

## 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 2 液状化判定における補正 N 値の検討

## Study on Liquefaction Characteristics of Sandy Soils Having Non-Plastic Fines

## Part 2 Investigation of Correction N-Value in Liquefaction Evaluation

○藤森圭祐<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 安達俊夫<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>1</sup>, 所義登<sup>3</sup>\*Keisuke Fujimori<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Toshio Adachi<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>1</sup>, Yoshito Tokoro<sup>3</sup>

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, by using hollow cylindrical torsional shear tests results on sandy soils having varying fines contents, are investigated by performing the correction of N-value in liquefaction evaluation by the current simple judgment.

## 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、地震による建物被害や、津波による被害が目立つ中、液状化による被害も注目されている。

液状化被害の調査結果から、一般的には砂に細粒分を含むと液状化抵抗が大きくなると認識されている。一方、非塑性細粒土を含んだ液状化試験では<sup>(例えば1)</sup>、細粒分含有率  $F_c$  の増加に伴って、液状化抵抗が低下し、 $F_c=30\%$ を境に上昇する傾向が見られると報告がなされている。

東北地方太平洋沖地震による液状化被害地域の一部では、建築基礎構造設計指針<sup>2)</sup> (以下、基礎指針) の液状化判定法による地盤の沈下量は過小評価される傾向があった<sup>3)</sup>。その要因の一つとして、標準貫入試験で得られる N 値の細粒分含有率に応じた補正方法が挙げられる。しかし、現行の基礎指針に基づく液状化による沈下量の推定方法では、細粒土を含んだ場合の N 値の補正方法については明確な根拠がない。一方既往の知見として、竹田ら<sup>4)</sup>は、実際の地盤調査結果と液状化被害を基づいて、細粒分が液状化に及ぼす影響について逆解析により検討を行っている。

そこで本報その 2 では、前報<sup>5)</sup>で行った非塑性細粒土を含む砂に対する一連の繰返し中空ねじりせん断試験結果を基に、現行の簡易な液状化判定に用いられている細粒分含有率による N 値の補正方法について検討する。

## 2.非塑性細粒分を含む砂の相対密度

## 2.1 相対密度の定義

原位置での液状化の可能性を評価するには、液状化強度の推定が必要となる。その液状化強度を評価する上で必須のパラメーターとされているのが相対密度  $D_r$  である。この相対密度  $D_r$  は、式(1)により定義され、

JIS A 1224 に規定されている「砂の最小密度・最大密度試験方法」により、試料の最大密度  $\rho_{dmax}$  と最小密度  $\rho_{dmin}$  を求めて算出する。

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{1/\rho_{dmin} - 1/\rho_d}{1/\rho_{dmin} - 1/\rho_{dmax}} \quad (1)$$

ここに  $e_{max}$ :最大間隙比、 $e_{min}$ :最小間隙比、 $e$ :試料の間隙比、 $\rho_{dmax}$ :最大密度( $g/cm^3$ )、 $\rho_{dmin}$ :最小密度( $g/cm^3$ )、 $\rho_d$ :試料の乾燥密度( $g/cm^3$ )である。

この試験の適用範囲は「2mm のふるいを通し、75  $\mu m$  のふるいに 95%以上残留する砂」と規定されている。従って、細粒分含有率 5%を超える砂に関しては、この試験法は適用範囲外となるが、現状では細粒分含有率 5%を超える砂に対しても最大・最小密度を求める際に JIS A 1224 が準用されている。これにより、細粒分含有率 5%を超える砂においては相対密度  $D_r$  の定義は明確なものとなっていない。本研究では、確実に密度試験の実施が可能である JIS A 1224 に準拠した。従って、相対密度を算出する際に必要となる間隙比は粗粒土 (粒径が 2mm~0.075mm) のみの骨格構造で評価した。

## 2.2 相対密度の比較

本研究で定義した相対密度の妥当性を検討するために Ishihara ら<sup>6)</sup>が提案した相対密度と液状化抵抗の関係を表す式(2)を用いて、前報で得られた液状化抵抗から相対密度を推定した(以下、推定  $D_r$  とする)。Fig.1 に推定  $D_r$  と、現状行われている細粒分含有率が 5%を超えても JIS A 1224 を適用して求めた相対密度(以下、実験  $D_r$  とする)と本報で定義した相対密度(以下、実験  $D_r'$  とする)の関係を示す。

$$R_l = 0.0042D_r \quad (2)$$

1: 日大理工・院・建築 2: 日大理工・教員・建築 3: 日大理工・学部・建築

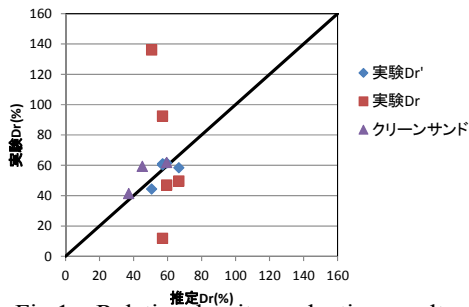


Fig.1 Relative density evaluation results

Fig.1 より、実験 Dr では、細粒分が含まれると、推定 Dr から大きく異なる結果となっている。それに対して、実験 Dr' やクリーンサンド(Fc=0%)の結果では、式(2)で算出したものと良好な相関が見て取れる。このことから、本研究で定義した相対密度の妥当性が確認できた。また、実験 Dr' を用いることで、式(2)からおおよその液状化強度を推定することが可能であることがわかる。

### 3.補正 N 値の検討

基礎指針と道路橋示方書<sup>7)</sup>では、液状化判定において対象地盤が細粒分を含んでいる場合は、標準貫入試験から得られた N 値を補正する(基礎指針:補正 N 値増分、道路橋示方書:N 値の補正係数)ことになる。この補正は、細粒分を含んだ地盤では、含まない地盤に対して液状化抵抗が大きくなることと、細粒分を含んだ地盤の N 値は、きれいな砂地盤の N 値よりも小さな値が得られることを考慮したものである。Table2 に、前報の液状化試験で得られた、各試験条件における液状化強度を示す。現行の基礎指針における補正 N 値増分は、Fig.2 に示すように、細粒分含有率に応じた値をとっている。本報告では、非塑性細粒土による液状化抵抗の変化を N 値の補正係数に反映させるために、前報で得られた液状化抵抗から、式(4)を用いて N 値を算出した。式(4)は、Meyerhof<sup>8)</sup>による N 値と Dr の関係式である式(3)を式(2)に代入することにより得られた液状化抵抗と N 値の関係である。Table2 に示した本試験結果から、式(4)を用いてそれぞれ N 値を算出し、Fc=0%の試験結果を基準として Fc=5%,10%,20%との差を求め、それぞれの平均値を補正 N 値増分としてプロットしたものが Fig.2 である。

Table2 Test results<sup>5)</sup>

試料	相対密度 Dr(%)	細粒分含有率 Fc(%)	液状化強度 R <sub>15</sub>
豊浦砂	40	0	0.16
		10	0.22
		20	0.21
	60	0	0.21
		5	0.31
		10	0.33
新潟砂	60	0	0.28
		5	0.26
		10	0.34
		10	0.37

$$D_r = 21\sqrt{N/(\sigma'_v + 0.7)} \quad (3)$$

$$R_l = 0.0082\sqrt{\frac{N}{(\sigma'_v/98)+0.7}} \quad (4)$$

ここに R<sub>l</sub>:液状化抵抗、σ'<sub>v</sub>:有効拘束圧(kgf/cm<sup>2</sup>)、N:標準貫入試験による N 値である。

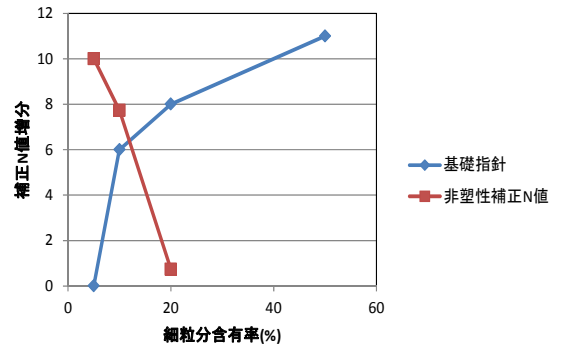


Fig.2 Comparison of correlation factors for N-value

Fig.2 より、現行の基礎指針の補正 N 値増分と、非塑性細粒分を対象とした補正 N 値増分とは全く異なる傾向を示した。これは、非塑性細粒分含有率による液状化抵抗の変化のみを N 値の補正係数として考慮したためである。今後は細粒分を含んだ地盤の N 値の減少傾向も含めた検討を行う必要がある。

### 4.まとめ

非塑性細粒土を含む砂に対する繰返し中空ねじりせん断試験結果を基に、簡易な液状化判定に用いられる細粒分含有率による N 値の補正方法について検討を行った。本報告より以下のような知見が得られた。

- ①相対密度を求める際に粗粒土の間隙比を用いることで相対密度と液状化抵抗には良好な相関が見られた。
- ②N 値の補正係数に非塑性細粒分含有率による液状化抵抗の変化を取り入れるための補正値を求めた。

### 〈参考文献〉

- 1)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.
- 2)日本建築学会:建築基礎構造設計指針,2001.
- 3)中川亮他:2011 年東北地方太平洋沖地震による液状化被害調査,その 4,日本大学理工学部学術講演会論文集,pp.181-182,2011.
- 4)竹田勇貴,時松孝次:細粒分を含む浦安の地盤における液状化予測の検討,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.591-592,2013.
- 5)所義登他: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,日本大学理工学部学術講演会論文集,2013.
- 6) Ishihara,K.: Simple method of analysis for liquefaction of sand deposits during earthquakes, *Soil and Foundations*, Vol.17, No3, pp.1-8,1973.
- 7)日本道路協会:道路橋示方書,2002.
- 8)Meyerhof, G.G.: Discussion on research on determining the density of sand by penetration testing, proc. of 4th International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp.110.