

2011年東北地方太平洋沖地震における 関東地方の液状化被害調査

三輪 滋¹・筒井 雅行²・本山 寛³・池田 隆明⁴・沼田 淳紀⁵

¹飛島建設技術研究所所長 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472)

E-mail:shigeru_miwa@tobishima.co.jp

²飛島建設技術研究所企画知財室室長 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472)

E-mail:masayuki_tsutsui@tobishima.co.jp

³飛島建設技術研究所第三研究室副主任研究員 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472)

E-mail:hiroshi_motoyama@tobishima.co.jp

⁴飛島建設技術研究所第二研究室室長 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472)

E-mail:takaaki_ikeda@tobishima.co.jp

⁵飛島建設技術研究所主席研究員 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472)

E-mail:atsunori_numata@tobishima.co.jp

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、日本国内で観測史上最大のマグニチュード9.0を記録し、津波により多くの人命が奪われた。また、東日本の広範囲にわたり地震による被害が発生した。関東地方では、東京湾岸の埋立て地だけではなく、内陸部においても各地で液状化による被害が発生した。

今後の地震防災対策を考える場合、被害の全貌を工学的に把握する必要がある。そこで、地震被害の記録を残すことを目的に、内陸部の千葉県野田市から埼玉県幸手市、久喜市、加須市、その周辺、および、海岸埋立て地の東京都江戸川区、千葉県浦安市について液状化被害調査を行った。その結果、内陸部における液状化は、多くは、旧河道、湿地帯を造成した場所で発生し、沿岸部では、比較的年代の新しい埋立て地で液状化が発生したことがわかった。また、液状化の程度が激しい地域が広範囲にわたっていることが分かった。

Key Words : *Liquefaction, Reconnaissance, Reclaimed land, Tohoku-chiho Taiheiyo-oki earthquake*

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は、日本国内では観測史上最大のマグニチュード9.0を記録し、津波による甚大な被害をもたらした。震度5弱以上の地域は、東北だけでなく、関東地方の広い領域にまで広がっている。これにともない、地震被害は非常に広い範囲で発生した。地盤災害も各地で発生し、軟弱地盤における地盤災害の典型例である液状化は、関東地方においても数多くの地点で発生した。甚大な被害が発生すると、その点にばかり注目が集まり、工学的な見地での調査が行き届かず、相対的に小さな被害が見過ごされて、被害の全貌を十分に把握できなくなる傾向がある。地震被害を工学的に記録に残すことが重要という観点から、液状化範囲を特定できるよう、調査範囲を絞った初動調査を実施した。ここでは、埋立て地の東京都江戸川区から千葉県浦安市にかけて^{1),2),3)}、内陸部の埼玉

県加須市から千葉県野田市にかけて^{3),4),5)}実施した液状化被害調査について詳細に報告する。

2. 液状化被害調査範囲と調査内容

2011年東北地方太平洋沖地震における液状化は、関東地方の各地で報告されている。最も震央から遠い場所は、震央距離約435kmの千葉県木更津市とされている⁶⁾。このような広域の災害について工学的な記録を残すには、単一の機関が調査するのではなく、多くの機関が重複を避け、各地をできるだけ多く調査することが重要である。文献6)には、そのような目的を果たすものとして、数多くの機関の献身的な努力による調査結果が集成されているが、個々の地域の被害については、詳細には触れられていない。

著者らは、千葉県野田市にある事業所に近い野田

市北部，埼玉県東部，および周辺の一部の地域の調査を実施した。また，湾岸部では浦安市の甚大な被害に隠れて見過ごされる可能性のある江戸川区を，さらに他の地点と被害の対比を行うため，浦安市の一部を調査した。調査は，2011年3月14日に千葉県浦安市，3月16日に千葉県野田市北部，3月19日に埼玉県東部，3月20日に東京都江戸川区，千葉県浦安市での調査を実施した。そのほかの地域についても3月19日，20日に実施した。図-1に，実施した液状化被害調査の範囲を示す。主な調査範囲は，東京湾岸埋立て地である東京都江戸川区と千葉県浦安市の一部，および，内陸部の埼玉県東部の幸手市，久喜市，加須市，その周辺地域，千葉県野田市北部である。

実施した調査内容は，液状化地点と被害状況の把握である。ただし，調査範囲は，ある限られた地域の踏査だけであり，地域全体（市や町）を網羅して



図-1 液状化被害調査の範囲

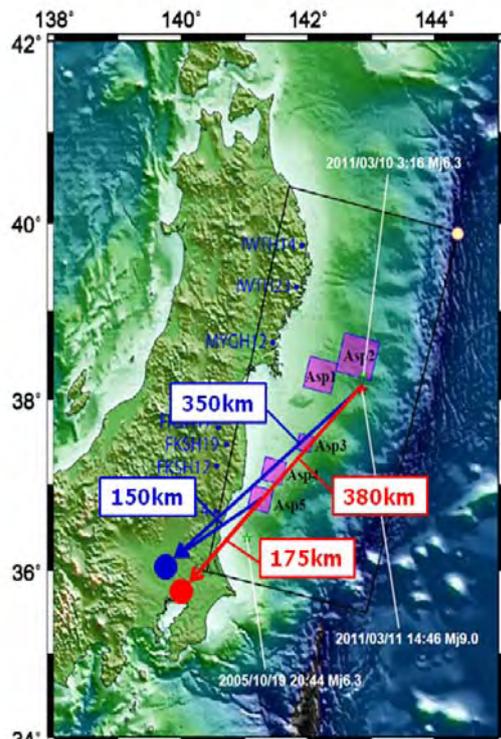


図-2 震源域と調査地点の位置関係(文献7)の図に加筆)

いるわけではない。液状化地点の特定は，噴砂を確認した場所とし，その周辺の道路や地盤の沈下，埋設構造物の浮き上がり等の被害を記録する調査を実施した。これらの調査結果は，すでに文献1)，2)，3)，4)，5)で速報しているが，データを付け加えてここにまとめて報告する。なお，これらの調査結果は，文献6)にも反映されている。

3. 液状化に影響した地震動と液状化範囲

図-2に震源域と調査地点の位置関係を示す。震央距離は，千葉県浦安市では約380km，埼玉県東部，千葉県野田市北部では約350kmであり，震央からは，かなり遠い位置にある。一方，震源域での破壊は複数箇所発生しており，釜江・川辺により提案された5つのアスペリティ⁷⁾のうちもっとも調査地点に近い茨城県沖のアスペリティ(以降Asp-5と呼ぶ)からの距離はそれぞれ150km，175kmであり，関東地方での地震動はAsp-5の影響が大きいと考えられる。震度5弱以上の地域が関東地方の広い範囲におよんだこと，地震動継続時間が非常に長かったことを考えると，このような広域での液状化被害が十分発生すると考えられる。

関東各地で観測された地震動が，Asp-5のアスペリティにより支配されたと仮定し，観測された地震動から，司・翠川の式⁸⁾を用いて，最も観測記録を評価できる地震規模Mを推定した⁹⁾。震源からの距離は断層面最短距離を使用し，基盤における最大速度の観測値と推定値との一致度から地震規模を推定した。結果を図-3に示す。断層面最短距離が300km以内のデータで検討した場合は，M8.0，断層面最短距離を200km以内とした場合はM7.7となり，関東地方にはM7.7～8.0程度の地震による地震動が影響したと推定される。

図-4に栗林・龍岡¹⁰⁾，若松^{11),12)}による地震規模と液状化の限界震央距離との関係式と既往の地震の記

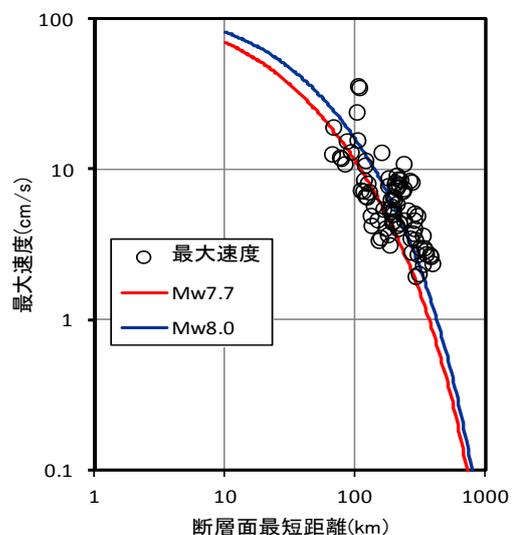


図-3 断層面最短距離と観測最大速度，および司・翠川の距離減衰式(Mw7.7, Mw8.0)との関係

録の図¹³)に加え、本地震で液状化が確認された茨城県沖のアスペリティからの最遠地点⁶⁾との関係を示す。今回の液状化が確認された最遠点(南房総市:震央距離234km)やそれに次ぐ横浜市金沢区八景島の液状化地点(224km)は、既往の評価式とおおよそ整合する結果となっている。

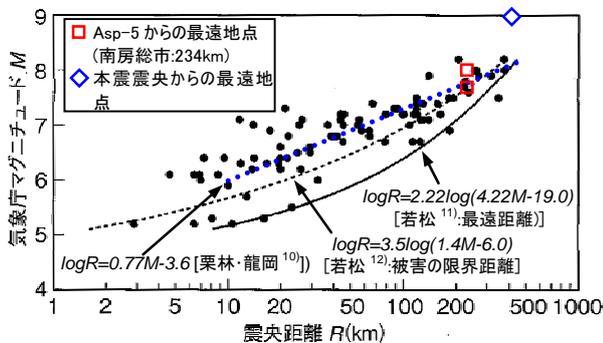


図-4 最も遠い液状化発生地点までの震央距離と地震マグニチュードとの関係(文献 13)の図 1.16 を加筆修

4. 東京湾岸での液状化

(1) 埋立て年代と液状化の発生地域

図-5に東京湾岸の調査範囲を示す。東京都江戸川区と浦安市の一部であり、近年の埋立て地がほとんどであるが、旧来の地盤でも比較のため、調査を行っている。図-5には、調査範囲とともに液状化を確認した範囲を示している。液状化を確認した地点を表-1に示す。液状化が発生した地点のほとんどは、

比較的新しい臨海埋立て地であり、旧来の地盤とは、液状化の発生の有無やその程度で明瞭な違いが見られる。

江戸川区の埋立て地は、旧版地形図^{14),15)}の対比、文献¹⁶⁾の航空写真から見て、1972年から1976年の間に埋立てられた後、35~40年程度経過した地域である。なお、京葉線以南の埋立て地は、1980年頃までに埋立てられている。浦安市は、以前は猫実に集落がある漁業と農業の地域であったが、1960年以降海辺に広がる浅瀬が次々と埋立てられ、1980年にはほぼ現在の埋立てが完了している。これらの埋立て地の面積は市域のほぼ3/4程度におよび、おおよそ1.5km×3kmという広大な領域である。これらの埋立て地の広範囲にわたり激しい液状化被害が発生していた。ただし、埋立て地全域が激しく液状化したわけではなく、地域によって液状化の程度や被害の程度が異なる。埋立て地における主な液状化被害は、大量の填砂、戸建住宅、電柱等の傾斜、建物周辺の沈下、道路の沈下・亀裂、埋設管・水路の浮き上がり、護岸堤防のはらみ出し・沈下等であった。

(2) 東京都江戸川区の液状化

図-6に江戸川区の埋立て前の旧版地形図¹⁷⁾とともに、現在の航空写真中に埋立て境界と液状化地点を示したものを示す。液状化地点のほとんどが埋立て地に集中していることが分かる。図-7には液状化の被害の激しかった江戸川区清新町の調査範囲と液状化の範囲を示す。図-7については、液状化の程度を、噴砂が確認される程度であるか(軽微な液状化)、道路や地盤の沈下、舗装の被害、埋設構造物の浮き



図-5 東京湾岸の調査範囲と液状化の分布(Google Earth を利用)

表-1 東京湾岸における液状化地点一覧

No.	場所	地盤条件	液状化の状況	周辺の被害
1	江戸川区清新1丁目3,4,5番地	埋立地	大量の噴砂	道路亀裂、沈下、高層住宅や大型店舗など建物周囲の沈下、噴砂の堆積、埋設管被害、学校のグラウンド、公園の地盤の亀裂、沈下、電灯の傾斜
2	江戸川区清新2丁目8番地の公園	埋立地	大量の噴砂	公園内の噴砂
3	江戸川区清新2丁目1番地江戸川陸上競技場	埋立地	噴砂	前面道路脇で少量の噴砂
4	江戸川区清新2丁目南部(3,4,5,6,7,9,10番地)	埋立地	大量の噴砂	道路の亀裂、沈下、建物周囲の沈下、駐車場の亀裂・沈下(1m)、戸建住宅の沈下・傾斜、歩道の亀裂・沈下
5	江戸川区臨海1丁目5	埋立地	噴砂	東京臨海病院南側空き地の噴砂
6	江戸川区臨海1丁目2	埋立地	噴砂	臨海一丁目高層住宅南側空き地の噴砂
7	江戸川区臨海2丁目5番地臨海第一保育園	埋立地	噴砂	園庭噴砂、建物周囲の沈下、周辺道路での軽微な噴砂
8	江戸川区臨海公園入り口交差点南西角(国道357号線)	埋立地	噴砂	歩道亀裂、段差
9	江戸川区東葛西9丁目3-6	沖積低地	噴砂	舗装の亀裂、建物周囲の沈下、埋設管の被害(1950年以前は水路近傍)
10	江戸川区東葛西9丁目4	沖積低地	噴砂	工場内での噴砂(1950年以前は水路近傍)
11	浦安市舞浜2丁目35	埋立地	大量の噴砂	事務所ビル前噴砂堆積、歩道の亀裂・沈下、水路の噴砂堆積、高速道路下の地盤亀裂・沈下
12	浦安市ディズニーランドホテルと京葉線をはさむ道路	埋立地	噴砂	歩道亀裂、段差
13	浦安市舞浜駅前	埋立地	大量の噴砂	地盤沈下、噴砂堆積、舗装の亀裂、不同沈下、構造物周囲の沈下
14	浦安市ディズニーランド正面入り口バス乗り場	埋立地	大量の噴砂	地盤沈下、噴砂堆積
15	浦安市ディズニーランド西側駐車場入り口横の道路	埋立地	大量の噴砂	道路舗装亀裂・沈下
16	浦安市ディズニーランド西側駐車場	埋立地	大量の噴砂	亀裂、不同沈下、大量の噴砂堆積
17	浦安市舞浜リゾートラインベイサイドステーション周辺	埋立地	大量の噴砂	構造物周囲の地盤の亀裂、不同沈下、噴砂堆積
18	浦安市ディズニーランド本館入り口付近の道路	埋立地	噴砂	歩道亀裂、噴砂堆積
19	浦安市総合運動公園	埋立地	大量の噴砂	運動場の不同沈下、歩道の傾斜、沈下、亀裂、電柱傾斜、噴砂堆積、構造物周囲の沈下
20	浦安市舞浜3丁目38,39	埋立地	大量の噴砂	駐車場の不同沈下、舗装の亀裂、駐車場の歩道は道路路側が不同沈下・傾斜(沈下量65cm)、大量の噴砂、マンホール浮上・亀裂、電柱・道路標識が大きく傾斜、構造物周囲の沈下、イクスピアリ側はほとんど噴砂なし
21	浦安市舞浜3丁目住宅地	埋立地	大量の噴砂	住宅地の液状化、埋設管被害、塀の傾斜、道路の亀裂・段差、歩道の亀裂・傾斜、電柱・柵の傾斜、一部の戸建住宅の傾斜
22	浦安市鉄鋼団地3丁目	埋立地	大量の噴砂	噴砂堆積、埋設管被害、電柱傾斜、建物沈下・傾斜、構造物周囲の沈下
23	浦安市千鳥	埋立地	大量の噴砂	中央の道路沿いで激しい液状化、道路不同沈下・亀裂・段差、噴砂堆積、電柱傾斜、構造物周囲の沈下、先端雨側の堤防は被害無し、西側堤防は変形・周辺で噴砂
24	浦安市東野2丁目西部	埋立地	大量の噴砂	南北の大通りに面した区画が被害大、25,26,27番地付近で戸建住宅の沈下・傾斜が多数、28番地住宅展示場敷地での地盤亀裂・沈下・噴砂堆積、周辺で建物周囲の沈下、亀裂、道路の亀裂、埋設管被害、21,22,23番地では道路沿いに噴砂、塀の亀裂、道路の亀裂や沈下など、被害は相対的に軽微(21番地から29番地を調査)
25	浦安市東野3丁目東部	埋立地	大量の噴砂	4番地元住宅公園空き地での大量の噴砂、隣接する5番地でアパート傾斜、10,11番地の学校はグラウンドで不同沈下、浮き上がり、12-31番地の戸建住宅の沈下・傾斜、塀の傾斜、電柱沈下・傾斜、舗装の亀裂、埋設管被害、1,2,6,7,8,9番地は少量の噴砂のみ(1番〜31番地までを調査)
26	浦安市高洲7丁目2	埋立地	大量の噴砂	空き地の液状化、道路の沈下
27	浦安市高洲8丁目2	埋立地	大量の噴砂	公園の液状化、道路の沈下・傾斜、噴砂堆積
28	浦安市高洲9丁目2高洲海浜公園	埋立地	大量の噴砂	噴砂、地盤の亀裂・不同沈下
29	浦安市高洲9丁目3特養ホーム愛光園	埋立地	大量の噴砂	建物周囲の沈下、噴砂堆積、埋設管被害
30	浦安市高洲9丁目4浦安南高校	埋立地	大量の噴砂	建物周囲の沈下、噴砂堆積、埋設管被害

上がりなどの被害が生じているか(液状化)によって区分している。江戸川区が、地震直後に行った被害調査¹⁸⁾による被害領域とよく一致している。ただし、調査時点では、それぞれの地点で地中に隠れた埋設構造物に実際の被害があったかどうかを確認できていない場合もあるので、区分はあくまでも地上に現れた被害の目視によるものである。

写真-1から写真-9に清新町で確認された液状化被害を示す。清新町1丁目、2丁目は集合住宅が主体の地域である。このような建物は、建物自体は杭基礎で支持されており、庵構造物周囲の段差は、いたるところに見られ(写真-1, 2)、大きいところでは

50cm近くに達した(写真-2)。また激しい噴砂が各所で確認された(写真-3, 4)。歩道や建物周辺では不同沈下、うねり、ブロックの座屈などが確認された(写真-5, 6)。清新町2丁目では、戸建て住宅も存在し、それらの一部に沈下・傾斜の被害が発生した(写真-7)。集合住宅の周囲では、地盤が沈下し上下水などの配管類が損傷した。調査時点ではすでに応急復旧の配管工事がなされていた。公園でも噴砂や街灯の傾斜が確認された。

埋立て地先端に近い、葛西臨海公園近傍では、清新町のような広範囲での液状化は見られなかったが、国道357号との交差点で噴砂と歩道の亀裂が確認さ



図-6 江戸川区の埋立て地と液状化地点(左: Google Earth を利用, 右: 文献 17)を引用)

江戸川区清新町の液状化



図-7 江戸川区清新町の液状化地点 (Google Earth を利用)

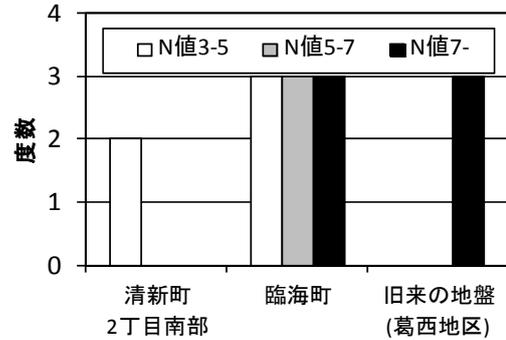


図-8 江戸川区の地盤の平均N値の度数分布

れた(写真-8)。昭和の埋立て地ではない旧来の土地(江戸時代の新田開発で埋立てられた地域¹⁹⁾で、明治初期の地図²⁰⁾、地形図²¹⁾には、すでに存在する)では、液状化はほとんど確認できなかった。このうち、東葛西東部では一部で液状化が発生し、地盤沈下により配管の破損が発生している(写真-9)。ここは、1966年頃までは水路があった¹⁷⁾地点のごく近傍である。このように、江戸川区では、1855年安政の江戸地震、1894年東京湾の地震、1923年の関東地震で液状化が発生した地点がいくつか存在する¹³⁾が、それらの地点や旧来の地盤においては、今回の地震では液状化は確認されていない。液状化の検討にお

いて、地震動の強さの違いも考慮する必要はあるが、古い地盤については年代効果の影響を考慮する必要があると考えられる。

江戸川区の昭和の埋立ては、ほぼ同じ時期に埋立てられたと推定される。埋立て地の清新町は、旧護岸で旧来の土地である西葛西と区切られており、標高は西葛西に比べ3m以上高くなっている。液状化は清新町1丁目と清新町2丁目の南部で激しく、清新町2丁目の北側の高層住宅地区と清新町と新左近川で区切られた南側の臨海町では、それほど顕著ではない。このように同時期に埋立てられた地点でも液状化の程度に違いが見られる。これらの被害の状況は、液状化予測図²²⁾とは必ずしも一致しない。図-8に江戸川区が地震後に清新町2丁目で行った地盤調査結果¹⁸⁾と東京の地盤²³⁾から抽出した臨海町およ



写真-1 建物周囲の地盤の沈下



写真-2 駐車場周囲の地盤沈下



写真-3 幼稚園園庭の大量の噴砂



写真-4 宅地の液状化



写真-5 歩道ブロックの座屈



写真-6 外構ブロックの座屈, 大量の噴砂



写真-7 戸建住宅の沈下・傾斜



写真-8 臨海公園付近の液状化



写真-9 東葛西の液状化(建物周囲の沈下)

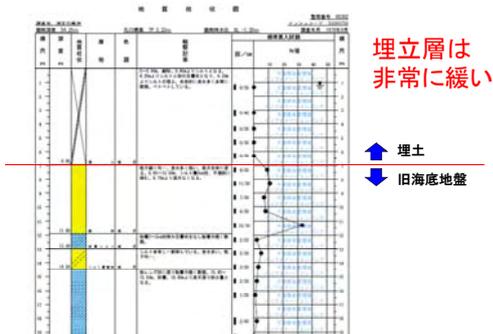


図-9 浦安市高洲の地盤柱状図（文献 25）に加筆

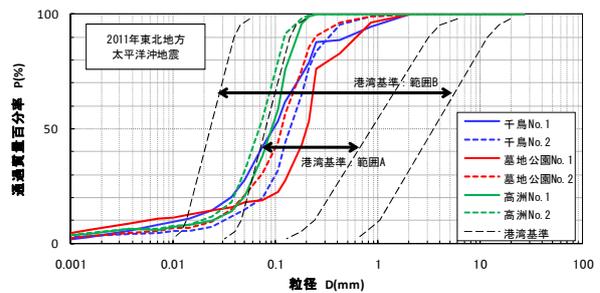


図-10 浦安の噴砂の粒度分布



写真-10 道路標識・電柱等の傾斜，歩道の傾斜



写真-11 大型構造物周辺の沈下



写真-12 戸建住宅の傾斜



写真-13 門，塀の傾斜，大量の噴砂



写真-14 歩道の盛り上がり



写真-15 大量の噴砂

び旧来の地盤の埋立て土層の平均N値の度数分布を比較したものを示す。旧来の地盤では、比較的N値が高く、低くても7以上あり、5以下である清新町2丁目との違いが明瞭である。臨海町では、5以下の地点もあるものの、5以上の地点の割合が多い。定性的には、液状化の発生状況の違いを説明すると考えられるが、更なる検討が必要である。

(3) 千葉県浦安市の液状化

浦安市では、新しい埋立て地の大部分にわたって液状化したとされている²⁴⁾。浦安市における液状化調査範囲を図-5に示す。各地で非常に激しい液状化が発生し、大量の砂の噴出により建物の傾斜、道路の沈下、傾斜、埋設管の浮上、蛇行など被害の程度も厳しいものとなっている。一方、江戸川区同様に、埋立て年代に関わらず、地域によって被害の程度は異なる。舞浜駅横の商業施設の領域は液状化対策が施された地域である。ここでは、一部で噴砂が見られたものの、周辺の舞浜駅前や浦安運動公園、鉄鋼団地、舞浜2、3丁目での激しい液状化被害とは対照的で被害が認められない。

旧来の土地との境の埋立て地側である東野では、液状化被害が発生している。旧堤防沿いの道を挟ん

で、旧来の地盤側の富士見では地盤変状がほとんど認められないのと対照的である。舞浜や東野といった埋立て地では、戸建住宅の被害が顕著である。

図-9に液状化が激しかった地域（高洲）の地盤柱状図²⁵⁾を示す。埋立て層の厚さは7m程度であり、N値はほぼゼロで非常に緩い砂層である。また、地下水位はG.L.-1m程度と高い。図-10に採取した噴砂の粒径加積曲線を示す。細粒分がやや多いが液状化しやすい粒度の砂であることが分かる。このように、この地域は、液状化の発生しやすい条件であったことが分かる。弱材齢の埋立て地の砂の細粒分に関しては、東京湾岸埋立て地が液状化した1987年千葉県東方沖地震を含む複数の地震の噴砂の粒度分布が検討され、埋立て地の噴砂には、細粒分が多い場合があるが、粘土分含有率が低く、非塑性であり、液状化しやすいことが示されており²⁶⁾、今回の埋立て地での液状化は、旧来の知見を逸脱するものではない。

写真-10から写真-15に浦安市での液状化の被害の様子を示す。道路標識や電柱の傾斜（写真-10）、大型構造物周囲の沈下（写真-11）、戸建住宅の沈下・傾斜（写真-12）などはいたるところで確認された。堤防の変形や建物周囲の外構の傾斜・不同沈

下(写真-13)に加えて、歩道部の盛り上がり(写真-14)といった被害が確認された。道路部分が周囲よりも相対的に重い場合、道路下部の液状化した砂が側方に押し出されて歩道部分が盛り上がったのではないかと考えられる。また、おびただしい量の噴砂が各地で噴出した(写真-15)。液状化の被災面積は約1,455haにおよび²⁴⁾、これらの噴砂は、浦安市内の2か所に集積され、そのボリュームは、7.5万m³におよぶとされている。地震動の継続時間が長かったことで、一旦液状化した地点では、激しい液状化が発生し、大量の砂の噴出、地盤の大きな沈下が生じ、それに伴って、マンホールの浮上や建物の沈下・傾斜といった被害が顕著に現れたと考えられる。

以上、埋立て地では広範囲にわたり激しい液状化が発生したが、旧来からの地盤、液状化対策を施した地盤での液状化被害はほとんど認められなかった。一方、埋立て地盤においても、液状化の程度に差異が見られた。埋立て地においては、地盤のN値だけでなく、埋立て方法、埋立て材料、年代効果などで液状化の発生のしやすさが変わると考えられ、今後の地震防災対策を考える上では、なぜそこだけが液状化したのか、液状化が軽微な地域はなにが施されていたのかを検証する必要がある。また、このような要素を考慮に取り入れた液状化予測図の見直しが必要と考えられる。



図-11 関東地方内陸部(埼玉県東部、千葉県野田市北部)の液状化の調査地点

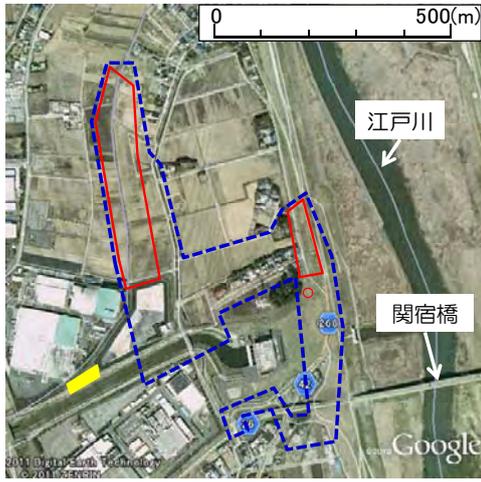
5. 関東地方内陸部での液状化

(1) 関東地方内陸部の液状化発生地

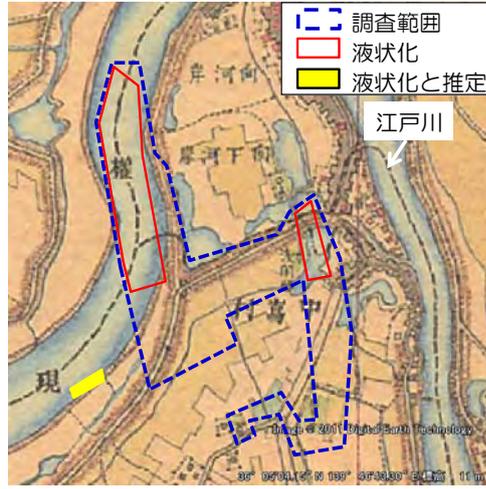
図-11 に内陸部での液状化調査地点を示す。また、表-2 に、内陸部における液状化被害調査結果を示す。内陸部における主な液状化被害は、噴砂、戸建住宅・電柱等の傾斜、構造物周辺の沈下、道路の沈

表-2 内陸部における液状化地点一覧

No.	場所	地盤条件	液状化の状況	周辺の被害
1	埼玉県幸手市西関宿20-3	旧河道	大量の噴砂	斜面上の道路の崩壊、斜面の流動、電柱の水平移動、埋設管浮き上がり、民家移動・傾斜
2	埼玉県幸手市西関宿(茨城県五霞町との境界付近南部)	旧河道	大量の噴砂	水路の変形・沈下・亀裂・噴砂堆積、電柱傾斜・沈下、農地の亀裂、不同沈下、噴砂堆積、農道の亀裂・変形
3	埼玉県幸手市高須賀(高須賀池南側)	旧河道	大量の噴砂	農道の沈下・移動、水路の沈下・亀裂、電柱傾斜、民家の傾斜、農地の亀裂・流動・大量の噴砂の堆積、池の周囲の亀裂、公園使用停止
4	埼玉県久喜市南栗橋4丁目12, 16, 18	造成地	噴砂	戸建住宅の傾斜、電柱傾斜、農地の亀裂、道路の沈下・亀裂、建設中の住宅基礎に被害
5	埼玉県久喜市南栗橋8丁目1の空き地	造成地	噴砂	空き地の噴砂
6	埼玉県久喜市南栗橋10丁目5,6,13番地	造成地	噴砂	戸建住宅の沈下、傾斜、塀の傾斜、道路の沈下、埋設管の被害、噴砂堆積
7	埼玉県久喜市南栗橋11丁目7,14,15,16,17番地	造成地	噴砂	戸建住宅の沈下、傾斜、塀の傾斜、電柱傾斜・沈下、道路の沈下、埋設管の被害、噴砂堆積、調整池の亀裂・噴砂
8	埼玉県久喜市南栗橋12丁目住宅地(5,11,12,13,14,15,16,17,18,19番地)	造成地	大量の噴砂	南栗橋で最も激しい液状化(特に15,18,19番地が激しい)、戸建住宅の激しい傾斜、電柱の激しい傾斜、沈下、埋設管浮上、浄化槽浮上、道路の不同沈下
9	埼玉県久喜市南栗橋12丁目町民スポーツ広場、5番地空き地	造成地	大量の噴砂	町民スポーツ公園の液状化、噴砂堆積・亀裂、トイレ傾斜、緑石・歩道の沈下・変形、電柱傾斜
10	埼玉県加須市北平野890	旧河道	大量の噴砂	農地の液状化・亀裂・沈下、電柱傾斜、道路の亀裂・沈下・段差(北平野交差点と島中領用水路の間)、さらに北東方向に液状化地域が伸びている模様
11	埼玉県加須市北平野北平野集会所近傍	旧河道	大量の噴砂	集会所・北平野神社周辺で噴砂、亀裂、沈下、農地での噴砂、沈下、電柱傾斜
12	埼玉県加須市杵子木(島中領用水路近傍の農地)	旧河道	噴砂	農地の液状化・亀裂・沈下、電柱傾斜
13	埼玉県加須市杵子木(安楽寺南側と安楽寺墓地周辺)	旧河道	大量の噴砂	農地での噴砂堆積、民家の不同沈下・傾斜、塀の傾斜、道路の沈下・亀裂・段差、電柱傾斜、墓地内噴砂。(番地では207, 220,222,226,234,243,244,245付近)。さらに西南西方向に液状化地域が伸びている模様
14	埼玉県加須市新利根2	旧河道	噴砂	ライオン事務機南側の農地の噴砂
15	埼玉県加須市新利根2-790付近: 県道羽生栗橋線沿い	旧河道	大量の噴砂	北平野神社向かい側(2-790付近)、農地の亀裂、道路横噴砂
16	埼玉県加須市新利根2吉野家工場近傍	旧河道	大量の噴砂	道路の沈下・亀裂・段差、電柱傾斜、駐車場の亀裂、沈下、噴砂堆積、構造物周囲の沈下
17	埼玉県加須市道目233付近	旧河道	大量の噴砂	農地に噴砂堆積
18	埼玉県加須市北小浜	不明	噴砂	グリーンファーム加須、建物周囲の沈下、庭での噴砂
19	埼玉県加須市北小浜1017	不明	噴砂	埼玉県農林総合研究センター水産研究所、噴砂らしきもの点在
20	埼玉県さいたま市岩槻区太田3岩槻城址公園	不明	噴砂	アスレチック場内での液状化
21	埼玉県戸田市美女木、内容、和光市新倉: 戸田パブリックゴルフコース	河川敷	噴砂	荒川左岸河川敷内の戸田パブリックゴルフコース内で噴砂、地盤の亀裂・沈下。東京外環道の橋梁の下付近であるが、地域の境界が入り組んでいるので地名が3種に及ぶ。
22	千葉県野田市木間ヶ瀬10219南方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
23	千葉県野田市木間ヶ瀬9259西方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
24	千葉県野田市木間ヶ瀬9343西方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
25	千葉県野田市木間ヶ瀬7552,7543,7584付近: 出州	旧河道	噴砂	農地での噴砂、道路の亀裂・段差、民家傾斜
26	千葉県野田市小山17285南方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
27	千葉県野田市小山4332西方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
28	千葉県野田市小山2889付近	旧河道	噴砂	農地での噴砂
29	千葉県野田市船形4204南方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
30	千葉県野田市船形3831北方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
31	千葉県野田市船形3862南方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
32	千葉県野田市船形4752北方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
33	千葉県野田市船形4425北方	旧河道	噴砂	農地での噴砂
34	千葉県我孫子市並木9丁目5	不明	噴水	道路の沈下、マンホールの浮上



2011年 (Google Earth を利用)



1880年～1886年 (文献 21) の迅速測図に加筆)

図-12 埼玉県幸手市西関宿の液状化地点(旧地形との比較)



写真-16 河川堤防斜面の流動



写真-17 法先の民家の変形、埋設管浮上



写真-18 農地の大量の噴砂、電柱の傾斜

下、亀裂、農地の噴砂・亀裂・移動、水路の浮上・変形・噴砂堆積などであった。これらの被害の発生場所は、旧版地形図や古い航空写真との比較、道路の蛇行の様子などから、その多くは、旧河道と考えられる地点、湿地帯を新しく造成した地点などであることが分かる。

(2) 埼玉県幸手市の液状化

図-12に幸手市西関宿の液状化地点を、現在の航空写真上および1880-1886年に陸軍が作成した迅速測図(明治時代初期の地形図)²¹⁾上に比較して示す。この地点では1923年関東地震で液状化が記録されて

おり¹³⁾、今回も近傍で発生している。液状化により噴砂が大量に噴出した農地は、江戸川と古川を結ぶ旧河道である。堤防取り付け道路が崩壊した地点、および、文献6)で記された江川工業団地の液状化地点には、池が存在したことが分かる。写真-16に斜面が崩壊した地点を、写真-17に、その法尻部での配管の浮上と民家の変形の様子を示す。法尻部では大量の噴砂が噴出し、電柱の沈下も見られた。写真-18に農地での大量の噴砂と、電柱の傾斜の様子を示す。電柱が傾斜している部分の道路の側方の水路は、浮上するとともに噴砂が堆積していた。

図-13に幸手市高須賀池の液状化地点を、現在の



2011年 (Google Earth を利用)



1947年 (文献 27) の航空写真に加筆)

図-13 埼玉県幸手市高須賀池の液状化地点(旧地形との比較)



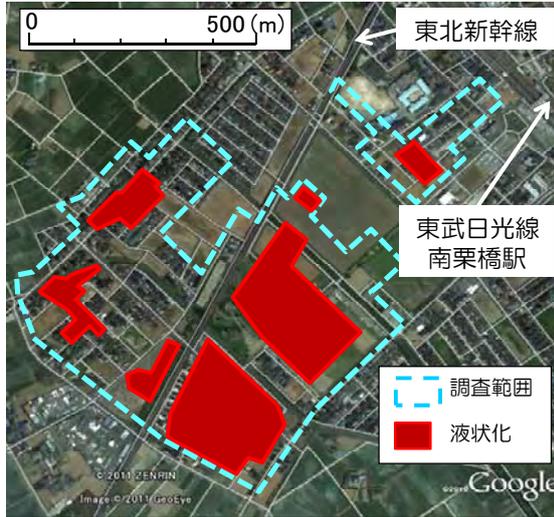
写真-19 農地の亀裂・流動・
大量の噴砂



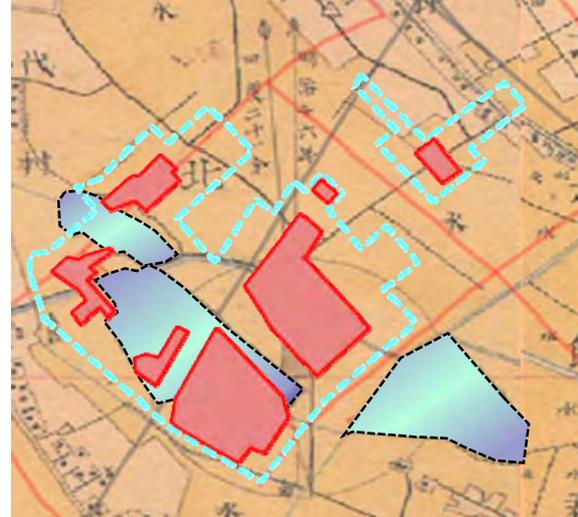
写真-20 道路の沈下



写真-21 民家の変形, 水路の
変形, 噴砂の堆積



2011年 (Google Earth を利用)



1880年~1886年 (文献 21)の迅速測図に加筆

図-14 埼玉県久喜市南栗橋の液状化地点(旧地形との対応)



写真-22 住宅, 電信柱の傾斜, 道路沈下



写真-23 すべての電柱が傾斜



写真-24 噴砂と塀, 民家の沈下

航空写真上および1947年の航空写真²⁷⁾上に比較して示す。高須賀池は、1786年の利根川の決壊でできた池で、古くは南北に長かったものが、1947年のカスリーン台風による利根川の大洪水で、南側の大半が土砂で埋まったとされている²⁸⁾。1947年の航空写真には、古い高須賀池が確認でき、液状化が発生した場所は、この池の南側の埋まった部分に該当することが分かる。写真-19に農地に噴出した噴砂、農地の亀裂や流動の様子を示す。写真-20に、液状化した部分での道路の沈下の様子を示す。沈下量は約70cmに達した。周囲の民家では、写真-21のように敷地、物置、外構の傾斜などが見られた。

(3) 埼玉県久喜市の液状化

図-14に久喜市南栗橋の液状化地点を、現在の航空写真上および明治時代初期(1880-1886年)の地形図²¹⁾上に比較して示す。久喜市南栗橋の液状化は、

旧湿地に造成された戸建住宅の団地で発生している。この地域は、1986年以降の南栗橋駅開業ともない開発された新興住宅地であり、液状化被害のあった場所は、1990年代に住宅地となった新しい造成地である。特に南栗橋12丁目は、液状化の程度が激しく、多くの戸建住宅が沈下、傾斜する被害を受けた。また、電柱も傾斜し、埋設管も被害を受けた。ただし、同じ住宅地内であっても、液状化発生の有無や液状化の程度にかなり違いがあった。1907(明治42)年測量の旧版地形図²⁹⁾では、確認できていないが、図-14に示した明治時代初期の地形図²¹⁾によれば、液状化の発生した造成地の部分の一部には池が確認できる。その後の旧版地形図を見ても、調査地点は付近に中川の支流が蛇行して流れる低湿地帯であったところで、造成の時点でもこの周辺は湿地帯であったと考えられる。写真-22に傾斜した戸建住宅、写真-23に道路沿いの電柱が軒並み傾斜している様子、

写真-24に噴砂とその延長上での戸建住宅や塀の沈下の様子を示す。久喜市の実施した地盤調査結果³⁰⁾をもとに、著者らの調査範囲のうち、液状化被害が顕著であった南栗橋12丁目、11丁目、10丁目、4丁目と、比較的軽微であった12丁目の一部、8丁目、被害を確認できなかった3丁目、5丁目、9丁目を比較する。液状化被害が顕著であった地区では、埋土層がおおよそ3.5m~4m程度であり、表層約1mの盛土を除く、地下水位以下の2.5m~3mがほぼ緩い砂層で構成されている。比較的軽微であった地域では、埋土に粘性土層が占める割合が大きく、砂層はせいぜい1m程度である。また、液状化が確認できなかった地区は、埋土層が1.5m以下であり、砂層は厚くても50cm程度以下であることが分かる。このような違いが液状化被害の差となって現れたと考えられる。

(4) 埼玉県加須市の液状化

図-15に埼玉県加須市杓子木での液状化地点を、現在の航空写真上に示す。旧大利根町の加須市杓子木では、広範囲で液状化が発生した。昭和20年代(1946~1953年)のデータによる旧版地形図³¹⁾では、現在の島中用水路付近に古利根川の流路が幅広く残っており、その流路沿いで液状化地点が多く存在している。一方、明治初期の地形図²¹⁾によれば、液状化が確認された安楽寺付近の集落は、明治10年代には既に集落として存在している。その付近の道路の蛇行などから、さらに古い時代に河道があったことが推定される。写真-25から28に被害の様子を示す。農地への噴砂の堆積(写真-25)、道路の沈下、電柱の傾斜(写真-26)、農地全面に広がる噴砂丘と電柱の沈下(写真-27)、道路の亀裂・沈下・移動、道路わきの噴砂、電柱の傾斜(写真-28)、さらに住宅や外構の不同沈下・傾斜などの被害が生じた。図-16に旧大利根町の液状化予測マップ³²⁾を示す。これは埼玉県での直下型地震による液状化予測であり、地域全体で液状化の可能性のあることになって

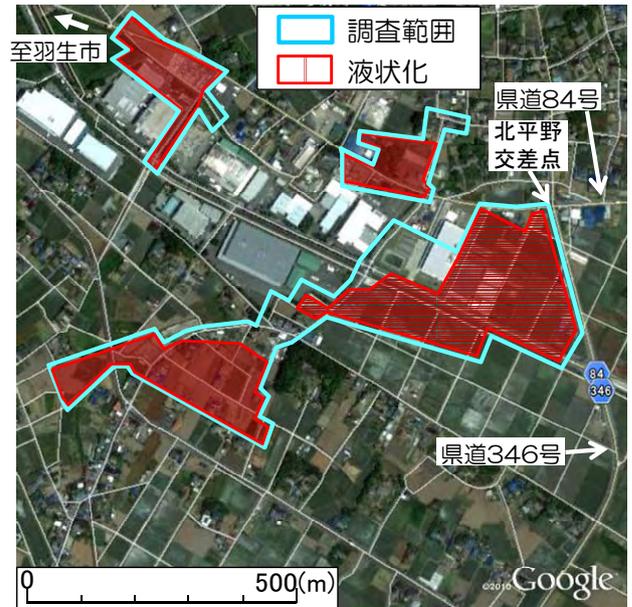


図-15 埼玉県加須市杓子木の液状化地点 (Google Earth を利用)

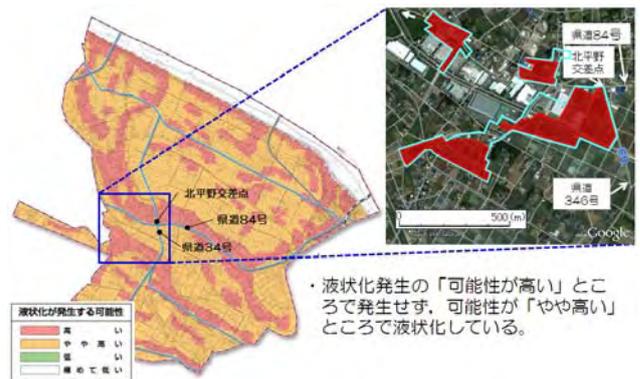


図-16 旧大利根町液状化予測マップ³²⁾と液状化地点の比較



写真-25 農地での噴砂の堆積



写真-26 道路の沈下 亀裂 段差



写真-27 農地全面に広がる噴砂丘 電柱の傾斜



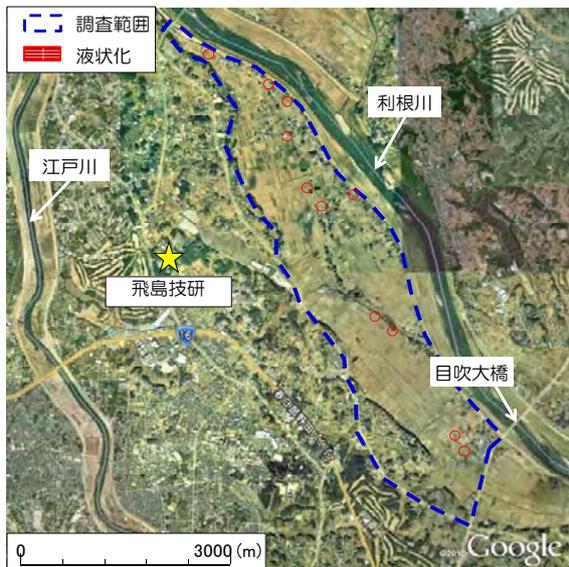
写真-28 噴砂と道路の亀裂・沈下・変形



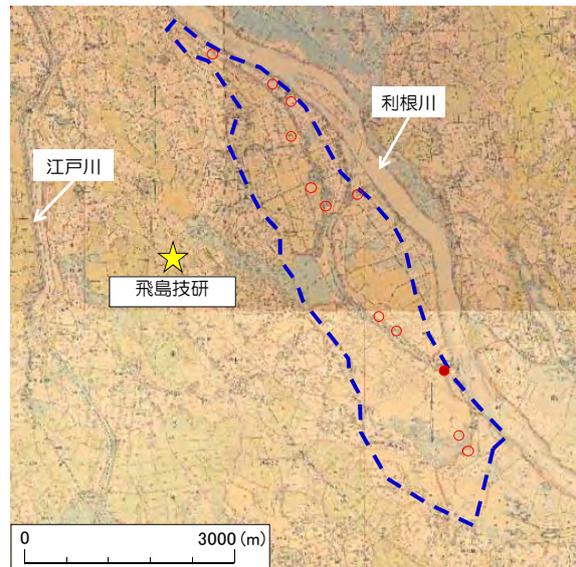
写真-29 農地の噴砂



写真-30 道路の亀裂, 段差



2011年 (Google Earth を利用)



1880年~1886年 (文献 21)の迅速測図に加筆

図-17 千葉県野田市北部の液状化地点(旧地形との比較)

いるが、今回の液状化は、液状化の可能性が高い地点では発生せず、液状化の可能性がやや高い地点で発生している。このような液状化予測についても、見直しの必要性があると考えられる。

(5) 千葉県野田市の液状化

図-17 に野田市北部の液状化地点を明治時代初期の土地利用図²¹⁾と合わせて示す。野田市北部に位置する旧関宿町の利根川沿いには、旧河道に沿った蛇行した道や池が点在する。それに沿って、噴砂が点在している。写真-29、30 に被害の様子を示す。この地域で確認された被害は、農地での噴砂、道路の亀裂・沈下、民家の沈下・傾斜である。また、液状化とは直接関連はないが、多くの民家の屋根瓦の被害が生じた。

以上の調査から、今回の地震においては、内陸部における液状化被害は、旧河道や旧湿地帯に造成した場所で限定的に発生していることが多いことがわかる。一方、旧河道や造成地であっても液状化していない地点も存在することから、その違いについても究明する必要がある。

6. 粘性土地盤の沈下

埼玉県越谷市では、地震前から地盤沈下が見られた粘性土地盤において、杭基礎構造物周辺が、多い場合には10数cm沈下し、埋設管に被害が生じる事例が複数見られた。図-18 に被害を受けたある地点の地盤柱状図を、沈下の様子を写真-31 に示す。軟弱なシルト地盤であり、建物の周囲において、地震後に10数cmの沈下が見られた。地震による繰返し荷重により、地盤が軟化し、これにより発生した過剰間隙水圧の消散にともなって地盤が沈下したか、あるいは、経年で粘性土地盤が沈下していたが、杭基礎構造物の周辺では地盤と構造物の摩擦により沈

下が抑制されていたものが、地震動により摩擦が切れて構造物周辺の沈下が進行した、または両方が作用したものと考えられる。粘性土地盤の地震時の沈下に関しては、文献³³⁾で、1957年メキシコ地震や1978年宮城県沖地震、1995年兵庫県南部地震などでの沈下が指摘されている。特に兵庫県南部地震で

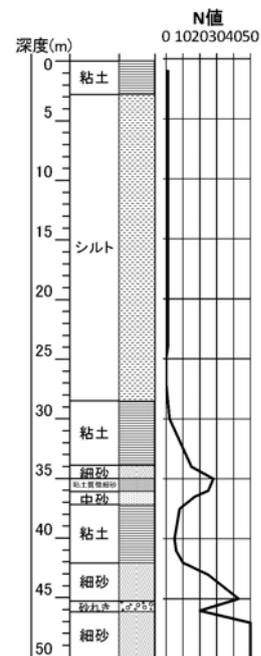


図-18 越谷市千間台で沈下が発生した地点の地盤柱状図



写真-31 越谷市千間台の集合住宅沈下が進行

は、厚さ 28m の粘性土層が地震後 2 か月間で 13cm 程度沈下したことが記録されている^{33),34)}。今回の地震においても、地震により沈下が促進された可能性があると考えられる。砂質土地盤だけでなく、長期的に沈下が進行しているような軟弱粘性土地盤においても、地震後の沈下に注意する必要があると考えられる。

7. 結 論

工学的な記録を残すことが重要との観点から、東北地方太平洋沖地震における液状化被害調査を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 埋立て地の液状化発生地点は、埋立て地の広範囲にわたった。
- 2) 内陸部での液状化発生地点は、旧河道、旧湿地帯に造成した場所で発生したものがほとんどであった。
- 3) 地震動継続時間が長かったため、一旦液状化が発生した地点では、大量の噴砂、地盤や構造物の大きな沈下など、甚大な被害につながる場合が多かったと推定される。
- 4) 旧来の土地、液状化対策を実施した土地では、液状化被害がほとんど認められなかった。
- 5) 長期的に沈下が進行しているような軟弱粘性土地盤でも、地震時の沈下に注意が必要である。
- 6) 埋立て地など同様な経歴をもつ地盤での、液状化の発生の有無の原因を調べ、今後の液状化対策に活かしたり、液状化予測図を見直したりする必要がある。また、地盤の年代効果についても、液状化の検討に考慮していく必要があると考えられる。

謝辞： 関東学院大学の若松加寿江先生には、液状化調査に関する有用な情報やご指摘をいただきました。液状化被害に関わる調査の資料や有益なご意見を江戸川区土木部よりご提供いただきました。液状化調査では、飛島建設技術研究所の松元和伸さん、田村琢之さん、藤間律子さん、(有)TNSの田口勝夫さん、染谷昇さん、結果の分析とりまとめでは、小林真人さん、染谷京子さん、藤間律子さん、知久倫子さんほか多くの方々の協力を得ました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 三輪滋：2011年東北地方太平洋沖地震における東京都江戸川区、千葉県浦安市の液状化，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.487-488，2011.8.
- 2) 小林真人，三輪滋：2011年東北地方太平洋沖地震における震央距離約350km程度の埼玉県，千葉県での液状化，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.489-490，2011.8.
- 3) 三輪滋，本山寛，沼田淳紀，筒井雅行：2011年東北地方太平洋沖地震における関東地方の液状化被害調査，とびしま技報，No.60，pp.119-131，2011.9.
- 4) 大野孝二，三輪滋，本山寛，沼田淳紀：2011年東北地方太平洋沖地震における江戸川区・浦安市の東京湾埋立て地の液状化，土木学会第66回年次学術講演会講演概要集，第I部門，pp.1109-1110，2011.9.
- 5) 筒井雅行，本山寛，沼田淳紀，三輪滋：2011年東北地方太平洋沖地震における内陸の埼玉県北部，千葉県北西部での液状化，土木学会第66回年次学術講演会講演概要集，第I部門，pp.1111-1112，2011.9.
- 6) 国土交通省関東地方整備局，(公社)地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の解明，2011.08.
- 7) 釜江克宏，川辺秀憲：2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の震源のモデル化(強震動生成域)，<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/eq/tohoku1/Tohoku-ver1-rev20110601.pdf> (2011.09.11参照)。
- 8) 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，No.523，pp.63-70，1999.
- 9) 沼田淳紀，三輪滋，池田隆明，釜江克宏，小長井一男：2011年東北地方太平洋沖地震における関東地域の地震動と液状化に影響を及ぼした強震動生成域を対象とした地震規模の推定，日本地震工学会2011年度大会，2011.11，(投稿中)。
- 10) 栗林栄一，龍岡文夫，吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所彙報，建設省土木研究所，180pp，1974.
- 11) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，1991.
- 12) 若松加寿江：わが国における地盤の液状化履歴と微地形に基づく液状化危険度に関する研究，早稲田大学学位論文，1993.
- 13) 若松加寿江：日本の液状化履歴マップ745-2008，東京大学出版会，2011.3.
- 14) 国土地理院：1:25000旧版地形図，東京3号-3(東京南部)，1972.10.
- 15) 国土地理院：1:25000旧版地形図，東京3号-3(東京南部)，1978.1.
- 16) 東京都建設局：今よみがえる葛西沖，191pp.，1995.3.
- 17) 国土地理院：1:50000旧版地形図，東京3号(東京東南部)，1966.2.
- 18) 江戸川区：東北地方太平洋沖地震による江戸川区内被害状況，2011.3.
- 19) 江戸川区：江戸川区史第一巻，942pp.，1976.3.
- 20) 江戸川区：武蔵国葛飾郡第十一大区縮図(明治6-11年)，江戸川区史第一巻付図，1976.3.
- 21) 農業環境技術研究所：歴史的農業環境閲覧システム，埼玉http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index?hp_number=0049377697.
- 22) 東京都土木技術支援・人材育成センター：東京の液状化予測図 23区東部-49，<http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyohou/ekijyouka/ekijyouka1/ekijyouka1-49.htm>.
- 23) 東京都土木技術支援・人材育成センター：東京の地盤(Web版)，<http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyohou/geo-web/00-index.html>.
- 24) 浦安市：浦安市液状化対策技術検討調査委員会，第1回資料1-4 東日本大震災への対応，2011.7.
- 25) 千葉県：千葉県地質環境インフォメーションバンク，地質柱状図，http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.info0301?hp_number=0049381496.

- 26) 沼田淳紀, 森伸一郎: 噴砂の粒度組成, 土木学会論文集No.772/Ⅲ-61, pp.129-147, 2002.
- 27) 国土地理院: 国土変遷アーカイブ空中写真閲覧システム, <http://archive.gsi.go.jp/airphoto/>
- 28) 埼玉県幸手市: 高須賀池碑文, 1987.
- 29) 国土地理院: 1:50000旧版地形図, 宇都宮8号(幸手), 1907.8.
- 30) 久喜市: 南栗橋地区の地質(地盤)調査結果について, <http://www.city.kuki.lg.jp/kurashi/bosai/bosai/minamikurihashi.html#no5>.
- 31) 国土地理院: 1:25000旧版地形図, 宇都宮8号-1, (栗橋), 1956.10.
- 32) 加須市: 加須市地震ハザードマップ, 揺れやすさマップ・液状化マップ(大利根地域), [http://www.city.kazo.lg.jp/ct/other000007000/yuretoekijyoukama\(4\).pdf](http://www.city.kazo.lg.jp/ct/other000007000/yuretoekijyoukama(4).pdf).
- 33) 地盤工学会・土木学会 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会: 阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害原因の分析 第6章 地盤・土構造物, pp.135-155, 土木学会, 1998.
- 34) 安原一哉, 常田賢一, 松尾修, 那須誠: 粘性土の動的性質 3.粘性土の動的問題に関するケース・ヒストリーと現象のメカニズム, 土と基礎, Vol.46, No.7, pp.57-62, 1998.

RECONNAISSANCE REPORT ON LIQUEFACTION IN KANTO REGION DURING THE 2011 TOHOKU-CHIHO TAIHEIYO-OKI EARTHQUAKE

Shigeru MIWA, Hiroshi MOTOYAMA, Atsunori NUMATA and Masayuki TSUTSUI

On The Tohoku-chiho Taiheiyo-oki earthquake of March 11, 2011 with a very large magnitude of 9.0 caused the most disastrous tsunami and severe disaster along the Pacific coast in the Tohoku and Kanto region. Strong ground motion induced heavily damages over an extensive area in the East Japan. The earthquake induced widespread liquefaction not only in Tokyo bay area but also in inland area of Kanto region.

For the purpose of recording earthquake damages, the authors carried out the reconnaissance of liquefaction damage in Saitama, Chiba Prefecture and the Tokyo Metropolis. As a result, severe liquefaction occurred at the reclaimed ground of the old river or the wetland in inland areas. Along the Tokyo bay area, liquefaction occurred in widespreading area of newly reclaimed land and caused severe damages to houses, road, life line facilities of electricity, gas, water supply, swage and so on.