

液状化強度曲線の形状に与える地盤物性の影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○井澤 淳, 加藤 尚, 室野 剛隆
基礎地盤コンサルタンツ (株) 正会員 山田 真一

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋地震において低加速度でありながら長継続時間地震動の影響と考えられる液状化被害が東京湾沿岸で多数発生した。このサイトでは、粒径が細かく、粒径分布が比較的なだらかなシルト質の地盤でも液状化が発生した可能性があることが報告されている^{例え¹⁾}。一方、低加速度・長継続時間地震動に対する液状化には、繰返し回数 20 回を超える多繰返し領域の液状化強度の特性が大きく影響すると考えられる²⁾。筆者らは、多繰返し領域の液状化強度特性に与える地盤の粒径分布の影響に着目した液状化強度試験を行い、粒径が細かく比較的粒径加積曲線がなだらかな地盤の場合、多繰返し領域の液状化強度が大きく低下する可能性があることを示した³⁾。また、粒径分布の差による液状化強度曲線の形状の違いが、累積損傷度法を用いた低加速度・長継続時間地震動に対する液状化判定に、大きな影響を与える可能性があることも示した。本稿では追加検討を実施し、液状化強度曲線の形状に与える地盤物性の影響について考察を行った。

2. 実験概要

液状化強度試験では、藤森粘土をベースとしてケイ砂 6 号と 7 号を配合調整することによって粒径分布を調整した 3 種類の人工試料 A~C と DL クレーの計 4 種類の材料を用いた。図 1 に粒径加積曲線を、表 1 に物性を示す。なお、既往の豊浦砂の結果⁴⁾を比較対象としており、豊浦砂の物性等も合わせて示している。また、図 1 には伊能ら¹⁾の調査により得られている東京湾沿岸の憤砂の粒径分布も示している。試料 A はシルト質の比較的富配合な材料で、新習志野香澄公園の粒径分布とほぼ同等である。試料 A とほぼ同等の平均粒径 D_{50} を有する単粒度の材料として DL クレーを用いた。試料 B は、試料 A と出来るだけ同じ粒径分布形状のまま、 D_{50} が豊浦砂程度になるように平行移動させた材料である。試料 C は D_{50} が豊浦砂とほぼ同等で、粒径分布をなだらかにした材料である。したがって、試料 B, C および豊浦砂は、同等の D_{50} を有し、豊浦砂<試料 C<試料 B の順で富配合な材料となるように配合調整したものである。図 1 に示す粒径加積曲線は上記の配合を目指して粒度調整した結果であり、若干の相違はあるものの、概ね目標の粒径分布を有する材料となっている。

液状化強度試験は中空ねじり試験機を用い、表 2 に示す 5 ケースを行った。試料 A および DL クレーは出来るだけ密になるように密度調整し、それぞれ相対密度 $Dr=91\%$, 77% で試験を行った。試料 B は試料 A ($Dr=91\%$) と同等の密度および間隙比になる相対密度 $Dr=60\%$ のケースと、相対密度 84% の 2 ケースを行った。試料 C は試料 B ($Dr=84\%$) と同じ相対密度になるように調整した 1 ケースを行った。供試体寸法は外径 200mm, 内径 120mm, 高さ 300mm で、拘束圧 98kPa (背圧 200kPa) で等方圧密後、0.1Hz の正弦波で繰返し载荷を行い、繰返し回数 1~1000 回程度の範囲において 5~6 点の液状化強度比を求めた。なお、せん断ひずみ 7.5% 到達時を液状化発生時とした。

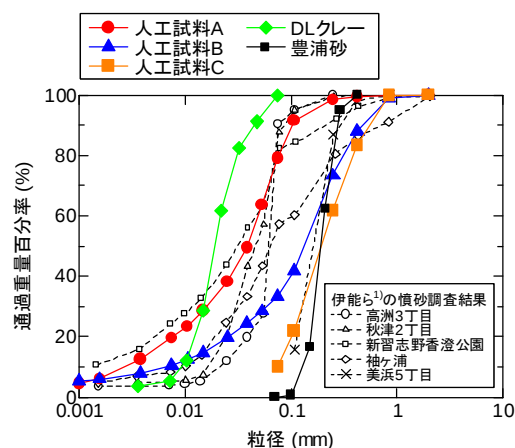


図 1 粒径加積曲線

表 2 実験ケース (全ケースの平均値)

実験ケース	$Dr(\%)$	単位体積重量(kN/m^3)		間隙比
		乾燥 γ_d	飽和 γ_{sat}	
試料 A	91.2	14.1	18.6	0.832
試料 B	60.0	14.0	18.5	0.846
	84.0	15.1	19.2	0.712
試料 C	85.8	15.1	19.2	0.720
DL クレー	77.0	13.5	18.2	0.920

表 1 試料の粒径特性

試料名	G_s	$D_{50}(\text{mm})$	U_c	U_c'	$F_c(\%)$	$P_c(\%)$	e_{max}	e_{min}
試料 A	2.62	0.039	17.4	1.82	79.1	15.3	1.50	0.765
試料 B	2.64	0.133	25.9	3.29	33.5	8.90	1.18	0.623
試料 C	2.65	0.190	5.46	1.76	22.0	3.20	1.19	0.635
DL クレー	2.65	0.151	2.81	1.11	99.1	5.70	1.68	0.695
豊浦砂 ⁴⁾	2.65	0.180	1.32	—	0	0	0.989	0.615

キーワード 液状化・長継続時間地震動・粒径分布

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel: 042-573-7394

3. 結果および考察

図2に同等の密度を有する試料A, B(Dr=60%), DLクレーの液状化強度曲線を, 図3に同等のD₅₀を有する試料B, Cの液状化強度曲線を示す。なお, 図中の実線で示した曲線は, 実験から得られた20回繰返し時の液状化強度比R₂₀と係数αを用いて, 両対数軸で直線の関係となる(1)式によりフィッティングしている。

$$R_i = R_{20} \left(\frac{N_c}{20} \right)^{-\alpha} \quad (1)$$

また, 比較のため青野ら⁴⁾の行った豊浦砂(Dr=61%および80%)の結果も示しているが, これは3軸試験装置を用いた結果であるため, 既往の研究⁵⁾を参考に1.2倍した値を示している。また, 豊浦砂Dr=80%については, 東ら⁶⁾を参考に双曲線でフィッティングした結果を点線で示している。表3にR₂₀とαをまとめる。

図2より, 粒径が細かく富配合の試料Aは試料BやDLクレーに比べてR₂₀が大きいものの, 繰返し回数の増加とともに強度が大きく低下し, 繰返し回数1000回程度でほぼ同等となる。一方, 粒径が比較的大きく単粒度の豊浦砂(Dr=61%)は, R₂₀は試料BやDLクレーと同等であるが, 多繰返し領域での強度低下は小さい。また, 豊浦砂のDr=80%の場合, 試料Aとほぼ同程度のR₂₀を有するものの, 繰返し回数100回程度以降ではほとんど強度低下がないことが分かる。一方, 豊浦砂と同じように単粒度であっても粒径が細かいDLクレーの場合, 多繰返し領域での強度低下が見られる。図3より, 試料Bについては式(1)で概ねフィッティングできるものの, 比較的貧配合の試料Cについては単粒度の豊浦砂と同様に, 点線で示す双曲線近似の方が精度良くフィッティングできるようである。また豊浦砂のDr=80%と60%の結果では液状化強度曲線に大きな差が見られるのに対して, 試料BのDr=84%と60%の結果では大きな差は見られない。

4. まとめ

本研究では人工材料を用いた液状化強度試験を実施し, 地盤材料の粒径分布が多繰返し領域の液状化強度特性に与える影響を検討した。その結果, 限られた材料の範囲内ではあるが, 以下のような傾向が見られた。

- ・ 富配合な材料では, 多繰返し領域での強度が低下する可能性がある。また, 単粒度の材料に比べて液状化強度曲線の形状に与える密度の影響が小さい。
- ・ 貧配合の材料で, 粒径が比較的大きい場合は多繰返し領域での液状化強度比の低下は小さいが, 粒径が細かい場合は低下する傾向にある。
- ・ 液状化強度曲線は, 富配合な材料や貧配合で緩い材料では両対数軸で直線近似でき, 貧配合で密な材料では双曲線で近似できる傾向にある。

今回は粒度分布に着目して液状化強度曲線の形状に与える影響を把握したが, 過圧密比や年代効果等にも影響されると考えられる。今後, それらの点も含めて液状化強度特性の把握とメカニズムの解明を行っていきたい。

参考文献 1) 伊能ら, 東日本大震災における東京湾岸の液状化発生地域の現地調査, 土木学会第66回年次講演会, 2011. 2) 井澤ら, 各種の地震動に対する累積損傷度法による液状化判定法の適用性, 第31回土木学会地震工学研究発表会報告集, 2011. 3) 井澤ら, 繰返し領域の液状化強度特性に及ぼす粒径分布の影響, 第47回地盤工学研究発表会, 2012. 4) 青野ら, 飽和砂の限界液状化強度, 土木学会第41回年次講演会, pp. 9-10, 1986. 5) 田中ら, 三軸試験と中空ねじり試験の液状化強度の相違の検討, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 第3号, pp. 129-135, 1999. 6) 東ら, 砂質土の相対密度を考慮した液状化強度曲線の定式化, 土木学会第49回年次講演会, pp. 528-529, 1993.

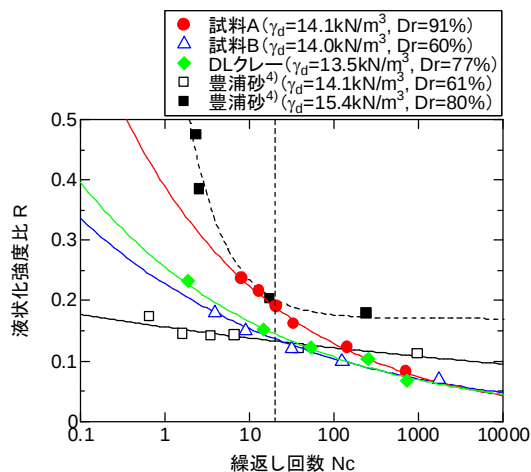


図2 同等の密度を有する材料の液状化強度曲線

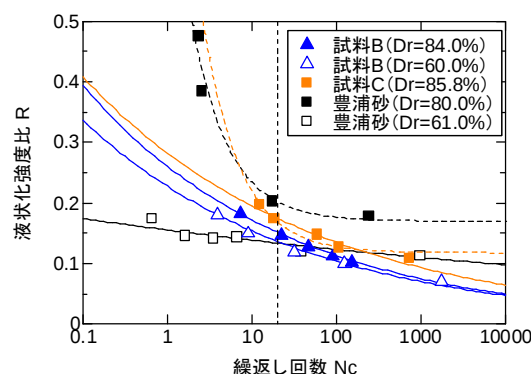


図3 同等のD₅₀を有する材料の液状化強度曲線

表3 液状化試験結果

	Dr(%)	R ₂₀	R ₁₀₀₀	α
試料 A	91.2	0.190	0.074	0.24
試料 B	60.0	0.137	0.070	0.17
	84.0	0.152	0.074	0.18
試料 C	85.8	0.170	0.095*	0.16*
DL クレー	77.0	0.145	0.070	0.19
豊浦砂 ⁴⁾	80.0	0.200	0.17	-
	61.0	0.134	0.109	0.05

*式(1)で近似した場合の値