

密な砂の液状化特性に及ぼす初期異方性の影響

福岡大学工学部 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

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に着目して実験的な検討¹⁾を進めてきた。その結果、非排水での繰返しせん断特性にせん断時に載荷される主応力方向が影響を及ぼし、特にせん断初期に、その影響が顕著に現われることを指摘した。しかし、これまでは試験装置の問題から、繰返し回数が5回までの検討にしか至らなかった。そこで、本研究では、液状化試験対応の応力制御方式による中空ねじり試験装置の導入に伴い、密な砂の液状化特性に及ぼす初期異方性の影響を調べた。

2. 実験概要

実験は、全自動計測制御中空ねじり試験装置を用い、応力制御による非排水繰返しせん断試験を行った。実験装置等の詳細は前報²⁾で報告しているのでここでは省略する。実験に用いた中空供試体は、形状を外径約100mm、内径約60mm、高さ約200mm、で作成した。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おり、海底地盤は密な状態にあると思われるため相対密度80%の密な砂供試体を用いた。今回実施した応力経路を図-1に示す。この図における所定の応力経路に従って、平均主応力 p 、中間主応力係数 b 値および主

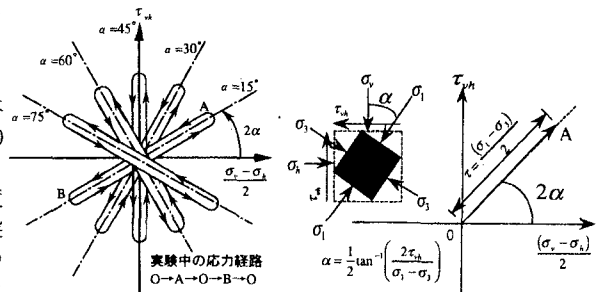


図-1 応力経路図

応力方向角 α を決定し、応力制御によるステップ載荷により実験を行っている。なお決定したこの3つのパラメータは実験中は常に一定とする。本研究では、平均主応力 $p=196\text{kPa}$ 、中間主応力係数 b 値は0.5とし、主応力方向角 α については、 $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の5種類とした。ここで主応力方向角 α 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種類に固定して行っている。

3. 主応力方向角の違いが砂の繰返しせん断特性に及ぼす影響

図-2に繰返し応力比 $\tau/p_c'=0.30$ 、主応力方向角の異なる2種類($\alpha=15^\circ, 60^\circ$)における有効応力経路をそれぞれ示している。どちらの結果においても有効応力が徐々に低下していき、変相線に接してサイクリックモビリティを示し、有効応力がほぼゼロになっており、液状化状態に至るまでの有効応力の変動の過程が読み取れる。また、サイクリックモビリティを示すまでの有効応力の経路に供試体の初期構造異方性の影響が現われており、 $\alpha=15^\circ$ の実験結果に比べると $\alpha=60^\circ$ の結果の方が少ない繰返し回数で変相線に達した後、サイクリックモビリティを示し液状化状態に至っている。

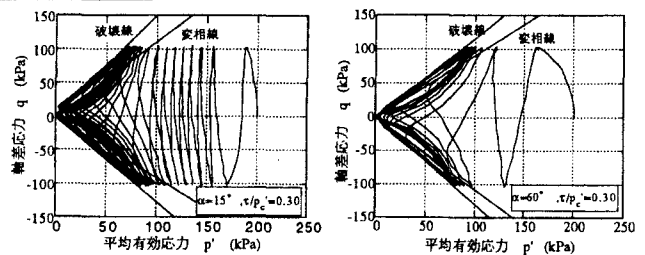
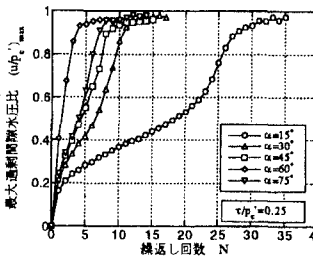
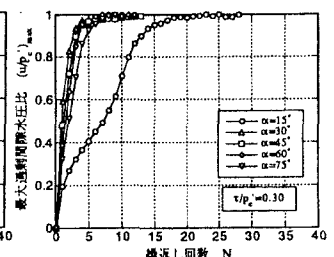


図-2 有効応力経路図

さらに、過剰間隙水圧の発生に着目して、繰返し回数 N と各サイクルでの最大の過剰間隙水圧比 $(u/p_c')_{max}$ との関係を繰返し応力比 $\tau/p_c'=0.25, 0.30$ の二つの実験結果について図-3、4に示す。先に述べた有効応力経路図における有効応力の低下と同様に、繰返し回数の増加に伴う最大過剰間隙水圧比 $(u/p_c')_{max}$ の発生の過程に主応力方向の影響が現われている。

図-3 $(u/p_c')_{max}$ の時刻暦図-4 $(u/p_c')_{max}$ の時刻暦

次に、液状化の評価には、繰返し中のせん断ひずみ γ が用いられる。そこで、このひずみの発生の過程に及ぼす主応力方向の影響を示したのが図-5、6である。これらの図はそれぞれ、繰返し応力比 $\tau/p'_e=0.25$ 、 0.30 について、繰返し回数 N と各サイクルの最大のせん断ひずみ γ_{max} ($=\epsilon_1-\epsilon_3$) $_{max}$ との関係を示している。最大過剰間隙水圧比と同様に主応力方向による影響が現われており、最大せん断ひずみ γ_{max} の発生量は、同一繰返し回数において等しくないことがわかる。そこで、これらの関係から、繰返し回数 N が1~5回までの主応力方向角別の最大せん断ひずみ γ_{max} の発生量を図-7、8に示す。せん断ひずみは、いずれの応力比とも主応力方向角 α が 60° までは、主応力方向角が増加するに従い、繰返し回数 N の増加とともに大きくなっているが、 α が 60° を越えるとその発生量は低下している。ここには示していないが、最大過剰間隙水圧比 $(u/p'_e)_{max}$ の発生も同様な傾向を示している。このことは、繰返しせん断挙動における最大せん断ひずみ、最大過剰間隙水圧比の発生過程に、主応力方向角によって変化する供試体の潜在的な滑り面と堆積面との関係が大きく寄与していることを示唆している¹⁾。

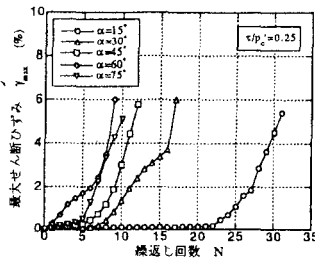


図-5 γ_{max} の時刻歴

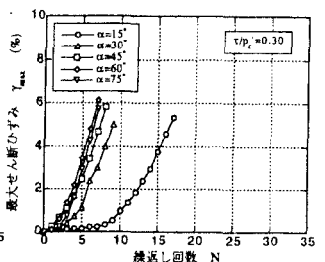


図-6 γ_{max} の時刻歴

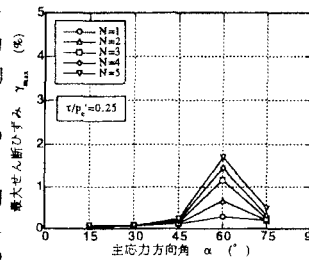


図-7 最大せん断ひずみと主応力方向の関係

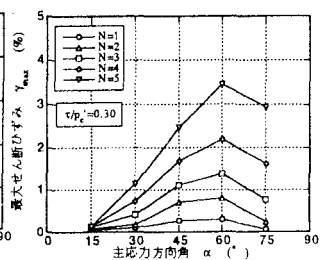


図-8 最大せん断ひずみと主応力方向の関係

次に液状化強度に及ぼす初期構造異方性の影響について図-9、10に示している。これらの図は、最大せん断ひずみ γ_{max} が1%と5%にそれぞれ達した際の繰返し応力比 τ/p'_e と繰返し回数の関係を示している。また、 γ_{max} が5%の結果には、同一密度で行った繰返し三軸試験による結果も示している。最大せん断ひずみ γ_{max} が1%の場合では主応力方向の影響が明確に液状化強度の違いに現われているが、 γ_{max} が5%の場合においては、主応力方向の影響は多少残っているがその影響は小さくなっていることがわかる。また、繰返し三軸試験による結果は、繰返しねじりせん断試験による各主応力方向角の試験結果よりも液状化強度が弱い結果となっていることもわかる。過去の研究^{3),4)}において、任意のひずみにおける液状化強度に及ぼす主応力方向角の影響は、明確には現われないとされている。しかし、これらの結果を見ると、非排水繰返しせん断挙動に及ぼす主応力方向の影響は、せん断ひずみの発生に伴って小さくなっていくことが示唆される。しかし、通常、液状化強度で示されるせん断ひずみ5%では、初期構造異方性の影響が明らかに現われることがわかった。

4. あとがき

今回の実験により、密な砂の液状化特性に及ぼす初期異方性の影響が存在することが明らかになり、その影響はせん断ひずみの発生とともに小さくなっていくことがわかった。今後、さらに実験を重ねていき、有効応力径路が変相線に達した後の挙動の解明と、等方的な構造の供試体を用いて同様な実験を行い、初期異方性の影響を明確なものにしていこうと予定である。

参考文献 1)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. 2)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. 3)古関ら(1987):砂の液状化特性に及ぼす主応力方向の回転の影響、第22回土質工学会研究発表会講演概要集、Vol.2-1, pp.565-568. 4)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回土質工学会研究発表会講演概要集、Vol.3-2, pp.749-752.

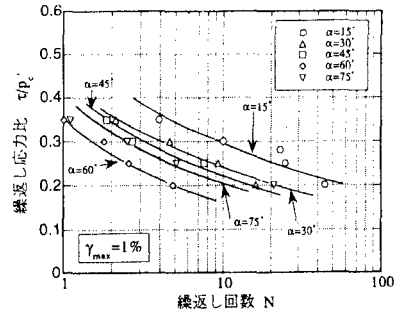


図-9 液状化強度曲線

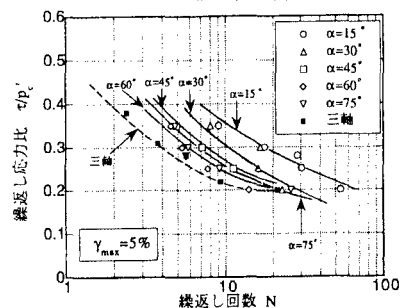


図-10 液状化強度曲線