

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 6)

Investigation of Liquefaction Damage due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Applicability of the Current Liquefaction Evaluation (Part 6)

○内間宏樹¹, 山田雅一², 安達俊夫², 道明裕毅³, 宮澤翔³

* Hiroki Uchima¹, Masaichi Yamada², Toshio Adachi², Yuki Domyo³, Syo Miyazawa³,

Abstract: In this paper, the liquefaction damage due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and the comparison with liquefaction evaluation by the current simple judgment using its ground parameter were examined.

1. はじめに

既報その 4¹⁾による検討では, 2011 年 3 月 11 日に発生した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, 日本建築学会「基礎指針構造設計指針」²⁾ (以下, 基礎指針)の液状化判定法により算出される残留沈下量が実測沈下量より小さく評価されることがわかった. 前報その 5³⁾では非塑性細粒土の影響を考慮した補正 N 値の検討が報告された. 本報では, より精度の高い沈下量を推定するため, 前報その 5³⁾で報告した補正 N 値を用いて, 基礎指針による液状化判定から得られる残留沈下量及び体積ひずみと累積塑性ひずみエネルギー⁴⁾の関係から液状化による沈下量を評価し, 東北地方太平洋沖地震の被害調査結果による実測沈下量と比較した.

2. 検討地点と判定条件

本報では, 細粒土を含んだ地盤の沈下量を推定することを目的とし, 本検討に使用した実測沈下量は, 千葉県環境研究センターから公表されている実測沈下量⁶⁾である. 千葉県地質環境インフォメーションバンク⁵⁾で公開されている本報告の各検討地点付近の柱状図を参照し, 東京湾沿岸の埋立地域を対象とした実測沈下量と推定沈下量の検討を行う. 千葉県地質環境インフォメーションバンクで公開されている地盤情報は, 土の単位体積重量 γ_t , 細粒分含有率 Fc が不明であるので, 土の単位体積重量 γ_t は道路橋示方書による概略値⁷⁾を用い, 細粒分含有率 Fc については浦安市液状化対策技術検討調査報告書⁸⁾による Fc の推定法を用いる. また, 液状化判定に用いた地震波の条件は, 東北地方太平洋沖地震で観測されたマグニチュード 9.0 とし, 最大加速度 α_{max} は検討地点に最も近い K-NET 浦安で観測された地表面最大加速度 $\alpha_{max}=174\text{cm/s}^2$ (K-NET 浦安)である.

3. 液状化判定法による残留沈下量の推定法

本報で検討する液状化判定法を用いた残留沈下量の推定法を Table.1 に示す.

Table.1 Method of estimating the settlement of ground

| | |
|------|--|
| ケース1 | 基礎指針 ²⁾ に基づいて検討地点の各深さにおける D_{cy} を算出 |
| ケース2 | ケース1の推定方法に前報その 5 ³⁾ で報告した補正 N 値を用いて沈下量を推定 |
| ケース3 | ケース1の推定方法に体積ひずみ-累積塑性ひずみエネルギー ⁴⁾ を用いて沈下量を推定 |
| ケース4 | 前報その 5 ³⁾ で報告した補正 N 値と体積ひずみ-累積塑性ひずみエネルギー ⁴⁾ を用いて沈下量を推定 |

なお, ケース3およびケース4で検討するひずみエネルギーを用いた液状化による残留沈下量の推定方法の詳細を以下に示す. 最初に, 基礎指針¹⁾に従い液状化安全率 F_L を用いて液状化する可能性がある $F_L \leq 1$ の地層を判別する. 液状化する可能性がある地層を対象とし, 既報その 2⁹⁾で過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_0$ と累積塑性ひずみエネルギー W_p/σ'_0 の関係より, 地盤の各層の W_p/σ'_0 を算出する(式(1)-(4)). $F_L \leq 1$ の地層は, 液状化する地層と仮定し $\Delta u/\sigma'_0=1$ とする. またここで係数 A と指数 B は砂の種類による影響を考慮するため, 液状化抵抗 R_{15} を用い, 補正指数 β は細粒分による影響を考慮するための項である. ここで使用する最小間隙比 e_{min} は「建築基礎のための地盤改良設計指針案」¹⁰⁾の式(5)により求める. 砂地盤の液状化に伴う残留沈下量を体積ひずみと累積塑性ひずみエネルギーの関係により評価⁴⁾するため, 体積ひずみ $\varepsilon_v \sim W_p/\sigma'_0$ 関係を既報⁹⁾と同様に式(6), (7)で表し, 最大体積ひずみ ε_{vmax} と再圧密勾配 a は式(8), (9)で表した. 各層で求められた ε_v に層厚 H を乗じることにより地盤の各層の沈下量 S' を求める. S' の総和を検討地点の推定沈下量 S とする.

$$\frac{W_p}{\sigma'_0} = A \frac{-1}{B+\beta} \quad (1)$$

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

$$A = 2.7 \left(\frac{e_{min}}{R_{15}} \right)^{1.8} \quad (2)$$

$$\beta = 0.46 \left(\frac{F_c}{R_{15}} \right)^{0.63} \quad (3)$$

$$B = 0.06 \left(\frac{e_{min}}{R_{15}} \right) + 0.4 \quad (4)$$

$$e_{min} = 0.008 F_c + 0.6 \quad (5)$$

$$\varepsilon_v = a \times (W_p / \sigma_0') \quad (\varepsilon_v < \varepsilon_{vmax}) \quad (6)$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{vmax} \quad (\varepsilon_v \geq \varepsilon_{vmax}) \quad (7)$$

$$\varepsilon_{vmax} = 0.0018 R_{15}^{-1.65} \quad (8)$$

$$a = 0.0015 R_{15}^{-4.09} \quad (9)$$

4. 推定沈下量と実測沈下量の比較

Table.2 に各検討地点の実測沈下量, 推定沈下量を示し, Fig.1~4 に各推定沈下量と実測沈下量の関係を示す. Fig.1 より, 既報その4)と同様に, ケース 1 の推定沈下量が実測沈下量より過小評価される検討地点が多数確認された. Fig.2 より, 浦安市入船においてケース 1 で小さく評価していた推定沈下量においてケース 2 で推定沈下量の改善が見られた. ケース 1 とケース 2 を比較するとケース 2 に僅かな改善が見られた. Fig.3 より, ケース 3 の推定沈下量が全体的に実測沈下量に近づいた. このことから, 体積ひずみと累積塑性ひずみエネルギーの関係をを用いることは残留沈下量の推定法として有効になる可能性を示した. Fig.4 より, ケース 4 はケース 3 よりさらなる改善が見られた, 特に今川(25616), 入船等一部の検討地点において, ケース 3 より良い相関が得られたためケース 4 の手法が残留沈下量の推定法として有効になる可能性を示した.

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震の液状化被害調査を基に地盤の沈下量の推定の検討を行った. その結果, 非塑性細粒土の影響を考慮した際の補正 N 値, および体積ひずみと累積塑性ひずみエネルギーの関係をを用いた地盤の沈下量の推定方法を適用したところ, 基礎指針による地表面動的変位 D_{cy} (=沈下量 S)より, 実測沈下量に近づく良い相関が見られた. しかし, 本検討による液状化による残留沈下量と実測沈下量には差異が認められる. これは, 体積ひずみと累積塑性ひずみエネルギーの関係を求める室内試験では等方応力状態で実施したためであり, 実地盤の応力異方性を考慮した室内試験を行い, 液状化による沈下量の評価方法も含めて検討する必要がある.

【参考文献】

- 1)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.
- 2)日本建築学会:建築基礎構造設計指針, pp62-64, 2001
- 3)中浜悠史他:2014年東北地方太平洋沖地震による液状化被害調査,その5, 日本大学理工学部学術講演会論文集, 2014.

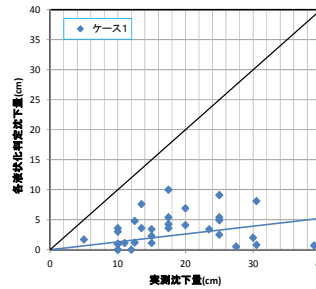


Fig.1 Comparison for settlement of ground in case1

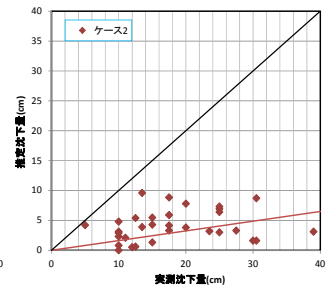


Fig.2 Comparison for settlement of ground in case2

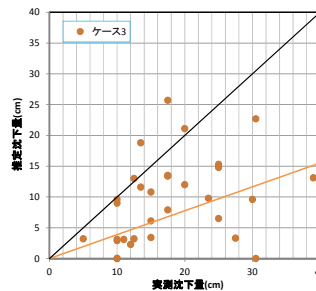


Fig.3 Comparison for settlement of ground in case3

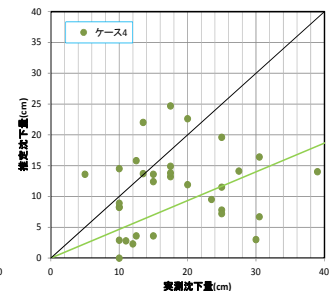


Fig.4 Comparison for settlement of ground in case4

Table.2 Settlement of ground in Urayasu-city

| 液状化判定地点 | 整理番号 | 実測沈下量 S (cm) | ケース 1 S (cm) | ケース 2 S (cm) | ケース 3 S (cm) | ケース 4 S (cm) | |
|---------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| 高洲 | 05334 | 15.0 | 1.1 | 1.3 | 3.4 | 3.6 | |
| | 23652 | 11.0 | 1.1 | 2.1 | 3.1 | 2.8 | |
| | 23653 | 10.0 | 0.9 | 2.3 | 2.9 | 8.2 | |
| | 23654 | 10.0 | 3.6 | 3.1 | 9.0 | 8.3 | |
| | 23657 | 17.5 | 10.0 | 8.8 | 25.7 | 24.7 | |
| | 23658 | 17.5 | 4.3 | 4.2 | 13.5 | 13.2 | |
| | 23659 | 15.0 | 3.4 | 5.5 | 10.8 | 13.6 | |
| | 23660 | 17.5 | 5.4 | 5.9 | 13.4 | 13.8 | |
| | 23661 | 13.5 | 7.6 | 9.6 | 18.8 | 22.0 | |
| | 23662 | 13.5 | 3.6 | 3.9 | 11.6 | 13.7 | |
| 浦安市 | 25612 | 23.5 | 3.4 | 3.2 | 9.8 | 9.5 | |
| | 25644 | 25.0 | 4.9 | 6.4 | 14.8 | 7.8 | |
| | 25650 | 12.0 | 0.0 | 0.5 | 2.3 | 2.3 | |
| | 今川 | 05341 | 27.5 | 0.5 | 3.3 | 3.3 | 14.1 |
| | | 25616 | 10.0 | 3.0 | 4.8 | 9.6 | 14.5 |
| | 入船 | 25614 | 5.0 | 1.7 | 4.2 | 3.2 | 13.6 |
| | 差浜 | 25895 | 39.0 | 0.7 | 3.1 | 13.1 | 14.0 |
| | 富岡 | 25896 | 30.0 | 2.0 | 1.6 | 9.6 | 3.0 |
| | 鉄鋼通り | 25640 | 25.0 | 9.1 | 6.9 | 14.9 | 11.5 |
| | 港 | 05298 | 12.5 | 1.2 | 0.6 | 3.2 | 3.6 |
| 25617 | | 17.5 | 3.6 | 3.3 | 7.9 | 14.9 | |
| 25619 | | 25.0 | 2.5 | 3.0 | 6.5 | 7.2 | |
| 25621 | | 20.0 | 4.1 | 3.8 | 12.0 | 11.9 | |
| 25623 | | 15.0 | 2.3 | 4.3 | 6.1 | 12.4 | |
| 舞浜 | 09847 | 45.0 | 1.9 | 2.9 | 6.9 | 16.5 | |
| | 09848 | 30.5 | 0.8 | 1.6 | 0.0 | 6.7 | |
| | 09850 | 45.0 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 5.1 | |
| | 09851 | 30.5 | 8.1 | 8.7 | 22.7 | 16.4 | |
| 千鳥 | 05313 | 25.0 | 5.4 | 7.3 | 15.3 | 19.6 | |
| | 05315 | 20.0 | 6.9 | 7.8 | 21.1 | 22.6 | |
| | 05316 | 10.0 | 1.0 | 2.9 | 3.1 | 8.9 | |
| | 05317 | 12.5 | 4.8 | 5.4 | 13.0 | 15.8 | |
| | 05318 | 10.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 2.9 | |
| 05319 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |

- 4)山田峻作他:中空ねじりせん断試験による砂の体積ひずみとひずみエネルギーの関係,第49回地盤工学研究発表会,pp.461-462,2014.
- 5)千葉県地質環境インフォメーションバンクホームページ,http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index
- 6)千葉県環境センター:第3報 千葉県内の液状化・液状化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果・浦安地区(1), 2011.
- 7)日本道路協会:道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2002.
- 8)浦安市液状化対策技術検討調査報告書 第2編地盤特性の把握・液状化の要因分析 浦安市液状化対策技術検討調査委員会, pp17,2012.
- 9)道明裕毅他:中空ねじりせん断による細粒土を含む砂の液状化特性-その2 過剰間隙水圧とひずみエネルギーの関係-,日本建築学会学術講演梗概集, pp595-596,2013.
- 10)日本建築学会,建築基礎のための地盤改良設計指針案, pp290,2006.