

繰返しせん断履歴を受けた砂の液状化特性に及ぼす初期せん断の影響に関する研究

福岡大学 工学部 正会員 佐藤 研一
福岡大学 工学部 学生会員 ○大石 洋平

1. はじめに 過去に液状化を生じた地盤が、再び地震などの影響によって液状化したという事例が各地で報告されている。従って、地震後における地盤の繰返し荷重に対する抵抗力を考えることは砂地盤の再液状化に対する安定性を考えるうえで重要な課題である。一方、地盤内は構造物からの荷重や土圧の影響を受け異方的な応力状態にあるため、初期せん断応力を受けた状態になっている。そこで、本研究では、繰返しせん断履歴を受けた砂の液状化特性に及ぼす初期せん断の影響について特に応力反転の影響に着目し、研究を行った。

2. 実験概要 実験には空圧制御式繰返し三軸試験機を用い、試料には豊浦標準砂(比重 $G_s=2.65$, 最大間隙比 $e_{max}=0.962$, 最小間隙比 $e_{min}=0.622$)を使用した。供試体は、空中落下法により相対密度 $Dr=45\%$ を目標として試料を詰め(直径 $\phi=7.5\text{cm}$, 高さ $H=15.0\text{cm}$)作成した。供試体作成後、間隙の空気を炭酸ガスに置換し、脱気水を通水し、背圧 $\sigma_{BP}=98\text{kPa}$ を载荷することにより飽和させる。間隙水圧係数 B 値が 0.96 以上であることを確認し、平均主応力 $p=98\text{kPa}$ 、初期せん断応力 $q_s=29.4\text{kPa}$ において異方圧密を1時間行った。続いて図-1に示す実験の模式図に従って1回目の载荷を行い、供試体に所定のひずみを与え繰返し履歴を加えた。次に排水コックを開け、過剰な間隙水圧を消散させた。次に1回目と同じ条件で異方圧密を1時間行った後、2回目の载荷を行った。ここで1回目の载荷においては、①応力反転無し(初期せん断応力 $q_s >$ 繰返しせん断応力 q_{cyc})、②応力反転ほぼ無し($q_s \approx q_{cyc}$)、③応力反転有り($q_s < q_{cyc}$)の3種類の繰返しせん断応力を供試体に加えた。ここで図-2に1回目の载荷(履歴時)の応力模式図を示す。再液状化強度は、履歴時のひずみの大きさに多大な影響を受ける²⁾とされている。そこで実験では、履歴時のひずみの発生量に着目し、せん断ひずみ $\gamma_p \approx 1, 2, 5\%$ が生じるまで繰返しせん断履歴を加えた。2回目の载荷、すなわち再液状化実験では任意の繰返し応力比において液状化に至るまでせん断を行った。液状化の判定のため、供試体の変形量についてはせん断ひずみ $\gamma = \varepsilon_1 - \varepsilon_3$ を用いた。また、本研究においては $\gamma=5\%$ を液状化と定義する。

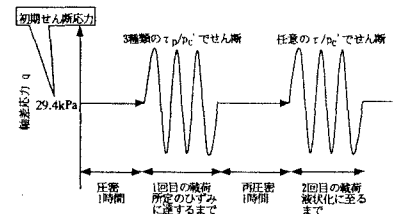


図-1 実験模式図

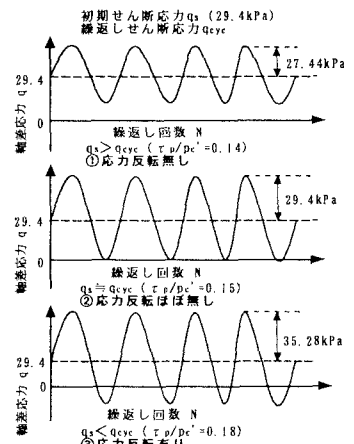


図-2 履歴時の応力模式図

3. 実験結果及び考察

図-3(a), (b),

(c)は履歴前後の強度曲線を比較したものである。それぞれ、①応力反転無し、②応力反転ほぼ無し、③応力反転有りで所定のせん断ひずみのせん

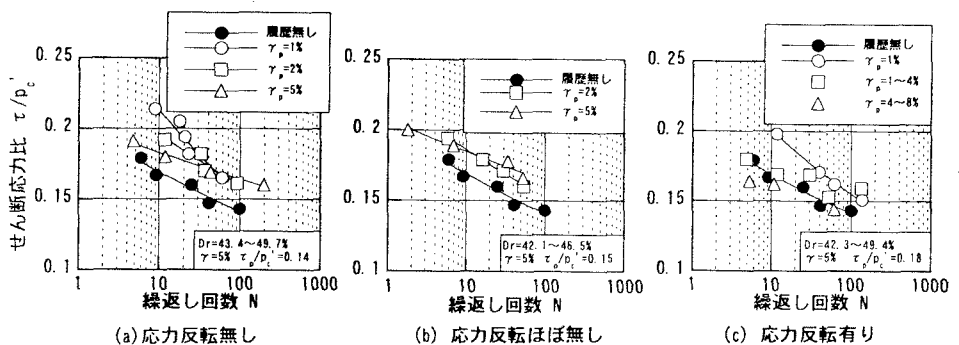


図-3 液状化強度曲線

断履歴を与えた後に、液状化試験を行った結果である。その結果、実験①、②の場合については、履歴時のせん断ひずみを5%与えたにも関わらず、履歴後において液状化強度が増加していることが分かる。一方、履歴時に応力反転を生じさせた実験③については、履歴時のせん断ひずみ γ_p の大きさが4%程度を超えると、液状化強度が低下する傾向を示した。従って、履歴時の応力反転の有無が履歴後の繰返しせん断に大きな影響を及ぼしていることが分かる。

図-4(a), (b)及び図-5(a), (b)に実験①及び③により任意のひずみ履歴を与えられた供試体が履歴後に $\tau/p_c=0.17$ で繰返しせん断をされた時に生じる最大過剰間隙水圧比と最大せん断ひずみの結果を示す。実験①の履歴時に応力反転が無いものは、履歴無しに比べ過剰間隙水圧とせん断ひずみの発生が遅れている。また、その傾向は履歴時のひずみが大きさに応じて繰返しに対する抵抗が増加している。これに対し実験③の応力反転を伴う場合は、履歴時のせん断ひずみ γ_p が約4%を超えた付近から、履歴無しの供試体に比べ少ない繰返し回数で液状化に至っていることが分かる。

図-6に履歴時のせん断ひずみ γ_p と N_r/N_l の関係を示す。ここで、 N_l 、 N_r はそれぞれ履歴無し、履歴後の供試体が液状化するまでの繰返し回数である。履歴時に応力反転が生じないものは γ_p が少量発生した時点で顕著に液状化強度の増加を示し、その後同様の液状化強度を示している。履歴時に応力反転が生じるものにおいても、 γ_p が少量発生した時点で顕著に液状化強度が増加するが、その後低下し γ_p が約4%以上発生すると履歴前より液状化強度は低下していることが分かる。

図-7に履歴時のせん断ひずみ γ_p と再圧密時の体積ひずみ ε_v の関係を示す。 ε_v の増加は γ_p の大きさと一義的な関係がある。特に履歴時に応力反転が見られるものは γ_p の増加に伴う ε_v の増加が顕著に見られる。 ε_v の増加は供試体の密度の増加につながり、液状化強度の増加につながる。しかし、前述したように履歴時に応力反転を生じるものにおいては、履歴時のせん断ひずみの増加に伴い液状化強度が低下している。このことは履歴後の密度増加が液状化強度の増加にはつながっていないことを示している。

4. まとめ 1)履歴時に応力反転が無いものは γ_p が5%以内において、 γ_p に関係なく液状化強度は増加する。
2)履歴時に応力反転が有るものは γ_p が4%を超えると液状化強度が低下する。
3)履歴後の液状化強度は密度増加の影響より γ_p に大きく依存していると考えられる。

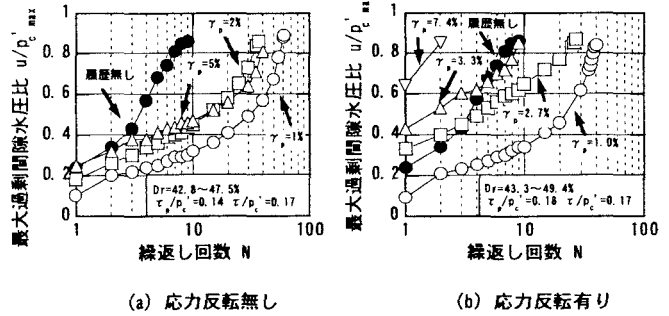


図-4 繰返し回数と最大過剰間隙水圧比の関係

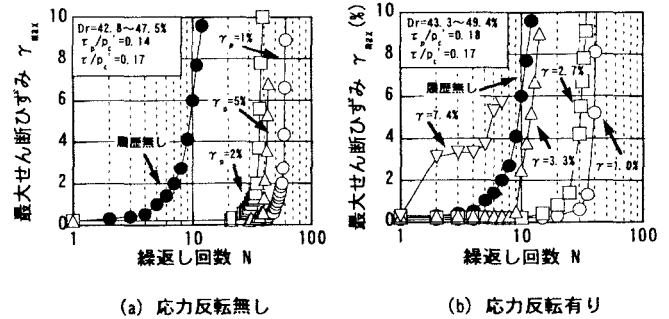


図-5 繰返し回数と最大せん断ひずみの関係

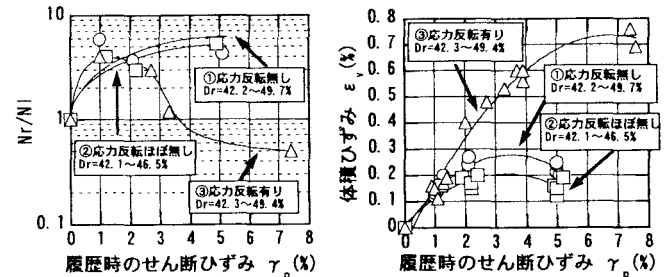


図-6 γ_p と N_r/N_l の関係

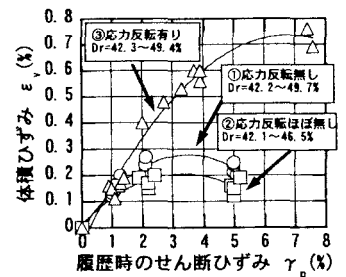


図-7 γ_p と体積ひずみの関係

【参考文献】1) 若松：「わが国における液状化履歴（1885～1997）とその特徴」,第33回地盤工学研究発表会講演概要集,pp.905-906,1998

2) 近藤・田辺・佐藤・吉田：「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」,土木学会西部支部研究発表会,pp.378-379,1998