

排水を伴う繰返しを加えた供試体の液状化特性

福岡大学大学院 学生員 ○田辺 祐次  
 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

地盤には地震動に限らず交通荷重や機械荷重のような小さな振幅波が繰返し作用している。この場合、透水性の良い砂地盤では微小振幅波の繰返しせん断力が作用しても、ほとんど過剰な間隙水圧は上昇せずに構造物の基礎地盤は少なからずせん断変形が生じていると考えられる。この繰返し履歴によって地盤密度が増加し、液状化強度も増加する<sup>1),2)</sup>と考えられる。しかし、排水を伴う砂地盤に微小な振幅の繰返しせん断履歴を受けた後に地震動のような大きな繰返し応力が作用する場合の地盤挙動を明らかにすることは、より現実的な地盤の液状化現象を評価するうえで非常に重要である。そこで本研究では、排水を伴う振幅の小さな繰返し履歴が作用した砂の繰返しせん断特性を実験的に調べた結果について報告する。

2. 実験概要

実験は豊浦標準砂( $G_s=2.650$ ,  $e_{max}=0.962$ ,  $e_{min}=0.662$ )を用い、空中落下法により  $Dr=60\%$  を目標にして供試体(直径=7.5cm, 高さ=15cm)を作成する。その後、間隙空気を炭酸ガスに置き換え、脱気水を用いて通水しバックプレッシャー  $\sigma_{pp}=98\text{kPa}$  荷重して飽和させた後、B 値検定を行なう。そこで、B 値が 0.96 以上になったことを確認の上、1回目の圧密を 98kPa として等方圧密で1時間行なった。図-1 に今回行なった実験を模式的に示す。圧密終了後、まず排水条件下において2種類の繰返しせん断応力比  $\tau_p/p'_c=0.08, 0.15$  で1回目の繰返しせん断履歴を加える。この時、繰返し履歴回数を①  $N_p=100$ , ②  $N_p=500$ , ③  $N_p=1000$  とし、それぞれの回数に達した時点でせん断を中断し、1回目の圧密と同一条件で2回目の圧密を1時間行なう。次に、非排水状態にして任意の繰返し応力比で液状化試験を行なった。表-1 に実験条件を示している。また、実験結果の整理において、履歴なしの場合は  $N_p=0$  とし、履歴時および履歴後の繰返しせん断応力比をそれぞれ  $\tau_p/p'_c$ ,  $\tau/p'_c$  として表わしている。供試体の相対密度は初期、圧密後、再圧密後のそれぞれの状態を  $Dr_0$ ,  $Dr_c$ ,  $Dr_i$  で表わしている。

3. 実験結果および考察

図-2(a), (b) に  $\tau_p/p'_c=0.08$ ,  $\tau/p'_c=0.15$  の有効応力経路図を示す。(a)は  $N_p=100$ , (b)は  $N_p=500$  の結果である。これら両図を比較すると、繰返し履歴回数の増加に伴い、繰返しに対する有効応力の低下量はあまり大きな差異が認められなかった。そこで、 $\tau_p/p'_c=0.08$ ,  $N_p=0, 100, 500, 1000$  の履歴を受けた供試体の液状化強度を履歴後の繰返し応力比と両振幅軸ひずみ  $DA=5\%$  における繰返し回数で整理した結果を図-3 にまとめている。繰返し応力比の

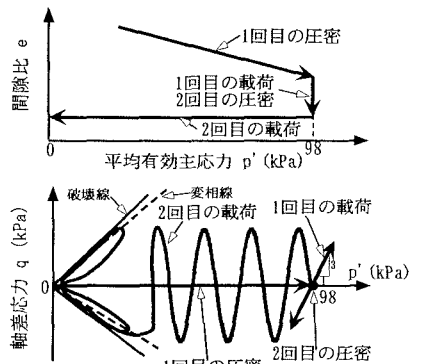


図-1 実験の模式図

表-1 実験条件

履歴時の繰返し 応力比 $\tau_p/p'_c$	0.08	0.15
繰返し履歴回数 $N_p$	100, 500, 1000	100, 500
初期相対密度 $Dr_0$	57.1~62.9	56.9~59.1

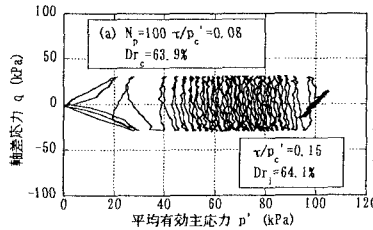


図-2(a) 有効応力経路図  
( $N_p=100$ ,  $\tau_p/p'_c=0.08$ )

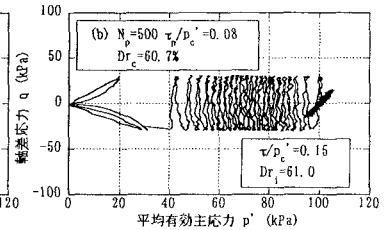


図-2(b) 有効応力経路図  
( $N_p=500$ ,  $\tau_p/p'_c=0.08$ )

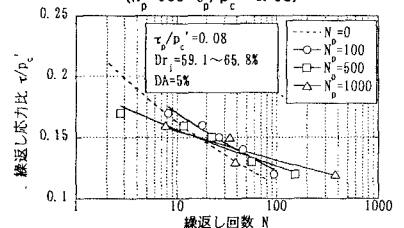


図-3 繰返し応力比  $\tau/p'_c$  と繰返し回数  $N$  の関係

$\tau_p/p'_c=0.08$  の場合では、履歴回数  
は液状化強度にほとんど影響を及  
ぼしておらず、強度に大きな差が  
見られないことが分かる。そこで、  
繰返し履歴応力比の約 2 倍の  
 $\tau_p/p'_c=0.15$  にして同様な実験を行  
ない、 $\tau_p/p'_c=0.08$  と比較した結果  
を図-4(a), (b)に示す。ここで、履  
歴後の繰返し応力比 $\tau/p'_c=0.16$  にお  
いて (a), (b) はそれぞれ

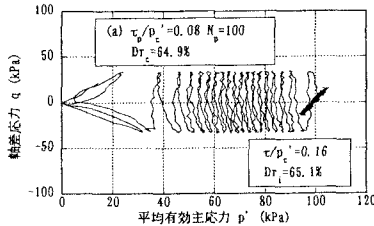


図-4(a) 有効応力経路図  
( $\tau_p/p'_c=0.08, N_p=100$ )

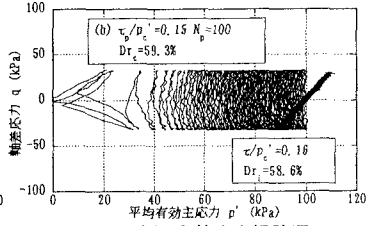


図-4(b) 有効応力経路図  
( $\tau_p/p'_c=0.15, N_p=100$ )

$\tau_p/p'_c=0.08, 0.15$  の  $N_p=100$  にお  
ける有効応力経路図を示している。  
 $\tau_p/p'_c=0.08$  の結果に比べ、 $\tau_p/p'_c=0.15$  の結果の方が再圧密後の相  
対密度が小さいにもかかわらず、有効  
応力の低下量が小さくなっている。  
これは、履歴時の繰返し応力比の大  
きさの違いが非排水時の繰返しせん  
断に対する抵抗力を増減させること  
を示している。この現象をせん断中  
に発生する最大過剰間隙水圧比  
( $u/p'_c$ )<sub>max</sub> と両振幅軸ひずみ DA の  
関係に着目して整理した結果を図-5,  
6 に示している。 $\tau_p/p'_c=0.08$  は、  
 $\tau_p/p'_c=0.15$  に比べ、同一繰返し回  
数における過剰間隙水圧比および両  
振幅軸ひずみの発生量が大きく、繰  
返し回数 30 回程度で最大過剰間隙  
水圧比( $u/p'_c$ )<sub>max</sub>=1.0 に達し、両振  
幅軸ひずみも同時に DA=10% に達  
している。一方、 $\tau_p/p'_c=0.15$  の結  
果は、 $\tau_p/p'_c=0.08$  の結果よりも繰  
返し回数に対する過剰間隙水圧、両  
振幅軸ひずみの発生量が緩やかにな  
っている。そこで、両振幅軸ひずみ  
DA=5%に至る時点における履歴後  
の繰返し応力比 $\tau/p'_c$ と繰返し回数  
N の関係を図-7 に示す。この図より  
 $\tau_p/p'_c=0.08, N_p=100$  の履歴を加  
えることによって液状化強度は履歴  
無し  $N_p=0$  よりわずかに増加するの  
に対し、 $\tau_p/p'_c=0.15, N_p=100$  は  
液状化強度が約 1.3 倍程度大きくな  
っている。さらに、 $\tau_p/p'_c=0.15, N_p=500$  につ  
いては、約 1.5 倍の強度増加するこ  
とが明らかになった。これは、排水  
を伴う繰返し履歴を受ける場合、  
履歴時の繰返し応力比の大きさおよ  
び履歴回数がその後の液状化強度  
に大きな影響を及ぼすことを示し  
ている。次に、再圧密時の相対密度  
の変化量と繰返し履歴回数の関係  
を図-8 示している。この図より、  
 $\tau_p/p'_c=0.15$  における再圧密時の  
相対密度の変化量は、履歴回数の増  
加に伴ってわずかに増加しているが、  
その増加量はわずかである。一方、  
 $\tau_p/p'_c=0.08$  においては履歴回数  
に関係ないことが分かる。この結果  
から考察すると、この相対密度の変  
化量の違いが履歴後の非排水せん断  
挙動に影響を与えていると考察でき  
る。しかし、繰返し履歴により供試  
体はせん断変形に伴う砂粒子の構  
造的な変化も生じており、これも影  
響要因であると考えられる。

4. まとめ ①排水を伴う小さな振幅の繰返し履歴を受ける場合、履歴

回数の変化よりも繰返し履歴応力比の大きさの方が履歴後の液状化強度に大きな影響を及ぼすことが分かった。

②排水を伴う繰返し履歴を受けた砂供試体の液状化強度が増加する要因は、供試体密度の増加だけではなく、せん断変形に伴う供試体内の砂粒子の構造的変化も起因しているものと考えられる。

<参考文献> 1) Ishihara, K. and Okada, S.: Effect of stress history on cyclic behavior of sand, S&F, Vol. 18, No. 4, pp. 31-45, 1978.  
2) 岸本・兵動・村田・安福: 砂の液状化強度に及ぼす排水繰返しせん断履歴の影響, 第 28 回土質工学研究発表会, pp. 947-950, 1993.

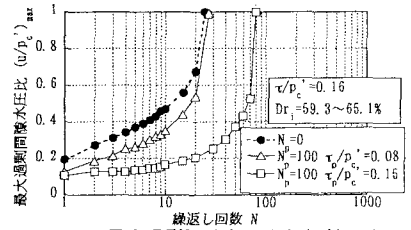


図-5 最大過剰間隙水圧比 ( $u/p'_c$ )<sub>max</sub> と  
繰返し回数 N の関係

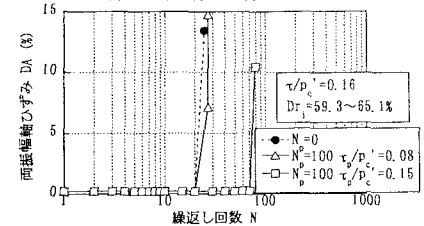


図-6 両振幅軸ひずみ DA と  
繰返し回数 N の関係

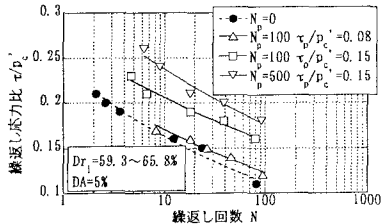


図-7 繰返し応力比  $\tau/p'_c$  と  
繰返し回数 N の関係

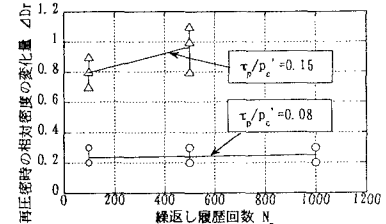


図-8 再圧密時の相対密度の変化量  $\Delta Dr$   
と繰返し履歴回数 N の関係