

(株) ハザマ 正 員 丸山浩史
 山口大学工学部 正 員 兵動正幸
 (株) オオバ 正 員 杉山太宏
 山口大学大学院 学生員 河原弘明

1. まえがき

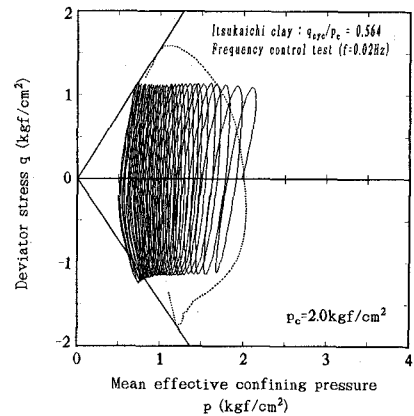
土の繰返しせん断強度を得るための室内試験として、従来から繰返し三軸試験が行われてきた。この試験は、地震、波浪、交通荷重などの動的外力に対する土要素の安定性を評価するために行われ、試験方法は実際問題に対応する周波数にて繰返し载荷を行うのが原則とされている。しかしながら、対象とする材料がせん断過程において顕著な载荷速度依存性を示す場合や、急激な変形を生じて破壊に至るような場合、このような周波数一定の繰返し载荷では供試体の要素性に問題を生じたり、変形挙動の厳密な把握を困難にすることが懸念される。そこで本研究では、従来方式の応力制御法による周波数一定試験ならびにひずみ速度一定の载荷条件で繰返し三軸試験を行い、両者の比較によって繰返しせん断強度に及ぼす载荷速度の影響を評価した。

2. 試料および実験方法

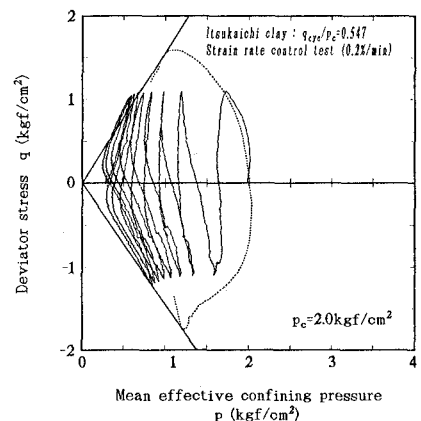
試料は広島県五日市で採取された海成粘土の再構成試料($G_s=2.532$, $W_L=124.2\%$, $W_P=51.4\%$, $I_P=72.8$)と豊浦標準砂($G_s=2.463$, $e_{max}=0.973$, $e_{min}=0.635$)である。繰返し三軸試験は全て側圧一定・非排水・荷重振幅一定の条件で行い、载荷方式は周波数一定の正弦波载荷ならびに定ひずみ速度载荷の2通りとした。周波数一定载荷における载荷周波数は、五日市粘土については0.02Hz、豊浦標準砂については0.1Hzとし、定ひずみ速度試験におけるひずみ速度は、五日市粘土については7.0%/min、0.2%/min、豊浦標準砂では7.0%/minとした。ここでひずみ速度0.2%/minは、一般に静的せん断試験において採用されるひずみ速度に近いものであり、また7.0%/minは周波数0.02Hzの繰返しせん断試験にほぼ対応するものである。

3. 実験結果

図-1(a),(b)は、五日市粘土の繰返し三軸試験における有効応力径路を示したものであり、図-1(a)は周波数一定载荷試験($f=0.02\text{Hz}$)、図-1(b)は定ひずみ速度载荷試験(0.2%/min)の結果である。同図に静的非排水三軸圧縮・伸張試験から得られた有効応力径路ならびに破壊線を重ねて示す。両者は、ほぼ同一の荷重振幅で行った実験の結果であるが、各サイクル毎の有効応力の減少量は定ひずみ速度载荷試験によるものの方が大きく、また図-1(a)の繰返し载荷回数1回目における有効応力径路は静的試験の有効応力径路と大きく異なることが分かる。さらに、定ひずみ速度試験の最終状態における有効応力径路は、周波数一定試験のものとは比べて左に膨らんだ曲線となっており、静的破壊線とほぼ接する形の定常ループを描いている様子が観察される。このように、制御方式の違いによって有効応力径路に違いが生じる原因として、周波数一定载荷試験では変形の増大にともなう载荷速度の増大により、間隙水



(a) 周波数制御 ($f=0.02\text{Hz}$)



(b) ひずみ速度制御 (0.2%/min)

図-1 五日市粘土の繰返し三軸試験における有効応力径路

圧の応答に遅れが生じることなどが挙げられる。

図-2(a),(b)は、豊浦標準砂の繰返し三軸試験における応力ひずみ関係を示したものであり、図-2(a)は周波数一定載荷試験($f=0.1\text{Hz}$)、図-2(b)は定ひずみ速度載荷試験($7.0\%/min$)の結果である。周波数一定載荷試験による豊浦標準砂の応力ひずみ関係において、急激に増大するひずみと応力の関係は少し荒いサンプリング間隔でしかとらえることが出来ない。これに対して定ひずみ速度載荷試験では、軸ひずみが伸張側に大きく出始めるあたりで荷重が一度減少し、また同じ方向に強度を回復し、同時に大変形に至るといったゆるい砂特有の軟化挙動までも正確にとらえていることが分かる。

図-3、図-4は、繰返し載荷による破壊の定義を軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ とし、それに至るに必要な繰返し応力比 q_{yc}/p_c と繰返し回数 N の関係を、五日市粘土、豊浦標準砂についてそれぞれまとめたものである。ここでは、制御方式・載荷速度をパラメータとして比較を行っている。図-3において、五日市粘土の繰返し強度は、周波数一定載荷試験($f=0.02\text{Hz}$)によるものが最も高く、定ひずみ速度載荷試験のひずみ速度 $0.2\%/min$ によるものが最も低い結果となった。このように、かなり遅い載荷速度の繰返しせん断試験においても繰返しせん断強度はひずみ速度の影響を受け、ひずみ速度が遅いものほど強度も低くなる結果となった。一方、図-4において豊浦標準砂の繰返し強度は、制御方式の違いによる影響をほとんど受けずほぼ同一の結果となった。

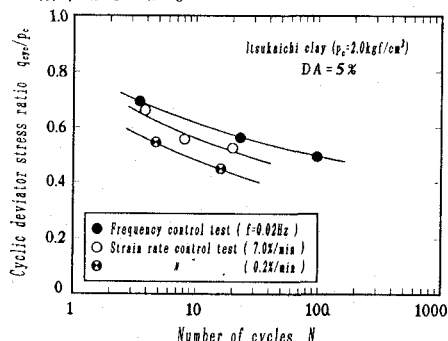
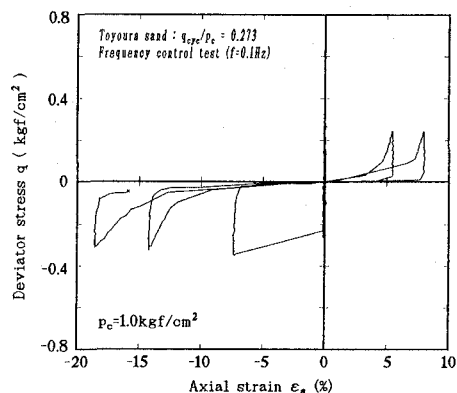
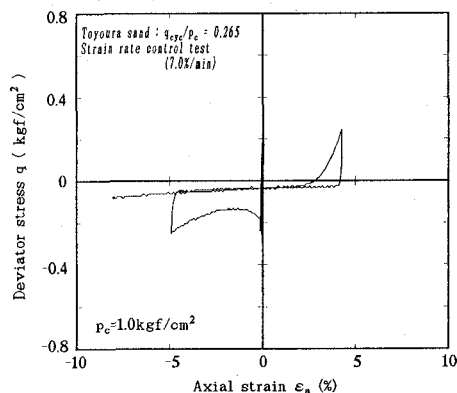


図-3 繰返し応力比 q_{yc}/p_c と繰返し回数 N の関係(五日市粘土)



(a) 周波数制御 ($f=0.1\text{Hz}$)



(b) ひずみ速度制御 ($7.0\%/min$)

図-2 豊浦標準砂の繰返し三軸試験における応力ひずみ関係

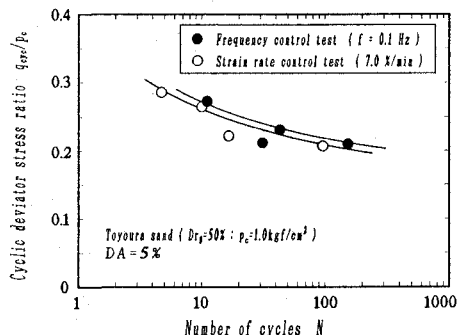


図-4 繰返し応力比 q_{yc}/p_c と繰返し回数 N の関係(豊浦標準砂)

4. あとがき

以上、定ひずみ速度繰返し三軸試験による土の繰返しせん断挙動について述べた。粘土が顕著なひずみ速度依存性を有すること、三軸圧縮試験の要素性に関する問題点を考える場合、従来型の周波数一定載荷試験によるよりも、定ひずみ速度載荷試験による方が粘土の繰返しせん断挙動をより正確に見ることができるのではないかと考えられる。一方、豊浦標準砂の繰返し強度は制御方式によらずほぼ同一な結果となったが、破壊直前の挙動をより正確にとらえることを目的とするならば、周波数一定載荷試験によるより、定ひずみ速度載荷試験による方が好ましいと言える。