

過圧密および長期圧密履歴を受けた細粒分含有砂の液状化強度特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○澤田 修平
 九州工業大学工学部 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦
 九州工業大学工学部 八尋 拓也

1. はじめに

筆者らは、液状化対策工法として過圧密を利用した工法に着目し、過圧密履歴を受けた砂の液状化強度特性に及ぼす長期圧密の影響について実験的に調べてきた。この研究では、等方圧密と K_0 圧密で長期圧密した場合において、液状化強度の増加傾向が異なるという結果が得られている。しかしながら、 K_0 圧密での実験については、データにばらつきがある等、未だ十分には明らかになっていないと考えられる。そこで本研究では、細粒分を含む砂を用い、正規圧密状態に置かれた時間が砂の液状化強度に与える影響について調べた。

2. 試料および実験方法

実験には、豊浦砂および博多湾で浚渫されてアイランドシティ埋立に用いられている細粒分含有率 $F_c=65\%$ の粘性土を $F_c=10\%$ および 30% に粒度調整して用いた。これらの粒径加積曲線を図-1に示す。

供試体は外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒状として、空中落下法により相対密度が 45% になるように作成した。その後、二酸化炭素と脱気水で十分に飽和させて試験を行った。

圧密方法は K_0 圧密で、軸圧制御により載荷盛土工法を再現している。過圧密履歴は、所定の初期鉛直有効応力 $\sigma_{v0}'=49\text{kPa}$ で圧密した後、 σ_{v0}' の 2 倍、3 倍の鉛直有効応力 σ_v' を与えて圧密し、その後 σ_v' を初期鉛直有効応力 σ_{v0}' まで除荷する方法で与えた。この場合の過圧密比 (OCR)_v は、 K_0 圧密における最大の鉛直有効応力 σ_v' と初期鉛直有効応力 σ_{v0}' の比で定義した。また、圧密時における側方ひずみは $\pm 0.05\%$ 以内に収まるように側圧にて制御した。繰返し載荷は供試体拘束条件を、鉛直変位拘束として、周波数 0.1Hz の正弦波荷重を用いて行った。鉛直変位を拘束したのは、変位を拘束せずに K_0 条件下で繰返しせん断試験を行うと、供試体が液状化しない場合があるためである。ここでの圧密時間は最大有効拘束圧を作用させた時間としている。

3. 液状化試験結果

3.1 過圧密履歴が液状化強度に与える影響

図-2,3 にケース A, C での過圧密比の違いに着目した繰返し応力比 τ/σ_v' と両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ に至るまでの繰返し回数 N_c の関係をそれぞれ示す。どちらのケースにおいても過圧密比が大きくなるほど繰返し応力比は大きくなっていることが確認できる。これは、 K_0 圧密の軸圧制御の場合

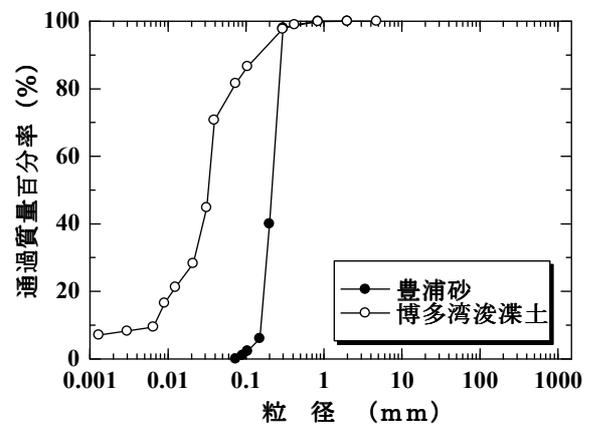


図-1 粒径加積曲線

表-1 実験ケース

| ケース | 試料 | 過圧密比 | 圧密時間 |
|-----|-----------------------|------|---------------------|
| A-1 | 豊浦砂 | 1 | 1,6,24,72,168,672hr |
| A-2 | | 2 | 1hr |
| A-3 | | 3 | 1hr |
| C-1 | 博多湾浚渫土 ($F_c=30\%$) | 1 | 1,6,24,72hr |
| C-2 | | 2 | 1hr |
| C-3 | | 3 | 1hr |

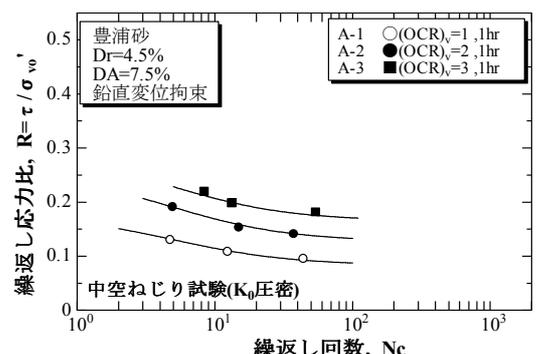


図-2 繰返し応力比と繰返し回数
の関係 (ケース A)

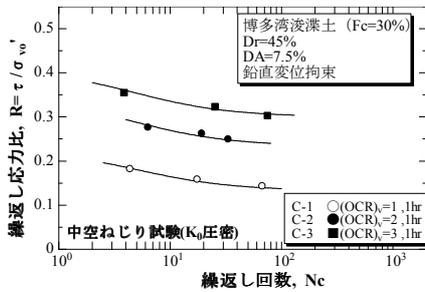


図-3 繰返し応力比と繰返し回数
の関係 (ケース C)

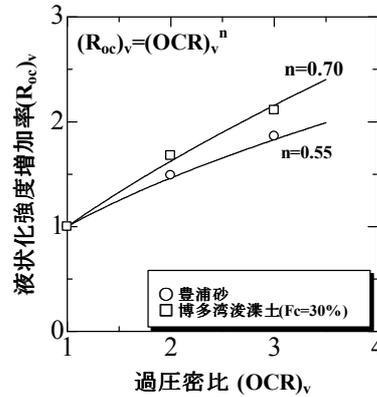


図-4 液状化強度増加率 (過圧密)

には過圧密比が大きくなるほど、過圧密履歴そのものの効果に加えて、圧密終了後の K_0 値の増加による初期有効拘束圧の増加によって液状化強度が増加したからと考えられる。

図-4 に繰返し回数 20 回での繰返し応力比 R を液状化強度比 R_{120} とみなして過圧密比 $(OCR)_v = 2$ または 3 での R_{120} を $(OCR)_v = 1$ での R_{120} で除した値を液状化強度増加率 $(R_{oc})_v$ と定義し、その値を $(OCR)_v$ に対してプロットしたものを示す。ここで両者の関係を $(R_{oc})_v = (OCR)_v^n$ のように近似した。図-4 より細粒含有率が高いほど n の値が大きくなっていることがわかる。これは、細粒分含有率 F_c が 30% の場合においては、細粒分を含んでいるため、過圧密履歴を与える過程において粘着性が高くなったためであると考えられる。

3.2 長期圧密履歴が液状化強度に与える影響

図-5,6 にケース A-1, C-1 での圧密時間の違いに着目した繰返し応力比 τ / σ'_v と両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ に至るまでの繰返し回数 N_c の関係をそれぞれ示す。長期間圧密した場合、3 日までの時間の経過で、圧密時間が長いほど繰返し応力比が大きいことが確認できる。さらに豊浦砂のケースについては、圧密時間を長くすると、1 週間と 1 ヶ月の間に繰返し応力比はわずかであるが増加していることが確認できる。これは、圧密開始から早い段階で粒子構造の安定化が大きく進行するが、粒子構造の安定化は徐々にではあるが、1 週間以上の長期においてもさらに進行するためと考えられる。これらについてはさらにデータ数を増やして検討する必要がある。

図-7 には、長期圧密による液状化強度増加率と圧密時間の関係を示す。ここで、液状化強度増加率とは各圧密時間での R_{120} を圧密時間 1 時間での $(R_{120})_{1hr}$ で除した値である。これより、細粒分を含んでいる方が液状化強度増加率が高くなっていることが確認できる。

4. まとめ

中空ねじり試験装置を用い、 K_0 応力条件下において過圧密および長期圧密された砂の液状化強度特性を調べた結果、次のような挙動が認められた。すなわち、(1)細粒分含有率が大きくなるほど過圧密効果は大きくなる。(2)細粒分含有率が大きくなるほど長期圧密による液状化強度増加率は高くなる。

<参考文献>1)永瀬英生・廣岡明彦・田中大介・澤田修平：過圧密履歴を受けた砂試料の液状化強度特性とその強度に及ぼす長期圧密の影響、第 12 回地震工学シンポジウム、2006

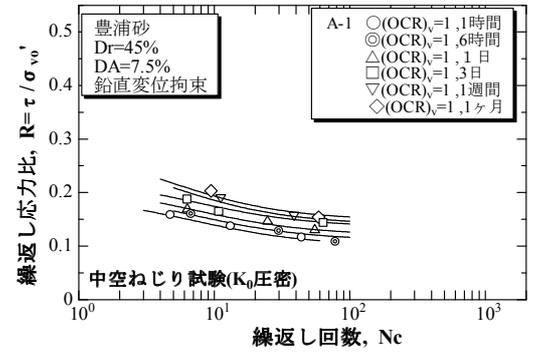


図-5 繰返し応力比と繰返し回数
の関係 (ケース A-2)

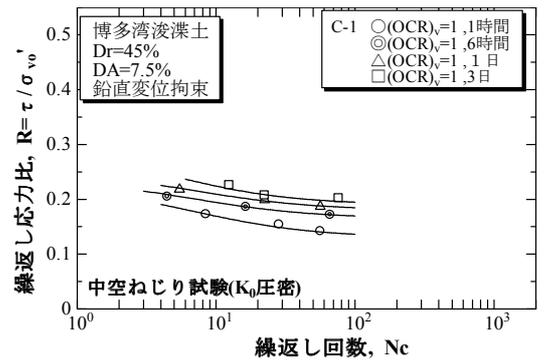


図-6 繰返し応力比と繰返し回数
の関係 (ケース C-1)

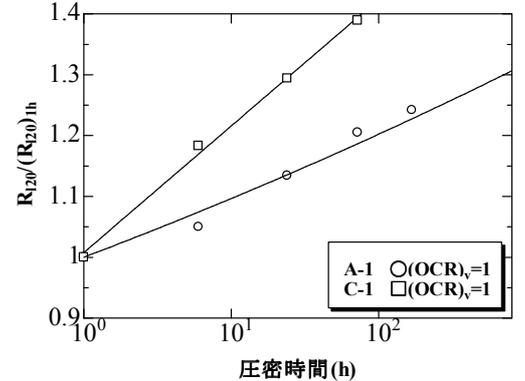


図-7 液状化強度増加率 (長期圧密)