

(Ⅲ - 60) 初期せん断を受ける粘土の繰返しせん断特性

東海大学工学部 正会員 ○杉山 太宏
 山口大学工学部 正会員 兵動 正幸
 三井建設(株)技術研究所 正会員 山本 陽一
 (株)大本組 正会員 河田 頼治

1. まえがき

地盤の耐震設計について考える場合には、そのほとんどが飽和砂の液状化現象に集中してきた。地震などの繰返し外力に対しては、粘土の方がその粘着力から、砂質土に比べ抵抗力が大きいと考えられている。しかしながら、過去の地震災害において粘土地盤上の河川堤防や道路盛土などの崩壊が数多く報告されており、このような被害事例から、地震時において粘土は本当に砂質土よりも安全なのか？という疑問が生じる。また、粘土地盤の被害は、構造物や盛土基礎地盤のような予めせん断応力が作用している場合に集中しているようである。そこで本研究では、初期せん断応力を変化させた粘土に対して繰返し三軸圧縮試験を行い^{1), 2)}、初期せん断応力を受ける粘土と、豊浦砂³⁾の繰返しせん断特性について比較を行った。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、広島市五日市港で採取した五日市粘土 ($G_s=2.532$, $w_L=124.2\%$, $I_p=72.8$) で、室内において 50kPa で予圧密された再構成試料である。異方圧密後の平均有効主応力 p_c が 200kPa になるよう 24 時間等方圧密した後、初期せん断応力を与えるために、排水状態で軸差応力 q_s を軸圧のみにより載荷する方法で異方圧密した。なお、軸差応力 q_s は 0 から 240kPa まで 60kPa 刻みの 5 種類を加えた。繰返しせん断試験は、非排水状態で周波数 $f = 0.02\text{Hz}$ の正弦波軸荷重を側圧一定、荷重振幅一定のもとで圧縮側から載荷することにより行い、応力反転の有無による影響について調べた。

3. 実験結果

初期軸差応力比 q_s/p_c が 0.3 と 1.2 における軸差応力 q とピーク軸ひずみ ε_p の関係を示したものが図-1 である。また、図-2 には比較のため同じく初期せん断応力を受ける豊浦砂 ($D_r=70\%$)³⁾ の応力ひずみ関係を示した。粘土では、応力反転の有無に拘らず供試体の劣化が圧縮側に連続的に進行していき、繰返し回数の増加とともにひずみ増分は大きくなり、供試体は破壊に至ることが分かる。また q_s/p_c が 1.2 と高い場合には $\varepsilon_p=10\%$ 付近で流動的な変形を示している。一方、豊浦砂では、初期せん断応力比が 0.1 と小さく応力反転のある (a) では、等方圧密において液状化したときに観察されるような、両振幅ひずみの発達により供試体は破壊に至っている。これに対し応力反転のない (b) では、繰返し 1 波目において比較的大きなひずみが発生するものの、粘土とは逆に繰返し回数の増加とともに安定する

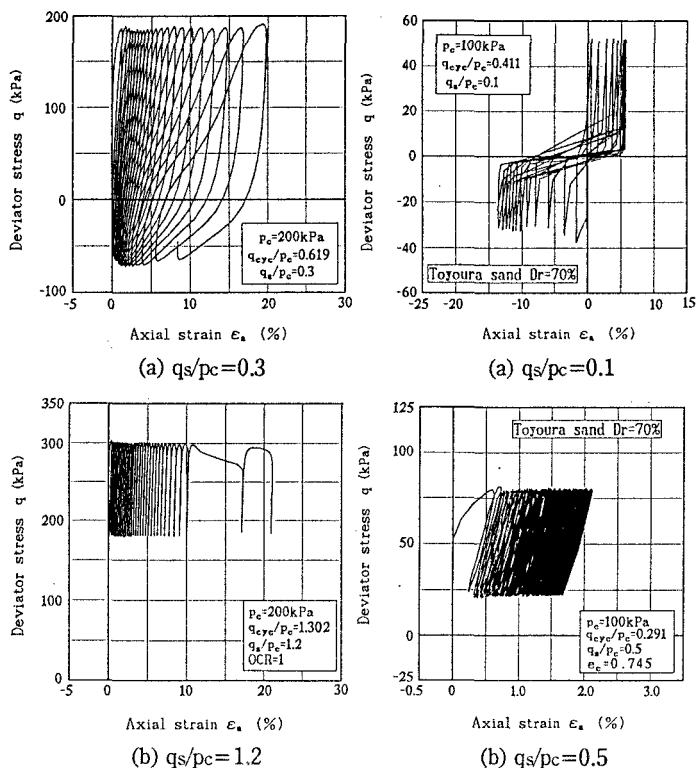


図-1 粘土の応力ひずみ関係

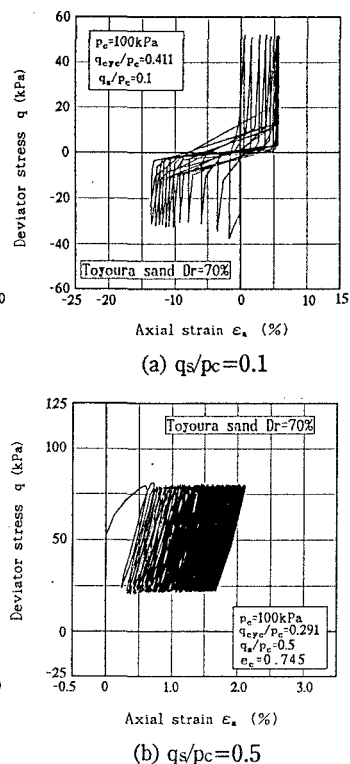


図-2 砂の応力ひずみ関係

方向に向かい決して破壊には至らない。図-3 (a)、(b)は、 q_s/p_c が 0.3 と 0.6 における粘土と豊浦砂 ($D_r=50\%$ 、 70%) のピーク軸ひずみ ε_p と繰返し回数 N の関係を示している。いずれも繰返し軸差応力比 q_{cyc}/p_c が 0.5 付近でほぼ同じ応力条件の結果である。 $q_s/p_c=0.3$ で応力反転を伴う (a) では、同じピーク軸ひずみを生じるのに粘土の方がより多くの繰返し回数を必要とすることがわかる。しかし、応力反転の無い (b) では、逆に粘土の軸ひずみの上昇が早くなり順序が逆転している。以上の比較から、応力反転のない繰返しせん断応力を受ける場合には、粘土は砂よりも変形量が大きく不安定な状態となることが推察される。

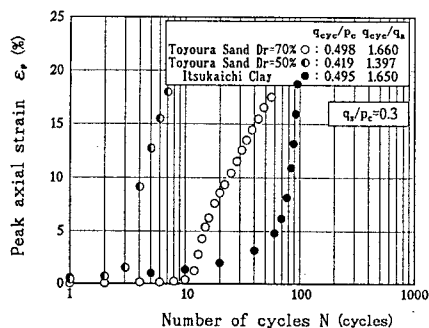
初期せん断応力を受ける粘土の繰返しせん断破壊を、ピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=10\%$ に至った時点と定義し、破壊に至るに必要な繰返し軸差応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係を図-4 に示した。図中初期せん断応力を受ける粘土の結果を白抜きのプロット及び実線で、また、等方圧密での粘土と豊浦砂の結果 (軸ひずみ両振幅 $DA=10\%$) を黒塗りプロット及び破線でそれぞれ表した。図から等方圧密では粘土の繰返し強度が砂よりも約2倍程度大きくなること、初期せん断応力の増加に伴い粘土の強度線は下方に位置し強度が低下することがわかる。図-5 には $N=20$ における繰返しせん断強度と初期軸差応力比の関係を粘土及び豊浦砂 ($D_r=50\%$ 、 70%) について示した。粘土については別途行った過圧密比 $2^{2)}$ の結果についても示している。等方圧密下ならびに初期軸差応力比の低いところでは、粘土は砂に比べ高い強度を示しているが、初期軸差応力比が大きくなるに従い粘土の強度は低下し、逆に砂は増加していく両者の強度が逆転していることがわかる。これは、砂においては初期せん断により変相線に近づきその後の載荷が強度を増加させるのに対し、粘土では critical state に近づくため強度を弱めることに起因しているものと思われる。また、この結果は初期せん断を受ける地盤では砂よりも粘土の方が注意を要することを示唆したものと考えられる。

4. 結論

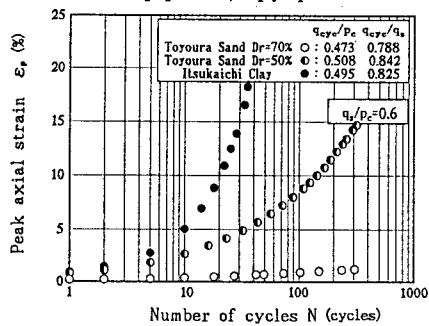
本研究により得られた結果から、砂では初期せん断応力の作用しない水平地盤で破壊を生じ易いのに対し、粘土は構造物近傍の初期せん断応力の作用する付近において破壊を生じ易くなることが推察される。

参考文献

- 1) Hyodo, M., Yamamoto, Y. and Sugiyama, M. (1994): Undrained cyclic shear behaviour of normally consolidated clay subjected to initial static shear stress, *Soils and foundations*, Vol.34, No.4.
- 2) 兵動正幸, 河田頼治, 杉山太宏, 山本陽一 (1994): 初期せん断を受ける過圧密粘土の繰返しせん断強度, 第29回土質工学研究発表会, pp.865-866.
- 3) Hyodo, M., Murata, H., Yasuhuku, N. and Fujii, T. (1991): Undrained Cyclic Shear Strength and Residual Shear Strain of Saturated Sand by Cyclic Triaxial Tests, *Soils and Foundations*, Vol.31, No.3, pp.60-76.



(a) $q_s/p_c=0.3, q_{cyc}/p_c=0.5$



(b) $q_s/p_c=0.6, q_{cyc}/p_c=0.5$

図-3 粘土と豊浦砂のピーク軸ひずみ ε_p と繰返し回数 N の関係

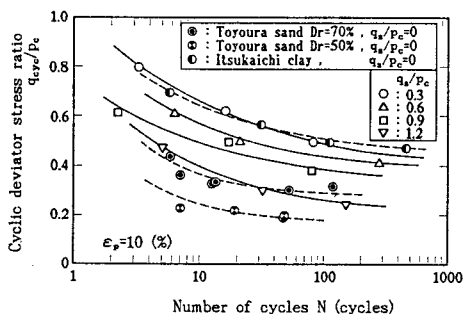


図-4 破壊に至るに必要な繰返し軸差応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係

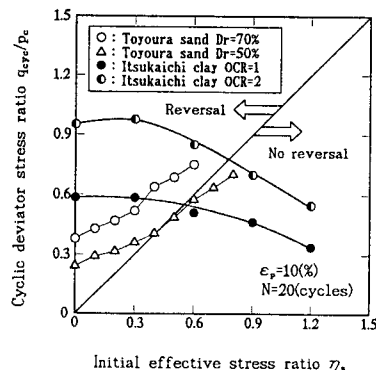


図-5 $N=20$ で破壊に至るに必要な繰返し軸差応力比と初期軸差応力比の関係