過圧密および長期圧密された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　中村 浩二

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[1)]。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り、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、用いる試料を変更して、正規圧密および過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

試料には豊浦砂を用いた。豊浦砂の物理的性質は土粒子密度 ρ_s=2.637 g/cm^3、最大間隙比 e_{max}=0.973、最小間隙比 e_{min}=0.609 である。供試体は、外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形とし、空中落下法により D_r=45%になるよう作製した後、二酸化炭素と脱気水で十分に飽和させた。

圧密方法は等方圧密と K_0 圧密の 2 種類である。K_0 圧密においては、軸圧制御により載荷盛土工法を、背圧制御により地下水位低下工法をそれぞれ再現している。過圧密履歴は、所定の初期鉛直有効応力 σ_{v0}'＝49kPa で圧密した後、σ_{v0}'の 2 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。また過圧密比$(OCR)_0$は、等方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}'の比で定義している。また、圧密時における側方ひずみは±0.05%以内に収まるように側圧にて制御した。繰返し試験は周波数 0.1Hz の正弦波荷重を用いて行い、繰返し載荷時においては供試体の鉛直変位を拘束した。なお、実験ケースを表-1 に示す。圧密時間は 1 時間、24 時間、72 時間とした。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。

表-1　実験ケース

ケース	圧密方法	過圧密比	圧密時間
（A）	等方圧密	1	1時間
			24時間
			72時間
（B）	等方圧密	2	1時間
			24時間
			72時間
（C）	K_0圧密（軸圧制御）	1	1時間
			24時間
			72時間
（D）	K_0圧密（軸圧制御）	2	1時間
			24時間
			72時間
（E）	K_0圧密（背圧制御）	2	1時間
			24時間
			72時間

３．液状化試験結果

図-1,2 に等方圧密のケース(A),(B)での繰返し応力比 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 Nc の関係をそれぞれ示す。過圧密比 1 の場合、圧密時間が長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、時間の経過とともに粒子構造の安定化が明確に現れたからと推察される。過圧密比 2 の場合、圧密時間を変えても繰返し応力比に明確な差異は見られない。これは、最大鉛直有効応力が作用している状態から初期鉛直有効応力が作用している状態に移行したことで、長期圧密によって得られた液状化強度増加の効

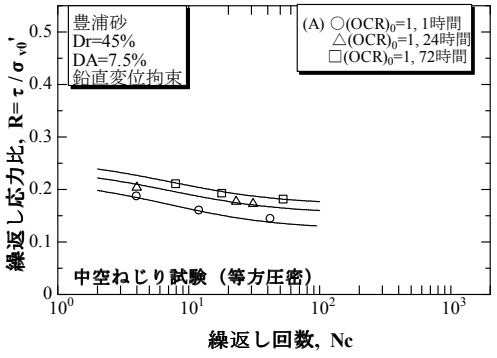

図-1　繰返し応力比と繰返し回数の関係（ケース A）

果が失われることで、過圧密の効果が大きくなり、その影響が支配的になったためであると推察される。また、過圧密比 1 で 72 時間圧密したケースでは、過圧密比 2 の場合よりも繰返し応力比は若干小さいという結果を示した。

図-3,4 に K_0 圧密のケース(C),(D),(E)での繰返し応力比 τ / σ_{v0}' と両振幅せん断ひずみ DA=7.5%に至るまでの繰返し回数 Nc の関係をそれぞれ示す。ここで、繰返し応力比の分母は初期鉛直有効応力 σ_{v0}' とする。過圧密比 1 の時、等方圧密の場合と同様に圧密時間が長くなるほど繰返し応力が大きくなっていることが確認できる。これも、時間の経過とともに粒子構造の安定化が明確に現れたからと推察される。過圧密比 2 の時も等方圧密の場合と同様に圧密時間を変えても繰返し応力比に差異は見られなかった。これも、最大鉛直有効応力から初期鉛直有効応力に除荷したことで、長期圧密によって得られた液状化強度の増加の影響が失われ、その代わりに過圧密の効果が支配的になったためであると推察される。また、K_0 圧密で過圧密比が 2 のケースにおいて軸圧制御と背圧制御を比較すると、軸圧制御の時の方が背圧制御の時よりも液状化強度の増加が大きいことも確認できる。

図-5 にケース(A),(C)での各圧密時間の繰返し回数 20 回における繰返し応力比、すなわち液状化強度比 R_{l20} を圧密 1 時間の R_{l20} で除した値と圧密時間の関係を示す。この図から、等方圧密の方が K_0 圧密よりも繰返し応力比の増加割合が多いことが確認できる。

既往の研究 [1]において常陸那珂埋立砂を用いて同様の実験を行った場合、過圧密比 1 での K_0 圧密では液状化強度が増加しなかった。これは、図-5 に見られるように、K_0 圧密では液状化強度の増加割合が小さいこと、さらに試料が異なっていることおよび過去の研究において実験データにばらつきがあったことのため結果に違いが生じたのではないかと考えられる。これについてはさらに実験を行って検証する必要があると考えられる。

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)過圧密比 1 の場合、圧密方法に関わらず圧密時間が長いほど液状化強度は増加する。(2)過圧密比 2 の場合、圧密方法に関わらず圧密時間を変えても液状化強度の増加は見られない。

<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

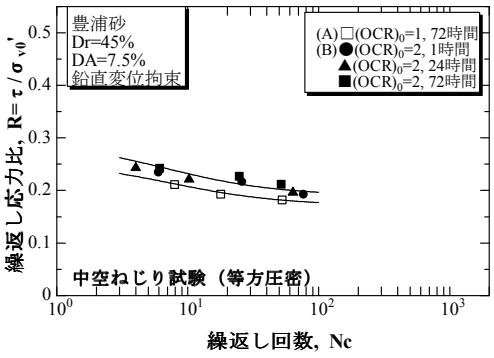

図-2　繰返し応力比と繰返し回数の関係
（ケース A,B）

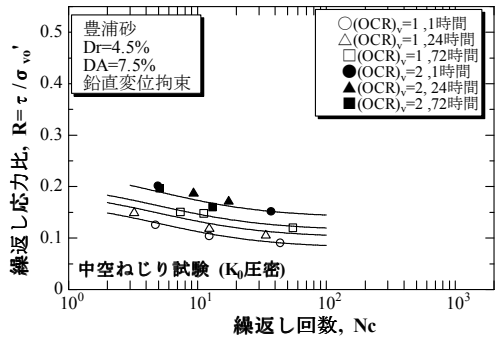

図-3　繰返し応力比と繰返し回数の関係
（ケース C,D）

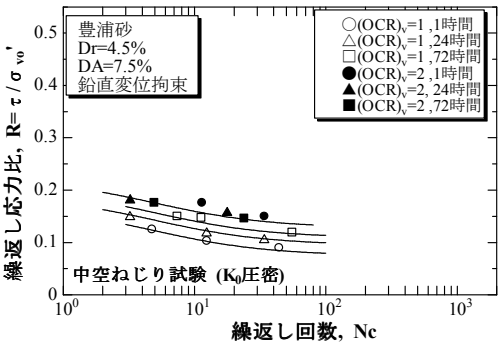

図-4　繰返し応力比と繰返し回数の関係
（ケース C,E）

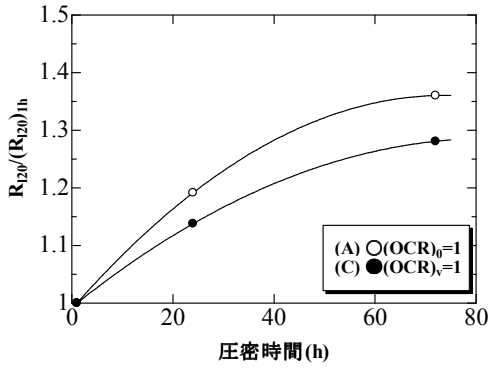

図-5　液状化強度に及ぼす圧密時間の影響