

砂・粘土混合土の繰返しせん断強度

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 ○福本圭佑 金鍾根

1. はじめに

実地盤中には工学的分類法において砂か粘土に分類される土であっても、設計上明確に区別することが困難な土があり、このような土は一般に中間土と呼ばれている。砂と粘土では耐震設計において取り扱いが全く異なるため中間土の取り扱いには苦慮している現状にある。そこで、本研究では砂から粘土へと細粒分含有率を連続的に変化した試料を作製して、非排水繰返し三軸試験を行い、砂から粘土に至る広い範囲の繰返しせん断強度を調べた。

2. 試料および試験方法

本研究で用いた試料は、粒度調整した珪砂と岩国粘土を種々の乾燥重量比で混合したものである。試料の物性値を表-1に示す。F.C.=0%は砂のみの試料であり、相対密度 $Dr=50\%$ となるよう水中落下法により作製した。F.C.=10%は試料の均一性を考慮して、三軸セルのモールド内で鉛直圧 50kPa を載荷して予圧密法で作製した。F.C.=20%～100%の試料は直径 20cm、高さ 30cm の予圧密セルで、鉛直圧 50kPa を載荷して作製した。これらの試料を対象に側圧 $\sigma_{3c}=100\text{kPa}$ の下、初期せん断応力比 $\sigma_1/2\sigma_{3c}=0, 0.4, 0.6$ の等方及び異方圧密下で一連の非排水繰返し三軸試験を行った。

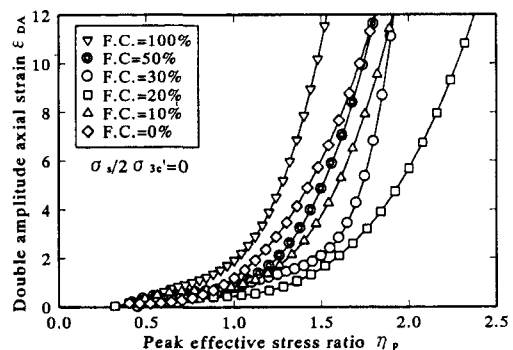
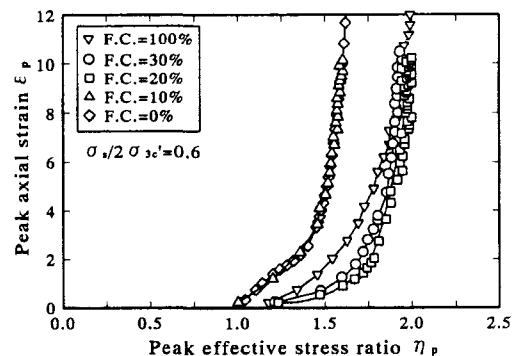
3. 非排水繰返しせん断特性

それぞれの細粒分含有率からなる試料に対し、等方および異方圧密下で行った非排水繰返し三軸試験結果から、各繰返しサイクルにおけるピーク時の有効応力比 $\eta_p (=q/(p_c - u_r))$: ここでは q は繰返しせん断応力振幅、 p_c は圧密終了時の平均有効主応力、 u_r は残留過剰間隙水圧) と軸ひずみ両振幅 ε_{DA} または、ピーク軸ひずみ ε_p の関係を求めた。図1(a)が初期せん断応力比 $\sigma_1/2\sigma_{3c}=0$ の等方圧密による結果、図(b)が初期せん断応力比 $\sigma_1/2\sigma_{3c}=0.6$ における有効応力比～軸ひずみ関係を示す。過去の著者らの研究¹⁾で、これらの関係は、同一の試料に対しては、初期せん断応力や繰返しせん断応力に関係なく一義的な関係で表されることが報告されている。図は、細粒分含有率ごとに両者の関係をそれぞれの回帰曲線で示したものである。図(a)においては軸ひずみ振幅は $\varepsilon_{DA}=2\%$ 付近から急増し始め、 $\varepsilon_{DA}=5\%$ 付近から軸ひずみ振幅および有効応力比共に漸増している様子が観察される。また、中間土域である F.C.=20%、と 30% では、最終的に η_p が他の試料に比べてより大きな値まで発達している様子が認められる。図(b)は、ピーク軸ひずみと有効応力比の関係を示しているが、ピーク軸ひずみは $\varepsilon_p=2\%$ 付近から急増し始め、 $\varepsilon_p=5\%$ 付近から有効応力比一定のまま増加する傾向にある。両者の関係は、F.C.=0、10%と、F.C.=20%—100%の試料で2つのグループに分かれる様子が観察される。これら(a)、(b)の結果より F.C.=20%を境に細粒分含有率による挙動の変化が確認できる。本研究では、軸ひずみ両振幅 $\varepsilon_{DA}=5\%$ およびピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=5\%$ を破壊とみなして、これを基準に以下整理を行った。

図2(a)、(b)に、軸ひずみ両振幅 $\varepsilon_{DA}=5\%$ およびピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比と繰返し回数²⁾の関係をそれぞれ示す。図(a)では F.C.=10%の試料は F.C.=0%の砂とほぼ同様な強度を示し、F.C.=30%以上の土は

表-1 試料の物性値

岩国粘土 含有率(%)	細粒分 含有率(%)	粘土分 含有率(%)	Gs	W _L (%)	W _p (%)	I _p (%)
100	98	38.75	2.61	77.34	29.89	47.45
50	49	19.37	2.63	58.24	26.83	31.41
30	29	11.63	2.64	47.31	18.67	28.64
20	20	7.75	2.64	35.33	20.71	14.62
10	10	3.88	2.65	—	—	NP
0	0	0	2.65	—	—	NP

(a) $\sigma_1/2\sigma_{3c}=0$ (b) $\sigma_1/2\sigma_{3c}=0.6$ 図-1 有効応力比 η_p と軸ひずみの関係

F.C.=100%の粘土と同様の強度を示すことが認められる。また、F.C.=20%の強度はその中間域を示している。砂は繰返しせん断に対して過剰間隙水圧の発達が容易であるのに対し、粘土は過剰間隙水圧が最終的に初期有効拘束圧まで上昇せず、各繰返しせん断での過剰間隙水圧の上昇が緩慢であることが砂と粘土の繰返しせん断強度の差となって現れたと考えられる。図(b)ではF.C.=0%から10%に至って強度は減少するが、F.C.=20%において強度が増大し、F.C.=30%では逆に減少し、F.C.=100%ではさらに減少する傾向が見られる。

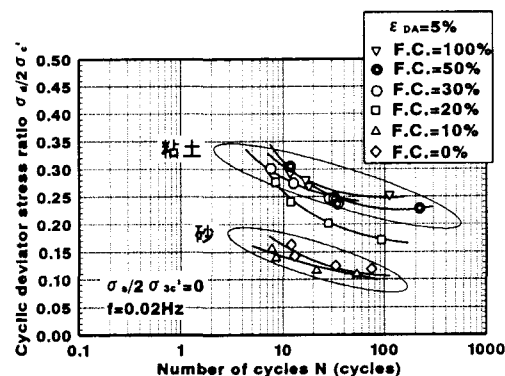
図3に繰返し回数20回で軸ひずみ $\varepsilon=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ とF.C.およびIPの関係を示す。初期せん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_{3c}'=0.4$ と0.6の結果では繰返しせん断強度は同様の变化傾向を示しており、F.C.=30%程度で初期せん断応力下の強度が初期せん断応力のない場合の強度を下回る。これまでの報告^{2),3)}の中で初期せん断を与えることで砂質土では繰返しせん断強度が増加し、粘性土は減少することを示したが、ここでも砂から粘土への繰返しせん断強度特性の同様の变化が確認できる。また、等方圧密下では粘性土の強度は塑性指数IPの増加とともに増加することが観察できる。ここで、初期せん断を与えるとF.C.=20%の強度が増加するのは、砂間隙内に粘土が充填し、砂の強度に加え粘土の強度も働いたからと考えられる。F.C.=10%の強度が最小であるのは、砂間隙内の粘土の含水比が高くスラリー状であるため、粘土自体の強度は持たないが、砂の摩擦抵抗を弱める働きをしたためと推察される。図4に繰返し回数20回で軸ひずみ $\varepsilon=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ と初期せん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_{3c}'$ の関係を示す。初期せん断応力の増加に対し、F.C.=0%~20%については強度は増加傾向にあり、F.C.=30%、100%では減少傾向にある。初期せん断応力作用下では伸張側に応力反転のない繰返しせん断で破壊に至っていることが確認できる。

4.まとめ

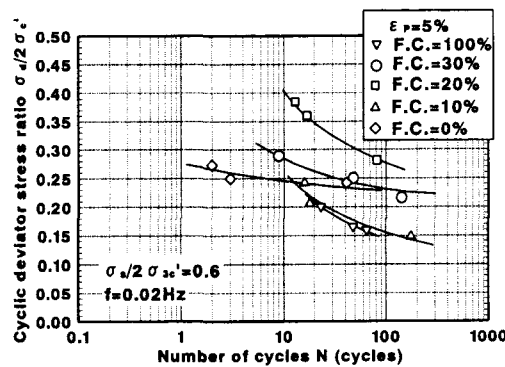
- ①ピーク有効応力と軸ひずみの関係における等方圧密下および初期せん断応力下においてF.C.=20%で細粒分の影響が現れる。
- ②初期せん断応力作用下ではF.C.=0%から10%に至って強度は減少するが、F.C.=20%において強度が増大し、F.C.=30%からは減少している。F.C.=20%の繰返しせん断強度が最大となるのは、砂と粘土の両方の性質を反映したためと考えられる。
- ③F.C.=30%程度で初期せん断応力作用下の強度が等方圧密下の強度を下回ることから、砂質土の強度特性から粘性土の強度特性への推移が確認できる。

<参考文献>

- 1)藤井・兵動・村田：初期せん断を受ける飽和砂の繰返しせん断変形の評価：第24回土質工学研究発表会，pp.801-804，1989.2)松山・兵動・中田：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，pp.637-638，1999.3)伊東，兵動ら：砂・粘土・中間土の非排水単調及び繰返しせん断特性：土木学会論文集，No.680/Ⅲ-55，pp.233-243，2001.



(a) $\sigma_d/2\sigma_{3c}'=0$



(b) $\sigma_d/2\sigma_{3c}'=0.6$

図2 軸ひずみ $\varepsilon=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ と繰返し回数の関係

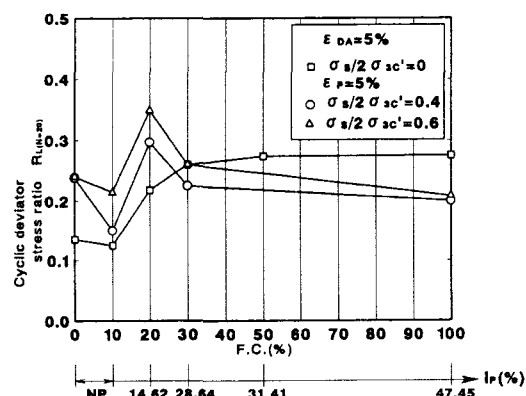


図3 軸ひずみ $\varepsilon=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ とF.C.および I_p の関係

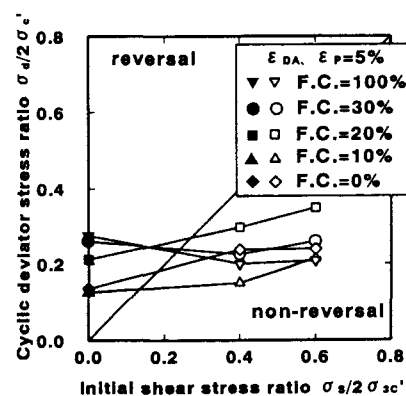


図4 繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ と初期せん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_{3c}'$ の関係