



地形・地盤分類 250m メッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法

松岡昌志¹⁾, 若松加寿江²⁾, 橋本光史³⁾

1) 正会員 産業技術総合研究所, 地質調査情報センター, 室長 博士 (工学)

e-mail: m.matsuoka@aist.go.jp

2) 正会員 関東学院大学工学部, 社会環境システム学科, 教授 博士 (工学)

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

3) 株式会社構造計画研究所, 防災ソリューション部, 修士 (工学)

e-mail: mitsu@kke.co.jp

要 約

本論文では, 地形・地盤分類250mメッシュマップを用いた広域での液状化危険度を評価する手法を提案する。具体的には, 最近の9地震の計測震度分布を, メッシュマップから得られる地盤の揺れやすさと強震観測記録から推定し, 微地形区分と液状化発生地点との比較から, 震度と液状化発生確率の関係を微地形区分ごとに検討している。そして, 液状化しやすさの傾向が類似する微地形区分をグループ化し, 震度に対する液状化発生確率の推定モデルを構築した。さらに, その応用として, 中央防災会議が発表した想定東南海・南海地震のシミュレーション結果に適用し, 広域かつ高分解能な液状化危険度マップが簡便に作成できることを示した。

キーワード: 液状化発生確率, 微地形区分, 地震動強さ, 計測震度, 空間補間,
地形・地盤250mメッシュマップ

1. はじめに

地盤の液状化は一般の建物や土構造物, 橋梁やライフライン施設に甚大な被害を与えることから, 地震防災対策を効果的に進める上で, 将来起こりうる地震に対して液状化の発生を予測することは重要な課題のひとつである。対象地点ごとの液状化危険度は, ボーリング資料, N 値, 細粒分含有率, 地下水位データ等の地盤調査データから液状化指数 (P_L 値)¹⁾によって判定することが多い。しかし, 地盤調査データを広域にわたって均一に収集することは困難なことから, 広域での液状化予測に対しては微地形区分による液状化予測手法²⁾⁴⁾が提案され, 地盤表層の液状化しやすさを分類した液状化ゾーニングマップや詳細な液状化の検討を要する地域の抽出などに利用されてきた⁵⁾¹⁰⁾。また, 液状化が発生しはじめる地震動強さに関しては, 最大地動速度²⁾, 旧気象庁震度階級³⁾, レベル1地震動・レベル2地震動⁴⁾との関係が検討されている。微地形区分とは, 地盤の成因, 形態, 構成する物質, 形成時代がそれぞれの基準の中において等質となるものをまとめた単位であり, 地盤の構成と密接な関係がある¹¹⁾。過去の地震の液状化発生の難易と相関があることが¹²⁾, 微地形区分を液状化評価に用いる根拠である。しかしながら, 従来のいずれの手法も, 液状化の可能性の程度を定性的に判定するものであり, ある微地

形区分で液状化が発生した場合の発生確率や液状化面積率を推定することはできなかった。また、液状化予測のベースとなる地形分類図には、県単位や5万分の1地形図幅単位で紙地図として整備されたものや、紙地図を元に数値化されたデータベース¹³⁾はあるが、分類基準が地域によって異なり、広域の液状化危険度の予測を統一的にすることはできなかった。

近年、著者らはその問題を解消すべく、工学的な地形分類基準を提案し、日本全国の地形・地盤を統一的に分類した1kmメッシュの「日本の地形・地盤デジタルマップ」を構築した¹⁴⁾。このシームレスなマップは広域での地震時の地盤の揺れやすさの推定¹⁵⁾や山地土砂の侵食評価¹⁶⁾、そして、液状化危険度や建物被害の推定¹⁷⁾にも応用されてきた。さらに、分解能を1kmメッシュから250mメッシュに高分解能化した「地形・地盤分類250mメッシュマップ」¹⁸⁾は、国が公表している地震動予測地図¹⁹⁾や自治体の地震被害想定調査²⁰⁾⁻²³⁾の表層地盤特性データとして利用されており、最近では鉄道構造物の被害関数の構築に利用されている²⁴⁾。

そこで、本研究では地形・地盤分類250mメッシュマップを用いて、広域での液状化発生確率を推定する手法を構築する。まず、メッシュマップを利用して液状化が発生した最近の9地震の計測震度分布を計算し、液状化発生地点との比較から微地形区分ごとに液状化が発生しうる震度と液状化発生確率を調べた。そして、液状化特性が類似する微地形区分をグルーピングし、計測震度から液状化発生確率を推定する回帰式を構築した。さらに、応用例として、将来発生が予想されている東南海・南海地震の広域液状化発生危険度を試算した。

2. データセット

2.1 微地形区分と液状化地震

地形・地盤分類250mメッシュマップの微地形区分は元々24区分であるが、既往研究^{3),8)}に基づき、谷底低地、扇状地、河原については数値地図250mメッシュ(標高)から求まる傾斜度が1/100を境に細分化し、砂丘については、低地に接するものを砂丘末端緩斜面として細分化した²⁵⁾。表1に28区分に細分化した微地形区分を示す。

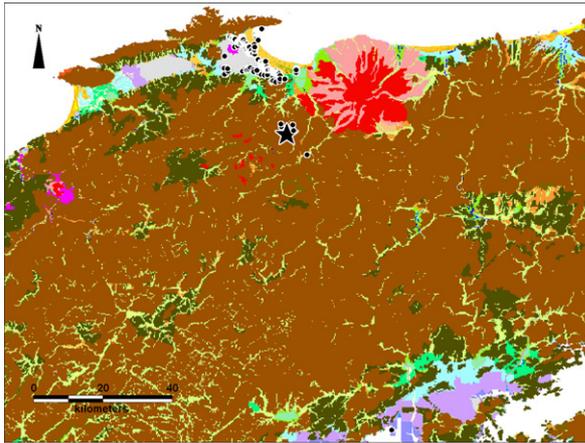
液状化発生地点のデータは、745年から2008年までの地震の液状化履歴のGISデータセット²⁶⁾を用いた。この内、検討に用いた地震として、北海道から九州にかけて地域に偏りがないように考慮し、かつ、地震動強さを高精度に推定するために多くの強震観測データが得られている最近の9地震(2000年鳥取県西部地震、2003年宮城県沖地震、2003年宮城県北部地震、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震)を選択した。表2に検討に用いた地震を、図1に地震ごとの液状化発生地点を地形・地盤分類250mメッシュマップ上にプロットしたものを示す。液状化地点の内、マンホールの埋め戻し地盤などの局所的な人工改変に起因するデータは検討対象外とし、新潟県中越地震については砂利採掘跡地の埋戻し地盤での液状化²⁷⁾も対象外にしている。液状化データは噴砂の範囲(ポリゴン)を示すものや、明確な噴砂範囲が不明なため、点(ポイント)として記録されたものがある。ここでは、両者と統一的に表すことを考え、ポリゴンのデータについてはその重心を求め、ポイントデータとして扱うことにした。したがって、提案する手法は液状化の激しさの程度や面積を推定するものではなく、液状化発生の危険度を評価するものである。液状化地点とメッシュマップの重ねあわせにより、液状化地点の重心が含まれるメッシュ(液状化メッシュ)の数を表2に併記する。

表1 微地形区分とコード

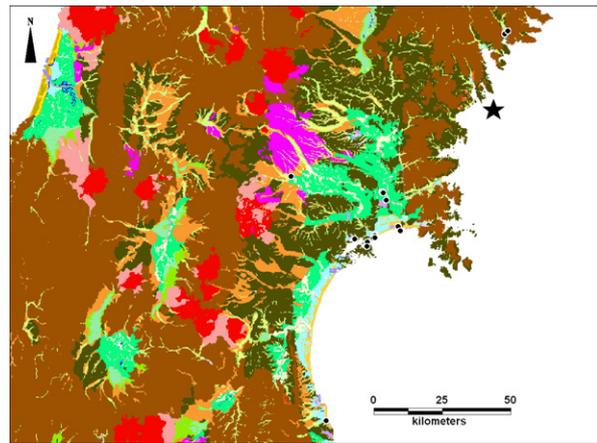
微地形区分	Geomorphologic Classification	ID
山地	Mountain	MTN
山麓地	Mountain footslope	MFT
丘陵	Hill	HIL
火山地	Volcano	VLC
火山山麓地	Volcanic footslope	VFT
火山性丘陵	Volcanic hill	VHL
岩石台地	Rocky strath terrace	RST
砂礫質台地	Gravelly terrace	GVT
ローム台地	Terrace covered with volcanic ash soil	TVA
谷底低地	Valley bottom lowland	VBP
谷底低地 (傾斜<1/100)	Valley bottom lowland with slope angle of less than 1/100	VPS
扇状地	Alluvial fan	ALF
扇状地 (傾斜<1/100)	Alluvial fan with slope angle of less than 1/100	AFS
自然堤防	Natural levee	NTL
後背湿地	Back marsh	BKM
旧河道	Abandoned river channel	ARC
三角州・海岸低地	Delta and coastal lowland	DEL
砂州・砂礫州	Marine sand and gravel bars	BAR
砂丘	Sand dune	DUN
砂丘末端緩斜面	Lower slope of dune	LSD
砂丘間低地	Lowland between coastal dunes and/or bars	LDB
干拓地	Reclaimed land	REC
埋立地	Filled land	FLL
磯・岩礁	Rock shore, rock reef	RSR
河原	Dry river bed	DRB
河原 (傾斜<1/100)	Dry river bed with slope angle of less than 1/100	DRS
河道	River bed	RIV
湖沼	Water body	WAT

表2 検討に用いた地震

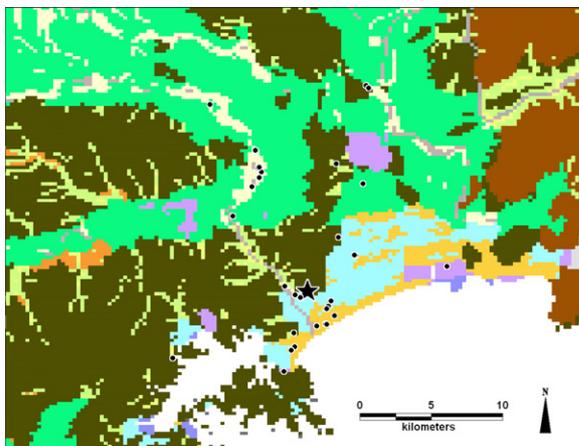
年月日	地震	規模 (Mw)	液状化メッシュ数	強震観測地点数
2000/10/6	鳥取県西部地震	6.6	194	673
2003/5/26	宮城県沖地震	7.0	25	946
2003/7/26	宮城県北部地震	6.0	26	470
2003/9/26	十勝沖地震	8.1	111	752
2004/10/23	新潟県中越地震	6.5	890	821
2005/3/20	福岡県西方沖地震	6.6	68	732
2007/3/25	能登半島地震	6.7	37	1,008
2007/7/16	新潟県中越沖地震	6.6	78	933
2008/6/14	岩手・宮城内陸地震	6.8	6	902



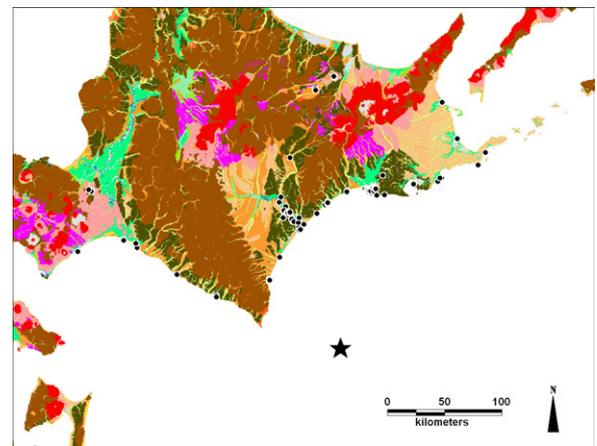
(a) 鳥取県西部地震



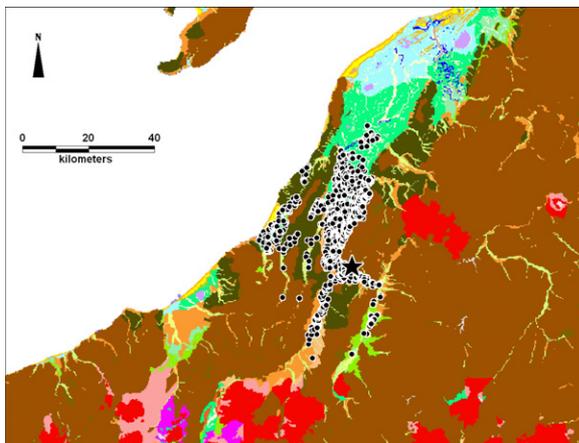
(b) 宮城県沖地震



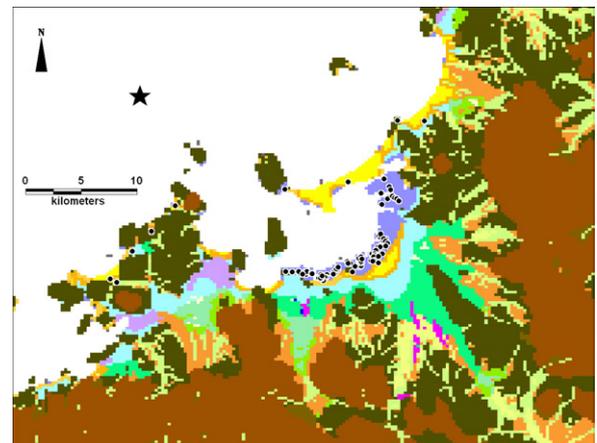
(c) 宮城県北部地震



(d) 十勝沖地震

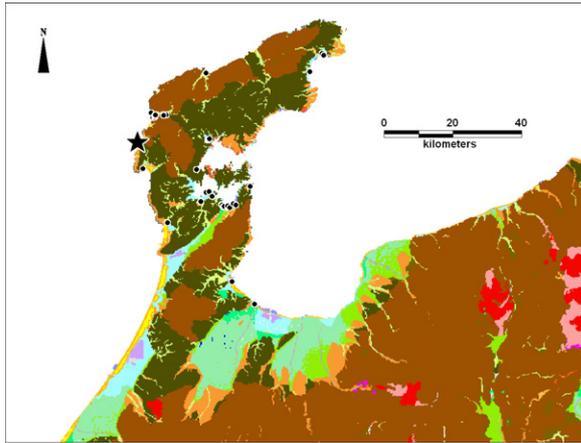


(e) 新潟県中越地震

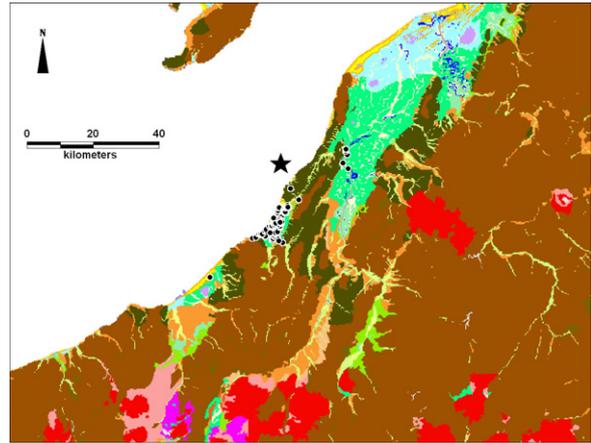


(f) 福岡県西方沖地震

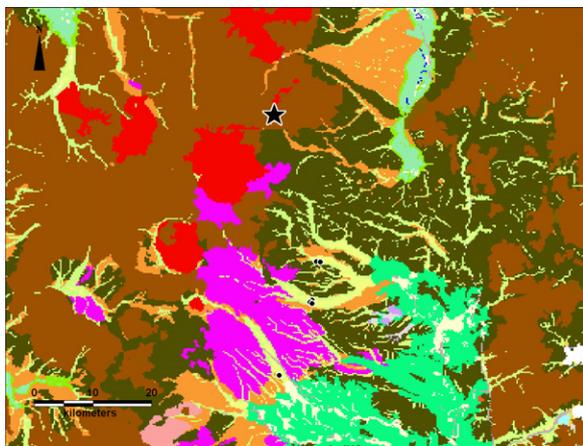
図1 微地形区分と液状化発生地点の分布(★は震央, 黒点は液状化発生地点)



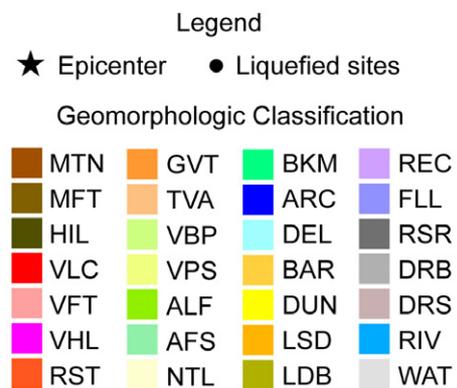
(g) 能登半島地震



(h) 新潟県中越沖地震



(i) 岩手・宮城内陸地震



(j) 凡例

図1 微地形区分と液状化発生地点の分布(★は震央, 黒点は液状化発生地点) (続き)

2.2 計測震度分布の推定

液状化の生じやすさと地震動強さの関係を検討するために、各地震について液状化メッシュを含む広域の計測震度分布を推定した。既往研究²⁾では液状化発生を評価するための地震動強さの尺度として最大速度が有効との指摘があるが、本研究で提案する手法を地震直後の液状化危険度評価に応用しやすくするため、多くの地震計から情報として得られやすい計測震度を採用した。まず、強震観測記録から(速度記録については微分して加速度に変換してから)計測震度を算出した。これらの値は地震計が設置されている表層地盤の揺れやすさを反映しているため、その揺れやすさを取り除く必要がある。ここでは、地形・地盤分類250mメッシュマップから求まる地盤の平均S波速度(V_{s30})¹⁵⁾を介して、計測震度の増幅度²⁸⁾を求め、硬質地盤(V_{s30} が600 m/s相当)での計測震度の値を推定した。そして、地震の震源からの距離減衰特性をトレンド成分としたSimple Krigingによる空間補間計算²⁹⁾を行うことで硬質地盤上における計測震度の分布を計算し、さらに、250mメッシュ単位にて地盤の増幅度を加算することで地表での計測震度の分布を求めた。計算手順の模式図を図2に示す。地震ごとに250mメッシュ単位の計測震度分布を図3に示す。なお、地形の特徴(傾斜や凹凸)がわかりやすいよう、SRTM³⁰⁾の標高データに南方向から光源を当てて作成した陰影図に重ねている。

この計算手順にて得られる計測震度分布について、強震観測記録がないメッシュでの推定精度を試算した。広域かつ均一に分布する防災科学技術研究所の強震観測記録のみを用いて9地震の計測震度分布を計算し、計算に用いなかった他の機関の強震観測地点が位置するメッシュにおける推定値と実測値の比

較をしたところ、推定値と実測値の残差の標準偏差は約0.5であった。図4にはその一例として2004年新潟県中越地震の結果を示す。推定値と実測値の残差の標準偏差は0.45であり、両者の対応は比較的良い。観測地点での実測値に基づく空間補間推定は、観測地点数が多いほどより推定精度は高くなる³¹⁾。図3に示す計測震度分布は防災科学技術研究所のみならず他機関のものを含むより多くの強震観測地点(表2参照)を用いて計算しているため、計測震度の推定精度はこれよりも高いと考えられる。

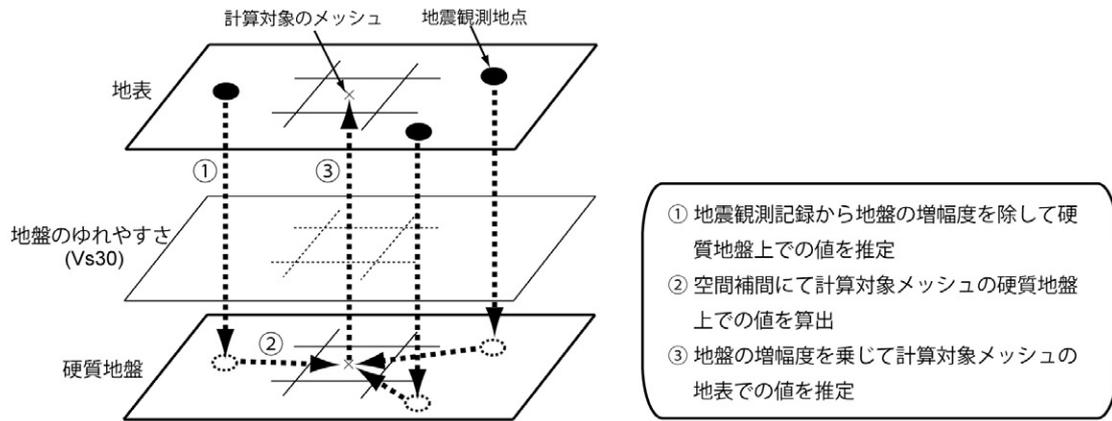


図2 地表での震度分布算出の模式図

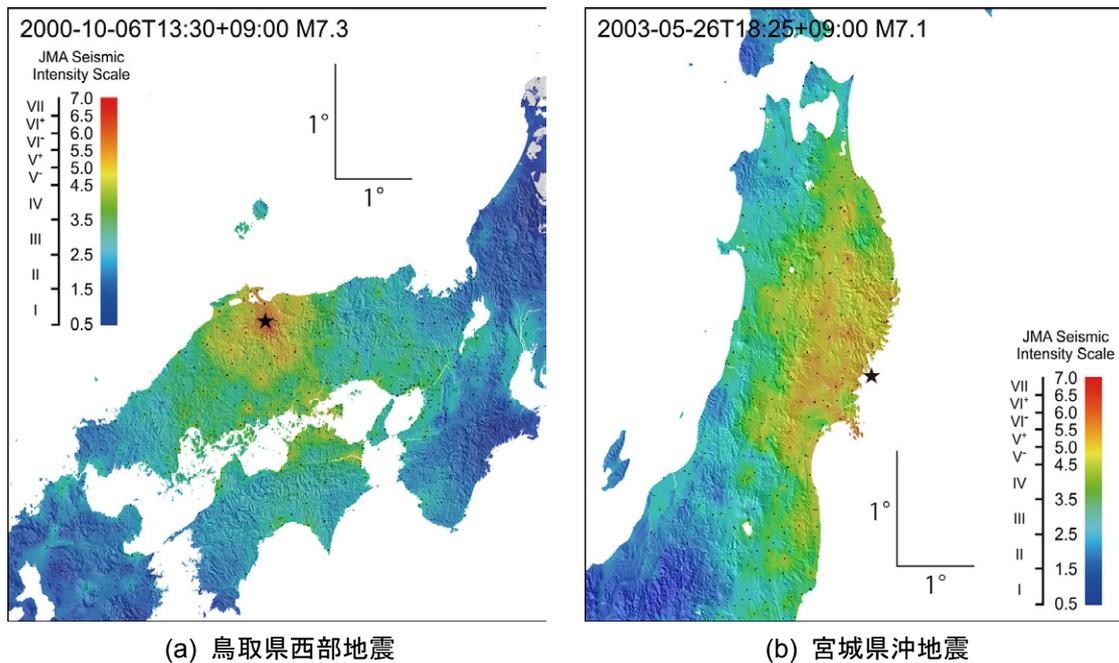
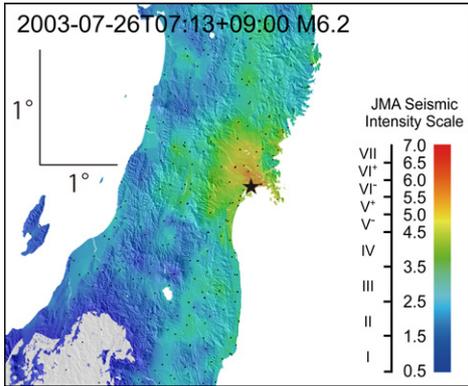
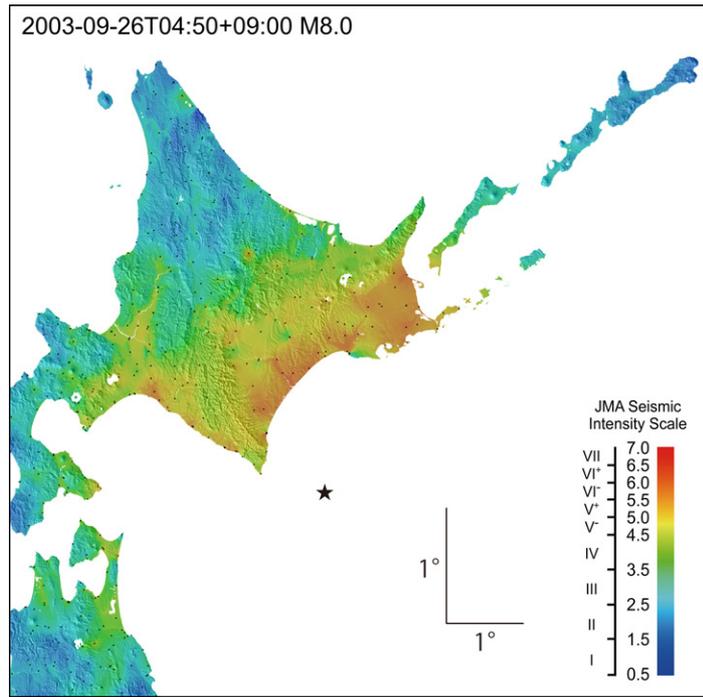


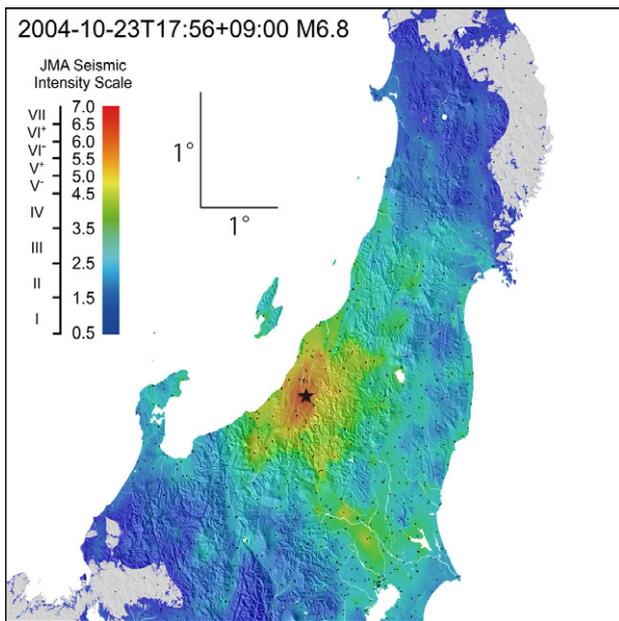
図3 推定計測震度分布(★は震央, 小さい黒点は強震観測地点)



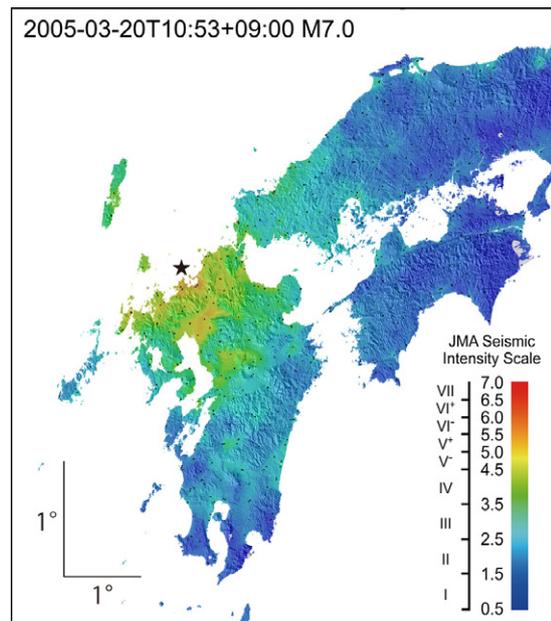
(c) 宮城県北部地震



(d) 十勝沖地震

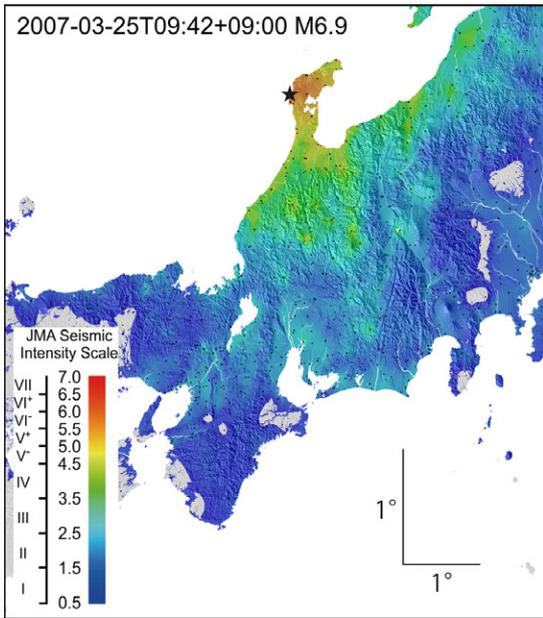


(e) 新潟県中越地震

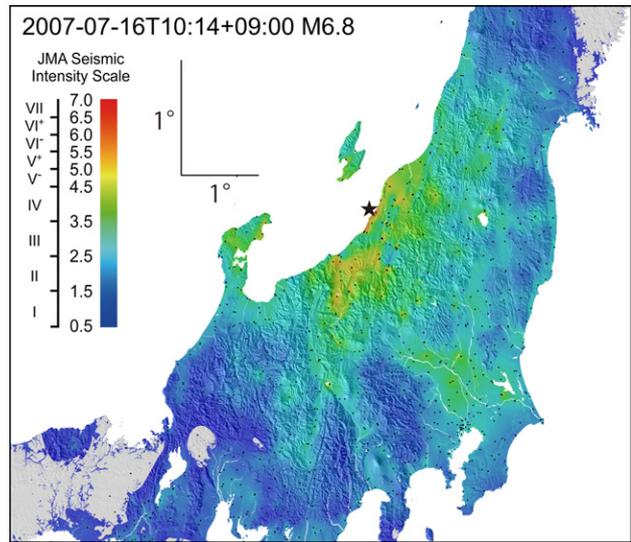


(f) 福岡県西方沖地震

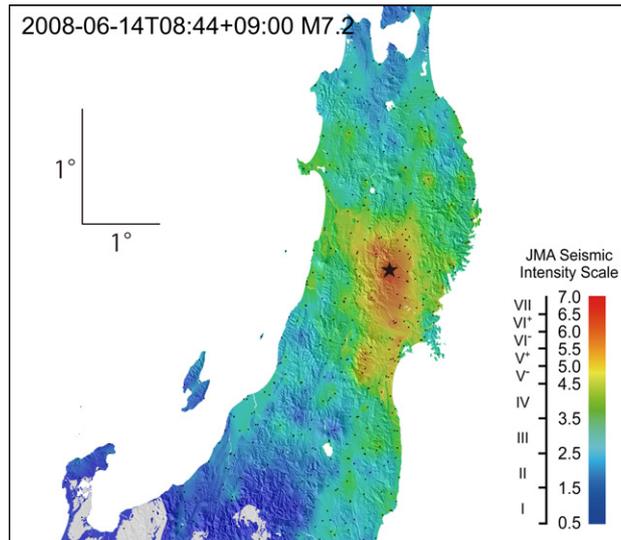
図3 推定計測震度分布(★は震央, 小さい黒点は強震観測地点)(続き)



(g) 能登半島地震



(h) 新潟県中越沖地震



(i) 岩手・宮城内陸地震

図3 推定計測震度分布(★は震央, 小さい黒点は強震観測地点)(続き)

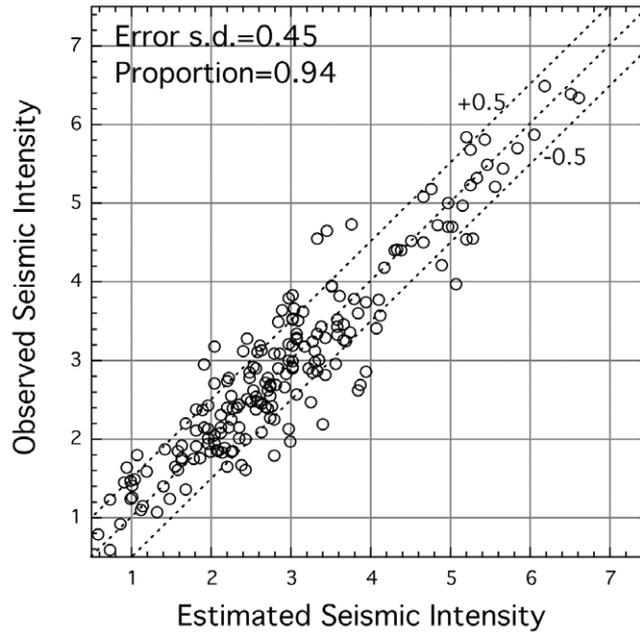


図4 計測震度の推定値と実測値の比較（2004年新潟県中越地震）

3. 液状化発生確率の予測

3.1 微地形区分による液状化発生確率

微地形区分の違いによる液状化発生の難易を検討するために、計測震度を0.25ピッチで区分し、対象範囲におけるメッシュ数を算出した。その際、9地震を合算している。砂丘や砂州が広く発達する日本海側の地震と十勝沖地震のような太平洋側で発生した地震、また、扇状地が優位に分布する内陸での地震では、それぞれ検討に用いることができる微地形区分に偏りが生じてしまい、液状化発生確率の平均像が得られないからである。液状化メッシュ数は約1,400個、計測震度を計算した全メッシュ数は約1千6百万個に及ぶ。そして、微地形区分ごとに液状化発生確率（液状化メッシュ数／全メッシュ数）を計算した。この確率はメッシュ内で液状化が1ヶ所以上発生する割合であり、発生数や面積を表すものではない。なお、全メッシュ数が10個未満については算出される確率の信頼性が低いと考えて計算対象外にした。

微地形区分ごとに計測震度と液状化発生確率を調べたところ、以下の4つのグループに大別できた。図5に両者の関係を示す。

グループ①：計測震度5.0付近で液状化が発生し始める。【自然堤防(NTL), 旧河道(ARC), 砂丘末端緩斜面(LSD), 砂丘間低地(LDB), 干拓地(REC), 埋立地(FLL)】

グループ②：計測震度5.0程度では液状化が発生しないが、震度が大きくなるにつれて発生確率が急激に大きくなる。【扇状地(ALF), 扇状地（傾斜<1/100）(AFS), 砂州・砂礫州(BAR)】

グループ③：計測震度5.4付近で液状化するが、震度が大きくなっても発生確率はあまり上がらない。【後背湿地(BKM), 三角州・海岸低地(DEL), 砂丘(DUN)】

グループ④：計測震度6.0程度になって液状化が発生し、震度が大きくなるにつれて発生確率が急激に大きくなる。【砂礫質台地(GVT), 谷底低地(VBP), 谷底低地（傾斜<1/100）(VPS)】

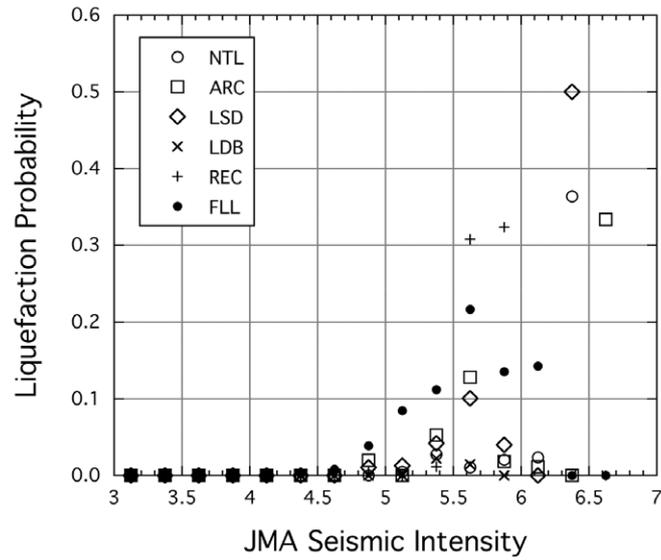
この分類を地盤条件との関連で考察すると、以下の特徴がある。

グループ①：緩い砂が堆積し、地下水位が浅い。

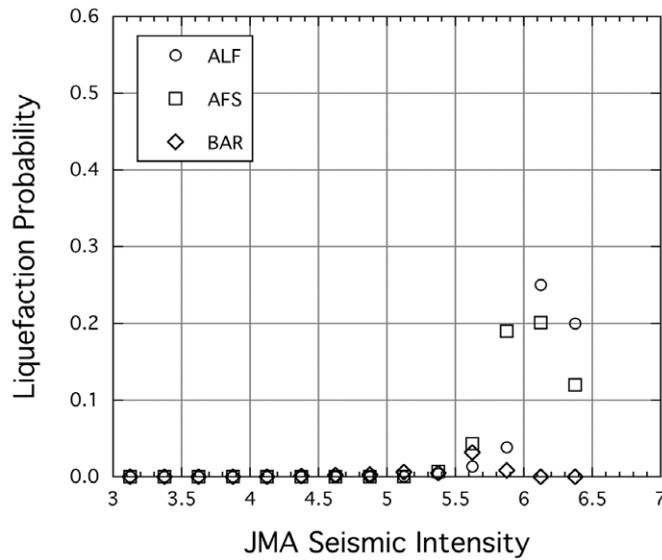
グループ②：地下水位は浅く，砂や砂礫が広く堆積するが，砂ないし砂礫は，グループ①の砂に比べて締まっている。

グループ③：地下水位は浅いが，緩い砂の分布は局地的（粘性土が卓越）である（BKM, DEL）。
緩くきれいな砂（細粒分が少ない砂）が広く分布するが，地下水位が一般に深い（DUN）。

グループ④：砂礫が広く堆積する（GVT, VBP）。粘性土が卓越し，砂の分布は局地的である（VPS）。

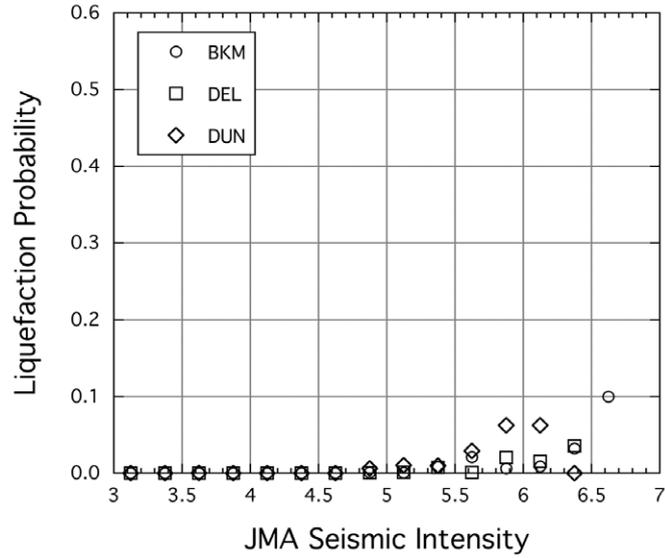


(a) グループ①

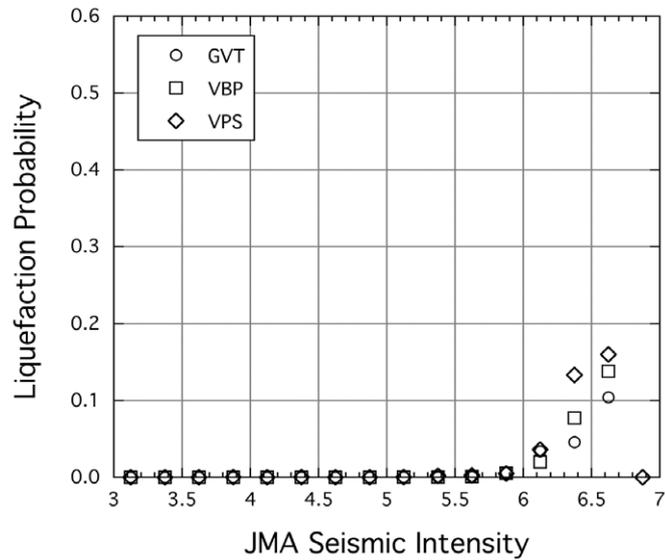


(b) グループ②

図5 計測震度と液状化発生確率の関係



(c) グループ③



(d) グループ④

図5 計測震度と液状化発生確率の関係 (続き)

既往研究では、微地形区分のグループ化は主に液状化が発生する地震動強さに着目していたが^{7),8)}、本研究での微地形区分における液状化の生じやすさと震度の増大との関係は、既往地震での液状化履歴から得られた経験則⁴⁾とも矛盾しない。また、新潟県中越地震において比較的多く発生した砂礫質台地(GVT)における液状化はやや特異に思えるが、既往の地形区分では谷底平野には河岸段丘(隆起した谷底低地)も含まれていたため(平野の定義は低地+台地・段丘)、過去の地震においても砂礫質台地で液状化が発生していたことは否定できない。なお、扇状地における過去の液状化発生の有無と扇状地の縦断地表面勾配の関係を検討した結果、液状化の履歴のある扇状地は、勾配が1/100以下の扇状地であったことから³²⁾、本研究においても、扇状地および扇状地と地形的特性が似ている谷底低地について、傾斜に基づいた細分化を行ったが、その影響はみられなかった。その理由としては、本研究で用いたメッシュから求まる傾斜の方向は、必ずしも河川の縦断勾配に対応していないことが考えられる。メッシュ標高データ等から河川の縦断勾配を求める方法については今後の検討課題としたい。

3.2 液状化発生確率の回帰式と危険度評価

上述したグループに微地形区分を統合した時の計測震度と液状化発生確率の関係を図6に示す。グループ⑤として、①～④以外の液状化発生確率が低い微地形区分を割り当てた。傾向を要約すると、グループ①がもっとも液状化発生し易く（計測震度5.0を越えると発生）、計測震度の増加に伴い液状化発生確率も増大する。グループ②はグループ①より液状化発生が顕著になる震度は大きい（計測震度5.4付近）、発生確率の増大傾向はグループ①と類似する。グループ④はグループ②より液状化発生が顕著になる震度はさらに大きい（計測震度6.0程度）、発生確率の増大傾向はグループ①と類似する。グループ③は液状化がやや低震度で発生するが（計測震度5.4付近）、震度が大きくなっても液状化発生確率の増加は緩慢である。グループ②やグループ④の微地形区分において、震度が大きくなるにつれて液状化発生確率が急激に大きくなるのは、堆積する砂質土の液状化特性（地震力の増大と共に急激に液状化抵抗が小さくなること）を示唆するものと推定される。

微地形区分を統合したグループに基づいた液状化危険度の評価手法を構築するために、計測震度から液状化発生確率を推定する回帰式を構築した。回帰式は累積正規分布を仮定した。

$$P_{liq}(I) = \Phi[(I - \mu) / \sigma] \quad (1)$$

ここで、 $P_{liq}(I)$ は250mメッシュの計測震度 I における液状化発生確率を、 μ は平均値、 σ は標準偏差を表す。最小二乗法による回帰分析から得られたパラメータを表3に、回帰式を図7に示す。

図3の計測震度分布と地形・地盤分類250mメッシュマップの微地形区分とを重畳し、(1)式の回帰式から推定される液状化発生確率の分布を図8に示す。液状化発生確率が高い地域と図1に示す液状化発生地点との対応は良い。この回帰式を用いることで、従来定性的に行われていた微地形区分ごとの液状化発生広域予測^{4),8)}が簡便かつ定量的に行えるようになった。

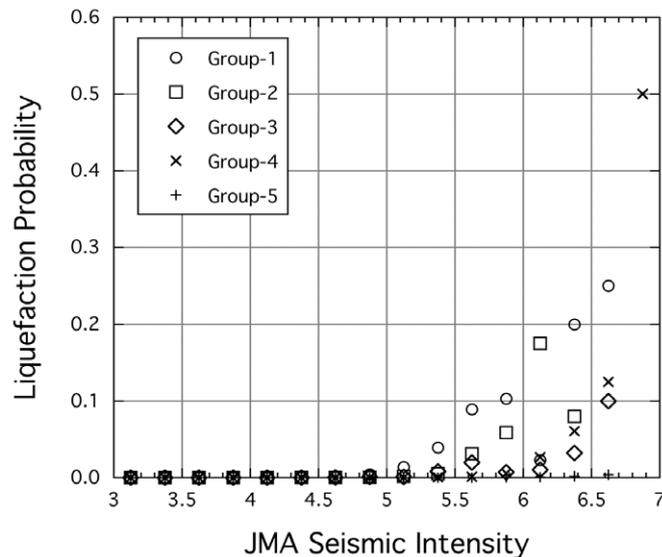


図6 グループごとに統合した時の計測震度と液状化発生確率の関係

表3 グループごとに得られた回帰パラメータ

グループ	微地形区分	平均値 μ	標準偏差 σ
①	NTL, LSD, LDB, ARC, REC, FLL	6.960	0.761
②	ALF, AFS, BAR	7.160	0.773
③	BKM, DEL, DUN	7.906	0.933
④	VBP, VPS, GVT	7.231	0.628
⑤	上記以外	9.873	1.197

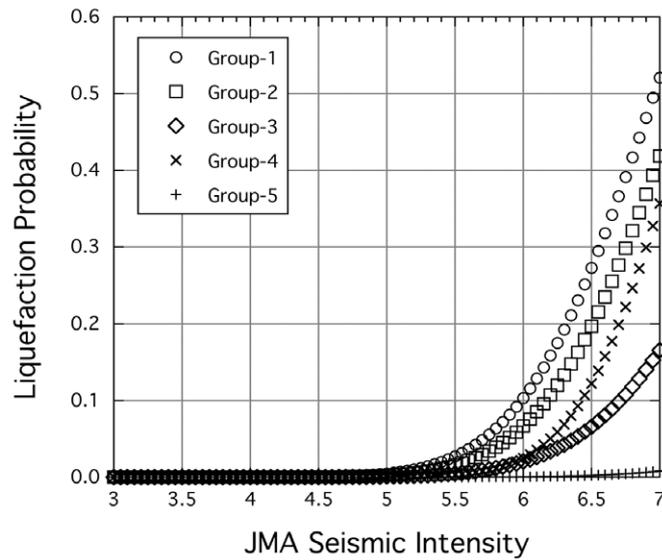
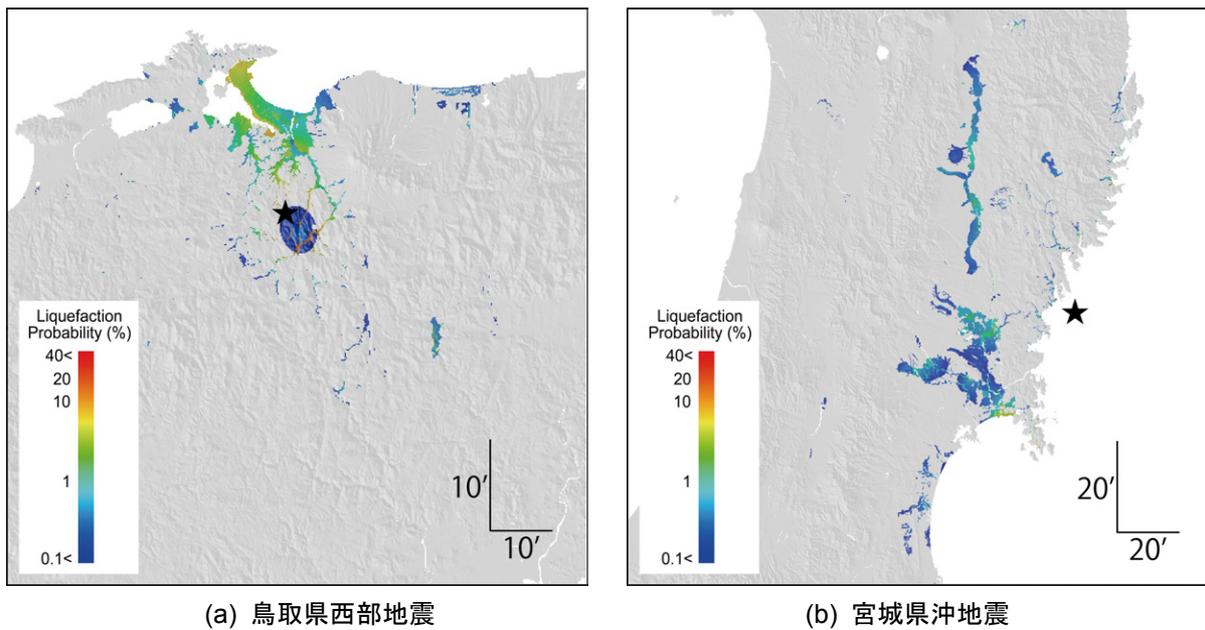


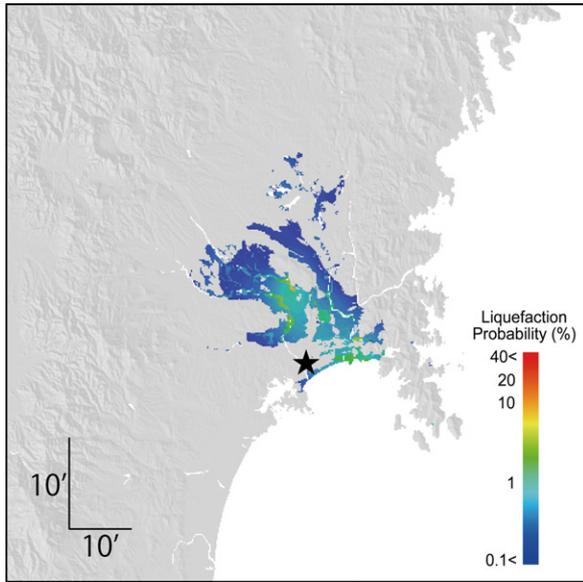
図7 液状化発生確率推定の回帰式



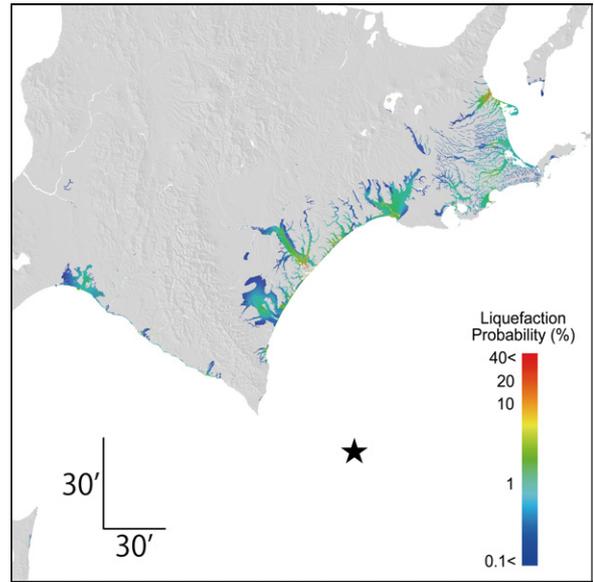
(a) 鳥取県西部地震

(b) 宮城県沖地震

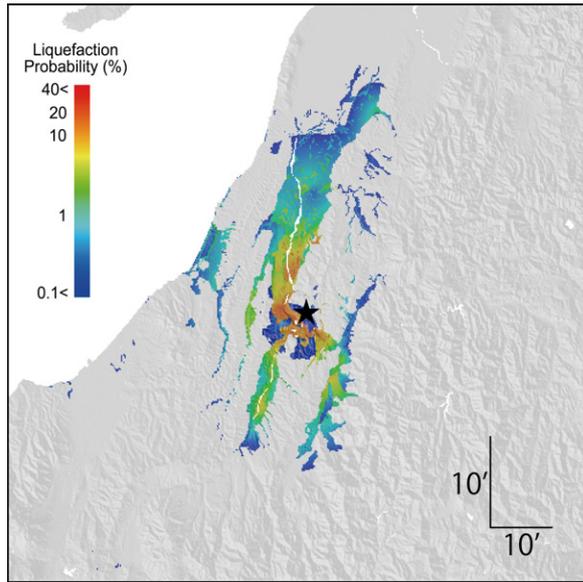
図8 液状化発生確率の分布



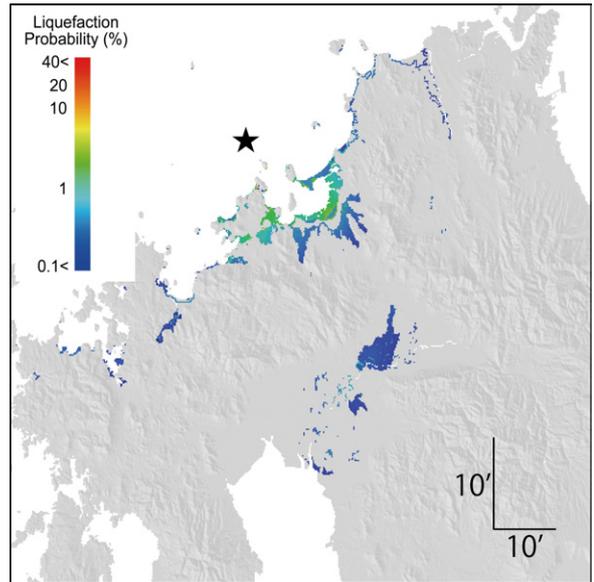
(c) 宮城県北部地震



(d) 十勝沖地震

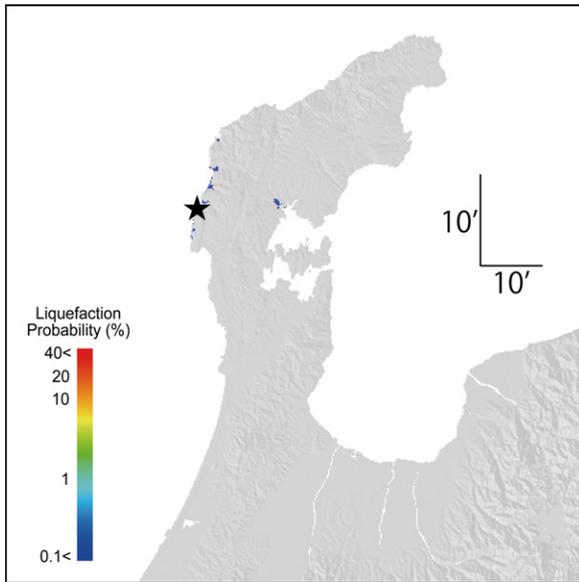


(e) 新潟県中越地震

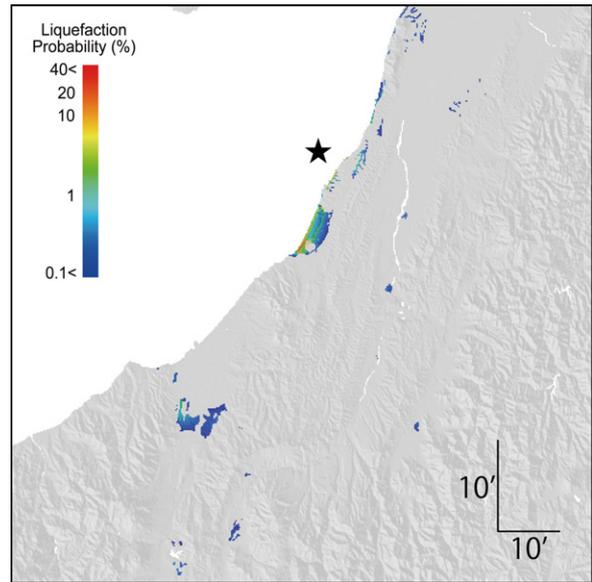


(f) 福岡県西方沖地震

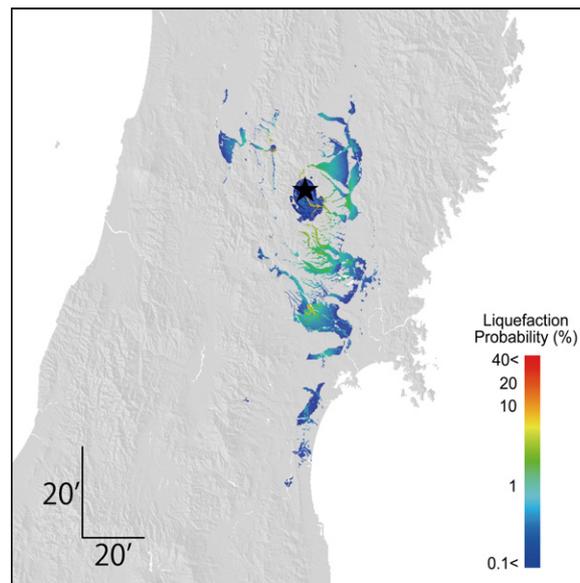
図8 液状化発生確率の分布(続き)



(g) 能登半島地震



(h) 新潟県中越沖地震



(i) 岩手・宮城内陸地震

図8 液状化発生確率の分布(続き)

4. 想定東南海・南海地震への応用

近い将来発生が予想されている東南海・南海地震に本手法を適用し、広域での液状化危険度評価を行う。地震動強さの情報は中央防災会議から発表されているシミュレーション結果³³⁾を利用した。基準地域メッシュ単位で提供されている硬質地盤 (V_s が700m/s相当) 上の計算波形の内、2次メッシュごとの代表地点の計測震度を算出し、Simple Krigingによる空間補間計算²⁹⁾を行うことで硬質地盤上における計測震度の分布を計算した。そして、250mメッシュ単位にて地盤の増幅度を加算することで地表での計測震度の分布を求めた。その際、計測震度の増幅度を V_s30 が700m/s相当地盤に対する値に修正して用いて

いる。図9に計算した250mメッシュ単位の地表における計測震度分布を示す。地盤データの出発元が異なり、さらに、空間分解能が異なるため（中央防災会議は1km、本結果は250m）、直接的な比較検討はできないが、局所的に両者は異なるものの本結果は大局的には中央防災会議の報告³³⁾と類似している。

地形・地盤分類250mメッシュマップを重ね合わせ、微地形区分のグループに応じて液状化発生確率の回帰式を適用した結果を図10に示す。愛知県や三重県の伊勢湾・三河湾沿岸や静岡県の手川沿岸において液状化発生確率が約20%と危険度が高い。 P_L 値による予測結果³³⁾と整合しない地域が一部あるが、図11に示す1944年東南海地震と1946年南海地震の液状化履歴²⁶⁾と比較すると本研究による液状化発生確率の予測結果は妥当と考えられる。なお、両地震は戦時中から終戦直後にかけて発生したため、液状化の発生地点の記録は充分ではない。他の地域においても液状化が発生している可能性があることに注意が必要である。

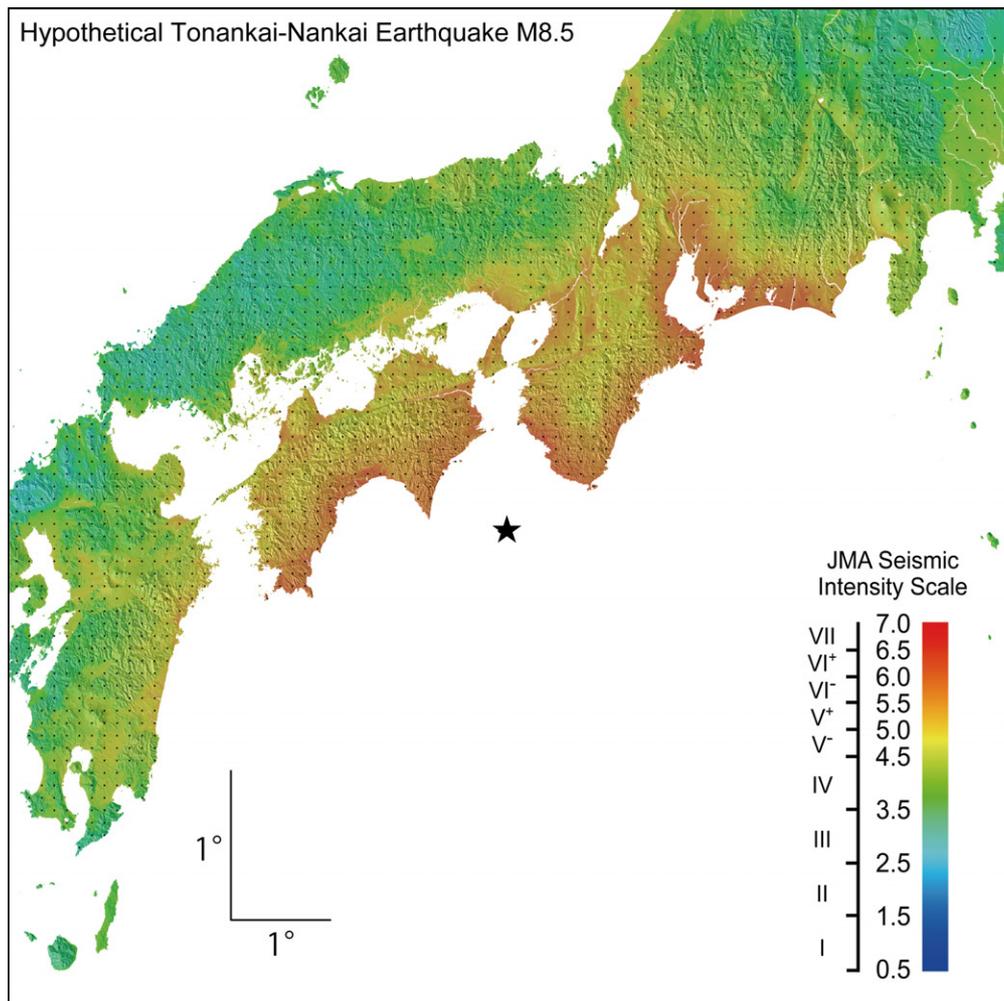


図9 想定東南海・南海地震の推定計測震度分布(図中の小さい黒点は空間補間に用いた硬質地盤でのシミュレーション波形の地点)

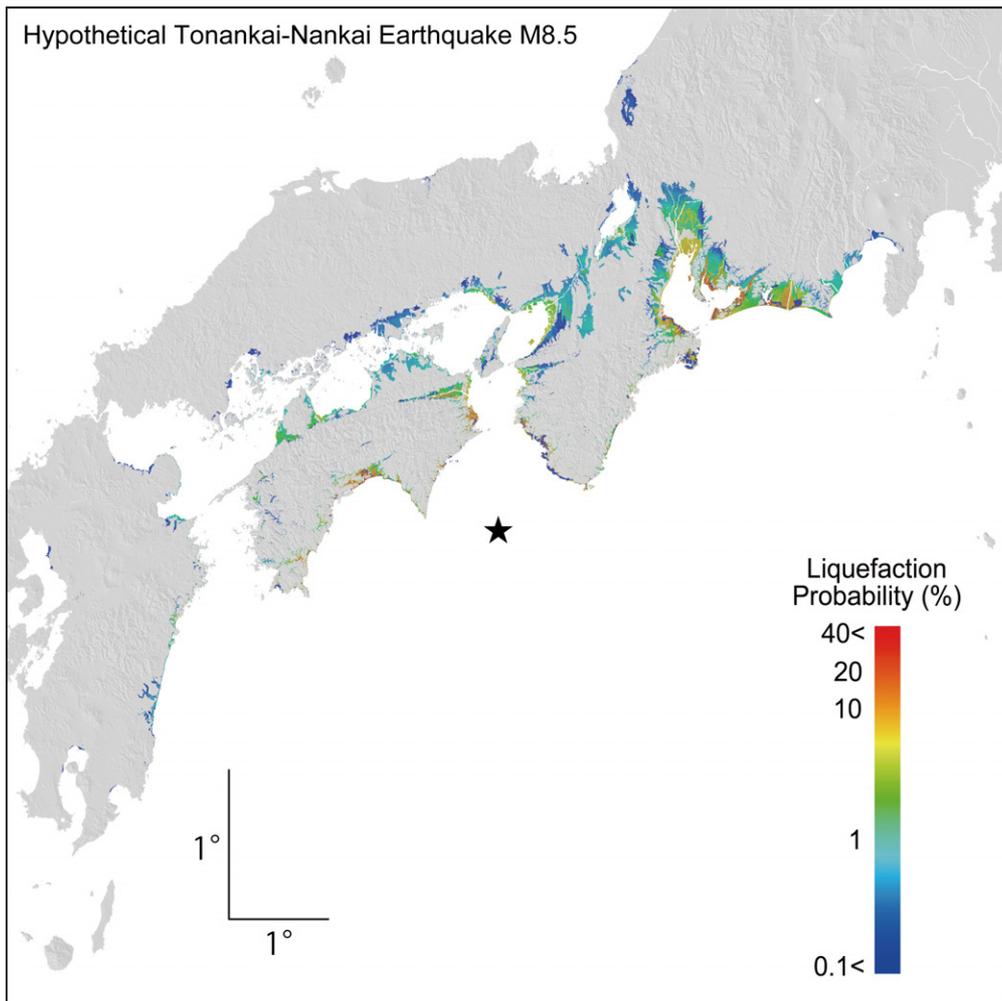


図10 想定東南海・南海地震の液状化発生確率の分布

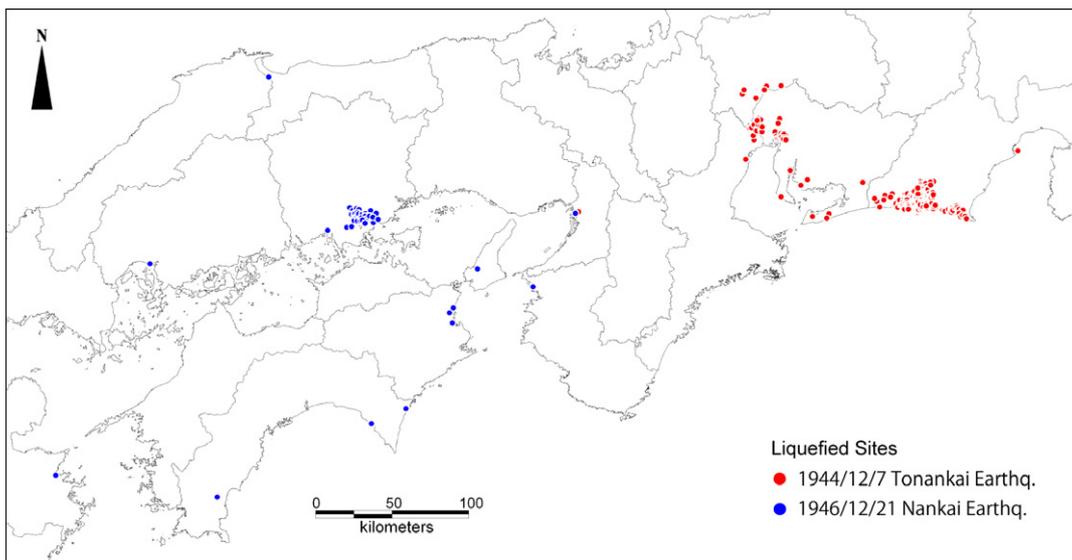


図11 1944年東南海地震と1946年南海地震の液状化発生地点の分布(文献26)のデータをもとに作成)

5. 結論

従来の液状化危険度のゾーニングでは、「液状化発生の可能性が大きい」、「小さい」としか表現できなかった。すなわち、「液状化発生の可能性が大きい」と判定された微地形区分の全域が液状化するわけではないことは容易に想像つくものの、液状化発生の度合いを定量的に推定することが出来なかったが、本研究では国や自治体などの地域地震被害想定における液状化危険度評価を簡便かつ定量的に行うため、地形・地盤分類250mメッシュマップを利用した液状化発生確率の推定手法を提案した。数多くの強震記録が得られ、かつ、液状化発生地点が詳細に調査されている最近の9地震を対象に、強震記録の空間補間およびメッシュマップから得られる地盤の増幅度を考慮して計測震度分布を計算した。そして、計測震度の値と液状化発生確率の関係を微地形区分ごとに検討し、液状化しやすさが類似する微地形区分をグループ化した。さらに、グループごとに液状化発生確率を推定する回帰式を構築し、定性的に行うことが多かった微地形区分ごとの液状化の可能性の広域予測が、簡便かつ定量的に行えることを示し、その応用例として想定東南海・南海地震での広域液状化危険度を試算した。本手法は詳細な地盤調査データを必要としないことや計算処理が簡易なことから、想定地震に対する危険度評価だけでなく、準リアルタイムな処理にも適している。今後は、地震後速やかに発表される地震動強さ情報^{34),35)}との統合により、直後の災害対応に資する液状化危険度情報を提供していく予定である。

謝 辞

気象庁, 防災科学技術研究所, 港湾空港技術研究所, 電力中央研究所, JR東日本, NEXCO東日本, 関西地震観測研究協議会の強震観測記録を利用した。中央防災会議の想定東南海・南海地震シミュレーションのデータは内閣府より提供を受けた。また、計測震度の計算は久田嘉章教授(工学院大学)公開のプログラムを、空間補間の計算には防災科研川崎ラボラトリーの地震動分布推定シミュレータ(RASMO)²⁹⁾を利用した。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 常田賢一, 安田進: 地震時地盤液状化の程度の予測について, 土と基礎, Vol.28-4, No.1164, 1980, pp.23-29.
- 2) S. Midorikawa, K. Wakamatsu: Intensity of Earthquake Ground Motion at Liquefied Sites, Soils and Foundations, Vol.28, No.2, 1988, pp.73-84.
- 3) 若松加寿江: 詳細な微地形分類による地盤表層の液状化被害可能性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), B分冊構造I, pp.1443-1444, 1992.
- 4) 若松加寿江, 山本明夫, 田中一郎: レベル2地震動を考慮した微地形による液状化判定法, 液状化メカニズム・予測法と設計法に関するシンポジウム発表論文集, 1999, pp.517-522.
- 5) 大矢雅彦, 古藤田喜久雄, 若松加寿江, 久保純子: 庄内平野洪水・地盤液状化地形分類図, 建設省東北地方建設局酒田工事事務所, 1982.
- 6) 国土庁防災局: 液状化マップ作成マニュアル(小規模建築物等に影響を及ぼす地盤表層の液状化判定), 1992, 54p.
- 7) 松岡昌志, 翠川三郎, 若松加寿江: 国土数値情報を利用した広域液状化危険度予測, 日本建築学会構造系論文報告集, No.452, 1993, pp.39-45.
- 8) 国土庁防災局震災対策課: 液状化地域ゾーニングマニュアル, 1999, 123p.
- 9) 国際地盤工学会・地震地盤工学委員会(TC-4): 地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル, 地盤工学会, 1999.
- 10) 日本ガス協会: 高压ガス導管液状化耐震設計指針, 2001, 133p.
- 11) 大矢雅彦編: 地形分類の手法と展開, 古今書院, 1983, 219p.
- 12) 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, No.421, 1991, pp.29-37.
- 13) 国土庁計画調整局・国土地理院: 国土数値情報, 国土情報シリーズ2, 大蔵省印刷局, 1987, 130p.

- 14) 若松加寿江, 久保純子, 松岡昌志, 長谷川浩一, 杉浦正美: 日本の地形・地盤デジタルマップ CD-ROM付, 東京大学出版会, 2005, 96p.
- 15) 松岡昌志, 若松加寿江, 藤本一雄, 翠川三郎: 日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均S波速度分布の推定, 土木学会論文集, No.794/I-72, 2005, pp.239-251.
- 16) 長谷川浩一, 若松加寿江, 松岡昌志: ダム堆砂データに基づく日本全国の潜在的侵食速度分布, 自然災害科学, Vol.24, No.3, 2005, pp.287-301.
- 17) 山本明夫, 小丸安史, 吉村昌宏, 山口亮: 微地形区分データを用いた広域の液状化危険度と液状化による建物被害率の予測に関する研究, 地域安全学会論文集, No.11, 2010, pp.275-285.
- 18) 若松加寿江, 松岡昌志: 全国を網羅した地形・地盤分類250mメッシュマップの構築, 第3回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」予稿集, 2009, pp.15-20 (デジタルデータは, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/JSHIS2/download.html>にて公開) .
- 19) 地震調査研究推進本部: 全国地震動予測地図2010年版, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/index.htm, 2010.
- 20) 東京都: 首都直下地震による東京の被害想定報告書, http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/knowledge/material_h.html, 2006.
- 21) 埼玉県: 地震被害想定調査, <http://www.pref.saitama.lg.jp/page/h19higaisoutei.html>, 2007.
- 22) 千葉県: 平成19年度地震被害想定調査, 2007.
- 23) 神奈川県: 地震被害想定調査報告書, <http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/saigai/chousakekka/soutei21.htm>, 2009.
- 24) 高浜勉, 翠川三郎: 地盤条件を考慮した地震による鉄道構造物の被害関数の構築, 日本地震工学会論文集, Vol.9, No.5, 2009, pp.57-71.
- 25) K. Wakamatsu and M. Matsuoka: Development of GIS-based 7.5-arc-second Japan Engineering Geomorphologic Classification Database, Proc. 3rd International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, CD-ROM, Paper No.57, 2006, 9p.
- 26) 若松加寿江: 日本の液状化履歴マップ 745-2008 (DVD-ROM付), 東京大学出版会, 2011, 90p.
- 27) 若松加寿江, 吉田望, 規矩大義: 2004年新潟県中越地震による液状化現象と液状化発生地点の地形・地盤特性, 土木学会論文集C, Vol.62, No.2, 2006, pp.263-276.
- 28) 翠川三郎, 駒澤真人, 三浦弘之: 横浜市高密度強震計ネットワークの記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度との関係, 日本地震工学会論文集, Vol.8, No.3, 2008, pp.19-30.
- 29) 防災科学技術研究所川崎ラボラトリー: 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト 公開ソフトウェア, <http://www.kedm.bosai.go.jp/japanese/daidaitoku/software.html>, 2008.
- 30) Farr, T. and Kobrick, M.: The Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, Amer. Geophys. Union EOS, No.81, 2000, pp.583-585.
- 31) 末富岩雄, 石田栄介, 礪山龍二: 空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討, 第28回地震工学研究発表会報告集, CD-ROM, ID191, 2005, 8p.
- 32) 若松加寿江: わが国における地盤の液状化の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, 244p.
- 33) 中央防災会議: 東南海・南海地震に係る被害想定結果, http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_nankai/pdf/higaisoutei/gaiyou.pdf, 2003.
- 34) 松岡昌志, 山本直孝: 250mメッシュVs30と強震記録に基づく地震動マップの即時推定システム (QuiQuake), 地域安全学会梗概集, No.25, 2009, pp.97-98.
- 35) 産業技術総合研究所: 地震動マップの即時推定システム (QuiQuake), <http://qq.ghz.geogrid.org/>, 2009.

(受理: 2010年11月26日)
(掲載決定: 2011年 4月15日)

Liquefaction Potential Estimation Based on the 7.5-arc-second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map

MATSUOKA Masashi ¹⁾, WAKAMATSU Kazue ²⁾

and HASHIMOTO Mitsufumi ³⁾

1) Member, Manager, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Dr. Eng.

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

3) Kozo Keikaku Engineering Inc., M. Eng.

ABSTRACT

This study is examined the probability of liquefaction occurrence in terms of seismic intensities for each geomorphologic classification unit in the Japan Engineering Geomorphologic Classification Map based on the dataset of strong ground motion maps of recent earthquakes interpolated by the observation records and the liquefied sites during the past earthquakes. The geomorphologic units of similar ground conditions and liquefaction susceptibilities are grouped and their liquefaction probability functions are proposed based on cumulative normal distribution. Finally, the model was applied to the hypothetical Tonankai-Nankai earthquake and estimated liquefaction potential map with 250 m grid-cells was performed.

Key Words: Liquefaction Probability, Geomorphologic Condition, Strong Ground Motion, Seismic Intensity, Interpolation, 7.5-arc-second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map