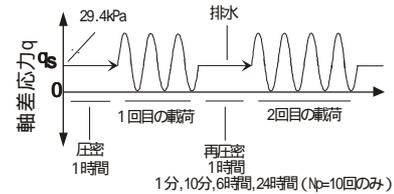


# 繰返し履歴を受けた砂の液状化挙動に及ぼす供試体密度の影響

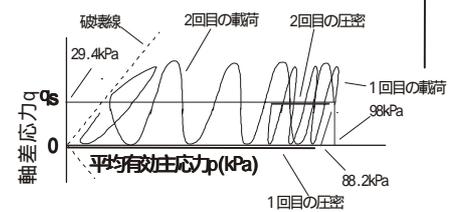
福岡大学大学院 学生員 ○古川 篤  
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一  
 福岡大学工学部 正会員 吉田 信夫

**1.はじめに** 日本では阪神大震災をはじめ多くの地震により、各地で液状化の被害が報告されている。一度液状化した地盤を利用する場合、再液状化に対する安定性の検討は必要不可欠である。著者<sup>1)2)</sup>らは、これまでに初期せん断力の大きさに着目し、繰返し履歴を受けた砂の再液状化の挙動は、履歴時のひずみ量に依存することを示した。そこで本研究では、さらに供試体の初期密度の違いに着目した試験結果について報告する。また、排水時間の影響、液状化後の圧縮挙動についても報告する。

**2.実験方法** 実験は、繰返し三軸圧縮試験機を用い、試料には豊浦砂 ( $G_s=2.650, e_{max}=0.962, e_{min}=0.622$ ) を使用した。供試体は、直径約 7.5cm, 高さ約 15cm であり、空中落下法により相対密度  $Dr=40,80\%$  を目標に作成する。今回の実験方法は、紙面の関係上ここでは省略するが、その詳細については参考文献<sup>1)2)</sup>を参照して頂きたい。また、実験は図-1 に示すように初期せん断応力を 29.4kPa と一定にして、履歴時の繰返しせん断応力比  $\tau_p/p_c'$  の設定は、 $N_p=0$  で行った実験において繰返し回数 20 回で液状化に至った時の繰返し応力比で行った。



繰返し履歴回数 $N_p$	履歴時等価せん断応力比 $\tau_p/p_c'$
相対密度 $Dr=40\%$	$Dr=80\%$
$N_p=0, 5, 10, 20$ 回	$N_p=0, 10, 15, 20$ 回
$\tau_p/p_c' = 0.16$	$\tau_p/p_c' = 0.29$



**3.実験結果 相対密度の影響** 図-2、図-3 に相対密度  $Dr=40\%, 80\%$  の、繰返し履歴回数  $N_p=0, 10, 20$  回を受けた後の有効応力経路図を示している。図-2 の  $Dr=40\%$  では、履歴を受けたものは、履歴なしのものと比較すると、有効応力が 0 に至るまでに多くの繰返し回数を必要とし、液状化に対する抵抗力が増していることが分かる。一方、図-3 の  $Dr=80\%$  の履歴回数 20 回では、履歴なしのものよりもせん断初期に急激な有効応力の低下が見られ、少ない繰返し回数で液状化に至っていることが分かる。そこで、履歴回数  $N_p=20$  回に着目し、それぞれの相対密度における履歴時の軸ひずみ-せん断応力関係を図-4 に示す。その結果(a)の  $Dr=40\%$  では、履歴時に加える繰返しせん断応力が初期せん断応力とほぼ等しいことから、圧縮側にだけひずみが発生し蓄積していくことが分かる。これに対し(b)の  $Dr=80\%$  では、履歴時のせん断応力が応力反転を生じさせるほど大きいために、伸張側にも変形を起こしていることが分かる。図-5 は、 $Dr=40, 80\%$  におけるせん断ひずみ  $\gamma = 5\%$  ( $\gamma = \epsilon_1 - \epsilon_3$ ) で整理を行った液状化強度曲線である。いずれの供試体密度においても、履歴回数の増加に伴って一端強度が増加し、 $N_p=20$  回

に対しては、履歴時に加える繰返しせん断応力が初期せん断応力とほぼ等しいことから、圧縮側にだけひずみが発生し蓄積していくことが分かる。これに対し(b)の  $Dr=80\%$  では、履歴時のせん断応力が応力反転を生じさせるほど大きいために、伸張側にも変形を起こしていることが分かる。図-5 は、 $Dr=40, 80\%$  におけるせん断ひずみ  $\gamma = 5\%$  ( $\gamma = \epsilon_1 - \epsilon_3$ ) で整理を行った液状化強度曲線である。いずれの供試体密度においても、履歴回数の増加に伴って一端強度が増加し、 $N_p=20$  回

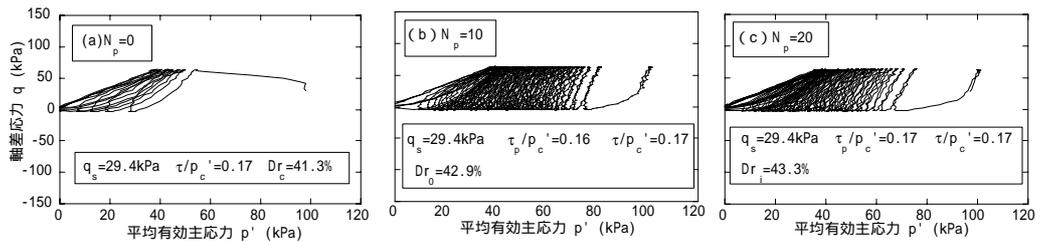


図-2 有効応力経路図 ( $Dr=40\%$ ) (a)  $N_p=0$  (b)  $N_p=10$  (c)  $N_p=20$

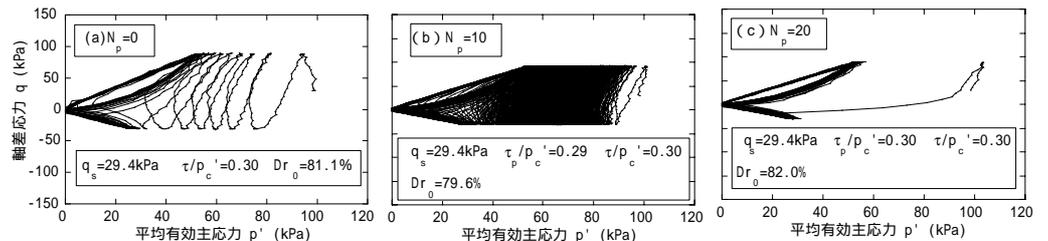


図-3 有効応力経路図 ( $Dr=80\%$ ) (a)  $N_p=0$  (b)  $N_p=10$  (c)  $N_p=20$

Key Words: 砂、液状化、供試体密度、繰返し履歴、初期せん断、

連絡先: 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 ・092-871-6631(内線 6481) FAX 092-865-6031

では低下することが示された。そこで、この強度低下を明らかにするために、最大せん断ひずみと液状化強度比の関係を図-6 に示す。液状化強度比  $R_s$  とは  $R_s = (\text{履歴を受けた供試体で } N=20 \text{ 回で液状化に達する時の応力比}) / (\text{履歴のない供試体における応力比})$  と定義する。Dr=40%では、履歴後の液状化強度比が 1 より大きく液状化に対する強度が増加していることが分かる。しかし、ひずみのせん断ひずみの増加により強度低下が見られる。一方、Dr=80%では、履歴時のわずかなせん断ひずみの発生により強度が増加している。しかし、その後急激に強度が低下している。これは、履歴時の応力反転の影響であると考えられる。

**排水時間の影響** 図-7 に Dr=40%、Dr=80%における繰返し回数と最大過剰間隙水圧比の関係を示している。Dr=40%の供試体は排水時間の影響を受け、排水時間が極端に短い、Dr=80%では、排水時間の影響は見られない。図-8 に、排水時間の違いによる液状化強度曲線を示す。Dr=40%の緩い供試体の方が、明らかに排水時間の影響を受けていることが分かる。しかし、試料が豊浦砂ということで透水性が良く、排水されやすいので供試体が短時間で安定するため、排水時間の影響は小さいと考えられる。また、履歴後の供試体の変形量の違いの影響も考えられるため、さらなる検討が必要と思われる。

**圧縮挙動** 図-9 は、最大せん断ひずみと再圧密時に生じる体積ひずみの関係である。最大せん断ひずみが増加するに伴って体積ひずみが増加しており両者は一義的な関係を示していることが分かる。また、体積ひずみが生じにくいと考えられる Dr=80%の方が、大きな体積ひずみを生じている。これは、応力反転の影響によりひずみの発生の仕方の違いが影響を及ぼしていると考えられる。

**4.まとめ** (1) 供試体密度に関わらず、初期せん断を受けた砂地盤は履歴を受けることにより、液状化強度が増加する。しかし、その強度増加は履歴時に発生するひずみ量に関係し、ひずみの増加により強度は低下を示すことも明らかになった。(2) 排水時間の影響は、供試体密度に大きく依存していることが示された。しかし、豊浦砂のような透水性が良く排水されやすい試料では、その影響は小さいことが示された。(3) 体積ひずみと履歴時のせん断ひずみとの間には、一義的な関係が成り立つことが示された。また、履歴時の応力反転の影響により体積ひずみの大きさが異なることが分かり、応力反転が大きく伸張側にひずみが発生している場合は、供試体密度が大きくても、体積ひずみが大きくなることが明らかになった。

《参考文献》 1) 田辺、佐藤、吉田: 砂の液状化挙動に及ぼす初期せん断応力の影響 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.405・4 06, 1999.7. 2) 西野、田辺、佐藤、吉田: 砂の液状化挙動に及ぼす初期せん断応力の影響 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 pp.382・38 3, 1999.3.

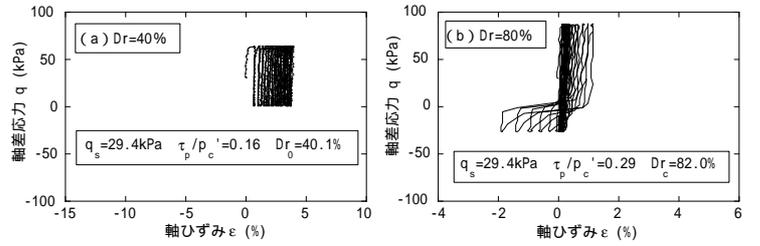


図-4 履歴時の軸ひずみと軸差応力の関係 (a) Dr=40% (b) Dr=80%

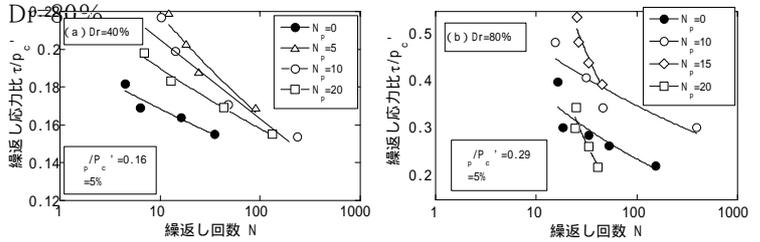


図-5 液状化強度曲線 (a) Dr=40% (b) Dr=80%

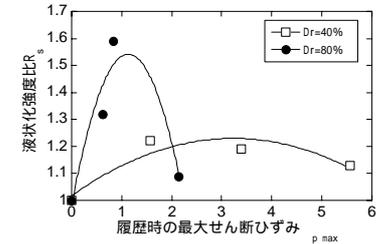


図-6 最大せん断ひずみと液状化強度比の関係

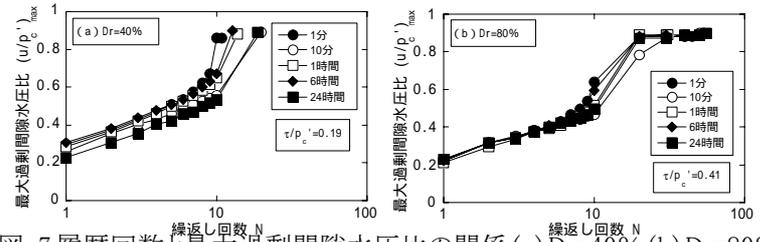


図-7 履歴回数と最大過剰間隙水圧比の関係 (a) Dr=40% (b) Dr=80%

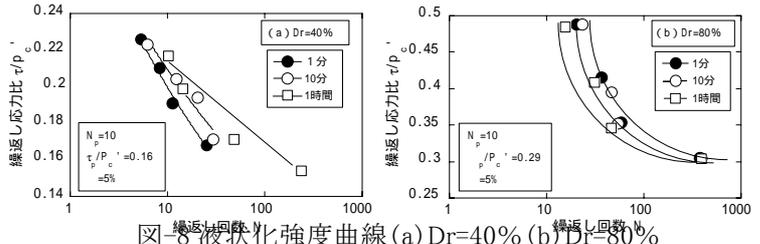


図-8 液状化強度曲線 (a) Dr=40% (b) Dr=80%

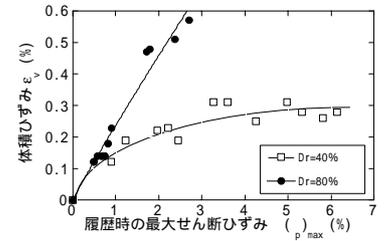


図-9 最大せん断ひずみと体積ひずみの関係