

5. 詳細法による地震動の予測

5-1. 予測計算に用いる震源モデルの設定

(1) 断層の巨視的パラメータ (表 5.1-1)

3章で選定した5つの断層について、文部科学省地震調査研究推進本部「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシビ)」に準拠して、詳細法による地震動検討に用いる特性化震源モデルを設定した。その際、各断層による地震の佐賀県への影響が大きくなるように断層パラメータを設定した。特に、佐賀平野北縁断層帯については、アスペリティの位置や破壊開始点を変更した複数のケースを検討し、人口の多い地域に最大の影響のある地震動を求めることとした。

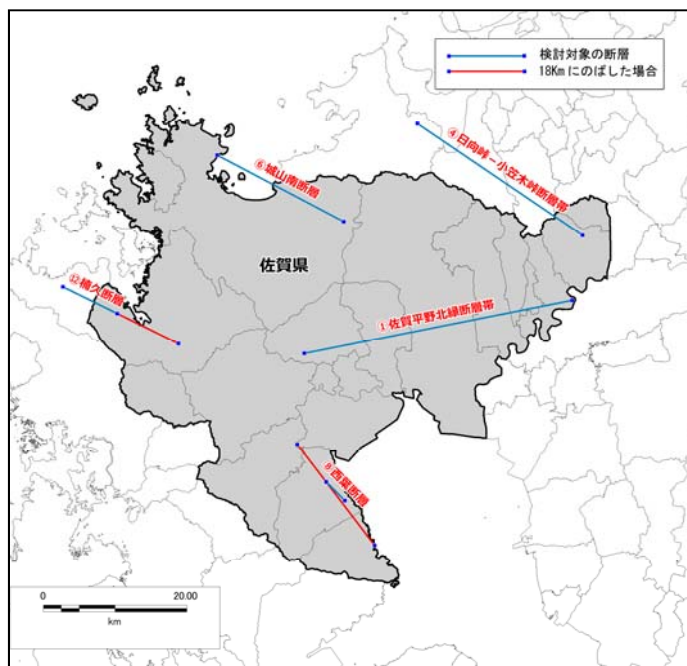


図 5.1-1 詳細法による検討を行う断層のトレース

断層の上端深さについては、文部科学省地震調査研究推進本部「全国1次地下構造モデル」による地震基盤上面の深さ分布(図 5.1-2)をもとに、県内への影響が大きくなるように地震基盤上面に近い深度まで浅く設定した。

表 5.1-1 震源として検討する断層の巨視的パラメータ

断層名	断層の長さ (km)		走向 (°)	傾斜 (°)	上端深さ (km)	幅 (km)	マグニチュード M	モーメント マグニチュード Mw	計算用断層モデル (km)	
	既往資料	検討上の長さ							長さ	幅
佐賀平野北縁断層帯	38	38	79	60S	3→2	17	7.5	6.9	40	18
日向峠-小笠木峠断層帯	28	28	305	90	3→1	15	7.2	6.7	28	16
城山南断層	19.5	19.5	118.6	90	3→1	17	7.0	6.5	20	18
西葉断層	3.5	18	143	75SW	3→2	18	6.9	6.5	18	18
楠久断層	8.6	18	116	90	3	18	6.9	6.5	18	18

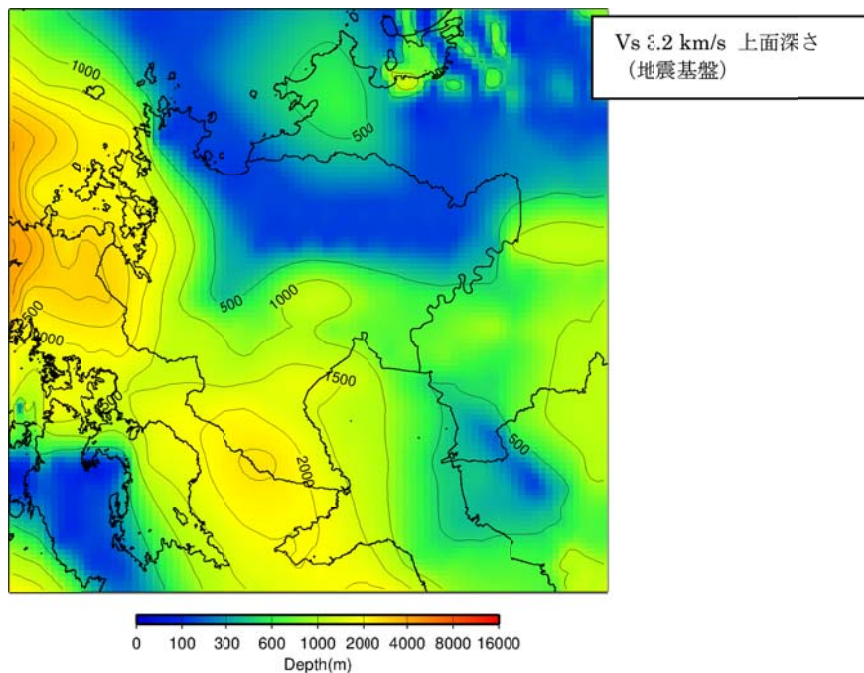


図 5.1-2 文部科学省地震調査研究推進本部「全国 1 次地下構造モデル」による地震基盤上面の深さ分布

(2) 佐賀平野北縁断層帯の特性化震源モデル

平成 25 年度から文部科学省地震調査研究推進本部による活断層調査が実施されており、今後断層パラメータの一部（断層の位置、長さ、傾斜など）が変更される可能性がある。この点をふまえ、主なパラメータについては、文部科学省地震調査研究推進本部の長期評価で設定されているパラメータを参照して設定した。

a) 断層の位置、長さ

重力基盤の落ち込みにもとづき評価された地下での最大想定長さ（38 km）を採用した。

b) 断層の傾斜

文部科学省地震調査研究推進本部の長期評価で南傾斜 60° ～ 80° とされているので、地震が発生した場合に県内への影響が最も大きいと予想される傾斜角として南傾斜 60° と設定した。最終的には文部科学省地震調査研究推進本部の断層調査結果をふまえて再検討する必要がある。

c) アスペリティ・破壊開始点

この断層による地震活動は、県内への影響が大きい。したがって、アスペリティや破壊開始点の位置を変更した複数のケースを検討した。

文部科学省地震調査研究推進本部でパラメータを設定している全国の活断層の例をみても、この程度の規模の断層では、アスペリティの数は 2 つとされている。一方、「影響が最大になる地震」として設定するために、アスペリティ 3 ケ所の場合も検討した（図 5.1-3、表 5.1-2）。

アスペリティ 2 ケ所：ケース 1, 2
 3 ケ所：ケース 3, 4, 5
 1 ケ所：ケース 6 ※参考ケース

破壊開始点の位置は、アスペリティの位置に合わせて、破壊開始点が、断層の東にある場合、西にある場合、中間にある場合を検討した。

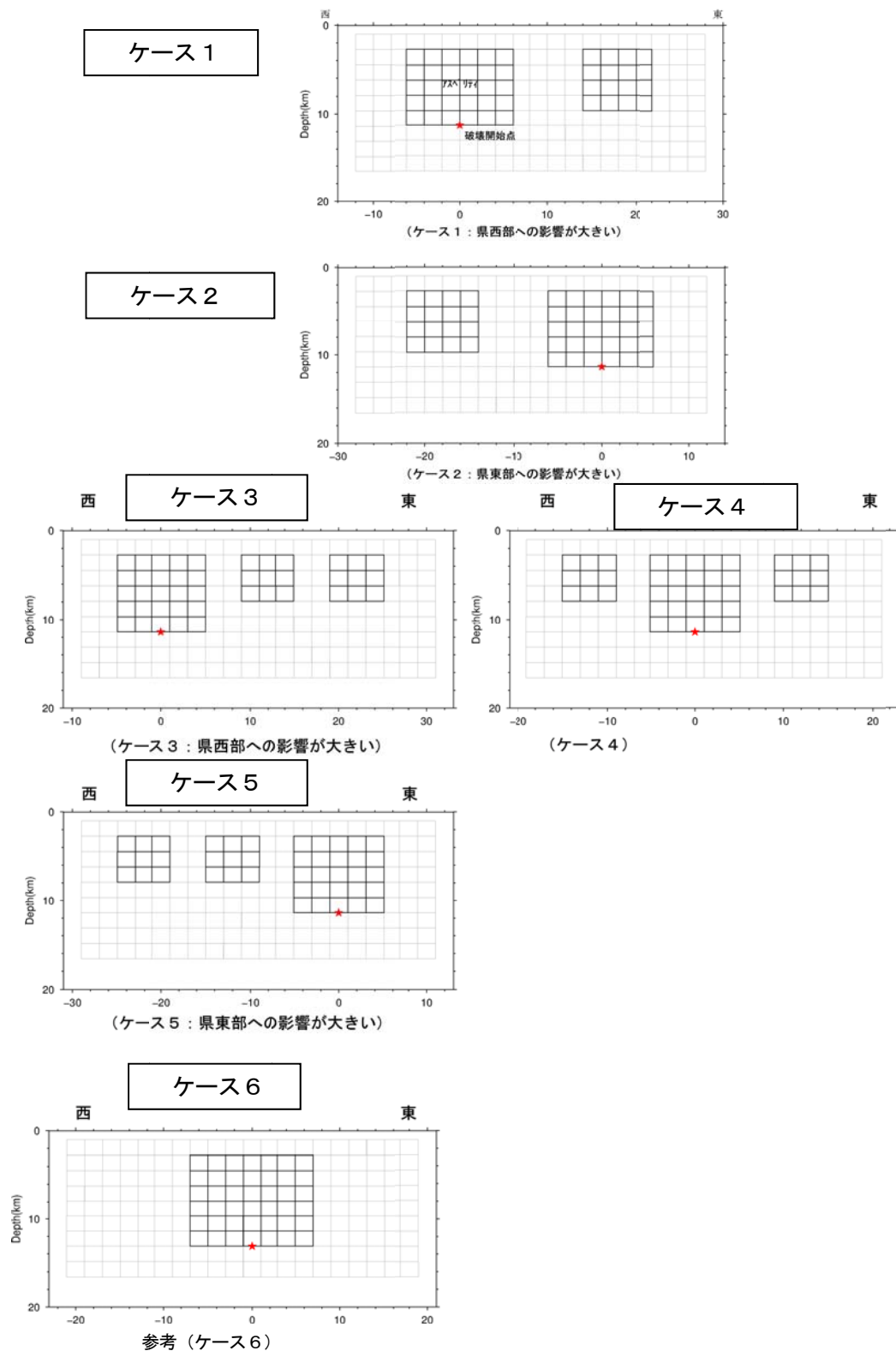


図 5.1-3 佐賀平野北縁断層帯の特性化震源モデルのアスペリティ配置 (鉛直投影断面図)

表 5. 1-2 佐賀平野北縁断層帯の詳細断層パラメータの比較

アスペリティ数	断層全体			アスペリティ全体		最大アスペリティ			背景領域		
	面積 (km ²)	平均すべり量 (m)	地震モーメント M ₀ (N・m)	面積 (km ²)	分割比率	面積 (km ²)	平均すべり量 (m)	地震モーメント M ₀ (N・m)	面積 (km ²)	平均すべり量 (m)	地震モーメント M ₀ (N・m)
2	720	1.3	2.85 × 10 ¹⁹	170 (23.6%)	2:1	114.7	2.9	1.03 × 10 ¹⁹	548	0.9	1.46 × 10 ¹⁹
3					3:1:1						

(3) その他の断層の特性化震源モデル

佐賀県への影響が大きくなるように、県域に近い位置ないし県内にアスペリティを配置して設定した(図 5. 1-4)。

- ・日向峠-小笠木峠断層帯

アスペリティは1つとし、鳥栖市、基山町などへの影響が大きくなるように、断層の南東部に設定した。

- ・城山南断層

アスペリティは1つとし、唐津市付近への影響が大きくなるように断層の北西部に設定した。

- ・楠久断層

簡便法による検討をふまえ、断層の長さは 18 km に設定した。アスペリティの数は1つとし、伊万里市付近への影響が大きくなるように、断層の南東部に設定した。

- ・西葉断層

簡便法による検討をふまえ、断層の長さは 18 km に設定した。アスペリティの数は1つとし、佐賀県内への影響が大きくなるように、断層の中央付近に設定した。

表 5. 1-3 その他の断層の詳細断層パラメータ

断層名	断層全体				アスペリティ		背景領域
日向峠-小笠木峠断層帯	M7.2 Mw6.7	L=28(32) 上端=1 W=16	S=512 D=1.0 M ₀ =1.57	Δσ=3.3 A=1.33	S=109.4 D=2.0 σ ₂ =15.5 M ₀ =0.683	S=402.6 D=0.7 σ ₂ =3.5 M ₀ =0.891	
城山南断層	M7.0 Mw6.5	L=19.5(20) 上端=1 W=18	S=360 D=0.7 M ₀ =0.777	Δσ=2.8 A=1.05	S=60.8 D=1.4 σ ₂ =16.4 M ₀ =0.266	S=299.2 D=0.5 σ ₂ =2.5 M ₀ =0.511	
楠久断層	M6.9 Mw6.5	L=18(20) 上端=3 W=18	S=360 D=0.6 M ₀ =0.665	Δσ=2.4 A=0.997	S=50.3 D=1.2 σ ₂ =17 M ₀ =0.188	S=309.7 D=0.5 σ ₂ =2.8 M ₀ =0.477	
西葉断層	M6.9 Mw6.5	L=18(20) 上端=2 W=18	S=360 D=0.6 M ₀ =0.665	Δσ=2.4 A=0.997	S=50.3 D=1.2 σ ₂ =17 M ₀ =0.188	S=309.7 D=0.5 σ ₂ =2.8 M ₀ =0.477	

M: マグニチュード, Mw: モメントマグニチュード, L: 長さ (km), 上端 (km), W: 幅 (km)

S: 面積 (km²), D: 平均すべり量 (m), Δσ: 静的応力降下量 (MPa),

短周期レベル A: (× 10¹⁹ N・m), M₀: 地震モーメント (× 10¹⁹ N・m²), σ₂: 実効応力 (MPa)

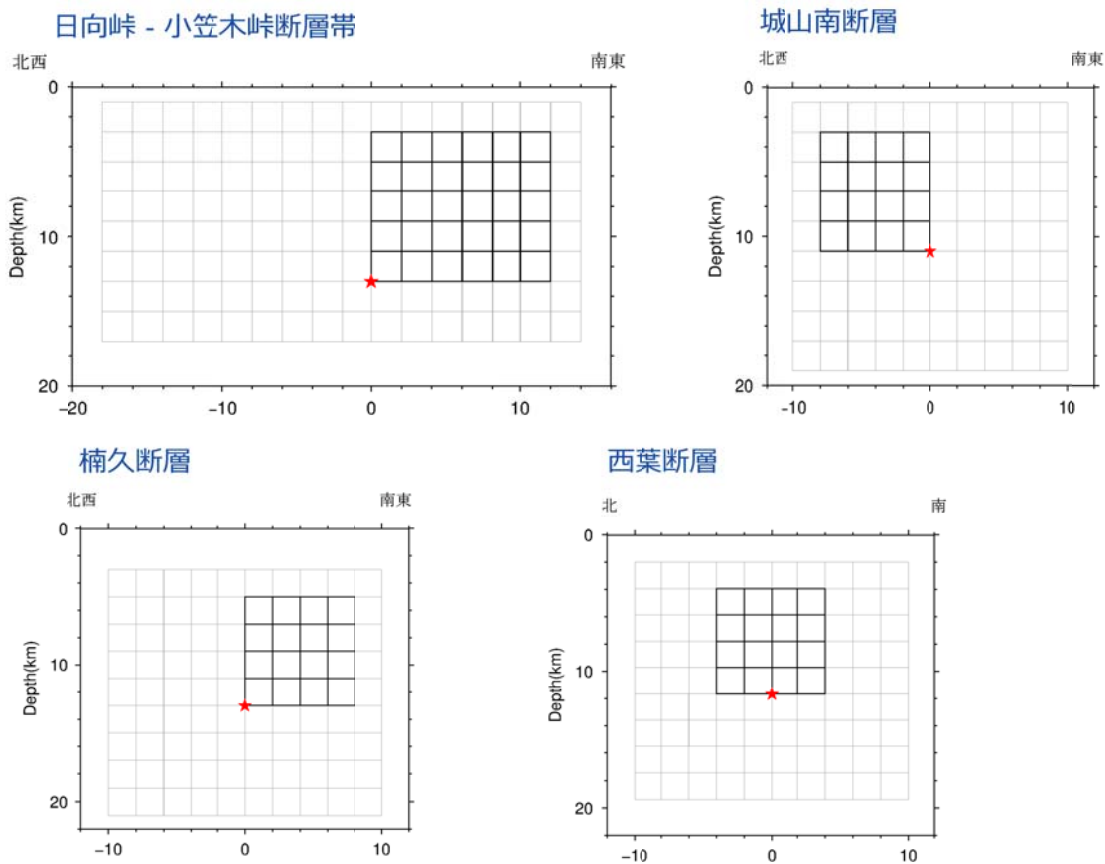


図 5.1-4 その他の断層の特性化震源モデルのアスペリティ配置（鉛直投影断面図）

5-2. 地震動の予測計算方法

以上の震源断層モデル、深部地盤モデル及び浅部地盤モデルを用いて、まず、統計的グリーン関数法を用いて工学的基盤における地震動（波形）を予測し（図 5.2-1）、これを浅部地盤の入力地震動として等価線形応答解析を行い、250m メッシュごとの地表の時刻歴波形を計算した。さらに、これを用いて計測震度、地表最大加速度、地表最大速度を算出した。計測震度の算出には、気象庁の計測震度の算出方法を用いた。

浅部地盤の応答計算は、浅部地盤の非線形特性（せん断剛性比 G/G_0 がせん断ひずみ γ が大きくなるにつれて減少する特性と、減衰比 h がせん断ひずみ γ が大きくなるにつれて増加する特性）をどのように評価するかにより解析手法が異なる（図 5.2-2）。

一般に用いられている等価線形解析法は、重複反射理論を基に土の非線形特性を等価な線形の関係に置き換え、解析の間一定の材料特性を用いる方法であり、ひずみレベルが大きくなると、精度は低下する。必要とする解析の精度や地盤条件にもよるが、一般的にはひずみレベル 0.1%～1%までが適用限界である。また、強い揺れにより液状化等が生じた場合には、正しい結果は得られない。

このような等価線形解析法の欠点を補うため、今回は、せん断剛性比 G/G_0 ～せん断ひずみ γ および減衰比 h ～せん断ひずみ γ の関係に、さらに G/G_0 および h の周波数依存性を考慮した手法として、「修正・等価線形解析法」を採用した。使用したプログラムは、DYNEQ(吉田・末富(2001))である。せん断剛性比 G/G_0 と減衰比 h の周波数依存については、山本・笹谷(2007)による手法を用いて解析した。

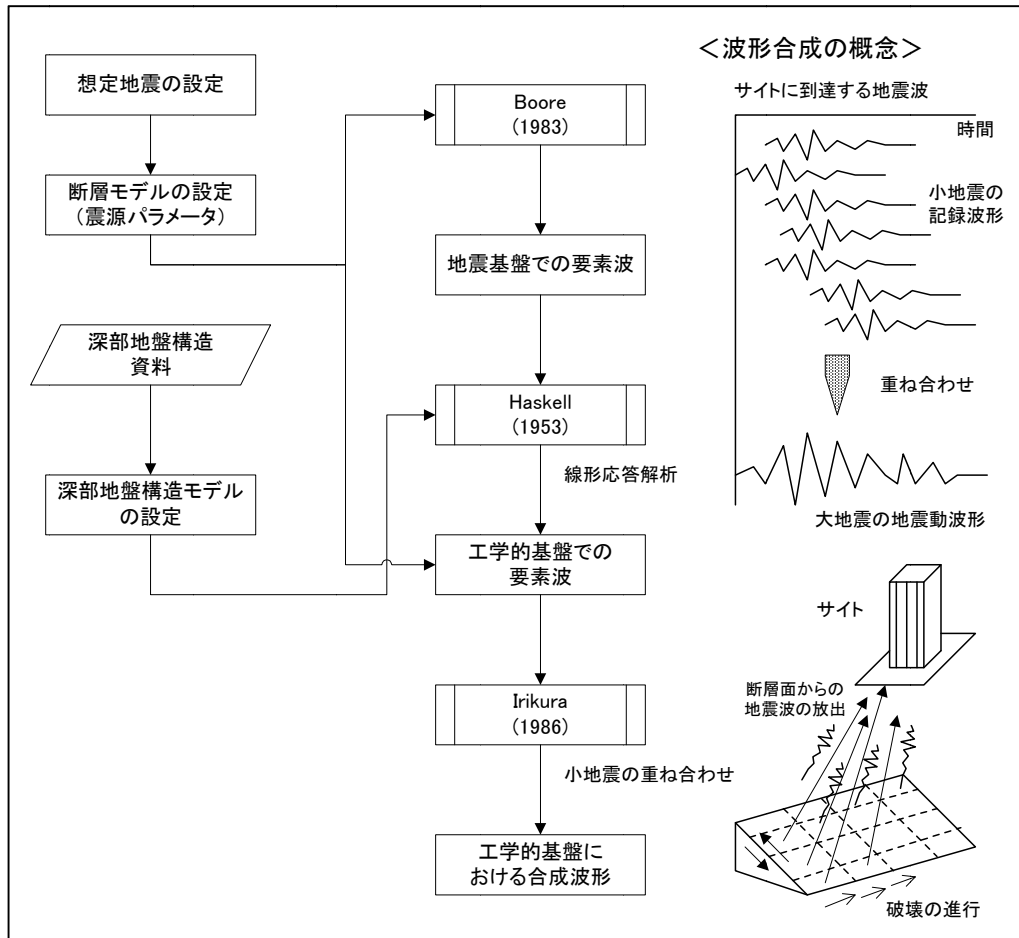
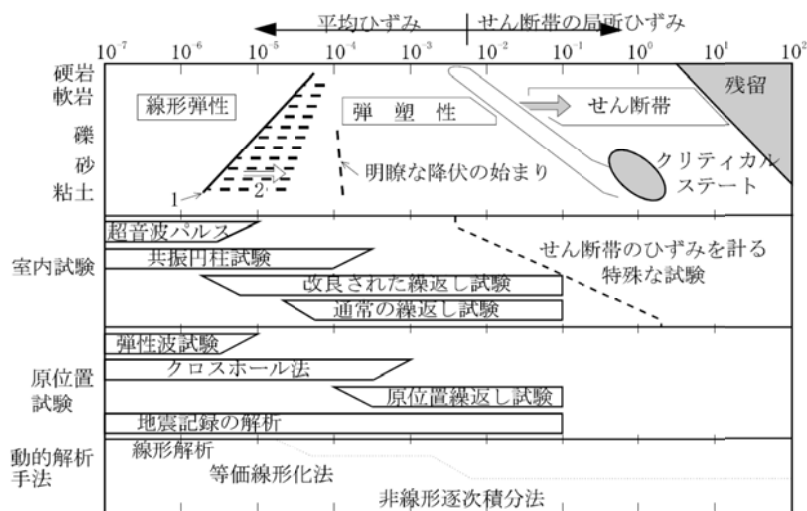


図 5.2-1 工学的基盤上面での地震動予測の流れ



1. 単調载荷を受ける正規圧密土
2. 過圧密比OCRと繰返し数の増加に伴い増加

図 5.2-2 地盤材料のひずみ依存性とその試験法、解析法 (Yoshida & Iai (1998))

Yoshida, N. & Iai, S. (1998): Nonlinear site response and its evaluation and prediction, Proc. 2nd int. symp. on the effect of surface geology on seismic motion, Yokohma, Japan, pp.71-90.

吉田望・末富岩男(1995) : DYNEQ, A computer program for DYNamic response analysis of level ground by Equivalent linear method, original version, 1995.

5-3. 佐賀平野北縁断層帯についての地震動計算結果

(1) 工学的基盤における地震動

アスペリティ設定を変更したケースごとに算出した工学的基盤における地震動（図 5.3-1）では、アスペリティ3ヶ所の場合のほうが、アスペリティ2ヶ所ないし1ヶ所の場合より、震度の大きいメッシュ（震度6強以上）が多い。また、アスペリティ2ヶ所の場合には、ケース1（西側アスペリティ）のほうが、ケース2（東側アスペリティ）より震度の大きいメッシュが多く、アスペリティ3ヶ所の場合には、ケース3（西側アスペリティ）とケース4（中央アスペリティ）では、個々のメッシュにおける震度には大きな相違はみられない。

この結果をふまえ、浅部地盤モデルを用いた応答計算は、最も地震動が小さいケース6を除く5つのケースについて実施とした。

(2) 地表における地震動

工学的基盤における地震動が最も小さいケース6を除く5つのケースについて地表における地震動を算出した（図 5.3-2(1)～図 5.3-2(5)）。また、地表地震動の大きさ別のメッシュ数をケース間で比較した（図 5.3-3）。

- ・ 各ケースとも、断層近傍では、地表での計測震度は震度7、速度は120kine以上、加速度は1,500gal以上と予測されている。
- ・ 計測震度、加速度ともに、アスペリティ3ヶ所の場合のほうが、揺れの大きい地域の面積が県全体の面積に対して占める割合が大きい。震度7となる面積は、アスペリティ2ヶ所の場合には、県全体の3%程度であるが、アスペリティ3ヶ所の場合には、6%程度となる。震度6強以上の面積は、アスペリティ2ヶ所の場合には18%程度、アスペリティ3ヶ所の場合には22%程度である（図5.3-3）。
- ・ アスペリティの位置による揺れの大きい地域を比較すると、アスペリティ2ヶ所のケース1ないしケース2では、それぞれ強い揺れの地域が断層の西部ないし東部に集中し、佐賀市付近での揺れが小さい。
- ・ アスペリティ3ヶ所のケース3、4では、佐賀市を含む断層周辺全体で揺れが大きいですが、ケース5では、ケース3、4より揺れが大きい地域が狭く、佐賀市付近での揺れが小さい。

地盤状況の異なる代表的な地点の理論計算波形を比較すると、平野部に位置する佐賀市役所地点などでは、東西方向の波形の振幅ないし周波数1Hz以上の帯域でのスペクトルは、工学的基盤に比べて地表のほうが小さい（図 5.3-4）。これは、N値のごく小さい粘性土が表層部に厚く分布するために、地盤の非線形応答により地震動の減衰が生じていることによるものと考えられる。平野部以外の地点においては、このような軟質な粘性土が存在しないため、地盤の非線形応答による地震動の減衰は生じていない。

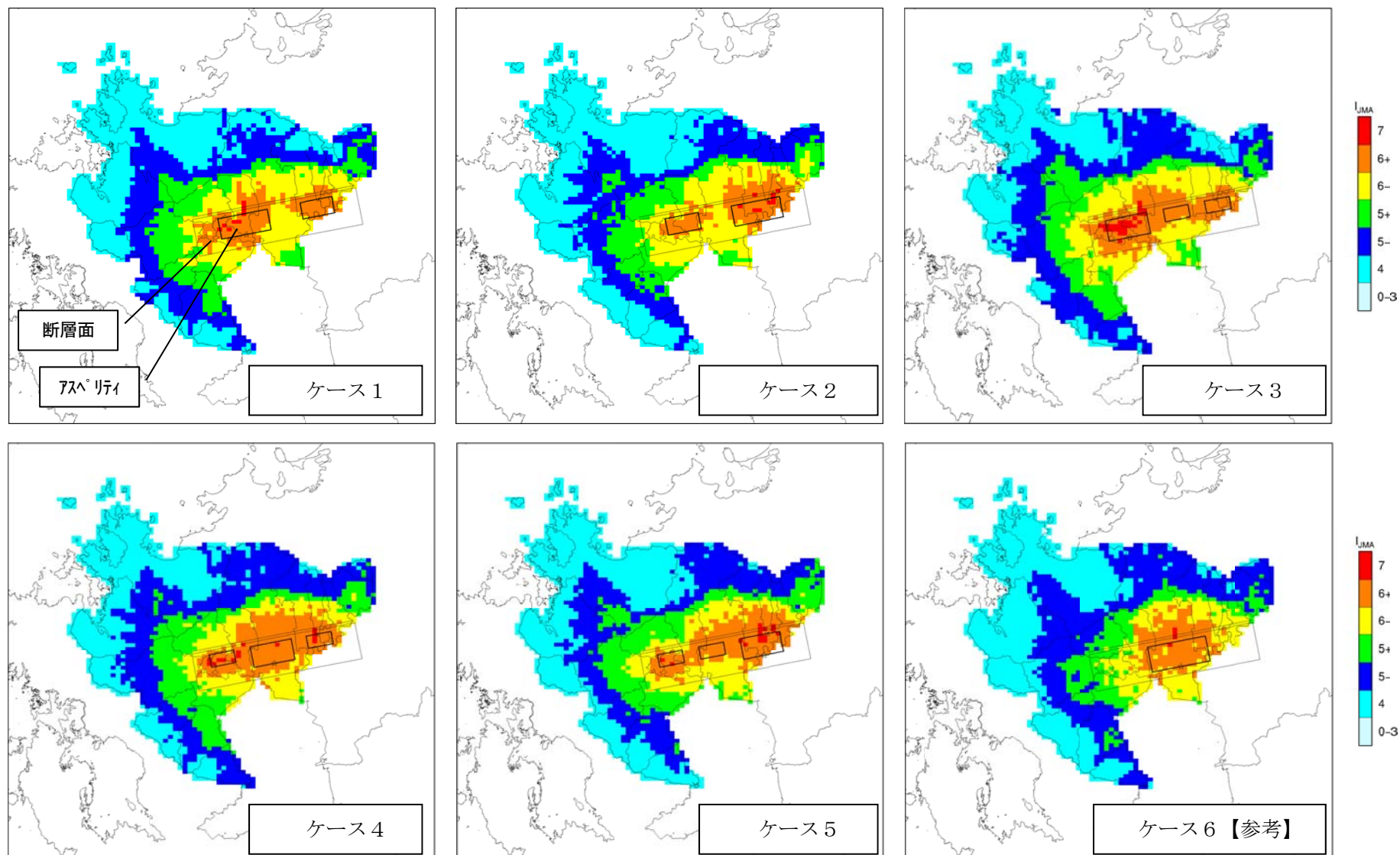
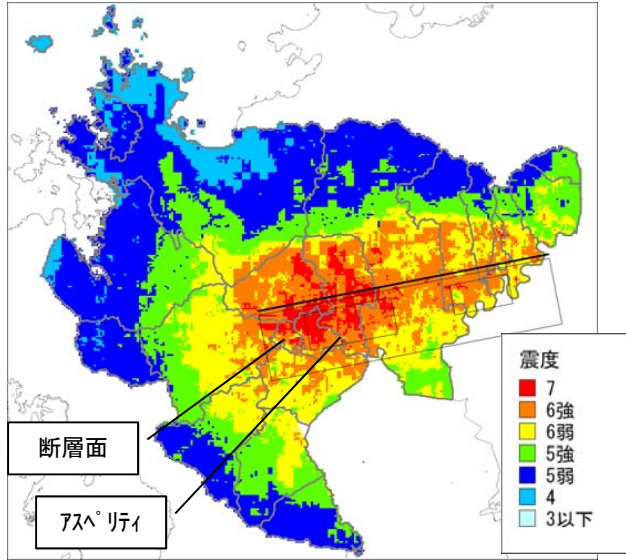
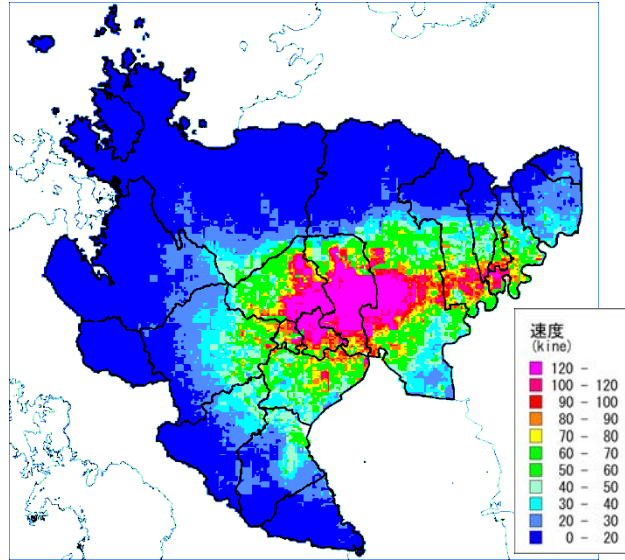


図 5.3-1 佐賀平野北縁断層帯におけるアスペリティ設定を変更した工学的基盤の計測震度分布の比較

計測震度



最大速度



最大加速度

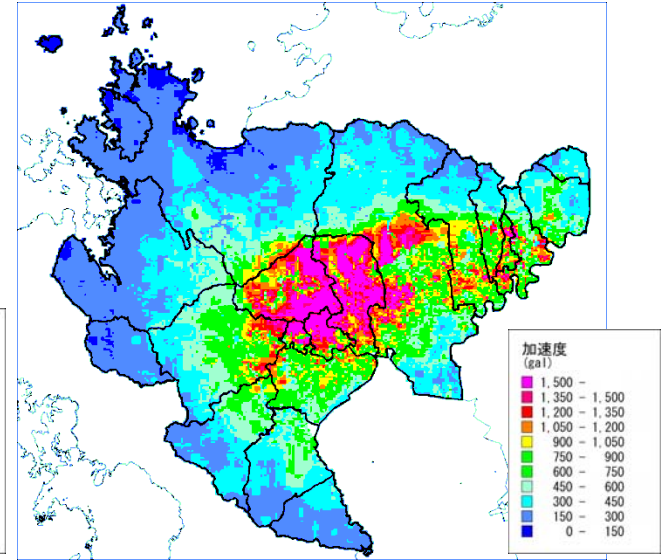
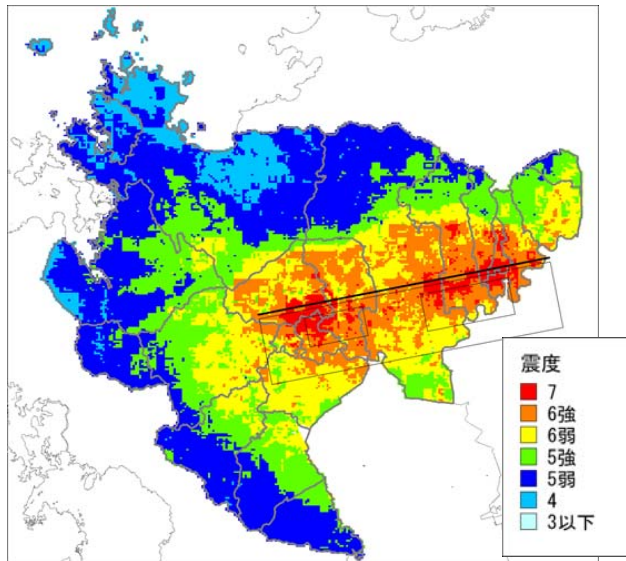
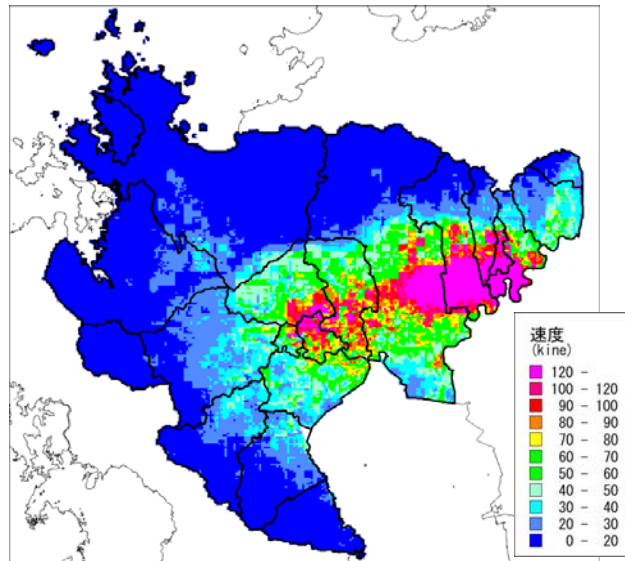


図 5.3-2(1) 佐賀平野北縁断層帯における地表の地震動(1: ケース1~アスペリティ2ヶ所; 西側大) ※以下、断層面とアスペリティの表現は同様。

計測震度



最大速度



最大加速度

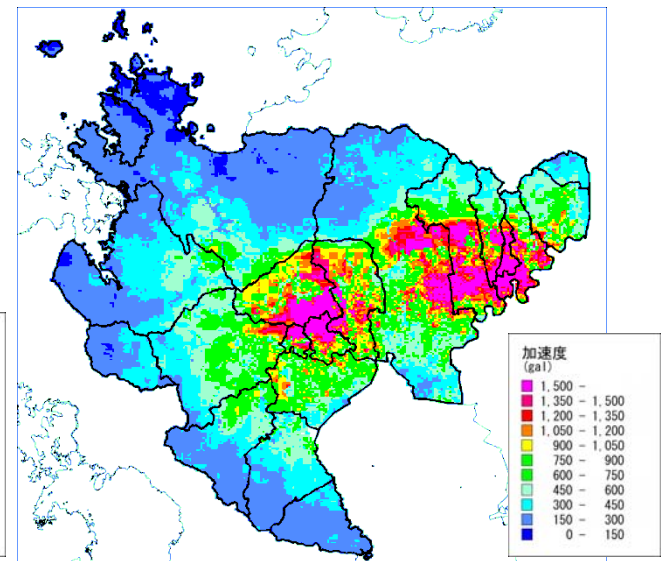
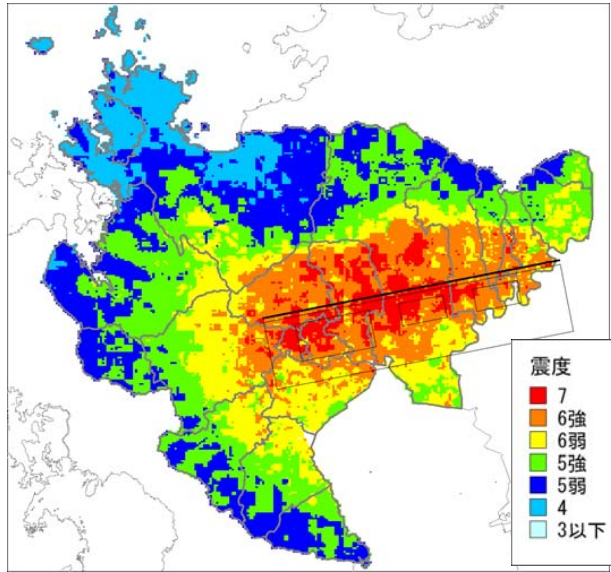
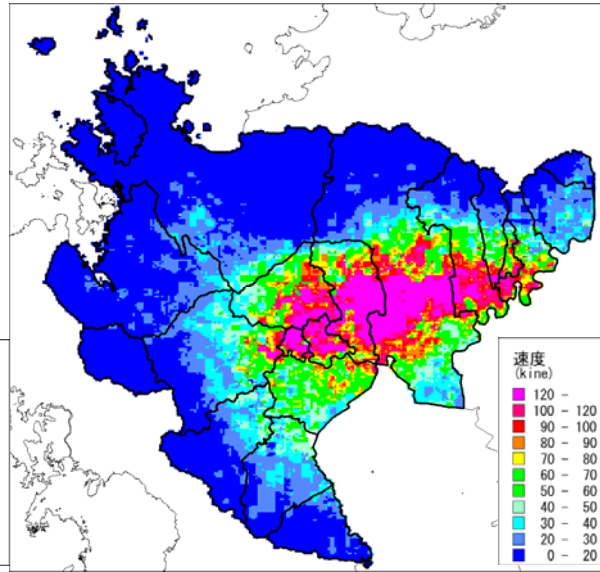


図 5.3-2(2) 佐賀平野北縁断層帯における地表の地震動(2: ケース2~アスペリティ2ヶ所; 東側大)

計測震度



最大速度



最大加速度

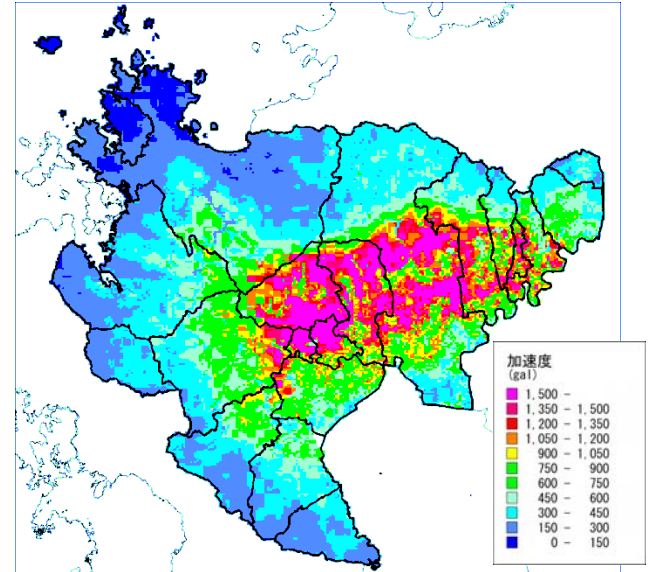
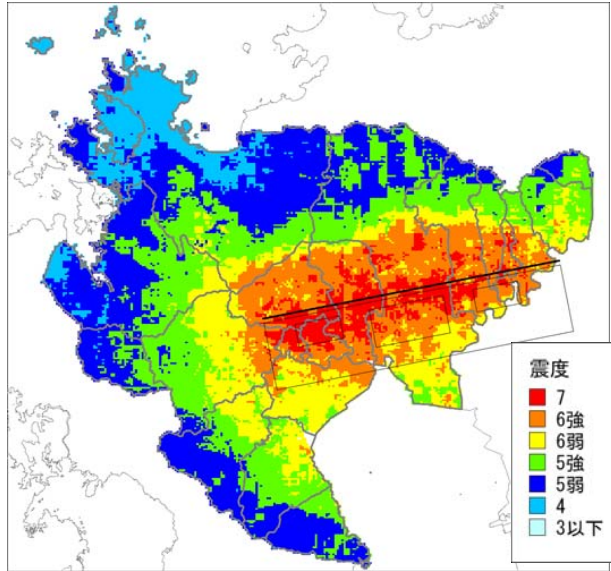
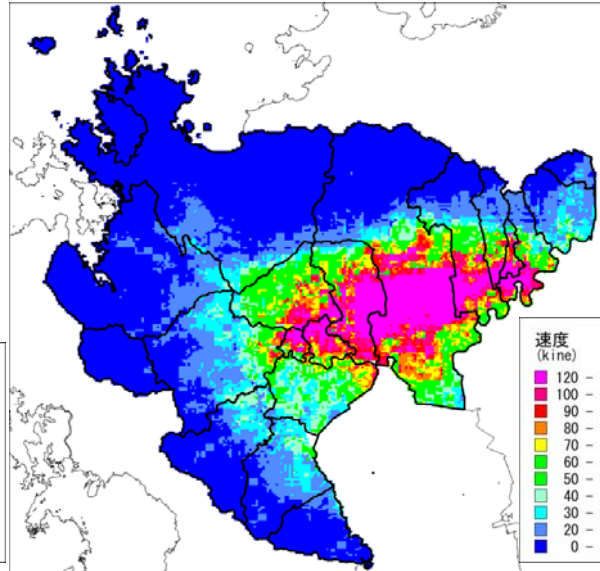


図 5.3-2(3) 佐賀平野北縁断層帯における地表の地震動(3: ケース3~アスペリティ3ヶ所; 西側大)

計測震度



最大速度



最大加速度

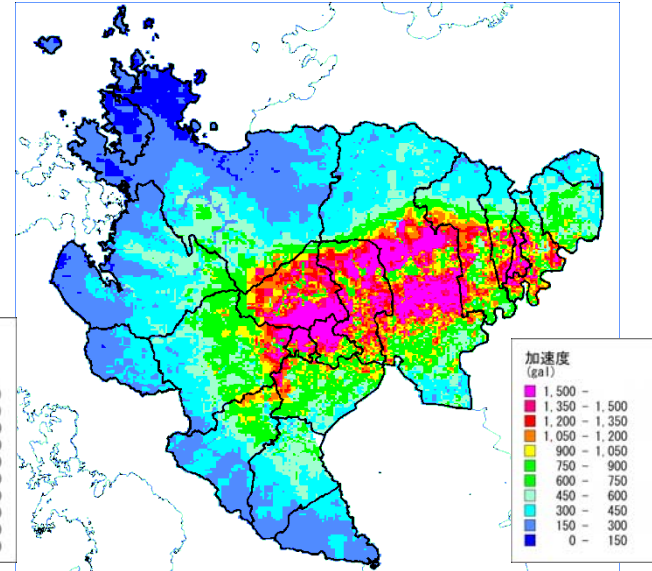


図 5.3-2(4) 佐賀平野北縁断層帯における地表の地震動(4: ケース4~アスペリティ3ヶ所; 中央大)

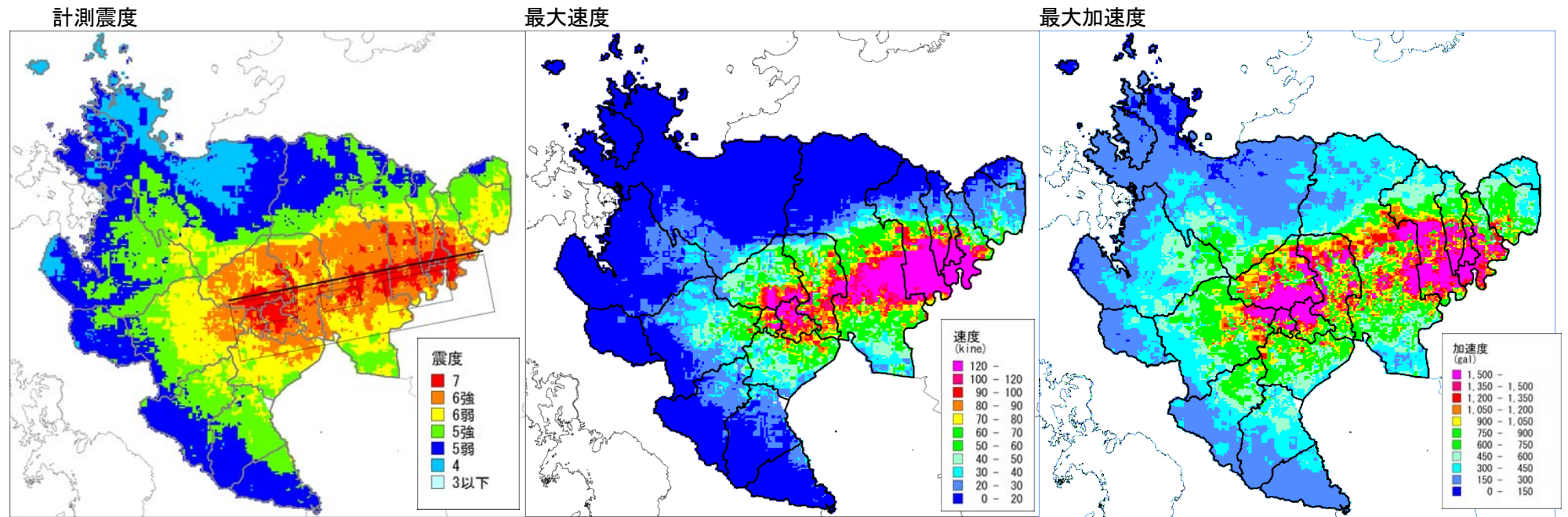


図 5.3-2(5) 佐賀平野北縁断層帯における地表の地震動(5: ケース5~アスペリティ3ヶ所; 東側大)

アスペリティ2ヶ所

震度	ケース1			ケース2		
	メッシュ数	割合	6+以上	メッシュ数	割合	6+以上
0-3	0	0.0%		0	0.0%	
4	2747	7.3%		3168	8.4%	
5-	12864	34.3%		12920	34.4%	
5+	7848	20.9%		8223	21.9%	
6-	7428	19.8%		7023	18.7%	
6+	5393	14.4%	17.7%	4956	13.2%	16.5%
7	1255	3.3%		1244	3.3%	
平均値	5.30			5.27		

アスペリティ3ヶ所

震度	ケース3			ケース4			ケース5		
	メッシュ数	割合	6+以上	メッシュ数	割合	6+以上	メッシュ数	割合	6+以上
0-3	0	0.0%		0	0.0%		0	0.0%	
4	3528	9.4%		3257	8.7%		3011	8.0%	
5-	8777	23.4%		10533	28.1%		11505	30.7%	
5+	10029	26.7%		9386	25.0%		9177	24.4%	
6-	6944	18.5%		6188	16.5%		6436	17.1%	
6+	5992	16.0%	22.0%	5831	15.5%	21.8%	5388	14.4%	19.7%
7	2265	6.0%		2340	6.2%		2018	5.4%	
平均値	5.38			5.35			5.33		

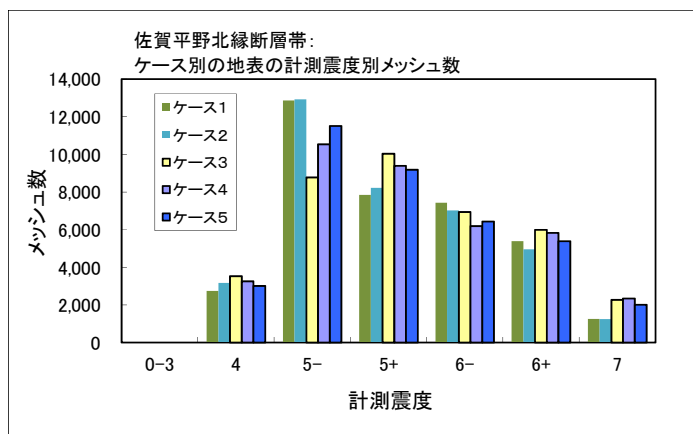
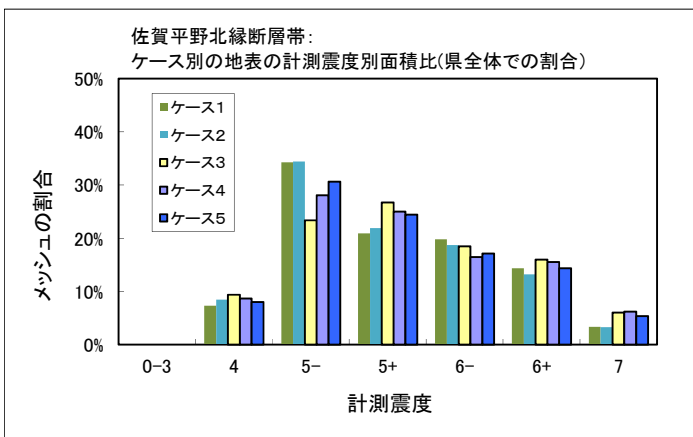


図 5.3-3 佐賀平野北縁断層帯：地表地震動のメッシュ数の比較（計測震度）

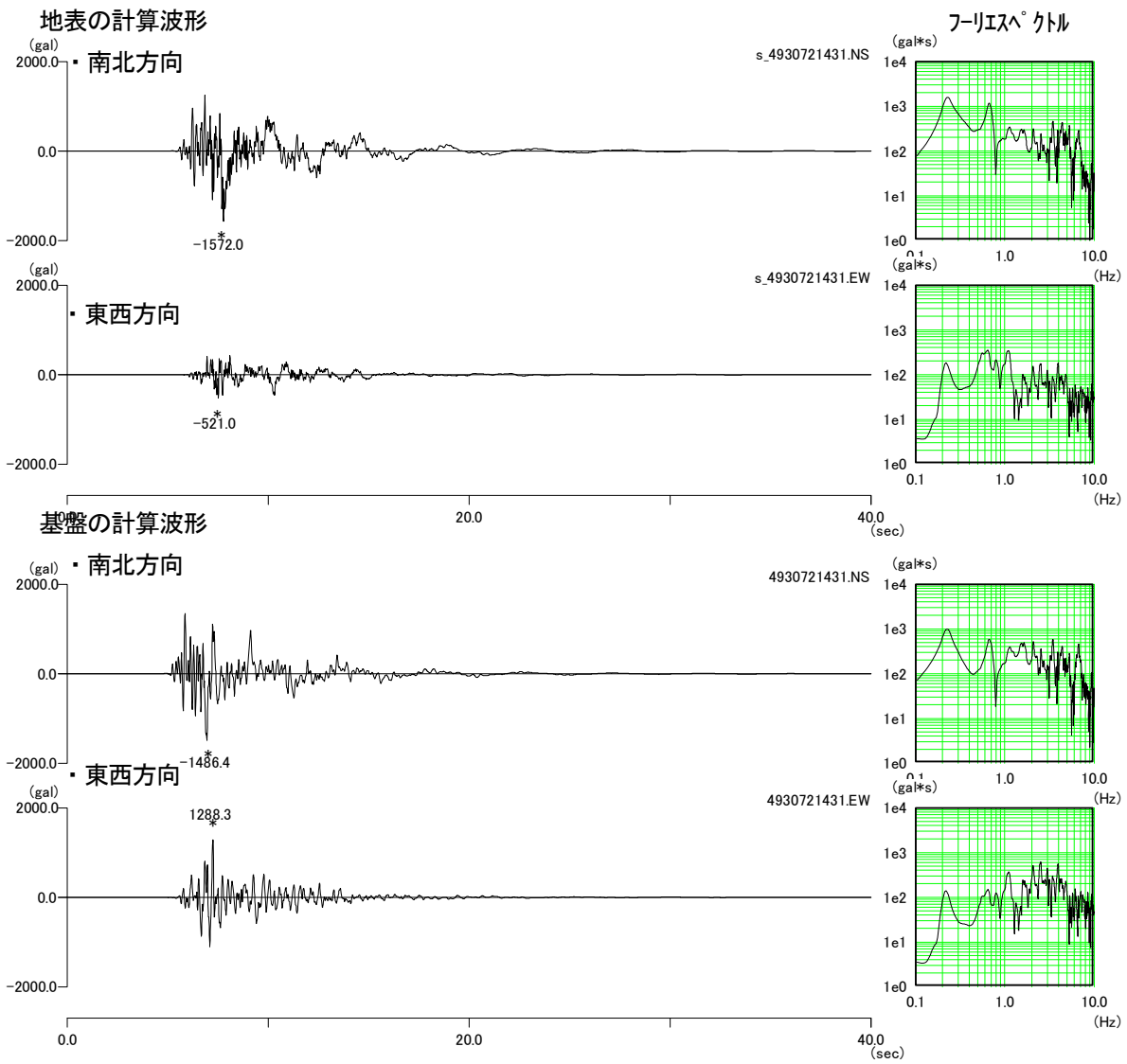


図 5.3-4 地表の計算波形・FS（上）と基盤の入射波形・FS（下）の比較
 : 佐賀市役所

5-4. その他の断層についての地震動計算結果

4つの震源断層モデルについて地表における地震動を算出した(図5.4-1~図5.4-4)。また、断層ごとの地表地震動の大きさ別のメッシュ数を比較した(図5.4-5)。各断層による地震で予測される地震動の分布は、次のようにまとめられる。

- ・ 工学的基盤の計測震度と比較すると、断層近傍を中心に、全体的に地表地震動は増幅されており、地盤の非線形応答による目立った低減はみられない。
- ・ 断層近傍では、一部に震度7となる地域もみられるが、日向峠-小笠木峠断層帯以外では、その範囲は局所的である。
- ・ 日向峠-小笠木峠断層帯では、鳥栖市、みやき町の一部で震度7、速度120kine以上となる。震度6強となる範囲は、この2つに吉野ヶ里町、基山町を加えた地域まで広がる(県全体の面積の6.6%)。
- ・ 城山南断層では、唐津市の一部で震度7、速度120kine以上となる。震度6強以上となる地域は、唐津市内に限定される(県全体の面積の2.2%)。
- ・ 楠久断層では、震度7となる地域はみられない。震度6強以上となる地域は、伊万里市、有田町の一部に限定される。速度も全域で80kine以下である(県全体の面積の0.7%)。
- ・ 西葉断層では、鹿島市、太良町の一部で震度7、速度120kine以上となるが範囲はごく狭い。震度6強となる範囲は、嬉野市まで広がる(県全体の面積の4.0%)。

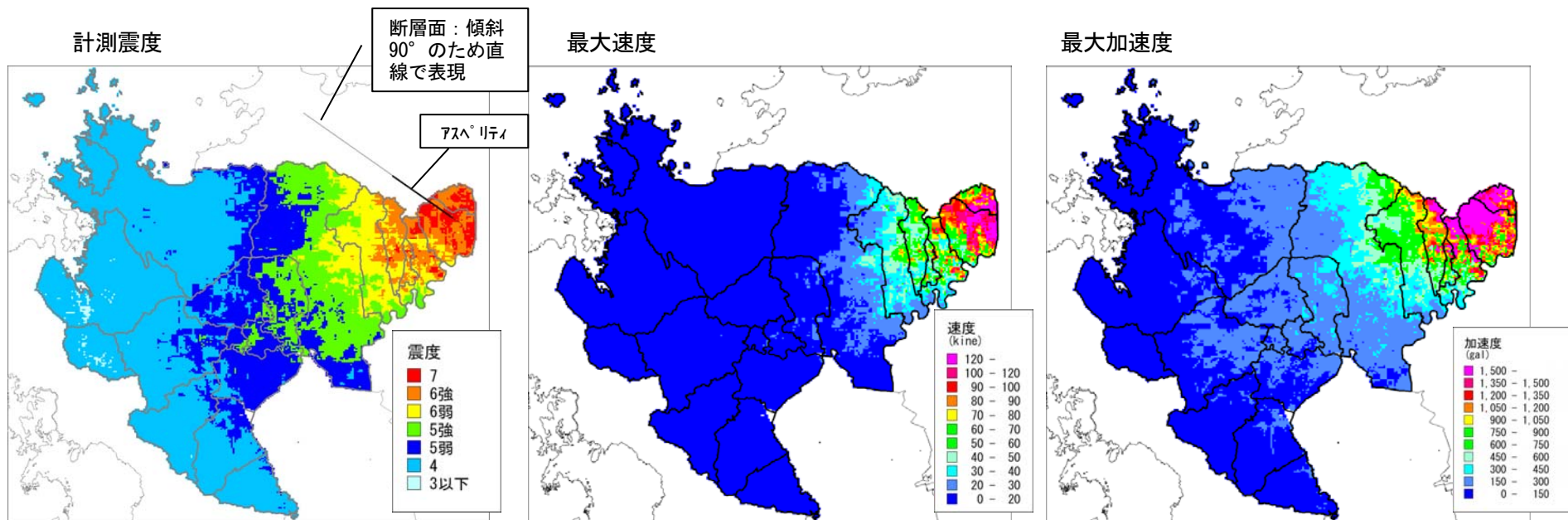


図 5.4-1 日向峠 - 小笠木峠断層帯における地表の地震動 ※以下、断層面とアスペリティの表現は同様。

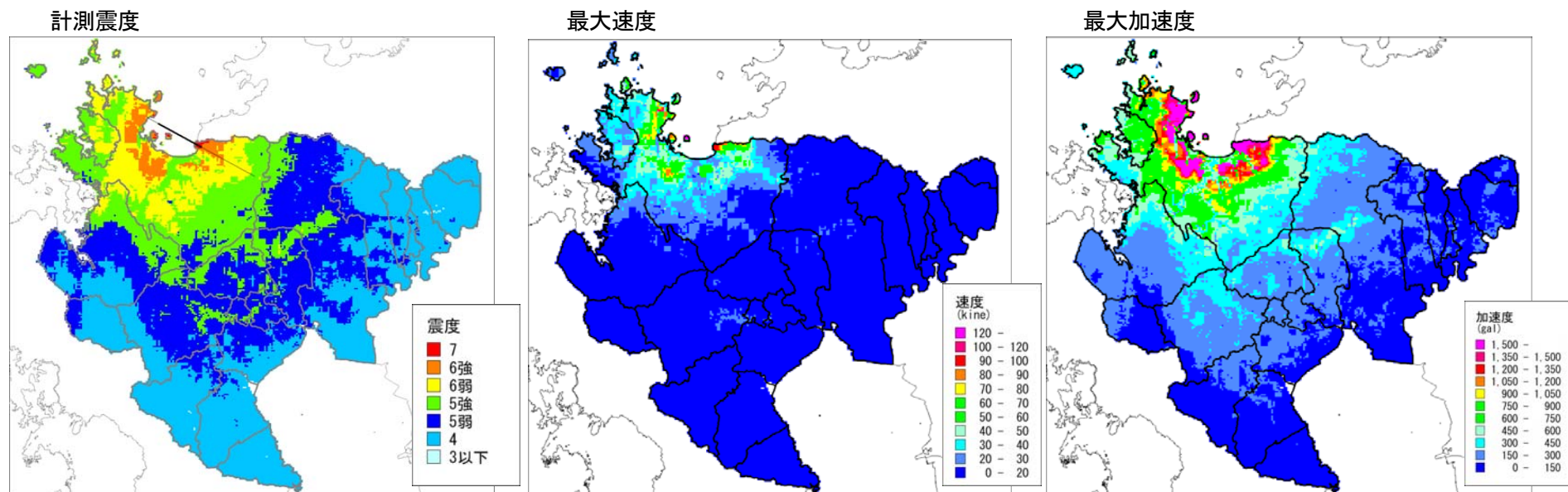


図 5.4-2 城山南断層における地表の地震動

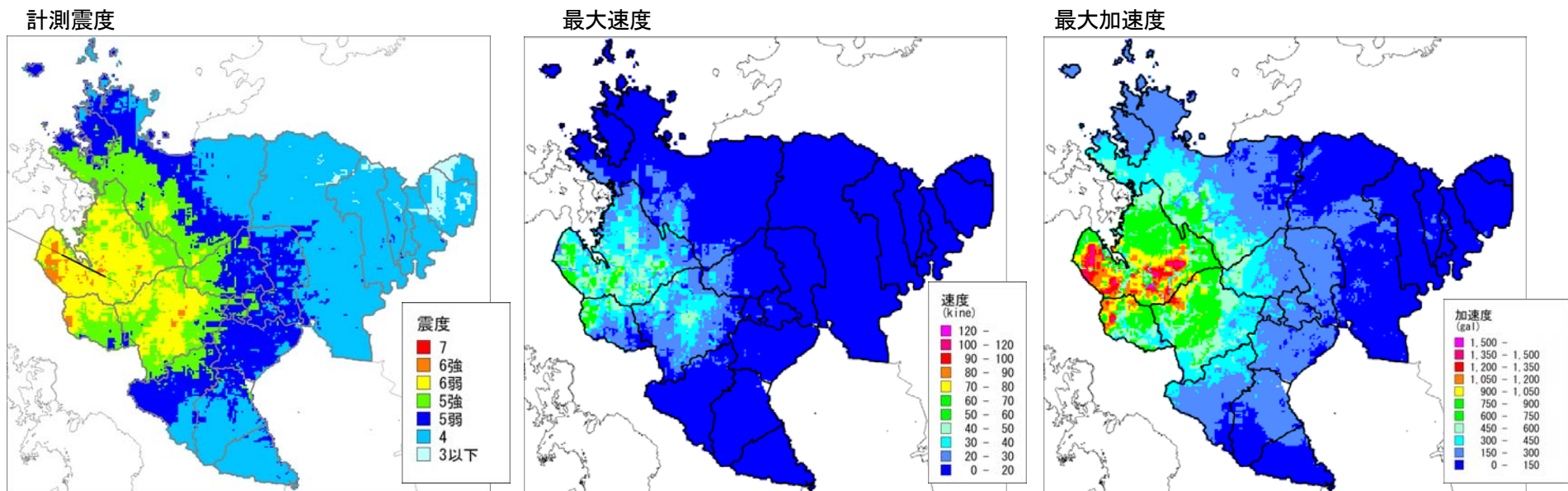


図 5.4-3 楠久断層における地表の地震動

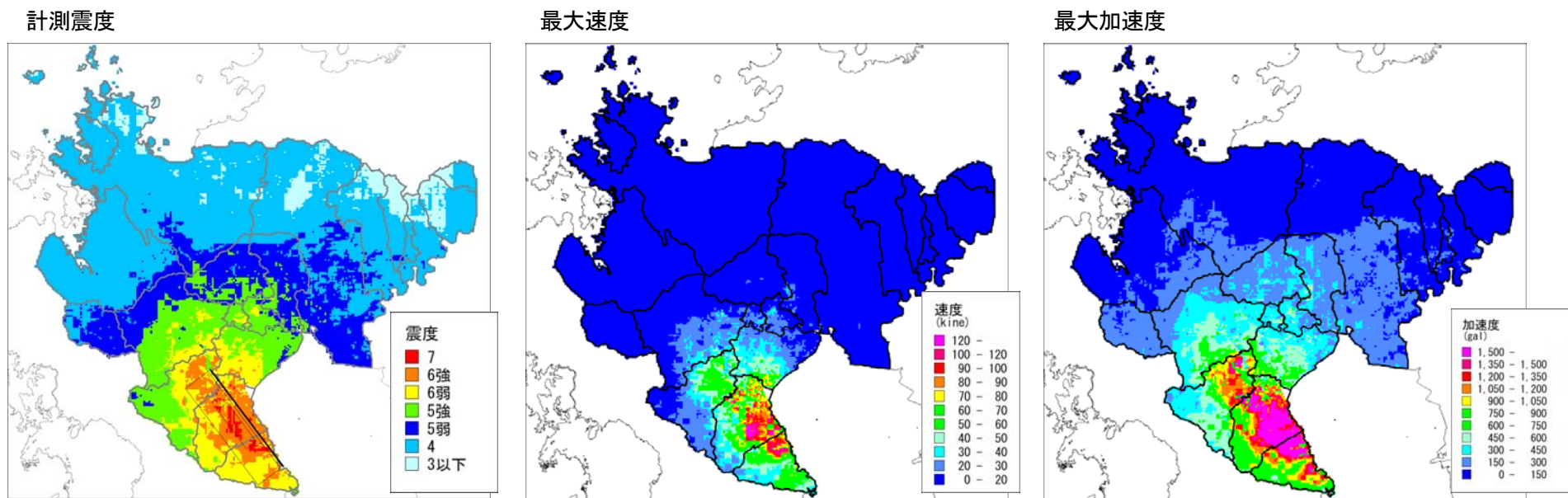


図 5.4-4 西葉断層における地表の地震動

震度範囲	日向峠-小笠木峠断層帯			城山南断層			楠久断層			西葉断層		
	メッシュ数	割合	6+以上	メッシュ数	割合	6+以上	メッシュ数	割合	6+以上	メッシュ数	割合	6+以上
0-3	164	0.4%		15	0.0%		632	1.7%		2563	6.8%	
4	19576	52.2%		16539	44.1%		16546	44.1%		19149	51.0%	
5-	7503	20.0%		9901	26.4%		9080	24.2%		6672	17.8%	
5+	5519	14.7%		7149	19.0%		7647	20.4%		4655	12.4%	
6-	2289	6.1%		3110	8.3%		3357	8.9%		3012	8.0%	
6+	1687	4.5%	6.6%	762	2.0%	2.2%	273	0.7%	0.7%	1378	3.7%	4.0%
7	797	2.1%		59	0.2%		0	0.0%		106	0.3%	

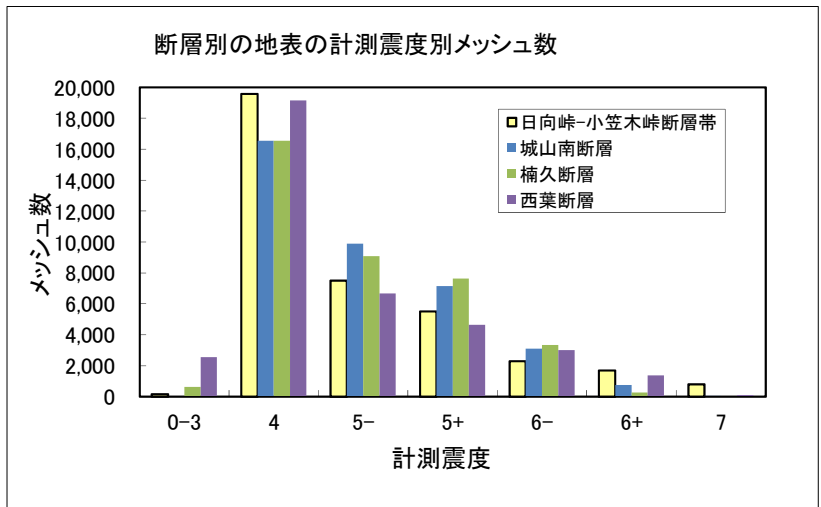
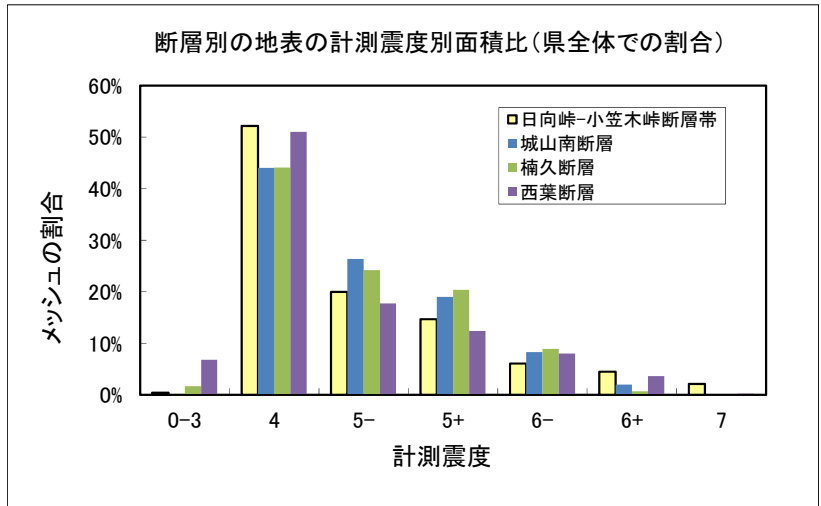


図 5.4-5 佐賀平野北縁断層帯以外の断層による地震：地表地震動のメッシュ数の比較（計測震度）

5-5. 地震動予測結果のまとめ

佐賀平野北縁断層帯については、佐賀県への影響が最も大きい断層であるので、アスペリティの位置、大きさを変更した5つのケースについて地表の地震動を予測して比較した。また、これ以外の断層についても、佐賀県への影響が大きくなるようにアスペリティの位置を設定して地震動を予測した。

今回の結果を総合すると、佐賀県内での各断層の影響範囲は、図 5.5-1 のようになる。佐賀平野北縁断層帯の影響範囲が最も広く、他の断層の影響は局所的であるが、県全体について地震の影響を検討するには、5つの断層について検討する必要がある。

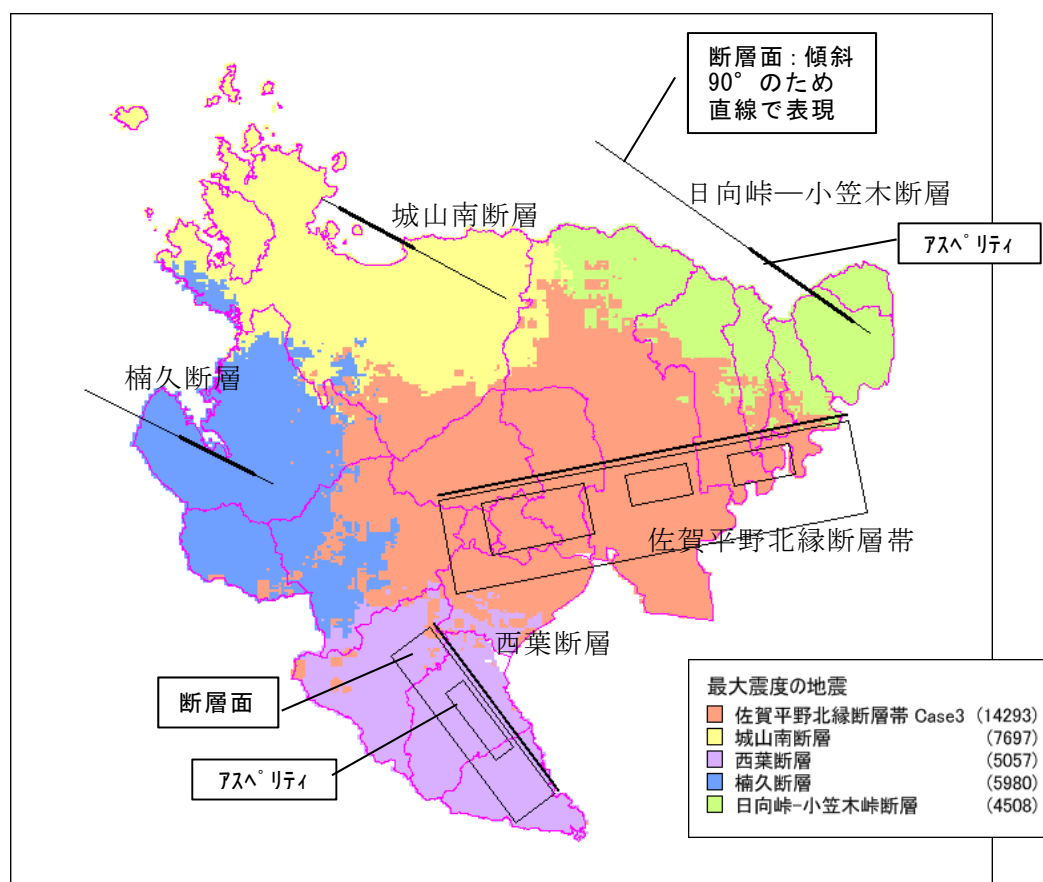


図 5.5-1 各断層による地震で予測される地表計測震度の最大値による地域区分

以上の結果をふまえ、来年度の被害想定作業においては、次のように対象となる地震を想定することとする。

佐賀平野北縁断層帯：佐賀市を含む断層周辺全体で揺れが大きく予想され、予測に偏りのないケース3ないし4の結果を用いる。

他の4つの断層：それぞれ今回の地震動予測結果を用いる。