これは粘土の初期構造の破壊が透水性へ及ぼす影響が大きいことを示しているといえ、図 3 は透水性に及ぼす粘土の初期構造の異方性とその破壊による影響を的確に表しているといえる。

4. まとめ

1) 新しく行った水平方向排水定ひずみ速度載荷圧密試験においても、通常の鉛直方向排水定ひずみ速度載荷圧密試験と同様な e - $\log p$ 曲線を計測することができる。

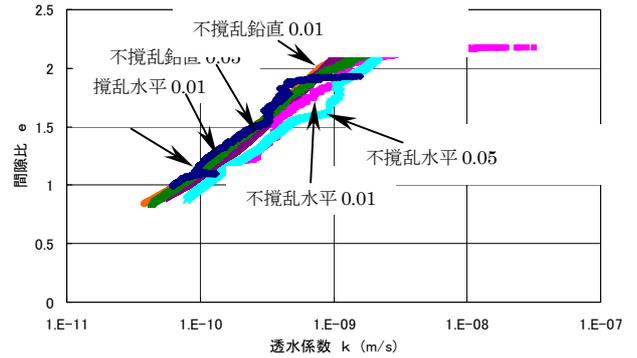


図 2 間隙比_透水係数関係図(下松粘土)

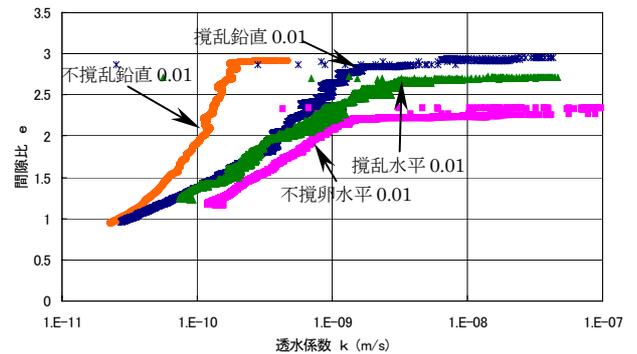


図 3 間隙比_透水係数関係図(出雲粘土)

- 2) 不攪乱試料において鉛直方向透水係数と水平方向透水係数を比較した場合、一般的に言われているのと同様に水平方向透水係数の方が大きい値を示し、粘土によってはその差は 10 倍程度にもなる。
- 3) 攪乱試料において鉛直方向透水係数と水平方向透水係数を比較した場合、攪乱により粘土の堆積状態による異方性がなくなるため、両者にあまり差は見られない。

以上から本研究で新しく行った三次元圧密試験機を用いた水平方向排水による定ひずみ速度載荷圧密試験によって、現在規準化された試験法のない、水平方向透水係数を測定することができる。

5. 参考文献

- 1) Moriwaki, T. and Umehara, K.: Method for Determining the Coefficient of Permeability of Clays, Geotechnical Testing Journal, Vol.26, No1, pp.47-56, 2003
- 2) 森脇武夫・佐藤友彦：定ひずみ速度載荷による水平方向透水係数の測定法、第 44 回地盤工学研究発表会概要集、印刷中、2008