

1.はじめに

2種類の砂について低拘束圧下で非排水繰返し中空ねじり試験を実施した結果を前報¹⁾で報告した。ここでは、拘束圧が液状化強度特性、応力ひずみ関係、有効応力径路に及ぼす影響について整理した結果を示す。

2.試験方法

霞ヶ浦砂 ($\rho_s = 2.795 \text{ g/cm}^3$, $e_{\max} = 0.970$, $e_{\min} = 0.594$, $D_{50} = 0.27 \text{ mm}$, $F_c = 0\%$) と豊浦砂を用いて、外径10cm・内径6cm・高さ20cmの中空円筒供試体をそれぞれドライタッピング法と空中落下法により作成し、飽和化後に3通りの拘束圧 σ'_c (4.9, 9.8, 98kPa) まで等方圧密した。その後、軸荷重を一定に保ち、またメンブレン張力の影響を補正しながら、一定のせん断応力振幅 τ_d で非排水繰返しねじりせん断を行った。試験の詳細と結果例については前報¹⁾を参照されたい。

3.液状化強度特性

せん断ひずみの両振幅 γ_{DA} が (a)1.5% または (b)7.5% になったときの液状化強度曲線を図1、図2に示す。各図の(b)は前報¹⁾の図8、9の訂正版である。いずれも、拘束圧が低くなるほど液状化強度が増加する。

繰返し回数10回で液状化するせん断応力比を拘束圧9.8kPaで得られた値で正規化した「液状化強度比 R_c 」と拘束圧の関係を図3に示す。図3(a)中には金谷ら^{2,3)}による非排水繰返し三軸試験結果もあわせて示した(初期液状化時は軸ひずみ両振幅 ϵ_{DA} が約1%で、 $\gamma_{DA} = 1.5\%$ とほぼ対応する)。Drが50~65%程度の豊浦砂では、試験方法によらず同様な傾向が得られ、液状化を定義するひずみレベルの影響も小さい。ただし、望月ら⁴⁾も指摘しているように、Drが90%程度以上になると拘束圧の影響が大きくなること、図中に示した金谷らの結果からわかる。また、図3(b)より、豊浦砂と霞ヶ浦砂の液状化強度の拘束圧依存性は、今回の試験条件のもとではほぼ同程度であった。

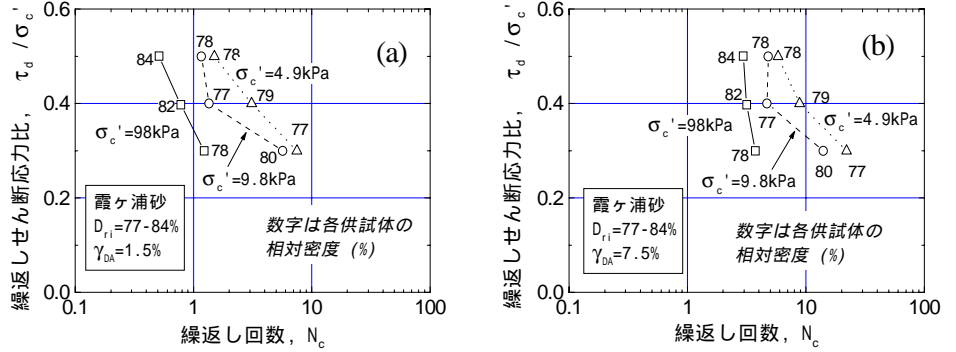


図1 霞ヶ浦砂の液状化強度曲線

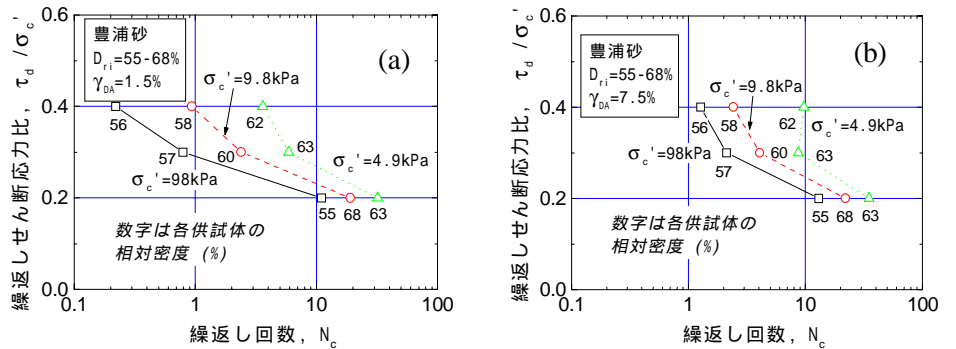


図2 豊浦砂の液状化強度曲線

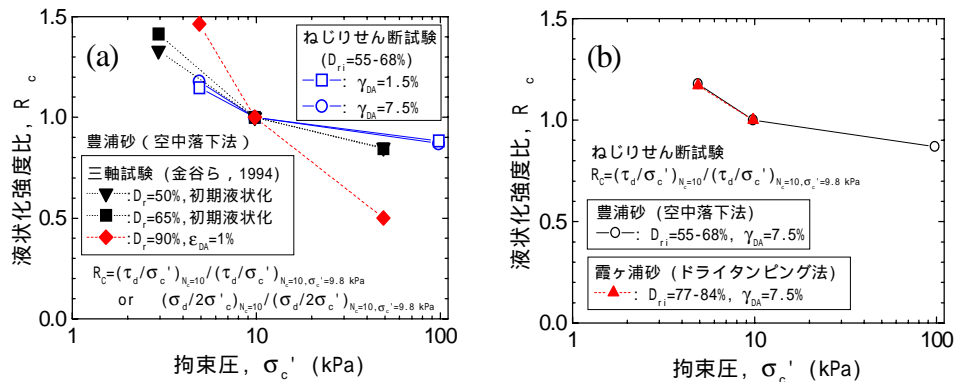


図3 液状化強度に及ぼす拘束圧の影響

軸ひずみ両振幅 ϵ_{DA} が約1%で、 $\gamma_{DA} = 1.5\%$ とほぼ対応する)。Drが50~65%程度の豊浦砂では、試験方法によらず同様な傾向が得られ、液状化を定義するひずみレベルの影響も小さい。ただし、望月ら⁴⁾も指摘しているように、Drが90%程度以上になると拘束圧の影響が大きくなること、図中に示した金谷らの結果からわかる。また、図3(b)より、豊浦砂と霞ヶ浦砂の液状化強度の拘束圧依存性は、今回の試験条件のもとではほぼ同程度であった。

キーワード：砂、ねじりせん断、拘束圧、液状化、応力 - ひずみ関係、応力径路

連絡先：〒106-8558港区六本木7-22-1東京大学生産技術研究所 (Tel 03-3402-6231 ext.2574, Fax 03-3479-0261)

4. 応力ひずみ関係と有効応力経路

拘束圧が4.9kPaと98kPaの場合の霞ヶ浦砂の有効応力経路と応力ひずみ関係の例を図4, 5に示す。前者の場合には、後者と比較して以下の特徴が見られる。これらの傾向は拘束圧が9.8kPaの場合(前報¹⁾)の図6,7参照)にも見られた。

- 1) 各図の(a)中に実線の矢印で示した最初の載荷時に、有効平均主応力が低下しにくい。すなわち、正のダイレイタンスー挙動が相対的に強く現れる。
- 2) 液状化が生じてサイクリックモビリティの状態になったときの再載荷時の有効応力経路の傾き(各図の(a)中に破線の矢印で示した)が大きく、有効応力が回復しにくい。
- 3) 2)の状態において、除荷時に供試体が著しく軟化してもせん断応力 τ がゼロとはならず、反対方向への除荷時の応力ひずみ関係との間に、 $\tau = 0.8\text{kPa}$ 程度の隔たりがある(図4(b)参照)。

上記1)の傾向は、龍岡ら⁵⁾による低拘束圧下での平面ひずみ圧縮試験結果と一致する。2)の傾向は1)と相反するが、低拘束圧下のほうが有効応力回復時の体積収縮が生じにくく、その影響がダイレイタンスーの違いの影響よりも大きいと考えると説明できる。例えば有効応力回復時の体積変形係数が有効平均主応力の0.5乗に比例すると仮定すると、低拘束圧下のほうが相対的に体積収縮が生じにくくなる。3)の傾向は、低拘束圧下では土粒子のインターロッキングにより見かけの粘着力的な効果が現れている可能性を示唆している。

せん断応力 τ をその時点の有効平均主応力 p' で除した有効応力比とせん断ひずみの関係の例を図6に示す。実線で示した拘束圧4.9kPaでの関係は、図4(a)に基づいて、 τ と p' のゼロ点をマイナス側にそれぞれ0.25kPa, 0.90kPa移動して求めた。これとの比較のために拘束圧98kPaでの関係を最初の1.5サイクルまで破線で示した。拘束圧が低いほうが、最初の載荷時の「 p' で正規化したせん断剛性」(=有効応力比/せん断ひずみ)が高く、また、ひずみが増加してからの有効応力比が大きいことがわかる。

5. まとめ

- (1) 今回の試験条件では、非排水繰返しねじりせん断試験で得られる液状化強度に及ぼす拘束圧の影響は、既往の非排水繰返し三軸試験結果と同程度であった。
- (2) 低拘束圧下では、最初の載荷時に正のダイレイタンスー挙動が相対的に強く現れる一方で、液状化後のサイクリックモビリティ状態における有効応力の回復量が小さかった。
- (3) 土粒子のインターロッキングによる見かけの粘着力的な効果を示唆する結果が低拘束圧下の試験で得られた。

参考文献

- 1) 河上ら(1998): 繰返し中空ねじり試験による低拘束圧下での砂の液状化特性, 第33回地盤工学会, pp.725-726.
- 2) 金谷ら(1994): 低拘束圧下における砂の繰返し非排水せん断強度, 第29回土質工学会, pp.741-742.
- 3) Kanatani, M. et al. (1994): Dynamic properties of sand at low confining pressure, Pre-failure Deformation of Geomaterials, Vol.1, pp.37-40.
- 4) 望月ら(1993): 低拘束圧領域における砂の液状化特性, 第28回土質工学会, pp.917-918.
- 5) Tatsuoka, F. et al. (1986): Strength and deformation characteristics of sand in plane strain compression at extremely low pressures, Soils and Foundations, Vol.26, No.1, pp.65-84.

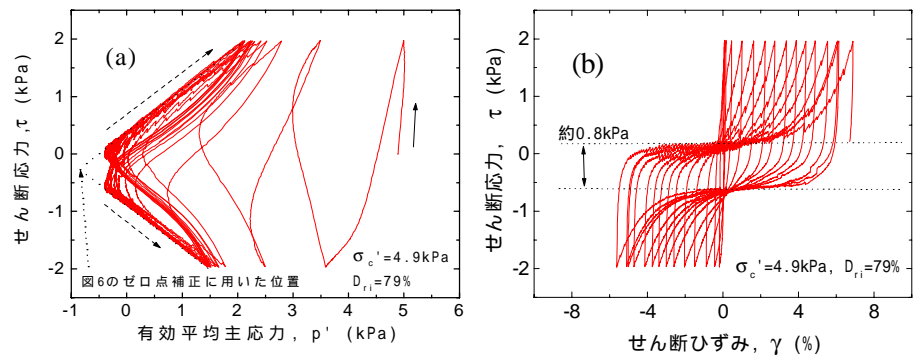


図4 拘束圧4.9kPaの場合の有効応力経路と応力ひずみ関係

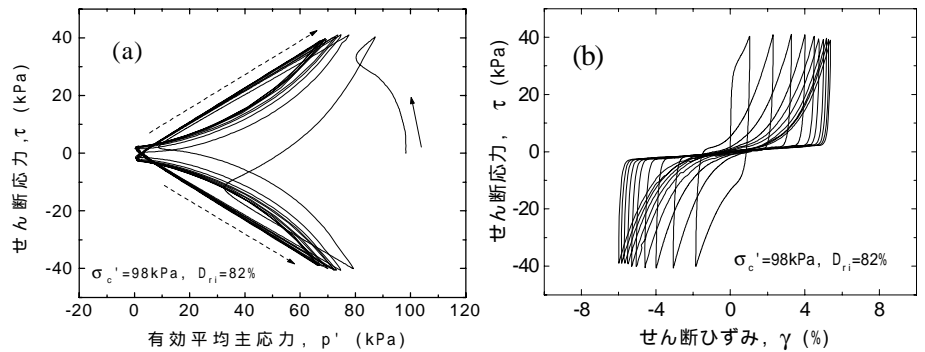


図5 拘束圧98kPaの場合の有効応力経路と応力ひずみ関係

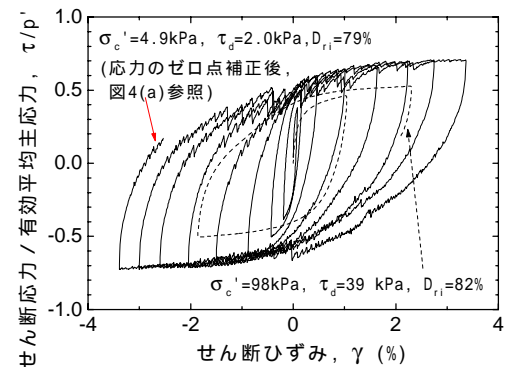


図6 有効応力比とせん断ひずみの関係