ボーリング柱状図データベースによる サイスミック・マイクロゾーニング

諸 星 敏 一* 幾 志 新 吉*

Seismic Microzonation Using the Database of Borehole Records

Toshikazu MOROHOSHI and Sinkichi KISHI

Abstract

The data of about 30,000 borehole records centering around the Metropolitan area has been stored in the database. The data were produced at the fundamental survey for construction of various structures. Regional distribution of the ground properties such as thickness of soft ground, vibrational characteristics of ground, liquefaction potential of sand layer, *etc.* are grasped from the database.

In addition, using the characteristics of earthquake motions in the basement and in the sedimentary layer estimated by the model constructed from the observed data at the network of strongmotions including three deep boreholes, regional distribution of the size of surface ground motions were estimated.

I. はじめに

地震防災対策を進めるためには、地震が発生した時に、それぞれの地域でどれくらいの地震動がどのような性質を持って発生するか、またどのような地盤震害が発生するかを予測することがきわめて重要である。また個々の構造物のより合理的な地震防災対策を立てる為にはより細かい範囲の局地的な影響を考慮することが必要である。このような観点から100m メッシュ程度での地震動の評価を可能にし、実用性を高めることが要請されている。

昭和39年6月の新潟地震、さらに昭和43年5月の十勝沖地震を契機として、その被害と地盤との関係から、筆者らは、都市地盤ボーリング柱状図資料のデータベース化と、震害予測のための利用手法の開発を行ってきた(幾志 1973)。その成果は、川崎市、静岡県等の自治体において実用に供されている(川崎市公害局 1983; 静岡県地震対策課 1983)。

本稿では、ボーリング柱状図データベースの利用例として地盤の液化化危険度の推定、地盤のモデル化とS波速度の推定及びサイスミック、マイクロゾーニングについてのべる。

II. ボーリング柱状図データベースの概要

データベースに収録されているボーリング柱状図は、主として構造物建設に伴う基礎地盤調査のために実施されたものである。データは、地層深度、土質名、N値などからなり、ボーリング位置は一辺約100mの標準的なメッシュ法で表わしている。

* 国立防災科学技術センター National Research Center for Disaster Prevention.

検索方式として、XY デジタイザー上の地図上でボーリング位置を指示するとディスプレイ管面に柱状図を作図するというマンマシン応答システムを開発した（諸星・幾志 1977）これは指示された位置をメッシュ番号に変換し、位置順テーブルを照合し、指示された位置に対するボーリング柱状図の整理番号を探しだし、その整理番号によりデータを検索しディスプレイ管面に作図するものである。柱状に土質記号を作図し、その左側に地層深度、右側にN値を数字で表す。またN値の測定深度はN値の表示位置を示している。土質記号は、各土質ごとにグラフィックなパターンを割り当て、そのパターンを深度に対応する柱状の枠の中に描くことにより表す。第3図に表示例を示す。

第3図 ボーリング柱状図の表示例

III. ボーリング柱状図を用いた広域な液状化危険度の推定

ここで言う液状化とは、飽和砂地盤が、地震作用のもとでせん断応力がなくなる現象のことである。

代表的な液状化危険度の推定方法として、乱さない土の試料に対して行った多数の繰返し三軸試験結果に基づき、N値、土の平均粒径および地表最大加速度から、液状化発生の危険度を推定する方法が提案されている（岩崎ほか 1978）。この方法では、ボーリング柱状図データに含まれない地表最大加速度と土

の平均粒径が必要である。地表最大加速度は地震動によりそれぞれの地域で異なる値を持つ（後述するサイスミック・マイクロゾーニングの結果を参照）動的な要素であり、また土の平均粒径を求めるには、詳細な土質試験を実施する必要があるなどの理由からこの方法は広域を対象とした液状化危険度の推定には向かない。

そこでボーリング柱状図データに含まれる要素のみを用いて行った液状化危険度の推定方法の一つについて述べる。この方法によれば、比較的安易に入手できるボーリング柱状図データだけを用いて広域な液状化危険度の推定が行える。

(1) 推定方法の概要

1983年5月26日に発生した日本海中部地震では各地で液状化による被害が頻発した。その中で、震度Ⅴの地震に襲われた能代市を例として、能代市被害状況図からその被害状況を100mメッシュごとに地盤被害指数として表し、その指数とボーリング柱状図を比較することにより液状化の推定基準を設定した。なお、日本海中部地震による地盤被害は殆どが液状化によるものであった。

(2) 地盤被害指数の求め方

第4図 能代市の液状化危険度推定結果と被害指数

地盤被害指数 (DI) は建物被害率 (HI) と道路被害率 (RI) の平均値、つまり

$$DI = (HI + RI) / 2$$

で表した。

HI は各メッシュ内の、全建物数 (H)、全壊建物数 (D1)、半壊建物数 (D2) 及び一部破損建物数 (D3) から次式により求めた。

$$HI = (D1 \cdot \omega_1 + D2 \cdot \omega_2 + D3 \cdot \omega_3) / H$$

この時、 ω_1 、 ω_2 及び ω_3 は各被害の重みづけ係数で、 $\omega_1=1$ 、 $\omega_2=0.5$ 及び $\omega_3=0.25$ とした。

RI は、各メッシュ内の道路被害を目視で6段階 (1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0) の面積率として読み取った。

第4図の数値は秋田県能代市付近の DI を10倍することにより整数化して示している。

(3) 液状化危険度の推定基準の設定

液状化地点48本、液状化地点の周辺部64本、非液状化地点494本のボーリング柱状図をデータベース化した。各地点のデータに関して、各々に地表から不透水層（粘土、シルト）までの飽和砂層（地下水以深の細砂、中砂、粗砂、砂）を抽出し、そのN値を階級分けして以下のような液状化危険度の推定基準を設定した。

① N値が5以下の飽和砂層を含んだ地盤は液状化の可能性が大きい。

② N値が10以下の飽和砂層を含んだ地盤は液状化の可能性がある。

③ 飽和砂層がある地盤でもN値が20以上あれば、ほぼ液状化しない。

(4) 推定結果と被害状況

図4に液状化危険度の推定結果と地盤被害指数を重ね合わせた結果を示す。液状化危険度の推定は、

- ① 液状化の可能性が大きい。(○印)
- ② 液状化の可能性がある(□印)。
- ③ ほぼ液状化しない(×印)。

で示す。

地盤被害指数と推定結果を比較すると次のとおりである。○印で被害があった所が67%，□印で被害があった所が64%，×印で被害がなかった所が80%とそれぞれ一致している。また位置づれなどの誤差を考慮し推定地点の周辺部を加えて比較すると各々の一致した率が上がる。例えば、○印で無被害の所でも隣合うメッシュに被害が発生している地点が3箇所あり、これを加えると92%一致したことになる。

(5) 推定例

秋田市のボーリング柱状図データ382本に関して、前述の推定法により液状化の可能性を推定し、その結果を第5図に示した。これは秋田市に震度Vの地震が発生した時の推定値である。図中の○印は液状化の可能性が大きい所、□印は液状化の可能性がある所、×印はほぼ液状化しないと思われる所を示している。秋田市で液状化の被害があった新屋元町では液状化の可能性が大きいという推定結果がでている。また、非液状化地点で液状化の可能性があるという推定結果がでた地点が何点かあるが、これは秋田市の震度が実際にはIVと小さかったことにより液状化しなかったと推察される。

第5図 秋田市の液状化危険度推定結果

IV. 地盤のモデル化とS波速度の推定

浦安市内の9本の検層データを用いて地盤のモデル化を行った。測定位置は、埋立地の東部に3本、埋立地の南部に1本、旧市街地と埋立地の境界付近に1本及び不詳が4本である。モデル化に際しては浦安地区の地質構造の特徴(日本住宅公団 1980)とS波速度の検層データで速度が顕著に変化する層に着目した。第1表にモデル化した地層と各層のS波速度、平均N値及び層深度(層の中心の深度)を示す。以下モデル化した各地層の特徴について述べる。

① 埋土

地表から深度5m程度の地層で、表土、シルト及び粘土からなる。N値は5未満のことが多い。

② 沖積砂

埋土の直下にある厚さ5m程度の砂層で、N値は10から20程度のことが多い。

第1表 モデル化した地層

	埋 土			沖 積 砂			沖 積 粘 土	
	VS	N 値	深度	VS	N 値	深度	VS	N 値
資 料 No. 1				100	15	4	100	0
資 料 No. 2	70	0	4	145	13	12	120	1
							180	2
資 料 No. 3	95	1	3	145	8	11	115	1
資 料 No. 4	90	3	3	140	10	10	115	1
							170	8
資 料 No. 5	100	4	2	150	12	8	110	2
				200	8	12	160	5
資 料 No. 6	67	5	3	170	12	10	165	1
							170	3
資 料 No. 7	100	1	3	170	9	9	100	1
資 料 No. 8	50	2	1	100	8	4	140	15
				160	15	10	120	0
							170	0
資 料 No. 9	100	3	2	150	15	10	130	1
平 均	84	2.3	2.7	148	11	9	138	2.8

第2表 推定したS波速度と密度

地層	S波速度 (km/sec)	密 度 (ton/m ³)
埋 土	0.084	1.57
沖 積 砂	0.148	1.81
沖 積 粘 土	0.138	1.53
沖積砂 1	0.209	1.65
洪 積 粘 土	0.240	1.67
洪積砂 2	0.390	1.88

③ 沖積粘土

深度10m から50m 程度の地層で、シルト、粘土及び腐植土からなる。N値は5未満のものが多い。

④ 洪積砂1

沖積粘土と洪積粘土の間に挟み込まれた厚さ5m程度のやや固い砂層で、N値は30程度のものが多い。

⑤ 洪積粘土

深度50m 程度で厚さ5m 程度のやや固い地層で、シルト、粘土及び腐植土からなる。N値は30から

40程度のものが多い。

⑥ 洪積砂2

工学的地震基盤であり、N値50以上の砂層

S波速度の推定方法には、N値のみから推定する方法（太田ほか 1978）、N値、深度、土質の種類及び地質年代などから推定する方法（太田ほか 1978）などが提案されているが、本稿では、テストエリア内で測定された検層データに依拠して次ぎの方法で決定した。即ち収集した9本のS波速度の検層データを上述した区分によりモデル化し、各地層ごとのS波速度の平均値を求め、その値を各地層のS波速度とした。密度は、上記S波速度の検層データの中から土質試験が実施されているデータ6本についてモデル化

に対する S 波速度の測定値

深度	洪 積 砂 1			洪 積 粘 土			洪 積 砂 2		
	VS	N 値	深度	VS	N 値	深度	VS	N 値	深度
15	160	30	28				590	50以上	43
30							285	50以上	56
50							355	50以上	70
25	170	5	33	255	18	39	395	50以上	45
21	265	30	35	265	10	38	360	50以上	41
32									
30	200	15	57				330	45	60
49							450	50以上	63
30							300	50以上	62
42							400	50以上	75
33							310	50以上	52
15	250	28	29	150	2	32	450	50以上	42
20				320	25	38			
27									
34				210	20	58	450	50以上	62
29.9	209	21.6	36.4	240	13.7	36.8	390	50以上	55.4

した各地層の平均値として求めた。第 2 表に各地層に対し推定した、S 波速度と密度を示す。

さて、千葉県及び浦安市から収集し、データベース化したボーリング柱状図1025本の中から、東京湾埋立後にボーリングされたデータでN値が測定され、かつ工学的基盤面まで達しているもので、メッシュごとに最深のもの1本に絞り、計491本を選定した。そのデータについて上記の6種の地層を基準としてモデル化した。第6図にモデル化した地層の中から沖積粘土の層厚の分布図を示す。第6図では層厚を5mごとに階級分け(1-9, A-Z)して表示してある。図みに、5は25m未満、Aは50m未満を示し、浦安市北部では、20m未満程度、南部では、45m未満程度を示している。なお英数字の一文字で100mメッシュの位置を表す。

V. サイスミック・マイクロゾーニング

サイスミック・マイクロゾーニングは、市町村などある程度の拡がりのある地域を対象として、地盤条件の差により地震動の特性が異なることに注目して、その地域を細かいメッシュに分け、各メッシュごとに地震時の振動特性を評価することであり、その結果を種々の地震危険度の評価分布作成へ応用することである。

国立防災科学技術センターでは、先第三紀層に達する3深層井(岩槻、府中、下総)と地表の強震観測点に設置された加速度計の記録を使用して、首都圏下の厚い堆積層の短周期S波に対する増幅特性を推定するための研究が行われており、すでに、試験的な推定手法が提案されている(木下ほか 1986)。

本稿では、千葉県浦安市域をテストエリアとして、上記の手法から推定した工学的基盤の増幅特性のボーリング柱状図データベースならびにS波速度検層データから推定した表層地盤の増幅特性を用いて、想

第6図 浦安市の沖積粘土の層厚の分布図

定地震に対する地表の地震動の大きさの地域的分布を求める方法について述べる。

なお、本稿では先第三紀層を基盤、これを覆う第四紀から第三紀の地層を総称して堆積層とする。堆積層は便宜的に地表からN値50以上の地層に至るまでを表層地盤、これ以深の地層を工学的地震基盤と称して区分している。

第7図にサイスミック・マイクロゾーニングの手順を示す。手順は大きく3つの流れに分けられる。その1つは、深井戸観測により基盤地震動のモデル化 (SV_i) を行うこと、その2は、地表の基準観測点における強震観測から地表の地震動 (SV_o) を求めること、その3は、ボーリング柱状図と検層資料から表層地盤の応答特性 (G_o または G_m) を求めることである。

処理の手順は、 SV_i と SV_o から基準観測点における堆積層の応答特性 ($\bar{G}$) を求め $\bar{G}$ と G_o から工学的地震基盤の応答特性のモデル化 (G_e) を行う。次に SV_i と G_e と G_m から各地点 (m 地点) の地表における応答特性 (SV_m) を求め、最終的にスペクトル強度 (SI_m) や最大加速度にしてその分布図を作成する。

以下、第7図に従って各項目について述べるが、本稿では地震動特性の評価に非減衰速度応答スペクトル (例えば、大崎 1987) を用いる。これは、地震時のフーリエ振幅スペクトルの上限包絡を大略示すものである。

(1) 基盤の地震動特性

基盤の地震動特性は、先第三紀基盤内における地震動の非減衰速度応答スペクトル $SV_i (T; M, R)$ ($\text{gal} \cdot \text{sec}$) を用いて、周期 T (sec) の関数として、

第7図 サイスミック・マイクロゾーニングの処理手順

$$SV_i(T; M, R) = 10^{a(T) \cdot M - b(T) \cdot \log_{10} R + C(T)}$$

でモデル化したものを用いる。ここで、 M と R は、各々、気象庁マグニチュードと震源距離 (km) である。ここで注意すべきことは、係数 a , b 及び c を地震の発生域毎に使い分けることである (木下ほか 1986)。現時点では火山フロント東側 (カテゴリー I) の地震と火山フロント周辺及び西側 (カテゴリー II) の地震とで使い分けている。一例として、 $M=7.0$, $R=100\text{km}$, カテゴリー I (実線) 及び II (点線) の SV_i を第 8 図に示す。

(2) 堆積層の平均増幅特性

テストエリア内の地表の基準観測点における堆積層の平均増幅特性は、基準観測点で得られた第 n 地震 (総数 N) での強震記録の非減衰速度応答スペクトルを $SV_o(T; M_n, R_n)$ として、

$$\bar{G}(T) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N SV_o(T; M_n, R_n) / SV_i(T; M_n, R_n)$$

第8図 先第三紀基盤内における非減衰速度応答スペクトル

で与えた。ここで M_n と R_n は、第 n 地震におけるマグニチュードと震源距離である。本稿のマイクロゾーニングのように、用いる地震のカテゴリリーが2種類に跨るときは、これを平均することにする。 $SV_i(T)$ のモデルを2種類にしたことの利点は、各モデル入力について得られる $\overline{G}(T)$ が、地震のカテゴリリーの違いにかかわらず大差なく安定していることであり、実用的であることである。第3表(木下ほか, 1986)に基づく基準点(浦安市庁舎)の $\overline{G}$ を第9図の点線で示す。

(3) 基準観測点における表層地盤の増幅特性

4章で述べた方法により、基準観測点の表層地盤をモデル化し、重複反射法に基づいて増幅特性 $G_o(T)$ を求めた。この際、各々の地層のS波速度と密度は表2から決まるが、地盤の減衰係数 Q 値は本稿では一律に10を仮定した。第9図の実線で G_o を示す。

(4) 工学的地震基盤の平均増幅特性

工学的地震基盤における入射波の、基盤地震動に対する平均増幅特性 $G_e(T)$ は、堆積層の平均増幅特性 $\overline{G}(T)$ を基準観測点における表層地盤の増幅特性 $G_o(T)$ で割ったものである。

この際、表層地盤への入力は、工学的地震基盤からの入射波のみを考えることにする。

実際には、

$$G_e(T) \equiv \overline{G}(T)/G_o(T) \approx \sum_n K_n \cdot (\log_{10} T)^n$$

の形で $G_e(T)$ を規定する。この近似式では、 n

第3表 浦安市庁舎(基準観測点)において観測された地震

No.	Date	Latitude	Longitude	Depth(km)	Magnitude	Category
1	June 29, 1980	34°55'	139°14'	10	6.7	II
2	Sep. 24, 1980	35°58'	139°48'	80	5.4	I
3	Sep. 25, 1980	35°31'	140°13'	80	6.1	I
4	July 23, 1982	36°11'	141°57'	30	7.0	I
5	Feb. 27, 1983	35°54'	140°09'	70	6.0	I
6	Aug. 8, 1983	35°31'	139°02'	20	6.0	II
7	Jan. 17, 1984	36°27'	141°15'	40	5.6	I
8	Jan. 18, 1984	36°27'	141°16'	40	5.9	I
9	Sep. 14, 1984	35°49'	137°34'	0	6.8	II
10	Sep. 15, 1984	35°47'	137°28'	10	6.2	II
11	Sep. 19, 1984	34°03'	141°33'	0	6.6	I

$=0-4$ として係数 K_n を最小二乗法で決定した。
 第4表に係数 K_0-K_4 を示す。第10図に G/G_0 及び G_0 を示す。

(5) 推定対象地点における地震動特性

テストエリア内の第 m 推定対象地点における地震動特性は、まず、非減衰速度応答スペクトルの形で、

$$SV_m(T; M, R) = G_m(T) \cdot G_e(T_i) \cdot SV_i(T; M, R)$$

として与えられる。ここに $G_m(T)$ はボーリング柱状図データから決定される推定対象地点の表層地盤の増幅特性である。ここで、 $SV_m(T)$ は、同じ M と R でも、 $SV_i(T)$ が2種類の地震発生域で異なるため、やはり、地震発生域に依存するものとなる。

さて、本稿では、マイクロゾーニングのための地震動の評価尺度として、ハウスナーの提案したスペクトル強度 ($\text{gal} \cdot \text{sec}^2$) (HOUSNER 1956)

$$SI_m = \int_{T_1}^{T_2} SV_m(T; M, R) dT$$

を用いる。これは最大加速度のように単発的なものではなく安定性があり、特に地盤構成の類似した地域内を対象とした場合には、震度との相関も優れたものとなる。スペクトル強度 SI_m は、速度応答スペクトル $SV_m(T; M, R)$ を $T_1 = 0.1\text{sec}$ から $T_2 = 2.5\text{sec}$ まで積分したものと規定されているが、ここでは、地盤の卓越振動を十

第4表 工学的地震基盤の平均増幅特性の近似式の係数

K_0	5,222
K_1	-0.223
K_2	-9.378
K_3	4.612
K_4	9.858

図9図 浦安市庁舎（基準観測点）における堆積層の平均増幅特性と表層地盤の増幅特性

第10図 工学的地震基盤の平均増幅特性

分取り入れるため $T_2 = 4\text{sec}$ 、また $G_0(T)$ が短周期側で不安定となるため $T_1 = 0.15\text{sec}$ とした。

(6) スペクトル強度と最大加速度の関係

SI_m の分布を通常の震度に換算して見直すためには、この地域でのスペクトル強度と最大加速度 $A_{\max}$ との相関関係を予め規定しておかねばならない。浦安市庁舎で観測されたデータに加えて、既往資料（倉田ほか 1979；倉田ほか 1980；倉田・野田 1983）の中から対象地域において地質条件または応答スベ

第11図 スペクトル強度と最大加速度 (国立防災科学技術センター・御子柴正氏による)

第12図 カテゴリー I の想定地震に対するスペクトル強度の分布図

クトルの形状が似ているデータを選択し、相関関係を求めたところ第11図のようになった。この関係を統計式で近似すると、

$$\log_{10} SI = 0.523 + 0.726 \log_{10} A_{max}$$

で表せる。この時の相関係数は0.838であった。

(7) 地震動のスペクトル強度と最大速度の地域的分布の推定結果

前述した諸手続きを経て推定したテストエリア（浦安市域）における地震動のスペクトル強度とこれから換算した最大加速度の分布図を第12図、第13図及び第14図に示す。第12図は、スペクトル強度の分布図で、スペクトル強度を20 (gal・sec²) とに階級分けして表示したものである。想定した地震は、マグニチュード7.0、震源距離100km、カテゴリーⅠのものである。第12図の数字が100m メッシュごとの推定値を示している。この第12図を全体的に見ると、対象地域の北部（第12図の上部）から南部（下部）の埋立地へかけて、スペクトル強度が大きくなっていく傾向が見られる。この傾向は一般的な言い方をすれば軟弱地盤（沖積粘土）の厚さの分布（第6図参照）に対応しているといえる。スペクトル強度の値は、北部では220～240 (gal・sec²) を示し、南部では280～300 (gal・sec²) を示しており、南北の差は約60 (gal・sec²) である。また、隣り合ったメッシュ間で、2、3段階の違いがある所がある。このことから100m メッシュ程度でのマイクロゾーニングの必要性がわかる。

ところで、第12図に示されたスペクトル強度の値は、地表における地域的な相対関係を表しているのにとどまらず、基盤から地表に至る地震動特性の増幅結果を絶対値で表示しているものである。因みに、地表のスペクトル強度が概ね200前後であるのに対して、工学的基盤のそれは約82、先第三紀基盤のそれは約17であった。すなわち、地震動のスペクトル強度は、先第三紀基盤と工学的基盤の間で4倍に、工学的基

第13図 カテゴリーⅡの想定地震に対するスペクトル強度の分布図

第14図 カテゴリーⅡの想定地震に対する最大加速度分布

盤と地表との間では10倍に増幅されたことになる。

つぎに、第13図は、カテゴリーⅡの地震を想定し、第12図の場合と同じマグニチュードと震源距離を与えた場合のスペクトル強度の分布図である。ここではスペクトル強度を5 ($\text{gal} \cdot \text{sec}^2$)ごとに階級分けして表示してある。全体的にみた数値の大小の地域的傾向は、第12図の場合と同じであるが、スペクトル強度の絶対値が第12図と比べて160 ($\text{gal} \cdot \text{sec}^2$)程度小さくなっている。すなわち同じマグニチュードで同じ震源距離の地震でもカテゴリーⅡの地震よりカテゴリーⅠの地震の方が地震動のレベルが高いことがわかる。

第14図は、第13図と同じ想定地震に対する最大加速度の分布図で、最大加速度を10 (gal)ごとに階級分けして表示している。全体的に見た数値の大小関係は第13図などと同じ傾向である。北部では約60 gal 、気象庁震度階でⅣ、南部では約90 gal 、気象庁震度階でⅤを示している。

VI. まとめ

ボーリング柱状図データベースと、サイスミック・マイクロゾーニングを中心とする利用例について検討したところ、下記の結論を得た。

(1) ボーリング柱状図データベースのみから液状化の危険度を推定する手法を開発した。この手法により秋田県能代市及び秋田市の液状化の危険度を推定した結果と日本海中部地震による液状化の被害状況が概略一致した。

(2) 基盤地震動のモデル、テストエリアで得た強震記録の活用及びボーリング柱状図データベースによる100mメッシュでの表層地盤の増幅特性と地震動特性の評価など、当センター独自の方法を用いたサ

イスミック・マイクロゾーニングの手法を確立した。千葉県浦安市をテストエリアとして、この手法によりサイスミック・マイクロゾーニングを実施した。

(3) 今後の課題として、他の方法との比較、Q値に関する問題及び非線形（表層地盤の）応答を加味する必要性などがある。

また、推定結果を実証するための地震観測をはじめ震度分布に関する実測データを取得することが必要である。そのために、アンケート調査（太田ほか 1979）により面的な震度分布を求め、推定結果との比較検討を行うこと等を考慮中である。

謝 辞

浦安市内のボーリング柱状図収集に御協力いただいた千葉県消防防災課伊藤昭治氏、同県建築指導課松崎基之氏及び浦安市防災課星野隆氏に御礼申し上げます。また浦安市内のS波速度の検層データ収集に御協力いただいた応用地質株式会社殿内啓司氏に御礼申し上げます。なお、本稿で用いたQ値は早稲田大学理工学研究所故森岡敬樹氏に御教示いただいたものである。最後に、本稿の執筆をお薦め頂いた当センター高橋博所長に謝意を表します。

参考文献

- HOUSNER, G. W. (1956) : 構造物の極限設計法. I-WCEEE.
- 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田 進 (1978) : 砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例. 第5回日本地震工学シンポジウム講演集, 641-648.
- 川崎市公害局 (1972, 1983) : 川崎市地質図集Ⅱ, Ⅲ.
- 木下繁夫・御子柴正・星野 努 (1986) : 堆積層における短周期S波の平均的増幅特性の推定. 地震, 第2輯, 39, 67-80.
- 幾志新吉 (1973) : 地盤資料（土質柱状図）の電算化と検索法. 講座, 土と基礎, 21, 89-94, 土質学会.
- 倉田栄一・井合進一・横山淑子・土田 肇 (1979) : 港湾技研資料, No. 319.
- 倉田栄一・井合 進・横山淑子・土田 肇 (1980) : 港湾技研資料, No. 338.
- 倉田栄一・野田節男 (1983) : 港湾技術研資料, No. 442.
- 諸星敏一・幾志新吉 (1977) : 土質断面図の検索・表示・応答システム. 国立防災科学技術センター研究報告, 第17号, 33-42.
- 日本住宅公団・宅地開発協会 (1980) : 浦安地区地盤対策に関する施工方針作成業務委託報告書. 土質調査・地盤対策に関する施工方針.
- 大崎順彦 (1987) : 地震動のスペクトル解析入門. 鹿島出版会, pp 204-210.
- 太田 裕・後藤典俊 (1978) : 横波速度を推定するための実験式とその物理的背景. 物理探鉱, 第31巻, 第8号, 8-17.
- 太田 裕・後藤典俊・大橋ひとみ (1979) : アンケートによる地震時の震度の推定, 北大工研報告, 92, 117-128.
- 静岡県地震対策課 (1983) : 静岡県地震対策基礎調査報告書ボーリング柱状図集.

(昭和63年1月27日受付, 4月22日受理)