

砂の再液状化挙動に及ぼす初期せん断力の影響

福岡大学工学部 学生員 〇西野 匡 学生員 田辺 祐次
福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 正会員 吉田 信夫

1. はじめに

近年、日本では阪神大震災を始めとする地震により、各地で液状化の被害が報告¹⁾されている。一端液状化した地盤を利用する場合、その安定性の検討は必要不可欠である。従って、履歴時の発生過剰間隙水圧及びせん断ひずみに着目した履歴後の繰返しせん断特性を把握することは、砂地盤の再液状化に関する挙動を解明するにあたって重要な問題である。また、実際の対象地盤には、斜面や盛土あるいは構造物基礎地盤など、種々の初期応力が働いている場合が多い。このように、初期せん断応力が作用している地盤に繰返し応力が加わると、残留変形が液状化強度に影響²⁾を及ぼすことになる。そこで、本研究では砂地盤の再液状化現象に着目し、初期せん断応力が作用している場合を対象にせん断特性、再圧縮挙動を実験的に明らかにすることを研究目的としている。

2. 実験概要

実験では空圧制御式繰返し三軸圧縮試験機を用い、試料には豊浦標準砂($G_s=2.650$, $e_{max}=0.692$, $e_{min}=0.622$)を使用した。空中落下法により相対密度 $Dr=60\%$ を目標に供試体(直径 $D=7.5\text{cm}$, 高さ $H=15\text{cm}$)を作成した。供試体作成後、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 $\sigma_{bf}=98\text{kPa}$ を載荷する。間隙水圧係数 B 値が 0.96 以上になったことを確認し、圧密を行った。実験は図-1 に示す模式図に従い、まず 1 回目の圧密をそれぞれ初期せん断 q_0 の大きさに応じて所定の圧力まで等方圧密を行う。その後、軸荷重を載荷し、初期せん断応力を供試体に加え、平均有効主応力 $p'=98\text{kPa}$ として異方圧密を 1 時間行う。圧密終了後非排水条件下において、各初期せん断を考慮して、所定の繰返しせん断応力比 τ_p/p_c' で 1 回目の繰返しせん断を行う。この時、表-1 に示す条件に従って供試体に繰返しせん断履歴を加えた。その後、過剰間隙水圧をゆっくりと消散させ、1 回目の圧密と同一条件で 2 回目の圧密を 1 時間行う。そして再び非排水状態にして任意の繰返し応力比で、繰返し載荷を行い、両振幅軸ひずみが 10% に達した時点で液状化試験を終了とした。ここで、履歴時の繰返し応力比 τ_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。

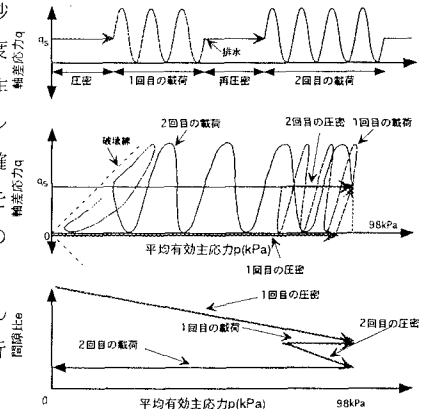


図-1 実験模式図

表-1 実験条件

初期せん断応力 $q_0(\text{kPa})$	履歴時の繰返し応力比 τ_p/p_c'	履歴後の繰返し応力比 τ/p_c'	繰返し履歴回数 N_p
14.7	0.15	0.15~0.23	0,10,20,25
29.4	0.16	0.14~0.25	0,3,5,10,20
44.1	0.25	0.23~0.30	0,5,10,15,20

3. 実験結果

図-2(a),(b),(c)に初期せん断応力 $q_0=44.1\text{kPa}$ 、履歴時の繰返し応力比 $\tau_p/p_c'=0.25$ 、履歴後の繰返し応力比 $\tau/p_c'=0.27$ における有効応力経路図を示している。(a)は繰返し履歴回数 $N_p=0$ 、(b) $N_p=10$ および(c) $N_p=20$ の結果を示している。繰返し履歴を受けていない供試体と履歴を受けた $N_p=10$ 、 20 の結果を比較すると、履歴を受けない供試体は、少ない繰返し回数で液状化状態に至っていることが分かる。また、履歴を受けた供試体はせん断直後に膨張傾向を示した後、引張側で著しい有効応力の低下が認められるが、その後は、剛性を保ちつつ徐々に液状化状態に至っている。

図-3 に初期せん断応力 44.1kPa 、履歴後の繰返し応力比 $\tau/p_c'=0.27$ における繰返し回数 N と最大過剰間隙水圧比 $(u/p_c')_{max}$ の関係を示している。 $N_p=10$ 回までは履歴回数の増加に伴い、最大過剰間隙水圧比が 1.0 に達するまでの繰返し回数も増加し、過剰間隙水圧の発生が抑制されていることが分かる。しかし、 $N_p=15$ 、 20 回においては $N_p=10$ 回と比較すると少ない繰返し回数で $(u/p_c')_{max}=1.0$ に達していることがわかる。すなわち、履歴回数が履歴後の挙動に大きな影響を与えていることが分かる。

図-4(a),(b),(c)に初期せん断応力 $q_0=14.7$ 、 29.4 、 44.1kPa における履歴後の繰返し強度を両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に達した時の繰返し回数で整理した結果を示す。また、図中に履歴を加えていない $N_p=0$ の結果も同時に示している。その結果、いずれも履歴

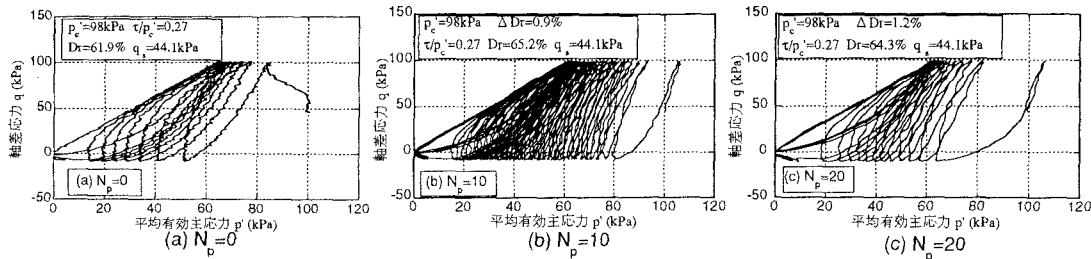


図-2 有効応力経路図

履歴時の繰返し回数の増加に伴って一端は繰返し強度が上昇するが、再び低下する傾向を示した。そこで、この関係を明らかにするために繰返し回数 $N=20$ 回の繰返し応力比に着目し、履歴前後の応力比を R_s と定義し、整理を行った結果を図-5に示している。この図より、液状化強度は履歴回数の増加とともに一端ピークを示し、徐々に低下していることがわかる。また、そのピークは初期せん断力の増加に伴い少ない履歴回数で生じていることが分かる。しかし、同一の履歴回数において履歴時の供試体の変形量は異なっているため、履歴時に発生したせん断ひずみに着目し、せん断ひずみ

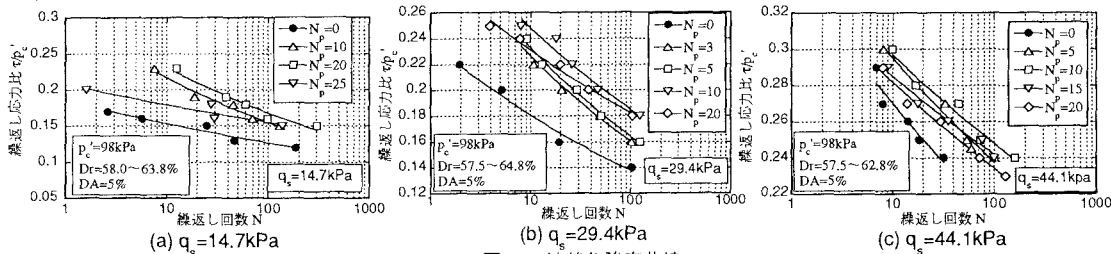


図-4 液状化強度曲線

の平均値 γ_{pa} と R_s の関係を図-6に再整理を行った。図-6より、初期せん断力が大きくなるにつれ、再液状化強度の強度増加は小さくなる傾向を示し、また強度増加を示す平均せん断ひずみ量 γ_p は、初期せん断力の増加とともに大きくなることが明らかになった。これは、初期せん断力が小さい地盤では、履歴時のせん断ひずみの大きさが再液状化強度を大きく左右するといえる。

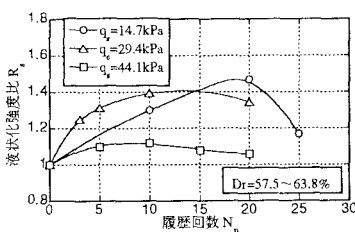


図-5 繰返し履歴回数 N_p と液状化強度比 R_s の関係

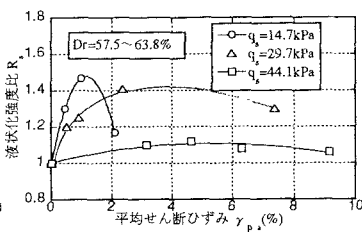


図-6 履歴時の平均せん断ひずみ γ_{pa} と液状化強度比 R_s の関係

最後に、再圧密時に生じる供試体の体積ひずみとせん断ひずみ γ_p の関係を図-7に示している。この図から体積ひずみとせん断ひずみの間には一義的な関係が存在し、また、初期せん断力の増加とともに体積ひずみも小さくなっていることがわかる。このことより、液状化後の圧密沈下量は、せん断ひずみによって評価でき、また、初期せん断力の大きさに依存していることも明らかになった。

4.まとめ

- (1)砂の再液状化強度は、初期せん断力を受けることにより、強度増加を示す。しかし、初期せん断力が大きくなるに従って、その傾向は小さくなる。また、この強度増加は履歴時のせん断ひずみの発生量に大きく依存し、再液状化強度がピーク強度を示す事が明らかになった。
- (2)履歴後の再圧密時に生じる供試体の体積ひずみ量は、履歴時のせん断ひずみ量と初期せん断力に大きく依存し、両者は一義的な関係を示した。

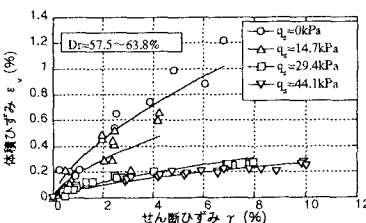


図-7 せん断ひずみ γ_p と体積ひずみ ϵ_v の関係

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.18～30,1988。 2) 兵動・村田・安福・谷水・小浪：初期せん断を受ける飽和砂の繰返しせん断変形の評価、第24回土質工学会研究発表会、pp.801～804,1989。