

含水比の異なる粘土混じり砂の動的変形特性

山口大学大学院 学生会員 ○金子崇 正会員 兵動正幸
山口大学大学院 学生会員 石田純也 正会員 中田幸男
山口大学大学院 正会員 吉本憲正

1.まえがき 粒度組成の大半を粘性土が占め、高含水比で軟弱な浚渫土を地盤材料として利用する方法として、砂と配合することで含水比を低下させる方法がある。このような土を、より高品質な地盤材料として用いるためには、その力学特性を明確にする必要がある。著者らの過去の研究¹⁾において、細粒分を有する砂の初期せん断弾性係数 G_0 に対し、細粒分が寄与する割合を寄与率 b と表現した等価骨格間隙比の概念を適用することで、初期せん断弾性係数と間隙比の関係を適切に表現できることが明らかとなった。本研究は、砂と粘土を様々な割合で混合した種々の試料を対象に、混合する粘土の含水比を変化させ、中空ねじり試験機を用いて動的変形試験を行うことで含水比の異なる砂・粘土混合土の動的変形特性について検討するとともに、広範なひずみレベルにおける細粒分の寄与率を明らかにすることを目的としている。

2.実験試料及び実験条件 本研究では、砂試料として粒度調整を行った三河珪砂、粘土試料として山口県岩国市の岩国港で採取した岩国粘土 ($w_L=77.3\%$) 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。試料の混合割合は、乾燥重量比で 100:0、95:5、90:10、85:15 の 4 通りである。なお、岩国粘土は 2%の砂分を含んでいたため、混合土試料の細粒分含有率はそれぞれ $F_c=0, 4.9, 9.8, 14.7\%$ である。

供試体は乾燥した砂と初期含水比が液性限界の 1.0、1.5、2.0 倍の粘土 ($w_0=1.0, 1.5, 2.0w_L$) を所定の体積比で混合し、均一になるように十分に混ぜた。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作製した。

動的変形試験は、地盤工学会基準「土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法」(JIS 0543-2000) に定められる方法

表-1 試料の物理的性質

Sample	Fines content (%)	Clay content (%)	G_s	I_p	D_{50} (mm)	U_c
Silica sand	0.0	0.0	2.652	NP	0.861	4.04
Iwakuni clay	98.0	38.8	2.610	47.54	0.006	-

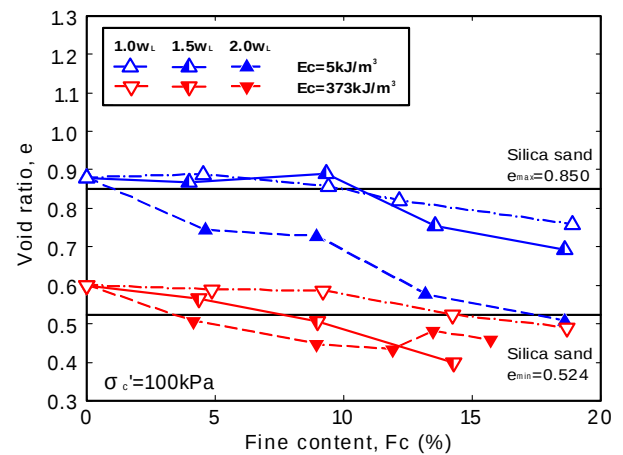


図-1 間隙比と細粒分含有率の関係

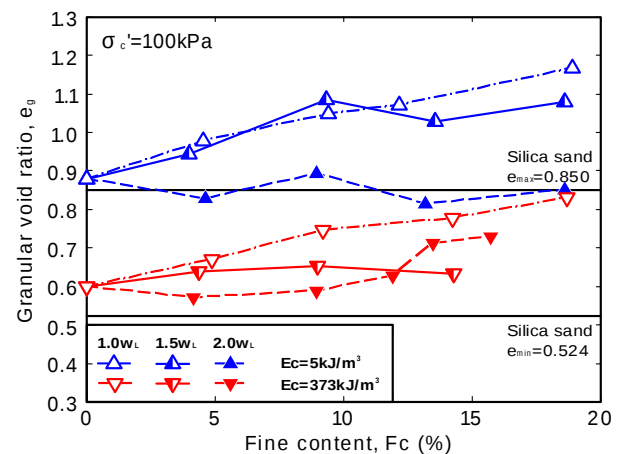


図-2 骨格間隙比と細粒分含有率の関係

に基づいている。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。

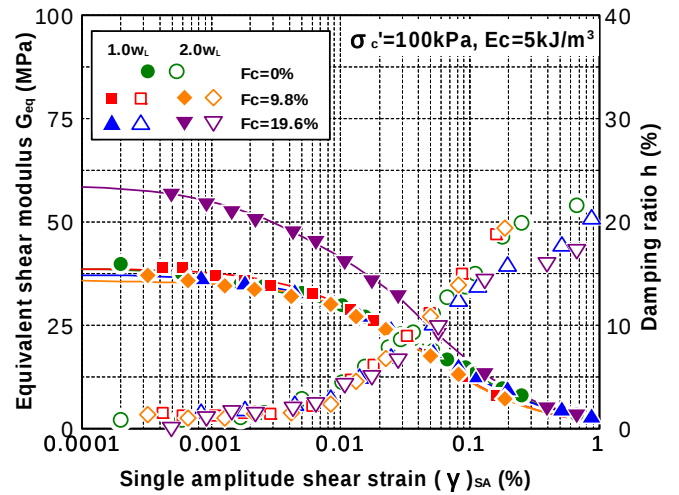
3.試験結果 図-1 に突固めエネルギー $E_c=5, 373\text{kJ/m}^3$ で作製し、有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ で圧密し

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が、
 $E_c=5\text{kJ/m}^3$ の場合には含水比によって減少の程度に
顕著な差が現れる。また、 $w_0=2.0w_L$ の場合には F_c
が増加することで、突固めの効果が小さくなること
が確認できる。

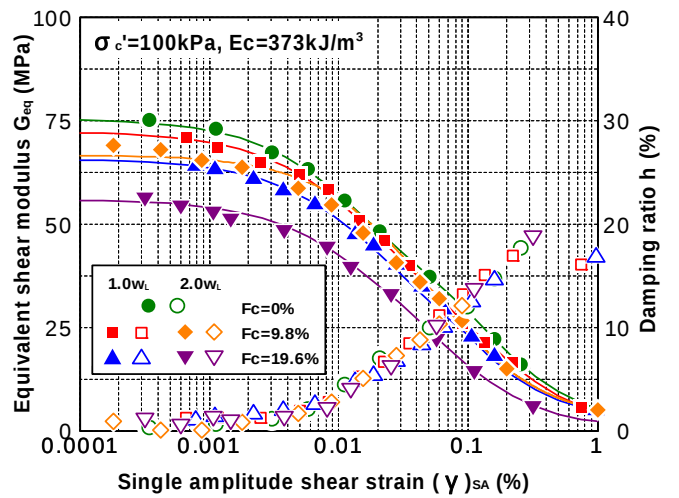
細粒分を含む砂の力学特性は、砂の骨格構造が支
配要因と考える。そこで、細粒分を間隙と見なす骨
格間隙比²⁾の概念を用い、砂のみで形成される骨格
の状態を考える。図-2 に供試体の圧密後の骨格間隙
比 e_g と細粒分含有率 F_c の関係を示す。図より、骨
格間隙比は F_c の増加に伴い増加する傾向を示す。
 $w_0=1.0, 1.5w_L, E_c=5\text{kJ/m}^3$ の場合、骨格間隙比が珪
砂の最大間隙比を大きく上回っていることから、細
粒分によって粗粒分が支えられ、非常に不安定な構
造となっていることが推察される。また、 $w_0=2.0w_L$ 、
 $E_c=5\text{kJ/m}^3$ の場合、 F_c に関わらず骨格間隙比が珪砂
の最大間隙比付近を示していることから、 $w_0=2.0w_L$
の場合には砂骨格の構造の間隙に細粒分が充填され
る状態と推察される。

図-3(a)(b)に $w_0=1.0, 2.0w_L$ 、突固めエネルギー $E_c=5$ 、
 373kJ/m^3 とした時の繰返し載荷 10 回目の等価せん
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、 $E_c=5, 373\text{kJ/m}^3$ いずれの場合も細粒分含
有率および含水比に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、 $w_0=2.0w_L$ 、
 $E_c=5\text{kJ/m}^3$ の場合には、 $F_c=19.6\%$ のときに最大とな
り、 $E_c=373\text{kJ/m}^3$ の場合には、 $w_0=1.0, 2.0w_L$ とともに
 $F_c=19.6\%$ のときに最小となっている。この挙動に対
しては、混合土の間隙比および骨格間隙比のどちら
を用いても適切に表現することができない。

そこで、図-4 のように混合土の構造を粗粒土相、
細粒土相、間隙相の三相に分け、細粒分をある程度
の度合いで骨格構造の形成に加担する要素とみなす
等価骨格間隙比³⁾の概念を用い、細粒分が混合土全
体の構造に与える影響の度合いについて検討した。
等価骨格間隙比 e_{ge} は、細粒分が砂と同様に骨格を形
成するとみなす間隙比と、骨格形成に全く寄与しな
いとする骨格間隙比の間に位置し、骨格間隙比を
拡張したものとして、砂が骨格を形成し得る範囲の
細粒分含有率において成立し、次式で表される。



(a) $E_c=5\text{kJ/m}^3$



(b) $E_c=373\text{kJ/m}^3$

図-3 動的変形特性と片振幅せん断ひずみの関係

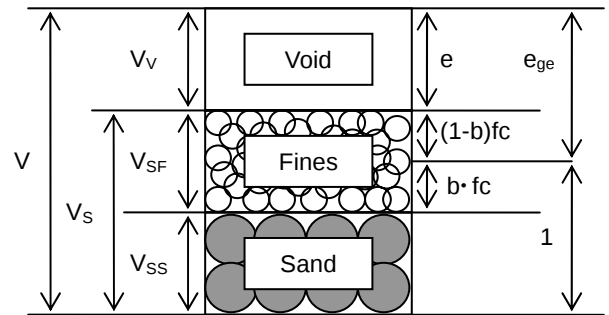


図-4 土の三相モデル

$$e_{ge} = \frac{e + (1-b)fc}{1 - (1-b)fc} \quad fc = \frac{V_{sf}}{V_s} \quad (1)$$

ここに、 e は間隙比、 fc は体積比での細粒分含有率、
 b は細粒分の寄与率である。

図-5(a)(b)に $w_0=1.0w_L, E_c=5, 47, 373\text{kJ/m}^3$ 、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。図

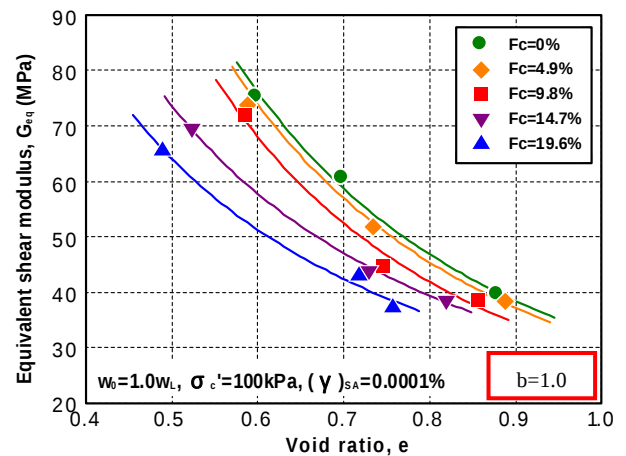
(a)は $b=1.0$ の場合について示しており、等価骨格間隙比は通常の間隙比と等価である。このとき、混合土は細粒分含有率によって異なる $G_{eq} \sim e_{ge}$ 関係を示している。そこで、 $F_c > 0\%$ の等価せん断弾性係数が $F_c = 0\%$ の値と等しくなるような b を検討し、細粒分が混合土のせん断弾性係수에寄与する割合とする。図(b)は、最適な b による等価骨格間隙比について示しており、 $b=0.66$ となっている。すなわち、片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA} = 0.0001\%$ のとき、細粒分が 66% の割合で等価せん断弾性係수에寄与していることを示す。

図-6 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 は微小せん断ひずみ域では、ほとんど変化がなく推移している。これは微小せん断ひずみ域では細粒分が構造に及ぼす影響に変化が無いことを示す。片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ が 0.01% を超えるあたりから寄与率 b は減少する。また寄与率は粘土の含水比によって大きく変化し、 $w_0 = 2.0w_L$ の場合には、混合土のせん断弾性係数に対してほとんど寄与しないことが示された。

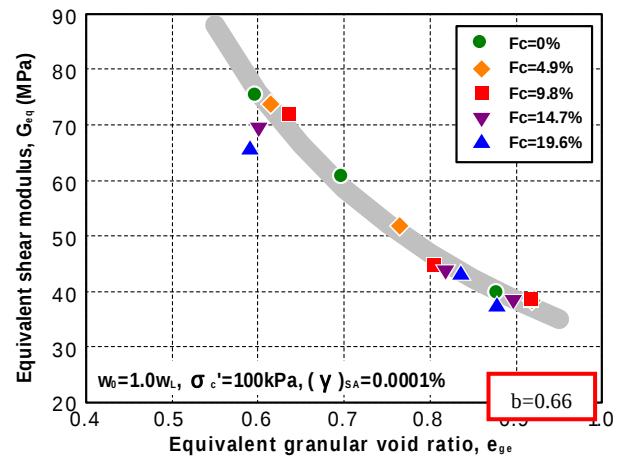
4.まとめ 本研究では中空ねじりせん断試験機によって粘土混じり砂の動的変形特性を把握することを目的とした。その結果得られた知見を以下に示す。

- 1) 粘土混じり砂は、細粒分の含水比によって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ほとんど受けない。
- 3) 細粒分が等価せん断弾性係수에寄与する割合はひずみに依存し、微小ひずみ域では一定のまま推移し、片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ が 0.01% を越えるあたりから減少する。また、含水比が高いほど小さくなり、 $w_0 = 2.0w_L$ の場合には、混合土のせん断弾性係数に対してほとんど寄与しない。

【参考文献】 1) 立場晴司, 兵動正幸, 河田慎治朗, 金郁基: 砂・シルト混合土におけるせん断弾性係数に及ぼす細粒分の影響, 第44回地盤工学研究発表会発表講演集, 論文 No.139, pp.277-278, 1997.



(a) $b=1.0$



(b) $b=0.66$

図-5 等価せん断弾性係数と等価骨格間隙比の関係

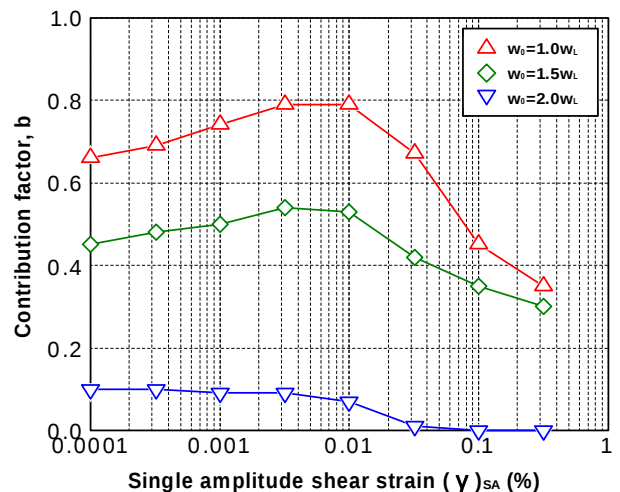


図-6 寄与率と片振幅せん断ひずみの関係

2) Mitchell J. K.: Fundamentals of Soil Behaviour, Wiley, 1976.

3) Thevanayagam S., Shenthann T., Mohan S. & Liang J.: Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silts, J. Geotech. Geoenviron. Engng, 128, No.10, pp. 849-859, 2002.