

## 2011 年東北地方太平洋沖地震による液状化被害調査 現行の液状化判定法の適用性 (その 5)

### Investigation of Liquefaction Damage due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Applicability of the Current Liquefaction Evaluation (Part 5)

○中浜悠史<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 安達俊夫<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>3</sup>, 山田峻作<sup>3</sup>\*Yushi Nakahama<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Toshio Adachi<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>3</sup>, Syunsaku Yamada<sup>3</sup>

Abstract: The objective of this study is to investigate of the liquefaction damage of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. In this paper, the revision method of the N-value is examined by performing hollow cylindrical torsional shear tests on sandy soils having non-plastic 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における液状化被害の特徴の一つとして、東京湾沿岸の埋立地での噴砂から非塑性細粒土が確認されたことが挙げられる。このような背景を踏まえ、本研究では非塑性細粒土を含む砂の液状化特性を明らかにすることを目的としている。前報その 3<sup>1)</sup>とその 4<sup>2)</sup>では東北地方太平洋沖地震による液状化被害が発生した地域の一部において、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」<sup>3)</sup> (以下、基礎指針)の液状化判定法による地盤の残留沈下量は過小評価される傾向があると報告した。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。以上より、本報その 5 では過小評価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に着目し、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、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. 試験概要

本試験では、粗粒土として、豊浦砂と自然砂である新潟砂を用いた。また、非塑性細粒土として DL クレイ ( $\rho_s=2.659\text{g/cm}^3$ )を用いた。Fig.1 に各試料の粒径加積曲線を示す。また、試料の物理的性質を Table 1 に示し、試験条件および繰返し中空ねじりせん断試験から得られた液状化強度を Table 2 に示した。ここで定義した液状化強度  $R_{15}$  は、繰返し回数 15 回でせん断ひずみの両振幅が 7.5%に達した時のせん断応力比である。また、相対密度  $D_r$  は粗粒土のみを考慮したものである。

供試体は豊浦砂及び新潟砂と DL クレイを所定の質量で十分に混合した後、JGS 0550 に準拠してドライタ

ンピング法により作製した。供試体は二酸化炭素、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した後、有効拘束圧  $\sigma'_0$  を  $49\text{kN/m}^2$  として等方圧密を行った。圧密終了後、中空ねじりせん断試験機により、高精度な荷重載荷システム<sup>4)</sup>を用いて正弦波の一定応力振幅で繰返し載荷を行った。試験はせん断ひずみがゼロクロスしたことを確認してから終了させた。

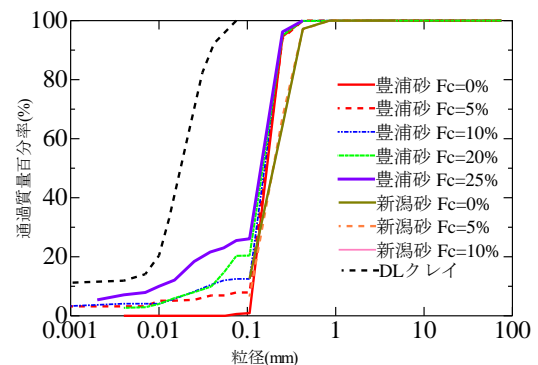


Fig.1 Grain size distribution of soils samples

Table 1. Physical properties of samples

試料	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	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

Table 2. Test results

試料	相対密度 $D_r(\%)$	細粒分含有率 $F_c(\%)$	液状化強度 $R_{15}$
豊浦砂	40	0	0.16
		5	0.25
		10	0.29
	60	20	0.22
		25	0.32
		0	0.18
80	5	0.31	
	10	0.28	
	0	0.28	
新潟砂	60	0	0.26
		5	0.34
		10	0.37

### 3. 補正 N 値の検討

基礎指針と道路橋示方書<sup>5)</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、細粒分を含まない砂地盤の 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。Fig.2 に基礎指針による補正 N 値増分 ( $\Delta N_f$ ) と細粒分含有率の関係を示す。同図より、現行の基礎指針における補正 N 値増分は、細粒分含有率に応じた値をとっている。一方でこれらの値に対して根拠となる知見は明確に示されていない。

本報告では、非塑性細粒土による液状化強度の変化を N 値の補正係数に反映させるために、中空ねじりせん断試験で得られた非塑性細粒土を含んだ砂の液状化強度を用いて N 値の補正方法を検討する。

基礎指針における補正 N 値 ( $N_a$ ) と、液状化抵抗比と補正 N 値 ( $N_a$ ) の関係<sup>6)</sup>をそれぞれ (1), (2) 式に示す。

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \quad (1)$$

$$\frac{\tau_1}{\sigma'_0} = aC_r \left[ \frac{16\sqrt{N_a}}{100} + \left( \frac{16\sqrt{N_a}}{C_s} \right)^n \right] \quad (2)$$

ここに、 $N_1$ : 換算 N 値,  $\tau_1/\sigma'_0$ : 液状化抵抗比,  $a, n$ : 実験定数,  $C_r$ : 補正係数,  $C_s$ : ひずみ振幅依存するパラメータである。(2)式にせん断ひずみ振幅 5% に対応する各パラメータ値を代入し、Table 2 で示した中空ねじりせん断試験結果から各試験条件での液状化強度  $R_{15}$  を液状化抵抗比に代入することで  $N_a$  を算出する。 $F_c=0\%$  時の  $N_a$  を基準値である  $N_1$  とし、 $F_c=5\%, 10\%, 20\%, 25\%$  それぞれの  $N_a$  と  $N_1$  との差を補正 N 値増分 ( $\Delta N_f$ ) とした。以上の手順を各試料及び相対密度毎に行い平均した補正 N 値増分 ( $\Delta N_f$ ) と細粒分含有率との関係を Fig.2 にプロットして示した。同図より非塑性細粒土を含む砂における補正 N 値増分 ( $\Delta N_f$ ) と細粒分含有率の関係は同図中の実線で示した 3 つの線形区間で表すことが可能である。

Fig.2 より、非塑性細粒土を対象とした補正 N 値増分 ( $\Delta N_f$ ) は  $F_c=5\%$  で  $\Delta N_f=5$  の値を取り、 $F_c=5\% \sim 20\%$  まではほとんど変化が見られないことが分かる。

一方で  $F_c=25\%$  で再び上昇する傾向が見て取れる。以上より、現行の基礎指針の補正 N 値増分 ( $\Delta N_f$ ) と、

本試験結果から得られた液状化強度を基に非塑性細粒土を対象とした補正 N 値増分 ( $\Delta N_f$ ) とでは異なる傾向を示している。中でも基礎指針では、 $F_c=10\% \sim 20\%$  では、補正 N 値増分は増加しているが、本報で示した補正 N 値増分は増加の傾向は見られない。この理由の一つとして、基礎指針は主として自然堆積地盤を対象とした N 値の補正であるのに対して、本報では非塑性細粒土のみを対象としていることが考えられる。

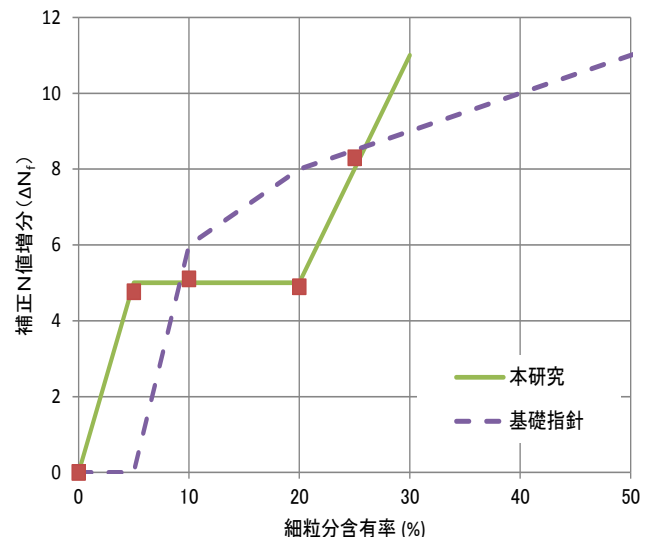


Fig.2 Comparison of correlation factors for N-value

### 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 値の補正方法として  $F_c=0\%$  時の補正 N 値を基準とし、 $F_c=5\% \sim 25\%$  まで変化させた時の補正 N 値との差分を補正 N 値増分として求めた。

本報告は限られた試験結果に基づいているため、今後さらなるデータの蓄積および検討が必要である。

#### 【参考文献】

- 1) 石原弘基他: 2011 年東北地方太平洋沖地震による液状化被害調査, 第 56 回日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.183-184, 2012.
- 2) 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, 第 56 回日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.185-186, 2012.
- 3) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.
- 4) 道明裕毅他: 中空ねじりせん断試験システムの開発, 平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.157-158, 2013.
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書, 2002.
- 6) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.: Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content, Soils and Foundations, Vol.23, No.4, pp.56-74, 1983.