

過圧密砂の液状化強度に与える密度および圧密方法の違いの影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○石原 弘樹
九州工業大学工学部 正会員 永瀬 英生 清水 恵助 廣岡 明彦

1. まえがき

砂の液状化強度に与える過圧密の影響を調べる室内要素試験として、繰返し三軸試験がよく行われてきたが、この試験では、地震時における地盤内の応力状態を正確に再現することは困難である。そこで、本研究では、二重セル型中空ねじり試験装置を用いて K_0 応力条件下での過圧密砂の液状化特性を調べ、過圧密による液状化強度の増加に与える密度および圧密方法の違いの影響について検討を行った。

2. 試料および実験方法

表 1 に実験ケースを示す。試料には豊浦砂を用いた。供試体は、外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形とし、空中落下法で相対密度 $Dr=30\%$ 、 70% になるように作製した後、二酸化炭素と脱気水で十分に飽和させた。過圧密履歴は等方圧密の場合、初期平均有効主応力 σ'_0 （初期有効拘束圧と同意義である）で圧密した後、等方応力を増加させて圧密し、その後 σ'_0 まで除荷して、放置する方法で与えた。また、 K_0 圧密の場合は、毎分 1.96kPa の速度で軸圧縮応力を与えて側方ひずみが $\pm 0.05\%$ 以内に収まるようにして、初期鉛直有効応力 σ'_{v0} で圧密した後、鉛直有効応力 σ'_v を载荷、除荷することによって過圧密履歴を与えた。繰返し载荷は周波数 0.1Hz の正弦波を用いて行った。なお、繰返し载荷時にはクランプを締め、鉛直変位を拘束した。過圧密比 $(OCR)_v$ は、両圧密条件においてともに過圧密履歴を与えたときの鉛直有効応力 σ'_v を繰返し载荷時の初期鉛直有効応力 σ'_{v0} で除した値で表す。

3. 実験結果および考察

図 1～3 に表 1 に示したそれぞれのケースにおける繰返し応力比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 の関係を示す。図 1 より、ケース (A),(B) ではともに、繰返し応力比は過圧密比が増加するにつれて繰返し回数に拘らず増加していることが分かる。また、相対密度の違いが砂の液状化強度に与える影響について調べたところ、図 1 よりケース (A) より密であるケース (B) の方が、各過圧密比において繰返し応力比が大きな値を示していることが分かる。

次に、圧密方法の違いが砂の液状化強度に与える影響について調べたところ、図 1～3 より、過圧密比 1 では K_0 圧密の場合の方が等方圧密のときより繰返し応力比が大きな値を示していることが分かる。これは K_0 圧密で過圧密履歴を与えた場合、鉛直方向の変位は生じるが水平方向の変位は抑制され、供試体内の粒子構造がより安定化することが原因であると考えられる。しかし、ケース (C) では、過圧密比 2 から 4 で繰返し応力比が減少している。ま

表 1 実験ケース

ケース	圧密方法	供試体拘束条件	初期鉛直有効応力 σ'_{v0} (kPa)	相対密度	過圧密比 $(OCR)_v$
(A)	等方圧密	鉛直変位拘束	49.0	30%	1,2,4
(B)	等方圧密	鉛直変位拘束	49.0	70%	1,2,4
(C)	K_0 圧密	鉛直変位拘束	75.8	30%	1,2,4
(D)	K_0 圧密	鉛直変位拘束	75.8	70%	1,2

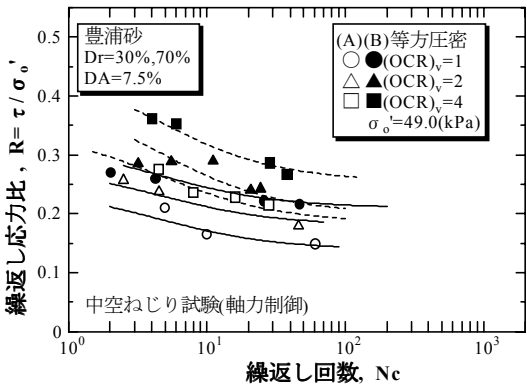


図 1 繰返し応力比と繰返し回数の関係 ($R = \tau / \sigma'_0$)

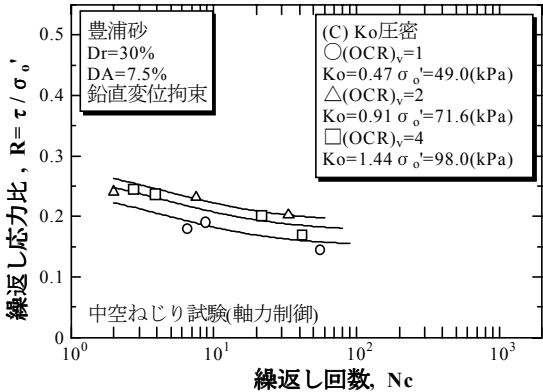


図 2 繰返し応力比と繰返し回数の関係 ($R = \tau / \sigma'_0$)

液状化、砂、 K_0 圧密、相対密度、過圧密

〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 Tel 093-884-3111 Fax 093-884-3100

た、ケース(D)では、過圧密比 1 から 2 での繰返し応力比の増加が見られない。これは、 K_0 圧密の場合、過圧密比が大きくなるほど K_0 値が大きくなるため、繰返し応力比の分母である初期有効拘束圧 σ'_0 が大きくなるためであると考えられる。しかし、初期有効拘束圧 σ'_0 が増加すると繰返しせん断応力 τ が比例して上昇するという考えもある。また、実地盤で過圧密履歴を与える場合、鉛直方向に与える圧力は容易に分かるが、それによって水平方向に与えられる圧力は、 K_0 値の測定が困難であること等により、把握することが困難である。そこで、ケース(C),(D)において、初期鉛直有効応力 σ'_{v0} で繰返し応力を正規化し、繰返し応力比 τ/σ'_{v0} と繰返し回数の関係を図 4,5 に示す。このようにデータ整理を行うことによって、 K_0 圧密においても過圧密効果を確認することができる。以上のことより、液状化強度比を初期有効拘束圧 σ'_0 だけでなく、初期鉛直有効応力 σ'_{v0} で正規化し検討することも過圧密履歴を受けた砂地盤の地震時挙動を把握する上で重要であると思われる。

次に、過圧密による液状化強度増加の検討を行うために、図 4,5 より繰返し回数 20 回における繰返し応力比 $(R_{120})_v$ を読み取り、液状化強度増加率 $(R_{oc})_v$ を求めた。図 6 に液状化強度増加率 $(R_{oc})_v$ と過圧密比 $(OCR)_v$ の関係を示す。ここでは、ケース(A),(B)の結果も併せてプロットしている。これらのデータを $(R_{oc})_v = (OCR)_v^n$ のように近似すると、 n の値はケース(A),(B),(C),(D)でそれぞれ 0.25、0.20、0.64、0.53 という値が得られた。これらの値より、すべてのケースにおいて過圧密効果を確認することができる。また、両圧密方法ではともに、ケース(A),(C)より密であるケース(B),(D)の方が n の値が小さいことが確認できる。相対密度が増加すると供試体作製時において、ある程度締め固まった状態がすでに再現されていたため、その状態からの過圧密効果は若干小さくなるのではないかと考えられる。また、 K_0 圧密の場合の方が、等方圧密のときよりも過圧密効果が大きく表されていることが分かる。この n の値は、原位置での過圧密効果を予測する上で有用なものになると考えられる。

4. まとめ

本研究では以下の挙動が認められた。① K_0 圧密の試験の方が等方圧密の試験に比べ液状化強度が大きい。② K_0 圧密で行った試験については、繰返し応力比を初期鉛直有効応力で正規化することによって、過圧密の効果を確認することができる。③等方および K_0 圧密ではともに、 n の値が相対密度の増加によって小さくなる。

<参考文献> 1)安田・永瀬・穴道・内堀・吉田:拘束圧が液状化の過圧密履歴に与える影響、第 29 回土質工学研究発表会講演概要集、pp733~736、1994、2)永瀬・清水・廣岡・前田・柴田: K_0 応力条件条件下における過圧密砂の液状化強度特性、過圧密土および過圧密地盤の力学に関するシンポジウム発表論文集、pp25~30、2000

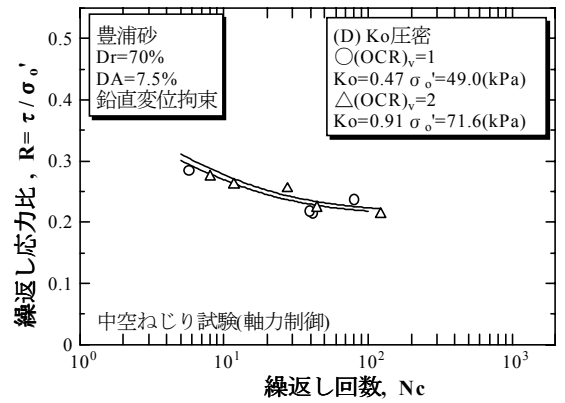


図 3 繰返し応力比と繰返し回数の関係($R = \tau / \sigma'_0$)

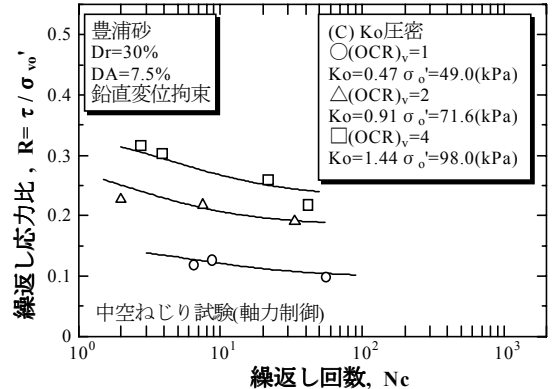


図 4 繰返し応力比と繰返し回数の関係($R = \tau / \sigma'_{v0}$)

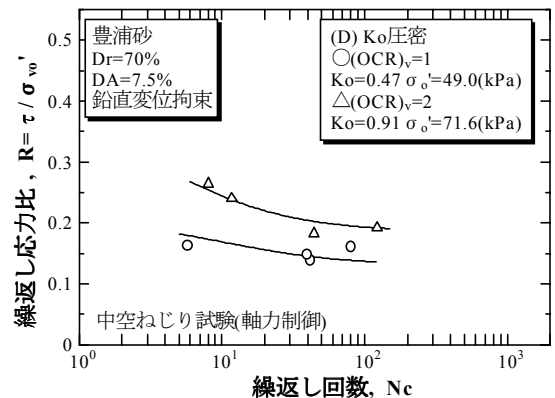


図 5 繰返し応力比と繰返し回数の関係($R = \tau / \sigma'_{v0}$)

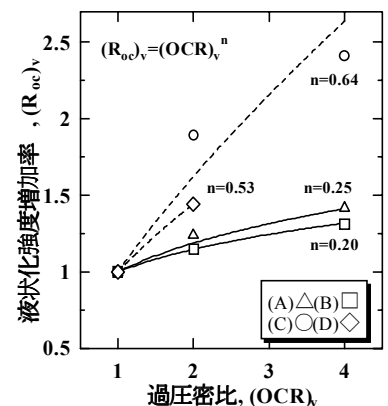


図 6 液状化強度増加率と過圧密比の関係