

京都大学大学院 学生員 ○大嶋英雄
 京都大学大学院 正会員 乾 徹
 京都大学大学院 正会員 高井敦史
 京都大学大学院 正会員 勝見 武

1. はじめに

近年廃棄物処分場、特に海面処分場跡地を有効活用する事例がいくつか報告されており大規模な構造物を建設する例もある¹⁾。廃棄物埋立地盤は強度の把握が難しく、底部の遮水層として機能している海底粘土層は軟弱であるため、構造物を建設する際に支持力を確保するために杭基礎の利用が想定される。この際、杭が粘土層を貫通することによって杭と粘土層境界面に隙間や透水性の高い部分が生じ、この部分を通じて処分場内の保有水が廃棄物層から下部層に漏出し、周辺環境へ影響を及ぼすことが懸念される。本研究では杭打設時に生じる杭と粘土層境界面の隙間の大きさに着目し、杭と粘土層境界面の漏水量を定量的に評価した。

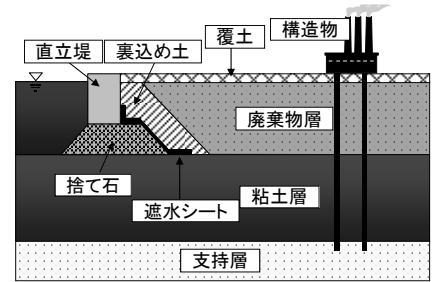


図-1 海面処分場の構造例¹⁾に加筆

2. 実験方法

2.1 試料 実験にはカオリン粘土を用いた。基礎物性を表-1 に示す。ここに示す透水係数は、拘束圧 60 kPa で実施した柔壁型透水試験 (ASTM D 5084 に準拠) により算出した値である。

表-1 実験試料の基礎物性

密度 (g/cm ³)	2.741
液性限界 (%)	48.69
塑性限界 (%)	29.74
塑性指数 (-)	18.95
透水係数 (m/s)	約 9.00 × 10 ⁻⁹

2.2 剛壁型透水試験装置 本研究で用いた剛壁型透水試験装置の模式図を図-2 に示す。この試験装置は供試体の圧密・透水性・供試体に働く側面摩擦力を測定できるように改良している。さらに透水試験時に排出側となる上部ペDESTALに改良が施されており、中心から直径 6 cm より内側部分の透水量 q_c と外縁部分の透水量 q_s が別々に採取できるようになっている。したがって同一の供試体による一つの透水試験で粘土自体の透水係数 k_c と側壁漏れを含んだ透水係数 k_s を求めることができる。

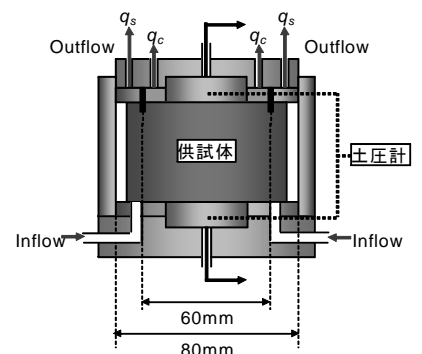


図-2 剛壁型透水試験装置¹⁾

2.3 試験手順 剛壁型透水試験で使用する内径 8 cm の金属モールドに PET 製のフィルムを所定の厚さ分セル内壁に取り付け、流動性を高めるため液性限界の 1.5 倍の含水比に調整した試料を充填し、最終圧密圧力 (先行圧密圧力 P_{pre}) が 90 kPa となるよう段階的に予備圧密を実施した。これにより直径が金属モールドより数ミリ小さい供試体が作製でき、杭打設直後に杭と粘土層の境界面に空隙が生じた状況を模擬している。

表-2 試験ケース

No	初期空隙厚 d (mm)	本圧密圧力 P (kPa)
case1	1.50	40, 90, 120, 150, 180, 210, 240
case2	2.76	
case3	4.19	

その後、本圧密過程として所定の本圧密圧力 P を载荷し、供試体を圧密変形させることで原地盤と閉塞の向きは異なるものの杭打設後の粘土地盤の圧密沈下による空隙の閉塞状況を模擬できると考えた。実験に際しては供試体の沈下量を測定するとともに、上下土圧計から圧密中の供試体に働く側面摩擦力を算出した。また本圧密による载荷を 24 時間実施した後、動水勾配約 30 で変水位透水試験により k_s と k_c を算出した。試験ケースは表-2 に示した通り 3 ケース行い、予備圧密時に金属モールドに巻く PET 製のフィルムの枚数で供試体の径を調節し空隙厚を変えて実験を行った。

3. 実験結果とその考察

3.1 荷重に伴う透水係数の変化 case1～case3 それぞれ圧密圧力の増加に伴う k_s と k_c の平均値の推移を図-3 に示す。case1 と case3 は、過圧密領域では k_s と k_c に 1 オーダー～2 オーダーの開きがあり側壁漏れが大きいものの、正規圧密領域では空隙厚に関わらず k_s は k_c と同じオーダーまで大幅に減少している。このことから、荷重に伴う供試体の圧密変形により供試体周面の空隙の大部分が閉塞し、側壁漏れが大幅に抑制されたと考えられる。

3.2 水みちの発生 図-3 中の case2 は、case1 や case3 と異なる挙動を示しており、正規圧密領域でも一貫して k_c に比べ k_s が 2 オーダー大きいことから、鉛直荷重により粘土供試体が圧密変形しても漏水が継続していることがわかる。これは写真-1 のように試験終了後の供試体の側面に割れ目が生じていたことから、水圧による水みちの発生が原因と考えられる。原地盤では試験時に比べ動水勾配が非常に低いこと等の理由から水圧による水みちの発生は考えにくい、万が一水みちが発生した場合、今回のように水みちが閉塞しないことも想定されるため留意が必要である。

3.3 初期空隙厚と界面漏水の定量的評価 金属セルと供試体界面からの漏水を定量的に評価するために下式により界面透水量係数 K_L (m^2/s) を導入する。

$$Q_{in} = \left(\frac{\pi D^2}{4} k_c + \pi D \cdot K_L \right) \cdot i$$

ここで、 Q_{in} : 流入量 (m^3/s)、 D : 供試体直径 (m)、 k_c : 粘土自体の透水係数 (m/s)、 i : 動水勾配、 K_L : 界面透水量係数 (m^2/s) である。case1～case3 の P の増加に伴う K_L の平均値の推移を図-4 に示す。まず case1 と case3 で K_L の低下の傾向に差異があることが確認できる。過圧密領域において差異はないが、正規圧密領域では case1 よりも初期空隙厚の大きい case3 の方がいずれの荷重段階でも大きくなっているのがわかる。case1 では試験時に $P = 210, 240$ kPa において K_L の値が $10^{-12} m^2/s$ オーダーと非常に小さい値を示していることから、圧密圧力の増加に伴いほぼ完全に空隙が閉塞したと考えられる。一方、case3 は K_L の値が case1 の 1.5 倍～4 倍程度大きく、空隙は完全に閉塞していないと考えられる。このように case1 と case3 における K_L の違いから、初期空隙厚の大小が界面漏水の抑制の仕方及び、空隙の閉塞の仕方に影響を与えていることが示唆される。なお case2 は 3.2 で水みちの発生を指摘したとおり局所的な漏水が継続しているため、いずれの荷重段階においても過圧密領域と同等の値で推移している。

4. おわりに

本研究では改良型透水試験装置を用いて杭基礎を粘土層へ打設したときの、杭と粘土層境界面の漏水量について定量的な評価を行った。その結果、杭打設後に生じる空隙厚が約 3 倍大きいと、その後の圧密沈下に伴う空隙の閉塞は進行しにくくなり、界面漏水も 1.5 倍～4 倍大きくなることがわかった。

謝辞 本研究の実施にあたって日本鉄鋼連盟 2011 年度鋼構造研究・教育助成制度による助成をいただいた。

参考文献

- 1) 菊池喜昭ら：海面廃棄物処分場に打設する基礎杭が底面遮水基盤に与える影響に関する研究，港湾空港技術研究所資料，2012（印刷中）。

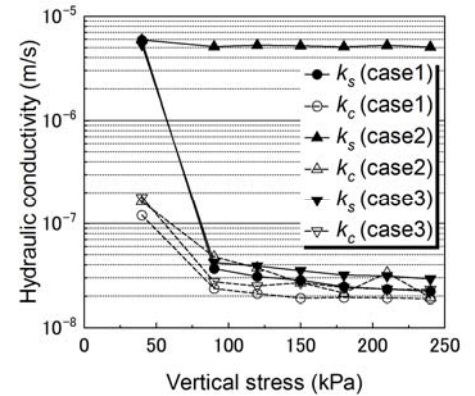


図-3 透水係数の推移

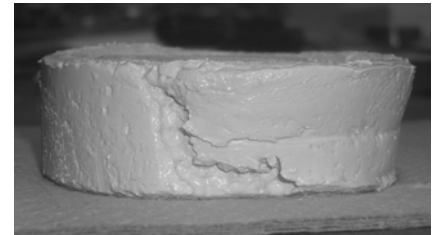


写真-1 供試体側面の様子

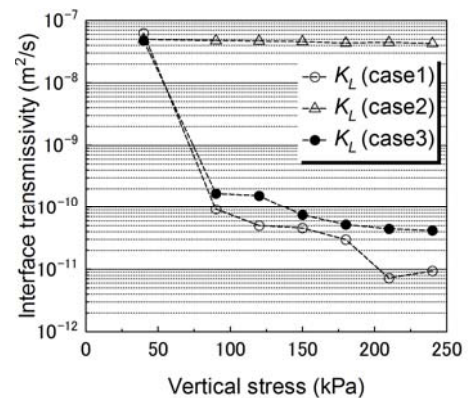


図-4 界面透水量係数の推移