

東北地方太平洋沖地震による浦安市埋立地盤の液状化と物理特性の関係

中央大学工学部
中央大学工学部
中央大学大学院

学生会員 ○佐藤 真奈美
正会員 國生 剛治
向井 彩子

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では千葉県浦安市において広範囲に液状化が発生し、住宅や社会インフラに多大な被害が発生した。特に、江戸川沿いの沖積地盤からなる元町に比べて、1968年以降に埋め立てた若齢地盤からなる中町や新町に被害が集中し大きな地盤沈下が生じた。

一般に、液状化判定を行うにあたってはまず、塑性指数 I_p や細粒分含有率 F_c 、粘土分含有率 C_c によって液状化判定すべき土質であるか判断することが重要である。今回は浦安市におけるボーリング調査での標準貫入試験採取試料の物理試験データを整理し、物理特性と地震後での地盤沈下ひずみとの関係を調べた。

2. 対象地点の概要

図-1に浦安市埋立地の地層構成の代表として、新町の高洲小学校の地層構成を示す。液状化被害のなかった元町では浚渫土層であるF層は存在しないため、この若齢のF層が液状化の発生した主要な層と考えられている。

使用したボーリングデータは中町、新町の地震後の19地点のデータで、液状化したと考えられているF層と、その上にあるB層についてまとめた。地震後の沈下量と地下水位については浦安市が公開しているデータを使用し、ボーリング試験位置での値を読み取った。表-1に各サンプル数を示し、図-2に19のボーリング地点と標高差分データを重ね合わせたものを示す。

3. 地震後の地盤の沈下ひずみと物理特性の関係

図-3に道路橋示方書¹⁾の方法に基づき、B層、F層における、N値を有効上載圧98kPa相当に換算した換算N値 N_1 値と沈下ひずみの関係を地下水位をパラメータにして示す。沈下ひずみは次の式で求めている。

$$\text{沈下ひずみ } \varepsilon_v(\%) = \text{沈下量} / (\text{F層の層厚} + \text{B層の層厚}) \quad (1)$$

沈下ひずみは1地点ごとに1つの値であるのに対し、 N_1 値は深さ方向に多数の値が得られるため、グラフの横方向に多数のプロットが並ぶ。ばらつきは多いものの沈下ひずみが大きい地点では、 N_1 値が小さい側に比較的プロットが分布する傾向が見て取れる。また、図-3のプロットからは地下水位が浅いほど沈下ひずみが大きくなるような傾向は明瞭には読み取れない。

図-4はボーリング調査によって得られたB層、F層の F_c - I_p 関係を、その地点の沈下ひずみによって色分けしたものである。ばらつきはあるが、低塑性かつ低細粒分含有率の部分に沈下ひずみが大きい地点のプロットが集中する傾向が見て取れる。また、 $I_p=0$ の部分に着目すると、クリーンサンドに近づくほど沈下ひずみが大きくなる傾向が見て取れる。

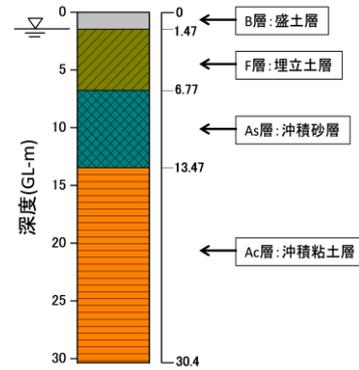


図-1 浦安市埋立地盤での代表的な地層構成 (高洲小学校)

表-1 地震後の地区別層別のサンプル数

地区	層区分	液塑性試験なし	液塑性試験あり	計
中町	B	1	11	12
	F	13	47	60
新町	B	2	8	10
	F	11	44	55

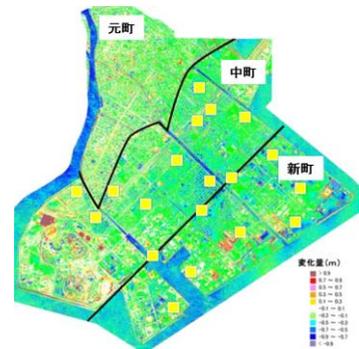


図-2 浦安市のボーリング地点と地震地点の標高差分データ

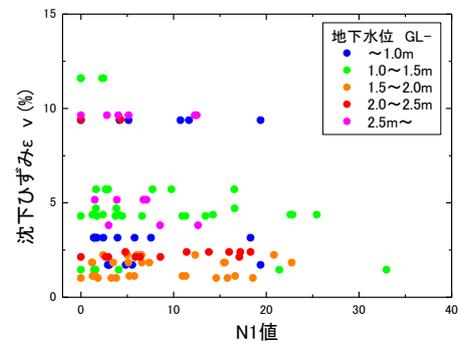


図-3 地下水位をパラメータとした沈下ひずみ-N1関係

キーワード 液状化, 細粒分含有率, 塑性指数, 沈下ひずみ

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学工学部都市環境学科 地盤工学研究室

TEL. 03-3817-1798 E-mail: pekopon5895@gmail.com

つまり、今回の地震において大きな沈下が発生した地点のB層、F層は $I_p=0$ の非塑性砂かつ F_c の小さな土質が多かったということがわかる。

しかし、赤枠で囲った範囲は $I_p \geq 15$ かつ $F_c \geq 35$ で現行の液状化判定法では判定対象外とされているのにも関わらず、沈下ひずみの大きなプロットが含まれている。この原因として、 F_c 、 C_c が小さい部分が局所的に液状化した可能性や地震動の継続時間が過去にないほど長かったために従来液状化しないと考えられていた土まで繰り返し軟化現象を生じた可能性などが考えられるが、今後、液状化判定対象土質の再確認が必要である。

図-5にB層、F層における、沈下ひずみをパラメータとした F_c - N_1 関係を示す。当然ながら F_c が大きいほど N_1 値が小さくなる傾向があり、また沈下ひずみの大きいプロットが $N_1=10$ 付近かそれ以下に集中する傾向がばらつきが多いにも関わらず見られる。

これまでの整理方法では沈下ひずみと物理特性の関係について漠然とした傾向は見られるものの、ばらつきが大きくそれほど明瞭ではない。そこで、本来反比例的な関係にあることが推定される N_1 値と沈下ひずみをかけあわせた $N_1 \times \varepsilon_v$ という値と物理特性との関係を調べてみた。図-6、7に $N_1 \times \varepsilon_v$ と F_c あるいは C_c との関係をそれぞれ示す。ここに N_1 値、 F_c 、 C_c は沈下ひずみを計算した地点ごとにB層、F層での深度方向の平均値を使っている。図-6、7中の曲線は回帰分析により得られたべき関数による近似曲線である。ばらつきは大きい $N_1 \times \varepsilon_v$ と F_c 、 C_c の間には次のような関係が得られた。

$$N_1 \times \varepsilon_v (\%) = 7.24 \times 10^2 \times F_c^{-0.89} (\%) \quad R^2 = 0.13 \quad (2)$$

$$N_1 \times \varepsilon_v (\%) = 2.73 \times 10^2 \times C_c^{-1.00} (\%) \quad R^2 = 0.25 \quad (3)$$

決定係数 R^2 から見て相関は高くはないが、これによれば浦安市において各地点のF層の F_c 、 C_c と N_1 値の深度方向平均値から沈下ひずみが概略推定できる。また、 F_c 、 C_c が低くなるほど $N_1 \times \varepsilon_v$ の値が大きくなり、同じ N_1 値に対して沈下ひずみ ε_v が大きくなることわかる。そして、 C_c の方が F_c に比べて R^2 が大きくなり、粘土分含有率 C_c の方が細粒分含有率 F_c よりも沈下ひずみ ε_v の推定に適していると考えられる。

4. まとめ

- 浦安市内の物理特性と沈下ひずみとの関係を整理した結果、液状化が発生した可能性のあるF層では I_p や F_c の値の幅が従来液状化可能と考えられていた範囲を大きく越えていることがわかった。
- N_1 値が大きいほど沈下ひずみが小さくなる大まかな傾向があることがわかった。また、地下水位と沈下ひずみとの明確な関係は得られなかった。
- 大きな沈下ひずみが発生した地点のB層、F層は細粒分含有率 F_c が小さく、細粒分の I_p が小さな性質を持つ土質が多かった。
- N_1 値と沈下ひずみをかけあわせ F_c 、 C_c との関係を調べ、その回帰分析で得た決定係数 R^2 より、粘土分含有率の方が細粒分含有率よりも沈下ひずみ ε_v との相関が高いとの結果が得られた。

なお末筆ながら、本研究に用いた土質データをご提供いただいた浦安市役所に謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 公益社団法人日本道路橋協会(2012)：道路橋示方書・同解説

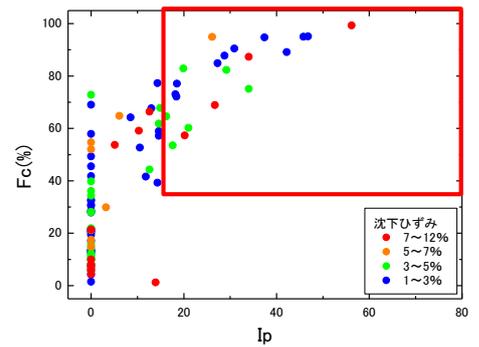


図-4 沈下ひずみをパラメータとした F_c - I_p 関係

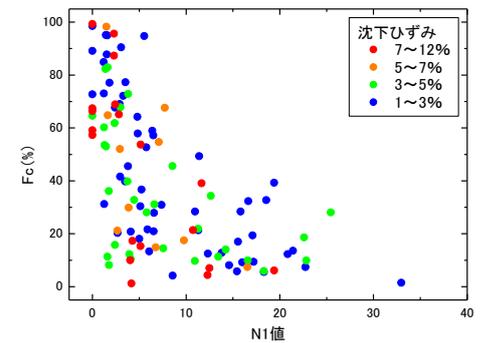


図-5 沈下ひずみをパラメータとした F_c - N_1 関係

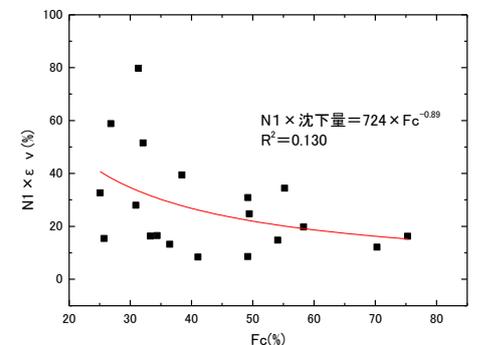


図-6 平均 $N_1 \times$ 沈下ひずみ-平均 F_c 関係

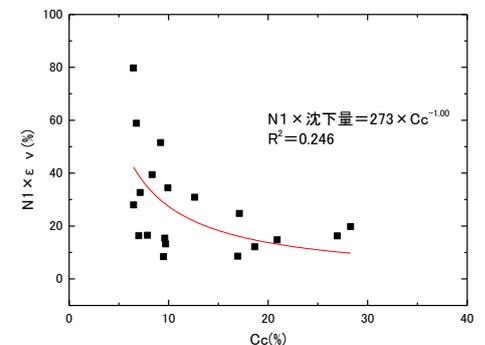


図-7 平均 $N_1 \times$ 沈下ひずみ-平均 C_c 関係