

粘土混じり砂の繰返しせん断特性に及ぼす細粒分含有率の影響

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
 山口大学工学部 正会員 吉本憲正

1. はじめに

地盤を対象とした実務においては、砂から粘土に至る多様な土を取り扱わなければならない。実地盤には砂とも粘土とも判断できない「中間土」と呼ばれる土が存在するが、一般には中間土を砂と粘土のいずれかに区分して対応する。液状化強度を考える際に過剰間隙水圧の発生や所定の変形が生じた点での評価が行われているが、細粒分を含む土においては、最終的に有効応力が0には至らないものの大きな変形が起こるものや、有効応力は消散するが大変形には至らないものなど、密度や細粒分の影響を受けてその挙動が様々に変化し、把握することが難しい。本研究は、細粒分含有率を連続的に変化させた供試体を作製して非排水繰返しせん断試験を行い、中間土の繰返しせん断特性を過剰間隙水圧と軸ひずみ発生の様式から評価したものである。

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の土を作製した。試料の物性を表-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%試料の細粒分含有率は29.4%となる。Fc=0%~16.7%の供試体は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で作製した。突固めエネルギー E_c を次式で求めた。

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

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様々な密度の供試体を作製した。また、Fc=19.6%および29.4%の供試体については予圧密法により、鉛直応力50kPaを載荷して作製した。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。そこで、本研究では土中の粗粒分のみを考慮し、細粒土を間隙と見なした砂骨格間隙比¹⁾の概念を用いた。図-1に突固めエネルギーを統一させて作製した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って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。

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

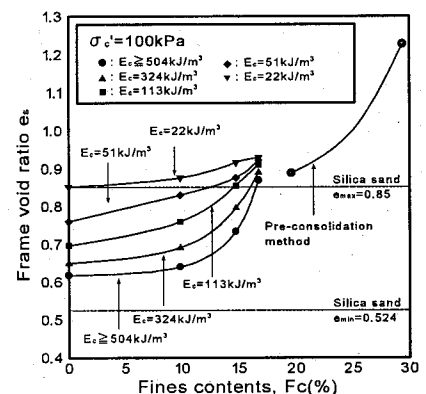
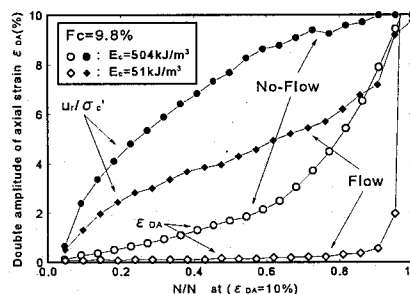
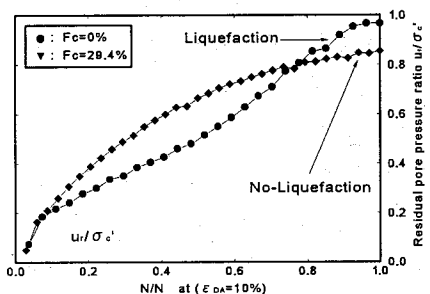


図-1 骨格間隙比と細粒分含有率の関係



(a)流動性の評価



(b)液状化の判定

図-2 軸ひずみおよび残留間隙水圧比と両振幅10%にて正規化した繰返し回数の関係

3. 試験結果と考察

本研究では、図-2 に示す軸ひずみおよび残留過剰間隙水圧比と繰返し回数を所定の破壊ひずみ $\epsilon_{DA}=10\%$ に至る繰返し回数で除した正規化繰返し回数との関係を用い、液状化の発生とそれに伴う流動性²⁾ について結果を考察した。軸ひずみ両振幅 10% を破壊ひずみとして採用したのは、粘性土側からの観点で統一した評価を行うためである。液状化の判定は、軸ひずみ両振幅 $\epsilon_{DA}=10\%$ のときに残留過剰間隙水圧比が 0.95 を超えているものを液状化したと見なした。また、流動性については、残留過剰間隙水圧比が 0.9~1.0 の間で軸ひずみが一気に 10% まで増加したものを流動的な性質を示しているとした。これらを砂骨格間隙比と細粒分含有率の関係で見たものが図-3 である。Fc=19.6% は構造の主体が細粒分によって支配され、過剰間隙水圧が卓越せずに軸ひずみが緩やかなペースで蓄積されることで破壊に至った。Fc=16.7% の骨格構造は Fc=19.6% に近く、完全に有効応力が消散することはなかったが、間隙水圧の上昇とともに軸ひずみが急激に発生するという液状化の挙動を示した。これらより、液状化の発生について細粒分含有率の影響が非常に強いことがわかった。流動性について見ると、流動的挙動を示すかどうかは細粒分含有率の影響よりも密度の影響が大きいことがわかる。また、液状化を起こすものがすべて大変形を生じるわけではなく、密度の高い領域においては有効応力が消散して液状化に至るものの流動性を示さず、サイクリックモビリティの現象が見られた。図中にサイクリックモビリティ領域として囲った部分の供試体の骨格相対密度は 70%~60% 程度と、中密および密詰めであった。次に、行った非排水繰返しせん断試験によって得られた繰返しせん断強度線より、繰返し回数が 20 回のときの繰返しせん断強度を求め、繰返しせん断強度比として定義した。図-4 に繰返しせん断強度比と細粒分含有率の関係を示す。Fc=16.7%~19.6% 間の不連続な点について繰返しせん断強度が大きく上昇しているのは、Fc=19.6% は予圧密法によって供試体を作製しており、長期に圧密を行ったことによって細粒土の構造がより発達したために強度増加を招いたと推測される。図-3 と図-4 を対応させると、骨格間隙比が一点に収束する Fc=16.7% において、繰返しせん断強度も一点に収束し、粘土混じり砂の繰返しせん断強度は骨格構造の影響を強く受けることが認められる。特に密度の高い領域においては、サイクリックモビリティの現象によって変形が生じにくくなったため、繰返しせん断強度が著しく高い。

4. まとめ

① Fc=16.7% 以下は有効応力が完全に消散しないが軸ひずみが急激に発生する液状化の挙動を示した。一方、密度が高いものについてはサイクリックモビリティの現象が見られ、液状化後も剛性が低下せずに大変形を生じなかった。② 液状化発生の有無は細粒分含有率の影響によるところが強く、流動性については骨格構造の影響を強く受ける。

【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
- 2) 吉田：液状化に伴う流動のメカニズム：地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変形に関するシンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp53-70, 1998

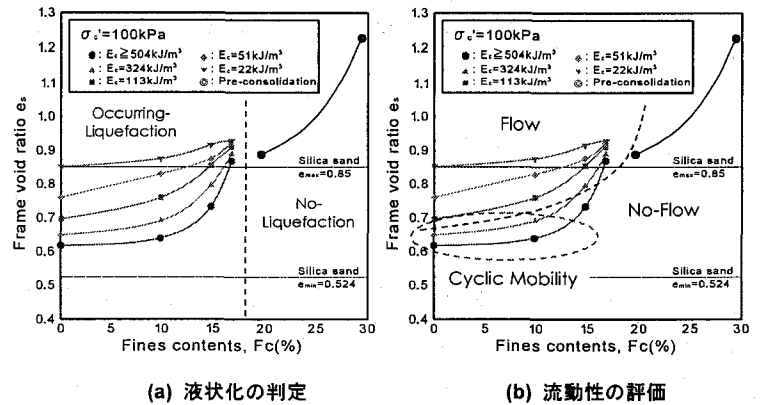


図-3 砂骨格間隙比と細流分含有率の関係

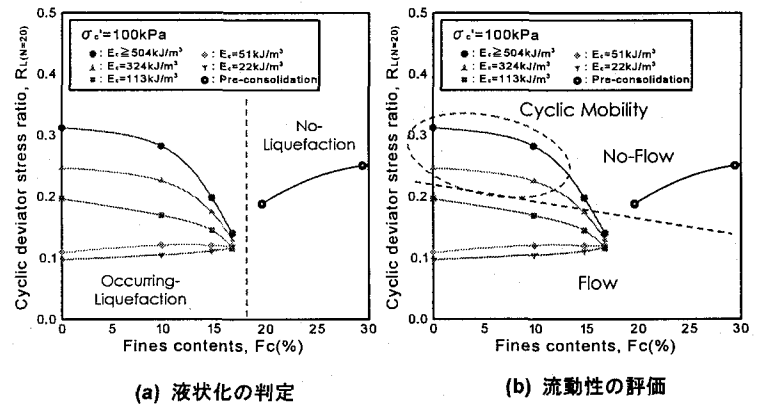


図-4 繰返しせん断強度比と細流分含有率の関係