

土の部分排水効果に及ぼす載荷速度と圧密係数の影響

中央大学大学院	学生会員	齊藤 王二郎
中央大学大学院	学生会員	石田 和希
中央大学	正会員	齋藤 邦夫
中央大学	正会員	石井 武司

1. はじめに

安定解析において、粘性土地盤におけるせん断強度は非排水せん断強度を用い、砂地盤におけるせん断強度は排水せん断強度を用いるのが通例である。しかしながら、粘性土地盤であっても極めて遅い載荷速度であれば排水せん断強度を用いるべきであり、砂地盤であっても極めて早い載荷速度であれば非排水せん断強度を用いるべきである。すなわちどのような土であっても、非排水せん断強度、排水せん断強度、非排水せん断強度と排水せん断強度の中間強度である部分排水せん断強度と、それらの強度に対応した載荷速度の幅が存在する。よって土のせん断強度とは、載荷速度と土の透水性(圧密特性)の兼ね合いによって変化する値であると考えられる。そこで本研究では、部分排水せん断試験と非排水せん断試験を粘土と中間土に対して行うことで、部分排水せん断強度を示す載荷速度レンジを載荷速度と圧密係数に着目して評価した。

2. 使用試料

本研究で用いた試料は、汐留埋立地から採取した塑性指数 $I_p=40$ の汐留粘土 (S40) と、汐留粘土に硅砂 7 号を混合し、人工的に砂分量を調整した中間土 SK70 である。これらは、液性限界の 2 倍に含水比を調整し、圧密圧力 100 kPa で予備圧密して作成した。なお、中間土の SK は汐留と硅砂の頭文字であり、数字は砂分含有量を表わしている。両試料の物理特性を表-1 に示す。

表 1 試料の物理特性

試料名	S40	SK70
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.70	2.65
液性限界 w_L (%)	66.4	30.6
塑性限界 w_P (%)	27.2	24.0
塑性指数 I_p	39.2	6.6
砂分 (%)	8.5	70
シルト分 (%)	41.5	14.4
粘土分 (%)	50	15.6

3. 試験方法

今回行った試験は、部分排水せん断試験と非排水せん断試験である。試験手順はまず 100kPa で予備圧密した試料を、トリミング法により直径 5cm、高さ 10cm に成形し、三軸室に設置した。次に、飽和度を高めるために有効拘束圧を 10kPa に保ったまま、背圧を 20kPa ずつ 10 段階で 200kPa 加えた。その後、セル圧を 500kPa まで増加させ、有効拘束圧 300kPa で等方圧密を行った。セル圧を増加させる際に B 値を計測し、全ての試験において 0.96 以上であることを確認している。圧密終了時間は 3t 法により判断し、S40 では 25 時間、SK70 では 3.5 時間とした。せん断はセル圧一定のまま、軸ひずみを一定割合で増加させるひずみ制御方式で行った。その際に部分排水せん断試験は排水バルブを開け、非排水せん断試験はバルブを閉じることとした。試験ケースは表-2 に示すように、載荷速度を変化させて 18 ケース行った。

表 2 試験ケース

載荷速度 a' (%/min)			
S40		SK70	
部分排水	非排水	部分排水	非排水
10	10	10	10
1	0.05	5	1
0.05	0.005	1	0.05
0.005		0.1	0.005
0.001		0.05	
		0.005	

4. 試験結果と考察

図-1、図-2 は S40 と SK70 に対して載荷速度を変化させて行った非排水せん断試験及び部分排水せん断試験結果の応力~ひずみ関係である。図-1 より、ひずみ速度が遅くなるほどせん断強度が低下するという、既往の研究で言われている非排水三軸試験のひずみ速度効果が確認できる。ひずみ速度 0.005%/min における強度はひずみ速度 10%/min における強度よりも、S40 では 30%、SK70 では 20% 程度低下しており、粘土分の多い土の方がひずみ速度依存性は大きい。またグラフの形より、S40 はひずみ軟化型であり SK70 はひずみ硬化型となることから SK70 は砂に近いせん断挙動を示していることが分かる。図-2 から部分排水状態において載荷速度が遅いほど強度が大き

きキーワード 部分排水、中間土、三軸圧縮試験

なる傾向が見られる。S40 では $\dot{\epsilon}_a = 10\%/min$ と $1\%/min$ のグラフが一致し、SK70 では $\dot{\epsilon}_a = 0.1, 0.05, 0.005\%/min$ のグラフが一致している。このことは、S40 において $\dot{\epsilon}_a = 1\%/min$ が非排水せん断強度と排水せん断強度の境界であり、SK70 では $\dot{\epsilon}_a = 0.1\%/min$ が部分排水せん断強度と排水せん断強度の境界であることを意味している。図-3 はせん断強度と載荷速度の関係である。このグラフより S40 と SK70 の部分排水レンジを求めることができ、S40 の部分排水レンジは $0.001\%/min < \dot{\epsilon}_a < 1\%/min$ であり、SK70 の部分排水レンジは $0.1\%/min < \dot{\epsilon}_a < 10\%/min$ となる。このことから、粘土分の多い土の方が部分排水レンジは広いことが分かる。

では以上の点を踏まえて、部分排水レンジに対する載荷速度と圧密係数を統括した評価を行う。部分排水効果とは、せん断中にも部分的な排水（圧密）されせん断強度が変化することであり、冒頭でも述べたように載荷速度と圧密進行との兼ね合いで引き起こされていると考えられる。よって、部分排水レンジを評価するため表-3 に示すように載荷速度 $\dot{\epsilon}_a$ を圧密係数 c_v で除して算出した相対載荷速度と部分排水せん断強度を非排水せん断強度で除した正規化せん断強度を図-4 のようにプロットした。これにより載荷速度で評価していた際に S40 と SK70 で異なっていた部分排水レンジが、相対載荷速度で評価した場合には一致すると言え、相対載荷速度による部分排水レンジの評価は土の種類によらず一義的に行える可能性がある。つまり、施工地盤の圧密係数がわかれば、このグラフより求められる部分排水レンジ ($1 \times 10^5 m^2 < \dot{\epsilon}_a / c_v < 5 \times 10^2 m^2$) から理想とする施工スピードの算出に役立たせることができると思われる。

5. まとめ

1) 載荷速度 $\dot{\epsilon}_a$ を指標とした部分排水レンジは砂分量が多い試料の方が狭い。2) 相対載荷速度 $\dot{\epsilon}_a / c_v$ を指標とした部分排水レンジは土の種類に関係なく一定の範囲となる可能性がある。

6. 今後の課題

今後の課題は相対載荷速度によって土の種類によらずに部分排水レンジが一義的に決定されるという可能性を立証すること。そのために圧密係数の分かっている試料を適当な載荷速度で部分排水せん断試験と非排水試験を行い狙った相対載荷速度の位置にプロットされるのかを確認する。

【参考文献】1)中野正樹：粘土の非排水部分排水せん断挙動の解析と軟弱地盤上の盛土工設計への応用に関する研究、名古屋大学博士学位論文、1993 2)竹村ら：中間土 - Headache Soil か否か? -、土と基礎、Vol.41, No7, pp.1-4、1993 3)小林ら：ジオテクトール2 中間土、社団法人土質工学会、1992

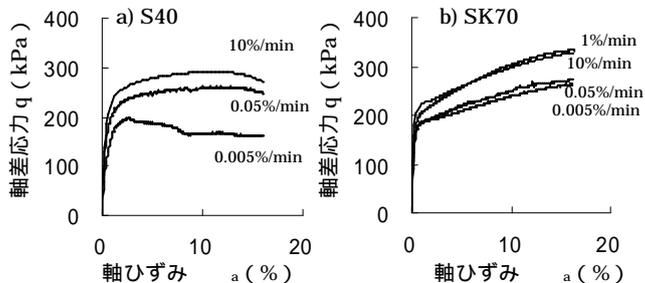


図 1 非排水せん断試験結果

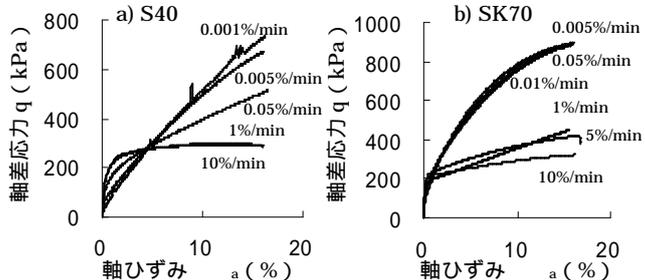


図 2 部分排水せん断試験結果

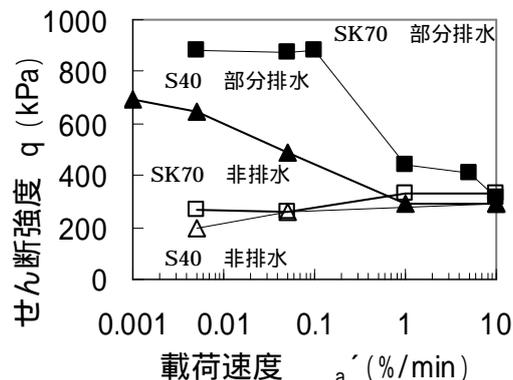


図 3 せん断強度～載荷速度 関係

表 3 データ整理結果

	載荷速度	部分排水せん断強	非排水せん断強	正規化せん断強	圧密係数	相対載荷速度
	$\dot{\epsilon}_a$ %/min	q_{pd} kPa	q_u kPa	q_{pd}/q_u		
S40	10	290	292	1.0	9.5×10^{-6}	1.1×10^6
	1	294	290	1.0		1.1×10^5
	0.05	489	261	1.9		5.3×10^3
	0.005	649	198	3.3		5.3×10^2
	0.001	696	198	3.5		1.1×10^2
SK70	10	318	328	1.0	1.1×10^{-4}	9.1×10^4
	5	411	329	1.2		4.5×10^4
	1	440	329	1.3		9.1×10^3
	0.1	884	270	3.3		9.1×10^2
	0.05	877	260	3.4		4.5×10^2
	0.005	882	268	3.3		45

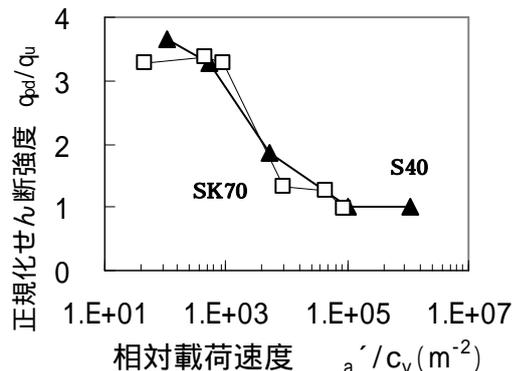


図 4 正規化せん断強度～相対載荷速度 関係