

液状化危険度から見た広域地盤特性評価の試み

名古屋大学 正会員 松澤 宏
富士エンジニアリング(株) 正会員 犬飼隆義

1. まえがき

近年、各所で広域を対象に、ボーリング柱状図、室内土質試験結果などの地盤情報のデータベース化が行われるようになってきた。地盤情報データベースは、情報の保存、地盤特性の解明などに利用されているが、筆者らは地盤情報および他の地域環境に関する情報の地震防災への活用を試みている^{1)・2)}。地震防災を考えると、地震時における地盤振動および地盤変状は構造物への入力であり、これらの推定は社会環境の被害およびその波及効果を予測するために不可欠である。特に、沖積平野地区においては地震時における液状化現象が心配され、地域地震防災計画策定のための基礎資料として液状化危険度評価に対する要請が極めて強い。筆者らは、沖積地盤地区の広域地盤情報データベースを利用した液状化危険度評価を試みてきたが^{2)・3)}、既存の地盤情報を用いた液状化予測においては、予測そのものおよび予測結果の利用に際して、幾つかの問題点に直面せざるを得ない。

そこでここでは、地震防災のための基礎資料としての液状化予測とは観点を異にして、地盤特性の解明という視点から液状化危険度の解析を行った。以下では、地震防災を目的とした広域地盤の液状化予測の問題点、および今回行った解析結果について述べる。

2. 広域地盤を対象とした液状化予測の問題点

広域地盤を対象とした液状化予測には、1)微地形に基づく予測、2)数量化理論や判別関数を用いた統計的手法による予測、3)簡易な方法に基づく予測などがよく用いられる。予測方法によっては、「液状化の可能性が高い」あるいは「液状化の可能性が低い」というような定性的な判定にとどまるものもあれば、定性的傾向を完全に脱し得ないものの、ある程度の定量評価をしているものもある。対象地域の地盤の液状化の可能性については、その程度が定量的に評価されることが望ましい。この理由は、地盤振動や地盤変状が構造物などへの入力であり、物的・人的被害およびこれらの波及効果を定量的に推定するためには入力である液状化などの地盤変状の程度が定量的に予測されることが要請される。ちなみに、谷口ら⁴⁾は、地盤の液状化に起因した木造家屋の被害について液状化指数 P_L の関数とした予測式を導いている。

筆者らもしくは筆者の一人も、これまでに広域地震防災計画を策定するための基礎資料整備を目的とした液状化予測を経験してきた^{3)・5)}。このような液状化予測は、限られた特定の地点における液状化予測と異なり、予測そのものおよび予測結果の取扱いに幾つかの問題点が指摘される。すなわち、

- ①予測に際しては、既存の地盤調査資料に頼らざるを得ないこと
- ②対象地域全域にわたり、液状化の可能性のある地盤(地層)の三次元的広がりとしての予測が要求されること
- ③予測結果は採用する液状化判定法により異なること
- ④本来、このような予測結果は概略情報の域に留まるべきものが、地震防災の場では確定的位置づけがなされ防災計画に取り入れられる傾向にあること

などを指摘できる。

上述の①から③に関して、まず①および②については、対象地域全域にわたって液状化予測を目的とした地盤調査が新規に行われることはない。このため、可能な限り多くの既存の地盤調査資料を液状化判定に利用せざるを得ない。しかしながら、これらの調査資料は土質柱状図および標準貫入試験のN値だけが表示

Matsuzawa,H. (Nagoya Univ.)and T.Inukai (Fuji Engineering Cor. Ltd.): Trial Study for Interpretation on Geotechnical Properties of Wide Area Ground based on Liquefaction Potential

されたものがかなりの量を占めているのが実情である。また、土の粒度試験が行われている柱状図においても、粒度試験が全地層に対して行われているわけではなく、地層を構成する土の土質名のほとんどが「現場土質名」で表され、粒度組成すら不明である。

③について、液状化判定は学会、その他による耐震規定類に示された手法によることが、結果の解釈、利用の両面において都合がよい。しかしながら、同一柱状図に対してよく知られている液状化判定法（簡易判定法）によって得られた F_L 値は、それぞれ異なった値を示している。すなわち、使用する判定法により、異なった液状化危険度マップが作成されることになる。

3. 液状化判定をもとにした地盤特性の評価方法

広域地盤を対象とした液状化判定に基づいて地盤特性を解明しようとする目的は、対象地域における地盤において、地震による液状化抵抗が最も小さい箇所、地層を抽出し、地震による地表面想定加速度の増加に応じてその領域がどのように発達していくかを把握することにある。もし、これが可能であれば、①液状化の可能性のある地盤（地層）の三次元的広がり の概略を把握することが可能であり、また②将来の建設工事のための地盤状況を概略情報として把握し、具体的な地盤調査計画の作成するための基礎資料としての利用が可能になる。

図 1は、これを概念的に示したものである。すなわち、地盤を構成する地層は、その生成過程における堆積環境や堆積過程、その後の環境により、例えば、液状化に関する諸因子の特性（値）が定まり、それらは位置 (x, y, z) の関数、時には時間 (t) の関数として分布している。したがって、液状化発生の難易も位置の関数として分布することになる。本研究は対象地域の地盤を三次元的空間として捉え、液状化に対する弱点を抽出しようとするものである。ただし、このためには基本になる地盤情報が十分に整備されている必要があるので、当面は、限られた情報を用いた概略の把握に留まらざるを得ない。

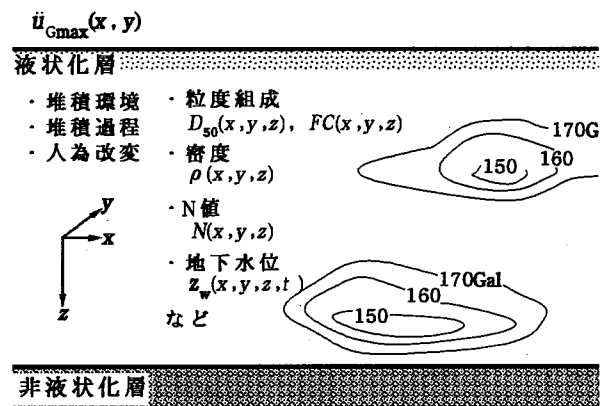


図 1 液状化弱点箇所抽出の説明図

4. 検討例

1) 対象地域および地盤情報

今回検討の対象とした地区は、図 2に示すように、濃尾平野のほぼ中央に位置する稲沢市域（東西約 8.6km，南北約 7.15km）である。この地域において収集された約 520 本のボーリング柱状図および約 570 試験の室内土質試験データをデータベース化し、管理している。図 3にデータベース化した柱状図の位置図を、また表 1に調査深度別柱状図数を示した。

2) 対象地域の地盤概要

濃尾平野地域における沖積地盤の堆積・生成過程についてはかなり古くから研究されているが、最終氷期最盛期後の急激な海面上昇にともない、現在より約 6,000 年前の縄文海進期において、海岸線は、図 4⁶⁾に示すように、稲沢市域を横切り大垣付近にまで達していたと推定されている。図 5は、

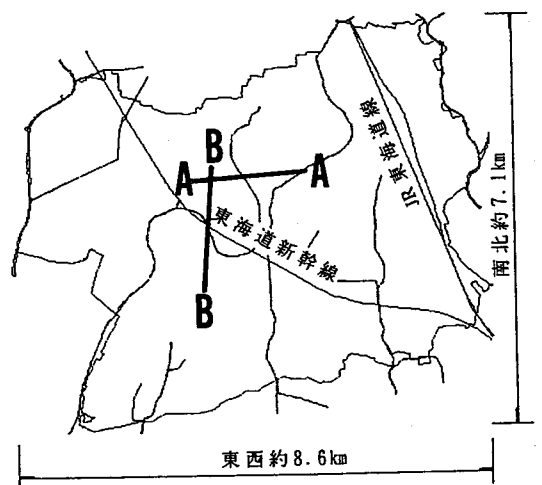


図 2 稲沢市の概況

表 1 調査深度別柱状図数

調査深度(m)	ボーリング* 柱状図数	百分率** (%)
H < 5	0 (0)	0
5 ≤ H < 10	68 (0)	0
10 ≤ H < 15	40 (0)	0
15 ≤ H < 20	83 (7)	8
20 ≤ H < 25	99 (49)	50
25 ≤ H < 30	103 (91)	88
30 ≤ H < 35	64 (52)	81
35 ≤ H < 40	45 (45)	100
40 ≤ H	15 (15)	100
合計	517 (259)	50

* ()内の数値は洪積層に達している柱状図数で内数
 ** 各調査深度ごとの(内数/柱状図数)の百分率

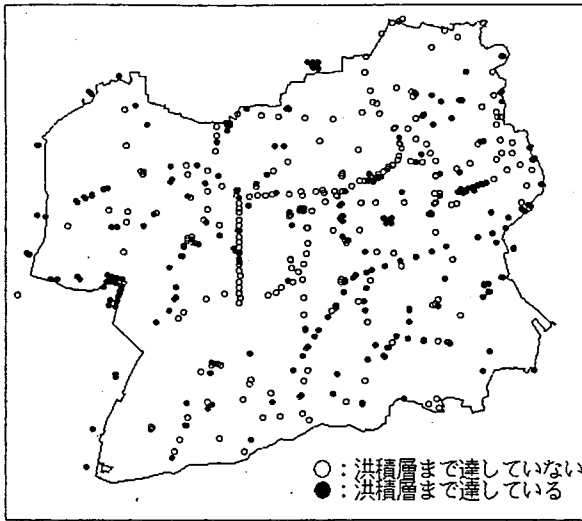


図 3 データベース化した柱状図の位置図

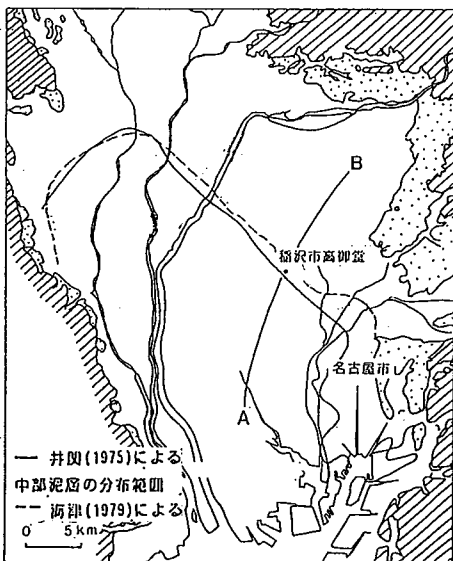


図 4 縄文海進期における海岸線の推定線(海津⁶⁷原図)

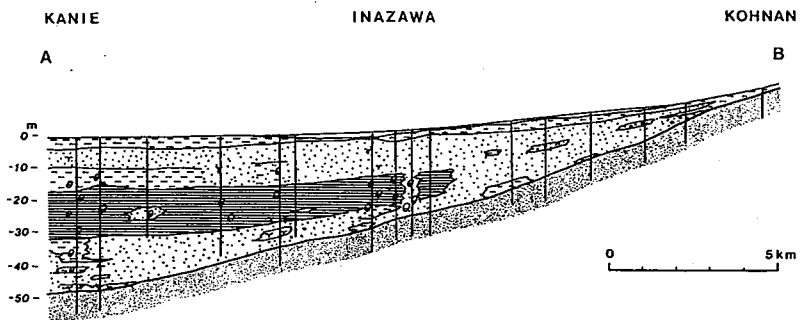


図 5 濃尾平野の地質断面の概要(海津⁶⁶)
 (断面位置は図 4 参照)

図 3 に示した断面線 AB に沿う地質断面の概要⁶⁵ であるが、層序は、下位より基底礫層(第一礫層)、沖積下部砂層、沖積中部泥層、沖積上部砂層、沖積陸成層からなっている。下部砂層は砂泥互層となっている部分が見られ、濃尾平野の南部では濃尾層になっている。稲沢付近では、ほぼ JR 東海道新幹線の位置がこの地域における中部泥層の北限に相当しており、この地域の中部泥層は市域南部で層厚 10 ~ 15m 内外、北限線に向かって層厚は漸減し、貝化石や貝の巢穴が見られる海成粘性土層および海成の砂層から構成されている。砂層の N 値は 10 程度以下となっている。JR 東海道新幹線以北の東西断面(図は省略)においては、中部泥層の上面付近の標高に層厚 1 m 内外以下の粘性土のレンズ層が散見され、中部泥層を構成する粘性土層が樹枝状に入り組んでいるものと想像される。中部泥層を覆う上部砂層は非海成であり、層厚は 10m 内外、所によって 13 ~ 15m 内外、また N 値は 15 程度以下である。

稲沢市域におけ微地形は、図 6⁷¹ に示すように、自然堤防とこれらに挟まれる氾濫平野、市域の西縁に沿う日光川および中央部を流下する福田川による現・旧河道が分布しており、所々に盛土による造成地盤が見られる。

なお、当該地域においては、1892 年の濃尾地震および 1944 年の東南海地震に際して液状化によると思わ

れる噴砂・噴水現象が見られた。

3) 液状化判定方法

ここでは、筆者らが構築した広域地盤を対象とした液状化判定システム⁸⁾を利用した。このシステムでは、同一柱状図に対して、道路橋示方書、建築学会の建築基礎構造設計指針、その他による簡易液状化判定法にしたがって、各深度における液状化抵抗係数 F_L を算出するようになっている。

液状化判定のための地表面最大加速度 u_{Gmax} については、ある地震を想定して対象地域内の地盤構造を考慮した加速度分布を付与するという方法ではなく、全域に一律加速度を付与した。

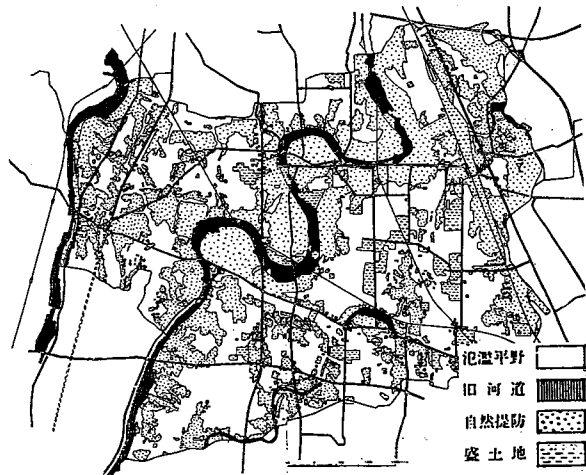


図 6 稲沢市域の微地形⁷⁾

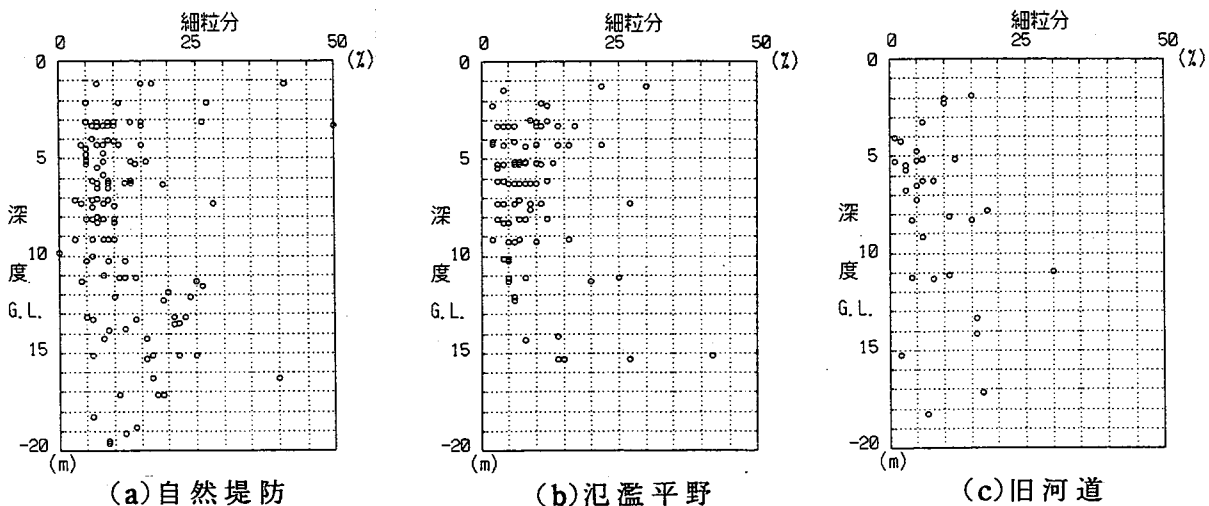


図 7 微地形ごとの砂および砂質土の F_c 深度分布図

このようにすることによって、同一の地表面最大加速度に対して液状化が発生しやすい箇所を三次元的に抽出することが可能になる。なお、計算に際しては、 $u_{Gmax} = 150, 160, 170, \dots, 300$ galまで変化させた。

また、液状化判定、粒度試験結果等のデータを検討し、柱状図に記載された「現場土質名」で「砂」～「砂質土」と判断される地層を対象とした。これらの地層を構成する土の細粒分含有率 F_c および 50% 通過粒径 D_{50} は以下のようにして代表値を定めた。

まず、 F_c については、ボーリング調査地点の微地形ごとに F_c の深度分布を求めたところ図 7 に示すような特徴が見られた。すなわち、自然堤防および氾濫平野地区の F_c の値は、地表面から G.L.-6m 付近まではかなりばらばらしているが、G.L.-6m 付近以深から上部砂層基底面付近の深度までは (G.L.-10m 前後) ばらつきが少ない。これより深い部分においては、主に中部泥層内および下部砂層における砂～砂質土から構成されるが、これらの F_c の値は深度の増加に対して幾分増加するように見える。これに対して旧河道における F_c の値は、深度に対してほぼ一定の幅で分布しているように見える。図 8 は、地表面～G.L.-10m 区間において、1 調査地点において複数個の粒度試験が行われている柱状図を選び出して F_c の深度に対する変化を表したものである。自然堤防および氾濫平野については、地表面から G.L.-6m 付近までの区間で、 F_c の値が深度に対して減少する傾向にあるものとほぼ一定値を示すものが見られる。しかし、いずれも G.L.-6m

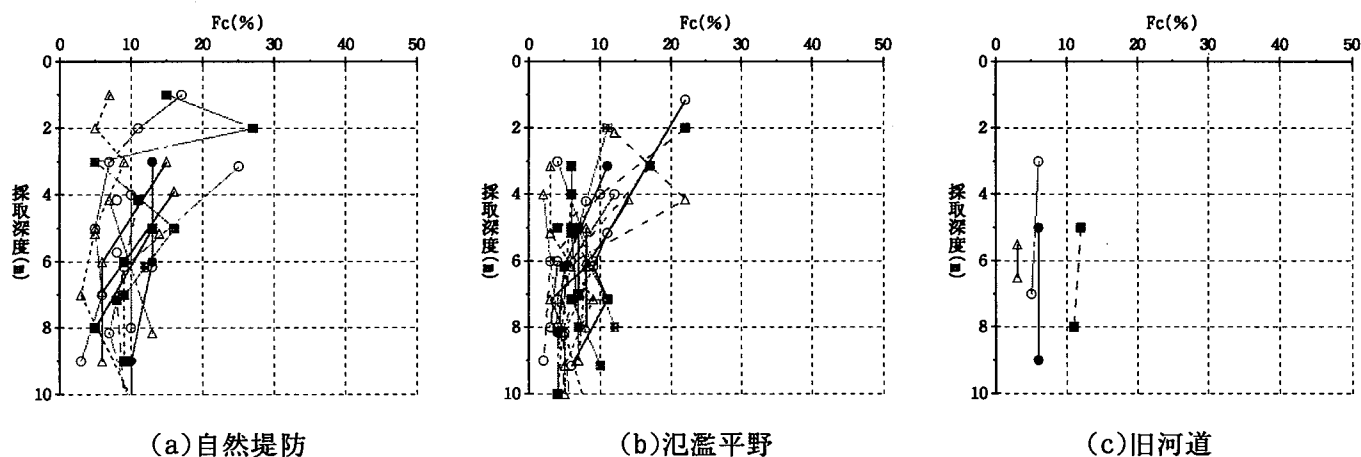


図 8 地表面から10mまでの砂および砂質土の F_c の変化

表 2 微地形と深度を考慮した F_c の平均値

微地形	土質	G.L.0~-6m	G.L.-6~-20m
		細粒分(%)	細粒分(%)
氾濫平野	砂	9.1	8.4
旧河道		5.5	11.7
自然堤防		11.2	8.6
微地形区分なし	○ ○ 混じり砂	18.6	
	○ ○ 混じり△	28.8	

表 3 砂および砂質土の D_{50} の推定値 (平均値)

土質	道路示方書	$D_{50}(mm)$	データ数
表土	0.020	(0.020)	2
シルト	0.025	0.029	24
砂質シルト	0.040	0.050	25
シルト質細砂	0.070	0.088	20
微細砂	0.100	(0.100)	0
細砂	0.150	0.134	23
中砂	0.350		
粗砂	0.600		
砂礫	2.000	(2.000)	0

() は道路橋示方書の概略値

付近～G.L.-10mまでにおいて F_c の値は一定値を示す傾向にある。以上に述べた傾向をもとに、微地形ごとの F_c の代表値を表 2 に示すようにした。

次に、 D_{50} については、粒度試験データを参考にし

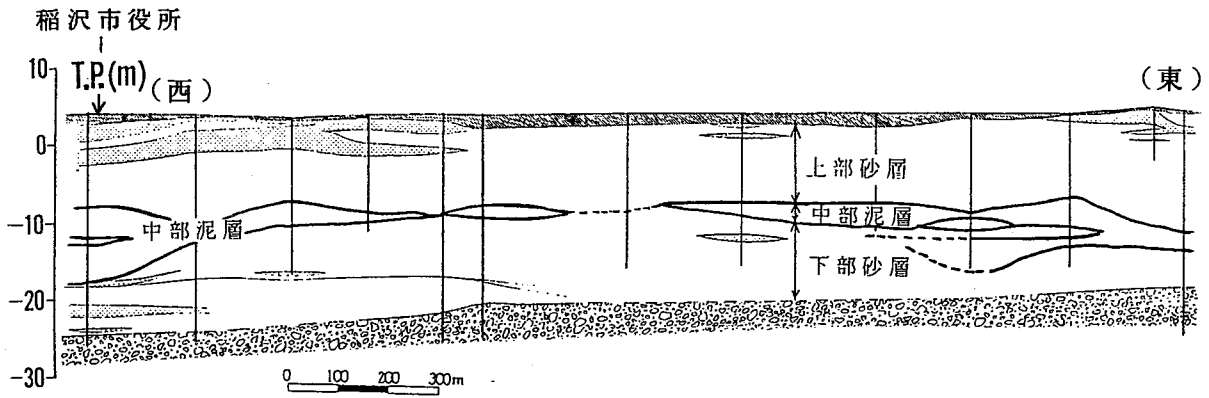
て表 3 に示す推定値を代表値とした。なお、表には道路橋示方書に例示されている各土質の代表値も示したが、検討対象地域におけるデータが少ない土質については道路橋示方書の値を借用した。

4) 検討結果

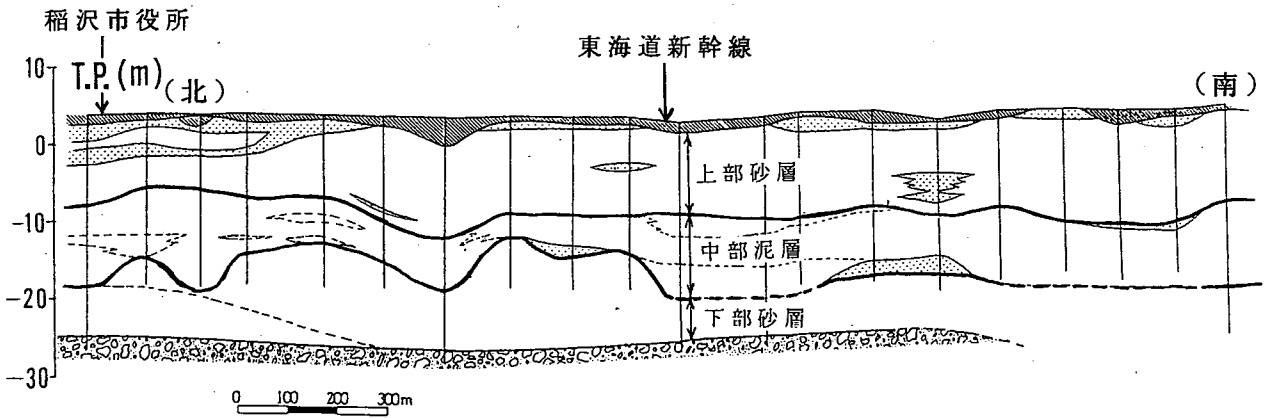
ここでは、道路橋示方書による液状化判定法によって算定した結果を示す。

まず、検討対象地域において、路線に沿ってボーリング調査資料が比較的数量多く収集された断面を選定し、これらの断面における液状化危険度の分布性状を調べた。選定した断面は、図 1 における断面 A-A および B-B の二断面である。図 9(a), (b) にそれぞれの地質断面図を示した。これらの断面図上に、前項で算定した F_L 値をもとにして、各地表面最大加速度ごとに $F_L \leq 1.0$ となる推定領域を書き込んだものが図 10(a), (b)、 $F_L \leq 0.5$ の推定領域を書き込んだものが図 11(a), (b) である。図 11 からは、両断面において、地表面最大加速度 150 gal に対して沖積上部砂層の地表面付近、沖積中部泥層の上下面付近の砂層で $F_L = 1.0$ の領域が見られ、加速度レベルの増加とともにこの領域が発達していく様子が判る。また、図 12 から、 $F_L = 0.5$ となる領域は、図 11 と同様に地表面付近および中部泥層の上下面付近から現れ始め、加速度レベルが大きくなるにしたがい、それらが拡大するとともに新たな領域の発生が読み取れる。

次に、地表面からの深度別の F_L 値の平面的発達の状況を把握するために、一例として対象地域を平面的に 500 m × 500 m のメッシュに区切り、深度方向に 5 m ごとの水平スライスを取り出し、地表面最大加速

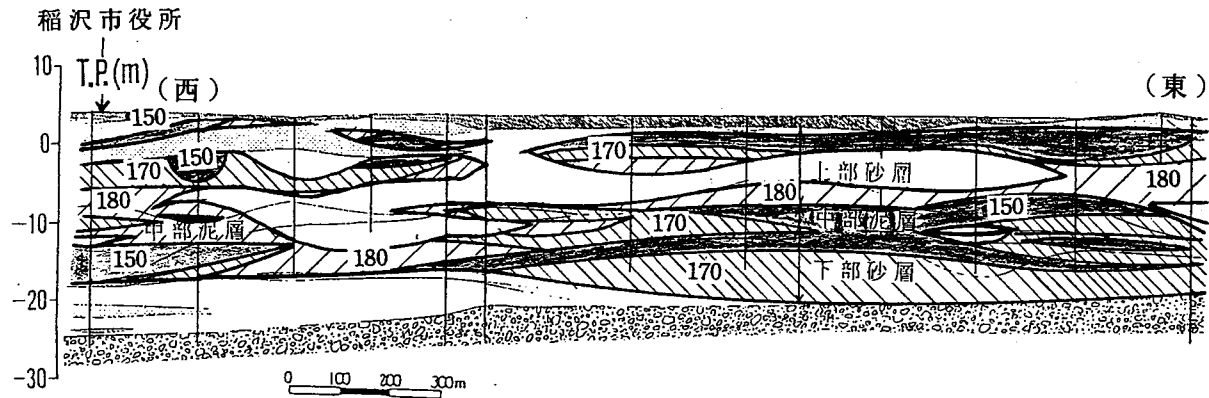


(a) A - A断面

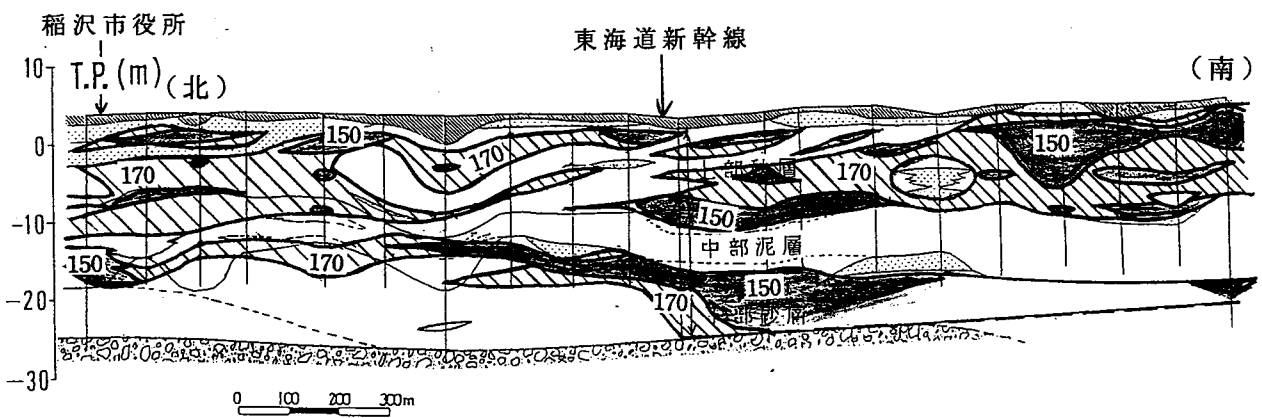


(b) B - B断面

図9 稲沢市域における地質断面図の一例 (牧野内による)

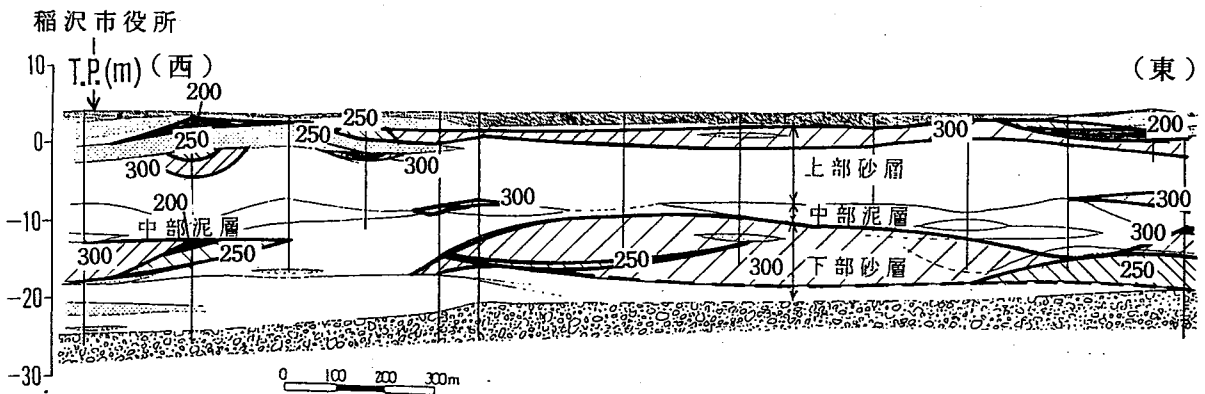


(a) A - A断面

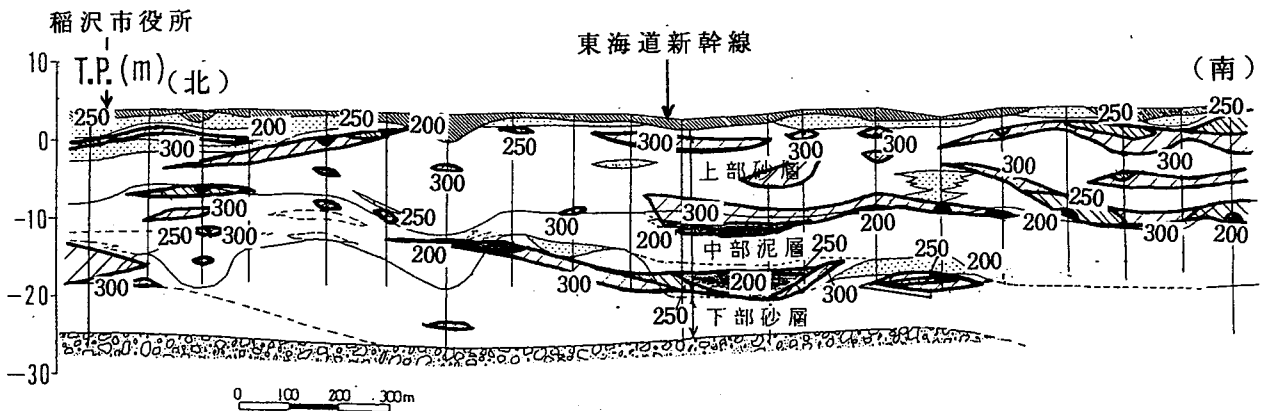


(b) B - B断面

図10 各地表面加速度における $FL \leq 1.0$ の推定領域



(a) A - A 断面



(b) B - B 断面

図 11 各地表面加速度における $F_L \leq 0.5$ の推定領域

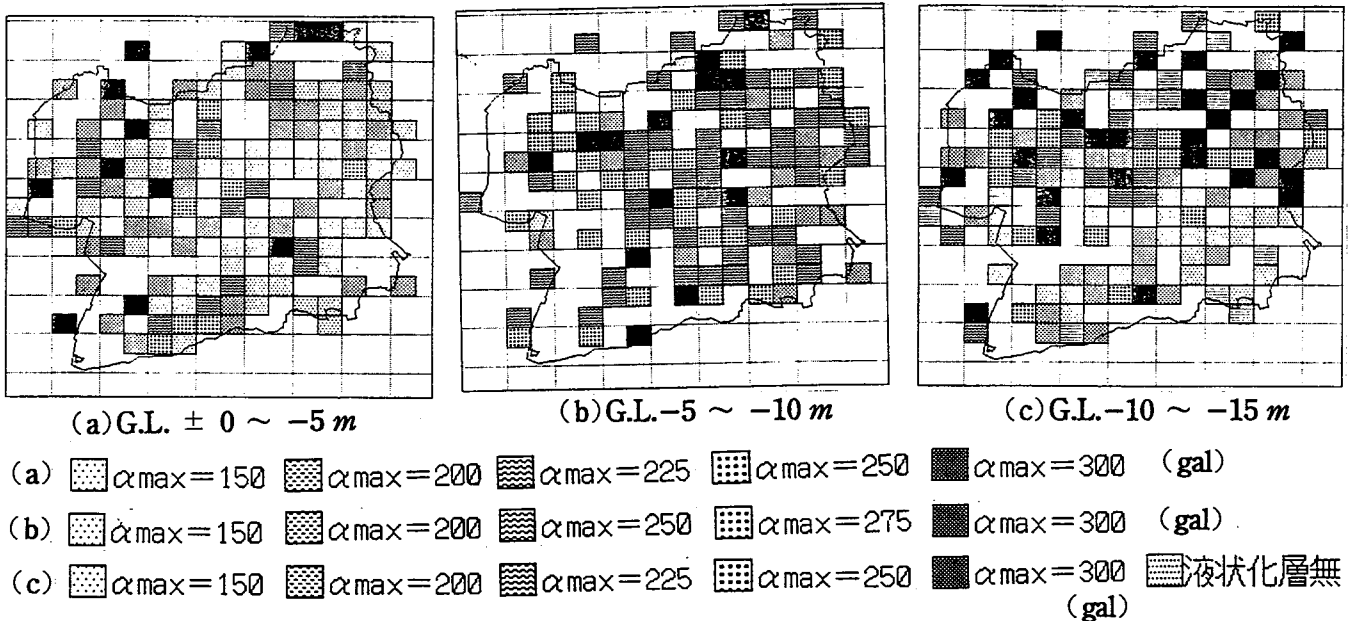


図 12 地表面最大加速度に応じる $F_L \leq 0.5$ のメッシュ分布の変化

度の増加に応じる $F_L \leq 0.5$ となるメッシュの分布の発達状況を示したものが図 12 である。これらの図から、液状化に対する抵抗力の小さい箇所の概要を平面的ならびに深度的に把握することができる。地盤情報の質・量両面にわたる充実がより進めば、より詳しい様子を知ることが可能になる。

5. あとがき

本報告では、道路橋示方書に基づく方法により行った液状化判定をもとに、稲沢市域の地盤を例に地盤特性を把握する試みの一部を示した。今後は、他の判定法による予測結果を考慮した総合的判断を行う必要がある。今回の試みにより、より質の高い（データ欠落のない）地盤情報が充実されれば、より精度の高い液状化特性の評価が可能であることが判った。

この種の試みを行うに際しては、本報告で述べたようにその基礎資料となる地盤情報の精粗が大きく影響する。沖積軟弱地盤地域においては、液状化に限らず多くの地盤工学的諸問題を有している。今後は、地域地盤情報の収集・整備・利用体制の確立と、収集情報に基づく地質学、地盤工学両面からの地盤特性の解明が進められることが望まれる。

終わりに当たり、稲沢市域の地質断面図を作成していただいた名城大学工学部 牧野内 猛 助教授ならびに稲沢市域の地盤情報をご提供いただいた稲沢市に感謝の意を表する次第である。

なお、本研究は、著者の一人 犬飼 が名古屋大学大学院地圏環境工学専攻に在籍中に行ったものである。

参考文献

- 1) Matuzawa, H., M. Sugimura and H. Taniguchi: Development of database system supporting earthquake disaster mitigation program for urban areas, Proc. of the 10th World Conf. on Earthquake Engineering, Madrid, Vol. 13, pp. 5963-5968, 1992.
- 2) 犬飼隆義：広域地震被害予測システムの構築と水道管被害予測に関する研究，名古屋大学修士論文，1994.
- 3) 稲沢市地震防災研究会：平成4年度稲沢市地震対策基礎調査報告書，稲沢市，1993.
- 4) 谷口仁士・飯田汲事：地震時住家被害予測法定式化への試み----主として，地盤液状化に起因する被害を中心に----，日本建築学会構造系論文報告集，No. 365，pp. 108-118，1986.
- 5) 愛知県防災会議：濃尾地震を想定した愛知県の被害予測調査報告書，愛知県，1991.
- 6) 海津正倫（研究代表者）：沖積平野における上部砂層の特質とその形成に関する研究，昭和63年-平成2年度科学研究費補助金研究成果報告書，pp.32-33，1991.
- 7) 稲沢市編：稲沢市史 研究編三 地理，1986.
- 8) 松澤 宏・犬飼隆義・杉村昌広：広域地盤情報の液状化予測への適用例，地盤情報データベース化の現状と将来像に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会中部支部 名古屋地盤データバンク研究委員会，pp. 55-60，1993.