

中空ねじりせん断試験による砂・粘土混合土の動的変形特性

山口大学大学院 学生会員 赤松 諒亮 正会員 兵動 正幸
山口大学大学院 学生会員 金子 崇 正会員 中田 幸男

1. まえがき

実地盤は、砂やシルトや粘土などが複雑に混在する土によって構成されており、これらの土の中には砂や粘土の中間的な性質を示す土もある。このような土の動的変形特性に関する実験データは十分に蓄積されておらず、それらの動的変形特性の推定法も不明確であるのが現状である。本研究は砂と粘土を様々な割合で混合して作成した混合土を対象に、中空ねじりせん断試験機により、砂混じり粘土の動的変形特性を求めることを目的に行ったものである。

2. 実験方法

本研究では砂試料として粒度調整を行った三河珪砂、粘土試料として岩国粘土¹⁾、カオリン粘土を用い、細粒分含有率・含水比の異なる混合土試料を作製した。混合土試料の目標とした細粒分含有率はそれぞれ $F_c=0, 5\%, 10\%, 15\%, 20\%$ である。カオリン粘土の場合、突き固め供試体作成後粘土分が供試体上部に染み出し、その分は最終的に除去するため、目標とした細粒分含有率より低いことがあったので、以下には最終的な細粒分含有率を記載している。

供試体作製は以下のように行った。まず、乾燥した砂と初期含水比が液性限界の 1.0、2.0 倍の粘土 ($w_0=1.0, 2.0w_L$) を所定の体積比で混合し、均一になるように十分かき混ぜた。次に、高さ 10cm、外径 10cm、内径 6cm の中空円筒モールドに対して試料を 5 等分に分けて投入し、所定の 3 種類の突き固めエネルギー ($E_c=5, 47, 373\text{kJ/m}^3$) で突き固めることにより中空円筒供試体を作製した。圧密条件は各試料に対し有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ の等方圧密状態とし、繰返しせん断は各ひずみレベル毎に非排水条件で供試体に周波数 $f=0.1\text{Hz}$ の正弦波形の繰返し荷重を 11 回与えて行なった。繰返しせん断後は、排水状態にして過剰間隙水圧を消散させた。

3. 実験結果

図-1 に突き固めエネルギー $E_c=5, 47, 373\text{kJ/m}^3$ 、含水比 $w_0=1.0w_L$ で供試体を作製し、有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ で圧密した後の供試体の間隙比 e と細粒分含有率 F_c の関係を示す。間隙比は F_c の増加とともに減少する傾向にあるが岩国粘土に比べてカオリン粘土の方がその傾向が顕著に表れている。細粒分を含む砂の力学特性は、砂の骨格構造が支配要因と考えられる。そこで、細粒分を間隙と見なす骨格間隙比の概念を用い整理を行った。図-2 に供試体の圧密後の骨格間隙比 e_g と細粒分含有率 F_c の関係を示す。岩国粘土は F_c の増加とともに骨格間隙比が増加するのに対し、カオリン粘土は $F_c=10\%$ あたりから骨格間隙比が減少する傾向が認められる。これは、岩国粘土が砂粒子を支え、砂骨格を緩めるような働きをしたのに対し、カオリン粘土は砂粒子相互の潤滑油的な働きで、砂骨格を

表 1 珪砂、粘土試料の物理的性質

Sample	Gs	Fines content(%)	Clay content(%)	Ip	D ₅₀ (mm)	Uc
Silica sand	2.652	0.0	0.0	NP	0.861	4.04
Iwakuni clay	2.610	98.0	38.8	47.54	0.006	-
Kaolin clay	2.645	100.0	81.4	33.12	0.0012	-

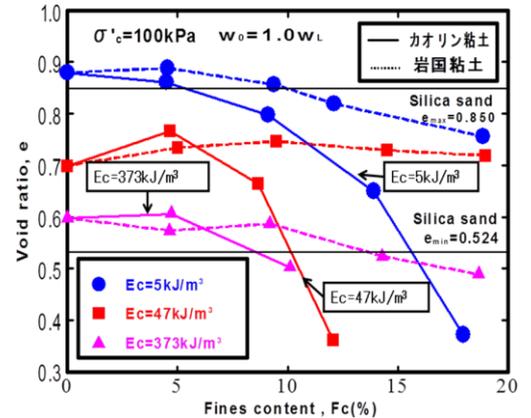


図-1 細粒分含有率と間隙比の関係

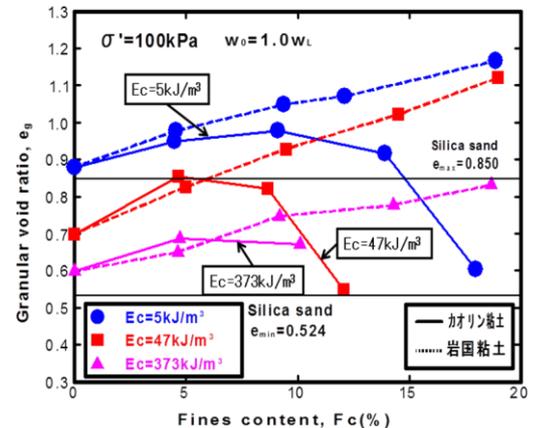


図-2 細粒分含有率と骨格間隙比の関係

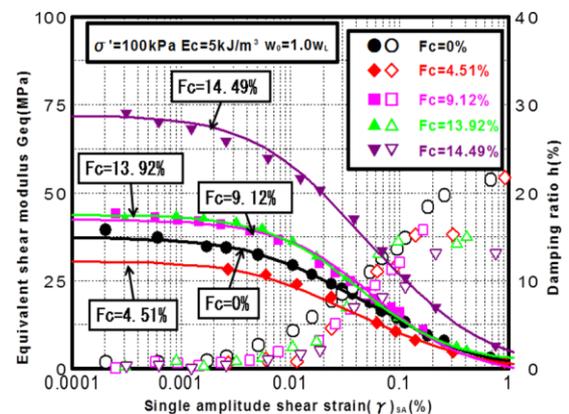


図-3 動的変形特性 ($E_c=5\text{kJ/m}^3$)

密にする働きをしたものと考えられる。図-3,図-4 に初期含水比 $w_0=1.0w_L$ のカオリン粘土と混合した砂を、突固めエネルギー $E_c=5\text{kJ/m}^3$ および 373kJ/m^3 で作製した供試体の等価せん断弾性係数 G_{eq} および履歴減衰率 h と片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ の関係をそれぞれ示す。図より、履歴減衰率に関しては、 $E_c=5、373\text{kJ/m}^3$ いずれの突固めエネルギーにおいても細粒分含有率の違いによる差はほとんど見られない。しかし、等価せん断弾性係数は、低い突固めエネルギーの $E_c=5\text{kJ/m}^3$ の場合には、 $F_c=20\%$ で最大となるが、高い突固めエネルギー $E_c=373\text{kJ/m}^3$ の場合においては、 F_c による差はあまりなく全体的に高い値となっている。

次に、等価骨格間隙比 e_{ge} は通常の間隙比と、骨格間隙比の概念の中間に位置し、骨格間隙比の概念を拡張したものであり、図-5 にその概念が示されている。すなわち、寄与率 $b=0$ の場合は細粒分のすべてを間隙とみなし、細粒分の存在は無視され、 $b=1$ のときは細粒分が粗粒分と同等とみなされる。図-6 に初期含水比 $w_0=1.0w_L$ のカオリン粘土を砂と混合し 3 種類の突固めエネルギー $E_c=5、47、373\text{kJ/m}^3$ で突固め作製した供試体の片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ のときの等価せん断弾性係数 G_{eq} と等価骨格間隙比 e_{ge} の関係を示す。ここで、細粒分含有率 $F_c=5\sim 20\%$ の試料の等価せん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係が $F_c=0\%$ の場合のそれと等価となるような寄与率 b を求める。図-6 は得られた寄与率 b による等価せん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係を示したものであるが、この場合 $b=0.42$ となった。これは片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ のとき、細粒分が 42% の割合で等価せん断弾性係数に寄与していることを示す。図-7 に片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=1.0\%$ 未満の各ひずみにおいて片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ のときと同様に最適な寄与率 b を検討した結果を示す。図より、寄与率 b は粘土の含水比によって大きく変化し、岩国粘土の場合は初期含水比が高い方が低く $w_0=2.0w_L$ の場合にはほとんど寄与しないことが示されるが、カオリン粘土の場合、初期含水比が高い方が高い寄与率が発揮されることが明らかとなった。

4. まとめ

- 1) 粘土混じり砂は、細粒分の含水比により構造が大きく変化する。
- 2) 粘土混じり砂の履歴減衰率は、間隙比の大小に関わらず細粒分含有率 F_c および細粒分の初期含水比の違いによる影響をあまり受けない。
- 3) 寄与率 b は粘土の含水比によって大きく変化し、岩国粘土の場合は初期含水比が高い $w_0=2.0w_L$ の場合にはほとんど寄与しない。カオリン粘土の場合には、初期含水比が高い方が高い寄与率が発揮される。

参考文献：1) 石川智・兵動正幸・Orense, R. , 山田卓・中田幸男・吉本憲正：粘土混じり砂の非排水繰返しせん断特性，第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 474-477, 2006.

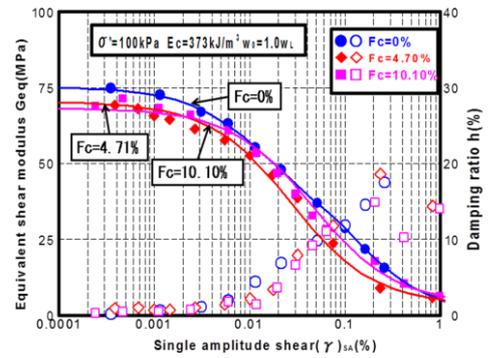


図-4 動的変形特性($E_c=373\text{kJ/m}^3$)

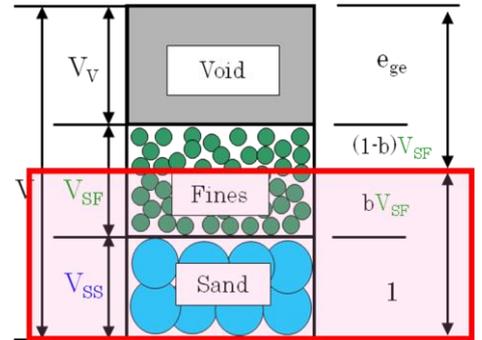


図 5 土の三相モデル

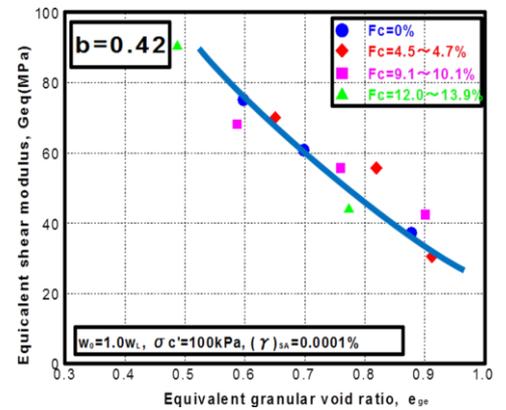


図-6 等価せん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係($b=0.42$)

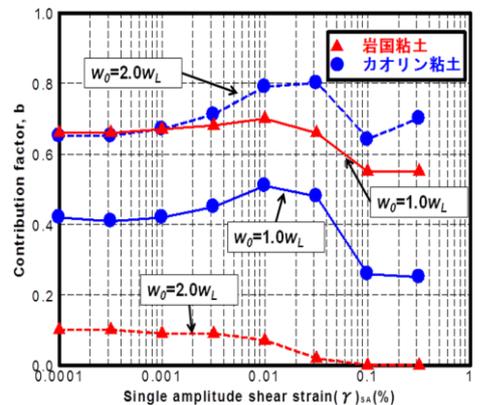


図-7 寄与率と片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$