

平成23年(ワ)第1291号, 平成24年(ワ)第441号, 平成25年(ワ)第516号, 平成26年(ワ)第328号

原告 須藤昭男 外1337名

被告 四国電力株式会社

平成27年( )月22日

準備書面 (7)

松山地方裁判所民事第2部 御中

被告訴訟代理人弁護士

田代



同弁護士

兼光弘



同弁護士

松繁



同弁護士

安藤



同弁護士

寄井真二郎



同弁護士

山内喜



## 目 次

第1	はじめに.....	1
第2	地震に係る安全性についての主張の補充（地震動評価，基準地震動 $S_s$ 等について）.....	2
1	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に係る不確かさ考慮の充実について.....	2
2	「震源を特定せず策定する地震動」における2000年鳥取県西部地震の考慮について.....	11
3	基準地震動 $S_s$ の追加・変更について.....	16
4	基準地震動 $S_s$ の年超過確率.....	21
(1)	年超過確率の算定方法.....	21
(2)	年超過確率の算定結果.....	22
第3	地震動評価手法の発展について.....	23
1	耐震設計審査指針策定以前の原子力発電所における地震動評価手法について.....	23
2	耐震設計審査指針策定後の原子力発電所における地震動評価手法について.....	24
(1)	活断層による地震の考慮.....	24
(2)	地震地体構造による地震の考慮.....	25
(3)	直下地震の考慮.....	26
(4)	応答スペクトルに基づく地震動評価手法の採用.....	26
3	1995年兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積と地震動評価手法の発展について.....	27
4	耐震設計審査指針の改訂及び同指針改訂後の原子力発電所に係	

る地震動評価手法について.....	31
(1) 耐震設計審査指針の改訂.....	31
ア 基準地震動の一本化.....	32
イ 「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」の策定 .....	32
ウ 「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデル を用いた手法による地震動評価」の実施 .....	33
エ 「不確かさ」の考慮.....	35
オ 「残余のリスク」の認識 .....	35
(2) 原子力発電所の地震観測記録から得られた知見 .....	36
(3) 新規制基準の策定.....	37
第4 原告らの主張に対する反論.....	38
1 基準地震動 $S_s$ が平均像であるとの主張に対する反論 .....	38
(1) 応答スペクトルに基づく地震動評価について .....	38
(2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価について .....	40
ア グリーン関数について .....	40
イ 強震動予測レシピ及びスケーリング則について .....	43
ウ 平成26年3月29日付の愛媛新聞について .....	45
2 震源を特定せず策定する地震動について .....	46
(1) 震源を特定せず策定する地震動の位置付けについて .....	46
(2) 加藤ほか(2004)について .....	51
(3) 2004年北海道留萌支庁南部地震の考慮について .....	52
(4) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震 動 $S_s$ と震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動 $S$	

s との関係について.....	54
3 地震・地震動に関するデータについて.....	56
4 長沢啓行氏の意見書について.....	57
(1) 耐専スペクトルについて.....	57
ア 耐専スペクトルの適用に際しての内陸補正について.....	57
イ 耐専スペクトルの適用性の検証について.....	58
(2) 断層モデルによる評価について（5.4 km モデル）.....	60
ア 地震規模の算定について.....	60
イ 応力降下量の算定について.....	62
ウ 要素地震について.....	64
(3) 断層モデルによる評価について（4.80 km モデル）.....	66
ア 断層長さに応じた評価手法の違いについて.....	66
イ 壇ほか（2011）の手法の妥当性について.....	67
(4) 震源を特定せず策定する地震動について.....	69
(5) 地震動の偶然変動について.....	70
5 藤原節男氏の意見書について.....	72
(1) 藤原意見書に対する反論.....	74
ア 鉛直動（縦振動）を考慮していないとの批判について.....	74
イ 特定の代表地震波による実験結果を用いているとの批判に ついて.....	76
ウ 被告による評価が直線外挿の評価であるとの批判について.....	77
エ 評価基準値が2.2秒を超過しているとの批判について.....	79
(2) 制御棒挿入性に係る本報告時の被告の評価について.....	79
6 原告準備書面（13）における主張について.....	81

(1) 中央構造線断層帯の360 km 連動及び南傾斜の重畳評価に ついて.....	81
(2) その他の主張について.....	82
7 南海トラフによる地震について .....	83

略 語 例

(単位記号)

M P a                   メガパスカル (圧力及び応力を示す単位)

(英数)

F u j i i   a n d   M a t s u ' u r a   ( 2 0 0 0 )       Regional  
difference in scaling laws for large earthquakes  
and its tectonic implication, Pure and Applied  
Geophysics, 2000, Vol.157, 2283-2302.

K a n n o   e t   a l .   ( 2 0 0 6 )       A New Attenuation Relation for  
Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded  
Data, 2006, BSSA (Bulletin of the Seismological  
Society of America), 96, 879-897.

M                       マグニチュード (地震の規模)

M w                   モーメントマグニチュード (震源断層の大きさ, すべ  
り量等を基に計算した地震の規模 (マグニチュード))

N o d a   e t   a l .   ( 2 0 0 2 )       Response spectra for design  
purpose of stiff structures on rock sites,  
OECD-NEA workshop on the relation between  
seismological data and seismic engineering  
analysis, 2002, OCT.16-18, Istanbul.

P W R                   Pressurized Water Reactor (加圧水型原子炉)

Z h a o   e t   a l .   ( 2 0 0 6 )       Attenuation Relations of Strong

Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, 2006, BSSA (Bulletin of the Seismological Society of America), 96, 898-913.

(あ行)

入倉ほか (2014) 強震動記録を用いた震源インバージョンに基づく国内の内陸地殻内地震の震源パラメータのスケーリング則の再検討, 2014, 第14回日本地震工学シンポジウム (2014), 1526-1535

入倉・三宅 (2001) シナリオ地震の強震動予測, 2001, 地学雑誌, Vol. 110, 849-875.

内山・翠川 (2006) 震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 2006, 日本建築学会構造系論文集, 606, 81-88.

(か行)

加藤ほか (2004) 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル-地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討-, 2004, 日本地震工学会論文集第4巻第4号

(さ行)

佐藤 (2010) 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則, 2010, 日本建築学会構造系論文集, 第651号, 923-932

(た行)

耐震設計審査指針 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和53年9月29日原子力委員会決定）

壇ほか（2001） 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化，2001，日本建築学会構造系論文集，第545号，51-62

壇ほか（2011） 長大横ずれ断層による内陸地震の平均動的応力降下量の推定と強震動予測のためのアスペリティモデルの設定方法への応用，2011，日本建築学会構造系論文集，第670号，2041-2050.

壇ほか（2012） 平均動的応力降下量を用いた長大な横ずれ断層のアスペリティモデルによる強震動の試算と考察，2012，日本建築学会構造系論文集，第678号，1257-1264

中央防災会議（2003） 東南海，南海地震の被害想定について（平成15年9月17日）

藤堂ほか（2012） 長大な横ずれ断層による内陸地震のアスペリティモデル設定方法の中央構造線への応用と強震動の試算，2012，日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集，21053，105-106

(な行)

内閣府検討会（2012） 南海トラフ巨大地震の被害想定について（平成24年8月29日）



(は行)

- 福島第一事故 平成23年3月に東京電力株式会社の福島第一原子力発電所において発生した事故
- 保安規定 被告の「伊方発電所原子炉施設保安規定」
- 本件原子炉 本件発電所に係る原子炉。ただし、個別に各号炉を指す場合は、「本件1号炉」、「本件2号炉」、「本件3号炉」という。また、「本件1号炉」と「本件2号炉」をあわせて、「本件1・2号炉」という。
- 本件原子炉施設 本件発電所に係る原子炉及びその関連施設。ただし、個別に各号炉施設を指す場合は、「本件1号炉施設」、「本件2号炉施設」、「本件3号炉施設」という。また、「本件1号炉施設」と「本件2号炉施設」をあわせて、「本件1・2号炉施設」という。
- 本件発電所 伊方発電所1号機、2号機及び3号機。ただし、個別に各号機を指す場合は、「本件1号機」、「本件2号機」、「本件3号機」という。また、「本件1号機」と「本件2号機」をあわせて、「本件1・2号機」という。

(ま行)

- 松田(1975) 活断層から発生する地震の規模と周期について、1975, 地震2, 28, 269-283.
- 室谷ほか(2010) 内陸の長大断層に関するスケーリング則の検討、2010, 日本地震学会秋季大会予稿集, B12-02

本文中の単語の左上に※印を付した用語は別冊の「用語解説」で解説した用語である。（※印は最初に記載した箇所にもみ表示している。）

## 第1 はじめに

- 1 被告は、被告準備書面（5）において、平成25年7月8日に行った本件3号炉に係る原子炉設置変更許可、工事計画認可及び保安規定変更認可の各申請に関する、原子力規制委員会による審査も踏まえた主張を行った。その後も原子力規制委員会による審査は進められており、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については不確かさの考慮をさらに充実させた検討を行うとともに、「震源を特定せず策定する地震動」については2000年鳥取県西部地震を検討対象地震に加えることとし、同地震に係る観測記録の分析・検討を行った。そして、今般、その結果を踏まえて、基準地震動 $S_s$ を追加・変更した。
- 2 本件発電所の地震に係る安全性に関連し、原告らは、被告が実施した本件発電所に係る地震動評価、当該地震動評価に基づく基準地震動 $S_s$ の設定等が不十分である旨主張する。しかしながら、原告らの主張は、科学的知見や被告が実施した詳細な調査・評価の結果等を見無視しているだけでなく、原子力発電所の地震動評価手法等に対する基本的な理解を誤っており、いずれも何ら理由がない。
- 3 本書面では、まず第2において被告準備書面（5）で述べた地震動評価及び基準地震動 $S_s$ について、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」について不確かさの考慮をさらに充実させるとともに、「震源を特定せず策定する地震動」について2000年鳥取県西部地震を検討対象地震に加え、その結果、基準地震動 $S_s$ の追加・変更を行ったことを踏まえ、本件発電所の地震に係る安全性についての主張を補充する。次いで、第3に

において、原子力発電所に係る地震動評価手法の基本的な理解に資する観点から、原子力発電所に係る地震動評価手法が、本件1・2号炉の建設以降、1995年兵庫県南部地震を経て、地域特性を踏まえて詳細に考慮するよう高度化・発展してきたことなどについて述べる。そして、第2及び第3で述べる事実を踏まえ、第4において主に地震動評価に関連する原告らの主張に対する反論を行う。

## 第2 地震に係る安全性についての主張の補充（地震動評価、基準地震動 $S_s$ 等について）

被告が平成25年7月8日付で行った本件3号炉に係る原子炉設置変更許可、工事計画認可及び保安規定変更認可の各申請について、原子力規制委員会による審査が継続して進められているところ、被告は、被告準備書面(5)で述べた地震動評価及び基準地震動 $S_s$ の策定に係る事項のうち、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」について、不確かさの考慮をさらに充実させた検討を行うとともに、「震源を特定せず策定する地震動」について、2000年鳥取県西部地震を検討対象地震に加えることとし、同地震の観測記録の検討・評価を行った。そして、その結果、基準地震動 $S_s$ の追加・変更を行った。また、被告が策定した基準地震動 $S_s$ が余裕のある保守的なものであることを確認する観点から、年超過確率（1年間に、ある値（ここでは基準地震動 $S_s$ ）を超過する確率）を算定し、基準地震動 $S_s$ を超過する地震動が発生する可能性が極めて低いことを定量的に確認した。

### 1 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に係る不確かさ考慮の充実について

被告が、内陸地殻内地震、すなわち中央構造線断層帯の地震動評価にお

いて考慮した不確かさについて、被告準備書面（５）第２の４(3)エ（ア）（７２頁以下）で述べた内容は、概要以下のとおりである。すなわち、断層長さ、\*アスペリティの配置等について不確かさを考慮して複数の基本\*震源モデルを設定した上で（４８０kmを基本として、１３０km及び５４kmでも評価）、\*断層モデルを用いた手法による地震動評価では、それぞれの基本震源モデルについて、①\*応力降下量、②断層傾斜角（北傾斜）、③断層傾斜角（南傾斜）、④\*破壊伝播速度、⑤アスペリティの平面位置及び⑥スケーリング則（断層の長さ・幅・面積、応力降下量、\*地震モーメント、アスペリティ面積等の間に存在する一定の相似則、又はこれを経験的に関係式で示したもの。スケーリング則を用いることによって、例えば、ある断層の面積が明らかになった場合に当該断層面積に対する平均的な地震モーメントの値を求めることができる。）について、基本震源モデルにおいて考慮した不確かさとの重畳を考慮した。\*応答スペクトルに基づく地震動評価では、断層長さ４８０km、１３０km及び５４kmの３ケースそれぞれについて、断層傾斜角が鉛直のモデルと北傾斜のモデルを考慮した。

被告は、不確かさの考慮にあたり、地震動評価における各種の不確かさの分類・分析を行い、地震発生時の環境に左右される偶然的な不確かさ（破壊開始点）及び事前にモデルを特定することが困難な不確かさ（アスペリティ深さ及び断層長さ（連動））についてはあらかじめ基本震源モデルに織り込むこととし、事前の調査、経験式等によってモデルを特定することが可能な不確かさ（上記①～⑥）については基本震源モデルの不確かさに重畳させる、独立した不確かさとして考慮することとした。

ここで、断層モデルを用いた手法による地震動評価と応答スペクトルに基づく地震動評価とによって不確かさの考慮に違いが生じている理由を念

のため付言する。そもそも断層モデルを用いた手法による地震動評価に比べて簡易な評価手法である応答スペクトルに基づく地震動評価では、通常、①の応力降下量及び④の破壊伝播速度はパラメータとして使用しない。また、⑥のスケーリング則については、松田（1975）による断層長さとの関係を表した経験式（松田式）を標準的に用いる。そして、断層長さ130km及び54kmのケースでは、③の断層傾斜角（南傾斜）と、⑤のアスペリティの平面位置（敷地正面へのアスペリティの配置）の不確かさを考慮すると、地震動評価に用いる震源距離が近くなりすぎるため、\*耐専スペクトルは適用できない（後記第4の1(1)（38頁以下）参照）。この場合、耐専スペクトルの代替としてその他の\*距離減衰式を用いるが、③の断層傾斜角（南傾斜）及び⑤のアスペリティの平面位置（敷地正面へのアスペリティの配置）の不確かさは、その他の距離減衰式による地震動評価に影響を与えない。また、480kmのケースでは、断層長さが極めて長くなるため、③の断層傾斜角（南傾斜）及び⑤のアスペリティの平面位置（敷地正面へのアスペリティの配置）の不確かさは結果に影響を与えない。以上の理由から、応答スペクトルに基づく地震動評価では上記の検討ケースについて評価を行うこととしたものである。（乙D35（95頁））

被告が実施した詳細な調査、様々な研究者による調査を踏まえた数多くの知見等を踏まえた上でこのような不確かさの考慮を行った地震動評価は、十分に保守的な評価となっているが、被告は、本件発電所に最も大きな影響を及ぼすと考えられる中央構造線断層帯による地震について、さらに不確かさを重畳させたケースについても検討・評価を行った。すなわち、断層モデルを用いた手法による地震動評価においては、長大断層を含んだデ

ータに基づいて開発されたスケーリング則のうち、最適な手法として壇ほか（2011）を採用しているものの、中央構造線断層帯のような長大な断層においては、より慎重な検討を行う必要があるとの考えから、独立した不確かさとして考慮していたその他のスケーリング則（⑥）とそれ以外の不確かさ（①～⑤）を重畳させた検討を行うこととした。具体的には、基本震源モデルのパラメータ設定に用いるスケーリング則について、壇ほか（2011）を基本とした上で、断層長さ480km及び130kmのモデルではFuji and Matsu'ura（2000）のスケーリング則を、54kmのモデルでは入倉・三宅（2001）の地震モーメントにFuji and Matsu'ura（2000）の平均応力降下量を組み合わせて用いる手法（以下、「入倉・三宅の手法」という。）をそれぞれ基本震源モデルに織り込む不確かさとして考慮した（この結果、個別に考慮する不確かさは①～⑤となった。）。（乙D35（37頁））

断層長さ480km及び130kmのモデルでFuji and Matsu'ura（2000）を採用したのは、現在提案されている主要なスケーリング則のうち、同手法が壇ほか（2011）と並び長大断層を含んだデータに基づいて開発された手法の一つであり、\*地震調査研究推進本部による\*強震動予測レシピ（乙D36）においても長大断層の知見としてこの手法による平均応力降下量を用いる手法が提案されていることを踏まえたものである。この場合の不確かさの考慮としては、壇ほか（2011）による検討結果から、影響が比較的大きかった①応力降下量と④破壊伝播速度を考慮することとした。（乙D35（40頁，42頁））また、54kmのモデルで入倉・三宅の手法を採用したのは、地震調査研究推進本部による強震動予測レシピにおいてこれらを用いる手法が提案されているた

めである。この場合の不確かさの考慮は、壇ほか（2011）を用いる基本震源モデルと同様に①～⑤について不確かさを考慮した。（乙D35（44頁））

以上の断層モデルに基づく地震動評価において考慮した不確かさのケースを整理したものが表1～6である（乙D35（39～44頁））。

表1 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

（基本震源モデルに断層長さ480km、壇ほか（2011）を用いるケース）

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ (km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	480	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
2	不確かさ考慮② 断層傾斜角の不確かさ (地質境界断層の知見を考慮)	480	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
3	不確かさ考慮③ 断層傾斜角の不確かさ (角度のばらつきを考慮)	480	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の不確かさ	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに配置	壇・他(2011)

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

■ : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

表2 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

(基本震源モデルに断層長さ480km, Fujii and Matsu'ura (2000) を用いるケース)

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ (km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM $\Delta\sigma$ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	480	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM $\Delta\sigma$ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM $\Delta\sigma$ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

○FMはFujii and Matsu'ura(2000)。Sa/Sはアスペリティ面積比。

■ : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

表3 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

(基本震源モデルに断層長さ130km, 壇ほか (2011) を用いるケース)

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ (km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 中央構造線四国西部	130	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他 (2011)
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	130	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他 (2011)
2	不確かさ考慮② 断層傾斜角の不確かさ (地質境界断層の知見を考慮)	130	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他 (2011)
3	不確かさ考慮③ 断層傾斜角の不確かさ (角度のばらつきを考慮)	130	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他 (2011)
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	130	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他 (2011)
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の不確かさ	130	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに配置	壇・他 (2011)

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

■ : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

■ : 不確かさを考慮するパラメータ



表4 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

(基本震源モデルに断層長さ130km, Fujii and Matsu'ura (2000) を用いるケース)

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							スケーリング則
		長さ (km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 中央構造線四国西部	130	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	130	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	130	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

○FMはFujii and Matsu'ura(2000)。Sa/Sはアスペリティ面積比。

■ : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

表5 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

(基本震源モデルに断層長さ54km, 壇ほか (2011) を用いるケース)

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							スケーリング則
		長さ (km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 敷地前面海域の断層群	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	54	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
2	不確かさ考慮② 断層傾斜角の不確かさ (地質境界断層の知見を考慮)	54	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
3	不確かさ考慮③ 断層傾斜角の不確かさ (角度のばらつきを考慮)	54	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.87Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに配置	壇・他(2011)

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

■ : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

表6 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

(基本震源モデルに断層長さ54km, 入倉・三宅の手法を用いるケース)

No.	検討ケース	長さ (km)	アスペリ ティ深さ	破壊 開始点	不確かさを考慮するパラメータ			アスペリティ 平面位置	スケーリング則
					応力降下量 (短周期レベル)	断層 傾斜角	破壊伝播 速度		
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 敷地前面海域の断層群	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	54	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
2	不確かさ考慮② 断層傾斜角の不確かさ (地質境界断層の知見を考慮)	54	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
3	不確かさ考慮③ 断層傾斜角の不確かさ (角度のばらつきを考慮)	54	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.87Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の 不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに 配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端、中央下端、西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

○FMはFujii and Matsu'ura(2000)。Sa/Sはアスペリティ面積比

■ : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

ちなみに、各基本震源モデルを解析したところ、断層長さの基本となる480kmから断層長さを変えても地震動レベルはほぼ変わらない結果が得られた。したがって、断層長さ130km及び54kmにおける各不確かさケースの地震動レベルについても、断層長さ480kmにおける各不確かさケースの地震動レベルとほぼ等しいと推定される。(乙D35(180頁, 183頁, 186頁))このため、断層長さ54kmで入倉・三宅の手法を用いる場合の各不確かさケース(断層長さ480kmでは入倉・三宅の手法を用いていない。)と、断層長さ54kmで壇ほか(2011)を用いる場合における破壊伝播速度の不確かさケース(断層長さ480kmでの不確かさケースとは設定値が異なる。)とを除き、断層長さを130km及び54kmにおける各不確かさケースの評価結果については、断層長さ480kmにおける各不

確かさケースの評価結果で代表させることとした（例えば、断層長さ130 kmで壇ほか（2011）のスケーリング則を用いて応力降下量の不確かさを考慮するケースについては、断層長さ480 kmで壇ほか（2011）のスケーリング則を用いて応力降下量の不確かさを考慮するケースで代表させた。）（乙D35（45頁））。

さらに、応答スペクトルに基づく地震動評価においても、解析ケースには含めていなかった断層長さ69 kmのケースについて、断層傾斜角が鉛直のケースと北傾斜のケースとをそれぞれ評価し、基準地震動 $S_s$ の策定において考慮することとした。断層長さ69 kmというのは、敷地前面海域の断層群（54 km）の両端にあるジョグのさらに両端まで連動することを想定するものである。ジョグは、断層の破壊が停止し、乗り移る領域のため、変位量は低減するはずであって、ジョグの変位量を大きく想定する断層長さ69 kmのモデルは科学的には考えられないものであるが（本来、このような場合、ジョグで破壊が停止せずさらに長い区間で連動することを意味する）、従来の地震動評価（平成24年5月7日付答弁書第4の5(2)（48頁以下）で主張した地震動評価）においては断層長さ（連動）に係る不確かさの考慮として念のために評価していたのである。現在の地震動評価においては、断層長さ480 km及び130 kmを基本震源モデルとして設定していることから、69 kmの連動ケースはこれに含まれていると考えられる。（乙D35（33～34頁））断層モデルを用いた手法による地震動評価では、断層長さを変えても地震動レベルは変わらないことを確認しているのは上記のとおりである。しかしながら、応答スペクトルに基づく地震動評価のうち、耐専スペクトルを用いた評価では、断層長さ130 kmの地震動レベルが断層長さ480 kmの地震動レベルを上回るケースがある（乙D3

5 (136頁, 138頁)) など, 評価手法の特性の影響がある可能性も考えられるため, 断層長さを69kmとするケースについても, 念のために考慮することとしたものである。(乙D35(95頁))

2 「震源を特定せず策定する地震動」における2000年鳥取県西部地震の考慮について

被告準備書面(5)第2の4(4)(77頁以下)では, 震源を特定せず策定する地震動として, 加藤ほか(2004)の考慮に加え, 震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震における震源近傍の観測記録を収集・検討し, 2004年北海道留萌支庁南部地震の観測記録を考慮したことを述べた。被告が観測記録の収集対象として検討した地震は, 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(乙E7)が例示する16地震(表7)である(被告独自でも調査を行ったが, 結果として, 16地震以外に震源を特定せず策定する地震動の評価において考慮すべき地震はなかった。)

表7 震源を特定せず策定する地震動の評価において考慮した地震

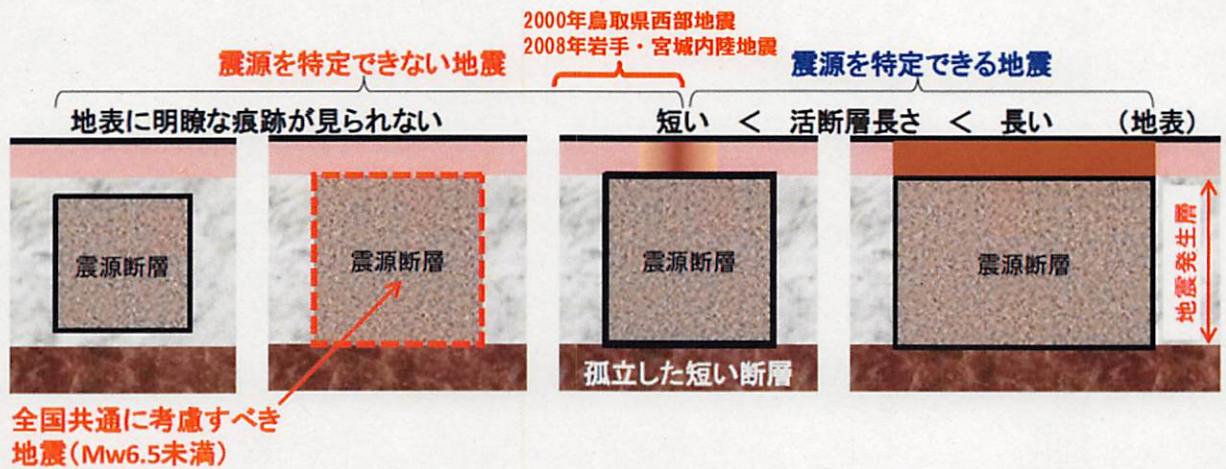
No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	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

同ガイドは、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震を検討対象地震として選定することとしている。そして、その選定においては、「\*地表地震断層が出現しない可能性がある地震」を適切に選定するとともに、「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」についても検討を加えて必要に応じて選定することを求めている。図1に事前に震源を特定できない地震の概念図を示す。

「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模も分からない地震として地震学的検討から全国共

通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も推定できない地震（ $M_w$  6.5未満の地震））とされ、このうち、震源近傍において強震動（被害をもたらすような強い地震動）が観測された地震である表7のNo. 3～16が対象となる。これらの地震の観測記録を収集したところ、No. 13の2004年北海道留萌支庁南部地震では信頼性の高い観測記録が得られたものの、その他の観測記録は、加藤ほか（2004）による応答スペクトルを下回るものであったり、観測記録が観測地点の地盤の影響を受けた信頼性の低いものであったりしたため、考慮の対象から除外した（乙D37（70～124頁））。

一方、「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」は、震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震（震源の規模が推定できない地震（ $M_w$  6.5以上の地震））とされており、表7のNo. 1の2008年岩手・宮城内陸地震及びNo. 2の2000年鳥取県西部地震が対象となる。地表に断層が出現するか否かの要因としては、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩、\*火山岩又は堆積層が厚く分布する場合や\*地質体の違い等の地域差があることが考えられるため、震源を特定せず策定する地震動の評価においてこれらの地震を考慮するにあたっては、原子力発電所ごとに地域差の検討を行う必要がある。



(震源を特定せず策定する地震動に係る評価手引き ( (独) 原子力安全基盤機構) より (一部加筆) )

図1 事前に震源を特定できない地震の概念図

被告が本件発電所の立地地点と2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震の震源域との地域差等について詳細に検討を行ったところ、いずれも本件発電所の立地地点とは地域差が顕著である。具体的には、2008年岩手・宮城内陸地震の震源域については、地形、第四紀火山との位置関係、地質、\*応力場、微小地震の発生状況等において、本件発電所の立地地点とは特徴が大きく異なっており、特に、同地震の震源域には新第三紀以降の火山岩、\*堆積岩が厚く分布しているのに対し、本件発電所の立地地点には堅硬かつ緻密な\*結晶片岩が少なくとも地下2 kmまで連続している。2000年鳥取県西部地震の震源域については、\*地震テクトニクスが異なり、活断層の成熟度及びこれに寄与する歪み蓄積速度や地下の均質性において地域差が認められる。

さらには、両地震の震源域と本件発電所の立地地点では地震地体構造(地震の起こり方(規模、頻度、深さ、地震モデル等)に共通性のある一定の地域の地質構造)が異なっていることから、地震の起こり方も異なる。

こうした事実を踏まえると、両地震のような地震が本件発電所の立地地点において発生することは考え難く、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドの規定に照らしても、震源を特定せず策定する地震動として評価する必要はない。このため、被告準備書面（５）では、被告は両地震を震源を特定せず策定する地震動の評価の対象とする地震から除外していた。

（乙D37（4～69頁））

しかしながら、2000年鳥取県西部地震については、大局的には本件発電所の立地地点と同じく西南日本の東西圧縮横ずれの応力場にあることから、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドよりも保守的に、地震が発生する地下深部の構造について、さらに慎重な検討を行ってきた。その結果、重力異常（重力の実測値とその緯度での標準重力との差であり、地下構造を推定する際に用いられる。例えば、地下に高密度の岩石があると、重力値は標準重力値よりも大きくなる。）に有意な地域差は認められなかったものの、主に中央構造線や第四紀火山との位置関係に関連して両地域の深部地下構造に違いがあると考えられるものであった。（乙D38（73～87頁））

以上のとおり、本件発電所の立地地点と2000年鳥取県西部地震の震源域とでは基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドに示された「活断層の成熟度」に地域差が認められ、地震が発生する深部地下構造にも違いがあると考えられる。したがって、2000年鳥取県西部地震を震源を特定せず策定する地震動の評価において考慮する必然性はないが、自然現象の評価と将来予測には不確かさが残ること、大局的にはいずれも西南日本の東西圧縮横ずれの応力場であることを踏まえ、さらには、原子力安全に対する信頼向上の観点から、より保守的に同地震の観測記録を震源を特



定せず策定する地震動として考慮することとした。(乙D38(89頁))

2000年鳥取県西部地震については、鳥取県にある賀祥ダムの監査廊(ダム堤内の管理用通路)に設置された地震計による信頼性の高い観測記録が得られている。(独)防災科学技術研究所の強震観測網によっても信頼性の高い観測記録が得られているが、賀祥ダム(監査廊)の観測記録がこれを概ね上回ることなどから、震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 $S_s$ の検討においては賀祥ダム(監査廊)の観測記録で代表させることとした。(乙D38(91頁))

### 3 基準地震動 $S_s$ の追加・変更について

上記1で述べた不確かさの考慮を行った結果、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち、応答スペクトルに基づく地震動評価から設定した基準地震動 $S_{s-1}$ については、\*最大加速度(650ガル)に変更はなかったものの、断層モデルを用いた手法による地震動評価から設定した基準地震動 $S_{s-2}$ については、改めて評価を行った結果、断層長さ480kmで壇ほか(2011)のスケーリング則を用いて応力降下量の不確かさを考慮した3ケース(表1中の不確かさの考慮①)、断層長さ480kmでFuji and Matsu'ura(2000)のスケーリング則を用いて応力降下量の不確かさを考慮した3ケース(表2中の不確かさの考慮①)及び断層長さ54kmで入倉・三宅の手法を用いて応力降下量の不確かさを考慮した1ケース(表6中の不確かさの考慮①)において、先に策定した基準地震動 $S_{s-1}$ を上回ったことから、これらを基準地震動 $S_{s-2}$ として選定した(乙D35(231頁))。

ところで、断層モデルに基づく地震動評価では経験的グリーン関数法を適用しているが、経験的グリーン関数法は、実際に発生した比較的小さな

地震の観測記録（地震波）を足し合わせて想定する断層による大きな地震による揺れを計算する方法であるため、その結果には採用した観測記録（\*要素地震）の特徴が反映されることになる。被告が実施した中央構造線断層帯に係る経験的グリーン関数を用いた評価では、東西方向の地震動の周期0.2～0.3秒で基準地震動 $S_s - 1$ を超過する結果が得られているが、南北方向の地震動の長周期側では比較的小さく評価される傾向が見られた（図2のグレーの応答スペクトルを参照）。これは中央構造線断層帯と同様に本件発電所敷地の北方に震源を持つ要素地震の地震波の伝播特性等を反映した結果であるものの、仮に、要素地震の南北方向の地震動が東西方向の地震動と同程度のレベルであったとすれば、南北方向でも基準地震動 $S_s - 1$ を超過する可能性も否定できない。そこで、東西方向の周期0.2～0.3秒で基準地震動 $S_s - 1$ を超過するケースのうち、基準地震動 $S_s - 1$ を超過する度合いが大きく、かつスケーリング則として基本に考えている壇ほか（2011）に基づいて評価した断層長さ480kmで応力降下量の不確かさ（20MPa）を考慮したケースについて、工学的判断として、東西方向と南北方向の地震波を入れ替えたケースを仮想して $S_s - 2$ に設定することとした（図2の紫の応答スペクトル）。（乙D35（232頁））

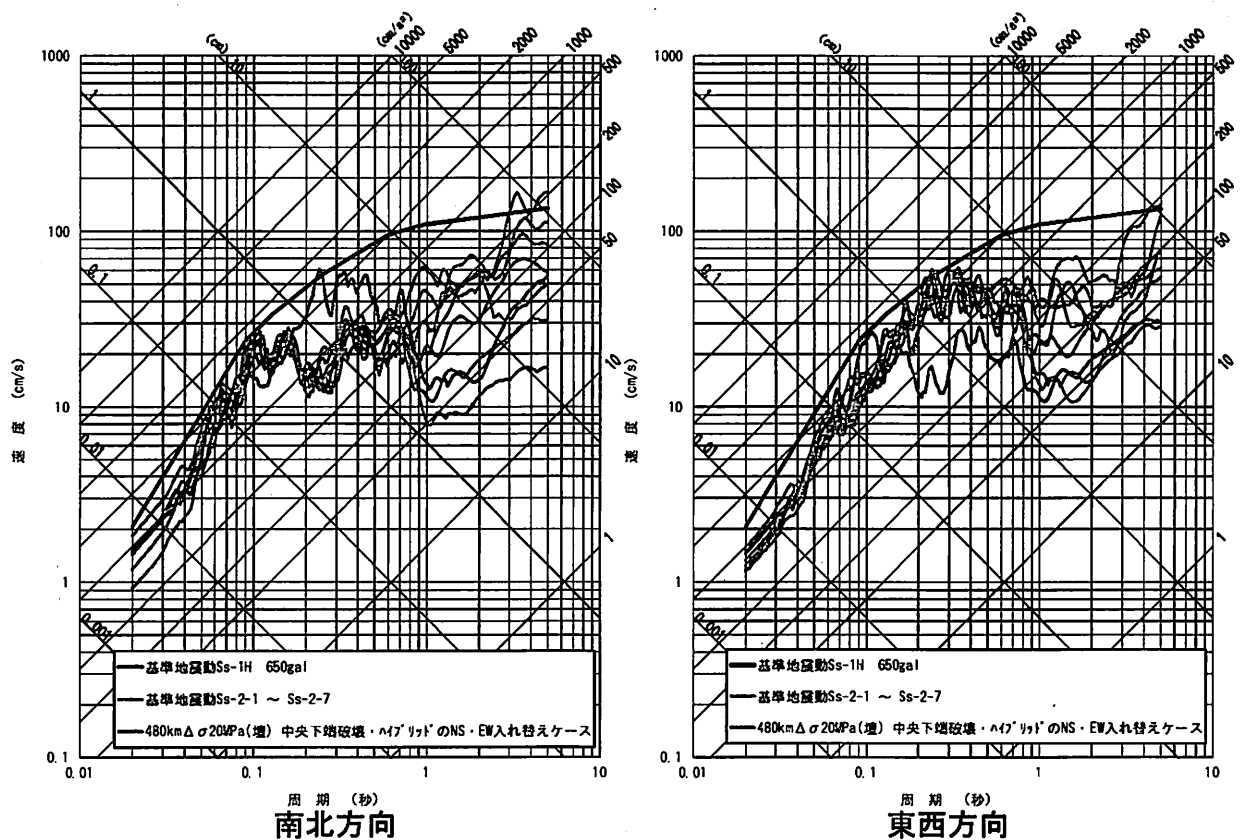


図2 東西方向と南北方向の地震波を入れ替えたケース

なお、被告が断層モデルを用いた手法による地震動評価を行うにあたり、採用した経験的グリーン関数法の結果は、要素地震の特性の影響で南北方向の長周期側で小さな結果を与えるものであったのに対し、統計的グリーン関数法の結果（図3のピンクやオレンジの応答スペクトル）は比較的平均的な周期特性を持つものであった。しかしながら、原子炉施設に影響の大きい周期0.1秒付近の地震動については経験的グリーン関数法の結果（図3のグレーの応答スペクトル）の方が厳しい結果を与えるものであったことから原子炉施設への影響度の観点からは、経験的グリーン関数法を採用することでより保守的な結果が得られるものとなっている。（乙D35（155頁））

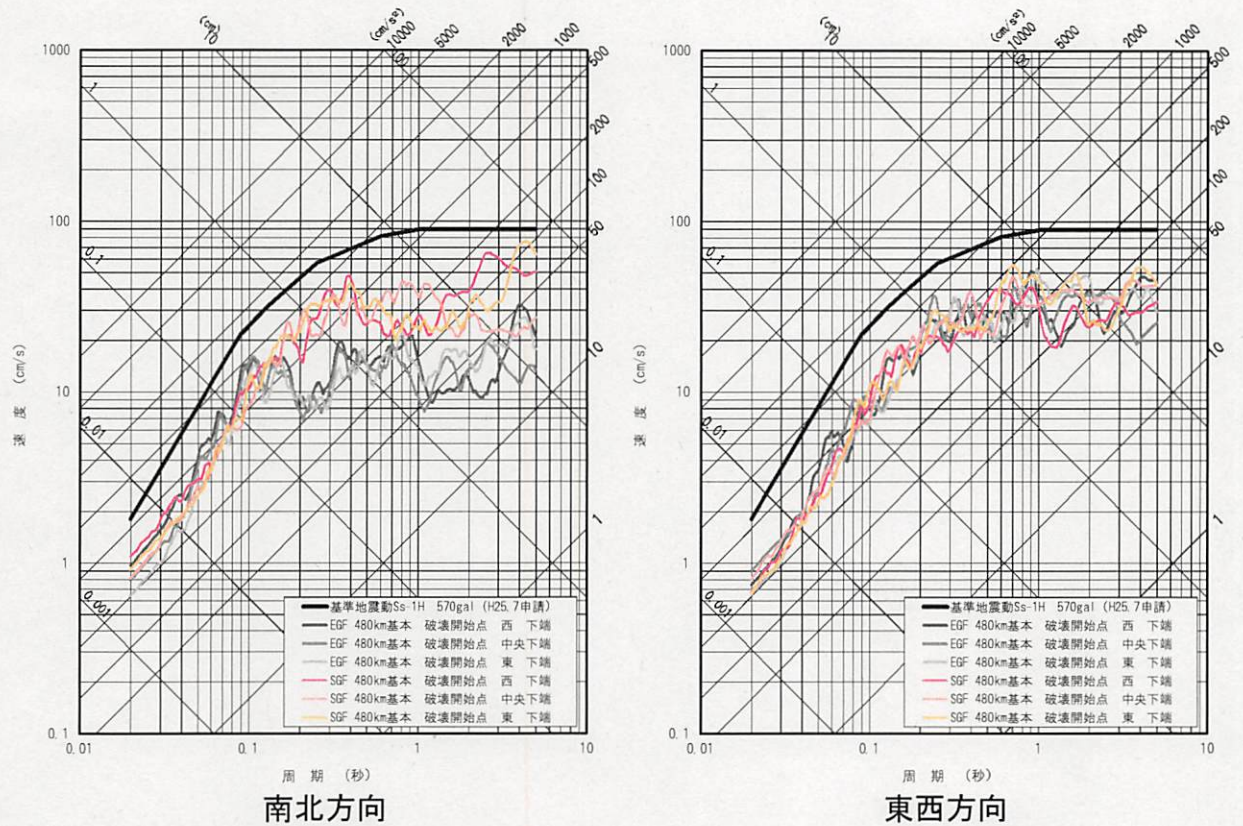


図3 経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法の比較

また、上記2で述べた震源を特定せず策定する地震動について、2000年鳥取県西部地震の際の賀祥ダム（監査廊）の観測記録と基準地震動Ss-1を比較したところ、一部周期帯において基準地震動Ss-1を上回るため、これを、2004年北海道留萌支庁南部地震の解放基盤波とともに基準地震動Ss-3として選定することとした（乙D38（94頁））。

以上の結果、基準地震動Ssとして基準地震動Ss-1では1ケース、基準地震動Ss-2は8ケース、基準地震動Ss-3は2ケースをそれぞれ設定した。これらの最大加速度の一覧は、表8のとおりである。また、基準地震動Ss-1、基準地震動Ss-2及び基準地震動Ss-3の※時

刻歴波形及び応答スペクトルを別図1～3に示す。

表8 基準地震動 S s の最大加速度

基準地震動 S s			最大加速度振幅(cm/s <sup>2</sup> )		
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトルに基づく手法	設計用模擬地震波	水平動	S s - 1H	650
			鉛直動	S s - 1V	377
震源を特定して策定する地震動	断層モデルを用いた手法	敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・西破壊	水平動NS	S s - 2-1NS	579
			水平動EW	S s - 2-1EW	390
		鉛直動UD	S s - 2-1UD	210	
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊	水平動NS	S s - 2-2NS	456
			水平動EW	S s - 2-2EW	478
			鉛直動UD	S s - 2-2UD	195
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・第17スベリテ西破壊	水平動NS	S s - 2-3NS	371
			水平動EW	S s - 2-3EW	418
			鉛直動UD	S s - 2-3UD	263
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・西破壊	水平動NS	S s - 2-4NS	452
			水平動EW	S s - 2-4EW	494
			鉛直動UD	S s - 2-4UD	280
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	水平動NS	S s - 2-5NS	452
			水平動EW	S s - 2-5EW	388
			鉛直動UD	S s - 2-5UD	199
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・東破壊	水平動NS	S s - 2-6NS	291
			水平動EW	S s - 2-6EW	360
			鉛直動UD	S s - 2-6UD	201
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 54km・入倉・三宅の手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	水平動NS	S s - 2-7NS	458		
	水平動EW	S s - 2-7EW	371		
	鉛直動UD	S s - 2-7UD	178		
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊・入れ替え	水平動NS	S s - 2-8NS	478		
	水平動EW	S s - 2-8EW	456		
	鉛直動UD	S s - 2-8UD	195		
震源を特定せず策定する地震動		2004年北海道留萌支庁南部の地震 基盤地震動の基準化波	水平動	S s - 3-1H	620
			鉛直動	S s - 3-1V	320
		2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム(監査廊)の観測記録	水平動NS	S s - 3-2NS	528
			水平動EW	S s - 3-2EW	531
			鉛直動UD	S s - 3-2UD	485

そして、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に係る基準地震動 S s , すなわち基準地震動 S s - 1 及び基準地震動 S s - 2 は, 平成 26 年 1 1 月 7 日に開催された原子力規制委員会の審査会合で了承が得られた(乙 D 3 9 ( 3 3 頁))。また, 「震源を特定せず策定する地震動」に係る基準地震動 S s , すなわち基準地震動 S s - 3 は, 同年 1 2 月 1 2 日に開催された原子力規制委員会の審査会合で了承が得られた(乙 D 4 0 ( 2 8 頁))。

#### 4 基準地震動 S s の年超過確率

被告は、基準地震動 S s を策定するにあたり、詳細な調査を尽くした上で、様々な不確かさを考慮するなどして、余裕をもった保守的な評価を行っていることから、本件発電所において基準地震動 S s を超過する地震動が発生することは、確率的に完全に否定することはできないとしても、まず考えられない。このことを定量的に確認するため、基準地震動 S s の年超過確率を算定した。

##### (1) 年超過確率の算定方法

年超過確率の算定は、一般社団法人日本原子力学会が定めた「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、「特定震源モデルに基づく評価」及び「領域震源モデルに基づく評価」を実施した。

「特定震源モデルに基づく評価」は、一つの地震に対して、震源の位置、規模及び発生頻度を特定して扱うモデルで、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」に対応する。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及び南海地震を考慮した。

「領域震源モデルに基づく評価」は、ある拡がりを持った領域の中で発生する地震群として取扱うモデルで、「震源を特定せず策定する地震動」に対応する。活断層の存在が知られていないところで発生し得る内陸地殻内地震、南海地震以外のフィリピン海プレートで発生する地震（プレート間地震及び海洋プレート内地震）を考慮した。

そして、両モデルにおける年超過確率を足し合わせて、全体としての年超過確率を算定した。

(2) 年超過確率の算定結果

本件発電所における基準地震動  $S_s - 1$  の応答スペクトルと上記(1)で算定した全体としての年超過確率を示す曲線(一様ハザードスペクトル)との比較を, 一例として図4に示す。これによると, 本件発電所における基準地震動  $S_s - 1$  の年超過確率は,  $10^{-4} \sim 10^{-6}$  /年程度, つまり, 1万年~100万年に1回程度となり, 基準地震動  $S_s - 1$  を超過する地震動が発生する可能性が極めて低いことが確認できた。同様の比較から, 基準地震動  $S_s - 2$  及び基準地震動  $S_s - 3$  の年超過確率も同程度であることを確認した。ちなみに, 図4によると, \*最大速度が大きくなれば, つまり地震動が大きくなればなるほど, 超過する確率は下がることになる。

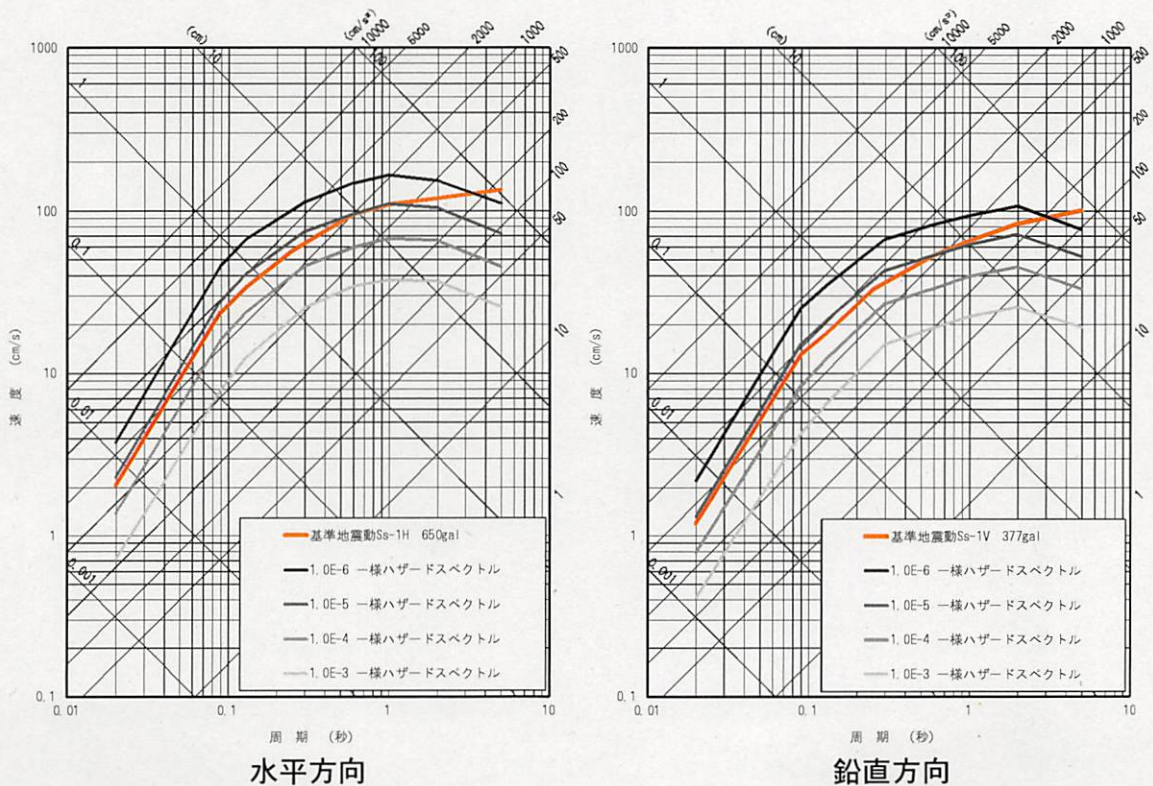


図4 基準地震動  $S_s - 1$  の年超過確率

### 第3 地震動評価手法の発展について

本件発電所の耐震設計において基準とした地震動に係る建設時の考え方及び建設時以降の対応状況については、被告準備書面（5）第2の3(2)～(4)（21頁以下）及び同4（48頁以下）においてすでに詳細を述べたとおりであるが、その時々最新の知見、科学技術等に基づく評価手法を用いているため、各時点の評価は必ずしも同じではない。原子力発電所に係る地震動の評価手法は、知見の充実、科学技術の進捗、解析手法の高度化等を背景に、絶えず発展・高度化し、その積み重ねの結果、現在の地震動評価及び基準地震動 $S_s$ の策定手法がある。したがって、現在の地震動評価及び基準地震動 $S_s$ の策定手法を正しく理解する上では、これまでの地震動評価手法が発展・高度化してきた経緯を理解することが重要である。以下、原子力発電所における地震動評価手法が発展・高度化してきた経緯について述べる。

#### 1 耐震設計審査指針策定以前の原子力発電所における地震動評価手法について

耐震設計審査指針策定以前の原子力発電所の地震動評価は、基本的には、文献等による調査により把握した発電所敷地周辺地域における過去の地震の発生状況、地震による被害状況等を基に地震動評価を行い、耐震設計の基準とする地震動（設計用地震動）を策定し、さらに、耐震安全上の余裕を確認するために設計用地震動の1.5倍の地震動を安全余裕検討用地震動として策定するものであった（もっとも、本件1・2号炉の建設時には敷地前面海域の断層群の活動をも考慮していることは被告準備書面（5）（26頁以下）において述べたとおりである。）。

当時は、過去の地震歴の調査から震源位置、地震規模等を推定し、金井



清氏が提唱した「金井式」と呼ばれる距離減衰式等に基づいて地震動評価を行うのが主流であった。金井式は、茨城県にある日立鉱山の地下150～450mにおける硬質地盤上の地震観測記録を基に、\*地震基盤における地震動の最大速度振幅、地震規模（マグニチュード）及び震源距離の関係を示した距離減衰式である。経験式の基となる観測記録が限定的であることなど、発展途上の手法ではあったものの、その後の地震動評価手法発展の礎となったものであり、原子力発電所における地震動評価を始め、広く利用された。

## 2 耐震設計審査指針策定後の原子力発電所における地震動評価手法について

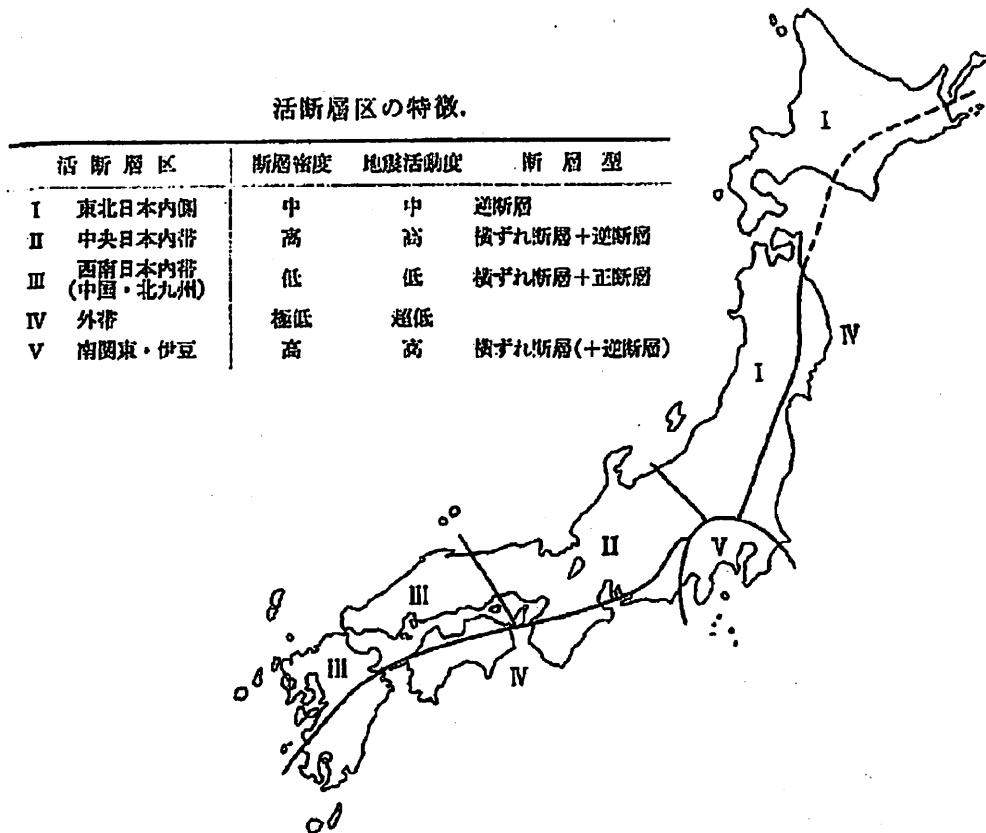
昭和53年に制定された耐震設計審査指針（乙E4）は、当時の原子力委員会原子炉安全専門審査会の下部機関として設置された耐震設計検討会（後に原子炉安全技術専門部会耐震設計小委員会）において、多数の専門家を交えて、数年にわたる審議・検討を経て制定されたものである。耐震設計審査指針策定前と基本的な考え方の相違はないが、当時の最新の知見を踏まえて策定されたものであり、以下の点で地震動評価手法の高度化が図られた。

### (1) 活断層による地震の考慮

耐震設計審査指針の制定に向け審議・検討が進められていた当時は、将来の地震を発生させる原因として活断層が注目されるようになり、活断層の研究が地質学者や地形学者が中心となって活発に行われるようになっていた。こうした知見の蓄積を踏まえ、耐震設計審査指針においては、過去の地震歴に基づく検討に加え、活断層による地震も考慮することが明記された。

(2) 地震地体構造による地震の考慮

地震地体構造とは、地震規模、震源深さ、発震機構、地震発生頻度等に着目するとき、地震の発生の仕方に共通の性質を持つある広がりをもった一定の地域の地質構造のことである（地震地体構造区分の一例を図5に示す。）。日本は、地質構造や地形を基に分類できるような、いくつかの異なる地域から成り立っており、日本で起こる地震にもまた、その性質に地域性があるとの地震地体構造の考え方が提唱されるようになった。こうしたことを踏まえ、耐震設計審査指針では、地震地体構造区分を基に、それぞれの地域での地震の最大規模を想定することが明記された。



（「日本の活断層と地震」（岡田篤正・安藤雅孝，1979）より抜粋）

図5 地震地体構造区分の例

### (3) 直下地震の考慮

基準地震動S2の策定において、活断層の存在を示す地形学及び地質学的な証拠がない場合にも、M6.5の直下地震を考慮することとされた。これは、M6.5以下の地震では断層が地表に現れず、地震を引き起こす活断層を見逃す可能性があるとの地震学、地質学等の知見を工学的に判断、すなわち、実際に起きる地震とは関連なく敷地のごく近傍においてある程度の地震が発生したと仮定しても安全が保たれるよう耐震設計を行っておくべきであるとの考え方から、あくまで念のために、原子炉施設の耐震設計条件の一つとすることが定められたものである。

### (4) 応答スペクトルに基づく地震動評価手法の採用

わが国では1948年福井地震を契機に、1950年代から強震計の設置が進められてきたが、耐震設計審査指針が制定された昭和53年(1978年)頃には、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震等の強震観測記録が蓄積されてきたことから、地震動の実測結果に基づいて開発された経験式(距離減衰式)が提案されるようになった。そして、耐震設計審査指針では、応答スペクトルに基づく地震動評価手法(地震動の実測結果に基づいた経験式)が採用された。応答スペクトルに基づく地震動評価の多くは、実際は広がりを持った断層面から放出される地震波を、ある一つの震源から放出されるものと仮想して(点震源)、地震の規模、評価地点までの距離等から経験式(距離減衰式)を用いて地震動の応答スペクトルを求め、地震動を評価するものである(図6)。原子力発電所に係る地震動評価においては、応答スペクトルに基づく地震動評価手法の一つである「大崎の手法」が広く用いられた。大崎の手法は、国内外の加速度記録84成分と転倒墓石のデータを用い、地震規模(マ

グニチュード) と震央距離から応答スペクトルを求める方法を提案するものである。

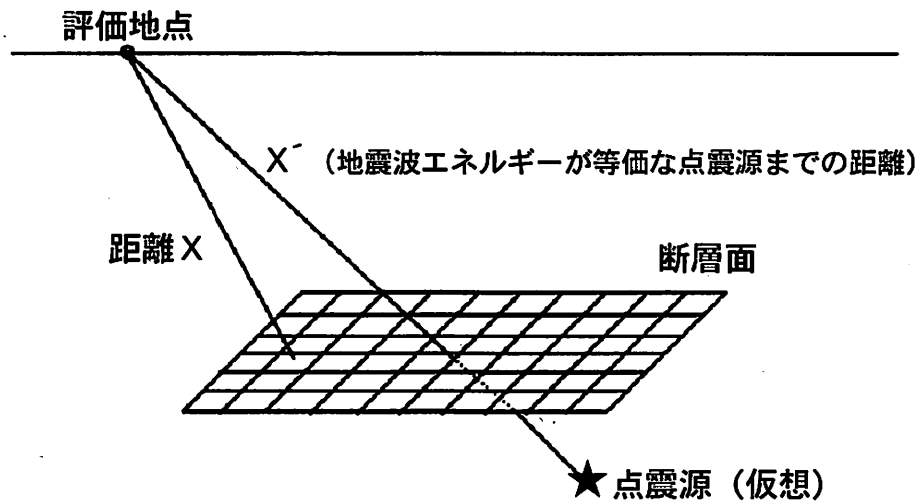


図6 応答スペクトルに基づく地震動評価の概念図

なお、耐震設計審査指針は、応答スペクトルに基づく地震動評価手法は評価点が震源域内に位置する場合に大きめの値を与えることがあるため、その場合には他の手法によることも認めていた。本件3号炉の建設時には、敷地前面海域の断層群が発電所敷地から比較的至近に位置しており、大崎の手法を用いることが適当ではなかったことから、当時、発展途上であった断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施して同断層群による地震の影響を評価した(被告準備書面(5)第2の3(3)ウ(30頁以下))。

### 3 1995年兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積と地震動評価手法の発展について

1995年兵庫県南部地震では、日本で初めて震源近傍で強震動が観測

され、地震の「震源特性」、地震波の「伝播特性」及び地盤の「増幅特性」が強震動やそれによる被害に大きく影響していることが明らかになった。そして、将来の地震における強震動を高精度で予測するためには、それらの3つの地域特性を考慮した地震動評価を行う必要があることが広く認識され、地震に関して様々な調査及び観測が行われた。その結果、地震学、地震工学等の新たな知見が急速に蓄積された。

具体的には、1995年兵庫県南部地震では、震源となった断層の直上ではなく南側のやや離れた所に「震災の帯」(図7)と呼ばれる被害の集中域が現れたメカニズムが詳細に分析された。すなわち、「震災の帯」及びその周辺では、建物等の固有周期と概ね同じ周期1秒前後のパルス(振幅の大きい波)を有する強震動が観測され、これが建物等の被害を生じさせた原因であると考えられた。このため、断層モデルによる検証を行い、震源における断層破壊の進行方向でアスペリティから放出された大きな地震波が重なり合ったこと(指向性)により上記パルスが発生したことが明らかになった。また、断層の南側に存する堆積層及び深部地下構造の影響を受けて地震波が増幅することにより、断層の直上ではなく、やや離れた場所に「震災の帯」が現れたことが判明した。

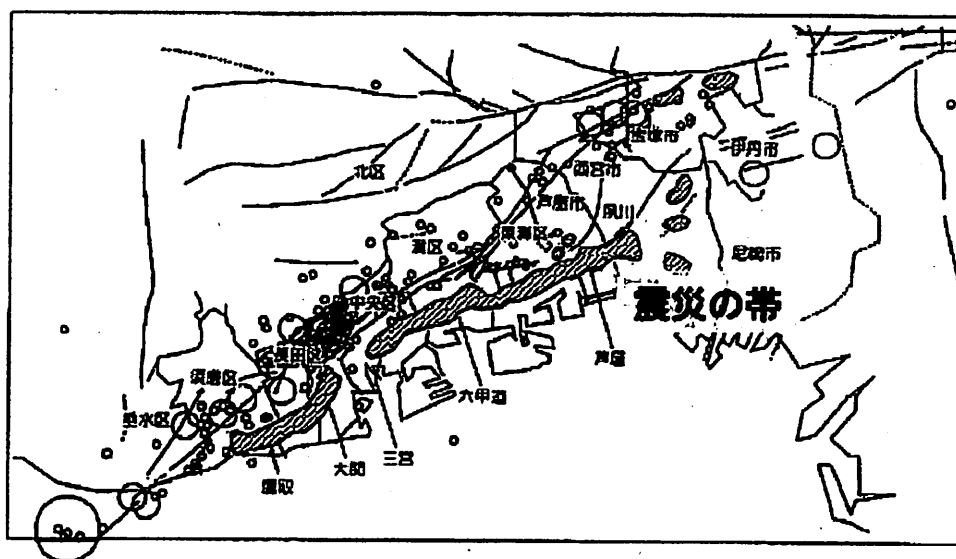


図7 1995年兵庫県南部地震における「震災の帯」

耐震設計審査指針策定後、地震動評価に用いられていた応答スペクトルに基づく手法（大崎の手法等）では、最大加速度や応答スペクトルなどによる揺れの評価を主眼としており、1995年兵庫県南部地震で大きな被害の要因となったパルスを有する時刻歴波形を主眼とした評価を行うものではなかった。1995年兵庫県南部地震では、構造物の耐震性を精緻に把握するには、最大加速度、応答スペクトル等を用いた評価だけでなく、時々刻々と変化する揺れを表現できる時刻歴波形による評価が極めて重要であることが認識された。そのため、地震の「震源特性」、地震波の「伝播特性」及び地盤の「増幅特性」を反映した時刻歴波形を直接作成する断層モデルを用いた評価手法が、特に震源近傍の地震動評価では重要なものと位置付けられるようになった。

1995年兵庫県南部地震は、甚大な被害をもたらすとともに、わが国の地震防災対策に関する多くの課題を浮き彫りにした。この地震による甚

大な被害経験を活かすため、当時の総理府（現・文部科学省）に地震調査研究推進本部が設置され、全国の基盤的観測網の構築と併せて、活断層調査、地下構造調査等が行われた。強震観測網の充実で、大きな地震が起きると精度良い地震動が記録され、その解析から震源断層の破壊過程が直ちに断層モデルとして計算されることなどにより、地震の「震源特性」に係る知見が蓄積されるようになった。そして、蓄積された知見を基に、「震源特性」に係るスケーリング則が提案されるようになった。さらには、強震動を高精度に予測するため、「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」として、震源断層を特定した地震の強震動予測手法（強震動予測レシピ）が作成された。こうした、地震動評価手法の高度化に伴い、スケーリング則によって求められる震源特性に係る過去の地震の平均的な値と、各地域の観測記録等から得られた震源特性とを比較することができるようになり、当該地域の地域特性を把握することができるようになった。例えば、「震源特性」のうち強震動に直接影響する\*短周期レベルについて、壇ほか（2001）、佐藤（2010）等の知見により、日本海溝沿いの太平洋プレートで発生する宮城県沖のプレート間地震は他の地域と比べて短周期レベルが大きいこと、内陸地殻内地震のうち\*横ずれ断層型・正断層型の地震は逆断層型の地震に比べて短周期レベルが小さいことなどの特性が明らかになった。

さらに、都市部の関東平野、濃尾平野、大阪平野を中心に地下構造調査が行われ、各地域における地震波の「伝播特性」及び地盤の「増幅特性」による影響が検討された。

また、従来から地震による揺れの評価に用いられてきた応答スペクトルに基づく地震動評価手法についても、強震観測網の充実により、数多くの

観測記録を統計的に分析することができるようになったため、過去に発生した地震動の平均的な値を精度良く評価できるようになった。その結果、応答スペクトルに基づく地震動評価においても、過去の地震の平均的な値と各地域で得られた観測記録との比較により、当該地域の地震像の地域的な特性を把握することができるようになった。

以上のように、1995年兵庫県南部地震を契機に、地震動評価手法に関する研究が大きく進展した結果、地域的な特性を踏まえて地震の「震源特性」、地震波の「伝播特性」及び地盤の「増幅特性」を考慮した詳細かつ高度な地震動評価が可能となった。

#### 4 耐震設計審査指針の改訂及び同指針改訂後の原子力発電所に係る地震動評価手法について

##### (1) 耐震設計審査指針の改訂

昭和53年に耐震設計審査指針が制定されて以降、上記3で述べたとおり地震動評価手法が高度化するとともに、地震学及び地震工学に関する新たな知見の蓄積には著しいものがあつた。特に、1995年兵庫県南部地震に関連する調査研究の成果等を通じて、断層の活動様式、地震動特性、構造物の耐震性等に係る貴重な知見が得られた。このような状況を踏まえ、原子力安全委員会は、平成8年度から平成12年度の5年間にわたり、原子力施設の耐震安全性に関する海外の基準類や文献の収集整理等を行い、平成13年6月からは、耐震安全性に係る安全審査指針類について、最新知見等を反映し、より適切な指針類とするために必要な調査審議を開始し、平成18年4月に改訂指針案のとりまとめを行った。その後、パブリックコメント等を経て、平成18年9月、原子力安全委員会は、耐震設計審査指針の改訂を行った。改訂後の耐震設計審



査指針（乙E2（59頁以下））では、基準地震動 $S_s$ の策定に係る地震動評価手法が大幅に高度化された。関連する主な変更点を以下に述べる。

#### ア 基準地震動の一本化

改訂前の耐震設計審査指針では、設計用最強地震による基準地震動 $S_1$ と設計用限界地震による基準地震動 $S_2$ との2種類の基準地震動を設定することとされていたが、改訂後の耐震設計審査指針では基準地震動 $S_s$ に一本化された。

耐震設計においては、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、耐震 $S$ クラスの施設の安全機能が保持されること、すなわち、基準地震動 $S_s$ による地震力で生じる変形が塑性領域（荷重による変形が\*弾性領域を超え、荷重がなくなった後に元の形に戻らない変形の領域）まで達したとしても耐震安全性（安全機能の維持）が確保できることが基本的な考え方となった。その上で、工学的な観点から弾性設計用地震動 $S_d$ を設定（基準地震動 $S_s$ に0.5を下回らない係数を乗じて設定）し、耐震 $S$ クラスの施設が弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力に対して施設全体として概ね弾性範囲に収まるよう耐震設計（弾性設計）を行うことを求めることにより、基準地震動 $S_s$ に対する施設の安全機能の保持をより高い精度で確保できるよう配慮を行っている。

#### イ 「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」の策定

基準地震動 $S_s$ の策定にあたっては、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」とに分けて策定することとされた。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の地震動評価は、応

答スペクトルに基づく地震動評価において設定した設計用応答スペクトルと、断層モデルを用いた手法による地震動評価において検討用地震ごとに設定した応答スペクトルとを基に、それらを比較して策定する。

「震源を特定せず策定する地震動」は、改訂前の耐震設計審査指針の基準地震動 S 2 における直下地震の考慮に対応するものであり、耐震安全性を確保するため念には念を入れた耐震設計を行っておくとの観点から策定するものである。また、実際の観測記録を基に策定するものであり、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価によって策定される「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」とは性質が異なるため、改訂後の耐震設計審査指針では両地震動を個別の基準地震動 S s として策定するよう求めている。

ちなみに「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 2 0 0 8）」においては、「震源を特定せず策定する地震動」として評価した応答スペクトルが、全周期帯において「設計用応答スペクトル」（次項参照）を下回る場合は「設計用応答スペクトル」で代表させ、「設計用応答スペクトル」を一部の周期帯で上回る場合には双方を個別に評価する旨が規定されている。

ウ 「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の実施

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価にあたっては、地震動評価手法等の高度化を反映し、「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施

し、それぞれによる基準地震動  $S_s$  を策定することとされた。

「応答スペクトルに基づく地震動評価」においては、用いる経験式の適用条件及び適用範囲を検討して適切に選定した上で、複数選定した検討用地震について各々の応答スペクトルを求め、それらを全て包絡する応答スペクトル（設計用応答スペクトル）を設定する。この評価方法は、改訂前の耐震設計審査指針から何ら変わらない。

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、地震動の実像を精緻に評価するものである。「断層モデルを用いた手法による地震動評価」では、上記3において述べたとおり、地震の震源特性、地震波の伝播特性及び地盤の増幅特性を反映した時刻歴波形及び応答スペクトルを作成することが可能である。「断層モデルを用いた手法による地震動評価」によって作成された時刻歴波形及び応答スペクトルは、「応答スペクトルに基づく地震動評価」による応答スペクトルとは異なり、その形状の凹凸に地震動の諸特性（\*周波数特性，継続時間，\*位相特性等）が反映されたものであるから、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による地震動はそのまま安全性評価に用いることが妥当である。改訂後の耐震設計審査指針が規定しているように、評価手法の異なる「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とのそれぞれについて基準地震動  $S_s$  を策定することによって、それぞれの手法の特徴を活かすことができるようになるのである。もっとも、結果的に、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による応答スペクトルが、「応答スペクトルに基づく地震動評価」により求めた設計用応答スペクトルを全周期帯において有意に下回る場合は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」により

求めた設計用応答スペクトルで代表させることができるとされている。

#### エ 「不確かさ」の考慮

基準地震動  $S_s$  の策定過程（検討用地震の選定や地震規模，震源断層，アスペリティ等のパラメータの推定）には種々の不確かさが存在するが，この不確かさは地震動に過小又は過大な評価をもたらす可能性がある。このため，基準地震動  $S_s$  の策定過程に伴う不確かさについて，これによって算定される地震動が過小評価にならないよう，基準地震動  $S_s$  の策定に及ぼす影響が大きいと考えられる不確かさの要因及びその大きさの程度を十分踏まえつつ，適切な手法を用いて考慮することとされた。

#### オ 「残余のリスク」の認識

改訂後の耐震設計審査指針には，地震学的見地から，基準地震動  $S_s$  を超える強さの地震動が発生する可能性は否定できず，「残余のリスク」が存在すること，したがって，「残余のリスク」の存在を十分認識しつつ，それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力が払われるべきであることが明記された。ちなみに，「残余のリスク」とは，「策定された地震動を上回る地震動の影響が施設に及ぶことにより，施設に重大な損傷事象が発生すること，施設から大量の放射性物質が拡散される事象が発生すること，あるいはそれらの結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすことのリスク」とされる。

「残余のリスク」を合理的に実行可能な限り小さくするためには，基準地震動  $S_s$  の超過確率を小さくすることが重要である。こうした観点からも，敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価における不確かさを十分に考慮すること，基準地震動  $S_s$  の超過確率に係る

評価を行い十分に低いレベルに抑えられることを確認することが必要とされている。

(2) 原子力発電所の地震観測記録から得られた知見

地震動評価手法の発展の契機となった1995年兵庫県南部地震後に発生した、2005年宮城県沖地震(M7.2)、2007年能登半島地震(M6.9)、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、原子力発電所において大きな地震動(観測記録)が得られ、これを基に実施した詳細な分析、地下構造に係る追加調査等により、平均よりも大きな地震動をもたらす地域特性(「震源特性」、「伝播特性」及び「増幅特性」)に係る新たな知見等が得られた。

まず、震源特性について、いずれの事例においても、地震時に得られた観測記録の分析から、震源特性を決める重要なパラメータである短周期レベルが平均よりも大きなものであった。例えば、2005年宮城県沖地震では、東北電力株式会社女川原子力発電所の基準地震動S2を超えることとなった要因について、同社は「短周期成分の卓越が顕著である傾向が認められた。」とし、「今回の地震による敷地における地震動の特徴は、宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震の地域特性によるものと考えられる。」と結論付けている(乙D41(3頁))。

また、伝播特性について、2007年新潟県中越沖地震の際、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所において地震動の増幅が生じた要因の一つとして、深部地盤の不整形性の影響により2倍程度増幅する傾向が確認された(乙D42(3頁))。

さらに、増幅特性について、2007年能登半島地震の際、北陸電力

株式会社志賀原子力発電所で観測された周期0.6秒のピークは敷地地盤の増幅特性によるものと分析された(乙D43(5頁))。2007年新潟県中越沖地震の際には東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所において発電所敷地下の古い褶曲構造による増幅特性が確認された(乙D42(3頁))。

これらの地震で得られた新たな知見は、各原子力発電所の地震動評価において、当該発電所の地域性を踏まえて活用され、それぞれ基準地震動 $S_s$ が策定された。例えば、2005年宮城県沖地震によって、宮城県沖のプレート間地震は他の地域と比べてその「震源特性」として短周期レベルが大きいことが明らかとなったことから、東北電力株式会社女川原子力発電所では、同地震の強震断層モデルを活用するなどして、その地域性を考慮した地震動評価を行い、基準地震動 $S_s$ を策定した(乙D44(2頁))。その結果、2011年東北地方太平洋沖地震で観測された同発電所敷地の地震動は、一部の周期帯で基準地震動 $S_s$ の応答スペクトルをやや上回ったものの、全体としては概ね同等のレベルであり、同地震後に行った施設の点検及び地震応答解析による詳細検討により同発電所の耐震安全性に影響がないことが確認されている(乙D45~47)。

### (3) 新規制基準の策定

平成25年7月に施行された新規制基準については、2011年東北地方太平洋沖地震に係る知見、福島第一事故の発生等を踏まえて策定されたものであるが、地震動評価及び基準地震動 $S_s$ に係る基本的な部分については従前の耐震設計審査指針とほぼ同一である(被告準備書面(5)第2の3(4)ウ(37頁以下))。ただし、その適用においては、上

記(2)で述べた知見も含め、最新の知見を踏まえることになるため、新規制基準においても地震動評価手法は高度化したものとなっている。

#### 第4 原告らの主張に対する反論

##### 1 基準地震動 $S_s$ が平均像であるとの主張に対する反論

原告らは、原子力発電所の基準地震動  $S_s$  が平均像に基づいており、著しい過小評価になっている旨主張する。

しかしながら、原子力発電所の基準地震動  $S_s$  は、詳細な調査、最新の知見等を踏まえて、原子力発電所ごとの地域特性を反映した評価を行い、不確かさを十分に考慮して設定するものであり、原告らの主張に理由はない。以下では、原告らが主張する各論点について反論する。

##### (1) 応答スペクトルに基づく地震動評価について

原告らは、応答スペクトルに基づく地震動評価について、「耐専スペクトルも、野田他(2002)(ママ)の応答スペクトルも、さらにはZhao et al(2006)の応答スペクトルも、平均像を求めようとしているものである。」(原告準備書面(26)第2章第2の2(54頁))として、平均像を用いた場合、不確かさを十分考慮しなければならないところ、「この手法について、どの原発でも、この平均像ではないことからくる不確かさを考慮していない。」(同3(56頁))と主張する。(なお、原告らは、耐専スペクトルと原告らが「野田他(2002)」と表記するNoda et al.(2002)の方法とを区別して主張しているが、これらは同一の手法である。Noda et al.(2002)は、耐専スペクトルによる地震動評価の方法を記した学術論文を指しており、「Noda et al.(2002)による方法=耐専スペクトル」である。原告らがこれらを区別する趣旨は不明で

あるが、被告としては区別する必要がないため、以下では「耐専スペクトル」とのみ表記する。また、Zhao et al. (2006) は応答スペクトルに基づく地震動評価手法の一つであり、地震発生様式、震源深さ等を考慮した地震動評価が可能である(乙D35(99頁)参照)ことから、被告は検討用地震の選定に用いたが、詳細評価では原則として耐専スペクトルを使用したため、以下では耐専スペクトルを中心に述べる。)

確かに、耐専スペクトルを始め、応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる距離減衰式(乙D35(96頁以下)参照)は、地震規模や断層最短距離といったパラメータを設定し、当該パラメータの下での平均的な地震動を算定するものである。しかしながら、耐専スペクトルは、地震の規模(マグニチュード)、\*等価震源距離、\*解放基盤表面(評価地点)の弾性波速度(\*S波速度)及び地盤の\*卓越周期から解放基盤表面の地震動の応答スペクトルを算定するものであり、これらのパラメータの設定において不確かさを考慮することが可能である。実際被告が当該パラメータの設定において不確かさを考慮していることは、上記第2で述べたとおりである。すなわち、断層長さ480km、130km及び54kmの3ケースそれぞれについて、不確かさとして、断層傾斜角が鉛直のケースと北傾斜のケースを考慮して評価を行った(これにより地震の規模(マグニチュード)及び等価震源距離が変化する)。また、断層長さ130km及び54kmのケースでは、耐専スペクトルにおいて\*極近距離内の評価となるため、他の距離減衰式による評価に比べ過大な結果が生じる傾向にあったが、より保守的な評価を行う観点から、北傾斜ケースについてはあえて過大な結果を与える耐専スペクトルを用いた(鉛直ケ



ースについては適用が困難であったため、その他の距離減衰式により評価した。)。さらには、中央構造線断層帯による地震に対して耐専スペクトルを用いる場合、内陸補正（耐専スペクトルは、内陸地殻内地震に比べ地震動レベルが高い海洋プレート内地震の地震記録を回帰分析して開発されたものであるため、評価結果を内陸地殻内地震に適した地震動レベルに補正する。基本的には地震動レベルを低減させる補正になる。）を行う方がより適切な結果が得られるところ、保守的な結果が得られるようあえて内陸補正を行わないこととした。（乙D35（130頁））

以上のように、被告が本件発電所において行った応答スペクトルに基づく地震動評価においては、不確かさを考慮するとともに、耐専スペクトルの適用においても保守的な結果となるよう配慮しており、その上で、各検討用地震について算定された応答スペクトルを包絡するよう設計用応答スペクトルを設定し、これを基準地震動 $S_s - 1$ とした。したがって、被告の応答スペクトルに基づく地震動評価において「不確かさを考慮していない。」との原告らの指摘はもとより、被告が策定した同評価による基準地震動 $S_s - 1$ が「平均像」に過ぎず過小であるとの主張は理由がない。

## (2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価について

### ア グリーン関数について

原告らは、経験的グリーン関数について「要素地震として敷地になるべく近い小地震を選ぶのであるが、適切な地震はなかなかなく、多少離れた場所での小地震を選ぶのが通例である。そうすると、どうしても現実の減衰とは食い違ってしまう。」と主張するとともに、中部電力株式会社浜岡原子力発電所における応答スペクトルを例示した上

で、同じ地震であっても、「経験的グリーン関数による結果と統計的グリーン関数による結果とが大きく食い違っている」とし、グリーン関数には、大きな誤差（不確かさ）があると主張する。また、「不確かさの考慮」として、どこの原発でも、グリーン関数の不確かさは考慮されていない。」と主張する。（原告準備書面（26）第2章第3の2（58頁以下））

経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法は、ともに断層モデルを用いた手法による地震動評価で用いる解析手法である(図8)。

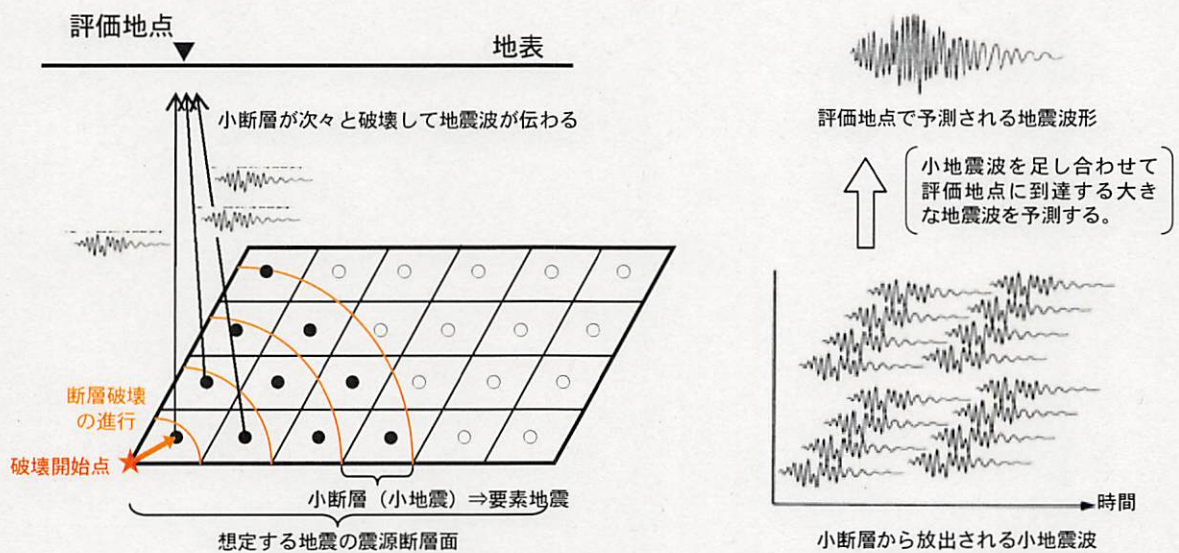


図8 断層モデルを用いた手法による地震動評価の概念図

経験的グリーン関数法は、実際に発生した中小地震の敷地における観測記録のうち、地震動評価に用いるのに適切な観測記録をグリーン関数（要素地震）として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法である。この方法には、評価する活断層付近で発生した小さな地震による評価地点における適切な観測記録が必要となる。経験的グ

グリーン関数に用いる要素地震には、観測記録を用いるため、震源から敷地までの地震波の伝わり方が適切に反映される。一方、統計的グリーン関数法は、実際に発生した様々な地点の中小地震の観測記録を統計処理して得た知見を用いて人工的に小さな揺れ（時刻歴波形）を作成し、これをグリーン関数（要素地震）として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法である。

このように、そもそも、経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法とは、計算の過程で用いるデータが異なる（観測事実か想定値か）などのため、両手法による結果が一致しないことがあるのは当然であり、両手法による評価に誤差があることからグリーン関数が過小な結果を導く手法であるかのように主張する原告らの主張は誤りである。

また、被告は、上記第2の3で述べたとおり、中央構造線断層帯による地震について断層モデルを用いた手法による地震動評価を行うにあたり、不確かさを考慮して、まずは断層長さ480kmの基本震源モデルについて統計的グリーン関数法及び経験的グリーン関数法により評価し、両者を比較した。経験的グリーン関数法では、\*スラブ内地震を要素地震としたため、内陸地殻内地震の評価に用いることができるように補正して用いたところ、統計的グリーン関数法と経験的グリーン関数法との結果は整合しており、本件発電所においては、原告らが主張するような統計的グリーン関数法と経験的グリーン関数法とによる大きな誤差は存しなかった。

また、原子炉施設に影響の大きい周期帯0.1秒付近においては経験的グリーン関数法を用いた評価結果の方が比較的厳しい結果を与えることを確認している。さらに、経験的グリーン関数法では、要素地

震の特徴として南北方向の地震動の長周期側が東西方向のそれに比べて小さく評価される傾向が見られたことから、仮に、東西方向と南北方向とのそれぞれの地震波を入れ替えたケースをも評価して、 $S_s - 2$ に設定している。したがって、原告らの「グリーン関数の不確かさは考慮されていない。」との主張も何ら理由がない。

なお、原告らは、原子力発電所の地震動評価で過去に用いられていた距離減衰式（金井式）に誤差が存在したとして（原告準備書面（26）61頁の図）、同じように距離減衰を導くグリーン関数にも相当に大きな誤差があると推認されると主張するが、被告が行った最新の地震動評価においては、原告らが引用する金井式等の距離減衰式は用いていない。そもそも、上記第3の1で述べたとおり、金井式は耐震設計審査指針策定以前に用いられた手法であり、その後、高度化されてきた現在の手法をこれと等しく論じること自体、失当である。

#### イ 強震動予測レシピ及びスケーリング則について

原告らは、京都大学名誉教授入倉孝次郎氏らが提案した強震動予測レシピのステップに沿って各パラメータの計算方法について縷々述べ、スケーリング則は平均を求めるものであって、現実の現象とはばらつき・誤差が生じ、正確な評価が困難である旨主張する（原告準備書面（26）第2章第3の3（62頁以下）及び同4（79頁以下））。

まず、原告らは、原子力発電所における基準地震動 $S_s$ が過去に発生した地震・地震動の平均のみを内容とするかのように主張しているが、上記主張は誤りである。すなわち、地震動評価において用いられるスケーリング則や経験式は、過去に日本や世界各地で発生した地震やこれを観測した地震動に係るデータの平均を求めるものであるが、

そこに用いるパラメータやその他の地震動評価の過程において、被告が実施した詳細な調査、地震観測記録、様々な知見等を踏まえて設定した基本震源モデルに対し、さらに種々の不確かさを保守的に、つまり大きめの地震動が得られるよう様々に組み合わせて考慮していることは上記第2でも詳細に述べたところである。したがって、こうした不確かさを考慮した上で策定した基準地震動  $S_s$  は、十分な余裕を有しているのであって、単なる平均ではない。

また、原告らは、スケーリング則や経験式の基礎となる個々のデータにばらつきがあることを問題視しているようである。しかしながら、各データにばらつきが生じるのは、それぞれのデータの背景にある地域特性、すなわち、地震の「震源特性」、地震波の「伝播特性」、地盤の「増幅特性」が反映されているためである（例えば、「震源特性」について、その地域で発生する地震の強震動生成域から放出される地震動の短周期レベルが他の地域を含めた平均像より大きければ、観測される地震動はそれだけ平均像よりも大きな地震動となる。また、強震動生成域における断層破壊の進行方向に当たる地点では、他の地点に比べて地震動は大きくなる。）。これらのデータから求めた平均値は、各データの地域特性を平均化した（地域特性の影響をはぎ取った）数値である。したがって、その平均値に対して改めて各評価地点における地域特性を考慮した地震動評価を行うことにより、各評価地点における平均値からの乖離・ばらつきを適切に反映することができる。そして、被告は、基準地震動  $S_s - 2$  を策定するにあたり、詳細な調査を実施し、本件発電所の立地地点における地域特性を十分に把握した上で、地域特性を反映することのできる断層モデルを用いた手法に

よる地震動評価等を行い、基準地震動  $S_s - 2$  の策定を行っている。  
つまり、被告が策定した基準地震動  $S_s - 2$  は、地域特性に伴うばらつきを適切に反映したものとなっているのである。

ウ 平成26年3月29日付の愛媛新聞について

原告らは、平成26年3月29日付の愛媛新聞に掲載された入倉孝次郎氏のインタビュー記事について、入倉氏があたかも「基準地震動は目安に過ぎない「平均像」だ」と述べたかのように指摘し（原告準備書面（19）2（2頁）、原告準備書面（26）第2章第5の2（124頁以下））、また、「現実に発生する地震・地震動がしばしば基準地震動を超えることは、いわば当然」と主張する（原告準備書面（26）第2章第5の2（124頁））。

しかしながら、原告らの指摘は、全くの誤りである。新聞に記載されている入倉氏の発言は、「私は科学的な式を使って計算方法を提案してきたが、これは地震の平均像を求めるもの。」というものである。つまり、入倉氏は基準地震動が平均像であると述べているのではなく、同氏が提案している「科学的な式」が平均像を求めるものだと述べているのである。これは、「科学的な式」、つまり入倉氏が提案するスケーリング則が、特定のパラメータにおける平均像を求めるものであるという公知の事実を述べたものにすぎない。被告が策定した基準地震動  $S_s$  は、入倉氏が提唱しているスケーリング則を始めとする多数の知見、さらには被告が実施した詳細な調査結果等を踏まえて安全側に配慮した上で策定したものであり、最終的な姿は決して平均像ではない。

また、「現実に発生した地震・地震動がしばしば基準地震動を超え

る」という原告らの主張も正しくない。本件発電所において過去に基準地震動  $S_s$  を超えた地震動を観測した事例はないし、他の原子力発電所で発生した事例が本件発電所の基準地震動  $S_s$  の信頼性及び耐震安全性を損なわせるものでないことについては、被告準備書面（6）第4の2(2)及び(3)（24頁以下）で詳述したとおりである。

## 2 震源を特定せず策定する地震動について

被告が震源を特定せず策定する地震動として加藤ほか（2004）及び2004年北海道留萌支庁南部地震の観測記録を考慮していることは、すでに述べたとおりであるが、これに対し原告らは、震源を特定せず策定する地震動の位置付けがミニマムリクワイアメントであるとの考えを批判し、また加藤ほか（2004）を「データとして全く不十分なものでしかない。」と主張する。また、新規制基準が「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」、すなわち「震源の位置も規模も推定できない地震」の地震規模を  $M6.5$  未満としたことを捉え、2004年北海道留萌支庁南部地震（ $M5.7$ ）の観測記録についても、 $M6.5$  未満の最大地震動として考慮すべきであるかのように主張する。

しかしながら、原告らの主張は、震源を特定せず策定する地震動がどのような経緯で考慮されるようになったのか、その結果どのような位置付けにあるのかについての理解を欠いたものであり、失当である。以下において、原告らの主張の誤りについて述べる。

### (1) 震源を特定せず策定する地震動の位置付けについて

原告らは、（独）原子力安全基盤機構の報告書において震源を特定せず策定する地震動が「ミニマムリクワイアメント」であると説明されていることに対し、「最低限の要求などというものではありえない。」と

主張し、「震源を特定せず策定する地震動」が「最低限の要求」でしかないなどという言い分は、このとんでもなく大幅な加藤他（2004）のスペクトル超過という事態を受けて、JNES（被告注：（独）原子力安全基盤機構）が初めて言いだしたことでしかない。」（原告準備書面（26）第2章第4の5(2)（96頁以下））と主張する。

震源を特定せず策定する地震動は、上記第3の4(1)イで述べたとおり、平成18年に耐震設計審査指針が改訂された際に導入されたものであるが、それ以前は基準地震動S2との関係でM6.5の直下地震が想定されていた。直下地震の考慮は、M6.5以下の地震では地表に断層が現れず、このような地震を引き起こす活断層を見逃す可能性があるとの地震学、地質学等の知見を工学的に判断し、あくまで念のために耐震設計条件の一つとされたものである。震源を特定せず策定する地震動は、こうした考え方を継承しつつ、地震研究の発展、知見の蓄積等が反映されたものである。その経緯については、耐震設計審査指針の改訂案の作成・検討を行った原子力安全委員会原子力安全基準・指針専門部会耐震指針検討分科会の委員であった入倉孝次郎氏による日本地震工学会誌No.5への寄稿文（乙D48）に詳しいので、以下に関係する部分を引用する。

「これまでの研究成果から、一般的には、一定規模以上の地震が発生したとき、地震に伴い地表断層が出現し、地震の痕跡が変動地形や地下構造に累積されるが、規模の小さい地震では地表断層が出現しないので、明瞭な断層地形は形成されない、ことはわかってきた。このような関係は「地震規模と地震断層の面積の関係」や「地震規模と震



源断層の長さの関係」など断層パラメーターに関するスケージングに顕著な折れ曲がりが見られることから明らかになってきた・・・。

しかしながら、最近の地震の兵庫県南部地震の震源過程の研究などから、アスペリティが浅い時には、地表断層が出現するが、アスペリティが深いと地表断層が出現しない、こともわかってきた。このようなアスペリティ・モデルの考えから、活断層を事前に特定できるかどうかを地震規模のみで規定するのは問題があることも分科会で指摘された。地震動の観点からは、震源が直下にあるとき、アスペリティが浅いと敷地へ影響の大きい揺れが生じるが、アスペリティが深いと敷地への影響は相対的に小さくなる。

そこで、改訂指針では、旧指針のようにM6.5の「直下地震」というような一定規模の「地震」を規定するのではなく、地震動のレベルから「震源を特定せず策定する地震動」を基準地震動の1つとして別途に算定することとした。具体的には、震源と活断層を関連付けることが困難な内陸地殻内地震について、国内外の幅広い知見の収集、検討を行い、そのような地震の過去の観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動特性を適切に考慮して地震動評価を行うこととした。」

「震源を特定せず策定する地震動の策定方針については、分科会においても意見が分かれたこともあり意見公募でも多くの意見が出された。この問題については、これまでの分科会での議論のまとめとして、指針の解説で敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍におけ

る詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動」（ママ）と規定されている。すなわち、「震源を特定せず策定する地震動」は詳細な地形・地質調査の結果、敷地周辺に活断層が確認されない場合でも、基準地震動として想定すべきminimum requirementを意味している。孤立した短い活断層が確認されたとき、断層の一部しか地表にあらわれない可能性も考慮し一定の長さ（約20km程度）あるいは一定規模（ $M_w \sim 6.5$ ）を想定するとともに、基準地震動が過小評価とならないように不確かさも考慮することなど、震源を特定せず策定する地震動と、震源を特定する地震動の境界がないように規定されている。このようないくつかの歯止めを掛けることにより、改訂指針で安全性の高い基準地震動の策定が可能となる、と考える。」

また、震源を特定せず策定する地震動の位置付けについては、「耐震指針検討分科会報告書－耐震設計審査指針の改訂に関する調査審議について－」（平成18年5月19日）（乙D49）が詳しいので、以下に関係する部分を引用する。

「「震源を特定せず策定する地震動」については、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、これに地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮して基準地震動 $S_s$ を策定することとした。

これは、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動と意味付けたものである。

この考え方を具現化した基準地震動  $S_s$  の策定の妥当性については、申請時点における最新の知見に照らし合わせて個別に確認すべきである。なお、その際には、地表に明瞭な痕跡を示さない震源断層に起因する震源近傍の地震動について、確率論的な評価等を必要に応じて参考とすることが望ましいとの整理もなされた。

これに伴い、旧指針における「直下地震  $M=6.5$ 」という地震規模による設定は廃止することとした。

本件に関する調査審議の過程においては、マグニチュード7クラスまでの内陸地殻内地震は日本中どこでも起こりうるから、マグニチュード7クラスを超えない国内・国外の震源が特定できているものも含めて過去の内陸地殻内地震の震源近傍の観測記録を用いて地震動を策定すべきとの意見も出された。すなわち、いかなるサイトであれ、「直下でマグニチュード7クラスの内陸地震が起こりうる」ということを「デフォルト（初期設定）」として考えるべきであり、「最近の  $M_j$  6.8～7.3 程度の内陸地震の震源域近傍の観測記録に基づき、敷地の地盤物性に応じた地震動として設定する」（既往最大を包絡するように設定する）ことを基本とし、もし、詳細な調査等によりそこまで想定する必要がないと実証されれば、この地震規模の設定を下げてよいとする考え方である。

さらに、具体的な指針本文の規定としては、「国内・国外の既往の内陸地殻内大地震のうち、震源断層面に直結する地表地震断層が出現しなかったものの震源近傍の観測記録に基づき」とする方がよいとの提案もなされた。

これに関しては、「震源を特定せず策定する地震動」の位置付けをどうすべきかの議論がなされた結果として、詳細な調査を前提とした「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定に最大限の努力を払うことにより、この「震源を特定せず策定する地震動」の方は、それでも評価しそこなう敷地近傍の地震に対する備えという性格のもと、補完的な位置付けとして規定することが適切であり、敷地近傍の観測記録が得られている地震の全てを対象とすることは必要ないのではないかとの意見が大勢を占めた。」

つまり、地震動評価の基本は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動であり、これに最大限の努力を払うことによって、震源を特定せず策定する地震動については、念のための補完的な位置づけとして規定されたのである。

また、こうした考え方は新規制基準においても継承されており、地表地震断層が出現しない可能性がある地震（M6.5未満の地震）がミニマムリクワイアメントとして規定されている。

## (2) 加藤ほか（2004）について

加藤ほか（2004）は、震源近傍で得られた観測記録を収集し、震源位置と地震規模を事前に特定できない地震を選定するという作業を行った上で、これらの地震動の上限レベルを検討するというものである。

新規制基準においては、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震における震源近傍の観測記録を収集し、これらを基に震源を特定せず策定する地震動について応答スペクトルを設定して策定することが求められていることから、上記のような検討を行った加藤ほか（2004）を考慮するのはむしろ当然である。そして、観測記録を基に策定した震源を特定せず策定する地震動レベルの妥当性を確認する上でも重要な指標となるものである。

なお、原告らは神戸大学名誉教授石橋克彦氏の見解を示し、平成18年改訂後の耐震設計審査指針の規定及び加藤ほか（2004）を批判するが（原告準備書面（26）第2章第4の3（90頁））、その理由は明確ではない。ちなみに、同氏は、平成13年12月から原子力安全委員会の耐震指針検討分科会委員として耐震設計審査指針の改訂に携わっており、同分科会においても同趣旨の見解を述べていたようであるが、結局のところ他の委員の支持は得られていない。

(3) 2004年北海道留萌支庁南部地震の考慮について

2004年北海道留萌支庁南部地震は、平成16年12月14日、北海道留萌支庁（当時）南部において発生したM5.7の地震であり、震源近傍の観測点において1127ガルという大きな加速度を観測した。その後の調査により信頼性の高いデータが得られたことから、これを震源を特定せず策定する地震動の検討対象地震として選定した。そして、本件発電所の地盤の\*せん断波速度を考慮した上で、地震動評価における不確かさ、原子力発電所に求められる保守性等を勘案し、最大加速度が620ガルとなる地震動を震源を特定せず策定する地震動として考慮したのである。（被告準備書面（5）第2の4(4)イ（78頁以下）を参

照。)

これに対し、原告らは、2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震は、Mw 5.7にすぎないとし、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドが、震源を特定せず策定する地震動を策定するにあたり観測記録を収集する対象となる「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」をMw 6.5未満としていることを捉え、当該地震動をMw 6.5未満での最大地震動に評価し直す（その際には敷地直下に震源を想定する）必要があるかのように主張する（原告準備書面（26）第2章第4の6～8（100頁以下）及び原告準備書面（34））。

しかしながら、震源を特定せず策定する地震動は、詳細な調査に基づく「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定に最大限の努力を払うことが前提にあり、それでも評価し損なう敷地近傍の地震に対する備え、つまり、念のための補完的な位置付けなのであって、最大限を想定しなければならないような性格のものではない。そして、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドにおける震源を特定せず策定する地震動の評価に係る規定は、以下に述べるとおり、Mw 6.5未満の最大地震動の評価を求めるものではなく、原告らはその解釈を誤っている。

平成25年7月8日付で九州電力株式会社が新規制基準の施行を踏まえて行った同社の川内原子力発電所に係る原子炉設置変更許可申請は、平成26年9月10日に原子力規制委員会による許可処分がなされたが、同委員会は許可処分を行うに先立ち、同委員会における審査結果を取りまとめた審査書（案）に対する科学的・技術的意見の募集を行った。寄せられた意見の中には原告らの主張と同様のものが含まれていたが、上記募集の終了後、当該意見に対する原子力規制委員会の考え方が示され、

その中で、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドにおける震源を特定せず策定する地震動の位置付けについて次のとおり説明している。

「震源を特定せず策定する地震動は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集・検討し、敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定することを求めています。・・・地震ガイドでは、上記のような地震の観測記録に基づいて評価することを求めており、単に仮想的なMw 6.5の地震動を評価することを求めているわけではありません。」

(乙D50(別紙1の25頁))。すなわち、震源を特定せず策定する地震動の策定にあたり、2004年北海道留萌支庁南部地震をMw 6.5未満の最大地震動に評価し直す必要はないのである。

- (4) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動S<sub>s</sub>と震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動S<sub>s</sub>との関係について

原告らは、震源を特定せず策定する地震動に係る2004年北海道留萌支庁南部地震の評価結果を考慮して「被告は、S<sub>s</sub>-1Hを策定したとする。」と主張し、また、震源を特定せず策定する地震動の水平動が一部周期においてS<sub>s</sub>-1を上回っていることを捉え、「この部分でS<sub>s</sub>を大きくしようとはしていない。このこと自体、まずは誤りであることが明らかである。」と述べる。(原告準備書面(26)第2章第4の8(3)(109頁以下))

まず、原告準備書面(26)112頁に示す図は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち応答スペクトルに基づく地震動評価を基に策定した基準地震動S<sub>s</sub>-1と、2004年北海道留萌支庁南部地震

を基に策定した震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトルとを単に比較したものにすぎず、2004年北海道留萌支庁南部地震の評価結果を考慮して基準地震動 $S_s - 1$ を策定したことを示すものではない。

次に、「震源を特定せず策定する地震動」は、上記第3の4(1)イ(32頁以下)で述べたとおり、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価によって策定される「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」とは性質が異なるものであり、新規制基準においても、「基準地震動は、「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、(中略)それぞれ策定すること。」(実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈(別記2)5-(乙E6))と定められており、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動と震源を特定せず策定する地震動とは、別々に基準地震動 $S_s$ を定めることとされている。こうしたことから、被告は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち、応答スペクトルに基づく地震動評価によって基準地震動 $S_s - 1$ を、震源を特定せず策定する地震動の評価によって基準地震動 $S_s - 3$ をそれぞれ策定しているのであって、震源を特定せず策定する地震動が応答スペクトルに基づく地震動評価によって策定する基準地震動 $S_s - 1$ を一部の周期で上回ったとしても、それは基準地震動 $S_s - 3$ に反映されるべきものであって、基準地震動 $S_s - 1$ を大きくしなければならぬ必然性はない。

ちなみに、「震源を特定せず策定する地震動」として評価した応答スペクトルが、全周期帯において「設計用応答スペクトル」を下回る場合には「設計用応答スペクトル」で代表させることができることはすでに



述べたとおりである。被告の従来の評価（平成24年5月7日付答弁書第4の5(2)（48頁以下）で主張した地震動評価）では、震源を特定せず策定する地震動による応答スペクトルが、応答スペクトルに基づく地震動評価によって策定した基準地震動 $S_s$ の応答スペクトルを下回ることが確認できたため、震源を特定せず策定する地震動の基準地震動 $S_s$ を個別に設定しなかったが、「設計用応答スペクトル」を「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルが一部の周期帯で上回る場合には、それぞれに基準地震動 $S_s$ を策定するのが適正な評価方法である。

### 3 地震・地震動に関するデータについて

原告らは、「地震は、いつも同じ場所で同じ規模で発生するものではない。」、「現在の耐震設計は、破壊が常に一定の領域で起こり、それがその領域の外に拡大することはないという、一種のドグマによってなされている。」、地震・地震動に関するデータは「数10年程度の極めてわずかなもの」であり、地震現象の想定において「この程度の期間での過去最大の地震動では全く不足する。」などと主張する（原告準備書面（26）第3章第4の2（180頁以下））。

被告は、詳細な調査を尽くし、さらに最新の知見等を踏まえた検討を行い、それでもなお不確かさの残る点があれば、これを安全側に考慮した評価を行っていることはすでに述べたとおりである。実際に、中央構造線断層帯による地震の規模を左右する断層長さについて複数の連動ケースを想定するなど、原告らの主張する「破壊が常に一定の領域で起こり、それがその領域の外に拡大することはない」という前提に立った地震動評価は行っていない。また、地震の発生に関する過去のデータが限られているとしても、これを補充するに足りる科学的知見が存在しており、科学的根拠に

基づく地震動想定が可能であることは被告準備書面（6）第4の2(1)（20頁以下）において詳述したとおりである。

#### 4 長沢啓行氏の意見書について

原告らは、原告準備書面（16）において、大阪府立大学名誉教授の長沢啓行氏の意見書（甲107。以下、「長沢意見書」という。）を引用して、被告の地震動評価が過小である旨主張する。

長沢意見書は、被告が本件発電所の建設以降行ってきた様々な時点における地震動評価に対し、いずれも過小評価である旨批判する。

以下では、長沢氏が被告の最新の地震動評価に対する批判として主張している、平成25年7月8日に被告が行った本件3号炉に係る原子炉設置変更許可、工事計画認可及び保安規定変更認可の各申請時における被告の地震動評価（一部、長沢氏が意見書を執筆するまでの原子力規制委員会による審査を踏まえた内容を含む）に対する批判について、それらの批判がいずれも妥当ではなく、被告の地震動評価が過小なものではないことを説明する。（なお、長沢氏の専門は、「生産管理システム」や「スケジューリング」等の経営工学であり、地震学の専門家ではない。）

##### (1) 耐専スペクトルについて

###### ア 耐専スペクトルの適用に際しての内陸補正について

長沢氏は、被告が耐専スペクトルの適用に際し内陸補正を行っているとして、次のとおり批判する。

- ・被告は、平成18年の耐震設計審査指針改訂後に実施した地震動評価では「不確かさを考慮するものとして、内陸地震に対する補正を用いないこととする」としていたにもかかわらず、現在の評価では、内陸補正を行い、耐専スペクトルでも行える「震源特性

で1.5倍の不確かさの考慮」を行っていない（長沢意見書24頁）。

- ・内陸地殻内地震に内陸補正は必ずしも必要ではない。被告が内陸補正を行うことが妥当であるとする根拠として引用している東京電力株式会社作成の報告書においても、「\*縦ずれ断層では、内陸補正を加えないほうが観測記録と対応する例も見られた」と記されているように、縦ずれ断層では内陸補正を加えない方がよい場合もある（長沢意見書25頁）。

被告は、断層モデルによる評価結果やその他の距離減衰式と比較した結果、内陸補正を行った方が整合的であることが確認できたことから、平成25年7月8日の申請の段階では、耐専スペクトルの適用にあたって内陸補正を行った。長沢氏が挙げる東京電力株式会社作成の報告書には、確かに「縦ずれ断層では、内陸補正を加えないほうが観測記録と対応する例も見られた。」との記載があるが、中央構造線断層帯は横ずれ断層であり、なお内陸補正を行う方が適切である。

ただし、被告は、原子力規制委員会による審査を踏まえて、最終的には、上記1(1)で述べたとおり、内陸補正を行わなかった。これは、内陸補正の妥当性は確認されたものの、より保守的な結果が得られるようあえて内陸補正を行わないこととしたものである。

#### イ 耐専スペクトルの適用性の検証について

長沢氏は、被告が耐専スペクトルの適用性を検証し、適用できないと判断したものについては耐専スペクトルによる評価を行っていないことについて、次のとおり批判している。

- ・被告は、耐専スペクトルの適用範囲外であれば無条件に採用しな

いという立場に立ち、54km・90度の基本ケースですら耐専スペクトルを採用していない（長沢意見書25頁）。

- ・被告は、耐専スペクトルを採用しない理由として、断層モデルによる評価結果や他の距離減衰式と比較して過大評価となるとするが、断層モデルやその他距離減衰式は地震動が過小評価となる（長沢意見書25頁）。

まず、一定の範囲の地震データに基づいて策定された距離減衰式（耐専スペクトルも距離減衰式の一つである。）を適用するにあたって、その適用性を検証するのは当然のことである。基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドにおいても、「応答スペクトルに基づく地震動評価において、用いられている地震記録の地震規模、震源距離等から、適用条件、適用範囲について検討した上で、経験式（距離減衰式）が適切に選定されていること」を確認することが必要であるとされており、また、「震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法が重視されている必要がある。」とされている（乙E7）。

耐専スペクトルは、震源距離が28km～202kmの地震に基づき策定されており、本件発電所の敷地近傍に位置する中央構造線断層帯を評価する場合には適用性の検証が必要になる。そして、適用性を検討した結果、断層モデルによる評価結果や他の距離減衰式との乖離があまりに大きいものについては、耐専スペクトルを適用することはできないと判断して、その他の距離減衰式を用いることとなる。ただし、上記1(1)で述べたとおり、断層長さ130km及び54kmで北傾斜を考慮するケースについて、被告は、耐専スペクトルを適用すると過大な

評価となるものの、保守的な評価を行う観点からあえて耐専スペクトルを採用しており、「耐専スペクトルの適用範囲外であれば無条件に採用しないという立場に立」っているとの批判は当たらない。

また、長沢氏は、被告が耐専スペクトルの適用性を検証するために用いた断層モデルやその他の距離減衰式について、北米の地震（長沢氏は北米の地震データに基づくスケーリング則を日本国内の地震に適用すると過小評価になると主張している。）を多く含むデータに基づいて策定されているため地震動を過小評価しているとし、被告が耐専スペクトルを採用できないと判断したケースについても、耐専スペクトルを採用すべきであるとする。しかしながら、耐専スペクトルとの乖離が大きい距離減衰式の中には日本国内の地震データに基づいたものも多く含まれている（例えば、Kanno et al. (2006), 内山・翠川(2006)等）。加えて、断層モデルによる評価に用いられる入倉・三宅(2001)のスケーリング則は、主として北米の地震データに基づいているものの、入倉氏は、入倉ほか(2014)(乙D51)において、近年発生した日本国内の内陸地殻内地震を対象にスケーリング則の再評価を行っており、その結果、近年発生した日本国内の内陸地殻内地震は、入倉・三宅(2001)のスケーリング則とよく整合していることを確認している。したがって、長沢氏の批判には理由がない。

## (2) 断層モデルによる評価について (54 km モデル)

### ア 地震規模の算定について

長沢氏は、敷地前面海域の断層群 (54 km) に係る断層モデルを用いた手法による地震動評価における地震規模の算定について、次のと

おり批判する。

- ・本来であれば松田式で地震規模を算出すべきところ、入倉・三宅（2001）の手法により地震規模を算出しているため、地震規模がほぼ半分程度に小さく設定されている（長沢意見書28頁）。
- ・松田式で算出した地震規模を強震動予測レシピ（地震調査研究推進本部が示した強震動予測レシピを指す。以下同様。）にそのまま適用すると応力降下量が大きくなりすぎるのであれば、少なくとも「修正レシピ」を適用して地震動を過小評価しないよう努力すべきである（長沢意見書28頁）。

まず、入倉・三宅（2001）の手法を用いた強震動予測レシピは、1995年兵庫県南部地震をはじめとする近年発生した多くの地震により検証され、高い再現性を有することが確認されているものであり、過小評価との批判は当たらない。

また、長沢氏は、松田式を使用する「修正レシピ」を適用して評価すべきと主張するが、地震調査研究推進本部は、「修正レシピ」を適用して中央構造線断層帯（石鎚山脈北縁西部－伊予灘）を評価しているところ、被告は、この地震調査研究推進本部の評価と被告の地震動評価とを比較し、被告の評価の方が保守的であることを確認している（乙D35（209～218頁））。

なお、「修正レシピ」について、長沢氏はあたかも入倉・三宅（2001）の手法に問題があったために地震調査研究推進本部が強震動予測レシピを修正したかのように述べている（長沢意見書9～10頁）が、実際は、震源断層に関する詳細な情報を得られない場合でも地震規模を算定することができる簡便な手法を追加したものであり、十分

な情報が得られる場合には従来どおり入倉・三宅（2001）の手法により地震規模を算定することに何ら問題はない（図9参照）。

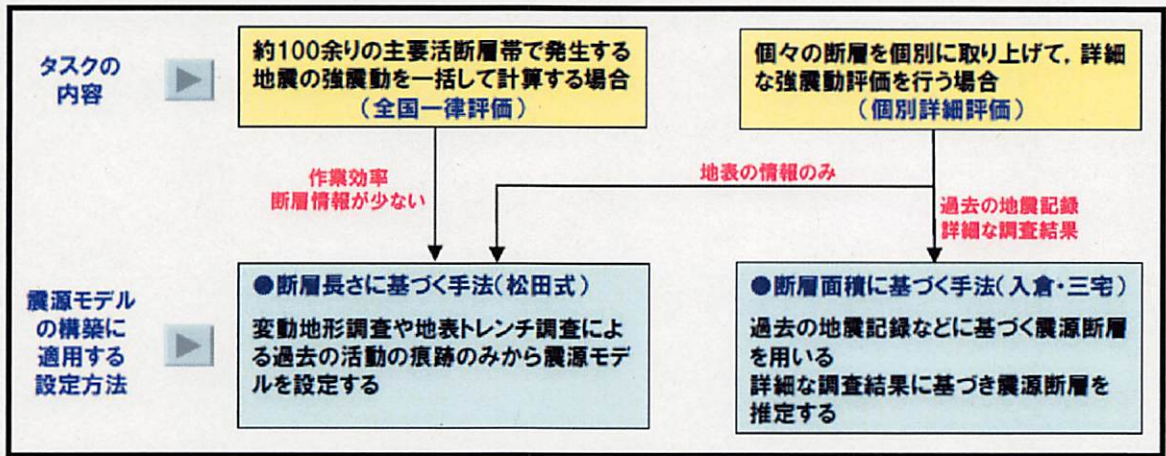


図9 強震動予測レシピにおける震源モデル設定の考え方

#### イ 応力降下量の算定について

長沢氏は、敷地前面海域の断層群（5.4 km）に係る断層モデルを用いた手法による地震動評価における応力降下量の算定について、次のとおり批判している。

- ・強震動予測レシピに示された円形クラックモデルにより応力降下量を求めると、断層平均で3.6 MPaとなるが、被告はこれを楕円クラックモデルで求め、断層平均で2.6 MPaと過小算定している（長沢意見書29頁）。
- ・楕円クラックモデルでは、応力降下量を1.5倍にしてもアスペリティ平均で17.7 MPaにしかならず、「応力降下量については1.5倍又は20 MPaの大きい方」を考慮するとの原子力安全・保安院による方針にも合わない（長沢意見書29頁）。

まず、円形クラックモデルとは、文字通り円形の断層破壊面を想定するものであるが、中央構造線断層帯のように震源断層の長さが震源断層の幅に比べて十分に大きい長大な断層については、物理的に円形の断層破壊が生じることは考えにくく、円形破壊を仮定することは妥当ではない（図10参照）。

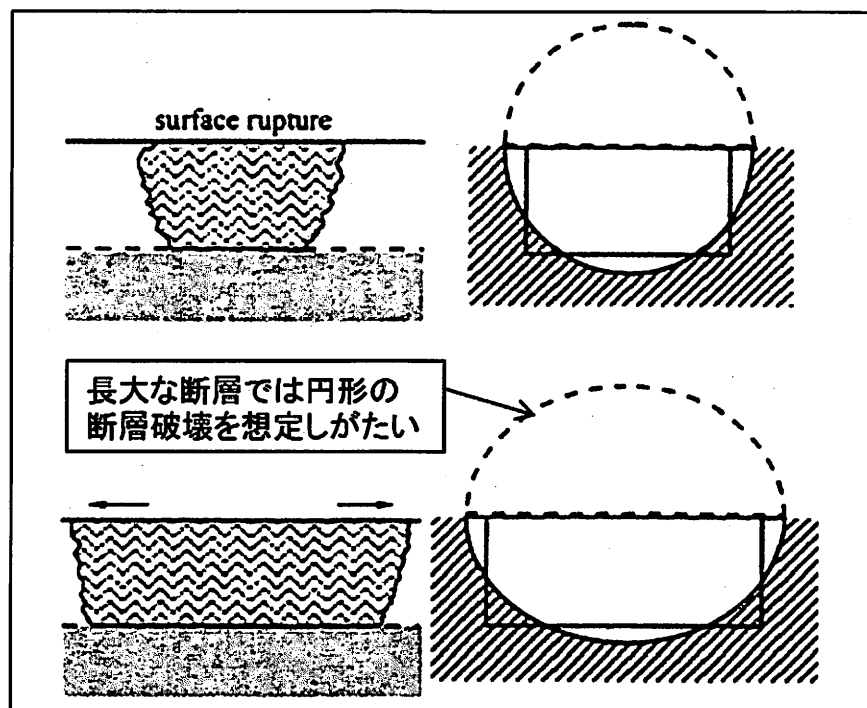


図10 内陸地殻内地震における破壊領域の形状

長沢氏は強震動予測レシピに従って円形クラックモデルを用いるべきであると主張するが、強震動予測レシピでは、円形クラックモデルを用いた手法について、震源断層の長さが震源断層の幅に比べて十分に大きい長大な断層に関しては、「震源断層全体の面積が大きくなるほど、既往の調査・研究成果と比較して過大評価となる」とし、「円形破壊面を仮定して・・・算出する方法には問題がある」とされてい



る（乙D36（付録3-9～付録3-10頁）。そして、そのような場合の応力降下量の算定については、一つの案としてFuji and Matsu'ura（2000）の手法によることが提案されている（乙D36（付録3-10～付録3-11頁））。

応力降下量を算定する手法は、強震動予測レシピに記載されている円形クラックモデルを用いた手法及びFuji and Matsu'ura（2000）の手法の他にも存在し、楕円クラックモデルを用いた手法もその一つである。そして、被告は、54kmモデルについては楕円クラックモデルを用いるのが適切と考え、平成25年7月8日の申請の段階では、これを用いて応力降下量の算定を行っていた。

ただし、被告は、原子力規制委員会による審査を踏まえて、より最新の知見を反映することとし、壇ほか（2011）の手法又はFuji and Matsu'ura（2000）の手法を用いて応力降下量を算定することとしており、最終的には、楕円クラックモデルは用いていない。

また、横ずれ断層である中央構造線断層帯では大きな応力降下量は想定されないものの、原子力規制委員会による審査を踏まえ、応力降下量に係る不確かさの考慮として「基本震源モデルの1.5倍又は20MPaの大きい方」を考慮することとしており、最大ケースではアスペリティの応力降下量として21.6MPaを想定している。

#### ウ 要素地震について

長沢氏は、被告が経験的グリーン関数法で使用する要素地震として、中央構造線断層帯による地震と同じ内陸地殻内地震ではなく、スラブ内地震（海洋プレート内地震）に分類される2001年3月26日に

安芸灘で発生した地震（以下、「安芸灘の地震」という。）を用いていることについて、次のとおり批判している。

- ・安芸灘の地震は応力降下量が30 MPaと大きく、敷地前面海域の断層群（5.4 kmモデル）による地震の応力降下量が11.8 MPaと小さいため、要素地震波が小さく設定される（長沢意見書30頁）。
- ・要素地震としてスラブ内地震を用いたことによる影響で、経験的グリーン関数法を用いた評価結果の長周期側（0.3～3秒）の地震動が小さくなっている。このため、長周期側の地震動が統計的グリーン関数法を用いた評価結果と同等になるまで応答スペクトル全体を「持ち上げる」必要があり、その場合には、短周期側で現在の基準地震動 $S_s$ を大きく超えることとなる（長沢意見書30頁）。

被告は、要素地震として用いる安芸灘の地震が敷地前面海域の断層群による地震とは発生様式の異なるスラブ内地震であることを踏まえ、密度やせん断波速度を考慮して、スラブ内の媒質から内陸地殻内の媒質へ適切に補正しており（乙D35（146頁））、要素地震波が過小に設定されることはない。

また、経験的グリーン関数法を用いた評価結果の長周期側の地震動が小さいという特徴は、要素地震としてスラブ内地震を用いたことによるものではなく、観測記録の特徴が現れているものである（南北方向でのみこのような特徴が確認され、東西方向では見られないことから、地震自体に長周期側の地震動が小さいという特徴があるわけではないことが分かる。）。加えて、原子力発電所の耐震設計で重要とな

る短周期地震動に着目すれば、南北方向の地震動も東西方向の地震動も同じレベルである。したがって、地震動全体（応答スペクトル全体）を「持ち上げる」必然性はない（なお、被告は、念のため、上記第2の3で述べたとおり、工学的判断として、比較的地震動が小さい傾向にある南北方向の長周期側を補う考慮を行っている。）。

(3) 断層モデルによる評価について（480kmモデル）

ア 断層長さに応じた評価手法の違いについて

長沢氏は、被告が、54kmモデルについては入倉・三宅（2001）の手法を用い、480kmモデルについては壇ほか（2011）及びFuji and Matsu'ura（2000）の手法を用いたことに対して、次のとおり批判している。

- ・被告は、ご都合主義的に、480kmモデルに対しては国内の地震データに回帰した式を用い、54kmモデルに対しては北米中心の地震データに回帰した式を使って地震規模を算定している（長沢意見書31頁）。

- ・480kmモデルについて壇ほか（2011）及びFuji and Matsu'ura（2000）の式を使うのであれば、54kmモデルに対しても、壇ほか（2011）と同じく日本国内の地震データに基づく松田式や武村式を使って地震規模を算定した上で、地震動評価をやり直すべきである（長沢意見書31頁）。

上記(2)アのとおり、入倉・三宅（2001）の手法を用いた強震動予測レシピは、1995年兵庫県南部地震をはじめとする近年発生した多くの地震により検証され、高い再現性を有することが確認されていることから、被告は、54kmモデルについて入倉・三宅（200

1) の手法を用いた。一方で、極めて長大な断層である480kmモデルについては、最新の知見を活用することとし、地震規模、平均応力降下量、アスペリティの応力降下量を一連で設定できる上に、異なる長さの断層(480km, 130km, 54km)に対しても適用可能であるという利点を有する壇ほか(2011)の手法を基本として採用し、一部のケースでは、強震動予測レシピにおいて提案されているFuji and Matsu'ura(2000)の手法を用いたものである。したがって、それぞれの手法を「ご都合主義的」に用いたとの批判は当たらない。

最終的に、被告は、原子力規制委員会による審査を踏まえて、54kmモデル、480kmモデルのいずれについても壇ほか(2011)の手法を基本として採用した上で、念のため54kmモデルについては入倉・三宅の手法、480kmモデルについてはFuji and Matsu'ura(2000)の手法を用いた評価も併せて行った。したがって、54kmモデルについても国内の地震データに基づく壇ほか(2011)の式を用いて評価を行っているのであるから、「54kmモデルについても国内の地震データに基づく式を使って地震動評価をやり直すべき」との批判も当たらない(なお、上記(1)イで述べたとおり、そもそも入倉・三宅(2001)の手法も国内の地震データと整合的であることが確認されている。)

#### イ 壇ほか(2011)の手法の妥当性について

長沢氏は、被告が地震動評価に用いた壇ほか(2011)について、次のとおり批判している。

・壇ほか(2011)は、用いた地震データの「平均的な値」とし

て、平均動的応力降下量を3.4 MPa、アスペリティの平均応力降下量を12.2 MPaとしているが、壇ほか(2011)の用いた地震データに則しても明らかに過小評価であり、それぞれ「平均的な値」として4.3 MPa、15 MPaと設定すべきである。壇ほか(2011)の応力降下量の値は、「大体こんな値」という感じで導出したものとししか考えられない。(長沢意見書33頁)

- ・壇ほか(2011)の設定した応力降下量は、その妥当性が検証されているとは言えず、過小評価となっている恐れがある(長沢意見書33頁)。

まず、壇ほか(2011)は「平均的な値」について、単純加算平均ではなく、「幾何平均」(データ値の積の累乗根により平均値を算定するもの)により算定している(幾何平均は、データのばらつきが大きい場合の平均的な値を算定するのに有用である。)。このため、長沢氏が行った単純加算平均の値とは異なっている。

また、壇ほか(2011)の手法の妥当性に係る検証については、まず、壇ほか(2012)が、既存の距離減衰式との整合性を確認するとともに、2000年鳥取県西部地震や2002年アラスカDenali地震の記録との整合性を確認している。さらに、藤堂ほか(2012)は、地震調査研究推進本部が示す中央構造線断層帯の断層モデルに壇ほか(2011)の手法を適用して強震動の試算を実施し、既存の距離減衰式や2002年アラスカDenali地震の記録と比較し、整合することを確認している。

そして、被告も、1999年トルコKocaeli地震や2008

年四川大地震の観測記録と比較して、壇ほか（2011）の手法に基づく被告の地震動評価が妥当なレベルであることを確認している（乙D35（197頁以下））。

そもそも、被告が行った壇ほか（2011）の手法に基づく480 km モデルの地震動評価においては、2.5 m以上の平均\*すべり量を想定しており、\*地表最大変位量は平均すべり量の2～3倍であるとの知見（室谷ほか（2010））に照らせば、地表最大変位量としては約5～8 m以上に相当する。これは、四国西部の中央構造線断層帯で確認されている地表変位量2～4 mを十分上回るものであり、保守的なモデルとなっている。

#### (4) 震源を特定せず策定する地震動について

長沢氏は、「震源を特定せず策定する地震動」に関して、「新潟中越沖地震による地震動を事前には誰も予測できなかった以上、このはぎとり波を「震源を特定せず策定する地震動」に加える必要がある。それだけに留まらず、基準地震動 $S_s$ の決め方を抜本的に変更し、岩手宮城地震を含め、これまでに観測され、また、今後観測されるであろうM7.3以下の地震の解放基盤表面相当位置での地震動（はぎとり波）をすべて「震源を特定せず策定する地震動」に加える必要があ」と主張する（長沢意見書36頁）。

しかしながら、「震源を特定せず策定する地震動」とは、詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性がある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から考慮するものであって、新潟県中越沖地震は事前に活断層の存在が把握され、震源を特定して評価を行うことができる地震であることから、これを「震

源を特定せず策定する地震動」に加える必要はない。長沢氏は「新潟中越沖地震による地震動を事前には誰も予測できなかった」と主張するが、地震動が想定を上回ったことと、震源を特定できるかどうかとは別の話である。なお、地震動が想定を上回った理由については、被告準備書面（6）第4の2(2)イ（26頁以下）において詳述したとおり、「震源特性」、「伝播特性」及び「増幅特性」に係る各地域特性によるものである。

また、Mw 6.5以上の規模の地震では、地表地震断層が出現すると考えられるため、一律に震源を事前に特定できないものとして考慮する必要はない（基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドにおいても同様に考えられている（乙E7（7～8頁））。）。そして、そのような地震について震源を事前に特定できたか否かは、発生した地震を詳細に調査した上で判断すべきであり、一定の地震規模（たとえばM7.3）をしきい値として震源を事前に特定できたか否かを判断することは困難である。

#### (5) 地震動の偶然変動について

長沢氏は、図11を示し、実際の地震観測値は残差平均より「倍半分」以上のばらつきがあるとし、そのばらつきは、地震動評価の際に考慮する、震源断層の長さや傾斜角の不確かさ、破壊開始点、アスペリティの位置、破碎伝播速度、応力降下量（震源特性で1.5倍）などの不確かさとは異なる偶然変動の不確かさを示すものであるとする（長沢意見書36頁）。

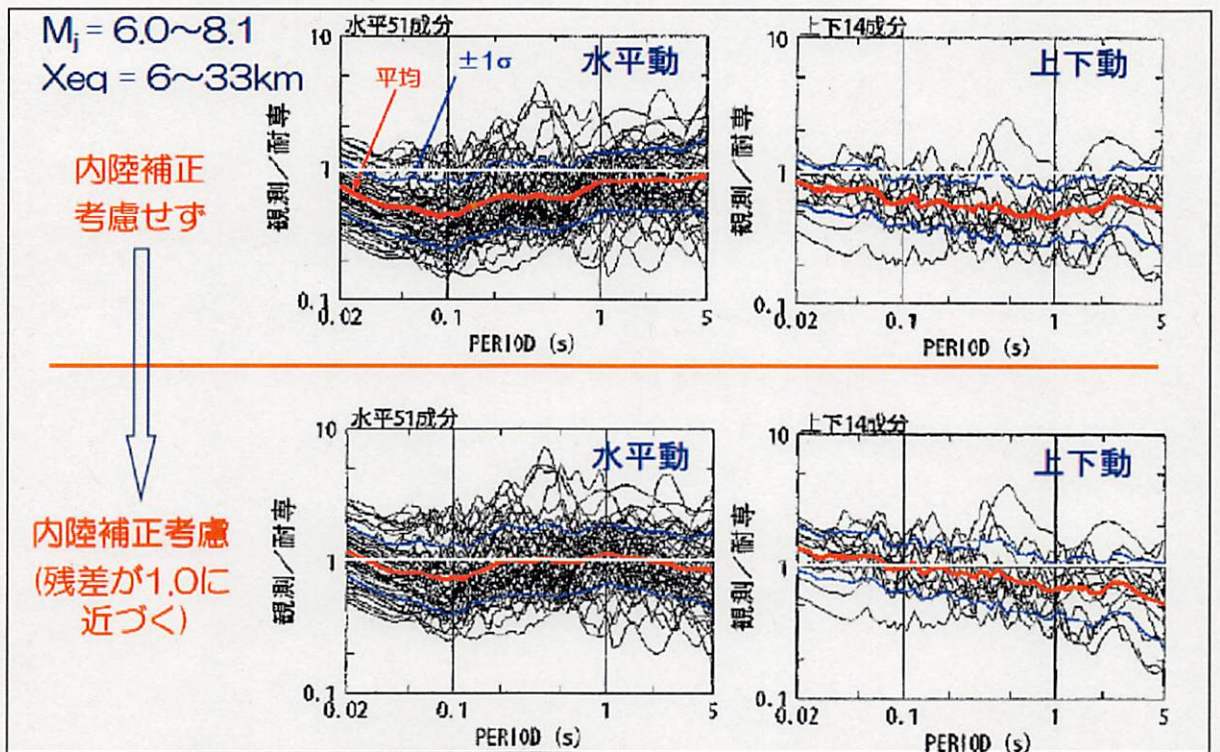


図 1 1 国内外の内陸地殻内地震による震源近傍の観測記録の残差

確かに、地震発生時の環境に左右されて地震の度に変化する偶然的不確かさは存在する。例えば、被告は、破壊開始点について、偶然的不確かさを考慮して地震動評価を行っている（乙D35（23頁））。

しかしながら、長沢氏が「偶然変動」であるとする図1.1に示されたばらつきは、このような偶然的不確かさばかりによるものではない。

図1.1は、国内外の内陸地殻内地震による震源近傍の観測記録と耐専スペクトルの残差をまとめたものである。ここでは、地震発生様式が「内陸地殻内地震」であるものを国内外問わず抽出して、「内陸補正を考慮する場合」と「内陸補正を考慮しない場合」とでは、どちらの方が全体的な傾向と整合性があるかを検討した結果、「内陸補正を考慮する場合」の方が残差が小さくなる傾向にある（より整合的である）ことが確認さ



れている。

これまでに述べてきたとおり、「震源特性」、「伝播特性」及び「増幅特性」に係る地域特性によって地震動は大きくなったり、小さくなったりする。例えば、地震には、縦ずれ断層型の地震（縦ずれ断層型の地震は、さらに逆断層型と正断層型とに分類される。）と横ずれ断層型の地震が存在し、これらの地震のタイプによっても地震動の大きさの傾向は異なる（耐専スペクトルの適用について「縦ずれ断層では、内陸補正を加えないほうが観測記録と対応する例も見られた」と報告されていることについては上記(1)アのとおりである。）。「内陸地殻内地震」という発生様式だけに着目して国内外の地震データを抽出した以上、様々な地域の様々なタイプの地震が混在することになるのであるから、それらの中に「倍半分」の差が生ずるのは、当然である。すなわち、図11に示された「倍半分」の差は、長沢氏が主張するような「偶然変動」ばかりを示すものではなく、地域特性に起因する、いわば「必然的な変動」を含んだものである。

#### 5 藤原節男氏の意見書について

原告らは、原告準備書面（17）において、元PWRの設計技術者である藤原節男氏の意見書（甲108。以下、「藤原意見書」という。）を引用して、制御棒の挿入性評価に関し、被告が「応答倍率法」を用いて行った評価に問題があるなどと批判している（なお、藤原意見書においては、応答倍率法の適用性に係る問題の他にも、原子力発電所における品質マネジメントに係る問題、震源が近いことによる制御棒挿入性への影響に係る問題及び津波による海水ポンプへの影響に係る問題が主張されているが、被告は、品質マネジメントに係る問題については被告準備書面（5）第4

の6(5)(124頁), 震源が近いことによる制御棒挿入性への影響に係る問題については被告準備書面(3)第5(8頁以下)等, 津波による海水ポンプへの影響に係る問題については被告準備書面(5)第2の5(4)イ(90頁以下)等において主張しているところであり, 本書面では再論しない。)

被告は, 本件3号機について, 平成18年の耐震設計審査指針の改訂を踏まえ, 耐震安全性の確認を行った際, まずは安全上重要な機能を有する主要な設備や原子炉建屋等に関する耐震安全性の評価結果を中間報告としてとりまとめて国に報告(以下, 「中間報告」という。)し, その後, 最終的な評価結果を国に報告したものが乙D1である(以下, 「本報告」という。)

被告は, 中間報告の際, 制御棒の挿入性に係る評価を行うにあたって, 比較的簡易な評価手法である応答倍率法を用いた(乙C69)。以下に述べるとおり, 応答倍率法を用いて制御棒の挿入性に係る概略評価を行うことは可能である。

すなわち, 制御棒の挿入時間の遅れは, 構成要素の様々な\*非線形挙動の影響を受けるものではあるが, 地震時の制御棒挿入性評価で重要な\*地震外力による\*抗力は, 燃料集合体等の\*地震時応答変位量に依存し, この燃料集合体等の地震時応答変位量は, ある範囲までは地震力に比例することから, 地震による挿入遅れ時間と地震力とは相関性があると考えられる。

そして, 「平成17年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その2(PWR制御棒挿入性)に係る報告書」(以下, 「平成17年度JNES文献」という。)によれば, 制御棒の挿入性については, 地震入力レベルがある範囲までは遅れ時間が直線的に増加する傾向が

確認されている（乙C69（1頁，9頁））。

したがって、地震入力レベルに対し遅れ時間が直線的に増加する範囲であれば、地震による挿入遅れ時間を比例倍することで概略評価が可能と考えられる。

以下、被告による応答倍率法の適用に対する藤原氏の批判がいずれも失当であることを説明する。

(1) 藤原意見書に対する反論

ア 鉛直動（縦振動）を考慮していないとの批判について

藤原氏は、「制御棒と燃料集合体に鉛直動（縦振動）地震が加震されると、制御棒は自由落下状態で上下振動し、燃料集合体は原子炉容器に固定された状態で上下振動することになる。このため、制御棒と燃料集合体の相互間に振動位相のずれが生じ、・・・制御棒が一時的に引き抜かれる現象が生じる。」とした上で、「制御棒が引き抜かれ、制御棒挿入時間が伸びる現象は、全体の制御棒挿入時間に加算しなければならない。多度津工学試験所での加振試験では、実際の地震が3次元加震されることによる制御棒挿入時間増加が考慮されていない。」と批判している（藤原意見書3頁）。

確かに、燃料集合体及び制御棒クラスタ駆動装置等の制御棒挿入経路（図12参照）の機器が、水平方向振動により変位すると、制御棒がそれらの機器と接触し、その時に鉛直動による地震力が作用することで、制御棒に対して上向きまたは下向きの摩擦力が抵抗力として作用する。また、鉛直地震力は、制御棒挿入経路にある機器を上下に振動させるため、自重落下する制御棒に対しても、内部流体（水）を介して慣性力が作用する。

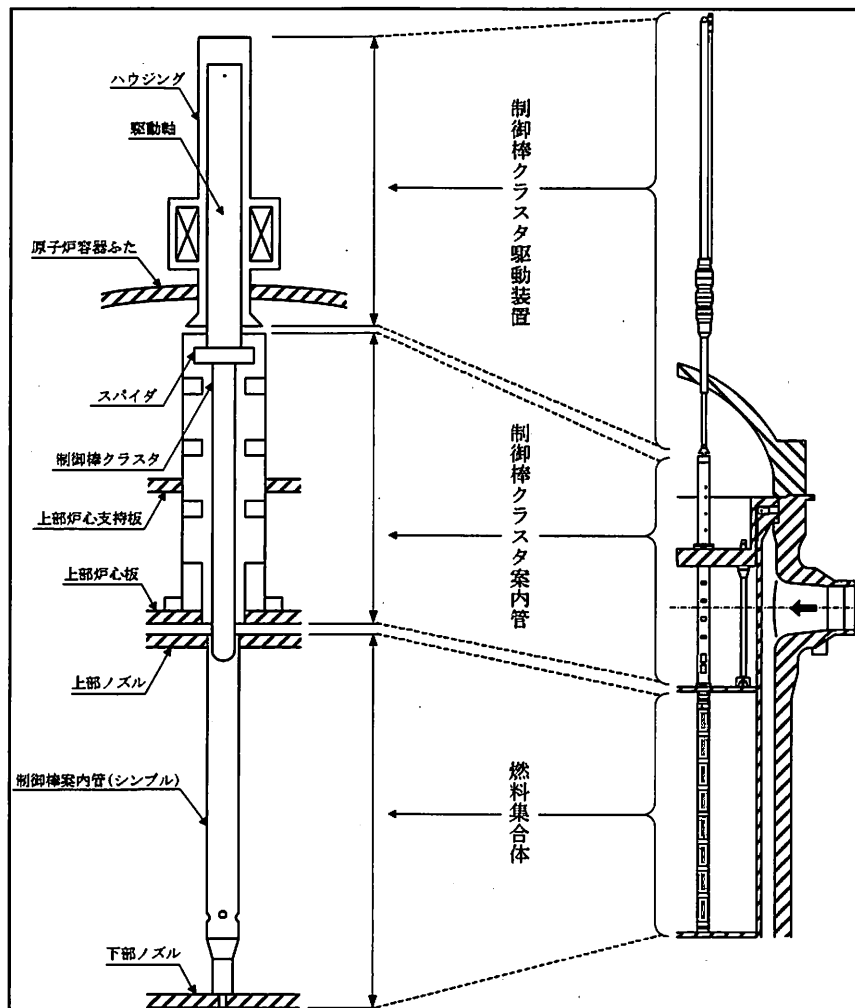


図 1 2 制御棒挿入経路の概要

上記の力は、制御棒の挿入を阻害する方向に作用することがあり得るものの、いずれも鉛直方向の交番荷重（向きと大きさが繰り返し変わる荷重）となり、制御棒の挿入を遅らせる方向にも早める方向にも作用する。したがって、これらの力による制御棒の挿入遅れへの影響は水平地震力に比べて十分小さい。

鉛直動による制御棒挿入性への影響が小さいことについては、「平成 10 年度 耐震設計高度化調査 原子炉建屋・機器の水平・上下応

答特性評価法の調査 報告書」(平成11年3月, (財)原子力発電技術機構)において, 制御棒挿入性解析を行って鉛直地震動による遅れ時間が評価されており, その結果, 加速度が, 上向きに, かつ\*制御棒クラスタ駆動装置保持コイルの電源遮断から落下開始までの時間(0.05秒)にわたって継続して作用するという保守的な仮定のもとにおいても, 鉛直地震動を考慮することによる制御棒の挿入時間遅れは僅か(0.02秒)であることが確認されている(乙C69(23頁, 26頁))。この制御棒挿入性解析の妥当性については, 当該解析結果と, (財)原子力発電技術機構が昭和59~60年度にかけて, 実際に水平・鉛直同時加震を行って制御棒挿入の遅れ時間を測定した結果とが整合的(解析の方がやや保守的)であることから, その妥当性が確認されている。

以上から, 解析及び試験に基づき, 地震力が制御棒挿入性に与える影響については水平地震力が支配的であることが確認されたため, 平成17年度JNES文献の基になった多度津工学試験所の試験においては, 鉛直動による加振を行っていない。

イ 特定の代表地震波による実験結果を用いているとの批判について

藤原氏は, 「実際の地震波は, 鉛直動(縦振動)を伴う速度波形のいびつな複合地震波(三次元)であり, 時刻歴震動は多種多様である。」とし, 「特定の代表地震波(水平二次元)実験のみで, 伊方3号の制御棒挿入性が適切に模擬されるとは, 到底考えられない。」と批判している(藤原意見書3頁)。

多度津工学試験所での試験における地震波の選定にあたっては, PWRで用いられた設計地震波の中から最も厳しいものを選定し, 制御

棒挿入性に特に影響が大きい燃料集合体，制御棒クラスタ駆動装置及び制御棒クラスタ案内管の応答が実機と同等になるように\*模擬地震波を設定している。確かに，模擬地震波と本件発電所の基準地震動  $S_s$  とを比較した場合，エネルギー，位相特性等の基本的性質が必ずしも同一とは言えないが，模擬地震波は，制御棒挿入性評価に影響する燃料集合体変位等を生じさせやすい地震波となるよう策定されており，制御棒挿入性に係る機能限界を確認する観点で妥当であり，一般性は十分にあると考えられる（乙C69（10～11頁，18頁））。したがって，本件発電所における制御棒挿入性の評価に用いることは可能であり，藤原氏の批判は理由がない。

ウ 被告による評価が直線外挿の評価であるとの批判について

藤原氏は，被告が，中間報告時点における基準地震動  $S_s$ （最大加速度570ガル＝基準地震動  $S_2$  の最大加速度の約1.2倍）に対して，「遅れ時間が直線的に増加する範囲」であるとして応答倍率法を適用したことについて，「四国電力は「遅れ時間が直線的に増加する範囲」と主張するが，実験科学的に証明されているとは言えない。つまり，線形推定する場合に，直線内挿の評価では実験科学的に証明された推定範囲に属するが，直線外挿の評価の場合には単なる予想，推測範囲でしかない。特に，比例幅が大きくなると予想の確実性も低くなる。1000ガル，2000ガル以上もあり得る加速度の場合には，「遅れ時間が直線的に増加する範囲」とは，とても言えない。」と批判する（藤原意見書3～4頁）。

被告は，中間報告の際，平成17年度JNES文献の結果を踏まえて，中間報告時点における基準地震動  $S_s$ （570ガル）は制御棒挿

入時間の遅れが直線的に増加する範囲にあると判断し(図13参照), 既往の評価結果(基準地震動S2(473ガル)に対する制御棒挿入解析)における地震による挿入遅れ時間に応答比を乗じて挿入時間を評価した。

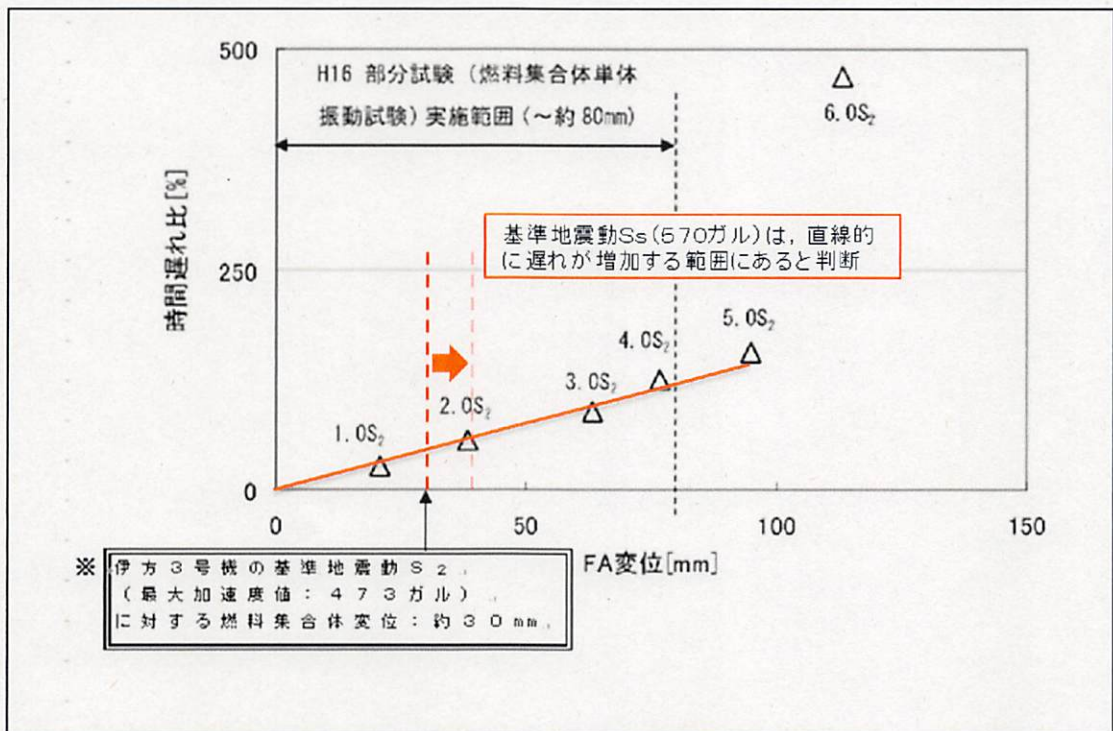


図13 燃料集合体変位と時間遅れ(乙C69(9頁)の図に加筆)

藤原氏が、被告の評価に関して、直線外挿の評価であると批判する趣旨は必ずしも明確ではないが、図13のグラフは、実際に大加速度の加震試験を行って制御棒の挿入遅れ時間を測定し、その結果よりも保守的に解析できることを確認した上で、実機条件での制御棒挿入性解析に基づき作成されたものである。すなわち、実際に行った大加速度の加振試験の結果を踏まえたものであることから、少なくとも「単なる予想、推測範囲でしかない。」との藤原氏の批判は何ら理由がな

い。

エ 評価基準値が2.2秒を超過しているとの批判について

藤原氏は、基準地震動  $S_s$  による地震力が作用した場合における制御棒挿入時間の評価基準値である「2.50秒」について、「原子炉設置許可申請書添付十での安全解析前提条件となる制御棒挿入時間2.2秒との整合性がない。」とし、「安全解析での制御棒挿入時間が2.2秒なら、基準地震動  $S_s$  時の評価基準値も2.2秒でなければならない。」とした上で、「基準地震動  $S_s$  の評価基準値2.50秒を見直ししないならば、・・・安全解析の前提条件(評価基準値2.2秒)を変更し、評価基準値2.50秒にして、改めて安全解析が必要となる。」と主張する(藤原意見書4頁)。

しかしながら、基準地震動  $S_s$  による地震力が作用した場合における制御棒挿入時間の評価基準値の2.50秒は、安全解析条件である制御棒落下開始から\*全ストロークの85%までの時間(2.2秒)に原子炉\*トリップ信号発信から制御棒落下開始までの時間(0.3秒)を加えて評価基準値として設定しているものであり、整合性がないという藤原氏の批判は何ら理由がない(むしろ整合的である。)

当然ながら、被告は、安全解析においては、制御棒落下開始から全ストロークの85%までの時間(2.2秒)のみならず、原子炉トリップ信号発信から制御棒落下開始までの時間(0.3秒)についても考慮した上で解析を行っている。

(2) 制御棒挿入性に係る本報告時の被告の評価について

以上のとおり、被告による応答倍率法の適用に関する藤原氏の批判はいずれも何ら理由がないが、そもそも、被告は、中間報告(補正)を行



った時点（平成21年12月）においては、概略的な評価として応答倍率法を用いて制御棒挿入性に係る評価を実施していたものの、その後、本報告を行った際（平成23年3月）には、応答倍率法とは異なる詳細な手法を用いて評価を行っている。

被告が本報告時に用いた評価手法は、スペクトルモーダル解析等による地震応答の最大値に対応する抗力を用いた手法であり、具体的には、以下のとおりである。

まず、制御棒挿入経路を構成する制御棒クラスタ駆動装置、制御棒クラスタ案内管及び燃料集合体の地震応答について、制御棒クラスタ駆動装置及び制御棒クラスタ案内管の地震応答に対してはスペクトルモーダル解析（時間的変化を考慮せず地震応答の最大値を求める解析）を、燃料集合体の地震応答に対しては時刻歴解析（時々刻々の地震応答を求める解析）をそれぞれ適用し、各部位の地震応答を求める。そして、各部位で求められた地震応答の最大値に対応する抗力（すなわち、制御棒の挿入にとって最も厳しい抗力）が一定値で作用すると仮定して制御棒挿入経路で生じる各種の抗力を設定する。

次に、上記のとおり設定した抗力を制御棒挿入時間解析コード（通常運転時の抗力、地震時の抗力等を考慮した運動方程式に基づき開発された計算手法）に当てはめて、制御棒挿入時間を評価する。

以上の結果、本件3号炉に係る制御棒挿入時間は2.21秒（制御棒落下開始から全ストロークの85%に至るまでの時間（1.91秒）に、トリップ信号発信から制御棒落下開始までの時間（0.3秒）を加えた時間）となり、評価基準値である2.50秒を十分下回ることを確認している（乙D1（Ⅶ-48頁及び添付資料7-1～2頁））。

## 6 原告準備書面（13）における主張について

原告らは、原告準備書面（13）において、高知大学総合研究センター防災部門特任教授である岡村眞氏の意見書（甲90。以下、「岡村意見書」という。）、公益財団法人深田地質研究所客員研究員の都司嘉宣氏の意見書（甲100。以下、「都司意見書」という。）等を引用し、中央構造線断層帯による巨大地震の危険性について主張し、被告による地震動評価が不十分であると批判している。

### (1) 中央構造線断層帯の360km連動及び南傾斜の重畳評価について

岡村意見書は、次のとおり、被告による地震動評価が不十分であると  
する。

- ・和歌山から別府湾までの360kmが同時に活動すること（最低でも130kmは同時に活動すること）を基本想定として考えなければならぬ（岡村意見書7頁）。
- ・敷地前面海域の断層群の断層面は南に傾斜しているため、360kmが同時に活動すること（最低でも130kmは同時に活動すること）に加え、伊予灘沖の南傾斜を同時に想定しなければならず、その場合、伊方発電所を襲う強震動は加速度において1000ガル、2000ガル以上もあり得るものとして想定しなければならない（岡村意見書8～9頁）。

これらの岡村氏の批判は、被告が、中央構造線断層帯の360km連動という不確かさと断層角の南傾斜という不確かさとを同時に想定した評価を行っていないことに対するものであるところ、上記第2の1で述べたとおり、被告は、中央構造線断層帯による地震に係る評価において、岡村氏の主張する360km連動かつ南傾斜という想定を上回る480km

連動かつ南傾斜という想定をしている。

ちなみに、480 km という極めて広範囲の連動を想定しても、54 km モデルの評価と比べて、それほど地震動のレベルは変わらない。これは、敷地への地震動の影響に関しては、中央構造線断層帯の中でも敷地前面海域の断層群（54 km）による影響が支配的であり、連動する距離が長くなったとしても、敷地に最も影響を与えるのは、結局のところ、敷地前面海域の断層群となるからである。したがって、360 km 連動かつ南傾斜を想定した場合に加速度においても少なくとも1000ガル、2000ガル以上もあり得るとの岡村氏の主張は、何ら具体的な根拠に基づくものではない。

なお、南傾斜の想定について、岡村氏は、あたかも敷地前面海域の断層群が南傾斜であることを事実であるかのように主張するが、一般的には、敷地前面海域の断層群は横ずれ断層が卓越していることから断層角は鉛直であるとの見方が有力であり、もし傾斜しているとしても北傾斜である（地質境界としての中央構造線と活断層としての中央構造線断層帯の傾斜とが一致する可能性も否定できないため）と考えられている（「地質境界としての中央構造線」及び「活断層としての中央構造線断層帯」については、平成24年5月7日付答弁書52頁以下参照）。地震調査研究推進本部の想定でも鉛直又は北傾斜とされている（乙D21（11頁））。被告が地震動評価において断層角の南傾斜を想定したのは、あくまでも保守的に角度のばらつきを考慮したものであって、一般的な見解ではない。

(2) その他の主張について

原告らは、原告準備書面（13）において、上記のほかにも縷々主張

しているが、その多くは漠然と巨大な地震の危険性を指摘するものに過ぎず、具体的な主張とは言い難い。

地震規模（マグニチュード）、震度及び地震の発生頻度については、具体的な数値を示した主張も見られるものの、それらの主張は、そもそも、被告の地震動評価に対する批判として、的を射ていない。

すなわち、これらの地震規模（マグニチュード）や震度の数値は、中央構造線断層帯による地震の大まかな影響を推し量る上では有用なものと言えるかも知れないが、本件発電所に与える影響の詳細を把握することはできない。本件発電所に与える影響の詳細を把握するためには、被告が行っているように、応答スペクトルに基づく手法及び断層モデルを用いた手法により、本件発電所にもたらされる「地震動」を評価する必要がある。（なお被告は、原告らが主張するような大きな地震規模も想定しており（マグニチュードは、最大8.7を想定している。）、この点に鑑みても、原告らの批判は意味をなさない。）

また、都司意見書において、都司氏は、「「1000年周期の地震。まだ420年しかたっていない。だからあと580年は起きない」と判断してはならない」として中央構造線断層帯による地震の発生について警鐘を鳴らしているが（都司意見書23頁）、被告は、都司氏が警鐘を鳴らす地震が、本件発電所の運転中に発生するものと仮定して（すなわち都司氏の指摘するとおり中央構造線断層帯が活動するものとして）地震動評価を行っている。

#### 7 南海トラフによる地震について

原告らは、原告準備書面（23）において、神戸大学名誉教授である石橋克彦氏の著書「南海トラフ巨大地震」（甲123）に基づき、南海トラ

フによる巨大地震の危険性等について主張し、「南海トラフ巨大地震が起これば、その震源域の北限の真上（プレート境界面の深さは約35km）に位置する伊方原発の地震動が570ガルを大きく超える可能性を否定できない。」（原告準備書面（23）第4（7頁））などとして、被告による地震動評価が不十分であると主張する。

しかしながら、被告は、被告準備書面（5）第2の4(3)エ（ウ）（77頁）で述べたとおり、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震として、過去最大規模の宝永地震（M8.6）や中央防災会議（2003）の想定南海地震モデル（M8.6）を上回る想定で作成された内閣府検討会（2012）による「南海トラフの巨大地震（陸側ケース）（M9.0）」を基本震源モデルとして採用した上で、内閣府検討会（2012）により設定された強震動生成域に加え、本件発電所の敷地直下にも強震動生成域を追加配置して地震動評価を行っている。そして、その結果、中央構造線断層帯による地震と比べて敷地への影響が小さいことを確認している（最大加速度は570ガルを下回る）。したがって、原告らの上記主張は何ら理由がない。

このように最大クラスの地震である南海トラフの巨大地震を敷地直下に想定しても、本件発電所における地震動が大きくなる理由として、まず、プレート間地震である南海トラフの巨大地震を引き起こす原因となるフィリピン海プレートが、敷地直下では地下に潜り込んでいるために、震源となるプレート上面から本件発電所までの距離が長くなることが挙げられる（フィリピン海プレートの潜り込みについて図14参照）。震源からの距離が長くなることで、地震動が減衰し、本件発電所敷地に到達する地震動はあまり大きなものにならないのである。

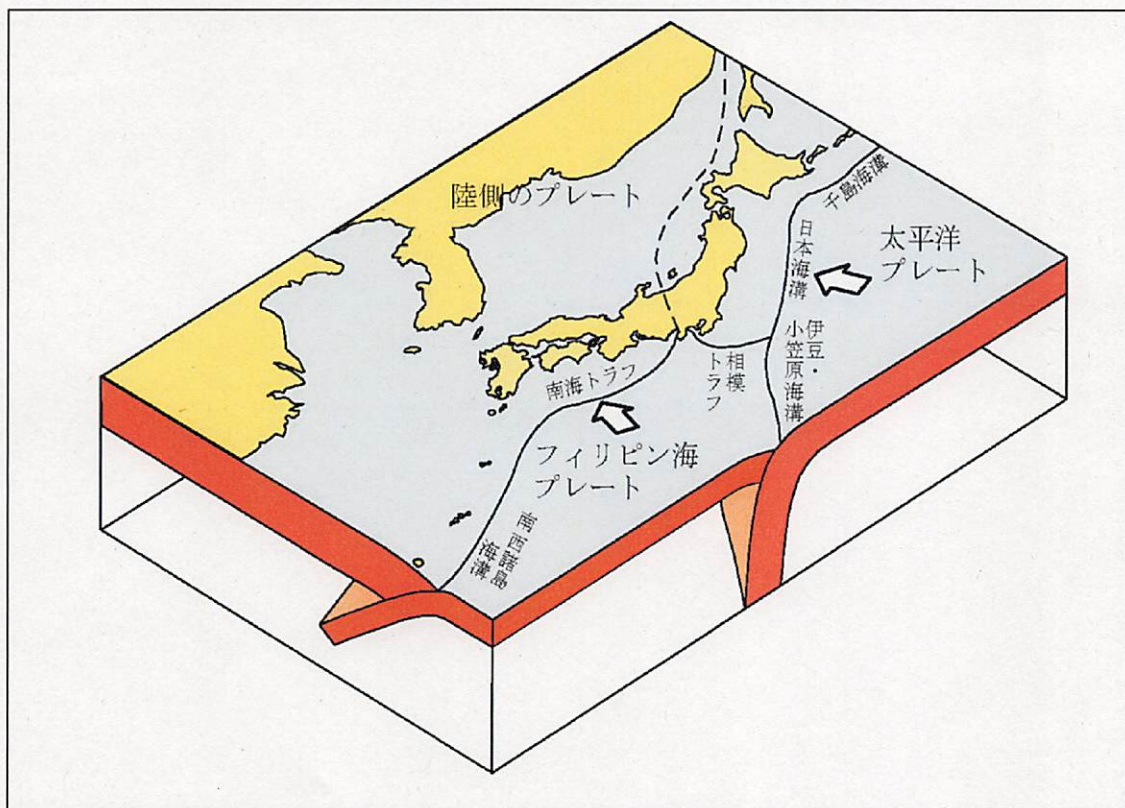


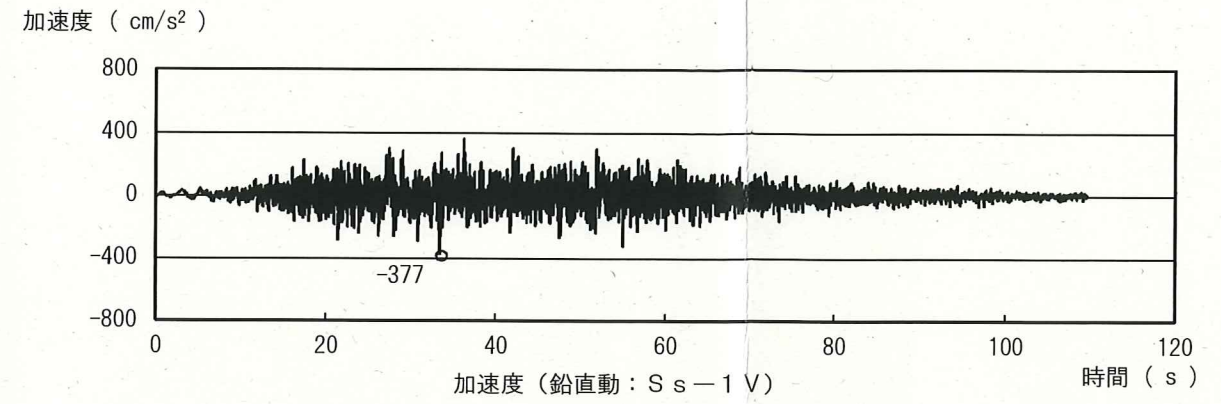
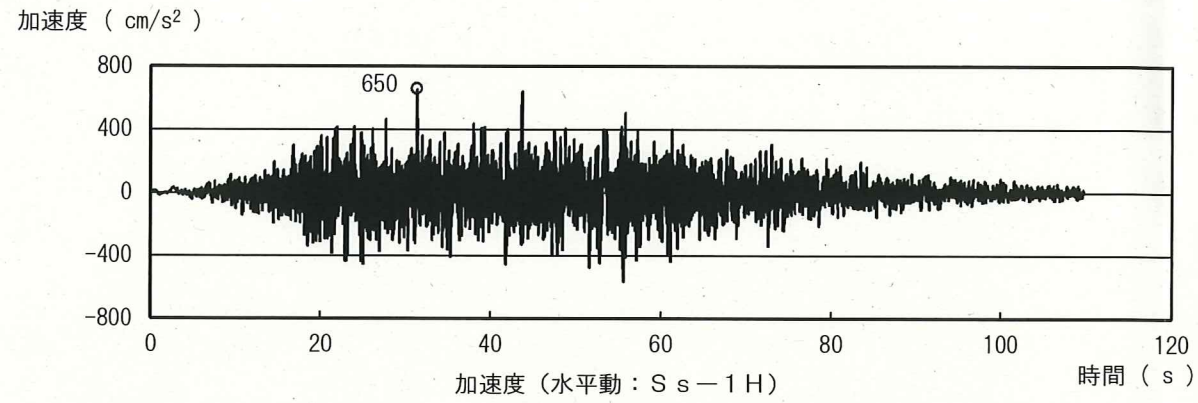
図14 日本列島周辺のプレート

また、本件発電所敷地の地盤は、せん断波速度として2600m/秒を有する非常に堅硬な岩盤であることから、地震動の増幅がなく、地震動が大きなものにならない。

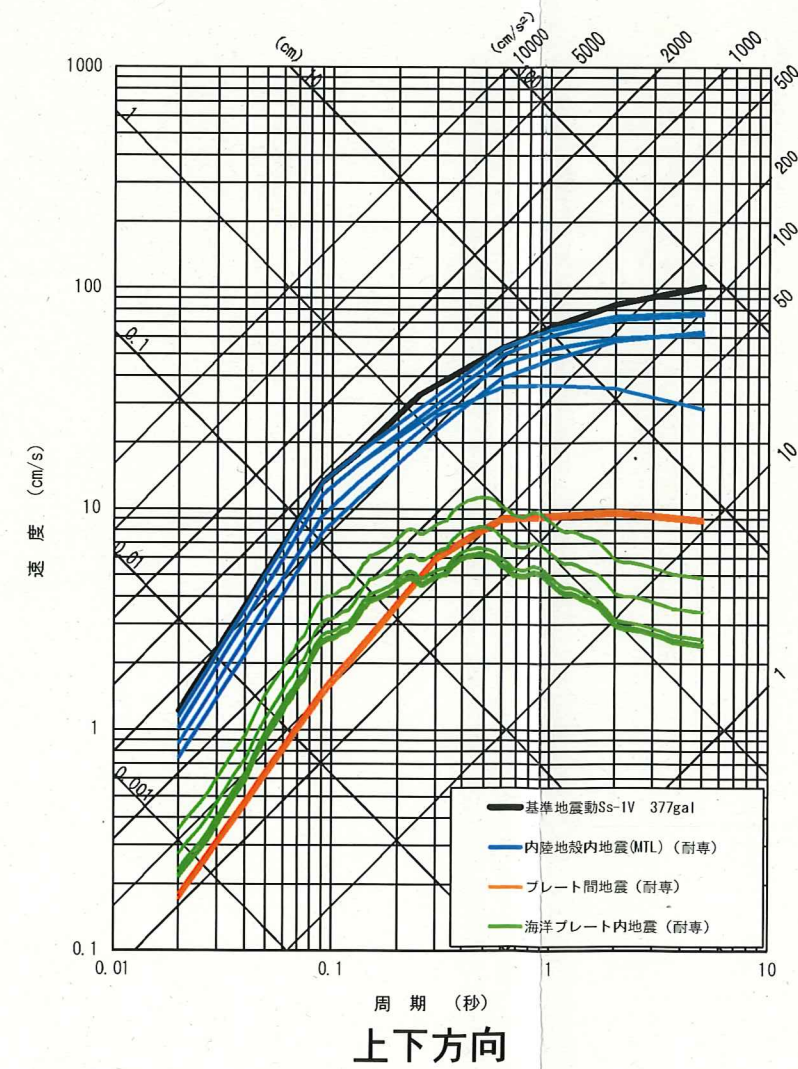
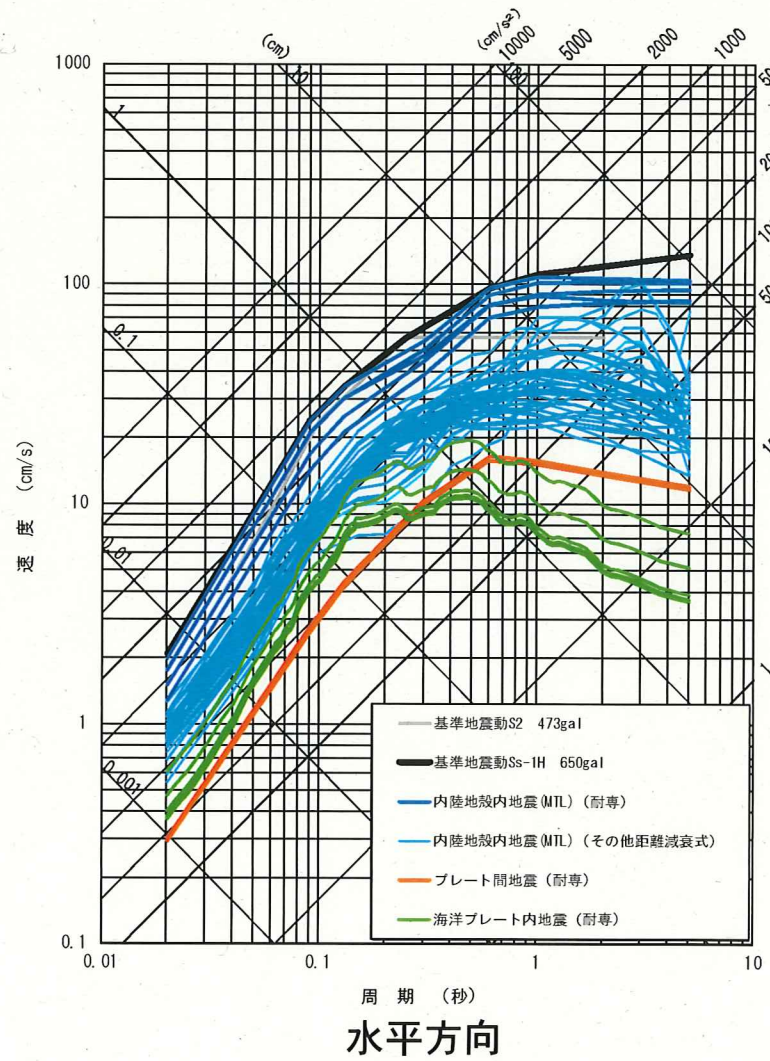
この点については、都司意見書においても、「南海沖の巨大地震」による本件発電所敷地への影響を考察する中で、「地盤の固いところに立地しているので、せいぜい震度5弱と見られる。千年震災の一つである宝永地震（1707）にしても、震度5強が上限であって、震度6に達しない。伊方原発は南海地震に対してはさほど心配する必要はない」（都司意見書22頁）と述べられている。

別図1 S s - 1の時刻歴波形及び応答スペクトル

○時刻歴波形

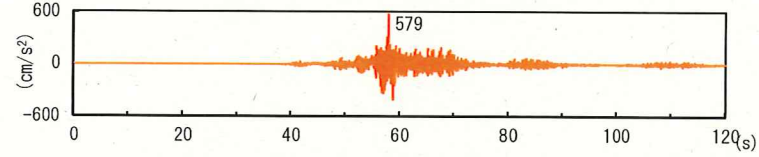


○応答スペクトル

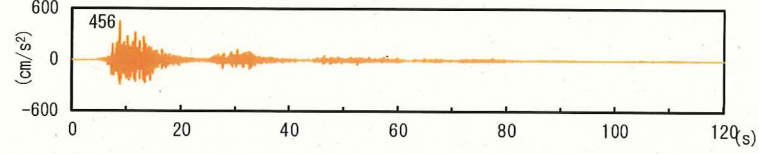


別図2-1 Ss-2の時刻歴波形

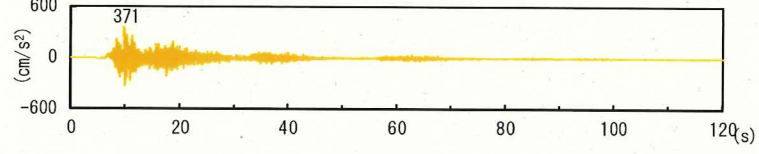
○Ss-2-1(480km $\Delta$   $\sigma$ 20MPa(壇)・西破壊・ハイブリッド)



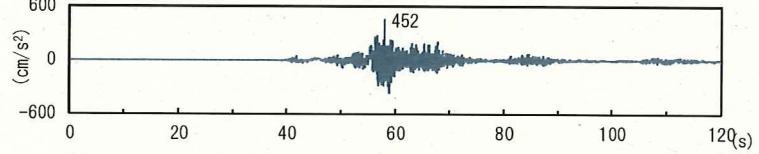
○Ss-2-2(480km基本 $\Delta$   $\sigma$ 20MPa(壇)・中央破壊・ハイブリッド)



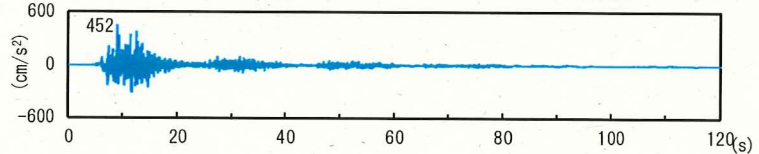
○Ss-2-3(480km基本 $\Delta$   $\sigma$ 20MPa(壇)・第1アスベリティ西破壊・ハイブリッド)



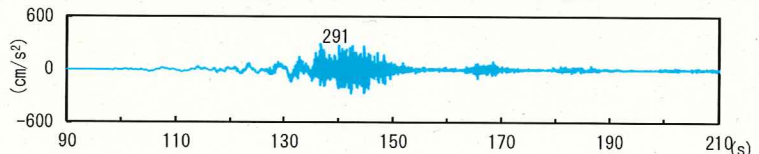
○Ss-2-4(480km $\Delta$   $\sigma$ 1.5倍(F&M)・西破壊・ハイブリッド)



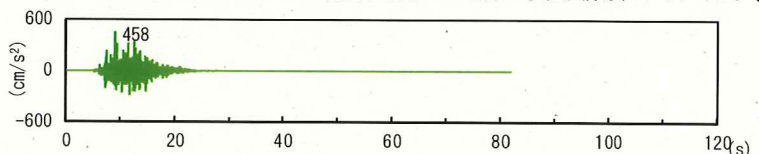
○Ss-2-5(480km基本 $\Delta$   $\sigma$ 1.5倍(F&M)・中央破壊・ハイブリッド)



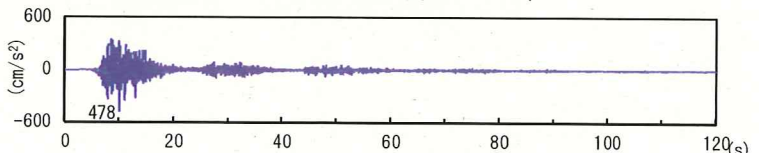
○Ss-2-6(480km基本 $\Delta$   $\sigma$ 1.5倍(F&M)・東破壊・ハイブリッド)



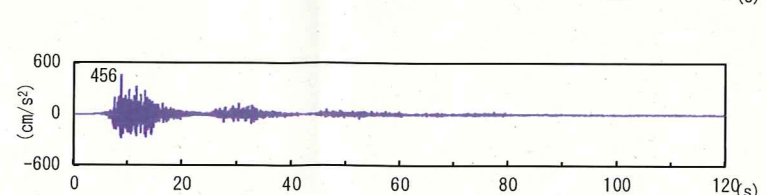
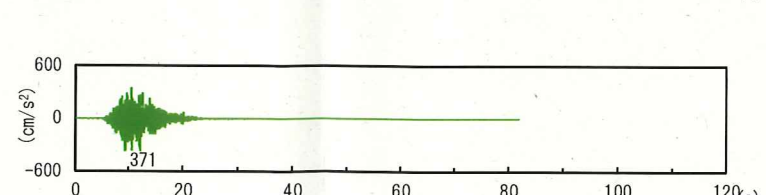
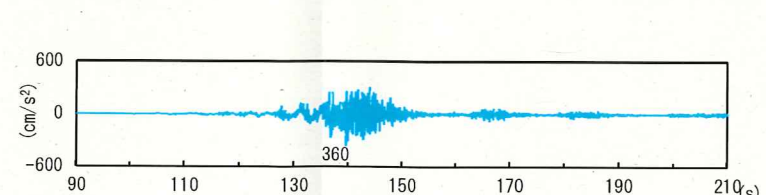
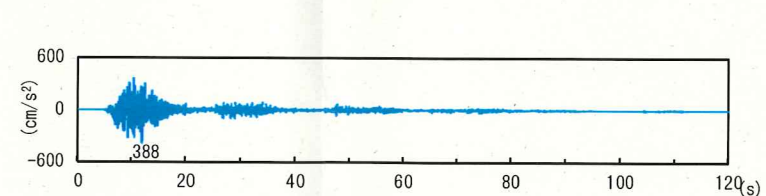
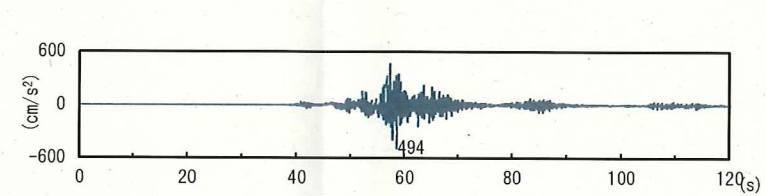
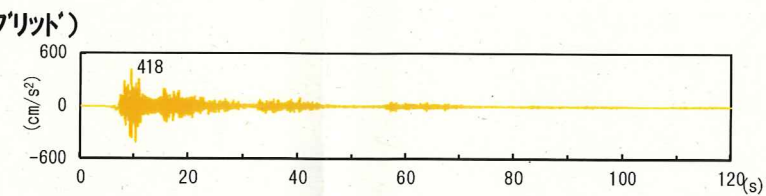
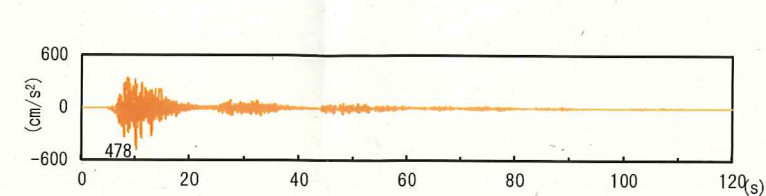
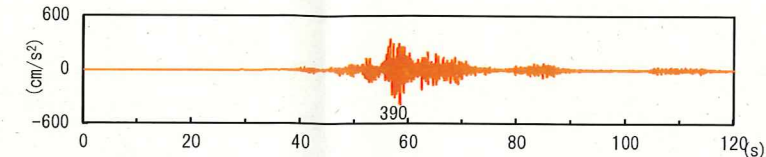
○Ss-2-7(54km $\Delta$   $\sigma$ 1.5倍(入倉・三宅)・中央破壊・ハイブリッド)



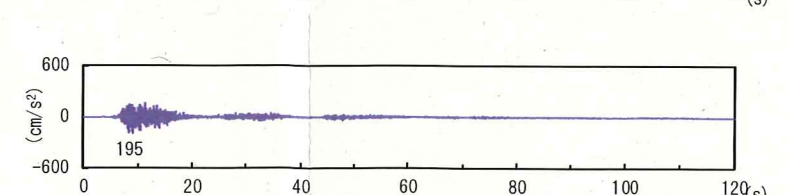
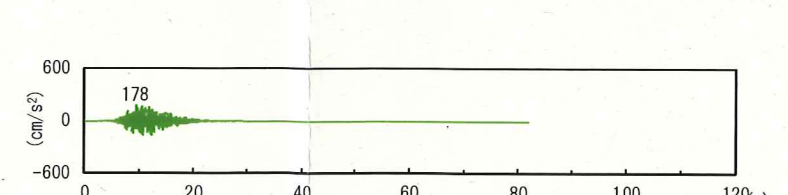
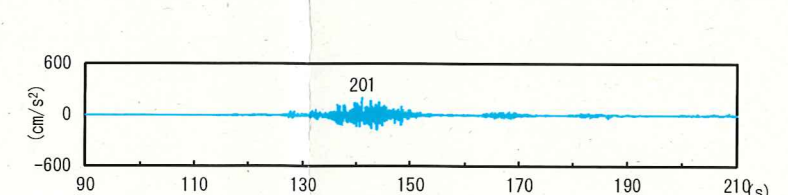
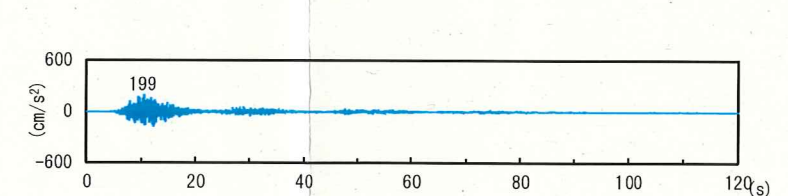
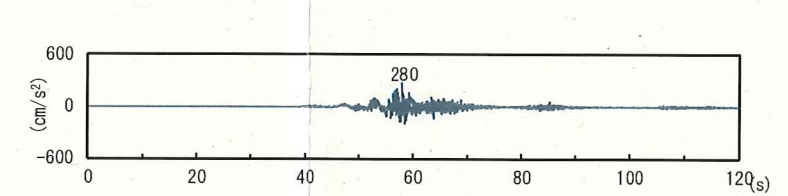
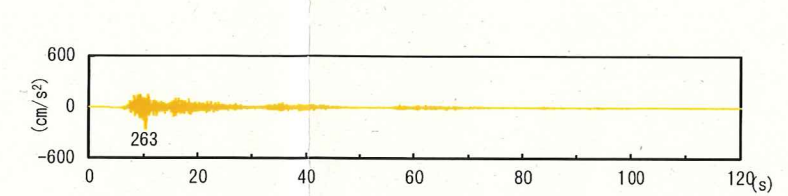
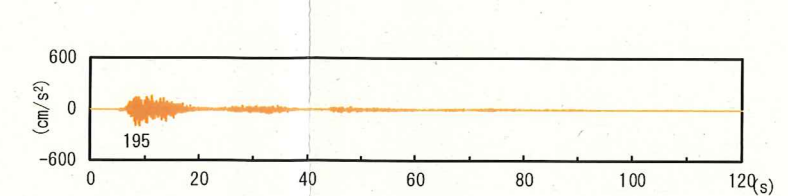
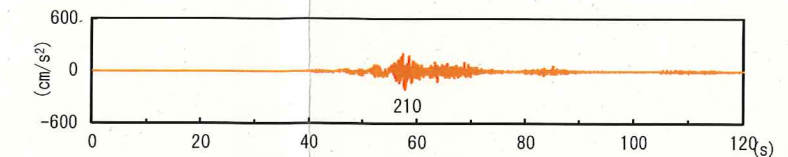
○Ss-2-8(Ss-2-2 NS・EW入れ替えケース)



南北方向



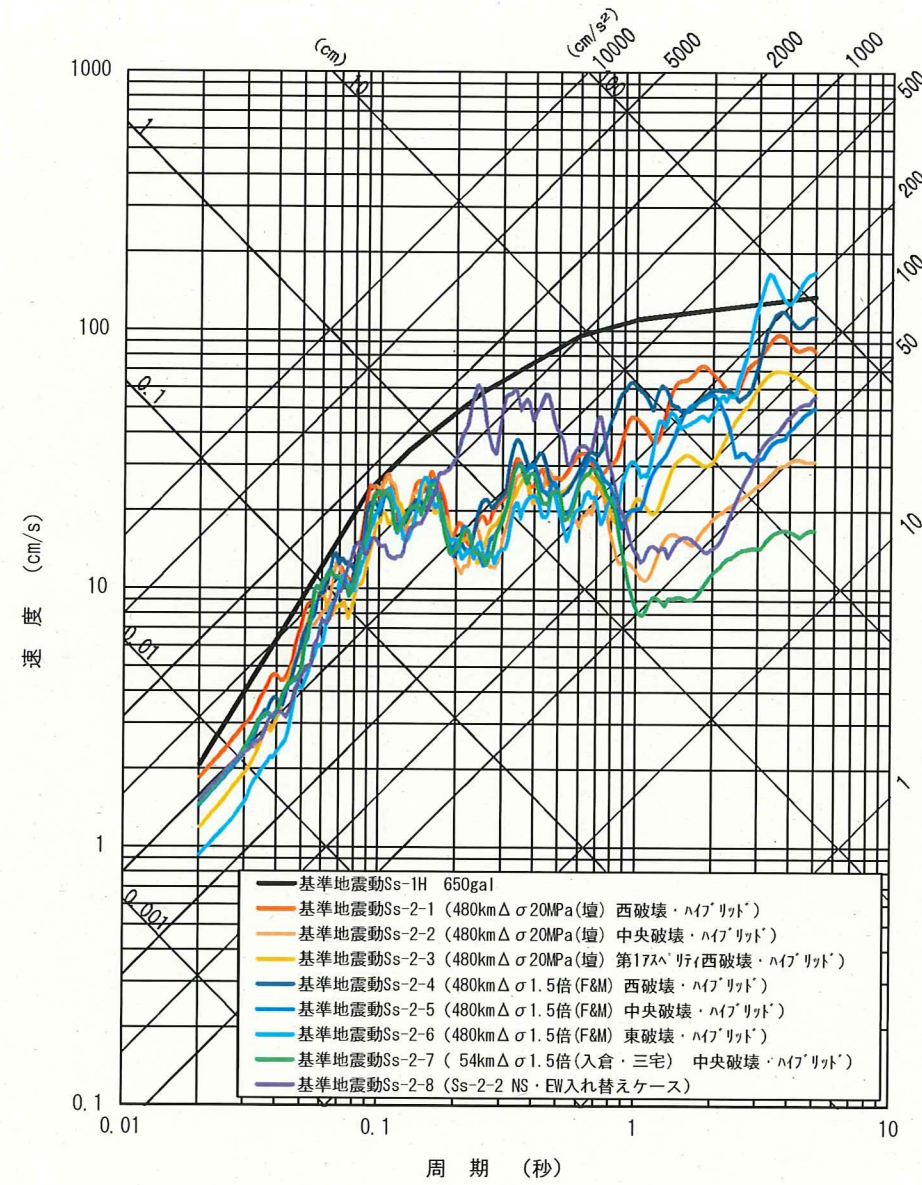
東西方向



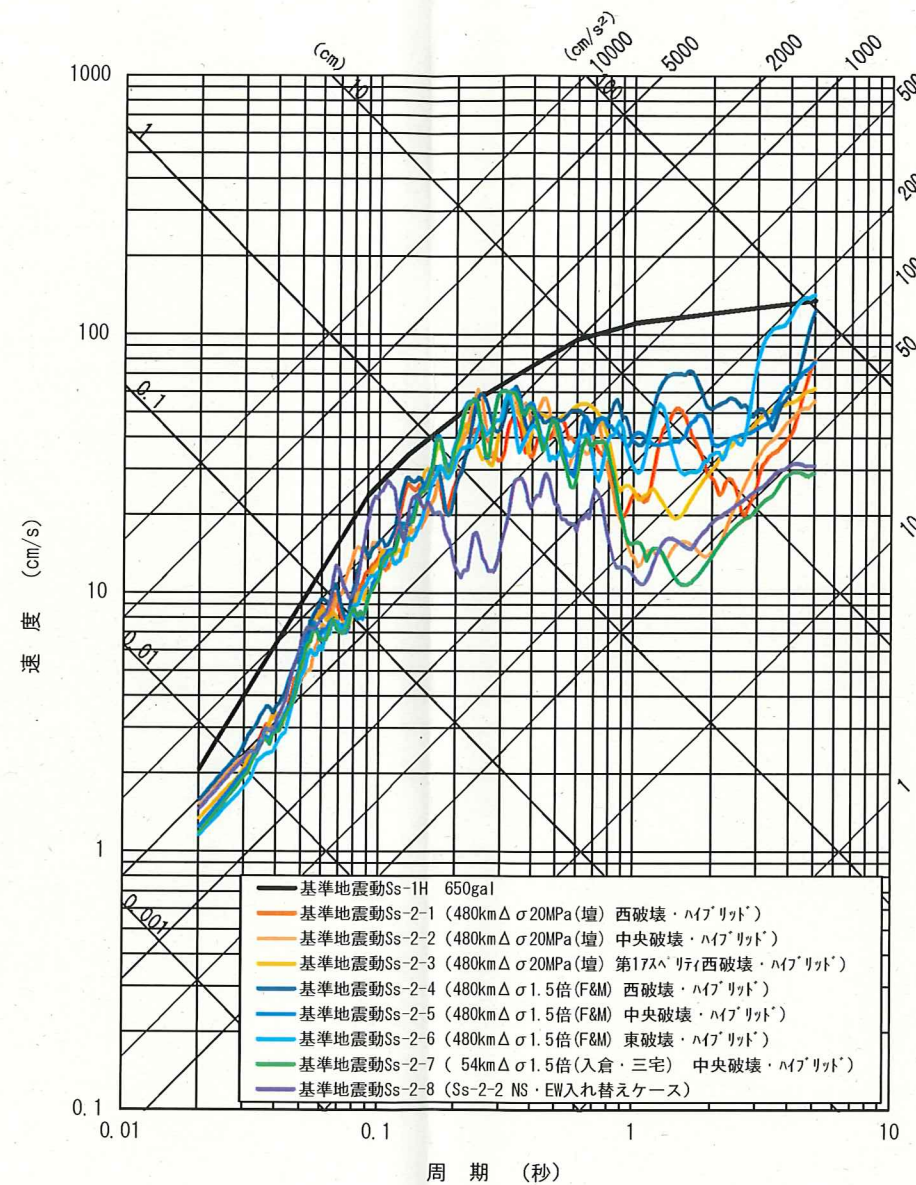
鉛直方向



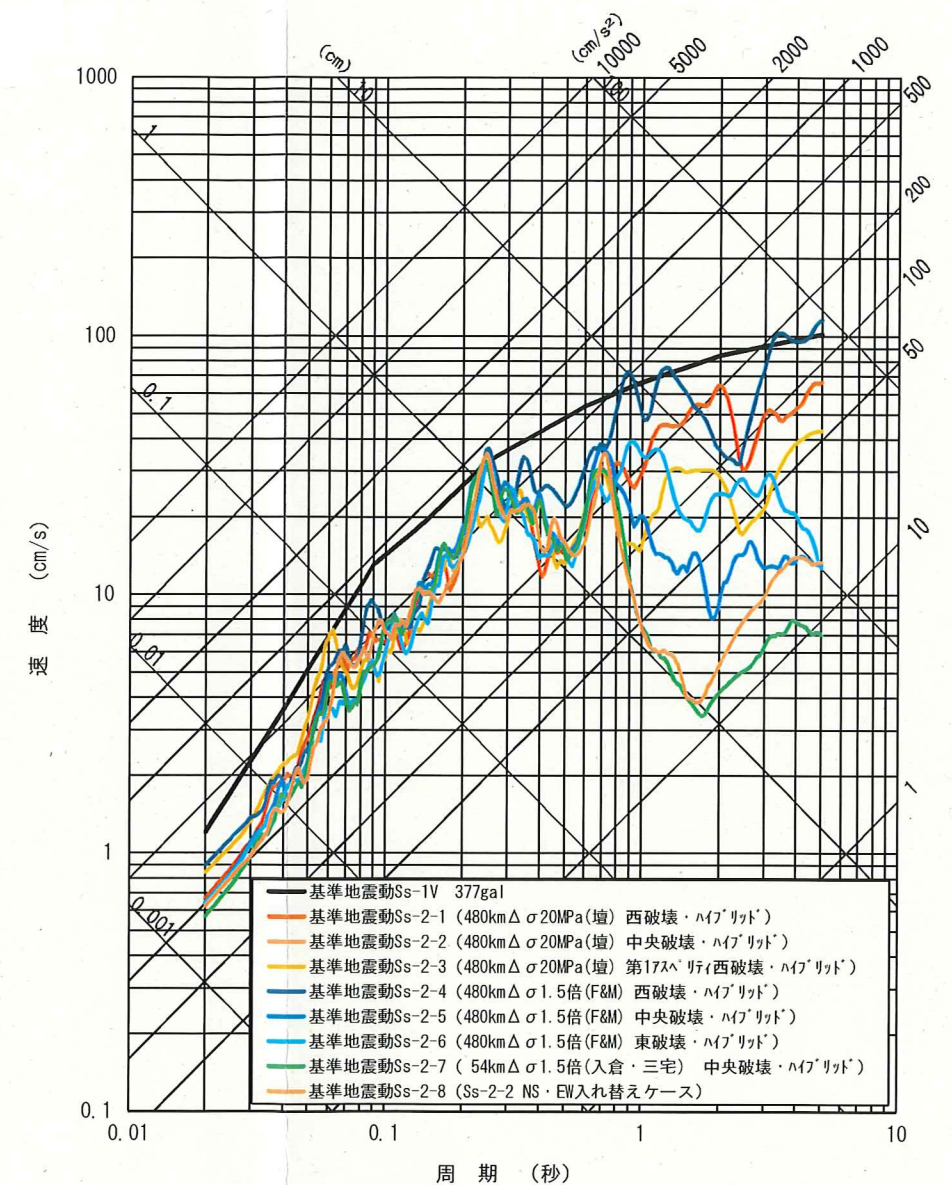
別図2-2 Ss-2の応答スペクトル



南北方向



東西方向

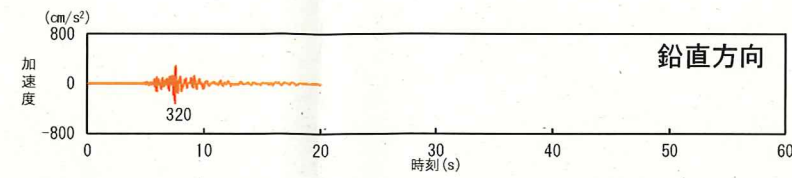
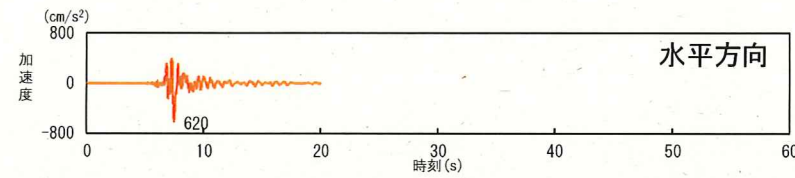


鉛直方向

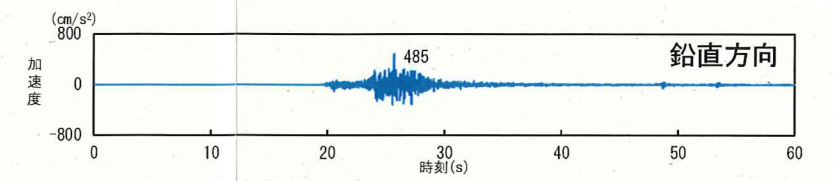
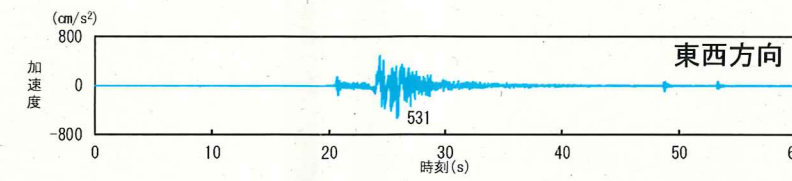
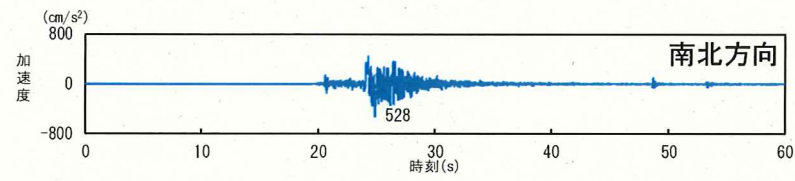
別図3 Ss-3の時刻歴波形及び応答スペクトル

○時刻歴波形

[Ss-3-1 (2004年北海道留萌支庁南部地震 解放基盤波)]



[Ss-3-2 (2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム観測記録)]



○応答スペクトル

