

川崎市における地震時液状化危険度の簡易判定

鏡 味 洋 史*

北海道大学工学部

幾 志 新 吉**

国立防災科学技術センター

An Evaluation of Liquefaction Potentials in Kawasaki City using a New Simplified Discrimination Method

By

Hiroshi Kagami

Faculty of Engineering, Hokkaido University

and

Shinkichi Kishi

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

In this paper, a simplified discrimination method for evaluating liquefaction potential is proposed. The new method was obtained through reconstructing a previous method by use of the theory of quantification after C. Hayashi.

Applying this method to the file of more than 2,000 columnar sections of soils in Kawasaki City, south of Tokyo, an evaluation of liquefaction potential in this area was performed and the distribution of the potential is shown in a map. These results are also checked by comparison with the recognized phenomena about soil liquefaction in the same area during the Kanto Earthquake of 1923.

1. はじめに

大地震時に砂地盤が液状化し、構造物・都市施設などに多大な被害を及ぼす危険性が、沖積平野に立地する都市において高いことは、過去の震災例を通じても種々指摘されていることである。本論でとりあげたり川崎市においても、1923年関東地震の際に液状化によると考えられる諸現象が数多く見られたことが知られている。川崎市は関東地震当時に比べると、

* 建築工学教室

** 第4研究部情報処理研究室

現在はるかに都市化が進んでおり、液状化によってもたらされるであろう震害も複雑多岐にわたると考えられよう。そこで地表層の液状化の危険度をあらかじめ市域全域にわたって何らかの形で評価しておくことは地震防災対策を進める上での重要なことの一つであると考えられる。

地震時の地表層の液状化に関する研究は近年多く、液状化のメカニズムおよび液状化を支配する諸因子の解明が進められている。そしてそれらの成果をまとめた、液状化可能性の判定法も数多く提案されている（たとえば、H. B. Seed and I. M. Idriss (1971), 日本建築学会 (1974) など）。これらの判定法は一般に複雑であり、各種の土質試験の結果を必要とするものも多い。これは液状化のメカニズムが複雑で、土の動力学的な諸特性に支配されるところが大であり、より精度の高い判定のためには、それらの諸特性を詳しく知る必要があるからであろう。川崎市においては2カ所の防災拠点において液状化に関する調査が行なわれ、液状化の可能性の判定結果が示されている（川崎市, 1976）。これは十数本のボーリング調査および各種の土質試験結果にもとづく判定であり詳細な検討がなされている。

上述のような詳細な検討に対し、一方では複雑な判定方法をできるだけ簡略化し、入手しやすいたとえば通常のボーリング柱状図のみから判定できるような方法を見出しておくことも重要なことであろう。簡便な液状化判定の方法が得られるならば、既存のボーリング資料を用いて、広域にわたる都市地盤における液状化の危険度の検討が比較的容易に進められるものと思われる。

本報告では、前述の川崎市内2カ所における液状化可能性の判定結果をもとに、簡略化した判定式を再構成しその判定式を既に集録されている市内約2000本のボーリング資料に適用し、市域全体について液状化の危険度の評価を試みた。

2. 簡易判定式の作成

2.1 考え方

前述の防災拠点液状化の調査研究において用いられている判定方法の概要をまず次に示しておく。

- (i) 地震時に地盤内各深度に生じる繰返し剪断力を τ_E とすると、 τ_E は地震動の大きさ（地表最大加速度 a_{\max} で表わす）によって異なる。そこで $a_{\max}=150 \text{ gal}$ および 300 gal の時の τ_E を各調査地点、深度について計算する。
 - (ii) 振動三軸試験結果を用いて、各調査地点、深度での液状化強度（液状化に必要な繰返し剪断力 τ_l ）を求める。
 - (iii) 各調査地点、深度で τ_E と τ_l とを比較し、 $\tau_E > \tau_l$ であるとその部分は液状化すると判定する。
- (i), (ii), (iii) の判定方法によって、最終的には各ボーリング柱状図に対して、[A] (a_{\max}

が 150 gal もあれば液状化する部分), [B] (a_{\max} が 150 gal では液状化しないが, 300 gal もあれば液状化する部分), [C] (a_{\max} が 300 gal では液状化しない部分) の 3 つの部分に判定している。

この判定方法は, 資料の振動三軸試験結果を必要とし, かつ判定に至るまでの手順も相当複雑である。そこで, ここに示された判別結果とボーリング柱状図に記載されている土質的諸指標との間の関係を調べ, 逆に土質的諸指標から液状化可能性の判定を行なう簡便な判定式を再構成することを考える。このような問題は, 多変量解析における判別分析の問題にほかならない。ここで容易に得られる土質的諸指標は, 資料の深度, N 値, 土質区分, 時代区分である。これらの指標のうち, 深度, N 値は連続した数値として与えられるが, 土質区分, 時代区分は質的な分類で, 数値で表わすことができず, 一般の判別分析法をそのまま適用することはできない。このような数値で表わせない質的なデータの判別分析に対しては林の数量化理論Ⅱ類(林知己夫, 1957)が適用できる。一方連続量として与えられる深度, N 値についても液状化に対して線形に作用するとは一般に考えられず, またその関数型も未知である。このような場合連続量として与えられているものを何段階かに区分し, 量的なものを一旦質的な区分に変換して, 数量化理論を適用し, 関数型を探っていくという方法が有用である。したがってここでは各土質的諸指標を区分で与えられる質的なデータとして林の数量化理論Ⅱ類を用いて解析を進める。

まず最初に林の数量化理論Ⅱ類の考え方について述べておく。 T 個の群に区分されている N 個のデータセットを考える。各データは R 個の項目(アイテム)に対する情報を有している。すなわち各アイテムは分類で表わされるカテゴリーに細分化されており, 各データは各アイテムごとにどのカテゴリーに属するかが与えられている。 j 番目のアイテムのカテゴリー数を K_{jk} とする。いま各アイテム-カテゴリーにある数値 x_{jk} (j アイテム, k カテゴリー)を与え, 次式で表わされる合成変数 α_i を各データごとに与える。

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{K_j} \delta_{i(jk)} \cdot x_{jk} \quad (1)$$

$\delta_{i(jk)}$ は i 番目のデータが j アイテムについて k カテゴリーに反応したとき 1.0, 反応していないとき 0.0 を与えることにする。(1)式で求められる α_i と T 個の群の区分との関係を比較したとき, 同じ群では α_i がある値を中心にまとまり, 他の群と識別されるように各アイテム-カテゴリーに数値 x_{jk} を与えることが考えられる。すなわち T 個の群の区分と合成変数 α との相関比 η^2 が最大になるように x_{jk} を与えればよい。 η^2 は α_i の外分散 σ_0^2 を全分散 σ^2 で割った商で表わされ, この場合次式のようなになる。

$$\eta^2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^T \frac{N_i}{N} (\bar{\alpha}_i - \bar{\alpha})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^T \alpha_i^2 - \bar{\alpha}^2} \quad (2)$$

ただし、 $\bar{\alpha}$ は全体の、 $\bar{\alpha}_t$ は区分 t に属する α_i の平均値を、 N_t は区分 t に属するデータ数を表わす。(1) 式で表わされる α_i について相関比 η が最大になるような、各アイテムカテゴリーに対する数値 x_{jk} を求めていくのが林の数量化理論Ⅱ類である。判別する群が3以上の場合には、 x_{jk} は多次元の数値が与えられる。

この方法をここで考えている液状化判定の問題にあてはめてみる。判別された区分は [A], [B], [C] の三つの液状化に関する区分であり、それを説明するアイテムは土質的諸指標であり、ここでは深度、 N 値、土質区分、時代区分を考える。各アイテムはそれぞれカテゴリーに細分化される。これらのデータに、林の数量化理論Ⅱ類を用いて、相関比が最大になるように各アイテムカテゴリーに数値を与えることができる。その結果十分大きい相関比が得られれば、合成変数 α_i から逆に区分の推定が可能となる。すなわち (1) 式により区分の推定が可能であり、(1) 式は判別のための推定式となる。(1) 式は各アイテムカテゴリーの一次式として表わされ非常に単純な判定式となる。また一方、各アイテムカテゴリーに与えられた数値から各土質的諸指標の液状化に及ぼす影響を評価することができる。

2.2 判定式の作成

解析に先立ち、用いた資料について述べておく。前述の調査報告書中のボーリング柱状図から N 値の測定が行なわれている深度をえらび、深度 (m)、 N 値、土質区分 (細砂、砂、砂礫、粘土 (シルトを含む) に大別)、時代区分 (沖積世、洪積世) を読みとり、あわせ液状化可能性の判定、[A], [B], [C] も読みとりデータセットとした。柱状図の数は17本、読みとったデータセットの数 N は208である。

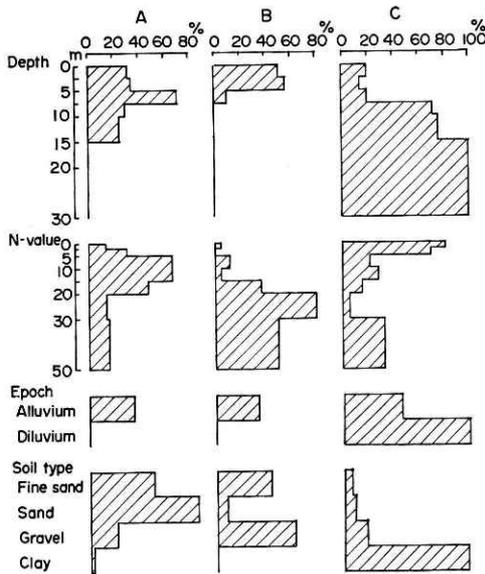


図1 三つの判定区分に対するデータの分布
Fig. 1 Distribution of data for three criterion groups.

みとったデータセットの数 N は208である。[A], [B], [C] の三つの区分と各指標との関係を図1に示す。各指標の区間分けはデータの分布をみて行い、データ数の極端に少ないカテゴリーの生じないように注意を払った。各指標のカテゴリーおよびデータ数を表1に示す。深度、 N 値については各7カテゴリーに区分し、カテゴリー数は合計20である。

林の数量化理論Ⅱ類に従って、[A], [B], [C] の判別が最もよく行なわれるように、20アイテムカテゴリーに与える数値 x_{jk} を求めた。判別が [A], [B], [C] の3種であることから x_{ij} は2次まで求められる。相関係数 η は1次で0.92、2次で0.73となり、判別はうまく行なわれていると言え

表 1 各アイテムのカテゴリおよびデータ数
Table 1 Number of data for each item-category.

Index (Item)	Category	Number of data
Depth	I $0.0 \leq d \leq 2.5^m$	21
	II $2.5 < d \leq 5.0$	33
	III $5.0 < d \leq 7.5$	51
	IV $7.5 < d \leq 10.$	34
	V $10. < d \leq 20.$	37
	VI $15. < d \leq 20.$	17
	VII $20. < d \leq 30.$	15
N-value	I $0 \leq N \leq 2$	65
	II $2 < N \leq 5$	41
	III $5 < N \leq 10$	33
	IV $10 < N \leq 15$	24
	V $15 < N \leq 20$	19
	VI $20 < N \leq 30$	20
	VII $30 < N \leq 50$	6
Epoch	I Alluvium	200
	II Diluvium	6
Soil-type	I Fine sand	18
	II Sand	64
	III Gravel	34
	IV Clay	92

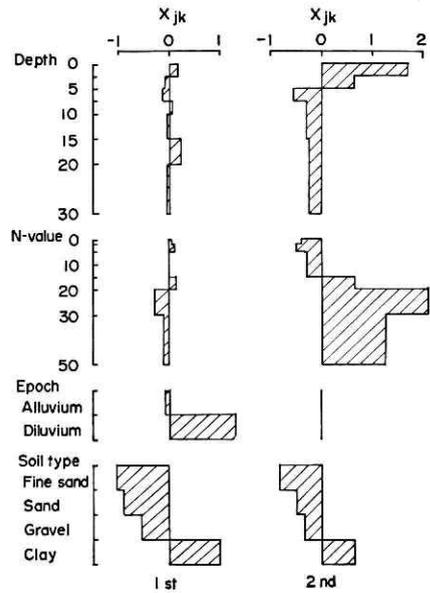


図 2 アイテム - カテゴリ間の数値 x_{jk}

Fig. 2 Numeric values x_{jk} assigned to item-categories.

よう。求めた数値 x_{jk} をアイテムカテゴリーごとに図 2 に示す。値の負の側は液状化の、正の側は非液状化の要因を表わしている。次に与えられた数値 x_{jk} より求まる合成変数 α_i と判別との関係を頻度分布で図 3 に示す。これから 1 次の数値 x_{jk} は [C] と [A], [B] の、すなわち液状化するかないかの判別をし、2 次の数値は [A] と [B]、すなわち液状化の

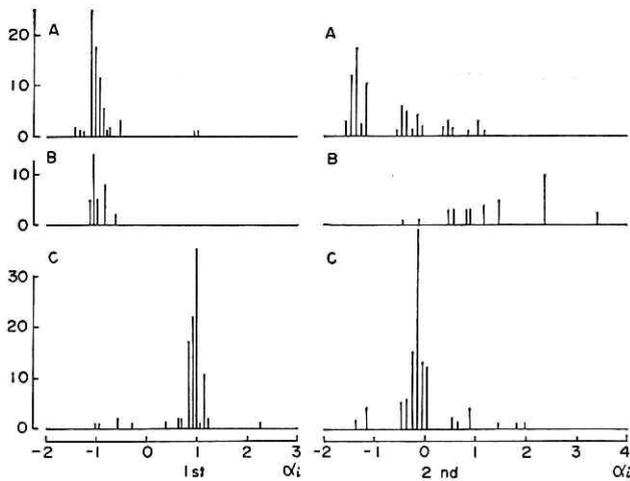


図 3 判定区分別の頻度分布

Fig. 3 Frequency distribution by criterion groups.

程度を判別しているのがわかる。まず1次の数値についてみれば時代区分、土質区分のそれぞれが深さ、 N 値のものに比べて変域が大きく、判別に対して支配的である。時代区分の洪積、土質区分の x_{jk} 粘土のはとも正の値で大きく、非液状化の強い要因であることを示している。このことはもとのデータに立ち戻ってみると図1に示されるように洪積では100%、粘土では98% [C] に判別されていることと対応している。2次の数値はこれに対して、液状化の程度を表わすものと考えられる。まず深度についてみると5mを境に正から負に値が変化しており、地表付近では液状化が起りにくいことを示している。 N 値については15を境に符号を異にしており N 値15以下で液状化しやすいことを示している。時代区分は両者ともほぼ0で判別にほとんど関与していない。土質区分については細砂—砂—砂礫の順に、いわば粒径の増加とともに液状化しにくくなることを示している。

ここで求めた数値 x_{jk} から液状化判定の実験式を作ることができるが、アイテムカテゴリーの数が20と必ずしも少なくないので、さらに簡略化を試みる。[A], [B], [C]と三つの判別であるが、ここで二つの判別の問題におきかえて考える。まず[A], [B]と[C]との判別であるが、先述のように、時代区分の洪積と土質区分の粘土が非液状化の大きな要因となっており、原データにおいても両者の場合ほぼ100%非液状化、[C]と判定されている。そこで簡単のため、ここでは[A], [B]と[C]との判別の条件として、洪積あるいは粘土であればすべて非液状化[C]であると考えことにする。そうすれば、残されたアイテムカテゴリーで、[A]と[B]との判別を説明すればよいことになる。[C]と判定されたデータを除いて、同様に林の数量化理論Ⅱ類によって判別分析を行なった。[C]を除外したため、データ個数 N は110に、アイテムカテゴリー数は15に減じた。深度15m以深のデータはすべて[C]に判定されていることから深度のカテゴリー数は5に減じている。[A], [B]

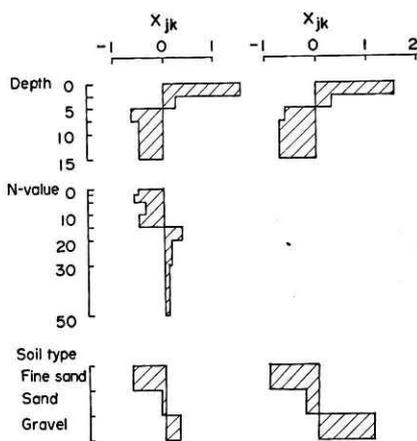


図4 アイテム-カテゴリー間の数値

Fig. 4 Numeric values x_{jk} assigned to item-categories.

の区分が最もよく行なわれるように数値 x_{jk} を求めると、相関比 η は0.78となり、先の場合の2次の相関比0.73に比べて若干改善されている。求められたアイテムカテゴリーの数値 x_{jk} を図4の左側に示す。深度については5mを境にして浅い場合は液状化しにくく、深い場合が液状化しやすくなっている。 N 値については0~15がしやすく、15以上でしにくくなっている。土質区分については細砂がしやすく砂礫がしにくくなっている。これらの数値 x_{jk} を用いて合成変数 α_i を求め、判別[A], [B]ごとに累積頻度を求め、図5の上部に示す。二つの曲線の交点から判断成功率が求められる。この場合約86%である。[A],

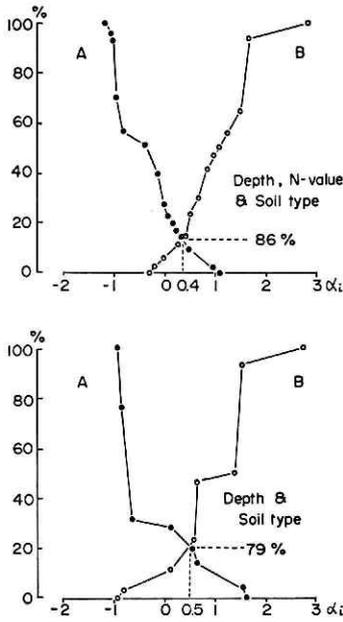


図5 判定区分別の累積頻度分布
Fig. 5 Accumulated frequency distribution by criterion groups.

表2 液状化危険度に関する簡易判定式
Table 2 Simplified discriminant for liquefaction potentials.

Simplified discrimination		Max. ground acceleration	
		150 gals	300 gals
Diluvium/Clay	Class C	no liquefaction	no liquefaction
	Class B	no liquefaction	liquefaction
$\alpha > 0$	Class B	no liquefaction	liquefaction
$\alpha < 0$	Class A	liquefaction	liquefaction

Discriminant I (Depth, N -value & Soil-type)

Depth (m)	N -value	Soil-type
1.51(0.0- 2.5)	-0.51(0- 2)	-0.67 (Fine sand)
0.24(2.5- 5.0)	-0.64(2- 5)	
-0.65(5.0- 7.5)	-0.34(5-10)	0.04 (Sand)
-0.44(7.5-15.)	-0.45(10-15)	0.32 (Gravel)
	0.37(15-20)	
	1.08(20-30)	
	0.86(30-50)	

Discriminant II (Depth & Soil-type)

Depth (m)	Soil-type
1.58(0.0- 2.5)	-0.99 (Fine sand)
0.34(2.5- 5.0)	-0.25 (Sand)
-0.62(5.0- 7.5)	1.13 (Gravel)
-0.73(7.5-15.)	

[B] の判別の分かれる α_i の値は 0.4 である。この式を用いれば、通常のボーリング柱状図から深度、 N 値、土質区分を読みとり、[A]、[B] の判定を行なうことができる。

次にさらに簡略化した場合として、 N 値の知られていない場合の判定式の構成を考える。深度、土質区分だけをアイテムカテゴリーにとり、同様に x_{jk} を求めてみると、相関比 $\eta = 0.71$ となり若干値が小さくなる。求めた数値を図4の右側に、判別の様子を図5の下段に示す。判別の成功率は約 79% と N 値を含めた場合より約 7% 落ちるが、 N 値を必要としないという点から、十分実用的な判定式となるであろう。以上の結果から、簡略化した液状化の判定方法をまとめて表2に示す。

3. 液状化危険度の推定

3.1 液状化可能性の判定

川崎市全域の液状化危険度の推定を前章で求めた簡略化した判定式を用いて試みる。この判定式を導いた調査結果は川崎市内における実際のボーリング調査および各種土質試験に基づくものであり、この調査の行なわれた地点の土質が川崎市内の他の場所とあまり大きく違わないと考えれば、この判定式を川崎市全域に広げて適用することができよう。川崎市内におけるボーリング資料はまとめられ、川崎市地質図集 I、II (川崎市、1965, 1972) として

刊行されている。これらの資料は国立防災科学技術センターによって MT ファイルに集録されている(幾志ほか, 1971)。判定の計算にはこの MT ファイルを用いた。ファイルにはボーリング柱状図ごとに、整理番号、位置(東経, 北緯)、標高、孔底深度、地層数等が記され、層ごとに下限深度、土質(主土質および副土質)、色調が記され、 N 値の測定が行なわれたボーリングについては、 N 値の測定深度ごとに、深度、 N 値(打ゲキ回数、貫入量)が記載されている。

Depth(m)	N	N	D	α	Discrimination
0	Clay	—			C
1.8	Fine sand	—	2.2	0.09 > 0	A
2.6	Clay	4			C
5.2		4			
	Sand	16			
		17	6.95	-0.64 < 0	B
		24			
8.7	Clay				C

図 6 簡易判定式による判定の一例
 Fig. 6 An example for discrimination by use of simplified formula.

液状化可能性の判定はボーリング柱状図に示された各層ごとに行なうことにし、各層ごとに平均深度、簡略化した土質区分(細砂, 砂, 砂礫, 粘土に大別)、 N 値の層内での平均値をあらかじめ求め、それらの値から前章で示した判定式 (I) (表 2) によって判定を行なった。 N 値の得られない層に対しては、 N 値を用いない、土質、深度のみより判定する、判定式 (II) を用いた。また判定式の対象としている深度が 15 m までであるので、0~15 m のみについて判定を行なった。判定の状況の一例を図 6 に示す。

3.2 液状化危険度の評価

上記の判定計算は川崎市内のボーリング柱状図約 2000 本を対象に行なった。数も多いため何らかの形で結果を整理し評価していかなければならない。そこでまずメッシュごとにまとめることを考える。メッシュは川崎市の緯度、経度に基づくメッシュ(15"×22.5", 約 500 m×500 m)を用いた。ボーリング資料の 1 本もあてはまらないメッシュも、周辺部に存在するが、ボーリング資料は、ほぼ市域全域をカバーしていると言えよう。資料の存在するメッシュ数は合計 379 で、1 メッシュ当りの平均ボーリング本数は 5 本となる。

[A],[B],[C] と 3 段階に判別された結果のうち、一番危険度の高い [A] (150 gal も地表最大加速度があれば液状化する) と判定された層の層厚の合計を考えることにする。各柱状図ごとに [A] と判定された層厚の総和 h_A を求め、さらにメッシュごとにそれらの平均値 \bar{h}_A を求め液状化の危険度を表わす 1 つの指標であると考え、 \bar{h}_A は判定式の条件から $0 \leq \bar{h}_A \leq 15$ m となる。求めた各メッシュの \bar{h}_A のヒストグラムを作ると図 7 のようになる。0~1 m が 1 番多く約 25% を占め、液状化層厚の増加とともに該当メッシュ数は大きく減少する分布となる。次にここで求めた \bar{h}_A は液状化の可能性の高い [A] と判定された層の層厚を表わしているが、この層厚がどのように液状化危険度とかかわっているかを考えてみる。その一つとして液状化に伴う沈下量の推定を試みる。液状化に伴う沈下量について

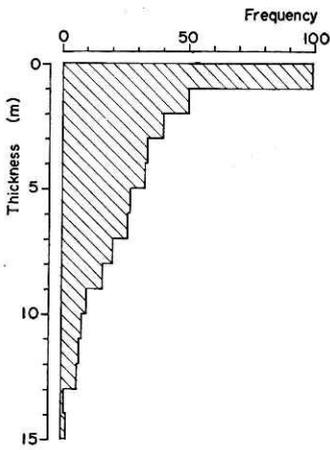


図 7 各メッシュに対する、判定区分 [A] の平均層厚のヒストグラム

Fig. 7 Histogram of mean thickness of layers estimated as group [A] in every square segment.

は、激しい場合液状化層厚の 10% 程度に達するとの報告 (龍岡ほか, 1976) もあるが、ここでは仮に 5% 程度として評価してみる. 液状化層厚 1 m の場合沈下量 h_s は 5 cm, 10 m の場合は $h_s=50$ cm となる. これらの予想される沈下量と図 7 に示した分布の形とから, 液状化層厚 \bar{h}_A を次の 4 段階に区分した.

- ① $0 \leq \bar{h}_A < 1$ m (沈下量 h_s にして 5 cm 以下で液状化危険度の最も低い個所)
- ② $1 \leq \bar{h}_A < 3$ m (h_s : 5~15 cm でやや危険度の高い個所)
- ③ $3 \leq \bar{h}_A < 6$ m (h_s : 15~30 cm で危険度の高い個所)
- ④ $6 \leq \bar{h}_A$ (h_s : 30 cm 以上で特に危険度の高い個所)

の 4 段階であり, 図 8 にその分布図を示した. 一般に海側に危険度の高いメッシュが多いが, 北西部の川沿い, 丘陵地内の谷の部分にも危険度の高いメッシュが多く散在する

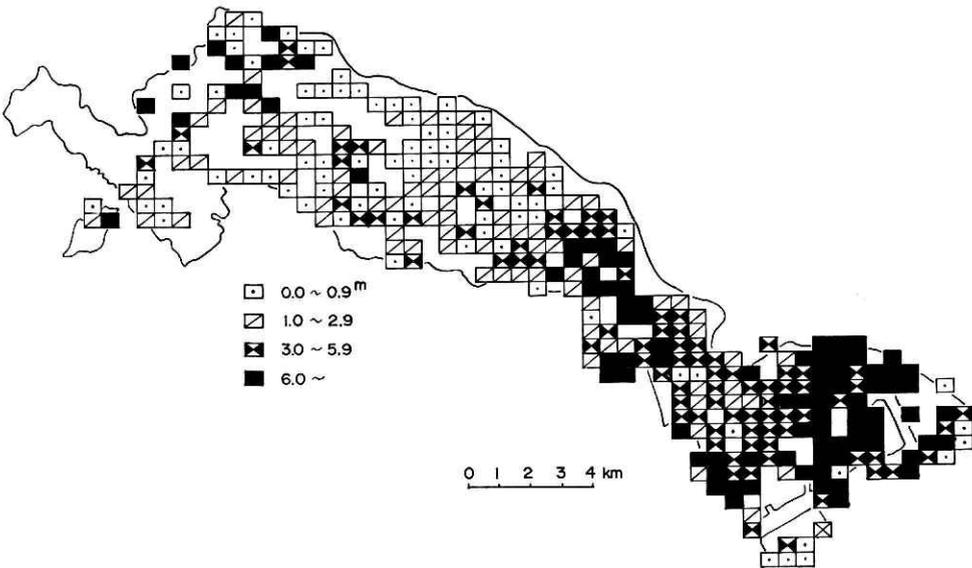


図 8 川崎市の液状化危険度 (層厚) 分布図

Fig. 8 Distribution of calculated liquefaction potential (thickness of layers) in Kawasaki City.

点は注意すべきであろう.

3.3 関東地震 (1923) 時の状況との比較

関東地震 (1923 年) 当時 15~20 歳で当時より現在に至るまで川崎市内に在住の約 1000

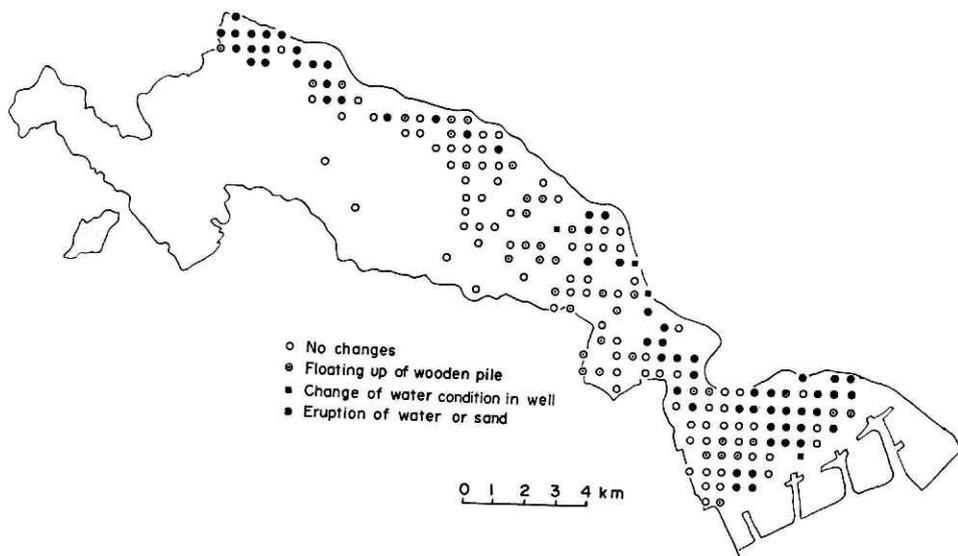


図 9 1923 年関東地震時における液状化関連現象の発生分布図 (川崎市当局の聞き込み調査 (1978) による)
 Fig. 9 Distribution of recognized phenomena caused by soil liquefactions during the Kanto Earthquake of 1923. After Kawasaki Municipal Office (1978).

人を対象に、関東地震に関する聞き込み調査がなされ、液状化およびそれに関する諸現象の発生場所を示した分布図が求められている (川崎市, 1978)。その調査によると、① 非液状化地点、② 木グイ等の浮上地点、③ 井戸の変化地点、④ 噴砂・噴水現象地点の四つに分け分布図が示されている。本論で求めた液状化危険度の分布と比較するため、同縮尺の地図上にプロットし直し図 9 に示す。関東地震の調査によれば、液状化現象の見られた地点は海岸寄り、多摩川沿いの地域に多く見られ、北西部の川沿いに集中しているのが目立つ。この傾向は図 8 に示した、簡易判定法で求めた結果とよく一致している。

4. 結 言

本論では地震時液状化危険度を簡易な方法で判定する方法として、既存の判定方法による結果に林の数量化理論Ⅱ類を適用し判定式を再構成することを提案した。川崎市内で既に行なわれた液状化可能性の詳細な検討結果から簡易判定式を導き、その判定式を川崎市域全域にわたる約 2000 本のボーリング資料に適用し、液状化危険度の評価を試み、その結果は危険度によって 4 段階に分け地図上にメッシュごとに示された。

さらにこの問題を進めて行く上でいくつかの問題について触れておきたい。ここで得られた判定式はあくまでも既存の判定方法を簡略したものであり判定の良非はもとの判定方法に大きく依存し、それを越え得ないことは言うまでもない。今後さらに詳細に検討されたデータを用いて判定式を再構成していくことが考えられる。また、今回は既存の判定方法を簡

略化するという方法をとったが、一方では実際の地震の際の液状化に関する資料から、本方法によって直接的に判定式を求めていくことも可能である。今後の課題としたい。

次に提示した液状化危険度のマップについて言えば、ボーリング資料の得られなかったメッシュも多数あり、また隣り合うメッシュ間で危険度が大きく違う個所もみられるが、全体的な傾向を捉えると言う点からは、何らかの移動平均をかけ平滑化してみる必要がある。地震による液状化に地震動の強さが大きく関係することは言うまでもないが、今回求めた危険度分布は、市域全体について同一の地震動強さを考えていることになる。そこで地震時の地域内での地震動強さの分布を考慮してはじめて総合的な液状化の危険度が求められよう。

最後に本研究を進める上で、川崎市防災会議地震専門部会の部会長金井清教授をはじめとする委員の方々から、いろいろ有益な意見、議論をいただきました。深く謝意を表します。また計算を進める上では川崎市総務局電子記録課山崎捷信氏に終始御協力をいただき、資料作成等につきましては川崎市当局の方々にお世話になりました。記して厚く謝意を表します。

また数量化理論を適用するにあたっては、北海道大学建築工学教室、太田裕、後藤典俊、岡田成幸諸氏との議論によるところが大きいことを付記しておきます。

なお本論文において、鏡味が簡易判定式の構成と液状化危険度の評価を、幾志が判定式のボーリング資料への適用と液状化可能性の判定を主に分担した。

参 考 文 献

- 林 知己夫 (1957): 数量化理論と応用例 (Ⅲ), 統計数理研究所彙報, Vol. 5, No. 1, 27-31.
- 川崎市 (1965): 川崎市地質図集.
- (1972): 川崎市地質図集 Ⅱ.
- (1976): 川崎市防災拠点液状化の調査研究.
- (1978): 川崎市防災拠点液状化及び過去の震災状況調査研究報告書.
- 幾志新吉・菅原正巳・清水良作 (1971): 電算機による都市地盤土質柱状図資料の一検索法 (第一報), 土質工学会誌, Vol. 19-4, 23-30.
- 日本建築学会 (1974): 建築基礎構造設計基準・同解説.
- H. B. Seed and I. M. Idriss (1971): Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, ASCE, Vol. 98, SM 9, 1249-1273.
- 龍岡文夫・岩崎敏男・池木正英 (1976): 振動台実験による砂層の振動特性と沈下特性, 土木学会第 31 回年次学術講演会, 241-242.

(1979年5月31日 原稿受理)