

首都直下地震による液状化の発生と被害

若 松 加 寿 江*

Liquefaction-induced Damage during Near-field Earthquakes in the Tokyo Metropolitan Area

Kazue WAKAMATSU*

Abstract

Liquefaction and damage caused by anticipated near-field earthquakes in the Tokyo metropolitan area are outlined on the basis of official reports released by Central Disaster Management Council of Cabinet Office, Japan, and Tokyo Metropolitan Disaster Management Council. The history of liquefaction during past earthquakes in the area is introduced and correlation between past occurrences of liquefaction and seismic intensity is discussed. Finally, comments are presented on some aspects of liquefaction-induced damage and points of concern during future earthquakes.

Key words : Tokyo metropolitan area, near-field earthquake, liquefaction

キーワード : 首都圏, 直下地震, 液状化

I. はじめに

「液状化」という言葉は最近大地震のたびに耳にされる。この10数年間でも1993年の釧路沖地震, 能登半島沖地震, 北海道南西沖地震, 1994年の北海道東方沖地震, 三陸はるか沖地震, 1995年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災), 1997年3月と5月に2回発生した鹿児島県北部を震源とする地震, 1999年2月の秋田県沖を震源とする地震, 2000年鳥取県西部地震, 2001年芸予地震, 2003年宮城県沖の地震, 宮城県北部の地震, および十勝沖地震, 2004年新潟県中越地震, 2005年福岡県西方沖地震, 宮城県沖の地震, 2007年能登半島沖地震, 新潟県中越沖地震など, 毎年のように液状化被害が発生している。

液状化現象は, 地下水位が高く(浅い), ゆるい砂質地盤特有の現象である。普段はゆるいなりにも砂粒子同士が噛み合って地盤を形成し建物な

どを支えているが, 地震が来て地盤が強く揺されると砂粒子間の間隙水圧が上がり砂粒子の噛み合いが崩れ, 地下水の中に砂粒子が浮いた「泥水」の状態となる。このため, ①地下水や砂の地表への噴出(噴砂・噴水)とこれに伴う地盤の沈下, ②建物など構造物の沈下・傾斜, ③地中構造物の浮き上がり, ④護岸壁構造物の水域方向への傾斜・孕み出しおよびその背後地盤の沈下, ⑤液状化した地盤の水平方向の流動・移動(永久変位・側方流動と呼ぶこともある)とそれに伴う地中構造物の損傷, ⑥盛土構造物のすべり・沈下・流出, などの現象や被害が起こる。

液状化により構造物が甚大な被害を受けることが認識され, 我が国内外で広く研究が行われる契機となったのは, 1964年6月に発生した新潟地震と, 同じ年の3月に米国で発生したアラスカ地震である。それ以前にも, 理論上このような現象が起こり得るということはわかっていたし, 簡

* 独立行政法人防災科学技術研究所

* National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

単な装置で液状化を起こし、砂の表面に載った物体が沈んでいくという実験も一部では行われていた（例えば、Mogami and Kubo, 1953）。しかし、このような現象が実際の地震の時に市街地で広範囲に起こり、建物をはじめ様々な構造物に大被害を与えるとは専門家も予測していなかった。この地震を契機に 1964 年以前の震災資料を調べてみると、液状化現象は、「噴砂」・「噴水」などという言葉でしばしば記述されていたことがわかった（古藤田・若松, 1974）。首都圏でも、後に述べるように噴砂・噴水の記録は多く残されている。

液状化は、過去に液状化した地盤で繰り返し発生する傾向があるため、液状化の履歴のある場所やそれと同様な地盤条件の地域では、将来の地震に対しても要注意である。一方、首都圏の地盤は最近 100 年余りの間に埋め立て・切り盛り造成などにより大きく変容しており、過去の液状化履歴だけを考慮したのでは片手落ちである。このことから、本稿では、首都圏直下地震による被害想定結果と過去の液状化履歴の両面から、近い将来発生が懸念されている首都圏直下地震による液状化被害について考えてみたい。

II. 首都直下地震の被害想定による液状化被害

東京における直下地震の被害想定は、これまで何度か行われてきたが、首都圏全域を対象として統一的に被害想定が行われたのは、内閣府中央防災会議首都直下地震対策専門調査会による想定が初めてである（中央防災会議首都直下地震対策専門調査会, 2005）。

2005（平成 17）年 2 月、中央防災会議首都直下地震対策専門調査会は、これまでのデータの蓄積や新たな知見をもとに、首都中枢機能の継続性確保などの視点から、国として初めて「首都直下地震の被害想定」を公表した（内閣府防災担当, 2005a）。その後、同年 7 月に発生した千葉県北西部地震では、都市の脆弱性が浮き彫りになり、都市型地震災害への対応という新たな課題が明らかになった。このことから、東京都は、震災対策の一層の推進と都民の防災意識の向上を図るための基礎資料となることを目的として、「首都直下

地震による東京の被害想定」を実施・公表した（東京都防災会議, 2006）。

本文では、上記の中央防災会議と東京都の被害想定における液状化被害想定について概説し、液状化被害の傾向を分析してみる。

中央防災会議首都直下地震対策専門調査会は、地震発生の蓋然性が比較的高く、都心部または都心部周辺で発生しうる 18 タイプの地震を想定している。この中にはプレート境界地震が 3 タイプあるが、残りは 5 タイプの既知の活断層、および未知の断層が引き起こすかもしれない 10 タイプの地殻内で発生する浅い地震である。これらの 18 タイプすべての地震に対して、液状化の予測がメッシュ単位（首都地域全体では 1 km メッシュ、人口集中地区で 500 m メッシュ）で行われているが、結果が公表されているのは液状化による全壊棟数のみである。

口絵 1-図 2、図 1 に、東京湾北部のプレート境界地震（ $M7.3$ ）による震度分布と、液状化による 500 m メッシュ単位的全壊棟数の分布をそれぞれ示す。口絵 1-図 2 中の小さい四角は小断層面で、震源断層を小断層の集合として取り扱っていると思われるが、詳細については公表されていない。

震度分布の推定結果の信頼度については、ここでは論じないことにして、口絵 1-図 2 と図 1 の対応を見ると、液状化による全壊建物は、震度¹⁾ 6 強以上の東京 23 区東部や東京湾沿岸部を中心にして一部では震度 5 強の地域にも及んでいる。これ以外の 17 タイプの地震については、液状化による全壊棟数の分布は公表されていないが、それぞれの地震での全壊棟数は表 1 に示すとおりである。東京都ではすべての地震で液状化による全壊棟数が多くなっており、埼玉、千葉、神奈川の 3 県でも、かなりの被害が想定されている。この原因として、この 4 都県では沖積低地や埋立地が広い面積を占めていることもあるが、1 メッシュ内に分布する建物の数が元々多いことも影響している。

図 2 に、表 1 に示した液状化による全壊棟数の算定手順（内閣府防災担当, 2005c）を示す。

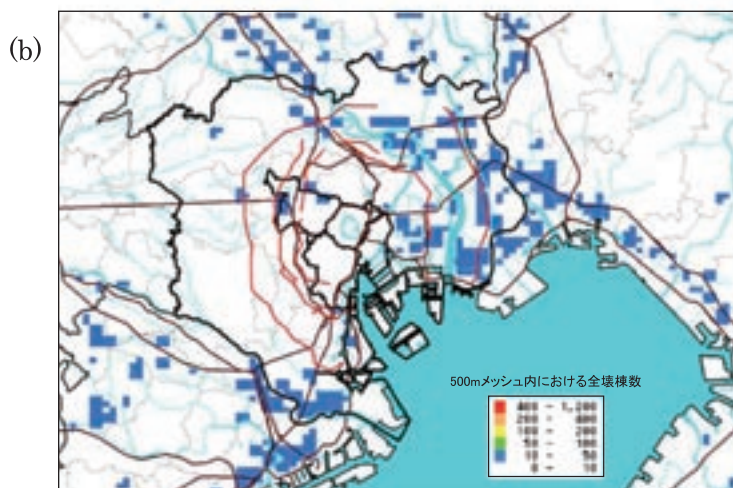
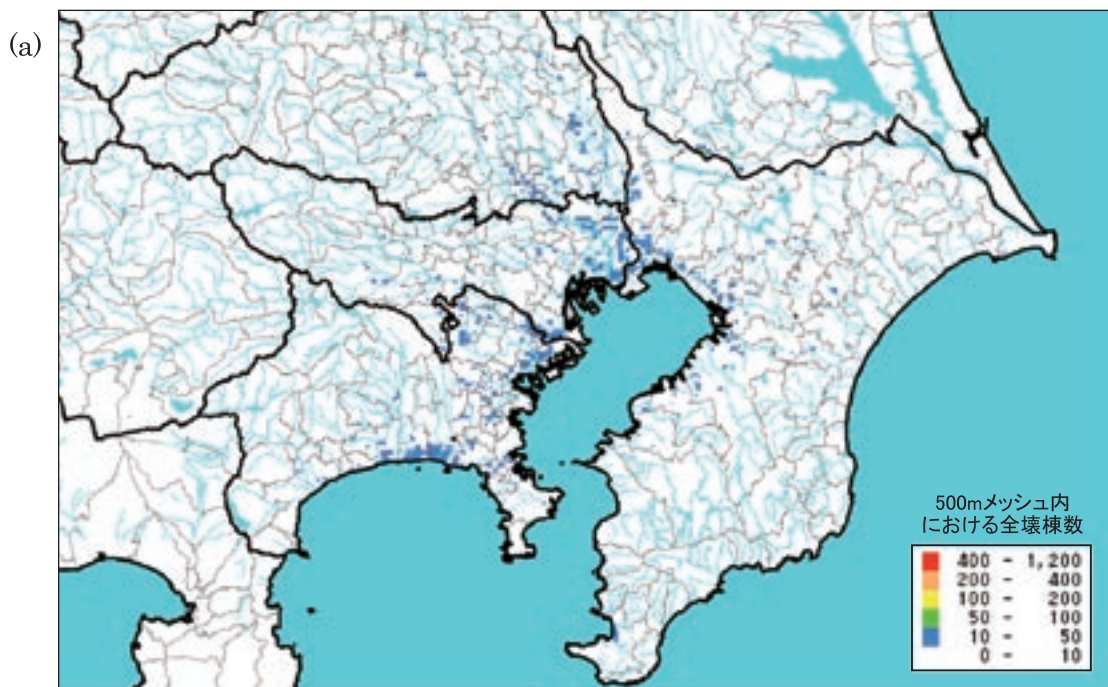


図 1 東京湾北部地震 ($M7.3$) による液状化による全壊棟数の分布 (内閣府防災担当, 2005 b). (a) 東京都全域, (b) 都心部.

Fig. 1 Distribution of number of completely collapsed buildings due to liquefaction caused by an anticipated interplate earthquake occurring directly beneath northern Tokyo Bay with magnitude 7.3, (a) whole area, (b) inner-city district (Central Disaster Management Council of Cabinet Office, Japan, 2005b).

この方法では、まずメッシュごとにモデル地盤を想定し、それぞれの地盤について『道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編)』(日本道路協会, 2002) などの方法により液状化に対する抵抗率 FL の深さ分布を求める、次に、FL の深さ方向の重み付平均である PL 値を求め、液状化ランク (被害の程度) A ~ C を設定し (図 2 ①), 各ラ

ンクに応じた液状化面積率を仮定している (図 2 ②)。一方、液状化が発生した領域での全壊率を、建築年や杭基礎の有無により設定する (図 2 ③)。メッシュごとの全壊棟数は、建物棟数に液状化面積率と全壊率を乗じることにより求められる。メッシュごとの全壊棟数を県別に集計したものが表 1 の全壊棟数である。以上の算出方法にはか

表 1 首都直下地震における液状化による建物被害数（内閣府防災担当（2005b）に基づき著者作成）。

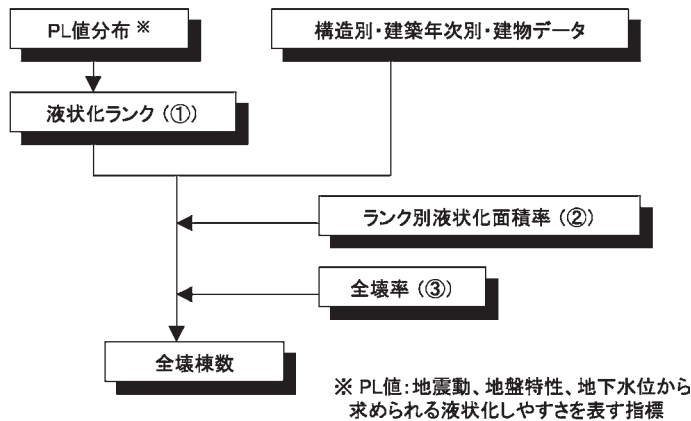
Table 1 Number of buildings damaged due to liquefaction caused by the anticipated near-field earthquakes in the Tokyo metropolitan area (modified from Central Disaster Management Council of Cabinet Office, Japan, 2005b).

地震のタイプ	マグニチュード	建物被害数(数値は四捨五入により表示したおよその値であるため, 合計欄の値と一致しない)										構成比 %*
		茨城県	栃木県	群馬県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県	山梨県	静岡県	合計
東京湾北部のプレート境界地震	7.3	1,400	—	40	5,200	8,900	7,800	9,700	50	—	—	33,000
都心東部直下地震	6.9	—	—	—	3,700	2,400	7,600	3,800	—	—	—	18,000
都心西部直下地震	6.9	—	—	—	3,700	1,700	7,900	4,000	—	—	—	17,000
さいたま市直下地震	6.9	90	—	70	5,400	1,300	5,600	400	—	—	—	13,000
千葉市直下地震	6.9	400	—	—	1,200	6,600	5,300	300	—	—	—	14,000
川崎市直下地震	6.9	—	—	—	1,500	1,400	600	6,300	—	—	—	15,000
横浜直下地震	6.9	—	—	—	500	500	4,500	8,300	—	—	—	14,000
立川市直下地震	6.9	—	—	—	1,700	—	5,500	3,400	—	—	—	11,000
羽田直下地震	6.9	—	—	—	2,100	2,700	6,700	5,600	—	—	—	17,000
市原市直下地震	6.9	40	—	—	800	5,200	5,200	1,100	—	—	—	12,000
成田直下地震	6.9	1,100	—	—	20	3,300	200	—	—	—	—	4,700
関東平野北西縁断層帯地震	7.2	40	200	1,100	6,300	1,400	4,900	—	—	—	—	14,000
立川断層帯地震	7.3	—	—	—	4,400	800	6,600	7,800	—	—	—	20,000
伊勢原断層帯地震	7.0	—	—	—	—	—	2,000	8,000	10	—	—	10,000
神縄・国府津-松田断層帯地震	7.5	—	—	—	10	—	3,300	8,500	700	700	—	13,000
三浦断層群地震	7.2	—	—	—	600	2,500	5,900	10,000	—	40	—	19,000
茨城県南部直下のプレート境界地震	7.3	3,600	300	200	5,200	5,900	6,400	1,300	—	—	—	23,000
多摩直下のプレート境界地震	7.3	500	—	—	5,000	4,000	7,600	9,400	200	60	—	27,000

* 構成比%：建物被害棟数の合計に対する液状化による被害棟数の割合。

液状化による建物被害（全壊棟数）

・全壊棟数＝建物棟数×液状化面積率×全壊率



①液状化ランクの定義

- ・ランクA: $PL > 15.0$
- ・ランクB: $15.0 \geq PL > 5.0$
- ・ランクC: $5.0 \geq PL > 0.0$

②液状化ランク別の液状化面積率

ランク	面積率
A	18%
B	5%
C	2%

③液状化による全壊率

液状化による木造建物全壊率

S35年以前	S36年以降
13.3%	9.6%

液状化による非木造建物全壊率

杭なし	杭あり※
23.2%	0.0%

※ 杭あり:4F以上の建物及び
S55以降の1～3Fの建物の20%

* 1964年新潟地震時の液状化発生状況に基づき設定

図 2 液状化による全壊家屋の想定手法（内閣府防災担当, 2005c）.

Fig. 2 Procedures for estimating the number of completely collapsed houses due to liquefaction (Central Disaster Management Council of Cabinet Office, Japan, 2005c).

なり大胆な仮定も含まれていることから、被害棟数そのものを問題にするより、むしろ首都圏全体の傾向を概観するための基礎資料という前提で見た方がよいと思われる。

各地震の震度分布（中央防災会議首都直下地震対策専門調査会, 2005）と表 1 を比較すると、千葉市直下、川崎市直下、横浜市直下、市原市直下地震など、震度 6 弱以上が予想される地域が全くなく、震度 5 強の領域もごくわずかであるにもかかわらず、埼玉県下では相当数の液状化による全壊棟数が想定されている。このことは、後に

述べるように、埼玉県の中川低地などにおいて 1855 年の江戸地震（安政江戸地震）、1894 年の東京湾北部を震源とする地震、1923 年の関東地震の際に液状化が多数報告されていることも整合する。

口絵 1-図 3 および図 3 は、中央防災会議の被害想定翌年、東京都が実施した東京湾北部のプレート境界地震（東京都は東京湾北部地震と呼んでいる）に対する予想震度分布と、液状化の発生可能性の高い地域の分布図である（東京都防災会議, 2006）。震度 6 強以上となる東京 23 区東部と



図 3 液状化の発生可能性の高い地域（グレイの地域）（東京都防災会議，2006）。

Fig. 3 Areas where potential for liquefaction is estimated to be high (gray zone) (Tokyo Metropolitan Disaster Management Council, 2006).

多摩川沿岸の低地や埋立地では，全域で「液状化の発生可能性の高い」と想定されているが，後に述べる関東地震での液状化発生状況と比べると過大な評価となっている。

図 3 のような液状化予測図を見る場合は，液状化の可能性が高いという結果となっても，その地域全域が液状化するわけではないことに留意する必要がある。例えば，図 2 に示したように，1964 年の新潟地震の事例では， $PL > 15$ のランク A の地域で実際に噴砂など液状化の痕跡が認められたのは，ランク A の地域全体の面積の 18%（液状化面積率）であった。このように，想定結果を正しく理解するには，予測手法の背景や仮定条件を知ること重要である。

III. 首都圏における過去の液状化の履歴

口絵 1-図 4 に，首都圏において過去に液状化が生じたと推定される地点の分布を示す。地震ごとの液状化地点の分布の特徴は以下のとおりである。

- (1) 安政 2 年江戸地震（1855 年 11 月 11 日）
 $M7.0 \sim 7.1$

この地震の震源地は，東京湾北部でマグニ

チュード M は $7.0 \sim 7.1$ と推定されている（宇佐美，2003）。この地震で液状化が生じた詳細な位置が特定されている地点は少ないが，現在の東京都葛飾，墨田，江戸川などの各区内や品川区沖の台場など，震央に近い地域で噴砂・噴泥が報告されている。このほか，現在の横浜市神奈川付近，千葉県浦安市付近，埼玉県荒川沿岸，群馬県高崎市付近などでも噴砂の記録がある（宇佐美，1983；若松，1991a）。また，埼玉県大宮台地東部の中川低地の幸手市付近で家屋の倒壊率が異常に高く，液状化現象が原因という説もある（宇佐美，1983）。

- (2) 明治 27 年東京湾北部を震源とする地震
（1894 年 6 月 20 日） $M7.0$

震源地は，現在の東京都江東区付近と推定されており（宇佐美，2003），この地震も江戸地震同様，典型的な東京直下地震である。液状化は東京低地の隅田川や荒川の沿岸で発生したほか，震央から 40 km も離れた埼玉県の元荒川沿岸でも報告されている（若松，1991a）。図 4a に，この地震の推定震度分布（1996 年 10 月から採用されている計測震度による分布ではないこと注意）と液状化が報告されている地点を重ねて示す。液状

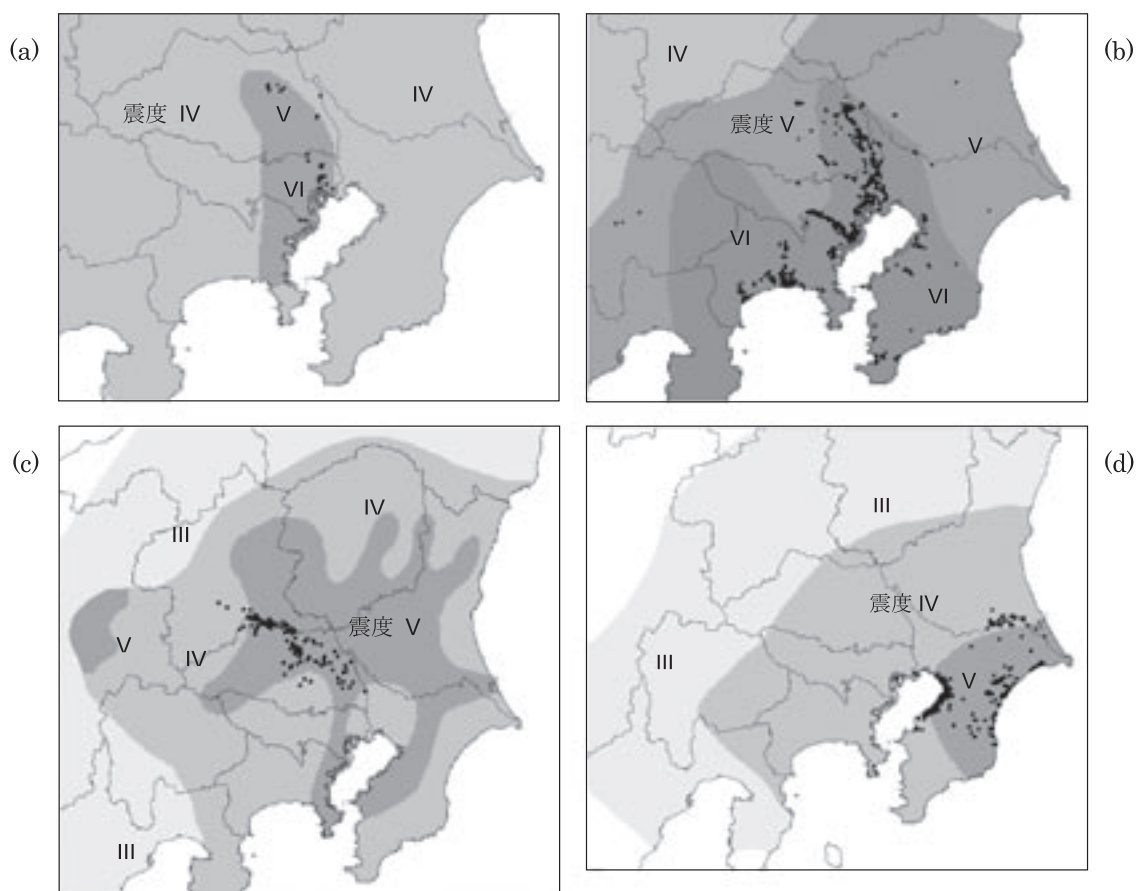


図 4 震度分布と液状化発生地点の分布（震度分布は宇佐美, 2003 による）（Wakamatsu, 2007）.
 (a) 1894 年東京湾北部を震源とする地震 ($M7.0$), (b) 1923 年関東地震 ($M7.9$), (c) 1931 年西埼玉地震 ($M6.9$),
 (d) 1987 年千葉県東方沖を震源とする地震 ($M6.8$).

Fig. 4 Distributions of sites of liquefaction and seismic intensities on the Japan Meteorological Agency (JMA) scale during past earthquakes in the Tokyo metropolitan area. (a) 1894 earthquake in northern Tokyo Bay ($M7.0$), (b) 1923 Kanto earthquake ($M7.9$), (c) 1931 Nishi-Saitama earthquake ($M6.9$), and (d) 1987 earthquake in eastward offshore of Chiba Prefecture ($M6.8$).

化は 1 カ所を除いて、震度 V 以上の地域で発生している。

(3) 大正 12 年関東地震（1923 年 9 月 1 日） $M7.9$

この地震の震源断層は神奈川県ほぼ全域から房総半島にかけての広い地域の地下と推定されている（Kanamori, 1971）。地盤の液状化の発生地域は、口絵 1-図 4 に示すように関東平野の 5 都県（東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県、茨城県）

と山梨県甲府盆地の極めて広範囲にわたっており、1つの地震による液状化の発生領域から見ると、1891 年濃尾地震や 1964 年新潟地震などと並ぶ広範囲で高密度なものと言える。液状化が発生したと推定される地点の総数は 800 カ所以上にものぼっている（Wakamatsu, 2007）。図 4b で液状化が発生した地域と震度分布を比較すると、液状化が高密度に発生した地域は震度 VI 以上の沖積低地であるが、震度 V の地域でも散発的に

起きている。

(4) 昭和 16 年西埼玉地震 (1931 年 9 月 21 日)

M6.9

この地震の震源地は、埼玉県北西部の山沿いの美里町・深谷市付近である。液状化の多くは北部の利根川沿岸や荒川沿岸で発生しているが、震央から約 60 km 離れた古利根川、綾瀬川、江戸川の下流沿岸でも発生している。震度分布と液状化地点の分布を重ね合わせると図 4c のようになる。液状化が発生した地点は、大部分が震度Ⅴの地域内にあるが、震度Ⅳの地域でも数カ所で起こっている。また、震度Ⅴの地域の中でも、埼玉県東部の中川低地に集中しているのが特徴的である。

(5) 昭和 62 年千葉県東方沖を震源とする地震 (1987 年 12 月 17 日) M6.7

この地震の震央は、房総半島南部の九十九里浜沖である。液状化は、震央に近い九十九里沿岸の海岸低地、千葉県浦安市から木更津市にかけての海岸の埋立地、利根川下流沿岸の低地で発生している。海岸の埋立地は、いわゆる京葉工業地帯の工場用地として 1960 年代以降に造成された地域で、液状化対策を講じていない地盤では多くが液状化したようである。図 4d に示したように、震度分布と液状化地点の分布を比較すると、液状化はおおむね震度Ⅴの地域で発生しているが、千葉・茨城の県境の利根川沿岸では、震度Ⅳでも多数発生している。この地震の直後には、筆者も被災地を踏査して回ったが、これらの液状化地点は利根川の旧河道を利根川の浚渫砂で埋め立てた地域に位置する (若松, 1991b)。

以上で述べた首都圏での液状化発生地点の分布から共通して得られる特徴や注目すべき点をまとめると、以下のようになる。

①液状化の発生地域は、地震を問わず沖積低地や埋立地のうち震度Ⅴ以上の地域で起きているが、旧河道や埋立地では、震度Ⅳでも発生しているケースがある。震度Ⅵ以上が広範囲に観測された地震は明治以降では関東地震のみであるが、この地震では沖積低地や埋立地においてかなり高密度に液状化が生じている。これらの傾向は、他の地域での液状化事例とも整合している。しかし、

液状化発生と震度との関係は、地震のマグニチュード M とも関係しており、一般には、 M が大きくなるにつれて、液状化を生ずる震度の下限値は低くなる傾向にある (若松, 1991a) ことに留意する必要がある。これは、マグニチュードに反映される地震動の継続時間や周期特性の影響と考えられる。

②埼玉県の大宮台地東部の中川低地では、千葉県東方沖の地震を除く、4 つの地震で液状化の報告が多数ある。ここでは、下部有楽町層と呼ばれる海成の厚い軟弱粘土層の上に、上部有楽町層である陸成の砂質土が河川沿いの自然堤防や旧河道などに数 m 堆積している。液状化発生地点を地形的に見ると、古利根川などの河川沿いの自然堤防、ポイントバー、旧河道に該当する地点で生じている (若松, 1991c)。

③東京湾沿岸に大規模な埋立地が多数造成された 1960 年以降で、強い地震動を広範囲に観測した地震は、1987 年の千葉県東方沖を震源とする地震のみである。この地震では、震度Ⅴ程度で埋立地に極めて多数の液状化が発生したことが注目される。

IV. 首都圏で予想される液状化被害の様相

液状化が工学的に広く認識されるようになって以降の地震は、1987 年に発生した千葉県東方沖を震源とする地震のみである。このため、過去の地震時の被害の様相から将来を予想するのは難しいが、大規模な液状化が広範囲に発生すれば、対策工を講じていない構造物に関しては、本稿の冒頭であげたような様々なタイプの被害発生は免れ得ない。特に、表層地盤に直接支持されている一般の戸建て住宅等には不同沈下が生じ、地盤変形の影響を受けやすいガス、上下水道、地中送電線などの埋設管路にも、多数の損傷が発生することが予想される。

最近、首都圏を襲う大地震が発生した際の液状化被害で特に問題視されているのが、液状化土の水平方向の流動による被害と、マンホールなど地中構造物の浮き上がりである。これらの被害は、1923 年の関東地震など過去の地震でも一部では

発生したものと考えられるが、当時は地中構造物が少なかったこと、人工的な造成地盤が少なかったために、被害例が少なく注目されなかったものと思われる。

液状化土の流動による被害事例として、1995年の兵庫県南部地震の際に、神戸市のポートアイランドなど臨海部埋立地で最大3mを超える過大な地盤変位を生じ、臨海部の構造物に多大な被害を与えたことがあげられる。この地震の後、『道路橋示方書』（日本道路協会、1996）などの多くの設計指針で、護岸背後地盤の流動に対する設計が加えられた。このようなタイプの流動に関しては、中央防災会議でも東京湾沿岸の臨海コンビナート地帯での被害発生と対策の必要性が指摘されている（濱田、2004）。

過去の事例を見ると、液状化に伴う地盤の流動現象は護岸部のみならず、液状化層が緩やかに傾斜しているような場所でも発生している。例えば、首都圏では、1923年の関東地震の際に埼玉県下の古利根川沿岸や、東京都内の足立・葛飾の区界を流れる古隅田川沿岸（現在は大部分が地下河川となっている）などで、傾斜地盤による流動が報告されている（Hamada *et al.*, 1992）。

中空の地下埋設構造物の浮き上がりは、過去の地震でも浄化槽などが1m以上浮き上がった事例はあったが、被害件数としては比較的少なかった。最近の地震で深刻化しているのが、下水マンホールの浮き上がりである。この問題がクローズアップされたのは、1993年1月に発生した釧路沖地震である。この時、北海道釧路町のマンホールが最大1.3mも浮き上がった。これに続いて、1993年10月の北海道南西沖地震やその翌年に発生した北海道東方沖地震でも、マンホールの浮き上がりが多数報告された。2003年の十勝沖地震では、約230基以上のマンホールが最大1.5m余り浮き上がり、マンホールの浮上は北海道特有の液状化被害かと思われた。しかし、2004年新潟県中越地震では、軽微なものも含めると1,000基以上ものマンホールが被害を受けたことから、北海道以外の地域でもその発生が懸念されるようになってきた。

マンホールが浮き上がると、マンホールと下水管路の接合部が破断して、下水に汚水が流れなくなるので、影響を受ける世帯数は甚大である。また、道路上に突出するため道路の通行に支障をきたし、交通事故の原因にもなる。マンホールの浮き上がり被害は、これまで液状化とは無縁と考えられていた泥炭地盤や軟弱粘性土地盤で多く報告されている。マンホールの浮き上がりのメカニズムについては、釧路沖地震の直後には諸説があげられたが（例えば、安田ほか、1994）、その後、マンホールを設置する際にマンホール周囲に埋戻した砂が原因であるという説（安田ほか、2004）に定着しつつある。しかし、周囲の地盤の状況によって、同じ埋戻し土でも液状化の程度や浮き上がり量が異なることが指摘されており（例えば、中根ほか、2005）、発生場所や浮き上がりの程度を予測することは難しい。しかし、これまで浮き上がりが起こった場所の地盤条件などを総合すると、首都圏では、埼玉県の中川低地などに広く分布する後背湿地などの軟弱粘性土地盤では、マンホールの浮き上がりに対して特に留意が必要と考えられる。

V. おわりに

本稿では、首都圏直下地震による液状化被害について、内閣府中央防災会議と東京都防災会議の被害想定、さらに過去の地震による液状化の履歴から、問題点や留意点をまとめた。首都圏全域に未曾有の被害をもたらした関東地震から80年以上を経過して、首都圏の地形・地質は人工改変などにより大きく変貌している。その一つが、海岸部における埋立地の拡大と、内陸部におけるかつての沼地や湿地帯の盛土造成である。事実、1987年の千葉県東方沖を震源とする地震で液状化が発生した場所は、かつての海・池沼・河川などの埋立地や水田の盛土地、砂鉄採掘跡地の埋戻し地など、人工的に造成した地盤に集中していた。このような造成地で地盤改良を行っていない土地では、将来の大地震時には最も液状化被害の危険性が高いことを認識する必要がある。

注

- 1) 本稿では、1996 年 10 月に改訂された現行の気象庁震度階級(10 階級)による震度はアラビア数字で、上記以前の震度階級による震度はローマ数字で表記する。

文 献

- 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会(2005): 首都直下地震対策専門調査会報告。
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/houkoku.pdf> [Cited 2005/7/26].
- 濱田政則(2004): 臨海コンビナートの耐震性. 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会(第4回)説明資料.
- Hamada, M., Wakamatsu, K. and Yasuda, S. (1992): Liquefaction-induced ground deformations during the 1923 Kanto Earthquake. in *Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes* edited by Hamada, H. and O'Rourke, T.D., National Center for Earthquake Engineering Research(NCEER), Buffalo, U.S.A., Vol. 1, 1.1-1.39.
- Kanamori, H. (1971): Faulting of the great Kanto earthquake of 1923 as revealed by seismological data. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **49**, 13-18.
- 古藤田喜久雄・若松加寿江(1974): 地盤の震害. 建築技術, **274**, 255-270.
- Mogami, T. and Kubo, K. (1953): The behavior of soil during vibration. *Proc., 3rd Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 152-155.
- 内閣府防災担当(2005a): 被害想定結果について. 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会, 資料2.
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html> [Cited 2005/7/6].
- 内閣府防災担当(2005b): 直接的被害想定結果について(参考資料編). 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会, 資料2-2.
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html> [Cited 2004/12/15].
- 内閣府防災担当(2005c): 首都直下地震に係る被害想定手法について. 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会, 資料3.
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html> [Cited 2005/2/25].
- 中根美香・規矩大義・内山明日香(2005): 周辺地盤の土質の違いとマンホールの地震時浮上に関する模型振動実験. 第60回土木学会年次学術講演会講演梗概集, 第III部門, 289-290.
- 日本道路協会(1996): 道路橋示方書・同解説, V. 耐震設計編, 平成8年12月19日改訂版. 丸善, 85-90.
- 日本道路協会(2002): 道路橋示方書・同解説, V. 耐震設計編, 平成14年3月7日改訂版. 丸善.
- 東京都防災会議(2006): 首都直下地震による東京の被害想定報告書. 東京都総務局総合防災部防災管理課.
- 宇佐美龍夫(1983): 東京地震地図. 新潮社.
- 宇佐美龍夫(2003): 最新版日本被害地震総覧 [416]-2001. 東京大学出版会.
- 若松加寿江(1991a): 日本の地盤液化履歴図. 東海大学出版会.
- 若松加寿江(1991b): 微地形調査による表層地盤の液化特性の評価. 日本建築学会構造系論文報告集, **421**, 29-37.
- 若松加寿江(1991c): 液化化問題の地形・地質的背景. 応用地質, **32**, 28-40.
- Wakamatsu, K. (2007): Development of GIS database for historic liquefaction sites in Japan. *Proc., 4th Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering*, Paper No. 1300, CD-ROM.
- 若松加寿江・久保純子・松岡昌志・長谷川浩一・杉浦正美(2005): 日本の地盤・地形デジタルマップ(CD-ROM付). 東京大学出版会.
- 安田 進・坂本 容・宮島昌己(1994): 下水道の被害. 土質工学会 1993 年地震災害調査委員会編: 1993 年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書. 土質工学会, 289-303.
- 安田 進・宮島昌克・規矩大義(2004): 上下水道の被害. 地盤工学会十勝沖地震地盤災害調査委員会編: 2003 年十勝沖地震地盤災害調査報告書. 地盤工学会, 111-120.
- (2006 年 12 月 1 日受付, 2007 年 3 月 29 日受理)