

1. はじめに

一般に液状化を想定した砂の非排水繰返しせん断時の挙動は、振動数によって大きな影響を受けないと言われている。ただし、その振動数の範囲は、0.05Hz～12Hz である¹⁾。著者の一人は、粒状要素法を用いて液状化のメカニズムを粒子レベルで調べようとしており、同手法が基本的に準静的解析法であることから、実際の砂の非排水繰返しせん断挙動を準静的にとらえると動的な場合と比べてどのような違いがあるかを確認しておきたいと考えた。そこで、本研究では、振動三軸試験機を用いて、動的載荷のみでなく、準静的な載荷も含めた速度の異なる何通りかの試験を行い、載荷速度の違いによって、砂が液状化するまでに要する繰返し回数や液状化時に見られるひずみの発生状況の差異について調べた。

2. 試料及び試験方法

試験に用いた試料は飽和した豊浦標準砂（土粒子密度 $G_s = 2.63 \text{g/cm}^3$ ，最大空隙比 $e_{\max} = 0.941$ ，最小空隙比 $e_{\min} = 0.604$ ）で三軸試験の供試体寸法は、高さ 10cm、直径 5cm の円筒形とした。今回の試験ではすべて供試体作成時に空中落下法により、相対密度が 40%（空隙比 0.854）になるように調整した。供試体の飽和には、 CO_2 と脱気水を通し、背圧を 98kPa とした。圧密は、等方応力条件下で行い、有効拘束圧を 98kPa とした。これにより、三軸供試体の B 値は 0.96 以上が得られた。載荷速度は、応力制御によって振動数 1Hz, 0.1Hz, 0.05Hz, 0.01Hz の正弦波で応力振幅一定(24kPa)、拘束圧一定のもと、圧縮側から繰返し荷重を連続的に加えた。この他に、準静的試験に対応するものとして、圧縮載荷と伸張載荷を振動数 0.001Hz に相当するような載荷速度で繰返す試験も行った。

3. 試験結果及び考察

図-1 に振動数の違いによる軸ひずみ $\epsilon = 5\%$ に達するまでの繰返し回数を示す。なお、横軸は対数表示である。図-1 により、0.1Hz、1 Hz の載荷時の繰返し回数に比べて振動数の小さい載荷時における繰返し回数は、小さい値を示しており明らかに異なっている。この差の生じる境界は、0.05Hz 付近にある。従来、液状化強度は、振動数 0.05Hz～12Hz の範囲では変わらないと言われているが、今回の試験でもこれを支持する結果が得られた。また、0.05Hz より小さい範囲では、振動数が小さいほど大きな変形に達するまでの繰返し回数は小さくなっており、遅い載荷の方が砂は弱くなるということが言える。図-2 は、軸ひずみ $\epsilon = 5\%$ に達した時の過剰空隙水圧を示す。図-2 を見ると、0.05Hz を境に過剰空隙水圧の値に違いが見られる。この点に関しては、過剰空隙水圧とひずみの時刻変化に注目し、以下のように考察した。

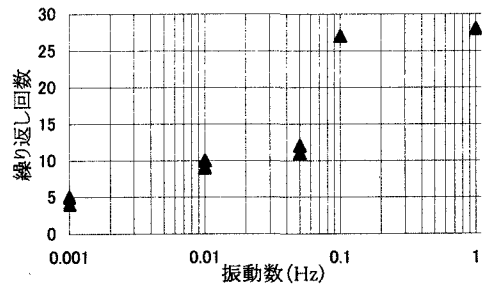


図-1 振動数と $\epsilon = 5\%$ の時の繰返し回数との関係

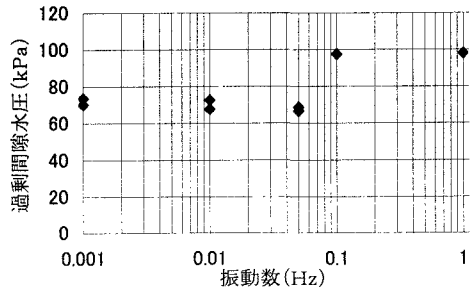


図-2 振動数と $\epsilon = 5\%$ の時の過剰空隙水圧との関係

キーワード：液状化，砂質土，振動三軸試験

連絡先：〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1 前橋工科大学工学部建設工学科 TEL(027)265-7305

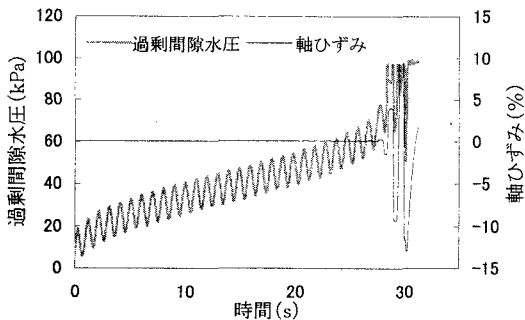


図-3 過剰間隙水圧と軸ひずみの時刻変化 (1Hz)

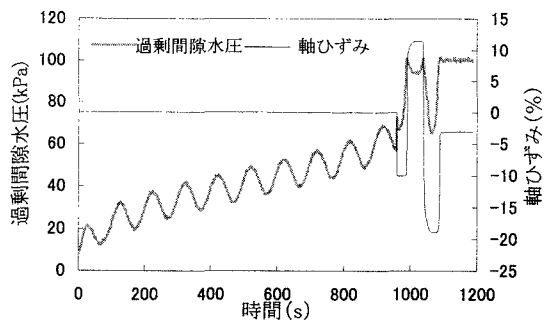


図-4 過剰間隙水圧と軸ひずみの時刻変化 (0.01Hz)

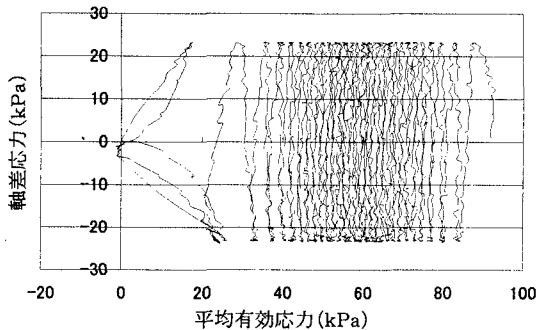


図-5 有効応力経路 (1Hz)

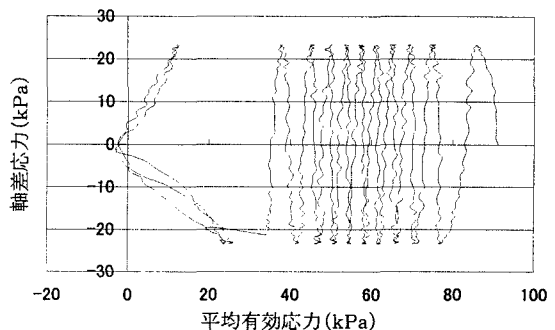


図-6 有効応力経路 (0.01Hz)

図-3、図-4は、1Hz、0.01Hzの過剰間隙水圧と軸ひずみの時刻変化を示す。それぞれは速い載荷と遅い載荷の代表例として示すものである。軸方向については、圧縮側を正として描いている。図-3より、振動数1Hzの場合は、過剰間隙水圧が98kPaに達した後に大きなひずみが発生するのがわかる。一方、図-4をみると、振動数0.01Hzの場合は、過剰間隙水圧が拘束圧の98kPaと等しくなる前に、つまり有効応力が0になる前に伸張側に大きなひずみが発生している。これは、この時点で砂がせん断破壊を起こしたものと考えられる。このとき、過剰間隙水圧は50kPa付近から70kPa付近まで急激に上昇している。図-5、図-6は、それぞれ振動数1Hz、0.01Hzの試験で得られた有効応力経路である。どちらも一般の液状化試験で見られるような曲線になっている。ただし、注意してみると、図-6では、有効応力35kPa付近の伸張載荷時に急激な有効応力の減少が見られ、図-5とは、若干様相が異なる。これは、先に述べたせん断破壊が生じたところである。曲線は、その後変相線に当たる。図-4で過剰間隙水圧と伸張側の軸ひずみの発生が一旦おさまるのはこのためである。図-2において遅い載荷で $\varepsilon=5\%$ の時の過剰間隙水圧が98kPaに達していない点については、このような現象を通して説明が可能である。以上のような伸張側でのせん断破壊点が明確に現れる状況は、振動数0.05Hz以下の遅い載荷の試験で共通にみられるものであった。

4. まとめ

載荷速度の異なる砂の振動三軸試験を行い、非排水繰返しせん断挙動を比較した結果、過剰間隙水圧が蓄積して大変形が生じるという点は載荷速度にかかわらず同様であったが、振動数0.05Hzを境として大変形に達するまでの繰返し回数と破壊時の過剰間隙水圧やひずみの出方が異なることが明らかとなった。振動数が0.05Hzよりも大きい場合には、従来言われている通りに液状化強度に変化はなく、また、振動数0.05Hz以下では、伸張側のせん断破壊点が明確に現れる状況の中で過剰間隙水圧やひずみが急増することがわかった。

〔参考文献〕

- 1) 吉見吉昭：砂地盤の液状化（第二版）、技報堂出版 pp31-32, 1991.