

鳥取大学大学院 正会員 ○中村公一
鳥取大学大学院 正会員 中谷真弥
鳥取大学大学院 正会員 清水正喜

1. はじめに

地震応答解析などの数値解析に必要となる「比較的小さいひずみレベルにおける繰返し載荷のもとでの地盤材料の変形特性」を求めることを目的として、JGS0542「地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法」¹⁾と「土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法」¹⁾がある。基準化されている試験方法は、ステージ載荷であることに伴い、ステージ間の排水条件、ステージごとの載荷回数、応力制御である。そこで、本研究では、繰返し載荷をひずみ制御下で、繰返し振幅を荷重ではなく局所変位計により求めたひずみにより定めて試験を行った。この結果より、応力制御により求めた結果の差異と、特徴的な挙動について述べる。

2. 試料、供試体作製方法、試験装置

試験に用いた試料は、豊浦砂である。供試体作製方法は空中落下法により作製した。具体的には、各層ごとに所定の高さから 10 層にわけてモールド内に投入した。本研究では、相対密度 60% を目標として供試体を作製した。作製した供試体は二重負圧法により飽和させた。

図-1 に、使用した三軸試験装置を示す。供試体の大きさは、直径 10cm、高さ 20cm である。局所変位測定のため、供試体側面にターゲットを設置し、それを Gap Sensor で測定した。載荷にはステッピングモーターによるダイレクトドライブのため、バックラッシュがない。

3. 試験条件

検討項目は 2 点である。1 つめはステージごとにひずみ速度が異なることによる変形特性への影響である。本研究では、ステージごとに振幅ひずみを設定し試験を行うが、ひずみ速度一定での載荷であるため、せん断時間はステージが進むごとに長時間になる。そこで、各ステージの試験時間が同じになるようステージごとにひずみ速度を変化させたとき、繰返し変形特性にどのような影響を与えるか検討する。このときすべてのステージで同じ周波数となるよう速度を設定した。2 つめは応力制御による結果との比較である。これは上記の試験結果と、応力制御により求めた変形特性を比較する。以上のことを考慮し、表-1 に示す試験条件とした。表-1 内の制御方式は、載荷時に設定する振幅を応力で規定するのか、軸ひずみで規定するのかを示している。試験結果にて触れるが、油圧による載荷方法で行った試験は case7 のみである。

最後に、あるステージを対象に応力制御とひずみ制御の繰返し回数を横軸とした図により検討を行った。

4. 試験結果

E_{eq} は、各ステージの 5 サイクル目の結果を用いて求めた。図-2 は、ステージごとにひずみ速度が異なる場合と、同じ場合について変形特性を比較したものである。case1, 2, 3 はそれぞれ周波数が異なる。case4 は、すべてのステージでひずみ速度を一定にして試験を行った。比較した結果の内、ひずみ速度の差が最大となるのは、case1 と case4 の第 8 ステージ ($(\varepsilon_a)_{S4}=8 \times 10^{-2}\%$) で、80 倍となっている。図 2 より、ひずみ速度が変化することによる変形特性への影響は少ないと考えられる。

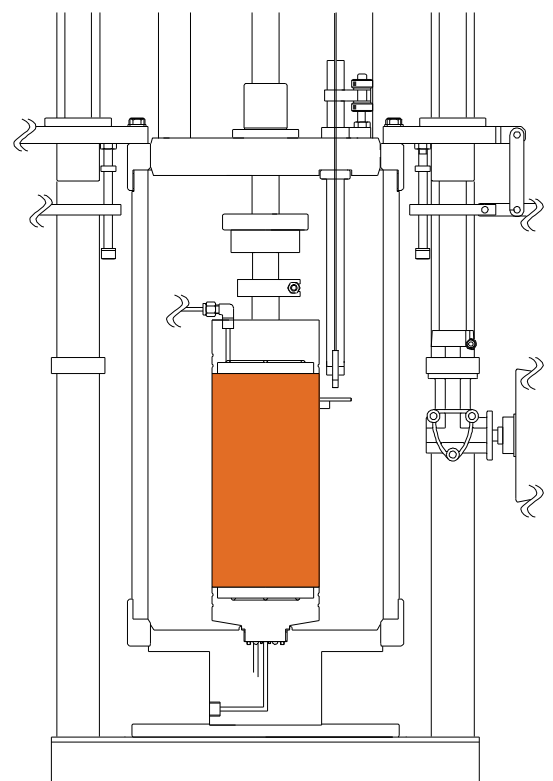


図-1 試験装置

表-1 試験条件

	間隙比 $e^{1)}$	制御方式	周波数 (Hz)	ひずみ 速度 (%/m in)
case1	0.754	ひずみ	0.00925	
case2	0.754		0.00185	
case3	0.751		0.000925	
case4	0.756			0.004
case5	0.744	応力	0.00925	
case6	0.759		0.00925	
case7	0.760		0.1Hz	

1) 圧密終了時の間隙比

図-3 は、ステージ数が異なる条件の変形特性を比較したものである。case5, 6 は、試験時の片振幅を応力制御により行った。ステージ数は過剰間隙水圧が発生し始める $(\epsilon_a)_{SA}=8 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-2} \%$ の範囲で増加させた。図-3 より、ステージ数を増加させることによる、変形特性に与える影響は小さいと考えられる。図-4 は、3 つの試験方法から得られる変形特性の比較である。case1, case5 は、上記の試験装置を用いた変位制御による方法と、応力制御による方法。case7 は応力制御繰返し载荷装置を用いた応力制御による方法である。図-4 より、等価ヤング率の差は $(\epsilon_a)_{SA}=2 \times 10^{-3} \%$ のひずみレベルで最も大きくなり 30MPa 程度であった。また、 $(\epsilon_a)_{SA}=2 \times 10^{-3} \sim 4 \times 10^{-2} \%$ の範囲でその差は 3~5MPa 程度であり、片振幅軸ひずみが増加するに伴って、その差は減少していることが確認できる。 $(\epsilon_a)_{SA}=2 \times 10^{-3} \%$ 以下の範囲で等価ヤング率に差が生じているが、応力制御繰返し载荷装置で使用する荷重計は、液状化試験を行うことを目的としているものを使用したため、使用した荷重計は容量の大きな（分解能の低い）ものである。したがってこの点を考慮すると、試験方法が異なることによる変形特性に与える影響は小さいと考えられる。

変位制御繰返し载荷装置を用いた繰返し载荷時に、応力とひずみ関係に特徴的な挙動が見られた。図-5 に変位制御繰返し载荷装置を用いたひずみ制御繰返し载荷時の、繰返し回数と応力の関係、応力とひずみ関係を示す。試験条件は相対密度 30%、 $(\epsilon_a)_{SA}=1.0 \times 10^{-3}$ におけるひずみ振幅一定繰返し载荷とした。図-5 より、1 サイクル目の軸差応力が、以降の軸差応力より小さくなっている。応力制御繰返し载荷では、これに対応して軸ひずみが大きくなる現象がみられる。

5. まとめ

ひずみ速度、制御方式に着目したひずみ制御繰返し载荷装置を用いた繰返し試験の比較により、以下の知見を得た。

- (1) ステージ間でひずみ速度が変化することによる、変形特性への影響は小さい
- (2) ステージ数の違いによる、変形特性への影響は小さい。
- (3) 試験方法（制御方式、試験装置）が異なることによる、変形特性への影響は小さい。
- (4) ひずみ制御試験を行うことで、繰返し载荷時に特徴的な挙動がみられた。

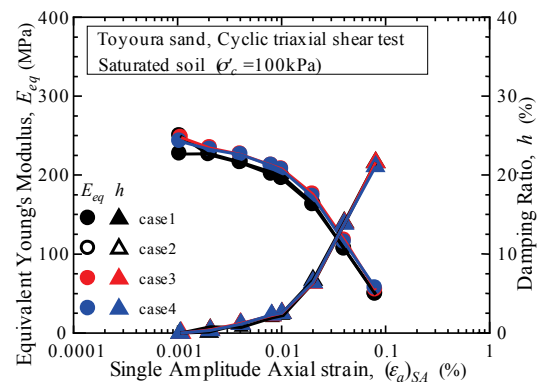


図-2 ひずみ速度の影響

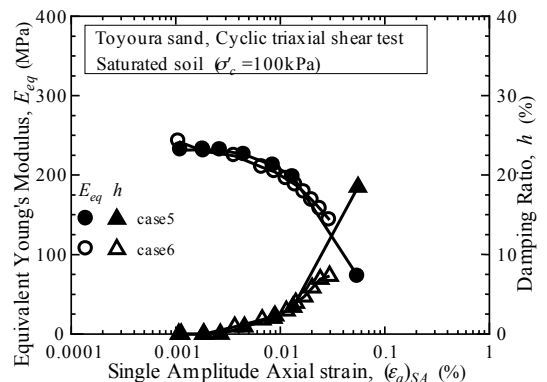


図-3 ステージ数の影響

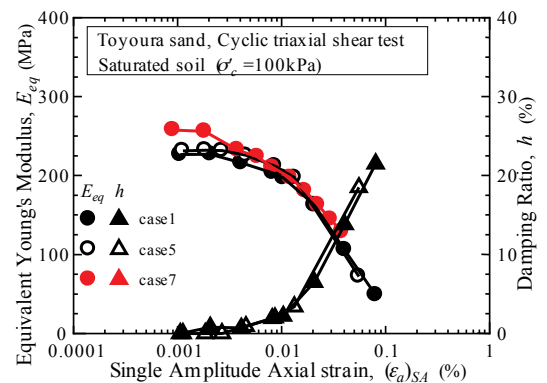


図-4 試験方法の影響

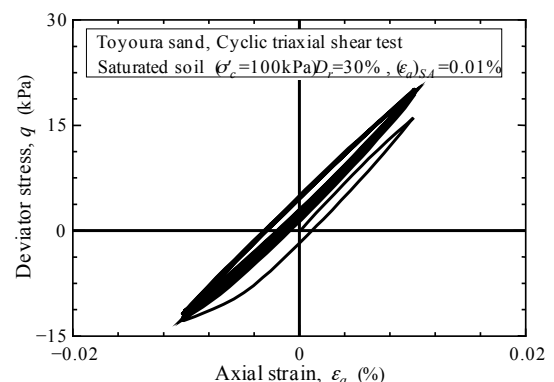
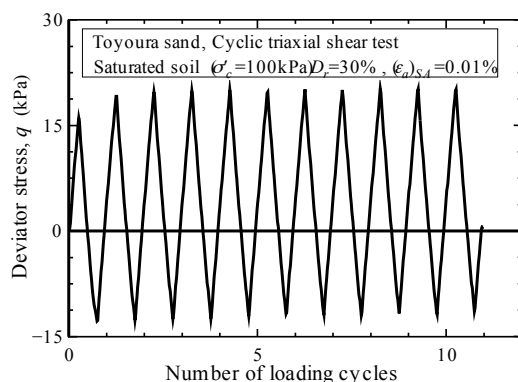


図-5 繰返し载荷時の応力とひずみ関係

参考文献

- 1) 地盤工学会(2009)：地盤材料試験の方法と解説
- 2) 吉田望，三上武子(2010)：時代の要請に応える土の繰返しせん断変形特性試験の確立を，地盤工学会誌 58(2)，pp.1-5