

砂の沈下に及ぼす多方向繰返しせん断回数の影響に関する研究

山口大学大学院 正会員 篠崎晴彦 学生会員 新山馨紫、○北山尚
山口大学工学部 正会員 松田博、白元珍

1. はじめに

実地震時における地盤の挙動は、加速度記録から推定できるが、一般に地盤は多方向に繰返しせん断を受けていることが知られている。すでに多方向繰返しせん断が可能な多軸単純せん断試験機を用いて多くの実験を行っているが、その中で繰返し回数が増加するに伴い、繰返しせん断後の沈下量はせん断方向の影響が減少することを確認した。ここでは、豊浦砂、玄海砂、カオリン粘土、高炉水砕スラグについて、繰返しせん断後の沈下に及ぼす繰返しせん断方向の影響に関する検討を行った。

2. 試験装置・試料及び試験方法

用いた装置は多軸単純せん断試験機である。この装置は、供試体（直径 75mm、高さ 20mm）に二方向から独立してせん断変位を与えることができる。用いた試料の物理定数を表-1、表-2に示す。また、粒径加積曲線を示したものが図-1である。

実験は、飽和試料をせん断箱に詰め、圧密応力 49kPa で予圧密した後、定体積条件のもとで繰返しせん断を行った。また、繰返しせん断後は圧密応力 49kPa で再圧密を行い沈下量を測定した。繰返しせん断波形はサイン波であり図-2に示す方法で载荷した。

(a) X方向のみで繰返しせん断を行う一方向せん断試験（一方向(X)）

(b) 直角2方向より 90° の位相差を与えて繰返しせん断を行う多方向せん断試験（多方向(Gyratory shear)）

各ケースのせん断パターンを概念的に示したものが図-2である。なお、相対密度は $Dr=70(\pm 3)\%$ 、 $60(\pm 3)\%$ 、 $50(\pm 3)\%$ とし、繰返しせん断後の周期は2秒とした。また、せん断ひずみ振幅は $\gamma=0.1\sim 1.0\%$ の間で変化させ、繰返し回数は $n=5\sim 200$ 回とした。せん断ひずみ振幅 γ の定義としては、一方向せん断(a)では、片振幅の大きさを供試体高さで除した値とし、多方向せん断(b)では、繰返しせん断中に供試体底面中央が描く軌跡の半径を供試体高さで除した値とした。

3. 実験結果

図-3(a)、(b)は、豊浦砂の繰返しせん断中の有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ とせん断ひずみ振幅 γ との関係である。まず、(a) $n=30$ 回のときは、せん断ひずみ振幅 $\gamma=0.2\sim 1.0\%$ において液状化していることがわかる。また、(b) $n=200$ 回のとき $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|=1.0$ となっており、いずれのせん断ひずみ振幅においても液状化していることがわかる。

表-1 試料の物理定数

	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$
高炉水砕スラグ	2.702	1.413	0.904
玄海砂	2.678	0.827	0.516
豊浦砂	2.637	0.991	0.630

表-2 カオリン粘土の物理定数

	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$w_L(\%)$	I_p	$w_p(\%)$
カオリン粘土	2.490	44.3	14.5	29.8

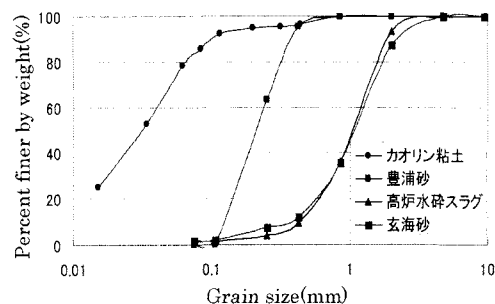


図-1 粒径加積曲線

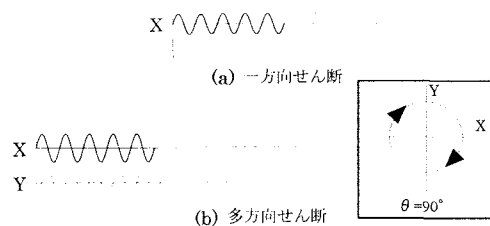


図-2 繰返しせん断方法

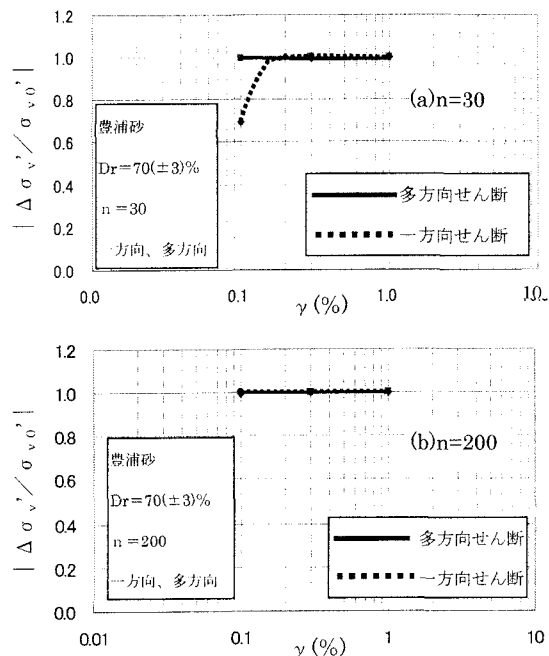
図-3 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ と γ の関係

図-4(a)、(b)は、高炉水砕スラグの繰返しせん断中の有効応力減少比 $|\Delta\sigma_v'/\sigma_{v0}'|$ と繰返し回数の関係を示したもので、相対密度 $Dr=70$ 、50%の時の結果である。 $Dr=70\%$ においては、一方向せん断の繰返し回数 $n=5$ 回以外はすべて液状化していることがわかる。また、 $Dr=50\%$ では、すべての条件において液状化していることがわかる。

図-5は、豊浦砂について、相対密度 $Dr=70\%$ 、せん断ひずみ振幅 $\gamma=0.1\sim1.0\%$ における沈下ひずみ ε_v と繰返し回数 n の関係である。同図より、一方向せん断と多方向せん断いずれにおいても、せん断ひずみ振幅が大きくなるとともに沈下量が大きくなるが、せん断方向の影響が無くなった後においても、せん断ひずみ振幅が大きくなるとともに沈下量も大きくなることわかる。また、せん断方向の影響が無くなった後はある一定の値に収束している。

図-6は、相対密度 $Dr=70\%$ 、 $Dr=50\%$ の条件での高炉水砕スラグの沈下ひずみ ε_v と繰返し回数 n の関係を示したものである。同図より、 $Dr=70\%$ のときは繰返し回数 200 回、 $Dr=50\%$ のとき、繰返し回数 150 回で一方向せん断と多方向せん断の沈下量が一致しており、せん断方向の影響がなくなることがわかる。また、せん断方向の影響がなくなった後においても、繰返しせん断前の相対密度が小さいほど繰返しせん断後の沈下量が大きくなることわかる。

図-7は、各試験で得られた相対密度 $Dr=70\%$ における、沈下ひずみ ε_v と繰返し回数 n の関係および相対密度 $Dr=50\%$ の高炉水砕スラグのデーターを示したものである。せん断方向の影響が見られる場合においては、一方向せん断と多方向せん断いずれにおいても繰返しせん断後の沈下ひずみの大きさは高炉水砕スラグ<玄海砂<豊浦砂となることが報告されているが、せん断方向の影響がなくなった後においては、カオリン粘土の沈下量が最も大きいことがわかった。

4. 結論

豊浦砂についての繰返しせん断後に生じる沈下ひずみは、せん断方向の影響がなくなった後においては、せん断ひずみ振幅の増加とともに沈下ひずみも大きくなる。また、豊浦砂、高炉水砕スラグいずれにおいても、繰返しせん断前の相対密度が小さいほど繰返しせん断後の沈下ひずみが大きくなる。繰返しせん断後の沈下ひずみの大きさは、カオリン粘土>豊浦砂>玄海砂>高炉水砕スラグとなり、高炉水砕スラグは他の試料に比べて沈下量が小さいことがわかった。

<参考文献>

- 1) (財)沿岸開発技術センター，鉄鋼スラグ協会：港湾工事用水砕スラグ利用手引書，1989.
- 2) 松田博，岡田尚樹，新山馨紫：「繰返しせん断方向が高炉水砕スラグの沈下特性に及ぼす影響」，第 39 回地盤工学研究発表会講演集，pp.615-616，2004.

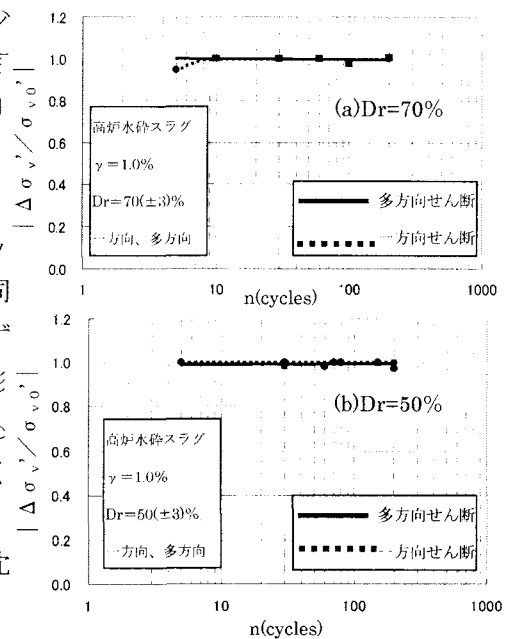


図-4 $|\Delta\sigma_v'/\sigma_{v0}'|$ と n の関係

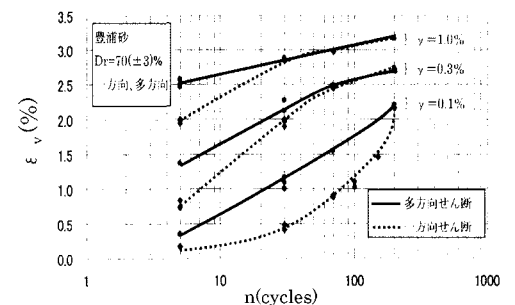


図-5 ε_v と n の関係 ($\gamma=0.1\sim1.0\%$)

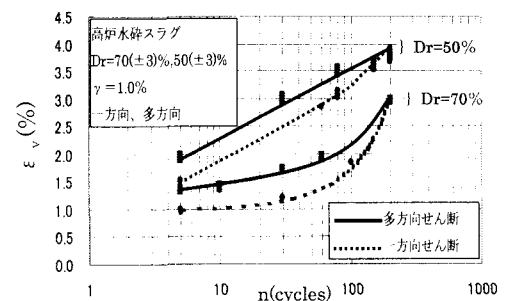


図-6 ε_v と n の関係 ($Dr=70\%, 50\%$)

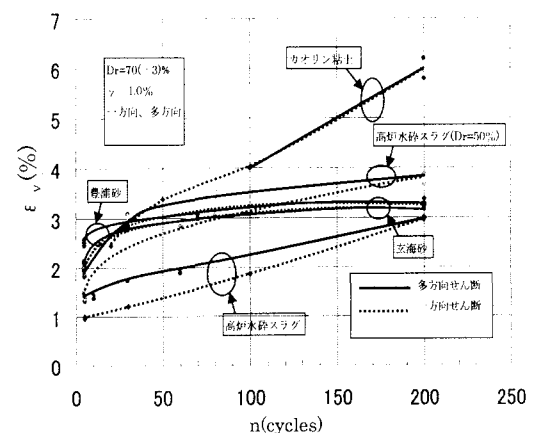


図-7 ε_v と n の関係 (試料による比較)