

砂混じり粘土の動的変形特性に及ぼす砂分含有率の影響

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

1. まえがき

実地盤は砂やシルト、粘土などが複雑に混在しており、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。山田・兵動ら¹⁾は、塑性の異なる粘土に様々な割合で砂を混入した砂混じり粘土の動的変形特性を調べ、塑性指数の違いに着目して動的変形係数を定式化した。粘性土の動的変形係数は、Hardin and Black²⁾により砂のそれと同様に間隙比の関数として定式化されたものがあるが、砂混じり粘土では、間隙比は同一でも砂分含有率の違いにより動的変形係数が異なることが分かっており、砂分含有率の影響を考慮する必要が生じた。本研究では、中空ねじりせん断試験により種々の砂分含有率から成る砂混じり粘土の動的変形係数を求め、新たな考え方による間隙比を導入し砂混じり粘土の動的変形係数を評価する方法を試みた。

2. 実験条件

本研究では粗粒土試料として三河珪砂、細粒土試料として岩国粘土を選定し、これらを種々の割合で混合した試料に対して実験を行った。表-1に三河珪砂と岩国粘土の物理的性質を示す。供試体は粘土に砂分含有率 $S_c=0, 50, 70, 80\%$ のとなるよう砂を混合し、予圧密法により作製した。供試体の作製手順は以下のとおりである。まず予め液性限界の2倍に調整した粘土に珪砂を混合したものを予圧密容器に投入し、鉛直応力 $\sigma_v=10, 20, 50\text{kPa}$ を段階的に載荷する。50kPa 載荷後 3t 法により圧密終了を確認、脱型し、外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の円筒供試体となるように成形した。各供試体に対して、有効拘束圧 $\sigma'_c=50, 100, 200\text{kPa}$ の等方圧密を行った後、それぞれの拘束圧下でせん断応力を周波数 $f=0.1\text{Hz}$ の正弦波を非排水状態で与え、せん断を行った。

3. 実験結果

図1は混合土の各拘束圧下での間隙比 e と砂分含有率 S_c の関係を示すものである。これより、拘束圧の違いに関わらず、砂分含有率 $S_c=0\sim 70\%$ の時では間隙比は減少し、 $S_c=70\%$ 以上では間隙比

は若干増加する傾向が認められる。図2は $\sigma'_c=200\text{kPa}$ における各砂分含有率に対する混合土の動的変形特性を示すものである。せん断弾性係数は $S_c=70\%$ で最大となり $S_c=0\%$ で最小となっている。また、砂分含有率の影響は小ひずみ領域では大きい、大ひずみ領域においてはさほど顕著ではない。また、履歴減衰率は大ひずみ領域において砂分含有率が高いほど高くなる傾向が認められる。図3に $\sigma'_c=200\text{kPa}$ における正規化したせん断弾性係数 G/G_0 と片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ の関係を示す。図3から砂分含有率の増加に伴い、正規化したせん断弾性係数が顕著な低下を開始するひずみが小さくなる傾向が認められるが、 $S_c=70\%$ で最小となることが認められる。すなわち、砂分が少ないほどより弾性的挙動である

ことが観察される。図4に $S_c=70\%$ における G/G_0 と片振幅せん断ひずみの関係を各有効拘束圧に対して示す。図4から、全ての拘束圧に

表-1 珪砂、粘土試料の物理的性質

Sample	Fine content(%)	Clay content	Gs	Ip	D ₅₀ (mm)	Uc
Mikawa silica sand	0	0	2.652	NP	0.861	4.04
Iwakuni clay	98	38.8	2.61	47.54	0.006	-

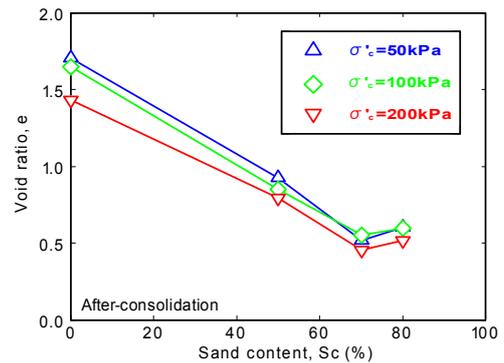


図1 砂分含有率と間隙比の関係

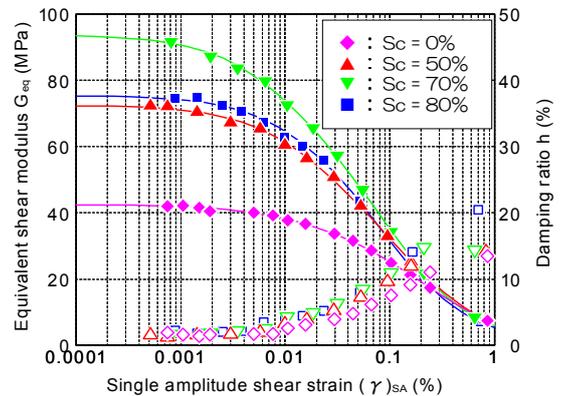


図2 動的変形特性 ($\sigma'_c=200\text{kPa}$)

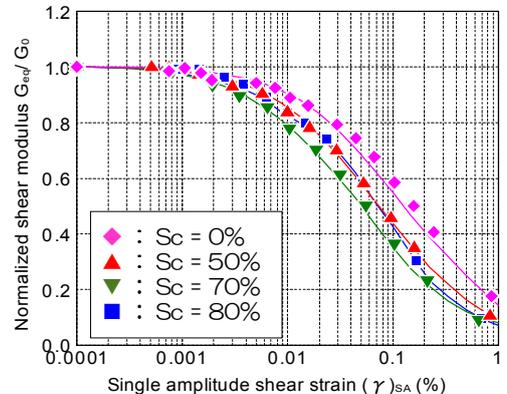


図3 $\sigma'_c=200\text{kPa}$ の混合土 G/G_0 と片振幅せん断ひずみの関係

において、両者の関係はほぼ同一の曲線関係を示しており、有効拘束圧は正規化した動的変形特性に影響を与えない結果が示された。先に述べたように、砂混じり粘土では、動的変形特性と間隙比に一義的關係がないことから、ここで新たな間隙比の概念を導入する。砂混じり粘土においては砂粒子は粘土のマトリックス中に固体として散在するため、構造の主体は粘土である。砂混じり粘土の間隙比の算定において、間隙の体積は粘土の間隙の体積であるのに対し、土粒子の体積は、粘土粒子と砂粒子の体積に和となる。それにより、砂分含有率が増加すると間隙比が急減するが、砂混じり粘土のせん断弾性係数の増加はそれに対応しない。ここでは、砂の体積の一部を無視して間隙とみなす等価細粒分間隙比 e_{fe} の概念を導入し、粗粒分が細粒土の動的変形に与える影響の度合いについて検討した。等価細粒分間隙比 e_{fe} は次式で与えられる。ここに、 V_v は間隙の体積、 V_s は土粒子の体積、 V_{ss} は粗粒土の体積、 b' は粗粒分の寄与率である。 $b'=0$ のときは粗粒分のすべてを間隙とみなし、粗粒分の存在は全く無視する場合であり、一方 $b'=1$ のときはすべての粗粒分が完全に骨格に寄与しているとみなす場合である。式(1)の理解を容易にするため、図5に土の三相モデルを示す。

$$e_{fe} = \frac{V_v + (1-b')V_{ss}}{V_s - (1-b')V_{ss}} \quad (1)$$

式(1)において $b'=0\sim 1$ まで試行錯誤に変化させ、種々の砂分含有率から成る砂混じり粘土のせん断弾性係数 G_{eq} と等価細粒分間隙比 e_{fe} との関係を調べた。せん断ひずみ振幅 $(\gamma)_{SA}=0.0001\%$ において調べたところ、図6に示すように $b'=0.53$ の場合に G_{eq} は砂分含有率の違いに関わらず e_{fe} との間に最一義的關係が認められる。この相関性を各ひずみ振幅毎に調べ、それぞれのひずみレベルにおける b をまとめたものが図7である。図7から、いずれの片振幅ひずみの場合においても寄与率 $b'=0.5$ 程度となることが明らかとなった。

4. まとめ

中空ねじりせん断試験機により種々の粗粒分含有率から成る砂混じり粘土の動的変形特性を求め、せん断弾性係数に及ぼす砂分含有率の影響を調べた。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 砂混じり粘土のせん断弾性係数は砂分含有率の増加に伴い増大するが、 $Sc=70\%$ で最大となる。低いひずみ域において砂分含有率の影響を大きく受けるが、高いひずみ域においてはさほど顕著でない。履歴減衰率は大ひずみ域において、砂分の影響が現われるが、砂分含有率が高いほど高くなる。
- 2) 正規化したせん断弾性係数が低下を開始するひずみ振幅の大きさは、砂含有率が低いほど大きくなる。
- 3) 正規化した動的せん断弾性係数とひずみの関係には、有効拘束圧は影響を与えない。
- 4) 混合土のせん断弾性係数と等価細粒分間隙比との関係を調べた結果、寄与率 b' はひずみレベルに依存せず、いずれの片振幅せん断ひずみにおいても寄与率は $b'=0.5$ 程度となった。

参考文献

- 1) 山田卓, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正 広範な粒度と塑性を有する土の動的変形特性, 土木学会論文集, No. 806 / III 155-168, 2005. 12
- 2) Hardin, B.O and Black, W.L : Closure to vibration of normally consolidated clay, Proc. ASCE, Vol. 95, SM6, pp. 1531-1537, 1969

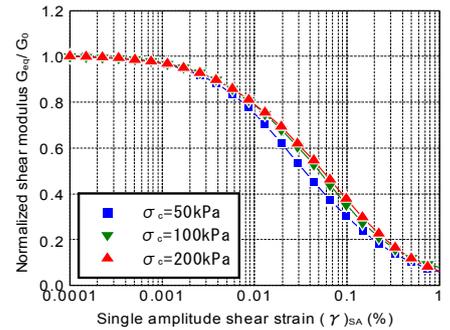


図4 $Sc=70\%$ の混合土 G/G_0 と片振幅せん断ひずみの関係

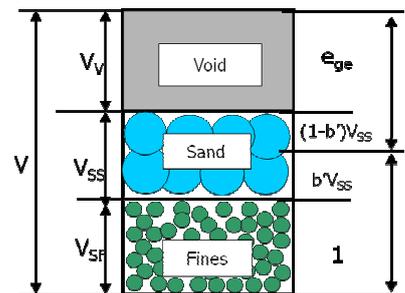


図5 土の三相モデル

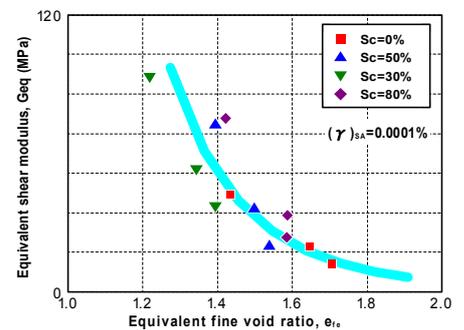


図6 せん断弾性係数と等価細粒分間隙比の関係 ($b'=0.53$)

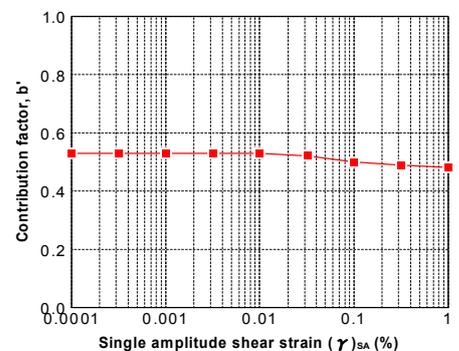


図7 寄与率と片振幅せん断ひずみの関係