

自然堆積粘土における水平方向の透水性の評価法

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 学生員 佐藤 友彦

1. はじめに

自然堆積粘土の透水性は、鉛直方向と水平方向で異なることが知られている。しかし、極めて透水性の低い粘土の水平方向の透水係数を精確に測定する適当な方法がないため、設計や解析で水平方向の透水係数が必要な場合は鉛直方向の値をそのまま用いるか何倍かして用いているのが現状である。しかし、海面埋立型廃棄物最終処分場の遮水工として在来粘土層を利用する場合や、バーチカルドレーンが打設された地盤の圧密沈下挙動を予測する場合には、精確な水平方向の透水係数が必要な場合がある。

そこで著者らは、粘土の水平方向の透水係数を求める方法として、バーチカルドレーンによる圧密を再現した三次元圧密試験機を用いて、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を行って、非排水面である外周面での過剰間隙水压を測定することによって水平方向の透水係数を、粘土の変形特性を仮定することなく算出する方法を提案している¹⁾。本論文では、この方法によって自然堆積粘土および練返し再圧密粘土の水平方向透水係数を求め、鉛直方向透水係数と比較した結果を報告する。

2. 水平方向透水係数の算出方法

図-1に示す三次元圧密試験機において、中空円柱供試体の内周面を排水面、外周面と上下端面を非排水面とし、内周面と外周面および下端面の変位を固定し、上端面を等鉛直変位条件で一定速度で圧縮する。このとき、供試体の外周面（非排水面）で発生する間隙水压 u_e を測定すると、式(1)または式(2)によって水平方向の透水係数 k_h を算出できる。式(1)と式(2)の誘導に関しては参考文献1を参照されたい。

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

$$k_h = \frac{\rho_w g \dot{\epsilon}}{2u_e} r_e^2 \left[\ln n - \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{n^2} \right\} \right] \quad (2)$$

ここに、 ρ_w は水の密度、 g は重力加速度、 $\dot{\epsilon}$ は（鉛直）ひずみ速度、 r_e は供試体外周面の半径、 r_w は供試体内周面の半径、 $n = r_e/r_w$ は中空円柱の内径比である。

3. 測定結果

(1) 排水方向の違いが粘土の圧縮曲線に及ぼす影響

図-2は、圧密圧力50kPaで練返し再圧密した下松粘土($G_s=2.773$, $w_L=95.9\%$, $I_p=48.0$)に対して行った通常の鉛直方向排水の定ひずみ速度載荷圧密試験と、図-1の三次元圧密試験機を用いて水平方向排水の定ひずみ速度載荷圧密試験から得られた圧縮曲線を比較したものである。図中の凡例は、試料の種類、排水方向、ひずみ速度(%/min)を表わしている。なお、凡例における練返し試料とは一軸圧縮試験のときと同じように不攪乱または再圧密試料をビニール袋に入れて含水比が変わらないように十分練り返したものである。

また、下松粘土では不攪乱試料に対してひずみ速度を0.01%/minと0.05%/minの2種類で行っているため合計

キーワード 透水係数, 異方性, 定ひずみ速度載荷圧密試験, 粘土

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南2-2-11 呉工業高等専門学校 環境都市工学科 TEL: 0823-73-8478

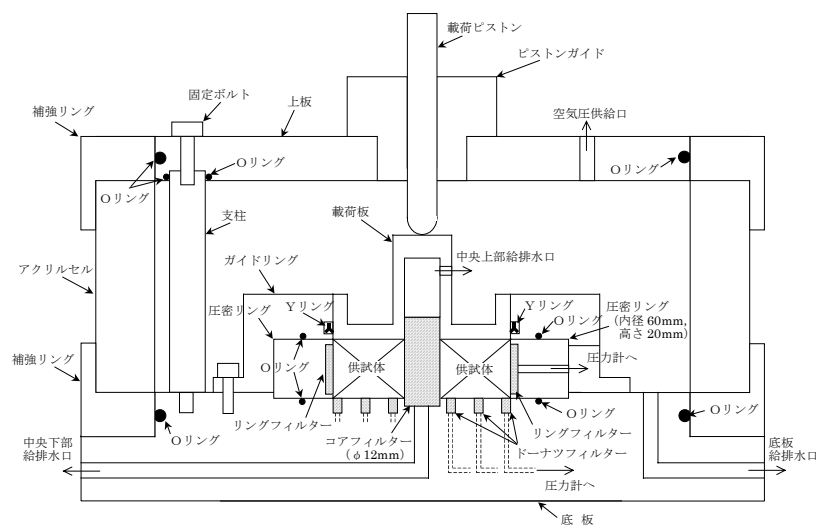


図-1 三次元圧密試験機

6本の圧縮曲線が存在する。図-2において、不攪乱（再圧密）試料では初期間隙比に多少の違いはあるものの、水平方向排水と鉛直方向排水の両方向の圧縮曲線がほぼ一致するとともに、圧密降伏応力もほぼほぼ等しくなっている。また、攪乱試料の圧縮曲線も鉛直方向排水と水平方向排水のものがほぼ一致するとともに、全ての範囲で同じ傾きを保ったまま間隙比は緩やかに減少し、最終的には不攪乱試料の圧縮曲線に漸近している。これらのことから、鉛直方向排水定ひずみ速度圧密試験と同様に、今回開発した水平方向排水の試験方法でも粘土特有の圧縮曲線を求めることができる。

(2) 排水方向の違いが透水係数に及ぼす影響

図-3と4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正規圧密領域での間隙比～透水係数関係を比較したものである。図-3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圧密初期から約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と水平方向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、練返し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実験室内で練返し再圧密したものであり、自然堆積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。出雲粘土

($G_s=2.707$, $w_L=111.6\%$, $I_p=64.3$)の正規圧密領域での鉛直方向と水平方向の透水係数を不攪乱試料と練返し試料で比較した図-4より、よく練返して異方性がなくなったと考えられる練返し試料では鉛直方向と水平方向の透水係数に有意な差はないが、堆積時に異方性の骨格構造が形成されたと考えられる自然堆積不攪乱試料では水平方向の透水係数が正規圧密領域に入った直後には約10倍程度大きく、圧密が進行すると初期構造が破壊されてその差が徐々に小さくなっていくことが分かる。

4. まとめ

- 1) 開発し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圧縮曲線を求めることができる。
- 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。

参考文献

- 1) 森脇武夫, 佐藤友彦: 定ひずみ速度載荷圧密試験による粘土の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, 2009.

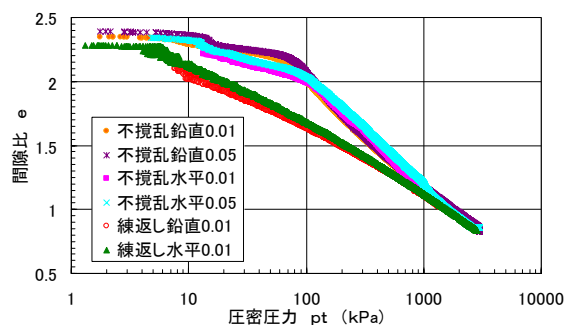


図-2 下松粘土の圧縮曲線

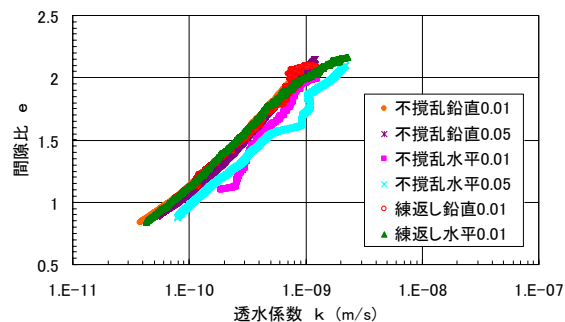


図-3 下松粘土の透水係数

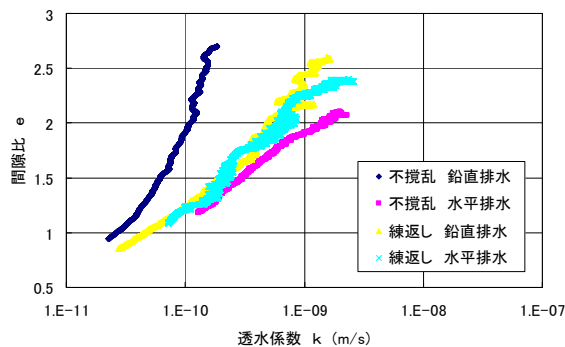


図-4 出雲粘土の透水係数