

砂の骨格構造に着目した粘土混じり砂の繰返しせん断特性

山口大学大学院 学生会員 ○石川智 金郁基  
 山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男  
 山口大学大学院 正会員 吉本憲正

**1. はじめに** 地盤を対象とした実務では、土を砂か粘土かに分類して取り扱うが、自然地盤の多くは幅広い粒度からなる土で構成されており、単純にいずれかに分類し難い。砂と粘土が複雑に混ざり合い、砂でも粘土でもない性質を示す土は「中間土」と呼ばれ、その性質は密度や細粒分含有率の影響を受けて多様に変化することから、力学特性の把握や液状化の判定に苦慮しているという現状にある。本研究では、活性を有する自然粘土を砂と混合し、砂分が構造の主体をなす状態から細粒分がマトリックスを構成する状態に至るまでの種々の細粒分含有率からなる供試体を作製し、砂骨格間隙比<sup>1)</sup>と細粒分含有率に着目して、非排水繰返しせん断試験を行なうことで、中間土の動的強度特性を明らかにすることを目的としている。

**2. 試料および試験方法** 本研究では山口県岩国市の岩国港で採取した岩国粘土と粒度調整した珪砂を種々の混合割合で混合し、砂質土から粘性土に至る広範囲な粒度構成を有する土を作製した。試料の物理的性質を表-1に示す。岩国粘土はあらかじめ2%の粗粒分を含んでいたため、例えば岩国粘土含有率30%の試料の細粒分含有率は29.4%となる。供試体は5等分した試料をモールド内で1層ずつ鉄製のランマーを用いて所定の回数で突固めることによって作製した。突固めエネルギー $E_c$ は次式で求めた。

$$E_c = \frac{W_R \cdot H \cdot N_L \cdot N_B}{V} \quad (1)$$

ここで $W_R$ はランマーの重量、 $H$ は落下高さ、 $N_L$ は層数、 $N_B$ は層ごとの突固め回数、 $V$ はモールドの容積である。 $H$ および $N_B$ を変化させることにより種々の密度の供試体を作製した。実験は空圧制御式繰返し三軸試験機を用い、有効拘束圧100kPa、載荷荷重周波数0.02Hzの条件下で、非排水繰返し三軸試験を行った。粘土混じり砂の力学特性は砂分の与える影響が大きいと考えられることから、本研究では土中の粗粒分の骨格構造に着目し、細粒土を間隙と見なした砂骨格間隙比の概念を用いた。図-1に供試体の圧密後の砂骨格間隙比と細粒分含有率の関係を示す。図より、全ての突固めエネルギーによる混合土において細粒分含有率の増加に伴い骨格間隙比が増加し珪砂の最大間隙比に近づく傾向が認められる。珪砂の最大間隙比を超える骨格間隙比を有する供試体は構造の主体が粘土のマトリックスに支配されていると考えられる。

**3. 試験結果と考察**

**3.1. 繰返しせん断特性** 図-2に繰返しせん断強度曲線を示す。(a)は突固めエネルギーを504kJ/m<sup>3</sup>および22kJ/m<sup>3</sup>に統一したものについて、(b)は骨格相対密度を0%( $e_s=0.85$ )に統一したものについて示してある。図より、突固めエネルギーを統一した場合は、突固めエネルギーが高い状態では細粒分含有率の増加に伴い繰返しせん断強度の減少が見られ、特に $F_c=14.7\%$ と $16.7\%$ については著しく減少している。一方、突固めエネルギーが低い状態において、繰返しせん断強度の差は細粒分含有率の違いによらずあまり生じないが、細粒分含有率の増加によってわずかながら上昇している。骨格相対密度を統一した場合は、細粒分含有率の増加

表-1 試料の物理的性質

岩国粘土含有率(%)	細粒分含有率(%)	粘土分含有率(%)	比重 $G_s$	塑性指数 $I_p$	$D_{50}$ (mm)	均等係数 $U_c$
30	29.4	11.6	2.639	28.65	0.254	132.40
20	19.6	7.8	2.644	14.62	0.440	136.20
17	16.7	6.6	2.645	NP	0.439	128.60
15	14.7	5.8	2.646	NP	0.439	99.77
10	9.8	3.9	2.648	NP	0.438	8.99
0	0	0	2.652	NP	0.861	4.04

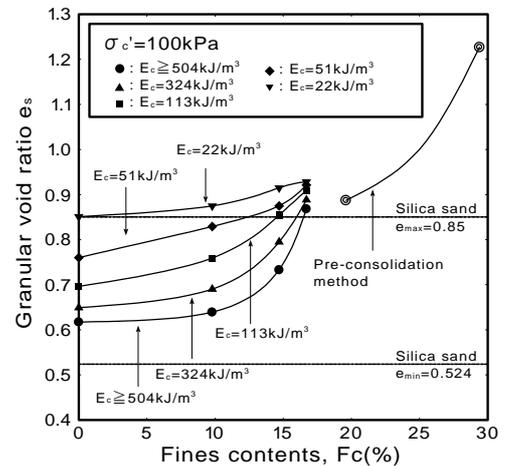


図-1 骨格間隙比と細粒分含有率の関係

キーワード 中間土、骨格間隙比、細粒分含有率、繰返しせん断強度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学 理工学研究科 地盤工学研究室 TEL(0836)85-9344

とともに繰返しせん断強度が増加する傾向が顕著に認められ、特に細粒分を含むものと含まないものの強度差が大きい。ここで、繰返し回数 20 回ときの繰返しせん断強度  $R_{L(N=20)}$  を繰返しせん断強度比とし、**図-3** に繰返しせん断強度比と細粒分含有率の関係を示す。**(a)**は突固めエネルギー統一、**(b)**は骨格相対密度統一について示した。突固めエネルギー統一では細粒分の増加とともに繰返しせん断強度が減少している。これは、細粒分の増加に伴い砂の骨格構造が失われていくためであると考えられる。一方、骨格相対密度統一では細粒分の増加に伴い繰返しせん断強度が増加している。これは、細粒分が増加することで砂骨格の空隙に細粒分が充填され、全体の密度が増したためであると考えられる。また、 $F_c=16.7\%$  で突固めエネルギーの大きさによらず一定に収束した繰返しせん断強度が  $F_c=19.6\%$  で急上昇する傾向を示しているが、これは、 $F_c=19.6\%$  以上では粘土分がマトリックスを形成して構造の主体をなし、砂の骨格構造ではなく圧密による強度増加を伴った粘土自体の強さが繰返しせん断強度を支配するようになったためと考えられる。

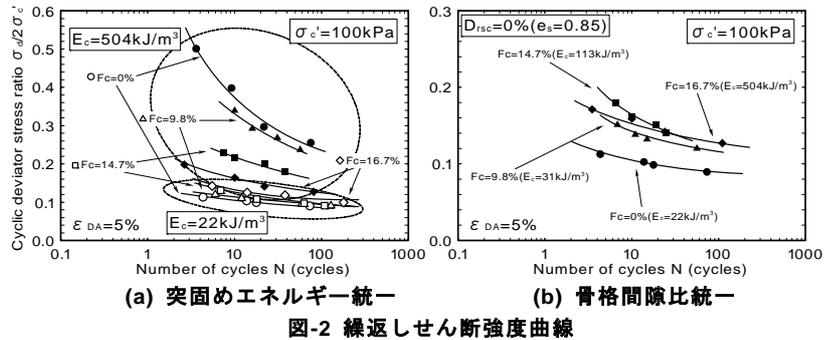


図-2 繰返しせん断強度曲線

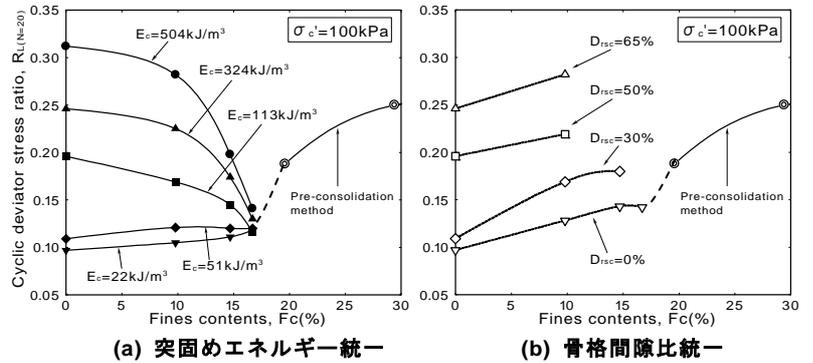


図-3 繰返しせん断強度比と細粒分含有率の関係

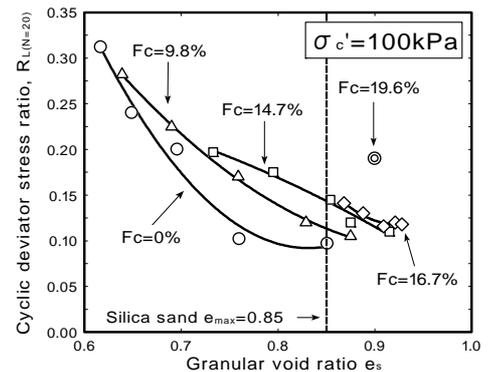


図-4 繰返しせん断強度比と骨格空隙比の関係

**3.2. 骨格構造と繰返しせん断強度の関係**

**図-4** に繰返しせん断強度比と骨格空隙比の関係を示す。図中破線で示した縦線は最大骨格空隙比  $e_s=0.85$  を表すものである。図より、繰返しせん断強度は骨格空隙比に強く依存し、その減少に伴い顕著な強度の増加が認められる。また、同一の骨格空隙比で比べると細粒分含有率の増加に伴い繰返しせん断強度が増加する傾向が認められる。当然のことながら、骨格空隙比の低下に伴い可能な細粒分含有率の範囲は狭まるが、骨格空隙比が 0.75 付近においては、細粒分含有率の増加に伴う強度増加が著しい。骨格空隙比が珪砂の最大空隙比を超えるものは構造の主体が細粒分のマトリックスに遷移しつつあることから、繰返しせん断強度の差がさほど見られない。図中、 $F_c=19.6\%$  として記したプロットは、予圧密法により作製した供試体の強度を示すものであるが、突固め法によって作製した供試体よりも高い強度を示している。これは、予圧密法による方が長期に圧密を行ったことにより、細粒土の構造がより発達したためであると考えられる。これらより、繰返しせん断強度は骨格空隙比に最も強く依存し、細粒分含有率の違いによる変化はそれに比べると少ないと考えられる。また、骨格空隙比が大きくなるにつれて細粒分含有率の増加に対する強度増加の割合が高くなっているが、骨格空隙比が珪砂の最大空隙比に近い状態では、砂骨格だけで荷重を支えることが困難となり、細粒分に対する荷重分担の割合が増加し、圧密による強度増加を受けた細粒土が全体の繰返しせん断強度に影響を及ぼしているためと考えられる。

**4. まとめ**

①細粒分含有率は粘土混じり砂の繰返しせん断強度に影響を及ぼし、細粒分含有率の増加に伴う繰返しせん断強度の変化は、突固めエネルギーを統一させて作製した供試体では減少し、骨格相対密度を統一させて作製した供試体では増加した。②粘土混じり砂の繰返しせん断強度は骨格空隙比に大きく依存する。

【参考文献】1) 松本・兵動・吉本：初期せん断を受ける中間土の繰返しせん断特性：第 34 回地盤工学研究発表会, D-7, pp637-638, 1999.