

粘土混じり砂の非排水単調せん断挙動に及ぼす細粒分含有率の影響

山口大学大学院 学生員 ○Kim, Uk-Gie

山口大学工学部 正会員 兵動正幸、吉本憲正

山口大学大学院 学生員 石川智、古賀千佳嗣

1.はじめに 実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性質からなる土を取り扱わなければならないが、一般に簡易的な方法として対象地盤を砂または、粘土のいずれかに区分して対応がなされている現状にある。これまでの細粒分を含む砂に対する研究においては、供試体作製方法がまちまちであり、細粒分の活性の有無に起因によって統一的解釈が困難な状況¹⁾にあった。本研究では、活性を有する自然粘土と砂を混合し、砂が構造を有する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細粒分含有率の変化の中で砂の骨格間隙比に着目して粘土混じり砂の非排水単調せん断特性を調べた。

2. 用いた試料及び供試体の作製方法

2.1. 試料の物理的性質 実験には、山口県岩国港で採取した海成粘土と珪砂を様々な割合で混合し、砂質土から粘性土に至る広い範囲の土を作製・用いた。まず、三河珪砂V5号、R5.5号、V6号、V3号を乾燥重量比でそれぞれ、1:2:2:5の割合で混合し粒度調整を行った。粒度調整した珪砂は最大間隙比 $e_{max}=0.850$ 、最小間隙比 $e_{min}=0.524$ であった。

このように粒度調整した珪砂と岩国粘土を乾燥重量比が100:0、90:10、85:15、83:17、80:20、70:30、50:50、0:100の8通りとなるように混合した。表-1に実験に用いた試料の物理的性質を示す。表-1より、細粒分含有率 F_c が16.7%以下ではNPとなり、塑性限界の決定ができなかった。

2.2. 供試体作製方法と試験条件 供試体の粘土含有率20%以上の試料については、予圧密セルに試料を投入し、鉛直圧50kPaを載荷して圧密した後、直径5cm、高さ10cmの供試体寸法に成形した。一方、粘土含有率17%以下の試料は、締固め供試体の初期含水比を $w=11\%$ でモールドに5層に分けて投入し、一層ずつランマーを用いて所定のエネルギーで締固めることによって作製した²⁾。粗粒土の骨格構造が強度特性に大きく影響しているとする、細粒分の質量比よりも粗粒分の密度に着目した方が適切であると考えられる。そこで、式-1とように細粒土を間隙とみなした砂骨格間隙比の概念を用いることにより、粗粒子のみで形成される骨格の状態を把握することを試みた。

$$e_s = \frac{V_w + V_{sc}}{V_{ss}} \quad (1)$$

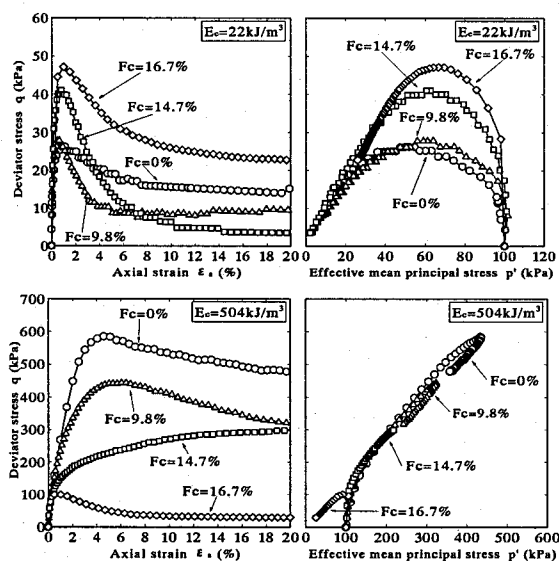
締固めエネルギーを変化させたところ、 $F_c=0\sim16.7\%$ においては様々な骨格間隙比の供試体を作製することができた。一方、 $F_c=19.6\%$ 以上においては所定の予圧密応力に応じて一義的な骨格間隙比を得られた。

3. 試験結果と考察

3.1 試験結果 図-2において締固めエネルギーの低い $E_c=22\text{kJ/m}^3$ では、細粒分含有率の増加に伴い最大軸差応力が増大しているが、いずれもせん断中終始収縮挙動を示し有効応力がほぼ0となり静的液状化を起こしてい

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	I_p	D_{50} (mm)	U_c
100	98.0	38.8	2.610	47.54	0.007	—
50	49.0	19.4	2.631	31.41	0.140	—
30	29.4	11.6	2.644	28.65	0.415	165.85
20	19.6	7.8	2.644	14.62	0.55	125.71
17	16.7	6.6	2.645	NP	0.61	105.68
15	14.7	5.8	2.646	NP	0.64	83.64
10	9.8	3.9	2.648	NP	0.71	11.25
0	0.0	0.0	2.652	NP	0.88	3.79

図-2 $E_c=22, 504\text{kJ/m}^3$ における軸差応力-軸ひずみと有効応力経路

ることがわかる。また、エネルギーの高い $E_c=504\text{kJ/m}^3$ では $F_c=0, 9.8\%$ においては軸差応力にピークが現れた後、ひずみ軟化挙動を示しているが $F_c=14.7\%$ においては軸差応力が軸ひずみの発達と共に常に増加するひずみ硬化挙動を示す。砂骨格相対密度 $D_{rsc}=0\%(e_s=0.85)$ に統一したものを図-3 に示す。図よりいずれもせん断中終始収縮挙動を示し、 $E_c=22\text{kJ/m}^3$ と同様の傾向があるし、細粒分の増加に伴い強度の上昇もみられる。

図-4 に最大軸差応力を有効拘束圧で正規化した最大軸差応力比と細粒分含有率の関係を示す。まず、予圧密供試体では $F_c=29.4\%$ 以上になると最大軸差応力はほぼ等しい値を示していることから細粒土が主体のマトリックスとする構造であるために砂の影響をほとんど受けていないことが分かる。次に $F_c=0\sim 19.6\%$ 間をみると、骨格相対密度を統一させた場合、いずれも細粒分含有率が増加するに連れ、最大軸差応力も増加している。また、締固めエネルギーを統一させた場合ではエネルギーの高い状態では、細粒分含有率の増加に伴い最大軸差応力は減少し、エネルギーの低い緩詰め状態では最大軸差応力は増加している。これは粗粒分が成す骨格構造が一定で細粒分のみが増加すると、その間隙に細粒分が充満していくことにより密度自体が増加し強度が増加したと考えられる。また、突固めエネルギーを統一して供試体を作製すると、細粒分が増加することにより砂の骨格構造が失われ、強度の減少に至ったと考えられる。

3.2 骨格構造とせん断強度の関係 これまでの非排水単調せん断強度から、細粒分含有率と粗粒分の骨格構造に起因した強度の相違がみられると考えられる。図-5 に非排水単調せん断強度と骨格間隙比の関係を示す。図から分かるように骨格間隙比が小さくなるに従って強度の増加がみられる。また、同じ骨格間隙比でみると細粒分含有率の増加に伴い強度の増加がみられる。特に $e_s=0.75$ 付近では大きな強度変化があることがわかる。また、最大間隙比 $e_{max}=0.85$ を超えると粘土分のマトリックスに形成され、強度の差が顕著に現れないことがわかる。これらから骨格間隙比の低い場合、即ち密度の高い領域においては細粒分の増加によって粗粒土の骨格の強度よりも密度自体に起因し、強度における差がみられないことがわかる。また、密度が低くなるにつれ細粒分含有率の影響を受け、強度があがることわかる。そして最大間隙比以上になってくると粗粒土が粘土中に浮遊しマトリックスを形成され、粘土自体の強度となることがわかる。

4. 結論 1. 突固め法により様々な供試体を作製し、 $F_c=0\sim 19.6\%$ 間で密度の上限を決定付けることができ、 $F_c=19.6\%$ 以上になると細粒土が主体のマトリックスとする構造であることが分かる。2. 粘土混じり砂の単調せん断強度は、粗粒子の骨格間隙比に大きく依存し、細粒土は密度増加による強度増大と骨格形成を一定化させる効果があると考えられる。

《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) 足立ら:非塑性シルトの静的・繰返し非排水三軸圧縮試験挙動に及ぼす供試体作製方法の影響,土と基礎 Vol. 48, No. 11, pp24-27, 2000.

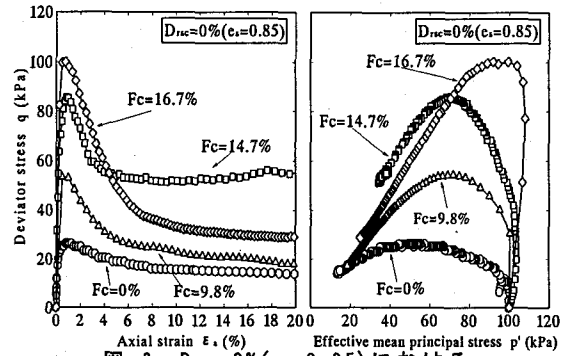


図-3 $D_{rsc}=0\%(e_s=0.85)$ における軸差応力-軸ひずみと有効応力経路の関係

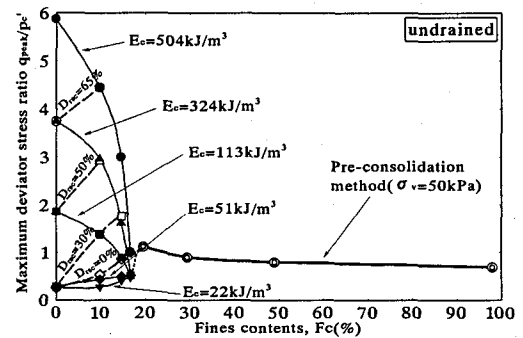


図-4 最大軸差応力比と細粒分含有率の関係

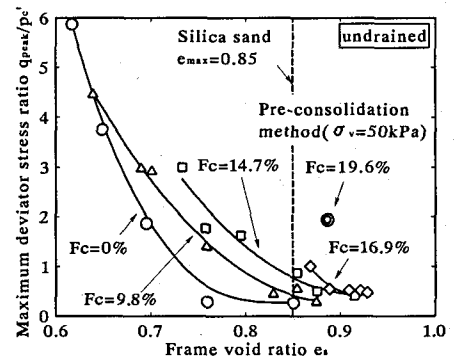


図-5 単調せん断強度と骨格間隙比の関係