

## 長期圧密された浦安砂の繰返し非排水三軸試験結果

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 学生会員 ○武田 陽  
 東京電機大学 非会員 後神 拓也

### 1. 目的

2011年に起きた東日本大震災では、東京湾岸の埋立地で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。この際、東京湾岸の埋立地では造成年代が新しい埋立地では液状化が発生したが、古い埋立地では液状化が発生しなかった地域が数多く確認されている。古い埋立地においても液状化する可能性は考えられるが、東日本大震災時にそのような地盤で液状化が発生しなかった要因の一つとして堆積年代による影響（エイジング効果）が考えられる。

本研究では、細粒分の含有量を調整した3種類の試料に対して、堆積年代による影響を再現するために長期間にわたって圧密した供試体に対して繰返し非排水三軸試験を実施し、細粒分を含んだ砂の圧密期間の違いによる液状化強度の変化を検討した。

### 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。浦安砂は、水中で75 $\mu$ mふるいによって粗粒土と細粒土に分けた後、細粒土を重量比で0%、30%、60%の割合に再調整している。粒度調整した浦安砂の物理特性を表1に、粒度分布を図1に示す。なお、最大乾燥密度は文献1)に示す試験方法によって求めたものである。

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。各供試体は、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大きく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層に分けて作成した。各供試体の試験条件として、有効拘束圧は50kPaとし、セル室内の有効拘束圧下での圧密時間は1時間としている。

圧密期間が10日、30日、100日の供試体は、圧密時間が長期にわたるためセル室外の圧密装置にて所定の期間圧密させた。長期圧密時には、所定のモールドに上記の方法で供試体を作成し、水で浸した状態で供試体上面に50kPaの死荷重を与えている。なお、モールド底部は閉塞された状態である。

表1 各試料の物性

試料No	細粒分含有率 $F_c(\%)$	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	最小乾燥密度 $\rho_{dmin}(\text{g/cm}^3)$	塑性指数 $I_p$
試料1	9.0	2.56	1.389	1.059	NP
試料2	39.2	2.63	1.510	1.109	0.8
試料3	64.2	2.68	1.532	1.072	0.4

表2 各供試体の液状化強度比

試料No.	液状化強度 $R_{L20}$			
	1時間	10日間	30日間	100日間
試料1	0.190	0.220	0.215	0.255
試料2	0.145	0.212	0.210	0.235
試料3	0.135	0.190	0.178	0.211

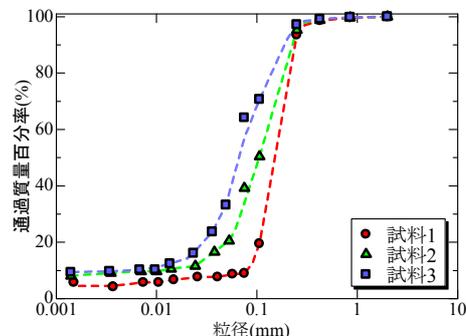


図1 各試料の粒度分布

キーワード 液状化強度、エイジング、長期圧密、細粒分含有率

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

3. 試験結果

液状化強度比の定義は、両振幅軸ひずみが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  $R_{L20}$  とした。各供試体の液状化強度比を表2に示す。表2より浦安砂では細粒分含有率の増加と共に液状化強度が減少していく傾向が確認された。

液状化試験結果の一例として試料2の液状化強度曲線の集積図を図2に示す。同図より、大きな傾向として圧密時間の増加と共に液状化強度の増加が確認される。図中の繰返し応力振幅比0.2程度の圧密期間1時間と100日間の有効応力経路を図3に示す。両者を比較すると同程度の応力レベルが作用しても有効応力の減少過程に明瞭な差があり液状化に対する抵抗力が大きくなっている。これらの傾向は、どの試料においても確認でき液状化強度の増加は細粒分を多く含む試料ほど顕著であった。

図4は各供試体の液状化強度比を1時間圧密された供試体の液状化強度比で除したものを圧密期間による強度増加率  $R_{tc}$  として各供試体の増加傾向を比較したものである。同図には龍岡ら<sup>2)</sup>、安田ら<sup>3)</sup>らが実施した試験の結果を併せて示している。図4に示すように  $F_c=9\%$  は100日後の強度増加率が1.3倍程度なのに対して、 $F_c=39.2\%$ 、 $64.2\%$  の試料は1.5倍程度増加しており細粒分含有率の高い試料の方が、長期圧密による液状化強度の増加割合が大きいことが確認された。そこで、液状化強度比が圧密期間と共に増加する要因の一つとして考えられる長期圧密に伴う各供試体の密度変化を図5に示す。同図より、細粒分含有率の高い試料ほど長期圧密による密度増加が大きく、試料3においては1時間圧密と100日間圧密の供試体で平均相対密度に10%程度の差を生じている。このことより、長期圧密された供試体の液状化強度は、密度増加の影響による強度増加が含まれていることが考えられる。

4. 結論

長期圧密された浦安砂の液状化試験結果より以下の結論が得られた。

- ・ 細粒分含有量を調整した相対密度50%の浦安砂は、細粒分を多く含む砂ほど液状化強度が減少する傾向が確認された。
- ・ 長期圧密による液状化強度の増加は試料の違いに関わらず確認されたが、強度増加率は細粒分含有率が高いほど大きくなる傾向がある。
- ・  $F_c=39.4\%$ 、 $64.2\%$  の試料では、長期圧密に伴う大きな密度増加があり、その影響で液状化強度増加率が高くなったと考えられる。

参考文献

- 1) 安田進,石川敬祐,武田陽,後神拓也: 細粒分を多く含む砂に対する最大・最小密度試験結果, 第11回地盤工学会関東支部発表会, pp139-141, 2014.
- 2) 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.
- 3) 安田進,清水善久,小金丸健一,森本巖: レベル2地震動下の液状化および液状化後の変形特性に与えるエイジング効果, レベル2地震動による液状化に関するシンポジウム論文集, pp391-396, 2003.

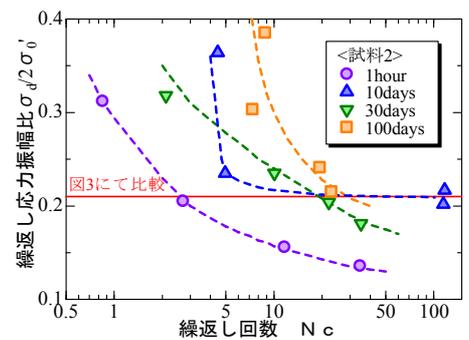


図2 試料2の液状化強度曲線

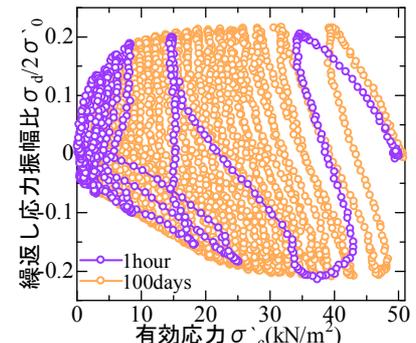


図3 有効応力経路

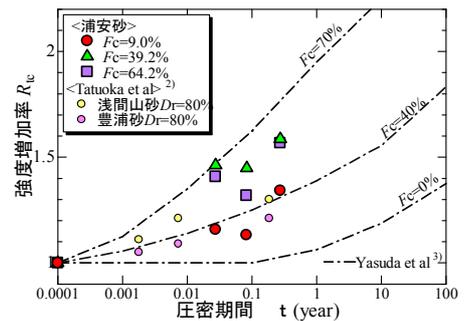


図4 圧密期間と強度増加率の関係

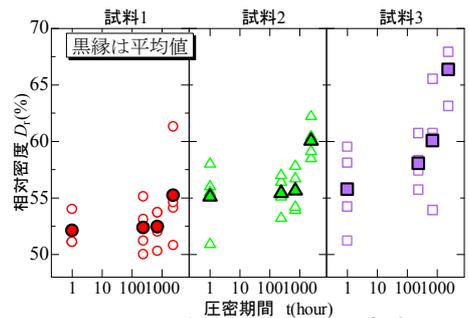


図5 試験供試体の相対密度