

GISによる広域液状化危険度予測手法について*

小池 武**・今井俊雄***・中野昭三郎****

本研究では、国土数値情報を活用することで、日本国内の任意地点での液状化危険度予測をポーリングデータを用いずに簡易的に実行できる手法を提示する。すなわち、地盤液状化履歴図に示される液状化発生地点の微地形分類と、対応する地震による当該地点の震度階を一組のデータとすることで、対象とする広領域での各微地形分類ごとの液状化発生確率（危険度）を定量的に推定する手法を開発した。そこでは、地理情報システム（GIS）が基準地域メッシュを単位とする液状化危険度解析のデータ処理と結果の判定に有効であることを示す。

Key Words : liquefaction hazard, digital national land information, mapping, GIS, probability

1. はじめに

地震時の液状化に起因する地盤被害は、地上構造物を支える基礎の沈下や各種地下構造物の浮上、側方移動など構造物の本来機能を喪失させる深刻な被害をもたらすことが多い。耐震戦略として、構造物の耐震強度を高める努力はもちろん必要であるが、地盤液状化の潜在危険性を有する地盤を的確に把握して事前にそのような危険地域を避ける戦略も一つの重要な方策である。

ところで、広域の液状化危険度予測やバイブライン・堤防など長い構造物の液状化危険度予測を行なう場合には、まず地形・地質や液状化履歴をもとにした概略の予測方法によって危険性を有する地域を絞り込み、その中で必要に応じて一般の土質調査による簡易の予測方法あるいは詳細な予測方法を選択する手順¹⁾が採られる。しかし、長距離バイブラインのルート選定など対象地域が広く事前に十分な地盤情報を入手することが困難な場合には、もっぱら概略予測に頼らざるを得ないことになる。この概略予測法の問題点は、たとえば、「埋立地や旧河道では液状化の発生する可能性が高い」など液状化危険度の高い地盤についての一般的、定性的な情報を与えることはできるが、対象地点の液状化危険度について想定震度階ごとの危険度やその地盤条件での危険度について定量的な情報を提供できない点にある。

一般に、埋立地や砂丘間低地などいわゆる液状化危険度の高いと言われる微地形²⁾は、対象地域が小範囲に限定できる場合は過去から現在までの地盤の変遷も含めた

豊富な地形的また土質的情報を収集することで液状化危険度地区としての特定を容易に行なえると想像されるが、逆に対象領域が広範囲になると、各地域ごとに液状化危険度判定に必要な空間的に等質な地盤情報を入手することが困難になり、結果として信頼度の高い広域液状化危険度予測を実現できないことになる。

最近、国土地理院が発行した国土数値情報³⁾は、縮尺1/25000の地形図を縦横それぞれ10等分した基準地域メッシュ（一辺約1 km）でもって日本全国を覆い、各メッシュの属性情報として海岸線、地形、土地分類など合計14区分101項目の情報を提供するものである。とくに、土地分類区分における3項目（表層地質、地形分類、土壌）および地形区分の標高データ情報は、上述の微地形に関する等質な地盤情報として十分な資格を有している。

たとえば、関東地方程度の広い領域を対象として液状化危険度予測を行なうには、その領域を覆う数万個の基準地域メッシュとそれぞれが有する地盤特性情報を効率的に処理するコンピュータシステムが不可欠になる。この面で、昨今技術的進歩の著しい地理情報システム⁴⁾

（Geographic Information System, GIS）は、地理情報を基礎としたメッシュ情報の数値的処理およびその結果の画像出力機能に優れており、液状化危険度予測における結果の評価・判定に有用な道具であると言える。

若松⁵⁾によりまとめられた日本国内の地盤液状化履歴図は、歴史地震とそれによる液状化発生分布に関する貴重な情報を提供するものである。当該資料を見ると、歴史的に古い地震では液状化発生地点数が少なくデータとしての取扱いに注意を要するが、比較的近年の地震では液状化発生地点数も多く、液状化の発生・非発生地域を区別するのに十分なデータを提供しているものと推察される。

既往の研究では、上述の地盤液状化履歴図を用いて液状化危険度を簡易推定するため、液状化危険度の高い地

* 本文の一部は、第9回日本地震工学シンポジウムで発表

** 正会員 工博 川崎製鉄株式会社 鋼構造研究所
(〒263千葉市稲毛区長沼町351)

*** 工修 川崎製鉄株式会社 鋼構造研究所

**** 川崎製鉄株式会社 鋼構造研究所

形として微地形を抽出し、その地点の河川からの距離および河床からの標高差を基準にした手法を提案⁶⁾するものや、国土数値情報の地形学的情報から液状化予測に必要な高精度の微地形分類手法を提案する翠川ら^{7)~9)}の研究がある。いずれの場合も、液状化危険度の判定基準は、各微地形分類に対応する一定の液状化発生限界加速度あるいは液状化発生最大地動速度を用いている。しかし、液状化危険度の定量的情報としては、「この液状化発生限界値を超過した微地形はどの程度の確率で液状化現象を発生しうるのか」、あるいは「上述の研究で採用されたような微地形分類ごとに一定値の液状化発生限界値を採用した場合、微地形分類に対する液状化危険度が全国一律に成立するのか、それとも、ある程度の広領域ごとに地形的な差異がありうるのか」と言った疑問に答えるものでなくてはならない。

本研究は、上述の疑問に応える目的で、地盤液状化履歴図に示される液状化発生地点の微地形分類と、対応する地震による当該地点の震度階を一組のデータとすることで、対象とする広領域（たとえば関東地方程度）での各微地形分類ごとの液状化発生確率（危険度）を定量的に推定する手法を提示しようとするものである。

2. 液状化危険度予測手法

(1) 予測手法

提案する広域液状化危険度予測手法は、データベースとして、国土数値情報と地盤液状化履歴図を採用し、液状化危険度評価は、検討対象地域に含まれる国土数値情報の基準地域メッシュ（緯度方向30秒、経度方向45秒、約1km×1km）を基本単位として行なうものとする。

いま、検討対象として任意の広領域を設定すると、その地方を取り囲む周辺および内部において過去に複数の地震が発生し、基準地域メッシュごとに種々の震度と地盤液状化発生・非発生の経験を繰り返していたことになる。この時、各微地形分類ごとの液状化発生確率は以下の手順で求めることができる。

- 検討対象地域を設定し、その地域での地盤液状化履歴を有する既往地震を抽出する。
- 抽出した各地震に対して、液状化発生地点の微地形分類とその時の気象庁震度階（以下、震度階）を、国土数値情報および距離減衰式より推定する。
- すべての抽出地震に対して得られたb)の結果を集計することで、検討対象地域に対する地盤条件（地層、地盤種別、土質）、震度階に対応する液状化発生確率を表す液状化危険度グラフを作成する。
- 対象地域近辺での想定地震による液状化危険度（発生確率）の推定は、メッシュ分類された各地点の地盤条件、震度階から液状化危険度グラフを用いて求

表-1 地盤液状化に関わる微地形分類

地層	微地形分類	土質	分類コード	
沖積層	三角州性低地	礫	1	
		砂	2	
		泥	3	
		砂+礫	4	
		砂+泥	5	
		砂+礫+泥	6	
	砂州・自然堤防	泥堆積	7	
		泥以外	8	
	砂丘	砂		9
				10
扇状地性低地	その他		11	
			12	
埋立地			13	
干拓地			14	
干潟			15	
河川敷			16	
洪積層	ローム台地		17	
	三角州性低地		18	
	砂州・自然堤防		19	
	その他		20	
新第三紀			20	

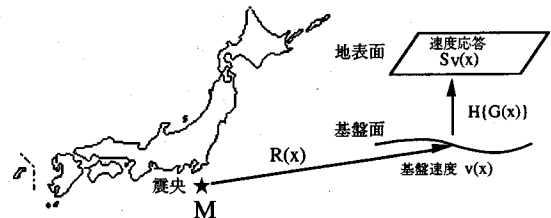


図-1 地震発生と地表面速度応答との関係

める。

液状化が発生しやすい地盤は、埋立地や砂丘間低地などいくつかの特徴的な微地形に分類することができる。表-1は、本研究で用いた微地形分類表であり国土数値情報の分類にしたがって、地層、地盤種別、土質ごとに20種類の微地形に分類した。ただし、この微地形分類は、上述の基準地域メッシュに対する地形分類であるため、砂丘間低地や旧河道など一般に液状化危険度が高いと言われる微地形は、メッシュ内の一部に含まれることになる。したがって、本研究では、たとえば旧河道に一つ一つに対応する表-1の分類コードが明確に存在しない点に注意する必要がある。

対象地点の地盤震動の大きさは、図-1に示すように震源でマグニチュードMの地震が発生した時、対象地点直下の地震基盤での速度 $v(x)$ を距離減衰式¹⁰⁾から求め、つぎに地形学的情報から地盤のS波速度および増幅率を推定する松岡・翠川⁸⁾の方法で表層地盤 $G(x)$ の応答倍率 $H[G(x)]$ を介して地表面速度応答 $S_v(x)$ を得る。この時、地震基盤は第三紀ないしそれ以前の丘陵地（平均S波速度640m/s）を想定している。速度応答値から震度階への変換は、翠川・福岡⁷⁾にしたがって図-2により行なう。

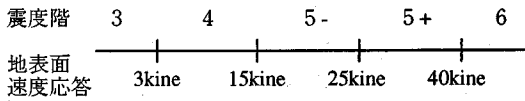


図-2 地表面速度応答と震度階の対応関係

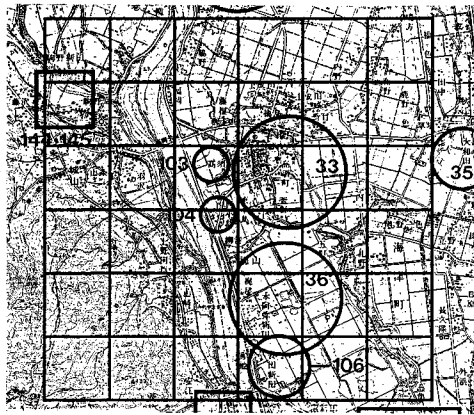


図-3 液状化発生位置の特定状況

地盤液状化履歴図の液状化発生地点とその原因となった歴史地震に関するデータベースより、対象地域内における震度階、地盤条件と液状化発生確率の関係は、以下の手順で求めることができる。

いま、ある特定の歴史地震 BQ_i によって地盤液状化が発生したとする。液状化発生地点はそれぞれいずれかの地域基準メッシュに属することから、各メッシュごとに微地形分類と震度階として液状化発生の有無を分別する。ただし、震度階3以下のメッシュでは液状化発生が見られない¹⁾ことから、メッシュに対する震度階検討範囲を4以上に限定する。震度階と微地形分類に関する同一の組み合わせについて液状化の発生するメッシュと発生しないメッシュが存在することから、微地形分類されたメッシュでの液状化発生事象は確率的事象と見做し得るため、以下のように液状化発生確率を算定する。

いま、震度階 k 、微地形分類 G_j の組み合わせに属するメッシュ群内の液状化発生数を $n'_1(k, G_j)$ 、非発生数を $n'_0(k, G_j)$ とすると、地震 BQ_i により震度階 k 、微地形分類 G_j と分類された任意のメッシュでの液状化発生確率は次式で求められる。

$$P[L^i | k, G_j] = \frac{n'_1(k, G_j)}{n'_1(k, G_j) + n'_0(k, G_j)} \dots \dots \dots (1)$$

ところで、地盤液状化履歴図では液状化発生位置に関する確度に応じて、4種類の区別がなされている。すなわち、液状化の発生した正確な範囲が特定されている場合（ゾーン表示）、液状化発生地点の位置が番地や集落内も小字名などの地点に近い情報で特定される場合（小記号）、液状化発生地点の位置が集落名や町丁目などの

表-2 液状化発生メッシュの特定方法

分類	ゾーン記号	小記号	中記号	大記号
メッシュと表示記号の関係				
各メッシュへの重み振分け	1	1	中心：0.5 周辺：0.0625	中心：0.10 周辺：0.08 外周：0.065

地区名で特定される場合（中記号）そして液状化発生地点の位置が町村名や大字名など、複数の集落で構成される地域名で特定される場合（大記号）である。たとえば、液状化発生位置が大記号で特定されている場合には、図-3に示すように一個のメッシュでは対応できず周辺のメッシュを含む複数のメッシュ群内のどこかで液状化が発生したことになり、液状化発生箇所数の算定において何らかの調整が必要になる。本研究では、表-2に示すように確度に応じてメッシュ群に重みを与え、全体として発生頻度が1になるように調整する方法を採用した。すなわち、中記号では中心メッシュの重みを0.5とし、周囲8個のメッシュの重みを等分に分配し、各メッシュの重みを1/16とした。大記号の場合には、複数メッシュ群内で液状化発生に差異は少ないと予想されるので、中心メッシュはやや大きく周辺部ほど少し小さくなる表-2のような重み付けを先験的に与えることにした。

(2) 液状化危険度グラフ

特定地方を対象とする液状化危険度グラフは、上述の式(1)により指定地震に対して算定される震度階、微地形分類ごとの液状化発生確率をその特定地方における過去の主要なすべての地震について求め、その加重平均による集計として次式により求められる。

$$P[L | k, G_j] = \sum_i w^i P[L^i | k, G_j] \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 w^i は地震 BQ_i の液状化発生確率に対する相対的重要係数である。

このグラフを求めるについてつぎの二点を検証しなければならない。第一点は、対象地域の設定および解析対象地震選定の任意性であり、第二点はデータベースとした若松の地盤液状化履歴図では古い地震に対応する液状化発生地点は必然的に減少し、データ数の十分条件を満足しない可能性があることである。第一点については、過去および将来の地震における液状化履歴調査の今後の累積に負うところが多い。第二点については、最近の地震による液状化調査点数が相対的に多く、広範囲の地盤

条件に対する液状化調査がなされていることから、データの多い地震での調査結果はより重視し、逆にデータ数の少ない地震での調査結果は相対的に軽い評価をすることで本課題に対処することができよう。したがって、特定地域での平均的な液状化発生事象 L_D の危険度グラフ $P[L_D / k, G_j]$ は式(2)の w^i を次式で与えられる相対的重要度係数 w_D^i で置き換えることにより求められる。

$$w_D^i = \frac{\sum_k n_i^1(k, G_j)}{\sum_i \sum_k \{n_i^1(k, G_j) + n_i^0(k, G_j)\}} \dots \dots \dots (3)$$

一方、任意に想定した地震(マグニチュード M 、震央位置 X, Y)に対応する液状化発生事象 L_E の危険度グラフ $P[L_E / k, G_j; EQ=(M, X, Y)]$ を求める場合には、想定地震と上述の選定地震群との空間的相対距離およびマグニチュードの差異を考慮した以下の重要度係数 w_E^i を式(2)の w^i に代入して求めることができる。

$$w_E^i = \frac{\delta_i^{-1}}{\sum_k \delta_k^{-1}} \dots \dots \dots (4)$$

$$\delta_i = 10 \{ a \cdot |M - M_i| + b \cdot \log_{10}(1 + \Delta_i) \} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、式(5)の δ_i は想定地震のマグニチュード M と歴史地震 EQ_i のマグニチュード M_i との差および両地震の震央間の相対距離 Δ_i の数式和の関数であり、数式和の増大に比例して大きくなる性質をもっている。 δ_i が距離減衰式と同様の性格を類推させるところから、係数 $a, b^{10)}$ は $a=0.607, b=1.19$ の値を採用する。したがって、式(4)の重要度係数 w_E^i は δ_i の増大に逆比例することから δ_i に関する調和平均として評価することにした。

また、想定地震が、液状化履歴調査点数が過少な歴史地震 EQ_i に一致するかまたはその近傍にあって、式(4)から得られる液状化危険度グラフの適用性に疑問がある場合には、その液状化危険度グラフの分布特性を当該地域の平均的発生確率 $P[L_D / k, G_j]$ を加味して補正する必要があり、液状化発生確率はパラメーター α を用いて次式のように修正される。

$$P[L_m^i / k, G_j] = \alpha P[L^i / k, G_j] + (1 - \alpha) P[L_D / k, G_j] \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 α は地震 EQ_i による液状化発生確率に対する主観的評価割合で $0 \leq \alpha \leq 1$ の値をとる。

対象地域に対する液状化危険度は、その近辺での発生が想定される複数の地震に対する液状化発生確率の期待値として求めることができる。すなわち、設定地域内の任意点 x における液状化発生確率は、地震発生確率 $P[EQ_j]$ を用いて次のように表現できる。

$$P[L / x] = \sum_i P_{EQ_j} [L^i / x] P[EQ_j] \dots \dots \dots (7)$$

ここで、地震 EQ_j に対する条件付き液状化発生確率 $P_{EQ_j} [L^i / x]$ は、式(1)または式(6)を用いて次式で

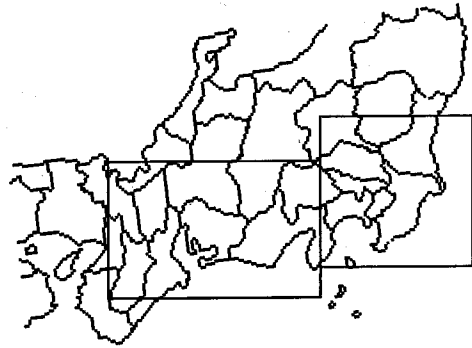


図-4 解析対象領域

与えられる。

$$\begin{aligned} P_{EQ} [L^i / x] &= \sum_v P [L^i / k_v, G(x)] P [k_v / G(x), EQ_j] \\ &= \sum_v P [L^i / k_v, G(x)] \cdot \\ &\quad \int P [k_v / s] f_{S_v} [s(x) | EQ_j] ds \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

ただし、 k_v は図-2に示す3から6の間の第 v 番目の震度階であり、 $G(x)$ は任意点 x の微地形分類、 S_v は当該地盤の地表面速度応答として f_{S_v} は S_v に関する条件付き確率密度関数である。

3. 解析事例

(1) 対象地域

対象地域は、歴史地震とそれに対応する液状化発生データを有し、地理的にも一つの地方を形成している程度の広領域とした。

本研究では、解析対象領域として関東地方および東海地方を選定した。それぞれの領域を図-4に示す。

地表面速度応答 S_v は、松岡・翠川⁵⁾により関東地方のS波速度データを基礎にその算定式が与えられていることから、その適用範囲は本来関東地方に限定すべきものであるが、ここでは便宜的に東海地方についても同一の算定式を適用することにした。

図-1に示す基盤速度を推定する距離減衰式¹⁰⁾は、岩盤に対する速度算定式である大崎・渡部の式を採用した。

ところで、解析に用いた国土数値情報は、現在の地形を対象としたものであり、たとえば江戸時代に発生した地震に対して、当時海面であった地点のメッシュ(国土数値情報データでは埋立地であるとする)を埋立地として取り扱うには無理があるが、本研究ではこれを分別できる十分な資料がないため、現在の地形分類を用いて解

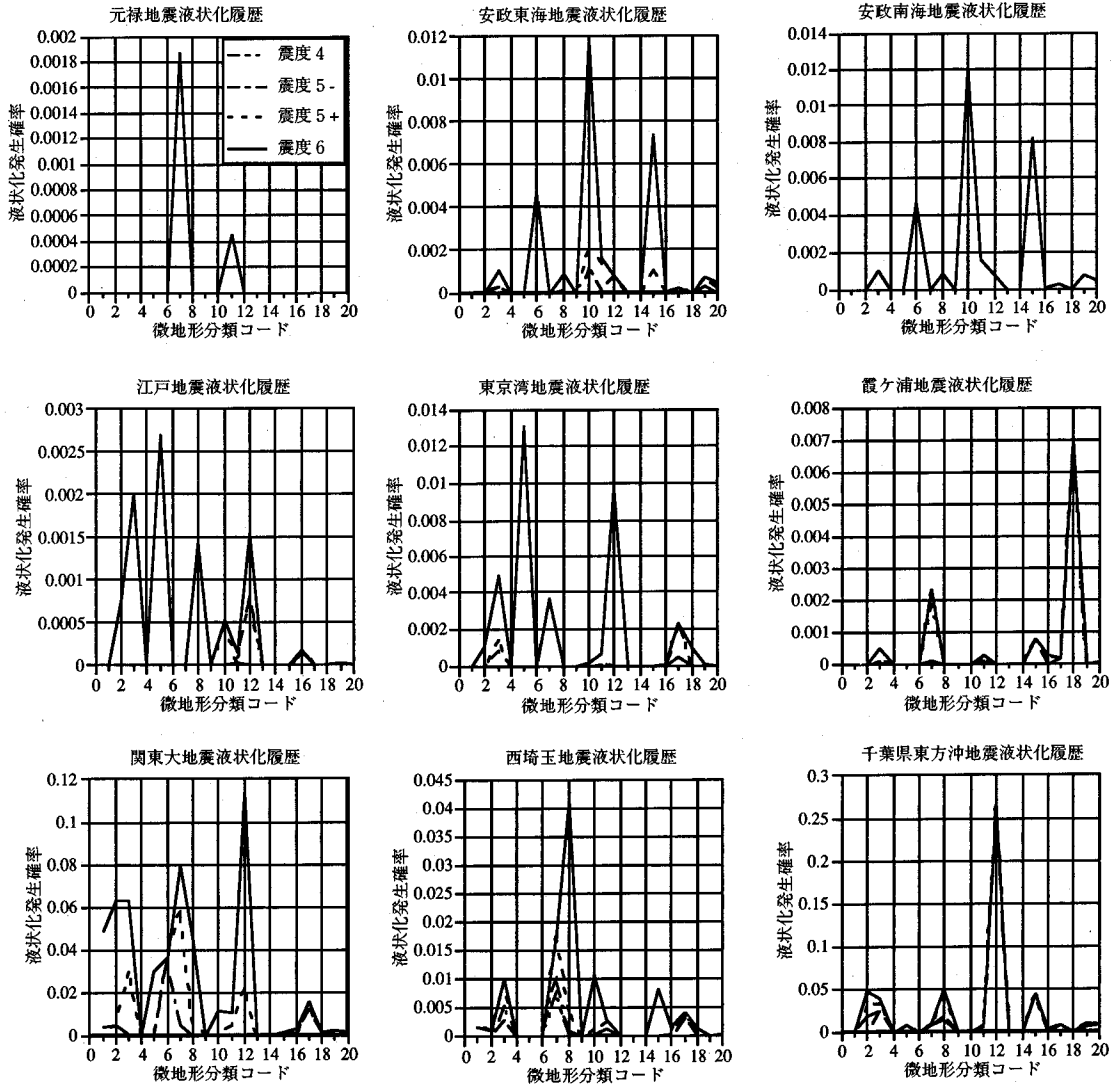


図-5 関東地方の歴史地震による液化化発生確率と微地形分類の関係

析した。この点で、歴史年代の古い地震に対する解析結果には、上記のような評価誤差が存在する可能性があることに注意しなければならない。

(2) 関東地方の液化化危険度予測

関東地方では、写真-1に示すように太平洋側に震源を有する大地震や内陸部で発生する地震など数多くの記録が得られているが、本研究では液化化履歴調査結果が得られている地震群の中から、同地方周辺および内部に存在する表-3の地震群を解析対象地震として選定した。

図-5は、表-3の地震群を対象として、凡例に示す各震度階 k_n を上限とする液化化発生確率 $P[L^i / k_n, G_j]$ を示す。この確率は式(1)を用いて次式で定義される。

$$P[L^i | k_n, G_j] = \sum_{v=1}^n P[L^i | k_v, G_j] \dots \dots \dots (9)$$

図-5によれば、千葉県東方沖地震、関東大地震では埋立地(分類コード12)での発生確率が相対的に大きい。また、安政東海、安政南海両地震では沖積層扇状地性低地(分類コード10)で発生確率が高く、江戸地震、東京湾地震などでは三角州性低地(分類コード5)でその発生確率は高い。一方、砂州・自然堤防(分類コード7, 8, 18)が卓越するのは、元禄地震、西埼玉地震、霞ヶ浦地震などで、いずれも利根川および江戸川の河川敷やその周辺部に液化化発生地点が集中していることを反映している。ここで、霞ヶ浦地震で洪積層の砂州・自

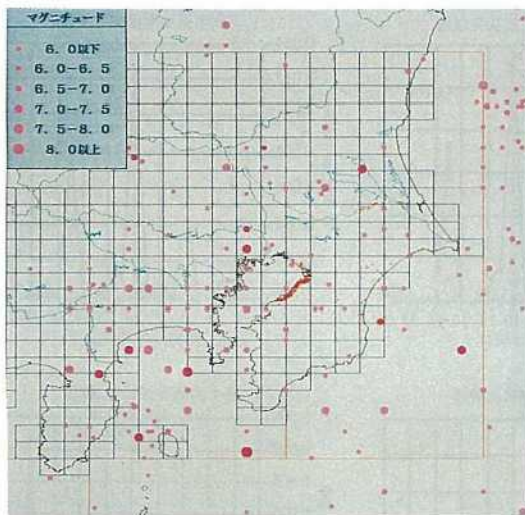


写真-1 関東地方の地震環境と千葉県東方沖地震の液状化発生地点

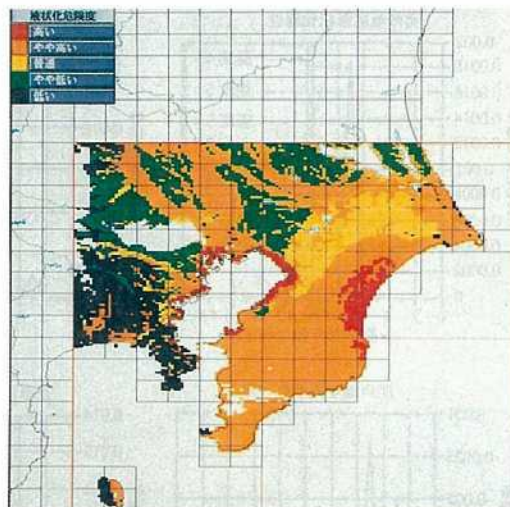


写真-2 関東地方の液状化危険度マップ

表-3 解析対象の関東地方における歴史地震群¹⁾²⁾

No.	地震名	発生年	マグニチュード*	調査地点数
1	元禄地震	1703	8.2	7
2	安政東海地震	1854	8.4	85
3	安政南海地震	1854	8.4	85
4	江戸地震	1855	6.9	13
5	東京湾地震	1894	7.0	32
6	霞ヶ浦地震	1895	7.2	16
7	関東大地震	1923	7.9	705
8	西埼玉地震	1931	6.9	119
9	千葉県東方沖	1987	6.7	255

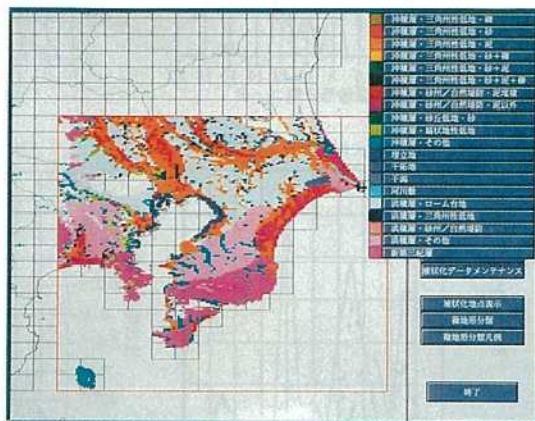


写真-3 関東地方の微地形マップ

然堤防(分類コード18)が卓越しているのは、本手法で採用した表-2による液状化確度判定の適用限界を示している。すなわち、霞ヶ浦地震の検討対象メッシュの一部で、液状化発生確度が中または大記号に属した場合、液状化地点に隣接する地域が洪積層であると、周辺メッシュが洪積層と分類される可能性を無視できない。この時、本計算過程ではこれらのメッシュを液状化非発生地域であると土質工学的に判定して液状化評価点から排除する評価機能を有していないため、上記の誤評価が発生したと思われる。

これらの地域の特徴は、震源位置や地震規模により液状化危険度を有する地盤での震度階が異なることや、関東地方における地盤条件の地域的偏りの影響を反映して

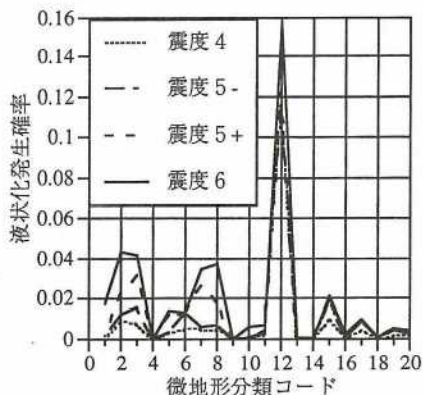


図-6 関東地方の平均的液状化危険度グラフ

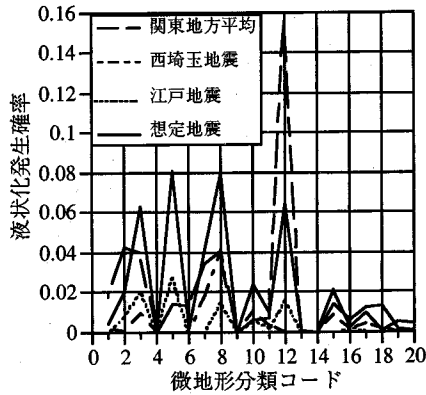


図-7 想定地震に対する液状化危険度グラフ

表-4 解析対象の東海地方における歴史地震群^{1,2)}

No.	地震名	発生年	マグニチュード	調査地点数
1	宝永地震	1707	8.4	8
2	伊賀伊勢大和	1854	6.9	24
3	安政東海地震	1854	8.4	85
4	安政南海地震	1854	8.4	85
5	濃尾地震	1891	8.0	242
6	江濃地震	1909	6.8	120
7	河内大和地震	1936	6.4	14
8	東南海地震	1944	7.9	341
9	三河地震	1945	6.8	103

いるものと思われる。このことは、式(1)で定義した液状化発生確率が対象地域の局所的な地盤特性を反映できるものであることを例証していることになる。

図-6は、関東地方における微地形分類に対する平均的液状化危険度グラフ $PL/L_D / k_p G_j$ である。同図は、図-5の各地震に対する液状化危険度グラフを加重平均して求めたものであり、関東地方の平均的な液状化危険度を示す。同図によると、埋立地に対する液状化発生確率が相対的に大きく、調査地点数の多い関東大地震や千葉県東方沖地震の分布特性の影響を受けていることがわかる。

いま、想定地震の震央を千葉県東方沖地震の震央に一致させた場合に、式(8)にしたがって算定した液状化危険度と実際の液状化発生分布とを比較する。

写真-2は、式(8)による液状化発生確率を5段階に分類表示したものであり、いわゆる液状化危険度マップを表している。ここで、5段階の区分名称と液状化発生確率の対応は次のとおりである。

高い	0.01以上		
やや高い	0.01	～	0.001
普通	0.001	～	0.0001
やや低い	0.0001	～	0.00001
低い	0.00001以下		

同写真によると、液状化危険度の高い地域は震源に近い千葉県東部と東京湾奥の海浜地区そして利根川河口部である。一方、写真-1には千葉県東方沖地震の液状化発生地点が表示されているが、両者は良い対応を示していると言えよう。

写真-3は、表-1の微地形分類にしたがって関東地方の微地形分類を表示したものである。これと写真-2とを比較すると、高い液状化危険度(写真-2の赤色部分)と良い対応を示す微地形分類は、埋立地(分類コード12)、砂州・自然堤防(分類コード8)、三角州低

地(分類コード2)および河川敷(分類コード15)であり、上述の液状化危険度グラフ(千葉県東方沖地震)の卓越した微地形分類と良い一致を示している。このことは、式(8)による液状化危険度予測手法が、液状化危険度の高い微地形分類についての発生確率による定量的情報を与えるだけでなく、GISと連動させることで液状化危険度地区の地形的情報(位置、微地形分類など)も提供できることを示している。

一方、写真-2、3の房総半島地区を見ると、洪積層(分類コード16、17、18、19)と新第三紀(分類コード20)で液状化発生危険度が「やや高い」結果になっているが、これは本研究で採用した表-1の微地形分類方法に起因した結果を示している。すなわち、実際には谷底低地などで液状化発生を記録されている場合にもそれを含むメッシュ単位としては洪積層と分類される時このような結果を示すものと推察される。この点で、本手法も改善の余地が残されていると言えよう。

つぎに、表-3の地震とは異なる任意の想定地震に対する液状化危険度グラフ $PL/L_D / k_p G_j; EQ=(M, X, Y)$ について、震央周辺の地震環境からの影響度を式(4)を用いて考察する。図-7は、西埼玉地震と江戸地震の両震央の中間地点に同規模の地震($M=6.9$)を想定した時、その液状化危険度グラフと図-5の各地震のグラフおよび図-6の関東地方の平均的グラフを比較したものである。同図は、両地震に対する危険度グラフの特性を共有しており、式(4)の液状化危険度グラフが関東地方内部での局所的な地域特性にも対応しているのがわかる。

(3) 東海地方の液状化危険度予測

東海地方でも、太平洋側および内陸部に震源を持つ多くの歴史地震が存在するため、液状化履歴調査結果の得られている表-4の地震群を解析対象として選定した。

図-8は、表-4の地震群を対象として凡例に示す各

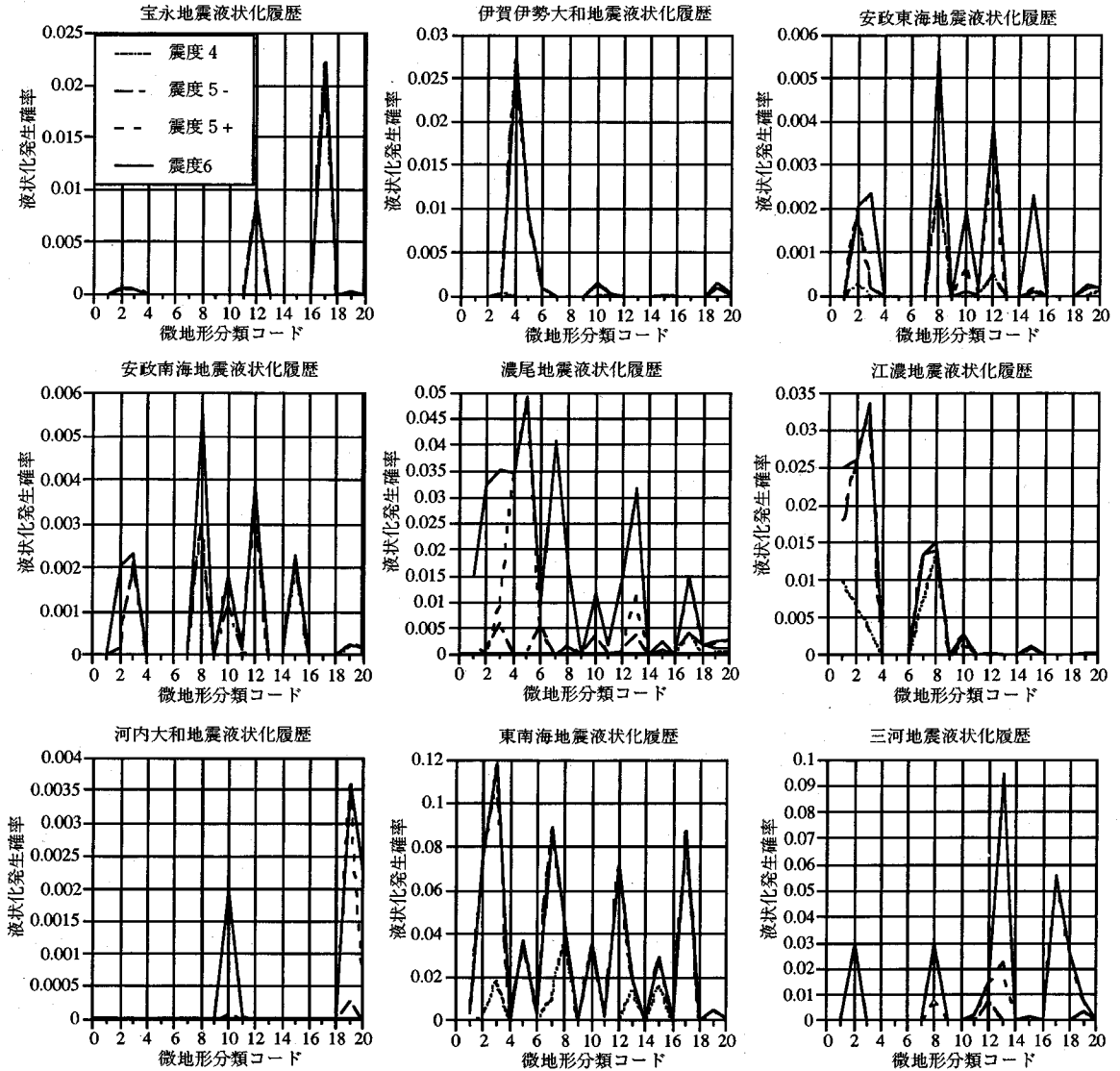


図-8 東海地方の歴史地震による液状化発生確率と微地形分類の関係

震度階 k_n を上限とする液状化発生確率を示す。同図によると、安政東海、南海両地震、東南海地震など海洋型巨大地震に対する液状化危険度グラフ特性が相互に似ており、濃尾地震、江濃地震など内陸型地震もまた比較的特性を示している。一方、伊勢湾を中心と東西に位置する中規模の三河地震および伊賀伊勢大和地震はそれぞれ他の地震群のグラフ特性とは違う興味ある特徴を示している。また、対象地域の西端に位置する河内大和地震の結果は、他の地震のグラフ特性と異なる様相を示している。同図では洪積層（分類コード19）や新第三紀（分類コード20）が卓越しているが、これはこの地震の地盤液状化が大和川沿いで発生し、その一帯は生駒山

脈から河内平野へ移る山裾部分に対応しているため、本手法のデータ処理の性質上、対象メッシュを洪積層、新第三紀と判断された結果と解釈される。

海洋型の三地震では、地盤液状化が三角州性低地、砂州・自然堤防、埋立地など多種類の微地形で発生しており、内陸型の二地震では沖積層三角州性低地および砂州・自然堤防での発生が目立っている。前者は、東海地方の大河川（天竜川、大井川、富士川）河口を含む広範囲での液状化調査結果を反映しているものと思われ、後者は、木曾川など三河川により生成された沖積層三角州性低地に発達した濃尾平野での液状化調査結果によるものと推察される。

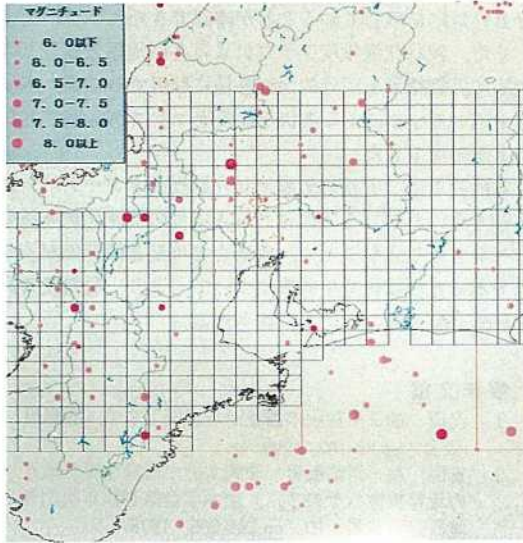


写真-4 東海地方の地震環境と濃尾地震の液状化発生地点

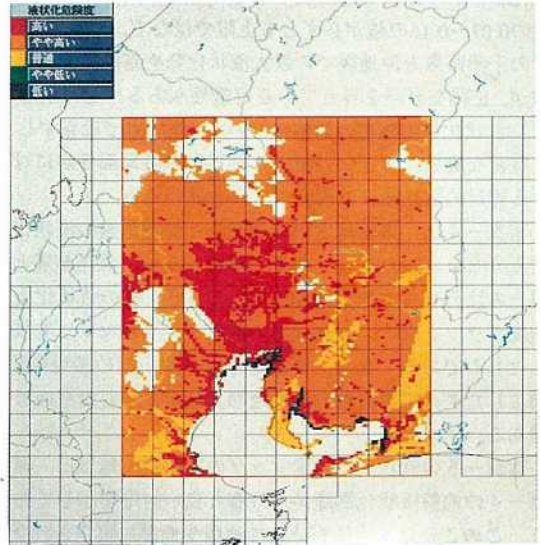


写真-5 東海地方の液状化危険度マップ

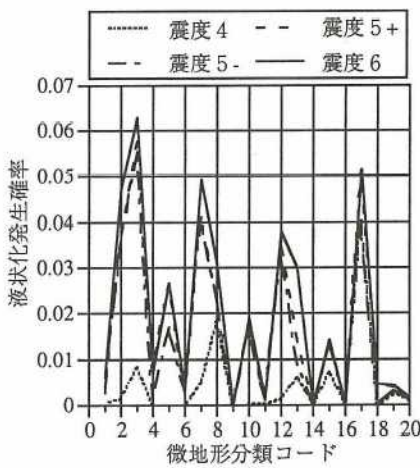


図-9 東海地方の平均的液状化危険度グラフ

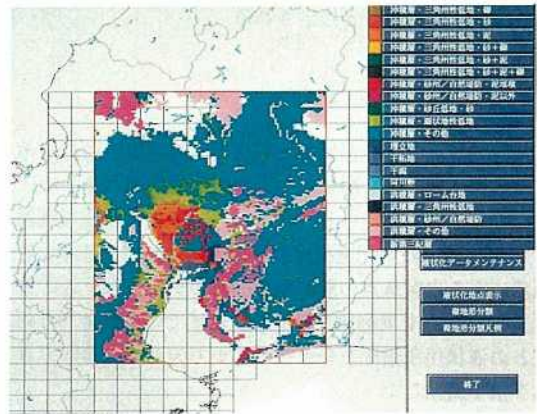


写真-6 東海地方の微地形マップ

図-9は、東海地方の液状化危険度グラフであり、同地方における液状化危険度の全般的特徴を示している。東海地方では三角州性低地(分類コード3, 17)が卓越し、つぎに砂州・自然堤防(分類コード7)が顕著であるが、全般的には調査データの多い東南海地震および濃尾地震の結果を相対的に強く反映したものになっている。

今回の解析結果を見ると、関東地方の特徴を表す図-6と東海地方の特徴を表す図-9は互いに卓越する微地形分類が異なる。すなわち、前者では埋立地での液状化

危険度の高いことを示し、後者では三角州性低地や砂州・自然堤防で顕著なことを示している。これらの差異は互いの地域における地形的特性とそれによる地盤液状化発生分布の差異を反映しているものと推察される。また、両図に示す液状化発生確率は、いずれも震度階6以下の地盤震動に対して最大0.07~0.16程度であることを示す。この値は、最近発生した千葉県東方沖地震での液状化発生確率に比較してやや小さく、歴史的に古く液状化履歴データの少ない地震に比較すると相対的に大きな発生確率を示している。これは、明らかに古い地震における液

状化データの過少さを反映するものであり、結果的に上述の0.07～0.16の値が必ずしも上限ではなく、むしろ最近の千葉県東方沖地震での最大液状化発生確率約0.26の方が、正確な評価を与えている可能性がある。したがって、液状化発生確率の数値について、現時点では必ずしも厳密な論議はできないが、20種類の微地形分類に対する相対的な比較には役立つものと思われる。

写真-4は、東海地方の地震環境と濃尾地震の液状化発生分布を示したものである。写真-5は、濃尾地震と同一の諸元をもつ想定地震に対して(8)式の液状化危険度グラフを求め、東海地方の液状化危険度マップを表したものである。また、写真-6は、表-1の微地形分類にしたがって東海地方の微地形分類を表示したものである。

写真-5の液状化危険度マップの高危険度地域は、写真-4の地盤液状化調査地点分布と良い対応を示しており、このことは本手法が特定の地域や地震に限定されない汎用性を有していることを示唆している。一方、写真-5には、解析対象域の洪積層メッシュで液状化発生の可能性が示されているが、これは前述の房総半島地区で指摘したと同様の理由で本手法の微地形分類の粗雑さに起因しているものと推定される。

4. まとめ

本研究は、国土数値情報を利用して日本国内の任意地点の液状化危険度を簡便かつ定量的に予測できる手法について述べたものである。すなわち、地盤液状化履歴図⁵⁾に示される液状化発生地点の微地形分類と、対応する地震による当該地点の震度階を一組のデータとすることで、関東地方や東海地方程度の広領域での各微地形分類ごとの液状化危険度を発生確率の形で定量的に推定できる手法を開発した。

本手法では、検討対象地域ごとにその地域を代表する平均的液状化危険度グラフを作成するが、今回の数値計算結果によれば、関東地方と東海地方でそれぞれの地形特性を反映する液状化危険度グラフを作成することができた。そして、これらのグラフを用いて推定した液状化

危険度分布は、過去の地震における地盤液状化発生地点と良い対応を示していることが確認できた。

また、液状化危険度グラフによる各微地形分類ごとの危険度評価結果を即時的かつ容易に理解するには、本研究で用いたGISによる液状化危険度マップが有用であることが確認できた。

本研究では、若松の地盤液状化履歴図をデータベースとして用いたが、今後累積される同種の液状化被害調査データを取り込むことで、現時点では定量的評価が不十分であった液状化発生確率について、より一層精度の高い評価が行なえるものと期待される。

参考文献

- 1) 安田 進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，pp.98-102, 1990.
- 2) 安田 進・岩崎敏男・龍岡文夫：流動化履歴地点の地盤特性(その2)，土木学会第33回年次学術講演会講演集，III，pp.205-206, 1978.
- 3) 建設省国土地理院：数値地図ユーザーズガイド，(財)日本地図センター，1991.
- 4) Star, J. and J. Estes: Geographic Information Systems, Prentice-Hall, Inc., 1990.
- 5) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，1991.
- 6) 幸原 淳・三浦房紀・坂尾和男：液状化発生危険地域の簡易推定法，土木学会第48回年次学術講演会講演集，CS 25，pp.34-35, 1993.
- 7) 翠川三郎・福岡知久：気象庁震度階と地震動強さの物性量との関係，地震，第41巻，pp.223-233, 1988.
- 8) 松岡昌志・翠川三郎：国土数値情報を利用した広域震度分布予測，日本建築学会構造系論文報告集，第447号，pp.51-56, 1993.
- 9) 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，第452号，pp.39-45, 1993.
- 10) 戸松征夫・片山恒雄：地震危険度解析グラフィックシステム，東京大学生産技術研究所報告，第32巻，第1号，pp.22-23, 1986.
- 11) Midorikawa S. and K. Wakamatsu: Intensity of earthquake ground motion at liquefied sites, *Soil and Foundation*, Vol.28, No.2, pp.73-84, 1988.
- 12) 宇津徳治：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年，東京大学地震研究所彙報，Vol.57, Part3, pp.401-463, 1982.

(1994.5.10 受付)

LIQUEFACTION HAZARD PREDICTION FOR LARGE AREA BASED ON GIS

Takeshi KOIKE, Toshio IMAI and Shouzaburo NAKANO

A conventional method for compiling liquefaction hazard maps of large areas is proposed. A quantitative liquefaction hazard for a geomorphological land classification map in terms of the occurrence is built up by using the Digital National Land Information and the location data of liquefaction in the historical earthquakes presented by Wakamatsu.

Predictions for the 1987 Chibaken Toho-Oki and the 1891 Nobi earthquakes are conducted based on the results of the analysis for several major earthquakes in Kanto and Tokai districts in Japan, and shows the good agreement with observations of liquefaction in the earthquakes.