

京都大学大学院 正会員 岡二三生・小高猛司

京都大学大学院 学生員 金 容成・石垣成直

京都大学大学院 学生員○山村誠司

1.はじめに

地震時の地盤挙動を解析する場合、せん断剛性や履歴減衰率の微小ひずみ領域からのひずみレベル依存性を考慮することは必須であるが、より正確な有効応力解析を行う場合には、それら非線形性を正確に記述する材料の構成関係まで考える必要がある 1), 2)。液状化の研究が進むにつれ、最近では砂質土の繰返し構成式は様々なものが開発されている一方で、粘性土の繰返し挙動に関しては砂ほど研究が進んでいない。特に自然堆積粘土を静的に載荷した場合には、載荷速度効果に代表される時間効果が現れることは周知である。それらには初期構造が関与していると考えられるが、せん断剛性の劣化や履歴減衰率などの一般に動的性質と呼ばれるものにも初期構造が影響していると考えられる。

2.実験概要

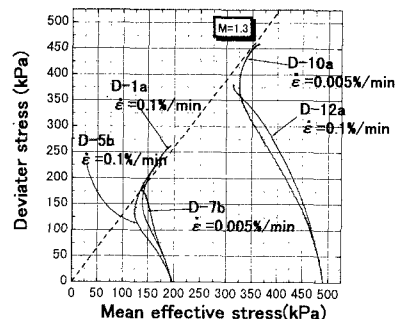
本研究に用いた自然堆積粘土は、徳島県小松島港で採取された (GL.-25m~-40m) シルト成分の卓越した粘土である。直径 5cm, 高さ 10cm でトリミングされた供試体は、二重負圧式飽和法で飽和させた後に有効拘束圧 196kPa(セル圧 392kPa, 背圧 196kPa)で等方圧密した。以後、その供試体を用いて以下の実験を行った。

(i) 静的せん断：軸ひずみ速度 0.005, 0.1(%/min)の 2 種類で静的に非排水せん断を行った。なお、この試験に関して有効拘束圧 490(kPa)でも実施した。

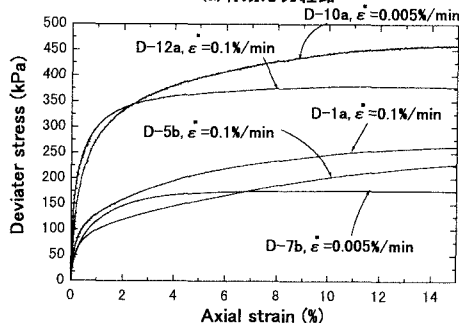
(ii) 繰返し載荷試験(以下略して繰返し試験)：所定の軸荷重一定振幅で正弦波の繰返し非排水せん断を行い、軸ひずみ両振幅が 10%に達するまで繰返しせん断し、その載荷回数を求めた。載荷周波数は 0.01, 0.1(Hz)の 2 種類で行った。

(iii) 変形係数を求めるための繰返し載荷試験(以下略して変形試験)：載荷周波数は 0.05(Hz)の正弦波で所定の軸荷重振幅を 11 波載荷したものを 1 セットとし、各セット終了がするごとに一旦排水して過剰間隙水圧を消散させ、軸荷重振幅を増加させて次のステップを行った。各セットでの軸差応力の増分量は、18 セットまでは 1 セットにつき 1.28(kPa), 19~23 セットまでは 2.56(kPa), 24 ~30 セットは 12.8(kPa)とした。

(iv) 同一の供試体で軸ひずみ 1%, 3%, 5%の 3 段階に分けて非排水せん断を行うが、所定の軸ひずみに達すると軸差応力がゼロになるまで除荷した。非排水せん断前の初期状態と、除荷が完了した段階で一旦排水し、過剰間隙水圧を消散させて段階の合計 4 回で、(iii)の変形試験を行った。



(a) 有効応力経路



(b) 軸差応力-軸ひずみの関係

図1: 静的せん断結果

3.実験結果

図1に(i)の静的せん断試験結果を示す。限界状態に近づいてから正のダイレイタンスーを示すものもある。Fusao Oka, Takeshi Kodaka, Yong-Seong Kim, Shigenao Ishigaki, Seiji Yamamura

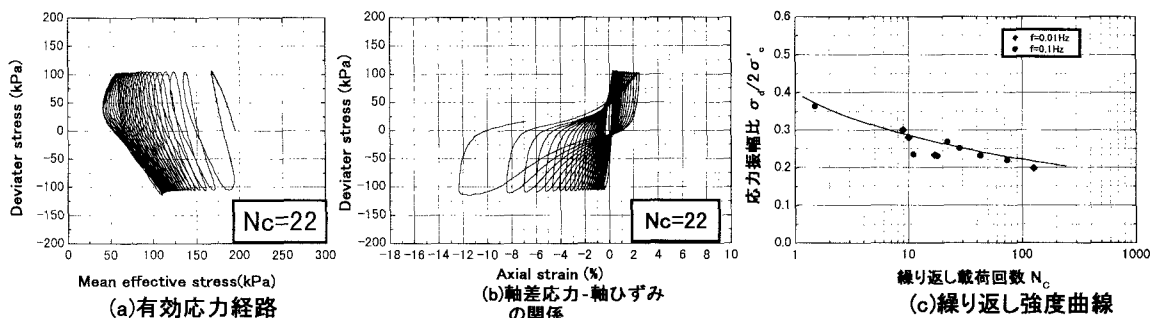


図2: 繰返し載荷試験結果

れば、示さないものもある。実験は同じボーリング孔から採取された粘土を用いたのだが、深度ごとに供試体間の個体差が大きく、実験結果で見られたダイレイタンス特性の違いも、含有しているシルト分、砂分の影響が大きいと考えられる。図2は(ii)の繰返し試験を $f=0.01\text{Hz}$ で行った場合の試験結果の典型的な例である。(a)に示す有効応力経路を見ると、第1波目の載荷で大きな過剰間隙水圧が発生し、その後は時計回りのループを描きながら平均有効応力は減少していくが、砂の液状化のように平均有効応力が完全にゼロになることはなく、サイクリックモビリティに近い状態を示した。(b)の応力～ひずみ関係を見ると、自然状態で繰返し試験をした供試体の多くが、図のように伸張側の軸ひずみ卓越して増加した。図3に(ii)の試験をまとめて、応力振幅比と繰返し回数の関係を記した繰返し強度曲線を示す。載荷周波数による明確な違いは本実験からは認められなかった。この図は、砂質土の液状化強度曲線に習い、粘性土の動的強度を評価する際によく用いられるが、対数軸で表していることもあり、静的試験で見られたほどに供試体間の個体差は明確に現れてこない。図4は(iv)の試験結果である。(iii)の変形試験後に1%, 3%, 5%の3段階で非排水条件でせん断・除荷を行い、各段階ごとに再び(iii)の変形試験を行うことにより、軸ひずみレベルと等価ヤング率および履歴減衰率の関係が、せん断履歴により変わる様子を示したものである。どの回数においてもひずみレベルが増加するに従い等価ヤング率は減少し、履歴減衰率は増加することがわかる。また、1%までのせん断段を行うことにより、2回目以降の試験においては、1回目の初期状態の試料で求められる微小ひずみレベルでの等価ヤング率から著しく低下していることがわかる。これは、自然状態の粘土がわずかでもせん断履歴を受けることにより、構造が劣化したためであると考えられる。

4. まとめ

本実験に用いた自然堆積粘土においても、一般に言われているように小ひずみレベルでの変形係数の明瞭なひずみ依存性が観察された。また、その変形係数は、静的せん断履歴による初期構造の劣化により、大幅に減少することがわかった。今回は個体差が大きい自然堆積粘土を用いたが、今後はもう少し均質な自然堆積粘土を用いるとともに、繰返し粘土とも比較して一連の実験を行う予定である。

参考文献 1) 岡二三生・小高猛司・金 容成: 粘性土の繰返し粘弾一粘塑性構成式とその液状化解析への適用, 第44回地盤工学シンポジウム論文集, pp.67-72, 1999. 2) 岡二三生・小高猛司・金 容成・山村誠司: 繰返し粘弾一粘塑性モデルによる自然堆積粘土の繰返し三軸試験のシミュレーション, 第35回地盤工学研究発表会概要集, 2000.