

自然堆積粘土の透水特性と圧縮特性における異方性に関する研究

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 正会員 加納 誠二
 呉工業高等専門学校 学生員 ○古屋 智郷

1. 目的

土の重要な力学特性の一つである透水性を表す透水係数は様々な方法によって算出されているが、粘土に対して行われる圧密試験によって求められる透水係数は鉛直方向の透水係数である。一般的に粘土の透水係数は鉛直方向のものより水平方向のものの方が大きいとされているが、現在基準化された試験方法がないため水平方向透水係数を実務で用いる場合は $k_h = \alpha k_v$ 、つまり鉛直方向透水係数を経験に基づき数倍して利用するケースが多い。しかし、鉛直方向透水係数を代替したものでは不十分な場合もあり、正確な水平方向透水係数を求める必要がある。

昨年度までの研究¹⁾において、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法が開発され、鉛直方向排水試験の結果と比較した結果、試験法の妥当性が確認された。そこでさらに簡便に水平方向透水係数を求める方法を検討するため、基準化されている定ひずみ速度載荷圧密試験機を用いて、供試体の軸方向が粘土の堆積時の水平方向と一致するように供試体を取り水平方向に圧縮と排水を行い、水平方向の透水係数を算出する方法を試みた。そして基準化されている鉛直方向に圧縮と排水を行う定ひずみ速度載荷試験と、三次元圧密試験機を用いて鉛直方向に圧縮し、水平方向に排水する試験を行い、圧縮方向の違いが粘土の圧縮性と透水性に及ぼす影響を4種類の不攪乱粘土に対して検討した結果、一部の試料において水平方向圧縮・水平方向排水では堆積時に受けていた水平応力を圧密降伏応力として測定することができ、過圧密領域では水平透水係数に比べて鉛直方向水平方向排水透水係数の方が小さく、正規圧密領域に入ると鉛直方向圧縮水平方向排水透水係数の方が大きくなり、排水方向が同じであっても圧縮方向の違いによって透水係数が異なる可能性が明らかとなった。

しかし、昨年度までの研究では試料数が少なく、結果を断定するには至らなかったため、本研究では同様

の試験を新たに広島湾 T-7、真砂、深江藻場 T-6 の3種類の不攪乱粘土に対して行い、透水特性と圧縮特性における異方性に関して検討を加えた。

2. 実験方法

2.1 鉛直方向圧縮・鉛直方向排水の試験方法

JIS A 1227 に規定されている定ひずみ速度載荷圧密試験²⁾を行う。試験機は標準的な定ひずみ速度載荷圧密試験機を使用し、ひずみ速度は 0.02%/min とした。また、軸圧縮力は 3000kPa まで載荷するものとする。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(1)の式から鉛直方向透水係数 k_v (m/s)を算出する。

$$k_v = \frac{\rho_w g \varepsilon H_0 H_t}{2u_t} \times \frac{1}{100 \times 100 \times 60} \quad (1)$$

ここに、 g は重力加速度(9.81m/s²)、 ρ_w は水の密度(g/cm³)、 ε は供試体に与えたひずみ速度(%/min)、 H_0 は供試体の初期高さ(cm)、 H_t は時間 t における供試体高さ(cm)、 u_t は時間 t における非排水面の間隙水圧 (kN/m²) である。

2.2 鉛直方向圧縮・水平方向排水の試験方法

この試験は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使用した軸対象内向き放射流れによる鉛直方向圧縮の定ひずみ速度載荷圧密試験である。ひずみ速度は 0.02%/min とし、軸圧縮力は 3000kPa まで載荷する。この試験機においては中空円筒供試体の内周面を排水面、外周面と上端面を非排水面とし、供試体の非排水面である外周面で発生する間隙水圧 u_e を測定する。そして(2)の式から水平方向透水係数 k_h (m/s)を算出する。

$$k_h = \frac{g\rho_w}{2u_e} \varepsilon \cdot r_e^2 \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{1}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{r_w}{r_e}\right)^2 \right\} \right] \times \frac{1}{100 \times 100 \times 60} \quad (2)^3$$

ここに、 r_e は供試体外周面の半径(cm)、 r_w は供試体内周面の半径(cm)、 u_e は時間 t における非排水面の間隙水圧 (kN/m²) である。

キーワード 水平方向透水係数, 異方性, 定ひずみ速度載荷試験, 自然堆積粘土

連絡先 〒737-0004 広島県呉市阿賀南2丁目2番11号 呉工業高等専門学校 TEL0823-73-8478

2.3 水平方向圧縮・水平方向排水の試験法

JIS A 1227 に規定されている定ひずみ速度載荷圧密試験機を用いて、供試体の軸方向が粘土の堆積時の水平方向と一致するように供試体を取り、水平方向に圧縮と排水を行う定ひずみ速度圧密試験を行う。ひずみ速度は 0.02%/min とし、軸圧縮力は 3000kPa まで載荷する。そして非排水面における間隙水压を測定し、(1) の式から透水係数を算出するが、軸方向が粘土の堆積時の水平方向と一致するように供試体を採取しているため、得られた透水係数は水平方向透水係数である。

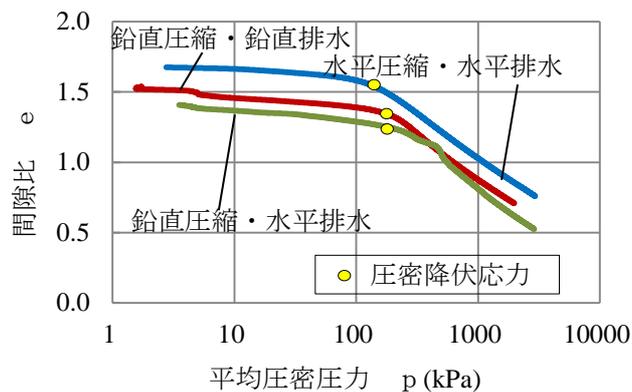


図-1 圧縮曲線 (広島湾 T-7)

3. 結果

3.1 圧縮曲線

図-1 は広島湾 T-7 における圧縮曲線を比較したものである。初期間隙比にそれぞれ違いがあるが、これは不攪乱試料の不均質が原因であると考えられる。圧密降伏応力は、水平方向圧縮・水平方向排水の場合、鉛直方向圧縮・鉛直方向排水の場合、鉛直方向圧縮・水平方向排水の場合、それぞれ $p_{ch}=130kPa$, $p_{cv}=200kPa$, $p_{cvh}=200kPa$ となっており、鉛直方向に圧縮したものは排水方向に関わらず同じ値で、水平方向圧縮・水平方向排水よりも大きくなっている。他試料における圧密降伏応力の結果も同様な傾向であり、水平方向圧縮・水平方向排水の場合では圧密降伏応力が鉛直方向圧縮・水平方向排水と鉛直方向圧縮・鉛直方向排水の時と比べて約 0.62 倍($p_{ch}/p_{cv} \cong 0.62$)となっている。これは試料の堆積時の鉛直応力 σ_v に対する水平応力 σ_H の比である K_0 値($K_0=\sigma_H/\sigma_v$)が一般的に 0.5~0.6 として知られていることとほぼ一致しているため、水平方向圧縮・水平方向排水では堆積時に受けていた水平応力が圧密降伏応力として測定できることがわかる。

3.2 透水係数

図-2 は真砂における間隙比と透水係数関係を表したものである。間隙比の減少とともに透水係数が減少しており、間隙比の大きな初期部分は過圧密領域での透水係数であり、間隙比が小さくなった直線部からが正規圧密領域での透水係数である。同じ間隙比における鉛直方向透水係数と水平方向透水係数を比較すると、水平方向透水係数の方が大きく、間隙比 $e=1.0$ において約 2.1 倍大きくなっている。他試料の結果も同様の傾向を示し、排水方向が同じ水平方向圧縮・水平方向排水透水係数と鉛直方向圧縮・水平方向排水透水係数

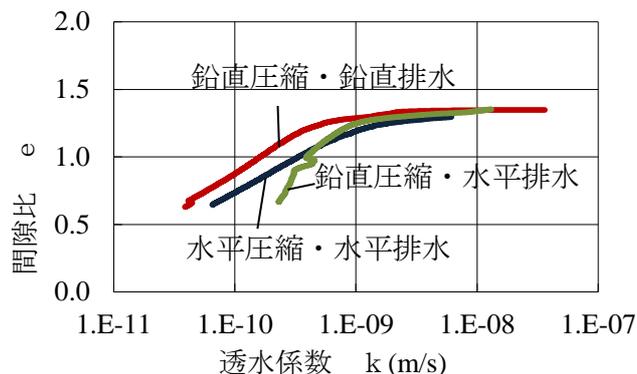


図-2 間隙比-透水係数関係図 (真砂)

は近い値になっているが、厳密には過圧密領域では鉛直方向圧縮・水平方向排水の透水係数の方が小さく、正規圧密領域に入ると間隙比が減少すると鉛直方向圧縮・水平方向排水の透水係数が水平方向圧縮・水平方向排水の透水係数より大きくなるか、近い値となっている。

すなわち、排水方向が同じであっても圧縮方向が異なると透水係数は異なったものとなるため、現場で生じる圧縮方向と排水方向に一致した試験を行う必要があることが明らかとなった。

4. 参考文献

- 1)古屋智郷, 自然堆積粘土の圧縮性と透水性に及ぼす異方性の影響に関する研究, 呉工業高等専門学校卒業論文 (2012), pp.2-44.
- 2)地盤工学会, 地盤材料試験の方法と解説一二分冊の1ー, 地盤工学会 (2000), pp.500-522.
- 3)森脇武夫・佐藤友彦・古屋智郷, 自然堆積粘土の水平方向透水係数の評価法, 第 57 回地盤工学シンポジウム (2012), 地盤工学会, pp.167-174.