

Ⅲ - A63

主応力方向角に着目した砂の液状化特性に及ぼす供試体密度の影響

福岡大学大学院 学生員○太田 勝康  
 福岡大学工学部 正 員 佐藤 研一  
 福岡大学工学部 正 員 吉田 信夫

1. はじめに

地震による飽和砂地盤の液状化現象と同様に、地震動と同様な波動性を有する波浪によっても、海底地盤において液状化が発生する可能性<sup>1)</sup>があることが指摘されている。これまでに著者らは、海洋構造物下の海底地盤の挙動をシミュレーションし、特に繰返しせん断中の主応力方向角に着目して検討<sup>2)</sup>を進めてきた。しかし、地震動による液状化と同様に、海底地盤の液状化にも種々の原因があると考えられる。そこで、本研究では、これまでの実験において最も弱い液状化強度を示した $\alpha=60^\circ$ について、中空ねじり試験機により主応力方向を固定した条件下で非排水繰返しせん断試験を行い、砂の液状化特性に及ぼす供試体密度の影響を調べた。

2. 実験概要

実験は、全自動計測制御中空ねじりせん断試験装置を用い、応力制御による非排水せん断試験を行った。実験装置等の詳細は前報<sup>3)</sup>で報告しているためここでは省略する。実験に用いた中空円筒供試体は、外径約100mm、内径約60mm、高さ約200mmで、試料には、豊浦標準砂( $G_s=2.64$ 、 $e_{max}=0.991$ 、 $e_{min}=0.623$ )を用い、供試体の作成と密度の調整は空中落下法により行っている。今回実施した応力径路を図-1に示す。この図に示す所定の応力径路に従って、応力制御により正弦波を載荷して実験を行っている。なお実験では、平均主応力 $p(=196\text{kPa})$ 、中間主応力径数 $b$ 値( $=0.5$ )は実験中常に一定としている。また、密度の影響を調べるために、供試体の相対密度を $Dr=40\%$ 、 $60\%$ 、 $80\%$ の3種類とし、主応力方向角 $\alpha$ は $\alpha=60^\circ$ に固定して実験を行った。ここで主応力方向角 $\alpha$ とは、最初に応力を載荷する方向のことである。繰返し応力比は $\tau/p_c'=0.20$ 、 $0.23$ 、 $0.25$ 、 $0.28$ 、 $0.30$ 、 $0.35$ の6種類に固定している。

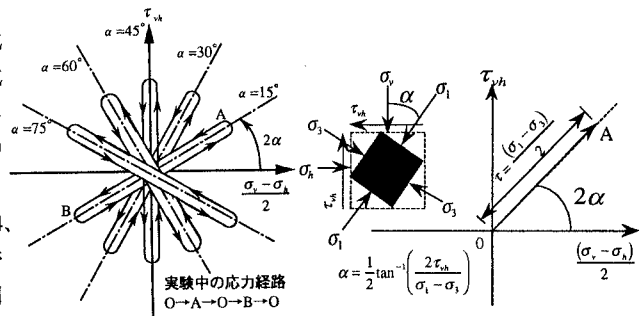


図-1 応力径路図<sup>2)</sup>

所定の応力径路に従って、応力制御により正弦波を載荷して実験を行っている。なお実験では、平均主応力 $p(=196\text{kPa})$ 、中間主応力径数 $b$ 値( $=0.5$ )は実験中常に一定としている。また、密度の影響を調べるために、供試体の相対密度を $Dr=40\%$ 、 $60\%$ 、 $80\%$ の3種類とし、主応力方向角 $\alpha$ は $\alpha=60^\circ$ に固定して実験を行った。ここで主応力方向角 $\alpha$ とは、最初に応力を載荷する方向のことである。繰返し応力比は $\tau/p_c'=0.20$ 、 $0.23$ 、 $0.25$ 、 $0.28$ 、 $0.30$ 、 $0.35$ の6種類に固定している。

3. 実験結果及び考察

3.1 主応力方向に着目した密な砂の液状化強度

図-2は、供試体密度 $Dr=80\%$ の豊浦標準砂において行った液状化試験の結果<sup>3)</sup>である。ここで、液状化強度は、最大せん断ひずみ $\gamma_{max}$ が5%に達した点を破壊と定義している。この図より、主応力方向角の影響が、砂の液状化強度に明確に現われており、主応力方向角 $\alpha=60^\circ$ において最も弱い液状化強度を示していることがわかる。

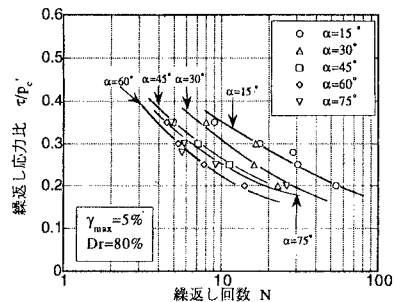


図-2 液状化強度曲線( $Dr=80\%$ )

3.2 供試体密度の違いが砂の繰返しせん断特性に及ぼす影響

3.1で述べたように、密な砂供試体では、主応力方向角の違いによって液状化強度に異方性の影響が現われることが明らかになった。そこで、この中で最も弱い液状化強度を示した $\alpha=60^\circ$ について、供試体密度の違いがどの程度液状化強度に影響を及ぼすのかを調べた。図-3(a)、(b)に、繰返し応力比 $\tau/p_c'=0.25$ における $Dr=40\%$ と $80\%$ の有効応力径路図を示す。 $Dr=40\%$ の供試体の場合は $Dr=80\%$ の場合に比べて有効応力が初期の段階から急激な低下を示し、繰返し回数に対する平均有効主応力の減少が著しく、平均有効主応力がほぼゼロになり液状化状態に至っている。このことは、全ての繰返し応力比に対しても同様な現象が確認さ

キーワード: 砂、供試体相対密度、主応力方向、せん断ひずみ、液状化強度  
 連絡先: 〒814-01 福岡市 城南区 七隈 8-19-1 福岡大学大学院 工学研究科 TEL 092 (871) 6631 内線 6481

れた。次に、図4に繰返し応力比  $\tau/p'_c=0.25$  における実験結果について、それぞれせん断ひずみ  $\gamma_{max}=1\%$ 、 $3\%$ 、 $5\%$ を生じさせるのに必要な繰返し回数と相対密度の影響を示している。供試体密度の増加に伴い、同一せん断ひずみに達する繰返し回数が増加していることが確認できる。また、 $Dr=60\%$ 以上で、密度増加に伴う変形に対する抵抗が急激に増加することもわかる。

次に、液状化強度に及ぼす供試体相対密度の影響について図5に示す。この図は最大せん断ひずみ  $\gamma_{max}$  が5%に達した際の繰返し応力比  $\tau/p'_c$  と繰返し回数  $N$  の関係を示している。この図より、供試体相対密度の違いによる影響が液状化強度に明確に現われており、密度増加に伴って強度も増加している。また、その影響は、繰返し応力比  $\tau/p'_c$  が大きくなるに従って顕著に現われている。そこで、この液状化強度曲線に及ぼす供試体密度の影響をさらに詳しく見るために、繰返し回数  $N=10$  回において、それぞれせん断ひずみ  $\gamma_{max}=1\%$ 、 $3\%$ 、 $5\%$ を生じさせるのに必要な繰返し応力比と相対密度の関係を図6に示す。この図より、同一ひずみに達する繰返し応力比の大きさは、せん断ひずみが大きくなるほど相対密度の影響が顕著に現われていることが確認できる。従って、液状化強度を  $\gamma_{max}=5\%$  で定義すれば、密度の影響は、液状化の大きな要因の一つとなることがわかる。

4. あとがき

本研究では、供試体の初期構造異方性の影響により、最も弱い液状化強度を示した主応力方向角  $\alpha=60^\circ$  の実験結果について供試体密度の影響を調べた。その結果、供試体密度を変化させることにより、液状化強度は著しく異なり、同一主応力方向における液状化強度に及ぼす供試体密度の変化は、大きなインパクトを与えることがわかった。今回は、主応力方向角  $\alpha=60^\circ$  だけにとどまったが、今後、その他の主応力方向についても供試体密度を変化させた実験を行い、検討を進めていく予定である。

参考文献 1)善ら(1992):海底地盤の波浪による液状化に関する研究、九州大学学位請求論文 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、No.541/III-35,pp.199-213. 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、pp.568-569.

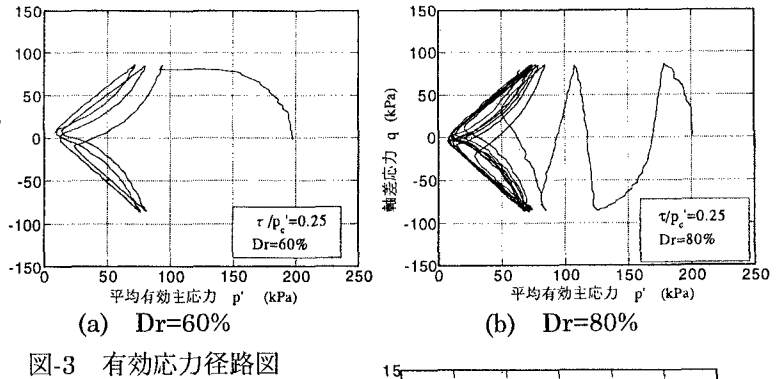


図-3 有効応力径路図

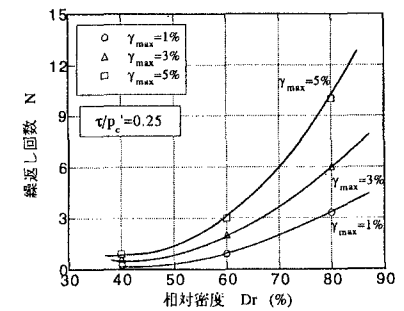


図-4 繰返し回数と相対密度の関係

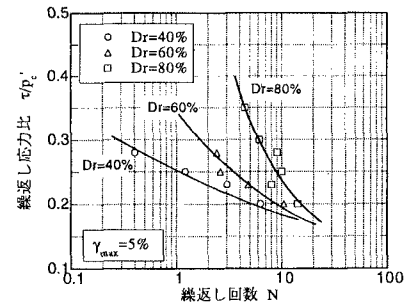


図-5 液状化強度曲線

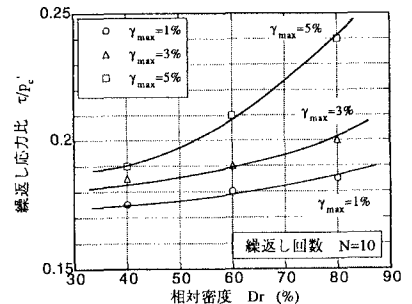


図-6 繰返し応力比と相対密度の関係