

繰返し履歴を受けた砂の非排水繰返しせん断挙動に及ぼす異方性の影響

福岡大学工学部 学生員 ○宮原 彰
福岡大学工学部 正員 佐藤 研一

野内 啓介
吉田 信夫

1. はじめに 一般に、液状化した飽和砂地盤は過剰間隙水圧消散に伴う再圧縮過程において地盤密度の増加が生じる。このため、砂地盤の液状化に対する抵抗は、大きくなることが予想される。しかし、一度液状化した飽和沖積砂地盤や埋立て地盤が再び液状化したという事実が日本各地で確認されている。このため、再液状化のメカニズムを解明することは、地震後の安定性を考える上で非常に重要である。そこで、本研究では、特に砂地盤の初期構造異方性に着目し、再液状化抵抗に及ぼす影響について、中空ねじりせん断試験装置を用いて実験的研究を行った。

2. 実験概要 実験は、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 $Dr=60\%$ の中空円筒供試体 (内径: 6cm, 外径: 10cm, 高さ: 20cm) を作成した後、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 $\sigma_{BP}=98kPa$ を载荷した。そして、B 値が 0.96 以上になったことを確認の上、図-1 示すような模式図に従い実験を行った。拘束圧 $p_c'=196kPa$ で、1 時間の等方圧密をした後、繰返しせん断応力比 $\tau_v/p_c'=0.18$ 、主応力方向 α 一定、中間主応力係数 B 値を一定で 1 回目の非排水繰返しせん断試験を実施した。但し、今回の実験では、履歴時のせん断ひずみに着目し、最大せん断ひずみ $\gamma_{max}=(\epsilon_1-\epsilon_3)_{max}$ が ①1%前後(初期液状化)、②5%前後(完全液状化)に達した時点で終了させた。1 回目のせん断終了後、過剰間隙水圧をゆっくりと消散させ初期圧密と同じ圧密応力で再圧密を 1 時間行った。その後再び非排水状態において繰返し応力比を任意の値で主応力方向角 α は 1 回目のせん断試験として再液

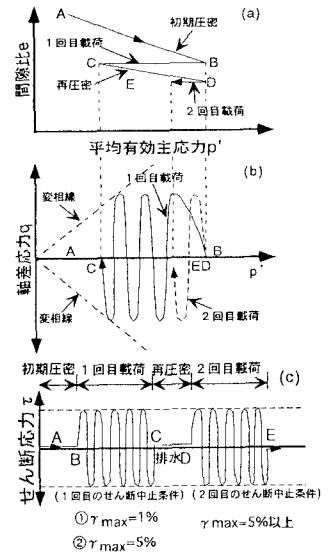


図-1 実験の模式図

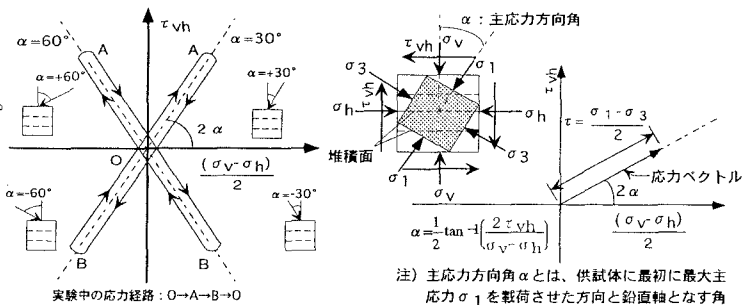


図-2 応力経路図と主応力方向の定義

状化試験を行なった。図-2 に今回実験に用いた応力経路図と主応力方向 α せん断応力 τ についてまとめている。今回の実験では初期構造異方性の異方性の影響を調べるため、 $\alpha=30^\circ$ 、 60° を用いて実験を行っている。

3. 実験結果及び考察 図-3、図-4 に主応力方向角 $\alpha=30^\circ$ 、 60° 、履歴後の繰返し応力比 $\tau/p_c'=0.18$ の有効応力経路を履歴の前後についてまとめた結果を示す。ここで(a)は履歴時のひずみ $\gamma_{pmax} \approx 1\%$ 、(b)は $\gamma_{pmax} \approx 5\%$ である。いずれの結果ともに履歴後の最初の 1 サイクル目の载荷時に大きな有効応力の低下を示している。しかし、履歴時の最大せん断変形が $\gamma_{pmax} \approx 1\%$ の初期液状化状態でせん断を終了させた(a)の結果では、いずれの主応力方向においても履歴後の繰返しに伴う有効応力の低下量が小さくなっている。すなわち、履歴時に比べ繰返しに対する抵抗が増加していることが分かる。これに対し、 $\gamma_{pmax} \approx 5\%$ の履歴時に変形が生じた(b)の結果では、主応力方向 $\alpha=30^\circ$ 、 60° の結果ともに明らかに繰返しに対する抵抗が失われていることが分かる。特に $\alpha=60^\circ$ では、1 サイクル目で急激な有効応力の低下とともに破壊に至っている。そこで、これらの挙動についてせん断時に生じる過剰間隙水圧とせん断ひずみに着目し、整理した結果を主応力方向 $\alpha=30^\circ$ 、 60° について図-5、6

にまとめた。これらの結果からも、初期液状化状態 $\gamma_{pmax} \approx 1\%$ でせん断を中止した結果は、いずれの主応力方向ともに過剰間隙水圧とせん断ひずみの発生が抑制されていることが分かる。これに対し $\gamma_{pmax} \approx 5\%$ の完全液状化した供試体は、履歴後の繰返し載荷において急激な間隙水圧の上昇とともに大きなせん断変形が生じていることがわかる。次に、履歴後のせん断ひずみ $\gamma \approx 5\%$ に対する時の繰返し回数と繰返し応力比の関係を図-7、8に示す。これらの図より $\alpha=30^\circ$ 及び 60° の両者ともに $\gamma_{pmax} \approx 1\%$ の繰返し強度は、履歴無しのものとはほぼ同程度か、強度増加を示している。これに対し、 $\gamma_{pmax} \approx 5\%$ の場合は、いずれの主応力方向ともに強度低下を示している。また、主応力方向に着目すると $\alpha=60^\circ$ の方が $\alpha=30^\circ$ に比べ強度低下の割合

が大きく、履歴後の再液状化挙動に供試体の構造に伴う異方性の影響が影響を及ぼしていることが分かる。すなわち、履歴を受けて一端液状化し、再堆積地盤でも、等方的な構造をもつことなく異方性が存在すると思われる。

4. まとめ

- ① 主応力方向の異なる繰返し履歴を加えた後の繰返しせん断挙動は履歴時に生じるせん断ひずみの大きさに依存することが明らかにになった。
- ② 一端液状化して再構成された供試体の繰返しせん断挙動に主応力方向の違いによる異方性の影響が現れた。

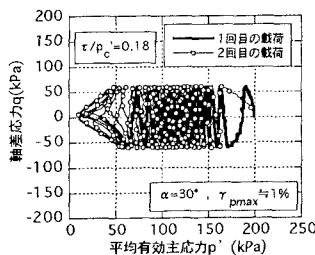


図-3 (a) 有効応力経路図
($\alpha=30^\circ$, $\gamma_{pmax} \approx 1\%$)

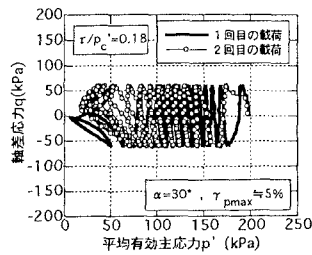


図-3 (b) 有効応力経路図
($\alpha=30^\circ$, $\gamma_{pmax} \approx 5\%$)

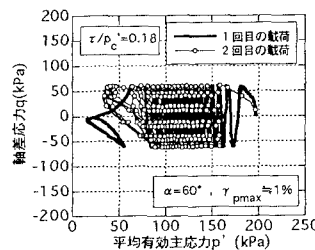


図-4 (a) 有効応力経路図
($\alpha=60^\circ$, $\gamma_{pmax} \approx 1\%$)

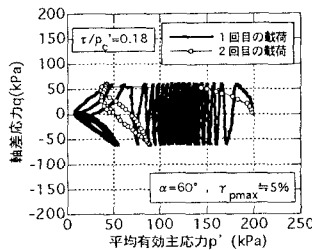


図-4 (b) 有効応力経路図
($\alpha=60^\circ$, $\gamma_{pmax} \approx 5\%$)

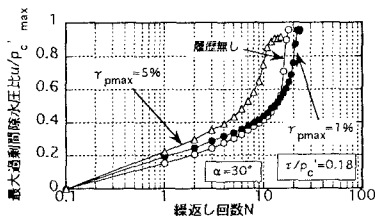


図-5 (a) 過剰間隙水圧比 u/p'_c と繰返し回数 N の関係 ($\alpha=30^\circ$)

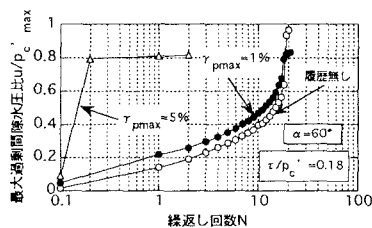


図-5 (b) 過剰間隙水圧比 u/p'_c と繰返し回数 N の関係 ($\alpha=60^\circ$)

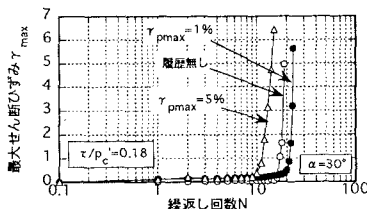


図-6 (a) 最大せん断ひずみ γ_{pmax} と繰返し回数 N の関係 ($\alpha=30^\circ$)

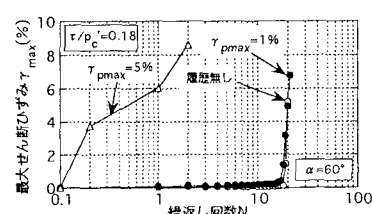


図-6 (b) 最大せん断ひずみ γ_{pmax} と繰返し回数 N の関係 ($\alpha=60^\circ$)

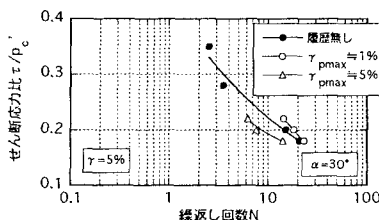


図-7 液状化強度曲線 ($\alpha=30^\circ$)

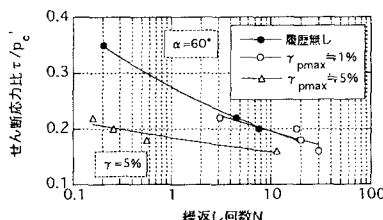


図-8 液状化強度曲線 ($\alpha=60^\circ$)