

粘土の圧縮性と透水性に及ぼす圧縮方向と排水方向の影響

呉工業高等専門学校 学生会員 ○坂田 将大

呉工業高等専門学校 正会員 森脇 武夫

1. はじめに

粘土の透水係数を算出する方法は鉛直方向の透水係数を求める試験が基準化されているが、水平方向の透水係数を求める試験は基準化されていない。そこで、正確で簡便に水平方向透水係数を求める方法を確立する必要がある。

森脇ら¹⁾は、三次元圧密試験機を用いた軸対称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を開発し、鉛直方向排水試験の結果と比較し、試験方法の妥当性を確認するとともに、鉛直方向と水平方向の違い、すなわち粘土の圧縮性と透水性に及ぼす圧縮方向と排水方向の影響を研究した。

本研究では、粘土の圧縮性と透水性に及ぼす圧縮方向と排水方向の影響を研究するために、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水平方向の透水係数を算出する方法を試みた。また、基準化されている鉛直方向に圧縮と透水を行う定ひずみ速度載荷圧密試験と、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2種類の不攪乱粘土試料に対して検討する。

また、土の透水係数比—間隙比関係図からパターン分類を行い同パターンでの物理特性の関係を比較することで、物理特性と鉛直方向透水係数から水平方向透水係数を求めることができる係数 α を検討する。

2. 実験方法

JIS A 1227に規定されている通常の鉛直方向排水条件の定ひずみ速度載荷圧密試験と、開発した三次元圧密試験装置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を2つの不攪乱試料に対して行った。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、式

(1)から鉛直方向透水係数 k_v (m/s)を、式(2)から水平方向透水係数 k_h (m/s)を算出する。水平方向圧縮・水平方向排水の場合、式(1)から透水係数を算出するが、得られた透水係数は水平方向透水係数である。

$$k_v = \frac{g_n \rho_w \varepsilon \cdot H_0 H_t}{2u_t} \times \frac{1}{100 \times 100 \times 60} \dots (1)$$

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

ここに、 ε :ひずみ速度(%/min)、 H_0 :初期高さ(cm)、 H_t : t における初期高さ(cm)、 g_n :重力加速度(m²/s)、 ρ_w :水の密度(g/cm³)、 u_t : t における非排水面の間隙水圧(kN/m²)、 r_e :供試体外周面半径(cm)、 r_w :供試体内周面半径(cm)を表わしている。

3. 実験結果と考察

3.1 圧縮曲線

紙面の都合により図表は省略するが、代表的な試料Aの圧縮曲線から求められた圧密降伏応力は鉛直方向圧縮・鉛直方向排水の場合135kPa、水平方向圧縮・水平方向排水の場合90kPa、鉛直方向圧縮・水平方向排水の場合は180kPaとなった。

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圧縮・水平排水と鉛直圧縮・鉛直排水の時と比べて約0.5~0.7倍($P_{ch}/P_{cv} \approx 0.6$)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 値が一般的に0.6程度として知られていることと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った。

3.2 透水係数

図1は代表的な試料Aの間隙比と透水係数の関係を表した図で、縦軸に間隙比 e を算術目盛で、横軸に透水係数 k (m/s)を対数目盛で取った図であり、鉛直方向の透水係数と水平方向の透水係数を比較したものである。なお、①は鉛直方向圧縮・鉛直方向排水の透水係数 k_v 、②は水平方向圧縮・水平方向排水の透水係数 k_{hh} 、③は鉛直方向圧縮・水平方向排水の透水係数 k_{vh} を表す。図1より k_v より k_{hh} 、 k_{vh} の方が大きいことがわかる。

キーワード 透水係数, 異方性, 定ひずみ速度載荷圧密試験

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南2丁目2-11 TEL 0823-73-8400

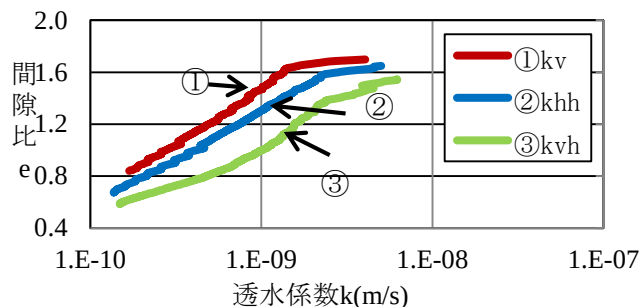


図1 間隙比—透水係数関係図(試料 A)

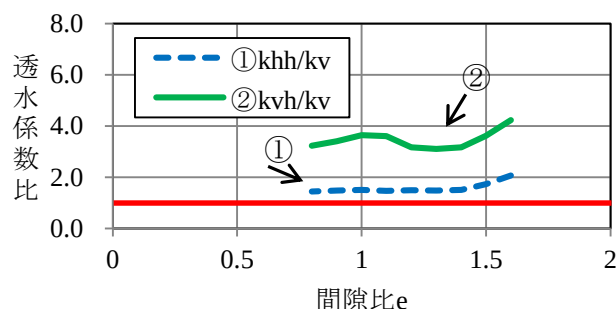


図2 間隙比—透水係数比関係図(試料 A)

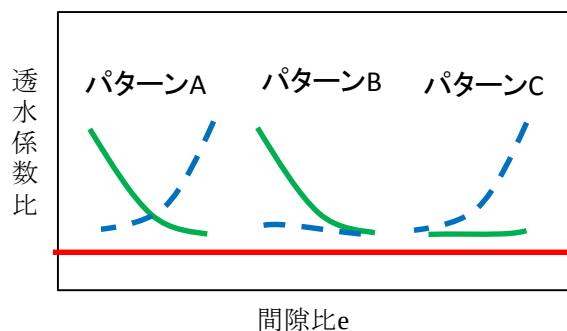


図3 各パターン模式図

表1 透水特性と物理特性の関係

試験年度	試料名	土粒子の 密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	液性限界 $W_L(\%)$	塑性限界 $W_p(\%)$	塑性指数 I_p	パターン
H26	試料A	2.593	87	29.9	57.1	新形
H26	試料B	2.643	67.5	18.9	48.7	C
H25	試料1	2.608	92.5	42.5	50	A
H25	試料2	2.71	105.3	42.5	62.8	B
H25	試料3	2.728	53	27.5	25.5	C
H24	試料4	2.719	69.9	32.3	37.6	A
H24	試料5	2.654	113.4	58.9	54.5	B
H24	試料6	2.741	65.6	38.8	26.8	C
H23	試料7	2.854	91.9	39.5	52.4	A
H23	試料8	2.364	100	41.3	58.6	B
H23	試料9	2.795	116.9	55.4	61.5	A

図2は代表的な試料Aの水平方向の透水係数と鉛直方向の透水係数の大小関係を圧縮方向の違いを考慮して比較した図で縦軸に k_{hh} を k_v で除した値と k_{vh} を k_v で

除した値、横軸に間隙比 e を算術目盛で取っている。 k_{hh}/k_v は圧密が進行するに従って小さくなっているが、 k_{vh}/k_v も圧密が進行するに従って小さくなり k_{hh}/k_v と k_{vh}/k_v の変化が平行になった。このことから圧密初期に土粒子構造の変化が比較的起きやすい試料であると考えられる。

また、過去の各試料を比較するとそれぞれ類似した傾向を示すものがあったので、間隙比—透水係数比の図の形状から3種類に分類した。すなわち、 k_{vh}/k_v と k_{hh}/k_v の関係が逆転するものをパターンA、 k_{hh}/k_v があまり変化しないものをパターンB、 k_{vh}/k_v があまり変化しないものをパターンCとして図3にまとめた。また、各試料の物理特性を表1に示す。

今年の研究の試料はAとBである。そのうち、試料Aは図のパターンがこれまでとは違うことがわかった。 k_{hh}/k_v は圧密が進行するに従って小さくなっているが、 k_{vh}/k_v も圧密が進行するに従って小さくなり、 k_{hh}/k_v と k_{vh}/k_v の変化が平行になった図で、物理特性もこれまでとは違う特性を持った試料であることがわかったため今後も新たなパターンが発見され次第、比較検討する必要がある。

4. まとめ

鉛直方向の透水係数と水平方向の透水係数を比較した結果、どちらも間隙比の減少と共に透水係数が減少し、鉛直方向圧縮・鉛直方向排水の透水係数が水平方向排水の透水係数より小さいことがわかった。一般的に透水係数は $k_v < k_h$ と言われており、これと同等の結果が得られた。

透水係数比—間隙比関係図から、試料Aの透水特性は k_{hh}/k_v は圧密が進行するに従って小さくなっているが、 k_{vh}/k_v も圧密が進行するに従って小さくなり、 k_{hh}/k_v と k_{vh}/k_v の変化が比較的一定であることがわかった。また、過去の試験試料と比較を行った結果、物理特性もこれまでとは違う特性を持った試料であることがわかった。今後もこういった特性の試料があれば、更なる比較検討を行い係数 α を検討するための十分なデータを集める必要がある。

参考文献

1) 森脇武夫・加納誠二・古屋智郷：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：土木学会第68回年次学術講演会概要集，第3部門，pp.367-368，2013。