

# 八戸地域の液状化危険度予測

橋詰豊\*・野添重晃\*\*・金子賢治\*\*\*・葛西祥男\*\*\*\*

## Estimation of Liquefaction Risk in Hachinohe Area

Yutaka HASHIZUME\*, Shigeaki NOZOE\*\*, Kenji KANEKO\*\*\* and Yoshio KASAI\*\*\*\*

### Abstract

When we estimate liquefaction risk, geotechnical information is very important data. In Hachinohe area, geotechnical information data base was constructed in 2009. So we can get geotechnical information easily.

In this study, we think that estimation liquefaction risk make a remarkable contribution to prevent liquefaction. We estimate liquefaction risk using 2507 measurement sites of boring log from Hachinohe area geotechnical information data base. Then enter the those point on Hachinohe local area map, which shows distribution of liquefaction risk. And we make some comparative calculation which are adopted different seismic intensity.

**Keywords** : *distribution of liquefaction risk, estimation of liquefaction, Hachinohe local geotechnical information database, N-Value*

キーワード : 液状化危険度の分布, 液状化判定, 八戸地域地盤情報データベース, N値

### 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震による千葉県浦安市の液状化被害が大きく報道されたこともあり、液状化に対する関心が高まっている。液

状化被害が起こる条件としては、緩い砂質土であること、地下水位が高いこと、粒径がそろっていることの3つが主としてあげられるが、これらはいずれも地盤条件が主な要因となっている。したがって液状化を予測するにあたっては地盤情報が非常に重要である。

一方、八戸地域においては、地盤情報DBが構築されたことにより、地盤情報を容易に入手することが可能となった。八戸地域も過去に液状化被害が報告されており<sup>1)</sup>、液状化の危険度を予測することにより今後の液状化対策等に役

平成25年1月7日受理

\* 社会連携学術推進室・研究員

\*\* 工学研究科土木工学専攻・博士前期課程1年

\*\*\* 大学院土木工学専攻・准教授

\*\*\*\* エイコウコンサルタンツ(株)・取締役技術管理部長

立つと考えられる。

本研究では、八戸地域地盤情報DBに収集されている2507本すべてのボーリングデータに対して簡易な液状化判定を実施し、八戸地域の液状化危険度（被害可能性）の空間的分布を把握する。なお、液状化判定を行う目的ではなく各種公共事業のために実施された地盤調査結果を収録した地盤情報DBにおいては、液状化判定を行うためには限定された情報しか無い場合も多い。このような制約条件の基で、地盤情報DBを液状化判定に利用する場合の課題についても検討する。

## 2. 道路橋示方書を用いた液状化判定法

液状化危険度の判定を行うにあたって液状化の流動力の計算には液状化指数 $P_L$ が用いられ、 $P_L$ 値の算出には道路橋示方書同解説V耐震設計編（平成8年）<sup>2)</sup>に基づいて行った。 $P_L$ 値の計算式を以下に示す。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \times W_z dz \quad (1)$$

ここで、 $F_L$ 値は各土層の液状化安全率を表しており、動的せん断強度比 $R$ と地震時せん断応力比 $L$ により、

$$F_L = R/L \quad (2)$$

と表される。ただし、 $F_L \geq 1$ の場合は $F_L=1$ とする。また、 $W(z)$ は各層の深さによる重み係数であり、次式で表される。

$$W(z) = 10 - 0.5z \quad (3)$$

ここで、 $z$ は深さ方向の座標である。

### 2.1 地震時せん断強度比 $R$ の算出法

地震時せん断強度比 $R$ は下式より算出する。

$$R = C_w \times R_L \quad (4)$$

$C_w$ は地震動特性による補正係数、 $R_L$ は繰返し三軸強度比である。 $R_L$ については、実際に各層の繰返し三軸試験を実施して決定することが望まれる。ただし、ここでは既存の地盤情報を用いるため、地盤情報には必ず含まれる $N$ 値を用いた以下の式で算出することとした<sup>2)</sup>。

繰返し三軸強度比 $R_L$ の算出

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{N_a/1.7} \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6}(N_a - 14^{4.5}) \end{cases} \quad (5)$$

$N_a < 14$ の時、上段式

$N_a \geq 14$ の時、下段式

ここで、 $N_a$ は砂質土の場合には次式を用いる。

$$N_a = C_1 \times N_1 + C_2 \quad (6)$$

$$N_1 = 1.7N / (\sigma'_v + 0.7) \quad (7)$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (0\% \leq F_C < 10\%) \\ (F_C + 40)/50 & (10\% \leq F_C < 60\%) \\ F_C/20 - 1 & (F_C \geq 60\%) \end{cases} \quad (8)$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq F_C < 10\%) \\ (F_C - 10)/18 & (10\% \leq F_C) \end{cases} \quad (9)$$

また、礫質土の場合には次式を用いる。

$$N_a = \{1 - 0.36 \times \log_{10}(D_{50}/2)\} N_1 \quad (10)$$

$N$ は標準貫入試験から得られる $N$ 値、 $N_1$ は有効上載圧 $1.0\text{kgf/cm}^2$ 相当に換算した $N$ 値、 $N_a$ は粒度の影響を考慮した補正 $N$ 値、 $C_1$ および $C_2$ は細粒分含有率による $N$ 値の補正係数、 $F_C$ は細粒分含有率(%)、 $D_{50}$ は平均粒径(mm)である。

## 2.2 地震時せん断応力比 $L$ の算出法

地震時せん断応力比  $L$  は以下の式より算出する。

$$L = d \times k_{hc} \times \sigma_v / \sigma'_v \quad (11)$$

ここで、 $k_{hc}$  は設計水平震度であり、次式で表される。

$$k_{hc} = C_z \times k_{hc0} \quad (12)$$

$$d = 1.0 \times 0.015z \quad (13)$$

ここで、 $k_{hc0}$  は標準設計震度であり、地震動タイプと地盤種により決定する。各地震動タイプと地盤種による標準設計震度  $k_{hc0}$  を表 1 に示す。また、 $d$  は地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数である。

表 1 標準設計震度  $k_{hc0}$

	地震動タイプ I	地震動タイプ II
地盤 I 種	0.30	0.80
地盤 II 種	0.35	0.70
地盤 III 種	0.40	0.60

地震動タイプ別は、タイプ I は発生頻度の低いプレート境界に生じる大規模な地震動、タイプ II は内陸直下型地震による地震動となる。地盤種の決定は現地実測からの地盤の特性値  $T_c$  (s) により求めるのが最も良いとされているが、2000 点を超える地点について実測調査を行うことは現実的には難しい。したがって、本論文では道路橋示方書 V 耐震設計編による分類方法を用いる。分類はそれぞれ、I 種は良好な洪積地盤および岩盤、III 種は沖積地盤のうち軟弱地盤、II 種は I 種および III 種のいずれにも属さない洪積地盤あるいは沖積地盤とする。

また、 $\sigma_v$  は全上載圧、 $\sigma'_v$  は有効上載圧であり、それぞれ、以下の式で表される。

$$\sigma_v = \{ \gamma_{t1} \times h_w + \gamma_{t2} (z - h_w) \} / 10 \quad (14)$$

$$\sigma'_v = \{ \gamma'_{t1} \times h_w + \gamma'_{t2} (z - h_w) \} / 10 \quad (15)$$

ここで、 $K_{hc}$  は地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度、 $\gamma_{t1}$  は地下水面より浅い位置での土の単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)、 $\gamma_{t2}$  は地下水面より深い位置での土の単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)、 $\gamma'_{t2}$  は地下水面より深い位置での土の有効単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)、 $h_w$  は地下水位の深さ (m) となる。

なお、ここで道路橋示方書に基づいて行う液状化判定においては、 $L$  は設計水平震度に対応するせん断応力比であり、算出される  $F_L$  値は設計水平震度に対する危険度を表すことになる。

## 2.3 パラメータの決定

通常、地盤情報データベースに収録されているようなデータには  $N$  値は必ず含まれているが、単位体積重量などは含まれていないものが多い。ここでは、本研究で行った液状化判定に必要な不明なパラメータの決定法について述べる。

単位体積重量の決定に関しては、基本的には地盤情報 DB 内にある土質試験結果を用いて決定するが、土質試験結果が含まれないボーリングデータも多い。その場合地盤情報 DB 内に存在する土質試験結果を取り出し、 $N$  値と単位体積重量の関係について土質区分毎に近似曲線を作成し  $N$  値から単位体積重量を決定することとした<sup>3)</sup>。

図 1～図 4 に砂、シルト、粘土、その他の  $N$  値と単位体積重量の関係を示す。

また、地下水位は、液状化判定結果に大きな影響を与えるが、地下水位の表記されていない柱状図に関しては周辺のボーリングデータに示されている値を使用した。

柱状図に表記されている土質区分については、調査した各技術者によって表記の仕方が異なる

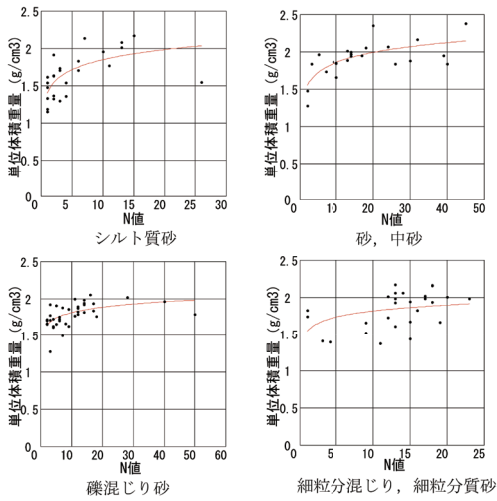


図1 N値と単位体積重量の関係(砂)

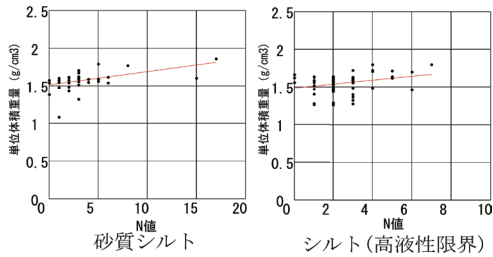


図2 N値と単位体積重量の関係(シルト)

が、その点についても周辺のボーリングデータを参照し同じ層であると判断できるものは統一することとした。その他、粘土のような明らかに液状化しない土質には非液状化層の設定を行うが、砂質ロームや砂混じり火山灰といった判断が困難なものに対しては液状化層として計算することとした。本研究で非液状化層と設定

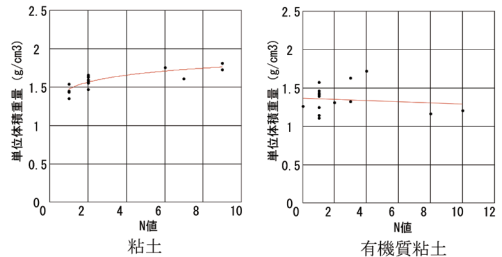


図3 N値と単位体積重量の関係(粘土)

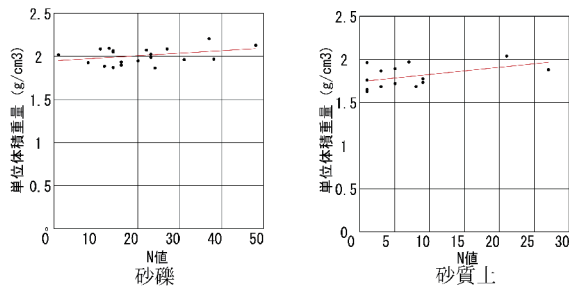
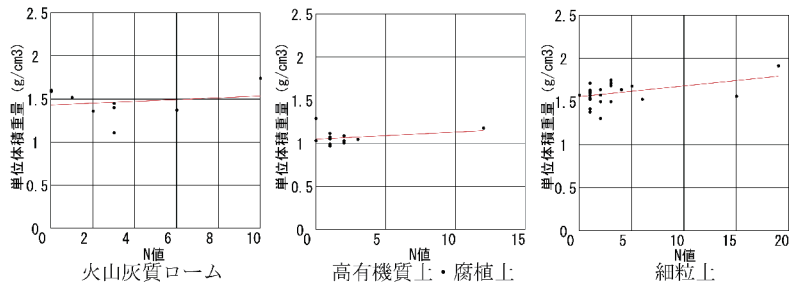
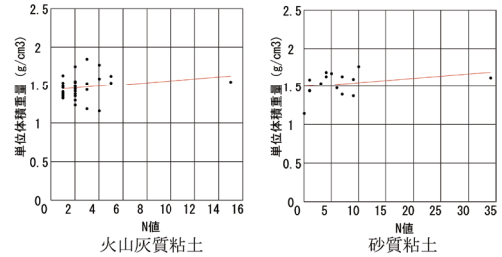


図4 N値と単位体積重量の関係(その他)

した土質は粘性土、ローム、火山灰、有機質土、腐植土となっている。

八戸地域で最も被害が大きいと想定される地震は、三陸沖北部を震源とする海溝型の固有地震であり、地震動はタイプIとした。また、八戸地域の多くは、沖積平野であり、 $N$ 値が低く軟弱であるため地盤種はⅢ種とした。これらのことから、標準設計水平震度 $k_{hc0}$ は0.4を用いる。また地域別補正係数 $C_z$ は1.0であり、地震動特性による補正係数 $C_w$ は1.0となる。

### 3. 液状化危険度分布

上記の方法によって、各ボーリングデータを用いて各地点の液状化指数 $P_L$ を算出した。

表2<sup>2)</sup>、表3に液状化可能性の判定基準を示す。また、計算した $P_L$ 値の空間的分布を図5に示す。

同図から八戸地域については、市内中心部を中心に液状化指数 $P_L$ の値が高く、液状化危険度の高い場所が多いことがわかる。特に市内を流下する2河川（馬淵川、新井田川）の河川敷に沿って $P_L$ 値40以上の大きな値が分布している。これら地点の状況を考えると、人工的に構築された堤防部を除けば河川堆積物によって形成された氾濫原であることは明らかで、地盤の緩さ、地下水位の高さがこれらの結果に結び

表2 液状化可能性の判定（その1）

$15 < P_L$	液状化危険度が極めて高い
$5 < P_L \leq 15$	液状化危険度が高い
$P_L \leq 5$	液状化危険度はかなり低い

つuitと考えられる。その他では河原木地区、沼館・城下地区に $P_L$ 値40以上の地点が多く見られこれらの地域も氾濫原の沖積低地である。これらの結果より、八戸地域の液状化危険度の空間的な分布は、相対的には概ね妥当なものと判断される。

図5に液状化指数 $P_L$ の大きさごとの割合を示す。図6および表2より液状化の危険度が極めて低いと考えられる地点は30%、構造物によっては液状化の影響が出る可能性が考えられる地点は23%、そして激しい液状化が予測される地点は47%となった。このことから八戸地域は液状化危険度の非常に高い地域であることがわかる。

図7に各地区の代表的な簡易柱状図を例として示す。河原木・城下・新井田地区といった液状化危険度の高い場所が多く分布する地域では、表層に近い場所で緩い砂質土が堆積しており、地下水位も約地下1mと浅い位置にあることから液状化危険度が高くなる。液状化危険度の低い新湊・白銀・長者地区においては表層に近い部分まで八戸地域特有の八戸ローム等の細粒土が堆積している傾向にある。新湊地区を始めとして、海岸線に近い部分が $P_L$ 値が大きい訳ではないことがわかる。周囲の $P_L$ 値の低いエリアにおいても $P_L$ 値が非常に高い場所が存在している。これは、ボーリング調査を行った各技術者ごとに土質区分の表記の仕方が異なるなど、柱状図の精度に課題がある。特に、ここで行った解析方法においては、液状化層とするか非液状化層とするかによって、判定結果が大きく変わる可能性がある。したがって、八戸地域の場

表3 液状化可能性の判定（その2）

0～5	液状化被害はほとんどなし、被害なし
5～10	液状化の程度は小さい、構造物への影響はほとんどない
10～20	液状化は中程度、構造物によっては影響の出る可能性がある
20～35	激しい液状化、噴砂が多く、直接基礎の建物が傾く場合がある
35以上	非常に激しい液状化、大規模な噴砂と構造物の被害



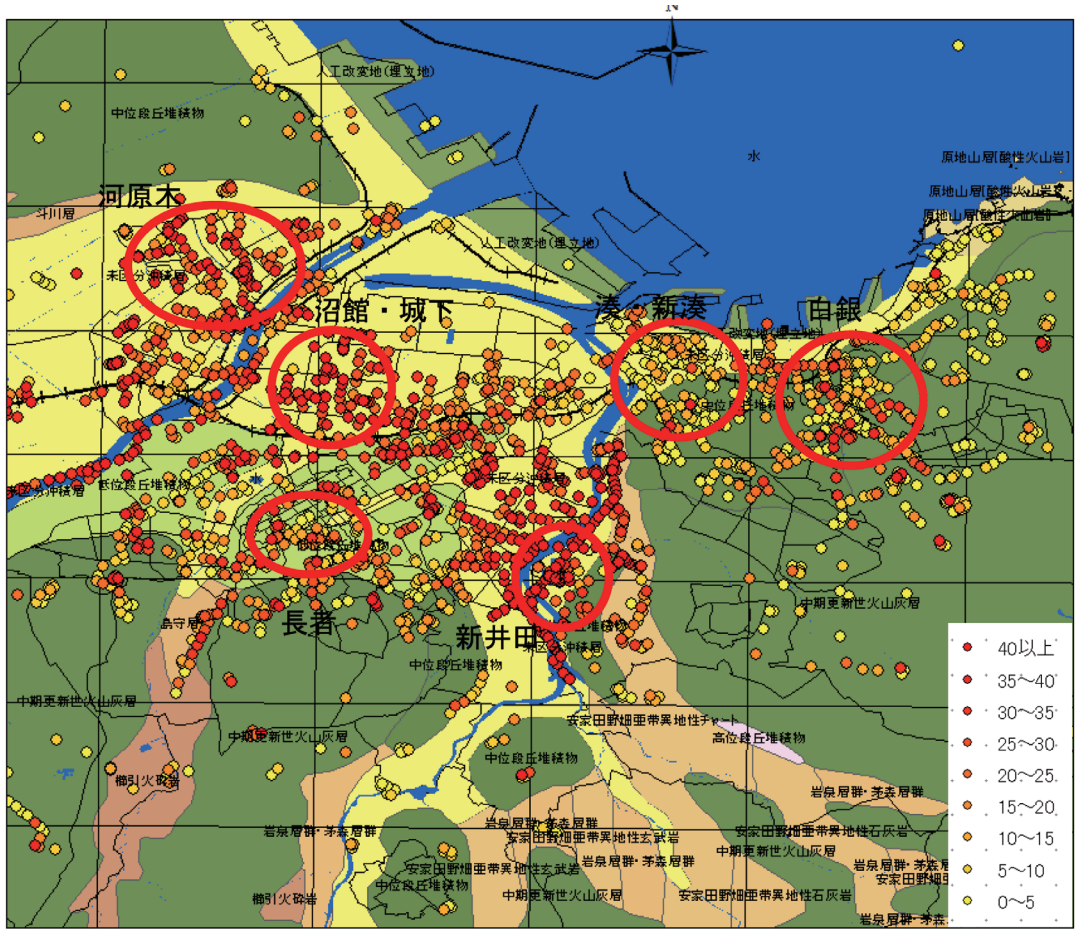


図5 液状化危険度の分布

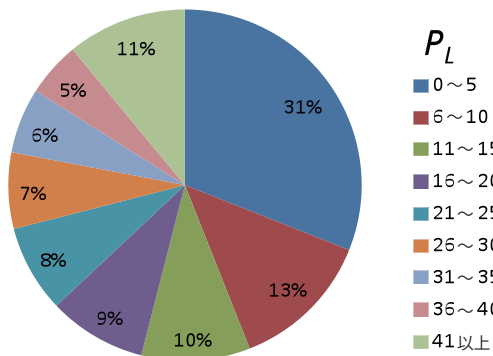


図6 液状化危険度の割合

合にはロームやしらす・火山灰などの火山堆積物の分布状況を詳細に検討し、土質区分を精査する必要がある。また、火山灰質砂質土等の地域特有の土については、液状化強度等について不明な点が多く、その地震時の力学的特性を実験等により検討する必要がある。

以上より、液状化危険度の計算において、主に柱状図の精度に基づく多少の誤差は含まれるものと考えられるものの、液状化危険度の相対的な空間分布は妥当な結果を示しているといえる。

八戸地域の液状化危険度予測（橋詰・野添・金子・葛西）

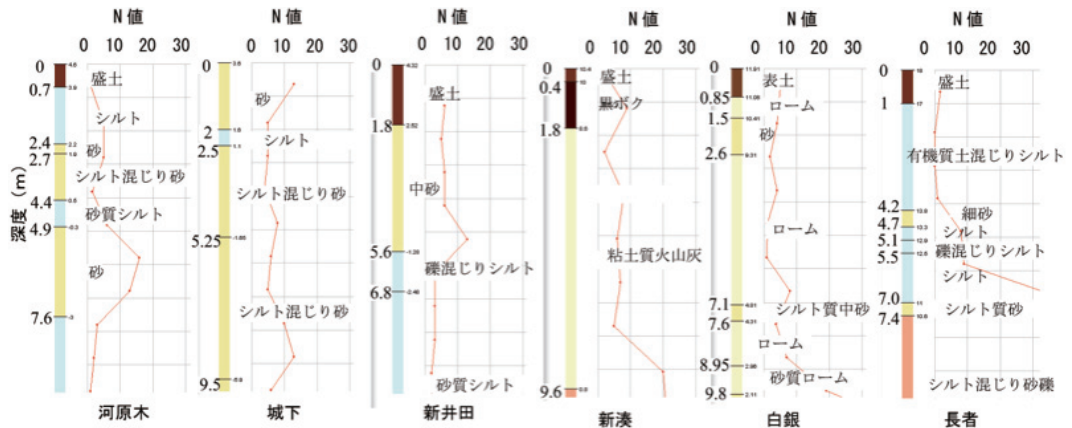


図7 各地区の簡易柱状図

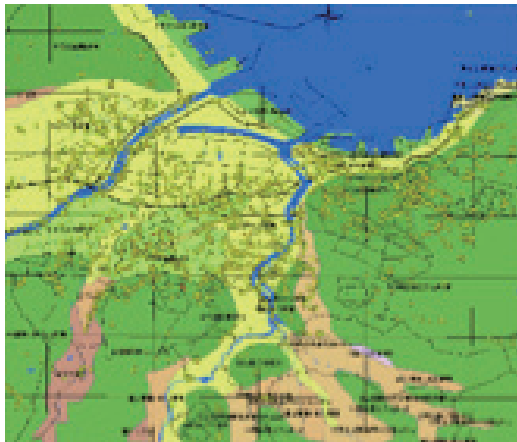


図8 震度5の時の液状化危険度の分布



図9 震度5.5の時の液状化危険度の分布

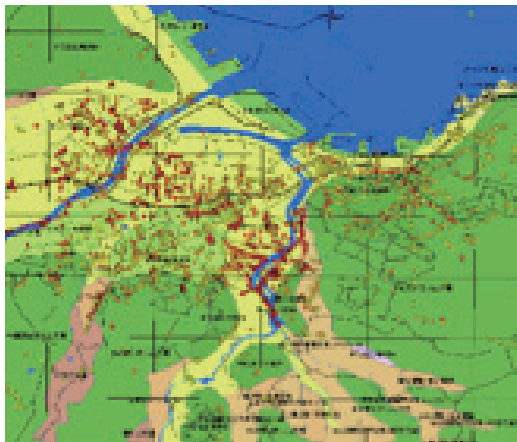


図10 震度6の時の液状化危険度の分布

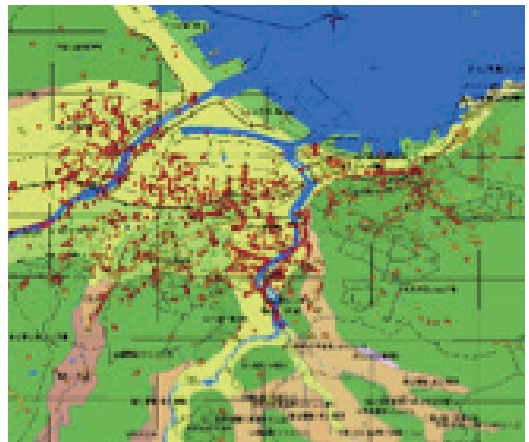


図11 震度7の時の液状化危険度の分布

#### 4. 地震動の規模を考慮した液状化危険度分布

前章までで示した手法によると、設計水平震度に基づく液状化危険度が得られるだけで、どの程度の地震動で液状化するかについて判断することができない。八戸地域における設計水平震度に相当するような地震動の発生は、1968年十勝沖地震まで遡る。液状化現象は、1964年新潟地震において始めて着目されたため、1968年十勝沖地震における液状化被害の記録は少ない。したがって、上記の液状化危険度分布の妥当性を詳細に検討することは難しい。そこで、本章では、地震時せん断応力比  $L$  に地震動の規模を反映するために、童らの計測震度から  $SI$  を求める式<sup>4)</sup>と、 $SI$  から  $L$  を算出する安田らの式<sup>5)</sup>を用いて液状化危険度を再計算した。式(16)に童らの式、式(17)に安田らの式を示す。

また、これ以外の方法、パラメータは道路橋示方書によるものと同じである。

$$L = 0.01 \cdot SI / (\sigma'_v)^{0.1} \quad (16)$$

$$SI = 10^{-1.16 + 0.50 \times I} \quad (17)$$

$I$ : 震度

以上により、震度5、震度5.5、震度6、震度7の場合について液状化危険度の分布図を作成し検討を行う。

再計算した結果を図8～図11として各震度毎の液状化危険度の分布を示す。

震度5及び震度5.5においては液状化の可能性を示す  $P_L$  値がほとんど5以下であり、危険度はかなり低い。これに対して震度6ではこれ以下の震度に比べて急激に  $P_L$  値が大きくなる。多くの地点で  $P_L$  値20以上の値となっており、 $P_L$  値30を超える値も多く見られるようになる。震度7についてはさらに全体的に  $P_L$  値が高い値となっている。

2011年の東北地方太平洋沖地震においては震度5強とされているが、八戸市内においては

とんど液状化の被害は発生していない。一方で、1994年三陸はるか沖地震においては八戸市で震度6とされており、広範囲で液状化被害が発生したことが報告されている。したがって、本研究で算出した液状化危険度は、実際に八戸地域で経験した過去の地震による液状化被害と概ね合致している。

これらの状況を考えると、地震動の特性による影響は無視できないものの、震度階で言えば震度6程度が閾値となり、この地域での液状化被害の大まかな目安であると考えられる。

#### 5. まとめ

本論文では、八戸地域地盤情報DBを利用して八戸地域の液状化危険度の分布図を作成し、空間的分布の把握を行った。液状化危険度の高い場所が多く分布する地域では、表層に近い場所で緩い砂質土が堆積しており、地下水位も約地下1mと浅い位置にあることがわかった。これに対し液状化危険度の低い地域においては、表層に近い部分まで八戸地域特有の八戸・高館ローム等の細粒土が堆積している傾向にある。また、海岸線に近い部分では  $P_L$  値が大きい訳ではないことがわかった。八戸地域全体を広域的に見ると、特に馬淵川と新井田側沿いとそれらに挟まれた地域では、表層付近に緩い砂質土が堆積し地下水位が高い場所が多く、液状化危険度が大きい地域が広く分布している。また、液状化の発生は、地震動特性にもよるが震度6を境に急激に増加する可能性がある。八戸地域で予想される三陸沖北部を震源とする固有地震においては、震度6程度の地震動が想定されており、液状化に対する対策を検討・実施することが必要であると言える。

今後、危険度分布図と過去の被害状況の個別の比較検討や、ボーリングデータの土質区分の精査により精度の向上を計りたい。また、地域特有の火山由来の土質の液状化強度特性を実験により把握することが必要である。



## 謝辞

本研究は平成 23 年度文部科学省「大学等における地域復興のためのセンター的機能整備事業：地域の創造的復興のための技術開発・支援と地域連携教育推進」により行われました。また、本研究を進めるにあたり、本学地盤工学研究室博士前期課程卒業生の市川裕一郎氏には、在学時に本研究を精力的に進めて頂きました。この場をお借りし、敬意をもってお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 佐藤雄太, 佐藤崇, 中山裕貴, 金子賢治, 熊谷浩二: 三陸はるか沖地震時の配水管被害と液状化危険度に関する研究, 第 46 回地盤工学研究発表会講演概要, 906, CD-ROM, 2011.
- 2) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計, 日本道路協会, 1990.
- 3) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 常田賢一, 安田進: 地震時液状化の程度の予測について, 土と基礎, No.1164, pp.23-29, 1980.
- 4) 童華南, 山崎文雄: 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係, 生産研究, 48-11, pp.31-34, 1996.
- 5) 安田進, 吉川洋一, 牛島和子, 石川利明: SI 値を用いた液状化予測手法, 第 28 回土質工学研究発表会, pp.1325-1328, 神戸, 1993.
- 6) 市川裕一郎: 八戸地域地盤データベースを用いた地震動及び液状化予測, 平成 23 年度八戸工業大学大学院工学研究科修士学位論文, 2012.
- 7) 国土交通省、(独) 土木研究所、(独) 港湾空港技術研究所: 国土地盤情報検索サイト”Kunijiban”, (<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/>)
- 8) 諸戸靖史, 長谷川明: コンパクトな地盤情報システムの開発と利用例, 土と基礎, 37-1 (372), pp.41-46, 1989.
- 9) 長谷川明, 鈴木久美子, 金子賢治, 熊谷浩二: 地域の情報データベースの構築と継続性, 第 54 回地盤工学シンポジウム, pp.189-192, 東京, 2009.

## 要 旨

地盤の液状化現象の予測を行う上で、地盤情報が非常に有用である。八戸地域においては 2009 年に地盤情報 DB が構築され、これまでより比較的容易に地盤情報入手することが可能となってきた。本論文では、地盤の液状化危険度の予測が今後の液状化対策等に役立つと考え、八戸地域地盤情報 DB に収集されている 2507 本のボーリングデータに対し液状化判定を実施し、地点毎にプロットすることにより八戸地域の液状化リスクの空間的分布を把握する。併せて震度別による比較計算を行い検討した。その結果、空間的に概ね妥当な結果が得られたが、いくつかの課題が挙げられた。

キーワード: 液状化危険度の分布, 液状化判定, 八戸地域地盤情報データベース,  $N$  値

