

過圧密および長期圧密効果による液状化対策工法に関する研究

九州工業大学大学院 学生会員 ○岩國英紀 栗田和紀
九州工業大学大学院 正会員 永瀬英生 廣岡明彦

1. はじめに

本研究では、液状化対策として有効な方法とされている、水平地盤に過圧密を与える過圧密工法のうち、軟弱地盤対策工法として広く採用されている載荷盛土工法を想定し、二重セル型中空ねじり試験装置を用いて K_0 圧密を行い、過圧密および長期圧密された砂の液状化強度特性について検討した。

2. 試料および実験方法

試料には、豊浦砂および博多湾で浚渫され福岡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、 $F_c=10\%, 30\%$ に粒度調整したもの(博多湾浚渫土)を用いた。各試料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 の中空円筒形とし、空中落下法により所定の相対密度になるように作製した。圧密方法としては K_0 圧密で圧密時における側方ひずみを $\pm 0.05\%$ 以内に収まるように側圧にて制御し、正規圧密および過圧密を行った。このとき、過圧密比 $(OCR)_v$ は最大鉛直有効応力を繰返し載荷時の鉛直有効応力で除した値と定義した。繰返し載荷は、供試体の鉛直変位を拘束しながら周波数 0.1Hz の正弦波荷重を用いて行い、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_{20} と定義した。また、液状化発生の判断は両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ のときとした。なお、繰返し載荷時の K_0 値は、過圧密比 $(OCR)_v=1, 2, 3$ に対し、それぞれ 0.5、1.0、1.5 となった。図 2 に豊浦砂を用い圧密時間 $T[h]$ を 1~672[h] に変えた場合の $(OCR)_v=1$ における繰返し応力比-繰返し回数の関係を示す。

3. 過圧密効果について

過圧密を与えることにより各試料において液状化強度比が増加する結果が得られたが、各過圧密比 $(OCR)_v$ では載荷時の拘束圧が異なる(鉛直有効応力は 49[kPa] で一定だが K_0 値が異なる)ため、各過圧密比 $(OCR)_v$ 載荷時の拘束圧と同等の拘束圧になるように、過圧密履歴を与えず拘束圧を再現し実験を行ってみた。その結果を図 3 に示す。ただし、 K_0 値とは異なり過圧密履歴を与えない場合は、水平有効応力と鉛直有効応力の比を K_c 値で表した。図 3 より拘束圧の増加により、液状化強度比も増加したが、同じ拘束圧状態においても過圧密履歴を与えた場合の方がより液状化強度が高くなっていることが分かる。これにより、過圧密効果を確認することができる。

4. 長期圧密効果について

各試料における各圧密時間による液状化強度の増加率を求めた結果を図 4 に示す。この図より豊浦砂を除いて圧密時間 $T[h]$ に対し、液状化強度増加率 $(R_{LC})_v$ を表 1 に示す式で比較的正確に表すことができると思われる。ただし、 $(R_{LC})_v$ は圧密時間 1[h] を基準とした場合の各圧密時間での液状化強度の増加率と定義している。

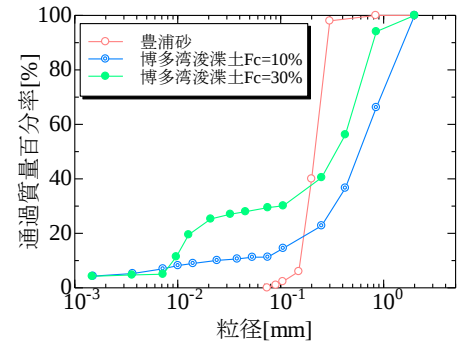


図 1 粒径加積曲線

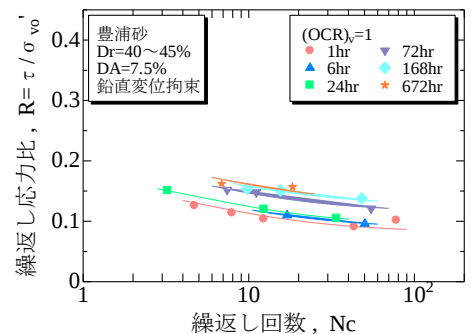


図 2 R と N_c の関係(豊浦砂 $(OCR)_v=1$)

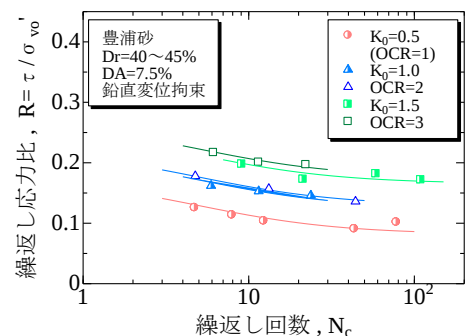


図 3 R と N_c の関係(過圧密履歴の有無による各拘束圧での比較)

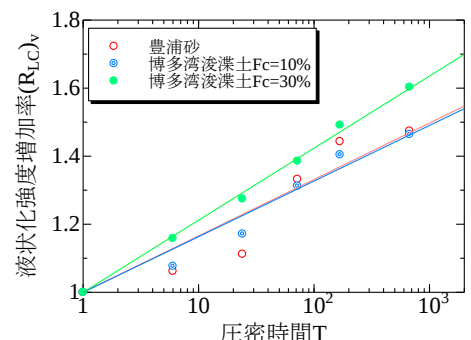


図 4 長期圧密効果による $(R_{LC})_v$ と T の関係

5. 過圧密効果について

各試料における各過圧密比による液状化強度の増加率を求めた結果を図 5 に示す。各試料とも与えた過圧密比 $(OCR)_v$ に対し、液状化強度増加率 $(R_{OC})_v$ を表 1 に示す式で表すことができる。ただし、 $(R_{OC})_v$ は事前の長期圧密時間が同じ条件で、 $(OCR)_v=1$ を基準とした場合の各過圧密比での液状化強度の増加率と定義している。また、図 5 は長期圧密時間が 1 時間の場合である。

6. 解析について

東北地方太平洋沖地震において、液状化被害の大きかった千葉県浦安市を中心とした 59 箇所の柱状図¹⁾より得られた各モデル地盤に対して液状化解析を行った。液状化判定は道路橋示方書²⁾の方法に準拠して行った。また、液状化による地盤変状の発生を判定する方法としては石原らによって求められた液状化層の厚さと非液状化層の厚さの関係³⁾を示す図 6 を用いた。今回は上記の結果より得られた液状化強度増加率 $(R_{LC})_v$ と $(R_{OC})_v$ の式を用いて各箇所において载荷盛土工法を適用した場合について検討を行った。ただし今回は、使用した柱状図は地盤が震災直前に新設・計測されたものであると仮定し、過圧密効果のみを考慮した。なお、盛土は無限に広がる地盤に対して造成した場合を想定している。また、液状化強度増加率 $(R_{OC})_v$ を考慮する際、過圧密を与えられた地盤において過圧密比 $(OCR)_v \geq 3$ の範囲では $(OCR)_v=3$ を用いることとした。図 7 には盛土を造成しない場合、図 8 には広い範囲に砂質土を用いて単位体積重量 $18[\text{kN/m}^3]$ の盛土高 2[m] の盛土を造成・除荷した場合の結果を示す。結果より盛土を造成することでプロット点が右方向へと移動しており、液状化による地盤変状が生じる境界線から離れていることがわかる。この結果より、载荷盛土工法を適用した場合では液状化発生およびそれによる地盤変状の抑制に期待できるものと考えられる。

7. 結果

- 過圧密効果が拘束圧によるものだけではないことを確認できた。
- 過圧密および長期圧密による液状化強度増加率は、表 1 に示すようにそれぞれ過圧密比と圧密時間のべき乗で示すことができる。
- 载荷盛土工法を適用することで液状化発生およびそれによる地盤変状の抑制に期待できる。ただし、過圧密工法による効果を検討する際には、長期圧密による液状化強度増加も同時に考慮する必要があるため、今後それについても検討する予定である。

参考文献

- 千葉県地質環境インフォメーションバンク,
<http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index>, 2012.
- 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 pp.108, 1993.
- 石原研而：Stability of Natural Deposits during Earthquakes ,
11th Int. Conf. on S.M.F.E., Vol.1, pp.321~376, 1985.

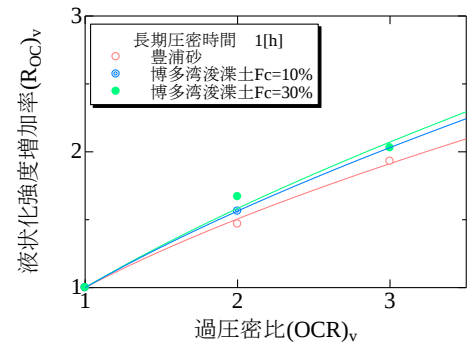


図 5 過圧密効果による $(R_{LC})_v$ と T の関係

表 1 液状化強度増加率

	$(R_{LC})_v$	$(R_{OC})_v$
豊浦砂	$T^{0.062}$	$(OCR)_v^{0.59}$
浚渫土 $F_c=10\%$	$T^{0.060}$	$(OCR)_v^{0.65}$
浚渫土 $F_c=30\%$	$T^{0.075}$	$(OCR)_v^{0.66}$

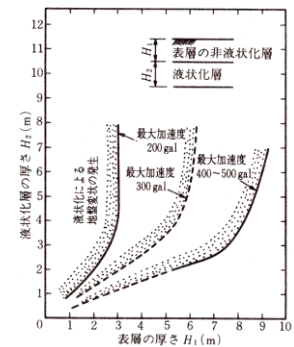


図 6 液状化層の厚さと表層の厚さの関係³⁾

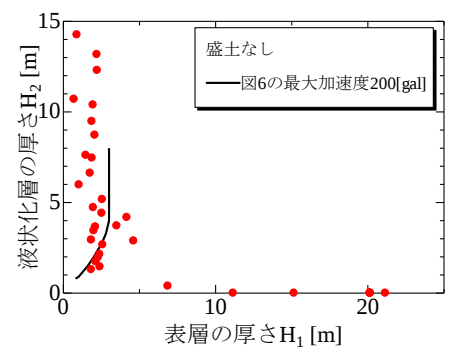


図 7 液状化層の厚さと表層の厚さの関係 (盛土なし)

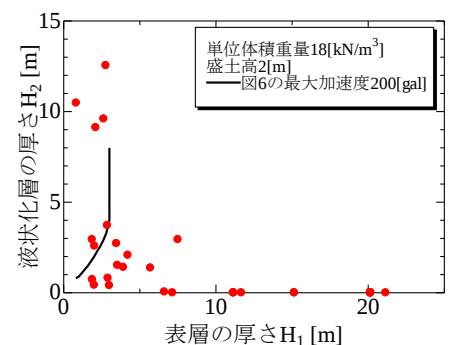


図 8 液状化層の厚さと表層の厚さの関係 (盛土高 2[m]の場合)