

### 過圧密された浦安砂の液状化強度特性と地下水位変動による過圧密の影響

東京電機大学 フェロー会員 安田 進  
 東京電機大学 正会員 石川 敬祐  
 東京電機大学大学院 学生会員 ○武田 陽

#### 1. 目的

2011年に起きた東日本大震災では、東京湾岸の埋立地や利根川の沿岸、霞ヶ浦・北浦の湖岸地域といった関東地方の広範囲にわたって液状化が発生し、戸建住宅やライフライン設備に甚大な被害が生じた。このような地域では、今後の地震による液状化防止にむけて対策が着手されはじめ、その一つとして地下水位低下工法がある。地下水位低下工法は、地下水位を下げることによって浅層域の砂層を不飽和化させると共に、飽和域についても有効応力が増加し液状化強度の増加が期待できる工法である。しかし、数十年後に液状化対策を停止させた際に、地下水位が上昇し有効応力が元に戻るによって対策効果が失われることが問題としてある。一方で、対策事業の停止した後は地下水位以下の砂層が過圧密された状態となり、液状化強度は対策以前よりは増加していることが考えられた。

本研究では、過圧密した供試体に対して非排水三軸試験を実施し、過圧密が液状化強度に与える影響を検討した。また、地下水位対策工法によって地下水位が変動した際の地盤中の過圧密比分布を算出し、実験結果から深度方向の液状化強度増加量を算定した。

#### 2. 試験概要

試料には、東日本大震災で液状化した浦安市の噴砂（以下浦安砂）を用いた。なお、浦安砂は75 $\mu$ mふるいによって細粒分を取り除いている。使用した浦安砂の物性及び粒径加積曲線を図1に示す。

液状化試験は、繰返し非排水三軸試験機を用いて実施した。供試体は、高さ10cm、直径5cm、相対密度50%となるように作成した。供試体の作成方法は、浦安砂は細粒分を含むため空中落下法では細粒分が空中に舞うことで粒度組成が変わることが考えられたため、試料をモールド内に漏斗を用いて入れモールドの側面に木槌で振動を与える方法（不飽和振動法）を用い、供試体全体の密度が均一になるように5層に分けて作製した。

試験時の有効拘束圧は50kPaとし、背圧は200kPaとした。過圧密供試体は、過圧密比OCRを有効拘束圧に対して1.4、2、2.6について試験を実施した。過圧密供試体の圧密過程は、初めに50kPaで1時間圧密し、所定の過圧密比まで有効拘束圧を上げ1時間圧密した後、再度有効拘束圧50kPaで1時間放置した。

#### 3. 試験結果

液状化強度比は、両振幅軸ひずみ $\epsilon_{DA}$ が5%に達した時点での繰返し回数と繰返し応力振幅比の関係から、繰返し回数が20回の繰返し応力振幅比を液状化強度比 $R_{L20}$ と定義した。

過圧密した供試体の $R_{L20}$ を過圧密していない供試体の $R_{L20}$ で除した値を過圧密による液状化強度増加率 $R_{oc}$ として、過圧密された試料の試験結果を図2に示す。図2には、龍岡ら<sup>1)</sup>の試験結果も併記する。浦安砂は過圧密によって液状化強度が増加し、過圧密比の増加に伴って $R_{L20}$ は増加した。ただし、圧密過程において過圧密応力による圧密変化量の違いはあったが、試験時の相対密度が大きく変わることはなかった。龍岡ら<sup>1)</sup>

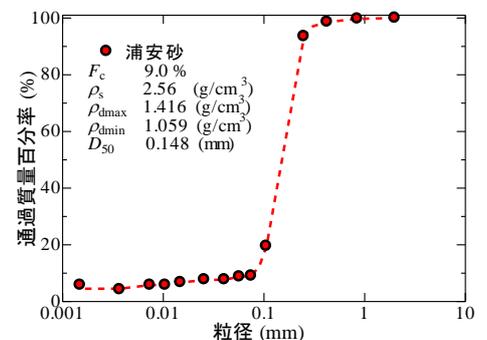


図1 浦安砂の粒径加積曲線

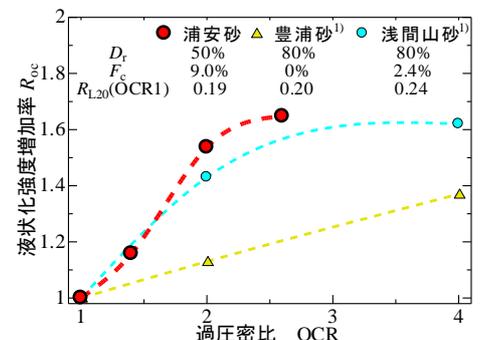


図2 過圧密比—液状化強度増加率関係

キーワード 液状化強度、砂質土、過圧密、地下水位

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学 TEL 049-296-0946

の試験結果と比較すると、浦安砂は OCR2 以降において液状化強度の増加率が高く過圧密による影響を受け易いと考えられる。

図 3、4 に同程度の応力レベルが作用したときの OCR1、2 の試験結果を示す。応力-ひずみ関係からは両者で大きな違いは見られず、緩い砂の液状化試験時にみられるひずみが急発生する傾向は変化していない。しかし、有効応力の減少過程には明瞭な差があり過圧密に伴い液状化に対する抵抗力が大きくなったことがわかる。また、過圧密された供試体は一波目で有効応力の大きな減少が見られず、引張時には有効応力が増加する特徴があった。図 4 中に×印で示すような点を各試験時の最大有効応力  $\sigma'_{max}$  とすると過圧密比との間に図 5 のような関係が得られ、過圧密比の増加と共に最大有効応力も増加する傾向が見られた。このことより、液状化試験時に有効応力の増加が確認できれば、過圧密の履歴及び過圧密比をある程度推測できるのではないかと考えられた。

4. 地下水位変動による液状化強度変化の検討

市街地液状化対策事業として地下水位を低下させ数十年後に停止されることを想定して、そのときの過圧密比とそれに伴う液状化強度への影響を検討した。モデルは均一な砂層とし、単位体積重量は地下水位以上を  $\gamma_{t1}=17.5(kN/m^3)$ 、以下を  $\gamma_{t2}=19.5(kN/m^3)$  として地下水位変動時の有効応力を算出し、深度方向の過圧密比分布を求めた。深度方向に対する  $R_{oc}$  は図 2 の過圧密比との関係から算定した。地下水位は通常時を GL-1m とし、市街地液状化対策事業で行われているように GL-3m まで地下水位を下げるものとした。

以上の条件で算出した深度方向の過圧密比分布、及びそれに伴う  $R_{oc}$  を図 6 に示す。今回の想定モデルにおいて、GL-3m にかけて過圧密比、 $R_{oc}$  が増加し、それ以降は緩やかに減少していくことが分かった。

5. 結論

過圧密した浦安砂の液状化試験結果より、以下の知見が得られた。

- ・ 過圧密した浦安砂においても、既往の結果と同様に過圧密応力の増加に伴って液状化強度の増加が確認された。また、繰返し载荷初期段階で有効応力が一時的に増加する傾向があり、過圧密応力の大きい供試体ほど有効応力の増加量が多かった。
- ・ 今回の実験では過圧密の履歴が 1 回だけであるが、地下水位を下げている地盤内では降水によって最大 30cm~40cm の地下水位の変動が実証実験で示されており<sup>2)</sup>、地下水位低下期間中に過圧密が繰返し起きる可能性がある。また、今回は 1 時間だけの過圧密であるが実際には過圧密期間が数十年にわたり、この間エイジング効果が加わる可能性もある。さらに、GL-2m 付近の浅い部分では長期間不飽和状態になるため、液状化強度が変化する可能性も考えられる。これらの影響に関して今後も検討していきたいと考えている。

謝辞

要素試験を実施に関して、伊藤裕史氏と石川彩花氏（東京電機大学）にご協力いただきました。末筆ながらお礼申し上げます。

参考文献

1) 龍岡文夫,木村勝,プラダン・テージ B・S : 長期圧密及び過圧密された 2 種類の砂の三軸液状化強度, 第 21 回土質工学研究発表会講演集, pp591-594, 1986.  
 2) 安田進,橋本隆雄,内田秀明: 地下水位低下による液状化対策地盤における降雨と水位の関係, 第 12 回地盤工学会関東支部発表会, pp.246-249, 2015.

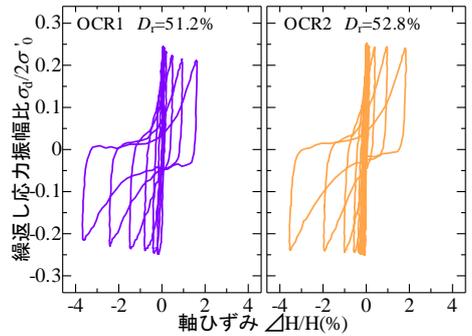


図 3 OCR1、2 の応力-ひずみ関係

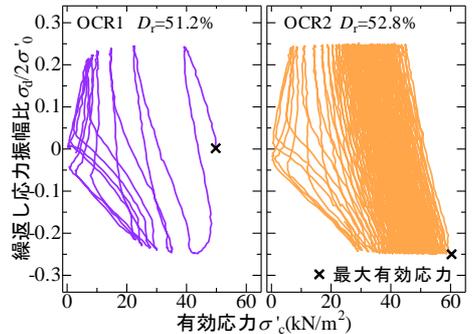


図 4 OCR1、2 の有効応力経路

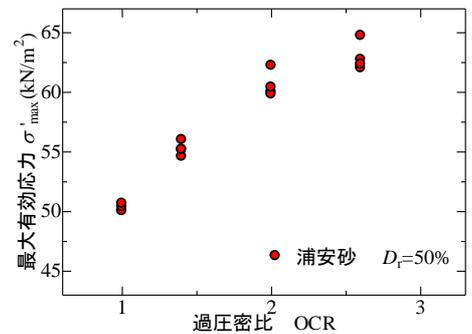


図 5 過圧密比-最大有効応力関係

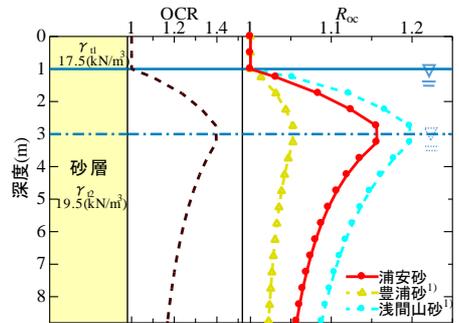


図 6 地下水位変動による OCR、 $R_{oc}$  分布