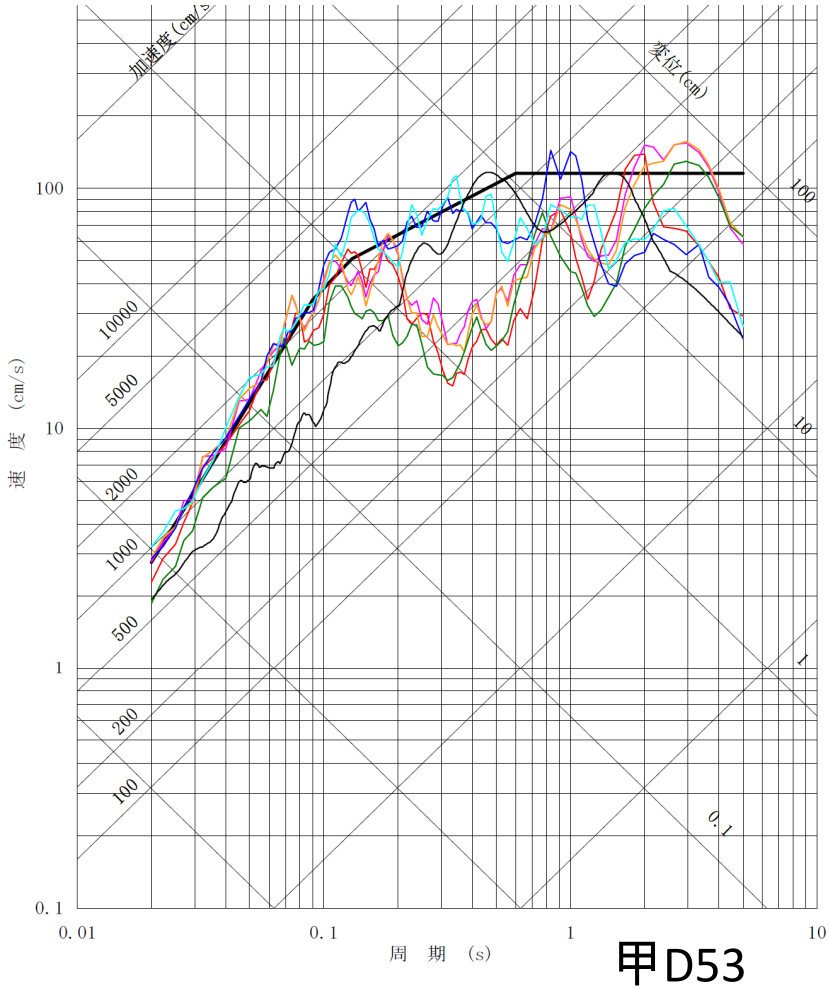
東海第2原発の耐震設計の問題点

弁護士　只野　靖

・870ガルの地震動と1009ガルの地震動では、建物・機器・配管に対する影響は、1009ガルの地震動の方が大きいのか？

・応答スペクトルで、ギザギザの線と、直線で構成された線があるのはなぜか？



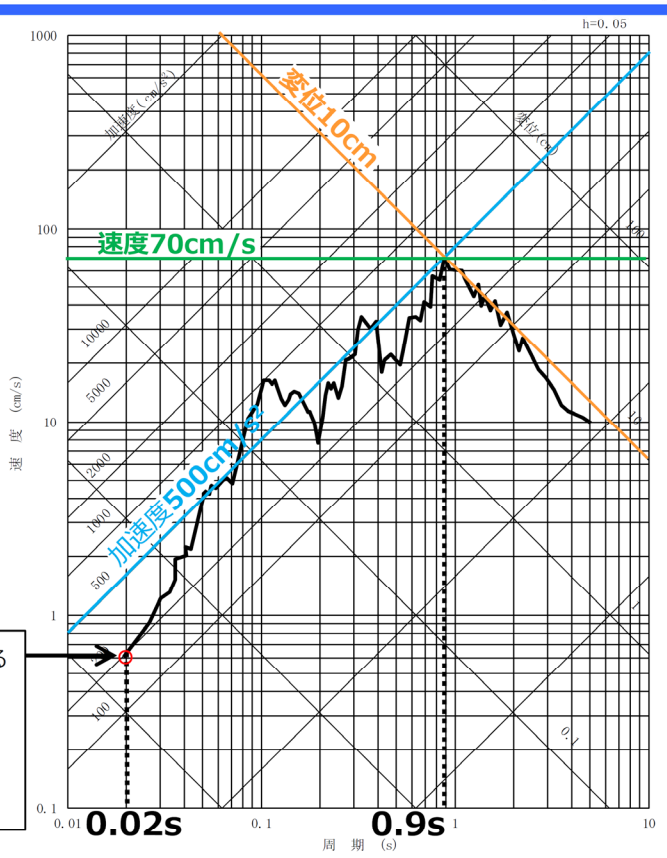
甲D53

【解説】応答スペクトル（トリパタイト）のグラフの見方

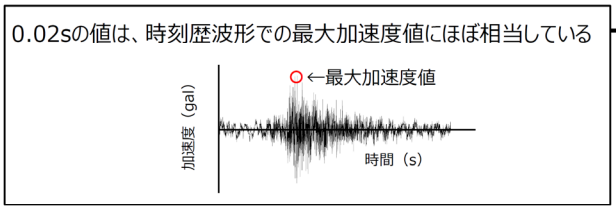
○トリパタイトとは、正弦波sin(ωt)を微分すると円振動数(1/ω)倍になる関係を利用して、変位・速度・加速度の関係を一つのグラフに示したもの。

変位 (cm) ⇔ 速度 (cm/s) ⇔ 加速度 (cm/s²) (gal)

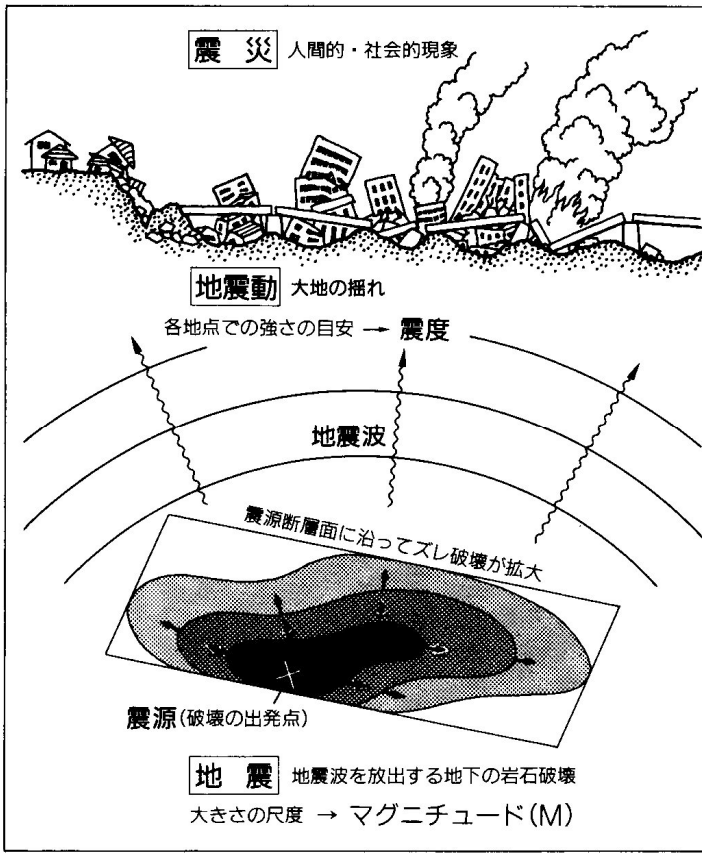
微分　微分



日本原電説明会資料



・地震動
各地点での大地の揺れ
変位（センチ）
速度（カイン）
加速度（ガル）
・地震
地下の岩石破壊
気象庁マグニチュード（Mj）
モーメントマグニチュード（Mw）
地震モーメント（Mo）
応力降下量（Mpa）
ディレクティビティ



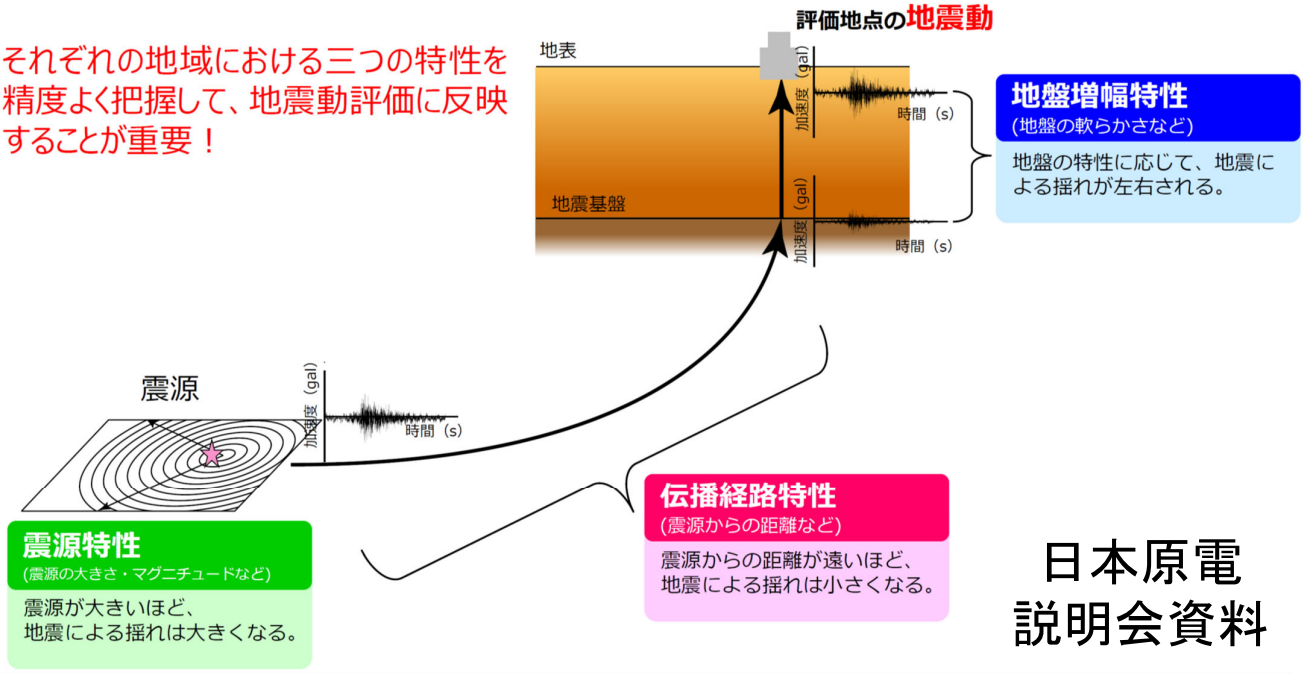
石橋克彦(1997)

２－２　地震の揺れを決める三つの特性と地域性

○「地震」が生じると、震源断層面からエネルギー（地震波）が放出される。そして、地震波がある地点に到達すると地盤に揺れが生ずる。この揺れが「地震動」である。

○地震動には、**三つの特性**があり、それぞれに**地域性**がある。

それぞれの地域における三つの特性を精度よく把握して、地震動評価に反映することが重要！



地盤増幅特性
(地盤の軟らかさなど)
地盤の特性に応じて、地震による揺れが左右される。

震源特性
(震源の大きさ・マグニチュードなど)
震源が大きいほど、地震による揺れは大きくなる。

伝播経路特性
(震源からの距離など)
震源からの距離が遠いほど、地震による揺れは小さくなる。

日本原電
説明会資料

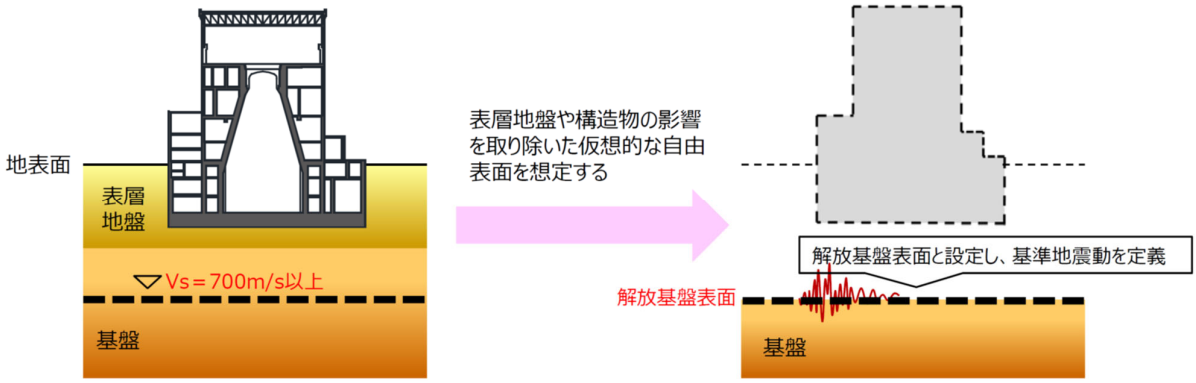
【解説】解放基盤表面　　日本原電説明会資料

質問事項
第２－１

○基準地震動は、解放基盤表面の位置において策定される。
⇒解放基盤表面は、基準地震動を策定するにあたって、基盤面上の表層地盤や構造物がないものとして仮想的に設定する自由表面であり、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりをもって想定される基盤の表面をいう。ここでいう「基盤」とは、Vs（Ｓ波が地盤中を伝わる速度）＝700m/s以上の硬質地盤であって著しい風化をうけていないものとする。（設置許可基準規則の解釈別記２の５一）

○敷地の地表面の地震動は、各地点の表層地盤や地形及び構造物の影響を受ける。これらの影響を取り除いた仮想的な自由表面である解放基盤表面で地震動を策定してから、構造物などの耐震性を評価するという手法を採用したもの。

○なお、地震調査研究推進本部によるレシピでは、「工学的基盤」までの強震動を計算してから、地表における強震動を計算する方法が提案されている。ここでいう「工学的基盤」については、「建築や土木等の工学分野での構造物設計の際には、地震動設定の基礎とする堅固な地盤。構造物の種類や地盤の状況によって目安とするS波速度は異なるが、多くの場合300～700m/sとされている。（丙D第18号証22頁）

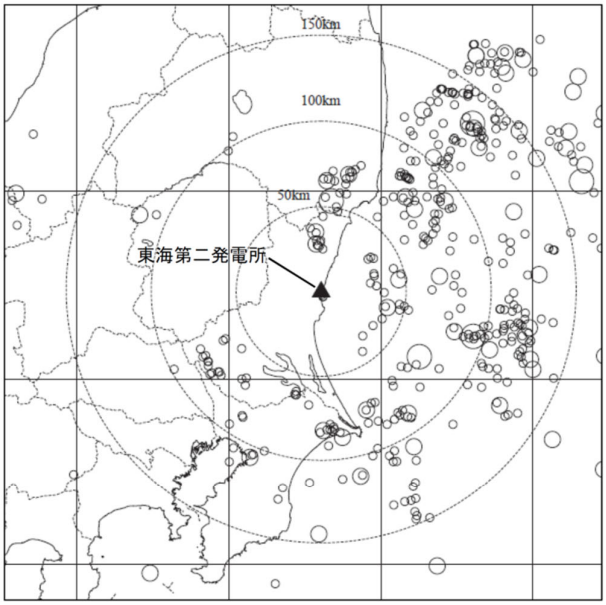


敷地における地震観測

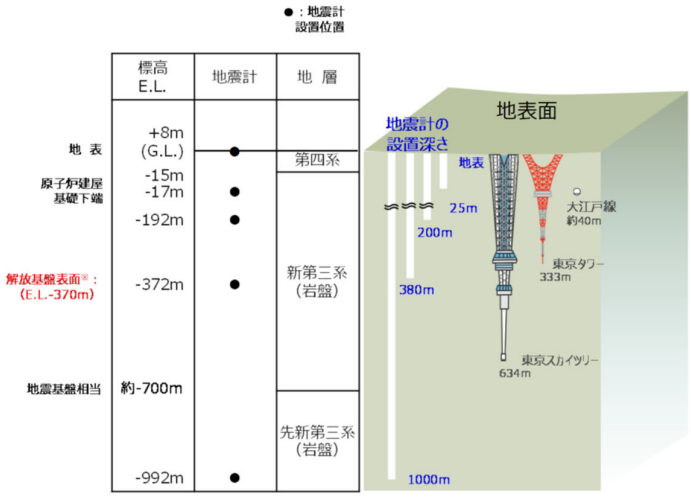
伝播経路特性（震源からの距離など）　地盤増幅特性（地盤の軟らかさなど）

○地下約1000mの大深度まで複数の深さで地震観測を実施している。
○M5以上の地震として、400地震以上の多数の観測記録を取得している。

日本原電説明会資料



震央分布図



地震観測点位置（深さ方向）

※解放基盤表面：基準地震動を策定するために、基盤面上の表層や構造物がないものとして仮想的に想定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される基盤の表面をいう。

地盤モデルの設定

甲D53　第291回審査会合資料1再掲

①解放基盤表面以浅の地盤モデルは，地盤同定解析結果を基に設定した。

②解放基盤表面以深の地盤モデルは，1000mボーリングの調査結果を基に設定した。

③なお，解放基盤表面以深の最上層のS波速度，P波速度及び密度については，地盤モデルにおける物性値の連続性を考慮し，解放基盤表面以浅の地盤モデルにおける最下層の数値とした。

④減衰定数については，解放基盤表面から地震基盤までは信岡ほか(2012)，地震基盤以深については佐藤ほか(1994)に基づき設定した。

設定した地盤モデル

※ E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
① 8.0						
	2.5	130	280	1.71		
5.5						
	4.5	151	403			
1.0						
	8.0	308	1589	1.66	$0.236f^{-0.752}$	$0.203f^{-0.21}$
−7.0						
	8.0	478	1509	1.82		
−15.0						
	91.0	477	1753	1.69		
−106.0						
	62.0	557	1742	1.74		
−168.0						
	92.0	669	2067	1.78	$0.072f^{-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$
−260.0						
	108.0	756	2256	1.82		
−368.0						
	2.0	790	2000	1.85		
−370.0 ▽解放基盤表面(E.L.-370m)						
②	107.0	③ 790	2000	1.85	④ 0.02	0.01
−477.0						
	200.0	840	2110	1.96		
−677.0 ▽地震基盤(E.L.-677m)						
	60.0	2750	4740	2.63		
−737.0						
	265.0	3220	5550	2.70	$Q=110f^{0.69}$	
−1002.0						
	−	3220	5550	2.70		

※ G.L. = E.L.8.0m

検討概要（1／2）

甲D53

第414回審査会合 資料2再掲

■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

【検討用地震の選定】

2011年東北地方太平洋沖型地震（Mw9.0）

【基本震源モデルの設定】

強震動予測レシピに基づく震源モデル（Mw9.0）

主な特徴

・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，2011年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。

【不確かさの考慮】

・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

海洋プレート内地震

【検討用地震の選定】

中央防災会議　茨城県南部の地震（Mw7.3）

【基本震源モデルの設定】

中央防災会議（2013）等の各種知見に基づく震源モデル（Mw7.3）

主な特徴

・想定の基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。

【不確かさの考慮】

・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）

内陸地殻内地震

【検討用地震の選定】

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）

【基本震源モデルの設定】

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）

主な特徴

・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。

【不確かさの考慮】

・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

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

審査ガイド例示16地震

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

↓

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

次頁へ

検討概要（2／2）

甲D53

第414回審査会合 資料2再掲

■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

【応答スペクトル手法】

敷地における2011年東北地方太平洋沖地震の解放基盤波を包絡し，断層モデル手法の評価結果を補完した応答スペクトルを設定

【断層モデル手法】

経験的グリーン関数法による評価

海洋プレート内地震

【応答スペクトル手法】

Noda et al.(2002)による手法に補正係数を考慮

【断層モデル手法】

経験的グリーン関数法による評価

内陸地殻内地震

【応答スペクトル手法】

Noda et al.(2002)による手法に補正係数を考慮

【断層モデル手法】

経験的グリーン関数法による評価

応答スペクトル手法による基準地震動

・応答スペクトル手法によるプレート間地震，海洋プレート内地震，内陸地殻内地震の地震動評価結果をすべて包絡するようSs－D1を策定
・模擬地震波の作成においてはプレート間地震である2011年東北地方太平洋沖型地震を考慮した振幅包絡線を作成し，継続時間をより長く設定

断層モデル手法による基準地震動

断層モデル手法によるプレート間地震，海洋プレート内地震，内陸地殻内地震の地震動評価結果のうち，一部周期帯で基準地震動Ss－D1を上回るケースを選定

■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

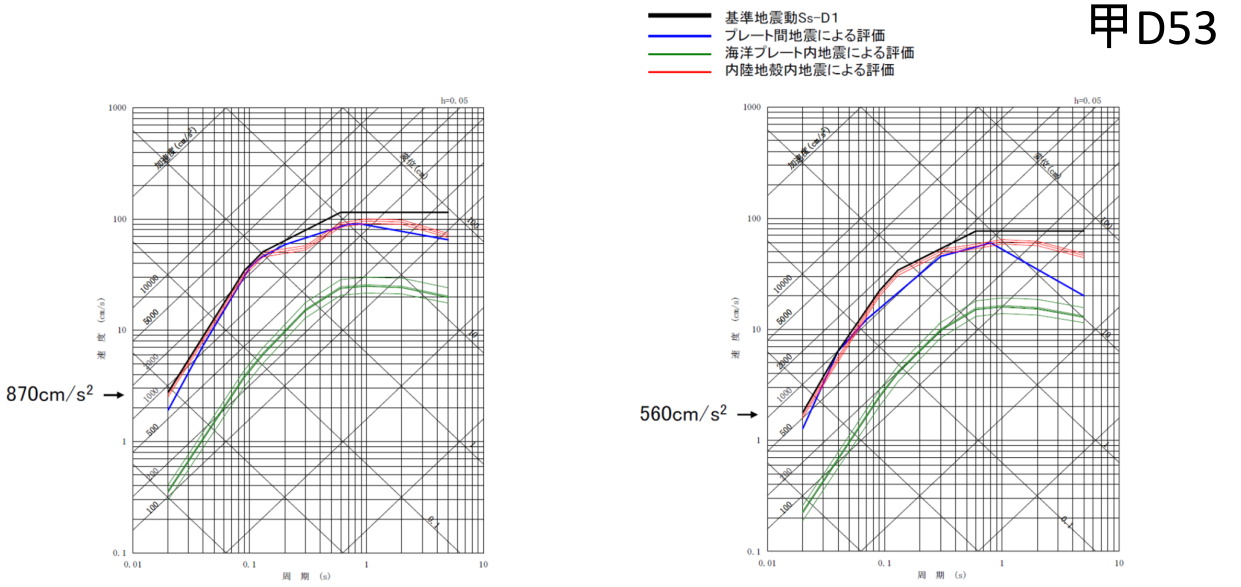
Ss－D1　応答スペクトル手法による基準地震動
Ss－11　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（M7.8）（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）
Ss－12　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（M7.8）（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）
Ss－13　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（M7.8）（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3）
Ss－14　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（M7.8）（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）
Ss－21　2011年東北地方太平洋沖型地震（Mw9.0）（短周期レベルの不確かさ）
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

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（1／2）

第410回審査会合
資料1再掲

■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Ss－D1のコントロールポイントを設定する。

甲D53



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
Ss-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

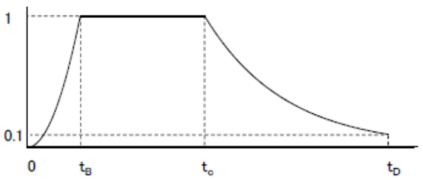
応答スペクトル		コントロールポイント					
		A	B	C	D	E	F
Ss-D1V	周期（s）	0.02	0.04	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度（cm/s）	1.78	6.37	22.20	34.14	76.67	76.67

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（2／2）

第414回審査会合
資料2再掲

■基準地震動Ss－D1H及びSs－D1Vの応答スペクトルに適合する模擬地震波は，乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するものとし，振幅包絡線の経時的変化については，Noda et al.(2002)の方法に基づき，下記に示す形状とする。

模擬地震波	最大加速度（cm/s²）	継続時間（s）	振幅包絡線の経時的変化（s）		
			t_B	t_C	t_D
Ss－D1H	870	139.28	16.60	47.50	139.28
Ss－D1V	560	139.28	16.60	47.50	139.28



地震規模M，等価震源距離Xeqについては，基準地震動Ss－D1に対して支配的な震源となるプレート間地震及び内陸地殻内地震のうち，より継続時間が長くなるよう，プレート間地震の条件を考慮してM8.3，Xeq=135.8kmとする（詳細は次頁で説明）。

$$t_B = 10^{0.5M-2.93}$$
$$t_C - t_B = 10^{0.3M-1.0}$$
$$t_D - t_C = 10^{0.17M+0.54\log Xeq-0.6}$$
$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \le t \le t_B \\ 1 & t_B \le t \le t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t-t_C)/(t_D-t_C)] & t_C \le t \le t_D \end{cases}$$

模擬地震波の加速度時刻歴波形

甲D53

模擬地震波の速度時刻歴波形

Ss－D1H（水平成分）　　Ss－D1V（鉛直成分）

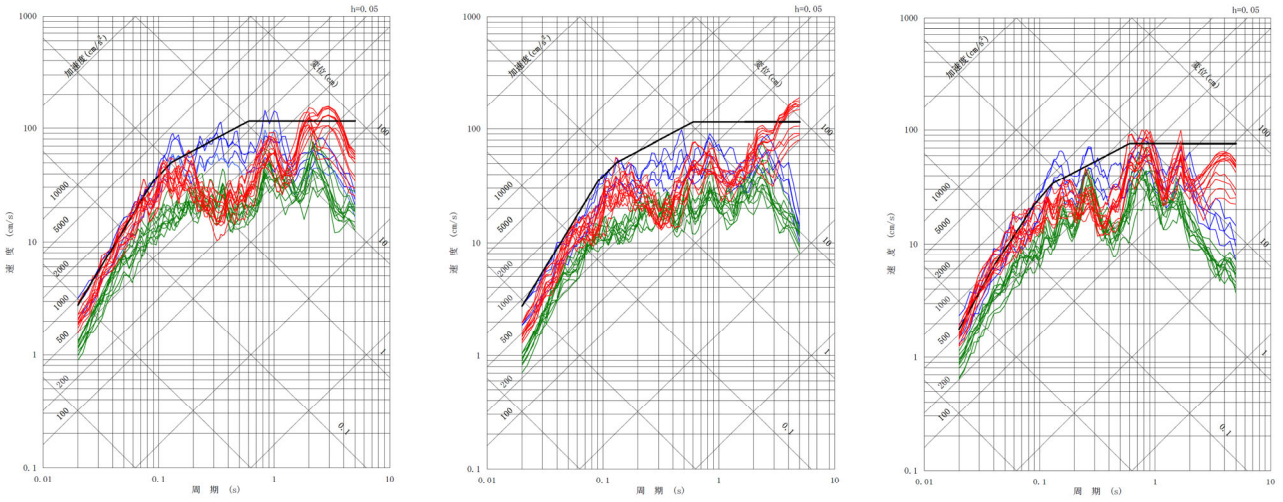
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動　断層モデル手法（1／2）

第410回審査会合
資料1再掲

■各地震発生様式における断層モデル手法の地震動評価結果（全ケース）と基準地震動Ss－D1を比較する。

甲D53

基準地震動Ss－D1
プレート間地震の評価結果
海洋プレート内地震の評価結果
内陸地殻内地震の評価結果



NS成分　　EW成分　　UD成分

断層モデル手法による各地震動評価結果のうち，プレート間地震及び内陸地殻内地震の評価結果が基準地震動Ss－D1を一部の周期帯で上回る。なお，海洋プレート内地震の地震動評価結果は，基準地震動Ss－D1に包絡されている。

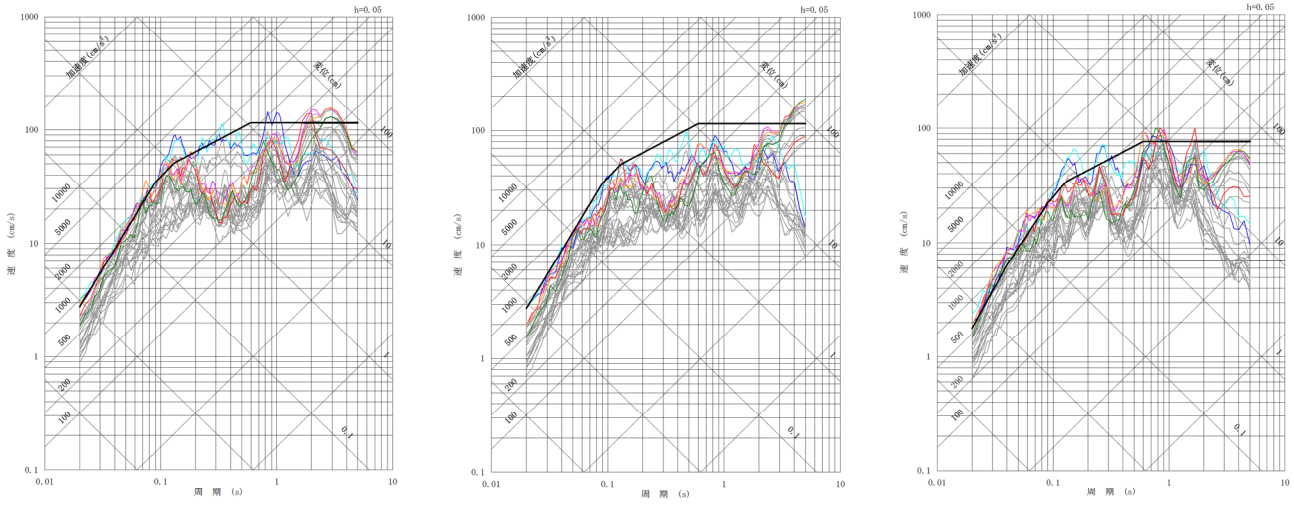
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動　断層モデル手法（2／2）

第414回審査会合
資料2再掲

■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。

甲D53

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。

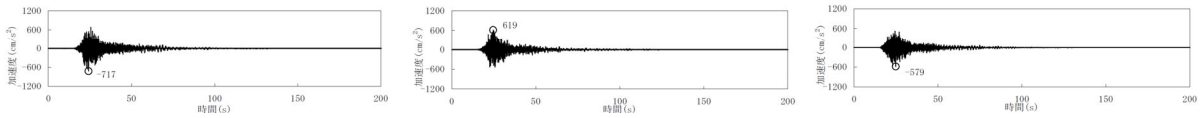
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動　基準地震動Ss（1／2）

第410回審査会合
資料1再掲

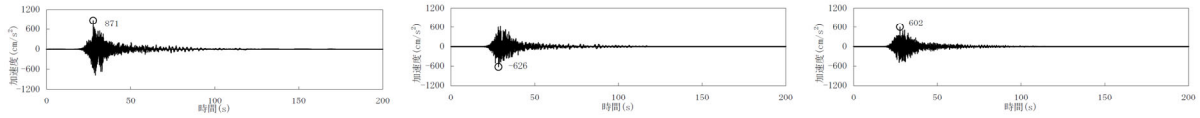
■基準地震動Ssの加速度時刻歴波形

甲D53

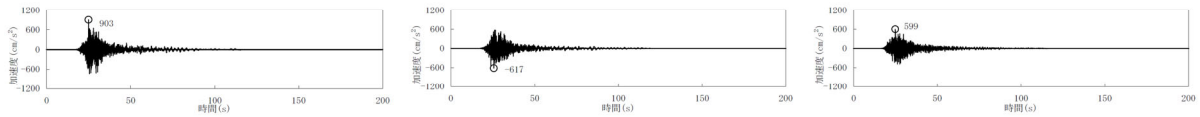
Ss－11　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）



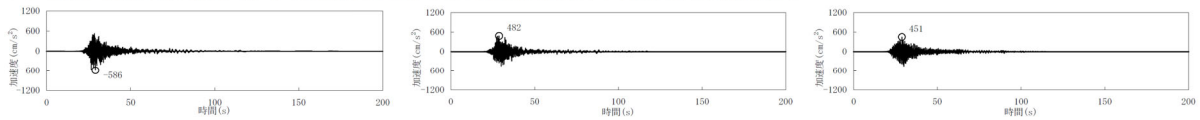
Ss－12　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）



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）



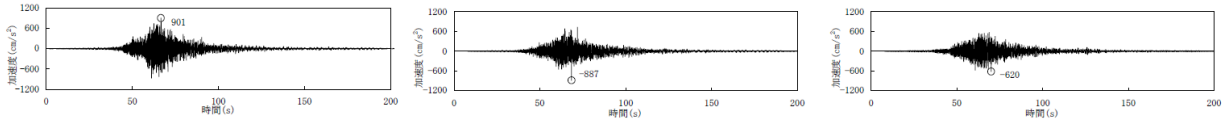
NS成分　　EW成分　　UD成分

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動　基準地震動Ss（2／2）

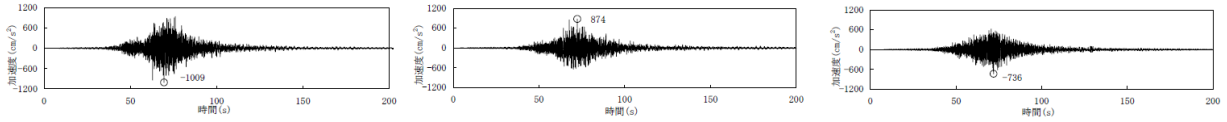
第414回審査会合
資料2再掲

■基準地震動Ssの加速度時刻歴波形

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

甲D53

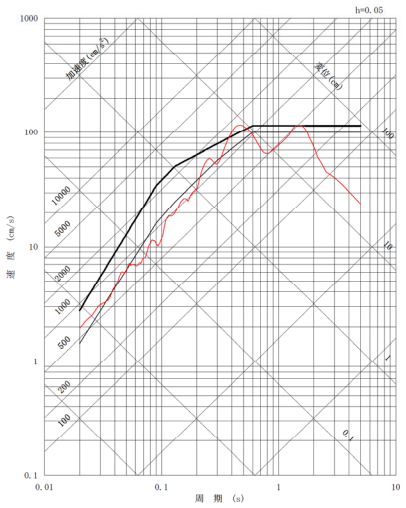
震源を特定せず策定する地震動（1／2）

第410回審査会合
資料1修正

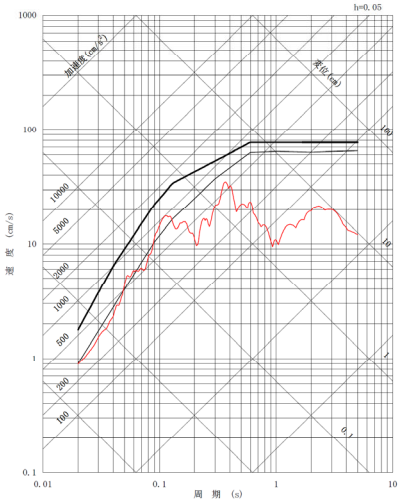
■震源を特定せず策定する地震動と基準地震動Ss－D1を比較する。

甲D53

Ss－D1　応答スペクトル手法による基準地震動
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
加藤ほか（2004）による応答スペクトル



水平成分



鉛直成分

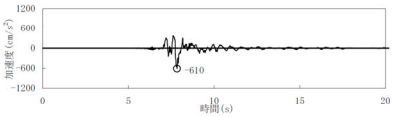
2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動は，一部周期帯で基準地震動Ss－D1を上回るため，基準地震動に選定する。

震源を特定せず策定する地震動（2／2）

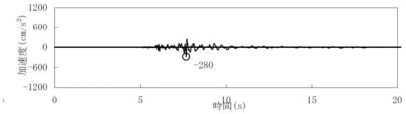
第414回審査会合
資料2修正

■基準地震動Ssの加速度時刻歴波形

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

甲D53

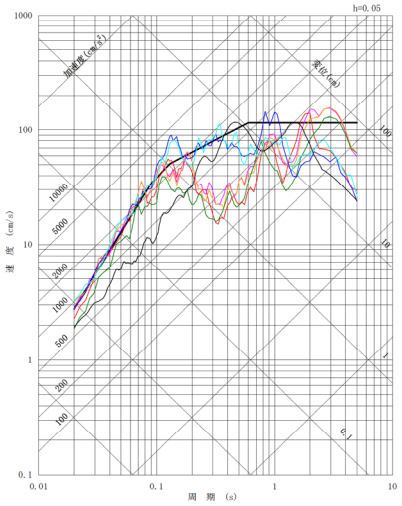
基準地震動Ss（1／2）

第414回審査会合
資料2再掲

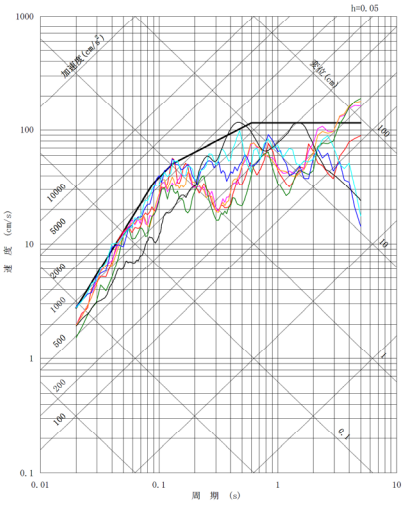
■基準地震動Ssを示す。

甲D53

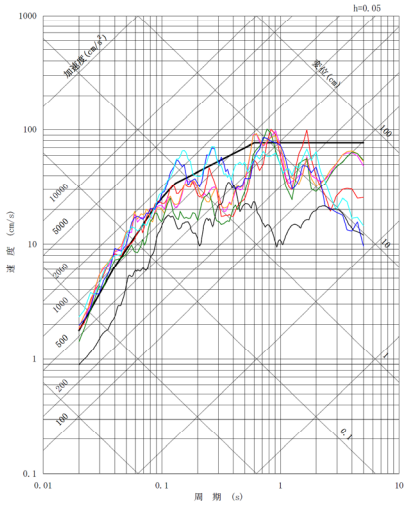
Ss－D1　応答スペクトル手法による基準地震動
Ss－11　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）
Ss－12　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）
Ss－13　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3）
Ss－14　F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）
Ss－21　2011年東北地方太平洋沖型地震（短周期レベルの不確かさ）
Ss－22　2011年東北地方太平洋沖型地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



NS成分



EW成分



UD成分

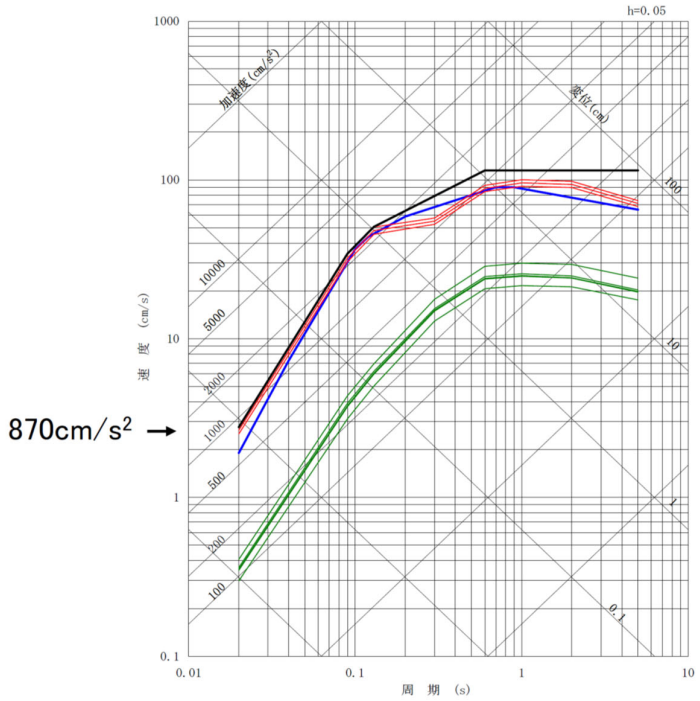
基準地震動Ss（2／2）

甲D53

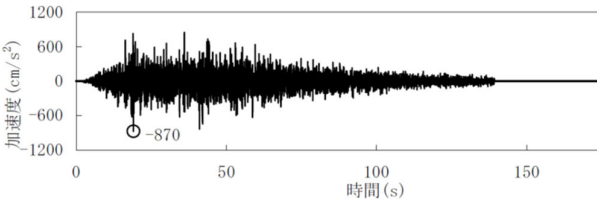
第448回審査会合
資料1-1再掲

■基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

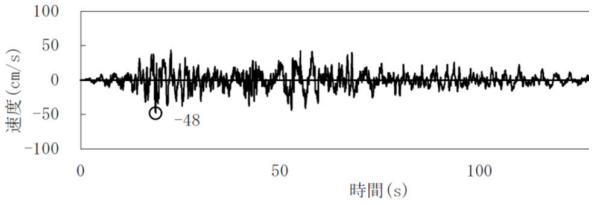
基準地震動		最大加速度（cm/s²）		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
Ss-11	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）	717	619	579
Ss-12	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）	871	626	602
Ss-13	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3）	903	617	599
Ss-14	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）	586	482	451
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



模擬地震波の加速度時刻歴波形



模擬地震波の速度時刻歴波形

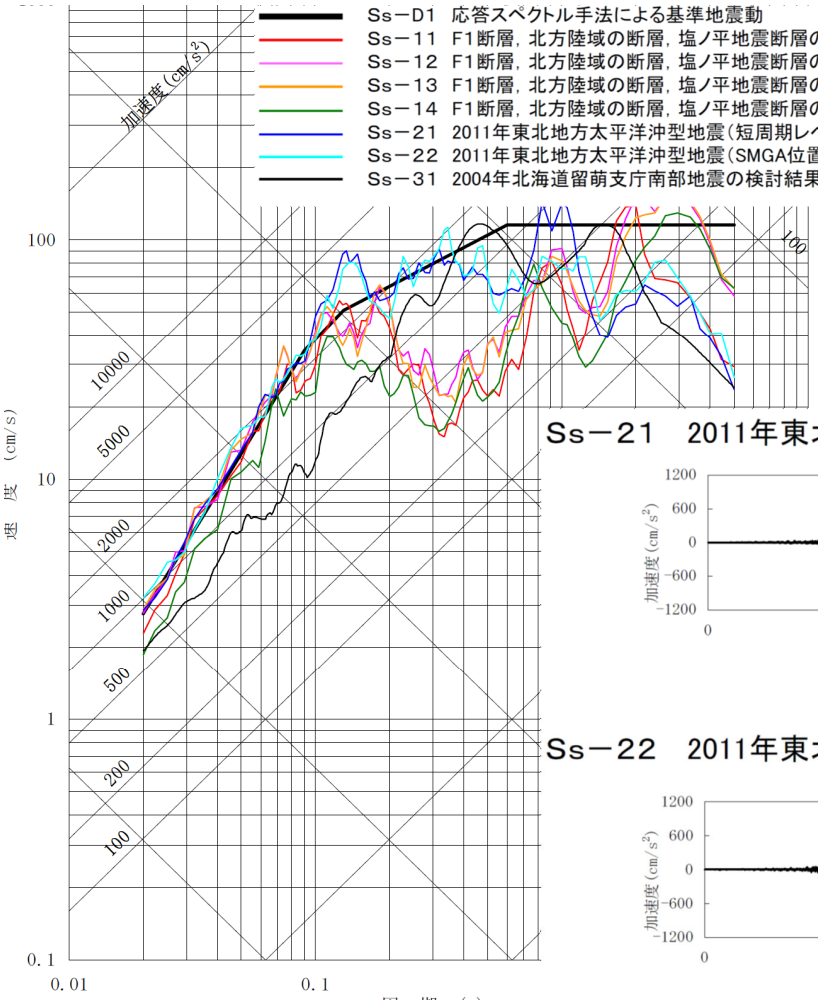


水平成分

Ss－D1H（水平成分）

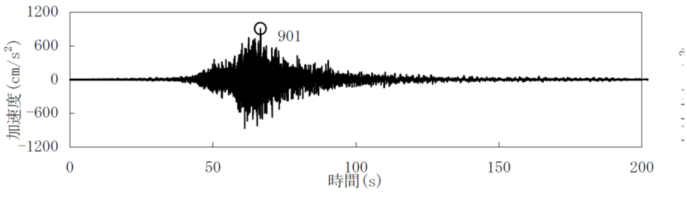
応答スペクトル		コントロールポイント				
		A	B	C	D	E
Ss-D1H	周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00

甲D53

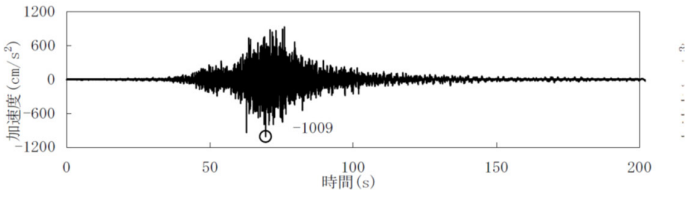


甲D53

Ss－21　2011年東北地方太平洋沖型地震（短周期レベルの



Ss－22　2011年東北地方太平洋沖型地震（SMGA位置と短



地震の揺れの評価手法

「詳細なモデル化」「精緻な手法」は精度が高いということではない。

応答スペクトルに基づく手法		断層モデルを用いた手法
多数の地震観測記録を統計処理した結果に基づき経験的に評価		**三つの特性を詳細にモデル化**して理論的に評価
点	震源	面
無	破壊の伝播効果	有
マグニチュード 震源からの距離	パラメータ※	地震モーメント 断層面座標 短周期レベル 破壊伝播速度 地盤条件 その他
『**簡便な手法**』 で地震動レベルを評価する		『**より精緻な手法**』 で実像を捉える

「簡便な手法」は精度が低いということではない。

基準地震動の策定に当たっては、これら両者を用いて地震動評価を行うことで
より信頼性が高く安全側の評価が可能

※地震の揺れを計算する上で必要な数値

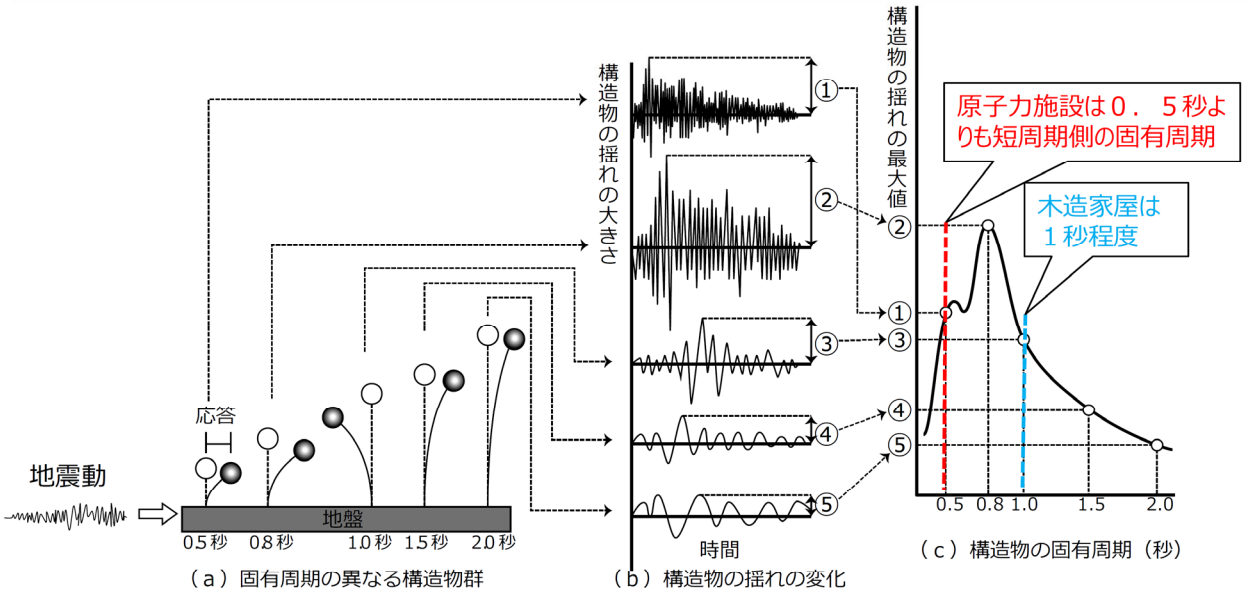
【解説】応答スペクトル

日本原電説明会資料

○地震動には様々な周期の波が含まれる。

○建物等には特定の揺れやすい周期があり、同じ周期を持つ地震動が到来すると大きく揺れる。

○「応答スペクトル」とは、様々な周期を有する建物等に対して地震動がどのくらいの揺れを生じさせるかを、横軸に周期、縦軸に最大応答値をとって分かりやすく描いたもので、その地震動によって建物等に生じる揺れの大きさが把握できる。



（ａ）固有周期の異なる構造物群　（ｂ）構造物の揺れの変化　（ｃ）構造物の固有周期（秒）

地震動の加速度時刻歴波形の例

甲D5

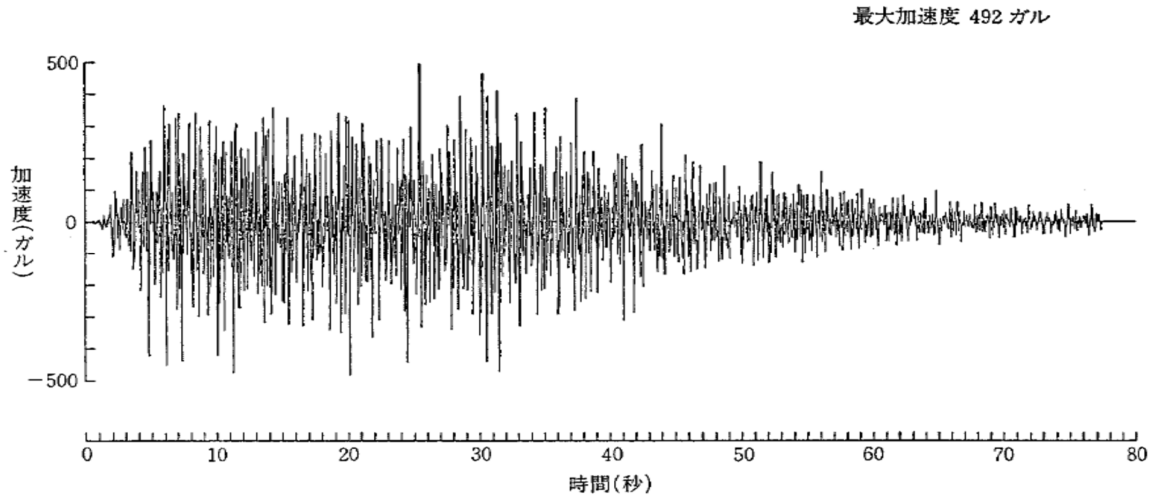


図 I-1　東京大学構内における加速度記録(「東京大地震」)

約80秒間、大小様々な加速度を繰り返しながら地面は振動を続けている。

最大加速度　25秒付近　492ガル

甲D5

- この4つは、すべて最大加速度490ガルの地震動。
- 最大加速度が同じ490ガルというだけで、この4つの地震による、建物・機器・配管への影響は全く異なる。
- しかし、建物・機器・配管への影響は、これらの波形を見るだけでは分からない。

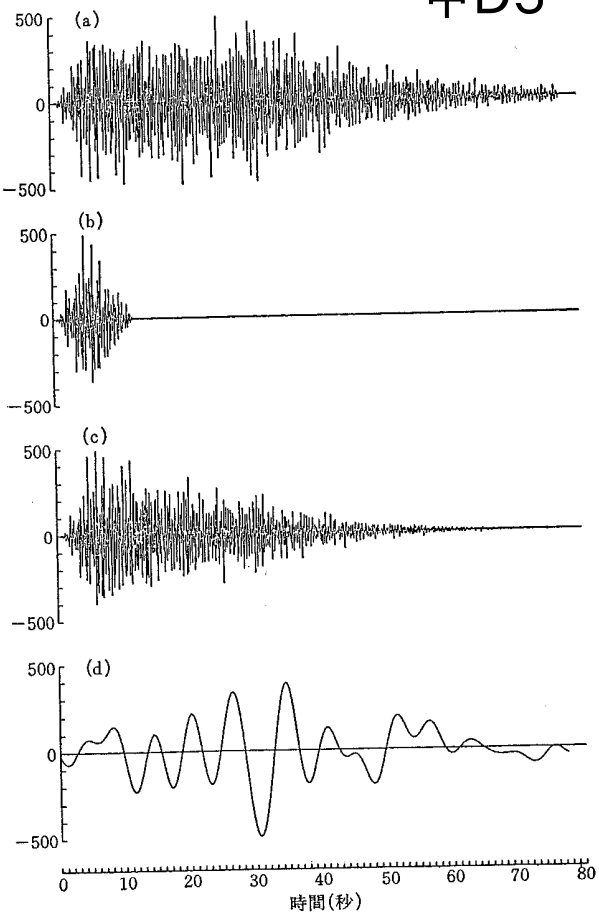


図 V-3　地震動のいろいろ

地震動の破壊力

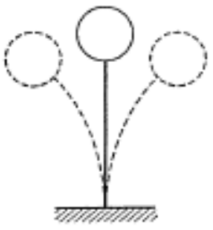


図 W-6　倒立振子

１　地震動の加速度記録は、一見複雑。だが、実は、いろいろな振幅と周期をもった振動の寄せ集めであり、単純な振動に分解することができる。

２　建物・機器・配管には、すべて一定の固有周期があり（たとえば周期０．５秒）、建物・機器・配管の側からすれば、いろいろな周期の地震動がやってくるうちの、自らの固有周期に近いものを選び出して、その都度大きくゆれる。

地震動の破壊力

３　固有周期がなぜ問題となるのか。

地面のゆれの周期が、建物・機器・配管の固有周期と一致すると、ゆれ始めた震動が成長し、とめどもなく大きいゆれに成長してしまい、ついには、建物を破壊するに至るから。

共振現象

地震動の破壊力

4　地震動が建物・機器・配管に与える影響を集約したものが、応答スペクトル。

「応答」とは、建築や振子が、地震動を受け、地震動とそのもの（建築や振子）自体の特性（固有周期）に応じて揺り動かされる、その反応

「スペクトル」とは、複雑な情報や信号をその成分に分解し、成分ごとの大小に従って配列したもののこと

「応答スペクトル」は、建築や振子の反応を、周期の大小の順に従って並べたもの

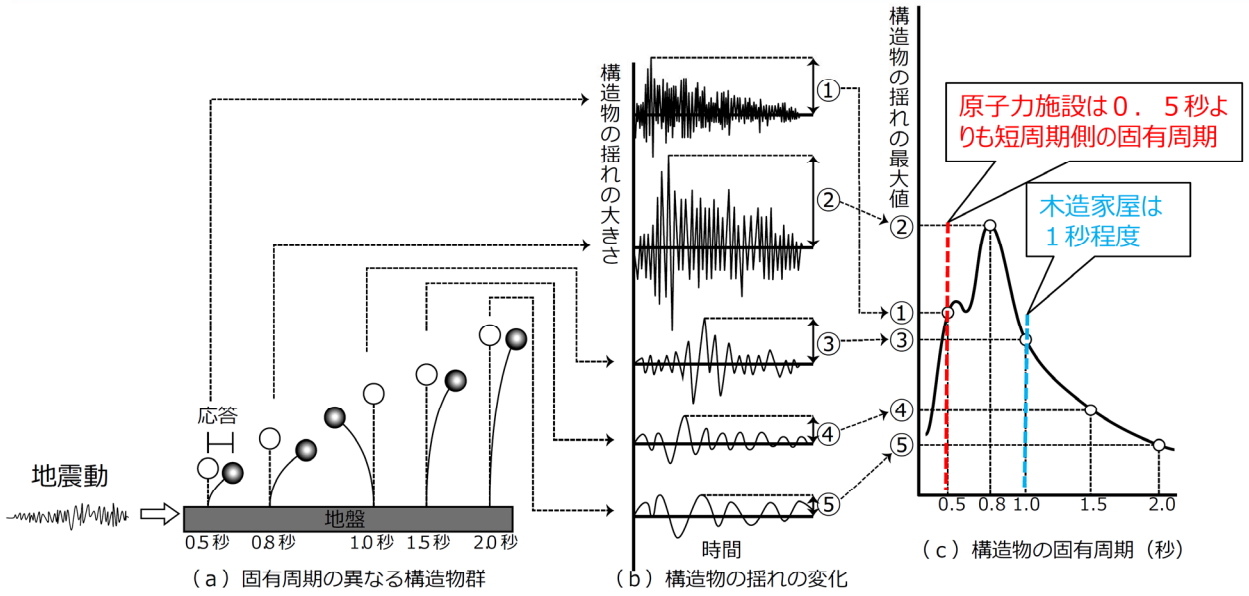
【解説】応答スペクトル

日本原電説明会資料

○地震動には様々な周期の波が含まれる。

○建物等には特定の揺れやすい周期があり、同じ周期を持つ地震動が到来すると大きく揺れる。

○「応答スペクトル」とは、様々な周期を有する建物等に対して地震動がどのくらいの揺れを生じさせるかを、横軸に周期、縦軸に最大応答値をとって分かりやすく描いたもので、その地震動によって建物等に生じる揺れの大きさが把握できる。

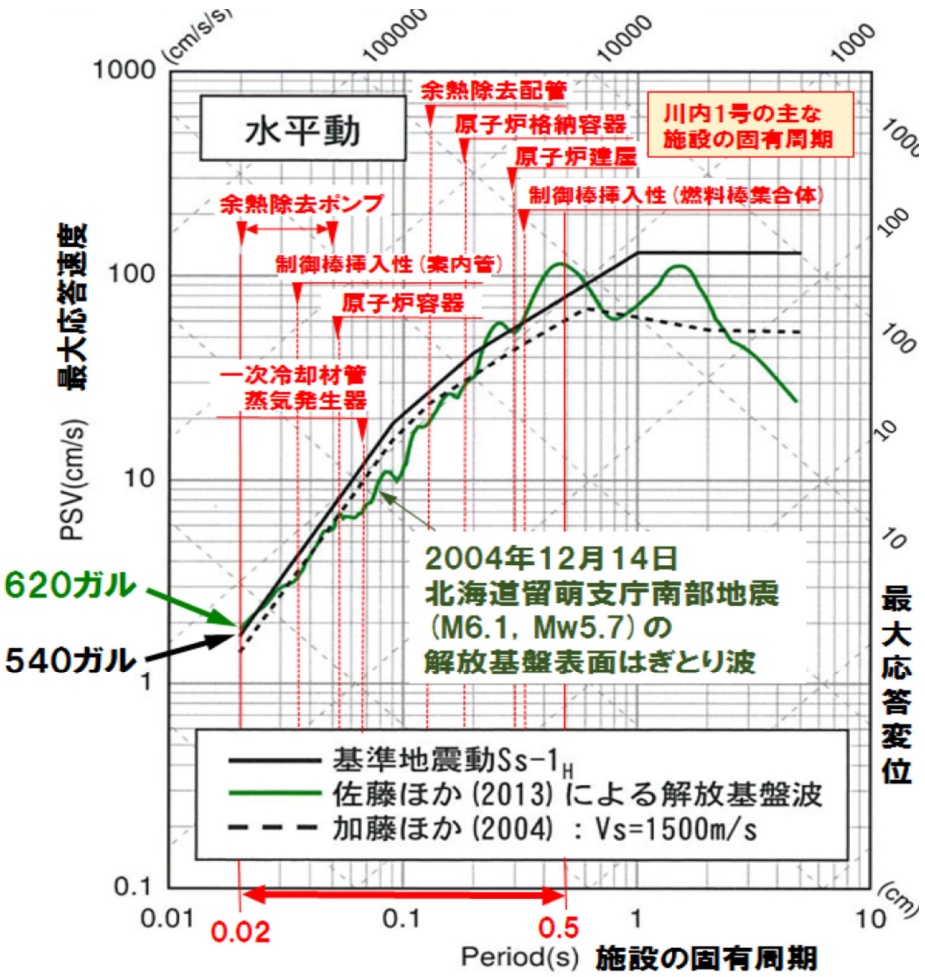


（ａ）固有周期の異なる構造物群　（ｂ）構造物の揺れの変化　（ｃ）構造物の固有周期（秒）

川内原発

基準地震動

原発の機器・配管の固有周期



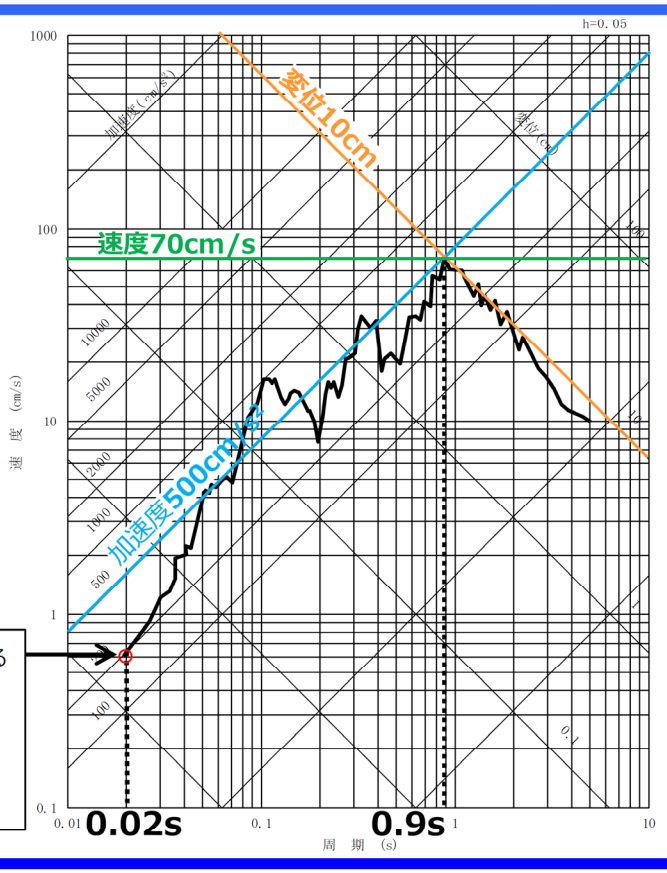
【解説】応答スペクトル（トリパタイト）のグラフの見方

質問事項 第１－１

○トリパタイトとは、正弦波sin(ωt)を微分すると円振動数(1/ω)倍になる関係を利用して、変位・速度・加速度の関係を一つのグラフに示したもの。

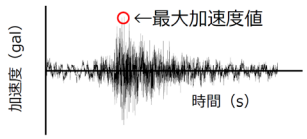
変位 (cm) ⇔ 速度 (cm/s) ⇔ 加速度 (cm/s²) (gal)

微分　微分



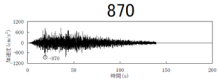
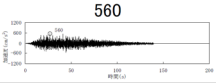
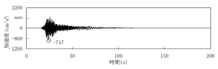
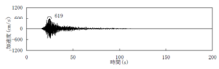
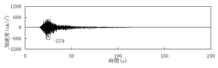
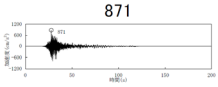
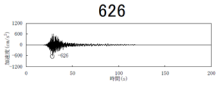
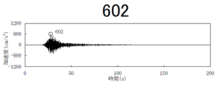
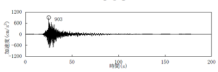
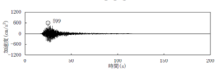
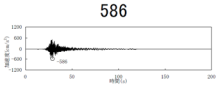
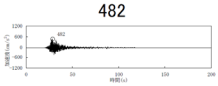
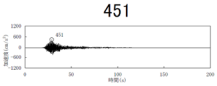
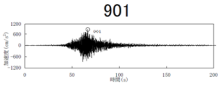
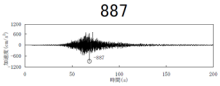
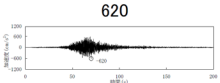
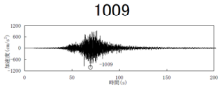
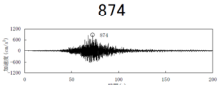
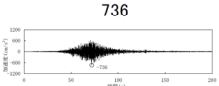
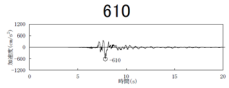
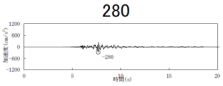
日本原電説明会資料

0.02sの値は、時刻歴波形での最大加速度値にほぼ相当している



基準地震動Ss（2／2）

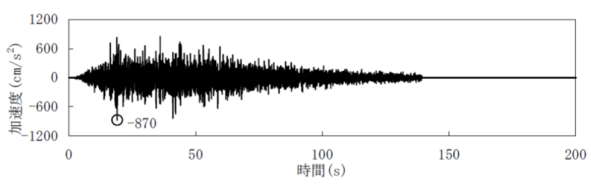
■基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度（cm/s²）		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870 		560 
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）	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（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（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（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）	586 	482 	451 
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 

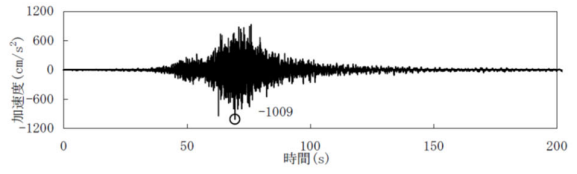
・870ガルの地震と1009ガルの地震では、建物・機器・配管に対する影響は、1009ガルの地震の方が大きいのか？

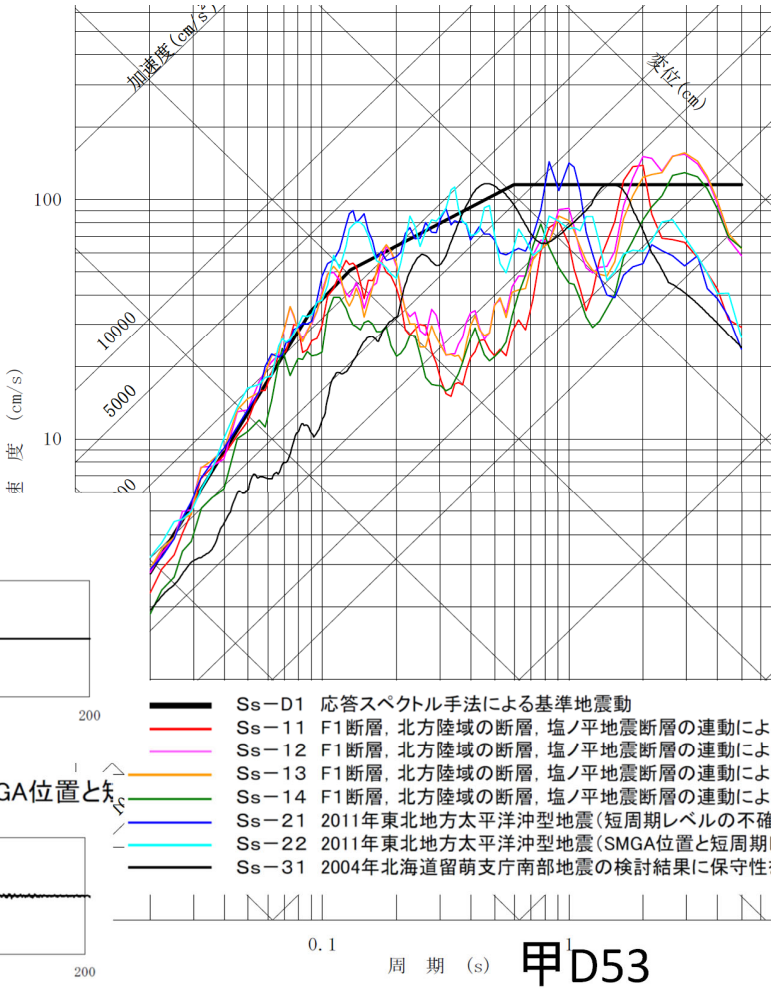
→必ず大きいとはいえない。各建物・機器・配管の固有周期による。

模擬地震波の加速度時刻歴波形



Ss－22　2011年東北地方太平洋沖型地震（SMGA位置と短





・応答スペクトルで、ギザギザの線と、直線で構成された線があるのはなぜか？

- →直線で構成されているのは、応答スペクトルに基づく手法によるものだから。地震動Ss-D1 は、応答スペクトルに基づく手法による地震動（870ガル）。応答スペクトルに基づく手法による地震動は、通常は、数字が大きい地震の方が、各建物・機器・配管への影響も大きい。
- →ギザギザの線は断層モデルを用いた手法によるものだから。断層モデルを用いた手法による地震動（Ss-11～14、21～22）は、波形によってバラバラ。各建物・機器・配管への影響は、固有周期による。数字の大小だけでは、その影響は分からない。

地震動の破壊力

ただし、、、、

・　物が壊れると、固有周期は、短周期側から長周期側にずれる。

　固有周期は、経年劣化や地震動の影響でも、変化する。

　そうすると、元の設計時の固有周期では最大応答加速度以下の応答だったものが（もともとそうして設計された）、固有周期が変化することによって、別の周期で共振することになってしまい、設計時点での期待とは別の挙動を示すことがあり得る。

・1回の波で物を破壊する場合は別→パルス

応答スペクトルに基づく地震動評価

被告準備書面（10） 別149 注3－31

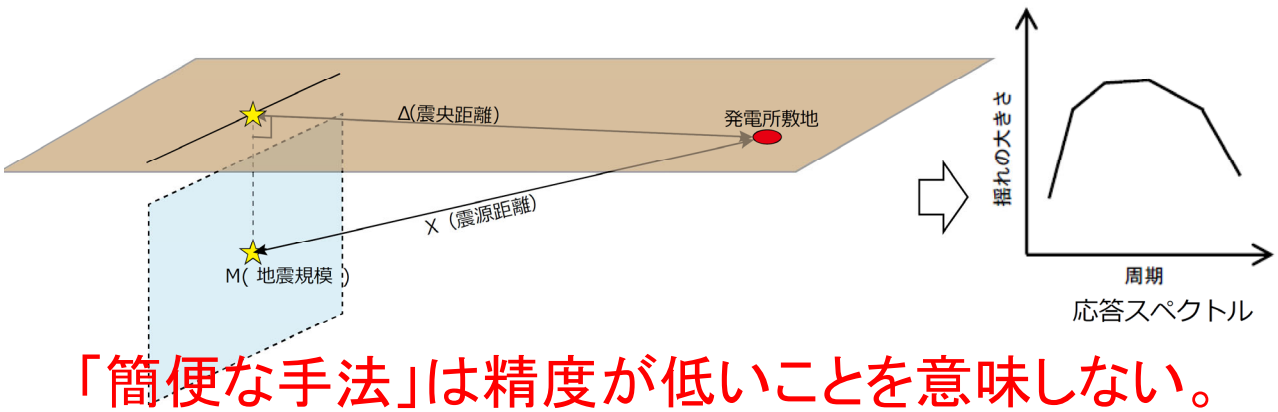
「距離減衰式により地震動の応答スペクトルを評価する方法をいう。地震動は、地震により放出されるエネルギーが大きいほど、また、震源に近いほど大きくなる性質がある。距離減衰式とは、この性質を利用し、地震の規模（例えばマグニチュード）や震源からの距離等のパラメータを入力すると、地震の規模と震源からの距離との関係により、想定される地震動の強さ、最大加速度、応答スペクトルが決まる計算式のことをいう。距離減衰式は、過去に発生したデータを統計的に処理して経験的に設定された回帰式であり、データを積み重ねた事実に基づいているため信頼性が高い。

応答スペクトルに基づく手法　　日本原電説明会資料

○一般に地震動は、地震規模が等しければ、震源からの距離が離れるほど、その揺れの大きさは小さくなる。

○応答スペクトルに基づく手法（距離減衰式ともいう）は、このような特徴を比較的単純な関係式で表現した地震動評価手法である。

○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（簡便な手法）。



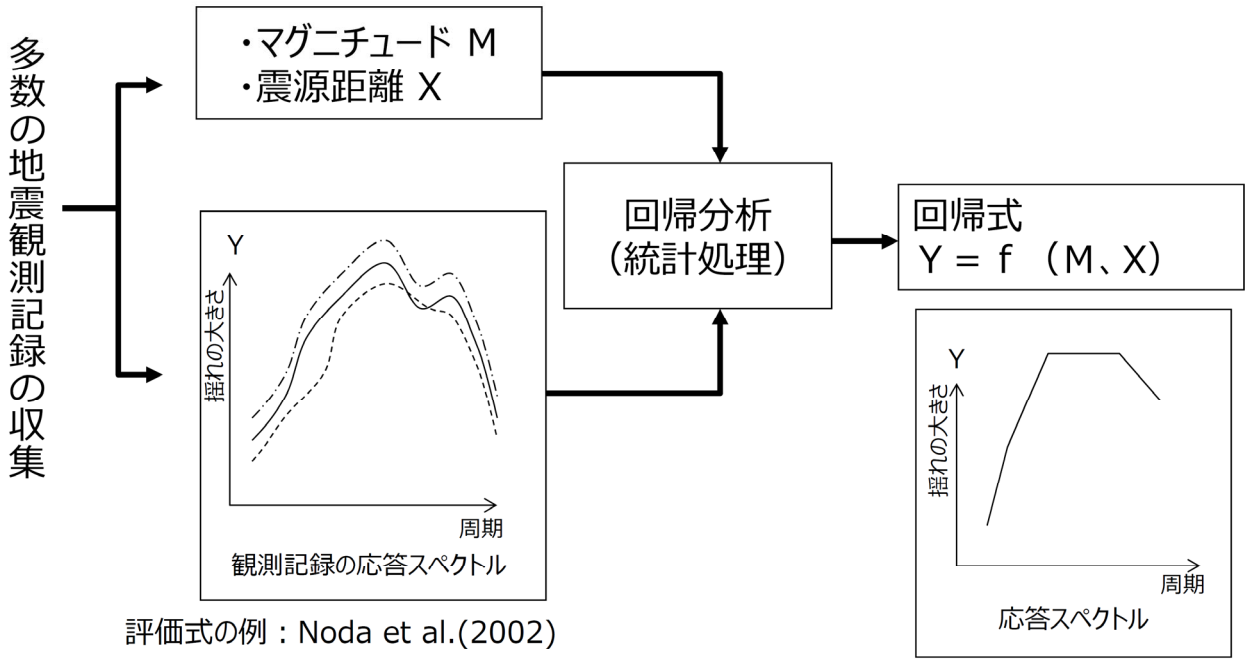
「簡便な手法」は精度が低いことを意味しない。

応答スペクトルに基づく地震動評価のイメージ

応答スペクトルに基づく手法

○地震の規模：M（マグニチュード）、震源距離：Xと、その地震の応答スペクトルとの関係を多数の地震観測記録から回帰分析等により求めたもの。

○ただし、回帰に用いた地震のデータベース等に基づく適用範囲を吟味する必要がある。



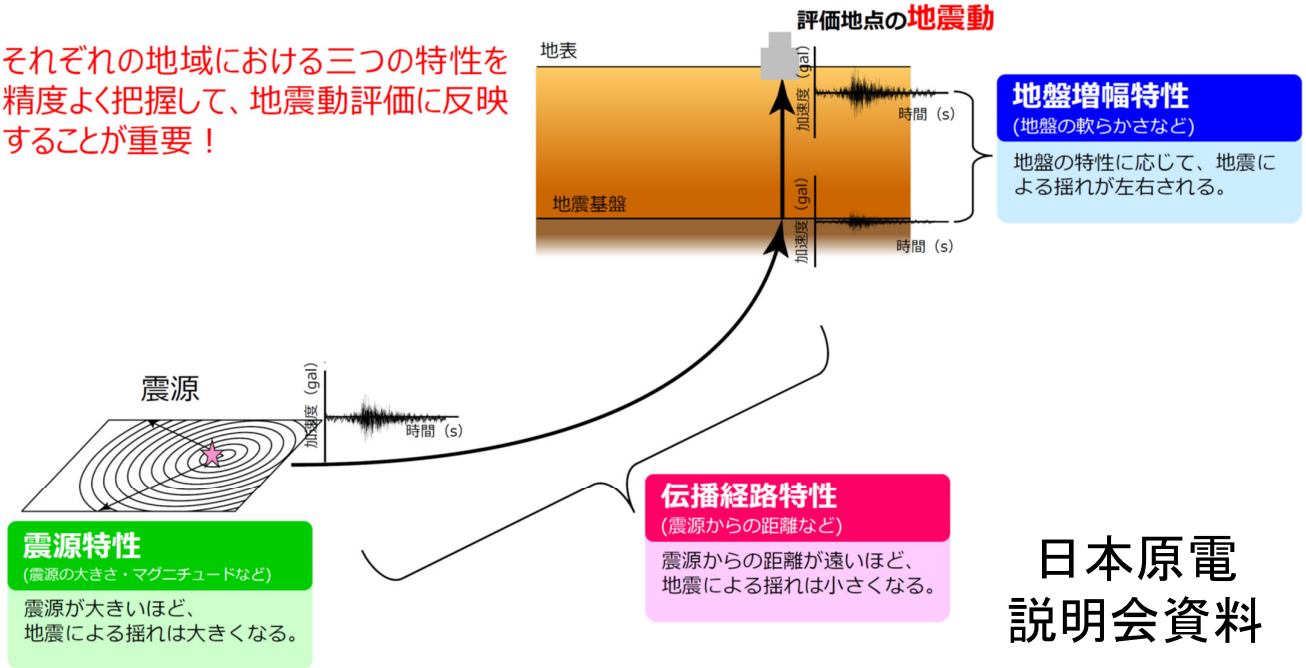
評価式の例：Noda et al.(2002)

２－２　地震の揺れを決める三つの特性と地域性

○「地震」が生じると、震源断層面からエネルギー（地震波）が放出される。そして、地震波がある地点に到達すると地盤に揺れが生ずる。この揺れが「地震動」である。

○地震動には、**三つの特性**があり、それぞれに**地域性**がある。

それぞれの地域における三つの特性を精度よく把握して、地震動評価に反映することが重要！



日本原電説明会資料

応答スペクトルに基づく手法

実際に発生した（多数の）地震の地震動観測記録

↓

地震の規模，敷地との距離によって分けて，地震動を求めたものを用いる手法。

以前　大崎スペクトル

現在　耐専スペクトル

大崎スペクトルは　観測値をおおむね包絡させて策定

耐専スペクトル　平均像

大崎スペクトル⇒耐専スペクトル　想定地震動は大幅に切り下げられた

＝　電力会社は「地震動想定手法の発展」という。「発展」より「後退」

応答スペクトルに基づく手法

等価震源距離

等価震源距離は，震源断層面の各部から放出される地震動のエネルギーの総計が，特定の1点から放出されたものと等価となるように計算するもの

東京電力　平成21年5月22日　震源近傍における等価震源距離と断層最短距離との関係

応答スペクトルに基づく手法

1-1　なぜ経験的方法が必要か

- 耐専スペクトル
  - 距離減衰式に基づく地震動の経験的評価法
- 経験的方法
  - 基本式：　S(T) = f(M, X)
- 経験的方法の必要性
  - 実観測記録に基づいて設定
    - 実現象の平均像を忠実に再現
  - 断層モデルを用いた場合も経験式で確認
    - 例：強震動評価のレシピ

1）地震基盤のコントロールポイント

	M	X_{eq}	コントロールポイントの座標　pS_v (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			TA(s)	TB(s)	TC(s)	TD(s)	TE(s)	TF(s)	TG(s)	TH(s)
		(km)	0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

応答スペクトルに基づく手法

耐専スペクトルは折れ線で描く
ポイントを決めそれを結ぶ

周期0．6秒のポイント
周期0．6秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

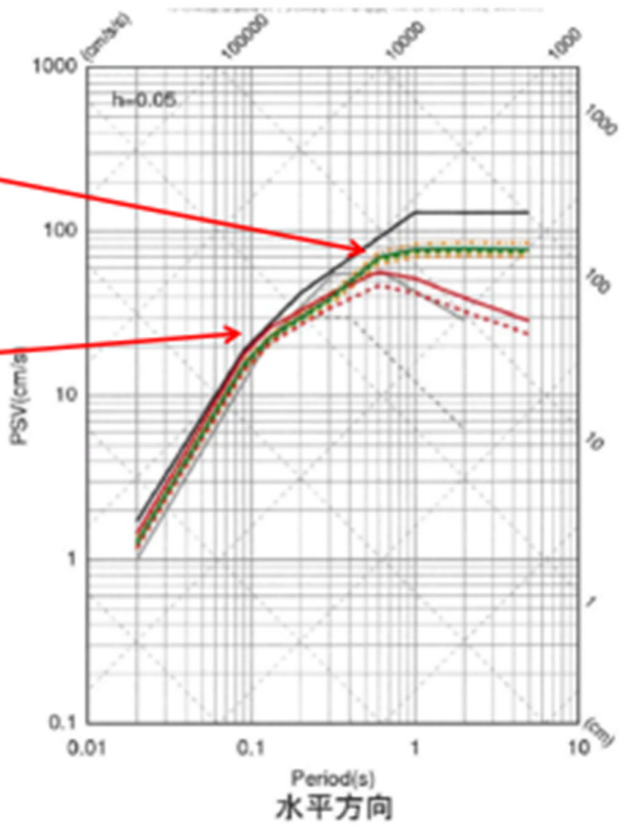
コントルールポイント

周期0．09秒のポイント
周期0．09秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

たくさんの地震の記録から
周期ごとに
M、震源距離ごとに平均を求める

決められた周期ごとの平均を
点としてプロットし
その点をつないだ折れ線を求める
その折れ線が耐専スペクトル

ではどうやって決めるか



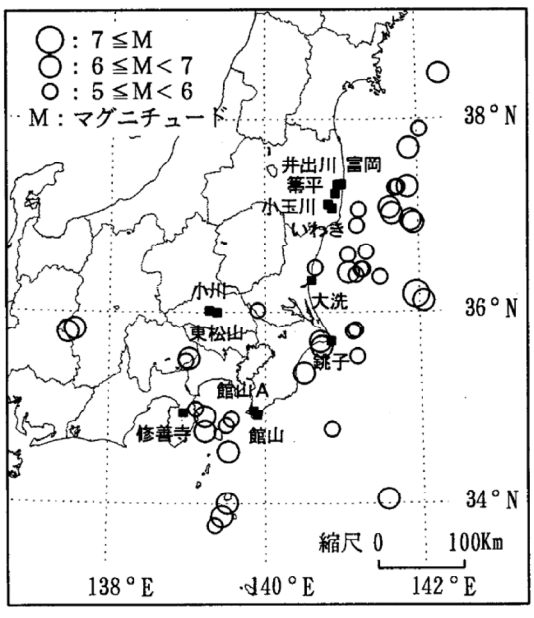
2－3　地震動評価

応答スペクトルに基づく手法　Noda et al.(2002)

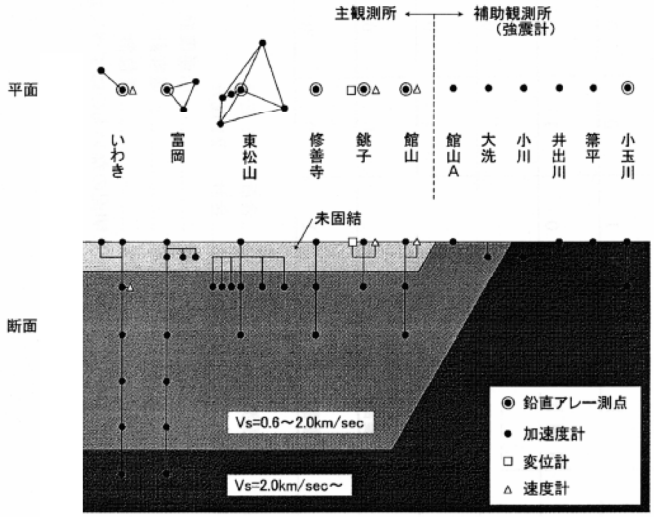
質問事項
第１－３

○電力共同の取組みとして、鉛直アレイ地震観測が世界に先駆けて1977年から実施されている。

○Noda et al.(2002)の手法は、この観測記録を回帰分析して作成された。



観測点配置と震央分布



観測点配置

日本原電
説明会資料

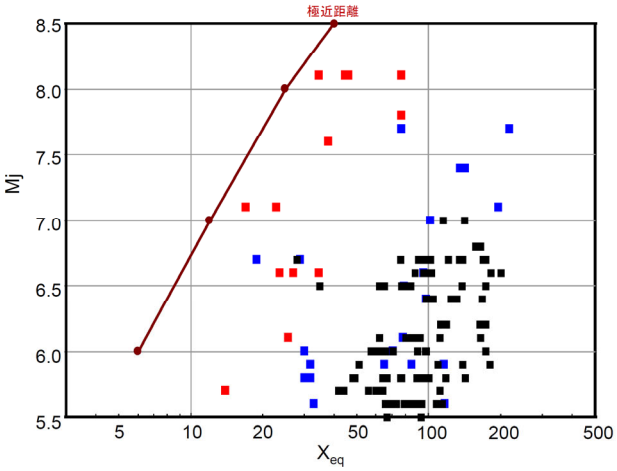
応答スペクトルに基づく手法　Noda et al.(2002)の適用範囲

質問事項
第１－３

○Noda et al.(2002)については、その回帰式の作成に用いた観測記録だけでなく、国内外の観測記録を用いた適用性の確認もなされている。

○Noda et al.(2002)を含む距離減衰式を地震動評価に用いる際には、このような適用性が確認されている範囲から、評価する震源が大きく外れていないことを確認して、評価の信頼性を確保する。

■：回帰式の作成に用いた観測記録
■：適用性検討に用いた他地点観測記録（海外の地震）
■：適用性検討に用いた他地点観測記録（国内の地震）



１．回帰分析に用いた地震の諸元
　5.5 ≦ Mj ≦ 7.0（Mj：気象庁マグニチュード）
　h　≦ 60km　（h：震源深さ）
　28km ≦ Xeq ≦ 202km（Xeq：等価震源距離）

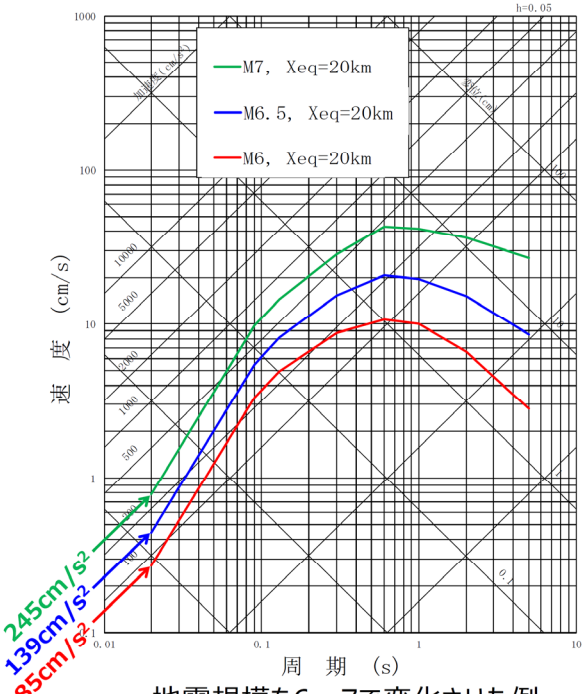
２．観測記録を用いて距離減衰式の適用性について検討した際に用いた地震の諸元
　5.4 ≦Mj ≦8.1
　h　≦60km
　14km ≦ Xeq ≦ 218km

日本原電説明会資料

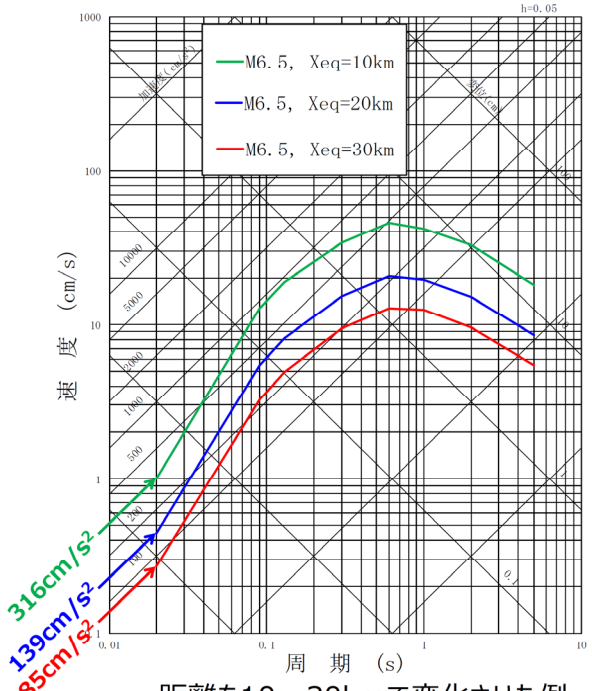
【解説】応答スペクトルの手法（Noda et al.(2002) の例）

質問事項
第１－３

○応答スペクトルの手法（Noda et al.(2002)）を用いて、地震規模(Mj)と震源距離(Xeq)について、パラメータスタディを行った計算例を示す。地盤条件（S波速度）はVs=700m/sとして計算。



地震規模を6～7で変化させた例
（Xeq=20km、水平方向）



距離を10～30kmで変化させた例
（Mj＝6.5、水平方向）

日本原電説明会資料

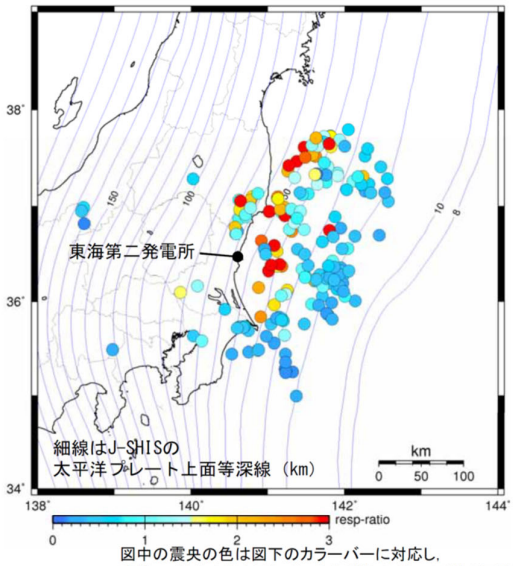
応答スペクトルの手法は平均像

- 応答スペクトルの手法（Noda et al.（2002））は、地震動の平均像を求めるもの。
- 平均からずれた地震動は、いくらでもある。
- →ひとたび事故を起こした場合の原発の被害の甚大性に鑑みれば、平均からどの程度ずれた地震動までカバーすべきかが、問題となる。

応答スペクトル手法による地震動評価に用いる補正係数：プレート間地震記録の収集

第336回審査会合 資料1再掲

■応答スペクトル手法による地震動評価は，Noda et al.(2002)による手法（耐専スペクトル）で行う。
■評価に際しては，地震発生様式ごとに分類した地震観測記録の分析に基づく補正係数を考慮する。



図中の震央の色は図下のカラーバーに対応し，
応答スペクトル比を示している（周期0.02秒～0.1秒の平均）。

応答スペクトル比の算出に用いた
M5.3以上の地震の震央分布
（水平成分）

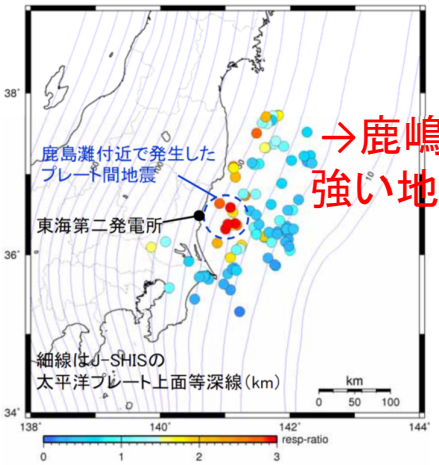
・東海第二発電所の地震観測記録のうちM5.3以上で震央距離200km以内の地震を対象に，解放基盤波の応答スペクトルを耐専スペクトルで除した「応答スペクトル比」を算出する。
・プレート間地震，海洋プレート内地震，内陸地殻内地震の地震発生様式ごとに各地震の「応答スペクトル比」を算出し，地域性の観点からグルーピングを行う。

$$\text{応答スペクトル比} = \frac{\text{敷地の観測記録（解放基盤表面）}}{\text{Noda et al.(2002)による値}}$$

甲D53

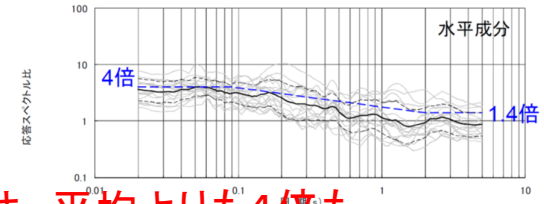
応答スペクトル手法による地震動評価に用いる補正係数：鹿島灘付近

■補正係数（鹿島灘付近の地震）

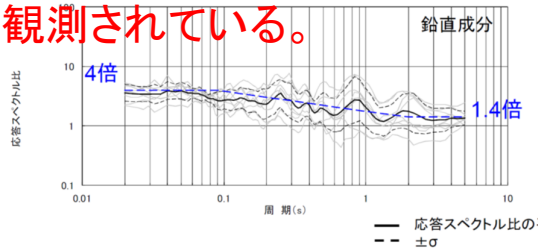


図中の震央の色は図下のカラーバーに対応し，
応答スペクトル比を示している（周期0.02秒～0.1秒の平均）。

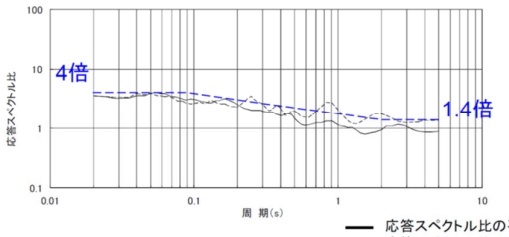
検討対象地震の震央分布図
（水平成分）



→鹿嶋灘では、平均よりも4倍も
強い地震動が観測されている。



応答スペクトル比

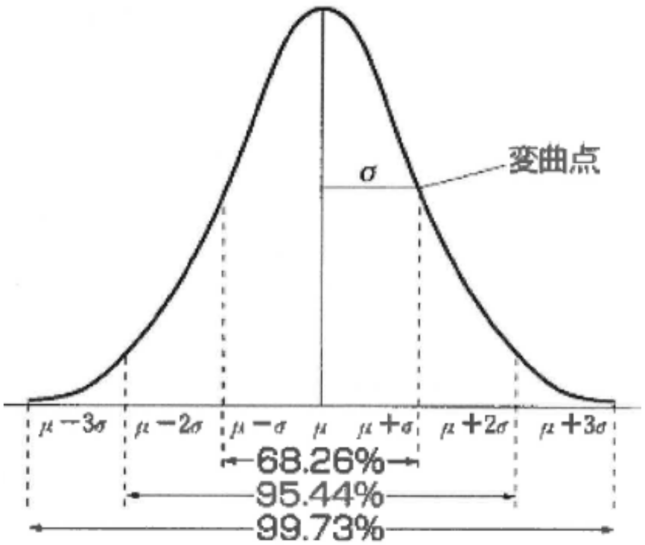


補正係数

鹿島灘付近で発生した地震の応答スペクトル比には，短周期側で4倍程度となる傾向が見られるため，短周期側で4倍の補正係数を考慮する。

甲D53

標準偏差（σ）とは、値のバラツキを見る指標
平均値と各値との差（偏差）を二乗し、それを合算した和をデータの数で割り、それをルートした値



正規分布の図
地震分布が正規分布かどうかは不明
→参考にできる

＋σを超えるもの　（100－68．26）/2≒16（%）
＋2σを超えるもの　2．3%
＋3σを超えるもの　0．14%

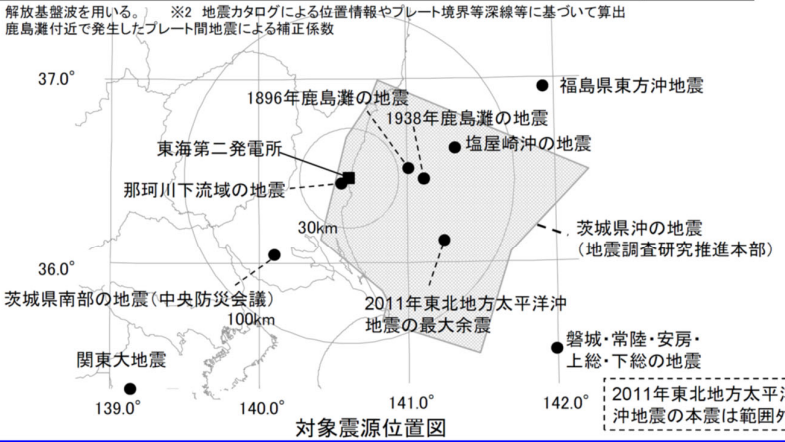
検討用地震の選定

第336回審査会合
資料1再掲

⇒しかし、東北地方太平洋沖地震については補正係数は考慮しない。

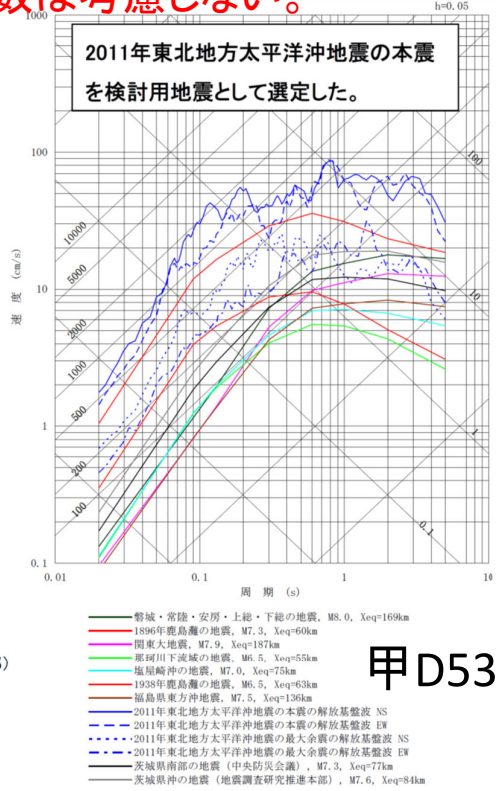
年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km)※2	補正係数※3
1677.11.4	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	169	
1896.1.9	鹿島灘の地震	7.3	60	考慮
1923.9.1	関東大地震	7.9	187	
1930.6.1	那珂川下流域の地震	6.5	55	
1938.5.23	塩屋崎沖の地震	7.0	75	
1938.9.22	鹿島灘の地震	6.5	63	考慮
1938.11.5	福島県東方沖地震	7.5	136	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震※1	Mw9.0	－	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震※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



対象震源位置図

2011年東北地方太平洋沖地震の本震は範囲外



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)

甲D53

3－3 プレート間地震の地震動評価

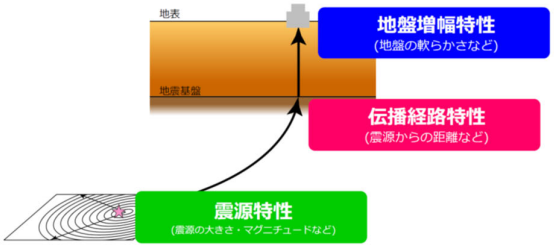
応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

質問事項
第1－3

○東北地方太平洋沖地震の地域特性（震源特性・伝播経路特性・増幅特性）が含まれている観測記録を、応答スペクトルに基づく手法による地震動評価とする。

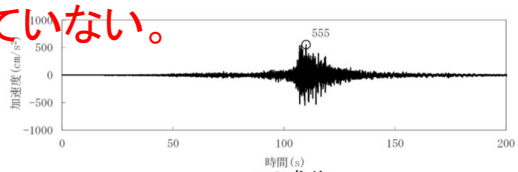
プレート間地震については、応答スペクトルに基づく手法は、採用されていない。

地震の揺れを決める三つの特性

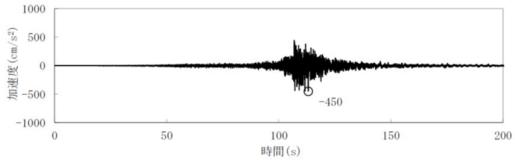


○「2011年東北地方太平洋沖型地震」については、Noda et al.（2002）の方法の適用範囲の上限であるM8.5を超える巨大地震である。

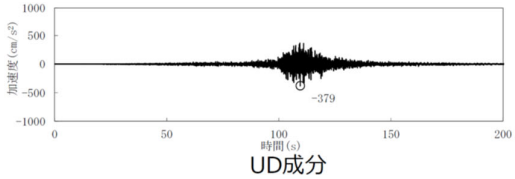
○また、2011年東北地方太平洋沖地震のような巨大地震では、複数の強震動生成域が時間的にも空間的にも離れて連動し、敷地での揺れは、特に短周期域において敷地近傍の強震動生成域の影響が支配的となる特徴がある。このような複雑な震源過程から生成される強震動を短周期から長周期にわたり精度よく評価でき、実務に活用されている実績のある距離減衰式はないと考えられる。



NS成分



EW成分



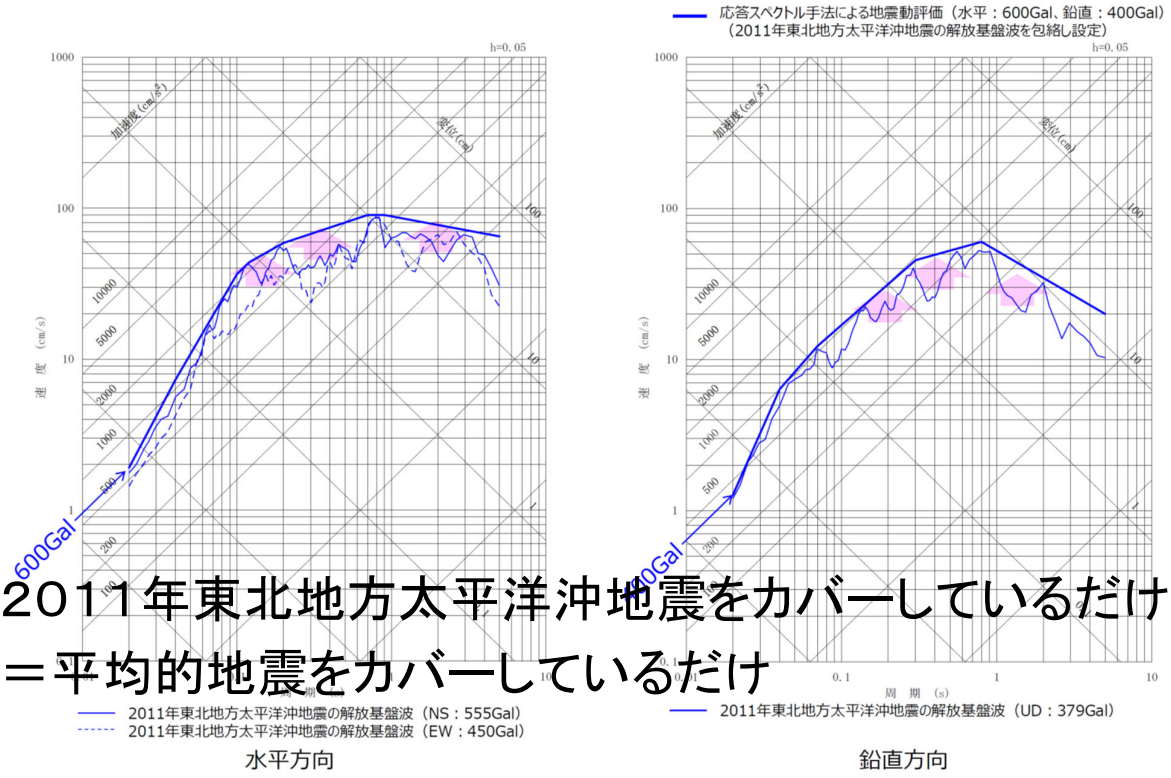
UD成分

時刻歴波形

3－3　プレート間地震の地震動評価

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

○ 観測記録の谷となる周期帯をかさ上げして安全側の評価とする。



水平方向　　鉛直方向

2011年東北地方太平洋沖地震をカバーしているだけ
＝平均的地震をカバーしているだけ

日本原電説明会資料

2－3　地震動評価

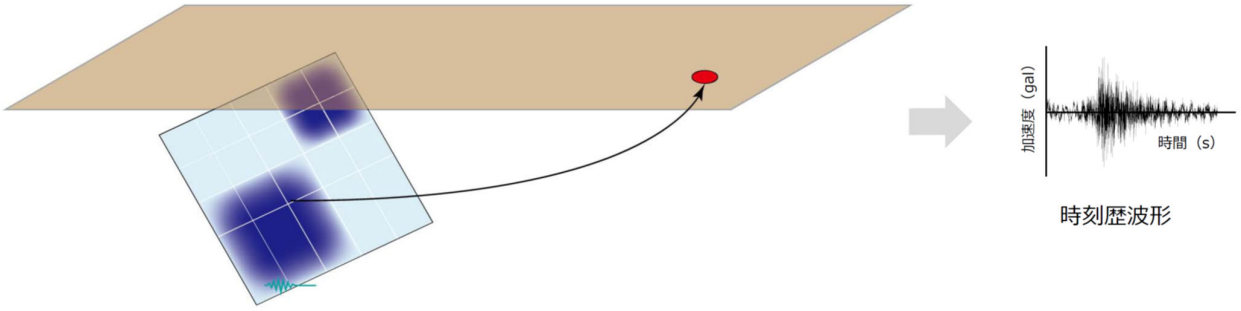
断層モデルを用いた手法

日本原電説明会資料

○断層モデルは震源の断層面を詳細にモデル化したもの。

○**多くのパラメータが必要であるが、詳細な地震動を評価するのに適している。(詳細な手法)**

○なお、断層モデルを用いた手法については、レシピにおいてパラメータ設定等が提案されている。



時刻歴波形

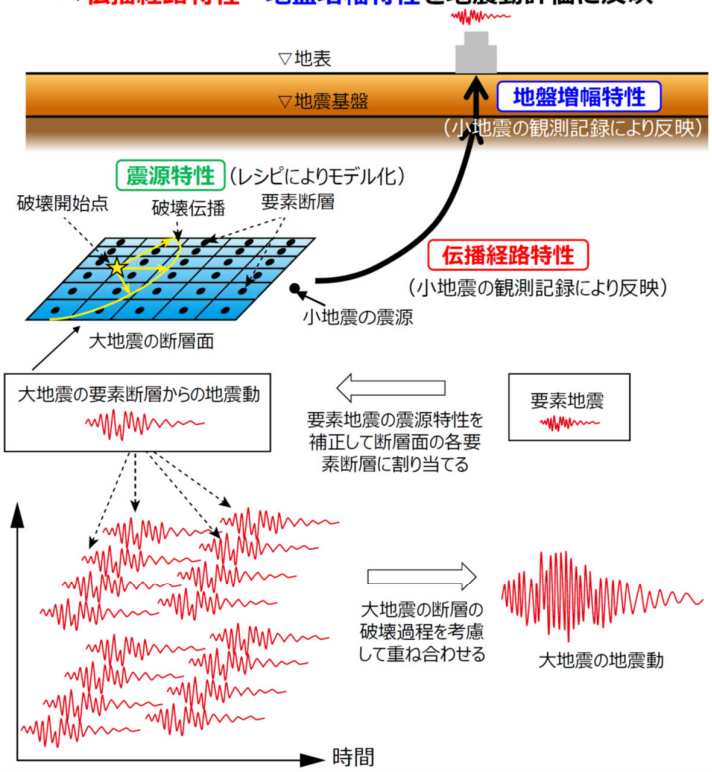
「詳細なモデル化」「精緻な手法」は、
精度が高いことを意味しない。

断層モデルを用いた手法

震源特性（震源の大きさ・マグニチュードなど）　伝播経路特性（震源からの距離など）　地盤増幅特性（地盤の軟らかさなど）

三つの特性を詳細にモデル化して理論的に評価する手法

敷地で得られた小地震の観測記録を要素地震とする。
⇒**伝播経路特性・地盤増幅特性を地震動評価に反映**



経験的グリーン関数法の特徴

敷地の観測記録には、地域性の反映された伝播経路特性、地盤増幅特性の影響が含まれている。

この観測記録を地震動評価に用いることで、敷地の伝播経路特性、地盤増幅特性を地震動評価に反映することができる。

（参考）
経験的グリーン関数法の他にも
・統計的グリーン関数法
・理論的手法
・ハイブリッド合成法
などがある。

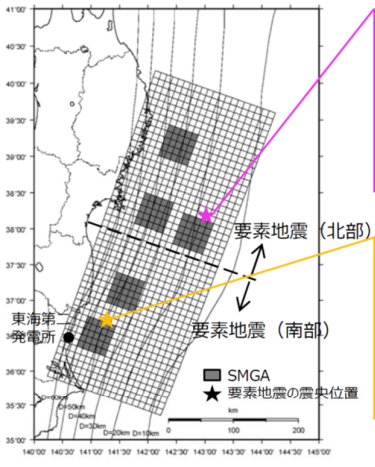
断層モデル手法に用いる要素地震の選定

伝播経路特性（震源からの距離など）　地盤増幅特性（地盤の軟らかさなど）

○経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、できるだけ想定する地震の震源域やその近傍で発生した同じメカニズム（地震のタイプ）の中小地震を選定することが望ましい。

⇒評価結果に、伝播経路特性・地盤増幅特性の地域性を精度よく反映することができる。

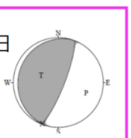
①プレート間地震の例
（東北地方太平洋沖型地震※）



要素地震の震央位置

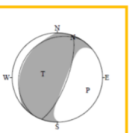
要素地震（北部）

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·m)



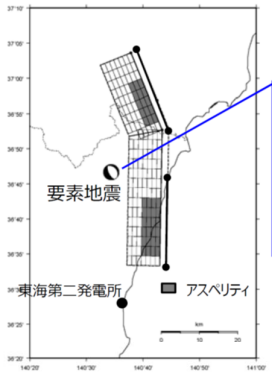
要素地震（南部）

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·m)



要素地震のメカニズム解
（下半球）

②内陸地殻内地震の例
（Ｆ１断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震）



要素地震の震央位置

発生日　2011年4月14日
地震規模※1　M5.1
震源深さ※1　8.8km
地震ﾓｰﾒﾝﾄ※2　2.41E+16(N·m)

要素地震のメカニズム解
（下半球）

※東北地方太平洋沖型地震のように地震規模が大きく、震源断層が広域になる場合には、震源域を領域分けして、それぞれの領域に要素地震を選定する。

※１　気象庁による。
※２　F-netによる。

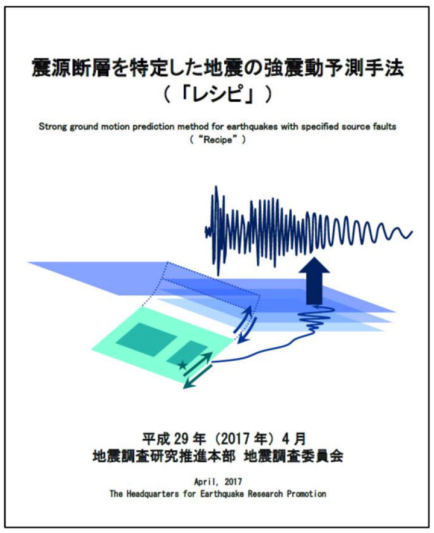
レシピによる震源特性パラメータの設定

震源特性
(震源の大きさ・マグニチュードなど)

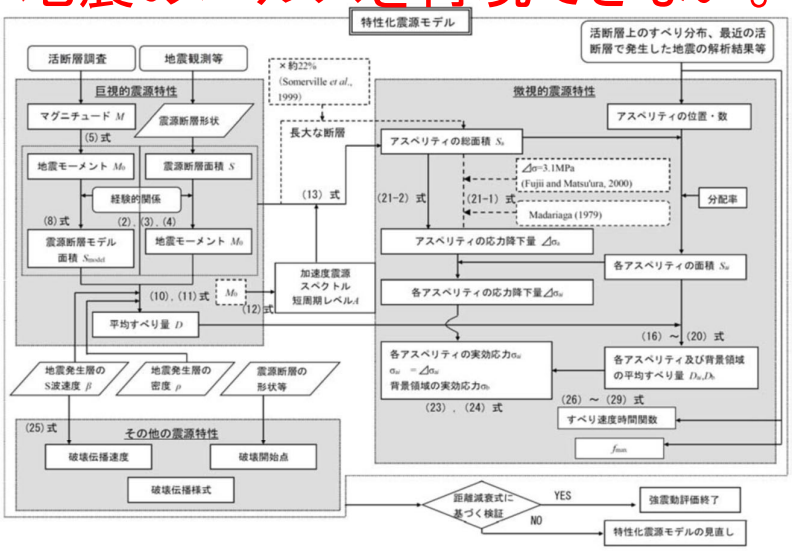
○政府の機関である**地震調査研究推進本部**により、誰が計算しても同じ結果となるように断層モデルを用いた手法の地震動評価の手順が「レシピ」として取りまとめられている。（丙D第18号証）

○1995年兵庫県南部地震や2005年福岡県西方沖地震等の観測記録を用いて検証がなされた**信頼性のある手法**である。

東北地方太平洋沖地震のパルスを再現できない。



強震動予測レシピ



活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の全体の流れ

震源のモデル化における重要なパラメータ

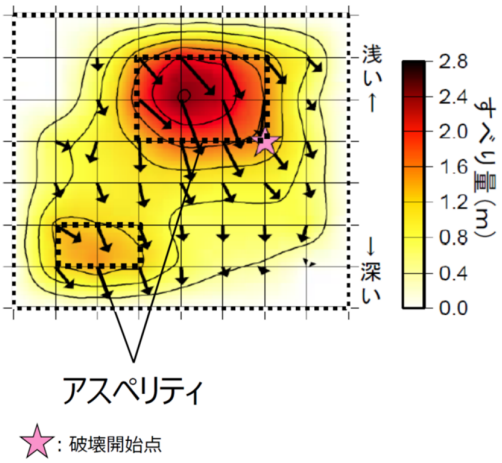
震源特性
(震源の大きさ・マグニチュードなど)

○不均質な震源断層面を、レシピに基づき特性化して震源モデルを作成する。

○アスペリティ※とは、活断層などの断層面上で、通常は強く固着していて、ある時に急激にずれて強い地震波を出す領域（強震動生成域）のこと。

○地震のゆれの評価で重要なパラメータは、「短周期レベル」と「アスペリティの位置」である。

※巨大なプレート間地震の場合は、SMGA（Strong Motion Generation Area）と言うことがある。



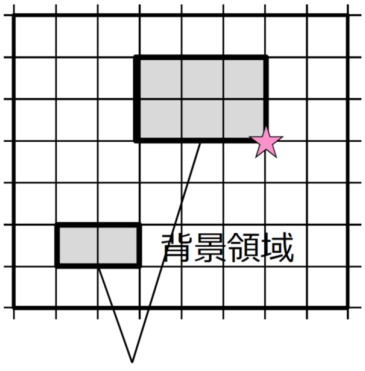
実際の地震（震源）の様子

レシピに基づきモデル化

- 断層の形や位置
- 断層の大きさ
- 地震規模
  など

- 短周期レベル
- アスペリティの位置
- アスペリティの面積
- アスペリティ、背景領域の平均すべり量
  など

設定する詳細なパラメータ



断層モデル

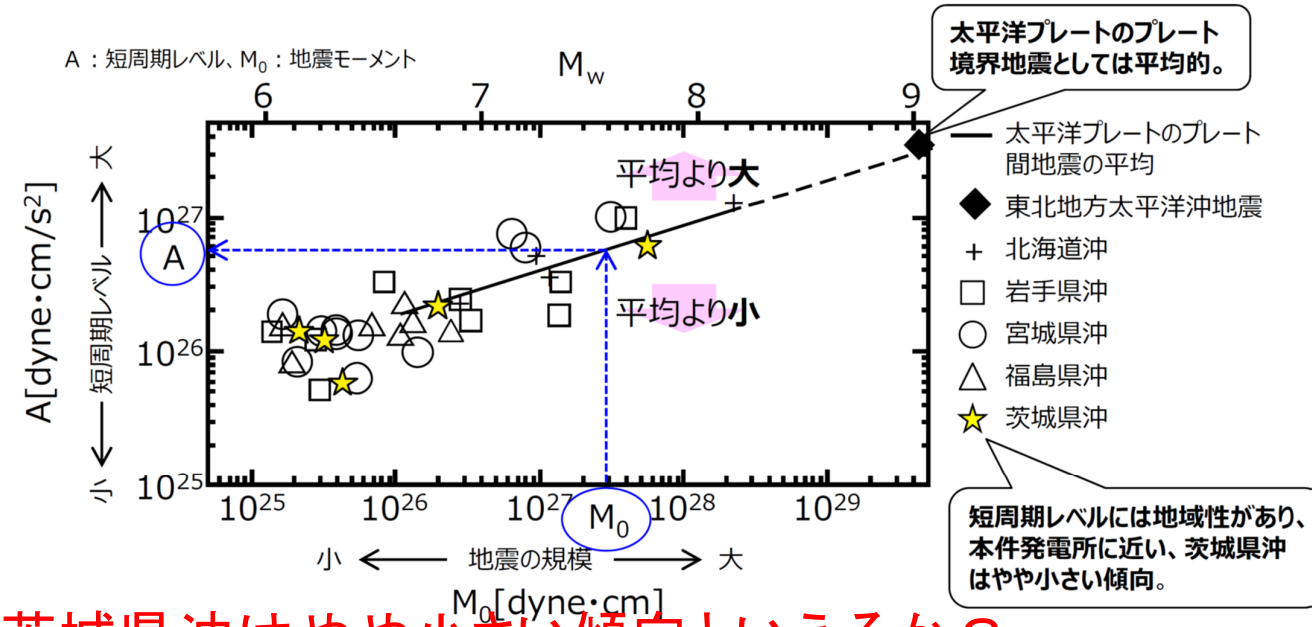
短周期レベルにおける地域特性

震源特性
(震源の大きさ・マグニチュードなど)

○短周期レベルは、震源から放出される短周期帯の揺れの大きさを表している。

○短周期レベル（Ａ）は、過去の地震から統計的に推定した、地震の規模を表す地震モーメント（M_0）との相対的な関係から設定することができる。

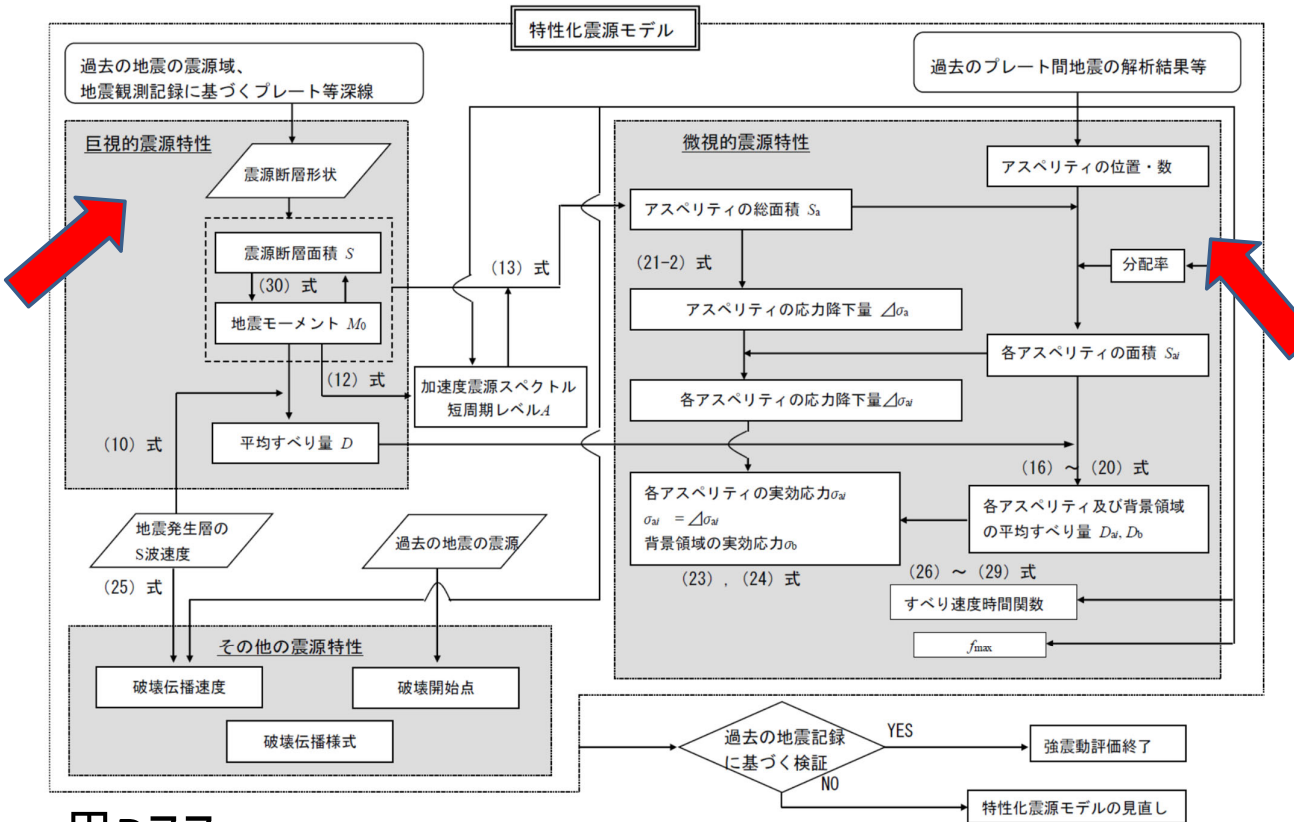
○短周期レベルには地域性があり、平均に比べ、宮城県沖は大きく茨城県沖はやや小さい傾向にある。



茨城県沖はやや小さい傾向といえるか？

佐藤(2012)に基づき作成

震源断層を特定した地震の強震動予測手法



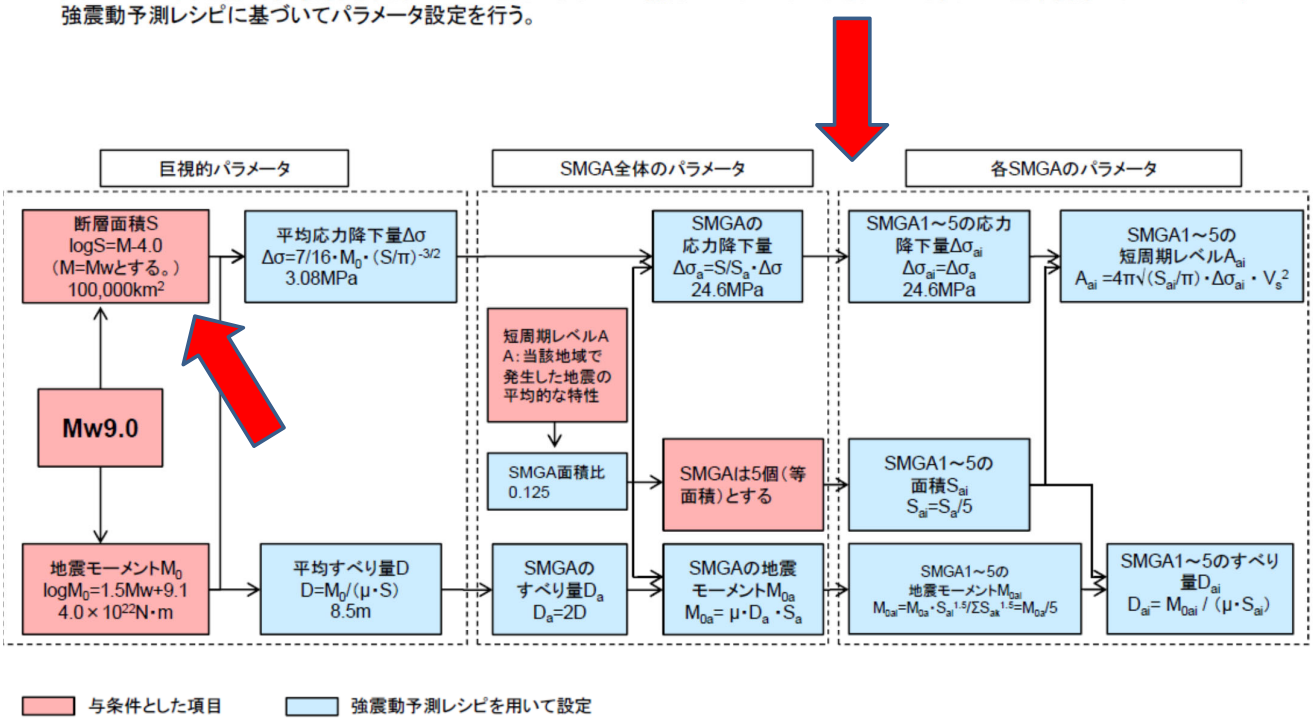
付図5　プレート間地震の震源特性パラメータ設定の流れ

甲D77

基本震源モデルの設定フロー

第358回審査会合
資料1修正

■巨大プレート間地震に対し強震動予測レシピが適用できることは諸井ほか(2013)で示されている。よって基本震源モデルについて，強震動予測レシピに基づいてパラメータ設定を行う。



(SMGA: 強震動生成域)

基本震源モデルの設定(2／2)

第336回審査会合
資料1再掲

■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，2011年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，2011年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】

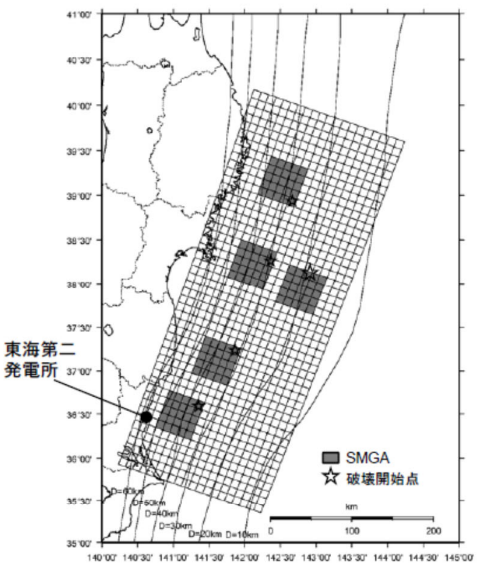
・地震調査研究推進本部の領域区分に基づき5個のSMGAを設定し，2011年東北地方太平洋沖地震のSMGAや，それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置する。

・茨城県沖のSMGA位置は，2011年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2011年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】

2011年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

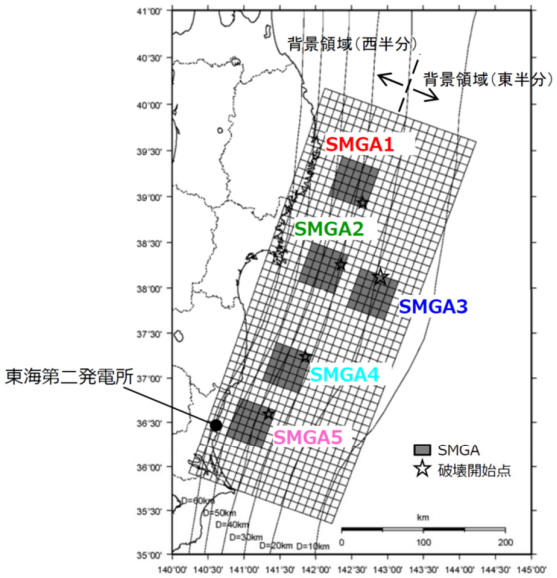
敷地に与える影響の大きいSMGAの確認

震源特性
（震源の大きさ・マグニチュードなど）

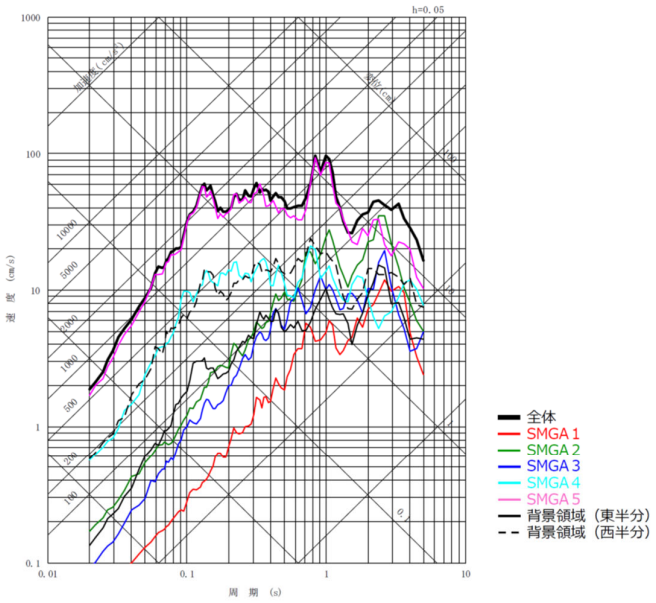
○各SMGAの本件発電所の解放基盤表面における揺れの強さを比較する。

○南北に500kmと巨大な断層面であるが、敷地の地震動は茨城県沖のSMGA5でほぼ決まっている。
（他のSMGAは敷地の地震動にほとんど影響しない。）

○SMGA5の位置と短周期レベルが地震動評価上重要である。



基本震源モデル

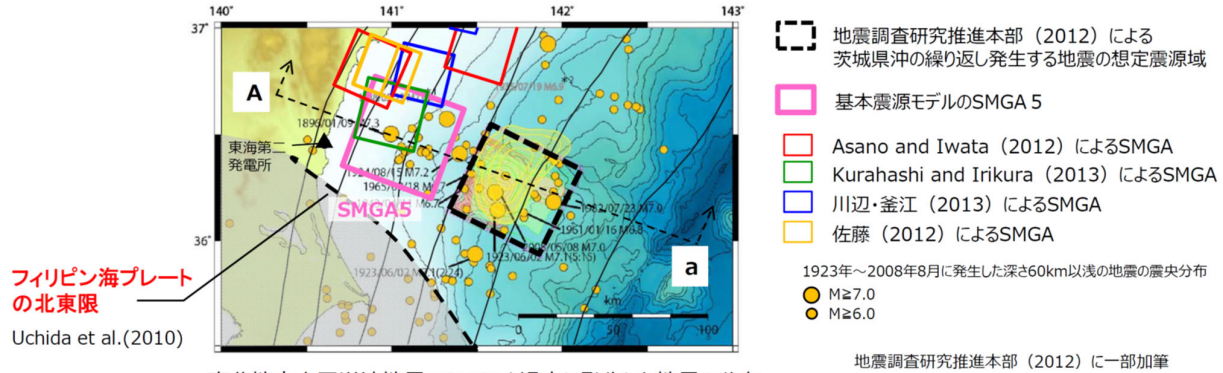


NS成分

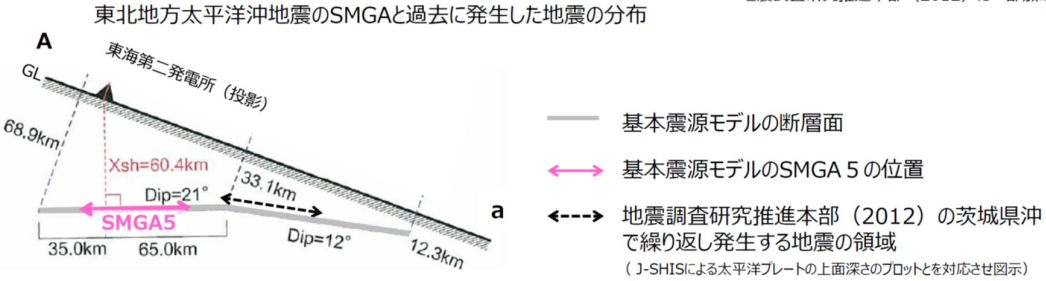
基本震源モデルにおけるSMGA5の位置

震源特性
（震源の大きさ・マグニチュードなど）

○基本震源モデルのSMGA５（茨城県沖）は、地震調査研究推進本部（2012）による茨城県沖で繰り返し発生する地震の領域や、他の研究者の震源モデルのSMGAに比べて本件発電所に近い位置となっており、安全側の設定になっていることを確認した。



東北地方太平洋沖地震のSMGAと過去に発生した地震の分布



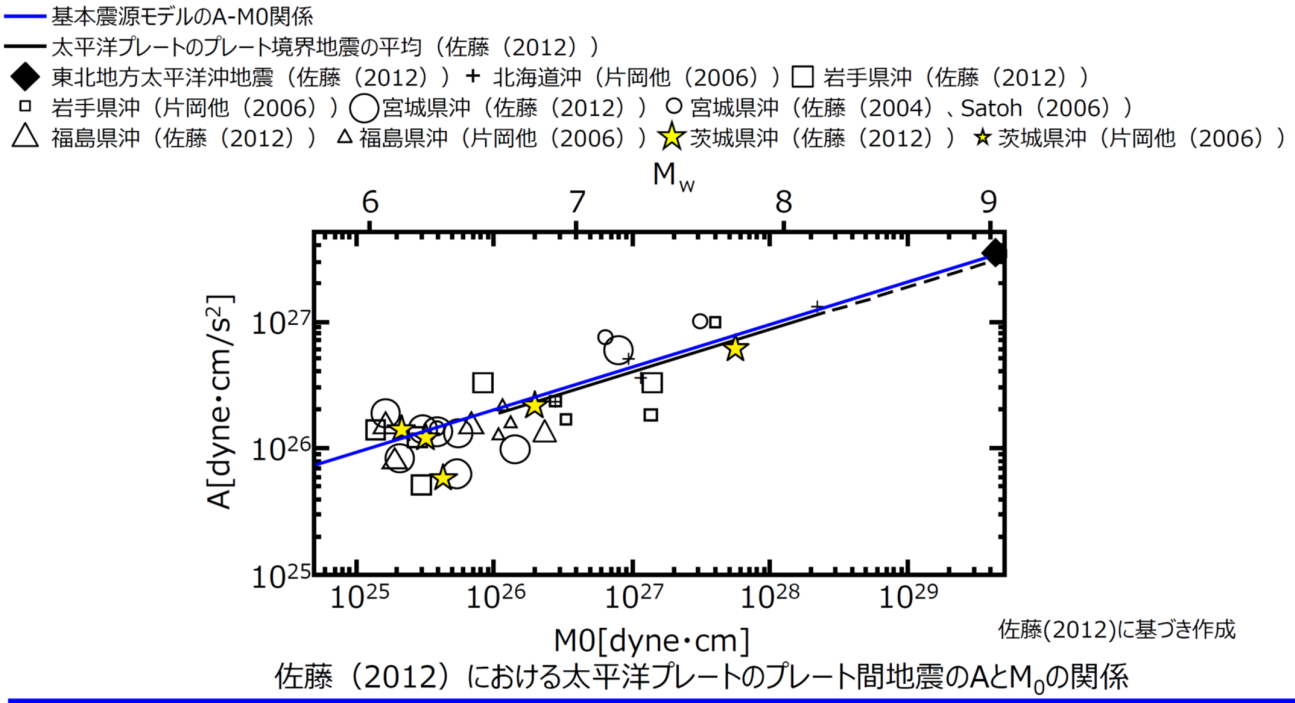
基本震源モデルのSMGA５と茨城県沖で繰り返し発生する地震の領域との比較

基本震源モデルにおける短周期レベルの設定

震源特性
(震源の大きさ・マグニチュードなど)

○基本震源モデルの短周期レベルについては、茨城県沖では他の地域に比べて小さい傾向であるが、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の平均的な値を採用しており、安全側の設定になっていることを確認した。

原発の耐震設計の基本震源モデルが、平均的な値でいいのか？



佐藤(2012)に基づき作成

佐藤（2012）における太平洋プレートのプレート間地震のAとM_0の関係

地震動審査ガイド

「3.3.2　断層モデルを用いた手法による地震動評価」の（4）①の2）では、「アスペリティの応力降下量（短周期レベル）については、新潟県中越沖地震を踏まえて設定されていることを確認する」

「3.3.3　不確かさの考慮」

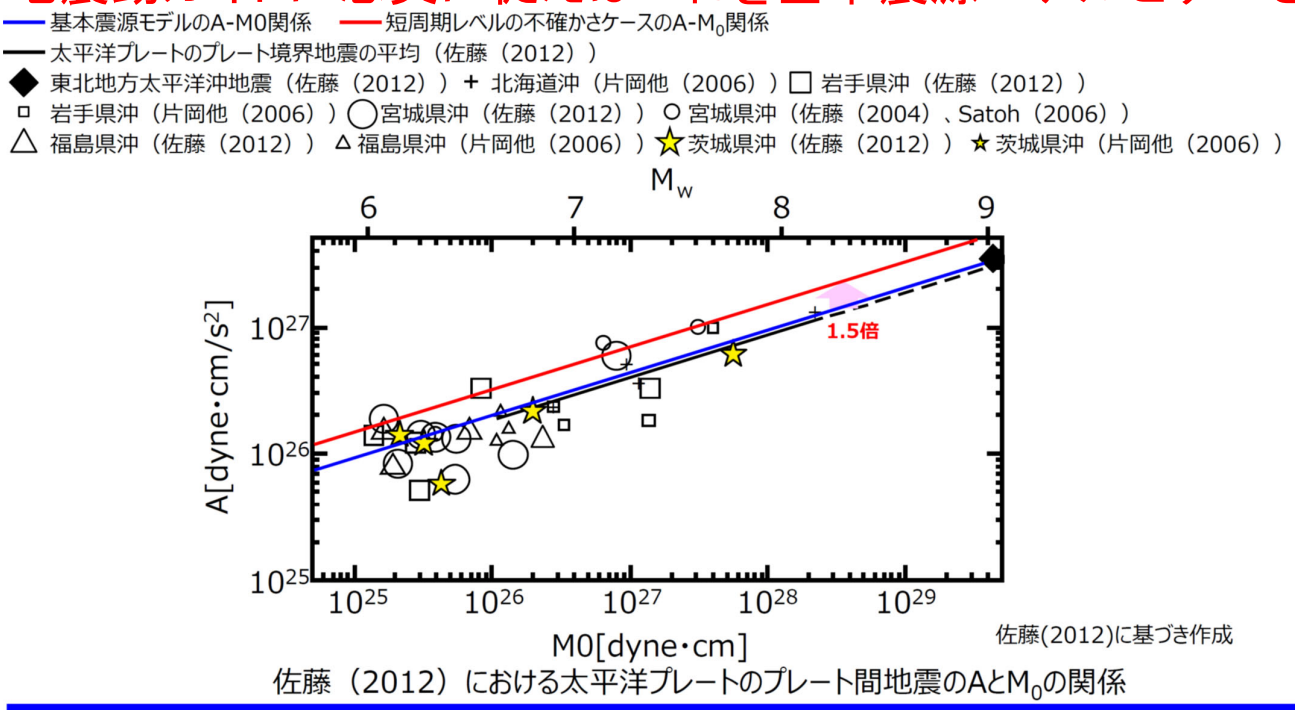
したがって、中越沖地震の知見を踏まえることは、「3.3.3　不確かさの考慮」の以前の、基本モデル設定の際になすべきこととされていることは、同ガイドの構成上も、明らかである

不確かさの考慮②　短周期レベルの不確かさ

震源特性
（震源の大きさ・マグニチュードなど）

○不確かさとして考慮する短周期レベルについては、太平洋プレートの領域で発生する地震の短周期レベルを概ねカバーするように基本震源モデルの1.5倍を考慮する。

地震動ガイドに忠実に従えばこれを基本震源モデルとすべき



佐藤(2012)に基づき作成

佐藤（2012）における太平洋プレートのプレート間地震のAとM_0の関係

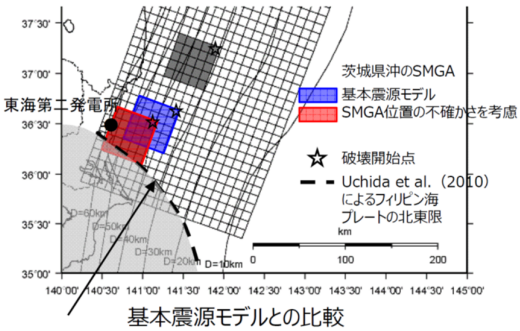
不確かさの考慮①　SMGA位置の不確かさ

震源特性
（震源の大きさ・マグニチュードなど）

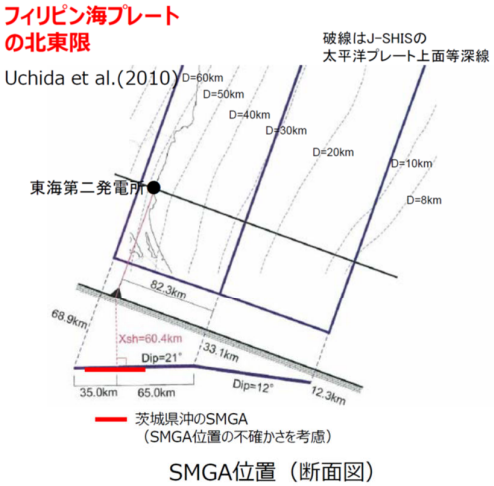
質問事項
第３－２

○前述の通り、基本震源モデルのSMGA5の位置は、地震調査研究推進本部（2012）による茨城県沖で繰り返し発生する地震の領域や、他の研究者の震源モデルのSMGAに比べて本件発電所に近い位置としている。

○さらに、フィリピン海プレートの北東限が破壊のバリアとなるため、SMGA5がこれよりも敷地に近づくことは考えにくいが、敷地からの距離が最短となる位置までSMGA5を近づけたケースを考慮する。



基本震源モデルとの比較



SMGA位置（断面図）

不確かさの重畳

○SMGA位置、短周期レベルの不確かさを考慮した地震動評価を行う。

○さらに、これらの不確かさの重畳を考慮して安全側の評価とする。

評価ケース	地震規模	短周期レベル	SMGA位置	破壊開始点
基本震源モデル	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	過去に発生した地震の震源域を参考に配置	破壊が敷地に向かう位置に設定
SMGA位置の不確かさ	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	SMGA 5 を敷地に最も近い位置に移動	破壊が敷地に向かう位置に設定
短周期レベルの不確かさ	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	過去に発生した地震の震源域を参考に配置	破壊が敷地に向かう位置に設定

不確かさの重畳を考慮して安全側の評価とする

SMGA位置の不確かさと短周期レベルの不確かさの重畳	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	SMGA 5 を敷地に最も近い位置に移動	破壊が敷地に向かう位置に設定

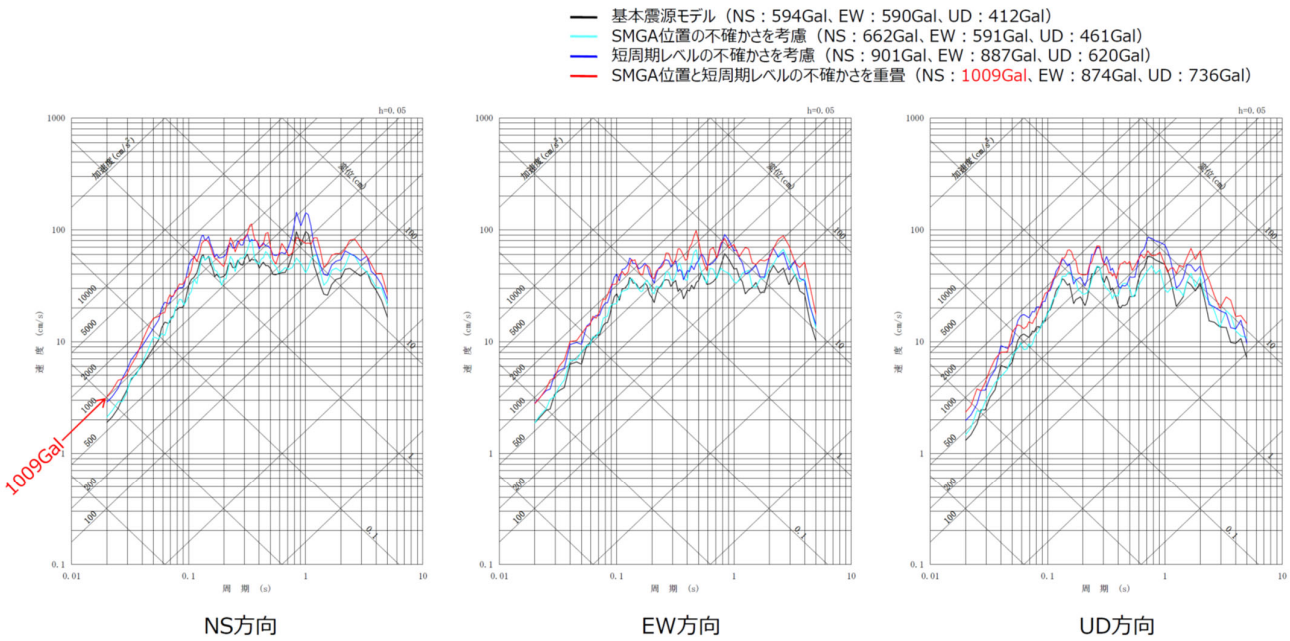
不確かさを考慮して設定するパラメータ

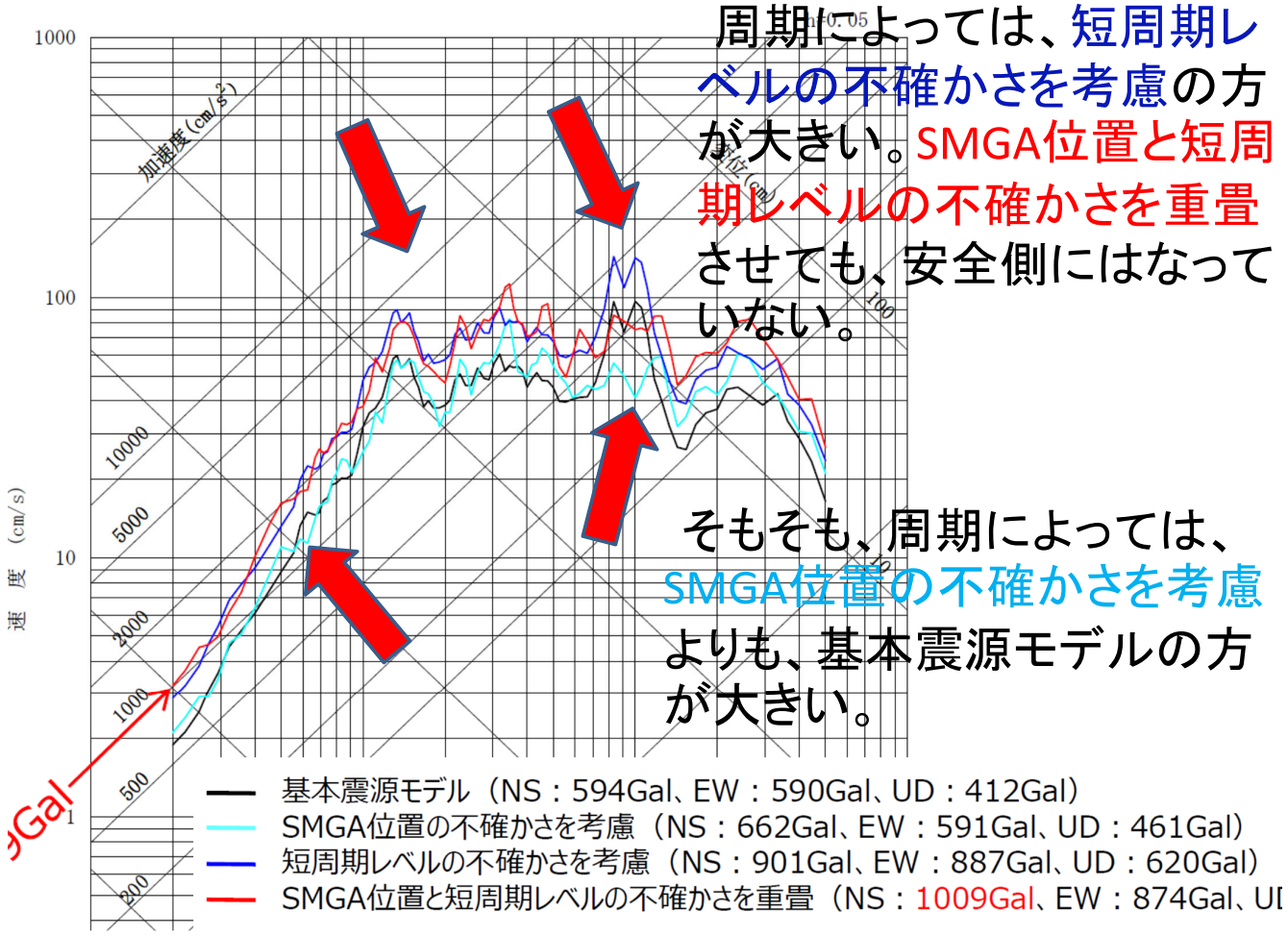
※1　茨城県沖で発生する地震に対しては大きめの設定となっている。
※2　すべてのSMGAの短周期レベルを1.5倍している。

断層モデルを用いた手法による地震動評価

○断層モデルを用いた手法による各地震動評価結果を示す。

○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方向で1009Galの地震動評価結果となった。





強震動予測レシピ

- 地震が発生していない場合

  →強震動予測レシピは、地震動予測の一手法であるが、まだまだ不完全なものであり、改良の余地が多数ある。原発の耐震設計に使う場合には、予測結果には大きな誤差が伴うことを考慮に入れなければならない。

- 現に地震が発生し観測記録が得られている場合

  →地震動予測と観測記録（新知見）を比較することによって、それまでの強震動予測が過小評価となることが判明した場合には、新知見を反映した改良した地震動予測手法を用いなければならない。

断層モデルの信頼性

地震の観測記録が得られていない。観測記録が乏しい。微小地震の観測記録しか無い。

→

断層モデル（強震動予測レシピ）不完全なもの

→

基準地震動（将来起こりうる最大の地震動）（誤差が大きい）

地震の観測記録が得られている。（ただし、最大の地震動ではない。）

→

断層モデル 観測記録（新知見）との比較で、強震動予測が過小評価となることが判明した場合 →改良が必要

→

基準地震動（将来起こりうる最大の地震動）（相対的に誤差を少なくすることができる）

強震動予測レシピ

- 2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震においては、各地で詳細な観測記録が得られている。そこで、これらの観測記録を、強震動予測レシピで再現できるかどうか、が問題となる。

日本原電の主張

- 「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、2011年（平成23年）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」

標準的な強震動レシピに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現 丙D44

○諸井孝文[1)]・広谷　浄[2)]・石川和也[3)]・水谷浩之[4)]・引間和人[5)]・川里　健[6)]・生玉真也[7)]・釜田正毅[8)]
1)正会員 (株)小堀鐸二研究所,東京都港区赤坂6-5-30,moroi@kobori-takken.co.jp,
2)非会員 東北電力(株),仙台市青葉区本町1-7-1,hirotani.kiyoshi.nv@tohoku-epco.co.jp, 3)同,ishikawa.kazuya.yp@tohoku-epco.co.jp,
4)非会員 東京電力(株),東京都千代田区内幸町1-1-3,mizutani.hiroyuki@tepco.co.jp, 5)正会員 同,hikima.kazuhito@tepco.co.jp,
6)正会員 日本原子力発電(株),東京都千代田区神田美土代町1-1,takeshi-kawasato@japc.co.jp, 7)同,shinya-ikutama@japc.co.jp,
8)非会員 鹿島建設(株),東京都港区赤坂 6-5-11,kamata-masaki@kajima.com

標準的な強震動レシピに基づき、東北地方太平洋沖地震の強震動が再現できているとするのは、諸井孝文ほか（2013）のこの論文だけ。諸井孝文（小堀研）、釜田正毅（鹿島）のほかは、東京電力、東北電力、日本原電の会社関係者だけ。
ただし、「東海地点に比較して、女川地点の解析結果はやや過少評価となっている」ことは認めている。

丙D44

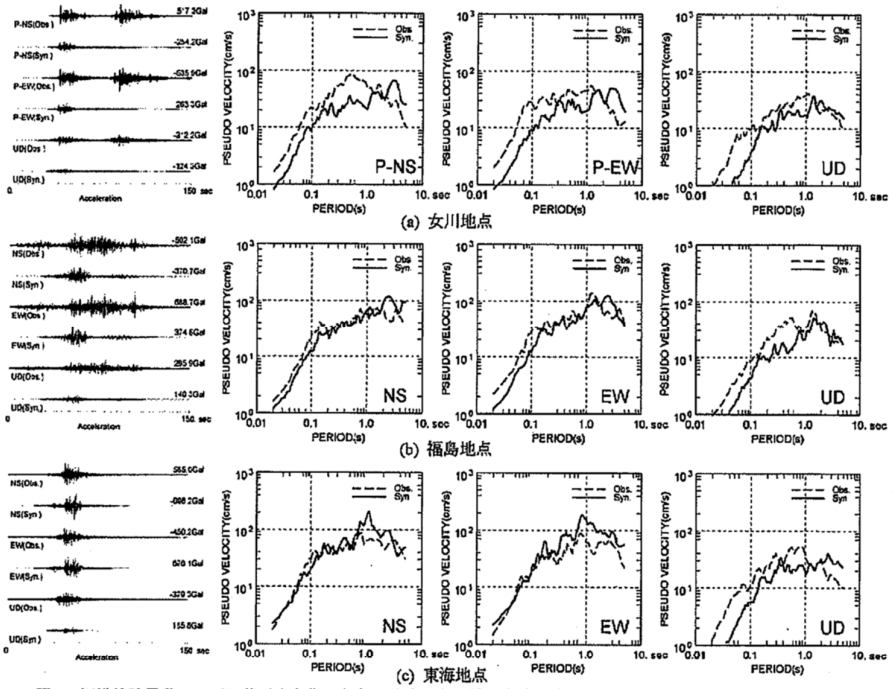


図3　標準的強震動レシピに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動（加速度波形と h=5%擬似速度応答ｽﾍﾟｸﾄﾙ）

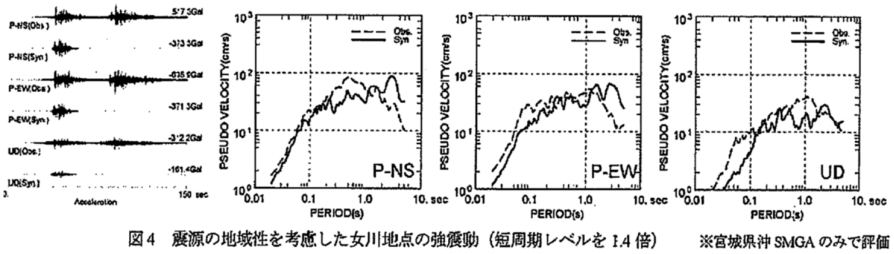


図4　震源の地域性を考慮した女川地点の強震動（短周期レベルを 1.4 倍）　※宮城県沖 SMGA のみで評価

左図は速度応答スペクトル図。これでは、パルスは見えない。

強震動予測レシピでは観測記録が再現できない

- ① 東北地方太平洋沖地震の際、第二波群の先頭に、大振幅の、構造物にとって脅威となるパルス波が含まれていた。
- ② ノーマルの強震動予測レシピ（すなわちSMGA（Strong Motion Generation Area）モデル）では、このパルスを表現できない。
- ③ より狭い領域から鋭いパルスが生成されるSPGA（Strong-motion Pulse Generation Areas）モデルを用いれば、このパルスを再現できる。
- ④ ノーマルの強震動予測レシピでも、SMGA内の小さなサブエリア内でより高い応力パラメータを持つ「不均質モデル」を使用すれば、このパルスを再現できる。

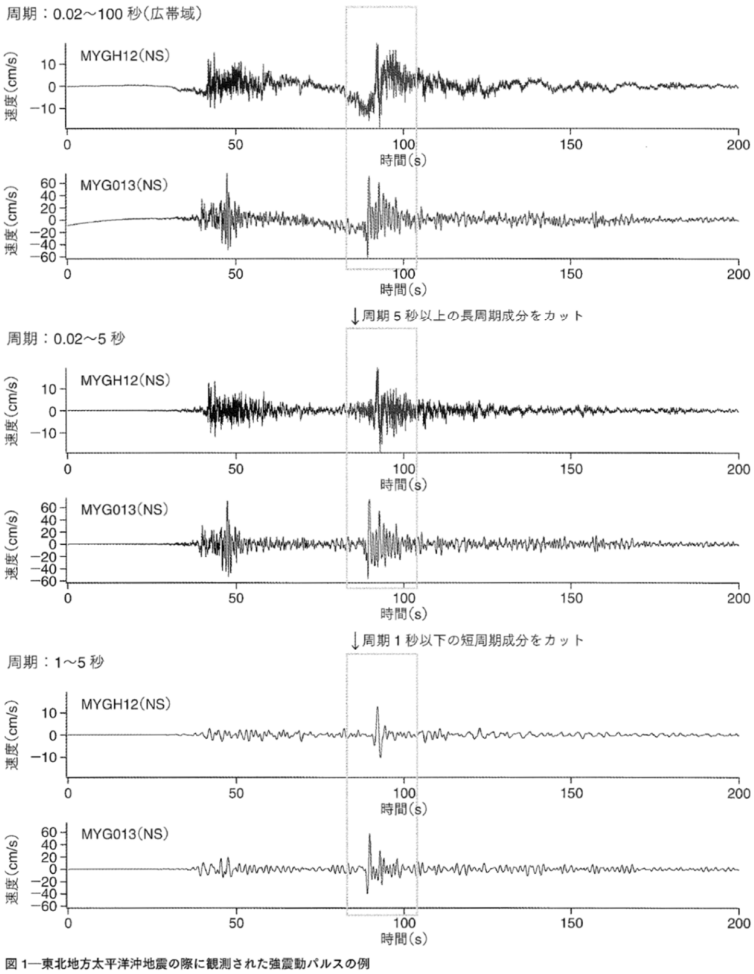


図 1—東北地方太平洋沖地震の際に観測された強震動パルスの例

甲D80

甲D81の元図

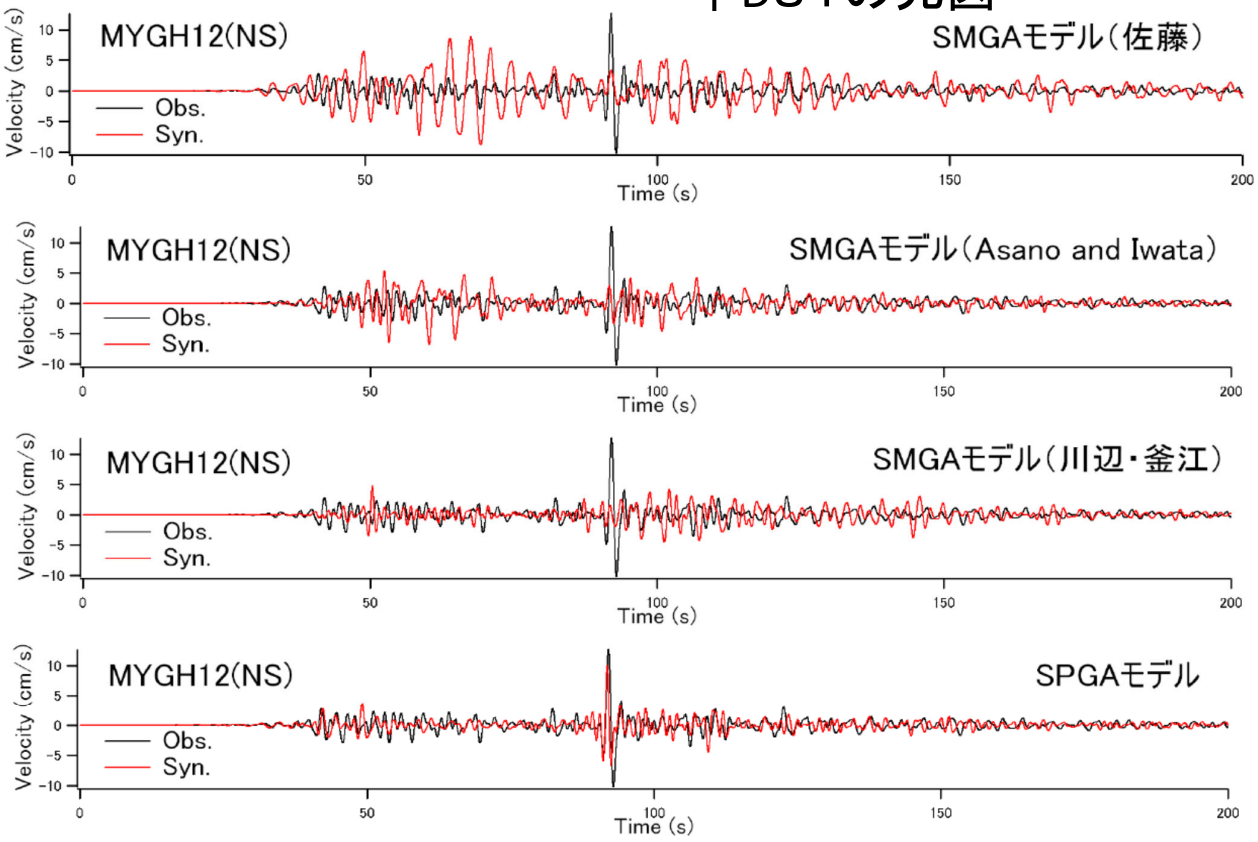


図 12　MYGH12 における速度波形（0.2-1Hz）の観測結果（—Obs.）と
SMGA モデルおよび SPGA モデルによる計算結果（—Syn.）

甲D81の元図

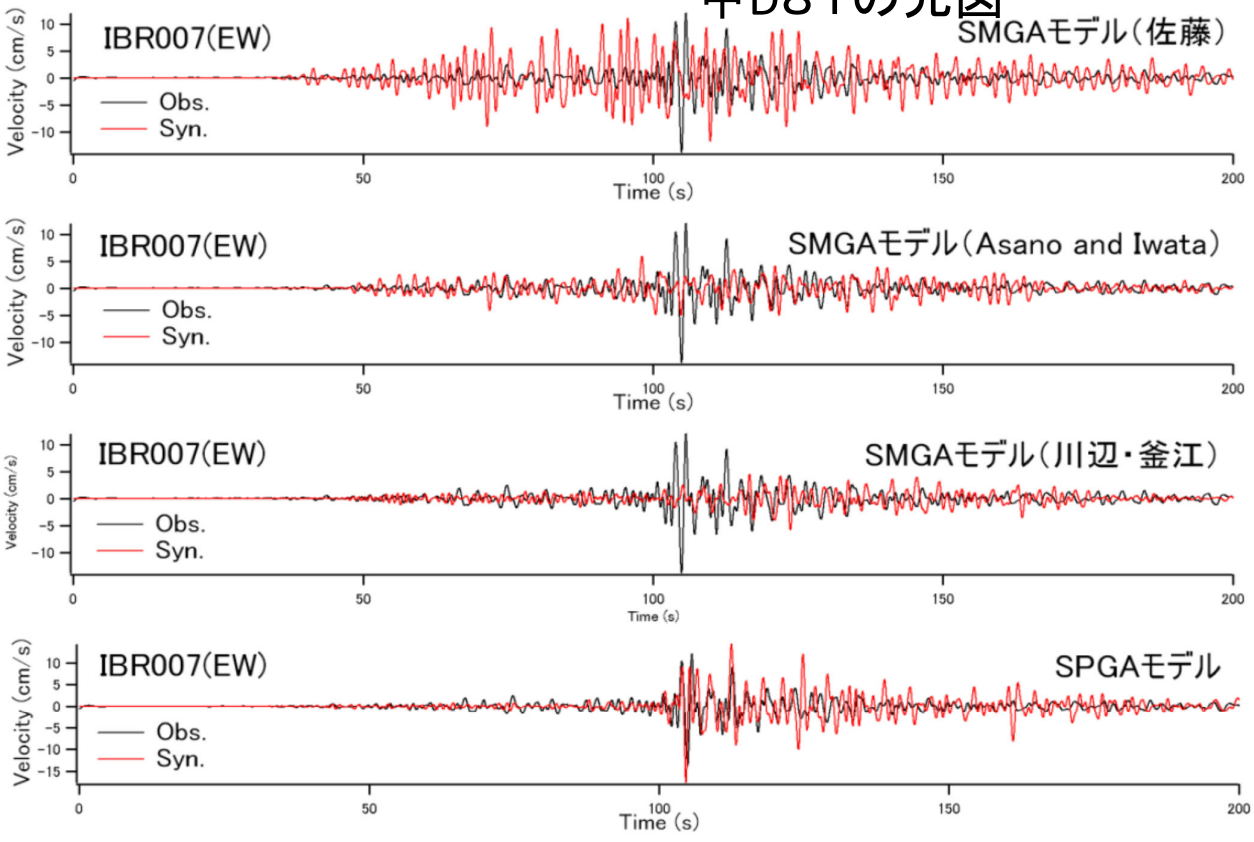
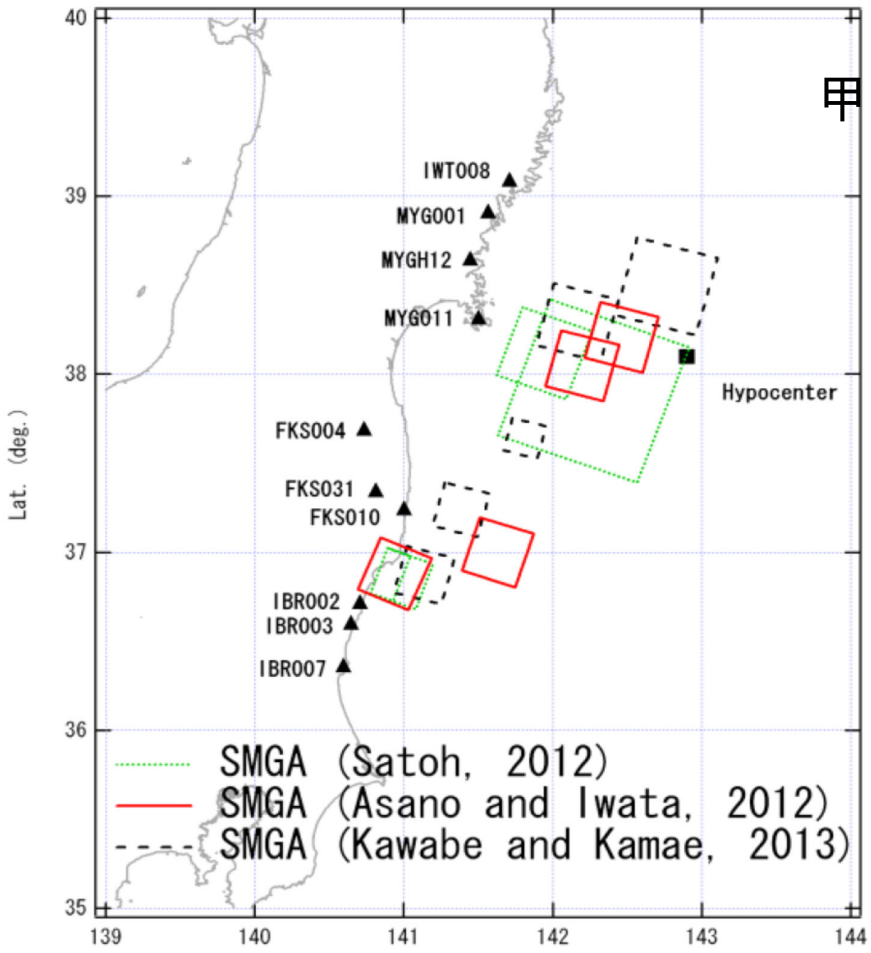
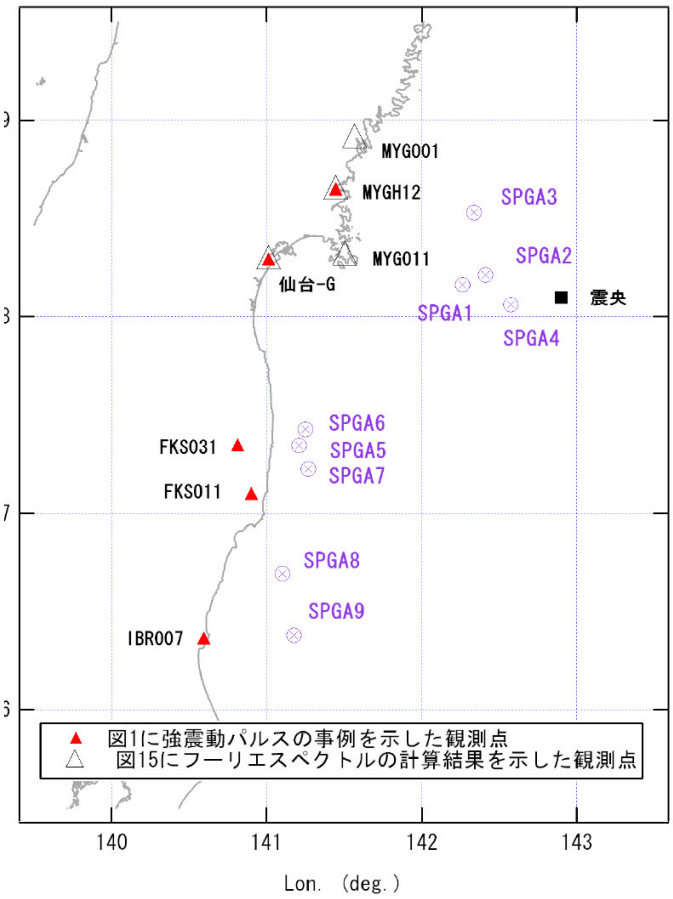


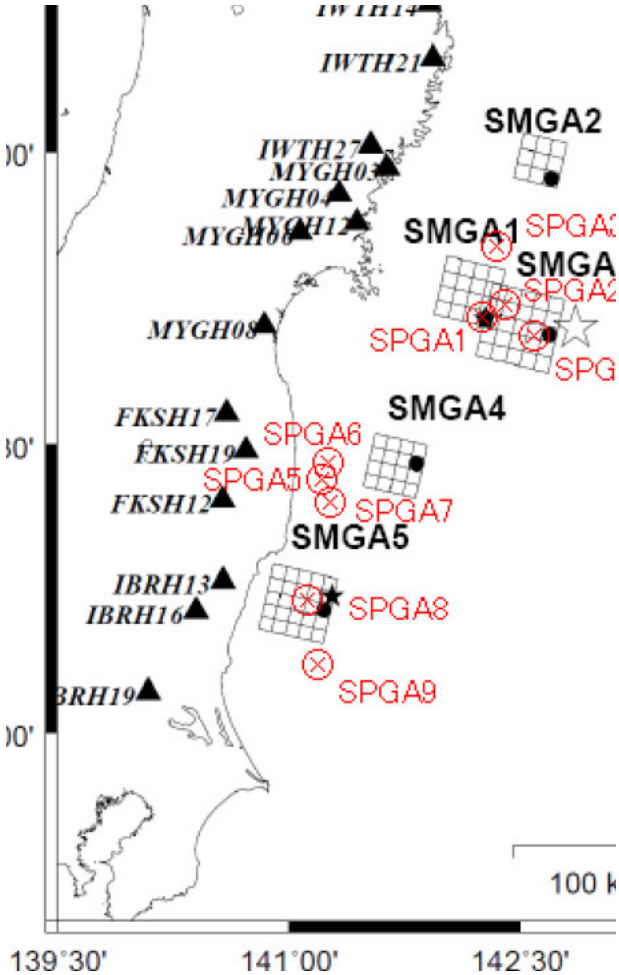
図 13　IBR007 における速度波形（0.2-1Hz）の観測結果（—Obs.）と
SMGA モデルおよび SPGA モデルによる計算結果（—Syn.）

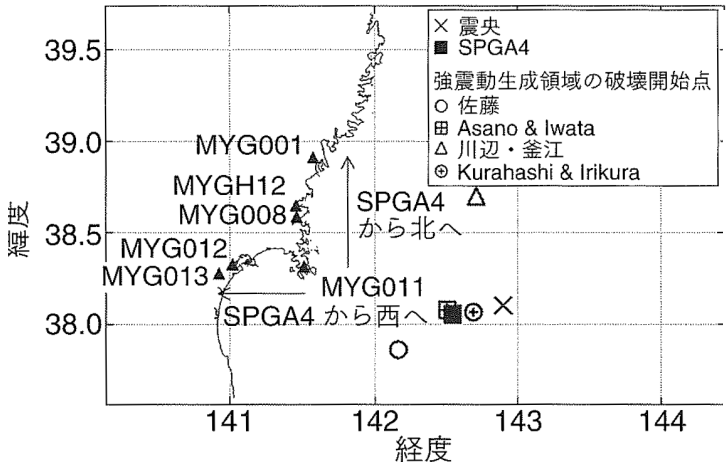


甲D81の元図



甲D79





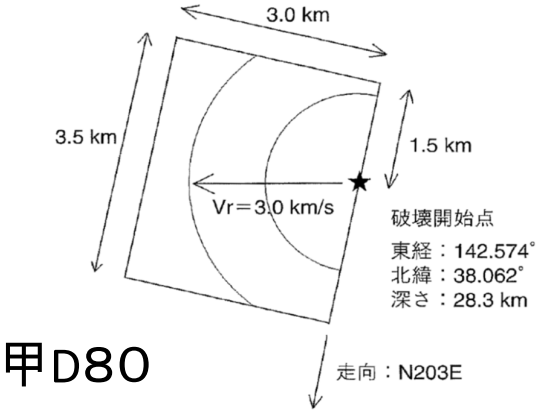


図 4―東北地方太平洋沖地震の第二波群先頭のパルスを説明するために筆者[13, 14]が提案している SPGA

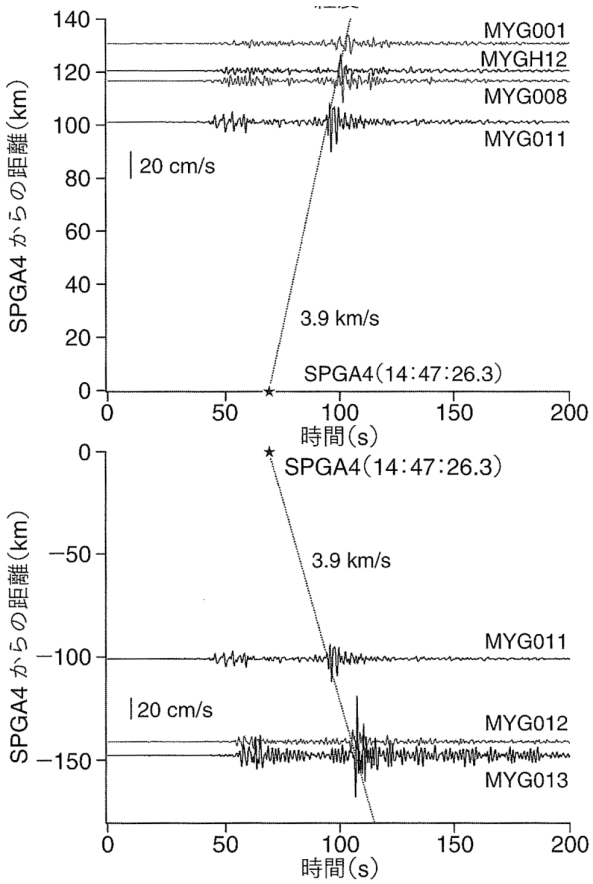


図 3―強震動パルスの伝播の様子：(上)着目する観測点，(中)南から北へ，(下)東から西へ

SMGAモデルとSPGAモデルの違い

SMGAモデル
→一辺が数十km程度のより広い領域から、その内部は均質として扱い、地震波がまんべんなく生成される。

SPGAモデル
→一辺が数km程度の狭い領域（SPGA）から地震波が集中的に生成される。
狭い領域が対象施設の近くにあればより厳しい地震動となる。

SMGAモデルとSPGAモデルの違い

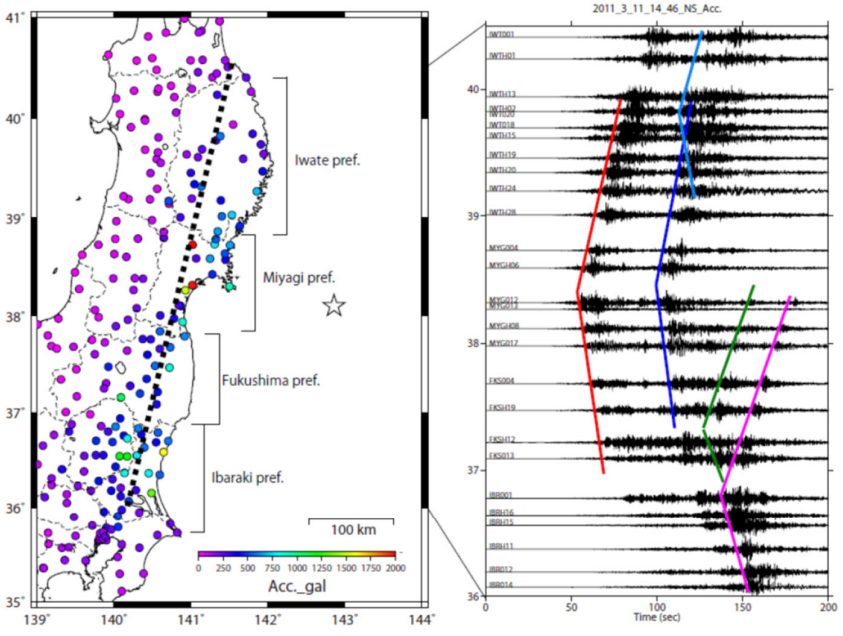
「従来のSMGAモデルでは東北地方太平洋沖地震の際の女川原子力発電での観測波を再現することが困難であることは、kurahashi＆irikuraも指摘している。この研究では、SMGAの中にパルスを生成するための小領域を設定しており、この小領域が筆者らの研究のSPGAに相当すると考えられる。」（甲D81「科学2017.5」439頁）。

3－3　プレート間地震の地震動評価

基本震源モデルの設定　地震観測記録を説明する各研究者の震源モデルの知見

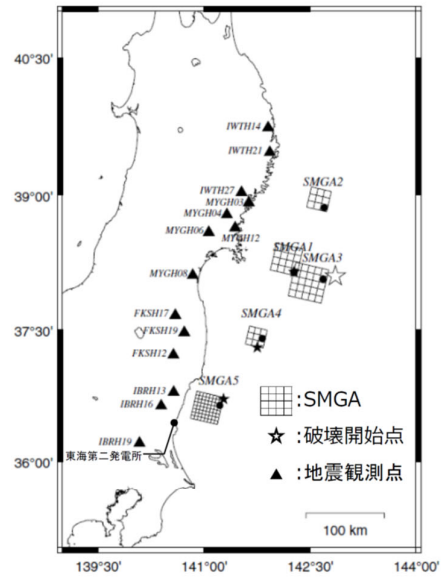
○2011年東北地方太平洋沖地震では東北日本で多数の地震観測記録が得られており、この記録を再現する震源モデルが提案されている。

日本原電説明会資料



東北地方太平洋沖地震の地震観測記録

入倉・倉橋（2012）より抜粋



Kurahashi and Irikura（2013）による震源モデル（一部加筆）

kurahashi＆irikura(2013)の指摘は無視？

Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake　kurahashi＆irikura(2013)

我々は震源断層近くの観測点における強震記録を用いて2011 年東北地方太平洋沖地震の短周期震源モデルを構築した。観測された強振動には，特定の強震動生成域（SMGA）に対応する5つのウェーブパケット（波群）を含んでいる。ウェーブパケットの発生場所は，センブランス解析を用いて震源地震記録から推定した。

SMGAの位置は，対応するウェーブパケットから抽出された情報にもとづいて決定した。短周期震源モデルは，震源の西側で震源断層の下降端に沿って位置する5つのSMG A（SMGA1～5）からなる。SMGA1は震源よりも西側の宮城沖の震源域に，SMGA2は震源の北側の中央三陸沖の震源域に，そしてSMGA3は震源の西側にある南三陸沖の震源域に位置している。SMGA4とSMGA5は福島県沖から茨城県沖にかけての震源断層の沈み込みの縁付近に位置している。震源断層近くのいくつかの観測点では，記録された地震記録にパルス波形（衝撃状の波形）が見られる。

これらのパルス波に対応する地震動は従来の「均質なSMGAモデル」では再現できない。代わりに「不均質な震源モデル」を用いて震源断層のすぐ近くの女川原子力発電所の深さ128m で観測された地震動をシミュレーションすることを試みた。パルス波はSMGA内の小さなサブエリア内でより高い応力パラメータを持つ「不均質モデル」を使用することで良く再現できる。

甲D123

甲D123

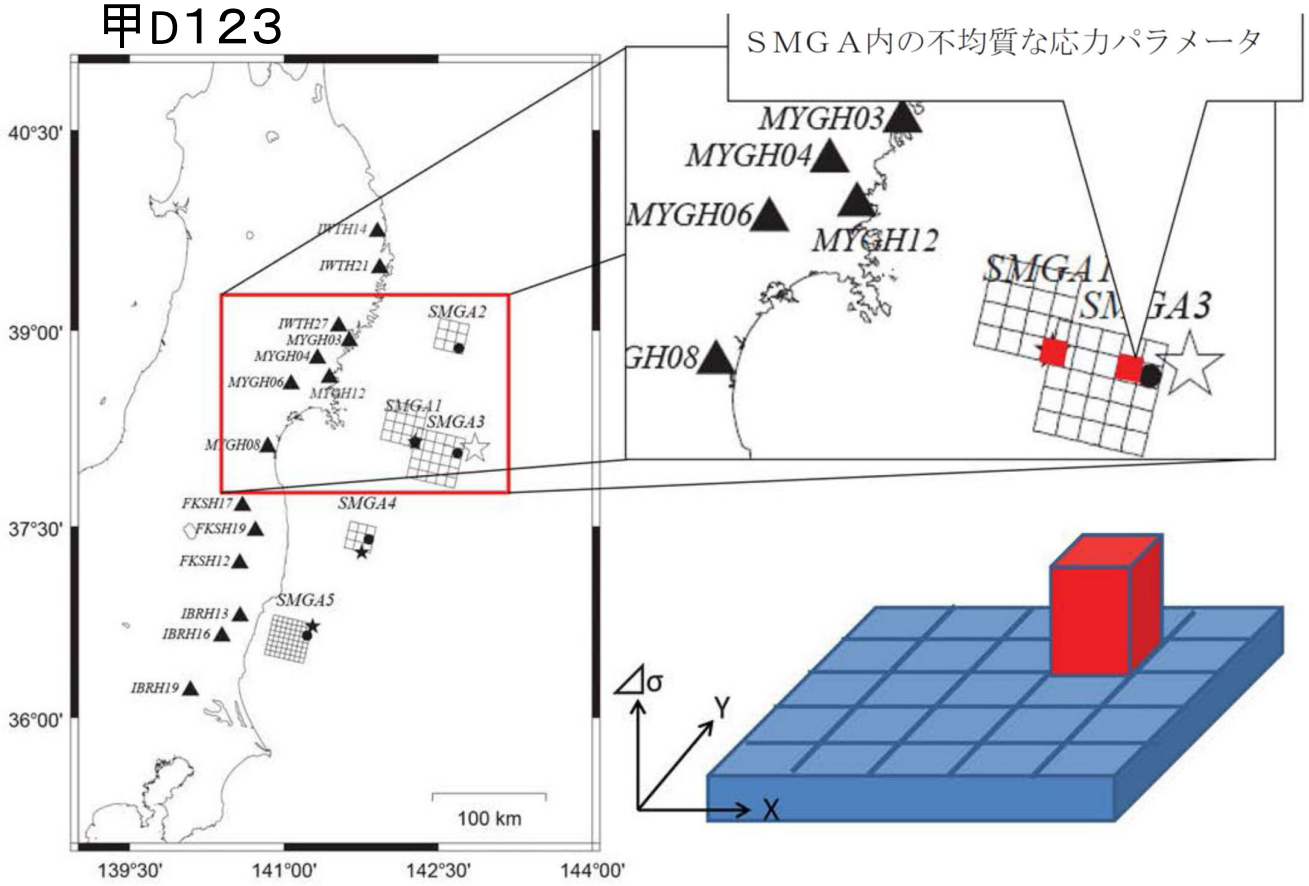


図 17.（左）この研究で使用された短周期震源モデル。（右上）強震動生成域１（ＳＭＧＡ１）と強震動生成域３（ＳＭＧＡ３）の拡大図。より高い応力パラメータが赤枠内に含まれる。（右下）空間的に様々な応力パラメータを入力した不均質ＳＭＧＡモデル。

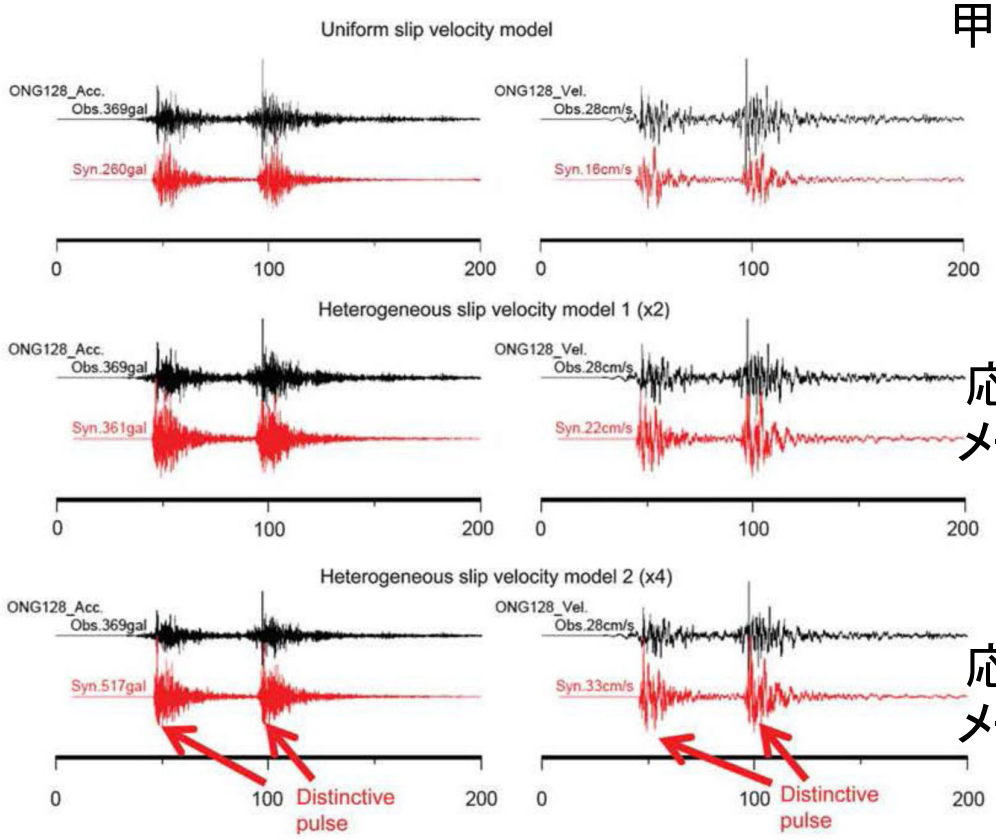


図 18.（ONG128 女川観測点での）南北成分の速度の観測記録と合成記録の比較。均質なすべり速度モデル（上），応力パラメータを２倍に増加させた不均質なすべり速度モデル１（中），応力パラメータを４倍にした不均質なすべり速度モデル２（下）。（※訳注：中段，下段の不均質モデルで特徴的なパルス波が再現できている）

東北地方太平洋沖地震の観測記録に基づく知見

① 東北地方太平洋沖地震の際、第二波群の先頭に、大振幅の、構造物にとって脅威となるパルス波が含まれていた。

② ノーマルの強震動予測レシピ（すなわちSMGA（Strong Motion Generation Area）モデル）では、このパルスを表現できない。

③ より狭い領域から鋭いパルスが生成されるSPGA（Strong-motion Pulse Generation Areas）モデルを用いれば、このパルスを再現できる。

④ ノーマルの強震動予測レシピでも、SMGA内の小さなサブエリア内でより高い応力パラメータを持つ「不均質モデル」を使用すれば、このパルスを再現できる。

⑤ ノーマルなSMGAモデルを用いて策定された地震動は過小評価となる。

パルス波を再現するのに、③SPGAモデルが正しいのか、④SMGA内の小さなサブエリア内でより高い応力パラメータを持つ「不均質モデル」が正しいのか、はここでは問題にならない。裁判は、そのような科学論争についての判断を求める場ではない。

重要なのは、ノーマルなSMGAモデルでは、東北地方太平洋沖地震の地震動が再現できないことを、モデルの提唱者自身を含めた複数の専門家が認めているのに対して、これを再現できると述べている論文は、ゼネコンと電力会社の関係者らによるわずか2頁の論文1本だけであることである。

従って、ノーマルなSMGAモデルを用いて策定された東海第2原発の地震動は、過小評価となるおそれが高い。

東北地方太平洋沖地震の観測記録に基づく知見

「第二波群先頭の問題のパルス波は、仙台市からみて150kmも沖合から来た」

「海溝型巨大地震のSPGAは150km離れた地点に震度7や100cm／sの地震動を作り出すだけの力がある。規模の大きい内陸地殻内地震において震度7や100cm／sの地震動を経験してきているが、これらはいずれもアスペリティ最短距離にして20km程度以下の観測事例であったことを考えれば、海溝型巨大地震のSPGAがいかに脅威かがわかる。このSPGAがより陸域に近いところに存在していたら・・・・と考えてみることも必要である。」

「原子力発電所のように、一旦事故が起これば国民生活全般を脅かしかねない重要施設の耐震性の検討のために、大規模なプレート境界地震を対象として基準地震動を策定する場合においては、東北地方太平洋沖地震のSPGA4に相当するような強いSPGAの破壊が対象施設の近傍で生じるような条件を考慮することが必要である。」（甲D80「科学2015.10」979頁）

東北地方太平洋沖地震の観測記録に基づく知見

「原子力規制委員会が作成している審査ガイド（案）においては、アスペリティ（強震動生成領域に相当）の位置や応力降下量の不確かさには言及されているが、SPGA（もしくは強震動生成領域の中で局所的に応力降下量の高い部分）の位置や応力降下量の不確かさには言及されていない」（甲D80「科学2015.10」980頁）

予想したとおりの反論その1

・SPGAモデルは、再現モデルであって、得られた観測データに対しては精緻なモデルであっても、モデル化過程に不確かさが大きく、基準地震動評価には適さない（甲D86平成30年度原子力規制委員会第32回会議議事録18頁）

・提案者（野津厚氏のこと）も論文で、SPGAの位置設定等が今後の課題とされていて、強震動予測のパッケージとして確立されていない（同8頁）

・まだ、規制に取り入れるだけの科学的・技術的な熟度に至っていない（同19頁）

（被告準備書面（10）122頁）

予想したとおりの反論その1に対する反論

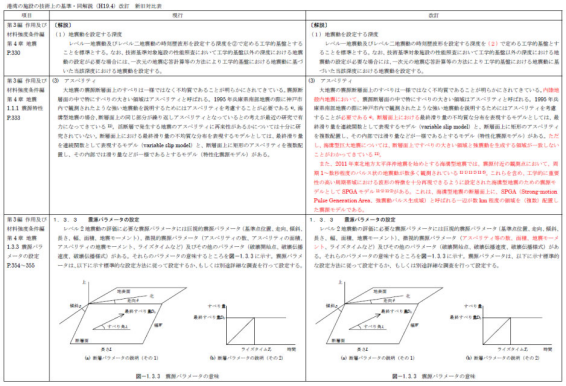
SPGAの位置設定等が今後の課題とされていて、強震動予測のパッケージとして確立されていないという趣旨は、小さな強震動生成域をいくつも配置することが必要となって、平均的な強震動生成域の配置モデルを作ることが難しい、という意味でしかない。

しかしながら、原発の耐震設計で必要なモデルは、もっとも原発に厳しい結果となるモデルである。どこにSPGAを配置するかについての、「平均的な強震動生成域配置モデル」を求める手法が確立されていないとしても、もっとも厳しい地震動をもたらすSPGAの配置を求めることは十分に可能である。

予想したとおりの反論その1に対する反論

SPGAモデルは、港湾の施設を建設、改良、維持する際に適用する基準として、港湾法第56条の2の2に基づき規定された「港湾の施設の技術上の基準」において、すでに採用され、現に運用されているモデルである。

甲D87



（「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007年版）」の部分改訂について」の(16)

予想したとおりの反論その1に対する反論

SMGAモデルを用いるとしても、東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえれば、④SMGA内の小さなサブエリア内でより高い応力パラメータ（最低でも4倍）を持つ「不均質モデル」を策定すべきであり、原発にとって、もっとも厳しい地震動をもたらす配置を求めることは十分に可能である。

予想したとおりの反論その1に対する反論

「規制に取り入れるだけの科学的・技術的な熟度に至っていない」
→この姿勢こそが、福島原発事故を招いた、根本的な原因であった。

平成14年（2002年）7月
地震調査研究推進本部の地震調査委員会
「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について」（甲D88）
三陸沖から房総沖の日本海溝沿いで過去に大地震がなかった場所でもマグニチュード8クラスの地震が起き得るとの見解を発表した。

予想したとおりの反論その1に対する反論

「長期予測では、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの地域のどこかで次の津波地震が発生するものとし、その規模を明治三陸地震のMt8．2から、Mt8．2前後（Mt8．1～8．3）とした。また、過去400年間に3回発生したことからポアソン分布を用い、30年発生確率を20%程度と推定した。」
（甲D89島崎邦彦「東北地方太平洋沖地震に関連した地震発生長期予測と津波防災対策」127頁）

予想したとおりの反論その1に対する反論

「福島第一原発の津波評価では、明治三陸地震の津波波高も計算している。よって、長期予測に従った評価をするには、断層モデルの位置を福島県沖の海溝付近へ移動して計算を行えば良い。このような計算を行えば2002年の時点で、福島第一原発に10mを超える津波が襲う危険が察知されたはずである。」
（甲D89島崎邦彦「東北地方太平洋沖地震に関連した地震発生長期予測と津波防災対策」130頁）

予想したとおりの反論その1に対する反論

しかしながら、当時の規制当局である原子力安全委員会も、原子力安全・保安院も、長期評価を軽視して、規制に取り入れることをせず、また、東京電力も、対策を先延ばしした。
その時の理由が、「規制に取り入れるだけの科学的・技術的な熟度に至っていない」というものだった。
このような態度が、福島原発事故を招いたことは、絶対に忘れてはならない。

予想したとおりの反論その2

SPGAモデルは、港湾の岸壁に最も影響を与える周期1～3秒の強震動パルスを再現するためのモデルで、原発の固有周期はもっと短周期を対象としたモデルでなければならない。
（甲D86平成30年度原子力規制委員会第32回会議議事録19頁）
（被告準備書面（10）122頁）

予想したとおりの反論その2に対する反論

強震動パルスは、繰り返し地震動が対象物に作用して対象物が共振して破壊に至るというような現象ではなく、1ないし数回の大きな加速度と速度の地震動が対象物に作用することによって対象物が破壊される現象である。

「時間幅1～2秒のパルス波が大被害に結びつきやすい原因」として、「PGA（加速度）が大きい限り速度パルスはその卓越周期より短周期の構造物に対してのみ大きなインパクトを持つ」（甲D90川瀬博「震源近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能」）

→原発の固有周期（共振しやすい周期）が短周期であっても、無関係ではない。

予想したとおりの反論その2に対する反論

「線形時の固有周期の短い構造物であっても、大きな加速度を受ければ塑性化する可能性があり、いったん塑性化すれば線形時の固有周期は意味をなさなくなる。そして、いったん塑性化した構造物に大きな損傷が生じるかどうかは速度の振幅と関係している。したがって大きな加速度と速度を同時にもたらす時間幅1～2秒のパルス波は大被害に結びつきやすい」

「したがって、たとえ塑性化を許容しない構造物であっても、パルス波に対して塑性化が生じないか検証する必要があり、また、ある程度の塑性化を許容する構造物では、パルス波に対する塑性化の程度を評価する必要がある。」（甲D81「科学2017.5」441頁）

予想したとおりの反論その2に対する反論

被告が引用する川瀬博教授の報告（丙63）は、あくまで、今回の東北地方太平洋沖地震では、「兵庫県南部地震の経験から求められた大被害となる条件である最大加速度800Gal以上、最大速度100cm／sec以上の条件を満たし、かつ明瞭な「やや短周期」パルスが見られた観測記録は見あたらなかった」ということを前提としているものであって、今後発生する可能性のある地震動について、述べたものではない。

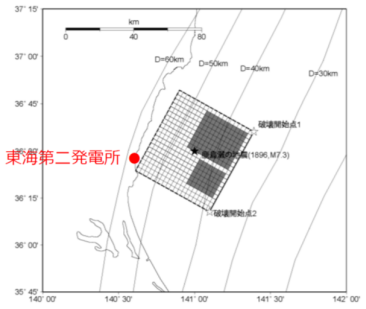
予想したとおりの反論その2に対する反論

Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

kurahashi＆irikura(2013)は、短周期の震源モデルである。

【解説】耐震バックチェック時点での地震動評価と現在の地震動評価①

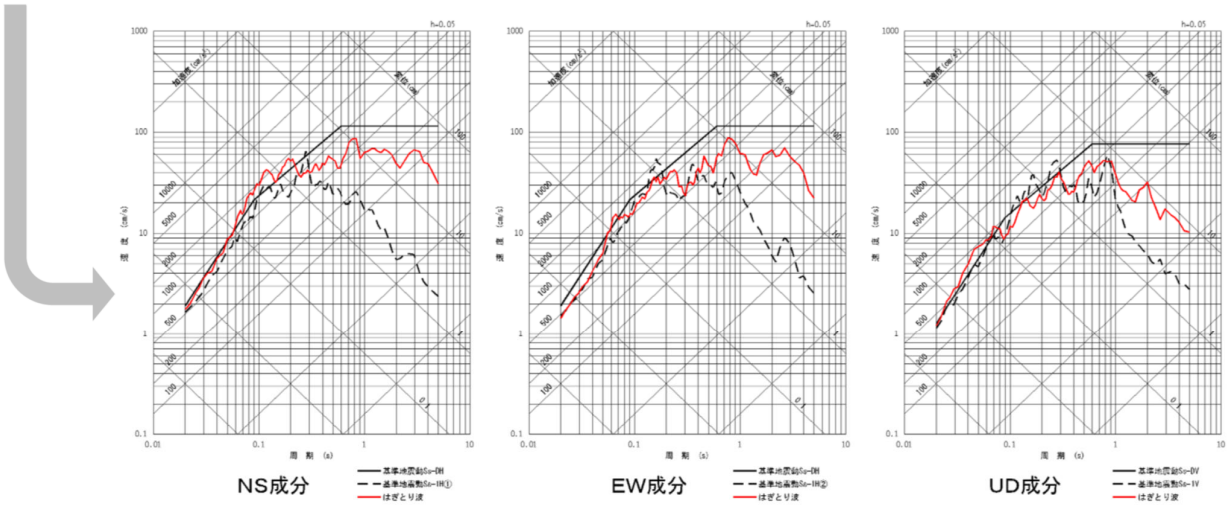
質問事項
第１－２



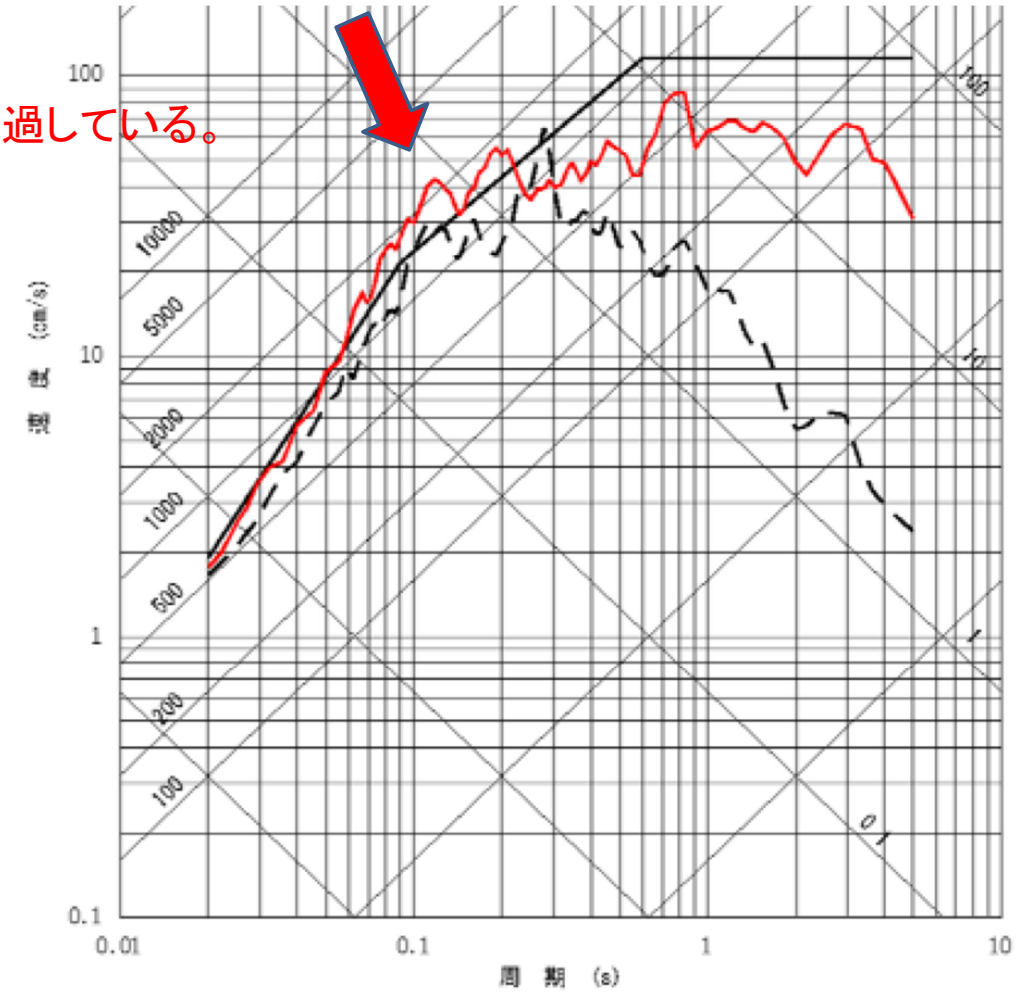
○東北地方太平洋沖地震発生当時、耐震バックチェックにおいて、プレート間地震である1896年鹿島灘の地震を検討用地震として選定し、その地震動評価を行っていた。

○短周期レベルの不確かさを考慮した鹿島灘の地震の断層モデルを用いた手法による基準地震動Ｓｓ（水平方向Ｓｓ－１Ｈ①・②、鉛直方向Ｓｓ－１Ｖ）と、東北地方太平洋沖地震の本震のはぎとり波とは、地震動の短周期成分で比較すると概ね同じレベルである。

→概ね同じレベルではない。



→大幅に超過している。



【解説】耐震バックチェック時点での地震動評価と現在の地震動評価②

質問事項 第１－２

○原子力安全・保安院は、科学的・技術的観点から、東北地方太平洋沖地震ないし津波を徹底的に分析するなどして、原子力発電所の安全規制に反映させるために調査・検討を進めた。
⇒その中間取りまとめ（丙D第81号証26頁）において、「東海第二発電所における基準地震動Ss策定における検討用地震の応力降下量の設定にあたっては、地域性を考慮する観点から、1896年鹿島灘の地震の基本モデルの設定において、応力降下量を平均的レベルより低く設定していたことが、はぎとり波の応答スペクトルが基準地震動Ss－Dの応答スペクトルを超えた一因であると考えられる」、「当院としては、その地域性を考慮した際に、地震動が小さくなるような場合は、十分な検討が必要であると考える」とした。
○現在の評価では、茨城県沖で発生する地震の地域性にこだわることなく、広域的な視点で短周期レベルを設定し、進んで、その不確かさも考慮しており、上記の原子力安全・保安院の指摘を踏まえたものとしている。

	耐震バックチェック当時のモデル	現在のモデル
検討用地震	1896年鹿島灘の地震（M7.3）	2011年東北地方太平洋沖型地震（Mw9.0）
短周期レベル（A）の値	【基本震源モデル】 茨城県沖で発生する地震の平均レベル $A=2.27\times10^{19}$ N・m/s^2	→応力降下量を平均的レベルよりも低く設定していた！！ 被告の安全軽視の姿勢の表れ。
	【不確かさを考慮したモデル】 茨城県沖で発生する地震の上限レベル $A=3.75\times10^{19}$ N・m/s^2	
		【基本震源モデル】 宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均 $A=1.33\times10^{20}$ N・m/s^2
		【不確かさを考慮したモデル】 基本震源モデルの1.5倍 $A=1.99\times10^{20}$ N・m/s^2

※なお、短周期レベルについては、耐震バックチェック当時ではすべてのアスペリティの合計、現在のモデルではSMGA５に係るものを記述している。

震源を特定せず策定する地震動

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

地震動審査ガイドの16地震の例示

表-1　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

5. 震源を特定せず策定する地震動

Mw6.5未満の地震に関する検討(2／2)

第409回審査会合
資料1再掲

●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。

●2011年茨城県北部地震のIBRH13(高萩)，2013年栃木県北部地震のTCGH07(栗山西)，2011年和歌山県北部地震のWKYH01(広川)の観測記録について，1次元波動論では信頼性のある地盤モデルが構築できず，はぎとり解析による基盤地震動の評価は困難であると考えられるため，今後も継続的に知見の収集，はぎとり解析等の検討が必要である。

●2011年長野県北部地震のNIG023(津南)の観測記録については，地盤情報が乏しく，はぎとり解析による基盤地震動の算定が困難であるため，今後，各種調査により地盤情報の取得が必要である。

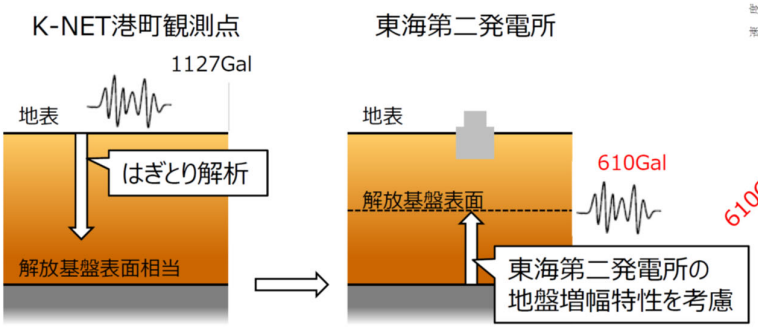
甲D53

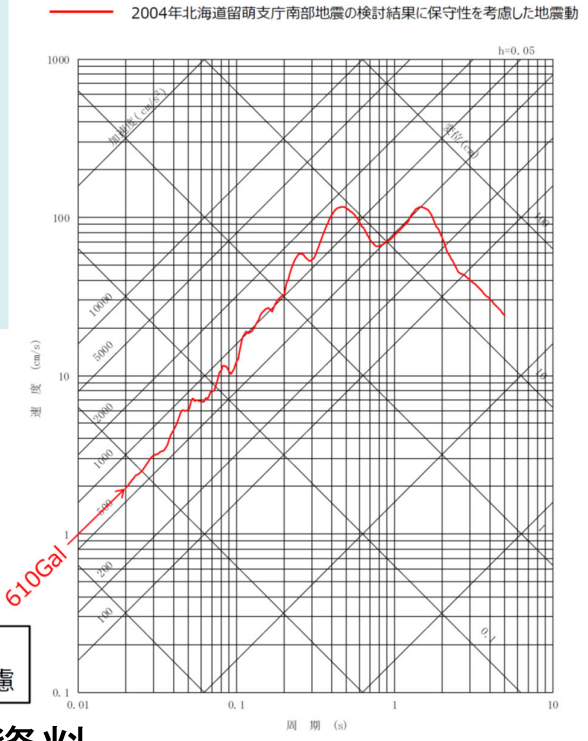
震源を特定せず策定する地震動（Mw6.5未満の地震）

○16地震のうち、地表断層が出現しない可能性のある14地震を対象に震源近傍の観測記録を収集。

○敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる観測記録、かつ精度の高い地盤情報が得られている2004年留萌支庁南部地震を対象にはぎとり解析を行い、解放基盤表面相当のゆれを推定。

○本件発電所の地盤増幅特性を考慮して震源を特定して策定する地震動として、基準地震動に反映。





日本原電説明会資料

水平成分

「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」

- 「これまでの新規制基準適合性審査においては、全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」（タイプA：Mw6.5未満）として審査ガイドに例示された14地震の中から影響の大きい5地震を抽出した上で基盤地震動が評価可能な2004年北海道留萌支庁南部地震に不確かさを考慮して策定した地震動を妥当と判断してきた。また、残りの4地震については、今後取り組むべき中長期課題と整理し、現在、事業者が検討を行っているところであるが、各観測地点の地盤物性の評価に時間を要しているところである。

「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」

- 原子力規制委員会は、「震源を特定せず策定する地震動」（Mw6.5未満の地震）を、地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震動と位置づけており、共通に適用できる地震動の策定方法（標準応答スペクトルの提示も含む）を明確にすることが望ましいと考えられることから、本検討チームでは、全国で起こりうる「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」の観測記録を体系的に収集して統計処理を行うことにより、地震動のばらつきを考慮した応答スペクトルを設定する手法について検討する。」

藤原広行委員（防災科学研究所社会防災システム研究部門長

- 「5年前にまとめられた新規制基準の中には、その不確定性の処理やばらつきについての記述はたくさん入っていますけれども、それを、じゃあ定量的に、具体的にどのぐらい扱っていくのかというところが、まだ明確に審査ガイドのレベルでは記述されていない。5年間、実際にもう審査が行われて、実態としてそれらは、どのように運用されたかということを調べればわかる状況にはなっていると思います」

藤原広行委員（防災科学研究所社会防災システム研究部門長

- 「統計処理を導入するというのは、基準地震動のレベル設定では、多分初めて、この正式なルールの中では初めてのことになる可能性がありますし、その場合に、震源を特定せず策定する地震動に対して導入した統計処理、不確定性とかばらつきの扱いというものと、震源を特定して策定する地震動のほうですね、これらは基本的に幾つかの地震タイプにいくことに、シナリオ形で、まず検討する地震を選定した後に、最後、不確かさを考慮するというプロセスを経て基準地震動を決めるということになっている。」

藤原広行委員（防災科学研究所社会防災システム研究部門長

- そこの不確かさの考慮の程度と、今回議論する統計処理プラス線引きの議論の全体としての整合性というものを考えなければ、この新規制基準の基準地震動全体のルールとしての整合性が保たれないということになろうかと思うんです。
- そこは、かなり本質的な問題かなというふうにも思っておりますし、一方で、その特定して策定する地震動について、その不確かさの処理を定量化するということに間接的につながる可能性もあ」る（甲Ｄ１１０の３　第１回議事録２４頁）。

特集ワイド:「忘災」の原発列島　再稼働は許されるのか　政府と規制委の「弱点」」（甲D27）2015年5月7日の毎日新聞記事

- 「実際の地震では(計算による)平均値の2倍以上強い揺れが全体の7%程度あり、3倍、4倍の揺れさえも観測されている」
- 「平均から離れた強い揺れも考慮すべきだ」
- 「基準地震動の具体的な算出ルールは時間切れで作れず、どこまで厳しく規制するかは裁量次第になった。揺れの計算は専門性が高いので、規制側は対等に議論できず、甘くなりがちだ」

特集ワイド:「忘災」の原発列島　再稼働は許されるのか　政府と規制委の「弱点」」（甲D27）2015年5月7日の毎日新聞記事

- 「今の基準地震動の値は一般に、平均的な値の１．６倍程度。実際の揺れの8～9割はそれ以下で収まるが、残りの1～2割は超えるだろう。もっと厳しく、97%程度の地震をカバーする基準にすれば、高浜原発の基準地震動は関電が『燃料損傷が防げないレベル』と位置づける９７３．５ガルを超えて耐震改修が必要になりかねない。コストをかけてそこまでやるのか。電力会社だけで決めるのではなく、国民的議論が必要だ」。

鉄道構造物における設計地震動

甲D111の2の2

L1地震動

建設地点における構造物の設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動

➡ 構造物の変位を走行安全上定まる一定値以内に留める

L2地震動

建設地点で考えられる最大級の強さをもつ地震動

➡ 構造物全体系が崩壊しない

H24年改訂

いずれも耐震設計上の基盤面（Vs=400m/s程度の地盤）において設定する（表層地盤の影響は別途考慮）

L2地震動の設定

L2地震動は、活断層の調査および対象地震の選定に基づき、震源となる活断層と建設地点を特定して設定する（耐震標準p.38）

➡
- 原則的には地点依存の強震動予測手法により設定（方法①）
- ただし、実務的には以下の方法②を用いるのが一般的

ただし、詳細な検討を必要としない場合は、簡易な手法によりL2地震動を算定してもよい（耐震標準p.41）

➡ 一般的な場合は、予め設定されたL2地震動（標準L2地震動）を用いた設計（方法②）が可能

甲D111の2の2

詳細な検討の必要性

以下のいずれかに該当する場合は、詳細な検討（強震動予測手法によるL2地震動評価）が必要

(1) Mw7.0よりも大きな震源域が近傍に確認される場合
(2) 耐震設計上の基盤面より深い地盤の影響によって地震動の著しい増幅が想定される場合

そのため、上記(1),(2)に該当するかどうかは、地点毎に確認している。

以降では、両者に該当しない地点で用いる標準L2地震動の設定手順について整理する。

甲D111の
2の2

標準L2地震動の想定地震レベル

標準L2地震動としては、海溝型地震、内陸活断層による地震の2種類を考慮
（最大応答、継続時間（地盤液状化等）の両者に配慮）

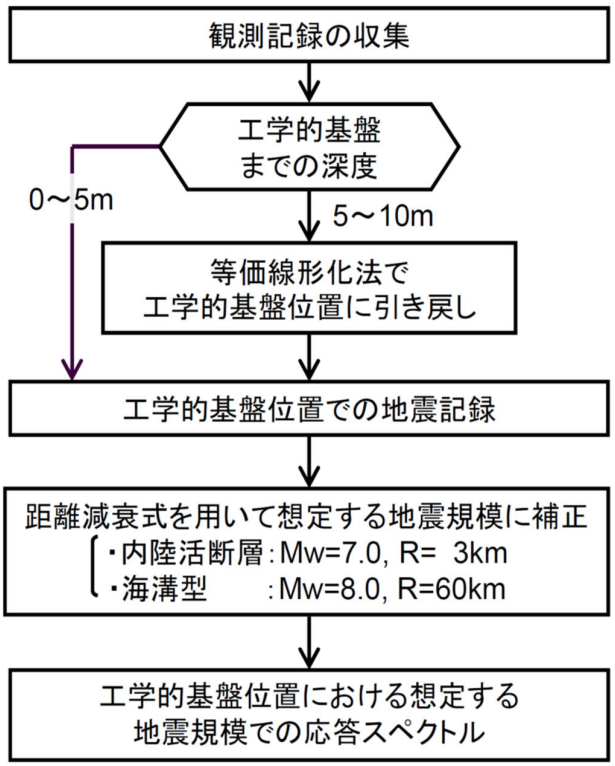
- スペクトルI ：Mw=8.0の地震が距離60kmの地点で発生
- スペクトルII：Mw=7.0の地震が直下で発生
  （これ以上の地震が想定される地点は詳細検討が必要）

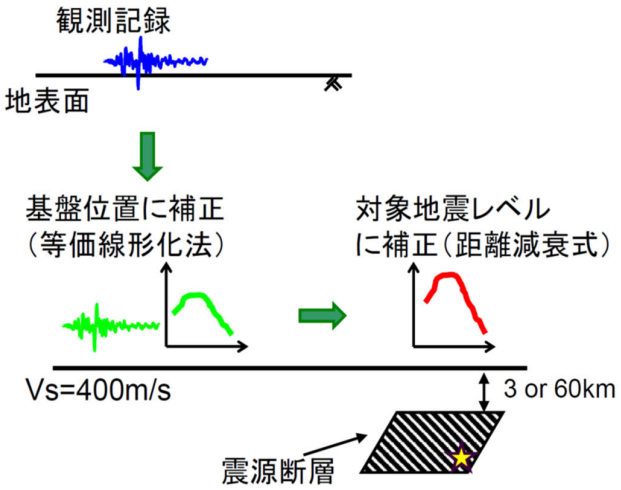
それぞれの地震に対応する標準応答スペクトルを観測記録に基づいて設定している（本日の説明はスペクトルII）。

甲D111の
2の2

標準応答スペクトルの設定手順

甲D111の
2の2





Step1 観測記録の収集

震源規模，震源距離が想定している地震動レベルと近く，地盤条件が良好である（基盤深度10m以内），大きな加速度が得られている記録を収集

甲D111の
2の2

内陸活断層による地震（スペクトルII）

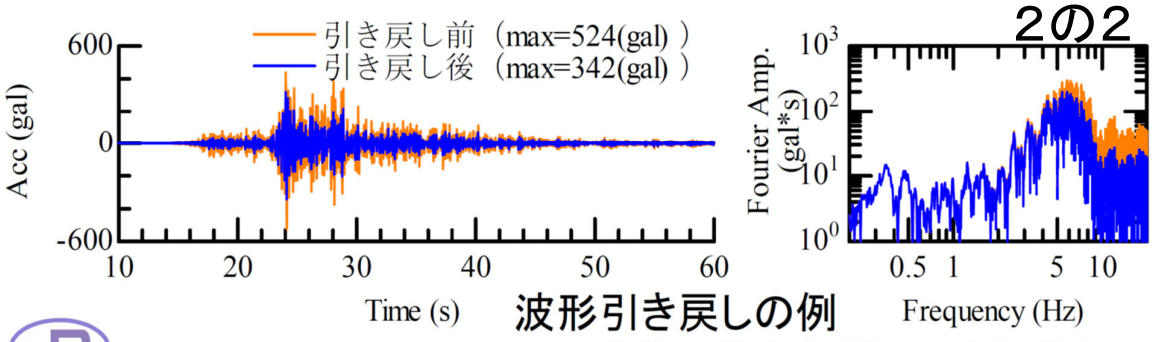
番号	地震名	発生年月日	Mj	Mw	記録数
1	兵庫県南部地震	1995/1/17 5:46	7.3	6.9	10
2	鳥取県西部地震	2000/10/06 13:30	7.3	6.8	34
3	新潟県中越地震	2004/10/23 17:56	6.8	6.7	22
4	新潟県中越地震(余震)	2004/10/23 18:34	6.5	6.4	24
5	福岡県西方沖地震	2005/3/20 10:53	7.0	6.7	30
6	能登半島地震	2007/3/25 9:42	6.9	6.7	10
7	新潟県中越沖地震	2007/7/16 10:13	6.8	6.6	22

計152記録

Step2 地震動の引戻し

- 収集した地震記録は大半が地表面で得られたものであり、表層地盤の非線形性の影響を含む可能性が高い。
- そこで、各記録を基盤位置（Vs=400m/s）に引き戻しを実施。
- 引き戻しを行う手法は、等価線形化法（FDEL, 杉戸他（1994））を用いる。
- 引き戻し時の不確実性（地盤物性、引き戻し手法）を勘案し、引き戻しを実施する箇所は、基盤深度5~10mの記録（22記録）とした（基盤深度0~5mの記録はこれをそのまま用いる）。
- 最終的に得られた記録をそれぞれ精査し、不合理な結果となっていないことを確認。

甲D111の2の2

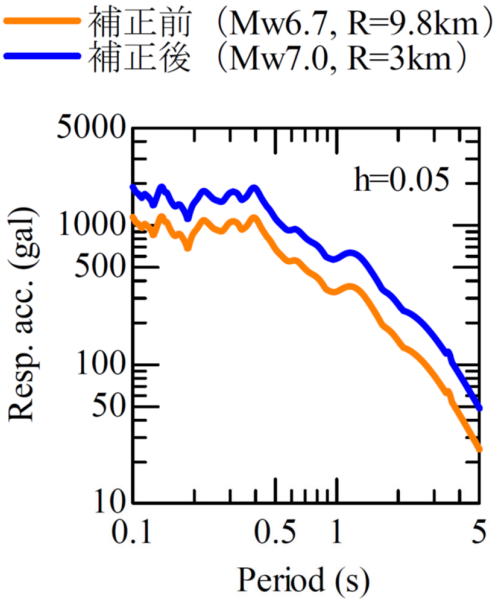


波形引き戻しの例

Step3 地震規模、距離の補正

- 標準L2地震動と各観測記録では、地震規模、距離が異なる（spcI: Mw8.0, R60km, spcII: Mw7.0, 断層直上）。
- そこで、各観測記録を補正することで、標準L2地震動で想定している地震規模、距離に換算。
- 補正には、応答スペクトルの距離減衰式（内山・翠川（2006））を用いた（検討当時、国内の多数記録を用いた応答スペクトルの距離減衰式（基盤位置）として最も適切と判断）。
- 各観測記録の断層最短距離は、震源インバージョン結果から評価。
- 補正は、距離と地震規模を対象に実施。

甲D111の2の2



スペクトル補正の例

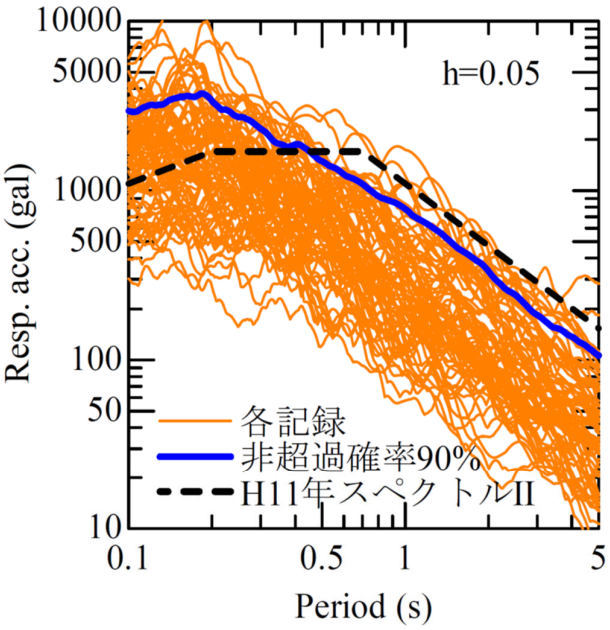
地震観測記録の補正結果

甲D111の2の2

内陸活断層による地震記録（全152記録）の重ね描き

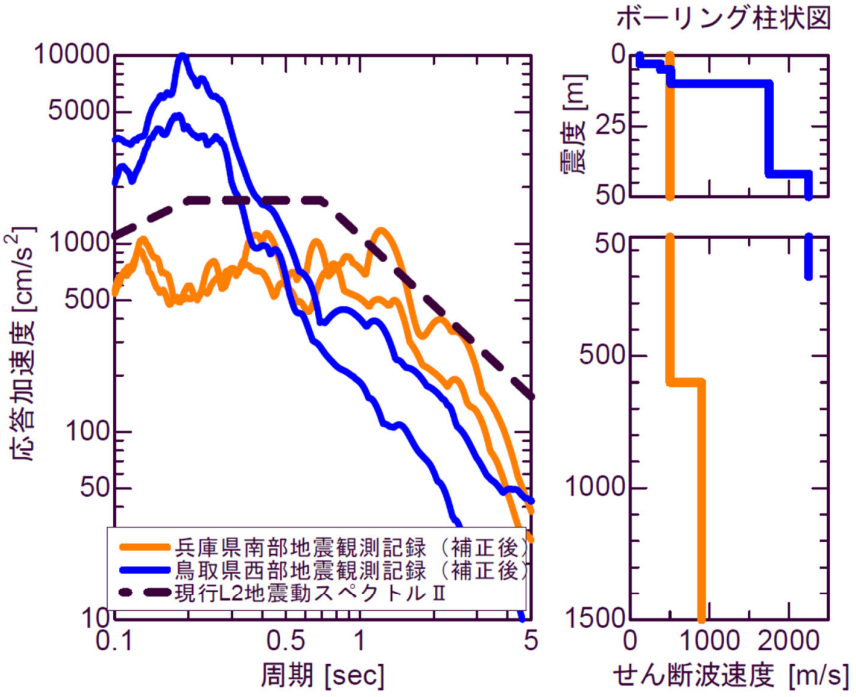
- 従来から、観測記録の非超過確率90%（μ+1.28σ）のスペクトルを目標に標準スペクトルを設定
- 周期特性が従来の標準L2地震動スペクトルII（H11年版）と大きく異なる（短周期側：大、長周期側：小）
- 従来は、兵庫県南部地震の記録が大半であったが、今回はより多くの地震による記録を使用している。

サイト特性の違いが影響？



地震基盤深度による地震動特性の変化

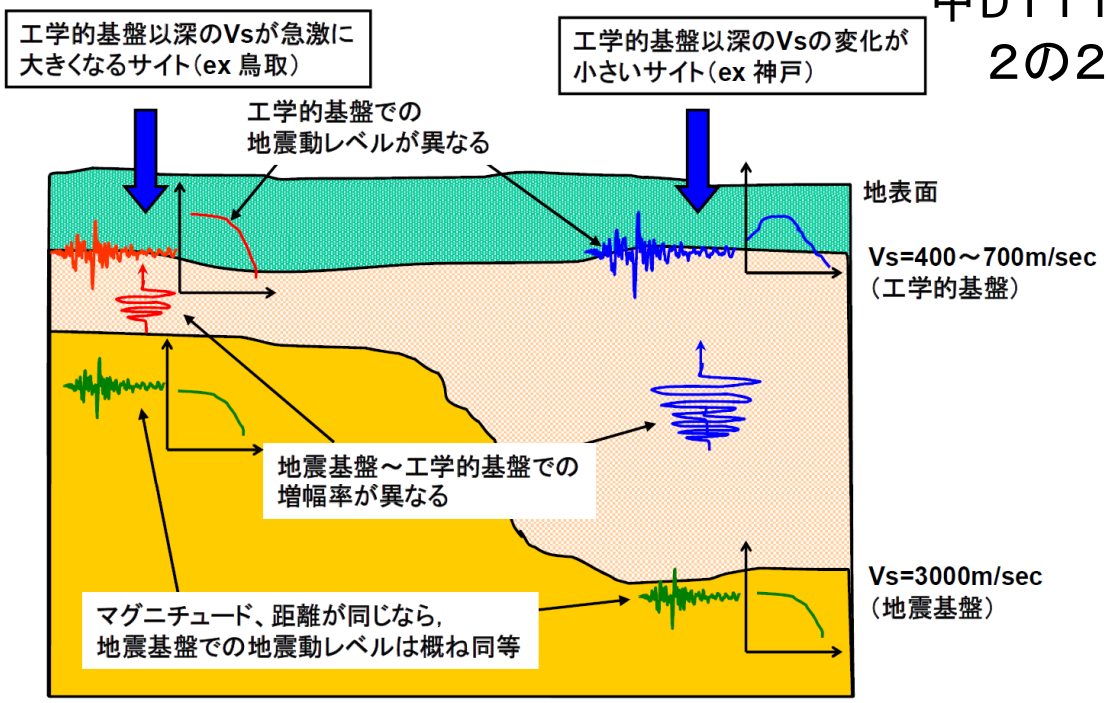
甲D111の2の2



地震基盤深度によってスペクトル特性が変化する可能性

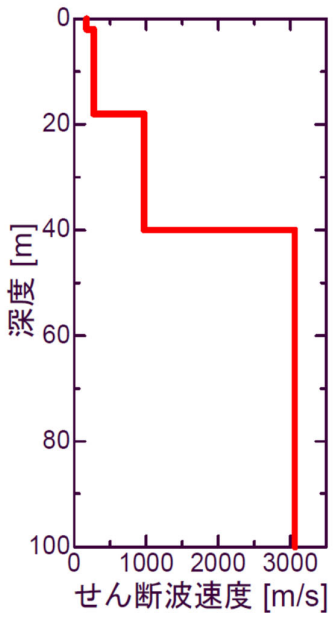
地震基盤深度による地震動の変化イメージ

甲D111の
2の2

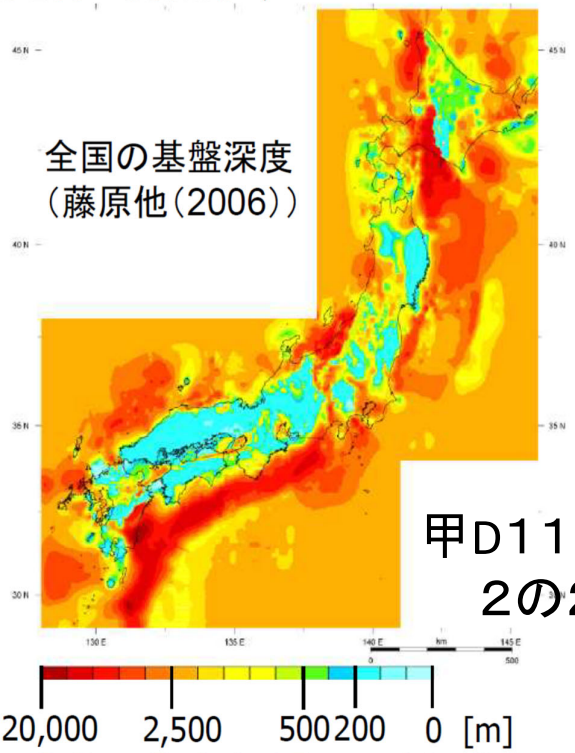


地震基盤深度による記録の分類

地震基盤（Vs=3000m/s程度）の深度が200～500mより
浅い記録と深い記録に分類



KiK-netボーリング

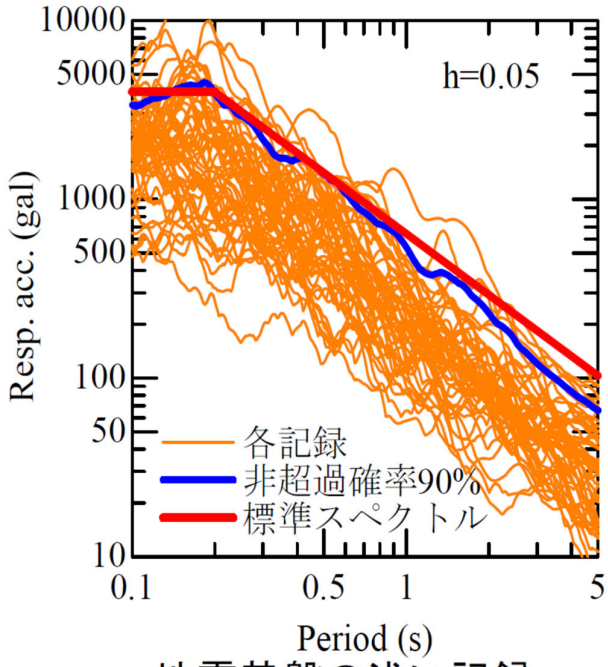


甲D111の
2の2

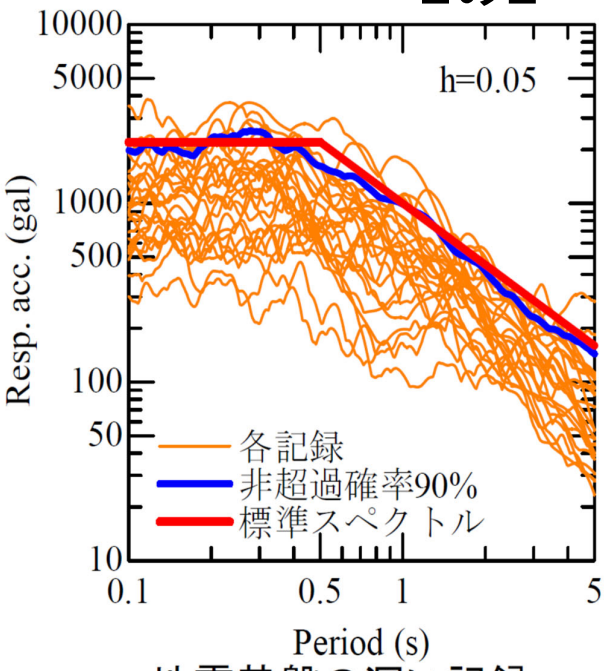
標準L2地震動の応答スペクトル設定

地震基盤深度によって2タイプのスペクトルを提示
（実務上は地震基盤の深い地点のスペクトルを使用）

甲D111の
2の2



地震基盤の浅い記録

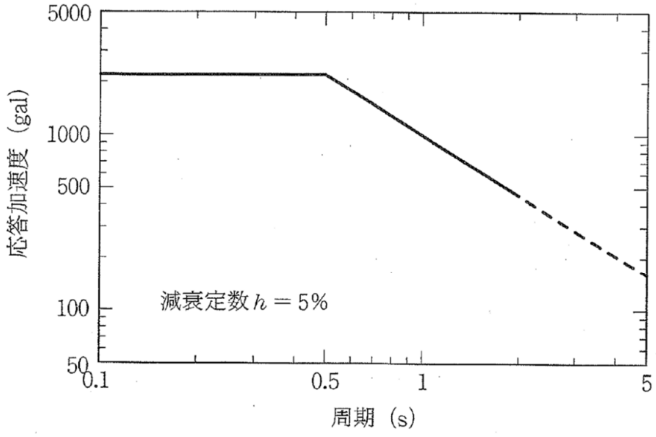


地震基盤の深い記録

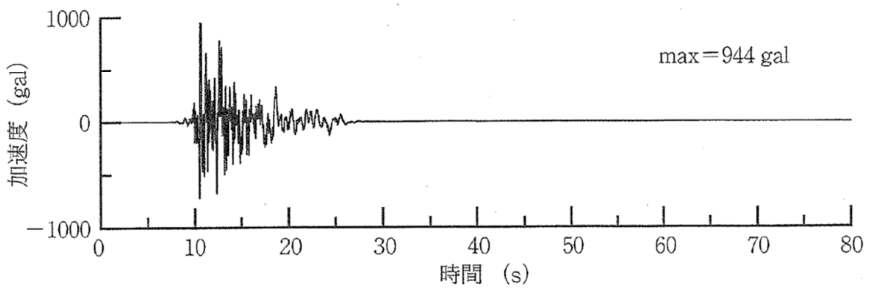
L2地震動標準スペクトルⅡ
Mw7.0　距離3km

解説表 6.4.4　スペクトルⅡの弾性加速度応答スペクトル
（減衰定数 5%）

周期 T (s)	応答加速度 (gal)
$0.1 \leq T \leq 0.5$	2200
$0.5 < T \leq 2.0$	$1000 \times T^{-1.137}$



解説図 6.4.5　スペクトルⅡの弾性加速度応答スペクトル



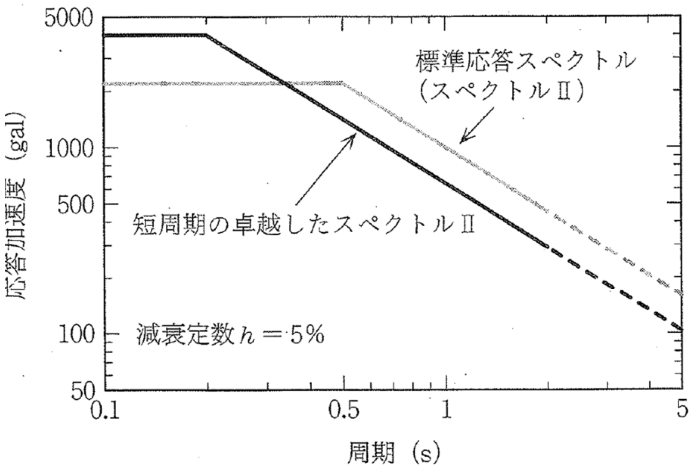
甲D109

解説図 6.4.7　スペクトルⅡの時刻歴波形

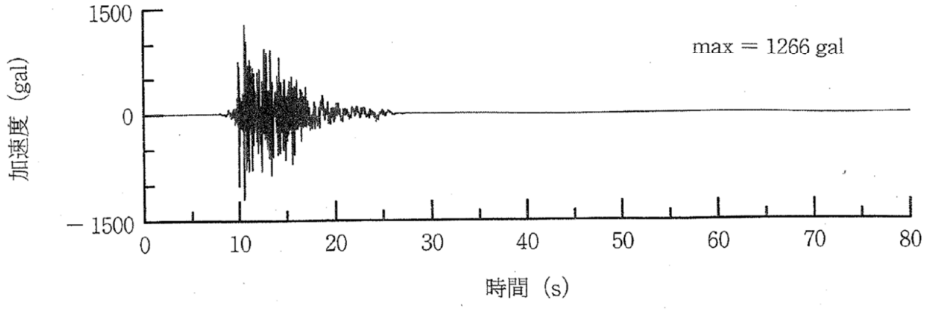
短周期成分の卓越したスペクトルⅡ

付属表 6.4.2　短周期成分の卓越したスペクトルⅡの弾性加速度応答スペクトル

周期 T (s)	応答加速度(gal)
$0.1 \leq T \leq 0.2$	4000
$0.2 < T \leq 2.0$	$642 \times T^{-1.137}$



付属図 6.4.5　短周期成分の卓越したスペクトルⅡ



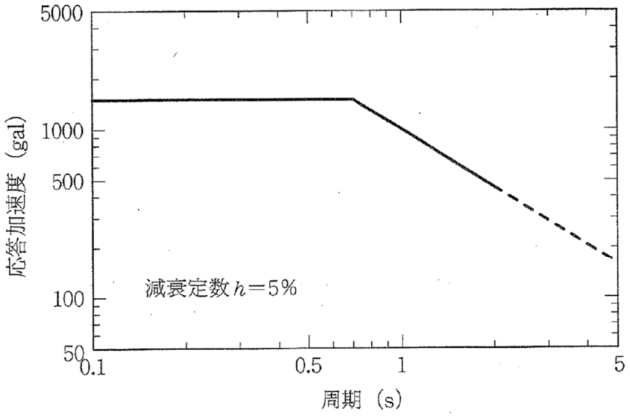
付属図 6.4.7　短周期成分の卓越したスペクトルⅡの時刻歴波形

甲D109

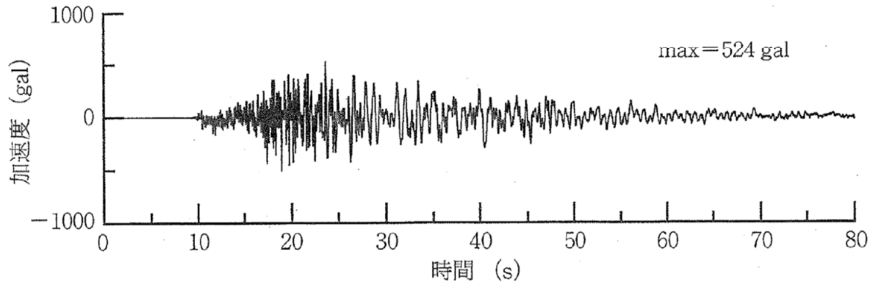
L2地震動標準スペクトルⅠ
Mw8.0　距離60km

解説表 6.4.3　スペクトルⅠの弾性加速度応答スペクトル（減衰定数 5%）

周期 T (s)	応答加速度（gal）
$0.1 \leq T \leq 0.7$	1500
$0.7 < T \leq 2.0$	$1000 \times T^{-1.137}$



解説図 6.4.4　スペクトルⅠの弾性加速度応答スペクトル



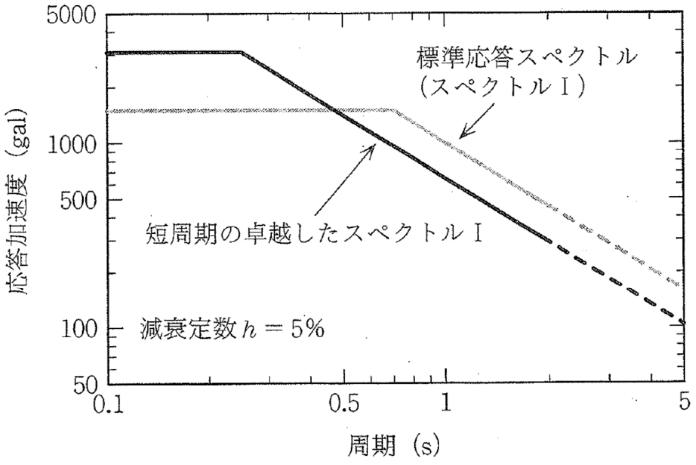
解説図 6.4.6　スペクトルⅠの時刻歴波形

甲D109

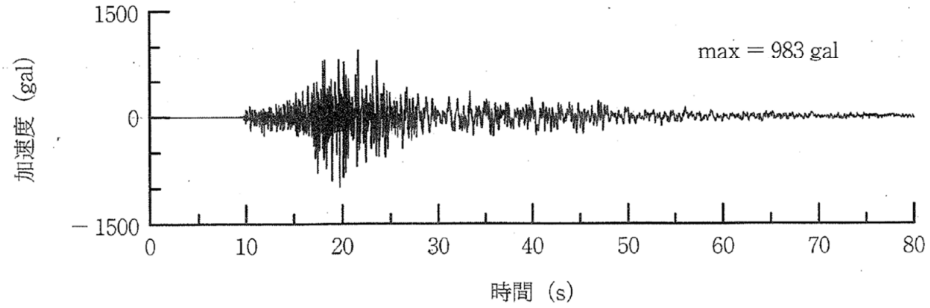
短周期成分の卓越したスペクトルⅠ

付属表 6.4.1　短周期成分の卓越したスペクトルⅠの弾性加速度応答スペクトル

周期 T (s)	応答加速度(gal)
$0.1 \leq T \leq 0.25$	3100
$0.25 < T \leq 2.0$	$642 \times T^{-1.137}$



付属図 6.4.4　短周期成分の卓越したスペクトルⅠ



甲D109

付属図 6.4.6　短周期成分の卓越したスペクトルⅠの時刻歴波形

3. 地下構造評価　3.7 敷地の地盤モデル

地盤モデルの設定

第291回審査会合 資料1再掲

①解放基盤表面以浅の地盤モデルは，地盤同定解析結果を基に設定した。

②解放基盤表面以深の地盤モデルは，1000mボーリングの調査結果を基に設定した。

③なお，解放基盤表面以深の最上層のS波速度，P波速度及び密度については，地盤モデルにおける物性値の連続性を考慮し，解放基盤表面以浅の地盤モデルにおける最下層の数値とした。

④減衰定数については，解放基盤表面から地震基盤までは信岡ほか(2012)，地震基盤以深については佐藤ほか(1994)に基づき設定した。

設定した地盤モデル

※ E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm³)	減衰定数 水平	減衰定数 鉛直
① 8.0						
	2.5	130	280	1.71		
5.5						
	4.5	151	403			
1.0					$0.236f^{-0.752}$	$0.203f^{-0.21}$
	8.0	308	1589	1.66		
−7.0						
	8.0	478	1509	1.82		
−15.0						
	91.0	477	1753	1.69		
−106.0						
	62.0	557	1742	1.74		
−168.0						
	92.0	669	2067	1.78	$0.072f^{-0.931}$	$0.203f^{-0.93}$
−260.0						
	108.0	756	2256	1.82		
−368.0						
	2.0	790	2000	1.85		
−370.0						
②	107.0	③ 790	2000	1.85	④ 0.02	0.01
−477.0						
	200.0	840	2110	1.96		
−677.0						
	60.0	2750	4740	2.63		
−737.0						
	265.0	3220	5550	2.70	$Q=110f^{0.69}$	
−1002.0						
	−	3220	5550	2.70		

※ G.L. = E.L.8.0m

▽解放基盤表面(E.L.-370m)

▽地震基盤(E.L.-677m)

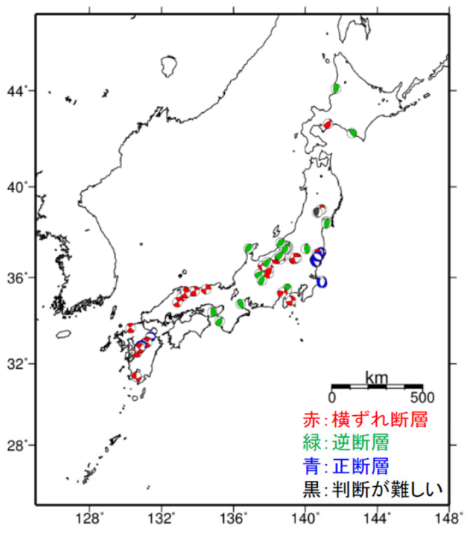
甲D53

付録D：3. 観測地震動記録の収集・整理(1/4)

観測地震動記録の収集条件

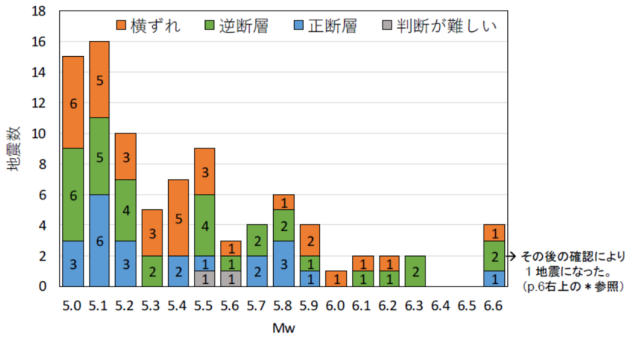
甲D116の2の2　資料2

○観測期間：2000年1月1日～2017年12月31日
○地震規模：Mw5.0～6.6（F-net の震源メカニズム情報）
○震源深さ：0～20km＊（気象庁一元化震源）　＊ 地殻内地震であることを気象庁資料を参考に確認。
○観測地震動記録：震央距離30km以内にKiK-netによる記録がある



対象地震の収集結果（90地震）

※ 断層タイプには、地震調査研究推進本部（以降「地震本部」という）による公開情報を参考に分類した。ただし、断層タイプに関する十分な情報が得られないものについては、F-netのメカニズムから断層タイプを推定した。



断層タイプごとの地震数

	横ずれ	逆断層	正断層	判断が難しい	合計
地震数※	33	33 (32)	22	2	90 (89)

【収集結果】
→ 条件を満たす地震は第2回会合で示した88地震から90地震※3に増えた。
※3：ほぼ同時刻に地震が発生したために、1つの公開データに2地震分の記録が含まれているケースが2件あった（No.45、No.46が追加された）。
→ 解析には89地震（水平動615波、上下動304波）※4を採用した。
※4：PS検層未実施の観測点や不適切と考えられる記録（成分毎）は解析から除外した。なお、今後の検討により、地震数・記録数は変動する可能性がある。
→ 断層タイプごとの地震数の偏りは小さい。

付録D：3. 観測地震動記録の収集

対象地震一覧　(1/3)

甲D116の2の2　資料2

※ほぼ同時
いるもの
No.45 (

（朱書き：予備検討で対象とした審査ガイドに例示の9地震）

地震No.	発生時刻	震央地名	気象庁一元化震源 緯度(°)	気象庁一元化震源 経度(°)	気象庁一元化震源 深さ(km)	気象庁一元化震源 Mj	防災科学技術研究所(F Mw	防災科学技術研究所(F M_0 (N・m)	断層タイプ
01	2000/10/06-13:30	鳥取県西部	35.2742	133.3490	8.96	7.3	6.6	8.62E+18	横ずれ
02	2000/10/08-13:17	鳥取県西部	35.1393	133.1502	6.80	5.6	5.1	4.65E+16	横ずれ
03	2000/10/08-20:51	鳥取県西部	35.3688	133.3107	8.30	5.2	5.0	3.11E+16	横ずれ
04	2001/01/04-13:18	新潟県中越地方	36.9565	138.7687	11.23	5.3	5.2	7.50E+16	逆断層
05	2001/01/12-08:00	兵庫県北部	35.4660	134.4900	10.59	5.6	5.2	7.11E+16	横ずれ
06	2001/03/31-06:09	栃木・群馬県境	36.8210	139.3750	4.73	5.2	5.0	3.28E+16	横ずれ
07	2002/09/16-10:10	鳥取県中・西部	35.3700	133.7393	9.64	5.5	5.1	5.43E+16	横ずれ
08	2003/07/26-00:13	宮城県北部	38.4345	141.1642	11.55	5.6	5.5	1.71E+17	逆断層
09	2003/07/26-07:13	宮城県北部	38.4050	141.1710	11.87	6.4	6.1	1.53E+18	逆断層
10	2003/07/26-16:56	宮城県北部	38.5003	141.1895	12.04	5.5	5.3	9.45E+16	逆断層
11	2004/10/23-17:56	新潟県中越地方	37.2925	138.8672	13.08	6.8	6.6	7.53E+18	逆断層

標準応答スペクトルの策定に係る観測地震動の補正（1/3）

○目的

- 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」について、観測地震動（はぎとり波）の統計処理に基づく標準応答スペクトルの策定に必要な、応答スペクトルの合理的な補正方法を定める。

○方針（方法）

- 各観測地震動の応答スペクトルに対して、適切な応答スペクトル距離減衰式を用いて、震源距離の補正及び地盤物性の補正を施す。

（1）震源距離の補正

✓ 震源距離の補正として、硬質地盤に適用可能な応答スペクトル距離減衰式による相対補正を行う。地震動（応答スペクトル）の統計処理及びラベル付けに基づく分析を行う上で、断層最短距離5km程度に補正する。

（2）地盤物性の補正

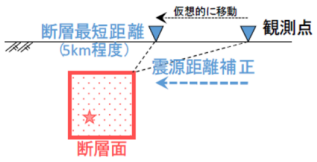
✓ 地盤物性の補正として、硬質地盤に適用可能な応答スペクトル距離減衰式による地盤増幅率を用いることにより相対補正を行う。地震基盤相当層（S波速度2～3km/s）に補正する。

甲D111の2の3の4　資料3－4

標準応答スペクトルの策定に係る観測地震動の補正（2/3）

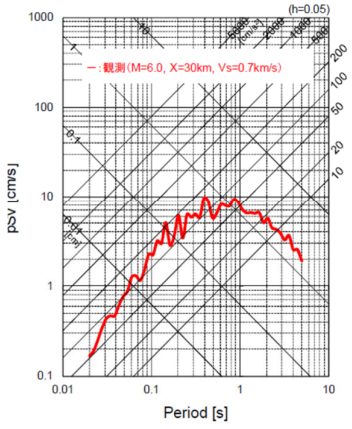
○震源距離の補正の考え方

甲D111の2の3の4　資料3－4

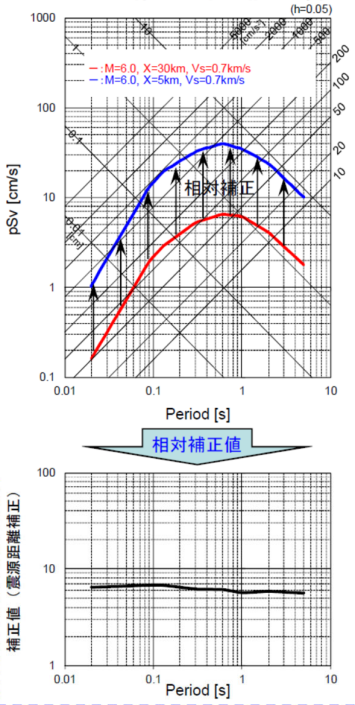


【補正概念図】

①観測地震動（はぎとり波）の評価

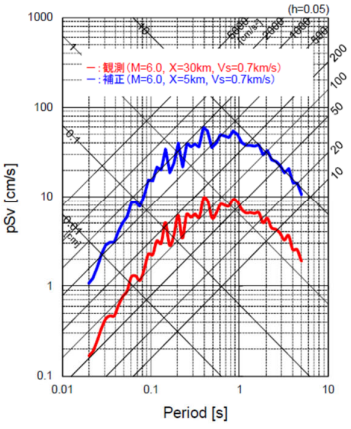


②応答スペクトル距離減衰式に基づく相対補正値の算出



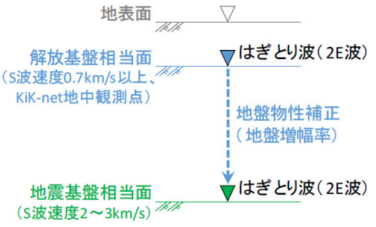
- 震源距離30kmから5kmへの地震動の補正事例

③相対補正値に基づく観測地震動の補正



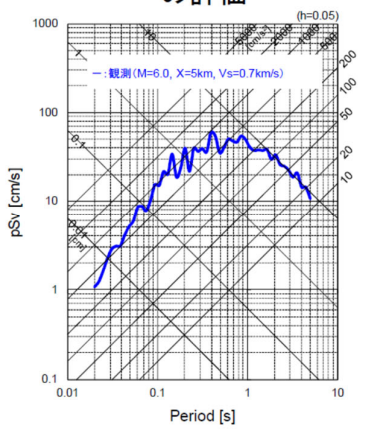
標準応答スペクトルの策定に係る観測地震動の補正(3/3)

○地盤物性の補正の考え方D111の2の3の4　資料3－4

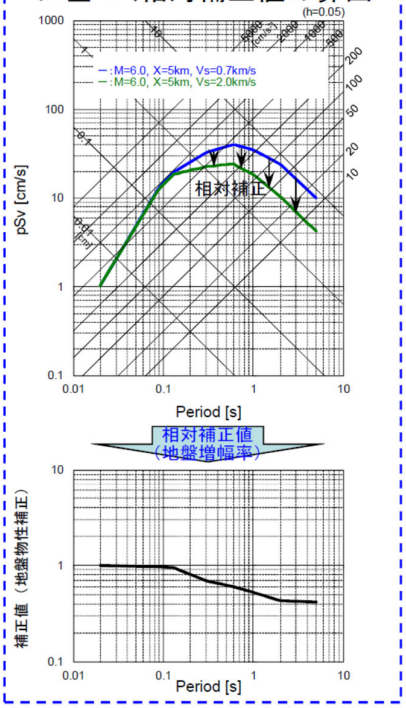


【補正概念図】

①観測地震動(はぎとり波)の評価

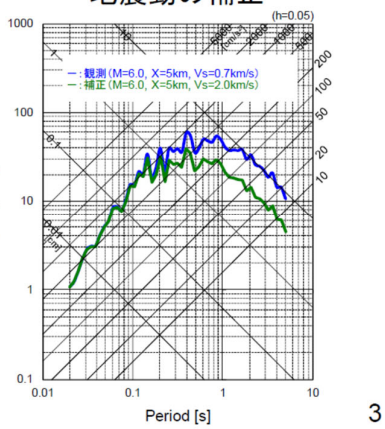


②応答スペクトル距離減衰式に基づく相対補正値の算出



➢ S波速度0.7km/sから2.0km/sへの地震動の補正事例

③相対補正値に基づく観測地震動の補正



4. 2. 非超過確率別応答スペクトルの算出結果 (10/11)

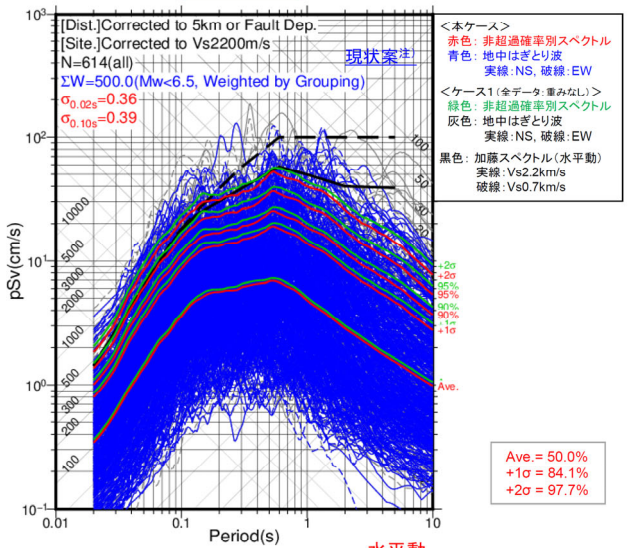
はぎとり精度の確認用｜ケース2'b: 対象地震(Mw6.5未満)、はぎとり精度(人工要因による特徴的な地震動の影響を低減※) その2

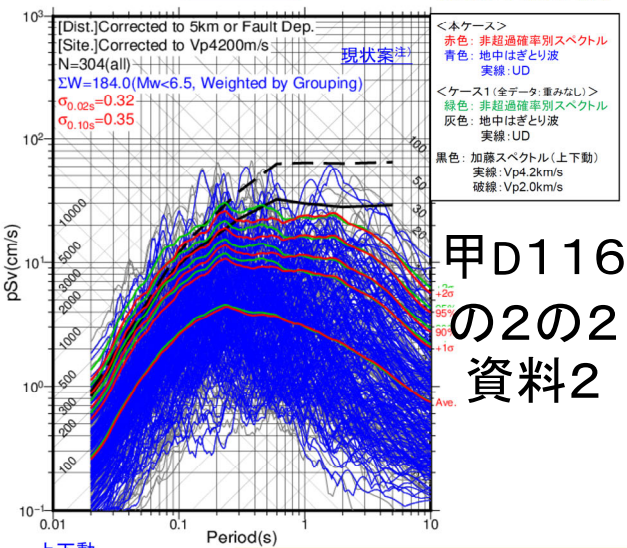
水平動

※重みをGroup A=1, B=1, C=0, D=0とした場合
(グループ分けの詳細はp.7参照)

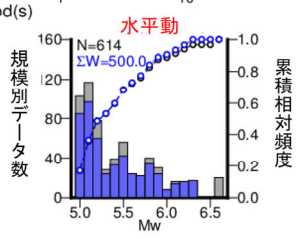
上下動

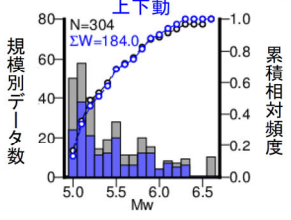
注) ここに示す図は現状案であり、今後の検討・確認等により結果が変動する可能性がある。





Ave.= 50.0%
+1σ = 84.1%
+2σ = 97.7%





規模別の記録数→
灰色:全記録
青色:本ケースでの対象記録

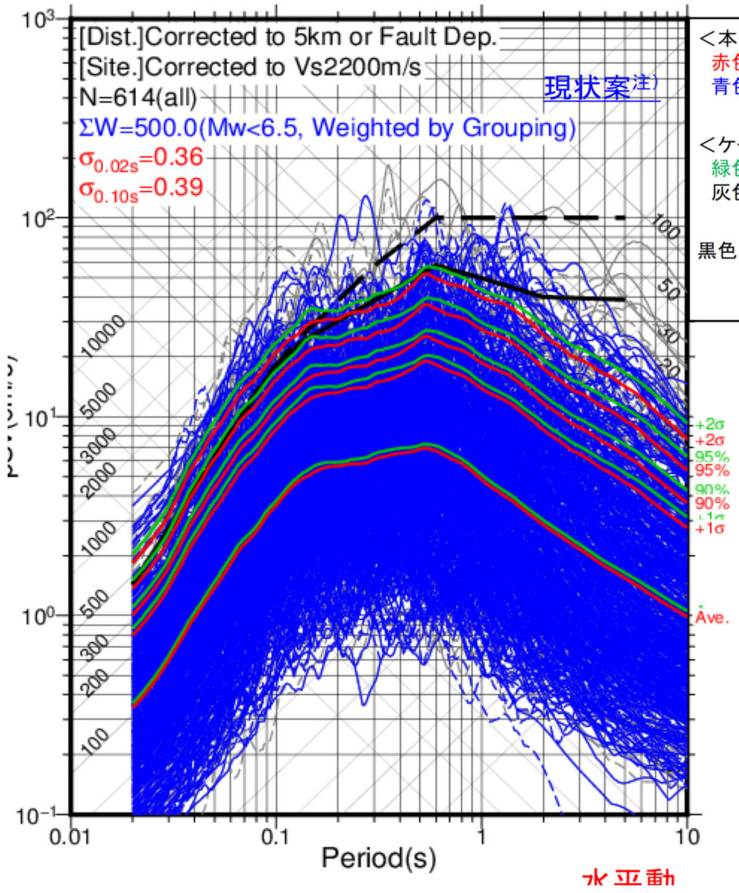
※地震動強さのヒストグラム(対数正規分布との比較確認)は付録B(p.99)に示す。

ケース2(Mw6.5未満)について、ケース4と同様に人工要因による影響を低減。
・データ充足度がやや低い。
・震源を特定せず策定する地震動(全国共通)の対象地震の概念と調和的である。
・はぎとり精度による不確実さがより低い。
→ 標準応答スペクトルの設定の際に、はぎとり精度の確認に使用。

甲D116の2の2 資料2

水平動

※重みをGroup A=1, B=1, C=0,
（グループ分けの詳細はp.7参照）



- 標準応答スペクトルは、非超過確率97.7%（平均＋2σ）のスペクトルに基づいて設定するという。

Ave.= 50.0%
+1σ = 84.1%
+2σ = 97.7%

甲D116の2の2　資料2

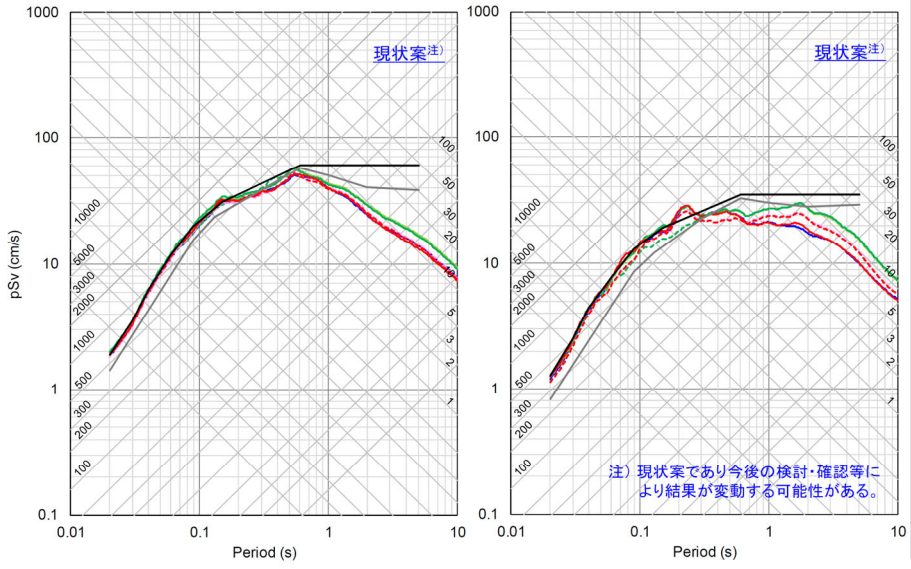
5. 標準応答スペクトル（案）の設定（3/10）

非超過確率97.7%（平均+2σ）の応答スペクトルに基づく地震動レベルの設定

水平動

上下動

※ここに示すスペクトルは5%減衰の擬似速度応答スペクトルである。



— 標準応答スペクトル（案）
— 加藤スペクトル
水平動：Vs=2200m/s、上下動：Vp=4200m/s

＜非超過確率97.7%の応答スペクトル＞
【標準応答スペクトルの設定に使用】
— ケース2：　対象地震（Mw6.5未満）
— ケース3：　規模別の地震・記録数（G-R則想定）
— ケース4a：はぎとり精度（人工要因による特徴的な地震動の影響を低減）その1
※重み：Group A=1, B=1, C=0.5, D=0の場合
— ケース4b：はぎとり精度（人工要因による特徴的な地震動の影響を低減）その2
※重み：Group A=1, B=1, C=0, D=0の場合

【はぎとり精度の確認に使用】
--- ケース2'a：対象地震（Mw6.5未満）、はぎとり精度（人工要因による特徴的な地震動の影響を低減）その1
※重み：Group A=1, B=1, C=0.5, D=0の場合
--- ケース2'b：対象地震（Mw6.5未満）、はぎとり精度（人工要因による特徴的な地震動の影響を低減）その2
※重み：Group A=1, B=1, C=0, D=0の場合
--- ケース4'：はぎとり解析を行わずに地中観測記録を2倍した場合
※水平動は周期0.5秒以下、上下動は周期0.3秒以下のみを表示

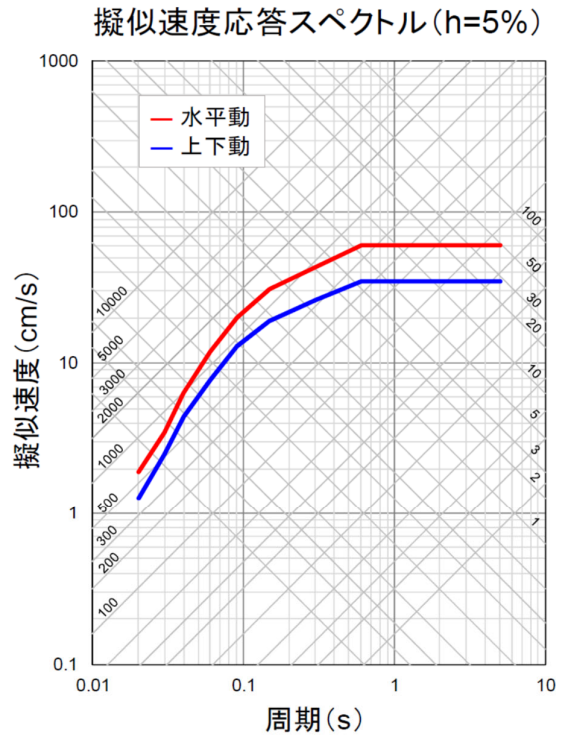
- ケース2の非超過確率97.7%の応答スペクトルを上回っている（ただし、はぎとり精度が低い※周期帯は必ずしも上回っていない）。
  ※ はぎとり精度については、ケース2'（a、b：はぎとり精度に係る不確実さを低減）、ケース4'（地中観測記録の2倍）との比較に基づき、はぎとり精度が低いことによる影響を受けているかを判断。
- データセットに規模Mw6.6の地震まで含めたケース3、ケース4の非超過確率97.7%の応答スペクトルとも調和的なレベルとなっている。
- 長周期側（周期1秒程度以上）については、年超過確率の参照、他手法よる地震動レベルとの比較による妥当性確認（詳細は6. 参照）を踏まえて過小評価とならない地震動レベルとなっている。

甲D116の2の2　資料2

資料1

標準応答スペクトル（案）のコントロールポイント

平成31年3月29日



コントロールポイント

周期 (s)	水平動 擬似速度 (cm/s)	上下動 擬似速度 (cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

甲D117の2の1　資料1

- 大浅田安全規制管理官「統計学的に2σであるという必然性というものは当然なくて、どちらかというと、97.7% というのは政策的な課題」（甲D116の3　第7回議事録24頁）
- 飯島首席技術研究調査官「＋2σでよしとして、＋3σを考えなかったのか、＋3σを考える必要がないというふうに判断した理由は一体何なんですかということを問われた」場合について、「積極的な回答というのはなかなか今のところはない」（甲D118の3　第9回議事録26頁）。

- ともあれ、震源を特定せず策定する地震動に関する検討チームによる見直しの議論は、これまでの震源を特定せず策定する地震動＝隠れ断層による地震動が、いかに不十分なものだったのかをあからさまに浮き彫りにしたといえる。
- 東海第2原発では、このような見直しは全くされておらず、旧態以前とした、
- ①　加藤のスペクトル
- ②　2004年留萌支庁南部地震
- が採用されているにとどまっている。

- したがって、被告の東海第2原発の震源を特定せず策定する地震動＝隠れ断層による地震動は、「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」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」ものとはいえず、明らかに、過少である。

鉄道耐震設計においては地震の発生確率は考慮されていない

- 地震の発生確率というのは基本的に考えないようにしようということになっております。その理由としましては、例えばプレート境界で起きるような海溝型地震と内陸の活断層地震というのは、再現期間がかなり大きく違います。それによって例えば確率を考えてしまうと、活断層による地震の確率の、例えば今の現状の予測のレベルだとか、そういった観点で適切ではないんだろうなということを考えておりまして、結論として設計地震動としては確率はあまり考えない。甲D１１１の３　第２回議事録２３頁。甲D１０９鉄道耐震設計４０頁も同趣旨）

土木分野全般において地震の発生確率は考慮されていない

- レベル2地震動を地震危険度レベルと定量的に関係づけて定義するには難しい面が多い.
- 兵庫県南部地震の際に経験したような活断層近傍の地震動を荷重評価に反映させるためには，確率論的地震危険度解析において1,000年のオーダーの再現期間を考慮する必要がある.
- しかしながら，過去の地震データが得られている期間や活断層データの精度から見て，このような低頻度の問題を確率論的地震危険度解析で扱うにはオーダーの評価が精一杯で，定量的にこれ以上細かい議論を行うには無理がある.

土木分野全般において地震の発生確率は考慮されていない

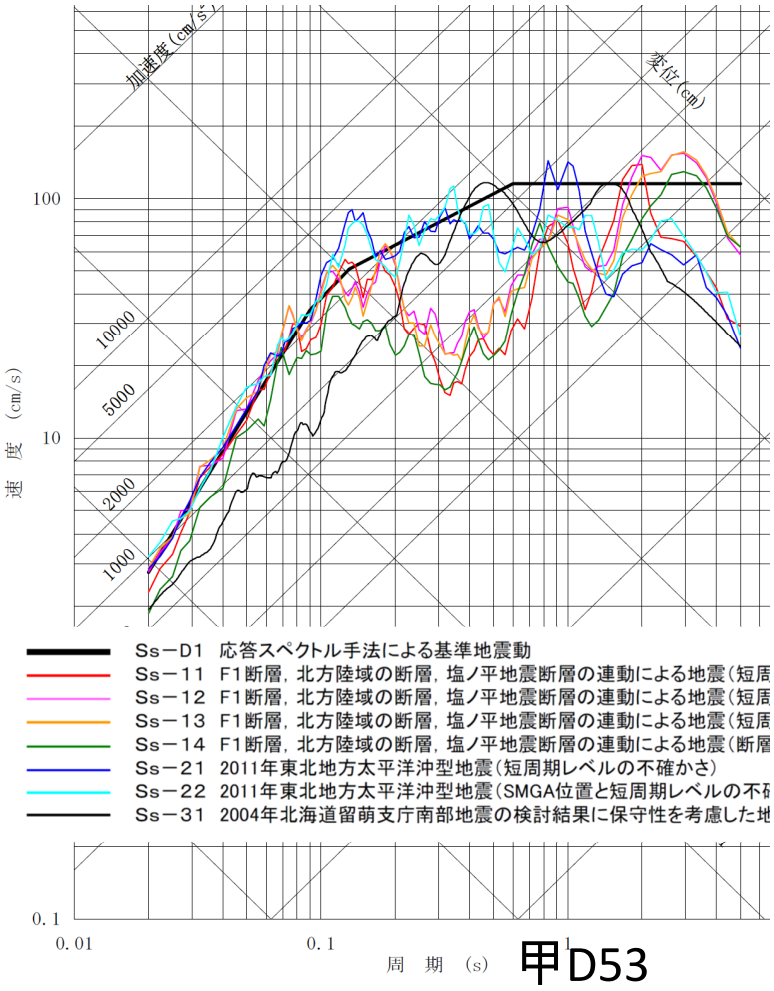
- 内陸活断層による地震の発生頻度と，陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震（関東地震や東海地震など）の発生頻度には大きな違いがある.
- 現時点ではこうした点をいかに解釈するかを含めて，レベル2地震動を確率論的な地震危険度レベルと定量づけて定義することにコンセンサスが得られているとは言い難い.

土木分野全般において地震の発生確率は考慮されていない

- レベル2地震動という用語におけるレベルとは，地震動強さのレベルを指すものであり，地震危険度のレベル（再現期間や年超過確率）とは必ずしも一義的に対応しない.
- 全般的に特定の地震の発生頻度に関する情報は現時点では極めて不足しているため発生頻度の点では両者を同列に扱いにくいことから，レベル2地震動の尺度として地震動強度を採用することとした。

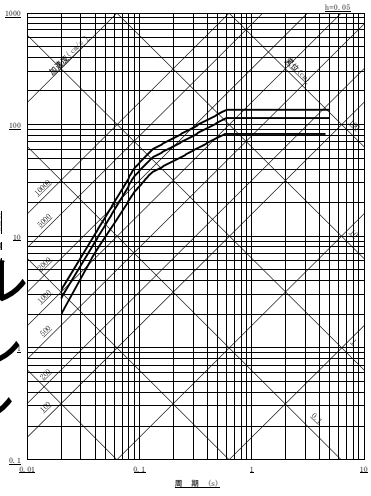
ストレステストのクリフエッジは1038ガル

→これと直接比較できるのは、応答スペクトルに基づく手法による地震動
ＳＳ－ＤＨ（600ガル）
Ｓｓ－Ｄ１（870ガル）



甲D53

1038ガル
870ガル
600ガル



水平成分

東海第2原発の基準地震動は過小

・敷地にもっとも影響を与えるプレート間地震では、

応答スペクトルに基づく手法は採用されておらず、鹿島灘では平均よりも4倍も強い地震動が観測されているのに、そのバラツキは考慮されていない。

断層モデルを用いた手法による地震動評価でも、応力降下量（短周期レベル）は、中越沖地震が考慮されているだけで、不確かさの考慮がなされていない。

そもそも、強震動予測レシピは、東北地方太平洋沖地震の地震動を再現できておらず、適用性が確認されていない。

・震源を特定せず策定する地震動＝隠れ断層による地震動の想定は、鉄道構造物の耐震設計と比較して、非安全側である。

したがって、東海第2原発の基準地震動は過小であり、原告らの人格権侵害の危険性があるから、運転は差止められなければならない。