

## 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 1)

### Investigation of Liquefaction Damage due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Applicability of the Current Liquefaction Evaluation (Part 1)

○工藤 諒太<sup>2</sup>, 山田 雅一<sup>1</sup>, 安達 俊夫<sup>1</sup>, 森垣 大佳<sup>2</sup>, 矢部 智久<sup>2</sup>, 山下 哲平<sup>2</sup>

\* Ryota Kudou<sup>2</sup>, Masaichi Yamada<sup>1</sup>, Toshio Adachi<sup>1</sup>, Taika Morigaki<sup>2</sup>, Tomohisa Yabe<sup>2</sup>, Teppei Yamashita<sup>2</sup>

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 recommendation for design of building foundations using its ground parameter were examined.

#### 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、東北地方から関東地方の広い範囲で甚大な被害をもたらした。首都圏においては東京湾東部沿岸と利根川沿岸で液状化被害が集中して発生している。

本報告では、東京湾東部沿岸と利根川下流沿岸において、公開されている地盤情報データベース<sup>1)</sup>を基に、建築基礎構造設計指針<sup>2)</sup>(以下、基礎指針)による簡易液状化判定と液状化被害状況を比較し、その適用性を調べる。

#### 2. 液状化判定法

本報告で検討した液状化判定方法は、基礎指針による判定法を準用した。基礎指針に基づいて検討地点の各深さにおける液状化安全率  $F_L$  と地表面動的変位  $D_{cy}$  を算出した。さらに、 $D_{cy}$  値と  $F_L$  値からそれぞれ残留沈下量  $S$  と液状化指数  $P_L$ <sup>3)</sup> を求め、液状化の程度を評価した。 $F_L$  値は次式から求める。

$$F_L = \frac{\tau_1 / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z} \quad (1)$$

ここに、 $\tau_1 / \sigma'_z$  は液状化強度比であり、 $\tau_d / \sigma'_z$  は繰返しせん断応力比で次式から求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma'_z}{\sigma'_z} r_d \quad (2)$$

ここに、 $\tau_d$  は水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅(kN/m<sup>2</sup>)、 $\sigma'_z$  は検討深さにおける鉛直有効応力(kN/m<sup>2</sup>)、 $r_n$  は等価の繰返し回数に関する補正係数で(3)式で表す。 $\alpha_{\max}$  は地表面水平加速度(cm/s<sup>2</sup>)、 $g$  は重力加速度(980cm/s<sup>2</sup>)、 $\sigma'_z$  は検討深さにおける鉛直全応力(kN/m<sup>2</sup>)である。

$$r_n = 0.1(M-1) \quad (3)$$

ここに、 $M$  はマグニチュードである。このマグニチュードは  $M=5.3 \sim 8.5$  が適用範囲である。

$D_{cy}$  は  $F_L < 1.0$  となる検討深さにおいて繰返しせん断応力比と補正  $N$  値  $N_d$  から繰返しせん断ひずみ  $\gamma_{cy}$  を算出し、そのせん断ひずみを深度方向に積分して地表面変位と沈

下量として評価する。 $D_{cy}$  値によって Table.1 に示すような液状化危険度が判定される。

$P_L$  値は次式から求められ、1.0 以下の  $F_L$  値と深度に対する重み係数を乗ずることにより構造物の液状化被害の程度を表している。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5Z) dz \quad (4)$$

ここに、 $z$  は地表面からの検討深さ(m)である。

$P_L$  値によって Table.2 に示すような液状化危険度が判定される。

#### 3. 液状化判定法の適用性

##### 3.1 検討地点と判定条件

公開されている地盤情報データベース<sup>1)</sup>を基に、東京湾東部沿岸では浦安市、利根川下流沿岸では香取郡神崎町の 2 地点について基礎指針による液状化判定を行い、その適用性を調べた。

今回の地震(マグニチュード 9.0)に対しても式(3)を適用して液状化判定を行った。公開されている地盤情報は、土の単位体積重量  $\gamma_t$ 、細粒分含有率  $FC$  が不明であるので、道路橋示方書による概略値<sup>4)</sup>を用いた。また、液状化判定に用いた  $\alpha_{\max}$  は検討地点に最も近い K-NET の観測点で得られた地表面最大加速度を用いた。浦安市の検討では  $\alpha_{\max}=174\text{cm/s}^2$  (K-NET 浦安)、香取郡神崎町では  $\alpha_{\max}=310\text{cm/s}^2$  (K-NET 佐原)である。

##### 3.2 液状化判定結果

Table.3 に液状化判定結果を示す。浦安市、香取郡神崎町において  $P_L$  値が 5 よりも大きく液状化の可能性が高いと判定された地点では液状化の発生が確認されている<sup>5)</sup>。しかし、浦安市今川地区、富岡地区、千鳥地区および高洲地区の  $P_L$  値が  $0 < P_L \leq 5$  では液状化の可能性が低いとされている地点においても、大きな液状化被害が確認されている。 $P_L$  値と地表面動的変位  $D_{cy}$  は  $P_L$  値が大きいはほど、 $D_{cy}$  値も大きくなる傾向が見られる。

浦安市に関しては千葉県環境センターから浦安市の液状化被害発生地点とその地表面沈下量が公表<sup>6)</sup>されてお

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・学部・建築

り、この調査報告を用いて沈下量の検討を行う。報告された沈下量は、杭基礎構造物の周辺地盤が液状化した後に生じる構造物との相対的な抜け上がり量の測定値である。Fig.1 に公表された調査結果を示す。同図中のプロットの色は沈下量の程度に応じて色分けされている。Fig.2 は、Table.3 に示した  $D_{cy}$  値を沈下量  $S$  に読み替えて Fig.1 と同じ沈下量の区分でプロットしたものである。両図より、A 地区を中心に基礎指針による沈下量  $S$  には過小評価される傾向がわかる。

Table.1 Relationship between  $D_{cy}$  and degree of liquefaction

$D_{cy}$ (cm)	液状化の程度
0	なし
$D_{cy} \leq 5$	軽微
$5 < D_{cy} \leq 10$	小
$10 < D_{cy} \leq 20$	中
$20 < D_{cy} \leq 40$	大
$40 < D_{cy}$	甚大

Table.2 Relationship between the  $P_L$  and degree of liquefaction

$P_L$	液状化の危険度
$P_L = 0$	かなり低い
$0 < P_L \leq 5$	低い
$5 < P_L \leq 15$	高い
$15 < P_L$	極めて高い

Table.3 Liquefaction evaluation results in Urayasu-shi and Kouzaki-cho

液状化判定地点	液状化指標 $P_L$		$D_{cy}, S(cm)$	判定区分
	$P_L$	判定区分		
浦安市				
海菜二丁目 (7229)	0.0	$P_L=0$	0.0	0.0
当代島一丁目 (25346)	0.0		0.0	
北栄三丁目 (12877)	0.0		0.0	
美浜三丁目 (25899)	0.0		0.0	
美浜三丁目 (25672)	0.0		0.0	
富士見三丁目 (25332)	0.0		0.0	
明海 (25657)	0.0		0.0	
船栗五丁目 (25346)	0.3		0.8	
明海 (25655)	0.3		1.5	
高洲 (05334)	0.5		0.4	
北栄四丁目 (12875)	0.6	1.1		
高洲 (25615)	0.9	5.2		
高洲 (25663)	1.2	1.3		
海菜二丁目 (25396)	1.2	1.7		
舞浜 (09847)	1.6	3.3		
舞浜二丁目 (09849)	2.1	2.6		
北栄四丁目 (12873)	2.2	3.1		
美浜五丁目 (05337)	2.6	2.9		
今川一丁目 (05341)	2.7	7.3		
今川一丁目 (25394)	2.8	5.1		
千鳥 (25604)	2.9	9.0		
千鳥 (25605)	2.9	5.0		
富岡二丁目 (25896)	3.2	5.3		
鉄綱通り (25641)	3.5	4.5		
美浜五丁目 (25892)	3.6	5.7		
高洲 (25661)	3.8	5.2		
入船五丁目 (25627)	4.0	4.2		
海菜二丁目 (07230)	4.1	6.4		
高洲 (23659)	4.3	7.9		
舞浜 (09848)	4.3	4.7		
高洲 (05302)	4.9	8.8		
千鳥 (25609)	5.2	6.9		
海菜二丁目 (04771)	5.2	5.2		
美浜二丁目 (25895)	5.3	14.3		
高洲 (05307)	6.2	14.8		
明海 (25654)	6.2	13.8		
舞浜 (25634)	7.0	23.8		
日の出 (09853)	7.3	11.8		
高洲 (05273)	8.0	19.2		
鉄綱通り三丁目 (25640)	8.1	13.0		
千鳥 (25610)	8.7	8.3		
鉄綱通り二丁目 (05305)	10.0	10.2		
港 (05324)	10.5	13.7		
千鳥 (25607)	11.3	14.0		
高洲 (23657)	12.2	14.4		
千鳥 (25603)	18.6	24.5		
富岡三丁目 (25897)	19.3	29.6		
千鳥 (25608)	20.8	20.9		
神崎町				
神崎町小松 (10960)	0.0	$P_L=0$	0.0	0.0
神崎町並木 (10954)	0.0		0.0	
神崎町榎原 (11128)	0.0		0.0	
神崎町小松 (10957)	3.6	$0 < P_L \leq 5$	4.4	$D_{cy} \leq 5$
神崎町小松 (10955)	3.9		4.4	
神崎町神崎神宿 (09231)	8.5	$5 < P_L \leq 15$	6.1	$5 < D_{cy} \leq 10$
神崎町小松 (10956)	9.2		24.9	
神崎町小松 (11126)	19.3		7.2	
神崎町小松 (10959)	21.4	$15 < P_L$	12.4	$10 < D_{cy} \leq 20$
神崎町神崎神宿 (10958)	29.1		20.3	
神崎町神崎神宿 (11124)	29.2		16.7	

※( )内の表記は千葉県地質環境インフォメーションバンクでの整理番号である。

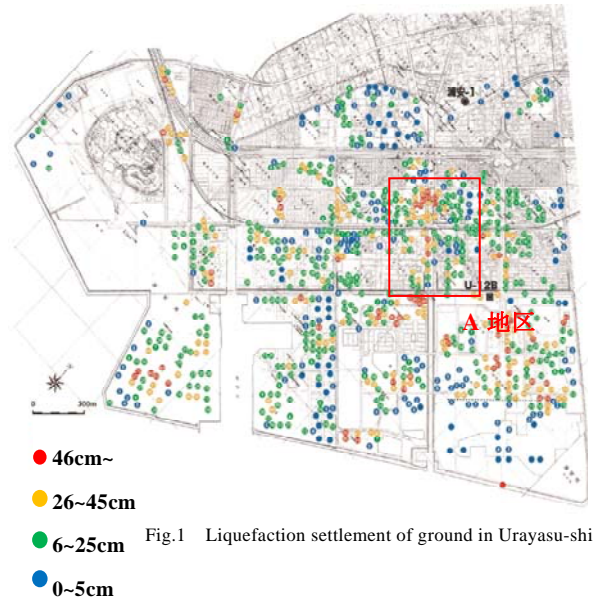


Fig.1 Liquefaction settlement of ground in Urayasu-shi

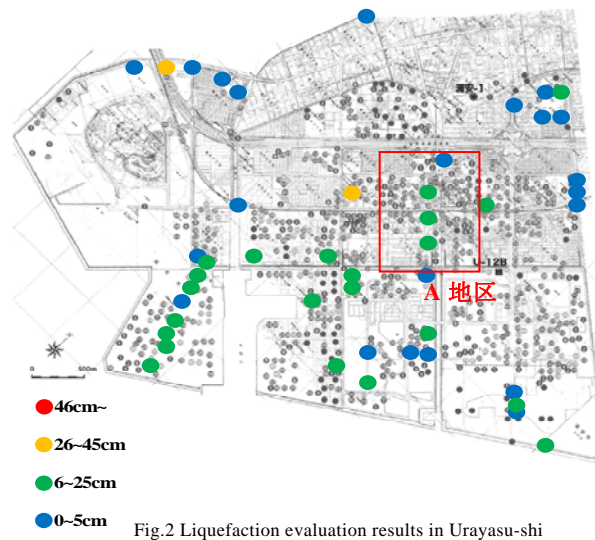


Fig.2 Liquefaction evaluation results in Urayasu-shi

#### 4. まとめ

建築基礎構造設計指針による簡易液状化判定法の適用性を検討した結果、一部地区（浦安市今川、富岡及び千鳥地区）では対応していない地点も見られたが、現行の液状化判定法は、今回の地震においても液状化発生を概ね整合して判定できるようである。しかしながら、沈下量については実測の沈下量<sup>6)</sup>に比べ過小評価される傾向が見られた。

本報告では、細粒分含有率などの地盤情報は、道路橋示方書による概略値を用いたことから、補正N値増分などの設定にはさらなる検討が必要である。また、液状化判定法に地震動の継続時間の影響を検討することが必要であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1)千葉県環境生活部:地質環境インフォメーションバンク
- 2)日本建築学会:建築基礎構造設計指針, 2001.
- 3)岩崎敏雄, 龍岡文夫, 常田賢一, 安田進:地震時地盤液状化の程度予測について, 土と基礎, Vol.28, No.4, pp.23-29
- 4)日本道路協会:道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2002.
- 5)森垣大佳他:2011年東北地方太平洋沖地震による液状化被害調査, 第55回日本大学理工学部学術講演会予稿集, 2011.
- 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)-, 2011.5.