

砂混じり粘土のせん断剛性と強度特性

山口大学大学院 学生会員 ○山田 卓
山口大学工学部 正会員 兵動正幸
山口大学工学部 正会員 中田幸男
山口大学工学部 正会員 吉本憲正
山口大学工学部 正会員 村田秀一

1. はじめに

砂と粘土の混合土の強度特性は粒度分布やコンシステンシー特性の影響を受けるなど既往の研究¹⁾によってある程度明らかにされてきたが、その詳細については未だ未解明な部分が多い。そこで本研究では、中空ねじりせん断試験機を用いて動的変形試験および非排水単調せん断試験を行い、砂混じり粘土のせん断剛性と強度特性について検討した。

2. 試料および試験条件

本研究で用いた試料は小野田粘土（山口県小野田港）および有明粘土（佐賀県六角川河口）に粒度調整した珪砂を混入して作製した小野田粘土混合土と有明粘土混合土である。これらの粘土と珪砂の配合割合を乾燥重量比で粘土：珪砂=100:0、80:20、60:40、40:60 とし、予圧密圧力 50kPa を与えて作製した。試験に用いた試料の物理的性質を表—1に示す。いずれの混合土においても細粒分含有率が低いものほど塑性

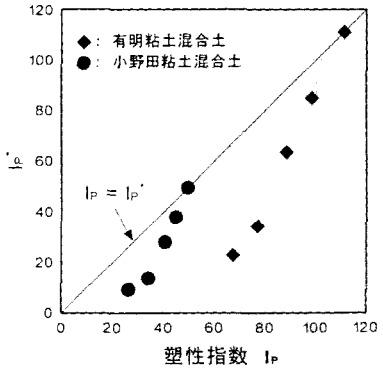
表—1 試料の物理的性質

試料名	試験名	F.C.(%)	C.C.(%)	w _L (%)	I _p	w _L [*] (%)	I _p [*]	e _c
小野田粘土混合土	OC100	84.5	37.5	84.04	49.5	84.04	49.5	1.382
	OC80	67.0	30.0	69.18	44.8	22.67	37.8	1.102
	OC60	50.0	21.5	63.15	40.6	18.20	27.9	1.044
	OC40	32.5	14.0	55.41	34.0	12.49	13.5	0.745
有明粘土混合土	RC100	100.0	61.5	155.34	111.0	155.34	111.0	2.380
	RC80	79.5	49.0	138.37	98.3	38.99	84.7	1.932
	RC60	59.7	37.0	124.25	88.3	25.47	63.5	1.598
	RC40	39.9	24.0	108.48	77.0	19.43	34.3	1.144

指数 I_p が低い値を示すことがわかる。表中の I_p^* とは、本研究で用いた砂混じり粘土のコンシステンシーを示すパラメータであり、粒径の適用範囲を試料全体の粒径に拡大した液塑性限界試験から得られる塑性指数である。図—1は I_p^* と塑性指数 I_p の関係を示したものであるが、 I_p が小さいものほど I_p^* と I_p の値が大きく異なることがわかる。表—2は中空ねじり動的変形試験および非排水単調せん断試験の試験条件を示したものである。いずれの試験においても、側方土圧係数 $K=0.5$ 、初期有効鉛直応力 $\sigma_{zc}'=100\text{kPa}$ で異方圧密を行った。動的変形試験では、非排水状態で周波数 $f=0.1\text{Hz}$ の正弦波形の繰返し荷重を 11 回与える載荷を 1 ステージとし、片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=1.0\%$ まで段階的に荷重を増加させた。なお各ステージ間では排水状態として過剰間隙水圧を消散させている。一方、非排水単調せん断試験はひずみ速度 $S.R.=0.1\%/min$ でせん断ひずみ $\gamma_{20}=25\%$ まで試験を行った。

表—2 試験条件

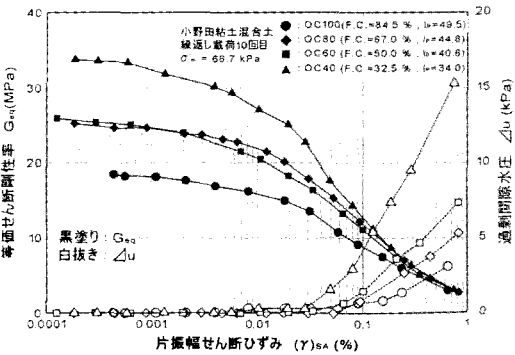
試験方法	供試体寸法			σ_{zc} (kPa)	K	排水条件	S.R. (%/min)	f (Hz)
	高さ (cm)	外径 (cm)	内径 (cm)					
動的変形試験	7.5	7.5	3.5	100	0.5	非排水	-	0.1
単調せん断試験	7	7	3	100	0.5	非排水	0.1	-



図—1 $I_p^* \sim I_p$ 関係

3. 試験結果および考察

図—2は動的変形試験から得られた繰返し載荷 10 回目における等価せん断剛性率 G_{eq} および過剰間隙水圧 Δu と片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ の関係を小野田粘土混合土について示したものであり、黒塗りのプロットが G_{eq} を示している。それぞれの曲線から $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ における G_{eq} を読み取り初期せん断剛性率 G_0 とした。図より、F.C.



図—2 $G_{eq} \sim (\gamma)_{SA}$ 関係、 $\Delta u \sim (\gamma)_{SA}$ 関係

が低いものほど高い G_0 を示すことから、砂混じり粘土の初期剛性に砂分が影響することがわかる。 $(\gamma)_{SA}=0.01\%$ 以降のひずみレベルで G_{eq} は急激に低下し、 $(\gamma)_{SA}=0.1\%$ 以上では G_{eq} はほぼ一定値となることがわかる。F.C.が低いものほど Δu が高く、 G_{eq} が急激に低下する $(\gamma)_{SA}$ と Δu が発生し始める $(\gamma)_{SA}$ が酷似していることから、砂混じり粘土の G_{eq} の低下には Δu の発生による有効応力の低下が大きく関係していると考えられる。図—3 は非排水単調せん断試験より得られた最大せん断応力 $\sigma_{z\theta-max}$ と初期せん断剛性率 G_0 の関係を示したものであるが、同一拘束圧条件における砂混じり粘土の $\sigma_{z\theta-max}$ は G_0 が大きいほど低くなる傾向が認められ、粘性土の非排水強度は G_0 に比例して高くなるという報告²⁾³⁾と一致していない。図—4 に示す最大せん断応力時の過剰間隙水圧 Δu_{peak} と G_0 の関係において、 G_0 が大きいものほど Δu_{peak} が低い傾向が認められることから、 G_0 が高いもの (F.C.が低いもの) ほど過剰間隙水圧の発生による有効応力の減少量が大きいため $\sigma_{z\theta-max}$ が低く発揮されると考えられる。

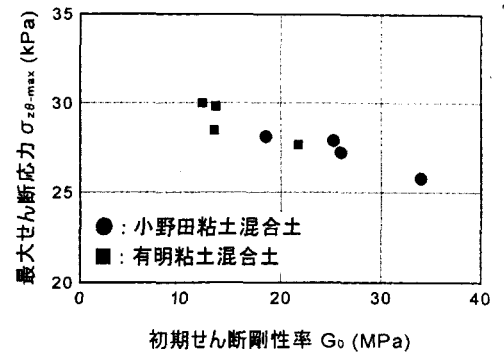
図—5 は G_0 と塑性指数 I_p および I_p^* の関係を示したものであり、白抜きのプロットが $G_{eq} \sim I_p^*$ 関係を表している。図中には表—1 に示した砂混じり粘土の他に数種類の海成粘土および粘土の乾燥重量比が 30% の小野田粘土混合土、有明粘土混合土について動的変形試験を行った結果も示している。図より全体的に I_p が低いものほど G_0 が高くなる傾向が認められるが、2 つの混合土のうち I_p が低い試料の G_0 は砂分の影響を受けて同程度の I_p を示す粘土よりもさらに高くなり、 G_0 と I_p の間に良い相関性は認められない。これに対して $G_0 \sim I_p^*$ 関係では G_0 と I_p^* の間に良い相関性が認められ、 I_p^* が低いものほど G_0 が高くなることからわかる。ここでは示していないが任意のひずみレベルにおける $G_{eq} \sim I_p^*$ 関係においても同様の関係があることを確認している。このように G_0 と I_p^* に良い相関関係が得られるのは I_p^* が粘性土に含まれる砂分を考慮したパラメータであるからと考えられる。図—6、図—7 は静的強度 $\sigma_{z\theta-max}$ および Δu_{peak} と I_p^* の関係を示したものであるが、いずれの関係においても I_p^* との間に良い相関関係を得る結果となる。

4. まとめ

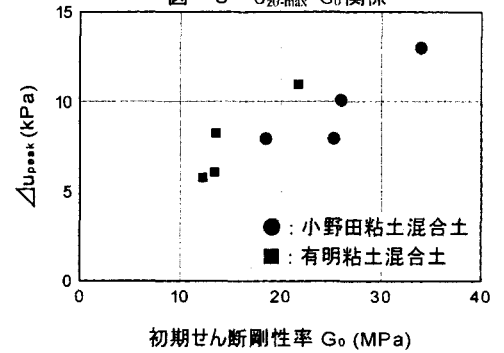
1. 同一拘束圧条件下では細粒分含有率が低いものほど高い初期剛性を有するが過剰間隙水圧の発生に伴う有効応力の減少により非排水強度が低くなることが明らかとなった。
2. 砂混じり粘土のせん断剛性率および最大せん断応力は試全体に対する塑性指数 I_p^* と良い相関性があることが明らかとなった。

参考文献

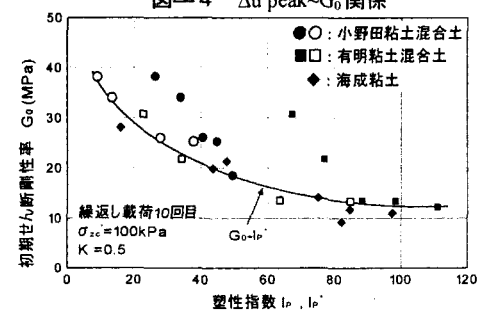
- 1) 伊東ら：砂・粘土・中間土の非排水単調及び繰返しせん断特性，土木学会論文集，Vol. 55, No. 680/Ⅲ, pp. 233-243, 2001
- 2) PRADHAN, 川野：粘性土の非排水繰返し強度、性的強度およびせん断剛性率の相関，第 51 回土木学会年次学術講演会，pp. 176-177, 1996
- 3) 渋谷, 三田地：粘性土の弾性せん断剛性率について，第 48 回土木学会年次学術講演会，pp. 936-937, 1993



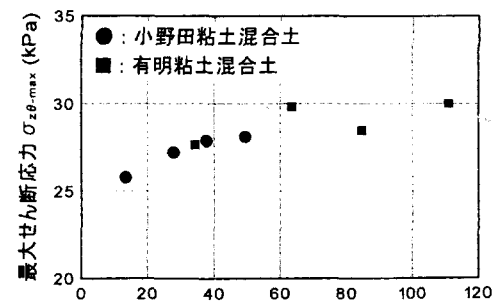
図—3 $\sigma_{z\theta-max} \sim G_0$ 関係



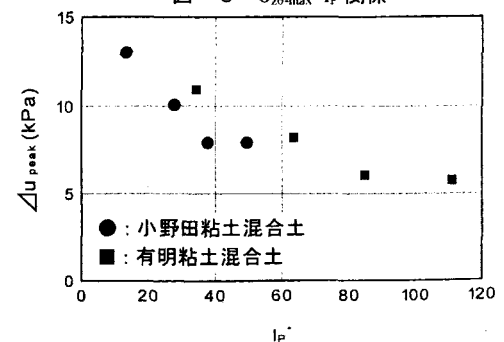
図—4 $\Delta u_{peak} \sim G_0$ 関係



図—5 $G_{eq} \sim I_p$ 関係、 $G_{eq} \sim I_p^*$ 関係



図—6 $\sigma_{z\theta-max} \sim I_p^*$ 関係



図—7 $\Delta u_{peak} \sim I_p^*$ 関係