

第1章 地震動・液状化・土砂災害等の予測

1. 地震動の予測

1.1 地盤モデルの作成

本想定では、地震動予測のため地盤モデルを、工学的基盤以浅、以深でそれぞれ浅部地盤モデル、深部地盤モデルに区分して作成した。両者の作成方法について以下に示す。

1.1.1 浅部地盤モデル

図 1-1 に浅部地盤モデルの作成フロー、以下に作業手順を示す。

- ① N値とS波速度の関係式を用いて、ボーリング地点の AVS30 を求める。(図 1-2)
- ② ベクトルタイル地形分類を基に横浜市内を低地と台地に区分し、それぞれにおけるボーリングデータを 50 m メッシュで補間する。(図 1-3、図 1-4)
- ③ ②の低地、台地を合わせて横浜市内全域の AVS30 を求める。(図 1-5)

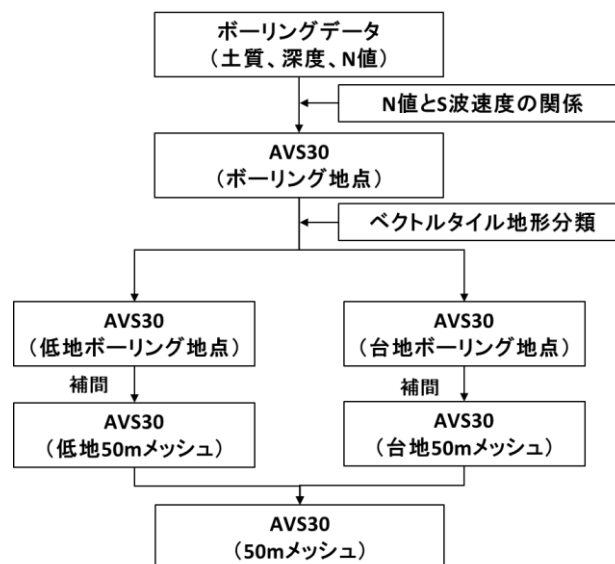


図 1-1 浅部地盤モデルの作成フロー

N値とS波速度の関係式について、田村・山崎（2002）によって横浜市内で推定された以下の関係式を用いた。なお、各係数については表 1-1 を採用した。

$$V_s = kN^\alpha d^\beta C_1 C_2$$

表 1-1 田村・山崎（2002）の関係式の係数

土質	k	α	β	C_1	C_2
礫	108.5	0.319	－	1.08	－
砂	108.5	0.319	－	0.93	－
粘性土	106.1	0.327	－	1.00	－

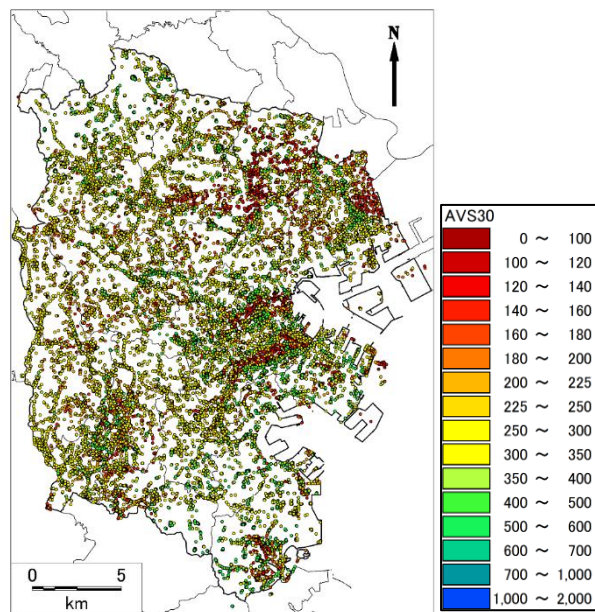


図 1-2 ボーリング地点の AVS30

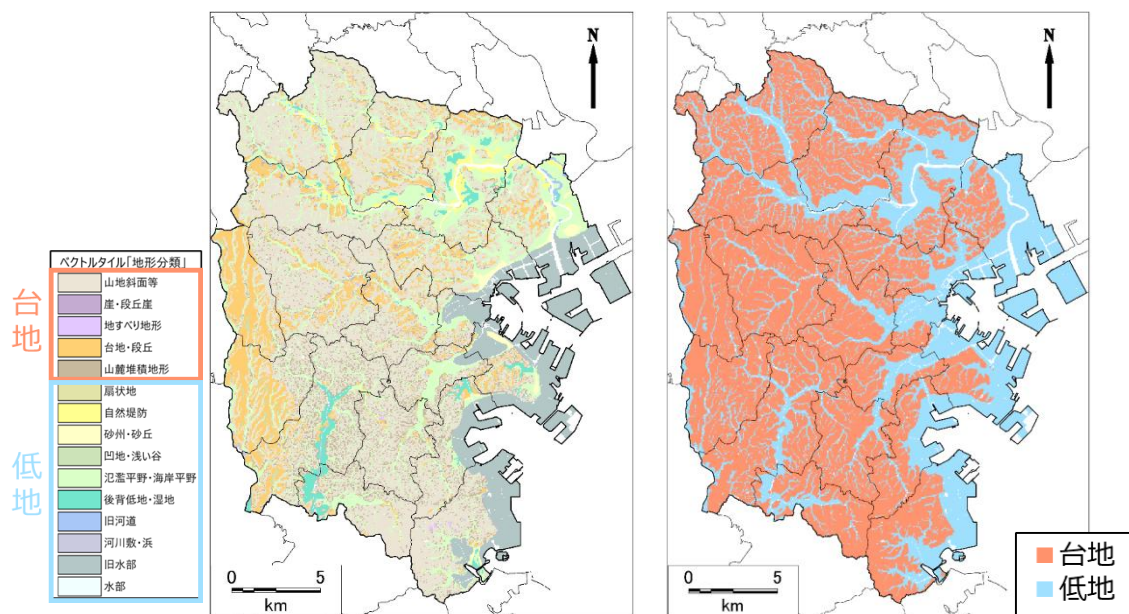


図 1-3 ベクトルタイル地形分類(左)に基づく低地・台地の区分(右)

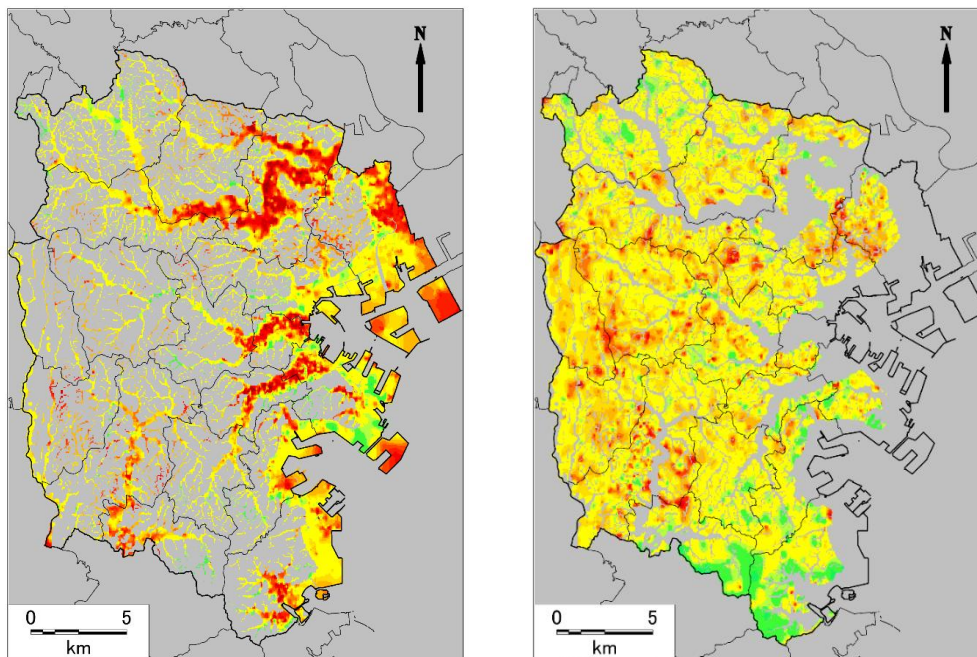


図 1-4 低地(左)と台地(右)における AVS30

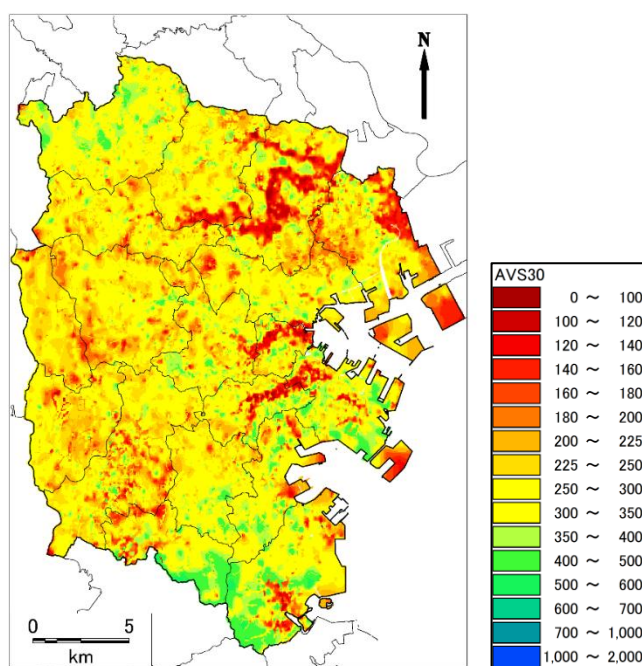


図 1-5 本想定で用いる AVS30

1. 1. 2 深部地盤モデル

横浜市内に 150 地点ある地震観測点の記録を用いて、防災科学技術研究所「地震ハザードステーション J-SHIS」で公開されている深部地盤速度構造モデル（以降、J-SHIS モデルと呼ぶ。）を基に、収集した地震観測記録を用いて修正し、本想定で用いる深部地盤モデルを作成した。修正には M_J 6 以上、深さ 30km 以浅の地震による観測記録を用いた。図 1-6 に地震観測点位置、表 1-2、表 1-3 に解析に用いた地震観測記録の諸元、図 1-7 に震央分布図を示す。

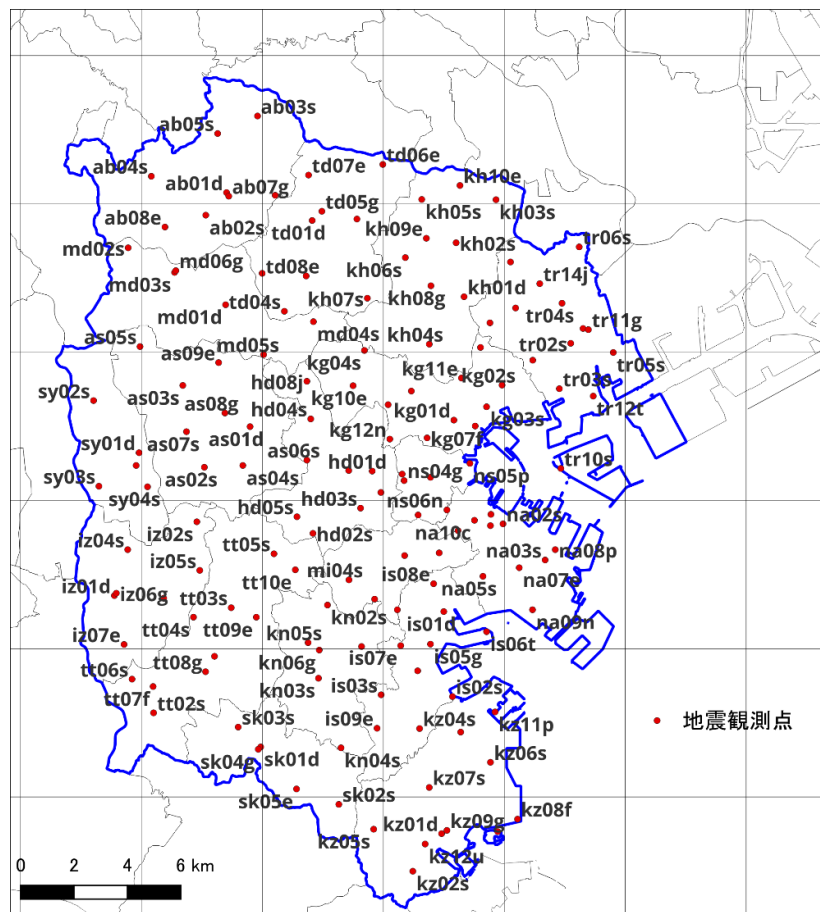


図 1-6 横浜市内の地震観測点位置

表 1-2 地震観測記録の諸元（その 1）

発生時刻	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	M_J
2000/7/1 16:1:56.34	34.19	139.1935	16.06	6.5
2000/7/9 3:57:44.93	34.2118	139.2305	15.36	6.1
2000/7/15 10:30:32	34.4233	139.2418	9.7	6.3
2000/7/30 9:18:2.26	34.0303	139.402	11.12	6
2000/7/30 21:25:46.63	33.9712	139.4108	17.04	6.5
2000/8/18 10:52:22.65	34.2015	139.2407	12.44	6.1
2003/7/26 7:13:31.52	38.405	141.171	11.87	6.4
2004/10/23 17:56:0.3	37.2925	138.8672	13.08	6.8
2004/10/23 18:3:12.65	37.354	138.9833	9.38	6.3
2004/10/23 18:11:56.77	37.253	138.8295	11.52	6
2004/10/23 18:34:5.69	37.3063	138.93	14.17	6.5

表 1-3 地震観測記録の諸元（その2）

発生時刻	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	M _J
2004/10/27 10:40:50.24	37.2918	139.0333	11.6	6.1
2007/3/25 9:41:57.91	37.2207	136.686	10.7	6.9
2007/7/16 10:13:22.55	37.5568	138.6095	16.75	6.8
2008/5/8 1:16:34.09	36.2747	141.9788	18	6.3
2008/7/21 20:30:26.66	37.1365	142.3412	27.38	6.1
2009/8/11 5:7:5.74	34.7862	138.4993	23.32	6.5
2011/3/10 3:16:14.18	38.2712	142.8788	28.87	6.4
2011/3/11 14:46:18.12	38.1035	142.861	23.74	9
2011/3/11 15:3:58.8	36.3298	141.9622	17.13	6
2011/3/11 15:7:16.17	36.3017	142.226	20.31	6.5
2011/3/11 15:8:53.92	36.0785	141.8348	26	6.2
2011/3/11 15:57:13.25	35.8187	141.1817	27.53	6.2
2011/3/11 16:14:57.04	36.5572	142.0413	25	6.8
2011/3/11 16:17:42.75	37.1418	142.5915	20	6.5
2011/3/11 17:27:48.34	38.0325	142.7858	30	6.2
2011/3/11 17:40:54.53	37.424	141.2732	29.91	6
2011/3/11 21:13:3.09	37.2252	142.218	26	6.2
2011/3/12 0:13:12.44	36.0537	142.0015	22.82	6.7
2011/3/12 0:20:4.93	36.4167	141.9108	0	6.3
2011/3/12 3:11:25.63	37.1707	142.026	25.55	6
2011/3/12 3:59:15.62	36.986	138.5978	8.38	6.7
2011/3/12 10:47:12.68	37.476	142.754	0	6.8
2011/3/13 7:12:44.02	37.605	142.0538	8.62	6.1
2011/3/13 8:24:46.9	38.012	141.9483	15.16	6.2
2011/3/13 10:26:2.08	35.8282	141.9723	11.18	6.6
2011/3/15 22:27:53.62	37.5992	142.2985	10.03	6.2
2011/3/15 22:31:46.34	35.3095	138.7145	14.31	6.4
2011/3/16 12:52:2.77	35.837	140.9065	9.97	6.1
2011/3/19 18:56:48.06	36.7837	140.5715	5.37	6.1
2011/3/22 22:50:49.81	35.8605	141.7813	21.61	6
2011/3/23 7:12:28.78	37.0848	140.7878	7.6	6
2011/3/29 19:54:30.44	37.4087	142.4697	13.37	6.6
2011/4/11 17:16:12.02	36.9457	140.6727	6.42	7
2011/4/12 8:8:15.89	35.4817	140.868	26.27	6.4
2011/4/12 14:7:42.28	37.0525	140.6435	15.08	6.4
2011/6/18 20:31:4.61	37.6177	141.8213	27.65	6
2011/8/1 23:58:11.04	34.707	138.5488	23.03	6.2
2012/3/14 21:5:4.32	35.7477	140.932	15.08	6.1
2013/2/25 16:23:53.58	36.8737	139.4128	2.84	6.3
2013/4/17 17:57:34.37	34.0473	139.353	9.37	6.2
2014/11/22 22:8:17.9	36.6928	137.891	4.59	6.7
2016/11/24 6:23:36.3	37.1745	141.3457	23.79	6.2
2016/12/28 21:38:49.04	36.7202	140.5742	10.84	6.3
2024/1/1 16:10:22.57	37.496	137.27	15.9	7.6

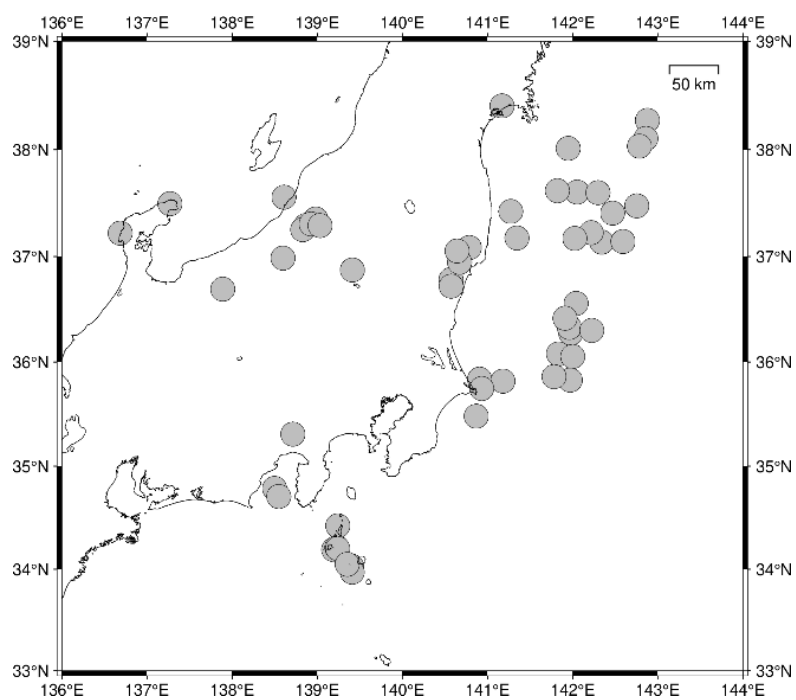


图 1-7 震央分布图

(1) R/V スペクトルの算出

図 1-8～図 1-11 に選定した地震記録を用いて算出した R/V スペクトル比を示す。地震波の解析には S 波の後続波を使用した。黒線は地震毎の R/V スペクトル比、赤線はそれらの相乗平均である。

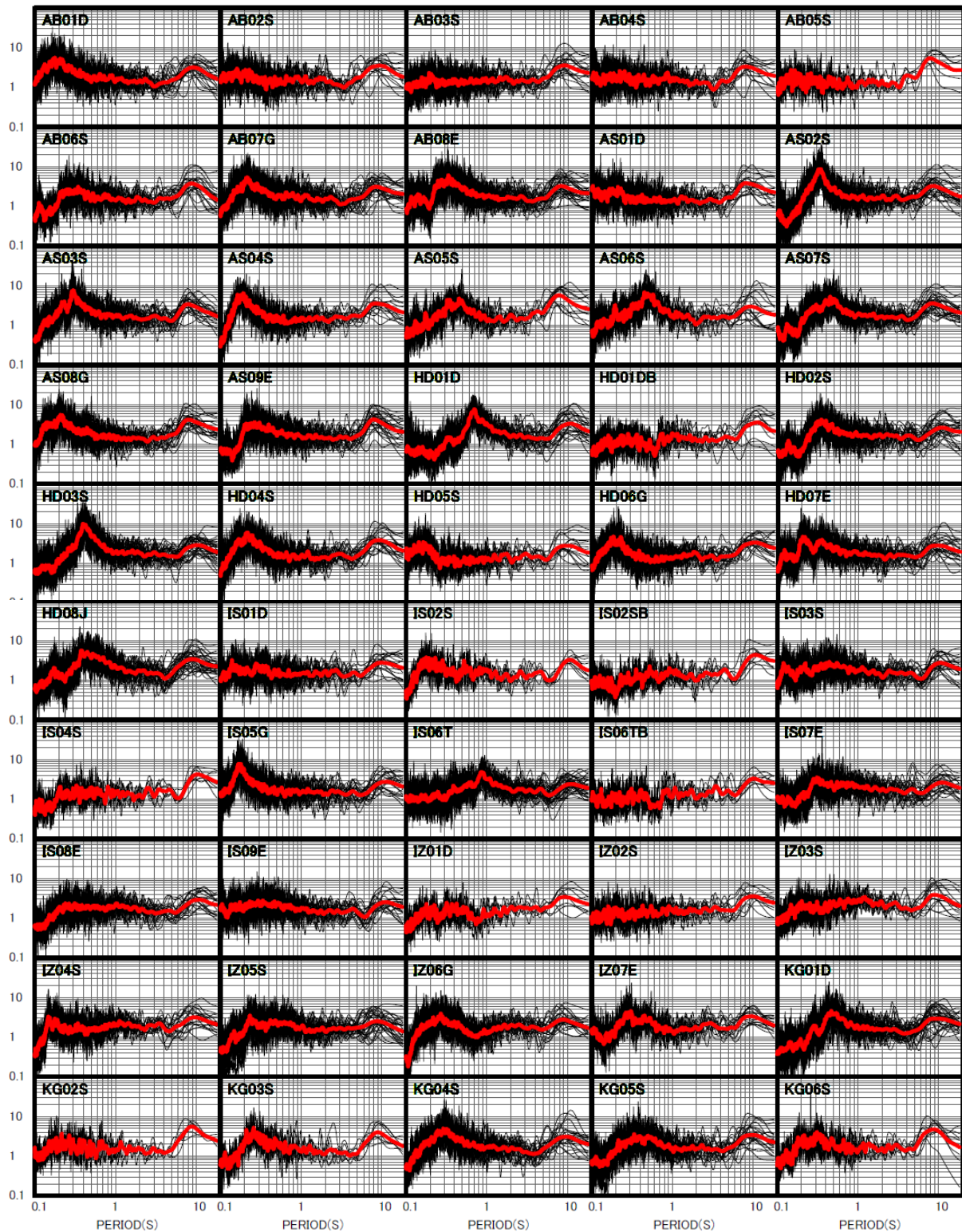


図 1-8 各地震観測点の R/V スペクトル比 (その1)

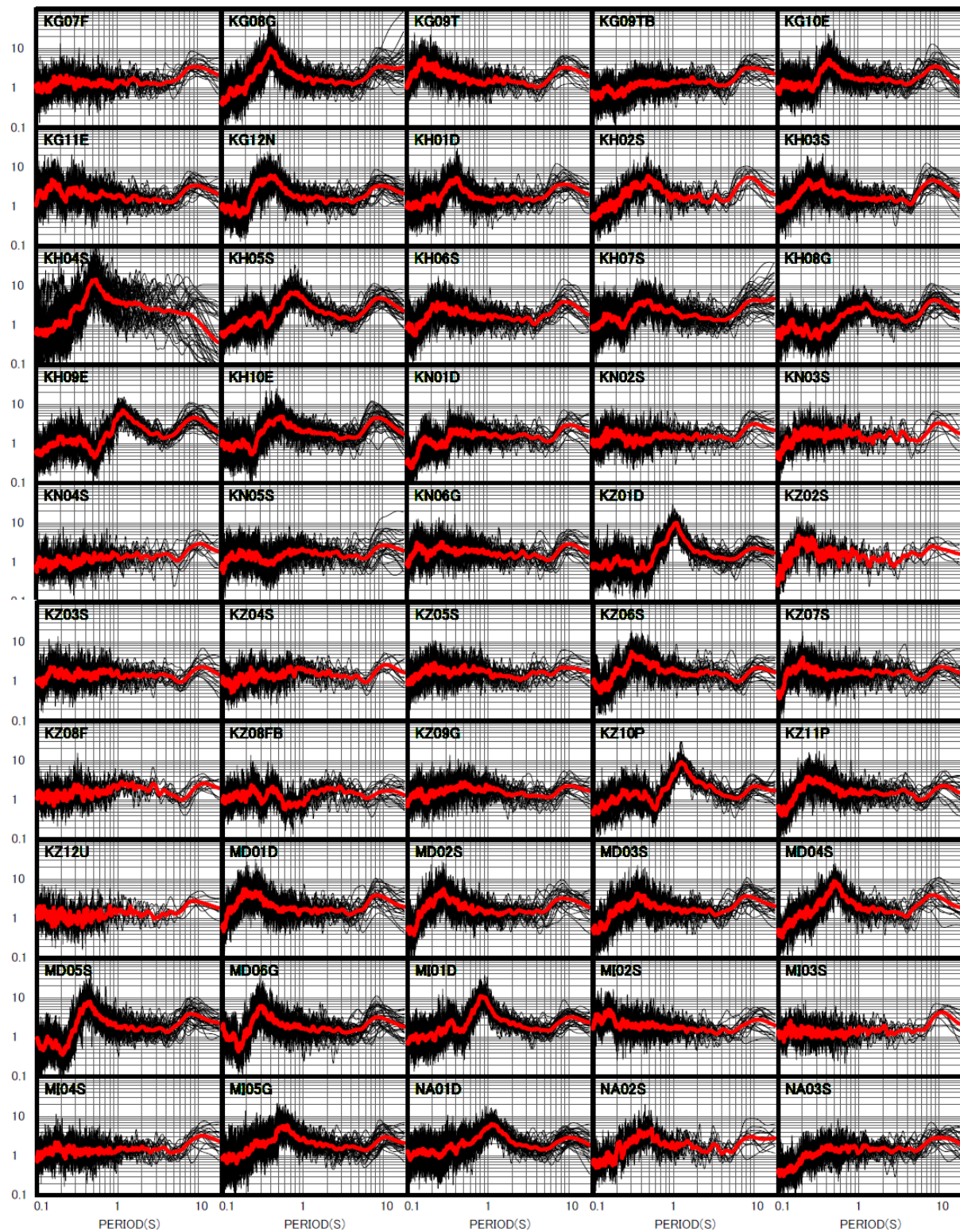


図 1-9 各地震観測点の R/V スペクトル比（その2）

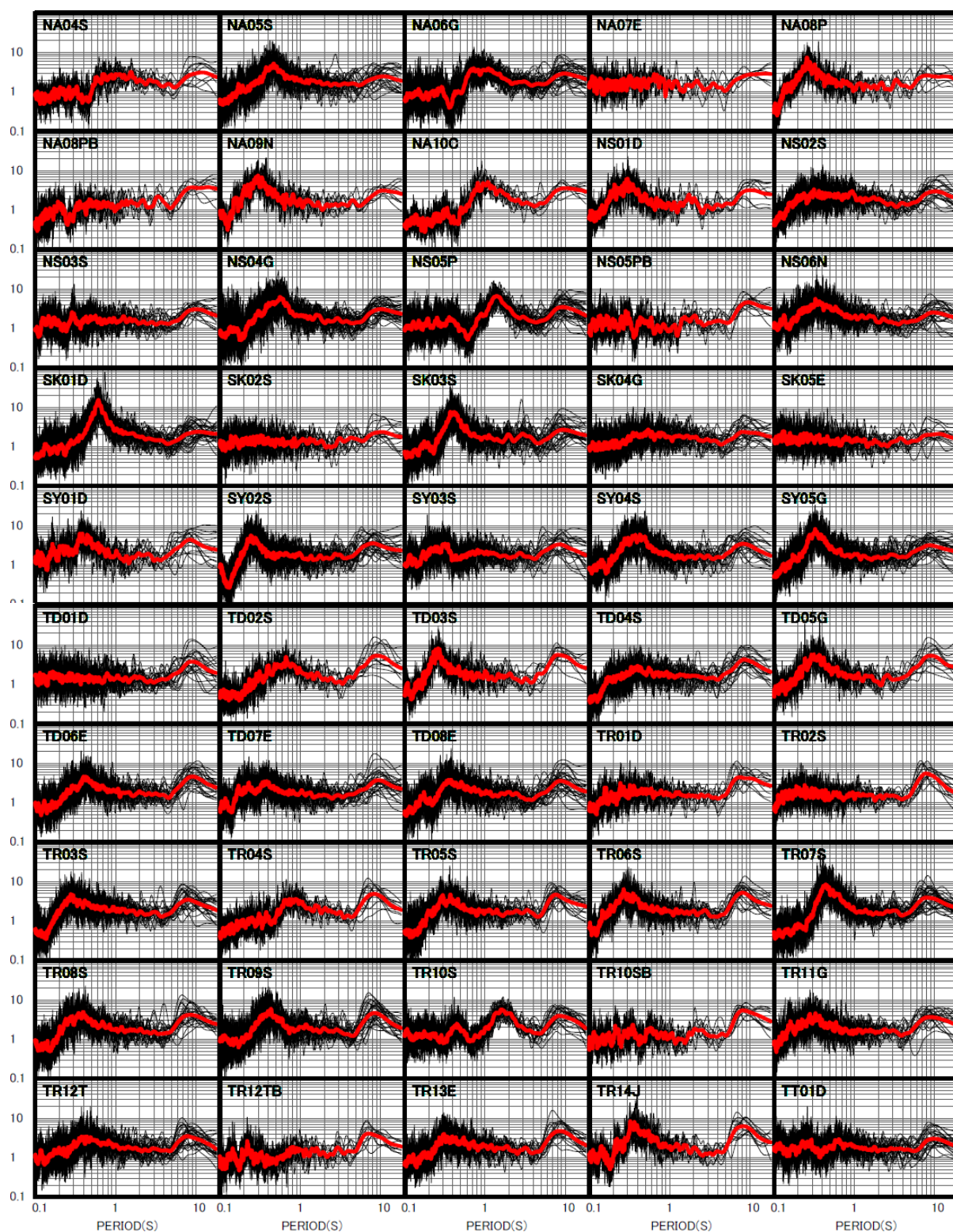


図 1-10 各地震観測点の R/V スペクトル比 (その3)

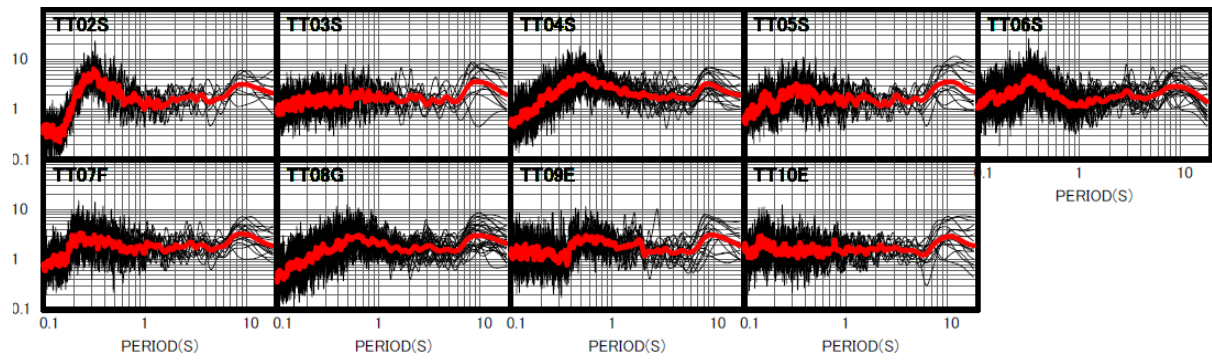


図 1-1-1 各地震観測点の R/V スペクトル比（その 4）

(2) 速度構造の修正

0.05～0.5Hz 帯域における J-SHIS モデルから得られる理論 H/V スペクトルのピーク周波数と地震観測記録による R/V スペクトル比のピーク周波数とに乖離がある地震観測点について、ピーク周波数が合うように各速度層の深度を調整し、本想定で用いる深部地盤モデルとした。図 1-12 に修正例、図 1-13 に修正前後の地震観測点における卓越周期分布を示す。

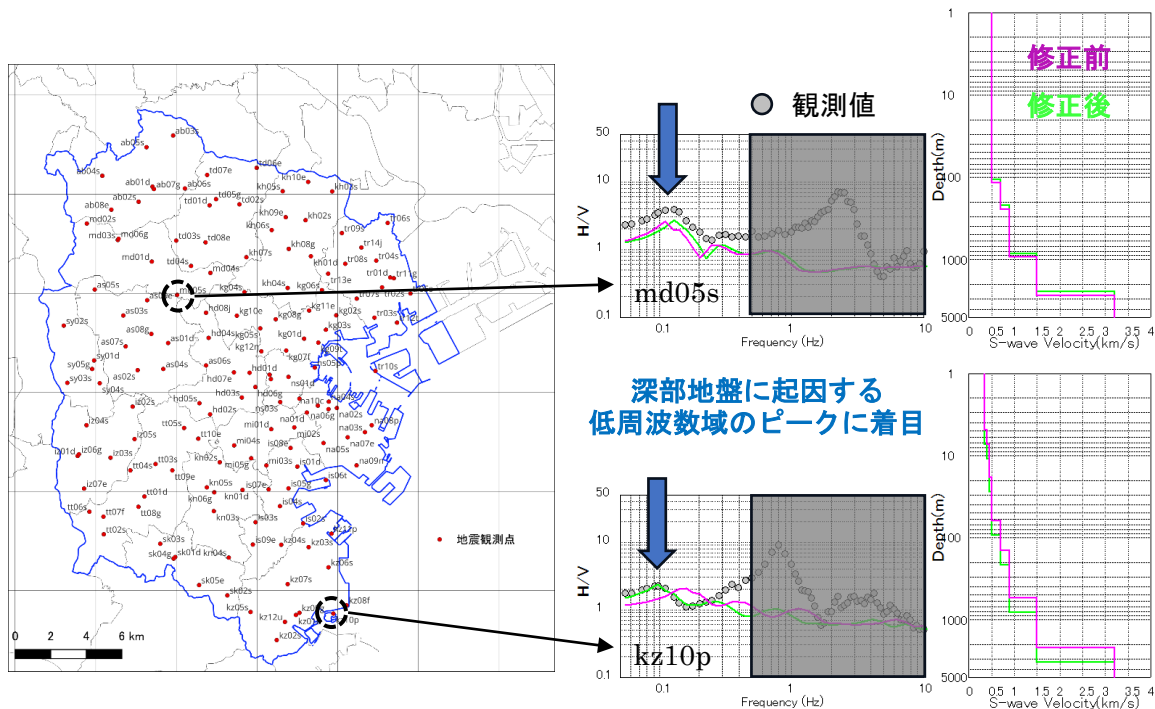


図 1-12 市内の地震観測点(左)とモデルの修正例(右)

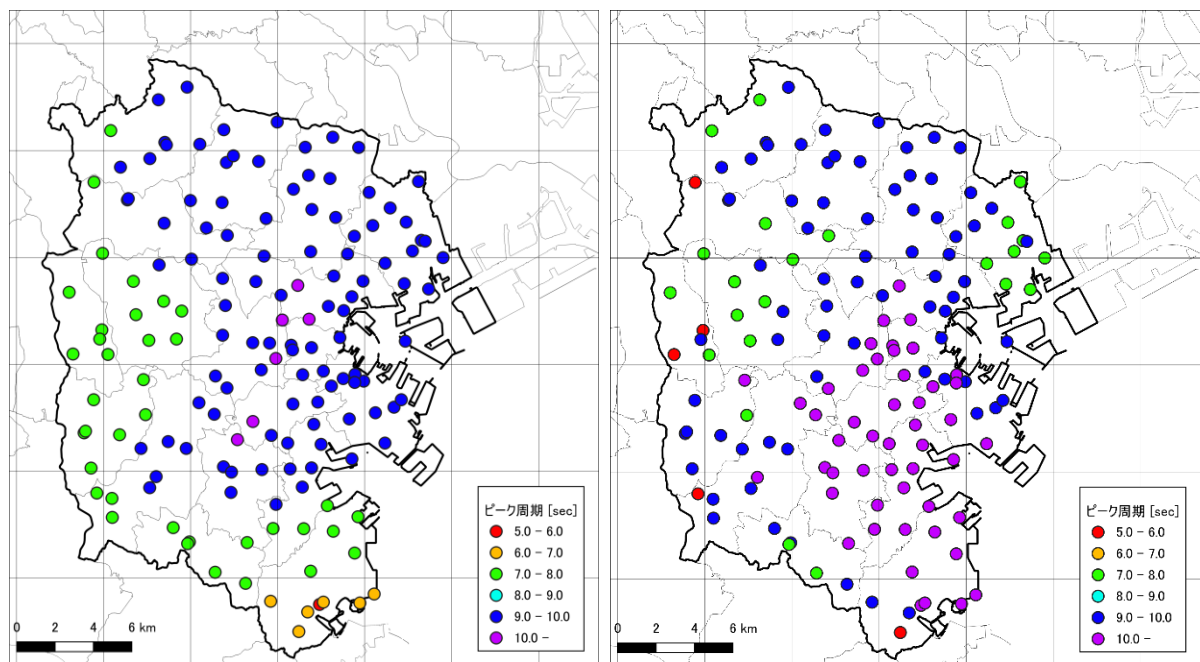


図 1-13 修正前後の地震観測点における卓越周期分布
(左：J-SHIS モデル、右：修正した本想定 of 深部地盤モデル)

図 1-14 に修正前後の基盤 ($V_s=3200\text{m/sec}$) の上面深度と修正量(修正後-修正前)を示す。J-SHIS モデルと比べて横浜市南部では深く、北東部や北西部では浅いモデルとなった。

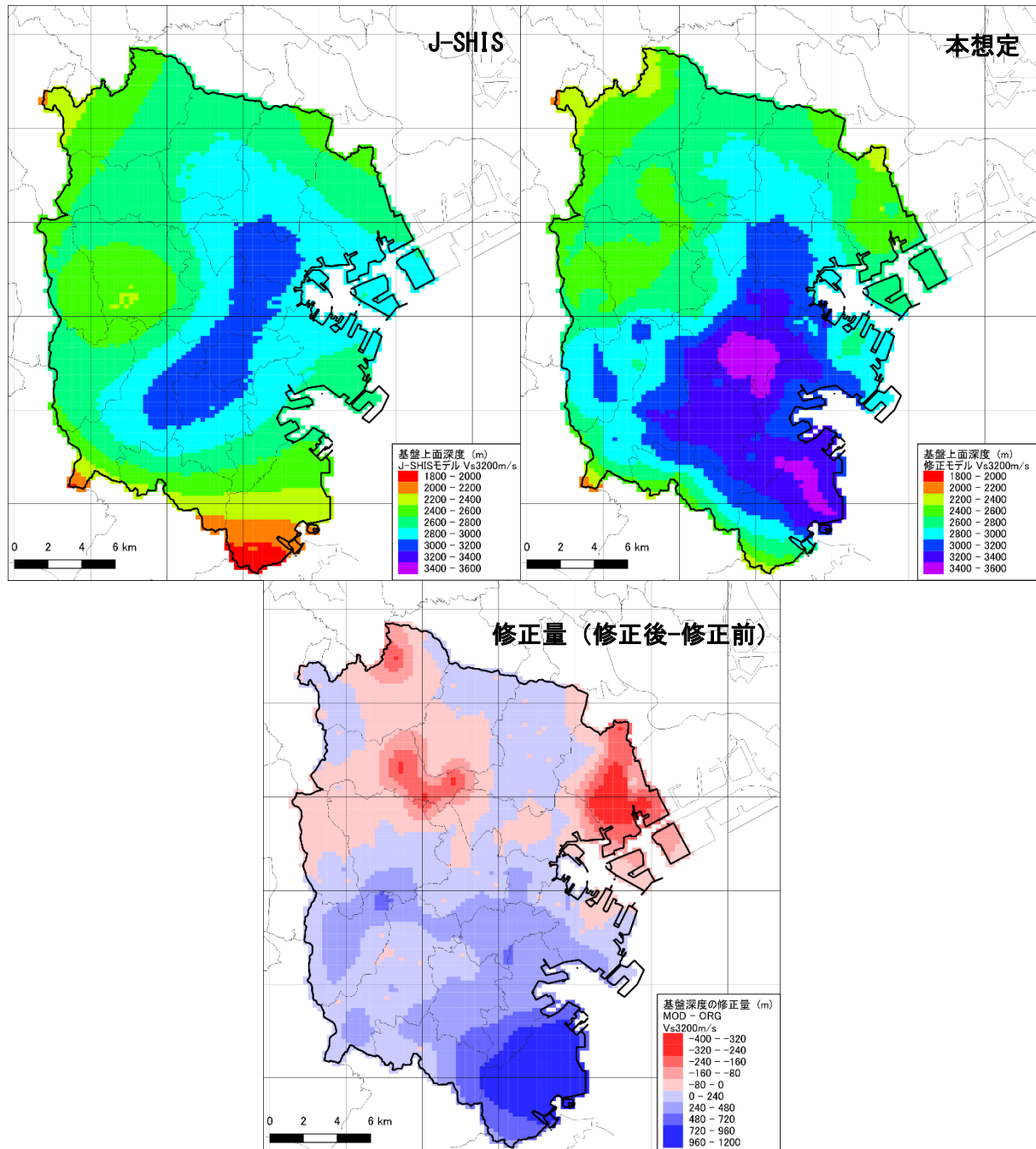


図 1-14 修正前後の基盤深度 ($V_s=3200\text{m/sec}$)

左上 : J-SHIS モデル, 右上 : 本想定モデル, 下 : 修正量 (修正後-修正前)

(3) 地盤増幅率の比較

前回想定において算出された地震基盤 ($V_s=3300\text{m/sec}$ 相当) から工学的基盤 ($V_s=600\text{m/sec}$ 相当) までの経験的サイト増幅特性と、本想定における深部地盤モデルより算出した理論増幅率の比較を図 1-15、図 1-16 に示す。なお、本想定では $V_s=700\text{m/sec}$ 層上面までの理論増幅率を求めた。

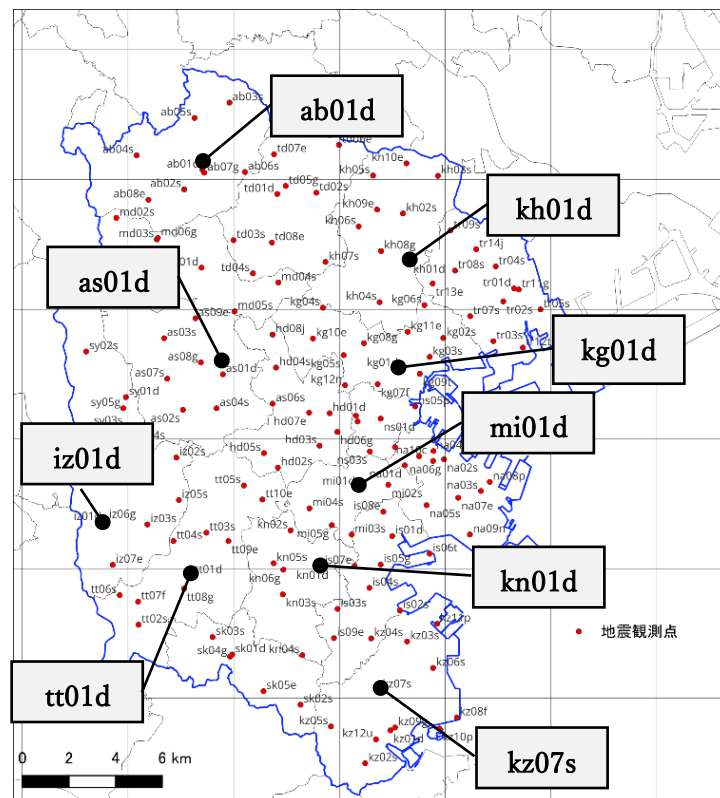


図 1-15 地盤増幅率を例示する観測点位置

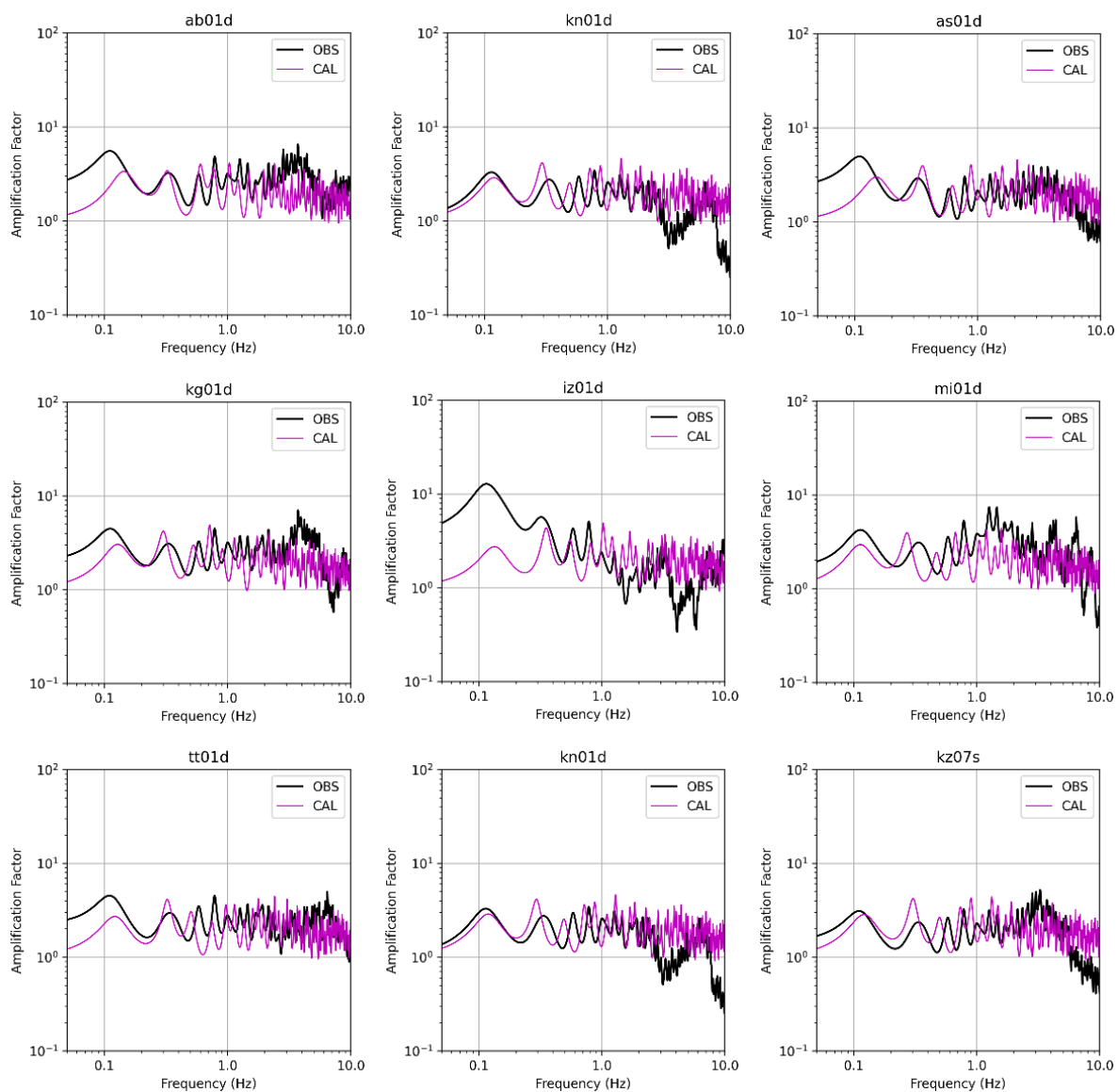


図 1-16 各観測点における地盤増幅率の比較
(黒：前回想定、紫：本想定)

1. 1. 3 震度増分

本想定で作成した地盤モデルを用いて、横田他(2005)の震度と AVS30 の関係式から工学的基盤面から地表面までの震度増分を図 1-17、本想定と前回想定の震度増分の差分を図 1-18 に示す。横浜市北部や沿岸部の低地などで震度増分が大きくなる傾向にある。また、本想定と前回想定では、横浜市南部や北部は本想定が大きく、その他の地域ではばらついて分布している。この要因として、本想定ではボーリングデータ数が増加していることが考えられる。さらに、前回想定では AVS30 をボーリングデータ及び地形分類に基づいて算出したのに対し、本想定ではデータ数の増加に伴い、より偏りの少ないデータ分布となったことから、ボーリングデータのみに基づいて AVS30 を算出している。これらの違いが、本結果の差異を生じさせた要因であると考えられる。

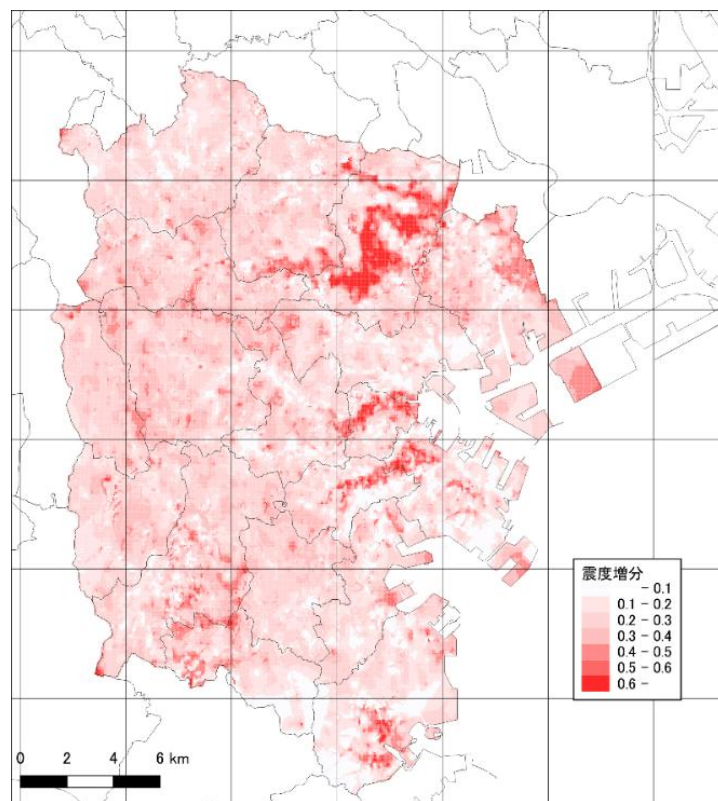


図 1-17 横田他(2005)による震度増分(工学的基盤面～地表面)

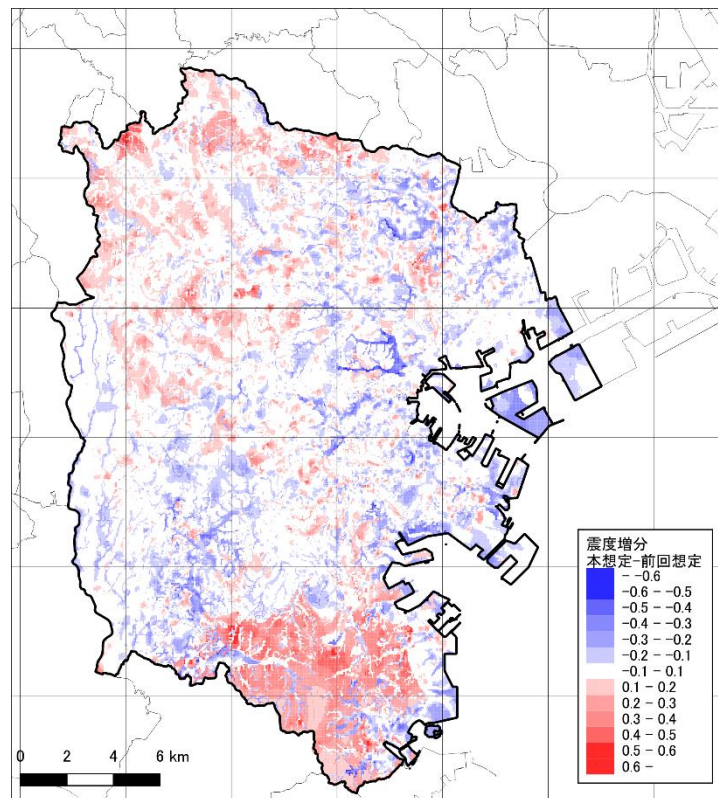


図 1-18 震度増分の差分(本想定-前回想定)

1. 2 想定地震の震源断層モデルの作成

本想定における想定地震について、以下にそれぞれの震源断層モデルについて示す。

(1) 横浜市直下地震

「首都直下地震モデル・被害想定手法検討会 地震モデル報告書（内閣府，2025）」による震源断層モデルを採用した。断層パラメータを表 1-4 に、震源断層位置を図 1-19 に示す。

表 1-4 横浜市直下地震の断層パラメータ（内閣府，2025）

		横浜 (高角)	設定方法
地震の規模・断層の大きさ・形状			
モーメントマグニチュード	M _w	6.80	
地震モーメント	M ₀ Nm	2.00E+19	
(マグニチュード)	M	7.1	松田 (1975)
面積	S km ²	275	
長さ	L km	23	D-SHIS
幅	W km	12	
断層の位置			
緯度（地中の断層基準点の位置）	°	35.4096	
経度（地中の断層基準点の位置）	°	139.5163	
走向	q °	57	
傾斜	d °	69	
上端深さ	H _s km	6	中央防災会議 (2004)
下端深さ	H _d km	17	地震調査研究推進本部
断層の運動			
すべり角	°	77	
すべり量	D m	2.12	D=M ₀ /(mS)
平均応力パラメータ	D _s MPa	3.0	中央防災会議 (2006)
破壊伝播速度	V _r km/s	2.5	
高周波遮断周波数	f _{max} Hz	6.0	中央防災会議 (2006)
SGMA			
総面積	S _a km ²	54	中央防災会議 (2006)
すべり量	D _a m	4.22	
総地震モーメント	M _{0a} Nm	7.70E+18	
応力パラメータ	D _{sa} MPa	15.40	
面積	S _{ai} Km ²	—	中央防災会議 (2006)
地震モーメント	M _{0ai} Nm	—	
すべり量	D _{ai} M	—	
背景領域			
面積	S _b Km ²	221	
地震モーメント	M _{0b} Nm	1.22E+19	
すべり量	D _b M	1.61	
応力パラメータ	D _{sb} MPa	3.08	

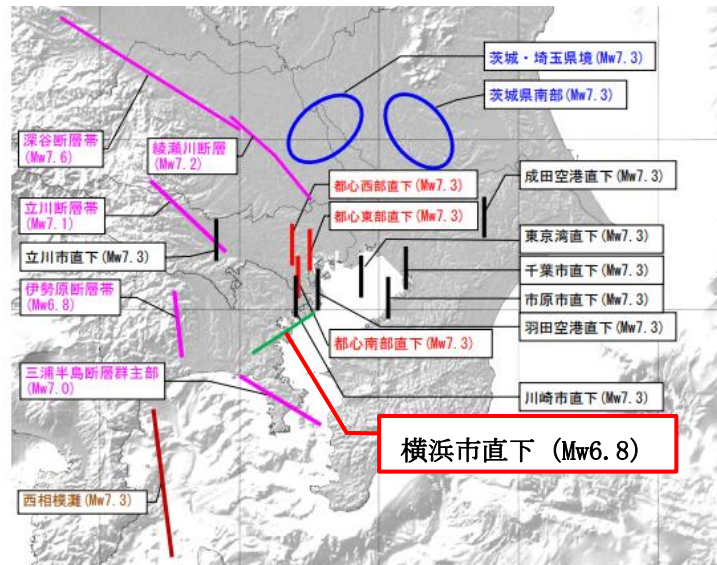


図 1-19 横浜市直下地震の震源断層位置

(「首都直下地震モデル・被害想定手法検討会 地震モデル報告書 (内閣府, 2025)」に加筆)

(2) 大正関東地震タイプの地震

「首都直下地震モデル・被害想定手法検討会 地震モデル報告書(内閣府, 2025)」による震源断層モデルを採用した。断層パラメータを表 1-5 に、震源断層位置を図 1-20 に示す。

表 1-5 大正関東地震タイプの地震の断層パラメータ (内閣府, 2025)

		本検討
SMGA (合計)	面積	1,161 km ²
SMGA①	面積	239.0 km ²
	応力パラメータ	25.0 MPa
	地震モーメント	3.8×10^{19} N m
	Mw	7.0
SMGA②	面積	240.7 km ²
	応力パラメータ	25.0 MPa
	地震モーメント	3.8×10^{19} N m
	Mw	7.0
SMGA③	面積	313.9 km ²
	応力パラメータ	25.0 MPa
	地震モーメント	5.7×10^{19} N m
	Mw	7.1
SMGA④	面積	367.5 km ²
	応力パラメータ	25.0 MPa
	地震モーメント	7.2×10^{19} N m
	Mw	7.2
SMGA⑤	面積	-
	応力パラメータ	-
	地震モーメント	-
	Mw	-

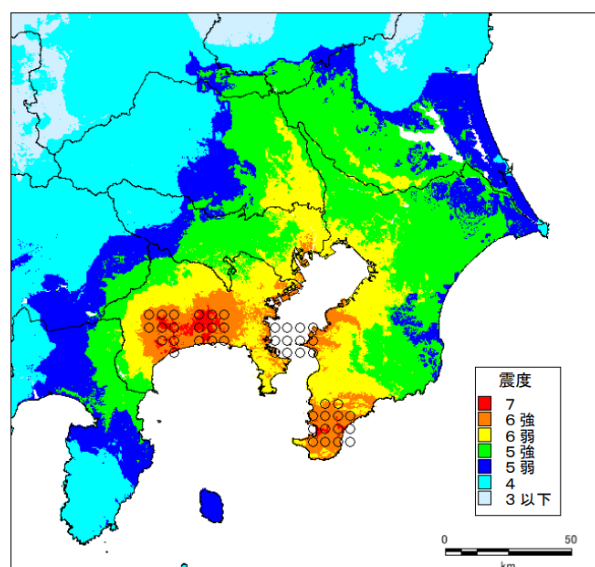


図 1-20 大正関東地震タイプの地震の震源断層位置

(「首都直下地震モデル・被害想定手法検討会 地震モデル報告書 (内閣府, 2025)」より引用)

(3) 南海トラフ巨大地震

「南海トラフ巨大地震モデル・被害想定手法検討会 地震モデル報告書（内閣府，2025）」による震源断層モデルの東側ケースを採用した。断層パラメータを表 1-6 に、震源断層位置を図 1-2 1 に示す。

表 1-6 南海トラフ巨大地震の断層パラメータ（内閣府，2025）

全体	面積(km ²)	110,150			
	応力パラメータ (MPa)	2.3			
	平均すべり量(m)	7.6			
	地震モーメント(Nm)	3.4E+22			
	Mw	9.0			
各セグメント	セグメント名	日向灘域	南海域	東海域	駿河湾域
	面積(km ²)	19,053	53,790	29,419	7,888
	平均応力降下量(MPa)	4	4	4	4
	平均すべり量(m)	5.5	9.3	6.9	3.6
	地震モーメント(Nm)	4.3E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0

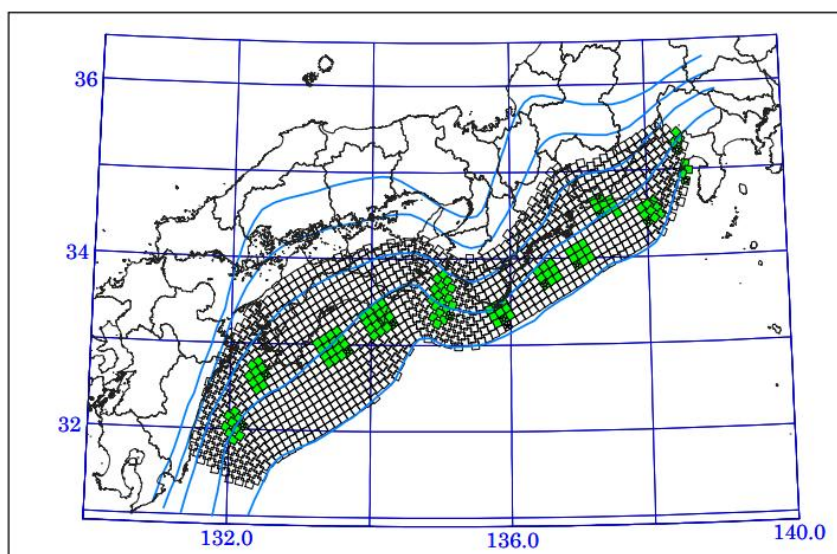


図 1-2 1 南海トラフ巨大地震の震源断層位置（南海トラフ巨大地震：東側ケース）
（「南海トラフ巨大地震モデル・被害想定手法検討会 地震モデル報告書（内閣府，2025 年）」より引用）

(4) 都心南部直下地震（参考）

「首都直下地震モデル・被害想定手法検討会 地震モデル報告書（内閣府，2025）」による震源断層モデルを採用した。断層パラメータを表 1-7 に、震源断層位置を図 1-22 に示す。

表 1-7 都心南部直下地震の断層パラメータ（内閣府，2025）

		62MPa	備考
断層全体	面積(km ²)	900	岩田・浅野(2010)
	平均応力降下量(MPa)	10.3	面積と地震モーメントの関係より
	平均すべり量(m)	2.5	
	地震モーメント(Nm)	1.1E+20	岩田・浅野(2010)
	Mw	7.3	
	長さ(km)	28.1	
	幅(km)	32.1	
	走向	0°	南北走向
	傾斜	90°	
	すべり角	0°	横ずれ
SMGA	応力パラメータ	62	岩田・浅野(2010)
	面積(km ²)	150	
	面積比	16.7%	
	平均すべり量(m)	5.1	平均すべり量×2
	地震モーメント(Nm)	3.5E+19	Mos=μDS
	Mw	7.0	Δσ×S/Ss
	破壊伝播速度(km/s)	2.9	
その他	fmax(Hz)	6	
	剛性率(N/m ²)	4.6E+10	

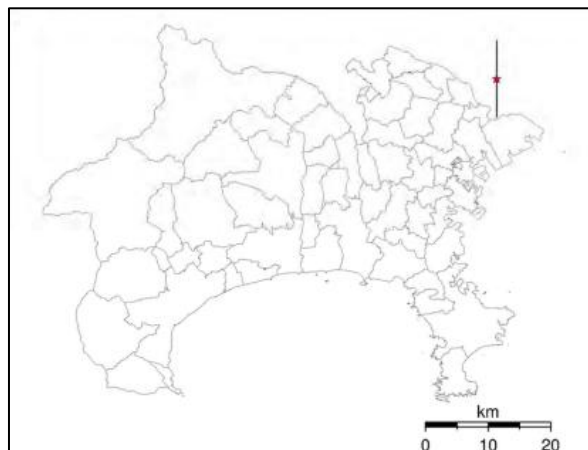


図 1-22 都心南部直下地震の震源断層位置（神奈川県，2025）より引用

1. 3 地震動の予測手法

本想定においては、統計的グリーン関数法により工学的基盤波形を計算し、工学的基盤の計測震度、最大速度等の地震動指標を計算した。地表の地震動は、関係式から算出した浅部地盤の AVS30 による震度増分を加え地表震度を算出し、地表震度を基に最大速度等の地震動指標を算出した。

図 1-2 3 に地震動予測手法の概念図を示す。

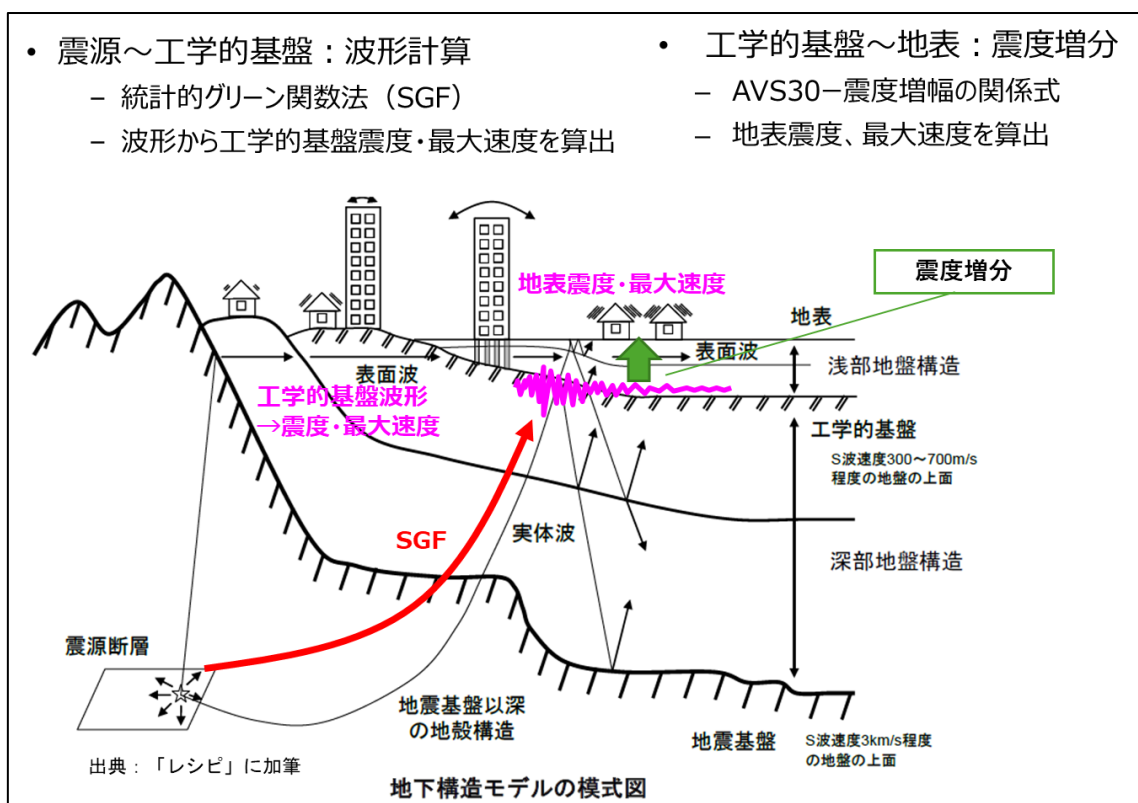


図 1-2 3 本想定における地震動予測手法の概念図 ※「レシピ」に加筆

1. 3. 1 統計的グリーン関数法による工学的基盤上面の波形計算

統計的グリーン関数法による短周期地震動の評価では、Boore (1983) の加速度振幅スペクトル及び佐藤ほか(1994)の包絡関数を用い、地震基盤における要素波を SV 波、SH 波それぞれについて作成した。コーナー周波数 f_c は Brune (1970) に基づき算出した。

$$A(f) = \frac{R_{\theta\phi}(f)}{4\pi\rho\beta^3} \cdot \frac{M_0 \cdot (2\pi f)^2}{1 + (f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{[1 + (f/f_{\max})^{2s}]^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{\exp(-\pi f t_t / Q(f))}{R} \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_b\beta_b}}$$

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/M_0)^{1/3}$$

$R_{\theta\phi}$: ラディエーション係数、 ρ : 震源の密度 (kg/m³)、 β : 震源の S 波速度 (km/s)

M_0 : 地震モーメント (Nm)、 f_c : コーナー周波数 (Hz)、 $f_{\max}$: ハイカットフィルタの遮断周波数 (Hz)、 s : フィルタの次数、 Q : Q 値、 t_t : 震源からサイト直下の走時 (s)、 R : 震源距離 (km)

また、 ρ_b, β_b はそれぞれ、地震基盤における密度及び S 波速度である。

SV 波、SH 波それぞれに、サイト直下の深部地盤構造を用いた斜め入射による地盤増幅係数を乗じ、Radial 及び Transverse 成分から NS、EW、UD の 3 成分への座標回転を考慮した後、入倉ほか(1997)による補正関数を用いて波形合成を行った。

$$U(f) = \sum_m^{N_L} \sum_n^{N_W} e^{-i2\pi f t_{mn}} \left\{ \left(1 + \frac{1}{n'(1-e^{-1})} \right)^{(N_D-1)n'} \sum_{k=1}^{(N_D-1)n'} e^{-\frac{k-1}{(N_D-1)n'}} e^{-i2\pi f \frac{(k-1)\tau}{(N_D-1)n'}} \right\} u_{mn}(f)$$

ここで、 $U(f)$ は波形合成後のサイトの加速度フーリエスペクトルであり、 $u_{mn}(f)$ は要素断層によるサイトの加速度フーリエスペクトルである。 t_{mn} は破壊開始時刻からサイトに到達するまでの時間であり、球殻モデルによる走時と破壊開始点から要素断層までの破壊伝播時間の和で表される。 N_L, N_W, N_D はそれぞれ長さ方向、幅方向、すべり方向の分割数であり、 τ [s] はライズタイム、 n' は重ね合わせによる人工的な周期特性を有効周波数より高い周波数側に移動させる再分割数である。

計算に用いる乱数について、内閣府 (2025) では大正関東地震タイプの地震、元禄関東地震タイプの地震、相模トラフ沿いの最大クラスの地震、都心南部地震では複数ケースの乱数で計算し、その平均値を用いている。そのため、本想定でも同様に 5 乱数による計算結果の平均値を採用した。

1. 3. 2 地表面の地震動指標の計算

地表面における地震動指標については、以下に示す関係式を用いて計測震度、最大速度等評価した。横田他（2005）における関係式の各係数を表 1-8 に示す。

- ・ AVS30 と震度増幅の関係式：横田他（2005）

$$\lambda_{IJ} = a - b \cdot \log_{10} AVS30$$

- ・ 計測震度と最大速度の関係式：童・山崎（1996）

$$PGV = 10^{-0.97+0.45 \cdot I}$$

表 1-8 横田他（2005）における関係式の係数 a、b

基盤震度	a	b
3.0～3.9	2.943	1.034
4.0～4.4	2.916	1.026
4.5～4.9	2.888	1.015
5.0～5.4	2.715	0.954
5.5～5.9	2.494	0.876
6.0～6.4	2.434	0.855

2. 液状化の予測

2. 1 液状化危険度予測手法の概要

液状化の予測は、新たに収集したボーリングデータを用いて作成した地盤モデルを用いて行った。以下に予測計算の手法を示す。

2. 1. 1 概要

液状化危険度の計算は、道路橋示方書（2025）の方法に準じて、 F_L 法及びこれを深度方向に重み付けして積分した F_L 法を用いて計算し、液状化による被害を想定した。また、液状化による建物被害の想定に用いるため、地盤の沈下量を内閣府（2012）の方法に従って計算した。

また、液状化対象層については、以下の全てに該当する地盤とした。

- ・地下水位以深で、地表から深さ 20m までの盛土（砂）層、砂質土層あるいは礫質土層
- ・細粒分含有率 FC が 35% 以下の土層

2. 1. 2 F_L 法

道路橋示方書（2025）に従い、以下の手法で計算した。

F_L 値は、次式で与えられる。

$$F_L = R/L$$

ここで、 R : 動的せん断強度比（地盤の液状化に対する抵抗力）

L : 地震時せん断応力比（地盤に加わる地震力の大きさ）

F_L 値が 1.0 を下回る層については、液状化するものと見なした。

動的せん断強度比 R とは、地盤がどれだけ液状化しにくいかを示す指標であり、 N 値や地震動のタイプ等を考慮して、以下の式により与えられる。

$$R = c_w R_L$$

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \cdot 10^{-6}(N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

$$N_a = \begin{cases} c_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47 & (D_{50} < 2\text{mm}) \\ \{1 - 0.36\log_{10}(D_{50}/2)\}/N_1 & (D_{50} \geq 2\text{mm}) \end{cases}$$

$$N_1 = 170 \cdot N / (\sigma_{vb}' + 70)$$

$$c_{FC} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 20)/30 & (10\% \leq FC < 40\%) \\ (FC - 16)/12 & (40\% \leq FC) \end{cases}$$

ただし、ここに、

R : 動的せん断強度比

c_w : 地震動特性による補正係数

R_L : 繰返し三軸強度比

N : 標準貫入試験から得られる N 値

N_1 : 有効上載圧 100kN/m² 相当に換算した N 値

N_a : 粒度の影響を考慮した補正 N 値

σ_{vb}' : 標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧 (kN/m²)

c_{FC} : 細粒分含有率による N 値の補正係数

FC : 細粒分含有率 (%) (粒径 75 μ m 以下の土粒子の通過質量百分率)

D_{50} : 50%粒径 (mm)

c_w については、以下の式で与えられる。

(タイプ I の地震動の場合)

$$c_w = 1.0$$

(タイプ II の地震動の場合)

$$c_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

※1) タイプ I : 大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動 (プレート境界型の大規模な地震) を表したものである。

※2) タイプ II : 継続時間は短いが極めて強度を有する地震動 (兵庫県南部地震のような内陸型地震) を表したものである。

今回の想定では、全ての地震についてタイプ I の係数を採用した。

地震時せん断応力比 L とは、地盤内のある 1 点にかかる地震力の大きさを表す指標であり、地表加速度から以下の換算式を用いて求めた。

$$L = r_d \cdot \alpha / g \cdot \sigma_v / \sigma_v'$$

$$r_d = 1.0 - 0.015x$$

ここに、

L : 地震時せん断応力比

r_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

α : 地表最大加速度 (gal)。地震動予測計算で求めた地表の計測震度 I から次式 (童・山崎 1996) により求めた。

$$\alpha = 10.0^{-0.23+0.51 \cdot I}$$

g : 重力加速度 (980gal)

σ_v : 全上載圧 (kN/m²)

σ_v' : 有効上載圧 (kN/m²)

x : 地表面からの深さ (m)

算出した F_L 値を深さ方向に重みをつけて足し合わせ（図 1-2 4 参照）、地点での液状化危険度を表す P_L 値を算出し、この P_L 値によって液状化危険度の判定を行った。液状化危険度判定は、岩崎ほか（1980）による図 1-2 4 及び表 1-9 に示すような関係により判定を行った。

地表面での波形

地表面最大
加速度 α

地震力(深さ
に反比例した
重み付け

深 度 m	柱 状 図	FL 分布			ΔPL
		0.5	1.0	1.5	
0					5.99
					4.68
					2.89
					2.40
5					2.03
					1.40
					1.17
					0.90
10					1.32
					1.70
					1.76
					0.0
					0.0
					0.0
15					0.0
					0.0
					0.0
					0.0
20					0.0
					0.0
$PL = \sum \Delta PL$					26.24

表 1-9 P_L 値による液状化危険度判定区分 (岩崎ほか(1980)に加筆)

	PL=0	0<PL≤5	5<PL≤15	PL>15
PL値による 液状化危険度判定	液状化危険度は 極めて低い。液状 化に関する詳細な 調査は不要	液状化危険度は 低い。特に重要な 構造物に対して、 より詳細な調査 が必要	液状化危険度が やや高い。重要な 構造物に対しては より詳細な調査が 必要。液状化対策 が一般には必要	液状化危険度が高 い。液状化に関する 詳細な調査と液状 化対策は不可避

2. 1. 4 沈下量

内閣府（2012）の方法に従って、液状化に伴う地盤の沈下量を求めた。

液状化に伴う地盤の沈下量 S は、建築基礎構造設計指針(2001) に示されている補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係（図 1-25）を用いて、補正 N 値と応力比のプロット点に対応する繰返しせん断ひずみを隣接する γ_{cy} 曲線の対数補間により求めた。

このとき、繰返しせん断ひずみ 8% の曲線より左側にプロットされる場合には $\gamma_{cy}=8\%$ とし、0.5% より右側にプロットされる場合には、 $\gamma_{cy}=0.5\%$ とした。

繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を体積ひずみ ε_v として読み替えた。その上で、沈下量 S を次のようにして推定した。

$$S = \sum_{i=1}^n (H_i \times \varepsilon_{vi})$$

ここに、

S : 沈下量

H_i : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の層厚

ε_{vi} : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の体積ひずみ

n : $F_L < 1.0$ となる砂質土層数

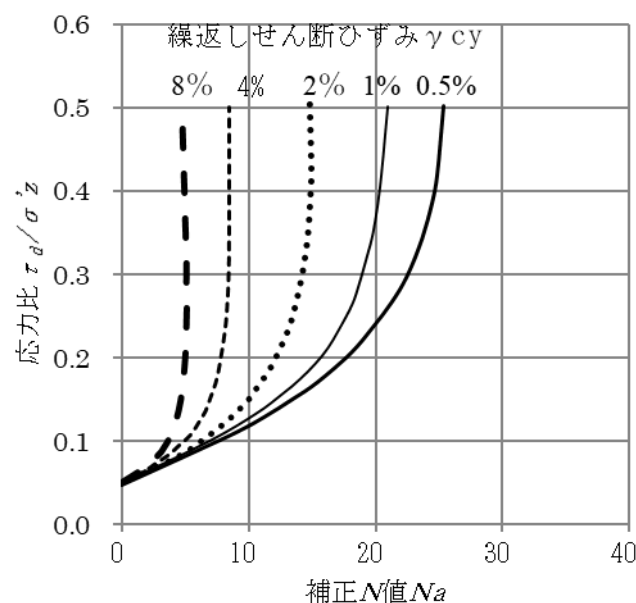


図 1-25 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係

（建築基礎構造設計指針(2001) , p66, 図 4.5.7 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係に加筆）

2. 2 液状化危険度予測のための地盤モデル

2. 2. 1 液状化予測の対象とする地形区分

国土地理院のベクトルタイル地形区分（自然地形）を参照して、図 1-26 に示す 50m メッシュの地形区分を作成した。作成した地形区分をもとに、低地に該当する以下の地形区分を液状化予測の対象とした。

扇状地、自然堤防、砂州・砂丘、凹地・浅い谷、氾濫平野・海岸平野、後背低地・湿地、旧河道、河川敷・浜、旧水部

前回想定における液状化対象範囲との比較を図 1-27 に示す。前回想定では、薄い砂層を含む砂質土地盤に区分されたメッシュを対象とした。前回の方が内陸部でやや範囲が広い傾向がある一方で、今回は新規埋立地を反映しており、臨海部で範囲が広がっている。

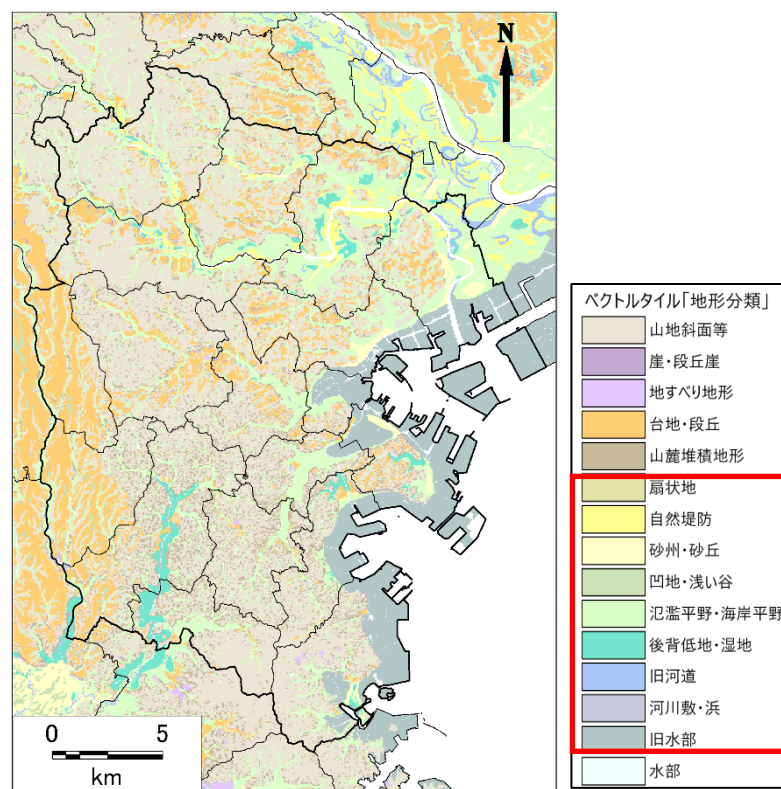


図 1-26 作成した 50m メッシュ地形区分（凡例赤枠内は液状化予測の対象とする区分）

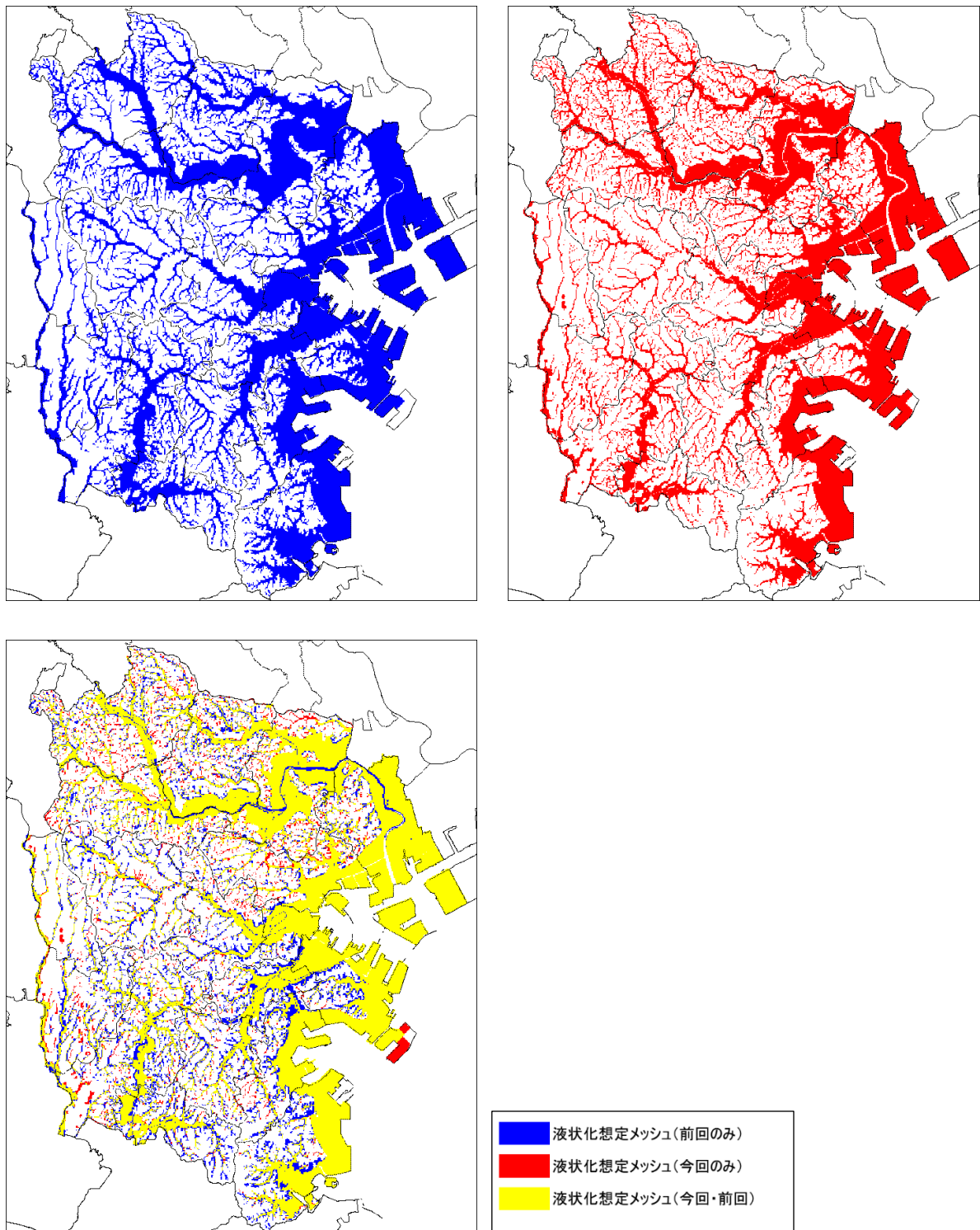


図 1-27 液状化予測の対象とするメッシュ範囲の比較

2. 2. 2 液状化予測のための地盤モデルの作成

今回新たに収集したボーリングのうち掘進長が 20m 以上のデータ（約 11,500 本）を抽出し（図 1-28）、土質区分、N 値から液状化予測のための地盤モデルを作成した。ボーリングデータの無いメッシュについては、国土地理院のベクトルタイル地形区分を参照して 50m メッシュの地形区分を作成し、地形区分が同一で最も距離が近いメッシュのモデルを当てはめた。

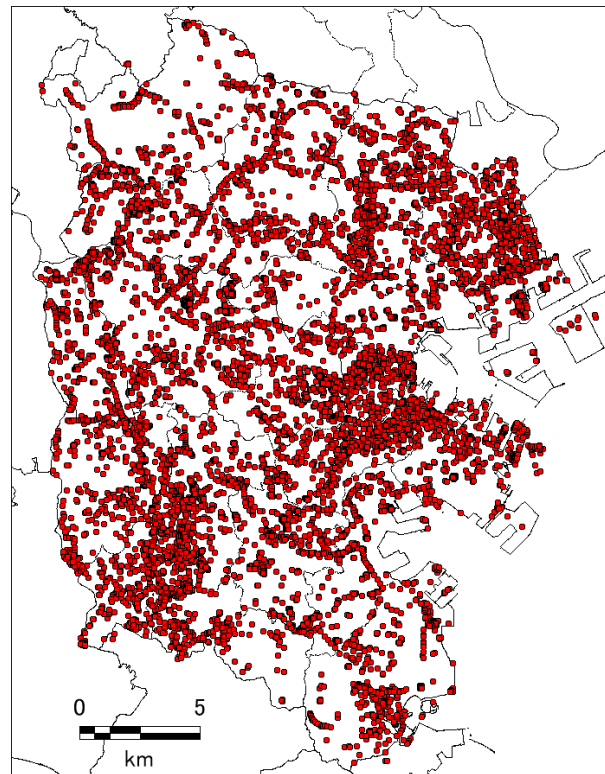


図 1-28 掘進長 20m 以上のボーリングデータの分布

2. 2. 3 液状化予測の予測手法の改良

(1) 概要

これまで整理した手法により、液状化危険度、沈下量を試算した結果、特に内陸部の従来液状化していなかった領域の液状化危険度が高く判定された。一方で、埋立地などでは、液状化危険度が低いと判定された領域が点在している。

上記の傾向は、地盤モデルを作成するのに用いたボーリングデータのばらつきを反映していると考えられる。

また、前回想定においては、旧地形の判読によるかつてため池や沼地であった箇所や、液状化対策済みの埋立地等を反映しており、これらの反映も検討する必要がある。

以上を踏まえて、液状化の予測手法を改良した。

(2) 複数の地盤モデルによる計算結果の平滑化

ボーリングデータの存在しないメッシュについては、同一微地形区分で最も距離の近いメッシュの代表ボーリングを用いて地盤モデルを作成した。

しかしながら、ボーリングデータの本数が十分に無い場合、参照したボーリングデータの違いによって、微地形区分が同一の隣接するメッシュであっても液状化危険度が大きく異なってしまう場合がある。

このような単一のボーリングデータへの依存を避けるために、ボーリングデータの無いメッシュについては、同一微地形で距離が近い複数のボーリングによるモデルの平均をとることとした。

複数のモデルの平均のイメージを図 1-29 に示した。この例では、赤枠で囲ったメッシュの液状化危険度を計算するために、同一微地形でボーリングを有する①～③のメッシュの代表ボーリングを用いて、3種類のモデルを作成した。

一般には、複数のモデルで P_L 値を計算し、以下の式により距離の逆数の二乗で重みづけ平均して、 P_L 値を求める。

$$P_L = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i^2} P_{Li}}{\sum_{i=1}^N 1/D_i^2}$$

P_{Li} : i 番目のモデルで計算した P_L 値

D_i : i 番目のメッシュまでの距離

N : 計算に用いたモデルの数 (今回は=3)

当該メッシュの地盤状況をより正確に反映するために、距離が 500m より離れたデータについては除外してモデルを作成した。なお、500m 以内にボーリングデータが無い場合は、距離を限定せず 1～3 番目に近いデータの重みづけ平均値を採用した。

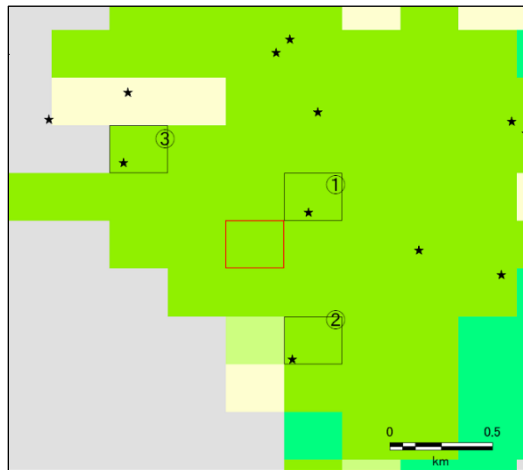


図 1-29 複数のモデルによる液状化危険度の計算のイメージ

(3) ため池の反映

横浜市ではかつてため池が点在した。そのような箇所は液状化リスクが高いと想定されるが、その後宅地化されているような場合、ベクトルタイル地形区分には反映されていない可能性がある。

そのため、旧ため池等の分布データを入手し整理した。旧ため池の領域（図 1-30 左）に含まれるメッシュについては、液状化危険度ランクを高く設定した。

(4) 埋立地の液状化対策の反映

前回想定と同様に、液状化対策済みであるみなとみらい地区及び整備済みの耐震強化岸壁について整理し（図 1-30 右）、該当地域については今回も「液状化危険度はかなり低い」と判定した。

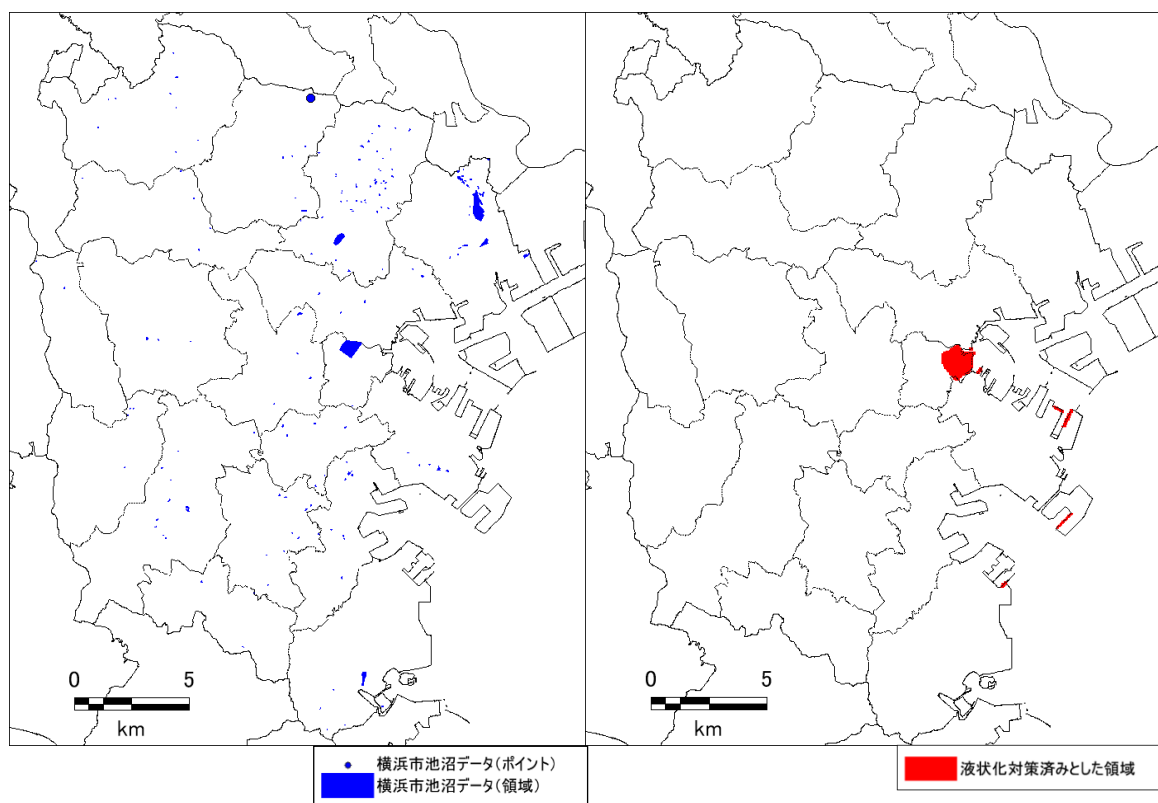


図 1-30 旧ため池・沼地の分布（左）、液状化対策済みとする領域（右）

2. 3 物性値の設定

2. 3. 1 概要

液状化危険度予測に必要な物性値として、細粒分含有率（Fc）、50%粒径（D50）及び地下水位について整理した。

2. 3. 2 細粒分含有率

(1) データの整理

収集したボーリングデータのN値とFc（細粒分含有率）との関係をグラフ（土質区分別のもの）に整理した。ボーリング柱状図で土質名が「砂」に区分されるデータを対象としたが、Fcが非常に大きく明らかに砂ではないデータを除外するために、土質試験による分類名が「砂」のデータのみを対象とした。

グラフには、収集したデータから求めた近似曲線（ $Fc=a\log(N)+b$ の形式）と、亀井他（2002）を示した）（図 1-3 1）。

(2) データの傾向

収集したデータから求めた近似曲線は亀井他（2002）と概ね傾向が一致している。N値が非常に小さい（ $N<1$ ）領域以外ではFcがやや小さく（液状化し易く）なる傾向にある。

なお、より詳細な検討として、土質区分毎に物性値を検討し、参考資料として整理した。また、水系毎に地域区分して物性値を検討し、参考資料として整理した。

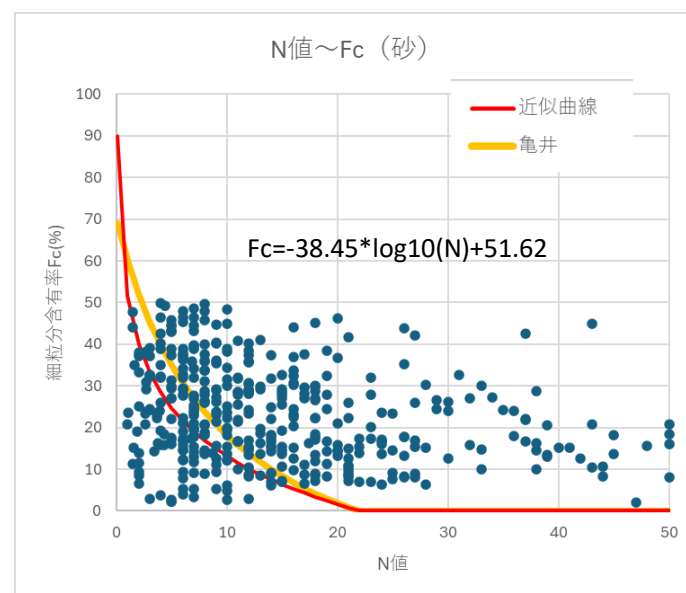


図 1-3 1 収集したボーリングデータの細粒分含有率と N 値との関係と
亀井ほか（2002）の関係式の比較（全砂質土）

2. 3. 3 50%粒径

液状化計算の入力パラメータである 50%粒径 (D50) についても Fc と同様に、収集した室内土質試験 (粒度試験) のデータとボーリング柱状図の土質区分、N 値とを対応付けて整理した。D50 については N 値との相関は薄いと判断されたため、礫質土の全データの平均値として 5.4mm を採用した。(図 1-3 2)

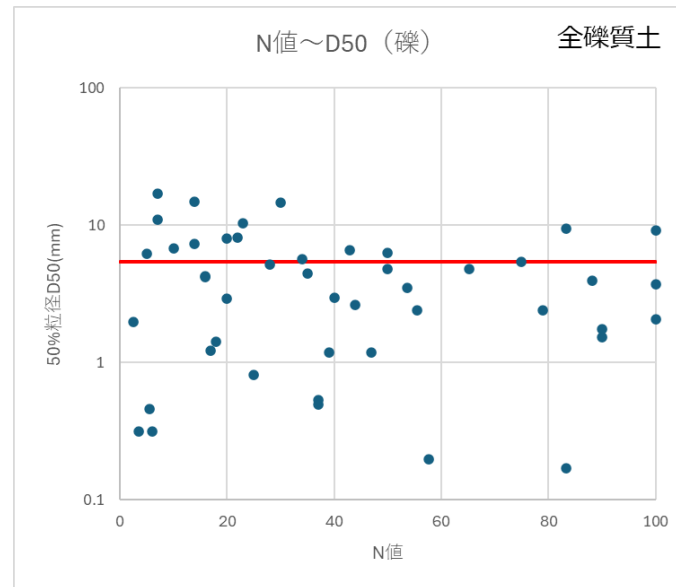


図 1-3 2 収集したボーリングデータの 50%粒径と N 値との関係 (全礫質土)

2. 3. 4 地下水位

液状化予測計算のための地下水位については、収集したボーリングデータの孔内水位をヒストグラムに整理し (図 1-3 3)、地形区分毎に代表値を設定した (表 1-1 0)。孔内水位と標高の関係については、地形区分によっては必ずしも相関がみられない場合がある (図 1-3 4) ことから、代表値は標高によらず一定の値とした。

表 1-1 0 地形区分ごとに設定した地下水位

ベクトルタイル	平均値	中央値	最頻値	四分位数	採用
扇状地	1.98	1.60	1.60	1.42	1.40
自然堤防	1.94	1.45	1.40	0.80	0.80
砂州・砂丘	2.73	2.52	1.90	1.90	1.90
凹地・浅い谷	4.13	4.10	-	4.05	4.10
氾濫平野・海岸平野	2.13	1.65	1.10	1.06	1.10
後背低地・湿地	1.86	1.65	1.80	1.14	1.10
旧河道	3.34	2.80	1.90	1.98	2.00
河川敷・浜	2.15	1.90	2.20	1.20	1.20
旧水部	1.86	1.62	1.20	1.20	1.20

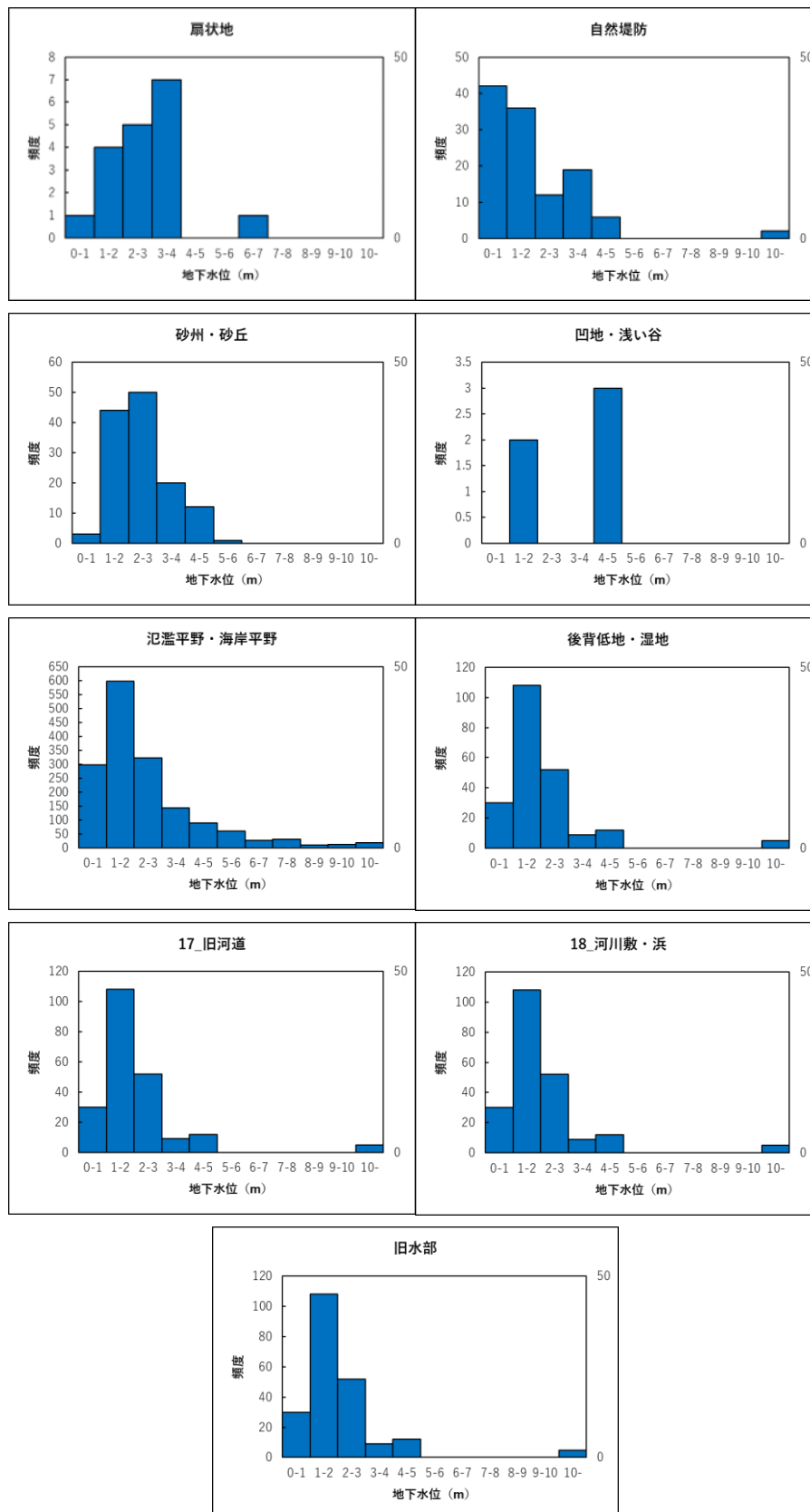


図 1-3 3 地形区分ごとに整理したボーリングデータの孔内水位のヒストグラム

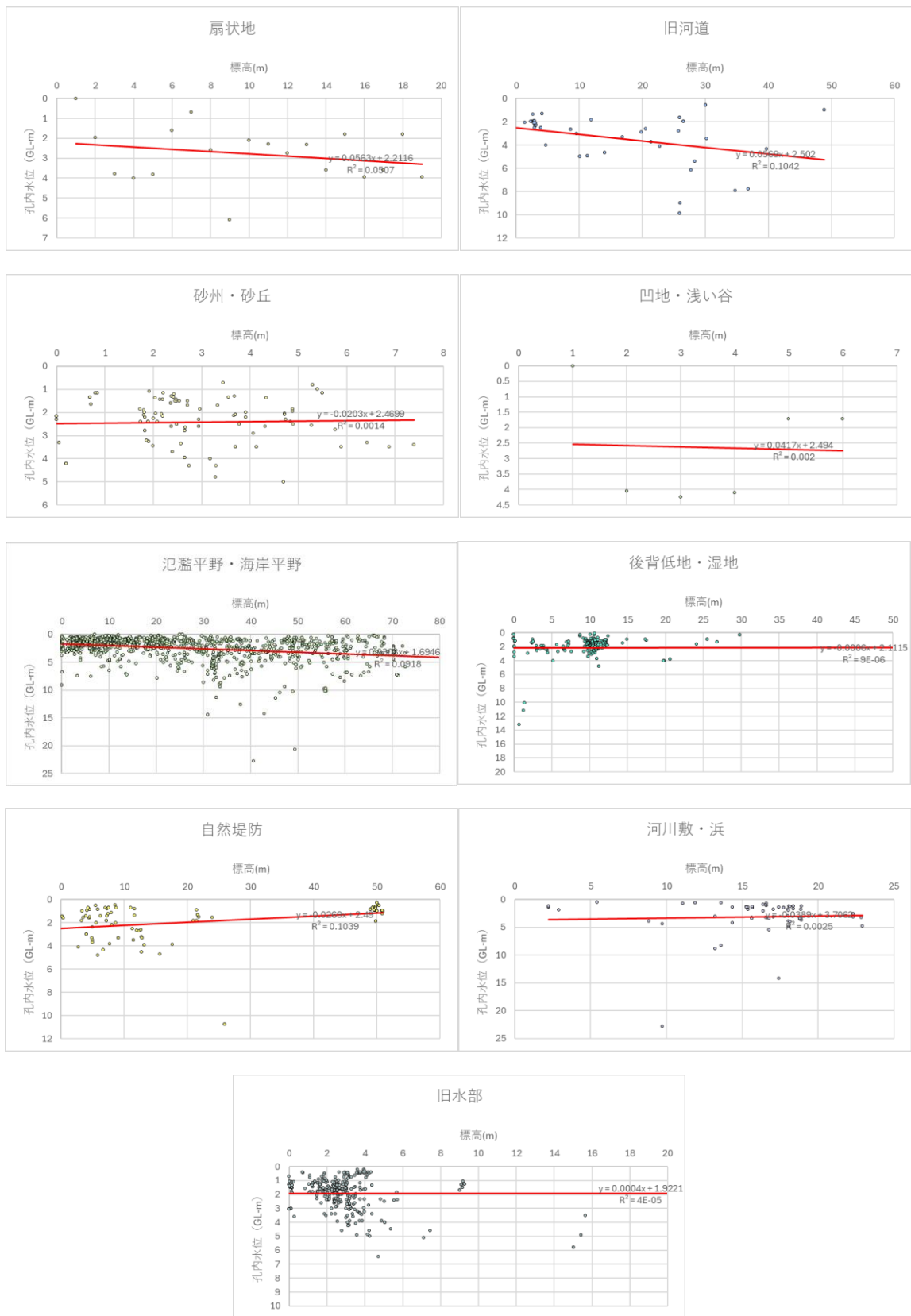


図 1-3 4 地形区分ごとに整理したボーリングデータの孔内水位と標高の関係

3. 土砂災害の予測

土砂災害の予測については、個別斜面として土砂災害（特別）警戒区域（急傾斜地の崩壊）を対象とした地震毎の崩壊危険度ランク（ABC）の判定と、横浜市全域の斜面崩壊危険度として中埜・大野（2021）による 5mDEM を用いた手法を採用した。

3. 1 土砂災害警戒区域の危険度予測

3. 1. 1 対象とする区域

個別斜面の危険度については、土砂災害（特別）警戒区域（急傾斜地の崩壊）を対象として想定した。

土砂災害（特別）警戒区域（急傾斜地の崩壊）として指定されている箇所を図 1-3 5 にポリゴンで示した。

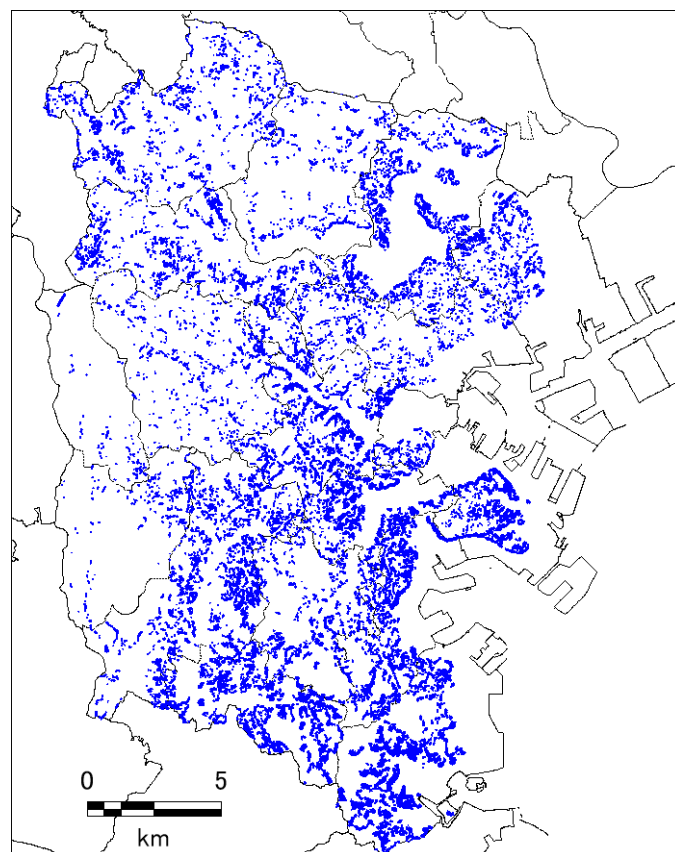


図 1-3 5 土砂災害警戒区域（急傾斜地の崩壊）の分布

3. 1. 2 予測手法

土砂災害（特別）警戒区域は、土砂災害が発生した場合に、住民等の生命又は身体に危害が生じるおそれがあると認められる区域として、土砂災害防止法に基づき神奈川県が指定しているものである。

土砂災害（特別）警戒区域ごとに整理されている区域調書のデータをもとに、前回想定と同様な区域ごとの危険度ランクを設定し、このデータと想定地震の震度ランクから、地震毎の崩壊危険度ランク（ABC）を判定した。

データの整理方法、対策工の評価手法については、東京都（2022）を参考にした。

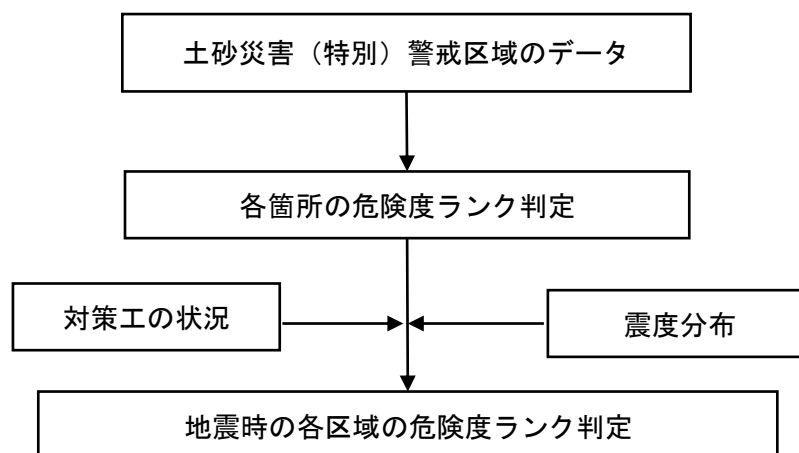


図 1-3 6 土砂災害警戒区域（急傾斜地の崩壊）危険度予測の流れ（東京都（2022）を修正）

土砂災害（特別）警戒区域の斜面の危険度ランクについては、区域調書の記載から日本道路協会道路震災対策委員会（1986）の判定基準（表 1-1 1 を参照）に基づいて点数（基準要素点）を与えて評価した。また、斜面の危険度ランクと想定地震の震度ランクに応じた地震危険度判定ランク（表 1-1 2 を参照）に基づき、地震時の相対的な危険度ランクを求め、これを地震時危険度ランクとした。

なお、対策工については、東京都（2022）を参考にして対策工を考慮した急傾斜地危険度ランクの評価を図 1-3 7 に示すように実施した。土砂災害（特別）警戒区域で対策工が施工されている箇所を対象として、対策工の工種、施設効果の有無、施工年月、事業区分により対策効果を考慮した地震時危険度ランクとし、対策工がない箇所については、地震時危険度ランクのままとした。

図 1-3 8 に横浜市内の土砂災害（特別）警戒区域について設定した斜面危険度ランクを、図 1-3 9 に設定した対策効果を示した。

表 1-11 斜面の危険度ランク算定のための基準要素点
(日本道路協会道路震災対策委員会, 1986)

大項目	小項目		
	データ項目		点数
①斜面高(H)	斜面の高さ	$50 \leq H$	10
		$30 \leq H < 50$	8
		$10 \leq H < 30$	7
		$H < 10$	3
②斜面勾配(α)	傾斜度	$59^\circ \leq \alpha$	7
		$45^\circ \leq \alpha < 59^\circ$	4
		$\alpha < 45^\circ$	1
③オーバーハング	横断形状	オーバーハングあり	4
		オーバーハングなし	0
④斜面の地盤	地表の状況	亀裂が発達、開口しており転石、浮石が点在する	10
		風化、亀裂が発達した岩である	6
		礫交じり土、砂質土	5
		粘質土	1
		風化、亀裂が発達していない岩である	0
⑤表土の厚さ	表土の厚さ	0.5m以上	3
		0.5m未満	0
⑥湧水	湧水	有	2
		無	0
⑦落石・崩壊頻度	崩壊履歴	新しい崩壊地がある	5
		古い崩壊地がある	3
		崩壊地は認められない	0

※合計 24 点以上：斜面の危険度ランク=A
 合計 14～23 点：斜面の危険度ランク=B
 合計 13 点以下：斜面の危険度ランク=C

表 1-12 土砂災害警戒区域における地震時危険度ランク

計測震度	要素点ランク	c	b	a
	基準要素点	13点以下	14～23点	24点以上
	6.0以上	A	A	A
	5.5以上 6.0未満	B	A	A
	5.0以上 5.5未満	C	B	A
	4.5以上 5.0未満	C	C	B
	4.5未満	C	C	C

○判定ランクの説明

- ・ランク A：崩壊の危険度が高い
- ・ランク B：崩壊の危険度がやや高い
- ・ランク C：崩壊の危険度が低い

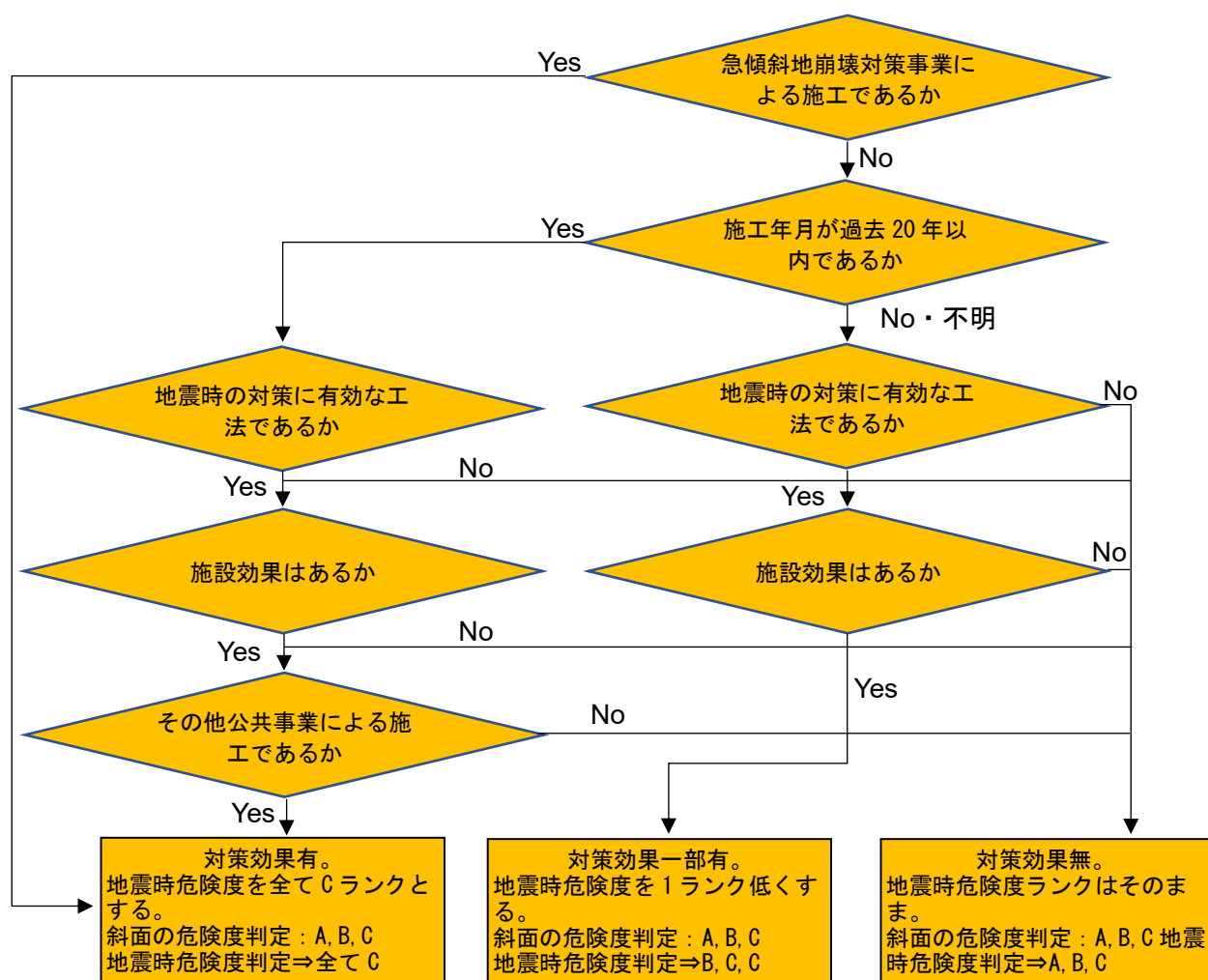


図 1-37 対策工の状況を考慮した土砂災害（特別）警戒区域の
地震時危険度ランク評価フロー（東京都(2022)）

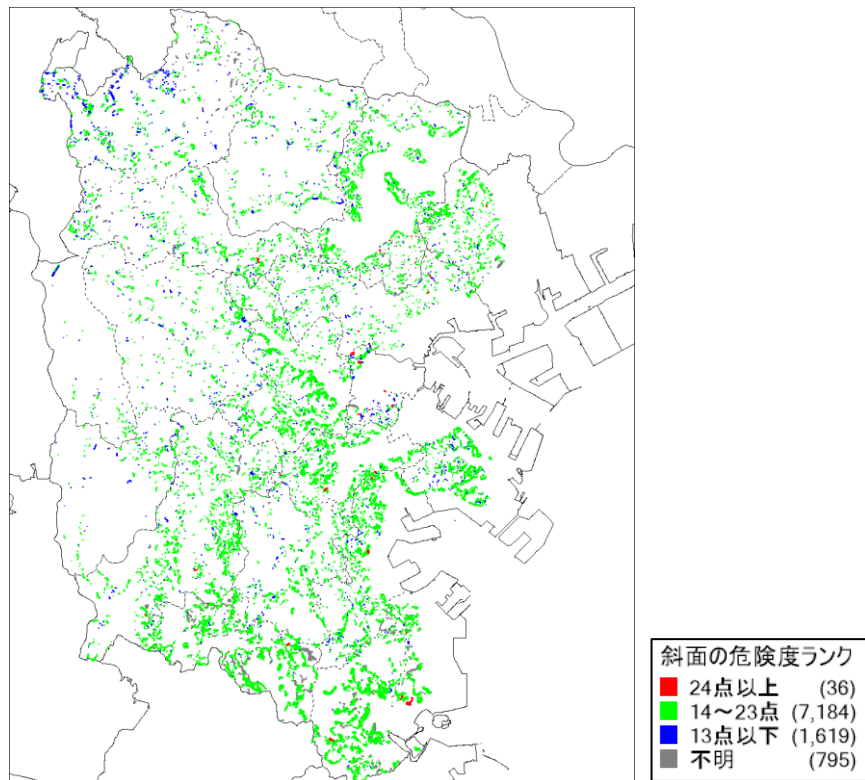


図 1-38 斜面の危険度ランク

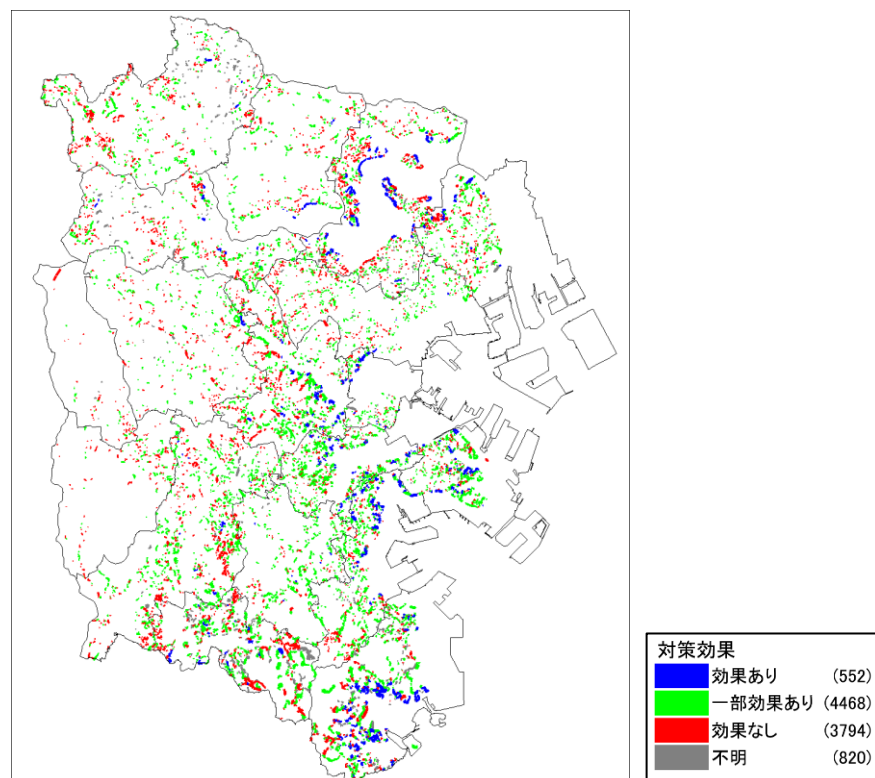


図 1-39 対策効果

3. 2 DEM データ（数値標高モデル）による横浜市内全域の評価

3. 2. 1 概要

DEM データによる横浜市内全域の評価については、国土地理院地震時地盤災害推計システム（SGDAS）の手法（中埜・大野（2021））を用いて検討した。

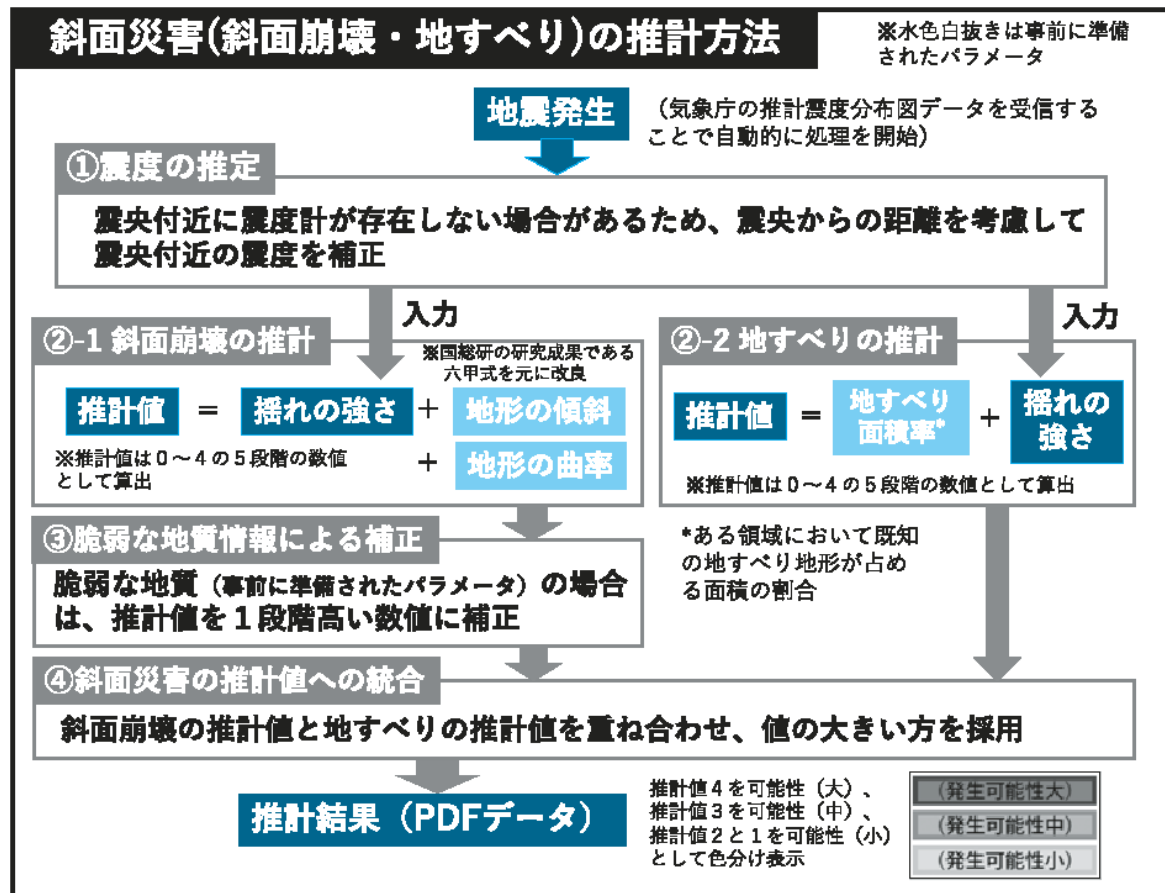


図 1-40 地すべり等の斜面災害危険度想定の流れ（中埜・大野（2021））

3. 2. 2 予測手法

(1) 斜面崩壊

斜面崩壊については、神谷他（2013）による修正六甲式による手法により、以下の流れで計算した。

ア 次式により、5mDEM 単位で崩壊／非崩壊を判定した。

$$G = 4.38 \cdot \log_{10}(s - 119c) + 3.93 \log_{10}a - 15.27$$

ここで、

G ：修正六甲式（神谷他 2013）による斜面崩壊危険度判定式（ $G > 0$ ：崩壊、 $G < 0$ ：非崩壊）

s ：地表面の傾斜（°）

c ：曲率（ m^{-1} ）

a ：地表面最大加速度（gal）

イ 斜面内の各メッシュの修正六甲式の値を G_i としたとき、 $G_i > 0$ となるメッシュについて、 G_i の平均値から表 1-13 により危険度を求めた。

表 1-13 修正六甲式による手法における危険度ランク（中埜他（2013））

危険度ランク	0（小）	1	2	3	4（大）
G_i の平均値	0.0～0.2	0.2～0.4	0.4～0.8	0.8～1.6	1.6～

(2) 地すべり

地すべりの危険度については、防災科学技術研究所による地すべり地形 GIS データを用いて以下の流れで計算した。

ア 50m メッシュ内で地すべり地形ポリゴンの占める面積を求めた。

イ これを近隣のメッシュと重みづけ平均して、各メッシュの地すべり面積率を求めた。

ウ 次式により、50m メッシュ毎の地すべり発生可能性を判定した。

$$R = \log_{10}S / \log_{10}A + (1 - C) / B + 1$$

ここで、

R ：地すべり発生可能性（ R の整数部分を取り、0～4 の 5 段階）

S ：地すべり面積率

I ：計測震度

A, B, C ：係数（=2.5、0.33、5.0）

(3) 脆弱な地質

神谷（2013）で挙げられている脆弱な地質について該当するメッシュを抽出し、斜面崩壊の危険度を 1 ランク高くした。

(4) 斜面災害の推計値

(2) と (3) の値を比較し、値の大きい方を斜面災害の推計値とした。

4. 長周期地震動の予測

超高層建築物や大型石油タンクなど、比較的長い固有周期をもつ構造物は、地震動の長周期成分の影響を強く受ける。よって、図 1-4 1 に示す気象庁の手法を用い、長周期地震動階級を評価した。なお、絶対速度応答スペクトルの距離減衰式における震源距離 R について、アスペリティ最短距離と震源距離の 2 ケースを計算した。

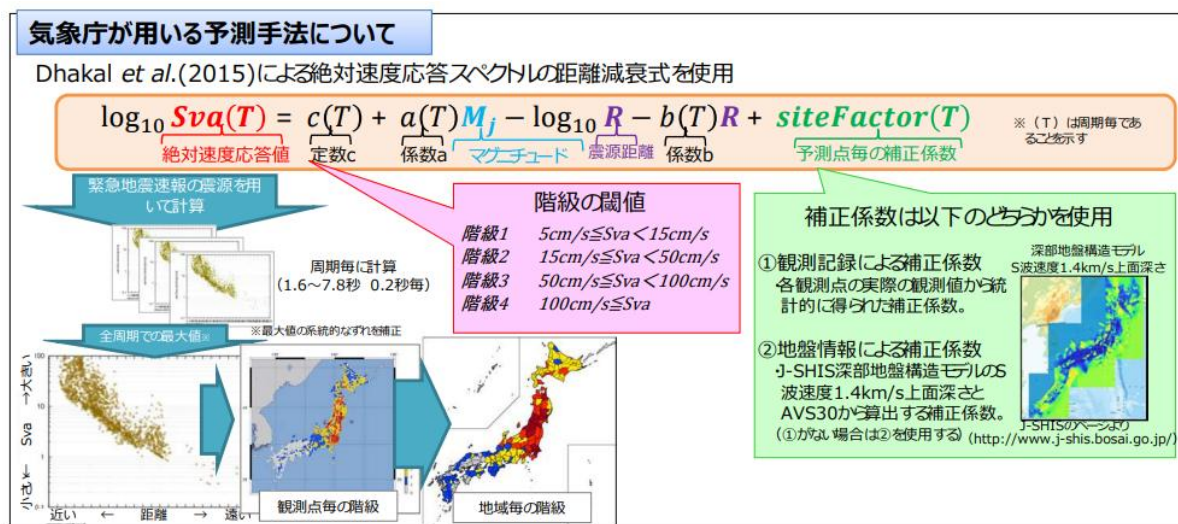


図 1-4 1 気象庁による長周期地震動階級の予測手法

(気象庁「長周期地震動に関する情報のあり方について

(長周期地震動に関する情報検討会平成 28 年度報告書)」より引用)