第 III 部門

杭打設が粘土層の遮水性能に及ぼす影響に関する研究

京都大学工学部地球工学科	学生員	○冨士暁之
京都大学大学院地球環境学堂	フェロー	嘉門雅史
京都大学大学院地球環境学堂	正会員	勝見 武
京都大学大学院地球環境学堂	正会員	乾 徹

1. はじめに

廃棄物処分場跡地に各種施設を建設する場合、支持力を確保するために支持杭の打設が必要となる場合が多い。 海底粘土層を底部遮水層としていることが多い海面処分場跡地では、杭打設に伴う粘土層の遮水性能への影響を明 らかにする必要がある。嘉門ら¹⁾は、粘土層と鋼管杭の境界面からの漏水量を評価することを目的とした室内試験 を実施し、杭の打設が処分場遮水工の遮水性能に与える影響を検討しているが、さらに本研究は、土の物性が界面 漏れや摩擦力に及ぼす影響について考察を行った。

2. 実験概要

本実験は、図-1に示す剛壁型透水試験装置の側壁を杭表面に模擬し、 杭打設によって杭周面に空隙が発生した場合における、杭打設後の空隙の 閉塞と透水性の関係を検討するものである。

試料には、深草粘土 (250 μm ふるい通過分)にベントナイト (スーパー クレイ)を 5%質量配合した混合土を用いた。物性の違いが漏水量・周面摩 擦に及ぼす影響をみるため、実験試料として深草粘土単体を用いた既往の 研究¹⁾と比較を行った。表-1 に混合土と深草粘土単体の基礎物性を示す。

実験は、予備圧密を完了した供試体を、剛壁セルの直径(φ=8 cm)より

も若干小さい直径約7.8 cmに成形し、粘土と側壁の間に約1 mmの空隙のある状態を剛壁型透水試験の初期状態とした。剛壁型透水試験では、各載荷段階における所定の荷重により24時間圧密した後、動水勾配(*i*=30~50)を与えて透水試験を行った。剛壁型透水試験における先行圧密応力 *P_{pre}と本*圧密の載荷段階は**表-2**に示す通りである。剛壁型透水試験装置は上下面で土圧を測定できるようになっており、供試体の上下面の土圧差から粘土と側壁に作用する摩擦力を算出した。

剛壁型透水試験における間隙比は、粘土自体の間隙と粘土と側壁界面の間隙を併せた見かけの間隙比である。同様に、透水係数についても、粘土と側壁界面からの漏水と粘土自体の透水性を併せたものとして算出したみかけの透水係数である。従って、剛壁型透水試験により得られた流量 $Q(\text{cm}^3/\text{s})$ について、 $Q = (k_c \pi D^2/4 + K_L \pi D)i$ が成り立つ。ここで、 k_c (cm/s)は粘土自体の透水係数である。また、 K_L (cm²/s)は界面透水量係数であり、粘土と側壁の

界面の透水性を表す指標となる。異なる圧密応力で別途作製した供試体について柔壁型透水試験装置を用いて透水係数を求め、間隙比との相関式として得られた $k = 4.74 \times 10^{-12} \cdot \exp(8.52 \times e)$ から、剛壁型透水試験の供試体の間隙比に対応する k_c を求めた。この粘土自体の透水係数 k_c を用いて上式より、界面透水量係数 K_L を求めた。なお、柔壁型透水試験は、メンブレンを介し

表-1 供試体の基礎物性

	混合土	深草粘土
液性限界	58.2%	41.9%
塑性限界	29.2%	21.4%
塑性指数	29.0	20.5
土粒子密度	2.67 g/cm ³	2.69 g/cm^3

えることで側壁漏れを極 力防止できる試験方法で、 難透水性材料の透水試験 に適した方法である。

て液圧による拘束圧を与

表-2 剛壁型透水試験における載荷段階

NO. P_{pre} 11.25 22.5 33.75 45 67.5 90 135 180 270 360 caseR1 90 kPa \bigcirc $ \bigcirc$ $ \bigcirc$ $ \bigcirc$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$ $ >$	No	先行圧密応力	本圧密応力 (kPa)									
caseR190 kPa \bigcirc <th>INO.</th> <th>Ppre</th> <th>11.25</th> <th>22.5</th> <th>33.75</th> <th>45</th> <th>67.5</th> <th>90</th> <th>135</th> <th>180</th> <th>270</th> <th>360</th>	INO.	Ppre	11.25	22.5	33.75	45	67.5	90	135	180	270	360
	caseR1	90 kPa	0	0	0	0	0	0	0	0	_	_
	caseR2	180 kPa	0	0	0	\bigcirc	0	0	0	0	0	0

Akiyuki FUJI, Masashi KAMON, Takeshi KATSUMI, and Toru INUI



図-1 剛壁型透水試験装置

3. 実験結果と考察

図-2に示すように鉛直応力の増加に伴い、みかけの透水係数は減少 した。caseR1においては鉛直応力 135 kPa以上で空隙は閉塞したと考え られ、空隙閉塞後は 3.0×10⁻⁷ cm/s以下の値を維持している。しかし、 caseR2においては鉛直応力の増加に対し caseR1のような透水係数の大 きな低下は見られない。これは、写真-1に示すように供試体側面に水 みちが発生したためである。動水勾配が大きいため、パイピングなどに よる土粒子の流亡が生じ、供試体側面に影響を及ぼしたことが原因と考 えられる。caseR1においても同様の動水勾配で試験を行ったが、caseR1 は caseR2に比べて先行圧密応力が小さく、粘土供試体に変形性がある ため、水みちが発生したとしても鉛直荷重により閉塞したと考えられる。

図-3より、側面摩擦力度は初期段階の鉛直応力から発生し、鉛直応 力の増加に対して絶対値がほぼ線形的に増加しており、鉛直応力の増加 に伴い、供試体と側壁の密着が進行したと考えられる。また、混合土の 方が深草粘土よりも発生する摩擦力が大きいことがわかる。これは、 表-1に示したように混合土は深草粘土に比べて液性限界・塑性指数と もに高く、圧縮性・静止土圧係数が高いためだと考えられる。

図-4から図-2と同様に、鉛直応力の増加に伴い界面透水量は減少し ていく傾向にあり、空隙閉塞後(鉛直応力で135kPa,180kPa)において はほぼ同じ値を示していることがわかる。このことから、空隙閉塞後の 界面漏水はほとんどないと考えられる。また、混合土と深草粘土ともに 先行圧密応力と同程度の鉛直応力で空隙が閉塞し、空隙閉塞後は鉛直応 力に対して側壁漏れへ影響はほとんどみられない。

図-5から、空隙の閉塞完了以前は摩擦力の増加に伴い界面透水量は 減少し、空隙の閉塞完了以前に側壁漏れの大部分が抑制されていること がわかる。また、深草粘土は空隙の閉塞完了と同時に摩擦力が発生して いるが、混合土では空隙の閉塞完了以前から発生している。これは、混 合土の供試体において摩擦力自体は低い鉛直応力で発生するが、先に述 べたように局所的に空隙の閉塞が十分でない箇所が残ったためである。

4. 結論

試料物性の違いによる側壁界面漏れへの影響はほとんどみられなかっ たが、摩擦力の大きさ・発生段階には違いがみられ、摩擦力のみで空隙 の閉塞を評価することは困難であることが分かった。しかし、試料物性 の違いに関係なく、先行圧密応力と同程度の鉛直応力により空隙は閉塞 する傾向にある。空隙閉塞後は構造基準を十分に満たしうる低透水性を 確保できることが確認できたが、本実験においては、粘土と側壁界面の 空隙が完全に閉塞せずに水みちが発生するケースがみられた。水みちの 発生要因は特定できていないが、実験条件に依存して生じたもので、現 場では生じにくいと考えられる。

<参考文献> 1) 嘉門雅史・勝見 武・乾 徹・濱田 悟:鋼管杭打設 時の粘土地盤と杭境界面における漏水量とその評価,第6回地盤改良シンポジウム論文集,日本材料学会,pp.165-168,2004.





写真-1 試験後の供試体側面(case R2)





図-5 界面透水量係数と側面摩擦力度の関係