

<b>第4編 地震動・液状化・斜面崩壊の想定</b> .....	<b>4-1</b>
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 .....	4-28
4.2.3 斜面崩壊 .....	4-29
4.3 予測結果 .....	4-32
4.3.1 地震動 .....	4-33
4.3.2 液状化 .....	4-35
4.3.3 斜面崩壊 .....	4-36
<b>【参考：津波浸水予測概要】</b> .....	<b>4-49</b>
<b>【参考文献】</b> .....	<b>4-52</b>

## 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編で述べたように、全国地震動予測地図2018年版（以下、予測地図）において長期評価が見直された「中央構造線断層帯」、「日出生断層帯」及び「万年山-崩平山断層帯」による地震の3地震については、自然災害予測を行い、「南海トラフの巨大地震」、「周防灘断層群主部による地震」及び「プレート内地震」については、過去調査の調査結果を活用した。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ハイブリッド合成法（短周期側は統計的グリーン関数法、長周期側は三次元有限差分法）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。

なお、東北地方太平洋沖地震でも記録されたような、長周期地震を含む広帯域の地震動については、内閣「南海トラフの巨大地震モデル検討会」において検討されている。よって、本調査では、以下の事について検討を進めた。

- ① 地盤構造より卓越周期分布を調べる
- ② 対象となるタンクの周期と数量

#### 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」（（社）日本道路協会、2002）に示されている方法に従い、PL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。

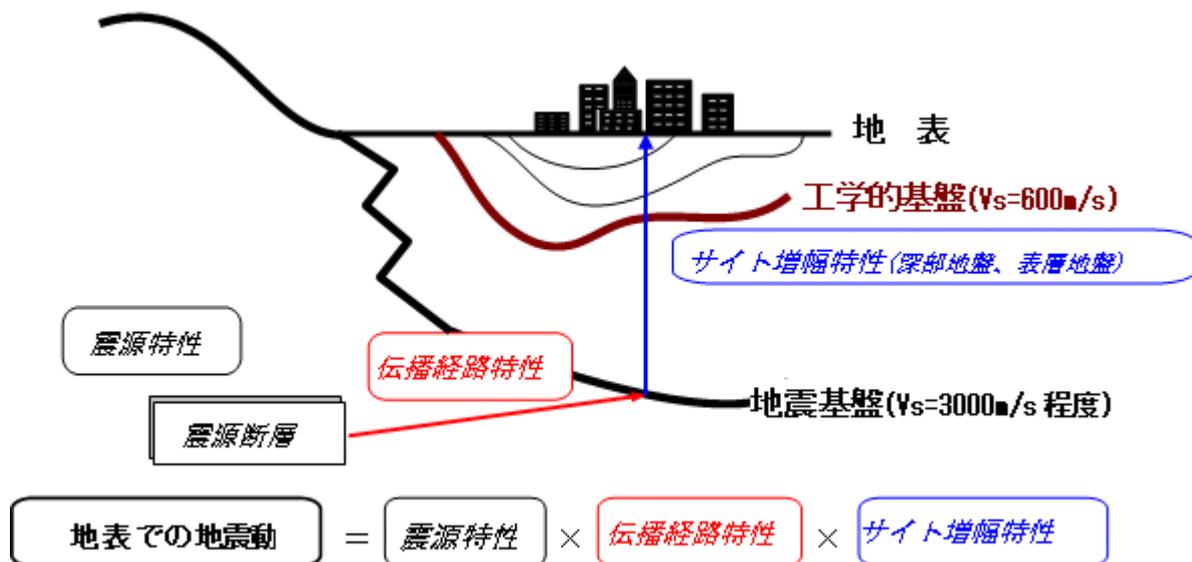


図4-1 震源特性、伝播経路特性およびサイト増幅特性の概念図

### (1) 震源モデルの設定

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災を受け、国の中央防災会議から南海トラフの新たな地震・津波の想定が公表されるまでの間は、地震・津波高の緊急対応暫定想定を用いて、県及び市町村が一体となって防災対策を推進するよう、平成 23 年 6 月 22 日に、有識者会議が大分県地域防災計画再検討委員会に提言した。

大分県では、この提言による緊急対応暫定想定を基に、市町村と連携して、避難所・避難路の見直し、県内統一デザインによる海拔表示板や避難所案内板などの喫緊の防災対策を実施するとともに、平成 23 年 12 月 16 日には、被災地から避難された方や被災地に派遣した県職員等の実体験、自衛隊や海上保安庁などの防災関係機関の意見を聞きながら大分県地域防災計画の素案を決定・公表した。また、全ての市町村が、平成 23 年度末までに市町村防災計画の素案を作成する予定としていた。

こうした中で、活動間隔から喫緊の課題となる南海トラフの海溝型地震だけでなく、中期的な対策が必要と考えられる活断層型地震への備えに関して整合性のとれた対策を推進する一助として、平成 24 年 2 月 26 日に、有識者会議は追加提言書の中で下記について提言した。

1. 地震・津波高の緊急対応暫定想定を検証
2. 活断層型地震への対応
3. 液状化

平成 25 年度に報告した「大分県地震津波被害想定調査」（以降、H25 調査という）では、これに対して内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が公表した、南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）（平成 24 年 8 月 29 日発表）に係る津波高の推計結果を踏まえるとともに、本県に津波被害の影響のある以下の 3 地震を対象として「大分県津波浸水予測調査」（以下、浸水予測調査という）津波高や浸水範囲の予測を検討した。

- ・ 南海トラフの巨大地震
- ・ 別府湾の地震（慶長豊後型地震）
- ・ 周防灘断層群主部

一方、平成 29 年 12 月に地震調査研究推進本部（以降、「地震本部」と呼ぶ）と地震調査委員会の連名で「中央構造線断層帯（金剛山地東縁-由布院）の長期評価（第二版）」が公表された。中央構造線断層帯の長期評価は、以前（平成 15 年 2 月）に公表されているが、その後の調査等の成果・知見を加味して、評価の見直しが行われたものである。この見直しでは、本県の地震被害想定で従来対象としてきた「別府-万年山断層帯」（H25 調査では、別府湾の地震（慶長豊後型）は、中央構造線断層帯の一部として再評価され、「別府-万年山断層帯」を構成していた「日出生断層帯」及び「万年山-崩平山断層帯」はそれぞれ長期評価の対象活断層とされた。

この長期評価の見直しに伴って、本県への影響を検証するため、以下の 3 断層帯を対象として、自然災害予測を検討した。

- ・ 中央構造線断層帯
- ・ 日出生断層帯
- ・ 万年山-崩平山断層帯

H20 調査から今回調査に至るまでの、「別府-万年山断層帯」についての活断層の長期評価・断層による地震活動の評価の経緯については、参考資料として別途まとめた。

この「大分県地震被害想定調査」（以下、「被害想定調査」という）においては、「中央構造線断層帯」、「日出生断層帯」及び「万年山-崩平山断層帯」の3断層帯においては、地震動・液状化を改めて予測し、H25 調査における「南海トラフの巨大地震」、「周防灘断層群主部」、平成 20 年度に報告した「プレート内」の3地震については、過去調査による自然災害予測結果を活用することとした。

なお、「中央構造線断層帯による地震」では、津波による被害が予想されるが、下記の理由から、本調査有識者会議の提言により、津波予測結果は H25 調査結果(別府湾の地震(慶長豊後型)の結果)を踏襲することとなった。

- ・ 地震本部による中央構造線断層帯の長期評価の見直しでは、H29 重点調査結果を踏まえて、別府湾内の断層群（別府湾中央断層など）は、震源断層としては活動しない二次的な断層（海底地形を変形させることで津波の波源とはなりうる）であるとされたこと
- ・ 中央構造線断層帯の「伊予灘区間」は、右横ずれ断層であり、被害をもたらすような大きな津波は発生しにくいこと

中央構造線断層帯による地震については、地震本部による予測地図における断層モデルを参照し、豊予海峡から堀田・朝見川断層区間は、H29 重点調査による別府-万年山断層帯を参照する。前述したように、別府湾内の断層群(別府湾中央断層等)については、H20・H25 調査(県)の経緯をふまえ、H29 重点調査と長期評価を基に、中央構造線断層帯の一部として扱うが、震源断層としては扱わない。日出生断層帯による地震、万年山-崩平山断層帯については、地震本部による予測地図における断層モデルを参照する。ここで、上記3地震については、2016年熊本地震の各種解析結果やH29重点調査結果から、本調査有識者会議の提言を受けて、火山地域(別府市・由布市・玖珠市・九重町付近)の地震発生層上端深さを2kmとした。

南海トラフでの地震については内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）（平成 24 年 8 月 29 日発表）」における、基本ケースと陸側ケースを比較し、陸側ケースが大分県の影響が大きかったため、陸側ケースを対象としたものである。

周防灘断層群主部による地震及びプレート内地震については、平成 19 年度大分県地震被害想定調査（以下、前々回調査）を踏襲したものである。

図 4-2 に別府-万年山断層帯の断層区分を示し、図 4-3 に大分県及び周辺地域の活断層の分布を示した。また、図 4-4～図 4-6 に、「中央構造線断層帯」、「日出生断層帯」及び「万年山-崩平山断層帯」の位置図をそれぞれ示した。

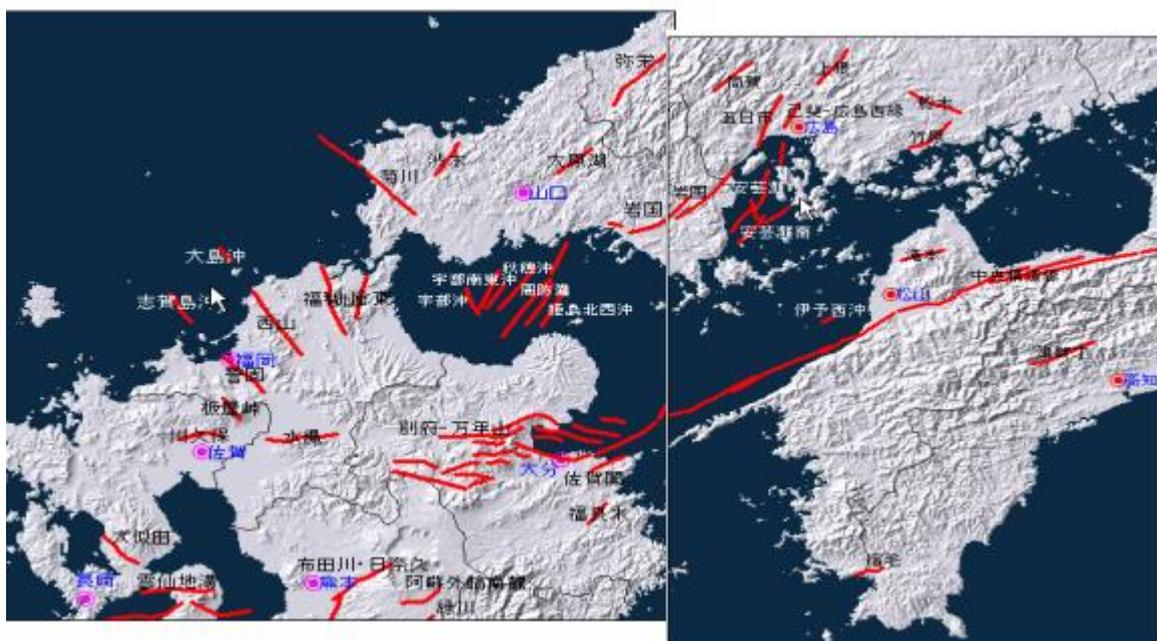
震源断層のパラメータの概要を表 4-1～表 4-6 に示し、震源断層モデルを図 4-7～図 4-14 に示した。なお、後述するように、中央構造線断層帯による地震においては、長周期側の成分は、地震本部による全国地震動予測地図 2018 年版の計算結果の提供を受け、それらを活用した。参

考のため、地震本部による中央構造線断層帯の断層パラメータ、断層モデル図を表 4-2、図 4-8、図 4-9 にそれぞれ示した。



(大分県活断層パンフレットに加筆)

図 4-2 別府-万年山断層帯内の断層の区分



(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

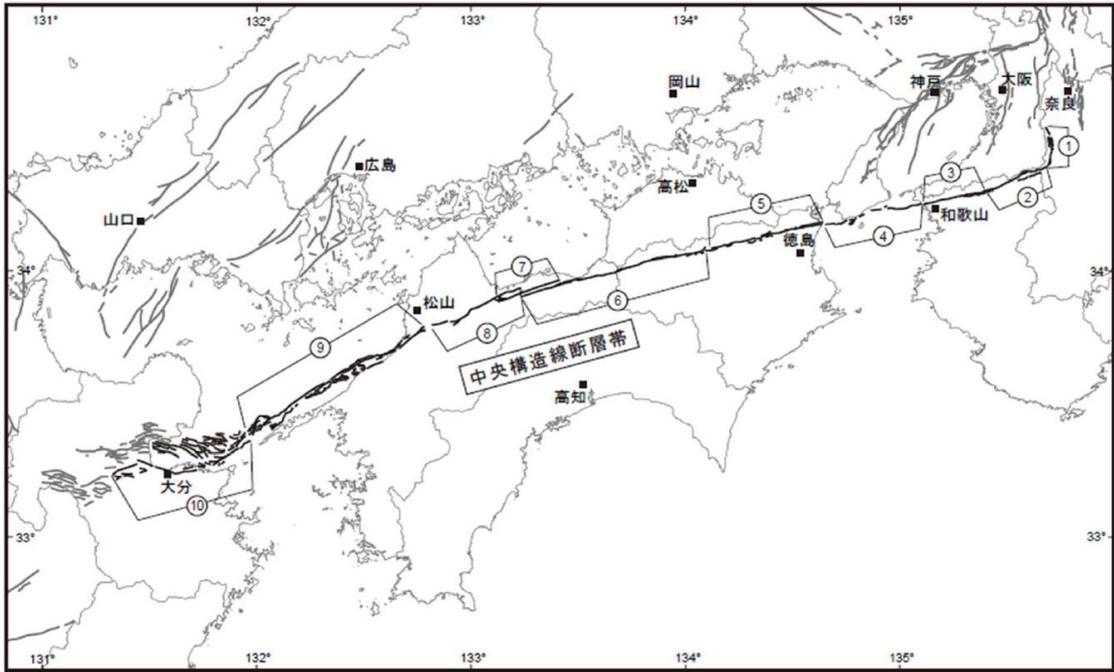


図 4-4 中央構造線断層帯の概略位置図

①金剛山地東縁区間、②五条谷区間、③根来区間、④紀淡海峡－鳴門海峡区間、⑤讃岐山脈南縁東部区間、⑥讃岐山脈南縁西部区間、⑦石鎚山脈北縁区間、⑧石鎚山脈北縁西部区間、⑨伊予灘区間、および⑩豊予海峡－由布院区間

(出典: 中央構造線断層帯(金剛山地東縁－由布院)の長期評価(第二版)(地震調査研究推進本部))

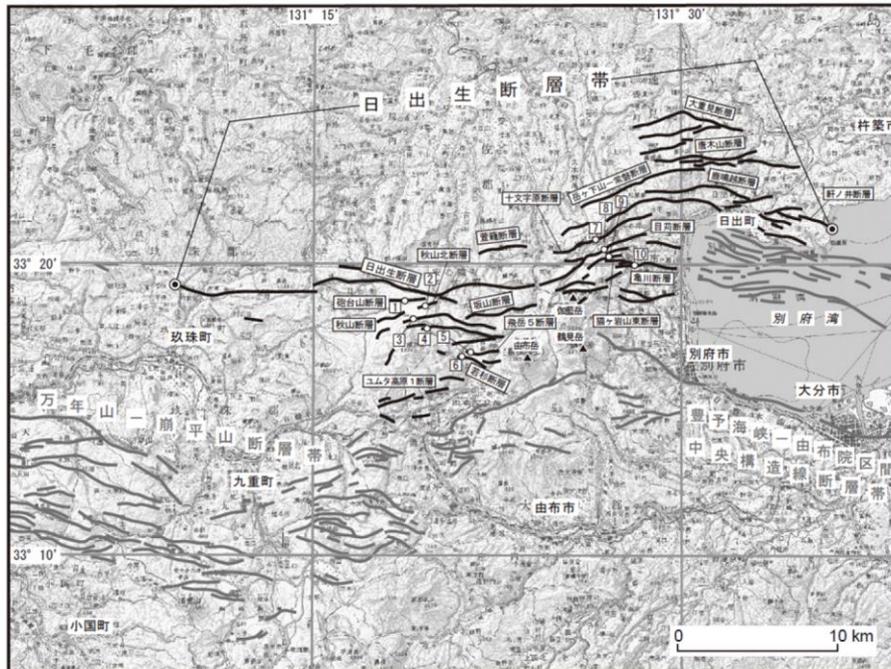


図 4-5 日出生断層帯の位置

(出典: 日出生断層帯の長期評価(第一版)(地震調査研究推進本部))

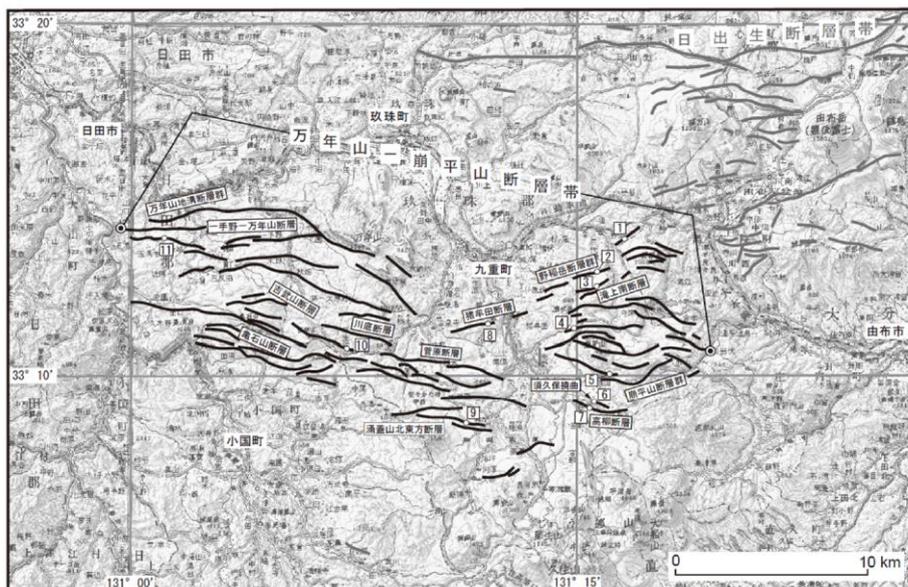


図 4-6 万年山－崩平山断層帯の位置

(出典：万年山－崩平山断層帯の長期評価（第一版）（地震調査研究推進本部））

表 4-1 震源断層のパラメータ (中央構造線断層帯による地震 (豊予海峡以西区間))

中央構造線断層帯(豊予海峡-由布院区間)						
巨視的震源パラメータ		設定方法	設定値			
断層長さ $L$ [km]		重点調査に由布院セグメント(長期評価)を追加	64			
地震規模 $M$		$M=(\log L+2.9)/0.6$ (松田, 1975)	7.8			
地震発生層上端深さ $H_s$ [km]		重点調査より	2 or 3			
地震発生層下端深さ $H_d$ [km]		長期評価より	15			
設定手順		レシピ	レシピ(イ)の方法			
地震モーメント $M_0$ [Nm]		$\log M_0=1.17M+10.72$ (武村, 1990)	7.89E+19			
モーメントマグニチュード $M_w$		$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$ (Kanamori, 1977)	7.2			
震源断層の面積 $S$ [km <sup>2</sup> ]		$S=4.24 \times 10^{-11} \times (M_0 \times 10^7)^{1/2}$ ( $7.5 \times 10^{18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20}$ (Nm))	1191			
断層モデル総面積 $S_{\text{model}}$ [km <sup>2</sup> ]		$S_{\text{model}}=L_{\text{model}} \times W_{\text{model}}$	952			
断層モデル総面積 $S_{\text{model}}$ [km <sup>2</sup> ] 重複削除後		$S_{\text{model}}=L_{\text{model}} \times W_{\text{model}}$ から重複部分を削除	920			
断層面積 $S$ に対する等価半径 $R$ [km]		$R=\sqrt{S/\pi}$	17.11			
静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]		円型破壊面を仮定せずにアスペリティ面積比を22%とする場合	3.1			
地震発生層の密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]		地震本部	2700			
地震発生層のS波速度 $\beta$ [m/s]		地震本部	3400			
地震発生層の剛性率 $\mu$ [Pa]		$\mu=\rho\beta^2$	3.12E+10			
平均すべり量 $D$ [m]		$D=M_0/(\mu S)$	2.66			
震源断層幅 $W$ [km]		$W=S/L$	18.61			
セグメント			由布院	府内	三佐	豊予海峡
走向 $\theta$ [°]		重点調査より(由布院セグメントとは長期評価より)	249.6	291	250	241.7
傾斜 $\delta$ [°]		重点調査より(由布院セグメントとは長期評価より)	75	75	75	75
すべり角 $\lambda$ [°]		重点調査より(由布院セグメントとは長期評価より)	-90	-67	-104	-147
断層モデル原点緯度 [°N]		重点調査より(由布院セグメントとは長期評価より)	33.2937	33.2427	33.2819	33.3927
断層モデル原点経度 [°E]		重点調査より(由布院セグメントとは長期評価より)	131.4601	131.6150	131.7312	131.9764
断層モデル上端深さ $D_{\text{top}}$ [km]		重点調査より	2	2	3	3
断層モデルの長さ $L_{\text{model}}$ [km]		手続き化に従って設定	68			
断層モデルの幅 $W_{\text{model}}$ [km]		手続き化に従って設定	14			
セグメント長さ $L_{\text{model\_seg}}$ [km]		手続き化に従って設定	14	16	12	26
セグメント幅 $W_{\text{model\_seg}}$ [km]		手続き化に従って設定	14	14	14	14
セグメント面積 $S_{\text{model\_seg}}$ [km <sup>2</sup> ]		$S_{\text{model\_seg}}=L_{\text{model\_seg}} \times W_{\text{model\_seg}}$	196	224	168	364
セグメント面積 $S_{\text{model\_seg}}$ [km <sup>2</sup> ] 重複削除後		手続き化に従って設定	196	192	168	364
セグメント地震モーメント $M_{0\_seg}$ [Nm]		セグメント面積の1.5乗に比例して配分	1.49E+19	1.44E+19	1.18E+19	3.77E+19
セグメント平均すべり量 $D_{\text{seg}}$ [m]		$D_{\text{seg}}=M_{0\_seg}/(\mu S_{\text{model\_seg}})$	2.44	2.41	2.26	3.32
微視的震源特性						
アスペリティの位置・個数			1	1	1	1
短周期レベル $A$ [Nm/s <sup>2</sup> ]		$A=4\pi \cdot r \cdot \Delta\sigma \cdot \beta^2$	1.64E+19			
短周期レベル(参照) $A_{\text{Dan}}$ [Nm/s <sup>2</sup> ]		$A=2.46 \times 10^{10} (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	2.27E+19			
ア ス ペ リ テ イ	総面積 $S_a$ [km <sup>2</sup> ]	$S_a=0.22S$	202.40			
	等価半径 $r$ [km]	$r=\sqrt{S_a/\pi}$	8.03			
	実効応力 $\sigma_a$ [MPa]	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$	14.1			
	面積 $S_{a\_seg}$ [km <sup>2</sup> ]	セグメント面積に比例して配分	43.1	42.2	37.0	80.1
	等価半径 $r_{\text{seg}}$ [km]	$r_{\text{seg}}=\sqrt{S_{a\_seg}/\pi}$	3.7	3.7	3.4	5.0
	実効応力 $\sigma_{a\_seg}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{a\_seg}=\Delta\sigma_a$	14.1	14.1	14.1	14.1
	すべり量 $D_{a\_seg}$ [m]	$D_{a\_seg}=\xi \cdot D_{\text{seg}}$ , $\xi=2.0$	4.87	4.82	4.51	6.64
	地震モーメント $M_{0a}$ [Nm]	$M_{0a\_seg}=\mu D_{a\_seg} S_{a\_seg}$	6.56E+18	6.36E+18	5.20E+18	1.66E+19
背 景 領 域	計算用面積 [km <sup>2</sup> ]	2km <sup>2</sup> メッシュ	6 <sup>2</sup>	6 <sup>2</sup>	6 <sup>2</sup>	14 <sup>2</sup>
	面積 $S_b$ [km <sup>2</sup> ]	$S_b=S_{\text{model}}-S_a$	152.88	149.76	131.04	283.92
	実効応力 $\sigma_b$ [MPa]	$\sigma_b=(D_b/W_b)(D_a/W_a)\sigma_a$	2.2	2.2	2.2	2.2
	すべり量 $D_b$ [m]	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	1.75	1.73	1.62	2.38
地震モーメント $M_{0b}$ [Nm]	$M_{0b}=M_{0a}-M_{0a\_seg}$	8.35E+18	8.09E+18	6.62E+18	2.11E+19	



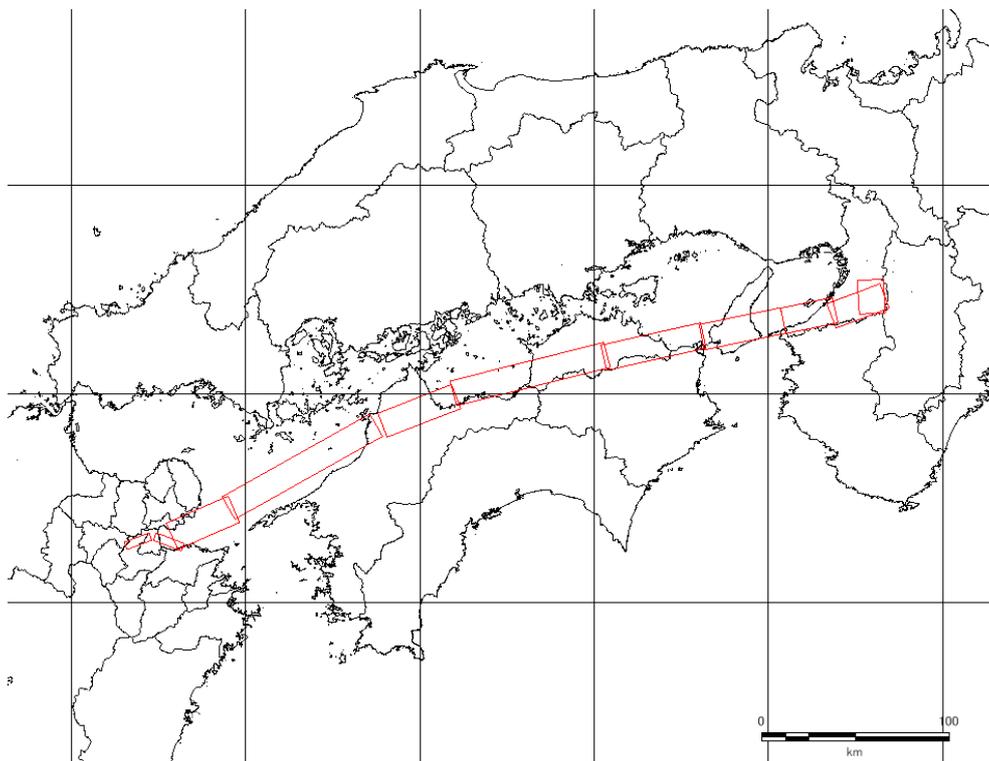
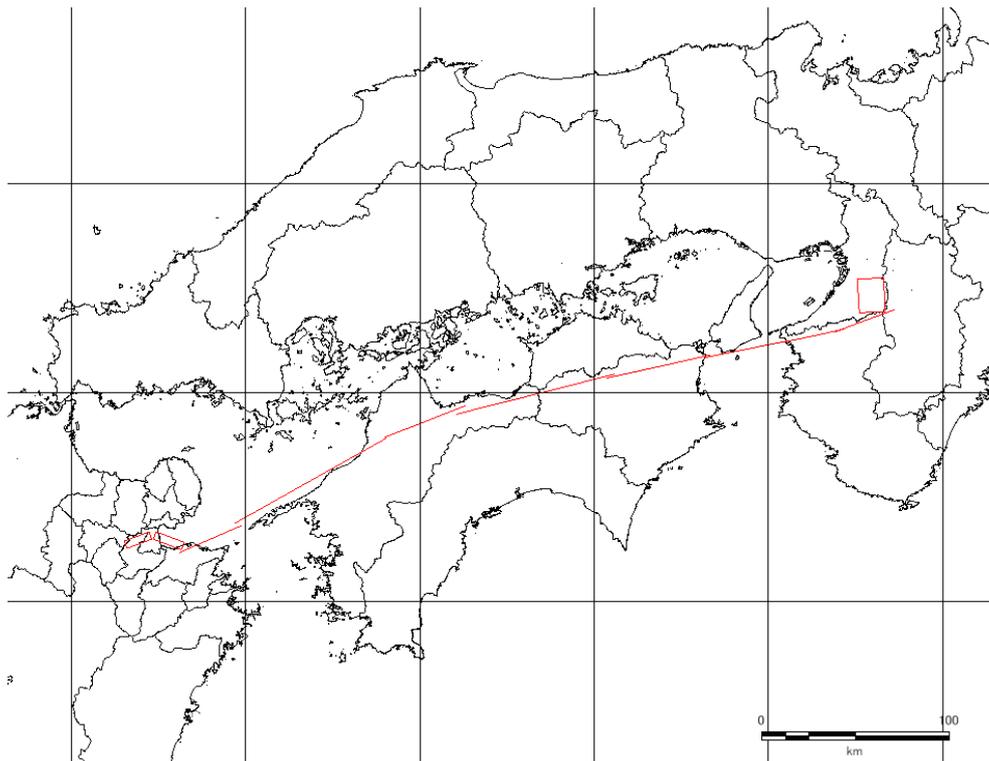


図 4-8 地震本部による中央構造線断層帯（全体が同時に活動）の断層位置図  
上：高角度、下：中角度

表 4-2 地震本部による中央構造線断層帯（全体が同時に活動）の断層パラメータ

中央構造線断層帯 全体（金剛山地東縁区間～豊予海峡～由布院区間）(F0201AJ)

巨視的震源パラメータ		中角度 (FM201AJ)											
断層長さ $L$ [km]		456											
地震規模 $M$		8.0程度以上											
設定手順		(ア)											
地震モーメント $M_0$ [Nm]		8.10E+20											
モーメントマグニチュード $M_w$		7.9											
断層モデル総面積 $S_{model}$ [km <sup>2</sup> ]		8100.0											
静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]		3.1											
平均すべり量 $D$ [m]		3.20											
セグメント		金剛	五条谷	根来	紀後	讃岐東	讃岐西	石鎚西	伊予灘	豊予			
地震発生層上深さ $H_u$ [km]		2	4	4	4	4	4	2	4	4			
地震発生層下深さ $H_d$ [km]		15	15	15	15	15	15	15	15	15			
走向 $\theta$ [度]		176.8	249.5	258.1	258.5	257.3	255.8	248.7	240.7	246.4	290.3	249.6	
傾斜角 $\delta$ [度]		40	40	40	40	40	40	40	40	40	70	70	
すべり角 $\epsilon$ [度]		90	180	180	180	180	180	180	180	180	-90	-90	
断層モデル原点緯度 [°N]		34.5491	34.4101	34.3398	34.2886	34.2186	34.1255	33.9276	33.7955	33.3816	33.2456	33.2960	
断層モデル原点経度 [°E]		135.6597	135.6928	135.3973	135.0986	134.6423	134.0908	133.2345	132.7826	131.9633	131.6304	131.4591	
断層モデル上深さ $D_{top}$ [km]		2	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	
セグメント長さ $L_{seg}$ [km]		18	30	28	44	54	84	42	90	36	16	14	
セグメント幅 $W_{seg}$ [km]		18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	20.0	12.0	12.0	
セグメント面積 $S_{seg}$ [km <sup>2</sup> ]		324.0	540.0	504.0	792.0	972.0	1512.0	756.0	1620.0	720.0	192.0	168.0	
セグメント地震モーメント $M_{0seg}$ [Nm]		1.88E+19	4.05E+19	3.65E+19	7.19E+19	9.77E+19	1.90E+20	6.70E+19	2.10E+20	6.23E+19	8.58E+18	7.02E+18	
セグメント平均すべり量 $D_{seg}$ [m]		1.86	2.40	2.32	2.91	3.22	4.02	2.84	4.16	2.77	1.43	1.34	
微視的震源パラメータ		ケース1～3											
短周期レベル $A$ [Nm/s <sup>2</sup> ]		4.88E+19											
短周期レベル (参照) $A_{min}$ [Nm/s <sup>2</sup> ]		4.94E+19											
全		1782.0											
総面積 $S_t$ [km <sup>2</sup> ]		14.1											
実効応力 $\sigma_e$ [MPa]		14.1											
すべり量 $D_{seg}$ [m]		71.3	118.8	110.9	174.2	213.8	332.6	166.3	356.4	158.4	42.2	37.0	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		3.72	4.80	4.64	5.81	6.44	8.03	5.68	8.32	2.86	2.86	2.68	
地震モーメント $M_{0seg}$ [Nm]		8.27E+18	1.78E+19	1.61E+19	3.16E+19	4.30E+19	8.34E+19	2.95E+19	9.25E+19	2.74E+19	3.77E+18	3.09E+18	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		71.3	79.2	73.9	116.2	142.6	110.9	110.9	110.9	118.8	105.6	42.2	
実効応力 $\sigma_{e1seg}$ [MPa]		14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	
すべり量 $D_{a1seg}$ [m]		3.72	5.32	5.14	6.44	7.14	8.90	8.90	9.22	9.22	6.14	2.86	
地震モーメント $M_{a1seg}$ [Nm]		8.27E+18	1.32E+19	1.19E+19	2.34E+19	3.18E+19	3.08E+19	3.08E+19	3.42E+19	3.42E+19	2.02E+19	3.77E+18	
計算用面積 [km <sup>2</sup> km]		12 × 6	10 × 8	10 × 8	12 × 10	12 × 12	14 × 8	14 × 8	14 × 8	12 × 10	10 × 10	8 × 6	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		—	39.6	37.0	58.1	71.3	55.4	55.4	59.4	59.4	52.8	—	
実効応力 $\sigma_{e2seg}$ [MPa]		—	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	—	
すべり量 $D_{a2seg}$ [m]		—	3.76	3.63	4.56	5.05	6.30	6.30	4.45	6.52	6.52	—	
地震モーメント $M_{a2seg}$ [Nm]		—	4.65E+18	4.19E+18	8.26E+18	1.12E+19	1.09E+19	1.09E+19	7.70E+18	1.21E+19	1.21E+19	—	
計算用面積 [km <sup>2</sup> km]		—	6 × 6	6 × 6	10 × 6	12 × 6	10 × 6	10 × 6	10 × 6	10 × 6	10 × 6	—	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		252.7	421.2	393.1	617.8	758.2	1179.4	589.7	1263.6	561.6	149.8	131.0	
実効応力 $\sigma_b$ [MPa]		1.7	2.3	2.2	2.7	3.0	2.7	2.7	2.8	2.3	2.5	2.5	
すべり量 $D_b$ [m]		1.33	1.72	1.66	2.09	2.31	2.88	2.04	2.98	1.99	1.03	0.96	
地震モーメント $M_{bseg}$ [Nm]		1.05E+19	2.27E+19	2.04E+19	4.02E+19	5.47E+19	1.06E+20	3.75E+19	1.18E+20	3.49E+19	4.80E+18	3.93E+18	
断層モデル長さ $L_{model}$ [km]		18	30	28	44	54	84	42	90	36	16	14	
断層モデル幅 $W_{model}$ [km]		18	18	18	18	18	18	18	18	20	12	12	

注：讃岐山脈南縁西部区間の一部、石鎚山脈北縁西部区間の一部と並走する石鎚山脈北縁区間は除外している。

巨視的震源パラメータ		高角度 (FH201AJ)											
断層長さ $L$ [km]		470											
地震規模 $M$		8.0程度以上											
設定手順		(ア)											
地震モーメント $M_0$ [Nm]		5.84E+20											
モーメントマグニチュード $M_w$		7.8											
断層モデル総面積 $S_{model}$ [km <sup>2</sup> ]		5840.0											
静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]		3.1											
平均すべり量 $D$ [m]		3.20											
セグメント		金剛	五条谷	根来	紀後	讃岐東	讃岐西	石鎚西	伊予灘	豊予			
地震発生層上深さ $H_u$ [km]		2	4	4	4	4	4	2	4	4			
地震発生層下深さ $H_d$ [km]		15	15	15	15	15	15	15	15	15			
走向 $\theta$ [度]		176.8	249.5	258.1	258.5	257.3	255.8	248.7	240.7	246.4	290.3	249.6	
傾斜角 $\delta$ [度]		40	40	40	40	40	40	40	40	40	70	70	
すべり角 $\epsilon$ [度]		90	180	180	180	180	180	180	180	180	-90	-90	
断層モデル原点緯度 [°N]		34.5491	34.3962	34.3015	34.2483	34.1786	34.0860	33.9342	33.7792	33.3619	33.2456	33.2960	
断層モデル原点経度 [°E]		135.6597	135.7222	135.4292	135.1195	134.6643	134.1140	133.4399	132.8046	131.9736	131.6304	131.4591	
断層モデル上深さ $D_{top}$ [km]		2	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	
セグメント長さ $L_{seg}$ [km]		18	34	32	46	56	86	46	92	30	16	14	
セグメント幅 $W_{seg}$ [km]		18.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0	
セグメント面積 $S_{seg}$ [km <sup>2</sup> ]		324.0	408.0	384.0	552.0	672.0	1032.0	644.0	1104.0	360.0	192.0	168.0	
セグメント地震モーメント $M_{0seg}$ [Nm]		2.27E+19	3.21E+19	2.93E+19	5.05E+19	6.79E+19	1.29E+20	6.37E+19	1.43E+20	2.66E+19	1.04E+19	8.49E+18	
セグメント平均すべり量 $D_{seg}$ [m]		2.25	2.52	2.45	2.93	3.24	4.01	3.17	4.15	2.37	1.73	1.62	
微視的震源パラメータ		ケース1～3											
短周期レベル $A$ [Nm/s <sup>2</sup> ]		4.14E+19											
短周期レベル (参照) $A_{min}$ [Nm/s <sup>2</sup> ]		4.43E+19											
全		1284.8											
総面積 $S_t$ [km <sup>2</sup> ]		14.1											
実効応力 $\sigma_e$ [MPa]		14.1											
すべり量 $D_{seg}$ [m]		71.3	89.8	84.5	121.4	147.8	227.0	141.7	242.9	79.2	42.2	37.0	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		4.50	5.04	4.89	5.87	6.47	8.02	6.34	8.30	4.74	3.46	3.24	
地震モーメント $M_{0seg}$ [Nm]		1.00E+19	1.41E+19	1.29E+19	2.22E+19	2.99E+19	5.69E+19	2.80E+19	6.29E+19	1.17E+19	4.56E+18	3.73E+18	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		71.3	59.8	56.3	81.0	98.6	75.7	75.7	94.5	81.0	52.8	42.2	
実効応力 $\sigma_{e1seg}$ [MPa]		14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	
すべり量 $D_{a1seg}$ [m]		4.50	5.59	5.42	6.50	7.17	8.89	8.89	7.02	9.20	5.25	3.46	
地震モーメント $M_{a1seg}$ [Nm]		1.00E+19	1.04E+19	9.53E+18	1.64E+19	2.21E+19	2.10E+19	2.10E+19	2.07E+19	2.32E+19	8.65E+18	4.56E+18	
計算用面積 [km <sup>2</sup> km]		12 × 6	10 × 6	10 × 6	10 × 8	10 × 10	12 × 6	12 × 6	12 × 8	10 × 8	8 × 6	6 × 6	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		—	29.9	28.2	40.5	49.3	37.8	47.2	40.5	40.5	26.4	—	
実効応力 $\sigma_{e2seg}$ [MPa]		—	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	—	
すべり量 $D_{a2seg}$ [m]		—	3.95	3.84	4.60	5.07	6.29	6.29	4.97	6.50	3.71	—	
地震モーメント $M_{a2seg}$ [Nm]		—	3.69E+18	3.37E+18	5.81E+18	7.80E+18	7.43E+18	7.32E+18	8.22E+18	8.22E+18	3.06E+18	—	
計算用面積 [km <sup>2</sup> km]		—	8 × 4	8 × 4	6 × 6	8 × 6	6 × 6	6 × 6	8 × 6	6 × 6	6 × 4	—	
すべり量 $D_{seg}$ [m]		252.7	318.2	299.5	430.6	524.2	805.0	502.3	861.1	280.8	149.8	131.0	
実効応力 $\sigma_b$ [MPa]		1.7	2.9	2.9	3.4	3.8	3.3	3.2	3.4	2.8	2.5	2.5	
すべり量 $D_b$ [m]		1.61	1.81	1.76	2.11	2.32	2.88	2.28	2.98	1.70	1.24	1.16	
地震モーメント $M_{bseg}$ [Nm]		1.27E+19	1.80E+19	1.64E+19	2.83E+19	3.80E+19	7.24E+19	3.57E+19	8.01E+19	1.49E+19	5.81E+18	4.75E+18	
断層モデル長さ $L_{model}$ [km]		18	34	32	46	56	86	46	92	30	16	14	
断層モデル幅 $W_{model}$ [km]		18	12	12	12	12	12	14	14	12	12	12	

注：讃岐山脈南縁西部区間の一部、石鎚山脈北縁西部区間の一部と並走する石鎚山脈北縁区間は除外している。

中央構造線断層帯 全体（金剛山地東縁区間～豊予海峡～由布院区間） ※鉛直面への投影図

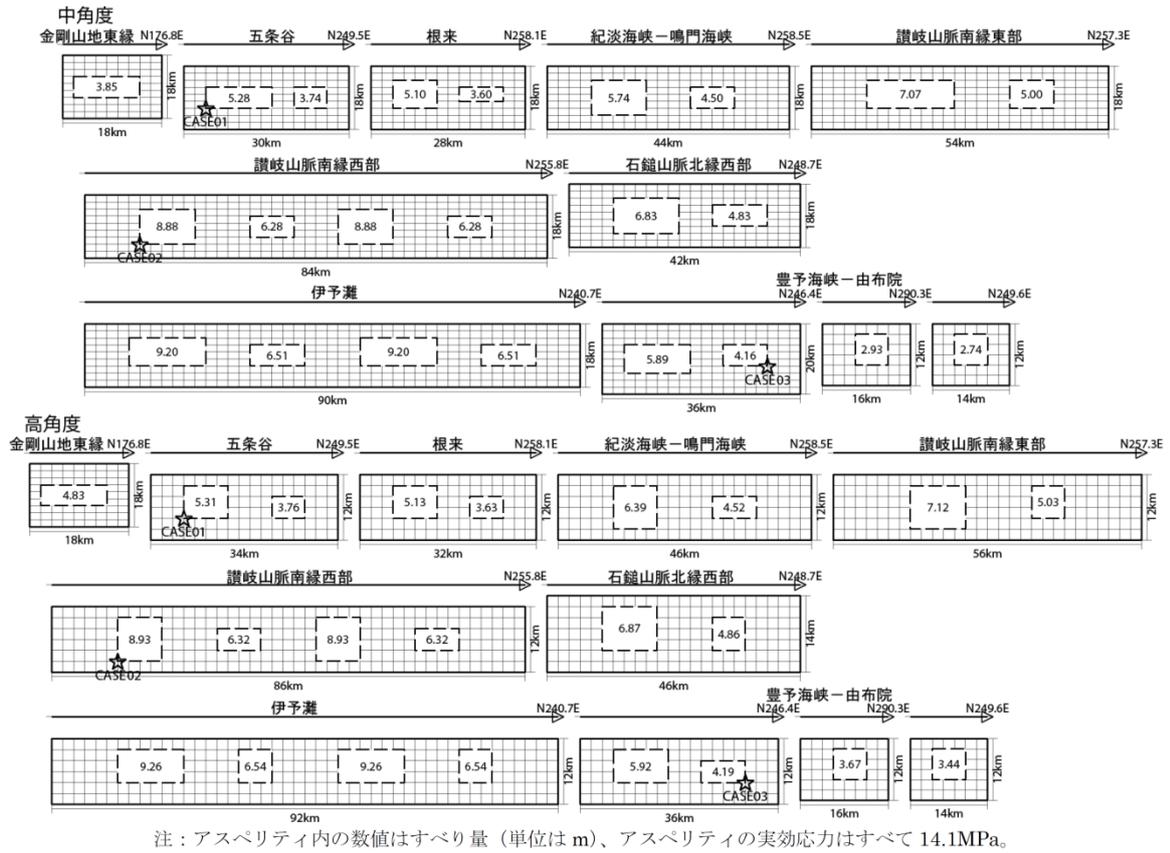


図 4-9 地震本部による中央構造線断層帯（全体が同時に活動）の断層モデル

表 4-3 震源断層のパラメータ (日出生断層帯による地震)

日出生断層帯			
巨視的震源パラメータ	設定方法	設定値	
断層長さL [km]	長期評価より	41	
地震規模M	$M=(\log L+2.9)/0.6$ (松田, 1975)	7.5	
地震発生層上端深さHs [km]	重点調査より	2	
地震発生層下端深さHd [km]	地震本部より	15	
設定手順	レシピ	レシピ(イ)の方法	
地震モーメント $M_0$ [Nm]	$\log M_0=1.17M+10.72$ (武村, 1990)	3.31E+19	
モーメントマグニチュード $M_w$	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$ (Kanamori, 1977)	6.9	
震源断層の面積 $S$ [km <sup>2</sup> ]	$S=4.24 \times 10^{11} \times (M_0 \times 10^7)^{1/2}$ ( $7.5 \times 10^{-18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20}$ (Nm))	771	
断層モデル総面積 $S_{\text{model}}$ [km <sup>2</sup> ]	$S_{\text{model}}=L_{\text{model}} \times W_{\text{model}}$	644	
断層面積 $S$ に対する等価半径 $R$ [km]	$R=\sqrt{S_{\text{model}}/\pi}$	14.32	
静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]	$\Delta\sigma=(7/16) \cdot M_0 R^3$	4.9	
地震発生層の密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	地震本部	2700	
地震発生層のS波速度 $\beta$ [m/s]	地震本部	3400	
地震発生層の剛性率 $\mu$ [Pa]	$\mu=\rho\beta^2$	3.12E+10	
平均すべり量 $D$ [m]	$D=M_0/(\mu S)$	1.65	
震源断層幅 $W$ [km]	$W=S/L$	18.82	
走向 $\theta$ [°]	長期評価より	84.5	
傾斜 $\delta$ [°]	長期評価より	70	
すべり角 $\lambda$ [°]	地震本部より	-90	
断層モデル原点緯度 [°N]	地震本部の座標から断層上端位置の変更に伴い移動	33.3131	
断層モデル原点経度 [°E]	地震本部の座標から断層上端位置の変更に伴い移動	131.1331	
断層モデル上端深さ $D_{\text{top}}$ [km]	重点調査より	2	
断層モデルの長さ $L_{\text{model}}$ [km]	$L_{\text{model}}=W_{\text{model}}/S_{\text{model}}$	46	
断層モデルの幅 $W_{\text{model}}$ [km]	手続き化に従って設定	14	
微視的震源特性			
アスペリティの位置・個数		2	
短周期レベル $A$ [Nm/s <sup>2</sup> ]	$A=2.46 \times 10^{10} (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	1.70E+19	
全アスペリティ	総面積 $S_a$ [km <sup>2</sup> ]	$S_a=\pi r^2$	234.28
	等価半径 $r$ [km]	$r=(7\pi/4) \cdot \{M_0/(A \cdot R)\} \cdot \beta^2$	8.64
	等価半径 $r$ [km] 複数のアスペリティ	$r=\sqrt{(\sum r_i^2)}$	8.64
	実効応力 $\sigma_a$ [MPa]	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$	13.6
	すべり量 $D_a$ [m]	$D_{a \text{ seg}}=\xi \cdot D_{\text{seg}}, \xi=2.0$	3.29
	地震モーメント $M_{0a}$ [Nm]	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	2.41E+19
アスペリティ1	面積 $S_{a1}$ [km <sup>2</sup> ]	アスペリティ総面積の2/3	156.19
	等価半径 $r_1$ [km]	$r_1=\sqrt{S_{a1}/\pi}$	7.1
	$\gamma_1$	$\gamma_1=r_1/\sum r_i^2$	0.8
	実効応力 $\sigma_{a1}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$	13.6
	すべり量 $D_{a1}$ [m]	$D_{a1}=(\gamma_1/\sum \gamma_i^3) \cdot D_a$	3.65
	地震モーメント $M_{0a1}$ [Nm]	$M_{0a1}=\mu D_{a1} S_{a1}$	1.78E+19
	計算用面積 [km×km]	2kmメッシュ	16×10
アスペリティ2	面積 $S_{a2}$ [km <sup>2</sup> ]	アスペリティ総面積の1/3	78.09
	等価半径 $r_2$ [km]	$r_2=\sqrt{S_{a2}/\pi}$	5.0
	$\gamma_2$	$\gamma_2=r_2/\sum r_i^2$	0.6
	実効応力 $\sigma_{a2}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$	13.6
	すべり量 $D_{a2}$ [m]	$D_{a2}=(\gamma_2/\sum \gamma_i^3) \cdot D_a$	2.58
	地震モーメント $M_{0a2}$ [Nm]	$M_{0a2}=\mu D_{a2} S_{a2}$	6.29E+18
	計算用面積 [km×km]	2kmメッシュ	10×8
背景領域	面積 $S_b$ [km <sup>2</sup> ]	$S_b=S_{\text{model}}-S_a$	409.72
	実効応力 $\sigma_b$ [MPa]	$\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a)\sigma_a$	2.3
	すべり量 $D_b$ [m]	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	0.71
	地震モーメント $M_{0b}$ [Nm]	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	9.02E+18

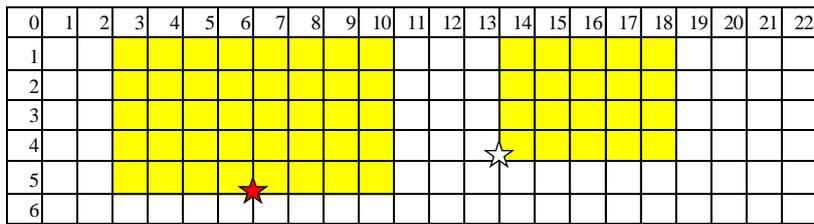


図 4-10 日出生断層帯による地震の断層モデル

表 4-4 震源断層のパラメータ (万年山-崩平山断層帯による地震)

万年山-崩平山断層帯			
巨視的震源パラメータ	設定方法	設定値	
断層長さL [km]	長期評価より	31	
地震規模M	$M=(\log L+2.9)/0.6$ (松田, 1975)	7.3	
地震発生層上端深さHs [km]	重点調査より	2	
地震発生層下端深さHd [km]	地震本部より	15	
設定手順	レシビ	レシビ(イ)の方法	
地震モーメント $M_0$ [Nm]	$\log M_0=1.17M+10.72$ (武村, 1990)	1.92E+19	
モーメントマグニチュード $M_w$	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$ (Kanamori, 1977)	6.8	
震源断層の面積S [km <sup>2</sup> ]	$S=4.24 \times 10^{-11} \times (M_0 \times 10^7)^{1/2}$ ( $7.5 \times 10^{-18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20}$ (Nm))	587	
断層モデル総面積 $S_{\text{model}}$ [km <sup>2</sup> ]	$S_{\text{model}}=L_{\text{model}} \times W_{\text{model}}$	504	
断層面積Sに対する等価半径R [km]	$R=\sqrt{S_{\text{model}}/\pi}$	12.67	
静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]	$\Delta\sigma=(7/16) \cdot M_0 R^3$	4.1	
地震発生層の密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	地震本部	2700	
地震発生層のS波速度 $\beta$ [m/s]	地震本部	3400	
地震発生層の剛性率 $\mu$ [Pa]	$\mu=\rho\beta^2$	3.12E+10	
平均すべり量D [m]	$D=M_0/(\mu S)$	1.22	
震源断層幅W [km]	$W=S/L$	18.95	
走向 $\theta$ [°]	長期評価より	101.5	
傾斜 $\delta$ [°]	長期評価より	70	
すべり角 $\lambda$ [°]	地震本部より	-90	
断層モデル原点緯度 [°N]	地震本部の座標から断層上端位置の変更に伴い移動	33.2378	
断層モデル原点経度 [°E]	地震本部の座標から断層上端位置の変更に伴い移動	130.9652	
断層モデル上端深さ $D_{\text{top}}$ [km]	重点調査より	2	
断層モデルの長さ $L_{\text{model}}$ [km]	$L_{\text{model}}=W_{\text{model}}/S_{\text{model}}$	36	
断層モデルの幅 $W_{\text{model}}$ [km]	手続き化に従って設定	14	
微視的震源特性			
アスペリティの位置・個数		2	
短周期レベルA [Nm/s <sup>2</sup> ]	$A=2.46 \times 10^{10} (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	1.42E+19	
全アスペリティ	総面積 $S_a$ [km <sup>2</sup> ]	$S_a=\pi r^2$	144.71
	等価半径r [km]	$r=(7\pi/4) \cdot \{M_0/(A \cdot R)\} \cdot \beta^2$	6.79
	等価半径r [km] 複数のアスペリティ	$r=\sqrt{\sum r_i^2}$	6.79
	実効応力 $\sigma_a$ [MPa]	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$	14.4
	すべり量 $D_a$ [m]	$D_{a, \text{seg}}=\xi \cdot D_{\text{seg}}, \xi=2.0$	2.44
	地震モーメント $M_{0a}$ [Nm]	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	1.10E+19
アスペリティ1	面積 $S_{a1}$ [km <sup>2</sup> ]	アスペリティ総面積の2/3	96.47
	等価半径r1 [km]	$r_1=\sqrt{S_{a1}/\pi}$	5.5
	$\gamma_1$	$\gamma_1=r_1/\sum r_i^2$	0.8
	実効応力 $\sigma_{a1}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$	14.4
	すべり量 $D_{a1}$ [m]	$D_{a1}=(\gamma_1/\sum \gamma_i^3) \cdot D_a$	2.70
	地震モーメント $M_{0a1}$ [Nm]	$M_{0a1}=\mu D_{a1} S_{a1}$	8.14E+18
	計算用面積 [km <sup>2</sup> ]	2kmメッシュ	12 $\times$ 8
アスペリティ2	面積 $S_{a2}$ [km <sup>2</sup> ]	アスペリティ総面積の1/3	48.24
	等価半径r2[km]	$r_2=\sqrt{S_{a2}/\pi}$	3.9
	$\gamma_2$	$\gamma_2=r_2/\sum r_i^2$	0.6
	実効応力 $\sigma_{a2}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$	14.4
	すべり量 $D_{a2}$ [m]	$D_{a2}=(\gamma_2/\sum \gamma_i^3) \cdot D_a$	1.91
	地震モーメント $M_{0a2}$ [Nm]	$M_{0a2}=\mu D_{a2} S_{a2}$	2.88E+18
	計算用面積 [km <sup>2</sup> ]	2kmメッシュ	8 $\times$ 6
背景領域	面積 $S_b$ [km <sup>2</sup> ]	$S_b=S_{\text{model}}-S_a$	359.29
	実効応力 $\sigma_b$ [MPa]	$\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a)\sigma_a$	2.7
	すべり量 $D_b$ [m]	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	0.73
	地震モーメント $M_{0b}$ [Nm]	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	8.17E+18



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	

図 4-11 万年山-崩平山断層帯による地震の断層モデル

表 4-5 震源断層のパラメータ 南海トラフ（基本ケース）

全体	面積(km <sup>2</sup> )	110,150			
	応力パラメータ (MPa)	2.3			
	平均すべり量(m)	7.6			
	地震モーメント(Nm)	3.4E+22			
	Mw	9.0			
各セグメント	セグメント名	日向灘域	南海域	東海域	駿河湾域
	面積(km <sup>2</sup> )	19,053	53,790	29,419	7,888
	平均応力降下量(MPa)	4	4	4	4
	平均すべり量(m)	5.5	9.3	6.9	3.6
	地震モーメント(Nm)	4.3E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
強震動生成域 SMGA	面積(km <sup>2</sup> )	2,047	6,109	3,661	853
	面積比	11%	11%	12%	11%
	平均すべり量(m)	11.1	18.6	13.7	7.1
	地震モーメント(Nm)	9.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
強震動生成域 SMGA①	面積(km <sup>2</sup> )	1,018	1,953	910	438
	応力パラメータ (MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.0	20.5	13.7	7.2
	地震モーメント(Nm)	4.6E+20	1.6E+21	5.1E+20	1.3E+20
	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA②	面積(km <sup>2</sup> )	1,029	1,615	914	415
	応力パラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.1	18.7	13.7	7.0
	地震モーメント(Nm)	4.7E+20	1.2E+21	5.1E+20	1.2E+20
	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA③	面積(km <sup>2</sup> )		1,612	913	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		18.7	13.7	
	地震モーメント(Nm)		1.2E+21	5.1E+20	
	Mw		8.0	7.7	
強震動生成域 SMGA④	面積(km <sup>2</sup> )		929	924	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		14.2	13.8	
	地震モーメント(Nm)		5.4E+20	5.2E+20	
	Mw		7.8	7.7	
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )	17,006	47,681	25,758	7,035
	応力パラメータ (MPa)	3.7	3.7	3.7	3.7
	平均すべり量(m)	4.9	8.1	5.9	3.1
	地震モーメント(Nm)	3.4E+21	1.6E+22	6.2E+21	9.0E+20
	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
そのほか	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
	剛性率(Nm <sup>2</sup> )	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10

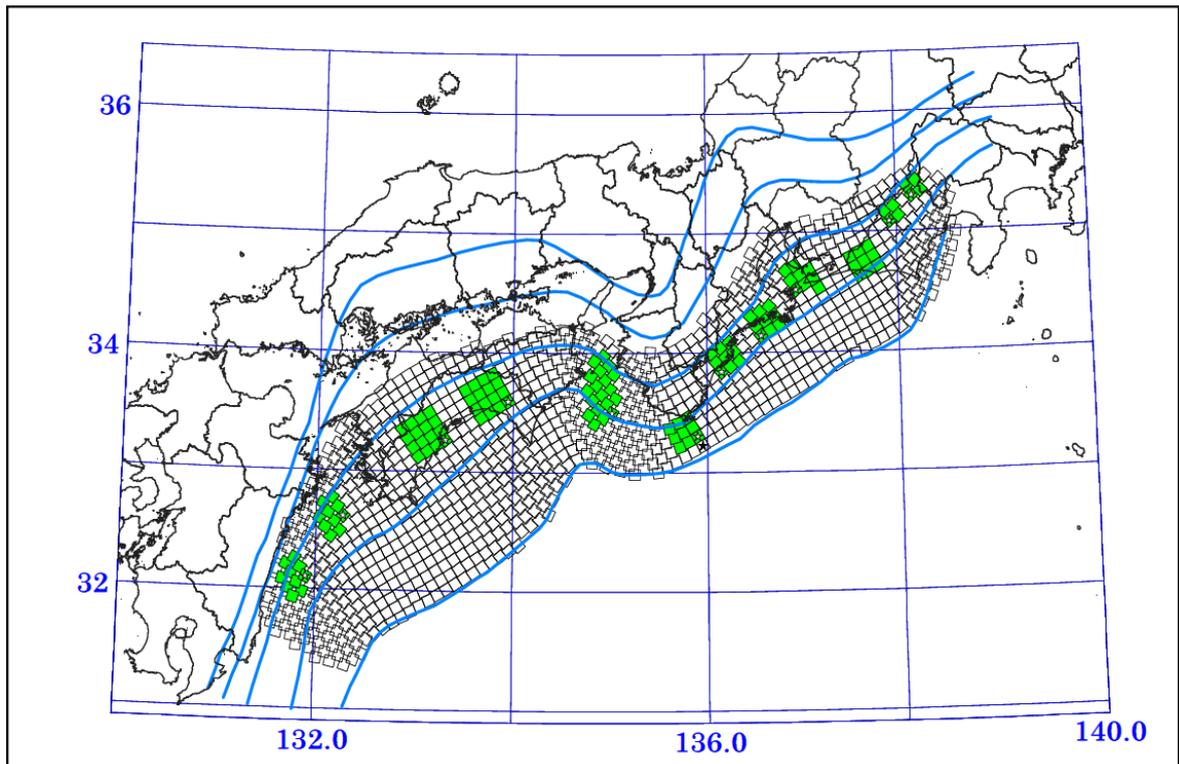
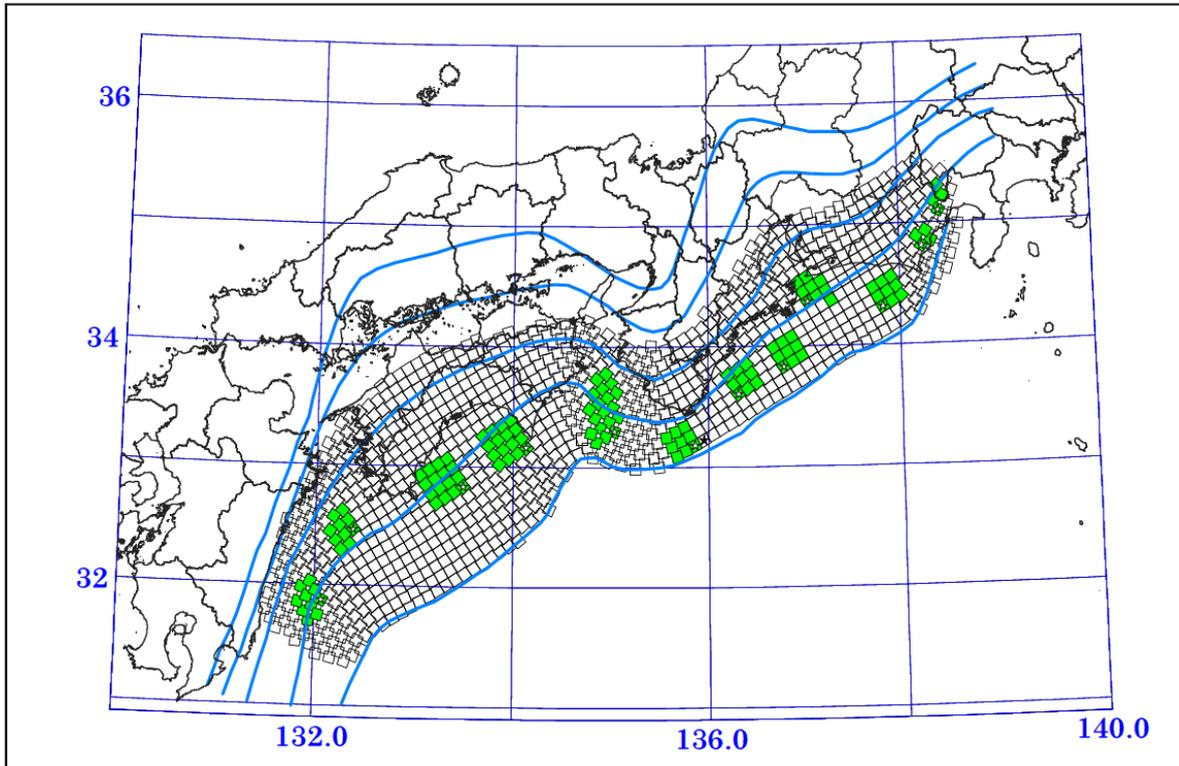
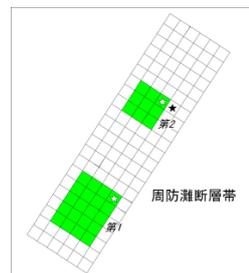
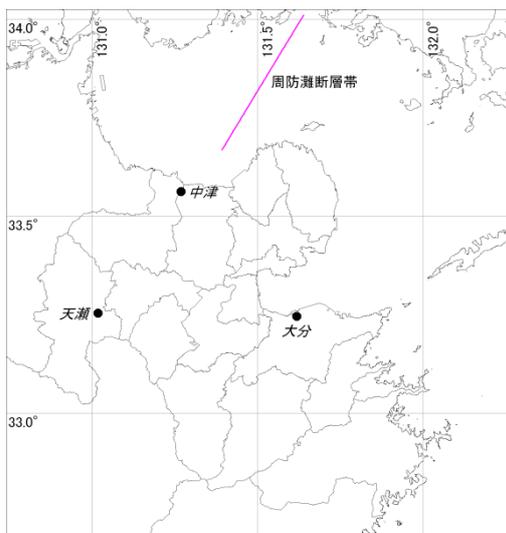


図 4-12 南海トラフ強震動生成域の設定の検討ケース  
 (上：基本ケース、下：陸側ケース)

表 4-6 震源断層のパラメータ 周防灘断層群主部

断層帯		周防灘		
巨視的震源特性				
走向	$\theta$	°	213	
傾斜	$\delta$	°	90	
すべり角	$\lambda$	°	180	
長さ	L	km	44.4	
幅	W	km	12.0	
上端深さ	d	km	3	
断層面積	S	km <sup>2</sup>	532	
セグメントの断層面積	S	km <sup>2</sup>	—	
地震モーメント	$M_0$	Nm	4.5E+19	
セグメントの地震モーメント	$M_0$	Nm	—	
モーメントマグニチュード*	$M_w$		7.0	
気象庁マグニチュード*	$M_J$		7.6	
S波速度	$V_s$	km/s	3.5	
平均密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	2800	
剛性率	$\mu$	N/m <sup>2</sup>	3.4E+10	
平均すべり量	D	m	2.5	
微視的震源特性		第1	第2	
全アスペリティの面積	$S_a$	km <sup>2</sup>	117	
全アスペリティの平均すべり量	$D_a$	m	4.9	
全アスペリティの地震モーメント	$M_{0a}$	Nm	2.0E+19	
アスペリティの応力パラメータ	$\Delta\sigma_a$	MPa	13.7	
アスペリティの個数			2	
アスペリティの面積	$S_{ai}$	km <sup>2</sup>	81	36
アスペリティの平均すべり量	$D_{ai}$	m	5.5	3.7
アスペリティの地震モーメント	$M_{0ai}$	Nm	1.5E+19	4.6E+18
背景領域の地震モーメント	$M_{0b}$	Nm	2.5E+19	
背景領域の面積	$S_b$	km <sup>2</sup>	415	
背景領域のすべり量	$D_b$	m	1.8	
背景領域の応力パラメータ	$\Delta\sigma_b$	MPa	2.7	
その他の震源特性				
$F_{max}$		Hz	6	
破壊伝播速度	$V_r$	km/s	2.5	



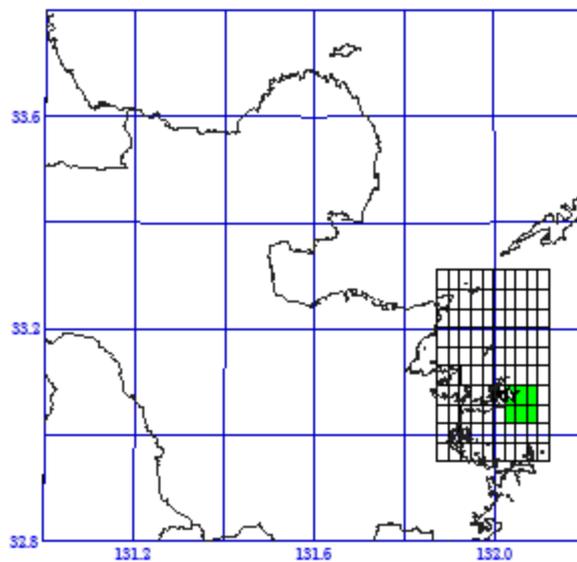
※：緑色の部分：アスペリティ  
 ★：起震断層における破壊開始点  
 ☆：アスペリティにおける破壊開始点

a) 断層位置

b) アスペリティ位置

図 4-13 周防灘断層群主部の地震の断層モデル

断層帯	プレート内
断層基点 東経(°)	132.120
断層基点 北緯(°)	33.312
走向 $\theta$	180
傾斜 $\delta$ (°)	55
長さ L(km)	40.0
幅 W(km)	40.0
上端深さ d(km)	55
モーメントマグニチュード $M_w$	7.4
気象庁マグニチュード $M_j$	7.4



※：緑色の部分：アスペリティ

図 4-14 プレート内地震の断層パラメータ及び断層モデル

## (2) 工学的基盤の地震動

工学的基盤上における波形は、前回調査までは統計的グリーン関数法を用いて計算し、今回調査では、短周期側が統計的グリーン関数法、長周期側が三次元有限差分法を用いたハイブリッド合成法を用いて計算した。なお、中央構造線断層帯による地震については、地震本部から全国地震動予測地図 2018年版における計算波形の提供を受け、長周期側の波形として使用した。

### 1) 統計的グリーン関数法

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。

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)] を使用する。深部地下構造は一次元成層構造として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)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、各小断層毎に、Boore(1983)の手法により $\omega^{-2}$ 則を満たす振幅スペクトルの形状を求める。
2. 小断層毎にすべり量が異なる場合は、それに応じて各小断層の地震モーメント  $M_0$ 、応力降下量  $\Delta \sigma$  を設定する。
3.  $Q$  値は震源から計算地点までの伝播を考慮して評価する。 $Q$  値の設定は推進本部による日向灘の地震の強震動評価に用いられた値を設定した。ただし、プレート内地震については、別途、中村(2007)を参考にして設定した。
4. 設定した、振幅スペクトルに対して、Boore(1983)に従って擬似乱数による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。
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、SV 波については、P-SV 波動場の応答計算を行う。
6. 求められた工学的基盤での Transverse 成分、Radial 成分、UD 成分の波形を NS 成分、EW 成分、UD 成分に射影する。
7. 各小断層からの波形を Irikura(1986)および入倉・他(1997)に従って、それぞれの成分毎に足し合わせる。これにより、工学的基盤での 3 成分波形を求める。

図 4-15 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。

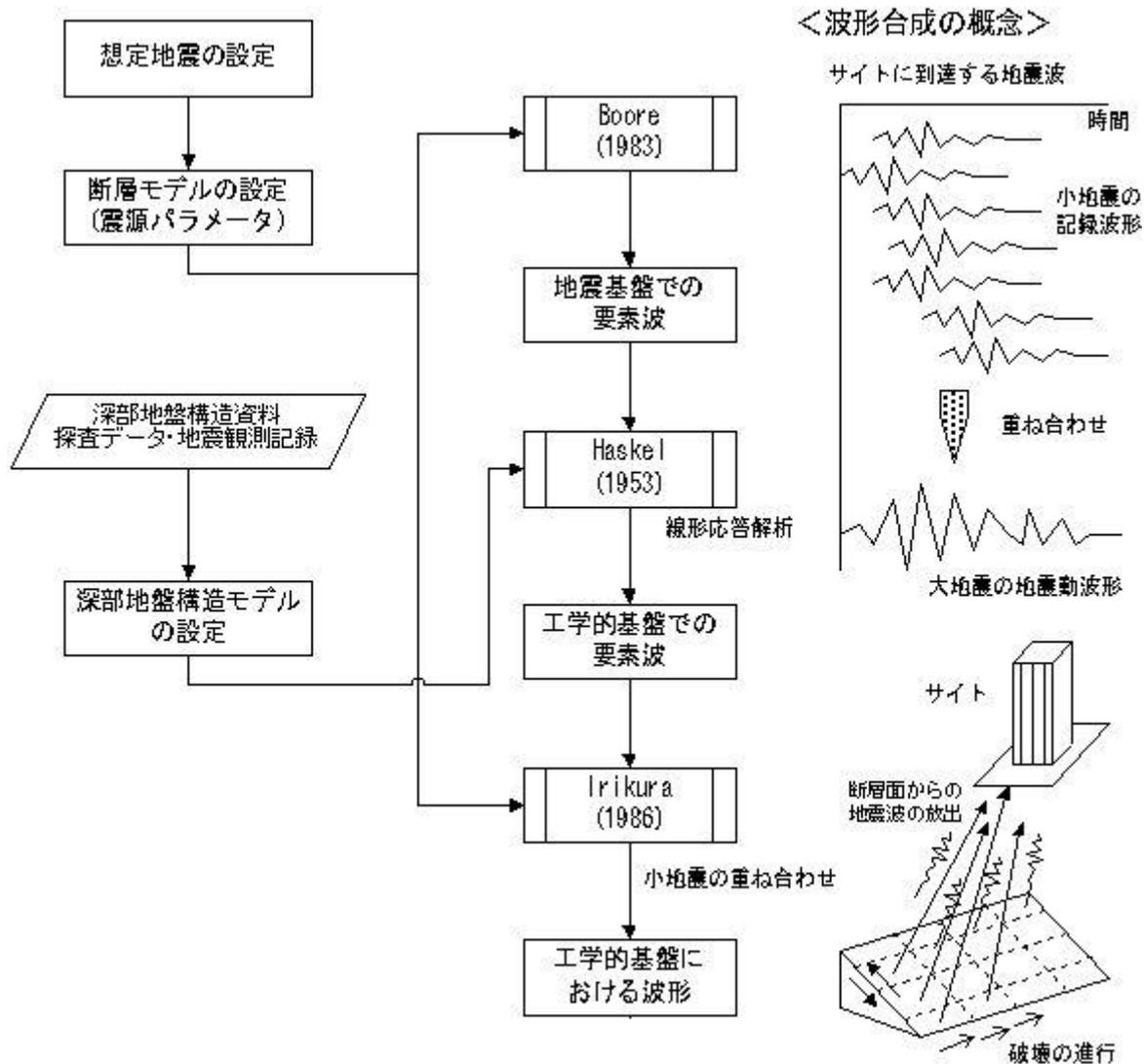


図 4-15 統計的グリーン関数法による工学的基盤における波形計算の流れ

## 2) 三次元有限差分法

三次元有限差分法は、空間方向と時間方向に関して速度成分と応力の微分方程式を時間差分近似で解く方法である。三次元差分法概念図を図4-16に示した。

解析には林・引間(2001)による手法を用い、周期1秒以上を対象とした長周期地震動を算出した。本手法では、地盤のモデルをスタッガードグリッドと呼ばれる不連続格子(図4-17)を用いてモデル化し、物性を付与することで三次元地盤構造を考慮した解析が可能である。また、Robertsson et al. (1994)で提案された手法を用いることで、地盤の減衰を考慮することが可能となっている。

ここで、三次元波動場を速度成分と応力成分の微分方程式で表現すると、運動方程式である式4-1と、フックの法則である式4-2で表現される。これらの式を交互に繰り返し計算することで、三次元的に伝播する地震波動の計算を行う。

$$\begin{aligned}\partial_t v_x &= b(\partial_x \tau_{xx} + \partial_y \tau_{xy} + \partial_z \tau_{xz}) + f_x \\ \partial_t v_y &= b(\partial_x \tau_{xy} + \partial_y \tau_{yy} + \partial_z \tau_{yz}) + f_y \\ \partial_t v_z &= b(\partial_x \tau_{xz} + \partial_y \tau_{yz} + \partial_z \tau_{zz}) + f_z\end{aligned}\tag{式 4-1}$$

$$\begin{aligned}\partial_t \tau_{xx} &= (\lambda + 2\mu)\partial_x v_x + \lambda(\partial_y v_y + \partial_z v_z) \\ \partial_t \tau_{yy} &= (\lambda + 2\mu)\partial_y v_y + \lambda(\partial_x v_x + \partial_z v_z) \\ \partial_t \tau_{zz} &= (\lambda + 2\mu)\partial_z v_z + \lambda(\partial_x v_x + \partial_y v_y) \\ \partial_t \tau_{xy} &= \mu(\partial_y v_x + \partial_x v_y) \\ \partial_t \tau_{xz} &= \mu(\partial_z v_x + \partial_x v_z) \\ \partial_t \tau_{yz} &= \mu(\partial_z v_y + \partial_y v_z)\end{aligned}\tag{式 4-2}$$

ここで、

- $v_x, v_y, v_z$  : 速度成分
- $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}$  : 法線応力
- $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$  : せん断応力
- $\partial_t$  : 時間に関する偏微分
- $\partial_x, \partial_y, \partial_z$  : 空間に関する偏微分
- $b$  : 浮力 ( $b = 1/\rho$ )
- $\rho$  : 物性の密度
- $\lambda, \mu$  : ラメ定数

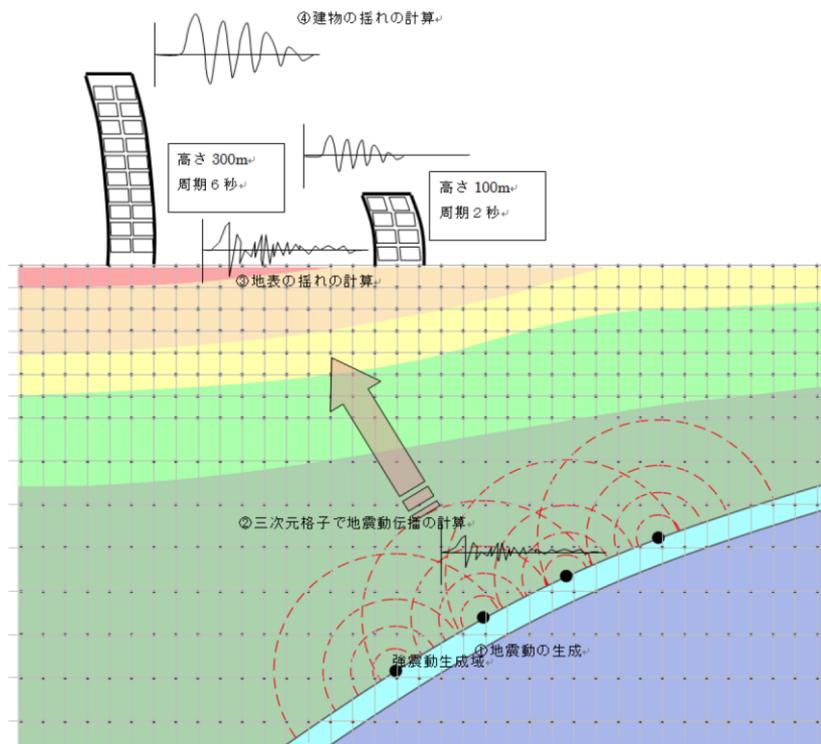


図 4-16 三次元差分法の概念図

(出典：南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告（内閣府）)

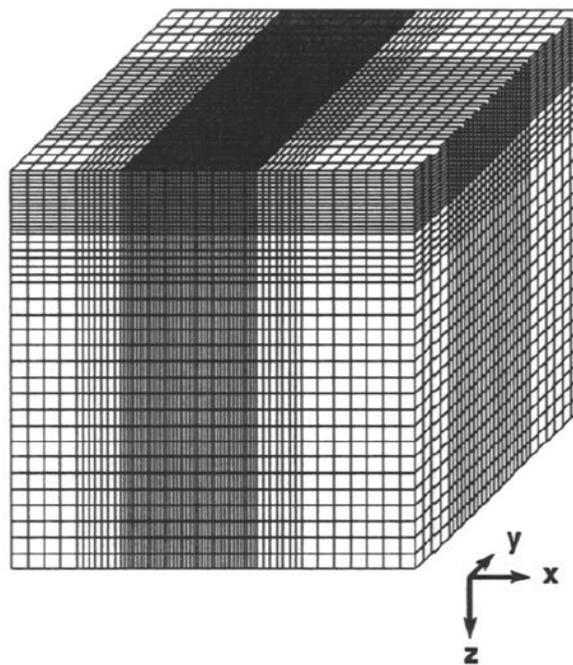


Figure 1. Grid layout with nonuniform spacing.

図 4-17 スタッガードグリッドによる不連続格子の概念図 (Pitarka (1999) より抜粋)

### 3) ハイブリッド合成法

統計的グリーン関数法で算定された強震波形、波数積分法の理論的手法で算定された強震波形に対して適切な接続周期 $T_c$ (本検討では、周期1秒)を設定し、マッチングフィルターを設定する。このうち、統計的グリーン関数法の波形には、ハイパスフィルターを、理論的手法の波形にはローパスフィルターを適用し、フィルターを通した2つの強震波形を時刻歴上で合成することで最終的な工学的基盤における予測波形とする。

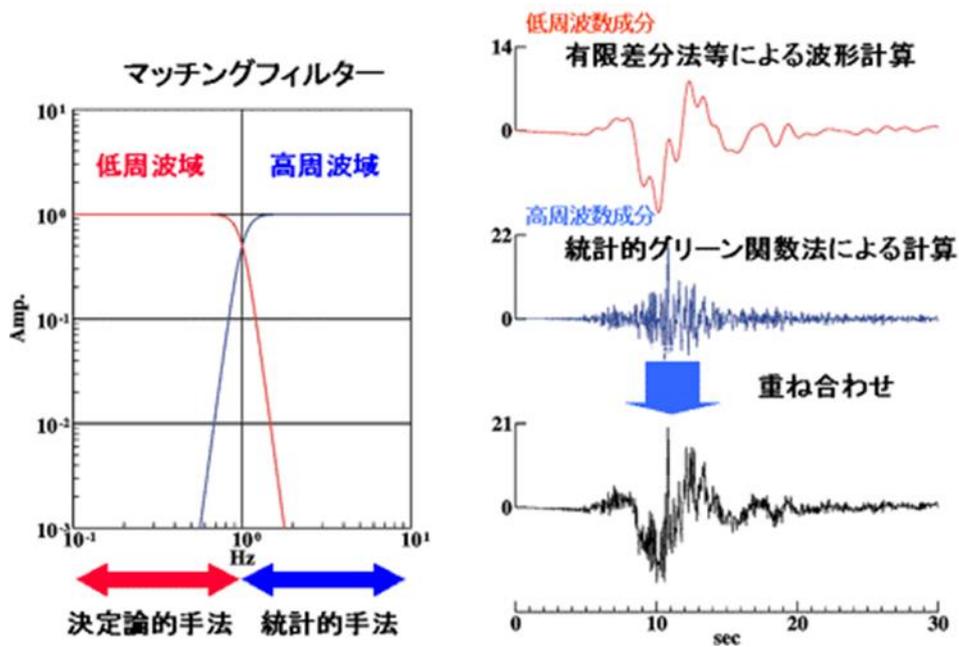


図 4-18 ハイブリッド合成法のイメージ図  
(「全国地震動予測地図」作成手法の検討」より)

### (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4-19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。

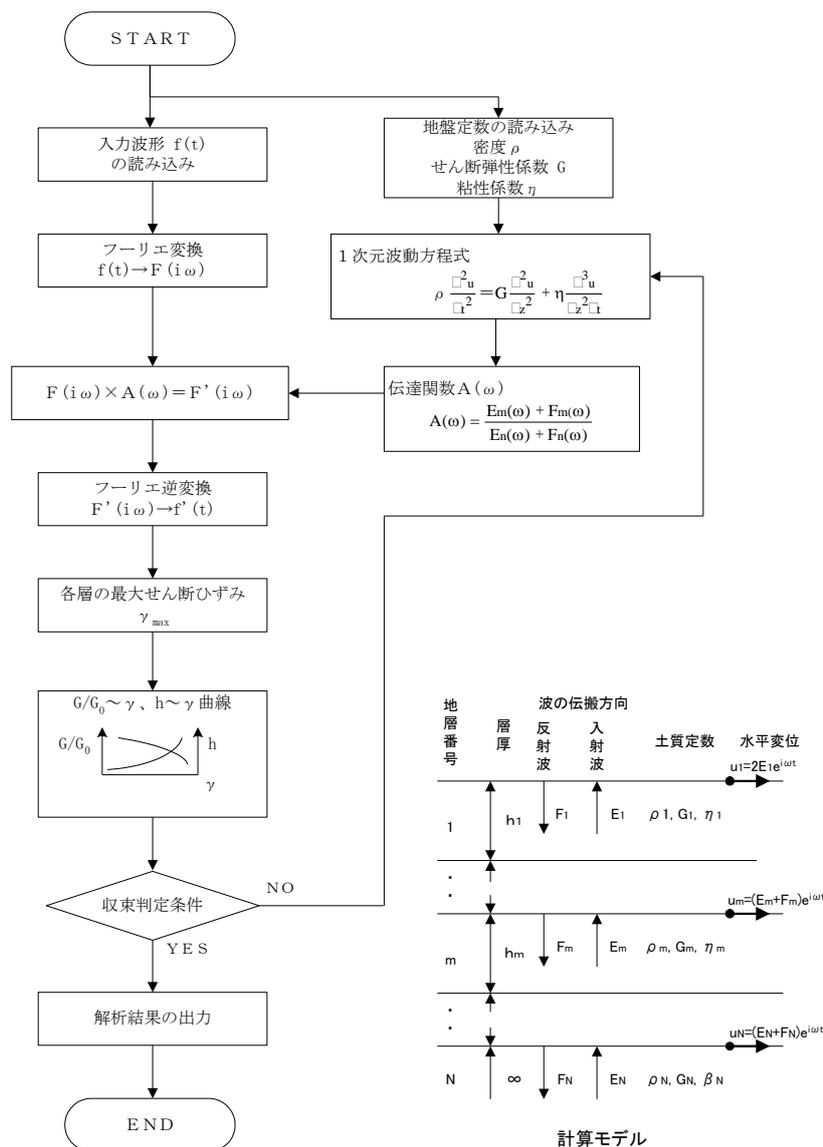


図4-19 等価線形法による応答計算の流れ

## 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 4-7 に示した。

表 4-7 物性値一覧表

地質・地層名	N値の範囲	記号	密度(g/cm <sup>3</sup> )
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 4-20 に示した。

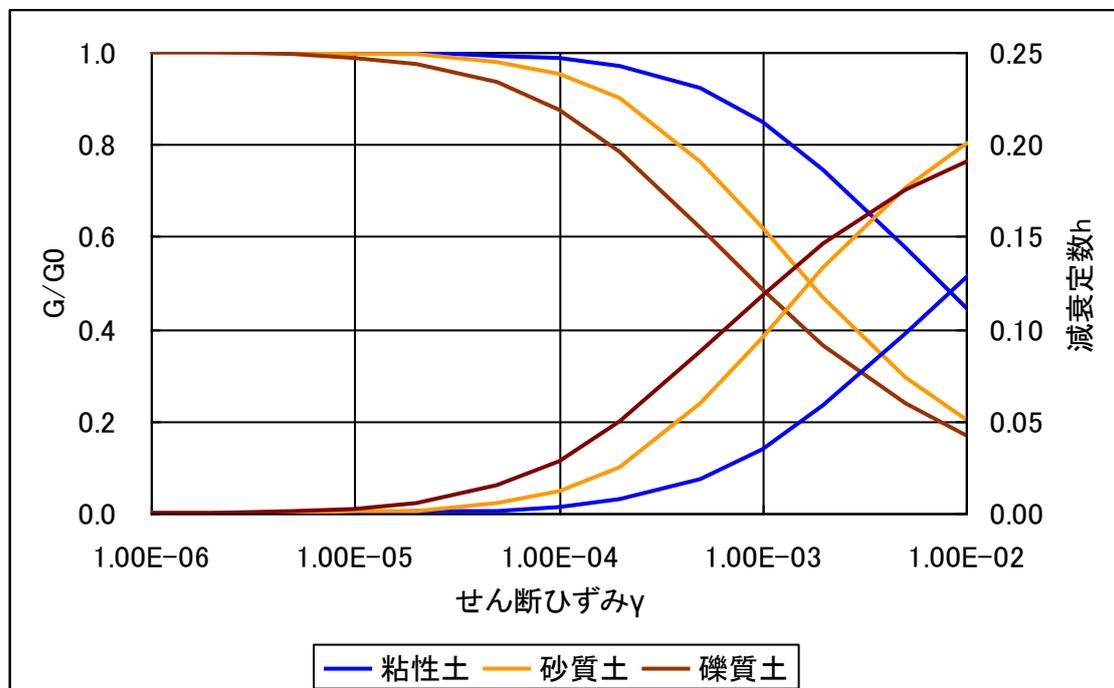


図 4-20 動的変形曲線

#### 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 4-3 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。この際、本調査の想定単位である 250m メッシュでは見えてこない、人工造成地の盛土層や旧湖沼を埋め立てた地盤なども、液状化する危険度があることに留意する必要がある。

$$F_L = \frac{R}{L} \quad \text{式 4-3}$$

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 4-4 に示した。

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

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 4-8 に示した。

表 4-8  $P_L$ 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 4-9 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 4-9  $P_L$ 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 4-10 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。

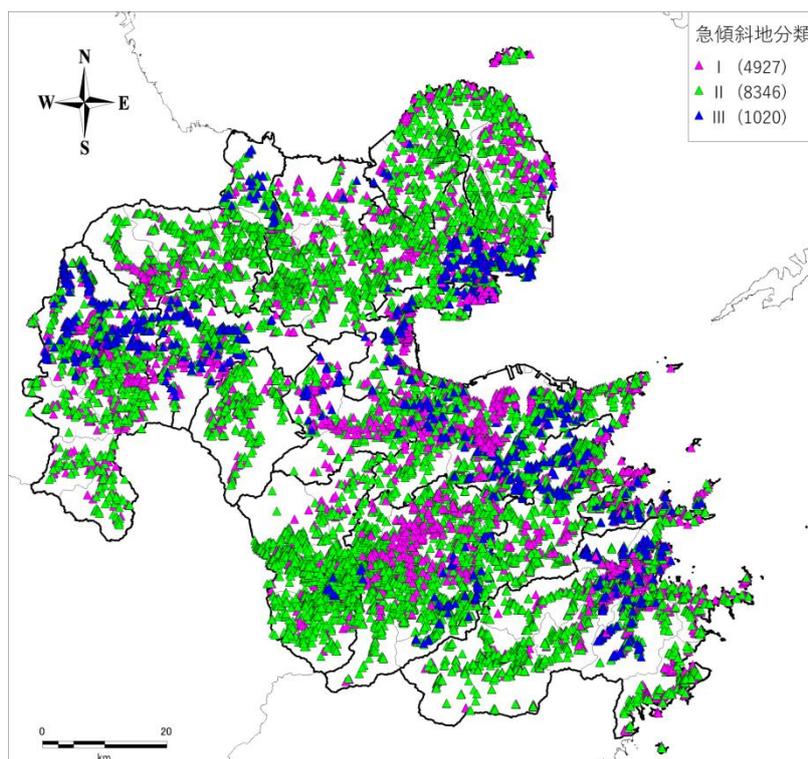


図 4-21 急傾斜地分布（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）分布

(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 4-11 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。しかし、豪雨時に地下水位が上昇している際に地震が発生した際の危険度などを定量的に加味した手法ではない。台風時期の地震発生などの複合災害については、本手法では考慮されていないことに注意する必要がある。

表 4-11 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 4-12 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 4-13 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	計測震度別危険度ランク			
	～ 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。

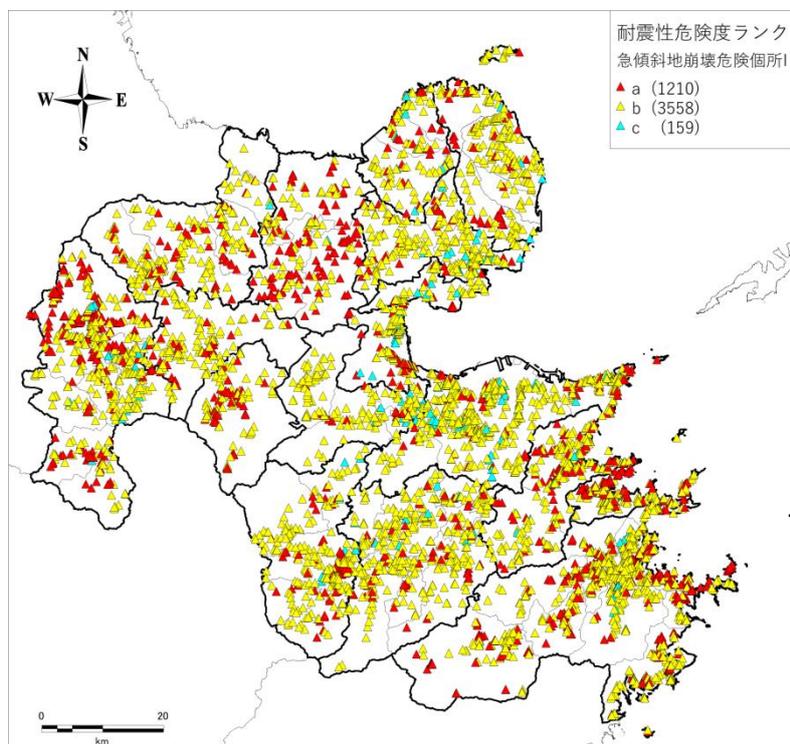


図 4-22 I 類の耐震性危険度ランク分布

### 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) 中央構造線断層帯による地震の予測結果

震度分布を図 4-24、液状化危険度分布を図 4-25、斜面危険度分布を図 4-26 に示した。

#### (2) 日出生断層帯による地震の予測結果

震度分布を図 4-27、液状化危険度分布を図 4-28、斜面危険度分布を図 4-29 に示した。

#### (3) 万年山-崩平山断層帯による地震の予測結果

震度分布を図 4-30、液状化危険度分布を図 4-31、斜面危険度分布を図 4-32 に示した。

#### (4) 南海トラフの巨大地震の予測結果

震度分布を図 4-33、液状化危険度分布を図 4-22、斜面危険度分布を図 4-35 に示した。

#### (5) 周防灘断層群主部による地震の予測結果

震度分布を図 4-36、液状化危険度分布を図 4-37、斜面危険度分布を図 4-38 に示した。

#### (6) プレート内地震の予測結果

震度分布を図 4-39、液状化危険度分布を図 4-40、斜面危険度分布を図 4-41 に示した。

#### 4.3.1 地震動

中央構造線断層帯による地震を H25 調査時における別府湾の地震と比較すると、別府湾の断層群が二次的な断層(地震動を起こさない断層)と評価され、震源断層から除外されたことによって、主に杵築市、日出町等の揺れが軽減された。一方で、伊予灘セグメント以東の各セグメントの影響(10 連動の影響)及び豊予海峡セグメント拡大の影響などにより、大分市で震度 7 の地域が拡大した。また、別府湾～大分平野にかけては、H29 重点調査で詳細な地盤構造が得られたことから、別府市では前回調査時より揺れにくい地盤となったため、別府市の揺れは減少し、大分市では揺れやすい地盤となったため、揺れが増大した。さらに、火山地域の地震発生層上端深さを 3km から 2km へ変更したことにより、由布市付近の揺れが増加した。

日出生断層帯による地震を H20 調査時における別府地溝北縁断層帯による地震と比較すると、地震本部による予測地図に基づく断層モデル設定により、断層位置が南側に設定され、日出町の揺れの範囲が軽減され、別府市の揺れの範囲が拡大した。また、断層が近づいたこと、及び H29 重点モデルの影響により大分市の揺れが増加した。さらに、火山地域の地震発生層上端深さを 3km から 2km へ変更したことにより、由布市付近の揺れが増加した。

万年山-崩平山断層帯による地震を H20 調査時における崩平山-万年山北縁断層帯による地震と比較すると、火山地域の地震発生層上端深さを 3km から 2km へ変更したことにより、震源直上付近の揺れが増加した。

南海トラフの地震では佐伯市蒲江などで震度 6 強の地域が広がっており、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いる。

周防灘断層群主部の地震は、H20 調査とほぼ同じ結果となっており、豊後高田市等で震度 6 弱となっている。

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。

また、深部地盤から求まる固有周期を図 4-23 に示し、市町村別のタンク数量とその直径から求まる周期を表 4-14 に整理した。直径が 20m を超え、固有周期 5 秒より長くなるような大型のタンクは大分市に集中しており、沿岸部においては地盤変動の周期と重なる可能性があることが分かる。

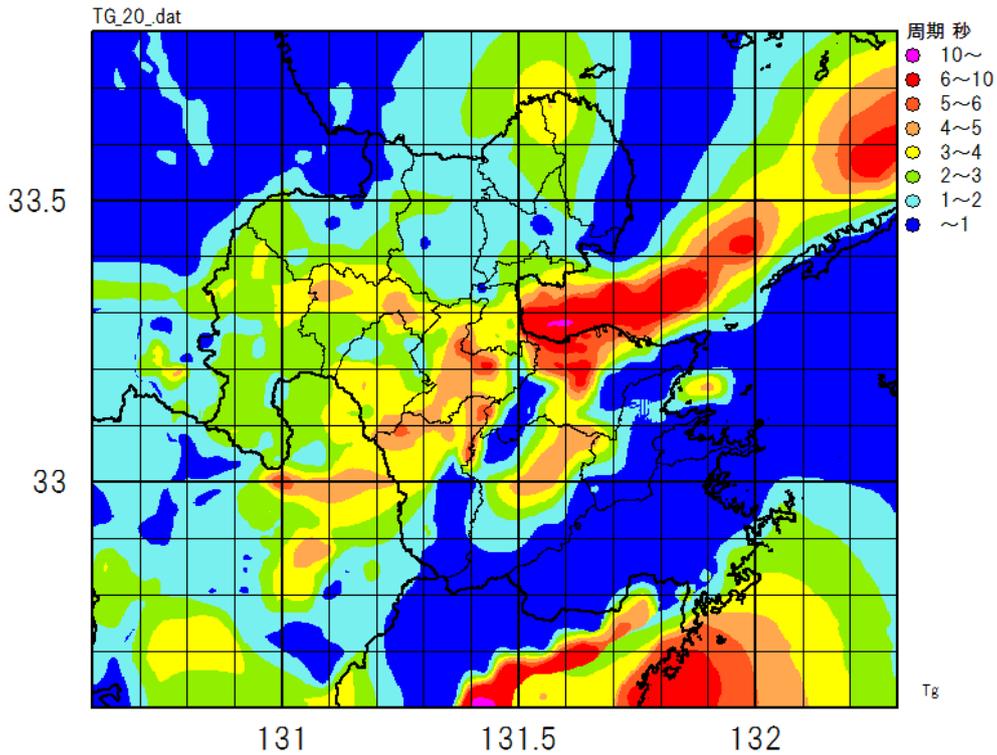


図 4-23 深部地盤構造より求まる卓越周期

表 4-14 市町村別のタンク数量 (基)

市町村名	直径 (m)	~10	~15	~20	~30	~50	~90	合計
	周期 (s) <sup>1</sup>	~3	~4	~5	~6	~7	~10	
大分市		1,416	164	94	96	56	40	1,866
別府市		32	3	4	5	1	0	45
中津市		57	1	3	0	0	0	61
佐伯市		102	15	8	11	0	0	136
臼杵市		101	6	2	1	0	0	110
津久見市		76	19	15	11	3	0	124
豊後高田市		31	1	0	0	0	0	32
杵築市		13	0	0	0	0	0	13
宇佐市		21	2	0	0	0	0	23
国東市		11	3	0	0	0	0	14
姫島村		2	1	0	0	0	0	3
日出町		57	3	1	1	0	0	62
全県		1,919	218	127	125	60	40	2,489

<sup>1</sup> タンク周期は液面高に依存するが、不明なため周期を次式で求めた  $T_s = 1.05 \times \sqrt{D}$

#### 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、震源からの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。

中央構造線断層帯による地震を H25 調査時における別府湾の地震と比較すると、杵築市、日出町等では、揺れの減少に伴い、液状化危険度も減少した。大分市ででは、揺れが増大しているが、既に危険度が高かったため、危険度分布はあまり変わらなかった。

日出生断層帯による地震を H20 調査時における別府地溝北縁断層帯による地震と比較すると、杵築市、日出町等では、揺れの減少に伴い、液状化危険度も減少した。玖珠町などでは、揺れが増大に伴い、液状化危険度が増加した。大分市ででは、揺れが増大しているが、既に危険度が高かったため、危険度分布はあまり変わらなかった。

万年山-崩平山断層帯による地震を H20 調査時における崩平山-万年山北縁断層帯による地震と比較すると、玖珠町などでは、揺れが増大に伴い、液状化危険度が増加した。

### 4.3.3 斜面崩壊

中央構造線断層帯による地震、日出生断層帯による地震、万年山-崩平山断層帯による地震では、急傾斜地が震源直上に位置することなどから、危険度ランクが A と判定される箇所が予測された。中央構造線断層帯では湾周辺にランク A が約 100 箇所以上想定された。

表 4-15 危険度ランク箇所数

地震時危険度判定ランク	A	B	C
中央構造線断層帯による地震	127	721	13,445
日出生断層帯による地震	76	447	13,770
万年山-崩平山断層帯による地震	25	202	14,066
南海トラフの巨大地震	11	155	14,127
周防灘断層群主部による地震	0	1	14,292
プレート内地震	1	122	14,170

ランク A：地震による崩壊の危険性が高い（50%が崩壊の可能性はある）

ランク B：地震による崩壊の可能性はある（10%が崩壊の可能性はある）

ランク C：地震による崩壊の可能性はほとんどない

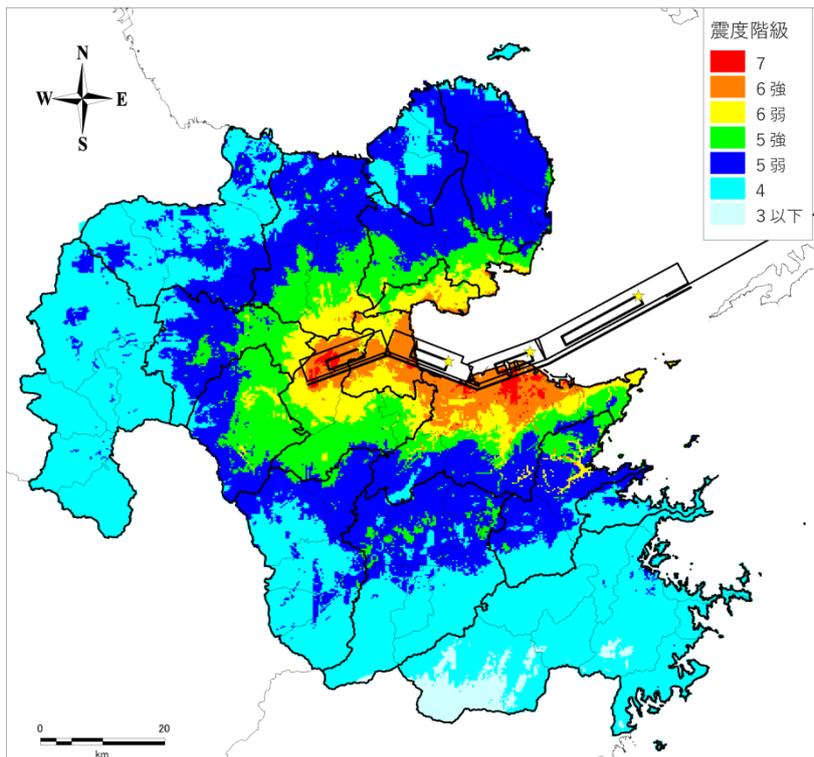


図 4-24 中央構造線断層帯による地震発生時における震度分布

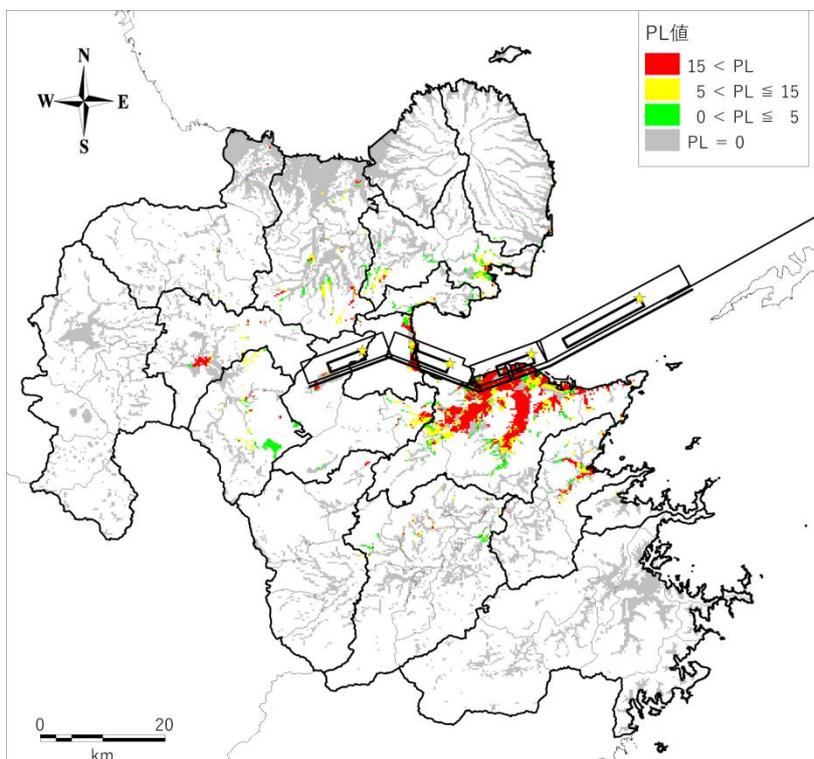


図 4-25 中央構造線断層帯による地震発生時における液状化危険度分布

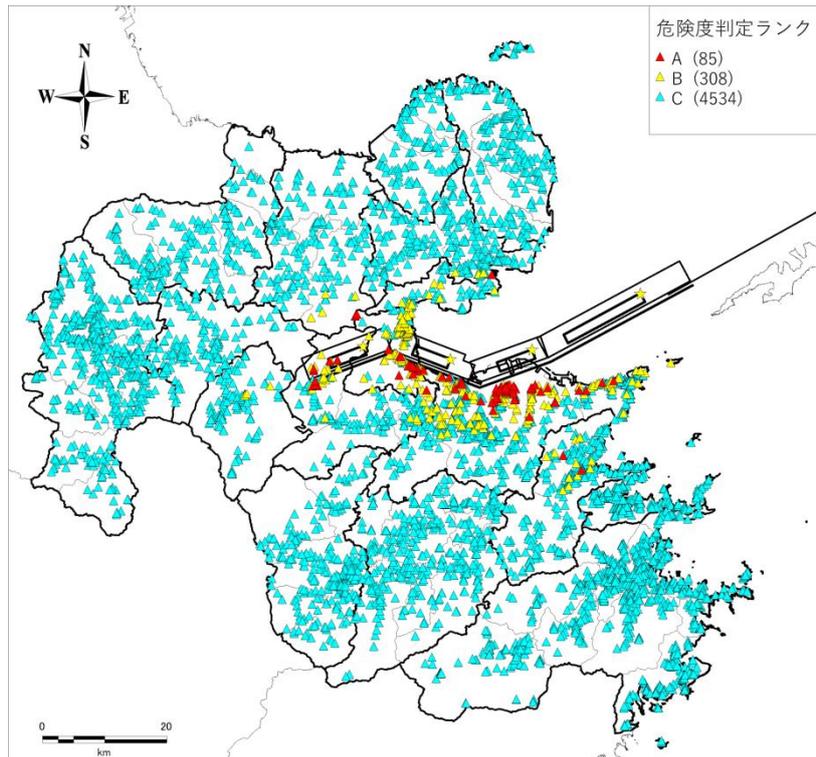


図 4-26 中央構造線断層帯による地震発生時における急傾斜地地震時危険度分布

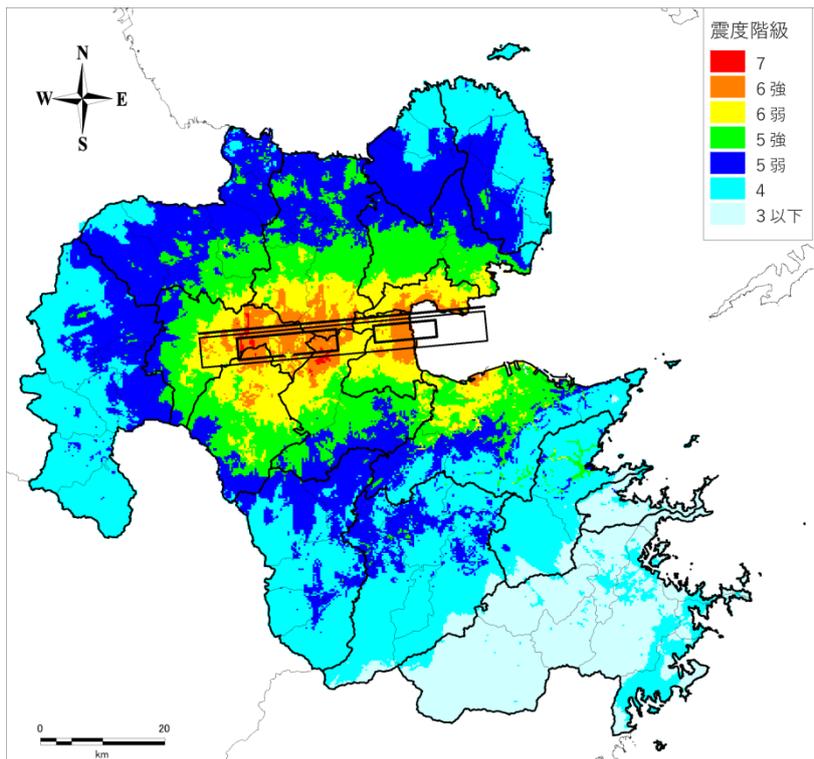


図 4-27 日出生断層帯による地震発生時における震度分布

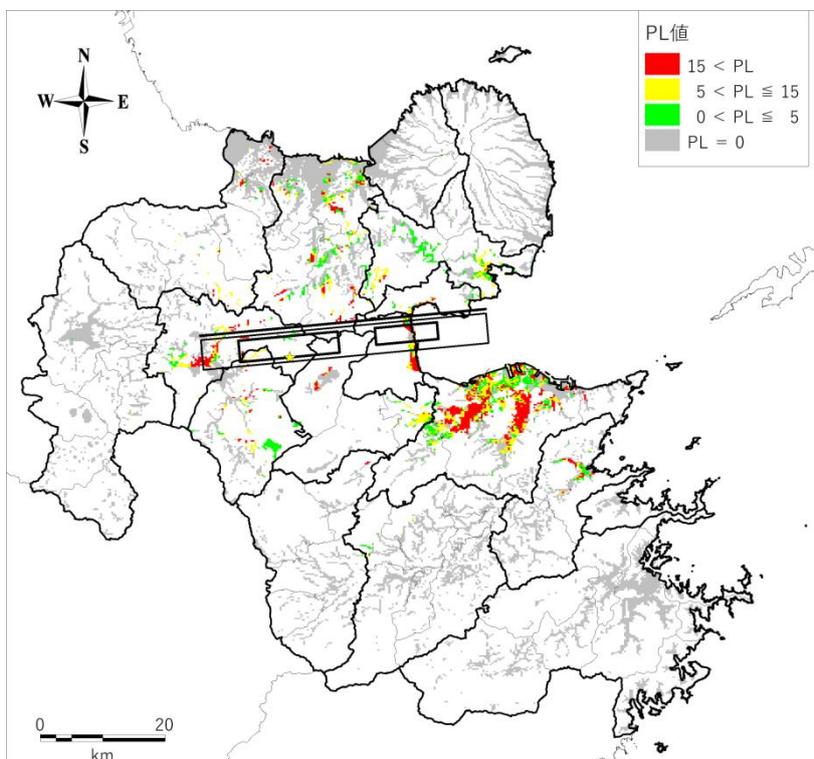


図 4-28 日出生断層帯による地震発生時における液状化危険度分布

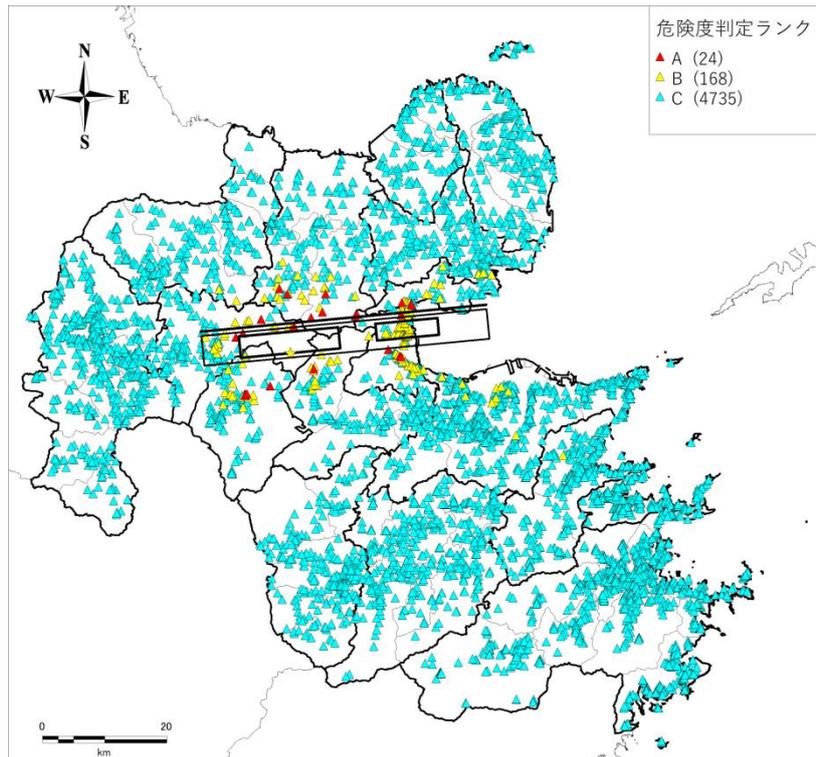


図 4-29 日出生断層帯による地震発生時における急傾斜地地震時危険度分布

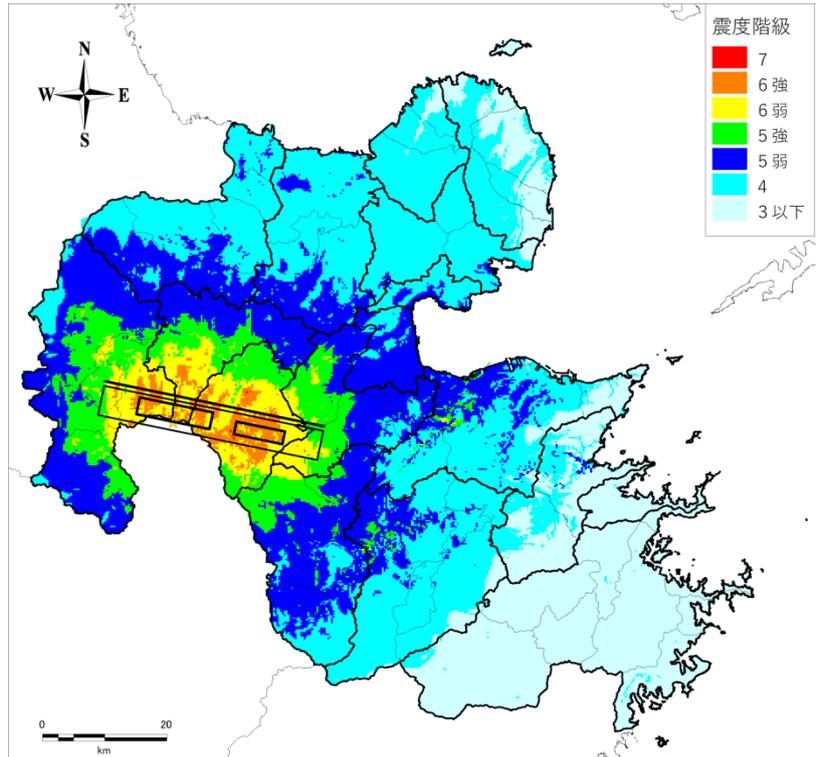


図 4-30 万年山-崩平山断層帯による地震発生時における震度分布

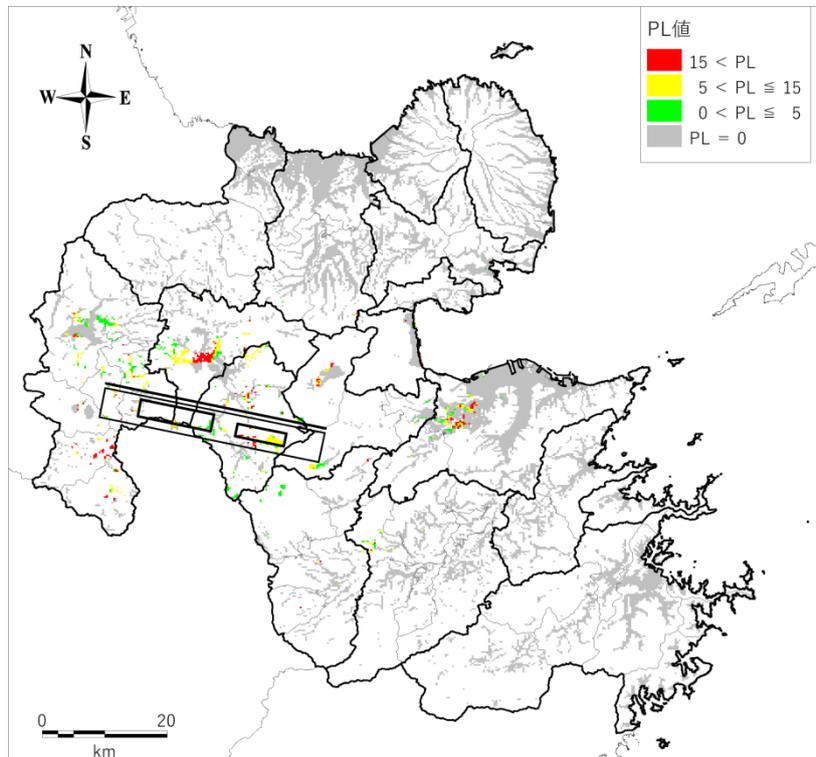


図 4-31 万年山-崩平山断層帯による地震発生時における液状化危険度分布

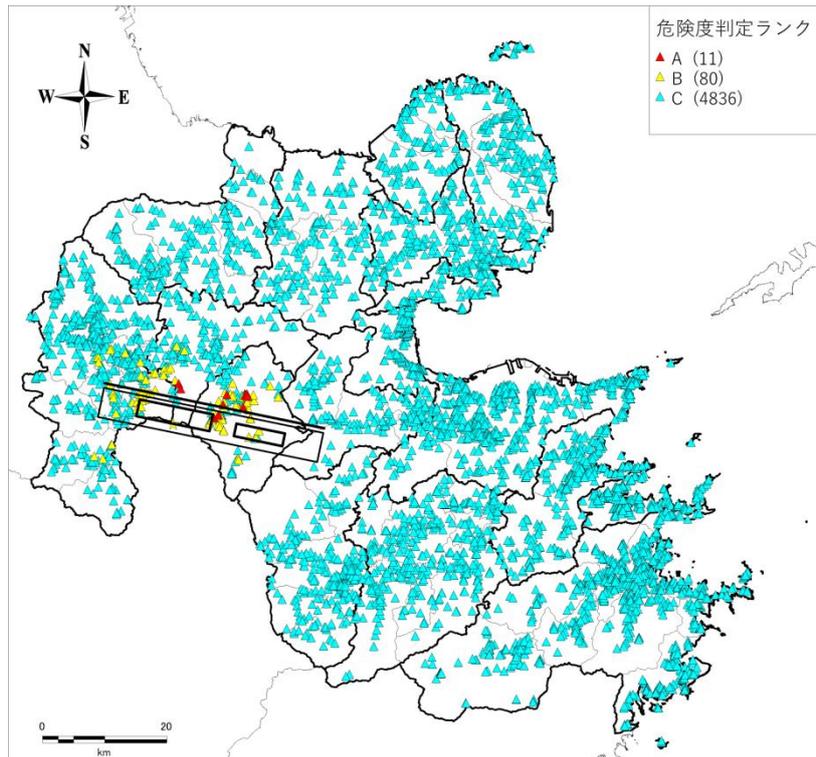


図 4-32 万年山-崩平山断層帯による地震発生時における急傾斜地地震時危険度分布

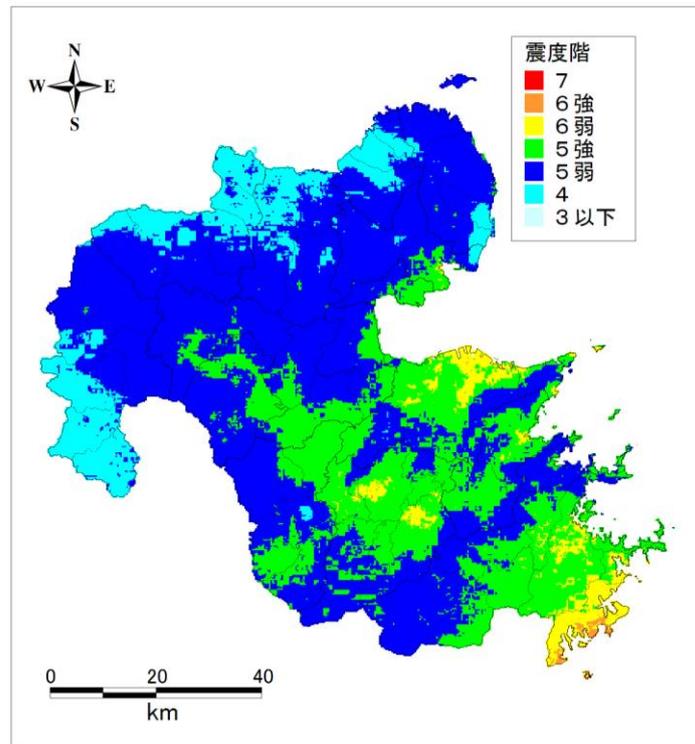


図 4-33 南海トラフ（陸側）による震度分布

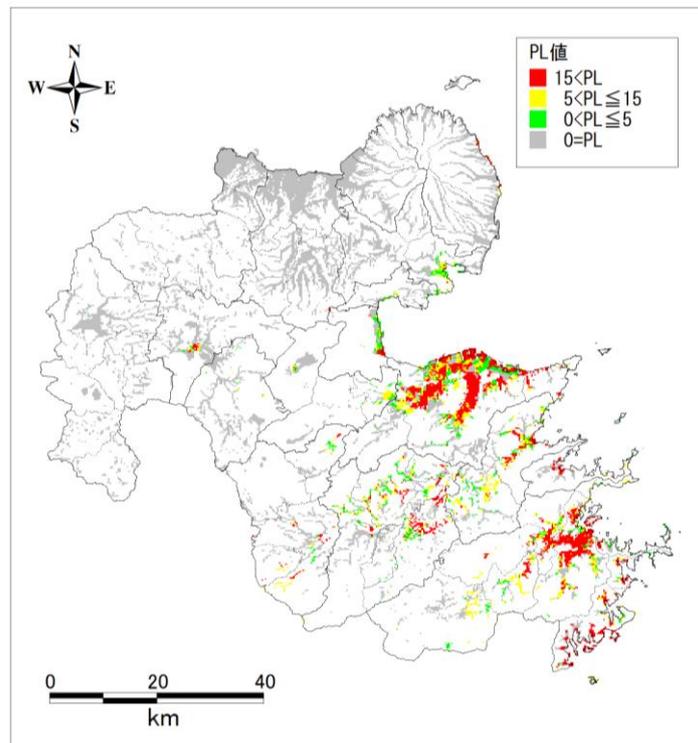


図 4-34 南海トラフ（陸側）による液状化危険度分布

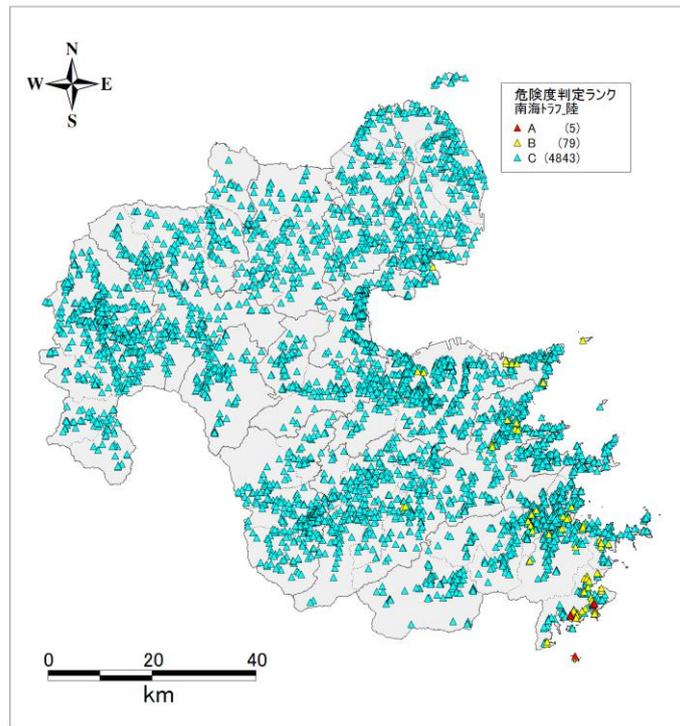


図 4-35 南海トラフ（陸側）による急傾斜地地震時危険度分布

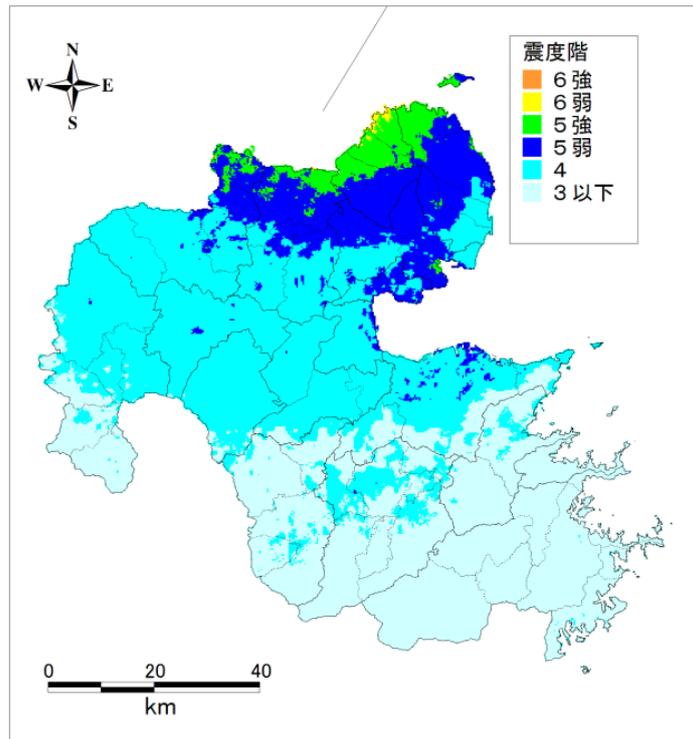


図 4-36 周防灘断層群主部による震度分布

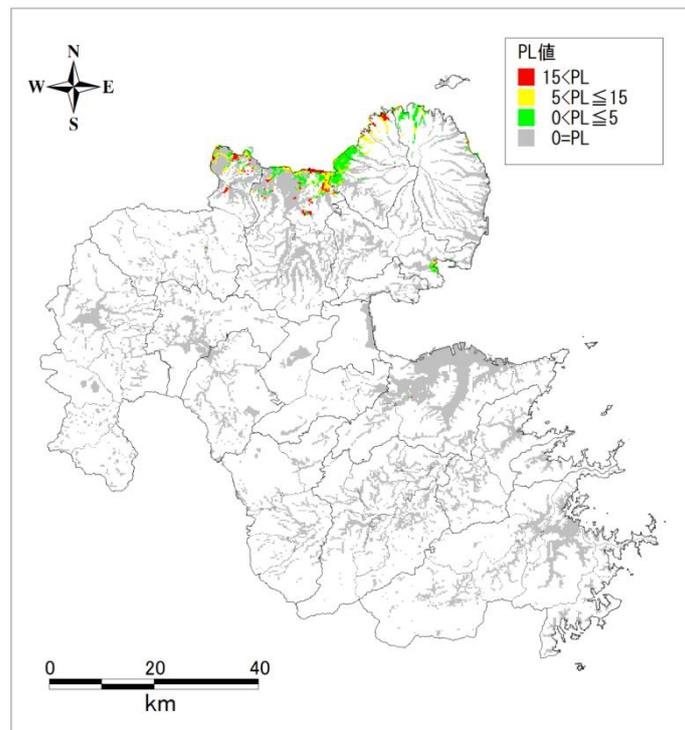


図 4-37 周防灘断層群主部による液状化危険度分布

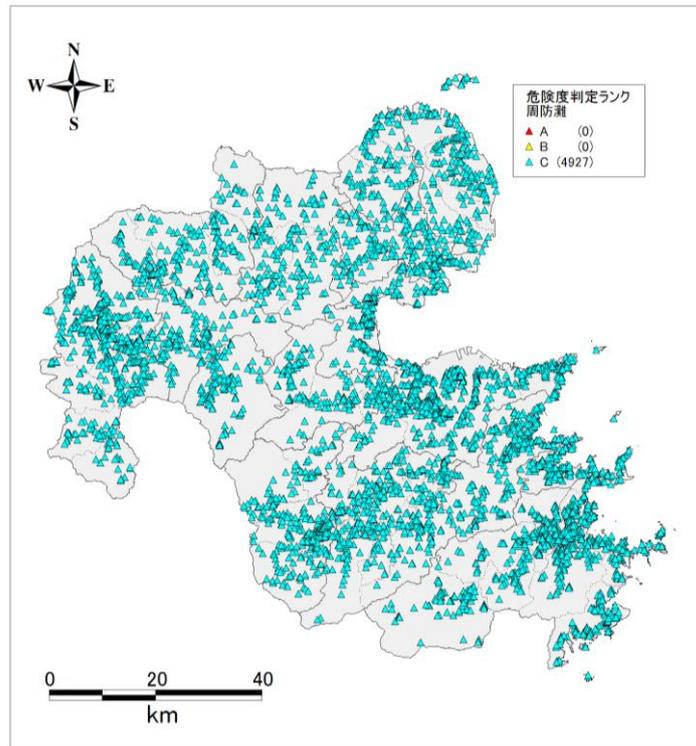


図 4-38 周防灘断層群主部による急傾斜地地震時危険度分布

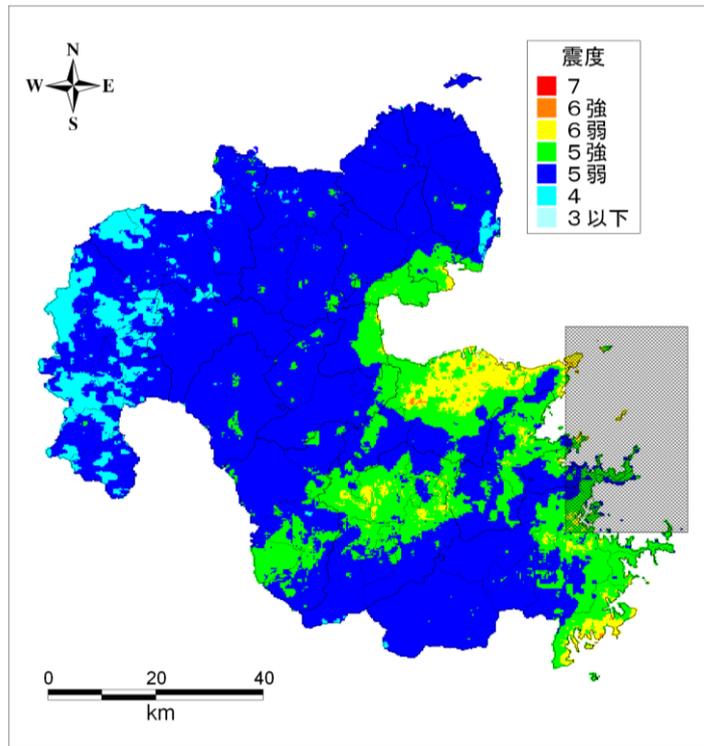


図 4-39 プレート内地震による震度分布

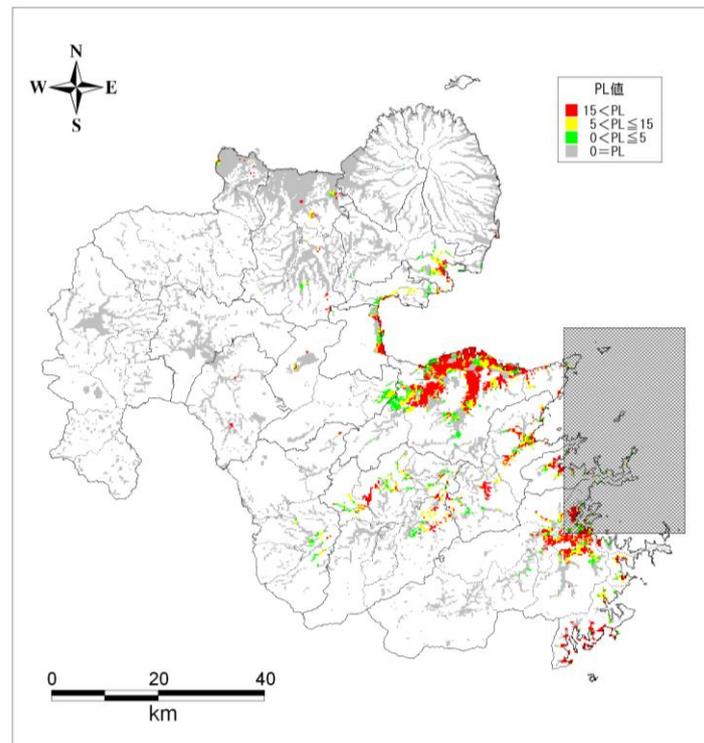


図 4-40 プレート内地震による液状化危険度分布

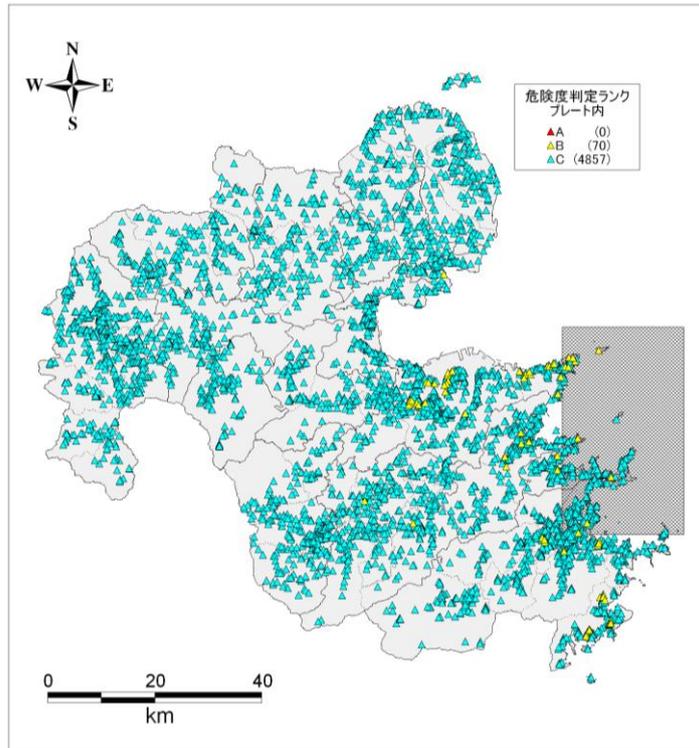
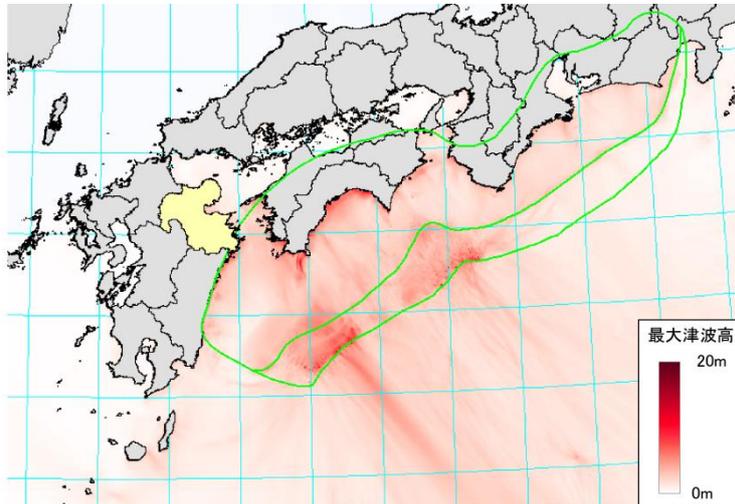


図 4-41 プレート内地震による急傾斜地地震時危険度分布

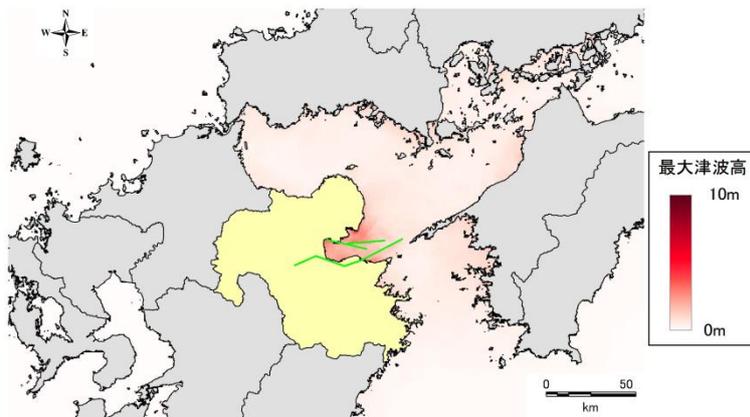
【参考：津波浸水予測概要】

本調査では津波浸水予測はH25調査「大分県津波浸水予測調査」の結果を踏襲した。、H25調査でまとめられた最大津波高分布は下記のとおりである。

1) 南海トラフの巨大地震（H25調査結果）



2) 中央構造線断層帯による地震（H25調査時の別府湾の地震（慶長豊後型地震））



3) 周防灘断層群主部による地震（H25調査結果）

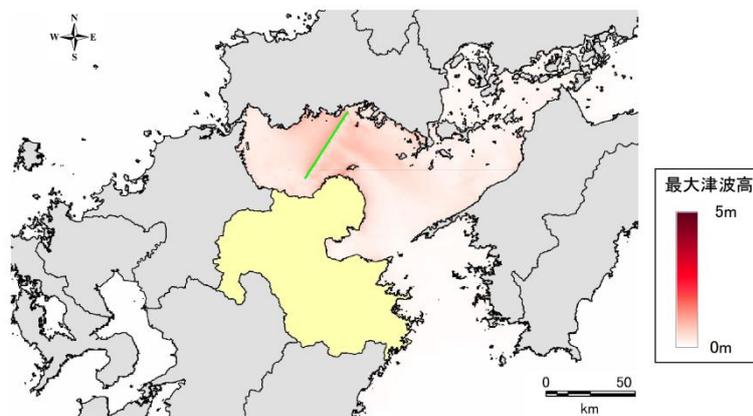


図 4-42 各波源の位置および海域の最大津波高分布

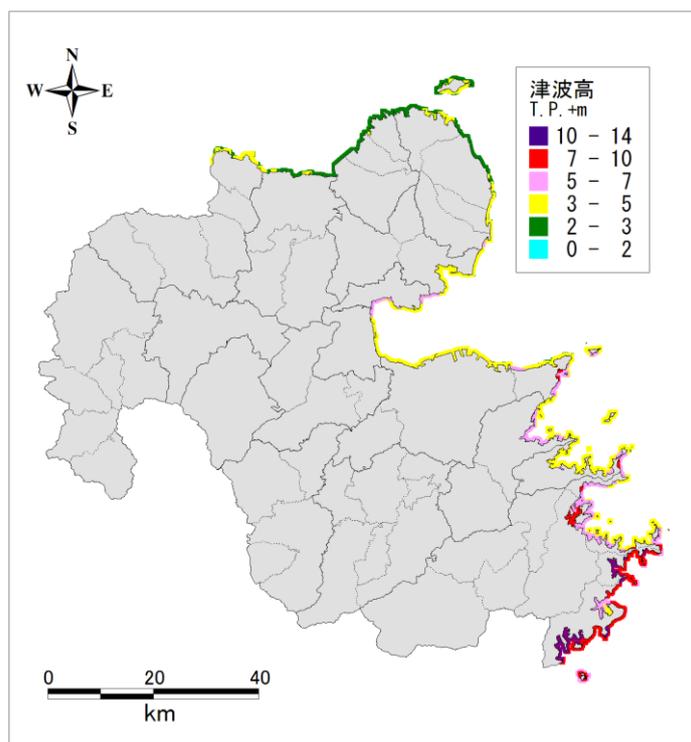


図 4-43 沿岸部の最大津波高分布図<南海トラフの巨大地震（H25 調査結果）>

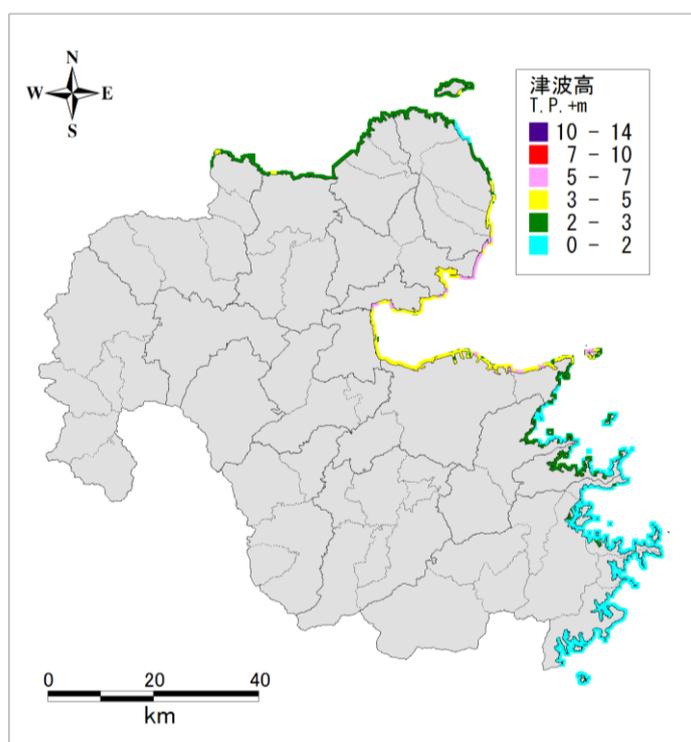


図 4-44 沿岸部の最大津波高分布図<中央構造線断層帯による地震（H25 調査時の別府湾の地震（慶長豊後型地震））>

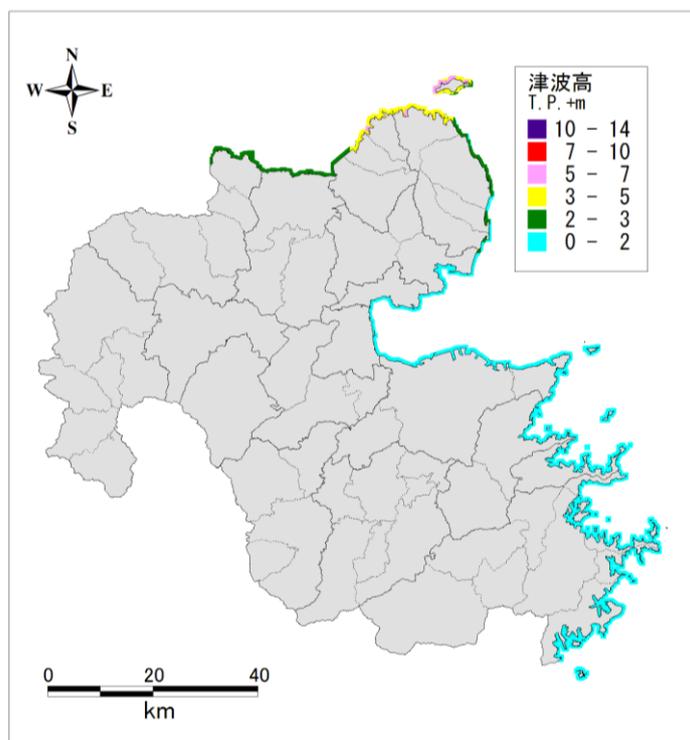


図 4-45 沿岸部の最大津波高分布図<周防灘断層群主部による地震 (H25 調査結果) >

## 【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.
- 中村亮一(2007): 中国・四国・九州の三次元減衰構造と異常震域, 日本地震学会講演予稿集秋季大会, 2007, P2-072.
- 林宏一, 引間和人. 差分法による三次元粘弾性波動場計算 (その3) - 不等間隔格子とPCクラスタによる大規模モデルの計算 -. 日本地震学会講演予稿集. 2001, 2, B25
- Pitarka, A. (1999) 3D Elastic Finite-Difference Modeling of Seismic Motion Using Staggered Grids with Nonuniform Spacing, *Bulletin of the Seismological Society of America* 89, 1, pp.54-68
- Robertsson, J. O. A., Blanch, J. O., & Symes, W. W. (1994). Viscoelastic finite - difference modeling. *Geophysics*, 59(9), 1444-1456.
- 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会、首都直下地震モデル検討会 (2015)：南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告 (平成27年12月17日公表)
- 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 (2006)：長崎県地震防災等防災アセスメント調査報告書
- 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会 (2012)：南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告) (平成24年8月29日発表)
- [http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai\\_trough/nankai\\_trough\\_top.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html)
- 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), 1999.1
- 若松ほか：液状化地点の地盤特性 (その2.液状化発生と震度階との関係) 日本建築学会大会学術講演概要集, 1981.9
- 大分県 土木建築部 砂防課 資料
- 宮城県防災会議地震対策専門部会：宮城県地震被害想定調査業務に関する報告書 (概要版), 1997