

4. 地震動検討に用いる地盤モデルの作成

詳細法による地震動の検討に先立ち、予測計算に用いる地盤モデルを作成した。地盤モデルは、地震本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」の考え方にもとづき、次の2つに分けて作成した（図4-1）。

深部地盤モデル：地震基盤～工学的基盤

浅部地盤モデル：工学的基盤～地表

佐賀県付近に分布する地質（図4-2）からみると、上記の地盤は次のような地層から成ると推定される。

- ・地震基盤：背振山地に分布する花崗岩類や変成岩類が、地表付近の風化部やゆるみ部を除き、平野部や丘陵地の地下深部にも分布し、地震基盤となっていると推定される。
- ・深部地盤：県西部に分布する古～新第三紀層ないしやや古い第四紀層が、佐賀平野の地下にも分布し、深部地盤を構成していると推定される。
- ・浅部地盤：佐賀平野などでも、地下浅部に第四紀層（上部更新統～完新統）が広く分布し、これが、浅部地盤を構成している。埋立地等の人工改変層もこれに含まれる。

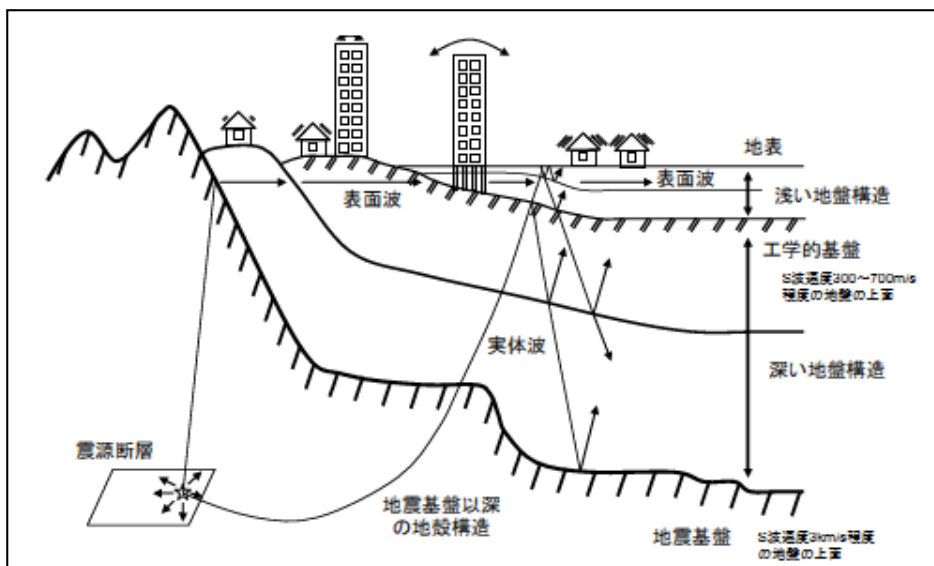


図4-1 「レシピ」における地質構造モデルの模式図

〔地震調査委員会（2009）：震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）〕

4-1. 深部地盤モデルの作成

地震基盤上面から工学的基盤（ $V_s > 0.5 \sim 0.6 \text{ km/sec}$ ）上面までは、地震本部（2012）による「全国1次地下構造モデル（暫定版）」の速度層構造をもとに調整（チューニング）した深部地盤モデルを用いて統計的グリーン関数法で計算する。

地震本部（2012）：全国1次地下構造モデル（暫定版），
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/index.htm



図 4-2 佐賀県の地質分布の概要

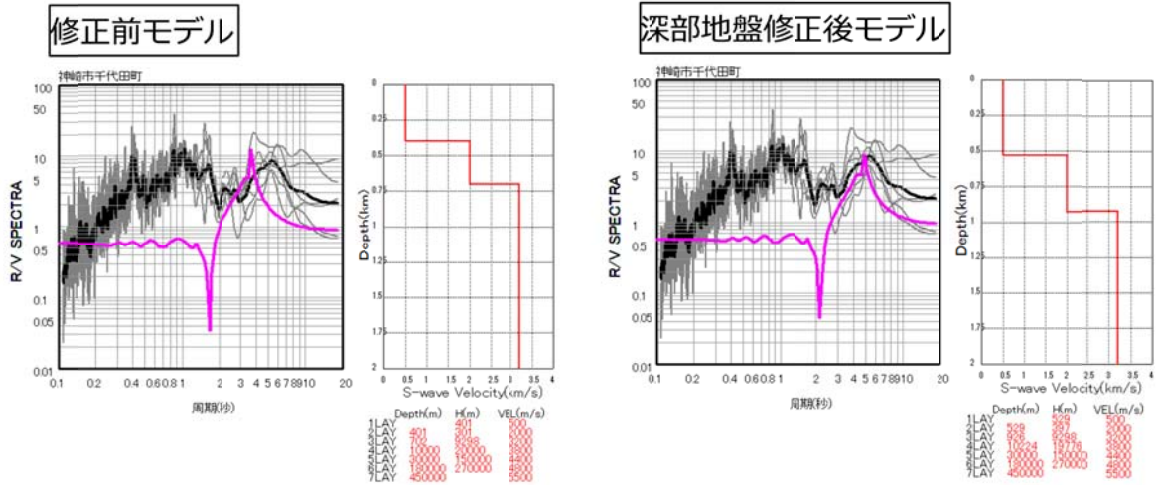
(産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2012)20万分の1日本シームレス地質図データベース(2012年7月3日版). 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター. より部分引用して加筆)

チューニング作業では、まず、佐賀県内にある地震観測記録(図 4.1-1)を収集して観測点ごとに R/V (水平動と上下動の比) スペクトルを整理した。解析対象とした地震の数は、気象庁・防災科研の地震計で 1996 年以降の 35 地震、佐賀県管理の地震計で、2010 年以降の 25 地震である。

既往地震の R/V スペクトルでは、佐賀平野内に位置する佐賀市、神埼市、小城市などの観測地点などで周期 4 秒～8 秒付近に明瞭なピークが認められる。これは、この周期の揺れを増幅させる軟質な地層が厚く堆積していることを示唆する。その他の県内の観測地点では、R/V スペクトルの明瞭なピークは認められない(図 4.1-2)。

この観測 R/V スペクトルに対して、地盤モデルを用いた理論計算による H/V (水平動と上下動の比) スペクトルが適合するように、モデルを構成している各層の層厚を修正した(図 4.1-3)。各観測点で地盤モデルを修正した後、観測点ごとの層厚修正量を空間補間することにより、面的に深部地盤モデルを修正した(図 4.1-4)。

神崎市千代田町地点



佐賀市東与賀町地点

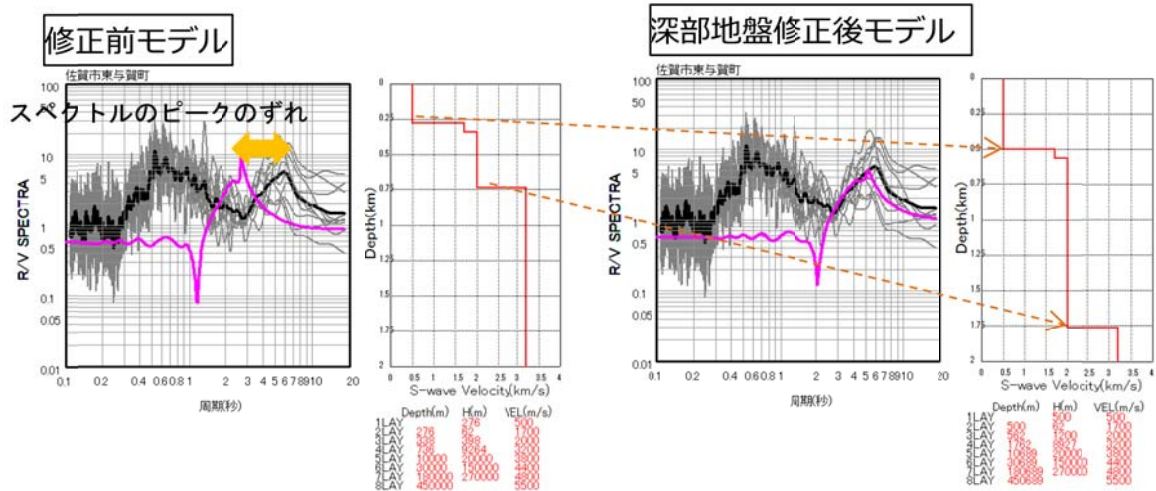


図 4.1-3 観測データを用いた深部地盤モデルの修正例

また、山田・竹中(2012)による微動アレイ探査結果を用いて、最表層のS波速度を0.6km/sから0.5km/sに修正を行った。それ以外の速度層については、S波速度を固定し、各層の層厚を調整することにより、観測位相速度および地震動のR/Vスペクトルのピーク周期を説明できるように、佐賀平野を中心とした地域についてモデルを修正し、平野東部については、地震基盤等の上面深度をおおむね深く修正した。また、平野西部については、上面深度を浅く修正した地点が多くなった。

山田伸之・竹中博士(2012):福岡地域の深部地盤S波速度構造, 物理探査学会第127回学術講演会, 258-259.

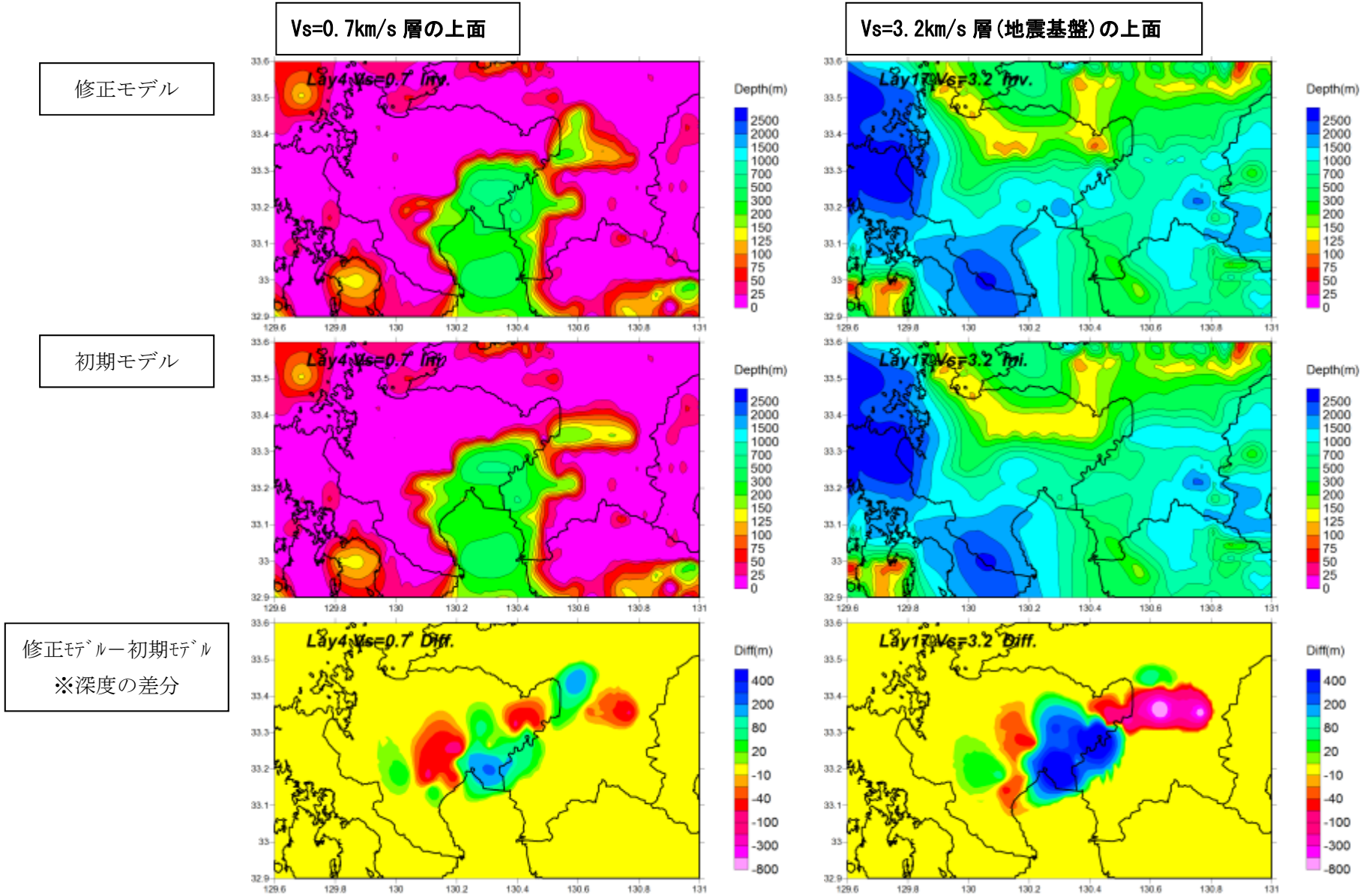


図 4.1-4 観測データを用いた深部地盤モデルの修正：各速度層上面の補間

(佐賀平野を中心に、地震本部の初期モデルをより深くする修正を行った。代表的な速度層の修正状況を示す。)

4-2. 浅部地盤モデルの作成

工学的基盤上面から地表面まで地盤については、国・県・市町の各機関から収集したボーリングデータ等を用いて速度構造モデルを作成した。地表面における地震動は、このモデルを用いて応答計算を行って求めた。

モデル作成の基礎となる微地形区分については、関東学院大学・若松教授、東京工業大学・松岡准教授による250mメッシュ微地形区分図（世界測地系）を用いた。

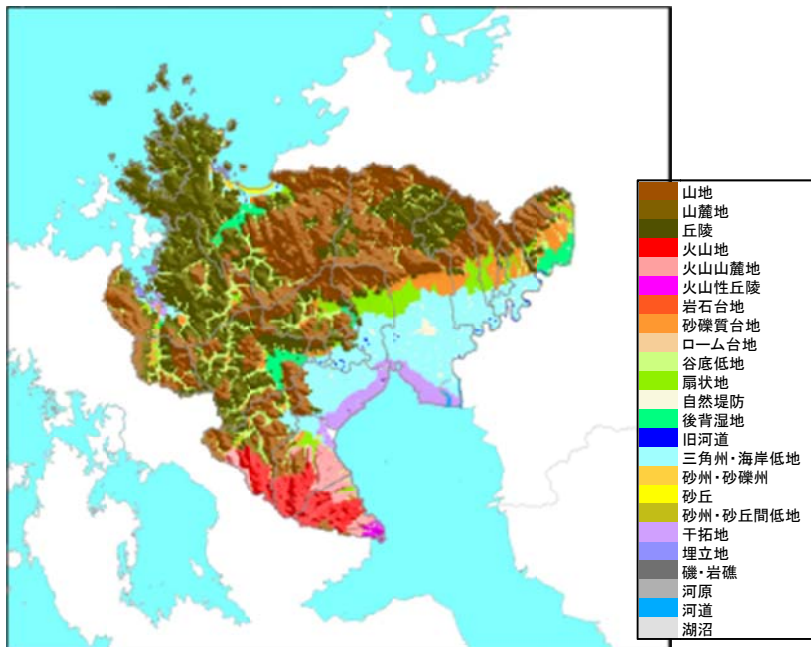


図 4.2-1

若松らによる微地形区分

(1) ボーリングデータを用いた地層区分と層構造モデルの作成

収集したボーリングデータは、デジタル化し、位置を整理した。佐賀平野については、かなり広範囲にデータが収集できたが、唐津、伊万里などの玄界灘にそそぐ河川沿いの平野部については、ボーリングデータはあまり多くない。

- 地盤工学会 DB
- 国土地理院「地盤高図」 (415 孔)
- 新規収集分 (6,103 孔)

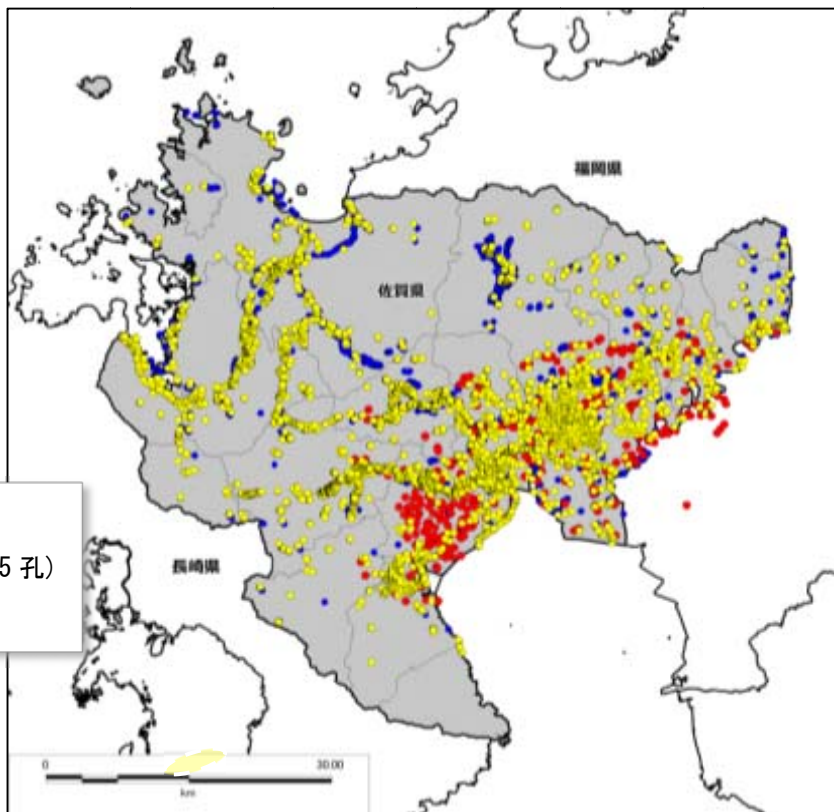


図 4.2-2

ボーリングデータ位置図

ボーリングデータは、記載された地質・土質区分とN値をもとに、既往の文献（下山ほか, 2010 など）に示された地層区分を参照して層区分した（図 4.2-3）。図 4.2-4 に佐賀平野地域における地層区分の例を断面図として示す。また、各層の分布とそれらの分布深度をもとに、地質学的な推定を加えて作成した地層上面のコンター図を図 4.2-5 に示す。

この結果を用いて、250mメッシュごとに地層境界深度を設定し柱状の層構造モデルを作成した。図 4.2-6 (1)～(2) に佐賀県庁付近の地盤モデルを断面図的に示す。

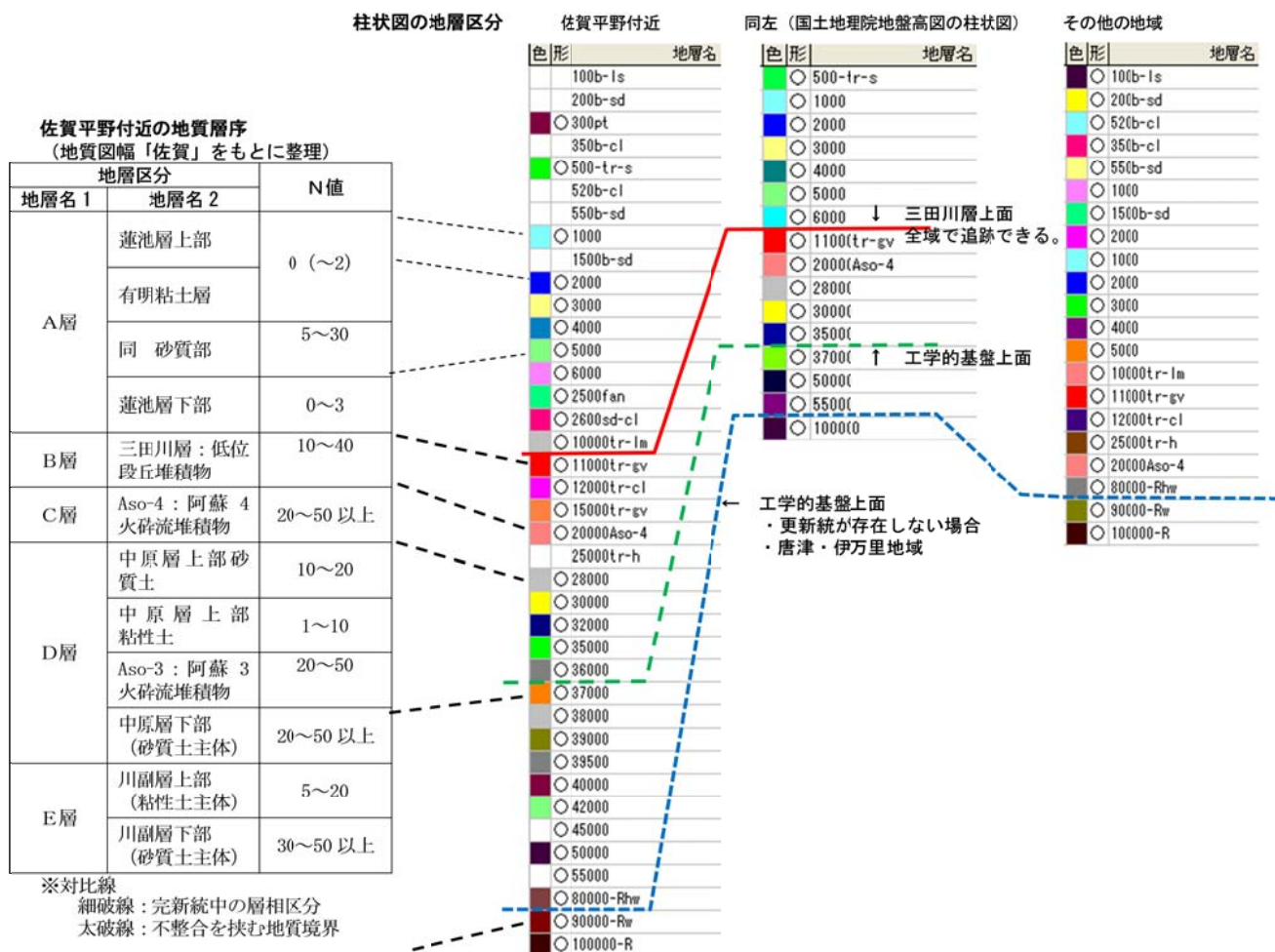


図 4.2-3 柱状図の地層区分と佐賀平野付近の地質層序の対比

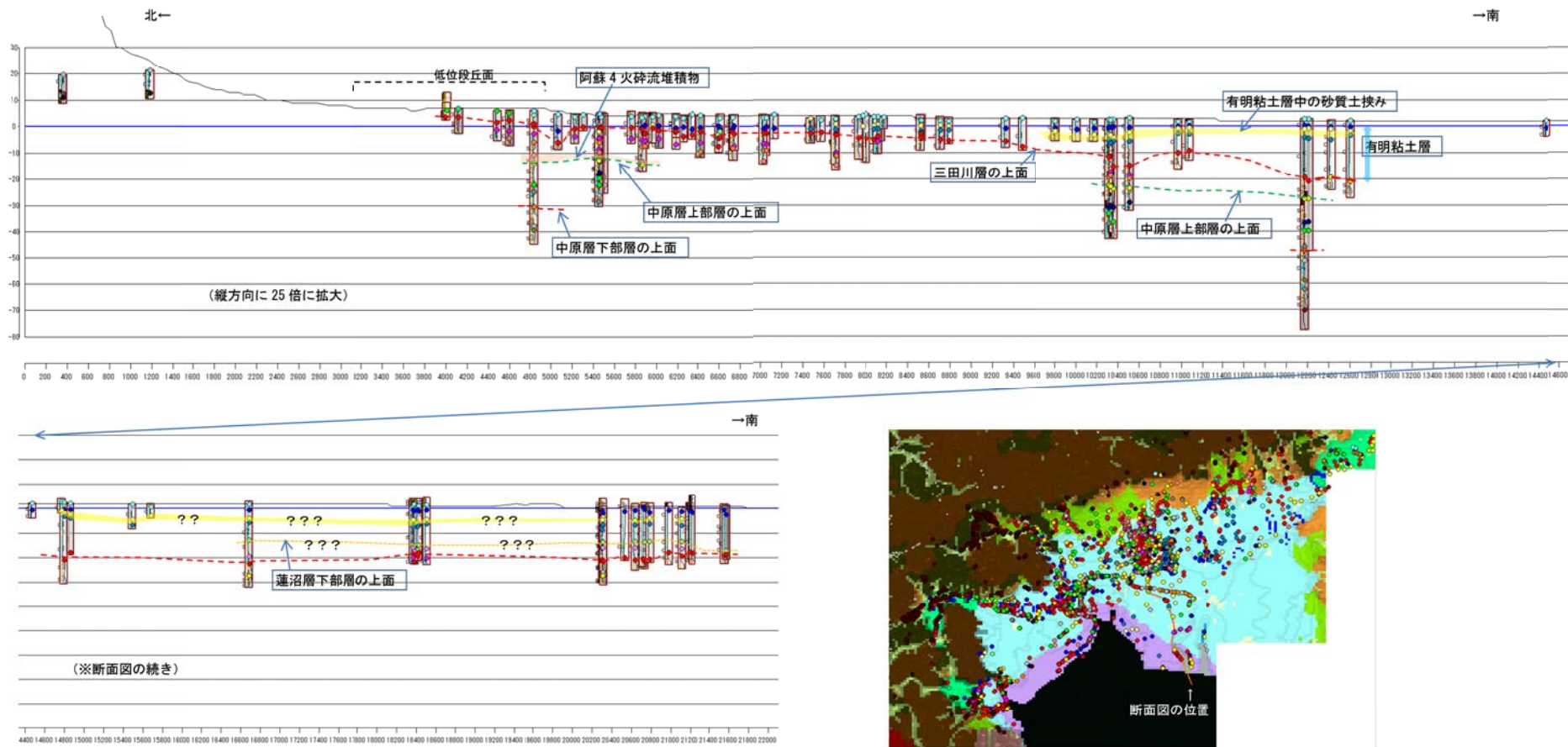
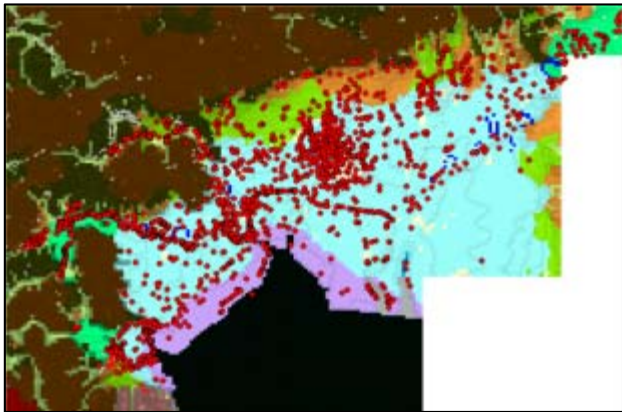
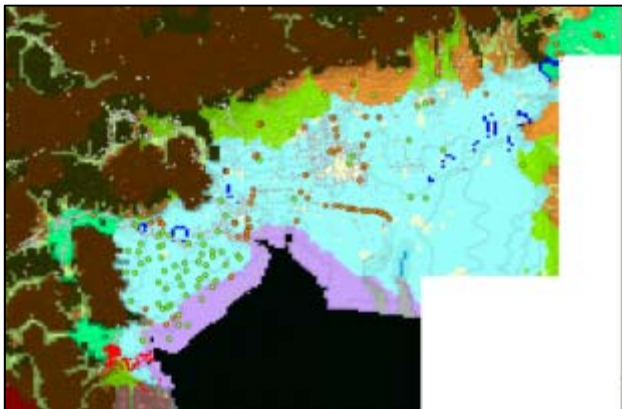
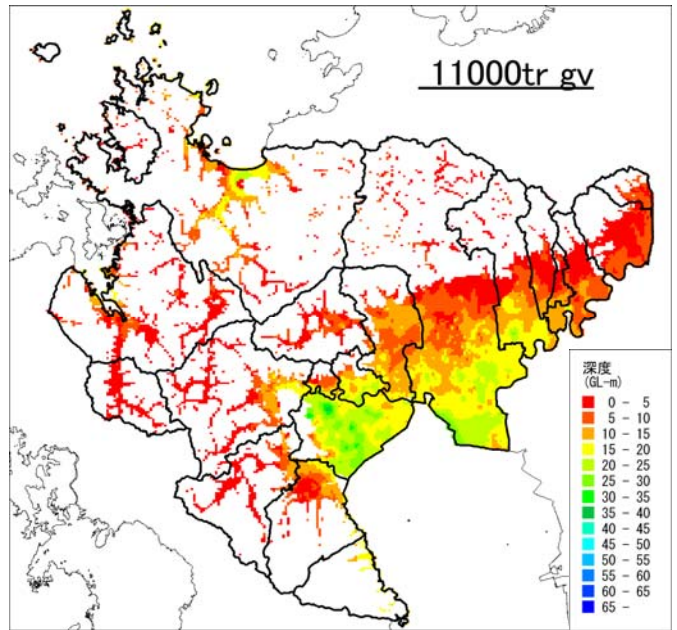


図 4.2-4 佐賀平野における地層区分の例：佐賀平野：南北方向断面



三田川層：段丘堆積層(11000)
：低地部の地下に埋没



中原層下部層(37000)

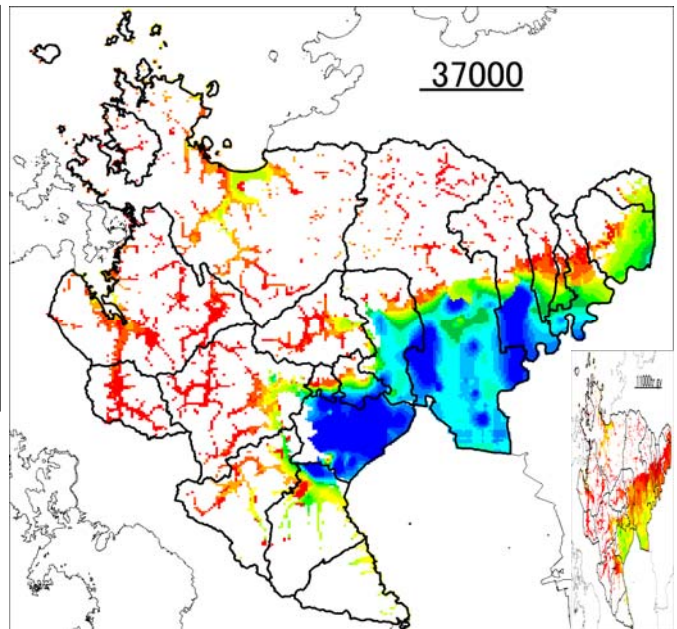


図 4.2-5 各々の地層を確認したボーリング地点(左)と地層の上面コンター(右)

A

A'

土質断面: 緯度 = 33度 14分 56.249秒 (経度 = 130度 14分 15秒 ~ 130度 21分 33.75秒)

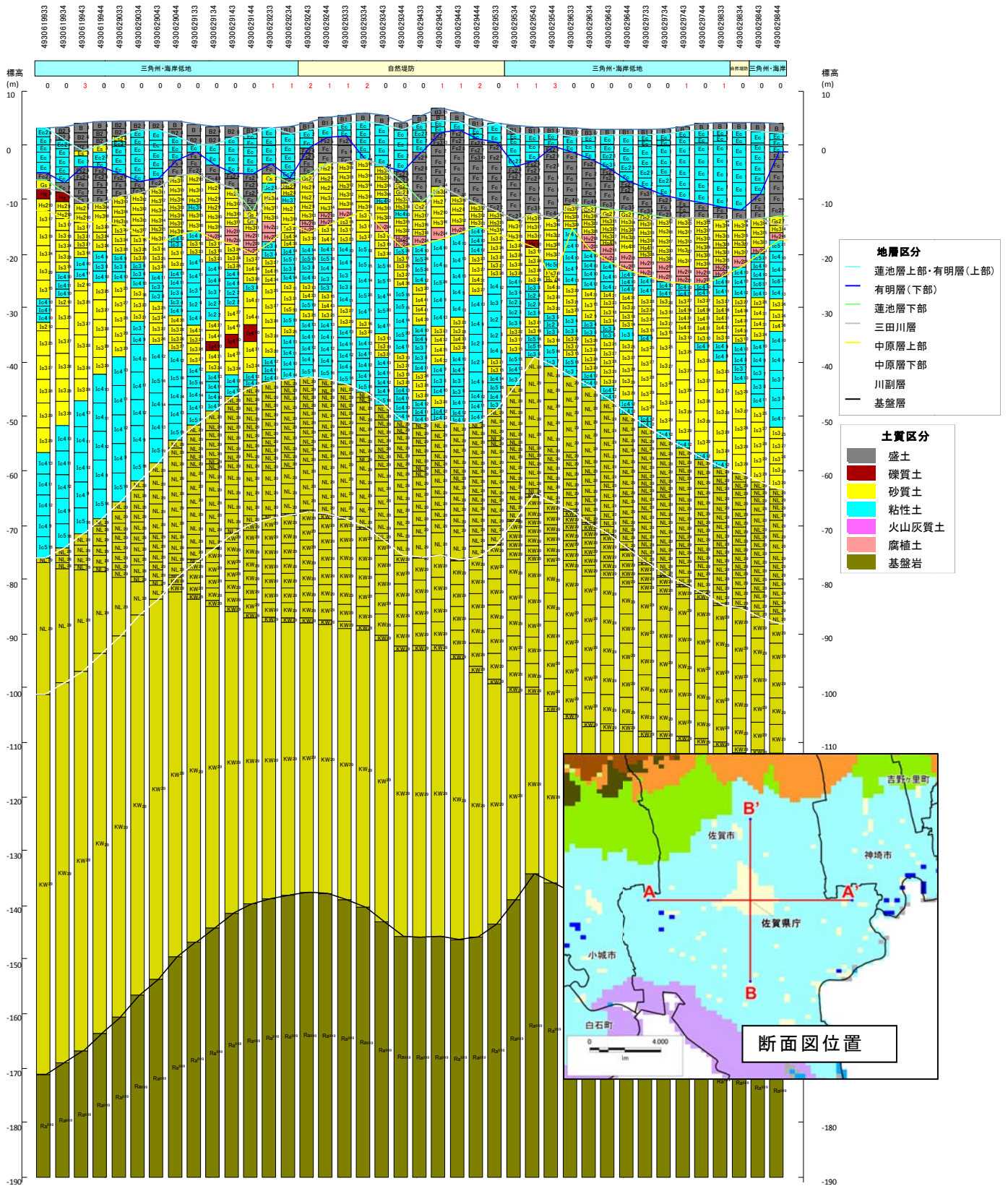


図 4.2-6(1) 作成した地盤モデル: 佐賀県庁付近をとる土質断面図 (東西断面)

※各柱状図が 250mメッシュごとの地盤モデル

B

B'

土質断面：経度 = 130度 17分 54.375秒 (緯度 = 33度 12分 29.999秒 ~ 33度 17分 22.499秒)

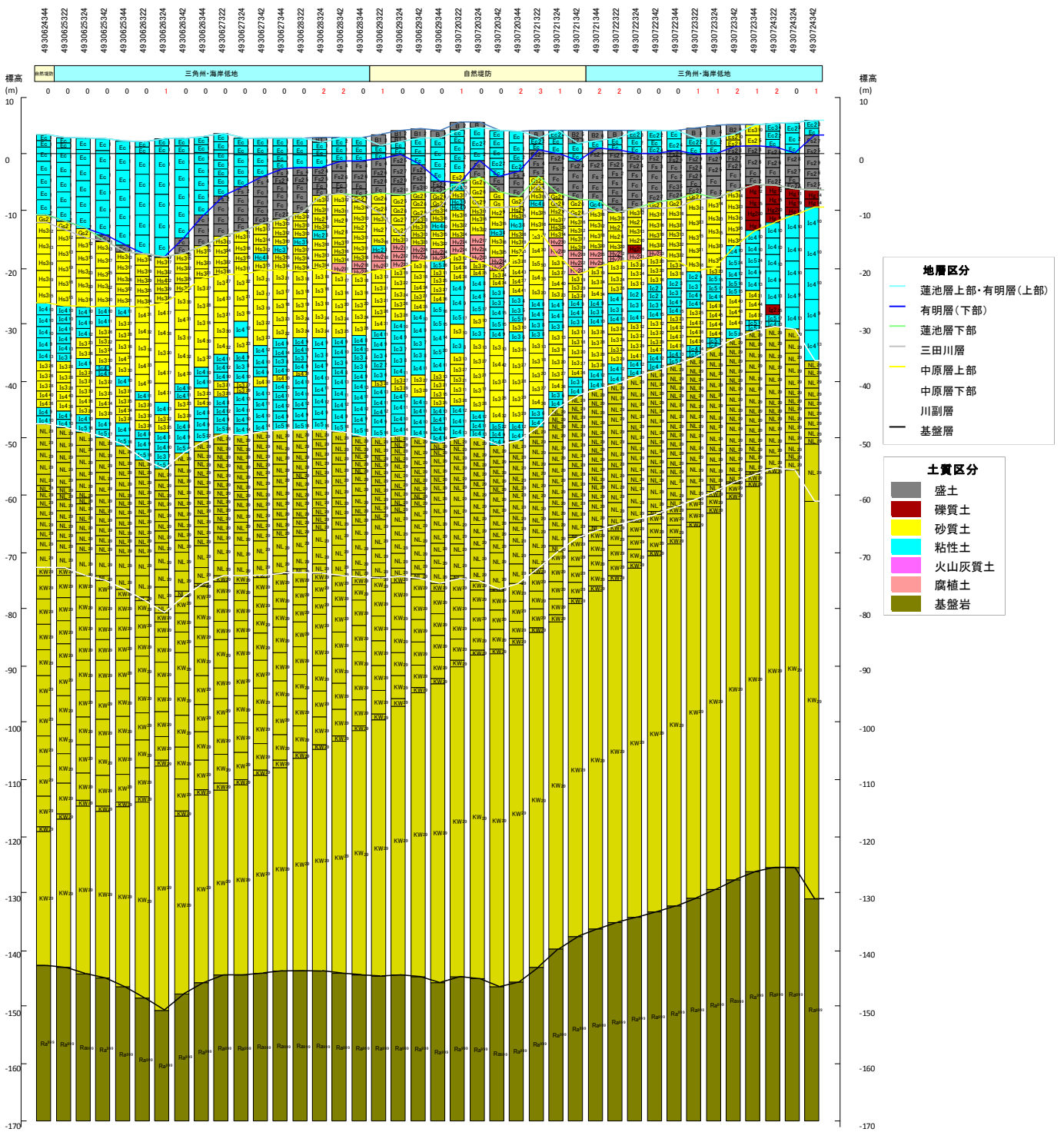


図 4.2-6(2) 作成した地盤モデル：佐賀県庁付近をとる土質断面図 (南北断面)

(2) 物性値の設定：S波速度等

佐賀県地域の地盤におけるS波速度は、図4.2-7のような深度方向の変化傾向を示す。

佐賀平野付近では、工学的基盤相当（深部地盤モデル最上位層）にあたるS波速度（ $V_s=300\sim350\text{m/秒}$ ）となる深度は、60～70m程度である。これは、中原層下部ないし川副層にあたる。

工学的基盤より上位の地層については、P S検層結果をもとに、地質年代別、層相別にN値とS波速度（以下、 V_s ）との相関関係を整理した。地質区分ごとに整理したN値のヒストグラムとN値の深度分布等を図4.2-8(1)～(2)、図4.2-9に示す。また、N値と V_s の相関関係を図4.2-10にまとめた。このような土質区分と物性値の相関関係を用いて、地層区分ごと物性値を設定した。

工学的基盤上面となる中原層下部層の上面深度については、ボーリングの掘進が達していない場合が多いので、ボーリングデータの読み取り深度に加えて、全域で追跡でき、鍵層となる三田川層上面の深度をもとに、そこから30m下に設定した。また、図4.2-7の速度構造の変化傾向をもとにS波速度を設定した。

佐賀平野以外の地域については、基本的な物性値設定の考え方は佐賀平野と同様としたが、堆積層が薄く、岩盤が地下のごく浅い深度の出現する地域では、図4.2-9に示したような岩盤の強・弱風化部のN値をもとに、岩盤の弱風化部以深を工学的基盤と設定した。具体的には、山地、丘陵部での弱風化部上面の深さを地表からの深度10m程度として地盤をモデル化した。なお、各層の単位体積重量は、中央防災会議（2001）の資料を用いて設定した。

このようにして設定した佐賀県地域の地盤構成層の物性値を表4.2-1にまとめた。また、前出の土質断面図をS波速度断面に変換した例を図4.2-11(1)～(2)に示す。

(佐賀平野以外の地域も含むデータ)

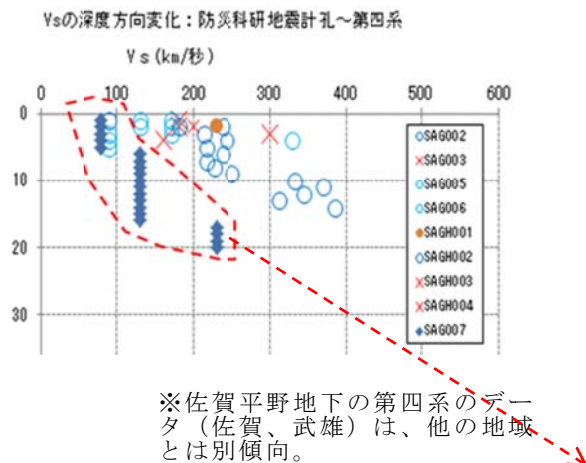
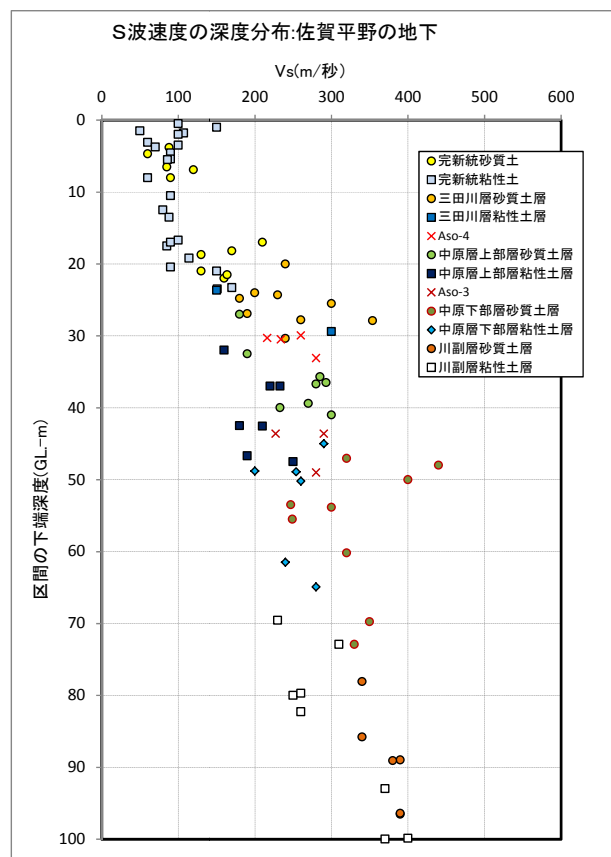
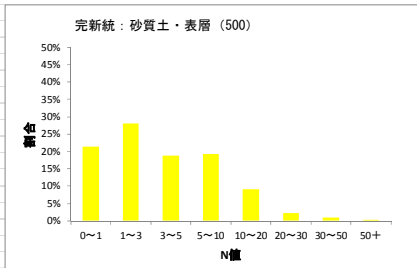


図4.2-7
佐賀県地域におけるS波速度(V_s)の
深度方向変化

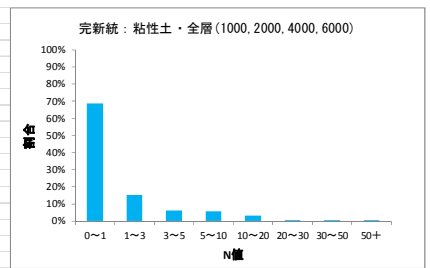
(佐賀平野地域のデータ)



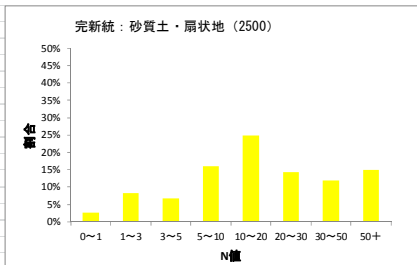
N値区間	データ数	割合(%)
0~1	204	21.4%
1~3	267	28.0%
3~5	180	18.9%
5~10	184	19.3%
10~20	86	9.0%
20~30	21	2.2%
30~50	9	0.9%
50+	3	0.3%
計	954	



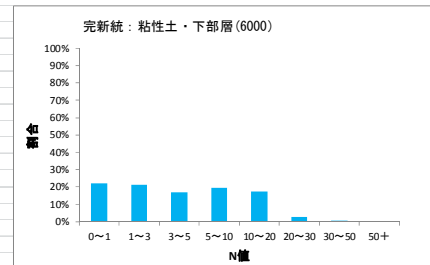
N値区間	データ数	割合(%)
0~1	7886	68.7%
1~3	1730	15.1%
3~5	729	6.4%
5~10	653	5.7%
10~20	343	3.0%
20~30	79	0.7%
30~50	42	0.4%
50+	15	0.1%
計	11477	



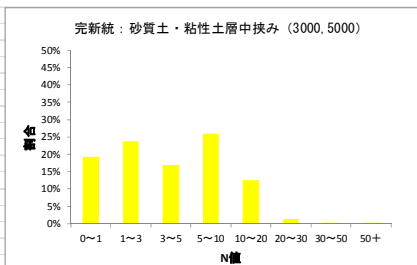
N値区間	データ数	割合(%)
0~1	42	2.7%
1~3	127	8.2%
3~5	105	6.8%
5~10	249	16.1%
10~20	384	24.8%
20~30	222	14.4%
30~50	185	12.0%
50+	232	15.0%
計	1546	



N値区間	データ数	割合(%)
0~1	80	22.1%
1~3	77	21.3%
3~5	61	16.9%
5~10	70	19.3%
10~20	63	17.4%
20~30	10	2.8%
30~50	1	0.3%
50+	0	0.0%
計	362	



N値区間	データ数	割合(%)
0~1	384	19.3%
1~3	471	23.7%
3~5	334	16.8%
5~10	517	26.0%
10~20	251	12.6%
20~30	27	1.4%
30~50	3	0.2%
50+	3	0.2%
計	1990	



N値区間	データ数	割合(%)
0~1	36	20.8%
1~3	44	25.4%
3~5	20	11.6%
5~10	37	21.4%
10~20	31	17.9%
20~30	3	1.7%
30~50	0	0.0%
50+	2	1.2%
計	173	

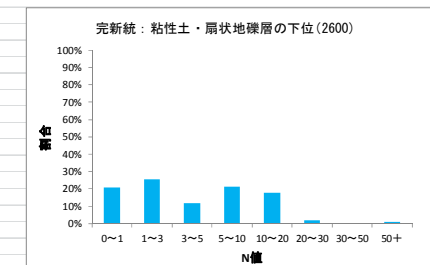
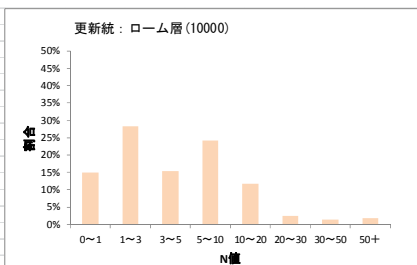
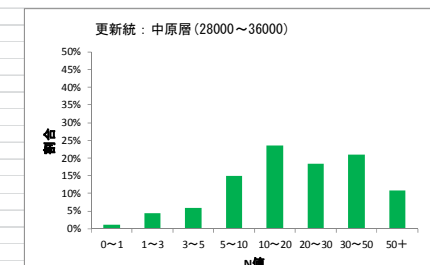


図 4.2-8(1) 地層区分別のN値(1)：佐賀平野付近・完新統

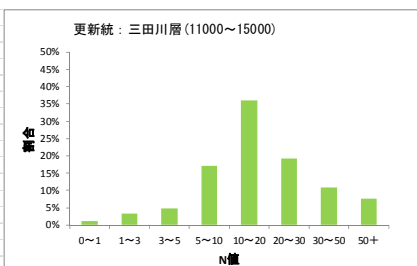
N値区間	データ数	割合(%)
0~1	32	14.9%
1~3	61	28.4%
3~5	33	15.3%
5~10	52	24.2%
10~20	25	11.6%
20~30	5	2.3%
30~50	3	1.4%
50+	4	1.9%
計	215	



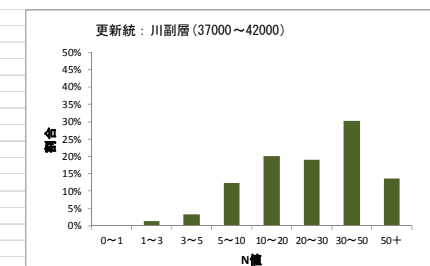
N値区間	データ数	割合(%)
0~1	113	1.2%
1~3	411	4.4%
3~5	542	5.8%
5~10	1385	14.9%
10~20	2202	23.7%
20~30	1705	18.3%
30~50	1944	20.9%
50+	1007	10.8%
計	9309	



N値区間	データ数	割合(%)
0~1	142	1.2%
1~3	389	3.2%
3~5	564	4.7%
5~10	2043	17.0%
10~20	4332	36.1%
20~30	2320	19.3%
30~50	1302	10.8%
50+	919	7.7%
計	12011	



N値区間	データ数	割合(%)
0~1	0	0.0%
1~3	13	1.3%
3~5	33	3.2%
5~10	126	12.4%
10~20	206	20.2%
20~30	195	19.1%
30~50	308	30.2%
50+	139	13.6%
計	1020	



N値区間	データ数	割合(%)
0~1	6	0.6%
1~3	31	3.0%
3~5	37	3.6%
5~10	119	11.7%
10~20	352	34.5%
20~30	288	28.2%
30~50	163	16.0%
50+	25	2.4%
計	1021	

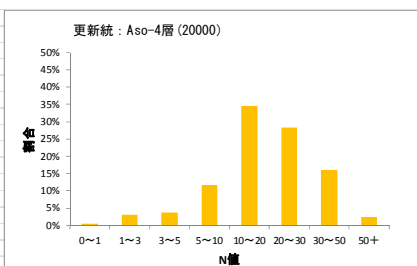
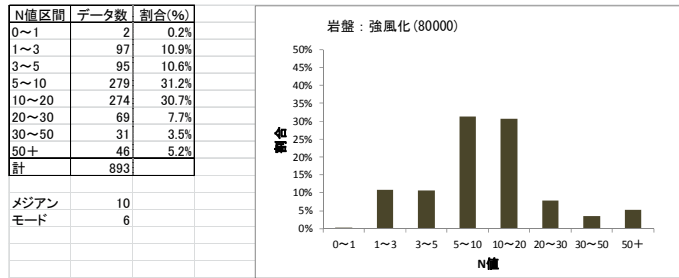


図 4.2-8(2) 地層区分別のN値(2)：佐賀平野付近・更新統ほか



深度(GL-m)	データ数	割合(%)	平均	標準誤差
0~1	3	1.2%	7.30749	0.363971
1~3	50	20.6%	メジアン	5.45
3~5	48	19.8%	モード	5.45
5~10	98	40.3%	標準偏差	5.673742
10~15	14	5.8%	分散	32.19135
15~20	20	8.2%		
20~30	9	3.7%		
30+	1	0.4%		
計	243			

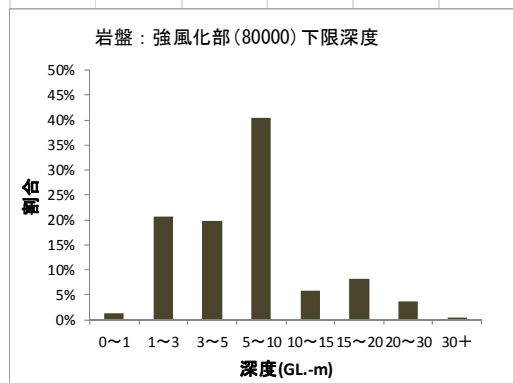


図 4.2-9
基盤（岩盤）風化部のN値と
深度分布：佐賀平野と周辺

表 4.2-1 佐賀県地域の地盤構成層の物性値

・第四系：平野部地下

地層区分		N値	弾性波速度速度 (m/秒)	
地層名 1	地層名 2		Vp	Vs
A層	蓮池層上部	0 (~2)	1,500	100
	有明粘土層			
	同 砂質部	5~30	1,700	200
	蓮池層下部	0~3	1,600	100
B層	三田川層	10~40	1,700	230
C層	Aso-4	20~50 以上	(2,000)	(400)
D層	中原層上部砂質土	10~20	1,600	200
	同 粘性土	1~10	1,500	(150)
	Aso-3	20~50	1,700	300
	中原層下部 (砂質土主体)	20~50 以上	1,800	350
E層	川副層上部 (粘性土主体)	5~20	1,700	250
	川副層下部 (砂質土主体)	30~50 以上	2,000	400

・基盤：山地部、丘陵部の表層

構成地質	項目	強風化部	弱風化部	新鮮部
古第三系	深度 (GL.-m)	0~10	10~20	20~
	Vs (m/秒)	200	300	700+*
火山岩類	深度 (GL.-m)	0~10	10~20	20~
	Vs (m/秒)	200	300	700+*
花崗岩類・変成岩類	深度 (GL.-m)	0~10	10~20	20~
	Vs (m/秒)	200	300	900+*

※深部地盤モデル最上位層

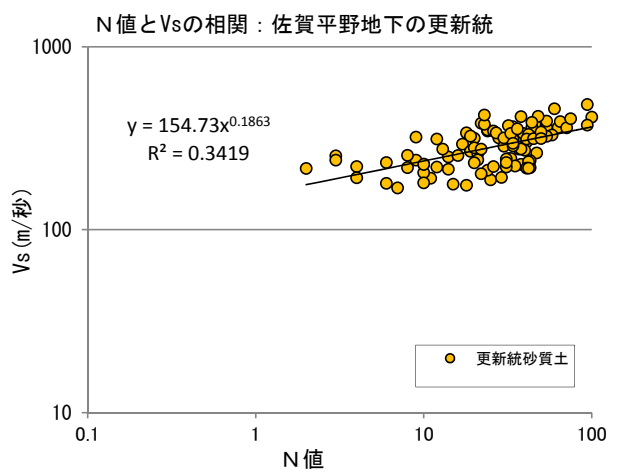
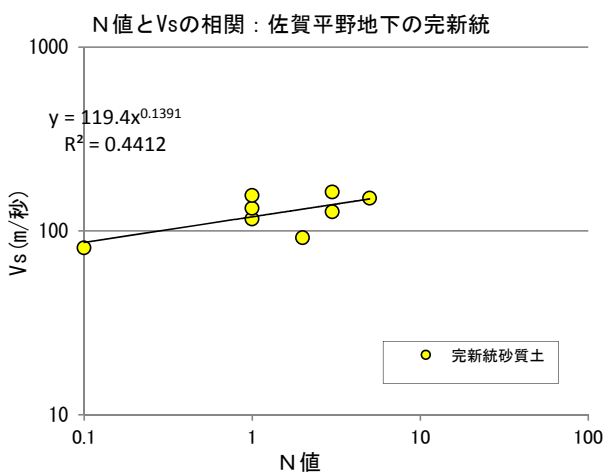
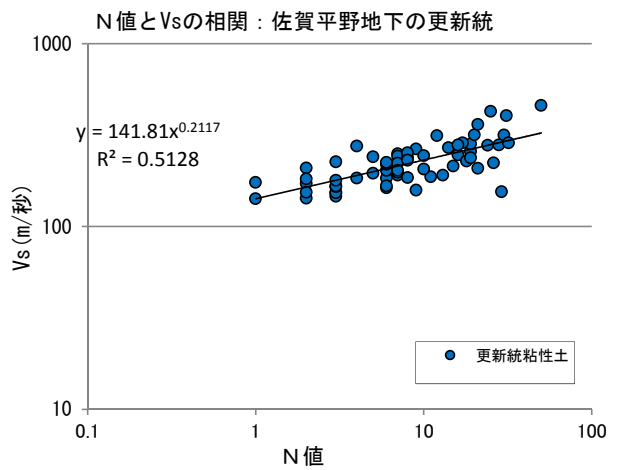
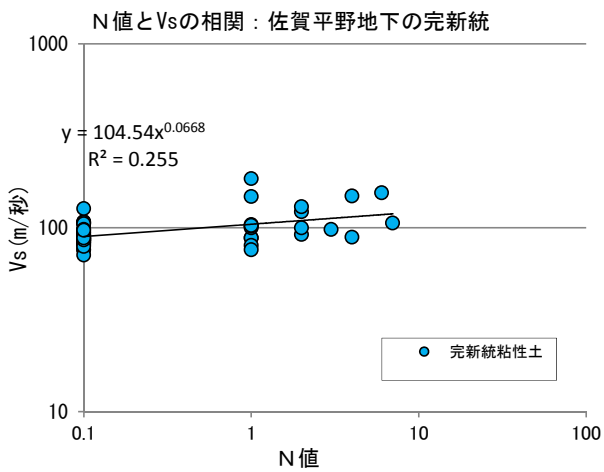
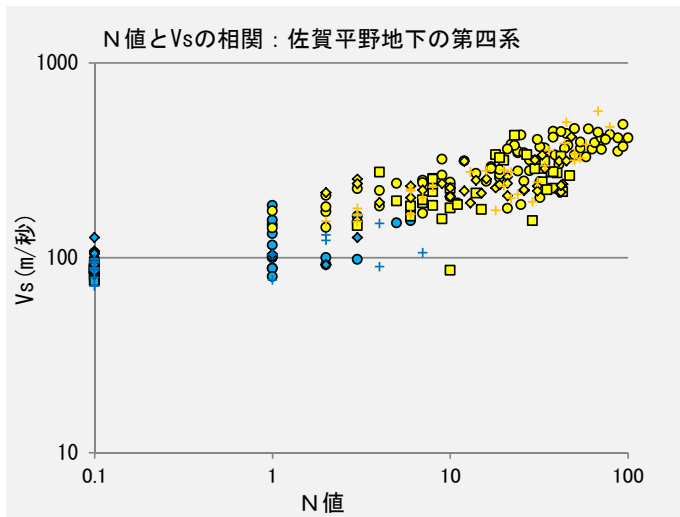


図 4.2-10 N値とS波速度の相関：サスペンション法

A

A'

速度断面：緯度 = 33度 14分 56.249秒(経度 = 130度 14分 15秒 ~ 130度 21分 37.5秒)

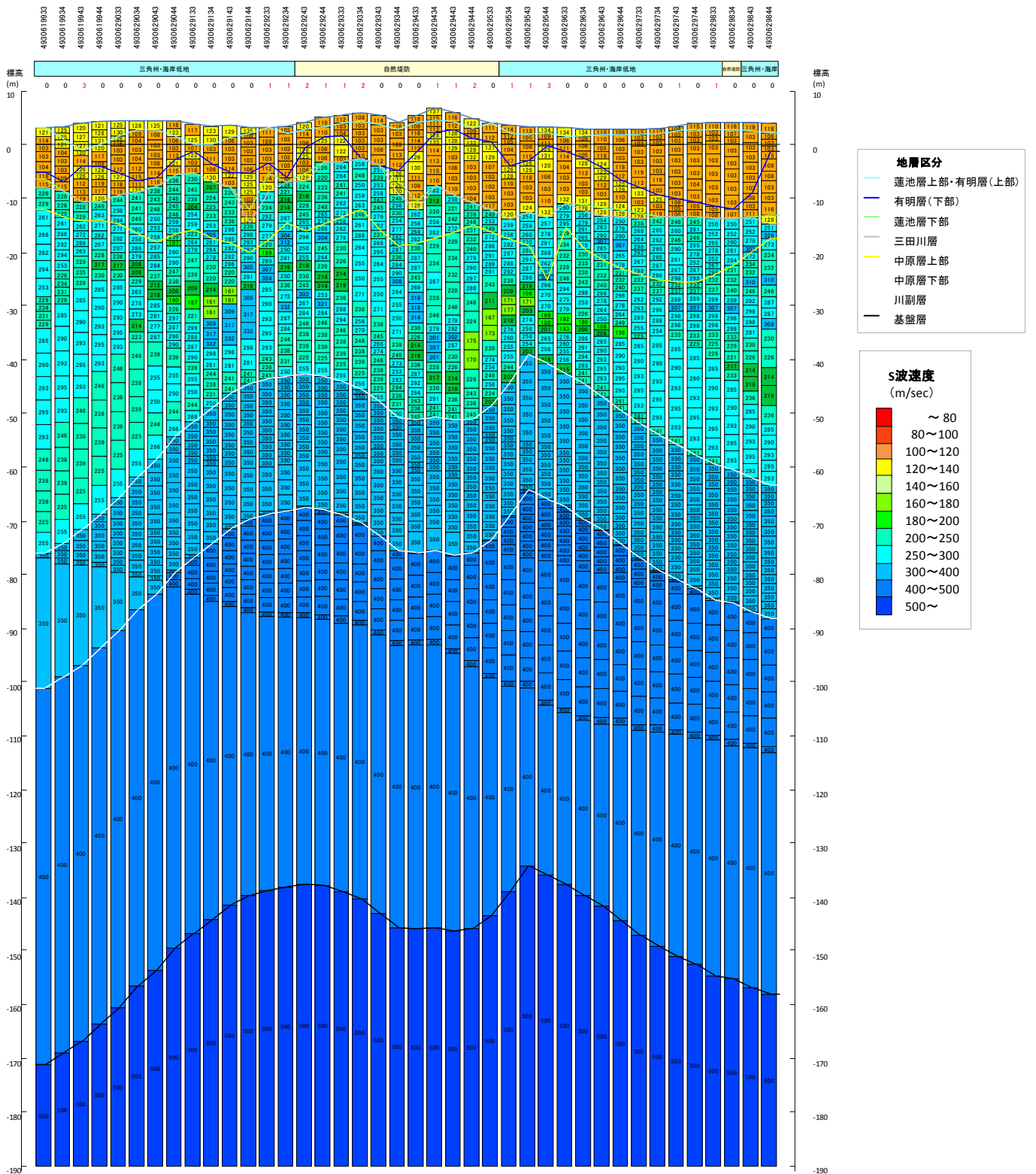


図 4.2-11(1) 佐賀県庁付近をとるS波速度断面図(東西断面)

※各柱状図が250mメッシュごとの地盤モデル。図 4.2-6(1)に対応。

B

B'

速度断面：経度 = 130度 17分 54.375秒 (緯度 = 33度 12分 29.999秒 ~ 33度 17分 22.499秒)

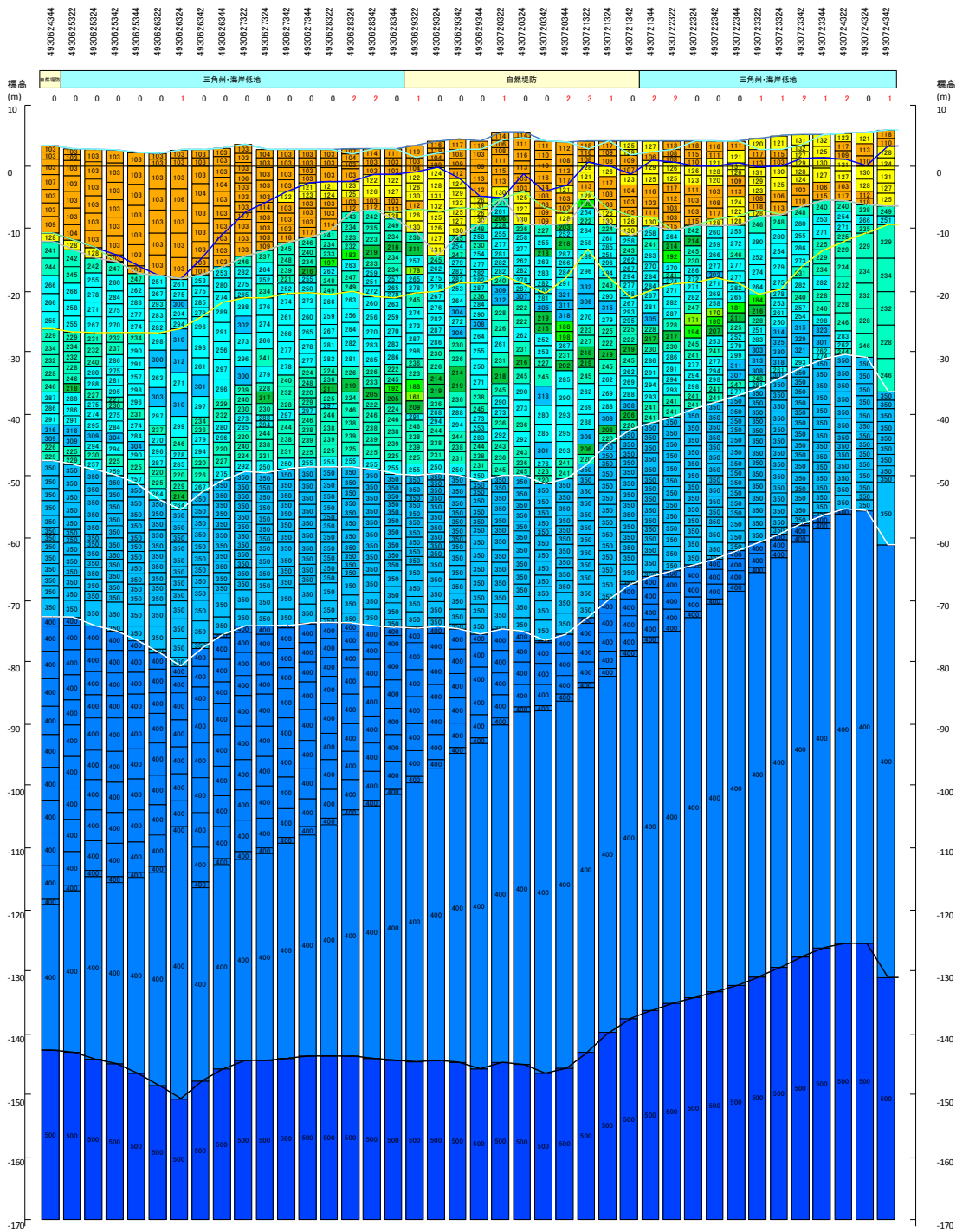


図 4.2-11(2) 佐賀県庁付近をとるS波速度断面図 (南北断面)
 ※図 4.2-6(2) に対応。

(3) 物性値の設定：動的変形特性

佐賀平野地下に広く分布する有明粘土層は、きわめて軟質であり、工学的基盤から地表への地震波伝播過程において揺れが吸収され、他の地域の地盤に比べて地震動の増幅効果が小さくなる可能性がある。

このような地盤特性を地震動予測計算に反映させるために、モデル化の対象とした各層の粘性土（有明粘土層等）について、既存の動的変形特性試験結果を地層区別にとりまとめた（有明粘土層のデータを図4.2-12に示す）。とりまとめにあたっては、善ほか(1987)を参考にした。

これらによると、ほとんどの既存試験結果は、善ほか(1987)の $I_p=30$ 以上の $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線より、上側にある。つまりせん断ひずみ γ の増加に伴う剛性率比 G/G_0 の変化が、善ほか(1987)の曲線より低下しない傾向となっている。また、 $h \sim \gamma$ 曲線は $I_p=30$ 以上の平均曲線より下側にある。つまり、減衰比 h が、せん断ひずみ γ によりあまり上昇しない傾向にある。

以上の結果をふまえ、完新統（蓮沼層上部層(aAc1)、有明粘土層(aAc2))、完新統（蓮沼層下部層(aH1c))および更新統（中原層(dNc1))の動的変形特性曲線は、既存試験結果の平均値（緑色の曲線）を採用することとした。

また、砂など他の地層については、土木研究所による砂質土の動的変形特性曲線（岩崎・龍岡・高木(1977)）を、また、礫質土については今津・福武(1986)の動的変形特性曲線を用いることとした。

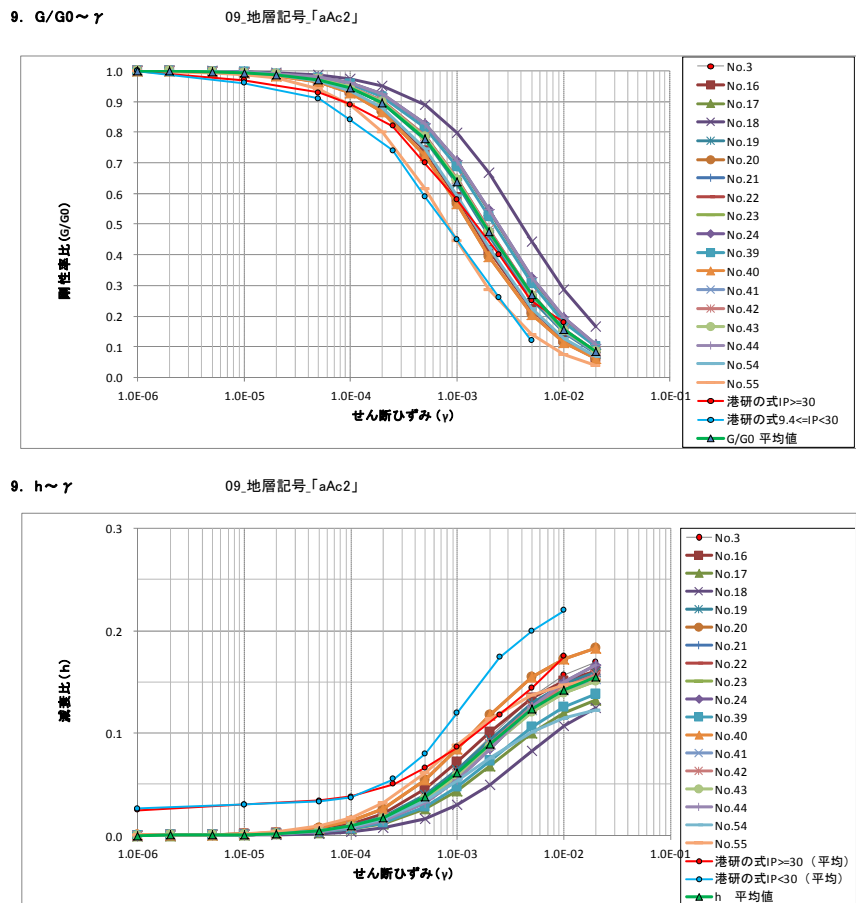


図 4.2-12
地層別動的変形特性データ
(有明粘土層)

※今回整理したデータの平均値を、黒△-緑線で示す。

善功企・山崎浩之・梅原靖文(1987)の「地震応答解析のための土の動的特性に関する実験的研究」港研報告 Vol. 26, No. 2, pp. 41-133.

岩崎敏男・龍岡文夫・高木義和(1977)：砂のせん弾変形係数と減衰の歪依存性について，第12回土質工学発表講演集, 417-420.

今津雅紀・福武毅芳(1986)：動的変形特性のデータ処理に関する一考察，第21回土質工学研究発表会 pp. 533-536.