

全国電子地盤図の作成と地盤防災への適用性に関する研究

—電子地盤図作成手法の構築—

山本浩司*・三村 衛・吉田光宏**

* (財) 地域地盤環境研究所

** 京都大学大学院工学研究科

要 旨

ボーリング調査データを集積した「地盤情報データベース」の構築が、全国各地にまで広がりを見せている。これは、地域の地盤研究や地震防災、建設活動などへ、過去からの地盤調査情報を活用する動きである。本研究は、このような地盤情報の活用をさらに拡大し、地域間での地盤情報の連携を図るために、メッシュ分割した地域の代表的地盤情報をデータベースから抽出・モデル化する手法を提案する。この作成手法を統一規格化して全国展開することで「全国電子地盤図」として地盤情報の活用・連携への進展が期待される。本稿では、集積されたボーリングデータをもとに、堆積環境や地形等から個々のデータを取捨選択して合理的に地盤モデルを作成する手法について、「関西圏地盤情報データベース」を用いて大阪平野地盤に適用したパイロット・スタディーの成果を報告する。

キーワード: 表層地盤, 地盤情報, データベース, 電子地盤図

1. はじめに

日本全国には様々な地盤が存在している。この各地域の地盤特性を知るために、数十年も前から地盤調査情報（ボーリングデータ）が「地盤図」や「地盤情報データベース」の形で集積されている。そして、地域差はあるものの、最近では地盤情報データベースの構築が浸透し、その活動の組織化も各地域に広がって活発化している（地盤工学会, 2007）。これらの活動は、大量の地盤情報をデジタル・データベース化することによって、地域の地盤研究や地震防災、建設活動などに、過去からの地盤調査情報を再び、有効活用することが目的である。

地盤情報データベースは、コンピュータの発達をもたらした地盤情報の活用技術であり、四半世紀の歳月を経て地盤工学の基礎技術の一つに成長したが、今後、更にその活用を拡大するためには解決すべき課題も残されている。その一つは、地域に分散的に構築されている地盤情報データベースの連携・統合化である。大量に漏れなく情報を扱うことがデータベースの利点なので、この発想は重要である。

これに加えて、各データベース間やデータベース内のデータ間に存在する品質格差への対処も地盤情報活用における重要な課題である。地盤調査情報はデータベース化されても生データの集合体なので、その活用には実地盤を解釈することが必要となる。その際に、解釈の個人差を最小限に押さえて、適切な判断を導くには、基準となる代表的な地盤情報が示されることが有益である。たとえば、地盤情報データベースの情報をを用いて地域地盤研究を行い、その成果（解釈された地盤情報）をデータベースにフィードバックすることも、その対処法の一つである（KG-NET・関西圏地盤研究会, 2007など）。

平成18年度に始まった「統合化地下構造データベースの構築」の研究（文部科学省科学振興調整費）（藤原, 2007）は、地域に分散する地盤情報データベースを統合・連携し、地震ハザード評価等の全国的な活用に資するための体制作り（統合化, 連携）を目的に掲げている。この研究に参画した地盤工学会が「表層地盤情報データベース連携に関する研究」を分担する中で、「全国電子地盤図」の構想が提起された（地盤工学会, 2007; 安田ら, 2007）。ここで

「全国電子地盤図」とは、全国に構築されているデータベースの地盤情報を連携する基本スキルの一つである。つまり、地盤情報データベースに集積された既存の地盤調査情報（生データ）と学術的に解釈・付加された地盤情報を融合し、各地域において250m区画毎の浅層地盤（深度100m以浅の沖積層および上部の洪積層）の代表的地盤情報を全国統一基準でモデル化することで、各地域の電子地盤図（地盤モデルのデータベース）を構築する。そして、各地域の電子地盤図が、コンピュータシステム上で連携して「全国電子地盤図」となる。

この構想を展開するにあたり、「電子地盤図作成支援システム」が開発された（地盤工学会，2008）。本研究では、この適用と電子地盤図の作成方法について、「関西圏地盤情報データベース」（KG-NET・関西圏地盤協議会）のボーリングデータを用いて、大阪平野地盤を対象にパイロット・スタディーを実施した。この検討より、電子地盤図（代表的地盤情報）の抽出・モデル化方法を提示する。

2. 全国電子地盤図の構想（背景と意義）

「全国電子地盤図」は、前述のように、地盤工学会「表層地盤情報データベース連携に関する研究」（地盤工学会，2007；安田ら，2007）の議論の中で提起された。その構想の背景と意義は、以下のよう

に述べられている。

「全国電子地盤図」構想の背景として、既に先行地域で構築された地盤情報データベースは、構築システムやデータの内容が多様多様に渡るため、単純に連結する事が困難であり、連結できたとしても、データの利用が困難な点がまず上げられる。利用者にとって利用しやすい全国規模のデータベース連携とするには生データの解釈や品質が一定の基準で統一化されている事が必要である。また、連携された地盤情報の公開についても、先行地域で構築されてきたデータベースや後発地域で構築中のデータベースのデータは所有権・著作権の問題があり、公開に対する制約がデータ提供者からつけられているものも多く、現時点で公開が自由な地盤情報データベースは多くない。これに対し、各地域の地盤情報データベースのデータを利用して作成する「電子地盤図」には、個別データの所有権や著作権の問題は発生せず、しかも、データベースを連結したことと同様な成果が得られ、さらに信頼できるデータを用いて地層の解釈を行うなど、利用者にとってはより使いやすい情報が提供される。

「全国電子地盤図」の意義については、それが全国の都市域の表層（主に沖積層）を対象とした地盤

モデルであり、対象範囲・対象深度が重複する一部の箇所を除いて、他機関が作る深部構造や深層の地盤モデルと連携して容易に補完関係をなすことができる点にある。また、全国電子地盤図が作成されると、地盤工学研究者にとっては、全国の地盤概況を広域で把握することができ、堆積環境の類似する同時代堆積物の工学的特性を比較することが可能となる。さらに、地盤工学実務者にとっては、全国の地盤概要が即時に検索可能となり、計画構造物に対する地盤工学上の問題点の把握や地盤調査計画立案が容易になる。一般の人にとっては、地盤概況を把握できることから土地や家屋の購入等にあって専門家のアドバイスを受けやすい。また、小中学生が郷土の地形・地質を学習する際に地盤の知識も容易に得られ、更には地盤災害に対する啓発にも役立てることができる。

3. 電子地盤図とその作成方法

3.1 電子地盤図とは

「電子地盤図」とは、250m区画（地域標準4分の1メッシュ）における深さ100m程度よりも浅い地盤（いわゆる沖積層や洪積層の上部）の地盤特性を、全国統一基準でモデル化したもの（250m区画毎の代表的地盤情報）の集合体（データベース）である。そして、「全国電子地盤図」は、Fig. 1の構築フローに示すように、各地域で作成された「電子地盤図」を統合することで完成される。

ここで、電子地盤図のメッシュサイズは、「統合化地下構造データベースの構築」の研究（藤原，2007）におけるサイズと整合させたが、今後、メッシュサイズを可能な限り小さく細分することも目標とする課題である。また、電子地盤図の代表的地盤情報は、各地域に構築されている地盤情報データベース等の地盤情報より、250m区画毎に地盤データを抽出し、地質学的・土質工学的解釈を加えて作成する。その作成方針等をまとめると、以下のとおりである。

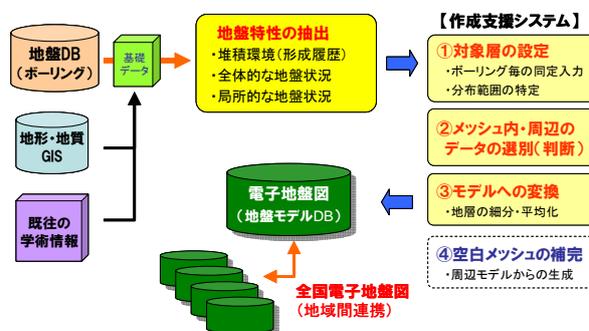


Fig.1 Process of Development of the Representative Soil Profile Model

【作成方針】

- ・地域に構築された地盤情報データベース等を利用して、地盤モデル化の基礎データとする。
- ・地盤研究活動の成果（解釈された地盤情報）を付加し、250m区画毎の代表的地盤情報を抽出する。
- ・電子地盤図作成支援システム（ツール）を開発し、各地域に提供する。モデル化の方法や共通仕様の適正を確認するために、各地域でケーススタディーを実施する。

【地盤情報の統一基準】

- ・地盤モデル化の基礎データは、各地域で構築されている地盤情報データベースより、モデル作成に必要な情報のみを編集して用いる。
- ・地域地盤には堆積層等に特徴（違い）があるので、全国統一基準の地盤モデルを作成するために、共通仕様を設ける。たとえば、土質名については、全国電子地盤図としては地域固有の名称を全国で統一するために、土質試験法「地盤材料の分類名と現場土質名の対応」を参照して、礫質土 (G)、砂質土 (S)、粘性土 (Cs)、有機質土 (O)、火山灰質粘性土 (V)、高有機質土 (Pt)、人工材料 (Am) の7種類の分類とした。

3.2 電子地盤図の作成方法

全国電子地盤図が起案された幾つかの背景の中で最も重要な点は、地盤情報データベースに集積され

た地盤調査データの集合体より抽出された各地域の全体的または局所的な地盤特性の実像を地盤モデルに情報化し、その地盤情報（地盤モデル）を地域間で連携・共有することによって、生データから一歩進んだ形での地盤情報の提供とその活用を全国的に展開することにある。したがって、電子地盤図の作成では、対象地域の地盤特性を検討・抽出する研究的作業（地域地盤研究）を起点と位置づけることにする。

次に、その学術的に解釈された地盤情報を地盤モデルに反映するまでの一連の処理手順の考え方を統一し、250m区画毎の代表的地盤情報を生成する。その過程では、基礎データの品質や分布の粗密・偏りへの処理方法もルール化し、情報の品質レベルを揃えることにも配慮する必要がある（4章で検討）。

電子地盤図の代表的地盤情報（地盤モデル）は、地盤情報データベースを用いて作成される地震応答解析のための地盤モデル（山本ら、2005）と同様な手順で作成するが、それが全国統一基準で実施されることに意義がある。この一連の作業を支援して統一化するために、「全国電子地盤図作成支援システム」が開発された（地盤工学会、2008）。この支援システムには、関西圏の地盤研究活動等で培われた地盤情報処理技術（山本ら、2005；KG-NET・関西圏地盤研究会、2007）を導入して、Fig.1に示したように、次の3つの機能より構成されている。

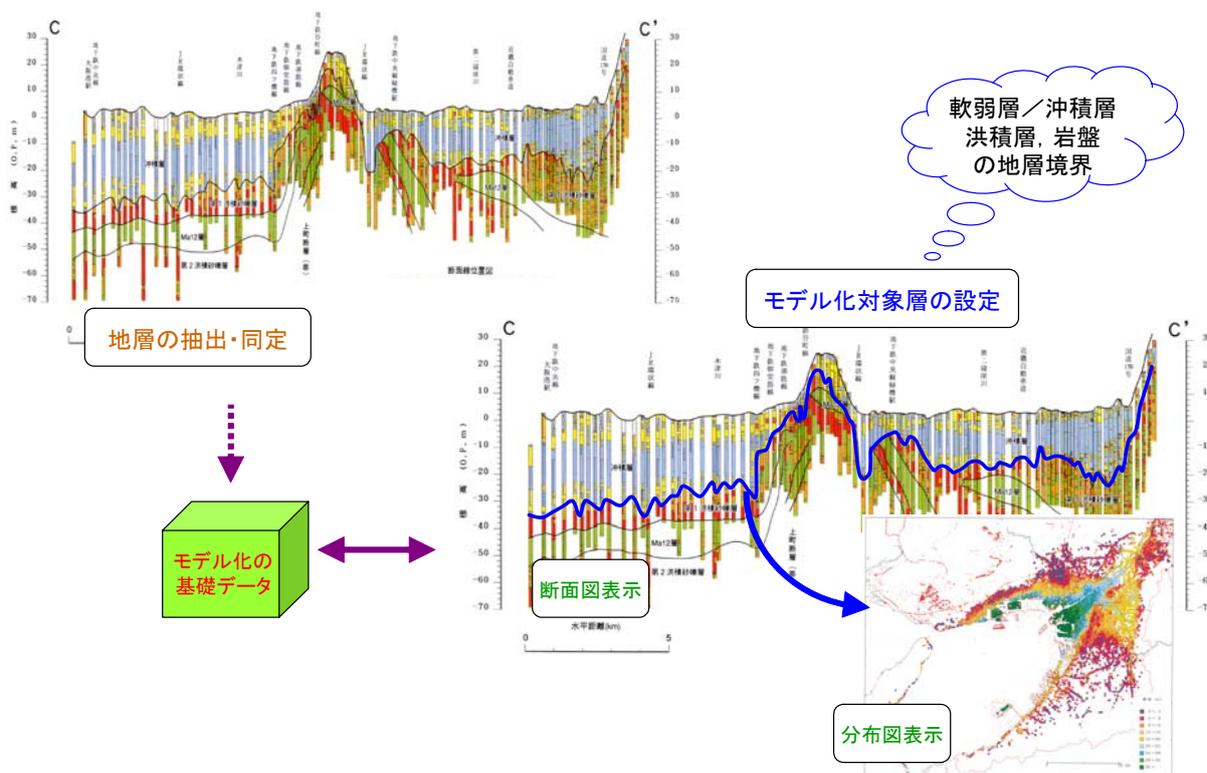


Fig. 2 Example of the Process to Determine the Boundary for the Designated Layers

- (1) 対象層の設定：地盤特性を抽出する研究作業と並行して、基礎データのボーリング柱状図1本毎にモデル化対象層の設定を行う。Fig. 2に示すように、今回の電子地盤図の対象層は、浅層に堆積する軟弱な沖積層（相当層）である。処理作業は地質学的解釈にもとづき、地層のつながりを追いながら支援システム上で対象層を同定し、その対象範囲（上・下端）を入力する。
- (2) データの選別：各メッシュ（250m区画）に対して、その地盤条件を代表するボーリングデータを選別する。その際に、全体的・局所的な地盤特性を反映することを念頭に、ボーリングデータ1本毎の品質なども吟味して、メッシュ内や周辺のボーリングデータを選別する。
- (3) モデルへの変換：この選別したボーリングデータを支援システムの機能を用いて地盤モデルに変換する。

- ②ボーリング地点と250m区画（国土地理院の地域標準4分の1地域メッシュ）の分布図より、モデル化対象のメッシュを選択し、メッシュ内および周辺に位置するボーリングデータを取り出す（自動選択および任意指定）。選択したボーリングは、柱状図断面として表示され、①で設定したモデル化の対象地層の境界線が併記される。
- ③このデータ群よりモデル化に適さないボーリングデータの削除と対象層の境界（範囲）の補正を行い、地盤モデルを機械的に生成する。モデル化は、深度方向に地層を2mに細分して各細分層の代表土質（分布数が多い土質）を抽出し、その土質のN値や土質試験値を平均してモデルの値とする。図中右下に、地盤モデルの空間イメージを示す。
- ④以上による地盤モデルはデータベースに収録されて電子地盤図となる。これを連携システムで運用することにより「全国電子地盤図」が完成される。

Fig. 3に、具体化した作成手順を、支援システムの操作画面上に示す。詳細は以下のとおりである。

- ①Fig. 2で前述したように、ボーリング柱状図1本毎にモデル化対象層を設定する（今回は、沖積相当層を同定入力した）。

4. パイロット・スタディー

4.1 電子地盤図の作成における課題

電子地盤図（代表的地盤情報モデル）は、3章に詳述したように、地質学的検討よりモデル化の対象層

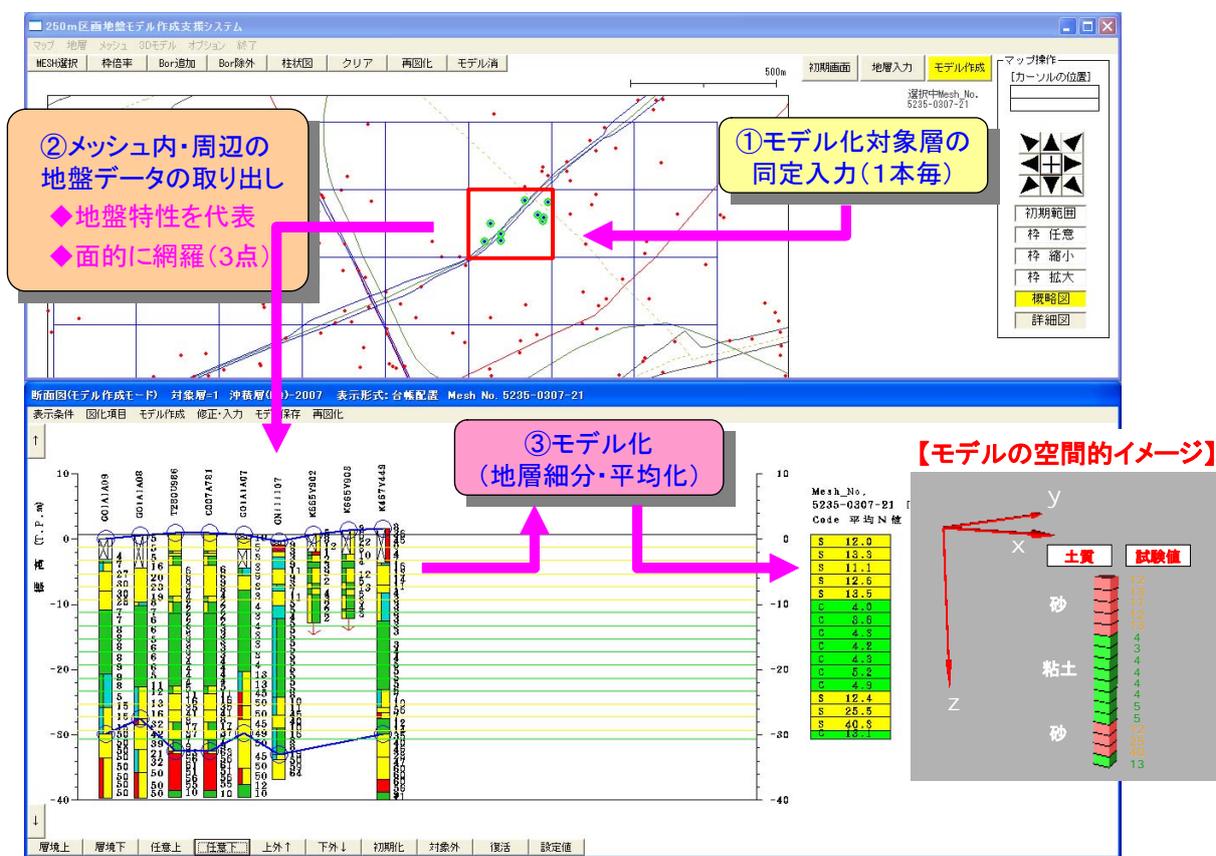


Fig. 3 Extracting Process of Representative Soil Profile Models for Subsurface Ground Shown on the Operating Windows of the Support System

が同定されたボーリングデータを用いて、構築支援システムの機能によって地盤モデルに集約される。そして、作成したモデルの空間的な整合性を確認しながら修正・更新を繰り返し、この結果はデータベースに追記・編集される。これが電子地盤図となる。

ここで、電子地盤図の基になる250mメッシュ毎の地盤モデル作成にあたり、いくつか考えておかないといけないポイントがある。まず、各メッシュに対するボーリングデータの数と分布には粗密と偏りがあり、都市域から離れると空白の場所もある。またメッシュ内で地盤条件が大きく変化する場所もある。このような場所のモデル化は、基礎データの選別で補助的に地質図等を参照することなどが必要となり、判断に個人差が現れてくる。

本来、電子地盤図に集積される地盤情報は、250mメッシュ空間の代表的地盤情報とするものであり、例えば地盤災害に脆弱な要素が部分的にでも存在すればそれを代表させるというような“情報の選別（作成者の判断）”が伴う。情報の選別という点では、過去50年間にも及ぶ地盤調査データの集合体から良質な情報を選別（不良データを除外）することも重要な課題である。しかし一方では、将来的にボーリングデータの集積が進んだ時点でモデルの更新を繰り返し行うためにも、できる限り統一された個人差のない作成方法であることも重要な点である。この方向性の異なる2つの課題に対処するために、パイロット・スタディーの中で、いくつかのモデル化方法を比較・検討して、その使い分けのルールを提案する。

4.2 電子地盤図モデル化方法の比較

パイロット・スタディーの対象地域は、大阪平野地盤のほぼ中央に位置する大阪市域の10km四方の領域とした。この領域には大阪平野の特徴的な3種の地盤が分布している。西大阪地域は沖積粘土層が厚く、広範囲にはほぼ水平に堆積し、東大阪地域には非常に軟弱な粘土（東大阪鋭敏粘土）が埋没谷地形に局所的に堆積している。両地域に挟まれる上町台地は洪積地盤であり、その両縁部には沖積層厚の急激な減少や砂堆の分布が南北方向に帯状に続いている（KG-NET・関西圏地盤研究会、2007）。

基礎データのボーリングデータは、関西圏地盤情報データベース（KG-NET・関西圏地盤協議会）を利用した。Fig. 4とTable 1に対象地域のメッシュ毎のボーリング本数の頻度を示す。メッシュ内のボーリング本数の分布は、ボーリングデータが豊富な都市域ということもあり、4本以上含まれるメッシュが全体の40%を占めている。その一方で、意外にも2本以下のメッシュは約4割もあり、12%は0本（空白）

となっている。

ここで、各メッシュの代表的地盤情報（地盤モデル）を抽出するためのボーリングデータの選定では、①そのメッシュの地盤特性を反映する、②個人の誤差を排除する、③効率的で分かりやすいことを重視した。そのことを勘案し、以下の3種の手法を候補として各方法の適用性を比較した。

A法：メッシュ内のボーリングを単純平均

B法：広げた範囲のボーリングを単純平均

（移動平均、今回は1.5倍の辺長の範囲とした）

C法：メッシュを被うように、地盤特性が類似して、かつ品質の良いボーリングを選別して平均

この3種の方法で地盤モデルを作成し、その差異を比較した。一例として、Fig. 5にA法（機械的な処理）とC法（マニュアル的な処理）によるモデルの層厚差の分布を示す。図に示されるように、成層状態がほぼ様な西大阪では両モデルの差は小さいが、上町台地のように軟弱層が薄く砂・礫質土が不規則に堆積する場所や、埋没谷地形に局所的に鋭敏粘土が分布する場所においては、差の大きいメッシュが多数分布している。

さらに、地震防災上問題となる鋭敏粘土に注目すると、Fig. 6の各モデルの層厚分布に示されるよう

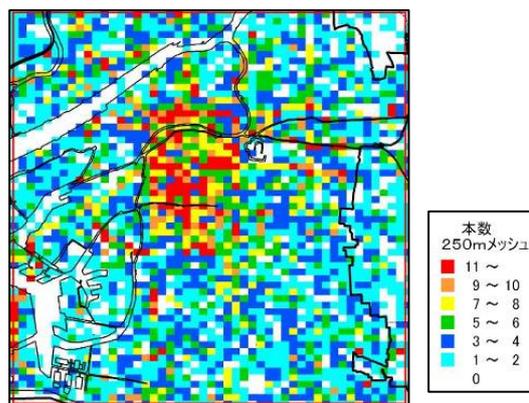


Fig. 4 Numbers of Boreholes in 250m Square Mesh.

Table 1 Location and Numbers of Boreholes in Each Mesh (●・・・Point of Borehole)

本数 分布	4本以上	3本	2本	1本	無し (周辺あり)	無し (周辺無し)
均一						
不均一 (偏り)						
全体に占める割合	40%	10%	13%	17%	12%	

に、B法では分布範囲がやや曖昧であり、A法は所々に抜けが多く、C法の結果は実際の分布状況に最も近く埋没谷地形が明瞭にモデル化されている。

このように、地盤の成層状態や局所性に応じてモデル化方法（ボーリングの選別方法）を使い分けることが、個人差を少なく、効率的に適切な地盤情報を抽出する良法であると考えられる。Table 2に、地盤の成層状態とボーリングの分布状況による適当なモデル化方法を整理した。

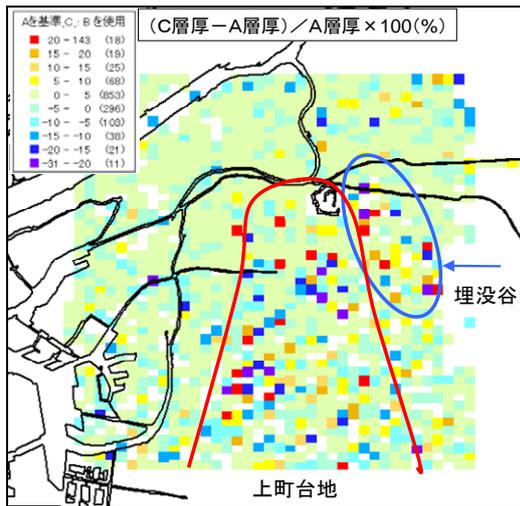


Fig. 5 Difference in Evaluated Thickness of Alluvial Layers Between A- and C-Method

以上より、電子地盤図（代表的地盤情報モデル）の作成において、ボーリングデータの分布状況や地盤条件に応じてモデル化方法（ボーリングの選別方法）を使い分けるルールを以下のように考案した。

A法: 成層状態がほぼ一様で、メッシュ内にボーリングが3本以上偏りなく均一に分布している場合は、メッシュ内のボーリングデータを単純平均することによって地盤モデルを作成する。

B法: 成層状態がほぼ一様であるが、メッシュ内にボーリングが2本以下しかない、もしくは3本以上あっても分布に偏りがある場合は、周囲のメッシュにまで領域を広げて移動平均的にボーリングを追加し、それらを単純平均する。

Table 2 Adopted Modeling Procedures for Different Subsurface Condition

成層状態	メッシュ内のボーリング	適当なモデル化方法	該当地域
ほぼ一様	多数&均一分布 (3本以上)	A法 (メッシュ内平均)	西大阪
	少数/不均一 (2本以下, 偏り)	B法 (移動平均的に平均)	
一様な変化 (傾斜等)	多数~少数	C法 代表する地盤情報のボーリングを選択して平均)	東大阪 上町台地縁
局所の変化 (埋没谷他)	均一~不均一		

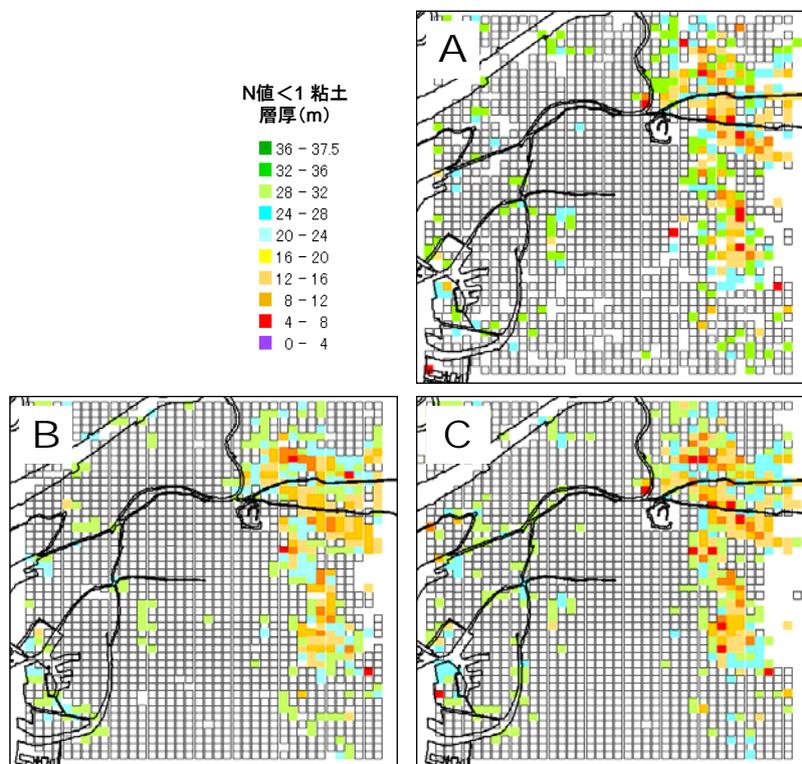


Fig. 6 Distribution of Thickness of Sensitive Soft Clay Deposits Whose Average N-value < 1 through each Modeling Method

C法: 断層や埋没谷などの地下構造や地形が急変するような場合、ボーリングの本数や分布によらず、当該メッシュの地盤を代表するボーリングを選択して、それらを平均することによって地盤モデルを作成する。

4.3 電子地盤図の試作

今回検討した作成ルールを適用してパイロット・スタディー対象領域の電子地盤図（代表的地盤情報モデル）を試作した。その結果の代表例を一連の流れにまとめて、Fig. 7に示す。

図に示されるように、ボーリング1本毎に同定した沖積相当層（モデル化対象層）の分布からは、同層が西大阪で厚く、上町台地で薄く、東大阪では局所的に厚く分布する様相が浮かび上がって見える。このボーリングデータを用いて作成した地盤モデルの層厚分布が下図である。両図を比較して分かるように、ボーリングデータによる沖積相当層の分布が明瞭にモデル化されている。

また、今回の試作では、250m区画内に軟弱層の厚い場所が局所的であっても明らかに存在する場合は、その地盤条件を代表させるようにモデル化を行った。したがって、埋没谷が存在する東大阪地域においては、右図に示すようにその分布域（N値<1の条件で取り出した鋭敏粘土層の分布）が明瞭に内在するモデルとなっている。電子地盤図の活用

の一つとして重要な位置づけにある地震災害リスクの評価のための地盤情報（モデル）としても、適確にモデル化がなされたものと考えられる。

5. おわりに

全国電子地盤図の構想を具体化するために、その代表的地盤情報モデルの作成方法について、「関西圏地盤情報データベース」(KG-NET・関西圏地盤協議会)のボーリングデータを用いて、大阪平野地盤を対象にパイロット・スタディーを実施した。この検討より電子地盤図（代表的地盤情報）の抽出・モデル化方法を提示し、試作結果を示した。

本文中に繰り返したように、地盤情報データベースに集積された地盤調査データ（ボーリングデータ）は、それ自体は生データの集合体であり、全体の地盤像の一部としての地質学的に解釈された情報等は付加されていない（一部の事例を除く）。また、調査データとしての品質のばらつきや、空間的な情報の粗密さも有している。さらに、日本全国を見れば地域に特徴的な地盤も存在している。それらのことを勘案したうえで、全国の地盤情報を連携するアイデアとして「全国電子地盤図」が提起されている。

今回の検討では、代表的地盤情報モデルを抽出するためのボーリングデータ選定の考え方として、①そのメッシュの地盤特性を反映する、②個人の誤差

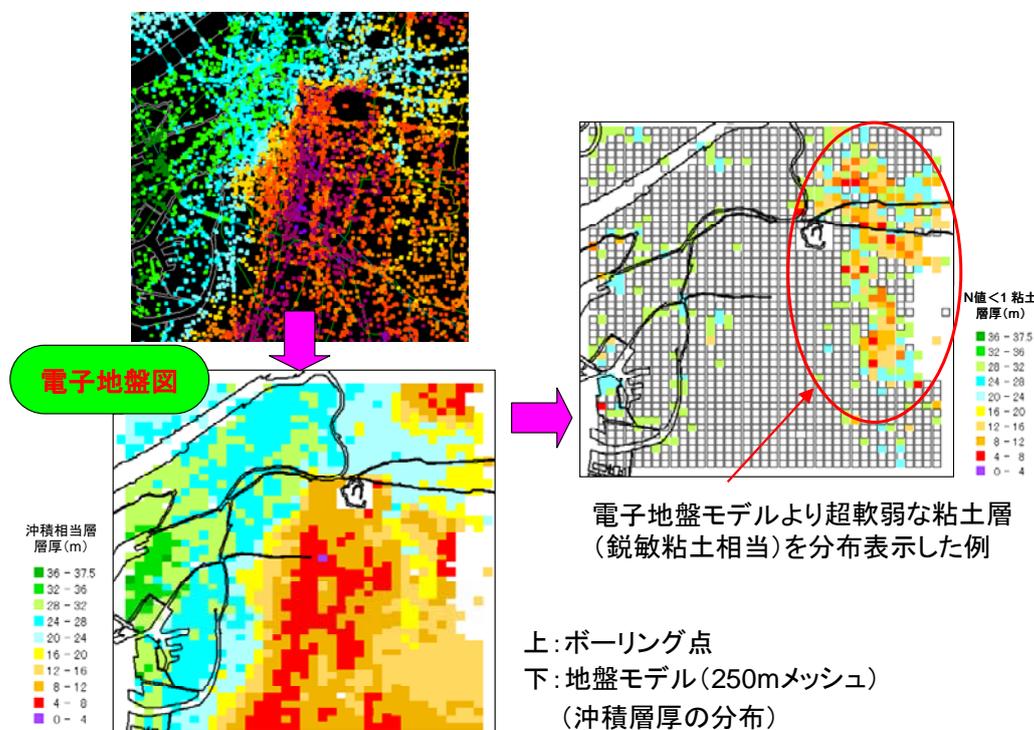


Fig. 7 Evaluation of the Performance of Representative Soil Profile Models for Osaka plains Area By Comparing the Derived Thickness of the Alluvial Deposits with the Original Data from the Database

を排除する，③効率的で分かりやすいことを重視することとした。そして，上述のような諸要素に対して個人差を最小限に押さえながら，できる限り統一した設定となるように，地盤条件やデータの密度・分布状況に応じて3種類のモデル化方法を使い分けることを提案した。その方法にはマニュアル的な処理も含める必要があった。

また，モデル化の視点として「現在の生活空間としての地盤」を表現するために脆弱性を伴う軟弱層（沖積相当層）の抽出に趣を置いた。この点も含めて，今後，大阪平野以外の地盤条件の地域についても同手法の適用性を検討する必要がある。さらに，電子地盤図の情報を提供・表示するためのシステム化も進める予定である。

謝辞

本研究は，(社)地盤工学会関西支部とKG-NET・関西圏地盤研究会共催の「全国電子地盤図作成検討委員会」の活動と並行して実施した。また，「関西圏地盤情報データベース(KG-NET・関西圏地盤情報協議会)」の提供を受けた。京都大学防災研究所・平成19年度一般共同研究19G-09の一環として行われたものであり，関係各位に謝意を表す。

参考文献

KG-NET・関西圏地盤研究会(2007)：新関西地盤

—大阪平野から大阪湾—，pp.296+66.

地盤工学会(2007)：「表層地盤のデータベース連携に関する研究」研究報告書.

藤原広行(2007)：統合化地下構造データベースの構築に向けて，シンポジウム 統合化地下構造データベースの構築に向けて 予稿集，防災科学研究所，pp.9-22.

三村衛・山本浩司・安田進・藤堂博明(2008)：表層地盤の電子地盤図作成について，第2回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」データベースの連携で築く公共の地盤情報 予稿集，防災科学技術研究所，pp.31-36.

安田進・藤堂博明(2007)：表層地盤情報データベース連携に関する研究，シンポジウム 統合化地下構造データベースの構築に向けて 予稿集，防災科学技術研究所，pp.35-40.

山本浩司・田中礼司・関口春子・吉田邦一(2005)：地盤情報データベースによる大阪堆積盆地のVs推定式と浅層地盤モデル，第40回地盤工学研究発表会，pp.39-40.

山本浩司・三村衛・三田村宗樹・大島昭彦・小田和広(2008)：大阪平野における全国電子地盤図の作成 —パイロット・スタディー—，第43回地盤工学研究発表会，投稿中.

吉田光宏・三村衛・山本浩司・近藤隆義(2008)：地盤情報DBによる代表的地盤情報の抽出—電子地盤図の作成手法について—，第43回地盤工学研究発表会，投稿中.

Development of Digital Underground Map and Its Application to Geotechnical Hazard Assessment

Koji YAMAMOTO*, Mamoru MIMURA and Mitsuhiro YOSHIDA**

* Geo-Research Institute, Japan

** Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

A procedure for developing “Representative Soil Profile Model” (RSPM) has been established based on the boring data stored in the Kansai Geoinformatics Database (GI-base). The topic is a part of the national project of “Cooperation of Underground Database”. The sophisticated procedure to develop RSPM is introduced in this paper together with the outcomes of RSPM. As a pilot study, 10km square of the heart of Osaka has been selected for modeling. RSPM has been developed for each 250m square mesh representing the geological and geotechnical characteristics of the target area. The derived RSPM will be connected and cooperated with other databases.

Keywords: subsurface ground, geotechnical information, database, representative soil profile model