

非塑性細粒土を含む砂における液状化特性に関する研究
その 1 液状化強度と継続時間の関係

Study on Liquefaction Characteristics of Sandy Soils Having Non-Plastic Fines
Part1 Relationship between Liquefaction Resistance and Duration of Ground Motion

○所義登¹,山田雅一², 安達俊夫²,藤森圭祐³,道明裕毅³

Yoshito Tokoro¹,Masaichi Yamada²,Toshio Adachi²,Keisuke Fujimori³,Yuki Domyo³

Abstract : The objective of this study is the development of a higher understanding of the influence of non-plastic fines on the liquefaction resistance of sandy soils. In this paper, the relation between liquefaction resistance and duration of ground motion are investigated by performing hollow cylindrical torsional shear tests on samples having varying relative densities and fines contents.

1.はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、広域に甚大な被害を及ぼした。関東地方では東京湾岸東部の埋立地や、利根川下流域などで液状化による建物の傾斜や沈下が多く見受けられた。この液状化被害が生じた要因として、地震動の継続時間が長かったことや、東京湾沿岸の埋立地では、非塑性の細粒土を含む砂地盤であったことが指摘されている¹⁾。

既往の研究²⁾³⁾においては細粒土を含んだ砂と含まない砂では、液状化強度に大きな差異が生じるという報告がなされている。本研究は、非塑性細粒土を含んだ地盤における液状化特性を把握することを目的としている。本報その 1 では、非塑性細粒土を含んだ砂の液状化特性に及ぼす地震動の継続時間の影響を中空ねじりせん断試験を行って検討する。

2.試験概要

2.1 試料

本試験では、豊浦砂及び新潟砂を用いた。また、細粒土には非塑性のシルト (DL クレイ:ρ_s=2.659g/cm³) を用いた。試料の物理的特性を Table1 に、各試料の粒径加積曲線を Fig.1 に示す。

Table1 Physical Properties of samples

試料	土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)	最大間隙比 e _{max}	最小間隙比 e _{min}
豊浦砂	2.631	0.964	0.601
新潟砂	2.692	1.068	0.650

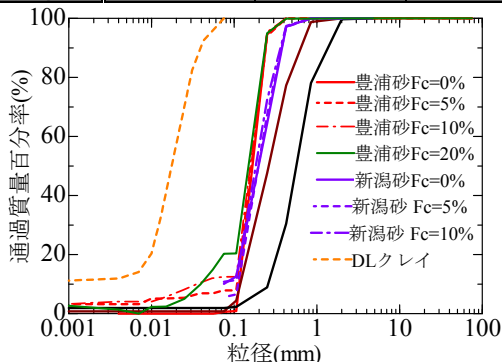


Fig.1 Grain size distribution of soils samples

2.2 供試体の作製方法

豊浦砂と新潟砂に細粒分含有率 Fc=5,10,20%に相当する DL クレイを加えて、混合することで調整した。供試体は中空円筒供試体 (外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm) を JGS 0550 に準拠してドライタンピング法で作製した。

2.3 試験方法

供試体は炭酸ガス、脱気水および背圧で飽和させ、B 値が 0.96 以上であることを確認する。その後有効拘束圧 σ'₀=49,98kN/m² で等方圧密を行う。圧密終了後、高精度な荷重載荷システム⁴⁾を用いて正弦波の一定応力振幅で繰返し載荷を行った。せん断ひずみの両振幅 γ_{DA} が 15%に達した後、ひずみ値がゼロクロスしたことを確認して試験を終了させた。

3.液状化強度

建築基礎構造設計指針⁵⁾による液状化判定では、不規則な地震荷重を正弦波荷重に換算している。

$$r_n = 0.1M - 0.1 \tag{1}$$

(1)式に示した r_nは不規則な地震荷重を一定応力振幅の正弦波荷重に換算するための補正係数であり、基礎指針では地震マグニチュード M を用いている。これは、M=7.5 を基準とした等価な繰返し回数 N_{eq}に換算するものである。等価な繰返しせん断応力と繰返し回数の関係は、両対数グラフ上で 0.2 の傾きを持つ直線で表されると仮定することで、補正係数 r_nと繰返し回数の関係は、(2)式で表される⁶⁾。

$$r_n = 0.65 (N_{eq}/15)^{0.2} \tag{2}$$

(1)式は Seed ら⁷⁾の研究を利用したもので、マグニチュード M=7.5 では r_n=0.65 となる。ここで、(1)式に東北地方太平洋沖地震の M=9.0 を代入して(2)式から等価な繰返し回数 N_{eq} を求めると N_{eq}≒42 となる。

そこで豊浦砂と新潟砂について τ/σ'₀ と γ_{DA} が 7.5% に達する時の繰返し回数 N 関係の試験結果を Fig.2 に

示す。図中に示した各試料の液状化強度曲線は(3)式を適用して求めたものである。

$$\tau/\sigma'_0 = a(N)^{-b} \quad (3)$$

ここに a,b は実験定数である。地震マグニチュードから式(1)、(2)を用いて等価な繰返し回数を算出する。M=7.5 の場合の N_{eq} は 15 回となりその時の液状化強度を R_{15} とし、M=9.0 の場合、 N_{eq} は 42 回となりその時の液状化強度を R_{42} とそれぞれ定義する。従って、 R_{15} と R_{42} は地震動の継続時間を考慮した液状化強度ということになる。Fig.2 の液状化強度曲線から R_{15}, R_{42} を求め、液状化強度の低下率 R_{42}/R_{15} を併せて示したものが Table2 である。Fig.2 と Table2 より、既往の研究とは異なり、細粒土を含む豊浦砂と新潟砂の液状化強度 R_{15} と R_{42} は共に $Fc=0\%$ の液状化強度と比べて大きくなっていることがわかる。しかし、 $Fc=5\%$ 、 $Fc=10\%$ 及び $Fc=20\%$ の液状化強度には明確な傾向は見られなかった。Fig.2 の液状化強度曲線に着目すると、細粒分を含んだ砂の液状化強度曲線は、その勾配が急になっていることがわかる。これは Table2 の R_{42}/R_{15} の値からも確認することが出来る。また、同図より、 $Dr=80\%$ 、 $Fc=0\%$ の液状化強度の曲線は $Dr=60\%$ 、 $Fc=5\%$ の液状化強度曲線よりやや上側に位置していることがわかる。Fig.3 には R_{42}/R_{15} と細粒分含有率の関係を示した。Fig.3 より、 $Fc=0\%$ の砂に対して $Fc=5, 10\%$ の砂は R_{42}/R_{15} が小さくなる傾向が見て取れる。しかし $Fc=20\%$ の砂においては、細粒分を含まない砂よりも大きい R_{42}/R_{15} が得られていることがわかる。このことから、少量の非塑性細粒土を多く含む地盤では、地震動の継続時間の影響を受けやすいが、細粒分がある分量を超えると、液状化強度が増加するような傾向が見て取れる。

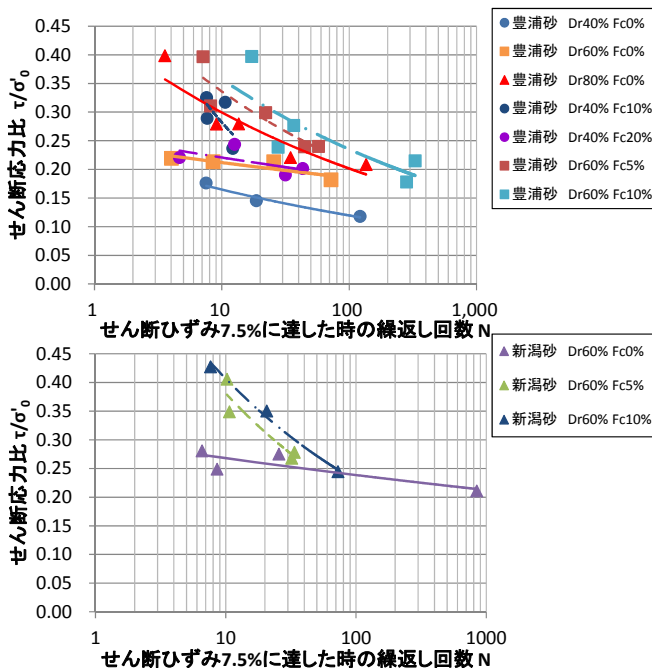


Fig.2 Relationships between stress ratio and number of loading cycles

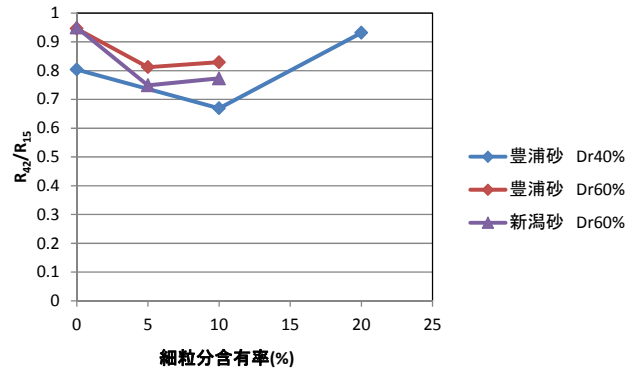


Fig.3 Relationships between fines contents and R_{42}/R_{15}

Table2 Test results

試料	相対密度 Dr(%)	細粒分含有率 Fc(%)	液状化強度		
			R_{15}	R_{42}	R_{42}/R_{15}
豊浦砂	40	0	0.16	0.14	0.87
		10	0.22	0.15※	0.69
		20	0.21	0.20	0.93
	60	0	0.21	0.20	0.95
		5	0.31	0.25	0.81
		10	0.33	0.28	0.83
新潟砂	60	0	0.26	0.25	0.95
		5	0.34	0.25※	0.75
		10	0.37	0.28	0.77

※ $N > 42$ のデータが取れなかったため、液状化強度曲線より外挿して求めた

4.まとめ

非塑性細粒土を含む砂に対して、液状化特性に及ぼす地震動の継続時間の影響について検討した。本報告をまとめると以下の通りである。

- ①非塑性細粒土を含む砂は、細粒土を含まない砂の試験結果と比較すると、液状化強度 R_{15} 、 R_{42} は大きくなる傾向を示した。しかし、 $Fc=5\%$ 、 $Fc=10\%$ 及び $Fc=20\%$ の液状化強度の差異について明確な傾向は見られなかった。
- ②液状化強度の低下率 R_{42}/R_{15} は、 $Fc=0\%$ の試験結果と比較して、 $Fc=5\%$ 、 10% で小さくなる傾向を示した。しかし、 $Fc=20\%$ では、 $Fc=0\%$ よりも大きい R_{42}/R_{15} の値を示した。これは非塑性細粒土がある分量を超えると細粒分を含んだ土粒子の骨格構造が液状化抵抗に寄与されるものと考えられる。

(参考文献)

- 1) 日本建築学会:2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報,pp.535-536,2011
- 2) 佐藤正行、小田匡寛、風間秀彦、小瀬木克己: 細粒分が埋立地盤の液状化特性に及ぼす影響に関する基礎的研究、土木学会論文集, No.561/III-38, pp.271-282, 1997.
- 3) 黄大振、柳沢栄司、菅野高弘: シルトを含む砂のせん断特性について、土木学会論文集, No.463/III-22, pp.25-33, 1993.
- 4) 道明裕毅他: 中空ねじりせん断試験システムの開発, 日本大学理工学部学術講演会論文集, 2013.
- 5) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.
- 6) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y. Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content. Soil and Foundations, Vol.23, No.4, pp.56-74, 1983.
- 7) Seed, H.B. Tokimatsu, K. Harder, L.F. and Chung, R.M.: Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111, No.12, pp.1425-1445, 1985.