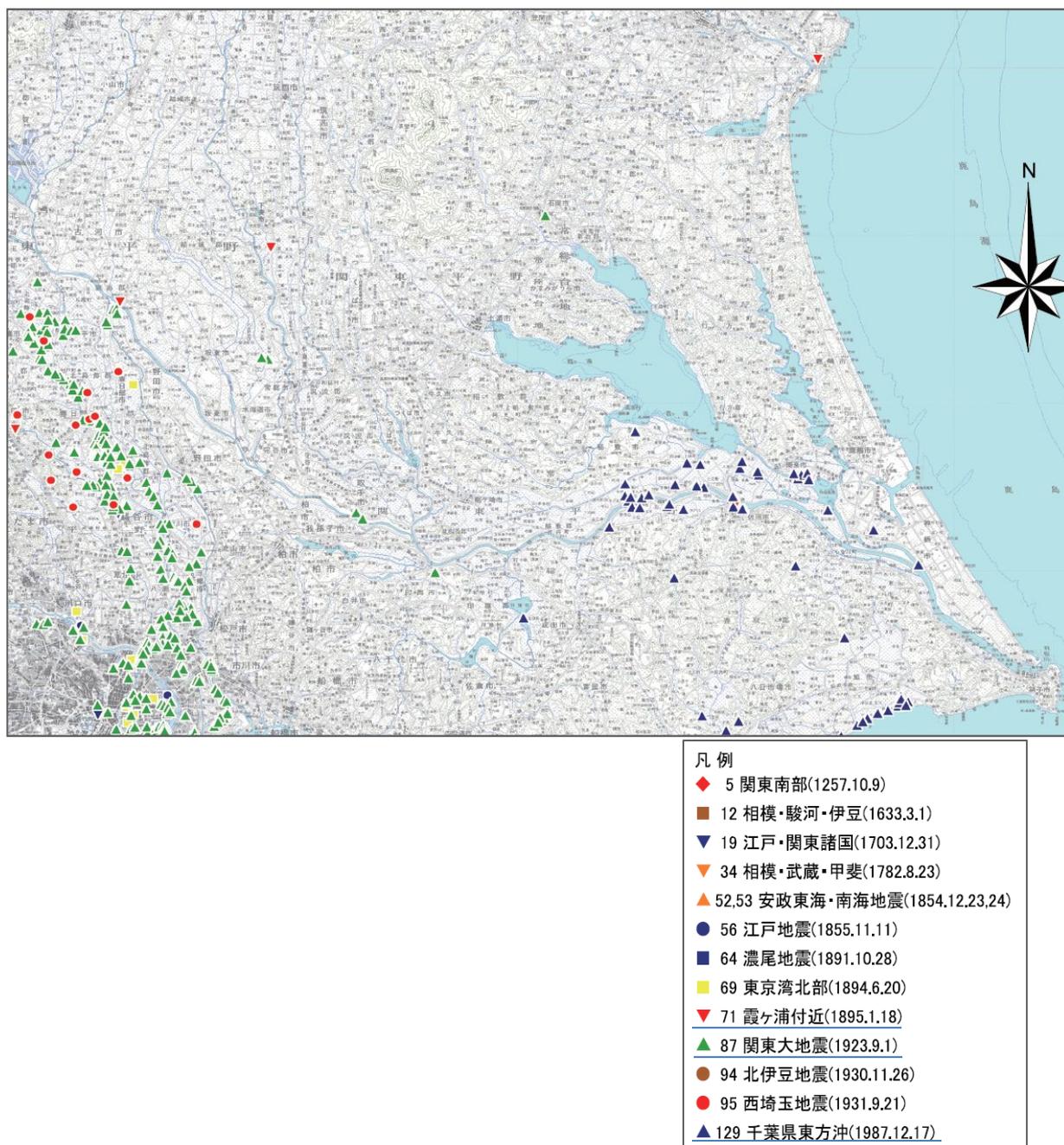


2. 液状化の可能性について

2.1 過去の液状化履歴について

(1) 2008年までの液状化履歴

若松(2011)は、日本の有史以来の地盤液状化履歴について、745年から2008年までをまとめている。これより、茨城県内の2008年までの液状化履歴を図Ⅱ.2.1-1に示す。利根川、鬼怒川沿いで、千葉県東方沖地震(1987)、関東大地震(1923)、霞ヶ浦付近の地震(1895)において液状化が発生している。



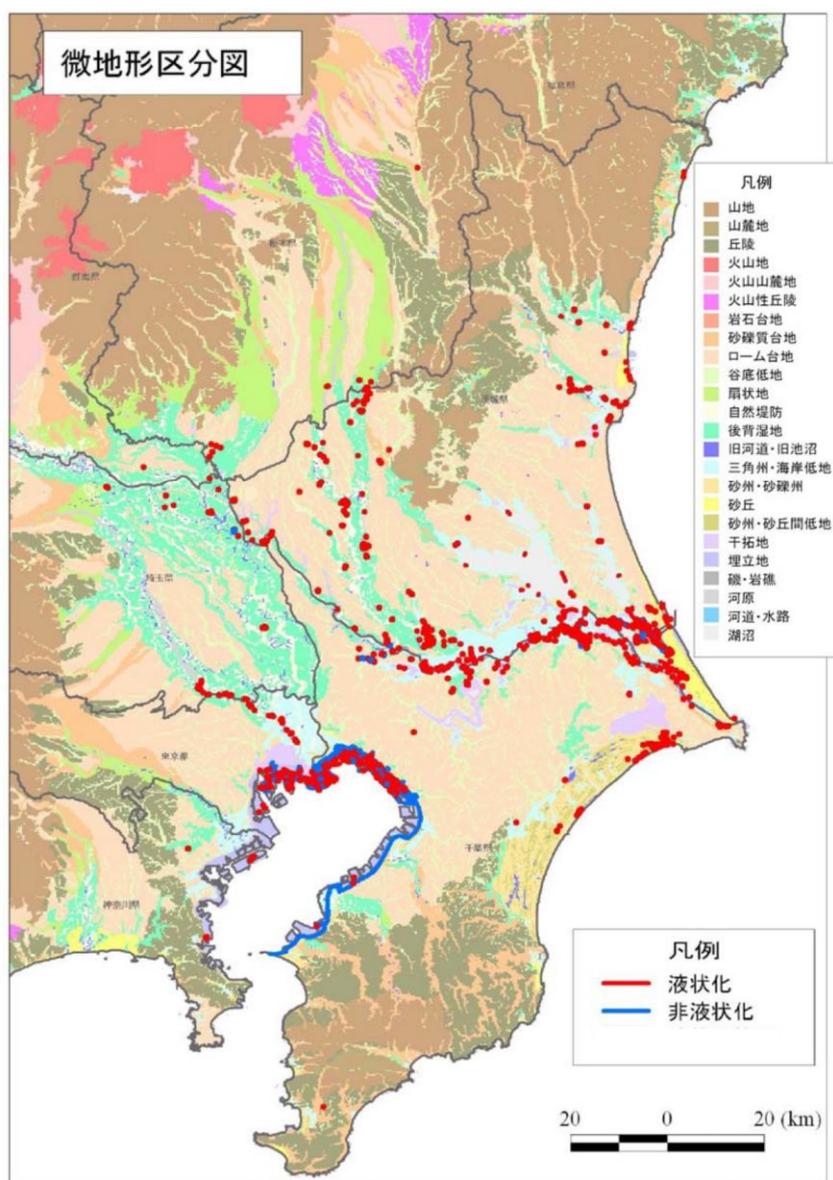
図Ⅱ.2.1-1 2008年までに茨城県内で液状化が発生した地点
若松(2011)

(2) 2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点

国土交通省関東地方整備局と地盤工学会は、東北地方太平洋沖地震で発生した関東地方の液状化の実態を把握、解明するために、調査を実施し、成果を報告書に取りまとめた。

図Ⅱ.2.1-2に250mメッシュの微地形区分と液状化発生地点を重ねた図を示す。液状化発生地点は、河川・湖沼周辺の低地部、沿岸部の埋立地に多く分布する傾向がみられた。図Ⅱ.2.1-3に微地形区分と液状化発生メッシュの割合を示す。埋立地が最も多く、35.1%を占め、次いで三角州・海岸低地が16.2%となっている。次に、図Ⅱ.2.1-4に関東地方1都6県の微地形ごとの液状化発生メッシュの傾向を示す。埋立地で20.2%、旧河道・旧湖沼で10.4%、干拓地で7.5%の割合で液状化が発生していた。

図Ⅱ.2.1-5～図Ⅱ.2.1-11に、液状化発生地点の拡大図を示す。



図Ⅱ.2.1-2 関東地方の微地形区分図と2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点
国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

II 自然現象の予測について
2. 液状化の可能性について

No	微地形区分	定義・特徴	液状化発生メッシュ数	液状化発生メッシュ%	液状化順位
20	埋立地	水面下の部分を盛土により陸化させたもの。標高は水面よりも高い	1,171	35.14%	1
15	三角洲・海岸低地	三角洲は河川河口部の沖積低地で、低平で主として砂ないし粘性土よりなるもの。海岸低地は汀線付近の堆積物よりなる浅海底が陸化した部分で、砂州や砂丘などの微高地以外の低平なもの。海岸・湖岸の小規模低地を含む	538	16.15%	2
13	後背湿地	扇状地の下流側または三角洲の上流側に分布する沖積低地で自然堤防以外の低湿な平地。軟弱な粘性土、泥炭、腐植質土からなる。砂丘・砂州の内陸側や山地・丘陵地・台地等に囲まれたポケット状の低地で粘性土、泥炭、腐植質土が堆積する部分を含む	282	8.46%	3
19	干拓地	浅海底や湖底部分を沖合の築堤と排水により陸化させたもの。標高は水面よりも低い	257	7.71%	4
16	砂州・砂礫州	波や潮流の作用により汀線沿いに形成された中密ないし密な砂または砂礫よりなる微高地。過去の海岸沿いに形成され、現在は内陸部に存在するものを含む	254	7.62%	5
14	旧河道・旧池沼	過去の河川の流路や池沼で、低地一般より0.5～1m低い帯状の凹地。またはこれらを埋め立てた土地	244	7.32%	6
12	自然堤防	河川により運搬された土砂のうち粗粒土(主に砂質土)が河道沿いに細長く堆積して形成された微高地	222	6.66%	7
22	河原	雨や雪などの表流水の流路となる細長い凹地のうち、常時は水流がない(冠水していない)部分	107	3.21%	8
17	砂丘	風により運搬され堆積した細砂ないし中砂が表層に約5m以上堆積する波状の地形。一般に砂州上に形成されるが、台地上に形成されたものを含む	104	3.12%	9
9	ローム台地	河岸段丘または海岸段丘で表層が約5m以上のローム層(火山灰質粘性土)からなるもの	92	2.76%	10
10	谷底低地	山地・火山地・丘陵地・台地に分布する川沿いの幅の狭い沖積低地。表層堆積物は山間地の場合には砂礫が多く、台地・丘陵地・海岸付流では粘性土や泥炭質土のものもある	39	1.17%	11
18	砂州・砂丘間低地	砂州や砂丘の間の低地。一般に埋間低地と呼ばれるものも含む。表層は風成砂よりなるが、その下位は腐植土や粘性土で構成されることが多い。	15	0.45%	12
23	河道・水路	雨や雪などの表流水の流路となる細長い凹地で、常時に水流がある部分	4	0.12%	13
11	扇状地	河川が山地から沖積低地に入る所に形成される砂礫よりなる半円錐状の堆積地。勾配は概ね1/1000以上	2	0.06%	14
3	丘陵	標高が比較的小さく、1kmメッシュにおける起伏量が概ね200m以下の斜面からなる土地	1	0.03%	15
1	山地	1kmメッシュにおける起伏量(最高点と最低点の標高差)が概ね200m以上で、先第四系(第三紀以前の岩石)からなる標高の高い土地	0	0.00%	
2	山麓地	先第四系山地に接し、土石流堆積物・崖錐堆積物など山地から供給された堆積物等よりなる比較的平滑な緩傾斜地	0	0.00%	
4	火山地	第四系火山噴出物よりなり、標高・起伏量の大きなもの	0	0.00%	
5	火山山麓地	火山地の周縁に分布する緩傾斜地で、火砕流堆積地や溶岩流堆積地、火山体の開削により形成される火山麓扇状地・泥流堆積地などを含む	0	0.00%	
6	火山性丘陵	火砕流堆積地のうち侵食が進み平坦面が残っていないもの、または小面積で孤立するもの	0	0.00%	
7	岩石台地	河岸段丘または海岸段丘で表層の堆積物が約5m以下のもの。隆起サンゴ礁の石灰岩台地を含む	0	0.00%	
8	砂礫質台地	河岸段丘または海岸段丘で表層に約5m以上の段丘堆積物(砂礫層、砂質土層)をもつもの	0	0.00%	
21	礫・岩礫	基盤の岩が露出、または岩塊が多い海岸	0	0.00%	
24	湖沼	四方陸地に囲まれて、海とは直接連絡のない静止した水域	0	0.00%	
合計			3,332	100.00%	

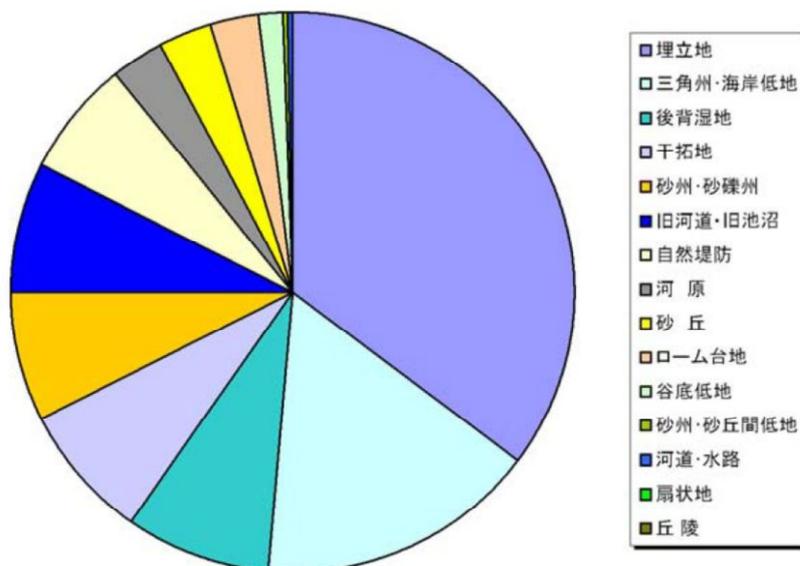


図 II. 2. 1-3 250mメッシュ微地形区分と2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点の割合
国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

II 自然現象の予測について
2. 液状化の可能性について

No	微地形区分	定義・特徴	液状化発生メッシュ数	非液状化メッシュ数	関東地方メッシュ数	液状化発生メッシュ%	液状化順位
20	埋立地	水面下の部分を盛土により陸化させたもの。標高は水面よりも高い	1,171	4,635	5,806	20.169%	1
14	旧河道・旧池沼	過去の河川の流路や池沼で、低地一般面より0.5～1m低い帯状の凹地、またはこれらを埋め立てた土地	244	2,094	2,338	10.436%	2
19	干拓地	浅海底や湖底部分を沖合の築堤と排水により陸化させたもの。標高は水面よりも低い	257	3,175	3,432	7.488%	3
15	三角州・海岸低地	三角州は河川河口部の沖積低地で、低平で主として砂ないし粘性土よりなるもの。海岸低地は汀線付近の堆積物よりなる浅海底が陸化した部分で、砂州や砂丘などの微高地以外の低平なもの。海岸・湖岸の小規模低地を含む。	538	11,330	11,868	4.533%	4
17	砂丘	風により運搬され堆積した細砂ないし中砂が表層に約5m以上堆積する波状の地形。一般に砂州上に形成されるが、台地上に形成されたものを含む。	104	2,660	2,764	3.763%	5
16	砂州・砂礫州	波や潮流の作用により汀線沿いに形成された中密ないし密な砂または砂礫よりなる微高地。過去の海岸沿いに形成され、現在は内陸部に存在するものも含む。	254	8,053	8,307	3.058%	6
22	河原	雨や雪などの表流水の流路となる細長い凹地のうち、常時は水流がない(冠水していない)部分	107	3,991	4,098	2.611%	7
12	自然堤防	河川により運搬された土砂のうち粗粒土(主に砂質土)が河道沿いに細長く堆積して形成された微高地	222	10,077	10,299	2.156%	8
23	河道・水路	雨や雪などの表流水の流路となる細長い凹地で、常時に水流がある部分	4	203	207	1.932%	9
13	後背湿地	扇状地の下流側または三角州の上流側に分布する沖積低地で自然堤防以外の低湿な平地。軟弱な粘性土、泥炭、腐植質土からなる。砂丘・砂州の内陸側や山地・丘陵地・台地等に囲まれたポケット状の低地で粘性土、泥炭、腐植質土が堆積する部分を含む。	282	27,195	27,477	1.026%	10
18	砂州・砂丘間低地	砂州や砂丘の間の低地。一般に堤間低地と呼ばれるものも含む。表層は風成砂よりなるが、その下位は腐植土や粘性土で構成されることが多い。	15	1,733	1,748	0.858%	11
10	谷底低地	山地・火山地・丘陵地・台地に分布する川沿いの幅の狭い沖積低地。表層堆積物は山間地の場合は砂礫が多く、台地・丘陵地・海岸付近では粘性土や泥炭質土のものもある。	39	25,083	25,122	0.155%	12
9	ローム台地	河岸段丘または海岸段丘で表層が約5m以上のローム層(火山灰質粘性土)からなるもの	92	104,558	104,650	0.088%	13
11	扇状地	河川が山地から沖積低地に出る所に形成される砂礫よりなる半円錐状の堆積地。勾配は概ね1/1000以上	2	17,063	17,065	0.012%	14
3	丘陵	標高が比較的小さく、1kmメッシュにおける起伏量が概ね200m以下の斜面からなる土地	1	40,093	40,094	0.002%	15
1	山地	1kmメッシュにおける起伏量(最高点と最低点の標高差)が概ね200m以上で、先第四系(第三紀以前の岩石)からなる標高の高い土地	0	146,454	146,454	0.000%	
2	山麓地	先第四系山地に接し、土石流堆積物・崖堆積物など山地から供給された堆積物等よりなる比較的平滑な傾斜地	0	4,271	4,271	0.000%	
4	火山地	第四系火山噴出物よりなり、標高・起伏量の大きなもの	0	17,804	17,804	0.000%	
5	火山山麓地	火山地の周縁に分布する緩傾斜地で、火砕流堆積地や溶岩流堆積地、火山体の開析により形成される火山麓扇状地・泥流堆積地などを含む。	0	18,804	18,804	0.000%	
6	火山性丘陵	火砕流堆積地のうち侵食が進み平坦面が残っていないもの、または小面積で孤立するもの	0	8,024	8,024	0.000%	
7	岩石台地	河岸段丘または海岸段丘で表層の堆積物が約5m以下のもの。陸起サンゴ礁の石灰岩台地を含む。	0	75	75	0.000%	
8	砂礫質台地	河岸段丘または海岸段丘で表層に約5m以上の段丘堆積物(砂礫層、砂質土層)をもつもの	0	32,654	32,654	0.000%	
21	礫・岩礁	基盤の岩が露出、または岩塊が多い海岸	0	205	205	0.000%	
24	湖沼	四方陸地に囲まれて、海とは直接連絡のない静止した水域	0	3,219	3,219	0.000%	
合計			3,332	493,453	496,785	0.671%	

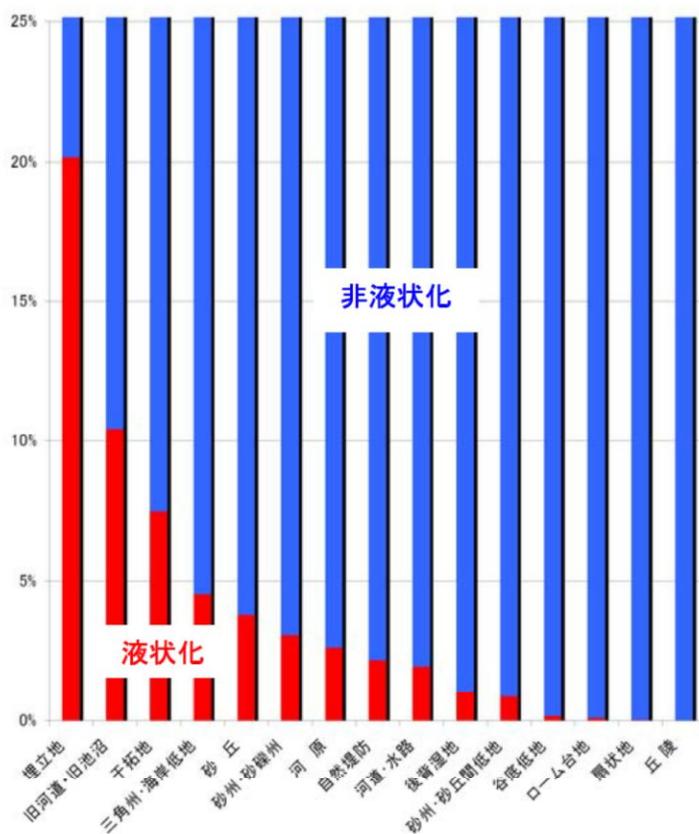


図 II. 2. 1-4 微地形ごとの2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生傾向
国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

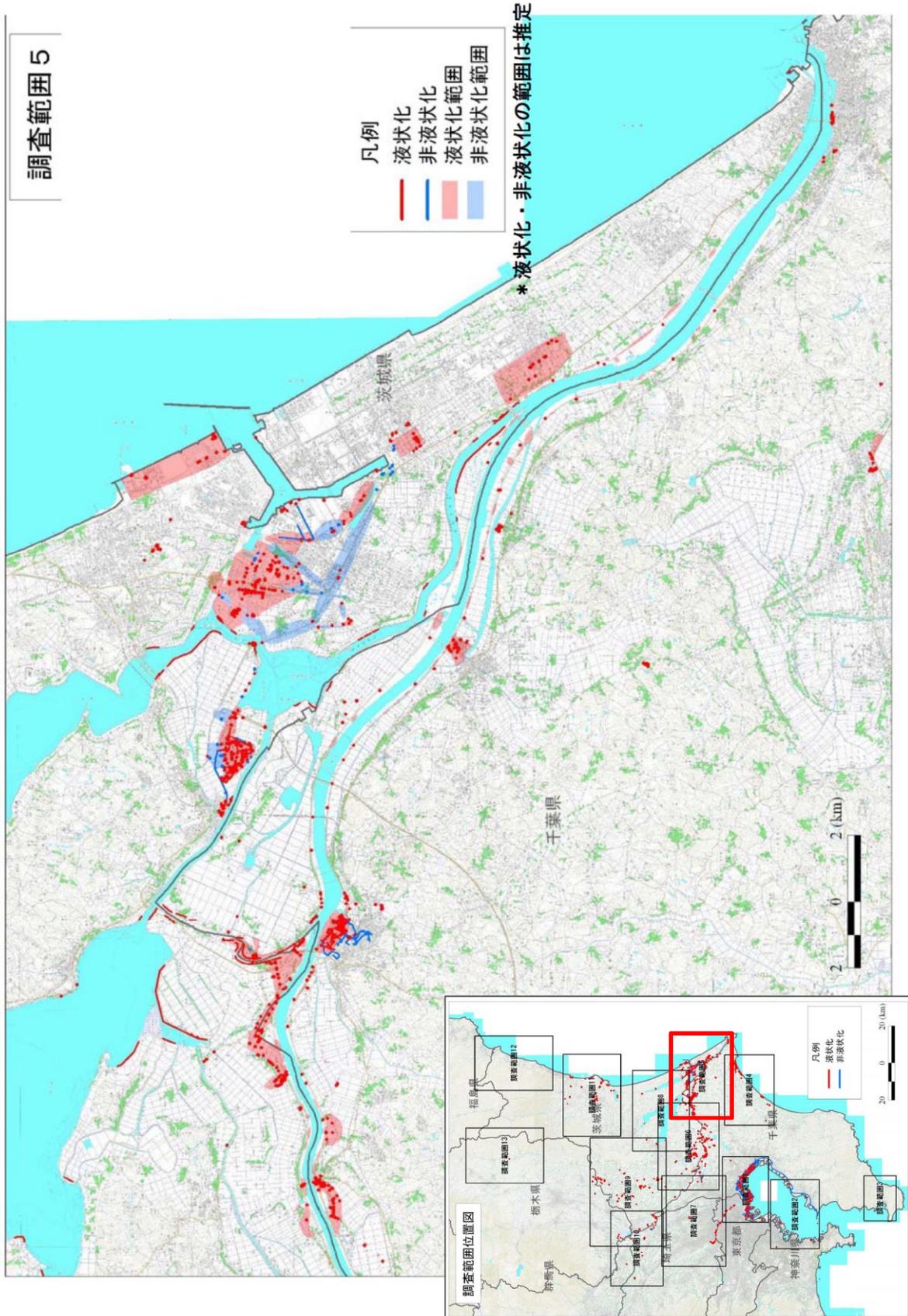
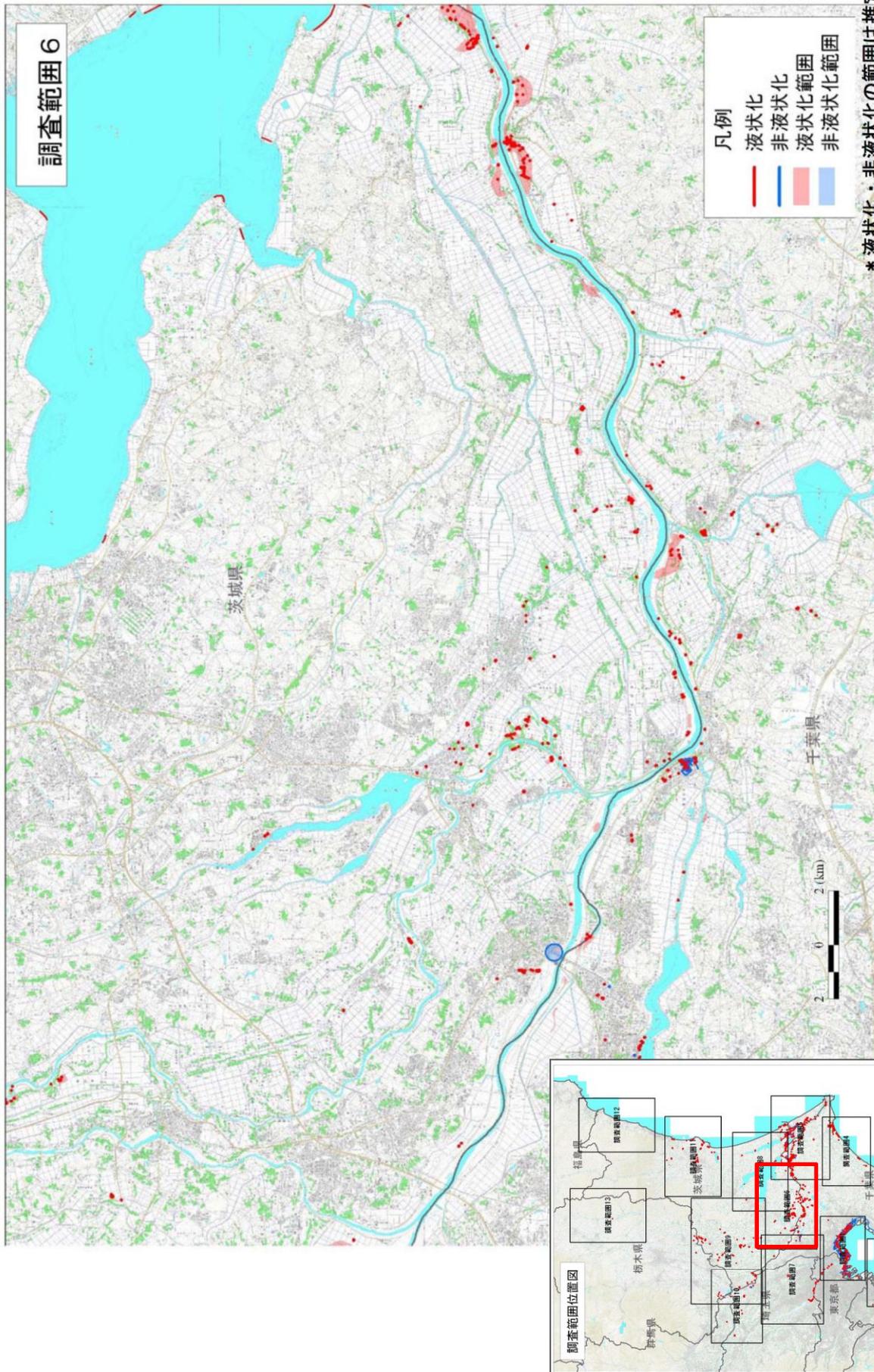
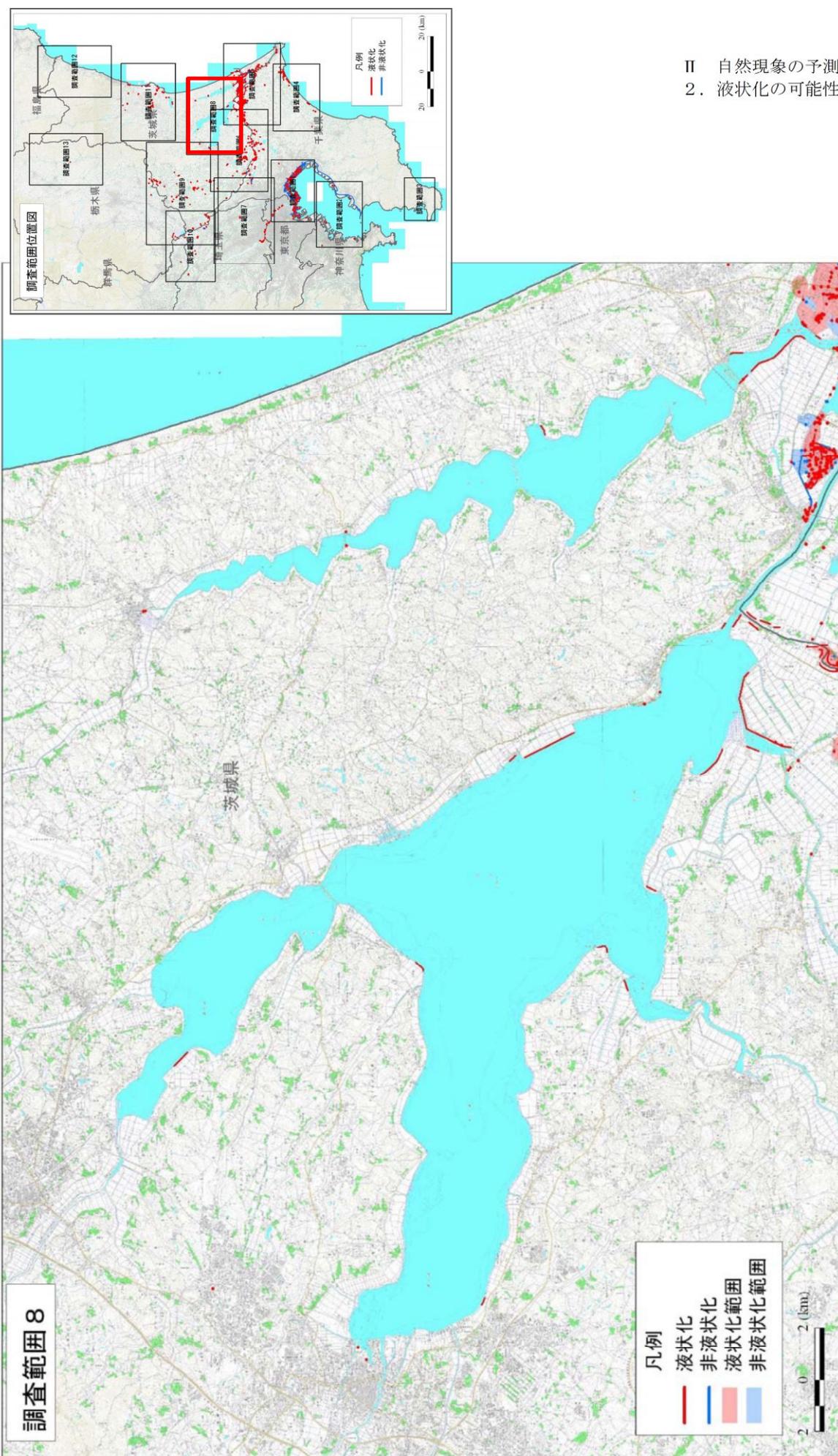


図 II. 2. 1-5 2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点（利根川下流（佐原～銚子）、霞ヶ浦南東部）
 国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)



図II.2.1-6 2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点（利根川下流（我孫子～佐原）、霞ヶ浦西部）
 国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

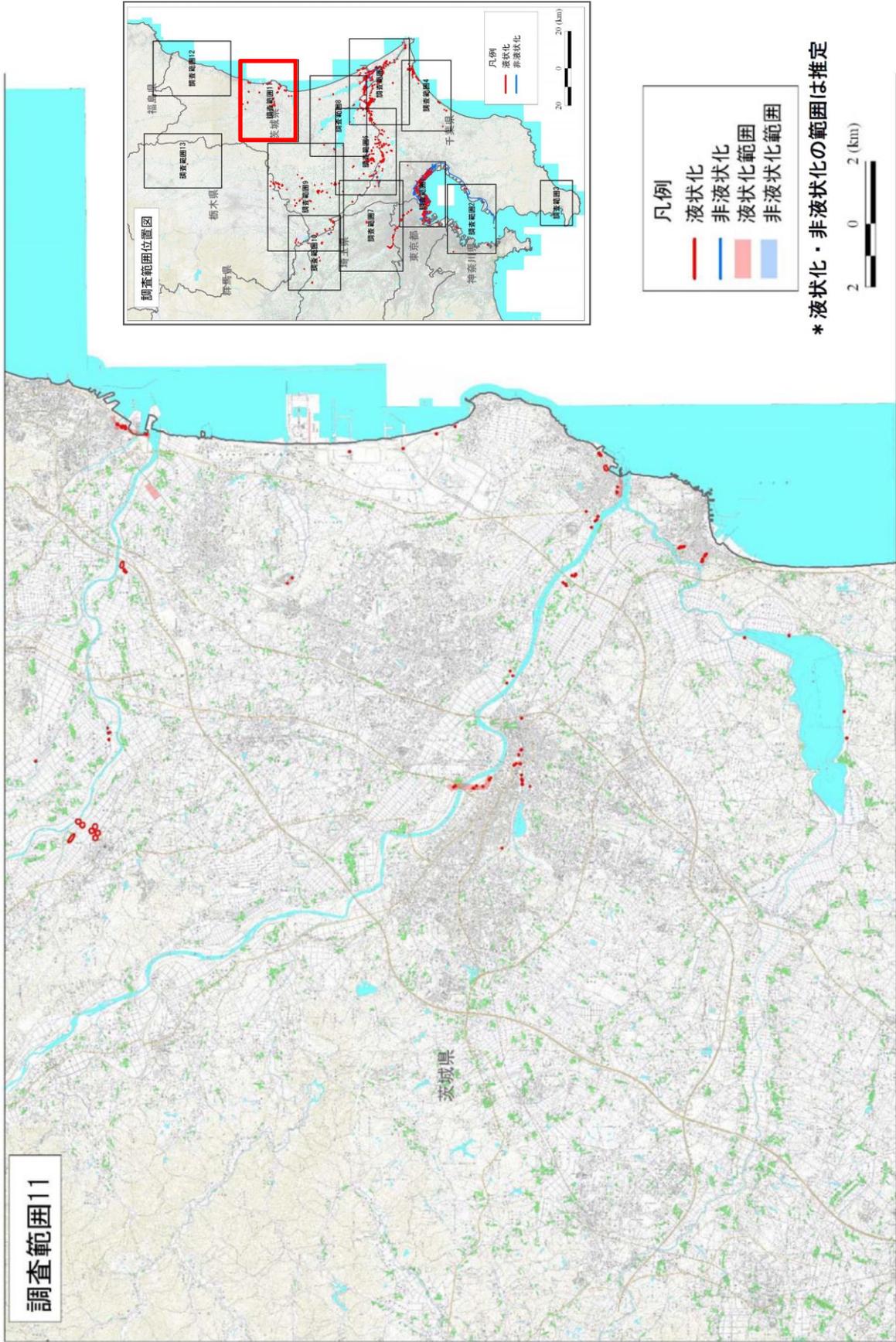


* 液状化・非液状化の範囲は推定

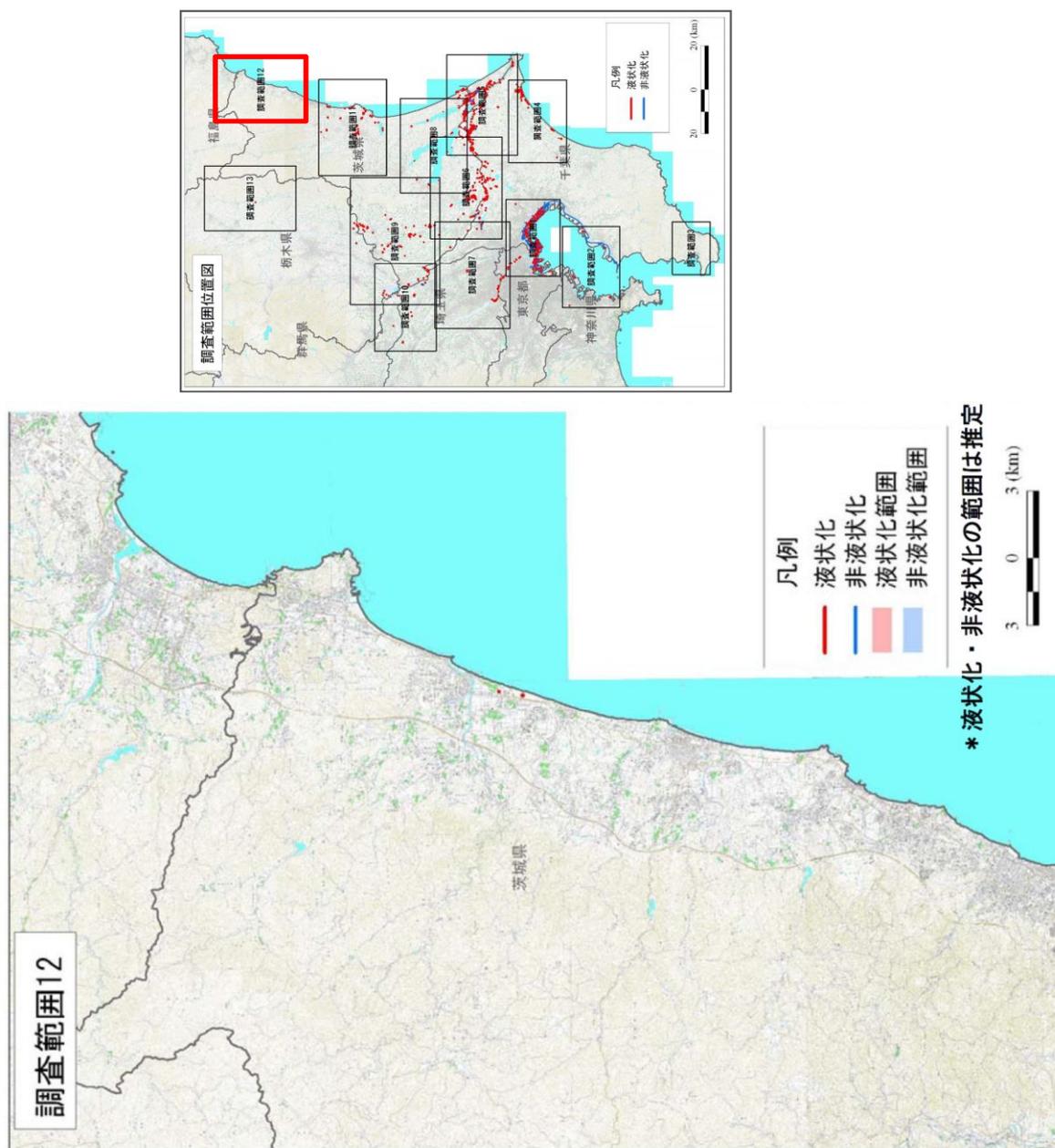
図Ⅱ.2.1-8 2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点（霞ヶ浦北西部）

国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

Ⅱ 自然現象の予測について
 2. 液状化の可能性について



図II . 2. 1-10 2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点（大洗～水戸～日立）
 国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

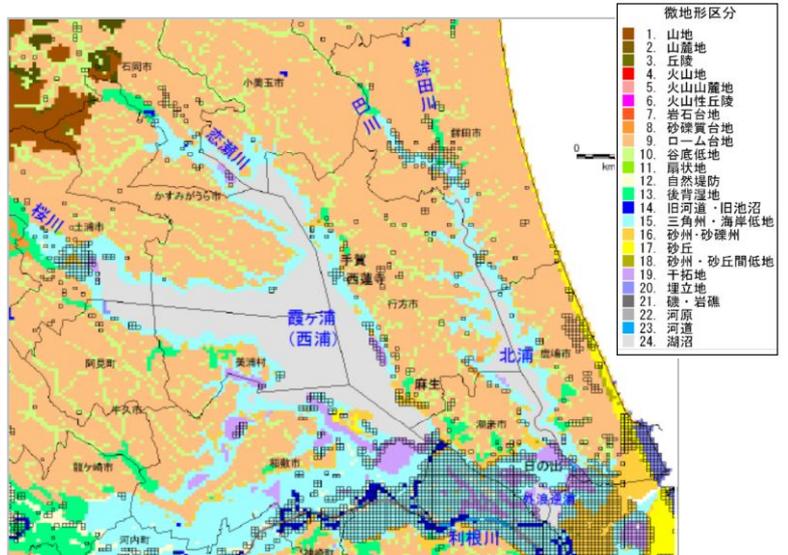


図II.2.1-11 2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点（北茨城）
 国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

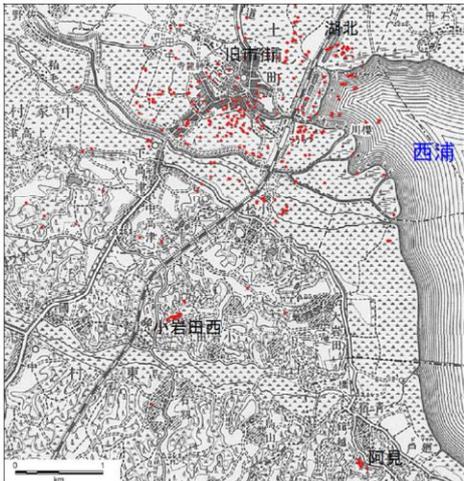
II 自然現象の予測について
2. 液状化の可能性について



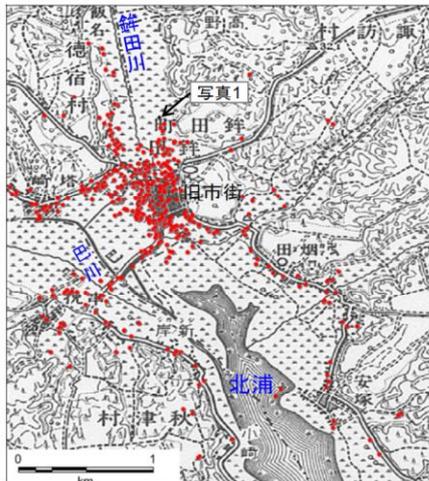
図Ⅱ . 2. 1-14 茨城県太平洋沿岸地域の液状化発生メッシュと微地形区分
若松・先名 (2015)



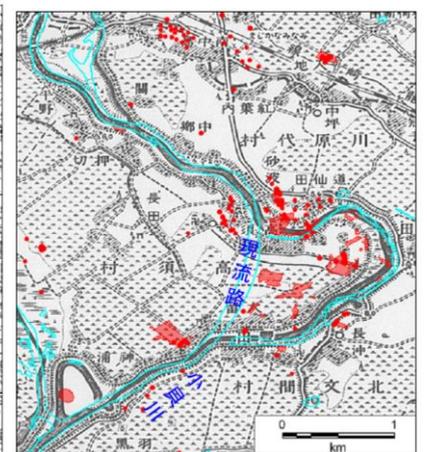
図Ⅱ . 2. 1-15 霞ヶ浦地域の液状化発生メッシュと微地形区分 (凡例は図Ⅱ . 2. 1-13 と同じ)
若松・先名 (2015)



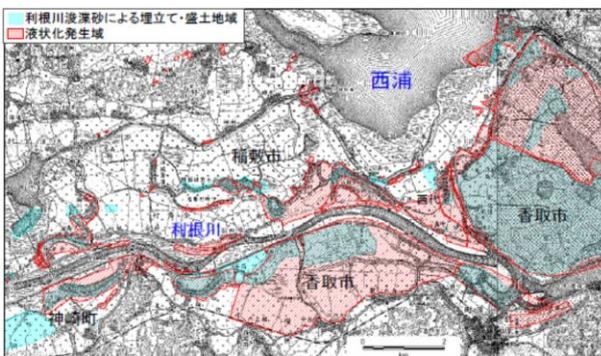
図Ⅱ . 2. 1-16 土浦市中心部の液状化発生地点 (背景図は1905年測量 1/5 万地形図「土浦」)
若松・先名 (2015)



図Ⅱ . 2. 1-17 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」)
若松・先名 (2015)



図Ⅱ . 2. 1-18 取手市高須付近の液状化発生地点 (赤い領域と赤丸地点。背景図は1903年測量 1/5 万地形図「龍ヶ崎」)
若松・先名 (2015)



図Ⅱ . 2. 1-19 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 (背景図は1953年測量 1/5 万地形図「佐原」)
若松・先名 (2015)



図Ⅱ . 2. 1-20 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)
若松・先名 (2015)

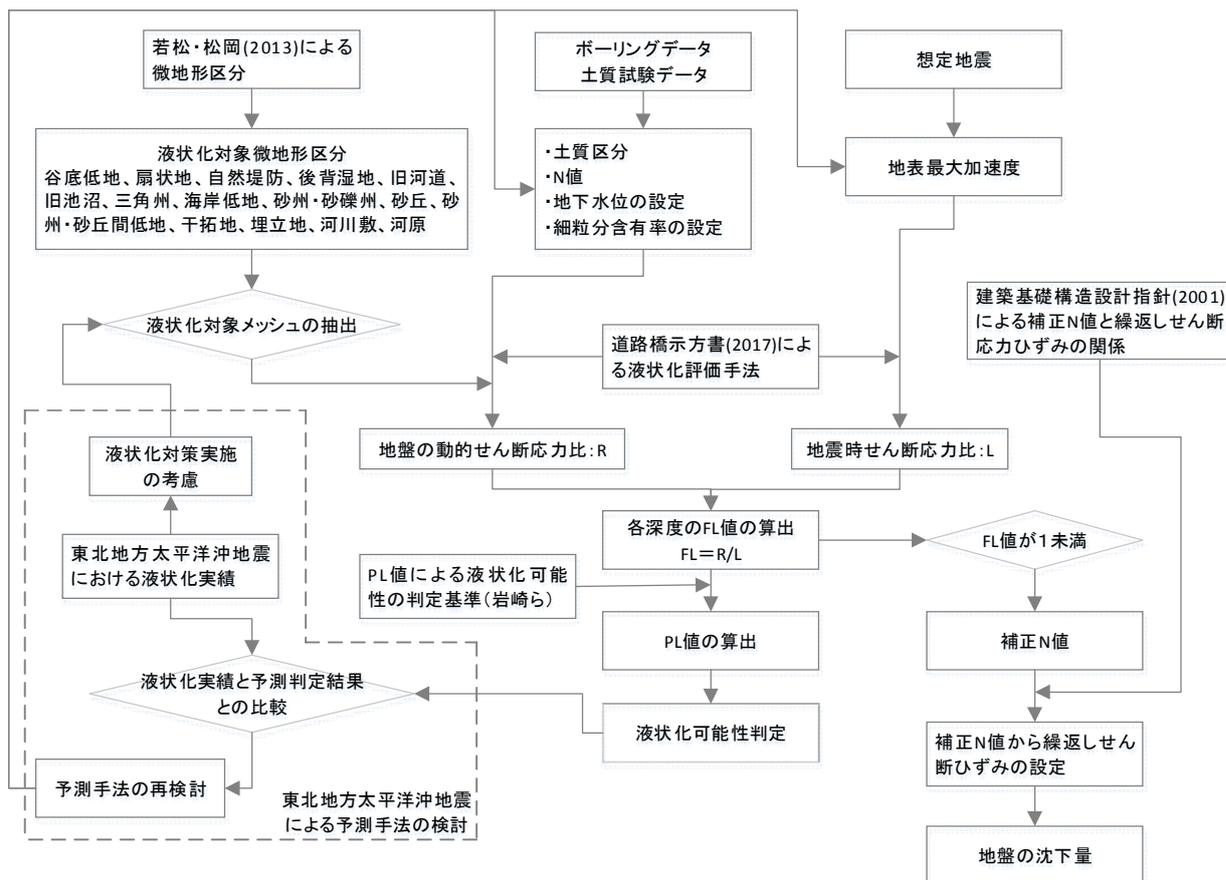


図Ⅱ . 2. 1-21 下妻市鬼怒付近の明治時代の鬼怒川の流路 (1907年測量 1/5 万地形図「水海道」)
若松・先名 (2015)

2.2 液状化可能性の計算手法について

液状化予測計算は、基本的には道路橋示方書(2017)の方法に準じた F_L 法およびこれを深度方向に重み付けして積分した P_L 法を用いた。なお、前述したように2011年東北地方太平洋沖地震において茨城県内で液状化の発生があったことから、このときの実績をもとに予測手法の検討を行った。

図II.2.2-1に、液状化可能性評価および液状化に伴う沈下量の推定フローを示し、以下に手法について述べる。



図II.2.2-1 液状化可能性評価および液状化に伴う沈下量の推定フロー

(1) F_L 法

F_L 法とは、検討対象とする地盤の液状化対象層を抽出し、液状化対象層それぞれについて、液状化に対する抵抗力と地震力の強さとを比較し、液状化に対する抵抗率（ F_L 値）を求める手法である。

1) F_L 値

F_L 値は、次式で与えられる。 F_L 値が 1.0 を下回る層については、液状化が生じると判定する。

$$F_L = R/L \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R = c_w R_L \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$L = \gamma_d k_{hgL} \sigma_v / \sigma_v' \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\gamma_d = 1.0 - 0.015x \quad \dots\dots\dots (4)$$

(レベル1地震動及びレベル2地震動(タイプI)の場合)

$$c_w = 1.0$$

(レベル2地震動(タイプII)の場合)

$$c_w = 1.0 \quad (R_L \leq 0.1)$$

$$c_w = 3.3R_L + 0.67 \quad (0.1 < R_L \leq 0.4)$$

$$c_w = 2.0 \quad (0.4 < R_L)$$

ここに、

F_L : 液状化に対する抵抗率

R : 動的せん断強度比

L : 地震時せん断応力比

c_w : 地震時特性による補正係数

R_L : 繰返し三軸強度比で2)で規定する

γ_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

κ_{hgL} : 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度

c_z : 地域別補正係数で、茨城県ではレベル1地震動 c_{Iz} 、レベル2地震動(タイプI) c_{IIz} 、レベル地震動(タイプII) c_{IIz} ともに、1.0とする。

σ_v : 地表面からの深さ x (m) における全上載圧 (kN/m²)

σ_v' : 地表面からの深さ x (m) における有効上載圧 (kN/m²)

x : 地表面からの深さ (m)

2) 繰返し三軸強度比 R_L

繰返し三軸強度比 R_L は、以下の式により算出する。

$$R = c_w R_L \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$R_L = 0.0882 \sqrt{N_a/1.7}$$

$$R_L = 0.0882 \sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5}$$

ここに、

<砂質土の場合>

$$N_a = c_1 N_I + c_2$$

$$N_I = 170N(\sigma_{vb}' + 70)$$

$$c_1 = 1 \quad (0\% \leq FC < 10\%)$$

$$c_1 = (FC + 40)/50 \quad (10\% \leq FC < 60\%)$$

$$c_1 = FC/20 - 1 \quad (60\% \leq FC)$$

$$c_2 = 0 \quad (0\% \leq FC < 10\%)$$

$$c_2 = (FC - 10)/18 \quad (10\% \leq FC)$$

<れき質土の場合>

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} N_I$$

ここに、

R_L : 繰返し三軸強度比

N : 標準貫入試験から得られる N 値

N_I : 有効上載圧 100kN/m² 相当に換算した N 値

N_a : 粒度の影響を考慮した補正 N 値

$\sigma_{vb'}$: 標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧 (kN/m²)

$c1, c2$: 細粒分含有率による N 値の補正係数

FC : 細粒分含有率 (%) (粒径 75 μ m 以下の土粒子の通過質量百分率)

D_{50} : 50%粒径 (mm)

(2) P_L 法

道路橋示方書（2017）に示された手順に従って、各深度での F_L 値を算出し、その値を深さ方向に重みをつけて足し合わせ、地点での液状化可能性を表す P_L 値を算出し、この P_L 値によって液状化可能性判定を行う。液状化可能性判定は、岩崎ら（1980）による図 II .2.2-2 及び表 II .2.2-1 に示すような関係により判定を行う。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x) dx \quad \text{—— (1-4)}$$

ここに、

P_L : 液状化指数

F_L : 液状化に対する抵抗率

x : 地表面からの深さ (m)

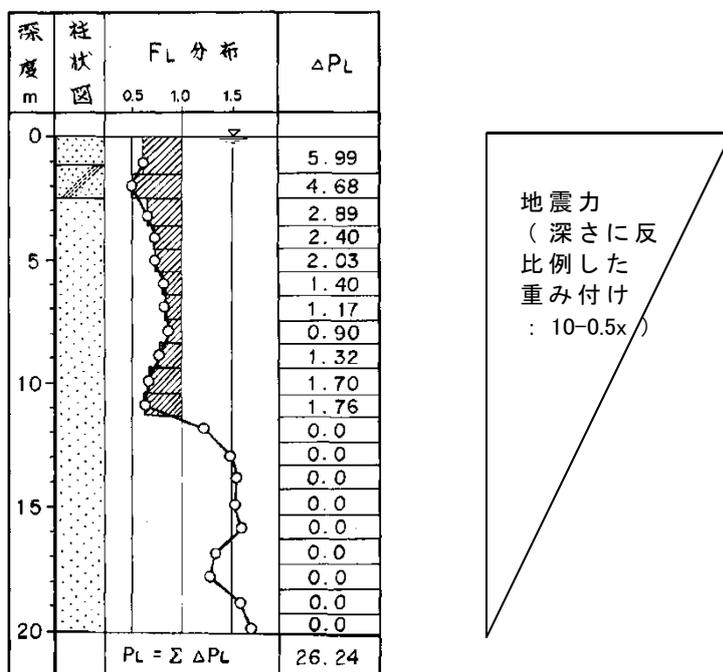


図 II .2.2-2 P_L 値の概念図 (岩崎ほか (1980) に加筆)

表 II .2.2-1 P_L 値による液状化可能性判定区分 (岩崎ほか (1980) に加筆修正)

	$P_L = 0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
P_L 値による液状化可能性判定	液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要	液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査は必要	液状化可能性はやや高い。重要な構造物に対してより詳細な調査が必要。液状化対策が一般には必要	液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避

2.3 想定対象範囲及び物性値

(1) 想定対象範囲

250m メッシュ微地形区分図より液状化対象となるメッシュを抽出し、GL-20m 以浅の盛土層（砂質土）、砂質土層及び礫質土層を対象とした。

液状化対象メッシュとした微地形区分は、若松・松岡（2013）により、

谷底低地、扇状地、自然堤防、後背湿地、旧河道・旧池沼、三角州・海岸低地、砂州・砂礫洲、砂丘、砂州・砂丘間低地、干拓地、埋立地、河川敷・河原

とした。

J-SHIS による 250m メッシュの微地形分布をもとに、液状化対象となるメッシュを図 II .2.3-1 に示すように設定した。

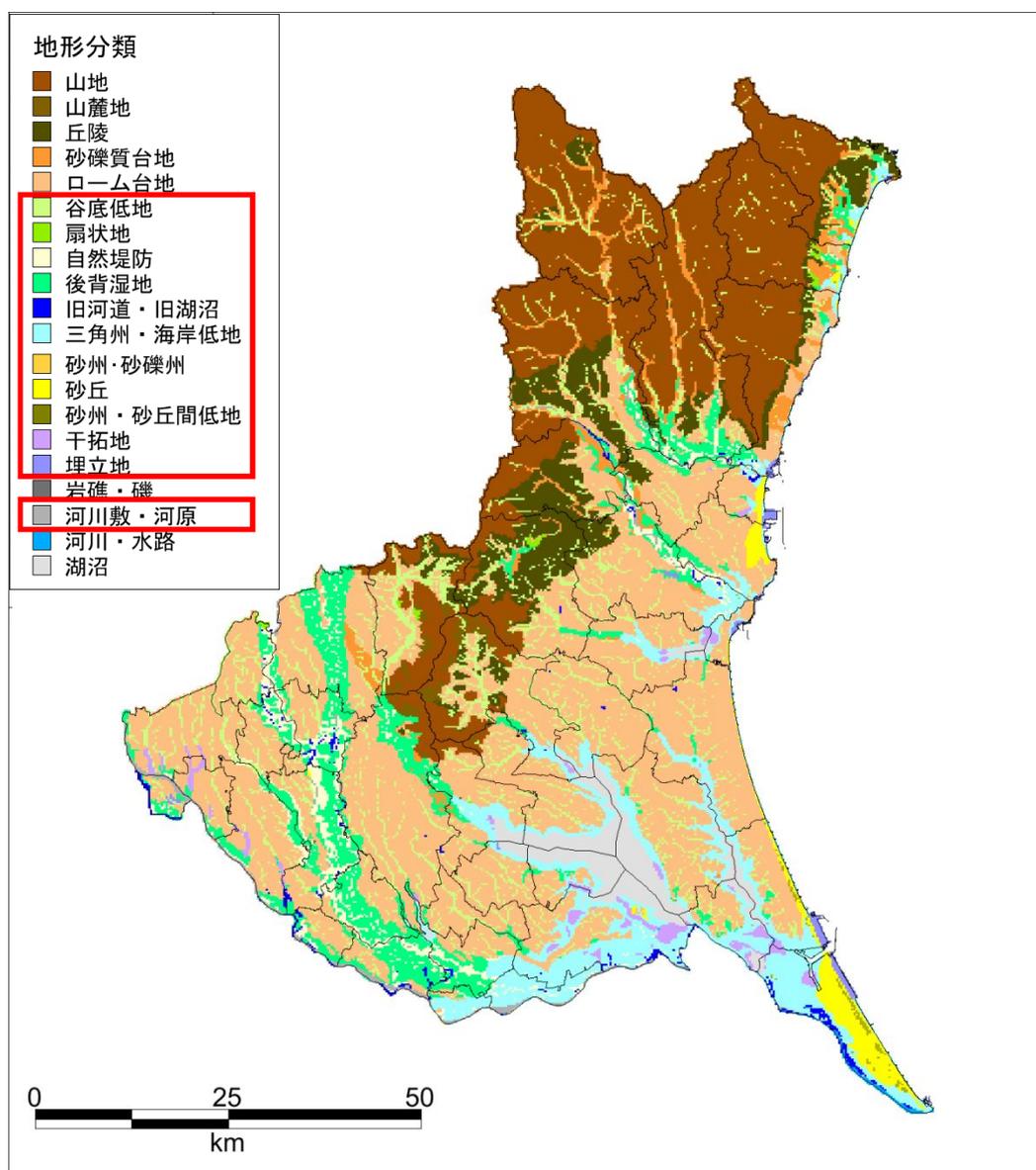


図 II .2.3-1 液状化想定対象とした微地形区分

（凡例の赤枠で囲った微地形区分）微地形区分は J-SHS データによる

(2) 地下水位

地下水位については、収集したボーリングデータの孔内水位を基に、以下の手順により推定した。

- 1) 安田ほか(2009)を参照して、収集したボーリングデータの孔内水位と標高との関係を250mメッシュ微地形区分毎にグラフにプロットし、最小二乗法により両者の関係式を推定した。ただし、孔内水位と標高が逆相関となる微地形区分については、孔内水位は標高に依存しないものとして関係式を推定した。
- 2) 1) の関係式をそのまま250mメッシュの地下水位とすると危険側の想定になると考えられるため、関係式が孔内水位データの上位25%（第一四分位点）を通るように、以下のように修正した。

$$(\text{250mメッシュ地下水位}) = a \times (\text{250mメッシュ標高}) + b + \sigma_{25}$$

ここで、

a, b : 微地形区分毎に求めた標高と孔内水位の関係式の係数

$$\begin{aligned} \sigma_{25} &= (\text{bor25の孔内水位}) - (\text{bor25の標高から推定した地下水位}) \\ &= (\text{bor25の孔内水位}) - \{a \times (\text{bor25の標高}) + b\} \end{aligned}$$

bor25 : 微地形区分毎に収集したボーリングデータの（孔内水位）－（関係式から求めた地下水位）を値の小さい順に並べたときに、上位25%（第一四分位点）に相当するボーリングデータ

表Ⅱ.2.3-1 微地形区分毎の地下水位の推定式

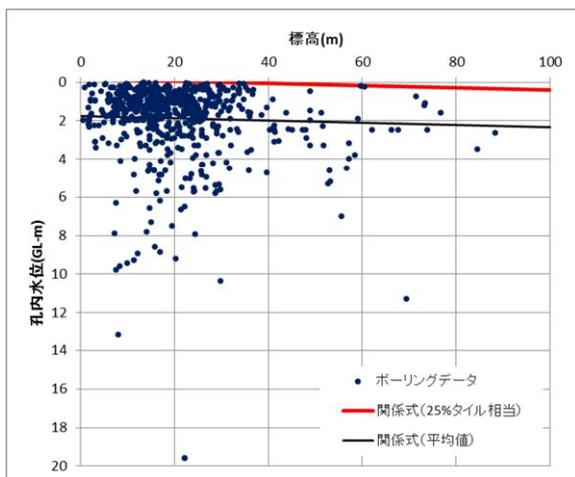
	a	b	σ_{25}
谷底低地	0.005688	1.750	-1.914
扇状地	0.00000	0.550	-0.025
自然堤防	0.05265	1.883	-1.252
後背湿地	0.01617	1.567	-1.003
旧河道・旧池沼	0.07316	1.839	-1.272
三角州・海岸低地	0.04211	1.144	-0.818
砂州・砂礫洲	0.00000	1.829	-0.929
砂丘	0.00000	5.101	-2.853
砂丘間低地	0.00000	1.110	-0.248
干拓地	0.00000	1.869	-1.369
埋立地	0.00000	1.584	-0.584
河川敷・河原	0.03855	2.460	-1.472

$$\ast (\text{250mメッシュ地下水位}) = a \times (\text{250mメッシュ標高}) + b + \sigma_{25}$$

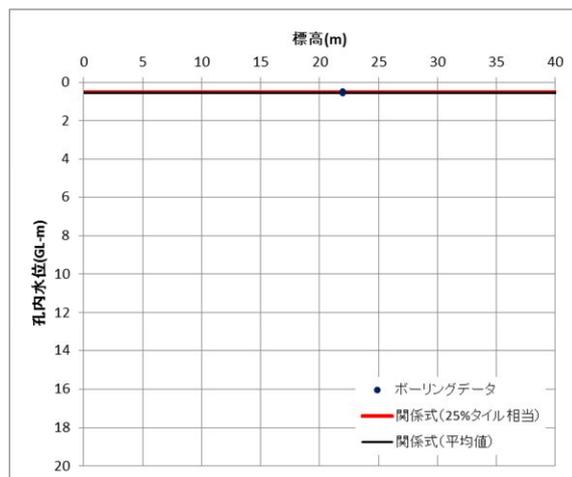
- 3) 神栖市では砂利採掘跡地の埋め戻しが多くなされている。この場所でのボーリングデータを収集し、上記の考えにしたがって掘削跡地と埋土地の地下水位の設定を行った。

表Ⅱ.2.3-2 神栖市における埋土地及び掘削跡地の地下水位の推定式

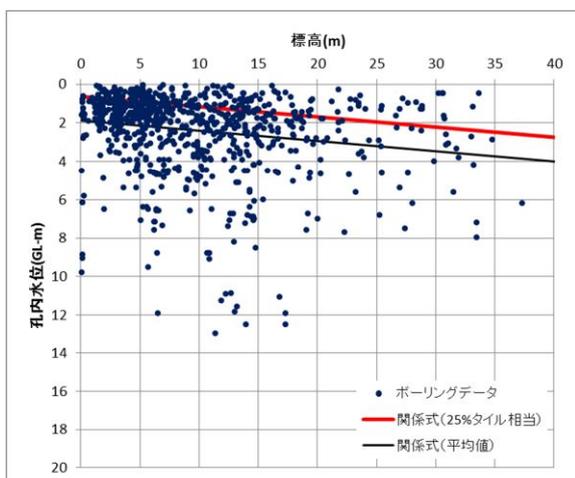
	a	b	σ_{25}
埋立地・盛土地	0.07753	1.064	-0.349
掘削跡地	0.60610	0.174	-0.426



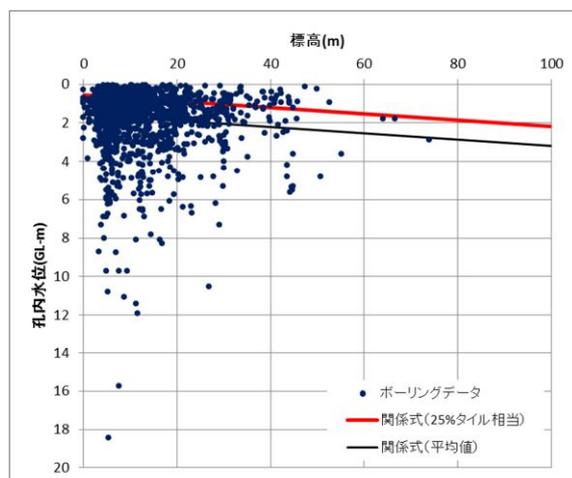
谷底低地



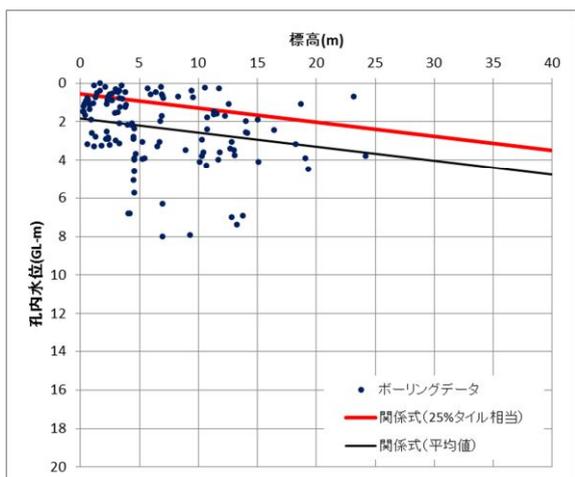
扇状地



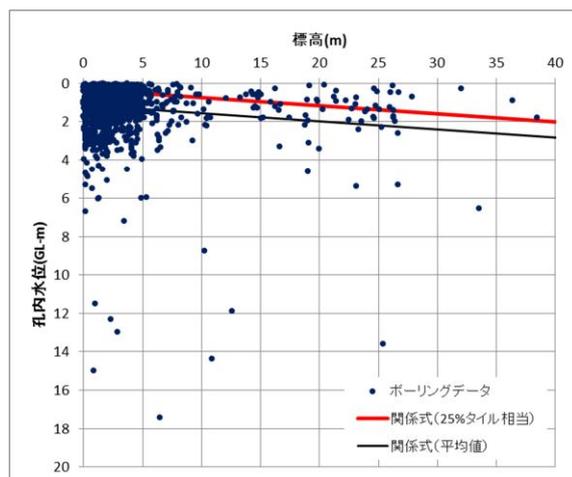
自然堤防



後背湿地

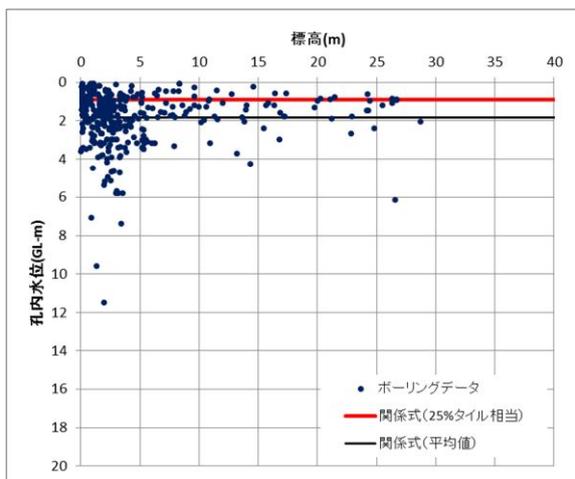


旧河道・旧池沼

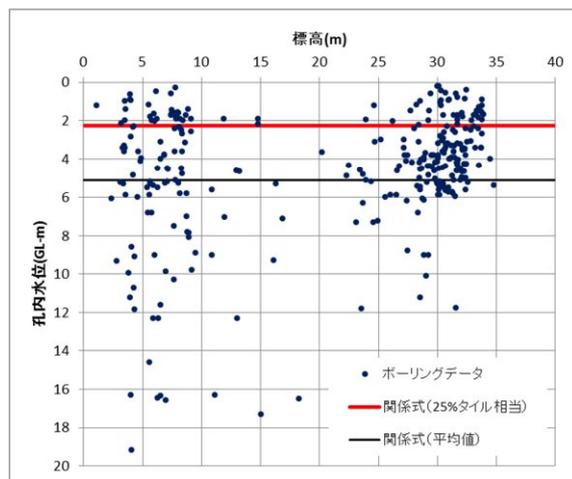


三角州・海岸低地

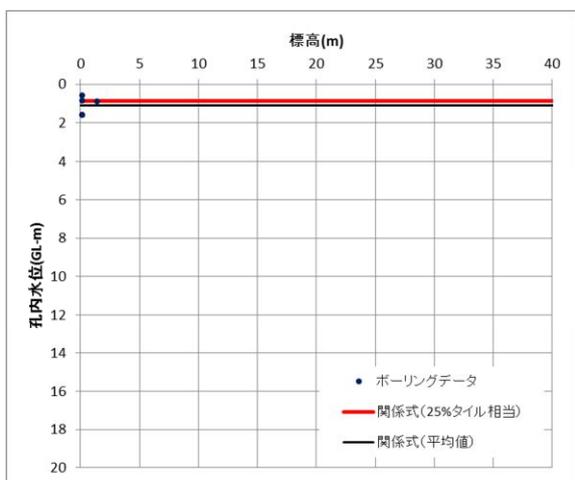
図 II . 2. 3-2 微地形区分毎の標高と地下水位の関係 (1)



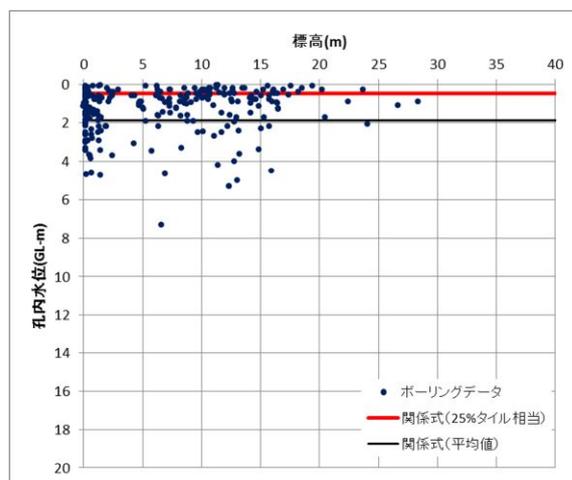
砂州・砂礫洲



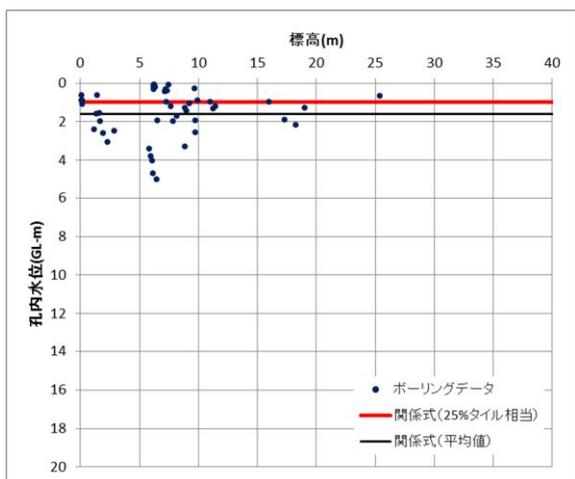
砂丘



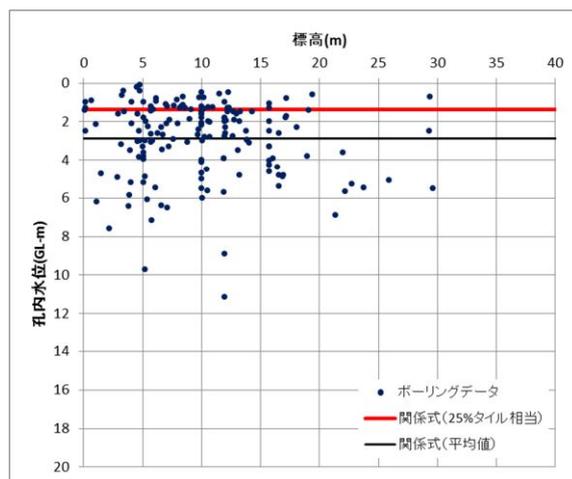
砂丘間低地



干拓地

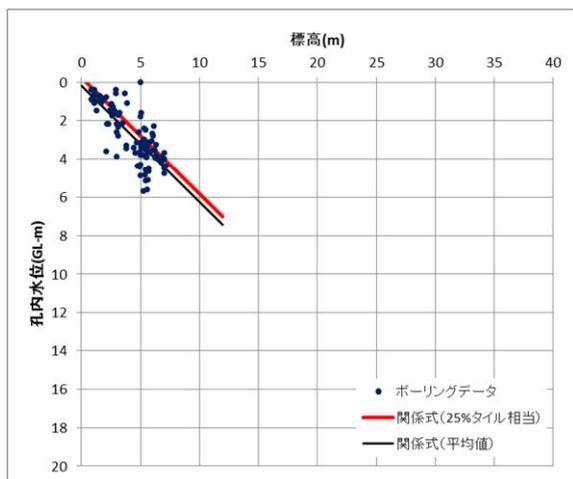


埋立地

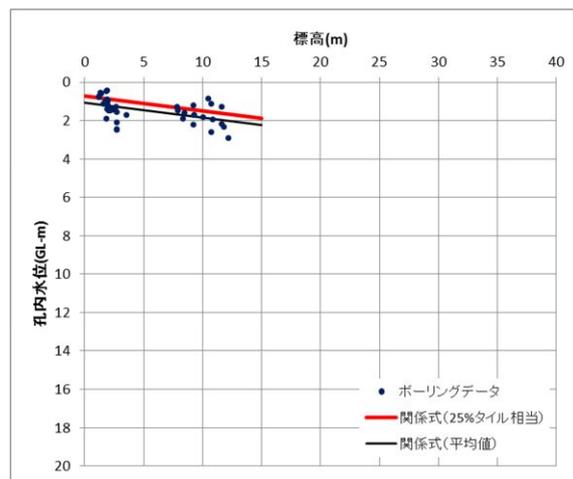


河川敷・河原

図 II. 2. 3-3 微地形区分毎の標高と地下水位の関係 (2)



掘削跡地



埋土地・盛土地

図 II. 2. 3-4 微地形区分毎の標高と地下水位の関係 (3)

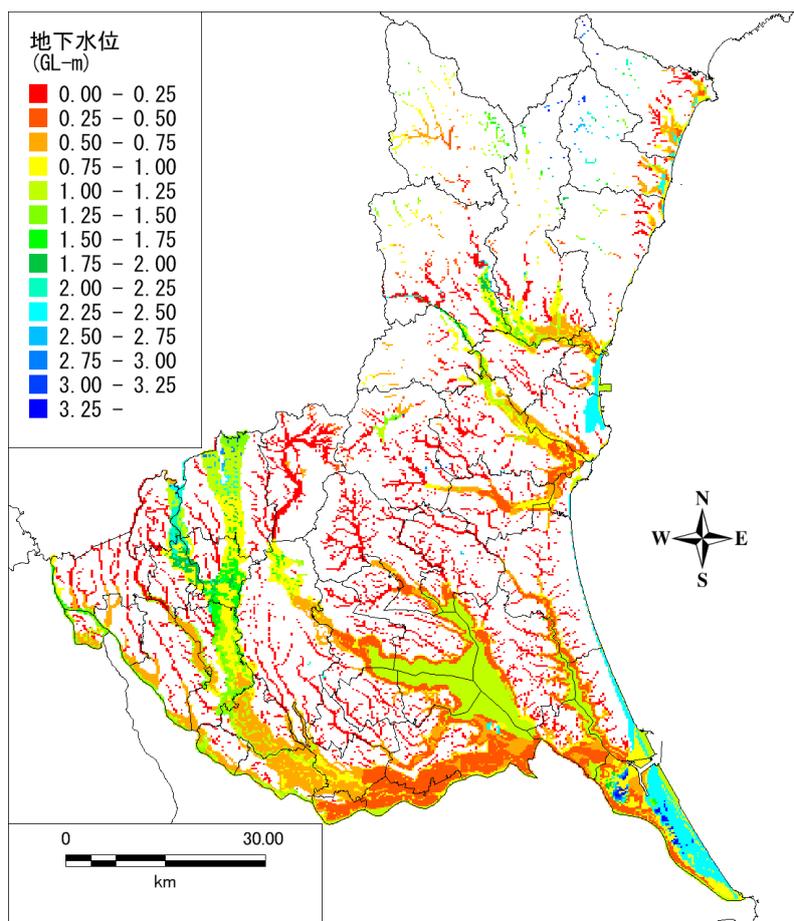


図 II. 2. 3-5 採用した地下水位分布図

(3) 細粒分含有率

F_c（細粒分含有率）については、茨城県内において収集した粒度試験の結果から、ボーリング柱状図の土質区分の記載が「砂」及び「礫」であるものとして抽出し、亀井ほか（2002）を参照してN値とF_cとの関係についてグラフにプロットした。

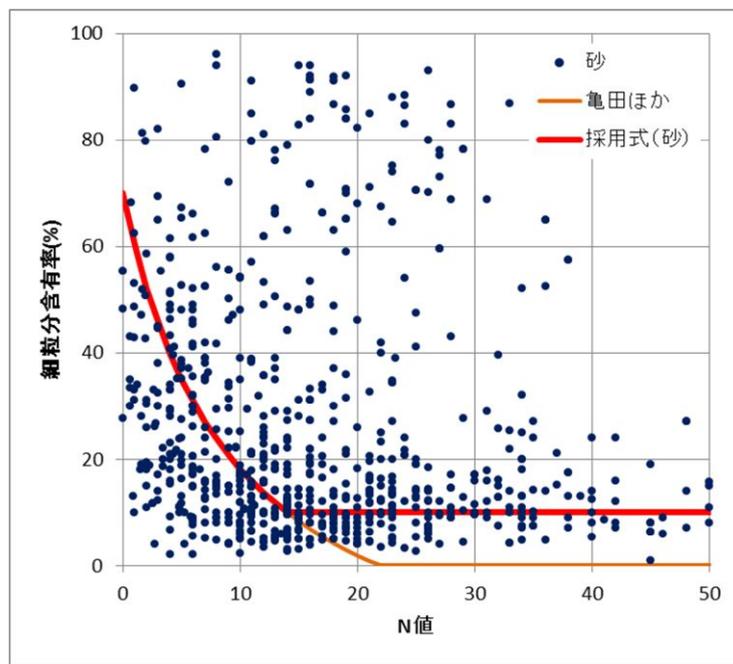


図 II. 2. 3-6 茨城県内の粒度試験結果による N 値とF_cの分布（砂質土）

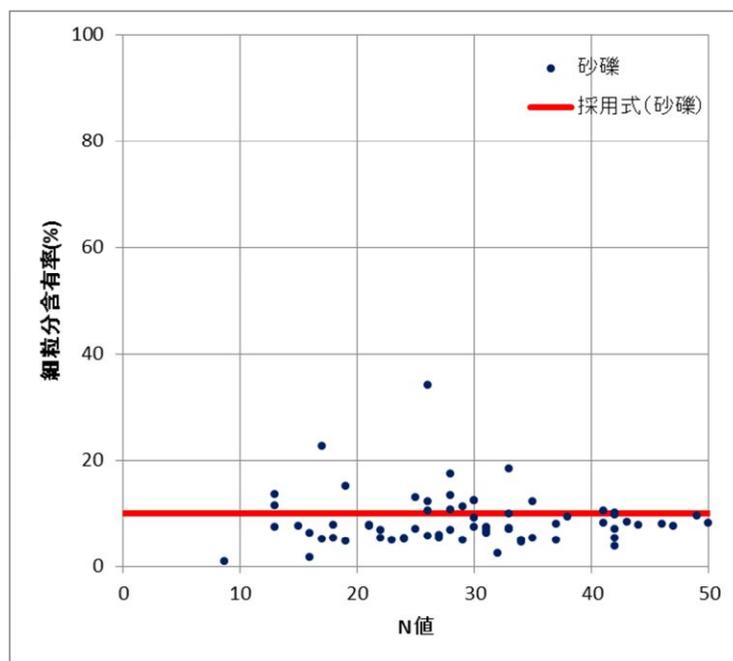


図 II. 2. 3-7 茨城県内の粒度試験結果による N 値とF_cの分布（礫質土）

砂質土については非常にばらつきが大きいものの、概ね亀井ほか(2002)による F_c と N 値との関係式と整合している。ただし、 N 値が大きい範囲では、亀井ほかよりも F_c の値が大きい傾向にある。

このため、砂質土については次式のように F_c の値を設定した。

$$F_c = \begin{cases} 916(N + 9.21) - 29.5 & (N < 14) \\ 10 & (N \geq 14) \end{cases}$$

礫質土については、収集したデータより、 $F_c=10\%$ とした。

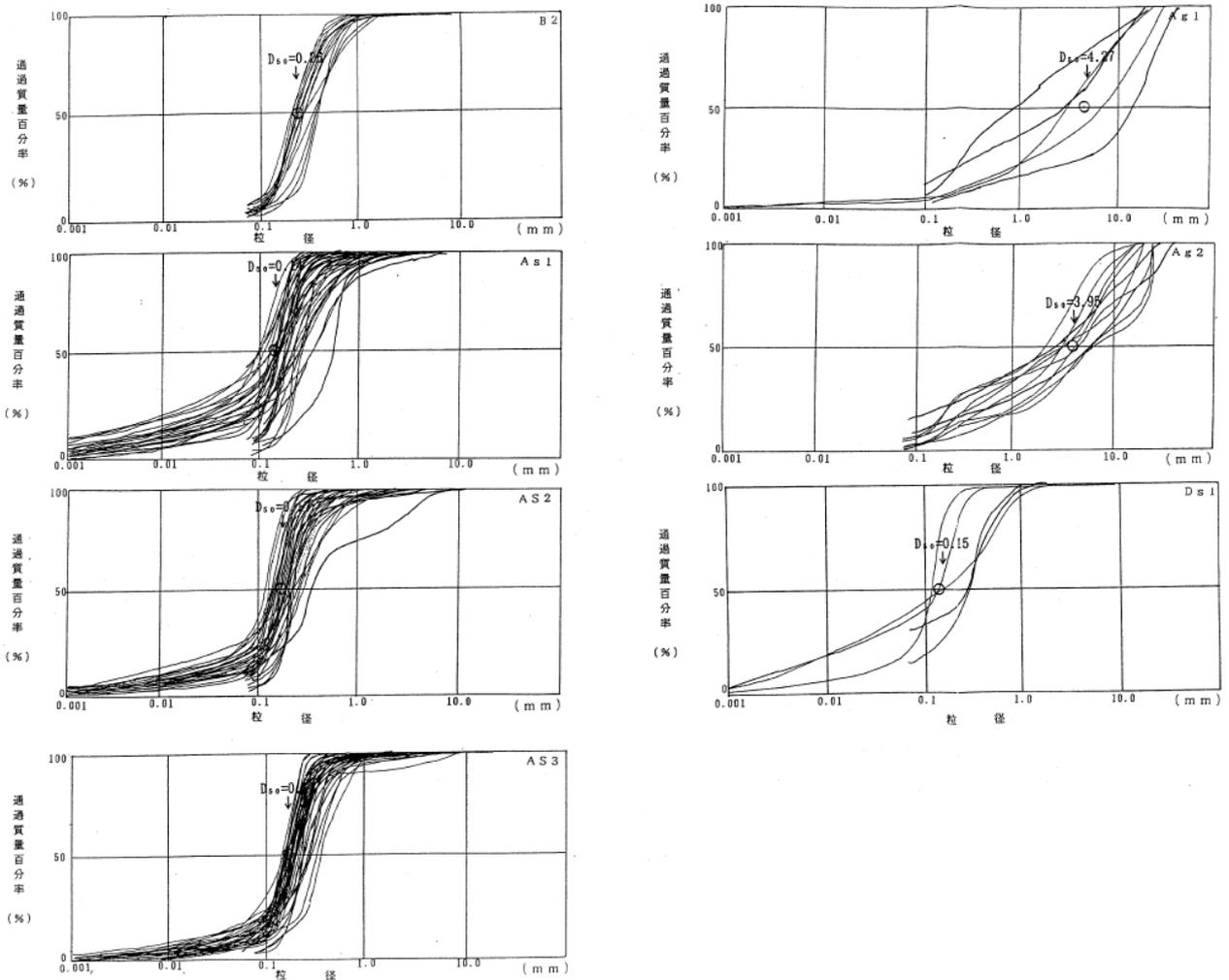
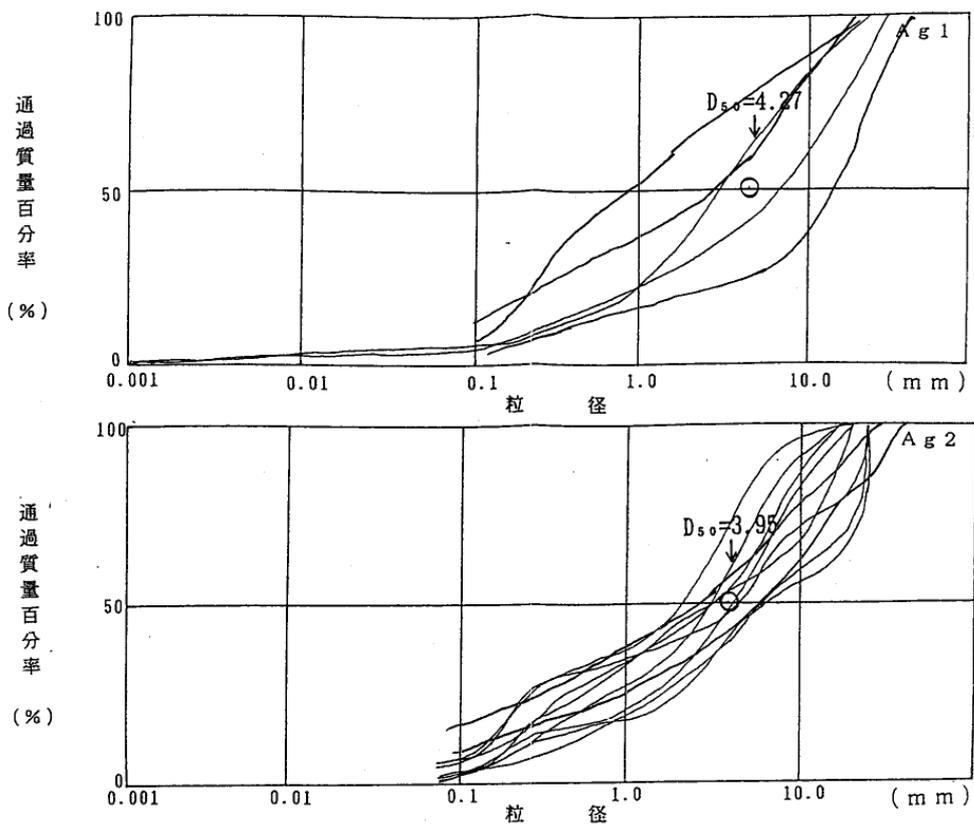


図 II.2.3-8 平成8年度調査の粒径加積曲線（平成8年度茨城県地震被害想定報告書）

平成8年度調査では、液状化対象となる7つの土質区分ごとに、粒径加積曲線より F_c と D_{50} を設定した。

(4) 50%粒径

礫質土の D_{50} (50%粒径) については、平成8年度茨城県地震被害想定調査における地盤調査結果 (Ag1については $D_{50}=4.27\text{mm}$ 、Ag2については $D_{50}=3.95\text{mm}$) を参照して、 $D_{50}=4\text{mm}$ とした。



図Ⅱ.2.3-9 沖積礫質土の粒径加積曲線
(平成8年度茨城県地震被害想定報告書)

(5) 地表加速度

地震動予測で詳細法を用いた茨城県南部の地震、茨城・埼玉県境の地震、F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震、棚倉破碎帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震、太平洋プレート内の地震については、工学的基盤の加速度波形より工学的基盤の最大加速度を求め、藤本・翠川(2006)による増幅度をかけて地表の最大加速度を求めた。

$$\text{Log}AF_{PGA} = -0.773 \cdot \log(AVS(30)/600) \pm 0.200$$

地震動予測に簡便法を用いた茨城県沖から房総半島沖にかけての地震、相模トラフ沿いのM8クラスの地震については、計測震度より童・山崎(1986)の以下の関係式から換算した。

$$I = 0.59 + 1.89 \cdot \log_{10}(PGA)$$

(6) 東北地方太平洋沖地震の液状化実績を反映した液状化の可能性

2011年東北地方太平洋沖地震においては茨城県の広い範囲で液状化が発生した。(防災科学技術研究所による、図Ⅱ.2.3-10、図Ⅱ.2.3-12)。しかしながら、今回作成した地盤モデルと上記の液状化可能性の予測手法を用いた液状化計算では、神栖市等では東北地方太平洋沖地震における実績と比べて狭くなっている範囲がある(図Ⅱ.2.3-13)。一方で、利根川流域等では実績と比べて大幅に広がっている範囲が存在する(図Ⅱ.2.3-11)。このような地域では、建物被害量を計算すると揺れによる全壊棟数と比べて液状化による全壊棟数が大幅に多くなり(つくばみらい市、利根町等)、過大評価となる可能性がある。以上のことから、東北地方太平洋沖地震における液状化の実績をある程度説明できるよう、予測手法の検討を行った。

1) 液状化対象となる土質区分

液状化対象とする土質区分については、「沖積砂質土」「沖積礫質土」「盛土」としている。これらについて、以下のように見直した。

- 「盛土」については、明らかに砂質土で構成されると判別される場合以外は、粘性土で構成されるものとして対象外とした。
- 加えて、N値2以下の「沖積砂質土」については、実際には粘性土主体であるものとみなして、対象外とした。
- 液状化対象とする微地形区分に該当するメッシュにおいて、液状化対象となる土質区分が存在しない場合は、液状化可能性は「可能性ややあり」とした。

2) 液状化計算のための地表加速度

東北地方太平洋沖地震の250mメッシュ地表加速度を、東北地方太平洋沖地震の際に観測された地表のK-NET、KiK-net波形から地表加速度と観測地点のメッシュの加速度増幅率を用いて求めた。図Ⅱ.2.3-14に地表加速度を示す。

3) 東北地方太平洋沖地震における液状化実績の反映

東北地方太平洋沖地震で液状化したメッシュにおいて、各想定地震(海溝型地震)の地表加速度が東北地方太平洋沖地震よりも大きくなるにもかかわらず、 P_L 値が5以下となる(液状化可能性が「やや高い」「可能性あり」)メッシュについては、以下の手順で液状化可能性を「高い」に修正した。なお、内陸型地震については上記の修正を行わず、計算により求められた液状化可能性をそのまま採用した。

- ① 地表加速度の大きさを変化させた液状化可能性の計算を予め行い、各メッシュにおいて液状化可能性が「高い」と判定される($P_L=5.01$)地表加速度の大きさを求めておく(図Ⅱ.2.3-15)。
- ② 東北地方太平洋沖地震で液状化し、かつ地表加速度が東北地方太平洋沖地震より大きいメッシュのうち、 $P_L < 5$ となる(地表加速度が①の値を下回る)メッシュについては、地表加速度の大きさを①で求めた $P_L=5.01$ となる時の値に修正する。(ただし、地表加速度の大きさは9,990galを上回らないものとする。)

- ③ ②で修正した地表加速度を用いて液状化可能性及び沈下量の計算を行う。
- ④ ③の計算結果で東北地方太平洋沖地震で液状化し、かつ地表加速度が東北地方太平洋沖地震より大きいメッシュ（図Ⅱ.2.3-10、図Ⅱ.2.3-12）のうち、液状化可能性が「やや高い」「可能性あり」となるメッシュ（地盤モデルで液状化対象層が存在しないなどの理由による）については、 $P_L=5.01$ （液状化可能性：高い）とする。沈下量については、東北地方太平洋沖地震で液状化したメッシュのうち、 $5 < P_L \leq 15$ となるメッシュの沈下量の頻度分布（図Ⅱ.2.3-16）を微地形区分別に作成し、求められた平均値（表Ⅱ.2.3-3）を採用した。頻度分布の得られなかった地形区分については、沈下量=0cmを採用した。

4) 液状化対策実施の反映

県内市町村への液状化対策実施状況に関するヒアリング結果を踏まえて、液状化対策が実施された範囲（図Ⅱ.2.3-17）については、液状化可能性を「対象外」に修正した。

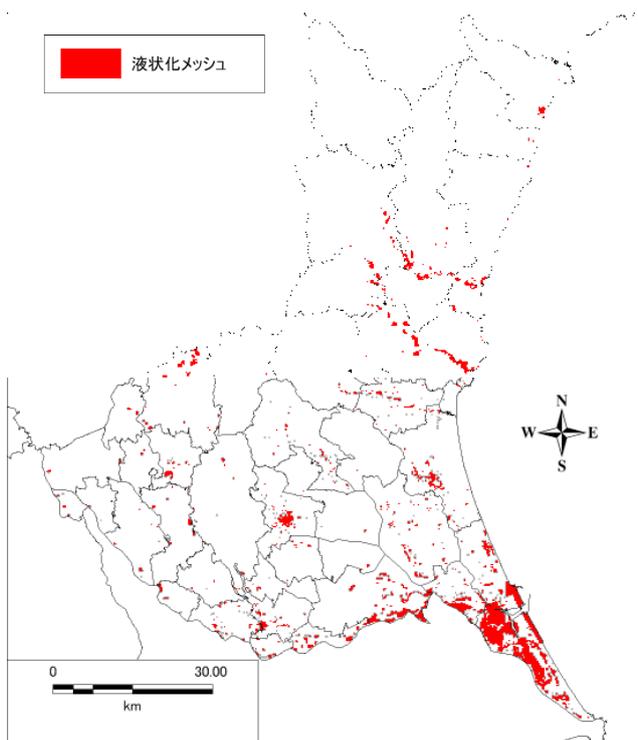
5) 凡例の変更

液状化可能性及び沈下量の計算結果を図Ⅱ.2.3-18に示した。なお、図Ⅱ.2.3-19に、図Ⅱ.2.3-10に示した東北地方太平洋沖地震における液状化地点の分布を再掲する。東北地方太平洋沖地震における液状化の発生は、予測においては $P_L > 5$ のメッシュで対応している。

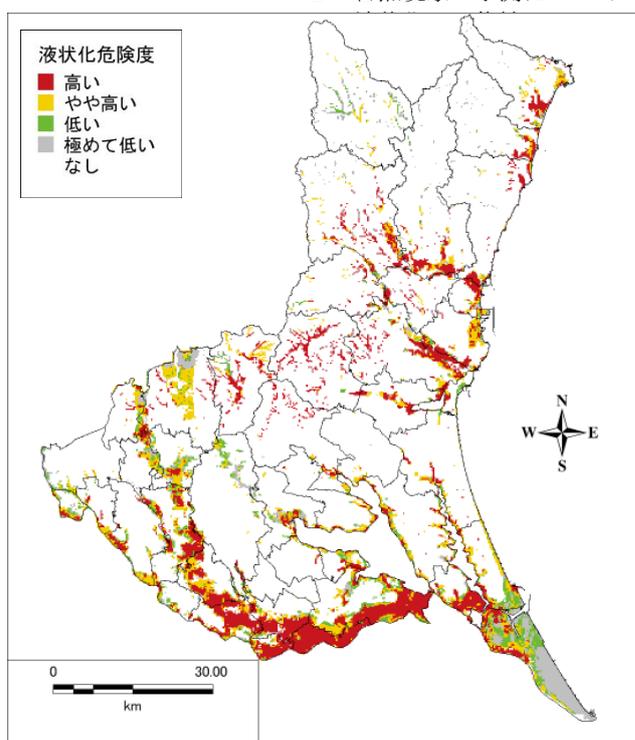
東北地方太平洋沖地震における液状化発生の分布状況と上記の方法による液状化可能性分布を踏まえ、以下のように凡例を変更した。

表Ⅱ.2.3-3 液状化の可能性の凡例

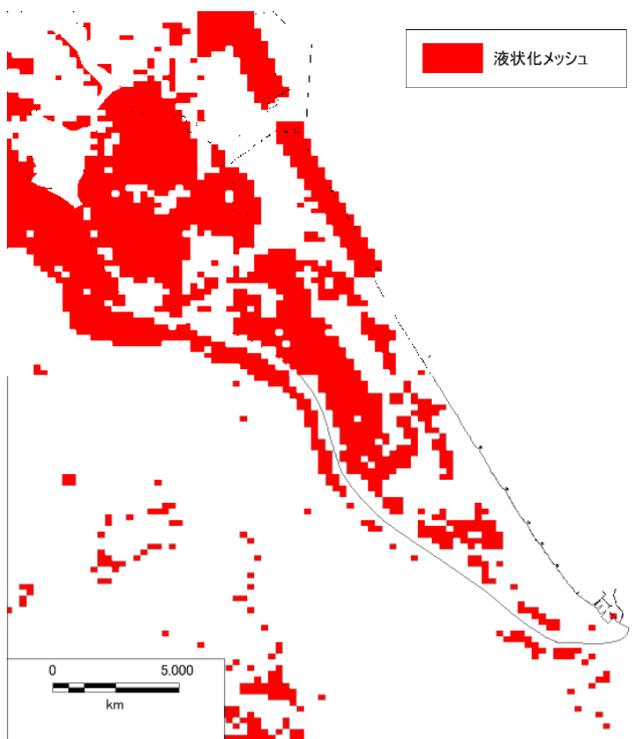
色	旧表記	新表記	P_L 値
赤色	高い	非常に高い	$15 < P_L$
濃い橙色	やや高い	高い	$5 < P_L \leq 15$
薄い橙色	低い	やや高い	$0 < P_L \leq 5$
黄色	極めて低い	可能性あり	0
灰色	対象外	可能性ややあり	判定対象微地形 (震度5弱以上)



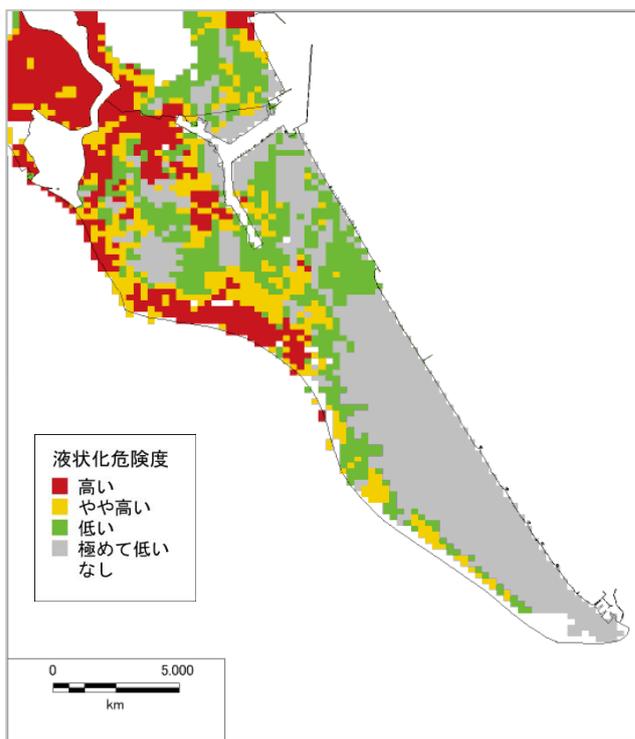
図Ⅱ . 2. 3-10 東北地方太平洋沖地震における液状化地点の分布
(防災科学技術研究所による)



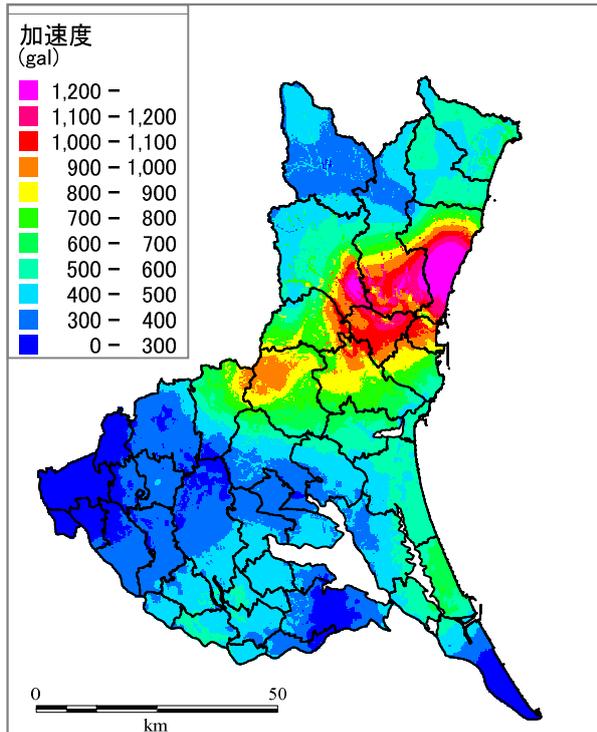
図Ⅱ . 2. 3-11 液状化可能性予測結果
(旧手法による)
【東北地方太平洋沖地震】



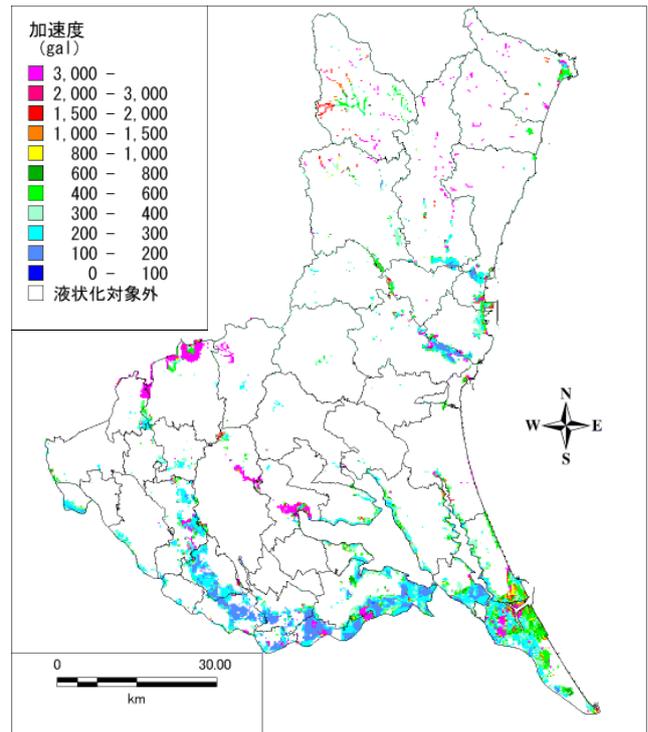
図Ⅱ . 2. 3-12 東北地方太平洋沖地震における液状化地点の分布 (神栖市拡大)
(防災科学技術研究所による)



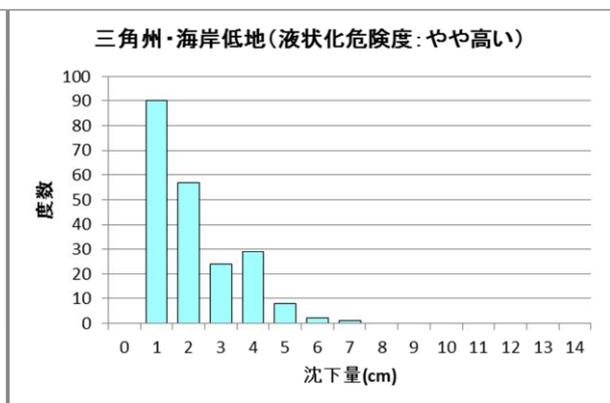
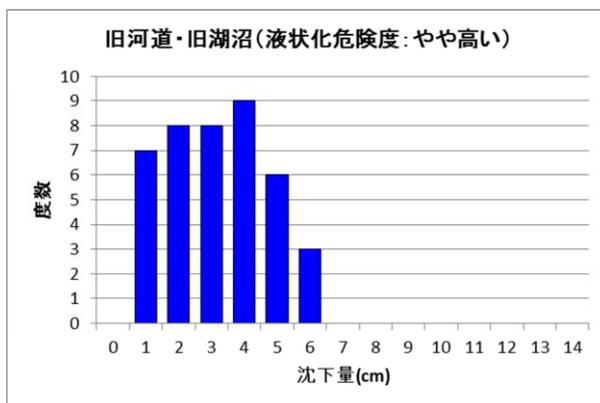
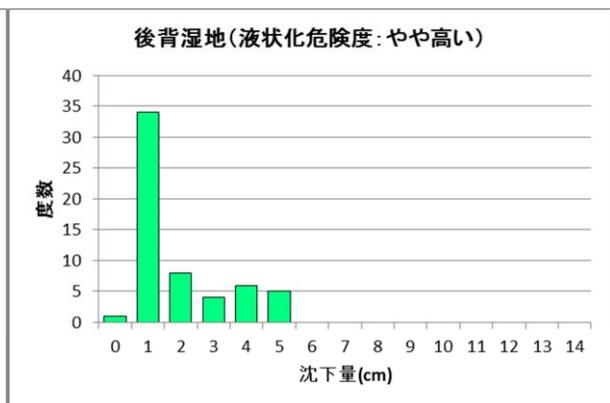
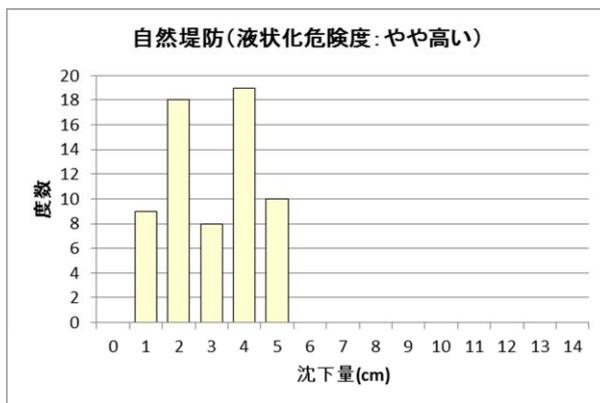
図Ⅱ . 2. 3-13 液状化可能性予測結果 (神栖市拡大) (旧手法による)
【東北地方太平洋沖地震】



図Ⅱ . 2. 3-14 観測波形を補間して計算した地表加速度分布
【東北地方太平洋沖地震】



図Ⅱ . 2. 3-15 $P_L=5.01$ となる地表最大加速度



図Ⅱ . 2. 3-16(1) 東北地方太平洋沖地震で液状化したメッシュのうち、液状化可能性が旧表記で「やや高い」 ($5 < P_L \leq 15$) と判定されたメッシュの沈下量の頻度分布

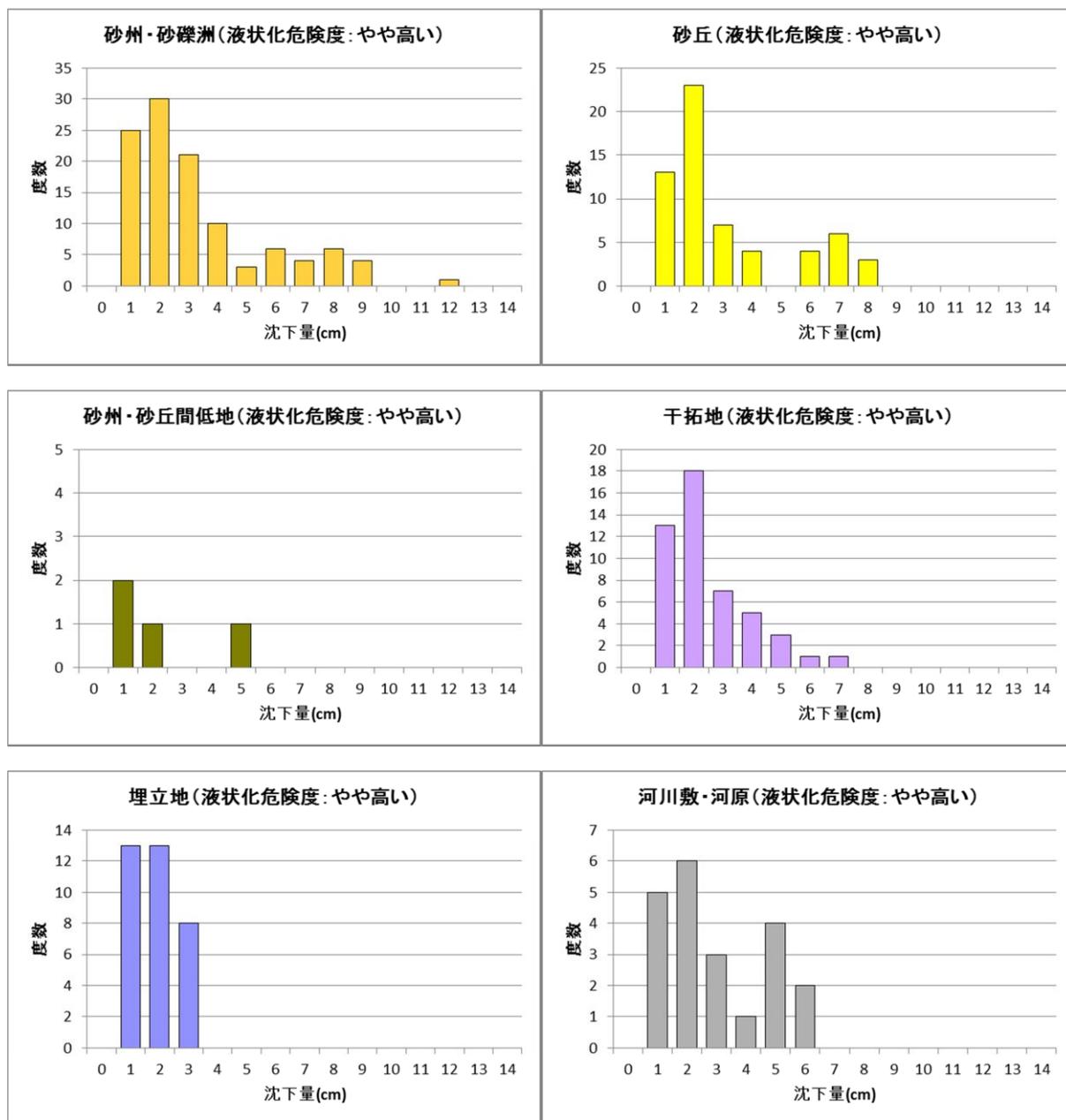
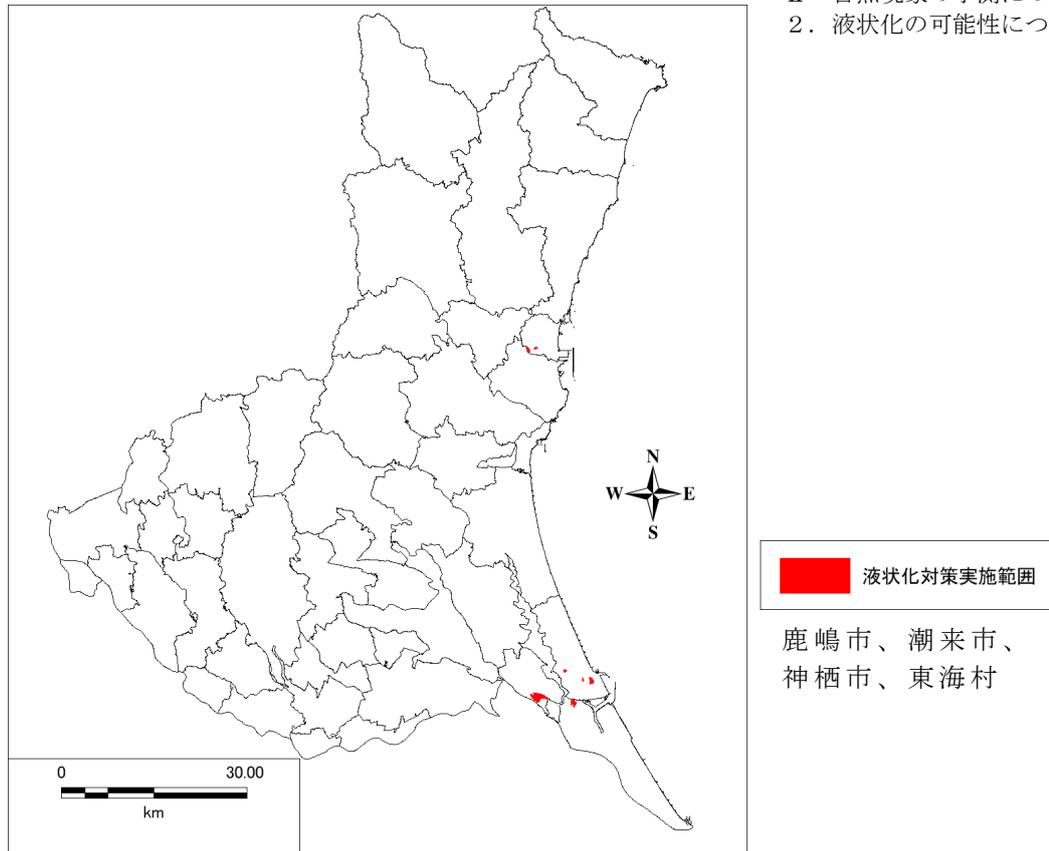


図 II. 2. 3-16(2) 東北地方太平洋沖地震で液状化したメッシュのうち、液状化可能性が旧表記で「やや高い」 ($5 < P_L \leq 15$) と判定されたメッシュの沈下量の頻度分布

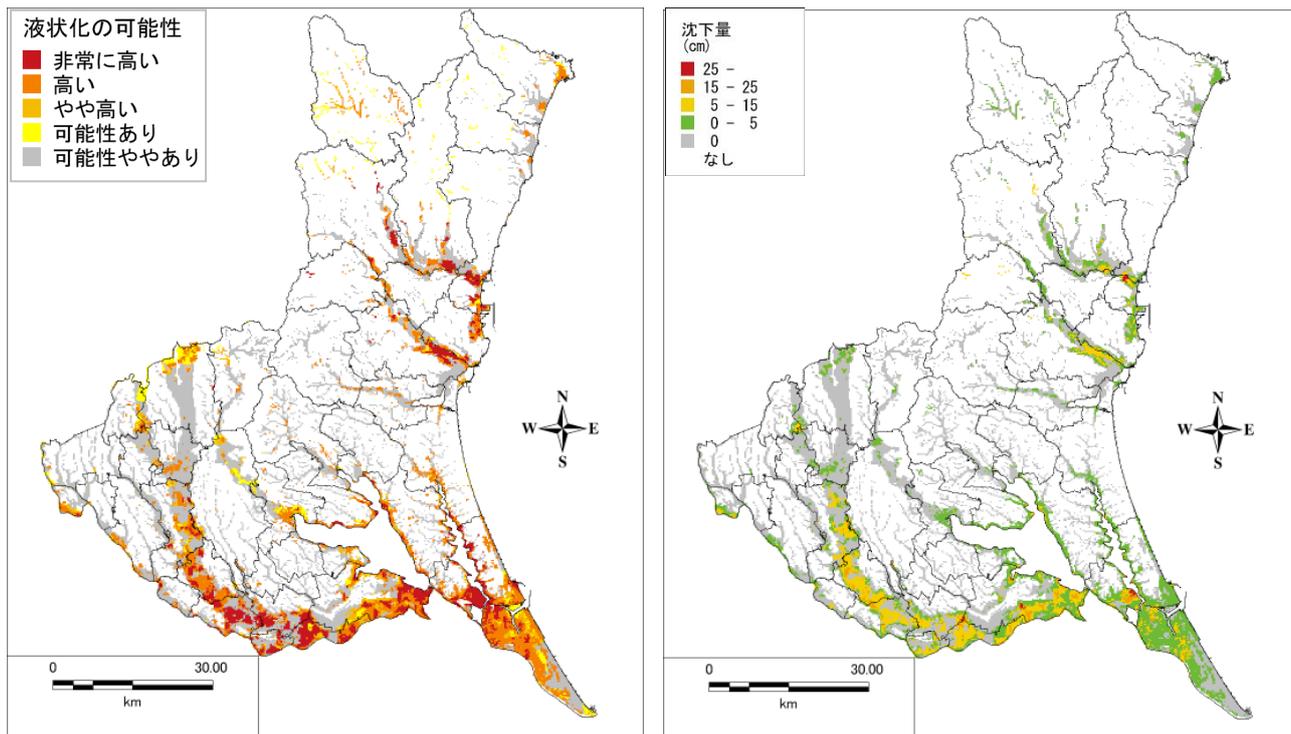
表 II. 2. 3-3 東北地方太平洋沖地震で液状化したメッシュのうち、液状化可能性が旧表記で「やや高い」 ($5 < P_L \leq 15$) と判定されたメッシュの沈下量の平均値

微地形区分	メッシュ数	平均沈下量(cm)
自然堤防	64	3.05
後背湿地	58	1.91
旧河道・旧湖沼	41	3.20
三角州・海岸低地	211	2.14
砂州・砂礫洲	110	3.30
砂丘	60	3.10
砂州・砂丘間低地	4	2.25
干拓地	48	2.46
埋立地	34	1.85
河川敷・河原	21	2.95
合計	651	2.59

Ⅱ 自然現象の予測について
2. 液状化の可能性について

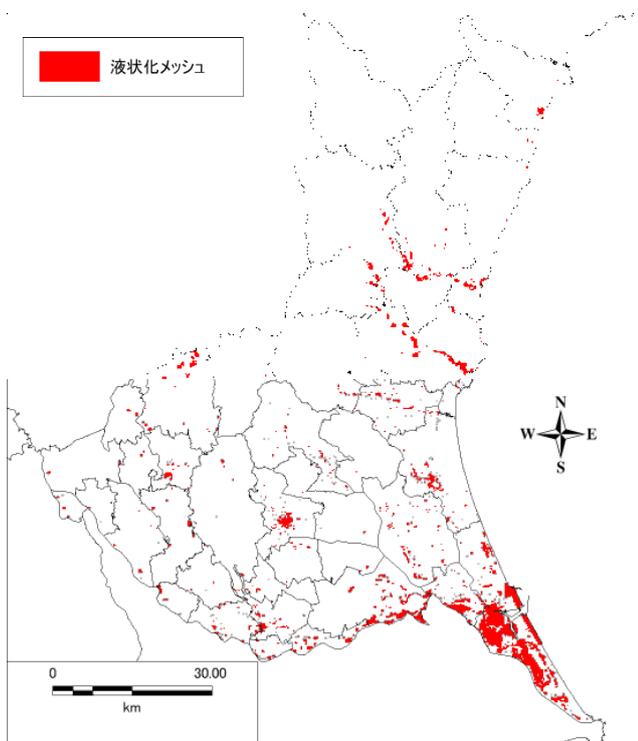


図Ⅱ . 2. 3-17 液状化対策実施範囲



図Ⅱ.2.3-18 液状化可能性と沈下量【東北地方太平洋沖地震】

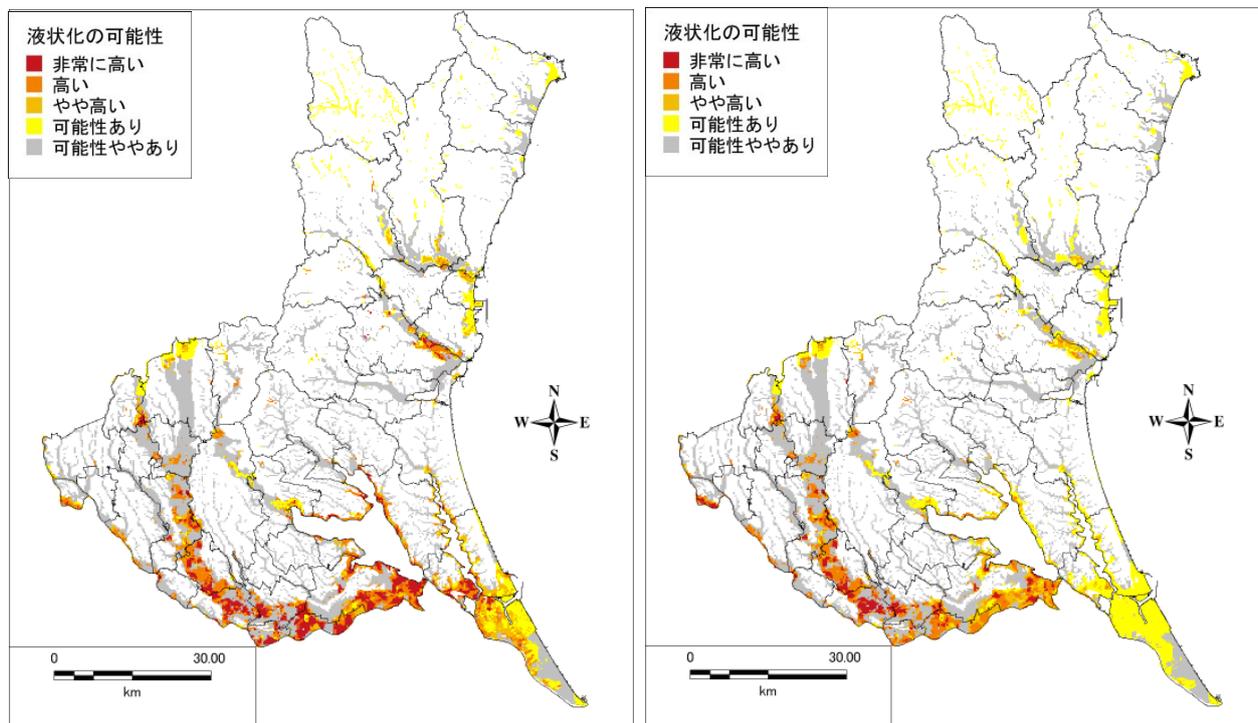
左図：液状化可能性、右図：沈下量



図Ⅱ.2.3-19 液状化発生地点【東北地方太平洋沖地震】（図Ⅱ.2.3-10の再掲）
（防災科学技術研究所による）

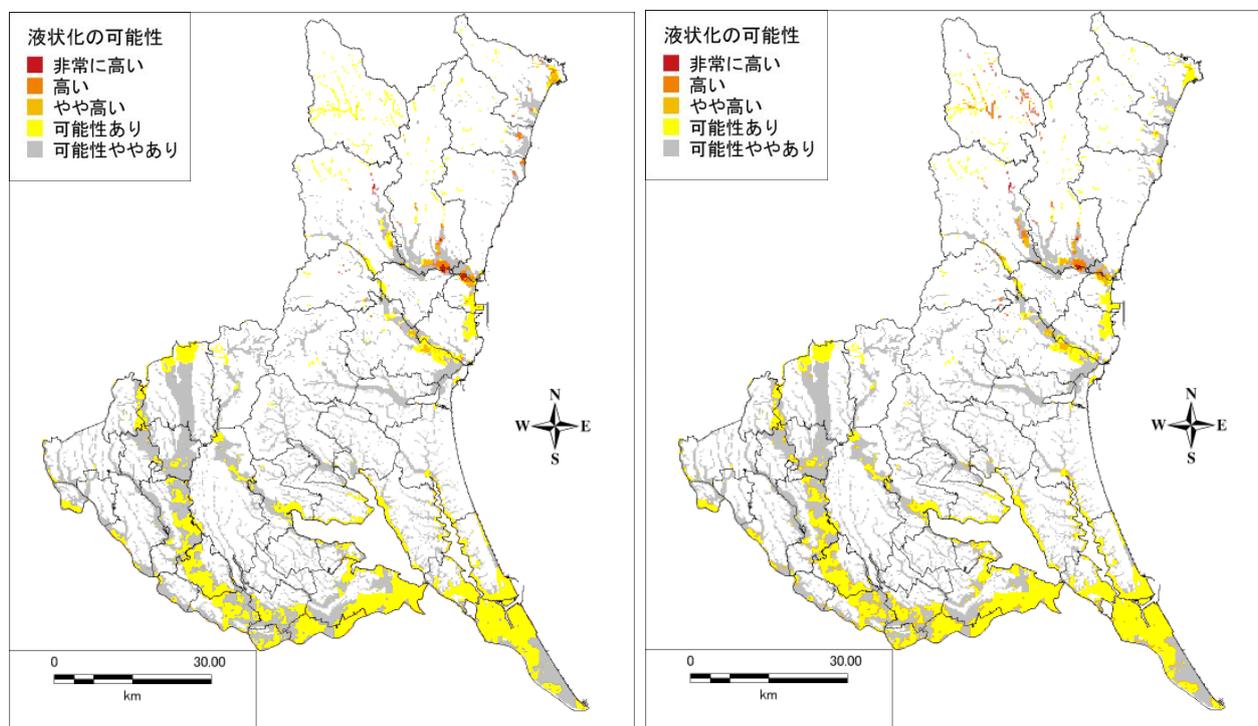
2.4 液状化可能性の予測結果

液状化可能性の予測結果について、図Ⅱ.2.4-1～図Ⅱ.2.4-6 に示す。



図Ⅱ.2.4-1 液状化の可能性【茨城県南部地域で発生するM7クラスの地震】

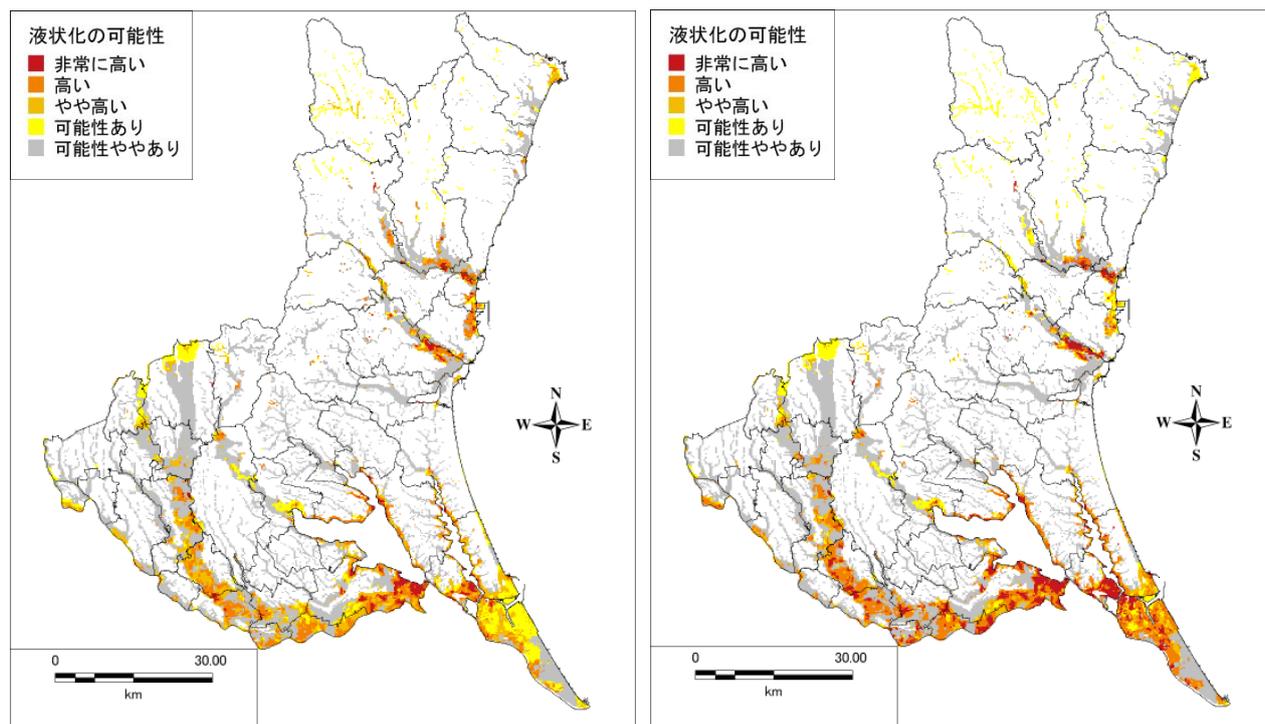
左図：茨城県南部の地震、右図：茨城・埼玉県境の地震



図Ⅱ.2.4-2 液状化の可能性【県北部の活断層による地震】

左図：F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震

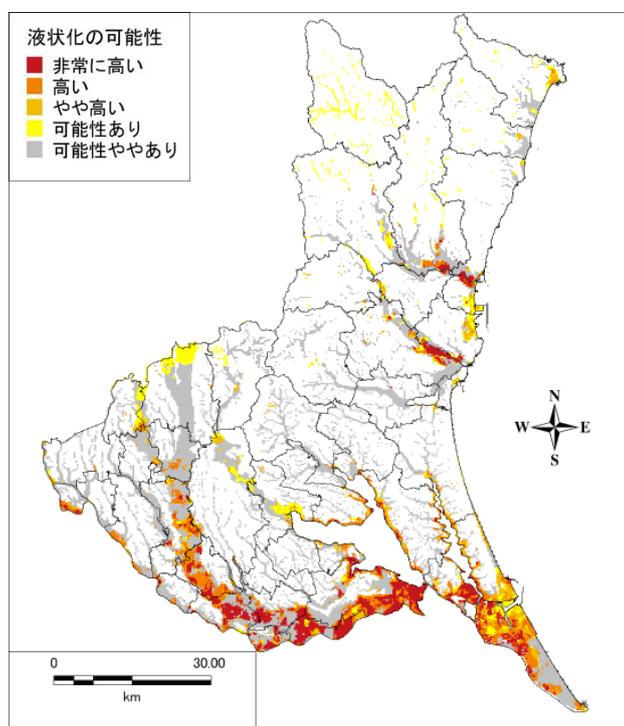
右図：棚倉破碎帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震



図Ⅱ.2.4-3 液状化の可能性【太平洋プレート内の地震】

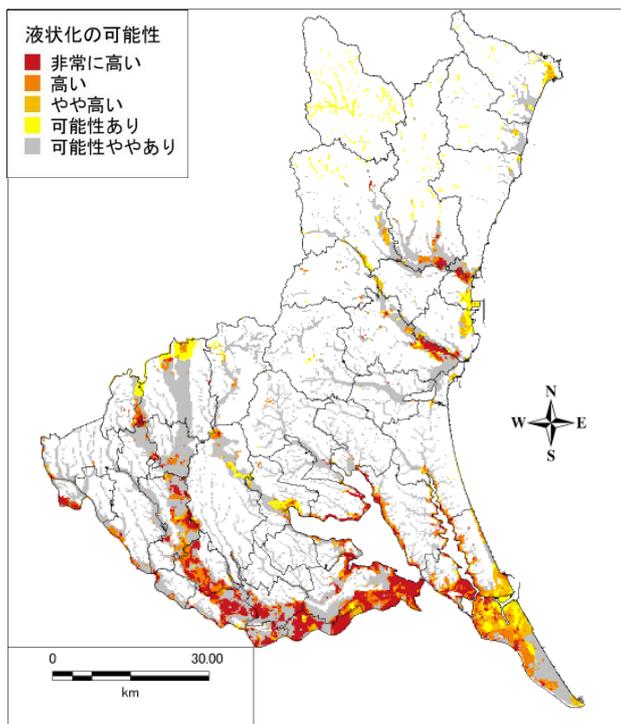
左図：県北部鉛直傾斜モデルケース3（南部）

右図：県南部鉛直傾斜モデルケース3（南部）

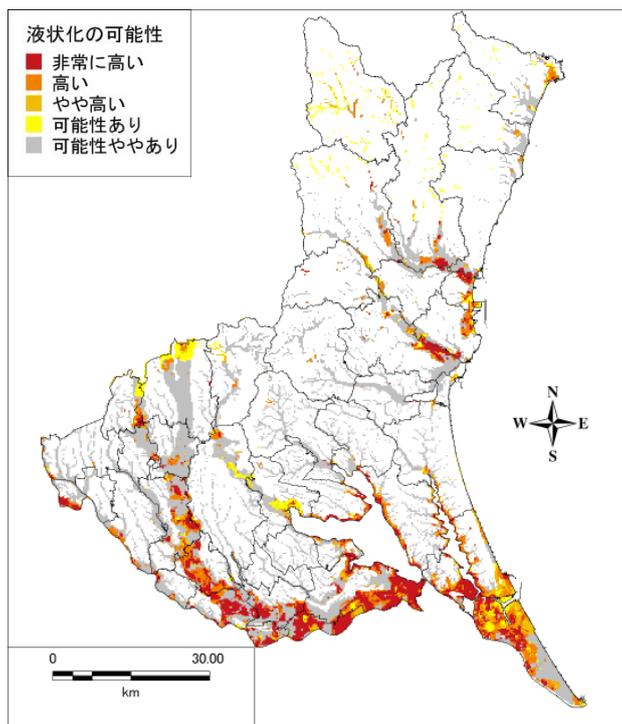


図Ⅱ.2.4-4 液状化の可能性

茨城県沖から房総半島沖にかけての地震



図Ⅱ.2.4-5 液状化の可能性
相模トラフ沿いのM8クラスの地震



図Ⅱ.2.4-6 液状化の可能性
地殻内一律Mw6.8の地震

2.5 沈下量の予測結果

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後に発表された内閣府（2012）では、 F_L 値の計算結果より『沈下量』を求め、これを液状化可能性の評価指標としている。

加えて、内閣府（2012）では、液状化による建物被害の算出において、『沈下量』と建物被害との被害率曲線を用いていることから『沈下量』についても試算を行った。

液状化に伴う地盤の沈下量 S は、建築基礎構造設計指針（日本建築学会, 2001）に示されている補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係を用いて、補正 N 値と応力比のプロット点に対応する繰返しせん断ひずみを隣接する γ_{cy} 曲線の対数補間により求める。

このとき、繰返しせん断ひずみ 8% の曲線より左側にプロットされる場合には $\gamma_{cy} = 8\%$ とし、0.5% より右側にプロットされる場合には、 $\gamma_{cy} = 0.5\%$ とする。

繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を体積ひずみ ε_v として読み替える。そして、沈下量 S を次のようにして推定する。

$$S = \sum (H_i \times \varepsilon_{vi}), \quad i = 1 \sim n$$

S : 沈下量

H_i : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の層厚

ε_{vi} : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の体積ひずみ

n : $F_L < 1.0$ となる砂質土層数

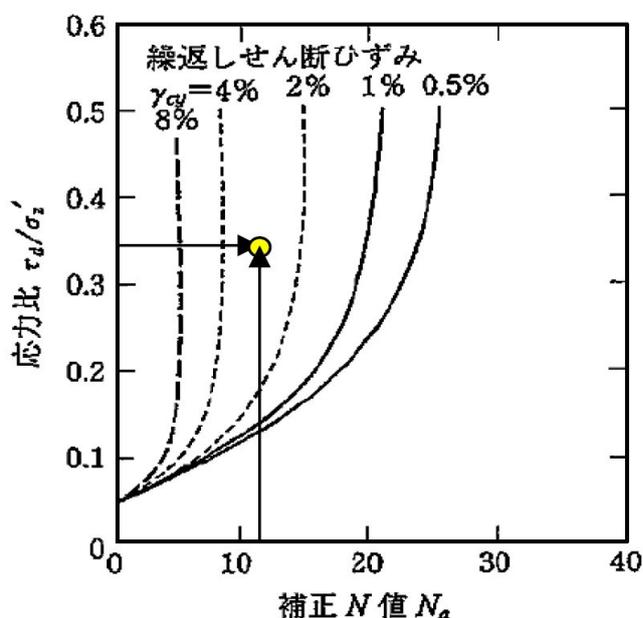
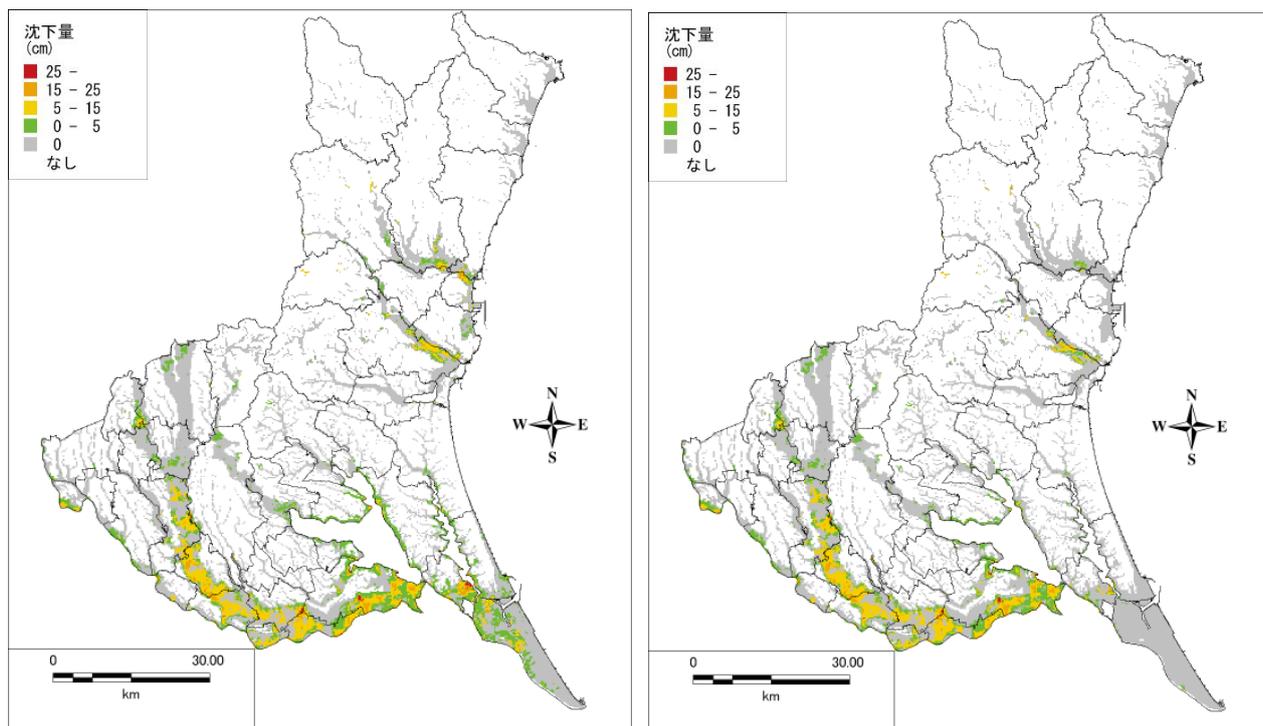


図 II. 2.5-1 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係

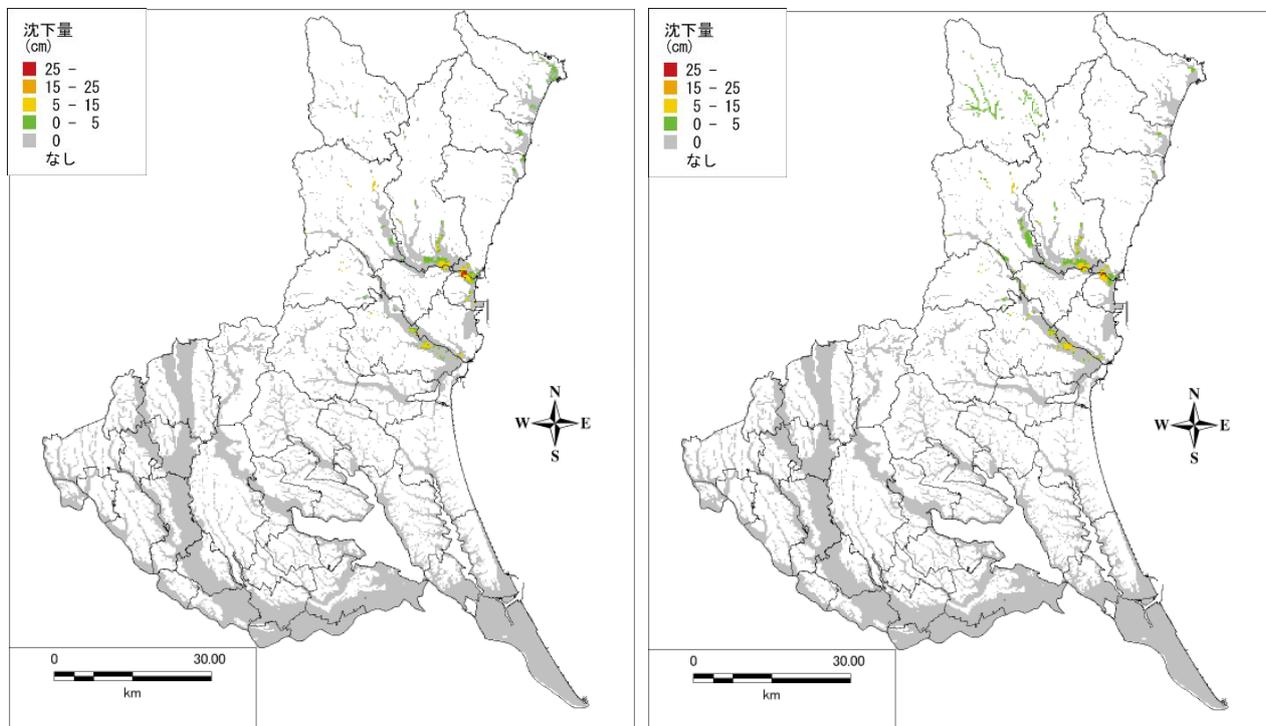
（建築基礎構造設計指針（日本建築学会, 2001）， p.66 図 4.5.7 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係に加筆）

液状化による沈下量の予測結果について、図Ⅱ.2.5-2～図Ⅱ.2.4-7に示す。



図Ⅱ.2.5-2 液状化による沈下量【茨城県南部地域で発生するM7クラスの地震】

左図：茨城県南部の地震、右図：茨城・埼玉県境の地震



図Ⅱ.2.5-3 液状化による沈下量【県北部の活断層による地震】

左図：F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震

右図：棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震

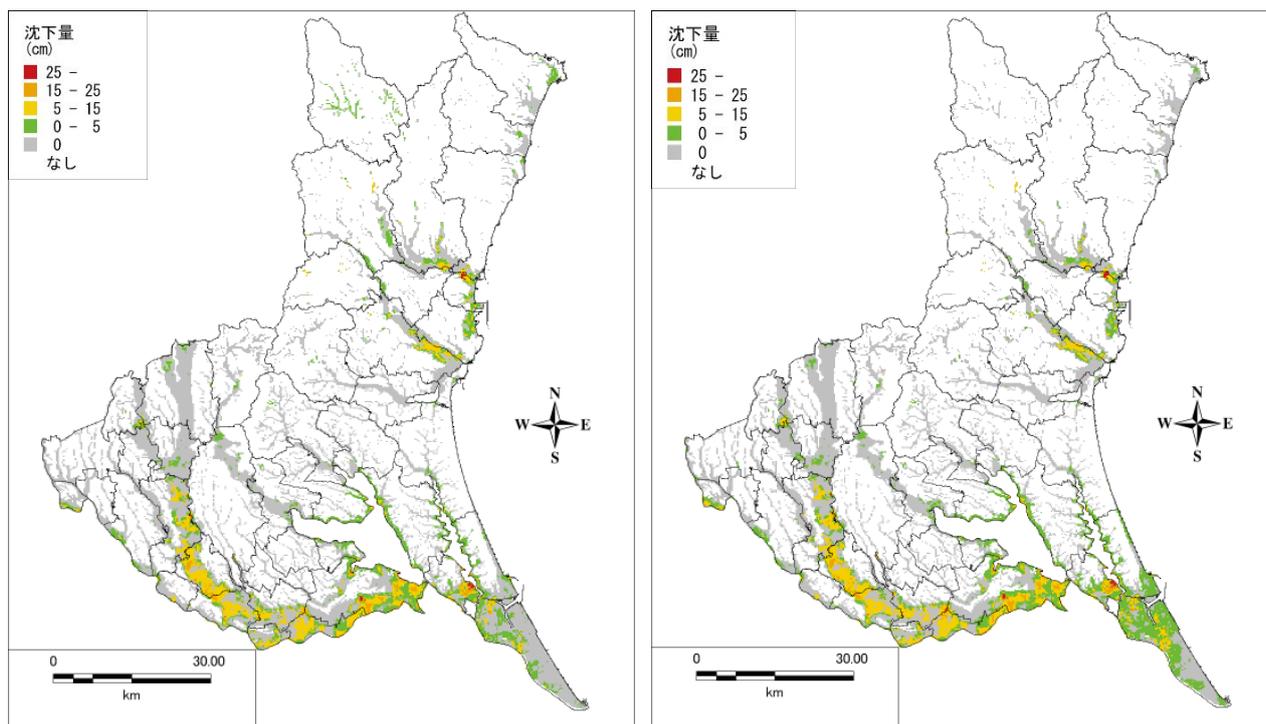


図 II. 2. 5-4 液状化による沈下量【太平洋プレート内の地震】

左図：県北部鉛直傾斜モデルケース 3（南部）、右図：県南部鉛直傾斜モデルケース 3（南部）

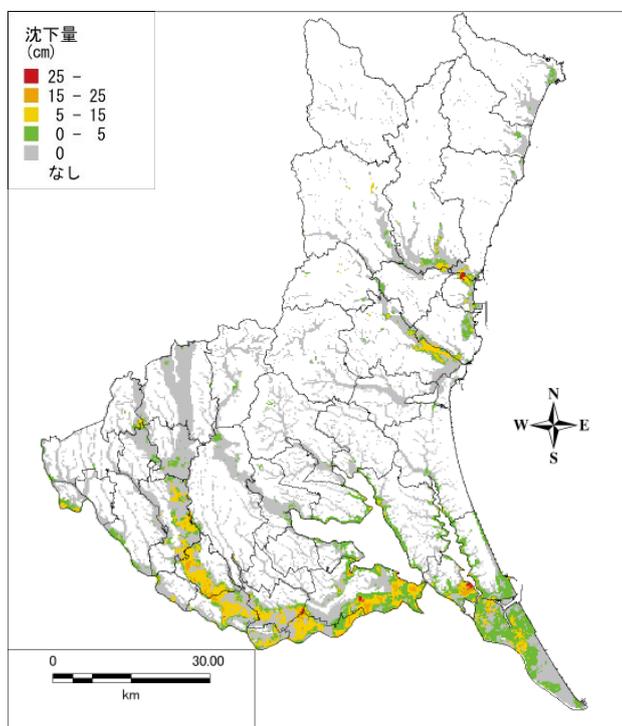


図 II. 2. 5-5 液状化による沈下量

茨城県沖から房総半島沖にかけての地震

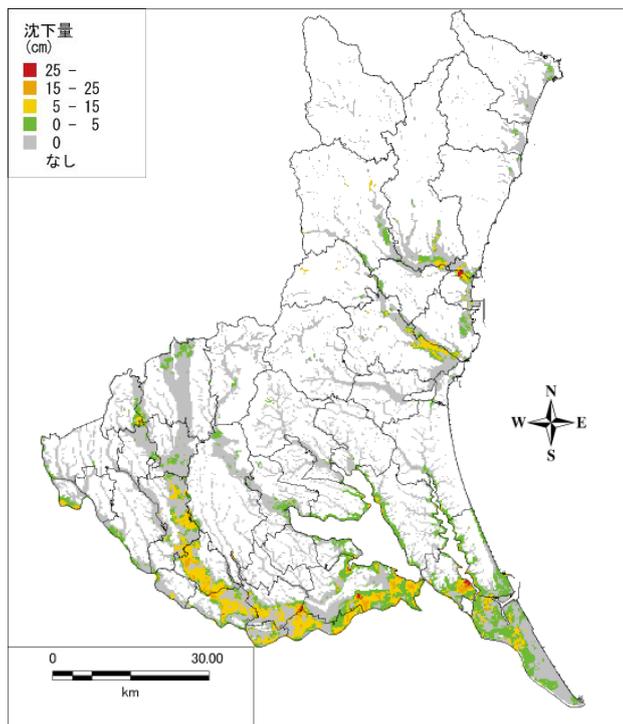


図 II . 2. 5-6 液状化による沈下量
相模トラフ沿いのM8クラスの地震

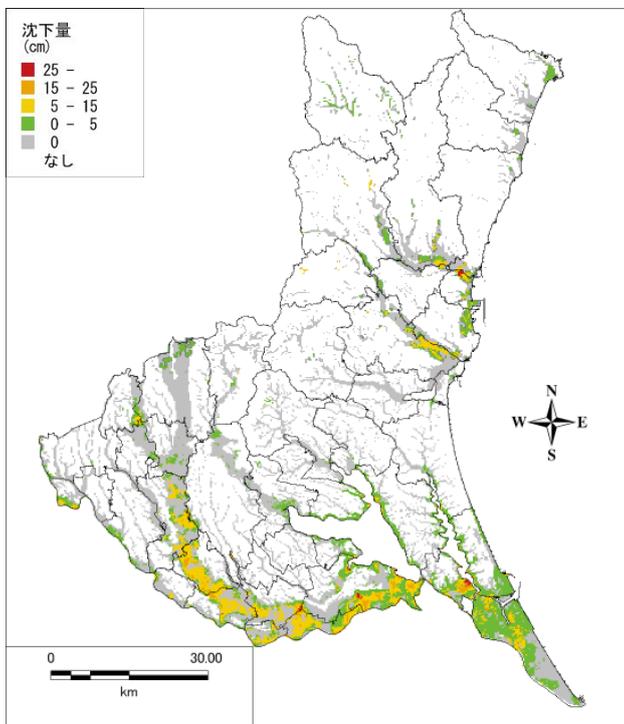


図 II . 2. 5-7 液状化による沈下量
地殻内一律 Mw6.8 の地震