

砂の液状化挙動に及ぼす初期構造異方性の影響

福岡大学大学院 学生員 ○古川 篤
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一
 福岡大学工学部 正会員 吉田 信夫

1.研究目的 実地盤は、一般に土粒子の定方向配列に伴う構造的な異方性を有する。一方、地盤内の応力状態は境界条件によって、主応力方向は様々に変化し地盤に作用する。著者ら^{1),2)}はこれまでに地盤の異方性に着目し、液状化特性に及ぼす影響を検討してきた。その結果、砂の液状化特性に異方性の影響が現れる事が明らかになった。しかし、通常、土の液状化特性には繰返し三軸圧縮試験が用いられる。この試験は、空中落下法により供試体を作成する場合、図-1に示すように水平面と平行に堆積面を有すると考えられる。また、せん断中の繰返し応力が堆積面と直角方向 $\alpha=0^\circ$ と 90° から載荷され、せん断中に中間主応力係数 b 値が0(圧縮時)と1(引張時)に変動する条件下で行われている。そこで、本研究では堆積面と直角方向に繰返し荷重が作用する場合に着目して、繰返し三軸圧縮試験と中空ねじりせん断試験を行い、砂の液状化強度に及ぼす異方性の影響評価を行う事を目的としている。

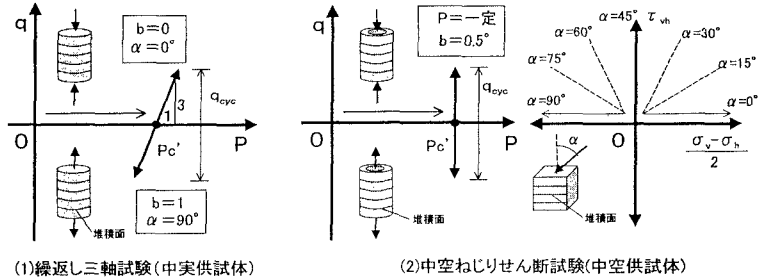


図-1 堆積面に作用する応力状態

実験は、豊浦標準砂($G_s=2.65$, $e_{max}=0.962$, $e_{min}=0.622$)を使用し、空中落下法により、相対密度 $Dr=80\%$ を目標に供試体を作成する。供試体作成後、間隙空気を炭酸ガスに置き換えて脱気水により飽和させ、バックプレッシャー $\sigma_{BP}=98\text{kPa}$ を載荷し、 b 値が 0.96 以上になったことを確認の上、所定の圧密圧力にて等方圧密を 1 時間行う。その後、非排水状態で任意の繰返し応力比で繰返し荷重を載荷し、液状化試験を行っている。

2.実験概要 実験は、豊浦標準砂($G_s=2.65$, $e_{max}=0.962$, $e_{min}=0.622$)を使用し、空中落下法により、相対密度 $Dr=80\%$ を目標に供試体を作成する。供試体作成後、間隙空気を炭酸ガスに置き換えて脱気水により飽和させ、バックプレッシャー $\sigma_{BP}=98\text{kPa}$ を載荷し、 b 値が 0.96 以上になったことを確認の上、所定の圧密圧力にて等方圧密を 1 時間行う。その後、非排水状態で任意の繰返し応力比で繰返し荷重を載荷し、液状化試験を行っている。

表-1 実験条件

(a) 繰返し三軸試験

Test No.	相対密度 (%)	繰返し応力比
T8017	80.6	0.17
T8018	78.9	0.18
T8020	79.2	0.20
T8023	80.0	0.23

(b) 中空ねじりせん断試験

Test No.	$\alpha(^{\circ})$	τ/pc'	b 値	$Dr(\%)$
T0002	0	0.20	0.5	85.2
T0023		0.23		78.6
T0025		0.25		79.7
T9002	90	0.20	0.5	80.8
T9023		0.23		80.3
T9025		0.25		79.6
T9028		0.28		77.3

(1)繰返し三軸圧縮試験

空圧制御式繰返し三軸試験機を用い、直径約 7.5cm、高さ約 15cm の供試体を用いる。実験は図-1 に示す応力経路に従い、拘束圧 98kPa で圧密を行った。繰返し載荷は圧縮側から載荷し、両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に達した後、実験を終了させた。表-1(a)に実験条件を示す。

(2)中空ねじりせん断試験

全自動計測・制御可能な中空ねじりせん断試験機を用い、供試体は、内径約 6cm、外径約 10cm、高さ約 20cm である。実験は、拘束圧 196kPa で圧密を行った後、平均主応力 p および中間主応力係数 $b=0.5$ を一定とし、主応力方向各 $\alpha=0^\circ$ 、 90° の 2 種類を用いて行った。また、せん断ひずみ $\gamma_{max}=5\%$ に達した時点で実験を終了させた。ここで、主応力方向角 α は、供試体に最初に加わる方向である。表-1(b)に実験条件を示す。

3.実験結果 同一条件における有効応力経路図を図-2 に示す。繰返し三軸圧縮試験結果は、中空ねじり試験結果と比較すると同一密度、繰返し応力比の結果にも関わらず、繰返しに伴う有効応力の低下量が大きく、繰返しに対する抵抗が小さい事が分かる。また、せん断中に中間主応力係数が変化し、軸差応力の正負によって異方性の影響が現れ、特に、伸張側における有効応力の低下量が大きい。これに対し、中空ねじり試験の結果は、 b 値を一定としているため初期構造異方性の影響を見ることができる。その結果、同一条件でかつ堆積面に対し、作用する繰返し応力を 90° 変えた結果では明らかに有効応力低下過程に初期構造異方性の影響が現れ、 $\alpha=90^\circ$ の結果は $\alpha=0^\circ$ の結果と比較すると、約半分の繰返し回数

で液状化にいたっていることが分かる。また、第一波目の有効応力の低下量に異方性の影響を見ることができる。次に、繰返し回数 N と最大過剰間隙水圧比 $(u/P_c')_{\max}$ 、最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ の関係をそれぞれ図-3、4 に示す。これら

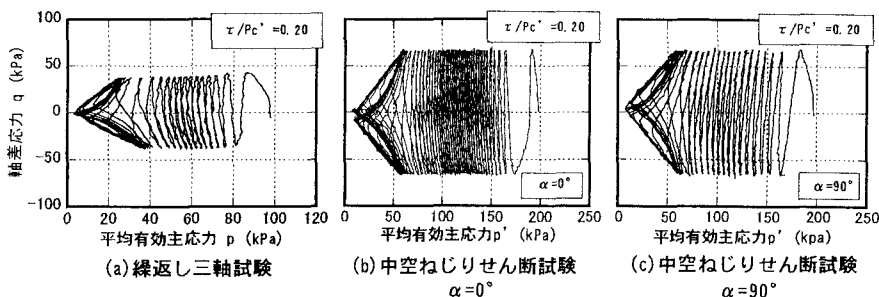


図-2 有効応力経路図

の図から過剰間隙水圧比が 0.6 を越えたあたりから、すなわち、有効応力経路がサイクリックモビリティを示すあたりから、せん断ひずみが生じはじめ、いずれの実験においても徐々に破壊に至っていることがわかる。また、中空ねじりせん断試験では载荷方向を全く逆にすることにより、同一繰返し回数における最大過剰間隙水圧比 $(u/P_c')_{\max}$ と最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ の発生量に大きく異方性の影響が現れていることが分かる。また、 $\alpha=90^\circ$ の結果は、繰返し三軸試験の結果とほぼ同様な傾向を示していることが分かる。図-5 に各試験から得られる液状化強度曲線を示す。この図からも分かるように、繰返し三軸試験で得られた結果は、中空ねじりせん断試験の結果よりも繰返し強度が弱いことを示している。これは、中空ねじりせん断試験においては、中間主応力係数 b 値を 0.5 に一定に保って実験を行っているのに対して、繰返し三軸試験では b 値がせん断中に 0 と 1 を繰返し変動するため、 b 値の影響が繰返し強度に現れたためであると思われる。また、中空ねじりせん断試験の結果では、供試体に最初に载荷される最大主応力方向によって、供試体の堆積面との関係により、繰返し強度特性に初期構造異方性の影響が現れる事も示している。これは、供試体は最初の载荷方向によって供試体の軟化傾向が異なることから、その後の繰返しせん断に伴うせん断変形の挙動に载荷方向の影響が現れたためであると考えられる。最後に、中空ねじりせん断試験より求められた、主応力方向 α と液状化強度 R_{20} の関係を図-6 に示す。また、同時に繰返し三軸試験の結果も $\alpha=0^\circ$ として示している。その結果、液状化強度は砂の初期構造異方性の影響を受け、液状化強度が異なり、 α の増加に伴い、低下し、 $\alpha=60^\circ$ 付近で最も小さい強度を示している。また、繰返し三軸試験の結果は $\alpha=60^\circ$ の結果とほぼ同じぐらいであることが分かる。したがって、繰返し三軸試験の結果は、豊浦砂の液状化強度を過少評価していることがわかる。言い換えれば、砂地盤の異方性を考慮する事により液状化の対策において合理的な設計をすることができることを示唆している。

4.まとめ 同じ初期構造異方性を有する豊浦砂を繰返し応力の作用方向と堆積面との角度を同じにし、せん断方法を変えて液状化強度を求めた結果、強度変形特性に大きな差が生じることが明らかになった。また、砂の液状化強度を求めるために通常用いられる繰返し三軸試験により求められる強度は、液状化強度を過少に評価すると考えられる。

《参考文献》

- 1) 佐藤研一ら(1998): 供試体の初期構造異方性に着目した砂の繰返しせん断特性, 第 10 回日本地震工学シンポジウム, pp.1325-1330.
- 2) 太田勝康ら(1998): 初期構造異方性に着目した砂の繰返しせん断特性, 第 33 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.539-540

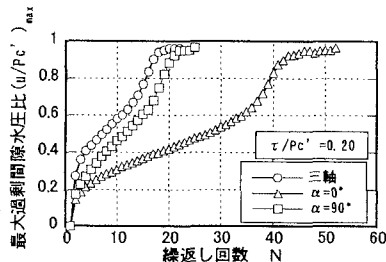


図-3 最大過剰間隙水圧比 $(u/P_c')_{\max}$ と繰返し回数 N の関係

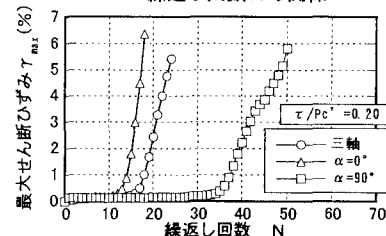


図-4 最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ と繰返し回数 N の関係

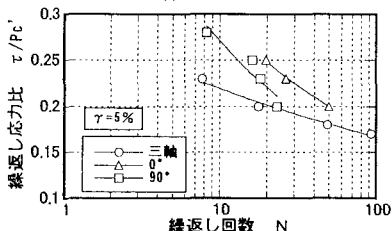


図-5 液状化強度曲線

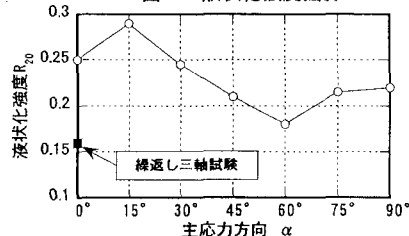


図-6 液状化強度 R_{20} と主応力方向 α の関係