

名古屋市域における地盤情報を用いた液状化危険度解析の試み

名古屋大学 松澤 宏
名古屋大学 杉村昌広

1. まえがき

1964年の新潟地震以降、構造物周辺地盤の地震時液状化現象の予測・対策が検討され、また広域防災の面からは、各種構造物などの震害想定に地盤の液状化現象が考慮される。このような背景のもとで、地盤調査計画や広域防災計画などを立案するための基礎資料としての液状化マップ整備の必要性が高い。これには大量のボーリング調査資料に対する液状化予測を必要とするが、収集資料の質・量の変化と共に、液状化マップのような地盤情報関連資料の見直しが常に必要である。このためには、対象地域の地質的・土質工学的地盤特性を分析するための地盤情報データベースシステム、および地震動解析システム、液状化判定システムなどの構築が有効である。

筆者らは、地盤データに「最新名古屋地盤図資料データベース」(以下、「最新名古屋地盤図DF」という)¹⁾を利用することを前提に、地盤情報データベースシステムおよび液状化解析システムなどの開発に手掛けている。ここでは、開発中のシステムの概要とその適用例について述べる。

2. 構築システムの概要

既存の地盤情報データファイル(以下、「既存DF」と略記する)を広域を対象とした液状化予測に利用する場合、これに先立つ検討事項として、登録データのうち、液状化判定に必要なデータ項目(例えば、土質N値、 D_{50} 、FCなど)の充足状況、質、量を把握し、さらに登録データの範囲で適用可能な液状化判定法を選定しなくてはならない。本研究における、これらの検討作業から液状化判定結果の出力までの流れを図-1に示した。この図の左側の流れは既存DFの内容分析から液状化予測・解析結果の出力までの流れを示しており、右側の流れは左側の該当事項を具体的に分析・解析するシステムおよびそれら相互間の関係を示している。これらのシステムはパーソナルコンピュータ用に構築されており、ソフトのOSはすべてMS-DOSによって管理されている。なお、これらのシステムのうち、地震動解析は谷口が開発したシステム²⁾によっているが、これは地震基盤面に想定地震による最大加速度の想定値を入力し、S波多重反射理論によって堆積層の地表面最大加速度を算定するものである。

図-2は、地盤情報データベースシステムの概要であるが、地震動解析システム、液状化危険度解析システムとの関連も示してある。地盤情報データベースシステムのデータファイルは地表情報と地下情報に大別されるが、これらのデータの出力項目については、代表的な項目を図示した。これらの項目の出力はCRTにおけるカラー画像、X-Yプロッタによる図形出力が可能である。今回は、これらの出力項目のうち、

Application of Subground Geotechnical Database to Analysis for Liquefaction Potential of Nagoya,
Hiroshi MATUZAWA and Masahiro SUGIMURA, Nagiya University.

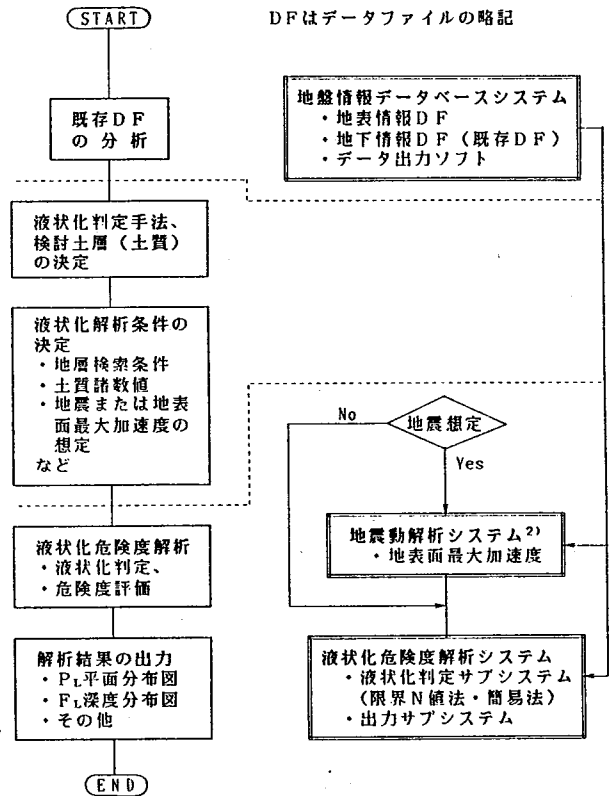
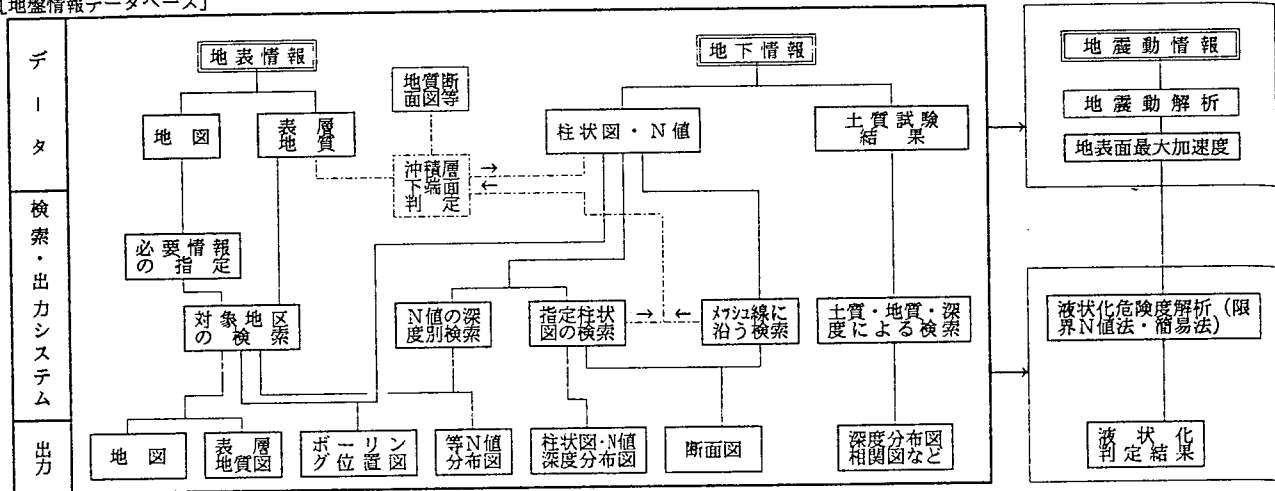


図-1



□ : 既存資料 — : ファイル、解析・処理、出力 - - - : ファイルへの登録ソフト
図 - 2

- ① 既存DFの内容分析 : 主に、土質試験結果の深度分布図、相関図、頻度分布図
- ② 地震動解析 : 柱状図・N値深度分布図、断面図 (地震基盤面、S波速度構造の検討資料)
- ③ 液状化危険度解析 : 地図 (PLなどの平面分布図出力など)

を用いた。

液状化危険度解析システムは、液状化判定システムと出力サブシステムで構成されている。

図-3は、液状化判定サブシステムのフローを示している。このサブシステムでは液状化判定を限界N値法と簡易な判定法 (以下、「簡易法」という) で行うこととし、表-1に示す判定法

表 - 1

手法	提案者および基準
限界N値法	小泉
	岸田
	福岡・石原
	小規模建築物
	LNG地下式貯槽
	危険物規則(タンク周縁)
	危険物規則(タンク中心)
建築物設計標準 ⁵⁾	
簡易法	Seed・Idriss(1971)
	岩崎・龍岡
	今野ら
	道路橋示方書
	大橋・岩崎・龍岡
	時松・吉見
Seedら(1985)	
建築基礎構造設計指針	

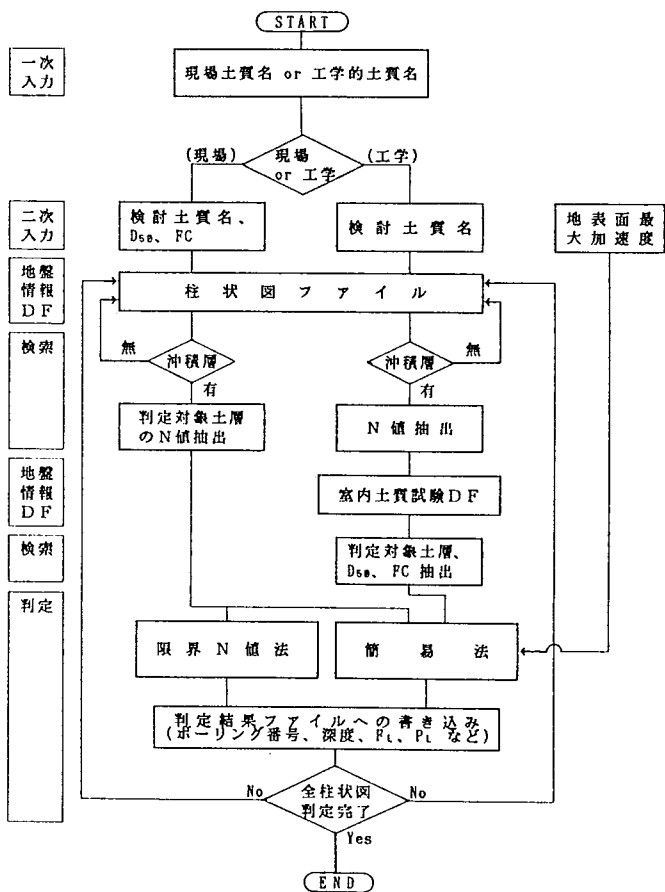


図 - 3

を、以下に述べる方針により構築した。すなわち、

①液状化判定対象とする土質（または地層）の検索は、使用する既存DFの内容に応じて、

- a. 土の工学的土質分類名、または
- b. 柱状図に記載されている現場土質名のいずれにも対応可能であること

②簡易法による液状化判定は、

- a. 特定の想定地震を対象として地震動の距離減衰および堆積層の増幅を考慮して地表面最大加速度を各地点に付与する場合、
- b. 特定の地震を想定せずに対象地域全域に一律な地表面最大加速度を付与する場合いずれにも対応可能であること、

である。

液状化判定対象の地層の検索は、地盤データファイルに登録された全ての柱状図における柱積層について行い、該当する地層について表-1 に示した判定法による液状化の判定後、結果を判定結果ファイルへ出力している。

出力サブシステムは、判定結果ファイルを入力データとして、各ボーリング調査地点における F_L 値の深度分布図、指定深度における F_L 値の平面分布図、 P_L 値の平面分布図などのカラー画像をCRT、X-Yプロッタに出力させるためのソフトである。

3. 名古屋地域における地盤概要

図-4 は、名古屋地域における地形の分布図³⁾であり、既往の簡易法による液状化予測は、名古屋地域の南部～西部～北部に広く分布する沖積地盤（南陽層）および中央部に分布する洪積台地（熱田層、大曾根層）と東部丘陵地（洪積層の八事層、唐山層および第三紀矢田川累層）、台地・丘陵地を流下する河川によって形成された沖積地盤が対象となる。

図-5 は、名古屋地域における沖積層基底面等深線図⁴⁾であるが地域の西南部に向かうほど沖積層基底面深度が大きくなり、所によって G.L. -40 m 以上に達することがある。名古屋市南部～北部に分布する沖積層は、概ね G.L. -10 m ～十数メートルより上部では砂質土層が卓越し、下部では砂礫層を介在するものの粘土層が卓越しているが、所によっては G.L. -20 m 程度まで砂質土が堆積する地区がある⁵⁾。

4. 液状化判定の観点からみた「最新名古屋地盤図DF」

ここでは、図-1 における「既存DFの分析」から「液状化解析条件の決定」のうちの地層検索条件ならびに土質諸数値の決定について述べる。なお、既往の液状化判定法には、対象土質が細粒土に及ぶものがあるが^{6)、7)}、これは施工年代が比較的新しい海岸埋立て地盤を対象にしたものと考えられる。名古屋地域においてもこのような比較的新しい埋立て地盤があるが、今回は、このような地盤を別途に扱うことを省略し、粗粒土を対象にした。

1) 液状化判定対象土の土質分類名：「最新名古屋地盤図DF」における柱状図ファイルと室内土質試験デー

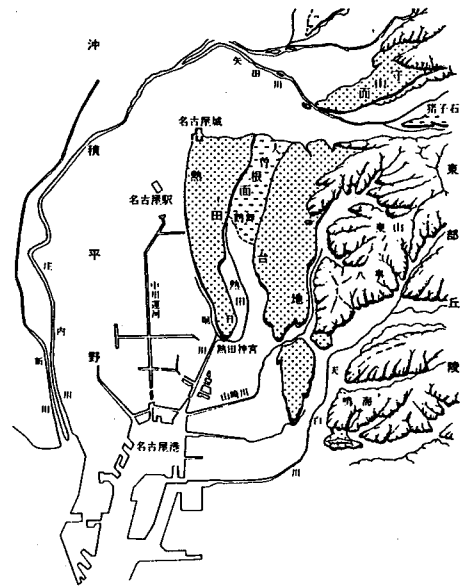


図-4

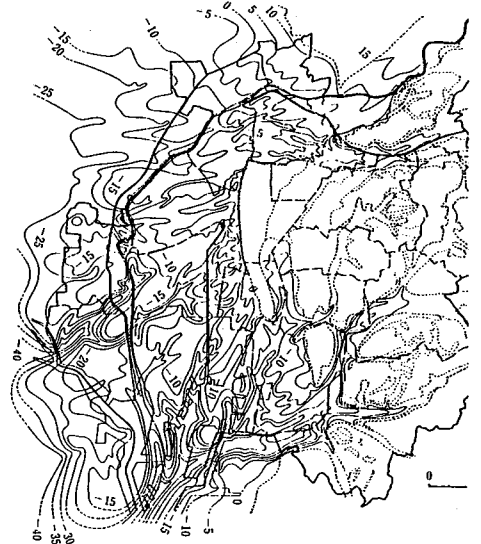


図-5

ータファイルには、約 4200 本のボーリング柱状図と N 値および約 7000 試験の室内土質試験データが登録されている。柱状図ファイルには、各地層についてコード化した「現場土質名」が、また室内土質試験データファイルには「現場土質名」と日本統一土質分類法による「工学的土質分類名」の両者が登録されている。そこで、液状化判定の対象とする地層を検索するための土質分類名を「現場土質名」とするか、「工学的土質分類名」とするかを決定するために、最上位の地質年代が沖積層（表土がこれに堆積するものも含む）である柱状図を抽出し、沖積層における現場土質名が「砂～砂質土」および「砂質シルト」

表-2

現場土質名	現場土質コード	土層数	粒度試験が行われた土層数
砂	3 0 0	2949	362
〇〇混じり砂	3 0 X	1971	250
〇〇混じり △△質砂	3 X Y	1894	251
砂質シルト	2 3 X	1481	193
合計		8295	1056

となっている地層数と、それらのうち粒度試験が行われている地層数は表-2 に示すとおりであった。これより、液状化判定の対象とする地層の検索・抽出は「現場土質名」によることとした。

2) 液状化判定の対象とする「現場土質名」：表-3 に、室内土質試験ファイルにおいて現場土質名が「砂～砂質土」および「砂質シルト」に該当する土のデータ数およびそれぞれの現場土質名の土の工学的土質分類に該当するデータ数の占める割合の百分率を示している。また、この表には、名古屋市域の各地区で卓越する微地形ごとに、それぞれの現場土質名に対応する土の FC の代表値を示した。これについては後述する。

この表から、現場土質名「〇〇質砂」および「△△まじり〇〇質砂」については、それぞれのデータ数の 37% 前後が工学的土質分類における細粒土（50% 以上の細粒分を含む土）であり、「△△混じり砂質シルト」のうち約 22% は砂粒土であることが判る。比較的堆積年代の新しい海岸埋立て地盤（埋立て後 30 年未満⁹⁾）では、細粒土地盤でも液状化を起こすといわれるが、このような地盤を除けば細粒土の液状化抵抗は砂～砂質土に比べてかなり大きい。今回は、このような影響を考慮しないことは先に述べた通りである。

この表を参考にして、液状化判定は、表-3 における「砂質シルト」を除くそれぞれの土について行うこととした。このような現場土質名の土を抽出して液状化判定を行えば、少なくとも、表に示した程度の割合で液状化判定土の抽出誤差を生じると考える。

3) 「現場土質名」による液状化判定土の粒度組成：簡易判定法による液状化判定を行う場合、土質情報として土の工学的分類名もしくは分類可能なデータ、および判定法によるが D_{50} または FC のいずれか一方もしくは両者が必要である。最近までは、地盤調査報告書に添付される土質試験結果一覧表には D_{50} の記入欄がなかったこともあって、「最新名古屋地盤図 DF」には D_{50} が登録されていない。

このため液状化判定に D_{50} を必要とする方法を用いて液状化判定を行う場合、①地盤調査報告書に記載された土の粒径加積曲線から読み取った値をデータファイルに登録するか、または②土質試験結果一覧表に記載された土の粒土組成に関するデータから推定するかのいずれかである。このうち、①については現実的ではない、②についてもその是非および得られた推定値の精度に問題がある。

表-3

現場土質名	データ数	工学的土質分類に該当するデータ数の百分率							卓越する微地形ごとの FC (%)		
		礫粒土 G			砂粒土 S			細粒土 F	自然堤防	後背湿地	埋立地
		{G}	{GF}	小計	{S}	{SF}	小計				
砂	1512	0.9	0.3	1.2	48.2	40.5	88.7	10.1	8.5	6.0	8.5
〇〇まじり砂	781	1.9	0.8	2.7	39.5	42.8	82.3	15.0			
〇〇質砂	462	0.2	0.4	0.6	8.7	52.4	61.1	38.3	20.0	32.5	22.5
△△まじり 〇〇質砂	103	0.0	1.9	1.9	20.4	40.8	61.2	36.9			
△△まじり 砂質シルト	278	0.0	0.4	0.4	2.9	19.4	22.3	77.3	—	—	—

そこで室内土質試験データファイルで、南陽層の地表面からの深度が 20 m までの「砂」～「砂質土」について、 D_{60} の値が登録されているデータ数を FC のデータ数とともに示したものが表-4 である。これより粒度試験が行われていても D_{60} のデータ登録数は、粒度試験データ数の 1/3～1/4 程度と少ない。そこで、液状化判定は、粒度組成に関するデータ数の多い FC のみを用いる Seedら(1985) による方法⁹⁾ を用いることとした。

地震時における液状化の難易は、地表の微地形による影響を受けることが指摘されているが、微地形はその生成時に堆積した土砂の粒度組成が異なる可能性を考慮し

て、名古屋市域の微地形特性に応じた液状化判定土層の FC の代表値を表-3 に示すように決定した。なお、この値は各微地形における FC の頻度分布の最頻値である。

また、「最新名古屋地盤図 DF」の室内土質試験データファイルに登録された「砂および〇〇混じり砂」、「〇〇質砂および△△混じり〇〇質砂」の試料採取深度は、図-6 に示すように、前者は 80

% 近くが G.L.-10 m 以浅、後者は 90 % 近くが G.L.-15 m 以浅であるが、これは先に述べた沖積地盤の土質構造を反映したものであろう。

5. P_L 値の算出方法について

簡易法による液状化判定からは、各ボーリング地点における F_L 値の深度分布が求められる。また、そのボーリング地点の地盤としての液状化の激しさを表す指標として液状化指数 P_L 値がよく用いられる。 P_L 値は、地表面から深度 20 m までの F_L 値よるの重み着き積分として岩崎ら¹⁰⁾ によつて定義され、この積分値によつて液状化の程度を評価することが行われている。この P_L 値は、広域地盤の液状化危険度を平面的に表示し、液状化の可能性の高い地区を直感的に抽出するために分かりやすい指標である。ただし、その算定は D_{50} を用いる岩崎らの方法¹⁰⁾ により得られた F_L を用いなくてはならない。

しかしながら、先に述べたように、今回は液状化の判定に FC のみを用いる Seedらによる方法を使用する。そこで、名古屋地区と異なるが、液状化判定対象土の D_{50} および FC が明かなボーリングデータを集集し、岩崎らおよび Seedらによる方法それぞれによる F_L の比較を行ったところ、次式の関係が得られた¹¹⁾。

$$\overline{F_L} = (M + 5.47) \alpha^{-0.500} \sqrt{(F_L)_s} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 M は地震のマグニチュード、 α は地表面最大加速度。 $\overline{F_L}$ および $(F_L)_s$ は、それぞれ岩崎ら相当および Seedら相当の F_L である。

上式を用いれば、FC の値が明かであれば、岩崎ら相当の $\overline{F_L}$ 値およびこれによる液状化指数を算定することが可能である。

6. 液状化危険度解析例

濃尾地震 (1891年、 $M=8.0$)、東南海地震 (1944年、 $M=7.9$)、東海地震 (駿河湾沖地震、 $M=8.0$) を想定した名古屋市域の液状化危険度解析結果の例として、 $\overline{P_L} > 15$ となるメッシュ (125m

表-4

現場土質名	ファイル登録データ数		
	総数	D_{60}	細粒分
砂	416	106	403
〇〇混じり砂	222	80	215
〇〇混じり△△質砂	236	68	223
砂質シルト	300	64	300

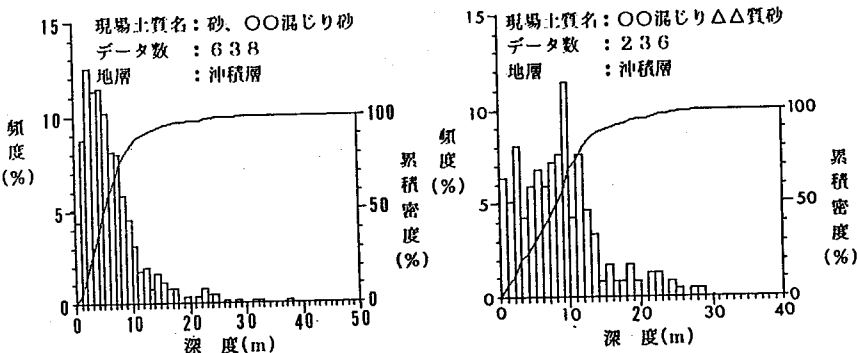


図-6

×125m)の分布を図-7(a)~(c)に示す。ここに、 \overline{P}_L は上述した \overline{F}_L を用いて算定した液状化指数である。地表面最大加速度は飯田らによる地震基盤加速度および表層の増幅度¹²⁾から算定した。図-8は、濃尾地震および東南海地震の際に名古屋市域で噴砂・噴水の発生がこれまでに明らかにされた箇所を示している^{12)~14)}。この図から液状化の程度を読み取れないが、図-7(a)、(b)に示した濃尾地震および東南海地震に関する \overline{P}_L 値の分布をこの図と比較すると、噴砂・噴水の確認された箇所での \overline{P}_L 値はかなり高く、ここに示した液状化危険度評価法は、あまりかけ離れた結果を与えてはいないと考える。

7. あとがき

広域地盤を対象とした地盤情報データベースシステムおよび液状化危険度解析システムをパーソナルコンピュータ用に構築し、これの名古屋市域に対する適用を試みた。その結果、既往の地震により液状化発生が確認された地区での液状化指数はかなり高いという結果が得られた。ここで得られた結果は、地盤の概略情報に基づく液状化危険度であり、より具体的にはジャストポイントにおけるボーリング調査を行い、それに基づく液状化判定を行わなくてはならない。

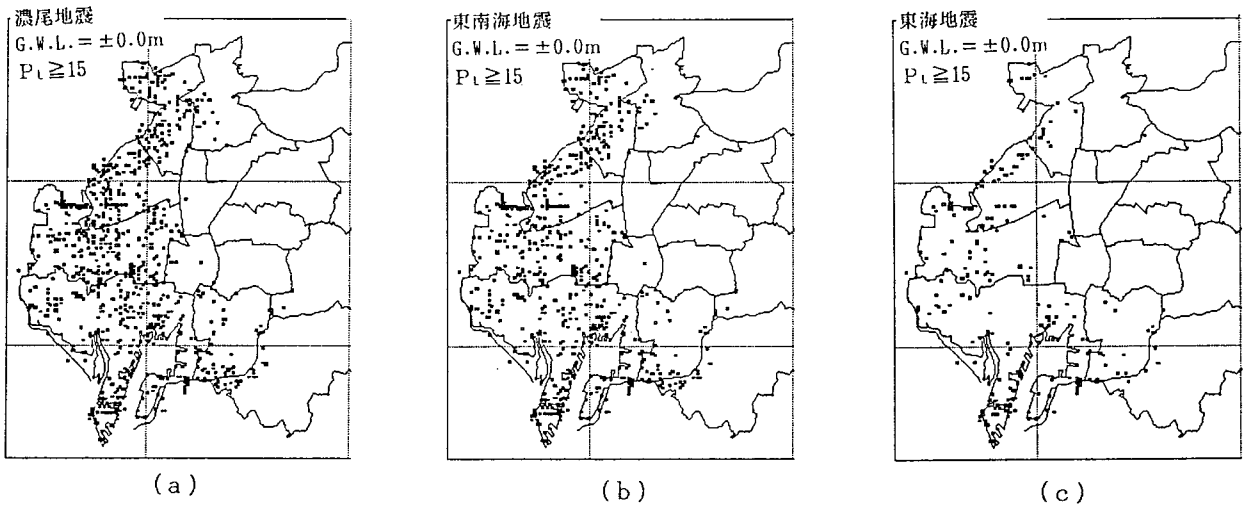


図-7

参考文献

- 1)土質工学会中部支部編：「最新名古屋地盤図資料編データベース」、名古屋地盤図出版会、1991。
- 2)谷口仁士・松澤 宏・杉村昌広：広域地震防災システムの開発と利用—データベースの構築と被害想定シミュレーション—、第1回地域安全学会研究発表会講演論文報告集、1991、静岡市、pp.133~140。
- 3)日本建築学会東海支部・土質工学会中部支部・名古屋地盤調査研究会：名古屋地盤図、コロナ社、1969。
- 4)土質工学会中部支部：最新名古屋地盤図、名古屋地盤図出版会、1988。
- 5)土質工学会中部支部：名古屋地域地質断面図集、名古屋地盤図出版会、1987。
- 6)日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、日本道路協会、1989。
- 7)運輸省港湾局監修：港湾の施設の設計上の基準、日本港湾協会。
- 8)若松加寿江：埋立地の液状化の歴史、土と基礎、Vol.39、No.1、1991、pp.78-84。
- 9)Seed, H.B., Tokimatu, K., Harder, L.F. and Chung, R. M.,:Influence of STP Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, Jour. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. GT12, 1985, pp. 1425-1445。
- 10)岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田 進：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、1978、pp.641-648。
- 11)松澤 宏・杉村昌広：広域地盤の液状化危険度の一評価法とその名古屋地盤への適用、土木学会第21回地震工学研究発表会(投稿中)。
- 12)飯田汲事・他：名古屋市における地域別地震被害想定に関する調査研究、名古屋市防災会議、1981。
- 13)飯田汲事・他：濃尾地震を想定した愛知県被害想定、愛知県防災会議、1991。
- 14)日本建築学会東海支部・他：名古屋地盤図、コロナ社、1969。

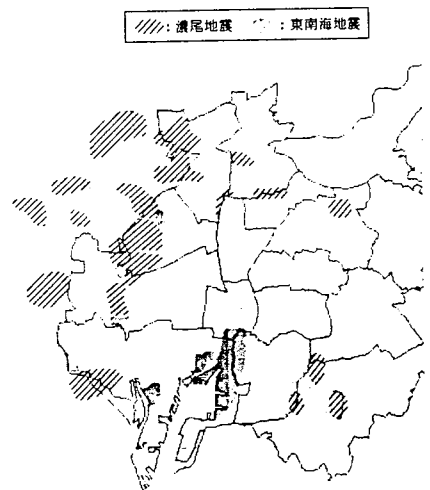


図-8