

第3章 地盤モデルの構築

県内における地震動の詳細な予測を行うためには、地震を引き起こす震源断層から地表までの地震動が伝わる経路について、詳細な地盤構造を推定する必要がある。

本章では、地震動を検討するための地盤モデルについて、一般的な大規模構造物の基礎を置くことができるような十分な硬さを持った地盤(工学的基盤)を境界として、震源断層から工学的基盤までの深部地盤、工学的基盤から地表までの浅部地盤の2つに分けて、それぞれについて基礎的なデータを収集した上で、地震動の計算に必要な地盤モデルの構築を行った。浅部地盤と深部地盤の概念図を図3-1に示す。

深部地盤については、全国的に統一的な観点で作成されているモデルである地震調査研究推進本部による「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を基礎データとして、県内で収集された微動アレイ及び強震観測に基づきモデルの修正を行った。

浅部地盤については、県内で実施されたボーリングデータを収集し、これに県内の地形地質を考慮した検討を行い、統一的な層構造モデルを作成した。

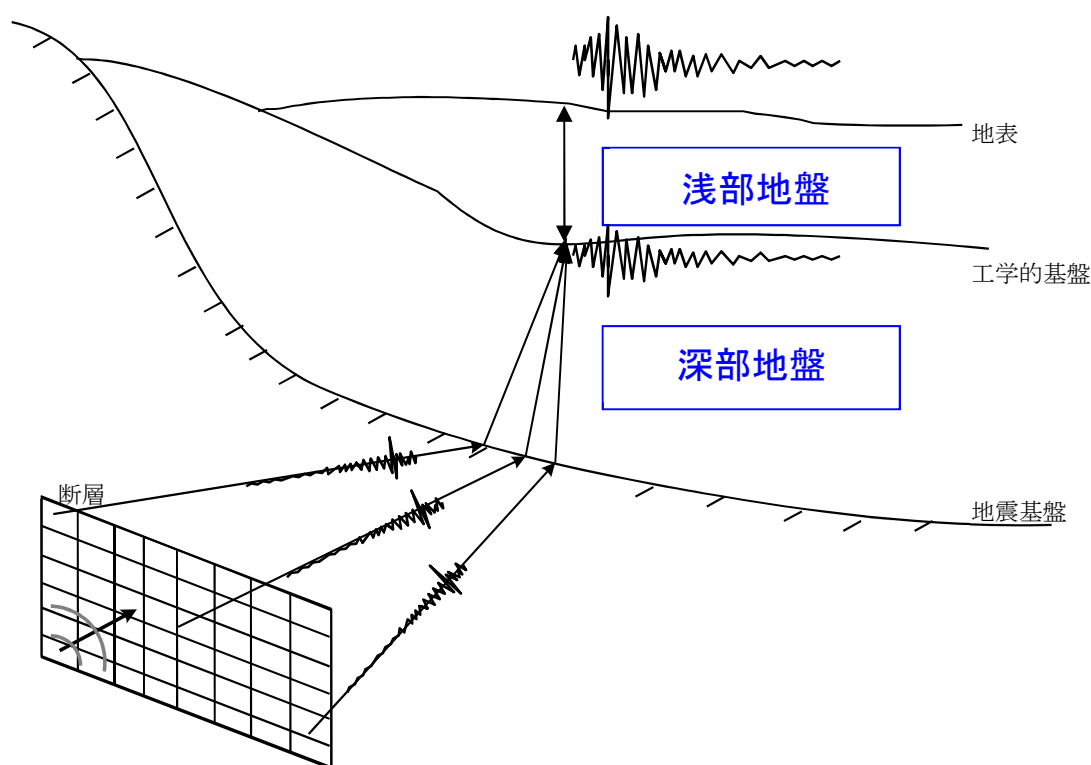


図3-1 浅部地盤・深部地盤の概念図

3.1 深部地盤モデル

3.1.1 データ収集・整理

深部地盤構造の初期モデルとするために、長周期地震動予測地図 2012 年度版¹により公開されている、全国 1 次地下構造モデル（暫定版）を収集した。

また、観測記録を用いて深部地盤構造モデルの修正を行うために、微動アレイ観測点及び強震観測点における観測地震波形を収集した。強震観測点及び微動アレイ探査位置を図 3.1-1 に、解析に用いた地震の一覧を表 3.1-1 (1) ～ (2) に示す。

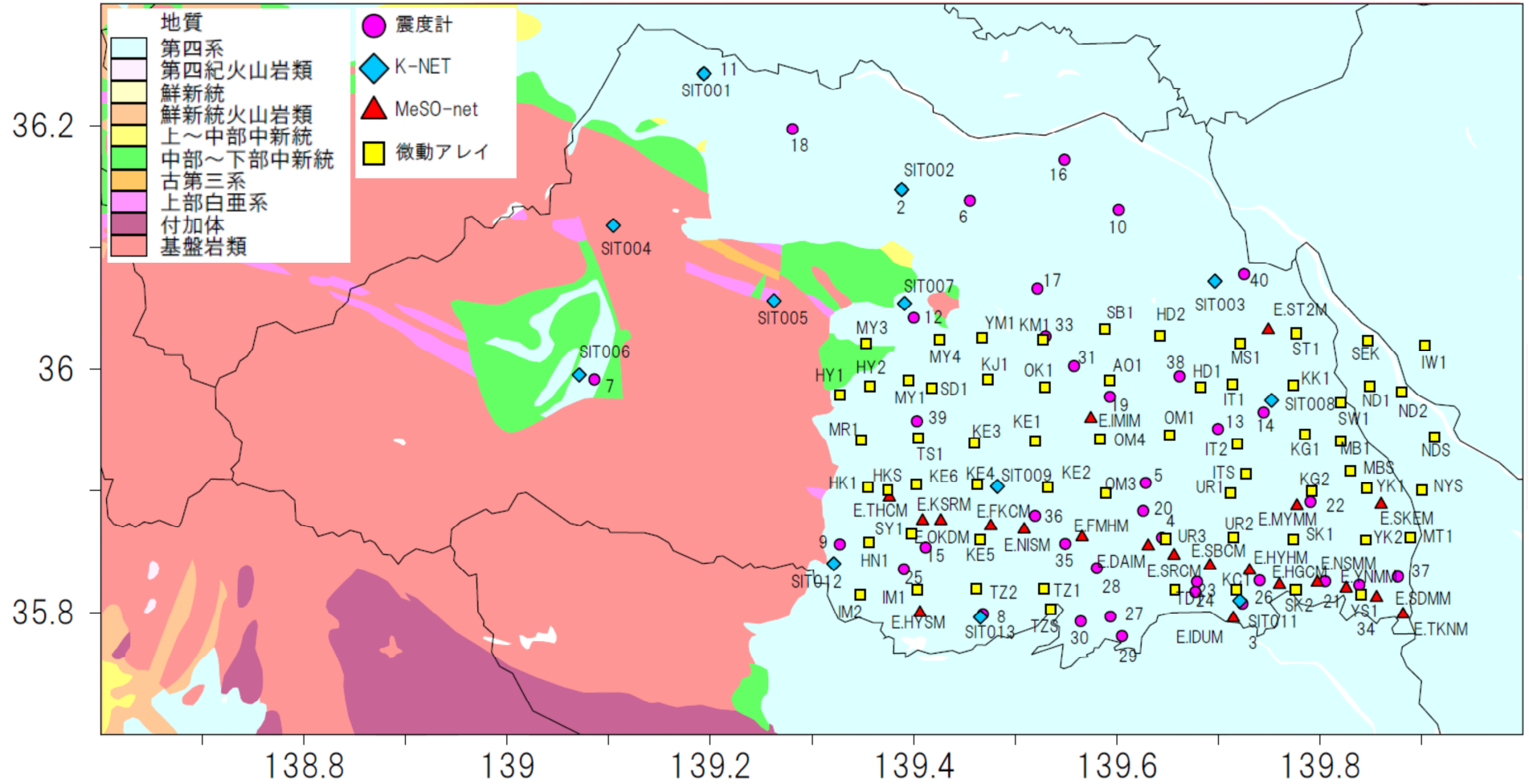


図 3.1-1 強震観測点及び微動アレイ探査位置

表 3.1-1(1) MeSO-net 観測点解析に用いた地震の一覧

	年	月	日	時	分	秒	緯度 (世界測地系)	経度 (世界測地系)	深さ (km)	Mj	震央
1	2011	3	9	11	45	12.97	38.328	143.28	8.3	7.3	FAR E OFF MIYAGI PREF
2	2011	3	10	3	16	14.18	38.271	142.879	28.9	6.4	FAR E OFF MIYAGI PREF
3	2011	3	10	6	23	59.75	38.172	143.045	9.3	6.8	FAR E OFF MIYAGI PREF
4	2011	3	11	15	15	34.46	36.108	141.265	43.2	7.6	FAR E OFF IBARAKI PREF
5	2011	3	11	17	40	54.13	37.425	141.318	27.4	6	E OFF FUKUSHIMA PREF
6	2011	3	11	20	36	39.89	39.17	142.619	24	6.7	E OFF IWATE PREF
7	2011	3	12	3	59	15.62	36.986	138.598	8.4	6.7	MID NIIGATA PREF
8	2011	3	12	4	31	55.6	36.949	138.572	0.8	5.9	MID NIIGATA PREF
9	2011	3	12	22	15	41.76	37.197	141.426	40.1	6.2	E OFF FUKUSHIMA PREF
10	2011	3	13	8	24	46.9	38.012	141.948	15.2	6.2	SE OFF MIYAGI PREF
11	2011	3	13	10	26	2.08	35.828	141.972	11.2	6.6	FAR E OFF IBARAKI PREF
12	2011	3	14	10	2	38.78	36.458	141.125	31.8	6.2	E OFF IBARAKI PREF
13	2011	3	15	22	31	46.34	35.309	138.714	14.3	6.4	MT. FUJI REGION
14	2011	3	16	12	52	2.77	35.837	140.906	10	6.1	NEAR CHOSHI CITY
15	2011	3	16	13	14	29.65	37.535	141.581	25.3	5.6	E OFF FUKUSHIMA PREF
16	2011	3	17	21	32	2.49	35.63	140.978	27.9	5.7	NEAR CHOSHI CITY
17	2011	3	17	21	54	53.66	36.738	141.309	47	5.7	E OFF IBARAKI PREF
18	2011	3	19	18	56	48.06	36.784	140.571	5.4	6.1	NORTHERN IBARAKI PREF
19	2011	3	20	10	30	45.53	36.939	141.177	29.3	5.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
20	2011	3	22	12	38	34.78	35.264	141.237	37	5.9	E OFF BOSO PENINSULA
21	2011	3	22	18	19	5.28	37.316	141.91	43	6.4	E OFF FUKUSHIMA PREF
22	2011	3	23	7	36	31.31	37.063	140.771	7.3	5.8	EASTERN FUKUSHIMA PREF
23	2011	3	24	17	20	58.62	39.077	142.358	33.7	6.2	E OFF IWATE PREF
24	2011	3	28	7	23	57.02	38.384	142.346	31.7	6.5	E OFF MIYAGI PREF
25	2011	3	29	19	54	30.44	37.409	142.47	13.4	6.6	SE OFF MIYAGI PREF
26	2011	4	7	23	32	43.46	38.204	141.92	65.9	7.2	E OFF MIYAGI PREF
27	2011	4	11	17	16	12.02	36.946	140.673	6.4	7	EASTERN FUKUSHIMA PREF
28	2011	4	11	20	42	35.16	36.966	140.635	10.6	5.9	EASTERN FUKUSHIMA PREF
29	2011	4	12	8	8	15.89	35.482	140.868	26.3	6.4	NEAR CHOSHI CITY
30	2011	4	12	14	7	42.28	37.053	140.643	15.1	6.4	EASTERN FUKUSHIMA PREF
31	2011	4	13	10	7	58.05	36.915	140.707	4.5	5.7	EASTERN FUKUSHIMA PREF
32	2011	4	16	11	19	31.67	36.341	139.946	78.8	5.9	SW IBARAKI PREF
33	2011	4	21	22	37	2.18	35.675	140.685	46.4	6	NEAR CHOSHI CITY
34	2011	4	22	1	11	16.94	37.511	141.452	48.1	5.6	E OFF FUKUSHIMA PREF
35	2011	4	28	18	27	46.79	37.413	141.781	43.5	5.7	E OFF FUKUSHIMA PREF
36	2011	5	5	23	58	19.13	38.212	144.119	42	6.1	FAR E OFF NORTH HONSHU
37	2011	5	14	8	35	50.99	37.328	141.628	40.9	5.9	E OFF FUKUSHIMA PREF
38	2011	5	20	9	46	15.48	35.801	141.176	35.9	5.8	NEAR CHOSHI CITY
39	2011	5	22	7	6	27.44	35.73	140.644	48.3	5.5	NEAR CHOSHI CITY
40	2011	6	3	9	5	2.77	37.303	143.833	57	6.1	FAR E OFF NORTH HONSHU
41	2011	6	4	1	0	14.16	36.99	141.211	29.6	5.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
42	2011	6	9	19	38	32.94	36.497	140.971	12.6	5.7	E OFF IBARAKI PREF
43	2011	6	14	22	6	52.81	37.812	143.583	50	6	FAR E OFF MIYAGI PREF
44	2011	6	18	20	31	4.61	37.618	141.821	27.6	6	E OFF FUKUSHIMA PREF
45	2011	6	23	6	50	50.73	39.948	142.591	36.4	6.9	E OFF IWATE PREF
46	2011	7	7	0	15	0.04	36.375	141.787	76.4	5.9	FAR E OFF IBARAKI PREF
47	2011	7	8	3	35	41.84	37.097	141.13	55.5	5.6	E OFF FUKUSHIMA PREF
48	2011	7	10	9	57	7.36	38.032	143.507	34	7.3	FAR E OFF MIYAGI PREF
49	2011	7	23	13	34	23.87	38.874	142.091	47.2	6.4	KINKAZAN REGION
50	2011	7	25	3	51	25.3	37.709	141.627	45.8	6.3	E OFF FUKUSHIMA PREF
51	2011	7	25	20	54	48.95	35.245	141.232	37	5.7	E OFF BOSO PENINSULA
52	2011	7	29	23	53	17.45	36.888	142.134	29	5.6	E OFF FUKUSHIMA PREF
53	2011	7	31	3	53	50.64	36.903	141.221	57.3	6.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
54	2011	8	1	23	58	11.07	34.709	138.548	22.8	6.2	SOUTHERN SURUGA BAY REG
55	2011	8	12	3	22	4.71	36.969	141.161	52.3	6.1	E OFF FUKUSHIMA PREF
56	2011	8	17	20	44	8.67	36.769	143.764	52	6.2	FAR E OFF CENTRAL HONSHU
57	2011	8	19	14	36	31.61	37.649	141.797	51.1	6.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
58	2011	8	22	20	23	35.34	36.107	141.984	34	6.1	FAR E OFF IBARAKI PREF
59	2011	9	15	17	0	8.62	36.255	141.483	50.9	6.3	FAR E OFF IBARAKI PREF
60	2011	11	24	4	24	30.45	37.33	141.613	45.4	6.1	E OFF FUKUSHIMA PREF
61	2012	1	12	12	20	49.03	36.968	141.304	33.4	5.9	E OFF FUKUSHIMA PREF
62	2012	2	8	21	1	37.95	37.865	138.171	13.6	5.7	SADOGASHIMA IS. REG
63	2012	2	14	12	27	48.35	36.221	141.634	58.5	5.6	FAR E OFF IBARAKI PREF
64	2012	2	14	15	21	59.53	36.217	141.597	54.2	6	FAR E OFF IBARAKI PREF

表 3.1-1(2) 震度計観測点解析に用いた地震の一覧

	年	月	日	時	分	秒	緯度 (世界測地系)	経度 (世界測地系)	深さ (km)	Mj	震央
1	2010	6	13	12	32	57.02	37.396	141.796	40.3	6.2	E OFF FUKUSHIMA PREF
2	2011	3	9	11	45	12.97	38.328	143.28	8.3	7.3	FAR E OFF MIYAGI PREF
3	2011	3	10	3	16	14.18	38.271	142.879	28.9	6.4	FAR E OFF MIYAGI PREF
4	2011	3	10	6	23	59.75	38.172	143.045	9.3	6.8	FAR E OFF MIYAGI PREF
5	2011	3	11	14	51	27.43	36.735	142.029	11	6.8	E OFF FUKUSHIMA PREF
6	2011	3	11	14	58	5.81	37.676	141.911	23	6.4	E OFF FUKUSHIMA PREF
7	2011	3	11	15	15	34.46	36.108	141.265	43.2	7.7	FAR E OFF IBARAKI PREF
8	2011	3	11	15	25	44.4	37.837	144.894	34	7.5	FAR E OFF NORTH HONSHU
9	2011	3	11	17	40	54.13	37.425	141.318	27.4	6.1	E OFF FUKUSHIMA PREF
10	2011	3	11	20	36	39.89	39.17	142.619	24	6.7	E OFF IWATE PREF
11	2011	3	12	3	59	15.62	36.986	138.598	8.4	6.7	MID NIIGATA PREF
12	2011	3	12	4	31	55.6	36.949	138.572	0.8	5.9	MID NIIGATA PREF
13	2011	3	12	22	15	41.76	37.197	141.426	40.1	6.2	E OFF FUKUSHIMA PREF
14	2011	3	13	8	24	46.9	38.012	141.948	15.2	6.2	SE OFF MIYAGI PREF
15	2011	3	13	10	26	2.08	35.828	141.972	11.2	6.6	FAR E OFF IBARAKI PREF
16	2011	3	14	10	2	38.78	36.458	141.125	31.8	6.2	E OFF IBARAKI PREF
17	2011	3	14	15	12	33.99	37.805	142.588	7	6.5	SE OFF MIYAGI PREF
18	2011	3	15	22	31	46.34	35.309	138.714	14.3	6.4	MT. FUJI REGION
19	2011	3	16	12	52	2.77	35.837	140.906	10	6.1	NEAR CHOSHI CITY
20	2011	3	16	13	14	29.65	37.535	141.581	25.3	5.6	E OFF FUKUSHIMA PREF
21	2011	3	17	21	32	2.49	35.63	140.978	27.9	5.7	NEAR CHOSHI CITY
22	2011	3	17	21	54	53.66	36.738	141.309	47	5.7	E OFF IBARAKI PREF
23	2011	3	19	18	56	48.06	36.784	140.571	5.4	6.1	NORTHERN IBARAKI PREF
24	2011	3	20	10	30	45.53	36.939	141.177	29.3	5.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
25	2011	3	22	12	38	34.78	35.264	141.237	37	5.9	E OFF BOSO PENINSULA
26	2011	3	22	16	18	40.84	37.086	144.248	28	6.7	FAR E OFF NORTH HONSHU
27	2011	3	22	18	19	5.28	37.316	141.91	43	6.4	E OFF FUKUSHIMA PREF
28	2011	3	23	7	12	28.78	37.085	140.788	7.6	6	EASTERN FUKUSHIMA PREF
29	2011	3	23	7	36	31.31	37.063	140.771	7.3	5.8	EASTERN FUKUSHIMA PREF
30	2011	3	24	17	20	58.62	39.077	142.358	33.7	6.2	E OFF IWATE PREF
31	2011	3	25	20	36	24.28	38.729	142.107	44.7	6.3	E OFF MIYAGI PREF
32	2011	3	28	7	23	57.02	38.384	142.346	31.7	6.5	E OFF MIYAGI PREF
33	2011	3	29	19	54	30.44	37.409	142.47	13.4	6.6	SE OFF MIYAGI PREF
34	2011	4	11	17	16	12.02	36.946	140.673	6.4	7	EASTERN FUKUSHIMA PREF
35	2011	4	11	20	42	35.16	36.966	140.635	10.6	5.9	EASTERN FUKUSHIMA PREF
36	2011	4	12	8	8	15.89	35.482	140.868	26.3	6.4	NEAR CHOSHI CITY
37	2011	4	12	14	7	42.28	37.053	140.643	15.1	6.4	EASTERN FUKUSHIMA PREF
38	2011	4	13	10	7	58.05	36.915	140.707	4.5	5.7	EASTERN FUKUSHIMA PREF
39	2011	4	22	1	11	16.94	37.511	141.452	48.1	5.6	E OFF FUKUSHIMA PREF
40	2011	5	14	8	35	50.99	37.328	141.628	40.9	5.9	E OFF FUKUSHIMA PREF
41	2011	5	20	9	46	15.48	35.801	141.176	35.9	5.8	NEAR CHOSHI CITY
42	2011	5	22	7	6	27.44	35.73	140.644	48.3	5.5	NEAR CHOSHI CITY
43	2011	6	4	1	0	14.16	36.99	141.211	29.6	5.5	E OFF FUKUSHIMA PREF
44	2011	6	9	19	38	32.94	36.497	140.971	12.6	5.7	E OFF IBARAKI PREF
45	2011	6	14	22	6	52.81	37.812	143.583	50	6	FAR E OFF MIYAGI PREF
46	2011	6	18	20	31	4.61	37.618	141.821	27.6	6	E OFF FUKUSHIMA PREF

3.1.2 微動アレイ・強震観測データによる地盤モデルの修正

長周期地震動予測地図 2012 年度版により公開されている、全国 1 次地下構造モデル（暫定版）を初期モデルとして、3.1.1 節で収集した微動アレイ観測点及び強震観測点における深部地盤構造モデルの修正を行った。

強震観測点と微動アレイ探査地点が近傍に位置している場合には、微動の位相速度と地震動の R/V スペクトルの同時逆解析を行った。地震動の R/V スペクトルは、S 波主要動以降のラディアル成分と上下動成分のスペクトル比より計算を行った。図 3.1.2-1 (1) ～ (4) に R/V スペクトルを示す。

逆解析は山中・石田 (1995)²による遺伝的アルゴリズムを用いた。逆解析における残差は以下のように定義した。

$$E_{PV} = (1/N^{PV}) \sum_{j=1}^{N^{PV}} \left[\left(C^O(f_j) - C^C(f_j) \right) / C^O(f_j) \right]^2 \quad (3.1.2-1)$$

$$E_{RV} = (1/N^{RV}) \sum_{j=1}^{N^{RV}} \left[\left(RV^O(f_j) / RV_{\max}^O - RV^C(f_j) / RV_{\max}^C \right) \right]^2 \quad (3.1.2-2)$$

$$E = 0.5E_{PV} + 0.5E_{RV} \quad (3.1.2-3)$$

ここで、 C^O 、 C^C 、 N^{PV} 、 RV^O 、 RV^C 、 RV_{\max}^O 、 RV_{\max}^C 、 N^{RV} はそれぞれ、観測位相速度、レイリー波の理論位相速度、位相速度のデータ数、観測 R/V スペクトル、レイリー波の理論 H/V スペクトル、観測 R/V スペクトルのピーク値、レイリー波の理論 H/V スペクトルのピーク値、R/V スペクトルのデータ数である。

位相速度は基本モードにより、R/V スペクトルはレイリー波の基本モードと 1 次モードを考慮した理論計算を行った。H/V スペクトルは、長周期側のピーク周期周辺のデータのみを用い、ピークの形状をあわせるために、理論値及び観測値の最大値で規格化して残差を計算した。

レイリー波の理論 R/V スペクトルは、Arai and Tokimatsu (2004)³を参考に、基本モードから 4 次モードまでを考慮して以下の式のように求めた。

$$\frac{H}{V} = \sqrt{\frac{P_{HR}}{P_{VR}}} \quad (3.1.2-4)$$

ここで、

$$P_{VR} = \sum_{j=0}^M P_{VRj}, \quad P_{HR} = \sum_{j=0}^M P_{HRj} \quad (3.1.2-5)$$

P_{VRj} 、 P_{HRj} はそれぞれ、j 次モードのレイリー波の鉛直成分及び水平成分の相対パワーであり、レイリー波のミディアムレスポンス A_{Rj} を用いて、

$$P_{VR_j} = \left(\frac{A_{Rj}}{k_{Rj}} \right)^2 \quad (3.1.2-6)$$

$$P_{HR_j} = P_{VR_j} \cdot \varepsilon_j^2 \quad (3.1.2-7)$$

と表せる。 k_{Rj} はレイリー波の波数， ε_j は j 次モードのレイリー波の楕円率である。上記の式ではレイリー波のみを考えている。表 3.2.1-1 に逆解析の緒元を示す。表 3.1.2-2 に地盤モデルの物性値一覧を示す。

図 3.1.2-2 (1) ～ (2) に逆解析結果として、観測 R/V スペクトルと理論 H/V スペクトルの比較を示す。観測データをよく説明できていることがわかる。巻末資料 2 に深部地盤モデルの修正結果を示す。

図 3.1.2-3 に各層の上面深度分布を示す。全体的にモデルが浅く修正される結果となった。

表 3.1.2-1 速度構造解析諸元

個体数	50
世帯数	50
交差確率	0.7
突然変異確率	0.01
初期乱数	10 個

表 3.1.2-2 地盤モデルの物性値一覧

Layer	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (g/cm ³)	Qp	Qs	
1	1.7	0.35	1.80	119	70	
2	1.8	0.5	1.95	170	100	
3	2.0	0.6	2.00	204	120	
4	2.1	0.7	2.05	238	140	
5	2.2	0.8	2.07	272	160	
6	2.3	0.9	2.10	306	180	
7	2.4	1.0	2.15	340	200	付加体を含む
8	2.7	1.3	2.20	442	260	
9	3.0	1.5	2.25	510	300	
10	3.2	1.7	2.30	578	340	
11	3.5	2.0	2.35	680	400	
12	4.2	2.4	2.45	680	400	
13	5.0	2.9	2.60	680	400	地震基盤(近畿圏)
14	5.5	3.2	2.65	680	400	地震基盤(上部地殻第1層)
15	5.8	3.4	2.70	680	400	上部地殻第2層
16	6.4	3.8	2.80	680	400	下部地殻
17	7.5	4.5	3.20	850	500	マントル
18	5.0	2.9	2.40	340	200	海洋性地殻第2層(フィリピン海プレート)
19	6.8	4.0	2.90	510	300	海洋性地殻第3層(フィリピン海プレート)
20	8.0	4.7	3.20	850	500	海洋性マントル(フィリピン海プレート)
21	5.4	2.8	2.60	340	200	海洋性地殻第2層(太平洋プレート)
22	6.5	3.5	2.80	510	300	海洋性地殻第3層(太平洋プレート)
23	8.1	4.6	3.40	850	500	海洋性マントル(太平洋プレート)

- 地震本部などによる地下構造モデル
- Ludwig et al. (1970)
- 長周期地震動予測地図2009年試作版(宮城県沖地震)
Yamada and Iwata (2005)
- H17年度大大特広域モデル(田中・他, 2006)
- $Q_s=1000 \cdot V_s/5$ $Q_p=1.7 \cdot Q_s$ Q_s が400を超える場合は400とする
(Kawabe and Kamae, 2008 を参考)

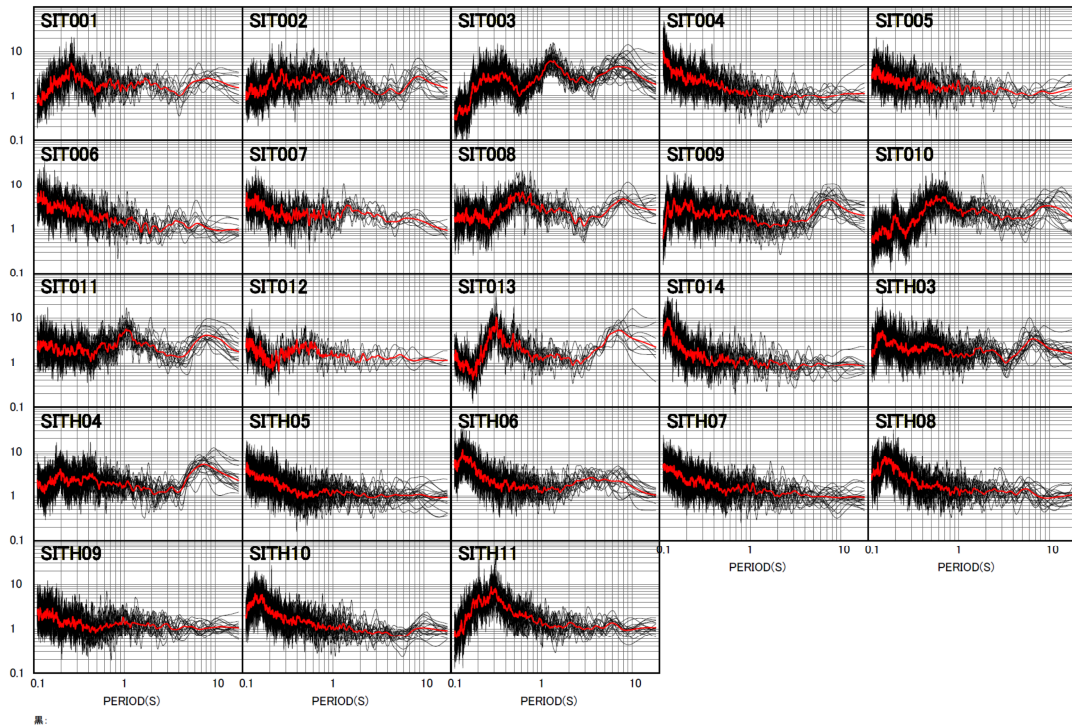


図 3.1.2-1(1) K-NET、KiK-net 観測記録の R/V スペクトル

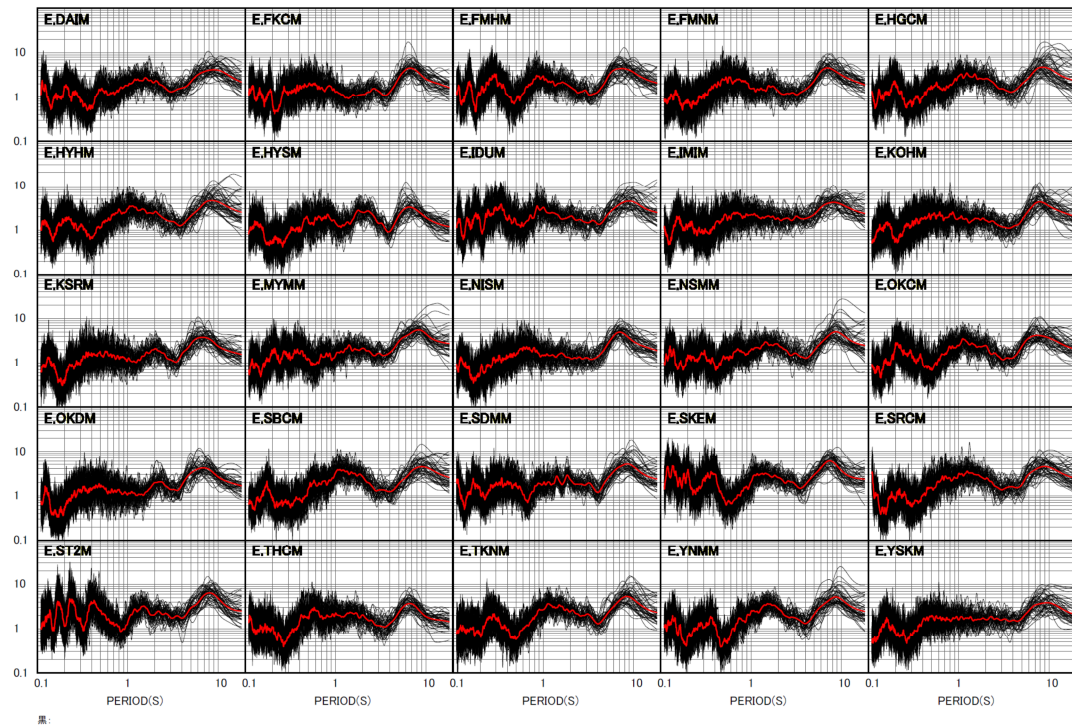


図 3.1.2-1(2) MeS0-net 観測記録の R/V スペクトル

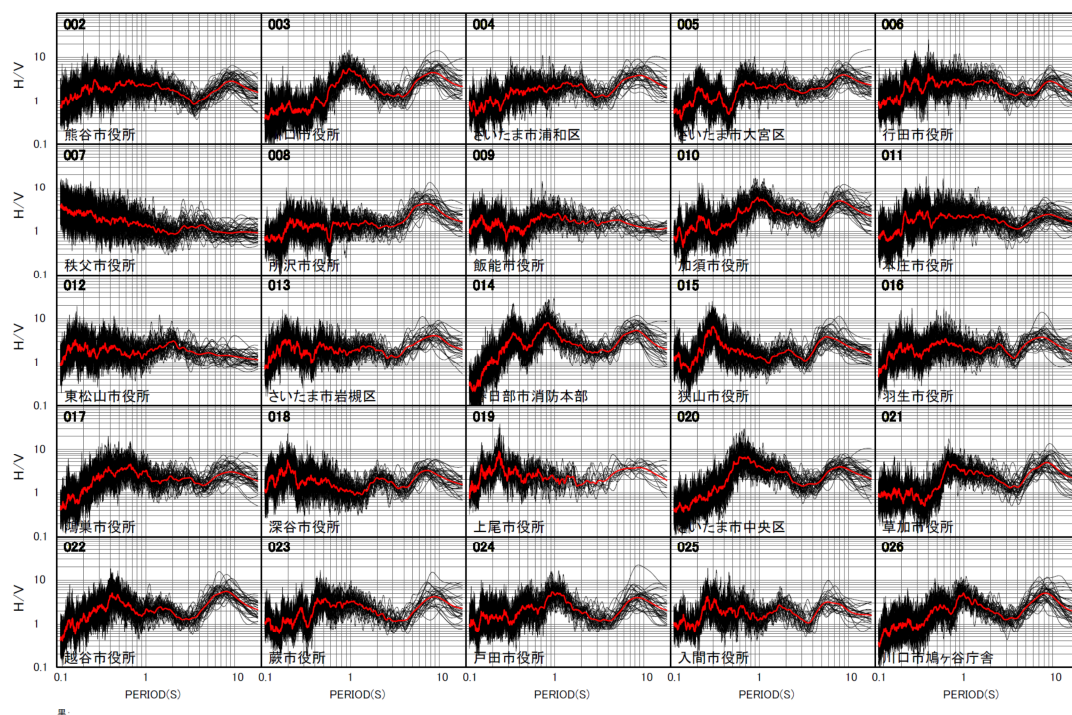


図 3.1.2-1(3) 震度計観測記録の R/V スペクトル

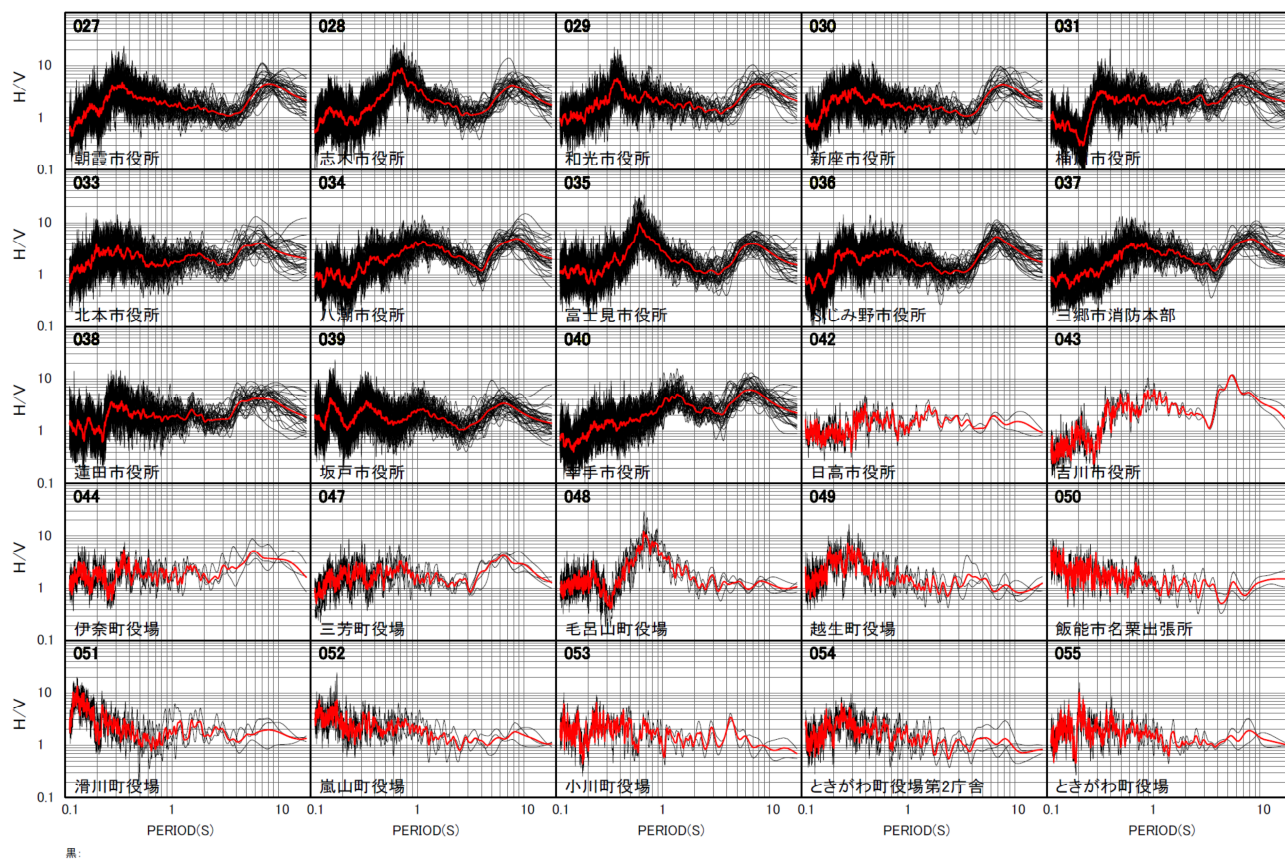


図 3.1.2-1(4) 震度計観測記録の R/V スペクトル
(042 以降の記録はデータ数が少ないため不使用)

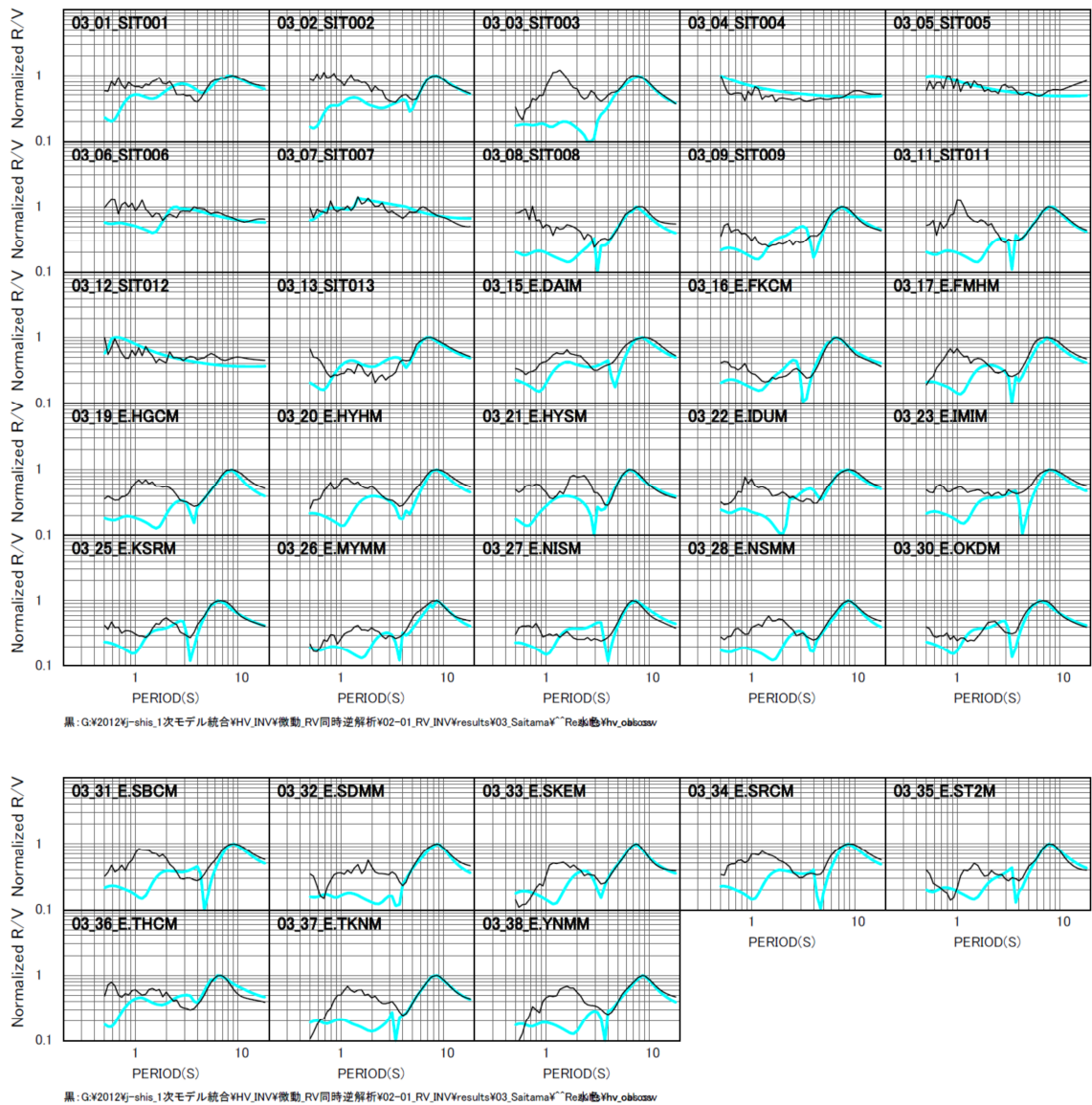
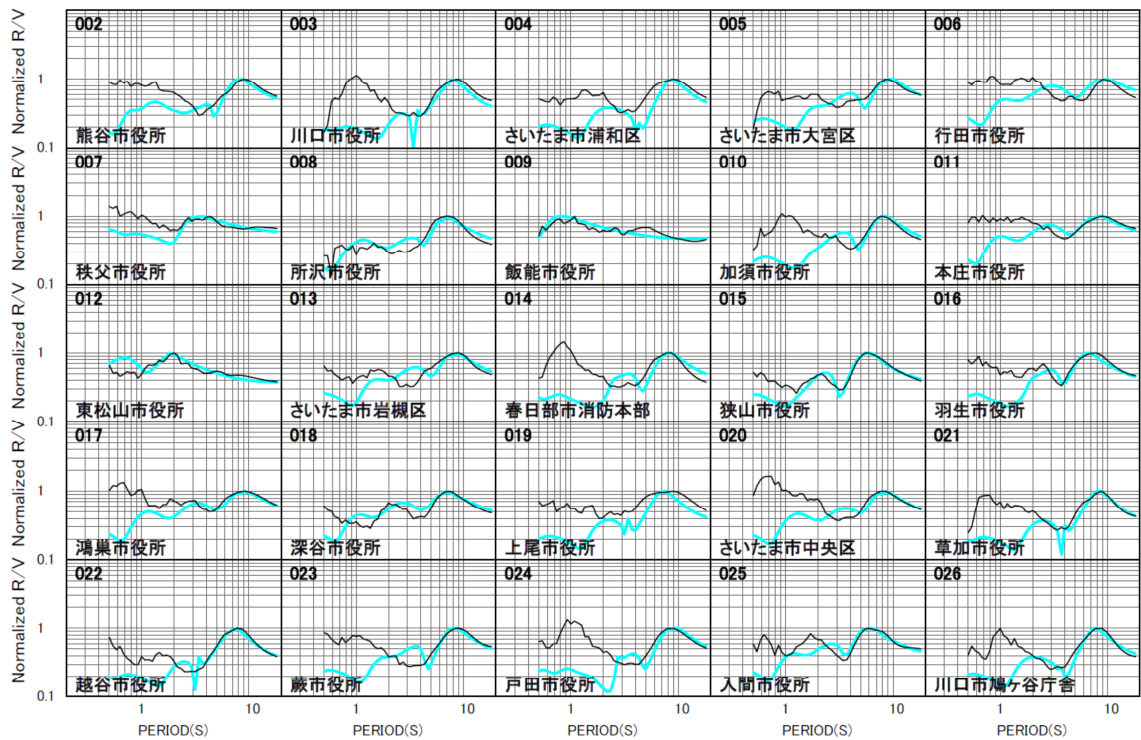
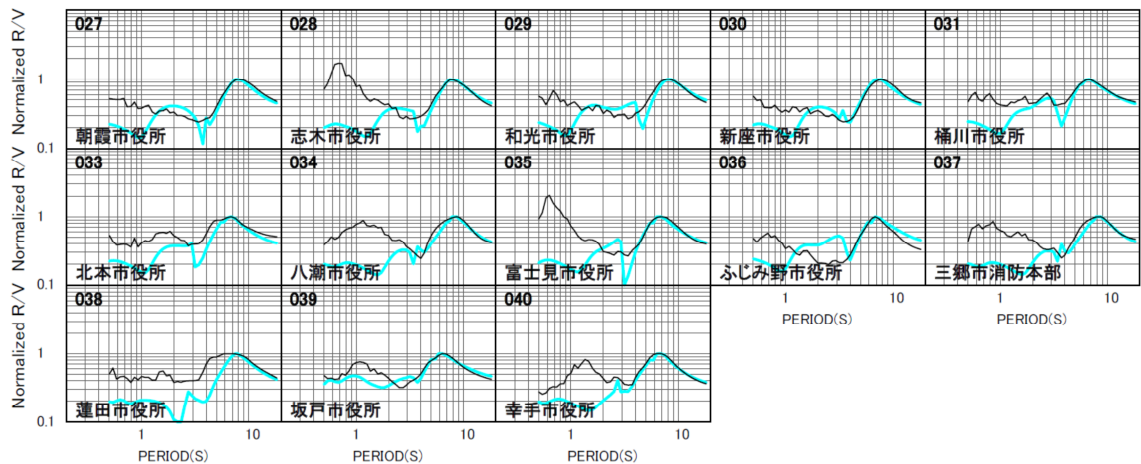


図 3. 1. 2-2(1) 観測 R/V スペクトルと理論 H/V スペクトルの比較
 黒：観測 R/V スペクトル 水色：理論 H/V スペクトル



黒: G:\Y2012\j-shis_1次モデル統合\HV_INNV\観測RV同時逆解析\03-01_埼玉県震度計\INV_02-03のモデル\観測モデル\results\Hv_obs.csv



黒: G:\Y2012\j-shis_1次モデル統合\HV_INNV\観測RV同時逆解析\03-01_埼玉県震度計\INV_02-03のモデル\観測モデル\results\Hv_obs.csv

図 3.1.2-2(2) 観測 R/V スペクトルと理論 H/V スペクトルの比較

黒 : 観測 R/V スペクトル 水色 : 理論 H/V スペクトル

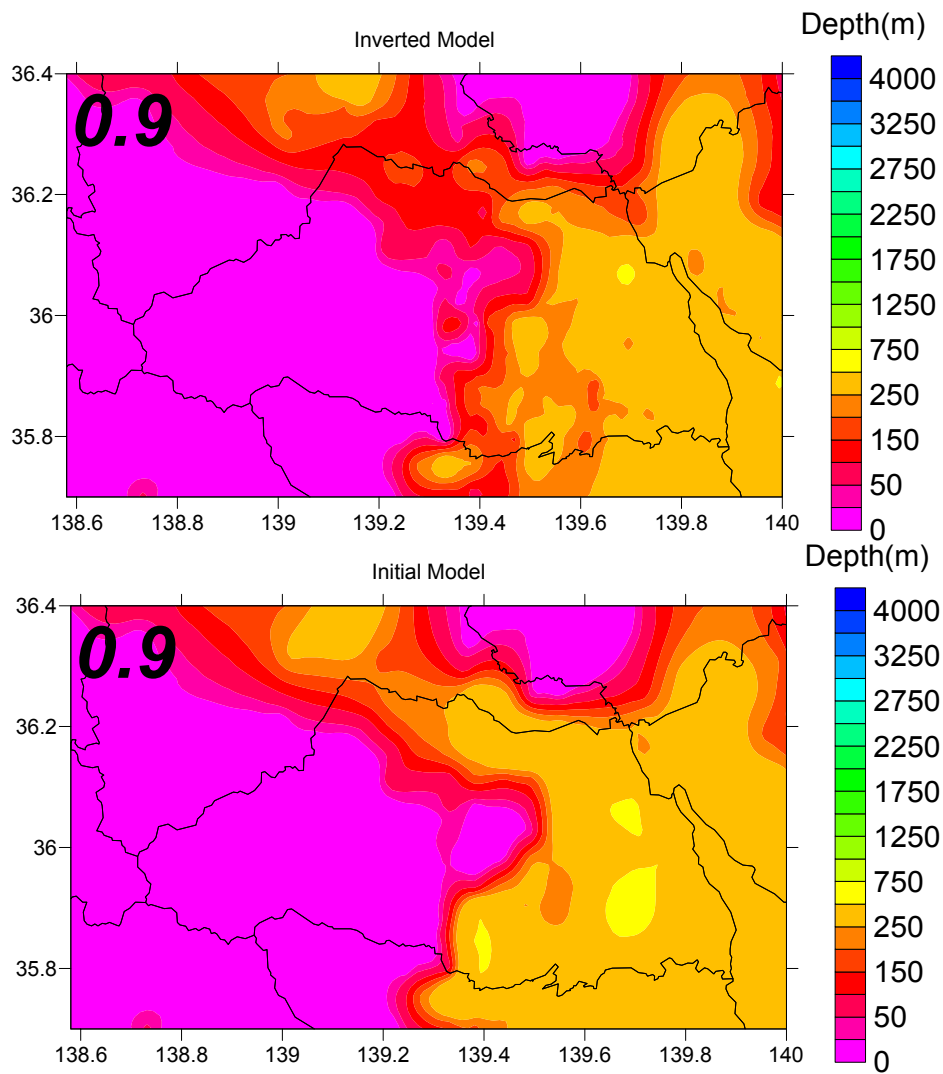


図 3.1.2-3(1) S 波速度 0.9km/s 層上面深度
 上図：修正結果 下図：初期モデル

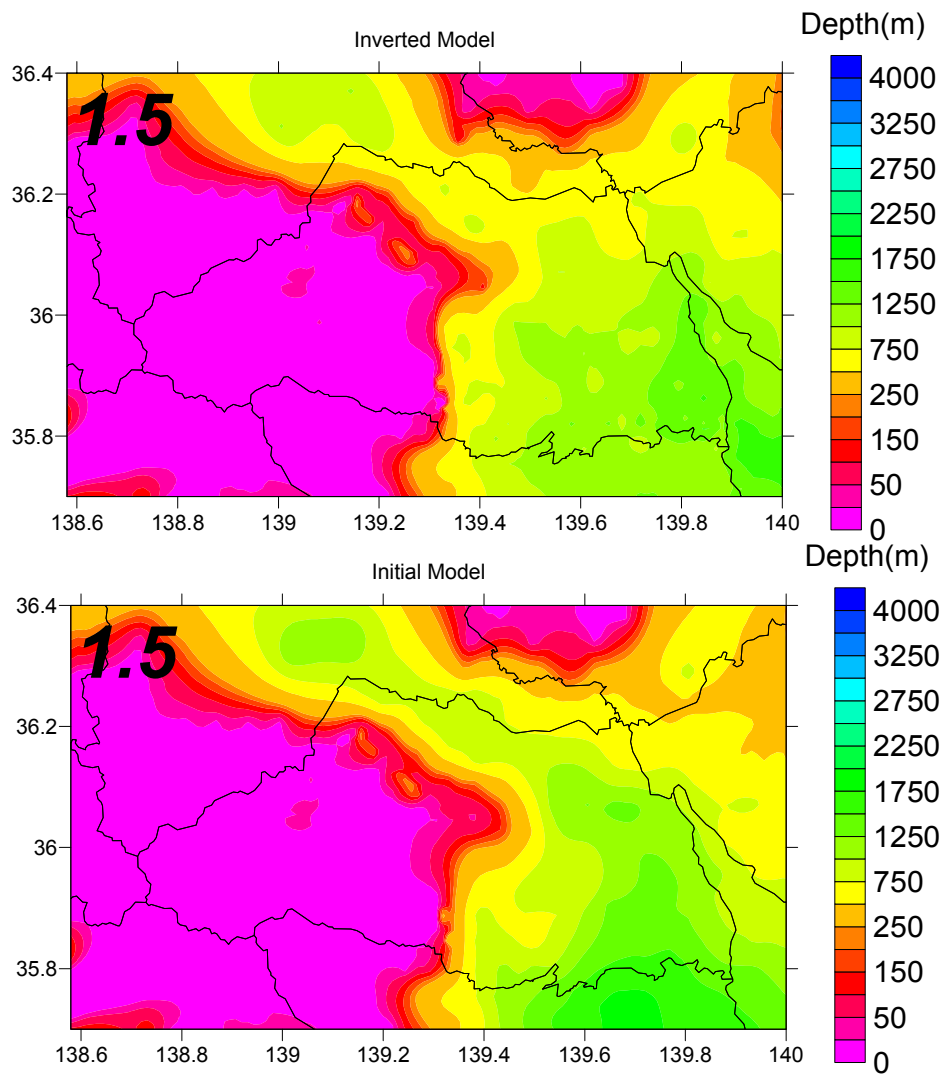


図 3.1.2-3(2) 1.5km/s 層上面深度
 上図：修正結果 下図：初期モデル

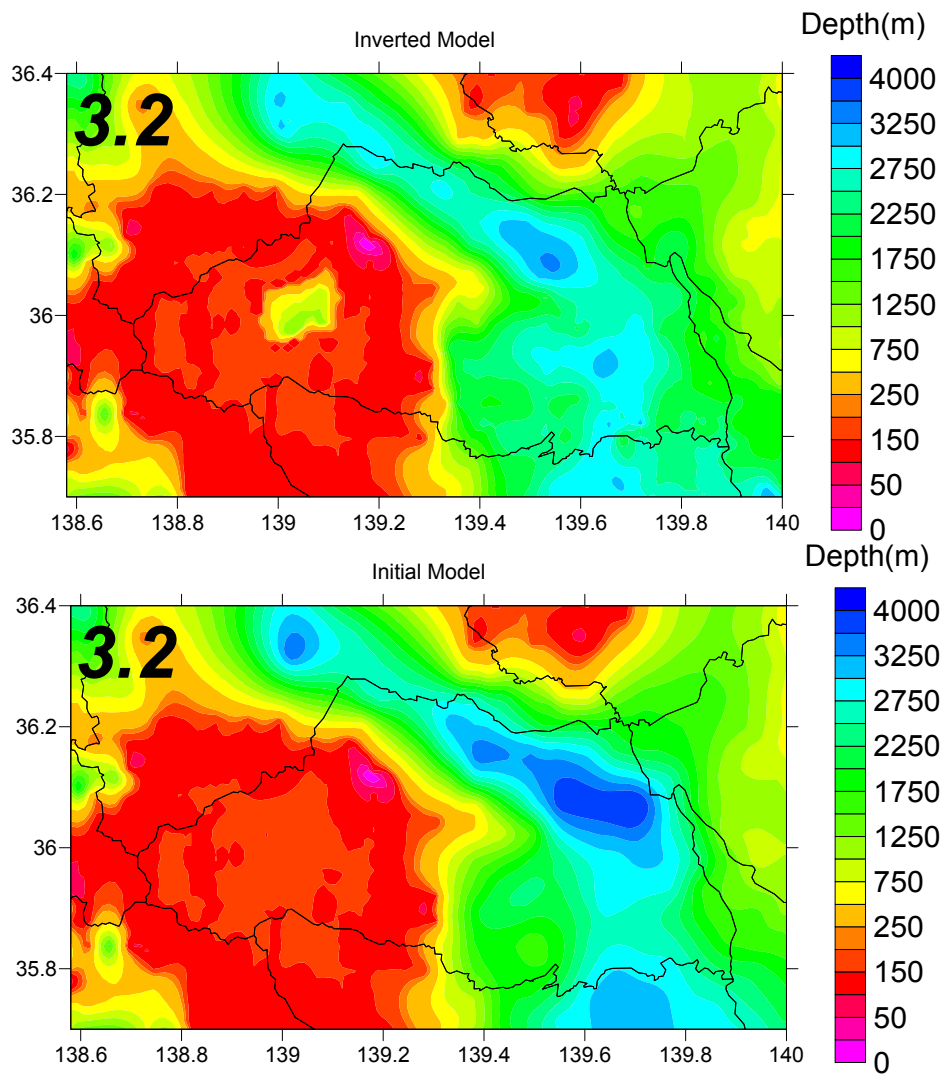


図 3.1.2-3(3) 3.2km/s 層上面深度
 上図：修正結果 下図：初期モデル

3.1.3 深部地盤モデルの物性値

深部モデルの物性値については、S波速度、P波速度及び密度については、全国1次地下構造モデル（暫定版）による値を採用した。Q値については、関東平野北西縁断層帯地震について試計算結果を踏まえ、J-SHISによる値を採用した。（巻末資料3参照）採用した物性値を、表3.1.3-1に示す。

表 3.1.3-1 採用した深部地盤モデルの物性値

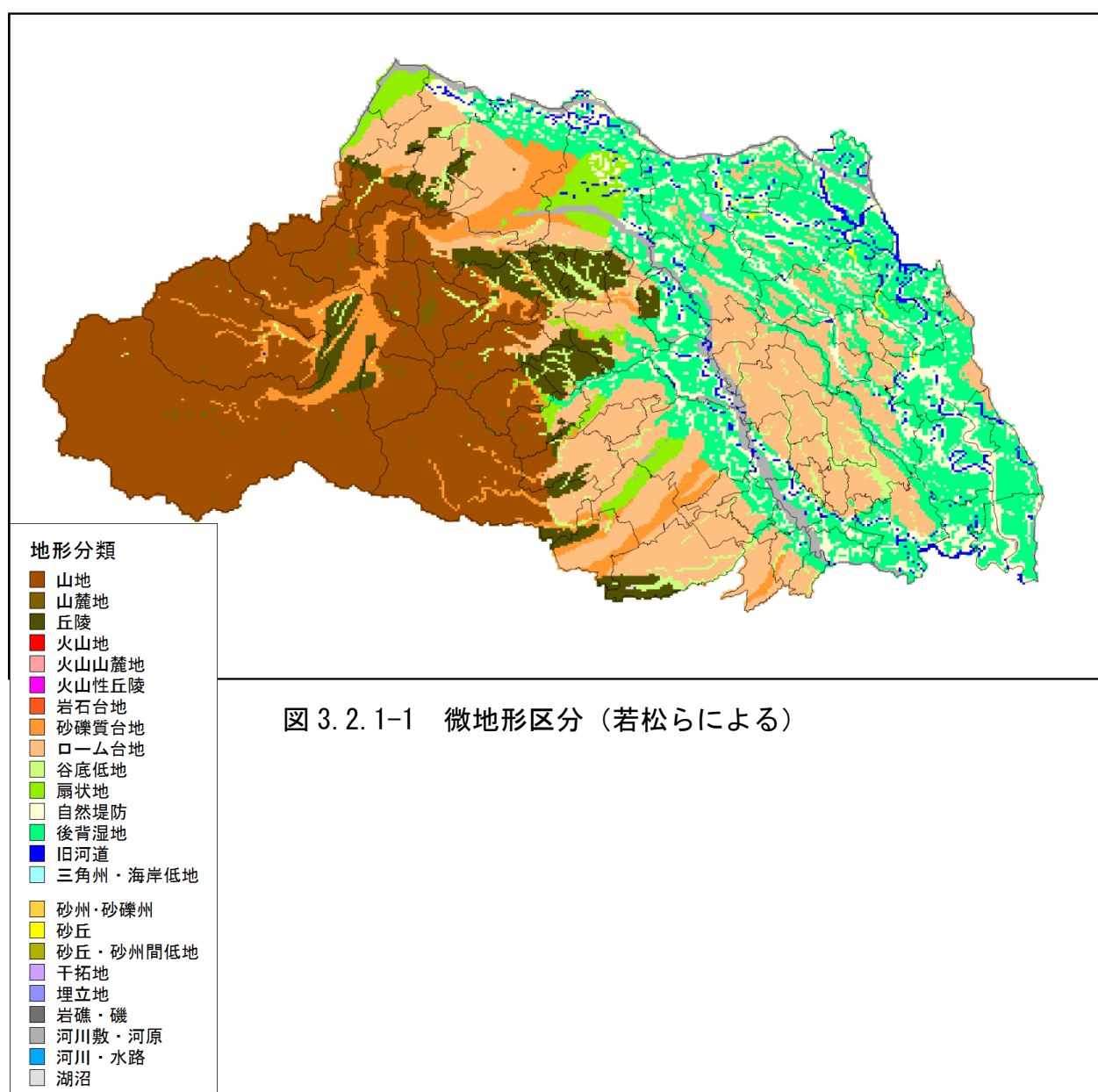
Layer	Vs (km/s)	Vp (km/s)	ρ (g/cm ³)	Qp	Qpf	Qs	Qsf
1	1.7	0.35	1.8	60	0	60	0
2	1.8	0.5	1.95	60	0	60	0
3	2	0.6	2	100	0	100	0
4	2.1	0.7	2.05	100	0	100	0
5	2.2	0.8	2.07	100	0	100	0
6	2.3	0.9	2.1	100	0	100	0
7	2.4	1	2.15	150	0	150	0
8	2.5	1.1	2.15	150	0	150	0
9	2.7	1.3	2.2	150	0	150	0
10	3	1.5	2.25	150	0	150	0
11	3.2	1.7	2.3	150	0	150	0
12	3.6	1.8	2.35	150	0	150	0
13	3.7	1.9	2.35	150	0	150	0
14	3.5	2	2.35	200	0	200	0
15	4.2	2.4	2.45	200	0	200	0
16	5	2.9	2.6	200	0	200	0
17	5.5	3.2	2.65	300	0	300	0

3.2 浅部地盤モデル

3.2.1 データ収集・整理

浅部地盤モデルに関するデータとして、関東学院大学 若松教授らによる 250m メッシュ世界測地系微地形区分データ⁴ (図 3.2.1-1) 及び県内のボーリングデータを収集した。

ボーリングデータとしては、環境科学国際センター及びさいたま市等から収集したボーリングデータ (約 17,000 本) を使用した。ボーリングデータの分布を図 3.2.1-2 (1) に示す。また、250m メッシュ内のボーリングデータの本数を図 3.2.1-2 (2) に示す。



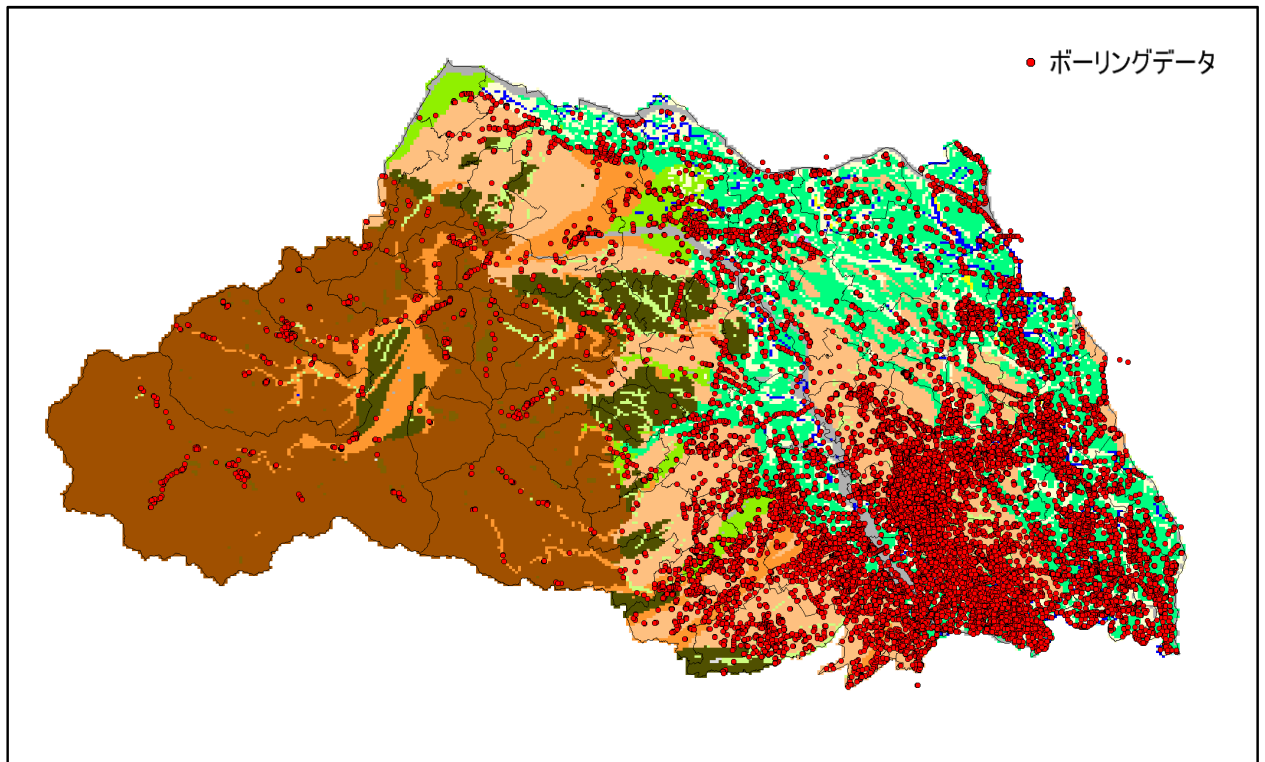


図 3. 2. 1-2(1) 収集したボーリングデータの分布

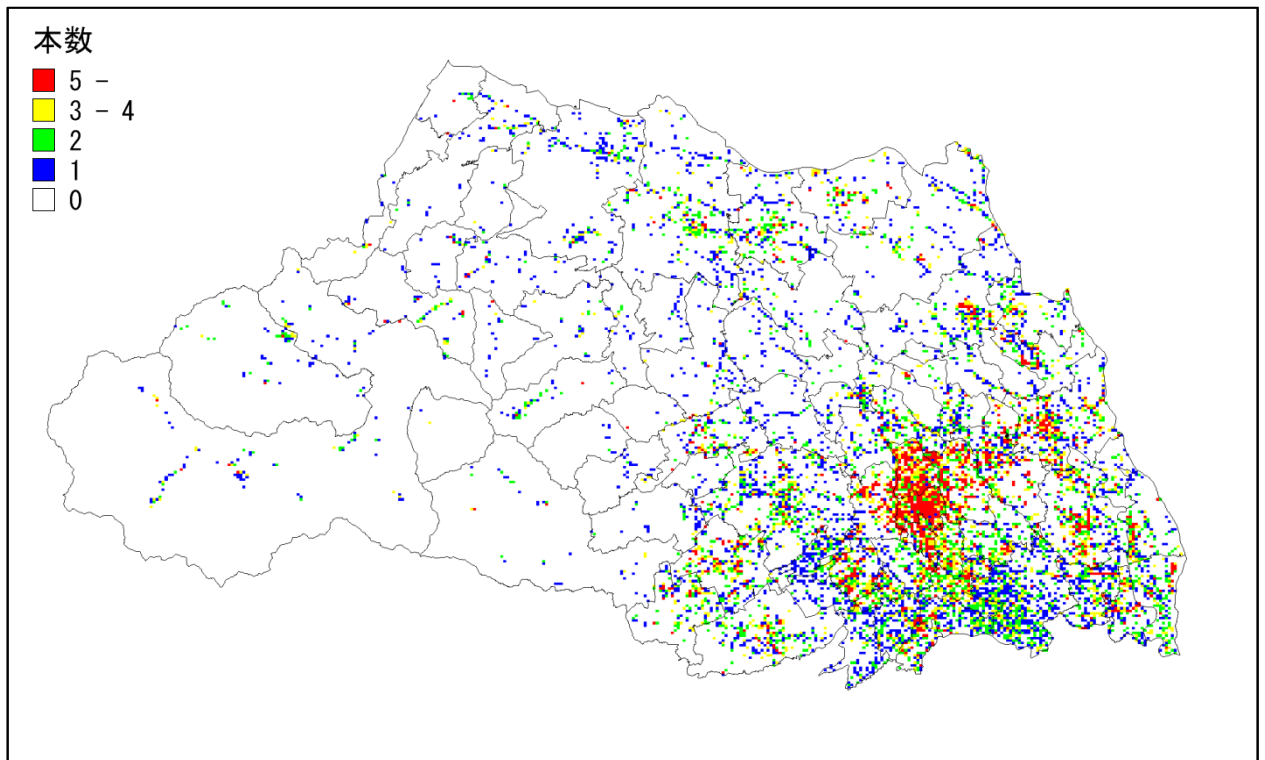


図 3. 2. 1-2(2) 250m メッシュ内のボーリングデータの本数

3.2.2 モデルの作成手法

(1) 概要

地震動予測のための浅部地盤モデルの作成については、千葉県(2008)⁵、神奈川県(2008)⁶などで実施されている、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N値から求めたS波速度を付与する手法を採用する。

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。

今回採用した手法の概要を表3.2.2-1に示す。

表 3.2.2-1 採用した地盤モデル作成手法の概要

名称	地質層序モデル
出典	稲垣ら(2008) ⁷
採用自治体	千葉県(2008)、神奈川県(2008)他
層構造作成手法	収集したボーリングデータの土質区分及びN値から作成する
メッシュへのボーリングの割り当て	メッシュ中心から近いデータの距離による重み付け平均で層構造を決定する。(3.2.2(2)参照)
地層境界の考慮	考慮する(全県で約50層)(3.2.3参照)
物性値の与え方	土質とN値からS波速度、密度等を設定する。(3.2.4参照)
特徴	地層境界を細かく考慮すること、データの重み付け平均で層構造を決めることにより、連続性を持った滑らかな地盤構造モデルが得られる。(3.2.3参照)

(2) 作成手順

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する方法である。各層には、N値から求めたS波速度を付与する。

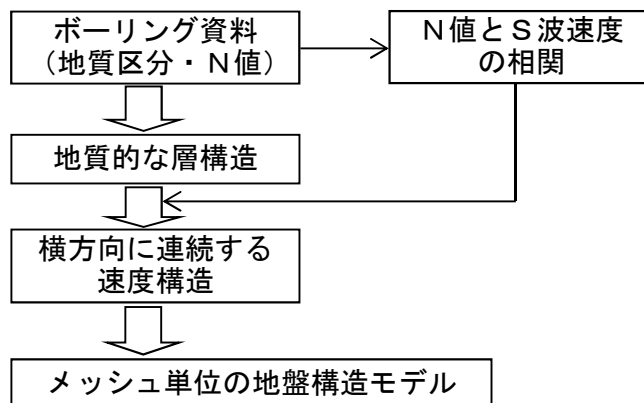


図 3.2.2-1 浅部地盤構造モデルの作成フロー

実際の作業では、以下の手順で地層の連続性を検討し、全ボーリングの地層区分をもとに、250m メッシュごとの層構造モデルを作成する。

- ① 250m メッシュ周辺のボーリングデータ（ボーリング 1、ボーリング b、...ボーリング B とする）を整理する。今回の検討では、B が最低 10 本以上を満たすようにした。
- ② ボーリングデータに地層境界を設定する。
- ③ 補間により 250m メッシュの地層境界を設定する。
- ④ 各地層内を M 等分する。等分割した地層を浅い順にスライス 1、スライス m...、スライス M と呼ぶ。今回の検討では M=10 とした。ただし、スライスの厚さが 1m 未満になる場合は、層厚が 1m 以上になる最大の M を採用した。
- ⑤ スライス内のボーリングデータから、各土質の占める割合を次式により求める。ここでは、250m メッシュからボーリングまでの距離に応じた重み付けを行っている。

$$R_{si} = \frac{\sum_{b=1}^B w_{bi} \cdot h_{bsi}}{\sum_{b=1}^B w_{bi}} \quad (3.2.2-1)$$

R_{si} : 土質 s のスライス i における占有割合

w_{bi} : スライス i におけるボーリング b の重み

$$w_b = 1/d_b$$

d_b : 250m メッシュ中心とボーリング b との距離

h_{bsi} : ボーリング b のスライス i における土質 s の占有割合

- ⑥ R_{si} が最も大きくなるような土質区分 s を、スライス i の土質区分として採用する。
- ⑦ スライス内のボーリングデータから、スライス i の平均 N 値を次式により求める。ここでは、250m メッシュからボーリングまでの距離に応じた重み付けを行っている。

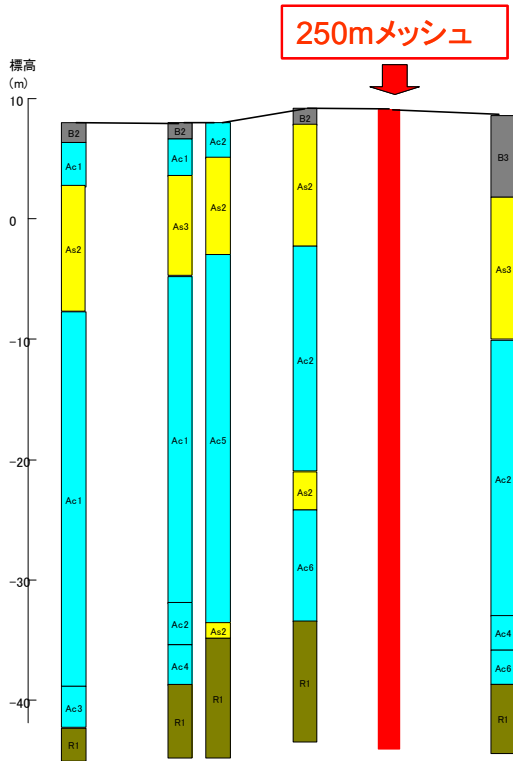
$$\overline{N}_i = \frac{\sum_{b=1}^B w_{bi} \cdot N_{bi}}{\sum_{b=1}^B w_{bi}} \quad (3.2.2-2)$$

\overline{N}_i : スライス i における平均 N 値

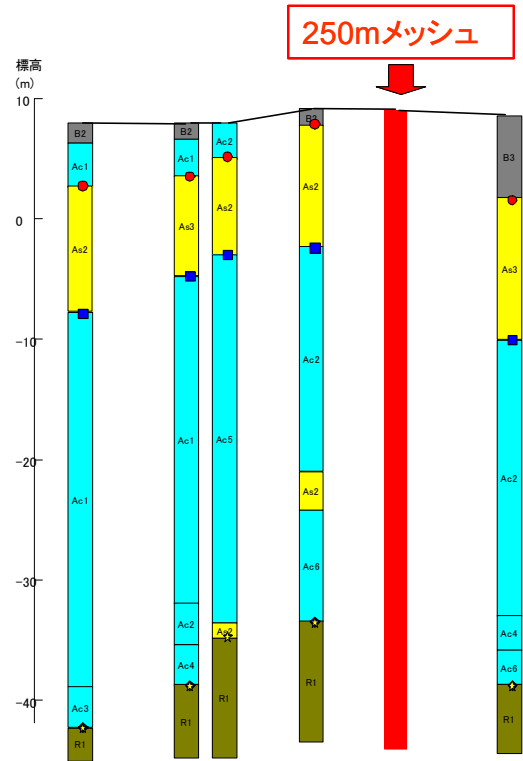
N_{bi} : スライス i におけるボーリング b の平均 N 値

各地層における土質区分及び N 値の傾向を把握するために、全ボーリングについてスライスごとの各土質の占める割合及び平均 N 値を求めた。⑤⑦ではメッシュ中心からの距離に応じた重み付けをしているが、ここでは全ボーリング等しい重みを持っているものとする。（重み付けをしない。）

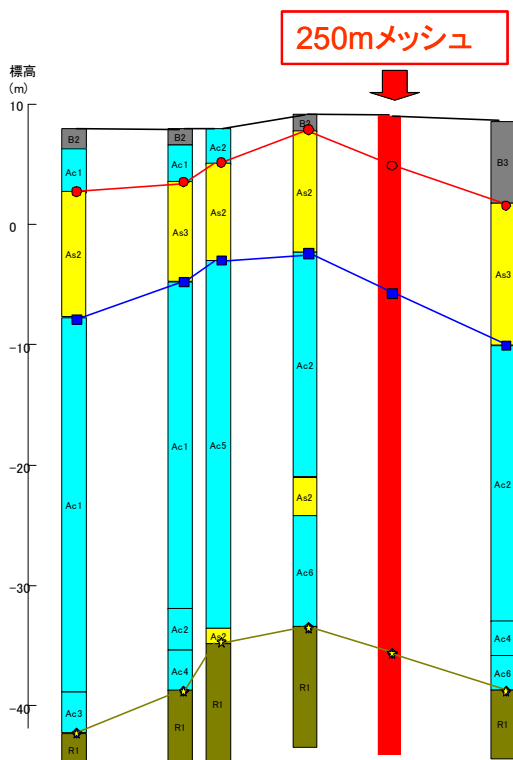
① 250m メッシュ周辺のボーリングデータを整理する。



② ボーリングデータに地層境界を設定する。



③ 補間により 250m メッシュの地層境界を設定する。

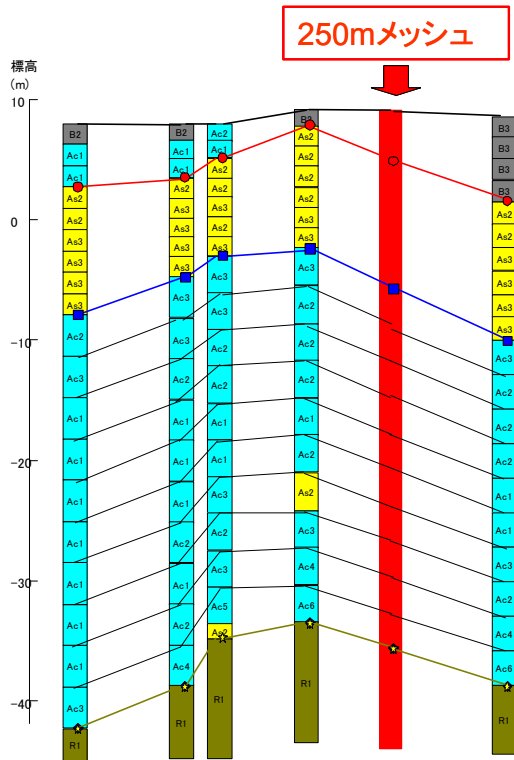


土質区分	
	: 埋土
	: 粘性土
	: 腐植土
	: ローム
	: 砂質土
	: 基盤層

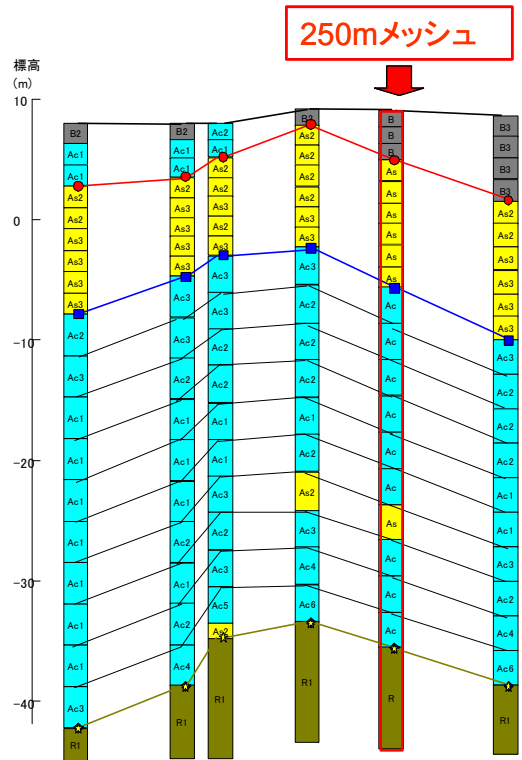
地層区分	
	: 沖積砂質土上面
	: 沖積粘性土上面
	: 基盤上面

図 3.2.2-2 (1) 地質層序にもとづく浅部地盤モデルの作成手順 (1)

④ 各地層内を等分割してスライスを作成する。



⑤⑥ 各ボーリングの地層区分を元に 250mメッシュの土質区分を求める。



⑦ 各ボーリングの N 値を元に 250mメッシュの N 値を求める。

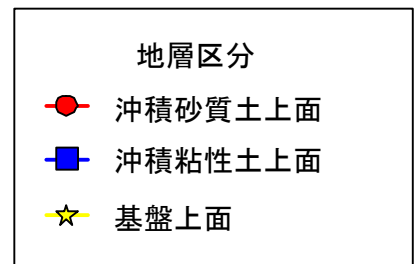
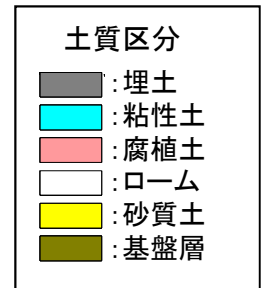
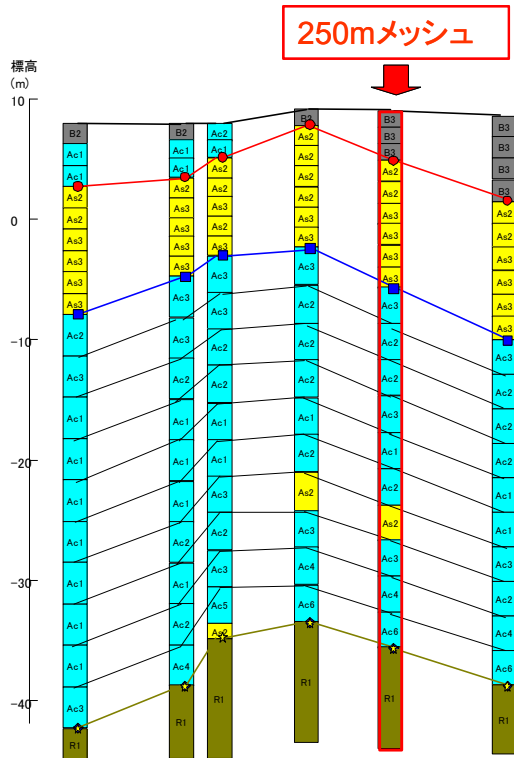


図 3.2.2-2 (2) 地質層序にもとづく浅部地盤モデルの作成手順 (2)

3.2.3 作成した地盤モデル

(1) 埼玉県内の地質層序

関東学院大学 若松教授らによる 250m メッシュ世界測地系微地形区分データ及び県内のボーリングデータを用いて、地表地震動及び液状化可能性を計算するための浅部地盤モデルを作成した。

ボーリングデータを基に県内の地盤を地質層序に区分し、各地層の上面深度分布図を作成した。地質層序の設定にあたっては、図 3.2.3-1 に示す地域ごとに図 3.2.3-2 に示す南関東地域の層序と対比図を参照して、大宮台地については東京港・遠藤（2002）⁸を、東京低地については東京湾地下地質研究会（2000）⁹等に準拠した。大宮台地と東京低地については、概ね荒川を境界にして二分した。

県内で設定した地質層序区分表を表 3.2.3-1 に示す。地質層序毎に便宜的に 3 桁～5 桁のコードを附している。コードの附番規則としては、堆積年代が古いほど大きな数字を与えており、原則として現世の地層については 3 桁、完新世については 4 桁、更新世以前については 5 桁のコードを与えている。すなわち、地質活動により層位の逆転が起こらない限り、深さが深くなるほどコードが大きくなる。

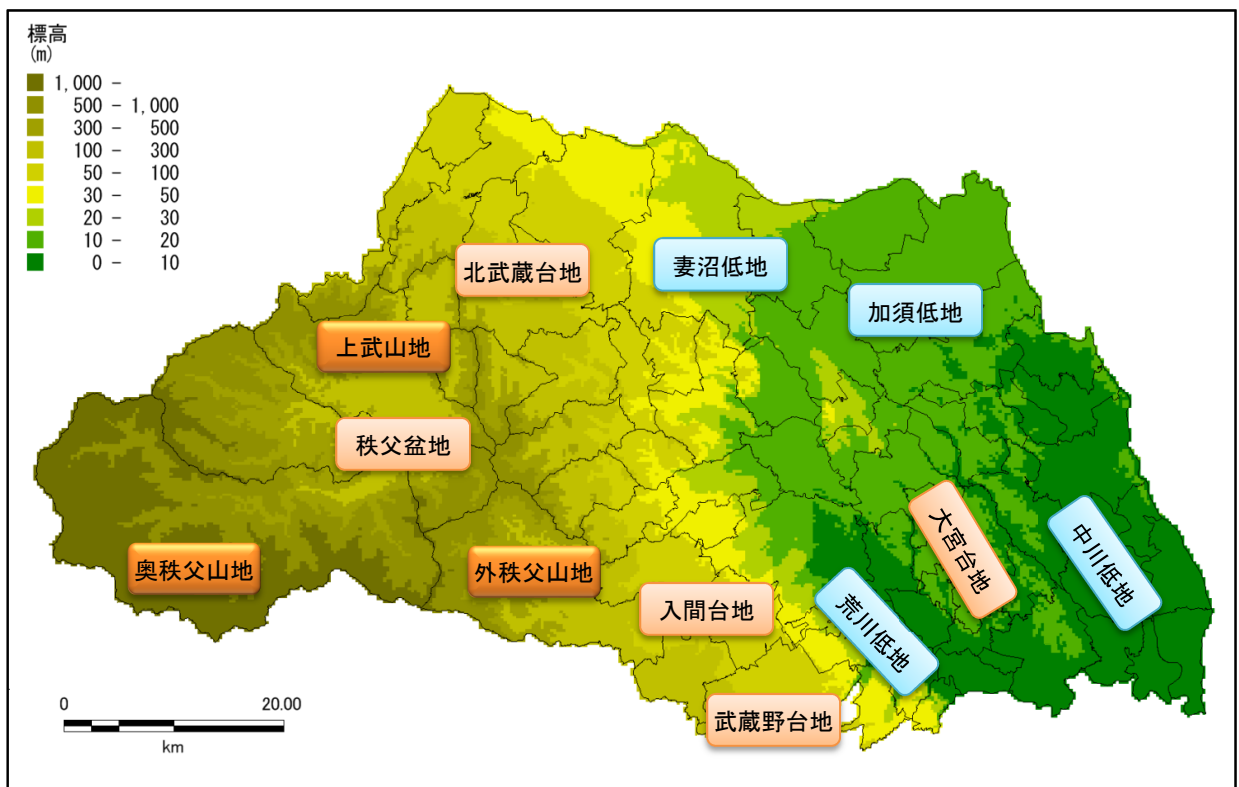


図 3.2.3-1 埼玉県の地形（地盤工学会（2010）¹⁰を参照して作成）

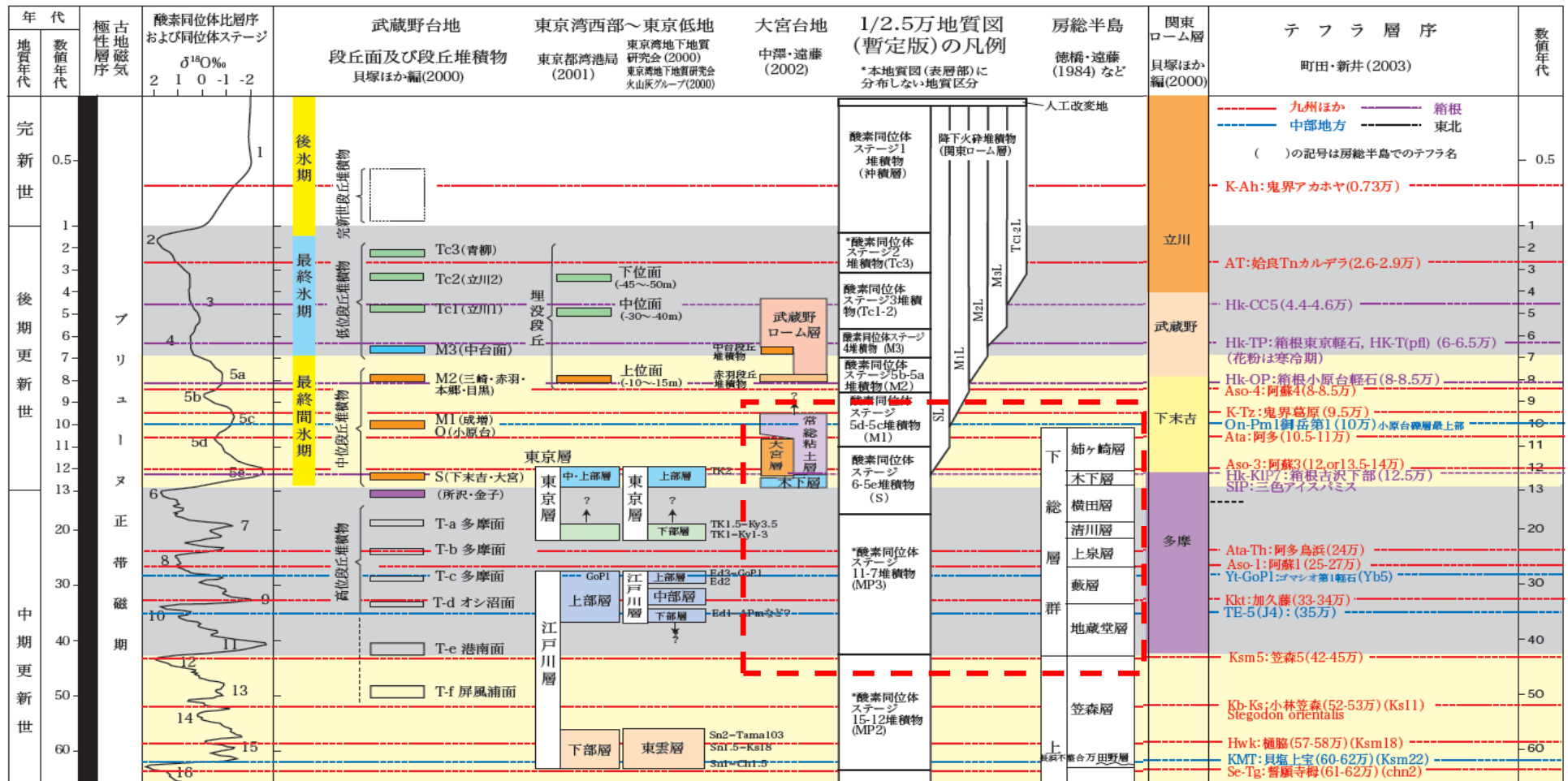


図 3.2.3-2 南関東地域の層序と対比

(尾崎・木村、2009¹¹: 2万5千分の1 シームレス地質図「東京低地及び武蔵野台地東部」(暫定版))

表 3.2.3-1 埼玉県内の地質層序区分表

地質年代	コード	地層区分	秩父山地 ～秩父盆地	武蔵野台 地～入間 台地	荒川低地 ～妻沼低 地	大宮台地	中川低地 ～加須低 地	頻出土質	頻出N値
完新世	—	地表						盛土・埋土	4～9
	500	谷地腐植土						腐植土	0～1
	800	崖錐						礫質土	10～50以上
	1000	沖積粘土						粘性土	1～3
	1500	沖積砂層						砂質土	7～11
	1550	崩積土など(山間地)						粘性土・礫質土	3～27
	1600	沖積砂礫・海浜礫・河川礫						礫質土	20～36
	2000	有楽町層粘土						粘性土	1～2
	2500	有楽町層砂層・谷埋め砂層						砂質土	9～14
	2600	有楽町層基底礫						礫質土	29～47
	4000	七号地層						粘性土	1～8
5000	七号地基底礫						礫質土	50以上	
後期更新世	12000	ローム						ローム	3～4
	13000	ローム質粘土						粘性土	2～8
	14000	立川礫層						礫質土	42～50以上
	14400	大宮層上部砂・砂礫						砂質土	10～21
	14500	世田谷層上部礫・砂層						礫質土	34～45
	14550	大宮層粘土						粘性土	12～18
	14600	世田谷層粘土						粘性土	8～21
	14650	大宮層砂層						砂質土	25～32
	14700	世田谷層砂層						砂質土	24～50以上
	14750	大宮層基底礫						礫質土	46～50以上
	14800	世田谷層基底礫						礫質土	50以上
	15000	武蔵野砂層						砂質土	14～27
	16000	武蔵野礫層						礫質土	38～50以上
	16400	木下層相当層(山間地)						粘性土	17～27
	16500	木下層上部砂層						砂質土	32～35
	18000	東京層砂層・礫(上部)						砂質土	18～29
	18400	木下層下部粘土・砂泥						粘性土	13～18
	18500	東京層粘土(上部)						粘性土	14～20
18500	木下層基底礫・砂						砂質土	43～50以上	
中期更新世	18800	清川層砂泥互層(上部)						粘性土	21～30
	18900	清川層砂・礫層						砂質土	46～50以上
	19000	東京層砂層(下部)						砂質土	23～41
	19500	上泉層(泥一部砂)						粘性土	20～25
	20000	東京層粘土(下部)						粘性土	15～25
	25000	藪層上部(砂一部泥)						砂質土	48～50以上
	28000	高位段丘礫層(山間地)						礫質土	50以上
	29000	藪層砂礫・砂						礫質土	50以上
	30000	東京礫層						礫質土	50以上
	31000	地蔵堂層						砂質土	47～50以上
	35000	上総層群ルーズ(N50以下)						粘性土	15～35
	40000	上総層群						礫質土	50以上
	50000	上総層群固結(土丹)						礫質土	14～50以上
	51000	岩盤(風化部)						粘性土	26～41
80000	岩盤(風化部)						岩・礫質土	7～50以上	
90000	岩盤						岩	50以上	

(2) ボーリングデータより設定した各地層等深度面分布図

表 3.2.3-1 をもとに、収集した全ボーリングデータについて地質境界深度を決定し、デジタルデータとして入力した。これを元に、各地層境界面の深度分布図を作成した。作成した深度分布図を図 3.2.3-3 (1) ～ (7) に示す。

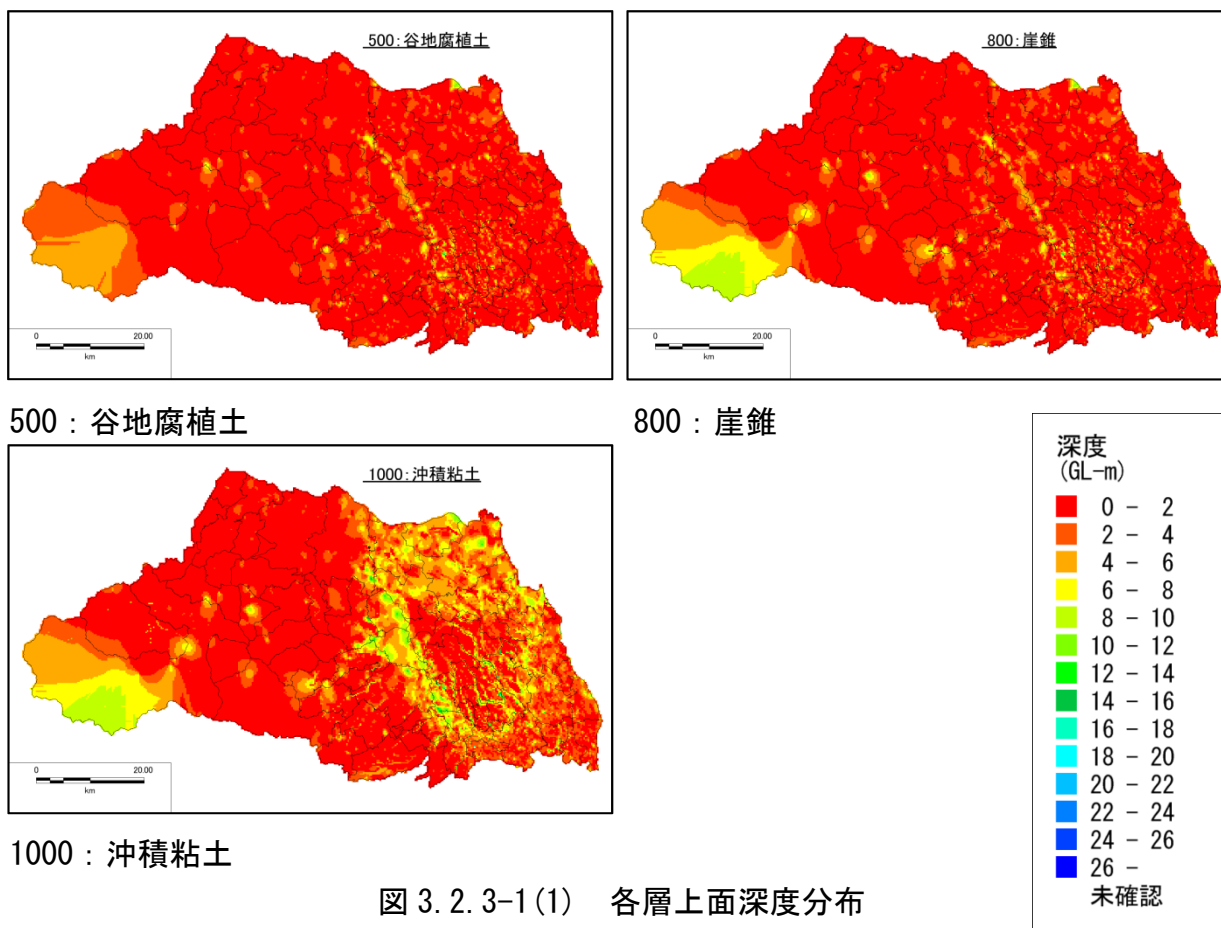
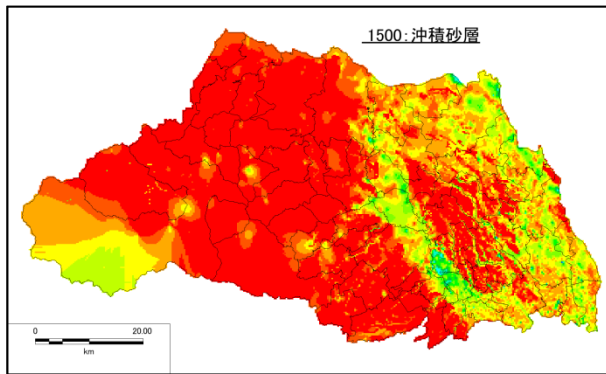
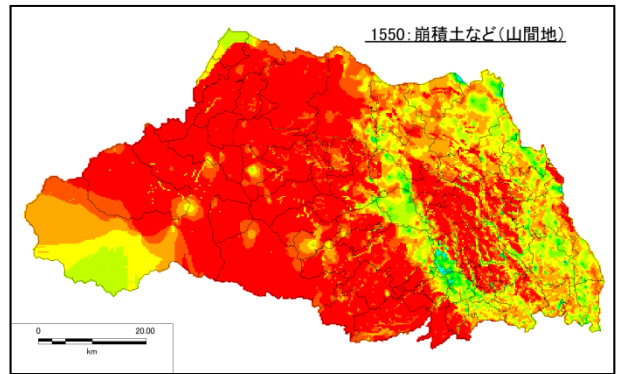


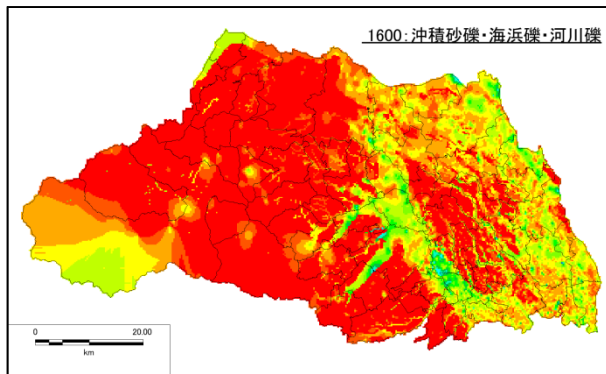
図 3.2.3-1(1) 各層上面深度分布



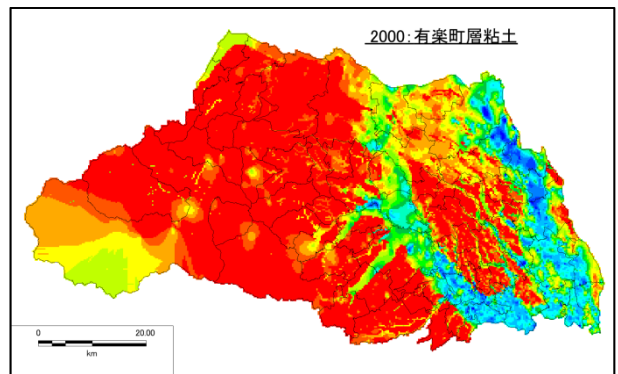
1500 : 沖積砂層



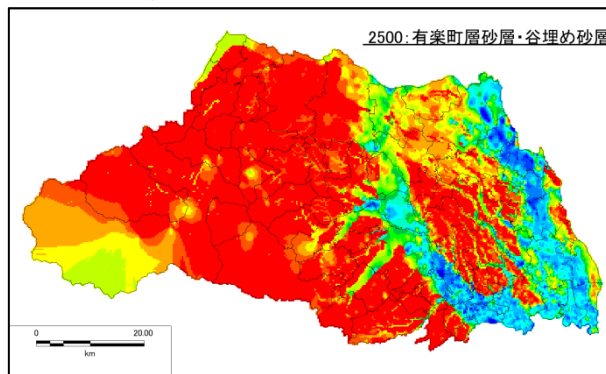
1550 : 崩積土など (山間地)



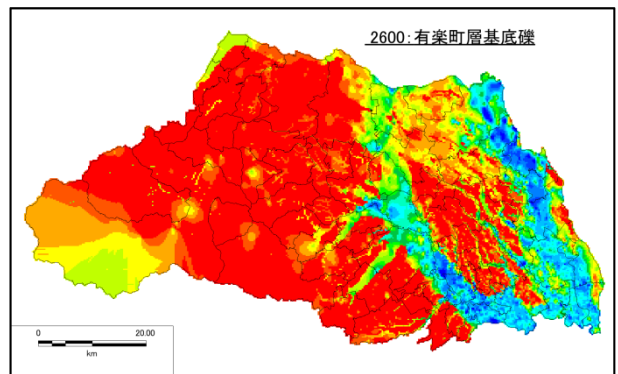
1600 : 沖積砂礫・海浜礫・河川礫



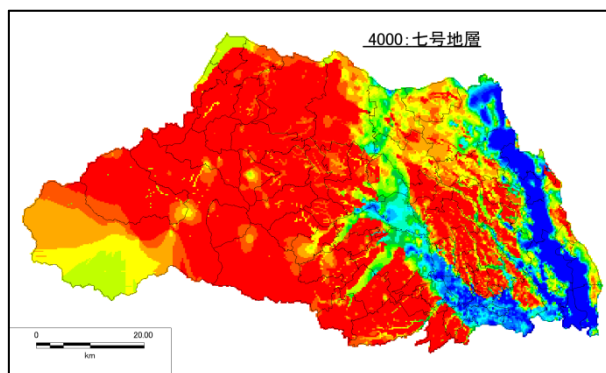
2000 : 有楽町層粘土



2500 : 有楽町層砂層・谷埋め砂層



2600 : 有楽町層基底礫



4000 : 七号地層

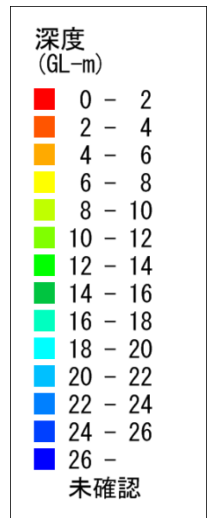
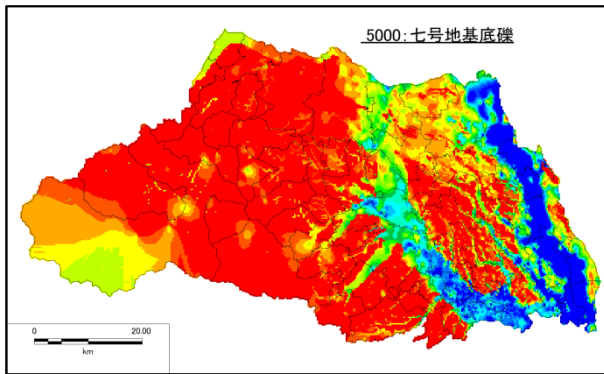
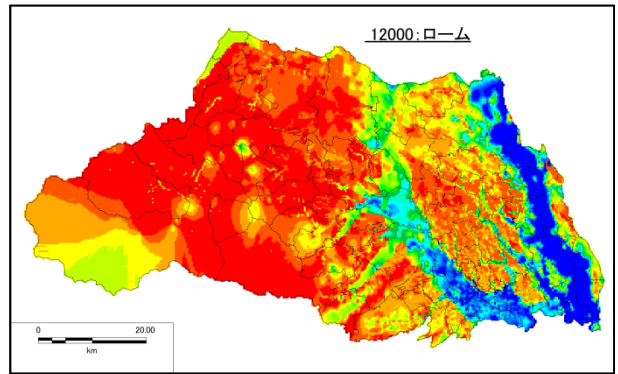


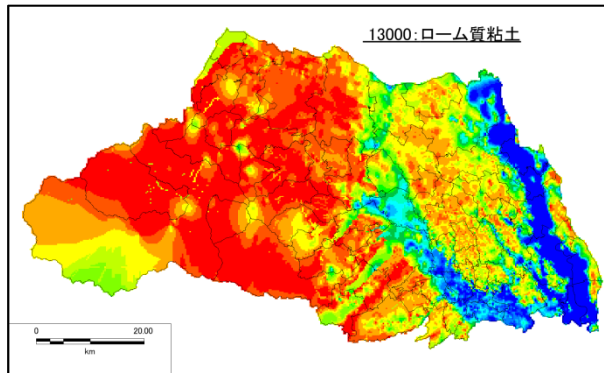
図 3.2.3-1(2) 各層上面深度分布



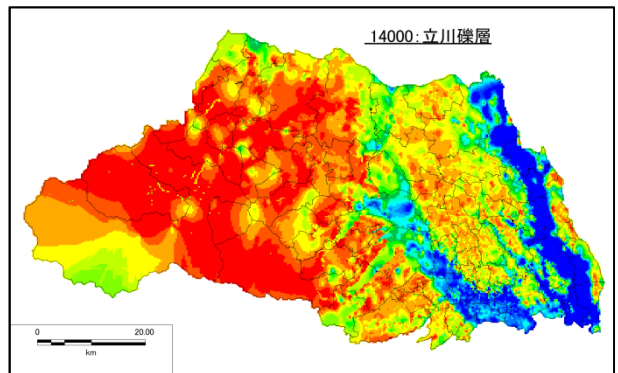
5000 : 七号地基底礫



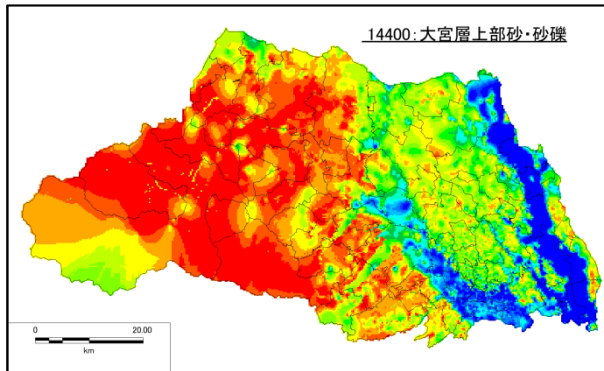
12000 : 口一ム



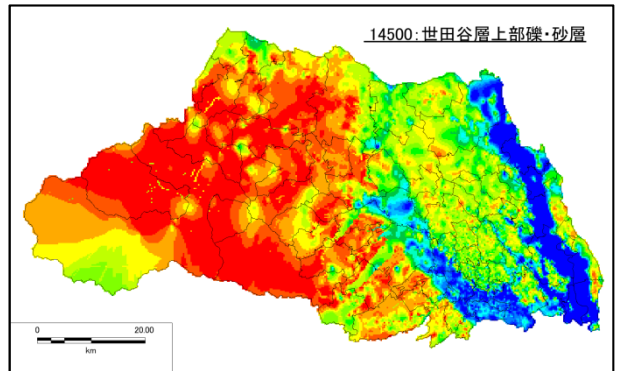
13000 : 口一ム質粘土



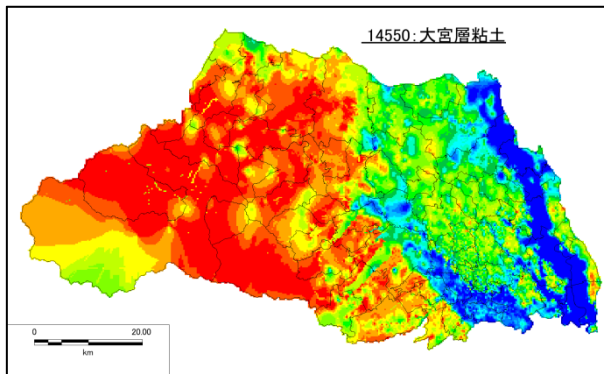
14000 : 立川礫層



14400 : 大宮層上部砂・砂礫



14500 : 世田谷層上部礫・砂層



14550 : 大宮層粘土

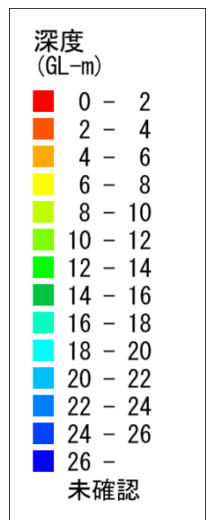
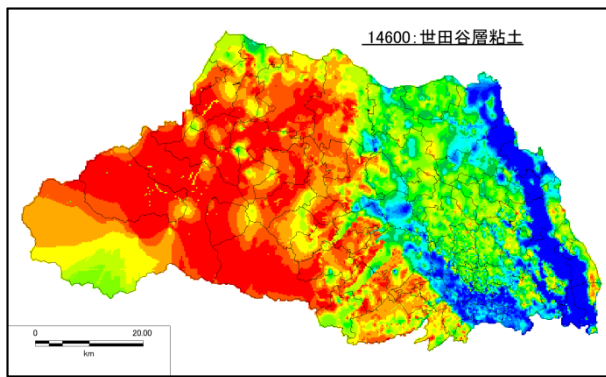
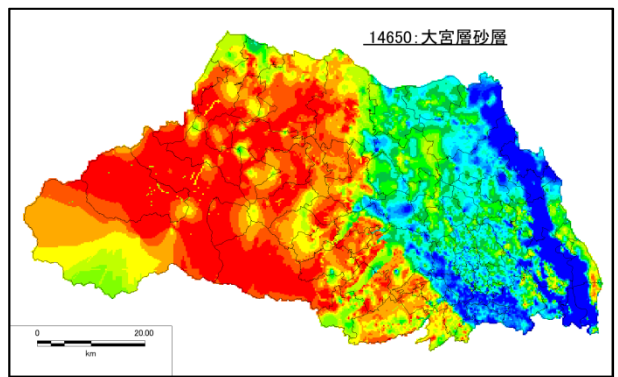


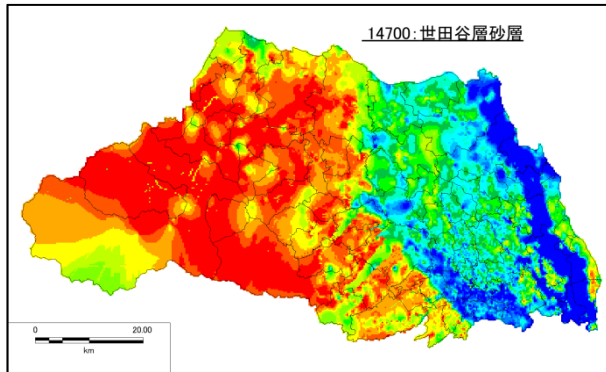
図 3.2.3-1(3) 各層上面深度分布



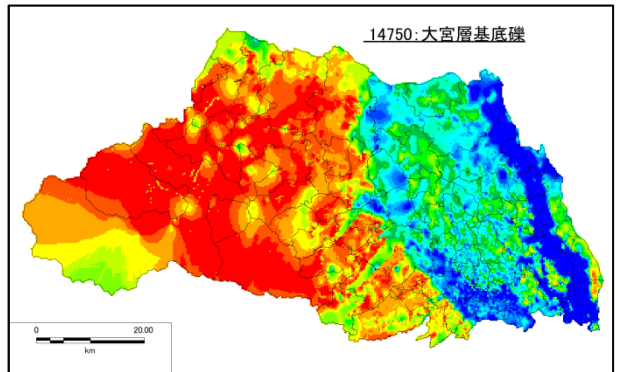
14600 : 世田谷層粘土



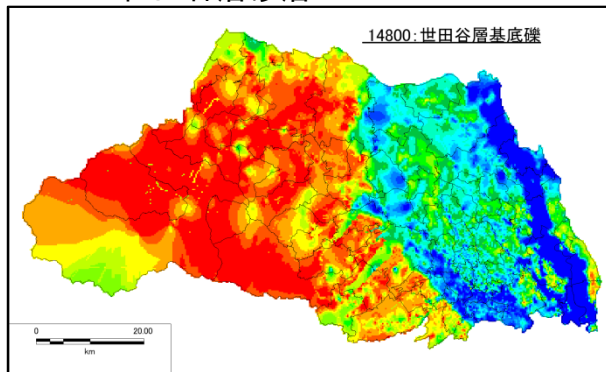
14650 : 大宮層砂層



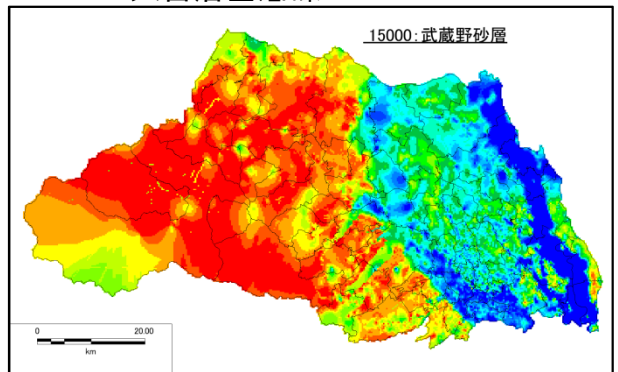
14700 : 世田谷層砂層



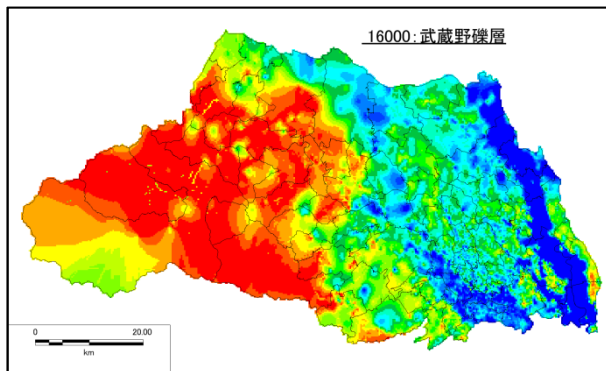
14750 : 大宮層基底礫



14800 : 世田谷層基底礫



15000 : 武蔵野砂層



16000 : 武蔵野礫層

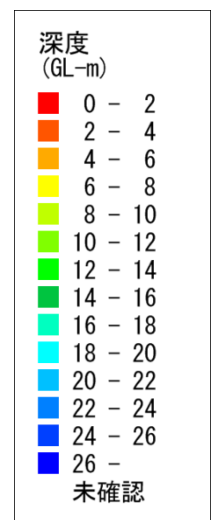
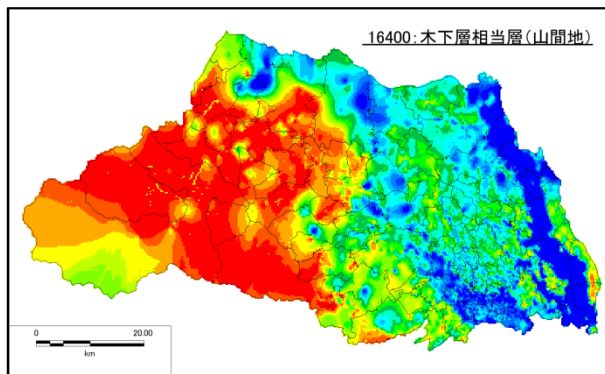
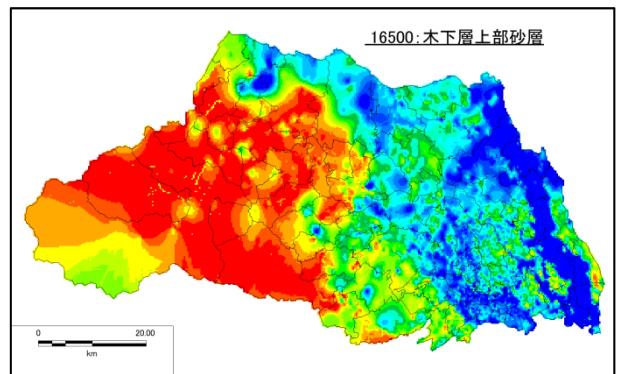


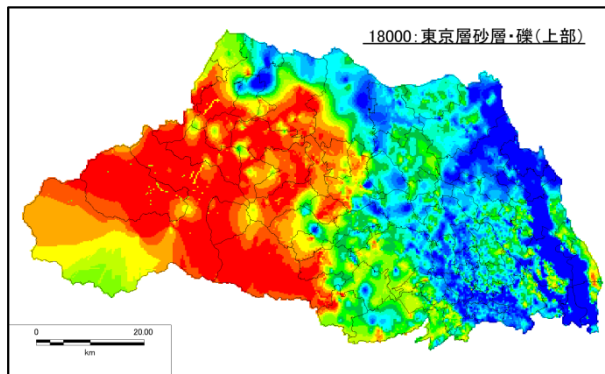
図 3.2.3-1(4) 各層上面深度分布



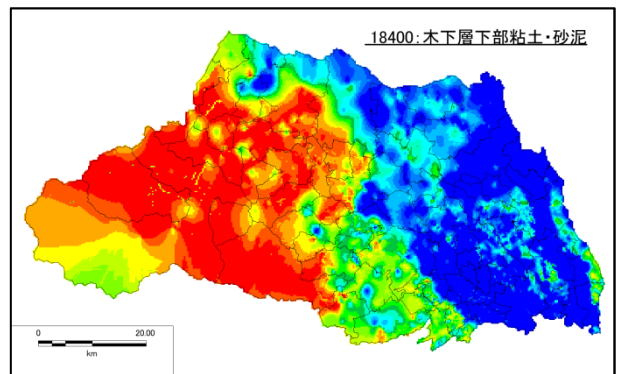
16400 : 木下層相当層 (山間地)



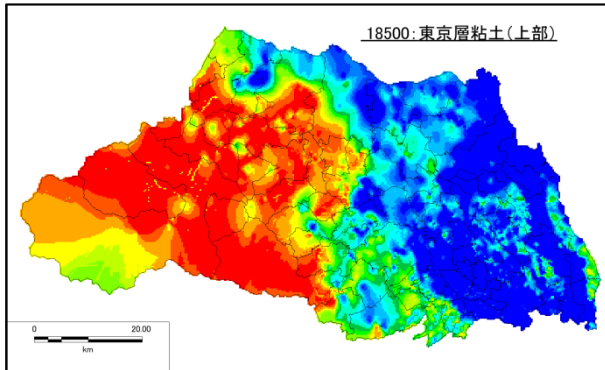
16500 : 木下層上部砂層



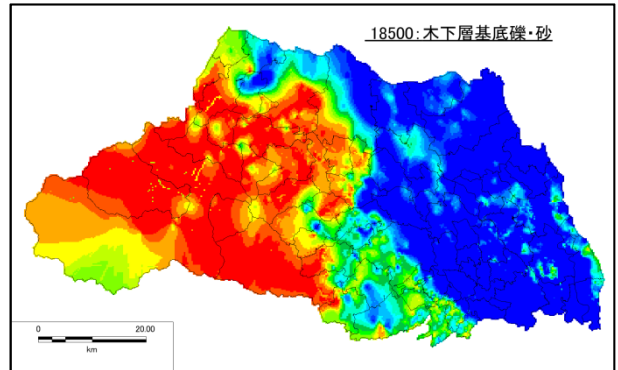
18000 : 東京層砂層・礫 (上部)



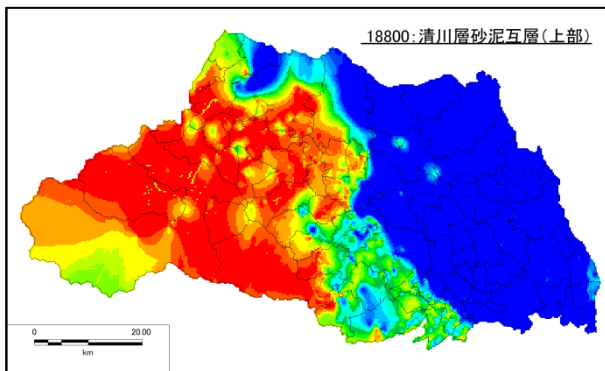
18400 : 木下層下部粘土・砂泥



18500 : 東京層粘土 (上部)



18500 : 木下層基底礫・砂



18800 : 清川層砂泥互層 (上部)

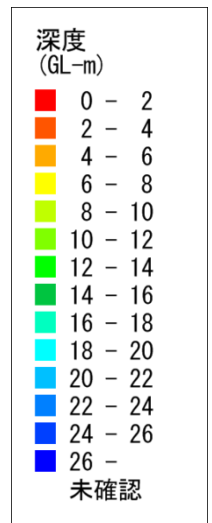
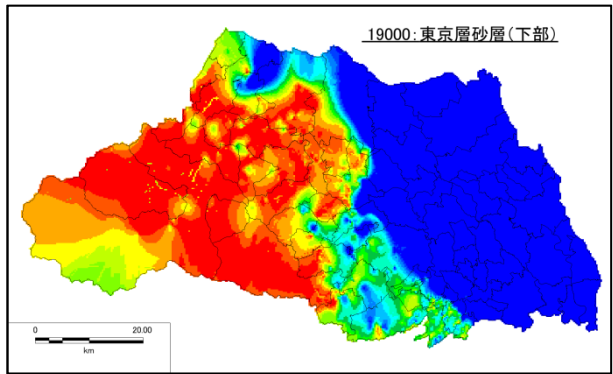
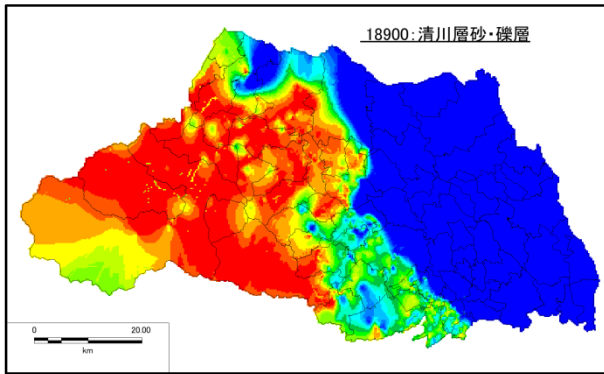
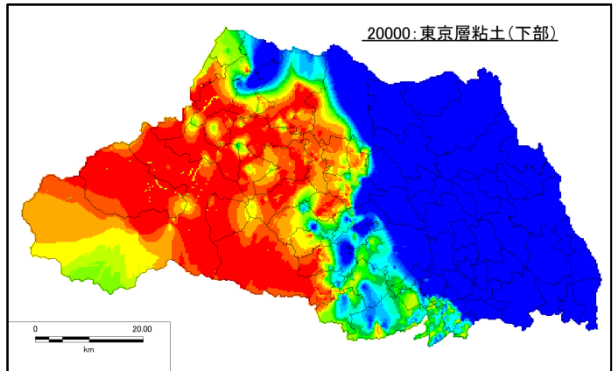
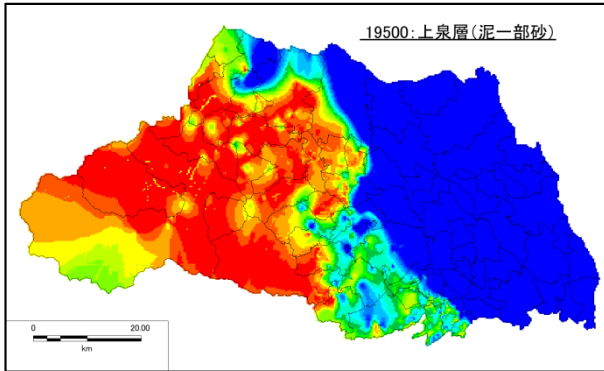


図 3.2.3-1(5) 各層上面深度分布



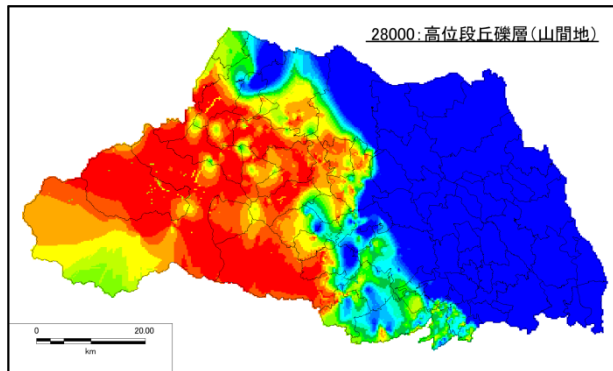
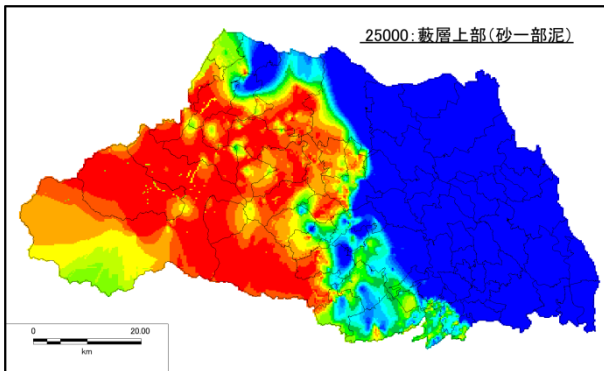
18900 : 清川層砂・礫層

19000 : 東京層砂層 (下部)



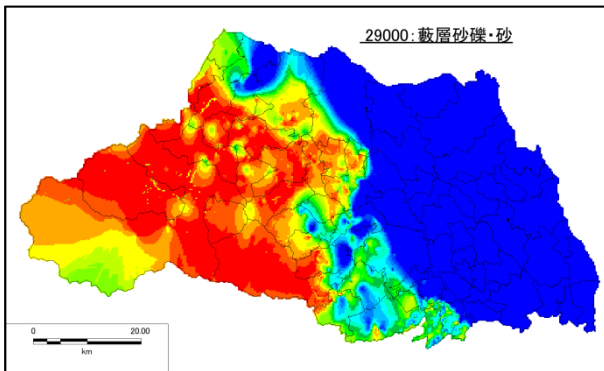
19500 : 上泉層 (泥一部砂)

20000 : 東京層粘土 (下部)



25000 : 藪層上部 (砂一部泥)

28000 : 高位段丘礫層 (山間地)



29000 : 藪層砂礫・砂

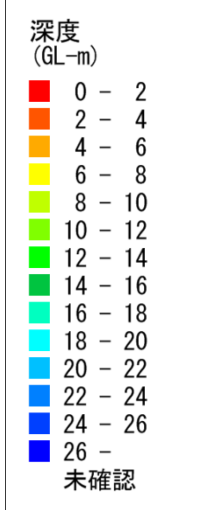
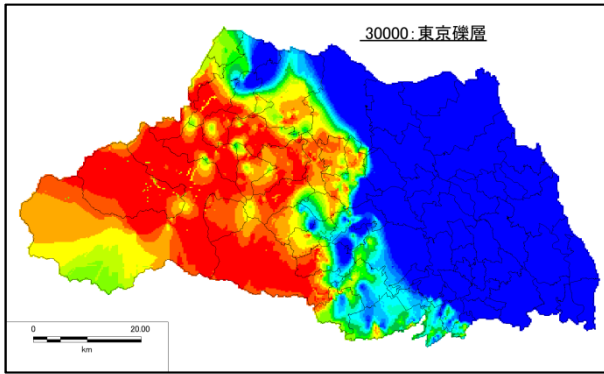
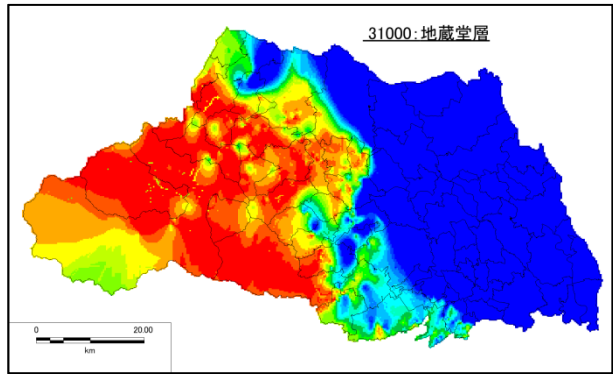


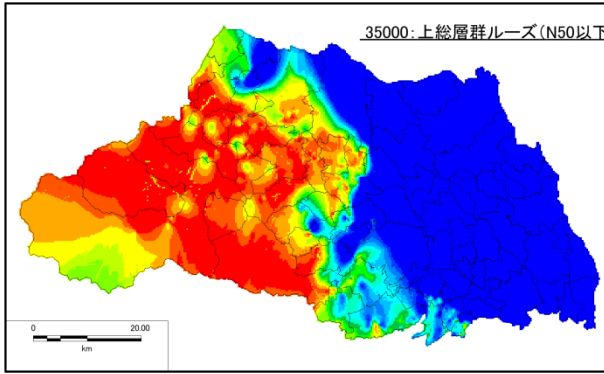
図 3.2.3-1(6) 各層上面深度分布



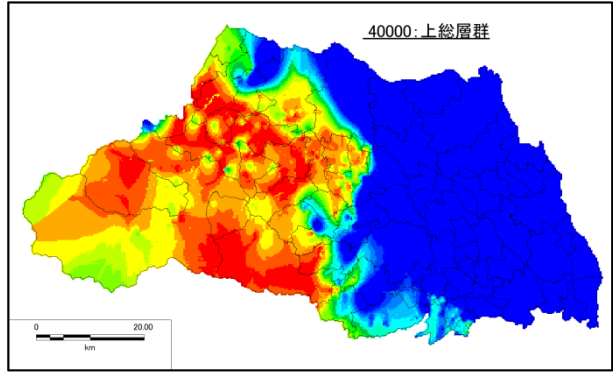
30000 : 東京礫層



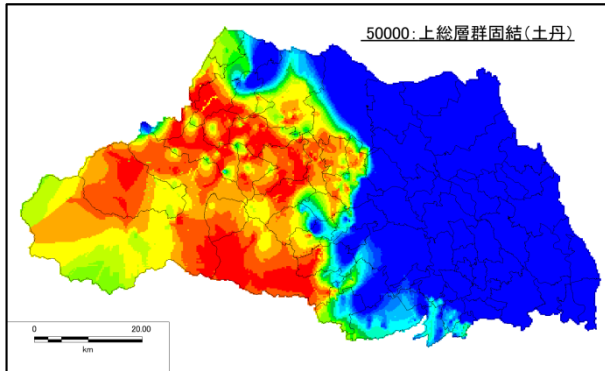
31000 : 地蔵堂層



35000 : 上総層群ルーズ (N50 以下)



40000 : 上総層群



50000 : 上総層群固結 (土丹)

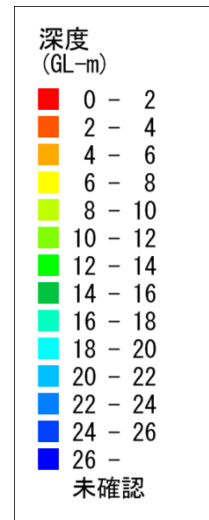


図 3. 2. 3-1 (7) 各層上面深度分布

(3) 層構造地盤モデルの作成

作成した地質層序を元に、3.2.2 節で述べた手法を用いて、250m メッシュの地盤モデルを作成した。作成した地盤モデルの例を図 3.2.3-3～図 3.2.3-4 に示す。

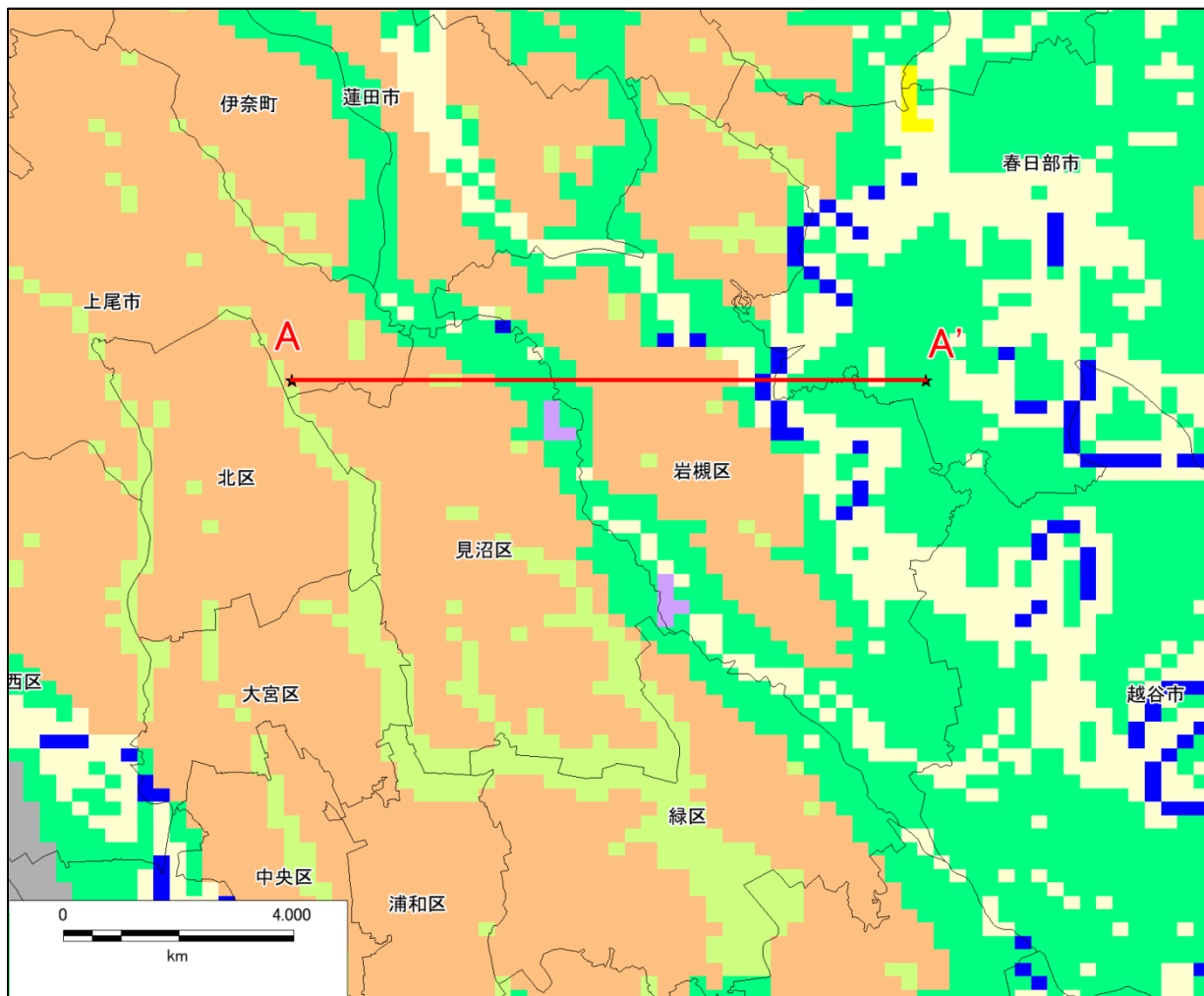
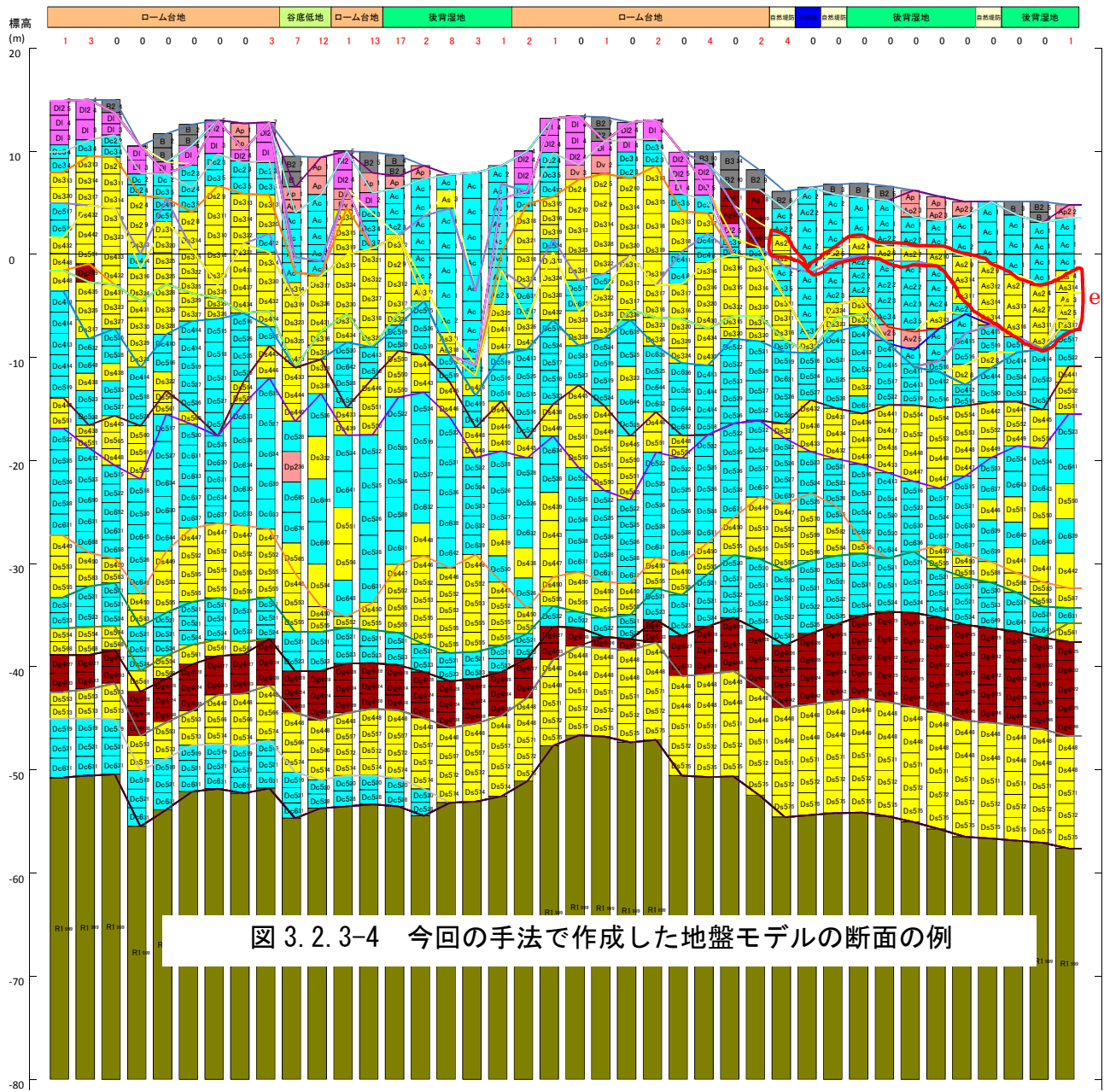


図 3. 2. 3-3 作成した地盤モデルの代表的な断面の位置

A

A'

微地形区分
ボーリング本数



標高 (m) 20 10 0 -10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80

- 地層区分
- 谷地腐植土
 - 崖錐
 - 沖積粘土
 - 沖積砂層
 - 崩積土など(山間地)
 - 沖積砂礫・海浜礫・河川礫
 - 有楽町層粘土
 - 有楽町層砂層・谷埋め砂層
 - 有楽町層基底礫
 - 七号地層
 - 七号地基底礫
 - ローム
 - ローム質粘土
 - 立川礫層
 - 大宮層上部砂・砂礫
 - 世田谷層上部礫・砂層
 - 大宮層粘土
 - 世田谷層粘土
 - 大宮層砂層
 - 世田谷層砂層
 - 大宮層基底礫
 - 世田谷層基底礫
 - 武蔵野砂層
 - 武蔵野砂層
 - 木下層相当層(山間地)
 - 木下層上部砂層
 - 東京層砂層・礫(上部)
 - 木下層下部粘土・砂泥
 - 東京層粘土(上部)
 - 木下層基底礫・砂
 - 清川層砂泥互層(上部)
 - 清川層砂・礫層
 - 東京層砂層(下部)
 - 上泉層(泥一部砂)
 - 東京層粘土(下部)
 - 藪層上部(砂一部泥)
 - 高位段丘礫層(山間地)
 - 藪層砂礫・砂
 - 東京礫層
 - 地蔵堂層
 - 上総層群ルーズ(N50以下)
 - 上総層群
 - 上総層群固結(土丹)
 - 岩盤(風化部)
 - 岩盤(風化部)
 - 岩盤

土質区分

- 盛土
- 礫質土
- 砂質土
- 粘性土
- 火山灰質土
- 腐植土
- 基盤岩

図 3. 2. 3-4 今回の手法で作成した地盤モデルの断面の例

3.2.4 地盤モデルの物性値について

地震動推計に必要な浅部地盤の物性値について、以下の方法で設定を行った。

(1) S波速度

S波速度については、広域のデータを用いて推定されており、地震被害想定において採用実績が多いことから、中央防災会議（2001）による以下の関係式を用いて、推定を行った。

○ N値とS波速度の関係

$$V_s = a \cdot N^n \cdot \left\{ \begin{array}{l} alluvium \\ diluvium \\ tertiary \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} clay \\ sand \\ gravel \end{array} \right\} \quad \text{-----} \quad (3.2.4-1)$$

ただし、

V_s	: S波速度	
a	: 定数 (=112.73)	
N	: N値	
Alluvium	: 沖積層に対する補正係数	(=1.000)
diluvium	: 洪積層に対する補正係数	(=1.223)
tertiary	: 新第三紀層に対する補正係数	(=1.379)
clay	: 粘土層に対する補正係数	(=1.000)
sand	: 砂層に対する補正係数	(=0.885)
gravel	: 礫層に対する補正係数	(=0.900)
n	: 指数項 (=0.256)	

(2) 単位体積重量

単位体積重量についても、中央防災会議（2001）による表 3.2.4-1 を用いて、推定を行った。

表 3.2.4-1 設定した土質区分と単位体積重量

地質区分	地質名	記号	N値	単位体積重量 (kgf/cm ³)	
第四紀	埋土	B1	0~4	1.6	
		B2	4~10	1.7	
		B3	10~	2.0	
	腐植土	Ap1	0~1	1.2	
		Ap2	1~	1.3	
	粘性土	Ac1	0~2	1.4	
		Ac2	2~4	1.5	
		Ac3	4~8	1.6	
		Ac4	8~15	1.7	
		Ac5	15~30	1.8	
		Ac6	30~	1.8	
	砂質土	As1	0~4	1.7	
		As2	4~10	1.8	
		As3	10~30	1.9	
		As4	30~50	1.9	
		As5	50~	1.9	
	礫質土	Ag1	~20	1.9	
		Ag2	20~30	2.0	
		Ag3	30~50	2.0	
		Ag4	50~	2.0	
	更新世	ローム・凝灰質粘土	Lm1	0~4	1.4
			Lm2	4~	1.5
		粘性土	Dc1	0~2	1.5
			Dc2	2~4	1.6
			Dc3	4~8	1.7
			Dc4	8~15	1.8
			Dc5	15~30	1.8
			Dc6	30~	1.8
砂質土		Ds1	0~4	1.8	
		Ds2	4~10	1.8	
		Ds3	10~30	1.9	
		Ds4	30~50	1.9	
		Ds5	50~	2.0	
礫質土		Dg1	~20	1.9	
		Dg2	20~30	2.0	
		Dg3	30~50	2.0	
	Dg4	50~	2.1		
第三紀		K		2.1	

参考文献

- ¹ 地震調査研究推進本部 (2012) : 「長周期地震動予測地図」 2012年試作版 : http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/index.htm
- ² 山中浩明・石田寛 (1995) : 遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析, 日本建築学会構造系論文集, 468, 9-17.
- ³ Arai, H. and Tokimatsu, K. (2004) : S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 94, 53-63.
- ⁴ 若松 加寿江, 松岡昌志 (2013) : 全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用, 地震工学会誌 No.18, pp. 35-38
- ⁵ 千葉県 (2008) : 平成 19 年度千葉県地震被害想定調査報告書, 平成 20 年 3 月
- ⁶ 神奈川県 (2008) : 神奈川県地震被害想定調査報告書, 平成 21 年 3 月
- ⁷ 稲垣 賢亮・山本 明夫・浅尾 一已・中井 正一 (2008) : 地震被害想定のための浅部地盤モデル作成—千葉県地震被害想定調査 (2), 日本地震工学会・大会—2008 梗概集, pp.304-305
- ⁸ 中澤努・遠藤秀典 (2002) : 大宮地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター
- ⁹ 東京港地下地質研究会 (2000) : 東京港の地下地質. 地団研専報, 47,133.
- ¹⁰ 地盤工学会 (2010) : 関東の地盤 地盤情報データベース付 (2010 年度版)
- ¹¹ 尾崎正紀・木村克己 (2009) : 2 万 5 千分の 1 シームレス地質図「東京低地及び武蔵野台地東部」(暫定版), 地質調査総合センター研究資料集, 485