

平成23年(ワ)第886号 浜岡原子力発電所運転終了・廃止等請求事件

原 告 石 垣 清 水 外33名

被 告 中 部 電 力 株 式 会 社

準 備 書 面 (12)

平成26年11月20日

静岡地方裁判所民事第2部合議B係 御中

被告訴訟代理人弁護士

奥

村

救

軌



外12名

略語例

耐震設計審査指針 (旧指針)	発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針 (昭和56年7月20日原子力安全委員会決定)
改訂指針	平成18年9月19日に改訂された耐震設計審査指針
本件原子力発電所	浜岡原子力発電所3号機ないし5号機 (なお、特定の号機を示すときには、例えば「本件原子力発電所3号機」と表す。)
兵庫県南部地震	平成7年(1995年)兵庫県南部地震
宮城県沖の地震	平成17年8月16日の宮城県沖の地震
能登半島地震	平成19年(2007年)能登半島地震
新潟県中越沖地震	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震
岩手・宮城内陸地震	平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震
駿河湾の地震	平成21年8月11日の駿河湾の地震
東北地方太平洋沖地震	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
福島第一原子力発電所 事故	東京電力株式会社福島第一原子力発電所において発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に起因する事故

目 次

はじめに	1
第1 地震動評価手法の発展と本件原子力発電所の耐震安全性の確保	2
1 地震動評価手法の発展と本件原子力発電所の基準地震動の策定	2
(1) 地震及び地震学の知見	2
(2) 兵庫県南部地震を契機とした地震学等の知見の蓄積と地震動評価 手法の発展	3
(3) 原子力発電所に係る地震動評価手法の発展	5
(4) 本件原子力発電所の地震動評価及び基準地震動の策定	7
2 本件原子力発電所の耐震安全性の確保	11
(1) 本件原子力発電所の耐震設計及び耐震安全性の確認	11
(2) 多度津工学試験所における耐震信頼性実証試験と原子力発電所の 耐震安全性	13
(3) 実際の地震等と原子力発電所の耐震安全性	14
第2 原告らの主張に対する反論	17
1 地震動評価手法に係る主張について	18
2 耐震安全性に係る主張について	20

南海トラフ検討会

内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」

I A E A

International Atomic Energy Agency

国際原子力機関

はじめに

原告らは、平成26年2月3日付け準備書面16及び同年5月21日付け準備書面20において、本件原子力発電所以外の国内の原子力発電所において、基準地震動を上回る地震動が観測された事例がこの10年間で5事例あることを挙げて、耐震設計の要である基準地震動の策定手法に致命的な欠陥があり、地震学の知見の誤りがこのような基準地震動の策定の誤りをもたらしたとしたうえで、基準地震動の策定手法については新規制基準の下でもその欠陥が放置されたままであるから、基準地震動を大きく上回る地震動が襲い、これに対する原子力発電所の安全性は依然として確保されず、本件原子力発電所についても、被告が策定した基準地震動 S_s を大きく上回る地震動が襲うことになり、その耐震安全性が確保されていないかのように主張する。

しかしながら、原告らの主張は、地震学等の知見の蓄積に伴い発展してきた原子力発電所に係る地震動評価手法及び上記事例において各原子力発電所が示した高い耐震安全性に関する理解を欠いており、これらの事例をもって、本件原子力発電所について、基準地震動 S_s を上回る地震動が襲うことになるということとはできず、その耐震安全性が確保されていないということもできない。

本準備書面においては、原子力発電所に係る地震動評価手法が、兵庫県南部地震を契機とした地震学等の知見の蓄積に伴い、「震源特性」及び「地下構造による地震波の伝播特性」を、地域性を踏まえて詳細に考慮するよう発展したことについて説明し、被告が本件原子力発電所の地域性を踏まえ地震動評価を行って基準地震動を策定していることについて述べるとともに、本件原子力発電所が高い耐震安全性を確保していることを述べる（第1）。次いで、原告らの挙げる上記事例に係る地震については、「震源特性」と「地下構造による地震波の伝播特性」が他の地域よりも大きい地震動をもたらすものであったことが明らかになっており、原告らの主張は、上記原子力発電所に係る地震動評価手法の理解を欠くものであること、原告らの挙げる上記事例はむしろ各原子力発電所が高い耐震安全

性を示すものであることを述べることにより、原告らの主張に反論する（第2）。

第1 地震動評価手法の発展と本件原子力発電所の耐震安全性の確保

1 地震動評価手法の発展と本件原子力発電所の基準地震動の策定

（1）地震及び地震学の知見

地震とは、プレートの沈み込み等によって地下の岩盤に蓄積された歪みが、岩盤がある面（震源断層面）を境として破壊する（ずれる）ことによって解放される現象であり、ある点から始まった破壊は震源断層面を拡大していき、地震波が逐次放出される。震源から放出された地震波は、地中（地下構造）を伝播していき、最終的には地震波は地表付近に到達し、その地点を揺らすこととなる。地震波が到達することによりその地点に生ずる地盤の揺れ動きのことを地震動という。震源から放出される地震波の性質（振幅、周期特性等）を震源特性^{*注}という。地震波は、震源からの距離とともにその振幅を減じながら、地震基盤面^{*注}と呼ばれる岩盤面に達するまで地中（地下構造）を伝播していく。これを伝播経路特性^{*注}という。そして、地震基盤面から上部の地盤に入射した地震波は、その地盤（地下構造）を地表に向かって、地震波の振幅を増大させながら伝播していく。これを地盤増幅特性^{*注}という。特定の地点における地震動は、「震源特性」、「地下構造による地震波の伝播特性」（伝播経路特性及び地盤増幅特性）によって大きく左右され、「震源特性」は当該地域で地震が発生する場所の深さや岩盤の硬さ等の性質、地震発生様式^{*注}、震源断層の大きさや破壊の仕方等によって、「地下構造による地震波の伝播特性」は地震波が伝わって来る当該地域の地下構造の性質によって、それぞれ異なり、これらの特性には地域性が存在する。

地震学は、上記のような地震のメカニズムに係る基礎データを探求し、提供するものであり、地震学者は、地震に関する諸現象を観測・調査することにより、地震に関する諸現象を物理学的に把握・理解し、地震発生に至るプ

プロセスや地震発生時の破壊（断層運動）のプロセス（震源過程）等を解明し、地震の原因を研究している。一方、我が国のような地震国では、地震学の知見を防災に役立てることが求められている。地震学と防災との間には、地震学の知見を実際の社会に活用することを目的とする地震工学があり、地震学が地震のメカニズムに係る基礎データや知見を提供し、これを地震工学において工学的評価をしたうえ、防災に関わる行政分野等に受け渡すという連携がなされている。そして、地震のメカニズムに係る基礎データは、観測や調査の方法によって、その結果が大きく異なるだけでなく、内容の質、量、本質的な問題か否かによる重要度等の点で大幅な差異があるため、複数の専門家による検証、評価を経る必要があり、その後、工学的評価が行われたうえで防災に活かされることとなる。実際に、東北地方太平洋沖地震の発生後も、その地震に関する諸現象を観測・調査することにより研究が行われ、それらの研究成果は、南海トラフ検討会において、南海トラフの巨大地震の震源断層モデル等の検討に際し複数の委員により検証、活用され、その報告結果は中央防災会議における国の防災対策につながっている。

（２）兵庫県南部地震を契機とした地震学等の知見の蓄積と地震動評価手法の発展

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、「震源特性」と「地下構造による地震波の伝播特性」と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。これによって、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、地震に関し様々な調査観測が行われた。その結果、地震学や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、兵庫県南部地震では、震源となった断層の直上ではなくやや離れた所に「震災の帯」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。その結果、この現象は震源における断層破壊の進行方向で地震動が大きくなる指向性と、地下構造による地震波の増幅との相乗効果によることが明らかになった。この経験を契機として、地震調査研究推進本部が設置され、全国の地震動の観測網が充実されるとともに、活断層調査、地下構造調査等が行われた。この地震動の観測網の充実により、大きな地震が起きると精度よい地震動が記録され、その解析により直ちに震源断層の破壊過程が断層モデルとして計算されることなどにより、「震源特性」に係る知見が蓄積された。その結果、「震源特性」のうち強震動に直接影響する短周期レベル^{*注}について、壇ほか（2001）^{*注}や佐藤（2010）^{*注}等により、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^{*注}は、他の地域と比べて短周期レベルが大きいなどの地域性が明らかになった。また、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、各地域の「地下構造による地震波の伝播特性」による影響が検討された。更には、南海トラフ沿いの海域についても詳細な地下構造調査が行われた。

これらの地震学の知見の蓄積に加えて、地震工学の成果である構造物の被害メカニズムや耐震設計の方法論等が強震動予測手法に取り入れられ、地震調査研究推進本部が中心となって強震動予測レシピが整備されるなど断層モデルを用いた手法（波形合成法）^{*注}等の地震動評価に関する研究が大きく進展した。この強震動予測レシピにより、それまで地震の規模と震源距離を用いることでしか評価することのできなかった評価地点における地盤の揺れ（地震動）を、「震源特性」や「地下構造による地震波の伝播特性」につき地域性を踏まえて詳細に考慮することができるようになっただけでなく、強震動生成域^{*注}や破壊開始点^{*注}の位置等を変えることにより複数のシナリオを比較検討することができるようにもなり、各事業者や国、地方自治体の防災対策に広く活用されている。

(3) 原子力発電所に係る地震動評価手法の発展

原子力発電所は、地震に関する詳細な調査を実施したうえで、地震動評価を行い、その評価結果等に基づき基準地震動を策定して耐震設計される。ここで、基準地震動は、基盤（硬質地盤であって著しい風化を受けていないもの）面上の表層や構造物がないものとして仮想的に設定される解放基盤表面における地震動として策定されるものである。また、地震動（地盤の揺れ）は地震の際に時々刻々と変化するものであり、基準地震動も一定の時間の幅を持った時々刻々と変化する地盤の揺れを表すものである。したがって、基準地震動は、「最大加速度何ガル」というように簡易に表されることが多いが、加速度の値を単一の数値で表すものではなく、横軸を時間、縦軸を加速度振幅として描く時刻歴波形として示されるものである。

上記のような原子力発電所の耐震設計過程における地震動評価手法については、上記（2）で述べた地震動評価手法の発展を踏まえて、原子力安全委員会（当時）により、耐震設計審査指針の改訂の議論が行われ、平成18年に改訂指針が決定された。改訂指針では、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、震源を特定した地震動評価、すなわち、地下の震源断層の位置、長さ、幅及び傾斜角等を具体的に設定して、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すること、地震動評価に当たっては、地震発生様式、地震波伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分に考慮すること、更には基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については、適切な手法を用いて考慮することが明記され（乙B第11号証4～7頁）、「震源特性」や「地下構造による地震波の伝播特性」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮することとされた。

その後、東北地方太平洋沖地震及びこれによる津波に起因した福島第一原子力発電所事故を受けて、原子力規制委員会により、平成25年7月に新規

制基準が決定された。この新規制基準のうち、地震動評価手法については、プレート間地震や海洋プレート内地震^{*註}、及び「地下構造による地震波の伝播特性」の考慮に関わる記載が充実されたものの、詳細な調査に基づき「震源特性」や「地下構造による地震波の伝播特性」を、地域性を含めて詳細に考慮するという地震動評価の考え方は、改訂指針から変更されていない。

このように、「震源特性」や「地下構造による地震波の伝播特性」を、地域性を含めて詳細に考慮するという地震動評価手法が、原子力発電所に係る地震動評価においては用いられてきたところ、兵庫県南部地震以降に発生した、宮城県沖の地震（M（マグニチュード）^{*註}7.2）、能登半島地震（M6.9）、新潟県中越沖地震（M6.8）、東北地方太平洋沖地震（モーメント・マグニチュード（M_w）^{*註}9.0）では、地震観測記録等の詳細な分析や地下構造調査等が行われ、「震源特性」や「地下構造による地震波の伝播特性」について他の地域よりも大きい地震動をもたらす地域性に係る知見等が得られた。

具体的には、「震源特性」については、これらの地震のいずれにおいても、敷地の地震動の強さに直接影響する短周期レベルについて、その地震発生様式の地震の平均より大きいという地域的な特徴が見られた。また、能登半島地震及び新潟県中越沖地震については、それぞれの震源断層（能登半島地震の起震断層は笹波沖断層（東部）、新潟県中越沖地震の震源断層はF－B断層にそれぞれ対応）が地震後のより詳細な活断層調査によって把握され、東北地方太平洋沖地震については、その震源断層は複数の想定震源域が連動したものであったことや地震動の大きさはM_w8程度の地震と同程度であったことが分析された。また、「地下構造による地震波の伝播特性」については、その地域の地下構造の特性として、能登半島地震では敷地地盤の増幅特性により特定周期帯の地震動の増幅が生じたこと、新潟県中越沖地震では深部地盤における地震基盤面の傾斜や浅部地盤における褶曲構造の存在によ

り顕著な地震動の増幅が生じたことが分析された。

これらの地震で得られた知見は、上記で述べた地震動評価手法を用いた各原子力発電所の地震動評価において、当該原子力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、宮城県沖の地震では、「震源特性」について、上記で述べたとおり宮城県沖のプレート間地震の短周期レベルは他の地域と比べて大きいという地域的な特徴が明らかとなり、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が行われ、基準地震動 S_s が策定された。その結果、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、その基準地震動 S_s に対し、一部の周期帯でその応答スペクトル^{*注}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を及ぼすものではないことが確認されている。

(4) 本件原子力発電所の地震動評価及び基準地震動の策定

被告は、本件原子力発電所の耐震設計に当たり、敷地及び敷地周辺の詳細な調査を実施したうえで、その調査結果に基づき地震動評価を行うことで基準地震動 S_1 及び S_2 を策定した。具体的には、被告は、選定した各設計用最強地震及び各設計用限界地震について、標準応答スペクトル（大崎の方法）により地震動を評価するとともに、想定東海地震、安政東海地震及び「南海トラフ沿いのM8.5の地震」については、断層面の拡がりを敷地の地震動の評価に考慮することが適切であると考えられるため、断層モデルを用いた手法（小林の方法^{*注}）を併用し、昭和53年の中央防災会議による想定東海地震の断層モデル等に基づき敷地周辺の「地下構造による地震波の伝播特性」を考慮して地震動を評価した。そして、基準地震動 S_1 の設計用応答スペクトルは、選定した設計用最強地震による地震動の応答スペクトルをすべ

て包絡するようにして定め、基準地震動S1（最大加速度（水平）450ガル）を策定した。次に、基準地震動S2の設計用応答スペクトルは、設計用限界地震による地震動の応答スペクトルが基準地震動S1の設計用応答スペクトルを上回らなかったものの、本件原子力発電所が南海トラフ沿いのM8クラスのプレート間地震の震源域に位置しており、同地震が敷地に与える影響が大きいことを踏まえ、工学的判断により基準地震動S1の設計用応答スペクトルに全周期帯で3割程度の余裕を見込んで設計用応答スペクトルを定め、基準地震動S2（最大加速度（水平）600ガル）を策定した。

その後、被告は、改訂指針に照らした耐震安全性の評価・確認（以下、「バックチェック」という。）及び新規制基準を踏まえた検討に当たり、上記（3）で述べた地震動評価手法の発展を踏まえ、以下のとおり、最新の知見に基づき、「震源特性」や「地下構造による地震波の伝播特性」を、地域性を踏まえて詳細に考慮した地震動評価を行い、基準地震動Ssを策定した。

まず、平成18年に改訂指針が決定されたことから、被告は、敷地及び敷地周辺の詳細な調査結果に基づき、中央防災会議（2001）及び同（2003）の想定東海地震の強震断層モデル及び複数の領域の連動を考慮した想定東海・東南海地震、想定東海・東南海・南海地震の強震断層モデルを用いたほか、地震動評価用の地下構造モデルを設定するなどして、「震源特性」及び「地下構造による地震波の伝播特性」について地域性を考慮した地震動評価を行い、基準地震動Ss（最大加速度（水平）800ガル）を策定した。

次に、平成25年に新規制基準が決定されたことから、被告は、敷地及び敷地周辺の詳細な調査結果に基づき、東北地方太平洋沖地震を踏まえて設定された南海トラフ沿いの地震の最新の断層モデルを用いるとともに、新潟県中越沖地震及び駿河湾の地震を踏まえて実施した地下構造の詳細な調査分析結果を反映して、基準地震動Ss（Ss1-DH、最大加速度（水平）

1200ガル，S s 2-DH，最大加速度（水平）2000ガル）を策定した。この基準地震動S sの策定の内容については，被告の平成26年7月17日付け準備書面（10）で述べたとおりであり，被告は，上記（3）で述べた宮城県沖の地震，能登半島地震，新潟県中越沖地震及び東北地方太平洋沖地震を含め，実際に発生した地震で得られた最新の知見等を踏まえ，「震源特性」や「地下構造による地震波の伝播特性」について地域性を考慮した評価を行っている。

具体的には，「震源特性」に係る地域性の考慮として，プレート間地震の地震動評価に当たって，東北地方太平洋沖地震を踏まえて南海トラフ沿いの地震の最新知見に基づき設定された南海トラフ検討会による最大クラスの地震の強震断層モデルを用い，短周期レベルを安全側に考慮した地震動評価を行っている。また，内陸地殻内地震^{*注}の地震動評価に当たっては，新潟県中越沖地震や能登半島地震を踏まえ，大規模な地下構造調査も行ったうえで，敷地及び敷地周辺の詳細な活断層調査結果に基づき震源断層を設定し，短周期レベルを安全側に考慮した地震動評価を行っている。このうち，プレート間地震の地震動評価に用いた南海トラフ検討会による最大クラスの地震の強震断層モデルは，東北地方太平洋沖地震の教訓を踏まえて南海トラフ沿いの地域の最新知見が反映されているものであり，その強震断層域は，駿河湾から日向灘沿いまでの複数の領域を連動させたものが設定され，南海トラフ沿いで発生した過去地震に加えて，世界のプレート間地震の強震断層モデル等を分析するなどして設定されたものである。被告は，この南海トラフ検討会の強震断層モデルについて，強震動生成域の応力降下量及びその面積から算定される短周期レベルが，既往地震の記録に基づき地震モーメント（Mo）^{*注}と短周期レベルとの経験的關係を整理したものである壇ほか（2001）の経験式及び佐藤（2010）の経験式並びに東北地方太平洋沖地震の解析結果と対比しても大きな設定となっており，同モデルについて，

短周期レベルに直接影響する強震動生成域の応力降下量の不確かさがあらかじめ考慮されていることを確認している。更に、被告は、敷地の地震動に及ぼす影響の観点から、強震動生成域を敷地に近い位置に配置し断層破壊の進行が敷地に向かうケースについても考慮している。

また、「地下構造による地震波の伝播特性」に係る地域性の考慮として、新潟県中越沖地震及び駿河湾の地震を踏まえて、徹底した地下構造調査及び地震観測記録の分析を実施し、その結果に基づき敷地の特性を反映した地震動評価を行っている。すなわち、被告は、地震観測記録の分析により、本件原子力発電所5号機周辺では、駿河湾の地震の地震波到来方向（地震波が伝播してくる方向）付近においてのみ顕著な地震動の増幅が見られるものの、本件原子力発電所3、4号機周辺ではいずれの地震波到来方向でもそのような増幅は見られないことなどを確認した。次に、地下構造調査結果の検討により、敷地東側の地下浅部に周囲に比べて地震波の伝播速度（S波速度）が低下したS波低速度層を確認するとともに、敷地の西側及び海側にはS波低速度層が分布していないことを確認した。そして、地震観測記録の分析結果と地下構造調査結果の検討結果とが整合していること、また、浅部地下構造モデルを用いた三次元解析結果と駿河湾の地震観測記録の特徴とが整合していることを確認し、駿河湾の地震における本件原子力発電所5号機の地震動増幅の主要因（5号機増幅要因）を上記S波低速度層と推定した。これらを踏まえ、被告は、本件原子力発電所3、4号機周辺の地盤増幅特性は、5号機増幅要因であるS波低速度層の影響はなく、駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向でも顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同程度であることを確認し、その地盤増幅特性を地震動評価に反映している。また、本件原子力発電所5号機周辺の地盤増幅特性は、S波低速度層の影響により、駿河湾の地震の地震波到来方向付近では顕著な増幅が見られるが、その他の地震波到来方向ではそのような増幅は見られず、

周辺観測点の地盤増幅特性と同程度であることを確認し、その地盤増幅特性を地震動評価に反映している。

以上のとおり、被告は、本件原子力発電所について、敷地及び敷地周辺の詳細な調査結果に基づき、「震源特性」及び「地下構造による地震波の伝播特性」について地域性を十分に考慮した地震動評価を行って基準地震動 S_s を策定している。

2 本件原子力発電所の耐震安全性の確保

(1) 本件原子力発電所の耐震設計及び耐震安全性の確認

前記1(1)で述べたとおり、地震が発生すると、震源から放出された地震波は地表付近に到達してその地点の地盤を揺らし(地震動)、地盤の揺れは構造物を揺らし、構造物が揺れる際には、その揺れに応じた力が構造物に作用する。地震の際の構造物の揺れを地震応答といい、構造物に作用する力を地震力^{*注}という。前記1(3)で述べたとおり、原子力発電所は、地震に関する詳細な調査を実施したうえで、地震動評価を行い、その評価結果等に基づき基準地震動を策定して耐震設計されるものであるところ、耐震設計においては、地震応答解析から求められる地震応答の値や、この値から算出される地震力が用いられる。

本件原子力発電所の耐震設計については、旧指針に基づき行っており、地震により生ずるおそれのある安全機能の喪失を起因とした放射線による環境への影響の観点から、施設の耐震設計上の重要度分類を A_s クラス、Aクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、各施設について、それぞれの重要度に応じた地震力に対して、十分耐えることができるような設計としている。また、耐震設計に当たっては、原子力発電所の構築物は原則として剛構造とするとともに、重要な構築物は岩盤に支持させることで、地震に強い構築物としている。本件原子力発電所の原子炉建屋は、上記に加え、原子炉を収容

する原子炉室の周囲に付属の施設を収容する補機室を一体とした複合型の建屋構造として、より地震に強い構造としている。

上記のうち、安全上重要なAsクラス及びAクラスの施設の耐震設計について具体的に述べると、まず、施設の各位置に作用させる設計用地震力を、「基準地震動S1に基づく地震力」と「一般建物に要求される値の3倍の静的地震力^{*注}」とのいずれか大きい方から設定し、次いで、施設の各部材について、その設計用地震力を施設の各位置に作用させた際に発生する応力値・変形量を算定し、それらが許容値に収まっていることを確認している。更に、Asクラスの施設については、基準地震動S2による地震力に対して安全機能を保持できることを確認している。

設計用地震力の設定では、まず、建屋等を適切なモデルに置き換え、基準地震動S1の時刻歴波形を入力してコンピュータを用いた地震応答解析により施設の各位置の地震応答の加速度（応答加速度）を算出している。この施設の各位置に生ずる応答加速度の値に構造物の重量を掛け合わせて算出される「基準地震動S1に基づく地震力」と、「一般建物に要求される値の3倍の静的地震力（機器については更に1.2倍の値としている。）」とを比較し、いずれか大きい方の値を、施設の各位置に作用させる設計用地震力としている。「基準地震動S1に基づく地震力」は、実際の地震の際に構造物に作用する地震力が本来時々刻々と変化するものであるにもかかわらず、地震応答解析から算出される地震力の最大値を、静的な地震力と仮定して設計用地震力として用いることになる。これは、実際は構造物に「ほんの一瞬」作用するだけの地震力について、それが「変化せず、一定の力で作用し続ける」という仮定をすることに相当し、この地震力に十分耐えるように設計することは高い耐震安全性をもたらすこととなる。

また、設計用地震力に対する施設の各部材の設計では、設計用地震力にその他に作用する力（自重、圧力、温度等）を組み合わせる各部材の詳細なモ

デルに静的に作用させて応力解析を実施し、施設の各部材にどのような力（応力）が生じたり、各部材がどのように変形したりするかを検討し、各部材に発生する応力値・変形量が、許容値に収まっていることを確認している。

以上のとおり、被告は、本件原子力発電所について基準地震動S 1, S 2に基づく地震力に加え、一般建物に要求される値の3倍の静的地震力に基づく地震力を用いて耐震設計を行った。

その後、被告は、バックチェック及び新規制基準を踏まえた検討に当たり、上記1（4）で述べたとおり、地震動評価手法の発展を踏まえ、敷地及び敷地周辺の詳細な調査結果に基づき、地域性を考慮した地震動評価を行って基準地震動S sを策定しており、それに対して、本件原子力発電所の耐震安全性を確認している。

（2）多度津工学試験所における耐震信頼性実証試験と原子力発電所の耐震安全性

原子力発電所は、上記（1）で述べたとおり、余裕をもった耐震設計がなされ、高い耐震安全性が確保されており、このことは、財団法人原子力発電技術機構（当時）の多度津工学試験所において行われた耐震信頼性実証試験によっても示されている。

すなわち、多度津工学試験所において、世界最大級の振動台を使用してAsクラスの施設を対象に耐震信頼性実証試験が実施され、基準地震動S 2を上回る地震動で実際に揺らして、高い耐震安全性が確保されていることが確認された（乙B第42号証）。具体的には、原子炉建屋の耐震壁については、その試験体を振動台の上に載せ、実際に徐々に大きな地震動を与えて揺らすことによって構造強度を調べた結果、最大荷重時の終局せん断ひずみが 4.0×10^{-3} 程度であり、弾性限界（せん断ひずみ約 0.2×10^{-3} ）を超えてから実際の破壊までに約20倍の変形にまで耐えられることが確認

された（乙B第42号証14頁②，乙B第43号証38頁）。また，配管についても，振動台を用いた実証試験により，基準地震動S2の許容限界に相当する揺れに対して配管がほぼ弾性状態にあり固有周期の変化はないこと，基準地震動S2の許容限界の1.5倍に相当する揺れに対しても配管がほぼ弾性状態にあり固有周期の変化はほとんどないこと，基準地震動S2の許容限界に達する変位量の10倍程度の変位振幅で1回当たり約110秒間の加振を繰り返したところ5回目の加振でようやく配管が破壊したことが確認された（乙B第42号証12頁⑬，乙B第44号証）。

このように，原子力発電所において高い耐震安全性が確保されていることは，多度津工学試験所における耐震信頼性実証試験によっても示されている。

（3）実際の地震等と原子力発電所の耐震安全性

原子力発電所は，前記（1）で述べたとおり，基準地震動に基づく地震力に加え，一般建物に要求される値の3倍の静的地震力に基づく地震力を用いるなどして余裕をもった耐震設計が行われることにより高い耐震安全性が確保されており，このことは，実際の地震に係る分析等からも示される。

すなわち，敷地で地震動が観測された場合などにおける原子力発電所の耐震安全性の確認では，まず，その観測された地震動の応答スペクトルと，基準地震動に基づく地震力から算出される設計用応答スペクトルとの比較により行われる。この簡便な方法である応答スペクトルの比較による検討の結果，地震観測記録の応答スペクトルが基準地震動の設計用応答スペクトルをすべての周期帯で下回っていた場合，地震応答解析等の詳細な検討を行わずとも施設に影響がないことが確認できる。ここに応答スペクトルとは，地震動を入力した場合の固有周期の異なる1質点系の地震応答（構造物の揺れ）の最大値を算定したものをいい，横軸を構造物の固有周期，縦軸を応答加速度又は応答速度として描かれる。ある地震動に対して構造物がどの程度応答

するかについては、当該構造物が持つ固有周期によって異なり、最大加速度の大きな地震動の方が必ずしもすべての構造物に対して大きな揺れをもたらすとは限らない。その構造物の固有周期と一致する周期の揺れが加わると当該構造物は共振により大きく揺れるが、固有周期以外の周期の揺れが加わっても当該構造物への揺れへの寄与は小さい。そこで、特定の地震動に対する構造物の揺れを把握するために、応答スペクトルが用いられる。

観測された地震動の応答スペクトルは周期毎に凹凸のある形状であるのに対し、基準地震動の設計用応答スペクトルは様々な固有周期の構造物の設計に用いることを踏まえて周期毎に概ね凹凸のない形状に設定されているため、上記の簡便な方法である応答スペクトルの比較による検討の結果、地震観測記録の応答スペクトルが基準地震動の設計用応答スペクトルを一部の周期帯で上回る場合が考えられる。そのような場合であっても、地震応答解析等の詳細な検討が行われ耐震安全性が確認されるものであって、原子力発電所の耐震安全性に問題があると評価されるものではない。例えば、前記 1 (3) で述べた、宮城県沖の地震、能登半島地震及び東北地方太平洋沖地震の際に、本件原子力発電所以外の原子力発電所において基準地震動を一部の周期帯で上回る地震動が観測されたことから、その地震動を用いた地震応答解析による詳細な検討が行われ、各原子力発電所の耐震安全性に影響を及ぼすものではないことがそれぞれ確認された。なお、被告は、本件原子力発電所につき、中央防災会議（2001）の想定東海地震の見直しを踏まえ、実際の地震と同様の時刻歴波形を算定する断層モデルを用いた手法（波形合成法）を用いて地震動評価を実施し、その地震動評価結果（最大加速度（水平）395ガル）と本件原子力発電所の基準地震動 S 1（最大加速度（水平）450ガル）及び S 2（最大加速度（水平）600ガル）とを比較した結果、周期 1 秒付近の一部の周期帯で基準地震動 S 2 の設計用応答スペクトルを上回ったことから、念のため、浜岡原子力発電所 1 号機原子炉建屋を例に地

震応答解析を実施して地震応答を算定し、その地震応答が基準地震動S1による地震応答の6割程度であることを確認した。

また、原子力発電所の耐震設計に一般建物に要求される静的地震力の3倍の静的地震力を用いることにより高い耐震安全性が確保されることについては、これまでに発生した地震における一般建物の地震被害調査結果から明らかになっている。具体的には、兵庫県南部地震(M7.2)では、地表の観測点において、約800ガル(最大加速度)の地震観測記録が得られたが、神戸市灘区、東灘区及び中央区のうち震度7に相当する地域における、鉄筋コンクリート造建物の全数被害調査の報告によれば、建物の挙動が弾性域の範囲に収まっていたと考えられる「軽微」な被害にとどまっていたものが、その調査対象の約84%にも達している。更に、原子炉建屋と同じ壁式鉄筋コンクリート造建物に関しては、その調査対象の約95.5%が「軽微」な被害にとどまっており、大破、中破の被害の原因は、そのほとんどが地盤の変形に伴う被害であった。また、日本の観測史上最大の規模で発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)でも、地表の観測点において、約2000ガル(最大加速度)を超える地震観測記録が得られたが、壁式鉄筋コンクリート造建物に関しては、一部、地盤の変状等によるものを除き、ほとんど被害がなかったことが報告されている。次に、日本の観測史上最大の加速度を記録した、岩手・宮城内陸地震(M7.2)では、地表の観測点において、4022ガル(最大加速度(三成分合成))の地震観測記録が得られたが、土砂被害は大きかったものの、建物被害は小さかったとされており、日本の観測史上最大の加速度を記録した地震計が設置されている観測小屋も被害が見られなかった。

なお、岩手・宮城内陸地震(M7.2)において上記のような大きな加速度が観測されたのは、原子力発電所の安全上重要な構造物が設置される岩盤ではなく地表の観測点であり、地表地盤の影響であることが分析されている。

前記1（3）で述べたとおり、基準地震動は表層や構造物がないものとして仮想的に想定される解放基盤表面における地震動として策定されるものであるから、これと、上記のような表層や構造物の影響を取り除いていない地表における地震動とを単純に比較することはできない。また、近年、地震計の精度の向上に伴い最大加速度が1000ガルを超えるような大きな地震動が観測されるが、その観測記録の波形において「パルス状の髭」のようなものがみられる。この点については、昭和46年サンフェルナンド地震において1000ガルを超える加速度記録が得られたものの無被害であったパコイダムに関し、「この最大値はスパイク状の一種の“ひげ”として生じている。このようなスパイク状のピークを有しているものはその最大加速度値の大きさに比して構造物の被害は大きくない。従って、スパイク状のピークを、そのまま耐震工学の面からみた地震動の強さを表わす指標とすることは必ずしも適当ではない」（乙B第45号証119頁）とか、「最大加速度の値に象徴される地震力が、そのまま地震動の「破壊力」につながるものではない」（乙B第46号証95頁）などとされている。

以上のとおり、実際の地震に係る分析等からも、本件原子力発電所を含む原子力発電所は、基準地震動に基づく地震力に加え、一般建物に要求される値の3倍の静的地震力に基づく地震力を併用するなどして余裕をもった耐震設計が行われることにより、高い耐震安全性が確保されていることが示される。

第2 原告らの主張に対する反論

原告らの準備書面16及び同20における地震動評価手法及び耐震安全性に係る主張は、本件原子力発電所以外の国内の原子力発電所において基準地震動を上回る地震動が観測された事例が5事例あることを根拠としている。これらは、以下の4つの地震における5事例である。このうち、①ないし③は旧指

の地震を含め、実際に発生した地震で得られた最新の知見等を踏まえて、「震源特性」及び「地下構造による地震波の伝播特性」を、地域性を踏まえて十分に考慮した地震動評価を行って基準地震動 S_s を策定し、それに対して本件原子力発電所の耐震安全性を確認している。

以上のとおり、原告らの主張は、過去に発生した地震・地震動の平均像に係る知見を活用しつつ、「震源特性」及び「地下構造による地震波の伝播特性」を、地域性を踏まえて詳細に考慮する原子力発電所に係る地震動評価手法について理解を欠くものであり、原告らの挙げる基準地震動を上回る地震動が観測された他の原子力発電所における事例をもって、本件原子力発電所について、基準地震動 S_s を上回る地震動が襲うことになるということとはできない。

2 耐震安全性に係る主張について

原告らは、基準地震動を上回る地震動が観測された事例をもって、原子力発電所の耐震安全性が欠けるかのように主張しているが、原告らの挙げる5事例は原子力発電所の高い耐震安全性を示すものである。

すなわち、上記5事例のうち、宮城県沖の地震、能登半島地震及び東北地方太平洋沖地震の事例では、簡便な方法である応答スペクトルの比較において、敷地で観測された地震動が一部の周期帯で基準地震動の設計用応答スペクトルを上回ったが、そのような地震動は、前記第1 2 (3) で述べたとおり耐震設計を行った原子力発電所の耐震安全性に影響を及ぼすものではなく、これらの事例においても、各原子力発電所について、地震応答解析による詳細検討及び施設の点検が行われ、その耐震安全性に影響を及ぼすものではないことがそれぞれ確認された。具体的には、宮城県沖の地震の事例では、女川原子力発電所において、敷地で観測された地震動が一部（周期0.05秒付近）の周期帯で基準地震動 S_2 の設計用応答スペクトルを上回ったが、施設の点検及び地震応答解析による詳細検討により、施設の各部に作用する応力や変形が許容値

を上回っていないことを確認するなどして、同発電所の施設の耐震安全性に影響を及ぼすものではないことが確認された。また、能登半島地震の事例では、志賀原子力発電所において、敷地で観測された地震動が一部（周期0.6秒付近）の周期帯で基準地震動S2の設計用応答スペクトルを上回ったが、同様に、同発電所の施設の耐震安全性に影響を及ぼすものではないことが確認された。更に、東北地方太平洋沖地震の事例でも、女川原子力発電所や福島第一原子力発電所において、一部の周期帯で基準地震動Ssの設計用応答スペクトルを上回ったが、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を及ぼすものではないことが確認された。

また、新潟県中越沖地震の事例では、柏崎刈羽原子力発電所の敷地において観測された地震動が基準地震動S2の設計用応答スペクトルを大きく上回ったが、そのような地震動であっても、前記第12(1)で述べたように、基準地震動に基づく地震力に加え、一般建物に要求される値の3倍の静的地震力に基づく地震力を併用するなどして耐震設計を行い、高い耐震安全性を確保している原子力発電所の耐震安全性に影響を及ぼすものではないことが確認された。具体的には、柏崎刈羽原子力発電所において、新潟県中越沖地震後に、地震応答解析による詳細検討及び施設の点検が行われ、一般建物に要求される値の3倍の静的地震力を用いて耐震設計が行われていた同発電所の安全上重要な施設は被害がなく、一般建物に要求される値の1.5倍ないし1.0倍の静的地震力を用いて耐震設計が行われていたBクラス及びCクラスの施設についても、地盤被害によって一部の施設に被害が出たものの、それ以外の多くの施設は被害を受けなかった。

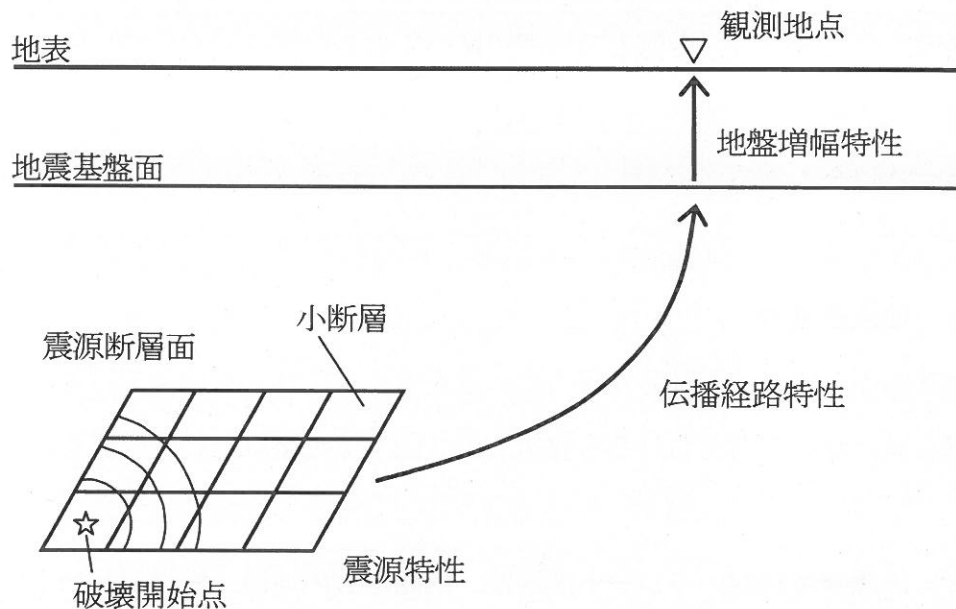
以上のとおり、原告らの主張は、原告らの挙げる基準地震動を上回る地震動が観測された他の原子力発電所における事例が、いずれも原子力発電所の高い耐震安全性を示すものであることを理解せずになされたものであり、これらの事例をもって、本件原子力発電所について耐震安全性が確保されていないとい

うことはできない。

以 上

(注1) 震源特性, 伝播経路特性, 地盤増幅特性

地震動は, 「震源特性」, 「地下構造による地震波の伝播特性」(伝播経路特性及び地盤増幅特性) によって大きく左右される。



震源特性とは, 震源断層においてどのような破壊(断層運動)が生じて, どのような地震波が放出されたかに係る特性をいう。震源特性のうち, 断層運動については, 断層面積, 断層すべり量及び応力降下量等の断層パラメータで表すことができる。断層運動の結果として放出された地震波の特性については, 加速度震源スペクトル等で表すことができ, その長周期側のレベルは断層運動の規模を表す量である地震モーメント(「地震モーメント」参照)に対応し, 短周期側のレベルは短周期レベル(「短周期レベル」参照)に対応する。震源特性は, 地震観測記録から伝播経路特性と地盤増幅特性の影響を取り除くことにより求めることができる。

伝播経路特性とは, 震源から観測・評価地点下方の地震基盤面までの地震波の伝播に係る特性をいう。震源から放出された地震波は, 地震基盤面に至るまでの伝播経路において, 震源から遠ざかるにつれて波動エネルギーの拡散等により地震波の振幅を減衰させながら伝わる。

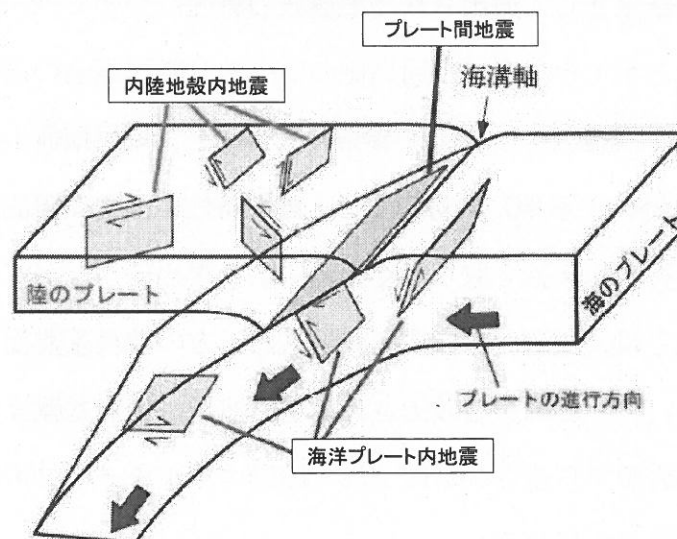
地盤増幅特性とは、震源から放出された地震波が地震基盤以浅の地盤を伝播する際に、観測・評価地点の地下の速度構造に応じて地震波の振幅がどのように増幅するかに係る特性をいう。サイト（増幅）特性又は地下構造特性とも呼ばれる。硬い地盤から軟らかい地盤に伝わる際に振幅が大きくなる性質を持っているため、軟らかい地盤上の地点では、岩盤上の地点に比べて大きな揺れ（地震動）になる。岩盤上の観測地震波と軟弱地盤の観測地震波とを比較すると、その大きさに数倍程度の差が生ずる場合もある。

（注2）地震基盤面

地震基盤面とは、地震動評価等の際に設定する、これより深部では地震波が増幅の影響を受けないと考えられるS波速度が3km/s程度以上の岩盤面をいう。

（注3）地震発生様式、プレート間地震、内陸地殻内地震、海洋プレート内地震

地震とは、地下の岩盤が断層に沿って急激にずれ動く現象（断層運動）であり、断層運動が生ずる場所の違いにより地震の特徴が異なることなどから、プレート間地震、内陸地殻内地震、海洋プレート内地震という分類がされている。この分類を、地震発生様式という。



プレート間地震とは、プレート境界において発生する地震をいう。海洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込むプレート境界において発生するプレート間地震は、プレート境界が固着していることで、海洋プレートの沈み込む運動に伴って陸側のプレートに変形が生じ、その固着が限界に達すると、変形した陸側のプレートが元に戻ろうとして跳ね返ることにより発生する。

内陸地殻内地震とは、陸側のプレートの地殻（内陸地殻）において発生する地震をいう。なお、陸側のプレートの下に海洋プレート（フィリピン海プレート等）が沈み込んでいる地域では、陸側のプレートの地殻（内陸地殻）は海域まで及んでいるため、海域においても内陸地殻内地震が発生する。

海洋プレート内地震は、陸側のプレートに沈み込む海洋プレートの内部で発生する地震をいう。海洋プレート内地震のうち、海溝・トラフ付近で発生するものを「沈み込む海洋プレート内地震」、海溝・トラフ付近より陸側で発生するものを「沈み込んだ海洋プレート内地震（スラブ内地震）」という。

（注4）短周期レベル

短周期レベルとは、震源特性（「震源特性」参照）のうち強震動に直接影響を与える短周期領域における加速度震源スペクトルのレベルを表す値（ $N \cdot m / s^2$ ）をいう。なお、 N はニュートン、 m はメートル、 s は秒である。

実際に発生した地震の短周期レベルは、地震観測記録から伝播経路特性（「伝播経路特性」参照）及び地盤増幅特性（「地盤増幅特性」参照）の影響を取り除くことにより震源特性の加速度震源スペクトルを求めることで知ることができる。

短周期レベルと強震断層モデルとの関係については、短周期レベル（ A ）は、強震動生成域（「強震動生成域」参照）の面積（ S_a ）の平方根と強震動生成域の応力降下量（ $\Delta \sigma_a$ ）との積に比例する値として、強震動生成域を有する強震断層モデルについて以下の関係式で表される。

$$A = 4 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{S_a} \cdot \Delta \sigma_a \cdot \beta^2$$

ここで、 A : 短周期レベル

S_a : 強震動生成域の面積

$\Delta \sigma_a$: 強震動生成域の応力降下量

β : 媒質のS波速度

(注5) 壇ほか (2001)

壇ほか (2001) とは、地震観測記録に基づき推定された内陸地殻内地震（「内陸地殻内地震」参照）の地震モーメント (M_o , 「地震モーメント」参照) と短周期レベル (A , 「短周期レベル」参照) のデータを用いて、回帰分析を行って求めた経験式 ($A = 2.46 \times 10^{17} M_o^{1/3}$) を検討した研究をいう。

壇ほか (2001) は、既往のデータを用いて、プレート間地震（「プレート間地震」参照）への適用性を検討しており、その結果、この経験式はフィリピン海プレートの和歌山県の地震や南関東の浅い地震の短周期レベルとほぼ対応していることから、プレート間地震に対しても妥当な関係式であるとしている。ただし、福島県沖のプレート間地震についてはこの経験式よりも短周期レベルが大きいことが認められたことから、プレート間地震ではこのような地域差を考慮する必要があるとしている。

地震調査委員会 (2009) の強震動予測レシピでは、内陸地殻内地震の強震断層モデルの設定に当たり壇ほか (2001) による経験式を用いることとされており、プレート間地震の強震断層モデルの設定に当たっても、想定震源域における最新活動の地震の短周期レベルが推定されていない場合にはこの経験式を用いることとされている。

(注6) 佐藤 (2010)

佐藤 (2010) とは、地震観測記録に基づき推定された太平洋プレートのプレート間地震（「プレート間地震」参照）の地震モーメント (M_o , 「地震モーメン

ト」参照)と短周期レベル(A,「短周期レベル」参照)のデータとを用いて、回帰分析を行って求めた経験式($A = 4.02 \times 10^{17} M_o^{1/3}$)を検討した研究をいう。

この経験式が示す短周期レベルは壇ほか(2001)の経験式(「壇ほか(2001)」参照)の1.63倍となっている。佐藤(2010)では、壇ほか(2001)の経験式よりも短周期レベルが大きいことについて、先行研究において宮城県沖と福島県沖のプレート間地震の地震モーメントと短周期レベルのデータから求めた経験式の短周期レベルは壇ほか(2001)の経験式の1.7倍であったところ、佐藤(2010)のデータセットにおいても宮城県沖と福島県沖のプレート間地震が多く含まれているため、概ね同程度の結果となったと考えられるとして、地域差の存在を指摘している。

(注7) 断層モデルを用いた手法、波形合成法

断層モデルを用いた手法(波形合成法)とは、断層をモデル化し、断層面での地震発生や地震波の伝播を、震源断層面を分割した小断層ごとに、中小地震の時刻歴波形を重ね合わせて合成することで、地震動の時刻歴波形を計算する手法をいい、震源特性(「震源特性」参照)と地下構造による地震波の伝播特性(伝播経路特性(「伝播経路特性」参照)、地盤増幅特性(「地盤増幅特性」参照))を、地域性を踏まえて詳細に考慮することができる。

同手法には、経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法、並びにハイブリッド法がある。

断層モデルを用いた手法は、多くの断層パラメータを設定する手法であるところ、評価地点の短周期の地震動の大きさに直接影響する断層パラメータは、強震動生成域(「強震動生成域」参照)のパラメータである。

具体的には、短周期レベル(「短周期レベル」参照)及び強震動生成域の位置である。したがって、同手法による地震動評価に当たって、短周期レベルについて経

驗式との比較や過去の震度分布等との検証を行うことと、強震動生成域の位置について敷地に厳しい条件に配置するケースも考慮することにより、敷地に厳しい地震動を評価することができる。

また、同手法を用いて震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための標準的な方法について取りまとめられたものとして、強震動予測レシピがある。強震動予測レシピとは、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たっての考え方について取りまとめられたものであり、①特性化震源モデルの設定、②地下構造モデルの作成、③強震動計算、④予測結果の検証の4つの過程からなっている。強震動予測レシピは、上記①の震源モデルの設定の手順において、その一部の要素として地震観測記録の回帰分析等によって得られた断層パラメータ間の関係式が用いられているが、上記④の予測結果の検証において、設定した震源モデルによる予測結果を過去の観測事実と比較することにより当該予測結果の妥当性を検証し、予測結果が過去の観測事実と合わない場合には震源モデルを修正して強震動予測を行う手法であることから、断層パラメータ間の関係式のばらつきが直接予測結果の不確かさに影響しない手法である。また、上記のとおり、評価地点の短周期の地震動の大きさに直接影響する強震動生成域のパラメータについて不確かさを考慮することにより、評価地点に厳しい地震動を評価することができる。

(注8) 強震動生成域

強震動生成域とは、断層面の中で特に強い地震動（強震動）を発生させる領域をいう。

中央防災会議（2003）等は、その強震断層モデルにおいて、強震動を発生させる領域をアスペリティと呼んでいた。南海トラフ検討会は、アスペリティについて、専門家の中でも多様な意味を持つ用語として使用されてきており、主として強

震動を発生させる領域と断層すべりの大きな領域との両方を示す用語とされてきたところ、東北地方太平洋沖地震の詳細な解析の結果、強震動を発生させる領域と断層すべりの大きな領域とは必ずしも一致するものではなく、領域的にも異なる場合があることが明らかとなったことから、その強震断層モデルにおいて、強震動を発生させる領域を強震動生成域と呼ぶこととした。

なお、南海トラフ検討会は、東北地方太平洋沖地震を含む過去地震の津波断層モデルの分析結果を踏まえ、その津波断層モデルにおいて、周囲より断層すべりが大きい領域を大すべり域及び超大すべり域と呼ぶこととした。

(注9) 破壊開始点

破壊開始点とは、地震が発生する際に固着している部分が最初にすべり始める位置のことをいう。断層面の破壊は、この破壊開始点から時間の経過とともに次第に断層面上を拡がっていく（「震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性」参照）。

(注10) マグニチュード (M)、モーメント・マグニチュード (M_w)、地震モーメント (M_o)

マグニチュード (M) とは、地震の際に放出するエネルギーを対数で表現したものをいう。マグニチュードには、日本で一般に用いられている気象庁マグニチュードのほか、モーメント・マグニチュード (M_w) 等がある。

モーメント・マグニチュード (M_w) とは、地震を起こした断層運動に基づき算出されるマグニチュードをいい、地震モーメント (M_o) から以下の算定式で算出される。なお、M_wのwはworkの頭文字をとっている。

$$M_w = (\log(M_o) - 9.1) / 1.5$$

地震モーメント (M_o) とは、断層運動としての地震の規模の大きさを表す量 (N・m) をいい、断層付近の岩盤の硬さを表す剛性率 (μ)、断層の平均すべり量 (D)、断層面積 (S) の積 ($M_o = \mu \cdot D \cdot S$) で表される。地震モーメントは、

震源から発生した地震波の長周期成分のレベルに対応し、長周期成分まで正確に記録できる広帯域地震計によって観測された記録から求められる。モーメント・マグニチュードは、地震モーメントを従来から用いられてきた気象庁マグニチュード等の尺度と比較可能なように対数表記したものである。モーメント・マグニチュードでは、気象庁マグニチュードのようなマグニチュードの飽和は起こらない。

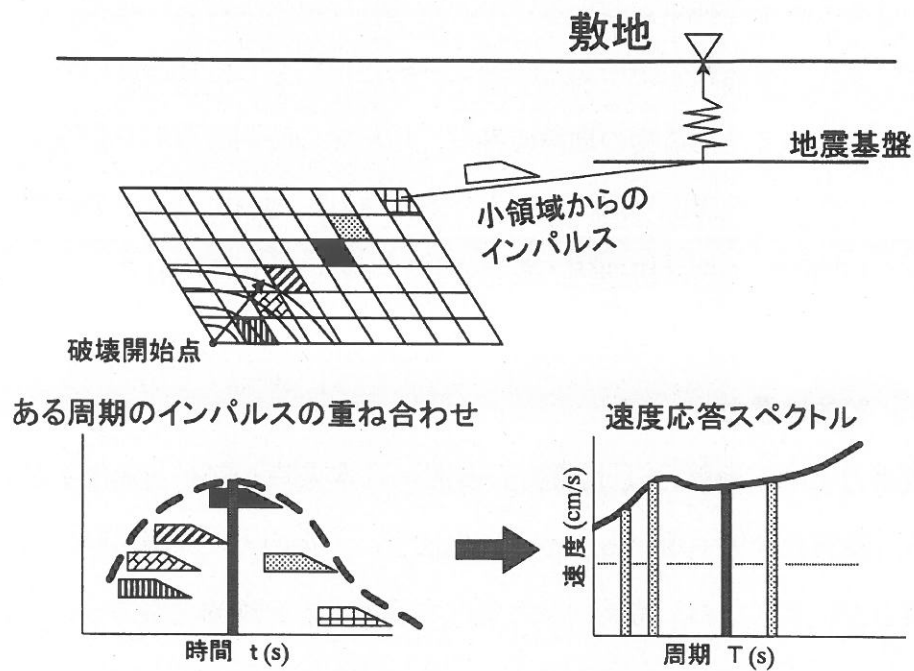
(注1 1) 応答スペクトル

応答スペクトルとは、地震動を入力した場合の固有周期の異なる1質点系の地震応答の最大値を算定したものをいう。横軸を構造物の固有周期、縦軸を応答加速度あるいは応答速度として描かれる。なお、応答スペクトルの中で最も短周期側の応答加速度は、非常に短周期の構造物は入力される地震動と同じ動きをすることになることから、入力した地震動の最大加速度と同じとなる。

地震観測記録や耐震設計で用いる設計用入力地震動といった地震動の時刻歴波形から構造物への影響を検討するには、構造物を模擬した解析モデルに地震動を入力して地震応答解析を行って構造物の地震応答を算定するところ、応答スペクトルは、地震動が構造物に与える影響を簡便に検討する際によく用いられている。

(注1 2) 小林の方法

小林の方法とは、小林啓美氏によって提案された、地震動の応答スペクトル（「応答スペクトル」参照）を推定する手法をいう。具体的には、断層面を小領域に分割し、断層面上を破壊が伝播する際に、各小領域から放出されるインパルス（非常に短い時間の波）の重ね合わせにより、ある周期の応答値を算定し、これをすべての周期に適用することで地震動の応答スペクトルを算定する。



(注1 3) 地震力

地震力とは、地震の際に構造物に作用する力をいう。

地震が発生すると、地下の震源から地震波が放出され、地震波は地下の地盤の性質（地下構造）に応じて振幅を増減させながら地中を伝播していき、最終的には地表付近に到達してその地点の地盤を揺らす。そして、地盤の揺れはその地点にある構造物を揺らすこととなる。ここで、地震波が到達することによりその地点に生ずる地盤の揺れを地震動といい、地震の際の構造物の揺れを地震応答という。このように構造物が揺れる際には、慣性の法則によって、その揺れに応じた力（地震力）が構造物に作用する。これら地震動、構造物の地震応答、地震力は、地震の際に時々刻々と変化する。

地震動や構造物の地震応答は、地震計を用いた地震観測によって記録される。地震観測では、それらの揺れを一定の時間間隔で加速度の値として記録するものが主流であり、地震動や地震応答は、横軸を時間、縦軸を加速度振幅として描く時刻歴波形として示される。なお、地震動は、「加速度何ガルの地震観測記録」と簡易に加

速度の値付きで説明されることが多いが、その値は、最大加速度の値を示しており、時々刻々と変化する揺れの中のある時刻に一瞬だけ発生した加速度の値である。

耐震設計において、構造物の地震応答は、地震動の時刻歴波形を構造物の解析モデルに入力して行う地震応答解析等により算定され、地震力は、その地震応答の加速度（応答加速度）の値に構造物の重量を掛け合わせて求められる。

（注 1 4）静的地震力

静的地震力とは、地震力（「地震力」参照）は本来時々刻々と変化するものであるところ、耐震設計等で用いられる「変化せず、一定の力で作用し続ける」と仮定した地震力をいう。なお、時々刻々と変化する地震力を動的地震力と呼ぶことがある。

建築基準法に則った一般建物の耐震設計では、建物の全重量の2割の力が水平方向に常に作用するとした静的地震力を設計用地震力として用いられている。これは、同等の耐震設計がされていた建物が1923年関東大地震においてもほとんど無傷で耐えていたことから、大正13年（1924年）の市街地建築物法施行規則の改正において採用されて、これまで用いられているものである。

なお、この全重量の2割の静的地震力は、重力加速度を基準に考えると地球の重力加速度1G（約980ガル）の2割であることから0.2G（約200ガル）と表現されることがあるが、上記の時々刻々と変化する揺れの中のある時刻に一瞬だけ発生した最大加速度の値とは異なり、変化せず一定の値で作用する加速度の値という違いがある。

(注15) 宮城県沖の地震（東北電力株式会社女川原子力発電所）

宮城県沖の地震とは、平成17年（2005年）8月16日に発生した、宮城県沖を震源とするプレート間地震である。

震源の深さは約42km、地震の規模はM7.2である。また、女川原子力発電所における同地震の震央距離が約73km、震源距離が約84kmである。

同発電所1ないし3号機について、地震後の点検の結果、安全上問題となる被害は確認されなかった。

この地震による岩盤中の観測記録から解析的に上部地盤の影響を取り除いた解放基盤表面における地震動（以下、「はざとり波」という。）の応答スペクトルは、周期0.05秒付近の一部の周期において基準地震動S2（最大加速度（水平）375ガル）の設計用応答スペクトルを超えていた。東北電力株式会社は、地震観測記録等の詳細な分析の結果、「今回の地震では、短周期成分の卓越が顕著である傾向が認められ、これは宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震の地域的な特性によるものと考えられる」と結論付けており、原子力安全・保安院（当時）は、同社の分析・評価を妥当なものとして判断している。

東北電力株式会社は、同地震を踏まえ、新たに安全確認地震動を策定し、耐震安全性が十分確保されていることを確認し、バックチェックにおいては、宮城県沖のプレート間地震における地域的な特性を反映して基準地震動Ss（最大加速度（水平）580ガル）を策定し耐震安全性が確保されることを確認している。



宮城県沖の地震の震源位置

(「東北電力：女川原子力発電所における宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価および耐震安全性評価に係る報告について」より引用)

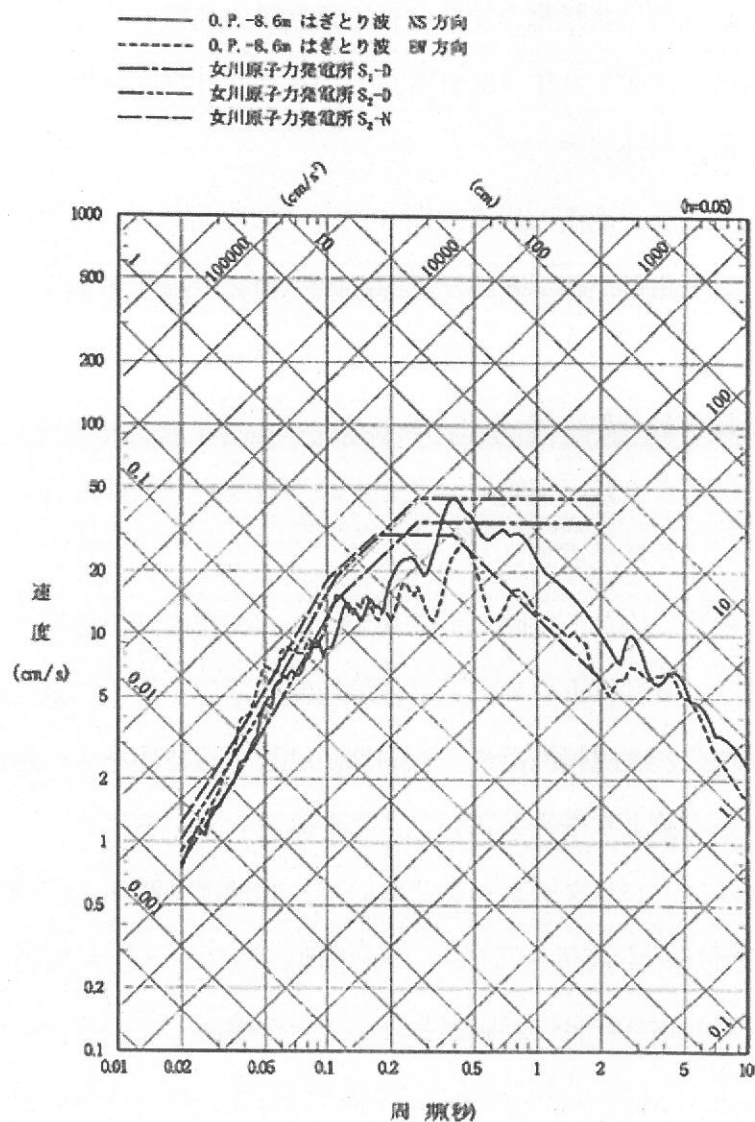


図 4-1.8 今回の地震の O.P.-8.6m のはざとり波の応答スペクトルと
基準地震動の応答スペクトルの比較

宮城県沖の地震の際の女川原子力発電所におけるはざとり波の応答スペクトルと

基準地震動 S 1, S 2 の設計用応答スペクトルとの比較

(総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 (第 1 回) 資料 1-5 「女川原子力発電所における宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価および耐震安全性評価について (報告)」別紙 3 「基準地震動の応答スペクトルを超えることとなった要因分析・評価結果について」 3-23 頁より引用)

(注16) 能登半島地震(北陸電力株式会社志賀原子力発電所)

能登半島地震とは、平成19年(2007年)3月25日に発生した、能登半島を震源とする内陸地殻内地震である。

震源の深さは約11km、地震の規模はM6.9である。また、志賀原子力発電所における同地震の震央距離が約18km、震源距離が約21kmである。

同発電所1, 2号機について、地震後の施設の巡視・点検の結果、安全上問題となる被害は確認されなかった。

この地震によるはざとり波の応答スペクトルは、周期0.6秒付近にピークがあり、その周期において基準地震動S2(最大加速度(水平)490ガル)の設計用応答スペクトルを超えていた。北陸電力株式会社は、地震観測記録等の詳細な分析の結果、この周期0.6秒付近のピークは敷地地盤の深部からの増幅特性によるものであり、また同地震の震源特性はやや短周期が励起する特性をもつ地震であった(短周期レベルが平均値よりやや大きい)ことを確認している。

北陸電力株式会社は、バックチェックにおいて、同地震を踏まえ、内陸地殻内地震及び地下構造の地域的な特性を反映して基準地震動Ss(最大加速度(水平)600ガル)を策定し耐震安全性が確保されることを確認している。

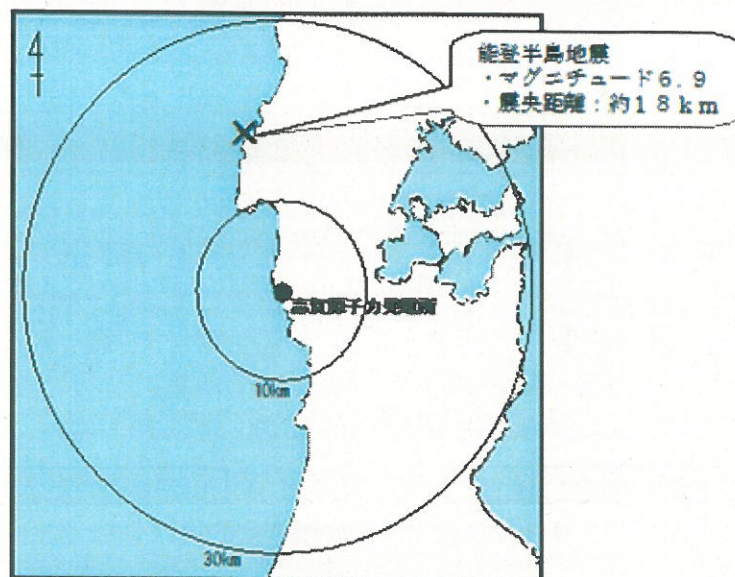
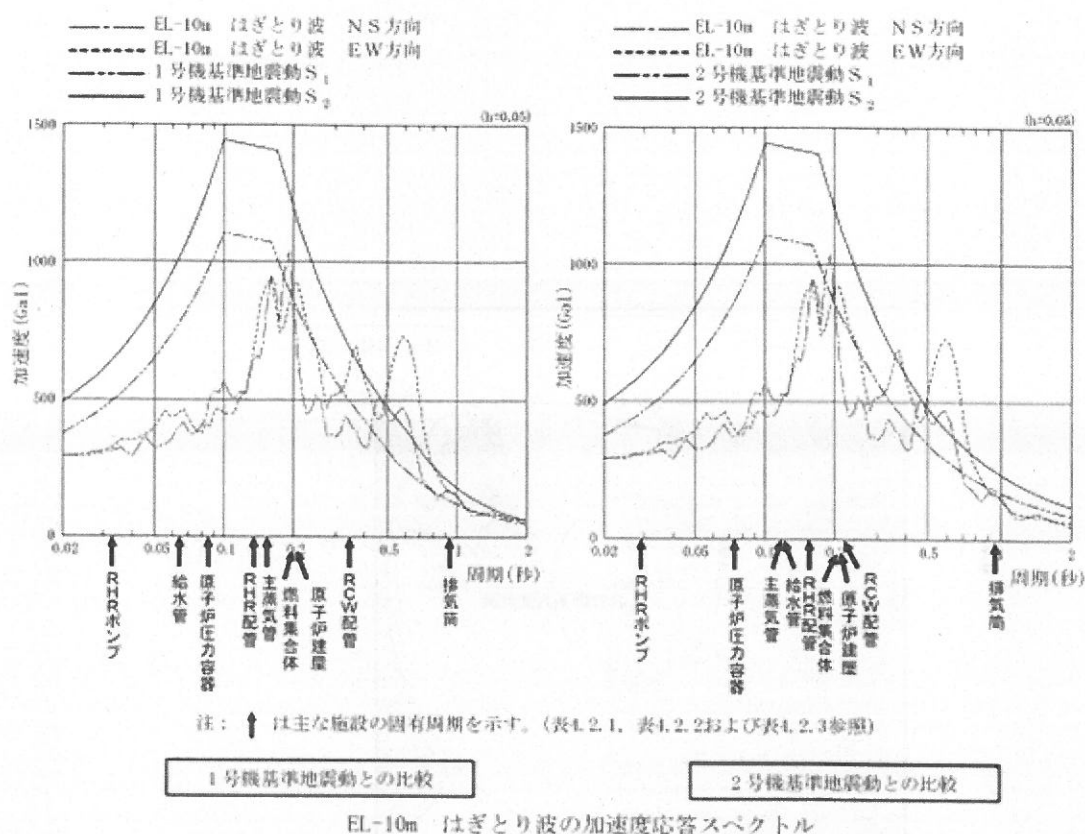


図- 1 地震の概要

能登半島地震の震源位置

(「北陸電力：能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認に係る報告について」より引用)



能登半島地震の際の志賀原子力発電所におけるはぎとり波の応答スペクトルと
基準地震動S1、S2の設計用応答スペクトルとの比較

(総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会地震・津波WG(第1回)地震W1-5「能登半島地震を踏まえた志賀原子力発電所の耐震安全性確認について(報告)」8頁より引用)

(注17) 新潟県中越沖地震(東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所)

新潟県中越沖地震とは、平成19年(2007年)7月16日に発生した、新潟県中越沖を震源とする内陸地殻内地震である。

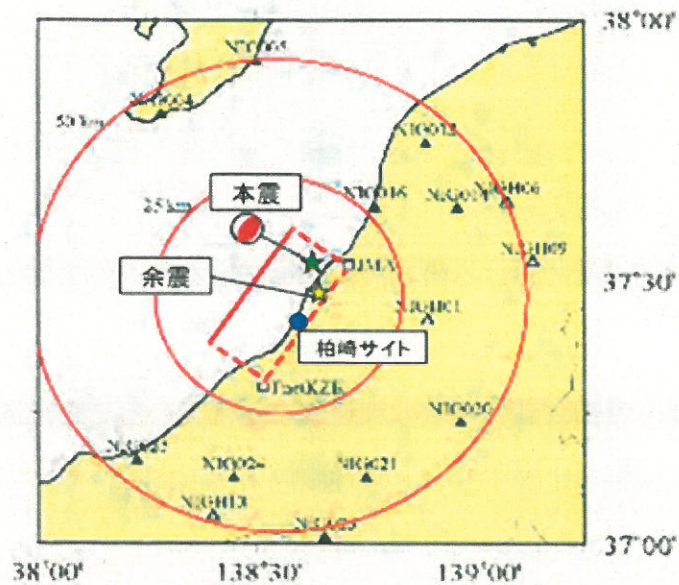
震源の深さは約17km、地震の規模はM6.8である。また、柏崎刈羽原子力発電所における同地震の震央距離が約16km、震源距離が約23kmである。

同発電所について、地震後の点検の結果、周辺施設を中心に広範な影響があったものの、同発電所の安全上重要な施設の健全性に特段の問題は確認されなかった。

また、IAEAの調査報告書によると、「安全に関連する構造、システム及び機器は大地震であったにも関わらず、予想より非常に良い状態であり、目に見える損害はなかった。この理由として、設計プロセスの様々な段階で設計余裕が加えられていることに起因していると考えられる」とされている。

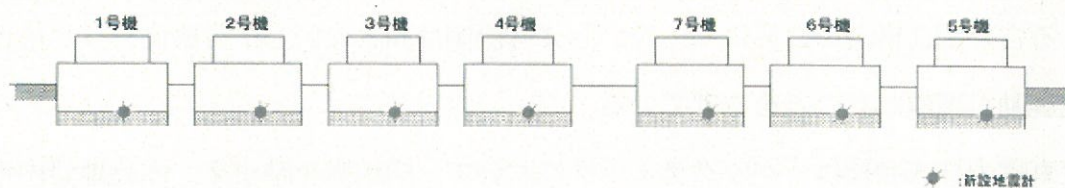
この地震では、同発電所における当初設計時の想定を大きく上回る地震動が観測された。東京電力株式会社は、同発電所各号機における原子炉建屋基礎盤上で確認された最大加速度は、当初設計時の最大加速度を超えていること、同発電所各号機の観測記録の加速度振幅を比較すると、敷地南側の荒浜側に位置する同1ないし4号機の加速度振幅が、敷地北側の大湊側に位置する同5ないし7号機の加速度振幅より大きい傾向であることを確認した。同社は、地震観測記録等の詳細な分析の結果、当初設計時の想定を大きく上回る地震動が観測された要因及び同1ないし4号機側と同5ないし7号機側とで異なる揺れを観測した要因について、①この地震は、同じ地震規模の地震と比べ1.5倍程度大きめの地震動を与える地震であったこと、②地下深部の不整形性の影響で2倍程度地震動が増幅したこと、③同発電所敷地下にある古い褶曲構造のために同1ないし4号機側は同5ないし7号機側より2倍程度地震動が増幅したことを挙げている。

東京電力株式会社は、バックチェックにおいて、同地震を踏まえ、内陸地殻内地震及び地下構造の地域的な特性を反映して基準地震動 S_s （最大加速度（水平）2280ガル（1～4号機）、1156ガル（5～7号機））を策定し耐震安全性が確保されることを確認している。



新潟県中越沖地震の震源位置

(「東京電力：柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動について」より引用)



観測された最大加速度 (単位:ガル)					設計時の加速度応答値 (単位:ガル)				
	観測値	南北方向	東西方向	上下方向		設計値	南北方向	東西方向	上下方向
○ 1号機	最下階(B5F)	311	680	408	○ 1号機	最下階(B5F)	274	273	(2/5)
2号機	最下階(B5F)	304	606	282	2号機	最下階(B5F)	167	167	(2/5)
3号機	最下階(B5F)	308	384	311	3号機	最下階(B5F)	192	193	(2/5)
4号機	最下階(B5F)	310	492	337	4号機	最下階(B5F)	193	194	(2/5)
○ 5号機	最下階(B4F)	277	442	205	○ 5号機	最下階(B4F)	249	254	(2/5)
○ 6号機	最下階(B3F)	271	322	488	○ 6号機	最下階(B3F)	263	263	(2/5)
7号機	最下階(B3F)	267	356	355	7号機	最下階(B3F)	263	263	(2/5)

○ 7月16日お知らせ済み(新設地震計による観測記録)

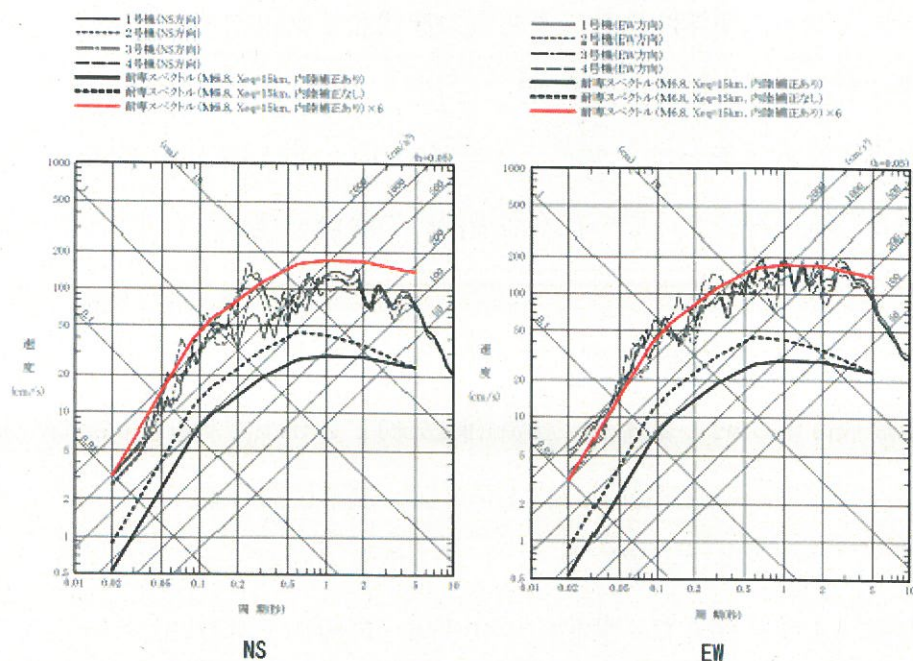
【スクラム設定値】水平方向12ガル、上下方向100ガル

※上下方向については、()内の値を特約設計で用いています。

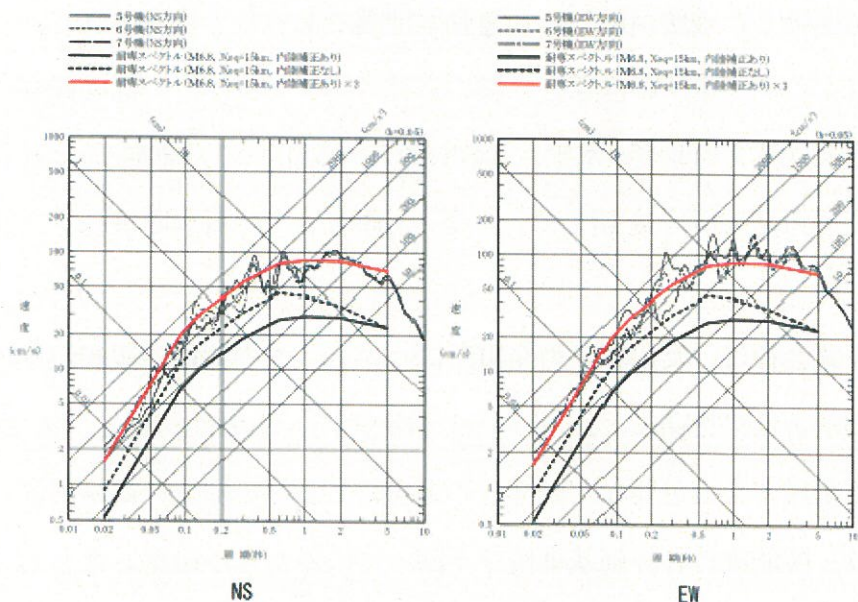
新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所の地震観測記録

新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所の地震観測記録

(平成19年7月19日東京電力株式会社 報道発表資料より引用)



図－１ 荒浜側の解放基盤波と耐専式による応答スペクトルとの比較
(1～4号機)



図－２ 大湊側の解放基盤波と耐専式による応答スペクトルとの比較
(5～7号機)

新潟県中越沖地震の際の柏崎刈羽原子力発電所におけるはざとり波の

応答スペクトルと耐専スペクトルとの比較

(「東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所敷地・敷地周辺の地質・地質構造、
基準地震動 S_s 及び地震随伴事象の評価並びに基準地震動 S_s に対する7号
機の耐震安全性の評価に係る報告書」16, 17頁に加筆)

(注18) 東北地方太平洋沖地震（東北電力株式会社女川原子力発電所及び東京電力株式会社福島第一原子力発電所）

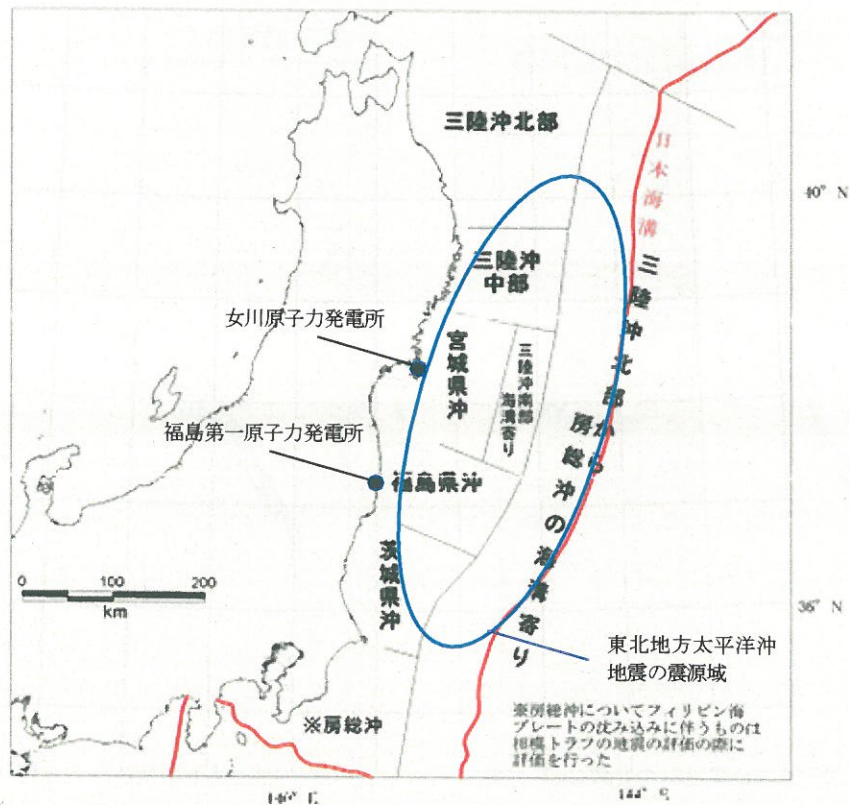
東北地方太平洋沖地震とは、平成23年（2011年）3月11日に発生した、岩手県沖から茨城県沖にかけての日本海溝沿いの海域を震源とするプレート間地震である。

震源の深さは約24km、地震の規模はMw9.0である。また、女川原子力発電所における震央距離が約123km、震源距離が約125kmであり、福島第一原子力発電所における同地震の震央距離が約178km、震源距離が約180kmである。

この地震は、宮城県沖の震源位置でプレート境界の破壊が始まり、北側は岩手県沖まで、南側は茨城県沖まで、南北約400km、東西約200kmにわたり、地震調査研究推進本部が震源として想定していた複数の領域について、極めて短時間のうちにそれらが連動した破壊が起こった連動型地震であったと推定されている。

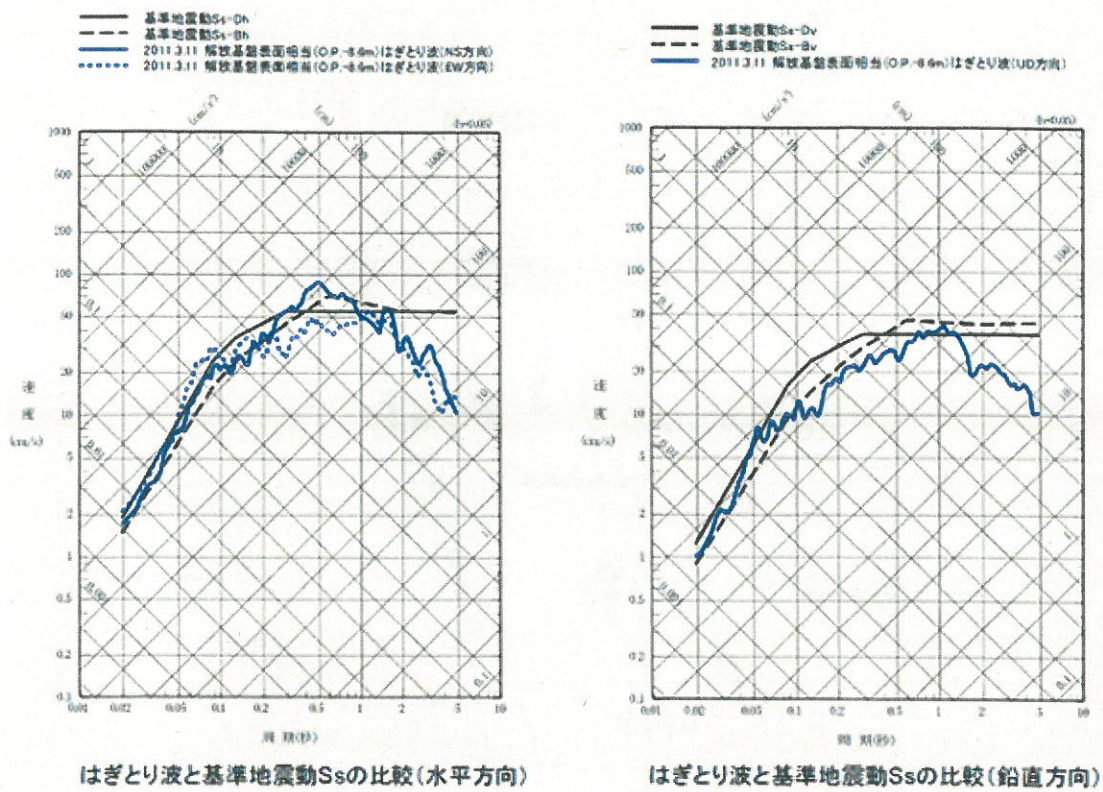
この地震による両発電所のはざとり波の応答スペクトルは、一部の周期において基準地震動Ss（最大加速度（水平）580ガル（女川原子力発電所）、600ガル（福島第一原子力発電所））を超えていたが、全体としては概ね同等のレベルであった。

東北電力株式会社は、女川原子力発電所について、この地震の観測記録に基づく原子炉建屋の解析結果を踏まえ、「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」機能を有する耐震安全上重要な主要施設の地震時における機能を概略評価し、各施設の発生値は、機能維持の評価基準値を下回っていることを確認したとしている。また、東京電力株式会社は、福島第一原子力発電所について、この地震の観測記録を用いた地震応答解析を行い、原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の解析を実施した結果、今回の地震に対して、「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」に係わる安全上重要な機能を有する主要施設の耐震安全性評価の計算値は、すべて評価基準値以下であることから、これらの施設の機能に地震の影響はないことを確認したとしている。



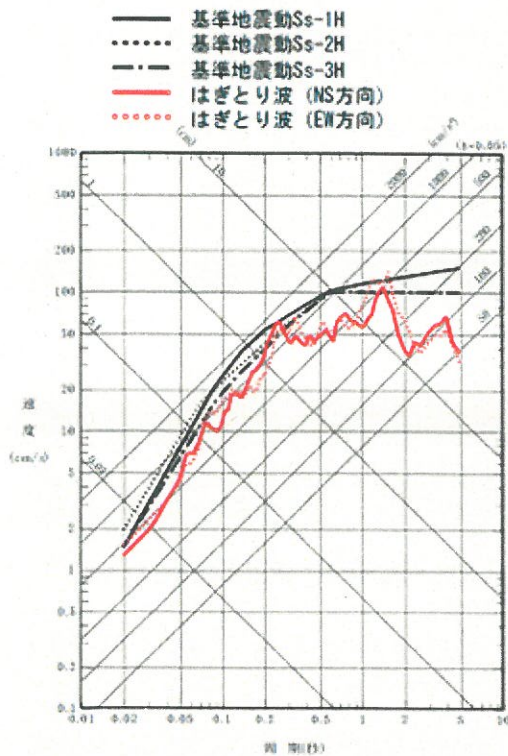
東北地方太平洋沖地震の震源域及び地震調査研究推進本部の長期評価における領域区分

(地震調査研究推進本部(2011)「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について」71頁に加筆)

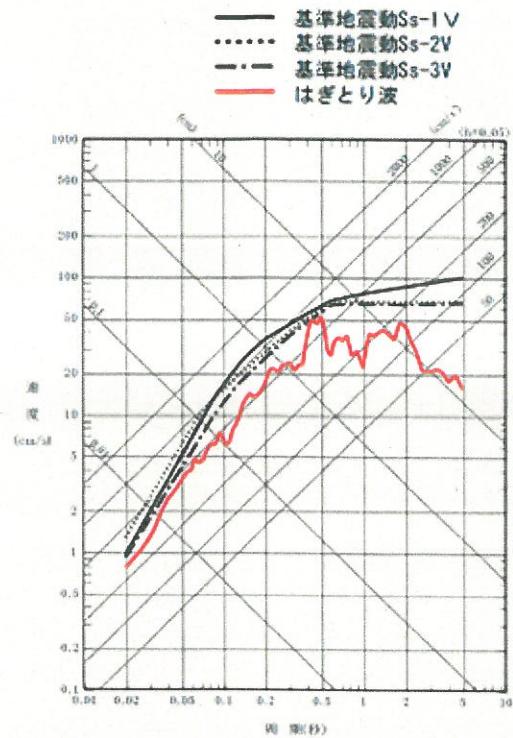


図Ⅳ.2-32 3月11日の地震のはざとり解析結果(応答スペクトル)

東北地方太平洋沖地震の際の女川原子力発電所におけるはざとり波の
 応答スペクトルと基準地震動 S_s の設計用応答スペクトルとの比較
 (「平成23年東北地方太平洋沖地震の知見を考慮した原子力発電所の地震・津波の
 評価について～中間取りまとめ～」別紙図表集74頁より引用)



はざとり波と基準地震動Ssの比較（水平方向）



はざとり波と基準地震動Ssの比較（鉛直方向）

図IV.1-10-2 福島第一自由地盤系北地点 はざとり波の推定
（疑似速度応答スペクトル）

東北地方太平洋沖地震の際の福島第一原子力発電所におけるはざとり波の
 応答スペクトルと基準地震動Ssの設計用応答スペクトルとの比較
 （「平成23年東北地方太平洋沖地震の知見を考慮した原子力発電所の地震・津波の
 評価について～中間取りまとめ～」別紙図表集25，27頁より引用）

