

初期せん断を受ける粘土混じり砂のせん断特性

山口大学大学院 学生会員 ○ Kim, Uk-Gie

山口大学大学院 正会員 兵動正幸、吉本憲正

山口大学大学院 学生会員 石川智、古賀千佳嗣

1. はじめに 最近の自然災害である、河川堤防や道路盛土の崩壊など被害は、地震時の慣性力の作用と過剰間隙水圧の上昇による強度低下によるものと考えられるが、基礎地盤内における、初期せん断応力の存在が被害を特徴付けていると考えられる。被災現場の土質調査においては、保水性が高い風化したシルト質土や粘性土を含む砂混じり粘土など多様な土に遭遇することが多いし、斜面内に初期せん断応力と地震による繰返しせん断応力が組合わされせん断破壊¹⁾に至ったものと考えられる。また、初期せん断応力が作用する地盤では、異なる挙動を示すことがわかっている。しかしながら、粘土混じり砂においての研究はあまり行われていない現状にある。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粘土混じり砂に対して初期せん断応力下における非排水単調せん断試験を行い、せん断挙動と強度特性を調べた。

2. 用いた試料の物性値および供試体の作製方法

2.1. 試料の物理的性質 実験に用いた試料は、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て最大間隙比 $e_{\max}=0.850$ 、最小間隙比 $e_{\min}=0.524$ であった。一方、山口県岩国港で採取した海成粘土を珪砂と乾燥重量比が 100 : 0、90 : 10、85 : 15、80 : 20 の 4 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。岩国粘土は自然状態で細粒分を 98.0%、粘土分を 38.8% 含み、塑性指数 $I_p=47.5$ で中塑性の粘土であった。表-1 より、細粒分含有率 F_c が 14.7% 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 粘土含有率 20% の試料については、液性限界の約 2 倍の含水比で攪拌後、予圧密セルに投入して鉛直圧 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 15% 以下の試料は、締固め供試体の初期含水比 $w=11\%$ でよくかき混ぜた後、モールドに 5 層に分けて投入し、一層ずつ鉄製の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。これらの締固めエネルギー E_c は W_R をランマー重量(=0.00116kN)、 H を落下高さ(m)、 N_L を層数(=5)、 N_B を 1 層ごとの締固め回数として、式-1 によって求めた。また、突固め回数と落下高さを変化させ締固めエネルギーの調整を行った。 $E_c=51, 504\text{kJ/m}^3$ の条件で細粒分含有率を変化させたところ、この範囲内においてのみ供試体を作製することができた²⁾。 $E_c=504\text{kJ/m}^3$ は、本研究で行った供試体作成方法では最小の間隙比を与えた。

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

2.3. 試験方法 本研究ではこれらの試料に対して、等方圧密及び初期せん断応力比が $\sigma_s/2\sigma_c'=0.2, 0.4$ になるように非排水条件で単調三軸圧縮試験を行った。試験条件はひずみ速度 0.1%/min、有効拘束圧は 100kPa で試験を行った。

3. 試験結果および考察

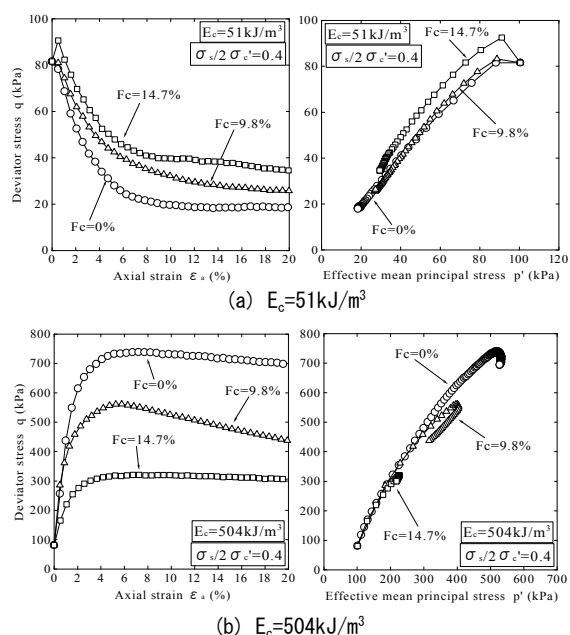
3.1. 細粒分含有率の影響 初期せん断応力条件について応力比 $\sigma_s/2\sigma_c'=0.4$ の場合の結果として、締固めエネルギー

キーワード 粘土混じり砂, 細粒分含有率, 初期せん断応力

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL: 0836-85-9344 URL: <http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp>

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
20	19.6	7.8	2.644	14.62	0.55	125.71
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	2.652	NP	0.88	3.79

図-1 エネルギー統一における $\sigma_s/2\sigma_c'=0.4$ 時の軸差応力-軸ひずみと有効応力経路の関係

一 $E_c=51, 504\text{kJ/m}^3$ に統一させたものを軸差応力-軸ひずみ関係及び有効応力経路を図-1に示す。(a)エネルギーの低い $E_c=51\text{kJ/m}^3$ 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となり静的液状化起こしていることがわかる。また、(b)エネルギーの高い $E_c=504\text{kJ/m}^3$ では細粒分の増加に伴い強度の上昇がみられると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。

3.2 初期せん断応力比に対する特性 初期せん断応力比 $\sigma_v/2\sigma'_c=0.0, 0.2, 0.4$ についてエネルギー $E_c=51, 504\text{kJ/m}^3$ における $F_c=9.8\%$ の時の軸差応力と軸ひずみ及び有効応力経路を図-2に示す。(a)エネルギーの低い状態には、応力比の増加に伴う最大軸差応力の増加がみられ、初期せん断応力比が大きくなるほど、せん断直後に破壊線に至る。また、収縮一方で有効応力が0付近までに達し静的液状化が起こっている。(b)では、初期せん断応力比の増加に伴う最大軸差応力の増加はみられるが、どれも同様の挙動を示している。

$F_c=19.6\%$ の予圧密の供試体については、図-3とように初期せん断の影響を受けており常に硬化挙動を示す。有効応力経路は、せん断初期に収縮挙動を示しその後膨張挙動に転じ、その後ダイレイタンシーにより強度が大きくなっている。これらは初期せん断応力の増加に伴い収縮傾向が小さくなっていることがわかる。

図-4に最大軸差応力比と細粒分含有率の関係を示す。図より、初期せん断を受けるといずれも強度の増加が見られ、特に、細粒分含有率の低い場合で大きく影響している。細粒分含有率が増加すると締固めエネルギーの低い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、その間に細粒分が充填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、エネルギーの高い状態では、細粒分含有率の増加に従い最大軸差応力は減少し、 $F_c=17\%$ 付近にまでになると初期せん断の影響がなくなり、さらに $F_c=19.6\%$ になると、強度が増していることがわかる。このように、細粒分の増加によって、砂骨格の形成が妨げられ、ダイレイタンシーによる強度増加が低減する。さらに、細粒分含有率が増加すると、細粒土がマトリックスを形成するために、砂の影響をほとんど受けなくなることが分かる。

4. まとめ 1. 初期せん断応力をうけると、いずれの場合も強度の増加がみられた。特に、細粒分含有率の低い場合で大きく影響し、細粒分が増加すると強度の差が減少することが分かる。
2. 粘土混じり砂の単調せん断強度は、粗粒子の骨格に大きく依存する。また、細粒分の増加によって砂骨格の形成が妨げられ、ダイレイタンシーによる強度増加が低減する。さらなる、細粒分含有率の増加は、細粒分の粘土自体の強度及び初期せん断による新たな構造の形成を一定化にする効果があると考えられる。

<参考文献> 1)Hyodo, M., Yamamoto, Y. and Sugiyama, M.: Undrained cyclic shear behaviour of normally consolidated clay subjected to initial static shear stress, Soils and Foundations, Vol.34, No.4, pp.1-11, 1994. 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.

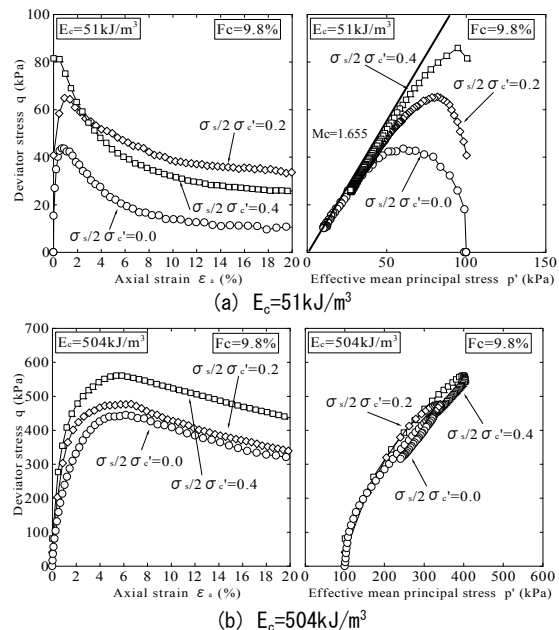


図-2 初期せん断応力下における $F_c=9.8\%$ 時の軸差応力-軸ひずみと有効応力経路の関係

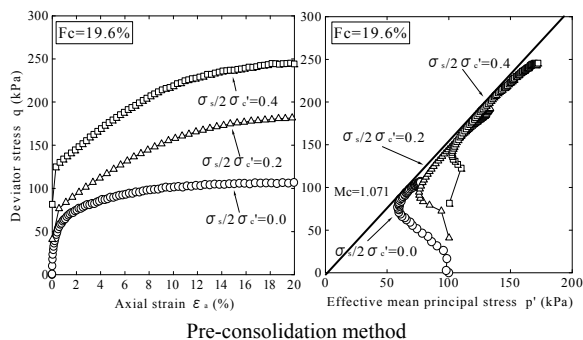


図-3 初期せん断応力下における予圧密試料の軸差応力-軸ひずみと有効応力経路の関係

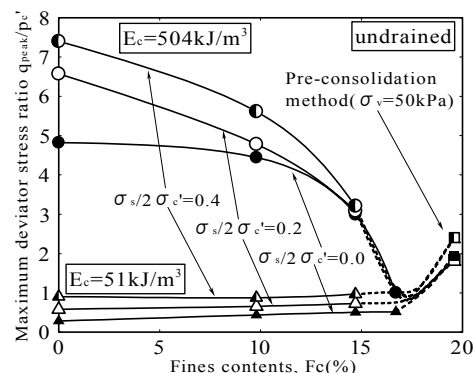


図-4 初期せん断応力下における最大軸差応力比と細粒分含有率の関係