

山口大学大学院 学生会員 ○東佳佑
 山口大学大学院 正会員 兵動正幸
 山口大学大学院 学生会員 赤松諒亮
 山口大学大学院 正会員 中田幸男
 山口大学大学院 正会員 吉本憲正

1. 序論

これまで著者らは、砂と自然粘土との混合土を対象に混合割合を変化させて、静的強度、動的強度、動的変形特性を調べてきた¹⁾。その結果、混合土が砂的挙動と粘土的挙動を示す境界はこれらが均等に混じり合う細粒分含有率 $F_c=50\%$ ではなく、 $F_c=20\sim 30\%$ 程度付近であることを示した²⁾。本研究は、砂と塑性の異なる2種類の粘土をそれぞれ、様々な割合で混合して作成した混合土に対し、中空ねじりせん断試験機により、動的変形特性を明らかにすることを目的に行ったものである。

2. 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、粘土試料として岩国粘土、有明粘土を用いて、それぞれ種々の細粒分含有率からなる混合土試料を作製した。混合土試料の細粒分含有率は岩国粘土が $F_c=0, 5, 10, 15, 20\%$ であり、有明粘土が $F_c=0, 5, 10\%$ である。供試体は乾燥した砂と含水比が液性限界の粘土($w_0=1.0w_L$)を所定の割合で混合した。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層に分けて投入し、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、砂と液性限界の含水比 $w=w_L$ の粘土を混合して突き固めエネルギー $E_c=5, 47, 373\text{kJ/m}^3$ で作製した供試体を、有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ で圧密した後の間隙比 e と F_c の関係を示す。いずれの突き固めエネルギーにおいても、 e は F_c の増加に伴い減少する傾向が見られるが、岩国粘土では、有明粘土に比べて F_c の増加に対し e の大きな減少は認められない。これは岩国粘土が砂の間隙内に留まり、砂粒子を支える働きをしたためと考えられる。一方有明粘土混合砂においては、有明粘土の液性限界が非常に高く、含水比が高い

表-1 珪砂, 粘土試料の物理的性質

Sample	Clay content(%) ($5\mu\text{m}$)	G_s	W_p	$WL(\%)$	I_p	A ($5\mu\text{m}$)
三河珪砂	0.0	2.652	—	—	—	—
岩国粘土	38.8	2.61	29.89	77.34	47.45	1.22 普通粘土
有明粘土	58.2	2.593	33.54	162.5	128.96	2.21 超活性粘土

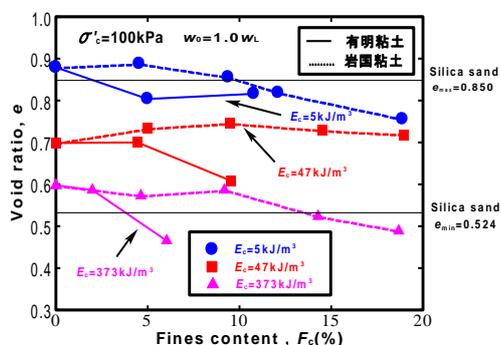


図-1 細粒分含有率と間隙比の関係

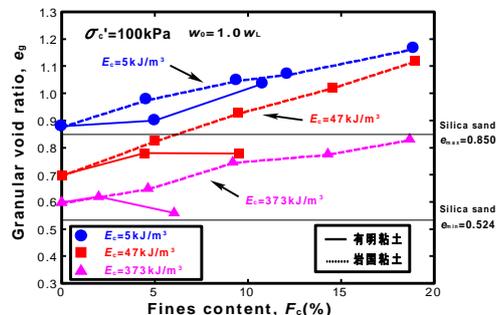


図-2 細粒分含有率と骨格間隙比の関係

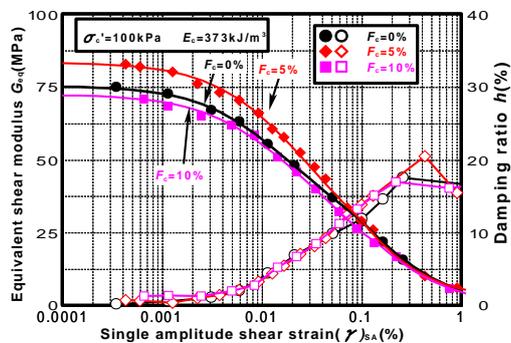


図-3 岩国粘土混合砂 ($E_c=373\text{kJ/m}^3$)の動的変形特性

ことから、突き固めにより、粘土が砂の間隙をすり抜けて排出され、 $F_c = 15\%$ 以上の供試体は突き固めでは作製できない状態に至った。その結果、高い突き固めエネルギーの下では、間隙比 e は小さくなる傾向を示している。図-2に F_c と細粒分をすべて間隙とみなした骨格間隙比 e_g の関係を示す。両粘土とも低い突き固めエネルギーの場合には F_c が高くなると e_g が砂の最大間隙比 e_{max} を超えることが認められる。図-3, 4 は岩国粘土, 有明粘土混合砂の高い突き固めエネルギー ($E_c=373\text{kJ/m}^3$) で作製された供試体のせん断弾性係数 G および減衰定数 h とせん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ の関係を示したものである。岩国粘土混合砂においては、煩雑さを防ぐために $F_c=0, 5, 10\%$ の結果のみを示した。岩国粘土混合砂のせん断弾性係数 G_{eq} は $F_c=5\%$ のとき最も高く、 10% で低下する傾向が認められる。有明粘土混合砂の G_{eq} に関しては、 F_c の増加に伴い大きく低下する傾向を示している。また、減衰定数 h は混合砂の場合、砂のみに比べ大きく低下している。次に、 e_{ge} を e と e_g の間に位置する間隙比として導入する。この考え方は、間隙比 e の算定に細粒分の体積を砂と同等には扱わず、砂の体積の何割かと同等とみなすもので、寄与率 b を用いて次式で表される。

$$e_{ge} = \frac{V_v + (1-b)V_{SF}}{V_s - (1-b)V_{SF}} \quad (1)$$

ここで、 $b=0$ のときは、細粒分のすべてを間隙とみなし、 $b=1$ のときは細粒分の体積は砂の体積と同等とみなされる。式(1)をわかりやすくするために図-5に土の三相モデルを紹介しておく。岩国粘土混合砂の $\sigma'_c=100\text{kPa}$ で圧密後の初期せん断弾性係数 G_0 と e_{ge} の関係をまとめたところ、図-6の示すように $b=0.66$ とした場合に G と e の関係は、 F_c の違いに依らず一義的対応関係を示す。その他のせん断ひずみレベルにおいても寄与率 b を求め、図-7に各混合砂の $(\gamma)_{SA}$ との関係を示した。岩国粘土では、 b は正の値を示し、粘土が混合砂の剛性にある程度寄与しているのに対し、有明粘土の寄与率 b は負となり、砂同士の摩擦を弱める働きをしたと考えられる。

4. まとめ

1) 岩国粘土混合砂の場合は、突き固めにより粘土が砂粒子を支える働きをし、砂の最大間隙比を大きく上回る骨格構造が形成され、また大きな寄与率が発揮される。2) 有明粘土混合砂の場合は、粘土の存在が G の低下を招き、むしろ砂粒子同士を滑らす働きをしたと考えられる。3) 砂が骨格を形成する領域では、細粒分の寄与率 b を導入した等価骨格間隙比を導入することで、砂・粘土混合土の G と e_{ge} の間にほぼ一義的関係を見出すことが可能となった。

(参考文献) 1)兵動正幸, 金郁基, 中田幸男, 吉本憲正: 砂・粘土混合土の非排水せん断強度特性の及ぼす細粒分の影響, 土木学会論文集 C, Vol.66, No.1, pp.215-225, 2010. 2)金子崇, 兵動正幸, 立場晴司, 山田卓, 中田幸男, 吉本憲正: 含水比の異なる砂・粘土混合土の初期せん断弾性係数, 土木学会論文集 C, Vol.68, No.1, pp.188-198, 2012.

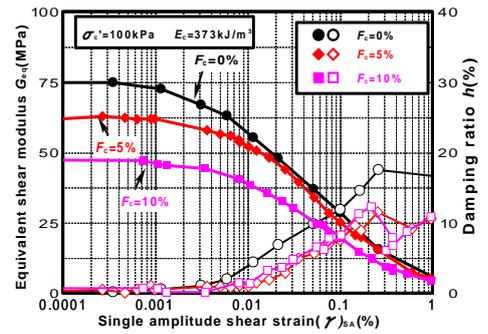


図-4 有明粘土混合砂 ($E_c=373\text{kJ/m}^3$) の

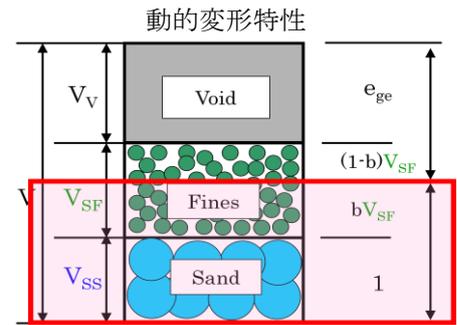


図-5 土の三相モデル

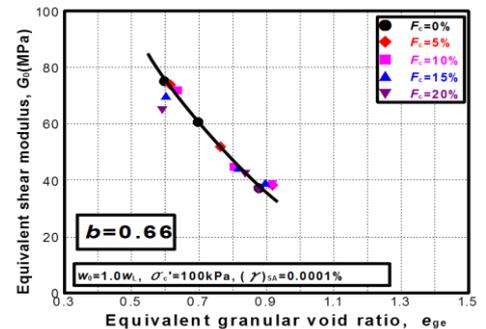


図-6 等価骨格間隙比と初期せん断弾性係数の関係(岩国粘土混合砂 $b=0.66$)

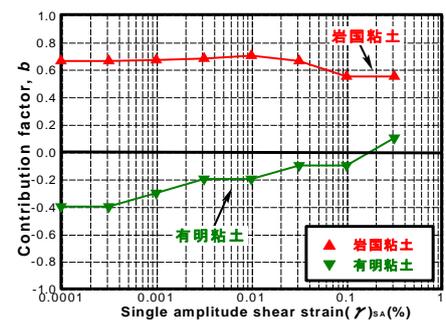


図-7 片振幅せん断ひずみと寄与率の関係