

III-A 93

主応力方向角に着目した密な砂の液状化特性

福岡大学工学部 正会員 ○佐藤研一 吉田信夫

1. まえがき

著者らは、これまでに密な砂を用い主応力方向角の異なる非排水繰返しせん断試験を行い、その結果を報告している^{1),2)}。その結果、繰返しせん断挙動に及ぼす主応力方向角の影響は、有効応力経路が変相線に至るまでの挙動に顕著に現れ、最初に繰返し载荷を行う主応力方向角に大きく依存していることが分かっている。しかし、この実験では、繰返し応力を静的に载荷していること、繰返し回数が最大5回であることから、液状化強度曲線を求めるまでにはいたらなかった。そこで、本研究では新たに開発した全自動計測制御中空ねじり試験装置を使用し、応力制御による液状化試験を行った結果について報告する。

2. 実験概要

密な砂の液状化特性に及ぼす主応力方向角の影響を調べるために用いた実験装置は、新しく開発された中空ねじり試験装置である。この装置の特徴と実験における計測・制御プログラムの精度については、別報³⁾で報告しているのでここでは省略する。供試体は、豊浦標準砂($\rho_s=2.65, e_{max}=0.962, e_{min}=0.622$)を用い、空中落下法により相対密度80%になるように調整し、作成した。実験は、主応力軸方向角 α を一定に保ち、中間主応力係数 (b 値) を0.5、平均有効主応力 $p'_c=196\text{kPa}$ を一定に保ちながら一定振幅の繰返し応力を正弦波で非排水繰返し载荷を行った。今回報告する実験は、主応力方向角 α は、 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の5種類、繰返し応力比は τ/p'_c は、0.25, 0.30, 0.35 の3種類である。ここで、主応力方向角とは鉛直軸からの最大主応力方向角の傾きと定義している。また、载荷周期は応力制御のため1サイクルで約300秒を要している。今回実施した試験の応力経路図を図-1に示している。

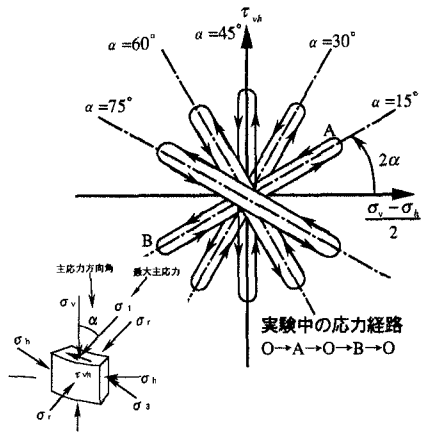


図-1 応力経路図

3. 実験結果及び考察

図-2に主応力方向角 $\alpha=30^\circ$ 、繰返し応力比 $\tau/p'_c=0.30$ における繰返しせん断中の繰返し応力、せん断ひずみ、過剰間隙水圧比の時刻歴を示している。せん断ひずみは、過剰間隙水圧比が0.6付近に達した時点から発生しはじめ、繰返し回数の増加とともに大きくなり、約28サイクル目で約10%に達している。次に、同一繰返し応力比 $\tau/p'_c=0.30$ で行った主応力方向角がそれぞれ $\alpha=15^\circ$ と 60° の有効応力経路図を図-3、4に示す。有効応力経路は、同一の繰返し応力比にも関わらず、主応力方向角の変化に伴う初期構造異方性の影響が特にサイクリックモビリティを示すまでの間に顕著に現れ、まったく異なった挙動を示している。また、最初の1サイクル目の有効応力の低下量に主応力方向角の影響が最もよく現れている。

図-5、6に繰返し回数と過剰間隙水圧およびせん断ひずみの関係を示している。過剰間隙水圧の発生量は、主応力方向角が異なると繰返し回数の増加に伴い、同一繰返し回数においてその発生量が異なっていることが分かる。 $\alpha=60^\circ$ では、繰返し回数が2サイクル目の途中で約0.6以上の過剰間隙水圧を発生し、大きな増減を繰返ししながらほぼ1.0に達している。一方、 $\alpha=15^\circ$ では10サイクル目にほぼ0.6に達している。

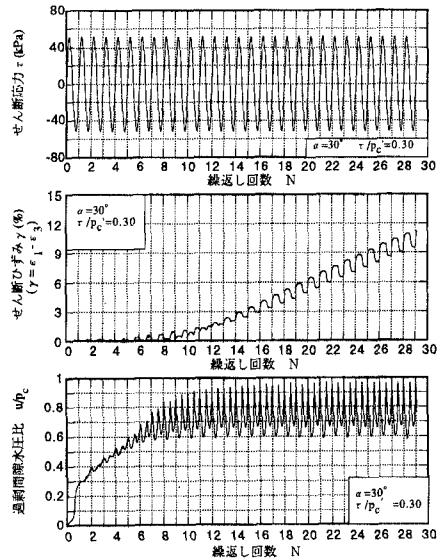


図-2 繰返しせん断中の時刻歴

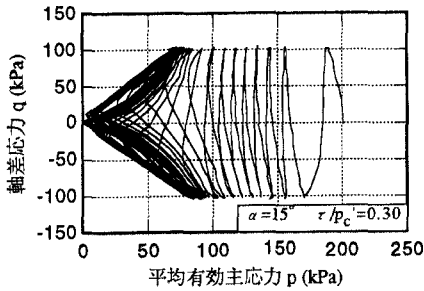


図-3 有効応力経路($\alpha=15^\circ$)

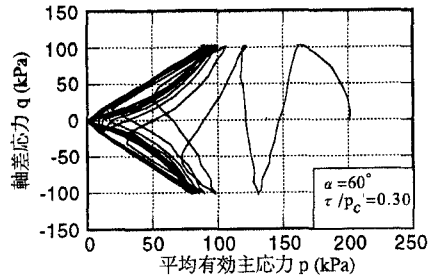


図-4 有効応力経路($\alpha=60^\circ$)

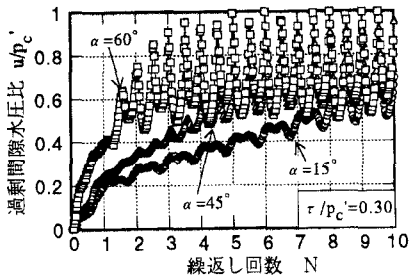


図-5 過剰間隙水圧と繰返し回数の関係

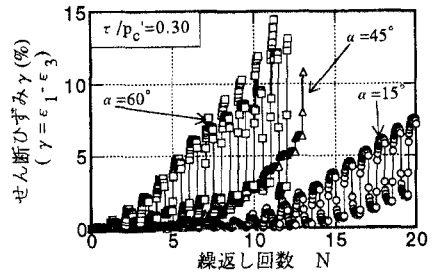


図-6 せん断ひずみと繰返し回数の関係

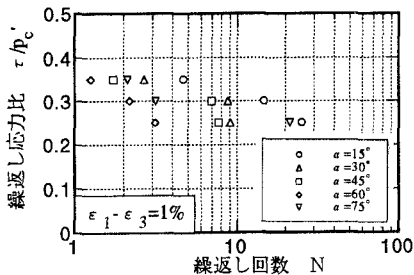


図-7 繰返し回数と液状化強度比の関係($\gamma=1\%$)

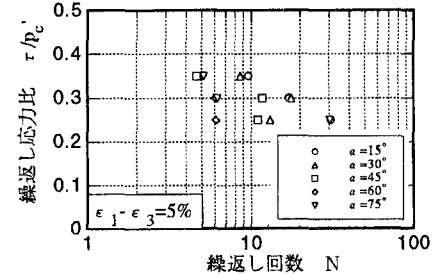


図-8 繰返し回数と液状化強度比の関係($\gamma=5\%$)

一方、せん断ひずみも過剰間隙水圧の発生量と同様に主応力方向角の影響を受け、繰返し回数の増加に伴う発生量が異なっている。このことより、主応力方向角は、過剰間隙水圧、せん断ひずみの発生過程に大きな影響を及ぼすことが分かる。図-7、8にせん断ひずみ $\gamma=\epsilon_1-\epsilon_3$ の値が1%および5%の時の繰返し応力比 τ ($=(\sigma_1-\sigma_3)/2$)/ p_c と繰返し回数 N の関係を示す。その結果、せん断ひずみが1%の場合では、主応力方向角の変化による初期構造異方性の影響が明確に現れ、液状化強度が異なっていることが分かる。液状化強度は、主応力方向角 $\alpha=60^\circ$ のものが最も弱く、 $\alpha=15^\circ$ のものが最も強いことが分かる。さらに変形が進み、 $\gamma=5\%$ の結果では、前報で⁴⁾報告したように液状化強度に及ぼす主応力方向角の影響が小さくなっていることが分かる。しかし、主力方向角の変化に伴う初期構造異方性の影響は、失われておらず液状化強度が異なっている。この結果は、液状化強度に主応力方向角の変化による初期構造異方性のないことを示した古関ら⁵⁾、田口ら⁶⁾の結果とは異なった結果となった。

4.あ と が き 今回行った、密な砂の液状化試験から、液状化強度に主応力方向角の影響が明かになった。また、その影響はせん断ひずみが1%の比較的小さなひずみの時に顕著に現れる。今後、供試体密度を変化させた実験等を行って主応力方向角の影響をさらに明かにしていく予定である。また、実験およびデータ整理にあたり福岡大学大学院1年太田勝康君、下川裕己君の協力を得た。記して謝意を表します。

参考文献

1)Sato,K. et al.(1995):Effect of principal stress direction on undrained cyclic shear characteristics of dense sand,Proc.of IS-TOKYO'95,Vol.1,pp.295-300. (2)佐藤ら(1995):密な砂の非排水繰返しせん断挙動に及ぼす主応力方向角の影響、土木学会論文集(投稿中). (3)佐藤ら(1996):自動制御・計測が可能な中空ねじり試験装置の開発と適用、平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、568-569. (4)佐藤ら(1996):砂の液状化特性に及ぼす主応力方向角の影響、第31回地盤工学研究発表会(投稿中) (5)古関ら(1987):砂の液状化特性におよぼす主応力方向の回転の影響、第22回土質工学研究発表会講演概要集、Vol.2-1,pp.565-568. (6)田口ら(1994):実地盤を想定した多様な応力状態における砂の液状化特性、第29回土質工学研究発表会講演概要集、Vol.3-2,pp.749-752.