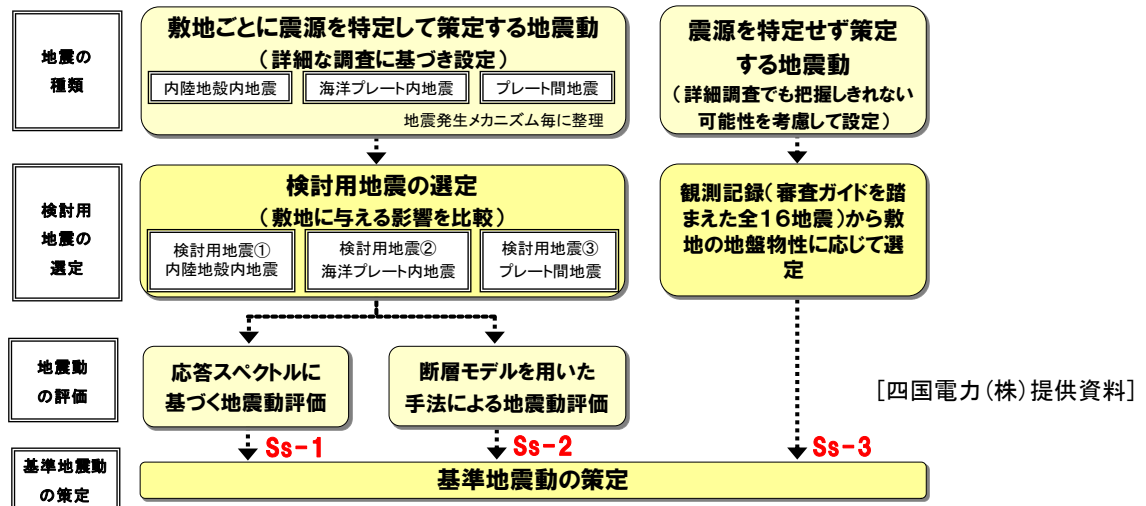


「地震対策」に関する回答要旨

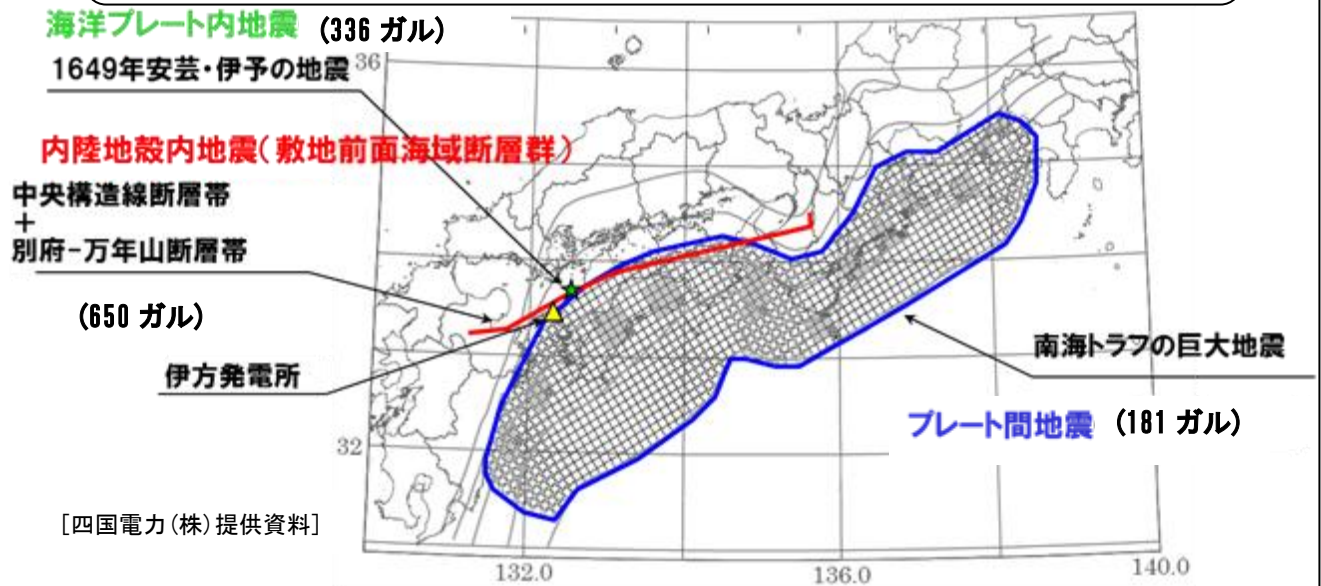
○原子力発電所の耐震設計において基準とする地震の揺れを「基準地震動」といいます。地震による揺れの大きさは、震源からの距離、震源域の広さ、震源の位置、地盤の固さなどによって決まるため、「基準地震動」を算定する際には、立地する敷地に大きな影響を与える様々な地震をリストアップした上で、地震断層の長さや断層面の傾斜角度などに関し、揺れが大きくなる厳しい条件を想定して発電所における地盤の揺れを評価し、策定しています。（詳細は問①-1）



この結果、伊方発電所では、敷地の沖合約8 kmにある“中央構造線断層帯による地震”が最も大きな影響を与えると想定しており、四国電力はこの地震による基礎岩盤の揺れについて厳しい条件を想定して評価した結果、想定される最大の揺れである「基準地震動」の最大値は650ガルと想定しています。

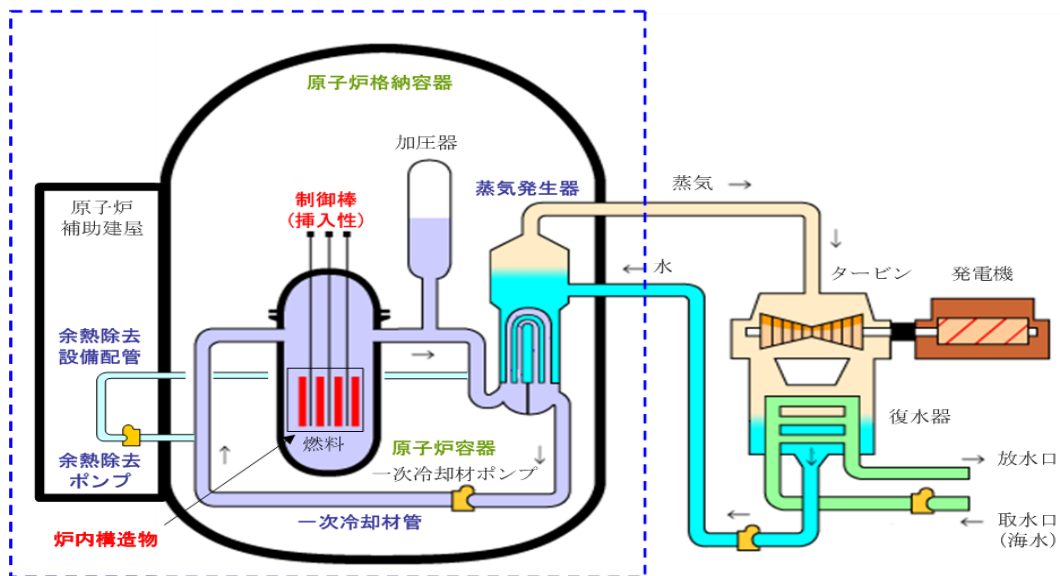
なお、“南海トラフの巨大地震”については、震源から発電所までの距離が遠いことから影響が小さく、伊方発電所の岩盤上での揺れの大きさは181ガルと想定しています。（詳細は問①-1）

ガル：地震による地盤や建物等の揺れの大きさを表す加速度の単位。値が大きいほど揺れが激しい。
 ・1ガル=1 cm/秒²、重力加速度1 G=980ガル
 ・伊方発電所の基礎岩盤で650ガルの最大加速度を観測するような地震の場合、一般の地盤ではその2~3倍の揺れとなることから震度7が観測されることが予想されます。



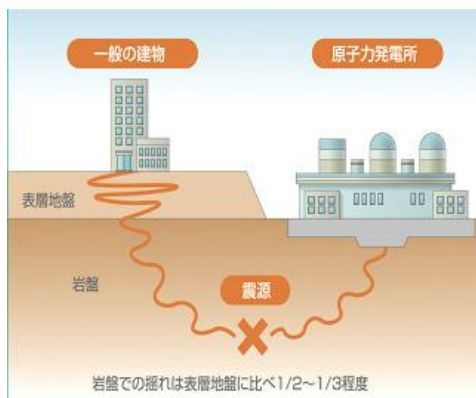
○伊方発電所において、原子炉容器や原子炉の運転を制御する制御棒などの原子炉を「止める」機能や燃料を「冷やす」機能、放射性物質を「閉じ込める」機能などの安全上重要な機能をもつ施設については、想定される最大の揺れの地震である「基準地震動」650ガルにも耐えられるよう、必要な個所には耐震性向上工事を実施しています。さらに、福島第一原発事故を受けた自主的な対応として、これらの施設は、配管も含め、「基準地震動」の最大値650ガルを上回る、概ね1000ガルの揺れに対する耐震性が確保されることを確認しました。（詳細は問①-4）

安全上重要な主な機器
 （新耐震指針に照らした耐震安全性評価報告書記載の耐震Sクラス機器）



[四国電力(株)提供資料]

○なお、これらの安全上重要な機能をもつ施設は、非常に強固で安定した岩盤上に直接設置しており、一般の建物が設置されているようなやわらかい表層地盤に比べ、岩盤での揺れは1/2～1/3程度になります。実際に、伊方町においても、過去に観測された地震で、表層地盤の伊方町九町などに比べて岩盤に設置した伊方発電所の方が揺れは小さくなっています。（詳細は問①-2）



[四国電力(株)提供資料]

地震	伊方町 (表層地盤)	伊方発電所 (岩盤)
芸予地震 (2001. 3. 24)	108 ガル	64 ガル
豊後水道 (2005. 5. 25)	47 ガル	24 ガル
大分県西部 (2006. 6. 12)	59 ガル	24 ガル
伊予灘 (2014. 3. 14)	229.9 ガル	56 ガル

[四国電力(株)提供データを基に作成]

この資料の中の四国電力による「評価」とある表現は、四国電力が今回の原子力規制委員会による伊方発電所3号機の新規制基準への適合性の確認を受けるに当たり行った検証等のことです。

問① 伊方発電所は想定される最大の揺れに耐えられるのですか。

【基準地震動】

原子力発電所の建設にあたっては、例えば大きな地震が起きて、燃料損傷などの大きな事故を起こさないように、また、万が一起きた場合にも、周辺の人々や外部に放射性物質の影響を及ぼさないように、設計段階から地震への対策を講じています。

原子力発電所の耐震設計において基準とする地震の揺れを「基準地震動」といいます。地震による揺れの大きさは、震源からの距離、震源域の広さ、震源の位置、地盤の固さなどによって決まるため、原子力発電所の立地条件により違ってきます。そのため、「基準地震動」を算定する際には、立地する敷地に大きな影響を与える様々な地震をリストアップした上で、地震断層の長さや断層面の傾斜角度などに関し、揺れが大きくなる厳しい条件を想定して発電所における地盤の揺れを評価し、策定しています。

【伊方発電所の最大の揺れは 650 ガル】（図①-1）

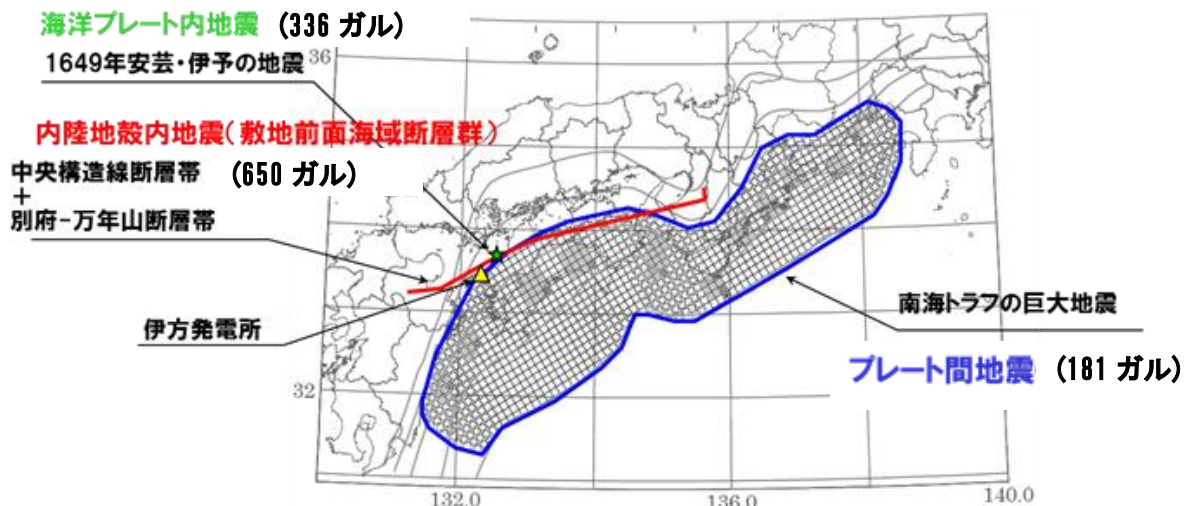
伊方発電所の場合は、“敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震”が最も大きな影響を与えると想定しており、四国電力はこの地震による基礎岩盤の揺れについて厳しい条件を想定して評価し、最大加速度 650 ガル※¹の地震動※²をはじめ、11 種類の地震動を「基準地震動」として策定しています。

※¹ ガル：地震による地盤や建物等の揺れの大きさを表す加速度の単位。値が大きいほど揺れが激しいことを示す。（1ガル=1cm/秒²）（参考）重力加速度1G=980ガル

※² 伊方発電所の基礎岩盤で650ガルの最大加速度を観測するような地震の場合、一般の地盤ではその2～3倍の揺れとなることから震度7が観測されることが予想されます。

なお、“南海トラフの巨大地震（M9.0）”について四国電力が試算した結果では、内閣府が平成24年8月に公表した複数のケースの中で、伊方発電所にもっとも影響が大きいと考えられる「強震動域が陸側のケース」を基本に、強い震動を発生するエリアを発電所直下に追加したケースでも、震源から発電所までの距離が遠いことから、伊方発電所の岩盤上での揺れの大きさは181ガルと想定しています。

図①-1 伊方発電所に影響を与える地震とその震源域



【伊方発電所における耐震性】（表①-1）

原子炉容器や、使用済燃料プール、制御棒など原子炉を停止する機能や、放射性物質を閉じ込める機能を担う耐震重要度 **S** クラスの施設については、「**基準地震動**」を受けても、構造的な強度、制御棒挿入時間などの基本的な機能を維持できるか評価を実施しており、工事計画認可の審査過程で原子力規制委員会によって確認されました。

さらに、伊方発電所では、これら安全上重要な **S** クラスの施設については、配管も含め、概ね 1000 ガル※¹の揺れに対する耐震性が確保されることを確認し、余裕が少ない施設に対しては耐震裕度向上工事※²を行っています。

※¹伊方発電所では、愛媛県の要請を受け、福島第一原発事故を受けた自主的な対応として、新規規制基準で求められている「**基準地震動**」の 650 ガルを超える、概ね 1000 ガルに対する耐震性を確認しました。

※²水素処理装置や代替格納容器スプレイポンプなど、新規規制基準に対応するために新たに設置した「**重大事故等対処設備**」についても、概ね 1000 ガルの揺れに対する耐震性が確保されることを確認しました。

余裕が少ない施設については、耐震裕度向上工事を実施しています。

また、これら **S** クラスの安全上重要な施設・設備は、「**基準地震動**」による地震力への耐震性とは別に、建築基準法（第 20 条）で規定される地震力※¹の 3 倍程度の力に対してもほとんど壊れないで耐えられる※²よう設計し、建設しています。

※¹建築基準法では、水平方向の 0.2G（約 200 ガル）程度をベースとして地震力を設定しています。

原子炉施設の **S** クラス設備の耐震設計では、水平方向の地震力と鉛直方向の地震力を考慮しています。

※²建築基準法では、「地震の揺れにより一時的に変形しても、揺れが収まればほぼ元の形状に戻る」ことを要求しています。

放射性廃棄物処理設備や燃料クレーンなど、放射性物質に関連した施設については、耐震重要度 **B** クラスとして、建築基準法で規定される地震力の 1.5 倍程度の力に耐えられるよう設計し、建設しており、タービン発電機など、原子炉を停止する機能や放射性物質に関わらない設備で、一般産業施設、公共施設と同等の安全性が要求される施設については、耐震重要度 **C** クラスとして建築基準法で規定される地震力に耐えられるよう設計し、建設しています。

表①-1 原子炉施設の耐震重要度分類

・ S クラス(原子炉容器、原子炉格納容器、制御棒、非常用発電機など) 止める、冷やす、閉じ込める機能など	基準地震動に対して 安全機能保持 建築基準法の3.0倍※
・ B クラス(廃棄物処理設備など)	建築基準法の1.5倍※
・ C クラス(タービン設備、発電機など)	建築基準法の1.0倍※
※機器・配管は更に2割増し	

[出典：基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(平成 25 年 6 月 原子力規制委員会)より四国電力作成]

問①-1 伊方発電所で想定される最大の揺れはどのくらいですか。

【伊方発電所における最大の揺れは 650 ガル】（表①-1-1、図①-1-1）

伊方発電所では、その敷地において起こり得る最大の揺れである「基準地震動」に対し、原子炉を止め、冷やし、放射能を閉じ込める機能を担う安全上重要なSクラスの施設が、その揺れに十分耐えられるかどうか、新規基準に基づき、評価しています。

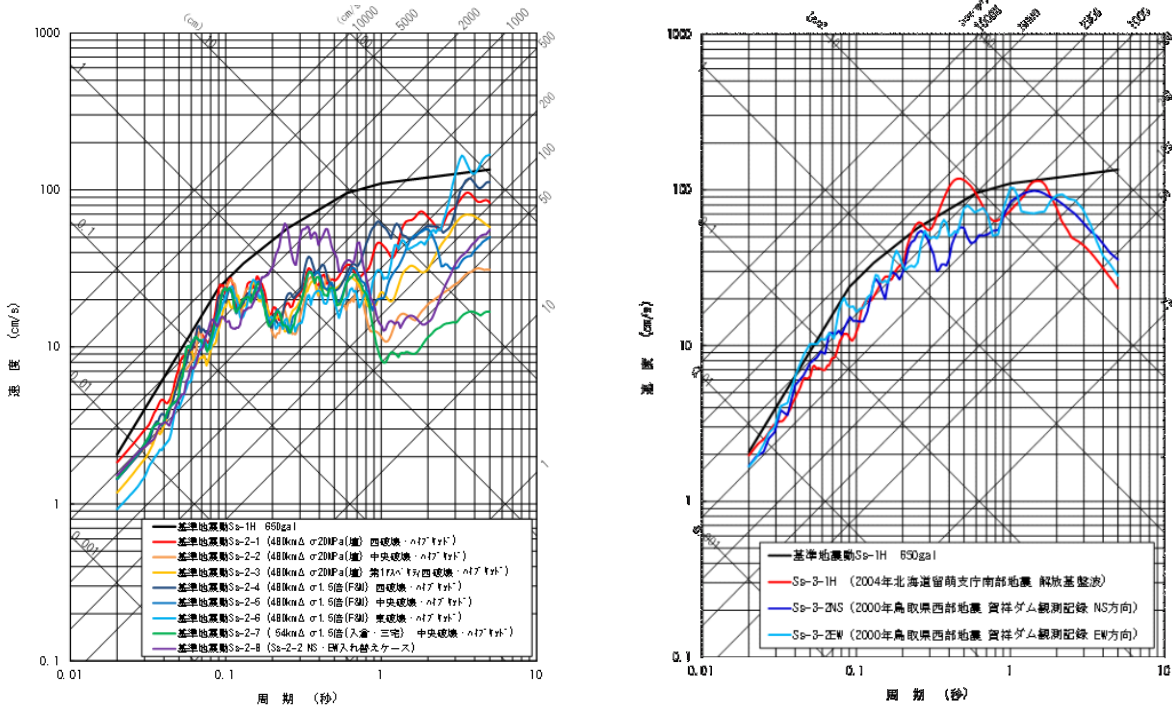
伊方発電所が設置されている岩盤上で想定される「基準地震動」は全部で 11 種類あり、その最大値は 650 ガルと評価しています。伊方発電所の基礎岩盤で 650 ガルの最大加速度を観測するような地震の場合、一般の地盤ではその 2～3 倍の揺れとなることから震度 7 が観測されることが予想されます。

表①-1-1 基準地震動評価結果

基準地震動（全11波）			最大加速度
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトル法による評価	Ss-1	650ガル
			579ガル
	断層モデルによる評価 (敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯))		478ガル
			418ガル
			494ガル
			452ガル
			360ガル
			458ガル
震源を特定せず策定する地震動	北海道留萌支庁南部	Ss-3	620ガル
	鳥取県西部	(2波)	531ガル

[四国電力(株)提供データを元に作成]

図①-1-1 基準地震動(11波) (水平方向)



[四国電力(株)提供資料]

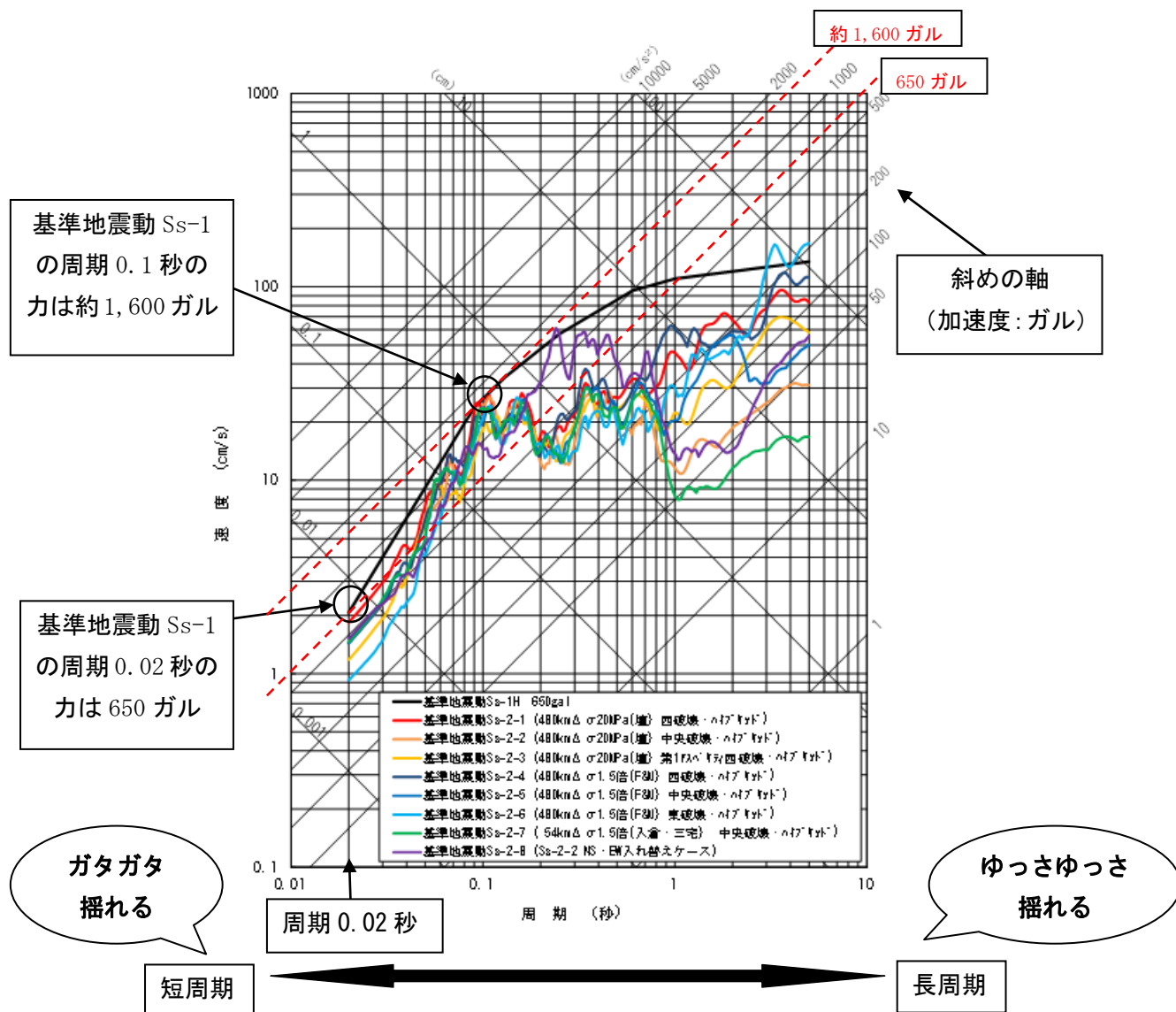
<参考> 基準地震動について (図①-1-2)

「基準地震動」を表した下図は、縦軸が速度 (cm/秒)、横軸が周期 (秒)、斜めの軸が加速度 (単位: cm/秒²=ガル) を表しています。

地震の波には、様々な周期の波が含まれていますが、「基準地震動」の大きさを示す時は、慣例で周期 0.02 秒の加速度の値で表現されることとなっており、下図の基準地震動 Ss-1 (黒い曲線) の場合は、周期 0.02 秒のところから 650 ガルであることから「650 ガルの基準地震動 Ss-1」と表現されています。このため、「650 ガルの基準地震動 Ss-1」で揺らせた場合、固有周期 0.02 秒の施設は 650 ガルの加速度で揺れますが、固有周期 0.1 秒の施設は約 1,600 ガルの加速度で揺れます。つまり、「650 ガルの基準地震動 Ss-1」といっても、周期が違えば、650 ガルよりも大きい加速度で揺れる場合があります。

耐震設計において重要なのは、各施設が固有周期で揺れた場合に受ける力に耐えられるかどうかということであり、「650 ガルの基準地震動 Ss-1」に耐えられる設計では、例えば、基準地震動を設定している地盤に直接設置された設備においては、固有周期 0.02 秒の施設は 650 ガルの加速度に耐えられる、固有周期が 0.1 秒の施設は約 1,600 ガルの加速度に耐えられる設計となっています。

図①-1-2 伊方発電所の基準地震動 Ss-1、Ss-2 (水平方向)



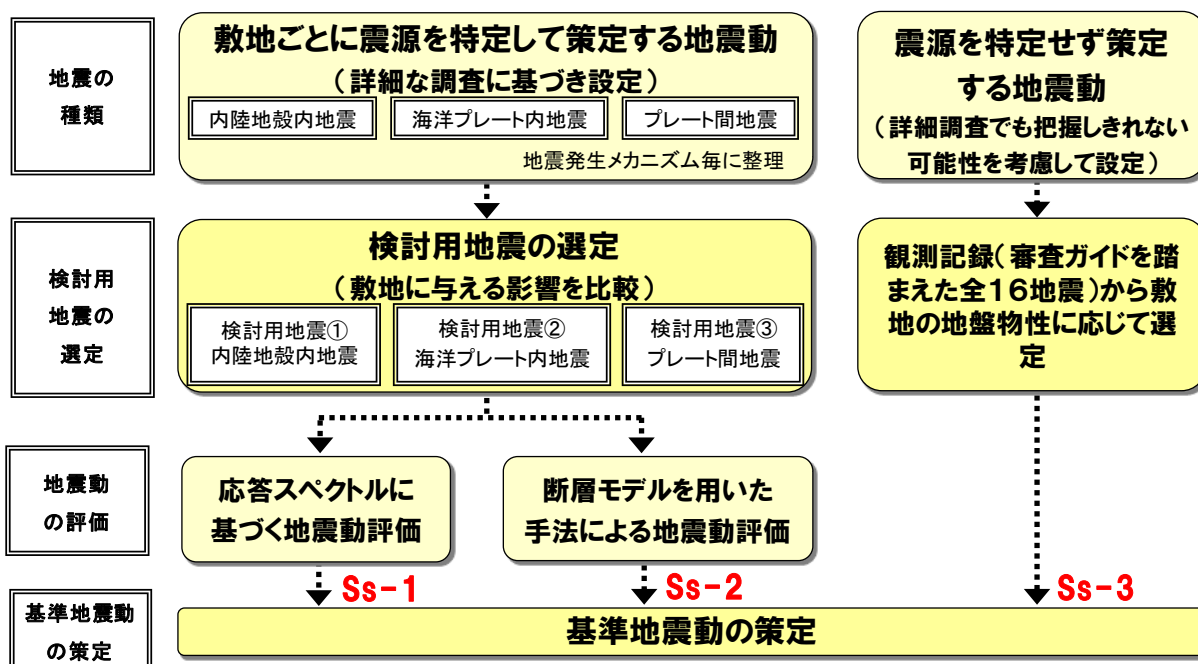
【基準地震動の策定方法】（図①-1-3）

「基準地震動」の策定においては、

- ・過去にその地域に被害を及ぼした歴史地震や、敷地周辺の活断層が動いた場合に発生する可能性のある地震などの「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」
- ・これまで見つかっていない活断層による地震「震源を特定せず策定する地震動」

を考慮しています。

図①-1-3 基準地震動の策定フロー



[四国電力(株)提供資料]

【伊方発電所における基準地震動の策定】

(1) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」

まず、敷地周辺の地形や地質の調査、文献調査などにより敷地に影響を及ぼす様々な地震をリストアップし、それらを地震発生様式別に

- ①陸域のプレートの断層によって起こる「内陸地殻内地震」
- ②大陸プレートの下に沈み込んだ海洋プレートが地下で割れたりすることで起こる「海洋プレート内地震」

③海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む境界で起こる「プレート間地震」に分類整理したうえで、それぞれの分類中で最も影響の大きい（揺れの大きい）地震を「検討用地震」として選定します。（図①-1-4、図①-1-5）

伊方発電所における検討用地震としては、以下の3つを選定しています。

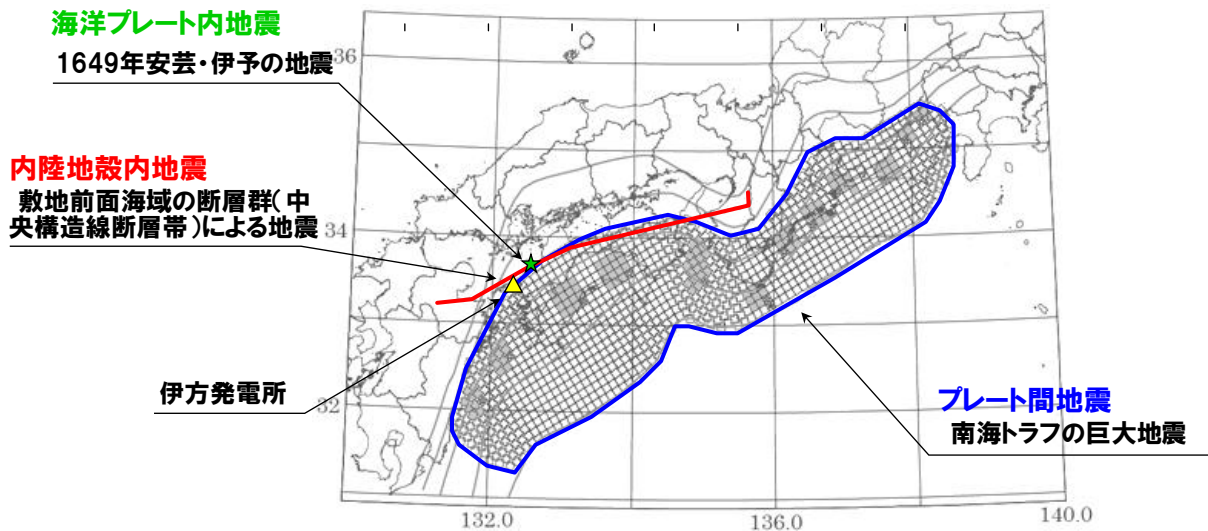
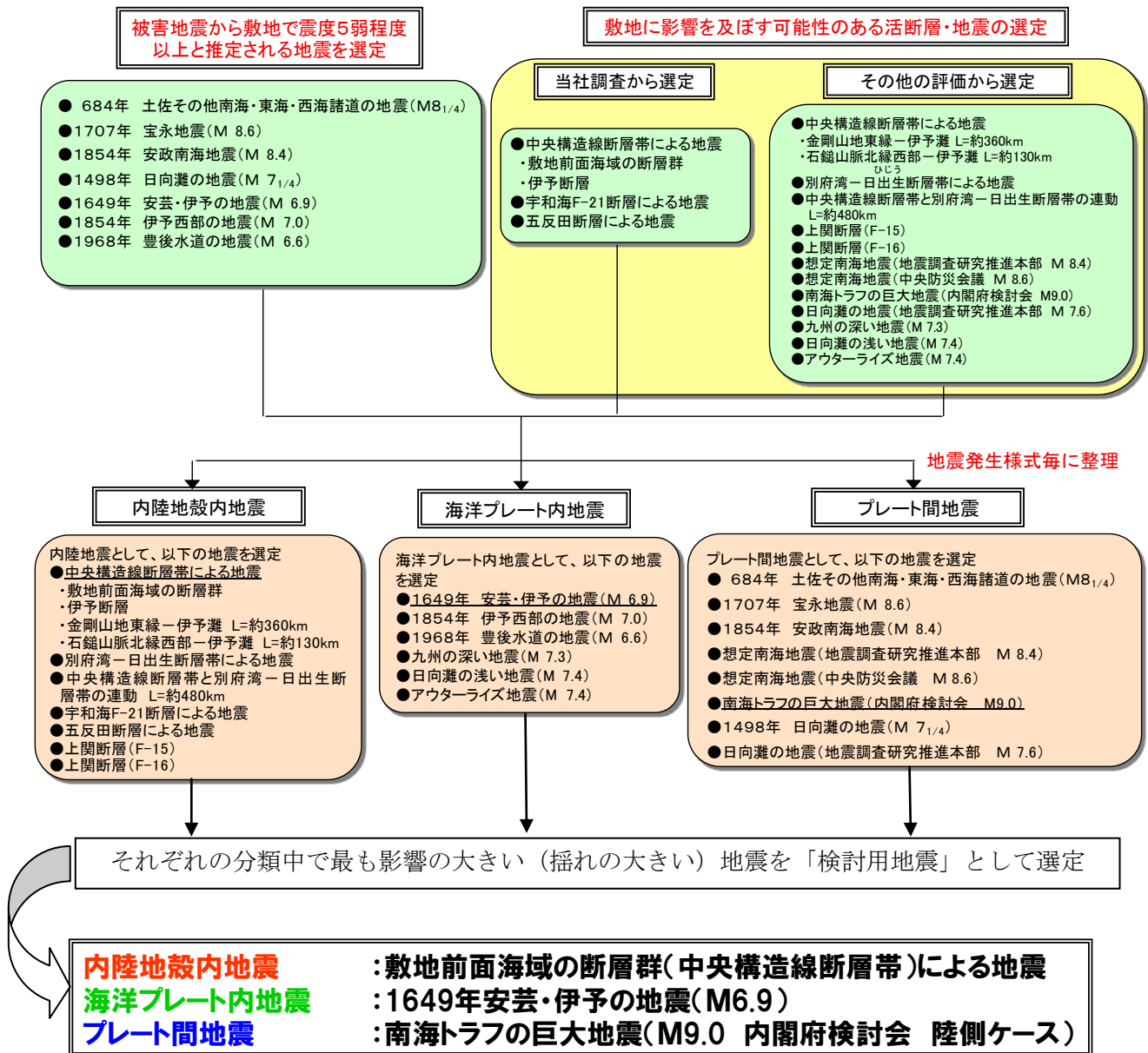
「内陸地殻内地震」：“敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震”

「海洋プレート内地震」：“1649年安芸・伊予の地震（M6.9）”

「プレート間地震」：“南海トラフの巨大地震（M9.0）” ※

※南海トラフの巨大地震（M9.0）：平成24年8月内閣府検討会 陸側ケース

図①-1-4 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の検討用地震の選定



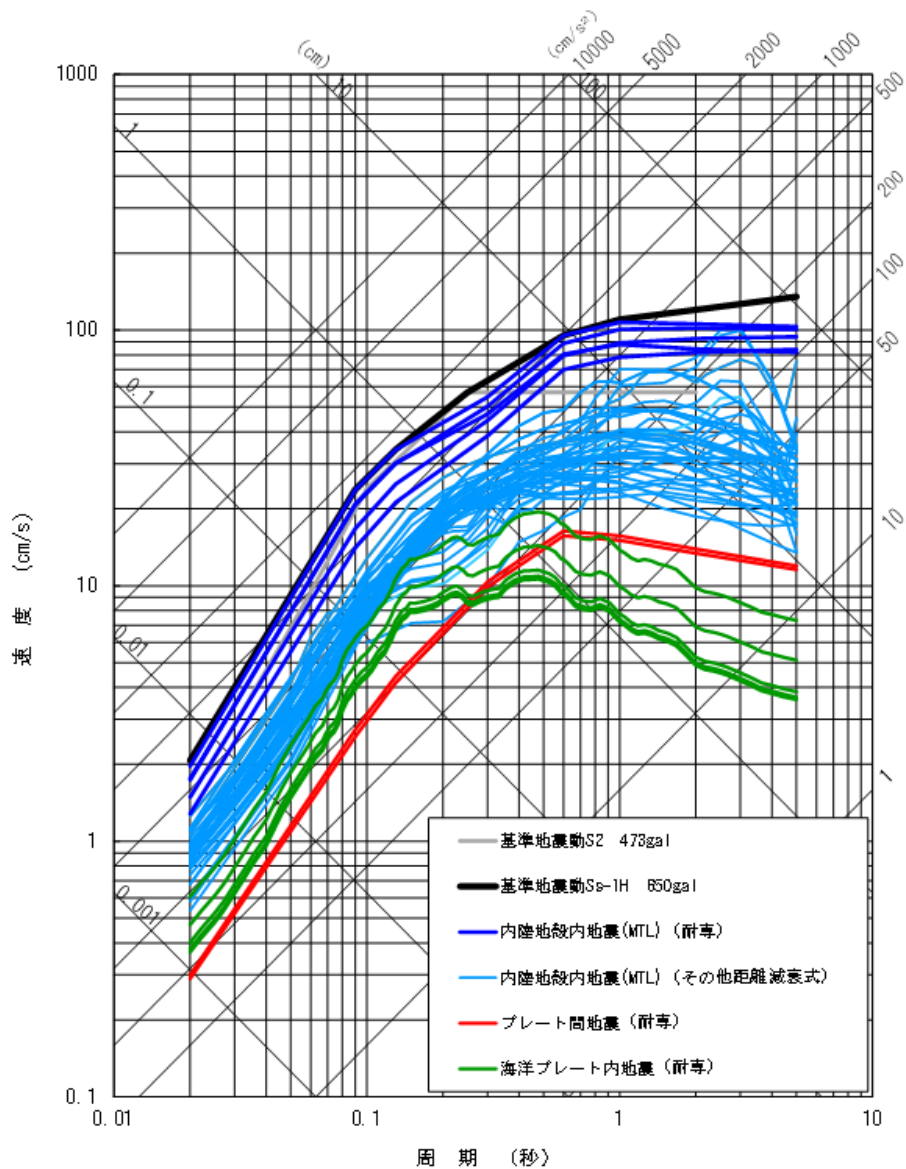
「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の算定にあたっては、「応答スペクトルに基づく手法」※¹と「断層モデルを用いた手法」※²の二つの方法を用いて評価しています。

※¹地震の規模と震源からの距離の関係から、地震動を評価する経験的な手法

※²地震の原因となる断層の活動を表現したモデルを用い、断層面での破壊の開始から進展を考慮して地震動を評価する精緻な解析手法

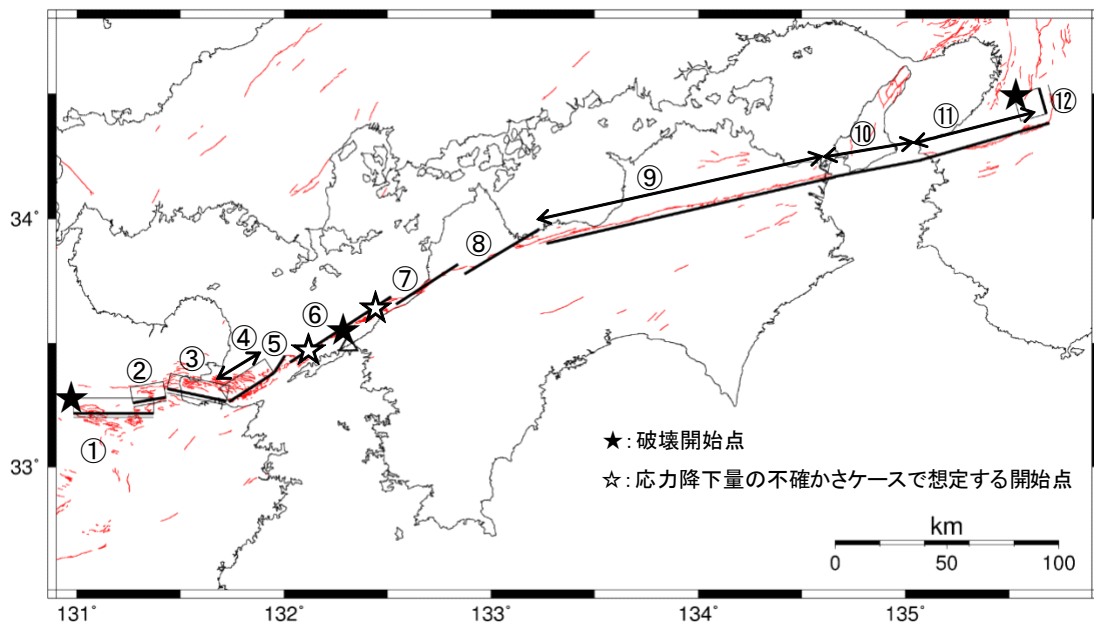
「応答スペクトルに基づく手法」では、3つの発生様式ごとに選定した検討用地震について、基本となる地震の発生モデルを設定したうえで、断層の長さ、傾きなどの条件を変えて評価し、全ての結果を上回るように「基準地震動」Ss-1（650ガル）を策定しています。（図①-1-5）

図①-1-5 基準地震動 Ss-1（水平方向）



「断層モデルを用いた手法」では、内陸地殻内地震として選定された“敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震”について、敷地前面海域の断層群 54 k m が動く場合だけでなく、紀伊半島から九州にかけての考えられる最大の長さである 480 k m が動く場合（図①-1-6）も基本ケースに追加し、断層が破壊される時のエネルギー放出量や、断層の傾きなどの条件を変えて様々なケースで地震動を算定した結果、一部の周期帯で「基準地震動」Ss-1 を超える 8 つのケースでの評価結果を、「基準地震動」Ss-2（最大値は 579 ガル）に設定しています。（図①-1-7）

図①-1-6 中央構造線断層帯と別府－万年山断層帯

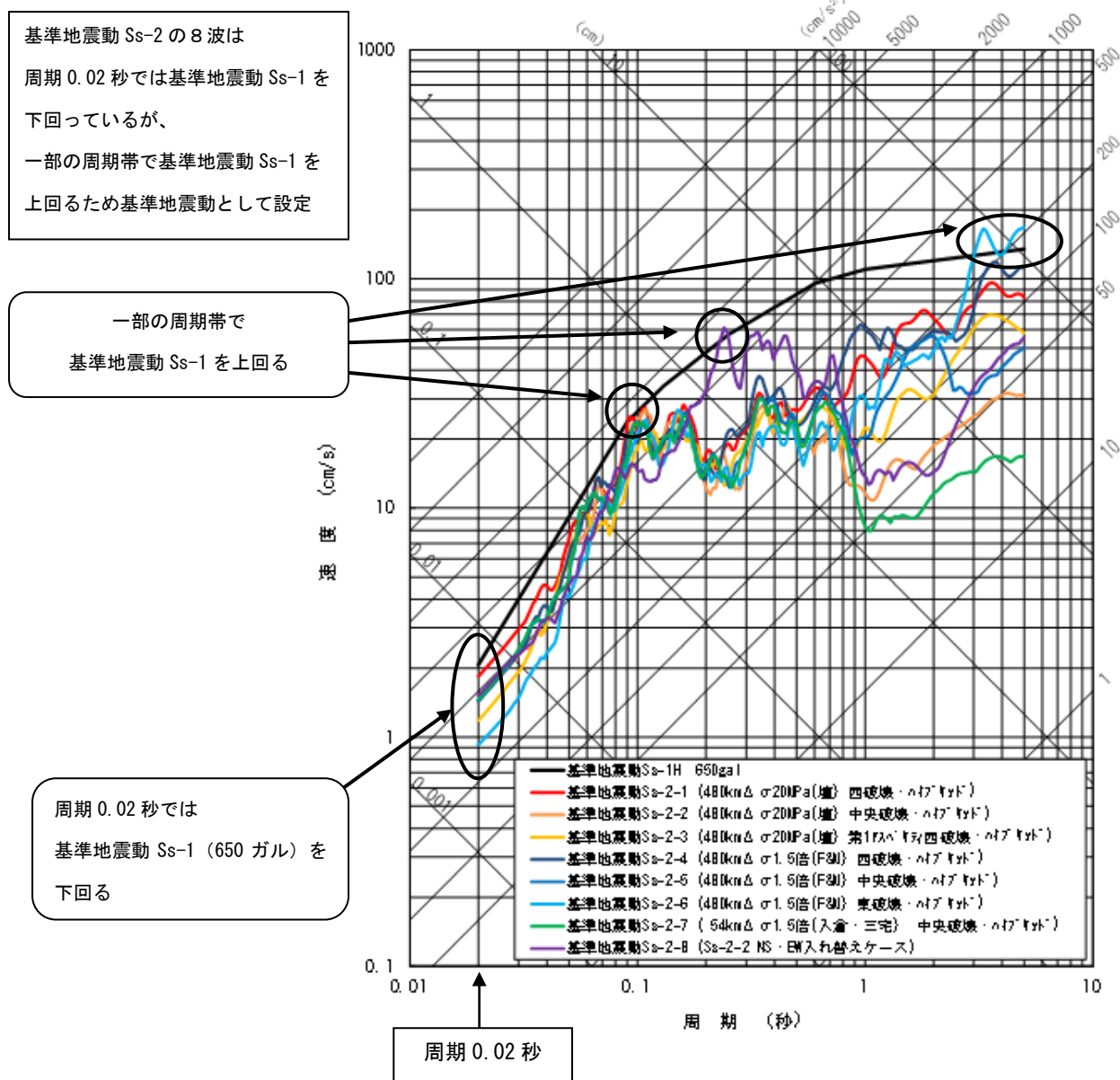


[四国電力(株)提供資料]

- ①：崩平山－亀石山 36 k m
- ②：大分－由布院（西部） 15 k m
- ③：大分－由布院（東部） 27 k m
- ④：豊予海峡（西部） 24 k m
- ⑤：豊予海峡（東部） 9 k m
- ⑥：敷地前面海域の断層群 54 k m**
- ⑦：伊予セグメント 33 k m
- ⑧：川上セグメント 39 k m
- ⑨：讃岐山脈南縁－石鎚山脈北縁東部 132 k m
- ⑩：紀淡海峡－鳴門海峡 40 k m
- ⑪：和泉山脈南縁 60 k m
- ⑫：金剛山地東縁 12 k m

①～⑫：中央構造線断層帯と別府－万年山断層帯（紀伊半島～九州） 480 k m

図①-1-7 基準地震動 Ss-1 と Ss-2 (水平方向)



[四国電力(株)提供資料に説明を付加]

なお、「プレート間地震」の揺れについては、過去に発生した南海地震や中央防災会議の想定モデル (M8.6) の規模を上回る想定で作成された、内閣府検討会における“南海トラフの巨大地震 (M9.0)”を基本モデルとして、さらに震源域の中で特に強い地震動を発生するエリアを発電所直下に追加した厳しい条件で評価した結果、発電所敷地での最大の揺れは、181 ガルと評価され、同様の手法で、「海洋プレート内地震」として選定した“1649 年 安芸・伊予の地震 (M6.9)”を評価した結果は 336 ガルとなり、これらはいずれも“敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯) の地震”による地震動を超えるものではありませんでした。

(2) 「震源を特定せず策定する地震動」

過去に発生した地震では、それまで活断層が確認されていない場所でも地震が発生しており、詳細な調査を実施しても、なお、発生する地震全てを事前に評価できるとは言いきれないことから、「基準地震動」の策定に当たっては「震源を特定せず策定する地震動」を考慮することとされています。

具体的には、原子力規制委員会が制定した「基準地震動および耐震設計方針に係る審査ガイド」において、全国各地の 16 の地震が評価対象として示されており、これらの地震を考慮することとされています。(表①-1-2)

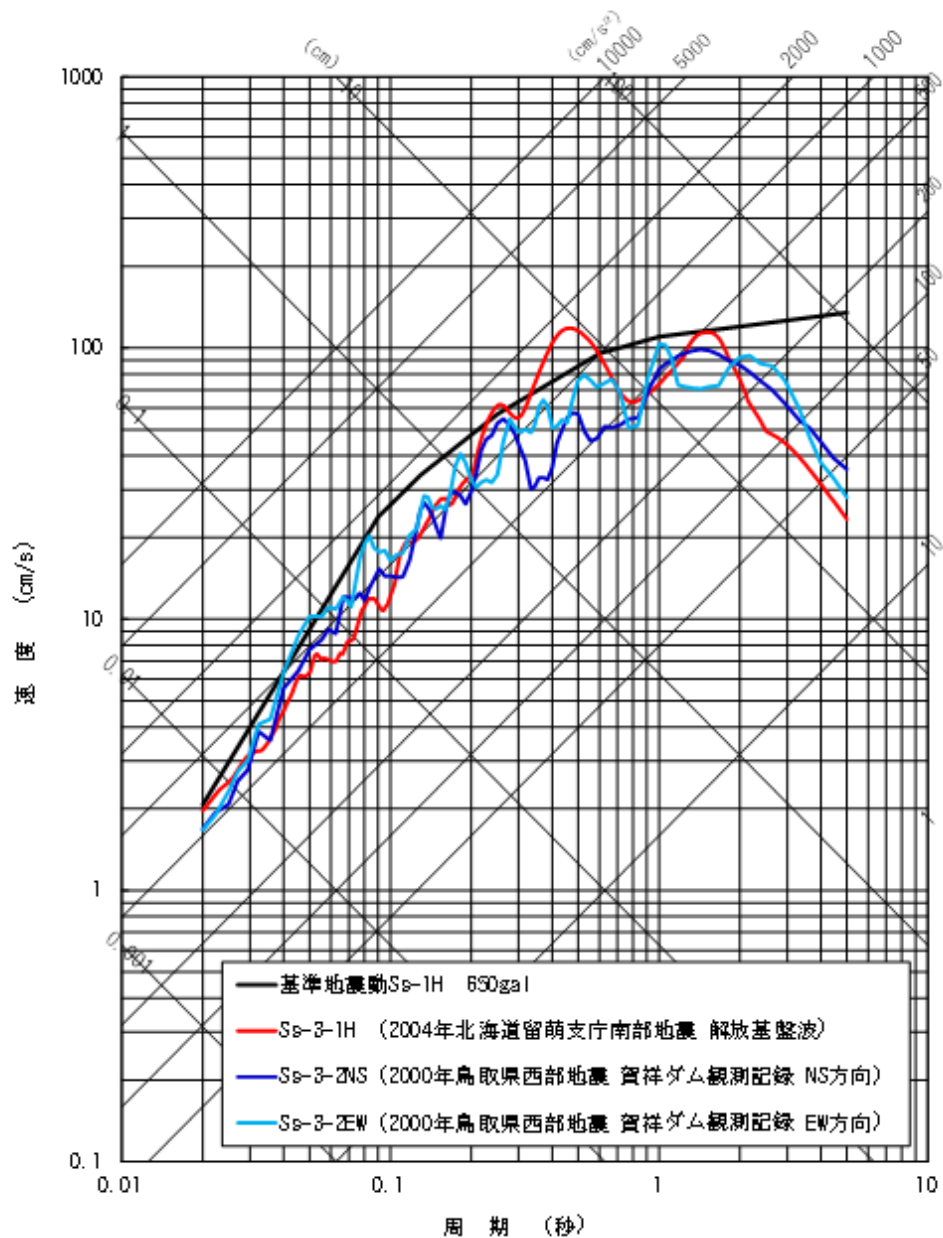
表①-1-2 審査ガイドにおける 16 地震

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

[出典：基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（平成 25 年 6 月 原子力規制委員会）]

四国電力が地質や活断層の活動度、地下深部の構造などの地域特性を検討した結果、2004年に発生した「北海道留萌支庁南部地震」および2000年に発生した「鳥取県西部地震」を考慮の対象としました。これらの地震で観測された地震動をもとに、620ガルと531ガルの二つの地震動を「基準地震動」Ss-3に設定しています。(図①-1-8)

図①-1-8 基準地震動 Ss-1 と Ss-3 (水平方向)



[四国電力(株)提供資料]

問①-2 2008年の岩手・宮城内陸地震では4022ガルの最大加速度が記録されていますが、伊方発電所で想定している地震は小さくはないですか。

【岩手・宮城内陸地震】

国内において発生した地震で観測された最大の加速度は、2008年に発生した岩手・宮城内陸地震(岩手県一関市)の4,022ガルとされています。

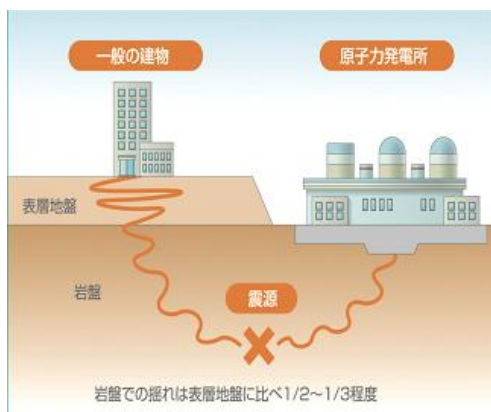
地震による揺れの大きさは、震源からの距離、震源域の広さ、震源の位置、地盤の固さなどによって決まるため、立地条件により違ってきます。この地震では、特に地盤の固さの影響が大きく、伊方発電所が固い岩盤に設置されているのに対し、この地盤は、やわらかい表層地盤であるため、この最大加速度が記録されたものと考えられています。

岩手・宮城内陸地震は、原子力規制委員会の審査ガイドで「震源を特定せず策定する地震動」として収集対象に例示された16の地震の一つですが、伊方発電所立地地点とは地域差が顕著であり、四国電力では類似する地震は起こらないと評価しています。

【地盤と地震動】(図①-2-1、表①-2-1)

一般に、表層地盤に比べ、岩盤での揺れは1/2~1/3程度になります。下図のとおり、伊方町においても、過去に観測された地震で、表層地盤の伊方町九町などに比べて岩盤に設置した伊方発電所の方が揺れは小さくなっています。

図①-2-1 表層地盤と岩盤での揺れの違い



[四国電力(株)提供資料]

表①-2-1 伊方発電所で観測された地震の例

地震	伊方町	伊方発電所
芸予地震 (2001. 3. 24)	108 ガル (九町)	64 ガル
豊後水道 (2005. 5. 25)	47 ガル (九町)	24 ガル
大分県西部 (2006. 6. 12)	59 ガル (九町)	24 ガル
伊予灘 (2014. 3. 14)	229.9 ガル (湊浦)	56 ガル

[四国電力(株)提供データより作成]

また、岩手・宮城内陸地震の観測地(一関西)の地盤と伊方発電所の地盤(岩盤)の違いは、せん断波速度(地震波のうち横波の速度。S波速度とも呼ぶ)からもわかります。せん断波は硬い岩盤ほど速く進む性質があり、下の表のとおり、一関西と伊方発電所でのせん断波の速度は異なります。

表①-2-2 せん断波速度

地点	せん断波(S波)の速度
一関西(岩手県一関市)	0.5km/秒
伊方発電所	2.6km/秒

[四国電力(株)提供データより作成]

【伊方発電所の地盤】

三波川変成帯に属している伊方発電所の地層は、1億年程度前に母岩である泥やマグマが地下深部で変成作用を受けてできた岩により構成されており、これが古い時代（5千万年前以降）に地表に現れて以降、大きな構造運動を受けておらず、また、敷地とその近傍には活断層がないことが確認されていることなどから、地質的に安定しております。

この地層には様々な岩がありますが、伊方発電所の基盤にあるものは、せん断波速度（VS）2,600m/秒の非常に硬い塊状の緑色片岩です。四国電力は、発電所の敷地内で2,000mのボーリング調査などを行い、敷地の下には堅硬で緻密な緑色片岩や泥質片岩などの結晶片岩が2,000m以上の厚さで、発電所の半径5km以上にわたって広がるなど、堅固な岩盤が十分な広がりを持つていると評価しており、原子力規制委員会の審査においても確認されています。

また、結晶片岩が脆くなるのは、風化が進むなどして片理※¹面の密着が弱くなった場合ですが、伊方発電所の敷地の地盤を構成する緑色片岩は、片理はあるものの、剥離しにくく、塊状かつ堅硬であり、加えて、発電所建設にあたっては、風化した地盤を切り取ったうえで、非常に堅硬で新鮮な岩盤上に施設を設置し、周辺斜面についても同様に地すべりの可能性のある表土や風化した岩盤を削り取るなどの対策を講じています。

【地震時に基礎岩盤に作用する荷重】

地震発生時に伊方の基礎岩盤に作用する荷重の最大値を求めたところ、建物の自重に揺れの上下方向の荷重が加わるため、**基準地震動 650 ガルの地震時で 2N/mm²程度の荷重がかかると**評価しています。

伊方発電所建設時の**平板載荷試験**※²において、基礎となっている岩に対し、この2N/mm²を超える**8 N/mm²程度の荷重**を垂直方向と水平方向から加えても壊れないことを確認しております。

※¹片理：鉱物が配列方向に薄く割れる性質

※²平板載荷試験：基礎を設置する深さまで掘削を行い、基礎に見立てた小さな鋼板を置いて実際の建物の重量に見合う荷重をかけて沈下量を測定し、地盤が安全に支持する力を判定する試験。

問①-3 中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯の全長 480km が一度に動いた場合の地震にも耐えられるのですか。

【地震規模の算定】(図①-3-1)

中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯 480km が一度に動いた場合の地震動の評価は、応答スペクトルを用いた手法と断層モデルを用いた手法の二つの手法で評価しています。

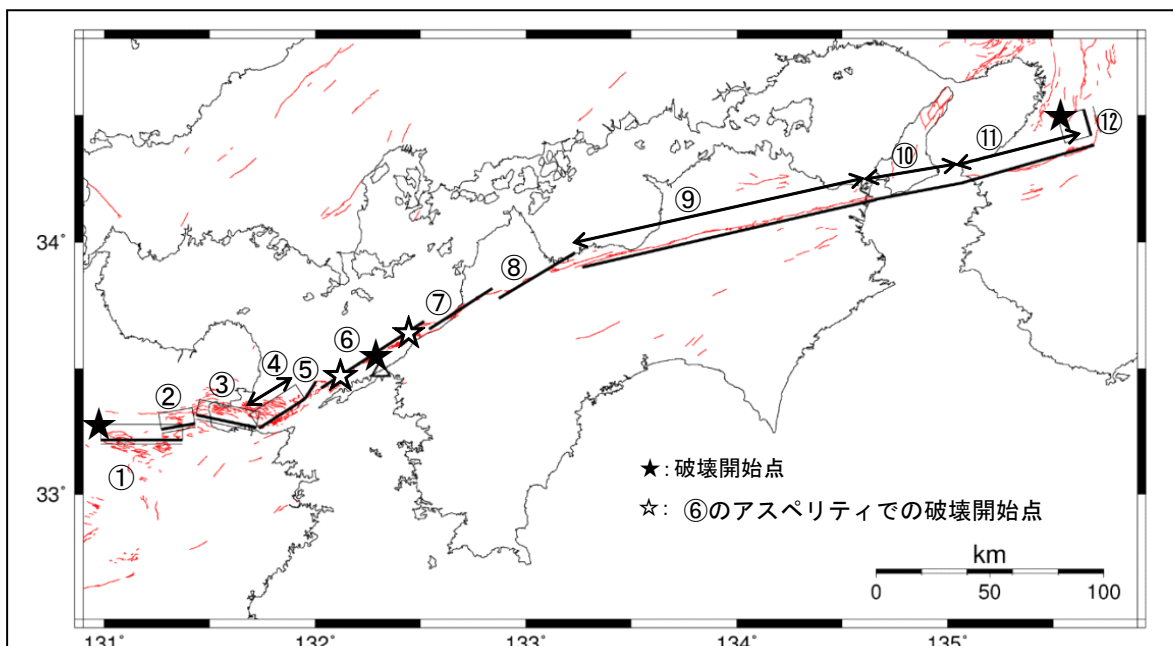
応答スペクトルに基づく地震動評価では、下図の①~⑫までの 480km を 80km 以下に区分し、それぞれで地震規模を算出したものを合計して地震規模を求め、これらの断層全体が動くとして仮定して地震動を評価しています。

断層モデルを用いた手法による地震動評価では、480km の断層について、破壊が始まる地点(破壊開始点)を5ケース想定し、評価しています。

- ①の★：断層帯の西側から破壊が始まり、だんだん東に向かって割れていくケース
- ⑫の★：断層帯の東側から破壊が始まり、だんだん西に向かって割れていくケース
- ⑥の★：敷地前面海域の断層の中央部分、伊方発電所の敷地に近いところから破壊が始まるケース
- ⑥の☆ (2ケース)：敷地前面海域の断層のアスペリティ (硬く固結しており、破壊があると非常に大きな地震動を発する部分) の2点からそれぞれ始まるケース

このような2つの手法により、中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯の全長 480km の地震規模を評価し、「基準地震動」を策定しています。

図①-3-1 中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯



問①-4 安全上重要な施設は損傷しないのですか。特に配管は大丈夫ですか。

【耐震重要度分類に応じた耐震設計】(表①-4-1)

原子力発電所では、施設の耐震重要度に応じて3つのクラスに分けて耐震設計が行われており、原子炉容器や原子炉の運転を制御する制御棒などの原子炉を安全に「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」ための施設については、これらに冷却水や電源を供給する施設、これらを監視、操作する中央制御盤なども含め、安全上重要な施設として耐震重要度**Sクラス**に分類しています。

これら**Sクラス**施設は、想定される最大の揺れである基準地震動を受けても、原子炉容器や配管などであれば機能を失うような破損、破断をしない構造強度、制御棒であれば規定の時間内での挿入性といった、その施設に求められる機能が維持できるか、評価しており、工事計画認可の審査過程で原子力規制委員会によって確認されました。あわせて建築基準法で規定される地震力の3倍の力を受けても、概ね弾性範囲にとどまる※と評価しています。

※地震により一時的に変形しても、揺れが収まればほぼ元の形状に戻ることに。

また、放射性廃棄物処理設備や燃料クレーンなど、放射性物質に関連した施設については耐震重要度**Bクラス**に分類し、建築基準法で規定される地震力の1.5倍程度の揺れに耐えられると評価しています。

タービン発電機など、原子炉を停止する機能や放射性物質に関わらない設備で、一般産業施設、公共施設と同等の安全性が要求される施設については耐震重要度**Cクラス**に分類し、建築基準法で規定される地震力に耐えられると評価しています。

表①-4-1 原子炉施設の耐震重要度分類

・ Sクラス (原子炉容器、原子炉格納容器、制御棒、非常用発電機など) 止める、冷やす、閉じ込める機能など	基準地震動に対して 安全機能保持 建築基準法の 3.0倍 ※
・ Bクラス (廃棄物処理設備など)	建築基準法の 1.5倍 ※
・ Cクラス (タービン設備、発電機など)	建築基準法の 1.0倍 ※

※機器・配管は更に2割増し

[出典：基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(平成25年6月 原子力規制委員会)より四国電力作成]

<参考>耐震重要度分類 : 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601)

●耐震クラスS (図①-4-1)

(定義)

- ・地震により発生する可能性のある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設
- ・自ら放射性物質を内蔵している施設
- ・当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設
- ・これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、環境への放射線による影響を軽減するために必要な機能を持つ施設
- ・これらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設
- ・地震に伴って発生する可能性のある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設

(具体的な施設)

- a. 「原子炉冷却材圧力バウンダリ※」を構成する機器・配管系
原子炉容器、蒸気発生器、一次冷却材ポンプ、一次冷却材管など

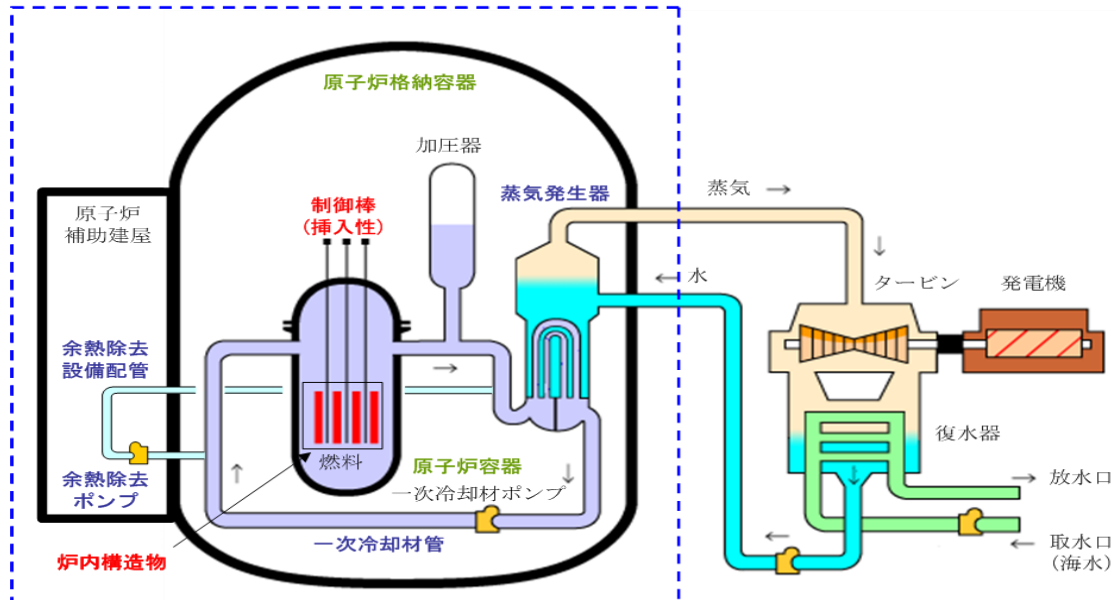
※バウンダリ：原子炉の通常運転時に、一次冷却材(水)を内包して原子炉と同じ圧力条件となっている範囲の総称。

- b. 使用済燃料を貯蔵するための施設
使用済燃料ピット、使用済燃料ラックなど
- c. 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設
制御棒、ほう酸注入系など
- d. 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
主蒸気・主給水系、補助給水系、余熱除去設備など
- e. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
安全注入設備、余熱除去設備、燃料取替用水タンクなど
- f. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
原子炉格納容器など
- g. 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設
で上記 f 以外の施設
格納容器スプレイ設備、アニュラス空気再循環設備など

および、上記施設の補助的役割を持つ非常用ディーゼル発電機、原子炉補機冷却系など

図①-4-1 安全上重要な機器の範囲（概略図）

安全上重要な主な機器
 （新耐震指針に照らした耐震安全性評価報告書記載の耐震Sクラス機器）



[四国電力(株)提供資料]

●耐震クラスB

(定義)

- ・安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスと比べ小さい施設

(具体的な施設)

- k. 「原子炉冷却材圧力バウンダリ」に直接接続されていて、一次冷却材を内包しているか又は内蔵し得る施設
 化学体制御系のうち抽出系と余剰抽出系など
 - l. 放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損による公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く）
 放射性液体廃棄物処理設備（放射線管理区域内で発生する洗濯排水や床排水などの蒸留・ろ過などの処理を行う設備）など廃棄物処理設備（ただし、Cクラスに属するものは除く）
 - m. 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設
 使用済燃料ピット水浄化系、化学体積制御設備のうちSクラス及びCクラスに属する以外のもの、放射線低減効果の大きい遮蔽、燃料取替棟クレーン、使用済燃料ピットクレーン、燃料取替クレーン、燃料移送装置など
 - n. 使用済燃料を冷却するための施設※
 使用済燃料ピット水冷却系
 - o. 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設
- ※四国電力独自の取組として、耐震重要度分類Bクラスである使用済燃料ピットポンプ、冷却器とその配管については、耐震性をSクラス相当まで補強する工事を実施

●耐震クラスC

(定義)

- ・ Sクラス及びBクラス施設以外の一般産業施設、公共施設と同等の安全性が要求される施設

(具体的な施設)

- p. 原子炉の反応度を制御するための設備でSクラス及びBクラスに属さない施設
制御棒クラスタ駆動装置（スクラム機能に属する部分を除く）
- q. 放射性物質を内蔵しているが、又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設
試料採取設備、洗浄排水処理設備、ペイラ、新燃料貯蔵庫など
- r. 放射線安全に関係しない設備等
タービン設備、発電機など

【下位の耐震クラス】

耐震重要度B、Cクラスの施設については、基本的に「**基準地震動**」に対する耐震性は求めています※¹が、一部例外があり、例えば、消火配管は**Cクラス**に分類されていますが、火災が起こった際に必要となる消火配管は、**Sクラス相当**※²の耐震強度としています。

※¹耐震重要度分類は、耐震重要施設がその機能を喪失した際の公衆への影響の度合いにより**S**、**B**、**C**の3種類に分かれており、ランクの低い設備は仮に機能を喪失しても安全上大きな影響がないものとなっています。

※²四国電力独自の取組として、耐震**Sクラス**相当まで補強する工事を実施しており、基準地震動を受けてもその設備に求められる機能が維持できるようにしています。

また、下位の耐震クラスの施設が地震で損傷した場合でも、それに接続している上位の耐震クラスの施設の安全性に影響を及ぼさないように、配管であれば隔離弁までを上位クラスで設計したり、高所の設備であれば仮に破損しても下方の重要設備上に落下しないような設置・固定方法を採用するなどの対策をとっています。

【追加の安全対策】(図①-4-2)

さらに、四国電力では独自の追加安全対策として、安全上重要な設備（耐震重要度分類で**Sクラス**の施設）等について、配管も含め、基準地震動を上回る概ね 1000 ガルの揺れに対する耐震性が確保されることを確認しており、余裕が少ない設備に対しては耐震裕度向上工事を行っています。

図①-4-2 耐震性向上のため設置したサポート金具（電源盤）



[四国電力(株)提供資料]

【配管の耐震性や健全性】（図①-4-3）

配管についても、施設の重要度に応じて3つのクラスに分類しています。

「一次冷却水」の配管や緊急時に原子炉へほう酸水を注入するための配管など、安全上重要な施設に係る配管については耐震重要度**Sクラス**に分類しており、想定される最大の揺れである基準地震動に対して機能を失うような破損をしない構造強度を有するとともに、建築基準法で規定される地震力の3.6倍に耐えることができると評価しています。

また、基本的に、放射性廃棄物処理設備などの放射性物質に係る施設に関するものについては**Bクラス**に、二次系の系統などの配管は**Cクラス※**に分類し、それぞれ建築基準法で規定される地震力の1.8倍、1.2倍の力に耐えることができるよう評価しています。

※二次系の系統は耐震重要度Cクラスとなっており、基準地震動による損傷の可能性があります、その場合には補助給水ポンプ（耐震重要度Sクラス）により、炉心の冷却が可能となっています。

なお、電力会社では、設計段階における耐震性の確保とともに、運転段階においては、安全上重要な設備や、腐食、減肉の可能性のある配管等に対しては、定期検査時に設備の重要度、配管の材質や大きさ、腐食の進行速度などに応じて超音波探傷検査や、液体浸透探傷検査、目視検査などを適切な方法・頻度で計画的に実施するとともに、必要に応じ予防的な取替えを行っています。

図①-4-3 耐震性向上のため設置したサポート金具（配管）



[四国電力(株)提供資料]

問①-5 地盤の液状化の影響はないですか。

【安全上重要な施設】

伊方発電所の原子炉建屋、原子炉補助建屋などの安全上重要な建物・機器等は、地震による揺れが大きく増幅される表層地盤上ではなく、地盤として十分な支持性能があり、すべりや沈下等が生じにくい、緑色片岩でできた非常に強固で安定した岩盤上に直接設置しています。

【埋め立て部分に設置された施設】

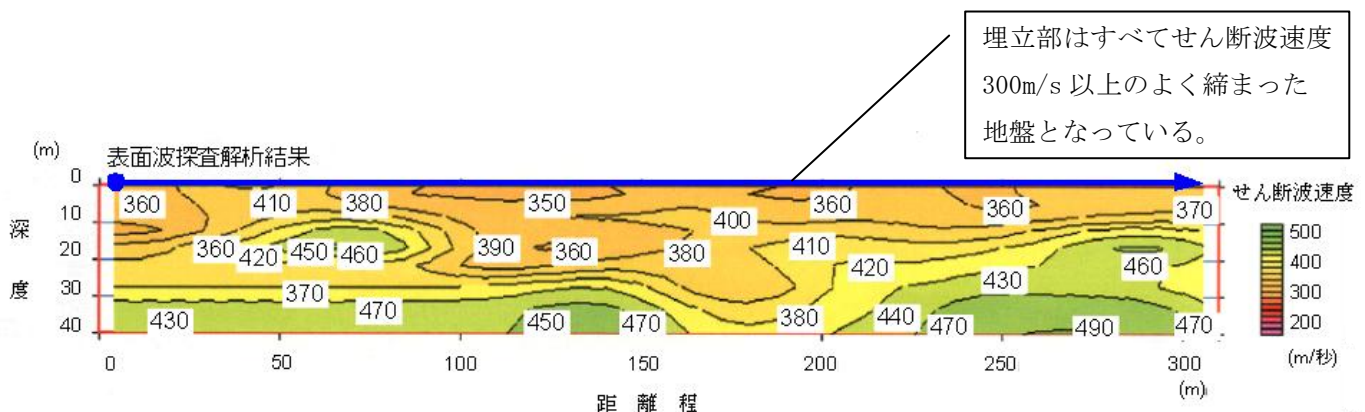
埋立部には、主変圧器、3号補助ボイラ燃料タンクなどの耐震重要度Cクラスの施設を設置していますが、これらの施設も原子炉施設が設置されている基礎岩盤と同じ岩盤（緑色片岩）に到達するまでの基礎を施工し、その上に設置していることから、液状化の影響を受けにくいと考えています。

また、伊方発電所の敷地内の埋立部分については、以下の観点から総合的に判断し、液状化が発生しにくい地盤条件になっていると考えています。

- ① 地下水位が地表面から10mより浅い場合は液状化が発生しやすいとされているが、伊方発電所内の埋立部の地下水位は概ね地表から約10mの深さがある。
- ② 礫ではなく砂が多く含まれ、かつその粒径が比較的揃っている地盤ほど締りが緩く液状化しやすいとされているが、伊方発電所内における埋立部の土は、粒径10mm以上の礫を多く含み、かつ粒径が比較的ばらついた土砂からなっている。
- ③ 一般的に液状化が発生する地盤は、横波（せん断波）の伝わる速度※が100～200m/秒の比較的軟弱な地盤とされているが、伊方発電所における埋立部の地盤は、横波（せん断波）の伝わる速度が300m/秒以上の建物や構造物の基礎として耐えることができる硬い地盤となっている。（図①-5-1）

※せん断波速度：地震波のうち、横波の速度。S波速度とも呼ばれ、固く締った地盤や固い地盤ほどS波が早く進む性質がある。

図①-5-1 伊方発電所敷地埋立部のせん断波速度解析結果



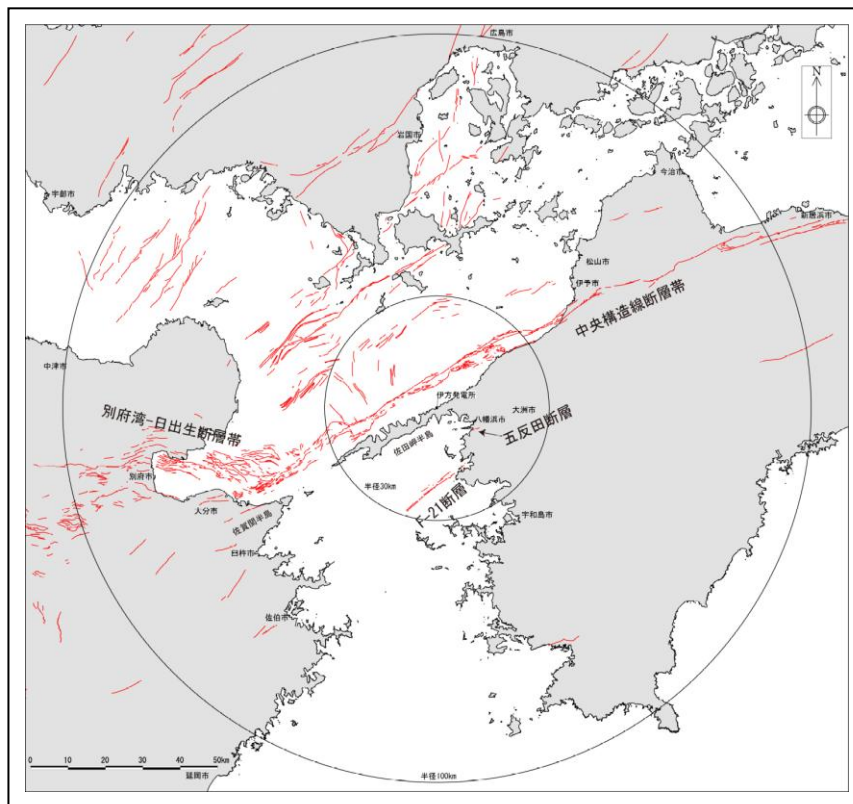
問①-6 伊方発電所の直下に活断層はないのですか。

【活断層の有無の確認】(図①-6-1)

伊方発電所3号機においては、建設時に活断層の有無を確認しています。

具体的には、ボーリング調査や全長約300m、幅約2m、高さ約2mの試掘坑を掘削し、地質や地質構造、破碎帯の性状など詳細な調査を行い、総合的に判断して直下に活断層はないことを確認し、原子力規制委員会においても了承されています。

図①-6-1 敷地周辺の活断層分布



[四国電力(株)提供資料]

- 伊方発電所において、最も影響の大きい活断層は敷地の沖合約8kmを通過する中央構造線断層帯であり、東北東-西南西走向で右横ずれの性状を示します。
- 敷地は中央構造線断層帯の南方に位置し、敷地近傍(半径5km)に活断層は認められません。

問①-7 2016年の熊本地震と同じような強さの地震が伊方発電所で起こった場合は大丈夫なのですか。

【熊本地震の最大加速度】(図 1-7-1)

平成 28 年(2016 年)熊本地震の際、益城町で記録された最大加速度は、4 月 14 日の前震で 1,580 ガル※¹、4 月 16 日の本震で 1,362 ガル※¹でした。この加速度が計測された地震計が設置されていたのは、せん断波速度※²が 110m/秒の非常に軟弱な地盤(地表)でした。

一方、同じ観測点の地下 252m 地点(せん断波速度 2,700m/秒の硬い岩盤)に設置されていた地震計で記録された最大加速度は、前震・本震いずれも 200 ガル程度でした。

このように、同じ地震でも軟弱な地盤の揺れと硬い岩盤の揺れは大きく異なります。

※¹ 南北(NS)方向、東西(EW)方向、上下(UD)方向の三成分の合成値

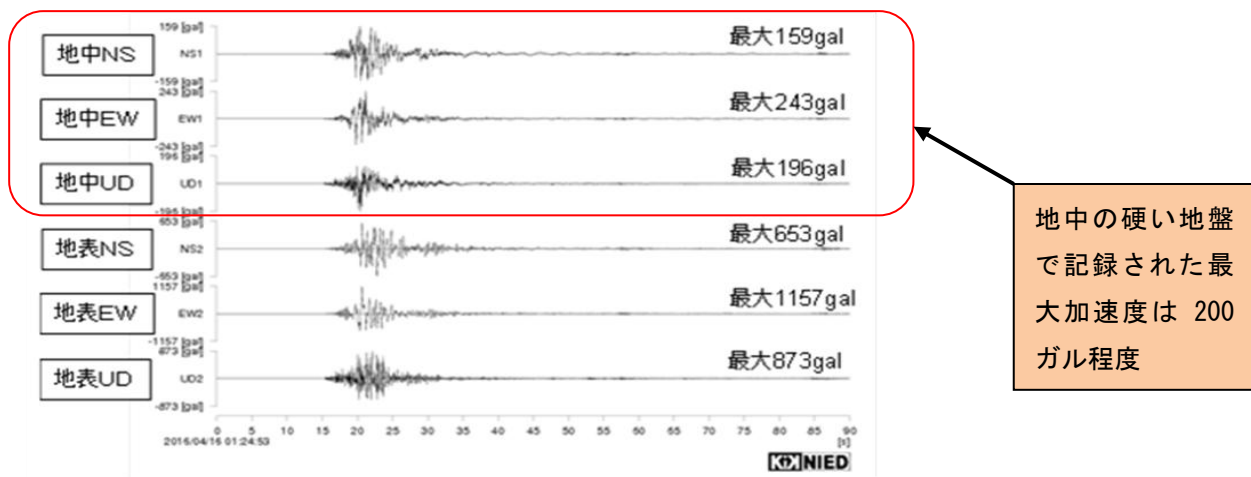
※² せん断波速度:地震波のうち横波の速度。硬い地盤ほど数値が大きくなり、岩盤といえるのはせん断波速度が概ね 700m/秒以上の地盤。

【伊方発電所で想定される最大加速度】

伊方発電所の原子炉建屋が設置されている地盤のせん断波速度は、2,600m/秒であり、益城町の地下 252m の地盤と同程度であることから、仮に今回の地震と同じような規模の地震が伊方で起こったとすると、最大加速度は 200 ガル程度になると想定されます。

伊方発電所は、基準地震動 650 ガルに耐えられることが確認されていますので、熊本地震と同規模の地震に対しては十分な耐震性が確保できていると考えています。

図①-7-1 平成 28 年 4 月 16 日の熊本地震本震時
益城(震源近傍)で観測された地震動



地中の硬い地盤
で記録された最大
加速度は 200
ガル程度

防災科学技術研究所 強震観測網 (F-NET) 川口より提供・加筆

[四国電力(株)提供資料に加筆]

問①－８ 伊方発電所において、基準地震動 650 ガルに相当する揺れが、2016 年の熊本地震のように繰り返り起こった場合は大丈夫なのでしょうか。

【基準地震動の繰り返しの揺れに対する耐震性】

伊方発電所の基準地震動（650 ガル）は、中央構造線断層帯において起こりうる最大の揺れを想定して策定されており、基準地震動の揺れの地震が起こると一度にエネルギーのほとんどが放出されるため、同等の大地震が続くことは考え難いとされています。※¹

ただ、基準地震動で揺れたとしても、伊方発電所の安全上重要な施設・設備は概ね弾性範囲内に留まる※²ことを確認しているため、仮に基準地震動に相当する揺れが繰り返り起こったとしても機能を喪失することはないと考えています。

※¹ 熊本地震では、前震は日奈久断層帯、本震は布田川断層帯と、それぞれ異なる断層帯で発生したものです。

※² 燃料集合体の制御棒案内管や、1次冷却材配管に接続されている小配管の取り付け部などの一部設備・部位（安全上重要な設備の3%程度）については、基準地震動の揺れによって評価上は弾性範囲（揺れによる力が加わって形状が変化しても揺れが収まれば元の形状に戻る範囲）を超える力を受けるものがあり、弾性範囲を超えた場合、設備に歪（ひずみ）が残る可能性もありますが、設備が破壊に至るまでには十分余裕を持った設計を行っていることから、繰り返しの揺れが起こっても設備が破壊に至ることはなく、機能を喪失することはないと考えています。

【概ね 1,000 ガルの揺れへの対応】

また、当社独自の取組として、これらの安全上重要な施設・設備については、基準地震動の 1.54 倍に当たる概ね 1,000 ガルの揺れに対しても耐震性が確保されることを確認しています。

概ね 1,000 ガルの揺れは非常に大きく、地下に蓄えられたエネルギーのほとんどが放出されることから、この後に大きな揺れが起こることはないと考えています。

ただし、この 1,000 ガルの揺れの後に基準地震動などに比しても小さな揺れが起こることは想定されますが、その場合でも、安全上重要な施設・設備については、機能を喪失することはないと考えています。

万が一、安全上重要な施設・設備が機能喪失した場合は、新規制基準によりシビアクシデント対策として追加した非常用発電機やポンプ車などの可搬設備等を使用し、炉心を冷却し、発電所外への放射性物質の拡散を防止・抑制することとしております。