

砂、粘土、中間土のせん断強度に及ぼすひずみ速度の影響

山口大学大学院 学生員 ○松本裕介 難波宏文
基礎地盤コンサルタンツ(株) 伊東周作
山口大学工学部 正会員 兵動正幸 吉本憲正

1. まえがき 砂と粘土は透水性・圧縮性などが異なるため、それぞれ異なった考え方で設計法が適用されている。このような設計法に粘土から砂への連続性がないために、中間土も砂・粘土のどちらかに分類されて設計されることが多い。筆者ら¹⁾は、これまで砂から粘土に至る様々な細粒分含有率から成る土の静的・動的強度特性を調べてきた。本研究ではさらに、様々なひずみ速度で非排水単調せん断試験を実施することにより、中間土のせん断特性に及ぼすひずみ速度の影響を明らかにすることを目的としている。

2. 試料および試験方法 本研究で用いた試料は、粒度調整した珪砂に海成粘土の小野田粘土を乾燥重量比で混合したものである。珪砂と小野田粘土の混合比は 0:100、30:70、50:50、70:30、85:15、95:5、100:0 の 7 種類である。各試料の物性値を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に示す。供試体の作製方法としては、水中落下法と、予圧密法を採用した。水中落下法の供試体は、混合した試料を攪拌し脱気槽で十分に脱気した後、あらかじめ水を張ったモールドにスプーンでゆっくり落下させることにより作製した。予圧密法の供試体は、予備圧密圧力 50kPa で圧密させ、所定の寸法に切り出して作製した。相対密度は水中落下の供試体は $D_{rs}=50\%$ に統一した。実験は、三軸試験機により、拘束圧 $\sigma'_c=200\text{kPa}$ の下、非排水でひずみ速度 0.1、1、10%/min の各条件で行った。細粒分含有率 83.8%、58.7%、41.9% については、ひずみ速度 0.01%/min についても実験を行った。

3. 実験結果 図-2 は、ひずみ速度 0.1%/min で行ったそれぞれの試料に対する非排水単調せん断試験から得られた有効応力経路を示したものである。図より、細粒分含有率 $F.C.=25.1\%$ 以下では変相点に達すると膨張挙動を示している

ことがわかる。しかし $F.C.=25.1\%$ の供試体は、 $F.C.=12.6\%・4.2\%$ のものより膨張傾向が小さく、粘性土の挙動に近づいていることがわかる。 $F.C.=41.9\%$ 以上では、明確な変相点を確認することはできず、膨張挙動が生じていない。以上のように、 $F.C.$ が増加していくに従い粘性土の特性に近づき、ある $F.C.$ からはほぼ同一の挙動となり、小野田粘土の特性を示している。図-3 は、小野田粘土含有率 50% の試料に対する 4 つのひずみ速度による有効応力経路を示したものである。図のように、ひずみ速度が増加するに従い経路が右へ推移していることがわかる。

表-1 試料の物性値

小野田粘土 含有率(%)	細粒分 含有率 (%)	粘土分 含有率 (%)	供試体 作製方法	ρ_s (g/cm^3)	ρ_d (g/cm^3)	I_p
100	83.9	37.0	予圧密	2.593	0.975	44.2
70	58.7	25.9	予圧密	2.649	1.347	30.6
50	41.9	18.5	予圧密	2.650	1.438	18.2
30	25.1	11.1	予圧密	2.652	1.597	9.1
15	12.6	5.6	水中落下	2.650	1.71	NP
5	4.2	1.9	水中落下	2.651	1.614	NP
0	0	0	水中落下	2.652	1.58	NP

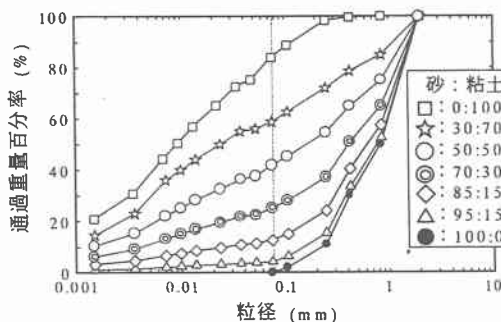


図-1 粒径加積曲線

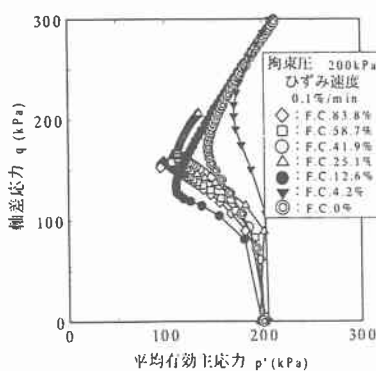


図-2 有効応力経路(ひずみ速度 0.1%/min)

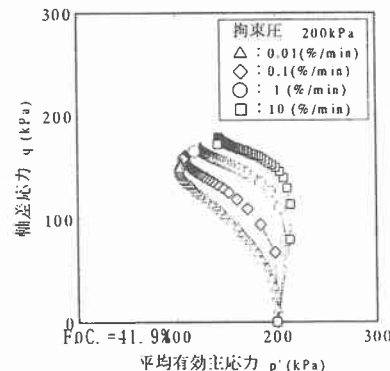


図-3 有効応力経路($F.C.=41.9\%$)

図-4 は、軸差応力-軸ひずみ関係を示したものである。先に述べたように、F.C.が増加していくに従い粘性土の特性に近づき、ある F.C.からは純粋な小野田粘土と同様の挙動を示す傾向が認められた。また図-5 より、ひずみ速度の増加に伴い、強度の増加が認められる。

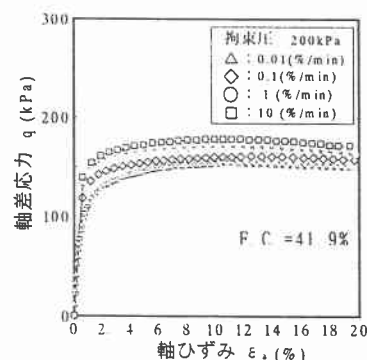
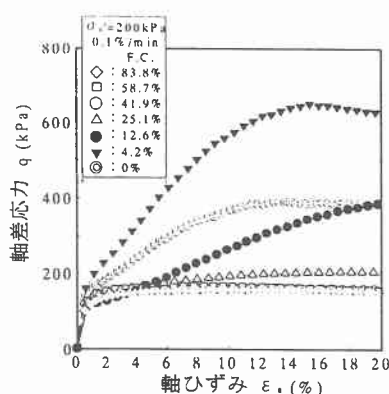


図-4 応力-ひずみ関係(ひずみ速度 0.1%/min)

図-5 応力-ひずみ関係(F.C.=41.9%)

図-6 は、応力・ひずみ関係におけるピーク時の強度に着目し、最大軸差応力と細粒分含有率の関係を示したものである。図より、F.C.の増加に伴いピーク強度は減少していることから、F.C.=0%以上ではピーク強度が一定となっている。また、図中の実線はひずみ速度 0.1%/min と 10%/min に対するプロットを連ねたもので、F.C.が増加するにつれ、ひずみ速度の増加によりピーク強度が高くなっていることがわかる。F.C.=0%と F.C.=4.2%のピーク強度に差が生じた原因としては、この領域は砂が骨格を形成しているため、砂の密度に強度が大きく依存し、混入した小野田粘土に若干の砂分が含まれたことによると考えられる。

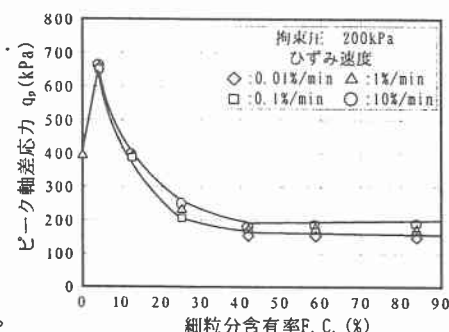


図-6 最大軸差応力と細粒分含有率の関係

図-7 では、縦軸のスケールが大きいため、明確なひずみ速度の効果が判別できない。そこで速度効果係数 μ を定義し、ひずみ速度効果について検討する。図-7 は、速度効果係数の算定方法を示したものであり、ひずみ速度 $\varepsilon_r=1\%/min$ におけるピーク強度で正規化した各ひずみ速度によるピーク強度とひずみ速度の関係を示したものである。図中のプロットは F.C.=41.9%の実験値を示したものであるが、正規化されたピーク強度はひずみ速度の対数に対して、次式で示す直線関係にあることがわかる。

$$\frac{q_{\varepsilon \text{ arbitrary}}}{q_{\varepsilon_r}} = 1 + \mu \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_{\text{arbitrary}}}{\varepsilon_r} \right) \quad (\varepsilon_r = 1\%/min) \quad (1)$$

ここで μ は直線の勾配であり、ひずみ速度が増加することによるピーク強度の増加率を表している。この式(1)の μ をピーク強度に対する速度効果係数と定義した。 $\varepsilon_{\text{arbitrary}}$ 、 ε_r は、それぞれ任意のひずみ速度と基準ひずみ速度を表しており、ここでは $\varepsilon_r=1\%/min$ とした。図-8 は、このようにして求めた速度効果係数と細粒分含有率の関係を示したものである。図より、F.C.=12.6%以下では速度効果係数が極端に小さく、速度依存性の低いことがわかる。F.C.=12.6%から F.C.=25.1%までは急激に速度効果係数が上昇し、その後 F.C.=41.9%までは減少している。F.C.=41.9%以上になると速度効果係数は大きく、その値は緩やかな上昇傾向を示している。この結果は、速度効果係数の低い F.C.=12.6%以下では砂粒子が骨格を形成し、速度効果係数の高い F.C.=41.9%以上では細粒子がマトリックスを構成したためと考えられる。速度依存性がピークを示した F.C.=25.1%は、砂粒子の骨格が崩れ、細粒子がマトリックスを構成し始めた領域であり、砂と粘土の相互作用が顕著に現れた結果と思われる。

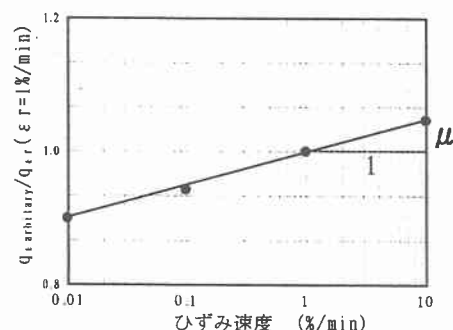


図-7 速度効果係数の算定方法

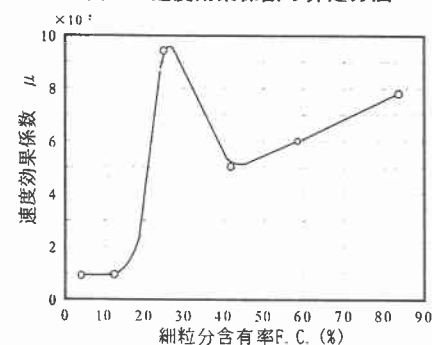


図-8 速度効果指標と細粒文含有率の関係

4.まとめ ①F.C.の低い領域は速度依存性が低く、F.C.の高い領域は速度依存性が高い。

②F.C.=12.6%から F.C.=25.1%にかけては、速度効果係数が急激に増加し、F.C.=25.1%で最大値を示す。

<参考文献> 1) 谷口ら(1998): 中間土の非排水せん断特性に及ぼす細粒分含有率の影響、第33回地盤工学会研究発表会、pp685-686 2)

山本・兵動(1999): 粘性土の繰返しせん断強度・塑性指数関係に及ぼす載荷周波数の影響、第34回地盤工学会研究発表会、pp1059-1060