

## K<sub>0</sub>圧密条件下で過圧密および長期圧密履歴を受けた砂の液状化強度 および液状化後の変形特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○赤瀬 大志  
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 高木 悟

### 1. はじめに

液状化対策工法についてはこれまで数多くの研究が行われており、その中で過圧密工法は有効な対策工法の一つと言われている。しかし、その研究の多くは実地盤の応力状態とは異なる等方応力状態で実験が行われているのが現状である。そこで本研究では、より精度の高い過圧密工法の実用化を目指して二重セル型中空ねじり試験装置を用いて、K<sub>0</sub>圧密条件下で過圧密および長期圧密履歴を受けた砂の液状化強度特性を調べた。また、過圧密および長期圧密履歴が液状化後の砂の変形特性に及ぼす影響についても調べた。以下にそれらの結果について報告する。

### 2. 試料および実験方法

本研究では、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 Fc=65%の浚渫土を Fc=30%に粒度調整した試料を用いた。供試体は外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒状とし、空中落下法により相対密度が 45%になるように作製した。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<sub>0</sub>圧密で、軸圧制御により載荷盛土工法を再現した。表 1 に実験ケースを示す。ここでの圧密時間は、側方変位が生じない状態で鉛直荷重を増加させ、初期鉛直有効応力  $\sigma_{v0}'=49\text{kPa}$  で K<sub>0</sub>圧密した時間としている。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、 $\sigma_{v0}'$ の 2 倍、3 倍の鉛直有効応力  $\sigma_v'$ を与えて圧密し、その後  $\sigma_v'$ を初期鉛直有効応力  $\sigma_{v0}'$ まで除荷する方法で与えた。この場合の過圧密比 (OCR)<sub>v</sub>は、最大の鉛直有効応力  $\sigma_v'$ と初期鉛直有効応力  $\sigma_{v0}'$ の比で定義した。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。繰返し載荷は、周波数 0.1Hz の正弦波荷重を用いて行った。なおこの際、供試体の鉛直変位を拘束した条件としている。

### 3. 繰返しねじりせん断試験

図 1、図 2 に豊浦砂と博多湾浚渫土(Fc=30%)を試料とした場合の、繰返し応力比 R と両振幅せん断ひずみ DA が 7.5%に至るまでの繰返し回数 N<sub>c</sub> の関係をそれぞれ示す。ここで、繰返し応力比 R はせん断応力  $\tau$  を初期有効拘束圧  $\sigma_{v0}'$ で除したものである。これらの図より、液状化強度曲線は緩やかな勾配を示していることがわかる。また、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。つまり、長期間圧密された後に過圧密履歴を与えた場合についても液状化強度の増加は期待できると考えられる。

図 3 に、豊浦砂と博多湾浚渫土の液状化強度増加率  $(R_{LC,OC})_v$  と過圧密比 (OCR)<sub>v</sub> の関係を示す。ここでの液状化強度増加率は、繰返し回数が 20 回のときのせん断応力比を液状化強度比 R<sub>120</sub> として、各圧密時間で

表-1 実験ケース

試料	(OCR) <sub>v</sub>	圧密時間
豊浦砂	1	1hr
	2	1,6,24,72,168,672 hr
	3	1,24,72 hr
博多湾浚渫土 (Fc=30%)	1	1hr
	2	1,6,24,72,168,672 hr
	3	1 hr

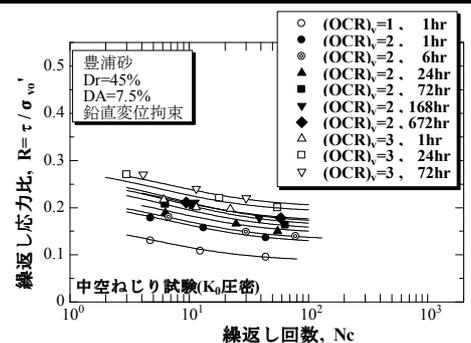


図 1 R-N<sub>c</sub> 関係 (豊浦砂)

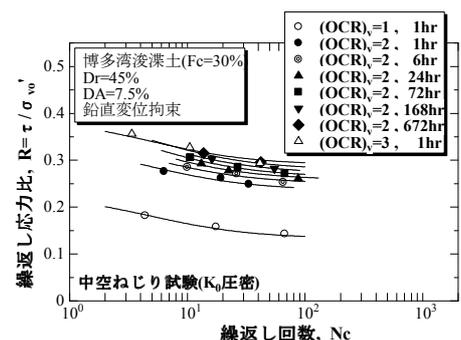


図 2 R-N<sub>c</sub> 関係 (博多湾浚渫土)

の  $R_{120}$  を圧密時間1時間、過圧密比1.0のときの  $R_{120}$  で除した値である。図より、圧密時間の増加に伴い、 $n$  の値が増加していることがわかる。また、豊浦砂と博多湾浚渫土の圧密時間1時間のときの  $n$  の値はそれぞれ0.40、0.63となっており、細粒分含有率が高いほど  $n$  の値が大きくなっていることがわかる。これは、細粒分をより多く含んでいる方が、正規圧密時では、粒子構造が比較的不安定であり、過圧密されると構造がより安定化するためだと考えられる。

4. 静的単調載荷試験

図4に豊浦砂を用い、繰返し載荷後に静的単調載荷を行って得られたせん断応力  $\tau$  とせん断ひずみ  $\gamma$  の関係を示す。Staticは繰返し載荷を行わずに、静的単調載荷のみを行った場合の試験結果を示したものである。また、供試体の剛性が回復する変化点を抵抗変曲点とし、その点までに要する区間を微小抵抗領域と定義する。それぞれの図を見てみると、供試体が液状化していない  $F_L > 1.0$  の結果では、静的単調載荷のみの場合と同様の傾向を示している。また、液状化安全率  $F_L \leq 1.0$  の液状化した供試体にせん断応力を与えると、小さなせん断応力で大きなせん断ひずみが発生し、剛性低下が起こっていることが読み取れる。

図5に豊浦砂の微小抵抗領域における剛性低下率と液状化安全率の関係を示す。図より液状化安全率が低くなるほど、剛性低下率も小さくなっていることが分かる。 $F_L \leq 1.0$  では微小抵抗領域において、せん断剛性は約1/100~1/1000まで低下している。また、液状化安全率  $F_L > 1.0$  の場合、せん断剛性はほとんど低下せず、供試体が液状化している  $F_L \leq 1.0$  の場合との差が非常に大きくなっていることがわかる。

図6に博多湾浚渫土の微小抵抗領域における剛性低下率と液状化安全率の関係を示す。図より液状化安全率が低くなるほど、剛性低下率が小さくなっている傾向は豊浦砂と同様であるが、剛性低下率が豊浦砂より大きくなる、すなわち、液状化後の変形量が少ないという結果になった。これは、圧密した際、細粒分による粘着抵抗が大きくなり、液状化後においてもその粘着抵抗が発揮されるために、せん断剛性が低下せず、剛性低下率が大きくなったものと考えられる。また、豊浦砂と博多湾浚渫土の両試験とも、液状化後の変形特性においては、過圧密の影響が確認できないようである。

5. まとめ

本研究によって得られた結論は以下の通りである。

- ・長期圧密を行った後に過圧密履歴を与えた場合、全ての試料において液状化強度の増加が確認できた。
- ・過圧密効果は、細粒分含有率の高い博多湾浚渫土でより大きく見られた。
- ・豊浦砂、博多湾浚渫土ともに液状化後の変形特性では、過圧密の影響が確認できなかった。

6. 参考文献

- (1) 澤田修平：過圧密および長期圧密履歴を組み合わせて受けた砂の液状化強度特性に関する研究、九州工業大学修士論文

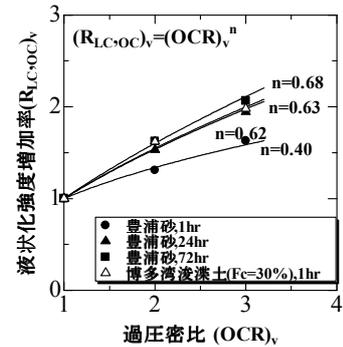


図3  $(R_{LC,OC})_v - (OCR)_v$  関係

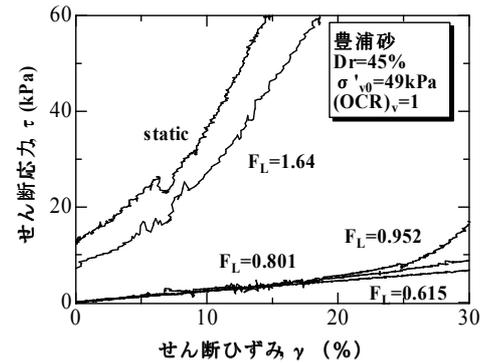


図4  $\tau - \gamma$  関係

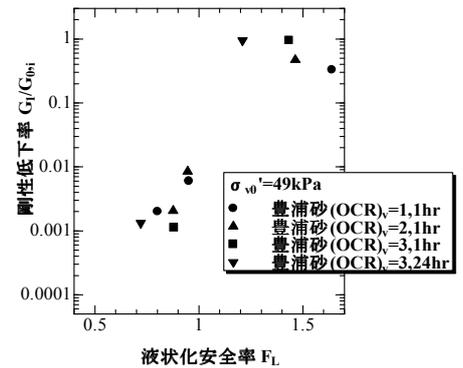


図5  $G_i/G_{0,i} - F_L$  関係

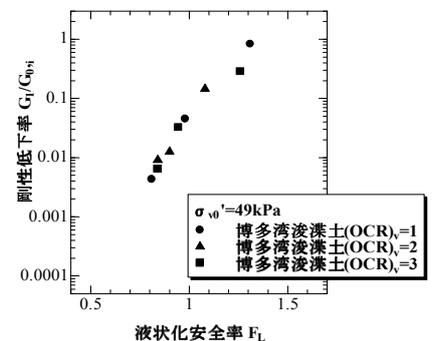


図6  $G_i/G_{0,i} - F_L$  関係