

東海第二発電所

新規制基準適合性確認審査について

(地震・津波関連 地震動評価)

平成29年2月21日

日本原子力発電株式会社

基準地震動の策定要件

【新規制基準の要求事項】

(基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド抜粋)

- (1) 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、それぞれ解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定されていること。
- (2) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震(以下「検討用地震」という。)を複数選定し、選定した検討用地震ごとに不確かさを考慮して、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により、それぞれ解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定されていること。不確かさの考慮については、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなどの適切な手法を用いて評価すること。
- (3) 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づ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、これらを基に各種の不確かさを考慮して、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されていること。
- (4) 「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」を相補的に考慮することによって、敷地で発生する可能性のある地震動全体を考慮した地震動として策定されていること。

上記内容に基づき基準地震動を策定

用語の定義(1/2)

本資料で使用する用語の定義を以下に示す。

・応答スペクトルに基づく手法

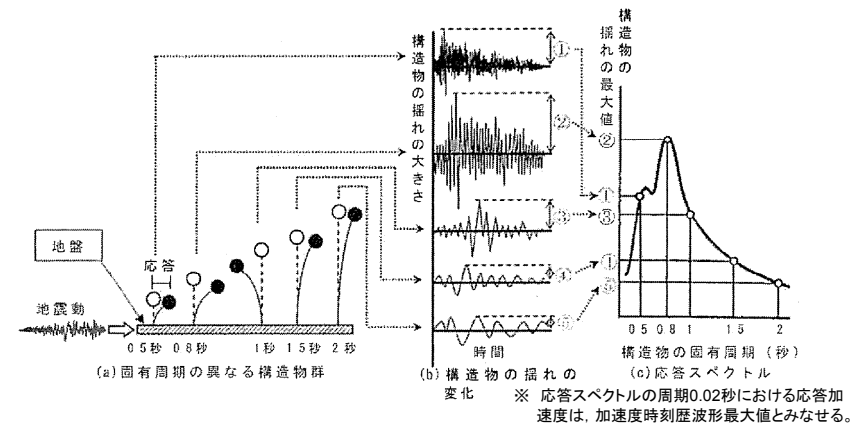
応答スペクトルに基づく手法とは、多数の地震観測記録を分析して求めた経験的な関係に基づき、主に地震の規模や震源距離を入力パラメータに用いて、検討対象の地震による地震動の応答スペクトルを計算する手法をいう。同手法には、Noda et al.(2002)の方法(耐専スペクトル)等がある。

・断層モデルを用いた手法

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う。同手法の主なものとして、経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法がある。

・応答スペクトル

応答スペクトルとは、地震動がいろいろな固有周期を持つ建物・構築物及び機器・配管系に対して、どのような揺れ(応答)を生じさせるかを、縦軸に加速度・速度等の最大応答値、横軸に固有周期(又はその逆数の固有振動数)をとって、分かりやすいように描いたものをいう。加速度応答スペクトルの短周期側は地震動の加速度時刻歴波形最大値に漸近する。従って、周期0.02秒での応答加速度は時刻歴波形の最大値とみなすことができる。



・SMGA/アスペリティ

Strong Motion Generation Areas (強震動生成域)の略で、強震動を強く放出する領域のことを指す。本資料ではアスペリティも同義語として用いている。

・要素地震

要素地震とは、経験的グリーン関数法(「経験的グリーン関数法」参照)の計算に用いる中小地震の観測記録及び統計的グリーン関数法の計算に用いる人工的に作成した中小地震の地震波をいう。

・地震モーメント

地震モーメントは、断層運動としての地震の大きさ(地震規模)を示す量で、岩盤の剛性率(硬さを表す指標の一つ)と震源断層面の平均すべり量と震源断層の面積との積で表される。地震モーメントの値は、地震によって発生した地震波のうち、地表面を伝わる周期の長い波の振幅から直接求めることができる。

・正断層

正断層とは、断層の上側の地盤が断層面上をすべり落ちる形となる断層をいい、引張力の働く場で形成される。一方、逆断層とは、断層の上側の地盤が断層面上をのし上がる形となる断層をいい、圧縮力の働く場で形成される。

用語の定義(2/2)

本資料で使用する用語の定義を以下に示す。

・経験的グリーン関数法

経験的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、実際に発生した中小地震の敷地における観測記録(これを「経験的グリーン関数」という。)を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をいう。大きな断層面が破壊する地震は、断層面の一部が破壊する小地震の集合として評価することができる。このため、断層面全体への破壊伝播等を考慮して小地震の波形を足し合わせると、評価対象とする地震による波形を合成することができる。この方法では、震源断層面付近で発生した中小地震による評価地点での適切な観測記録が必要となるものの、地下構造による影響は観測記録に含まれるため、地下構造のモデルを設定する必要がない。

・統計的グリーン関数法

統計的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、既往の観測記録を統計処理し、人工的に時刻歴波形(これを「統計的グリーン関数」という。)を作成し、それを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をいう。大きな断層面が破壊する地震は、断層面の一部が破壊する小地震の集合として評価することができる。このため、断層面全体への破壊伝播等を考慮して小地震の波形を足し合わせると、評価対象とする地震による波形を合成することができる。

統計的グリーン関数法では解放基盤表面よりも深い地盤地下構造のモデルを設定することにより、評価地点の地下構造による影響を反映している。

・リニアメント

リニアメントとは、崖、尾根の傾斜急変部、谷や尾根の屈曲等の地形的特徴が、直線又はそれに近い状態に配列している場合、その線状の地形をいう。リニアメントは、断層活動によって生ずるばかりでなく、軟質な岩盤が浸食されることによって生ずることもあるので、断層であるか否か判断するに際して、その成因を地表地質調査等により調査する必要がある。

・不確かさ

評価の過程に含まれる物理量・モデルなどにおけるばらつきのこと。震源モデルの不確かさを考慮する場合には、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析し、その結果を地震動評価に反映させることが必要である。

・検討用地震

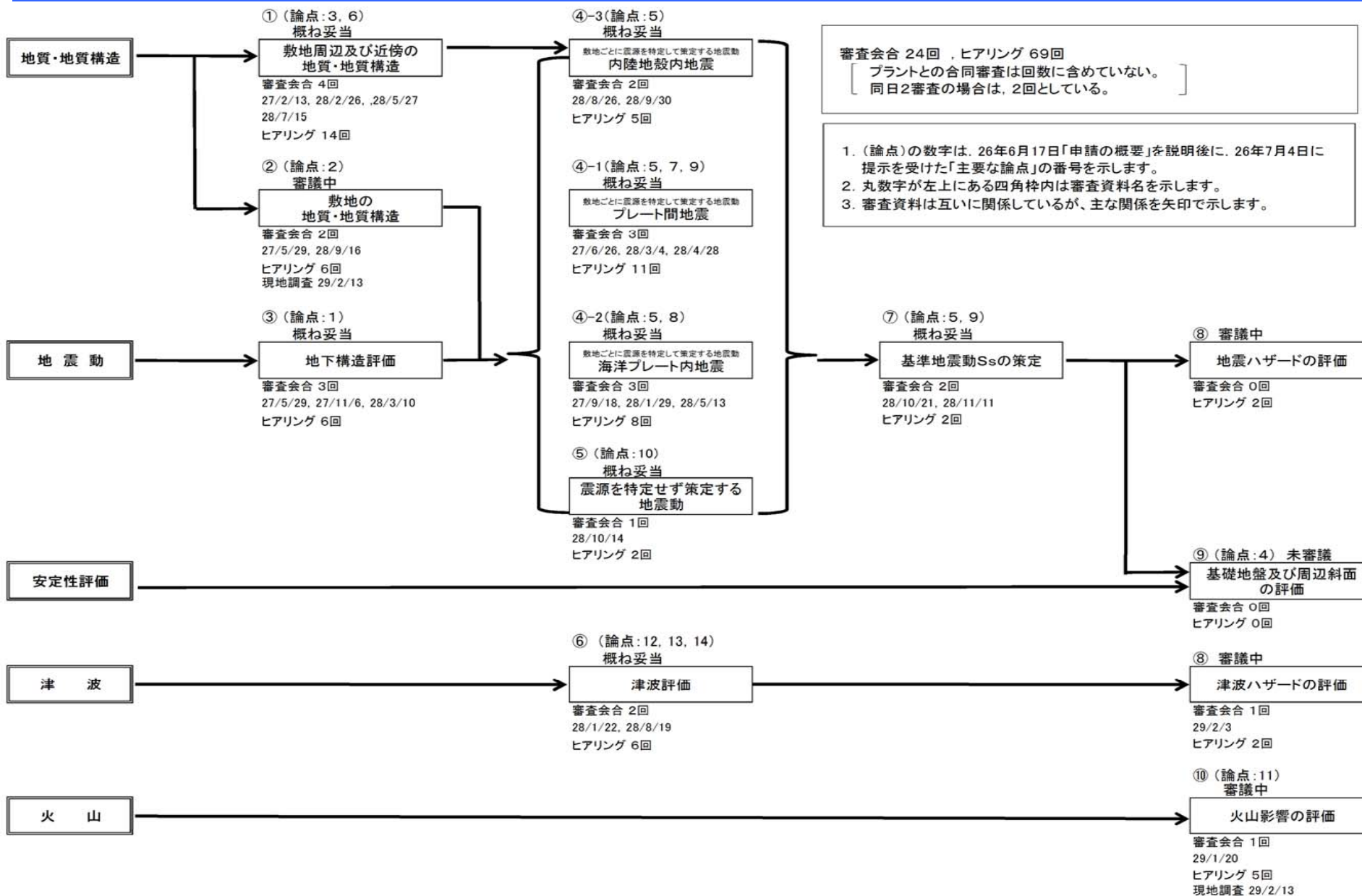
敷地に大きな影響を与えると予想される地震のこと。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」においては、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、検討用地震を選定し評価を行う。

目次

・ 審査の状況について(地震・津波関連)6
・ 基準地震動 S_s の概要11
・ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち プレート間地震について(第4回にて御説明済)29
・ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち 海洋プレート内地震について(第4回にて御説明済)41
・ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち 内陸地殻内地震について53
・ 震源を特定せず策定する地震動について67

審査の状況について(地震・津波関連)

東海第二発電所 地震・津波関連 審査の状況(29年2月21日現在)



東海第二発電所 26年7月4日に規制委員会より提示を受けた「主要な論点」(地震・津波関連)

No.	区分	主要な論点	資料番号及び 審査状況など
1	地盤地震	敷地の地下構造を把握するのに実施した調査・分析について、特異な傾向の有無を確認するため、全ての評価結果を提示すること。	③概ね妥当
2	地盤地震	敷地内破碎帯について、その活動性の評価に係る詳細な調査結果を提示すること。	②審議中
3	地盤地震	敷地周辺陸域の断層の評価において、破碎帯の固結のみで活動性否定の根拠としている場合は、異なる手法による活動性否定の根拠も示すこと。	①概ね妥当
4	地盤地震	原子炉建屋等の耐震重要施設に加え、重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に関わる検討内容を示すこと。	⑨今後予定
5	地盤地震	基準地震動 S_s-D については、具体的な設定根拠を示すこと。	④-1, 2, 3 概ね妥当
6	地盤地震	F1断層と北方領域の断層の同時活動性を考慮するに当たり、2011年東北地方太平洋沖地震の影響を踏まえたF1断層の再評価の内容及び断層両端の止めに関する評価結果を提示すること。	①概ね妥当
7	地盤地震	プレート間地震について、地震規模、震源領域等の設定に関わる検討内容を示すこと。	④-1概ね妥当
8	地盤地震	プレート内地震について、ディレクティブティ効果等を考慮した不確かさに関する検討内容を示すこと。	④-2概ね妥当
9	地盤地震	2011年東北地方太平洋沖地震による敷地におけるはざとり波の応答スペクトルは、一部の周期帯で基準地震動を上回ったことを踏まえ、基準地震動や耐震設計の策定にあたり、どのような考慮がなされたか示すこと。	④-1概ね妥当
10	地盤地震	「震源を特定せず策定する地震動」に関して、基準地震動評価ガイドにある地震観測記録収集対象事例の16地震について、観測記録等の分析・評価を実施すること。	⑤概ね妥当
11	火山	敷地への降下火砕物等の堆積量に関して、詳細な評価結果を提示すること。	⑩審議中
12	津波	津波の評価について、波源の位置、波源の特性等の設定に関わる検討内容を示すこと。	⑧概ね妥当
13	津波	2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、施設が大きな損傷を受けたことを踏まえ、基準津波や耐津波設計の策定に当たり、どのような考慮がなされたか示すこと。	⑧概ね妥当
14	津波	プレート間地震の波源として、2011年東北地方太平洋沖地震によって、宮城沖～福島沖の領域を含めないこととした検討内容を詳細に説明すること。	⑧概ね妥当

地震・津波の主な審査状況(29年2月21日現在)

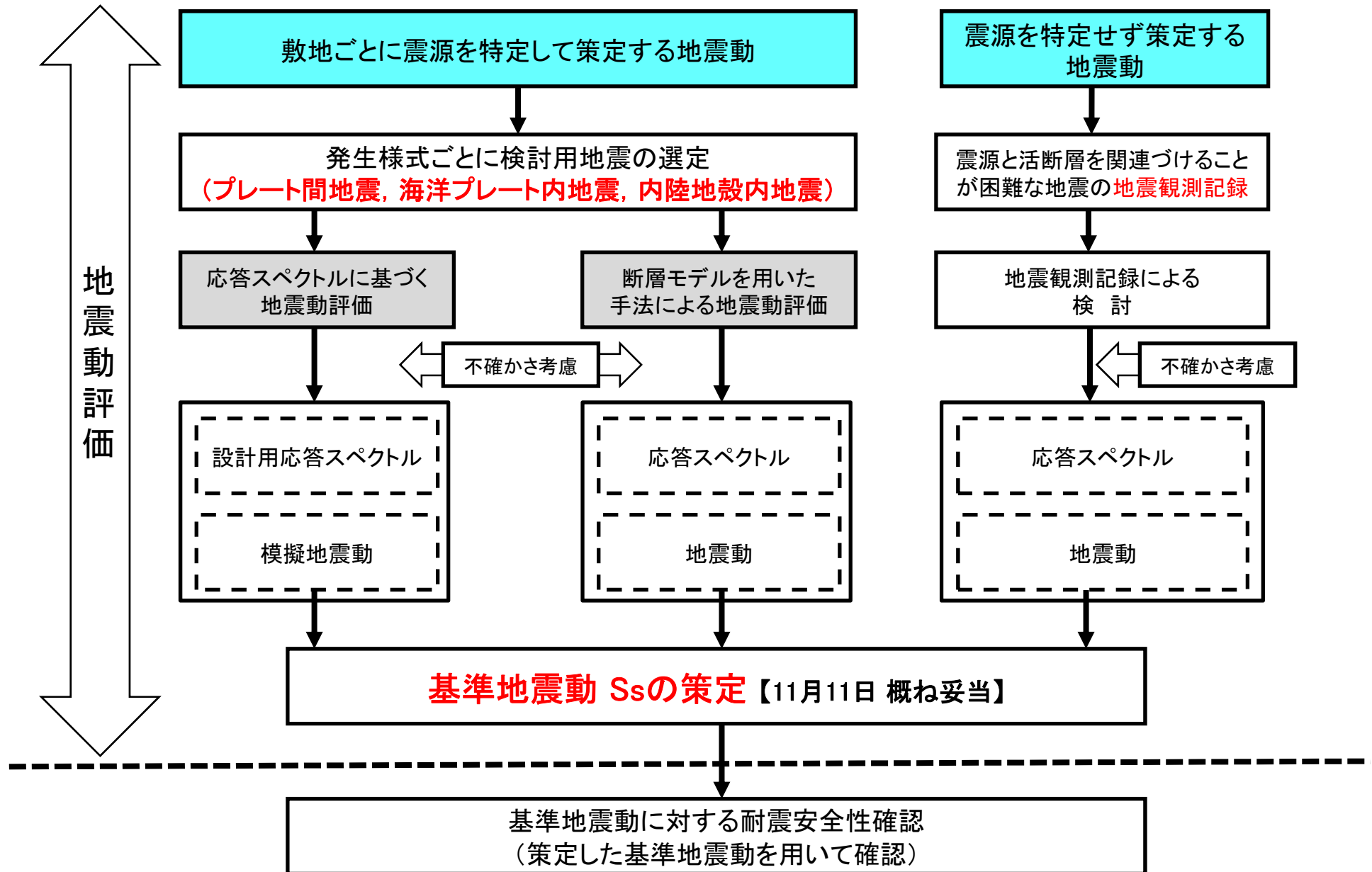
項 目	説明内容	状 況
① 敷地周辺及び近傍の 地質・地質構造	敷地周辺および近傍の11断層を、安全評価上、耐震設計において考慮することを説明。	原子力規制委員会にて、概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年2月26日, 5月27日, 7月15日)
② 敷地の 地質・地質構造	敷地を中心とする半径5kmの範囲において、「将来活動する可能性のある断層等」が存在しないことを明確に示すため、岩盤中の水平に連続した地層について、詳細に説明。	2回目の審査会合を28年9月16日に実施。 現地調査を29年2月13日に実施。 今後は、現地調査を踏まえ、審査会合が開催される。
③ 地下構造評価	敷地及び敷地周辺の地下構造が水平成層構造(地層内での層状が水平)と見なせることを説明。	原子力規制委員会にて、概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年3月10日)
④-1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうちプレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震の本震を検討用地震に選定した地震動を説明。	原子力規制委員会にて、概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年4月28日)
④-2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震	各種知見及び敷地周辺の地震発生状況等を踏まえ、フィリピン海プレート内の地震である茨城県南部の地震(中央防災会議)を検討用地震に選定した地震動を説明。	原子力規制委員会にて、概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年5月13日)

地震・津波の主な審査状況(29年2月21日現在)

項目	説明内容	状況
④-3 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち内陸地殻内地震	「F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震」を検討用地震に選定した地震動を説明。 (約44km, M7.6⇒約58km, M7.8)	原子力規制委員会にて, 概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年9月30日)
⑤ 震源を特定せず策定する地震動 (留萌の地震ほか)	審査ガイドにある地震観測記録収集対象事例の16地震(留萌他)について, 観測記録等の分析・評価を説明。	原子力規制委員会にて, 概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年10月14日)
⑦ 基準地震動S _s の策定	設置変更許可申請時からの地震動評価に関する主な変更点及び模擬地震波の振幅包絡線を説明。	原子力規制委員会にて, 概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年11月11日)
⑧ 津波評価	地震に起因する津波(プレート間地震, 海洋プレート内地震, 海域の活断層による地殻内地震)及び地震以外に起因する津波(陸上及び海底での地すべり・斜面崩壊, 火山現象)の評価結果を踏まえ, 発電所に与える影響が最も大きい津波は, 茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震であることを説明。 また, これを基準津波とすることを説明。	原子力規制委員会にて, 概ね妥当な評価であることを確認いただいた。 (28年8月19日)

基準地震動 S_s の概要

地震動評価フロー

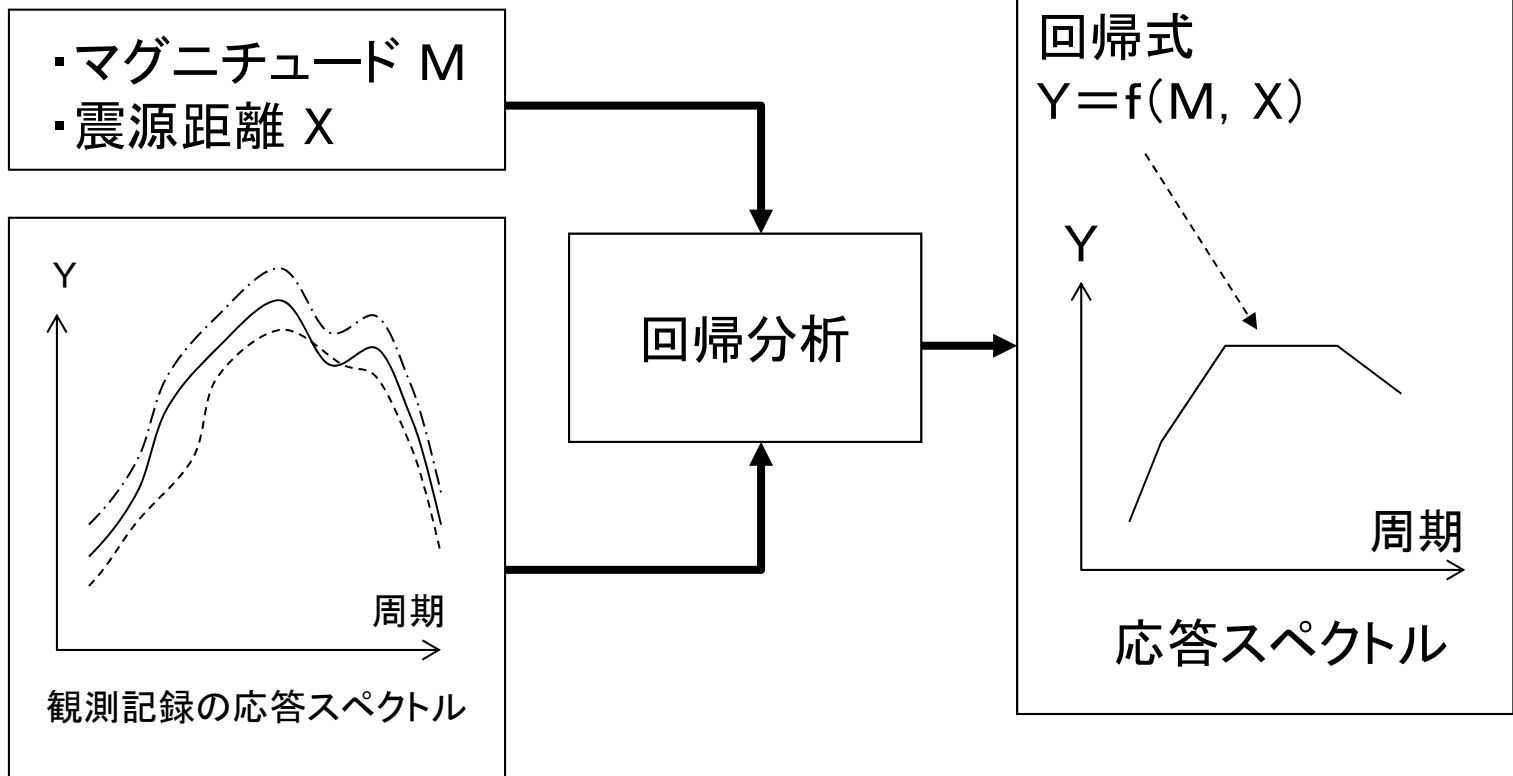


応答スペクトルに基づく地震動評価

応答スペクトルに関する回帰式

地震のマグニチュード: M , 震源距離: X と, その地震の応答スペクトルとの関係を回帰分析等により求めたもの。少ないパラメータで地震動の応答スペクトルを評価できる。複数の評価式がある。

様々な地震観測記録の収集

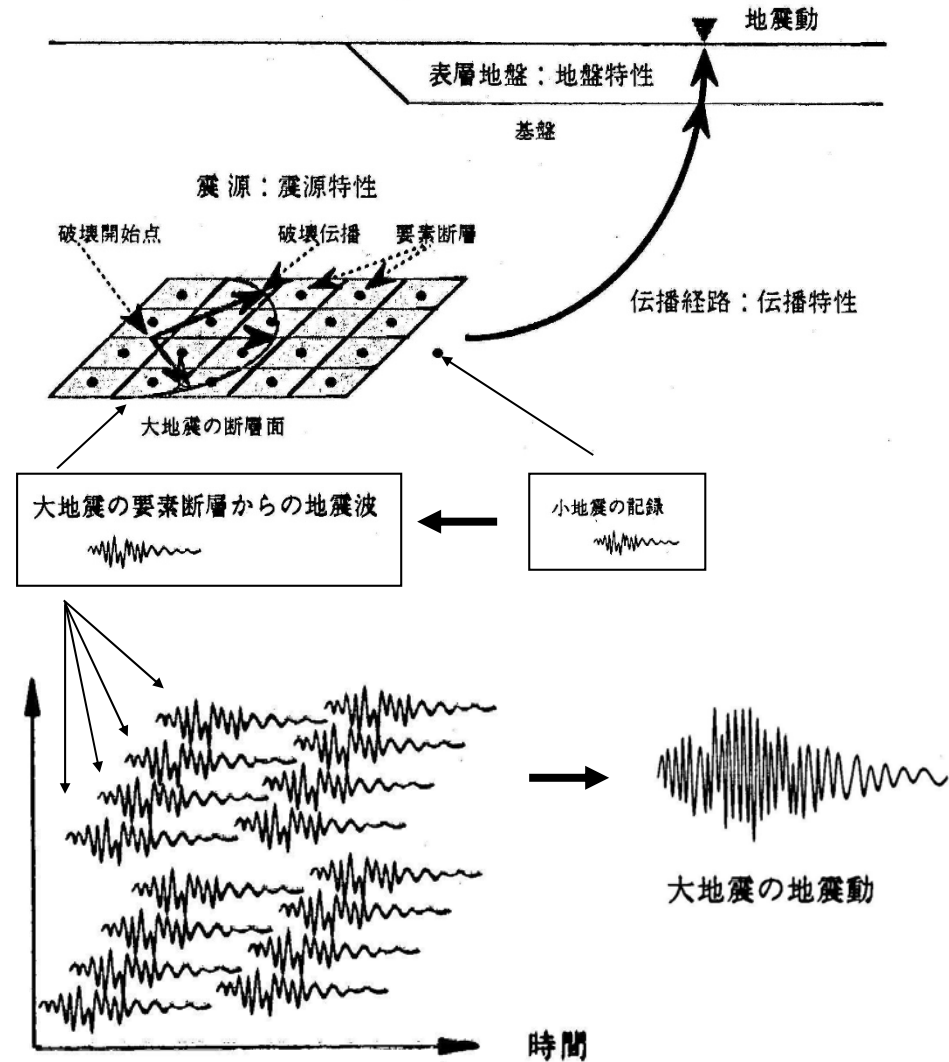


断層モデルを用いた手法による地震動評価

概要：小地震記録の重ねあわせによって大地震の地震動を推定する方法である。

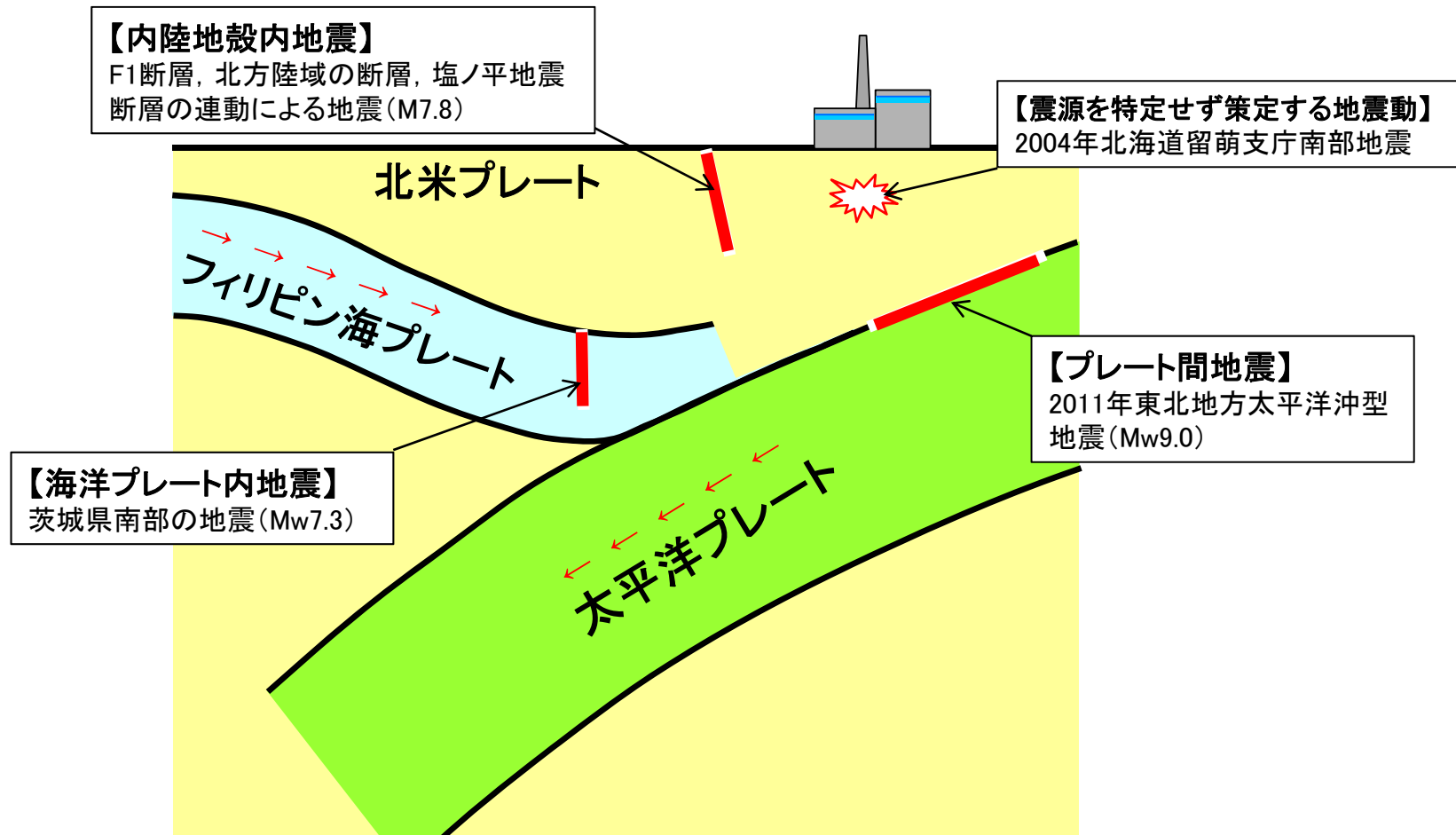
特徴：地震動の再現性が良い。
：適切な小地震記録が必要。

出力：時刻歴波形



東海第二発電所の周辺で発生する地震の特徴

東海第二発電所周辺の直下は、3つのプレートが重なり合っており、そこで発生する地震のタイプも多岐にわたっている。地震動評価(基準地震動 S_s の策定)にあたっては、以下の4つの地震(震源)を考慮した。

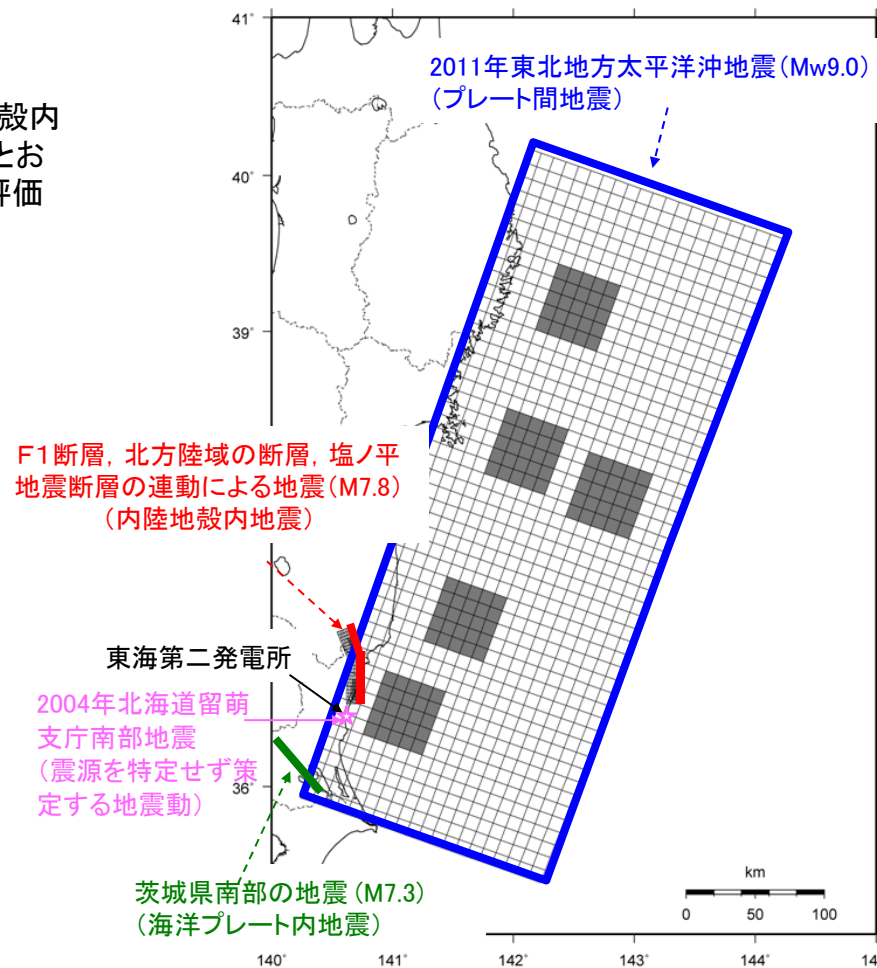


発電所周辺で発生する地震のイメージ図

東海第二発電所の周辺で発生する地震の特徴

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価について、内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震毎に検討用地震を下記のとおり選定した。また震源を特定せず策定する地震動として下記のとおり評価を実施した。

地震発生様式		検討用地震
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)
	プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)
	海洋プレート内地震	茨城県南部の地震(M7.3)
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地震	



検討用地震の断層面

地震動評価の概要(1/2)

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

プレート間地震	海洋プレート内地震	内陸地殻内地震
<p>【検討用地震の選定】</p> <p>2011年東北地方太平洋沖型地震 (Mw9.0)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>中央防災会議 茨城県南部の地震 (Mw7.3)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8)</p>
<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>強震動予測レシピに基づく震源モデル (Mw9.0)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>中央防災会議(2013)等の各種知見に基づく震源モデル (Mw7.3)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>地質調査結果や強震動予測レシピに基づく震源モデル (M7.8)</p>
<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既往最大である2011年東北地方太平洋沖地震と同様のMw9.0を想定している。 ・巨大プレート間地震に対して適用性を確認した強震動予測レシピに基づきパラメータを設定している。 ・基本震源モデルによる評価結果は、東北地方太平洋沖地震における敷地観測記録と良く対応していることを確認している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定になった中央防災会議(2013)は、フィリピン海プレートに関する最新知見を踏まえたものであり、1855年安政江戸地震の再現モデル(応力降下量52MPa)に2割程度保守性を考慮(応力降下量62MPa)している。 ・フィリピン海プレートの厚さが20km以上となる領域のうち、敷地に近い位置に想定している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2011年福島県浜通りの地震の知見から、地震発生層の上端深さを3kmと設定している。下端深さについては保守的に18kmとし、断層幅をより厚く想定している。 ・断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角を参考に西傾斜60度としている。 ・断層全長約58kmを南部と北部に区分けする際、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間に配置するアスペリティの地震モーメントや短周期レベルを大きくし、安全側の設定としている。
<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SMGA位置の不確かさ (過去に発生した地震の位置→敷地最短) ・短周期レベルの不確かさ (宮城県沖で発生する地震の短周期励起特性を概ねカバーするレベルとして基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断層傾斜角の不確かさ (90度→敷地に向く角度) ・アスペリティ位置の不確かさ (海洋マントル上端→海洋地殻上端) ・応力降下量の不確かさ (62MPa→77MPa) ・地震規模の不確かさ (Mw7.3→Mw7.4) 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・短周期レベルの不確かさ (2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・断層傾斜角の不確かさ (2011年福島県浜通りの地震の震源域での余震分布の形状を考慮し、傾斜角45度を考慮) ・アスペリティ位置の不確かさ (端部1マス離隔あり→端部1マス離隔なし)

次頁へ

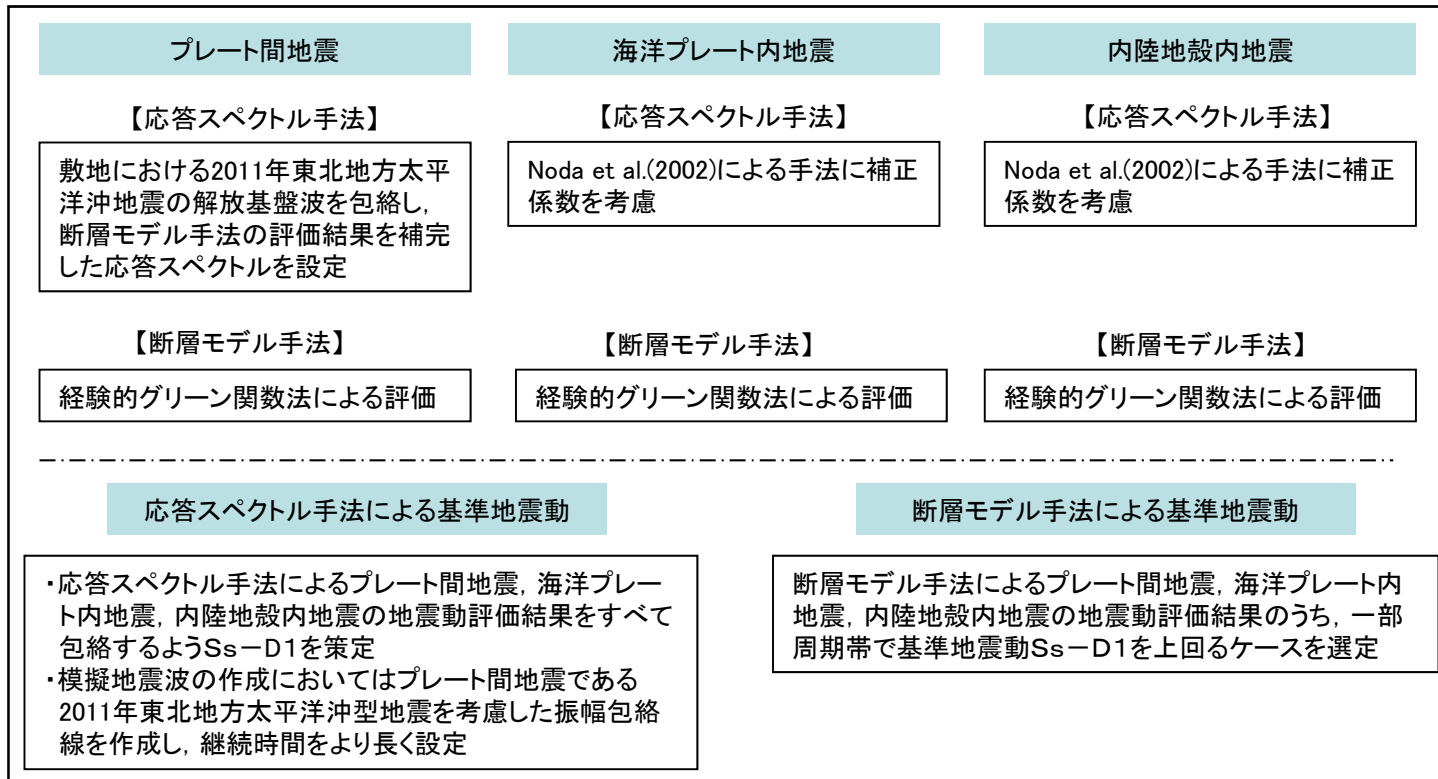
■震源を特定せず策定する地震動

既往の知見
<p>震源を事前に特定できない地震に関する既往の知見である加藤ほか(2004)による応答スペクトル</p>
<p>審査ガイド例示16地震</p>
<p>信頼性のある基盤地震動の検討結果を踏まえ2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮</p>
<p>2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動を設定</p>

次頁へ

地震動評価の概要(2/2)

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動



■震源を特定せず策定する地震動

加藤ほか(2004)による応答スペクトル及び2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回るものを選定

■基準地震動Ssの策定

- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0) (短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0) (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

審議におけるポイント

■各地震ごとの審議におけるポイントは以下のとおり。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動		審議のポイント
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖型地震 (Mw9.0)	<ul style="list-style-type: none"> ・既往最大である2011年東北地方太平洋沖地震と同様のMw9.0を想定（幅200km, 長さ500kmの震源面）した。 ・SMGA※¹位置の不確かさと短周期レベル※²の不確かさを二重に考慮して、901ガルのSsに加え、1009ガルのSsを追加した。（合計2波）
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震(Mw7.3) (中央防災会議(2013)を参考に設定)	<ul style="list-style-type: none"> ・中央防災会議(2013)の知見を踏まえ、アスペリティ※³の応力降下量※⁴を62MPaとして設定した。 ・応力降下量の大きさ(77MPa)や地震の規模(Mw7.4)等の不確かさを考慮した。評価結果は、他のSsに包絡されていることを確認した。
内陸地殻内地震 (活断層による地震)	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)	<ul style="list-style-type: none"> ・申請時より活断層の長さが伸びたこと(長さ44km⇒長さ58km)から、地震の規模を見直した(M7.6⇒M7.8)。 ・短周期レベルの不確かさ, 断層傾斜角の不確かさ, アスペリティ位置の不確かさを考慮した結果, Ssとして4波を選定した。（合計4波）
応答スペクトル手法 によるSs	上記地震の応答スペクトル手法による評価結果を包絡して応答スペクトルを設定	<ul style="list-style-type: none"> ・応答スペクトル手法の評価結果を包絡し, 水平870ガル, 鉛直560ガルの応答スペクトルのSsを設定した。（1波） ・なお, 模擬地震波は, 振幅包絡線をプレート間地震の緒元をもとに作成し継続時間をより長く設定(約140秒)した。
震源を特定せず策定する地震動		審議のポイント
<ul style="list-style-type: none"> ・加藤ほか(2004)による応答スペクトル(450ガル) ・2004年北海道留萌支庁南部地震 		<ul style="list-style-type: none"> ・従来の加藤ほか(2004)による応答スペクトルは, 他のSsに包絡されていることを確認した。 ・2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤波(地震記録)を軟岩補正(東海第二の地盤特性※⁵を反映)して, Ssとして設定した。（1波）

※1: 強震動生成域(短周期側の強い揺れを発生させる断層面の領域)。Strong Motion Generation Area。

※2: 原子力発電所の建物・機器の耐震性評価にとって重要である短周期帯の震源における加速度のレベル。

※3: 断層面(震源面)において強く固着した部分(SMGAと同義語であり, 強い揺れを発生させる領域)。

※4: 地震の時にアスペリティで解放される応力の大きさ。この値が大きいほど地震動が大きくなる。

※5: 大深度ボーリング及び地震観測記録から得られた地盤の増幅特性。

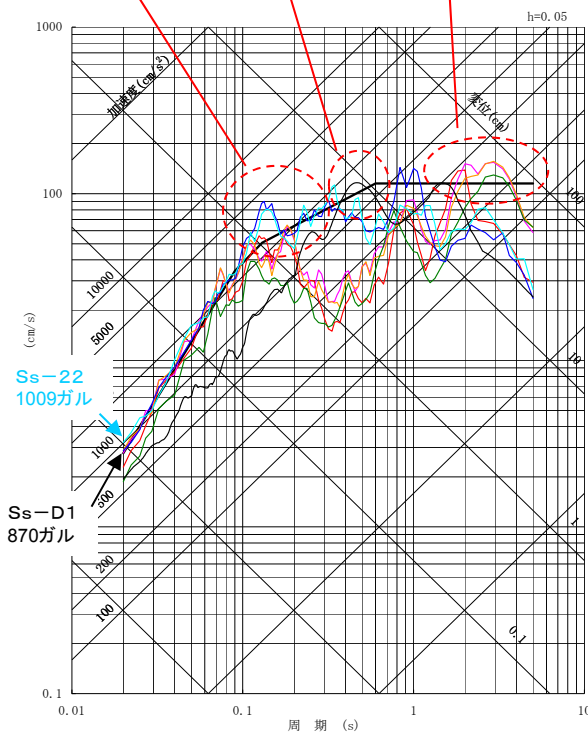
基準地震動S_s

■基準地震動S_sを示す。

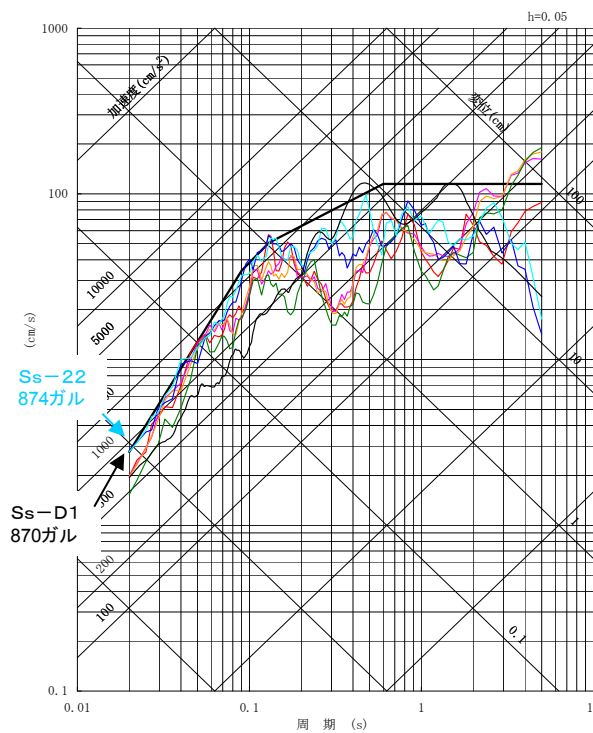
短周期側ではプレート間地震、「特定せず」の基準地震動が、長周期側では内陸地殻内地震の基準地震動がそれぞれS_s-D1を上回る。

プレート間地震 「特定せず」 内陸地殻内地震

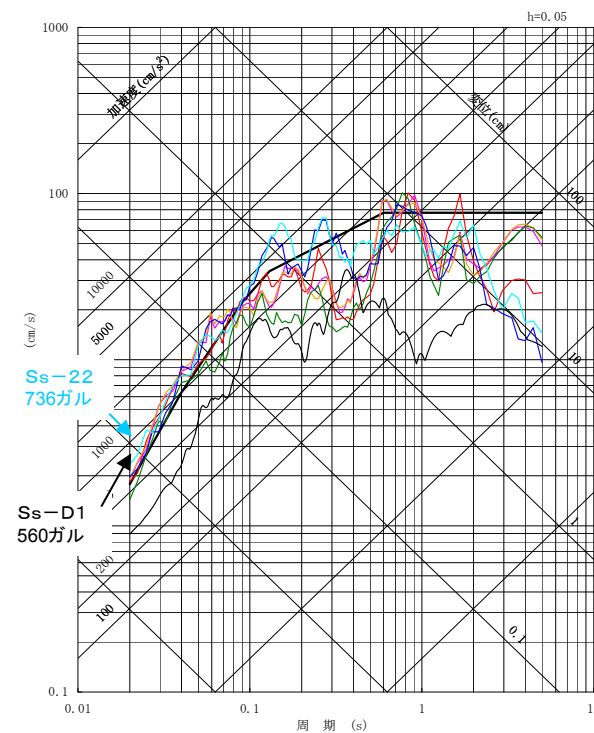
- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- S_s-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- S_s-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動



NS成分



EW成分



UD成分

東海第二発電所の基準地震動S_sは、応答スペクトル法によるS_s-D1に加え、一部周期帯でS_s-D1を上回る断層モデル手法による6波(内陸地殻内地震4波, プレート間地震2波)及び震源を特定せず策定する地震動1波の合計8波とした。断層モデル手法によるS_s及び「特定せず」のS_sは、S_s-D1を上回る周期帯が異なるため、それぞれの基準地震動S_sによる地震力を用いた耐震安全性評価を行う。

不確かさを考慮した地震動評価のまとめ

プレート間地震

基本震源モデル: 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)

不確かさ: ①SMGA位置, ②短周期レベル, ③SMGA位置と短周期レベルの重畳

海洋プレート内地震

基本震源モデル: 茨城県南部の地震(Mw7.3)

不確かさ: ①断層傾斜角, ②アスペリティ位置, ③応力降下量, ④地震規模

内陸地殻内地震

基本震源モデル: F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)

不確かさ: ①短周期レベル, ②断層傾斜角, ③アスペリティ位置

震源を特定せず策定する地震動

・加藤ほか(2004)による応答スペクトル

・2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

模擬地震波

・応答スペクトル手法の評価結果を包絡し作成

以上の不確かさを考慮することで, さらなる安全性向上に努めている。

震災前 : 最大加速度 600ガル, 3波

申請時(2014年): 最大加速度 901ガル, 3波

2016年12月現在: 最大加速度 1009ガル, 8波

今後は, 基準地震動に対する建物及び設備などの耐震安全性確認をおこなう。

設置変更許可申請時からの変更点(1/2)

■設置変更許可申請時からの地震動評価に関する主な変更点は下表のとおり。

○:考慮, -:未考慮

発生様式	検討ケース	申請時	さらなる不確かさを考慮
プレート間地震	基本震源モデル	2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)	2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)
	SMGA位置の不確かさ	○	○
	短周期レベルの不確かさ	○	○
	SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳	-	○
海洋プレート内地震	基本震源モデル	茨城県南部の地震(Mw7.3) ・中央防災会議(2004)を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量21MPa	茨城県南部の地震(Mw7.3) ・中央防災会議(2013)を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量62MPa
	断層傾斜角の不確かさ	-	○
	アスペリティ位置の不確かさ	○	○
	応力降下量の不確かさ	-	○
	地震規模の不確かさ	-	○
内陸地殻内地震	基本震源モデル	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震(M7.6) ・破壊開始点2箇所 ・断層上端深さ5km	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) ・破壊開始点7箇所のうち影響の大きい3箇所を選定 ・断層上端深さ3km
	短周期レベルの不確かさ	○	○
	断層傾斜角の不確かさ	-	○
	アスペリティ位置の不確かさ	-	○
震源を特定せず策定する地震動		加藤ほか(2004)による応答スペクトル	・加藤ほか(2004)による応答スペクトル ・2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
模擬地震波		応答スペクトル手法の評価結果を包絡し作成 ・水平700ガル, 鉛直420ガル ・振幅包絡線を内陸地殻内地震(M7.6, Xeq=25.7km)をもとに作成	応答スペクトル手法の評価結果を包絡し作成 ・水平870ガル, 鉛直560ガル ・振幅包絡線をプレート間地震(M8.3, Xeq=135.8km)をもとに作成し継続時間をより長く設定

設置変更許可申請時からの変更点(2/2)

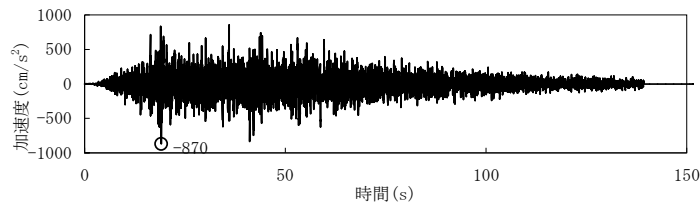
■最大加速度の比較

設置変更許可申請時					さらなる不確かさを反映						
基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)			基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)				
		NS成分	EW成分	UD成分			NS成分	EW成分	UD成分		
Ss-D	応答スペクトル手法による基準地震動	700			420	Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870			560
Ss-1	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (M7.6) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	788	728	563	Ss-11	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717	619	579		
					Ss-12	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871	626	602		
					Ss-13	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903	617	599		
					Ss-14	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586	482	451		
Ss-2	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620	Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620		
-	-	-	-	-	Ss-22	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736		
-	-	-	-	-	Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280		

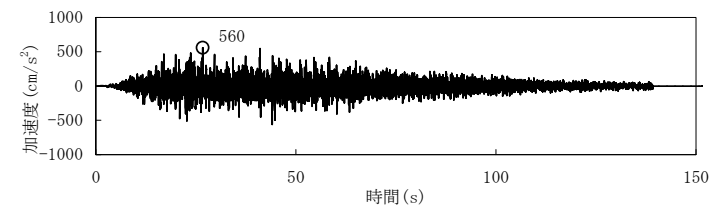
基準地震動Ss

■ 基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(1/3)

Ss-D1 応答スペクトル手法に基づく模擬地震波



Ss-D1H(水平成分)

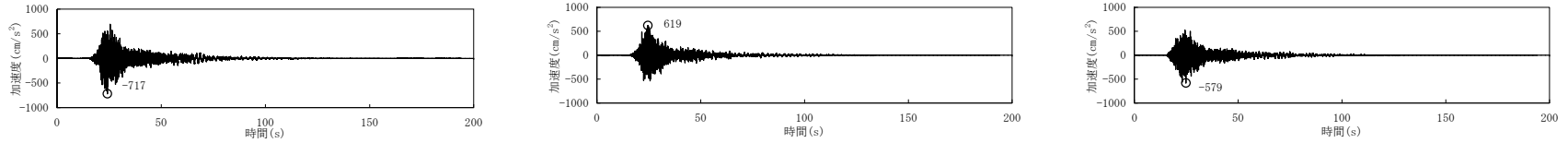


Ss-D1V(鉛直成分)

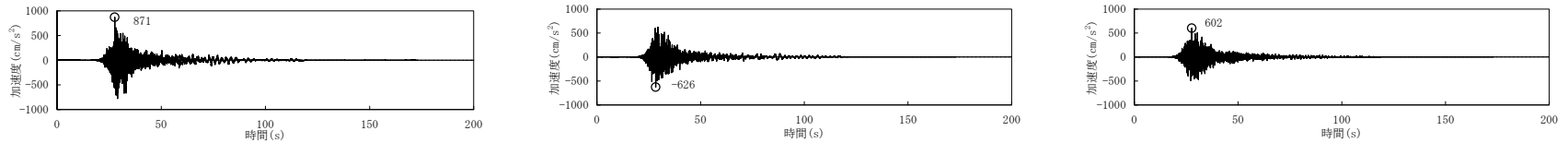
基準地震動Ss

■ 基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(2/3)

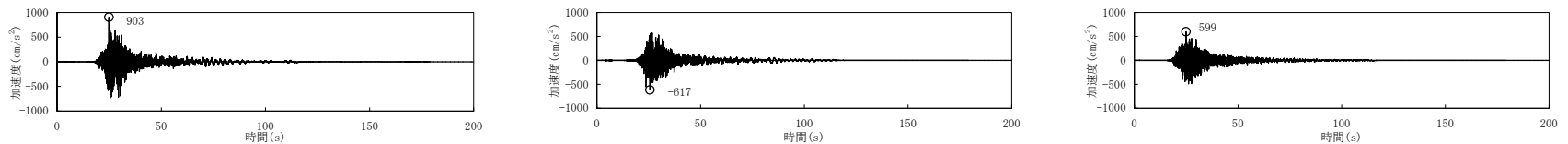
Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)



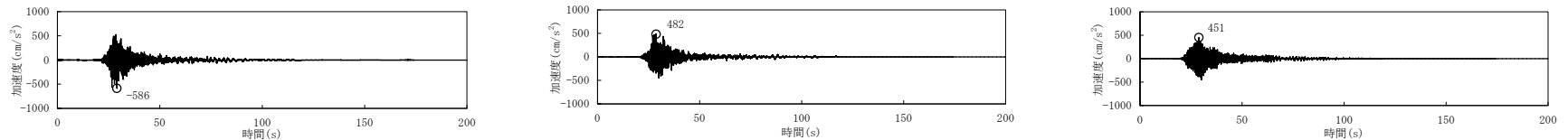
Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)



Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)



Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)



NS成分

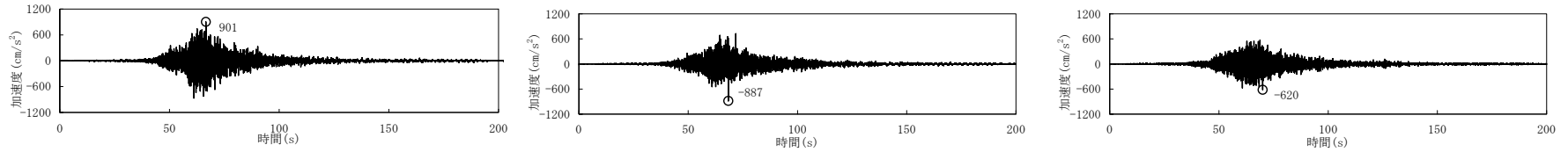
EW成分

UD成分

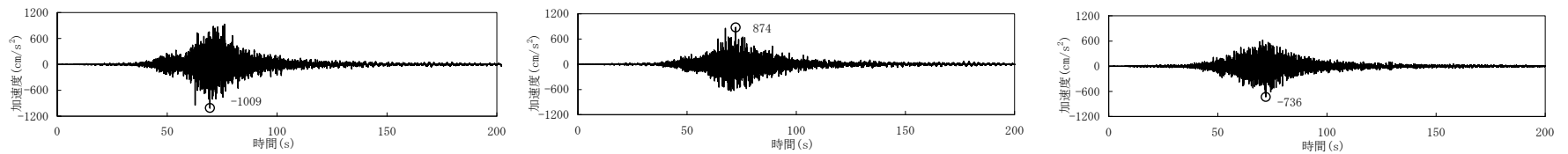
基準地震動Ss

■ 基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(3/3)

Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)



Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)

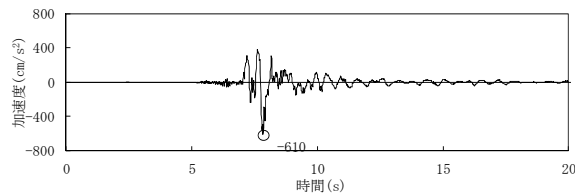


NS成分

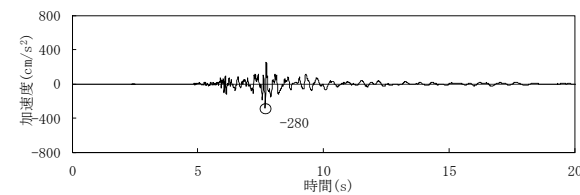
EW成分

UD成分

Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動



水平成分



鉛直成分

参考 基準地震動の変遷(最大加速度の比較)

平成18年耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震バックチェック				設置変更許可申請時(平成26年5月)				さらなる不確かさを反映(平成28年11月)					
	最大加速度 (cm/s ²)				最大加速度 (cm/s ²)				最大加速度 (cm/s ²)				
	NS成分	EW成分	UD成分		NS成分	EW成分	UD成分		NS成分	EW成分	UD成分		
Ss-D	600			400	Ss-D	700			420	Ss-D1	870		560
Ss-1	516	475	357	Ss-1	788	728	563	Ss-11	717	619	579		
—	—	—	—	Ss-2	901	887	620	Ss-12	871	626	602		
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-13	903	617	599		
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-14	586	482	451		
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-21	901	887	620		
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-22	1009	874	736		
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-31	610		280		

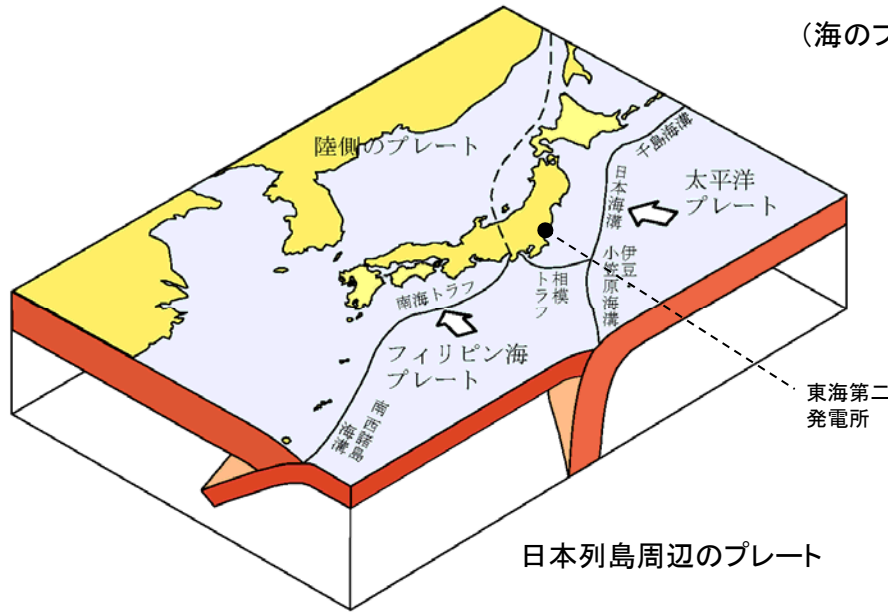
バックチェック時の600ガルから大きくなった主な要因は下記のとおり。

- ・2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた評価を行い、更に不確かさを二重に考慮したこと。(Ss-22, 1009ガル)
- ・断層長さが延びたことに加え、断層幅についてもより大きく設定したこと。(Ss-13, 903ガル)

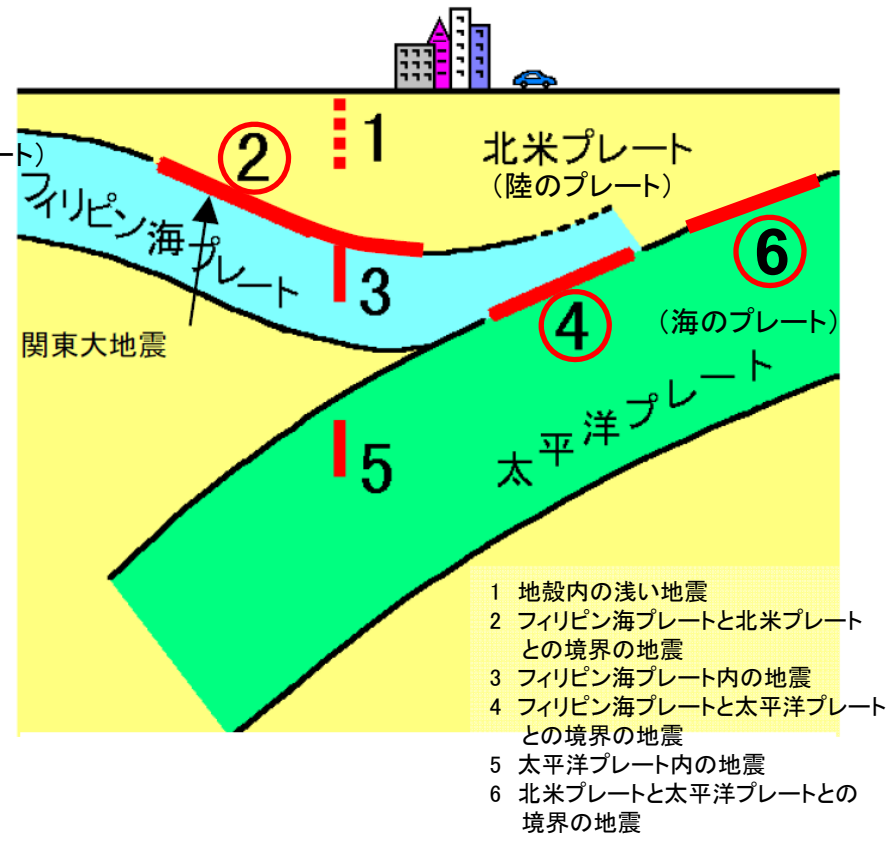
余白

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち
プレート間地震
(第4回にて御説明済)

敷地周辺のプレートテクトニクス



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)



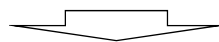
南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 内陸地殻内地震は陸のプレートの内部で発生する地震で、図の1のタイプである。
- プレート間地震は異なるプレートの境界で発生する地震で、図の2, 4, 6のタイプである。
- 海洋プレート内地震は海のプレートの内部で発生する地震で、図の3, 5のタイプである。

審査状況の概要

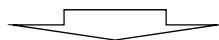
■主な申請内容

- 検討用地震(敷地に最も大きな影響を与える地震)として東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)を選定
- 地震動評価ケース
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-2(901gal)に選定



■主な議論

- 応力降下量など, 重要な断層パラメータの妥当性
- 不確かさ考慮の妥当性



■主なコメント反映事項

- 地震動評価ケースについて, 不確かさの重畳ケースを追加(青字)
- ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-2(901gal)に選定
 - ・不確かさケース3 強震動生成域と短周期レベルの不確かさを重畳(1009gal)



■審査結果

平成28年4月28日 第358回審査会合において, 原子力規制委員会から「概ね妥当な評価である」との評価を得た。

1. 申請概要

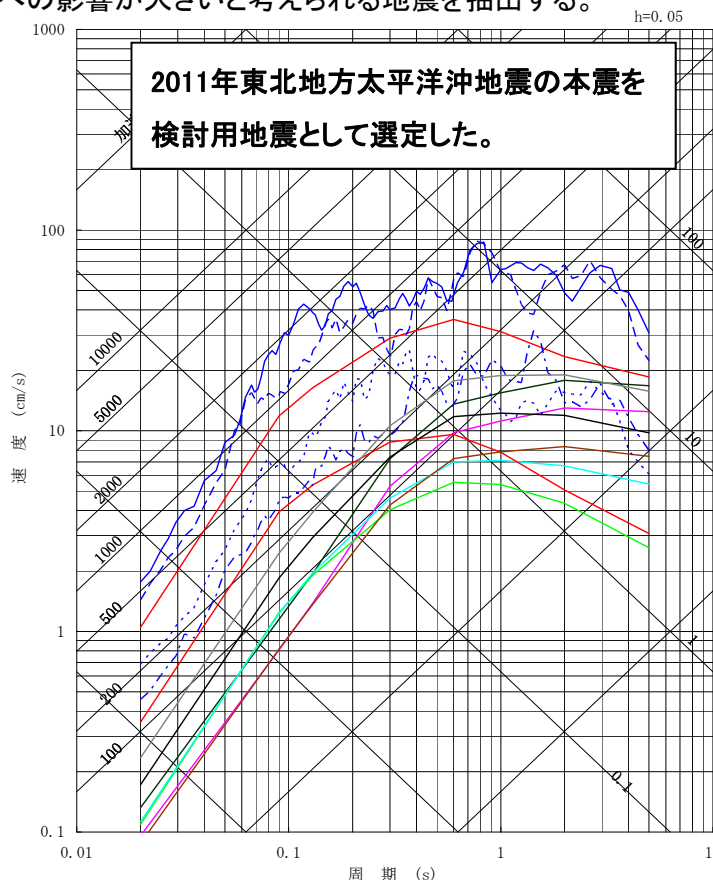
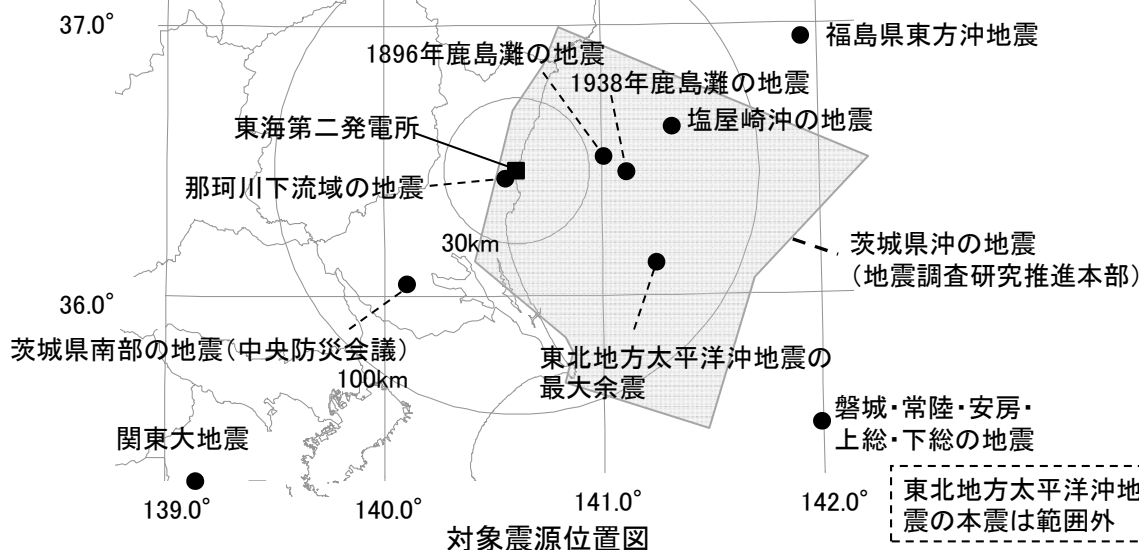
検討用地震の選定

■敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震、各機関の想定したプレート間地震のうち敷地への影響が大きいと考えられる地震を抽出する。

年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数 ^{※3}
1677.11.4	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	169	
1896.1.9	鹿島灘の地震	7.3	60	考慮
1923.9.1	関東大地震	7.9	187	
1930.6.1	那珂川下流域の地震	6.5	55	
1938.5.23	塩屋崎沖の地震	7.0	75	
1938.9.22	鹿島灘の地震	6.5	63	考慮
1938.11.5	福島県東方沖地震	7.5	136	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震 ^{※1}	Mw9.0	—	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震 ^{※1}	7.6	—	
—	茨城県南部の地震(中央防災会議)	7.3	77	
—	茨城県沖の地震(地震調査研究推進本部)	7.6	84	

※1 解放基盤波を用いる。 ※2 地震カタログによる位置情報やプレート境界等深線等に基づいて算出

※3 鹿島灘付近で発生したプレート間地震による補正係数



- 磐城・常陸・安房・上総・下総の地震, M8.0, Xeq=169km
- 1896年鹿島灘の地震, M7.3, Xeq=60km
- 関東大地震, M7.9, Xeq=187km
- 那珂川下流域の地震, M6.5, Xeq=55km
- 塩屋崎沖の地震, M7.0, Xeq=75km
- 1938年鹿島灘の地震, M6.5, Xeq=63km
- 福島県東方沖地震, M7.5, Xeq=136km
- 2011年東北地方太平洋沖地震の本震の解放基盤波 NS
- 2011年東北地方太平洋沖地震の本震の解放基盤波 EW
- 2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震の解放基盤波 NS
- 2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震の解放基盤波 EW
- 茨城県南部の地震(中央防災会議), M7.3, Xeq=77km
- 茨城県沖の地震(地震調査研究推進本部), M7.6, Xeq=84km

プレート間地震の地震動の応答スペクトル
(Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

1. 申請概要

2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル

■断層形状, SMGA位置等については下記の通り設定する。

【断層形状】

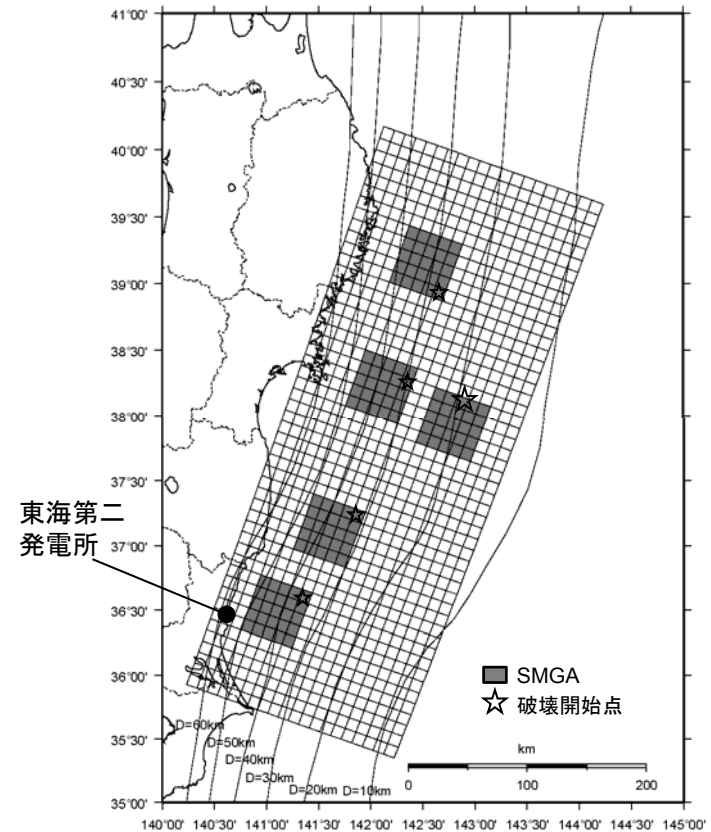
- ・長さ, 幅は, 東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km, 200kmとする。
- ・走向は, 東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは, 太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【SMGAの位置】

- ・地震調査研究推進本部の領域区分に基づき5個のSMGAを設定し, 東北地方太平洋沖地震のSMGAや, それぞれの領域で過去に発生したM7~M8クラスの地震の震源域を参考に配置する。
- ・茨城県沖のSMGA位置は, 東北地方太平洋沖地震の敷地での観測記録を再現できる位置としており, 各文献で示された東北地方太平洋沖地震のSMGAの中では敷地に最も近い位置である。
- ・この位置は, 過去に発生したM7クラスの地震の中では最も敷地に近い1938年塩屋崎沖の地震(M7.0)や1896年鹿島灘の地震(M7.3)の震央位置と対応していることを確認している。

【破壊開始点】

東北地方太平洋沖地震の震源位置に設定する。



基本震源モデル

SMGA: Strong Motion Generation Areas (強震動生成域)

2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル

■断層パラメータ(基本震源モデル)

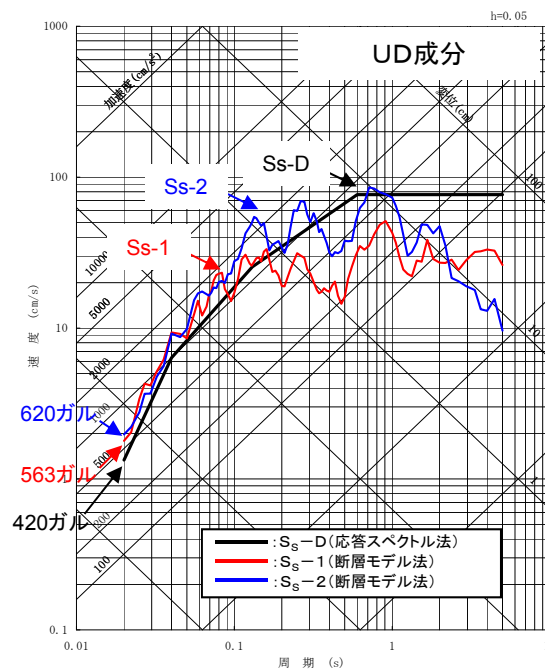
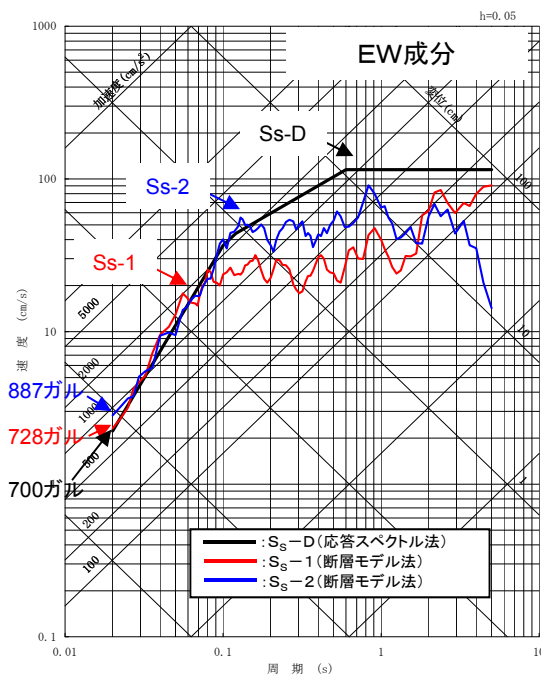
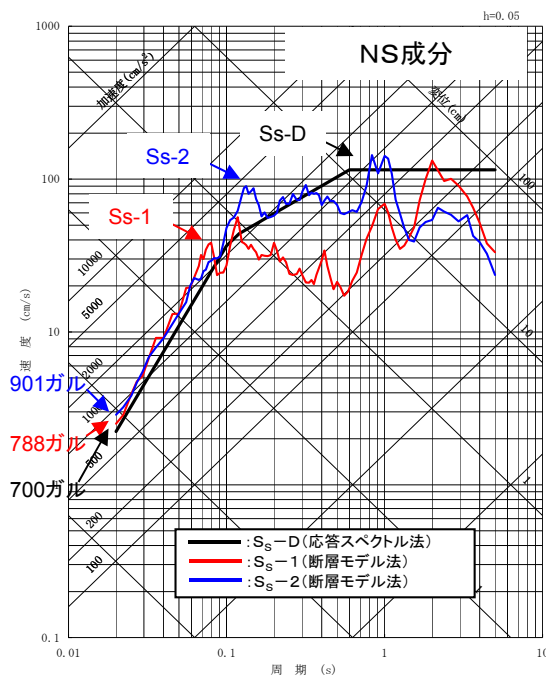
項目		設定値	設定方法
走向	θ (度)	200	F-net
傾斜角1(東側)	δ_1 (度)	12	壇ほか(2005)
傾斜角2(西側)	δ_2 (度)	21	壇ほか(2005)
すべり角	λ (度)	88	F-net
長さ	L(km)	500	断層面積に基づき算定
幅	W(km)	200	断層面積に基づき算定
基準点北緯	N(度)	38.1035	本震の震源位置(気象庁)
基準点東経	E(度)	142.8610	本震の震源位置(気象庁)
基準点深さ	H(km)	23.7	本震の震源位置(気象庁)
上端深さ	h_u (km)	12.3	$h_u = H - w_1 \sin \delta_1$
下端深さ	h_l (km)	68.9	$h_l = H + (100 - w_1) \sin \delta_1 + 100 \sin \delta_2$
断層面積	S(km ²)	100000	S=L×W
平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	3.08	$M_0 = 16/7 \times (S/\pi)^{3/2} \Delta \sigma$
地震モーメント	M_0 (N・m)	4.00E+22	$\log M_0 = 1.5 M_w + 9.1$
モーメントマグニチュード	M_w	9.0	2011年東北地方太平洋沖地震
平均すべり量	D(cm)	854.3	$D = M_0 / (\mu S)$
剛性率	μ (N/m ²)	4.68E+10	$\mu = \rho V_s^2, \rho = 3.08 \text{g/cm}^3$ 地震調査研究推進本部 (2002), (2005)
せん断波速度	V_s (km/s)	3.9	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)
破壊伝播速度	V_r (km/s)	3.0	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)

項目		設定値	設定方法
SMGA全体	面積	S_a (km ²)	12500 $S_a = cS, c=0.125$
	地震モーメント	M_{0a} (N・m)	1.00E+22 $M_{0a} = \mu D_a S_a$
	すべり量	D_a (cm)	1708.6 $D_a = 2 \times D$
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	24.6 $\Delta \sigma_a = S/S_a \times \Delta \sigma$
	短周期レベル	A_a (N・m/s ²)	2.97E+20 $A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2} = 5^{1/2} A_{a1}$
各SMGA	面積	S_{a1} (km ²)	2500 $S_{a1} = S_a/5$
	地震モーメント	M_{0a1} (N・m)	2.00E+21 $M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / \sum S_{ai}^{1.5} = M_{0a}/5$
	すべり量	D_{a1} (cm)	1708.6 $D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}$ (MPa)	24.6 $\Delta \sigma_{a1} = \Delta \sigma_a$
	短周期レベル	A_{a1} (N・m/s ²)	1.33E+20 $A_{a1} = 4 \pi r_1 \Delta \sigma_{a1} V_s^2, r_1 = (S_{a1}/\pi)^{1/2}$
	ライズタイム	τ_{a1} (s)	8.33 $\tau_{a1} = 0.5 W_{ai} / V_r, W_{ai}: \text{SMGA幅}$
背景領域	面積	S_b (km ²)	87500 $S_b = S - S_a$
	地震モーメント	M_{0b} (N・m)	3.00E+22 $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	すべり量	D_b (cm)	732.2 $D_b = M_{0b} / \mu S_b$
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.9 $\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$
	ライズタイム	τ_b (s)	33.33 $\tau_b = 0.5 W / V_r, W: \text{断層幅}$
	Q値	Q	110f ^{0.69} 佐藤ほか(1994)

基準地震動

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_s

地震発生様式	検討用地震	地震規模	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	断層モデルを用いた手法による基準地震動
内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震	M7.6	$S_s-D_H(700ガル)$ $S_s-D_V(420ガル)$	$S_s-1_{NS}(788ガル)$ $S_s-1_{EW}(728ガル)$ $S_s-1_{UD}(563ガル)$
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0	(すべての検討用地震を包絡させて設定)	$S_s-2_{NS}(901ガル)$ $S_s-2_{EW}(887ガル)$ $S_s-2_{UD}(620ガル)$
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震	M7.3		他の基準地震動に包絡されるため設定していない。



審査会合におけるコメント内容及び検討内容・結果

No.	回答日	回次	コメント内容	検討内容・結果
1	平成28年 3月4日	第336回 審査会合	東北地方太平洋沖地震による敷地での揺れを再現する断層パラメータを基本ケースとすることの妥当性を説明すること。また、基本ケースの設定と関連して、考慮した不確かさの妥当性についても説明すること。	東北地方太平洋沖地震に関する知見を整理し、パラメータの妥当性を説明した。
2	平成28年 3月4日	第336回 審査会合	断層モデルの巨視的面等について、設定の妥当性を説明すること。	
3	平成28年 3月4日	第336回 審査会合	断層モデルのSMGA面積比、応力降下量等の設定の妥当性を説明すること。	
4	平成28年 3月4日	第336回 審査会合	要素地震の選定のプロセスを記載し、説明資料を充実させること。	要素地震の選定の根拠を記載した。
5	平成28年 3月4日	第336回 審査会合	断層モデルを用いた手法による地震動評価結果について、SMGA毎の寄与度について示すこと。	地震動に対するSMGA毎の寄与度について記載した。
6	平成28年 3月4日	第336回 審査会合	複数の破壊開始点について検討し、影響の度合いを検討すること。	破壊開始点毎の評価を行い、その影響は小さいことを説明した。
7	平成28年 4月28日	第358回 審査会合	地震動評価では東北地方太平洋沖地震を検討用地震に選定している一方で、津波評価では、これとは異なる茨城沖～房総沖の一部の領域による津波を検討対象に選定していることを踏まえ、検討用地震の選定の考え方について、津波地震との指摘もある1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震の扱いも含めて整理して説明すること。	地震動評価と津波評価の特徴を整理し、結果的に異なる震源が選定されたことを説明した。
8	平成28年 4月28日	第358回 審査会合	統計的グリーン関数法による評価について、最新の地盤モデルを用い評価すること。	最新地盤モデルによる統計的グリーン関数法の評価を実施した。
9	平成28年 4月28日	第358回 審査会合	諸井ほか(2013)に示されているSMGA面積比0.08とした場合の、断層パラメータの設定結果を示すこと。	SMGA面積比を変更した際の断層パラメータの比較を説明した。
10	平成28年 4月28日	第358回 審査会合	応答スペクトルに基づく評価では、東北地方太平洋沖地震における敷地での解放基盤波(観測記録)を評価結果として採用しているが、一部周期帯で断層モデル手法による評価結果を上回っていることを踏まえ、不確かさの考慮について検討すること。	解放基盤波を包絡するスペクトルを設定した。
11	平成28年 4月28日	第358回 審査会合	断層モデルによる手法において、強震動生成域の位置の不確かさと短周期レベルの不確かさの重畳について考慮が必要か検討すること。	不確かさの重畳を考慮した評価を実施した。
12	平成28年 4月28日	第358回 審査会合	フィリピン海プレートが陸のプレートと太平洋プレートの境界で発生する地震に対して破壊進展のバリアになることについて説明性を向上させること。	フィリピン海プレートの知見を調査し、記載を充実させた。

※ 青枠については、次ページで詳細説明

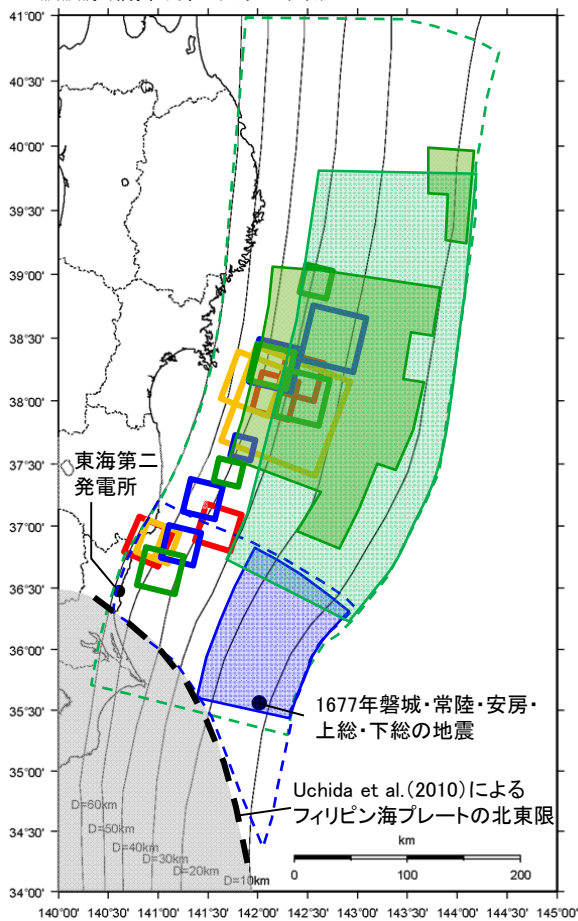
3. 主なコメント対応状況

コメントNo.7: 津波評価で考慮している波源

■津波評価で考慮している主な波源と地震動評価で考慮している震源との関係について整理し、敷地への影響を検討する。

- 東北地方太平洋沖地震に関する内閣府(2012)等, 津波インバージョン解析によるすべり量の大きな領域
- 当社の津波評価で考慮している東北地方太平洋沖型の津波波源(網掛け部は大すべり域)
- 当社の津波評価で考慮している茨城県沖に想定する津波波源(網掛け部は大すべり域)

- 東北地方太平洋沖地震の強震動生成域
- Asano and Iwata(2012)
 - Kurahashi and Irikura(2013)
 - 川辺・釜江(2013)
 - 佐藤(2012)



津波評価及び地震動評価で考慮している主な波源, 震源

■津波評価, 地震動評価の基本方針
過去に発生した地震や, 今後発生が想定される地震等の中から敷地に与える影響の大きいものを選定し, 詳細評価を行う。

■津波評価と地震動評価の着目点

- ・Mw9.0程度の規模の大きい地震では, 大すべり域と強震動生成域が空間的に分離し, また分布の範囲も異なる。
- ・津波評価では大すべり域を海溝軸付近に配置する場合に影響が大きく, 一方, 地震動評価では強震動生成域を敷地に近い場所に配置するほど影響が大きい。

地震	津波評価での扱い	地震動評価での扱い
1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震(延宝の地震)(M8.0)	敷地に影響を及ぼした既往津波として評価	<ul style="list-style-type: none"> ・中央防災会議(2013)等によれば, 大きな揺れの被害はなく, 津波地震の可能性が高いとされている。 ・しかしながら宇佐美ほか(2013)の諸元に基づきM-Δ図で評価すると震度5程度以上となるため, 地震動評価を実施
2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)	<ul style="list-style-type: none"> ・敷地に影響を及ぼした既往津波として評価 ・今後発生が想定される津波として評価を実施 	敷地で震度5程度以上であり, また敷地に最も大きな影響を与えた地震として地震動評価を実施
茨城県沖に想定する津波波源(Mw8.5)	過去に発生していないが, 今後発生が想定される津波として評価を実施	<ul style="list-style-type: none"> ・東北地方太平洋沖地震の強震動生成域は, 大すべり域と異なり茨城沖にも存在し, 敷地での揺れは茨城県沖の強震動生成域の影響が大きい。 ・従って, 茨城県沖に想定する津波波源による地震動は東北地方太平洋沖地震の地震動で代表させることとする。

表中の網掛け: 敷地に与える影響が最も大きい波源または震源

コメントNo.12: フィリピン海プレートの影響 プレート間結合度

■プレート間結合度の分布について

- Uchida et al.(2009)は、繰り返し小地震のすべり量から推定したプレート間結合度の分布を検討し、フィリピン海プレート端部を境にして、その境より南ではプレート間結合度が低くなっているとしている。
- また、長谷川ほか(2013)では、Uchida et al.(2009)等の分析結果を踏まえ、東北地方太平洋沖地震について、「北から伝播してきた破壊が、上盤側がフィリピン海プレートに変わり、プレート間結合度が小さく、すべり遅れがほとんどない領域に入ると、そこで破壊がとまったということになる。すべり遅れのない領域には破壊が広がっていかないはずであり、すべり域の南限はそれで規定されたと考えられる。」としている。

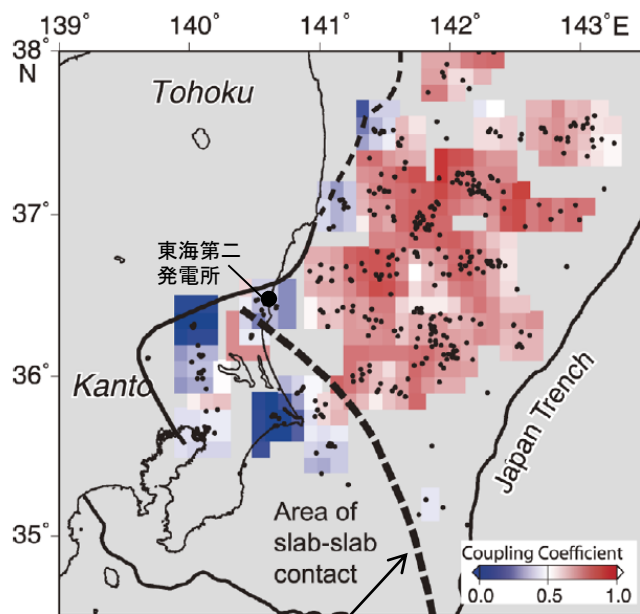


図4 繰り返し小地震のすべり量の積算から推定されたプレート間結合度の分布 (Uchida *et al.*, 2009). 各領域で推定されたカップリング係数をカラーで示す。黒点は推定に用いた繰り返し小地震の各グループの位置を示す。太破線はフィリピン海プレートの北東端。

Fig. 4 Spatial distribution of interplate coupling (color) estimated from cumulative slip of repeating earthquake sequences (Uchida *et al.*, 2009). Black dots and thick broken curve denote locations of repeating earthquake sequences and northeastern edge of PHS plate, respectively.

フィリピン海プレート北東端

長谷川ほか(2013)に一部加筆

プレート間結合度の分布

長谷川昭・中島淳一・内田直希・海野徳仁(2013): 東京直下に沈み込む2枚のプレートと首都圏下の特異な地震活動, 地学雑誌, 122(3)398-417, 2013, doi:10.5026/jgeography.122.398

コメントNo.11: 不確かさ重畳について

■主要な断層パラメータについて、敷地周辺のプレート間地震に関する知見等を踏まえて認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地での地震動に大きな影響を与えるパラメータを不確かさとして考慮する。

【認識論的不確かさ】:事前の詳細な調査や経験式などに基づき設定できるもの ⇒ それぞれ独立させて考慮することを基本とする。

【偶然的不確かさ】:事前の詳細な調査や経験式からは設定が困難なもの ⇒ 重畳させて考慮する。

■コメントを踏まえSMGA位置の不確かさについては下記のとおり扱うこととし、SMGA位置の不確かさと短周期レベルの不確かさを重畳させることとした。

【申請時】:SMGA位置の不確かさは認識論的不確かさとして扱う

【コメント反映】:SMGA位置の不確かさは認識論的不確かさと偶然的不確かさが混在した不確かさとして扱う

評価ケース	認識論的不確かさ			偶然的不確かさ	
	断層設定位置	地震規模	短周期レベル	SMGA位置	破壊開始点
基本ケース	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	東北地方太平洋沖地震のSMGAや、それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
SMGA位置の不確かさ	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	基本震源モデルのSMGA位置に対し、茨城県沖のSMGAを敷地に最も近い位置に移動	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
短周期レベルの不確かさ	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	東北地方太平洋沖地震のSMGAや、それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
SMGA位置の不確かさと短周期レベルの不確かさの重畳	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	基本震源モデルのSMGA位置に対し、茨城県沖のSMGAを敷地に最も近い位置に移動	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3

■ 不確かさを考慮して設定するパラメータ

□ コメント反映し、追加したケース

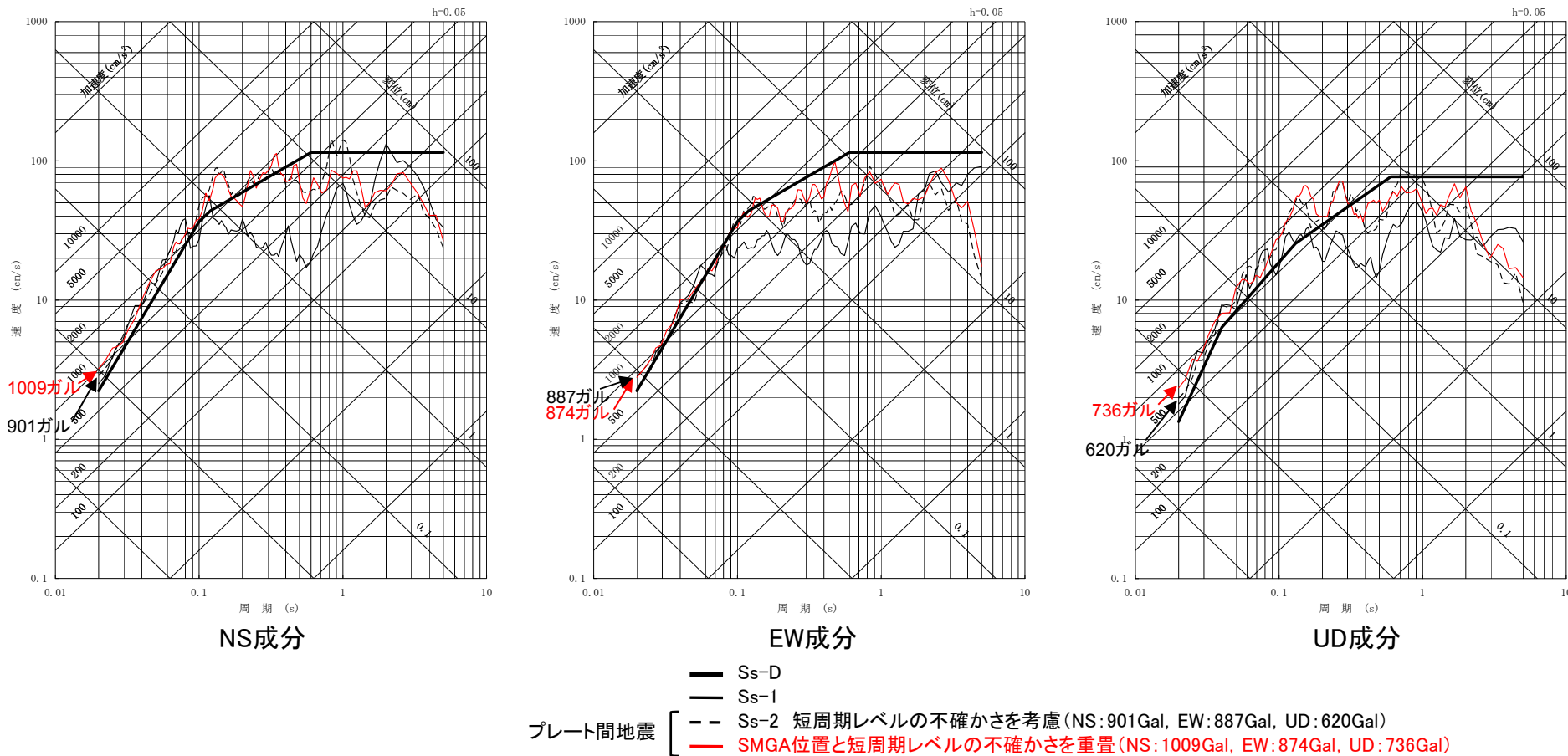
※1 茨城県沖で発生する地震に対しては大きめの設定となっている。

※2 すべてのSMGAの短周期レベルを1.5倍している。

※3 破壊が敷地に向かう位置に設定されている。

まとめ

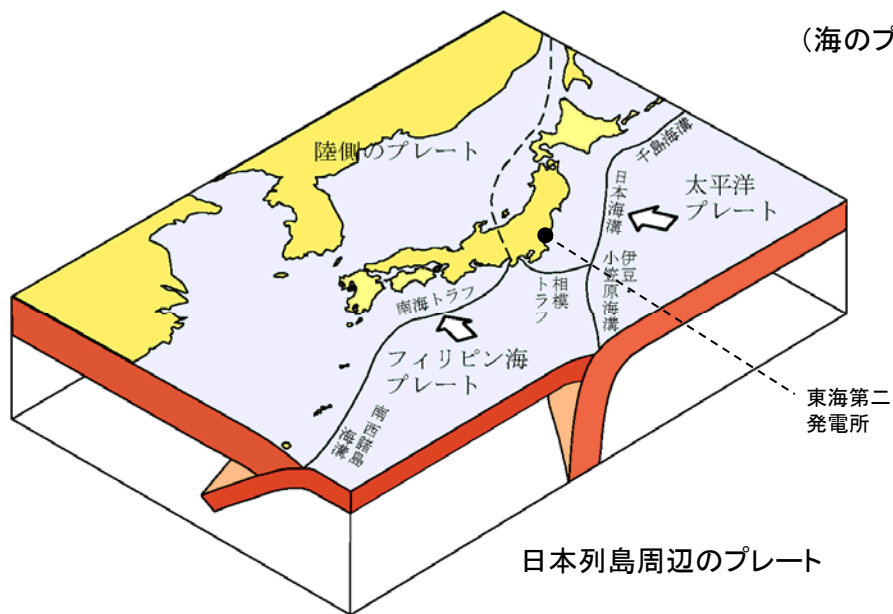
■ SMGA位置と短周期レベルの不確かさを重畳させたケースは、NS成分で1009Galの地震動評価結果となり、短周期レベルの不確かさを考慮したケース(申請時Ss-2, NS成分で901Gal)を上回った。



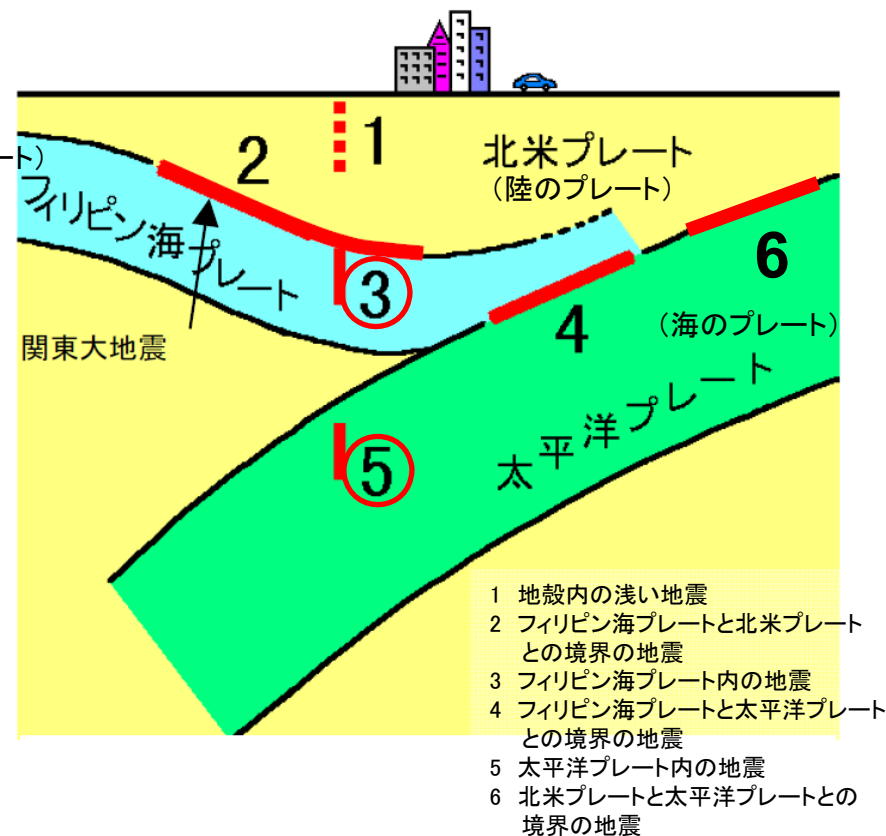
平成28年4月28日第358回審査会合において、原子力規制委員会から「概ね妥当である」と評価された。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち
海洋プレート内地震
(第4回にて御説明済)

敷地周辺のプレートテクトニクス



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)



南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 内陸地殻内地震は陸のプレートの内部で発生する地震で、図の1のタイプである。
- プレート間地震は異なるプレートの境界で発生する地震で、図の2, 4, 6のタイプである。
- 海洋プレート内地震は海のプレートの内部で発生する地震で、図の3, 5のタイプである。

審査状況の概要

■主な申請内容

- 検討用地震(敷地に最も大きな影響を与える地震)として、中央防災会議(2004)に基づいた茨城県南部の地震(M7.3)を選定
- 地震動評価ケース
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)



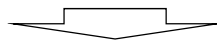
■主な議論

- 応力降下量など、重要な断層パラメータの妥当性
- 不確かさ考慮の妥当性



■主なコメント反映事項

- 検討用地震の候補として下記を追加
 - ・太平洋プレート内地震としてM7.3を茨城県沖に設定(地震調査研究推進本部)
 - ・太平洋プレート内地震としてM8.2を海溝寄りに設定(地震調査研究推進本部)
- 検討用地震の地震動評価において中央防災会議(2013)の知見反映(応力降下量が21MPa→62MPaに増大)
- 地震動評価ケースの追加(青字)
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 断層傾斜角(基本ケース90度→断層破壊が敷地に向かうよう傾斜)
 - ・不確かさケース2 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース3 応力降下量(基本ケース62MPa→78MPa)
 - ・不確かさケース4 地震規模(基本ケースM7.3→M7.4)



■審査結果

平成28年5月13日 第360回審査会合において、原子力規制委員会から「概ね妥当な評価である」との評価を得た。

1. 申請概要

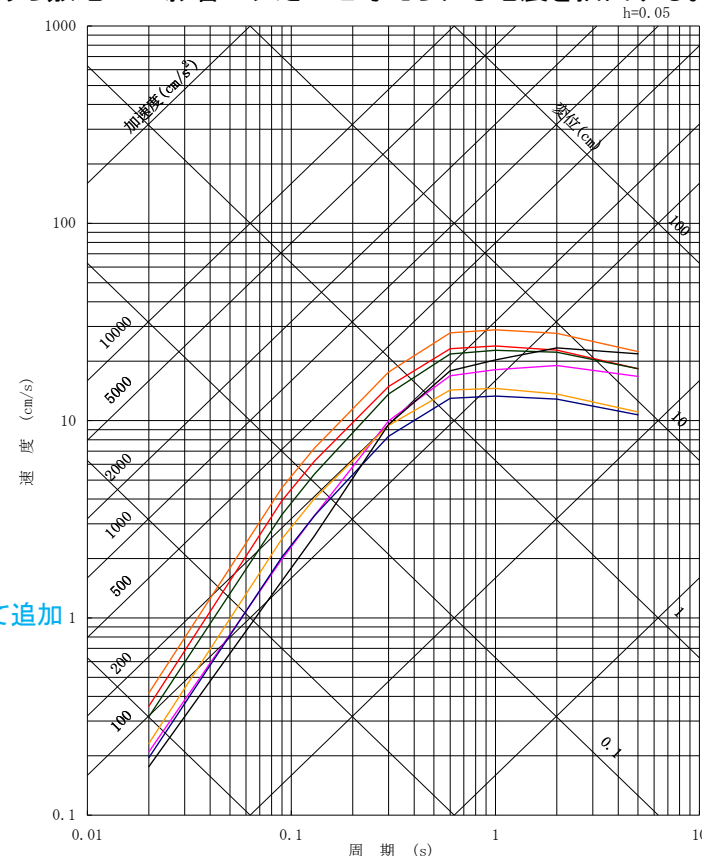
検討用地震の選定

■敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震、各機関の想定した海洋プレート内地震のうち敷地への影響が大きいと考えられる地震を抽出する。

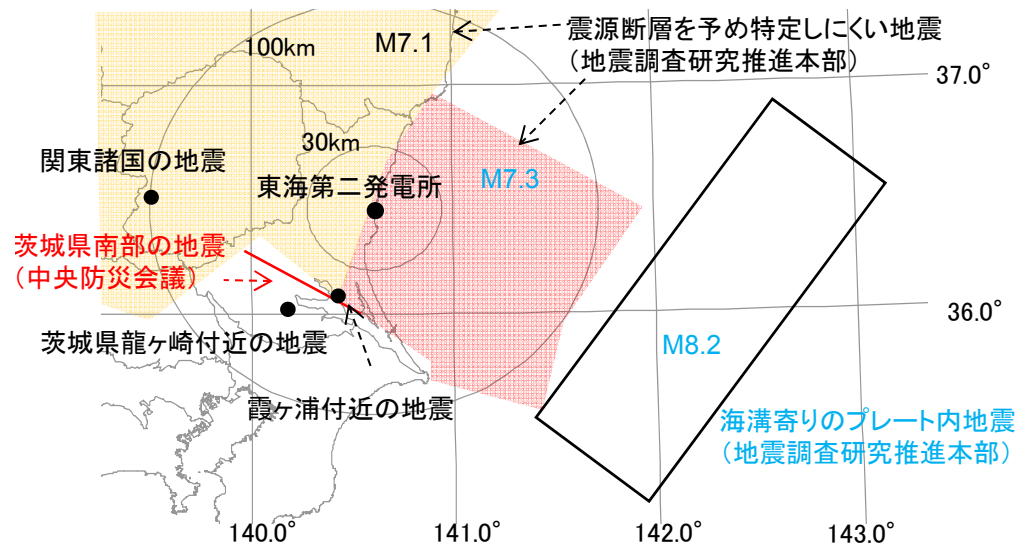
年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km) ^{※1}	プレート	補正係数 ^{※4}
818.-.-	関東諸国の地震	7.5	123	フィリピン海	考慮
1895. 1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	69	フィリピン海	考慮
1921.12. 8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	74	フィリピン海	考慮
-	茨城県南部の地震(中央防災会議)	7.3	69	フィリピン海	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(陸域) (地震調査研究推進本部)	7.1	89 ^{※2}	太平洋	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(海域) (地震調査研究推進本部)	7.3	81 ^{※3}	太平洋	考慮
-	海溝寄りのプレート内地震 (地震調査研究推進本部)	8.2	164	太平洋	

- ※1 地震カタログによる位置情報やプレート境界等深線等に基づいて算出
- ※2 敷地直下のプレート境界から30km下方に震源を想定して算出
- ※3 敷地からプレート境界最短となる線上でプレート境界から30km下方に震源を想定して算出
- ※4 陸域寄りの場所で発生した海洋プレート内地震による補正係数

審査コメントを踏まえて追加



- 関東諸国の地震, M7.5, Xeq=123km
- 霞ヶ浦付近の地震, M7.2, Xeq=69km
- 茨城県龍ヶ崎付近の地震, M7.0, Xeq=74km
- 茨城県南部の地震(中央防災会議), M7.3, Xeq=69km
- 震源断層を予め特定しにくい地震(地震調査研究推進本部, 陸域), M7.1, Xeq=89km
- 震源断層を予め特定しにくい地震(地震調査研究推進本部, 海域), M7.3, Xeq=81km
- 海溝寄りのプレート内地震(地震調査研究推進本部), M8.2, Xeq=164km



対象震源位置図

検討用地震としてフィリピン海プレート内地震である茨城県南部の地震(M7.3, 中央防災会議)を選定した。

1. 申請概要

中央防災会議(2004)茨城県南部の地震の震源モデル

■基本震源モデルの設定

中央防災会議(2004)「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書で想定されている茨城県南部のフィリピン海プレート内地震を参考に設定する。

地震規模

同報告書に基づき、Mj7.3とする。

断層面の位置・形状

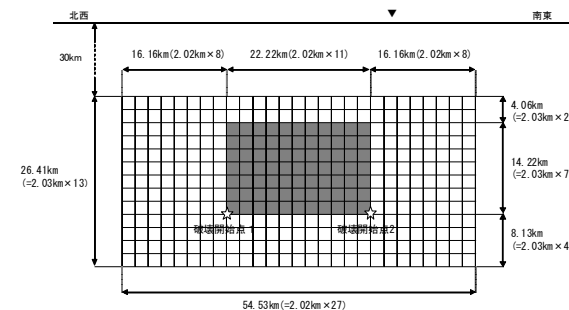
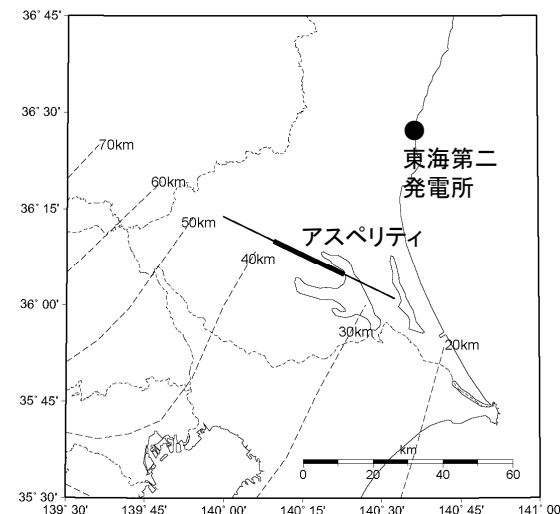
- ・断層位置は、同報告書の茨城県南部のプレート境界地震の断層面の北端(フィリピン海プレートの敷地に最も近い位置)とした。
- ・断層傾斜角は同報告書を基に90度とした。

断層面の深さ

同報告書(図表集)によるフィリピン海プレートの上面位置となる深さ30kmに設定する。

アスペリティの位置

同報告書(図表集)による東京湾北部直下のプレート内地震のモデルを参考に、断層の中央に設定する。



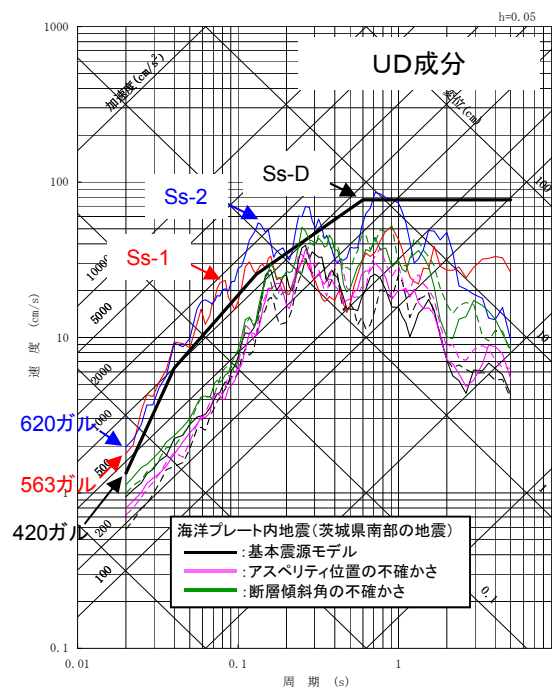
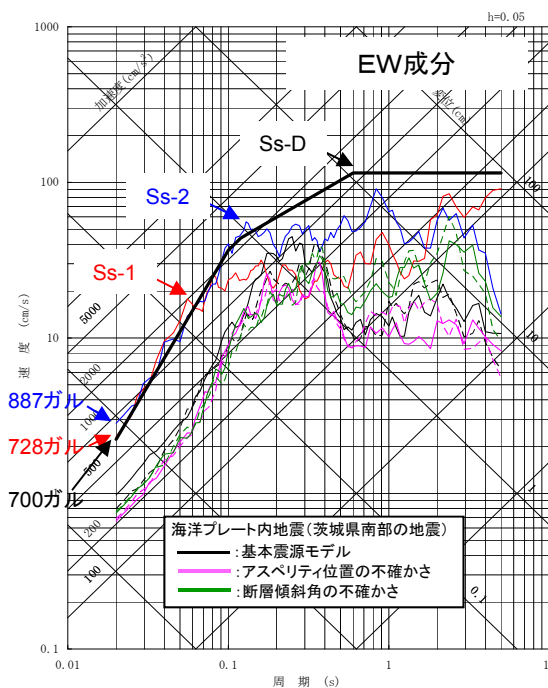
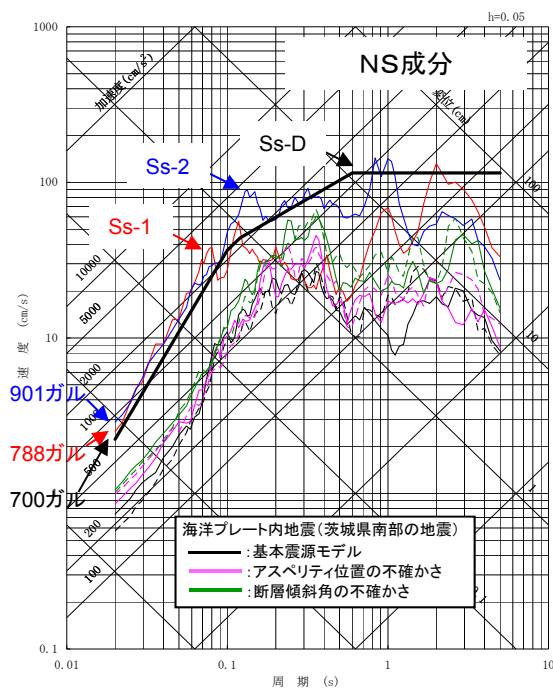
基本震源モデル

中央防災会議(2004):中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書,平成16年11月
中央防災会議(2004):中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書(図表集),平成16年11月

基準地震動

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動Ss

地震発生様式	検討用地震	地震規模	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	断層モデルを用いた手法による基準地震動
内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震	M7.6	S _S -D _H (700ガル) S _S -D _V (420ガル) (すべての検討用地震を包絡させて設定)	S _S -1 _{NS} (788ガル) S _S -1 _{EW} (728ガル) S _S -1 _{UD} (563ガル)
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0		S _S -2 _{NS} (901ガル) S _S -2 _{EW} (887ガル) S _S -2 _{UD} (620ガル)
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震	M7.3		他の基準地震動に包絡されるため設定していない。



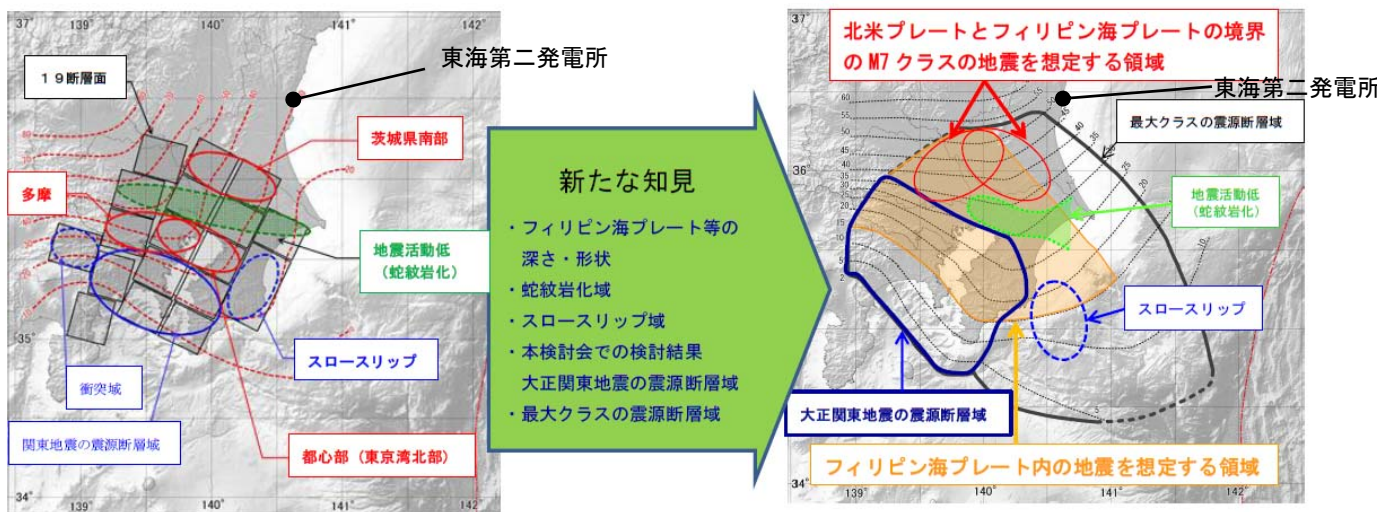
審査会合におけるコメント内容及び検討内容・結果

No.	回答日	回次	コメント内容	検討内容・結果
1	平成28年 1月29日	第324回 審査会合	応答スペクトルに基づく手法に用いる補正係数について、詳細に記載すること。	補正係数の算出について記載を充実させた。
2	平成28年 1月29日	第324回 審査会合	検討用地震の選定プロセスについて詳細に説明すること。	検討用地震の選定のプロセスについて記載を充実させた。
3	平成28年 1月29日	第324回 審査会合	基本震源モデルを中央防災会議(2004)に基づき設定しているが、中央防災会議(2004)以降の知見も考慮し、断層パラメータの検討を行うこと。	中央防災会議(2013)の知見を取り入れ、評価を実施した。
4	平成28年 1月29日	第324回 審査会合	断層モデルの巨視的面等について、設定の妥当性を説明すること。	断層パラメータの設定について詳細に説明した。
5	平成28年 1月29日	第324回 審査会合	要素地震の応力降下量の見積りについて、説明資料を充実させること。	要素地震の応力降下量の設定根拠を説明した。
6	平成28年 1月29日	第324回 審査会合	経験的グリーン関数法の妥当性の確認のため、断層モデルを用いた手法については、統計的グリーン関数法を実施すること。	最新地盤モデルによる統計的グリーン関数法の評価を実施した。
7	平成28年 5月13日	第360回 審査会合	中央防災会議(2013)を採用した根拠を明記するとともに、震源モデルのずれの方向を横ずれとしていることについてさらに説明性を向上すること。	中央防災会議2013年版と従来の2004年版を比較し、2013年版を採用する根拠を説明した。
8	平成28年 5月13日	第360回 審査会合	アスペリティを移動させ等価震源距離を併記することで、断層設定位置が適切な位置となっていることを示すこと。	アスペリティ位置を変更させた場合の等価震源距離を計算した。
9	平成28年 5月13日	第360回 審査会合	断層傾斜角やアスペリティ位置等、海洋プレート内地震として考慮すべき不確かさ項目について想定の妥当性を踏まえて整理すること。	アスペリティ位置及び地震規模について不確かさを追加し、評価を実施した。
10	平成28年 5月13日	第360回 審査会合	基本震源モデルの規模M7.3の妥当性をより詳細に説明すること。	過去の地震の規模を調査し、基本震源モデルの規模の根拠を説明した。

※ 青枠については、次ページで詳細説明

コメントNo.3: 中央防災会議(2013)について

■中央防災会議(2013)「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」では、中央防災会議(2004)以降の新たな知見を考慮し、フィリピン海プレートの深さ・形状の見直しや各震源の見直しがされている。



大正関東地震の震源断層域の拡大 ⇒ プレート境界地震の東京湾北部地震、多摩地震を対象外
 ⇒ 首都直下のM7クラスの地震としてフィリピン海プレート内地震を想定※
 ※前回検討では、フィリピン海プレート内の地震は、その震度分布はプレート境界の地震に震度分布が包含されるとして検討対象外としていた)。
 蛇紋岩化の領域の縮小 ⇒ プレート境界型の地震として茨城・埼玉県境地震を追加

中央防災会議(2013)で新たに考慮された知見

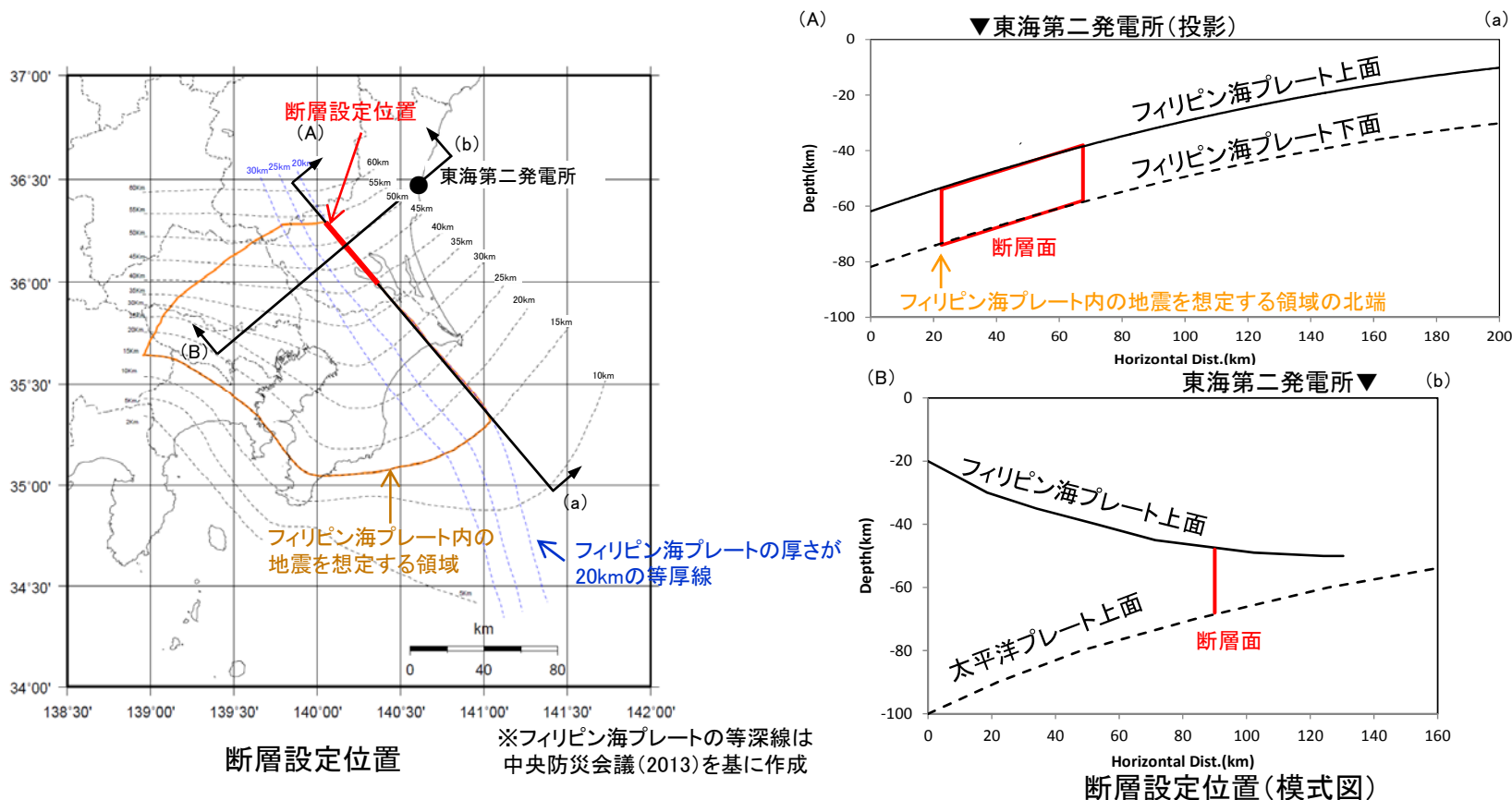
中央防災会議(2013)に一部加筆

中央防災会議(2013):首都直下地震モデル検討会「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」,平成25年12月

コメントNo.3: 中央防災会議(2013)を踏まえた震源モデルの設定について

■基本震源モデルの断層面位置・形状

- ・海洋プレート内地震の発生位置については事前情報が乏しいので、断層中心と敷地の投影位置が概ね一致するように配置することを基本とする。
- ・中央防災会議(2013)では、フィリピン海プレート内の地震はプレートの厚さが20km以上となる左図の「フィリピン海プレート内の地震を想定する領域」で発生するとしているため、その範囲に断層面を設定する。
- ・上記に従い、プレートの厚さが20kmの等厚線に沿って断層幅と断層長さの比を概ね1:2とし、傾斜角90度として設定する。
- ・断層位置・形状の設定に際しては、次頁以降に示す長谷川ほか(2013)の知見も参考とする。



3. 主なコメント対応状況

コメントNo.3: 中央防災会議(2013)を踏まえた震源モデルの設定について

■断層パラメータ(基本震源モデル)

項目		設定値	設定方法
基準点 (断層北西端)	N(度)	36.291	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域の北端
	E(度)	140.06	
上端深さ	h(km)	38~54	フィリピン海プレートの上端位置
気象庁マグニチュード	M _j	7.3	M _j =M _w
モーメントマグニチュード	M _w	7.3	中央防災会議(2013)
地震モーメント	M ₀ (N・m)	1.12E+20	logM ₀ =1.5M _w +9.1
走向	θ(度)	140.7	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域
傾斜角	δ(度)	90	中央防災会議(2013)
ずれの種類	—	右横ずれ	長谷川ほか(2013)
すべり角	λ(度)	180	長谷川ほか(2013)
平均応力降下量	Δσ(MPa)	10.3	中央防災会議(2013)
断層面積	S(km ²)	900	中央防災会議(2013)
長さ	L(km)	45	L=S/W
幅	W(km)	20	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレートの厚さ
密度	ρ(g/cm ³)	2.875	μ=ρV _s ²
せん断波速度	V _s (km/s)	4.0	佐藤(2003)
剛性率	μ(N/m ²)	4.6E+10	中央防災会議(2013)
平均すべり量	D(m)	2.55	D=M ₀ /(μS)
破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.9	中央防災会議(2013)

項目		設定値	設定方法	
アスペリティ	面積	S _a (km ²)	150	中央防災会議(2013)
	すべり量	D _a (m)	5.1	D _a =2D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	3.52E+19	M _{0a} =μD _a S _a
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	62	中央防災会議(2013)
	短周期レベル(参考)	A(N・m/s ²)	8.61E+19	A _a =4πr _a Δσ _a V _s ²
背景領域	面積	S _b (km ²)	750	S _b =S-S _a
	すべり量	D _b (m)	2.23	D _b =M _{0b} /(μS _b)
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	7.7E+19	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力	Δσ _b (MPa)	12.4	Δσ _b =0.2Δσ _a
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤(1994)	


コメントNo.3, 9: 不確かさの考慮について


■ 不確かさの検討の要否を踏まえ、基本震源モデルに対し、地震動評価の観点から影響が大きいと考えられるパラメータに対し不確かさを考慮する。認識論的不確かさについては単独で考慮し、偶然的不確かさについては重畳させて考慮する。

評価ケース	認識論的不確かさ			偶然的不確かさ		
	地震規模	断層傾斜角	応力降下量	アスペリティ位置	震源位置※2	破壊開始点
基本震源モデル	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	海洋性マンタルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
断層傾斜角の不確かさ	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	敷地へ向く傾斜角37度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	海洋性マンタルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
アスペリティ位置の不確かさ	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	断層上端に設定	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
応力降下量の不確かさ (笹谷ほか(2006)に基づく)	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	77.59MPaに設定	海洋性マンタルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
地震規模の不確かさ	2004年紀伊半島南東沖地震を参考にMw7.4	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	海洋性マンタルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定

※1 地震規模、アスペリティの応力降下量については、1855年安政江戸地震の最大震度を再現する強震断層モデル(それぞれMw7.2, 52MPa)に2割程度の大きな地震を想定し、それぞれMw7.3, 62MPaとしている。

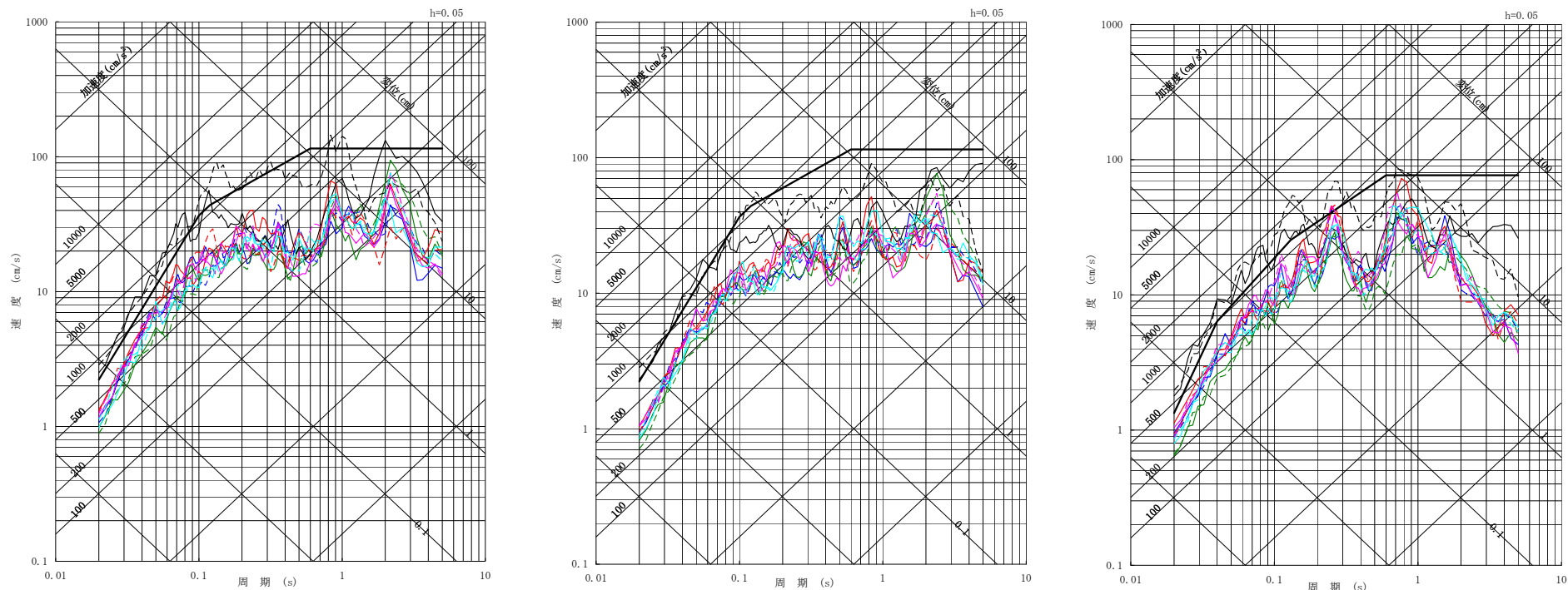
※2 震源位置を敷地に十分近く設定することにより、予め不確かさを考慮した。また、震源域付近のフィリピン海プレートの厚さを考慮し、断層上端をプレート上面に合わせて設定した。

 基本震源モデルの設定の段階で
予め不確かさを考慮するパラメータ

 不確かさを考慮して設定するパラメータ

まとめ

■茨城県南部の地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、審査におけるコメントを反映しても、申請した基準地震動 S_s に包絡される結果となった。



NS成分

EW成分

UD成分

- 基本震源モデル
- 断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- アスペリティ位置の不確かさを考慮したケース
- 応力降下量の不確かさを考慮したケース
- 地震規模の不確かさを考慮したケース

〔実線:破壊開始点1
破線:破壊開始点2〕

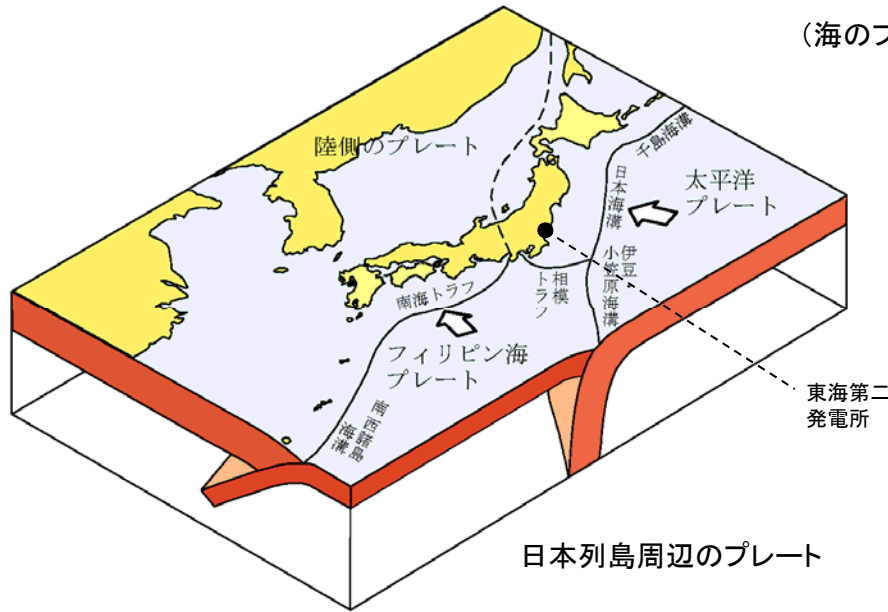
- S_s -D(応答スペクトルに基づく手法による各評価結果を包絡し策定)
- S_s -1(F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさを考慮))
- S_s -2(2011年東北地方太平洋沖地震(短周期レベルの不確かさを考慮))

※基準地震動 S_s は設置変更許可申請時のものを記載している。

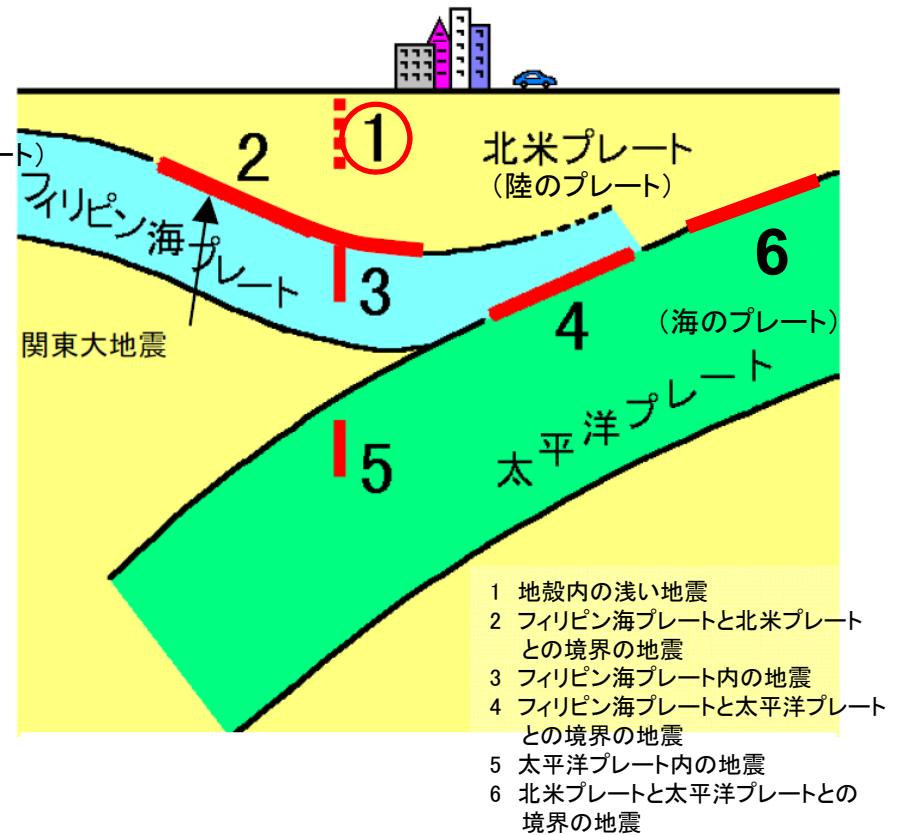
平成28年5月13日第360回審査会合において、
原子力規制委員会から「概ね妥当である」と評価された。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち
内陸地殻内地震について

敷地周辺のプレートテクトニクス



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)



南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 内陸地殻内地震は陸のプレートの内部で発生する地震で、図の1のタイプである。
- プレート間地震は異なるプレートの境界で発生する地震で、図の2, 4,, 6のタイプである。
- 海洋プレート内地震は海のプレートの内部で発生する地震で、図の3, 5のタイプである。

審査状況の概要

■主な申請内容

- 検討用地震(敷地に最も大きな影響を与える地震)としてF1断層, 北方陸域の断層の連動(長さ44km, M7.6)を選定
- 地震動評価ケース
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-1(788gal)に選定

■主な議論

- アスペリティ位置の妥当性
- 破壊開始点位置の妥当性

震源モデルの見直し

断層長さの見直し: 44km→58km

(「敷地周辺及び近傍の地質・地質構造」で審議)

■主なコメント反映事項

破壊開始点位置を追加(どの評価ケースでも共通に考慮)するとともに, アスペリティ位置の不確かさをケースを追加(青字)

- ・基本ケース
- ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
- ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍)
- ・不確かさケース3 傾斜角(基本ケースの60度に対して45度)
- ・不確かさケース4 アスペリティ位置(断層端部に配置)

■審査結果

平成28年9月30日 第404回審査会合において, 原子力規制委員会から「概ね妥当な評価である」との評価を得た。

1. 申請概要

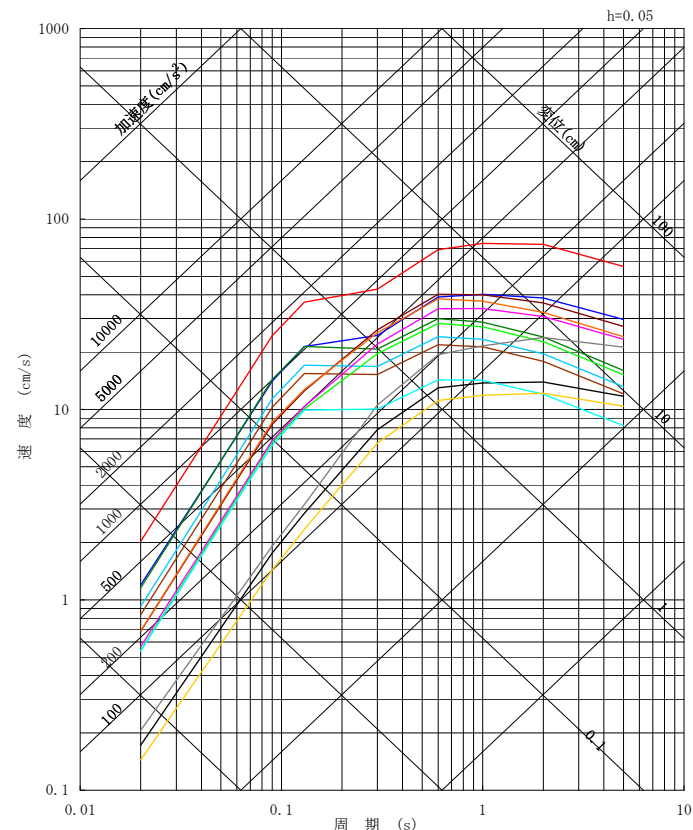
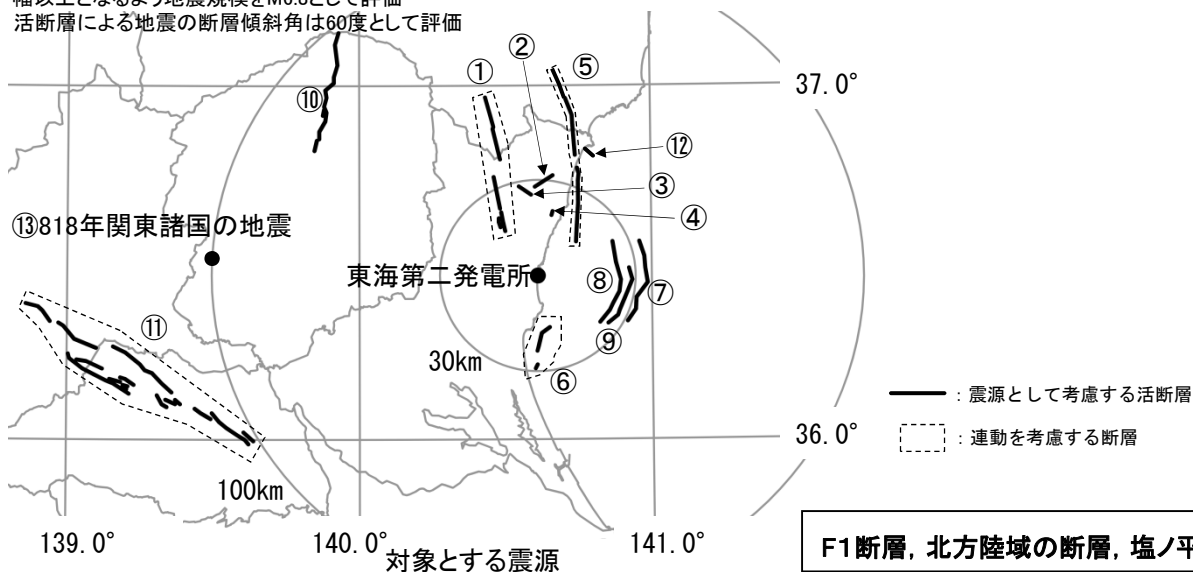
検討用地震の選定

■敷地で震度5程度以上となる活断層及び過去の被害地震を抽出する。

地震名	長さ (km)	地震規模 M	断層上端深さ (km)	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数
① 棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動	42	7.5	3	37	考慮
② 関口一米平リニアメント	6	6.8 ^{※1}	3	27	考慮
③ 堅破山リニアメント	4	6.8 ^{※1}	3	25	考慮
④ 宮田町リニアメント	1	6.8 ^{※1}	3	21	考慮
⑤ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動	58	7.8	3	31	考慮
⑥ F3断層, F4断層の連動	16	6.8	5	22	
⑦ F8断層	26	7.2	5	26	
⑧ F16断層	26	7.2	5	30	
⑨ A-1背斜	20	7.0	5	22	
⑩ 関谷断層	40	7.5	5	92	
⑪ 関東平野北西縁断層帯	82	8.0	5	130	
⑫ F11断層	5	6.8 ^{※1}	3	38	考慮
被害地震	⑬ 818年関東諸国の地震	—	—	102	

※1 長さの短い断層については、地表で認められる断層長さが震源断層の長さを示さない可能性を踏まえ、震源断層の長さが断層幅以上となるよう地震規模をM6.8として評価

※2 活断層による地震の断層傾斜角は60度として評価



- ① 棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動, M7.5, Xeq=37km
- ② 関口一米平リニアメント, M6.8, Xeq=27km
- ③ 堅破山リニアメント, M6.8, Xeq=25km
- ④ 宮田町リニアメント, M6.8, Xeq=21km
- ⑤ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動, M7.8, Xeq=31km
- ⑥ F3断層, F4断層, M6.8, Xeq=22km
- ⑦ F8断層, M7.2, Xeq=26km
- ⑧ F16断層, M7.2, Xeq=30km
- ⑨ A-1背斜, M7.0, Xeq=22km
- ⑩ 関谷断層, M7.5, Xeq=92km
- ⑪ 関東平野北西縁断層帯, M8.0, Xeq=130km
- ⑫ F11断層, M6.8, Xeq=38km
- ⑬ 818年関東諸国の地震, M7.5, Xeq=102km

内陸地殻内地震の地震動の応答スペクトル (Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

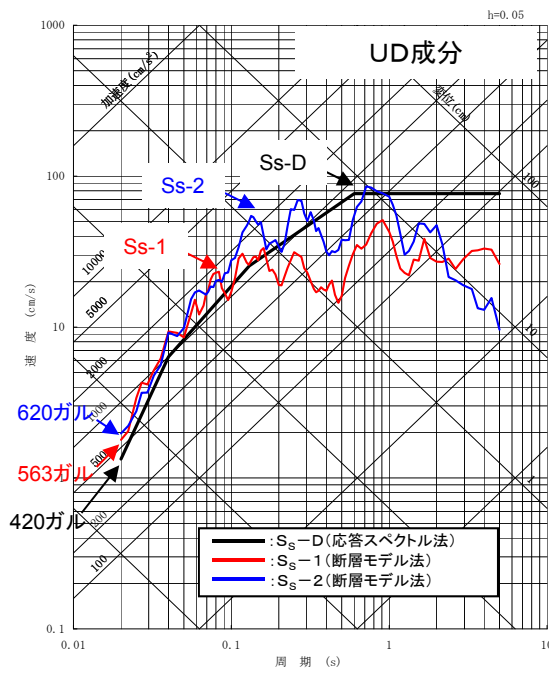
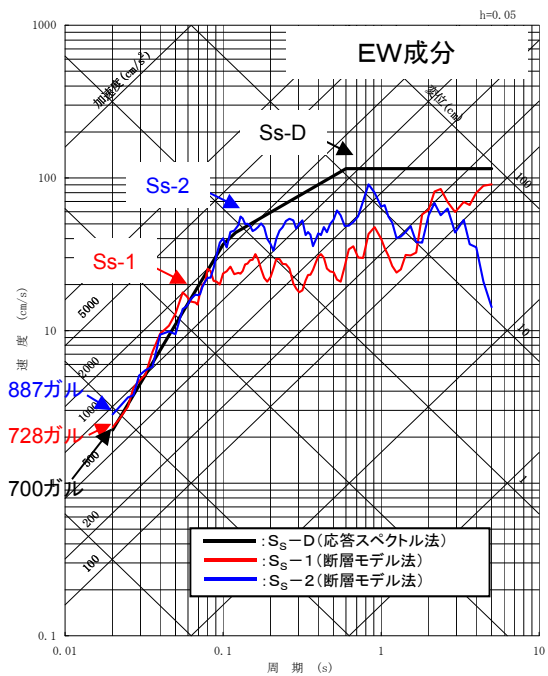
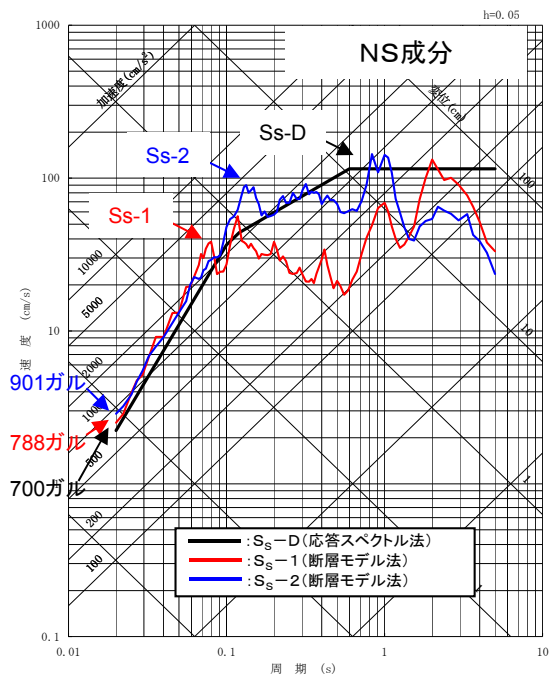
F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震を検討用地震として選定した。

1. 申請概要

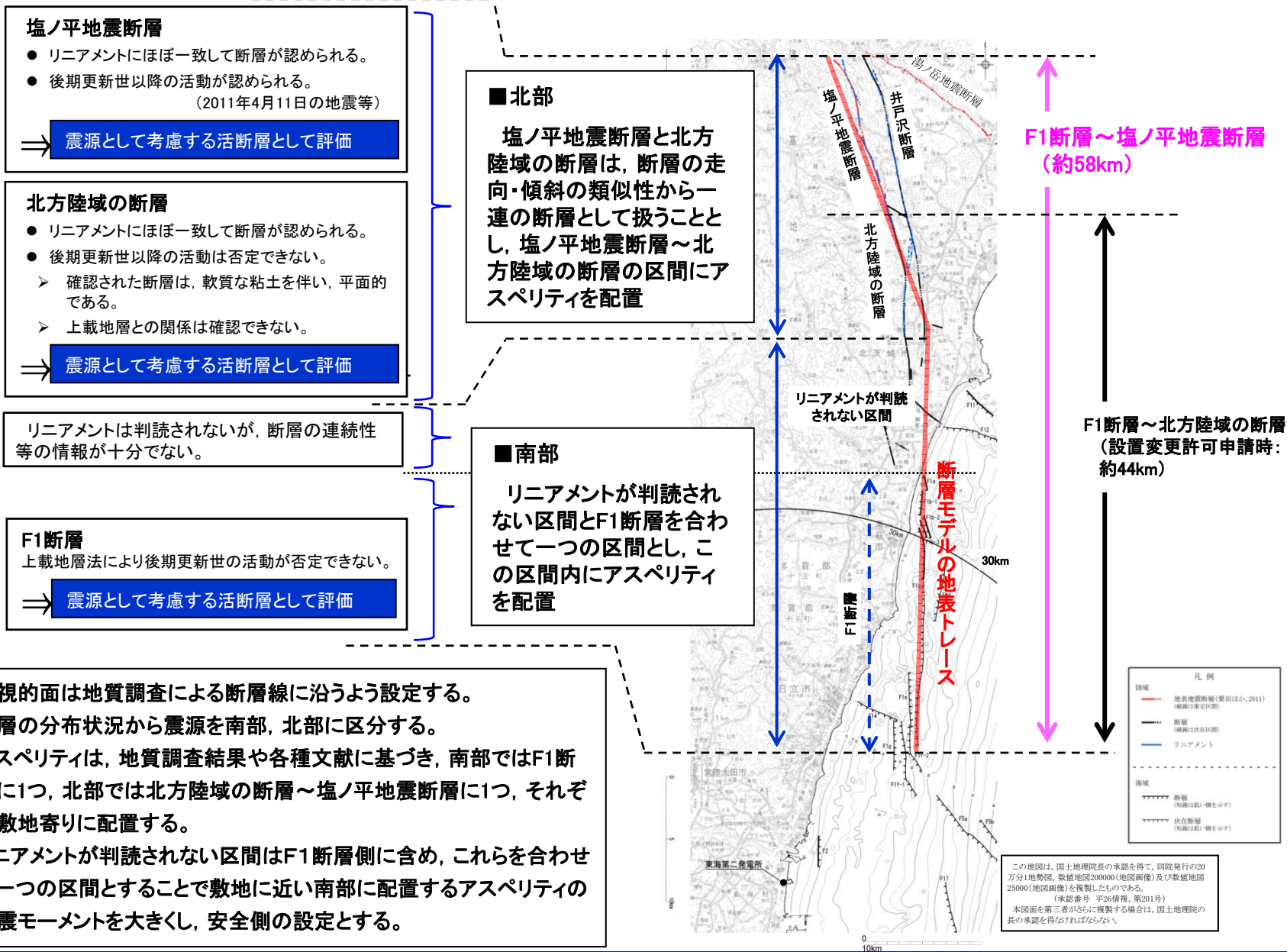
基準地震動

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_s

地震発生様式	検討用地震	地震規模	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	断層モデルを用いた手法による基準地震動
内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震	M7.6	$S_s-D_H(700ガル)$ $S_s-D_V(420ガル)$	$S_s-1_{NS}(788ガル)$ $S_s-1_{EW}(728ガル)$ $S_s-1_{UD}(563ガル)$
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0	(すべての検討用地震を包絡させて設定)	$S_s-2_{NS}(901ガル)$ $S_s-2_{EW}(887ガル)$ $S_s-2_{UD}(620ガル)$
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震	M7.3		他の基準地震動に包絡されるため設定していない。



断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(1/4)



2. 審査状況

断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(2/4)

■地質調査結果や2011年福島県浜通りの地震から得られる知見を参考に基本震源モデルを設定する。

【断層形状、断層タイプ】

- 断層長さについては、新規制基準適合性審査第381回会合に基づき、F1断層から塩ノ平地震断層までの同時活動を考慮した約58kmとする。
- 地震動評価におけるセグメント区分については、断層の分布状況から震源を南部と北部に区分する。その際、リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間の地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。
- 地震のタイプについては、2011年福島県浜通りの地震が正断層であることや福島県から茨城県にかけての領域は正断層応力場とする知見(例えば青柳・上田(2012))、さらにF1断層における音波探査結果から正断層センスのずれが認められることを踏まえ正断層とする。
- 断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角(57~73度)を参考に西傾斜60度とする。
- 断層幅については、断層上端深さを3km、下端深さを18kmとして断層傾斜角60度を考慮した17.3kmとする。

【アスペリティ位置】

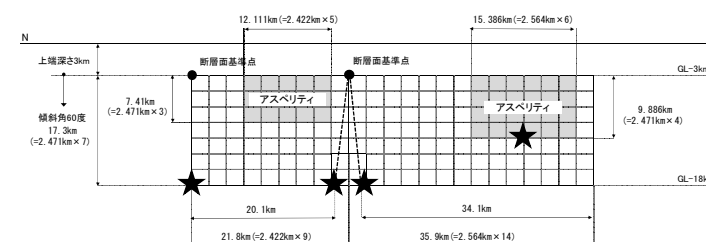
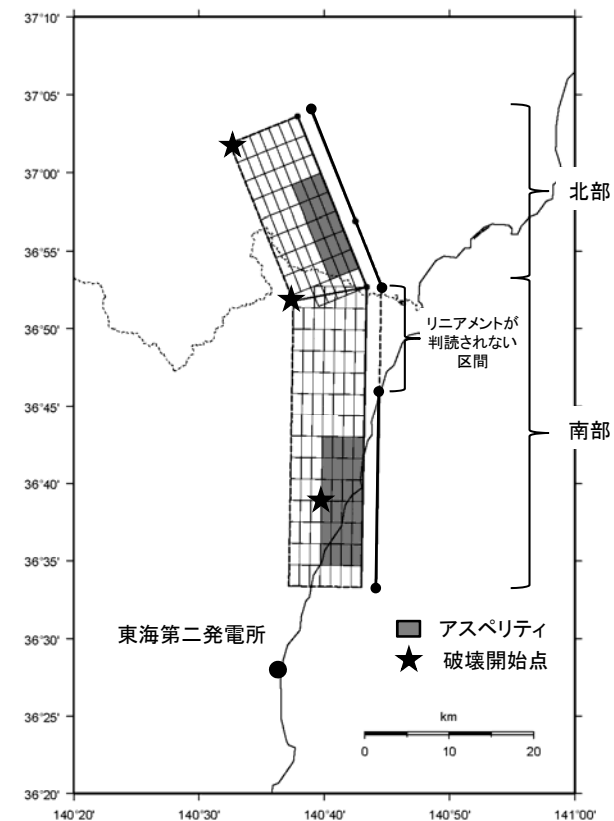
- アスペリティの位置については、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置については、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで、敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。

【破壊開始点位置】

破壊開始点については、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえ、アスペリティ下端や断層下端のうち敷地への影響の大きい位置に複数設定する。

【破壊伝播速度Vr】

破壊伝播速度については、強震動予測レシピで用いられているGeller(1976)より、 $V_r=0.72V_s$ とする。ただし、2011年福島県浜通りの地震における破壊伝播速度の各知見と比較の上、妥当性を確認する。



基本震源モデル

断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(3/4)

■主要なパラメータの設定

下記4個の断層パラメータを与条件として与え、アスペリティの応力降下量 $\Delta \sigma_a$ については、Madariaga(1979)の関係式を用いて算定する。

・断層面積 $S(\text{km}^2)$

断層長さと断層幅より算出

・地震モーメント $M_0(\text{N}\cdot\text{m})$

入倉・三宅(2001)より $M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0} / 10^7$

・平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa), アスペリティ面積比 S_a/S

Boatwright(1988), 壇ほか(2001)からアスペリティ面積を算出すると30%を超えるため、与条件として平均応力降下量をFujii and Matsu'ura(2000)より3.1MPa, アスペリティ面積比をSomerville et al.(1999)より0.22と設定する。

Madariaga(1979)の関係式

$$\Delta \sigma_a = (S / S_a) \cdot \Delta \sigma$$

ここで,

S_a : アスペリティ総面積 (km^2)

$\Delta \sigma_a$: アスペリティの応力降下量(MPa)

$\Delta \sigma$: 平均応力降下量(MPa)

佐藤・堤(2012)では、正断層の地震である2011年福島県浜通りの地震の短周期レベルは、内陸地殻内地震の平均的な値であると推定されている。

2. 審査状況

断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(4/4)

■断層パラメータ(基本震源モデル)

項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ(km) 断層下端長さ(km)	57.7 54.2	21.8 20.1	35.9 34.1	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層傾斜角(度)	60(西傾斜)	60(西傾斜)	60(西傾斜)	活断層調査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョン解析モデルを参考に設定。海上音波探査記録からはF1断層は西側落下の高角な断層であると考えられるものの、傾斜角60度と設定する。	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	3 18	3 18	3 18	断層上端深さは、2011年福島県浜通りの地震の震源域における微小地震分布等の知見を考慮し3kmと設定している。震源モデルの南部では3kmよりも深いと想定されるが、保守的に3kmとする。 断層下端深さは、広域の微小地震分布を考慮し18kmと設定している。震源モデルの北部ではそれよりも浅いと想定されるが、保守的に18kmとする。	
断層幅W(km)	17.3	17.3	17.3	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S(km ²)	967.9	362.4	605.5	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	5.21E+19	1.65E+19	3.56E+19	$M_0=[S/(4.24 \times 10^{-11})]^2/10^7$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6\text{km/s}$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ、 ρ は地震本部による「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D(cm)	153.9	130.1	168.1	$D=M_0/(\mu S)$	
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	2.59	2.59	$Vr=0.72\beta$ (Geller,1976による)	
短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	1.98E+19	—	—	$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
アスペリティ	面積S _a (km ²)	212.9	79.7	133.2	$S_a=0.22S$
	平均すべり量D _a (cm)	307.7	260.1	336.2	$D_a=2D$
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	2.29E+19	7.26E+18	1.57E+19	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.09	14.09	14.09	$\Delta\sigma_a=\Delta\sigma \times S/S_a$
	短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	1.89E+19	1.16E+19	1.49E+19	$A=4\pi r_a \Delta\sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	755.0	282.7	472.3	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D _b (cm)	110.5	93.4	120.7	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	2.92E+19	9.24E+18	1.99E+19	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力 $\Delta\sigma_b$ (MPa)	2.82	2.82	2.82	$\Delta\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

2. 審査状況

審査会合におけるコメント内容及び検討内容・結果

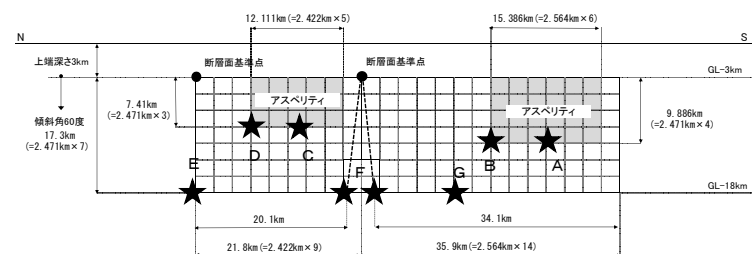
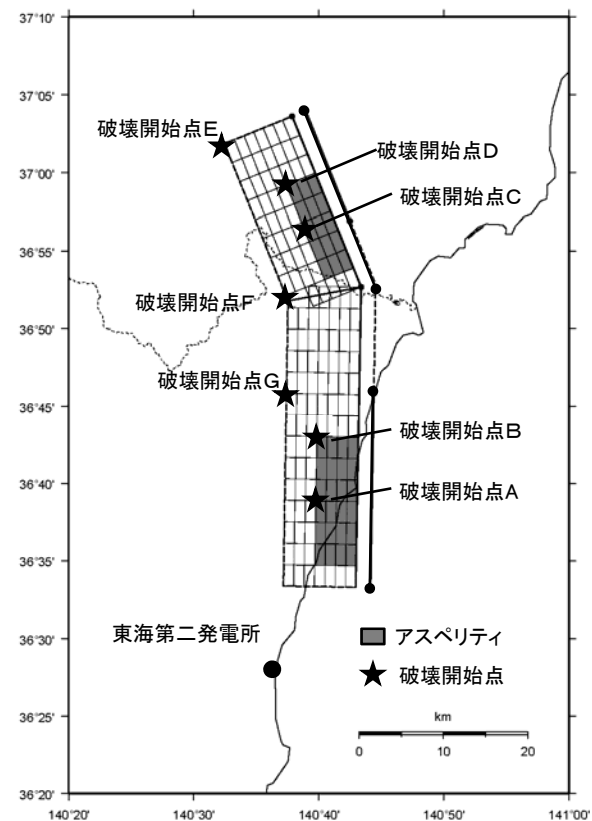
No.	日付	回次	コメント内容	検討内容・結果
1	平成28年 8月26日	第394回 審査会合	応答スペクトル手法に用いる鉛直成分の補正係数において、観測記録の平均値を一部周期帯でカバーしていないことについて、その妥当性を示すこと。	観測記録の平均値をカバーするよう補正係数を見直した。
● 2	平成28年 8月26日	第394回 審査会合	アスペリティ位置は敷地に近い位置に設定する方針としているものの、断層の端点とアスペリティの間に背景領域を設けている根拠を説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・文献調査結果に基づき、断層の端点とアスペリティの間に背景領域を設けることの妥当性を説明した。 ・その上で、アスペリティ位置の不確かさとして、断層の端点にアスペリティを配置したケースを考慮した。
3	平成28年 8月26日	第394回 審査会合	断層上端にアスペリティを配置することが保守的かどうかを示すこと。	断層上端にアスペリティを配置した場合に等価震源距離が最も小さくなり、保守的であることを説明した。
● 4	平成28年 8月26日	第394回 審査会合	破壊開始点について、アスペリティの下端以外にも、物理的観点に基づけば断層下端からの破壊も考えられることからこの影響検討をすること。	アスペリティ下端、断層下端に設定した7点の破壊開始点のうち、影響の大きい3点を選定した。
5	平成28年 8月26日	第394回 審査会合	検討用地震の震源断層は、最新の強震動予測レシピに基づけばFujii and Matsu'ura(2000)等の適用外であるが、断層モデルを用いた地震動評価ではこれらの知見に基づいてパラメータ設定していることの妥当性を示すこと。	最新の強震動予測レシピに基づいてパラメータ設定を行っても、Fujii and Matsu'ura(2000)等に基づいたパラメータの方が保守的であることを説明した。
6	平成28年 8月26日	第394回 審査会合	要素地震のコーナー周波数を示すこと。	要素地震のコーナー周波数を示した。

●については、次ページで詳細説明

コメントNo.4: 破壊開始点の検討(1/2)

■破壊開始点の設定位置については、下記の方針で検討する。

- ・破壊開始点について、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえアスペリティ下端及び断層下端に設定する。
- ・設定に際しては、破壊が敷地に向かう位置に複数設定する。具体的には各アスペリティ下端(中央及び北)と断層下端(中央及び北)に設定する。また、物理的観点から、ひずみの差が生じる可能性のあるF1断層の断層下端にも設定する。
- ・基本震源モデルを対象に、経験的グリーン関数法により評価を実施し、影響の大きい破壊開始点を代表として選定し今後の地震動評価を行う。



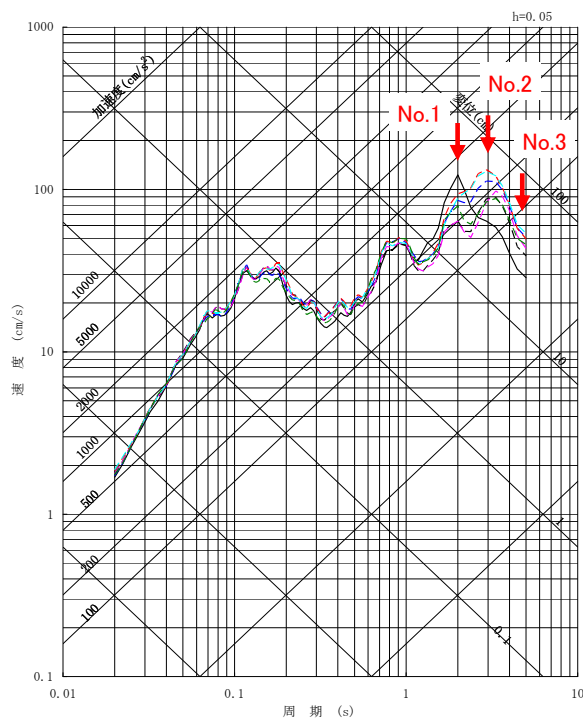
基本震源モデル

3. 主なコメント対応状況

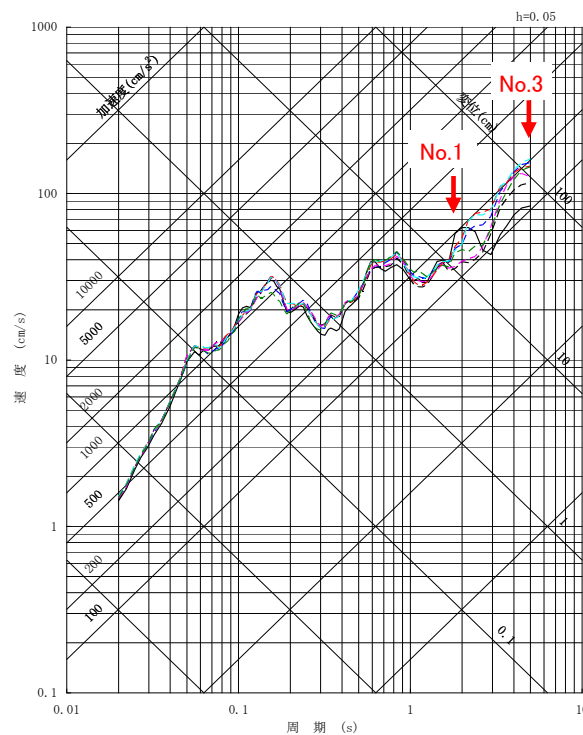
コメントNo.4: 破壊開始点の検討(2/2)

■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

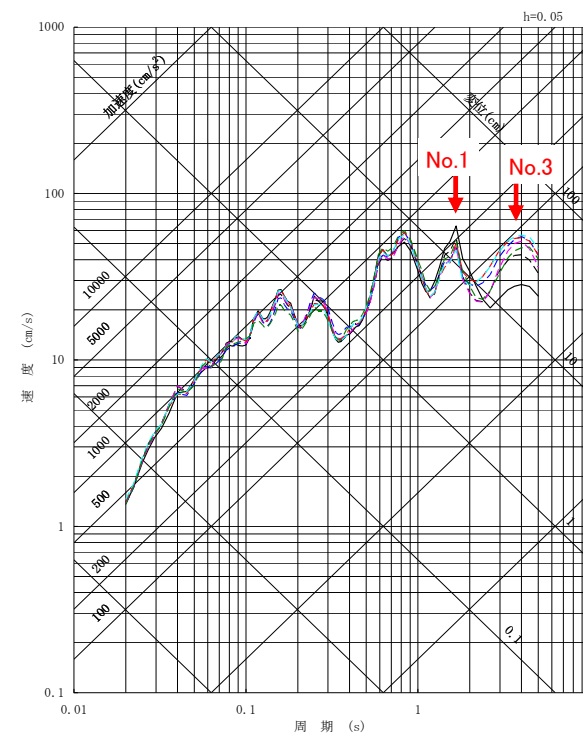
- 破壊開始点A(破壊開始点1)
- - - 破壊開始点B
- - - 破壊開始点C
- - - 破壊開始点D
- - - 破壊開始点E(破壊開始点2)
- - - 破壊開始点F(破壊開始点3)
- - - 破壊開始点G



NS成分



EW成分



UD成分

短周期側においては、各破壊開始点の地震動評価結果は同様の傾向を示している。長周期側においては破壊開始点A, E, Fの影響がやや大きい。断層モデルを用いた手法による地震動評価の破壊開始点は、破壊開始点A, E, F(以降、それぞれ破壊開始点1, 2, 3と表記)で代表させる。

3. 主なコメント対応状況

コメントNo.2: 不確かさの考慮について

■ 主要な断層パラメータについて、認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地での地震動に大きな影響を与えるパラメータを不確かさとして考慮する。


【認識論的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの ⇒ それぞれ独立させて考慮する。

【偶然的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式からは設定が困難なもの ⇒ 重畳させて考慮する。


評価ケース	認識論的不確かさ					偶然的不確かさ
	断層上端 深さ※1	断層下端 深さ※2	断層 傾斜角	短周期レベル	アスペリティ位置	破壊開始点
基本震源モデル	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
短周期レベルの 不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 1.5倍	敷地に近い位置に配置	複数設定
断層傾斜角の 不確かさ	3km	18km	45度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
● アスペリティ位置 の不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 平均	断層端部に配置	複数設定

※1 2011年福島県浜通りの地震の震源域以外では断層上端深さは3kmよりも深いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に3kmに設定した。

※2 2011年福島県浜通りの地震の震源域では断層下端深さは浅いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に18kmに設定した。

 不確かさを考慮して設定するパラメータ

●: コメントNo.2を踏まえ、追加したケース

 基本震源モデルの段階で予め不確かさを考慮して設定するパラメータ

まとめ

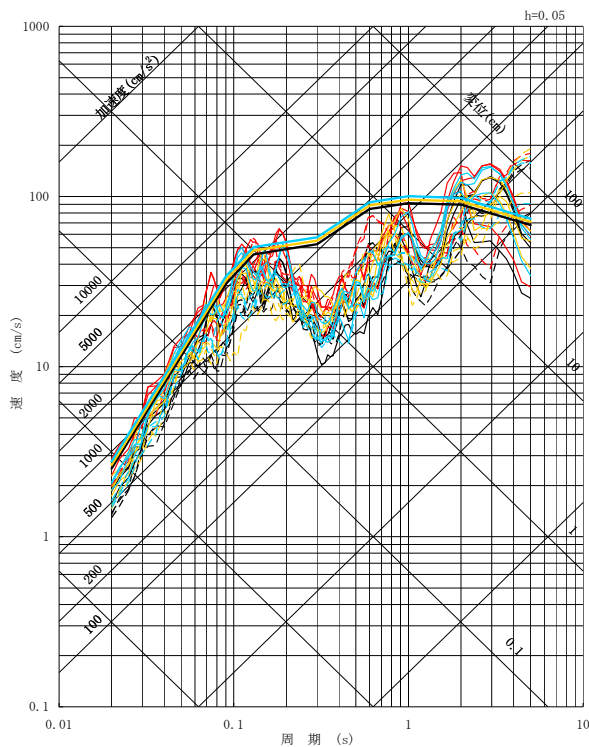
■応答スペクトル手法と断層モデル手法の各評価結果

【応答スペクトル手法】

- 基本震源モデル
- 断層傾斜角の不確かさ
- アスペリティ位置の不確かさ

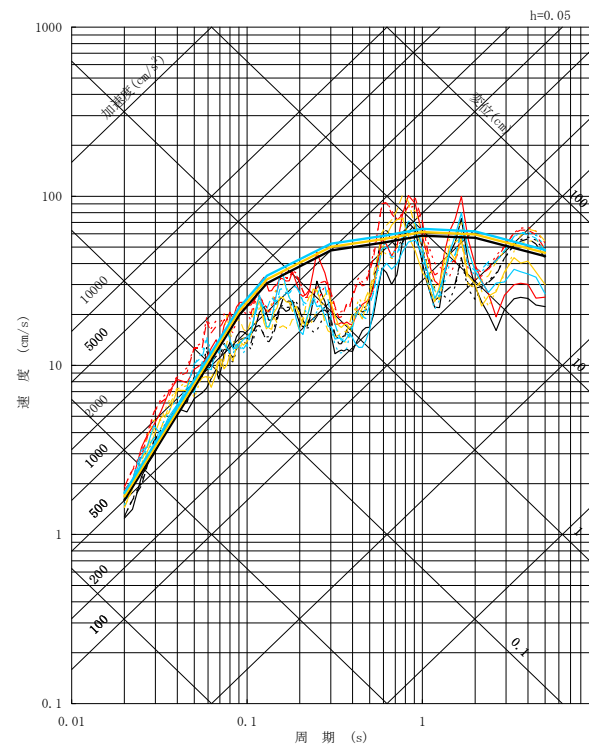
【断層モデル手法】

- 基本震源モデル(破壊開始点1~3)
- 短周期レベルの不確かさ(破壊開始点1~3)
- 断層傾斜角の不確かさ(破壊開始点1~3)
- アスペリティ位置の不確かさ(破壊開始点1~3)



水平成分

実線: NS成分
破線: EW成分



鉛直成分

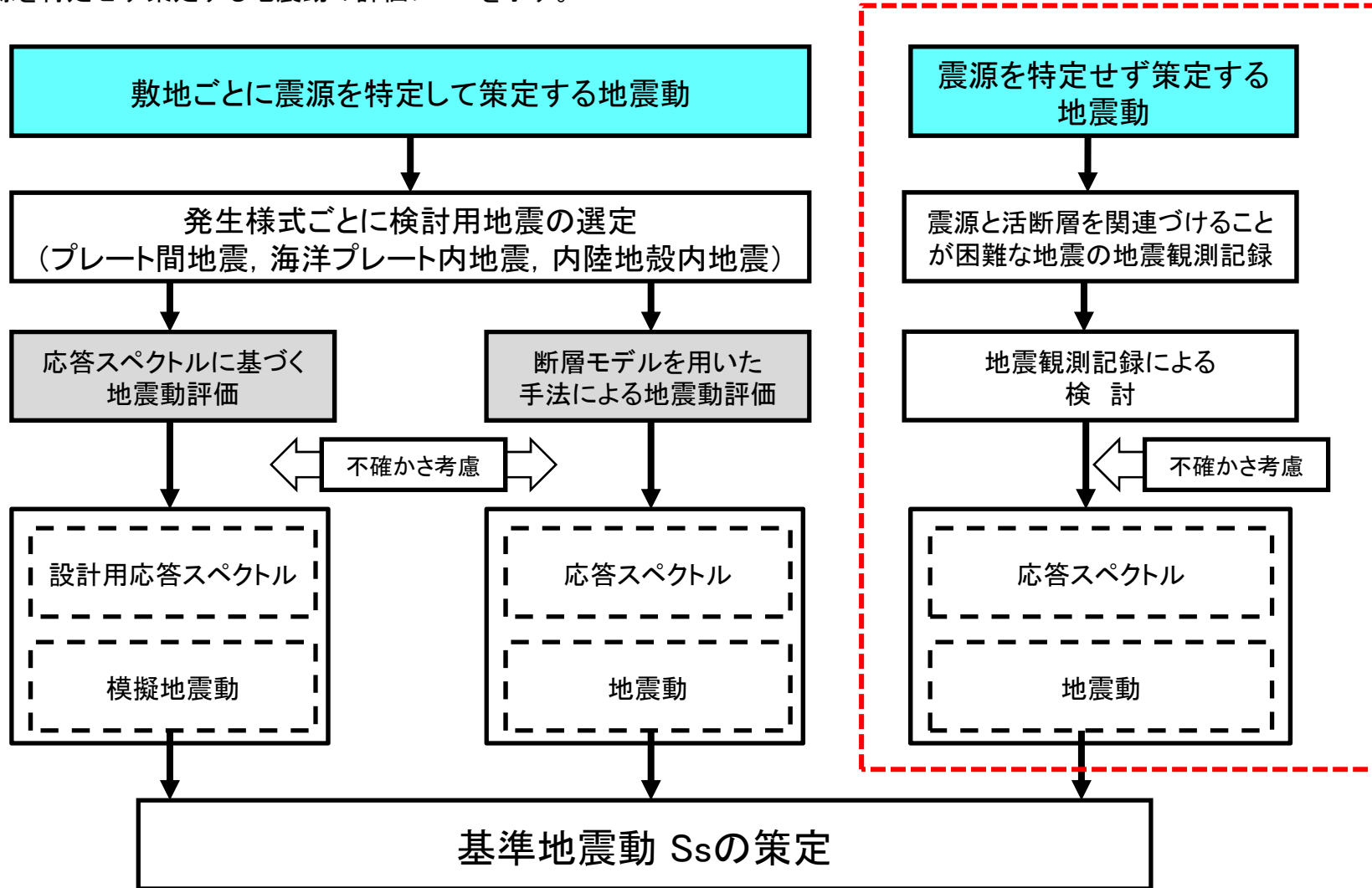
平成28年9月30日第404回審査会合において、
原子力規制委員会から「概ね妥当である」と評価された。

震源を特定せず策定する地震動について

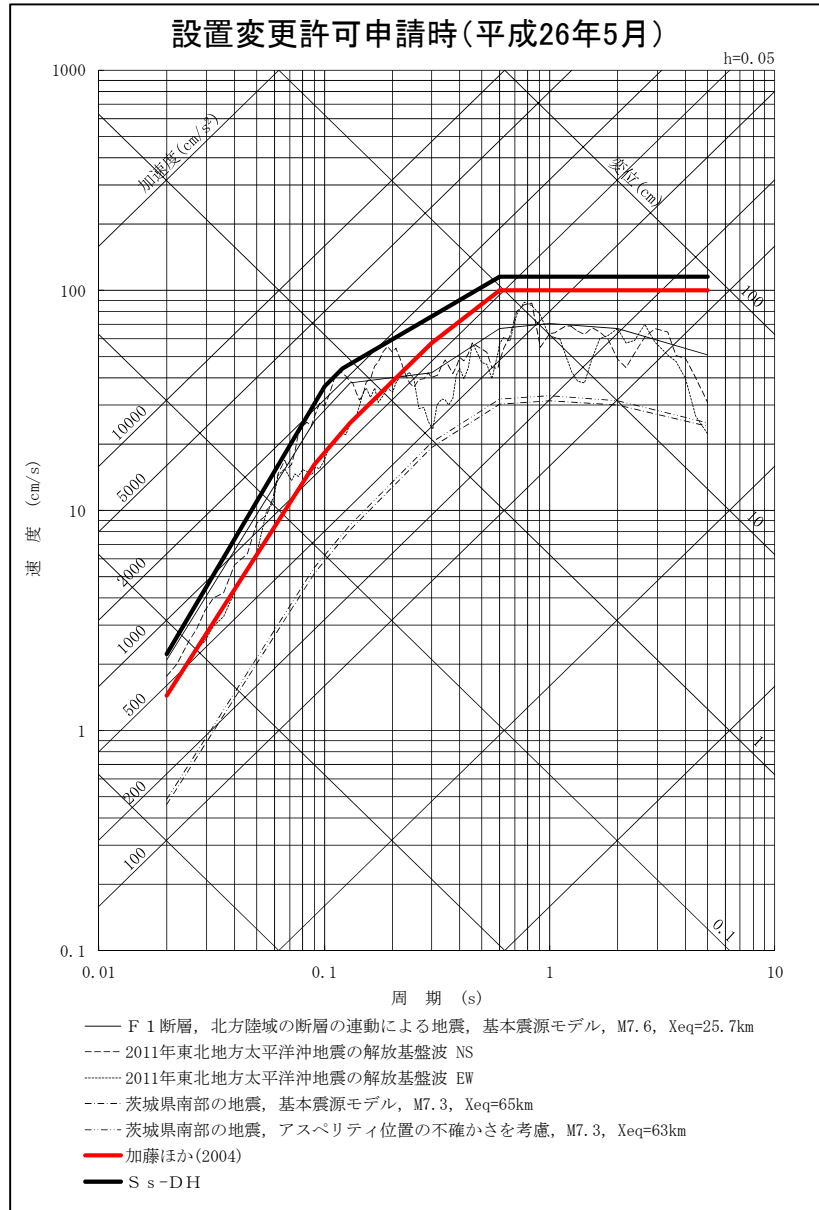
「震源を特定せず策定する地震動」の評価目的

■「震源を特定せず策定する地震動」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、震源と活断層を関連づ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の観測記録を収集し、それらが敷地直下で発生したと仮定して評価を行う。

■震源を特定せず策定する地震動の評価フローを示す。



東海第二発電所における震源を特定せず策定する地震動の経緯



設置変更許可申請時以降の検討 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

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年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

原子力規制委員会(2013)

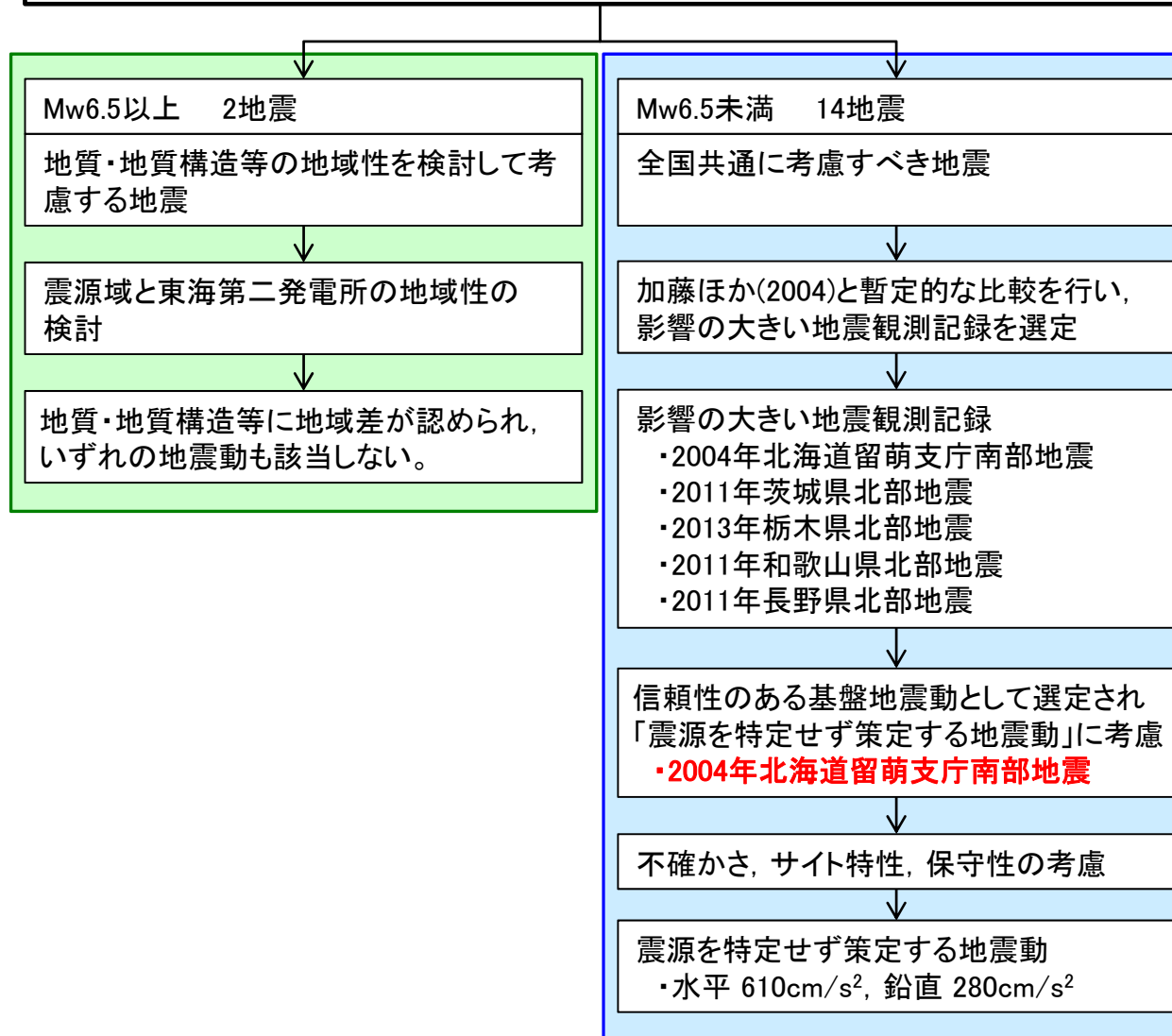
地震動の評価

- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル*
- 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

*: 設置変更許可申請時から変更無し

検討対象地震と検討概要

検討対象地震：審査ガイドに記載の16地震



収集対象となる内陸地殻内の地震の例

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

原子力規制委員会(2013)「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」より抜粋

2008年岩手・宮城内陸地震と東海第二発電所の比較

【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

項目	比較結果	2008年岩手・宮城内陸地震震源域	東海第二発電所
地質	△	・ 震源域近傍には、主に中新統から鮮新統の堆積岩・火山岩等、第四系の火山岩類が分布する。	・ 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	・ 震源域近傍には、中新世以降に形成された褶曲構造が認められる。 ・ カルデラが密集することから、地質構造が複雑である。	・ 敷地近傍に広く分布する鮮新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。 ・ 敷地近傍にカルデラは分布しない。
変動地形等	×	・ 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の検出が難しい地域である。 - 震源域は山間部に位置し、近傍に河成段丘が一部分布するのみであり、指標となる地形が少ない。 - 大規模地すべりを含めた地すべりが密集している。 ・ 田力ほか(2009)によると、柵木立付近には短いながら明瞭な断層変位地形があり、低位段丘礫層堆積期以降に複数回、比較的活発な活動を繰り返していることが明らかとなった。	・ 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が検出しやすい地域である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に変動地形は認められない。
火山	×	・ 火山フロントに近接する。	・ 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	・ 東北日本弧内帯(8C)	・ 東北日本弧外帯(8B)
応力場	×	・ 防災科学技術研究所(2013)において、ひずみ集中帯と指摘されている。 ・ 東西圧縮の逆断層型が卓越	・ ひずみ集中帯と指摘している文献はない。 ・ 敷地周辺の茨城県北部では南西-北東引張の正断層型が卓越

- 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が異なっていることから、当該地震の観測記録は収集対象外とする。

2000年鳥取県西部地震と東海第二発電所の比較

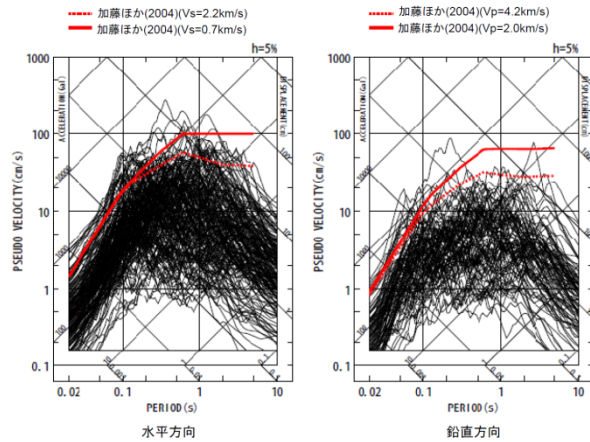
【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

項目	比較結果	2000年鳥取県西部地震震源域	東海第二発電所
地質	×	・ 震源域近傍には、主に白亜系～古第三系の花崗岩及び中新統の安山岩～玄武岩の岩脈が分布する。	・ 敷地近傍には、 <u>中新統の堆積岩</u> 、 <u>鮮新統の堆積岩</u> 、 <u>更新統の段丘堆積物等</u> 、 <u>完新統の沖積層及び砂丘砂層</u> が分布する。
地質構造	×	・ <u>第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり</u> 、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。	・ 敷地近傍に広く分布する <u>鮮新統(久米層)</u> 及びこれを不整合に覆う <u>上部更新統</u> はほぼ水平に分布している。
変動地形等	×	・ 下記の観点より、震源域近傍は <u>変動地形等の検出が難しい地域</u> である。 - 岡田(2002)によると、震源域近傍の活断層の特徴として、 <u>第四紀中期以降に新たな断層面を形成して断層が発達しつつあり</u> 、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。 ・ 震源域に震源断層の方向とほぼ一致する <u>短く断続するリニアメント群</u> が判読されるとともにリニアメント沿いで水平に近い条線をもつ断層露頭が多く確認され、これらの断層は横ずれ断層に伴うフラワー構造を呈して地下では1本の断層に収斂すると推測されている。	・ 下記の観点より、敷地近傍は <u>変動地形等が検出しやすい地域</u> である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に <u>変動地形は認められない</u> 。
火山	×	・ 火山フロントに近接する。	・ 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	・ <u>中国山地・瀬戸内海(10C5)</u>	・ <u>東北日本弧外帯(8B)</u>
応力場	×	・ 西村(2014)において、 <u>ひずみ集中帯と指摘されている</u> 。 ・ <u>東西圧縮の横ずれ断層型が卓越</u>	・ <u>ひずみ集中帯と指摘している文献はない</u> 。 ・ 敷地周辺の茨城県北部では <u>南西-北東引張の正断層型が卓越</u>

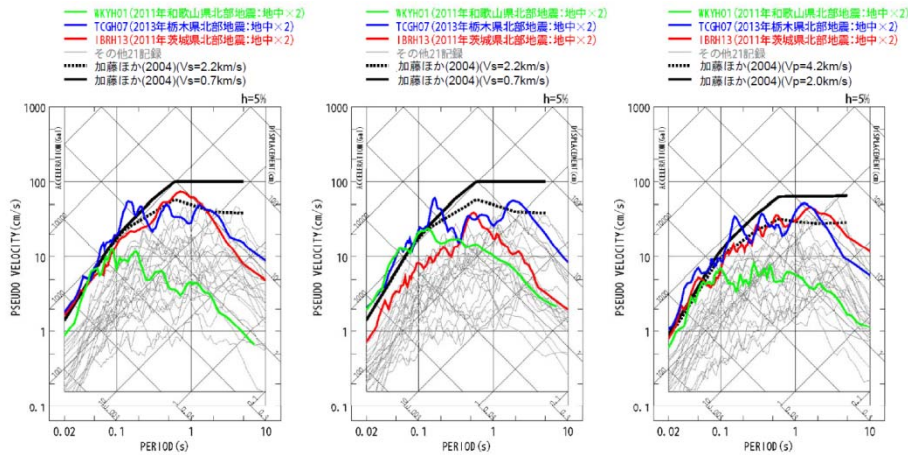
- 2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が異なっていることから、**当該地震の観測記録は収集対象外とする。**

影響の大きい地震観測記録の選定

観測記録の選定例



14地震の観測記録(地表)の応答スペクトル



14地震の観測記録(地中×2)の応答スペクトル

選定結果

●KiK-net観測点における基盤地震動が、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回ると想定される3記録(下表の②～④), 及びK-NET観測点の観測記録で、特に影響の大きいと思われる2記録(下表①, ⑤)を観測した5地震を検討対象地震として選定し、以降で詳細に検討する。

Mw6.5未満の検討対象地震

No.	地震名 (発震日時)	観測点
①	2004年北海道留萌支庁南部地震 Mw5.7(2004/12/14, 14:56)	HKD020 (港町)
②	2011年茨城県北部地震 Mw5.8(2011/3/19, 18:56)	IBRH13 (高萩)
③	2013年栃木県北部地震 Mw5.8(2013/2/25, 16:23)	TCGH07 (栗山西)
④	2011年和歌山県北部地震 Mw5.0(2011/7/5, 19:18)	WKYH01 (広川)
⑤	2011年長野県北部地震 Mw6.2(2011/3/12, 3:59)	NIG023 (津南)

影響の大きい地震の評価

●以下に、Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きいと考えられる5記録について整理した結果を示す。

		2004年 北海道留萌支庁南部地震	2011年 茨城県北部地震	2013年 栃木県北部地震	2011年 和歌山県北部地震	2011年 長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	・佐藤ほか(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・地盤情報が少なく、地盤モデルを構築できない
	既往の知見との整合性	・微動探査による地盤データと整合 ・知見で指摘されている非線形性を考慮	・観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない。 ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰、方位依存性の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・地盤モデルに関する既往の知見がない
	更なる知見収集・検討事項	○	×	×	×	×
はざとり解析	解析手法	・非線形性を考慮した等価線形解析	・線形解析	・線形解析	・線形解析	・地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	・観測記録と整合	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明
	更なる知見収集・検討事項	○	×	×	×	×
	結果の信頼性	○	×	×	×	×

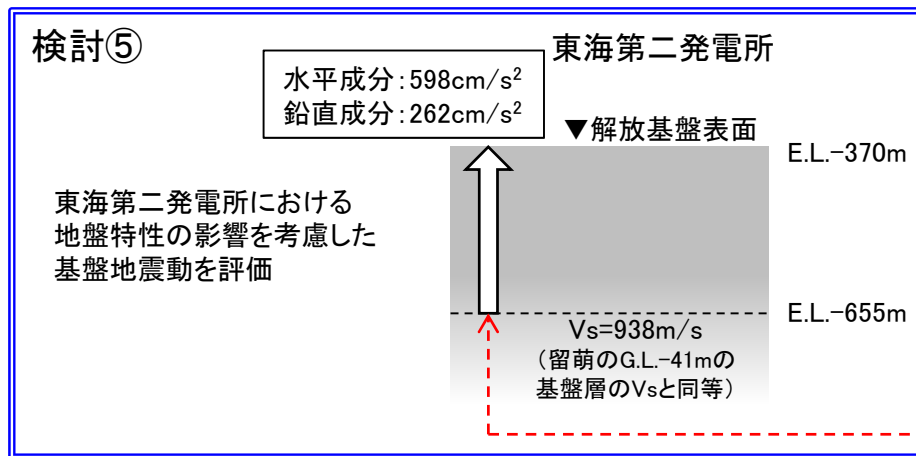


2004年留萌支庁南部地震のHKD020(港町)の観測記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから、震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

2004年北海道留萌支庁南部地震として考慮する地震動の策定

- 2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET HKD020(港町)観測点における基盤地震動はS波速度938m/sの基盤層において評価されているため、東海第二発電所の地盤モデルにより地盤特性の影響を考慮した解放基盤表面における地震動を評価する。

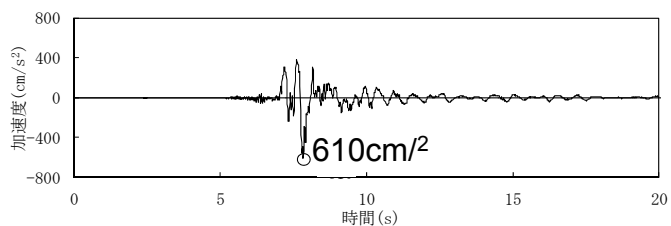
	佐藤ほか(2013)		検討①	検討②	検討③	検討④
	水平成分	鉛直成分	水平成分	水平成分	鉛直成分	鉛直成分
G.L. 0m ~ G.L.-6m	室内試験結果を考慮した等価線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	表層部のPS検層を再実施し、地盤モデルに反映	地下水位の状況を踏まえポアソン比一定とした線形解析
G.L.-6m ~ G.L.-41m	減衰定数を一律1%とした線形解析			減衰定数を一律3%とした線形解析		
最大加速度	585 cm/s ²	—	561 cm/s ²	609 cm/s ²	—	—
	—	296 cm/s ²	—	—	306 cm/s ²	262 cm/s ²



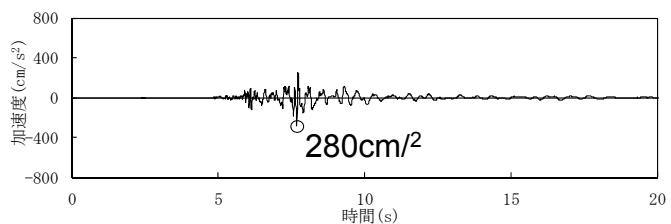
※ 地盤物性の影響を評価するにあたり、はざとり解析の不確かさ等を考慮して、最も大きい最大加速度値の検討結果を考慮することにより、保守的な設定とする。

「震源を特定せず策定する地震動」として考慮する地震動

- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル, 及び, 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果(水平成分: 598cm/s^2 鉛直成分: 262cm/s^2)に保守性を考慮した, 水平成分 610cm/s^2 , 鉛直成分 280cm/s^2 の地震動を, 震源を特定せず策定する地震動として考慮する。



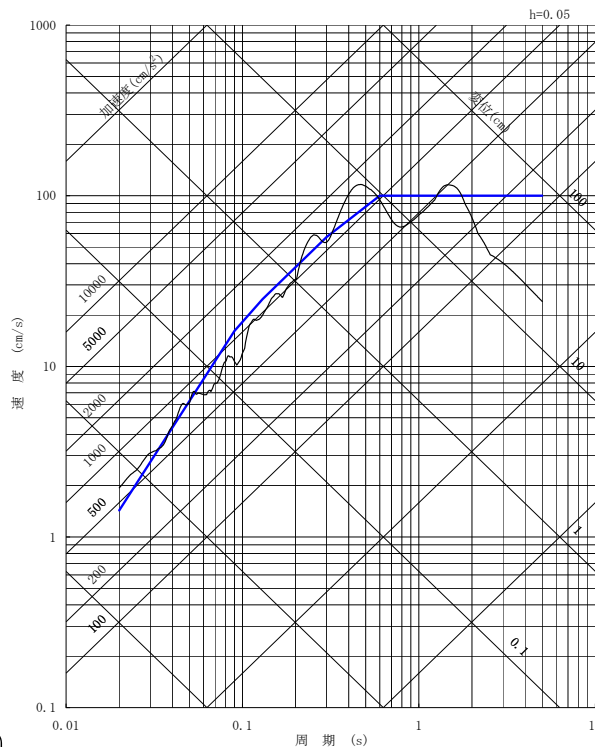
水平成分



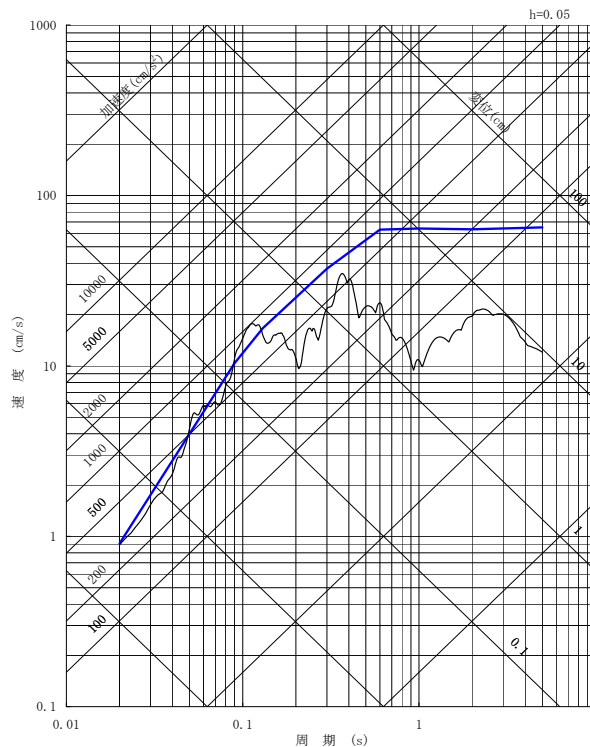
鉛直成分

加速度時刻歴波形

〔2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動〕



水平成分



鉛直成分

擬似速度応答スペクトル

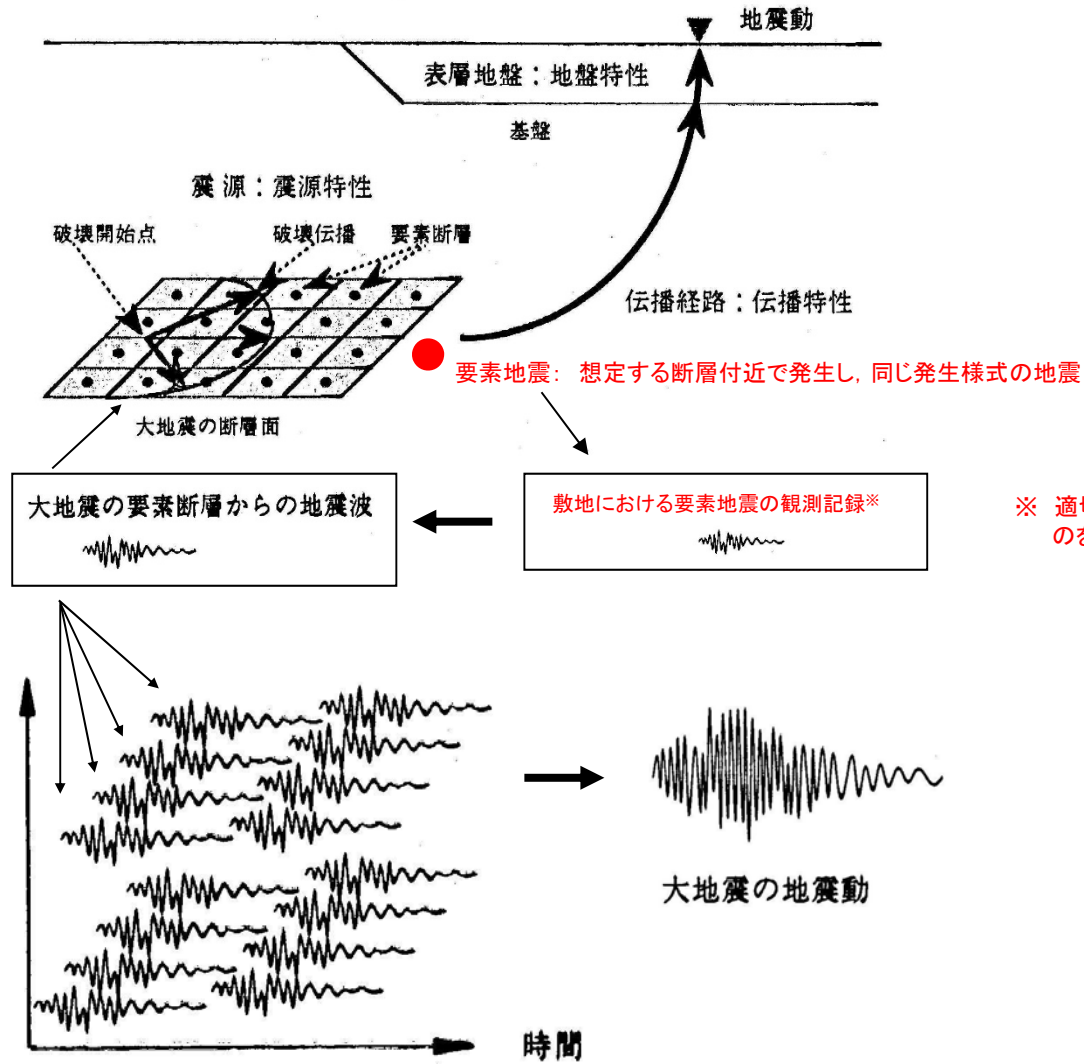
平成28年10月14日第409回審査会合において, 原子力規制委員会から「概ね妥当である」と評価された。

参考

断層モデル手法に用いる要素地震(P78～84)

地震動評価結果の整理(P85～89)

断層モデル手法(経験的グリーン関数法)に用いる要素地震



要素地震の選定フロー(プレート間地震)

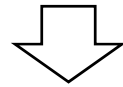
■要素地震は下記のフローで選定する。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



宮城県沖、茨城県沖のSMGA付近から選定する。

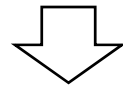


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5~M6程度を目安とする。

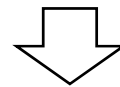


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



低角逆断層(プレート間地震)を選定する。



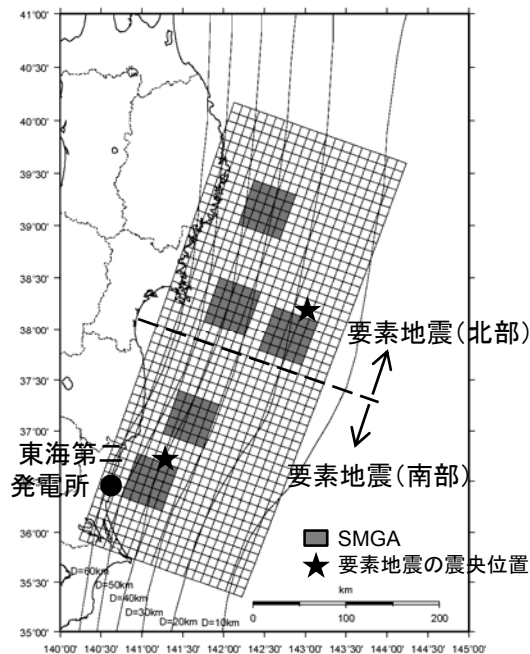
2011年3月10日の地震(M6.8), 2009年2月1日の地震(M5.8)を用いることとする。

各種文献で示された要素地震の震源パラメータについて、東海第二発電所及び敷地周辺の観測記録により妥当性を確認する。

要素地震の選定結果(プレート間地震)

■要素地震の選定方法

- ・要素地震の選定においては、設定した断層モデルと同じ震源メカニズムを有する地震とした。
- ・震源断層が広域になることから、北部の領域と南部の領域からそれぞれ要素地震を選定した。
- ・断層面の北半分については要素地震(北部)を、断層面の南半分については要素地震(南部)をそれぞれ用いた。



要素地震の震央位置

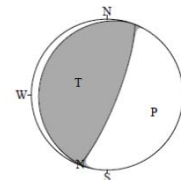
要素地震(北部)

発生日 2011年3月10日

地震規模※1 M6.8

震源深さ※1 9.3km

地震モーメント※2 $5.51E+18(N \cdot m)$



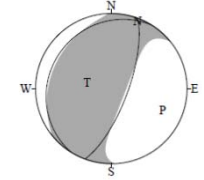
要素地震(南部)

発生日 2009年2月1日

地震規模※1 M5.8

震源深さ※1 47.0km

地震モーメント※2 $4.65E+17(N \cdot m)$



要素地震のメカニズム解(下半球)

※1 気象庁による。

※2 F-netによる。

要素地震の選定フロー(海洋プレート内地震)

■要素地震の選定のフロー

1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



茨城県南部の深さ約40km~80kmで発生した地震の中から選定する。

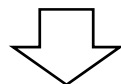


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5程度を目安とする。

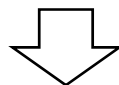


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震を選定することが望ましいが、その地震がない場合は放射特性係数を補正して用いる。

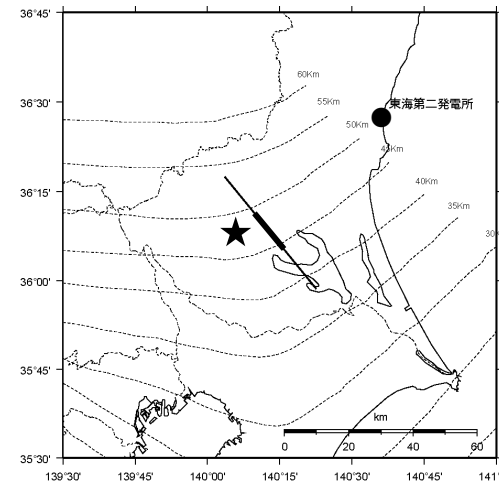


2014年11月12日の地震(M4.8)を用いることとする。

要素地震の選定結果(海洋プレート内地震)

■要素地震の選定結果

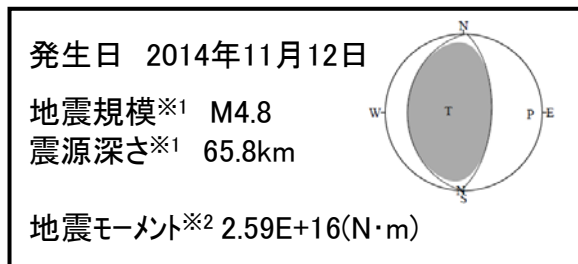
基本震源モデル及び不確かさを考慮した各モデルの断層面と地震波の到来方向がほぼ等しく、伝播特性とサイト特性が共通であると考えられる2014年11月12日の地震(M4.8)を要素地震として選定する。なお、この要素地震は、想定する断層面と震源メカニズムが異なるため、合成に際しては放射特性係数の補正の必要性について検討したうえで使用する。



★ 要素地震の震央位置
 厚線 アスペリティ

基本震源モデルの断層面と要素地震の震央位置との関係

震源メカニズムの比較



要素地震のメカニズム解(下半球)

※1 気象庁による。
 ※2 F-netによる。

地震	メカニズム解			放射特性係数	
	走向(度)	傾斜(度)	すべり(度)	F_{SV}	F_{SH}
要素地震(2014.11.12, M4.8)	4	64	88	0.54	0.20
茨城県南部の地震(Mw7.3)	140.7	90	0	メッシュごとの方位角, 射出角を用いて算定 (参考) -0.10^{*3} (参考) -0.66^{*3}	

※3 アスペリティの中心位置(方位角約45度, 射出角約137度)で算定した場合

要素地震の選定フロー(内陸地殻内地震)

■要素地震の選定のフロー

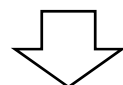
1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



東北地方太平洋沖地震の発生後福島県から茨城県にかけて発生している内陸地殻内地震の中から選定する。

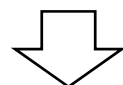


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5程度を目安とする。

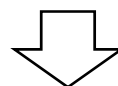


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



想定地震と同様の震源メカニズムを有する正断層のメカニズムの地震を選定する。

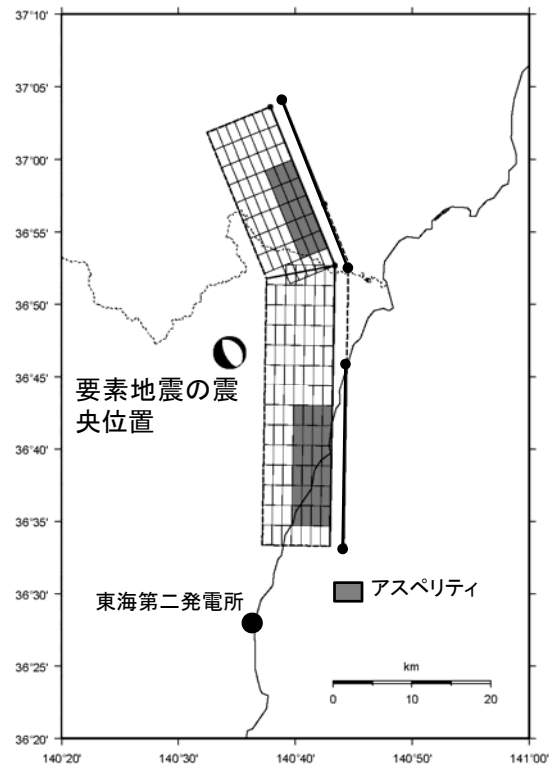


2011年4月14日の地震(M5.1)を用いることとする。

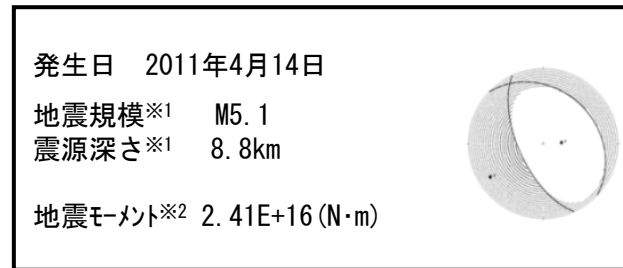
要素地震の選定結果(内陸地殻内地震)

■要素地震の選定結果

設定した断層モデル近辺で発生した同じ断層タイプ(正断層)の地震で、規模がM5程度である2011年4月14日の地震(M5.1)を選定する。



要素地震の震央位置



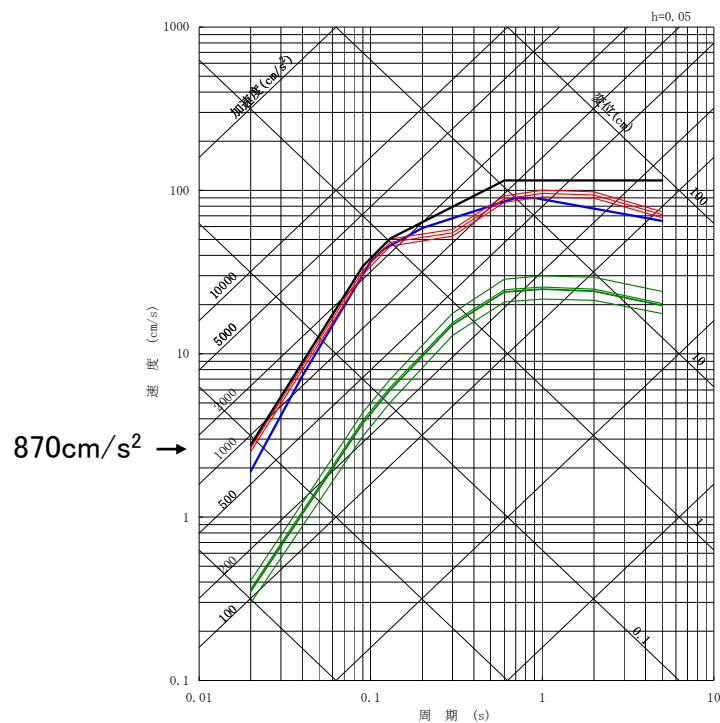
要素地震のメカニズム解(下半球)

※1 気象庁による。
※2 F-netによる。

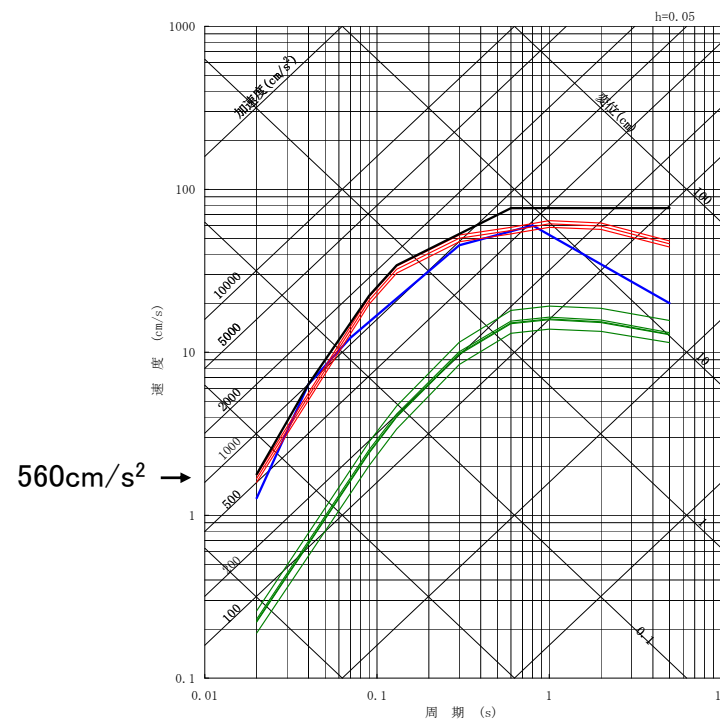
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトル手法

■ 応答スペクトル手法による地震動評価結果をすべて包絡するよう基準地震動S_s-D1のコントロールポイントを設定する。

- 基準地震動S_s-D1
- プレート間地震による評価
- 海洋プレート内地震による評価
- 内陸地殻内地震による評価



水平成分



鉛直成分

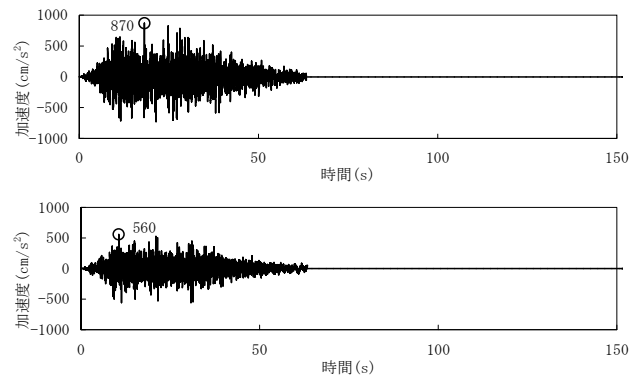
応答スペクトル		コントロールポイント				
		A	B	C	D	E
S _s -D1H	周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00

応答スペクトル		コントロールポイント					
		A	B	C	D	E	F
S _s -D1V	周期(s)	0.02	0.04	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	1.78	6.37	22.20	34.14	76.67	76.67

模擬地震波の変更

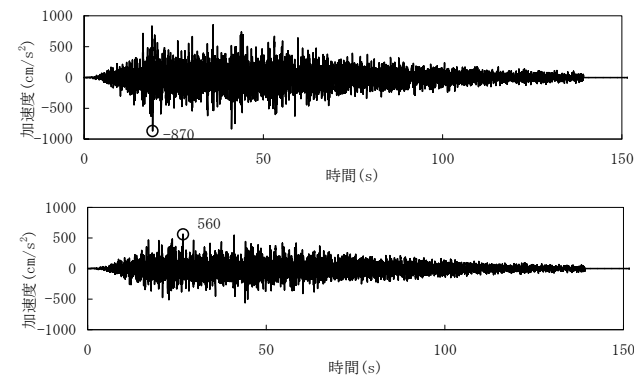
○ 設置変更許可申請時の模擬地震波

- ・応答スペクトルで支配的な内陸地殻内地震の諸元(M7.8, Xeq=28km)より継続時間を63.38秒と設定



○ 審査会合の指摘を反映した模擬地震波

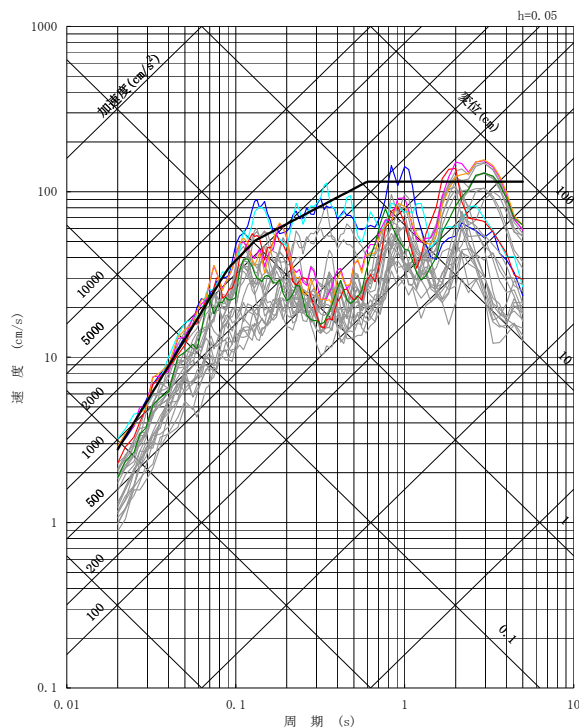
- ・2011年東北地方太平洋沖地震はMw9.0であるものの、地震動レベルからはM8.3程度との知見よりM8.3, Xeqは2011年東北地方太平洋沖地震の断層面より135.8kmとして、継続時間を139.28秒と設定



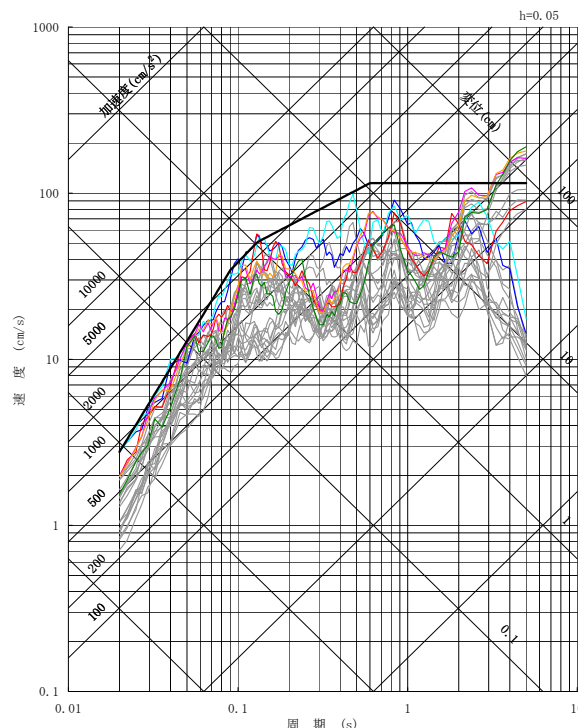
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法(2/2)

■各地震発生様式における断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回るケースを示す。

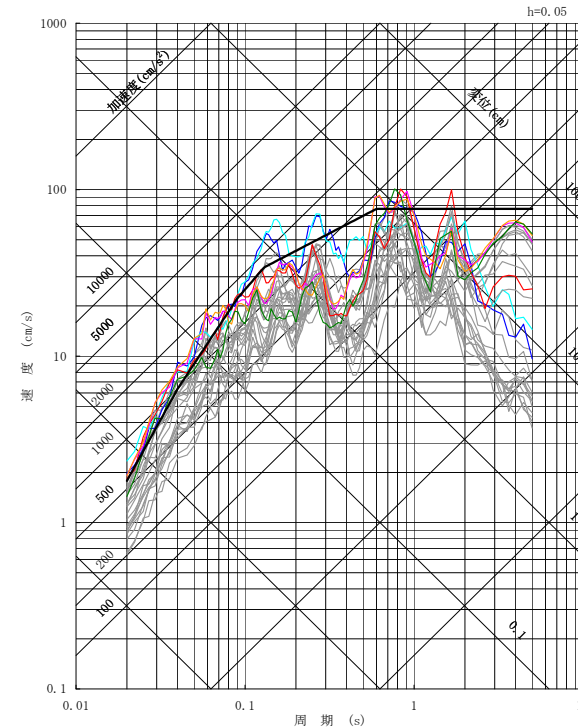
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- 断層モデル手法の各評価結果



NS成分



EW成分



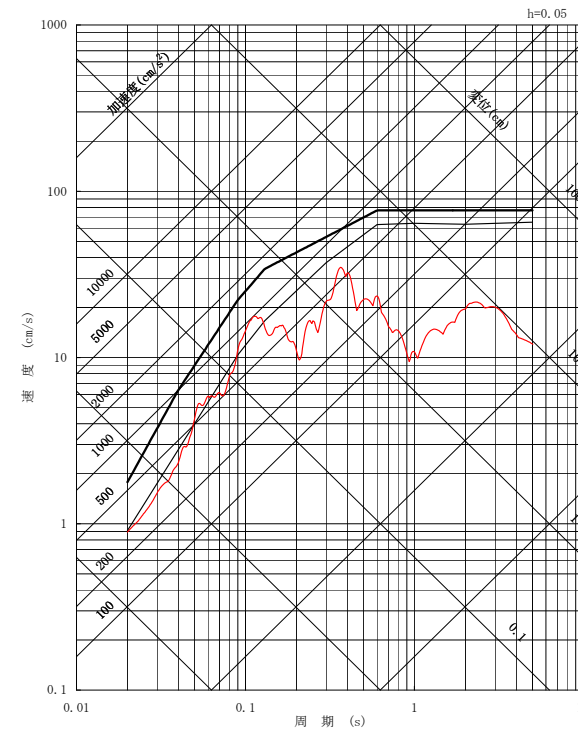
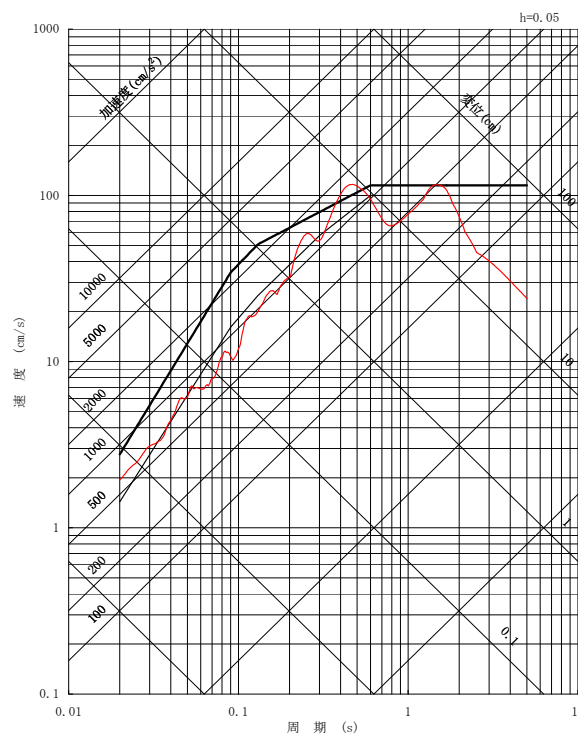
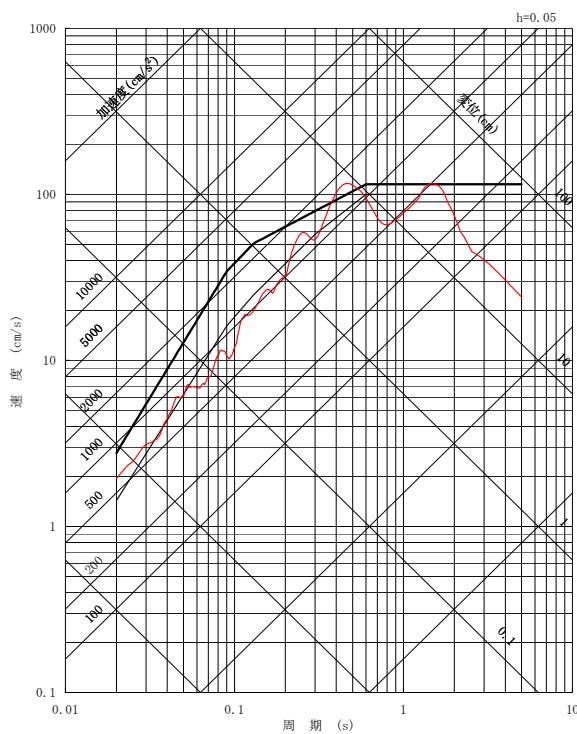
UD成分

各地震発生様式の断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回る6ケースを断層モデル手法による基準地震動に選定し、それぞれSs-11, Ss-12, Ss-13, Ss-14, Ss-21, Ss-22とする。

震源を特定せず策定する地震動

■ 震源を特定せず策定する地震動と基準地震動S_s-D1を比較する。

- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル



2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動は、一部周期帯で基準地震動S_s-D1を上回るため、基準地震動に選定する。