

2.5 浅部地盤モデルの作成結果

1) モデル作成手法

地震動予測のための浅部地盤モデルの作成については、(独)防災科学技術研究所で、いくつかの先駆的な取り組みがされており(大井ほか,2006¹⁰;大井ほか,2007 など¹¹)、今回の地盤モデル作成作業でも、その成果を参考にした。大井らは次の2種類の手法を採用している。

ボーリングデータにもとづいて、250mメッシュ毎に地質区分とN値の代表柱状図を設定し、N値とS波速度の相関を用いて、各層にS波速度を与えて層構造を設定する。

ボーリングデータをもとに地質学的・堆積学的に浅部地盤の構成地層を区分し、その水平方向の連続を追跡して層構造を設定し、各層に、と同様にしてN値から求めたS波速度を付与する。

今回の浅部地盤モデル作成作業では、基本的に上のの地質層序にもとづく手法を採用している。

これは、ボーリングデータをもとに地質学的・堆積学的に浅部地盤の構成地層を区分し、その水平方向の連続を追跡して層構造を設定し、各層にN値から求めたS波速度を付与する手法である(図2.5-1)。

地盤モデルの作成手順を図2.5-2に示す。県内を250mメッシュに区分し、各メッシュで層構造の地盤モデルを設定した。まず、収集した柱状図を空間的に整理し、全ての柱状図について地層境界を求め、これをつないで面的な層構造を作成した。このデータから、各々のメッシュの中心における地層境界を読み取った。

今回の千葉県浅部地盤モデルの検討では、さらに各地層について、該当する地層に対応する、各メッシュ付近にあるボーリングデータの土質区分の中で最も大きな割合を占めるものを、そのメッシュでの当該地層の土質区分として採用した。その際には、メッシュ中心からの距離に応じてデータに重み付けをした。各メッシュでのそれぞれの地層のN値についても、同様にして求めた。

このような手順でモデル化作業を行うことにより、地層ごとの土質区分(層相)とN値が鉛直方向に変化するだけでなく、水平方向にも変化する地盤モデルが作成できた。

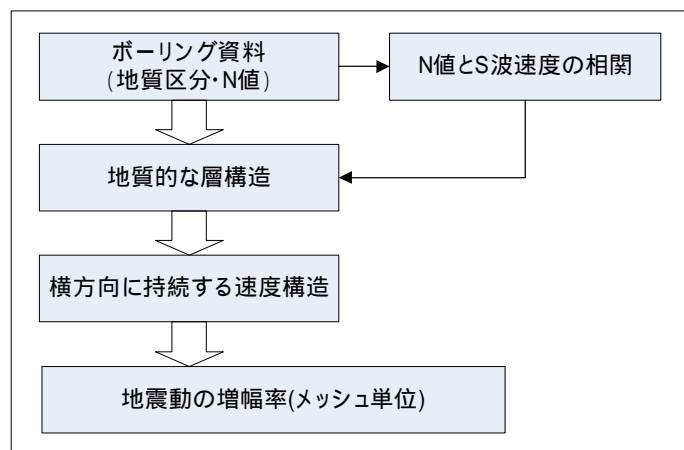
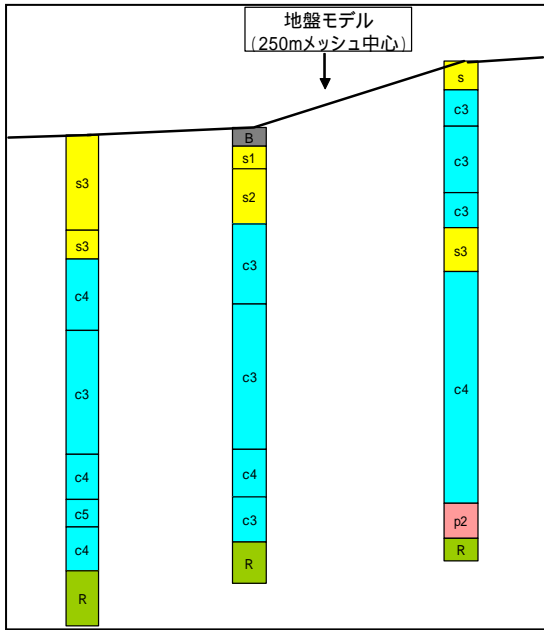


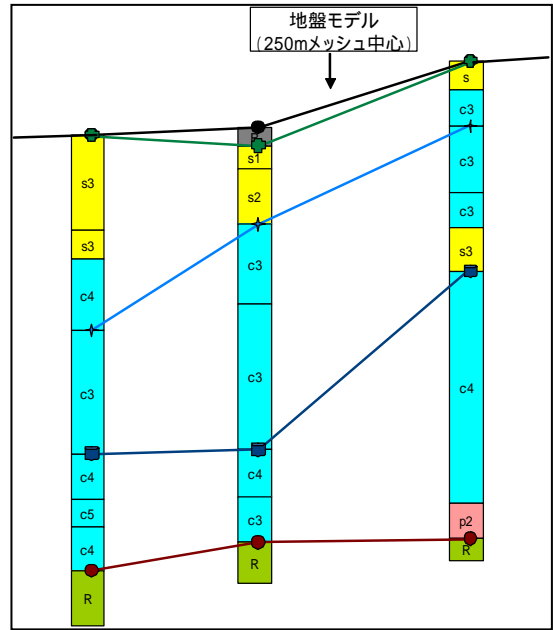
図2.5-1 浅部地盤モデルの作成フロー

(1)メッシュごとの層構造の作成

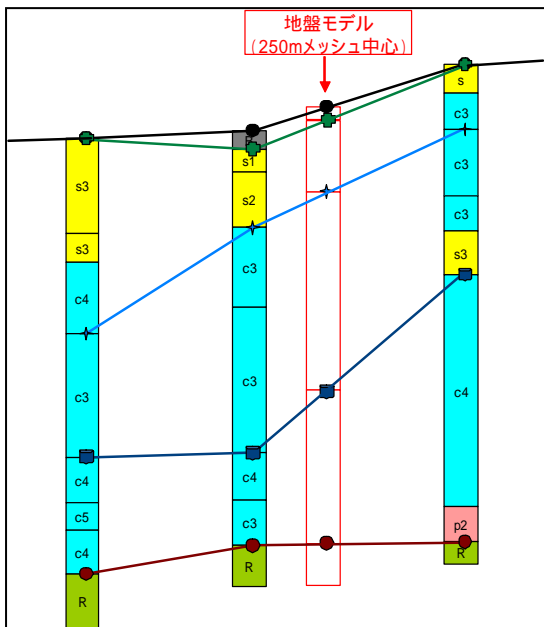
1) 収集した柱状図を空間的に整理する。



2) 全ての柱状図について、地層境界を求め、これをつないで層構造を作成する。



3) 250m メッシュ地盤モデルの中心における地層境界を、2)で作成した柱状図の層境界を補間して求める。



4) 250m メッシュの付近にある柱状図の土質のうち最も大きな割合を占めるものを、最終的な250mメッシュ地盤モデルの土質構造として採用する。その際、250mメッシュ中心からの距離に応じて重み付けをする。N値についても、同様に求める。

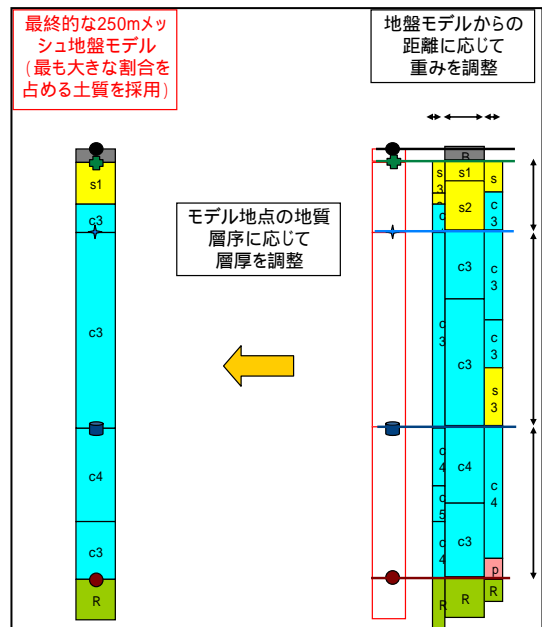


図 2.5-2 地質層序にもとづく浅部地盤モデルの作成手順

2) 地層区分

2.3 節で述べたように、千葉県内に分布する地層で、浅部地盤のモデル化対象となる地層は、海岸部や河川沿いの平野に分布する完新統(沖積層)下総台地などの台地を構成している下総層群である。これらの地層は、鉛直方向に、氷河性の海水準変動(図 2.5-3)に起因する陸成層と海成層の繰り返しからなる層相変化を示し、それに対応して N 値にも規則的な変化を示す。浅部地盤のモデル化にあたっては、このような鉛直方向の層相変化と微地形から推定される水平方向の地質分布のパターンを読み取って地盤を構成する地層を区分した。実際に柱状図からの地層区分を読み取った例と地層区分を読み取った柱状図の現地での配列を図 2.5-4 と図 2.5-5 に示す。

前述のように、今回の業務では、県内で 3 万孔に近い大量のボーリングデータを使用しているので、地質分布のパターンや規則性は、かなりの確に読み取れた。表層の堆積相を読み取る基本となる微地形区分としては、若松ら(私信)による微地形区分を用いた。

今回のモデル化作業で採用した地層区分を、表 2.5-1 に示す。

- ・ ss-1000 と bss-1200 は、沖積層の海成粘土の上位の砂質層または砂質土で、砂丘や浜堤に対応し、N 値が大きい砂層を bss-1200 として区分した。
- ・ Lm-10000 と cl-11000 は、ローム層と粘土層の組み合わせで台地の表層に分布する。どちらも、N 値 5 程度ないしそれ以下である。
- ・ 下総層群中には、ボーリングで確認できる範囲で、海成粘土層と砂質土層の繰り返しがあり、下総層群の上面から 2~3 回確認できるので、それに対応した区分を設定した。
- ・ この繰り返しの下位には、N 値の大きなギャップがあり、それより下位では、ほぼ N 値 50 以上(換算 N 値では、しばしば 100 以上)となる。この境界面(砂質土層の上面ないし途中にある)は、かなり明瞭である、この面を ss-60000 として設定した。この面より下では、粘性土層でも N 値 50 以上となる。
- ・ 上総層群ないしそれより古い地層が分布する地域では、ほぼそれらの層の上面で、同様な N 値の大きなギャップが生じている。今回は、この位置(層準)が、物性的には、上記の ss-60000 に相当すると判断した。ほとんどのボーリングの掘進は、この面の下で終了しており、この面より下については、地層区分や N 値による地盤区分は、今回の調査ではあまり意味がないと考えられる。
- ・ 上総層群ないしそれより古い地層が分布する地域で、ss-60000 に相当する面より上位に、N 値は 50 以下であるが、漸移的に下方へ増加し N 値 50 以上の地盤へ移行する部分が見られることがある。これは、元来 N 値 50 以上であった地盤が風化や応力解放により劣化した部分と推定される。このような部分の上面は、R-90000 として区分した。

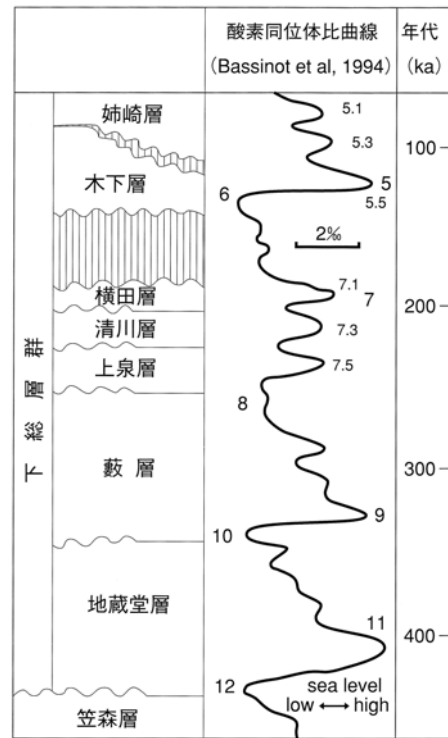


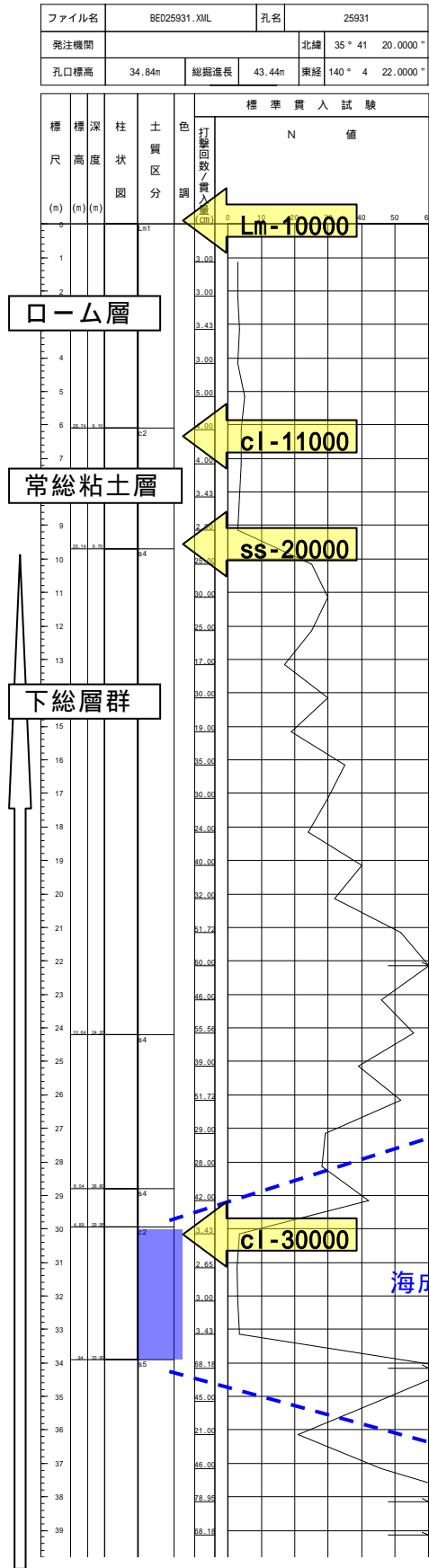
図 2.5-3 下総層群の構成と海水準変動の関係
(中嶋・渡辺,2005)

- ・このような地層区分で各層の土質区分構成とN値を統計的にまとめると、それぞれの層の土質構成およびN値の深度方向変化は、他の層とは異なる特徴を示す。これより、柱状図ベースでの地層区分が妥当であることが再確認できる。図 2.5-6 にその例を示した。
- ・記号は、dt:崩積土、ss:砂質土、bss:砂丘・浜堤の堆積物、cl:粘性土、gr:礫質土、Lm:ローム、R:基盤岩を表し、後ろの数字は、表 2.5-1(1)~(2)に示すものである。

3) 物性値の設定

物性値については、各々の地層区分について、250mメッシュ単位で代表N値を設定して、その値を地域的に変化させている。各層・各メッシュの代表N値は、永田他(2007)¹²に示されたN値とPS検層のS波速度の関係式を用いて弾性波速度値に換算した。密度についてもN値から換算して代表値を設定した。

下総台地部



海岸低地

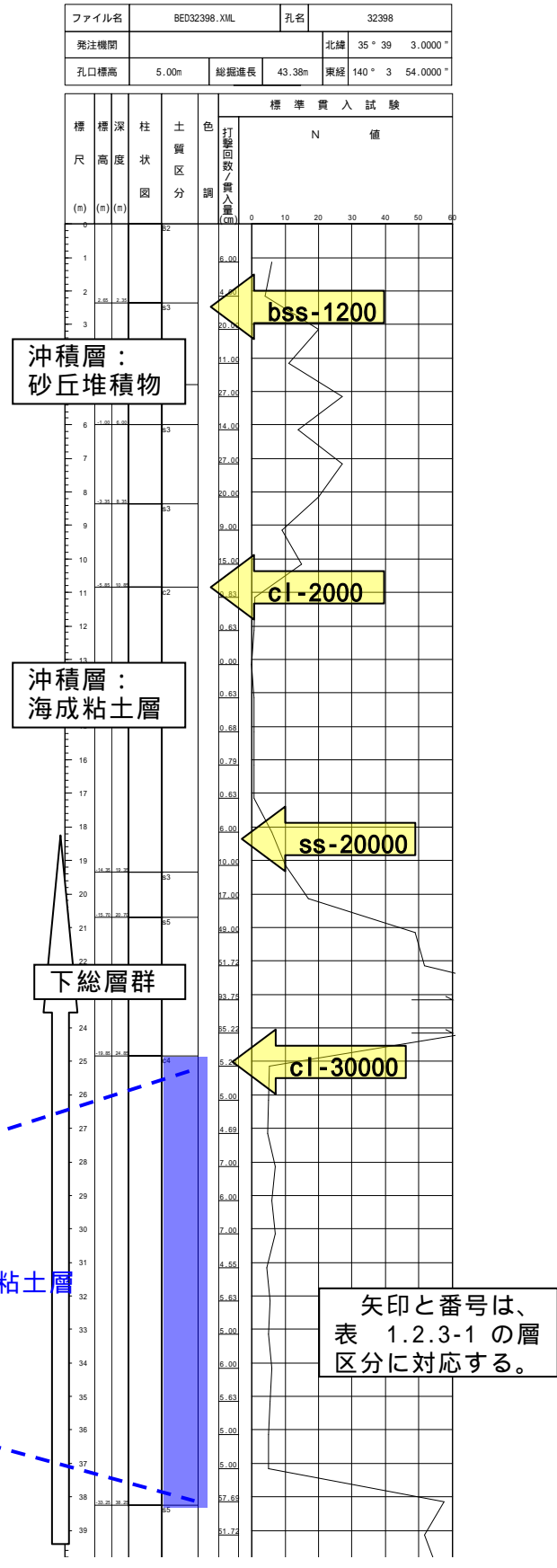


図 2.5-4 柱状図からの地層区分の読み取り例 (千葉県付近)

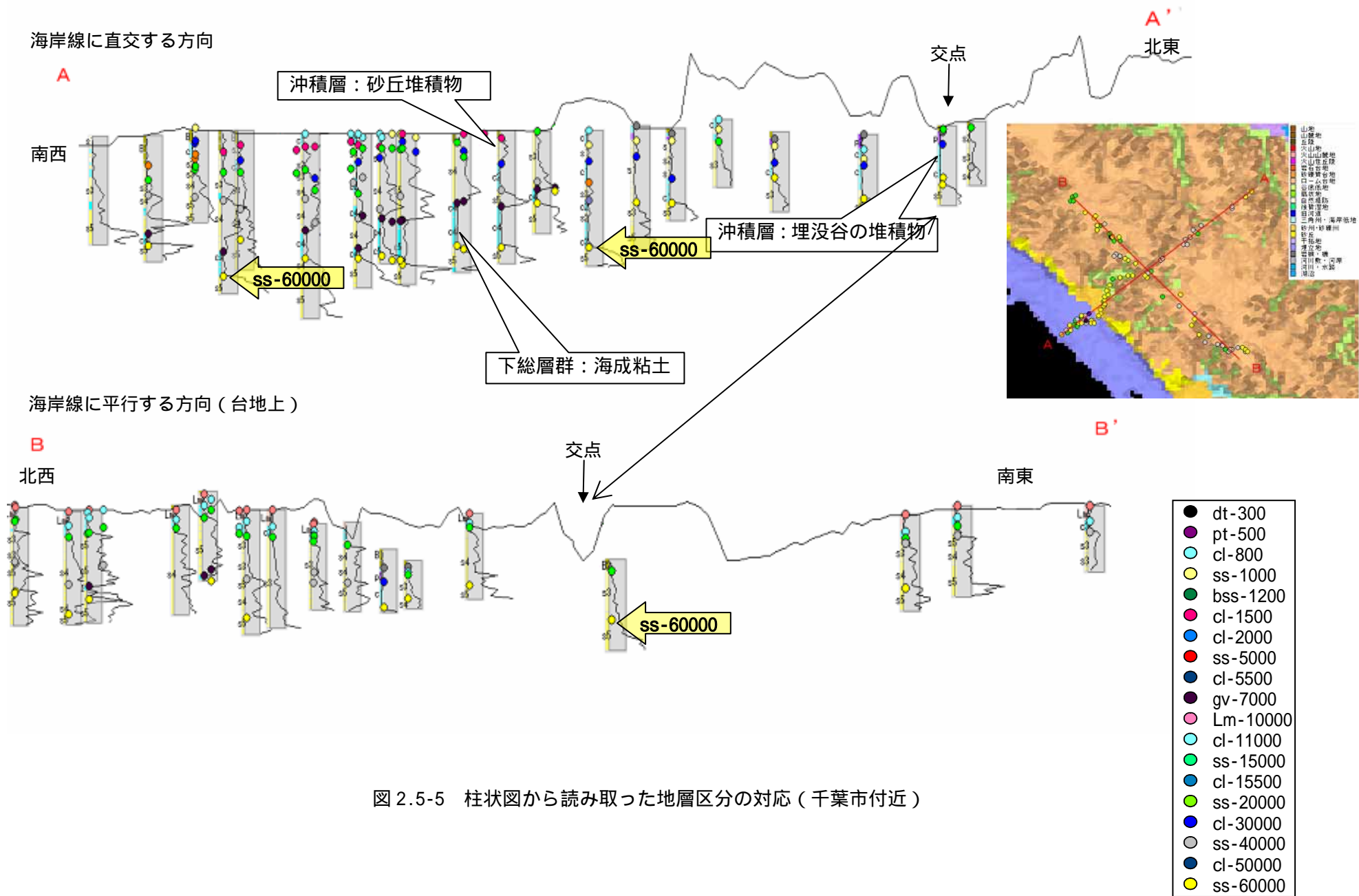


図 2.5-5 柱状図から読み取った地層区分の対応（千葉市付近）

表 2.5-1(1) 浅部地盤モデルにおける地層区分（沖積層）

層位	モデルの番号	地質・堆積相区分	層相	既往区分との対比
上部	-	表土・盛土		
	300,600	崖錐堆積物	砂質土主体	
	500,800	陸化した後の堆積物	粘性土、泥炭などの細粒層	
	1000	河川性の堆積物	砂・砂礫主体、一部粘性土	
	1200	砂丘・浜堤の堆積物	砂質土	
中部	1500 2000	粘土・海成粘土	シルト・粘土主体、薄い砂層を挟む N値はごく小さい(2~3未満が多い)	有楽町層の海成粘土
	3000	粘性土中の砂層の挟み	砂主体、一部砂礫	
	4000	海成粘土(下部)砂洲堆積物を挟む場合	シルト・粘土主体、薄い砂層を挟む	
下部	5000	河川性?堆積物砂洲堆積物を挟む場合	砂主体、一部砂礫、あまり厚くない	
	5500	同上	粘性土主体、あまり厚くない	
	7000	基底礫層?谷底低地の奥に分布する。	砂礫・砂主体、N値50程度ないしそれ以上	

各層の上面境界に番号を与えた。地質層序の順に示す。番号が小さい層が上位(新しい)。

表 2.5-1(2) 浅部地盤モデルにおける地層区分（洪積層・下総層群）

モデルの番号	地質・堆積相区分	層相	既往区分との対比
10000,11000	ローム層	粘性土主体	関東ローム常総粘土
20000		砂質土・礫質土	下総層群
30000	主に海成粘土層	粘性土主体、一部砂質土	
40000		砂質土・礫質土	
50000		砂質土	
60000		砂質土、N値>>50	上総層群?
70000		粘性土	
90000	岩盤	風化部、N値<50	上総層群ないしその前
100000		健全部、N値>>50	

各層の上面境界に番号を与えた。地質層序の順に示す。番号が小さい層が上位(新しい)。

沖積層 (1)

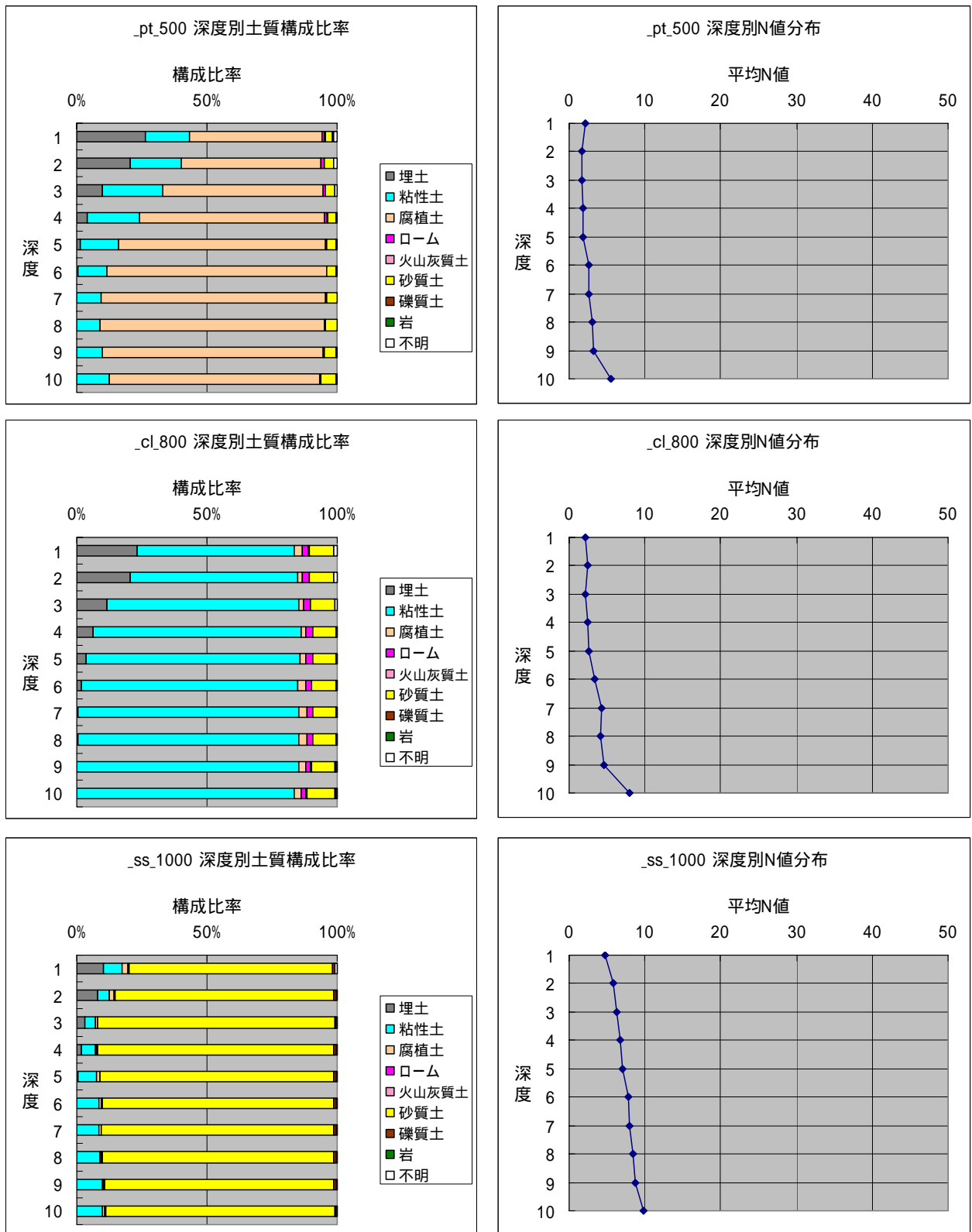


図 2.5-6 深度別土質構成比率と N 値分布 (深度方向変化) の例

4) 浅部地盤モデル作成

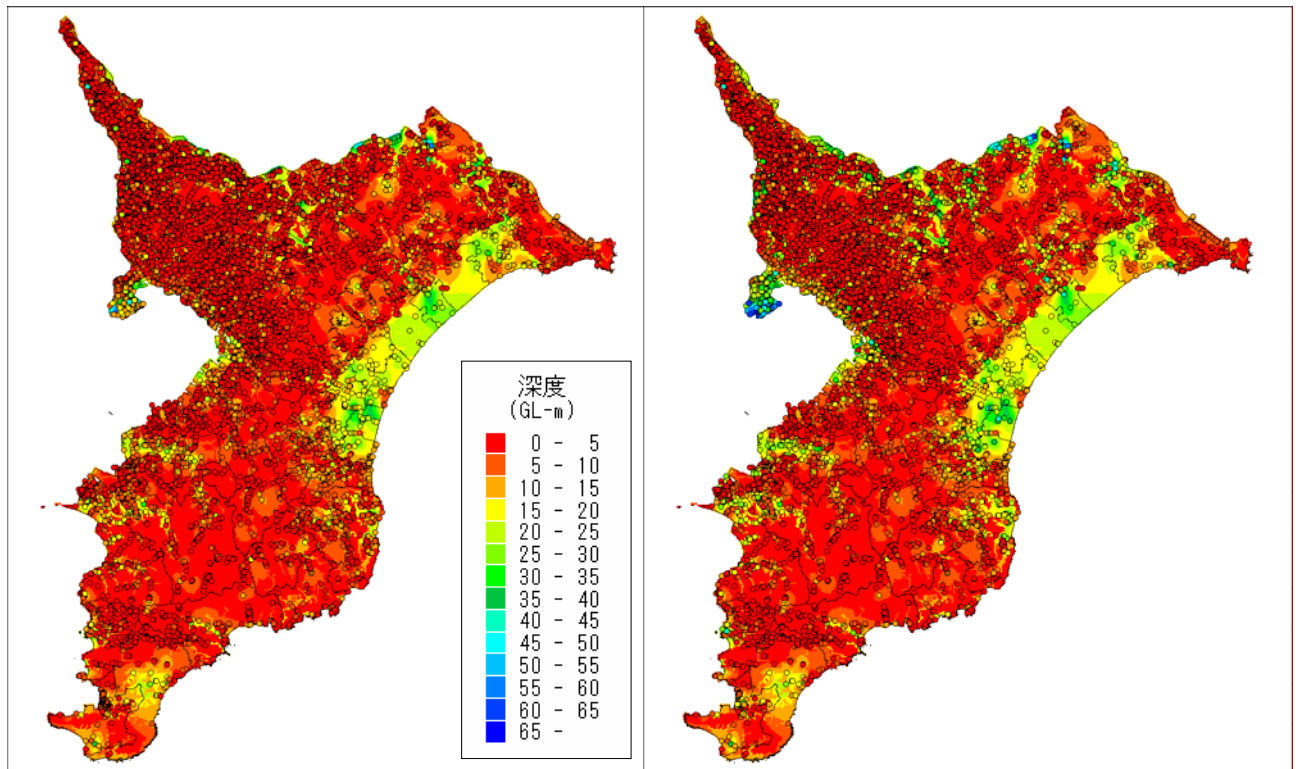
以上の作業により作成した浅部地盤モデルを、各地層上面の深度(地表からの深さ)分布図の例を図 2.5-7 に示す。地層区分の数字は、表 2.5-1 に対応する。なお、沖積層(1000～10000 未満)については、モデルの取り扱いを容易にするために、台地部でも、深度としてゼロ m の値を与えている。

今回作成した浅部地盤モデルの詳細を図 2.5-8 に示した。今回作成した地質層序に基づくモデルでは、地盤構造の側方変化を表しつつ、地質的な連続性が明確に示されているといえる。

一方、今回の手法では、ボーリングデータのない地域では、モデルの精度が下がることになる。特に、沖積低地下に埋没谷が存在する場合(2.3 節参照)には、谷地形の箇所にボーリングが位置しないと、埋没谷の地形とそれを埋積している沖積層の深さや連続性はモデル化できない。東京湾岸の低地や九十九里浜などの地域では、このようなデータの不足を補うために、「土地分類図 12(千葉県)千葉県地質図」¹³に示された沖積層基底面のコンター図のデータを参照してモデルを作成した。その例を図 2.5-9 と図 2.5-10 に示す。

沖積層の海成粘土層 : cl_2000

沖積層の砂層 : ss_3000



沖積層の粘土層 : cl_4000

沖積層の砂層 : ss_5000

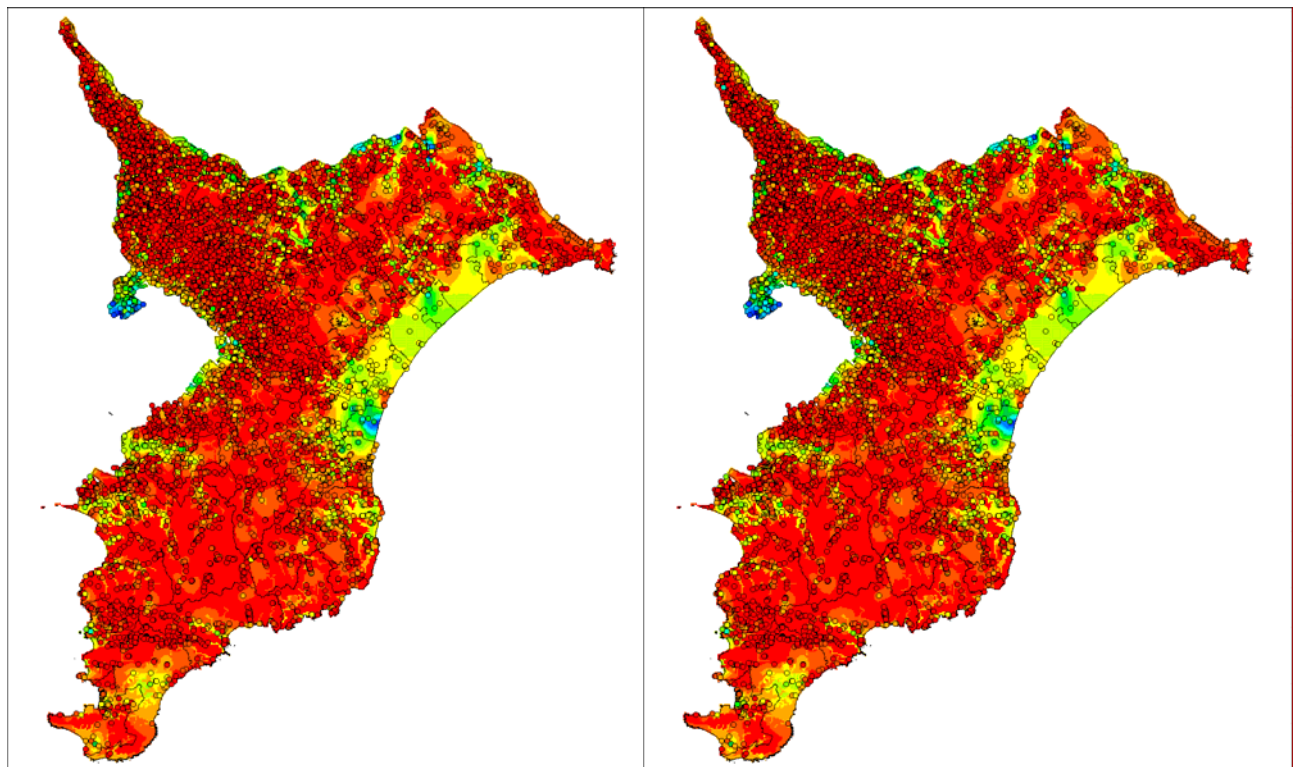


図 2.5-7 各地層上面の深度分布図の例

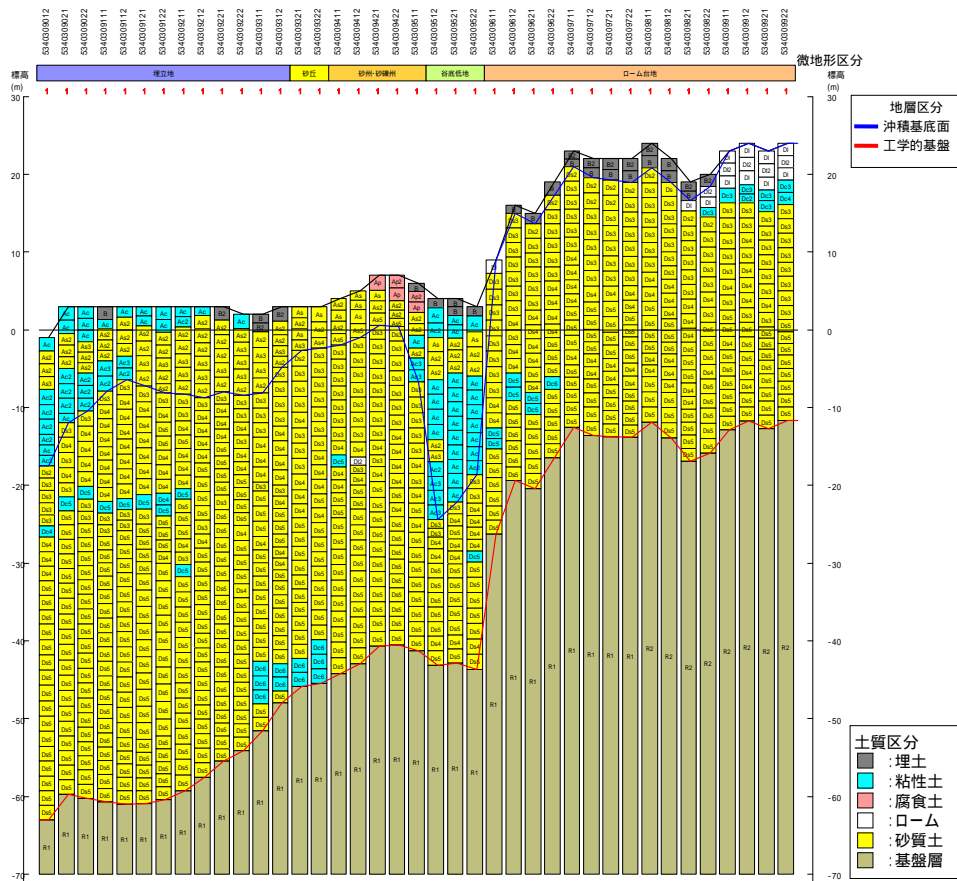
(cl : 粘土層 , ss : 砂層 , 2000 等の数字 : 表 2.5-1(1) 参照 , : ボーリングデータの上面深度)



図 2.5-8(1) 浅部地盤モデルの作成例（千葉市：位置図）

土質区分

土質断面：緯度 = 35度 39分 33.75秒 (経度 = 140度 00分 05.625秒 ~ 140度 07分 24.374秒)



弾性波速度構造

速度断面：緯度 = 35度 39分 33.75秒 (経度 = 140度 00分 05.625秒 ~ 140度 07分 24.374秒)

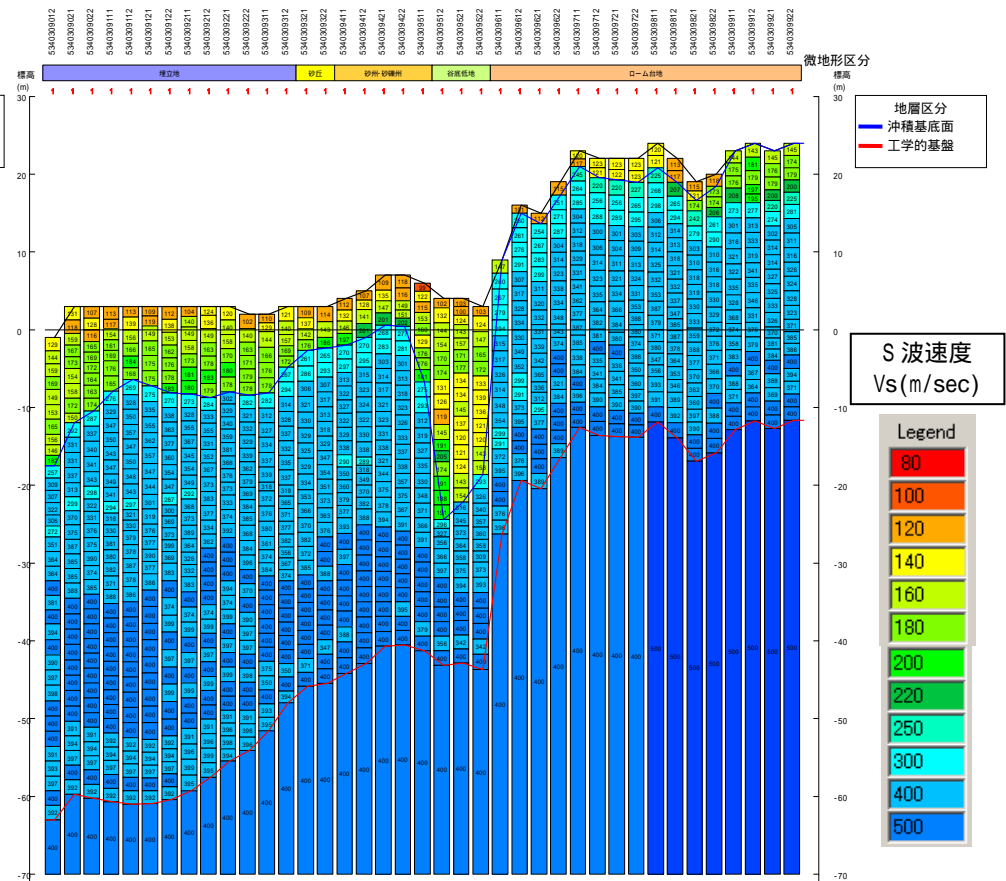
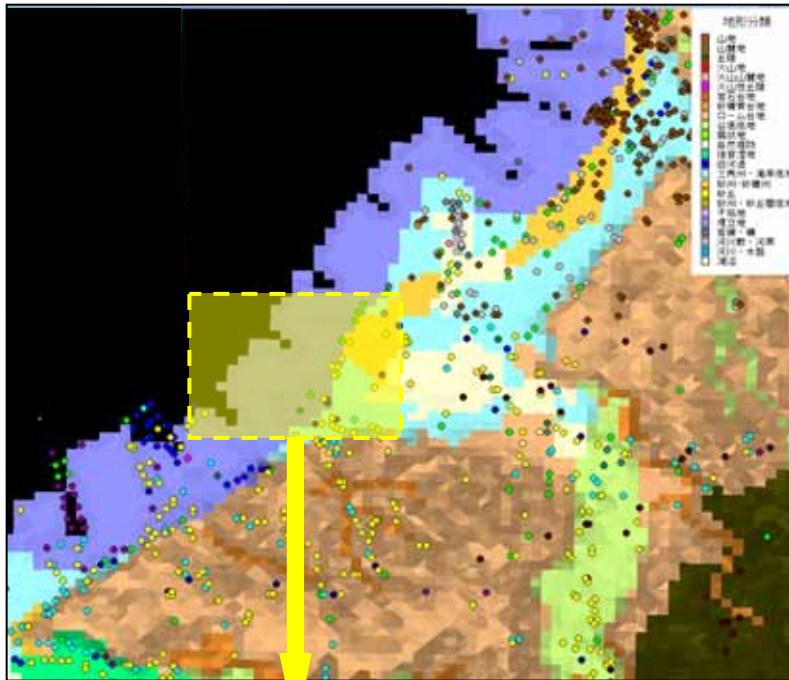
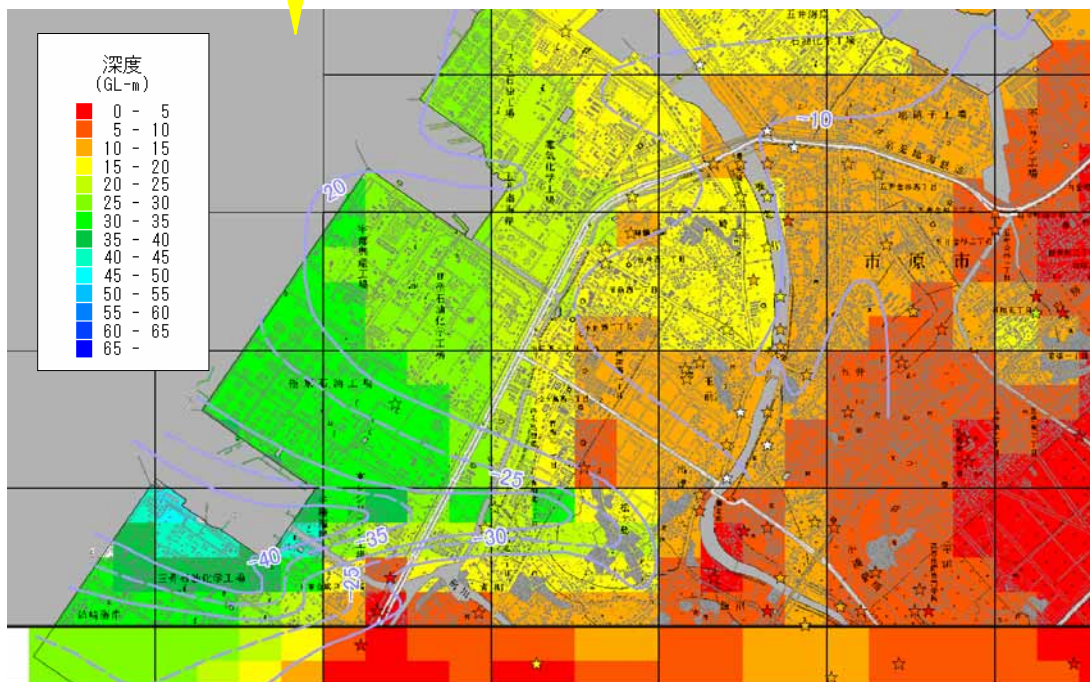


図 2.5-8(2) 浅部地盤モデルの作成例：今回の地質層序モデル



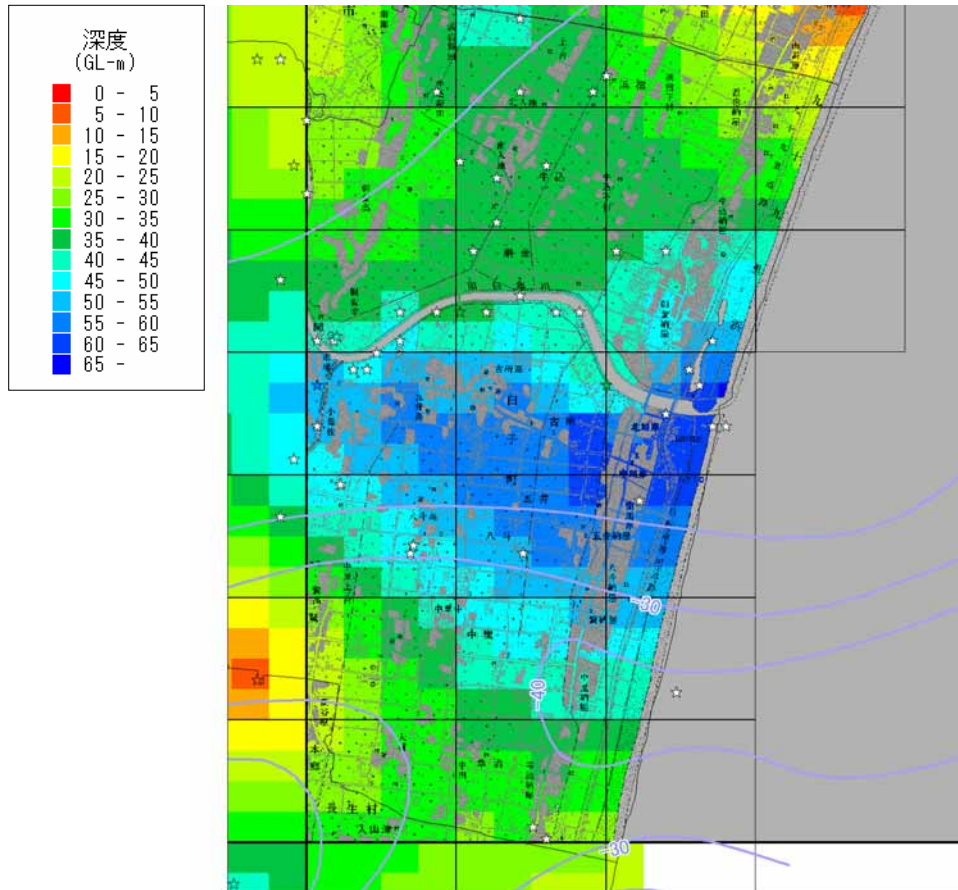
養老川河口付近の微地形
 微地形区分図の上に、今回用いたボーリングの位置を示す。黄色破線の範囲の埋立地域には、ボーリングデータがない。
 微地形のグリッドが、今回の250mメッシュ



沖積層基底面の深度分布図

- ・ ボーリングデータ（図中の 印）のみでは、データが不足するため、既往資料¹¹の沖積層基底面コンター図のデータ(図中の水色の実線)のデータを加えて、沖積層基底面の形状をモデル化した。
- ・ 深度別に色分けしたメッシュが、今回の250mメッシュ

図 2.5-9 データを追加して浅部地盤モデルを作成した地域：養老川の河口付近



沖積層基底面の深度分布図

- ・ボーリングデータ（図中の 印）のみでは、データが不足するため、既往資料¹¹の沖積層基底面コンター図のデータ（図中の水色の実線）のデータを加えて、沖積層基底面の形状をモデル化した。
- ・深度別に色分けしたメッシュが、今回の 250mメッシュ

図 2.5-10 データを追加して浅部地盤モデルを作成した地域：南白亀川の河口付近

謝辞

深部地盤モデル解析、S波速度推定に、(独)防災科学技術研究所によるK-NET、KiK-netのデータを使用させていただいた。また、(独)防災科学技術研究所の若松加寿江博士には、最新の知見を取り入れた250mメッシュ微地形区分データを提供していただいた。東京工業大学の山中浩明委員には、深部地盤の基礎モデルのデジタルデータについて、便宜をはかっていただいた。千葉県設置の地震計の観測波形については、KKNetchibaのデータを用いた。また、ボーリングデータについては、地質環境インフォメーションバンクおよび各市町村のデータを利用した。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1 Zhao, D. and A. Hasegawa (1993): P-wave tomographic imaging of the crust and upper mantle beneath the Japan Islands, *J. Geophys. Res.*, 98, 4333-4353.
- 2 貝塚爽平・久保純子・小池一之・須貝俊彦・杉原重夫・鈴木毅彦・早田 勉・早川唯弘・松田磐余(2000):関東平野と周辺の丘陵,日本の地形 4--関東.伊豆小笠原--, 169-258,東京大学出版会.
- 3 中嶋輝允・渡辺真人(2005): 富津地域の地質,地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),8 Tokyo,85,iv, 102, 1 sheet,産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 4 鈴木宏芳(2002): 関東平野の地下地質構造,防災科学技術研究所研究報告,,63,38005,防災科学技術研究所
- 5 平成 14~18 年度 大都市大震災軽減化特別プロジェクト成果報告書: 大深度ボーリング調査による大都市圏地殻構造探査: 大深度ボーリング試料による地質年代調査
- 6 千葉県 (1999): 平成 11 年度千葉県地下構造調査成果報告書
- 7 千葉県 (2000): 平成 12 年度千葉県地下構造調査成果報告書
- 8 千葉県 (2003): 平成 15 年度千葉県地下構造調査成果報告書
- 9 山中浩明・山田伸之 (2006): 関東平野の地下構造と強震動予測,日本地球惑星科学連合 2006 年大会,平成 18 年 5 月
- 10 大井昌弘・遠山信彦・先名重樹・藤原広行(2006): 南関東地域の浅部地盤初期モデル (D041)(演旨),日本地震学会講演予稿集秋季大会,2006,139-139,日本地震学会.
- 11 大井 昌弘・遠山 信彦・先名 重樹・萩原由訓・藤原広行(2007): 強震動評価のための地下構造データベースの構築 - 浅部地盤データの整備及びモデル化 -, 日本地球惑星科学連合大会予稿集(CD-ROM),2007,S228-008.
- 12 永田葉子・中井正一・関口徹 (2007): 千葉市における表層地盤の S 波速度推定式の検討,日本地震工学会大会,pp. 90-91
- 13 国土庁土地局国土調査課(1972): 土地分類図 12(千葉県)千葉県地質図(1997年9月30日復刻)