

第4章 想定地震の設定及び地震動の想定

これまでに整理した埼玉県内の地震像についての知見及び構築した地盤モデルをもとに、想定地震を設定し地震動の想定を行った。

まず、地震動の予測手法について4.1節で、想定地震の震源モデルについて4.2節で検討した。次に、これらの手法及び震源を基に、工学的基盤の地震動を4.3節で、地表の地震動を4.4節で算出し、最終的に採用する地震動を決定した。

4.1 予測手法

地震動の予測手法について、近年の地震被害想定に用いられている代表的な予測手法をまとめた。まず、震源から工学的基盤面までの代表的な予測手法を表4.1-1に示す。

表 4.1-1 震源から工学的基盤面までの代表的な予測手法

代表的な予測手法	特徴・制限	出力
経験的グリーン関数法	・地震観測記録をグリーン関数として用いた予測手法 ・震源パラメータが適切であれば、再現性は高い ・予測対象地点の地震観測記録が必要	・時刻歴波形
統計的グリーン関数法	・乱数による人工地震を用いてグリーン関数を作成する予測手法 ・深部地盤構造を1次元の線形計算により評価 ・乱数や深部地盤構造などの計算パラメータの影響を強く受ける	・時刻歴波形
三次元有限差分法	・震源から計算対象地域を一体で数値計算する手法 ・表面波や不整形地盤構造の影響を考慮できる ・短周期まで計算することは精度や計算機の負荷により困難	・時刻歴波形
距離減衰式	・地震動の大きさと震源距離の関係式を用いた予測手法 ・観測記録との整合性は高い ・震源の破壊過程や深部地盤構造を考慮できない	・地震動指標 (PGV,PGAなど) ・応答スペクトル

※PGA：Peak Ground Acceleration の略。地動最大加速度

PGV：Peak Ground Velocity の略。地動最大速度

次に、工学的基盤面から地表面までの代表的な予測手法を表4.1-2に示す。

表 4.1-2 工学的基盤面から地表面までの代表的な予測手法

代表的な予測手法	特徴・制限	出力
線形解析法	・1次元の重複反射理論により地震動の地盤増幅を計算する手法 ・地盤の非線形性を考慮できない	・時刻歴波形
等価線形解析法	・線形理論を基に非線形性を等価な線形に置き換えて評価する手法 ・材料特性は動的変形曲線により評価する ・ひずみレベルが大きくなると精度は低下する	・時刻歴波形
逐次非線形解析法	・時刻歴で非線形性を評価する方法 ・材料特性は数学モデルや力学モデルで表現する ・精度は高いが、入力パラメータの設定の妥当性検証が困難	・時刻歴波形
表層地盤増幅の経験式	・地表30m平均S波速度(AVS30)などの地表地盤の指標と速度増幅度や震度増分との関係式を用いて地盤増幅度を評価する手法	・地震動指標(計測震度、PGV,PGAなど)

今回の想定では、震源から工学的基盤面までについては統計的グリーン関数法で評価した上で、工学的基盤面から地表面までを線形解析法で評価し、震度分布を決定することとした。図 4.1-1 に地震動予測の概念図を示す。

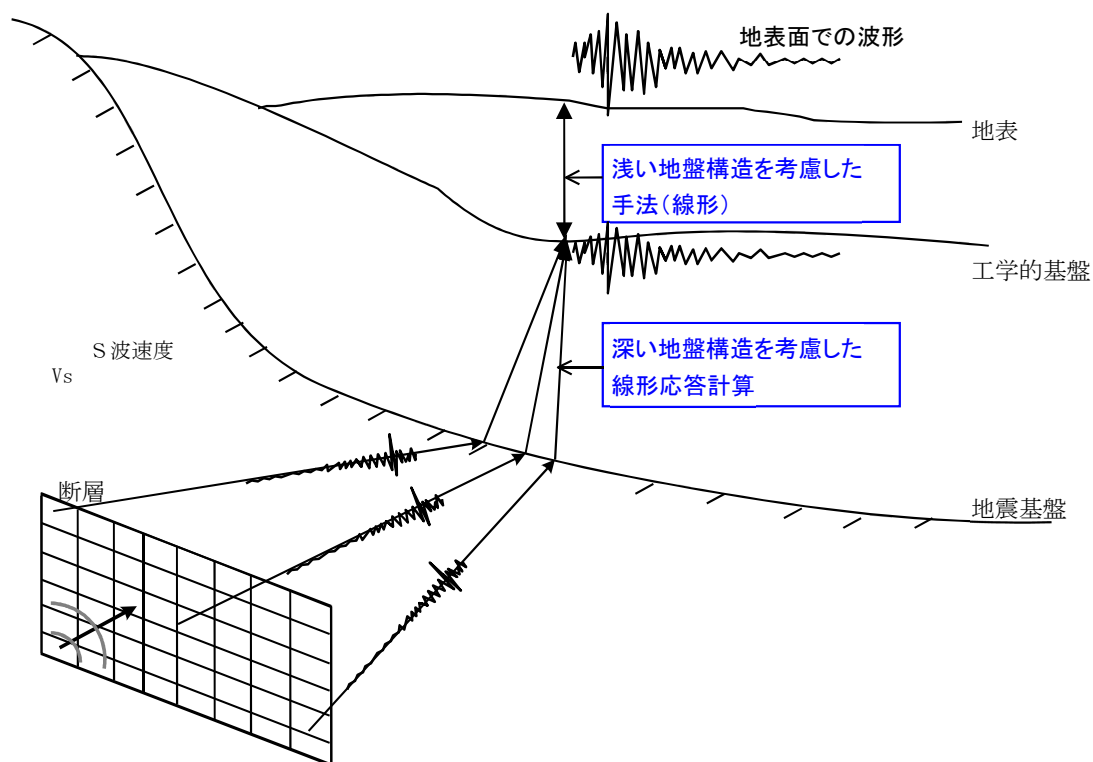


図 4.1-1 地震動予測の概念図

4.2 震源モデル

2.1 節で設定した今回想定における想定地震について、強震動予測のための震源モデルを検討した。表 4.2-1 に、今回想定の対象地震の震源モデルに関して、参考とする震源モデル、地震規模、破壊開始点によるケース数をまとめた。前回想定についても併せて示す。

表 4.2-1 想定地震

今回の想定				前回の想定		
想定地震名	震源モデル	地震規模	破壊開始点	想定地震名	震源モデル	地震規模
東京湾北部地震	中央防災会議 (2004)に準じる	M7.3(Mw7.3)		東京湾北部地震	中央防災会議 (2004)に準じる	M7.3(Mw7.3)
茨城県南部地震				茨城県南部地震		
相模トラフ沿いのM8 クラスの地震 (元禄型関東地震)	東京都(2012) に準じる	M8.2(Mw8.2)		深谷断層の地震		M7.5(Mw7.13)
				綾瀬川断層の地震		M6.9(Mw6.60)
				立川断層の地震		M7.3(Mw7.0)
関東平野北西縁 断層帯地震	地震本部 (2009)に準じる	M8.1(Mw7.4)	3ケース			
立川断層帯地震		M7.4(Mw6.8)	2ケース			

今回想定した地震の震源断層を図 4.2-1 (1)、(2) に示す。設定条件及び特徴は、以下の通りである。

- ① 東京湾北部地震及び茨城県南部地震：最新の知見によるフィリピン海プレートの上面深さ（図 4.2-2）を反映した。震源の詳細については中央防災会議（2004）¹を基に設定した。東京湾北部地震の震源位置、深さ分布を図 4.2-3～4 に、茨城県南部地震の震源位置、深さ分布を図 4.2-5～6 に示す。震源パラメータを表 4.2-2 に示す。震源の破壊形態は、中央防災会議（2004）を参考に、破壊開始点をアスペリティごとに設けるマルチハイポセンターとした。なお、茨城県南部地震の破壊開始点については、埼玉県側で被害が大きくなるように設定した。
- ② 元禄型関東地震：東京都（2012）²に準じて設定した。震源位置、深さ分布を図 4.2-7～8 に、震源パラメータを表 4.2-3 に示す。震源の破壊形態は地震本部（2009）を参考に、同心円状破壊とした。
- ③ 関東平野北西縁断層帯地震：地震本部（2009）³による知見に基づき、前回の想定では深谷断層による地震及び綾瀬川断層による地震として別々に想定していたものを一括して関東平野北西縁断層帯地震として扱うとともに、断層の北端を群馬県側に延長した。震源位置及び鉛直断面を関東平野北西縁断層帯地震については図 4.2-9～10 に示す。また、震源パラメータについては表 4.2-4 にそれぞれ示す。震源の破壊形態は地震本部（2009）を参考に、同心円状破壊とした。
- ④ 立川断層帯地震：地震本部（2009）を基に設定した。図 4.2-11～12 にそれぞれ示す。また、震源パラメータについては表 4.2-5 に示す。震源の破壊形態は地震本部（2009）を参考に、同心円状破壊とした。

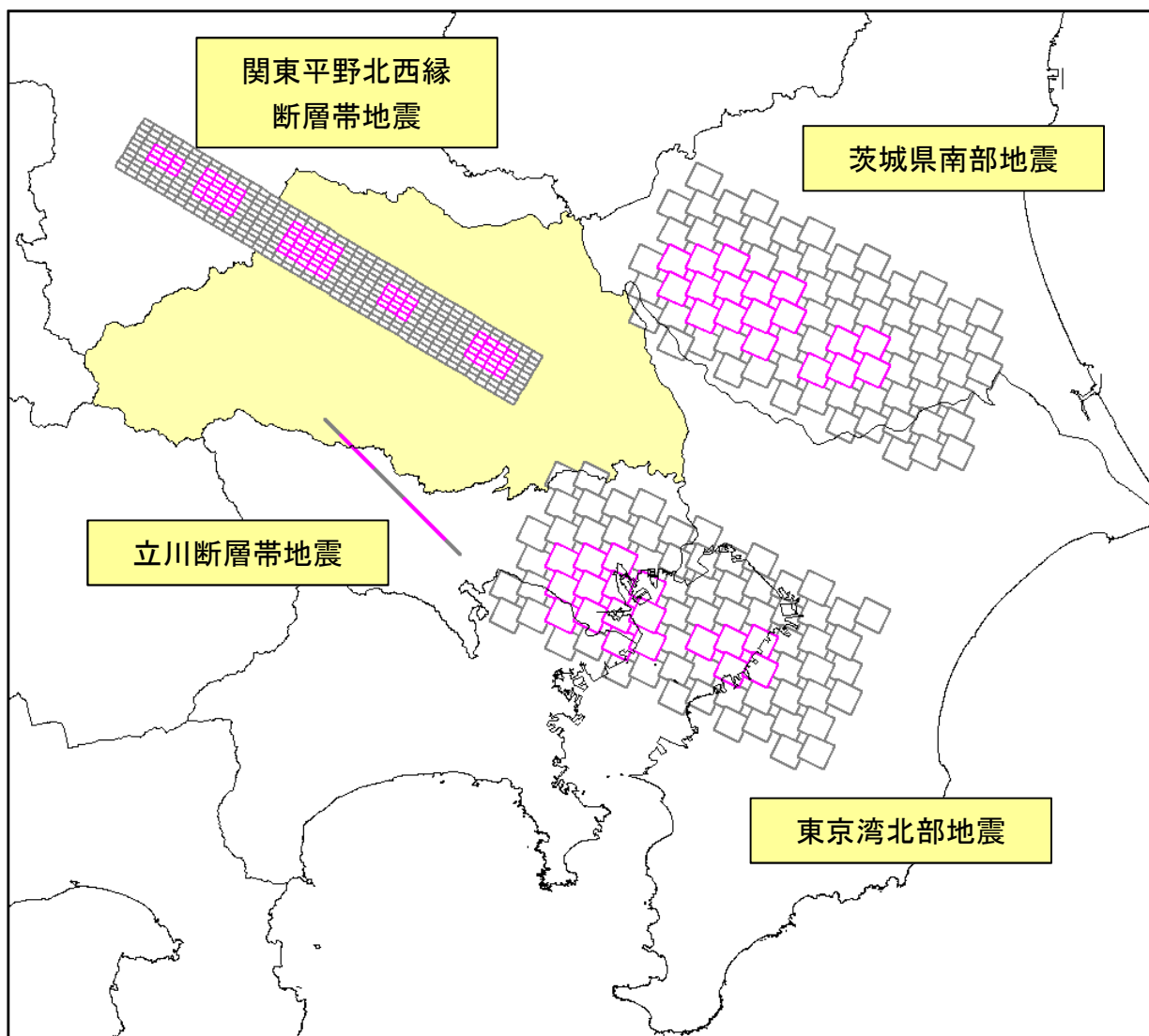


図 4.2-1(1) 今回の想定地震の震源位置図 (1)
(赤色の部分はアスペリティを示す)

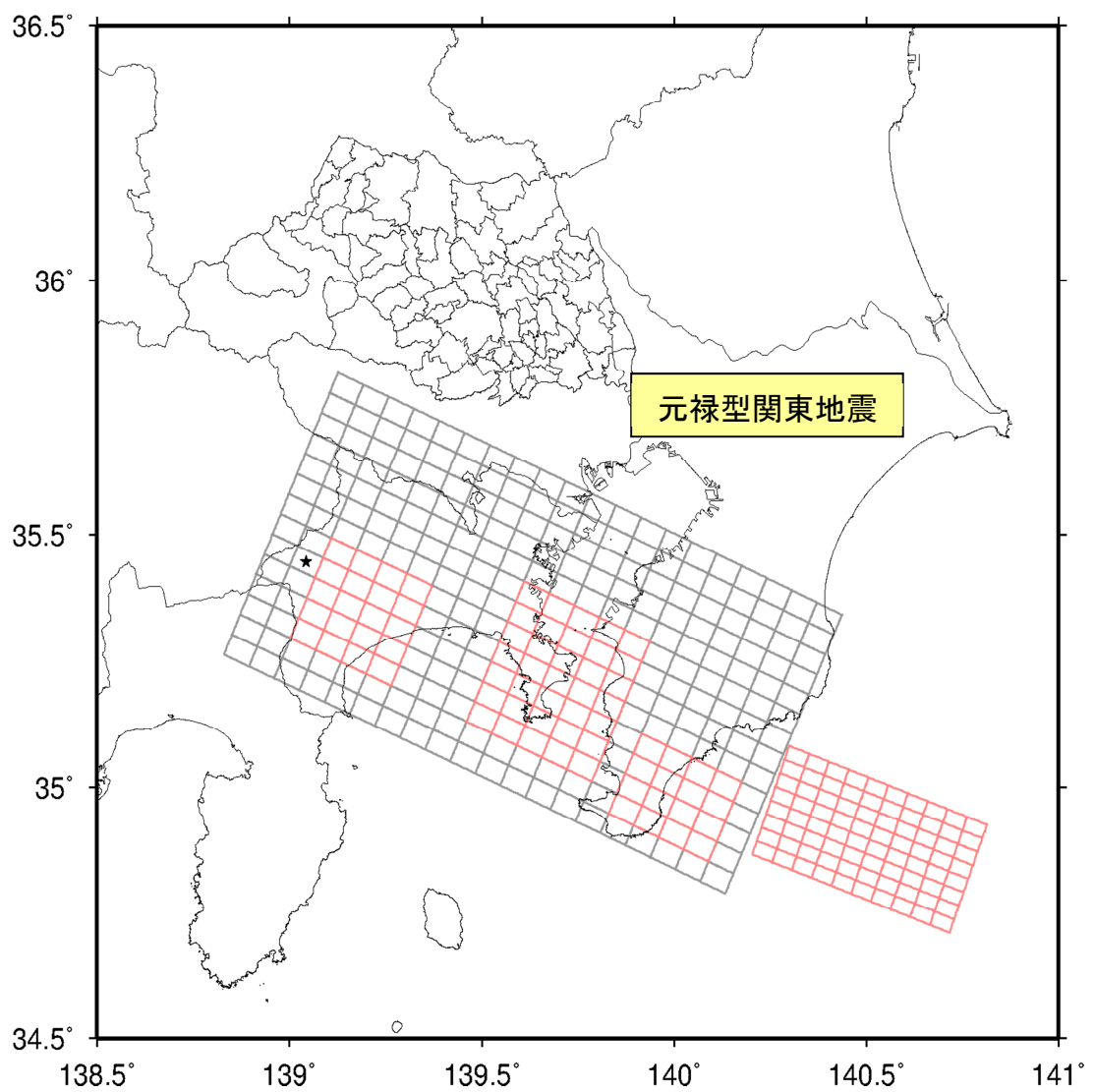


図 4. 2-1 (2) 今回の想定地震の震源位置図 (2)
(赤色の部分はアスペリティを示す)

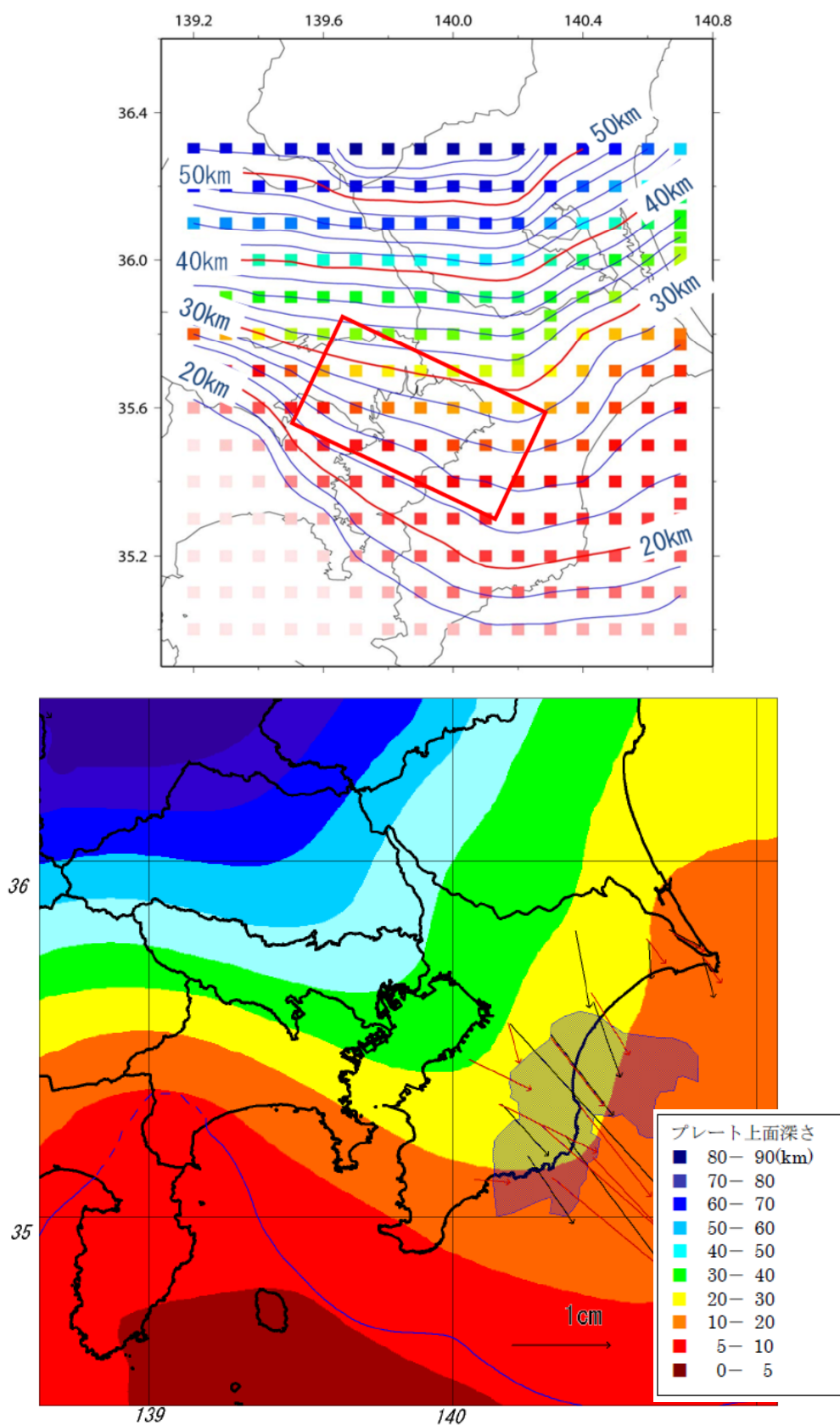


図 4.2-2 首都直下地震防災・減災プロジェクト (2012)⁴ (上)・Ishida (1992)⁵ (下) によるフィリピン海プレート上面深さ

表 4. 2-2 東京湾北部地震及び茨城県南部地震の断層パラメータ

		設定方法	設定値
巨視的震源パラメータ			
マグニチュード M			7.3
断層モデル原点	東京湾北部 南東端		北緯 35.32°
			東経 140.14°
	茨城県南部 南東端		北緯 35.78°
			東経 140.4°
走向 θ			296°
傾斜角 δ			23°
すべり角 λ			138°
断層モデル上端深さ		フィリピン海プレートの1km上方	
断層モデル長さ L_{model}			63.64 km
断層モデル幅 W_{model}			31.82 km
断層モデル面積 S_{model}		$\Delta\sigma=7/16 \cdot M_0/R^3$	2025 km ²
地震モーメント M_0		$\log M_0=1.5M_w+9.1$	1.12E+20 Nm
モーメントマグニチュード M_w			7.3
S波速度 β			3.5 km/s
密度 ρ			2.80E+03 kg/m ³
剛性率 μ			3.43E+10 N/m ²
静的応力降下量 $\Delta\sigma$			3.0 MPa
平均すべり量 D_{model}		$D_{\text{model}}=M_0/(\mu \cdot S_{\text{model}})$	1.6 m
短周期レベル A		$A=M_0 \times (2\pi \times 4.9 \cdot 10^6 \cdot V_S \times (\Delta\sigma/M_0/10^6))^2$	1.16E+19 Nm/s ²
微視的震源パラメータ			
全 テ ス ト イ ン グ	面積 S_a	$S_a=0.22S$	450 km ²
	平均すべり量 D_a	$D_a=D \times 2.01$	3.2 m
	実行応力 σ_a	$\Delta\sigma_a=7/16 \cdot M_{0a}/r^3$	12.7 MPa
	地震モーメント M_{0a}	$M_{0a}=\mu \cdot D_a \cdot S_a$	4.99E+19 Nm
第 1 テ ス ト イ ン グ	面積 S_{a1}		325 km ²
	平均すべり量 D_{a1}	$D_{a1}=(\gamma_1/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a, \gamma_i=r_i/r$	3.6 m
	実行応力 σ_{a1}	$\sigma_{a1}=\sigma_a$	16.7 MPa
	地震モーメント M_{0a1}	$M_{0a1}=M_{0a} \cdot S_{a1}^{1.5}/\Sigma S_{ai}^{1.5}$	4.03E+19 Nm
第 2 テ ス ト イ ン グ	面積 S_{a2}		125 km ²
	平均すべり量 D_{a2}	$D_{a2}=(\gamma_2/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a, \gamma_i=r_i/r$	2.2 m
	実行応力 σ_{a2}	$\sigma_{a2}=\sigma_a$	16.7 MPa
	地震モーメント M_{0a2}	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$	9.60E+18 Nm
背 景 領 域	面積 S_b	$S_b=S_{\text{model}}-S_a$	1575 km ²
	平均すべり量 D_b	$D_b=M_{0b}/(\mu \cdot S_b)$	1.2 m
	実行応力 σ_b	$\sigma_b=(D_b/W_b) \cdot (\pi^{1/2}/D_a) \cdot r \cdot \Sigma\gamma_i^3 \cdot \sigma_a$	2.7 MPa
	地震モーメント M_b	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	6.23E+19 Nm

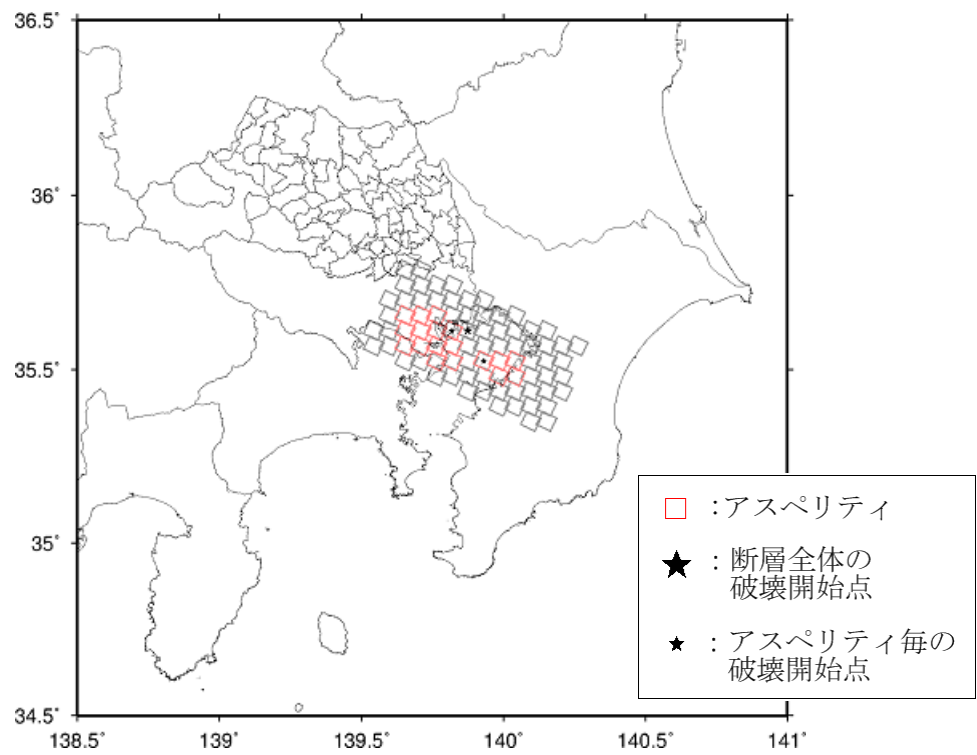


図 4.2-3 東京湾北部地震 震源断層

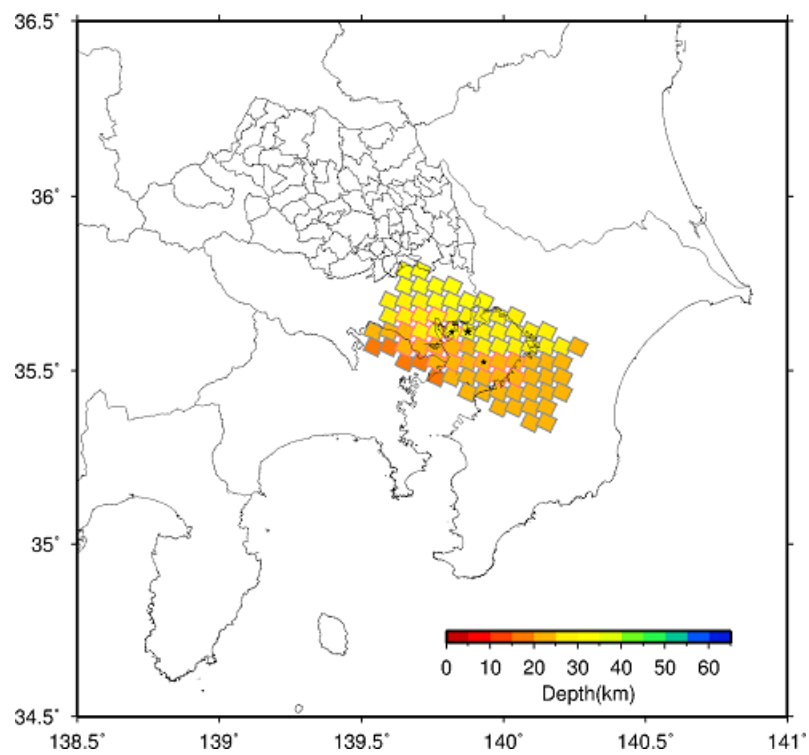


図 4.2-4 東京湾北部地震 断層深さ分布

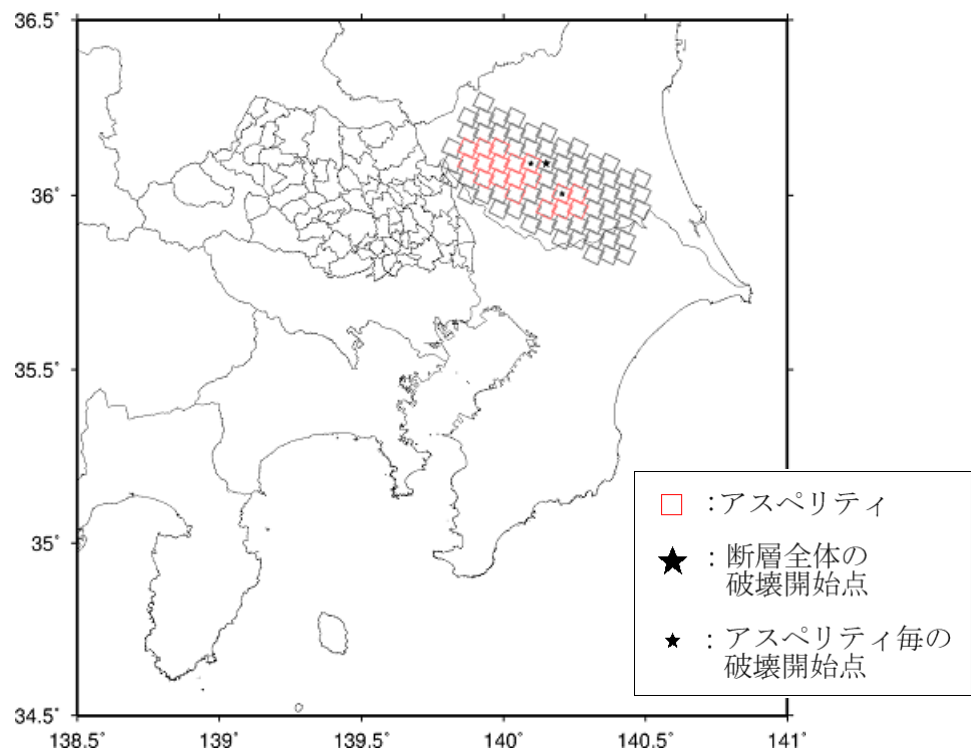


図 4.2-5 茨城県南部地震 震源断層

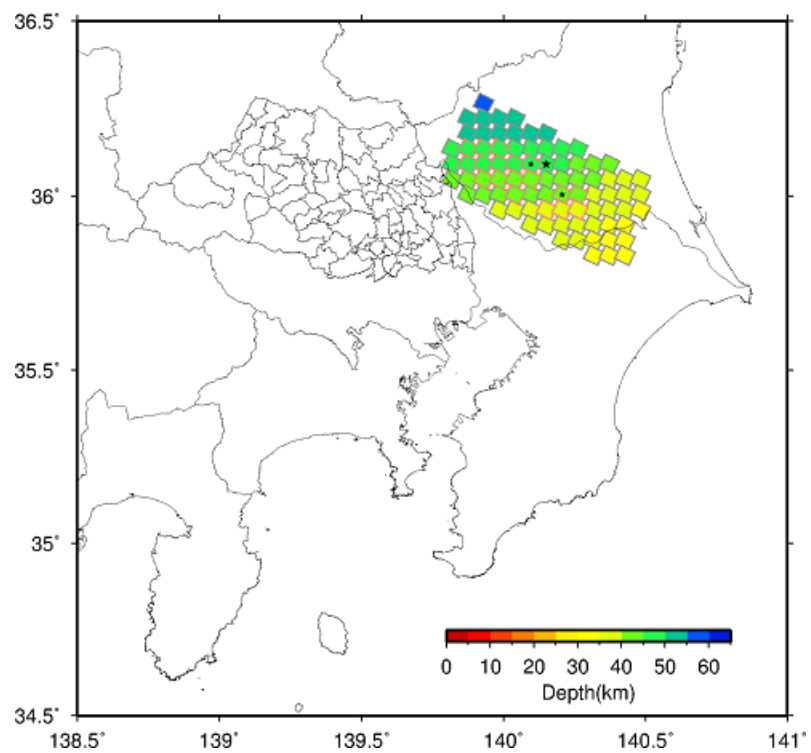


図 4.2-6 茨城県南部地震 断層深さ分布

表 4.2-3 元禄型関東地震の断層パラメータ

		設定方法	設定値	
巨視的震源パラメータ			相模沖	房総沖
断層モデル原点			北緯 36.786°	北緯 36.786°
			東経 140.136°	東経 140.136°
走向 θ			294°	290°
傾斜角 δ			16°	45°
すべり角 λ			143°	125°
断層モデル上端深さ			3.76 km	1.3 km
断層モデル長さ L_{model}			130 km	50 km
断層モデル幅 W_{model}			70 km	30 km
断層モデル面積 S_{model}		$S_{\text{model}}=L_{\text{model}} \times W_{\text{model}}$	9100 km ²	1800 km ²
地震モーメント M_0			2.12E+21 Nm	
モーメントマグニチュード M_w		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	8.2	
S波速度 β		笠原(1985)	3.7 km/s	
密度 ρ		Ludwig et al(1970)	2.90E+03 kg/m ³	
剛性率 μ		Sato et al(2005)	3.00E+10 N/m ²	
静的応力降下量 $\Delta\sigma$		$\Delta\sigma=7\pi^{1.5}/16 \cdot M_0/S^{1.5}$	4.5 MPa	
平均すべり量 D_{model}		$D_{\text{model}}=M_0/(\mu \cdot S_{\text{model}})$	6.48 m	
単位区間ごとの微視的パラメータ				
単位区間地震モーメント $M_{0\text{seg}}$			1.50E+21 Nm	6.20E+20 Nm
単位区間平均すべり量 D_{seg}		$D_{\text{seg}}=M_{0\text{seg}}/(\mu \cdot S_{\text{seg}})$	5.49 m	10 m
全 ア ス ペ	面積 S_{aseg}	$S_{\text{aseg}}=\pi r^2, r=7\pi/4 \cdot M_0/(A \cdot R) \cdot \beta^2$	2307.5 km ²	1800 km ²
	平均すべり量 D_{aseg}	$D_{\text{aseg}}=\gamma_D \cdot D_{\text{model}}, \gamma_D=2.01$	11.04 m	10 m
	実行応力 σ_{aseg}	$\sigma_{\text{aseg}}=\Delta\sigma_{\text{aseg}}$	16.8 MPa	19.8 MPa
	地震モーメント $M_{0\text{aseg}}$	$M_{0\text{aseg}}=\mu \cdot D_{\text{aseg}} \cdot S_{\text{aseg}}$	7.65E+20 Nm	6.20E+20 Nm
第 1 ア ス ペ	面積 S_{a1}	Sato et al(2005) のすべり分布より推定	1137.5 km ²	
	平均すべり量 D_{a1}	$D_{\text{a1}}=M_{0\text{a1}}/(\mu \cdot S_{\text{a1}})$	12.87 m	
	実行応力 σ_{a1}	$\sigma_{\text{a1}}=7\pi^{1.5}/16 \cdot M_{0\text{a1}}/S_{\text{a1}}^{1.5}$	27.9 MPa	
	地震モーメント $M_{0\text{a1}}$	$M_{0\text{a1}}=M_0 \cdot S_{\text{a1}}^{1.5}/\Sigma S_{\text{ai}}^{1.5}$	4.39E+20 Nm	
第 2 ア ス ペ	面積 S_{a2}	Sato et al(2005) のすべり分布より推定	650 km ²	
	平均すべり量 D_{a2}	$D_{\text{a2}}=M_{0\text{a2}}/(\mu \cdot S_{\text{a2}})$	9.73 m	
	実行応力 σ_{a2}	$\sigma_{\text{a2}}=7\pi^{1.5}/16 \cdot M_{0\text{a2}}/S_{\text{a2}}^{1.5}$	27.9 MPa	
	地震モーメント $M_{0\text{a2}}$	$M_{0\text{a2}}=M_0 \cdot S_{\text{a2}}^{1.5}/\Sigma S_{\text{ai}}^{1.5}$	1.90E+20 Nm	
第 3 ア ス ペ	面積 S_{a3}	Sato et al(2005) のすべり分布より推定	520 km ²	
	平均すべり量 D_{a3}	$D_{\text{a3}}=M_{0\text{a3}}/(\mu \cdot S_{\text{a3}})$	8.70 m	
	実行応力 σ_{a3}	$\sigma_{\text{a3}}=7\pi^{1.5}/16 \cdot M_{0\text{a3}}/S_{\text{a3}}^{1.5}$	27.9 MPa	
	地震モーメント $M_{0\text{a3}}$	$M_{0\text{a3}}=M_0 \cdot S_{\text{a3}}^{1.5}/\Sigma S_{\text{ai}}^{1.5}$	1.36E+20 Nm	
房 総 沖	面積 S_{a4}	行谷ほか(2011)		1800 km ²
	平均すべり量 D_{a4}	$D_{\text{a4}}=M_{0\text{a4}}/(\mu \cdot S_{\text{a4}})$		10 m
	実行応力 σ_{a4}	$\sigma_{\text{a4}}=7\pi^{1.5}/16 \cdot M_{0\text{a4}}/S_{\text{a4}}^{1.5}$		19.8 MPa
	地震モーメント $M_{0\text{a4}}$	$M_{0\text{a4}}=M_{0\text{seg}}$		6.20E+20 Nm
背 景 領 域	面積 S_{b}	$S_{\text{b}}=S_{\text{model}}-S_{\text{a}}$	6792.5 km ²	
	平均すべり量 D_{b}	$D_{\text{b}}=M_{0\text{b}}/(\mu \cdot S_{\text{b}})$	3.61 m	
	実行応力 σ_{b}	$\sigma_{\text{b}}=7\pi^{1.5}/16 \cdot M_{0\text{b}}/S_{\text{b}}^{1.5}$	3.20 MPa	
	地震モーメント M_{b}	$M_{0\text{b}}=M_0-M_{0\text{a}}$	7.35E+20 Nm	

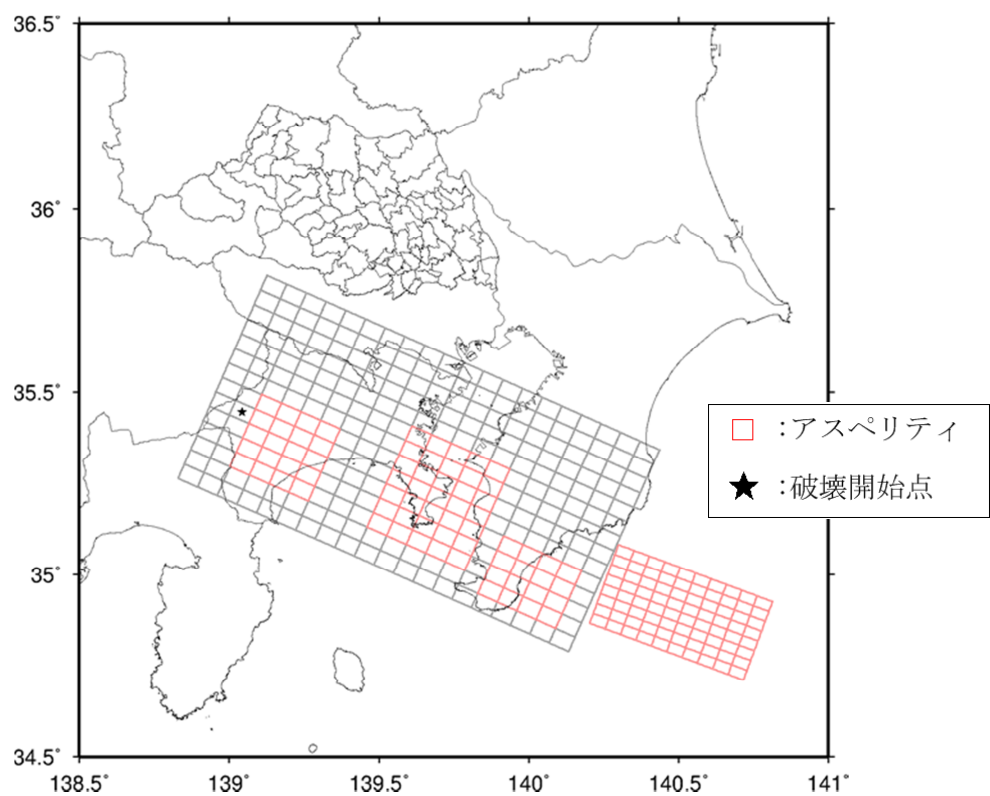


図 4.2-7 元禄型関東地震 震源断層

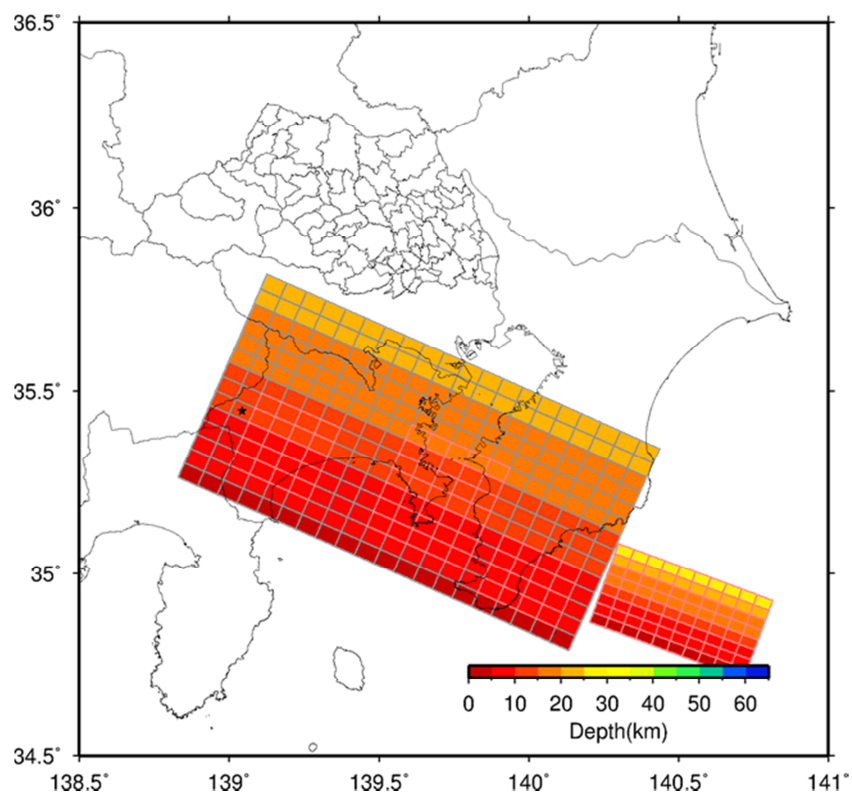


図 4.2-8 元禄型関東地震 断層深さ分布

表 4.2-4 関東平野北西縁断層帯地震断層パラメータ

		設定方法		設定値		
巨視的震源パラメータ				高崎区間	深谷区間	綾瀬川区間
長さ L				82 km		
マグニチュード M				8.1		
単位区間長さ L_{seg}				26 km	38 km	18 km
単位区間幅 W_{seg}				19.6 km	19.6 km	19.6 km
単位区間面積 S_{seg}				509.6 km ²	744.8 km ²	352.8 km ²
断層モデル原点		地中の上端における北西端		北緯 36.361° 東経 138.833°	北緯 36.241° 東経 139.082°	北緯 36.064° 東経 139.445°
走向 θ		長期評価の端点を結ぶ方向		121°	121°	121°
傾斜角 δ		50°-70° 南西傾斜		60°	60°	60°
すべり角 λ		南西側隆起の逆断層		90°	90°	90°
断層モデル上端深さ		微小地震の発生と地震基盤深さを参考		5 km	5 km	5 km
断層モデル長さ L_{model}		レシビに基づく		26 km	38 km	18 km
断層モデル幅 W_{model}		レシビに基づく		20 km	20 km	20 km
断層モデル面積 S_{model}		$S_{\text{model}}=L_{\text{model}} \times W_{\text{model}}$		520 km ²	760 km ²	360 km ²
地震モーメント M_0				1.44E+20 Nm		
モーメントマグニチュード M_w		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$		7.4		
S波速度 β		地殻内の平均値		3.4 km/s		
密度 ρ		地殻内の平均値		2.70E+03 kg/m ³		
剛性率 μ		地殻内の平均値		3.12E+10 N/m ²		
静的応力降下量 $\angle\sigma$		Fujii and Matsu'ura(2000)より		3.1 MPa		
平均すべり量 D_{model}		$D_{\text{model}}=M_0/(\mu \cdot S_{\text{model}})$		2.8 m		
微視的震源パラメータ						
全アスペリティ面積 S_a		$S_a=0.22S_{\text{model}}$		360.8 km ²		
全アスペリティ実行応力 σ_a		$\sigma_a=\angle\sigma/0.22$		14.1 MPa		
単位区間ごとの微視的パラメータ						
単位区間地震モーメント $M_{0\text{seg}}$		単位区間面積の1.5乗に比例して配分		4.30E+19 Nm	7.59E+19 Nm	2.48E+19 Nm
単位区間平均すべり量 D_{seg}		$D_{\text{seg}}=M_{0\text{seg}}/(\mu \cdot S_{\text{seg}})$		2.6 m	3.2 m	2.2 m
全アスペリティ	面積 $S_{a\text{seg}}$	$S_a=\pi r^2, r=7\pi/4 \cdot M_0/(A \cdot R) \cdot \beta^2$		114.4 km ²	167.2 km ²	79.2 km ²
	平均すべり量 $D_{a\text{seg}}$	$D_{a\text{seg}}=\gamma_D \cdot D_{\text{seg}}, \gamma_D=2.0$		5.2 m	6.4 m	4.4 m
	実行応力 $\sigma_{a\text{seg}}$	$\sigma_{a\text{seg}}=\sigma_a$		14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa
	地震モーメント $M_{0a\text{seg}}$	$M_{0a}=\mu \cdot D_{a\text{seg}} \cdot S_{a\text{seg}}$		1.86E+19 Nm	3.34E+19 Nm	1.09E+19 Nm
第1アスペリティ	面積 S_{a1}	$S_{a1}=S_{a\text{seg}} \cdot (2/3)$ or $S_{a\text{seg}}$		76.3 km ²	111.5 km ²	79.2 km ²
	平均すべり量 D_{a1}	$D_{a1}=(\gamma_1/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_{a\text{seg}}, \gamma_i=r_i/r$		5.8 m	7.1 m	4.4 m
	実行応力 σ_{a1}	$\sigma_{a1}=\sigma_a$		14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa
	地震モーメント M_{0a1}	$M_{0a1}=\mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$		1.37E+19 Nm	2.47E+19 Nm	1.09E+19 Nm
	計算用面積	2kmメッシュサイズ		80 km ²	120 km ²	80 km ²
第2アスペリティ	面積 S_{a2}	$S_{a2}=S_{a\text{seg}} \cdot (1/3)$ or 0		38.1 km ²	55.7 km ²	-
	平均すべり量 D_{a2}	$D_{a2}=(\gamma_2/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_{a\text{seg}}, \gamma_i=r_i/r$		4.1 m	5.0 m	-
	実行応力 σ_{a2}	$\sigma_{a2}=\sigma_a$		14.1 MPa	14.1 MPa	-
	地震モーメント M_{0a2}	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$		4.85E+18 Nm	8.72E+18 Nm	-
	計算用面積	2kmメッシュサイズ		36 km ²	48 km ²	-
背景領域	面積 S_b	$S_b=S_{\text{model}}-S_a$		405.6 km ²	592.8 km ²	280.8 km ²
	平均すべり量 D_b	$D_b=M_{0b}/(\mu \cdot S_b)$		1.9 m	2.3 m	1.6 m
	実行応力 σ_b	$\sigma_b=(D_b/W_b) \cdot (\pi^{1/2}/D_a) \cdot r \cdot \Sigma\gamma_i^3 \cdot \sigma_a$		2.1 MPa	2.4 MPa	2.3 MPa
	地震モーメント M_b	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$		2.44E+19 Nm	4.25E+19 Nm	1.39E+19 Nm
	計算用面積	2kmメッシュサイズ		404 km ²	592 km ²	280 km ²

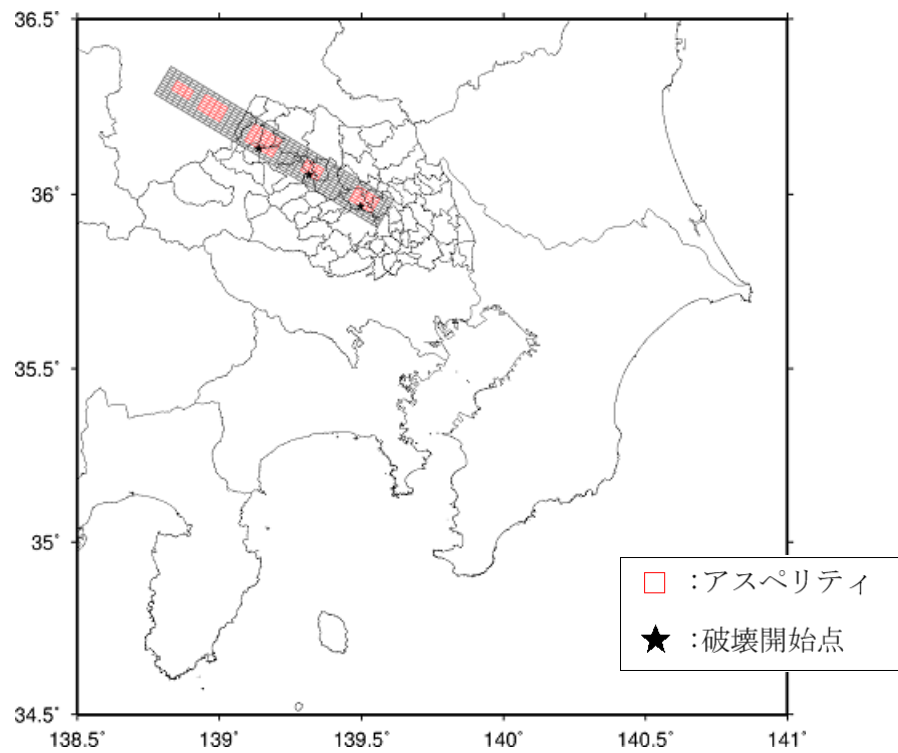


図 4.2-9 関東平野北西縁断層帯地震 震源断層
破壊開始点：北、中央、南の3ケース

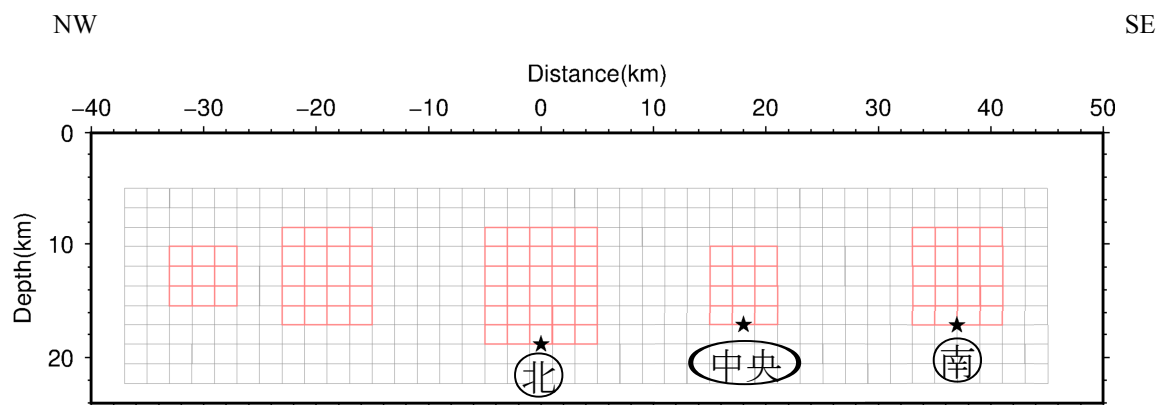


図 4.2-10 関東平野北西縁断層帯地震 鉛直断面
破壊開始点：北、中央、南の3ケース

表 4.2-5 立川断層帯地震の断層パラメータ

		設定方法	設定値
巨視的震源パラメータ			
長さ L			33 km
マグニチュード M			7.4
断層モデル原点		地中の上端における南東端	北緯 35.663° 東経 139.454°
走向 θ			314.9°
傾斜角 δ		極めて高角	90°
すべり角 λ		北東側隆起	90°
断層モデル上端深さ		微小地震の発生と地震基盤深さを参考	2 km
断層モデル長さ L_{model}			34 km
断層モデル幅 W_{model}			18 km
断層モデル面積 S_{model}		$S_{\text{model}}=L_{\text{model}} \times W_{\text{model}}$	612 km ²
地震モーメント M_0		$\log M_0=1.17M+10.72$	2.17E+19 Nm
モーメントマグニチュード M_w		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	6.8
S波速度 β		地殻内の平均値	3.4 km/s
密度 ρ		地殻内の平均値	2.70E+03 kg/m ³
剛性率 μ		地殻内の平均値	3.12E+10 N/m ²
静的応力降下量 $\Delta\sigma$		$\Delta\sigma=7/16 \cdot M_0/R^3$	3.5 MPa
平均すべり量 D_{model}		$D_{\text{model}}=M_0/(\mu \cdot S_{\text{model}})$	1.1 m
短周期レベル A		$A=2.46 \cdot 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	1.48E+19 Nm/s ²
微視的震源パラメータ			
全 テ ス ペ リ	面積 S_a	$S_a=\pi r^2, r=7\pi/4 \cdot M_0/(A \cdot R) \cdot \beta^2$	141 km ²
	平均すべり量 D_a	$D_a=\gamma_D \cdot D_{\text{model}}, \gamma_D=2.0$	2.2 m
	実行応力 σ_a	$\sigma_a=\Delta\sigma_a=7/16 \cdot M_0/(r^2 \cdot R)$	15.1 MPa
	地震モーメント M_{0a}	$M_{0a}=\mu \cdot D_a \cdot S_a$	9.68E+18 Nm
第 1 テ ス ペ リ	面積 S_{a1}	$S_{a1}=S_a \cdot (2/3)$	94 km ²
	平均すべり量 D_{a1}	$D_{a1}=(\gamma_1/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a, \gamma_i=r_i/r$	2.4 m
	実行応力 σ_{a1}	$\sigma_{a1}=\sigma_a$	15.1 MPa
	地震モーメント M_{0a1}	$M_{0a1}=\mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	7.15E+18 Nm
	計算用面積	2kmメッシュサイズ	100 km ²
第 2 テ ス ペ リ	面積 S_{a2}	$S_{a2}=S_a \cdot (1/3)$	47 km ²
	平均すべり量 D_{a2}	$D_{a2}=(\gamma_2/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a, \gamma_i=r_i/r$	1.7 m
	実行応力 σ_{a2}	$\sigma_{a2}=\sigma_a$	15.1 MPa
	地震モーメント M_{0a2}	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$	2.53E+18 Nm
	計算用面積	2kmメッシュサイズ	48 km ²
背 景 領 域	面積 S_b	$S_b=S_{\text{model}}-S_a$	471 km ²
	平均すべり量 D_b	$D_b=M_{0b}/(\mu \cdot S_b)$	0.8 m
	実行応力 σ_b	$\sigma_b=(D_b/W_b) \cdot (\pi^{1/2}/D_a) \cdot r \cdot \Sigma\gamma_i^3 \cdot \sigma_a$	2.7 MPa
	地震モーメント M_b	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	1.20E+19 Nm
	計算用面積	2kmメッシュサイズ	464 km ²

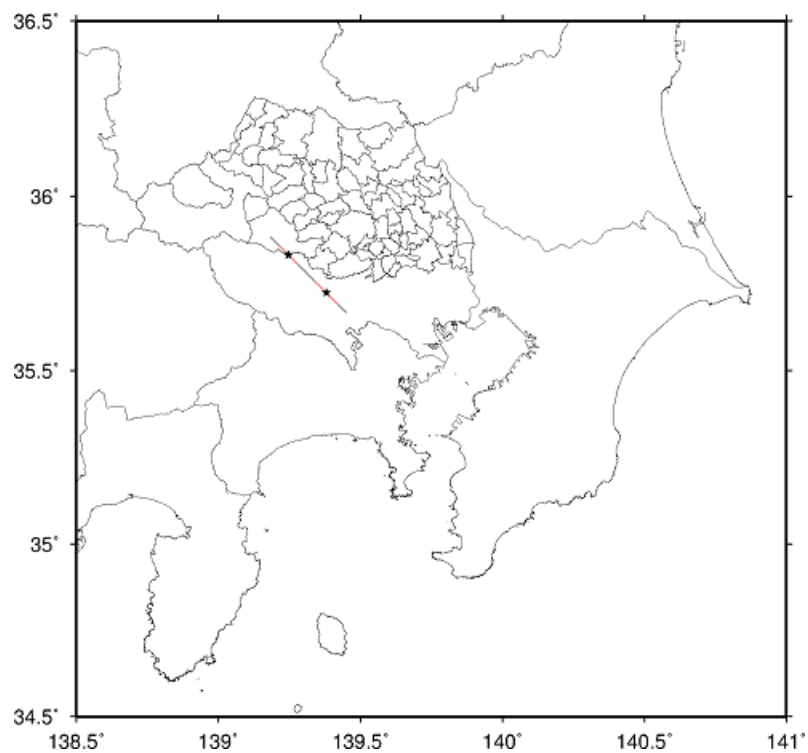


図 4.2-11 立川断層帯地震 震源断層
破壊開始点：北、南の2ケース

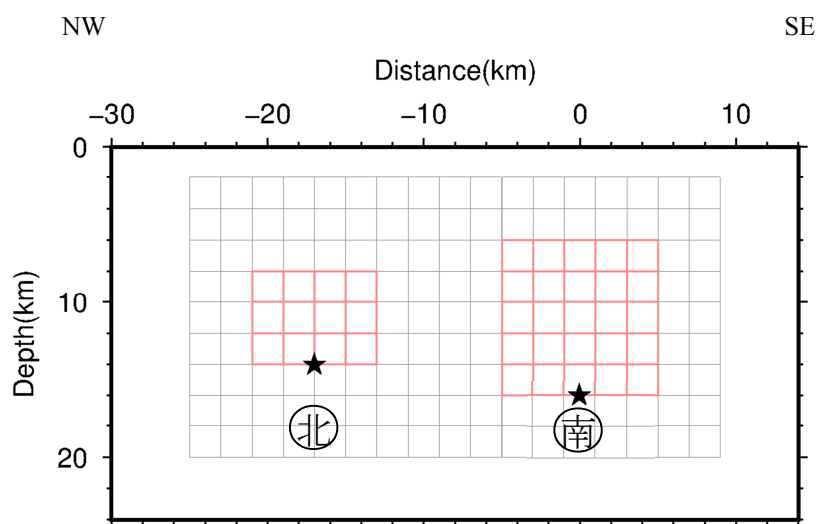


図 4.2-12 立川断層帯地震 鉛直断面
破壊開始点：北、南の2ケース

4.3 工学的基盤までの地震動計算

4.3.1 計算手法の概要

地震動の予測は、3.2 節で作成した深部地盤モデルの基準地域メッシュ（約 1 km メッシュ）ごとに、工学的基盤における NS、EW の水平 2 成分及び UD の 3 成分を統計的グリーン関数法により計算した。

以下に、今回想定に適用した統計的グリーン関数法の計算手法について示す。

- ① 対象とする断層面を小断層に分割し、小断層毎に、Boore (1983)⁶の手法により ω^{-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。

$$A(f) = \frac{R_{\theta\phi}(f)}{4\pi\rho\beta^3} \cdot \frac{M_0 \cdot (2\pi f)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \cdot \frac{1}{[1 + (f/f_{\max})^{2s}]^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{\exp(-\pi f t_t/Q)}{R} \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_b\beta_b}} \quad (4.3.1-1)$$

ここで、 $R_{\theta\phi}$ はラディエーション係数、 $\rho[\text{kg/m}^3]$ 及び β は震源における密度及び S 波速度を表す。 $M_0[\text{N}\cdot\text{m}]$ は地震モーメント、 $f_c[\text{Hz}]$ はコーナー周波数であり、 $f_{\max}[\text{Hz}]$ はハイカットフィルターの遮断周波数を表し、係数 s はフィルターの次数を表す。 Q は非弾性減衰定数、 $t_t[\text{s}]$ 及び $R[\text{km}]$ はそれぞれ、震源から計算地点直下の地震基盤までの走時及び距離を表す。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。ハイカットフィルターについて、鶴来・他 (1997)⁷を参考に $f_{\max} = 6 \text{ Hz}$ とし、Boore (1983) より $s = 2$ を用いた。また、 f_c は Brune (1970)⁸に基づき、次式により算出した。

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/M_0)^{1/3} \quad (4.3.1-2)$$

- ② $R_{\theta\phi}$ 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)⁹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 Q は海溝型地震では中央防災会議 (2004) と同様に、木下 (1993)¹⁰を参考に、 $Q = 100f^{0.7} (f \geq 1 \text{ Hz})$, $Q = 100 (f < 1 \text{ Hz})$ とした。
- ④ ここで、上記までの振幅スペクトルに対して、乱数位相を与え、時刻歴波形を作成する。その波形に対して、Boore (1983) による包絡形を乗じ、再度スペクトルの振幅調整を行う。乱数位相に関しては、香川 (2004)¹¹を参考に、変位波形がベル型となる条件を適用した。
- ⑤ 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¹²。

- ⑥ 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。工学的基盤での各小断層からの波形を入倉・他（1997）¹³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 4.3-1-1 に今回想定における統計的グリーン関数法による工学的基盤波形算出の流れを示す。

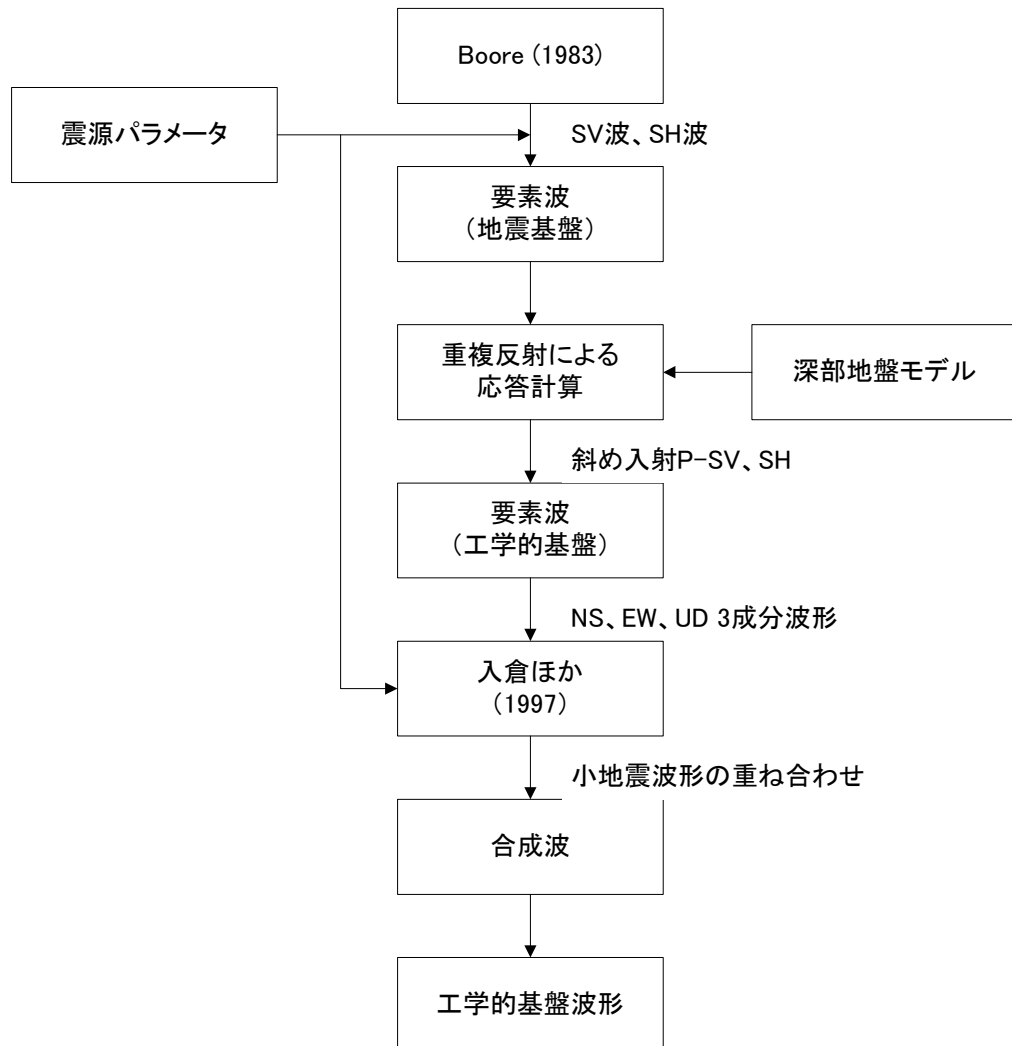


図 4.3.1-1 統計的グリーン関数法の流れ

4.3.2 各想定地震の計算結果

以降に、各想定地震の工学的基盤面での地震動計算結果についてそれぞれ示す。(巻末資料 4 参照)

○ 東京湾北部地震の工学的基盤での地震動計算結果

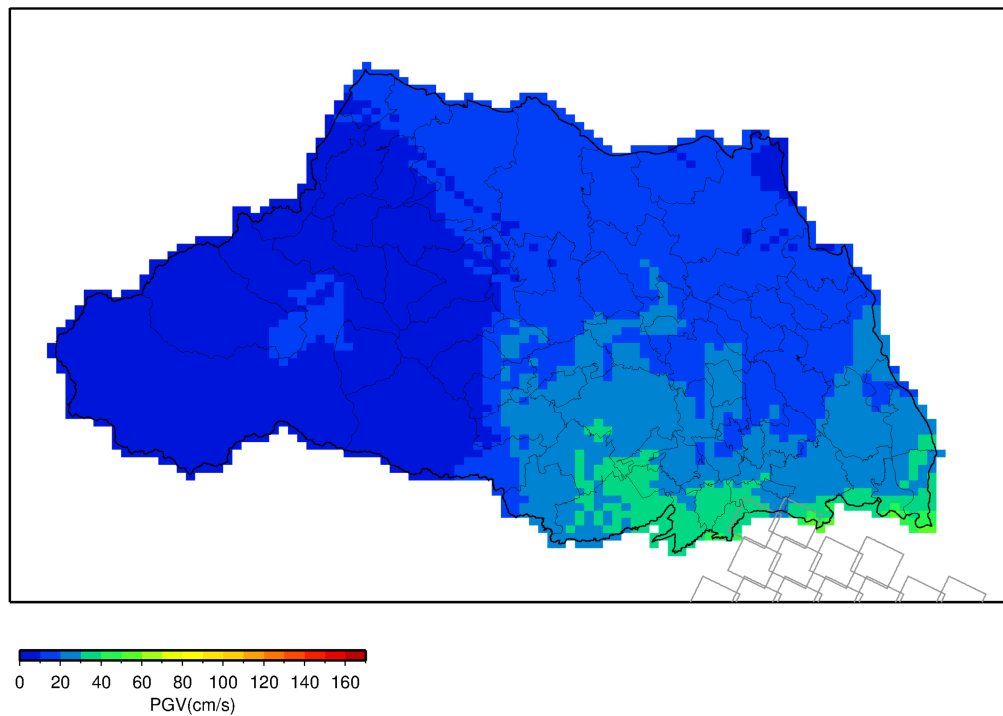


図 4. 3. 2-1 (1) 工学的基盤最大速度分布 東京湾北部地震

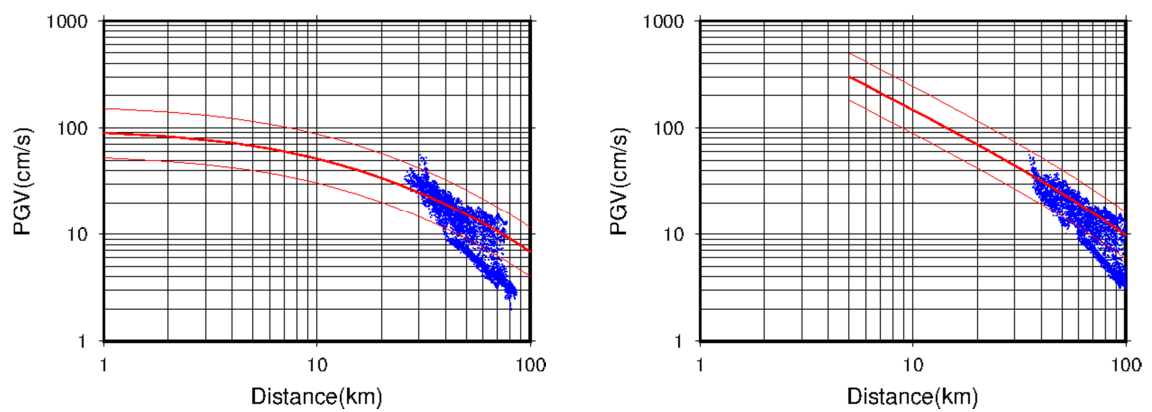


図 4. 3. 2-1 (2) 距離減衰式（司・翠川（1999）¹⁴）との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

最大速度は、埼玉県東南部で 40 cm/s 弱であり、平野部は概ね 10-30 cm/s 程度である。

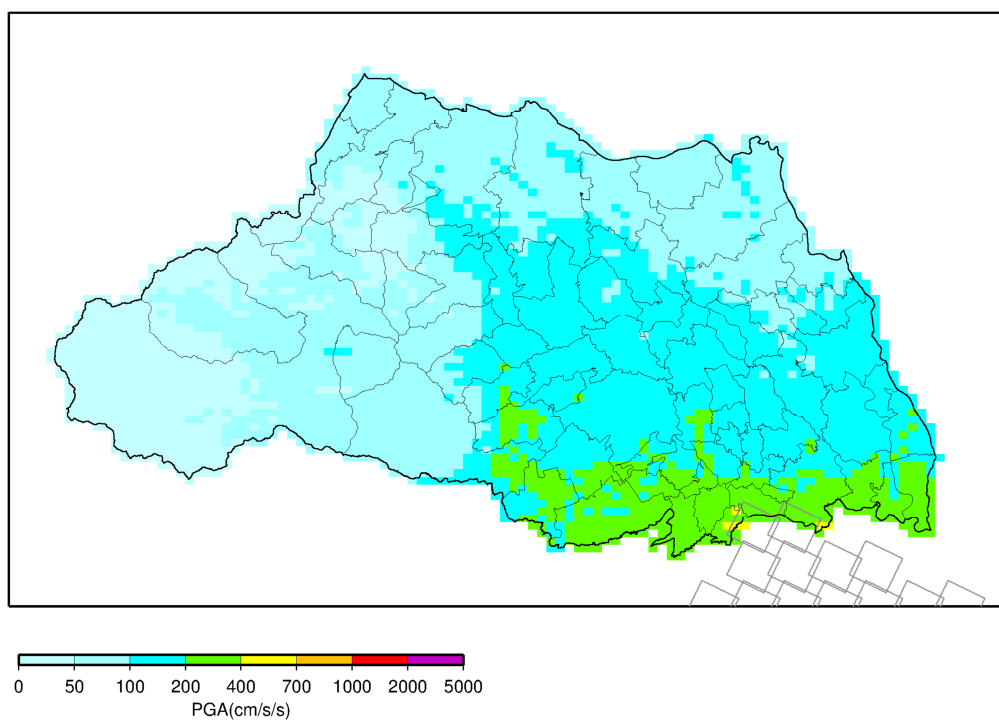


図 4. 3. 2-1 (3) 工学の基盤加速度分布 東京湾北部地震

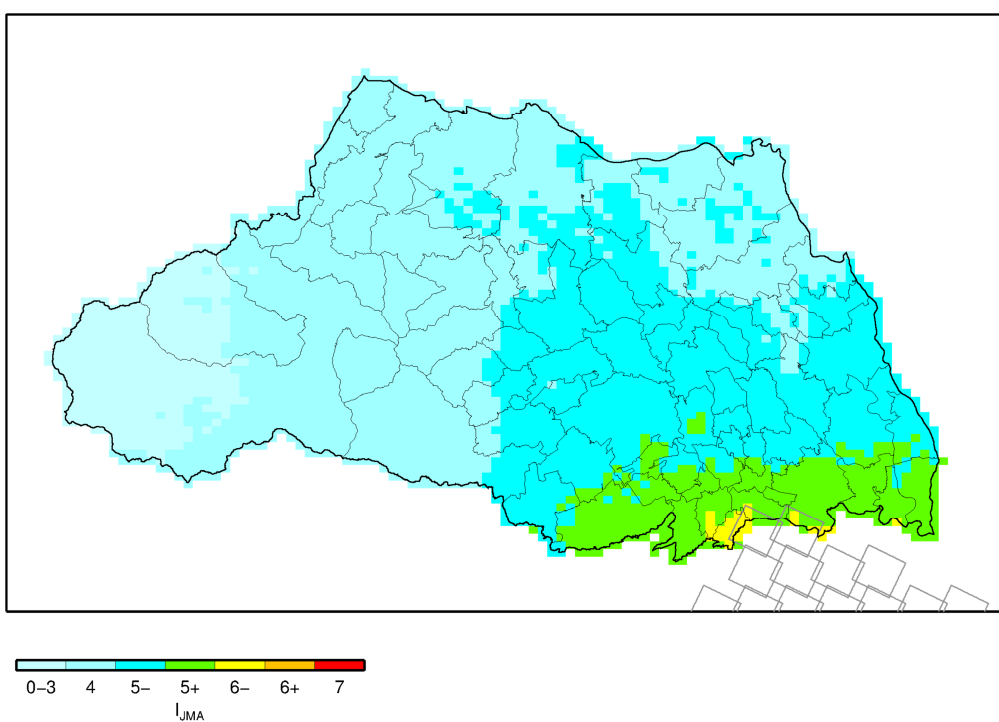


図 4. 3. 2-1 (4) 工学の基盤震度分布 東京湾北部地震

○ 茨城県南部地震の工学的基盤での地震動計算結果

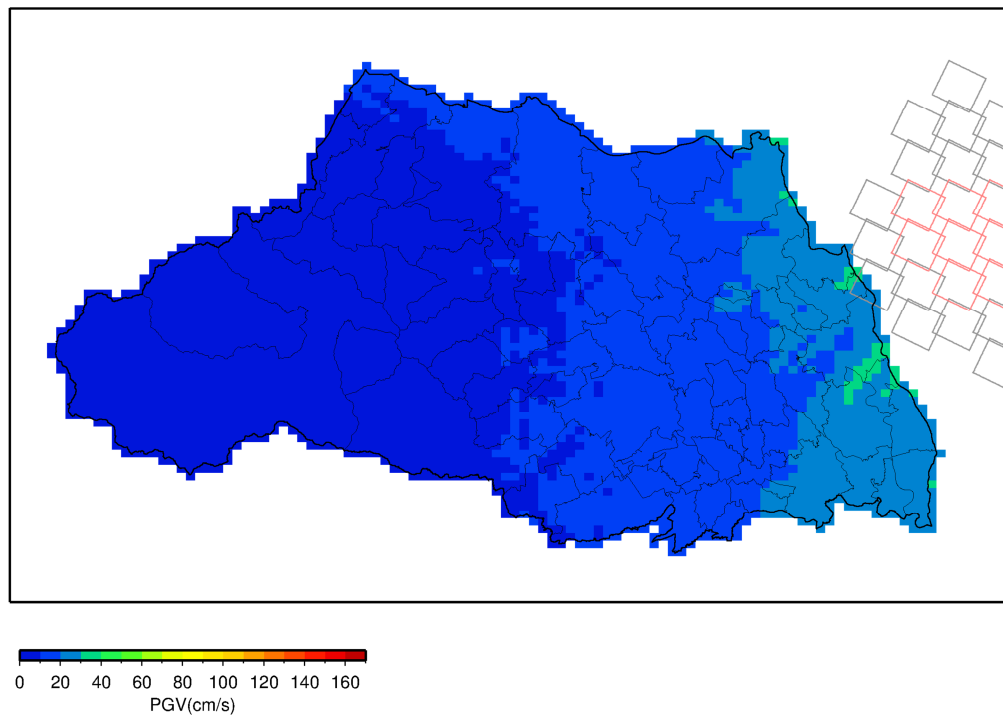


図 4.3.2-2(1) 工学的基盤最大速度分布 茨城県南部地震

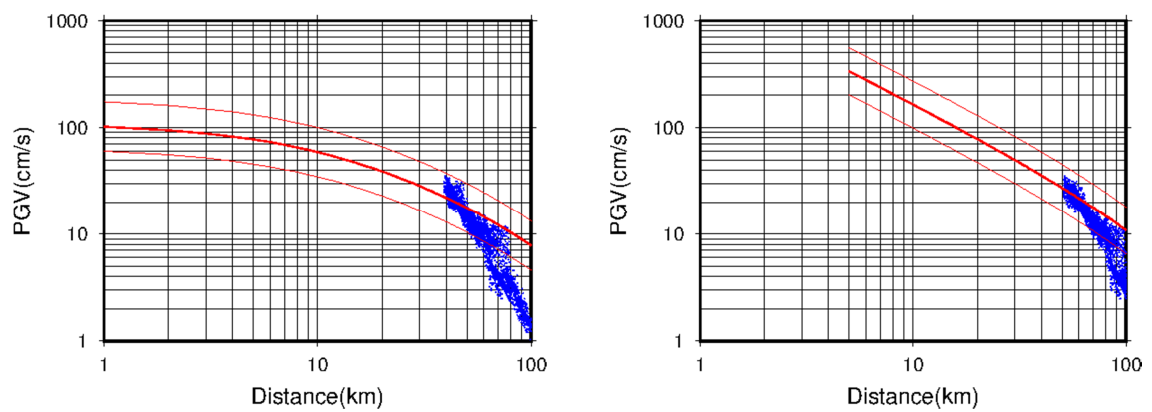


図 4.3.2-2(2) 距離減衰式（司・翠川（1999））との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

埼玉県東部で 20-30 cm/s 程度であり、県西部は 10 cm/s 未満である。

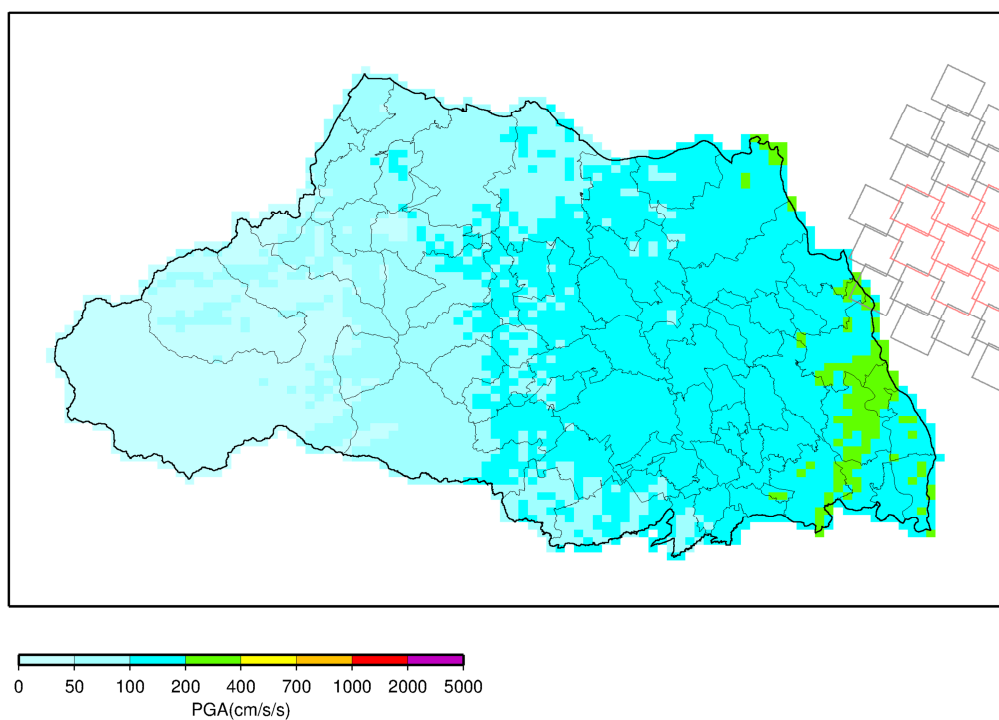


図 4. 3. 2-2(3) 工学の基盤加速度分布 茨城県南部地震

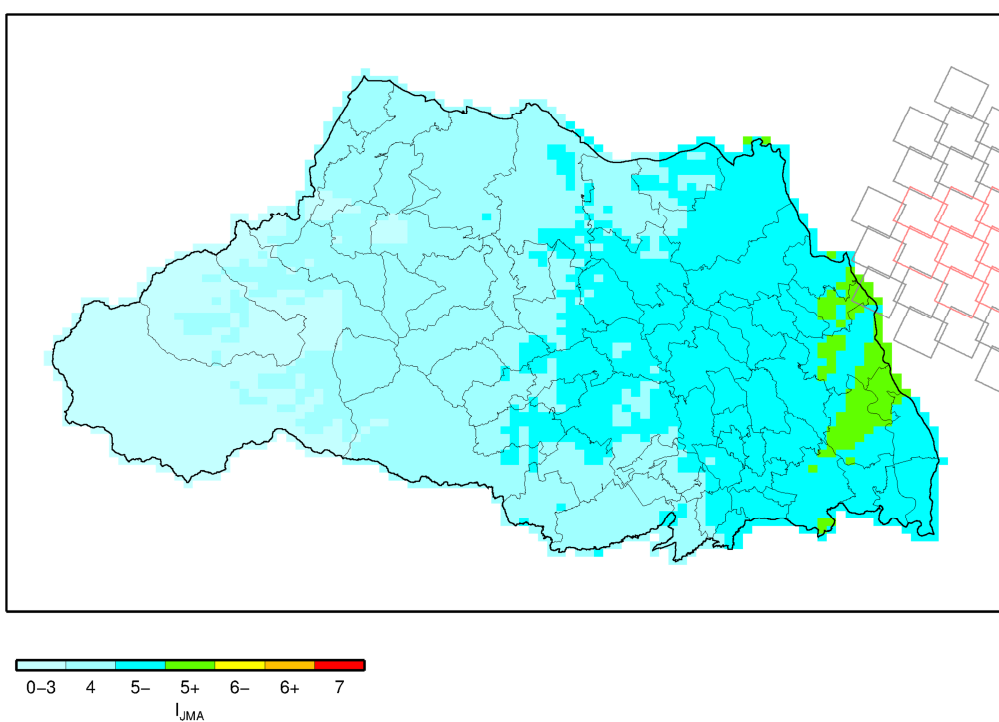


図 4. 3. 2-2(4) 工学の基盤震度分布 茨城県南部地震

○ 元禄型関東地震の工学的基盤での地震動計算結果

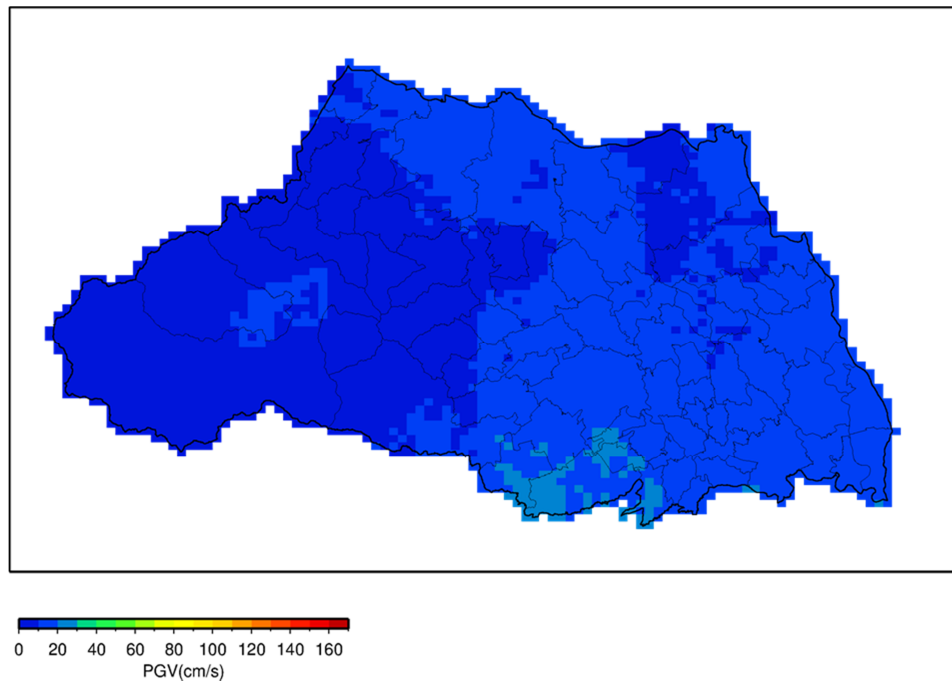


図 4. 3. 2-3(1) 工学的基盤最大速度分布 元禄型関東地震

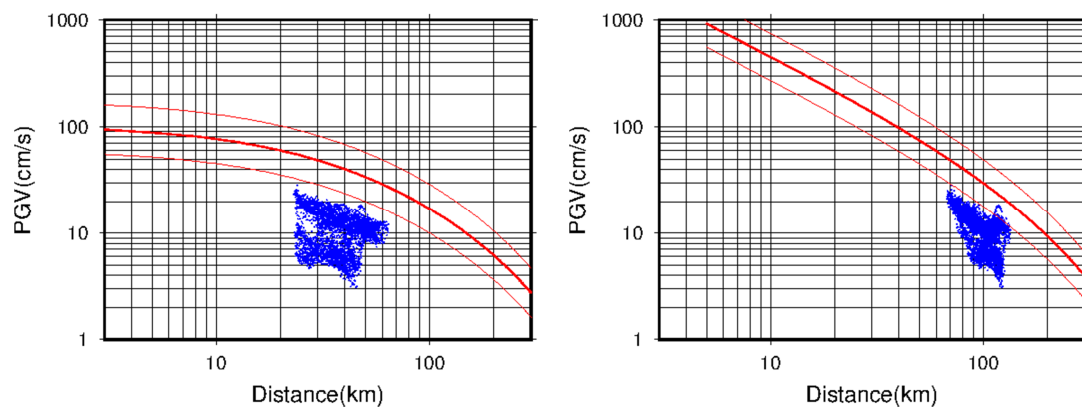


図 4. 3. 2-3(2) 距離減衰式（司・翠川（1999））との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

距離減衰式と比較すると、過小評価傾向となった。

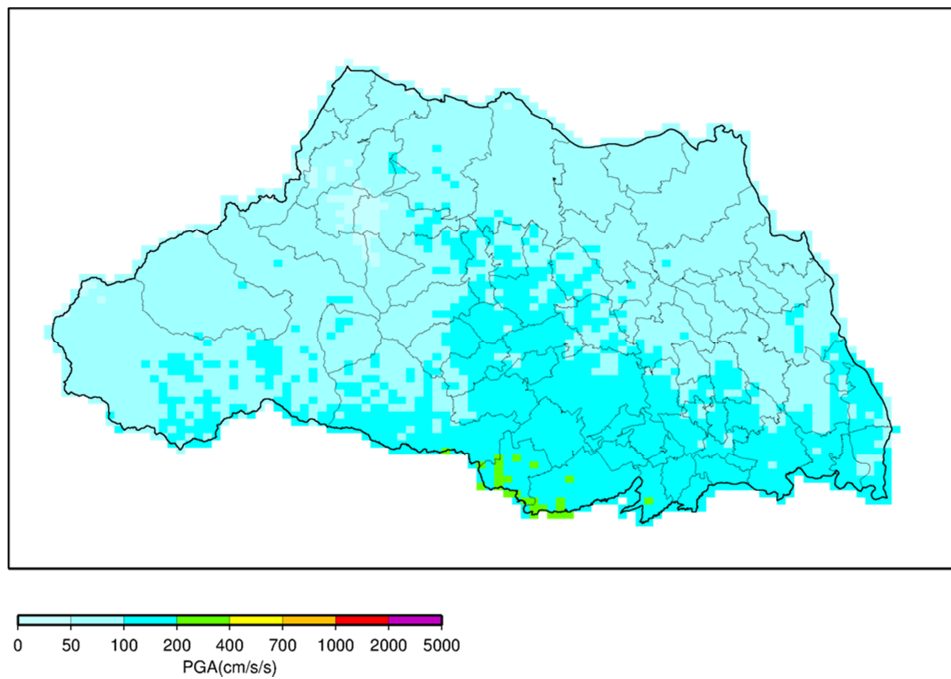


図 4. 3. 2-3 (3) 工学の基盤加速度分布 元禄型関東地震

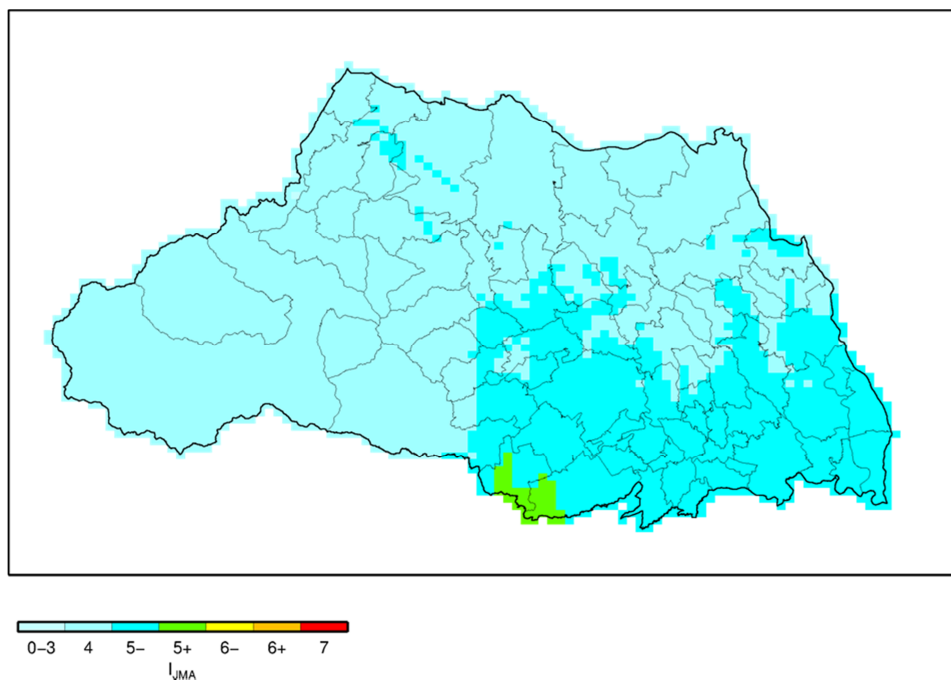


図 4. 3. 2-3 (4) 工学の基盤震度分布 元禄型関東地震

○ 関東平野北西縁断層帯地震（破壊開始点：北）の工学的基盤での地震動計算結果

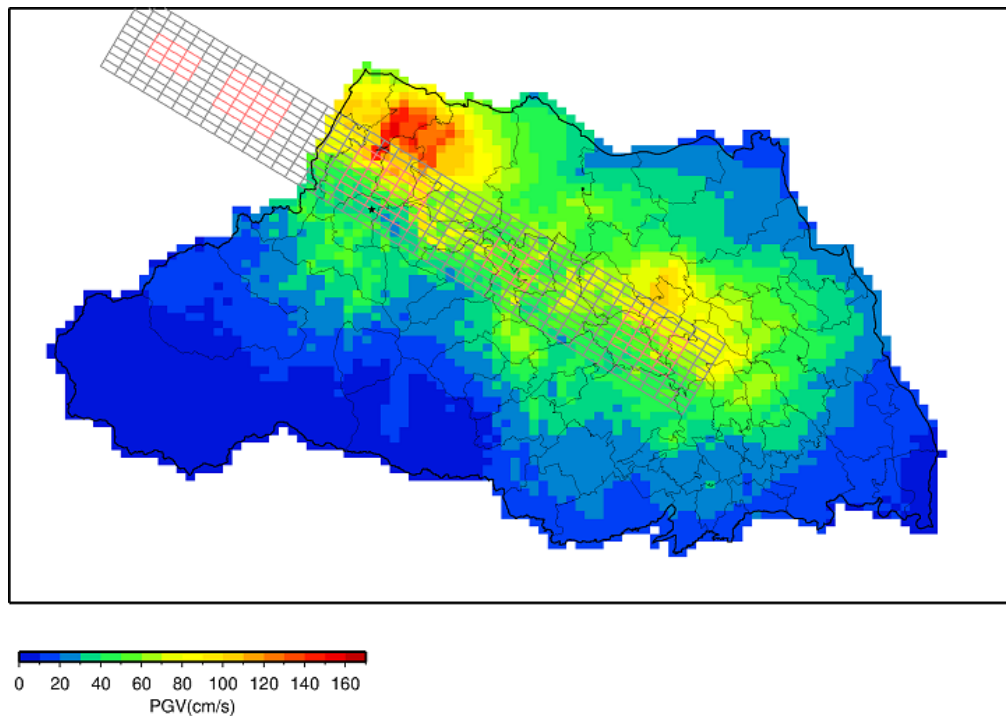


図 4.3.2-4(1) 工学的基盤最大速度分布 関東平野北西縁断層帯地震
（破壊開始点：北）

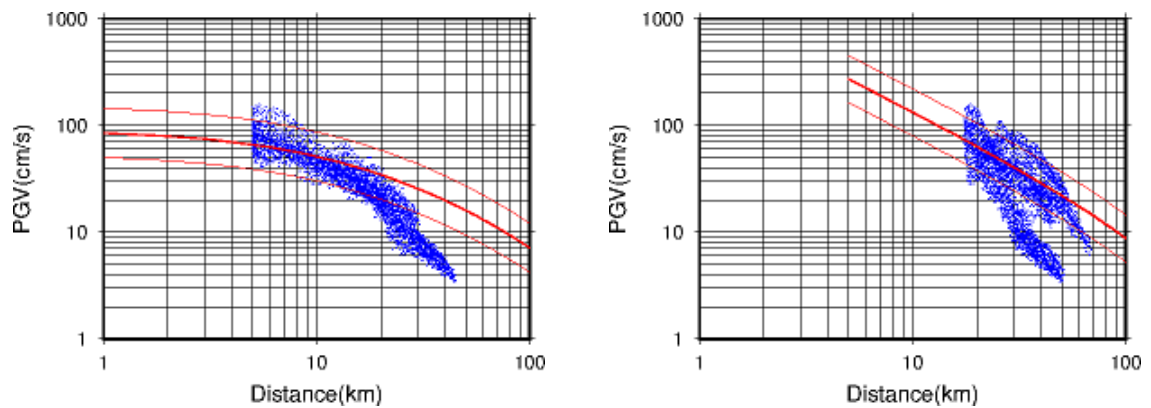


図 4.3.2-4(2) 距離減衰式（司・翠川（1999））との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

破壊開始点中央のケースと似ているが、破壊開始点付近の断層直上では最大速度は 150 cm/s 程度となり、中央ケースより大きい。

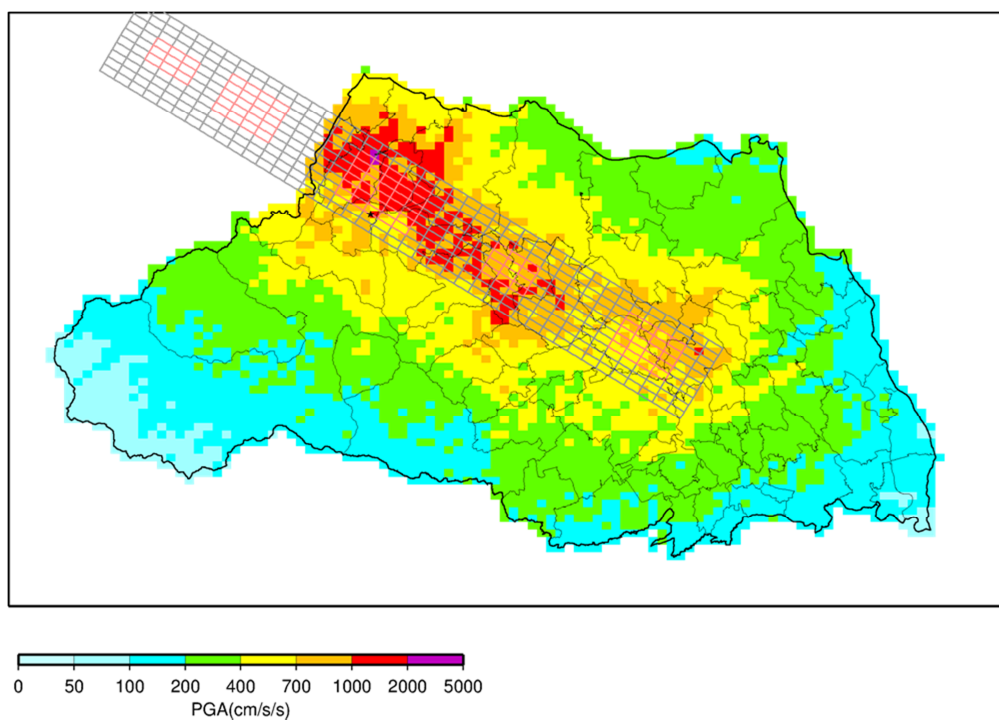


図 4. 3. 2-4 (3) 工学的基盤加速度分布 関東平野北西縁断層帯地震(破壊開始点:北)

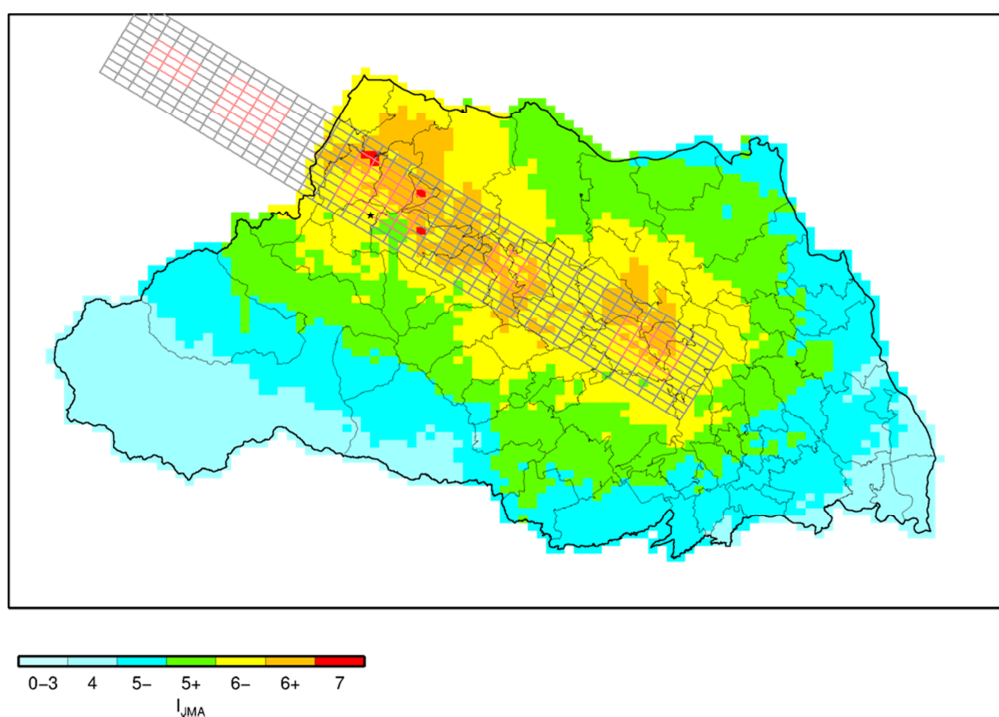


図 4. 3. 2-4 (4) 工学的基盤震度分布 関東平野北西縁断層帯地震 (破壊開始点 : 北)

○ 関東平野北西縁断層帯地震（破壊開始点：中央）の工学的基盤での地震動計算結果

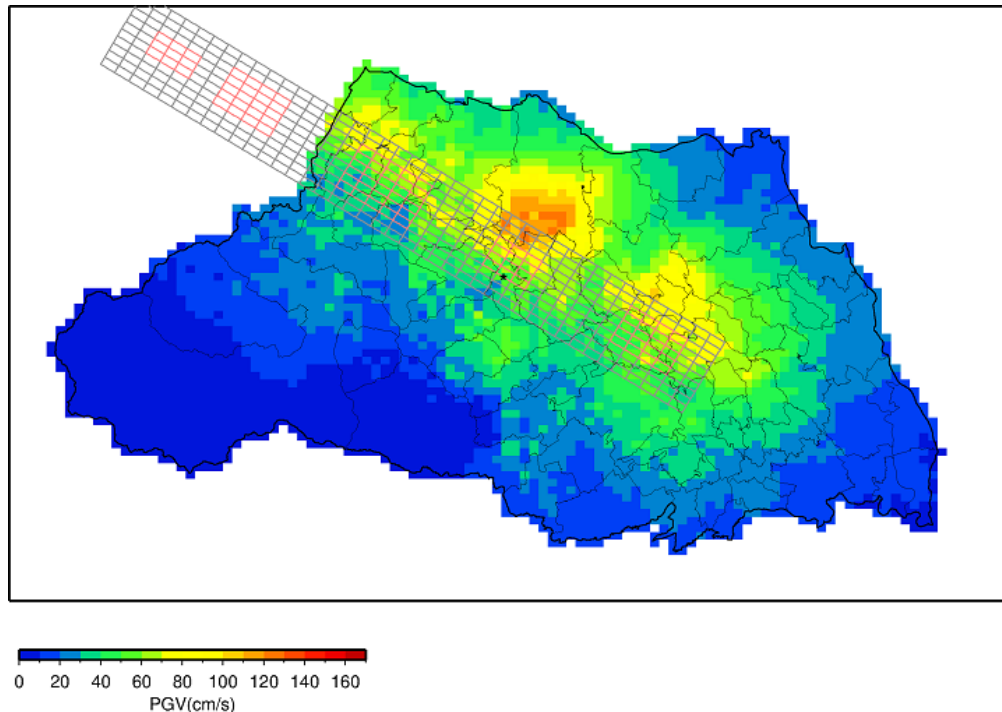


図 4. 3. 2-5 (1) 工学的基盤最大速度分布 関東平野北西縁断層帯地震
(破壊開始点：中央)

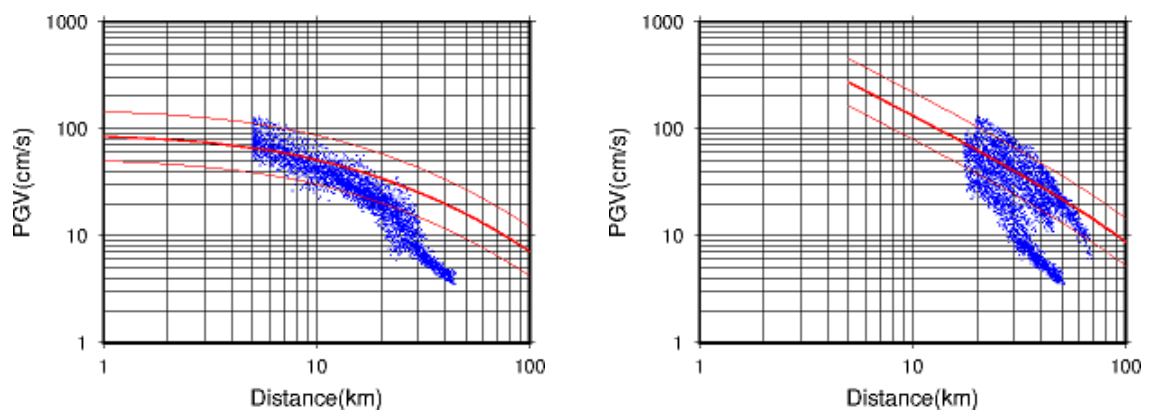


図 4. 3. 2-5 (2) 距離減衰式（司・翠川（1999））との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

断層直上において、100 cm/s を超える地点が見られる。断層付近の平野部では、50 cm/s 以上の地域が多い。

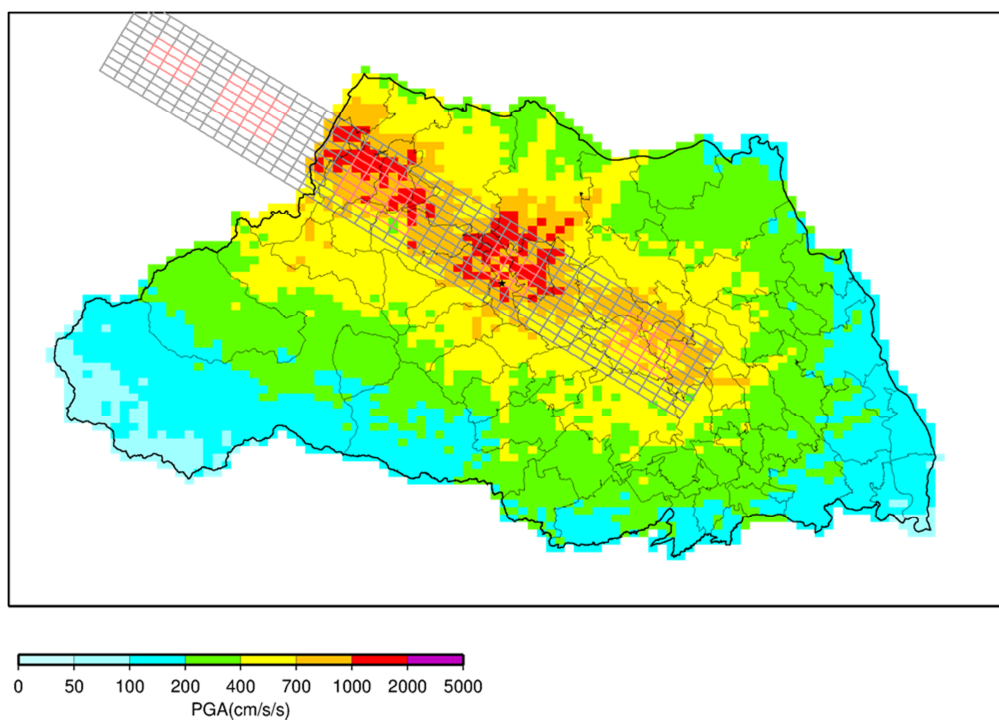


図 4. 3. 2-5(3) 工学的基盤加速度分布 関東平野北西縁断層帯地震
(破壊開始点：中央)

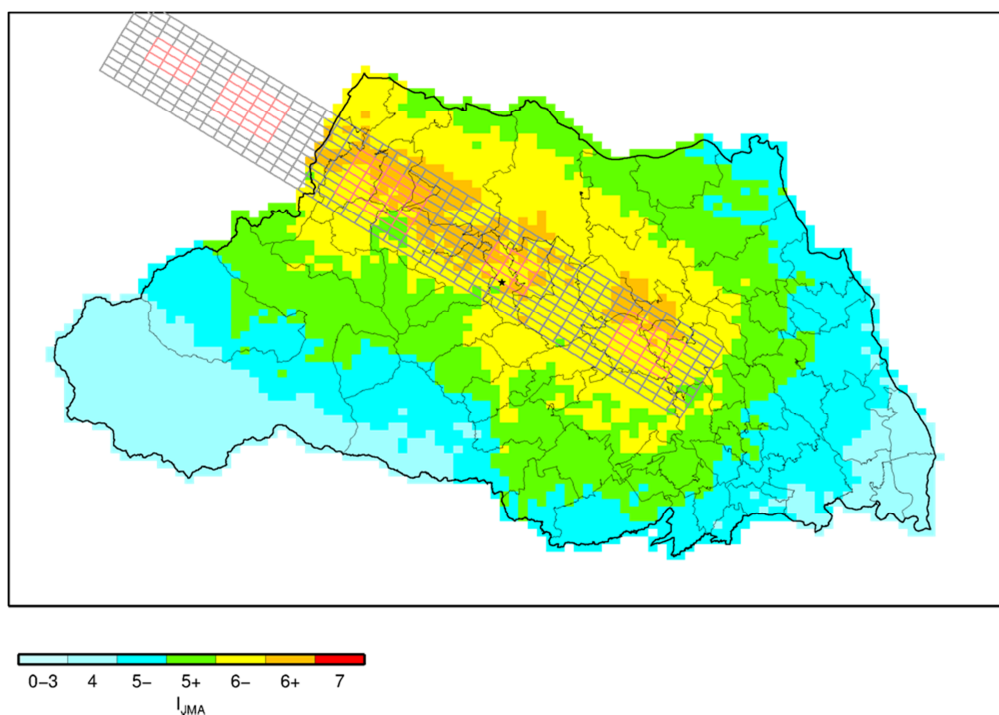


図 4. 3. 2-5(4) 工学的基盤震度分布 関東平野北西縁断層帯地震(破壊開始点：中央)

○ 関東平野北西縁断層帯地震（破壊開始点：南）の工学的基盤での地震動計算結果

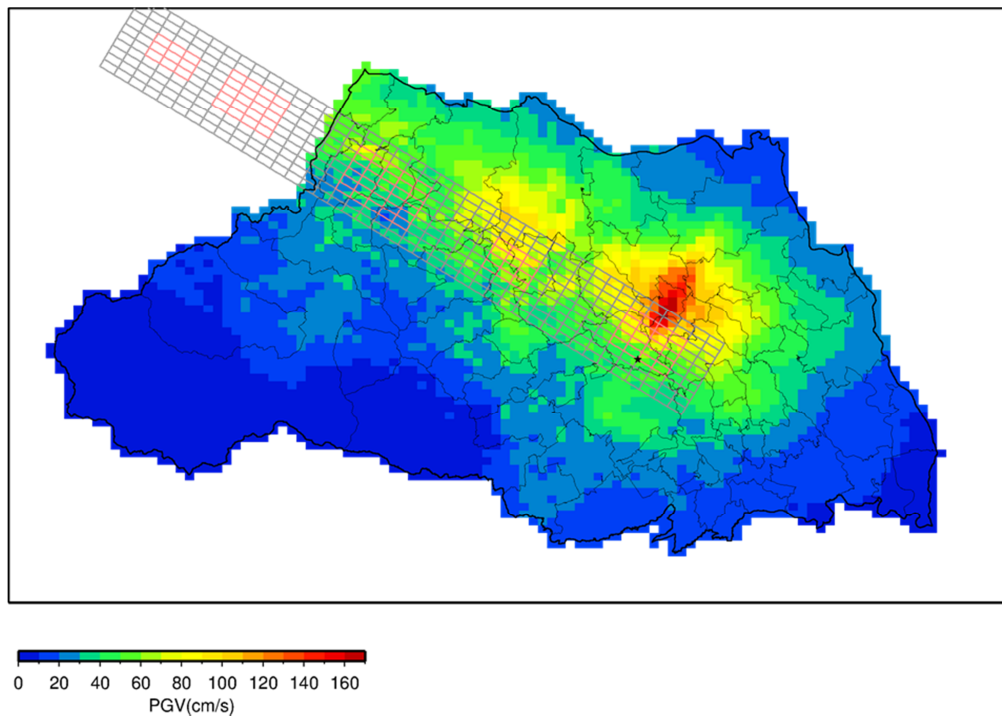


図 4.3.2-6(1) 工学的基盤最大速度分布 関東平野北西縁断層帯地震
（破壊開始点：南）

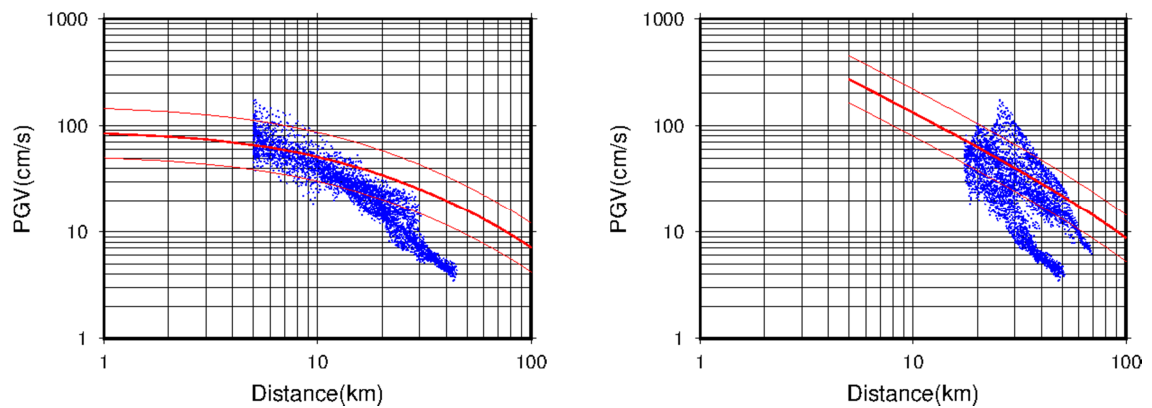


図 4.3.2-6(2) 距離減衰式（司・翠川（1999））との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

他の 2 ケースに比べ、破壊開始点付近の断層直上の最大速度は大きい、その広がり方は限定的である。

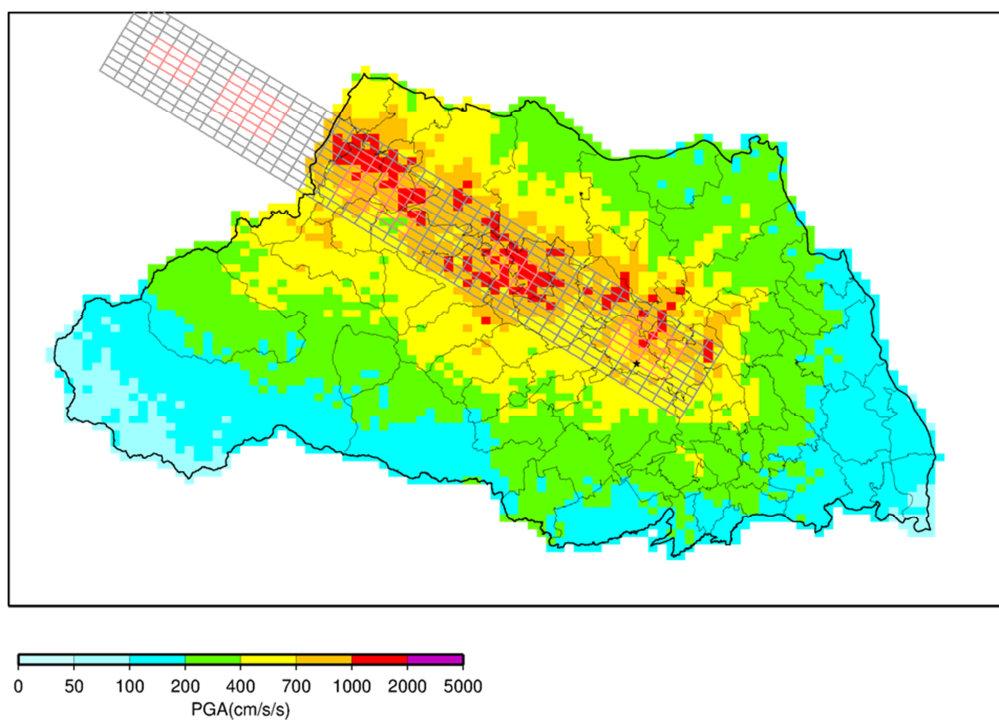


図 4. 3. 2-6 (3) 工学的基盤加速度分布 関東平野北西縁断層帯地震(破壊開始点:南)

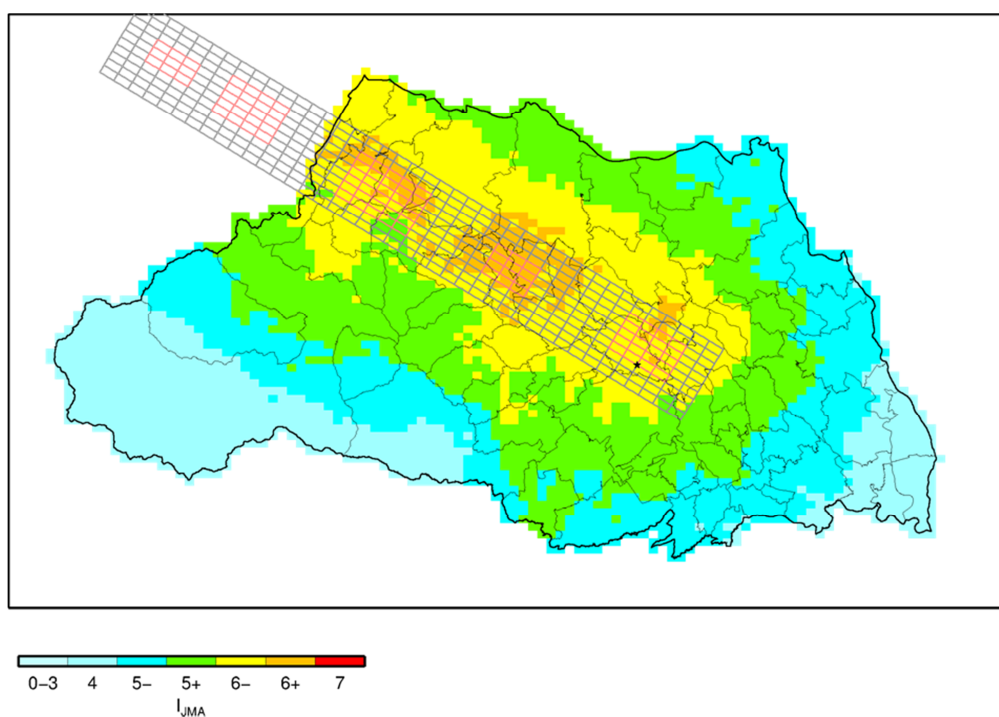


図 4. 3. 2-6 (4) 工学的基盤震度分布 関東平野北西縁断層帯地震 (破壊開始点 : 南)

○ 立川断層帯地震（破壊開始点：北）の工学的基盤での地震動計算結果

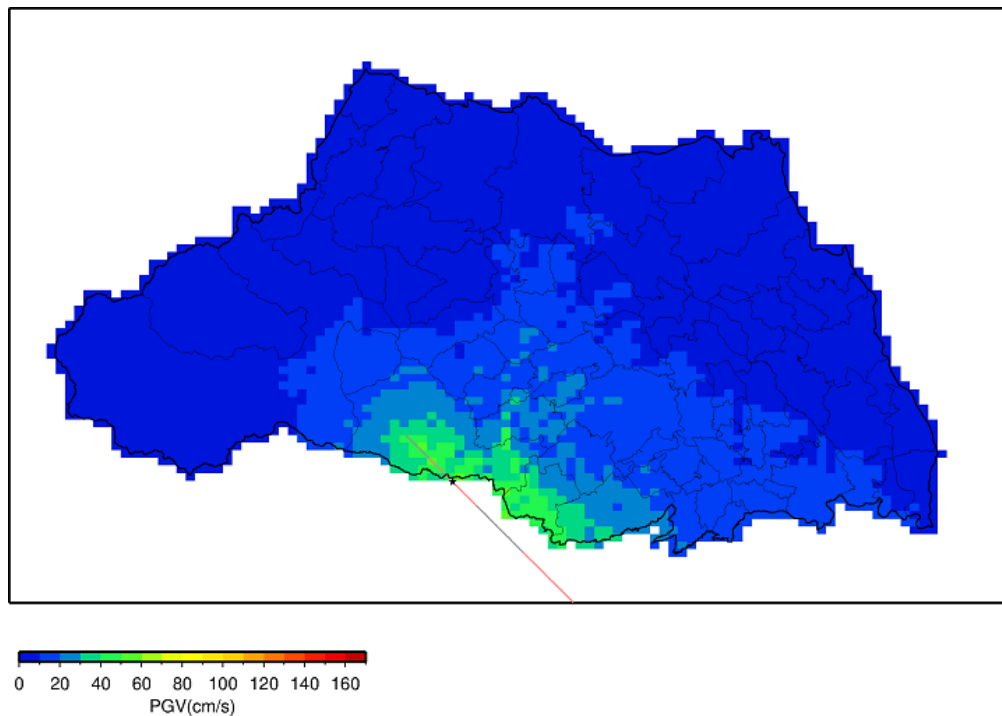


図 4. 3. 2-7 (1) 工学的基盤最大速度分布 立川断層帯地震（破壊開始点：北）

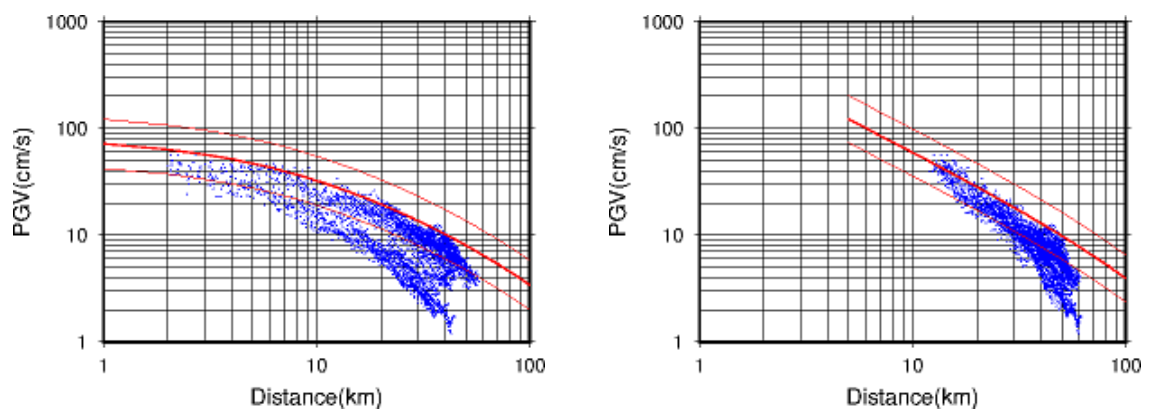


図 4. 3. 2-7 (2) 距離減衰式（司・翠川（1999））との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

破壊開始点南ケースと比べ、断層付近の最大速度は小さい。また、県南東部に 10 cm/s 以上の地域が広がる。

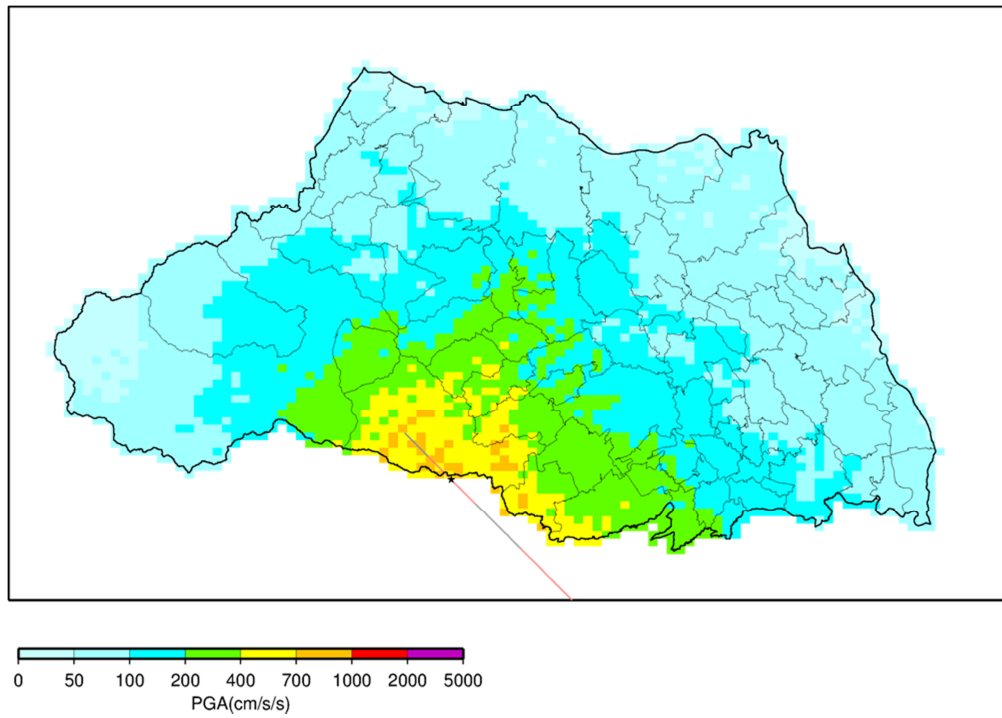


図 4.3.2-7(3) 工学の基盤加速度分布 立川断層帯地震（破壊開始点：北）

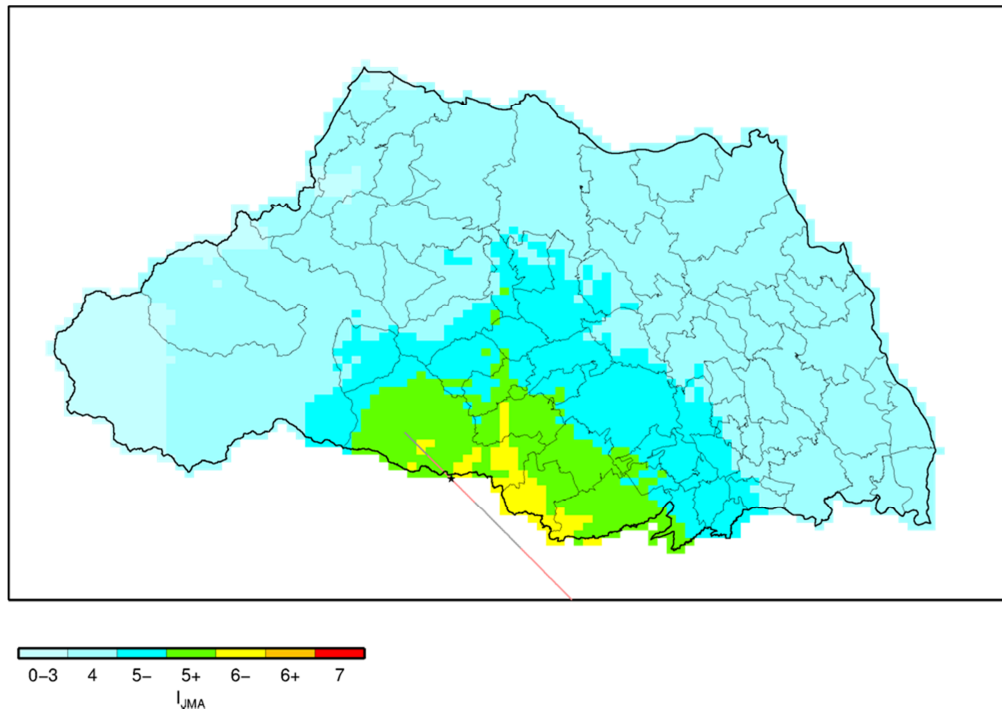


図 4.3.2-7(4) 工学の基盤震度分布 立川断層帯地震（破壊開始点：北）

○ 立川断層帯地震（破壊開始点：南）の工学的基盤での地震動計算結果

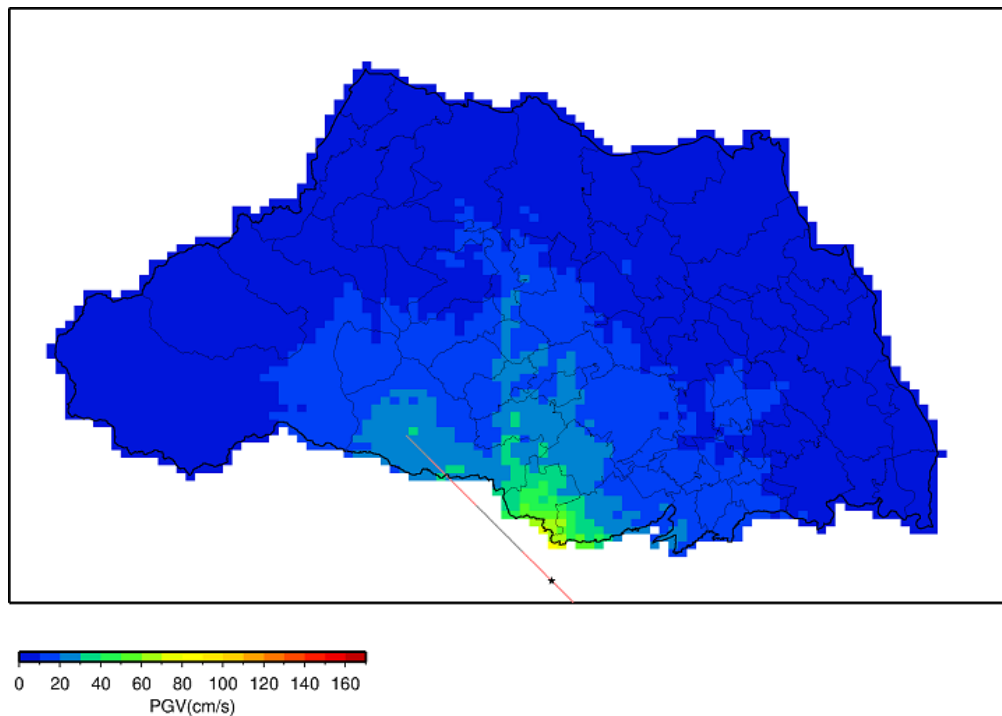


図 4. 3. 2-8(1) 工学的基盤最大速度分布 立川断層帯地震（破壊開始点：南）

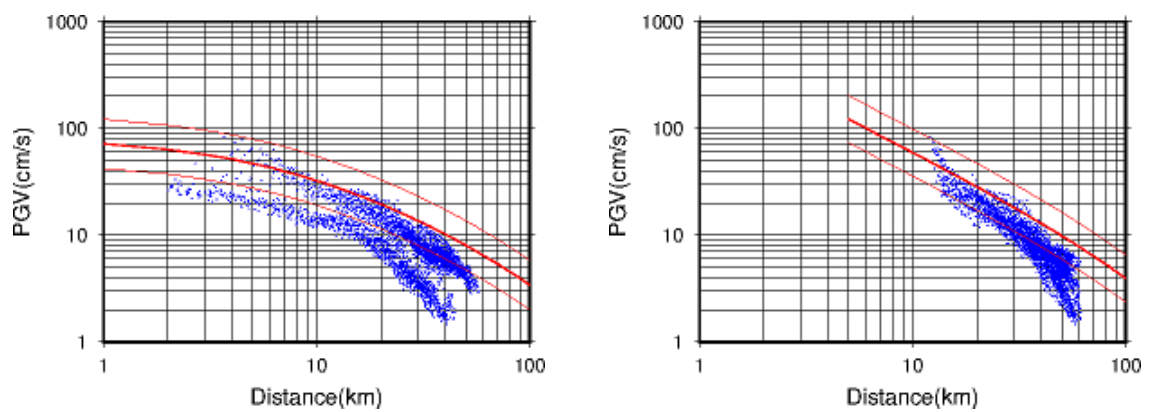


図 4. 3. 2-8(2) 距離減衰式（司・翠川（1999））との比較 Vs500

左：断層最短距離による最大速度

右：等価震源距離による最大速度

南側アスペリティ付近で速度が大きく、最大は 80 cm/s 程度である。

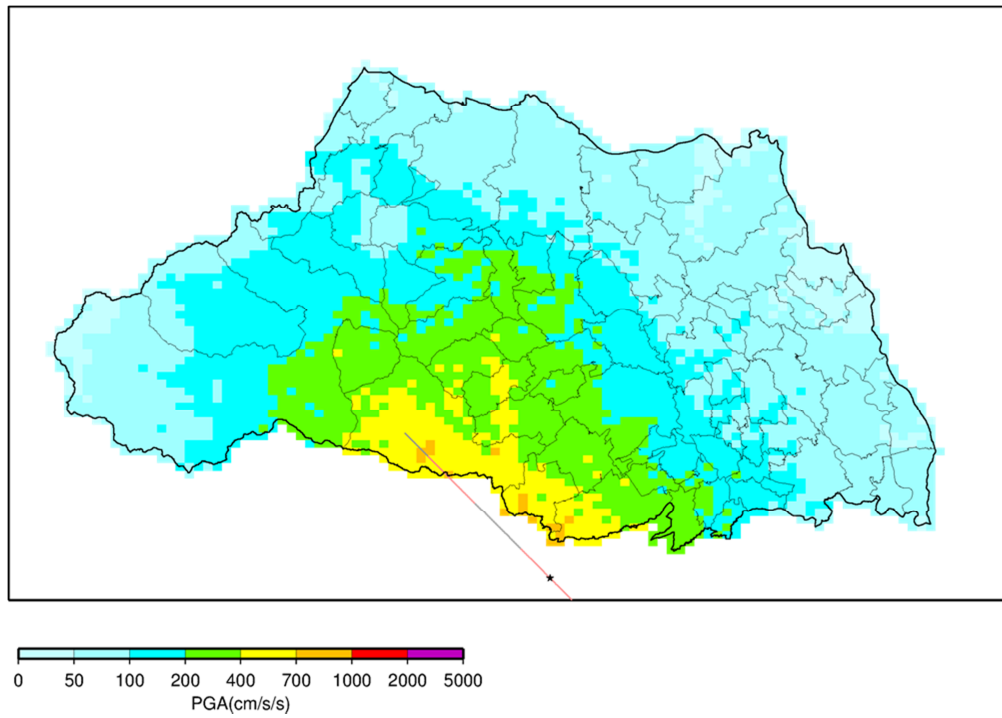


图 4.3.2-8(3) 工学的基盤加速度分布 立川断層帯地震（破壊開始点：南）

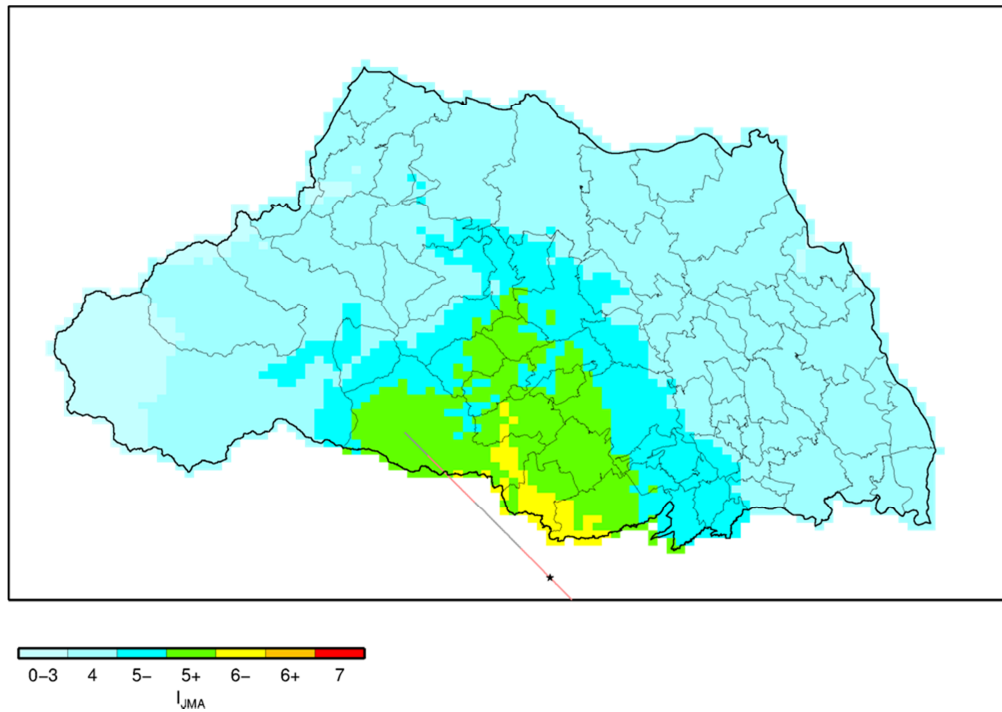


图 4.3.2-8(4) 工学的基盤震度分布 立川断層帯地震（破壊開始点：南）

4.4 浅部地盤の地震動予測計算

4.4.1 計算手法の概要

前節の工学的基盤の地震動波形を3.3節の浅部地盤モデルへの入力波形とした応答計算を行い、地表の地震動波形を予測計算する。計算条件としては、地盤の非線形性を考慮した（等価線形）場合と地盤を一律線形として扱った場合（線形）を事前に比較検討した上で、線形による手法を採用した。予測単位は4分の1地域メッシュ（約250mメッシュ）単位で行った。採用地震動の検討については、巻末資料5に整理した。

4.4.2 各想定地震の計算結果

浅部地盤における応答計算結果として、地表における震度分布及び速度分布を図4.4.2-1～図4.4.2-2に、市町村別の震度一覧表を表4.4.2-1に示す。

各想定地震の予測結果について述べる。

(1) 東京湾北部地震

- ・ 震度6強となる地域が南東部県境から概ね4kmの範囲に集中して分布している。震度6弱となる地域は、南東部県境から概ね10kmの範囲に集中して分布し、さらに概ね20kmの範囲に散在して分布する。

(2) 茨城県南部地震

- ・ 県東部の中川低地において震度6強となる地域が散在し、震度6弱となる地域も県東部に集中して分布する。

(3) 元禄型関東地震

- ・ 川口市、草加市、八潮市の一部の地域に震度6弱となる地域が集中して分布する。

(4) 関東平野北西縁断層帯地震

① 破壊開始点：北

- ・ 吉見町・川島町を中心とした地域及び本庄市、美里町を中心とした地域で震度7が分布し、断層周辺に震度6強が分布する。県内広域で震度6弱となる地域が分布する。

② 破壊開始点：中央

- ・ 吉見町・川島町を中心とした領域で震度7が分布し、断層周辺に震度6強が分布する。県内の広域に震度6弱が分布する。

③ 破壊開始点：南

- ・ 川島町・北本市を中心とした領域で震度 7 が分布し、断層周辺に震度 6 強が分布する。県内の広域に震度 6 弱が分布する。

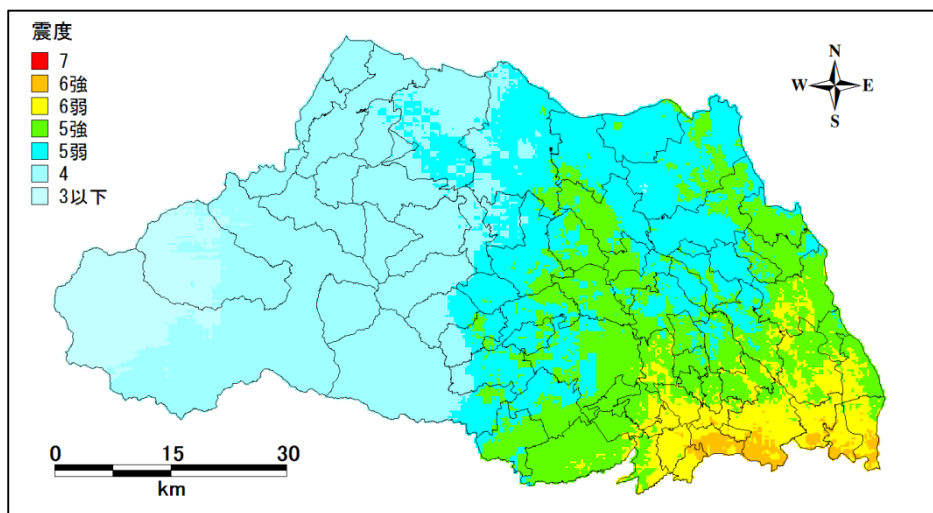
(5) 立川断層帯地震

① 破壊開始点：北

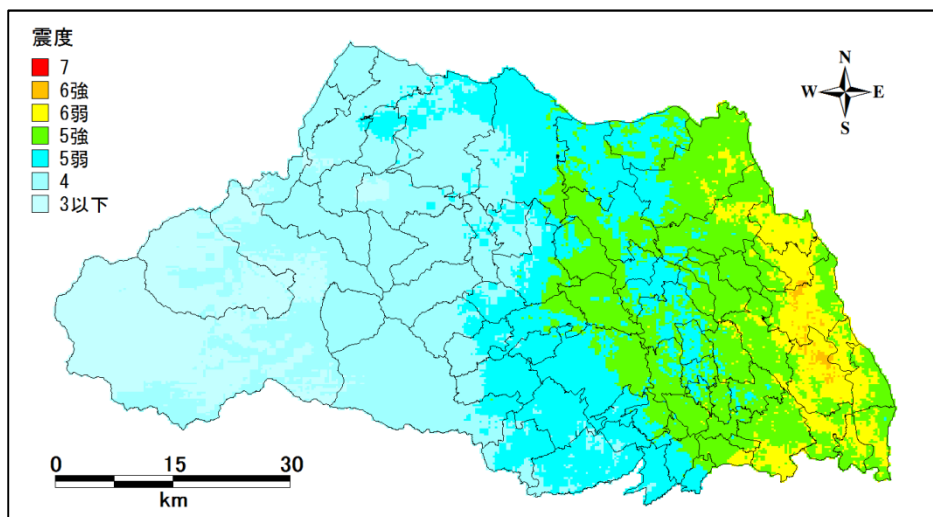
- ・ 入間市に震度 6 強が集中して分布し、県境から 10km 程度に震度 6 弱が集中して分布する。

② 破壊開始点：南

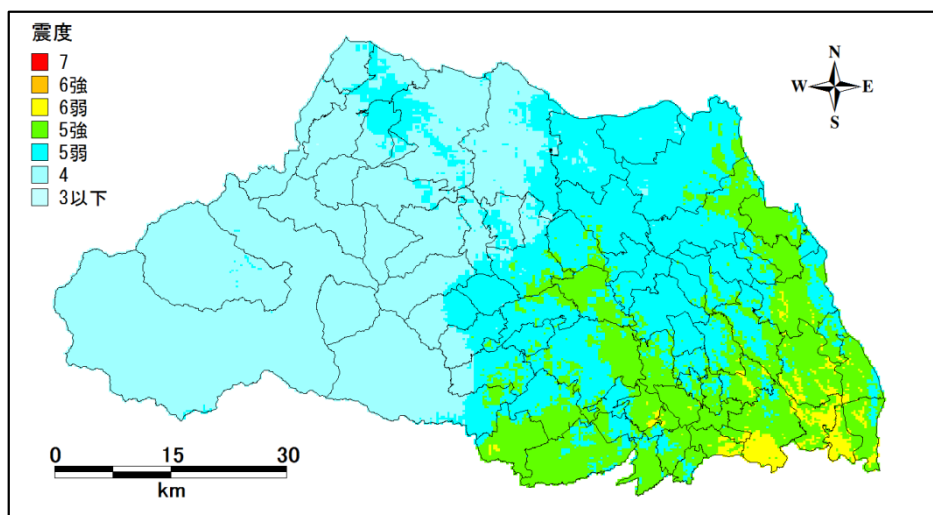
- ・ 所沢市、入間市に震度 6 強となる地域が集中して分布し、その周囲 10km 程度の範囲に震度 6 弱となる地域が集中して分布する。



東京湾北部地震

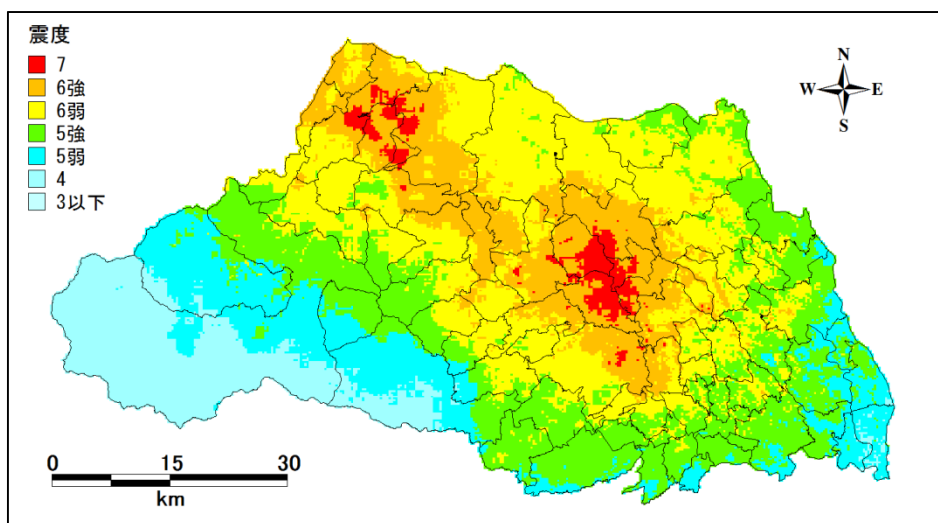


茨城県南部地震

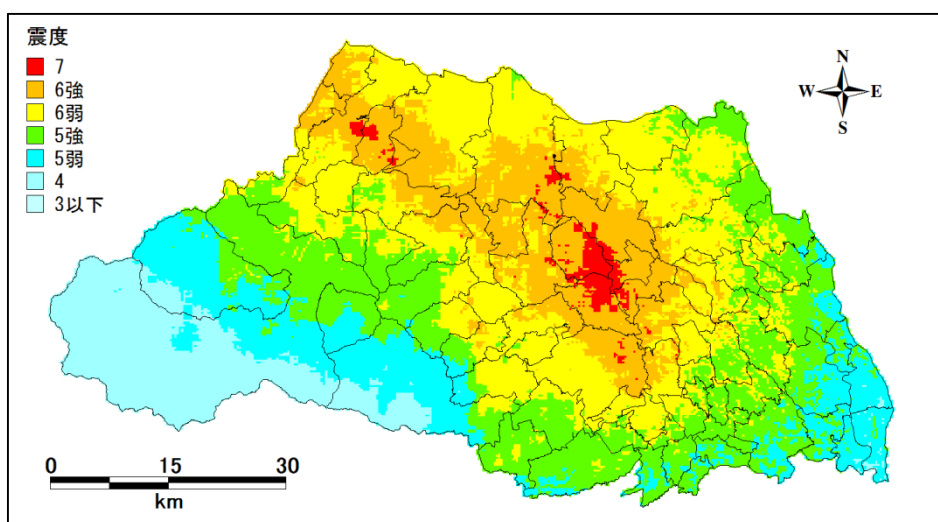


元禄型関東地震

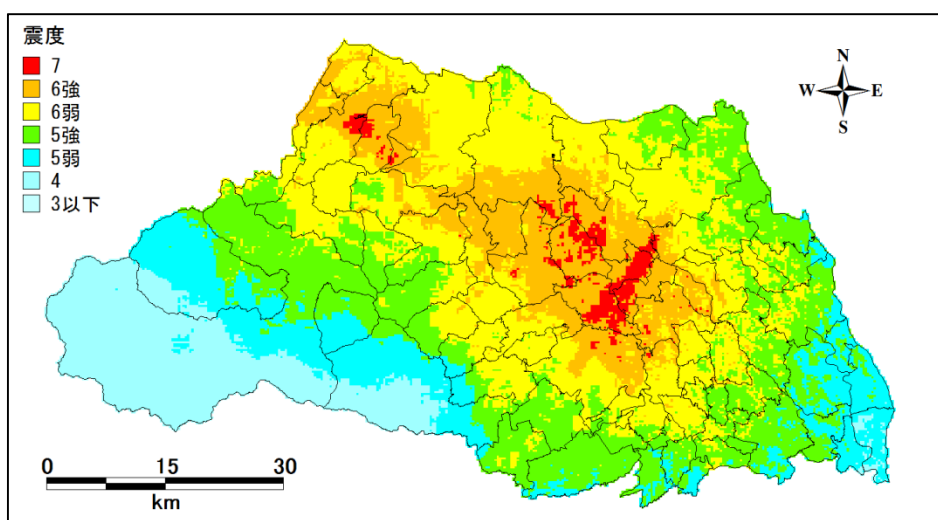
図 4. 4. 2-1 (1) 地表震度分布図
(海溝型地震)



破壊開始点：北

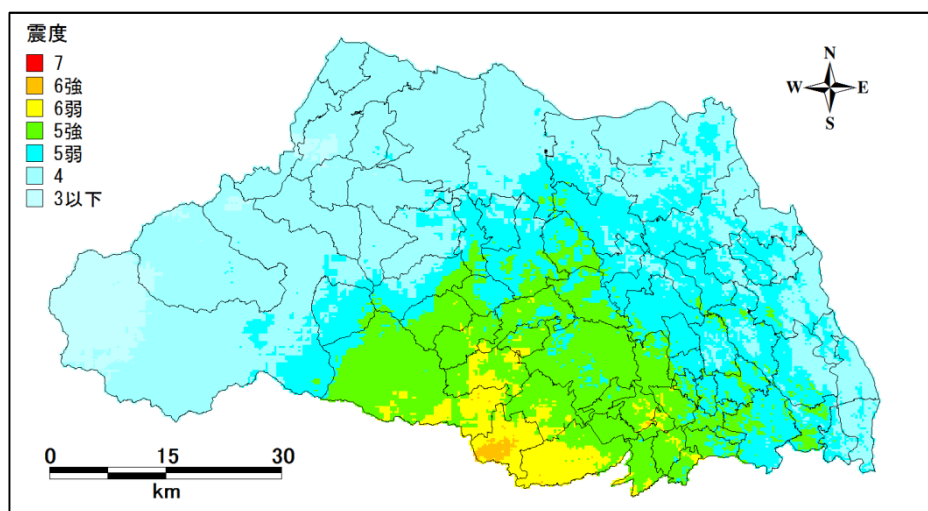


破壊開始点：中央

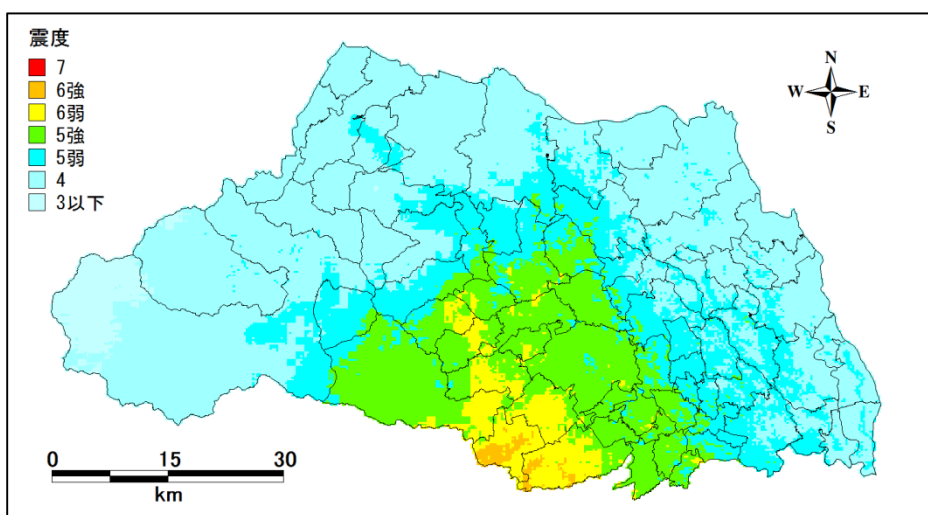


破壊開始点：南

図 4. 4. 2-1 (2) 地表震度分布図
(活断層型地震 関東平野北西縁断層帯地震)

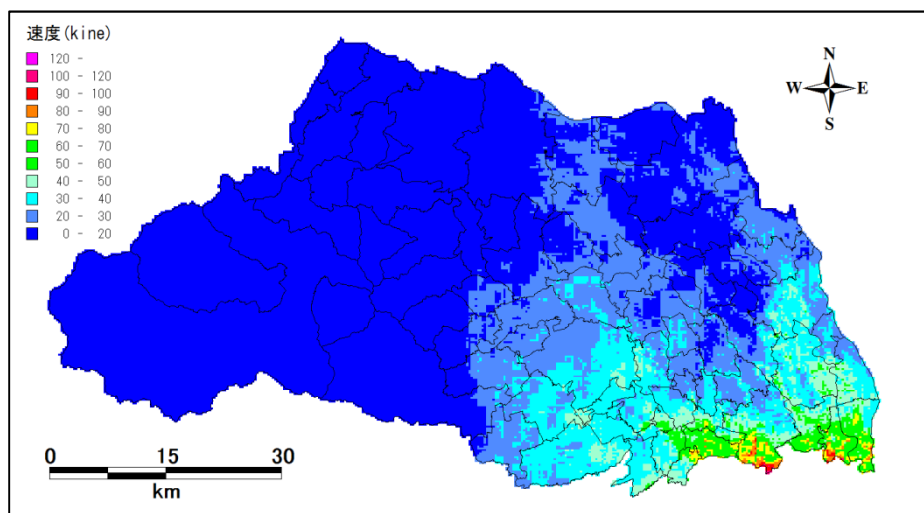


破壊開始点：北

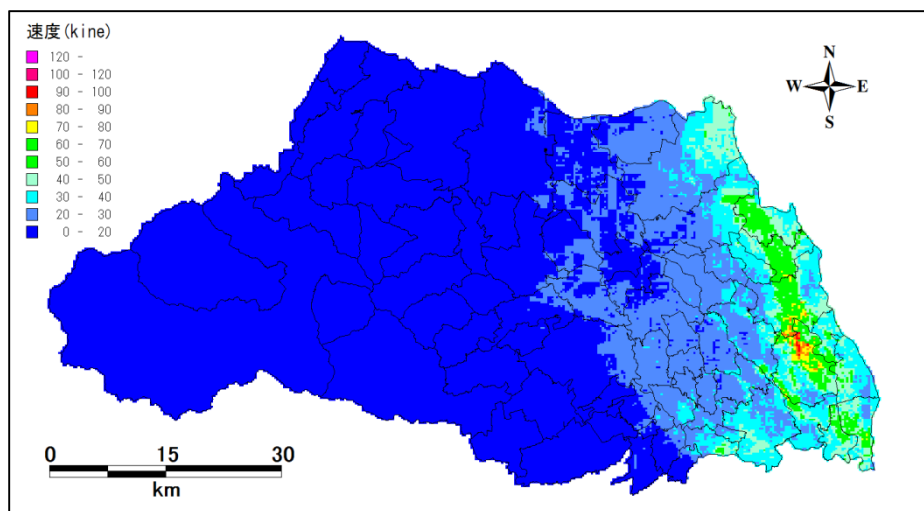


破壊開始点：南

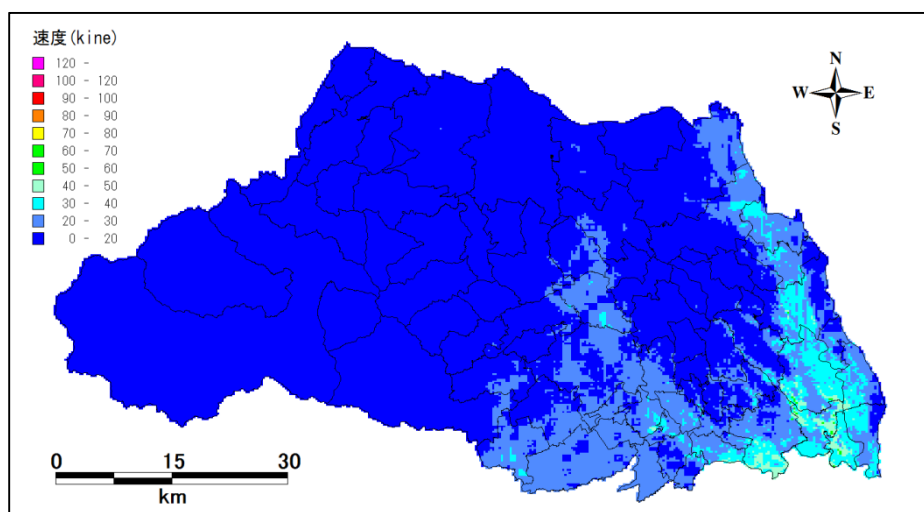
図 4. 4. 2-1 (3) 地表震度分布図
(活断層型地震 立川断層帯地震)



東京湾北部地震

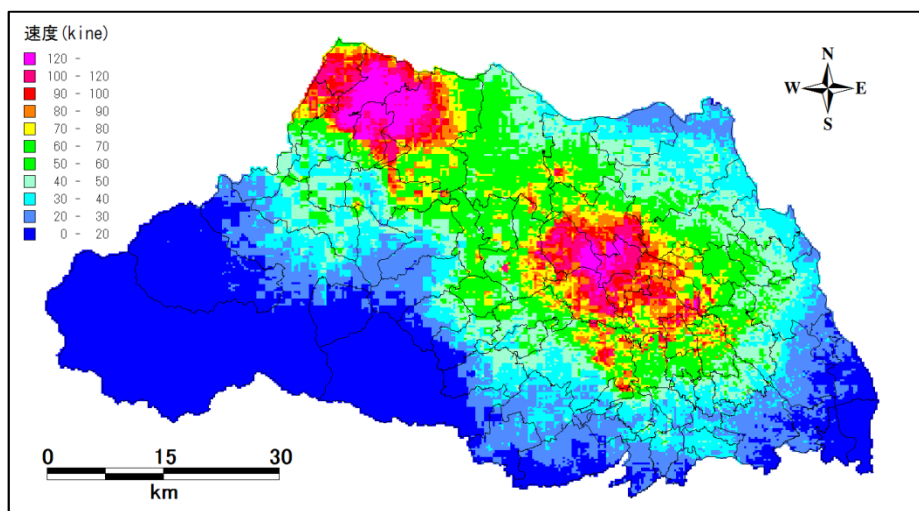


茨城県南部地震

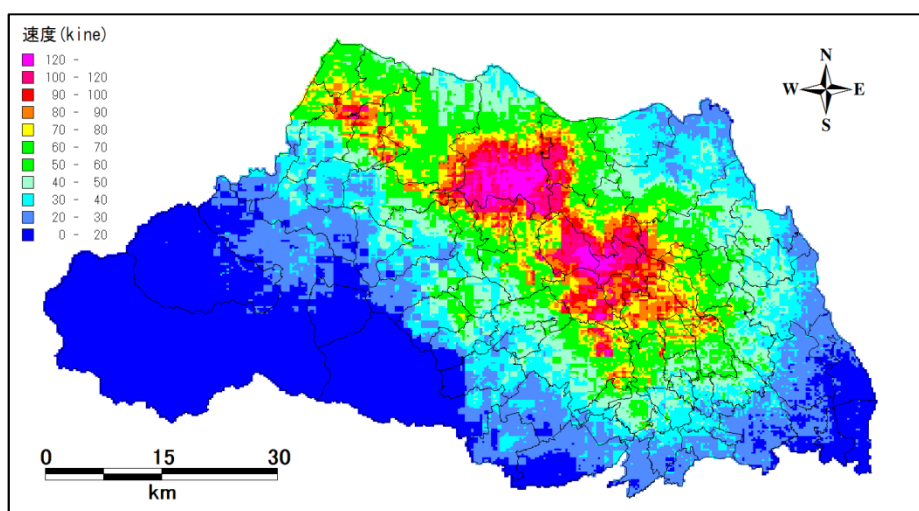


元禄型関東地震

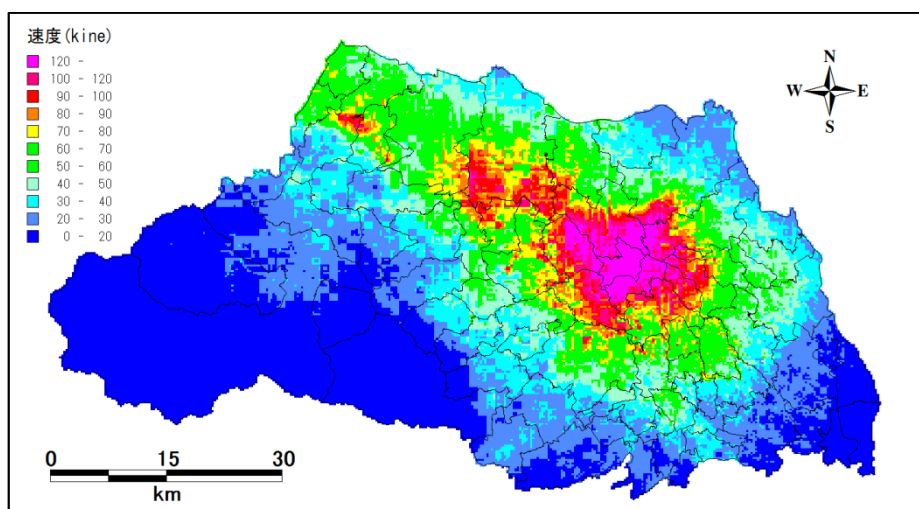
図 4. 4. 2-2(1) 地表速度分布図
(海溝型地震)



破壊開始点：北



破壊開始点：中央



破壊開始点：南

図 4. 4. 2-2(2) 地表速度分布図
(活断層型地震 関東平野北西縁断層帯地震)

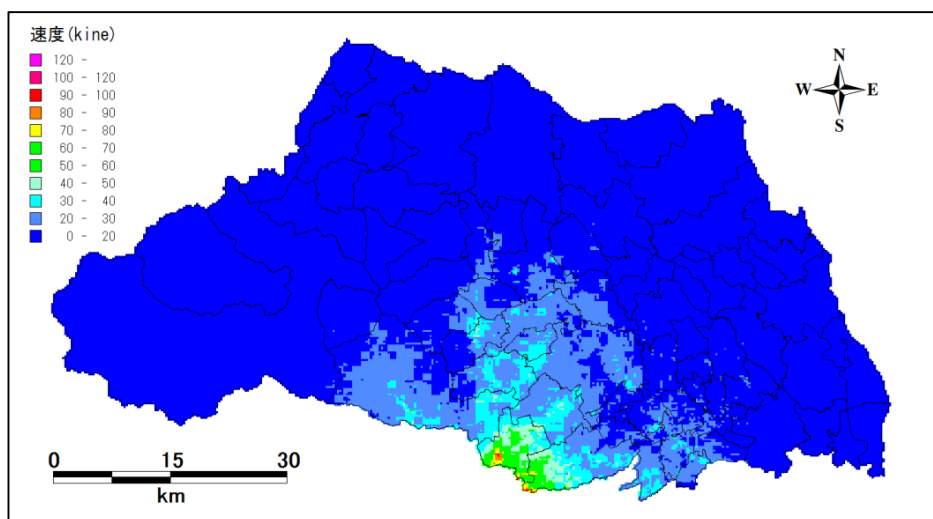
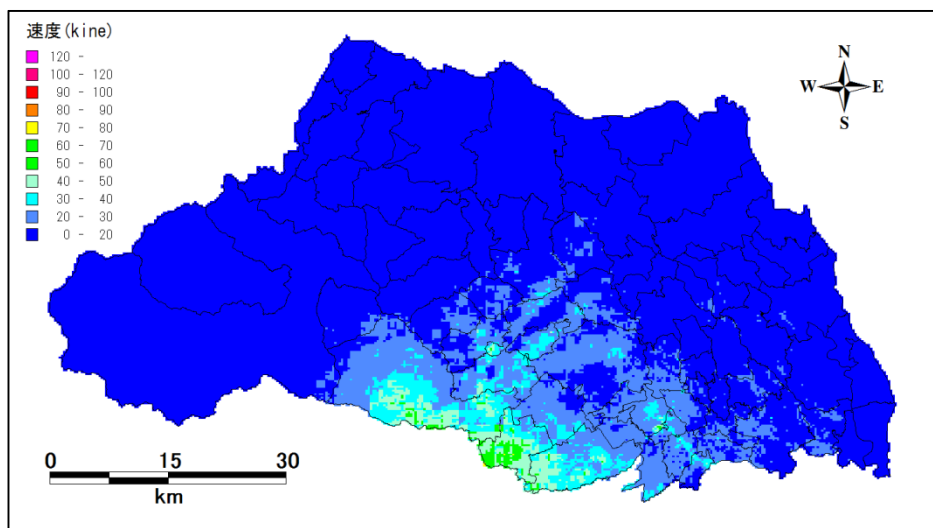


図 4. 4. 2-2 (3) 地表速度分布図
(活断層型地震 立川断層帯地震)

表 4. 4. 2-1 市町村別震度一覧表

市区町村名		想定地震								
		東京湾 北部地震	茨城県 南部地震	元禄型 関東地震	関東平野北西縁断層帯地震			立川断層帯地震		5地震の 最大震度
					破壊開始点 北	破壊開始点 中央	破壊開始点 南	破壊開始点 北	破壊開始点 南	
さいたま市	西区	6弱	6弱	5強	7	7	7	6弱	5強	7
	北区	6弱	6弱	5強	7	7	7	6弱	5強	7
	大宮区	6弱	5強	5強	6強	6強	6強	5強	5強	6強
	見沼区	6弱	6弱	6弱	6強	6強	6強	5強	5強	6強
	中央区	6弱	6弱	6弱	6強	6強	6強	6弱	5強	6強
	桜区	6弱	6弱	6弱	6強	6弱	6強	6弱	6弱	6強
	浦和区	6弱	6弱	5強	6強	6強	6強	5強	5強	6強
	南区	6強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	5強	5強	6強
	緑区	6弱	6弱	6弱	6強	6弱	6強	5強	5強	6強
	岩槻区	6弱	6弱	6弱	6強	6強	6強	5強	5強	6強
川越市		6弱	5強	5強	7	7	7	6弱	6弱	7
熊谷市		5強	5強	5弱	7	7	7	5強	5強	7
川口市		6強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	5強	5強	6強
行田市		5強	5強	5弱	6強	7	6強	5強	5弱	7
秩父市	4	4	4	5弱	6強	6弱	6弱	5強	5強	6強
所沢市		6弱	5弱	5強	6弱	6弱	6弱	6強	6強	6強
飯能市		5強	5強	5強	6弱	6弱	6弱	6強	6弱	6強
加須市		5強	6弱	5強	6強	6強	6強	5弱	5弱	6強
本庄市	4	5弱	5弱	5弱	7	7	7	4	5弱	7
東松山市		5強	5強	5強	7	7	7	6弱	6弱	7
春日部市		6弱	6強	6弱	6強	6弱	6強	5強	5弱	6強
狭山市		5強	5弱	5強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱
羽生市		5強	5強	5弱	6弱	6強	6強	5弱	5弱	6強
鴻巣市		5強	5強	5強	7	7	7	5強	5強	7
深谷市		5弱	5弱	5弱	7	6強	6強	5弱	5弱	7
上尾市		6弱	6弱	5強	7	7	7	5強	5強	7
草加市		6強	6弱	6弱	6弱	5強	5強	5強	5弱	6強
越谷市		6強	6強	6弱	6弱	6弱	6弱	5強	5弱	6強
蕨市		6強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	5強	5弱	6強
戸田市		6強	6弱	6弱	5強	5強	6弱	6弱	6弱	6強
入間市		5強	5弱	6弱	6弱	6弱	6弱	6強	6強	6強
朝霞市		6強	5強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	6強
志木市		6弱	5強	6弱	6弱	6強	6弱	6強	6弱	6強
和光市		6強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	6弱	6弱	6強
新座市		6弱	5強	5強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱
桶川市		5強	5強	5強	7	7	7	5強	5強	7
久喜市		5強	6弱	5強	6強	6強	7	5弱	5弱	7
北本市		5強	5強	5強	7	7	7	5強	5強	7
八潮市		6強	6弱	6弱	5強	5強	5強	5強	5弱	6強
富士見市		6強	5強	6弱	6強	6強	6強	6強	6弱	6強
三郷市		6強	6弱	6弱	5強	5強	5弱	5弱	5弱	6強
蓮田市		5強	6弱	5強	6強	6強	6強	5強	5弱	6強
坂戸市		5強	5強	5強	7	7	7	6弱	6弱	7
幸手市		5強	6強	5強	6弱	6弱	6弱	5弱	5弱	6強
鶴ヶ島市		5強	5強	5強	6強	6強	6強	6弱	6弱	6強
日高市		5強	5弱	5強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱
吉川市		6弱	6弱	6弱	6弱	5強	5強	5弱	5弱	6弱
ふじみ野市		6弱	5強	5強	6強	6強	6強	6弱	6弱	6強
白岡市		5強	5強	5強	6強	6強	6強	5弱	5弱	6強
伊奈町		5強	6弱	5強	7	6強	7	5強	5弱	7
三芳町		6弱	5強	5強	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱	6弱
毛呂山町		5強	5弱	5強	6強	6強	6強	6弱	6弱	6強
越生町		5強	5弱	5弱	6強	6強	6強	6弱	6弱	6強
滑川町		5弱	5弱	5弱	6強	6強	6強	5強	5強	6強
嵐山町		5弱	5弱	5弱	6強	6強	6強	5強	5強	6強
小川町		5弱	5弱	5弱	6強	7	7	5強	5強	7
川島町		5強	5強	5強	7	7	7	5強	6弱	7
吉見町		5強	5強	5強	7	7	7	5強	6弱	7
鳩山町		5強	5弱	5強	6強	6強	6強	5強	6弱	6強
ときがわ町		5弱	5弱	5弱	6強	6強	6強	5強	6弱	6強
横瀬町	4	4	4	4	5強	5強	5強	5強	5強	5強
皆野町	4	4	4	4	6強	6強	6強	5弱	5弱	6強
長瀬町	4	4	4	4	6弱	6強	6弱	4	4	6強
小鹿野町	4	4	4	5弱	6弱	6弱	6弱	5弱	5弱	6弱
東秩父村	4	4	4	4	6強	6強	6強	5弱	5弱	6強
美里町	5弱	5弱	5弱	5弱	7	7	7	5弱	5弱	7
神川町	4	4	4	5弱	7	6強	6強	4	4	7
上里町	4	4	4	5弱	6強	6強	6強	4	4	6強
寄居町	5弱	5弱	5弱	5弱	7	7	7	5弱	5弱	7
宮代町	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	6弱	5弱	5弱	6弱
杉戸町	6弱	6強	5強	5強	6弱	6強	6弱	5弱	5弱	6強
松伏町	6弱	6強	6弱	6弱	6弱	5強	5強	5弱	5弱	6強

参考文献

- ¹ 中央防災会議(2004)：首都直下地震対策専門調査会
- ² 東京都防災会議(2012)：首都直下地震による東京の被害想定報告書
- ³ 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009)：全国地震動予測地図
- ⁴ 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(2012)：平成 23 年度成果報告書
- ⁵ 中央防災会議地震ワーキンググループ(2004)：「首都直下地震対策専門調査会」(第 12 回)地震ワーキンググループ報告書(図表集)
- ⁶ Boore, D.M. (1983) : Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.73, No.6, pp.1865-1894.
- ⁷ 鶴来雅人・香川敬生・入倉孝次郎、古和田明(1997)：近畿地方で発生する地震の $f_{\max}$ に関する基礎的検討，地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 103.
- ⁸ Brune, J.N (1970): Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J.Geophys. Res., Vol.75, pp.4997-5009.
- ⁹ Kamae and Irikura (1992): Prediction of site-specific strong ground motion using semi-empirical methods, Proc. 10th WCEE, Vol.2, pp.801-806.
- ¹⁰ 木下繁夫(1993): 地震観測に基づく観測点特性と経路減衰特性の評価，地震 2, 46, pp.161-170.
- ¹¹ 香川敬生(2004)：ハイブリッド合成法に用いる統計的グリーン関数法の長周期帯域への拡張，日本地震工学会論文集，第 4 巻，第 2 号.
- ¹² Haskell., N. A.(1964): The dispersion of surface waves on multi-layered media, BSSA, 43(1), pp.17-34.
- ¹³ 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子(1997): 経験的グリーン関数法を用いた強震動予測方法の改良，地震学会講演予稿集, 1997 年度秋季大会, B25.
- ¹⁴ 司 宏俊・翠川三郎(1999)：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，第 523 号, 63-70.