

## 4. 地震動の予測

### 4.1 概要

ここでは、地震動を求めた6つの地震について、地表地震動などの算出結果を述べる。

### 4.2 検討の流れ

今回の地震動予測の検討項目およびその検討の流れを図4.2-1に示した。やや長周期地震動の予測については、東京湾北部地震、千葉県東方沖地震および三浦半島断層群による地震について検討した。また、表4.2-1に各想定地震に対する地震動予測手法の概要を示した。

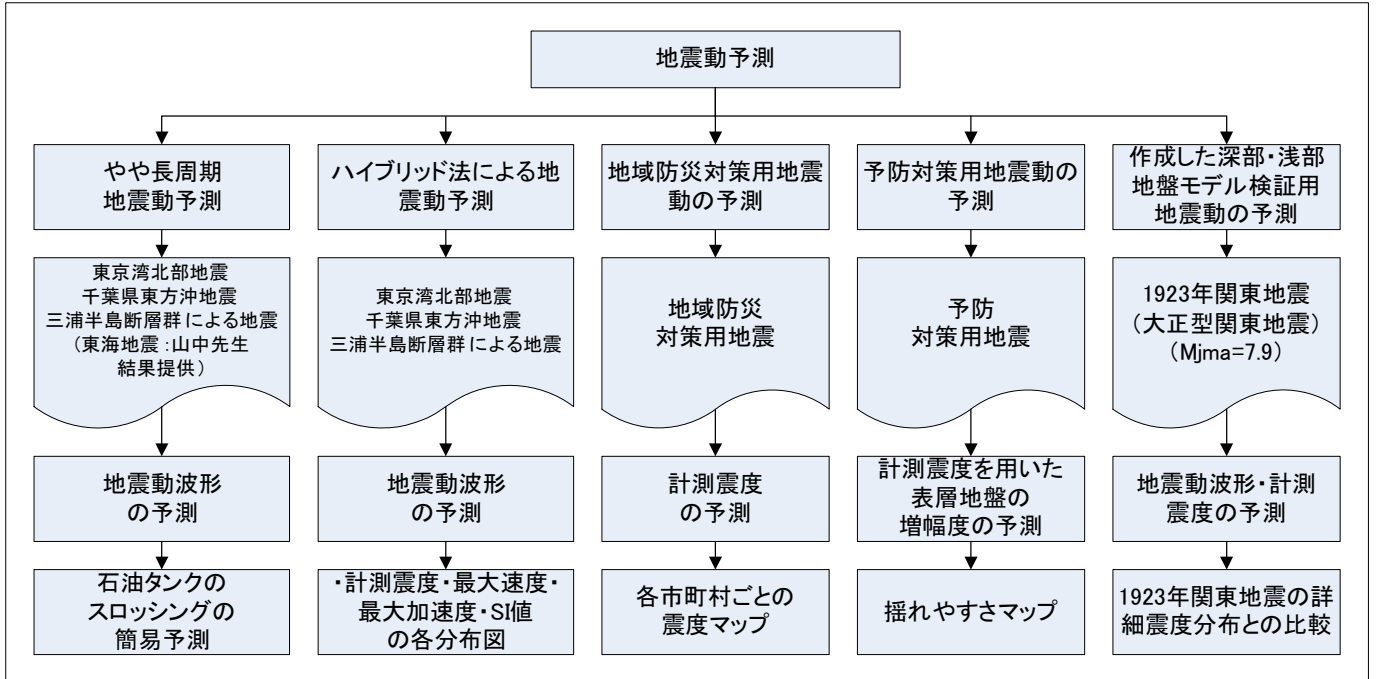


図 4.2-1 地震動予測についての検討の流れ

表 4.2-1 各想定地震の地震動予測について

項目	想定地震					地盤モデル検証用地震(大正型関東地震)
	東京湾北部地震	千葉県東方沖地震	三浦半島断層群による地震	地域防災対策用地震	予防対策用地震	
地震動の評価	地震動波形(計測震度)			計測震度	計測震度を用いた表層地盤の増幅度	地震動波形(計測震度)
地震基盤での地震動予測手法	統計的グリーン関数法と差分法にやや長周期地震動計算結果を加えたハイブリッド法			距離減衰式	距離減衰式	統計的グリーン関数法
表層地盤の増幅計算の考え方	有効ひずみの周波数依存性を考慮した等価線形法			表層の平均S波速度から求めた増幅倍率値		等価線形法
計測震度、地表最大加速度、地表最大速度、応答スペクトルおよびSI値の算出方法	地表波形から直接算出			距離減衰式による最大速度値から計測震度へ変換		地表波形から計測震度を直接算出

## 4.3 地震動予測

### 4.3.1 やや長周期地震動の予測

#### 1) 予測手法

予測手法は、前章までに述べたような断層運動や地震波が伝播する地下構造に関する物理モデルを作成し、地震波発生および伝播の理論に基づいて、決定論的に地震動の時刻歴波形を計算するものである。この方法は、複雑な地下構造を対象とした数値的方法であり、沈み込むプレート構造や堆積盆地構造などのモデル化によく用いられる差分法である。

図4.3-1は、現在よく用いられている三次元差分法による地盤のモデル化の事例である。この地盤モデルでは、地球から切り出された、断層面と計算地点を含む地震波の伝わる広大な直方体の地盤が、群列した格子点の集まりでモデル化される。この地盤の大きさは、平面的には数百キロメートル四方、深さが数十キロメートルにも達する一方、格子点の間隔は数百メートルと非常に小さい。

この方法では、ほかの方法に比べて、震源断層や地下構造のモデルの精度が計算結果を大きく左右するので、これらのモデル化の妥当性の確認がポイントとなる。また、多大な計算労力を必要とし、一般的な計算機で計算に数日から一週間かかることも珍しくない(山中浩明(2006)：「地震の揺れを科学する」より)。

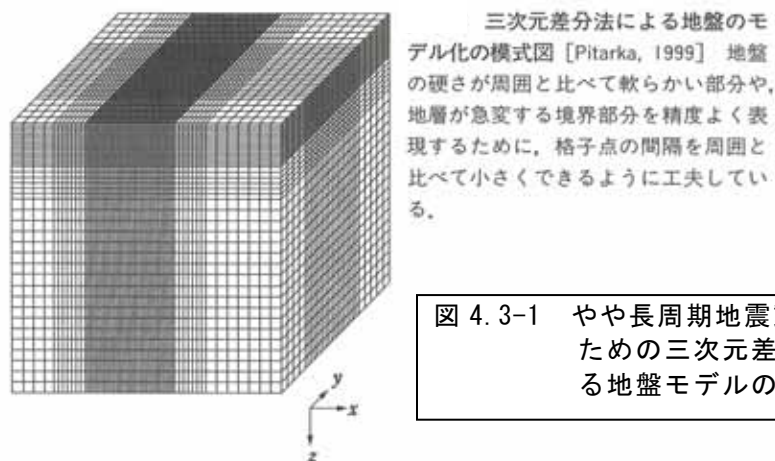


図 4.3-1 やや長周期地震動算出のための三次元差分法による地盤モデルの例

この三次元地下構造モデルについては、初期モデルを 2.4 節で述べた地震動の R/V スペクトルによるチューニングを施したモデルで計算した。地震基盤以深については、コンラッド面、モホ面、フィリピン海プレート、太平洋プレートの形状を考慮した(図 4.3-2、図 4.3-3、図 4.3-4)。物性値は表 4.3-1 に示した。

表 4.3-1 物性値一覧

	Vs(km/s)	Vp(km/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Qp	Qs	備考
1	0.4	1.8	1.9	80	80	形状は山中・山田(2006)を修正
2	0.5	1.8	1.9	100	100	形状は山中・山田(2006)を修正
3	0.6	1.8	1.9	120	120	形状は山中・山田(2006)を修正
4	1	2.4	2.1	200	200	形状は山中・山田(2006)を修正
5	1.5	3	2.2	300	300	形状は山中・山田(2006)を修正
地震基盤	3	5.6	2.5	600	600	形状は山中・山田(2006)を修正
下部地殻	3.4	6.15	2.7	680	680	形状は、Zhao et al.(1992)
上部マントル	4.3	7.5	3.2	860	860	形状は、Zhao et al.(1992)
フィリピン海プレート	3.93	6.8	2.9	786	786	形状は、Sato et al.(2005) 厚さは文部科学省(2007)を参考に30km
海洋性マントル	4.47	7.8	3.2	894	894	
太平洋プレート	3.93	6.8	3	786	786	形状は中央防災会議(2006) <sup>3</sup> 厚さは文部科学省(2007)を参考に30km
海洋性マントル	4.5	8	3.25	900	900	

山中・山田(2006)  
 地震調査研究推進本部 (2003)<sup>4</sup>  
 地震調査研究推進本部 (2005)<sup>5</sup>  
 Qp=Qs=Vs(m/s)/5

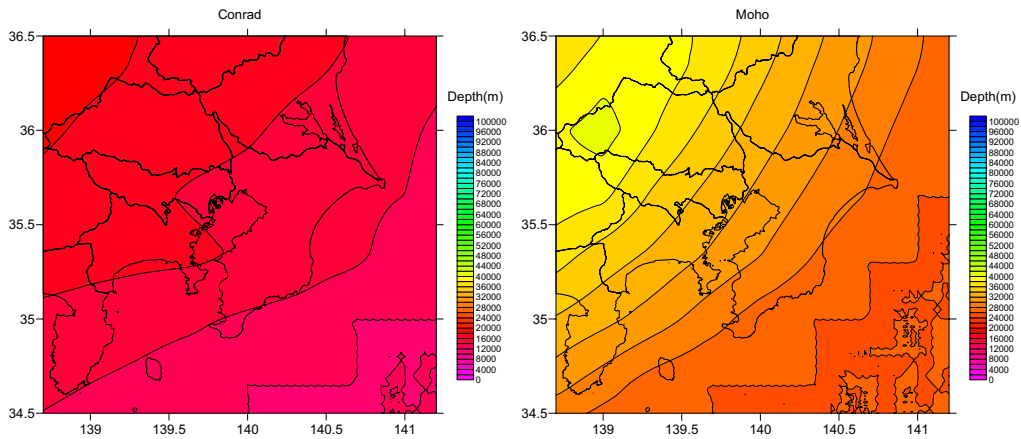


図 4.3-2 コンラッド面、モホ面上面深度

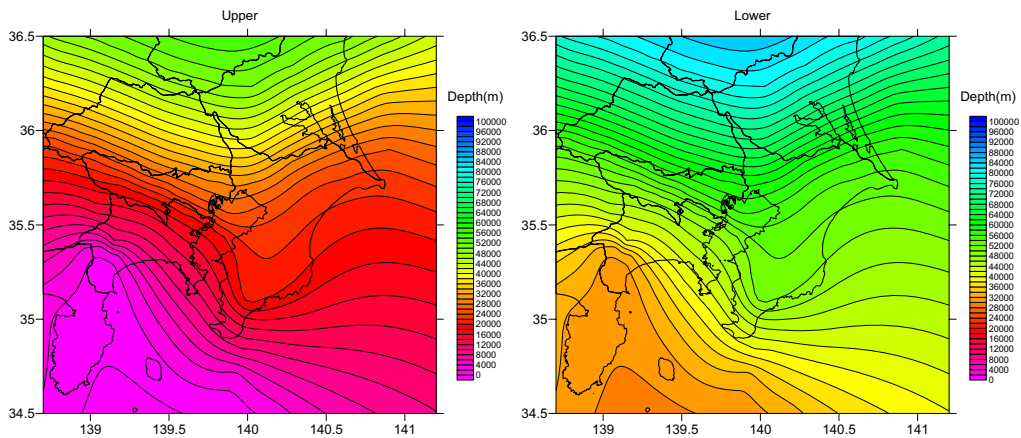


図 4.3-3 フィリピン海プレート上面および下面深度

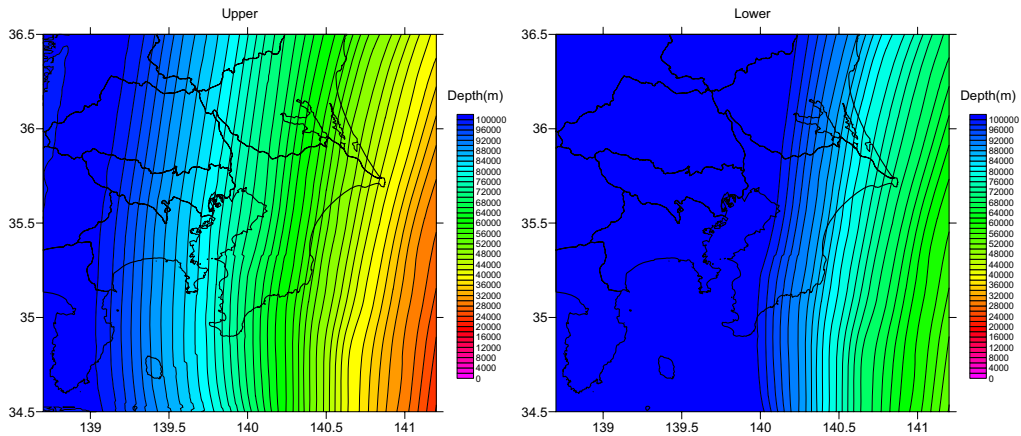


図 4.3-4 太平洋プレート上面および下面深度

## 2) 予測結果

図 4.3-5 にやや長周期地震動を予測した地点を示した。位置図には、深部地盤モデルによる卓越周期を示している。

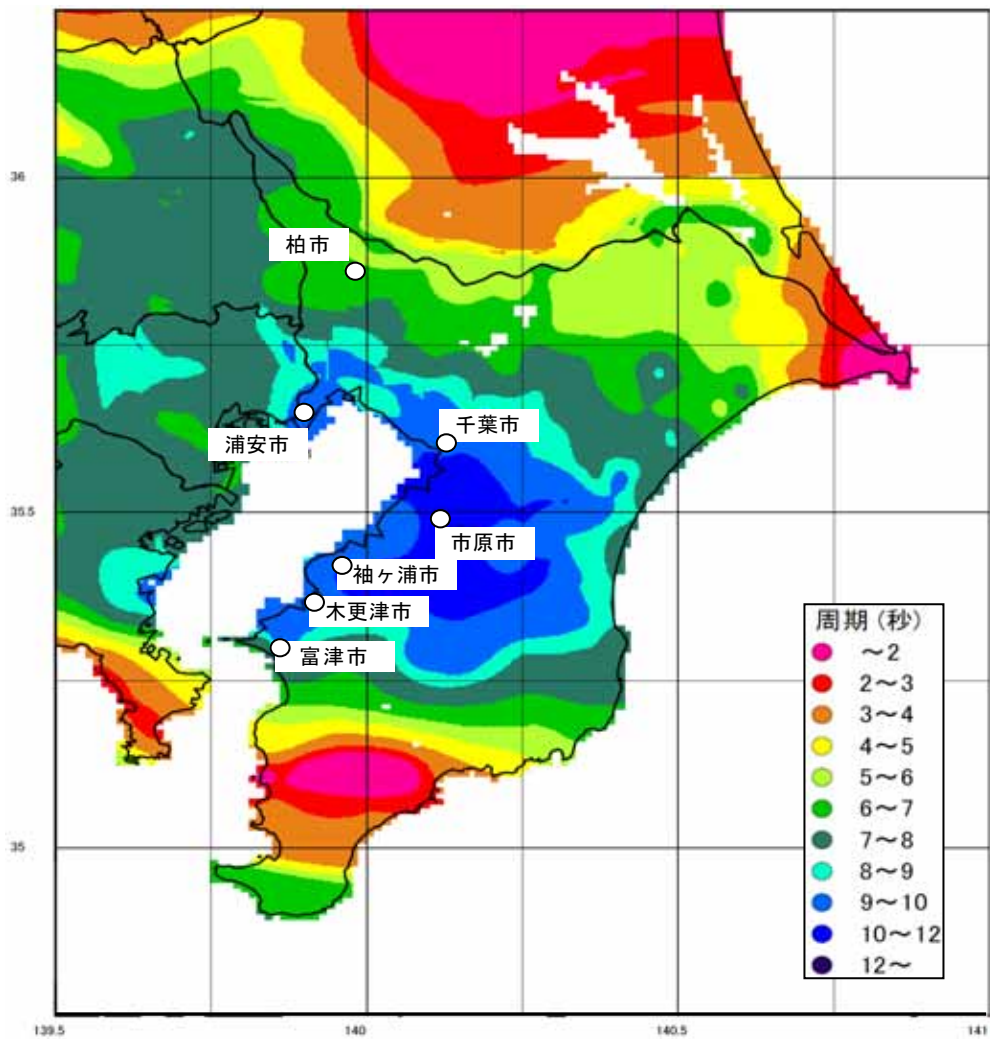
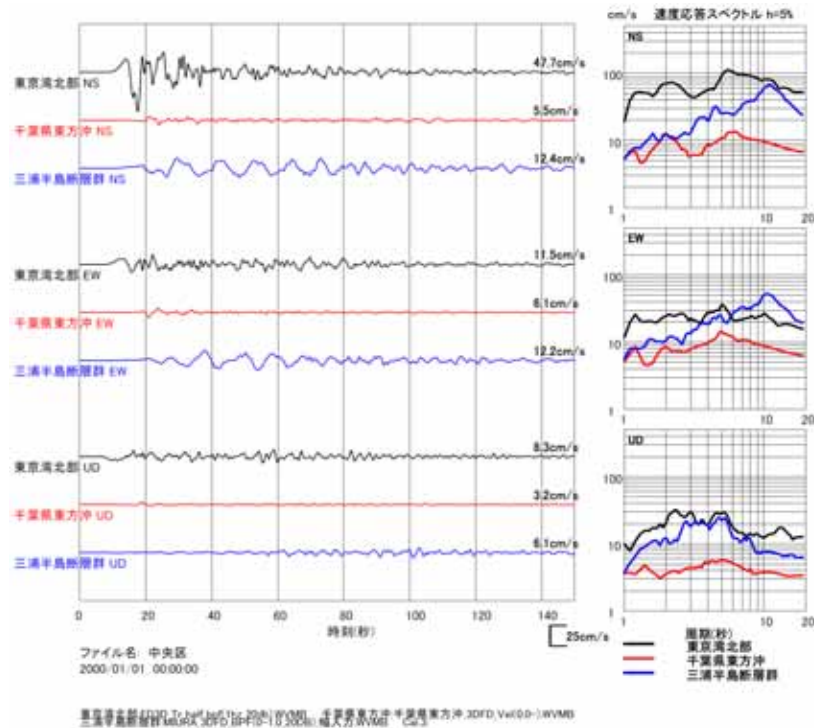
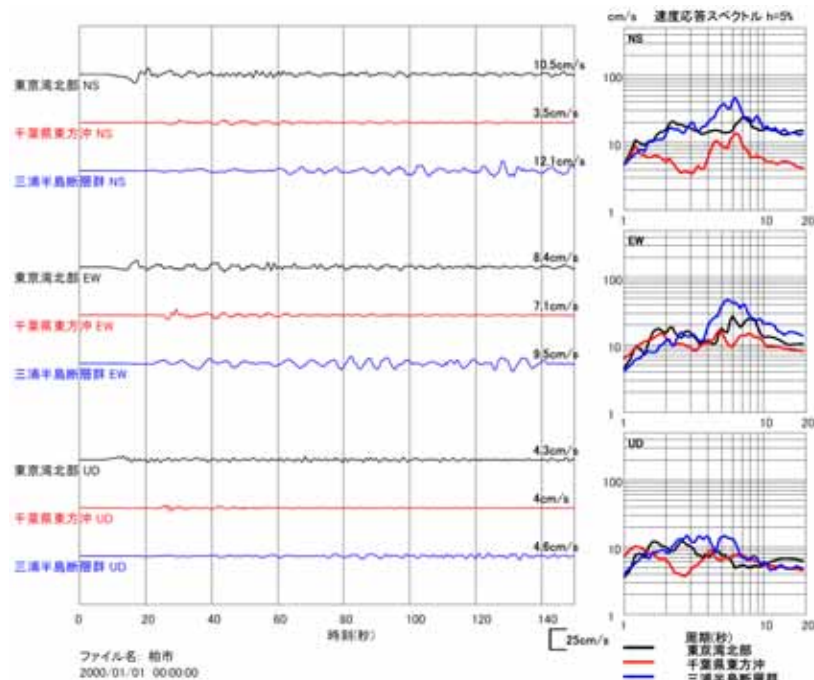


図 4.3-5 深部地盤モデルによる卓越周期と市町村の位置  
(背景の図面は、チューニング後の深部地盤モデルによる卓越周期分布)

図 4.3-6 に東京湾北部地震、千葉県東方沖地震および三浦半島断層群による地震の工学的基盤における 3次元差分法によるやや長周期地震動、速度波形および速度応答スペクトルを示した。東京湾北部地震が一番大きく、千葉市中央区の最大速度は、約 50cm/sec(NS成分)となっている。

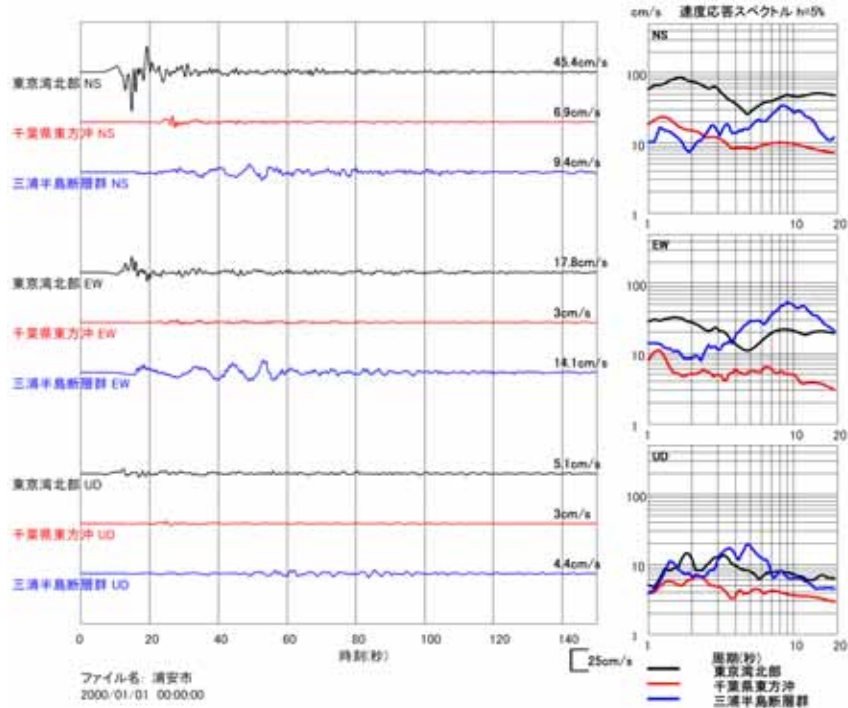


千葉市中央区

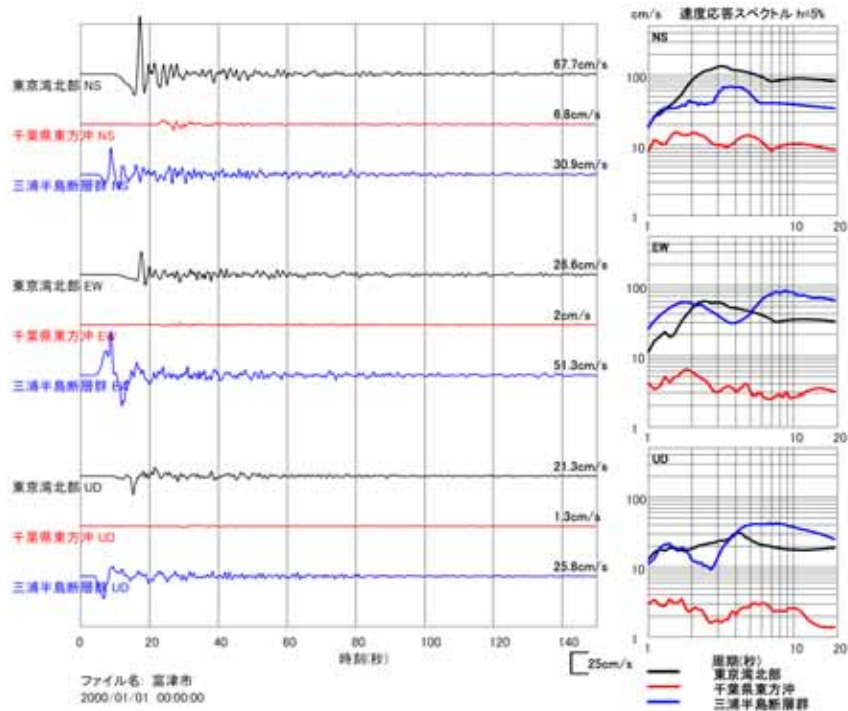


柏市

図 4.3-6(1) 東京湾北部地震、千葉県東方沖地震、三浦半島断層群による地震工学的基盤での 3次元差分法速度波形

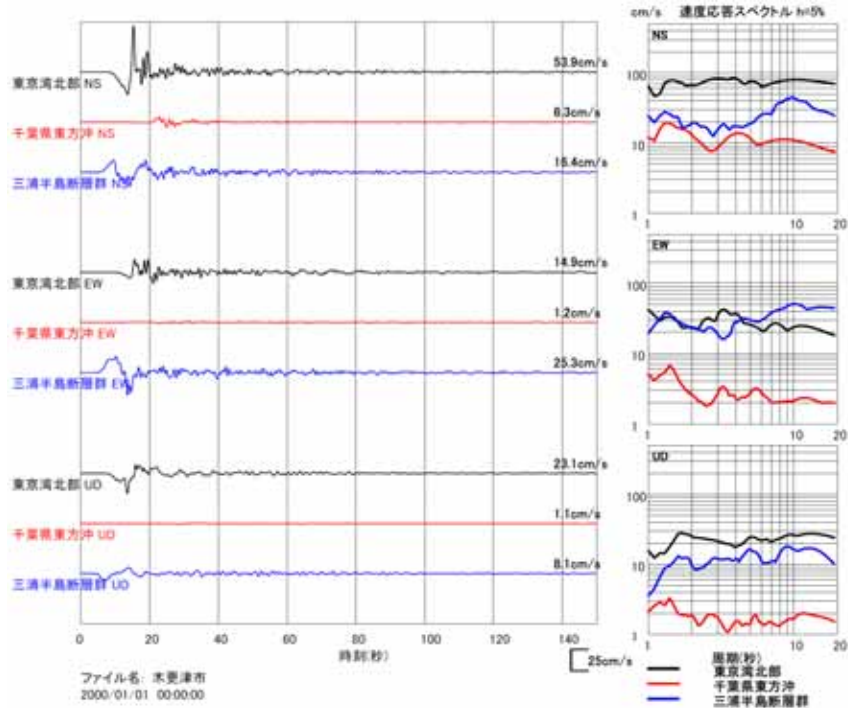


浦安市

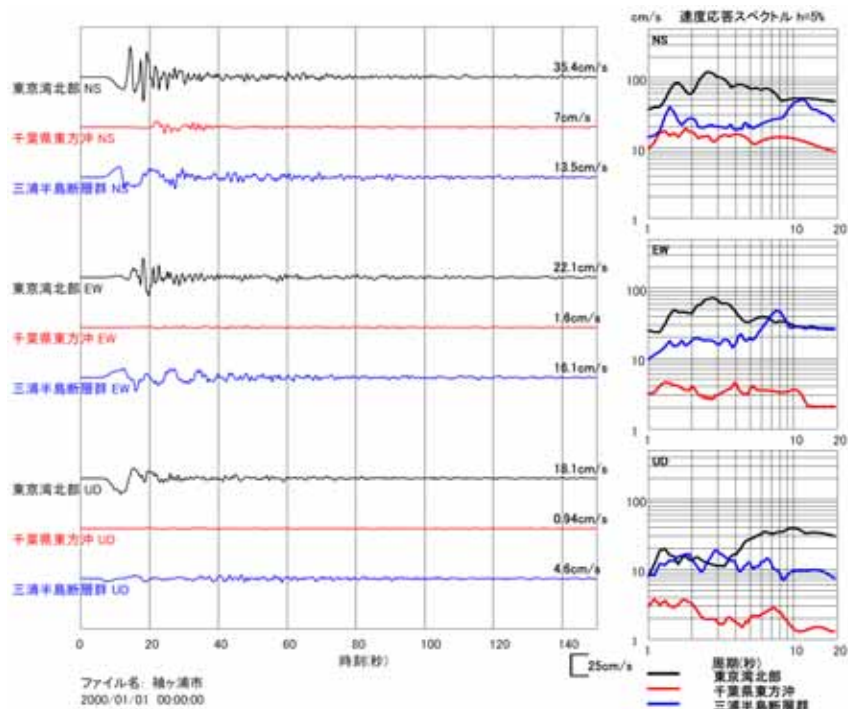


富津市

図 4.3-6(2) 東京湾北部地震、千葉県東方沖地震、三浦半島断層群による地震工学的基盤での3次元差分法速度波形

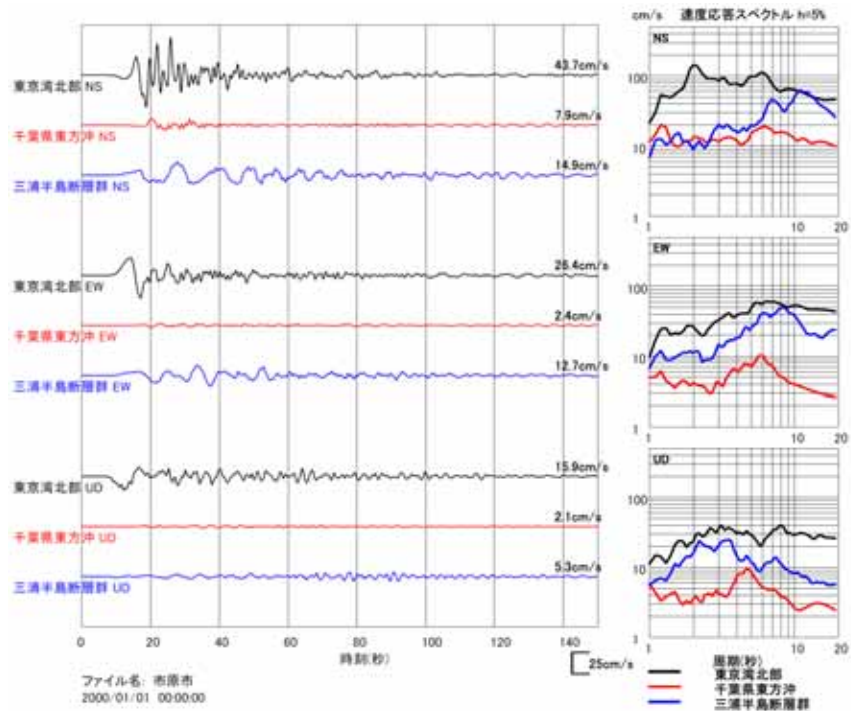


木更津市



袖ヶ浦市

図 4.3-6(3) 東京湾北部地震、千葉県東方沖地震、三浦半島断層群による地震工学的基盤での3次元差分法速度波形



市原市

図 4.3-6(4) 東京湾北部地震、千葉県東方沖地震、三浦半島断層群による地震工学的基盤での3次元差分法速度波形



#### 4.3.2 石油タンクのスロッシング高さの検討

##### 1) 東京湾北部地震、千葉県東方沖地震および三浦半島断層群による地震についての検討

ここでは、算出したスロッシング波形と速度応答スペクトルから、簡易的に石油タンクのスロッシング高さを試算した。

石油タンクの一次のスロッシング固有周期(s)は以下のようなものである(畑山ほか、2005)<sup>6</sup>。

$$T_s = 2\pi\sqrt{(D/3.68g) \cdot \coth(3.68H/D)}$$

ここで、Dはタンクの内径(m)、Hは液面の高さ(m)、gは重力加速度(m/s<sup>2</sup>)である。

一方、スロッシングによる最大液面上昇量のおおよその値は、速度ポテンシャル理論に基づく速度応答スペクトル法を用いて下式により計算することができる(畑山ほか、2005)。

$$Wh = (D/2g) \cdot 0.837 \cdot (2\pi/T_s) \cdot S_v$$

ここで、Whは最大液面上昇量(m)、SvはTsにおける速度応答(m/s)である。

ここでは、一次のスロッシング固有周期が5.5秒となるタンク内径25m、液面高さ10mの場合、同じく固有周期が7.8秒の場合(内径50m、液面高さ20m)、さらに固有周期10.4秒の場合(内径75m液面高さ20m)の3ケースについてスロッシング高さを求めた。速度応答スペクトルを求める際の減衰は、0.1%とした(座間、井上、1994)<sup>7</sup>。

図4.3-7にスロッシング高さを計算する地点を示し、計算結果を表4.3-2に示した。東京湾北部地震で千葉市の石油タンク(内径25m、液面高さ10m)スロッシング高さが最大3.0mとなった。

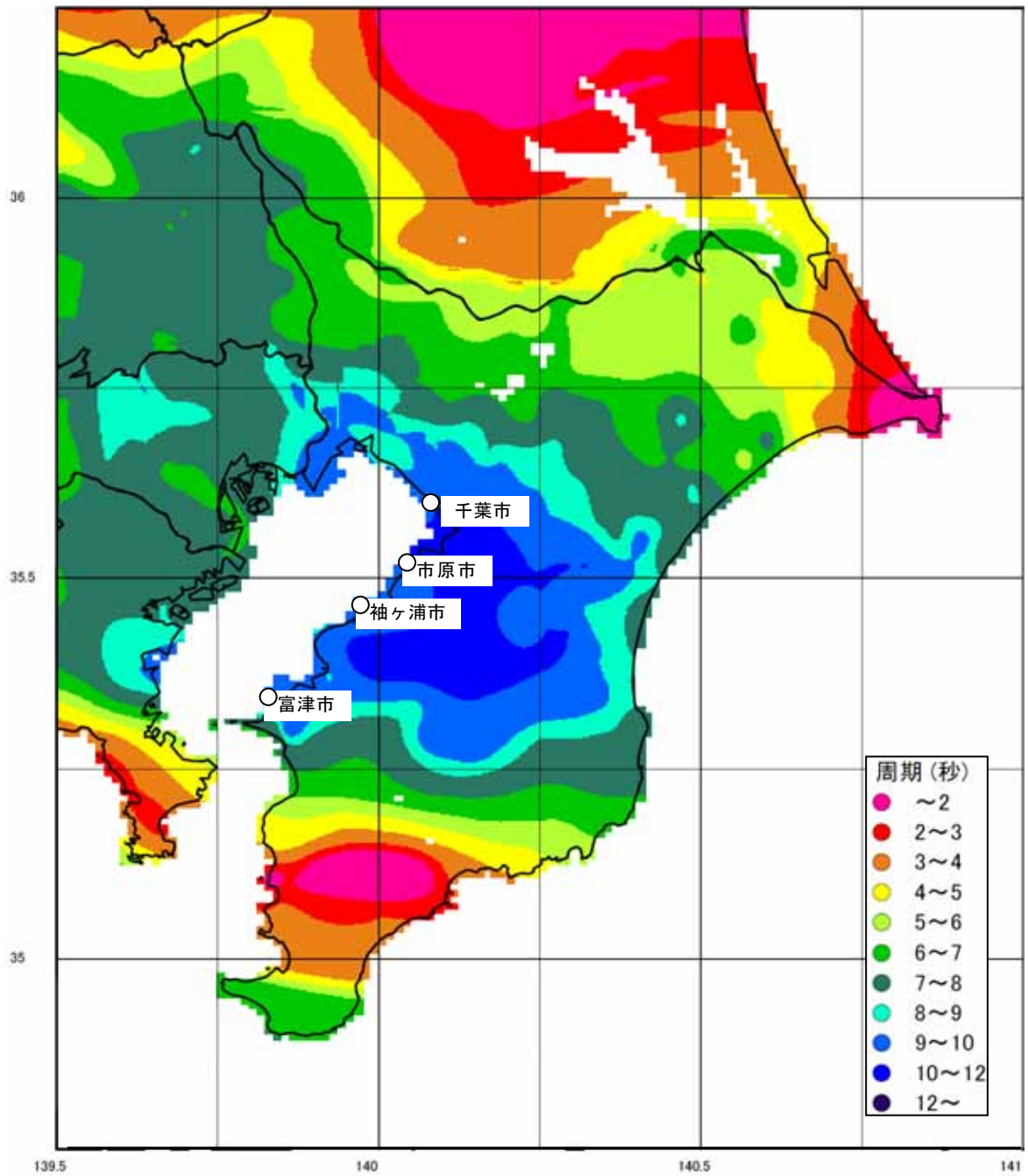


図 4.3-7 スロッシング高さ計算地点  
 (背景の図面は、チューニング後の深部地盤モデルによる卓越周期分布)

表 4.3-2 タンクのスロッシング高さ

東京湾北部地震									
計算地点	タンク内径 25m、液面 10m Ts=5.5s			タンク内径 50m、液面 20m Ts=7.8s			タンク内径 75m、液面 20m Ts=10.4s		
	NS(m)	EW(m)	最大(m)	NS(m)	EW(m)	最大(m)	NS(m)	EW(m)	最大(m)
市原市	1.53	0.63	<b>1.53</b>	1.98	0.87	<b>1.98</b>	1.73	0.78	<b>1.73</b>
袖ヶ浦市	1.77	0.66	<b>1.77</b>	1.65	0.99	<b>1.65</b>	1.52	1.01	<b>1.52</b>
富津市	1.50	0.97	<b>1.50</b>	1.60	1.09	<b>1.60</b>	1.81	1.07	<b>1.81</b>
千葉市	3.00	1.43	<b>3.00</b>	2.87	1.14	<b>2.87</b>	2.36	0.95	<b>2.36</b>

千葉県東方沖地震									
計算地点	タンク内径 25m、液面 10m Ts=5.5s			タンク内径 50m、液面 20m Ts=7.8s			タンク内径 75m、液面 20m Ts=10.4s		
	NS(m)	EW(m)	最大(m)	NS(m)	EW(m)	最大(m)	NS(m)	EW(m)	最大(m)
市原市	0.19	0.19	<b>0.19</b>	0.23	0.21	<b>0.23</b>	0.26	0.23	<b>0.26</b>
袖ヶ浦市	0.27	0.14	<b>0.27</b>	0.36	0.20	<b>0.36</b>	0.35	0.22	<b>0.35</b>
富津市	0.19	0.09	<b>0.19</b>	0.28	0.12	<b>0.28</b>	0.32	0.13	<b>0.32</b>
千葉市	0.46	0.41	<b>0.46</b>	0.50	0.30	<b>0.50</b>	0.38	0.28	<b>0.38</b>

三浦半島断層群による地震									
計算地点	タンク内径 25m、液面 10m Ts=5.5s			タンク内径 50m、液面 20m Ts=7.8s			タンク内径 75m、液面 20m Ts=10.4s		
	NS(m)	EW(m)	最大(m)	NS(m)	EW(m)	最大(m)	NS(m)	EW(m)	最大(m)
市原市	0.44	0.29	<b>0.44</b>	0.48	0.85	<b>0.85</b>	1.25	0.70	<b>1.25</b>
袖ヶ浦市	0.52	0.24	<b>0.52</b>	0.80	1.51	<b>1.51</b>	1.19	0.44	<b>1.19</b>
富津市	1.16	0.97	<b>1.16</b>	1.39	1.82	<b>1.82</b>	1.11	1.82	<b>1.82</b>
千葉市	0.86	1.11	<b>1.11</b>	0.89	1.05	<b>1.05</b>	1.45	1.46	<b>1.46</b>

### 4.3.3 ハイブリッド法による地震動の予測

#### 1) 予測手法

地震動の予測手法は、工学的基盤で差分法を用いたやや長周期地震動と統計的グリーン関数法による地震動をマッチング・フィルターにより重ね合わせ、この波形（ハイブリッド波形）を用いて、工学的基盤以浅の浅部地盤モデルにより、等価線形法による地震応答解析を実施し地表における地震動波形を算出した。図 4.3-8 に、地震動予測の概念図を示す。

各メッシュについて、地表における NS（南北）、EW（東西）、UD（上下）3成分それぞれの波形を計算することで、気象庁の方式による計測震度の算出が可能である。また、被害予測で必要となるそのほかの地震動指標としての最大速度、SI 値および最大加速度も求まる。

以下に短周期地震動を求めるための統計的グリーン関数法、やや長周期地震動と短周期地震動を重ね合わせるマッチングフィルターおよび工学的基盤以浅の等価線形法による地震応答解析について説明する。

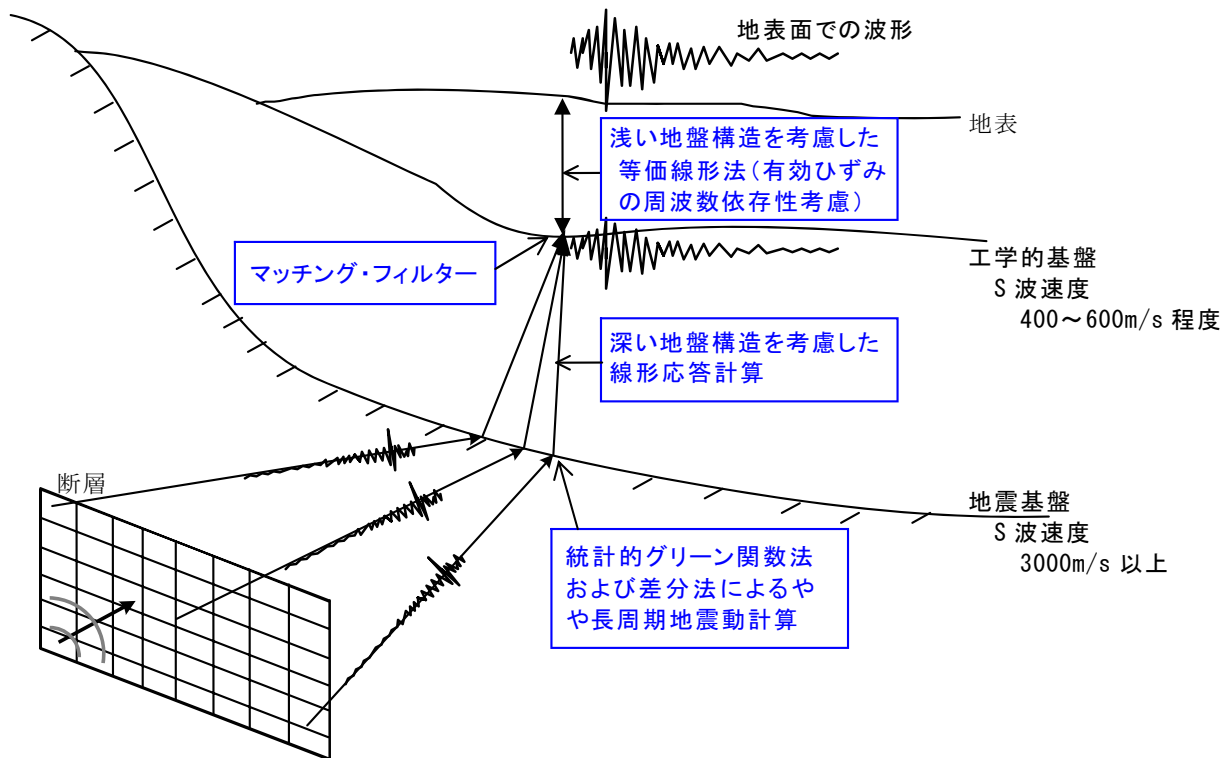


図 4.3-8 ハイブリッド法の地震動予測の概念図

### a) 統計的グリーン関数法

工学的基盤上における波形を統計的グリーン関数法を用いて計算した。統計的グリーン関数法では、グリーン関数としては $\omega^{-2}$  則に従う震源特性に従うスペクトルモデル [Boore(1983)<sup>8</sup>] を考え、これに経験的な位相特性を与えたものを使用する。深部地盤構造は一次元成層構造としてHaskell<sup>9</sup> Matrix により地盤応答を考慮する。この波形をグリーン関数と考え、Irikura(1986)<sup>10</sup>に従い波形合成を行い、大地震の地震動波形を求める。以下に具体的な作業内容を示す。

- (1) 対象とする断層面を小断層に分割し、小断層毎に、Boore(1983)の手法により $\omega^{-2}$ を満たす振幅スペクトルの形状を求める。このスペクトル形状は以下の通りである。

$$S_A(\omega) = \frac{R_{\phi\theta}}{4\pi\rho\beta^3} Mo \cdot \frac{\omega^2}{1+(\omega/\omega_c)^2} \cdot \frac{1}{1+(\omega/\omega_{\max})^2} \frac{e^{-\omega R/2Q\beta}}{R}$$

$$\text{ここで } \omega_c = 2\pi f_c, \quad f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/Mo)^{1/3}$$

$$\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}, \quad f_{\max} = 6\text{Hz} \quad [\text{鶴来・他(1997)、兵庫県南部地震の解析値}]$$

なお、Mo は地震モーメント、 $\rho$  は密度、 $\beta$  は媒質の S 波地震波速度である。

- (2) 上式中の  $R_{\phi\theta}$  はラディエーション係数であるが、これは、各小断層から計算地点への方位角、射出角により計算する。この時、Kamae and Irikura(1992)<sup>11</sup>と同様に、周波数依存型の放射特性を導入した。これは、周波数 0.25Hz以下では理論的放射特性に従い、2.0Hz以上では等方的な放射特性となるものである。ここではS波のみを考えているため、SH波、SV波毎に振幅スペクトルを求める。
- (3) 小断層毎にすべり量・モーメント解放量が異なる場合は、それに応じて各小断層の Mo、 $\Delta\sigma$  を設定する。
- (4) Q値は木下(1993)<sup>12</sup>により、 $Q=100f^{0.7}$  ( $f > 1\text{Hz}$ )、 $Q=100$  ( $f < 1\text{Hz}$ )とする。
- (5) 以上は、振幅スペクトルについて考えてきたが、ここで、Boore(1983)に従ってホワイトノイズに包絡形を施した波形のスペクトルをかけ合わせ、位相を与える。なお、全ての小断層に対して共通の位相波形を使用する。
- (6) 上記手法で作成した計算地点での地震基盤におけるスペクトルに対して、工学的基盤までの地盤構造による増幅を考慮するため、SH波については斜め入射のSH波動場を、SV波については、P-SV波動場の応答計算を行う。
- (7) 求められた工学的基盤での Transverse、Radial、UD 波形を NS、EW、UD に射影する。
- (8) 工学的基盤での各小断層からの波形をIrikura(1986)および入倉・他(1997)<sup>13</sup>に従って、それぞれの成分毎に足し合わせる。これより、工学的基盤での3成分波形を求める。

図 4.3-9 に統計的グリーン関数法による工学的基盤における波形計算の流れを示す。

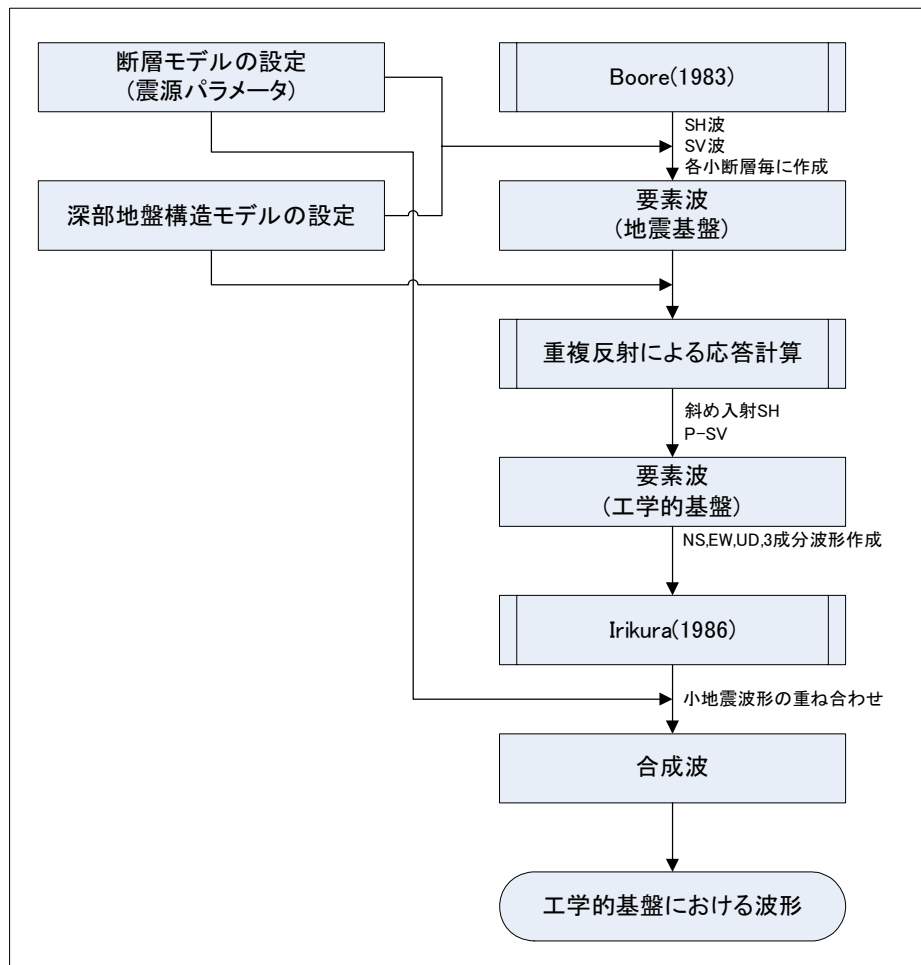


図 4.3-9 統計的グリーン関数法の流れ

b) やや長周期地震動と短周期地震動を重ね合わせる際のフィルター

工学的基盤上で、3次元差分法(3DFD)によるやや長周期地震動と、統計的グリーン関数法(SGF)による短周期地震動を重ね合わせるためのマッチングフィルターを図 4.3-10 に示した。また、実際のハイブリッド波形算出の例を図 4.3-11 に示した。東京湾北部地震の千葉市と柏市の例であり、NS成分の5つの波形は、統計的グリーン関数法、マッチングフィルター処理後の統計的グリーン関数法、差分法、マッチングフィルター処理後の差分法および2番目と4番目を重ね合わせたハイブリッド波形の順となっている。

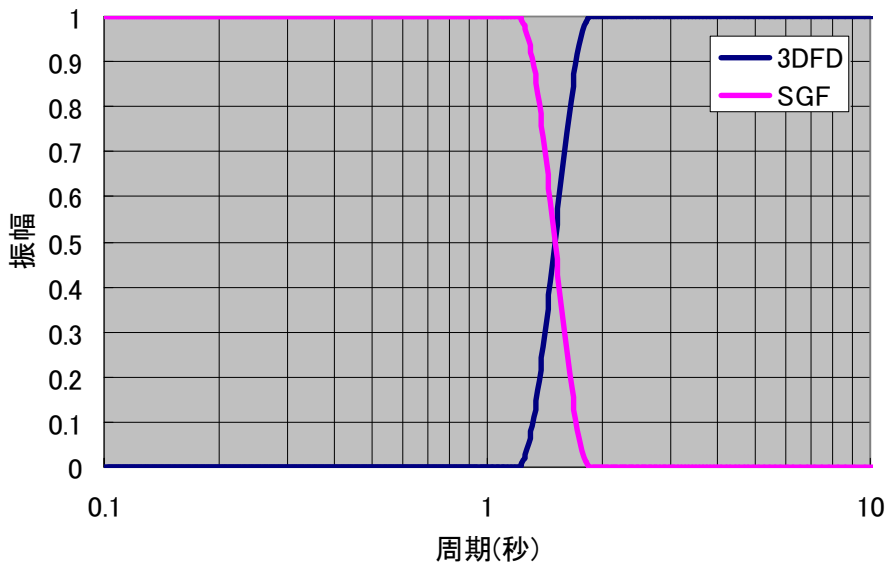
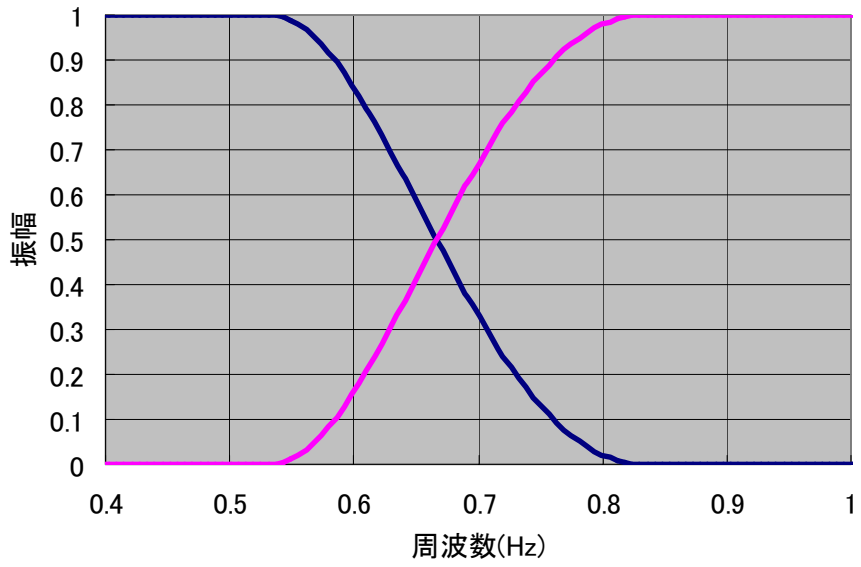


図 4.3-10 ハイブリッド法におけるマッチングフィルター

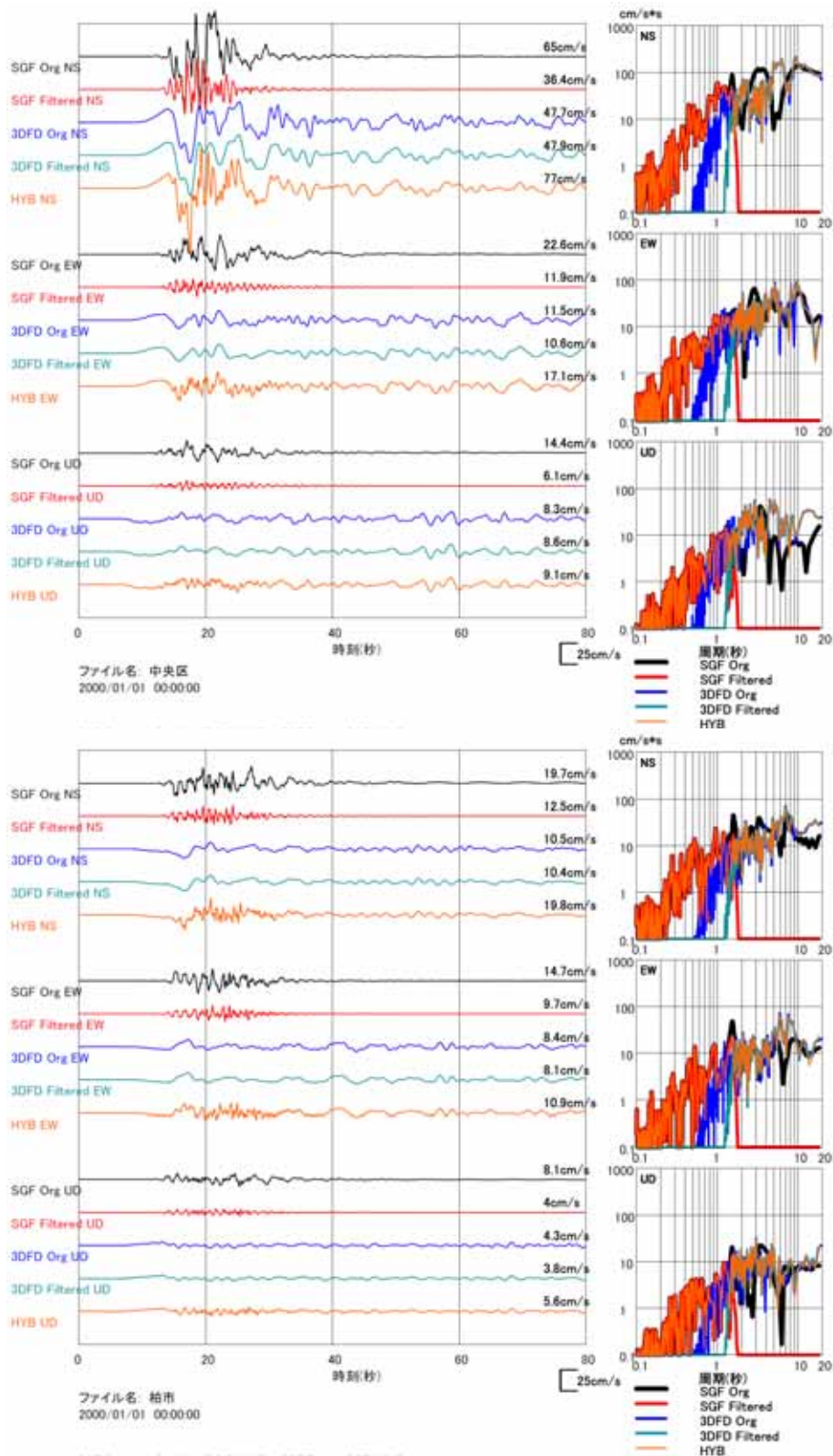


図 4.3-11 ハイブリッド合成波形の比較（東京湾北部地震 上：千葉市、下：柏市）  
 黒線：統計的グリーン関数法 赤線：統計的グリーン関数法（フィルター処理後）  
 青線：差分法 緑線：差分法（フィルター処理後） 橙線：ハイブリッド



c) 地震応答解析

工学的基盤で算出されたハイブリッド法による地震動波形と表層地盤モデルを用いて、地震応答解析を行った。地震応答解析は、地盤の非線形性を考慮するために、一次元の等価線形法を用いた。ただし、通常の等価線形計算では、高周波数での地震動の減衰が大きくなりすぎるため、今回は有効ひずみの周波数依存性を考慮した等価線形計算を行った。

解析コードとしては、吉田・末富（1996）<sup>14</sup>によるDYNEQを用いた。図 4.3-12 に一般的な等価線形地震応答解析プログラムの概要を示した。また、図 4.3-13 に有効ひずみの周波数依存性を考慮した場合の動的変形特性曲線の概念図を示した。同図の第 4 象限に示すように、有効ひずみの周波数依存性を考慮する場合、周波数が高くなると、剛性率比( $G/G_0$ )は増加し、減衰比( $h$ )は減少する傾向を示す。図 4.3-14 に計算結果後の剛性率( $G$ )および減衰比( $h$ )の周波数依存性について、数種類の計算手法を比較した図を示した。今回は、この図の緑色の曲線(Proposed method)を用いている。

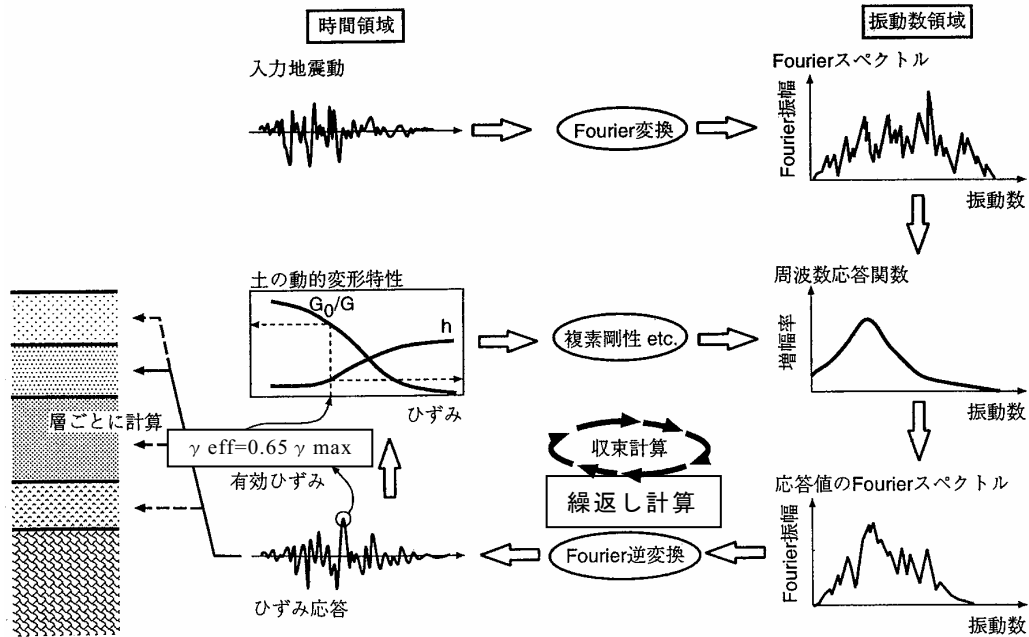


図 4.3-12 等価線形地震応答解析プログラムの概要（盛川(2005)<sup>15</sup>）

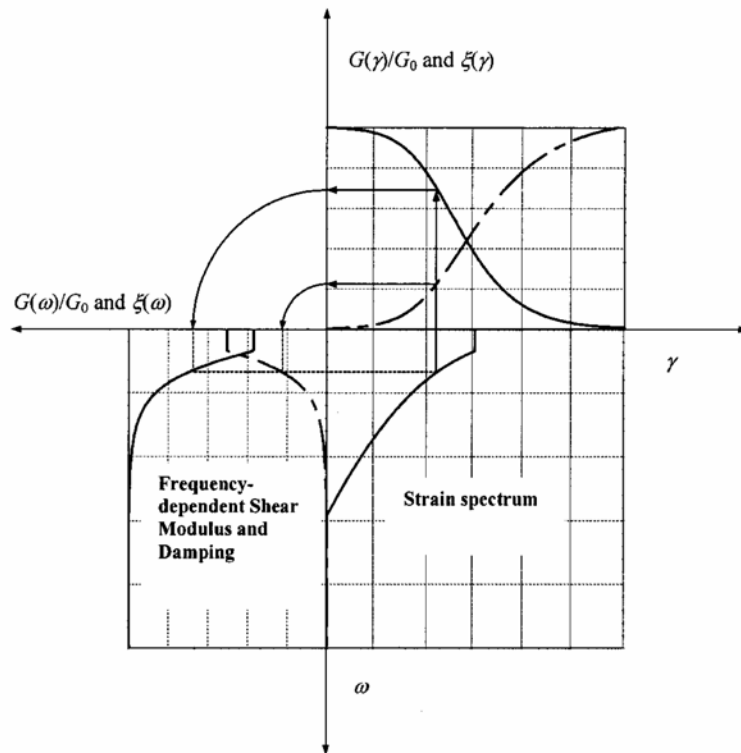


図4.3-13 有効ひずみの周波数依存性を考慮した場合の動的変形特性性曲線の概念図 (Kausel & Assimaki (2002) <sup>16</sup>)

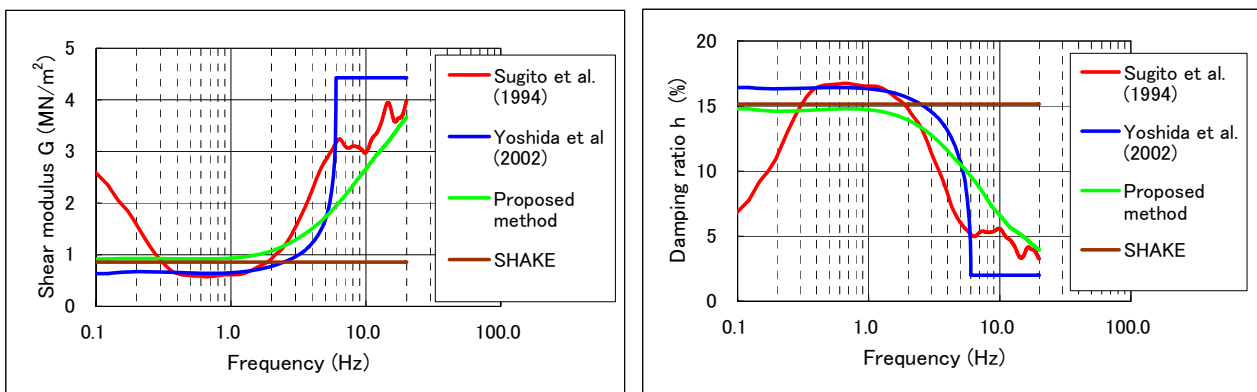


図 4.3-14 剛性率(G)および減衰比(h)の周波数依存性 (山本・笹谷(2007) <sup>17</sup>)

d) 地震応答解析のための表層地盤の物性値の設定

地震応答解析に用いるための物性値を設定した。S波速度については、砂質土及び粘性土については、永田他（2007）による千葉市内のN値とS波速度との関係式を用いた。礫質土については中央防災会議（2001）<sup>18</sup>による関係式を用いた。密度については、中央防災会議（2001）による値を用いた。

動的変形特性曲線については、千葉県内の乱さない試料採取からの動的変形特性試験結果を収集し整理したものを層相と堆積時代および有効拘束圧ごとに分類して、平均的な曲線を設定した。なお、礫質土については今津・福武（1986）<sup>19</sup>による関係式を用いた。設定した物性値を表 4.3-3 及び図 4.3-15 に示した。

表 4.3-3 地震応答計算のための物性値

時代	土質名	N値	記号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度			動的変形 曲線記号
					係数a	係数b	係数c	
沖積層	埋土	0~4	B1	1.6	97.1	0.146	0.059	Bs
		4~10	B2	1.7	97.1	0.146	0.059	Bs
		10~	B3	2	97.1	0.146	0.059	Bs
	腐植土	0~1	Ap1	1.2	116.9	0.188	0.055	Ap
		1~	Ap2	1.3	116.9	0.188	0.055	Ap
	粘性土	0~2	Ac1	1.4	116.9	0.188	0.055	Ac
		2~4	Ac2	1.5	116.9	0.188	0.055	Ac
		4~8	Ac3	1.6	116.9	0.188	0.055	Ac
		8~15	Ac4	1.7	116.9	0.188	0.055	Ac
		15~30	Ac5	1.8	116.9	0.188	0.055	Ac
		30~	Ac6	1.8	116.9	0.188	0.055	Ac
	砂質土	0~4	As1	1.7	103.5	0.089	0.158	As
		4~10	As2	1.8	103.5	0.089	0.158	As
		10~30	As3	1.9	103.5	0.089	0.158	As
		30~50	As4	1.9	103.5	0.089	0.158	As
		50~	As5	1.9	103.5	0.089	0.158	As
	礫質土	~20	Ag1	1.9	101.457	0.256	0	g
		20~30	Ag2	2	101.457	0.256	0	g
		30~50	Ag3	2	101.457	0.256	0	g
		50~	Ag4	2.1	101.457	0.256	0	g
洪積層	ローム	0~4	DI1	1.4	125.5	0.145	0.137	Dc
		4~	DI2	1.5	125.5	0.145	0.137	Dc
	粘性土	0~2	Dc1	1.5	125.5	0.145	0.137	Dc
		2~4	Dc2	1.6	125.5	0.145	0.137	Dc
		4~8	Dc3	1.7	125.5	0.145	0.137	Dc
		8~15	Dc4	1.8	125.5	0.145	0.137	Dc
		15~30	Dc5	1.8	125.5	0.145	0.137	Dc
		30~	Dc6	1.8	125.5	0.145	0.137	Dc
	砂質土	0~4	Ds1	1.8	163.4	0.183	0.029	Ds
		4~10	Ds2	1.8	163.4	0.183	0.029	Ds
		10~30	Ds3	1.9	163.4	0.183	0.029	Ds
		30~50	Ds4	1.9	163.4	0.183	0.029	Ds
		50~	Ds5	2	163.4	0.183	0.029	Ds
	礫質土	~20	Dg1	1.9	124.082	0.256	0	g
		20~30	Dg2	2	124.082	0.256	0	g
		30~50	Dg3	2	124.082	0.256	0	g
		50~	Dg4	2.1	124.082	0.256	0	g
	風化岩 岩	50~	RW	1.9	300	0	0	線形
		50~	R	1.9	400	0	0	線形

S波速度は、以下の関係式で求められる。

$$Vs = a \cdot N^b \cdot Dep^c$$

N : N 値、Dep : 地表からの深さ(m)、a~c : 係数

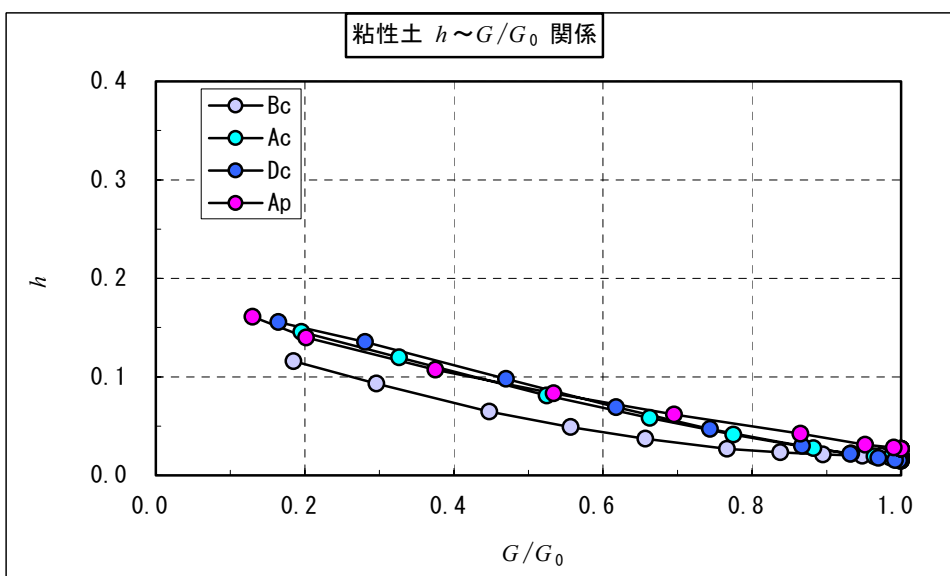
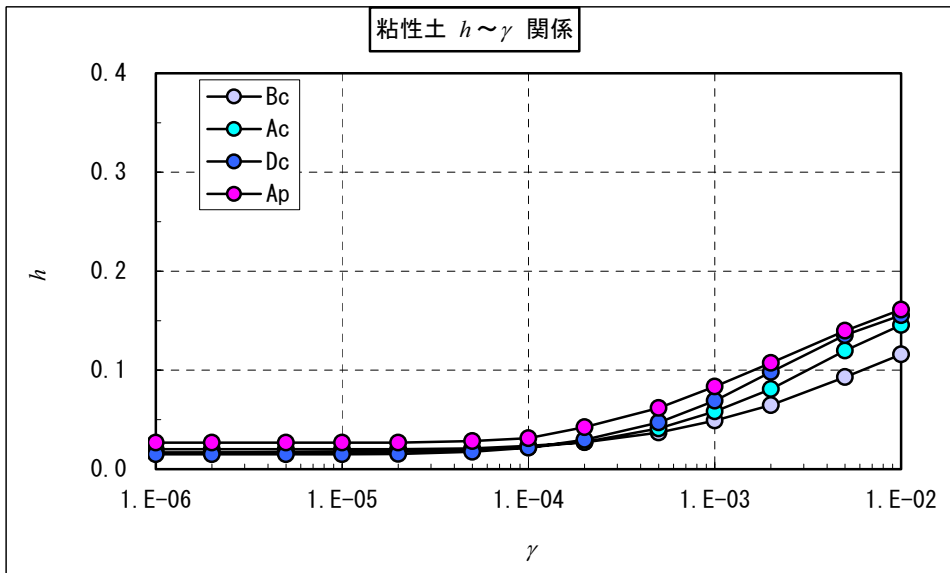
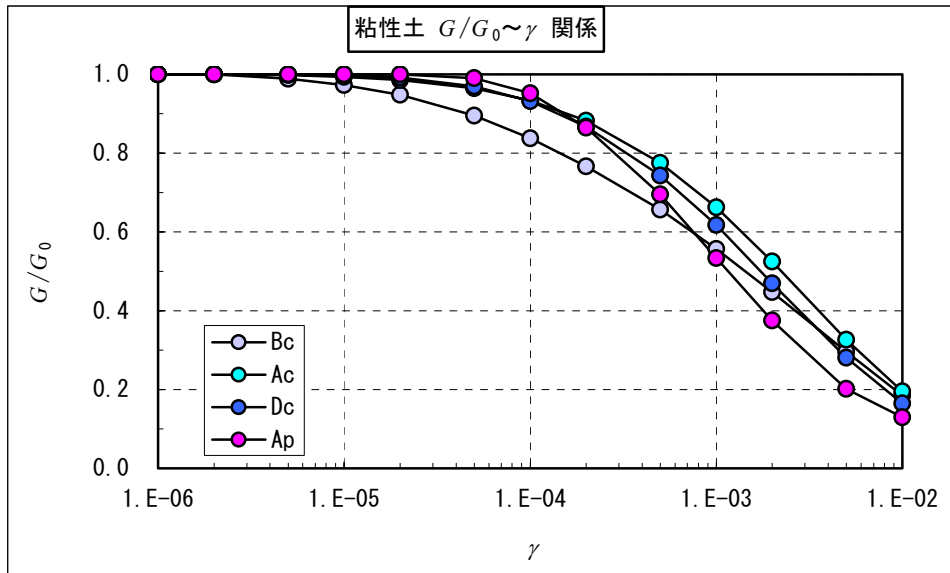


図 4.3-15(1) 千葉県内の動的変形曲線のとりまとめ (粘性土)

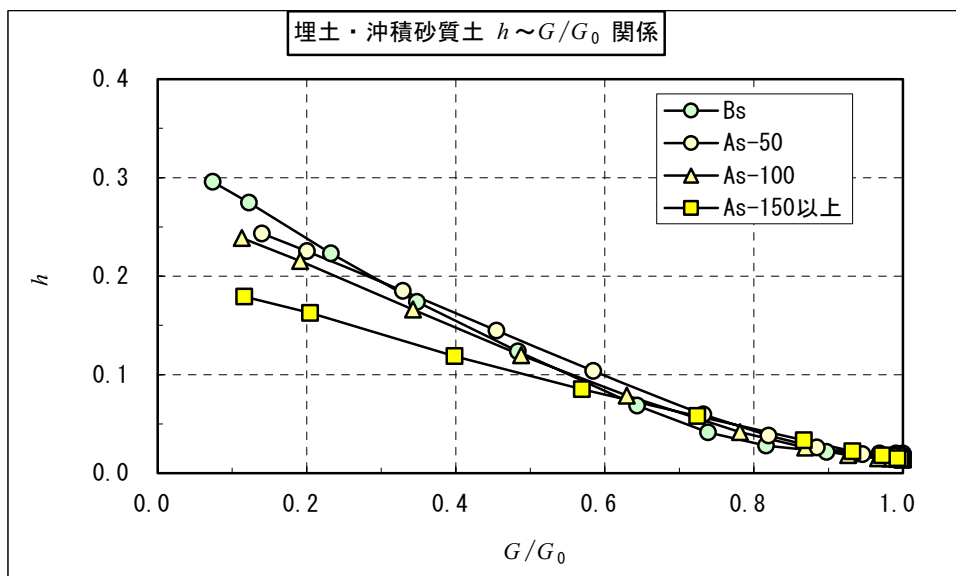
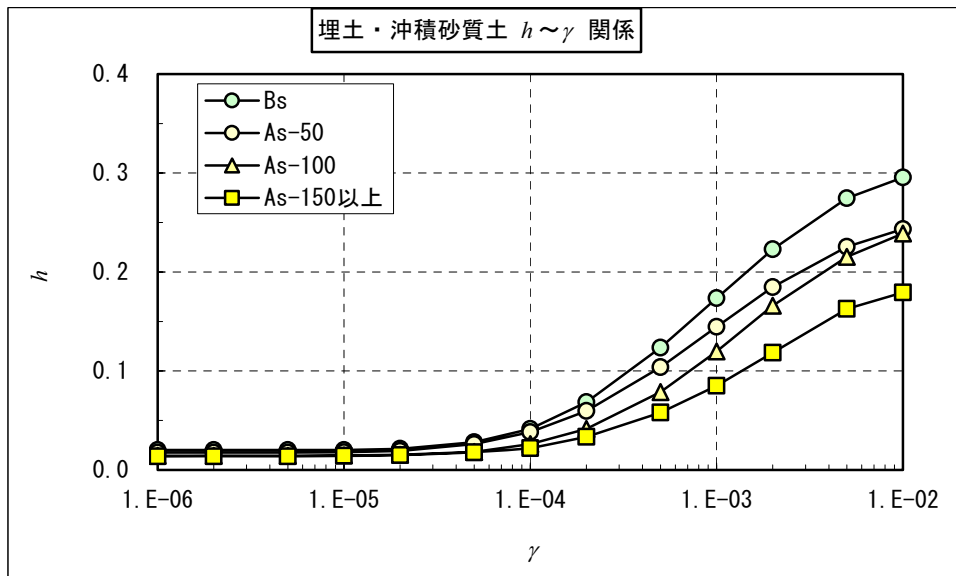
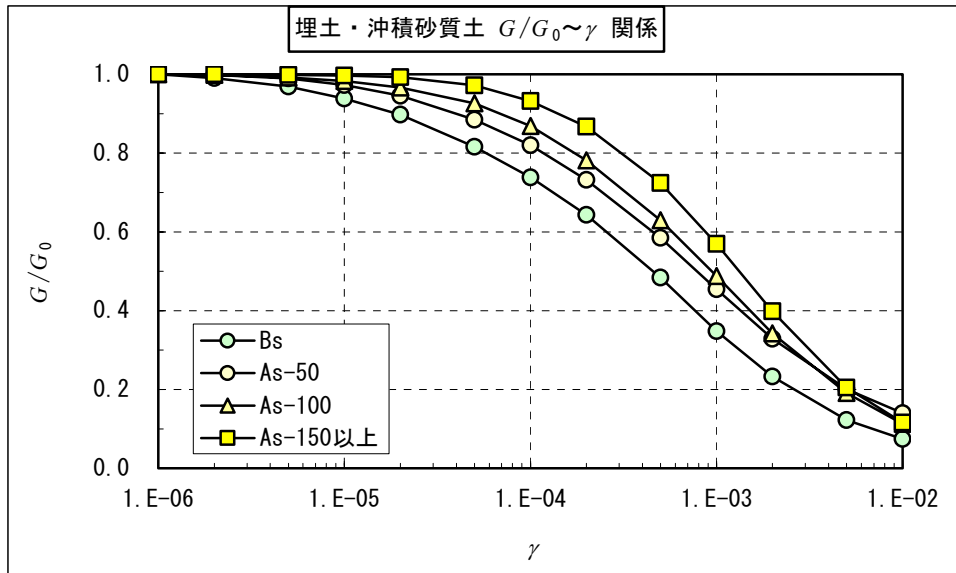


図 4.3-15 (2) 千葉県内の動的変形曲線のとりまとめ (沖積砂質土)

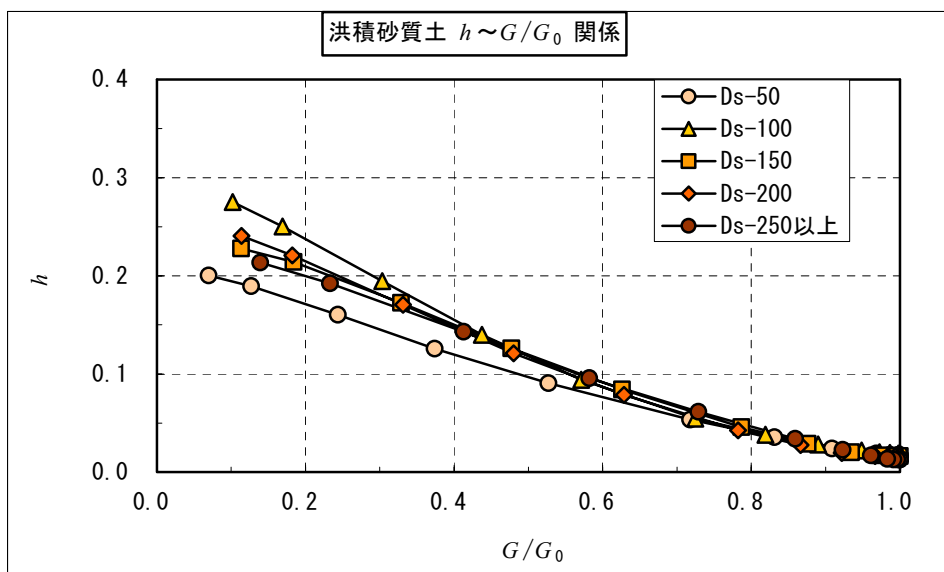
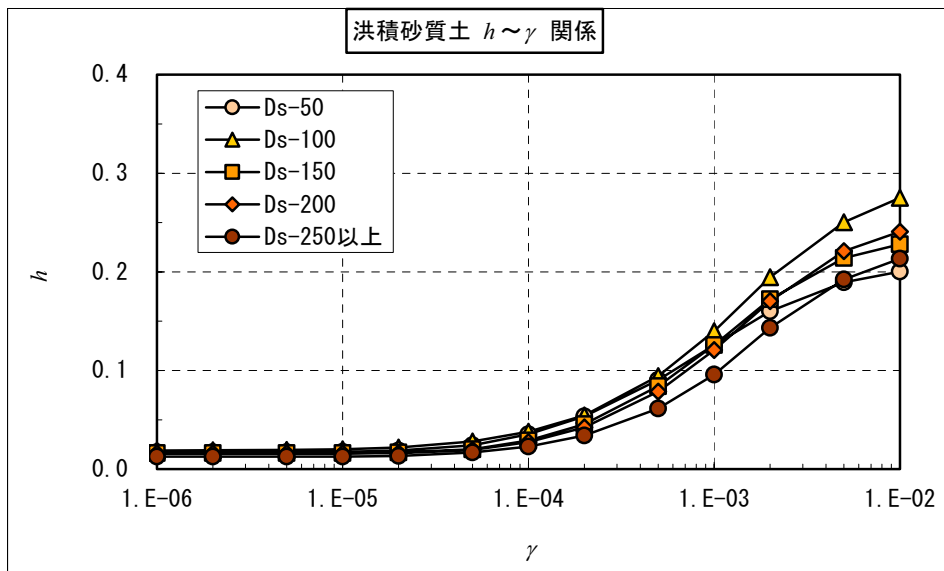
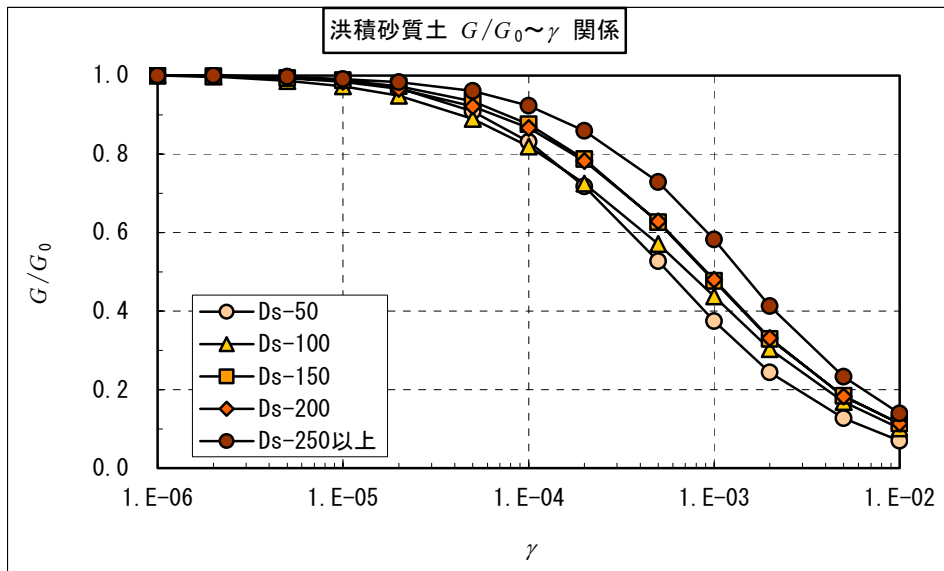


図 4.3-15 (3) 千葉県内の動的変形曲線のとりまとめ (洪積砂質土)

## 2) 予測結果

統計的グリーン関数法とやや長周期地震動との工学的基盤波形を、マッチングフィルターでハイブリッド波形作成し、その波形を用いて、一次元等価線形計算により地表地震動を求めた。

図 4.3-16(1)～(5)に、震度、最大加速度、最大速度および SI 値について分布図を示した。

後述する建物被害予測で用いる地震動について、ハイブリッド法の最大速度が、やや長周期地震動の影響を強く受け、県中部域で非常に大きな値を示している。そのため、0.1 秒から 2.5 秒までの平均的な速度応答を示す SI 値を建物被害予測で用いることとした。図 4.3-17 にハイブリッド法による東京湾北部地震の最大速度、SI 値および SI 値から  $PGV=SI/1.18$  の関係で逆算した最大速度(PGV)の分布図を示した。

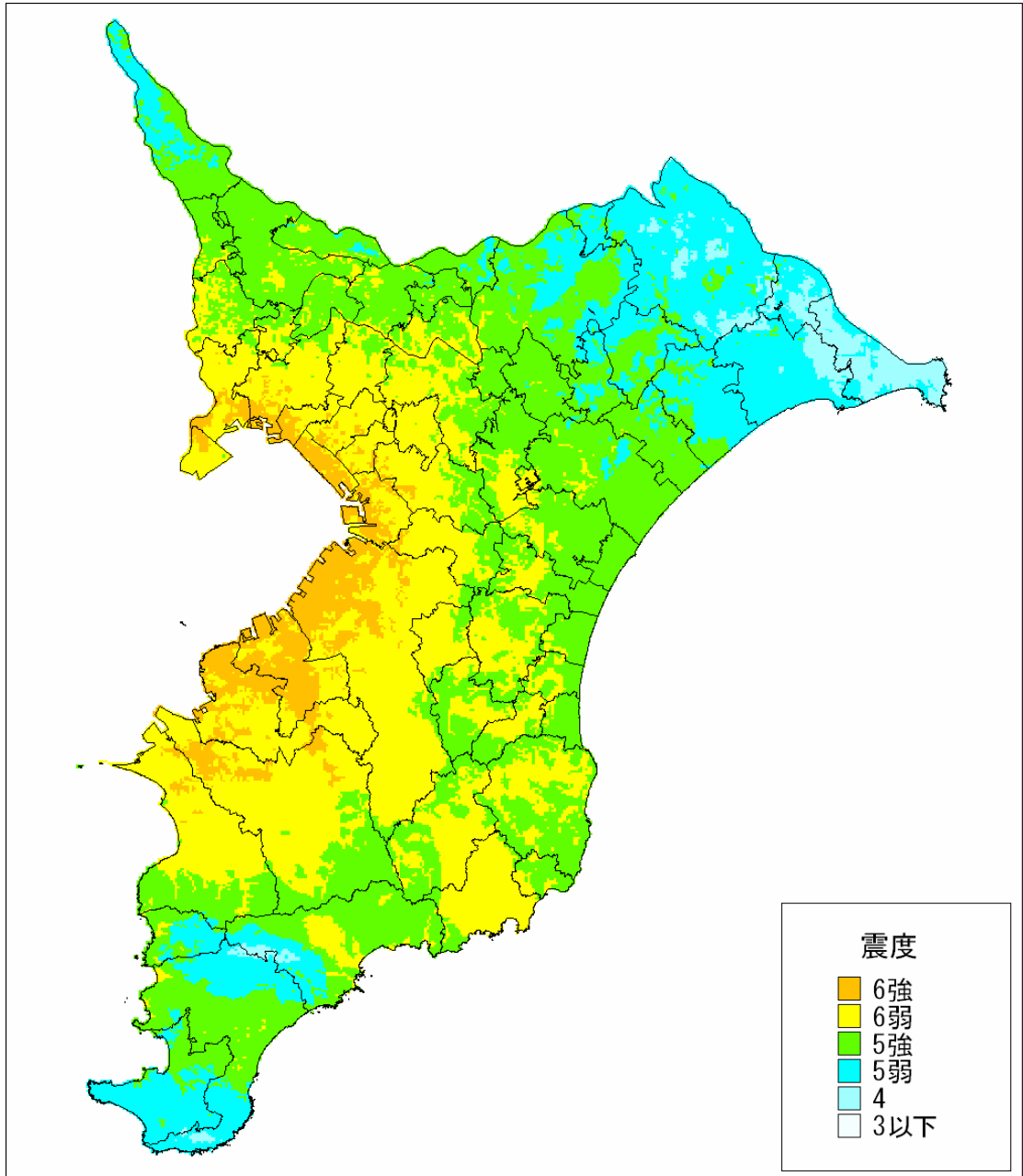


图 4.3-16(1) 東京湾北部地震 震度分布



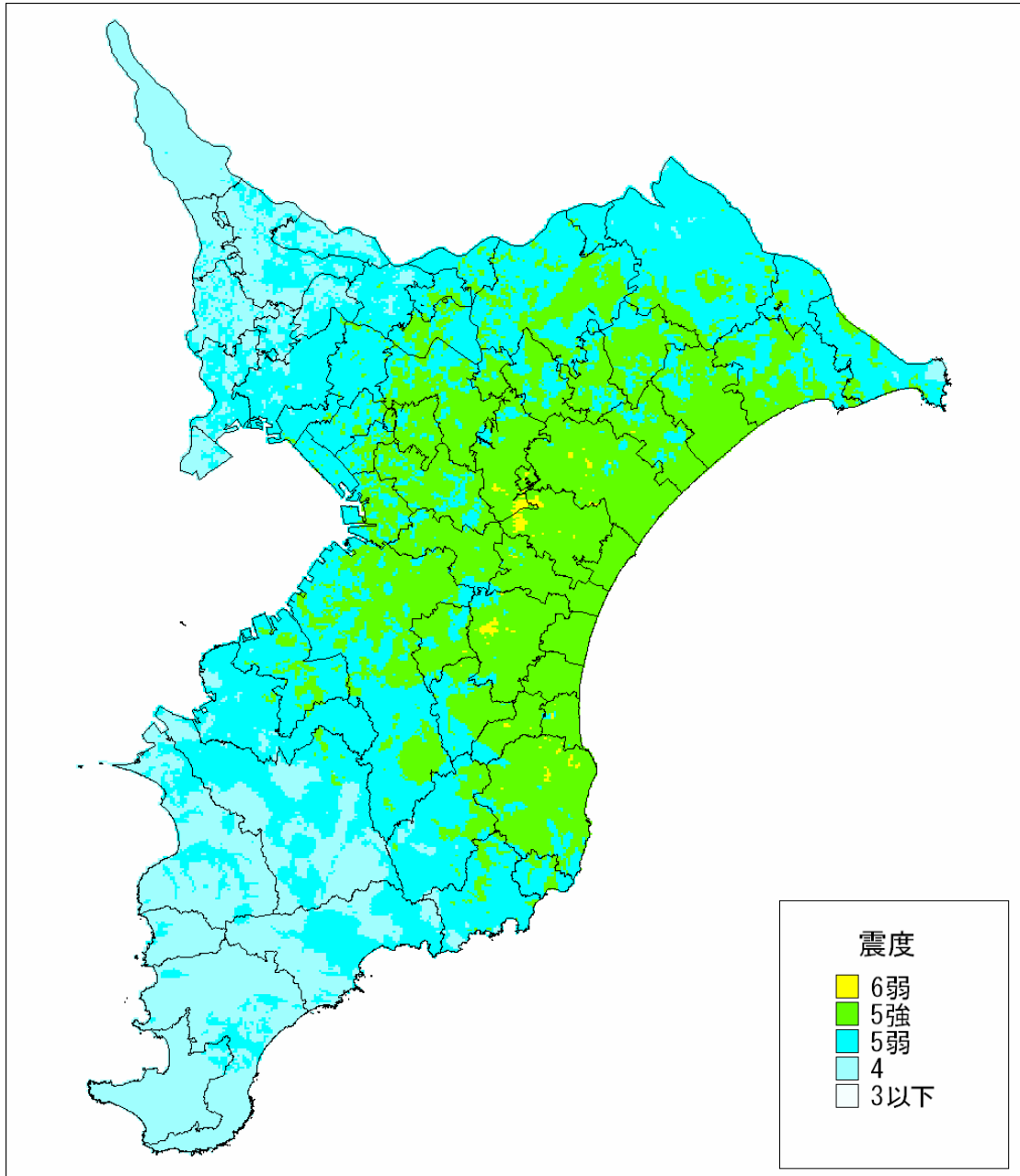


图 4.3-16 (2) 千葉県東方沖地震 震度分布

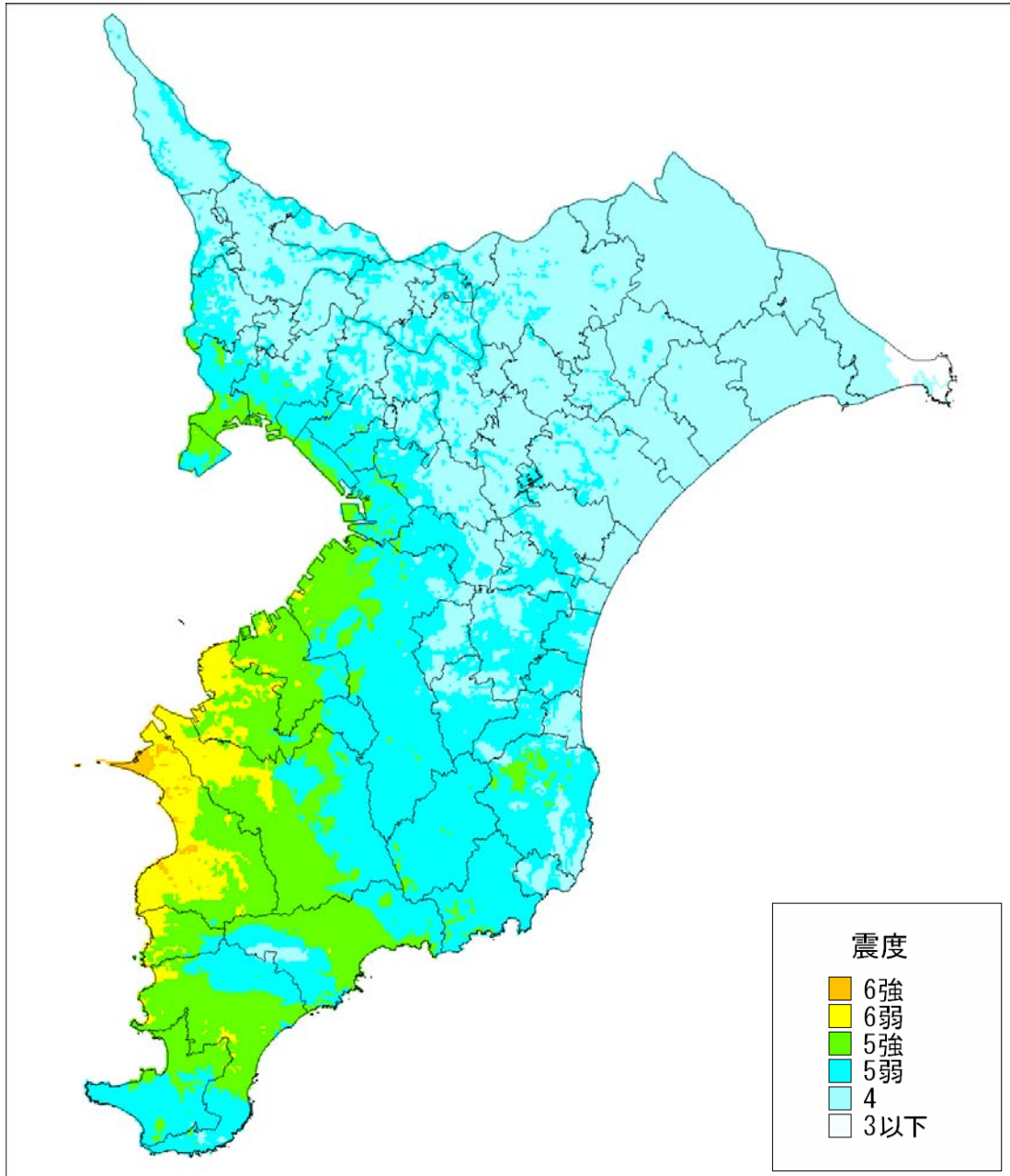
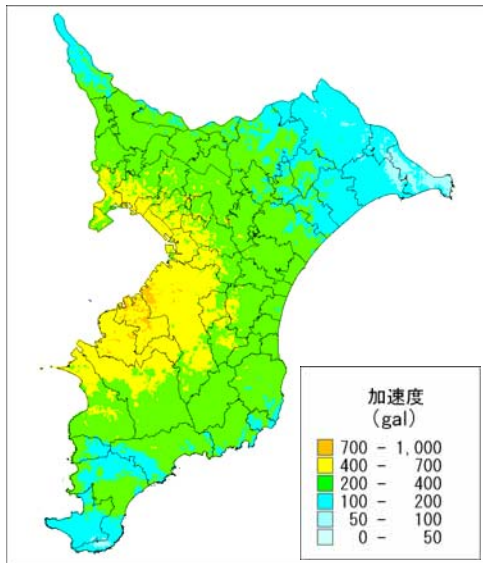
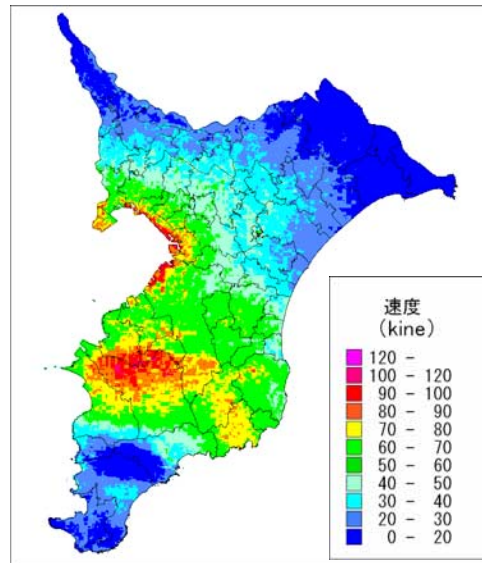


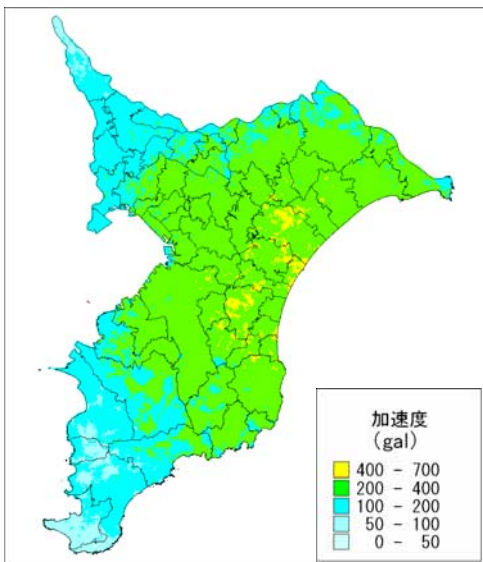
図 4.3-16 (3) 三浦半島断層群による地震 震度分布



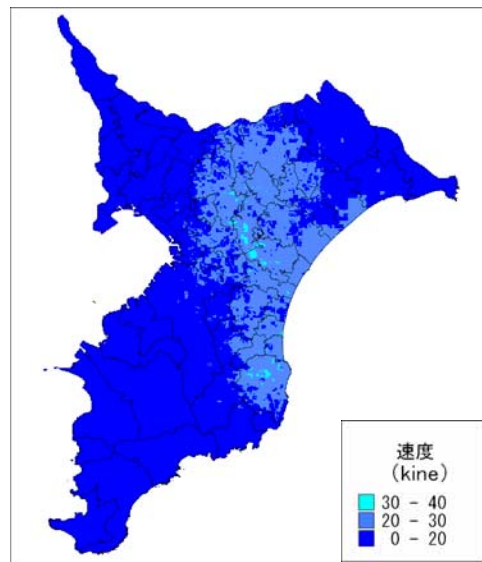
最大加速度（東京湾北部地震）



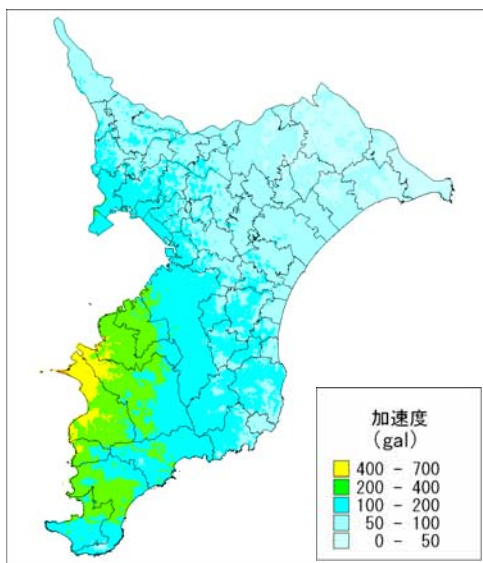
最大速度（東京湾北部地震）



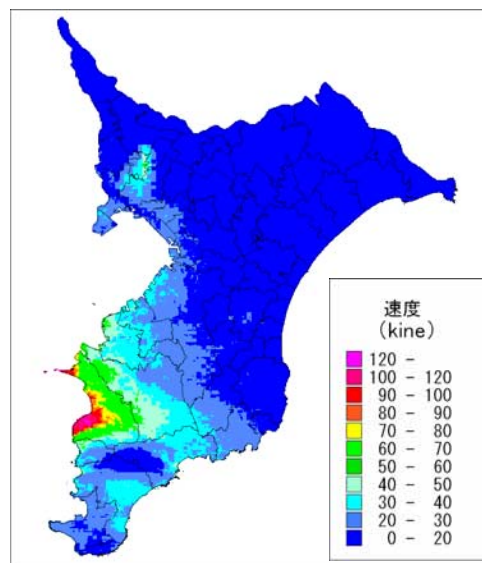
最大加速度（千葉県東方沖地震）



最大速度（千葉県東方沖地震）

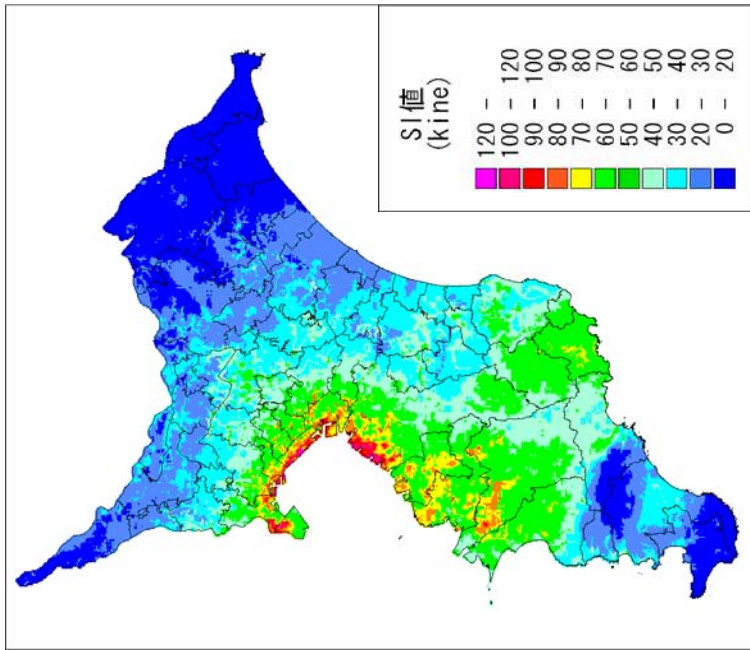


最大加速度（三浦半島断層群による地震）

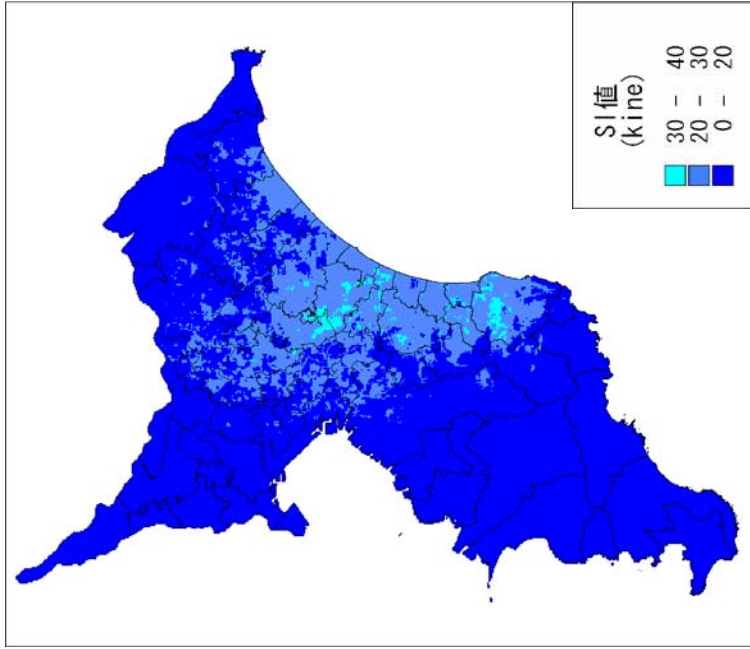


最大速度（三浦半島断層群による地震）

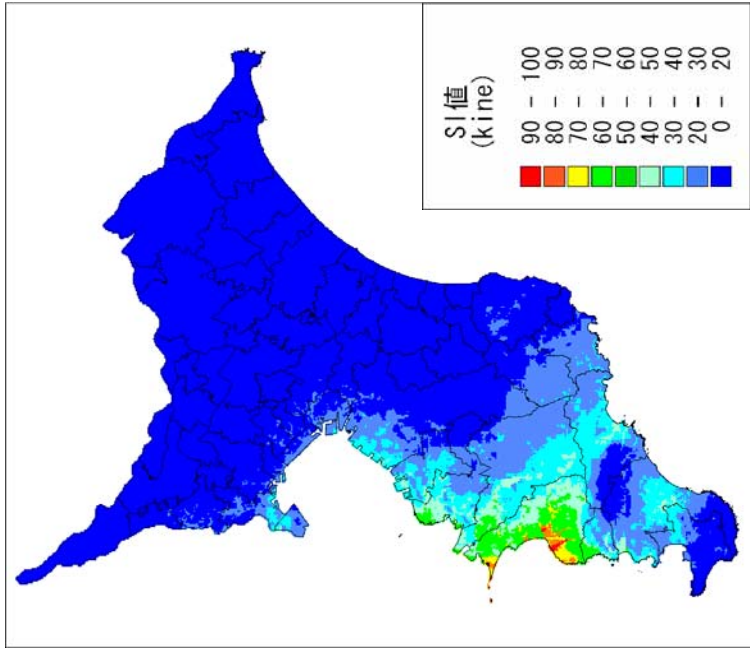
図 4.3-16 (4) 3 想定地震の最大加速度、最大速度分布



(東京湾北部地震)

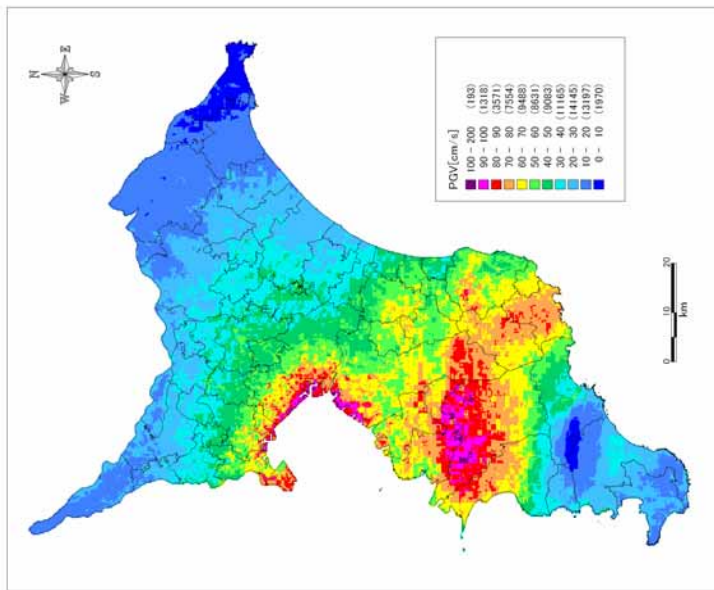


(千葉県東方沖地震)

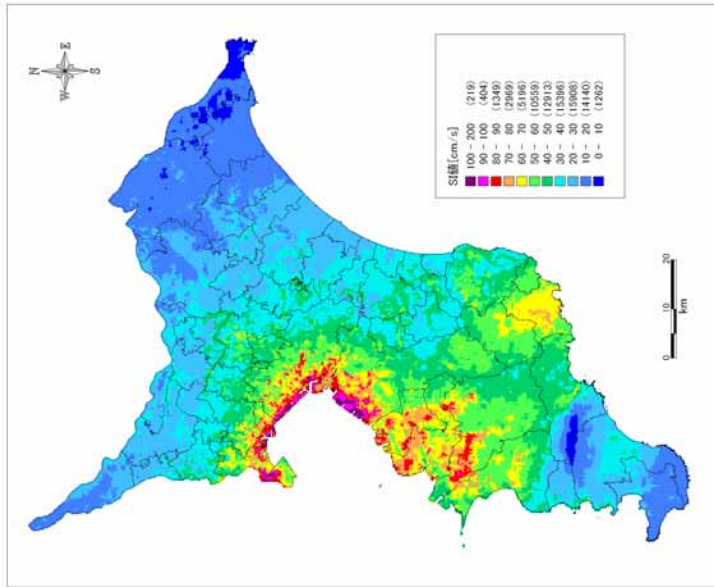


(三浦半島断層群による地震)

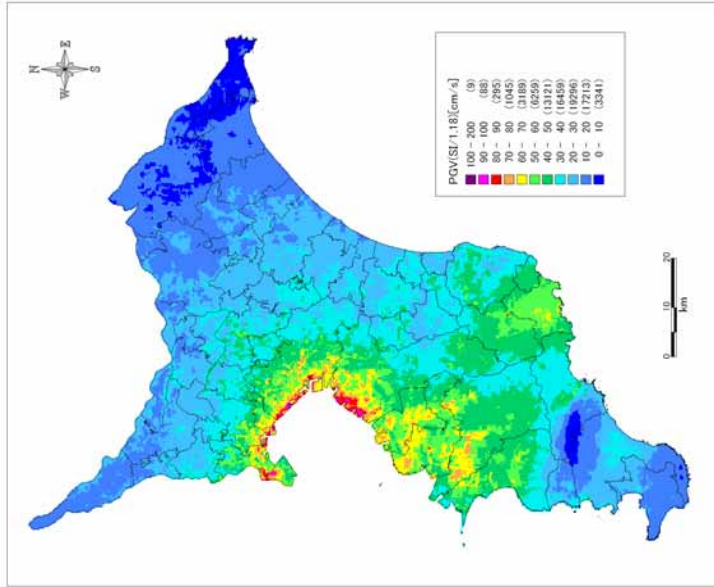
图 4.3-16 (5) 3 想定地震 SI 値分布图



最大速度



S I 値



最大速度

図 4.3-17 東京湾北部地震のハイブリッド法による最大速度 (左)、S I 値 (中央) および S I 値から算出した最大速度 (PGV=SI/1.18) (右) (童他 (1994) <sup>20)</sup>)

#### 4.3.4 地域防災対策用地震動の予測

##### 1) 予測手法

地域防災対策用として、M7 程度の地震が起る可能性が高いと予測されているフィリピン海プレート上面に震源を想定して、司・翠川(1999)<sup>21</sup>の距離減衰式を用いて地震動を算出した。

##### a) 震源の設定

震源は、地域防災対策用として、各市町村の役所の直下のフィリピン海プレート上面に一辺が約 28km の広がりを持つ震源（地震規模が M7 程度に相当）を設定した。

##### b) 距離減衰式を用いた地震動計算

工学的基盤上の最大速度 (PGV<sub>600</sub> [cm/s]) は、司・翠川(1999)<sup>21</sup>によるプレート境界地震の距離減衰式[(1)式]により算出した。なお本調査では、地震動のばらつきを考慮して標準偏差分大きい値 (+σ) とした。

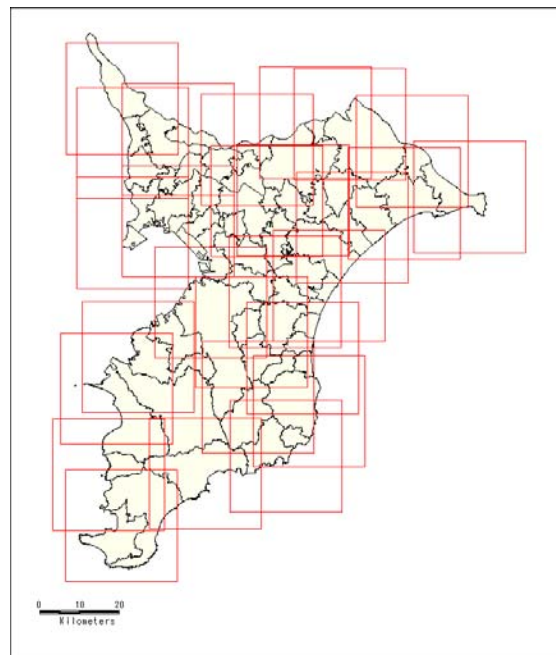


図 4.3-18 各市町村直下に設定した震源域

$$\log \text{PGV}_{600} = 0.58M_w + 0.0038D - 0.02 - 1.29 - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.50M_w}) - 0.002X + \sigma \quad (1)$$

ここで、

PGV<sub>600</sub> : S波速度 600m/s基盤上の最大速度

M<sub>w</sub> : モーメントマグニチュード

D : 震源の深さ(km)

X : 断層最短距離(km)

σ : 標準偏差

また、表層地盤の増幅度(ARV)は松岡・翠川(1994)<sup>22</sup>による表層 30m平均S波速度と増幅度の関係[(2)式]から求めた。30m平均S波速度(AVS)は、本調査の浅部地盤モデルより求めた。

$$\log \text{AVR} = 1.83 - 0.66 \cdot \log \text{AVS} \pm 0.16 \quad (2)$$

AVR : 平均 S 波速度600m/sの基盤を基準とした増幅率

地表で最大速度を求めた後、童・山崎(1996)<sup>23</sup>による最大速度と計測震度の関係[(3)式]を用いて、計測震度を算出した。

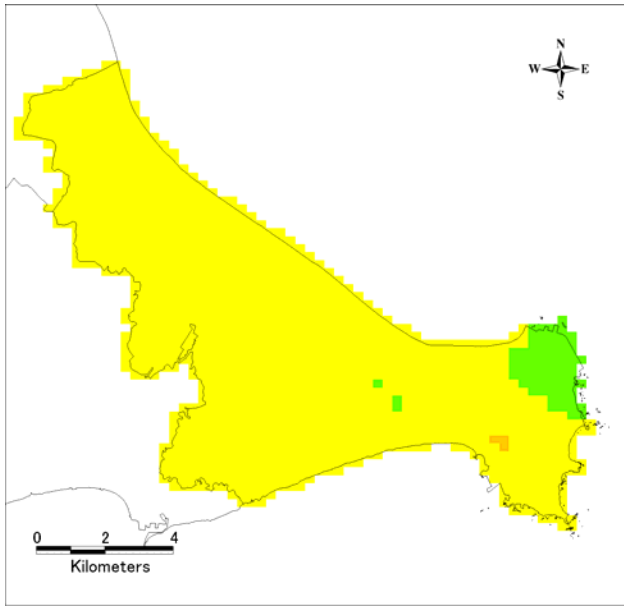
$$I = 2.30 + 2.01 \cdot \log \text{PGV} \quad (3)$$

I : 計測震度

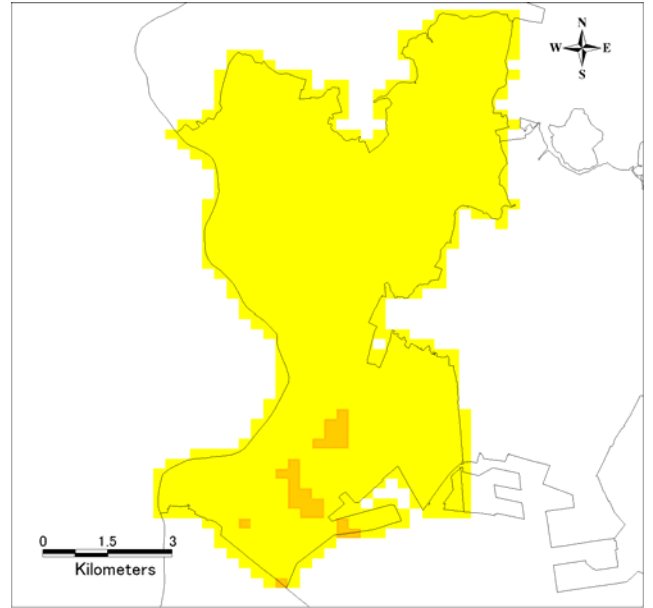
PGV : 地表の最大速度(cm/s)

##### 2) 予測結果

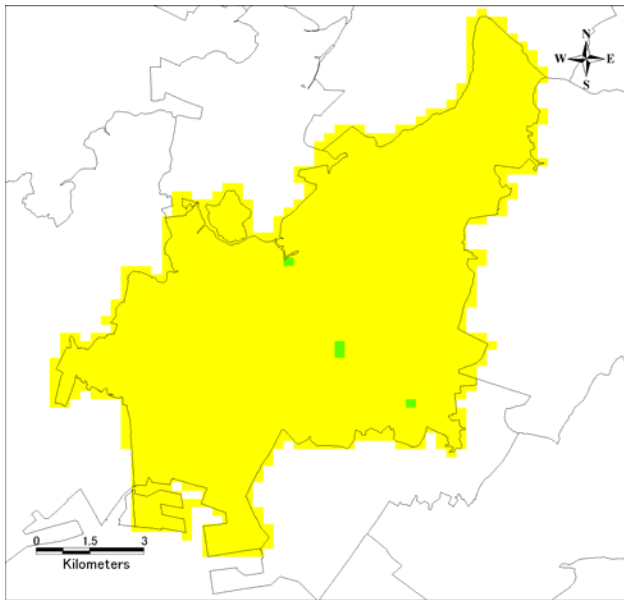
図 4.3-19 に今回予測した各市町村の直下のプレート境界地震（地域防災対策用地震）を示した。ここで地震規模 M (=M<sub>w</sub>) はすべて 6.9 とした。千葉県南部ではフィリピン海プレート境界面深度が浅いことより断層最短距離が短くなり、最大震度が 6 強となっているが、他のほとんどの地域では最大震度が 6 弱となる。震度 7 の地域はみられない。



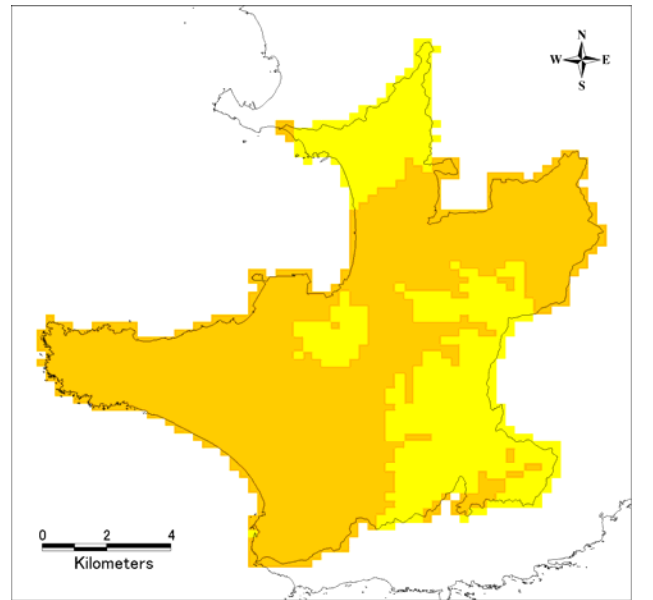
銚子市



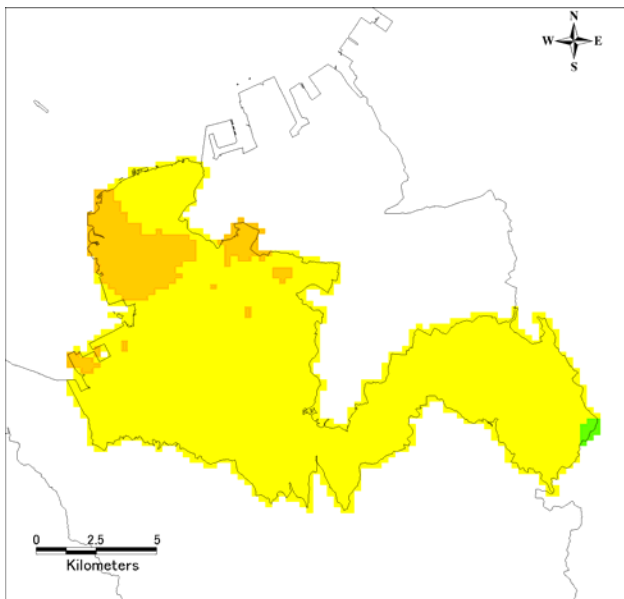
市川市



船橋市



館山市



木更津市

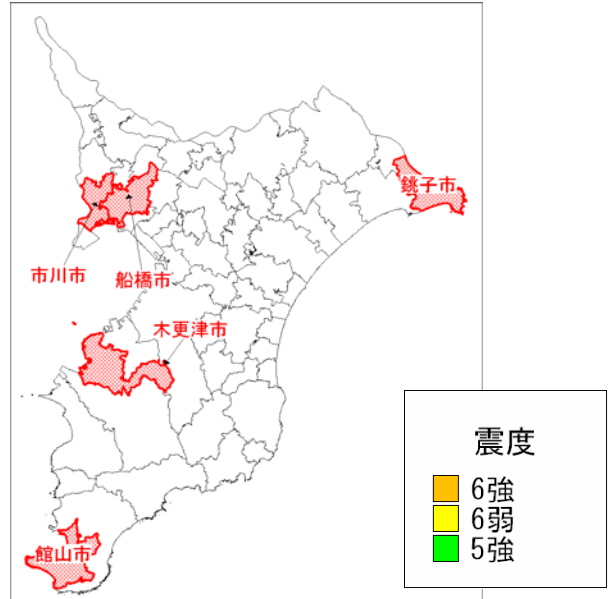
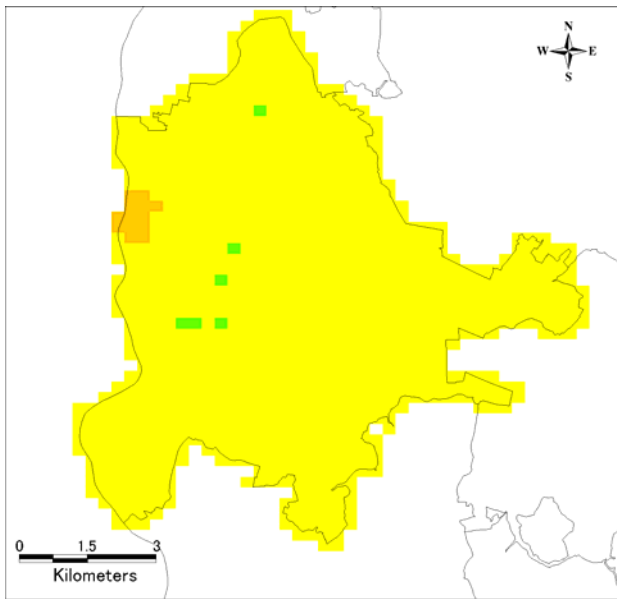
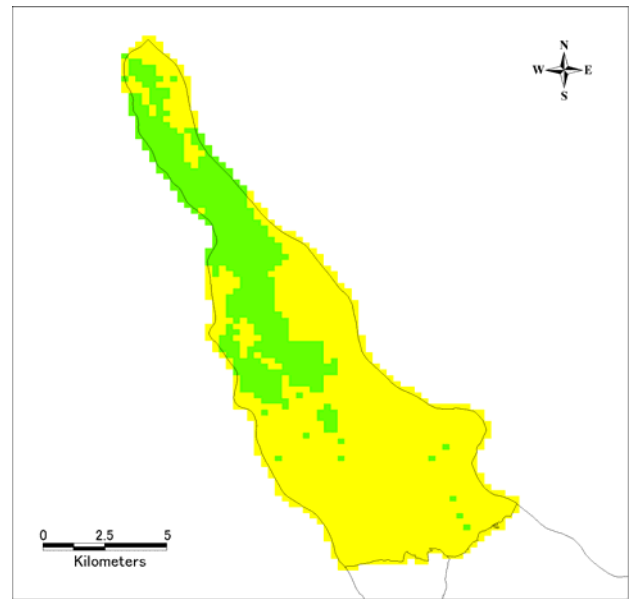


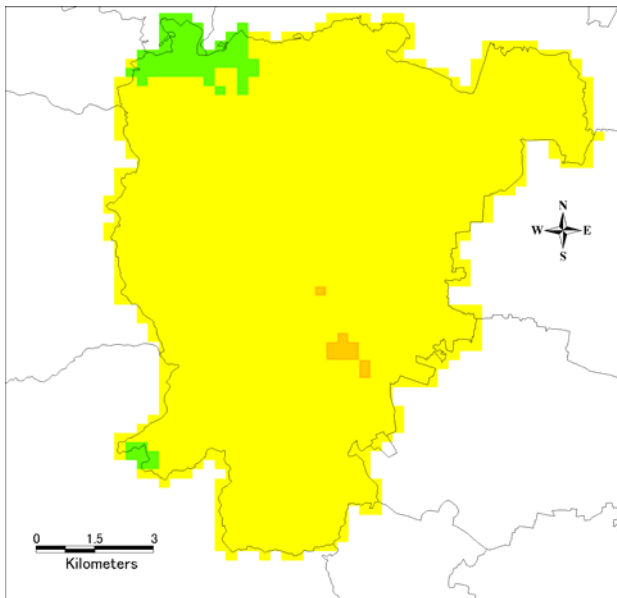
図 4.3-19(1) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 1



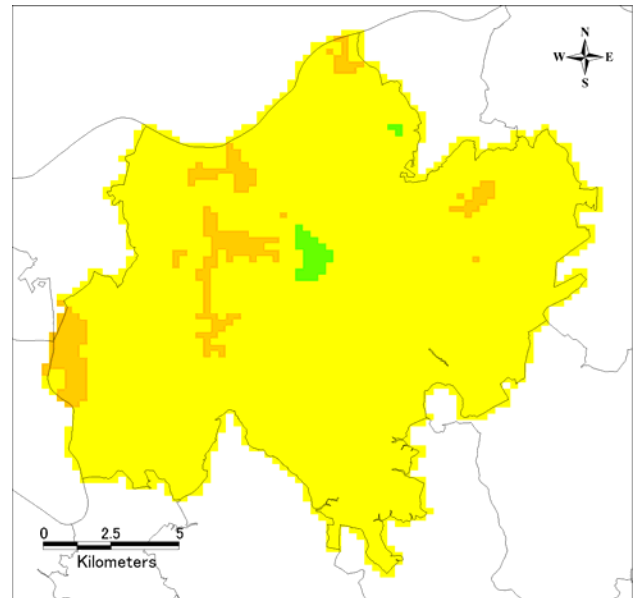
松戸市



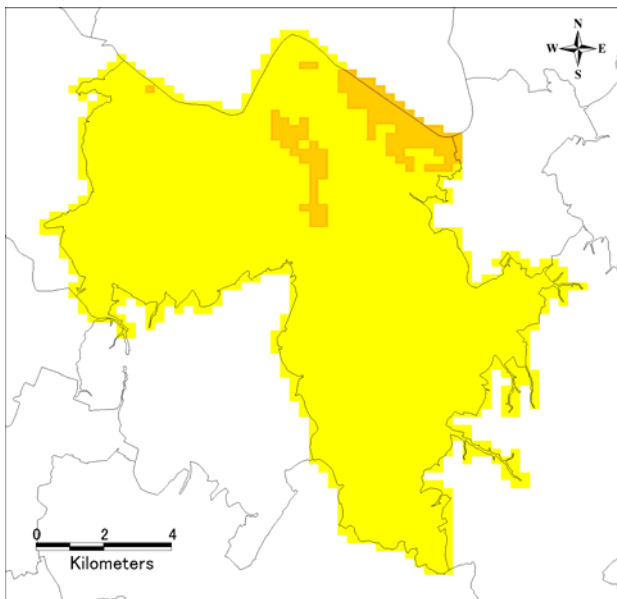
野田市



茂原市



成田市



佐倉市

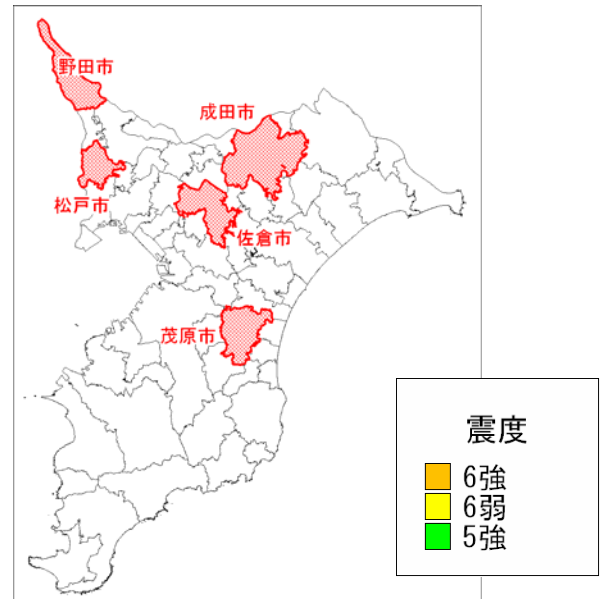
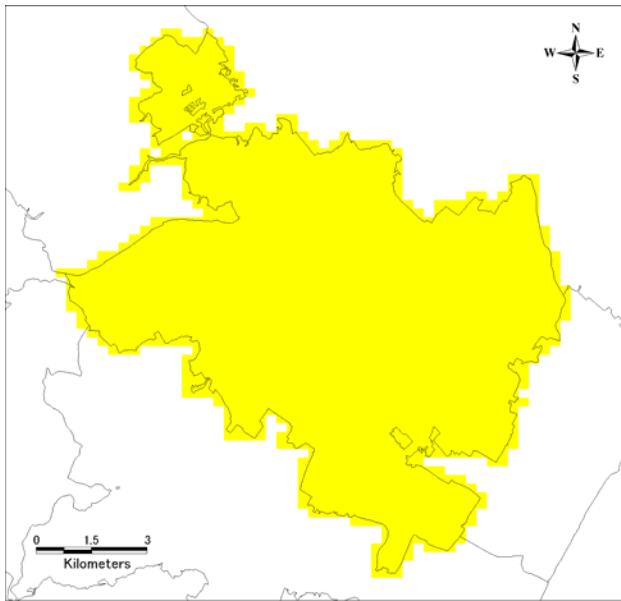
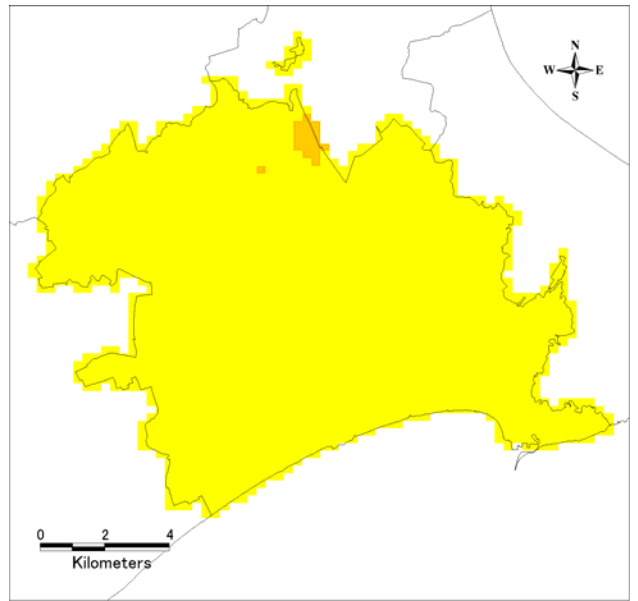


図 4.3-19 (2) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その2

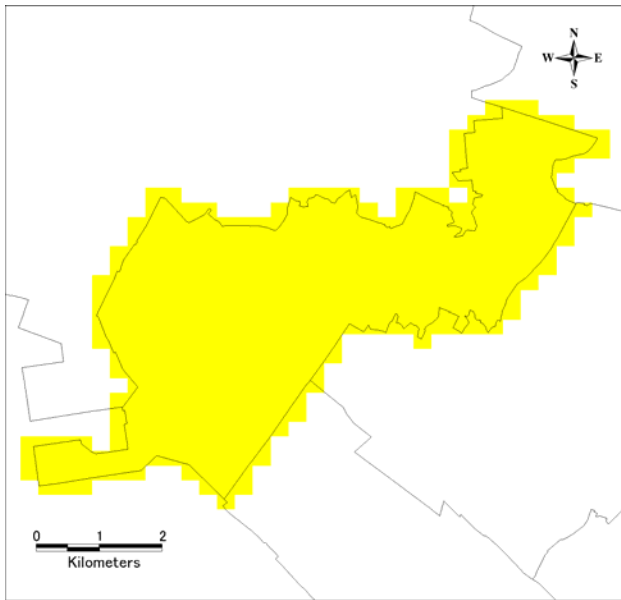




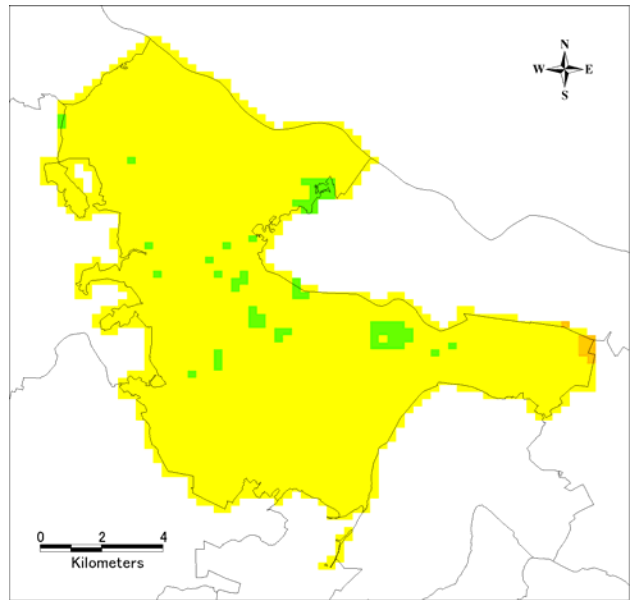
東金市



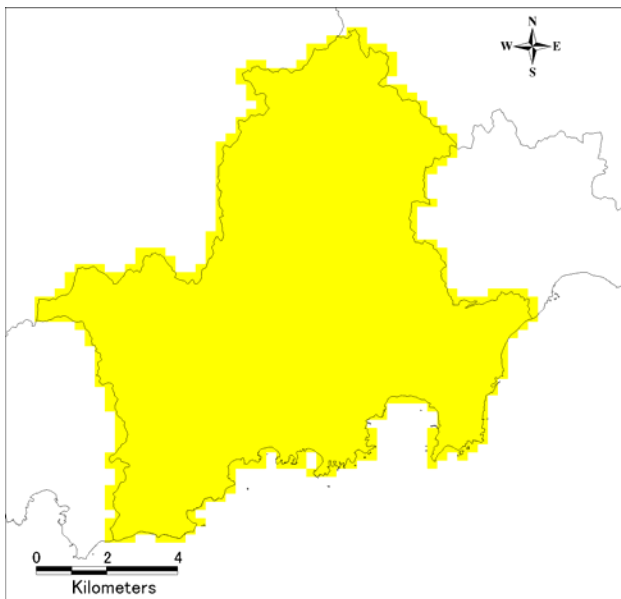
旭市



習志野市



柏市



勝浦市

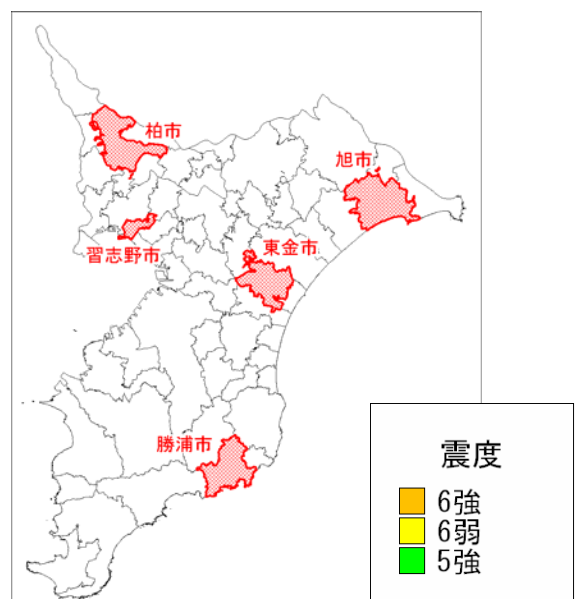
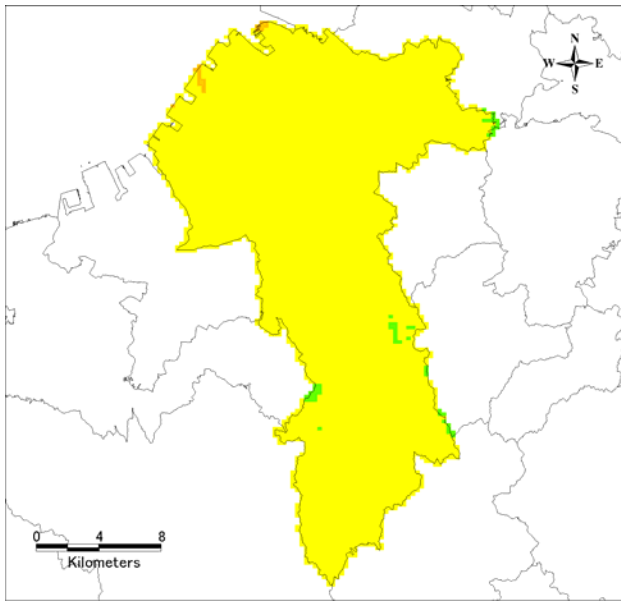
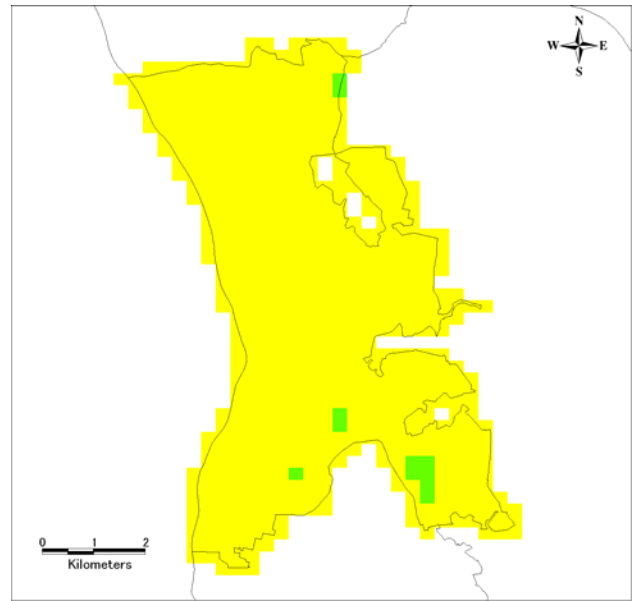


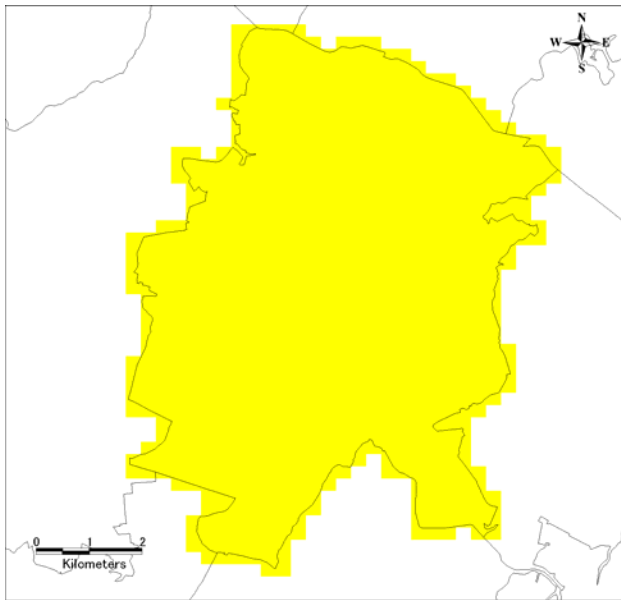
図 4.3-19 (3) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 3



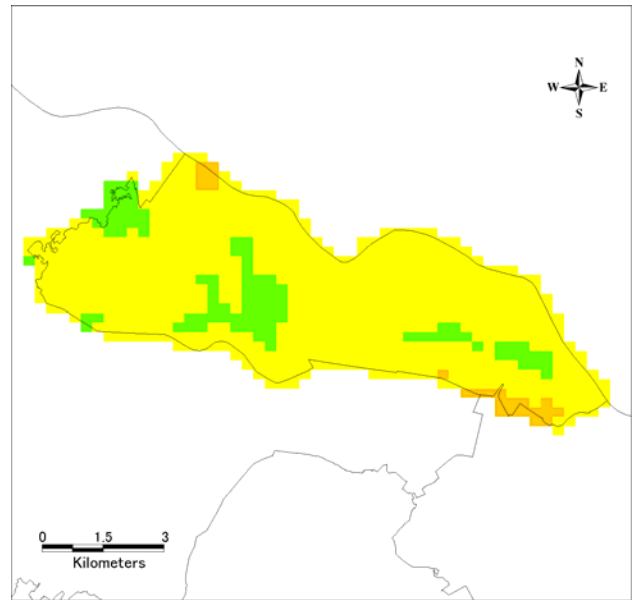
市原市



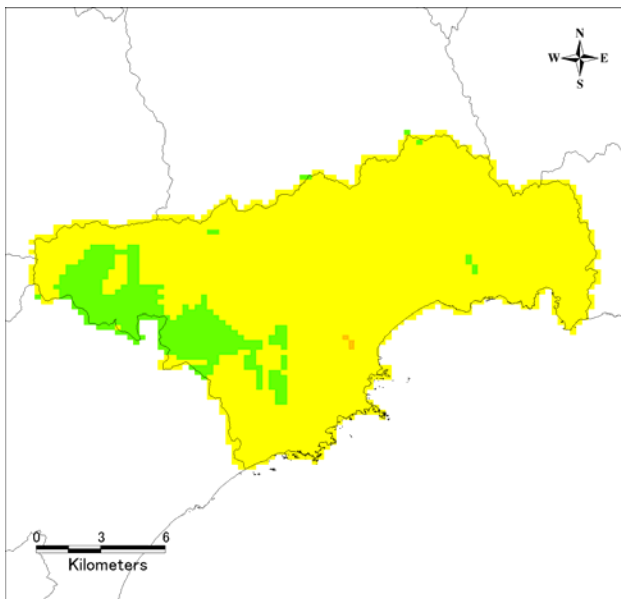
流山市



八千代市



我孫子市



鴨川市

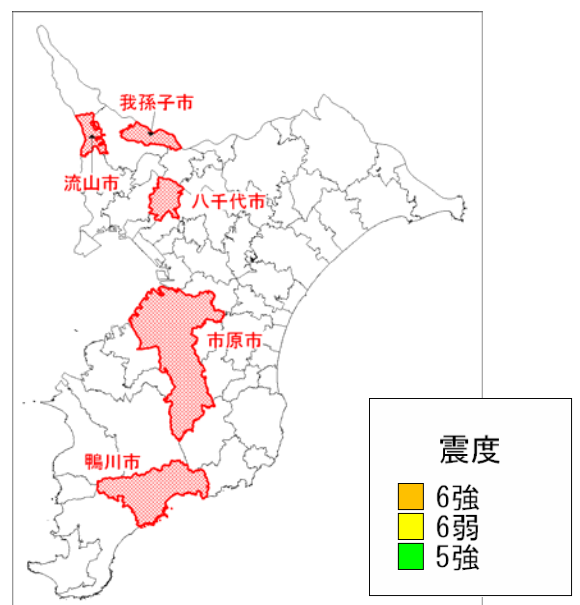
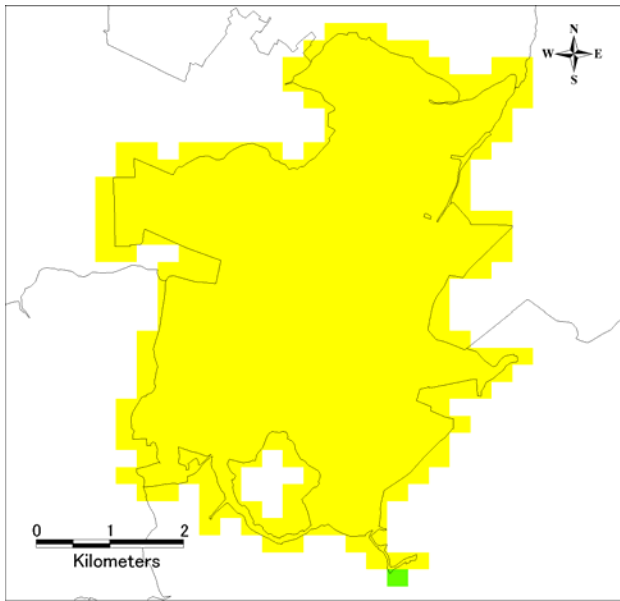
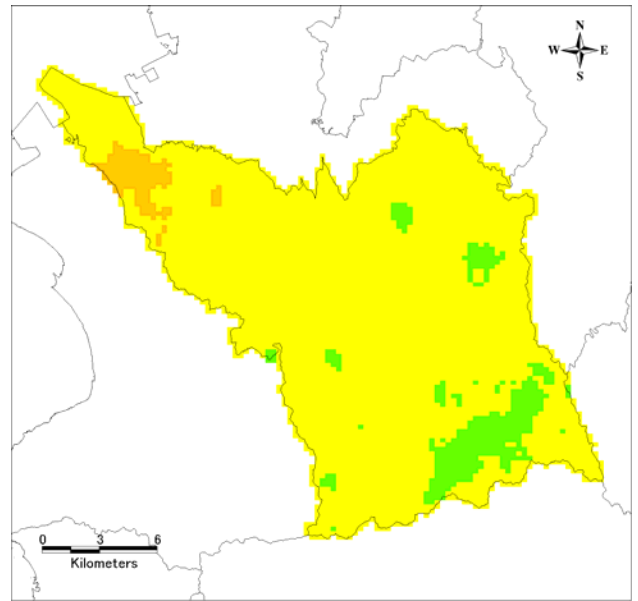


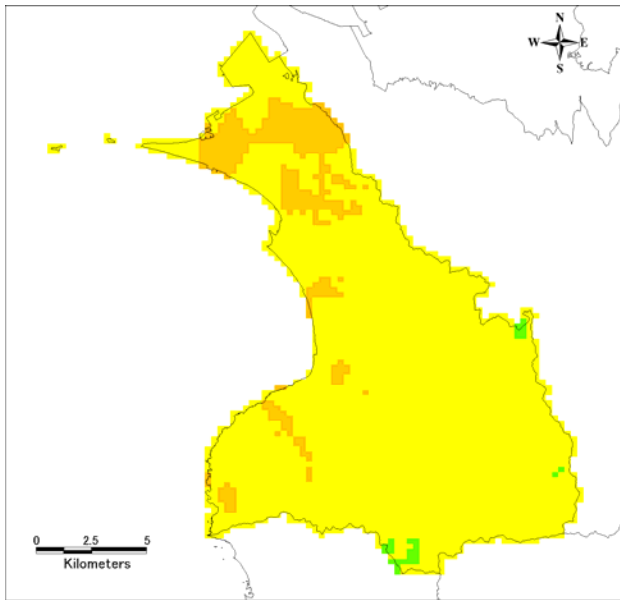
図 4.3-19 (4) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 4



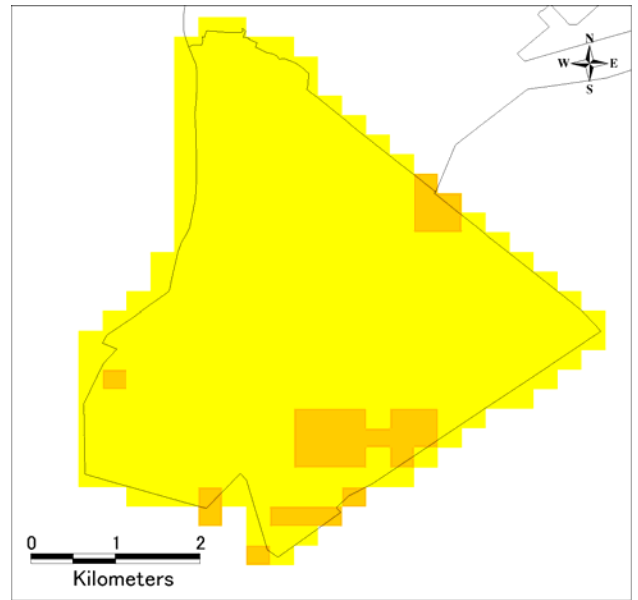
鎌ヶ谷市



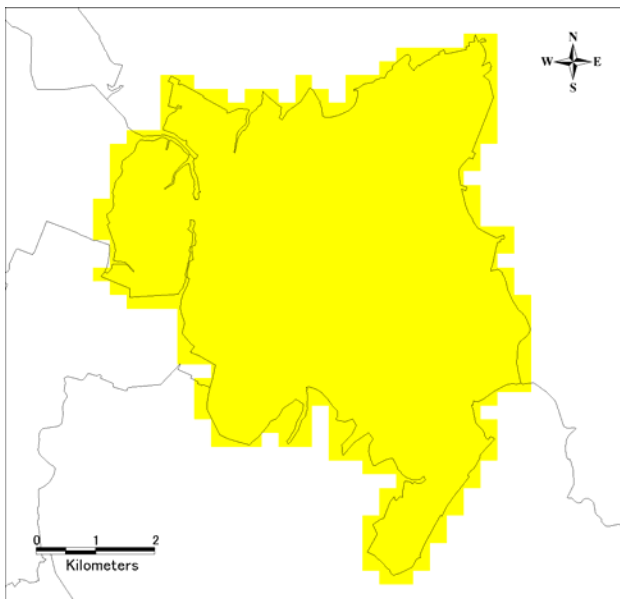
君津市



富津市



浦安市



四街道市

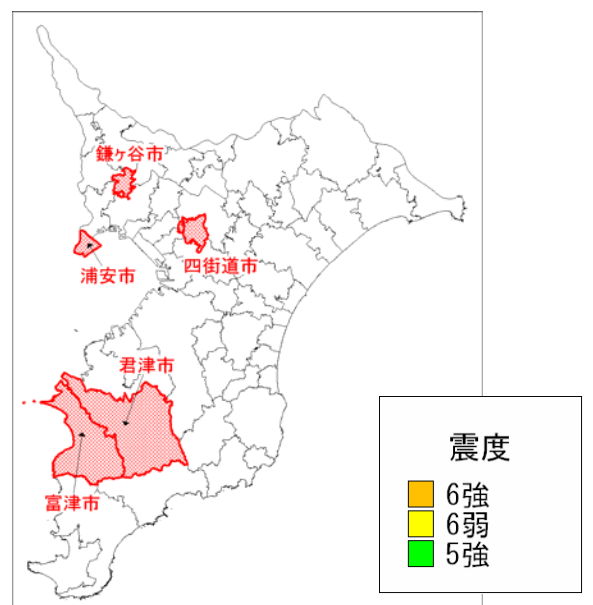
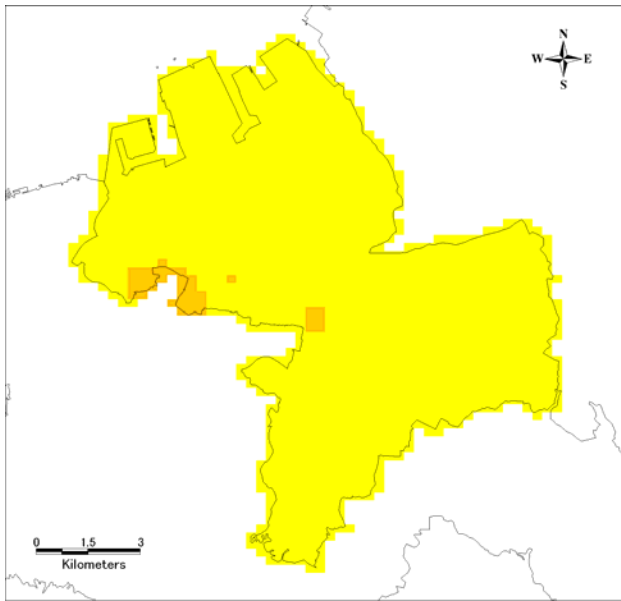
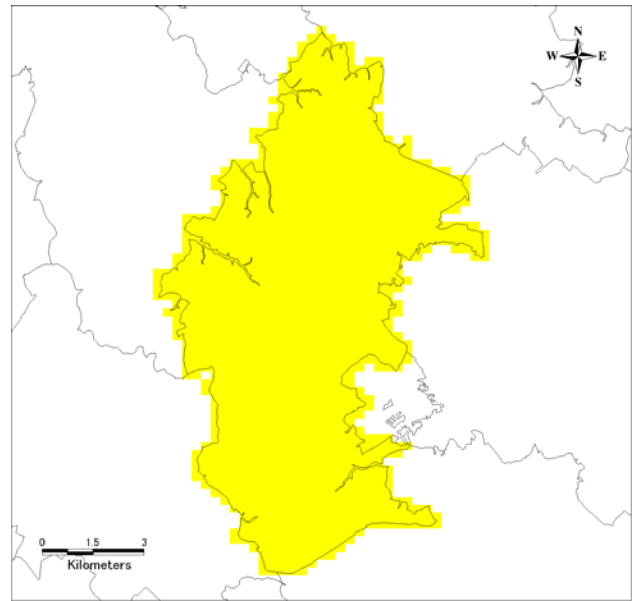


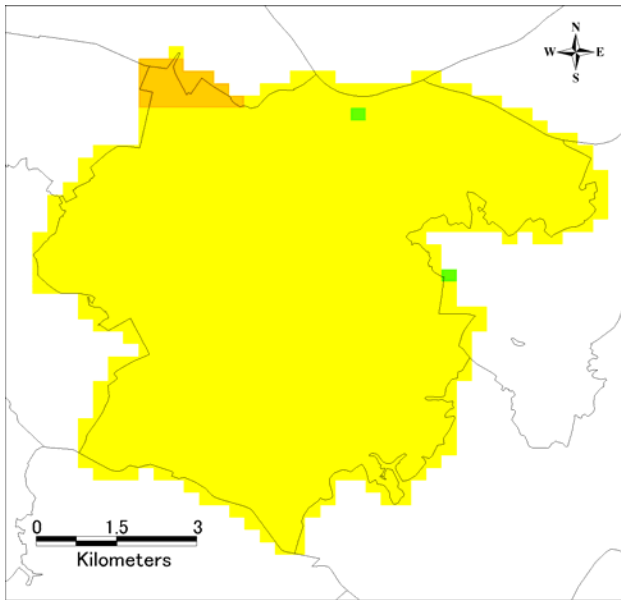
図 4.3-19 (5) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その5



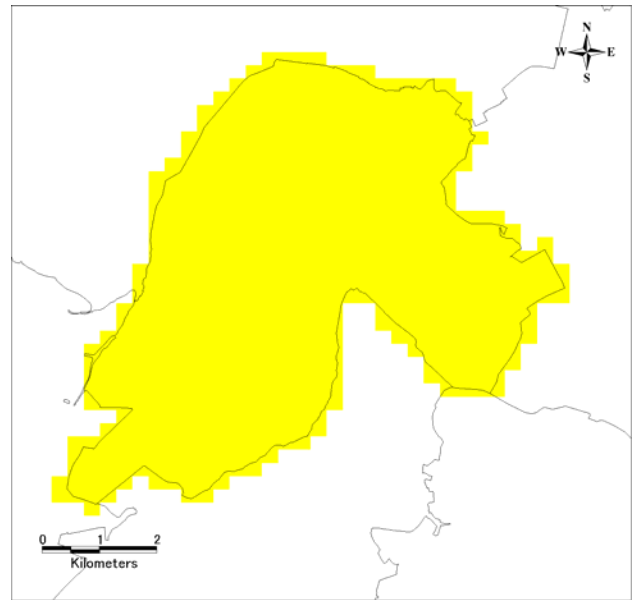
袖ヶ浦市



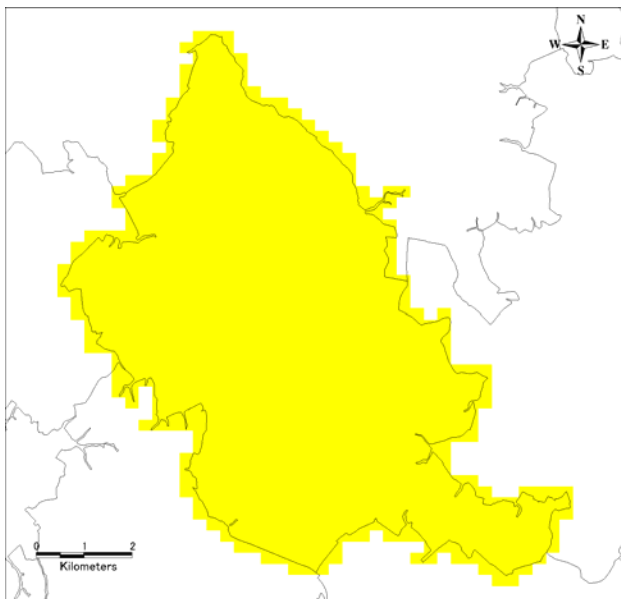
八街市



印西市



白井市



富里市

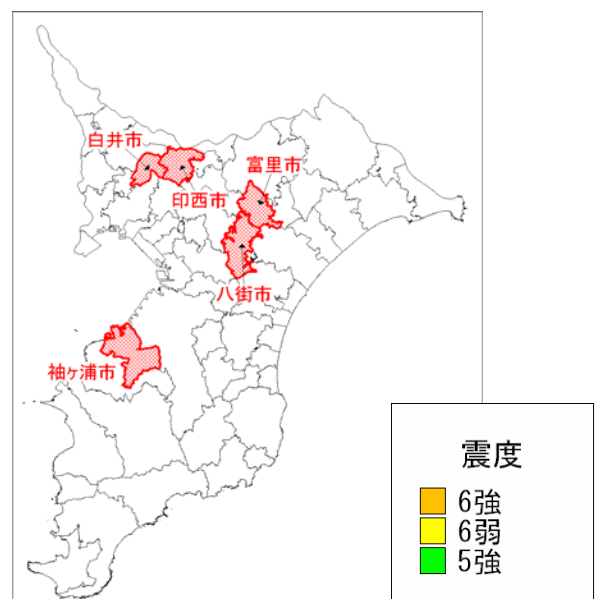
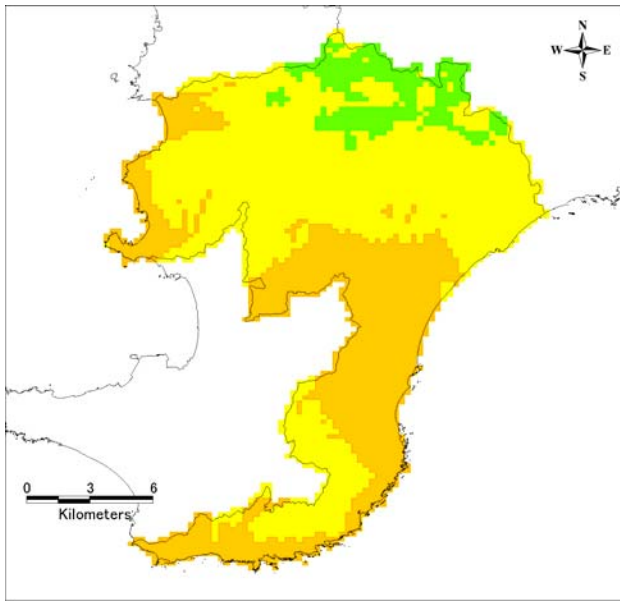
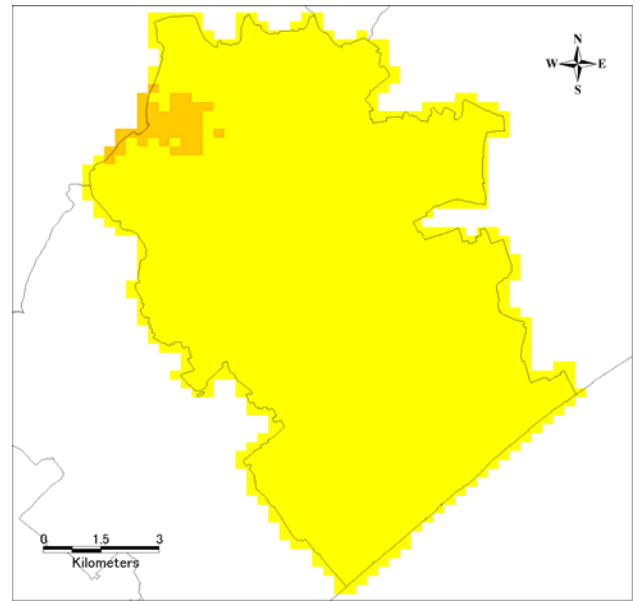


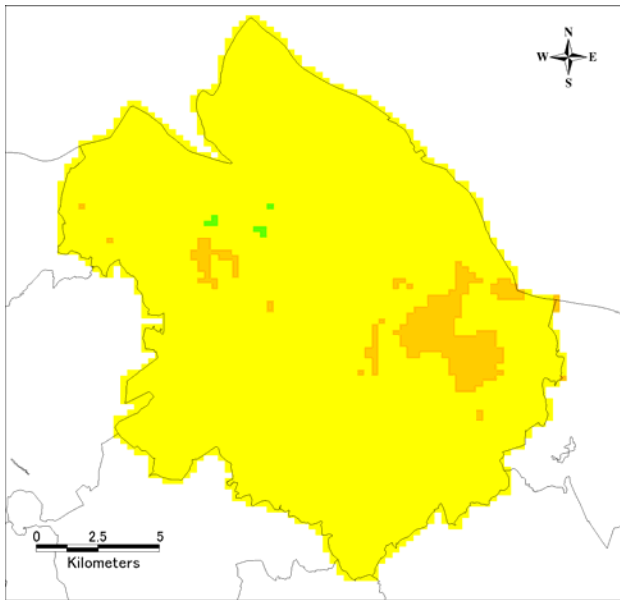
図 4.3-19 (6) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 6



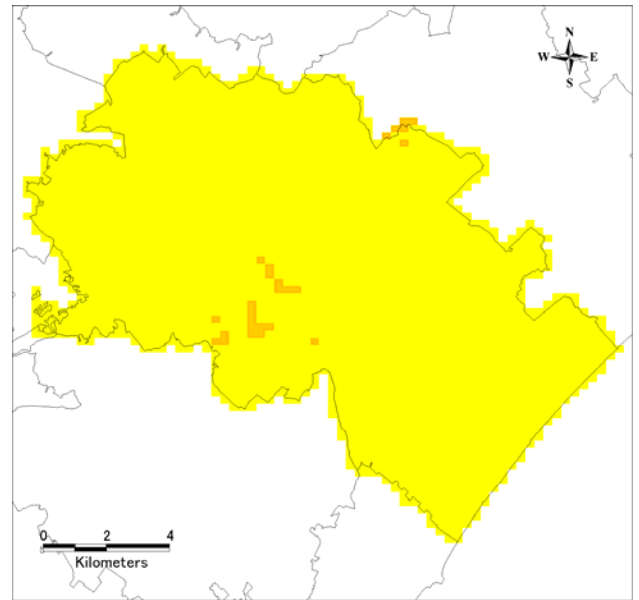
南房総市



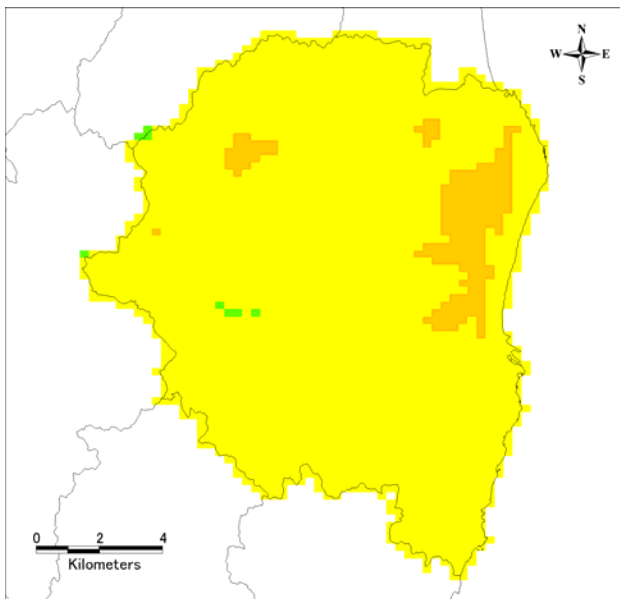
匝瑳市



香取市



山武市



いすみ市

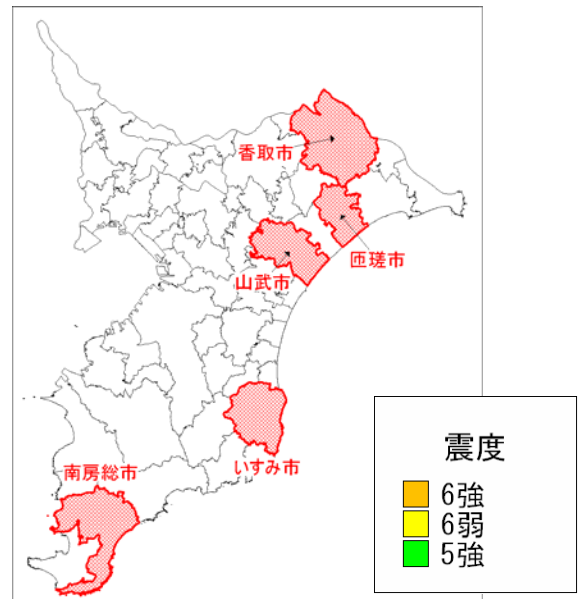
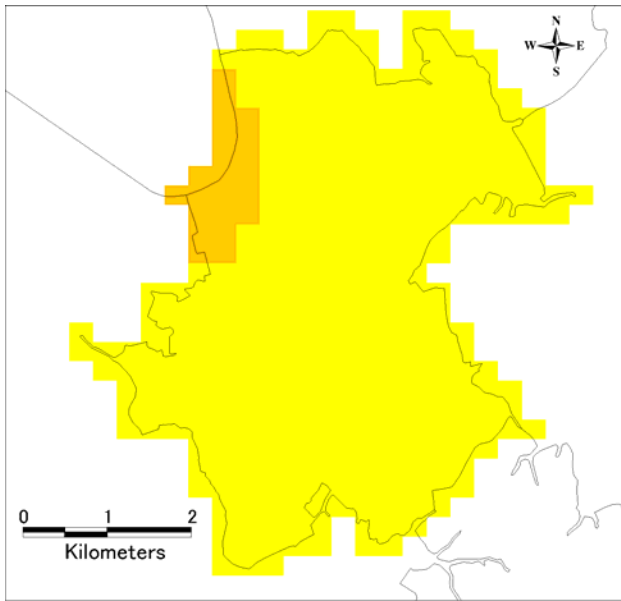
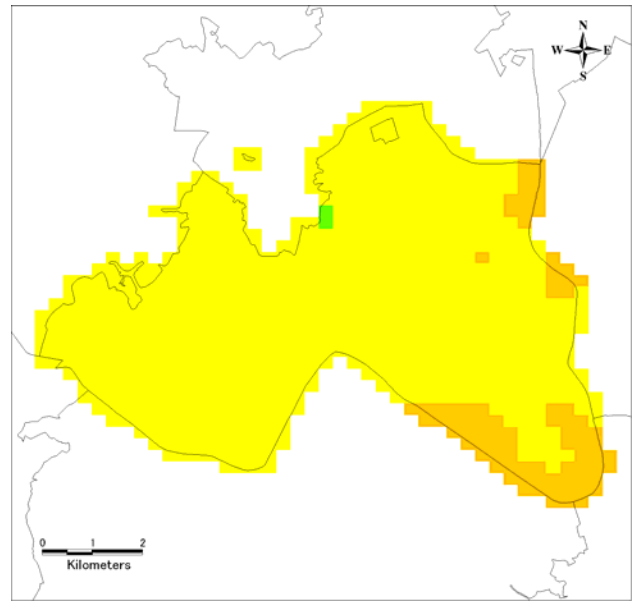


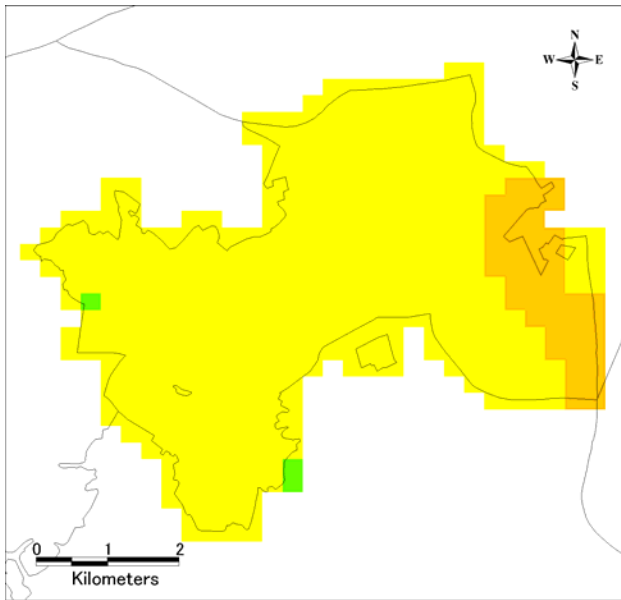
図 4.3-19 (7) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 7



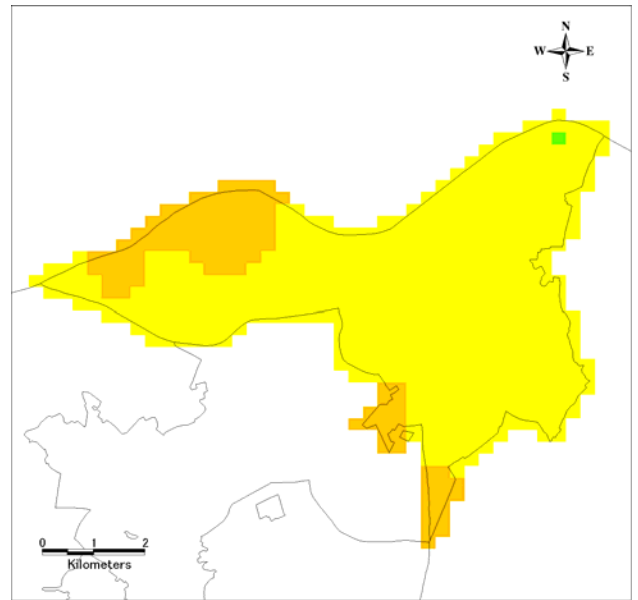
酒々井町



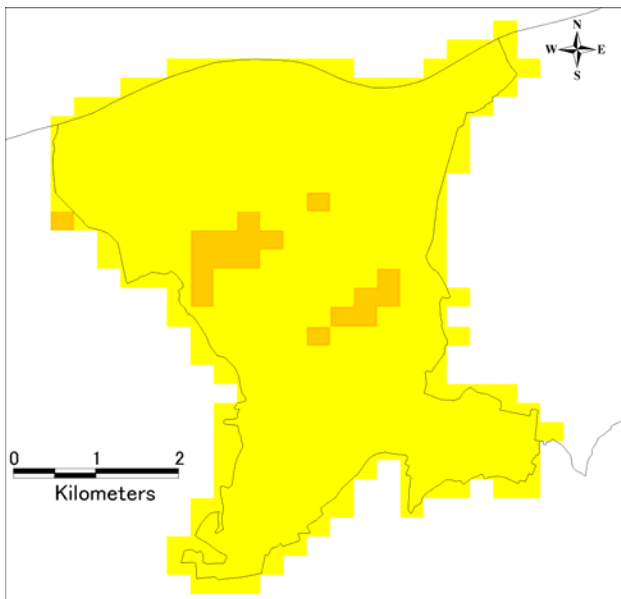
印旛村



本柵村



栄町



神埼町

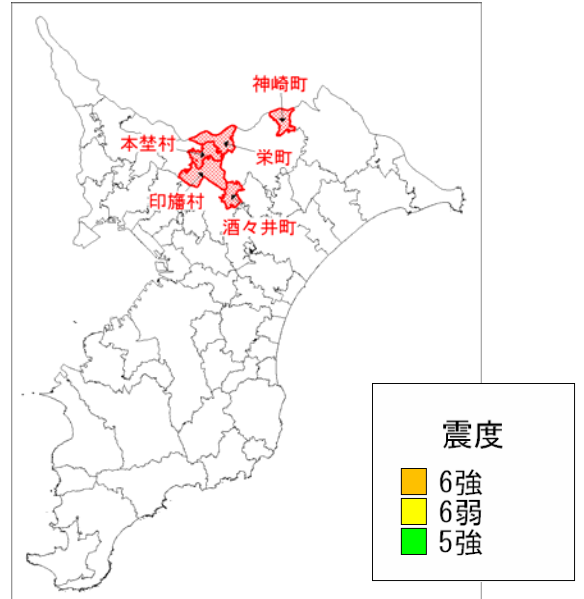
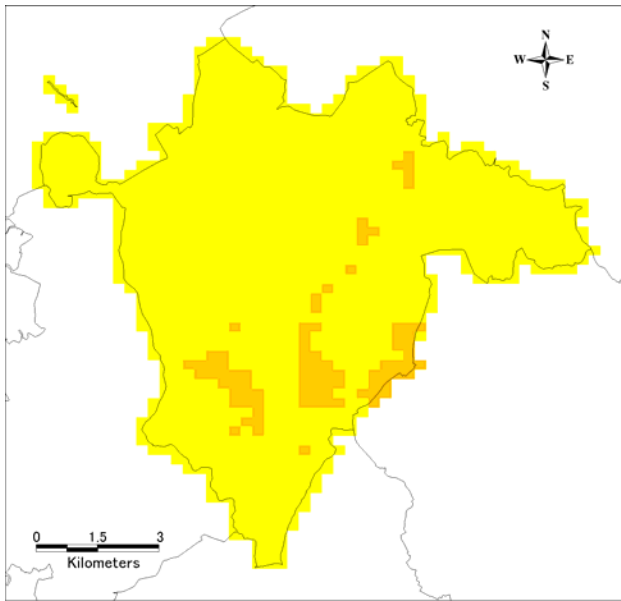
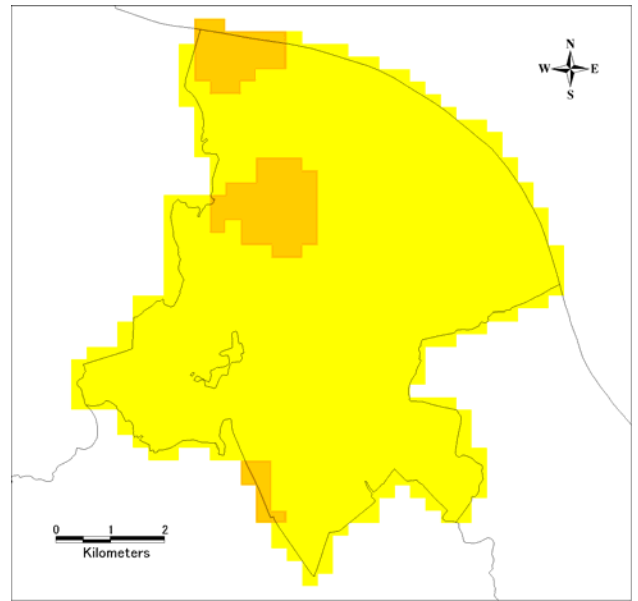


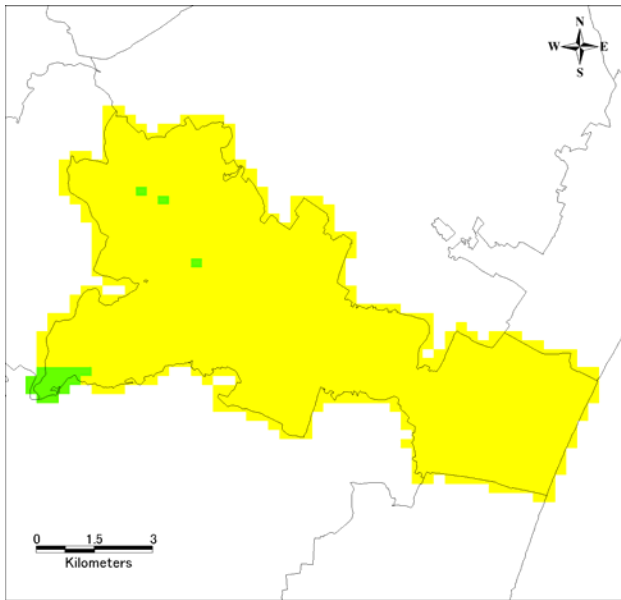
図 4. 3-19 (8) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 8



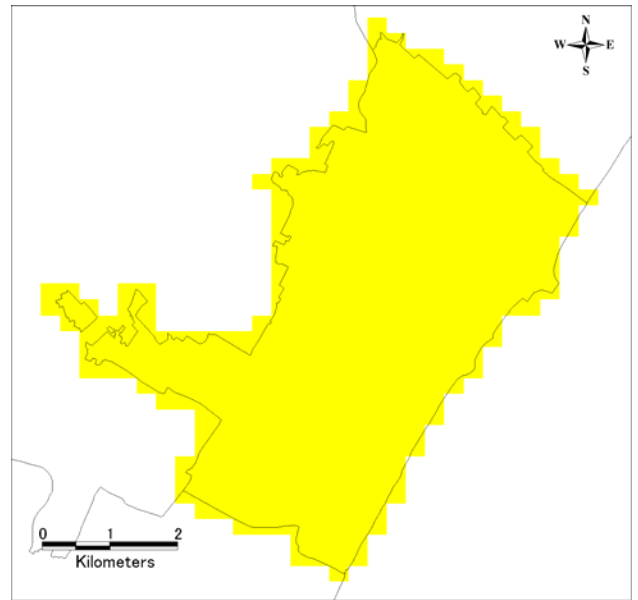
多古町



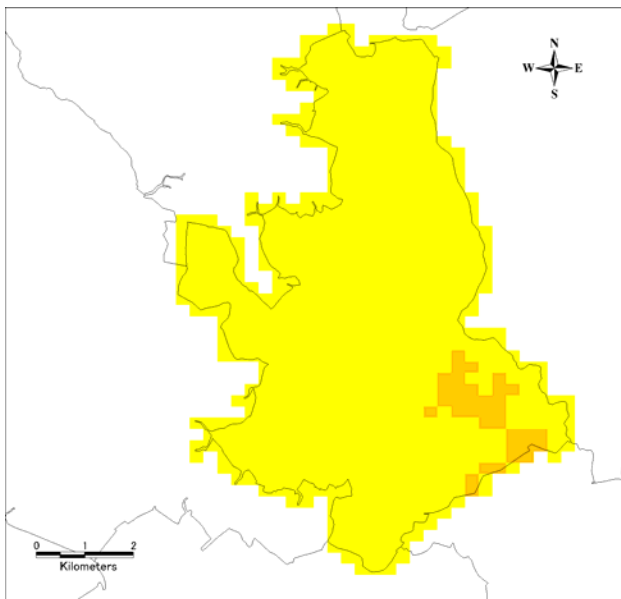
東庄町



大網白里町



九十九里町



芝山町

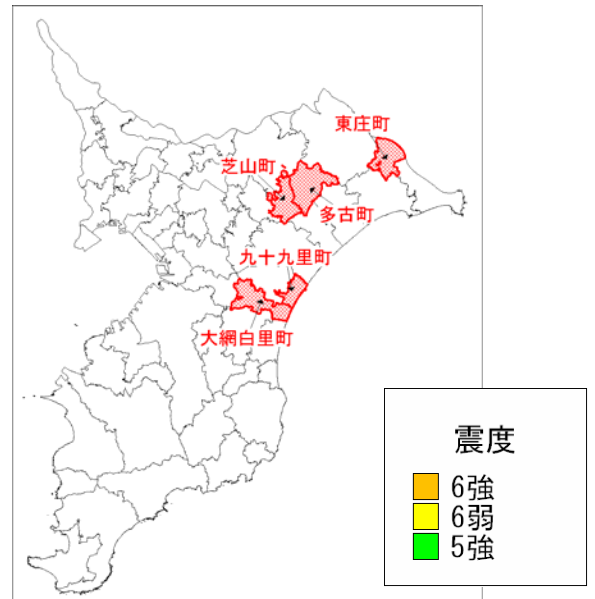
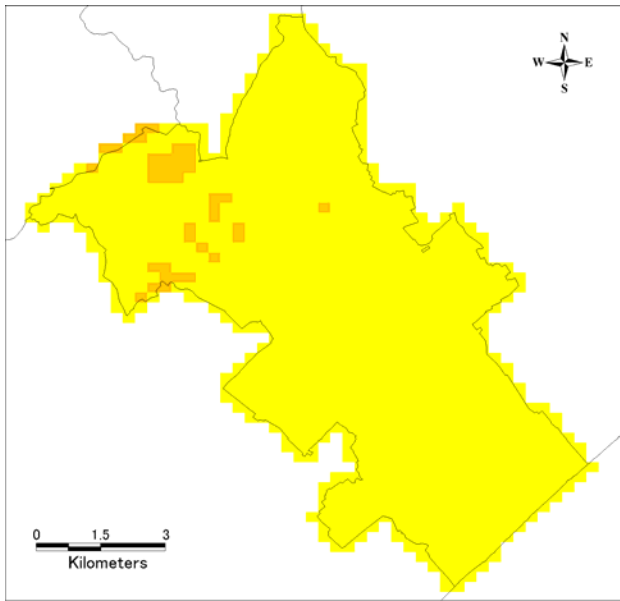
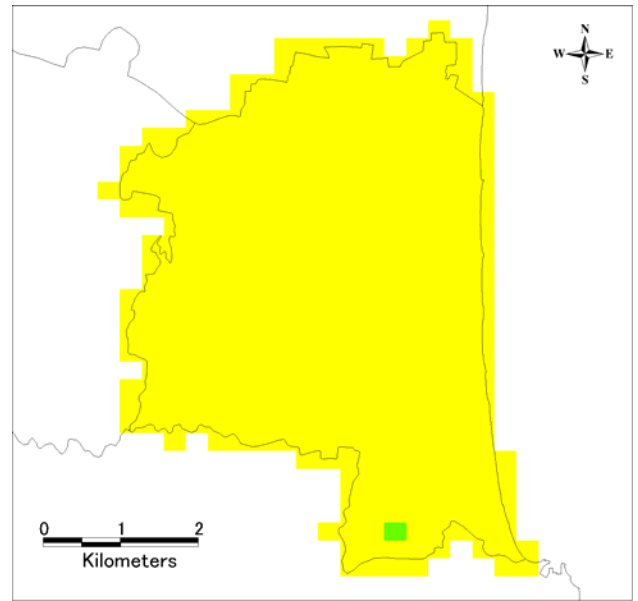


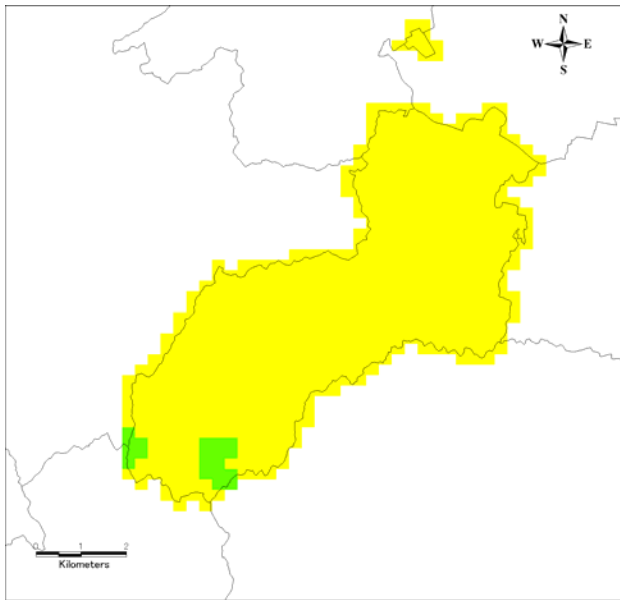
図 4.3-19 (9) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その9



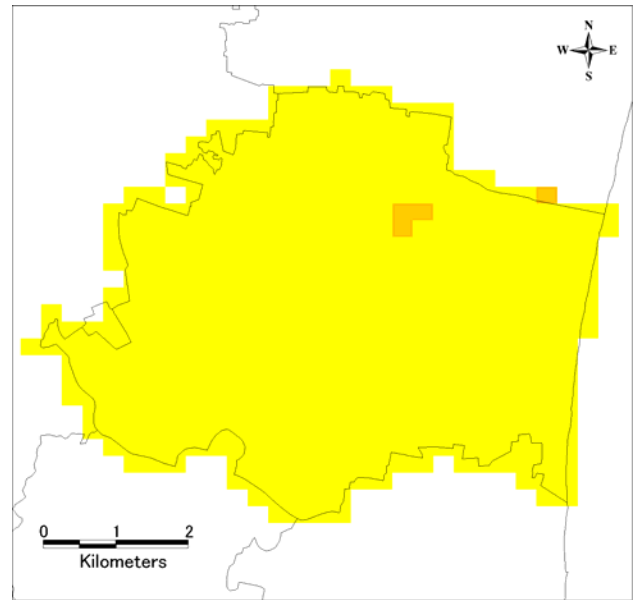
横芝光町



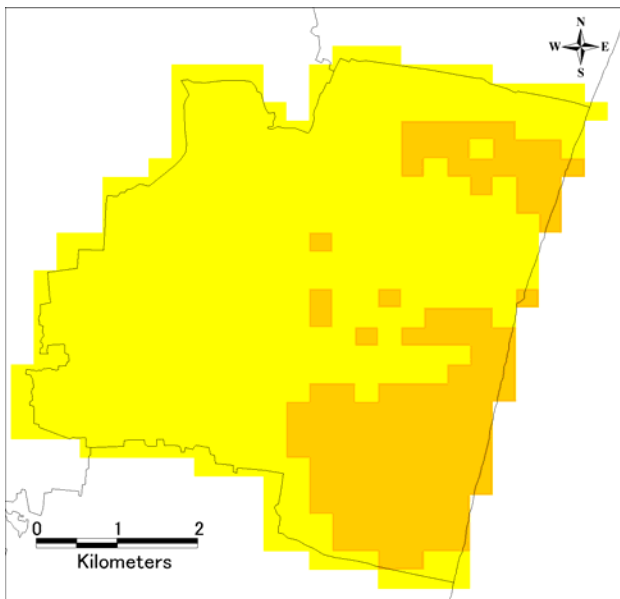
一宮町



睦沢町



長生村



白子町

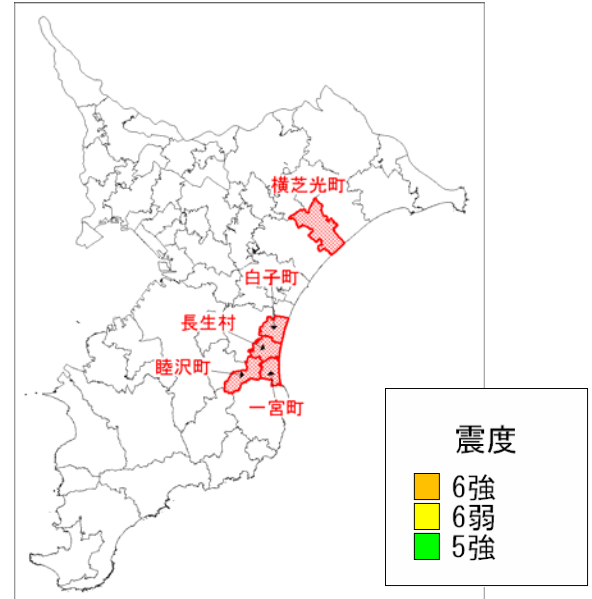
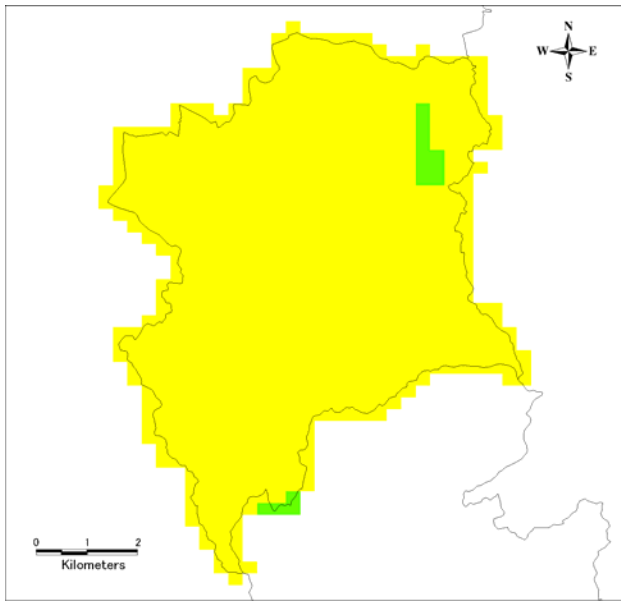
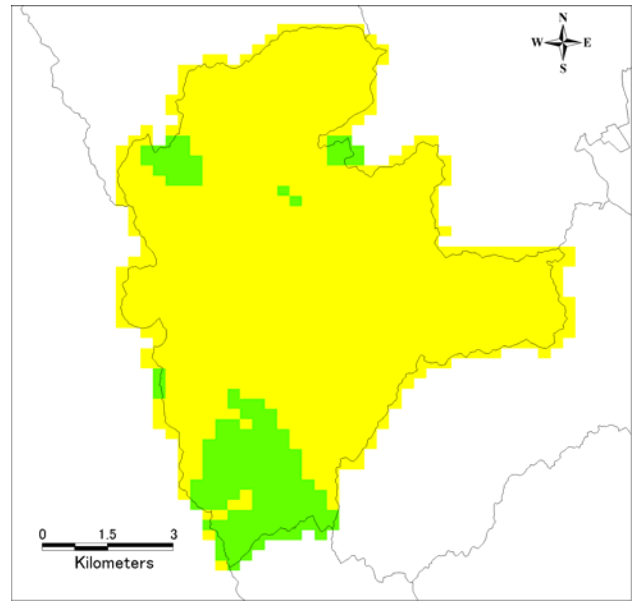


図 4.3-19 (10) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 10

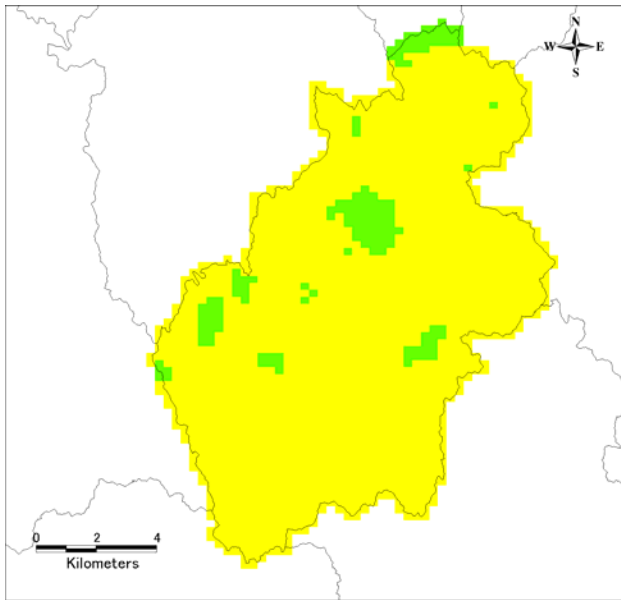




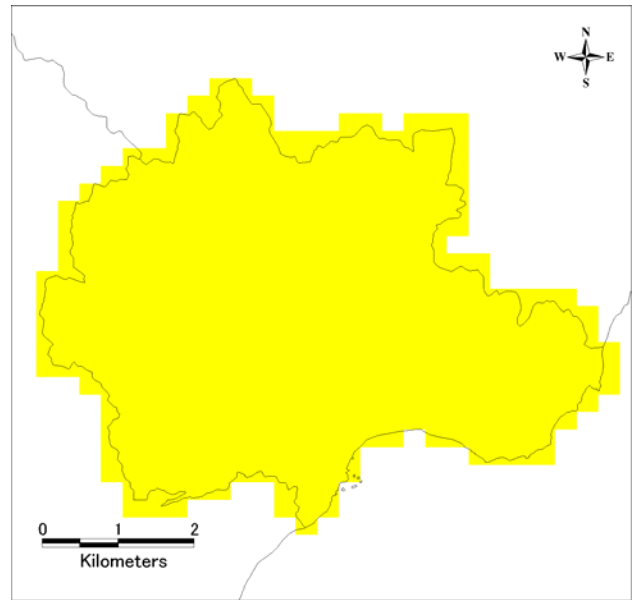
長柄町



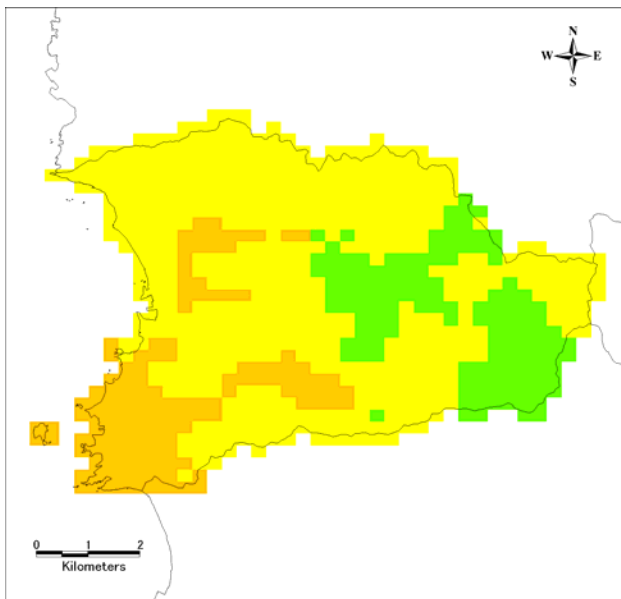
長南町



大多喜町



御宿町



鋸南町

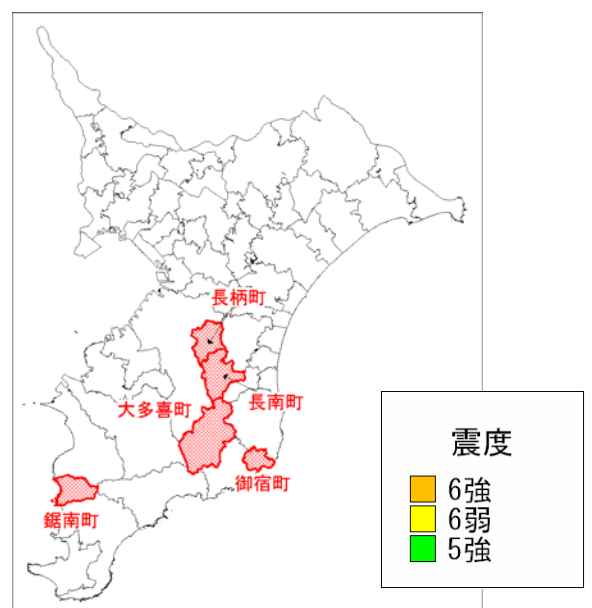


図 4.3-19 (11) 各市町村直下のプレート境界地震の震度分布その 1 1

図 4.3-20 に東京湾北部地震、千葉県東方沖地震、三浦半島断層群による地震および各市町村直下のプレート境界地震の震度マップを重ね合わせて、全ての地震による包括的な揺れの図面を示した。千葉県全域でほぼ 6 弱以上の震度となっている。この結果は、千葉県を含む南関東地域で発生する可能性がほとんどない地震を除き、想定される全ての地震について、それぞれの場所での最大の震度がどの程度になるかを示したものである。

M7 程度の地震が発生する確率が今後 30 年間で 70% という高い確率であることから、千葉県下でどこにおいても M7 程度が発生した場合の最大の震度分布と考えることができる。

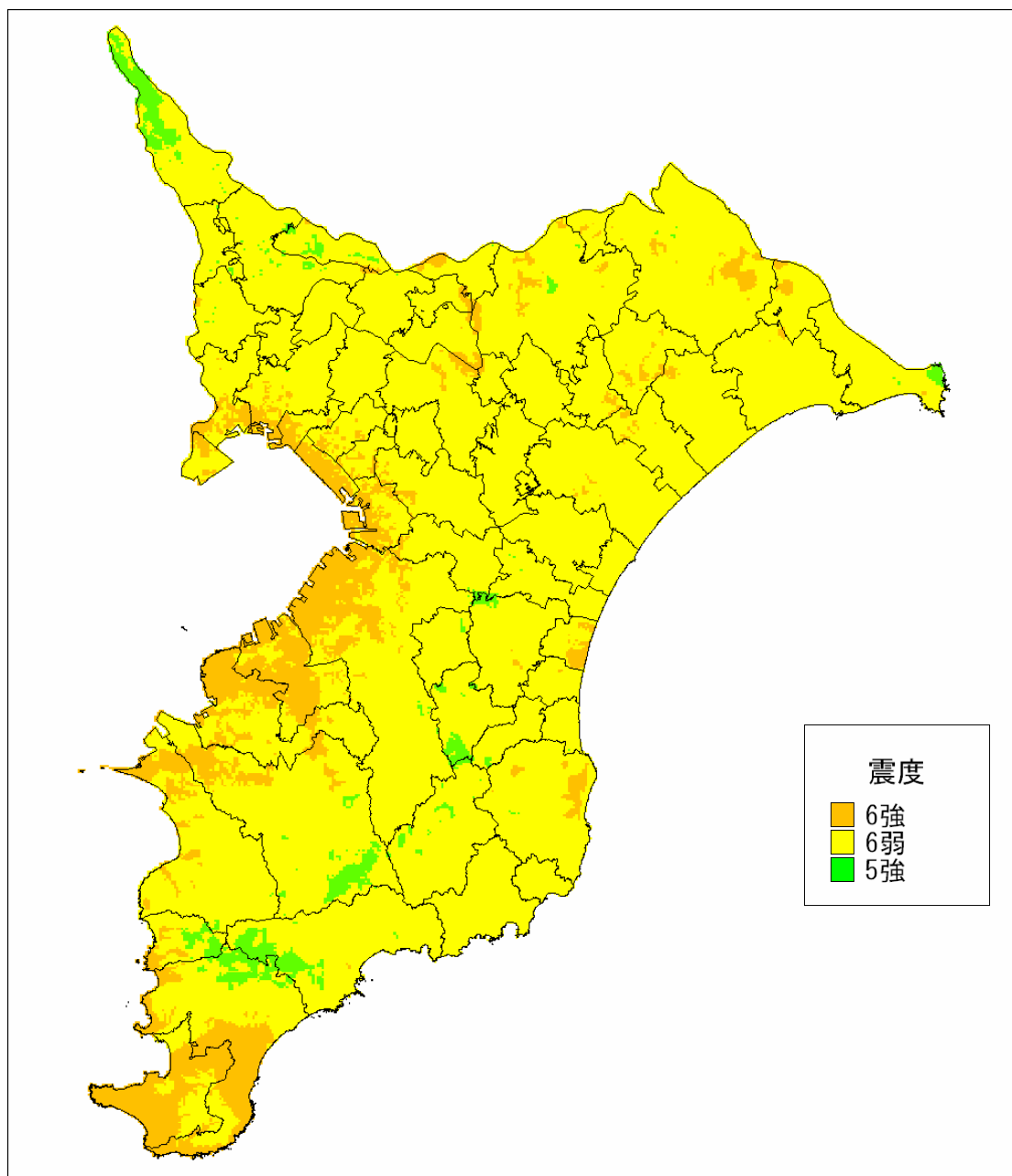


図 4.3-20 すべての地震の掛け合わせ震度分布 250mメッシュ  
(東京湾北部地震・千葉県東方沖地震・三浦半島断層群による地震  
および各市町村直下のプレート境界地震の重ね合わせ)

#### 4.3.5 予防対策用地震動の予測

##### 1) 予測手法

地震基盤上面以深 2km を震源として、距離減衰式により工学的基盤 ( $V_s=400\sim 600\text{m/s}$ ) の最大速度を求めた。その最大速度と表層地盤モデルの AVS30 (深さ 30m までの平均 S 波速度) から求めた表層地盤の増幅率より地表最大速度を算出した。この工学的基盤および地表の最大速度を 4.3.4 節の(3)式を用いて計測震度に変換し、地表と工学的基盤の差をとって工学的基盤から地表への震度増分を求めた。

##### 2) 予測結果

震度増分の分布を揺れやすさの分布として図 4.3-21 に示した。また、浦安～千葉地域の東京湾沿岸部を拡大して図 4.3-22 に示した。この結果は、表層地盤による揺れやすさの程度を示している。表層地盤が軟らかく、軟らかい層が厚いほど、平均 S 波速度が遅く揺れやすくなっている。たとえば浦安市、市川市の東京湾沿岸は埋立地が広がり、かつ軟らかい沖積層が厚く堆積することから揺れやすくなっている。この結果は、今後、各市町村での揺れやすさマップ作成の際に利用する。

また、今回の手法は、中央防災会議で提唱されている揺れやすさマップ作成手法と、基本的には同じ手法である。ただ、中央防災会議の手法は、微地形区分から平均 S 波速度 (AVS30) を算出するようになっていること、また、工学的基盤の速度が  $V_s=700(\text{m/sec})$  と異なっている。

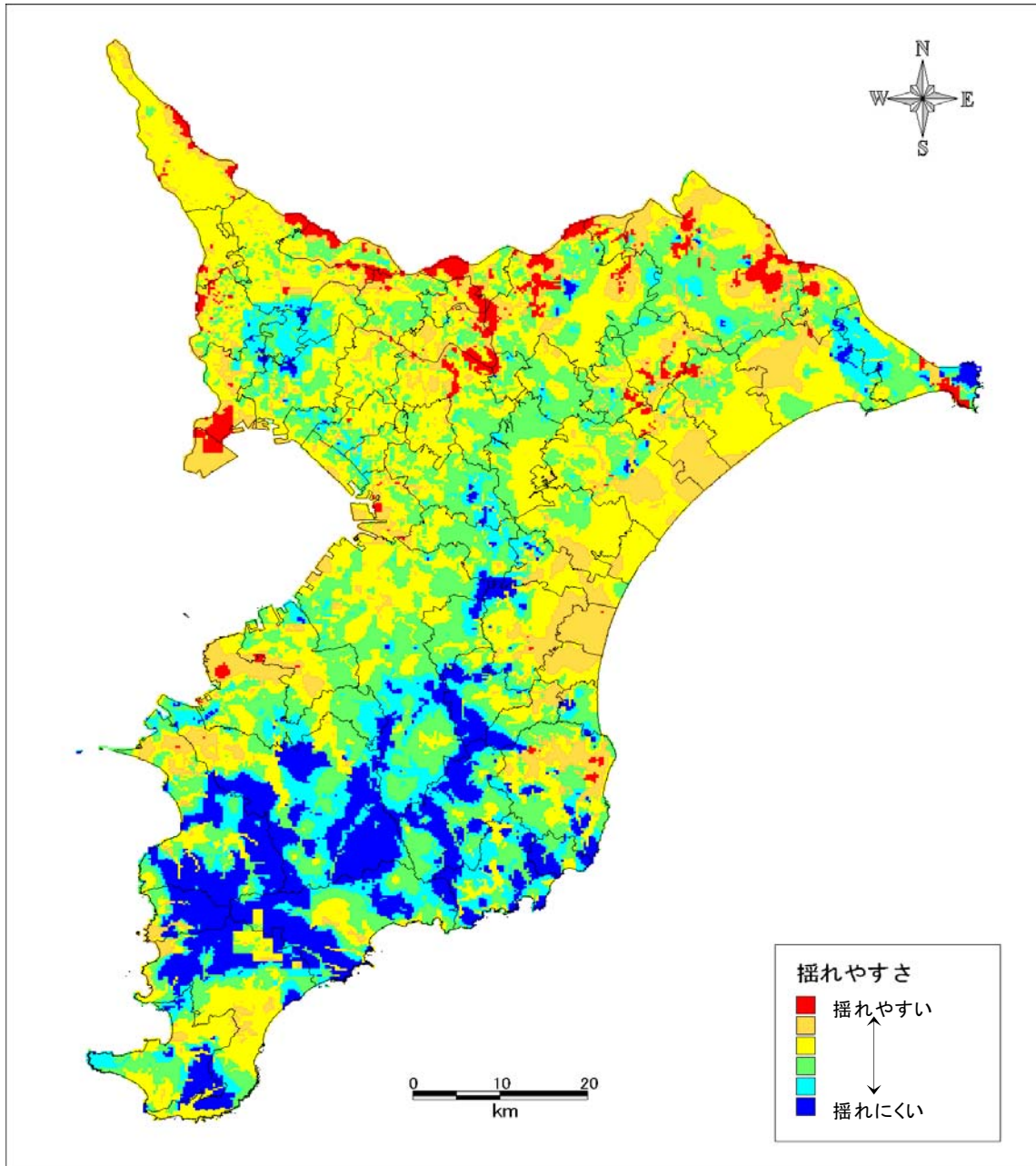


図 4.3-21 揺れやすさマップ  
 (地震基盤以深 2km を震源とした場合で、AVS30 より算出した  
 工学的基盤から地表への震度増分をもとに作成)

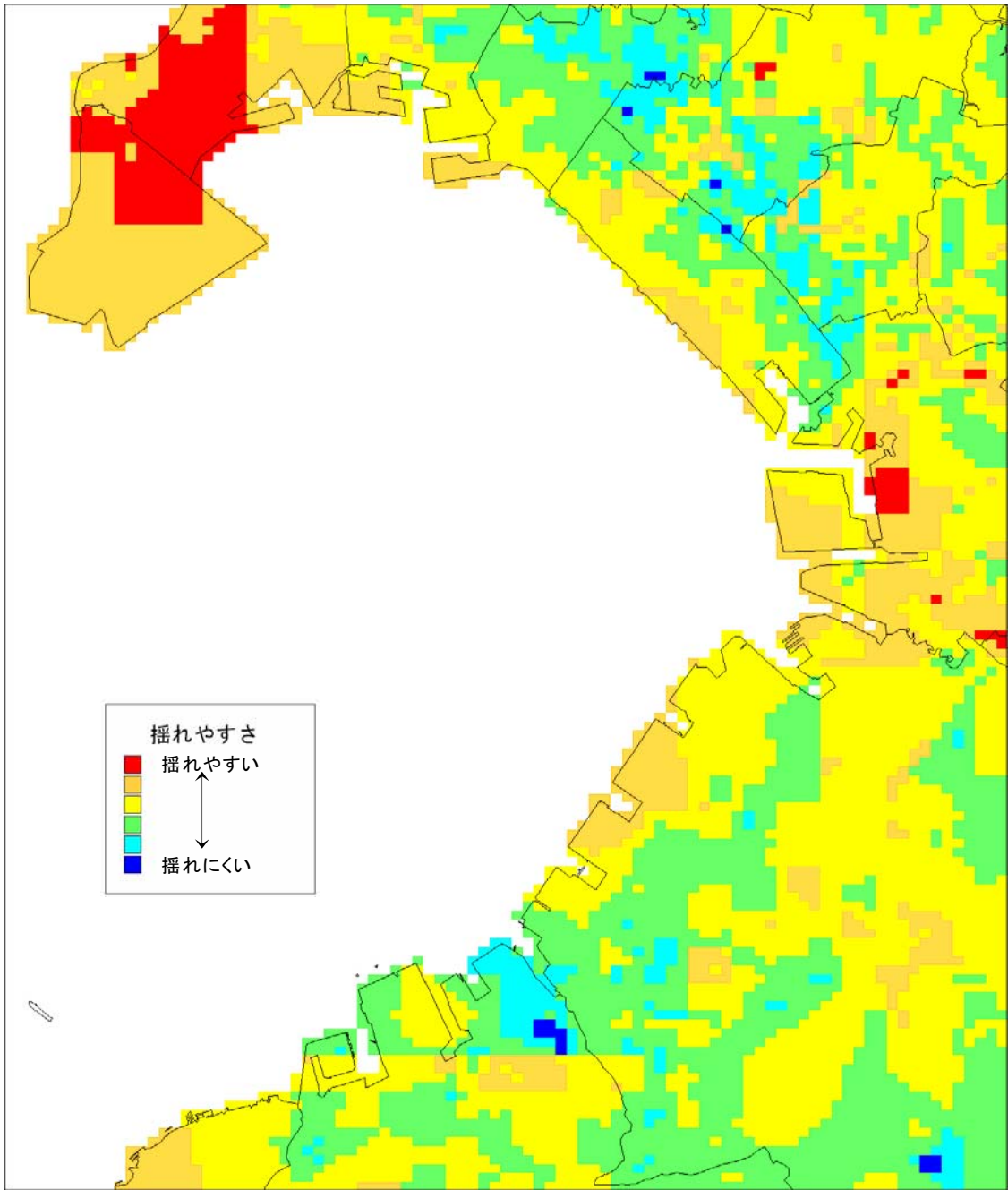


図 4.3-22 揺れやすさマップ (例) 250m メッシュ拡大図