



2011 年東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生と土地条件

若松加寿江¹⁾、先名重樹²⁾

1) 正会員 関東学院大学 理工学部、教授 博（工）

e-mail: wakamatu@kanto-gakuin.ac.jp

2) 正会員 （独）防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域、主幹研究員 博（工）

e-mail: senna@bosai.go.jp

要 約

本論文は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって関東地方に発生した液状化とその被害、および液状化地点の旧地形、微地形区分、造成履歴、液状化履歴などについて述べている。関東地方で液状化が確認された市区町村は、1都6県130市区町村に及んだ。液状化発生地点は、東京湾岸地域および霞ヶ浦沿岸、利根川とその支流の小貝川・鬼怒川、那珂川、久慈川、澗沼川、荒川などの大河川の沿岸に集中しており、土地の埋め立て・盛土造成、砂礫や砂鉄の採掘履歴、河道の変遷、洪水実績など、液状化の発生が土地の改変履歴や旧地形と関係が深いことが分かった。関東地方全域の計測震度5.0（震度5強）以上の地域において250mメッシュ毎に算出した微地形区分毎の液状化発生率は、埋立地で最も高く25.7%、次いで旧河道、三角州・海岸低地、干拓地、砂丘、砂州・砂礫州の順となった。東北地方で最も液状化発生率が高かった自然堤防と、関東地方の埋立地を比べると、関東地方の発生率の方が約4倍高くなっていた。

キーワード：液状化、東北地方太平洋沖地震、関東地方、土地条件、微地形区分

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、東北地方と関東地方の広範な地域に液状化が発生した。筆者らは、地震直後から約3年半にわたり上記の地域の液状化発生に関する情報を収集してきた。現時点で液状化の発生が確認された地域は、北は青森県から南は神奈川県まで南北約650kmの範囲であり、東北地方と関東地方の1都12県¹⁾である。液状化は同一地点・地域で繰り返し発生する災害であり²⁾、モーメントマグニチュード M_w 9.0の巨大地震による液状化発生地点を把握することは、将来の液状化被害を軽減する上で重要である。

国土交通省と消費者庁は、この地震による住宅の液状化被害の甚大さに鑑み、住宅性能表示制度の中で液状化に関する情報提供の仕組みを整備しつつあり平成27年4月に施行予定である³⁾。この中には、液状化発生の可能性に関する広域の情報として、液状化の履歴、旧土地利用、微地形区分なども含まれている。このことから東北地方太平洋沖地震による液状化発生地点とこれらの情報との関係を明らかにすることに対する社会的ニーズは極めて高い。

本論文では、東北地方太平洋沖地震により関東地方に発生した液状化の発生と被害を報告すると共に、液状化が発生した地域の旧地形、微地形区分、造成履歴、過去の地震による液状化履歴を調査し、液状

化発生との関係について考察を行う。さらに、関東地方で本震の震度が5強以上の地域を対象として、微地形区分毎の液状化発生率を4分の1地域メッシュ（約250m四方）単位で算出する。

なお、関東地方の液状化に関しては、多くの論文や報告書で取り上げられ被害状況の報告や被害要因の分析が行われているが、地震直後の初動調査の段階で明らかになった被害の報告^{4)・6)}や、液状化被害が顕著であった地区に限定した報告・研究⁷⁾が大部分である。本論文では、地震直後から3年半にわたって、液状化の情報を網羅的に収集した結果に基づき、関東地方の液状化被害の横断的な考察を行うと共に、既往の報告や論文で余り取り上げられていない地域の液状化被害状況について述べる。

2. 液状化発生の調査・確認方法

液状化発生の認定は、東北地方の調査⁸⁾と同様、噴砂・噴泥・噴水・湧水が確認されたものに限定し、これらを伴わない沈下・陥没などの地盤変状や、文献中で「建物が液状化により沈下」などと記載されているのみで噴砂等の発生が報告されていないものについては、液状化とみなしていない。マンホールや下水等の管渠の埋戻し土など局所的な人工改変地盤や堤体の液状化と考えられる場合は、本論文では液状化発生地点から除外した。液状化発生の情報源は、筆者らの現地調査による他、被害報告書・論文^{4)・6)・9)・11)}自治体から提供を受けた液状化による罹災証明書の情報によっている。情報提供依頼先の数は、液状化情報が得られなかった自治体等も含めて関東地方全体で115箇所である。被災家屋の詳細位置の提供は、個人情報保護の観点から個々の家屋の位置が特定できる図、番地・緯度経度情報は、論文や報告書に掲載しないとの条件付きであった。このため、本論文では、液状化発生地点の正確な位置情報の記載に関して不十分な点があることをご理解頂きたい。また、建物の被害原因は自治体の罹災証明書に基づくものであるため、液状化による被害か否かが厳密に判別されているとは言えないが、筆者らは現地調査と住民へのヒアリングを実施し、提供された情報の信頼性を可能な限り検証した。

東北地方太平洋沖地震は被害地域が広大なため、初動被害調査による情報は幹線道路沿いの地域に偏りがちである。また、自治体から提供された罹災情報は、液状化による建物被害が大部分である。このため、Google Earthで2011年3月～4月上旬にかけての写真画像が公開されている地域については、これを利用して主に農地、グラウンド、空き地、河川敷の噴砂を判読・抽出した。現地で確認した噴砂とGoogle Earthの画像の比較による検証は、文献8)に示した通りである。

東北地方太平洋沖地震は、3月11日14時46分の本震の後に、大きな余震や誘発地震が多数発生している。噴砂等の発生が本震時か余震・誘発地震によるものか、一部の事例を除いて区別できない。そこで本研究では、本震・余震・誘発地震を区別せずに東北地方太平洋沖地震による液状化地点として扱った。

本論文に掲載した旧版地形図は、文献8)と同様な方法で正規化を行い、現在の地形図との投影法の違いによるゆがみを除去したものを使用している。

微地形区分に関する考察には、4分の1地域メッシュ（約250m四方）単位の微地形区分データ¹²⁾を引用または参考にしている。

3. 東北地方太平洋沖地震による液状化発生の概要

図1に東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生地点の分布を示す。関東地方で液状化が確認された市区町村は、1都6県130市区町村に及んだ。東北地方の液状化は6県63市区町村で発生⁸⁾していることから、東北と関東地方を合わせると、1都12県193市区町村になる。

表1に関東地方で液状化が確認された市区町村の一覧と、各市区町村で観測された計測震度¹³⁾、液状化が発生した広がりを目安として、総務省統計局による4分の1地域メッシュ（約250m四方）¹⁴⁾の数を示している。表に示すように、関東地方では、合計7,987メッシュで液状化が確認された。その数は、東北地方の約13倍である。関東地方で最も液状化が多く発生したのは茨城県（3,795メッシュ）、次いで千葉県（3,579メッシュ）である。なお、液状化の発生が確認された市町村数とメッシュ数は文献7)でも2014年2月28日現在の集計結果を報告しているが、本論文の2014年9月10日現在の集計では、液状化発生箇所の追加と削除（一部の自治体提供の情報に、信頼性が低いデータが含まれていたため）を行ったため、集計値に増減を生じている。

表1より、液状化は、本震の計測震度が5.0（震度5強）以上の地域で起きており、それ以下で発生したのは22市町村（17%）である。概ね震度5強以上で液状化が発生したという傾向は、東北地方⁸⁾や過去の液状化の履歴²⁾とも整合している。本震の震央から最も遠い液状化地点は、神奈川県平塚市真田3丁目の440kmである。相模川沿岸の平塚市と茅ヶ崎市では、この他にも合計3箇所で軽微な噴砂が確認されている¹¹⁾。房総半島の先端に近い南房総市⁴⁾も震央から離れているが、この場所は約432kmで、平塚市と茅ヶ崎市に次いで5番目に遠い地点に当たっている。

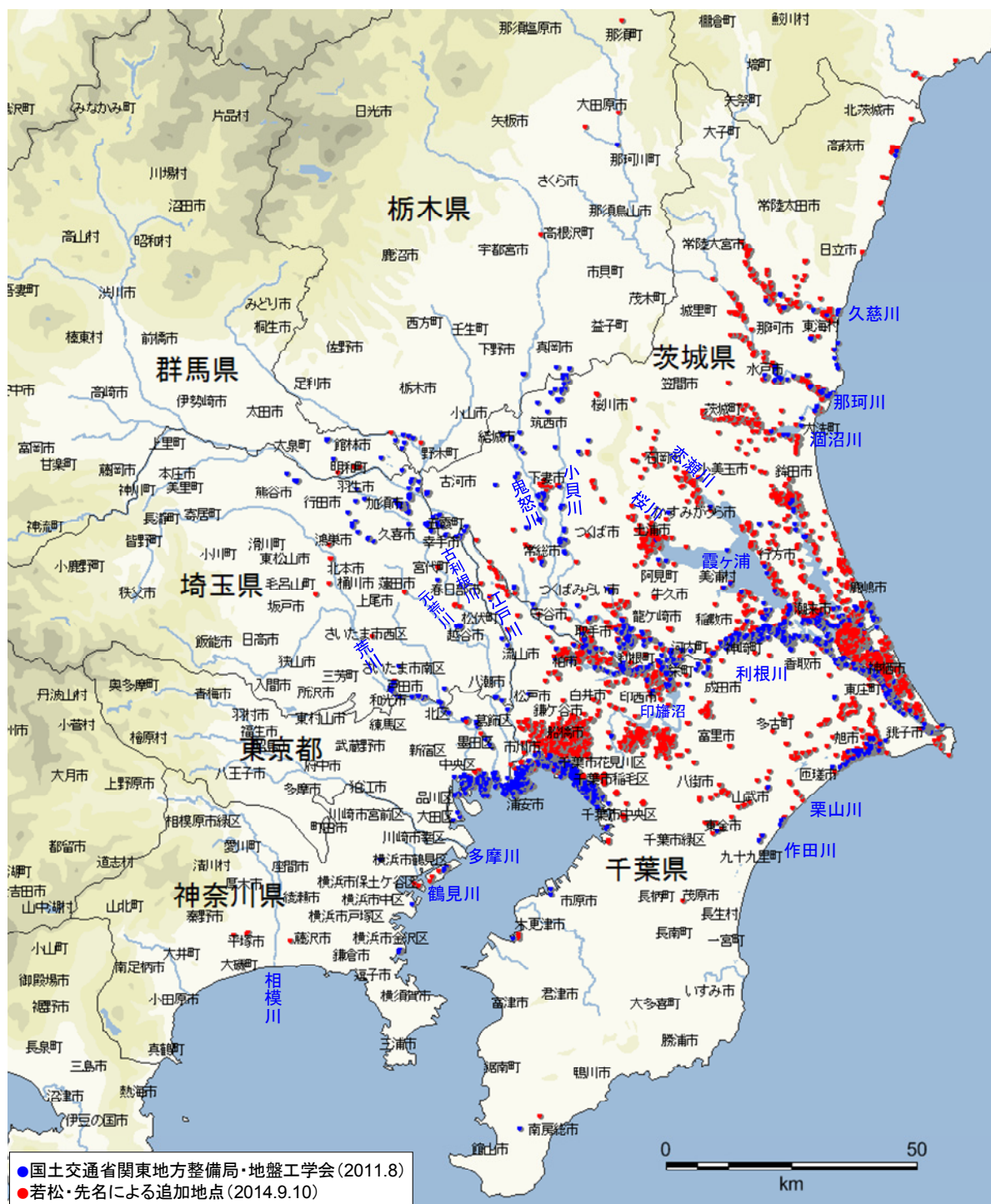


図1 東北地方太平洋沖地震により関東地方で液状化が確認された地点の分布（マンホール・管渠の浮き上がり・堤体の液状化のみの地点は含まず。2014.9.10現在）

表1 市区町村ごとの液状化発生メッシュ数と計測震度

No.	県名	市町村名 ^{*1}	液状化発生メッシュ数 ^{*2}	本震の計測震度 ^{*3}	No.	県名	市町村名 ^{*1}	液状化発生メッシュ数 ^{*2}	本震の計測震度 ^{*3}
1	茨城県	水戸市	153	5.8	56	埼玉県	川口市	10	4.8～5.0
2	茨城県	日立市	28	5.0～6.4	57	埼玉県	行田市	2	5.0～5.1
3	茨城県	土浦市	126	5.4～5.8	58	埼玉県	加須市	81	5.1～5.4
4	茨城県	古河市	6	4.8～6.0	59	埼玉県	春日部市	4	5.1～5.5
5	茨城県	石岡市	65	5.4～5.8	60	埼玉県	羽生市	3	5.2
6	茨城県	結城市	11	5.1～5.3	61	埼玉県	鴻巣市	3	5.0～5.2
7	茨城県	龍ヶ崎市	85	4.8～5.2	62	埼玉県	越谷市	5	4.7
8	茨城県	下妻市	43	5.2～5.5	63	埼玉県	戸田市	21	5.1
9	茨城県	常総市	41	5.5	64	埼玉県	鳩ヶ谷市	1	4.6
10	茨城県	常陸太田市	101	5.1～6.2	65	埼玉県	和光市	11	4.9
11	茨城県	高萩市	5	5.3～6.1	66	埼玉県	久喜市	14	4.9～5.3
12	茨城県	北茨城市	34	5.2～5.8	67	埼玉県	八潮市	3	4.9
13	茨城県	笠間市	17	5.0～6.1	68	埼玉県	三郷市	2	5.0
14	茨城県	取手市	81	5.5～5.7	69	埼玉県	蓮田市	1	4.7
15	茨城県	牛久市	13	5.0	70	埼玉県	幸手市	9	5.0
16	茨城県	つくば市	33	3.0～5.9	71	埼玉県	吉川市	2	5.1
17	茨城県	ひたちなか市	78	5.6～5.8	72	埼玉県	川島町	2	5.0
18	茨城県	鹿嶋市	311	5.5～5.6	73	埼玉県	宮代町	2	5.4
19	茨城県	潮来市	226	5.6	74	埼玉県	杉戸町	1	5.0
20	茨城県	守谷市	27	5.1	75	千葉県	中央区	14	5.1～5.2
21	茨城県	常陸大宮市	86	4.7～6.0	76	千葉県	花見川区	27	5.2
22	茨城県	那珂市	51	5.1～6.2	77	千葉県	稲毛区	6	計測データなし
23	茨城県	筑西市	111	5.3～6.0	78	千葉県	若葉区	1	4.9～5.1
24	茨城県	坂東市	17	5.1～5.5	79	千葉県	美浜区	306	5.2～5.3
25	茨城県	稲敷市	344	3.4～5.8	80	千葉県	銚子市	57	3.9～5.0
26	茨城県	かすみがうら市	5	5.3～5.5	81	千葉県	市川市	231	4.9～5.0
27	茨城県	桜川市	6	5.4～6.2	82	千葉県	船橋市	537	4.8
28	茨城県	神栖市	1189	5.0～5.3	83	千葉県	木更津市	11	4.4～5.1
29	茨城県	行方市	124	5.4～5.8	84	千葉県	松戸市	5	4.7～5.0
30	茨城県	鉾田市	181	5.1～6.4	85	千葉県	野田市	28	5.1～5.4
31	茨城県	つくばみらい市	9	5.4～5.5	86	千葉県	茂原市	1	4.5～4.6
32	茨城県	小美玉市	1	5.6～6.1	87	千葉県	成田市	40	5.0～5.6
33	茨城県	茨城町	75	5.1～5.7	88	千葉県	佐倉市	196	5.3～5.5
34	茨城県	大洗町	10	5.1	89	千葉県	東金市	9	4.8～5.1
35	茨城県	城里町	29	5.1～6.1	90	千葉県	旭市	243	4.9～5.3
36	茨城県	東海村	54	5.7	91	千葉県	習志野市	151	5.0
37	茨城県	美浦村	8	5.6～5.7	92	千葉県	柏市	26	4.5～5.0
38	茨城県	阿見町	13	5.4	93	千葉県	市原市	5	4.1～4.8
39	茨城県	河内町	94	5.5	94	千葉県	八千代市	8	5.1
40	茨城県	八千代町	9	5.1	95	千葉県	我孫子市	128	4.8
41	茨城県	五霞町	26	5.2	96	千葉県	鎌ヶ谷市	7	4.9～5.0
42	茨城県	境町	4	5.2	97	千葉県	浦安市	232	5.1
43	茨城県	利根町	31	5.0	98	千葉県	袖ヶ浦市	2	4.4
44	栃木県	宇都宮市	1	4.7～6.0	99	千葉県	八街市	8	4.9
45	栃木県	栃木市	8	4.5～5.0	100	千葉県	印西市	102	5.2～5.6
46	栃木県	真岡市	9	5.6～6.0	101	千葉県	富里市	13	4.9
47	栃木県	大田原市	3	5.1～6.2	102	千葉県	南房総市	3	3.6～4.9
48	栃木県	那須町	1	5.9	103	千葉県	匝瑳市	24	4.8～5.0
49	群馬県	館林市	1	4.8	104	千葉県	香取市	1104	4.9～5.5
50	群馬県	板倉町	7	4.8	105	千葉県	山武市	24	4.7～5.0
51	群馬県	明和町	3	5.2	106	千葉県	酒々井町	1	4.6
52	群馬県	邑楽町	3	5.4	107	千葉県	栄町	96	5.2
53	埼玉県	さいたま市西区	1	計測データなし	108	千葉県	神崎町	79	5.1
54	埼玉県	さいたま市南区	1	計測データなし	109	千葉県	多古町	3	5.1
55	埼玉県	熊谷市	5	4.6～5.4	110	千葉県	東庄町	86	4.9

表1 市区町村ごとの液状化発生メッシュ数と計測震度（続き）

No.	県名	市町村名 ^{*1}	液状化発生メッシュ数 ^{*2}	本震の計測震度 ^{*3}	No.	県名	市町村名 ^{*1}	液状化発生メッシュ数 ^{*2}	本震の計測震度 ^{*3}
111	千葉県	九十九里町	4	5.0	121	東京都	足立区	18	4.7～5.1
112	千葉県	横芝光町	10	4.7～4.9	122	東京都	葛飾区	7	4.8～5.0
113	東京都	中央区	4	4.6～5.0	123	東京都	江戸川区	33	4.6～5.1
114	東京都	港区	0	4.4～5.0	124	神奈川県	鶴見区	9	4.4～5.2
115	東京都	墨田区	5	4.6～5.1	125	神奈川県	中区	4	4.4～5.3
116	東京都	江東区	106	4.4～5.4	126	神奈川県	金沢区	8	4.3～5.0
117	東京都	品川区	6	3.5～4.7	127	神奈川県	港北区	3	4.4～5.2
118	東京都	大田区	3	4.3～5.0	128	神奈川県	川崎区	18	4.8～5.1
119	東京都	北区	8	4.9	129	神奈川県	平塚市	3	4.8
120	東京都	板橋区	6	4.6～5.2	130	神奈川県	茅ヶ崎市	1	4.8

^{*1}：河川敷における液状化も沿岸の市区町村で発生したとみなしている。

^{*2}：同一メッシュ内の液状化発生地点が複数の自治体にかかる場合は、ダブルカウントしている。

^{*3}：文献13)による。複数地点で計測震度が得られている場合は、最小値と最大値の幅で示している。

4. 関東地方における各地の液状化被害の状況と土地条件

以下に、関東地方における液状化被害の状況、土地条件および過去の液状化履歴等との関係を地域別に述べる。なお、本文中に記載した家屋被害の棟数は、各自治体より報告された液状化による罹災数である。図2に、図1の液状化発生地点を250mメッシュ毎の微地形区分の分布図¹²⁾と重ね合わせて示す。

4.1 茨城県北部

茨城県北部の太平洋沿岸では、久慈川、那珂川、澗沼川沿岸の三角州、後背湿地、自然堤防、旧河道で発生している（図3）。特に、久慈川と那珂川の河口部に近い旧河道では、液状化が多数確認された。これらの旧河道は、旧版地形図に見られる円弧状の道路や植生などの地形的特徴から旧河道の存在が明瞭であるものの、1905（明治38）年に測量された最も古い地形図では水域ではなく、水田になっている場所が多い。水戸駅南側の液状化集中地区は、千波沼の干拓地であり、1921（大正10）～1932（昭和7）年にかけて千波沼（現千波湖）の東半分を干拓した⁴⁾とのことである。現在は大規模施設が建つ市街地になっていることから、干拓後に盛土造成が行われたと推測される。

河川沿岸以外では、太平洋沿岸に分布する砂丘や砂州で発生している。図3の那珂川河口のひたちなか市湊本町（全壊5、大規模半壊3、半壊28）と海門町1丁目（全壊9、大規模半壊13、半壊62）は、砂州上に立地する旧市街地である。砂州は、一般にN値が20以上の海浜砂で構成され、地盤条件が周囲に比べて良好なことから旧市街地が立地することが多い。既往の地震では液状化の履歴はほとんど無いが、東北地方太平洋沖地震では後述の土浦市や鉾田市の旧市街地でも家屋の液状化被害が多数発生している。

上記以外では、ローム台地の間の谷埋め盛土造成地でも被害が起きている。2012年8月に東海村南台・緑ヶ丘災害復興対策検討委員会が設立¹⁵⁾された東海村南台団地と緑ヶ丘団地（位置は図3）は、その代表例である。両団地の被害については、文献7)に詳しく報告されている。

4.2 霞ヶ浦（常陸利根川）沿岸地域

霞ヶ浦は、西浦・北浦・外浪逆浦・北利根川・鰯川・常陸川の各水域の総体である。河川法ではこの範囲を常陸利根川という利根川の支川としている。この地域は水郷地帯として知られ、「江間（えんま）」と呼ばれる細い水路が無数に存在し、住民の重要な交通路となっていた¹⁶⁾。1946年から開始された利根川下流の浚渫による土地造成事業や1949年制定の土地改良法による事業に伴い、大部分が埋め立てられた¹⁷⁾。江間を埋めたところで、噴砂や湧水が顕著であったとの住民の証言も得ているが、江間の分布域は茨城県稲敷市・潮来市、千葉県香取市と広域なため、液状化との関係は全域では掌握できていない。

液状化は、①西浦（いわゆる霞ヶ浦）、北浦、外浪逆浦沿岸の湖岸低地（図2の分類では、湖岸低地も三角州・海岸低地に含めている）、②霞ヶ浦の干拓地、③霞ヶ浦に注ぐ河川の沿岸や河口部、④台地に樹枝状に分布する谷底低地で多く起きている。

西浦東岸の行方市では、全103棟の液状化被害（全・半壊などの罹災程度は開示されず）があった。

そのうち17棟の家屋被害が発生した手賀・西蓮寺は、西浦に注ぐ小河川の河口部に立地している（図4）。養魚池が多数あることから地下水が高いと推測される。28棟の家屋被害があった麻生付近も、西浦に注ぐ城下川の河口部に立地する集落（微地形区分は砂州）である。住民によれば、両集落とも昔からの住宅地で、特に麻生は江戸時代から先祖代々住む土地とのことである。麻生119番地では、築35年の民家が不同沈下し、基礎部分にトラック3台分の土を補充した。

霞ヶ浦は明治時代には水域の面積が現在より広がったが、新田開発のために干拓されていった。図4を見ると、干拓地では、液状化がほとんど確認されていない地区と液状化が集中している地区がある。後者の代表例が潮来市日の出地区で、この地区では1987年千葉県東方沖の地震の際に液状化被害が発生し、2011年東北地方太平洋沖地震では1987年の液状化発生地域を含むさらに広い範囲が液状化した¹⁸⁾。液状化による罹災棟数は、全壊108棟を含む3,072棟である¹⁹⁾。日の出地区では、市街地液状化対策推進事業²⁰⁾による液状化対策検討委員会が平成24年2月に設置された。この地区は、かつては内浪逆浦と呼ばれた霞ヶ浦の一部をなす湖だった。1941年から1950年にかけて内浪逆浦の干拓事業により水田化された。1970年に干拓地は宅地造成事業により全面的に嵩上げされ住宅地化された。盛土の厚さは平均2.8m程度で、外浪逆浦の浚渫砂7,288,221m³をサンドポンプで圧送して造成されたとのことである¹⁸⁾。液状化による被害状況と地盤条件については、文献7)と19)に詳しく報告されている。

霞ヶ浦には、図4に示したように、桜川、恋瀬川、巴川、鉾田川などの河川が注ぎ込んでいる。

これらの河川沿岸や河口部の低地では、家屋の液状化被害が多数発生している。図5と図6に、土浦市と鉾田市市街地周辺の液状化発生地点を、明治30年代の地形図と重ね合わせて示す。両市における液状化による建物の罹災証明発行数は、土浦市で180件、鉾田市で1020件と相当な数に上っている。特に注目すべき点として、前述のひたちなか市の旧市街と同様、砂州上に立地する鉾田市や土浦市の旧市街地（図5、図6で黒塗りの地区）でも液状化が多く起きていることである。

土浦駅付近で住民にヒアリングを行った結果、市街地での噴砂は比較的軽微であったと推測された。

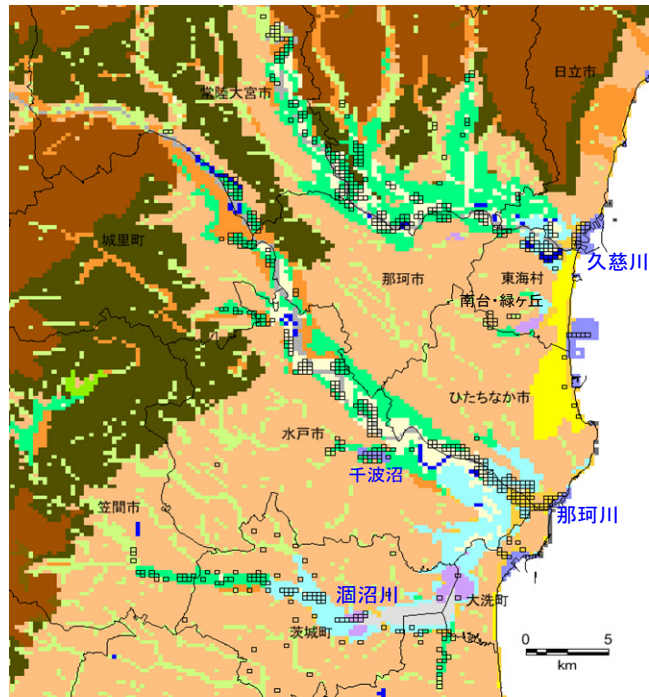


図3 茨城県太平洋沿岸地域の液状化発生メッシュと微地形区分¹²⁾（凡例は図2と同じ）

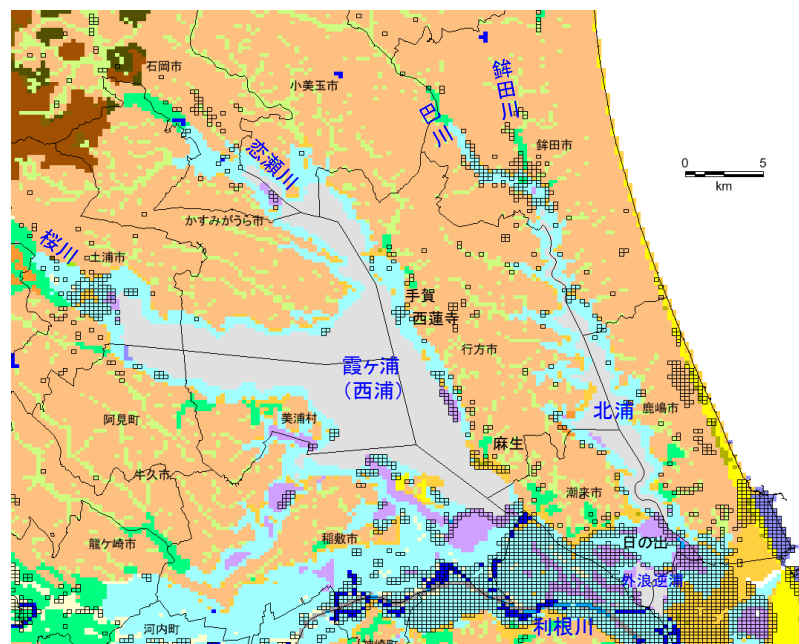


図4 霞ヶ浦地域の液状化発生メッシュと微地形区分¹²⁾（凡例は図2と同じ）

これに対して霞ヶ浦に近い湖北は、土浦駅周辺で噴砂等が最も著しかったとのことである。この周辺は明治10年代の迅速図²¹⁾や図5の地形図（1905年）では陸地であり埋立地ではない。ただし、図5の地形図には常磐線の湖岸側に堀（地元ではドックと呼ばれ水上輸送と鉄道輸送を結ぶ役目をしていた）が存在する。この堀の跡地でも噴砂が認められた。

写真1は、台地と鉾田川に挟まれた水田の盛土造成地（1958、9年頃造成）に建てられた鉾田第二保育園の園庭の状況である。園庭には多数の南北方向の地割れが見られた。この敷地の北側と南側でも大きな地割れが発生したが、地割れの走向は東西方向が卓越していた箇所もあった（写真2）。写真1の約160m西方には鉾田川が南北方向に流れている。噴砂や地割れは東側の盛土造成地のみ起きており、西側の農地や谷地には認められなかった。鉾田市の場合、液状化は旧市街地や古くからの集落と、前述の鉾田第二保育園のような水田の盛土造成地の両方の地域で発生した。市からは各地点の罹災程度は開示されなかったが、住民の話では、被害程度は水田盛土造成地の方が大きかったとのことである。

霞ヶ浦周辺地域では、上述の湖岸の低地の他に、内陸部に位置する土浦市小岩田西2丁目、土浦市大畑、阿見町阿見などローム台地の谷底の造成地でも多数の液状化被害が発生した。小岩田西2丁目の団地（図5中央）は、1987年に台地を切り盛り造成して開発された面積9.06ha、住宅戸数308区画の住宅地である。販売時のパンフレット²²⁾には「地形を活かした南ヒナ壇造成で歩道つき10m幅のメインストリート」とある。このメインストリートに沿った22棟の住宅が液状化被害（罹災程度は開示されず）を受けた。メインストリートは谷底低地の枝谷に沿って造られ、さらに別の枝谷との合流点になっている。現地での観察では、起伏は緩やかであるが家屋被害地点の辺りは周囲では標高が低く集水地形の中心である。このことから、谷埋め盛土部分の地下水位が高い地域で家屋の液状化被害が発生したと考えられる。

土浦市大畑（図5の外側）の藤沢団地（罹災家屋5棟）も谷底を1987年頃盛土造成した戸建て住宅団地であり、団地の西側の一部は沼地の埋立地である。被害は沼地の埋め立て部と谷底の盛土部の両方で起きている。図5右下の阿見町阿見（大規模半壊1、半壊4）も谷埋め盛土の戸建て住宅団地である。

石岡市では、常磐線石岡駅周辺をはじめとして、69件（全壊8、大規模半壊19、半壊42）の液状化による家屋の罹災が報告されている。このうち、霞ヶ浦沿岸の低地や恋瀬川沿岸の谷底低地における被害数は26棟で、残りは台地の造成地における被害であった。家屋被害が特に集中した石岡市鹿の子4丁目（全壊1、大規模半壊2、半壊4）、東石岡2丁目（全壊1、大規模半壊1、半壊3）、総社1丁目（全壊1、大規模半壊1、半壊6）は、いずれも谷埋め盛土の造成地である（写真3）。東石岡2丁目の住民によれば、旧谷

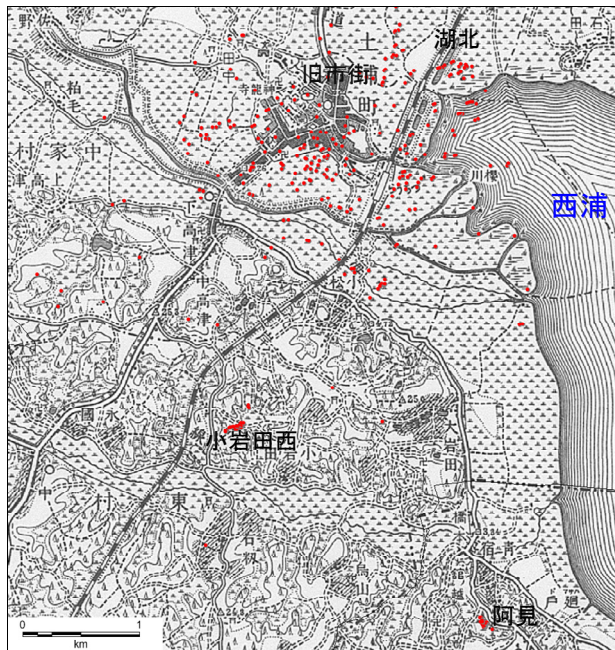


図5 土浦市中心部の液状化発生地点（背景図は1905年測量1/5万地形図「土浦」）

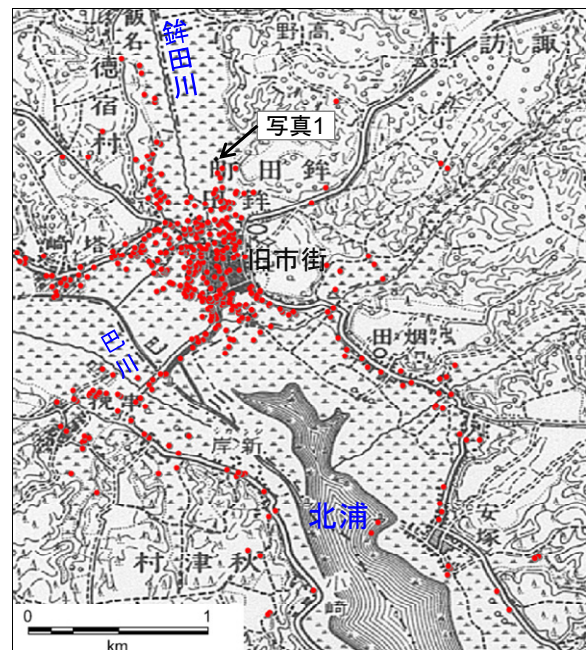


図6 鉾田市中心部の液状化発生地点（背景図は1903年測量1/5万地形図「鉾田」）



写真1 銚田市立第二保育所の園庭における地割れ
(位置は図6参照、茨城県提供)

筋を走る道路沿いに噴砂があり、道路両側の家屋が被害を受けたとのことである。石岡駅付近では1923年の関東地震でも噴水が報告されている²⁾。

4.3 利根川沿岸地域

利根川沿岸では、図1に示したように河口部の茨城県神栖市（左岸）、千葉県銚子市（右岸）から上流部の群馬県明和町（左岸、河口から151km）、埼玉県熊谷市（右岸、160km付近）まで、液状化が確認された。中でも甚大な被害が発生したのは、河口から約87kmの取手市（左岸）、我孫子市（右岸）より下流沿岸である。この地域では、茨城県稲敷市・神栖市、千葉県我孫子市・香取市で市街地液状化対策推進事業²⁰⁾による液状対策検討会が設置された。

利根川沿岸地域での液状化は微地形や地形改変の歴史と特に関係が深い。茨城県神栖市では、1962年から鹿島開発公共事業の一環として掘り込み式の鹿島港（1969年開港）が造られ、その掘削土砂で鰐川の一部や神之池（周囲約8km、面積約239ha）が埋め立てられ工業用地になった²³⁾。また、神栖市・鹿嶋市一帯では、1960年代より現在に至るまで砂利の採掘が行われており（写真4）、その埋戻し地盤が多数存在する。筆者らは周辺の住民や神栖市でヒアリングを行ったが、掘削場所や時期についての正確な情報は得られなかった。前述の鰐川や神之池などの水域の埋立地以外の神栖市深芝をはじめとする市の北西部の液状化被害集中地域は、大部分が砂利採取跡地ではないかとのことであった。神栖市では市の北西部を対象としての液状化対策検討会が設置されており、その最終報告で土地の履歴についての報告がなされるものと思われる。

利根川沿岸では、第2期改修工事（1907～1930年）により蛇行した河川を直線化し、大正時代初頭に元の流路を締め切ったことによってできた沼地や、押堀（おっぼり。堤防の越流・破堤した際に流水によって洗掘されて生じた池）が1950年～1960年代にかけて、利根川の浚渫砂で埋め立てられた¹⁷⁾。埋め立て地域では激しい液状化被害が発生した。液状化発生地域は千葉県香取市が最も広く、総面積は約3,500ha、そのうち住宅地の面積は約140haに及んだ²⁴⁾。茨城県稲敷市では、液状化が顕著だった利根川沿岸の東（あずま）地区で写真5に示すような大量の湧水があり、家屋が約1m沈み込んだり、住宅の敷地



写真2 銚田市立第二保育所付近の地盤変状と土地利用（Google Earth 2011/3/29画像）



写真3 石岡市鹿の子4丁目における沢埋め盛土の造成地の被害（茨城県提供）

全体が約1m沈下するなどの被害があった²⁵⁾。

千葉県神崎町では、143.8haが液状化し、住宅290棟が被災した他、浄水場や樋管が大被害を蒙った²⁶⁾。利根川堤防は、神崎本宿地先の右岸49.1～49.2kmで天端が長さ140mにわたり沈下し²⁷⁾、堤防被害箇所隣接して架かる神崎大橋は、落橋防止装置、橋台（伸縮装置部）の破損に加えて、液状化により4基の橋脚の基礎杭に変形を生じた²⁸⁾。神崎町の上流に隣接する千葉県栄町と、稲敷市の上流に隣接する河内町でも、激しい液状化被害が発生した（写真6）。千葉県香取市・神崎町・栄町、茨城県稲敷市の液状化被害と土地履歴、地盤条件については、文献7)、24)、25)に詳しく報告されている。

図7は、利根川の浚渫砂による埋め立て・盛土地域¹⁷⁾と液状化発生地域を重ねあわせたものである。背景図には、埋め立て直前に測量された1953年測量の地形図を用いている。液状化被害が生じた地域の大部分は、水域や湿地を埋め立てた箇所であることがわかる。ただし、埋め立てや盛土を行っていない古くからの宅地（古い自然堤防）でも被害を生じている。筆者らが稲敷市西代の自然堤防上にある住宅（液状化で大規模半壊）でヒアリングを行ったところ、江戸時代より先祖代々この場所に居住しているとのことであった。

茨城県河内町の上流の利根町でも液状化被害が発生しているが、被害範囲は下流に比べて少ない。利根ニュータウンは、利根川から1.3kmほど内陸にある新興住宅地である。1978年に水田に約1m盛土して造成された。風の公園の東側に隣接する住宅31棟が傾斜した。利根町羽根野台は1975年に水田を盛土造成した住宅団地である。ここでは宅盤と道路が写真7に示すように変形し、電柱も2～3m沈下した。沼地の埋立地ではない上記の2地区に被害が集中した原因は不明である。

茨城県取手市では、合計69棟の家屋や公共施設が液状化により罹災した。被害は、利根川の沿岸の新町5、6丁目（大規模半壊1、半壊18）と、後述の小貝川の沿岸に特に多く発生している。取手市によれば、新町は1960年に利根川に面した台地の間の谷を盛土造成して宅地化したとのことである。



写真4 砂利採取の状況（2011/7/25撮影、神栖市太田新町3丁目 35. 835947N, 140. 725348E）



写真5 稲敷市における液状化による冠水（2011/3/12稲敷市撮影、35. 915175N, 140. 487447E）



写真6 河内町水道管理事務所における地盤変状と管理事務所の基礎の抜け上がり（河内町提供）



写真7 利根町羽根野台における地盤変状と家屋被害（利根町提供）

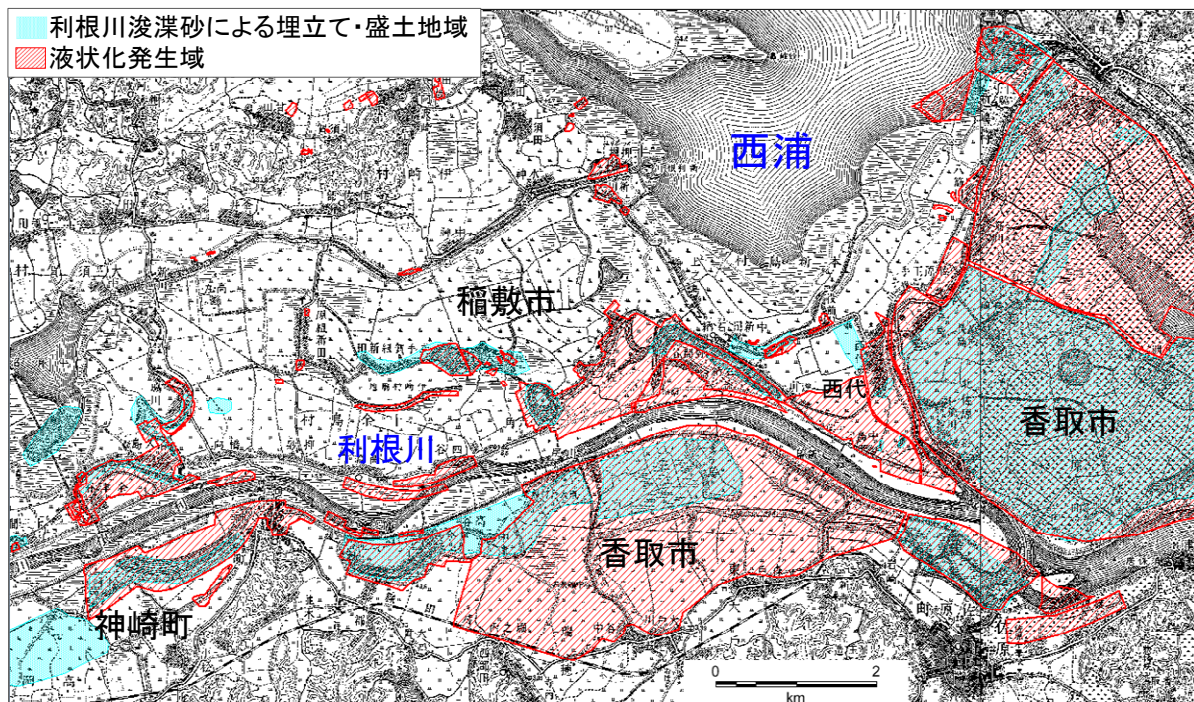


図7 利根川の浚渫砂による埋立て・盛土地域と液状化発生地域（1953年測量1/5万地形図「佐原」）

千葉県我孫子市では、32の町丁目（大字）で、合計713件（家屋の被害数は701棟）の液状化による罹災が認定されている。そのうち、我孫子市東部の都、布佐、布佐1丁目、布佐西町における被害は384件で、我孫子の液状化被害の半数以上を占めている。この地区における液状化被害地域は、1870年の利根川堤防の決壊によってできた面積約5haの「切所沼」と呼ばれた押堀があった地域で、1952年からの利根川改修工事で発生した浚渫土砂をポンプで圧送して埋め立てられた土地である⁷⁾。この地区の液状化被害と地盤条件は文献⁷⁾に報告されている。

以上の利根川沿岸の市町のうち、香取市、神崎町、稲敷市、河内町では、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地区で、同一地点での再液状化が報告されている¹⁸⁾。

利根川沿岸では、群馬県明和町でも液状化が確認された。明和町須賀（畑1箇所）と田島（畑と、以前は畑だった宅地の2箇所）の合計3箇所ですべて噴砂が発生した。1907（明治40）年測量の地形図を見ると、これらの3箇所は利根川の旧河道に面した土地である。1907年当時は水田であり、その後、畑や宅地に転化された。

4.4 鬼怒川・小貝川沿岸地域

利根川の支流の中で最長の鬼怒川、次いで長い小貝川の沿岸地域で多数の液状化が発生した。鬼怒川では、上流部の右岸85.5kmの宇都宮市から下流部の右岸23km付近の常総市杉山付近まで液状化が確認された。なかでも、被害が最も顕著だったのは26.5～28km付近の下妻市鬼怒付近である（図8）。下妻市によれば、ここでは、液状化により家屋9棟が罹災（罹災程度は開示されず）している他、千代川運動公園（36.153681N, 139.961664E）、千代川公民館（36.155735N, 139.963471E）も被災した。茨城県下妻市役所千代川庁舎（36.156479N, 139.963793E）や、温浴施設ほっとランド・きぬ（36.159491N, 139.954693E）の敷地内にも大量の噴砂が認められた。ここは、図9に示すように鬼怒川の旧河道で、1935年に河道が付け替えられ廃川となった地区である。1946年に千葉県香取市小見川地先から開始された利根川の浚渫土砂による埋め立てにより水田化された。その後、水田は盛土造成されて、グラウンドや公共施設が建てられた。旧河道の北東部には新興住宅地（鬼怒ニュータウン）があり、地震当時も分譲中で住宅の建設が進んでいたが、新築後間もない家屋の傾斜も見られた。この地区の鬼怒川堤防は、1895年の霞ヶ浦付近の地震で噴砂・噴水を生じた記録²⁾がある（1895年当時は、宗道寺村）。

鬼怒川沿岸では、左岸31km付近の下妻市街地およびその周辺部でも9棟の液状化による家屋被害が発

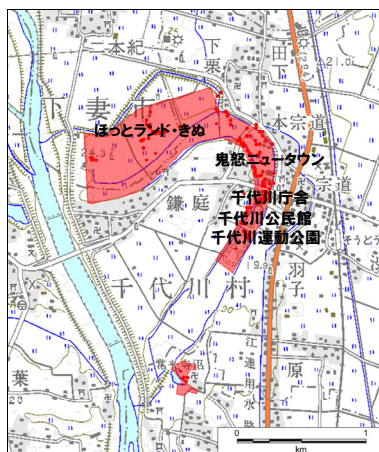


図8 下妻市鬼怒における液状化発生地域(赤い領域と赤丸地点)



図9 下妻市鬼怒付近の明治時代の鬼怒川の流路(1907年測量1/5万地形図「水海道」)

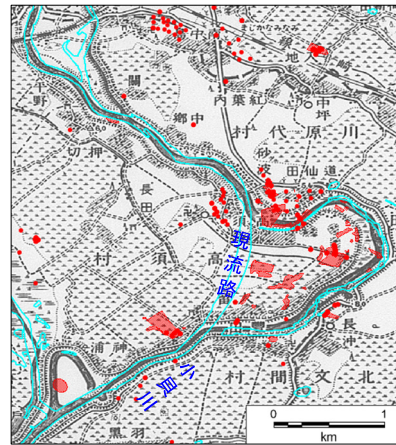


図10 取手市高須付近の液状化発生
地点(赤い領域と赤丸地点)1903
年測量1/5万地形図「龍ヶ崎」

生している。この地区は、千代川地区と異なり旧河道ではなく、微地形区分はローム台地の間の谷底低地である。隣接部に砂沼という沼地があることから地下水位が高いと推測される。

以上の他、河口から38～44km付近の両岸（筑西市、結城市）の水田でも噴砂が確認された。ここは鬼怒川が大きく蛇行するところで、大規模な自然堤防が発達している。液状化は自然堤防とその背後の後背湿地の両方で発生している。44kmより上流部は、扇状地となっており液状化は少なく、真岡市砂ヶ原の農地（右岸55km付近）と宇都宮市の（右岸85.5km）高水敷で噴砂が確認されただけである。

小貝川沿岸では、右岸1km付近の龍ヶ崎市豊田町付近から右岸70km付近の真岡市反町の間で噴砂や家屋の液状化被害が発生した。その数は、下流部ほど多くなっている。被害が最も顕著だったのは、右岸の取手市高須（半壊10）と左岸の龍ヶ崎市高須町（14棟が罹災）付近である。取手市によれば、高須付近では小貝川が著しく蛇行しており、昔から洪水常襲地帯で1976年にも堤防が決壊した。鬼怒川との合流部の背水（河川の下流側の水位の高低が上流水位に影響を及ぼす現象）による洪水被害が大きかった地区とのことである。1903（明治36）年測量の地形図（図10）では、河道は著しく屈曲しており、この場所は洪水常襲地だったことを示唆している。「高須」という地名も、洪水による土砂が堆積してできた自然堤防を示す地名である。利根川第2期河川改修工事に伴い、大正年間に現在の流路が開削された¹⁷⁾。液状化は、現・旧河道に沿った自然堤防（古い集落、畑）、後背湿地（水田）、旧河道（水田）で発生している。

高須付近に次いで液状化被害が顕著だったのは、右岸31.5km付近の常総市上蛇町と63-69kmの筑西市川澄から真岡市高田にかけての兩岸の水田である。上蛇町は旧河道とその隣接部であり堤防も被災している²⁷⁾。63-69kmにかけては明治期から水田であり微地形区分は後背湿地である。上記の川澄の小貝川左岸63.4km付近の高水敷(36.332693N, 140.001215E)では、直径数cmから10cmの大量の礫の噴出が見られた。中には直径20cmの礫もあった³⁰⁾。筆者らも近傍の水田で地中から噴出したとみられる礫を確認した。

4.5 房総半島九十九里平野

九十九里平野を含む房総半島東部の地域では、図1に示したように九十九里平野北端に位置する旭市で住宅や施設の液状化被害が多数発生している。九十九里平野は、海岸に平行した数列の浜堤（ひんてい：打ち寄せる波によって海岸の砂が移動してできた海岸線に平行な微高地、図2では「砂州・砂礫州」と統合して分類されている）と、その背後の海岸低地からなる平野である。一部、浜堤の上に風成砂が乗り砂丘が発達している地区もある。浜堤列の間や背後は極めて水はけが悪い低地で、長く水田や蓮田に利用されてきたが、近年、盛土造成されて宅地化された地域も多い。

液状化による家屋の罹災件数は旭市で最も多く、合計773件（全壊98、大規模半壊219、半壊263、一部損壊193）に及んだ³¹⁾。図11に家屋の被害分布を1903（明治36）年の地形図上に示す。この地域では、1960年代の高度経済成長期に大規模な砂鉄の採掘が行われていた。飯岡町史³²⁾によれば採掘の状況は以下の

ようである。明治期以降は波打ち際で採掘され、戦後護岸堤防ができると内陸部の休耕中の水田や畑で採掘されるようになった。田畑・宅地の過半は採掘が行われた。採掘方法は、最初に採掘地の1箇所にポンプで水を注入し、再びポンプで泥水を吸い上げる。泥水は鉱選機にかけて砂鉄と砂を分離し、その後、残土の砂で埋め戻された。砂鉄の採掘が行われなくなった1970年代以降は、鉱床の宅地化が進んだ。

図11には、飯岡地区で砂鉄の採掘をしたカネヤス砂鉄(株)の鉱床の分布³²⁾を示す。ただし、1企業の鉱床であり、全ての鉱床が実際に採掘されたわけではない。また住民によればカネヤス砂鉄以外の鉱床も多数あったとのことである。図11を見ると液状化被害は鉱床の範囲内で多く発生している。砂鉄採掘跡地における液状化被害状況や地盤調査結果については、文献7)に詳しく報告されている。

旧砂鉄採掘跡地の埋戻し地盤の旭市井戸野・中谷里・足川・椎名内・野中・三川、匝瑳市吉崎では、1987年千葉県東方沖を震源とする地震でも液状化被害が発生しており、2011年の地震では全く同一箇所の宅地や農地での再液状化が確認されている¹⁸⁾。

砂鉄の採掘が行われた地域以外では、下総台地の崖下や台地間の谷で家屋の液状化被害が発生した。図11には、台地崖線（低地との境界線）を記載しているが、被害地点はいずれも図11の1903年当時は水田だった地域である。図11の中央部の1671年に干拓された椿海（干潟地区）では液状化被害が発生していないのが注目される。筆者らは2011年5月と8月に干潟地区の現地調査を行い、またGoogle Earthの2011年3月31日撮影の画像でも丹念に調査したが、噴砂の痕跡は認められなかった。

九十九里平野では1987年の千葉県東方沖の地震の際にも、九十九里平野南部の東金市や松尾町（現山武市）の崖下の水田の盛土地に限定して液状化被害が発生していた³³⁾。1987年の地震直後に住民や町役場でヒアリングを行ったところ、崖下の土地は、台地崖からの湧水により水はけが悪く一年を通じて水が抜けない湿田や蓮田だったとのことである。崖下の地域では、盛土や自然堆積のゆるい砂質土の直下に元湿地だったことを示す厚さ数mの腐植土が堆積していた³³⁾。旭市内における台地崖下のボーリング柱状図（例えば、文献34)のNo.20376)を見ても、上記同様、地表近くに厚さ数mのN値5前後の細砂があり、その直下に厚さ4m程度の腐植土が堆積している。これに対して、干潟地区の干拓地では、腐植土やゆるい砂質土の堆積は認められず、地表近くからN値20前後の海成砂が15m以上堆積している（例えば、文献34)のNo.28939)。地下水位は、共にGL-1m以浅と極めて高い。

以上のことから、台地崖下に限定して液状化が発生した原因に関しては、地下水位がきわめて高く、

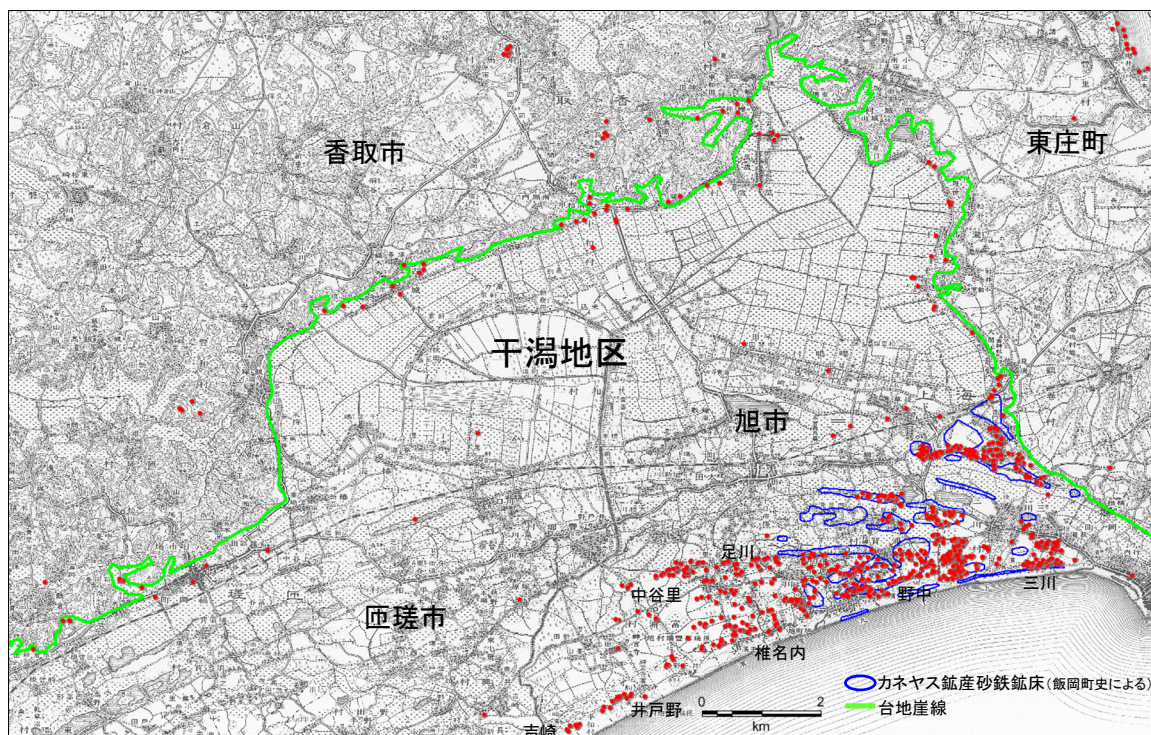


図11 旭市付近の液状化発生地点(●印)、台地崖線、砂鉄鉱床の分布(1903年測量1/5万地形図「八日市場」)

表層部に緩い砂や盛土が存在すること、腐植土層の存在によって表層地盤が揺れやすいことなどが考えられる。台地に隣接する地形条件に起因する地盤条件の差が液状化の発生に影響したと推察される。

4.5 利根川南部の台地地域

利根川の南部から房総半島にかけて、下総台地と呼ばれる、いわゆる関東ロームで覆われた台地が広がっている。この地域では、図2に示すように我孫子市、市川市、船橋市、千葉市、佐倉市、成田市などの市域で液状化被害が発生している。明治期の旧版地形図と照合すると、いずれも、千葉県では谷津（やつ）・谷津田（やつだ）と呼ばれている谷底低地にあたっており、谷埋め盛土造成地と推測される。罹災件数は、船橋市が約600件、佐倉市は約400件、我孫子市が約200件と、この3市が突出している。被害は谷の本流では比較的少なく、枝谷にあたる規模の小さい谷底低地で多数発生している。船橋市によれば、内陸部で液状化罹災件数が多かったのは、高根町、大穴北、大穴南、飯山満、芝山、三咲、習志野台の一部、坪井、北本町など、谷津田やかつての農業用水路があった所で、高度経済成長期に切土・盛土によるミニ開発が行われた地区とのことである。佐倉市でも液状化による被害は、枝谷で多く発生している。

被害が枝谷に集中する理由として、開発前の地形図や現地調査で以下のことが推測された。本流の谷底は平坦面が広いのに対し、枝谷は起伏が激しく両側の谷壁からの地下水の供給が多く地下水位が盛土の底面以浅に上がりやすい。枝谷では旧地山も造成後の地表面も傾斜しており、たとえ液状化層が薄くても側方流動が発生し、家屋への影響が大きい。

京成成田駅に近い成田市不動ヶ岡では、幅100m程度の枝谷の水田を1970年頃造成して宅地化した地区で液状化により15棟の家屋が罹災した。北側には、下総台地の崖があり側溝を伝って地下水が多量に流れ出している。住民によれば、崖から谷底に向かう道路では多量の噴砂・噴水があり、この付近の道路は南東方に15cm移動した。ここでは、1987年千葉県東方沖の地震の際にも噴砂や家屋の液状化被害があり、噴砂の規模は1987年の時の方が大きかったとのことである。

我孫子市では、台地地域である青山台3・4丁目、柴崎台3丁目、新木野1・3丁目、我孫子3丁目、つくし野7丁目、白山1丁目に液状化による家屋の罹災が合計219件報告されている。台地をイメージさせる町名も多いが、被害箇所は旧版地形図と重ねあわせると、いずれも台地の間の谷埋め盛土造成地である。

4.6 東京湾岸地域

図12に東京湾岸の液状化発生地点を示す。図には、液状化発生地点と1947年米軍撮影の空中写真³⁵⁾から判読した海岸線を合わせて示している。液状化が発生した埋立地は、大部分が1947年以降に造成された埋立地であることがわかる。1947年時点で陸域が確認されている埋立地で液状化が確認された地域は、中央区晴海1丁目（1929-1966年竣工）、江東区東陽1丁目（1887-1913年）、東陽2丁目（1861-1963年）、豊洲3・5丁目（1829-1937年）、東雲1丁目（1933年）、辰巳1、2丁目（1926-1966年）、有明1丁目（1953-1957年）、有明2丁目（1953-1957年）である。ただし、上記の地区は、竣工年³⁶⁾が1947年以降となっている地域もあるが、1947年11月8日撮影の空中写真で陸域が明確に確認できた地区である。液状化が確認された最も古い埋立地は1887-1913年に竣工した江東区東陽1丁目である。1887年に竣工した中央区月島や1592-1834年に造成された江戸時代の埋立地（江東区北砂・東砂、東陽3～7丁目、越中島、千代田区丸の内、有楽町周辺、中央区築地・浜町・人形町・八丁堀一帯、大田区羽田旭町など）³⁶⁾では、液状化は報告されていない。液状化の素因は埋め立て材料や地下水位にもよるが、中央区・江東区における東北地方太平洋沖地震の本震の震度は、震度5弱ないし震度5強であり、この程度の地震動強さでは1947年以前の埋立地は、経年効果が発揮されて液状化が起こりにくかったとも考えられる。

4.7 東京都内陸部

東京都では、液状化により合計56棟の建物被害が報告されている³⁷⁾。被害があったのは、江東区新木場1丁目・4丁目（8棟）、塩浜2丁目（4棟）、足立区千住元町（6棟）、葛飾区東金町7丁目（20棟）、江戸川区清新町1、2丁目（14棟）、墨田区墨田4丁目（4棟）である。このうち大規模半壊は葛飾区と江戸川区の12棟、半壊は26棟で、残りは軽微な被害である³⁷⁾。新木場、塩浜、清新町は海域の埋立地で、千住元町と墨田は元水田だった地区である。

東金町7丁目は1947年キャスリーン台風時の堤防決壊時にできた押堀とその周囲を1960年前後に埋め立て宅地化した地区で住宅20棟が被害を受けた。被害地域の北側に接して東北-南西に走る都道471号線から南東に向かって傾斜地になっており、都道に直交する路地が北から南に向かって移動した形跡が見られた（写真8）。以上の宅地の他に、葛飾区水元公園では噴砂が確認された。ここは古利根川の旧河道で江戸時代には「小合溜井」と称する貯水施設であった¹⁷⁾。1932年に埋め立てられ耕作地となり、1957年より公園になった。水元公園では1923年関東地震でも液状化が発生している²⁾。

4.8 埼玉県

埼玉県下では、表1の22市区町村で液状化が確認された。図1に示したように、主に荒川、元荒川、古利根川、江戸川沿いの地域である。このうち、荒川沿いの液状化地点は大部分が河川敷における噴砂等である⁴⁾。その他は農地や公園での噴砂が多いが、久喜市南栗橋と加須市では液状化による顕著な家屋被害が発生した。久喜市南栗橋は、低湿な水田を1983～1999年に利根川水系の権現堂川調整池の浚渫砂で埋めた地域に限定して家屋が液状化により罹災している（全壊11、大規模半壊41、半壊54、一部損壊71）⁷⁾。久喜市の南栗橋以外の地区では液状化被害は報告されていない。

加須市では、液状化による家屋全壊4棟、半壊23棟、道路損壊49箇所、水路損壊27箇所、農業施設54箇所、農地34.9haの被害が発生している³⁸⁾。その他、加須流通業務工業団地、加須・大利根工業団地内で液状化の発生が報告されている³⁹⁾。液状化被害は、市の北部の利根川南岸の大利根地域に最も多く、次いで北岸の北川辺地域、市中央部の加須地域、市南部の騎西地域の順となっている。図13に加須市の液状化発生地域を微地形区分図上に示す。自然堤防や旧河道に多く、一部では後背湿地でも発生しているが、いずれも大規模な地形改変が行われた地域ではない。自然堤防に立地する集落は、住民によれば明治以前から宅地だったとのことであり自然地盤である。なお、加須市では、図13にも示すように、1931年の西埼玉地震で液状化が発生した記録があるが、今回の被害箇所とは一致しない。

杉戸町では1棟が全壊したほか、春日部市でも数軒が比較的軽微な液状化被害を受けた。幸手市では、江戸川右岸57.6～57.8km（幸手市西関宿地先）で堤内側の小段の県道が約200mにわたって滑って土砂を流出し、法尻末端が隆起するなど広範囲に変状が及んだ²⁷⁾。また、用排水路被害が合計9箇所（高須賀5、西関宿2、神扇1、平須賀1）、高須賀池公園など2箇所で液状化被害が報告されている³⁹⁾。

東北地方太平洋沖地震で噴砂が確認された古利根川沿岸の春日部市一ノ割1丁目・備後東1丁目、元荒川沿岸の越谷市袋山、前述の杉戸町杉戸2丁目、吉川市上笹塚、吉川市吉屋（いずれも現在の地名）では、図14に示すように同じ小字名内で1923年関東地震や1931年西埼玉地震の際にも噴砂の記録がある²⁾。

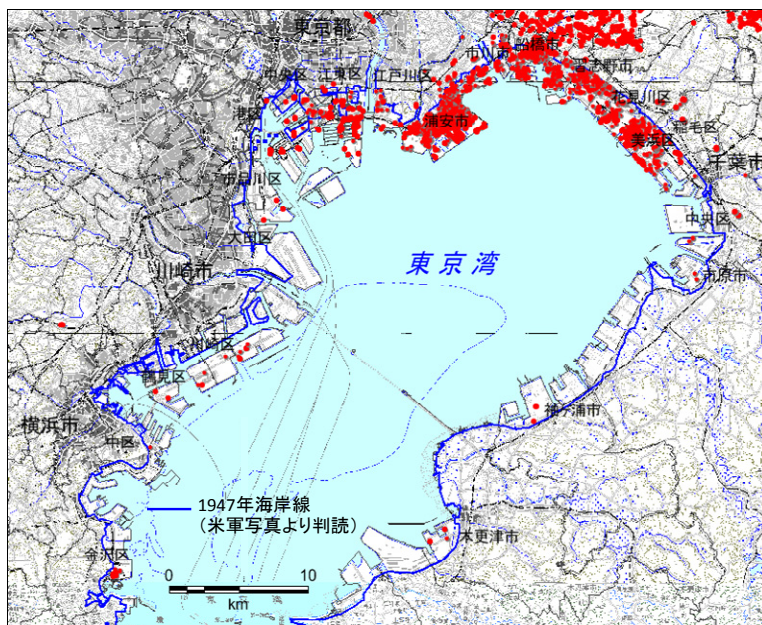


図12 東京湾岸地域における液状化発生地点と1947年の海岸線



写真8 葛飾区東金町7丁目における地盤変状。写真右手は緩やかな上り坂（住民提供）

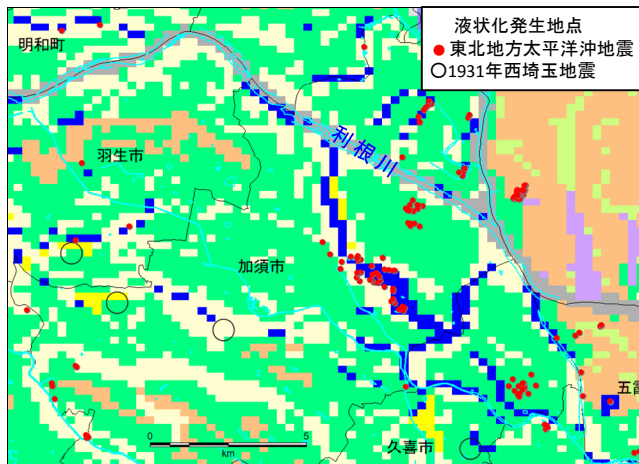


図13 埼玉県加須市・久喜市付近の液状化発生地点、過去の液状化履歴地点²⁾と微地形区分¹²⁾（凡例は図2と同じ）

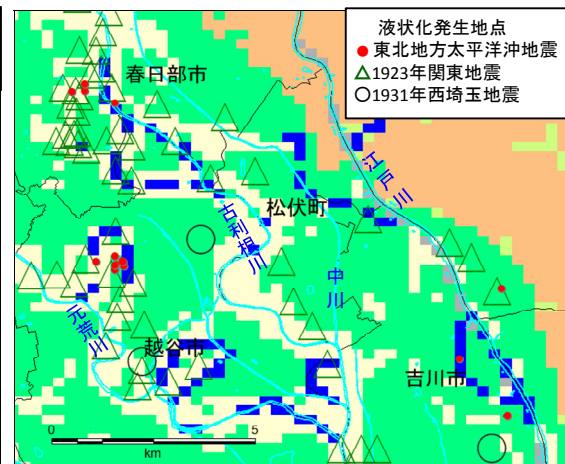


図14 埼玉県春日部市・越谷市付近の液状化発生地点、過去の液状化履歴地点²⁾と微地形区分¹²⁾（凡例は図2と同じ）

4.9 神奈川県

神奈川県では、表1に示すように横浜市、川崎市、茅ヶ崎市、平塚市で液状化が確認されている。このうち、海岸部の埋立地以外の被害は、横浜市港北区小机、茅ヶ崎市、平塚市のみである。

港北区小机では、一部の限られた地区に27棟の家屋に液状化被害が発生した⁷⁾。被害を受けた地区は、1954年に県営住宅として宅地造成された地区の中央部分に位置しており、明治時代から水田だったところである。被害地区一帯は鶴見川が氾濫する度に冠水した記録があり⁴⁰⁾、1940年代までは「池土腐（どぶ）」と呼ばれた泥田で特に低湿な後背湿地である。このような土地に盛土造成が行われたことにより、地下水位以深の盛土が液状化したと推測される。

茅ヶ崎市みずき2丁目、平塚市岡崎の上ノ入東公園、岡崎入山瀬の畑・駐車場、真田3丁目の道路などでは、軽微な噴砂とこれに伴う地盤沈下・フェンスの傾斜などがあった⁴¹⁾。また、平塚市出縄や秦野市南矢名では配管の浮き上がりなどが確認されているが、埋戻し土など局所的な液状化と判断されたため、本論文では液状化として取り扱っていない。秦野市鶴巻南4丁目の駐車場では地盤沈下があり、駐車場の壁面が大きく損壊した⁴¹⁾。一部のマスメディアによって液状化との報道もあったが、噴砂は確認されていない。上記の噴砂地点は、微地形区分はローム台地の間の谷底低地である。いずれの地区も水路に近く、造成前は水はけが特に悪い谷地だったという点で共通している。

5. 液状化発生地点の土地条件のまとめ

以上、4.1～4.9で述べた液状化発生地点の土地条件をまとめると表2のようになる。液状化発生は、河川の沿岸、東京湾沿岸埋立地および下総台地の中の谷底低地（谷地）に多い。河川沿岸では洪水氾濫や河川改修の履歴と関係が深い。台地の中の谷底低地は盛土による宅地造成地である。全般的には1950～1960年代のいわゆる高度経済成長期における新田開発や宅地・工業用地の造成などの土地の人工改変と密接に関係している。一方で、砂州や自然堤防に立地する旧市街地や古くからの宅地（集落）など、これまで液状化履歴がほとんど無かった土地でも液状化が発生したことが注目される。

6. 液状化発生と微地形区分との関係

関東地方全域（1都6県）の計測震度5.0（震度5強）以上の地域（合計196,731メッシュ）を対象として微地形区分ごとの液状化発生率（液状化が発生したメッシュ数／全メッシュ数）を算出した。震度分布は、地震観測記録を地盤の平均S波速度（Vs30）による増幅率を考慮して空間補間することによって求めた250mメッシュ単位の想定計測震度分布⁴²⁾を用いた。ここで計測震度5.0以上の地域に限定した理由は、液状化発生のしきい値が一般的には計測震度5.0であるためである¹²⁾。

図15に集計結果を示す。液状化発生メッシュ数は海成の堆積地形である三角州・海岸低地で最も多く、

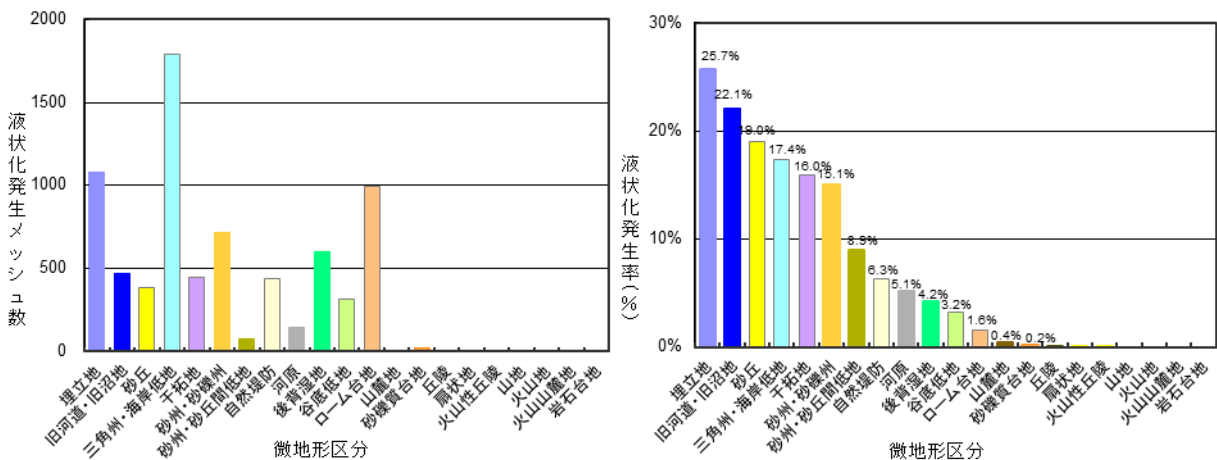
表2 液状化発生地点の土地条件のまとめ

地 域	液状化発生地点の地形的特徴・造成履歴	特記事項	液状化履歴
茨城県北部	久慈川、那珂川、涸沼川沿岸の三角州・海岸低地、後背湿地、自然堤防、旧河道、千波沼干拓地、砂州。	久慈川・那珂川旧河道は、明治以前の古い旧河道、砂州上の旧市街地。	なし
霞ヶ浦沿岸	霞ヶ浦に注ぐ河川の河口や沿岸、霞ヶ浦の干拓地、ローム台地の谷埋め盛土造成地。	1940～1950年代の干拓地上に1970年代に盛土した地域（潮来市日の出など）で被害大。旧市街地でも被害。	1987千葉県東方沖（潮来市）、1923年関東地震（石岡市）
利根川沿岸	利根川の浚渫砂による旧河道・湿地・水路の埋立地・盛土地、鹿島港建設に伴う埋立地、太平洋沿岸の砂礫の採掘跡地の埋戻し地盤。	浚渫砂による埋め立ては、1947年～1960年代。鹿島港建設に伴う造成は1960年代以降。江戸時代からの宅地（自然堤防）でも液状化被害。	1987千葉県東方沖（香取市、稲敷市、神崎町河内町）
鬼怒川・小貝川沿岸	利根川の浚渫砂による旧河道の埋立地、洪水常襲地の自然堤防・後背湿地。	上流部の扇状地地帯では液状化なし。小貝川左岸63.4km付近で礫の噴出。	1923年関東地震（下妻市）
九十九里平野	砂州（浜堤）・砂州間低地での砂鉄採掘跡地の埋戻し地盤、下総台地の崖沿いの低地。	旭市では高度成長期の砂鉄採掘跡地で家屋被害多数。	1987千葉県東方沖（旭市・匝瑳市）
利根川南部の台地地域	ローム台地の谷埋め盛土造成地（船橋市、佐倉市、我孫子市で家屋被害多数）。	谷底低地の枝谷を高度成長期にミニ開発した宅造地が大部分。	1987千葉県東方沖（成田市）
東京湾岸地域	横浜市金沢区から木更津市までの埋立地（浦安市～千葉県美浜区の間が被害甚大）。	大部分が1947年以降に造成された埋立地。	1987千葉県東方沖（浦安市・千葉市）
東京都内陸部・埼玉県	荒川、江戸川、古利根川、元荒川沿いの自然堤防、後背湿地、旧河道、河川敷（河原）	荒川沿岸は河川敷、その他は自然地盤が大部分。	1923年関東地震（春日部市・越谷市など）
神奈川県（東京湾岸以外）	洪水常襲地の低湿地（後背湿地）やローム台地の間の谷底低地の盛土造成地。	局所的な液状化。	なし

埋立地、ローム台地がこれに次いでいる。ローム台地での液状化は、4.2や4.5で述べたように、実際にはローム台地ではなく台地の間の規模の小さい谷底低地で発生している。検討に用いた微地形区分データ¹²⁾が250mメッシュの中で台地と谷の面積の大きい方の微地形で区分されていることが原因で、図15(a)では、ローム台地の液状化メッシュ数が多い結果となった。

液状化発生率は、埋立地が最も高く25.7%、次いで旧河道・旧池沼、砂丘、三角州・海岸低地、干拓地、砂州・砂礫州の順となっている。このうち、埋立地、旧河道・旧池沼、砂丘は、従来から液状化し易いことが指摘されている微地形区分である。三角州・海岸低地と砂州・砂礫州は、4章で述べたように、砂鉄や砂礫の採掘跡地の埋戻しなど特殊な土地改変履歴を持つ地域が含まれており、この影響で液状化発生率が特に高くなったことが原因の一つとして考えられる。

東北地方で最も液状化発生率が高かったのは自然堤防（6.6%）であり、その他の微地形区分では、埋立地も含めて3%程度以下となっている⁸⁾。東北、関東地方共に津波浸水域はマスキングして液状化発生率を求めているため、海岸部の埋立地などで津波により液状化の痕跡が消失した影響は除かれている。



(a) 液状化発生メッシュ数

(b) 液状化発生率

図15 関東地方の震度5強以上の地域における微地形区分毎の液状化発生メッシュ数と液状化発生率

しかし、東北地方では、津波浸水地域を除く震度5強以上の埋立地の数（母数）が228メッシュと極めて少ないため、母数となった埋立地の地盤特性が液状化発生率に影響したことなどが考えられる。関東地方の液状化発生率が東北地方に比べて高い値を示した原因については、両地域の地域特性の違いとの指摘もあり⁴²⁾、今後さらに詳細な検討を行う予定である。

計測震度5.0未満で液状化が発生したメッシュ数は、液状化メッシュの総数の6%である。5.0未満での液状化発生率が高かったのは、埋立地（3.3%）、旧河道・旧池沼（1.8%）、砂丘（1.6%）の順となっており、いずれも計測震度5.0以上で液状化発生率が高かった微地形区分である。

7. 結論

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震および余震・誘発地震で確認された関東地方の液状化発生事例を調査し、土地の旧地形、造成履歴、微地形区分、過去の地震による液状化履歴との関係を検討した。さらに、微地形区分毎の液状化発生率を求めた。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 関東地方で液状化（埋戻し土の液状化による下水管渠やマンホールの浮上・堤体の液状化を除く）が確認された市区町村は、1都6県の130市区町村であった。液状化発生地点を250mメッシュ単位で数えると合計7,987メッシュとなり、東北地方の約13倍であった。
- 2) 液状化は大河川沿岸、東京湾岸、台地の谷底低地（谷地）で多く発生していた。全般的には1950～1960年代のいわゆる高度経済成長期における農地の開発、宅地や工業用地の造成などの土地の人工改変と密接に関係しているように思われた。一方で、砂州や古い自然堤防に立地する旧市街地や古くからの宅地など、これまで液状化履歴がほとんど無かった土地でも液状化被害が発生した。
- 3) 関東地方で液状化が発生したメッシュの約94%は、計測震度5.0（震度5強）以上の地域であった。計測震度5.0以上の地域における液状化発生率を微地形区分ごとに整理した結果、液状化は埋立地で25.7%と最も高く、次いで旧河道・旧池沼、砂丘、三角州・海岸低地、干拓地、砂州・砂礫州の順となった。これらの液状化発生率は、東北地方に比べて極めて高い値であった。ただし、埋立地に関しては、埋め立て材料や造成後の経過年数の影響も液状化発生に影響していると考えられる。
- 4) 液状化が発生した地域には、過去の地震による液状化履歴地点が多く含まれていた。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、多くの方々のご協力を得た。関東地方の自治体および地元住民の方々からは、液状化被害情報をご提供頂いた。現地調査は、古関潤一教授（東京大学）、矢嶋千浩氏（当時 ガラスリソーシング）、吉田望教授（東北学院大学）、松岡昌志博士（当時 産業総合技術研究所）、丸山喜久准教授（千葉大学）、関東学院大学の学生諸君と共に実施した。防災科学技術研究所の小澤京子氏には、データ整理に多大なご協力頂いた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。また、論文中の地図で利用した市区町村界は、東京地図研究社が震災の復興支援目的で無償提供した2011年3月11日の日付指定市区町村界を利用した。

参考文献

- 1) 若松加寿江、先名重樹：東北地方太平洋沖地震による東北地方と関東地方の液状化発生地点とその特徴、第14回日本地震工学シンポジウム論文集、2014年、pp. 2281-2290.
- 2) 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年、90pp+DVD.
- 3) 消費者庁・国土交通省：住宅性能表示制度の見直しに係る日本住宅性能表示基準・評価方法基準等の改正案について及び（別添）住宅性能表示制度の見直し案、<http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=155130716> (cited 2013/9/6).
- 4) 国土交通省関東地方整備局、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実態解明報告書、2011年、<http://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000061.html> (cited 2011/8/30).
- 5) 先名重樹、長谷川信介、前田宣浩、藤原広行：東北地方太平洋沖地震における利根川流域の液状化被害、日本地震工学学会論文集、第12巻、第5号、2012年、pp.146-165.
- 6) 三輪滋、筒井雅行、本山寛、池田隆明、沼田淳紀：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、土木学会論文集A1、Vol.68、No.4、2012年、pp.I_1250-I_1265.
- 7) 例えば、地盤工学会：第4章液状化による被害と復旧、東日本大震災合同調査報告、共通編3 地盤災害、丸善出版、2014年、pp.175-350.
 - 8) 若松加寿江、先名重樹：2011年東北地方太平洋沖地震による東北地方の液状化発生と土地条件、日本地震工学会論文集第14巻、第2号、2014年、pp.124-143.
 - 9) 中村洋介、坂田健太郎、岡田真介、船引彩子、澤田結基、小松原純子、納谷友規、田辺晋、長森英明、中澤努、小松原琢、水野清秀：つくば市・土浦市周辺の地震被害状況調査（速報）、日本地球惑星科学連合2011年大会、2011年、MIS036-P155.
 - 10) 星将太、村上哲、小峯秀雄：液状化発生状況と地歴を含めた地盤特性との関連性に関する空間分析、第47回地盤工学研究発表会、2012年、pp.235-236.
 - 11) 森慎一、家入真理子、芹澤宣子、篠原憲一、飯田和好：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震における相模平野での地震被害と微地形との関係、平塚市博物館研究報告「自然と文化」、No.35、2012年、pp.47-54.
 - 12) 若松加寿江、松岡昌志：世界測地系に準拠した地形・地盤250mメッシュマップの構築、日本地震工学会大会-2011梗概集、2011年、pp.84-85.
 - 13) 気象庁：平成23年4月地震・火山月報（防災編）付録2.「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」による各地の震度、http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly201104/201104list_intensity2.pdf (cited 2011/4/20).
 - 14) 総務省統計局：地域メッシュの区分方法、http://www.stat.go.jp/data/mesh/m_tuite.htm (cited 2013/10/13)
 - 15) 東海村南台・緑ヶ丘災害復興対策検討委員会設置要綱、http://www1.g-reiki.net/tokai/reiki_honbun/e034RG00001078.html (cited 2012/8/6).
 - 16) 山下清海、黎経富：水郷地域における農村景観の変容－東村佐原組新田の事例－、筑波大学地球科学系人文地理学研究グループ地域調査報告(5)、1983年、pp.63-73.
 - 17) 利根川百年史編集委員会：利根川百年史、建設省関東地方整備局、1987年、2304pp.
 - 18) 若松加寿江：2011年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化、日本地震工学会論文集、第12巻、第5号、2012年、pp.69-88.
 - 19) 潮来市：日の出地区液状化対策事業報告書、<http://www.city.itako.lg.jp/index.php?code=2163> (cited 2014/4/9).
 - 20) 国土交通省都市局市街地整備課：液状化対策推進事業について、2011年、<http://www.mlit.go.jp/common/000184390.pdf> (cited 2011/11/29).
 - 21) 農業環境技術研究所：歴史的農業環境閲覧システム、<http://habs.dc.affrc.go.jp/> (cited 2014/1/4)
 - 22) 常陸測建：グリーンクレスト桜ヶ丘、<http://www.h-sokken.co.jp/greencrest/greencrest-index.htm> (cited 2013/7/4).
 - 23) 茨城県鹿島港湾事務所：鹿島港要覧、<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/doboku/01class/class29/yoran.html> (cited 2011/7/27).
 - 24) 古関潤一、石原研而、中井正一、松下克也：2011年東北地方太平洋沖地震による千葉県香取市の液状化被害、地盤工学会特別シンポジウム－東日本大震災を乗り越えて－発表論文集、2014年、pp.504-512.
 - 25) 若松加寿江、古関潤一：2011年東北地方太平洋沖地震による茨城県稲敷市における液状化被害、地盤工学会特別シンポジウム－東日本大震災を乗り越えて－発表論文集、2014年、pp.561-569.
 - 26) 香取郡神崎町：東日本大震災状況写真、2012.5.17提供.
 - 27) 国土技術研究センター：関東地整における大規模堤防被災一覧、第1回河川堤防耐震対策緊急検討委員会参考資料2-1、http://www.jice.or.jp/sonota/t1/pdf/02_shiryoku2-1.pdf、2011年 (cited 2012/3/11).
 - 28) 千葉県香取土木事務所：神崎大橋資料、2012.5.17提供
 - 29) 千葉県栄町：後世へー3.11の爪痕と私たちの営み（栄町東日本大震災記録誌）、2012年.
 - 30) 清田泰行、島津多賀夫、竹渕 勉：小貝川上流に見られた噴砂類似現象、GeoKanto2011、2011年、pp.35-36.
 - 31) 旭市：第2回旭市液状化対策検討委員会資料-5、

- <http://www.city.asahi.lg.jp/section/toshi/files/2013-0418-1050.pdf> (cited 2013/6/21).
- 32) 飯岡町：飯岡町史、1976年、pp.76-79.
 - 33) 若松加寿江：微地形調査による表層地盤の液状化特性の評価、日本建築学会構造系論文報告集、421号、1991年、pp.29-37.
 - 34) 千葉県環境研究センター：千葉県地質環境インフォメーションバンク、
<http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index> (cited 2014/8/1).
 - 35) 米軍撮影空中写真：地理院地図、<http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/index.html#zoom=5&lat=35.99989&lon=138.75&layers=BTTT> (cited 2014/7/1).
 - 36) 東京都港湾局：図表で見る東京臨海部、東京都港湾振興協会、1987年、pp.246-259.
 - 37) 東京都：東京都建築物液状化対策検討委員会第1回委員会議事録（2011年7月27日）
http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/kenchiku/ekijyoka/pdf/index_20111012_02.pdf (cited 2011/8/30).
 - 38) 加須市：東日本大震災の被害状況と対応～東日本大震災の記憶を風化させないために～、2013年.
 - 39) 幸手市：東日本大震災被害状況（2011年5月13日現在）、<http://www.city.satte.lg.jp/311/top.htm> (cited 2013/7/11).
 - 40) 国土交通省：鶴見川水系流域及び河川の概要、http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/pdf/tsurumi-4.pdf、2007年（cited 2011/7/11).
 - 41) 森慎一氏私信、2013年6月28日.
 - 42) 先名重樹、松岡昌志、若松加寿江：2011 年東北地方太平洋沖地震における液状化発生率と強震継続時間の関係の検討、第14回日本地震工学シンポジウム論文集、2014年、pp. 2291-2300.
(受理：2014年10月28日)
(掲載決定：2015年1月15日)

Liquefaction and their Site Conditions in Kanto Region during the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

WAKAMATSU Kazue¹⁾ and SENNA Shigeki²⁾

1) Member, Professor, Kanto Gakuin University, Dr. Eng.

2) Member, Researcher, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Dr. Eng.

ABSTRACT

This paper summarizes liquefaction-induced damage in the Kanto region during the M_w 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake of March 11, 2011, focusing on land and geomorphologic conditions of affected areas. Based on this study the following conclusions were reached: liquefaction was observed at a total of 130 cities, towns and villages in all seven prefectures in Kanto regions, whose numbers of 7.5-arc-second grid cells are 7,987; most of the liquefaction occurred in the areas where the instrumental seismic intensity exceeded 5.0; liquefaction took place in the areas along the big rivers and filled land along the Tokyo Bay and developed land in the small valleys among the terrace; and liquefaction occurrence rate for each geomorphologic unit within the areas of the instrumental seismic intensity exceeded 5.0 is the highest for filled land (25.7%) among 23 geomorphologic unit.

Keywords: Liquefaction, Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Kanto region, land condition, geomorphological classification