

第4編 地震動・液状化・斜面崩壊の想定	4-1
4.1 検討項目	4-1
4.1.1 地震動	4-1
4.1.2 液状化	4-1
4.1.3 斜面崩壊.....	4-1
4.2 予測手法	4-2
4.2.1 地震動	4-2
4.2.2 液状化	4-13
4.2.3 斜面崩壊.....	4-14
4.3 予測結果	4-17
4.3.1 地震動	4-18
4.3.2 液状化	4-18
4.3.3 斜面崩壊.....	4-18
【参考文献】	4-41

第4編 地震動・液状化・斜面崩壊の想定

4.1 検討項目

4.1.1 地震動

地震動の予測は、第1編で述べた想定地震（9地震11ケース）について行った。予測においては、第2編で述べた深部地盤構造モデルを用いた統計的グリーン関数法による工学的基盤上における波形計算と、浅部地盤構造モデルを用いた等価線形法による地表における波形計算の2段階に分けて実施し、250mメッシュごとに計測震度等の地震動指標を算出した。

4.1.2 液状化

液状化による危険度の想定には、「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」に示されている方法に従い、 P_L 値を用いて検討を行った。

4.1.3 斜面崩壊

急傾斜地崩壊危険箇所を対象として、地震動の算定結果及び危険度判定基準に基づく点検表により、地震時の相対的な危険度を算定した。

4.2 予測手法

4.2.1 地震動

震源で発生した地震動は、以下に示す3つの過程を経て地表面で観測される。

1. 震源特性
2. 伝播経路特性
3. サイト増幅特性

サイト増幅特性は、さらに

4. 深部地盤におけるサイト増幅特性
5. 表層地盤におけるサイト増幅特性

に分類される。

震源特性、伝播経路特性およびサイト増幅特性の概念図を図4-1に示した。

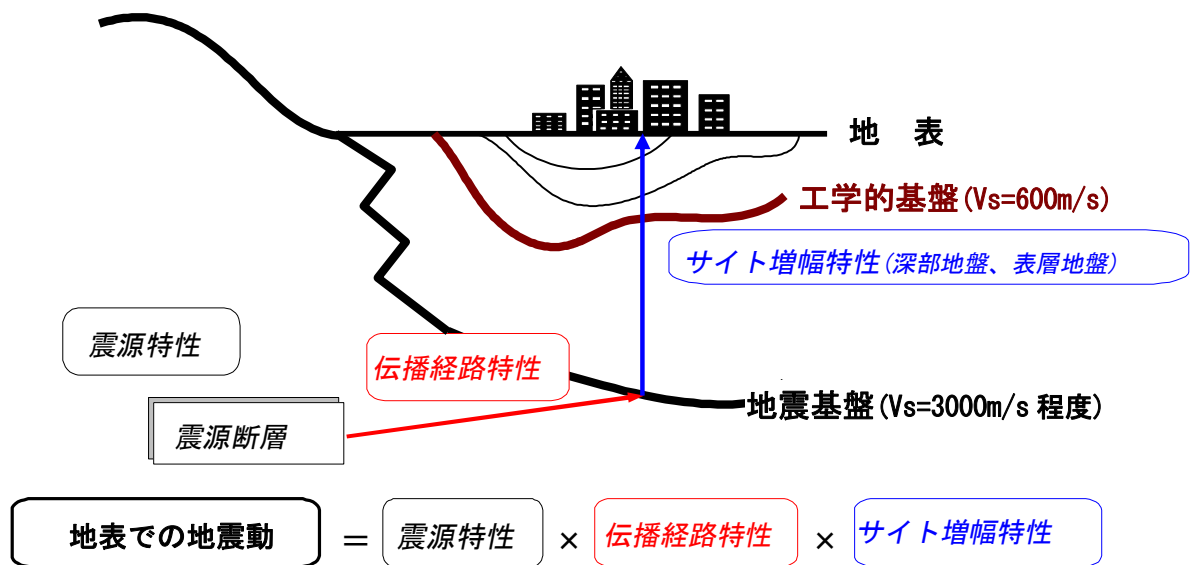
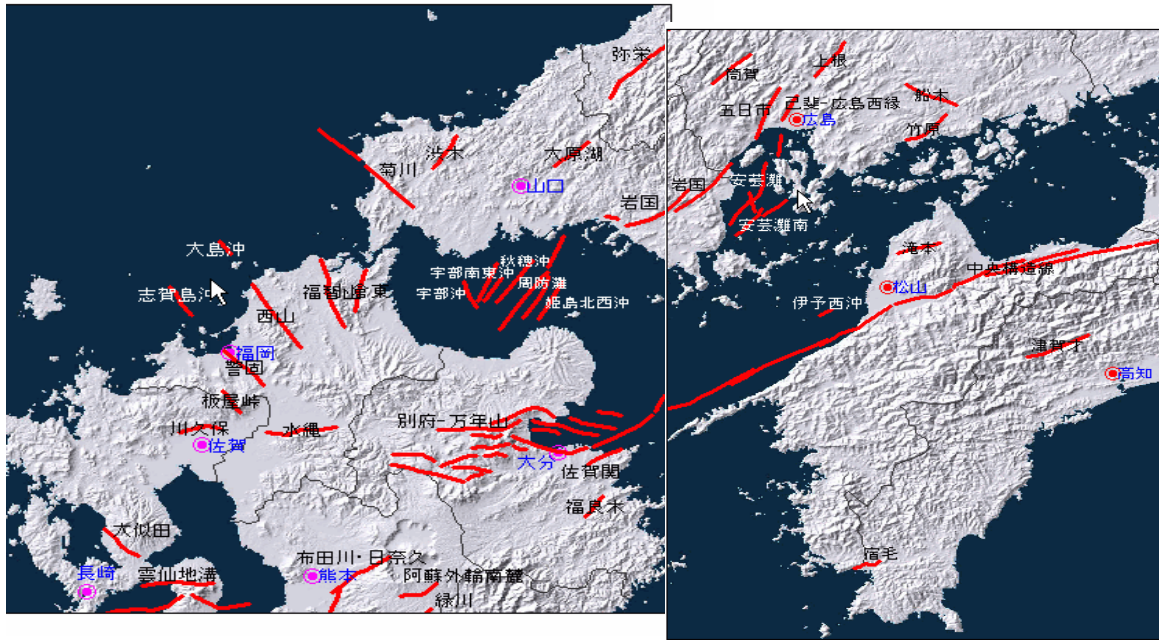


図4-1 震源特性、伝播経路特性およびサイト増幅特性の概念図



(産総研・活断層データベース (産総研活断層研究センターHP) より引用編集)

図 4-3 大分県及び周辺地域の活断層の分布

表 4-1 震源断層のパラメータ

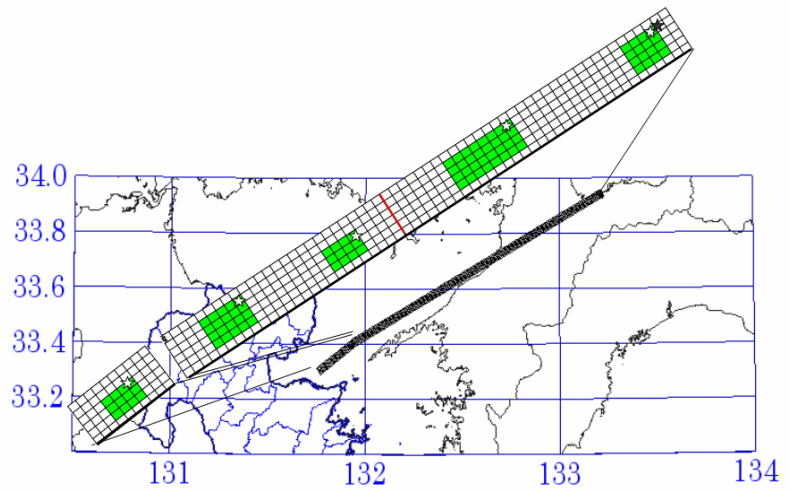
活断層による地震

断層帯	中央構造線		別府地溝南縁			別府地溝北縁	別府湾	崩平山-万年山 地溝北縁	周防灘
	234	243	251	290	246	81	84	93	242
走向 θ	234	243	251	290	246	81	84	93	242
傾斜 $\delta(^{\circ})$	75		75			75	75	75	90
長さ L(km)	153.1		38.5			36.4	31.6	29.4	44.4
幅 W(km)	12.4		12.4			12.4	12.4	12.4	12.0
上端深さ d(km)	3		3			3	3	3	3
モーメントマグニチュード Mw	7.6		7.0			7.0	6.9	6.8	7.0
気象庁マグニチュード Mj	8.5		7.5			7.4	7.3	7.3	7.6

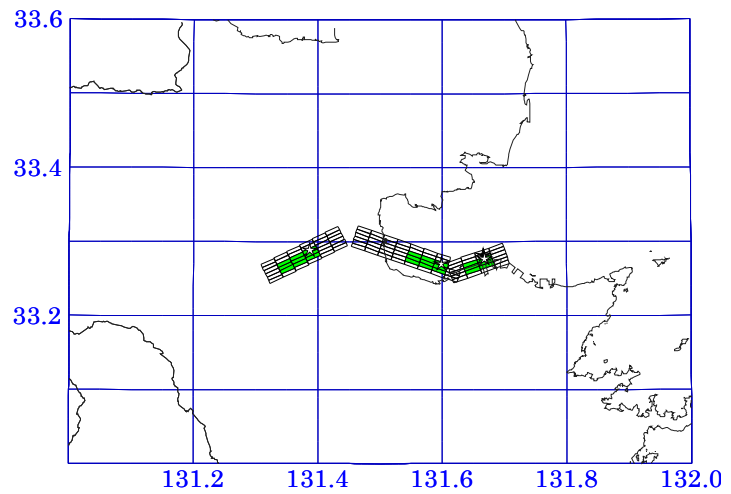
海溝型地震

断層帯	プレート内	日向灘	東南海・南海
走向 θ	180	-	-
傾斜 $\delta(^{\circ})$	55	-	-
長さ L(km)	40.0	矩形ではない	矩形ではない
幅 W(km)	40.0	-	-
上端深さ d(km)	55	-	-
モーメントマグニチュード Mw	7.4	7.5	8.6
気象庁マグニチュード Mj	7.4	7.5	8.6

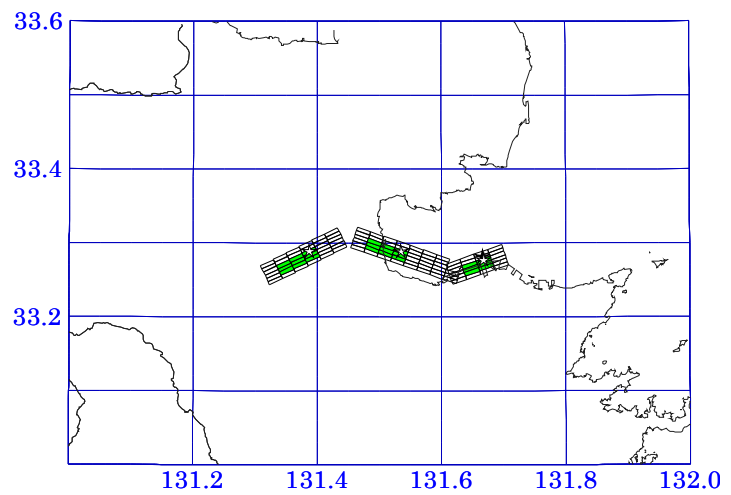
<中央構造線>



<別府地溝南縁断層帯>
(アスペリティ東)



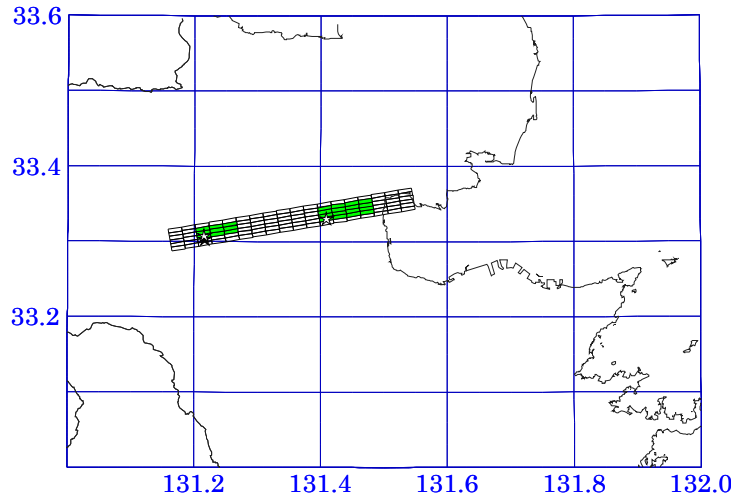
<別府地溝南縁断層帯>
(アスペリティ西)



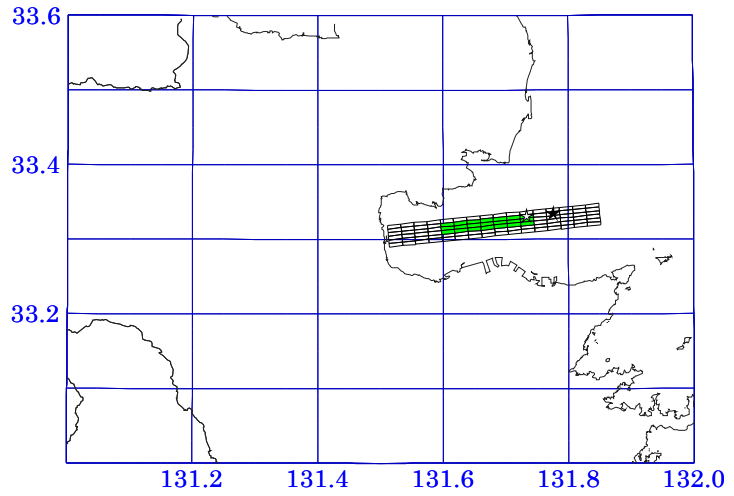
※：緑色の部分：アスペリティ
★：起震断層における破壊開始点
☆：アスペリティにおける破壊開始点

図 4-4 想定地震の震源断層モデル (1)

<別府地溝北縁断層帯>



<別府湾断層帯>
(アスペリティ 1 個)



<別府湾断層帯>
(アスペリティ 2 個)

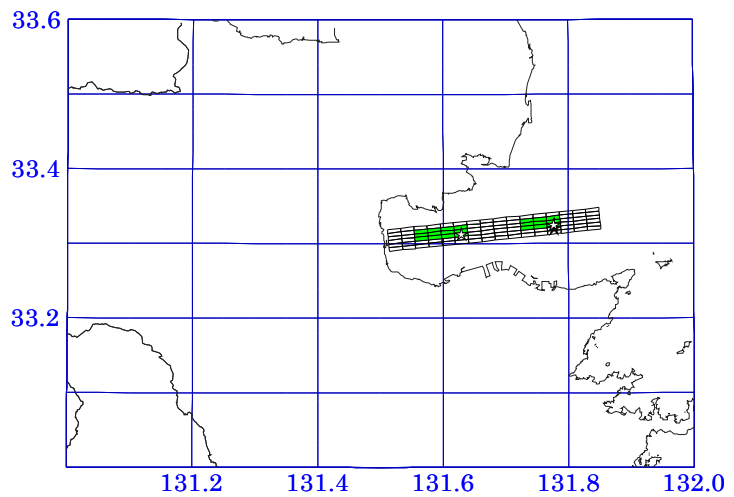
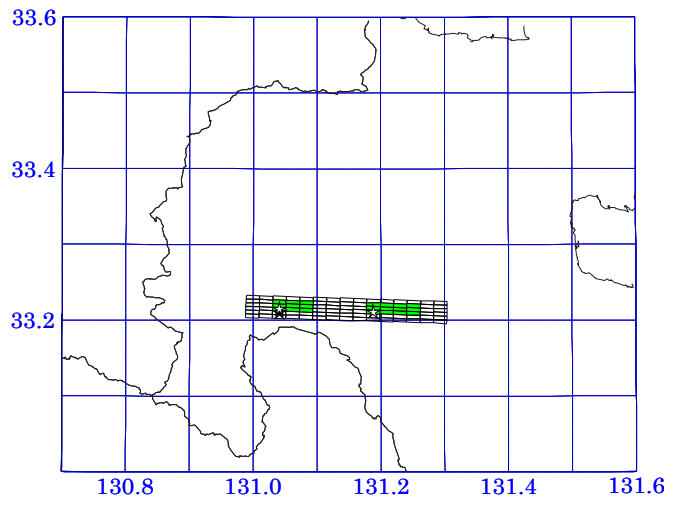
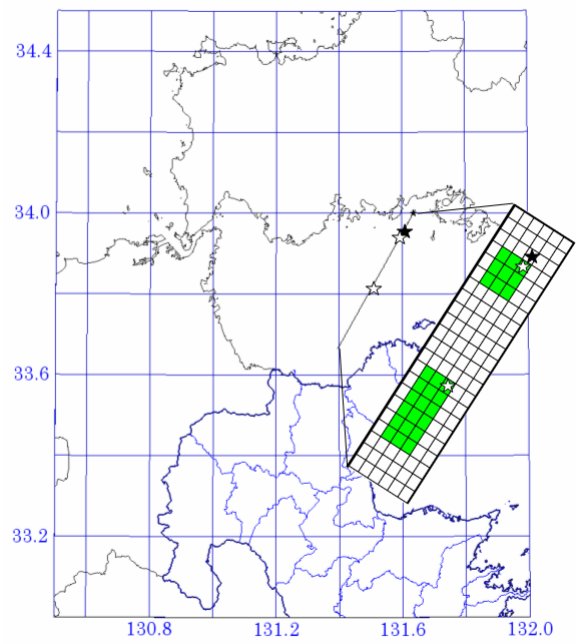


図4-5 想定地震の震源断層モデル (2)

<崩平山-万年山地溝北縁断層帯>



<周防灘断層帯>



<プレート内>

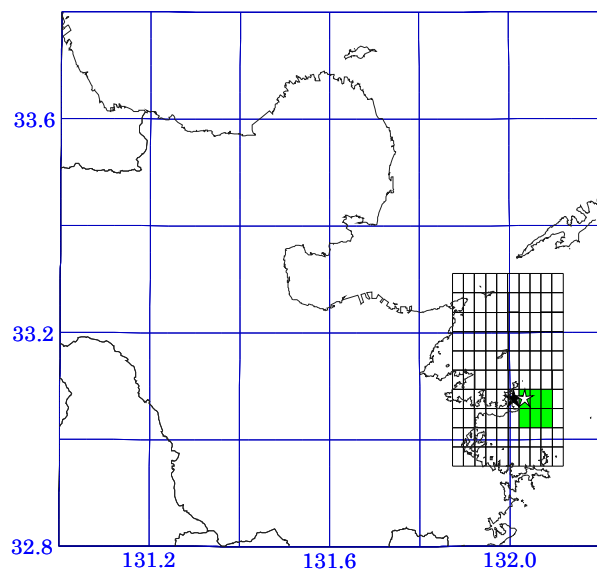
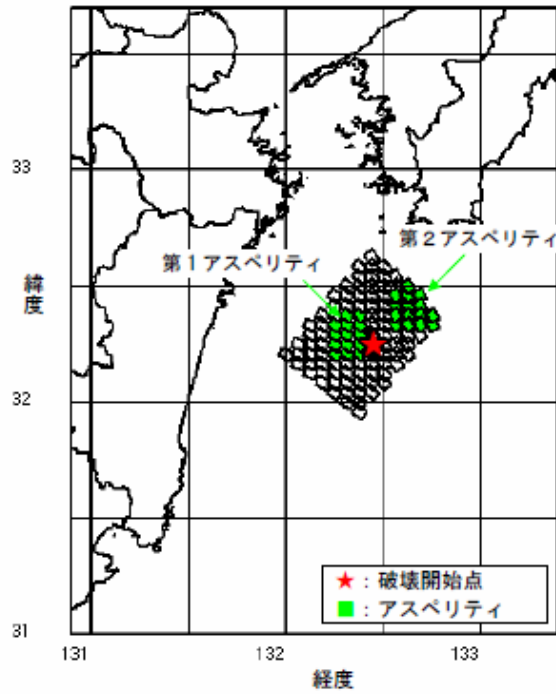


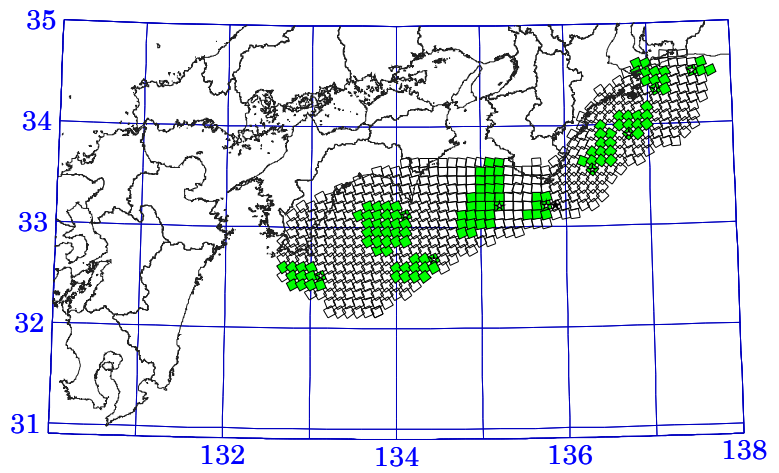
図 4-6 想定地震の震源断層モデル (3)

<日向灘>



《日向灘の地震を想定した強震動評価. 地震調査研究推進本部(2005)より》

<東南海・南海>



《「第16回東南海、南海地震等に関する専門調査会」資料. 中央防災会議(2003)より》

図 4-7 想定地震の震源断層モデル (4)

(2) 工学的基盤の地震動

工学的基盤上における波形は、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は、半経験的な手法で、多数の観測記録の平均的特性をもつ波形を要素波（グリーン関数）として、想定する断層の破壊過程に応じて足し合わせる方法である。この方法を用いることによって、時刻歴波形を予測でき、破壊過程の影響やアスペリティの影響を考慮することができる。図 4-8 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。

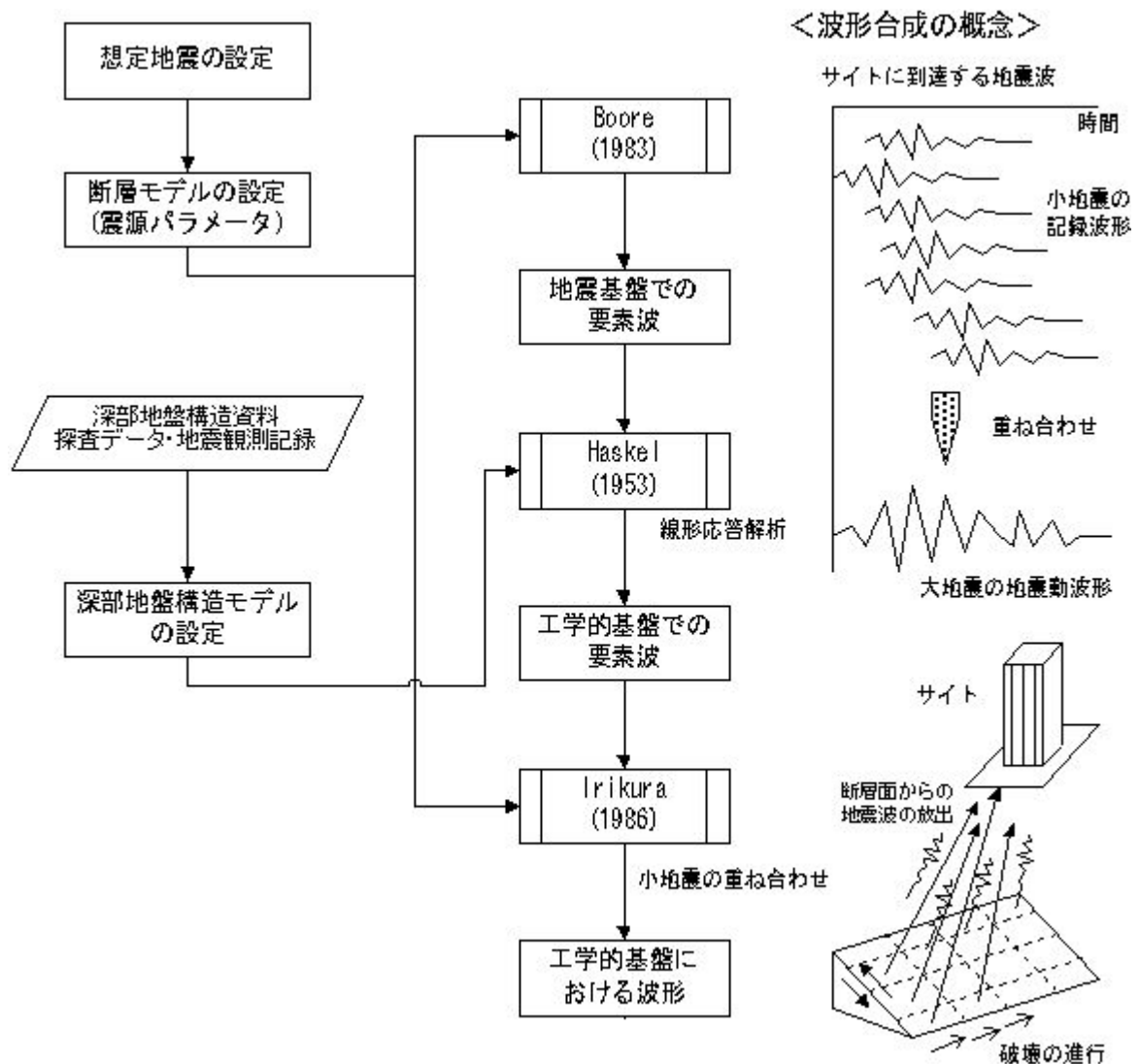


図 4-8 統計的グリーン関数法による工学的基盤における波形計算の流れ

(3) 地表の地震動

工学的基盤で算出された地震動波形と表層地盤構造を用いて、地震応答計算を行う。地震応答計算は、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るものとする。計算コードとしては、SHAKE を用いた。図 4-9 に等価線形法による応答計算の流れを示した。

等価線形法による応答計算のために必要な物性値としては、各層の層厚、S 波速度、密度、及び動的変形特性 ($G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ の関係) が挙げられる。層厚、S 波速度及び密度については、作成した浅部地盤モデルの値をそのまま用いた。動的変形特性については、中央防災会議(2003)で設定されている関係を用いた。

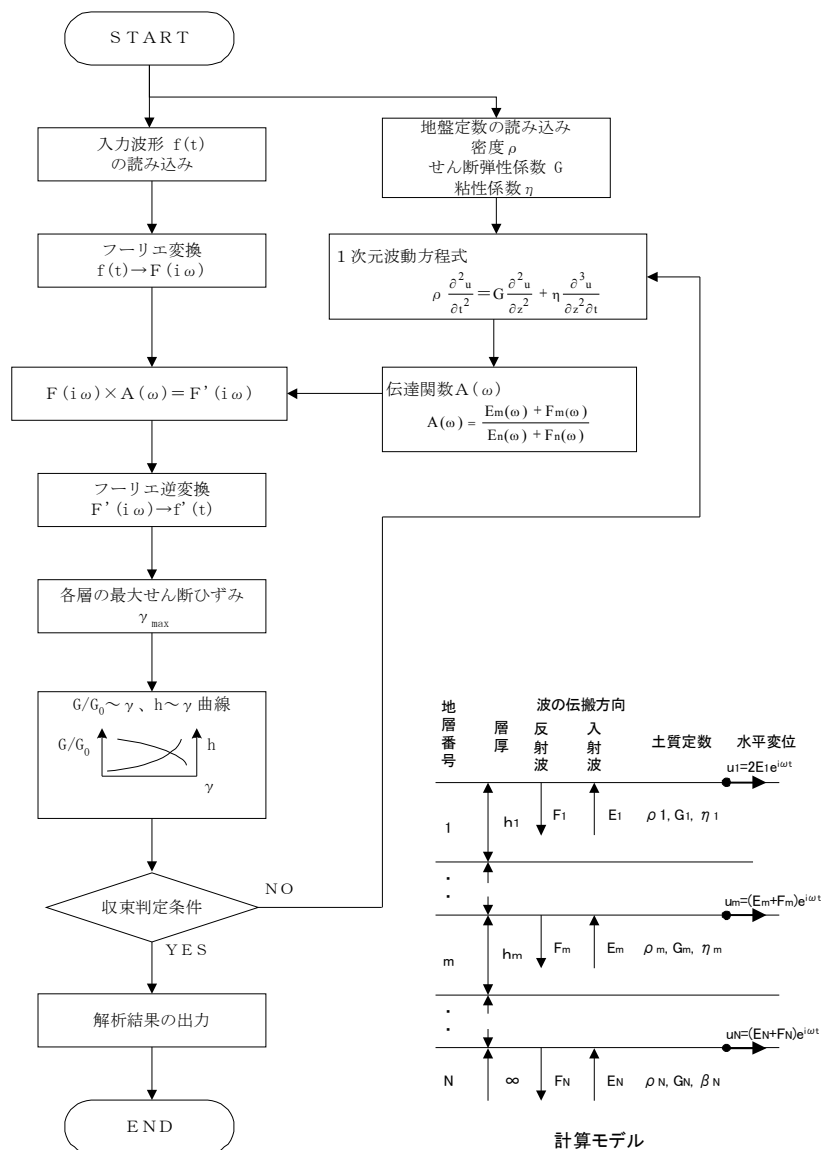


図 4-9 等価線形法による応答計算の流れ

1) 湿潤密度

砂質土、礫質土、粘性土の区分毎に、 N 値の範囲を考慮して設定した。一覧表を表 4-2 に示した。

表 4-2 物性値一覧表

地質・地層名	N 値の範囲	記号	密度(g/cm^3)
埋立地	$10 \leq N$	B1	2.0
	$4 \leq N < 10$	B2	1.8
	$N < 4$	B3	1.6
粘性土	$\leq N < 5$	c1	1.6
	$5 \leq N < 10$	c2	1.7
	$10 \leq N < 20$	c3	1.8
	$20 \leq N$	c4	1.9
砂質土	$N < 10$	s1	1.8
	$10 \leq N < 30$	s2	1.9
	$30 \leq N$	s3	2.0
礫質土	$N < 30$	g1	1.9
	$30 \leq N < 50$	g2	2.0
	$50 \leq N$	g3	2.1
	$50 \leq N$	Dsg	2.1

2) 動的変形特性

中央防災会議(2003)で設定されている、砂質土、礫質土、粘性土の区分による関係を用いた。

設定した動的変形曲線を図 4-10 に示した。

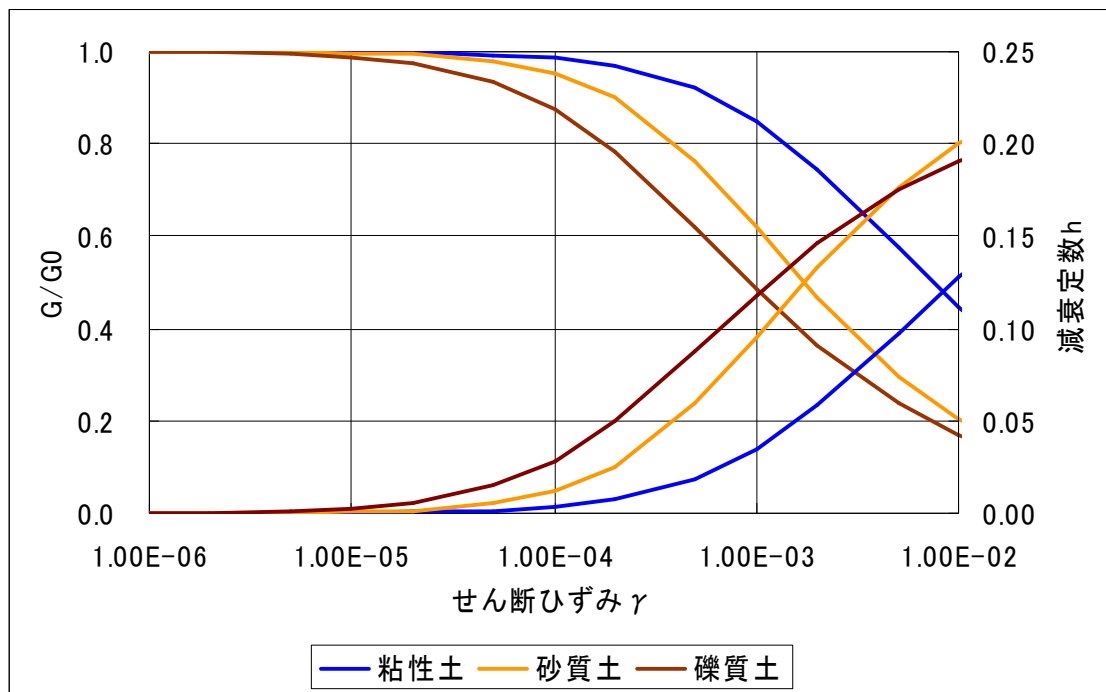


図 4-10 動的変形曲線

4.2.2 液状化

液状化の判定は土木の分野で一般に用いられている道路橋示方書(日本道路協会)に基づく F_L 法および P_L 法によって算定した。

式 4-1 により算定される液状化に対する抵抗率 F_L が 1.0 以下である場合に、判定対象土層が液状化するものとした。なお、判定対象土層は As (沖積砂層)、Ag (沖積礫層)、B2 (盛土：砂主体) とした。

$$F_L = \frac{R}{L} \quad \text{式 4-1}$$

ここに、 F_L ：液状化に対する抵抗率

R ：動的せん断強度比

L ：地震時せん断強度比

得られた F_L 値に、深さの重み関数をかけることにより、液状化の危険度を表す指標である P_L 値を求めた。 P_L 値の定義を以下の式 4-2 に示した。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x) dx \quad \text{式 4-2}$$

ここに、 F_L ：液状化に対する抵抗率であり、 $F_L \geq 1$ の場合には $F_L = 1$ とする

x ：地表面からの深さ(m)

P_L 値と液状化危険度の関係¹⁾ から、メッシュ毎に液状化危険度を求めた。 P_L 値と液状化危険度の関係を表 4-3 に示した。

表 4-3 P_L による液状化危険度の判定区分

P_L 値	液状化危険度判定
$P_L = 0$	液状化危険度はかなり低い
$0 < P_L \leq 5$	液状化危険度は低い
$5 < P_L \leq 15$	液状化危険度が高い
$15 < P_L$	液状化危険度が極めて高い

また、後述する液状化による建物被害の検討のために用いる液状化発生面積率を表 4-4 のように設定した。液状化発生面積率は、 P_L 値によりメッシュ内で何%の面積が液状化するかを表す割合である。

表 4-4 P_L 値をもとにした液状化発生面積率

	$P_L = 0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
液状化発生面積率	0%	2%	5%	18%

4.2.3 斜面崩壊

(1) 検討対象データ

大分県が指定した急傾斜危険地 14,293 箇所を検討対象としたが、Ⅱ・Ⅲについては詳細な調査が未実施であるので、カルテの不足項目については直近の斜面の値を採用し概算したので参考値であることに注意する必要がある。

表 4-5 急傾斜地の分類

①急傾斜地崩壊危険箇所Ⅰ	被害想定区域内に人家が5戸以上等（5戸未満であっても官公署、学校、病院、社会福祉施設等の災害弱者関連施設等のある場合を含む）ある箇所。
②急傾斜地崩壊危険箇所Ⅱ	被害想定区域内に人家が1～4戸ある箇所
③急傾斜地崩壊危険箇所に準ずる斜面Ⅲ	被害想定区域内に人家がない場合でも、都市計画区域内であること等一定の要件を満たし、住宅等が新規に立地する可能性があると考えられる箇所。

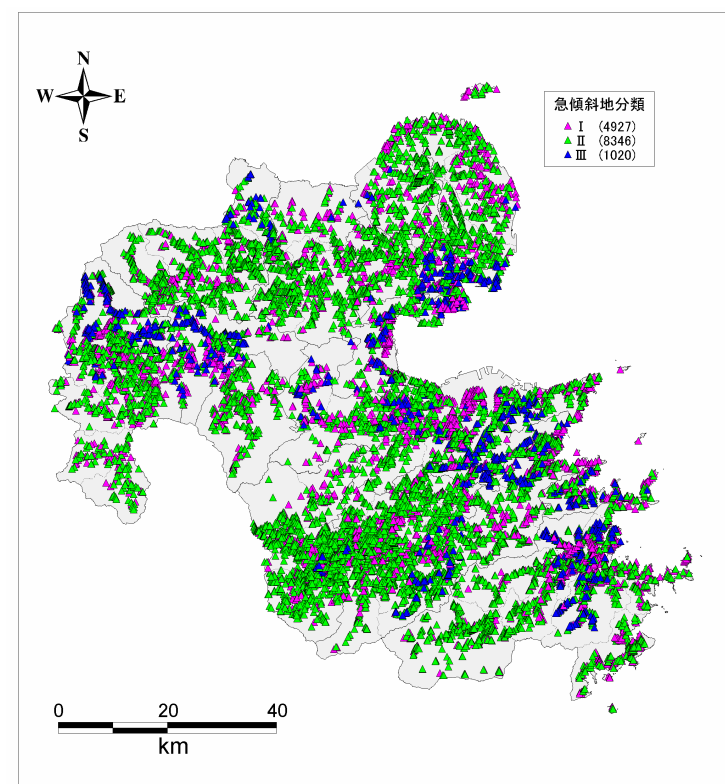


図 4-11 急傾斜地分布（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）分布

(2) 急傾斜危険地の危険度判定方法について

急傾斜地地震対策危険度判定表および計測震度を加味した判定ランク表 4-6、表 4-7) を示した。これは、広域を対象とした地震被害予測に一般的に用いられている手法で、本来降雨を対象にした点検表を宮城県沖地震などの震害事例に適用して、地震被害想定用に設定されたものである。

表 4-6 急傾斜地地震対策危険度判定基準

項目	小項目名	点数	備考
①斜面高 (H)m	H<10	3	
	10≤H<30	7	
	30≤H<50	8	
	50≤H	10	
②斜面勾配 (α)	α<1:1.0	1	
	1:1.0≤α<1:0.6	4	
	1:0.6≤α	7	
③オーバーハング	構造物のない斜面のオーバーハング*	7	岩の斜面などで一見してオーバーハングと見られるもの
	構造物のある斜面のオーバーハング*	4	
	なし	0	
④斜面の地盤	斜面の表面に転石・浮石が多い	10	上位のものを用いる。例えば、土砂で表面に転石・浮石が多いものは10点とする。
	切土法面に玉石が多い	7	
	風化変質・亀裂の発達した岩	6	
	礫混じり土砂	5	
	風化変質した岩	4	
	亀裂の発達した岩	4	
	土砂	4	
	粘質土	1	
亀裂の発達していない岩	0		
⑤表土の厚さ	0.5m以上	3	表土とは表面の腐植土・表土有機質を指す。但し、表土下に非常にルーズな崩石があれば、それも含める。
	0.5m未満	0	
⑥湧水	有	2	常時見られる湧水を指す。
	無	0	
⑦落石・崩壊頻度	年1回以上	5	道路交通または道路構造物に損傷を与えない程度の軽微な落石・法崩れ等を指す。
	年1回未満	3	
	なし	0	
合計			

表 4-7 急傾斜地崩壊危険箇所における耐震性危険度判定ランク

耐震性危険度ランク	a	b	c
評価点	24 点以上	14～23 点	13 点以下

表 4-8 急傾斜地危険箇所における地震時危険度判定ランク

耐震性危険度ランク	計測震度			
	～5 弱	5 強	6 弱	6 強～
a	C	B	A	A
b	C	C	B	A
c	C	C	B	B

ランク A：地震による崩壊の危険性が高い（50%が崩壊の可能性がある）

ランク B：地震による崩壊の可能性がある（10%が崩壊の可能性がある）

ランク C：地震による崩壊の可能性はほとんどない

なお、対策工事が完了していることが明らかな斜面に関しては、耐震性が向上しているものとして、ランクをCとした。

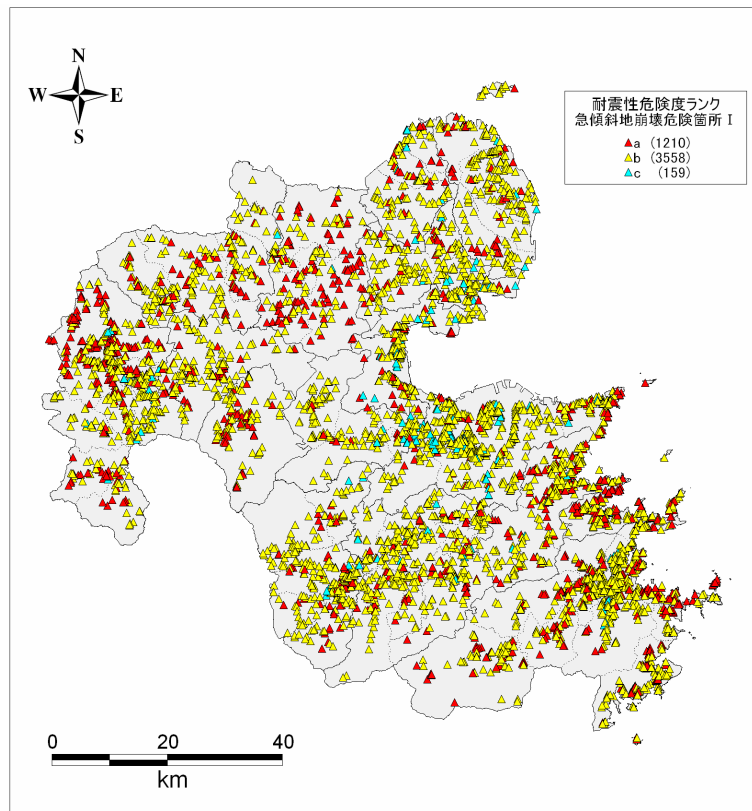


図 4-12 I 類の耐震性危険度ランク分布

4.3 予測結果

地震動・液状化・斜面崩壊の項目ごとに、各想定地震に対する予測結果図を示す。

(1) 中央構造線断層帯の地震の予測結果

震度分布を図 4-13、液状化危険度布を図 4-14、斜面危険度布を図 4-15 に示した。

(2) 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ東）の予測結果

震度分布を図 4-16、液状化危険度布を図 4-17、斜面危険度布を図 4-18 に示した。

(3) 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ西）の予測結果

震度分布を図 4-19、液状化危険度布を図 4-20、斜面危険度布を図 4-21 に示した。

(4) 別府地溝北縁断層帯の地震の予測結果

震度分布を図 4-22、液状化危険度布を図 4-23、斜面危険度布を図 4-24 に示した。

(5) 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 1 個）の予測結果

震度分布を図 4-25、液状化危険度布を図 4-26、斜面危険度布を図 4-27 に示した。

(6) 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 2 個）の予測結果

震度分布を図 4-28、液状化危険度布を図 4-29、斜面危険度布を図 4-30 に示した。

(7) 崩平山－万年山地溝北縁断層帯の地震の予測結果

震度分布を図 4-31、液状化危険度布を図 4-32、斜面危険度布を図 4-33 に示した。

(8) 周防灘断層帯の地震の予測結果

震度分布を図 4-34、液状化危険度布を図 4-35、斜面危険度布を図 4-36 に示した。

(9) プレート内地震の予測結果

震度分布を図 4-37、液状化危険度布を図 4-38、斜面危険度布を図 4-39 に示した。

(10) 日向灘地震の予測結果

震度分布を図 4-40、液状化危険度布を図 4-41、斜面危険度布を図 4-42 に示した。

(11) 東海海・南海地震の予測結果

震度分布を図 4-43、液状化危険度布を図 4-44、斜面危険度布を図 4-45 に示した。

4.3.1 地震動

活断層の地震は、いずれの地震においても、震源に近い地域で地震動が強くなっており、特に別府地溝南縁断層帯の地震では、大分市・別府市・由布市・日出町で震度6強以上となっており、大分市・別府市では震度7となる地域も点在するなど、県中央部で強震動となっている。一方県西部では崩平山一万年山地溝北縁断層帯の地震の地震動が大きく、日田市で震度6強となっており、県北部では周防灘の地震の地震動が大きく、豊後高田市等で震度6弱となっている。

海溝型地震は、東海海・南海地震で県南部および大分市で震度5強となっているが、日向灘地震では県南部でも震度5弱以下となっている。プレート内地震は、県南部から県中央部にかけて地域で地震動が強くなっており、震度6弱以上となる地域が分布し、大分市・佐伯市・豊後大野市では震度6強となる地域も点在する。

全体的に見ると、別府地溝南縁断層帯の地震による地震動が最も強く、一部地域で震度7となっているが、地域によっては、別府地溝南縁断層帯の地震以外の活断層による地震や、海溝型地震の場合が最も強い地震動となる場合もあると予測された。

4.3.2 液状化

いずれの地震においても震源に近い埋立地や砂州、谷底平地において液状化の危険度が高いことはもちろんのこと、距離があり地震動がさほど大きくない谷においても一部液状化の危険度が高い箇所が予測された。

4.3.3 斜面崩壊

別府湾周辺の活断層による地震において強い地震力が想定されるため、危険度ランクがAと判定される箇所数が予測された。特に、別府地溝南縁断層帯の地震では、断層沿いにランクAが50箇所が想定された。

表 4-9 危険度ランク箇所数

危険度ランク	A	B	C
中央構造線	0	26	14,267
別府地溝南縁断層帯 asp 東	36	564	13,693
別府地溝南縁断層帯 asp 西	50	568	13,675
別府地溝北縁断層帯	21	326	13,946
別府湾断層帯 asp 1つ	3	110	14,180
別府湾断層帯 asp 2つ	7	210	14,076
崩平山一万年山地溝北縁断層帯	11	124	14,158
周防灘断層帯	0	0	14,293
プレート内	1	124	14,168
日向灘	0	0	14,293
東南海・南海	0	0	14,293
中央構造線	0	26	14,267

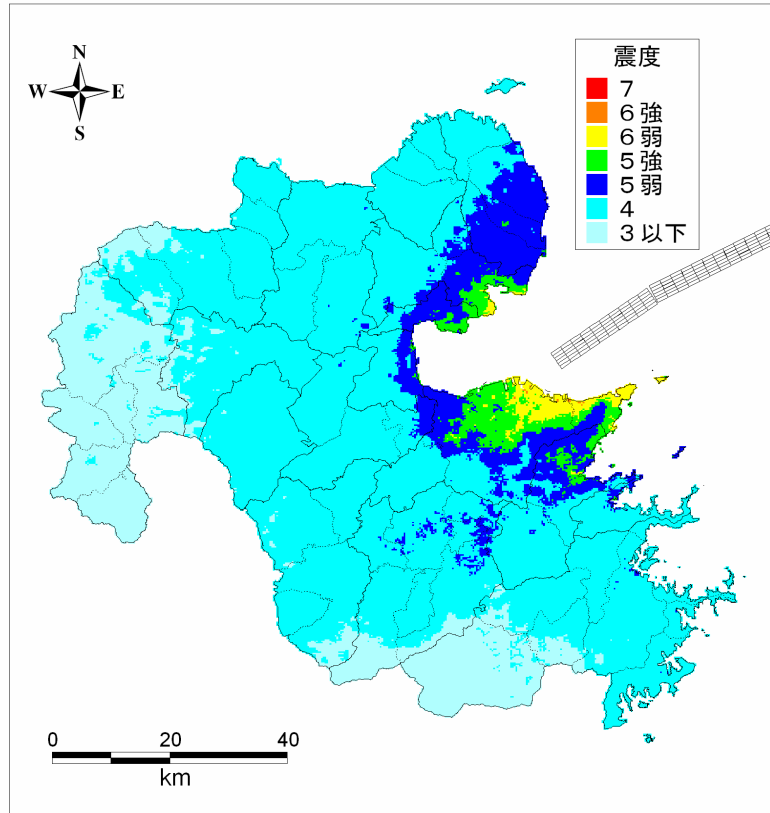


図 4-13 中央構造線断層帯の地震による震度分布

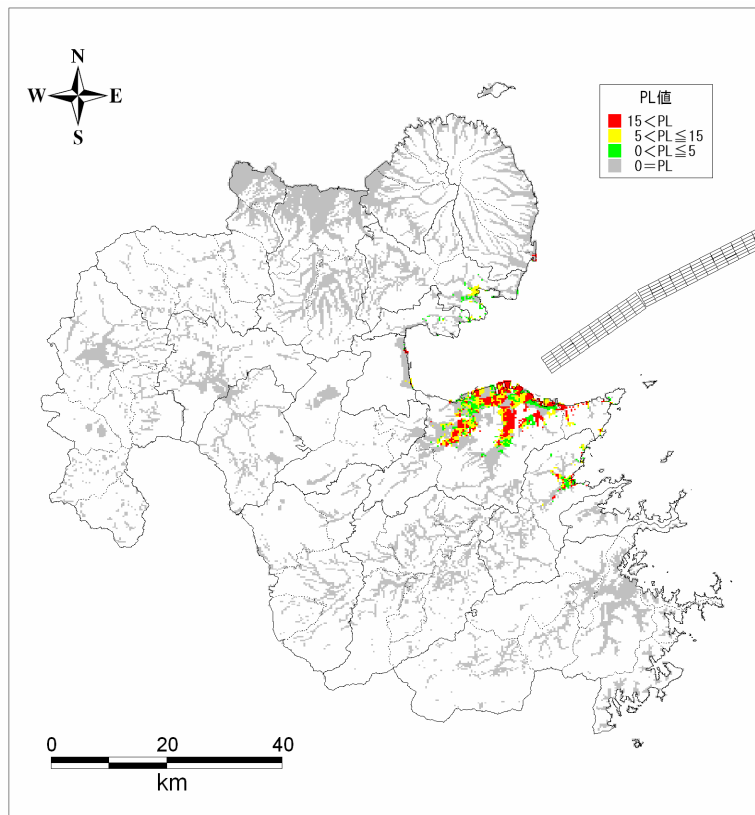


図 4-14 中央構造線断層帯の地震による液状化危険度分布

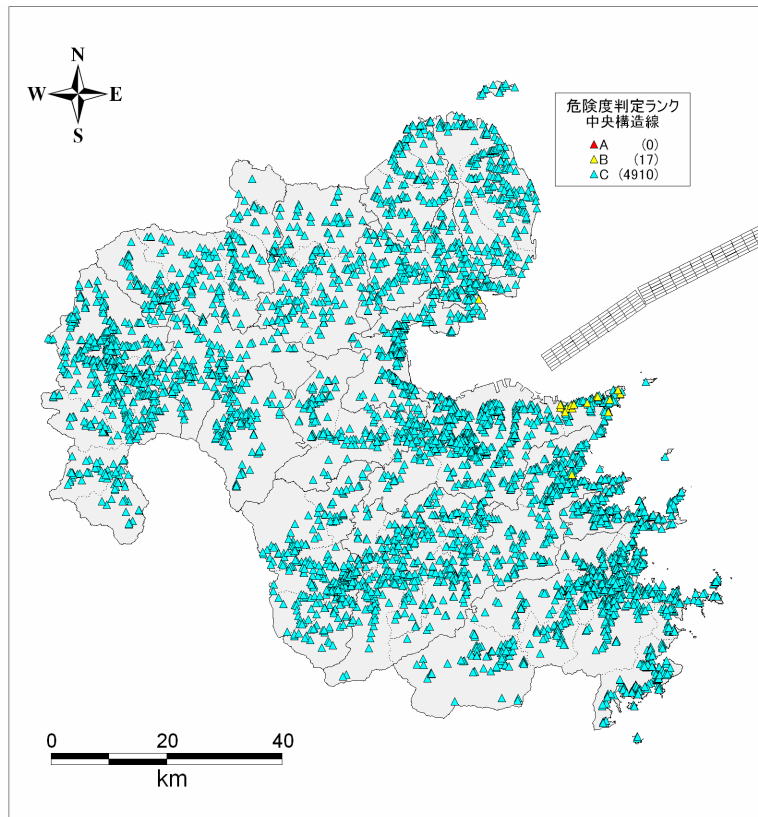


図 4-15 中央構造線断層帯の地震による急傾斜地地震時危険度分布

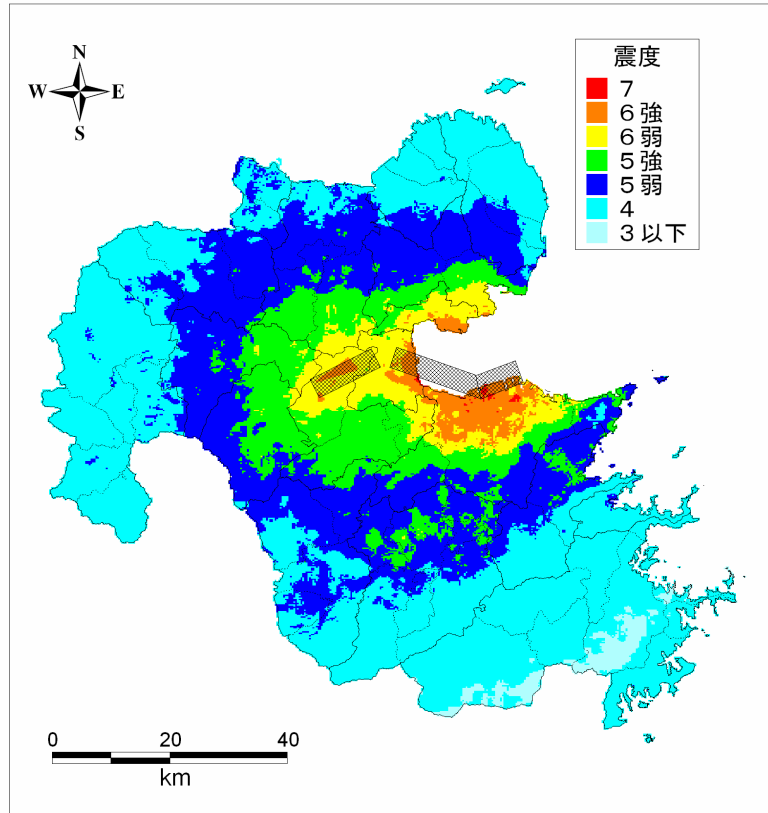


図 4-16 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ東）による震度分布

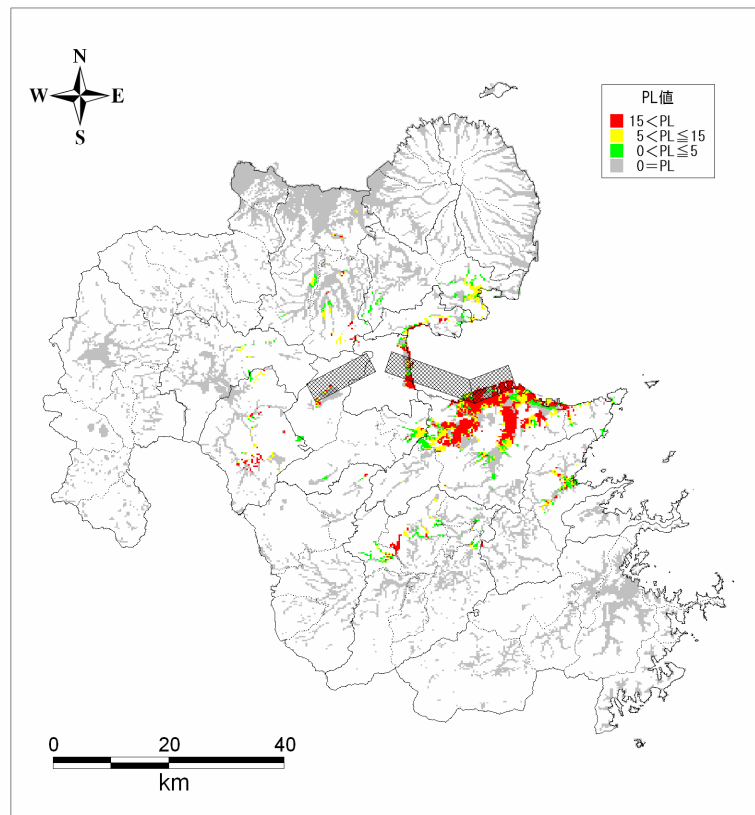


図 4-17 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ東）による液状化危険度分布

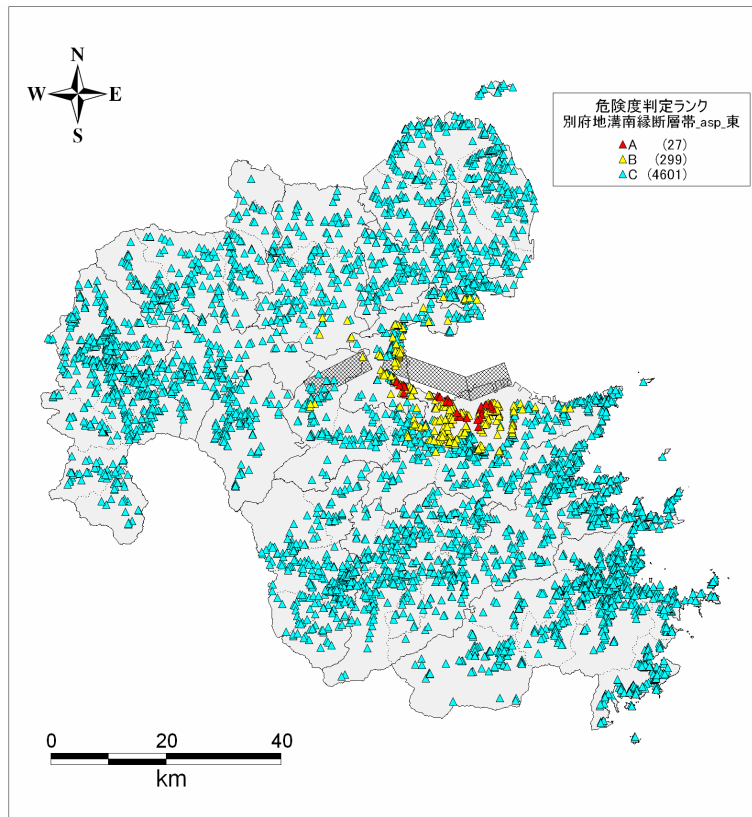


図 4-18 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ東）による急傾斜地地震時危険度分布

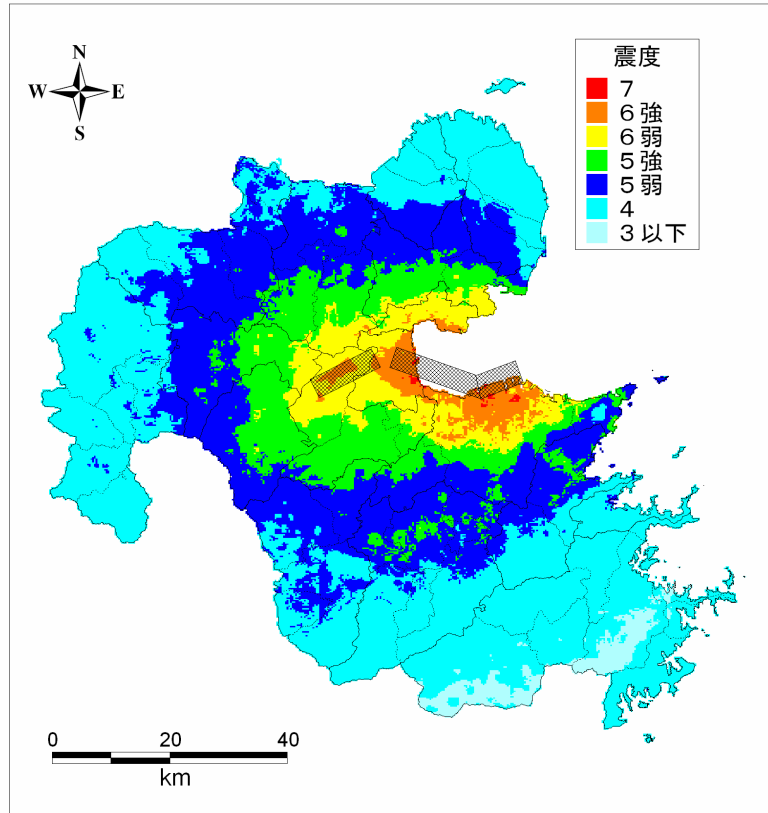


図 4-19 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ西）による震度分布

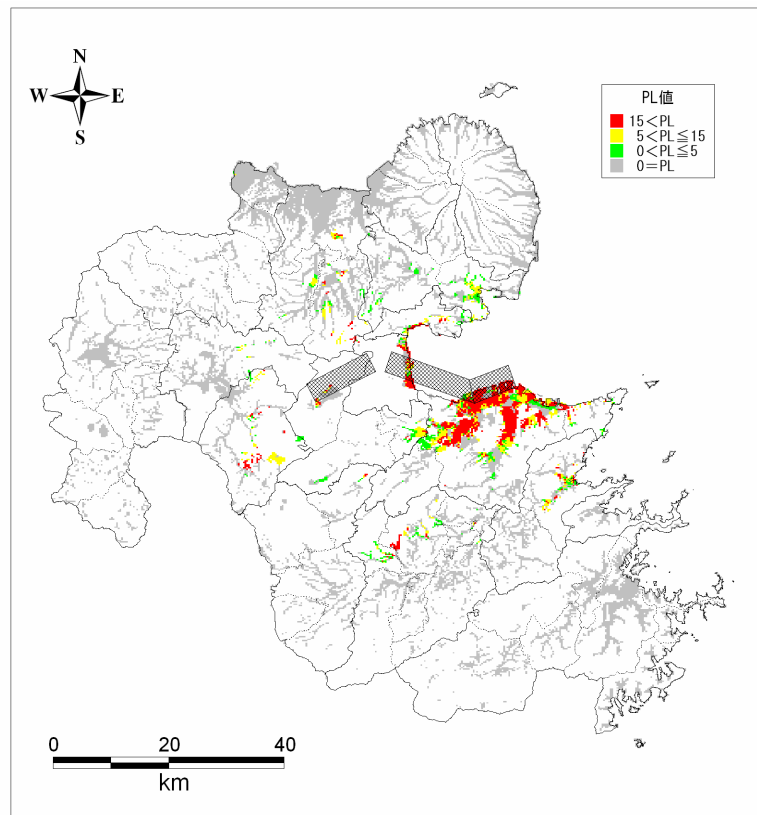


図 4-20 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ西）による液状化危険度分布

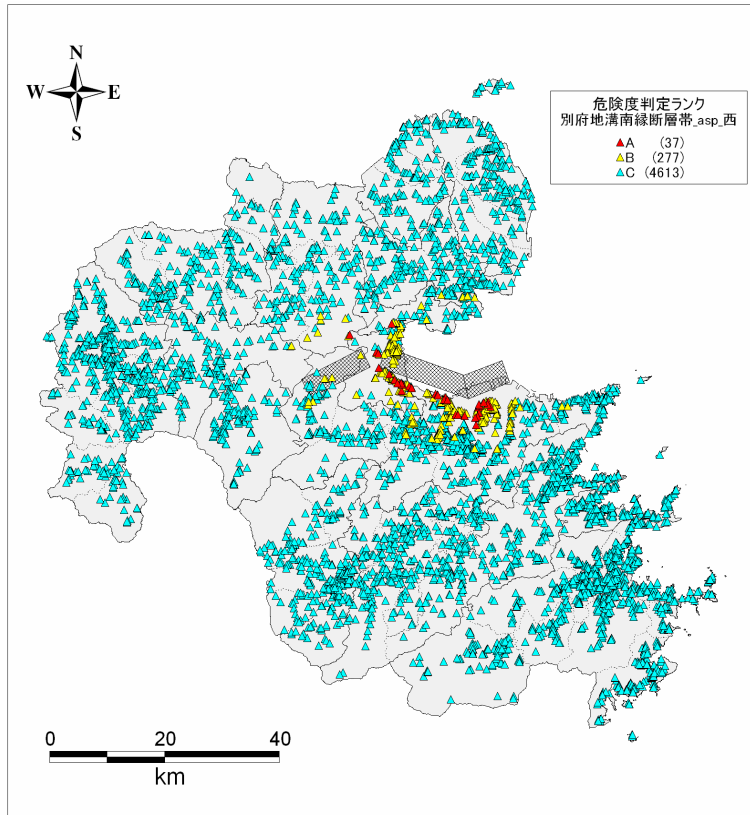


図 4-21 別府地溝南縁断層帯の地震（アスペリティ西）による急傾斜地地震時危険度分布

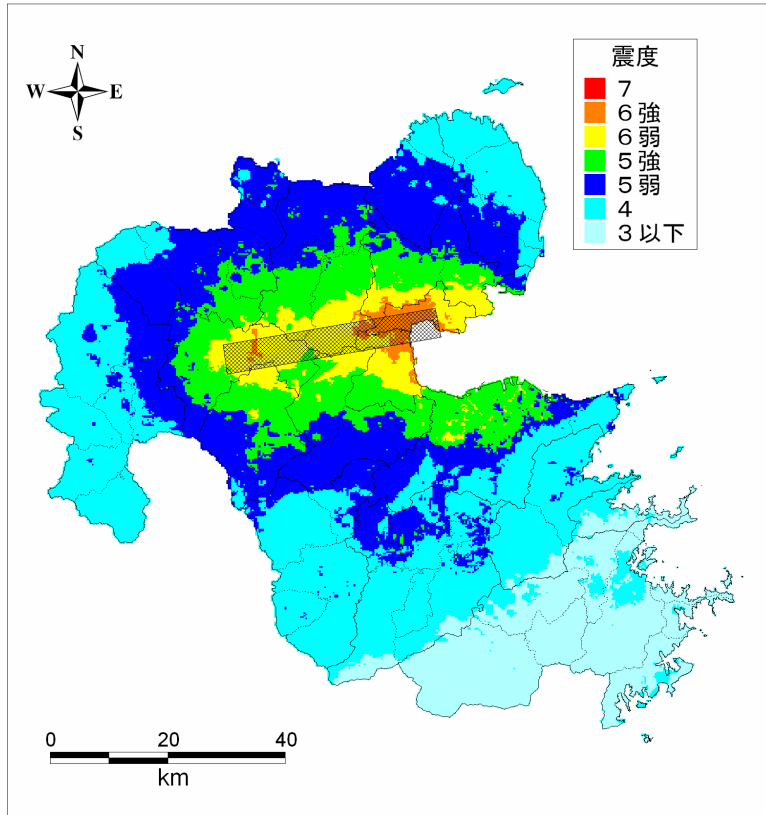


図 4-22 別府地溝北縁断層帯の地震による震度分布

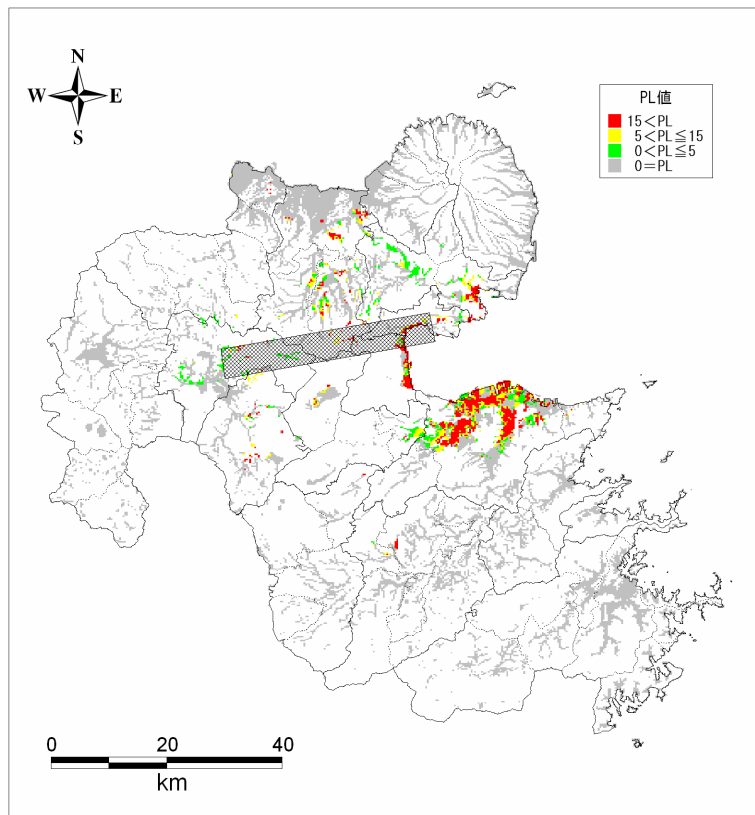


図 4-23 別府地溝北縁断層帯の地震による液状化危険度分布

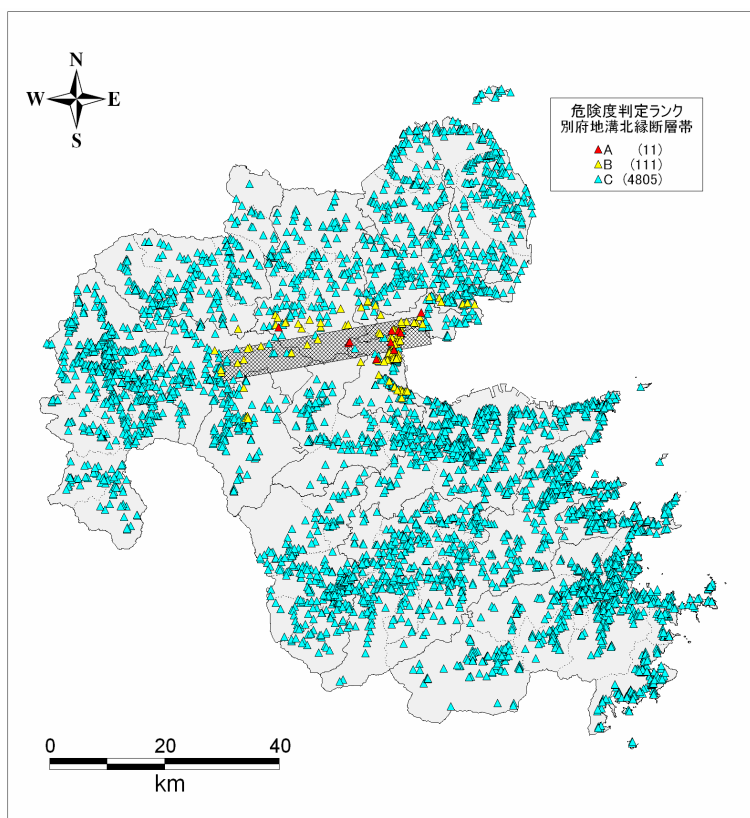


図 4-24 別府地溝北縁断層帯の地震による急傾斜地地震時危険度分布

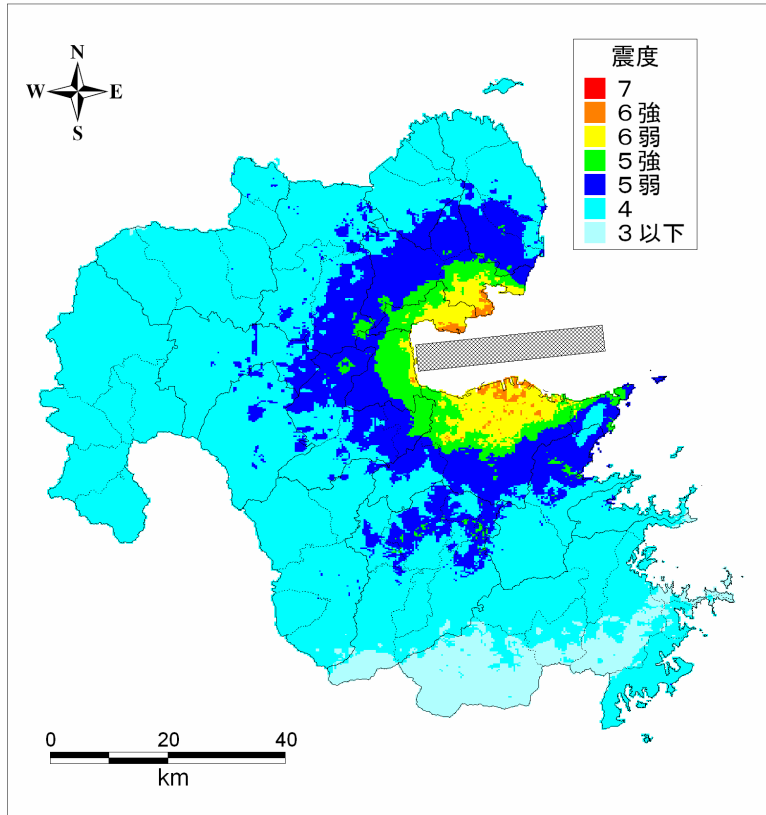


図 4-25 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 1 個）による震度分布

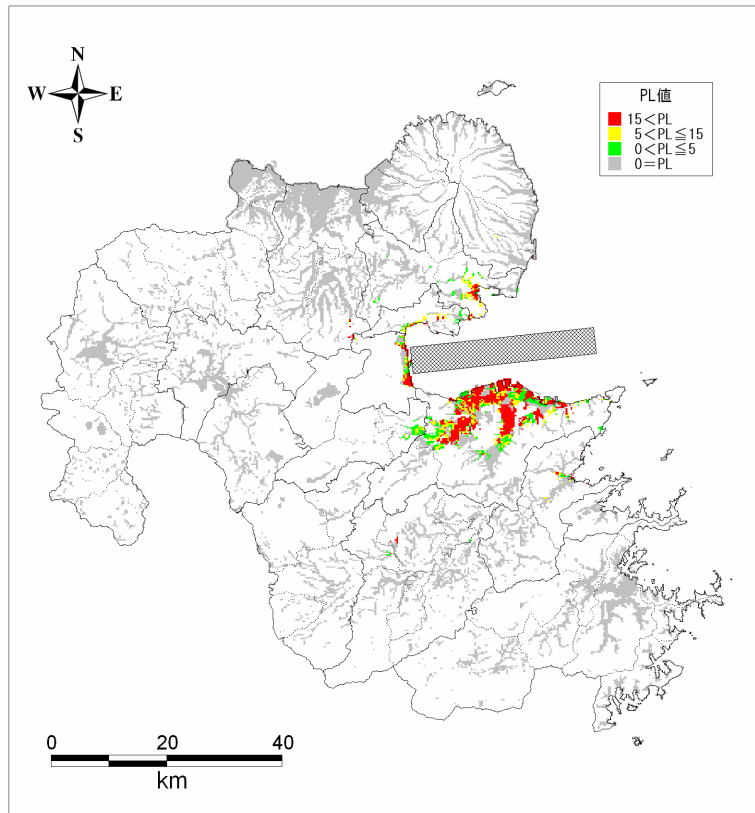


図 4-26 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 1 個）による液状化危険度分布

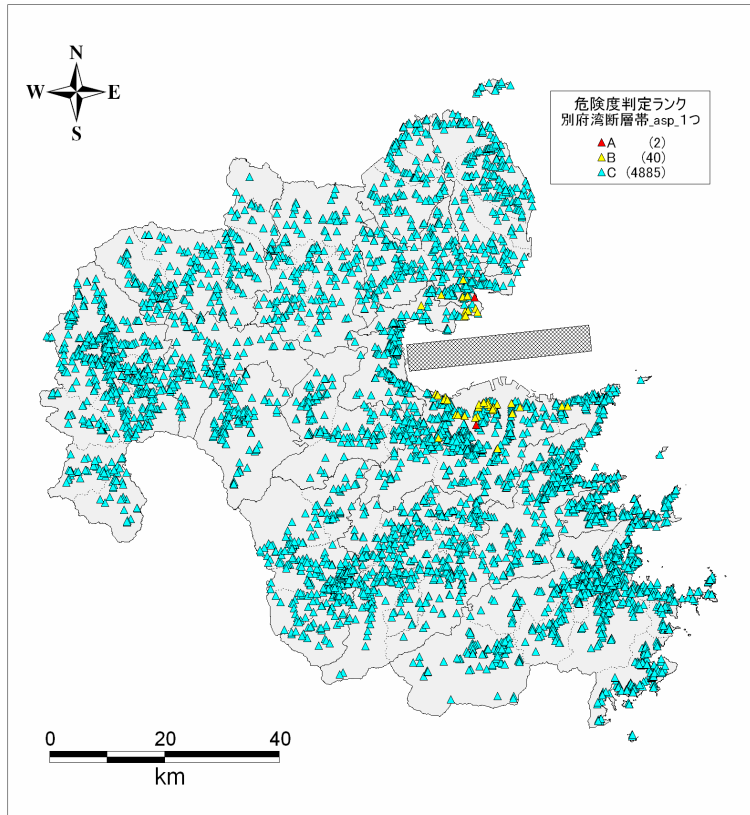


図 4-27 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 1 個）による急傾斜地地震時危険度分布

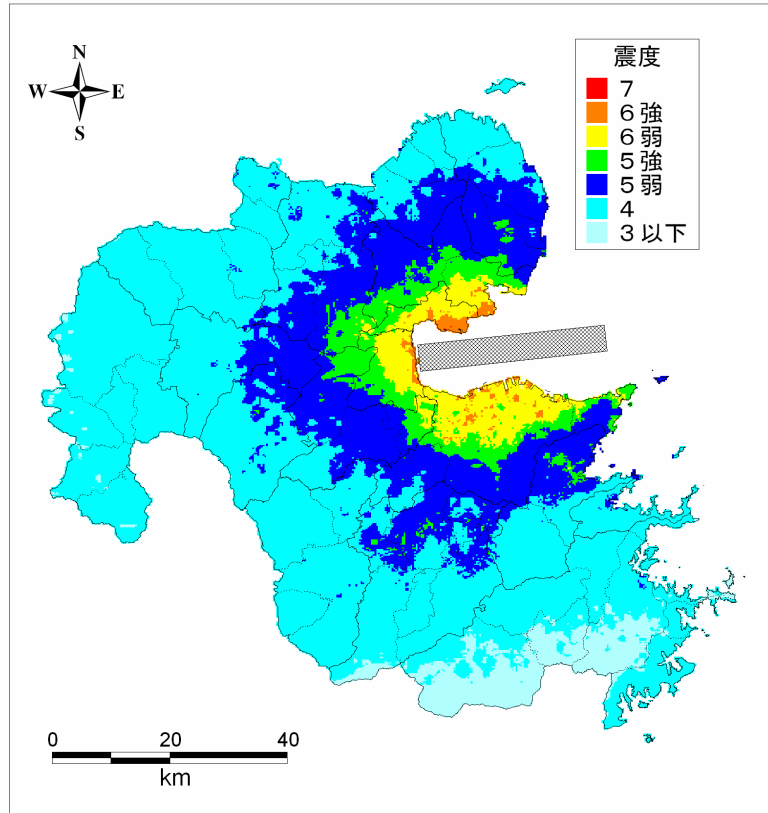


図 4-28 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 2 個）による震度分布

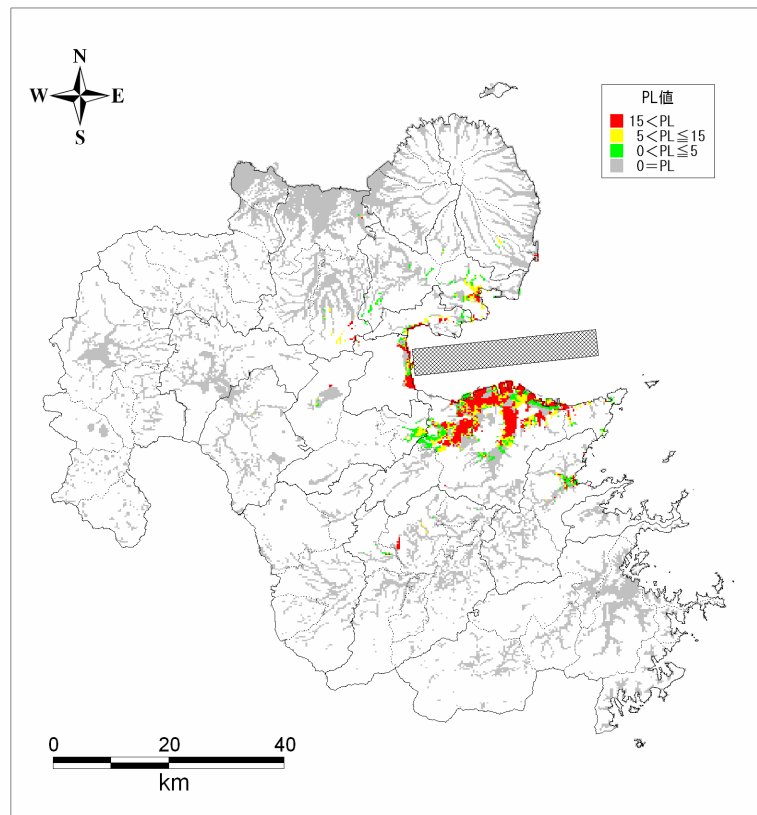


図 4-29 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 2 個）による液状化危険度分布

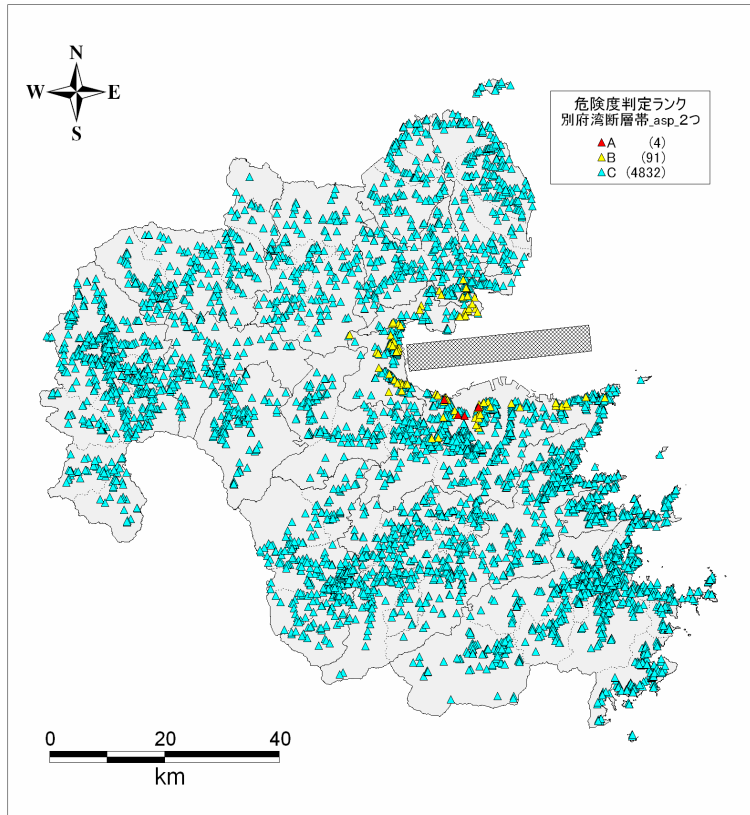


図 4-30 別府湾断層帯の地震（アスペリティ 2 個）による急傾斜地地震時危険度分布

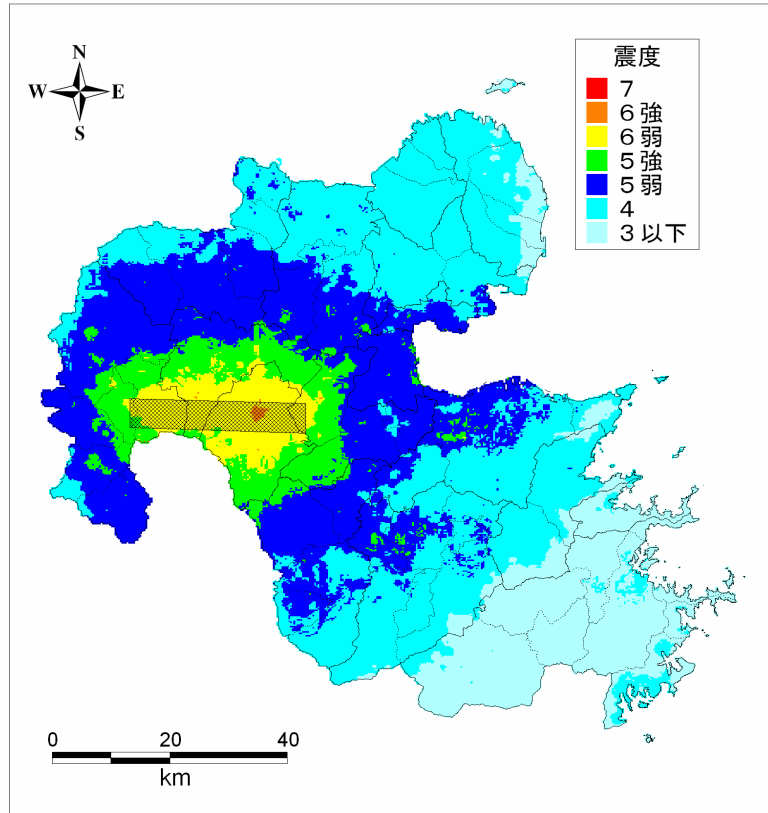


図 4-31 崩平山－万年山地溝北縁断層帯の地震による震度分布

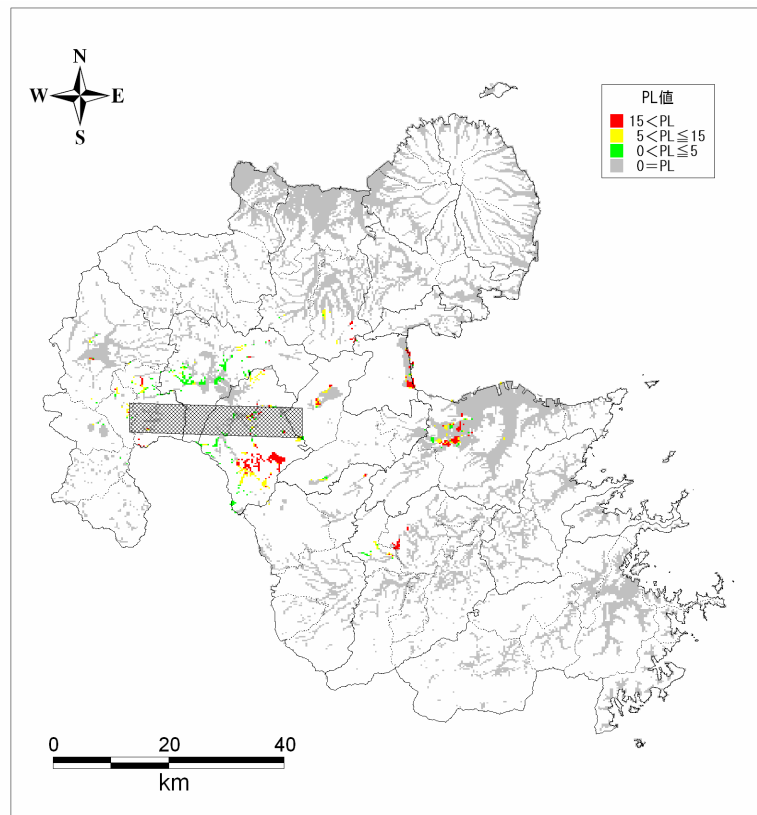


図 4-32 崩平山－万年山地溝北縁断層帯の地震による液状化危険度分布

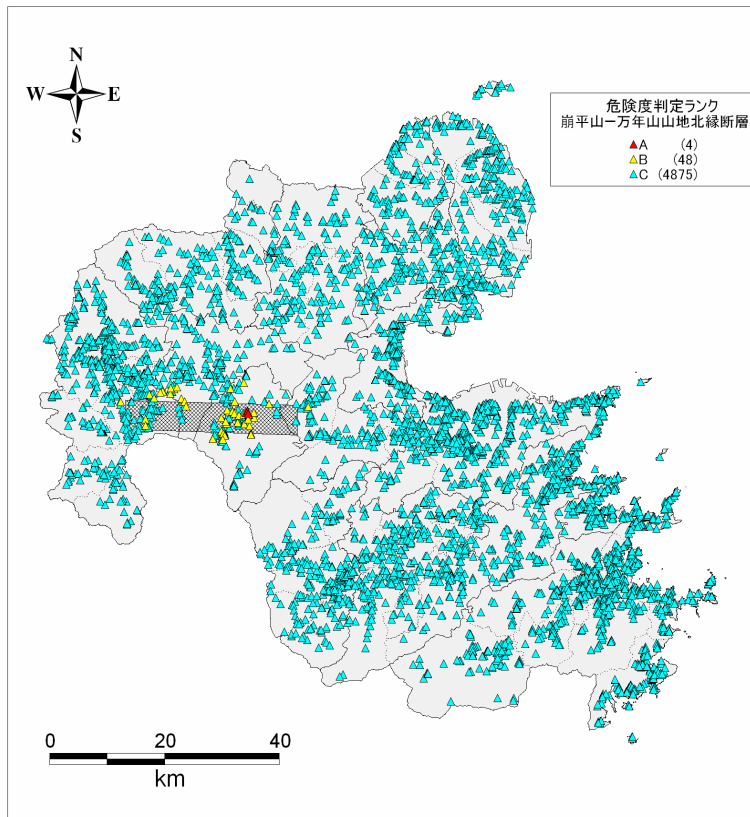


図 4-33 崩平山-万年山地溝北縁断層帯の地震による急傾斜地地震時危険度分布

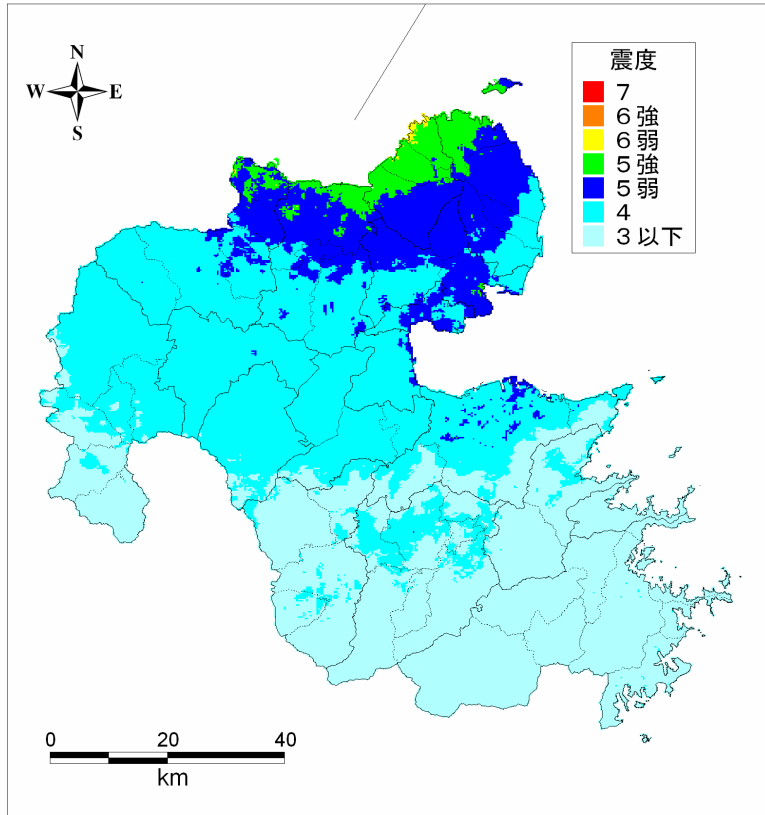


図 4-34 周防灘断層帯の地震による震度分布

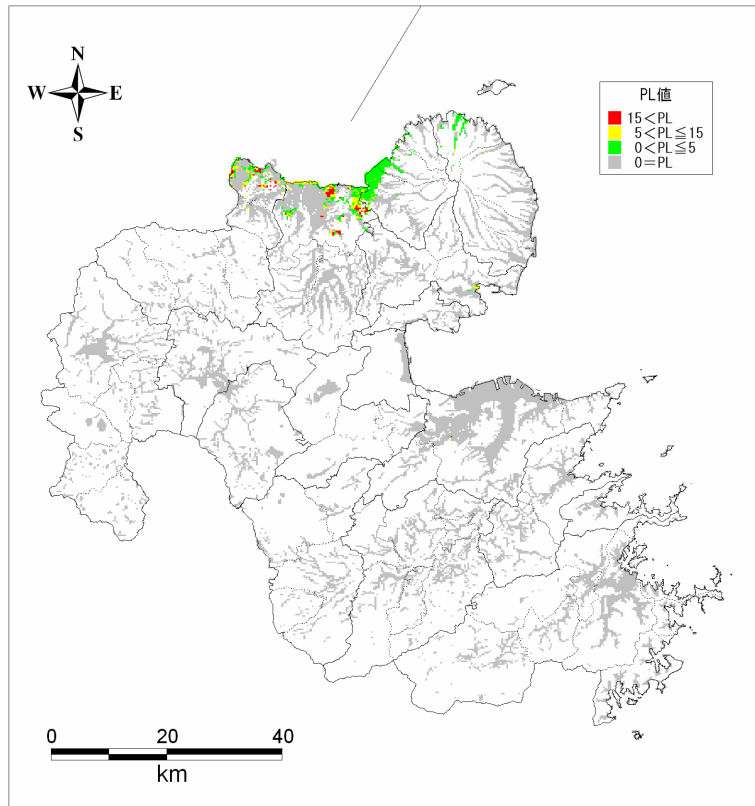


図 4-35 周防灘断層帯の地震による液状化危険度分布

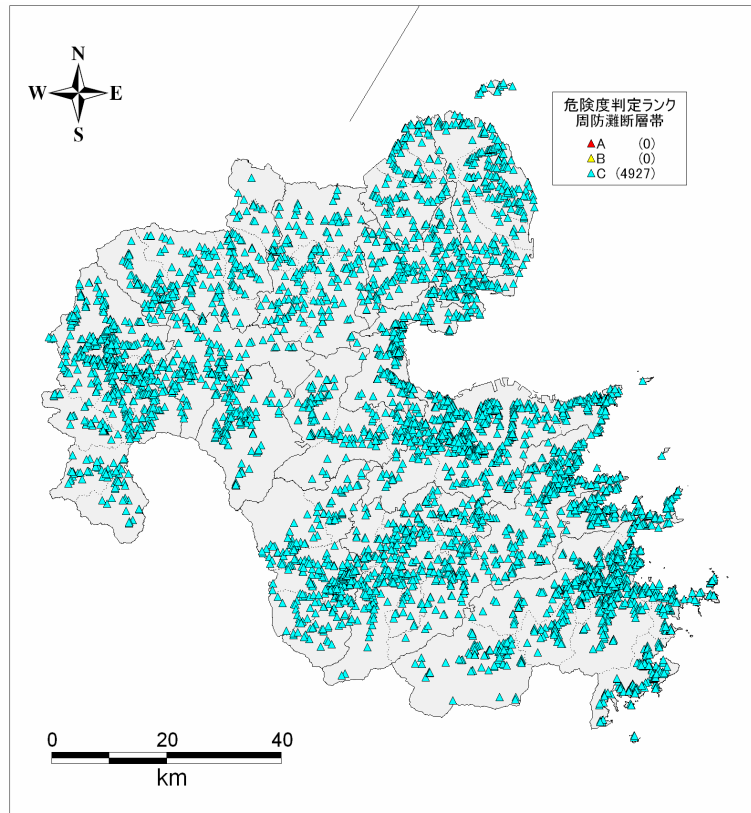


図 4-36 周防灘断層帯の地震による急傾斜地地震時危険度分布

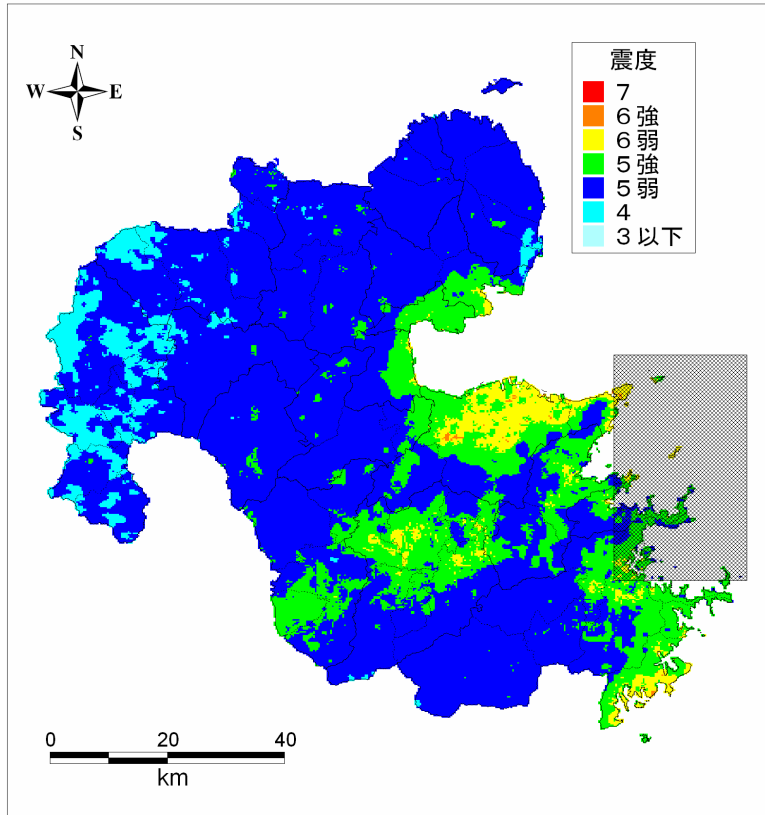


図 4-37 プレート内地震による震度分布

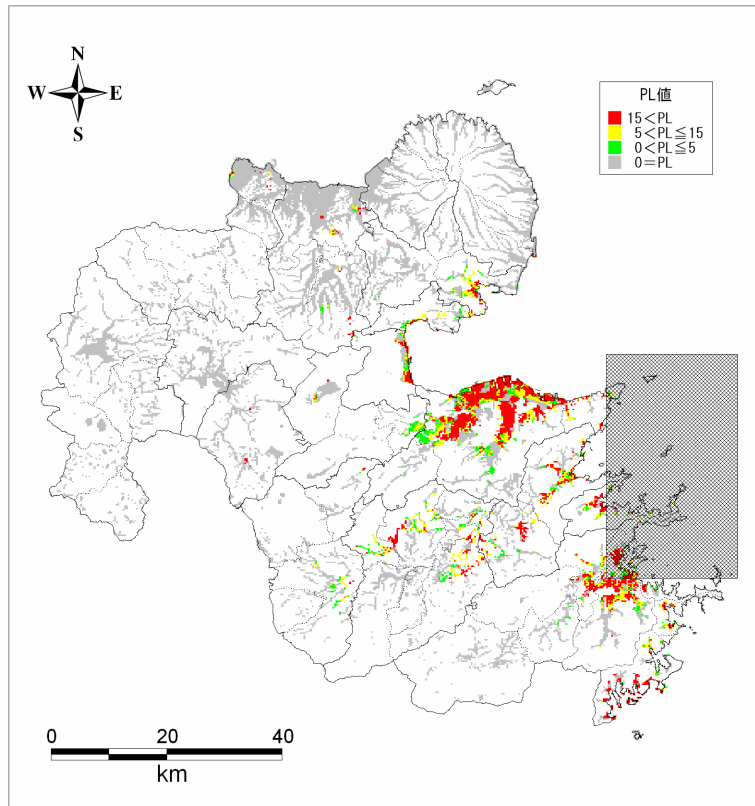


図 4-38 プレート内地震による液状化危険度分布

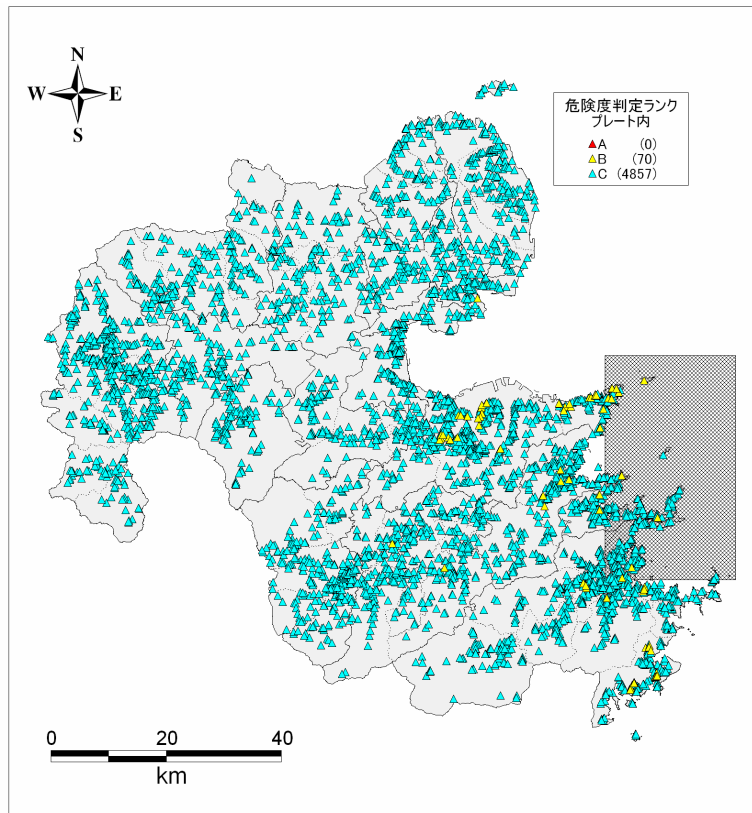


図 4-39 プレート内地震による急傾斜地地震時危険度分布

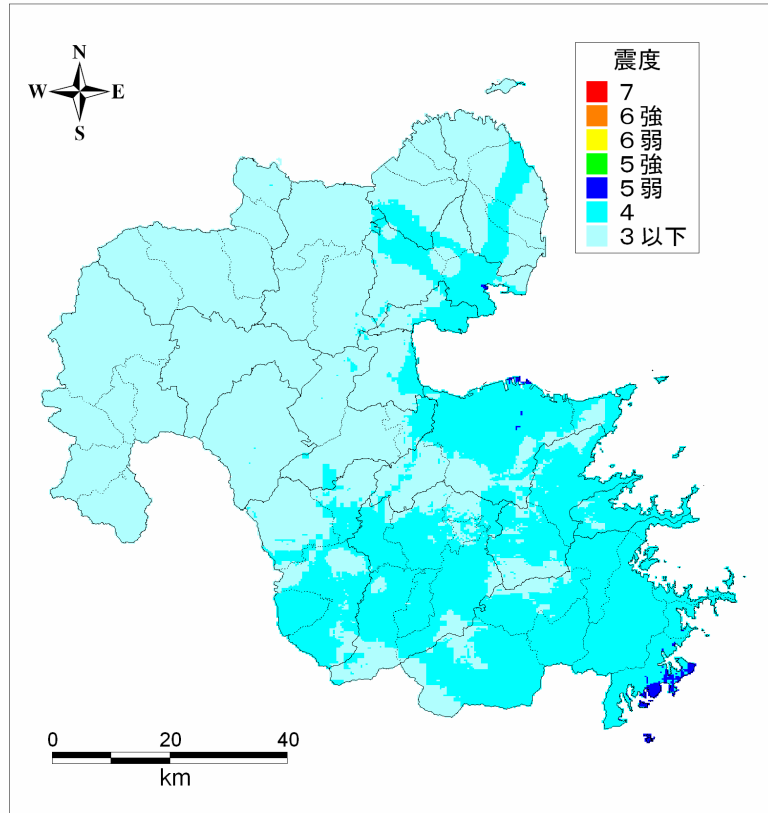


図 4-40 日向灘地震による震度分布

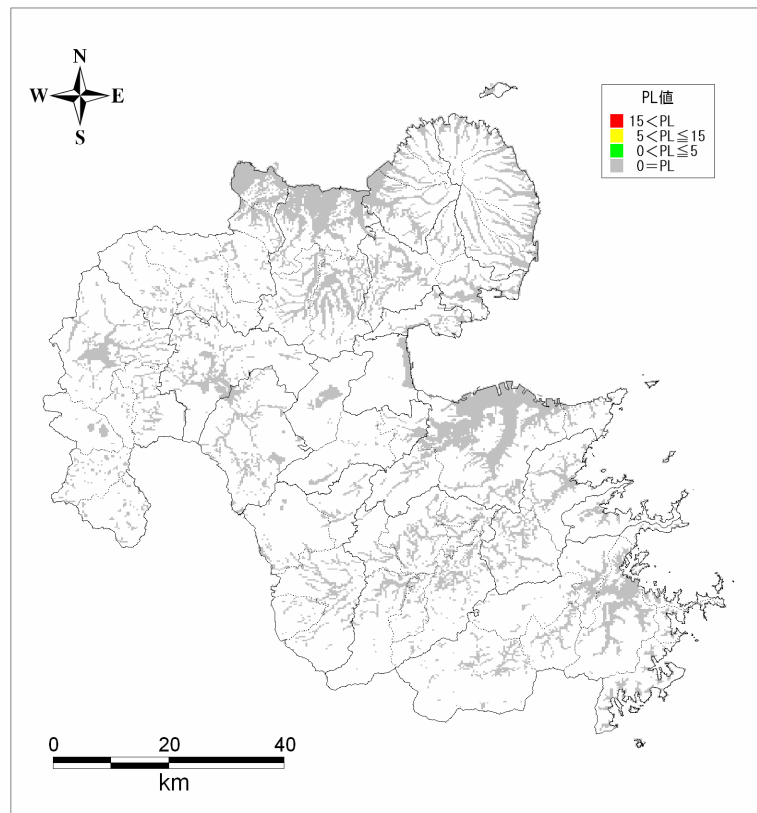


図 4-41 日向灘地震による液状化危険度分布

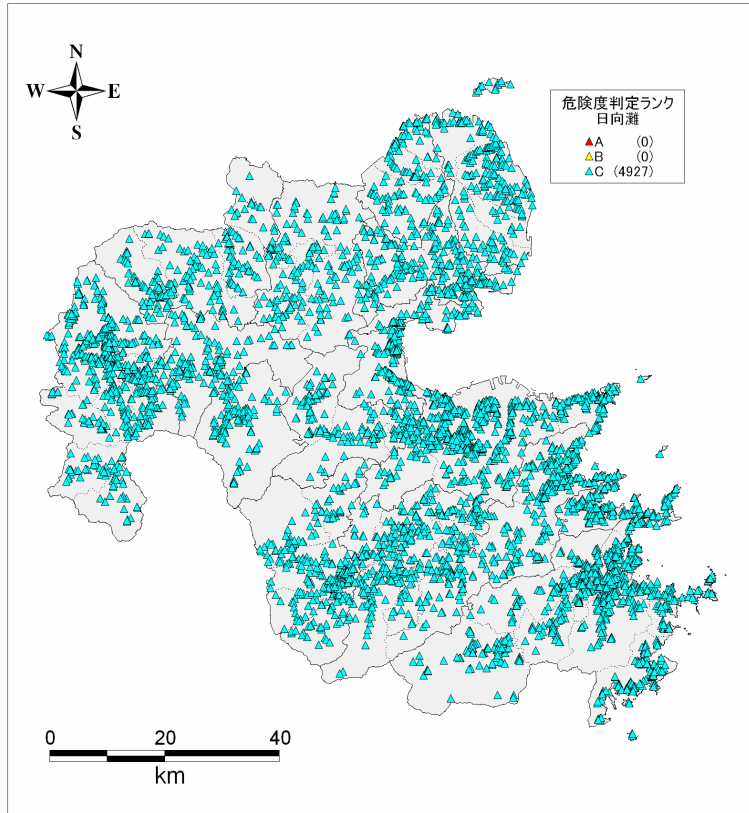


図 4-42 日向灘地震による急傾斜地地震時危険度分布

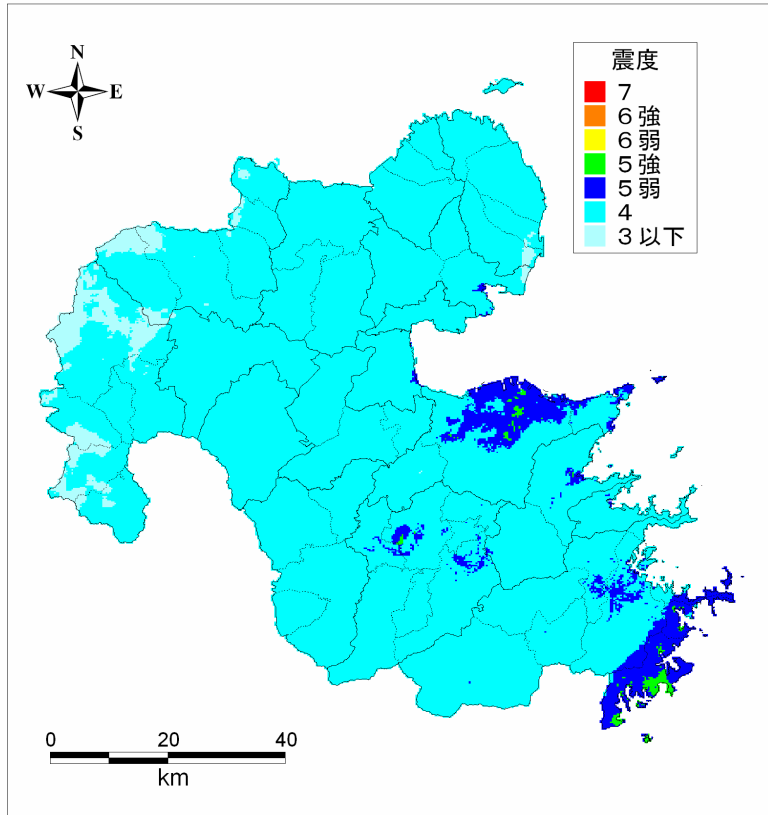


図 4-43 東南海・南海地震による震度分布

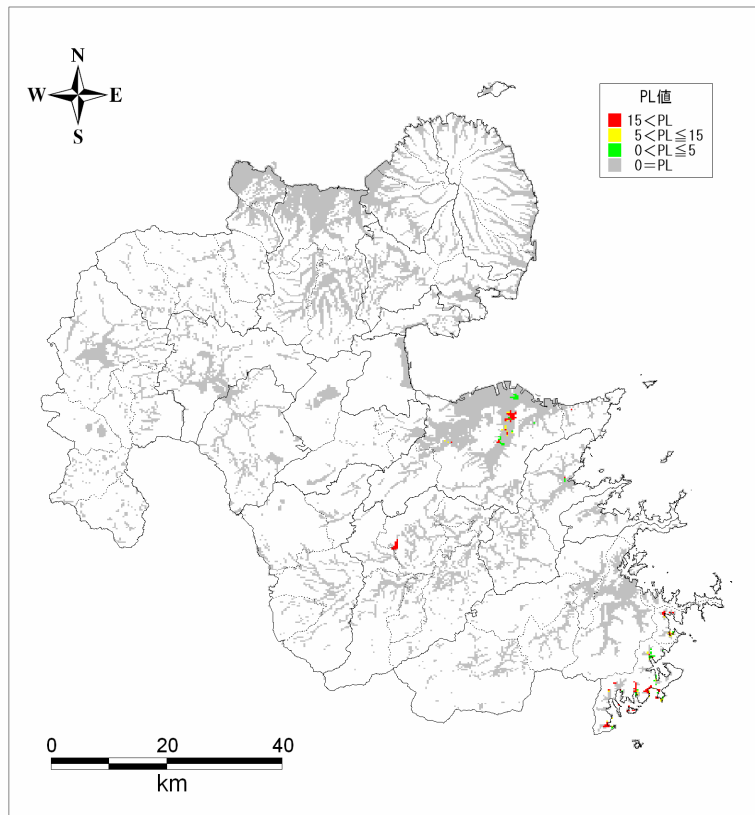


図 4-44 東南海・南海地震による液状化危険度分布

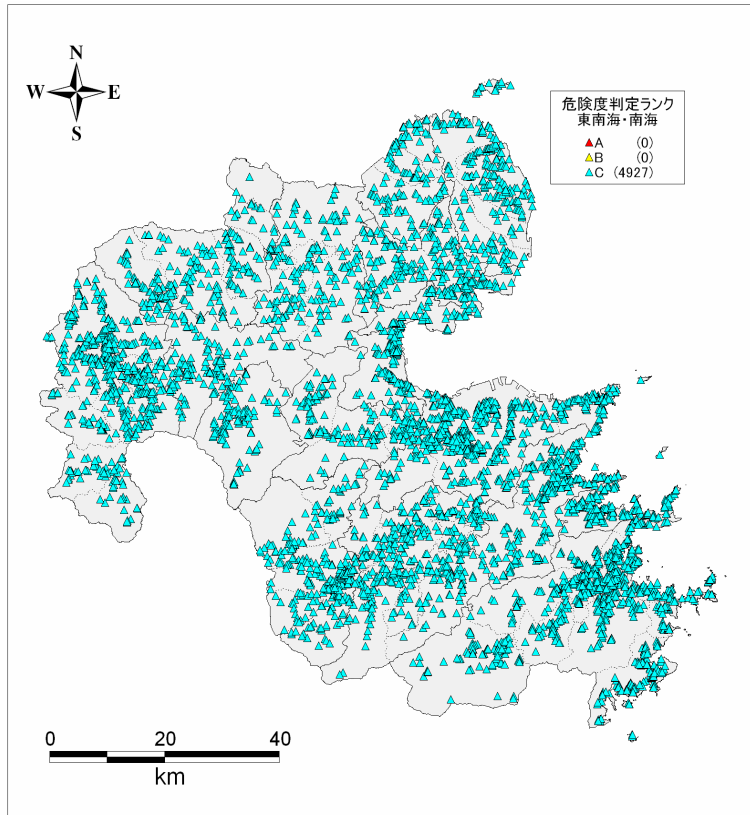


図 4-45 東南海・南海地震による急傾斜地地震時危険度分布

【参考文献】

- (社)日本道路協会：道路橋示法書・同解説, V, 耐震設計編, 2002.
- 国土庁防災局震災対策課：液状化地域ゾーニングマニュアル(平成10年度版), 1999.
- 地震調査研究推進本部(2006)：「全国を概観した地震動予測地図」報告書
- 地震調査研究推進本部(2005)：日向灘の地震を想定した強震動評価
- 中央防災会議(2003)：東南海・南海地震等に関する専門調査会
- Boore, D.M. (1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Amer., 73, pp.1865-1894.
- Haskell. N.A. (1964): Radiation pattern of surface waves from point sources in a multi-layered medium, Bull. Seism. Soc. Amer., 54, pp.377-393.
- 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子(1997)：経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B25.
- Irikura, K. (1986): Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., pp.151-156.
- Shnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. (1972) : SHAKE, a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC 72-12, University of California, Berkeley.
- 長崎県：長崎県地震防災等防災アセスメント調査報告書, 2006. 3