

初期せん断を受けた砂の液状化特性に及ぼす繰返し履歴の影響

福岡大学 工学部 学生会員 ○近藤 利彦 田辺 祐次
福岡大学 工学部 正会員 佐藤 研一 吉田 信夫

1 研究目的

地震が発生し地盤の変形が生じると、地盤内の間隙水圧が上昇し液状化に至る。そして、間隙水圧が消散されると地盤は密な状態となり、その後に再び地震が発生しても、再液状化しにくいのではないかと考えられてきた。一方、地盤の変形の大きさなどによっては、再液状化¹⁾することが分かってきた。このように、繰返し履歴後の現象を把握することは、砂地盤の再液状化に対する地盤の安定性を考えるうえで必要不可欠な問題である。一方、斜面や構造物基礎地盤などは、地盤内に初期せん断応力が働いているため、地震外力を受けると、水平地盤と比べて液状化強度が異なったり残留変形が生じる。そこで、本研究は繰返し三軸試験装置を使用し、初期せん断を受けた地盤に繰返し履歴が作用した後の非排水せん断挙動を把握することを研究目的とする。

2 実験概要

試料には豊浦標準砂 ($G_s=2.650$, $e_{max}=0.962$, $e_{min}=0.622$) を用い、空中落下法により $D_r=60\%$ 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、脱気水により飽和させバックプレッシャー $\sigma_{BP}=98\text{kPa}$ を载荷した後、 B 値が 0.96 以上になったことを確認し、実験を開始した。図-1 は実験概要を模式図にまとめたものである。初期せん断応力の载荷は 88.2kPa まで等方圧密を行った後、軸荷重を 29.4kPa 载荷することによって行い、この状態で圧密を 1 時間行う。所定の繰返し応力比と繰返し回数によって履歴を加えた後、過剰間隙水圧比を消散させ再圧密する。その後、再び繰返し载荷を行い、最大圧縮ひずみ (γ_p) が 10% になるとせん断を終了させた。図-2 に繰返し履歴を受けずに初期せん断を受けた供試体 ($q_s=29.4\text{kPa}$) における液状化強度曲線を示す。そこで、この関係より繰返し回数 20 回における繰返し応力比 τ/p'_c が 0.16 であることから、1 回目の载荷の繰返し応力比 τ/p'_c を 0.16 に固定し、繰返し履歴回数 (以後、 N_p とする) を 0, 3, 5, 10, 20 回に設定した。

3 実験結果および考察

図-3 (a), (b), (c) に、繰返し応力比 $\tau/p'_c=0.22$ でそれぞれ繰返し履歴回数 $N_p=0, 10, 20$ の有効応力経路図を示す。 $N_p=10$ と $N_p=20$ は、同じ繰返し応力比にもかかわらず、サイクリックモビリティを示すまでの回数が多く、 $N_p=0$ の結果と比較すると、液状化に対する抵抗が大きくなっている。また、繰返し履歴時に発生した最大圧縮ひずみが 1.7% の $N_p=10$ と同じく最大圧縮ひずみが 4.6% の $N_p=20$ を比較すると、 $N_p=20$ はせん断初期の伸張時に有効応力が著しく低下し、 $N_p=10$ よりも少ない繰返し回数で液状化状態に至る。これは、繰返し履歴時の最大圧縮ひずみの発生量の違いが繰返し履歴後のせん断挙動に影響を及ぼしている示唆している。

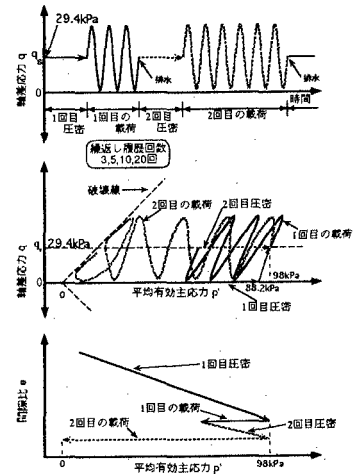


図-1 実験の模式図

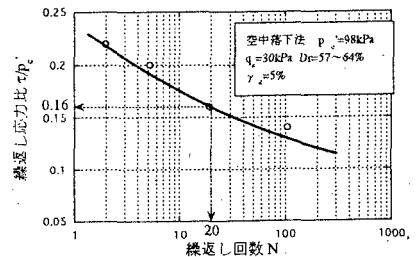


図-2 液状化強度曲線

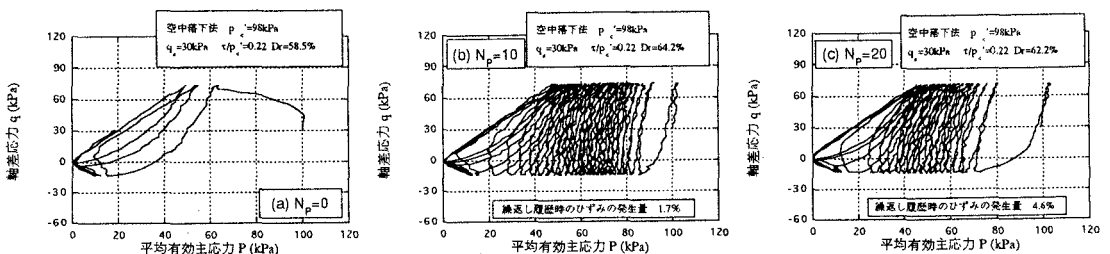


図-3 有効応力経路図

次に図-4、5に繰返し回数と最大過剰間隙水圧比および最大圧縮ひずみの関係を表わし、同一応力比でかつ繰返し履歴回数 ($N_F=0, N_F=10, N_F=20$) に着目して整理を行った。これらの図より、 $N_F=0$ は最初の1サイクル目で最大過剰間隙水圧比が0.8に至り、最大圧縮ひずみが2%発生し、 $N_F=3$ で最大圧縮ひずみが10%と変形する。これに対して、 $N_F=10$ および $N_F=20$ の繰返し履歴を加えたものは最大過剰間隙水圧比の発生がいずれも抑制され、繰返しせん断に対する抵抗が増加し、最大圧縮ひずみの発生も小さくなっている。しかし、 $N_F=10$ に比べ $N_F=20$ の方が繰返しに対する抵抗が小さく、 $N_F=10$ に比べ少ない繰返し回数でせん断ひずみの急増が見られる。

図-6に $N_F=0, N_F=10, N_F=20$ の $\gamma_s=5\%$ に達した時点の繰返し回数と応力比の関係についての結果を示す。 $N_F=20$ 回における繰返し応力比を比較すると、 $N_F=0$ は0.16、 $N_F=10$ は0.24、 $N_F=20$ は0.22であり、いずれも繰返し履歴を与えることで液状化に対する抵抗が増加している。しかし、 $N_F=10$ に比べ $N_F=20$ の方がその抵抗がわずかながら小さくなっている。

そこで、繰返し履歴を与える回数の違いによる液状化抵抗の変化を、繰返し履歴時に発生する最大圧縮ひずみの量から考察を行った。図-7は、繰返し履歴回数と繰返し履歴時の最大圧縮ひずみとの関係を示している。 $N_F=3$ では最大圧縮ひずみが約0.3%、 $N_F=5$ 、 $N_F=10$ 、 $N_F=20$ ではそれぞれ約0.5%、1.0%、4.5%発生し、 N_F の増加に伴い繰返し履歴時の最大圧縮ひずみは増加している。

図-8は、繰返し履歴時の最大圧縮ひずみと N_r/N_i ($N_F=0$ の液状化に至るまでの回数 (N_i), $N_F=3, 5, 10, 20$ の液状化に至るまでの回数 (N_r)) と再圧密時に増加した相対密度の関係を同時に示している。最大圧縮ひずみの発生量にともない相対密度が増加し、最大圧縮ひずみの発生量と相対密度の増加量には密接な関係にあることがわかる。また、繰返し履歴時の最大圧縮ひずみが2%までのものはひずみの増加に伴い N_r/N_i も増加しているが、最大圧縮ひずみが4%を越えたものは N_r/N_i が減少している。すなわち、最大圧縮ひずみが増加し、供試体初期構造が破壊され、再圧密して密度の増加があっても、液状化強度は減少する傾向にあることが明らかになった。

4 結論

今回の実験において繰返し履歴を与えることで、最大過剰間隙水圧比や最大圧縮ひずみが発生し、再圧密することによって相対密度は増加し密な状態となる。しかし、繰返し履歴時の最大圧縮ひずみの発生量が約3%を越えると液状化強度は減少することが明らかとなった。

最後に、本研究は、文部省科学研究費援助金(奨励研究 A No.09750583)を受けた研究であることを付記し、謝辞を表する。

【参考文献】1) 安田 進 : 液状化の調査から対策工まで 鹿島出版会, pp.23-27, 1988.

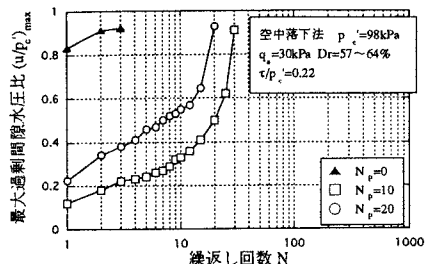


図-4 繰返し回数と最大過剰間隙水圧比の関係

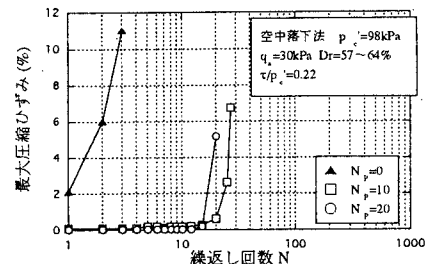


図-5 繰返し回数と最大圧縮ひずみの関係

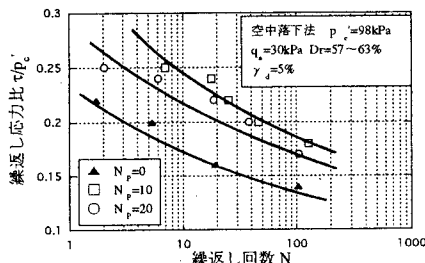


図-6 液状化強度曲線

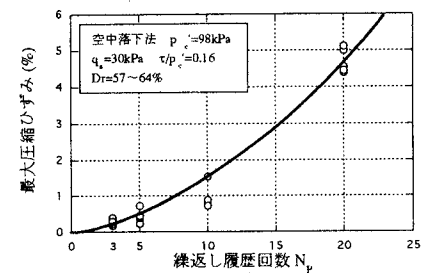


図-7 繰返し履歴回数と繰返し履歴時の最大圧縮ひずみの関係

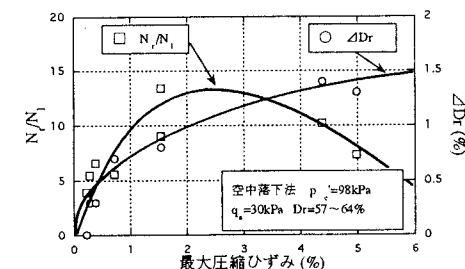


図-8 繰返し履歴時の最大圧縮ひずみと N_r/N_i と ΔDr の関係