

III-11 飽和粘土の繰返し载荷による劣化特性について

大阪大学工学部 正 員 松 井 保
 大阪大学工学部 正 員 阿 部 信 晴
 大阪大学大学院 学 生 員 〇 浦 崎 敏 幸

1. はじめに

一般に粘性土地盤は砂質土地盤とは異なり、地震などの繰返し荷重を受けても、通常液状化は生じないが過剰間隙水圧の蓄積による有効応力の減少あるいは内部構造の変化などのいわゆる繰返し効果が原因で、強度・変形などの材料特性が劣化することは知られている。なかでも非排水繰返し载荷後の変形係数の低下が特に著しいことが筆者らによって指摘されている。このような材料特性の劣化は、地盤や斜面の安定・変形問題を論じる上で基本的な重要性を持つと考えられる。今回は、繰返し载荷により損傷を受ける飽和粘土の劣化特性を明らかにする目的で一連の繰返し三軸試験を行ったので、その結果及び考察を報告する。

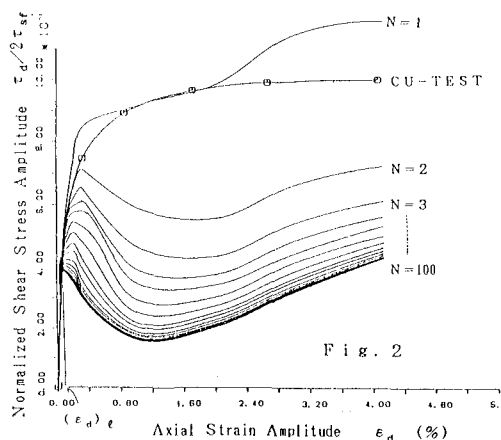
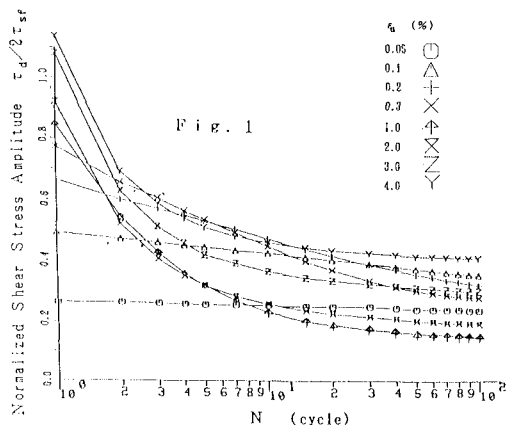
2. 試料及び試験方法

用いた試料は市販のクラウンクレイであり、これをスラリー状態で十分練り返し、大型圧密土槽で約1.2 kgf/cm²の圧力で圧密した後、φ50mm×125mmの円柱型に成型したものを供試体とした。試験装置は、電気油圧サーボ式振動三軸試験機で既報のものである。試験方法は、供試体を有効圧密圧2.0kgf/cm²(back pressure=1.0kgf/cm²)で24時間等方圧密したのち非排水状態で繰返し载荷を行った。制御方式はひずみ制御、波形は正弦波、周波数は0.5Hz、繰返し回数は100回とし、軸ひずみ振幅 $\varepsilon_d=0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ (%)の8ケースについて試験した。繰返し载荷後、供試体内の発生間隙水圧分布が一様になるように非排水状態のまま約1時間放置した後、静的せん断試験を行った。また、これらとは別にCU試験も行った。静的試験はともにひずみ制御で、载荷速度は0.5%/min.とした。

4.0 (%)の8ケースについて試験した。繰返し载荷後、供試体内の発生間隙水圧分布が一様になるように非排水状態のまま約1時間放置した後、静的せん断試験を行った。また、これらとは別にCU試験も行った。静的試験はともにひずみ制御で、载荷速度は0.5%/min.とした。

3. 試験結果及び考察

Fig. 1は繰返し载荷中のせん断応力振幅 τ_d (両振幅)と繰返し回数 N の対数との関係を軸ひずみ振幅 ε_d をパラメータとして示し、Fig. 2は同じ結果を N をパラメータに τ_d と ε_d との関係を示したものである。せん断応力振幅は非排水せん断強度の2倍で正規化し、またFig. 2はCU試験の結果も並記してある。Fig. 2において $N=1$ の骨格曲線は、CU試験と比較して $\varepsilon_d > 2\%$ では若干大きめの値を示しているが、ほぼ相似な形を有している。しかし、 N の増加とともに骨格曲線は劣化し下方に移動するが、 $N=100$ ではほぼ定常状態に至る。この状態の骨格曲線は、 $\varepsilon_d \leq 0.1\%$ では線形的に増加し、その後図中に示した $(\varepsilon_d)_c$ を越えると急激に低減をはじめ、 $\varepsilon_d \geq 1\%$ では再び増加傾向を示す。一般にせん断ひずみが 10^{-4} 程度以下では、弾性的で繰返し効果も及ばないと考えられているが、この場合、



$(\varepsilon_d)_0$ がその限界値であると考えられる。この点は、Fig. 1中の $\varepsilon_d=0.05\%$ の結果からも確認できる。

Fig. 3は繰返し载荷後の非排水せん断試験から得られる正割変形係数 E_{50} と ε_d との関係を示す。両者の間には双曲線的な関係があり、 ε_d が1%付近までは E_{50} が急激に減少するが、 $\varepsilon_d > 1\%$ では E_{50} が大きくは変化しない。このことは、Fig. 2の $N=100$ の骨格曲線の急激な減少とその後の線形的な増加傾向の理解に示唆的である。すなわち、 $\varepsilon_d > 1\%$ では ε_d の増分に対して弾性的な応力増分が発揮され载荷速度の効果も加わって線形的増加傾向を示すと考えられる。

以上のように、粘土の繰返し载荷による劣化特性は、ひずみ振幅に大きく依存する。この劣化特性の定量的指数としてIdrissらは次式で表される劣化指数 δ を定義している。すなわち、

$$\delta = (E_c)_N / (E_c)_1 = (\tau_{dN} / \varepsilon_{dN}) / (\tau_{d1} / \varepsilon_{d1}) = \tau_{dN} / \tau_{d1} \quad (\text{定ひずみ振幅}) \quad (1)$$

その結果、 $\log \delta \sim \log N$ 間に線形関係がありその傾きが ε_d により一意的に決定されることを示した。

Fig. 4は今回の試験結果の $\log \delta \sim \log N$ 関係を示す。この図より、 $\log \delta \sim \log N$ 関係は必ずしもIdrissらの言うような線形関係を示さず、むしろ双曲線的である。さらに $\varepsilon_d \geq 2\%$ の3ケースでは

ε_d の増大とともに $\delta_{N=100}$ が大きくなって

おり、 δ が劣化を定量的に表現できる指数として必ずしも適当でないことを示している。

Fig. 5は $N=1$ の繰返し载荷時変形係数 $(E_c)_1$ とCU試験の $\varepsilon = \varepsilon_d$ における変形係数 E_s との比及び $N=100$ の繰返し载荷時変形係数 $(E_c)_{100}$ と繰返し载荷後の静的試験の $\varepsilon = \varepsilon_d$ における変形係数 E_{cs} との比を ε_d との関係として示す。図より分かるように、 $(E_c)_1 / E_s$ がほぼ1付近にあり両者がほぼ等しいが、 $(E_c)_{100} / E_{cs}$ は ε_d とともに大きく変化し $\varepsilon_d = 1\%$ では0.52であるのに対し $\varepsilon_d = 4\%$ では1.68となっている。このような現象がFig. 4において述べた劣化指数 δ の不合理性と関係していると思われる。このように $(E_c)_{100} / E_{cs}$

が大きく変動する理由として、载荷速度の効果、繰返し効果、さらには繰返し载荷後静的試験を行うまでのシキソトロピー的な効果もふくまれていると考えられる。しかし以上の事は、少なくとも変形係数に及ぼす繰返し载荷の影響程度が、繰返し载荷回数とひずみ振幅によって大きく変化する事を示唆している。

4. むすび

本報告では飽和粘土に対する一連の繰返し三軸試験を行ない、繰返し载荷による劣化挙動について検討した。その結果、飽和粘土の繰返し劣化特性を支配する要因が数多く、そのメカニズムも複雑であり、特に繰返し回数とひずみ振幅レベルの変形係数の劣化特性に及ぼす影響の解明は、今後の重要な課題であると考えられる。

参考文献 1) Matsui T. and Abe N. : "Behaviour of Clay on Cyclic Stress-Strain History", Proc. 10th ICSMFE, Stockholm, Vol. 3, pp. 261~264, 1981

2) Idriss I.M., Dobry R. and Singh R.D. : "Nonlinear Behaviour of Soft Clay During Cyclic Loading", Journal of The Geotechnical Engineering Division, Proc. ASCE, Vol. 105, No. GT10, 1978

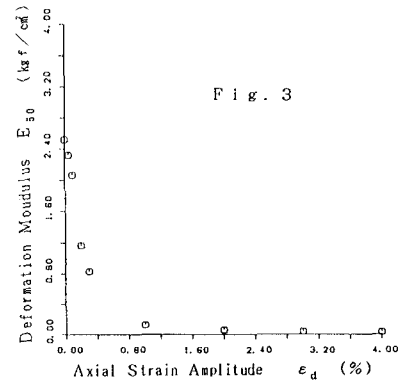


Fig. 3

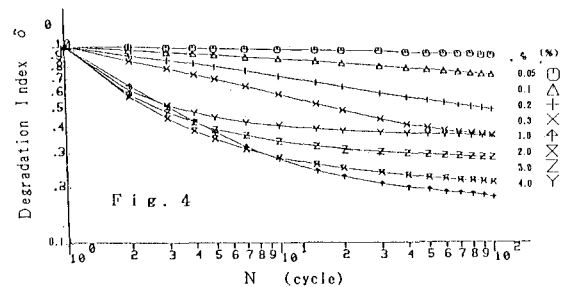


Fig. 4

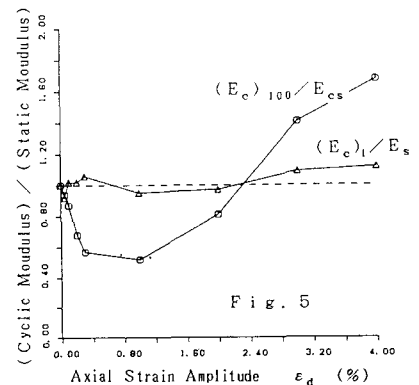


Fig. 5