

多方向繰返しせん断と等価な一方向繰返しせん断について

山口大学工学部 正会員 松田 博
 矢作建設工業(株) 正会員 岡田尚樹
 山口大学大学院 学生員 篠崎晴彦
 山口大学大学院 学生員 新山馨紫
 復建調査設計(株) 正会員 高宮晃一

1. はじめに 実際の地盤は地震時に多方向に繰返しせん断が生じる。これまで、砂質土について多方向繰返しせん断が繰返しせん断中の有効応力減少量、繰返しせん断後の沈下量に影響を及ぼすことを確認した。しかし、液状化後に生じる沈下に及ぼす影響については十分に検討されていない。そこで本研究では以下の点について検討を行った。

- ① 繰返し回数が多方向繰返しせん断後の沈下量に及ぼす影響
- ② 多方向繰返しせん断後の沈下量と等価な一方向繰返しせん断ひずみ振幅

2. 実験装置・実験方法 実験に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）の水平面上の直角 2 方向から独立してせん断力を負荷することができることから、実際の地盤の挙動を再現可能である。

実験は、飽和試料を所定の相対密度になるようにせん断箱に詰め、圧密応力 49kPa で予圧密した後、定体積条件の下で繰返しせん断試験を行った。繰返しせん断後に圧密応力 49kPa で再圧密を行い沈下量を測定した。

実験で用いた試料は豊浦砂である。今回用いた試料の物理定数は、 $\rho_s=2.637$ 、 $e_{max}=0.991$ 、 $e_{min}=0.630$ である。また、繰返しせん断波形はサイン波であり図-1 に示す方法で載荷した。図-2 において、(a)は X 方向のみで繰返しせん断を行う一方向せん断試験であり、(b)は直角 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（多方向せん断(Gyratory shear)）である。

なお、相対密度を $Dr=70(\pm 3)\%$ とし、繰返しせん断の周期は 2 秒とした。また、せん断ひずみ振幅は $\gamma=0.1\sim 2.0\%$ の間で変化させ、繰返し回数は $n=5$ 回、15 回とした。せん断ひずみ振幅の定義は、一方向繰返しせん断(a)では、片振幅の大きさを供試体高さで除した値とし、多方向繰返しせん断(b)では、繰返しせん断中に供試体底面中央が描く円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-2 及び図-3 は繰返し回数 $n=5$ 回での繰返しせん断中の鉛直有効応力と繰返し回数の関係を示したものである。

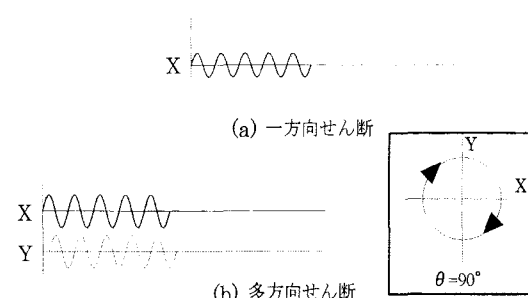


図-1 繰返しせん断方法

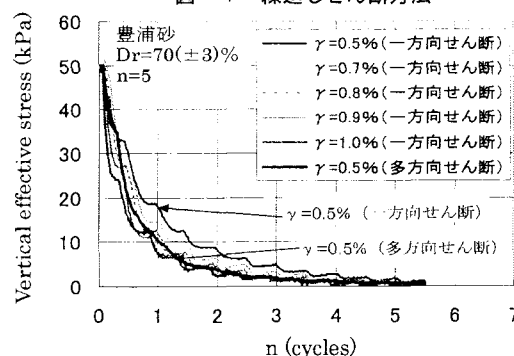


図-2 繰返しせん断中の有効応力減少

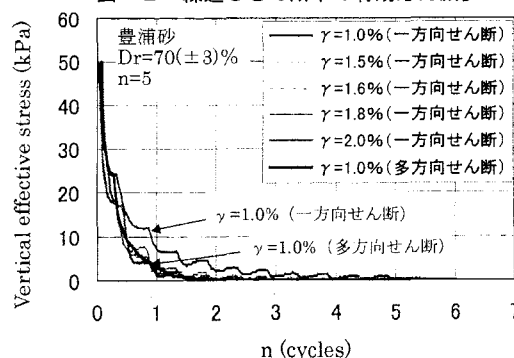


図-3 繰返しせん断中の有効応力減少

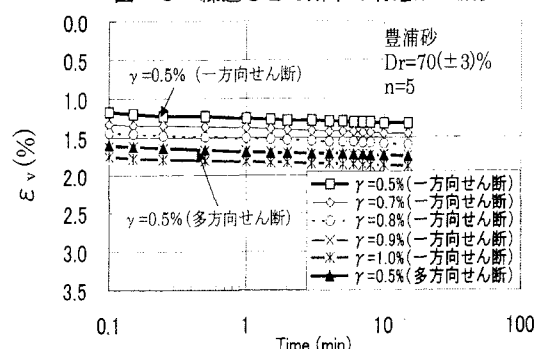
図-4 (a) 再圧密中の沈下ひずみの経時変化 ($n=5$ 回)

図-2は、多方向繰返しせん断ひずみ振幅 $\gamma=0.5\%$ 及び、一方向繰返しせん断ひずみ振幅 $\gamma=0.5\sim 1.0\%$ に対する結果である。同図より、同一のせん断ひずみ振幅で比較すると有効応力減少量にせん断方向の違いによる影響が見られる。また、せん断ひずみ振幅の増加に伴って、有効応力減少量が大きくなることわかる。多方向繰返しせん断時の有効応力減少量と等価な一方向せん断ひずみ振幅は、多方向せん断ひずみ振幅の1.8~2.0倍と推定できる。

図-3は、多方向せん断ひずみ振幅 $\gamma=1.0\%$ 及び、一方向せん断ひずみ振幅を $\gamma=1.0\sim 2.0$ として得た結果である。同図より、図-2と同様に有効応力減少量に繰返しせん断方向の違いによる影響が見られる。また、有効応力減少量に関して多方向せん断と等価な一方向せん断ひずみ振幅を比較した結果、一方向せん断ひずみ振幅は多方向せん断ひずみ振幅の1.5~2.0倍と推定できる。

図-4及び図-5は再圧密中における沈下ひずみの経時変化を示したものである。図-4(a)、(b)は、多方向せん断ひずみ振幅 $\gamma=0.5\%$ 及び、一方向せん断ひずみ振幅 $\gamma=0.5\sim 1.0\%$ についての結果である。なお(a)、(b)は繰返し回数 $n=5$ 回、 $n=15$ 回の結果である。同図において、同一のせん断ひずみ振幅で比較すると沈下量に繰返しせん断方向の違いによる影響が見られる。また、せん断方向及び、せん断ひずみ振幅が沈下量に及ぼす影響は繰返し回数の増加に伴って小さくなる傾向にある。同図より沈下量に関して、多方向せん断と等価な一方向せん断ひずみ振幅は、多方向せん断ひずみ振幅の約1.8倍であると推定できる。

図-5(a)、(b)は、沈下の経時変化を示したもので、それぞれ繰返し回数 $n=5$ 回、 $n=15$ 回についての結果である。各図より同一のせん断ひずみ振幅で比較すると沈下量についても繰返しせん断方向の違いによる影響が見られる。また、各図より、繰返し回数の増加に伴ってせん断方向及び、せん断ひずみ振幅による影響が少なくなる傾向が見られる。

図-6(a)、(b)は、再圧密後の最終沈下ひずみ ε_v (圧密15分における沈下ひずみ)とせん断ひずみ振幅 γ との関係を示したもので、それぞれ繰返し回数 $n=5$ 回、 $n=15$ 回の結果である。各図より、一方向せん断及び多方向せん断のいずれの場合も沈下量はせん断ひずみ振幅と直線的な関係が見られる。また、繰返し回数に関わらず沈下量は一方向せん断ひずみ振幅を1.5~2.0倍すると多方向せん断と等価な沈下量になる傾向にあることがわかる。

4. 結論 砂質土について多方向繰返しせん断がせん断後の沈下量に及ぼす影響について調べた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 沈下に関して一方向繰返しせん断ひずみ振幅の1.5~2.0倍が多方向繰返しせん断ひずみ振幅と等価である。
- 2) 繰返しせん断後の沈下量は繰返し回数の増加に伴いせん断方向やせん断ひずみ振幅の影響が小さくなる。

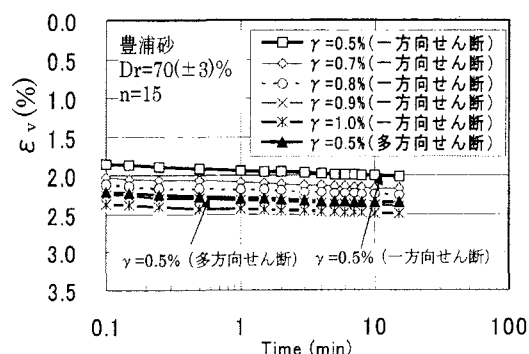


図-4 (b) 再圧密中の沈下ひずみの経時変化 ($n=15$ 回)

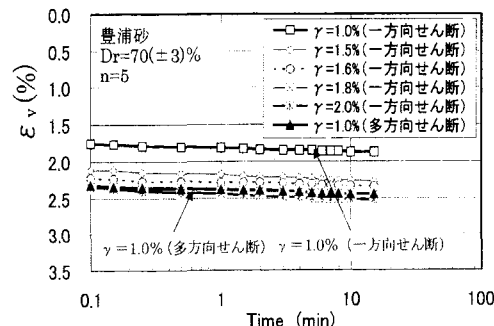


図-5 (a) 再圧密中の沈下ひずみの経時変化 ($n=5$ 回)

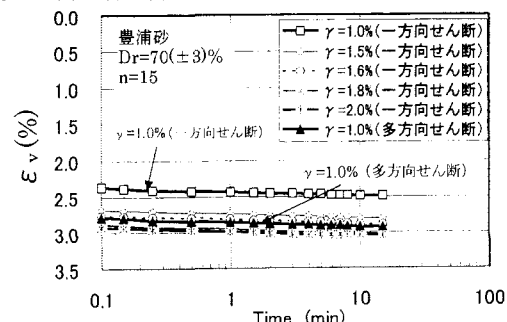


図-5 (b) 再圧密中の沈下ひずみの経時変化 ($n=15$ 回)

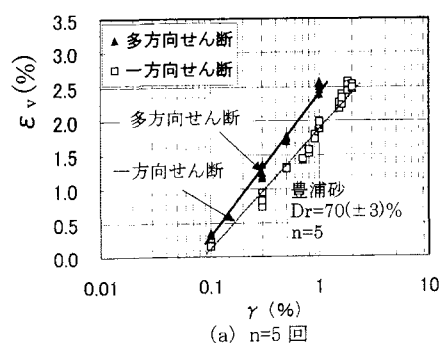


図-6 (a) ε_v と γ の関係 ($n=5$ 回)

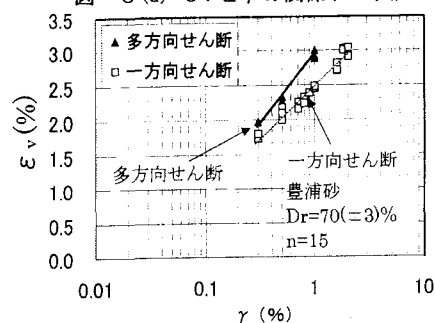


図-6 (b) ε_v と γ の関係 ($n=15$ 回)