

第5章 液状化の予測

5.1 概要

千葉県では、2011年の東北地方太平洋沖地震において、特に東京湾岸の埋立地や利根川沿いにおいて液状化の大きな被害を受けた。当時の液状化被害の状況については様々な調査が実施されたが、同じ埋立地内でも地質状況の違いによって大きく異なることが判明した。より詳細な液状化の予測を行うため、全県での250mメッシュ単位での予測に加えて、ボーリングデータが豊富な浦安市～千葉市美浜区・中央区の埋立地において、50mメッシュ単位で予測を行った。

さらに、全県で同一の震度の揺れが発生した場合にどのような範囲で液状化が発生するかの目安とすることを目的として、東北地方太平洋沖地震のような超巨大地震と直下地震の2種類の地震を想定し、震度5弱、5強、6弱、6強の場合について液状化しやすさマップを作成した。

なお、どの予測においても液状化対策は考慮していない。

5.2 液状化の予測

(1) 液状化予測計算用地盤モデル・物性値

液状化予測に必要な地盤モデルについては、特に液状化対象層となる沖積層の分布を詳細に検討した。また、埋立土層の分布についても、詳細なモデル化を行った。

液状化予測計算に必要な細粒分含有率(F_c)については、千葉県(2012a)の検討を踏まえて、新たに収集した土質試験データを加味して設定した。また、地下水位については、収集したボーリングデータをもとに新たに設定した(図5-1)。

(2) 予測手法

液状化予測手法については、千葉県(2012a)でも採用し、実績も豊富であることから、 P_L 値による方法を採用し、千葉県北西部直下地震及び大正型関東地震について予測を行った。加えて、液状化による建物被害の想定に用いるため、メッシュ毎の沈下量についても内閣府(2012c)³²の手法により予測を行った。

(3) 予測結果

千葉県北西部直下地震及び大正型関東地震が発生した場合の液状化危険度の予測結果を図5-2に、液状化に伴う沈下量を図5-3に示した。

千葉県北西部直下地震については、震源直下の東京湾岸の浦安市～千葉市にかけての埋立地で液状化危険度の高い領域が広がっている。また、利根川や江戸川沿いの低地部や、養老川や小櫃川沿いの谷底低地の一部において液状化危険度が高くなっている。沈下量については、市川市の江戸川沿いの低地部などで大きくなっている。

大正型関東地震については、市原市以南の海岸低地や九十九里の砂州の一部において液

状化危険度が高くなっている。沈下量については市原市の埋立地などで大きくなっている。

なお、この予測は液状化対策を実施する前の原地盤を想定したものであり、実際に液状化対策工法で施工している地盤の液状化しやすさを表したものではない。

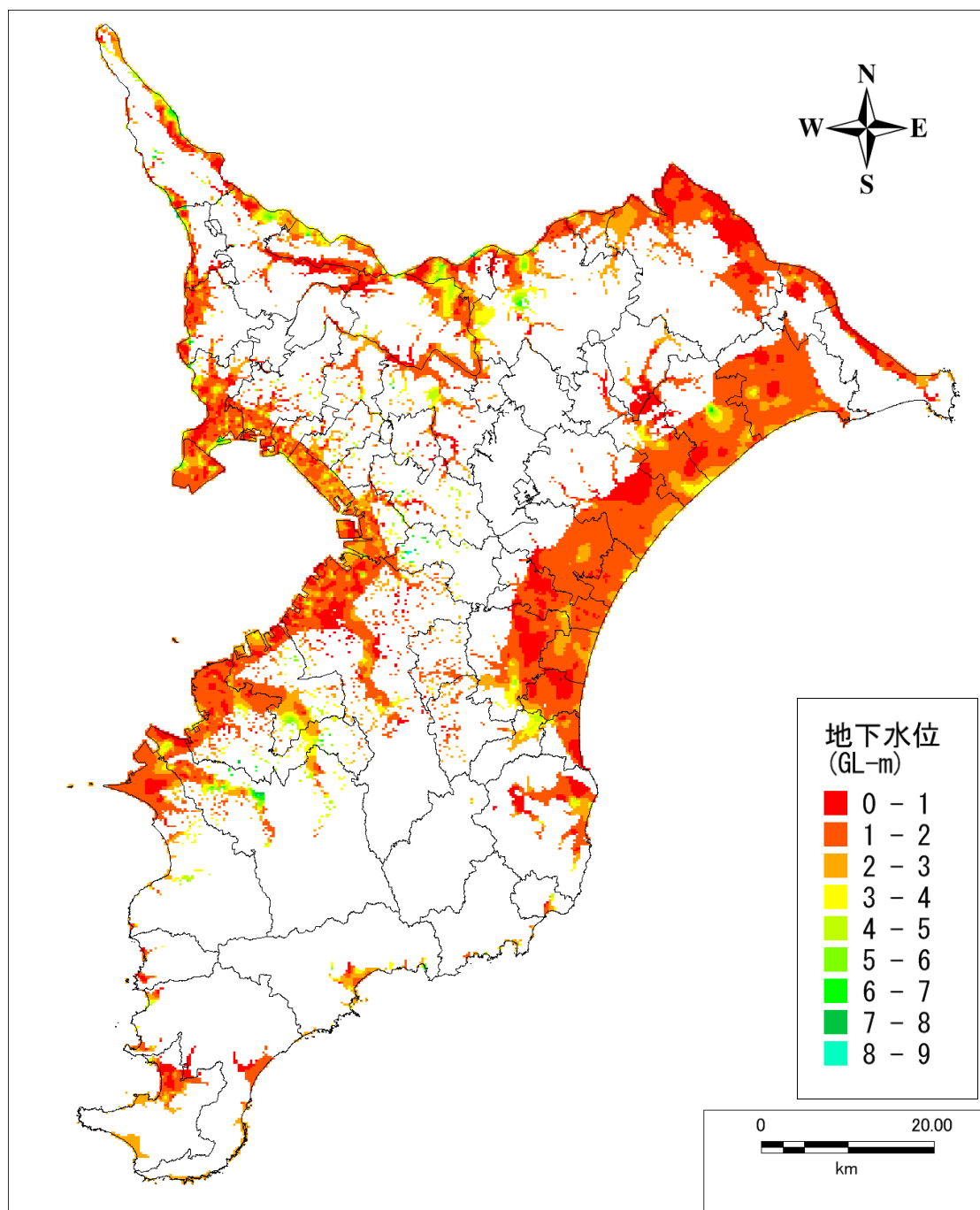


図5-1 設定した地下水位の分布

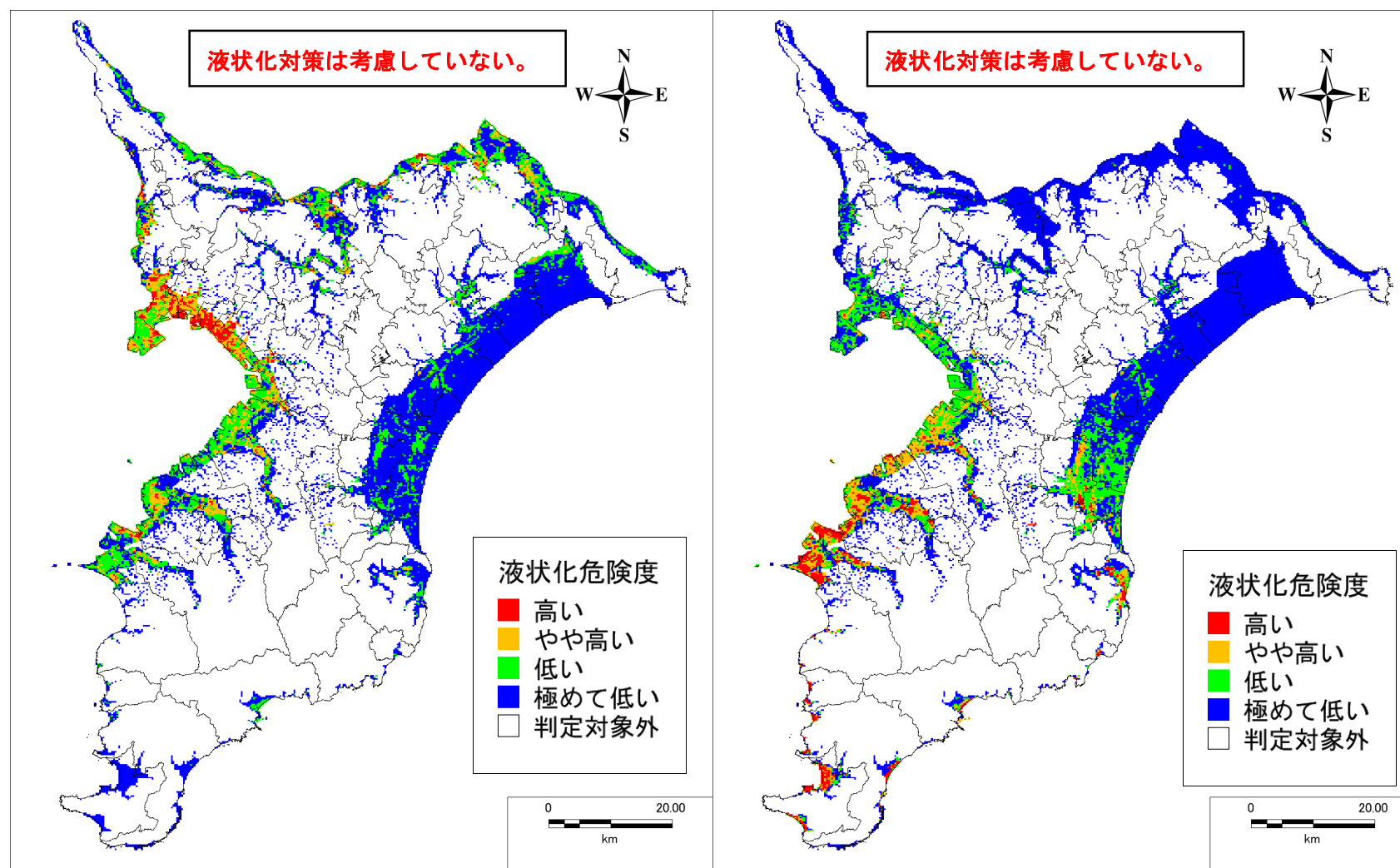


図 5-2 液状化危険度（左：千葉県北西部直下地震・右：大正型関東地震）

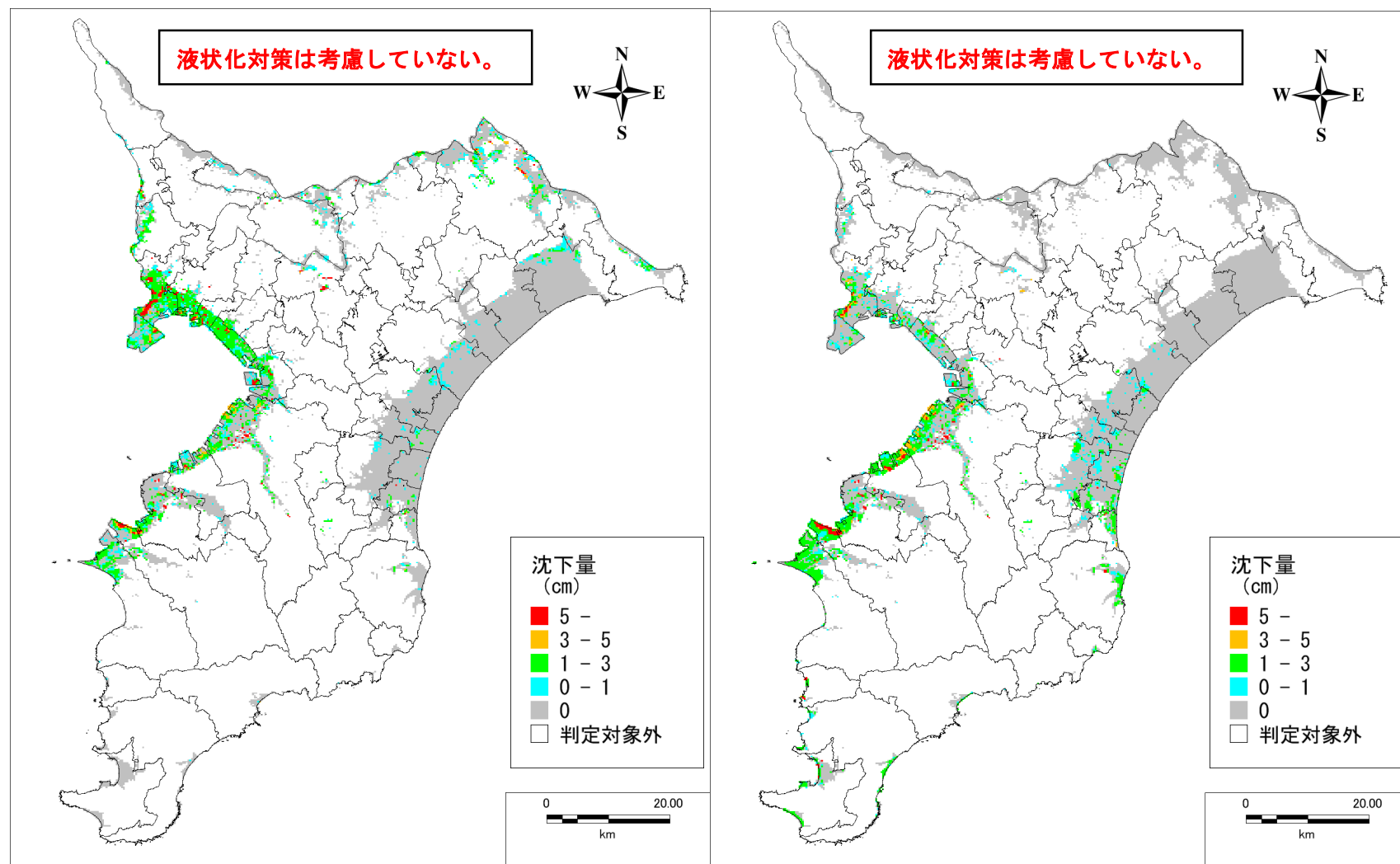


図 5-3 液状化に伴う沈下量（左：千葉県北西部直下地震・右：大正型関東地震）

5.3 東京湾沿岸の埋立地での液状化予測計算について

(1) 概要

東京湾沿岸の埋立地においては、埋立地の地質状況（砂質土の分布）が非常に複雑で、さらに砂質土の細粒分含有率（ F_c ）もボーリングごとに非常に変化が激しい。このため、ボーリングデータの豊富な浦安市～千葉市中央区都川河口までの地区では、上記の 250m メッシュ単位だけでなく下記の 1) 及び 2) の方法で液状化予測計算を行い、この地区の埋立地については 50m メッシュで評価した。

- 1) 収集したボーリング地点毎の液状化危険度の評価を行い、その地点ごとの評価結果を示す方法である。ボーリング地点毎の細粒分含有率については、ボーリングの土質名の記載により、土質名毎の N 値～ F_c の関係を用いて評価を行った。
- 2) 液状化危険度をより細かく評価するため、50m メッシュ毎の地盤モデルを用いて液状化危険度を評価した。

(2) 予測結果

ボーリング地点毎の液状化評価結果を図 5-4 に、50m メッシュ毎の液状化評価結果を図 5-5 に示した。

千葉県北西部直下地震については、特に船橋市から習志野市、千葉市美浜区にかけて液状化危険度の高い地域が広く分布するが、メッシュ毎の液状化対象層の厚さの相違を反映して、局所的に液状化危険度の低いメッシュが存在する。この分布の傾向は、ボーリングの存在する範囲についてはボーリング地点毎の評価結果と概ね一致している。これに対して浦安市～市川市については地震動の大きさが相対的に小さいため、液状化危険度の高いメッシュと低いメッシュが混在する。

大正型関東地震については、浦安市、船橋市、千葉市美浜区の一部で液状化危険度が高くなっている。局所的に液状化危険度がやや高い地域が見られる。

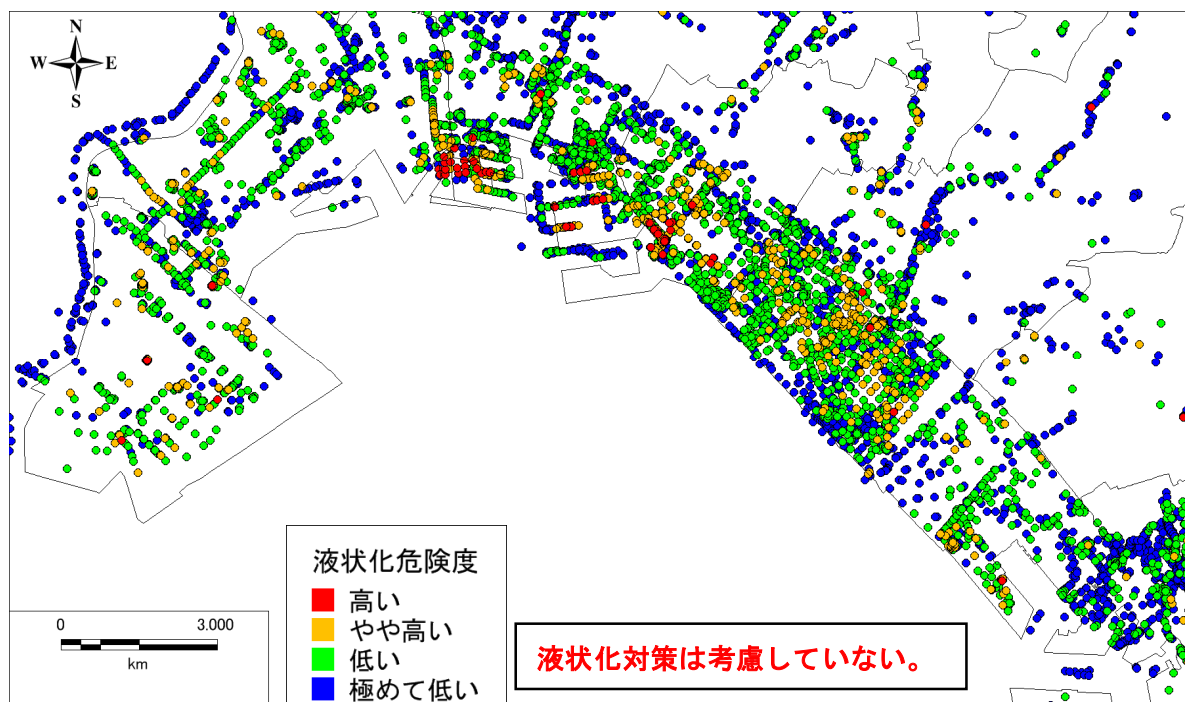
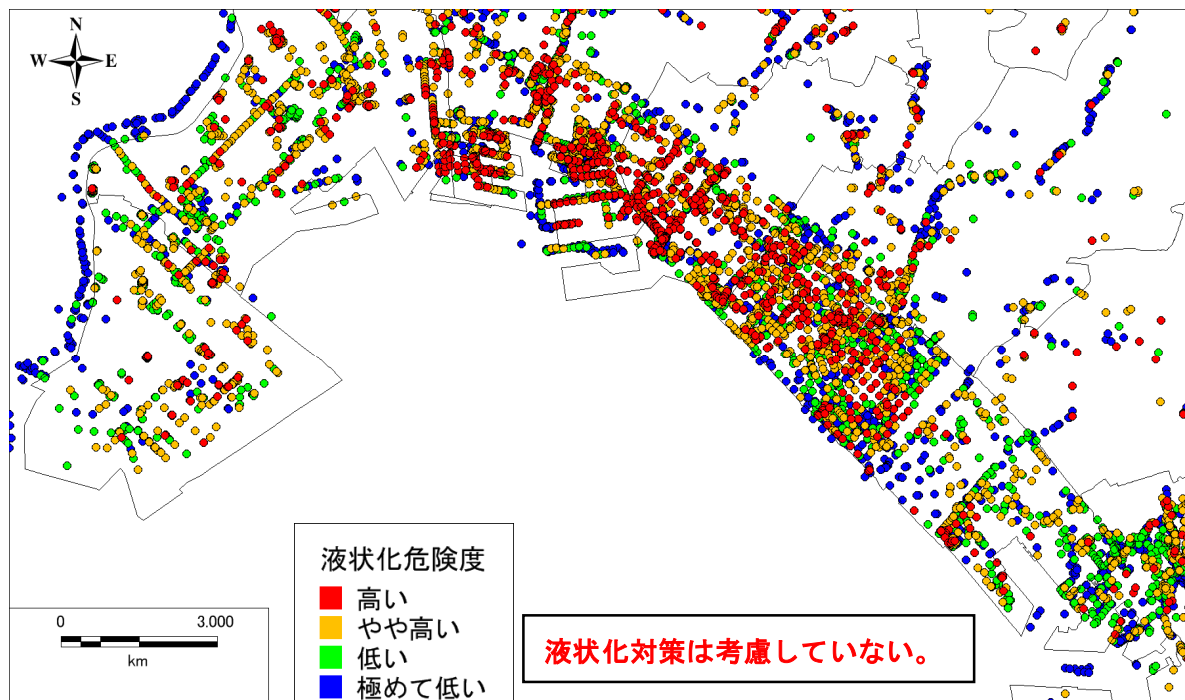


図 5-4 ボーリング地点の液状化危険度
(上：千葉県北西部直下地震・下：大正型関東地震)

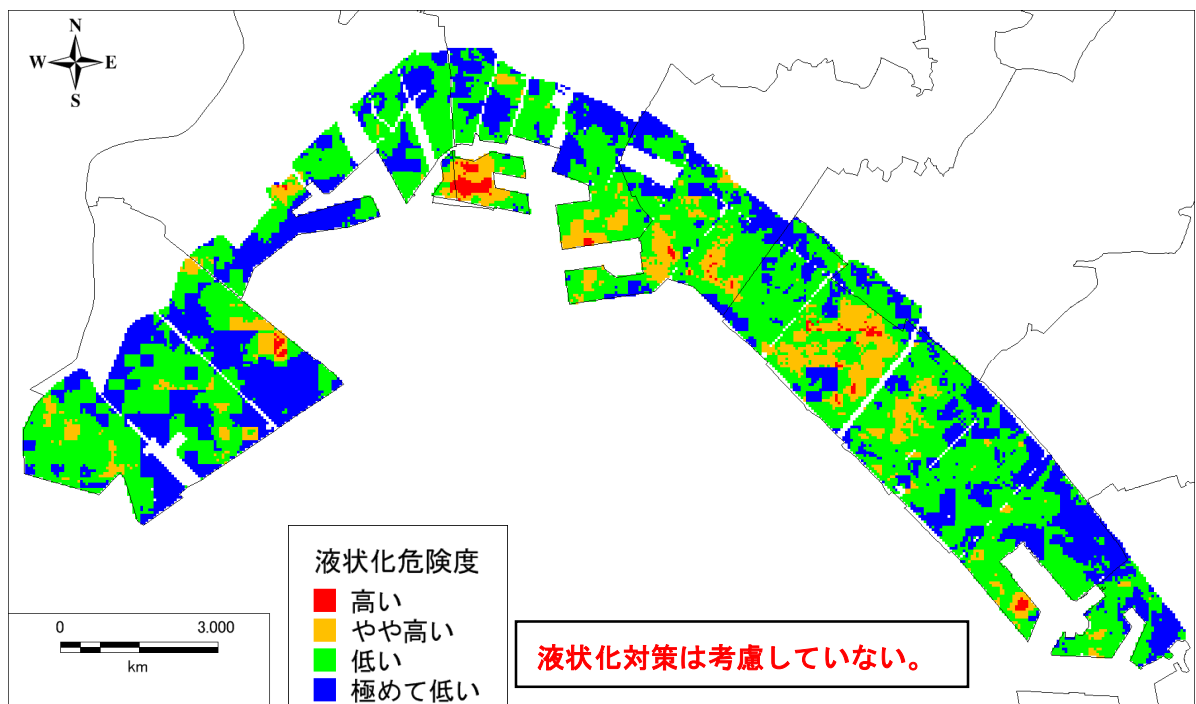
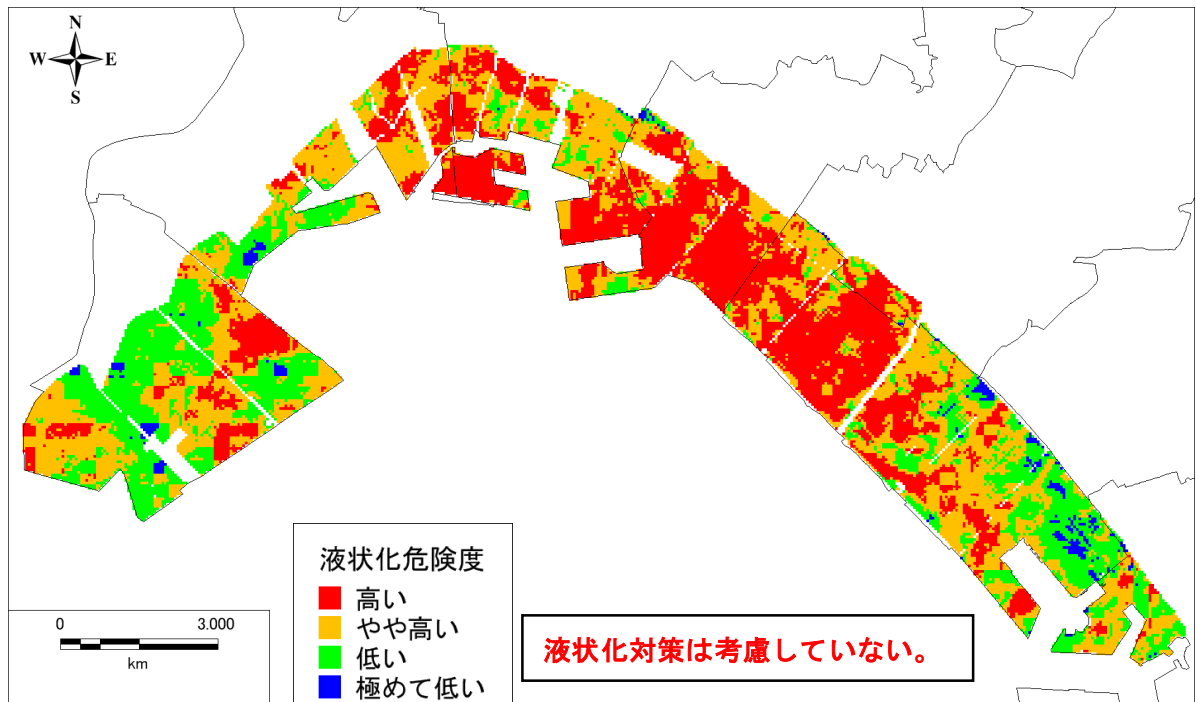


図 5-5 50m メッシュモデルによる液状化危険度
(上：千葉県北西部直下地震・下：大正型関東地震)

5.4 東北地方太平洋沖地震の液状化の再現計算

(1) 概要

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震は、東京湾岸の埋立地をはじめとする県内の広い範囲に甚大な被害を発生させた。今回の検討では、東京湾岸で作成した50mメッシュ地盤モデルを用いて東北地方太平洋沖地震の液状化危険度の計算を行い、被害状況との比較を行った。

(2) 計算手法

地表地震動については、3.2.8 節で計算した 250m メッシュの東北地方太平洋沖地震地表震度分布を、50m メッシュに **Kriging 法**^{2*)}（例えば高阪 1999³³⁾）により補間して求めた。作成した地表震度分布を図 5-6 に示した。

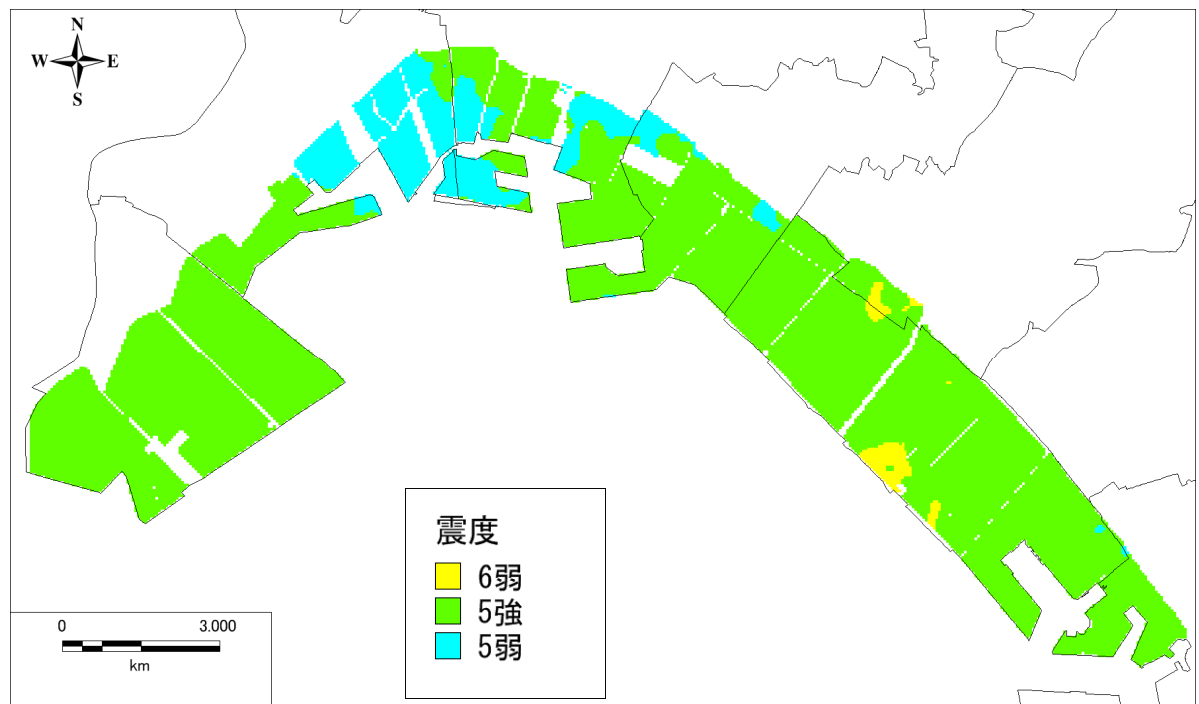


図5-6 東北地方太平洋沖地震の再現震度分布（50mメッシュ）

液状化危険度の計算については、5.2 節と同一の手法により P_L 値を算出した。

地表最大加速度については、童・山崎(1996)による以下の最大加速度と計測震度との関係式を用いた。

$$PGA = 10^{-0.23 + 0.51 \cdot I}$$

***Kriging (クリギング) 法**：観測を行った地域内でデータのない地点の観測値を推定するための空間的補間法。地球物理学の分野では広く用いられている。

(3) 再現計算結果

液状化危険度の再現計算結果を、図 5-7 に示した。

全域に液状化危険度の高い領域が広く分布しているが、中でも浦安市のほぼ全域、船橋市、習志野市及び千葉市美浜区の臨海部で液状化危険度が高くなっている。一方で、市川市の北東側から船橋市西部、習志野市から千葉市美浜区の内陸側で液状化危険度がやや低くなっている。

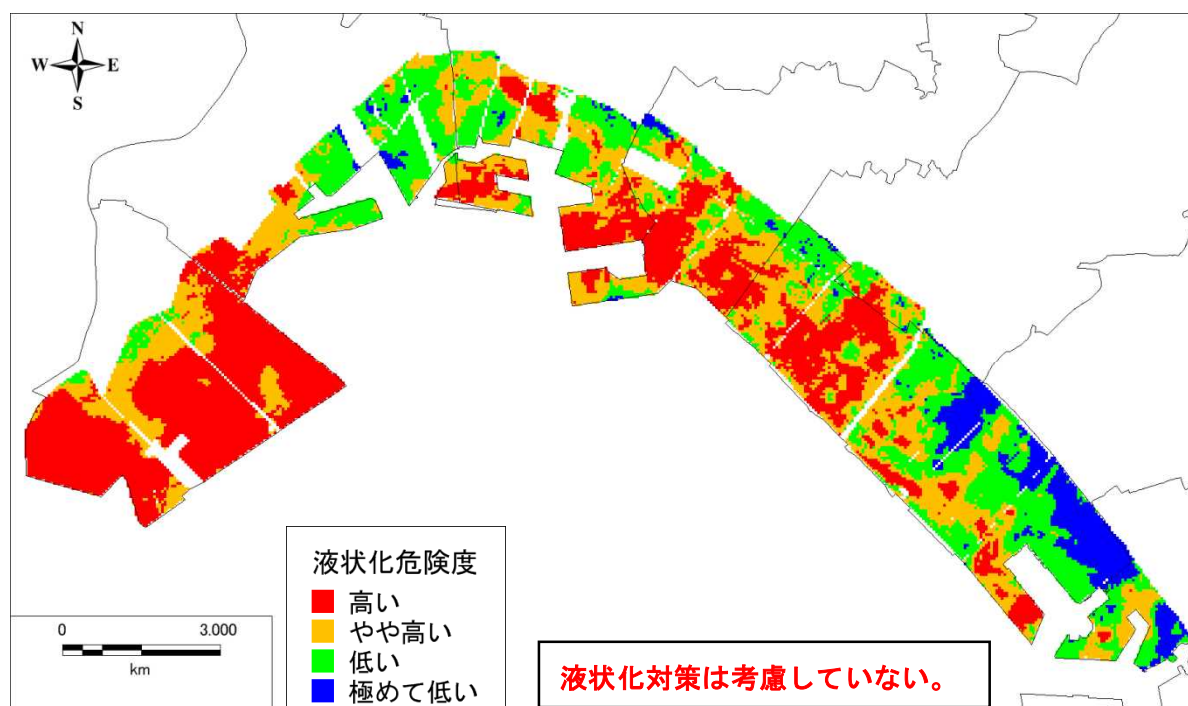


図5-7 東北地方太平洋沖地震の液状化危険度分布（50mメッシュ）

(4) 被害状況との比較

千葉大学中井研究室で実施された、千葉市美浜区における東北地方太平洋沖地震の噴砂状況の調査結果と、今回の液状化危険度の再現計算結果を比較して図 5-8 に示した。

中井研究室の調査結果では、同じ美浜区内でも地域によって液状化被害に著しい偏りがあるとしている。今回の計算結果と比較すると、激しい噴砂が見られたとしている海浜幕張、磯辺、新湊地区については、再現計算結果でも海浜幕張の一部以外はほぼ全域で液状化危険度が高い。これに対して、噴砂が見られなかったとしている地域については、打瀬（ベイタウン）ではほぼ全域で液状化危険度が高くなっており、差異が見られる。磯部－高浜間（草野水路）（海側の一部地域を除く）、磯部（3丁目）、新港（陸側）については、液状化危険度がやや高い～低いとなっており、傾向としては一致している。

以上をまとめると、液状化被害の大きい地域については再現計算結果と一致しているが、液状化被害の小さい地域については再現計算結果が過大評価している場合が見られる。

このような相違が見られる原因としては、再現計算に用いたモデルが液状化対策を実施する前の原地盤を想定したものであることから、実際に液状化対策工法が施工されている地盤については、液状化危険度を過大評価していると想定されることが挙げられる。このため、検討の精度を更に向上させるためには、液状化対策の履歴まで含めたより詳細なデータ収集を検討する必要がある。

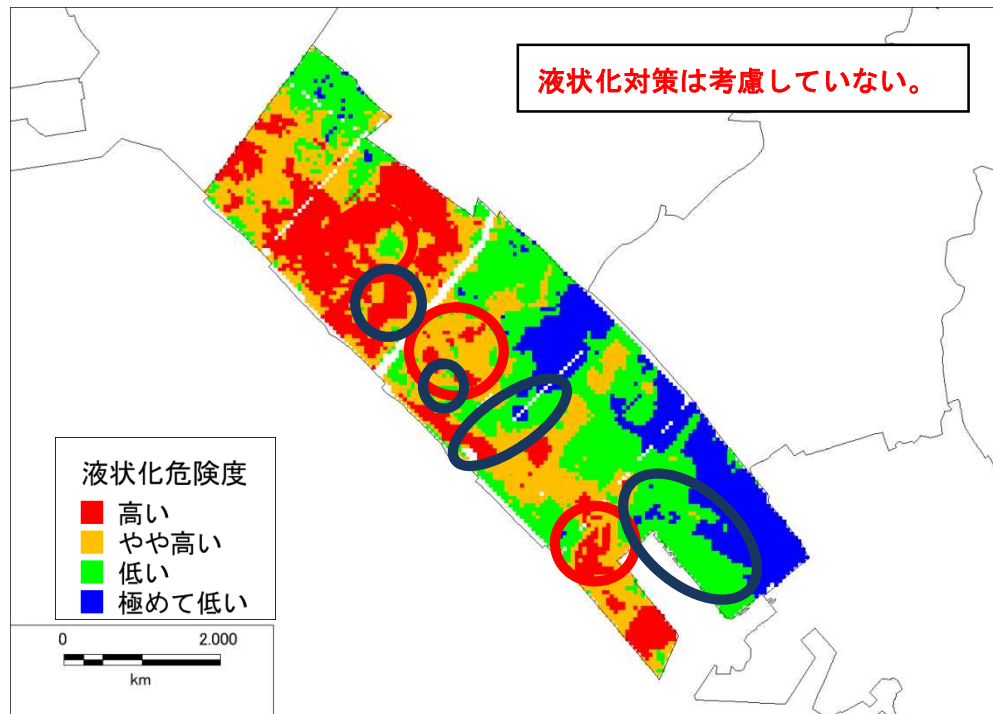
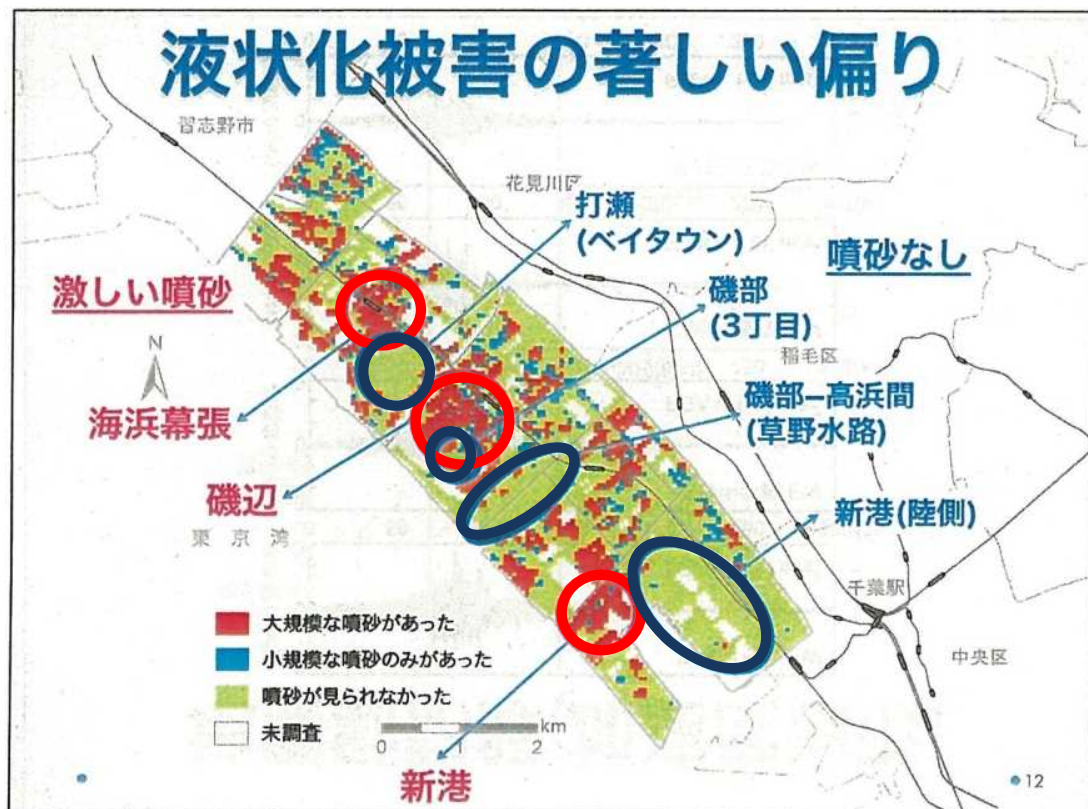


図5-8 東北地方太平洋沖地震の美浜区の噴砂状況（中井研究室による）と液状化危険度分布計算結果との比較

5.5 液状化しやすさマップ

(1) 概要

全県が一律震度 5 弱、5 強、6 弱、6 強の強さで揺れた場合のそれぞれの地点での液状化しやすさを求めた。

(2) 計算手法

手法については千葉県（2012a）と同様としたが、液状化危険度計算のための地盤モデル等については、今回作成した浅部地盤モデル及び地下水位を用いた。

地震動の種類としては、直下地震等の通常の継続時間の地震（「直下地震」。通常数 10 秒程度。）及び東北地方太平洋沖地震のような継続時間の長い地震（「超巨大地震」。2～3 分程度。）の 2 種類とした。

また、液状化しやすさを計算する際の震度に対応する地表最大加速度については、童・山崎（1996）による以下の最大加速度と計測震度との関係式を用いることとした。

$$PGA = 10^{-0.23 + 0.51 \cdot I}$$

PGA ：最大加速度（gal）

I ：計測震度

童・山崎（1996）の式は超巨大地震を対象とはしていないが、東北地方太平洋沖地震の観測記録から近似曲線を計算すると、童・山崎（1996）の式と一致する（千葉県 2012a）ことから、超巨大地震についても同じ式を用いることとした（表 5-1、図 5-9）。

表 5-1 観測記録から求めた各震度階に対応する最大加速度

震度階	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強
計測震度	4.8	5.3	5.8	6.3
童・山崎(1996)	170	300	530	960
東北地方太平洋沖地震	170	300	530	960

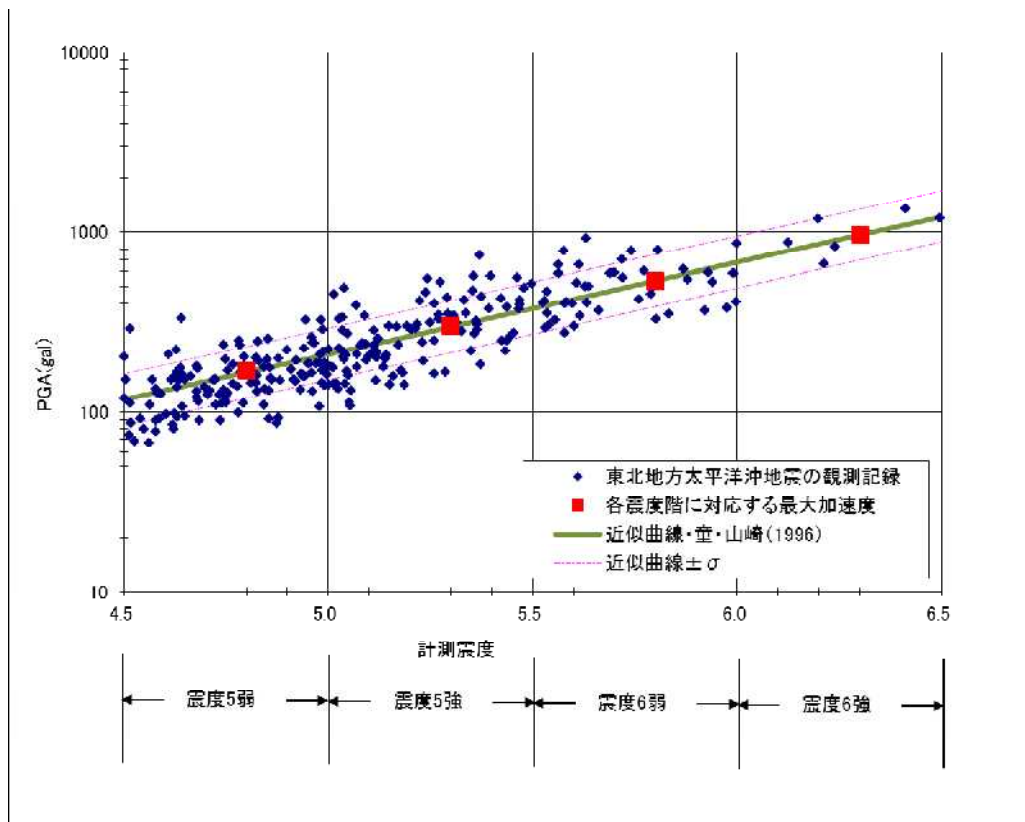


図 5-9 東北地方太平洋沖地震の計測震度と最大加速度の関係

(3) 液状化しやすさマップの作成

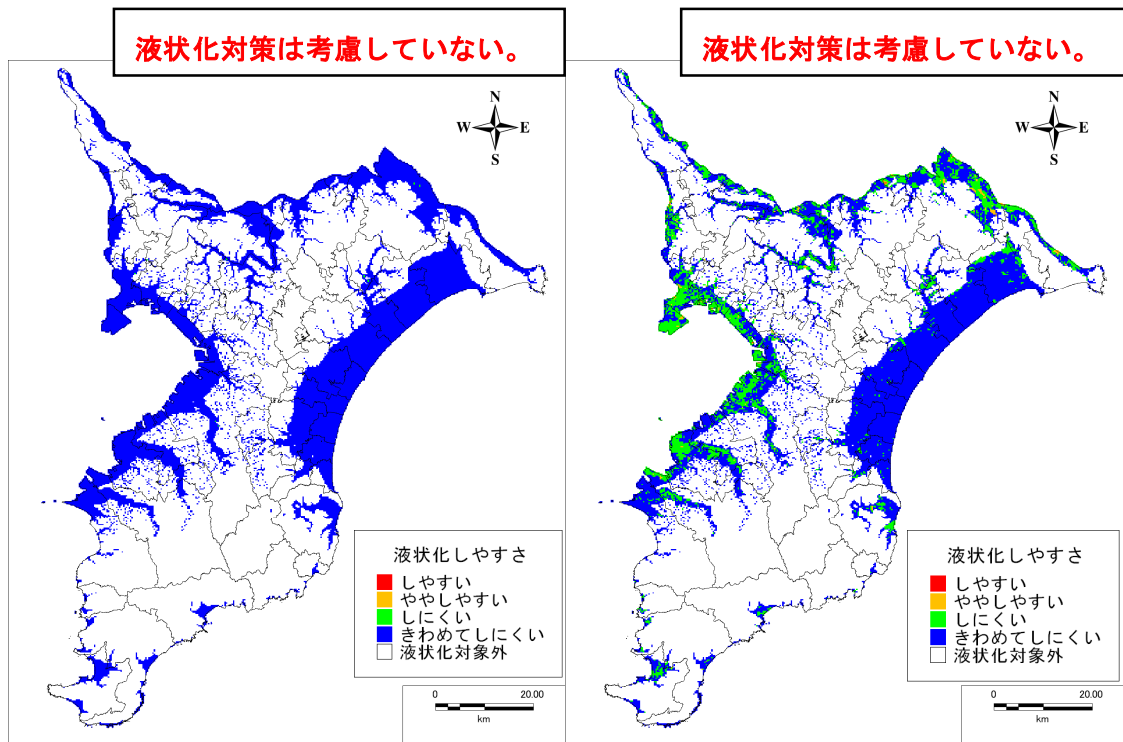
前節で述べた手法を用いて、全県で一律震度 5 弱 (加速度 170gal)、5 強 (加速度 300gal)、6 弱 (加速度 530gal)、6 強 (加速度 960gal) で揺れた場合の液状化しやすさを試算した。

図 5-10～5-11 に液状化しやすさマップを示した。

直下地震 (図 5-10) については、震度 5 弱、5 強ではほとんどの領域で液状化しやすいメッシュは見られないが、埋立地の一部では震度 5 強でやや液状化しやすくなるメッシュも見られる。ただ、震度 6 弱、6 強になると東京湾岸沿いの埋立地、低地を中心とした広い範囲で液状化しやすくなる。

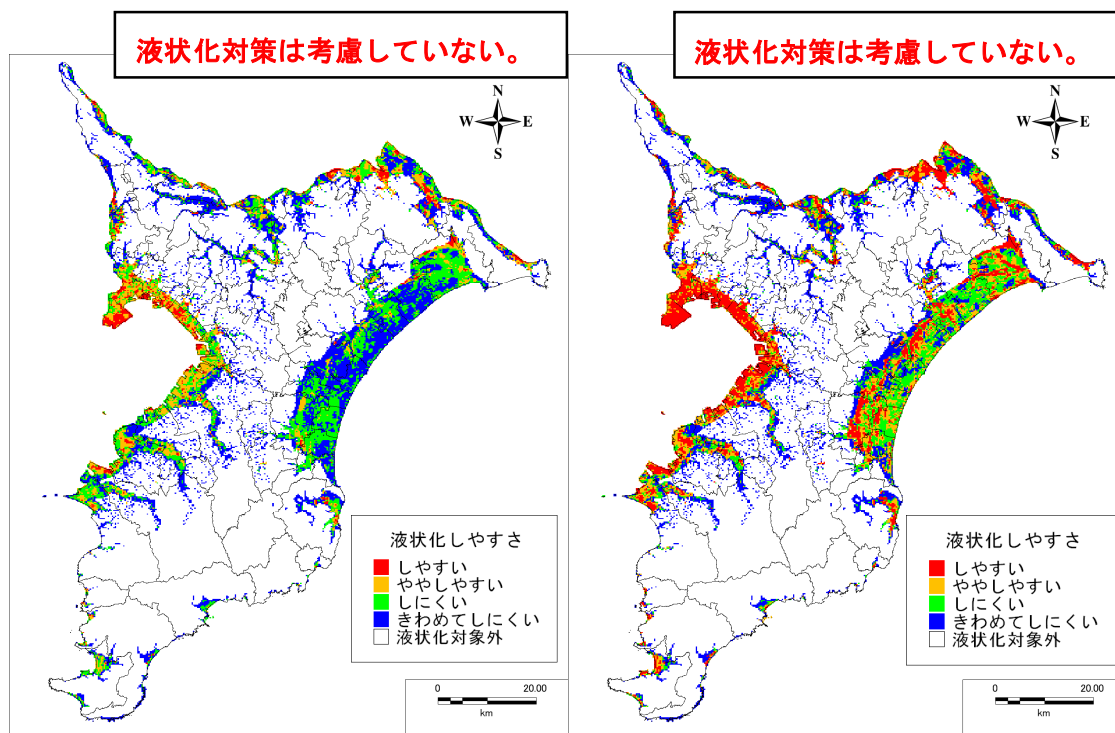
超巨大地震 (図 5-11) では、震度 5 弱でも埋立地の一部などでやや液状化しやすいメッシュが存在する。震度 5 強以上になると、東京湾岸の埋立地を中心とした広い範囲で液状化しやすくなっている。

このように、超巨大地震では、直下の地震と比較して 1 ランク小さい震度で液状化しやすい傾向が見られる。



震度 5 弱

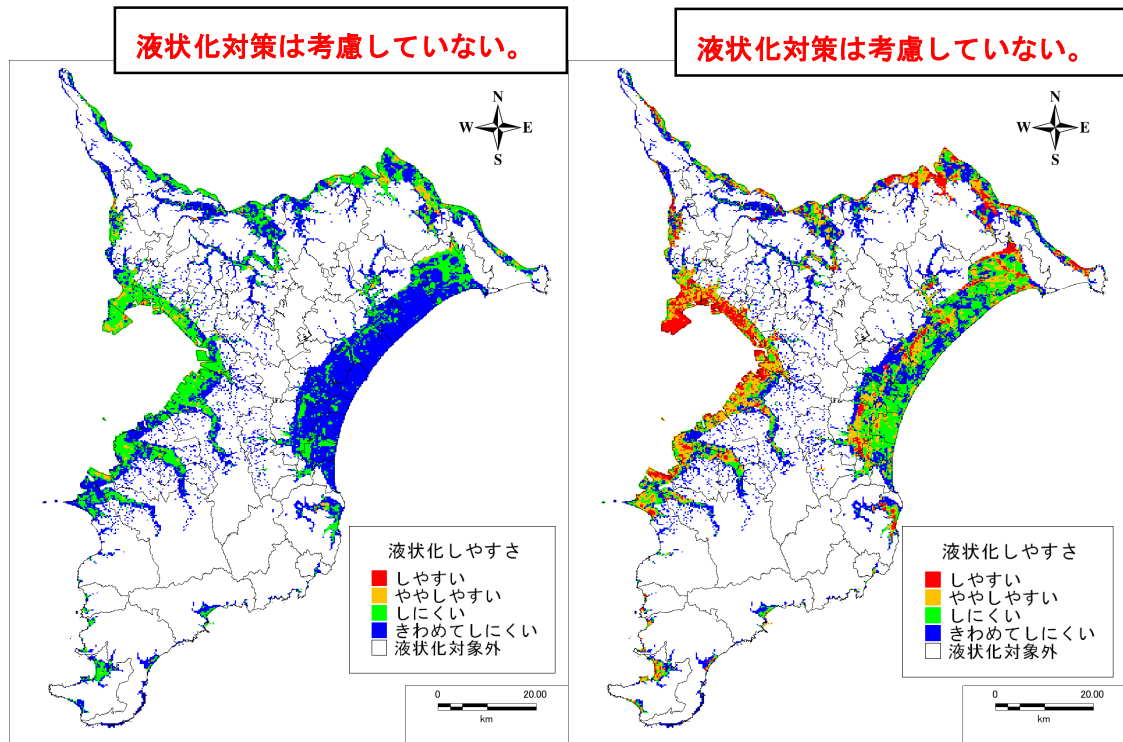
震度 5 強



震度 6 弱

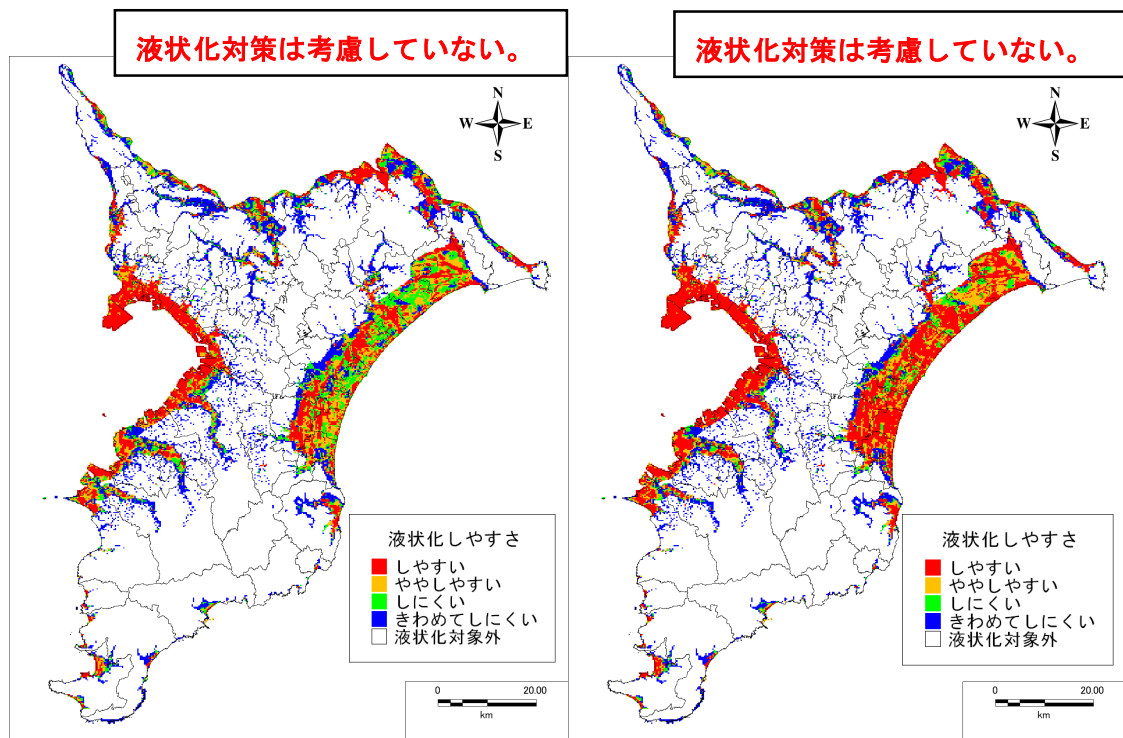
震度 6 強

図 5-10 液状化しやすさ（直下地震）



震度 5 弱

震度 5 強



震度 6 弱

震度 6 強

図 5-11 液状化しやすさ（超巨大地震）

(3) 液状化しやすさマップ活用上の注意点

液状化しやすさマップを活用するにあたり、注意すべき点を以下に述べる。

- 液状化危険度は地表加速度の値から計算したが、液状化しやすさマップについては、震度と地表加速度との関係式（図 5-9）を用いて震度から加速度に変換している。震度と加速度の関係にはある程度のばらつきがあること、また、震度毎にマップを作成しているがあくまで震度と加速度の関係の中央値を震度としており、同じ震度であっても液状化しやすさの分布にはばらつきがある可能性があることに留意する必要がある。
- 地盤モデルは、ボーリングデータを元に推定した（3 章参照）が、近隣にボーリングデータが存在しない範囲については、距離の離れたデータから推定している場合もあることから、液状化対象層の層厚の推定には若干の誤差が含まれることに留意する必要がある。
- 地下水位については、ボーリングデータの孔内水位を元に推定したが、ボーリング調査時に測定される孔内水位は、清水位（ボーリング孔内を洗浄した上で清水に置き換えた上で測定した水位）ではなく、泥水位（ボーリング掘進時に用いる泥水を測定した水位）であることが多く、実際の地下水位と一致しないことがある。また、季節変動等によって地下水位は変動することにも留意する必要がある。
- 液状化しやすさは 250m メッシュ単位で計算しているため、250m メッシュよりも範囲の狭い地盤の改変（小規模な埋め立て）については表現できていない可能性があることに留意する必要がある。

5.6 液状化予測結果の考察

(1) 液状化危険度の予測（全県 250m メッシュ）

千葉県北西部直下地震については、震源直下の東京湾岸の浦安市～千葉市にかけての埋立地で液状化危険度の高い領域が広がっている。また、利根川や江戸川沿いの低地部や、養老川や小櫃川沿いの谷底低地の一部において液状化危険度が高くなっている。

大正型関東地震については、市原市以南の海岸低地や九十九里の砂州の一部において液状化危険度が高くなっている。

(2) 東京湾岸埋立地の液状化危険度の予測（50m メッシュ）

千葉県北西部直下地震については、特に船橋市から習志野市、千葉市美浜区にかけて液状化危険度の高い地域が広く分布するが、メッシュ毎の液状化対象層の厚さの相違を反映して、局所的に液状化危険度の低いメッシュが存在する。この分布の傾向は、ボーリングの存在する範囲についてはボーリング地点毎の評価結果と概ね一致している。これに対して浦安市～市川市については地震動の大きさが相対的に小さいため、液状化危険度の高いメッシュと低いメッシュが混在する。

大正型関東地震については、浦安市、船橋市、千葉市美浜区の一部で液状化危険度が高くなっている。局所的に液状化危険度がやや高い地域が見られる。

(3) 東北地方太平洋沖地震の液状化の再現計算（東京湾岸埋立地・50m メッシュ）

全域に液状化危険度の高い領域が広く分布しているが、中でも浦安市のほぼ全域、船橋市、習志野市及び千葉市美浜区の臨海部で液状化危険度が高くなっている。一方で、市川市の北東側から船橋市西部、習志野市から千葉市美浜区の内陸側で液状化危険度がやや低くなっている。

千葉大学中井研究室による噴砂状況の調査結果と比較すると、液状化被害の大きい地域については再現計算結果と一致しているが、液状化被害の小さい地域については再現計算結果が過大評価している場合が見られる。

(4) 液状化しやすさマップ

直下地震については、埋立地の一部では震度 5 強でやや液状化しやすくなるメッシュが見られるほか、震度 6 弱、6 強になると東京湾岸沿いの埋立地、低地を中心とした広い範囲で液状化しやすくなる。

超巨大地震では、震度 5 弱でも埋立地の一部などでやや液状化しやすいメッシュが存在する。震度 5 強以上になると、東京湾岸の埋立地を中心とした広い範囲で液状化しやすくなっている。

このように、超巨大地震では、直下の地震と比較して 1 ランク小さい震度で液状化しやすい傾向が見られる。