

**伊方発電所3号機
地震動評価(超過確率の参照)
(耐震性能)**

**平成27年2月4日
四国電力株式会社**

評価方針

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

6. 超過確率

6.1 評価方針

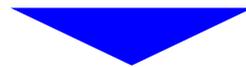
- (1) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、それぞれ**策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを確認する。**
- (2) 超過確率を参照する際には、**基準地震動の応答スペクトルと地震ハザード※¹解析による一様ハザードスペクトル※²を比較**するとともに、当該結果の妥当性を確認する。

〔解説〕

- (1) 地震ハザード解析による一様ハザードスペクトルの算定においては、例えば日本原子力学会による「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」や地震調査研究推進本部による「確率論的地震動予測地図」、原子力安全基盤機構による「震源を特定しにくい地震による地震動：2005」、「震源を特定せず策定する地震動：2009」等に示される手法を適宜参考にして評価する。

※1 ある任意地点において将来の一定期間中に襲来するであろう任意の地震動強さと、その強さを超過する頻度または確率との関係を示したものの。

※2 複数の周期の地震ハザード曲線に基づいて、同一の超過確率となる応答値を周期を横軸にしてつないだもの。



審査ガイドに従い、地震ハザード解析による一様ハザードスペクトルを策定し、基準地震動の応答スペクトルと比較し、地震動の超過確率のレベルを確認する。

評価方針

地震ハザード解析による一様ハザードスペクトル策定手順

● 基本方針

審査ガイドにも参照されている社団法人日本原子力学会「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」に基づき策定する。

● 策定手順

- 1) 伊方発電所から概ね百数十km程度内の震源を対象とし、以下のモデルに分類する。
 - ① ひとつの地震に対して、震源の位置、規模及び発生頻度を特定して扱う「特定震源モデル」
 - ② ある広がりを持った領域の中で発生する地震群として取扱う「領域震源モデル」

特定震源モデル	領域震源モデル
<ul style="list-style-type: none">・敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震・その他の活断層で発生する地震・南海地震	<ul style="list-style-type: none">・活断層の存在が知られていないところで発生する内陸地殻内地震・南海地震以外のフィリピン海プレートで発生する地震

- 2) 特定震源モデルについては、各々の地震について、基準地震動の策定の際、設定したモデルや地震動評価手法を参照し、領域震源モデルについては、ある程度均質であると考えられる領域内での地震特性を踏まえ、それぞれ可能性のある不確かさ要因の組合せをツリー状に表現し、可能性の度合いに応じて重みを設定した震源モデル（ロジックツリー）の設定を行う。
- 3) 策定した震源モデル（ロジックツリー）の全分岐について地震動評価を行い、ある任意地点において将来の一定期間中に襲来するであろう任意の地震動強さと、その強さを超過する確率との関係を示した地震ハザード曲線を策定する。
- 4) 策定した複数の周期の地震ハザード曲線に基づいて、同一の超過確率となる応答値を周期を横軸にしてつなぎ、一様ハザードスペクトルを策定する。

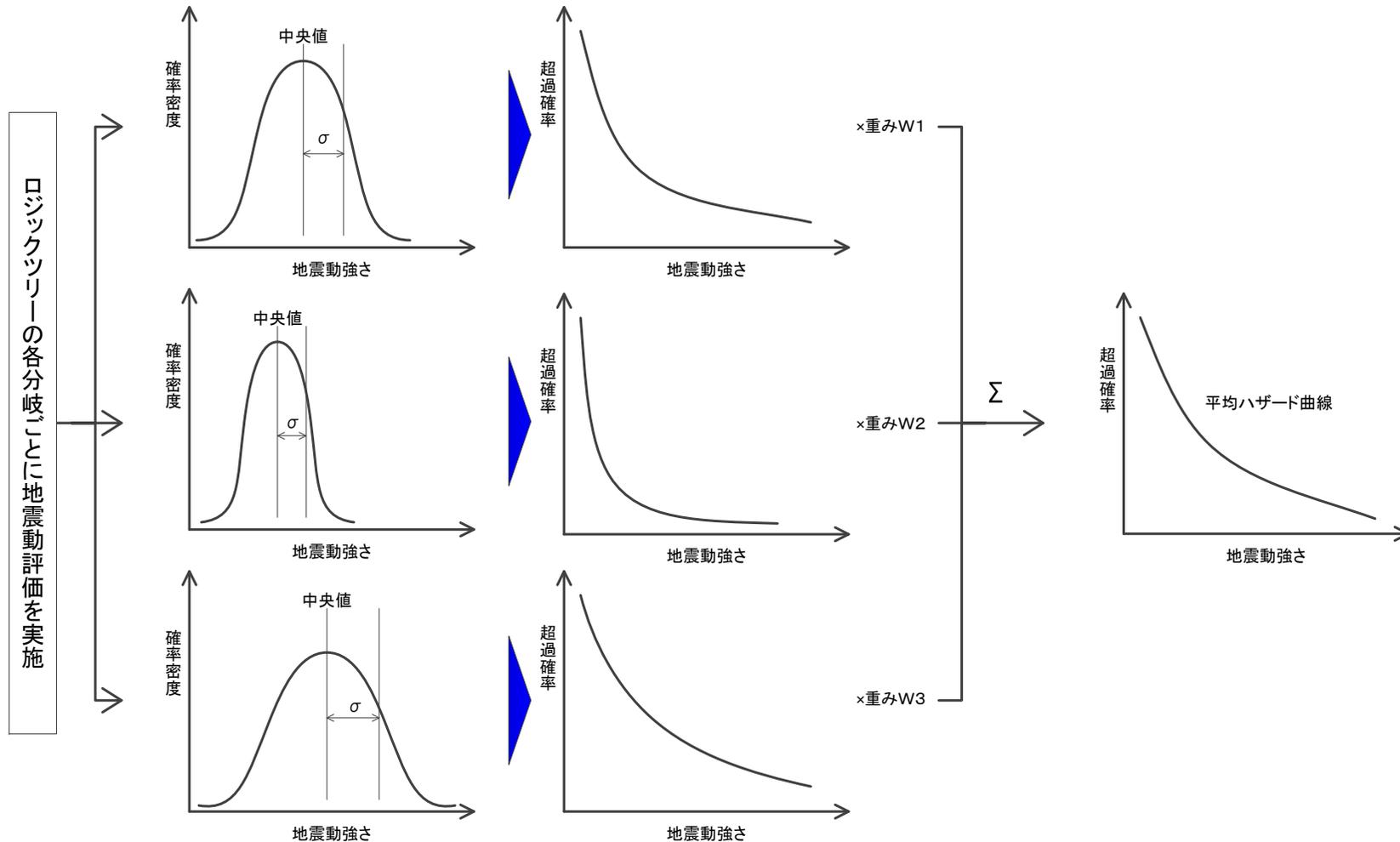
評価方針

地震ハザード曲線の策定イメージ

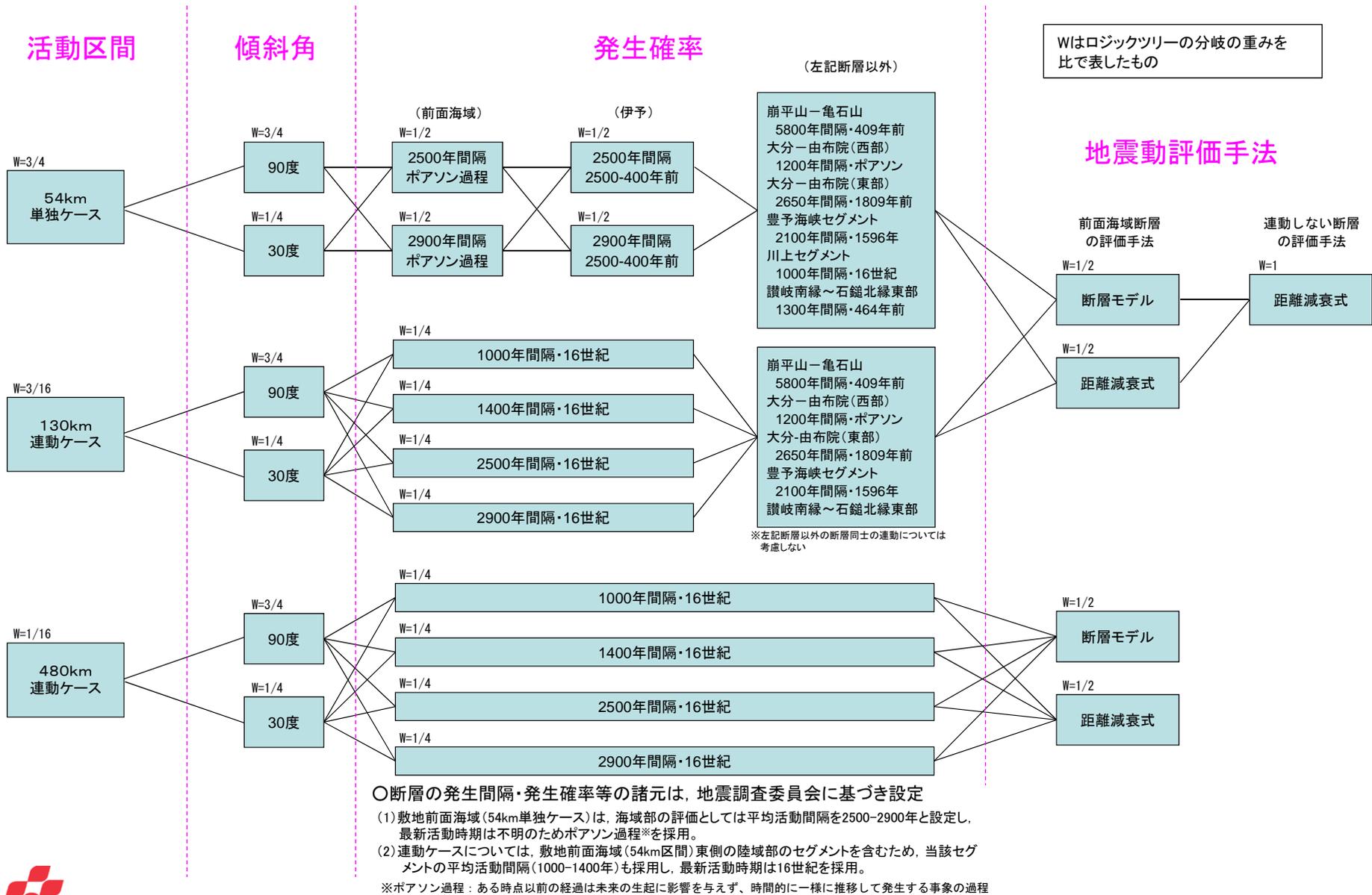
①対数正規分布を仮定し、ロジックツリーの各分岐ごとに地震動評価を実施し、算定された地震動強さを中央値、分岐に設定したばらつきを標準偏差 σ として設定

②各分岐ごとの地震動評価結果から、それぞれ超過確率と地震動強さの関係を示したハザード曲線を策定

③各分岐ごとに策定した地震ハザード曲線に対して、重みを考慮し、平均ハザード曲線を策定



特定震源モデル①(中央構造線断層帯による地震)



特定震源モデル①(中央構造線断層帯による地震)

■特定震源モデル(中央構造線断層帯による地震)の設定

発生確率

○断層の発生間隔・発生確率等の諸元は、地震調査委員会に基づき設定。前面海域は最新活動時期が不明のためポアソン過程を採用。

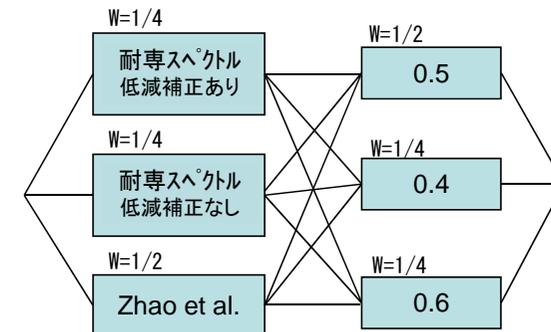
区間		長さ(km)	M	50年発生確率(%)
単独	崩平山-亀石山断層帯	36	7.4	1.0E-14 未満
	大分平野-由布院断層帯(西部)	15	6.8	4.1
	大分平野-由布院断層帯(東部)	27	7.2	1.8
	豊予海峡セグメント	33	7.4	5.2E-10
	敷地前面海域の断層群	54	7.7	2.0/1.7 (※1)
	伊予セグメント	33	7.4	1.5/0.81 (※1)
	川上セグメント	39	7.5	0.29
	讃岐山脈南縁~石鎚山脈北縁東部	132	8.0	3.9E-03
連動	前面~伊予~川上	126	8.1	0.29/1.4E-03/1.2E-10/2.6E-13 (※2)
	大分~前面~伊予~川上~紀伊半島	481	8.5	0.29/1.4E-03/1.2E-10/2.6E-13 (※2)

※1 2500年間隔/2900年間隔

※2 1000年間隔/1400年間隔/2500年間隔/2900年間隔

距離減衰式による評価

- 距離減衰式の評価は耐専スペクトルの式とZhao et al.の式を考慮し、距離減衰式内の分岐は右図の通り考慮する。
- 距離減衰式評価において耐専スペクトルを適用できないケースについては断層モデルの結果を採用。(耐専スペクトルを適用できないケース: 54km90° および 130km90°)
- 地震規模は松田式で算定する。長さが80km以上のものについては、80km以下になるようセグメント区分し、セグメント毎に地震規模を算出し、合計して算出する。



断層モデルによる評価

- 断層モデルの評価は、スケーリング則に壇・他(2011)を用いて経験的グリーン関数法にて評価。
- アスペリティ深さは、上端配置と下端配置を1対1で設定。
- 破壊開始点は東下端・中央下端・西下端の3ケースを設定。
- 短周期レベルのばらつきは、ばらつきが対数正規分布に従うと仮定して5ケースを設定。

特定震源モデル②(その他の活断層による地震)

■特定震源モデル(その他の活断層による地震)の設定

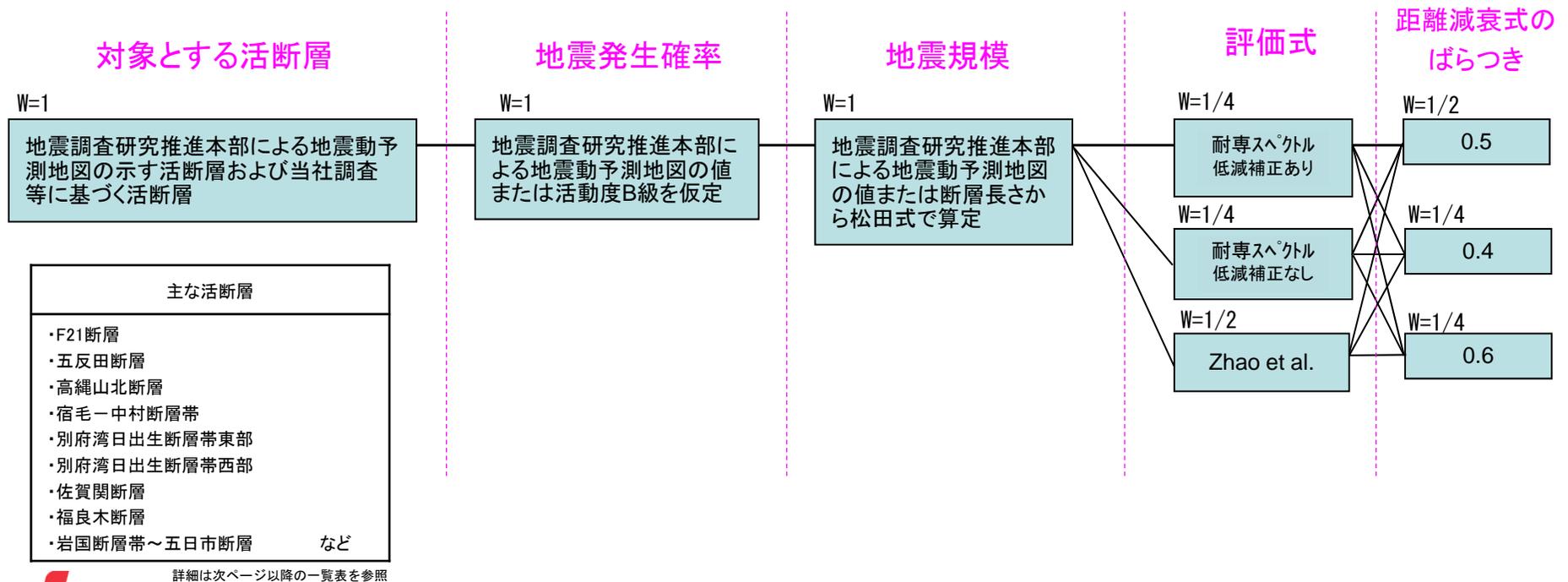
- 地震調査研究推進本部による地震動予測地図の示すサイトから百数十km程度以内の活断層および当社調査等に基づく活断層
- 各断層の地震規模Mは松田(1975)による。
- 断層長さは地震調査研究推進本部が示す値もしくは当社の調査結果等に基づく値を採用する。
- 地震の発生頻度は、地震調査研究推進本部の値または日本原子力学会(2007)に基づき次式で評価する。

$$\nu = S/D$$

$$\log_{10} D = 0.6M - 4.0$$

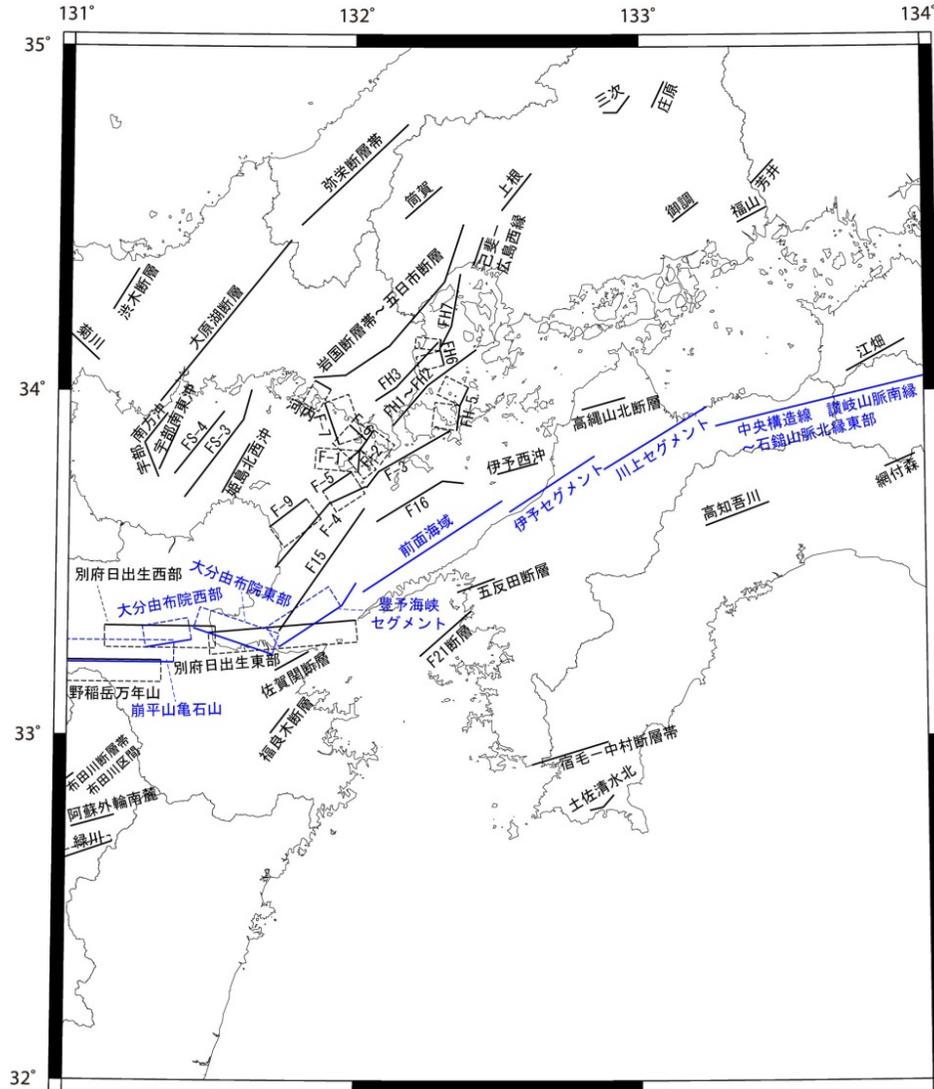
ν : 年平均発生頻度(回/年)
 S : 活断層の年平均変位速度(m/年) [地震調査研究推進本部の値または活動度B級を仮定]
 D : すべり量(m)

- 短い断層については、地震規模M6.8として評価する。
- 距離減衰式の評価は耐専スペクトルとZhao et al.の式を考慮する。



特定震源モデル②(その他の活断層による地震)

活断層の位置図



活断層の諸元

名称	長さ (km)	M	平均活動 間隔(年)	最新活動 時期	50年 発生確率 (%)
地震本部地震調査委員会の地震動予測地図に基づく活断層					
己斐-広島西縁断層帯	10	6.8	7,900	—	0.63
菊川断層帯	44	7.6	14,000	—	0.36
別府湾-日出生断層帯東部	43	7.6	1,500	418年前	2.1E-05
別府湾-日出生断層帯西部	32	7.3	19,000	4,358年前	8.5E-10
野稻岳-万年山断層帯	30	7.3	4,000	2,658年前	0.98
緑川断層帯	34	7.4	51,000	—	9.8E-02
布田川断層帯 布田川区間	19	7.0	17,050	4,500年前	7.7E-08
宇部南方冲断層帯	22	7.1	17,500	—	0.29

次ページに続く

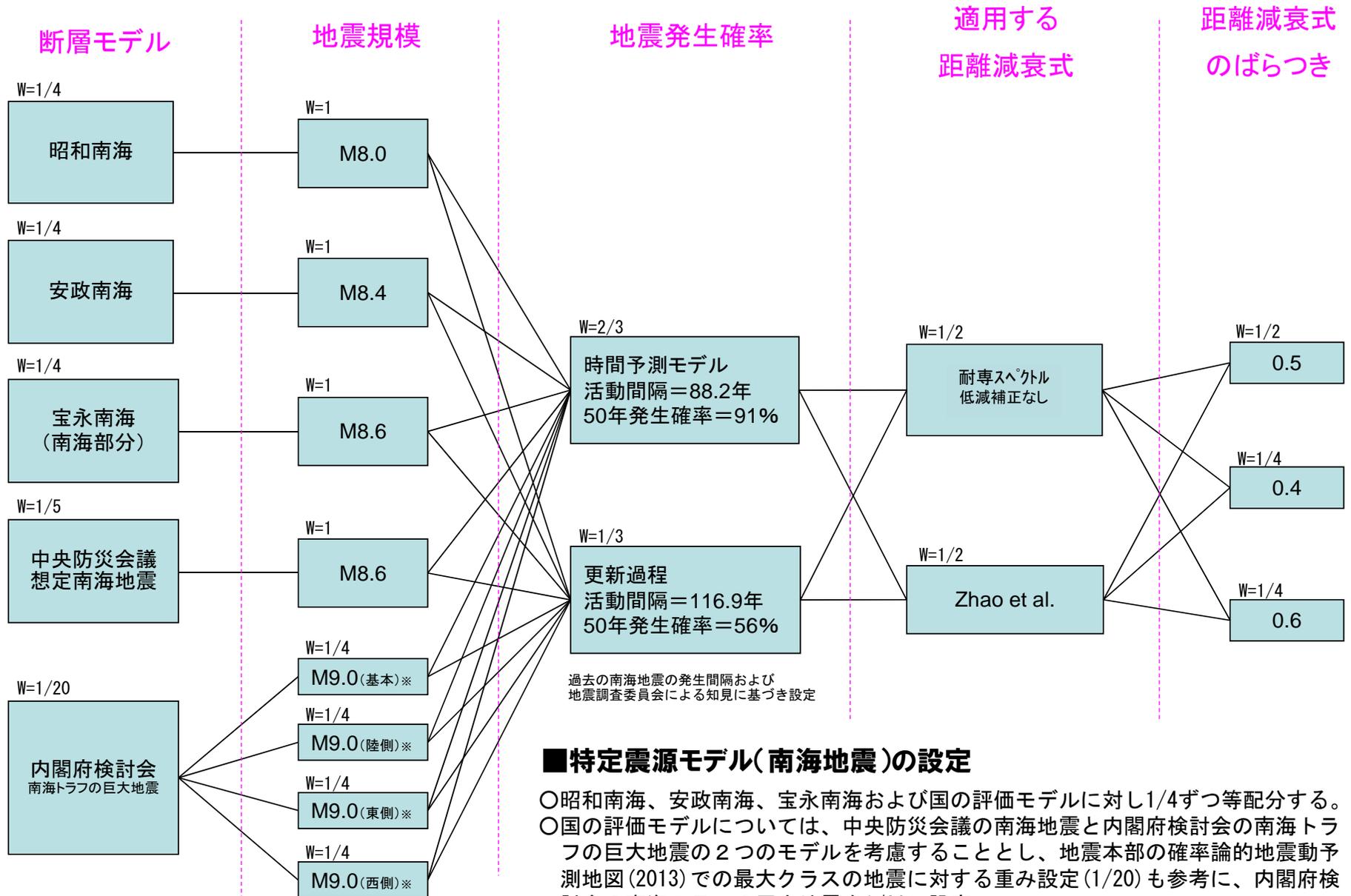
特定震源モデル②(その他の活断層による地震)

活断層の諸元

名称	長さ (km)	M	平均活動 間隔(年)	最新活動 時期	50年発生確率 (%)
地震本部地震調査委員会の地震動予測地図に基づく活断層					
芳井断層	11	6.8	2,000	—	2.5
福山断層帯	11	6.8	50,000	—	0.10
御調断層	10	6.8	50,000	—	0.10
庄原断層	10	6.8	26,000	—	0.20
三次断層帯	11	6.8	26,000	—	0.20
上根断層	15	6.8	4,800	—	1.0
筒賀断層帯	16	6.8	13,000	—	0.39
弥栄断層帯	47	7.6	120,000	—	4.0E-02
渋木断層	16	6.8	53,000	—	9.4E-02
江畑断層帯	22	7.1	73,000	—	6.9E-02
高縄山北断層	15	6.8	50,000	—	0.10
綱付森断層	11	6.8	4,800	—	1.0
高知吾川	22	7.1	18,000	—	0.29
宿毛一中村断層帯	26	7.2	86,000	—	5.8E-02
土佐清水北断層帯	10	6.8	50,000	—	0.10
佐賀関断層	12	6.8	26,000	—	0.20
福良木断層	10	6.8	50,000	—	0.10
阿蘇外輪南麓断層群	15	6.8	30,000	—	0.17
宇部南東沖断層帯	16	6.8	53,000	—	9.4E-02
姫島北西沖断層帯	18	6.9	60,000	—	8.4E-02

名称	長さ (km)	M	平均活動 間隔(年)	最新活動 時期	50年発生確率 (%)
当社の調査結果等に基づく活断層					
F21断層	22	7.1	7,300	—	0.68
五反田断層	13	6.8	4,800	—	1.0
伊予西沖断層	14	6.8	4,800	—	1.0
岩国断層帯～五日市断層	74	8.0	24,000	—	0.21
河内断層	6.0	6.8	4,800	—	1.0
FS-3断層群	41.5	7.5	13,000	—	0.38
FS-4断層群	25.9	7.2	8,200	—	0.61
F-1断層群	6.8	7.0	6,300	—	0.79
F-2断層群	12.8	6.8	4,800	—	1.0
F-3断層群	33.4	7.4	11,000	—	0.47
F-4断層群	40.1	7.5	13,000	—	0.39
F-5断層群	11.1	6.8	4,800	—	1.0
F-6断層群	7.7	6.8	4,800	—	1.0
F-7断層群	14.2	6.8	4,800	—	1.0
F-9断層群	15.0	6.8	4,800	—	1.0
F-15断層群	48.3	7.6	15,000	—	0.33
F-16断層群	32.1	7.3	10,000	—	0.49
FH-1～FH-2断層群	36.7	7.4	12,000	—	0.43
FH-3断層群	28.0	7.2	8,900	—	0.56
FH-5断層群	14.6	6.8	4,800	—	1.0
FH-6断層群	8.4	6.8	4,800	—	1.0
FH-7断層群	24.6	7.2	7,800	—	0.64
大原湖断層帯	67.1	7.9	21,320	—	0.23

特定震源モデル③(南海地震)



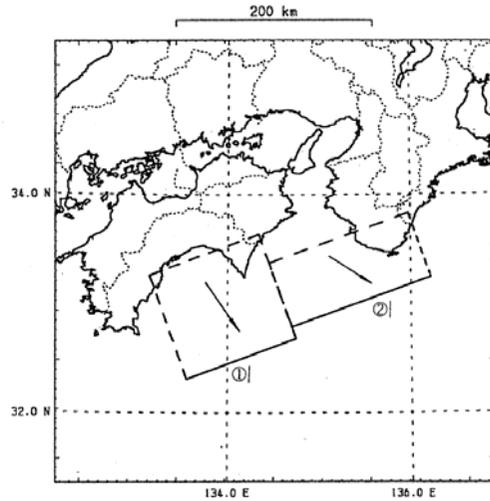
■特定震源モデル(南海地震)の設定

- 昭和南海、安政南海、宝永南海および国の評価モデルに対し1/4ずつ等配分する。
- 国の評価モデルについては、中央防災会議の南海地震と内閣府検討会の南海トラフの巨大地震の2つのモデルを考慮することとし、地震本部の確率論的地震動予測地図(2013)での最大クラスの地震に対する重み設定(1/20)も参考に、内閣府検討会の南海トラフの巨大地震を1/20に設定。

※内閣府検討会では、地震動評価の際のマグニチュードは8.3とする

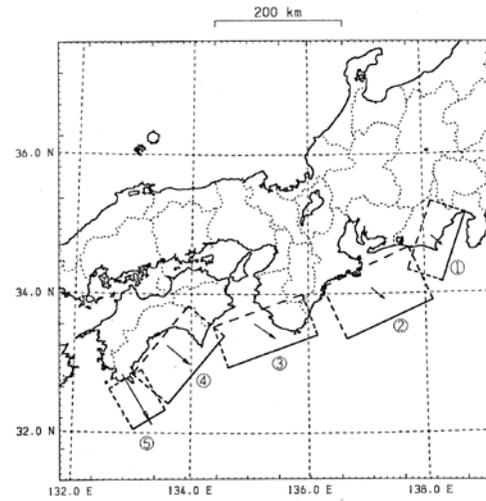
特定震源モデル③(南海地震)

昭和南海(相田モデル)



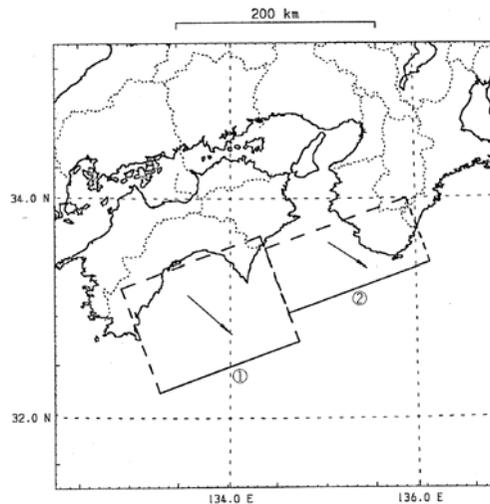
相田モデルによる断層面

宝永南海(相田モデル)



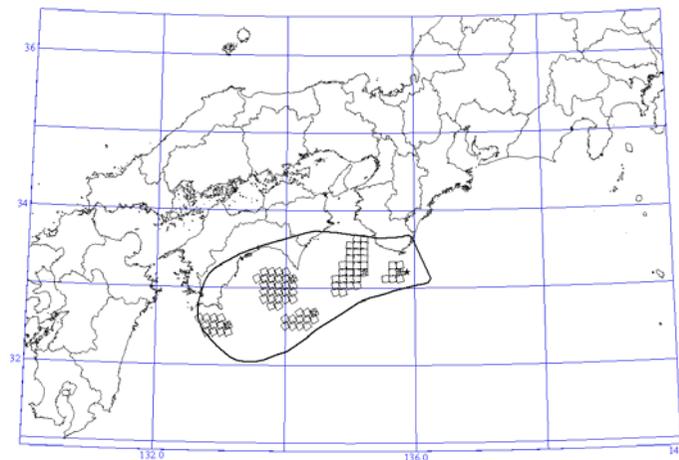
相田モデルによる断層面

安政南海(相田モデル)



相田モデルによる断層面

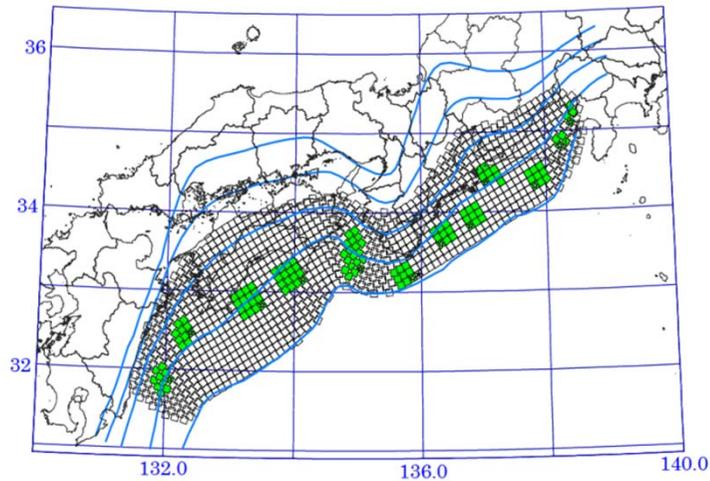
中央防災会議想定南海地震



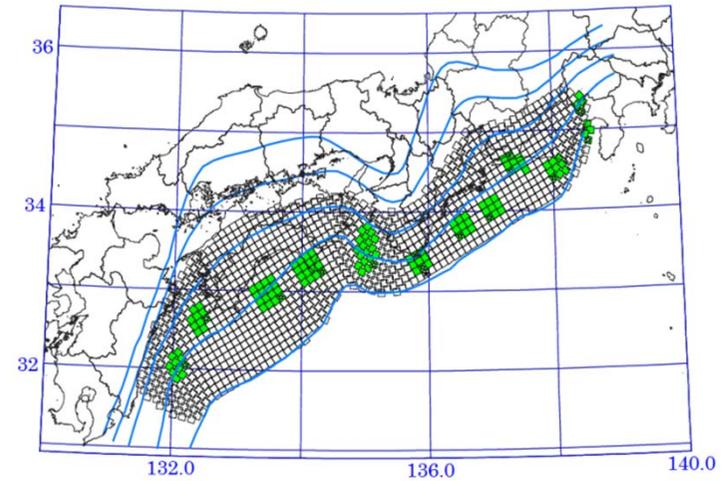
中央防災会議(2003)による断層面

特定震源モデル③(南海地震)

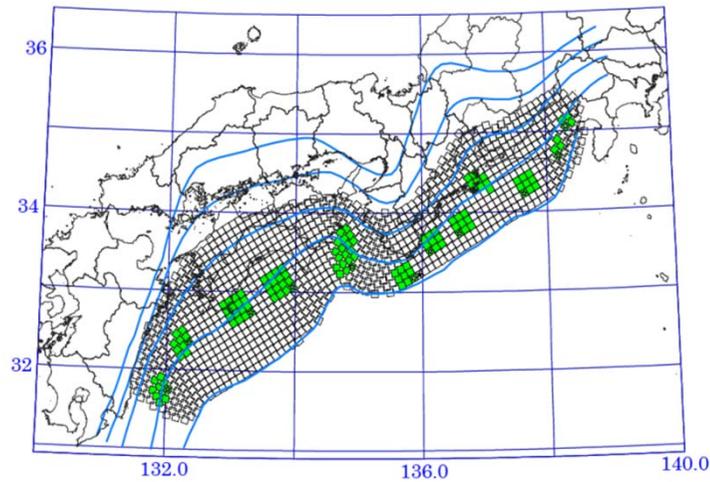
内閣府検討会 南海トラフの巨大地震



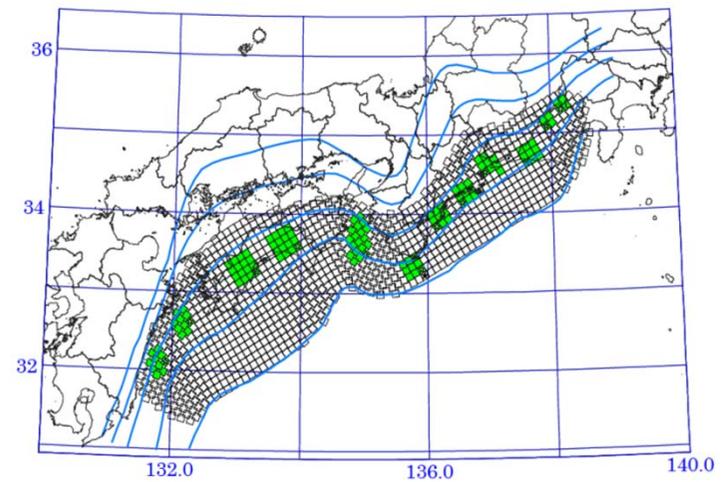
基本ケース



東側ケース



西側ケース

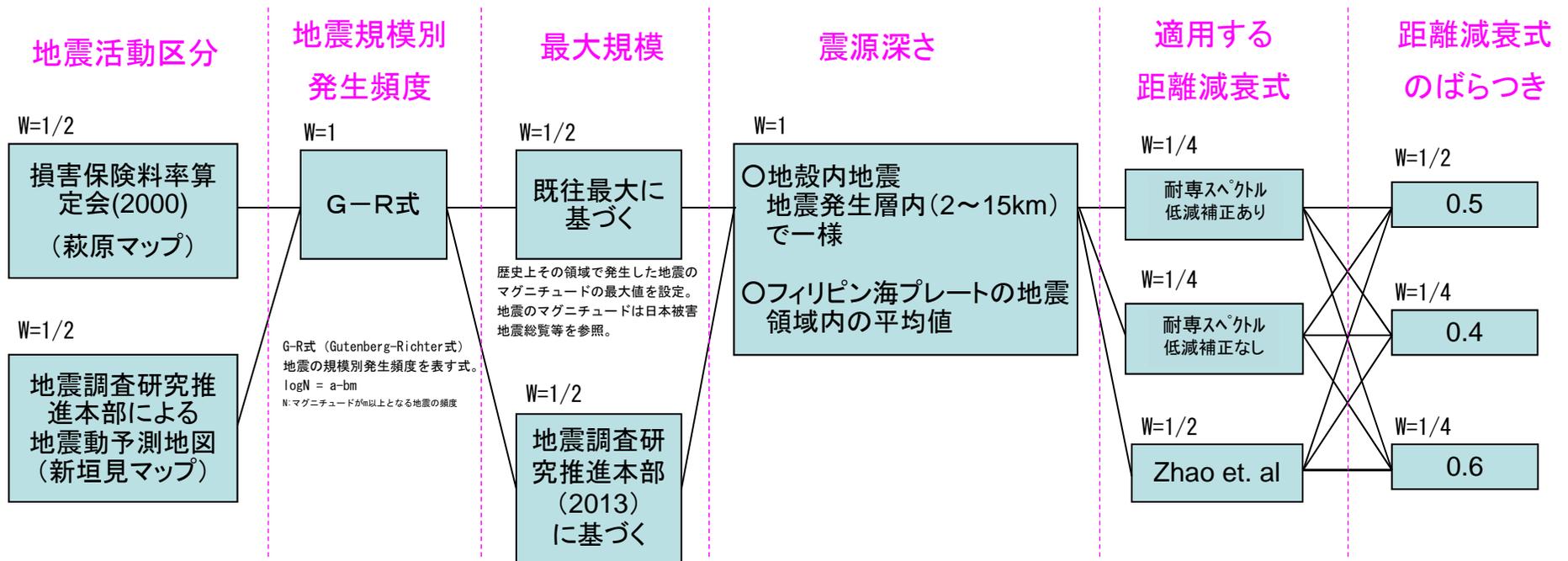


陸側ケース

領域震源モデル

■領域震源モデルの設定

- 領域震源モデルについては、萩原（1991）および垣見・他（2003）の領域区分に基づき設定する。
- モデル化の対象
 - ・活断層の存在が知られていないところで発生しうる内陸地殻内地震
 - ・南海地震以外のフィリピン海プレートで発生する地震
- 使用カタログ：気象庁1926-2008，M5.0以上，深さ200km以浅
- 対象範囲：敷地から概ね百数十km程度以内

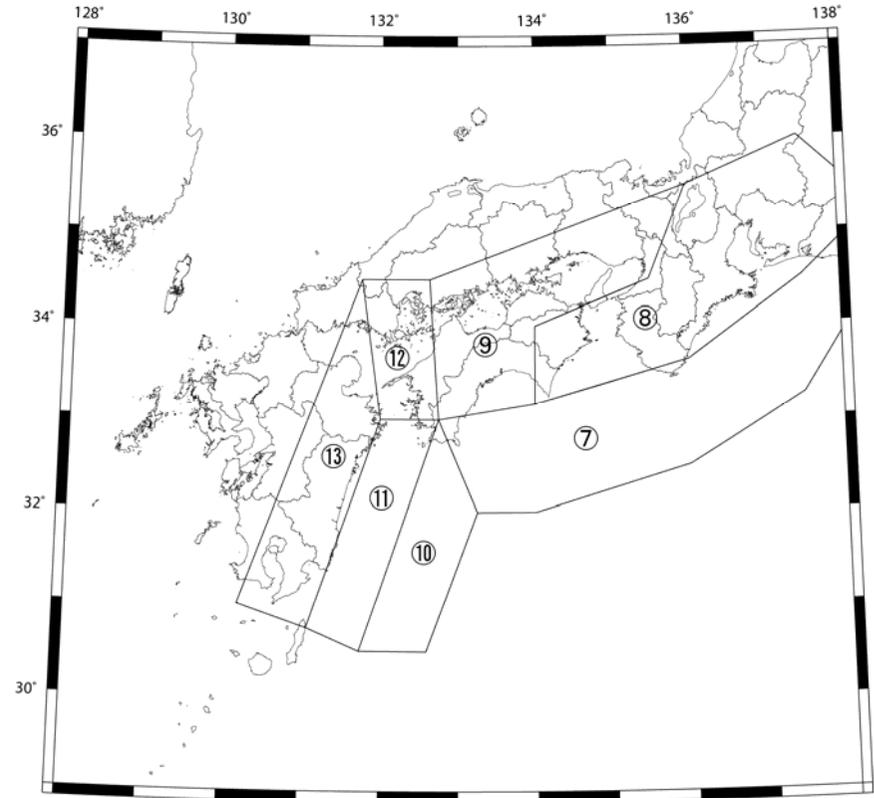


領域震源モデル

損害保険料算定会（萩原マップ）に基づく地震活動域の領域区分



内陸地殻内の地震活動域



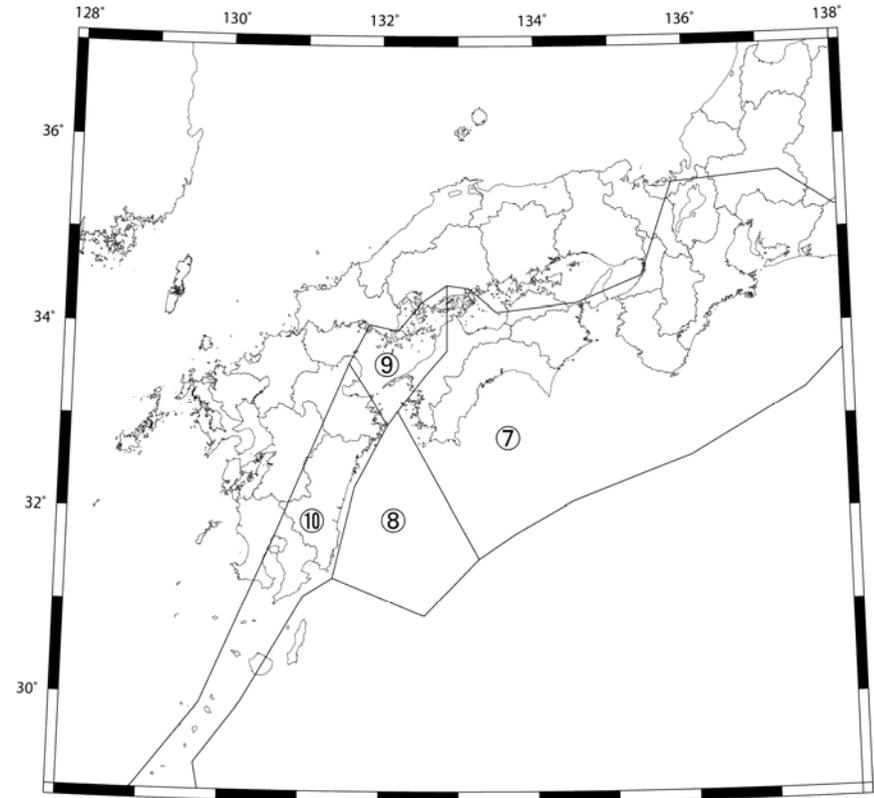
フィリピン海プレートの地震活動域

領域震源モデル

地震動予測地図（新垣見マップ）に基づく地震活動域の領域区分



内陸地殻内の地震活動域

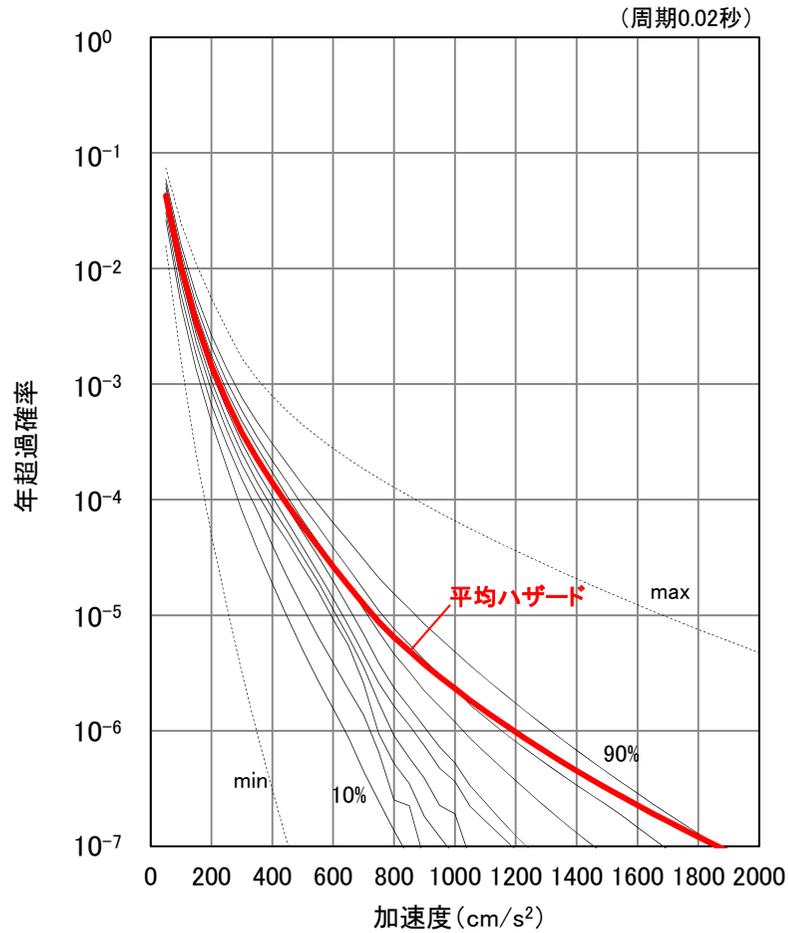


フィリピン海プレートの地震活動域

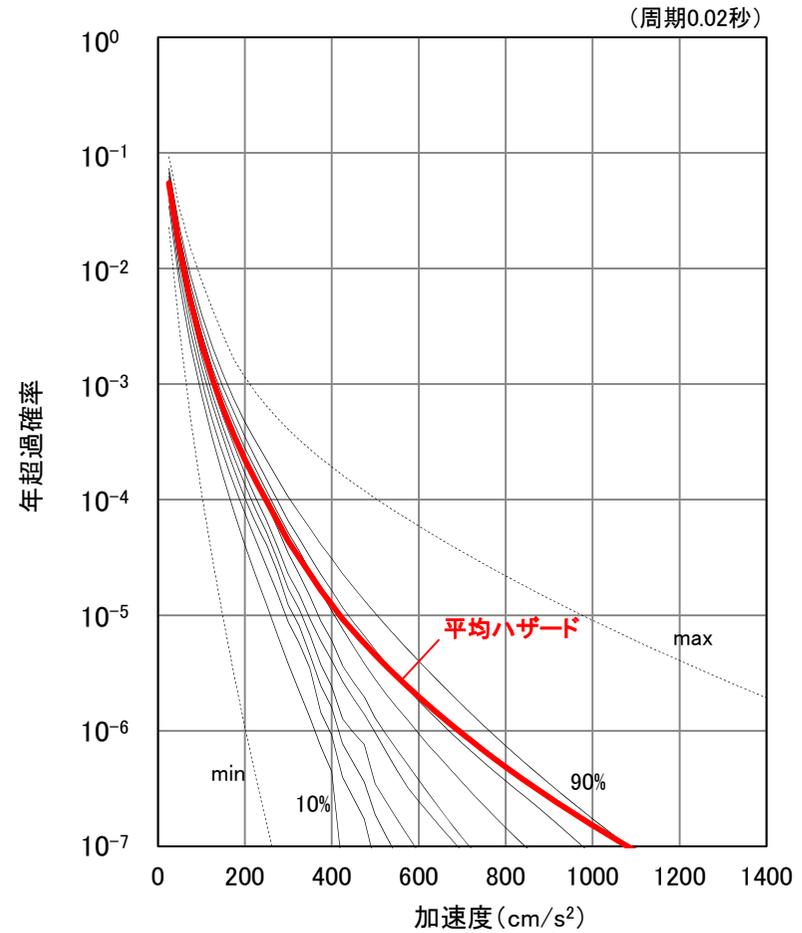
確率論的地震ハザード評価

信頼度別ハザード曲線と平均ハザード曲線

- ・信頼度別ハザード曲線を周期ごとに算定し、周期毎の平均ハザード曲線を算出
- ・次頁にて、下記のハザード曲線に対する震源ごとの感度解析を実施



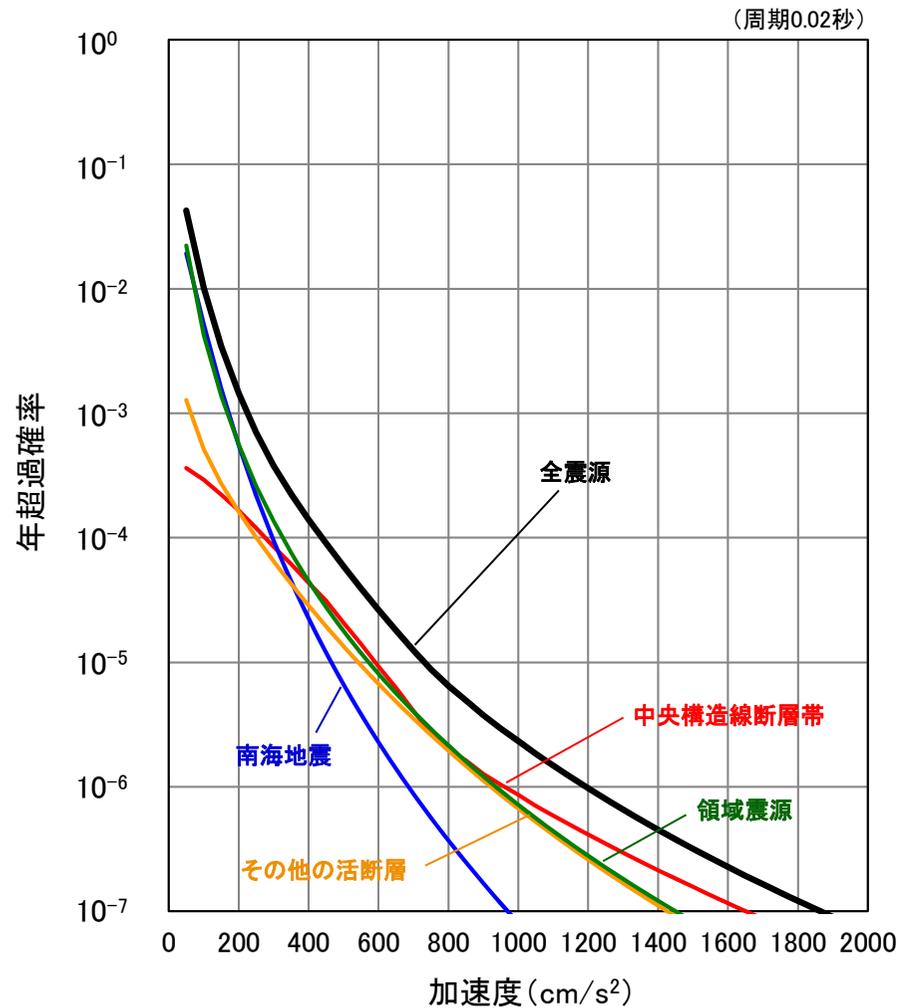
水平方向



鉛直方向

感度解析結果

全震源に対する特定震源、領域震源の影響度



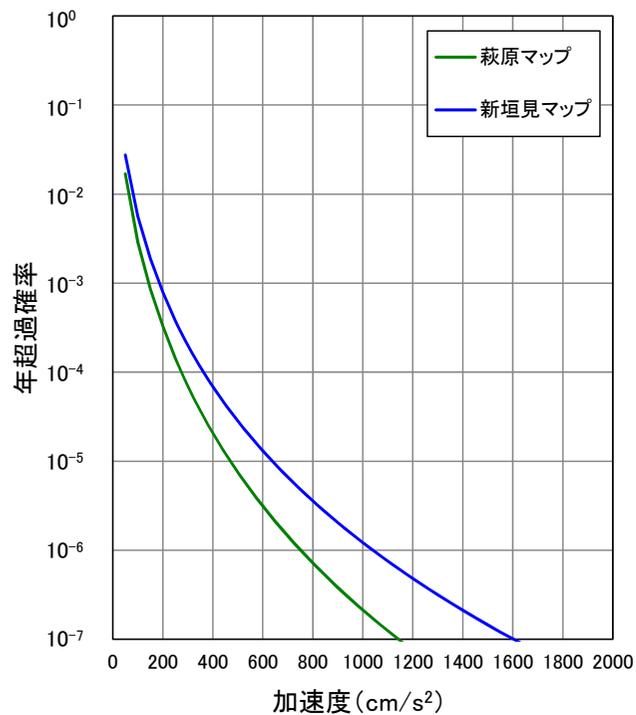
- ・ 年超過確率が大きい領域は、南海地震や領域震源による地震が支配的
- ・ 年超過確率が小さい領域は、中央構造線断層帯による地震が支配的

※ 周期0.02sについて

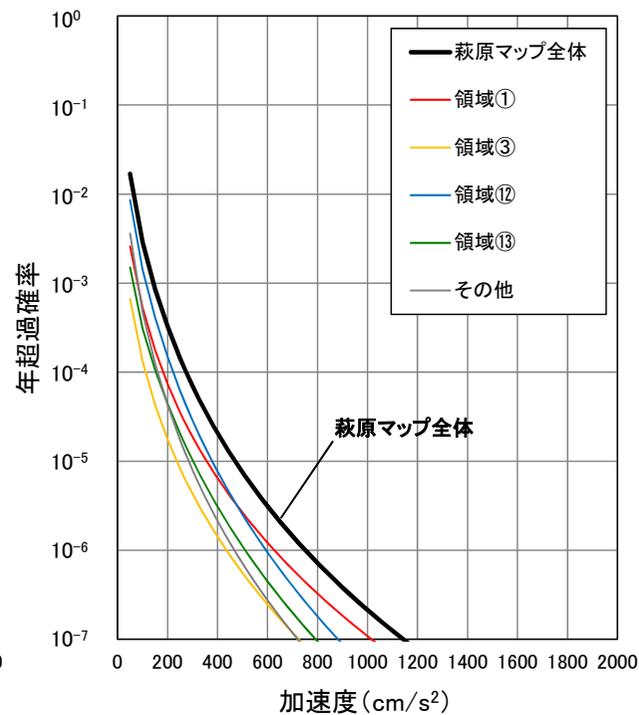
感度解析結果

領域震源のハザード曲線の内訳

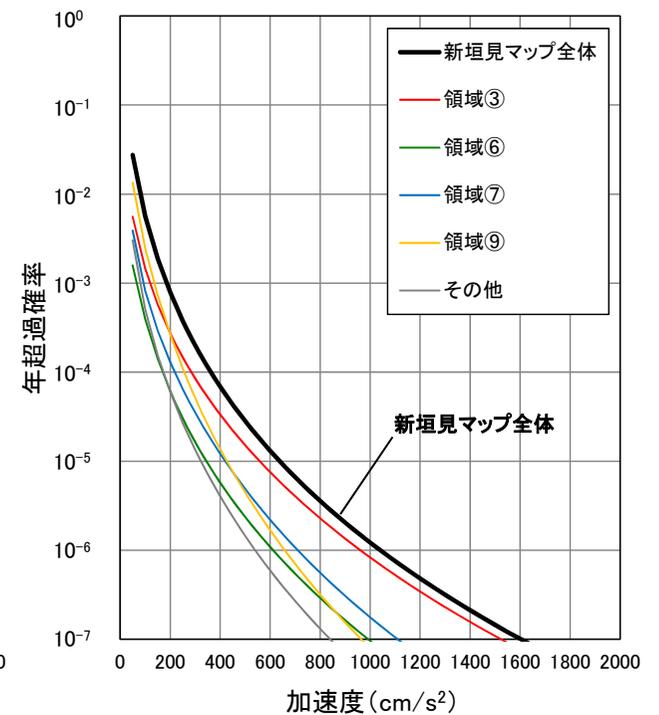
- ・ 萩原マップと新垣見マップの領域震源のハザード曲線を比較すると、新垣見マップの方がやや大きい結果となっている
- ・ 萩原マップ・新垣見マップともに、サイトを含むもしくはサイトに隣接する領域が支配的となっている



萩原マップと新垣見マップの比較



萩原マップの内訳

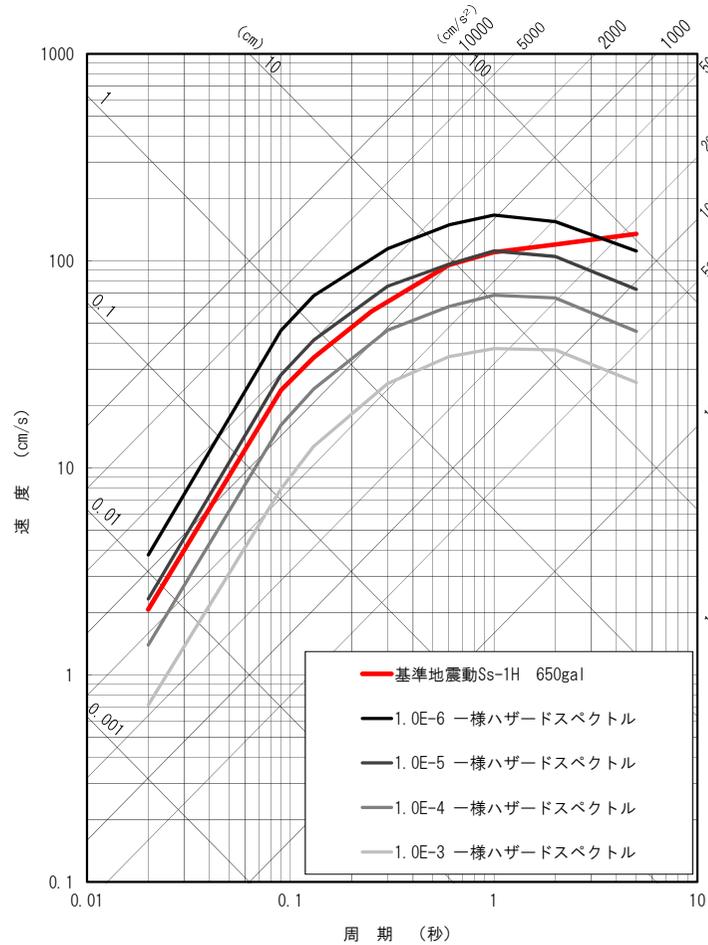


新垣見マップの内訳

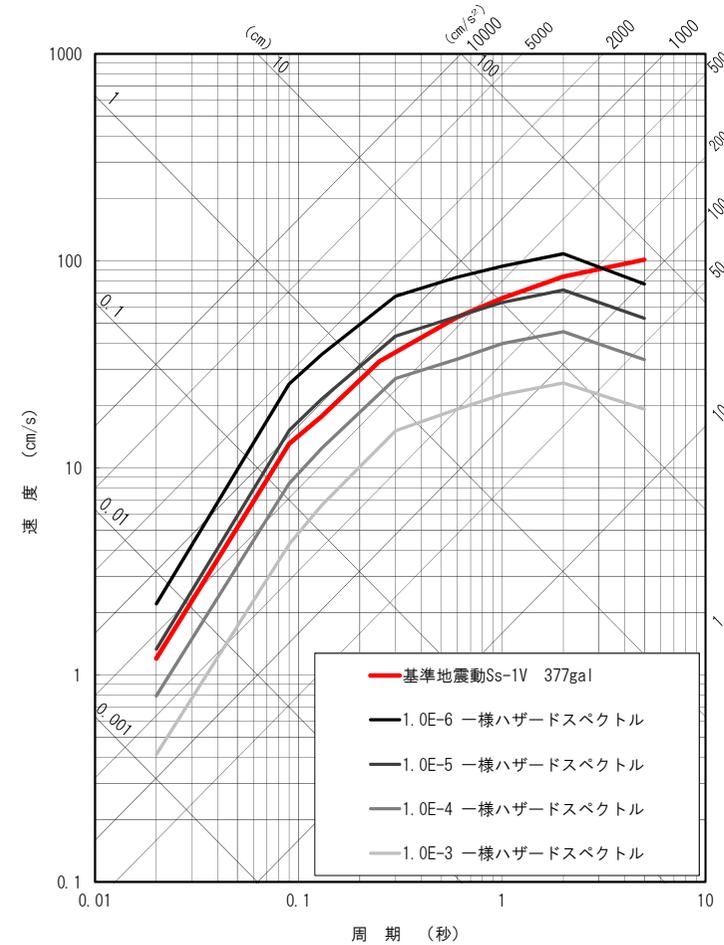
基準地震動の超過確率の参照

一様ハザードスペクトルと基準地震動S s - 1の比較

基準地震動S s - 1の年超過確率は、**10⁻⁴ ~ 10⁻⁶ 程度** である。



水平方向

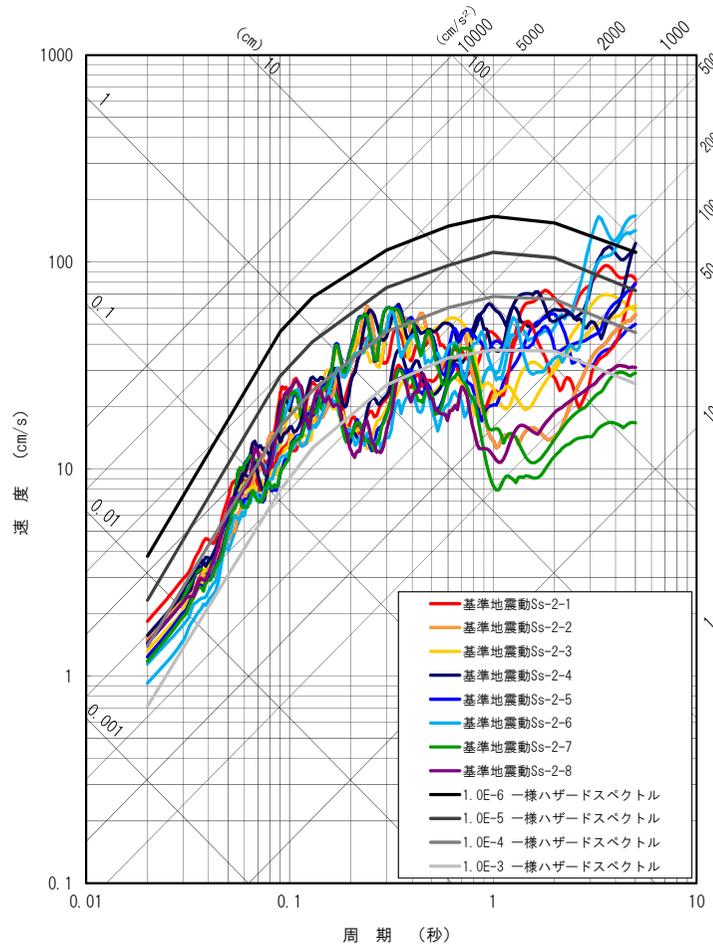


鉛直方向

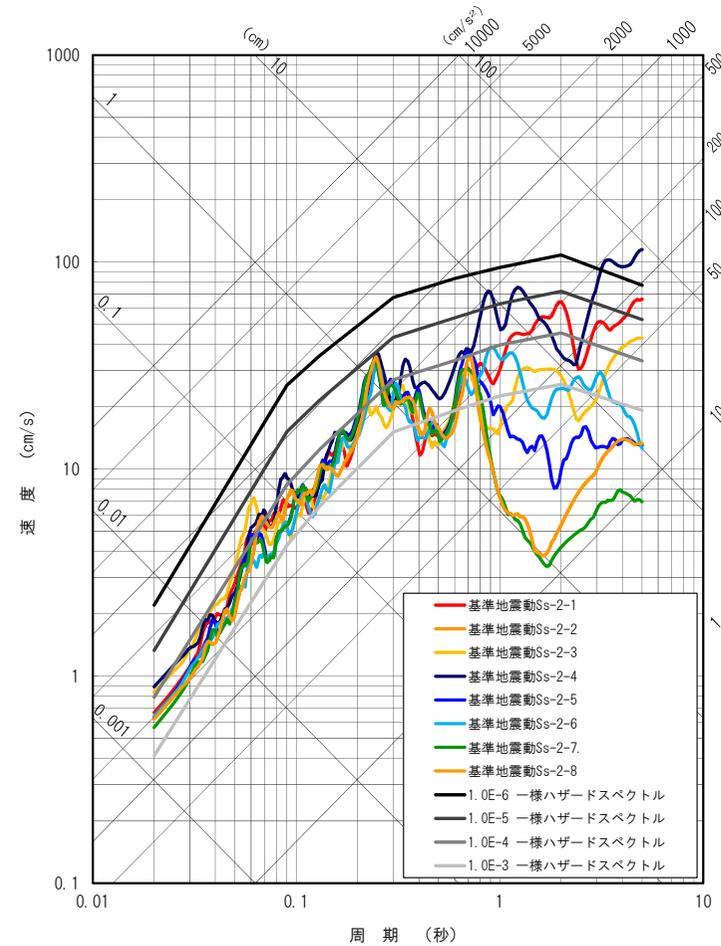
基準地震動の超過確率の参照

一様ハザードスペクトルと基準地震動S s - 2の比較

基準地震動S s - 2の年超過確率は、**10⁻⁴ ~ 10⁻⁶ 程度** である。



水平方向

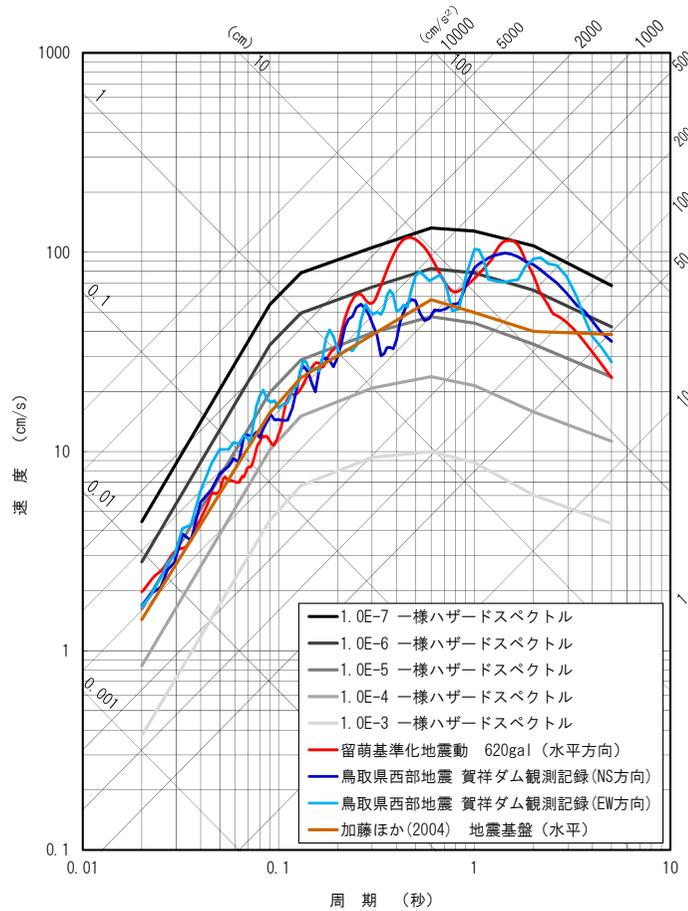


鉛直方向

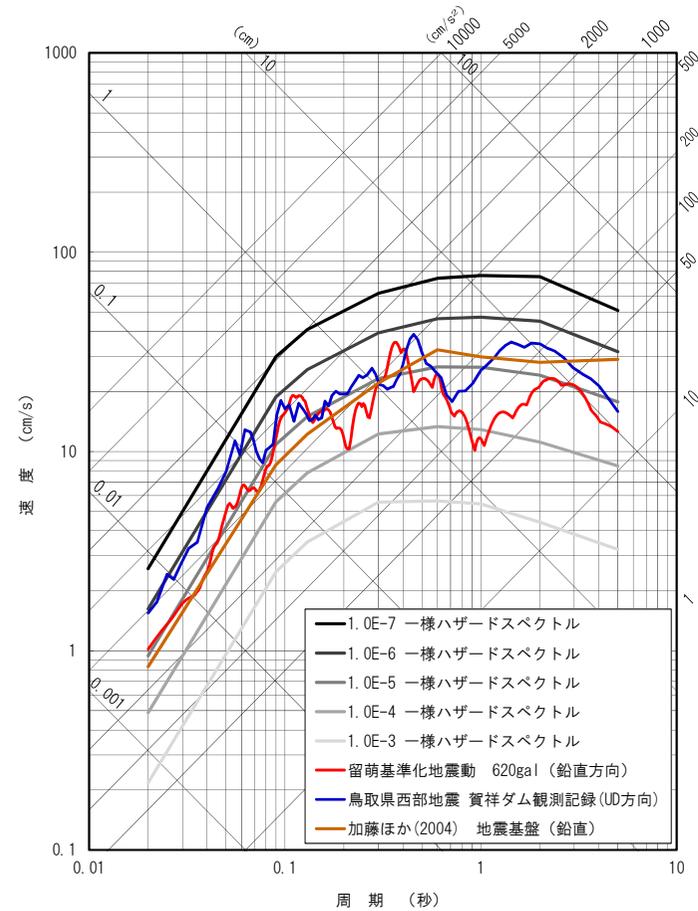
基準地震動の超過確率の参照

一様ハザードスペクトルと基準地震動 S s - 3 の比較

内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルを、震源を特定せず策定する地震動 S s - 3 と比較する。これより、年超過確率は、**10⁻⁴~10⁻⁷程度** である。



水平方向



鉛直方向

まとめ

- 特定震源モデルおよび領域震源モデルに基づく地震ハザード評価を実施した。

- 一様ハザードスペクトルと基準地震動 S_s との比較より、
 - ・ 基準地震動 $S_s - 1$ の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度
 - ・ 基準地震動 $S_s - 2$ の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度となっている。

- 内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動 ($S_s - 3$) の比較より、
 - ・ 基準地震動 $S_s - 3$ の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-7}$ 程度となっている。

【参考】ロジックツリーの分岐および重み付けの考え方

ロジックツリーの分岐および重み付けの考え方について整理する（特定震源モデル）

【中央構造線断層帯による地震】

項目	分岐	重み	重み付けの考え方	
活動区間	54km 単独ケース	1/4	敷地前面海域の断層群の運動については、ジョグなどの断層情報等から単独ケースを基本と考え3:1で重みを配分した。さらに、連動する場合には、130km連動ケースについては推本で示されていることからこれを基本と考え3:1で重みを配分した。	
	130km 連動ケース			3/16
	480km 連動ケース			1/16
傾斜角	90度	3/4	敷地前面海域の断層群の不確かさの考慮の観点から、基本となる90°と地質境界断層としての中央構造線の傾斜角を想定し3:1で重みを配分した。	
	30度	1/4		
発生確率 (前面海域)	2500年間隔	1/2	地震調査研究推進本部地震調査委員会の「中央構造線断層帯の長期評価について」の知見より設定。	
	2900年間隔	1/2		
発生確率 (伊予)	2500年間隔	1/2	地震調査研究推進本部地震調査委員会の「中央構造線断層帯の長期評価について」の知見より設定。	
	2900年間隔	1/2		
発生確率 (130km連動)	1000年間隔	1/4	地震調査研究推進本部地震調査委員会の「中央構造線断層帯の長期評価について」の知見より設定。	
	1400年間隔	1/4		
	2500年間隔	1/4		
	2900年間隔	1/4		
発生確率 (480km連動)	1000年間隔	1/4	地震調査研究推進本部地震調査委員会の「中央構造線断層帯の長期評価について」の知見より設定。	
	1400年間隔	1/4		
	2500年間隔	1/4		
	2900年間隔	1/4		
地震動評価手法 (前面海域断層の評価手法)	断層モデル	1/2	断層モデル及び距離減衰式の2つの方法が考えられることから設定。	
	距離減衰式	1/2		
距離減衰式の 評価式	耐専スペクトル 低減補正あり	1/4	耐専スペクトルとZhao et al.の評価式で分岐し等分配した。さらに、耐専スペクトルにおいては低減補正の有無について分岐し等分配した。	
	耐専スペクトル 低減補正なし	1/4		
	Zhao et al.	1/2		
距離減衰式の ばらつき	0.5	1/2	距離減衰式のばらつきは対数正規分布に従うものとして対数標準偏差値0.5を基本とし、±0.1の値を等分配した。	
	0.4	1/4		
	0.6	1/4		

【その他の活断層による地震】

項目	分岐	重み	重み付けの考え方	
その他の活断層	距離減衰式の 評価式	耐専スペクトル 低減補正あり	1/4	耐専スペクトルとZhao et al.の評価式で分岐し等分配した。さらに、耐専スペクトルにおいては低減補正の有無について分岐し等分配した。
		耐専スペクトル 低減補正なし	1/4	
		Zhao et al.	1/2	
距離減衰式の ばらつき	0.5	1/2	距離減衰式のばらつきは対数正規分布に従うものとして対数標準偏差値0.5を基本とし、±0.1の値を等分配した。	
	0.4	1/4		
	0.6	1/4		

【南海地震】

項目	分岐	重み	重み付けの考え方		
南海地震	断層モデル (地震規模)	昭和南海 (M8.0)	1/4	昭和南海、安政南海、宝永南海及び国の評価モデルに対し1/4ずつ等分配した。国の評価モデルについては、中央防災会議の南海地震(M8.6)と内閣府検討会の南海トラフの巨大地震(M9.0)の2つのモデルを考慮することとし、地震本部の確率的地震動予測地図(2013)での最大クラスの地震に対する重み設定(1/20)も参考に、内閣府検討会の南海トラフの巨大地震(M9.0)を1/20に設定した。	
		安政南海 (M8.4)	1/4		
		宝永南海 (M8.6)	1/4		
		中央防災会議 南海地震 (M8.6)	1/4		1/5
		内閣府検討会 南海トラフの巨大地震 (M9.0)			1/20
		地震発生確率	時間予測モデル		2/3
更新過程	1/3				
距離減衰式の 評価式	耐専スペクトル 低減補正なし	1/2	耐専スペクトルとZhao et al.の評価式で分岐し等分配した。		
	Zhao et al.	1/2			
距離減衰式の ばらつき	0.5	1/2	距離減衰式のばらつきは対数正規分布に従うものとして対数標準偏差値0.5を基本とし、±0.1の値を等分配した。		
	0.4	1/4			
	0.6	1/4			

【参考】ロジックツリーの分岐および重み付けの考え方

ロジックツリーの分岐および重み付けの考え方について整理する（領域震源モデル）

【領域震源モデル】

	項目	分岐	重み	重み付けの考え方
領域震源モデル	地震活動区分	損害保険料率算定会(2000) (萩原マップ)	1/2	損害保険料率算定会(2000)及び地震調査研究推進本部による地震動予測地図について等配分した。
		地震調査研究推進本部による地震動予測地図 (垣見他(2003))	1/2	
	最大規模	既往最大に基づく	1/2	日本被害地震総覧等を参考とした当該活動域の既往最大規模と、地震調査研究推進本部(2013)に基づく余裕を考慮した最大規模について等配分した。
		地震調査研究推進本部(2013)に基づく	1/2	
	距離減衰式の評価式	耐専スペクトル 低減補正あり	1/4	耐専スペクトルとZhao et al. の評価式で分岐し等配分した。さらに、耐専スペクトルにおいては低減補正の有無について分岐し等配分した。
		耐専スペクトル 低減補正なし	1/4	
		Zhao et al.	1/2	
	距離減衰式のばらつき	0.5	1/2	距離減衰式のばらつきは対数正規分布に従うものとして対数標準偏差値0.5を基本とし、±0.1の値を等配分した。
		0.4	1/4	
		0.6	1/4	