

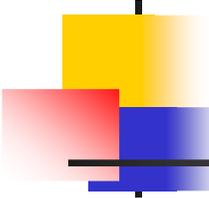
新規制基準適合性審査申請  
自然現象等  
＜(1)地震：基準地震動＞

(No.44, No.45関連)

平成29年11月1日

東北電力株式会社

枠囲いの内容は、商業機密または防護上の観点から公開できません。



## 本日の説明内容

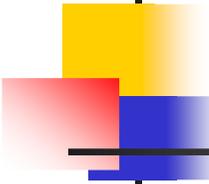
---

### ○本日の説明内容

新規制基準適合性審査の審査会合で審議された「基準地震動」について説明。

- 「基準地震動」に係る基本事項 …… 基本的な考え方, 審査ガイド 等
- 女川原子力発電所敷地周辺における地震の特徴
- 女川原子力発電所における基準地震動の検討内容
- 適合性審査の対応について

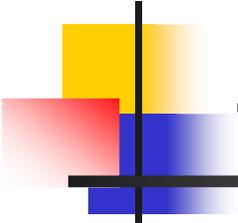
なお、基準地震動の年超過確率については、今後の適合性審査後に説明予定。



## 目次

---

1. 基準地震動に係る基本事項	3
2. 女川原子力発電所敷地周辺の地震の特徴	12
3. 敷地地盤の振動特性	14
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	21
4. 1. プレート間地震	23
4. 2. 海洋プレート内地震	37
4. 3. 内陸地殻内地震	49
5. 震源を特定せず策定する地震動	56
6. 基準地震動の策定	60
7. 審査での対応結果	67
[参考]	74
参考文献	



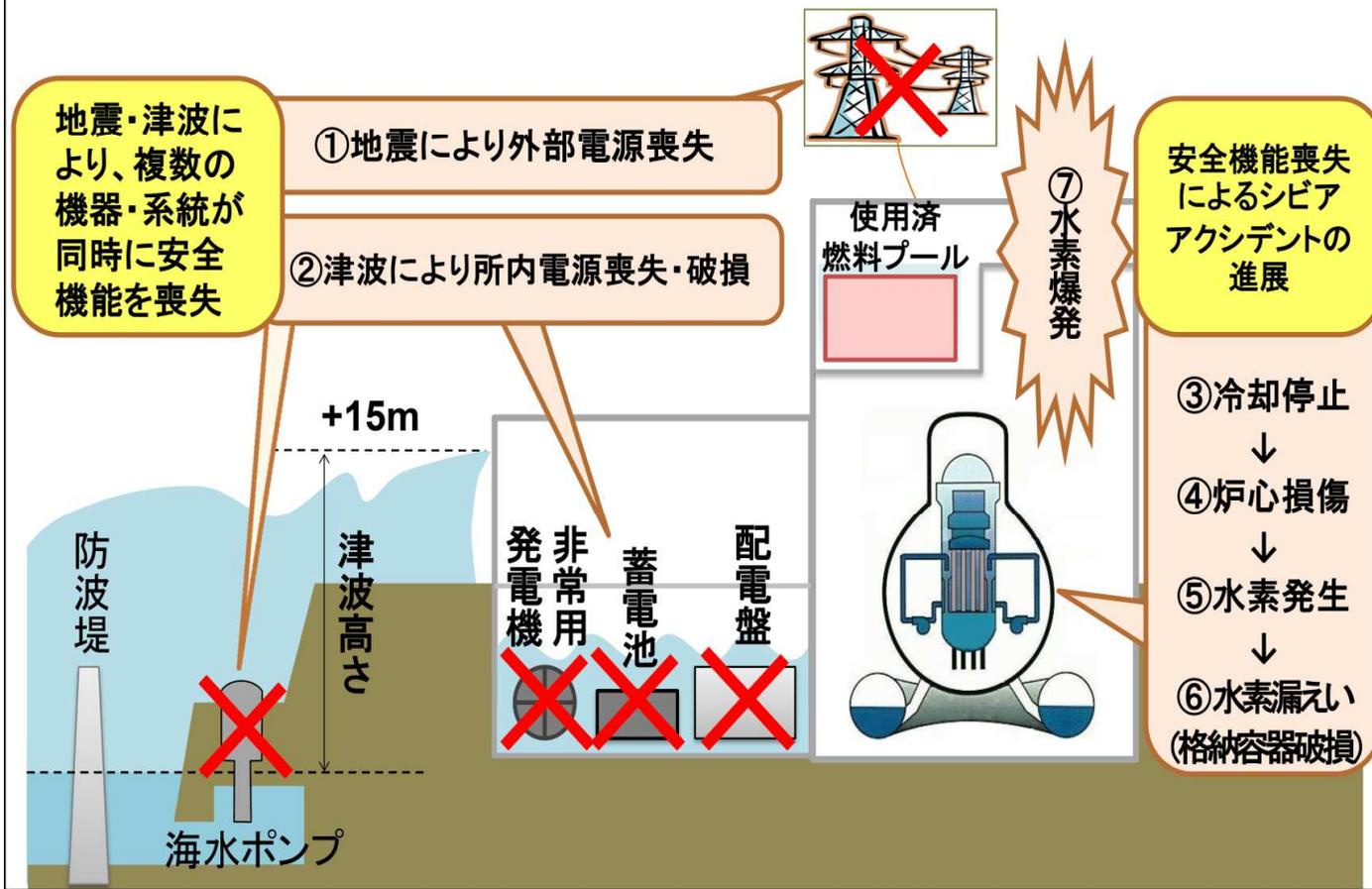
# 1. 基準地震動に係る基本事項

---

# 1. 基準地震動に係る基本事項 (1 / 8)

## 福島第一原発事故における教訓

- 福島第一原発事故では地震や津波により、複数の機器・システムが同時に安全機能を喪失。
- さらに、その後のシビアアクシデントの進展を食い止めることができなかった。



## 1. 基準地震動に係る基本事項 (2 / 8)

### 新規制基準の基本的な考え方

- 新規制基準では、「深層防護」を基本とし、共通要因による安全機能の喪失を防止する観点から、自然現象の想定と対策を大幅に引き上げ。
- また、自然現象以外でも、共通要因による安全機能の喪失を引き起こす可能性のある事象(火災など)について対策を強化。

#### ① 「深層防護」の徹底

目的達成に有効な複数の(多層の)対策を用意し、かつ、それぞれの層の対策を考えると、他の層での対策に期待しない。

#### ② 共通要因故障をもたらす自然現象等に係る想定的大幅な引き上げとそれに対する防護対策を強化

地震・津波の評価の厳格化、津波浸水対策の導入、多様性・独立性を十分に配慮、火山・竜巻・森林火災の評価も厳格化

#### ③ 自然現象以外の共通要因故障を引き起こす事象への対策を強化

火災防護対策の強化・徹底、内部溢水対策の導入、停電対策の強化(電源強化)

#### ④ 基準では必要な「性能」を規定(性能要求)

基準を満たすための具体策は事業者が施設の特性に応じて選択

# 1. 基準地震動に係る基本事項 (3 / 8)

## 従来の規制基準と新規規制基準との比較

- ▶ 従来と比較すると、シビアアクシデントを防止するための基準を強化するとともに、万一シビアアクシデントやテロが発生した場合に対処するための基準を新設

### <従来の規制基準>

シビアアクシデントを防止するための基準(いわゆる設計基準)  
(単一の機器の故障を想定しても炉心損傷に至らないことを確認)

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

### <新規規制基準>

意図的な航空機衝突への対応
放射性物質の拡散抑制対策
格納容器破損防止対策
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)
内部溢水に対する考慮(新設)
自然現象に対する考慮 (火山・竜巻・森林火災を新設)
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

新設 (テロ対策)  
新設 (シビアアクシデント対策)  
強化又は新設  
強化

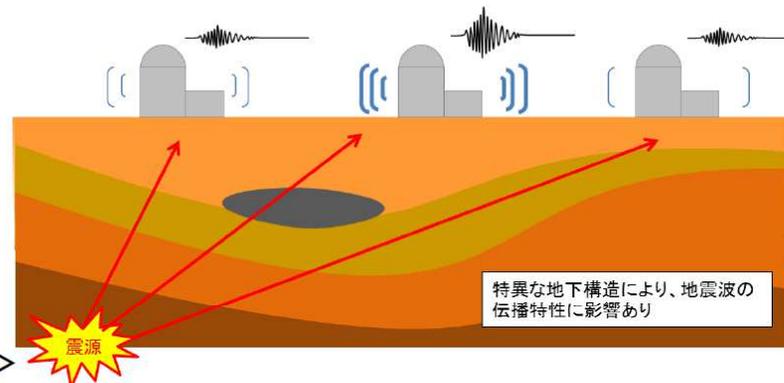
# 1. 基準地震動に係る基本事項 (4 / 8)

- 地震の評価の厳格化の一つとして、敷地地盤の振動特性について以下のような要求がされている。
- これは、2007年新潟県中越沖地震時の東京電力(株)柏崎・刈羽原子力発電所等での経験を踏まえ、新規制基準の中で規制要求として明確化された。

⇒女川の評価結果は、「3. 敷地地盤の振動特性」(p.14 ~ )に記載。

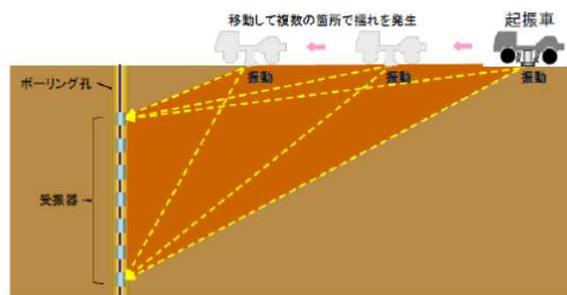
## より精密な「基準地震動」の策定

- 原子力発電所の敷地の地下構造により地震動が増幅される場合があることを踏まえ、敷地の地下構造を三次元的に把握することを要求。



<地下構造調査の例>

起振車で地下に振動を与え、ボーリング孔内の受振器で受振。解析することで、地下構造を把握。

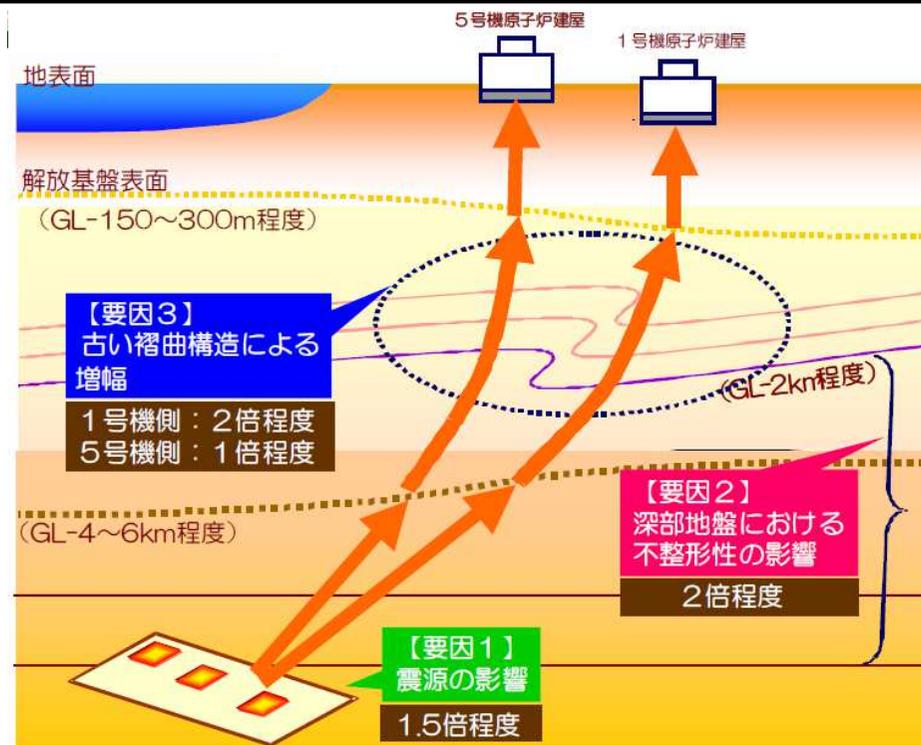


起振車

# 1. 【補足:新潟県中越沖地震】基準地震動に係る基本事項 (5 / 8)

- 2007年中越沖地震時の東京電力(株)柏崎・刈羽原子力発電所において、1～4号機側で想定の6倍、5～7号機側で想定の3倍の大きさの地震が観測された。分析の結果、これらの特異な地震動の増幅は地下の不均質な構造等に起因することが判明した。

数値は水平(東西)の値	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
原子炉建屋基礎版上での観測記録(Gal)	680	606	384	492	442	322	356
推定された解放基盤表面での加速度(Gal)	1,699	1,011	1,113	1,478	766	539	613
旧指針の基準地震動(S <sub>2</sub> :450Gal)に対する倍率	2.3~3.8				1.2~1.7		



2007年中越沖地震時の柏崎・刈羽(発)における地震動の特異な増幅

(柏崎・刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書(概要)(平成20年5月22日, 東京電力株式会社))

※ 上記「3つの要因」と地震動の大きさとの関係の説明は「参考」p.76を参照。

# 1. 基準地震動に係る基本事項 (6 / 8)

## ①「耐震設計」の手順



## ②「基準地震動」とは

- 基準地震動とは、安全上重要な施設の耐震安全性を確保する上での「基準」となる「地震動(地震に伴って生じる揺れ)」であり、その地震動による地震力が加わった際に原子力発電所の安全上重要な施設の安全機能が保持できるかどうかを確認するための役割を担う。
- 最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定する地震動をいう。

※地震と地震動の違いについては、「参考」p.75を参照。

# 1. 基準地震動に係る基本事項 (7 / 8)

## 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(H25.6.19 原子力規制委員会決定)

本ガイドは、発電用軽水型原子炉施設の設置許可段階の基準地震動策定に係る審査において、基準地震動の妥当性を厳格に確認するために活用することを目的とする。

### 1. 基準地震動

#### 2. 基本方針

- (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。

以下、各要求事項に関する詳細確認内容について記載。

出典:原子力規制委員会ホームページ (<http://www.nsr.go.jp/data/000069160.pdf>)より抜粋

# 1. 基準地震動に係る基本事項 (8 / 8)

- 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」では、基準地震動の策定について以下のフローで審査を行うとされている。
- 「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」の2つのフローに沿い基準地震動を策定することとなっており、基準地震動の策定においては、**不確かさを考慮**するとされている。

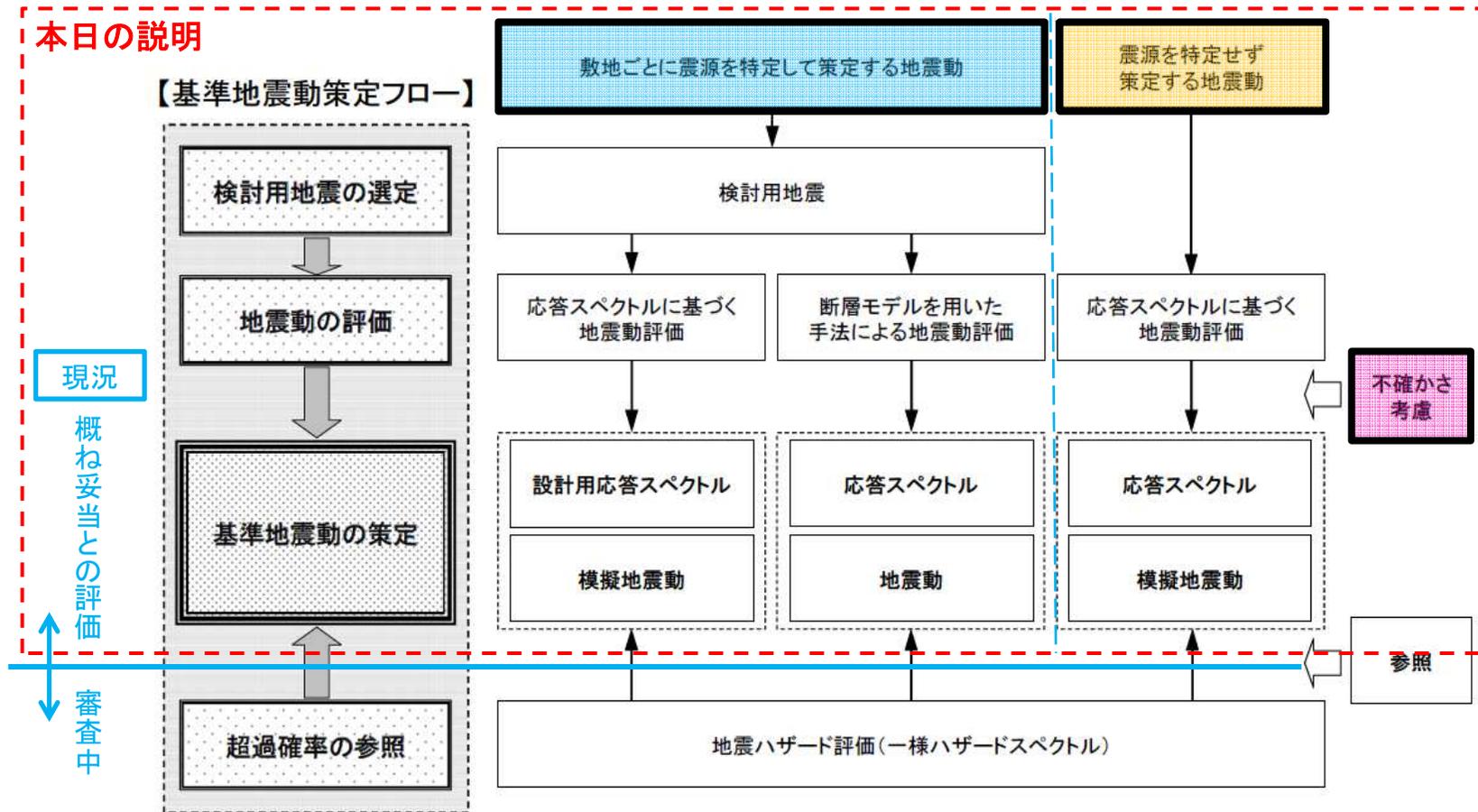
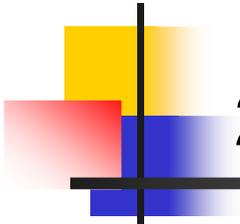


図-1 基準地震動の策定に係る審査フロー

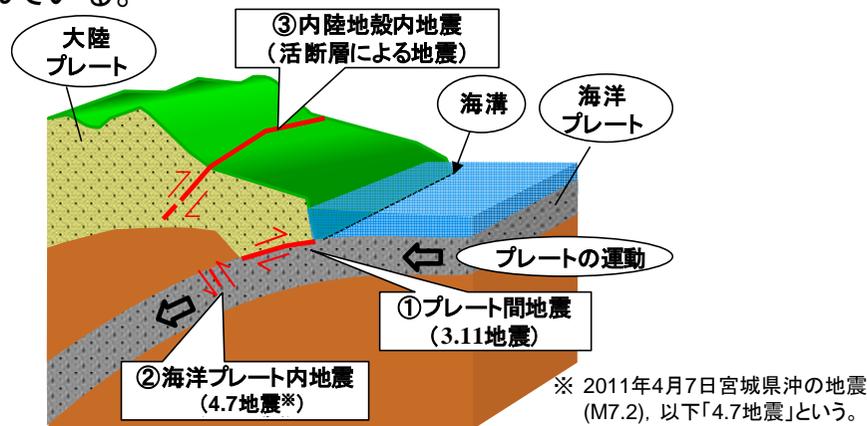


## 2. 女川原子力発電所敷地周辺の地震の特徴

---

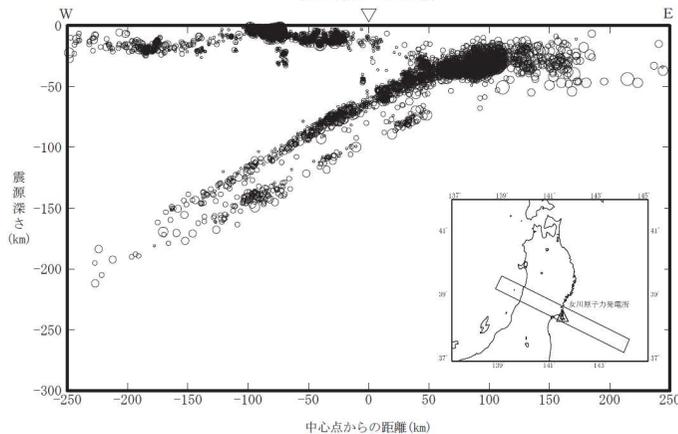
## 2. 女川原子力発電所敷地周辺の地震の特徴

- 女川原子力発電所の敷地周辺では、3種類のタイプの地震のうち、太平洋プレートの沈み込みによる海域の地震(①プレート間地震, ②海洋プレート内地震)が多く発生している。
- また、宮城県沖では繰り返しM7クラスの地震が発生しているが、2011年東北地方太平洋沖地震(以下、「3.11地震」という。)の震源域は、三陸沖中部から茨城県沖のM7～8のプレート間地震の震源域を包含して発生したとされている。



[参考] 地震発生様式のイメージ

女川原子力発電所



敷地周辺における地震の震源鉛直分布(2008年～2011年2月)  
(地震の諸元は気象庁カタログによる)

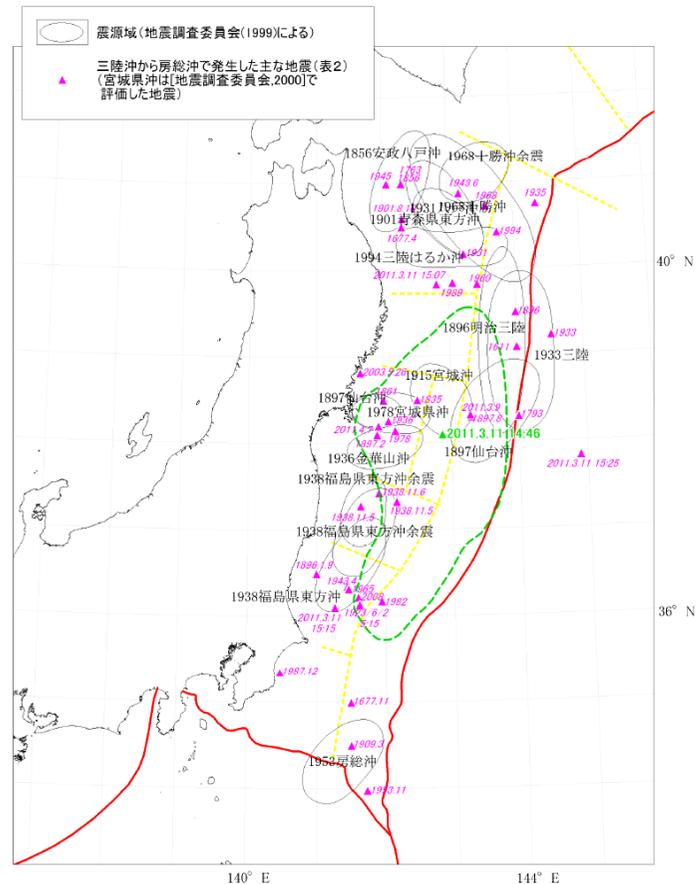
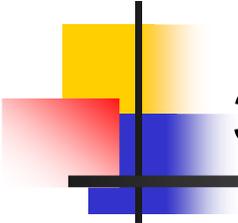


図5 三陸沖から房総沖にかけての主な地震と主な震源域(地震調査委員会, 1999)

三陸沖から房総沖にかけての主な地震と主な震源域  
(地震調査研究推進本部(2012))



### 3. 敷地地盤の振動特性

---

### 3. 敷地地盤の振動特性

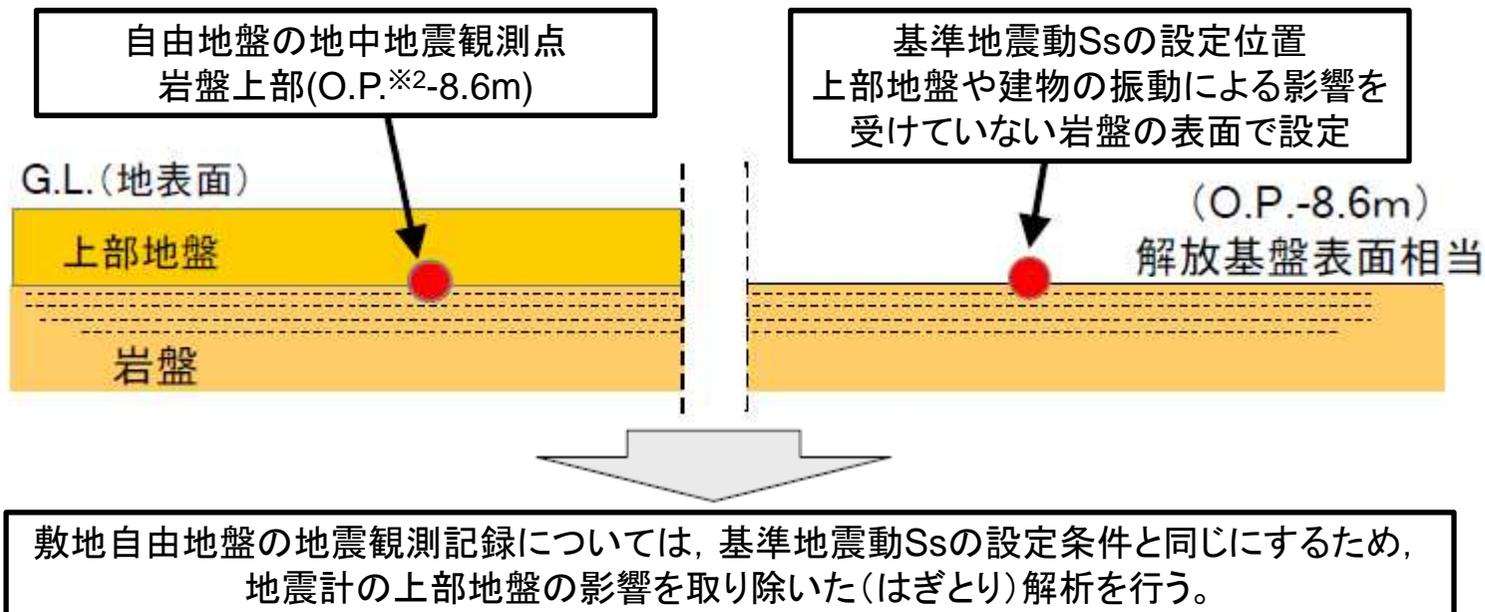
#### (1) 基準地震動の設定位置(解放基盤表面)

##### ①規制基準

- 基準地震動は、**解放基盤表面における地震動**として策定することとされている。
- 「**解放基盤表面**」とは、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無いものとして**仮想的に設定する自由表面**であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここでいう「基盤」とは、**概ねせん断波速度 $V_s = 700 \text{ m/s}$ 以上の硬質地盤**であって、著しい風化を受けていないものをいう。

##### ②女川原子力発電所敷地の特徴

- 発電所敷地周辺は**中生界ジュラ系の砂岩、頁岩等が広く分布し**、著しい風化も見られない。
- 主要な建屋は $V_s = 1,500 \text{ m/s}$ 以上の硬質岩盤上に設置。
- **解放基盤表面の位置<sup>※1</sup>は、主要な建屋が設置する岩盤位置とする。**
- 敷地における地震動評価は、上部に建屋のない岩盤上部の地中観測点(自由地盤観測点)で代表する。



※1 2号原子炉建屋の設置レベルO.P.-14.1m

※2 O.P.(女川原子力発電所工事用基準面)±0m = T.P.(東京湾平均海面) - 0.74m

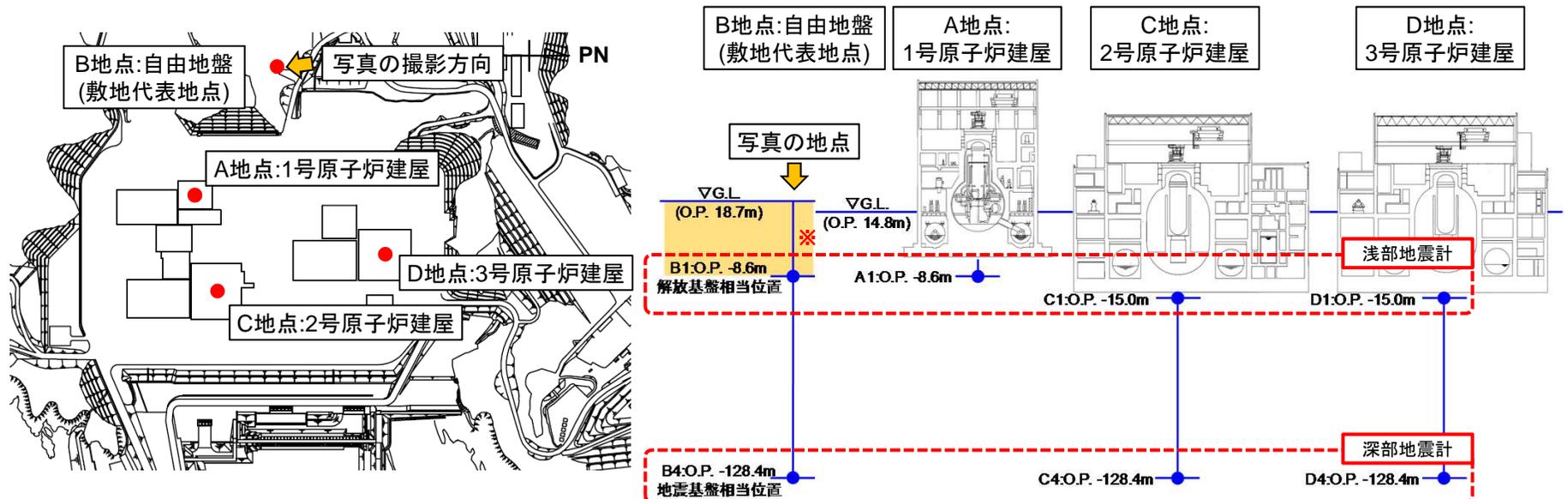
### 3. 敷地地盤の振動特性

#### (2) 敷地における地震観測

- 敷地では、自由地盤観測点のほかに、原子炉建屋直下の地中においても地震観測を実施している。



B地点:自由地盤(敷地の代表地点)観測状況



敷地における主な地震観測点(平面図)

敷地における主な地震観測点(断面図)

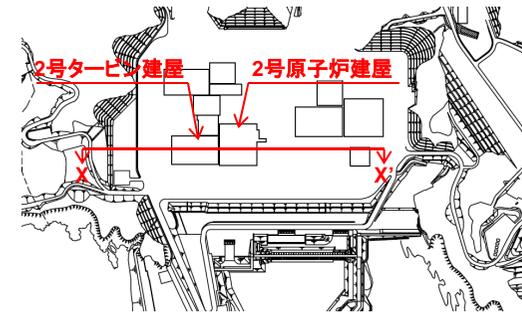
※解析で取り除く地震計の上部地盤

枠囲いの内容は、商業機密または防護上の観点から公開できません。

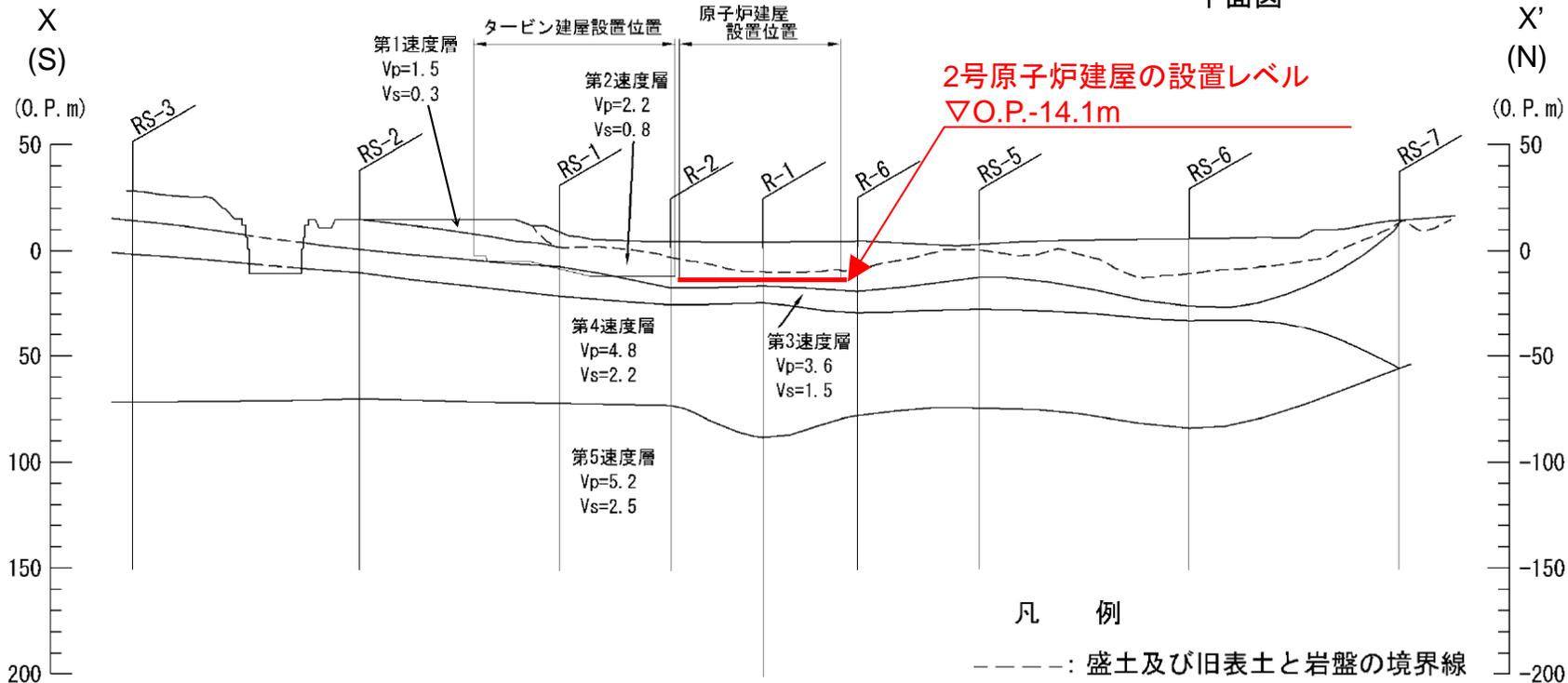
### 3. 敷地地盤の振動特性

#### (3) 2号原子炉建屋の解放基盤表面位置

- 原子炉建屋周辺地盤の速度構造を、PS検層※により求めた。速度層構造については、概ね水平かつ成層構造をなす5層に区分される。
- 解放基盤表面の位置は、安全上重要な建屋が設置する岩盤と対応している。
- 2号原子炉建屋の設置レベルは、O.P.-14.1mである。



平面図



※ PS検層結果: ボーリング孔を利用して地盤内を伝播する弾性波(P波・S波)の深さ方向の速度分布を測定したもの

単位 km/sec

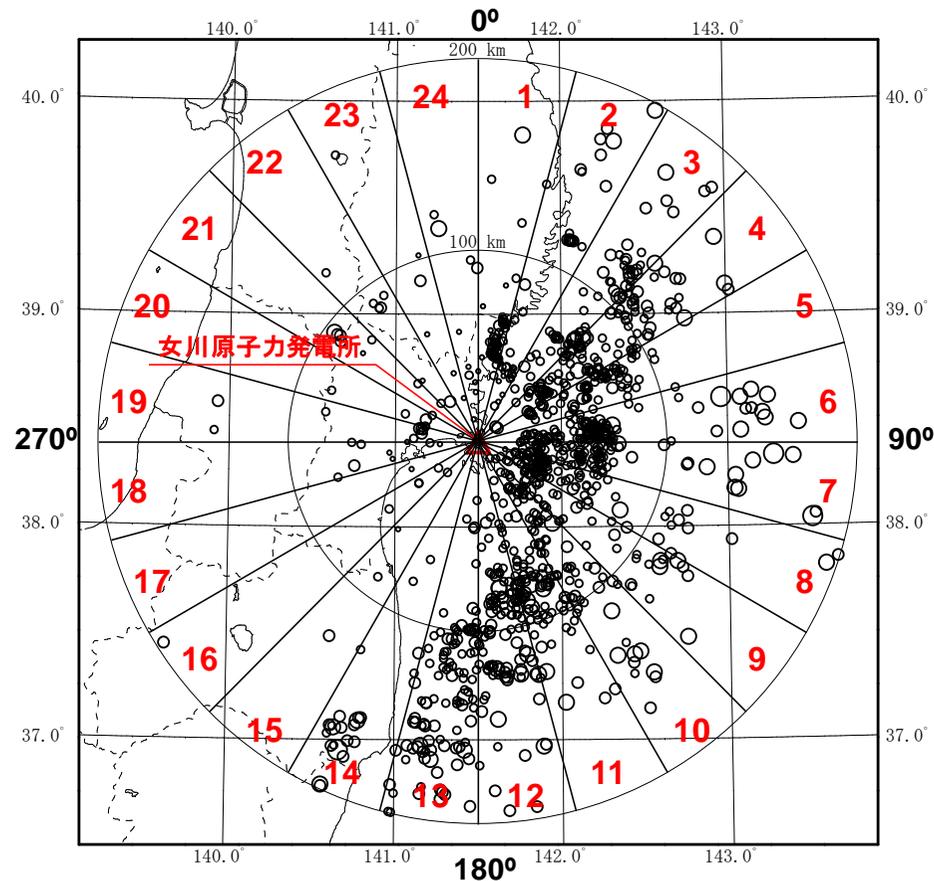
0 50m

速度層区分図(X-X')と2号原子炉建屋の設置レベル

### 3. 敷地地盤の振動特性

#### (4) 地震観測記録の方位区分

- 敷地で得られた豊富な中小地震の観測記録を用いて地盤の振動特性を検討した。
- 到来方向による影響の検討データとして、1980年～2013年までの約34年間に敷地で観測された約1,200地震を使用した。



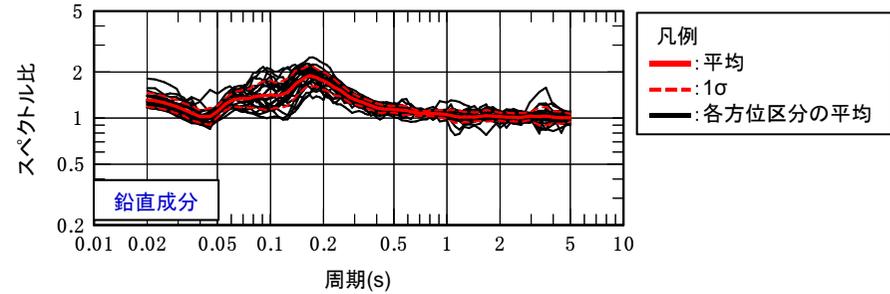
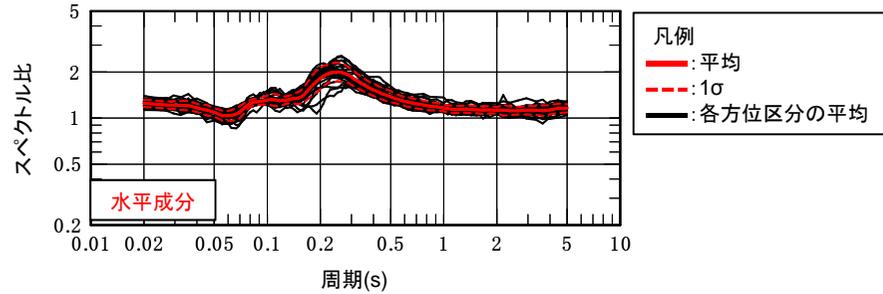
検討に用いた地震観測記録の方位区分※

※ 方位区分を15°にした場合を示す。

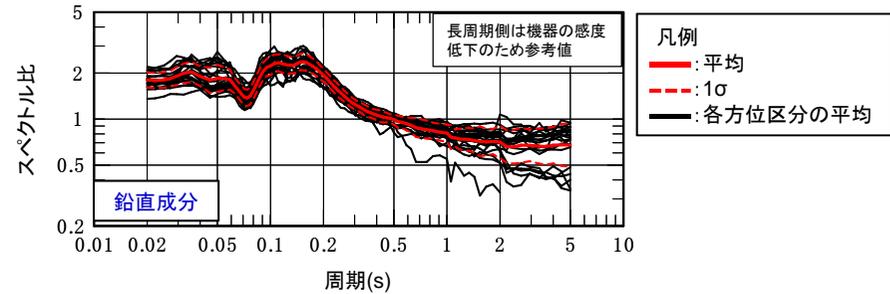
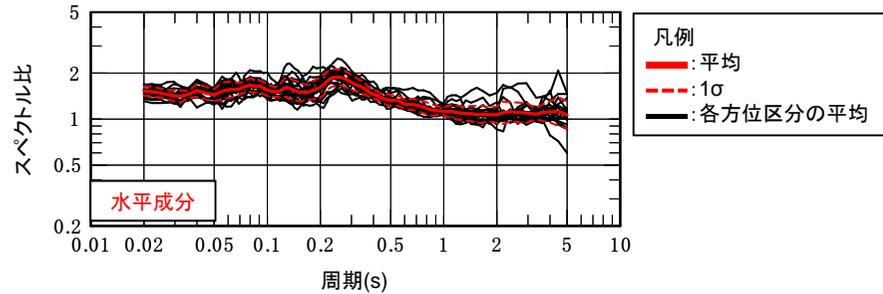
### 3. 敷地地盤の振動特性

#### (5) 鉛直アレイ観測記録の応答スペクトル比

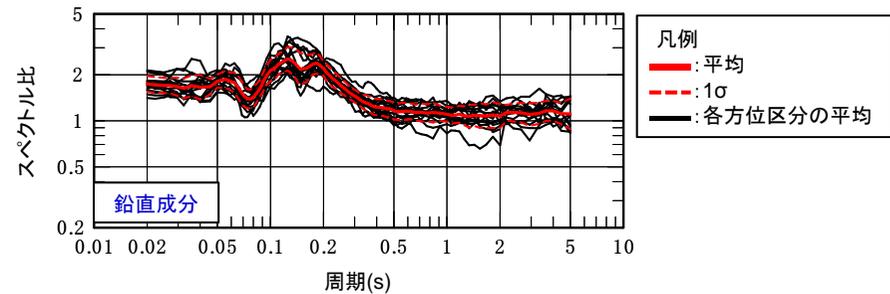
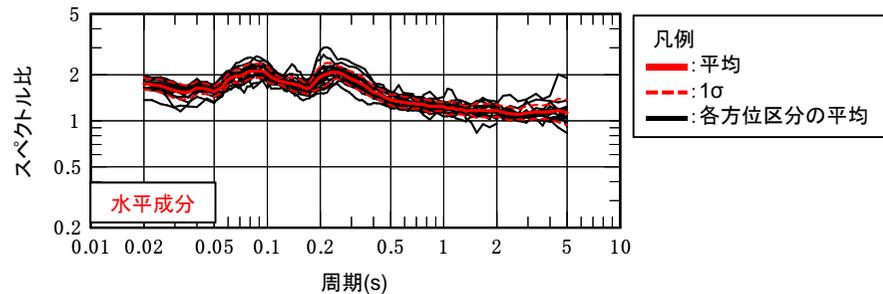
- 深部地盤 ~ 浅部地盤(解放基盤相当位置)までの地盤増幅特性を、鉛直アレイ観測点※の応答スペクトル比により確認。
- 自由地盤観測点, 2, 3号原子炉建屋とも地震発生数の少ない方位区分にはばらつきが見られるものの、いずれも特異な増幅はみられない。



自由地盤観測点 鉛直アレイ観測記録の応答スペクトル比(浅部観測点 / 深部観測点)



2号原子炉建屋地中 鉛直アレイ観測記録の応答スペクトル比(浅部観測点 / 深部観測点)



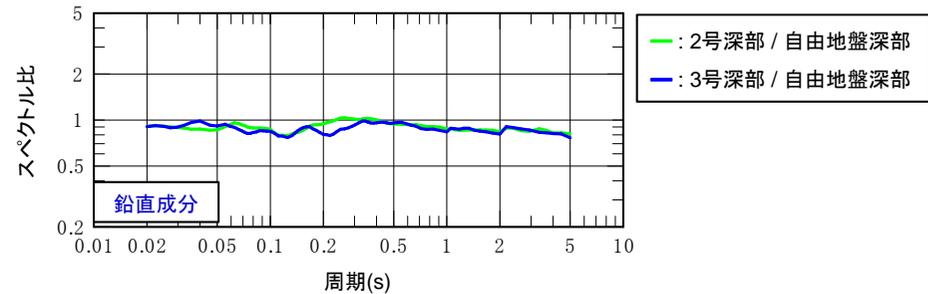
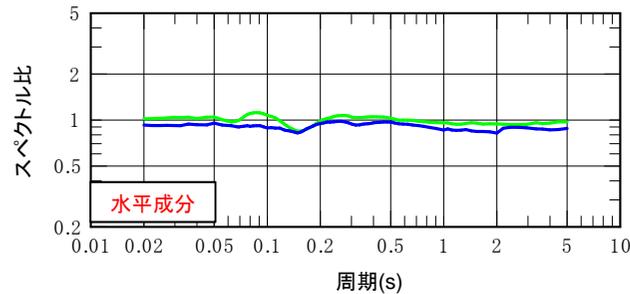
3号原子炉建屋地中 鉛直アレイ観測記録の応答スペクトル比(浅部観測点 / 深部観測点)

※ 鉛直アレイ観測点:鉛直に配列された地震観測点。配列位置はp.16を参照。

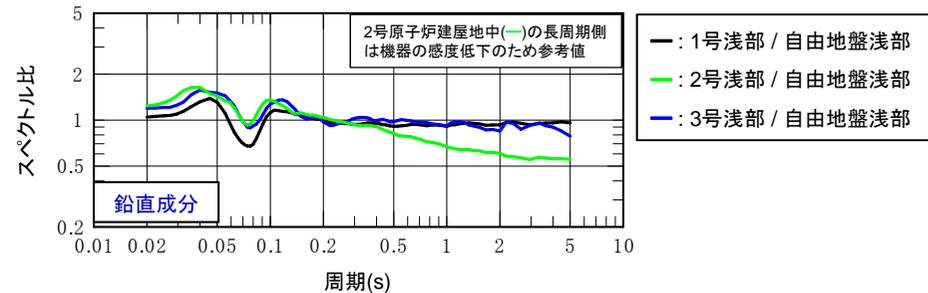
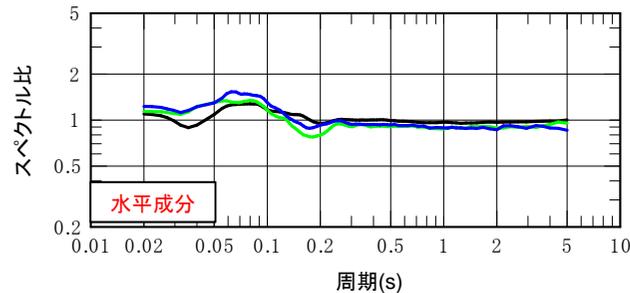
### 3. 敷地地盤の振動特性

#### (6) 水平アレイ間の応答スペクトル比の比較とまとめ

- 各観測点の振動特性の違いを、水平アレイ観測点※1の応答スペクトル比により確認。
- 浅部では短周期側に建屋振動の影響が見られるものの、水平アレイの比較からは、場所の違いによる振動特性の違いは小さいことがわかる。



深部水平アレイ観測記録の応答スペクトル比



浅部水平アレイ観測記録の応答スペクトル比

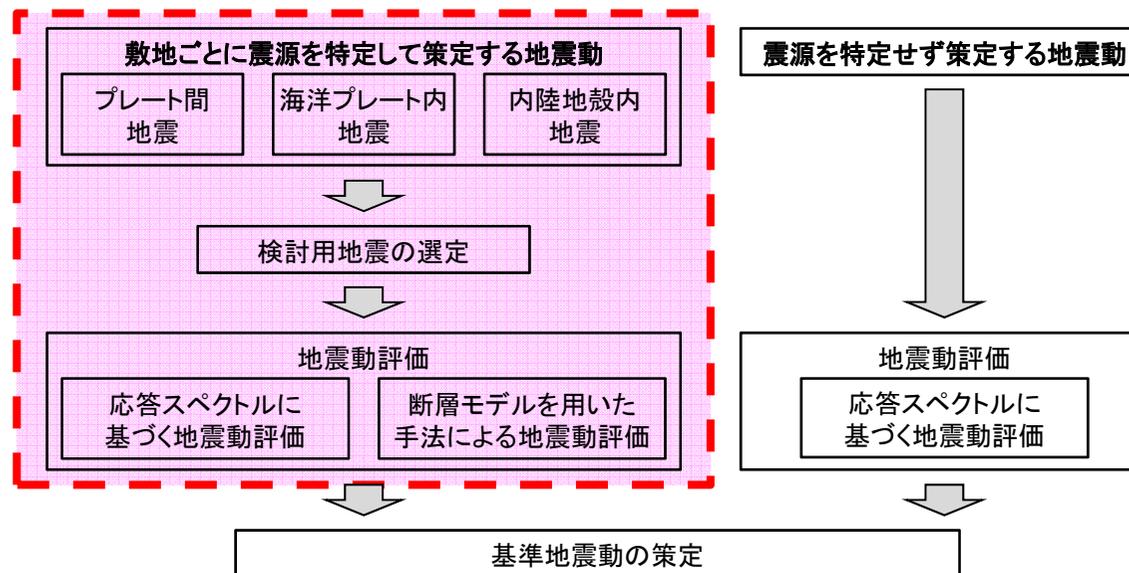
#### 【まとめ】敷地地盤の振動特性

- 鉛直アレイの検討では、各地点とも深部地盤～浅部地盤の振動性状には**到来方向の違いによる特異な増幅は見られない**ことを確認した。
- 水平アレイ(深部及び浅部)の検討では、**各地点の振動特性の違いは小さい**ことを確認した。
- また、地震観測記録の分析結果は、**PS検層※2で得られた水平成層な速度構造と矛盾しない結果**となった。

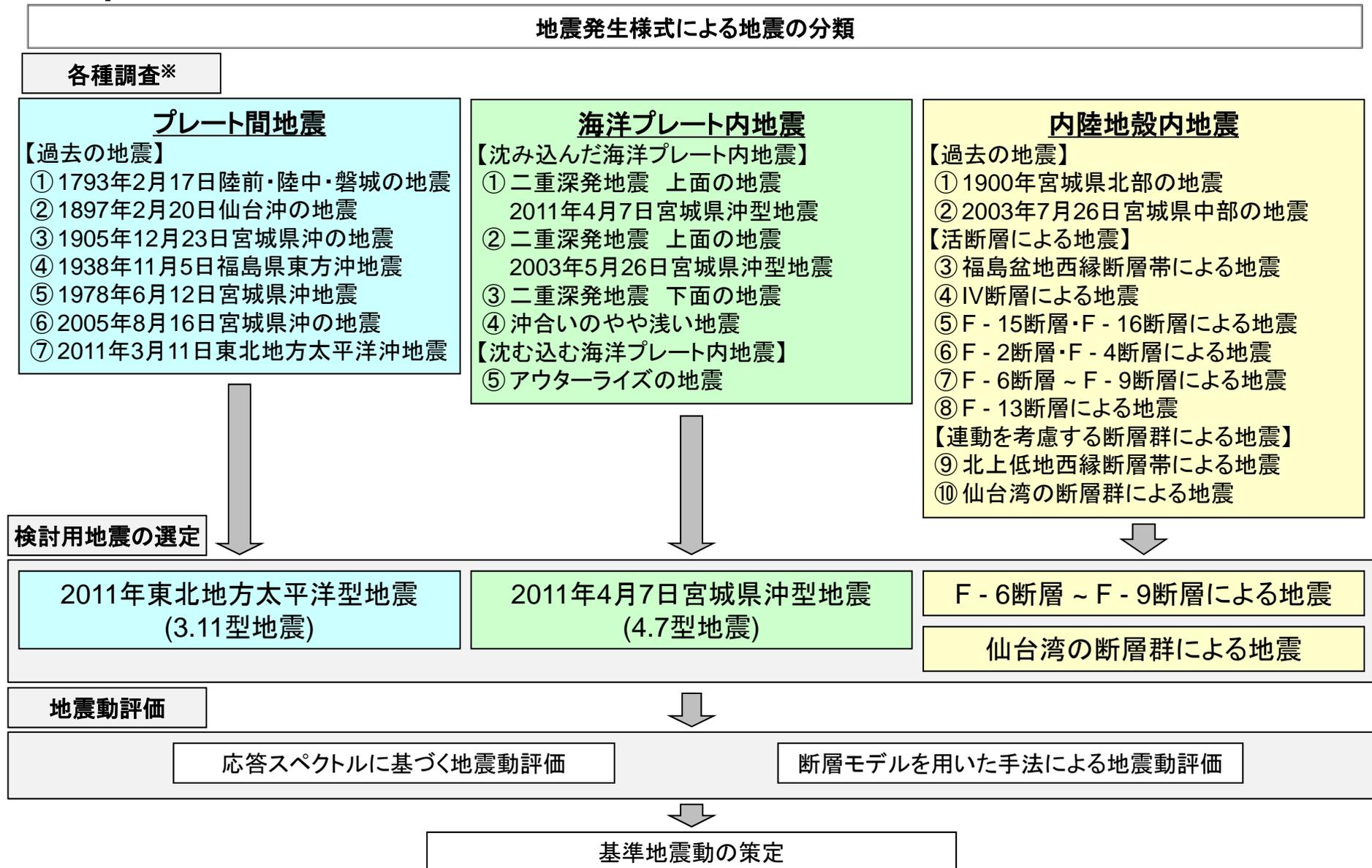
※1 水平アレイ観測点: 水平に配列された地震観測点。配列位置はp.16を参照。

※2 PS検層結果: ボーリング孔を利用して地盤内を伝播する弾性波(P波・S波)の深さ方向の速度分布を測定したもの。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

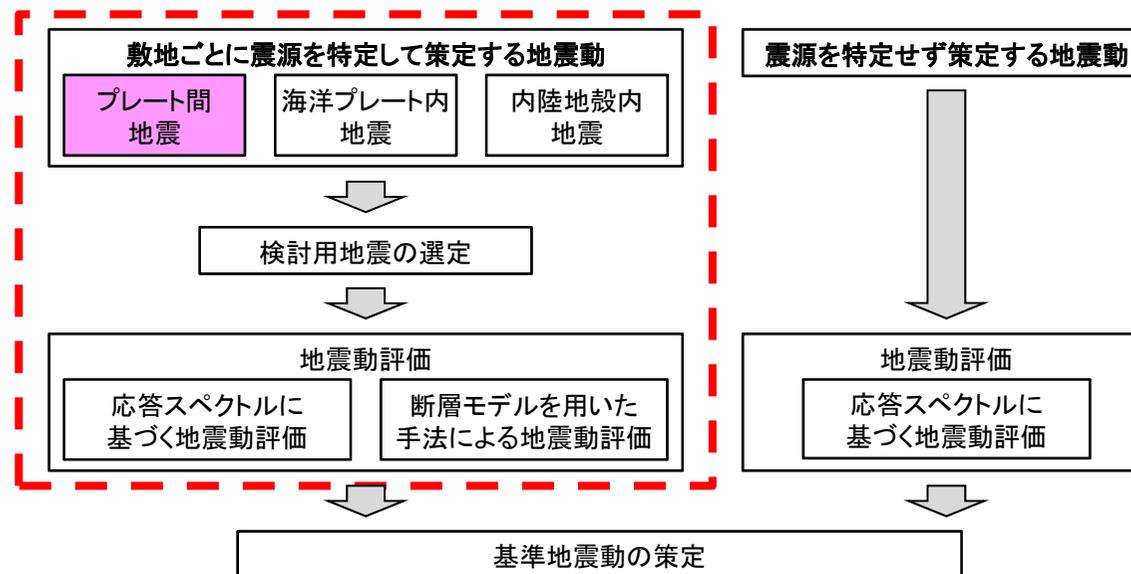


## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 地震動評価フロー



※ 過去の地震等は「気象庁カタログ」及び「日本被害地震総覧」等により抽出。

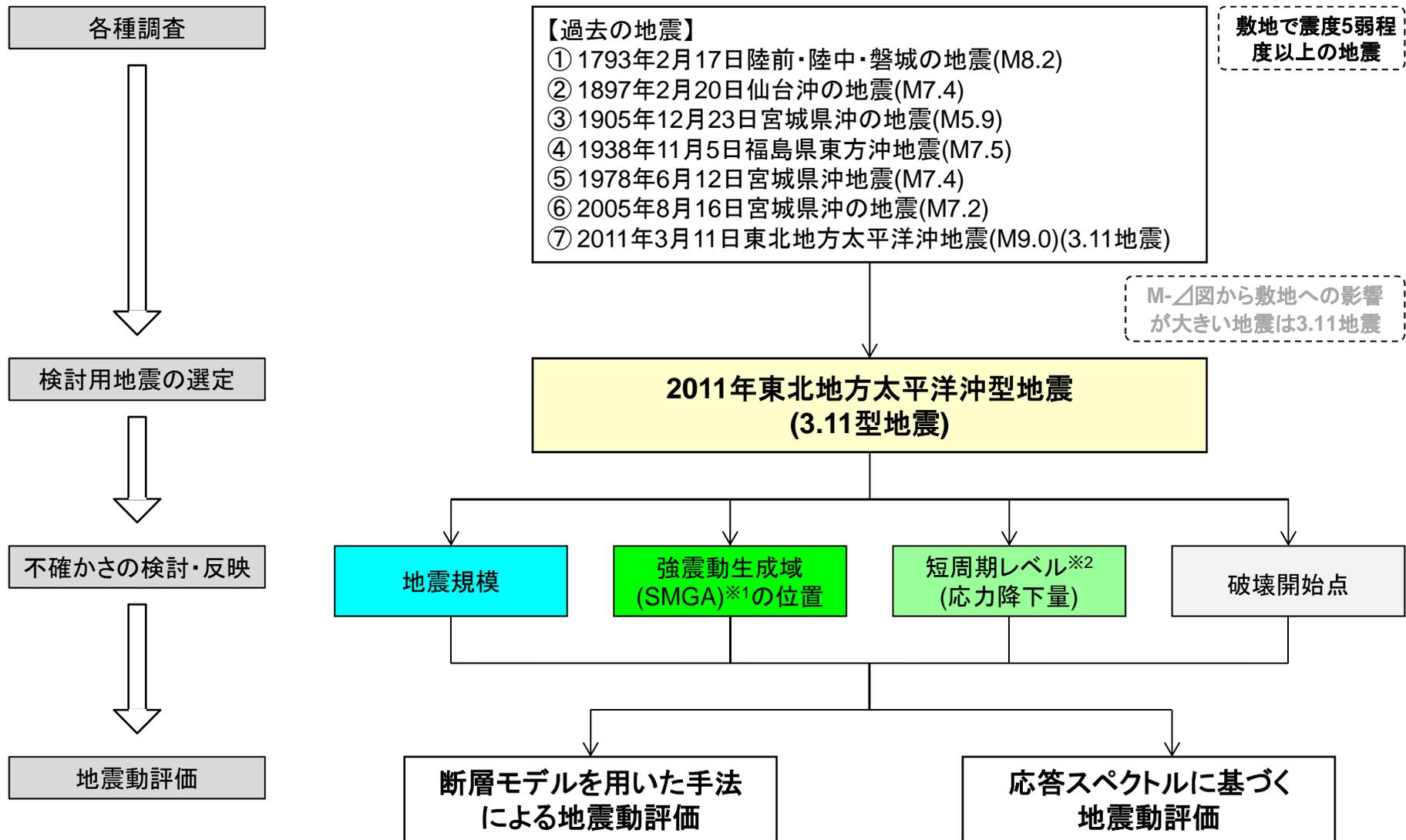
## 4.1 プレート間地震



# 4.1 プレート間地震

## (1) 検討用地震の選定 地震動評価概要

▶ プレート間地震の地震動評価概要フロー



※1 強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

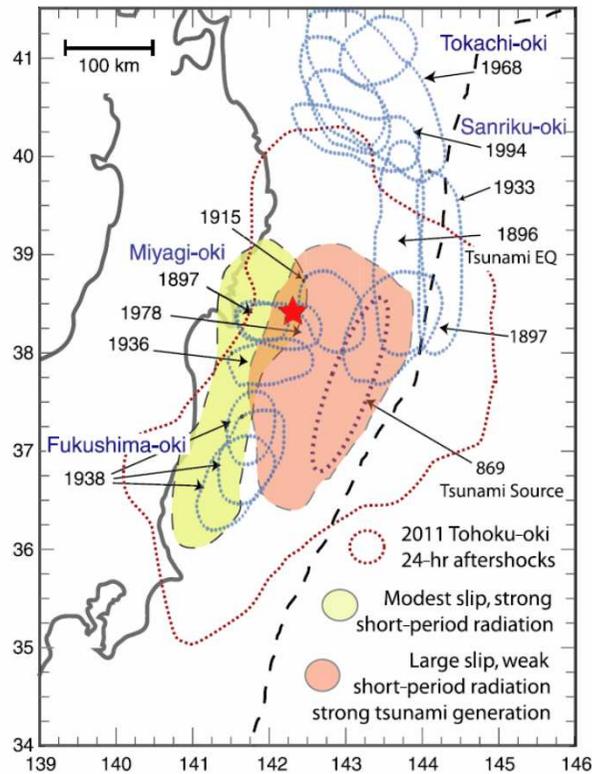
※2 短周期レベル: 震源の短周期の大きさ。応力降下量: 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差。

# 4.1 プレート間地震

## (2) 3.11地震の知見: 強震動と津波

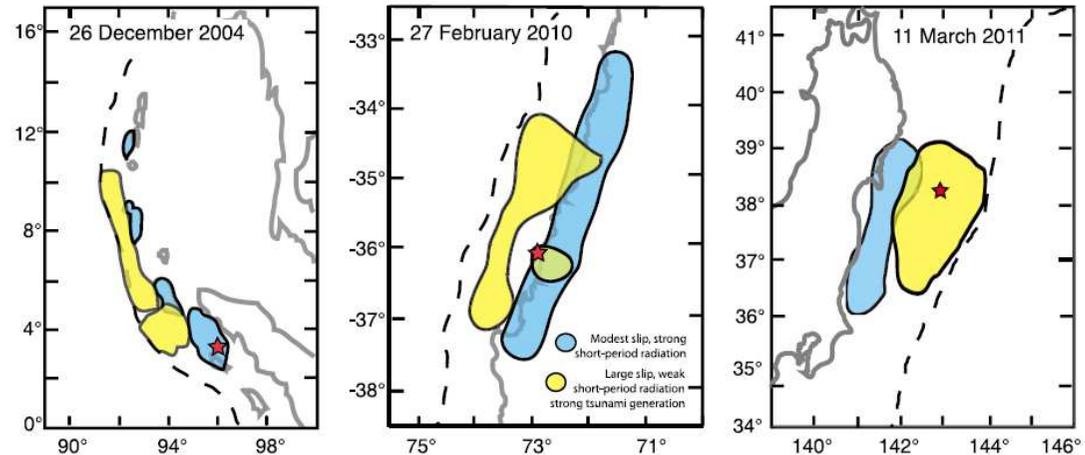
### ■ 3.11地震の強震動生成域

- 3.11地震の特徴として、**強震動生成域**(短周期域: **施設の揺れに影響**)と**すべりの大きい領域**(長周期域: **津波への影響**)が異なる(Lay et al.(2012))。
- 本震の広い断層破壊域のなかで、**陸寄り(本震の破壊開始点より西側)の深い領域で短周期が生成されている。**

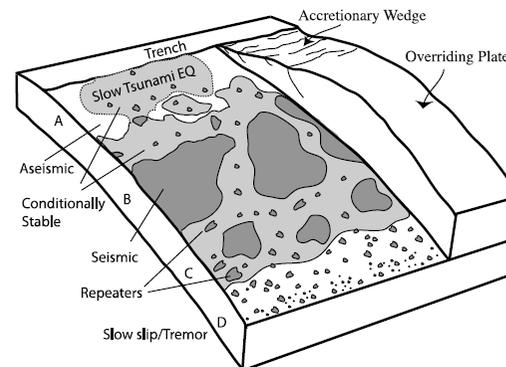


※ 短周期域と長周期域が分かれている。

3.11地震の余震が発生(本震発生から1日の間)した領域と過去に発生した地震の震源域(Koper et al.(2011))



2004年スマトラ地震(左図), 2010年チリ地震(中図), 3.11地震(右図)の強震動生成域(青)と大すべり領域(黄)(Lay et al.(2012))



プレート間地震の深さによる地震発生の模式図(Lay et al.(2012))

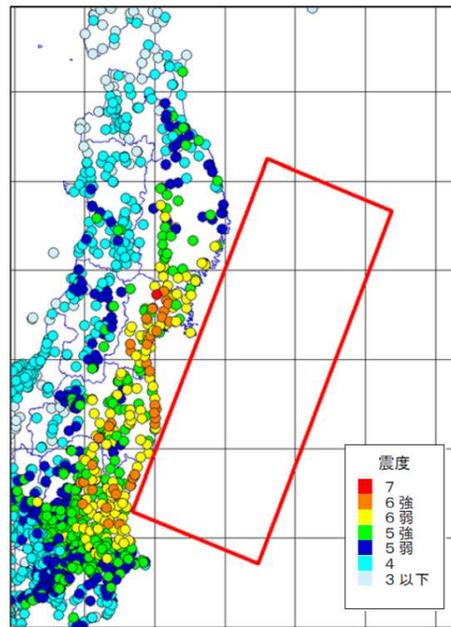
## 4.1 プレート間地震

### (3) 3.11地震の知見: 強震動の大きさと地震規模の関係

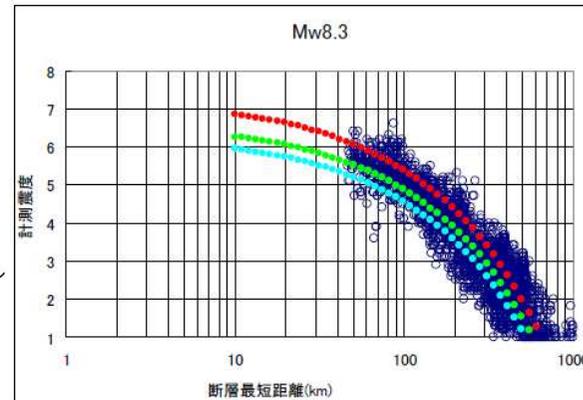
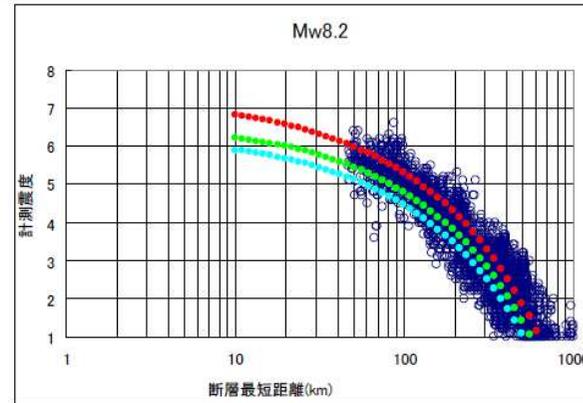
#### ■ 3.11地震の強震動の特徴 距離減衰式からの知見

【内閣府(2012a)】

- 3.11地震において、経験的手法である距離減衰式から求められる、地震規模であるパラメータMwは8.2~8.3程度であり、すべり量や応力降下量など断層運動から求められる地震規模Mw9.0と比べると相当小さい値となっている。



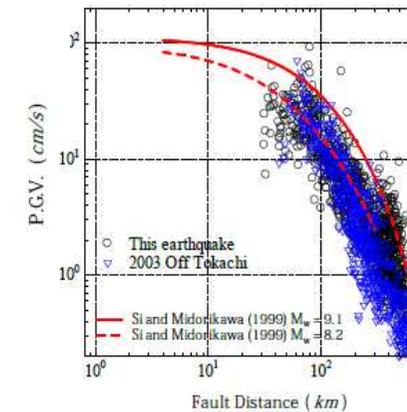
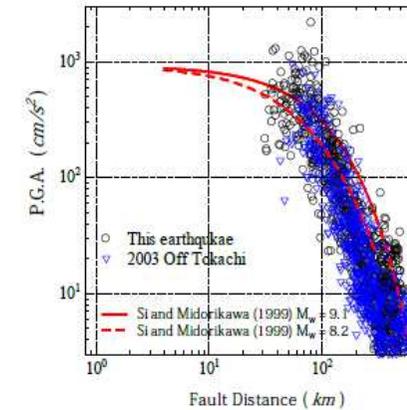
震度分布と断層最短距離の算出に用いた震源断層モデル (赤枠)



- 東北地方太平洋沖地震の観測震度
- 距離減衰(AVS150m/s)<sup>※1</sup>
- 距離減衰(AVS400m/s)
- 距離減衰(AVS700m/s)

3.11地震の震度の距離減衰(内閣府(2012a))

※1 AVS: 地表から地下30mまでの平均S波速度



3.11地震(Mw9.0)と2003年十勝沖地震(Mw8.3)のPGA, PGV<sup>※2</sup>の距離減衰の比較(司ほか(2011))

※2 PGA: 地動最大加速度, PGV: 地動最大速度

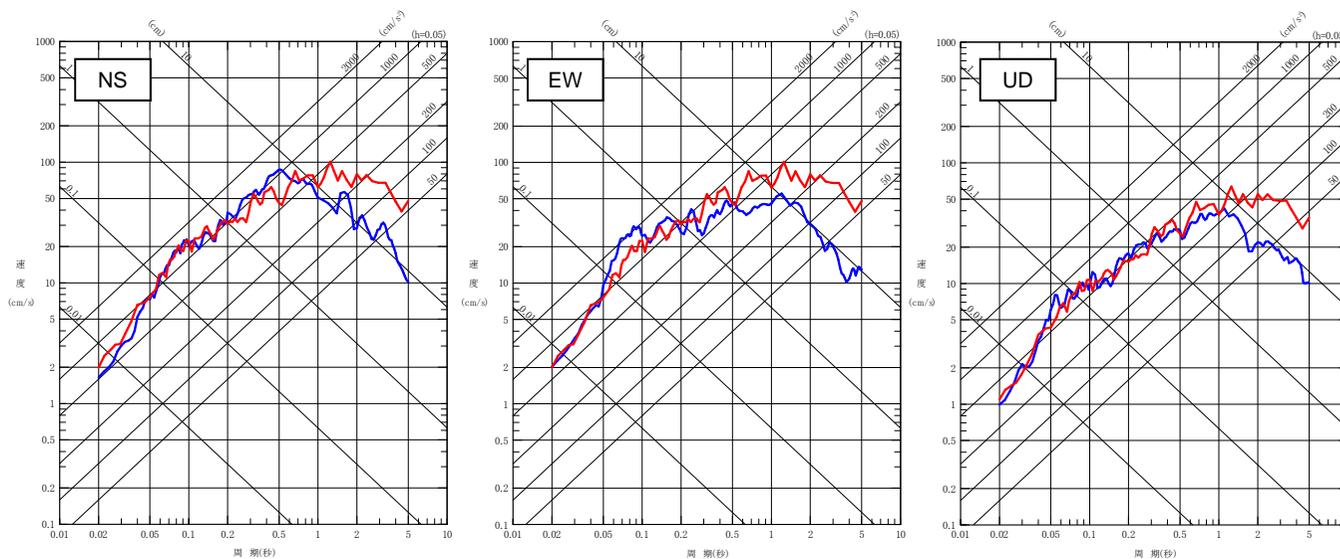
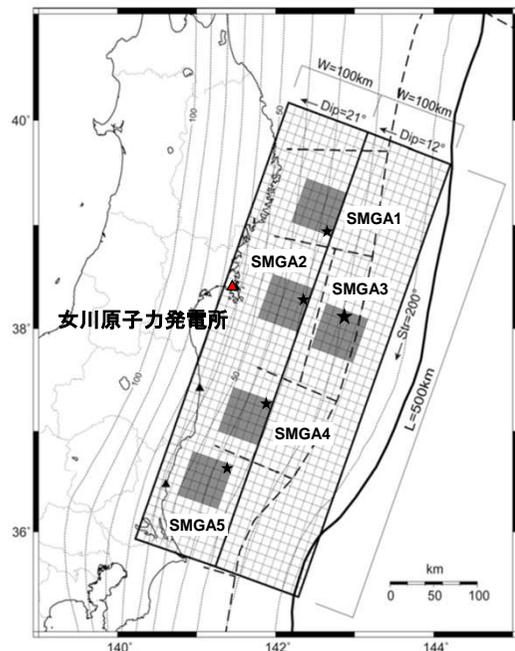
# 4.1 プレート間地震

## (4) 3.11地震の強震動シミュレーション

■ 諸井ほか(2013)※1モデルによる女川地点のシミュレーション結果

- 宮城県沖の地域特性として、SMGA2※2では、諸井ほか(2013)の短周期レベル(応力降下量)×1.4倍を考慮。
- なお、長周期では、シミュレーション結果が観測記録より保守的になっている。

— 評価結果(短周期レベルの地域特性考慮)  
— 3.11地震の観測記録※3



3.11地震の観測記録(はざとり波)※3との応答スペクトルの※4比較

断層モデル(諸井ほか(2013)に一部加筆)

■: 強震動生成域(SMGA)※2, ★: 破壊開始点

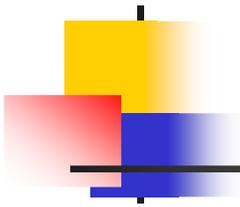
**3.11地震の観測記録(はざとり波)※3と評価結果は概ね整合。**

※1 3.11地震発生前の事前情報に基づき設定した断層モデルによる強震動予測。断層モデルを用いた手法による地震動の評価方法は「参考」p.82を参照。

※2 強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

※3 敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について、表層の影響を除去したはざとり波。

※4 応答スペクトルの説明は「参考」p.77~を参照。

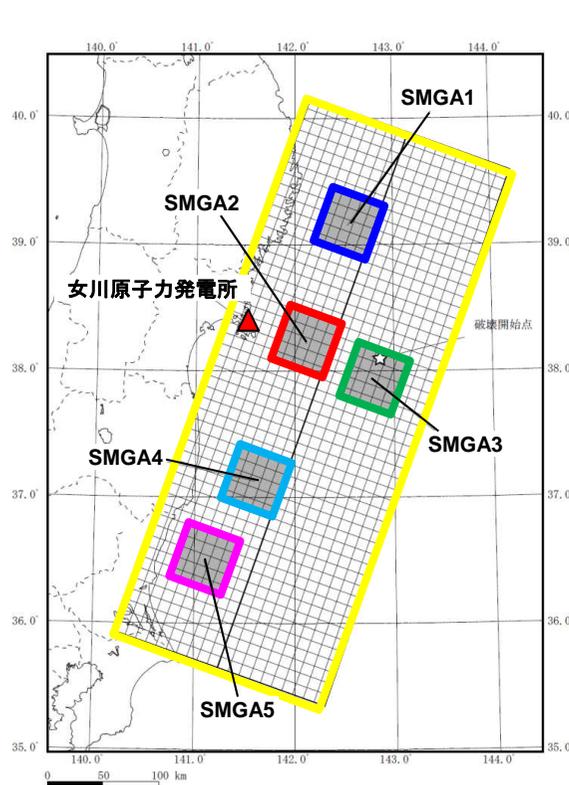


余白

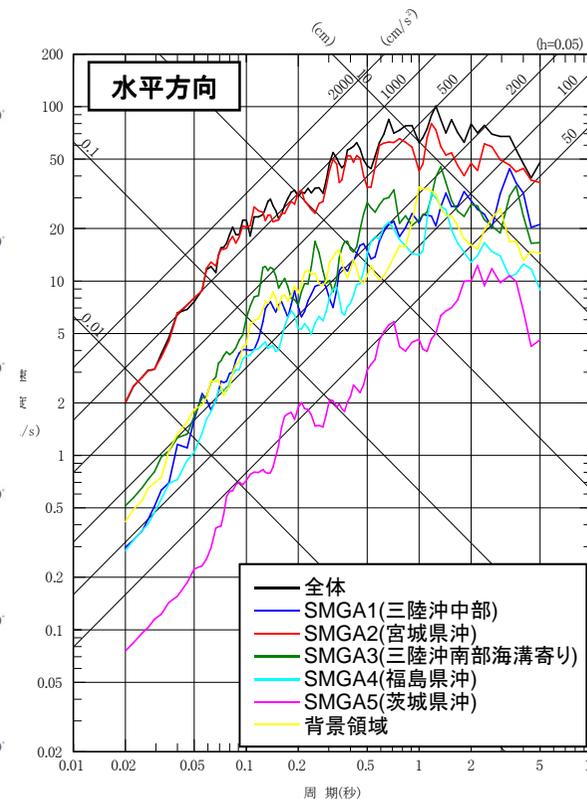
# 4.1 プレート間地震

## (5) 3.11地震シミュレーションでの各領域の寄与

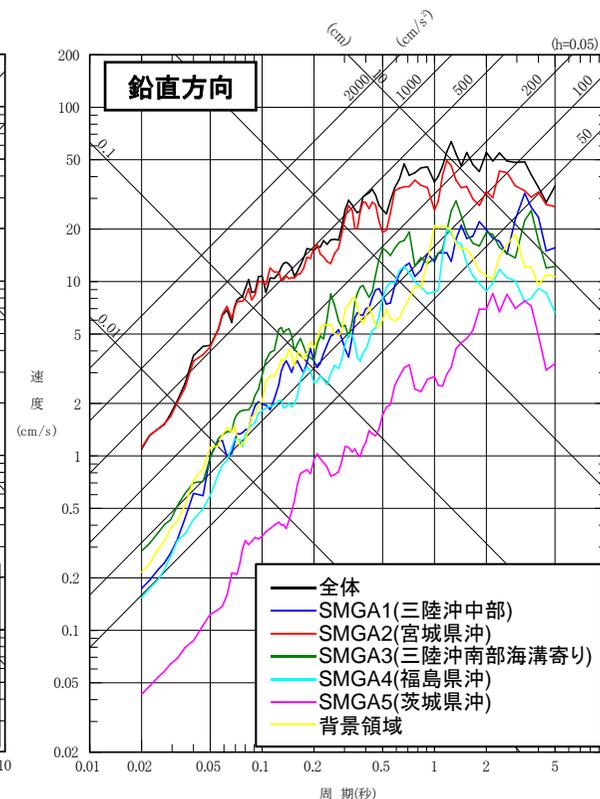
■ 各領域の寄与を応答スペクトルにより確認



断層モデル(諸井ほか(2013))



強震動シミュレーション結果



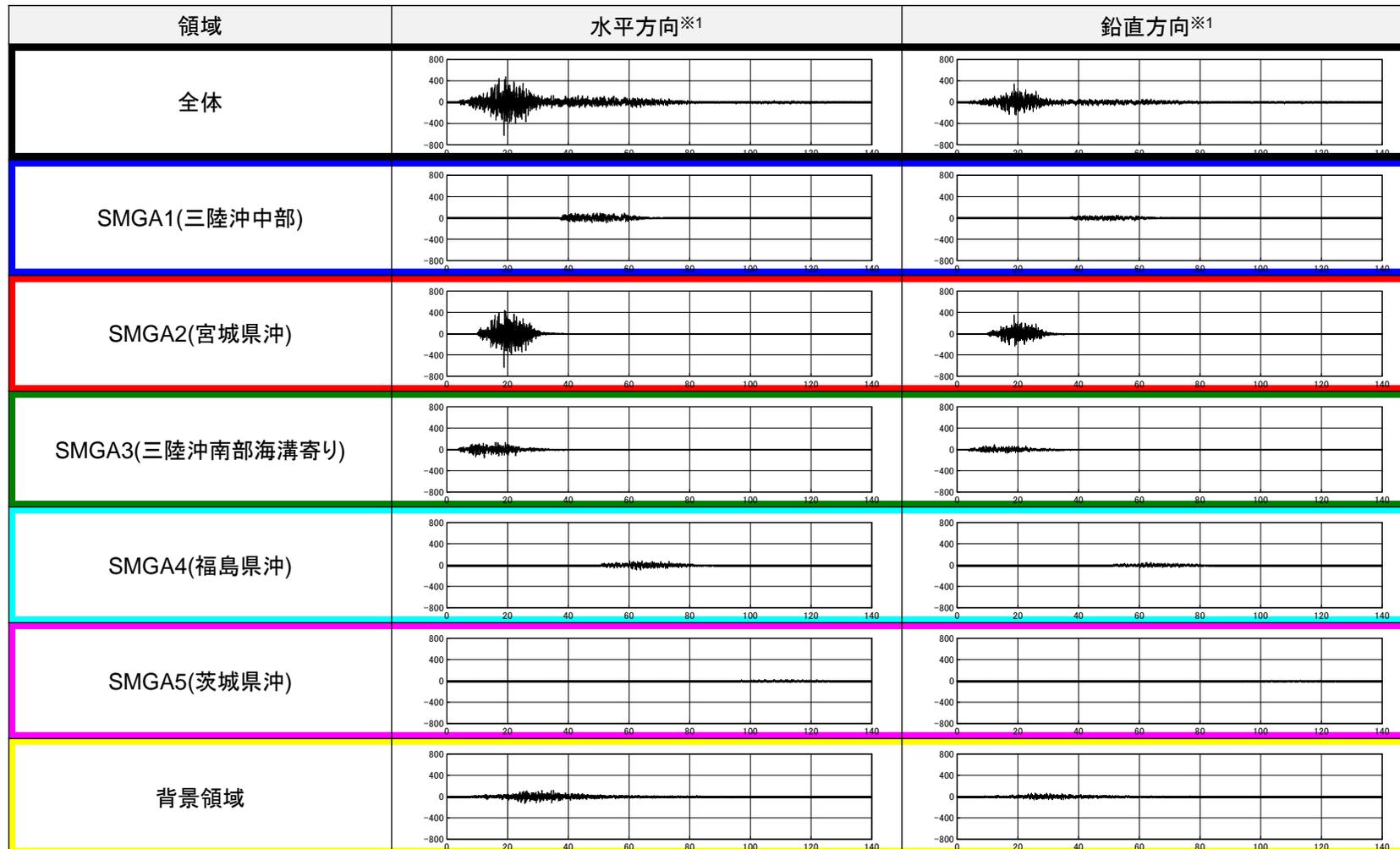
敷地前面の宮城県沖の強震動生成域(SMGA2)\*の影響が最も大きく、全体(M9)の地震動レベルをほぼ決めている。

\* 強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

## 4.1 プレート間地震

### (6) 3.11地震シミュレーションの各領域の寄与

■ 各領域の寄与を加速度時刻歴波形により確認



敷地前面の宮城県沖の強震動生成域(SMGA2)※2の振幅が最も大きく、  
全体の加速度波形の包絡形も、宮城県沖の強震動生成域から生成される波形によりほぼ決定される。

※1 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形。波形。縦軸は加速度で、単位は $\text{cm/s}^2$ (=Gal(ガル))、横軸は時間(s)。

※2 強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas) : 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

# 4.1 プレート間地震

## (7) 強震動生成域(SMGA)の位置の検討

### ■ SMGA※と過去の地震のすべり分布

- 宮城県沖のプレート間地震については、比較的短い間隔(約40年程度)でM7クラスの地震が発生していることから、地震時のすべり分布等が詳細に検討されており、1978年地震(M7.4)と2005年地震(M7.2)のすべり分布はほぼ重なっている。
- 1978年宮城県沖地震(M7.4), 2005年宮城県沖の地震(M7.2)のモデルはどちらも近接した位置にSMGAが設定されている。
- **3.11地震の強震動生成域(SMGA)は、宮城県沖の過去の地震とオーバーラップしている。**

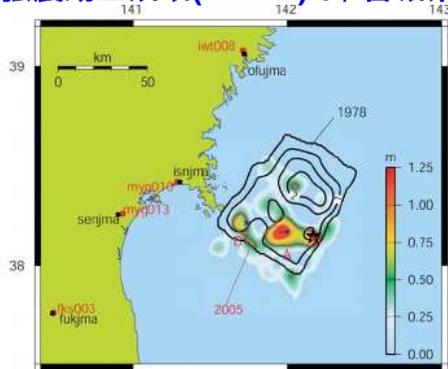
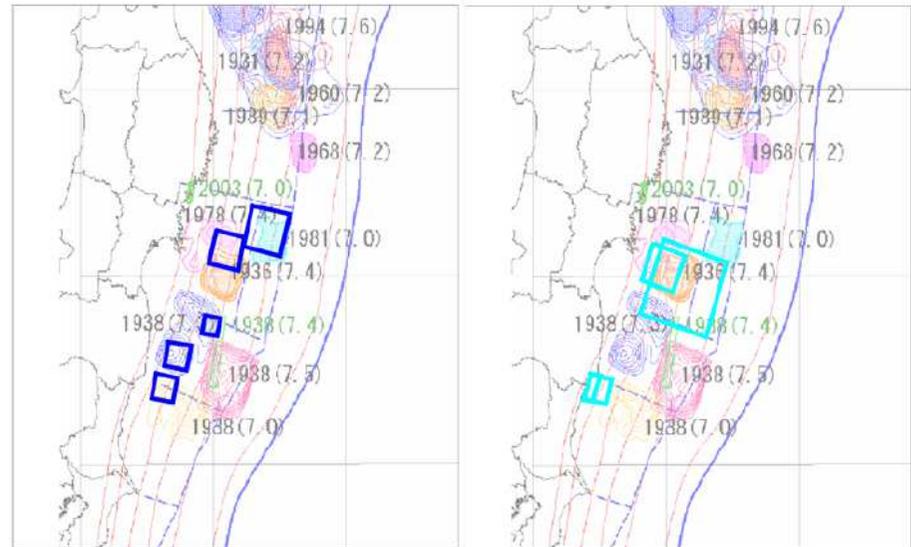


図2-3 1978年宮城県沖地震の震源域  
1978年宮城県沖地震と2005年宮城県沖の地震の断層すべり分布の比較。すべり分布は、1978年宮城県沖地震はコンターで、2005年宮城県沖の地震は色で表示。(Wu et al., 2008)

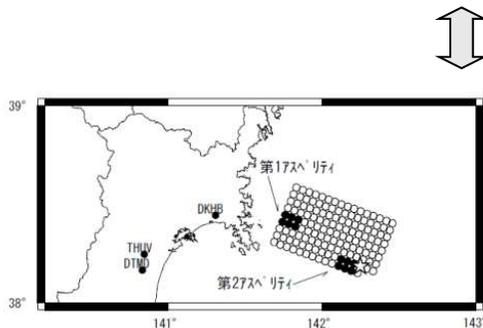
1978年と2005年の地震のすべり分布の比較  
(地震調査研究推進本部(2012))



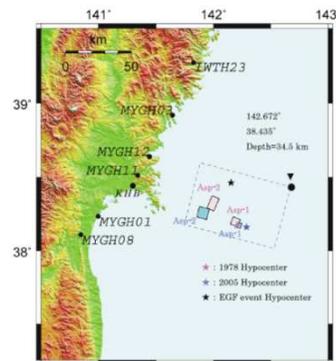
□: 川辺ほか(2011)のSMGA

□: 佐藤(2011)のSMGA

3.11地震のSMGAの位置と過去の地震との比較(内閣府(2012a))



想定宮城県沖地震 A1断層の断層モデル(地震調査研究推進本部(2005))



1978年と2005年宮城県沖の地震の強震動モデル(Kamae(2006))

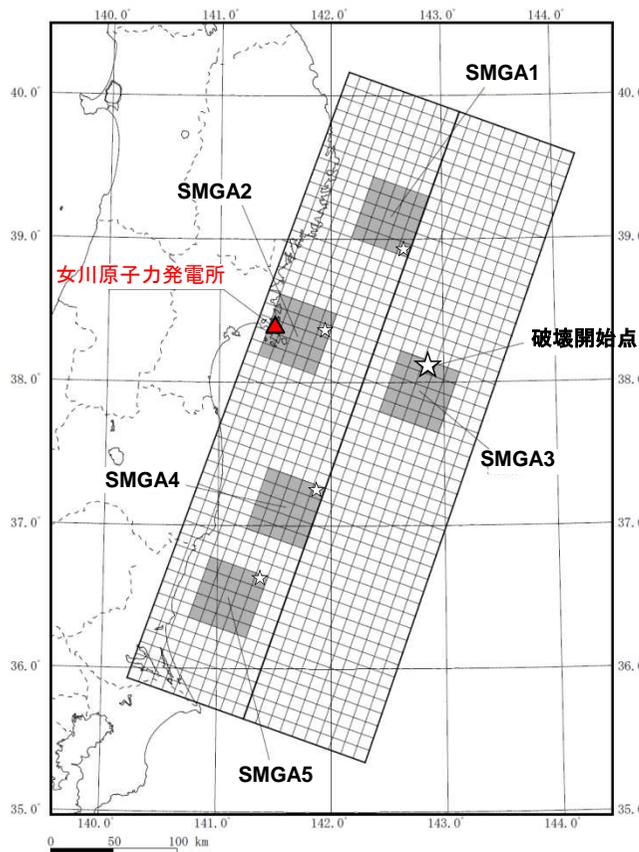
※ 強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

# 4.1 プレート間地震

## (8) 地震動評価 強震動生成域(SMGA)位置の不確かさ

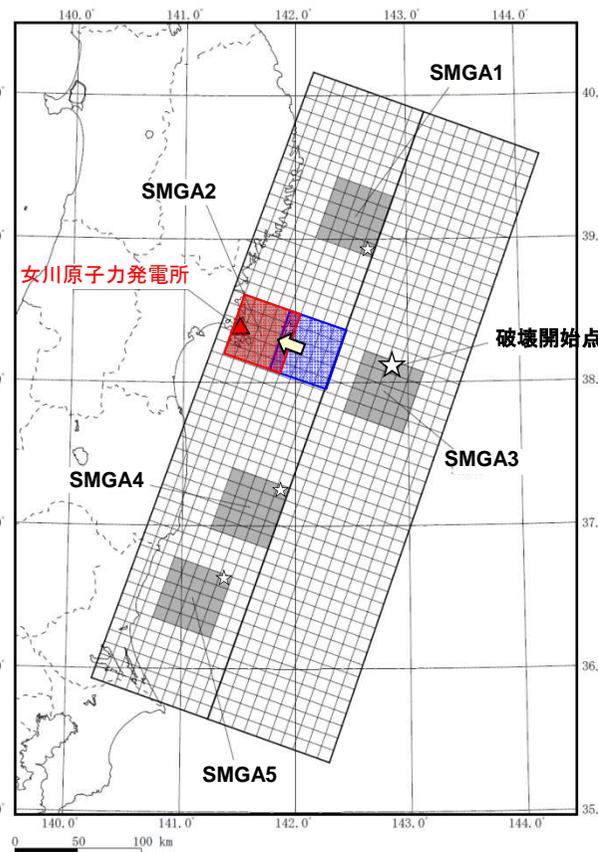
### ■ 強震動生成域の位置の不確かさモデルの地震動評価

- 敷地前面の強震動生成域(SMGA2)※<sup>1</sup>をプレート間地震の発生する物理的特性を踏まえ、最も敷地に近づけた位置に設定すると、SMGA2の等価震源距離※<sup>2</sup>は、基本モデルと比較して**約1割程度敷地に近づく**。



強震動生成域の位置の不確かさケース

■ : 強震動生成領域(SMGA), ☆ : 破壊開始点 (SMGA3の大きい星印は破壊開始点の位置, 小さい星印は各SMGAの破壊開始点の位置。)

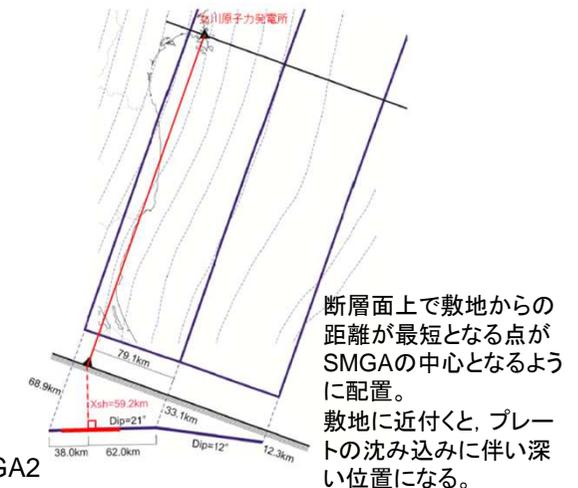


基本ケースとの比較

■ : 強震動生成域の位置の不確かさモデルのSMGA2  
■ : 基本モデルのSMGA2

SMGA2の等価震源距離の比較

ケース	SMGA2の等価震源距離
基本ケース	71.2km
強震動生成域の位置の不確かさケース	62.5km



断層面上で敷地からの距離が最短となる点がSMGAの中心となるように配置。  
敷地に近付くと、プレートの沈み込みに伴い深い位置になる。

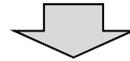
※<sup>1</sup> 強震動生成域(SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。  
※<sup>2</sup> 等価震源距離: 震源断層の面的な形状を踏まえ、特定の一点から放出されたものと等価になるように計算された距離。

## 4.1 プレート間地震

### (9) 3.11型地震の地震規模・強震動生成域のまとめ

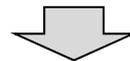
#### ○地震規模・強震動生成域(SMGA※1)の位置のまとめ

- 3.11地震は、距離減衰式から求められる**地震規模はMw8.2 ~ 8.3程度**。
- 3.11地震は、宮城県沖の領域は全て破壊し、また、その隣接領域へも破壊が及んだ地震であるが、**至近(宮城県沖)のSMGAの影響が大きい**(背景領域や遠いSMGAの影響は小さい)。
- **3.11地震の強震動生成域(SMGA)は、宮城県沖の過去の地震とオーバーラップ**。



#### 【基本ケース】

- **M9.0より規模が大きくなっても(すべり領域が広がっても)、敷地での地震動の大きさは変わらない**と評価し、3.11型地震(M9)を基本とする。
- また、**強震動生成域(SMGA)は過去の地震の発生位置**を基に設定。
- 強震動生成域の応力降下量※2は、宮城県沖の地域特性として標準※3の1.4倍に設定。



#### 【不確かさケース】

- **強震動生成域(SMGA)の位置**  
プレート間地震の物理的特性を踏まえ、**敷地に最も近付けた位置に設定**した場合を考慮。
- **強震動生成域(SMGA)の応力降下量(短周期レベル)※2**  
3.11地震の各種研究成果、及び内閣府(2012b)南海トラフ地震モデル等の知見も踏まえ、**不確かさとして保守的な設定(標準×1.6倍)**を考慮。

※1: 強震動生成域(SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

※2: 短周期レベル: 震源の短周期の大きさ。応力降下量: 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差。

※3: 諸井ほか(2013)で設定したSMGAの応力降下量を標準とした。不確かさケースは、基本ケースの1.14倍になる。

## 4.1 プレート間地震

### (10) 基本ケース、不確かさケースの設定

#### ■ 基本ケースと不確かさケース

- 主要なパラメータの整理を踏まえ、下表の通り基本ケースと不確かさケースを設定する。
- なお、**破壊開始点**については、伝播方向が敷地に向かうように配置しているため、**予め厳しい条件**となっている。

検討ケース	地震規模	断層の位置	応力降下量※1 (短周期レベル)	SMGA※2の位置	破壊開始点
基本ケース	M9.0	三陸沖中部から茨城県沖に設定	宮城県沖の地域性 (標準※4 × 1.4倍)を考慮し設定 (34.5MPa)	M7～8の過去の地震の震源域との対応を考慮し設定	破壊の伝播方向が敷地に向かうように配置
不確かさケース1 応力降下量 (短周期レベル)	M9.0	三陸沖中部から茨城県沖に設定	標準※4の1.6倍を考慮 (39.4MPa)	M7～8の過去の地震の震源域との対応を考慮し設定	破壊の伝播方向が敷地に向かうように配置
不確かさケース2 SMGA位置と応力降下量 (短周期レベル)の不確かさの重畳※3	M9.0	三陸沖中部から茨城県沖に設定	標準※4の1.6倍を考慮 (39.4MPa)	宮城県沖のSMGAを敷地に最も近い位置に移動	破壊の伝播方向が敷地に向かうように配置

■ : 考慮する不確かさ □ : 予めモデルに織り込む不確かさ

※1 短周期レベル: 震源の短周期の大きさ。応力降下量: 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差。

※2 強震動生成域(SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

※3 SMGA位置の不確かさケースについては、不確かさケース2(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳ケース)で代表させる。

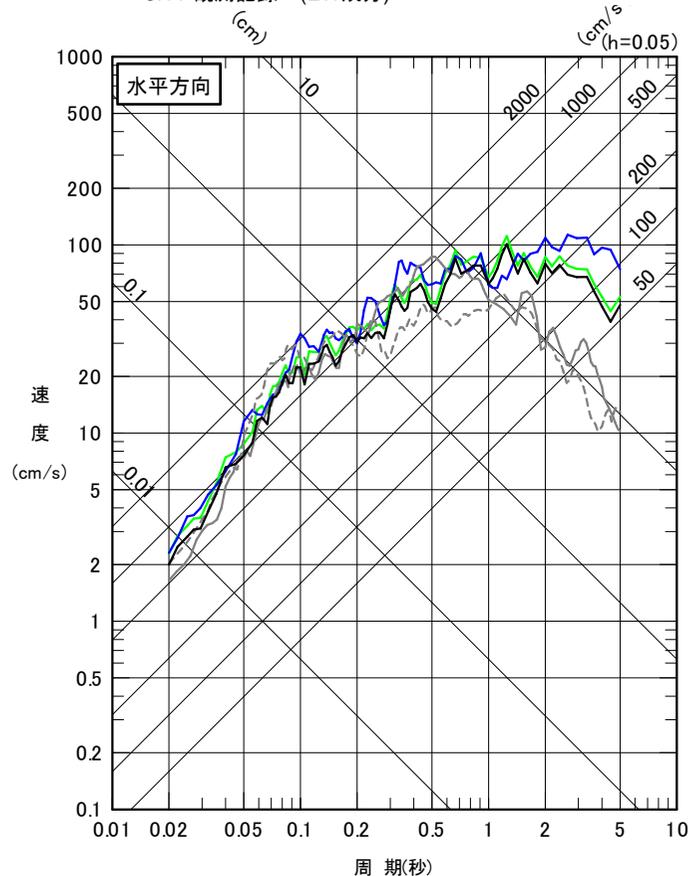
※4 諸井ほか(2013)で設定したSMGAの応力降下量を標準とした。不確かさケースは、基本ケースの1.14倍になる。

# 4.1 プレート間地震

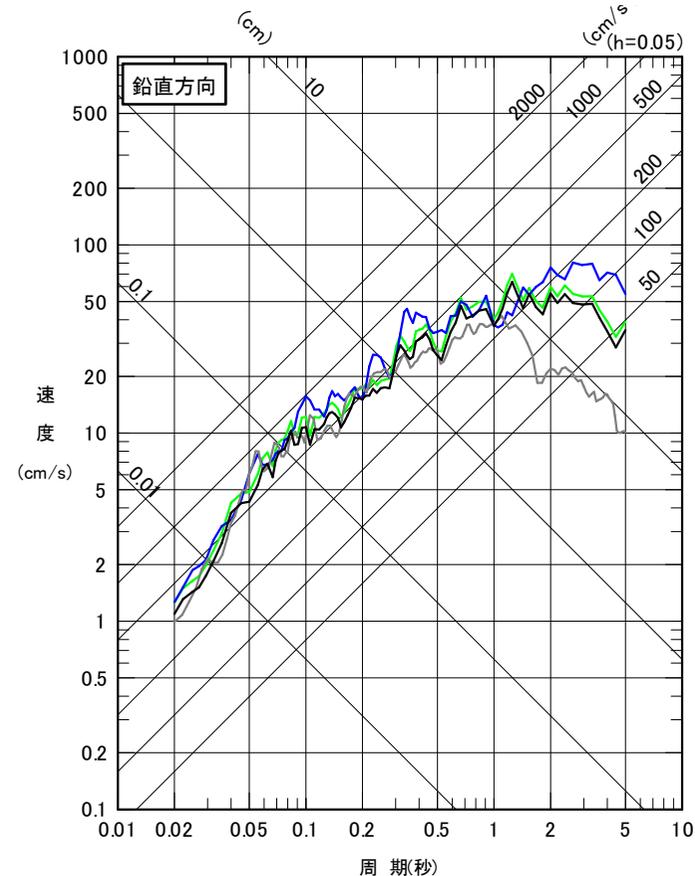
## (11) 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

- 断層モデルを用いた手法※1では、**基本ケース**(3.11地震のシミュレーション)及び**不確かさケース**を2通り実施。
- 応答スペクトルをみると、特に長周期側では、評価結果は観測記録に対して上回っている。
- なお、基本ケースは不確かさケース1に包絡される。

— 断層モデル 基本ケース  
— 断層モデル 不確かさケース1(応力降下量の不確かさ)  
— 断層モデル 不確かさケース2(応力降下量の不確かさ+SMGA位置の不確かさ)  
— 3.11 観測記録※2(NS成分)  
- - - 3.11 観測記録※2(EW成分)



— 断層モデル 基本ケース  
— 断層モデル 不確かさケース1(応力降下量の不確かさ)  
— 断層モデル 不確かさケース2(応力降下量の不確かさ+SMGA位置の不確かさ)  
— 3.11 観測記録※2(UD成分)



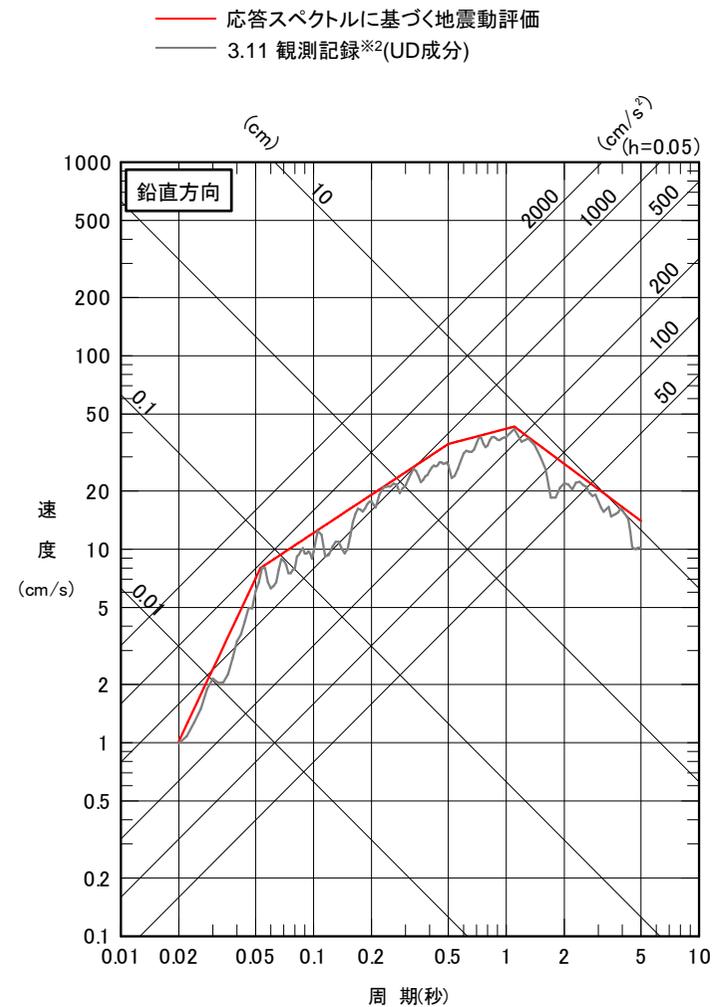
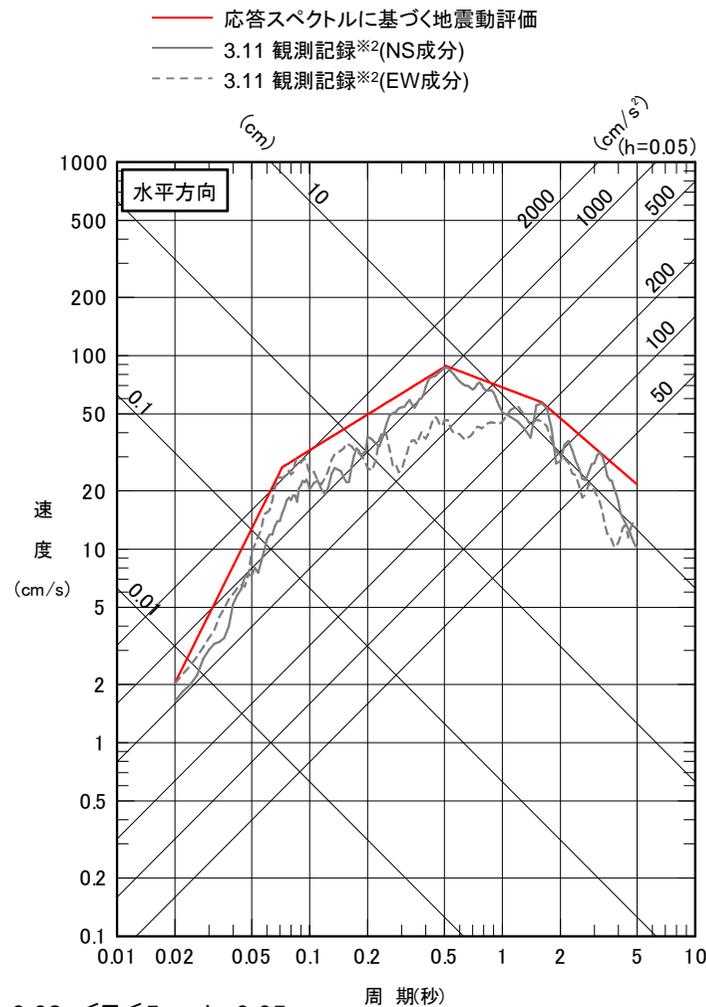
※1 断層モデルを用いた手法の説明は、「参考」p.82を参照。

※2 敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について、表層の影響を除去したはざとり波。

# 4.1 プレート間地震

## (12) 応答スペクトルに基づく地震動評価結果

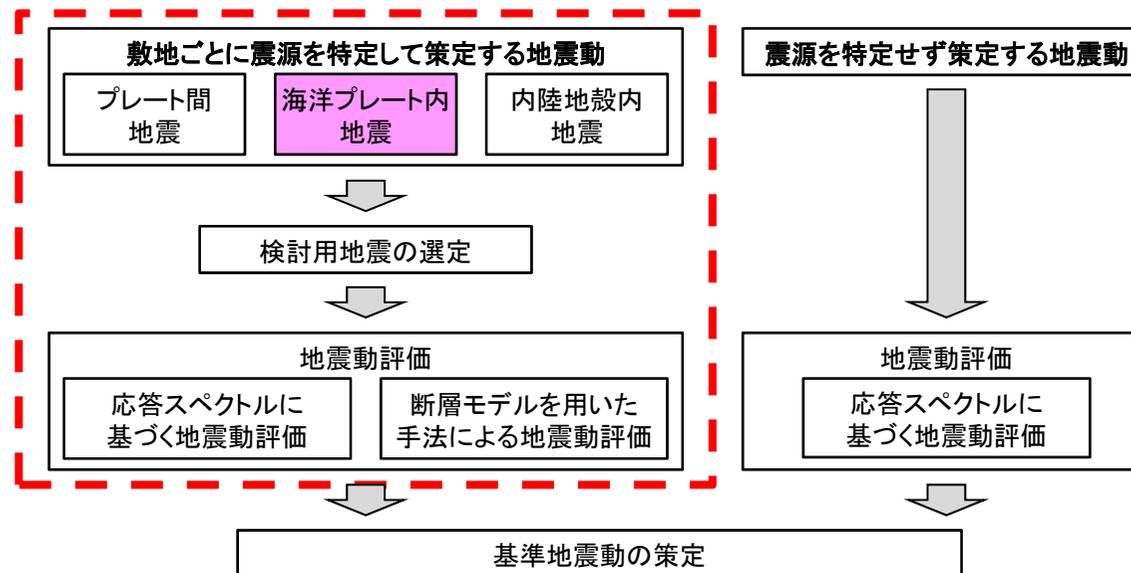
- 3.11地震の敷地における観測記録を包絡するように応答スペクトルを設定。
- 観測記録を包絡することで谷となる周期が埋まり、3.11地震に対するエネルギー的な裕度(SI比※1:応答スペクトル強さの比)は、水平方向で1.21倍、鉛直方向で1.17倍となる。



※1:  $0.02s \leq T \leq 5s$ ,  $h=0.05$

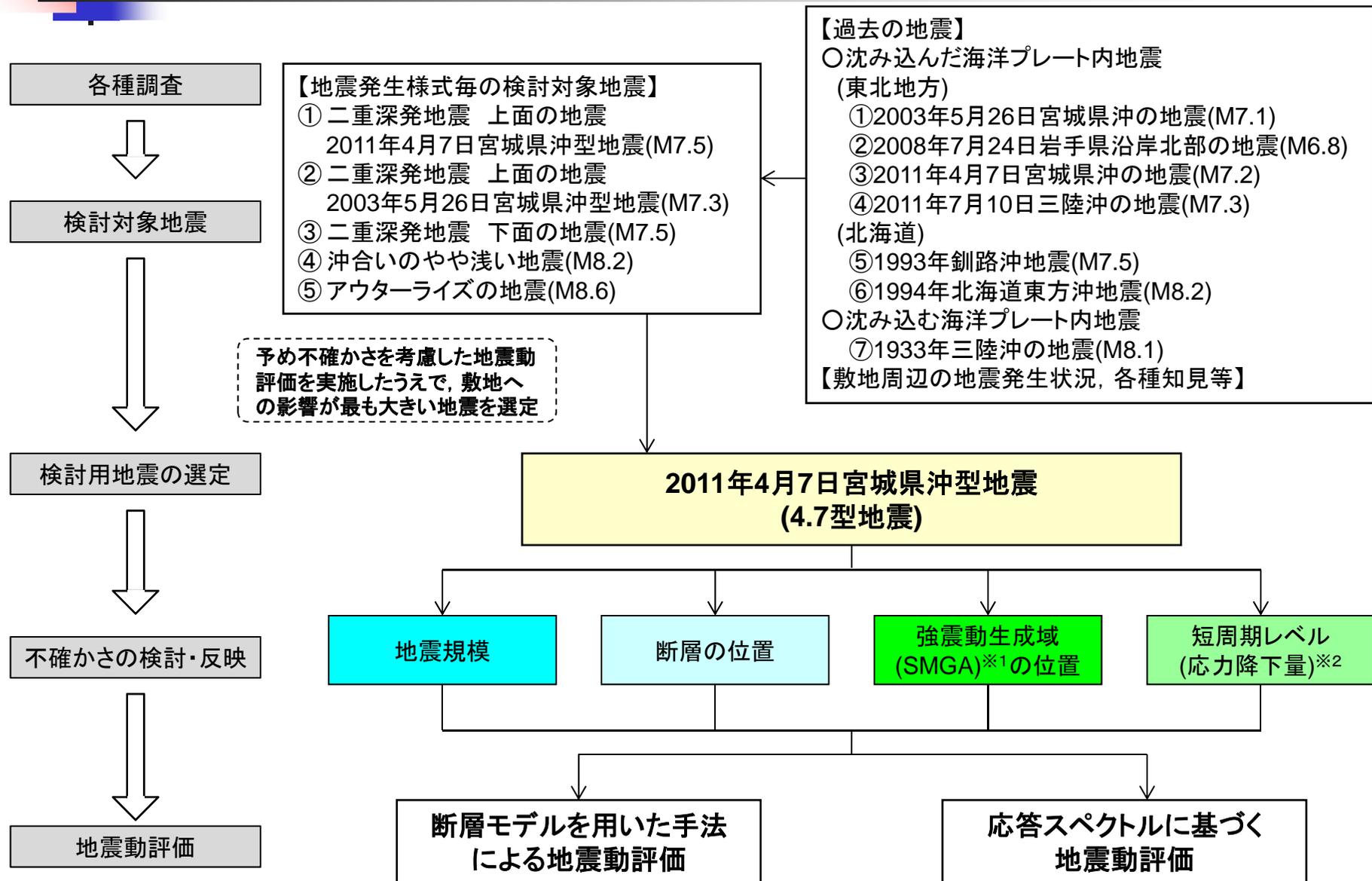
※2: 敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について、表層の影響を除去したはざとり波。

## 4.2 海洋プレート内地震



## 4.2 海洋プレート内地震

### (1) 地震動評価の概要



※1 強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

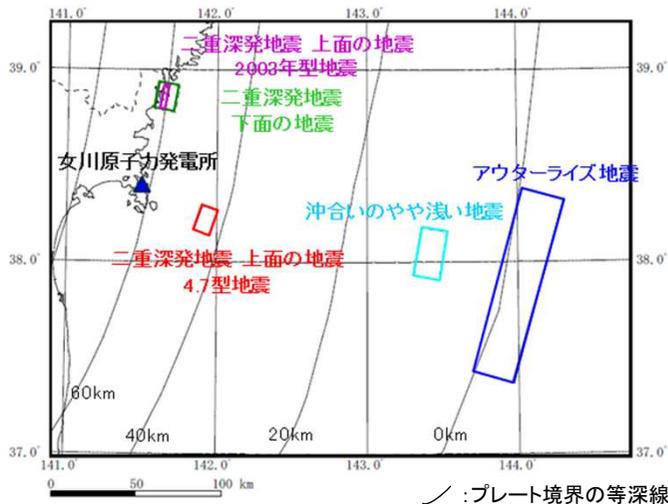
※2 短周期レベル: 震源の短周期の大きさ。応力降下量: 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差。

## 4.2 海洋プレート内地震

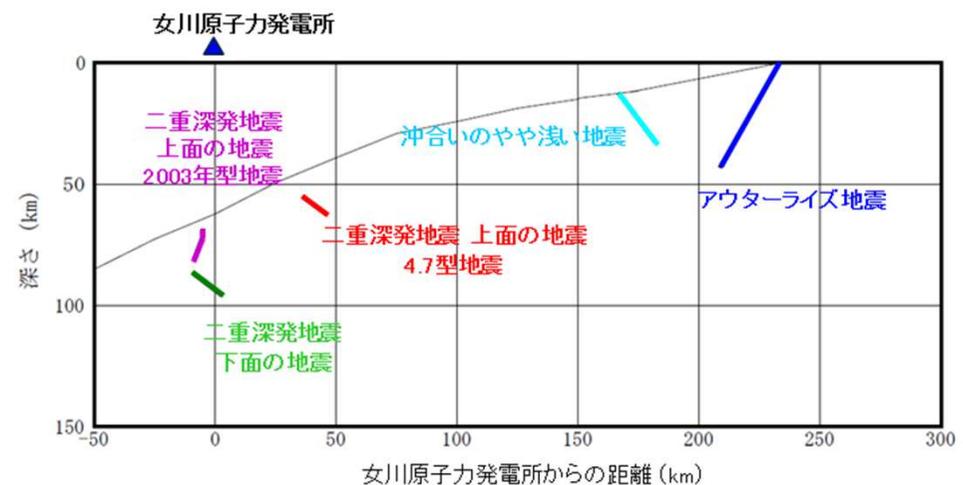
### (2) 検討対象地震・地震規模について

- 地震の発生機構等の違いも踏まえ、5つのタイプの検討対象地震を設定し、それぞれ不確かさを考慮し敷地への影響検討を行った。
- 地震規模は、地震の発生機構を踏まえ、東北地方以外の北海道で発生した地震等も参考にし、設定した。

No	タイプ名	検討した地震規模	東北地方で発生した主な地震	地震規模の考え方	
1	沈み込んだ海洋プレート内の地震	①二重深発地震 上面の地震 2011年4月7日型地震	M7.5	2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)	4.7地震の知見、東北地方での最大規模(M7.3)に裕度をもって設定
2		②二重深発地震 上面の地震 2003年5月26日型地震	M7.3	2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)	東北地方での最大規模(M7.3)を設定
3		③二重深発地震 下面の地震	M7.5	2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(M6.8)	1993年釧路沖地震(M7.5)を参照
4		④沖合いのやや浅い地震	M8.2	2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)	1994年北海道東方沖地震(M8.2)を参照
5	⑤沈み込む海洋プレート内の地震 アウターライズの地震	M8.6	1933年三陸沖の地震(M8.1) 2011年3月11日三陸沖の地震(M7.5)	津波評価(1611年の地震)のM8.6を参照	



断層位置 模式図(平面図)



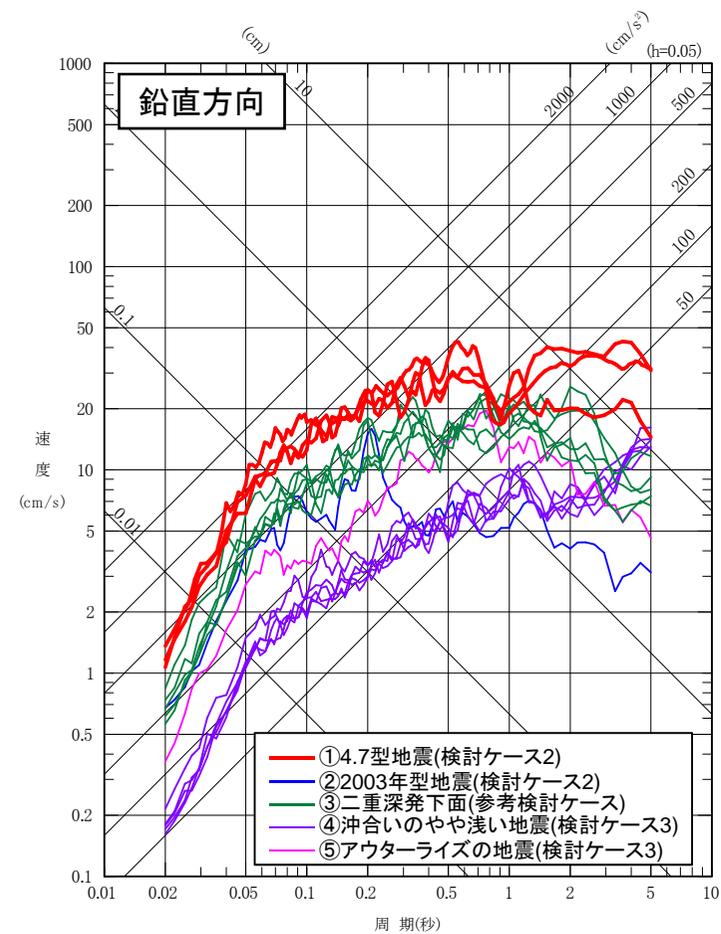
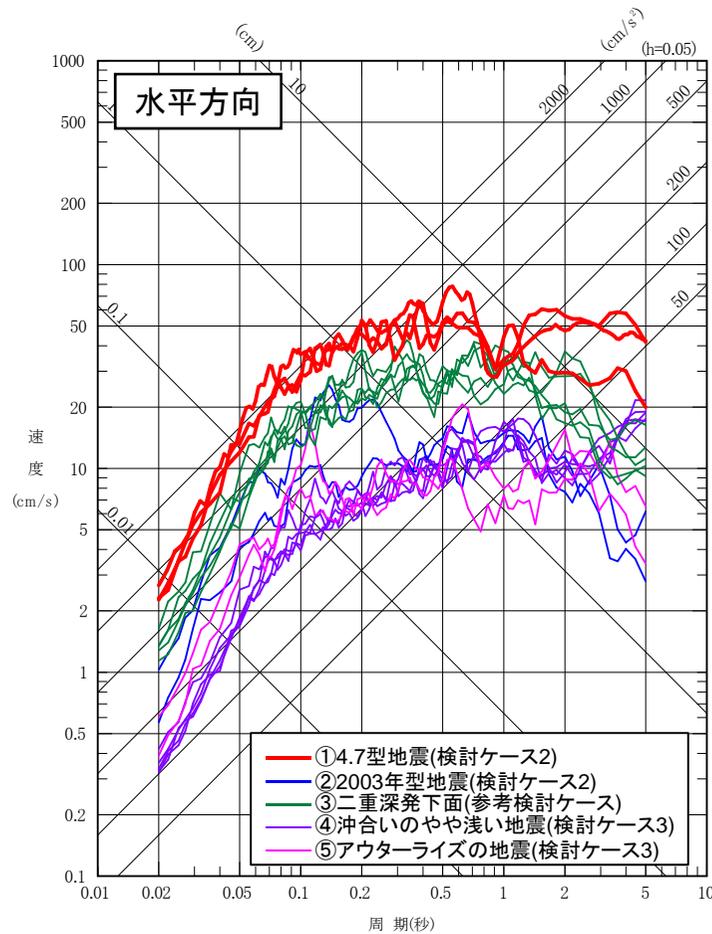
断層位置 模式図(断面図)

## 4.2 海洋プレート内地震

### (3) 検討用地震の選定

#### ■地震動評価の比較

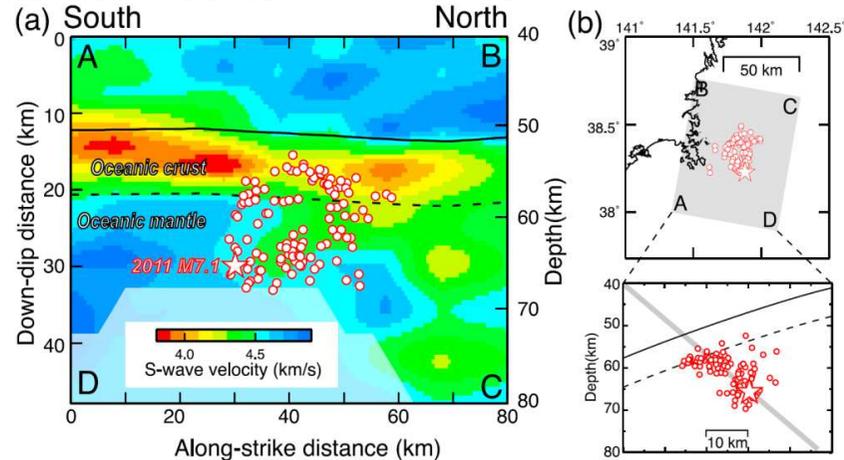
- 5つのタイプの検討対象地震それぞれに敷地に影響の大きいケースについて比較。
- **4.7型地震(M7.5)が敷地に最も大きい影響を与える地震**であることから、4.7型地震を検討用地震として選定。



## 4.2 海洋プレート内地震

### (4) 4.7型地震の位置と地震規模

➤ 4.7地震の知見 及び 4.7型地震の地震規模などの考え方



4.7地震の震源域周辺のS波速度構造の南北断層面に沿った分布図(Nakajima et al.(2011))

白丸は再決定した余震。黒実線はプレート境界。破線は海洋プレートモホ面。

【Nakajima et al.(2011)】からの整理

- 4.7地震の断層面に沿ったS波速度分布から、余震分布から推定される断層面は、海洋性マントル内の低速度域に対応している。
- 4.7地震の震源から南側の海洋性マントル内は高速度域となっており、余震の分布はない。
- 一方、北側の海洋性マントル内の低速度域は余震分布のさらに北側にも広がっている。

東北地方の過去の海洋プレート内地震(M7程度以上)

- 2003年5月26日宮城県沖の地震 (M7.1, H = 72km): DC型※ 上面
- 4.7地震(M7.2, H = 66km): DC型 上面
- 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震 (M6.8, H=108km): DE型※ 下面
- 2011年7月10日三陸沖の地震 (M7.3, H = 34km): やや浅い地震, 津波が発生

規模を参照

- 地震規模の検討として、安全側にM7.5を考慮。
- 断層モデルは、低速度域の拡がりから、4.7地震モデルの北側に拡張する。

(参考)北海道の陸寄りの沈み込んだ領域過去の地震  
・1993年釧路沖地震(M7.5, H=101km): DE型 下面

※ DC型(Down-dip Compression), DE型(Down-dip Extension)

## 4.2 海洋プレート内地震

### (5) 4.7型地震の基本ケース・不確かさケースの考え方

- 主要なパラメータについて、海洋プレート内地震に関する知見等を踏まえ、敷地に与える影響が大きいパラメータについて不確かさを考慮し、地震動評価を行う。

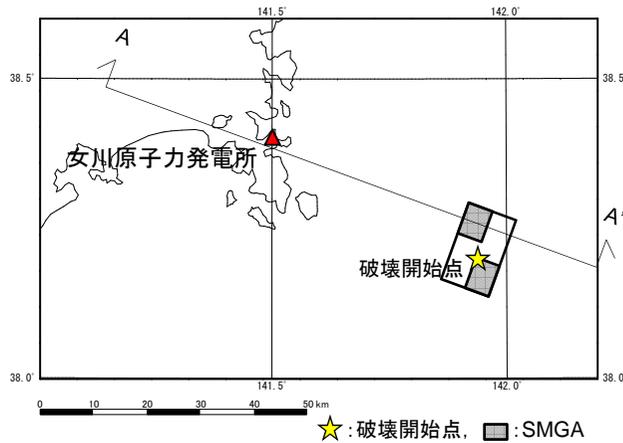
パラメータ	基本ケースでの設定	不確かさの考慮
地震規模	M7.5 (Mw7.4)	<p><b>予め不確かさを考慮</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本ケースで、過去の東北地方で発生した海洋プレート内地震の最大規模(M7.3)を上回る規模で設定。</li> <li>沈み込んだ海洋プレート内地震としては、<b>北海道を含めた最大規模(M7.5)に相当</b>し、保守的な設定。</li> </ul>
断層の位置	海洋性マントル内	<p><b>不確かさケースとして考慮</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本ケースでは、4.7地震の断層位置及び傾斜角が敷地に対し厳しい位置であることを確認。</li> <li>断層位置の不確かさとして<b>破壊領域が4.7地震の延長方向に近づく(海洋地殻まで拡がる)</b>ことを考慮。</li> </ul>
短周期レベル (応力降下量)	4.7地震の短周期 レベル相当※	<p><b>予め不確かさを考慮</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.7地震が東北地方の二重深発地震上面の地震として最も大きい値</b>であることから、保守的に4.7地震相当の短周期レベルを考慮。</li> <li>SMGAを海洋地殻内に設定する際は、海洋地殻と海洋性マントルとの物性の違い(基本×0.8)を考慮。</li> </ul>
SMGA位置	4.7地震シミュレーション位置 + 拡張側は断層上端	<p><b>不確かさケースとして考慮</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本ケースでは、4.7地震部分は4.7地震のSMGAの位置を踏襲し、北側に拡張した部分のSMGAは予め断層上端に設定。</li> <li>不確かさケースとして保守的に4.7地震部分のSMGAを断層上端に設定した場合も考慮。</li> <li>不確かさケースとして、SMGAを集約したケースも考慮。</li> </ul>
破壊開始点	破壊の伝播方向が 敷地に向かうように配置	<p><b>予め不確かさを考慮</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本ケースは、<b>敷地に対し最も影響の大きい破壊開始点位置</b>(破壊が敷地に向かうように設定した位置)で考慮。</li> </ul>

※ 4.7地震の地震モーメント $M_0$ -短周期レベルAの関係相当の短周期レベルを考慮する。笹谷ほか(2006)の短周期レベルの1.5倍。  
 笹谷ほか(2006)は、1993年～2003年に国内で発生した11地震を用いて海洋プレート内地震の平均的な短周期レベルAと $M_0$ の関係を求めている。

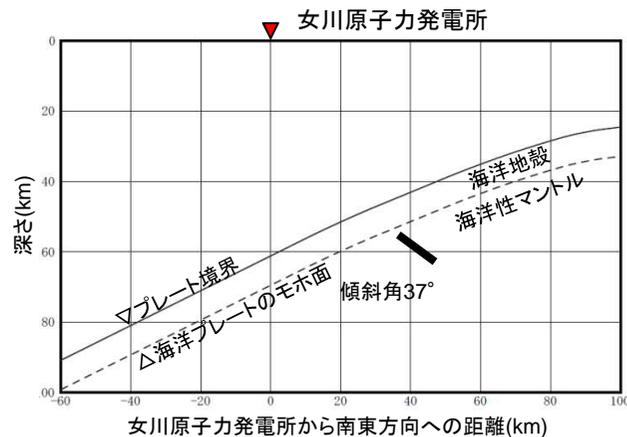
## 4.2 海洋プレート内地震

### (6) 4.7型地震の断層モデル

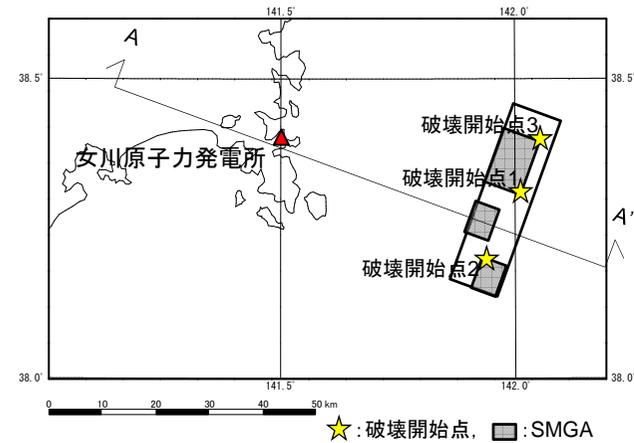
- 4.7地震の再現計算を行った文献である原田・釜江(2011)を参考にして断層モデルを作成し、**敷地の観測記録を再現できることを確認。**
- 4.7地震の知見(プレート内の低速度域)を踏まえ、4.7地震の北側に断層面を拡大して**M7.5の基本ケースを作成。**



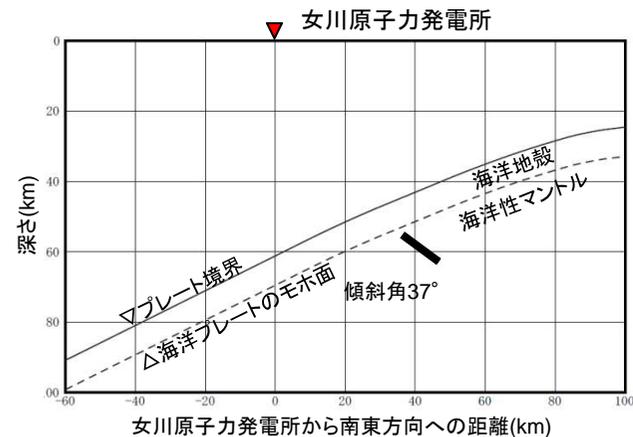
断層モデル平面図



4.7地震(M7.2)  
(シミュレーションモデル)



断層モデル平面図

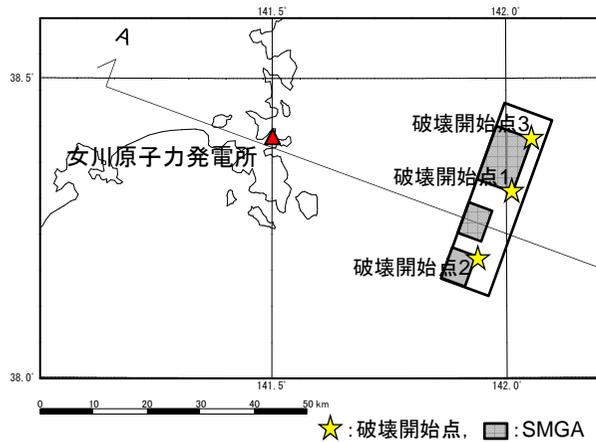


4.7型地震(M7.5)の基本ケース  
(4.7地震のモデルを基に地震規模を拡大)

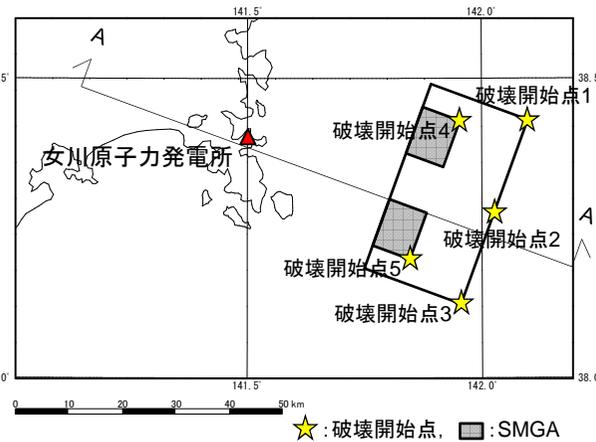
## 4.2 海洋プレート内地震

### (7) 4.7型地震の不確かさケース

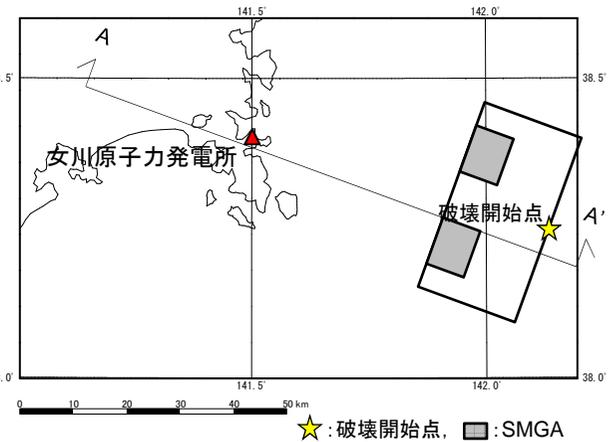
➤ 4.7型地震の不確かさケースとして、不確かさケース1(すべてのSMGA位置(マントル内)を敷地へ近接)、不確かさケース2(断層位置を敷地へ近接)、不確かさケース3(SMGA(マントル内)を集約した場合)を検討。



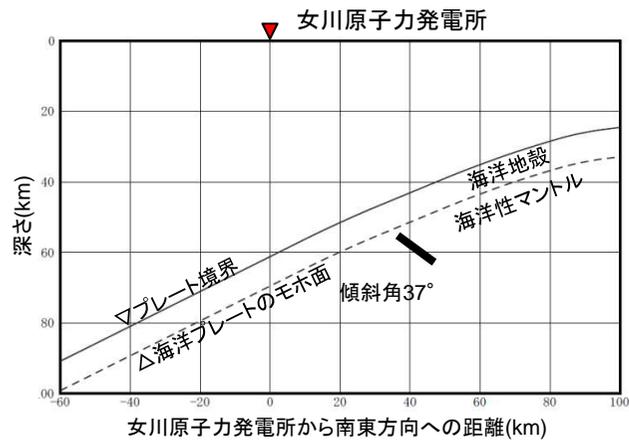
断層モデル平面図



断層モデル平面図

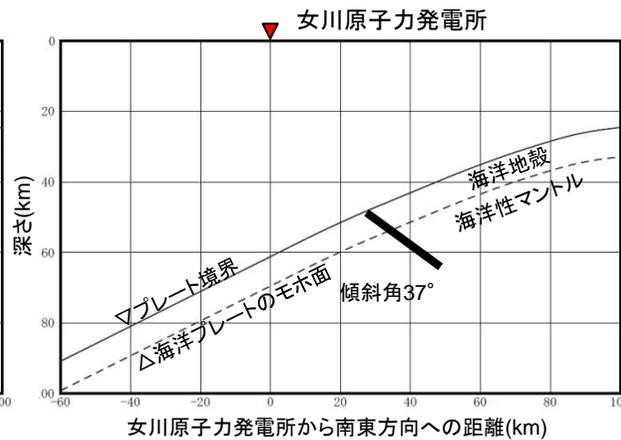


断層モデル平面図



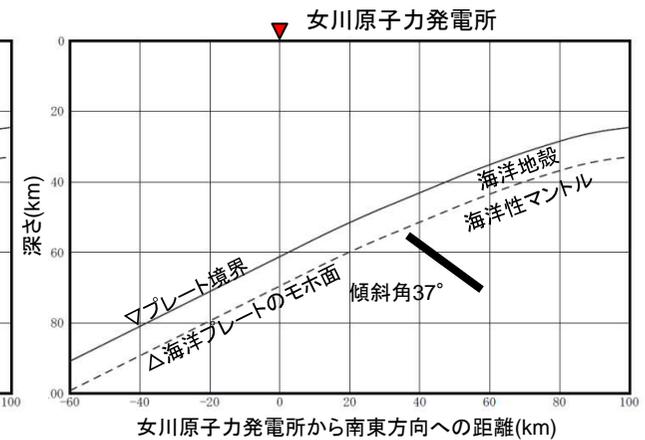
断面図  
不確かさケース1

(SMGAをマントル内ですべて敷地に近接)



断面図  
不確かさケース2

(断層位置を敷地へ近接)



断面図  
不確かさケース3

(SMGAをマントル内で2つに集約)

## 4.2 海洋プレート内地震

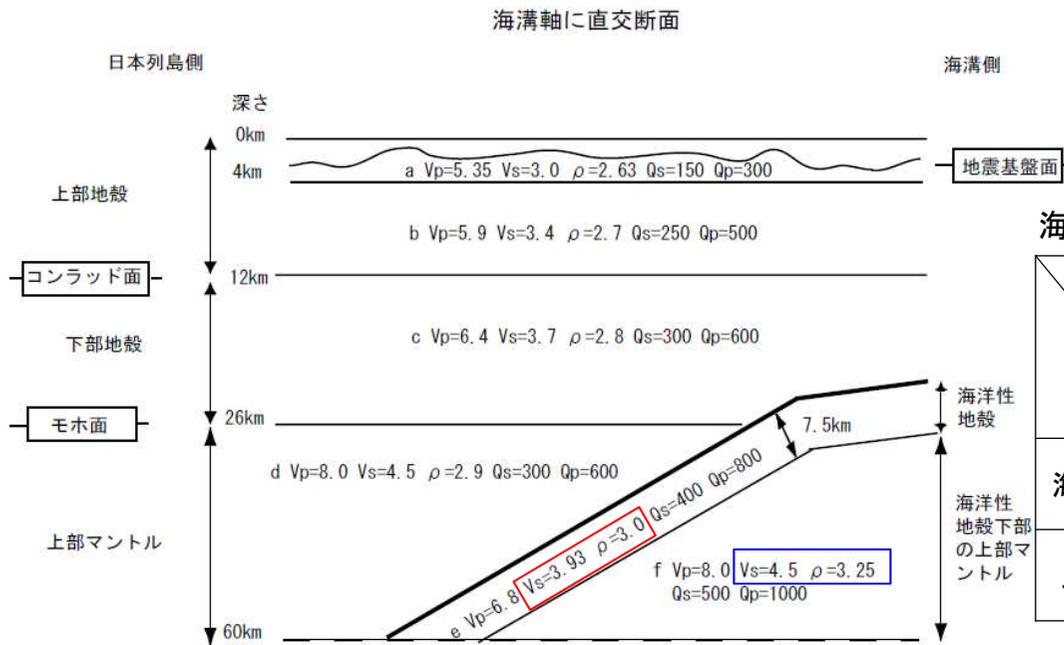
### (8) 4.7型地震 不確かさケース2(海洋地殻の物性について)

#### ■ 海洋地殻と海洋性マンツルの物性の違いに起因する応力降下量の違いについて

- 応力降下量と剛性率は比例関係にある※1。
- 一方、地震調査研究推進本部(2005)では、宮城県沖地震を想定した強震動予測に用いるため、東北地方の上部マントルから地震基盤までの大構造を設定しているが、海洋地殻と海洋性マンツルの物性の違い( $\mu = \rho\beta^2$ ,  $\rho$ :密度,  $\beta$ :S波速度)から算定される**応力降下量**※2の比は、**約1.42倍**となる。

※1 
$$\Delta\sigma = \frac{7\pi}{16r} \cdot \mu D$$
  $\Delta\sigma$ : 応力降下量,  $r$ : 等価半径  
 $\mu$ : 剛性率,  $D$ : すべり量

※2 応力降下量: 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差。



海洋地殻と海洋性マンツルの剛性率の比(応力降下量の比)

	S波速度 $\beta$ (km/s)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	剛性率 $\mu=\rho\beta^2$ (N/m <sup>2</sup> )	剛性率の比 マンツル/地殻 (地殻/マンツル)
海洋地殻	3.93	3.0	$4.6 \times 10^{10}$	<b>1.42</b> (0.70)
海洋性マンツル	4.5	3.25	$6.6 \times 10^{10}$	

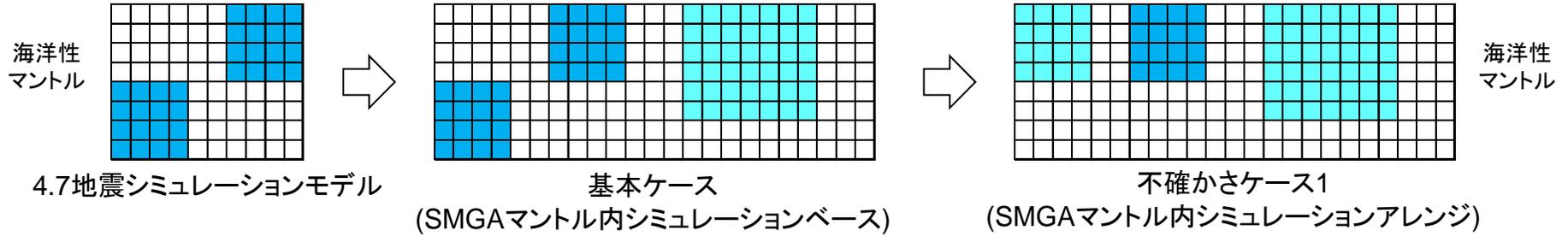
理論的評価法を用いる場合の伝播経路のモデル ( $V_s$ と $V_p$ の単位はkm/s、 $\rho$ の単位はg/cm<sup>3</sup>)

上部マントルから地震基盤までの大構造(地震調査研究推進本部(2005))

## 4.2 海洋プレート内地震

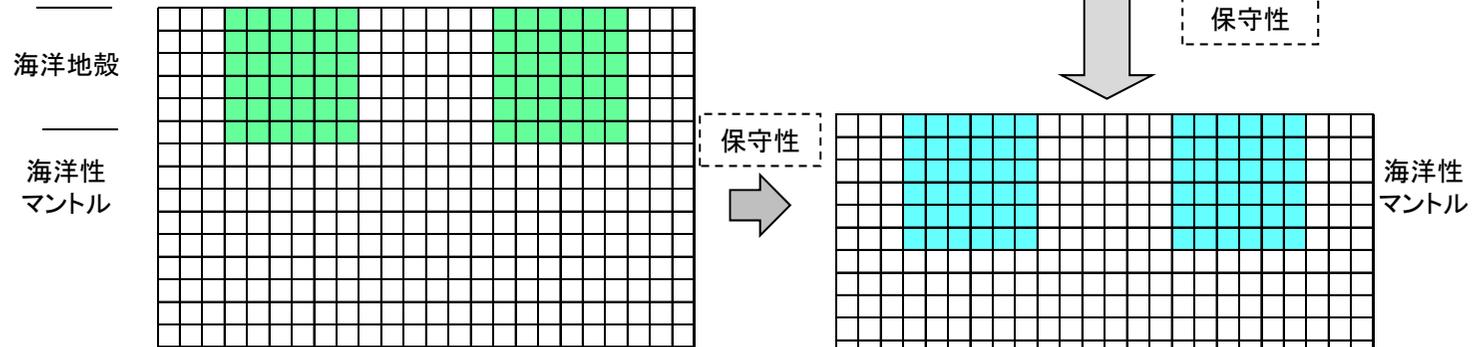
### (9) 4.7型地震の基本ケース、不確かさケースの整理

#### 断層モデルの設定の考え方



- M7.2(Mw7.1), 等価震源距離 $X_{eq}^{*1}=74\text{km}$
- 短周期レベル $A^{*2}=1.16 \times 10^{20}\text{Nm/s}^2$
- SMGA<sup>\*3</sup>の面積 $=72\text{km}^2$
- SMGAの応力降下量 $\Delta\sigma^{*2}=120.3\text{MPa}$
- M7.5(Mw7.4), 等価震源距離 $X_{eq}=72\text{km}$
- 短周期レベル $A=1.72 \times 10^{20}\text{Nm/s}^2$
- SMGAの面積 $=161\text{km}^2$
- SMGAの応力降下量 $\Delta\sigma=119.6\text{MPa}$

- M7.5(Mw7.4), 等価震源距離 $X_{eq}=71\text{km}$
- 短周期レベル $A=1.72 \times 10^{20}\text{Nm/s}^2$
- SMGAの面積 $=161\text{km}^2$
- SMGAの応力降下量 $\Delta\sigma=119.6\text{MPa}$



- : 4.7地震のシミュレーションによるSMGA位置
- : 海洋性マントル内に設定したSMGA
- : 海洋地殻に設定したSMGA

#### 不確かさケース2 (SMGA地殻内集約)

- M7.5(Mw7.4), 等価震源距離 $X_{eq}=65\text{km}$
- 短周期レベル $A=1.38 \times 10^{20}\text{Nm/s}^2$
- SMGAの面積 $=170\text{km}^2$
- SMGAの応力降下量 $\Delta\sigma=93.1\text{MPa}$

#### 不確かさケース3 (SMGAマントル内集約)

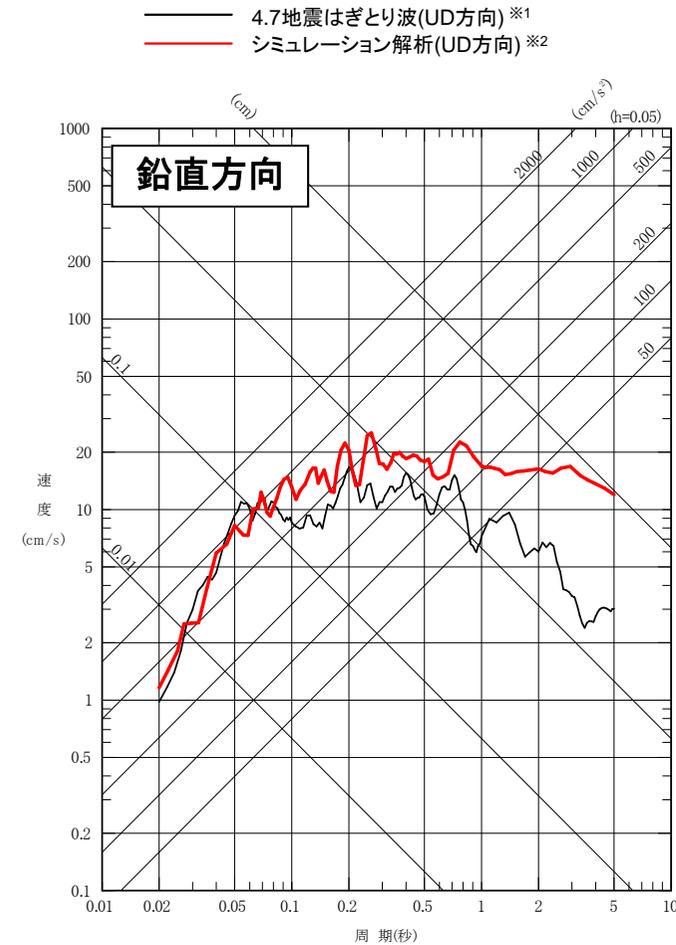
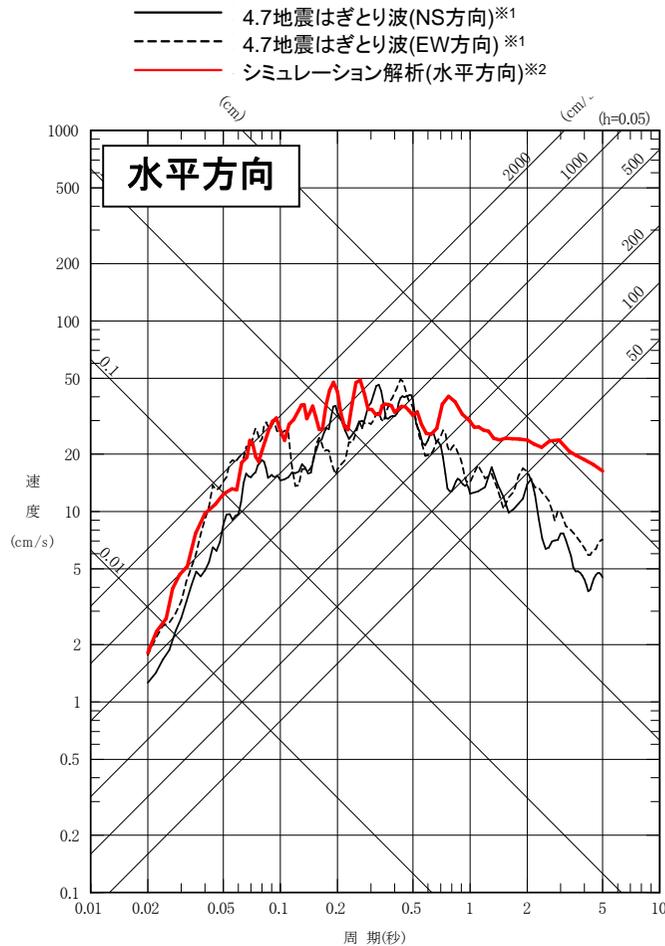
- M7.5(Mw7.4), 等価震源距離 $X_{eq}=75\text{km}$
- 短周期レベル $A=1.72 \times 10^{20}\text{Nm/s}^2$
- SMGAの面積 $=170\text{km}^2$
- SMGAの応力降下量 $\Delta\sigma=116.4\text{MPa}$

※1 等価震源距離: 震源断層の面的な形状を踏まえ、特定の一点から放出されたものと等価になるように計算された距離。  
 ※2 短周期レベル: 震源の短周期の大きさ。応力降下量: 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差。  
 ※3 強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas): 断層面のなかで特に強い地震波(強震動)を発生させる領域。

## 4.2 海洋プレート内地震

### (10) 4.7地震のシミュレーション

- 応答スペクトルの比較では、周期0.1秒より短周期側では解析結果と観測記録(はぎとり波)は、良く整合している。長周期側では解析結果が大きめの結果となった。
- 地震動シミュレーション結果は長周期が大きい等の課題は残るものの、原子力発電所において特に問題となる短周期における適合性が良いことから、施設に与える影響検討という観点からは、良好な評価と考えられる。



※1: 敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について、表層の影響を除去したはぎとり波。

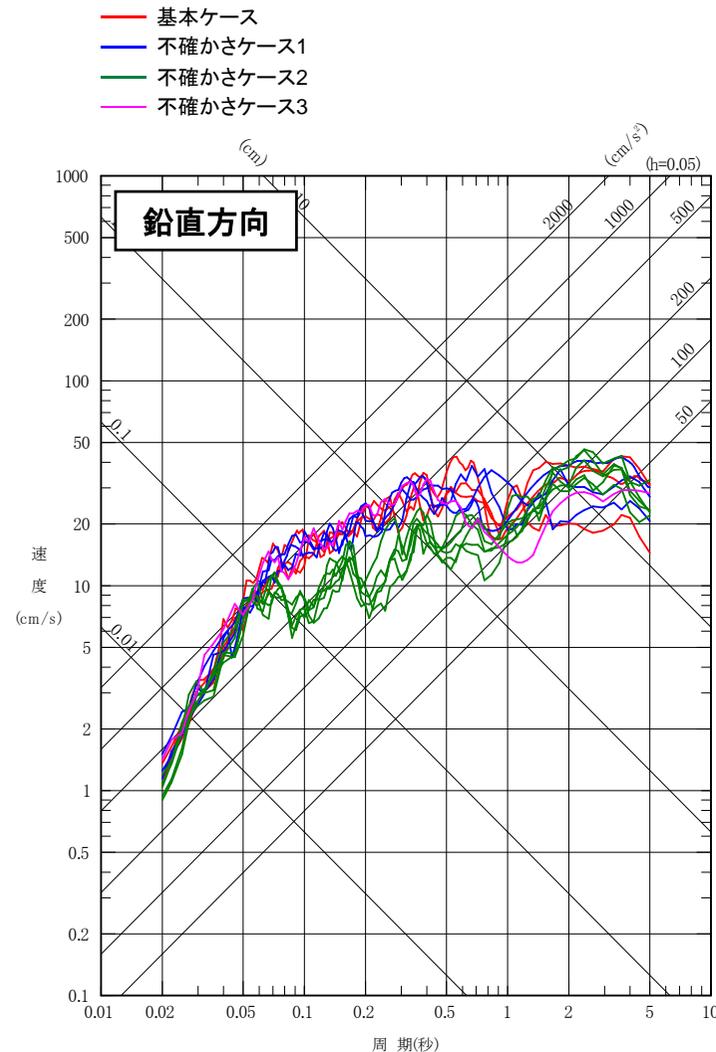
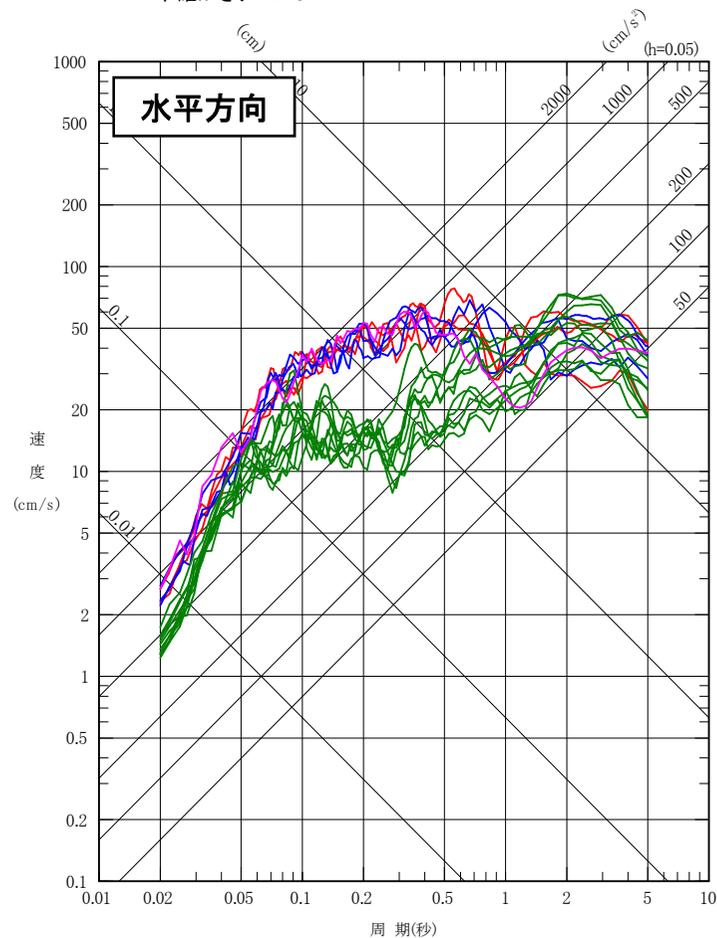
※2: 放射特性係数は0.62

## 4.2 海洋プレート内地震

### (11) 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

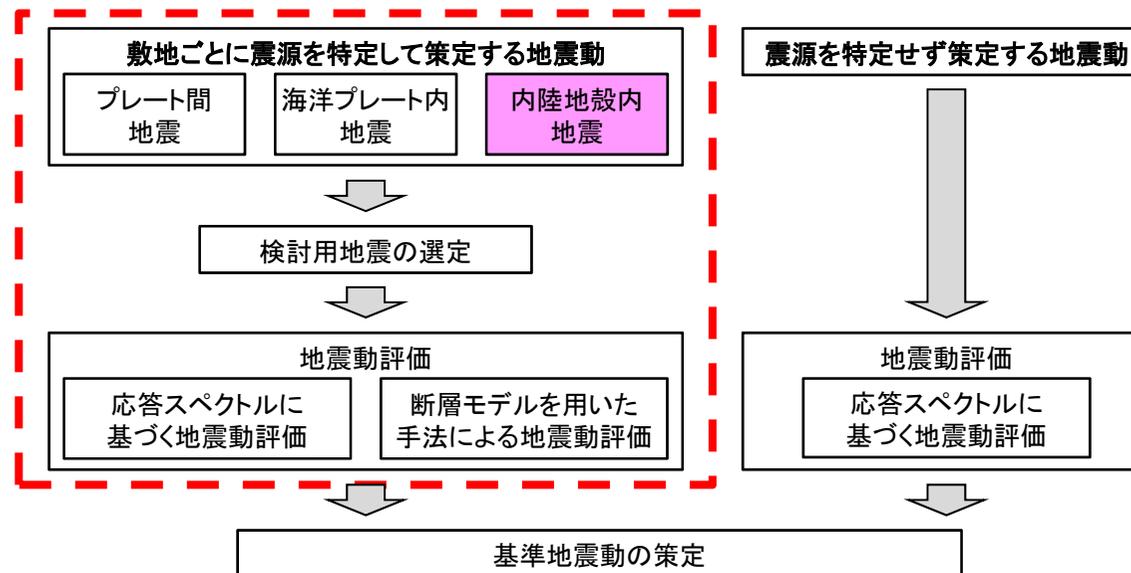
- 断層モデルを用いた手法※による地震動評価結果(応答スペクトル)を示す。
- 基本ケース及び不確かさケース1, 3(SMGAマントル内)は短周期側, 不確かさケース2(SMGA地殻内)は, 長周期が大きい。

— 基本ケース  
— 不確かさケース1  
— 不確かさケース2  
— 不確かさケース3



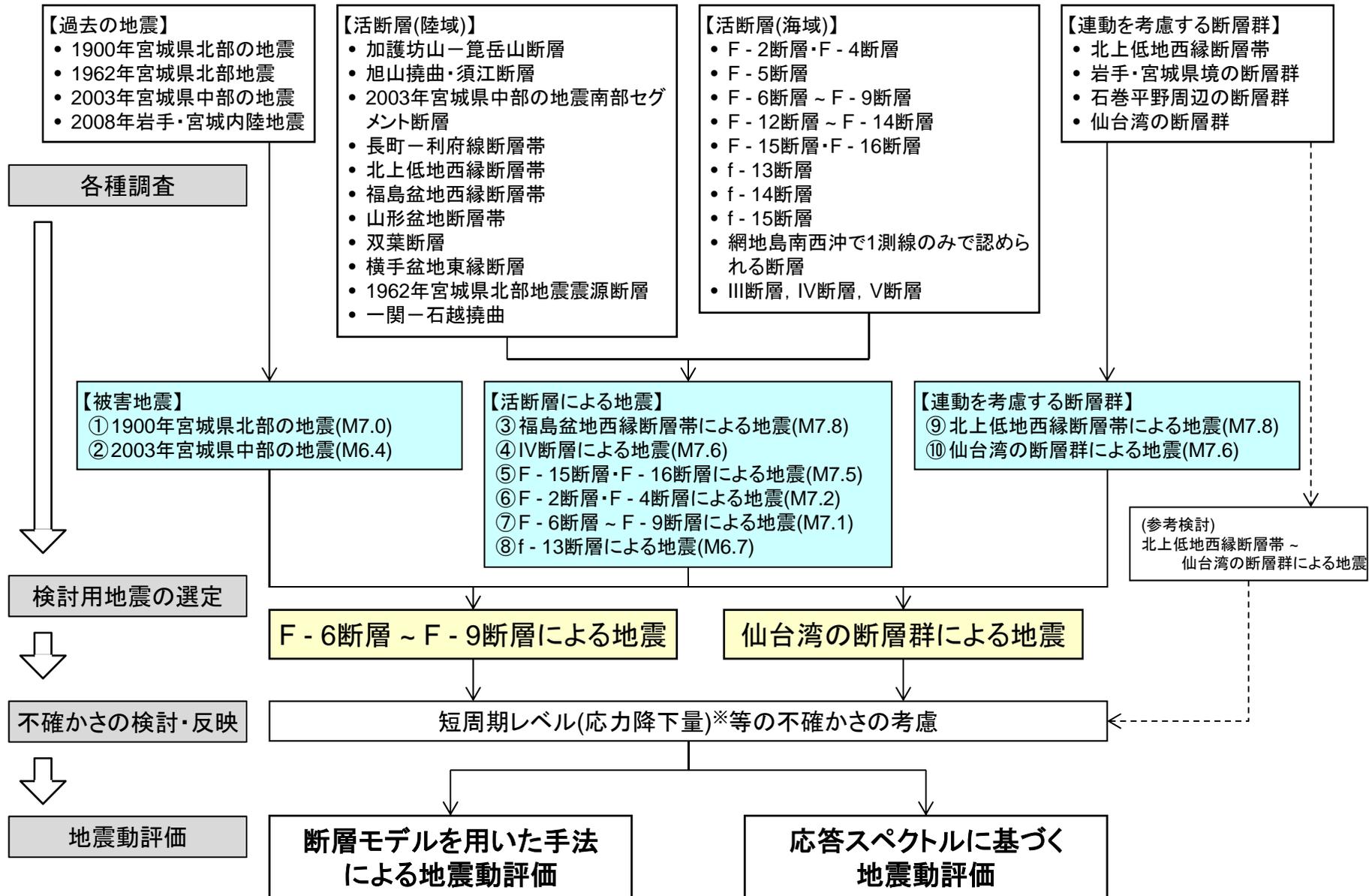
※ 断層モデルを用いた手法の説明は、「参考」p.82を参照。

## 4.3 内陸地殻内地震



# 4.3 内陸地殻内地震

## (1) 地震動評価の概要

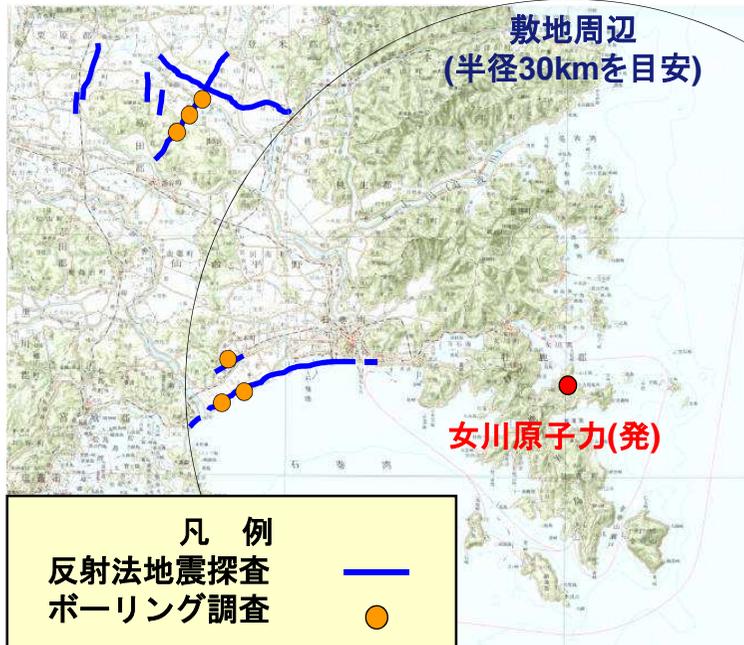


※ 短周期レベル: 震源の短周期の大きさ。応力降下量: 震源断層面上における地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差。

## 4.3 内陸地殻内地震

### (2) 敷地周辺の地質調査(陸域)

敷地を中心とする半径30kmの範囲を目安に、必要に応じてそれ以遠の範囲の地質・地質構造を把握するとともに、確認された断層が活断層※であるかどうかを確認するため、以下の地質調査を実施している。



#### ➤ 文献調査

「[新編]日本の活断層」(1991), 「活断層詳細デジタルマップ」(2002)等の文献に記載されている活断層に関する情報を抽出する。

#### ➤ 空中写真判読

空中写真判読により、活断層によって形成された変動地形の可能性のあるリニアメントを抽出する。①

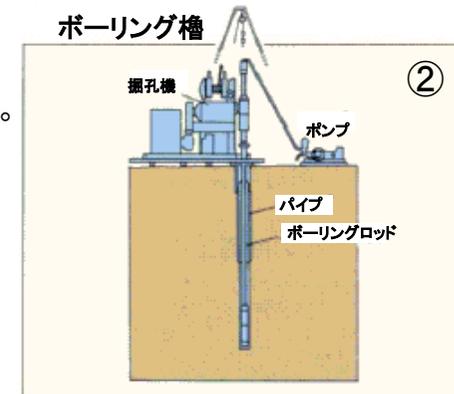
#### ➤ 地表地質調査(①)

直接、地層が確認できる箇所(露頭)等を観察し、地質・地質構造や断層の有無について調査する。



#### ➤ ボーリング調査(②)

地下の地層を構成する岩石を棒状のコアとして直接採取し、岩石分布等や地質構造を調べる。



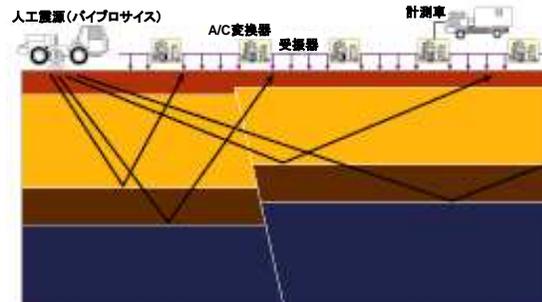
#### ③

#### ➤ 反射法地震探査(③)

地下に振動を与え、地層からの反射波をとらえ、解析を行うことで、地下の構造を調査し、活断層の位置・形状等を把握する。



大型起震車

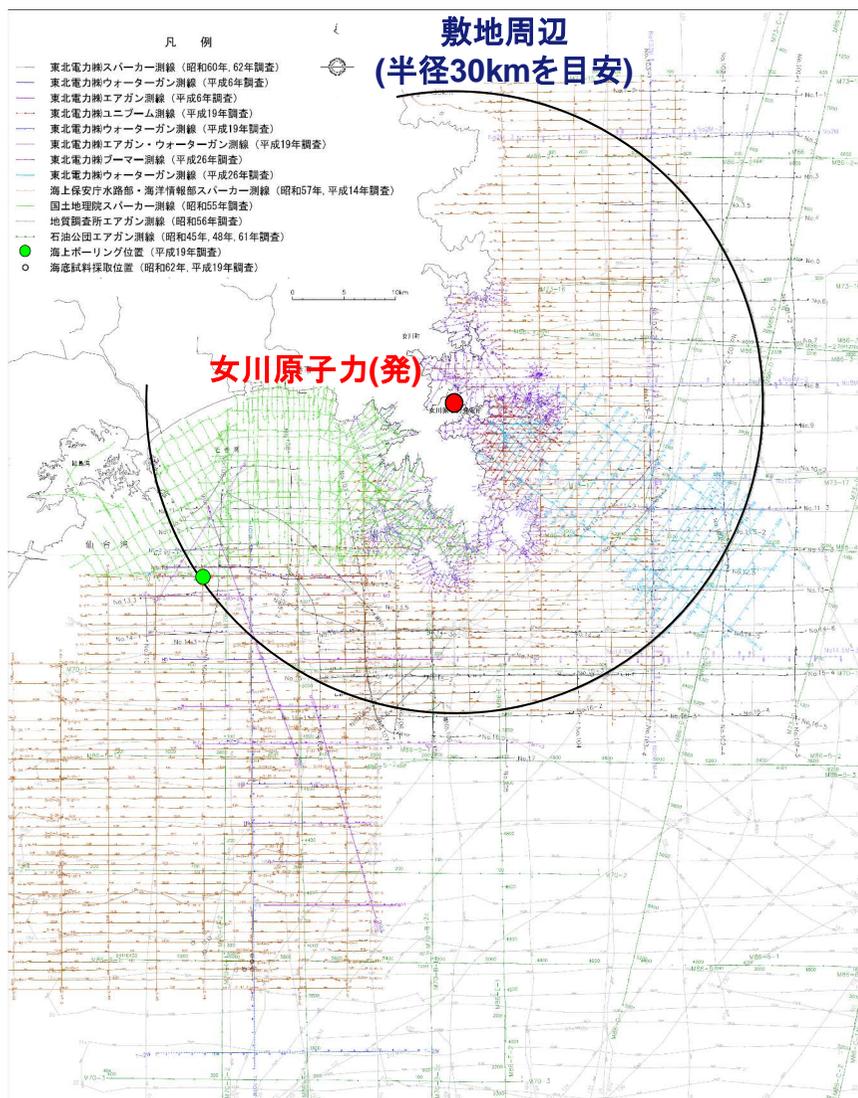


※ 活断層の定義については「参考」p.83を参照。

## 4.3 内陸地殻内地震

### (3) 敷地周辺の地質調査(海域)

敷地を中心とする半径30kmの範囲を目安に、必要に応じてそれ以遠の範囲の地質・地質構造を把握するとともに、確認された断層が活断層であるかどうかを確認するため、以下の地質調査を実施している。

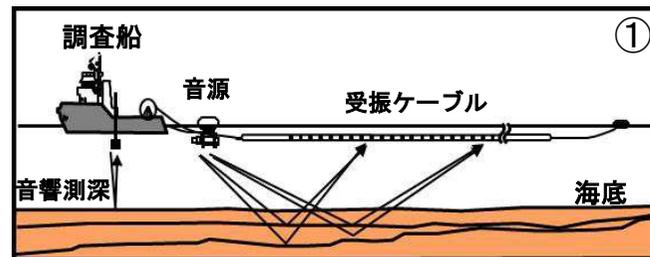


#### ➤ 文献調査

「[新編]日本の活断層」(1991)、「日本地質アトラス[第2版]」(1992)、沿岸海域海底活断層調査「仙台湾」(2003)等の文献に記載されている活断層に関する情報を抽出する。

#### ➤ 海上音波探査①

陸域の反射法地震探査と同様に、調査船付近の音源から海中に音波を発振し、海底の地層からの反射波をとらえ、解析を行うことで、地下の構造を調査し、活断層の位置・形状等を把握する。  
(東北電力による探査測線延長約2,362km)



#### ➤ 海上ボーリング調査②

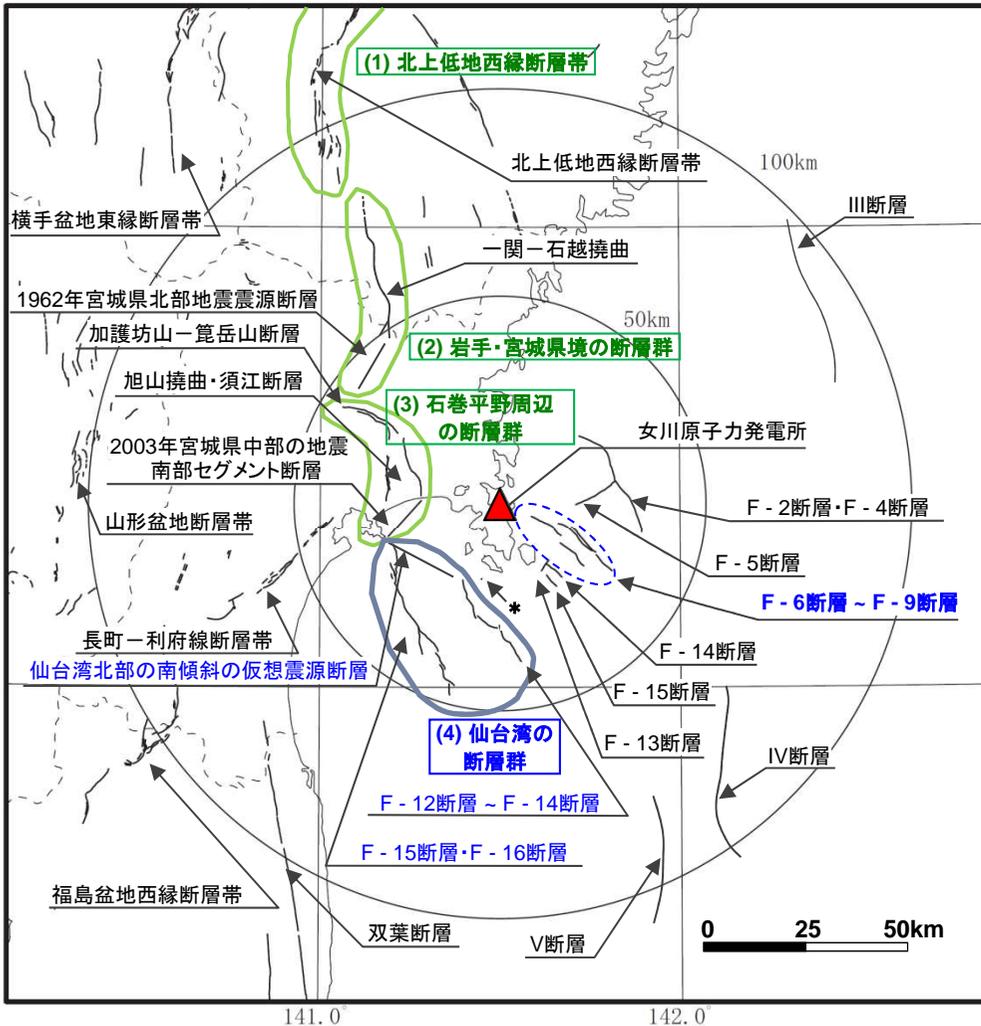
ボーリング掘削機を載せた台船を沖合いに停泊・固定することにより、海底の地層を直接採取し、堆積している地層の岩石や年代を調査する。



# 4.3 内陸地殻内地震

## (4) 敷地周辺の活断層調査結果

- ▶ 地質調査結果に基づき、敷地周辺の震源として考慮する活断層を示す。
- ▶ 検討用地震として、F-6~F9断層、(4)仙台湾の断層群を選定した。



震源として考慮する活断層

震源として考慮する活断層

断層名	断層長さ	連動考慮※3		
		グループ	断層長さ	
加護坊山-笥岳山断層	約17km	(3) 石巻平野周辺の断層群	約35km	
旭山撓曲・須江断層	約16km			
2003年宮城県中部の地震南部セグメント断層	約12km			
陸域 30km 以遠※1	長町-利府線断層帯	約40km	-	
	北上低地西縁断層帯	約62km	(1) 北上低地西縁断層帯	約62km
	山形盆地断層帯	約60km	-	-
	福島盆地西縁断層帯	約57km	-	-
	双葉断層	約40km	-	-
	横手盆地東縁断層帯	約56km	-	-
	1962年宮城県北部地震震源断層	約12km	(2) 岩手・宮城県境の断層群	約45km
	一関-石越撓曲	約30km		
	F-2断層・F-4断層	約27.8km	-	-
	F-5断層	約11.2km	-	-
F-6断層~F-9断層	約23.7km	-	-	
仙台湾北部の南傾斜の仮想震源断層※2	約20km	(4) 仙台湾の断層群	約40km	
F-12断層~F-14断層	約24.2km			
F-15断層・F-16断層	約38.7km			
f-13断層	約3.3km	-	-	
f-14断層	約5.1km	-	-	
f-15断層	約3.7km	-	-	
* 網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	-	-	-	
海域 30km 以遠※1	III断層	約41km	-	
	IV断層	約43km	-	
	V断層	約31km	-	

※1: 敷地から半径30km以遠の断層については文献調査結果に基づき評価した。

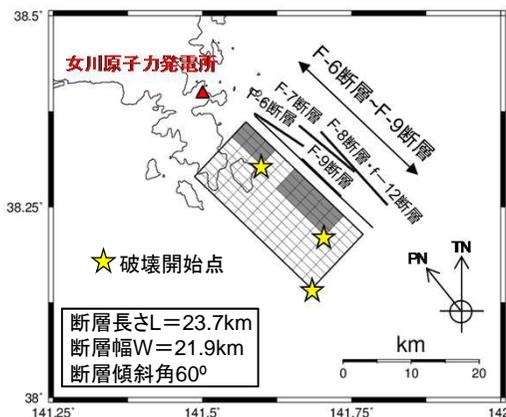
※2: 連動可能性を考慮する上で仮想的に設定する断層。

※3: さらに保守的な観点から、地震動評価では(1)~(4)が連動した場合も考慮する。黄色網掛けした断層等は、申請時(H25.12.27)から評価が変更になったものを示す。

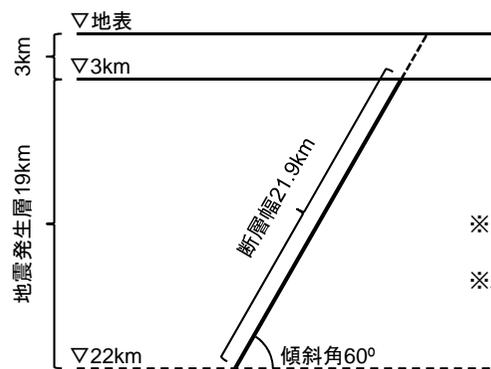
# 4.3 内陸地殻内地震

## (5) F-6断層 ~ F-9断層(代表例)

- 地質調査結果を踏まえ断層長さを23.7kmとし、強震動予測レシピ※1に基づき断層モデルを設定。
- 2007年新潟県中越沖地震の知見を反映し、**不確かさケースとして短周期レベル(応力降下量)は標準の1.5倍を考慮。**



断層モデル 平面図

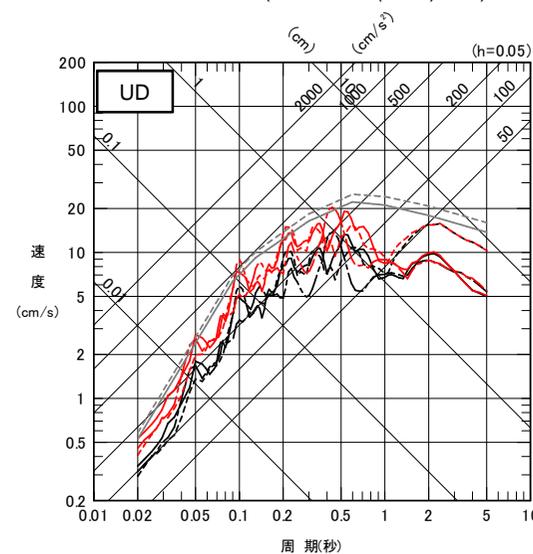
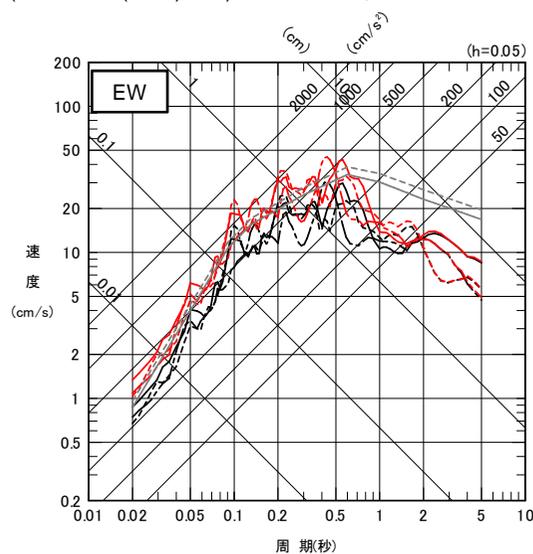
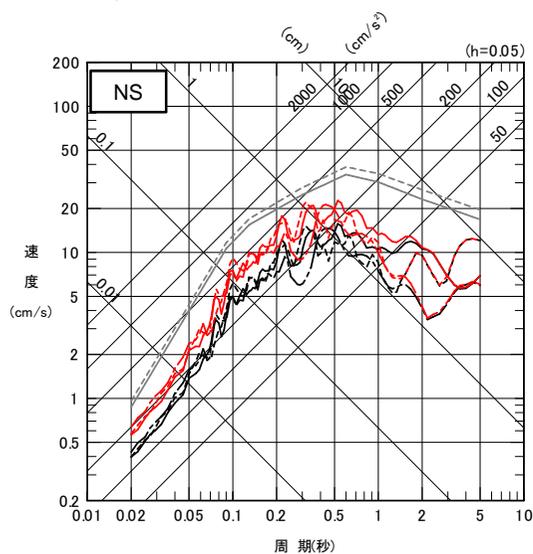


断面図

※1 政府の特別機関である「地震調査研究推進本部」が取りまとめた、標準的な地震動予測手法。

※2 地表断層長ささと地震規模Mの経験式。F-6断層 ~ F-9断層に対しては武村(1990)式が保守的な評価となる。

- 基本ケース 断層モデル手法(破壊開始点1)      ——— 短周期レベルの不確かさケース 断層モデル手法(破壊開始点1)
- - - - 基本ケース 断層モデル手法(破壊開始点2)      - - - - 短周期レベルの不確かさケース 断層モデル手法(破壊開始点2)
- · · · 基本ケース 断層モデル手法(破壊開始点3)      · · · · 短周期レベルの不確かさケース 断層モデル手法(破壊開始点3)
- - - - 基本,短周期レベルの不確かさケース 応答スペクトル手法(M7.1 松田(1975)式※2)      ——— 基本,短周期レベルの不確かさケース 応答スペクトル手法(M7.2 武村(1990)式※2)



地震動評価結果(基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース)

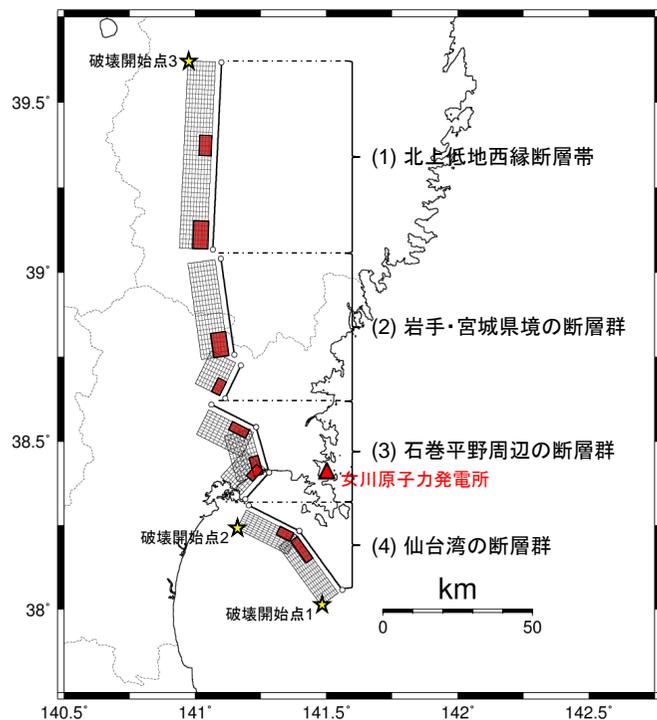
## 4.3 内陸地殻内地震

### (6) 【参考検討】仙台湾の断層群 ~ 北上低地西縁断層帯の連動(192km)ケース

- 参考検討として、北上低地西縁断層帯 ~ 岩手・宮城県境の断層群 ~ 石巻平野周辺の断層群 ~ 仙台湾の断層群の**連動(192km)**を考慮。
- 断層パラメータは、壇ほか(2015)による長大逆断層の地震動予測レシピに基づき設定。
- なお、基本ケース・不確かさケースとも、**後述する基準地震動Ss-D1 ~ 3に包絡**された。

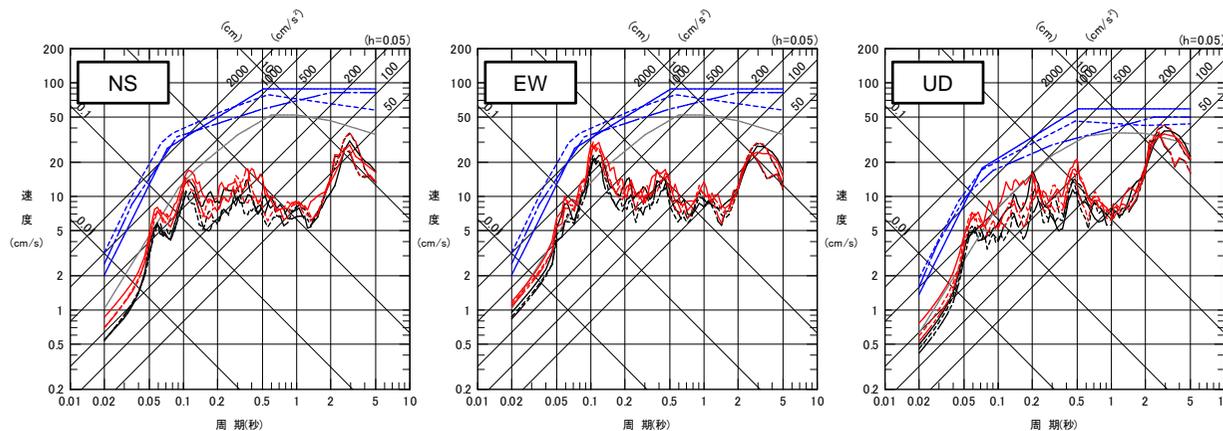
各断層群の諸元

断層群	断層長さ
(1) 北上低地西縁断層帯	61.1km
(2) 岩手・宮城県境の断層群	43.8km
(3) 石巻平野周辺の断層群	44.0km
(4) 仙台湾の断層群	43.1km



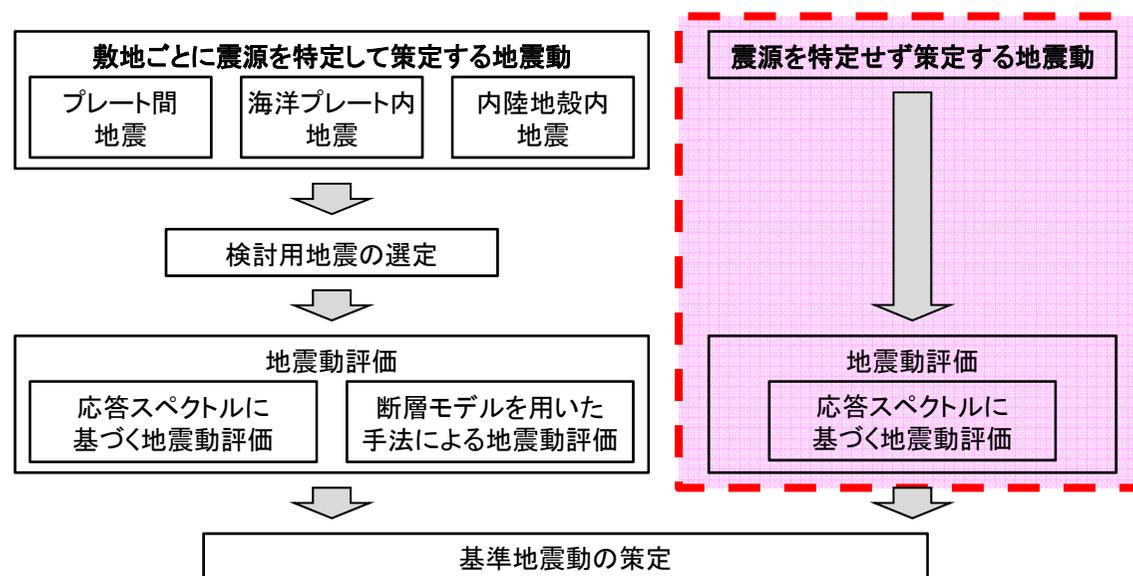
断層モデル平面図

- 基本ケース 断層モデル手法(破壊開始点1)
- - - 基本ケース 断層モデル手法(破壊開始点2)
- · - · 基本ケース 断層モデル手法(破壊開始点3)
- 基本、短周期レベルの不確かさケース 応答スペクトル手法(M8.1 松田(1975))
- 短周期レベルの不確かさケース 断層モデル手法(破壊開始点1)
- - - 短周期レベルの不確かさケース 断層モデル手法(破壊開始点2)
- · - · 短周期レベルの不確かさケース 断層モデル手法(破壊開始点3)
- 基準地震動Ss-D1
- - - 基準地震動Ss-D2
- · - · 基準地震動Ss-D3



地震動評価結果(基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース)

## 5. 震源を特定せず策定する地震動



# 5. 震源を特定せず策定する地震動

## (1) 地震動評価の概要

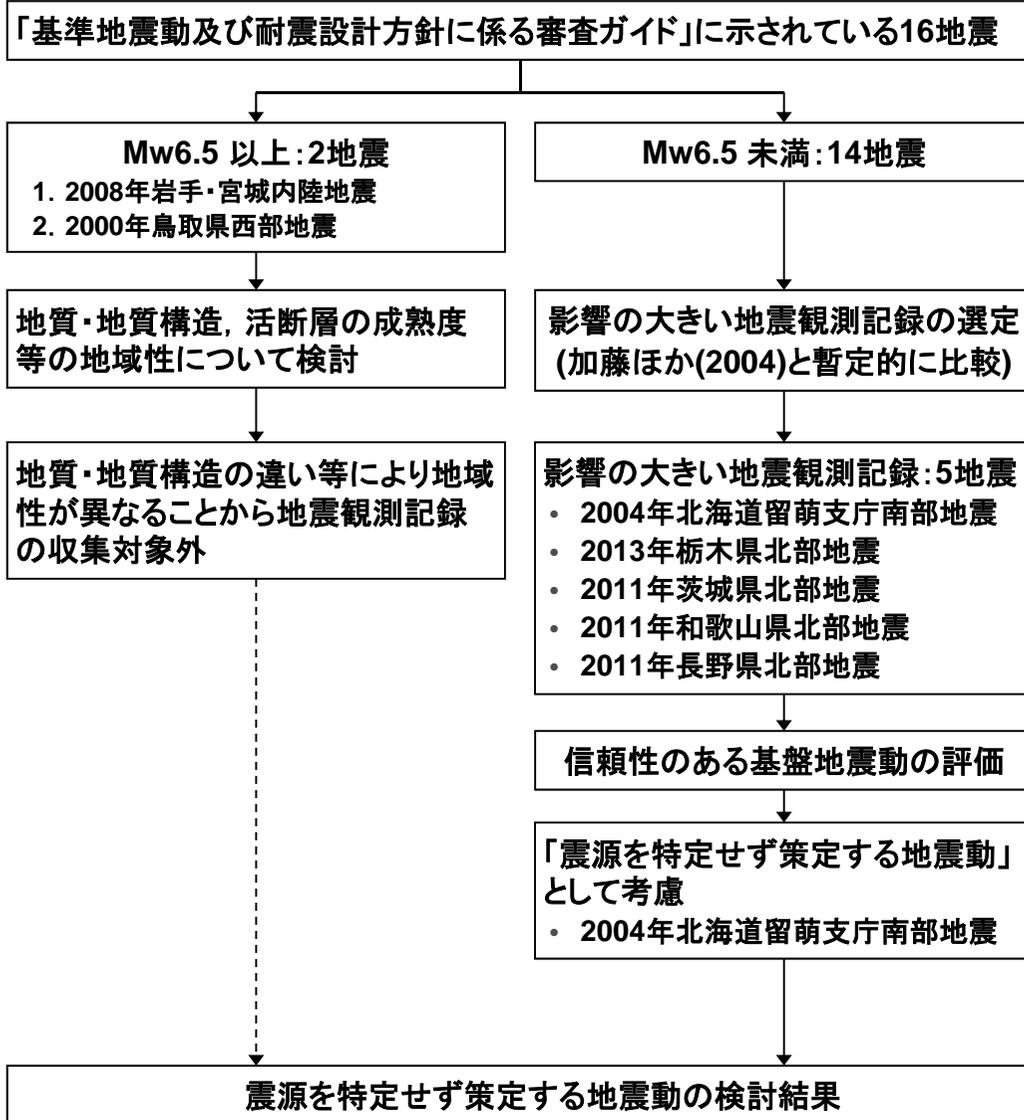


表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

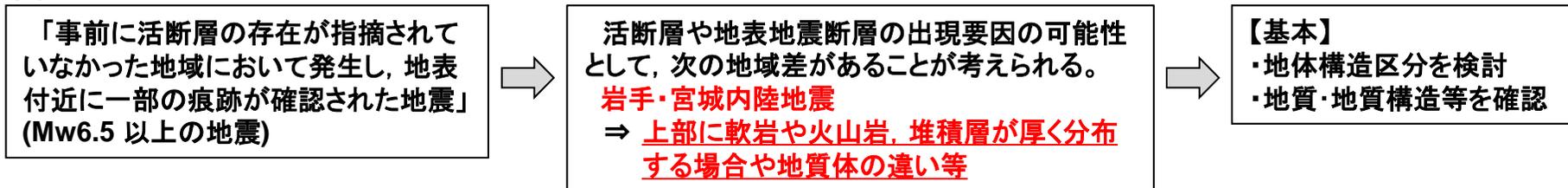
No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8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

## (2) Mw6.5以上の地震(2008年岩手・宮城内陸地震)

➢ 審査ガイドの記載と震源域と敷地周辺の地域性の比較

### (1) 審査ガイド



### (2) 地震地体構造、地質・地質構造等の特徴について整理・比較 (概要)

岩手・宮城内陸地震 震源域周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>地震地体構造区分: 火山性内弧地域</b></li> <li>• 脊梁山地・出羽丘陵の火山帯とその間の盆地列。島弧方向の逆断層～褶曲発達。活断層密度 中, 活動度 B級。</li> <li>■ <b>火山フロント内の火山地域で、変動地形の認定をさまたげる地形・地質構成にもかかわらず、短い変動地形が認識できる</b></li> <li>• 新第三系堆積岩類・火山岩, 第四紀火山岩類が分布し, 新第三紀以降のカルデラ構造及び地すべり地形が密集している。</li> <li>• 長大な活断層帯の南方延長部で発生した地震で、震源域に「短いながらも明瞭な断層変位地形」が判読されるとされている。</li> </ul>
女川原子力発電所 敷地周辺	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>地震地体構造区分: 外弧隆起帯, 安定域</b></li> <li>• 外弧隆起帯, 安定。活断層密度 極小, 活動度 C級</li> <li>■ <b>古生代～中生代の堆積岩類が広く分布し、その地質構造は約1億年前に形成された。また、変動地形の疑いのあるリニアメント等は認められない</b></li> <li>• 女川原子力発電所が位置する北上山地は、古生代から中生代の堆積岩類が広く分布しており、白亜紀の花崗岩類の貫入はあるが、分布は部分的である。また、堆積岩類の地質構造は白亜紀前期に形成されたと理解されている。</li> <li>• 敷地周辺(牡鹿半島を含む北上山地南部)には活断層がみられず、変動地形の疑いのあるリニアメント等は認められない。</li> </ul>

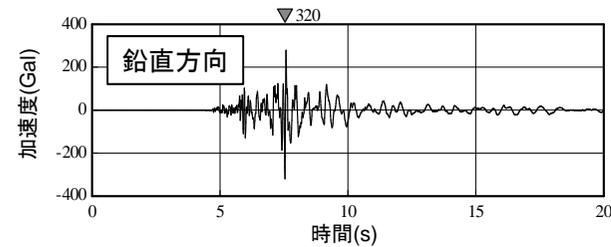
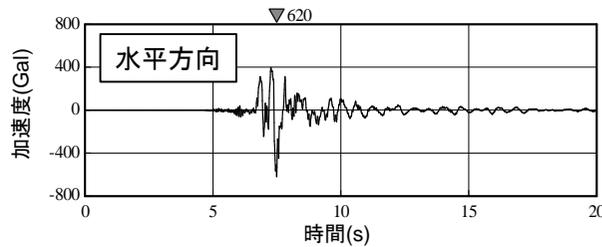
### (3) まとめ

- 以上より、女川原子力発電所敷地周辺は、震源域周辺と地震地体構造上明確に異なり、また、地質・地質構造等及び活断層・リニアメントの分布状況の違いが確認できることから、2008年岩手・宮城内陸地震と同様の地震は発生しないと考えられる。

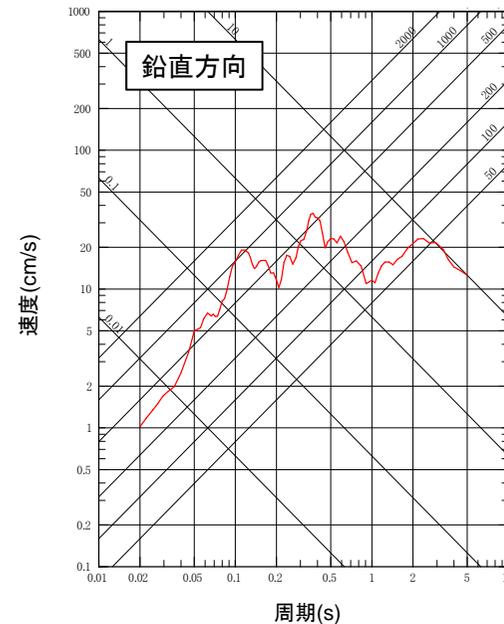
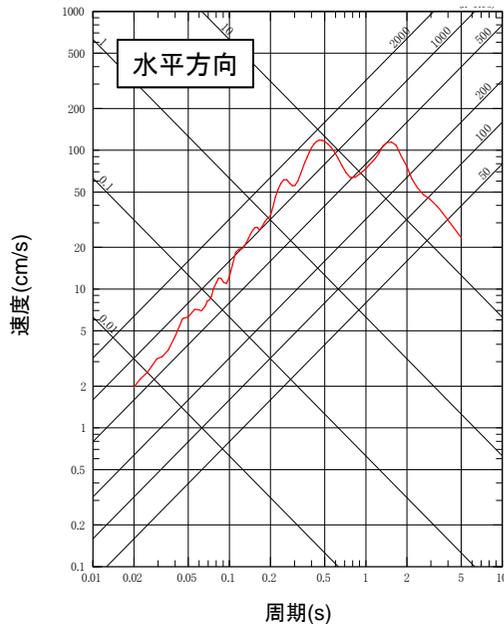
## 5. 震源を特定せず策定する地震動

### (3) 震源を特定せず策定する地震動の検討結果(留萌地震)

- 2004年留萌支庁南部地震については佐藤ほか(2013)でHKD020(港町)の基盤地震動が評価されているが、この妥当性を確認するために地盤物性の不確かさを考慮した追加検討を実施。
- 追加検討の最大ケースは、水平成分:609Gal※、鉛直成分:306Galとなった。これに保守性を考慮して、水平成分:620Gal、鉛直成分:320Galの地震動を考慮することとした。
- なお、基盤の硬さ(S波及びP波速度)についても、敷地の解放基盤表面相当位置はHKD020(港町)の基盤層に対して保守性がある。



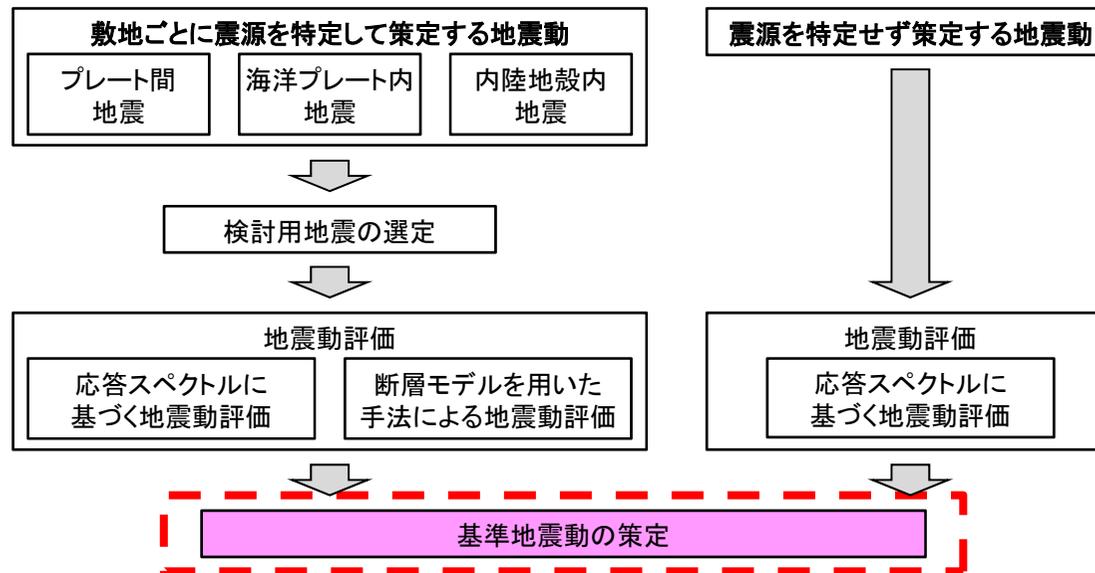
加速度時刻歴波形



応答スペクトル

※ 加速度の単位:  $\text{cm/s}^2(=\text{Gal}(\text{ガル}))$

## 6. 基準地震動の策定



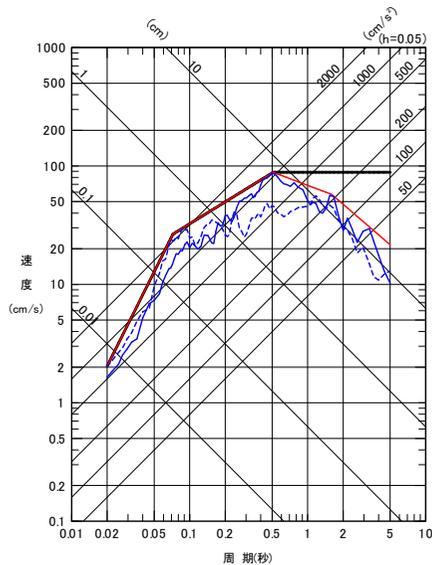
# 6. 基準地震動の策定

## (1) プレート間地震

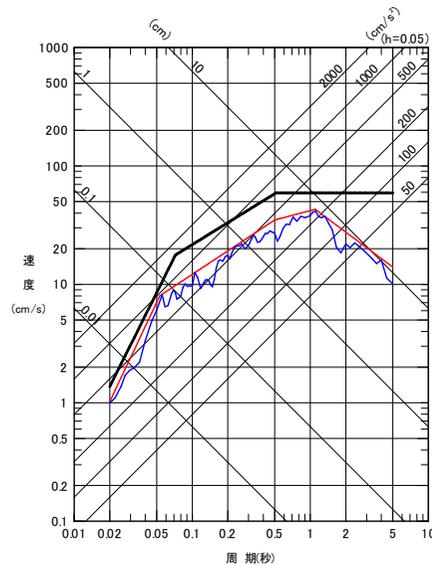
- ▶ プレート間地震の応答スペクトル手法による地震動評価結果を包絡する設計用応答スペクトルを基準地震動Ss-D1※として設定。特に、長周期側の裕度を考慮した形状としている。なお、鉛直方向の設計用応答スペクトルは、水平方向の2/3倍としている。
- ▶ また、基準地震動Ss-D1の応答スペクトルを上回ったケースのうち、「応力降下量(短周期レベル)の不確かさケース」及び「SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳ケース」を、それぞれ基準地震動Ss-F1、基準地震動Ss-F2として採用。

— 基準地震動Ss-D1(プレート間地震 応答スペクトル手法)  
 — プレート間地震 応答スペクトル手法  
 — 【参考】3.11地震の観測記録(NS成分, UD成分)  
 - - - 【参考】3.11地震の観測記録(EW成分)

— 基準地震動Ss-D1  
 (プレート間地震 応答スペクトル手法)  
 — 基準地震動Ss-F1  
 (プレート間地震 不確かさケース1 断層モデル手法(応力降下量の不確かさ))  
 — 基準地震動Ss-F2  
 (プレート間地震 不確かさケース2 断層モデル手法(SMGA位置と応力降下量の不確かさ重畳))  
 - - - 【参考】プレート間地震 断層モデル手法(基本ケース)

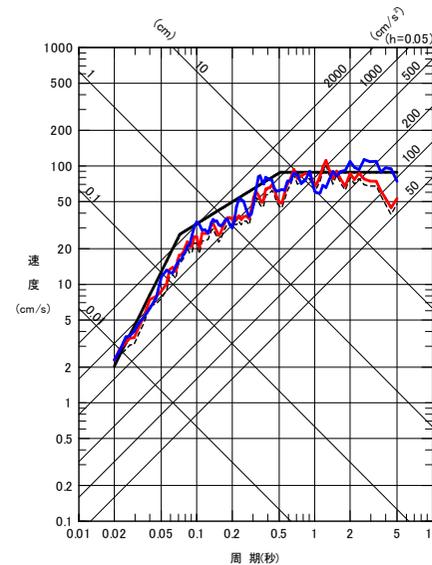


水平方向

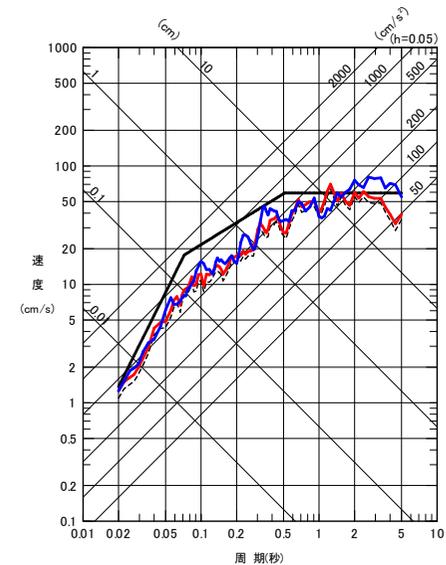


鉛直方向

応答スペクトル手法による地震動評価結果



水平方向



鉛直方向

断層モデル手法による地震動評価結果

※ 基準地震動Ss-DのD: Design(デザイン)の略, 基準地震動Ss-FのF: Fault model(断層モデル)の略。

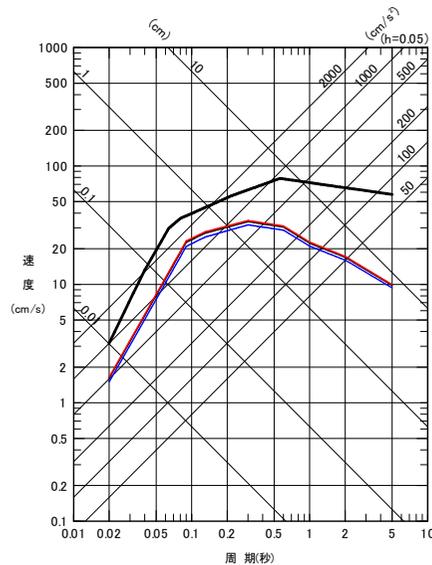
# 6. 基準地震動の策定

## (2) 海洋プレート内地震(SMGAマントル内)

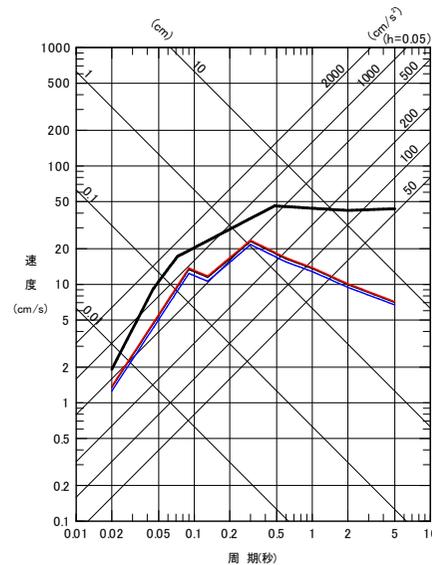
- ▶ 海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法※1による地震動評価結果を包絡する設計用応答スペクトルを基準地震動 Ss-D2※2として設定。Ss-D2の設計用応答スペクトルは、裕度確保の観点から断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡。
- ▶ なお、断層モデル手法の不確かさケース3(SMGAマントル内集約)は応力低下量が約120MPaと非常に大きく、敷地とSMGAの位置関係から主要動が最も緻密という特徴がある。このような地震は、地震応答解析における建屋応答としてもばらつく場合もあるため、基準地震動 Ss-F3として採用する(なお、Ss-F3の応答スペクトルは、上記のとおり Ss-D2に包絡)。

- 基準地震動 Ss-D2 (海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 応答スペクトル手法)
- 海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 応答スペクトル手法 (基本ケース SMGAマントル内シミュレーションベース)
- 海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 応答スペクトル手法 (不確かさケース1 SMGAマントル内シミュレーションアレンジ)
- 海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 応答スペクトル手法 (不確かさケース3 SMGAマントル内集約)

- 基準地震動 Ss-D2 (海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 応答スペクトル手法)
- 基準地震動 Ss-F3 (不確かさケース3 海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 断層モデル手法(SMGAマントル内集約))
- 海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 断層モデル手法 (基本ケース SMGAマントル内シミュレーションベース)
- 海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 断層モデル手法 (不確かさケース1 SMGAマントル内シミュレーションアレンジ)

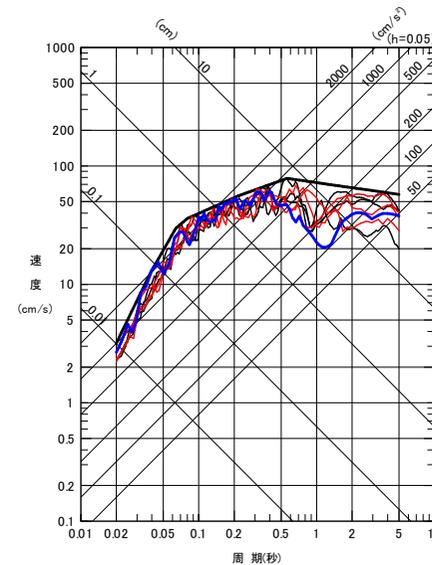


水平方向

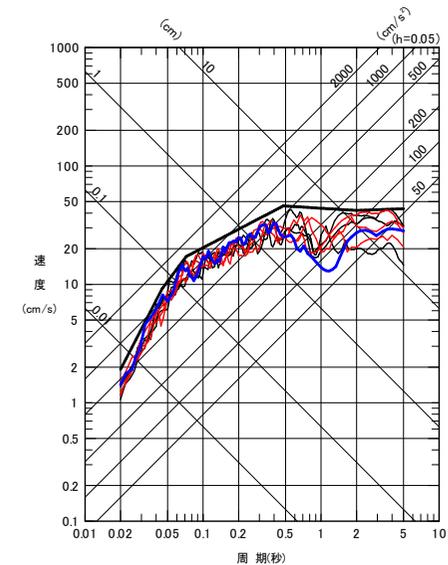


鉛直方向

応答スペクトル手法による地震動評価結果



水平方向



鉛直方向

断層モデル手法による地震動評価結果

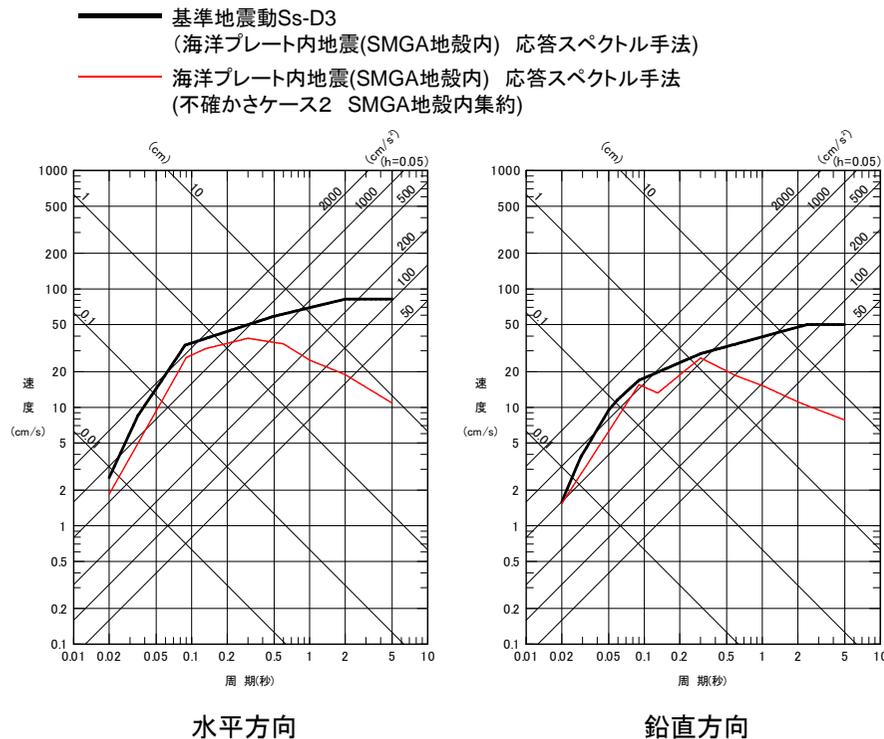
※1 応答スペクトル手法の概要は「参考」p.81を参照。地震動評価にはNoda et al.(2002)の応答スペクトル手法を用いた。

※2 基準地震動 Ss-D の D: Design(デザイン)の略, 基準地震動 Ss-F の F: Fault model(断層モデル)の略。

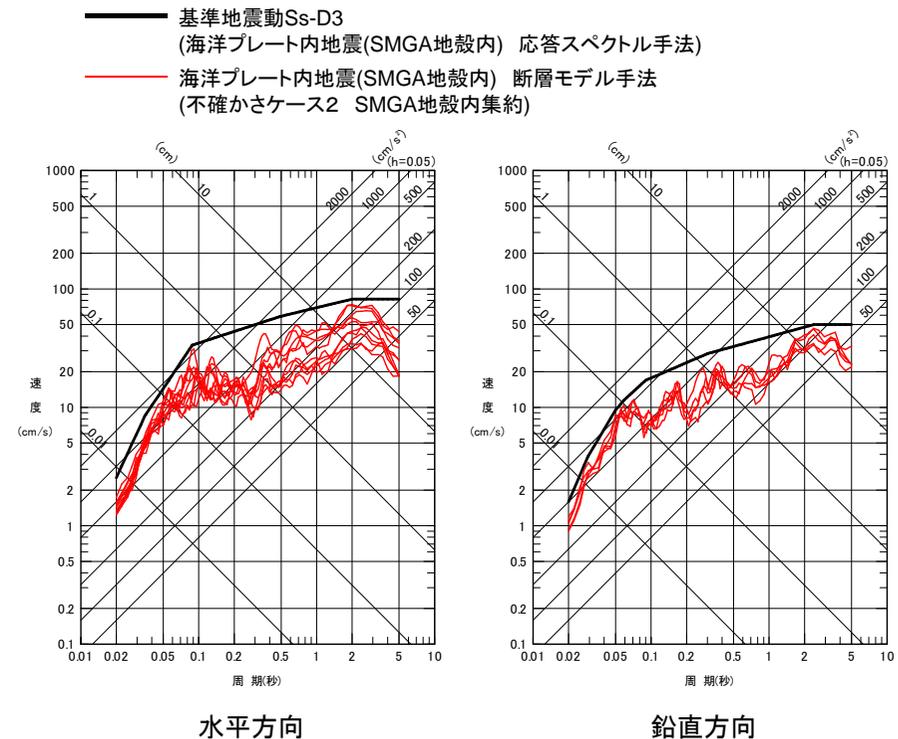
## 6. 基準地震動の策定

### (3) 海洋プレート内地震(SMGA地殻内)

- 海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法※1による地震動評価結果を包絡する設計用応答スペクトルを基準地震動Ss-D3※2として設定。Ss-D3の設計用応答スペクトルは、裕度確保の観点から断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡。
- 海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応力降下量は約90MPaと海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の約120MPaより小さいため、短周期成分も小さい傾向にあることから、基準地震動は応答スペクトル手法による基準地震動Ss-D3で代表する。



応答スペクトル手法による地震動評価結果



断層モデル手法による地震動評価結果

※1 応答スペクトル手法の概要は「参考」p.81を参照。地震動評価にはNoda et al.(2002)の応答スペクトル手法を用いた。

※2 基準地震動Ss-DのD: Design(デザイン)の略。

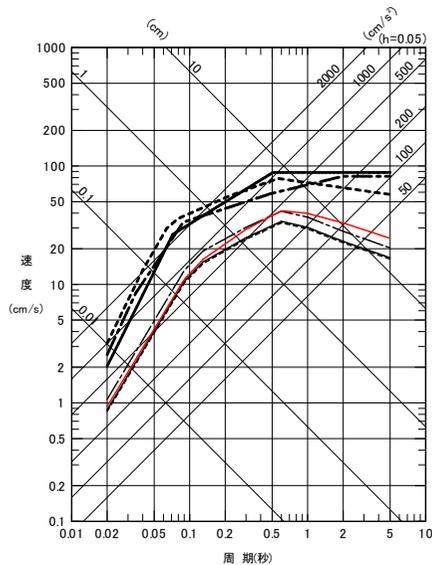
# 6. 基準地震動の策定

## (4) 内陸地殻内地震

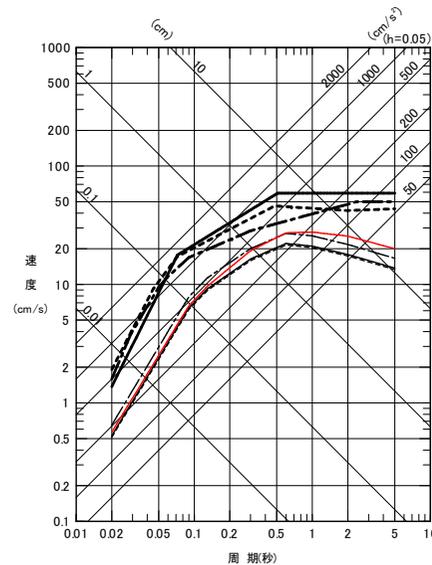
➤ 内陸地殻内地震の応答スペクトル手法※1及び断層モデル手法による地震動評価結果は、基準地震動Ss-D1※2, Ss-D2及びSs-D3の設計用応答スペクトルを下回る。

- 基準地震動Ss-D1(プレート間地震 応答スペクトル手法)
- - - 基準地震動Ss-D2(海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 応答スペクトル手法)
- . . . 基準地震動Ss-D3(海洋プレート内地震(SMGA地殻内) 応答スペクトル手法)
- 内陸地殻内地震 応答スペクトル手法  
(F-6~F-9断層 基本・短周期レベルの不確かさ)
- - - - 内陸地殻内地震 応答スペクトル手法  
(F-6~F-9断層 SMGA位置の不確かさ)
- . . . - 内陸地殻内地震 応答スペクトル手法  
(F-6~F-9断層 傾斜角の不確かさ)
- 内陸地殻内地震 応答スペクトル手法  
(仙台湾の断層群 基本・短周期レベルの不確かさ)

- 基準地震動Ss-D1(プレート間地震 応答スペクトル手法)
- - - 基準地震動Ss-D2(海洋プレート内地震(SMGAマントル内) 応答スペクトル手法)
- . . . 基準地震動Ss-D3(海洋プレート内地震(SMGA地殻内) 応答スペクトル手法)
- 内陸地殻内地震 断層モデル手法  
(F-6~F-9断層 基本・短周期レベルの不確かさ)
- - - - 内陸地殻内地震 断層モデル手法  
(F-6~F-9断層 SMGA位置の不確かさ)
- . . . - 内陸地殻内地震 断層モデル手法  
(F-6~F-9断層 傾斜角の不確かさ)
- 内陸地殻内地震 断層モデル手法  
(仙台湾の断層群 基本・短周期レベルの不確かさ)

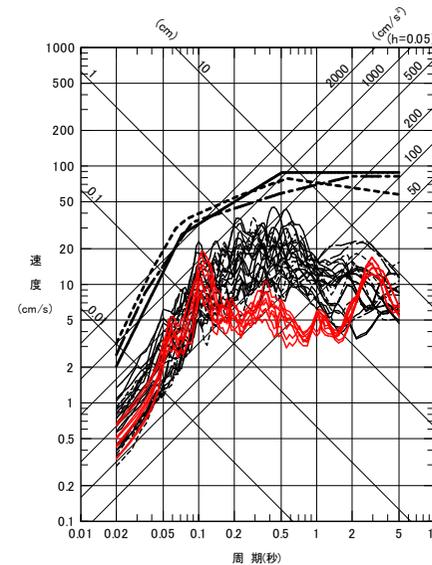


水平方向

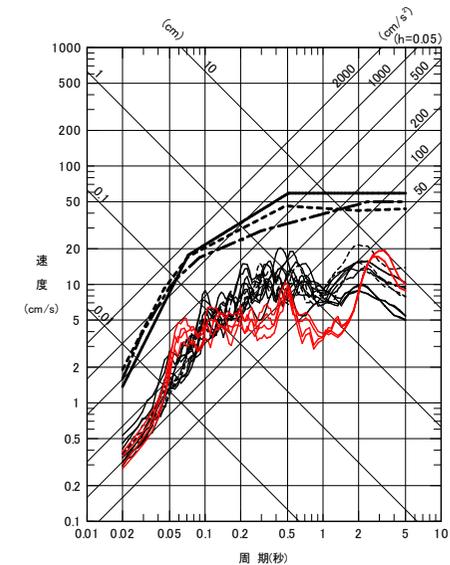


鉛直方向

応答スペクトル手法による地震動評価結果



水平方向



鉛直方向

断層モデル手法による地震動評価結果

※1 応答スペクトル手法の概要は「参考」p.81を参照。地震動評価にはNoda et al.(2002)の応答スペクトル手法を用いた。

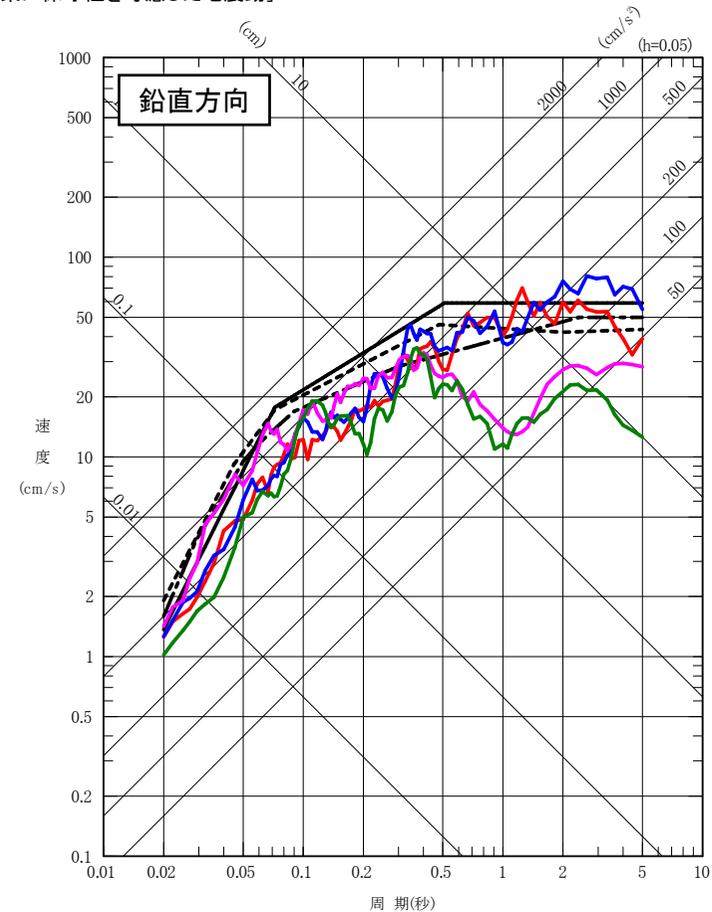
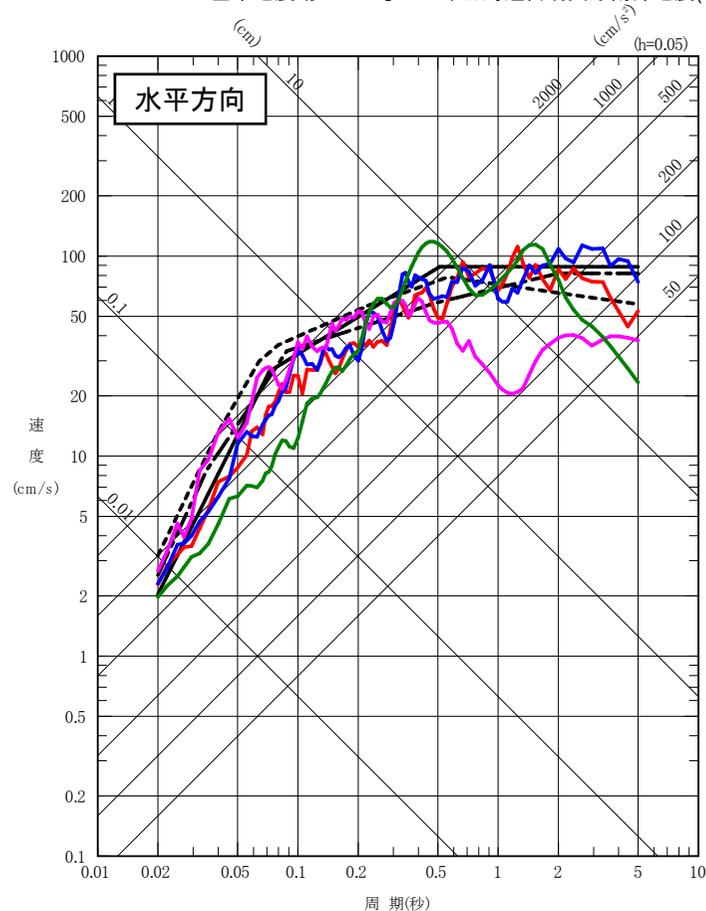
※2 基準地震動Ss-DのD: Design(デザイン)の略。

## 6. 基準地震動の策定

### (5) 基準地震動策定結果のまとめ(応答スペクトル※1)

➤ 基準地震動Ssとして、各地震の発生様式を踏まえ、計7波を設定する。

- 基準地震動Ss-D1 ※2[プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]
- 基準地震動Ss-N1 [2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動]



※1 応答スペクトルの説明は「参考」p.77~を参照。

※2 基準地震動Ss-DのD: Design(デザイン)の略, 基準地震動Ss-FのF: Fault model(断層モデル)の略, 基準地震動Ss-NのN: Near(近傍)の略。

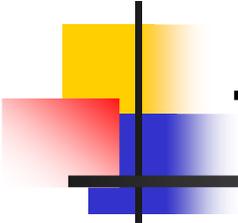
## 6. 基準地震動の策定

### (6) 基準地震動策定結果のまとめ(加速度時刻歴波形)

基準地震動		水平方向	鉛直方向
Ss-D1	プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動		
Ss-D2	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動		
Ss-D3	海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動		
Ss-F1	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ]		
Ss-F2	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳]		
Ss-F3	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)		
Ss-N1	2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動		

注1 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形。縦軸は加速度で、単位は $\text{cm/s}^2$ (=Gal(ガル))、横軸は時間(s)。

注2 断層モデルによる基準地震動のSs-F1、Ss-F2、Ss-F3については、3.11地震、4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法、放射特性一定)を用いていることから水平一成分としている。



## 7. 審査での対応結果

---

## 7. 審査での対応結果

### (1) 審査における主なコメントとその対応

審査の項目	審査での主なコメント内容	回答結果(反映したSs)	
プレート間地震	3.11地震の観測記録との整合性を考慮した基本震源モデルを設定し、このモデルに対し不確かさを考慮すること。	3.11地震の観測記録をシミュレートできる基本震源モデルを設定し、断層モデル手法に基づき、応力降下量(短周期レベル)の不確かさの考慮、さらに、SMGAの位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳について考慮した。	Ss-F1
	強震動生成域(SMGA)の位置の不確かさと応力降下量(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。		Ss-F2
海洋プレート内地震	海洋プレート内地震の断層面の位置、SMGAの位置等の不確かさについて、収集した知見等を踏まえ、敷地に対して保守的な設定となっているか検討を行うこと。	海洋地殻と海洋性マントルの物性の違い等が地震動評価に与える影響を踏まえ、海洋プレート内地震(SMGA地殻内)を不確かさケースとして考慮した。	Ss-D3
	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)のSMGAを集約した場合を不確かさケースとして検討を行うこと。	SMGAの個数を3つから2つに集約した場合について、不確かさケースとして考慮した。	Ss-D2
基準地震動の策定	基準地震動Ss-D1の設計用応答スペクトルについて、例えば長周期側が低下している形状になっていることなどから、耐震設計上の考慮として、さらなる裕度の検討を行うこと。	基準地震動Ss-D1の応答スペクトルの形状において、長周期側の設計裕度を確保した。	Ss-D1
	基準地震動Ss-D1の模擬地震波の継続時間については、安全側の考えに基づき検討を行うこと。	基準地震動Ss-D1の継続時間を保守的に長く設定した。	Ss-D1
	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)は、地震動の特徴を踏まえた場合、断層モデル手法を用いた手法による地震動評価も基準地震動としての設定が必要か検討すること。	基準地震動Ss-F3として、断層モデル手法を用いた手法による地震動評価結果を採用した。	Ss-F3

## 7. 審査での対応結果

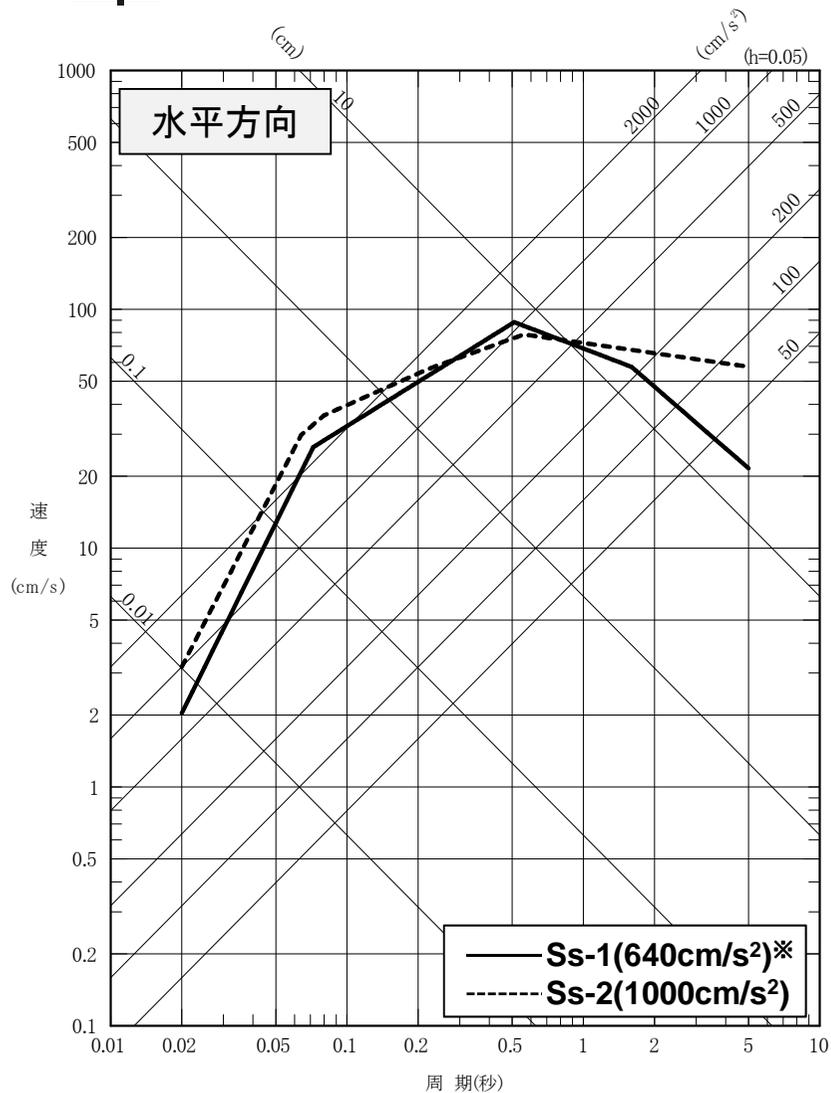
### (2) 基準地震動 申請時からの変更点

基準地震動		最大加速度(cm/s <sup>2</sup> )※		申請時(H25.12)からの変更
		水平方向	鉛直方向	
Ss-D1	プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動	640	430	申請時Ss-1から応答スペクトル形状, 継続時間を変更 最大加速度の変更はない
Ss-D2	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動	1000	600	申請時Ss-2から応答スペクトル形状を変更 最大加速度の変更はない
Ss-D3	海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動	800	500	追加設定
Ss-F1	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ]	717	393	追加設定
Ss-F2	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳]	722	396	追加設定
Ss-F3	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)	835	443	追加設定
Ss-N1	2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動	620	320	追加設定

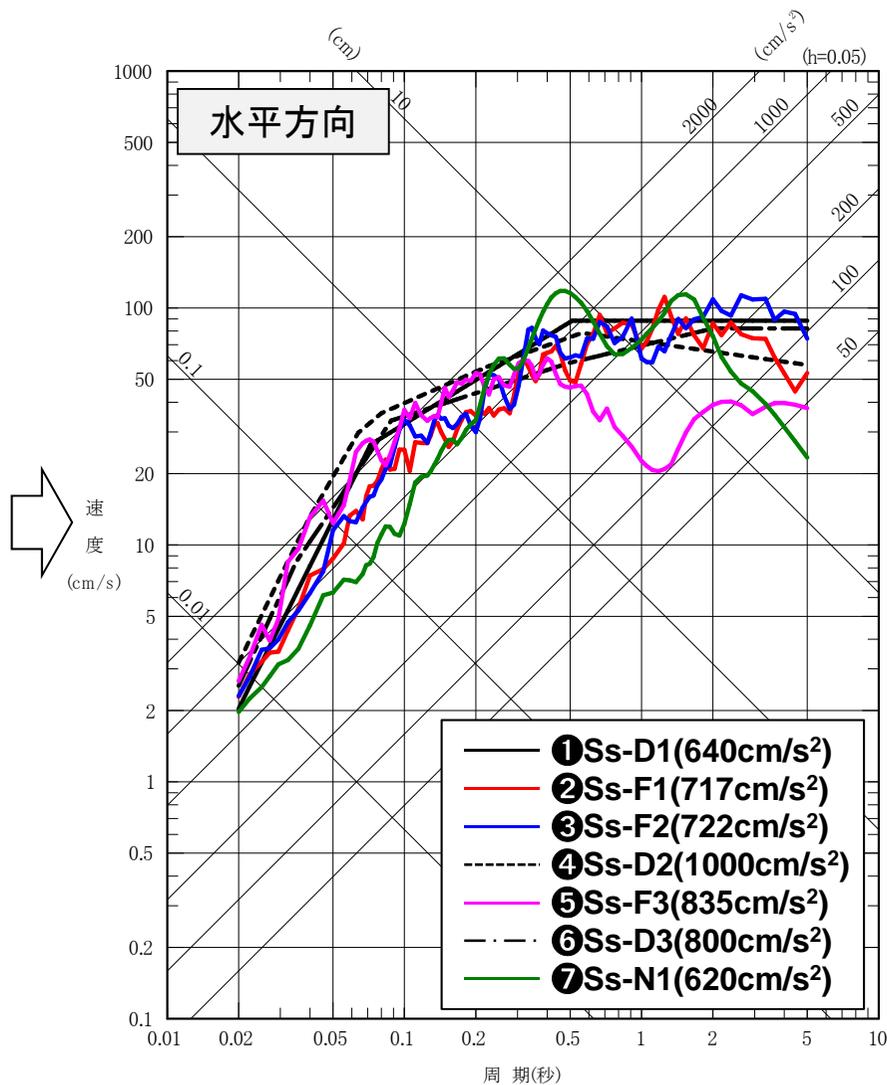
※ cm/s<sup>2</sup> = Gal (ガル)

## 7. 審査での対応結果

### (3) 基準地震動 申請時との比較(応答スペクトル)



申請時



H29.8.10審査会合

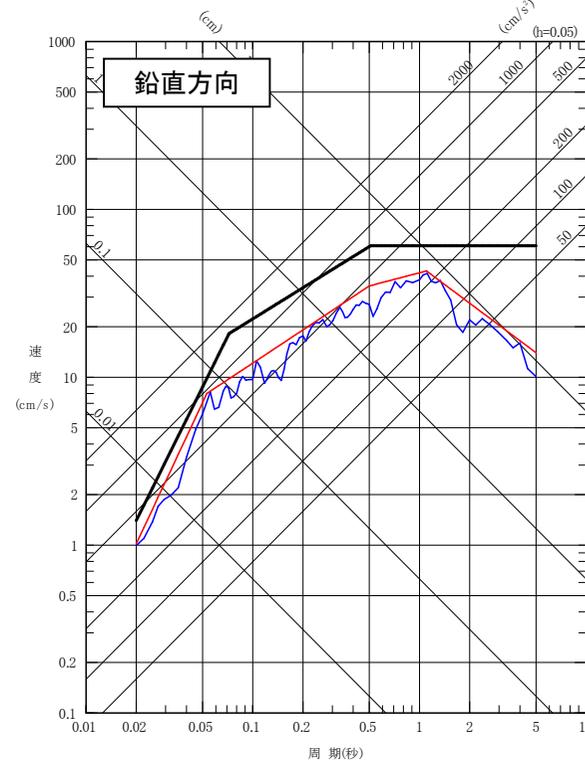
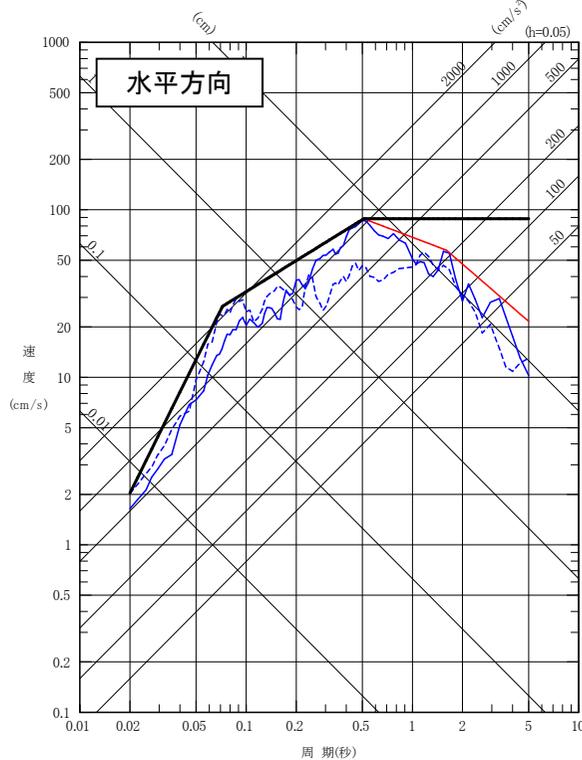
※ cm/s<sup>2</sup> = Gal (ガル)

## 7. 審査での対応結果

### (4) 【補足】応答スペクトル手法による基準地震動:プレート間地震

▶ プレート間地震の応答スペクトル手法による地震動評価結果を包絡する設計用応答スペクトルを基準地震動Ss-D1として設定、特に、長周期側の裕度を考慮した形状としている。なお、鉛直方向の設計用応答スペクトルは、水平方向の2/3倍としている。

— 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]  
 — プレート間地震の応答スペクトル手法による地震動評価  
 — 【参考】3.11地震の観測記録※<sup>1</sup>(水平方向は実線:NS方向, 点線:EW方向, 鉛直方向は実線:UD方向)



※1: 敷地岩盤上部(O.P.※<sup>2</sup> - 8.6m)の観測記録について、表層の影響を除去したはぎとり波。  
 ※2: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面(Onagawa Peil)であり、O.P.±0m = T.P.(東京湾平均海面) - 0.74m。

応答スペクトル		コントロールポイント			
		A	B	C	D
Ss-D1H	周期(s)	0.02	0.072	0.51	5
	速度(cm/s)	2.0372	26.5	88.4	88.4

応答スペクトル		コントロールポイント			
		A	B	C	D
Ss-D1V	周期(s)	0.02	0.072	0.51	5
	速度(cm/s)	1.3687	17.7	59.0	59.0

## 7. 審査での対応結果

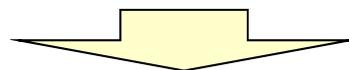
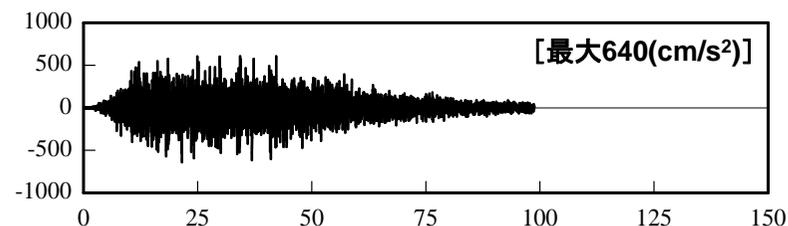
### (5)【補足】基準地震動Ss-D1の継続時間

- ▶ 基準地震動Ss-D1(3.11型地震)の模擬地震波の継続時間に影響を与える地震規模等については、安全側の考えに基づき設定をした。

#### 【申請時】

模擬地震波の継続時間に影響を与えるマグニチュードMと等価震源距離 $X_{eq}$ <sup>※1</sup>は神田ほか(2012)を参照して設定。

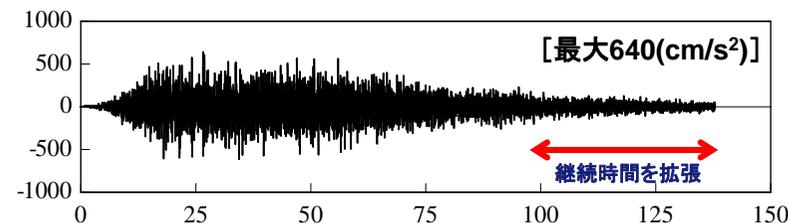
最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ ) <sup>※2</sup>	マグニチュード M	等価震源距離 $X_{eq}$ (km)	継続時間(s)
640	8.0	81.6	98.8



#### 【コメント対応結果】

Mと $X_{eq}$ をプレート間地震の断層モデルを参照して見直し、継続時間を約40秒拡張。

最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	マグニチュード M	等価震源距離 $X_{eq}$ (km)	継続時間(s)
640	8.3	132	137.9



※1 等価震源距離：震源断層の面的な形状を踏まえ、特定の一点から放出されたものと等価になるように計算された距離。

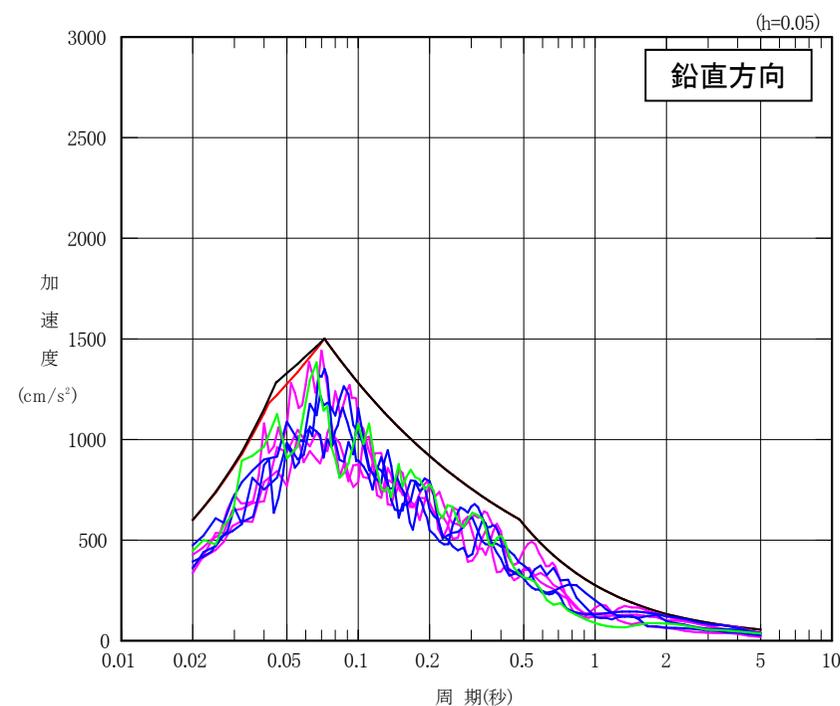
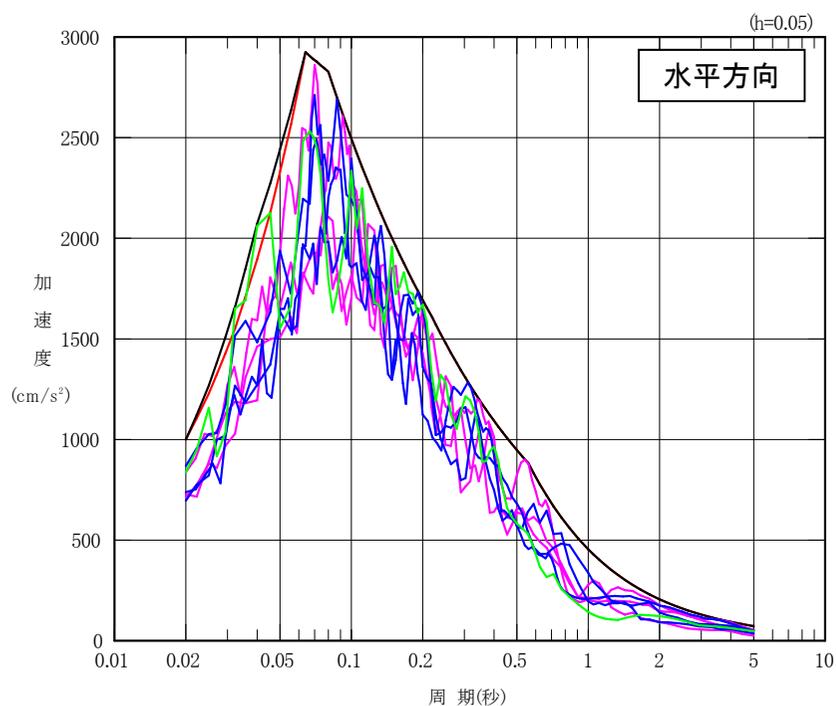
※2  $\text{cm/s}^2 = \text{Gal}$  (ガル)

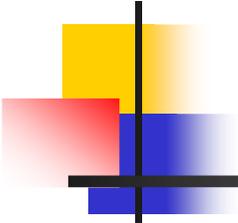
## 7. 審査での対応結果

### (6) 【補足】基準地震動の策定のまとめ(加速度応答スペクトル)

➤ 海洋プレート内地震の不確かさケース3の考慮により、申請時のSs-2を上回ったこと等から、不確かさケース3の断層モデル手法による地震動評価結果をSsに追加し、さらに裕度確保の観点からSs-2の応答スペクトル形状も変更し、Ss-D2とした。

- 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基本ケース(SMGAマントル内シミュレーションベース)の断層モデル手法による地震動評価: 申請時(H25.12)断層モデル手法による地震動評価
- 不確かさケース1(SMGAマントル内シミュレーションアレンジ)の断層モデル手法による地震動評価
- 不確かさケース3(SMGAマントル内集約)の断層モデル手法による地震動評価
- 申請時(H25.12)基準地震動Ss-2





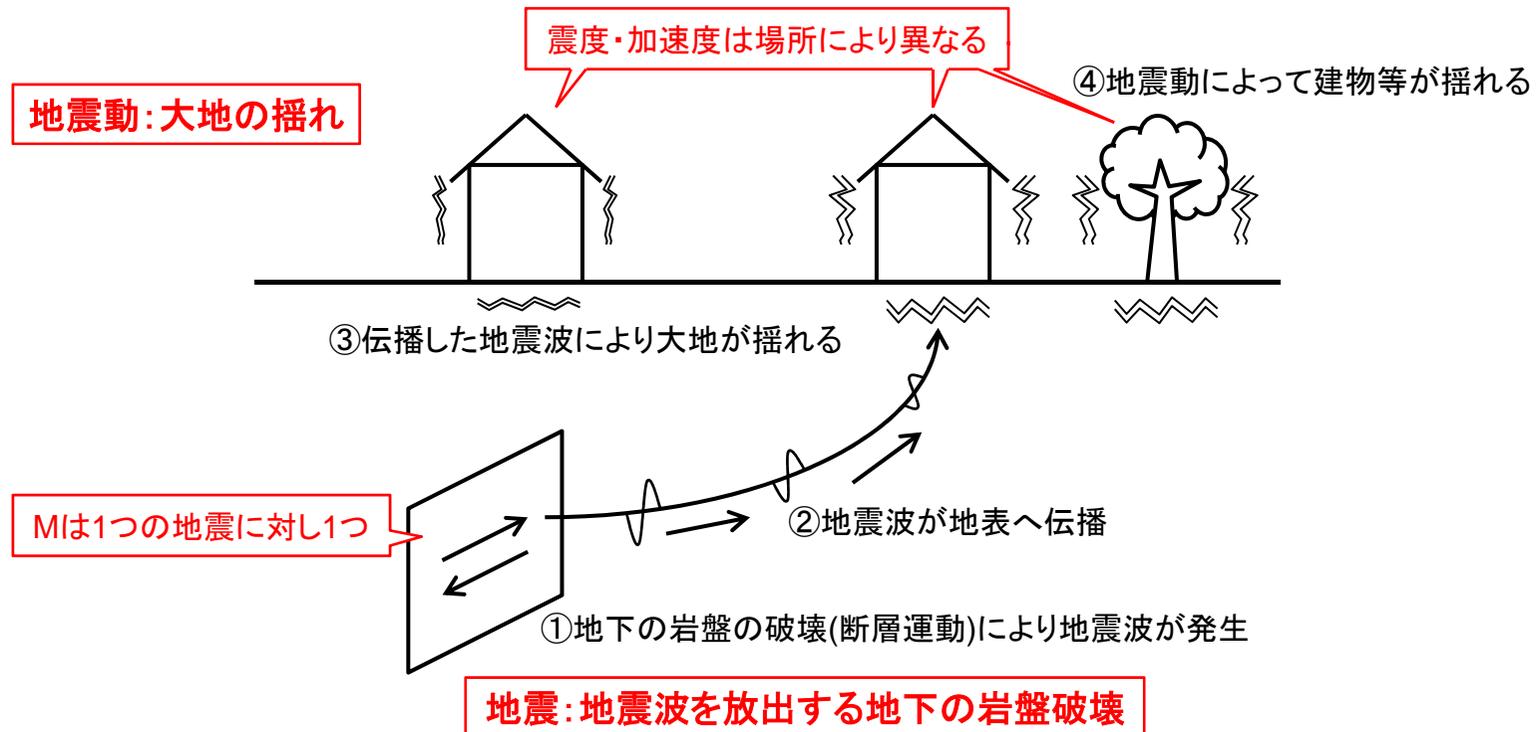
[参 考]

---

# 1. 地震と地震動の違い

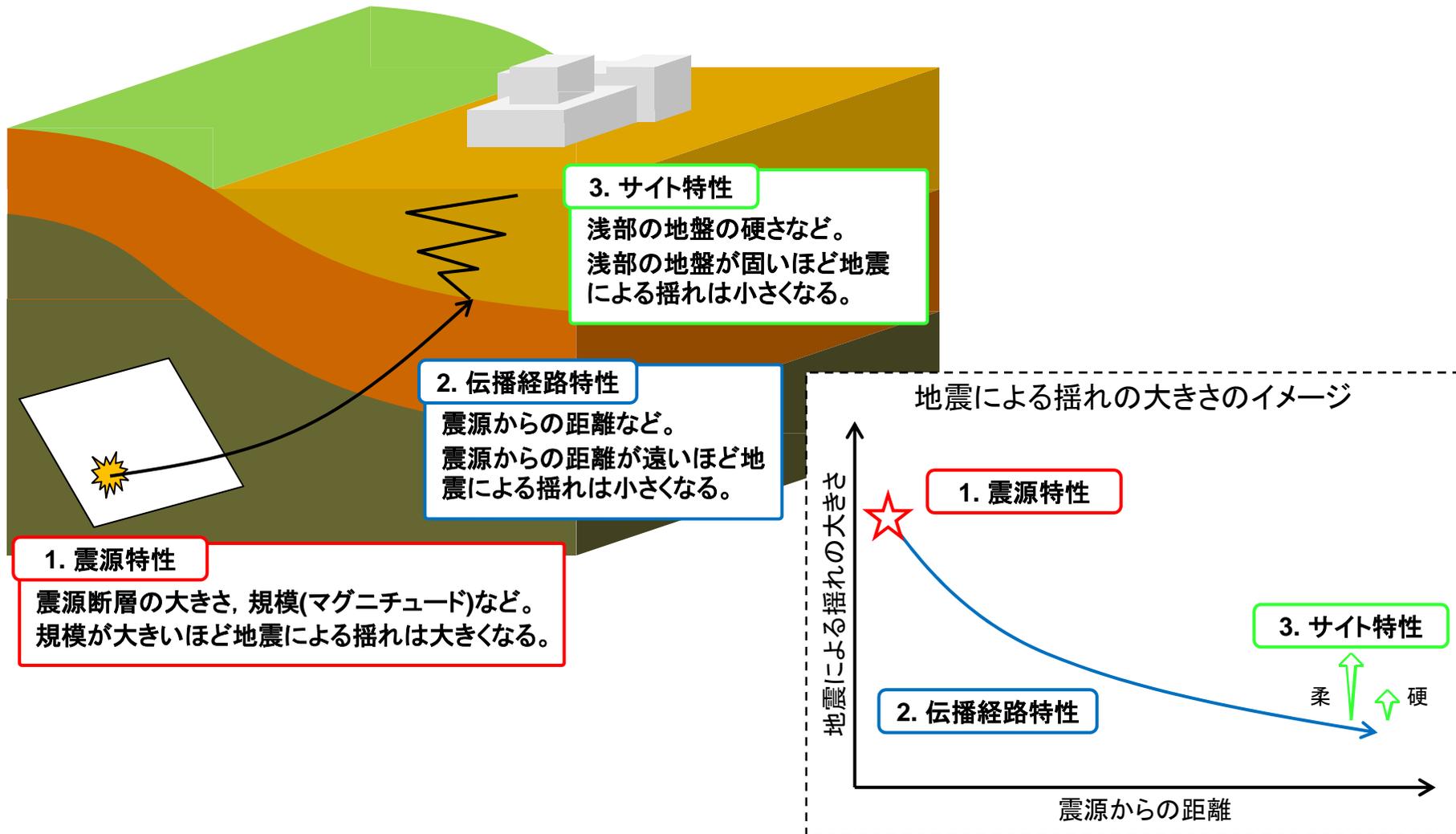
- 一般に「地震」と「地震動」とは区別なく、または混同して用いられているが、工学的には以下の違いがある。

	現象の違い	主な指標		
		単位	特徴	
地震	大地に揺れをもたらす源のこと (地下の岩盤破壊そのもの)	マグニチュード (Mと略される)	—	1つの地震に対し1つ決まる
地震動	地下の岩盤破壊により放出された地震波が伝播して生じる大地の揺れのこと	震度	—	観測する場所により異なる
		加速度	Gal(ガル)=cm/s <sup>2</sup>	



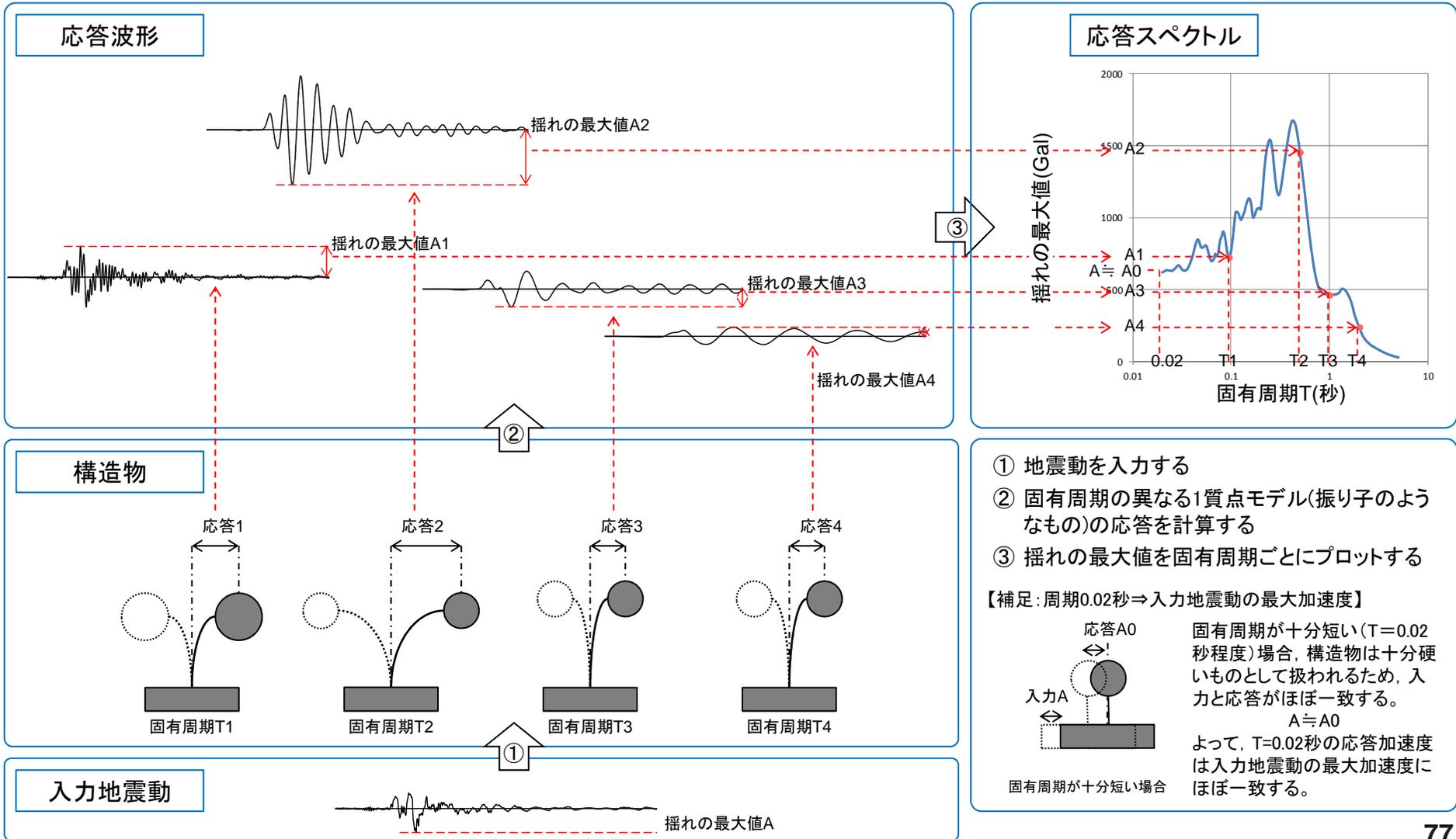
## 2. 地震の揺れの大きさを決める3つの特性

- 地震による揺れの大きさは「**3つの特性**」で決まる。
- 地震による揺れの大きさを把握するためには、様々な調査により、これらの特性を適切に評価することが重要。

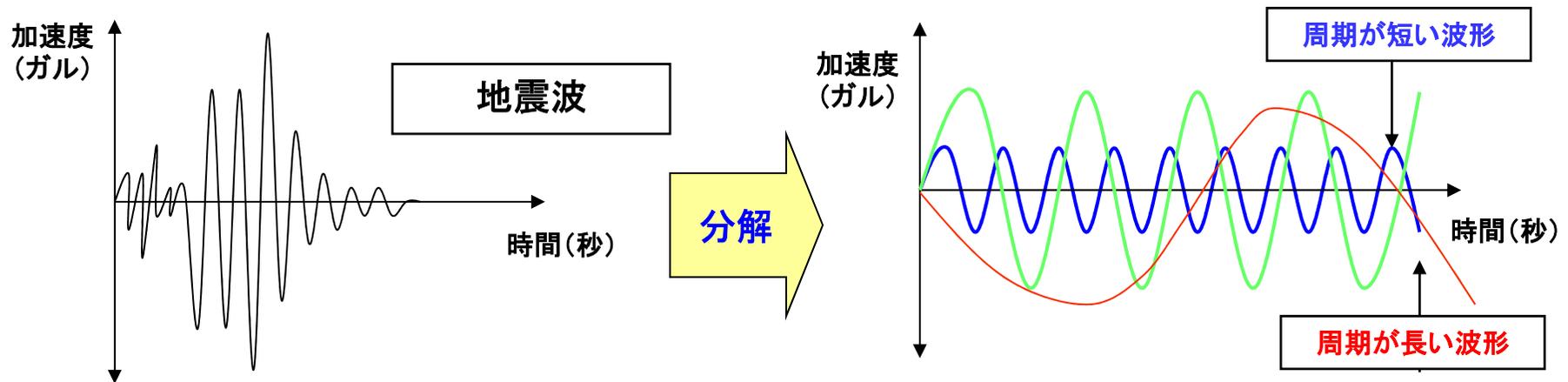


### 3. 地震動と応答スペクトル

- 「応答スペクトル」とは、**様々な周期の建築物・機器の地震時の揺れの最大値をまとめたグラフ**。
- 「応答スペクトル」を作成することにより、建築物や機器等の周期がわかれば、ある地震動によって生じる揺れの最大値が把握できる。

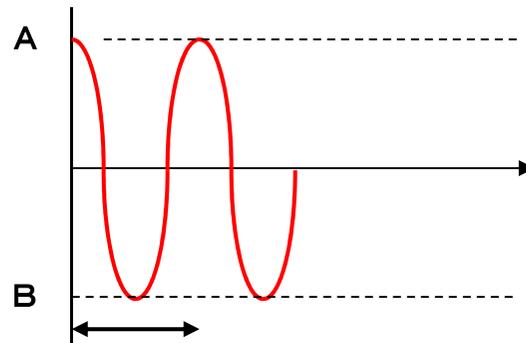
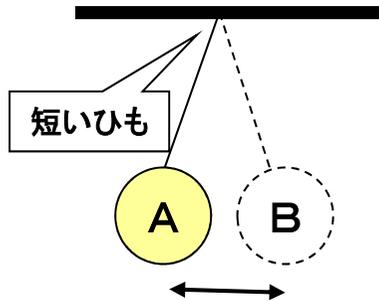


#### 4. (補足1) 応答スペクトル 地震波に含まれる様々な揺れ



地震波にも様々な周期の波形が含まれている。

## 5. (補足2) 応答スペクトル 固有周期

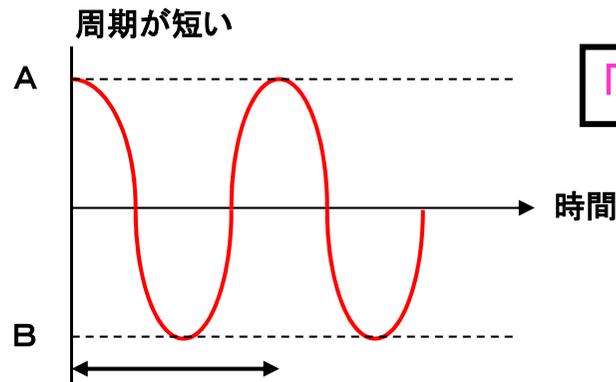
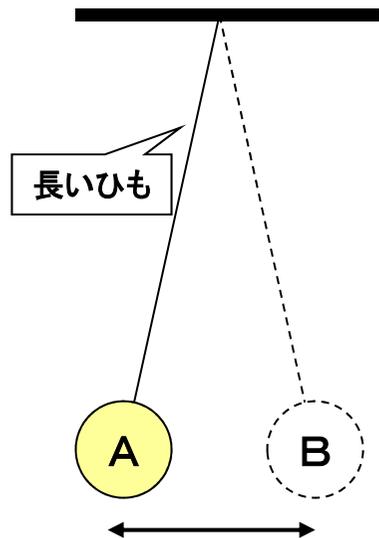


「ひも」が短い振り子は揺れる周期が短い



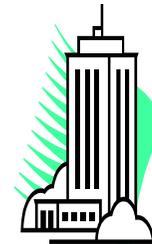
低い建物

又は 固い建物



周期が短い

「ひも」が長い振り子は揺れる周期が長い

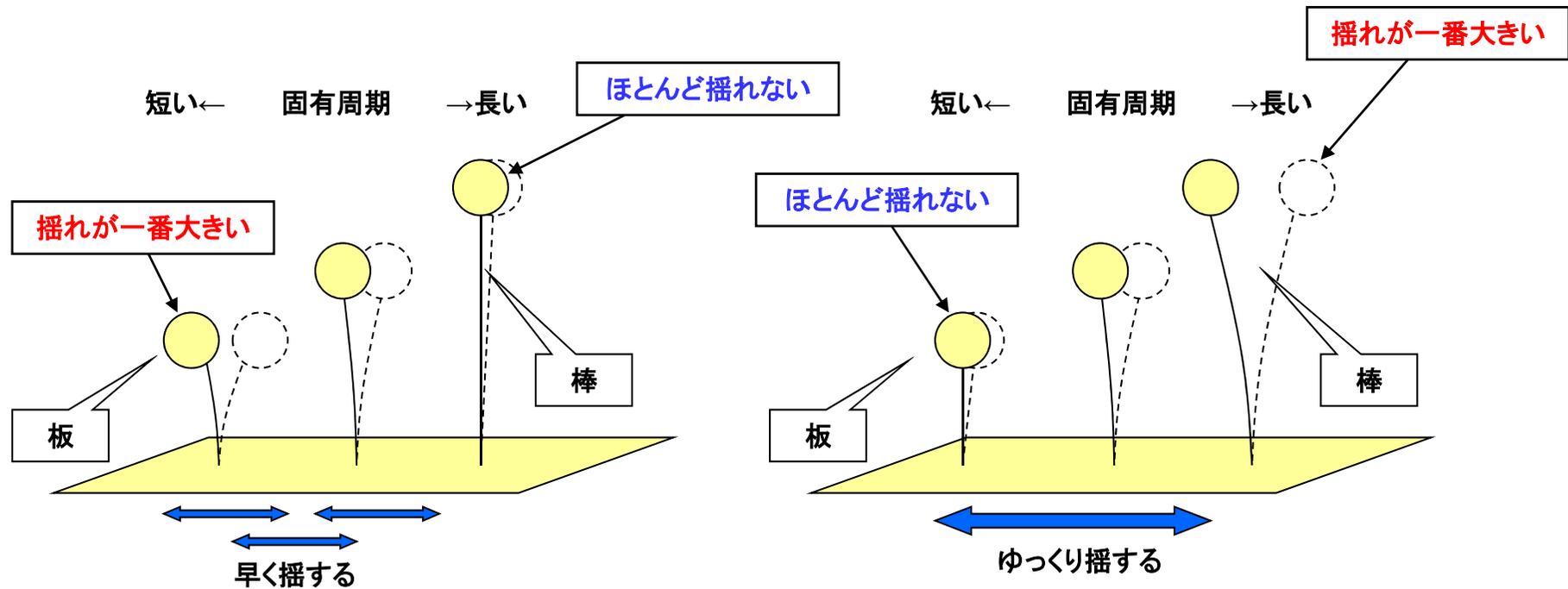


高い建物

又は やわらかい  
建物

建物も強度によって、揺れやすい周期がある。これを『固有周期』という。

## 6. (補足3) 応答スペクトル 『固有周期』の違いによる揺れ方



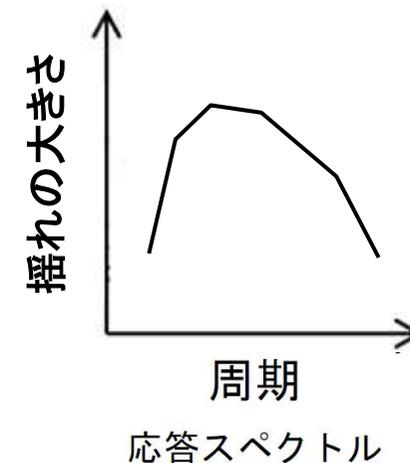
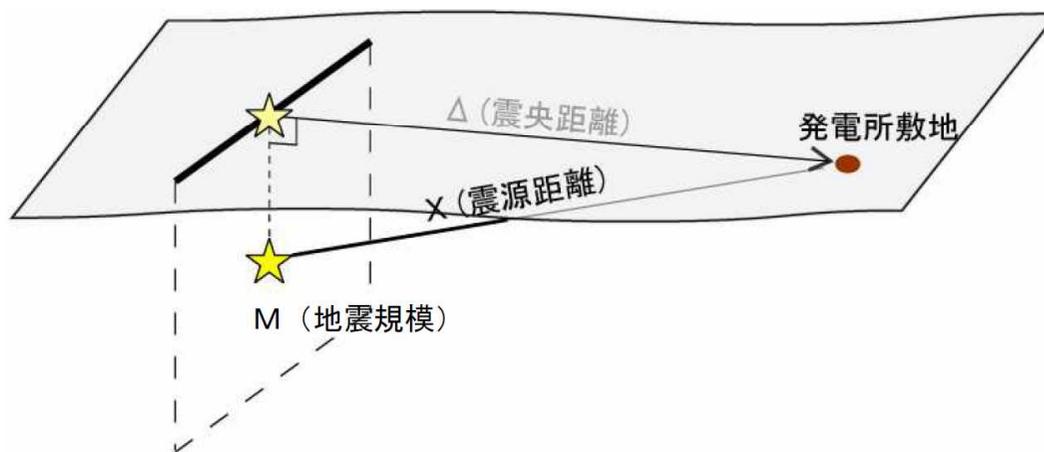
棒の長さにより、早く揺すった場合とゆっくり揺すった場合で揺れ方が異なる。

地震の特徴と建物の「固有周期」の違いによって建物の揺れ方が異なる。

## 7. 地震動の評価手法① 応答スペクトルに基づく地震動評価

### ① 経験的な手法 ⇒ 応答スペクトル法

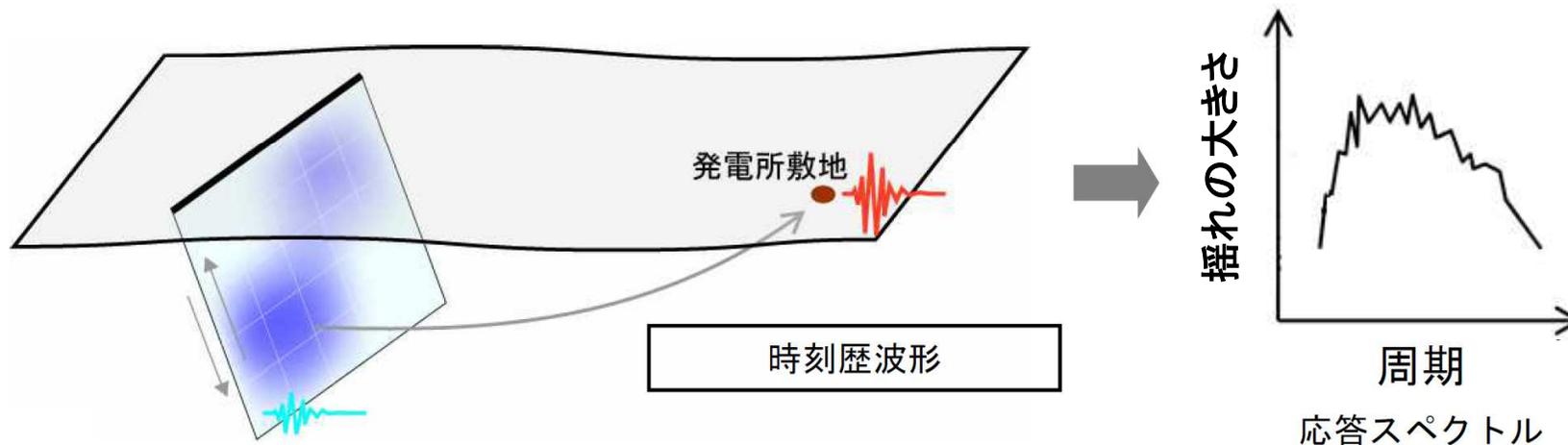
- 過去の地震記録の地震規模（マグニチュード）及び震源から観測点までの距離と地震による揺れの大きさ（応答スペクトル）の関係から導かれた回帰式により作成する方法。
- 地震規模や震源距離等の少ないパラメータで平均的な地震動を評価するのに適している。（簡便法）



## 8. 地震動の評価手法② 断層モデルを用いた手法による地震動評価

### ② 詳細な解析による手法 ⇒断層モデルを用いた手法

- 断層モデルは、震源の断層面を詳細にモデル化したもの。
- 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは、断層モデルを用い、震源の位置や規模を設定して特定の地点の地震動を計算することをいう。
- 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。  
(詳細法)



## 9. 活断層の定義

- 新規制基準適合性審査において、

活断層は「**将来活動する可能性のある断層等**」と表現されており、その定義としては「**後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等とする**」とされている。

(「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」別記1の第3条)

また、同条において、以下も規定されている。

- ✓ 活断層の認定にあたって、後期更新世(約12～13万年前)の地形面又は地層が欠如するなど、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。
- ✓ 「将来活動する可能性のある断層等」には、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む。

### 活断層の認定基準を明示

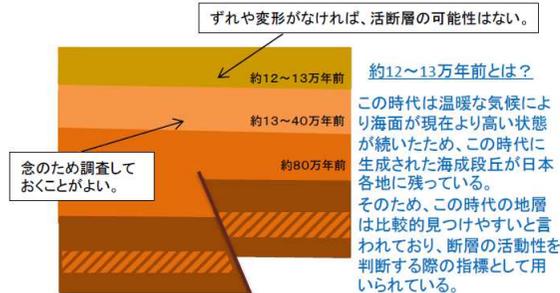
- 将来活動する可能性のある断層等は、後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できないものとし(例示①)、必要な場合は、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って活動性を評価(例示②)することを要求。

#### 例示①

約12～13万年前であることが証拠により明確な地層や地形面が存在する場合

約12～13万年前の地層又は地形面に、断層活動に伴う「ずれや変形がない」ことが確認できる場合は、活断層の可能性はないと判断できる。

なお、この判断をより明確なものとするために、約13～40万年前の地層又は地形面に断層活動に伴う「ずれや変形がない」ことを、念のため調査しておくことが重要である。

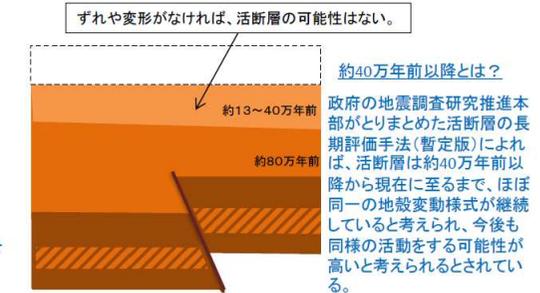


#### 例示②

約12～13万年前の地層や地形面が存在しない場合、あるいは、この時期の活動性が明確に判断できない場合

約40万年前まで遡って、地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討することにより、断層活動に伴う「ずれや変形がない」ことが確認できる場合は、活断層の可能性はないと判断できる。

この場合、地層又は地形面の年代は約13～40万年前の期間のいずれの年代であっても良い。



12

(出典:原子力規制委員会「新規制基準について 一概要一」 <https://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>)

## 参考文献

1. 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド, 原子力規制委員会, <http://www.nsr.go.jp/data/000069160.pdf>
2. 柏崎・刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書(概要), 平成20年5月22日, 東京電力株式会社
3. 気象庁地震カタログ
4. 地震調査研究推進本部(2012): 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
5. 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子(2013): 日本被害地震総覧 599 - 2012, 東京大学出版会
6. Lay, T., H. Kanamori, C.J. Ammon, K. D. Koper, A. R. Hutko, L. Ye, H. Yue, and T. M. Rushing(2012): Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, B04311, 2012
7. Koper, K. D., A. R. Hutko, T. Lay, C. J. Ammon, and H. Kanamori(2011): Frequency-dependent rupture process of the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake: Comparison of short-period P wave backprojection images and broadband seismic rupture models, *Earth Planets Space*, 63
8. 内閣府(2012a): 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高さについて(第一次報告), 南海トラフの巨大地震モデル検討会
9. 司宏俊, 翠川三郎, 堤英明, 野田朱美, 正月俊行(2011): 地震震盤における震源近傍まで適用できる応答スペクトル距離減衰式の整備に関する研究, 日本地球惑星科学連合大会2011年大会発表
10. 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅(2013): 標準的な強震動予測レシビに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集
11. 地震調査研究推進本部(2005): 宮城県沖地震を想定した強震動評価(一部修正版)
12. Kamae, K.(2006): Source modeling of the 2005 off-shore Miyagi prefecture, Japan, earthquake(MJMA=7.2) using the empirical Green's function method, *Earth Planets Space*, Vol. 58, pp. 1561-1566, 2006
13. 川辺秀憲, 釜江克宏, 上林宏(2011): 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の震源のモデル化, 日本地球惑星科学連合2011年大会
14. 佐藤智美(2011): 経験的グリーン関数法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルの推定と震源パラメータのスケーリング則の考察, 日本地震学会講演予稿集, 2011
15. 内閣府(2012b): 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)強震断層モデル編 - 強震断層モデルと震度分布について -
16. Nakajima, J., A. Hasegawa, and S. Kita (2011): Seismic evidence for reactivation of a buried hydrated fault in the Pacific slab by the 2011 M9.0 Tohoku Earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G06, doi: 10. 1029 / 2011GL048432, 2011.
17. 笹谷努, 森川信之, 前田宜浩(2006): スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, No.69
18. 原田怜, 釜江克宏(2011): 2011年4月7日宮城県沖のスラブ内地震の震源のモデル化, <http://www.rr.i.kyoto-u.ac.jp/jishin/>
19. 活断層研究会(編) (1991): [新編]日本の活断層一分布図と資料
20. 中田高, 今泉俊文(2002): 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会
21. 地質調査所(編) (1992): 日本地質アトラス[第2版]
22. 海上保安庁海洋情報部(2003): 沿岸海域海底活断層調査「仙台湾」
23. 松田時彦(1975): 活断層から発生する地震の規模と周期について, *地震* 第2輯, 第28巻
24. 武村雅之(1990): 日本およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, *地震* 第2輯, 第43巻
25. 壇一男, 入江紀嘉, 具典淑, 島津奈緒未, 鳥田晴彦(2015): 長大な逆断層による内陸地震の断層モデルのパラメータの設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第707号, 2015年1月
26. 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大栄, 上田圭一, 壇一男(2004): 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル - 地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討 -, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 46-86.
27. 佐藤浩章・芝良昭・功刀卓・前田宜浩・藤原広行(2013): 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部地震の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の震盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告
28. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
29. 神田克久, 武村雅之, 広谷浄, 石川和也(2012): 震度分布に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の短周期地震波発生域, *地震* 第2輯, 第65巻