

Ⅲ-A66 微小繰返しせん断応力を受ける飽和砂の非排水せん断特性

東京理科大学大学院 学生会員 木島隆裕
 東京理科大学 正会員 石原研而
 東京理科大学 正会員 塚本良道

1. はじめに

本研究では、地震時の砂の液状化において強震（主要動）後の微小振動が液状化した砂の非排水せん断強度や変形挙動に与える影響について評価を試みたものである。地震時に、強震によってひとたび液状化が発生すると、後続する地震動が変形している土に対して連続的な小さな繰返しせん断応力を作用させる。この後続の繰返しせん断応力と静的荷重が同時に作用して土が流動する状態を室内試験で再現し考察することを試みた。

2. 実験方法

実験装置には中空ねじり試験機を用いた。中空円筒型供試体に対して、ひずみ制御による単調ねじりせん断と、応力制御による $\sin$ 波繰返し軸応力を同時に加えることによって微小振動を再現し、砂の強度低下メカニズムについて検討を行った。繰返し応力比 CSR は最大で 0.15、ねじり変形 1% ひずみが生じる間に加えられる繰返し回数 $N_{1\%}$ は 25, 62.5 回の 2 通りとした。また、試料は豊浦砂 ($G_s=2.657$ 、 $e_{\max}=0.973$ 、 $e_{\min}=0.607$) を用いた。供試体は空中落下法により相対密度 $D_r=37, 53, 65\%$ の緩い、中密、密なもの 3 通りを作製し、またその寸法は内径約 6cm、外径約 10cm、高さ約 9cm とした。この供試体に二酸化炭素を通しさらに脱気水で通水し飽和させた後、拘束圧 98.1kPa で等方圧密し、単調ねじり載荷と CSR・ $N_{1\%}$ の異なる $\sin$ 波繰返し軸応力を同時に載荷する非排水繰返しねじりせん断試験を行った。

3. 実験結果

図 1 に代表的な実験結果を示す。これから一定繰返し回数 $N_{1\%}$ の下では繰返し応力比 CSR のレベルが大きくなるに従ってより多くの過剰間隙水圧が発生し収縮の挙動を示すことが分かる。このような砂の挙動は供試体密度、繰返し回数 $N_{1\%}$ を変えた場合にも同様な結果が得られた。

4. 繰返し応力比 CSR が及ぼす影響

間隙比や鉛直応力等の初期条件が同じ供試体に対して異なった応力比を持つ繰返し軸応力を作用させて、そのときの応力ひずみ関係・有効応力経路、また変相点での有効応力比を考察することにより微小繰返し軸応力が非排水単調ねじりせん断挙動に及ぼす影響を検討した。これより図

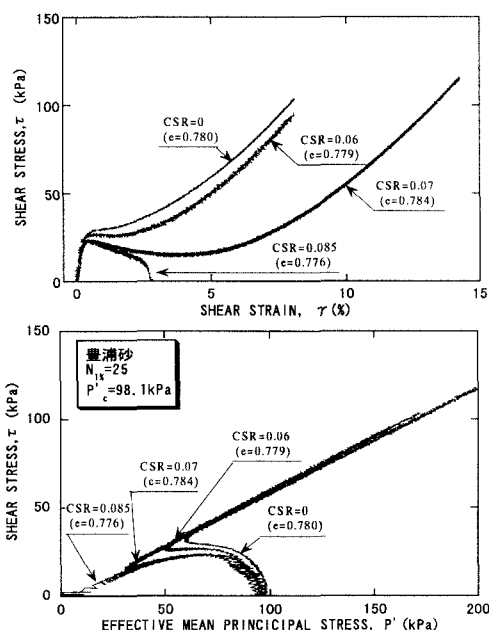


図 1 代表的な実験結果

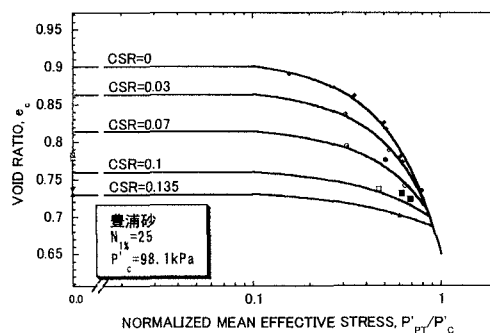


図 2 変相点における有効応力比線

キーワード : 微小繰返しせん断応力 繰返し応力比 CSR 繰返し回数 $N_{1\%}$

連絡先 : 〒278-8510 千葉県野田市市崎 2641 tel 0471-24-1501(内線)4056 fax 0471-23-9766

2に示すような繰返し回数一定での繰返し応力比 CSR の変化による変相時の有効応力比の変化を示す図が得られる。この図からある密度の供試体において繰返し応力比 CSR の増加が過剰間隙水圧の上昇に大きく影響を与え砂の軟化挙動を顕著にしている。また本研究では、3種類の間隙比を持つ供試体において同様の試験を行ったが、CSR の増加により砂の応力状態や変形特性について同様の変化が見られた。さらに、緩い砂では小さな繰返し応力比 CSR においても大きな影響がみられるが、砂の密度が大きくなるほどその挙動に影響を与える繰返し応力比 CSR は大きくなるといえる。従って、単調ねじりせん断と同時に加えられる微小繰返し応力の応力レベルが異なると砂の応力状態や変形特性は異なったものとなり、変相点や準定常状態での非排水強度にも差異が生じることとなる。

5. 繰返し回数 $N_{1\%}$ が及ぼす影響

本研究では、2種類の繰返し回数($N_{1\%}=25, 62.5$)の条件下で実験を行った。これより図3に繰返し応力比 CSR=0.1での繰返し回数 $N_{1\%}$ が変相時の有効応力比に及ぼす影響について示す。この図からある密度の供試体において繰返し回数 $N_{1\%}$ を大きくすることによって変相時の有効応力比が小さくなり、砂は収縮的挙動を示していることが分る。またこの図から、繰返し軸応力を加えることによって発生する過剰間隙水圧を推測することができる。以上のことから、微小振動の影響を評価するにあたり、繰返し応力比 CSR だけでなく、繰返し軸応力の周波数すなわち繰返し回数 $N_{1\%}$ を考慮する必要があるといえる。

6. 強度低下率と繰返し応力比・繰返し回数の関係

図4は、強度低下率 R_D を用い微小繰返し軸応力が砂の非排水単調ねじりせん断挙動に及ぼす影響を評価したものである。ここで、強度低下率 R_D は以下の式で算出した。

$$R_D = P'_{PTCC} / P'_{PTMI}$$

ただし、 P'_{PTCC} :微小繰返し軸応力を加えたときの変相時の平均有効主応力、 P'_{PTMI} :軸応力一定下の単調ねじり載荷時の変相時の平均有効主応力とする。この図から、供試体密度によって繰返し回数による効果が大きく変わっており、緩い供試体ほど微小繰返し軸応力の影響は大きいことが分かる。また密な供試体ほど、繰返し応力比による強度低下が顕著なことも分かる。

7. 結論

非排水単調ねじりせん断挙動に及ぼす、微小繰返し軸応力の影響を評価した結果、以下のことが分かった。

- ・非排水単調ねじりせん断と同時に加えられる微小繰返し軸応力によって、強度低下が顕著に現れた。
- ・ある一つの間隙比と繰返し回数 $N_{1\%}$ の組み合わせ条件下では繰返し応力比 CSR と変相時の有効応力比 P'_{PTCC}/P'_c の関係は一義的に定まる。また、CSR の増加に伴い砂の挙動はより収縮的になることが分かった。
- ・微小繰返し軸応力の繰返し回数 $N_{1\%}$ の大きさによって、砂の応力状態や変形特性に差異が現れることが分かった。

<参考文献>

Meneses, J.F.(1996): "Effects of complementary cyclic shear stress on the undrained behavior of saturated sand under monotonic loading" 東京大学学位論文

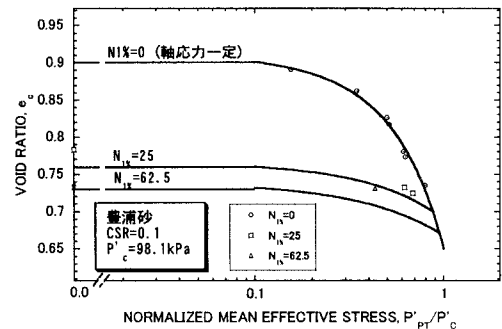


図3 変相点における有効応力比線

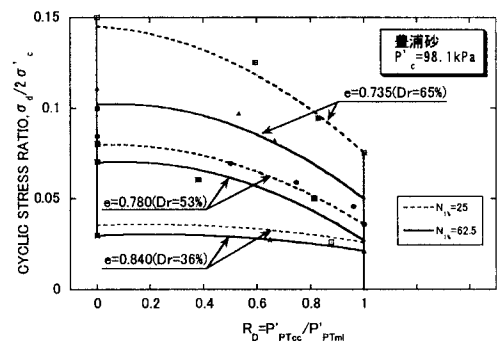


図4 CSR, $N_{1\%}$ が強度低下に及ぼす影響