



Title	微地形区分データを用いた広域の液状化危険度予測について
Author(s)	山本, 明夫; YAMAMOTO, Akio; 小丸, 安史 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 73, 37-47
Issue Date	2010-03-19
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.73.37">https://doi.org/10.14943/gbhu.73.37</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/44455">https://hdl.handle.net/2115/44455</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	73_05_p37-47.pdf



## 微地形区分データを用いた広域の液状化危険度予測について

山本 明夫

応用地質株式会社 技術センター 地震防災部

小丸 安史

応用アール・エム・エス株式会社 災害リスク事業部

吉村 昌宏・山口 亮

損害保険料率算出機構 リスク業務室

(2009年12月24日受理)

## A study of Liquefaction Potential in a Wide Area using an Engineering Geomorphologic Classification Database

Akio YAMAMOTO

Earthquake Disaster Prevention Division OYO Corporation.

Yasushi KOMARU

Catastrophe Risk Division, OYO RMS Corporation.

Masahiro YOSHIMURA and Makoto YAMAGUCHI

Non-Life Insurance Rating Organization of Japan.

(Received December 24, 2009)

A liquefaction potential map of a wide area is very useful for evaluating risk of liquefaction for the dwelling houses. In this study, the liquefaction potential map is developed by overlaying three maps including a PGV (Peak Ground Velocity) map, a liquefaction map from the past earthquakes and a land classification map. The damage ratio of the dwelling houses are evaluated as a production of three results which are the liquefaction susceptibility by the PGV at the ground surface and the ratio of liquefaction area in grid cells of 30 arc-seconds latitude  $\times$  45 arc-seconds longitude and the damage ratio of the dwelling houses in a liquefaction area from the past earthquakes. The prediction of this evaluation procedure shows a good agreement with the damage ratio of the dwelling houses for the 1987 Chiba-ken Toho-oki Earthquake.

## I. はじめに

地盤の液状化被害は、堤防などの土構造物、橋梁、地下埋設管路などのライフライン施設などに支障を与えるほか、一般の建物でも建物基礎などに多大な支障を与える。このような被害の様相から、液状化のリスクを把握することは、国レベル、都道府県レベル、市民レベルのいずれにおいても、対策検討が重要であると考えられる。

本研究では、こうした背景をふまえ、既存文献のとりまとめから、既存手法を整理し、新しい広域の液状化危険度予測手法の考え方について提案するとともに、1983年日本海中部地震、1987年千葉県東方沖地震、1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震などによる液状化の発生状況と建物被害を調査し、地震動強さや地盤・地形などの関係を整理・分析して、広域を対象とした微地形区分データを用いた新しい液状化危険度および建物被害率の予測手法の検討・提案を行った（山本ほか、2009）。

## II. 既存手法の整理と提案手法の概要

### 1. 既存手法の整理

広域の液状化危険度予測手法については、損害保険料率算出機構（2006）により詳細に取りまとめられている。大きくは2つの手法に分けられ、ボーリングデータなどの地盤データを用いて、ミクロな詳細法のパラメータを簡易的に設定して行う手法と、微地形区分データを用いる手法である。ここでは後者の概要・課題を述べる。

#### a) 微地形区分データを用いる手法の概要・課題

微地形区分データを用いる手法は、Kotoda, Wakamatsu and Midorikawa (1988) によって提唱され、Midorikawa and Wakamatsu (1988) によって液状化が発生する閾値の地表最大速度が提案されている。その後、松岡・翠川・若松 (1993) は、国土数値情報の第3次地域区画（約1 km × 1 km : 1 km メッシュと呼ぶ）の微地形区分データを用いて液状化危険度を予測する手法を提案している。この手法は、液状化しやすい微地形区分ごとに液状化が発生する地表最大速度の閾値を設定し液状化発生の危険度を予測している。また、この論文の手法が、現在まで微地形区分を用いた広域の液状化危険度予測手法として用いられている。この手法で用いる地表最大速度については、松岡・翠川 (1993 a) および松岡・翠川 (1993 b) により、1 km メッシュの微地形区分から表層平均S波速度を推定し、表層平均S波速度から表層地盤最大速度増幅度を推定することにより、距離減衰式から求めた工学的基盤の最大速度に表層地盤最大速度増幅度を掛け合わせて、地表最大速度を推定する手法が提案されている。

兵庫県南部地震以降、微地形区分を用いた液状化危険度の予測手法は、国土庁防災局震災対策

課（1999）により，レベル2地震動に対応できるように改良されている．また，1 km メッシュ国土数値情報の微地形区分は，その後，若松ら（2005）により統一的に整理され，「日本の地形・地盤デジタルマップ」として刊行されている．

## b) 液状化による広域の建物被害予測手法

次に，液状化による広域の建物被害予測手法については，損害保険料率算出機構（2006）により取りまとめられている．住家（木造建物）を対象とした液状化による建物被害率の代表的なものとしては，Table 1 の愛知県（2003）および Table 2 の中央防災会議（2005）が挙げられる．

また，液状化による広域の建物被害予測手法においては，メッシュ全体が均一に液状化が発生するとは考えられないことから，メッシュ全体のどの程度が液状化発生するのかを示す液状化面積率を設定するのが通例である．この液状化面積率については，損害保険料率算出機構（2006）の広域の建物被害予測手法の節にも述べられているが，東京都（1997）の設定値が通常用いられている．この値を Table 3 に示すが，1964 年新潟地震の液状化事例数と非液状化事例数の比から算出されている．

**Table 1.** Proposed damage ratio of dwelling houses in the liquefaction area by Aichi Prefecture (2003).

Construction Period	Damage ratio of wooden houses		References of Earthquake Data
	Severe damage(%)	Moderate damage(%)	
Built before 1954	13.0	13.0	1923 Kanto Eq.
Built between 1955 and 1970	11.0	15.0	1964 Niigata Eq.
Built after 1971	9.0	21.0	1983 Nihonkai-Chubu Eq.

**Table 2.** Proposed damage ratio of dwelling houses in the liquefaction area by CDPC (2005).

Construction Period	Damage ratio of wooden houses
	Severe damage(%)
Built before 1960	13.3
Built after 1961	9.6

**Table 3.** Proposed area ratio of the generating liquefaction by Tokyo Metropolitan Government (1997).

Potential of Liquefaction ( $P_L$ Value)	Area ratio of generating liquefaction(%)
$P_L = 0$	0
$0 < P_L \leq 5$	2
$5 < P_L \leq 15$	5
$15 < P_L$	18

## 2. 提案手法の概要

本研究で提案する予測手法は全国地域を予測対象とするため，微地形区分データを用いる手法の考え方を採用する．提案手法における液状化危険度予測の概略を以下に示す．また，全体フローを Fig. 1 に示す．

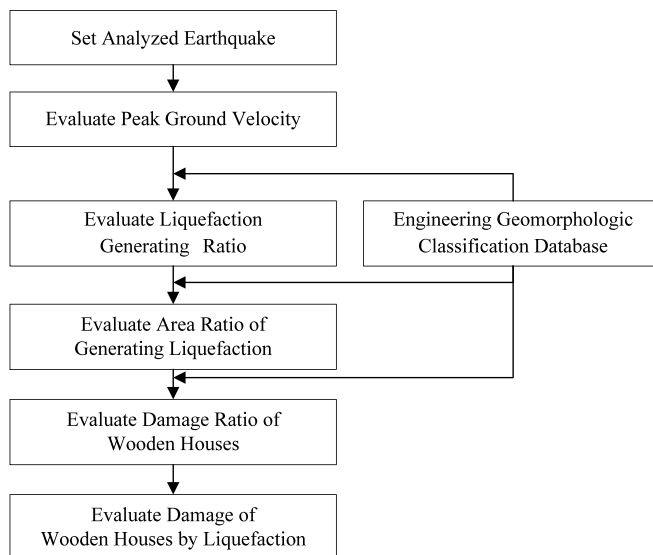


Fig. 1. Flowchart of this study.

- ①想定地震を設定し，地表での地震動分布を予測する．
- ②各メッシュで微地形区分データと予測した地震動から液状化発生率を予測する．
- ③液状化が発生すると予測した地域において，液状化面積率を予測する．
- ④液状化発生地域における住宅被害率を推計する．
- ⑤液状化発生率，液状化面積率および住宅被害率から住宅被害率を予測する． $(5)=2 \times 3 \times 4$

本研究では，①の地震動の予測は既存手法を用い，②および③について提案手法を述べている．また，④については近年の地震における液状化発生地域の住宅被害率に基づいて設定した．

### III. 提案手法の詳細

#### 1. 液状化発生範囲データ

液状化危険度予測手法の検討にあたっては，過去の地震での液状化発生範囲とその時の地震動分布，液状化評価用微地形区分の3種類のデータが必要となる．まず，過去の被害地震について，広域的な液状化発生範囲が調査されている事例の調査を行ったところ，日本海中部地震に関する土木学会の調査報告書（土木学会，1986）と，新潟県中越地震の若松ら（2006）による調査結果が被災地域のほぼ全体の液状化発生範囲を調査していることが分かった．Fig. 2 に新潟県中越地震の液状化発生範囲を示した．なお，日本海中部地震の土木学会調査報告書（1986）で液状化発生範囲とされている青森県十三湖付近の岩木川流域は，ほとんど液状化が発生していないことから，液状化発生地域に含めないこととした．

また，新潟県中越地震においては，若松ら（2006）において，液状化発生範囲のうち扇状地の

地域は、砂利を採取した後の部分が液状化したものであると指摘されているため、本研究の検討対象基礎データとして適切ではないと判断した。さらに、新潟県中越地震では、下水道のマンホールの埋戻し部の液状化被害も発生したが、その地点はデータに含まれている。

## 2. 地震動分布の推定

本研究では、日本海中部地震と新潟県中越地震の地震動分布を推定した。地震動としては、既往の広域での液状化危険度予測手法で一般的に用いられている地表最大速度を予測することとした。ここでは、新潟県中越地震の地震動推定結果について述べる。

本地震では、強震観測記録が多数あることから以下の方法で地表最大速度を求めた。

- ①震源モデルは Hikima & Koketsu (2005) を用いた。
- ②防災科学技術研究所による新潟県中越地震の強震観測データ (K-NET, KiK-net) より、震源断層からの最短距離が 150 km 以内の観測点を抽出し、水平 2 成分のうち最大加速度が大きい方の加速度波形を積分して地表最大速度を求めた。
- ③観測点の AVS 30 を PS 検層結果から算出し、松岡・翠川 (1994) から算出した表層地盤の増幅度 ARV で除して、S 波速度  $V_s=600$  m/sec 相当層での基盤最大速度を推定した。
- ④各観測点の基盤最大速度より、空間補間により各 1 km メッシュの基盤最大速度を推定した。推定の手法は、防災科学技術研究所川崎ラボラトリーより公開された Simple Kriging 法による公開プログラム “rasmo” を使用した。
- ⑤若松ら (2005) による微地形区分のデータを用いて、松岡ら (2005) の AVS 30 と微地形区分の関係、および松岡・翠川 (1994) により表層地盤の増幅度 ARV を求めた。各 1 km メッシュの基盤最大速度と ARV から地表最大速度を予測した。Fig. 3 に新潟県中越地震の地表最大速度分布図を示した。

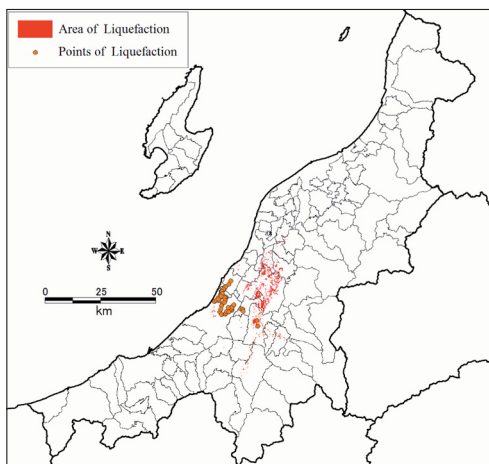


Fig. 2. Liquefaction area at Niigata-ken Chuetsu earthquake within the Niigata prefecture.

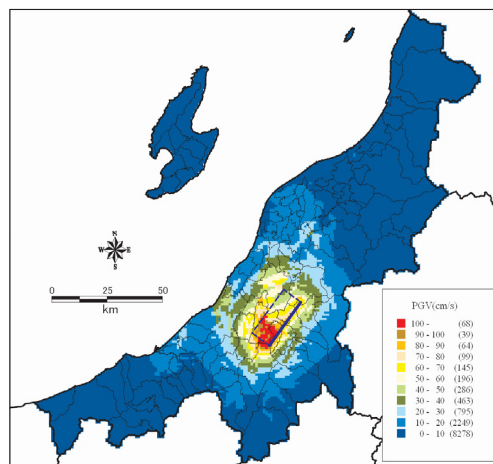


Fig. 3. Estimation of the PGV at Niigata-ken Chuetsu earthquake within the Niigata prefecture by the mesh numbers in the parentheses.

### 3. 液状化評価用微地形区分データの作成

液状化評価用微地形区分データは、若松ら（2005）の1 km メッシュの微地形区分から、液状化評価用微地形区分データを作成した。

### 4. 液状化発生率の予測手法

日本海中部地震と新潟県中越地震について、地震動分布、液状化発生範囲および液状化評価用微地形区分の3つのデータを整備した。ここでは、液状化発生率の予測のためにこれら3つのデータを重ね合わせ、検討用基礎データを以下のようにして作成した。

①液状化発生範囲データから、1 km メッシュ内の液状化発生の有無を判定する。わずかでも1 km メッシュ内に液状化発生範囲が含まれていれば、そのメッシュは液状化発生メッシュとする。

②推定した1 km メッシュ単位の地表最大速度を利用して、1 km メッシュの液状化発生の有無の和を地表最大速度別に集計する。

つまり、液状化発生率は、推定地表最大速度が5 cm/sec ごとの範囲にある場合に、その範囲内のメッシュ数に対する液状化が既存資料から少なくとも1箇所以上確認されたメッシュ数の比として定義した。以上のデータを用いて、地表最大速度と液状化発生の関係を Fig. 4 に示した。これらは、既往の松岡・翠川・若松（1993）の研究、および、その後引き続いて検討された国土庁防災局震災対策課（1999）の液状化地域ゾーニングマニュアルにおいて、山地・丘陵および台地については、液状化発生の可能性が非常に低いとしていることからそれ以外の全微地形区分の地表最大加速度と液状化発生の関係を示したものである。地表最大速度と液状化発生の関係については、以下の傾向がある。

○地表最大速度が大きくなるほど液状化の発生するメッシュの割合（液状化発生率）は大きくなる。

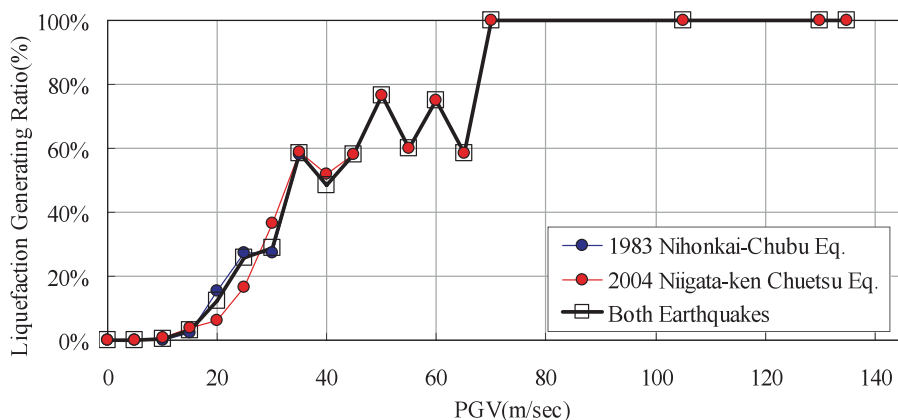


Fig. 4. The relationship between the liquefaction generating ratio and *PGV* without the geomorphologic classifications of mountain, hill and terrace.

○液状化の発生し始める地表最大速度は、15～20 cm/sec 程度で、15 cm/sec 以下で液状化が発生する可能性は非常に小さい。

○液状化発生率は、地表最大速度が 15 cm/sec から 80 cm/sec 程度まではほぼ単調に増加し、80 cm/sec 程度以上では 100%に近い値となっている。

さらに、液状化発生率の予測手法では、Table 4 に示す隣接メッシュを考慮した 3 つの液状化可能性グループを採用し、次の考え方に基づき液状化発生率の予測式を求めた。

○地表最大速度と液状化発生率の関係は、標準正規分布の累積確率分布関数を用いて対数正規分布で表せる。

○地表最大速度が 15 cm/sec 以下では液状化は発生しない。

対数正規分布のパラメータ（平均値、標準偏差）は、Table 4 の液状化可能性グループごとに、2 地震を合計した地表最大速度別の液状化発生率のデータを用いて最尤法により求めた。

Fig. 5 に液状化発生率の予測式を示した。

$$\begin{cases} P(PGV) = 0 & (PGV \leq 15) \\ P(PGV) = \Phi((\ln(PGV) - \lambda) / \zeta) & (15 < PGV) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、

$P(PGV)$  : 液状化発生率

$PGV$  : 地表最大速度 (cm/sec)

$\Phi$  : 標準正規分布関数

$\lambda, \zeta$  :  $\ln(PGV)$  の平均値および標準偏差 (Table 4 参照)

**Table 4.** Parameters of the formula [1] between the liquefaction generation ratio and  $PGV$ .

Possibility of Liquefaction Rank	Engineering Geomorphologic Classification	$\ln(PGV)$ Ave. $\lambda$	$\ln(PGV)$ STD $\zeta$
Group 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filled land (FL)</li> <li>• Gently slope at the end of dunes (GS)</li> <li>• Lowland between sand dunes (LS)</li> <li>• Abandoned river channels (RC)</li> <li>• Adjacent meshes at the engineering geomorphologic classification of the Natural levee, Marine sand and gravel bars, Back marsh, Delta and coastal lowland, Reclaimed land, Sand dune</li> </ul>	3.561	0.393
Group 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural levee (NL)</li> <li>• Marine sand and gravel bars (GB)</li> <li>• Back marsh (BM)</li> <li>• Delta and coastal lowland (DL)</li> <li>• Reclaimed land (RL)</li> <li>• Delta type valley bottom lowland (DV)</li> <li>• Alluvial fan with gently slope (FG)</li> <li>※Exclude Group1 Classification meshes</li> </ul>	3.722	0.402
Group 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sand dune (SD)</li> <li>• Alluvial fan type valley bottom lowland (FV)</li> <li>• Alluvial fan with steep slope (FS)</li> <li>※Exclude Group1 Classification meshes</li> </ul>	4.014	0.469

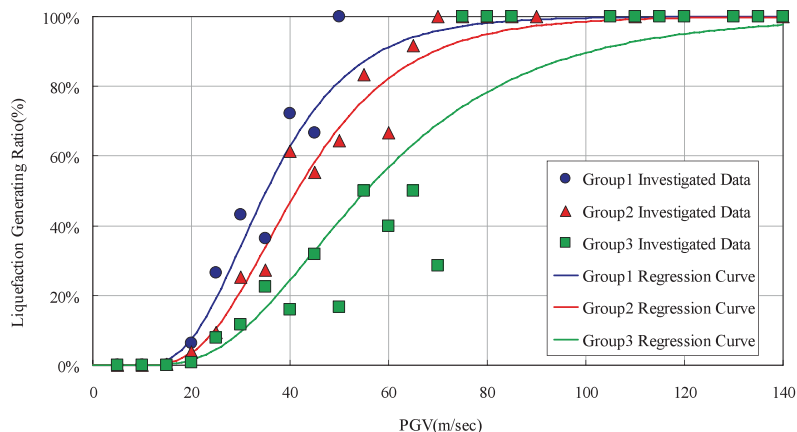


Fig. 5. The estimation formula of the three geomorphologic classifications groups between the liquefaction generating ratio and *PGV*.

## 5. 液状化面積率の予測手法

ここでは、液状化の発生した 1 km メッシュにおける液状化面積の割合（液状化面積率）を微地形区分データを用いて予測する手法を検討する。

液状化発生率については、1 km メッシュの旧河道などのデータ数が少ないことから、液状化可能性により分類した微地形区分グループ別に予測手法を設定した。一方、各微地形区分が持つ地形・地質的な特徴は異なり、それぞれの液状化面積率はかなり差があると考えられる。このため、本研究では、液状化面積率はできるだけ微地形区分ごとの差を反映したものとする。

①上記 2 地震について、液状化発生範囲、地震動分布、微地形区分の重ね合わせデータと国土地理院による数値地図 50 m メッシュ標高データおよび 100 m 土地利用データ（国土数値情報・1/10 細分メッシュ土地利用データ）を用いて基礎データを作成した。

②液状化発生範囲データと 50 m メッシュデータの重ね合わせを行い、各 50 m メッシュの中心点が液状化発生範囲に含まれているかどうかを判定し、含まれる場合は液状化発生地点、含まれない場合は液状化非発生地点とした。その際、水部のデータについては、100 m メッシュ土地利用データを用いて除外した。液状化面積率は、1 km メッシュ単位で液状化発生地点数と液状化非発生地点の 50 m メッシュ数を集計し、液状化発生地点数を全地点数で除して求めた。各微地形区分の液状化面積率については、日本海中部地震と新潟県中越地震の液状化面積率データ（Fig. 6）に加えて、必要に応じて他の地震での液状化面積率データや既往研究の成果などを参照して設定した。Table 5 に設定した 14 の微地形区分別の液状化面積率を示した。

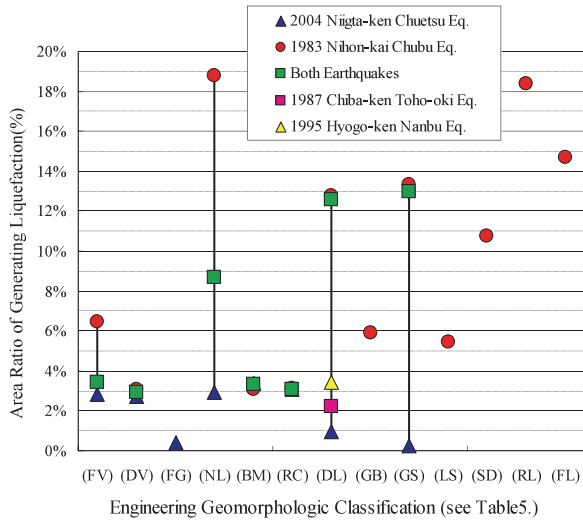


Fig. 6. The area ratio of the generating liquefaction in each geomorphologic classifications.

Table 5. Proposed the area ratio of the generating liquefaction in each geomorphologic classifications by this study.

Engineering Geomorphologic Classification	Area Ratio of Generating Liquefaction(%)
Alluvial fan type valley bottom lowland (FV)	3%
Delta type valley bottom lowland (DV)	3%
Alluvial fan with steep slope (FS)	1%
Alluvial fan with gently slope (FG)	1%
Natural levee (NL)	10%
Back marsh (BM)	3%
Abandoned river channels (RC)	25%
Delta and coastal lowland (DL)	(The Japan Sea coast) 10% (The Pacific Sea coast) 2%
Marine sand and gravel bars (GB)	5%
Gently slope at the end of dunes (GS)	15%
Lowland between sand dunes (LS)	5%
Sand dune (SD)	5%
Reclaimed land (RL)	15%
Filled land (FL)	20%

### 6. 液状化発生地域の住宅被害率の予測手法

液状化発生地域の住宅被害率については、既往の被害地震による住宅被害率（全壊率および半壊率）の値に基づいて設定した。用いた住宅被害率の基礎データについては、日本海中部地震の浅田（1986～1998）による1棟ごとの家屋被害調査データについて、周辺で液状化が発生した家屋を対象に微地形区分別に家屋被害率を集計した。2000年鳥取県西部地震では、町字別被害データ（久美田・小檜山・山崎（2002））を利用して、液状化被害が発生した安倍彦名団地および富益団地の住宅被害率を集計した。また、兵庫県南部地震では、村尾・山崎・目黒（1999）による芦屋市内の地区別住宅被害率の結果を参考にして、液状化被害が大きい地区の被害率を推計した。さらに2007年新潟県中越沖地震については、高濱・ト部・鈴木（2007）により柏崎市の橋場地区および山本団地の住宅被害率を推計した。

この住宅被害率については、十分に圧密されていない埋立地や流動化が顕著に見られる地域では、他の地域よりも液状化発生による住宅被害率が高いこと、建築年代の違いによって基礎形式の傾向が異なり、住宅被害率に差がでることが想定されることから Table 6 に示すように区分した。

また、住宅基礎の状況については、建築基準の変遷などを参考に検討を行い、簡易的な区分方法が望ましいという点も考慮し、「基礎が全般的に弱い」は1970年以前に建てられた住宅、「基礎が全般的に強い」は1971年以降に建てられた住宅とすることとした。

**Table 6.** Proposed damage ratio of dwelling houses in the liquefaction area by this study.

The cases of Liquefaction	Foundation of Houses	Damage Ratio of Wooden Houses		Reference of Earthquake Data
		Severe damage (%)	Moderate damage (%)	
Filled Land and the Region of Lateral Flow with Liquefaction	Weak Foundation for earthquakes (Built before 1970)	45	45	1983 Nihon-kai Chubu Eq. (At lowland between sand dunes)
	Strong Foundation for earthquakes (Built after 1971)	5	65	1995 Hyogo-ken Nanbu Eq. (At Ashiya-Hama)
				2000 Tottori-ken Seibu Eq. (At Abehikona-Danchi and Tomimasu-Danchi)
Expect above regions	Weak Foundation for earthquakes (Built before 1970)	25	25	1983 Nihon-kai Chubu Eq. (At Sand dunes)
	Strong Foundation for earthquakes (Built after 1971)	1	30	2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Eq. (At Hashiba region)

#### IV. ま と め

本研究で得られた知見は以下のものである。

- 現在まで行われていなかった広域的な液状化発生範囲と地震動分布および微地形区分を GIS 上で重ね合わせ、実証的に微地形区分データを用いた広域的な液状化による建物被害予測手法を構築した。
- 微地形区分を用いた広域の液状化危険度予測については現行手法を改良し、微地形区分別に液状化発生率と液状化面積率を掛け合わせて液状化危険度を面的に予測する手法を開発した。
- Ⅲ章 5. で設定した液状化面積率は、PL 値を使う手法においても組み合わせて利用できると考えられる。

**謝辞** 本研究は、地震保険調査研究費による調査研究事業の一環として実施しました。本研究の検討の中で、(独)防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の強震記録および(独)港湾空港技術研究所・港湾地域強震観測システムの観測記録を利用させていただきました。また、本研究は、損害保険料率算出機構内に設置された検討委員会（委員：若松加寿江教授、安田進教授、吉田望教授）の意見が反映されています。ここに記して感謝致します。

#### 文 献

- 愛知県防災会議地震部会, 2003. 愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書—平成 14 年度版—, 1/2, 3-47.
- 浅田秋江, 1986~1992. 1983 年日本海中部地震における秋田県男鹿市脇本地区の地盤変状に及ぼした地盤構造の影響に関する調査研究 (昭和 60 年度報告~平成 3 年度報告).

- 浅田秋江, 1998. 住家の液状化被害の簡易予測手法とその防止工法, 1983年日本海中部地震15周年記念誌.
- 中央防災会議, 2005 一部改訂. 首都直下地震対策に係る被害想定結果について: <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/15/shiryou3.pdf>.
- 土木学会, 1986. 1983年日本海中部地震震害調査報告書. 935 pp.
- 独立行政法人 防災科学技術研究所 川崎ラボラトリー, 2007. 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>.
- Hikima, K. and K. Koketsu, 2005. Source Processes of the Chuetsu (mid-Niigata prefecture) earthquake, Japan: A series of events in a complex fault system, *Geophys. Res. Lett.*, **32-18**, L18303, 10. 1029/2005 GL 023588.
- 国土庁防災局震災対策課, 1999. 液状化地域ゾーニングマニュアル (平成10年度版), 123 pp.
- Kotoda, K., K. Wakamatsu and S. Midorikawa, 1988. Seismic microzoning on soil liquefaction potential based on geomorphological land classification, *Soils and Foundations*, **28-2**, 127-143.
- 久美田岳・小檜山雅之・山崎文雄, 2002. 2000年鳥取県西部地震の米子市被害調査結果における木造住宅被害の特性, 地域安全学会論文集, **4**, 135-142.
- 松岡昌志・翠川三郎, 1993 a. 国土数値情報を利用した地盤の平均S波速度の推定, 日本建築学会構造系論文集, **443**, 65-71.
- 松岡昌志・翠川三郎, 1993 b. 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集, **447**, 51-56.
- 松岡昌志・翠川三郎, 1994. 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第22回地盤震動シンポジウム, 23-34.
- 松岡昌志・翠川三郎・若松加寿江, 1993. 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, **452**, 39-45.
- 松岡昌志・若松加寿江・藤本一雄・翠川三郎, 2005. 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, 794/I-72, 239-251.
- Midorikawa, S. and K. Wakamatsu, 1988. Intensity of earthquake ground motion at liquefied sites, *Soils and Foundations*, **28-2**, 73-84.
- 村尾修・山崎文雄・目黒公郎, 1999. 芦屋市をモデルとした兵庫県南部地震による建物被害評価の変換法, 日本建築学会構造系論文集, **519**, 203-210.
- 損害保険料率算出機構, 2006. 自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査, 地震保険研究 **8**, 39-126.
- 高濱信行・ト部厚志・鈴木幸治, 2007. 柏崎市山本団地における地盤災害, <http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/070716/rep07/thm0903-2.pdf>.
- 東京都, 1997. 東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書 (被害想定手法編), 60-61.
- 山本明夫・小丸安史・吉村昌宏・山口亮, 2009. 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, **11**, 275-285.
- 若松加寿江・久保純子・松岡昌志・長谷川浩一・杉浦正美, 2005. 日本の地形・地盤デジタルマップ, 東京大学出版会, (製品シリアル番号: JEGM 0081).
- 若松加寿江・吉田 望・規矩大義, 2006. 2004年新潟県中越地震による液状化現象と液状化発生地帯の地形・地盤特性, 土木学会論文集 C, **62-2**, 263-276.