

# 柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に 取得された地震観測データの分析及び基準地震動について

平成20年5月22日  
東京電力株式会社



東京電力

---

# 本日のご説明内容

---

## ( 1 ) はじめに

- 1 ) 地震の概要
- 2 ) 観測記録の概要

## ( 2 ) 地震動が大きかった要因分析

- 1 ) 観測記録に基づく検討
- 2 ) 解析手法を用いた検討
- 3 ) 要因の推定 (まとめ)

## ( 3 ) 中越沖地震の知見を踏まえた基準地震動への反映

## ( 4 ) 今後の取り組み

---

( 1 ) はじめに

# 地震諸元および震源と発電所との位置関係

## 【地震諸元（気象庁）】

発生日時：平成19年7月16日

規模：マグニチュード 6.8

震央：北緯 37°33.4

東経 138°36.5

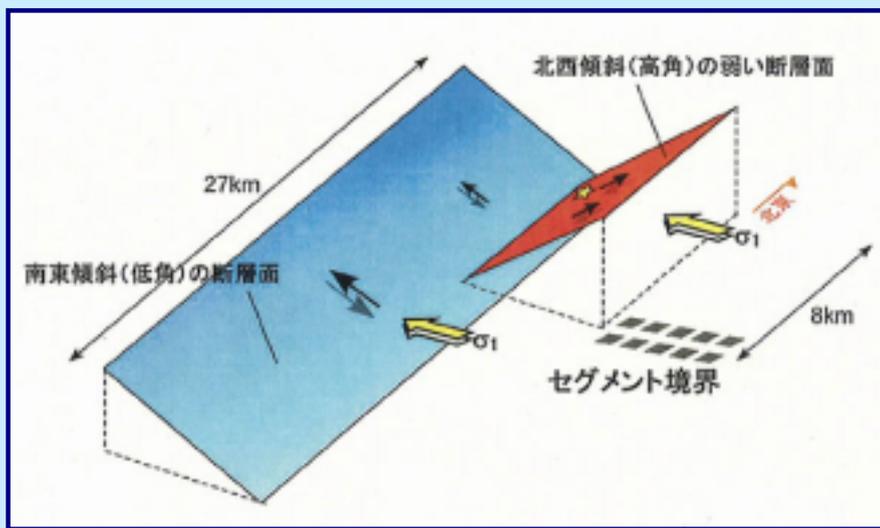
震源深さ 17 km



震源と発電所の位置関係

# 中越沖地震の震源断層に関する見解

内陸地殻内地震で，南東傾斜の逆断層と評価されている



出典:地震調査研究推進本部

# 観測地点の概要

## 原子炉建屋

原子炉建屋基礎版上・中間階

## タービン建屋

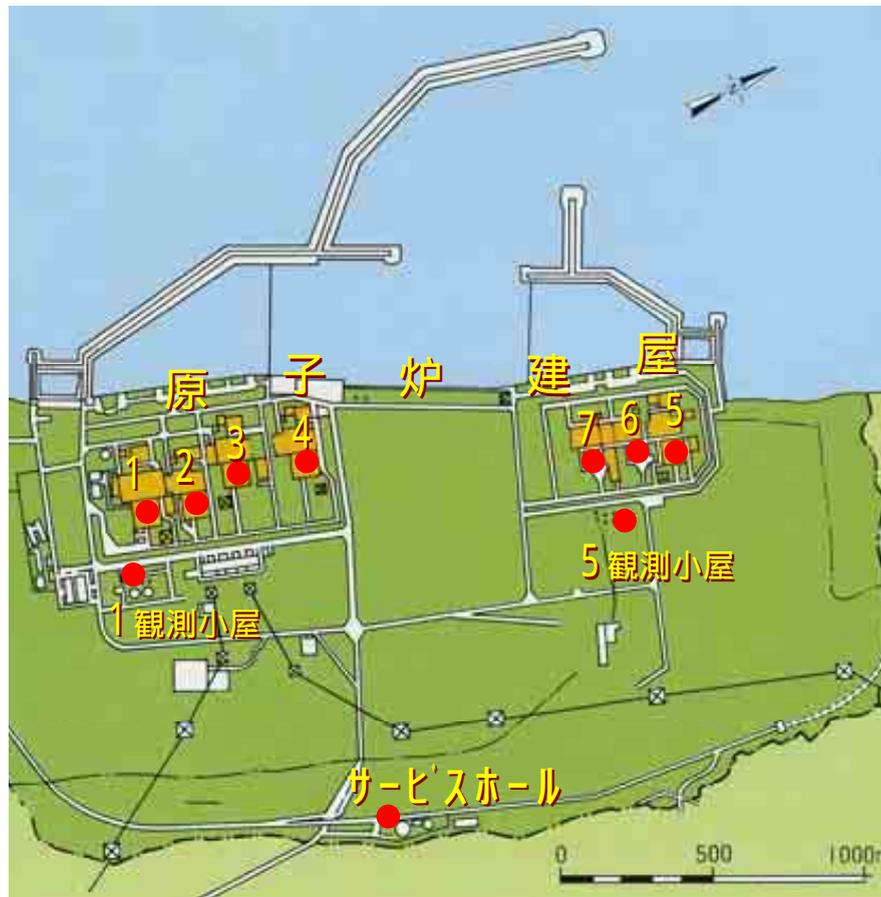
基礎マット・中間階

## 地震観測小屋

1号機・5号機付近  
(地表のみ)

## サービスホール

地表および地中  
(計4箇所)



赤字部分の観測波を次項から示す

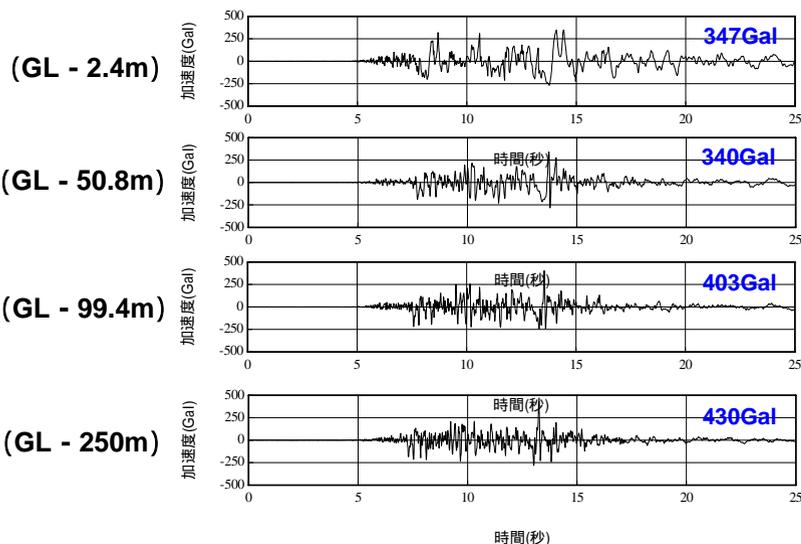
発電所内の観測地点

# 観測波形(NS方向)

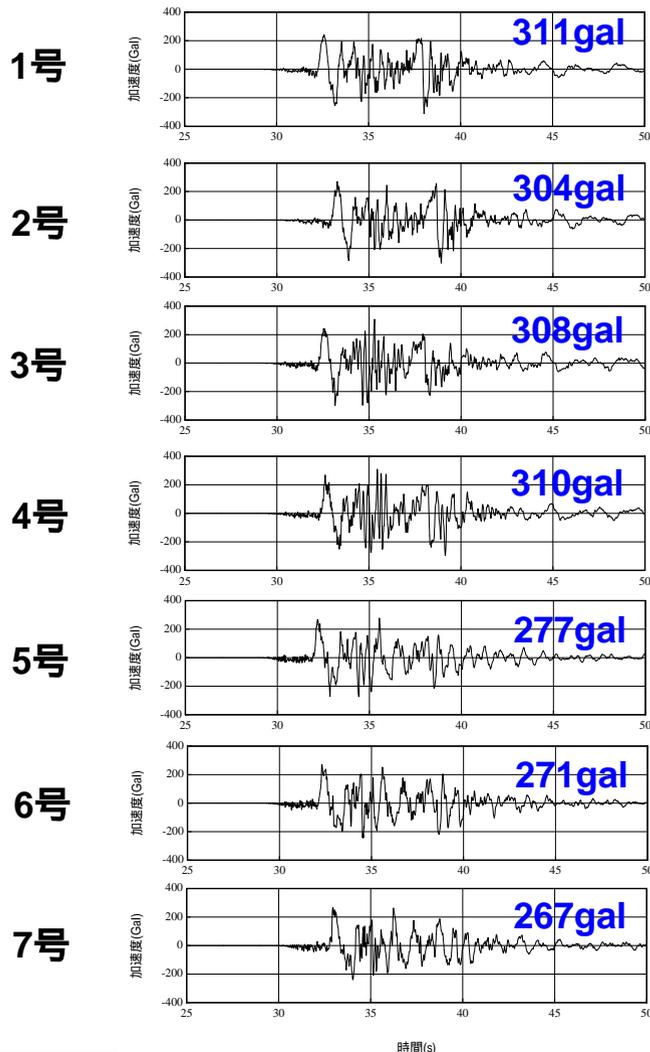
## 加速度記録



### サービスホール地盤系

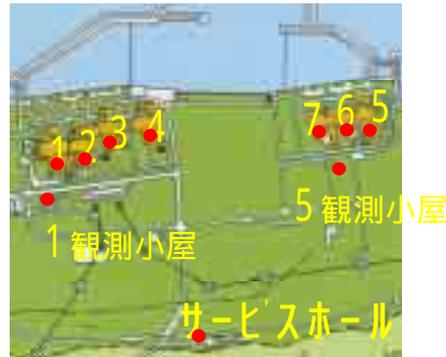


### 原子炉建屋基礎版上

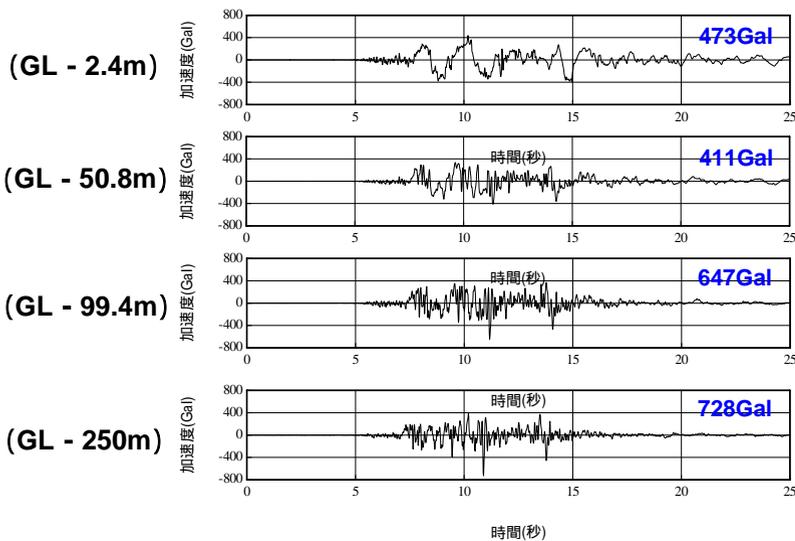


# 観測波形(EW方向)

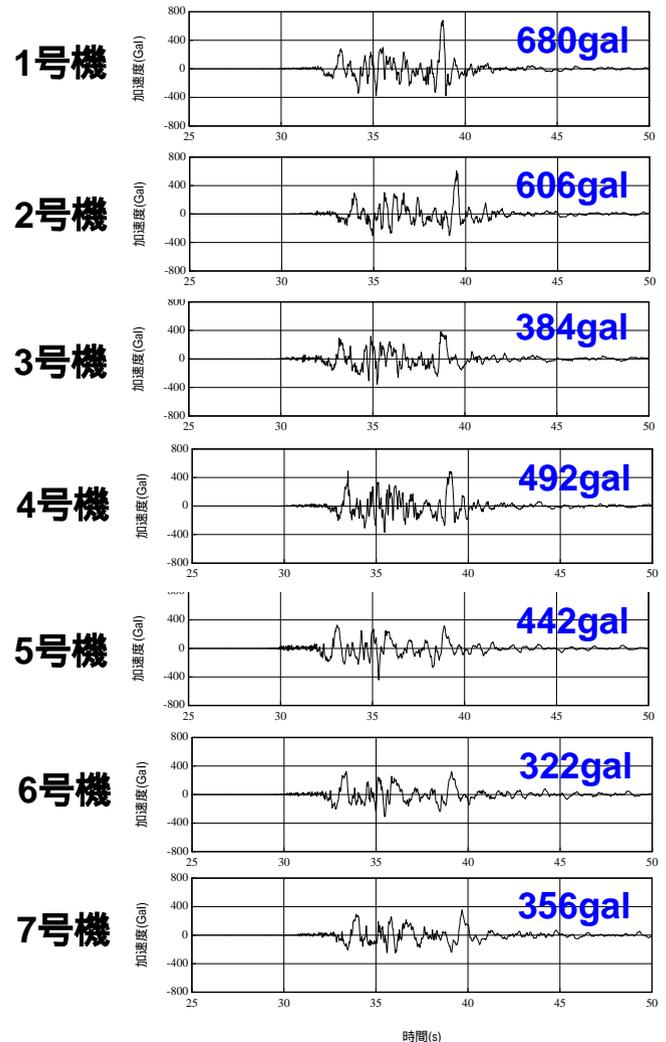
## 加速度記録



### サービスホール地盤系



### 原子炉建屋基礎版上

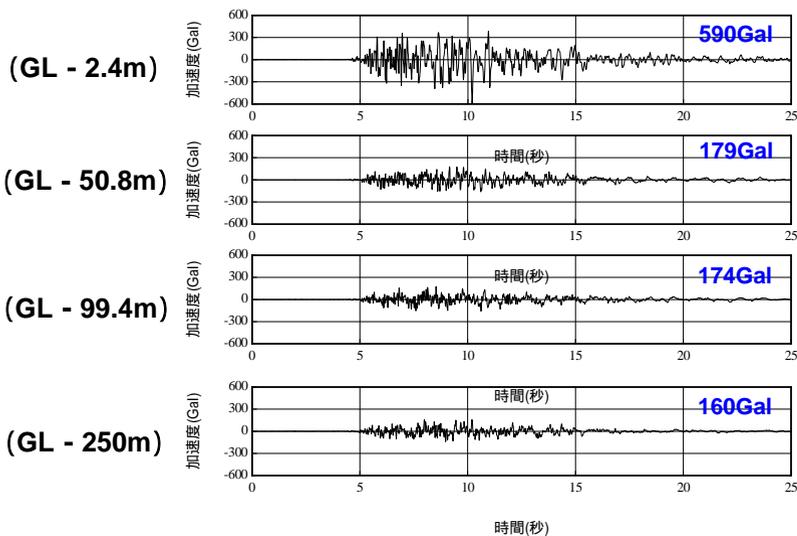


# 観測波形(UD方向)

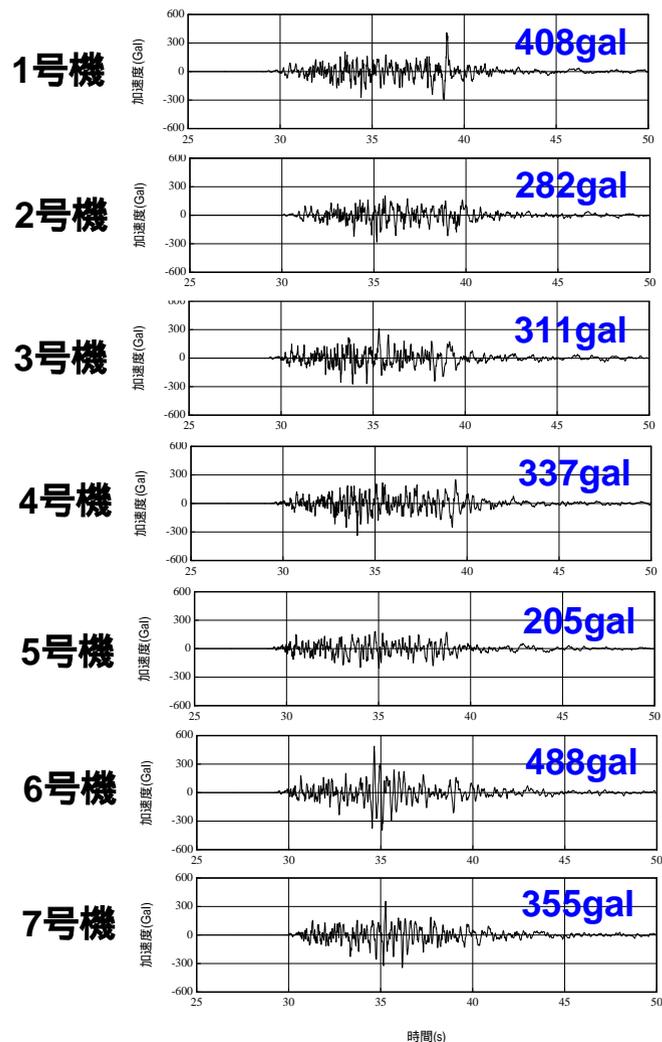
## 加速度記録



### サービスホール地盤系

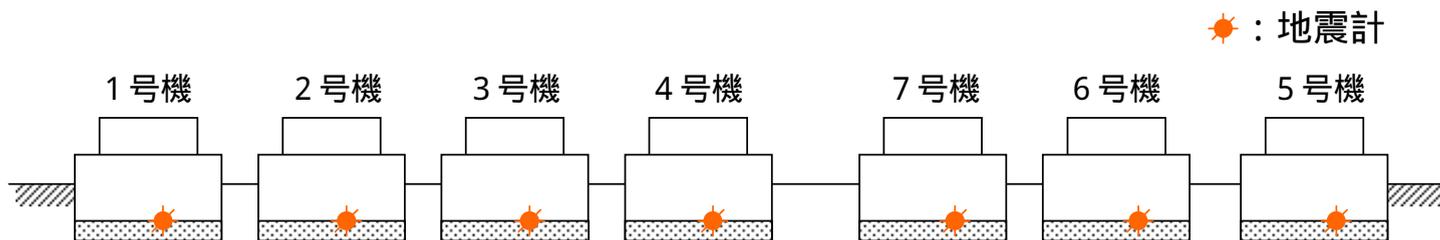


### 原子炉建屋基礎版上



## 現象の整理 (原子炉建屋基礎版上における加速度最大値の比較)

1～4号機側と5～7号機側で最大加速度値の傾向が異なる

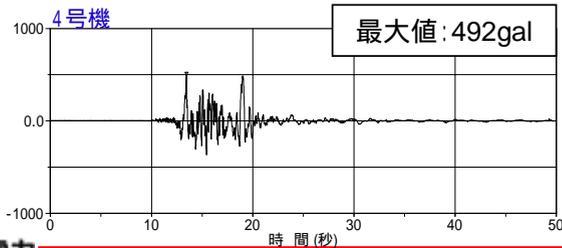
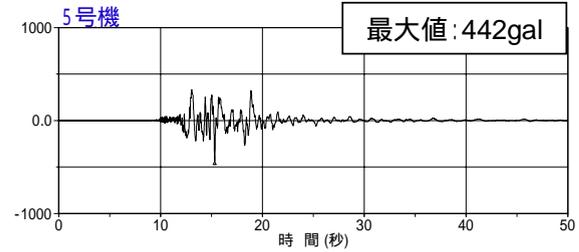
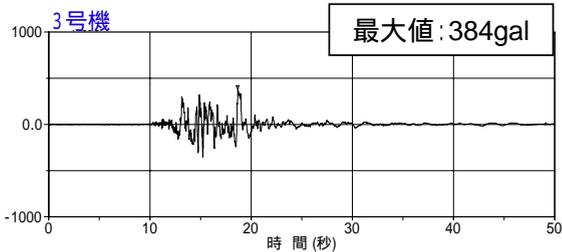
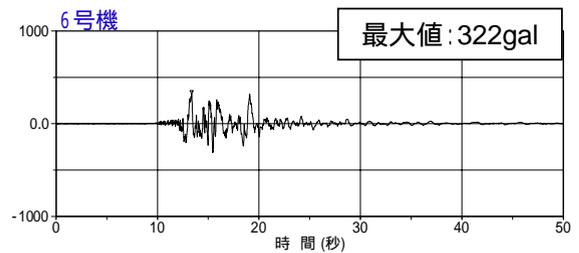
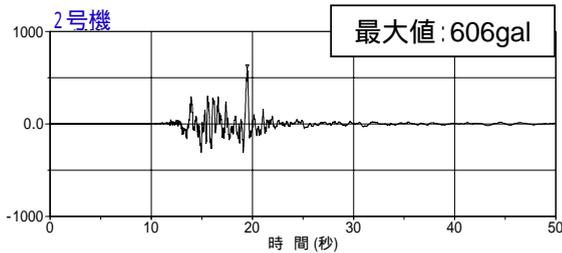
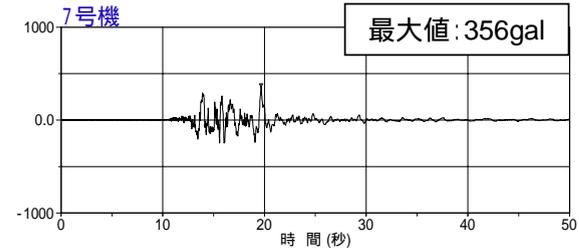
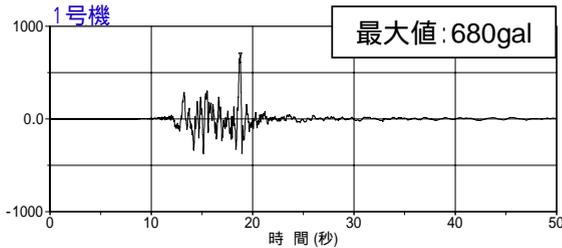


観測された最大加速度 (単位: ガル)

観測値		南北方向	東西方向	上下方向
1号機	最下階 (B5F)	311	680	408
2号機	最下階 (B5F)	304	606	282
3号機	最下階 (B5F)	308	384	311
4号機	最下階 (B5F)	310	492	337
5号機	最下階 (B4F)	277	442	205
6号機	最下階 (B3F)	271	322	488
7号機	最下階 (B3F)	267	356	355

各号機とも、南北方向より東西方向が大きい  
1～4号機と5～7号機の東西方向を比較すると、1～4号機が有意に大きい

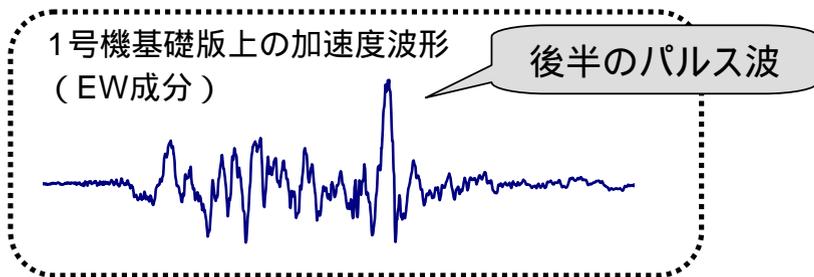
## 現象の整理 (号機間の揺れの比較)



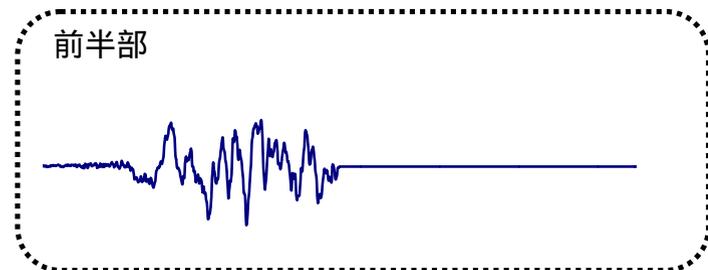
原子炉建屋基礎版上における加速度時刻歴波形(東西方向)

1～4号機側と5～7号機側の加速度最大値の差異は後半のパルス波の振幅によって決まっている

# 現象の整理 (後半のパルス波の特徴)



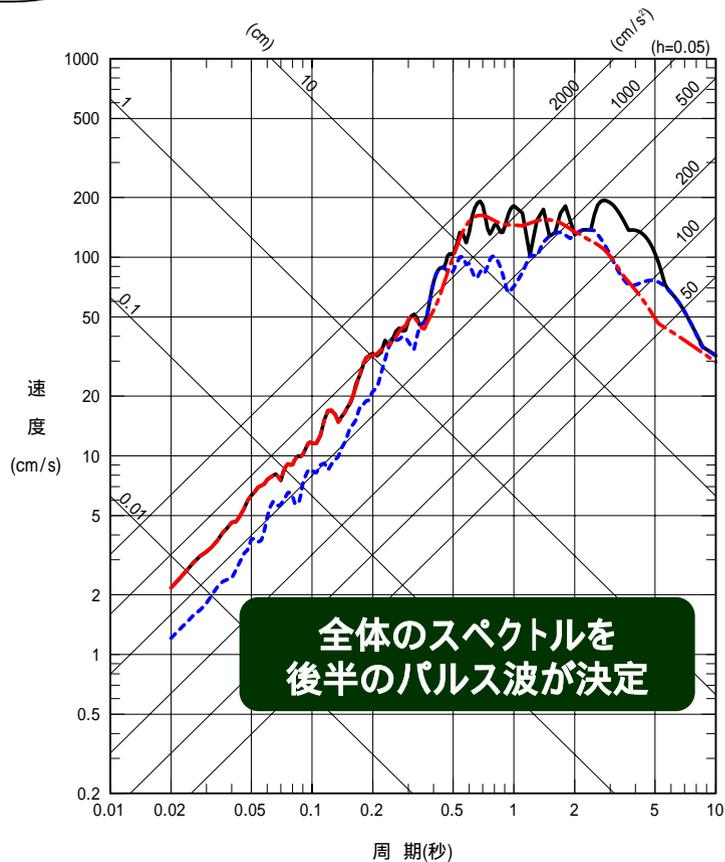
||



+



- 1号機原子炉建屋基礎版上(東西方向)・全波形
- - - 1号機原子炉建屋基礎版上(東西方向)・前半部
- . - 1号機原子炉建屋基礎版上(東西方向)・後半部



## 現象の整理（まとめ）

---

- 原子炉建屋基礎版上の1～4号機側と5～7号機側の東西方向観測波形を比較すると、1～4号機側が有意に大きい

敷地内における加速度応答値に違いがある

- 1号機の基礎版上で得られた波形を、前半部分と後半部分に分けて応答スペクトルを比較した結果、後半部分の応答スペクトルが全波形のスペクトルと対応している。

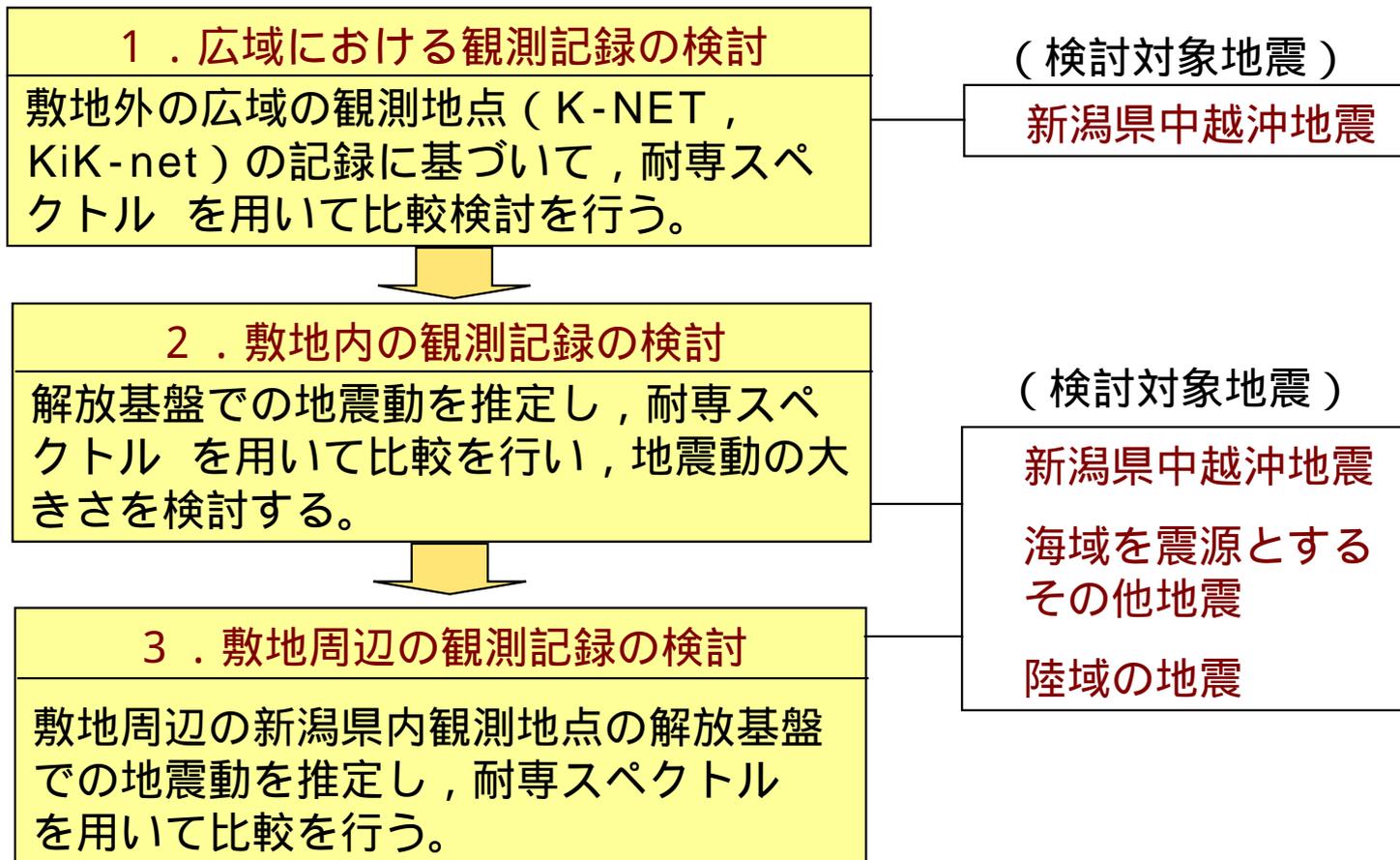
5～7号機側に比べ1～4号機側の基礎版上の最大加速度値に差があるのは、後半のパルス波の影響と考えられる。

これらを踏まえ、中越沖地震で地震動が大きくなった要因分析をする

---

## ( 2 ) 地震動が大きかった要因分析

# 観測記録に基づく検討



Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

# 1 . 広域における観測記録の検討

---

## 中越沖地震における観測記録の検討

- 地震動特性を検討ため，新潟県中越沖地震の本震で得られた広域における観測記録（K-NET、KiK-net地表記録）と耐専スペクトル<sup>1</sup>（内陸補正<sup>2</sup>なし）を比較した。

<sup>1</sup>耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

<sup>2</sup>内陸補正：内陸地震を対象とした補正

以下の条件を満たす地点を選定した。

震源距離が200km以下

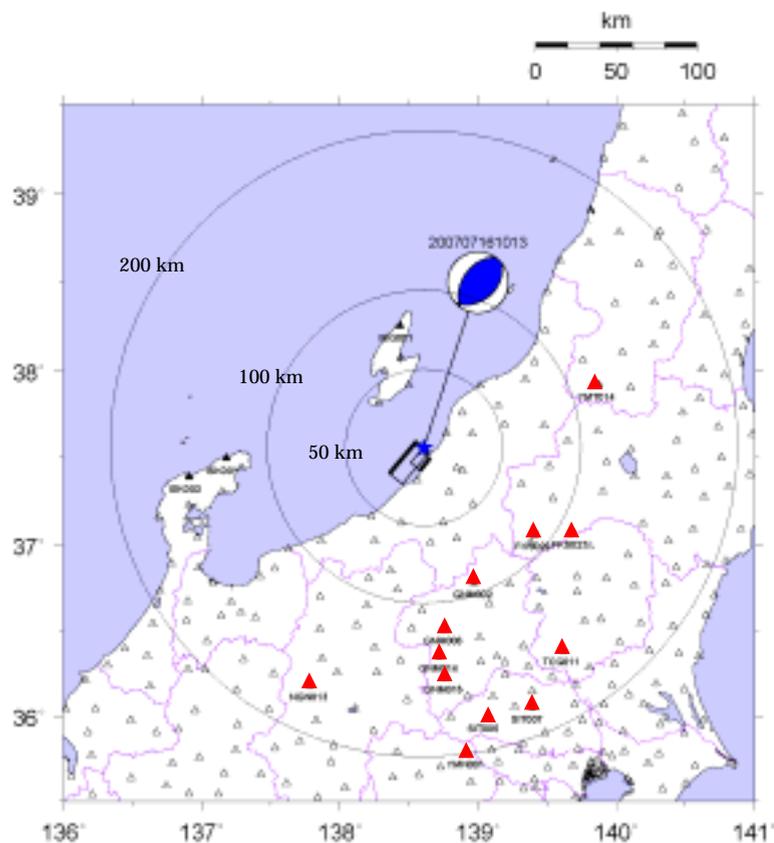
Vs 700m/sの地層が存在

第三紀以前の地質条件

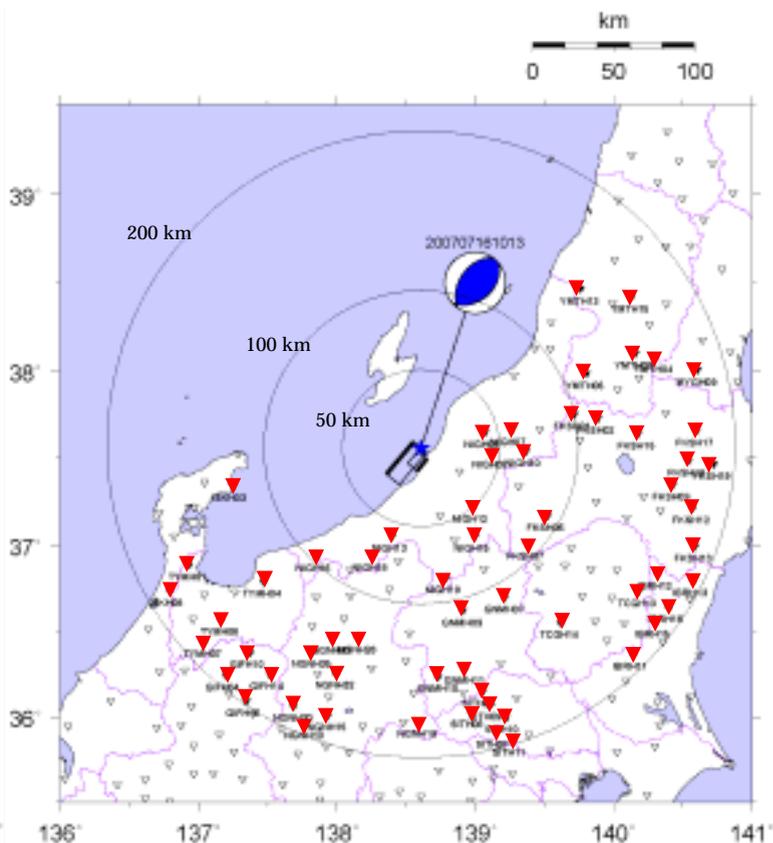
表層の地盤増幅の影響を避けるため、Vs 700m/s以浅の地層における1次卓越周期の2倍以上の帯域を対象とした。

# 1 . 広域における観測記録の検討

## 2007年新潟県中越沖地震の検討対象地点



K-NET地点(  :条件を満たす地点)



KiK-net地点(  :条件を満たす地点)

# 1. 広域における観測記録の検討

水平動の残差(観測記録 / 耐専スペクトル<sup>1</sup> 内陸補正なし)

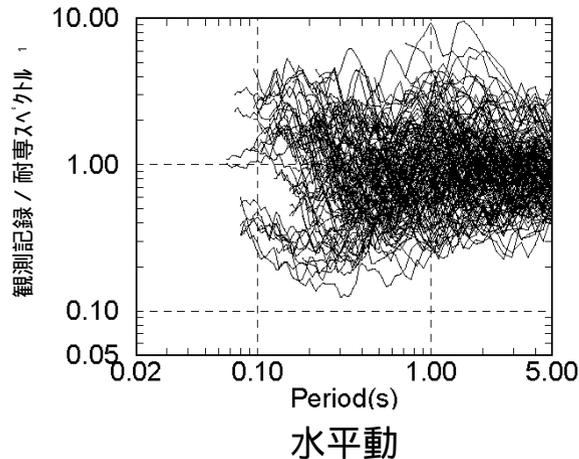
2007年  
新潟県中越沖地震

地点ごとの残差  
の重ね書き

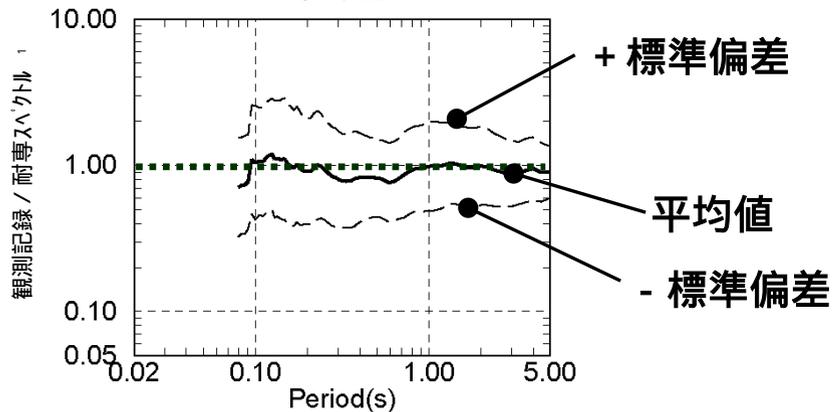
残差の平均値と  
平均 ± 標準偏差

平均値 1.0

内陸補正<sup>2</sup>しない耐専  
スペクトル<sup>1</sup>と対応する



震源距離  
200 km以下



<sup>1</sup>耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

<sup>2</sup>内陸補正：内陸地震を対象とした補正

# 1. 広域における観測記録の検討

上下動の残差(観測記録 / 耐専スペクトル<sup>1</sup> 内陸補正なし)

2007年  
新潟県中越沖地震

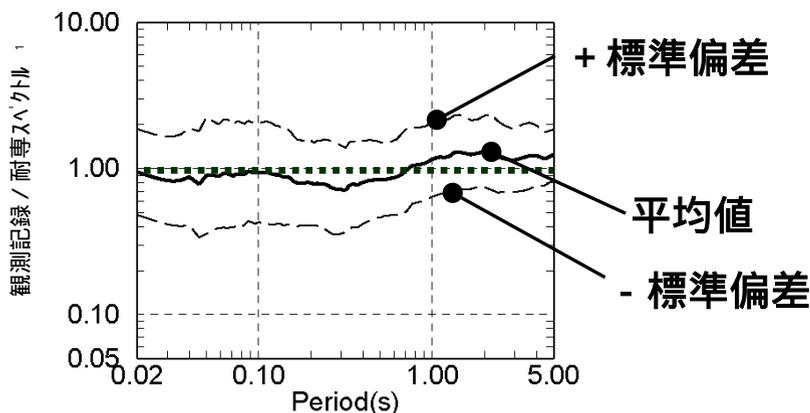
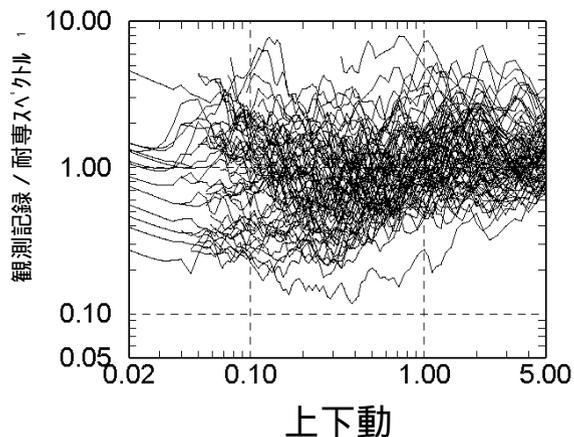
地点ごとの残差  
の重ね書き

中越沖地震は、内陸補正<sup>1</sup>  
しない耐専スペクトル<sup>2</sup>と  
ほぼ対応している

残差の平均値と  
平均 ± 標準偏差

平均値 1.0

内陸補正<sup>2</sup>しない耐専  
スペクトル<sup>1</sup>と対応する



<sup>1</sup>耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

<sup>2</sup>内陸補正：内陸地震を対象とした補正

## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

### 解放基盤表面における地震動の推定

- 中越沖地震の地震動の大きさを検討するため，耐専スペクトル<sup>1</sup>を用いて比較を行う。
- 耐専スペクトル<sup>1</sup>は解放基盤表面で定義されるため，敷地内の観測記録に基づいて地震動を推定する。



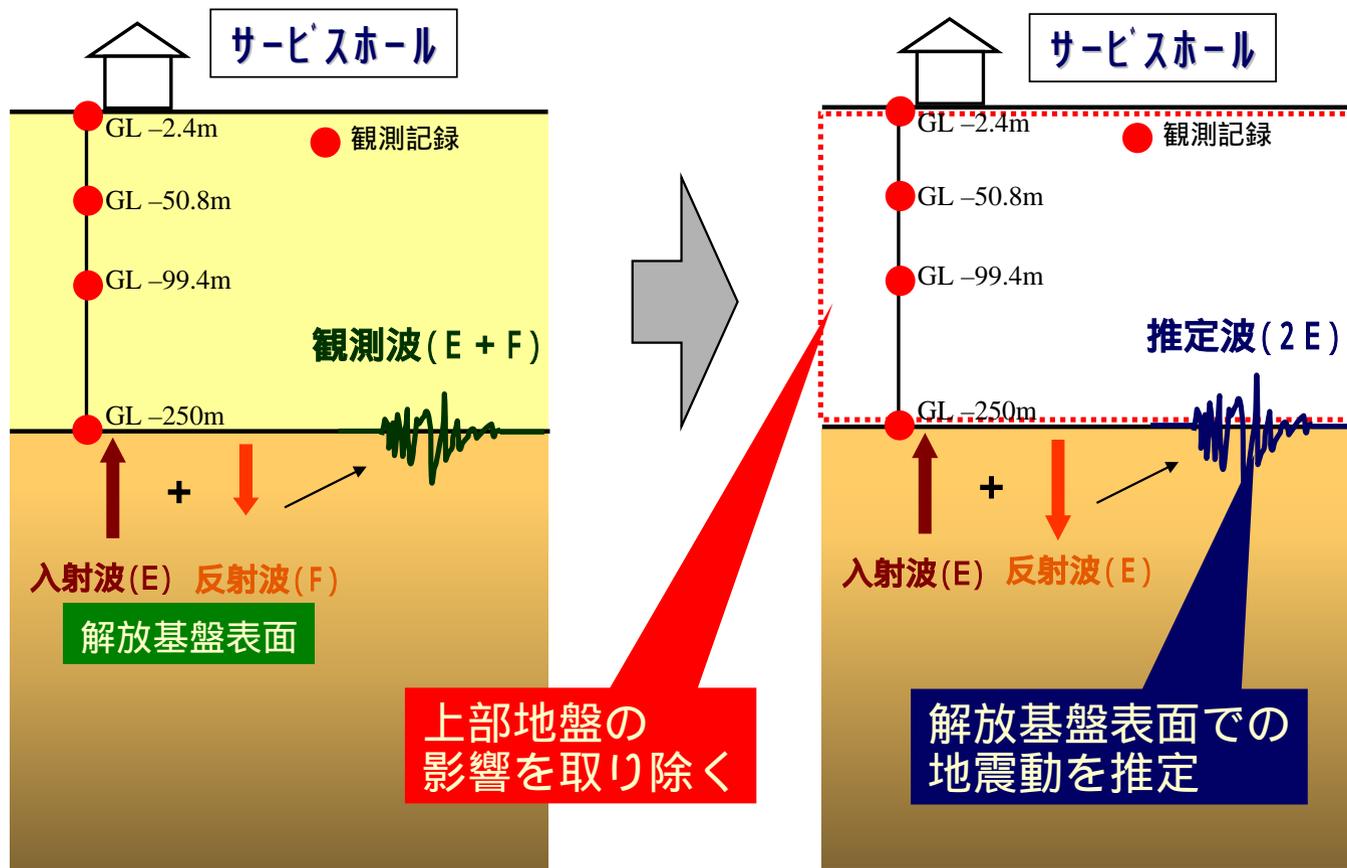
観測記録があるサービスホールの地盤系を用いて，解放基盤表面に相当する地震動を推定する。

次に，各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録に基づいて，解放基盤表面の地震動を推定する。

<sup>1</sup>耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 解放基盤表面における地震動の推定方法（サービshall）



推定方法の概念

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 解放基盤表面における地震動の推定方法（サービッスール）

#### 地盤モデル同定

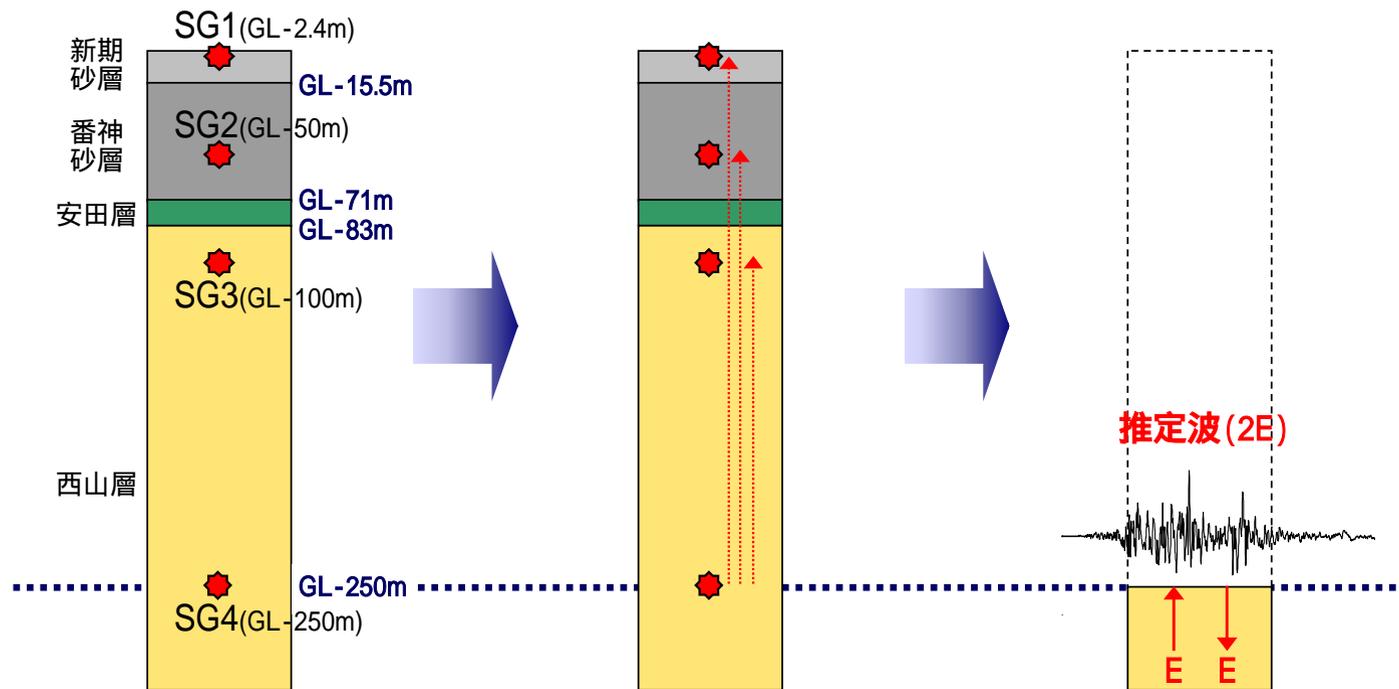
各区間の伝達関数と各深度の観測最大加速度値を同時逆解析して同定

#### 妥当性確認

GL-250m記録を入力とした観測波形のシミュレーション解析により確認

#### 解放基盤波推定

解析によりGL-250m位置の解放基盤波を推定(推定にはGL-250m記録を使用)

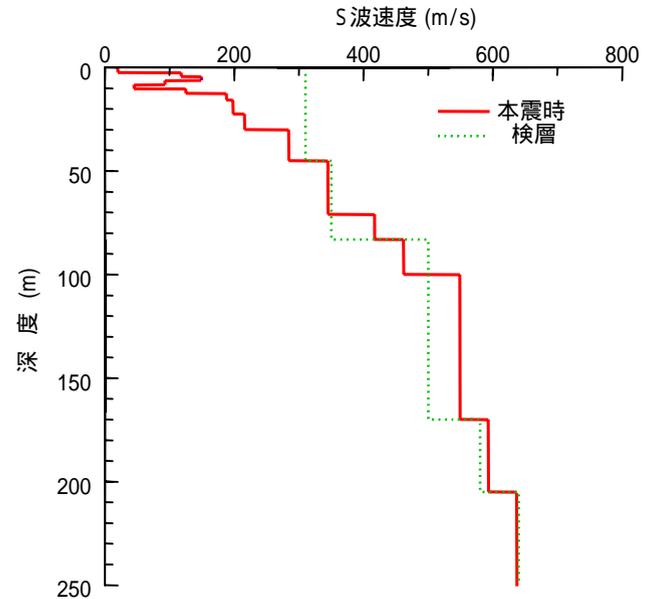


## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

### 地盤モデルの同定結果 (NS方向) (サビ・ホール)

— 地震計の設置位置

土質区分	層 No.	深度 GL (m)	層厚 (m)	(t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Qo	n	
		0						
新期砂層	1	-2.4	2.4	1.57	20	1.9	0.53	2.6
	2	-4.4	2	1.57	120	2.4	1.07	1.9
	3	-6.4	2	1.57	150	1.5	0.66	1.7
	4	-8.4	2	1.57	93	1.5	1.04	1.3
	5	-10.4	2	1.57	45	0.50	0.65	0.50
	6	-12.4	2	1.57	120	1.1	0.87	1.3
	7	-15.5	3.1	1.57	190			
番神砂層	8	-22.5	7	1.57	200	1.5	1.10	2.0
	9	-30	7.5	1.57	220			
	10	-45	15	1.57	280	1.0	0.21	4.1
	11a	-50	5	1.65	350			
	11b	-71	21	1.65				
安田層	12	-83	12	1.65	420	1.1	1.17	10
西山層	13	-100	17	1.64	460			
	14	-170	70	1.64	550			
	15	-205	35	1.67	590			
	16	-250	45	1.74	640			



仮定したQ値モデル:  $Q(f)=Q_0f^n+$

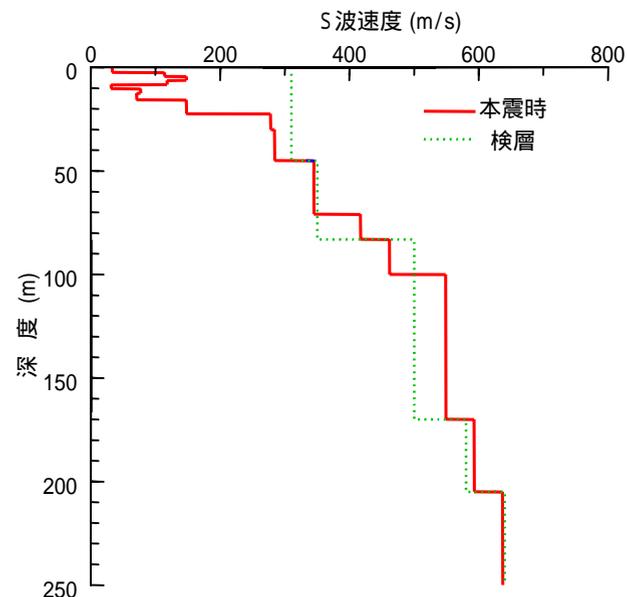
地盤モデル (NSモデル)

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 地盤モデルの同定結果 (EW方向) (サービ・スル)

— 地震計の設置位置

土質区分	層No.	深度GL (m)	層厚 (m)	(t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Qo	n	
		0						
新期砂層	1	-2.4	2.4	1.57	33	1.6	0.77	2.1
	2	-4.4	2	1.57	110	5.4	0.83	4.4
	3	-6.4	2	1.57	150	3.9	0.90	3.2
	4	-8.4	2	1.57	120	2.9	0.95	0.86
	5	-10.4	2	1.57	31	0.51	1.11	0.52
	6	-12.4	2	1.57	77	7.1	1.04	2.7
	7	-15.5	3.1	1.57	71			
番神砂層	8	-22.5	7	1.57	150	1.4	1.09	1.3
	9	-30	7.5	1.57	280			
	10	-45	15	1.57	280	1.0	0.21	4.1
	11a	-50	5	1.65	350			
	11b	-71	21	1.65				
安田層	12	-83	12	1.65	420	1.1	1.17	10
西山層	13	-100	17	1.64	460			
	14	-170	70	1.64	550			
	15	-205	35	1.67	590			
	16	-250	45	1.74	640			

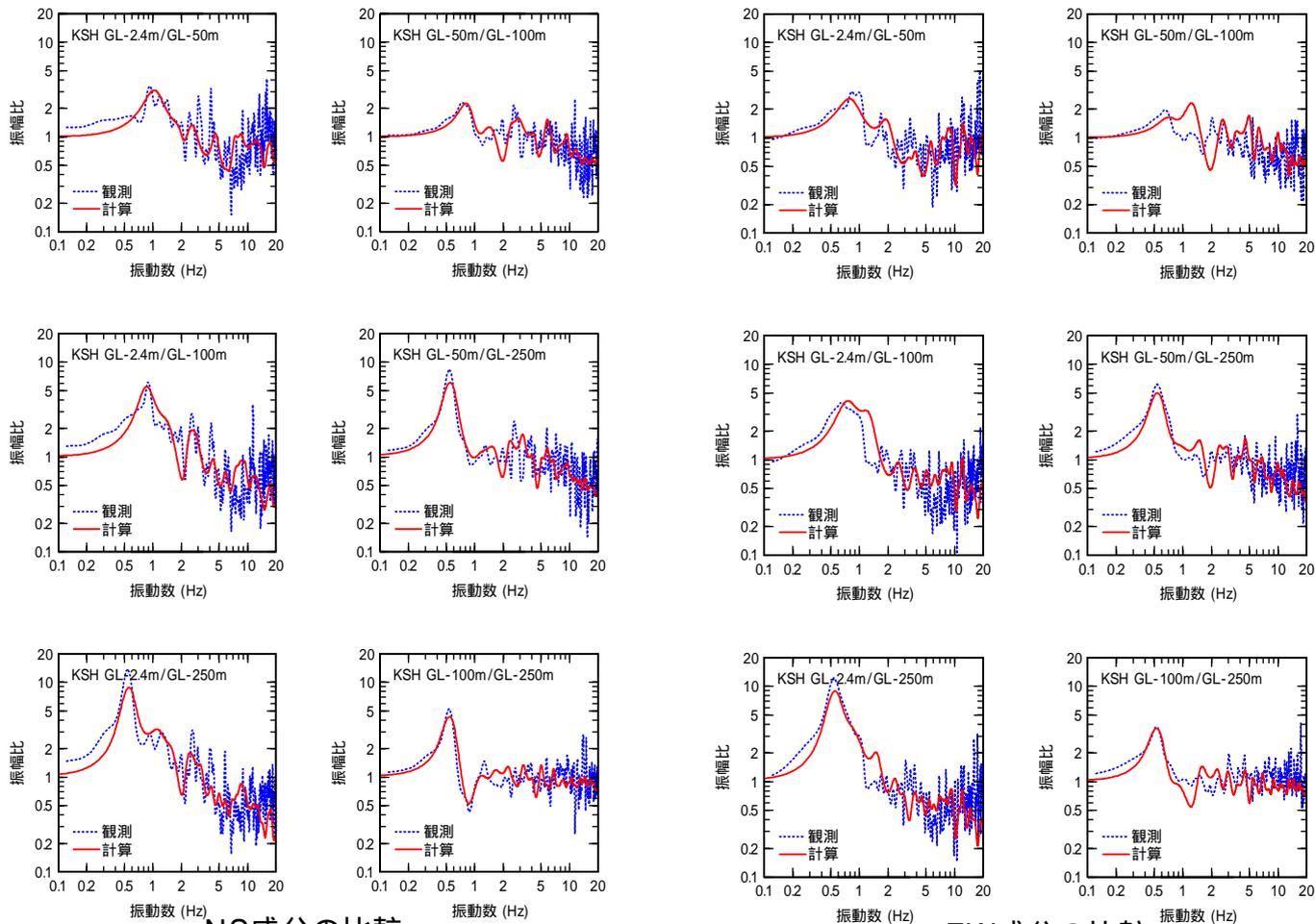


仮定したQ値モデル:  $Q(f) = Q_0 f^n +$

地盤モデル (EWモデル)

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 観測記録と計算結果の伝達関数の比較 (サービホール)

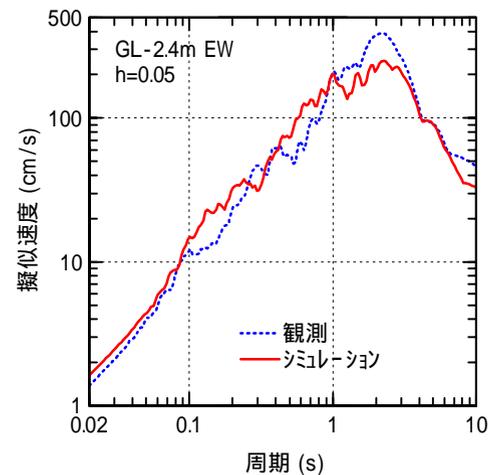
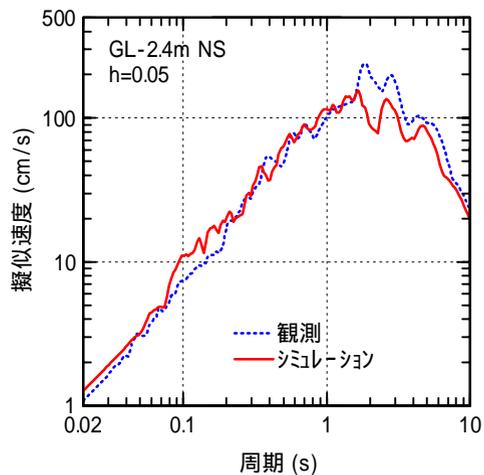
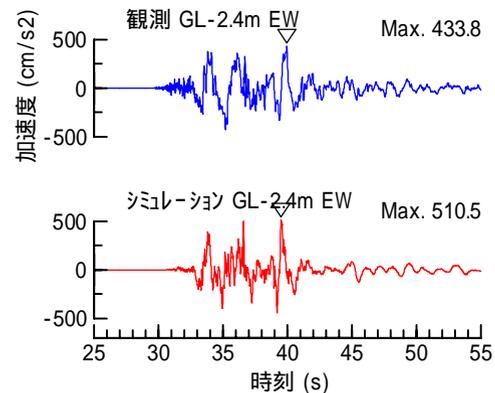
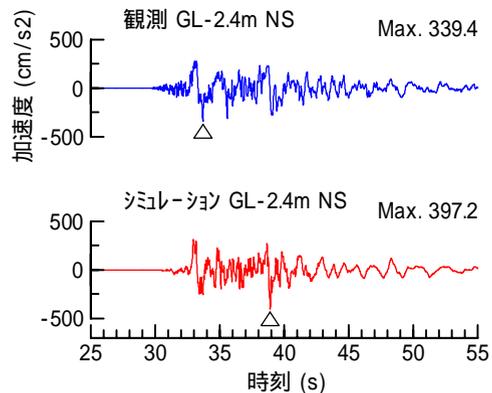
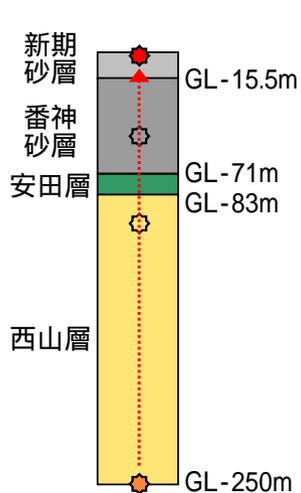


NS成分の比較

EW成分の比較

## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

### GL-2.4m観測波形のシミュレーション結果

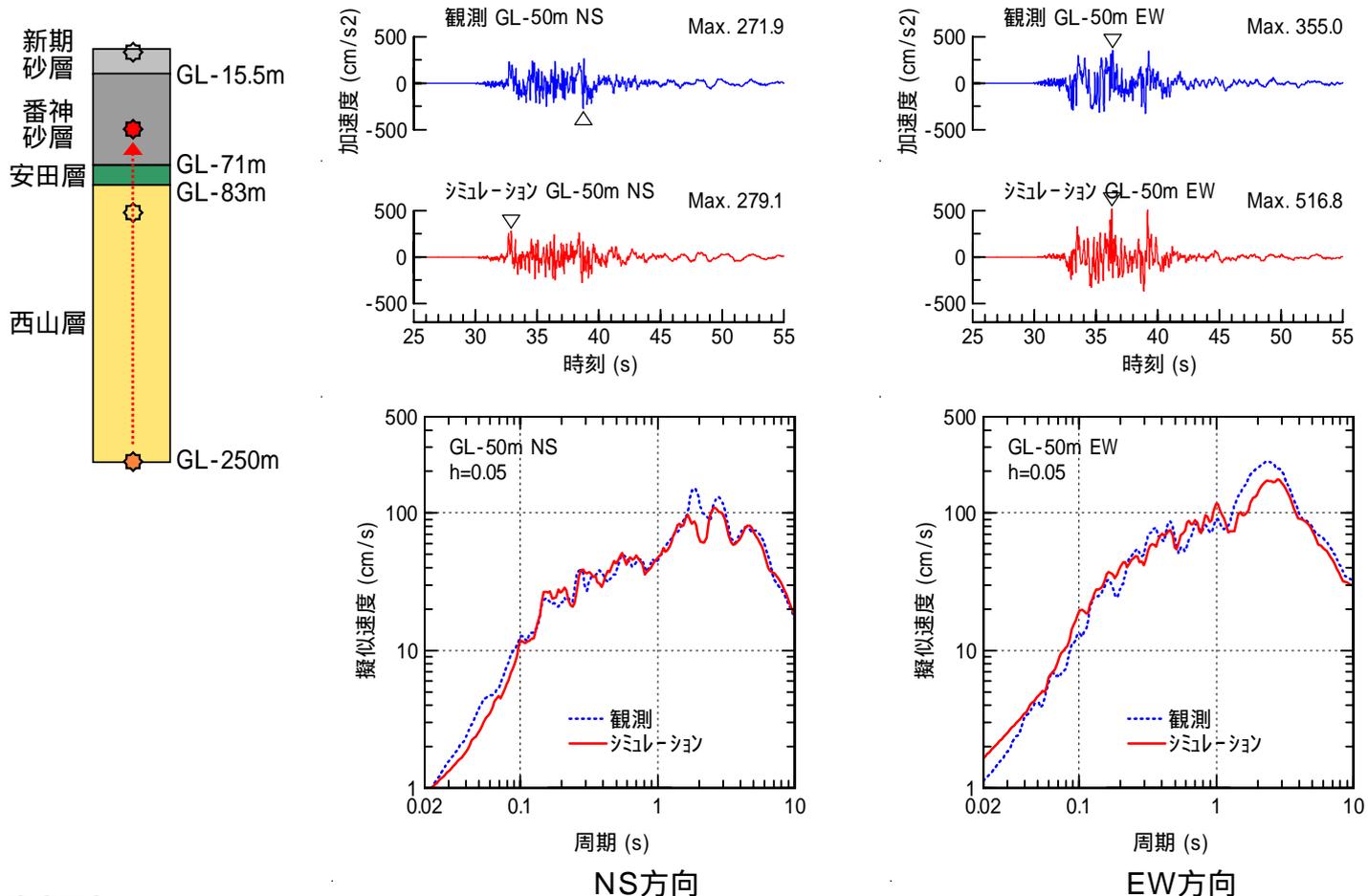


NS方向

EW方向

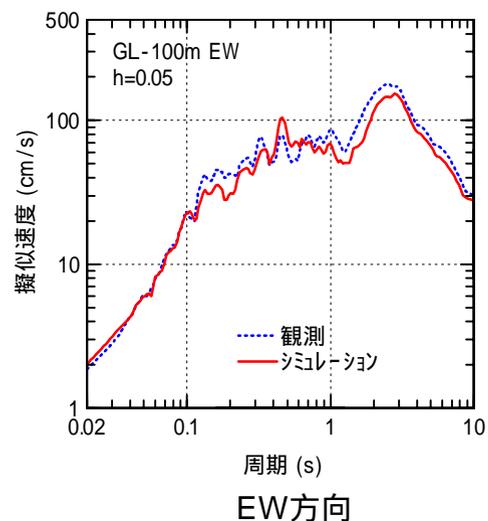
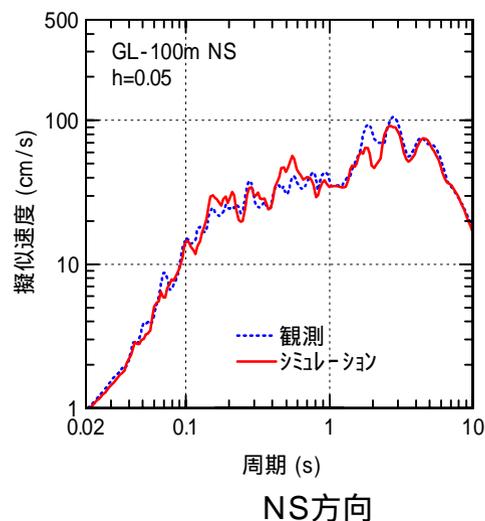
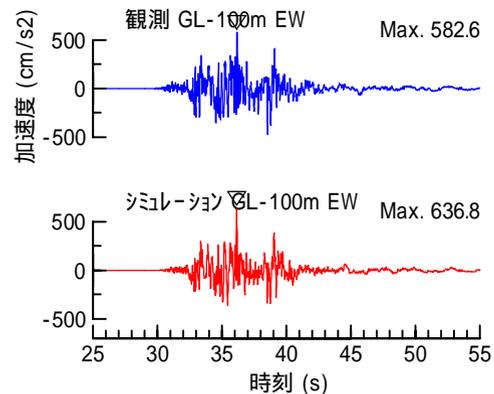
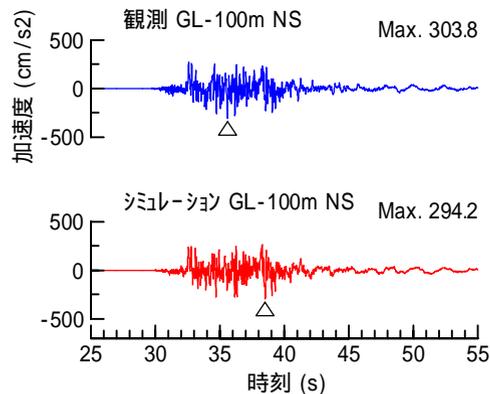
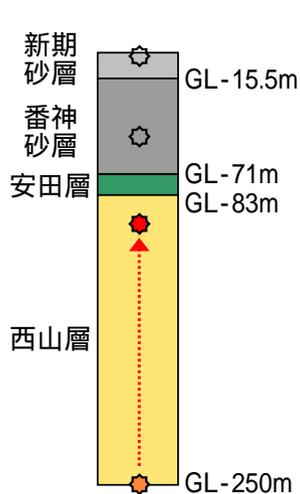
## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### GL-50m観測波形のシミュレーション結果



## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

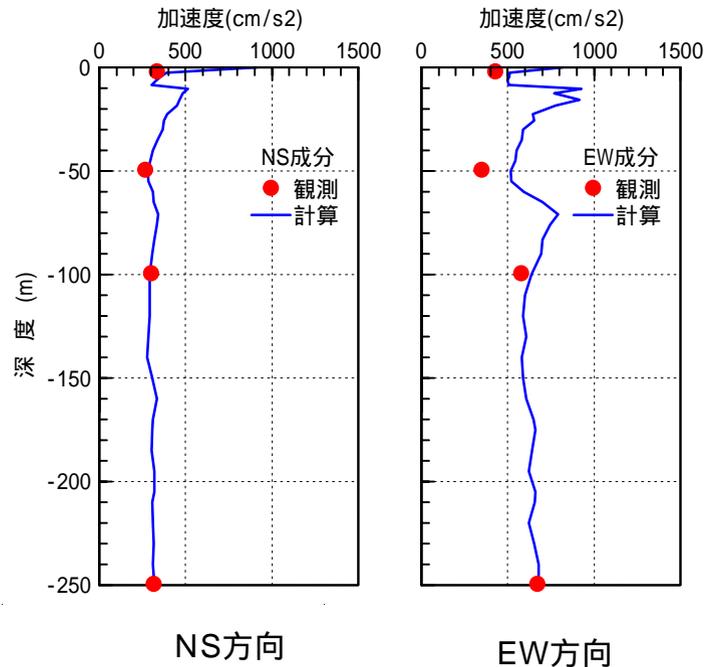
### GL-100m観測波形のシミュレーション結果



## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

### 最大加速度・最大ひずみのシミュレーション結果

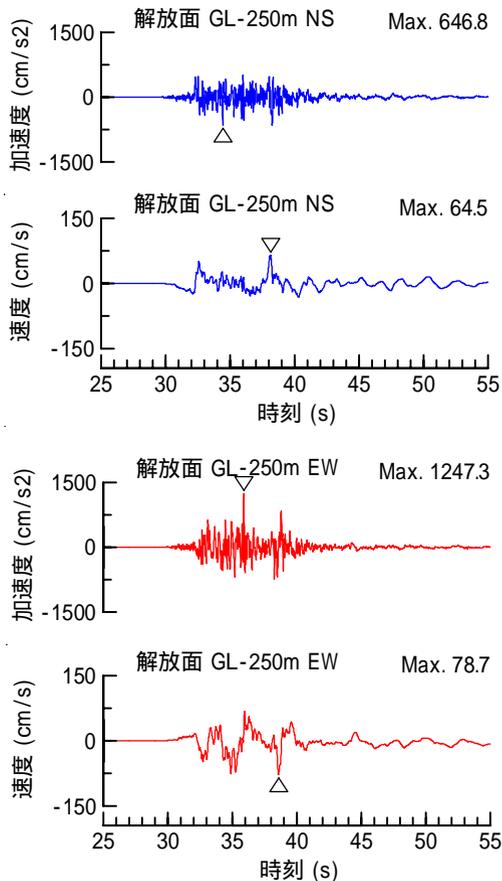
#### 最大加速度



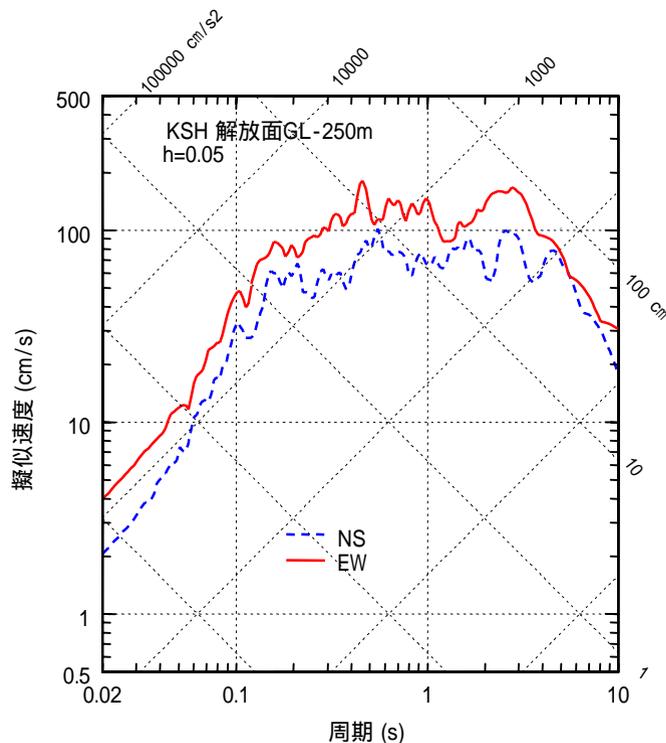
\* 入力波 = GL-250m記録

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 解放基盤表面における地震動の推定 (サービ・スール)

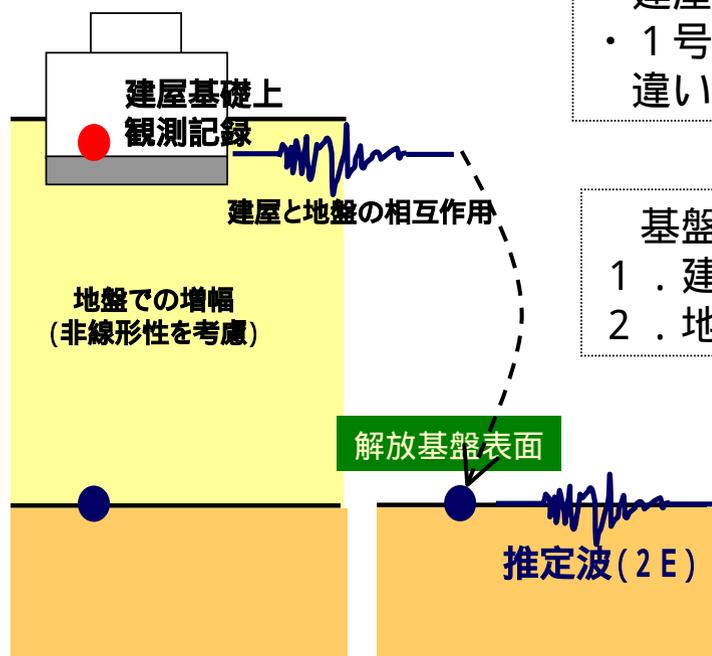


### GL-250m位置における 解放基盤表面の推定波



## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

### 原子炉建屋基礎版上の記録による地震動の推定



建屋基礎記録による基盤波の推定について

- ・ 1号機～7号機での基盤波を推定し、地震動の違いについて分析する。

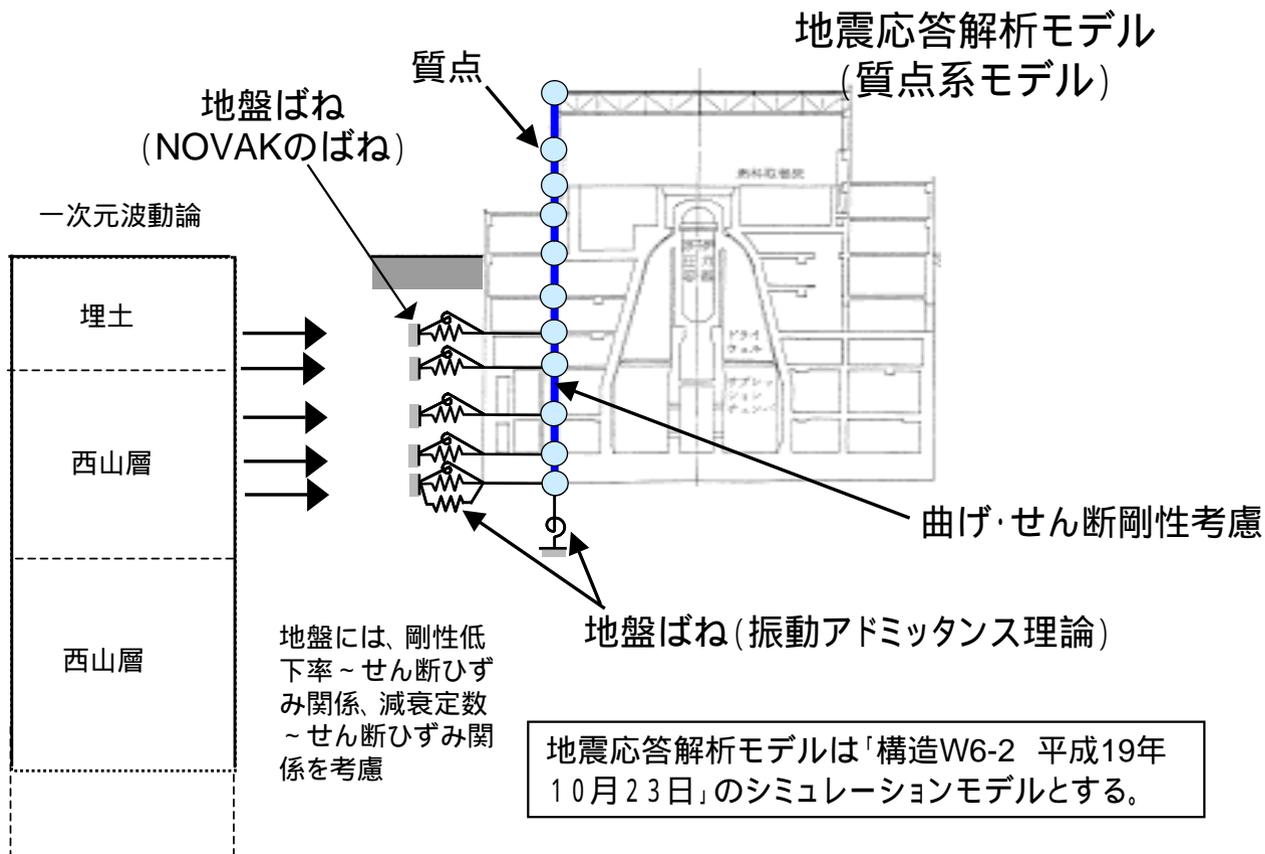
#### 基盤波の推定の基本方針

- 1 . 建屋と地盤の相互作用を考慮する。
- 2 . 地盤の非線形性 (等価線形) を考慮する。

建屋基礎記録による基盤波の想定概念

## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

### 基盤波の推定に用いる地震応答解析モデル



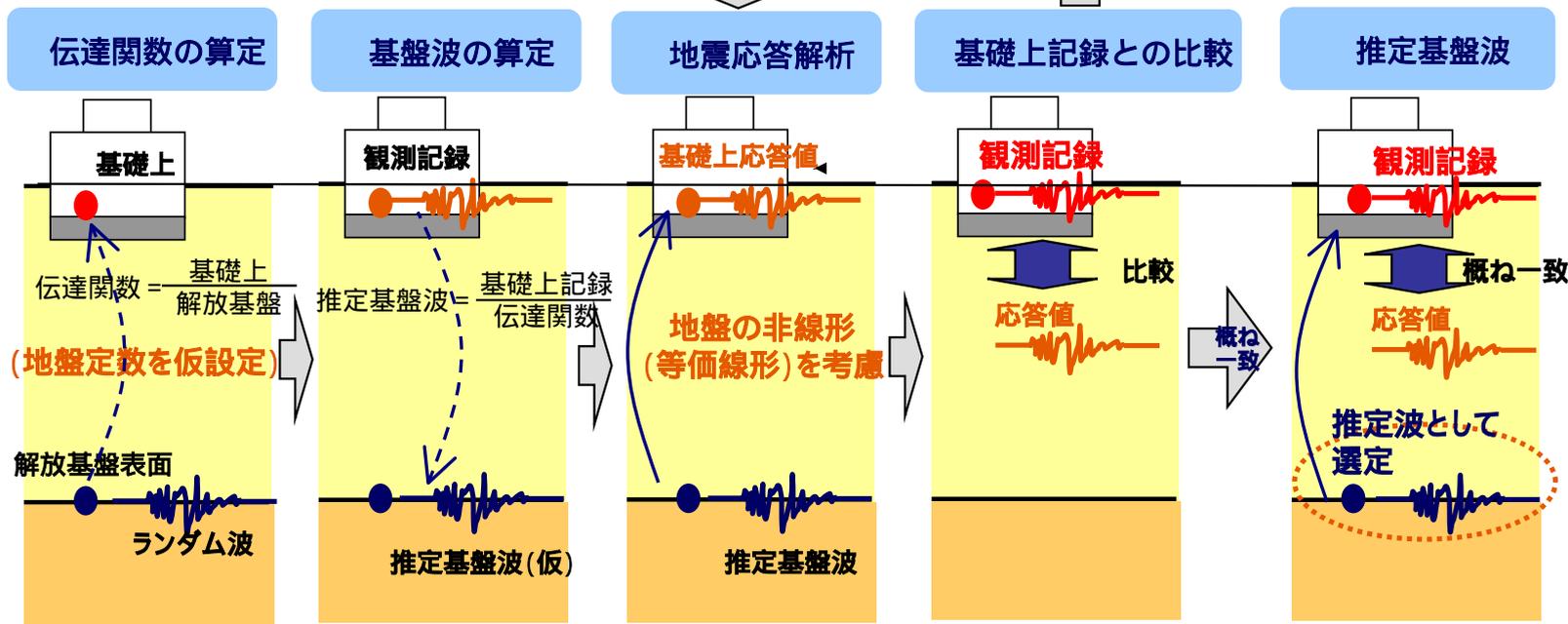
## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 基盤波の推定フロー

地盤の非線形を考慮した反復計算により、  
基盤波を推定する。

### 基盤波の補正

基礎上の観測記録と応答波形の比を推定基盤波  
に乗じることにより、推定基盤波を補正する。



ランダム波を解放基盤面に入力し基礎上で解放基盤面の伝達関数を算定する。

基礎上観測記録を伝達関数で除し推定基盤波(仮)を算定する。

推定基盤波を入力し地盤の非線形を考慮して基礎上の応答を算定する。

基礎上の応答を観測記録と比較する。応答と観測に差がある場合は、推定基盤波を補正する。

観測記録と概ね整合するまで繰り返し、整合した状態の入力波を最終的な推定基盤波として選定する。

## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

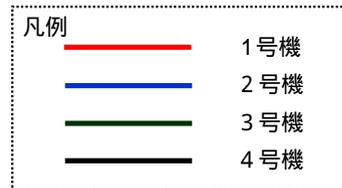
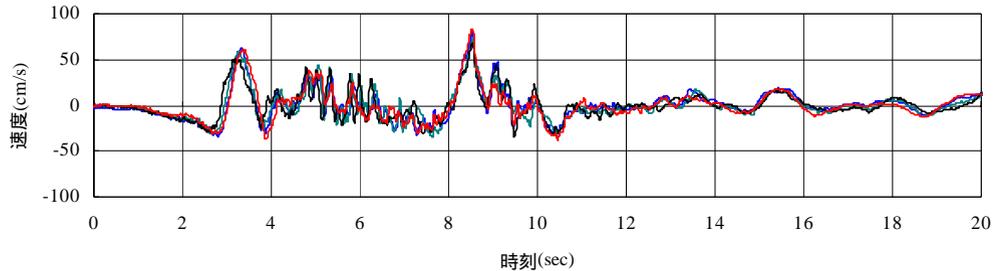
原子炉建屋基礎版上での観測記録と推定された解放基盤表面での加速度の比較

< EW方向 >

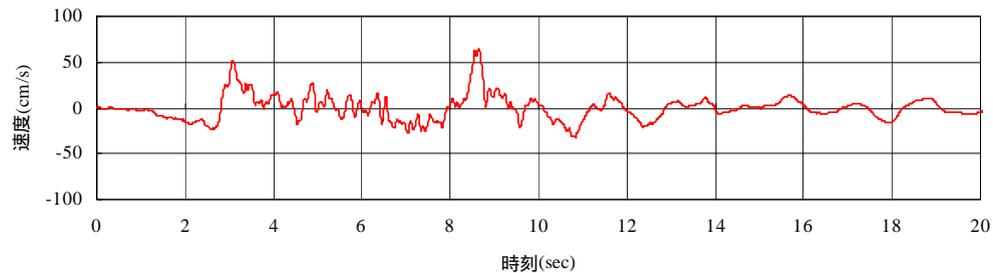
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
原子炉建屋基礎版上での 観測記録 (Gal)	680	606	384	492	442	322	356
推定された解放基盤 表面での加速度 (Gal)	1699	1011	1113	1478	766	539	613

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

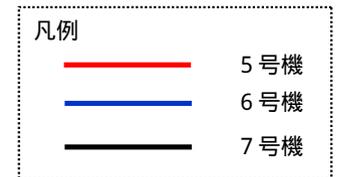
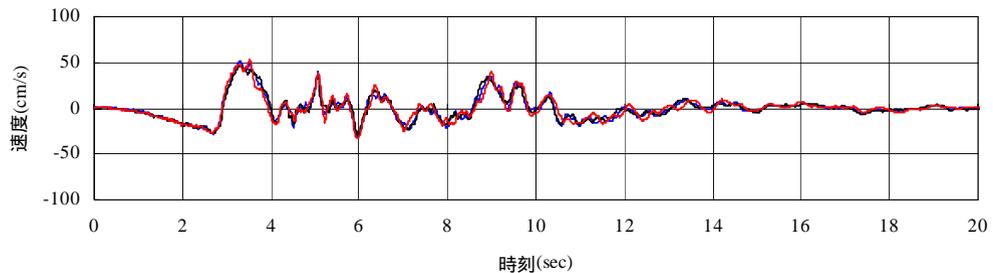
### 推定された速度波形の比較 (NS方向)



1 ~ 4号機



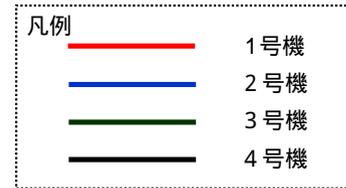
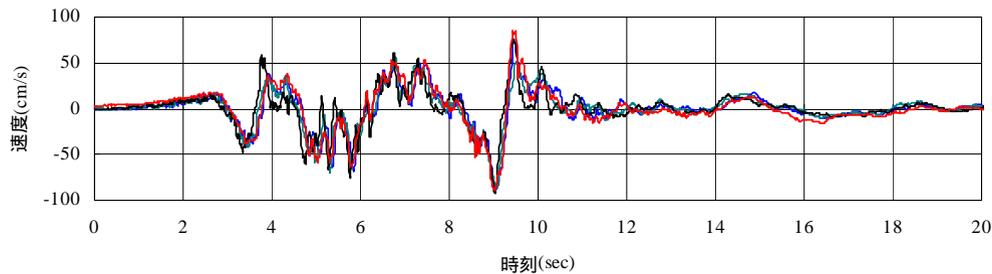
サービスホール



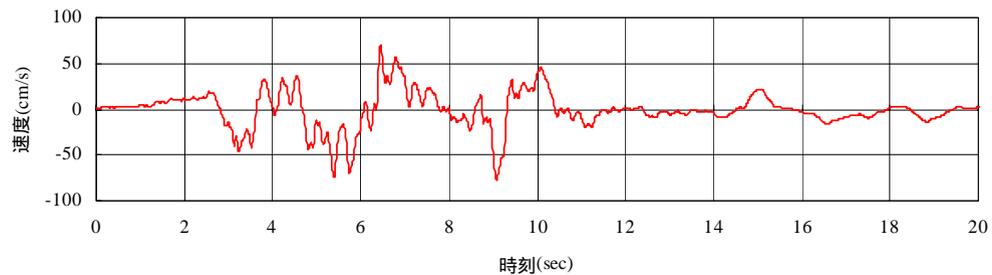
5 ~ 7号機

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

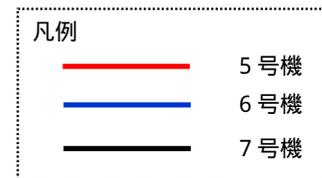
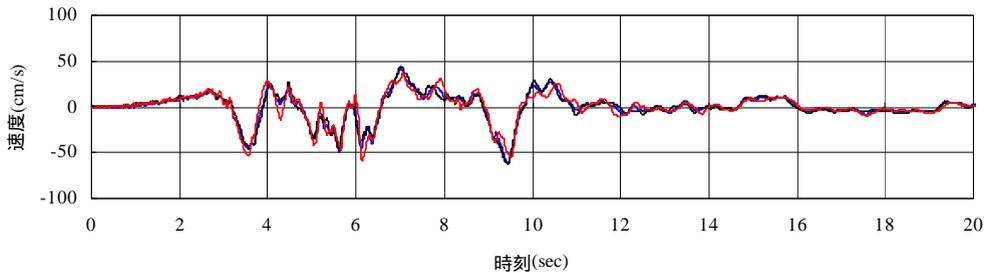
### 推定された速度波形の比較 (EW方向)



1 ~ 4号機



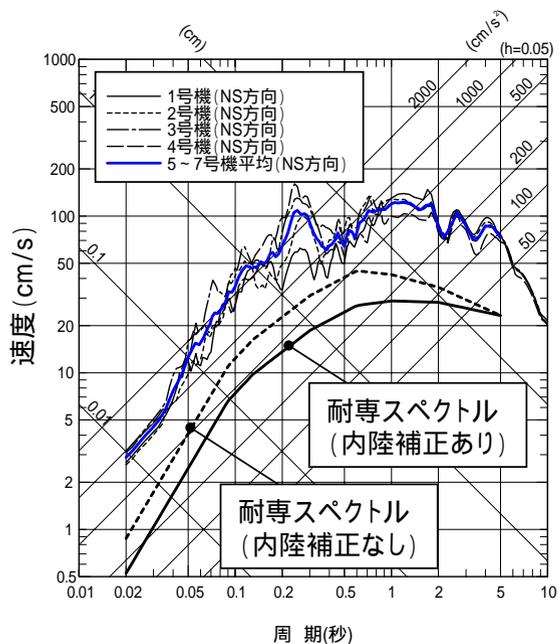
サービスホール



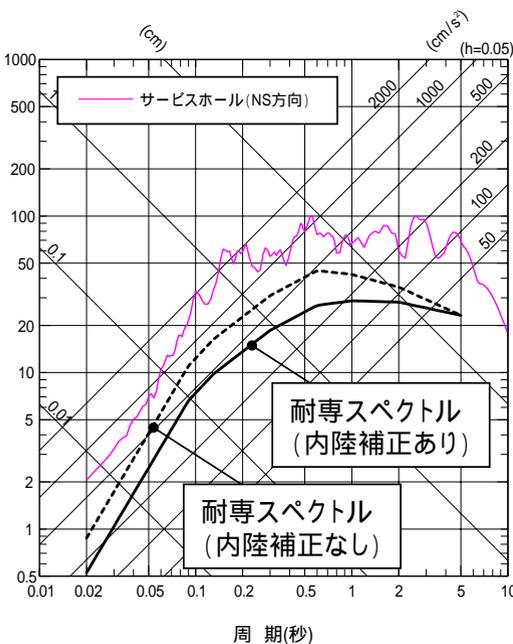
5 ~ 7号機

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

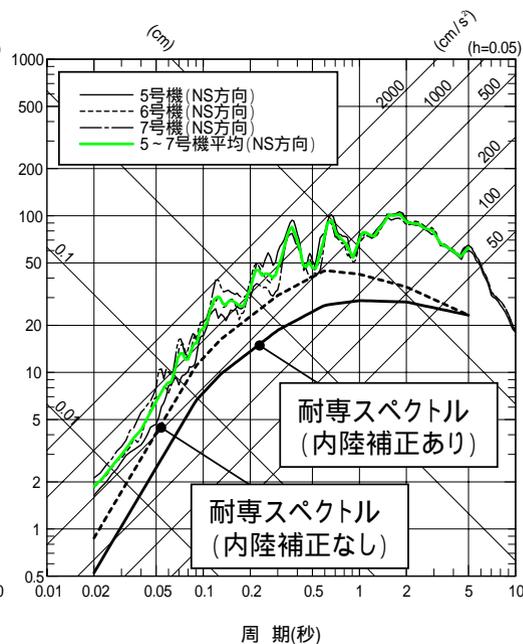
### 推定波の応答スペクトル (NS方向)



1号機側



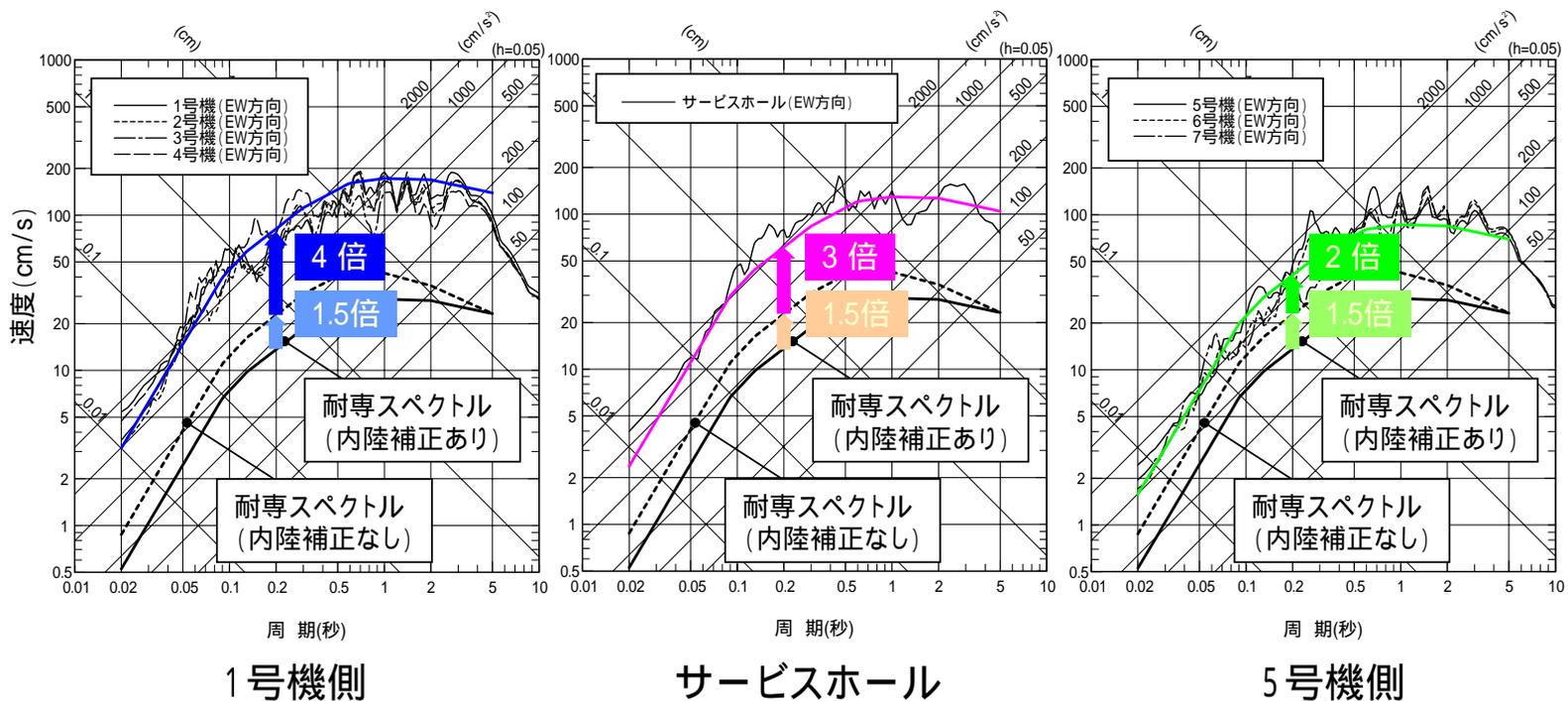
サービスホール



5号機側

## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 推定波の応答スペクトル (EW方向)



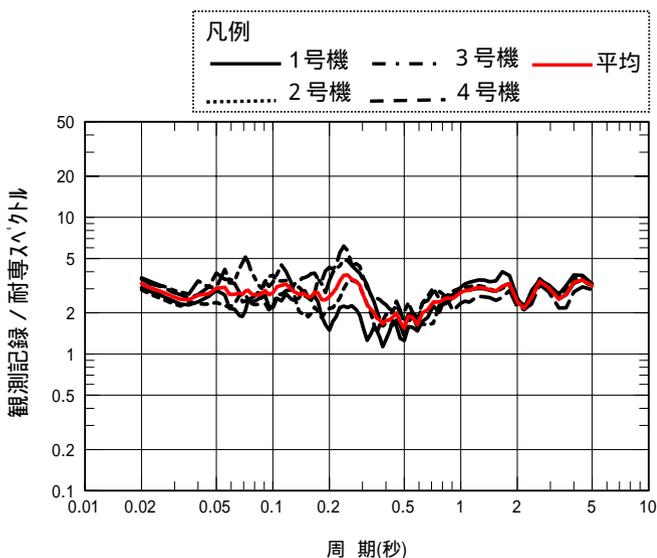
## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

### 残差（観測記録（推定波） / 耐専スペクトル < 内陸補正なし >）の比較

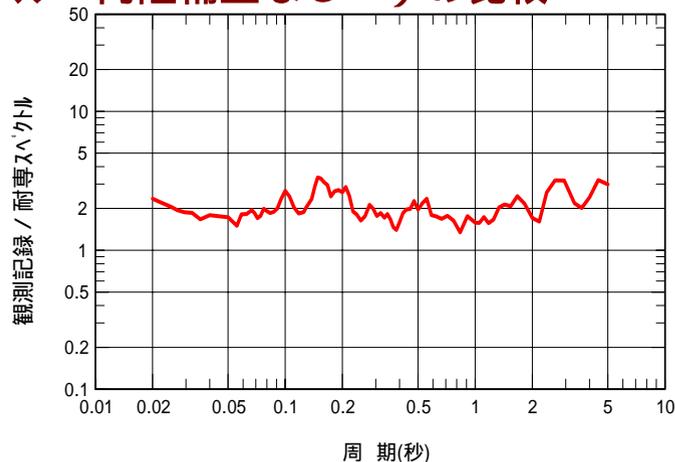
< NS 方向 >

それぞれの地点で耐専スペクトル  
（補正なし）との残差が1を上回る

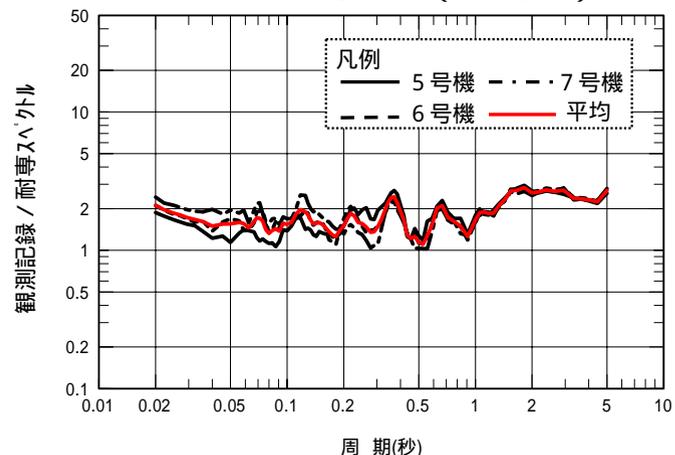
1～4号機と5～7号機において残差に  
違いがある



1号機～4号機（NS方向）



サービスホール（NS方向）



5号機～7号機（NS方向）

差あり

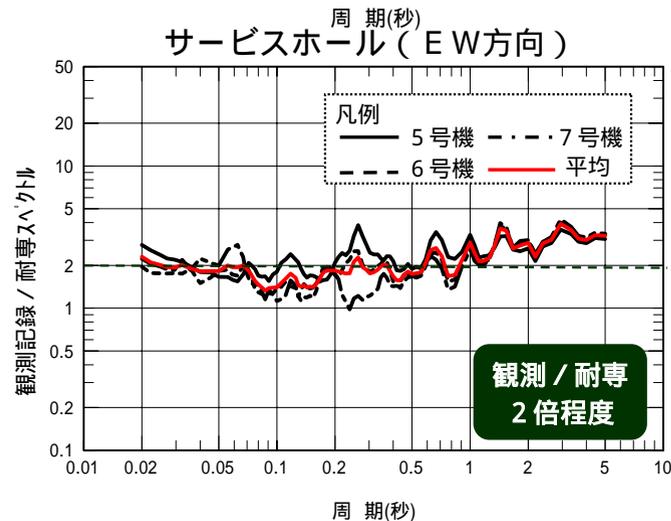
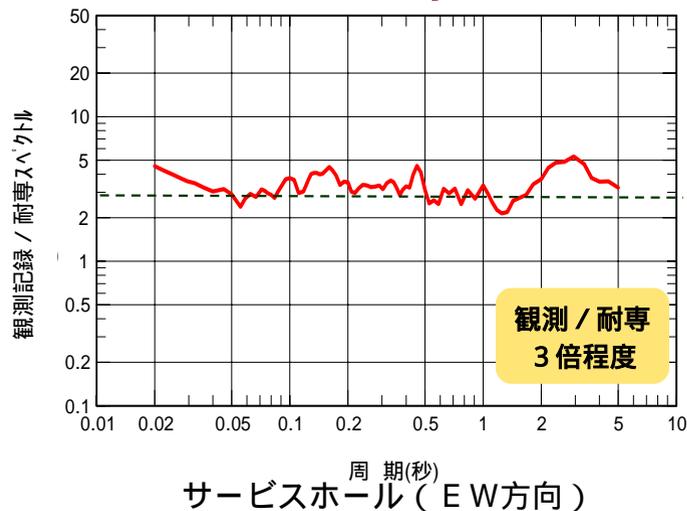
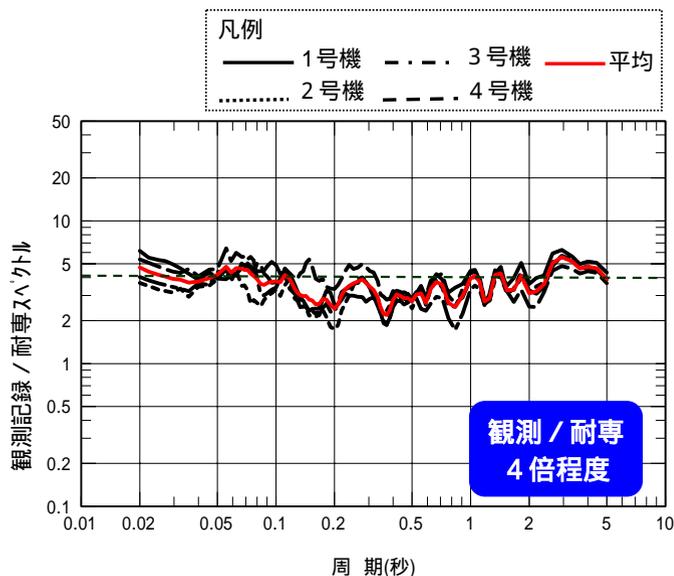
## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討

残差（観測記録（推定波） / 耐専スペクトル < 内陸補正なし >）の比較

< E W方向 >

それぞれの地点で耐専スペクトル  
（補正なし）との残差が1を上回る

1～4号機と5～7号機において残差に  
違いがある



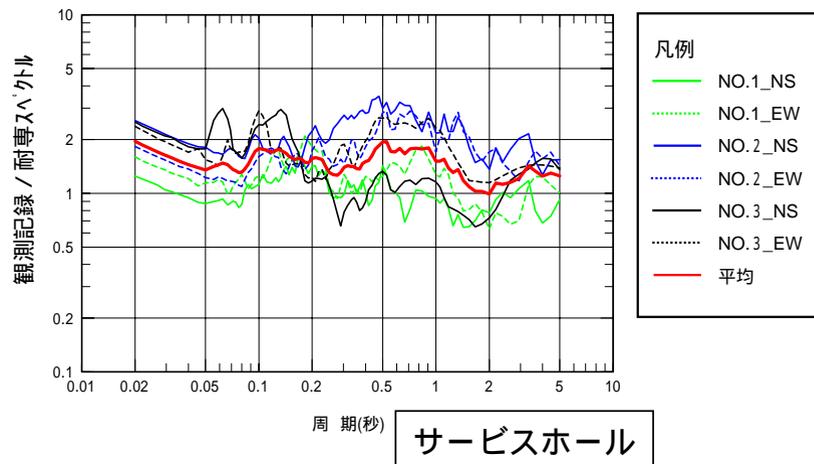
1号機～4号機（E W方向）

5号機～7号機（E W方向）

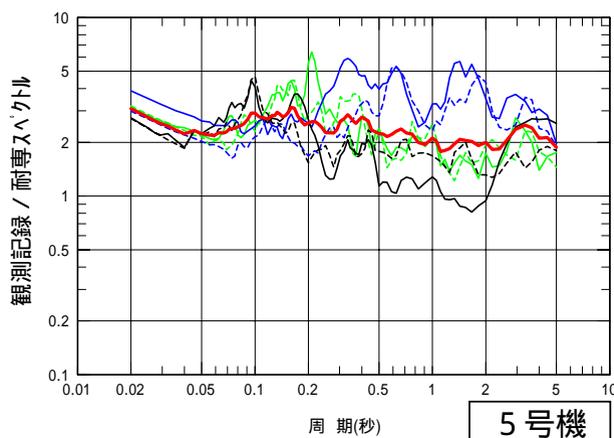
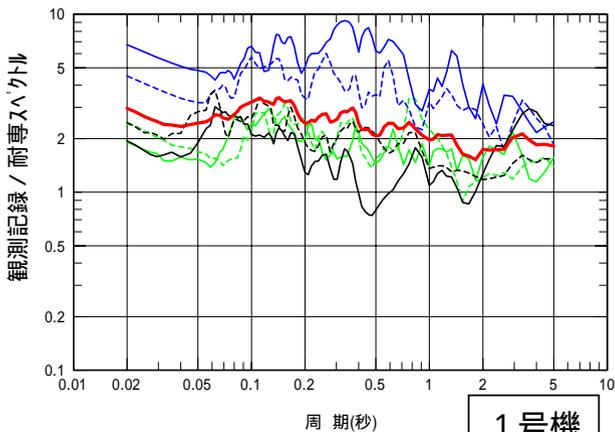
## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討 海域を震源とする地震における検討



残差 (観測記録 (推定波) / 耐専スペクトル <内陸補正なし>)



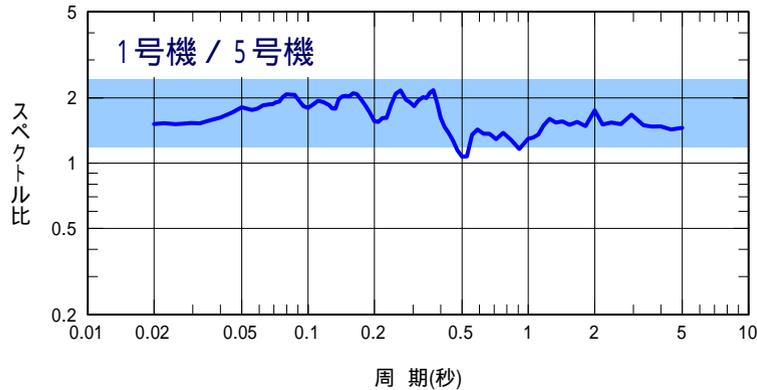
検討に用いた地震の震央分布



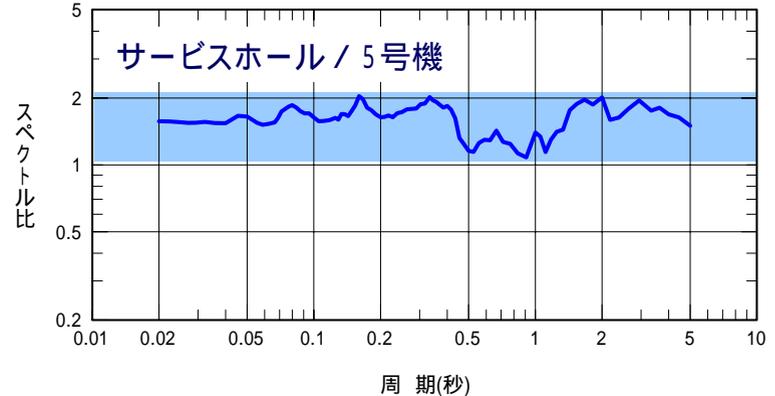
## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

### 海域を震源とする地震における比較

1号機平均 / 5号機平均, サービスホール平均 / 5号機平均を比較



1号機平均 / 5号機平均  
= 2 倍程度

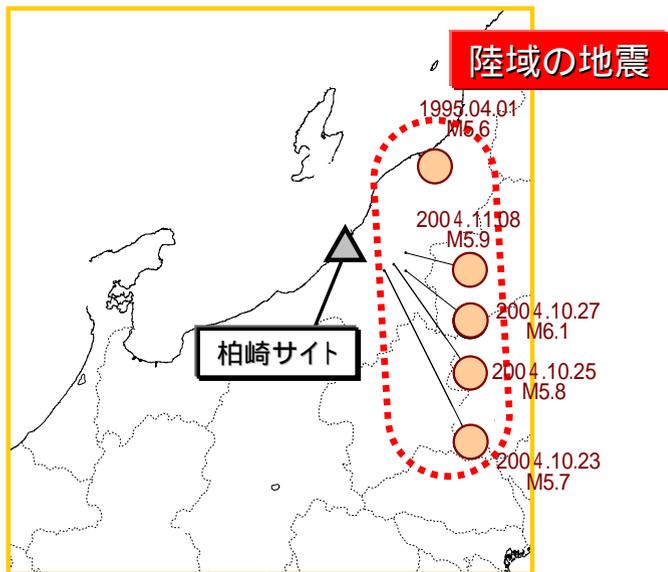


サービスホール平均 / 5号機平均  
= 1.5 ~ 2 倍

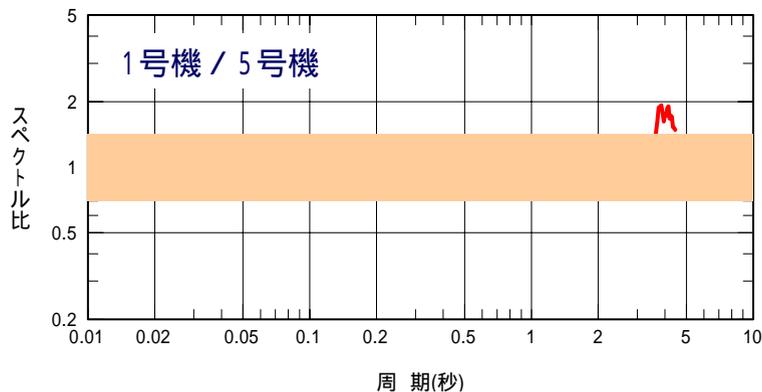
## 2. 敷地内の観測記録に基づく検討

陸域を震源とする地震における検討

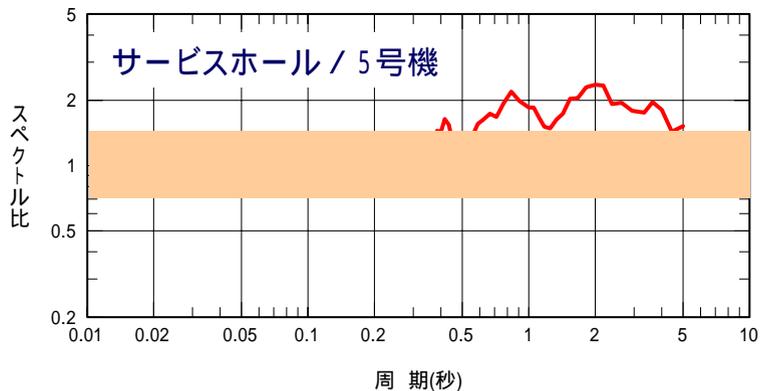
1号機平均 / 5号機平均 , サービスホール平均 / 5号機平均を比較



検討に用いた地震の震央分布



1号機 5号機



(参考) サービスホール 5号機

## 2 . 敷地内の観測記録に基づく検討（まとめ）

### 中越沖地震の観測記録に基づく検討 まとめ

- 推定波の応答スペクトルは，NS方向とEW方向ともに耐専スペクトル<sup>1</sup>より大きい
- 推定波の応答スペクトル（EW方向）と内陸補正しない<sup>2</sup>耐専スペクトル<sup>1</sup>を比較すると，1～4号機側で4倍程度，サービスホールで3倍程度，5～7号機側で2倍程度の差がある

### 中越沖地震以外の観測記録に基づく検討 まとめ

- 海域と陸域で発生する地震で敷地内の地震動の増幅率の傾向が異なる
- 1号機と5号機を比較すると，海域で発生する地震は，2：1程度であるのに対し，陸域で発生する地震は，差がみられない

<sup>1</sup>耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

<sup>2</sup>内陸補正：内陸地震を対象とした補正

### 3 . 敷地周辺の観測記録に基づく検討

---

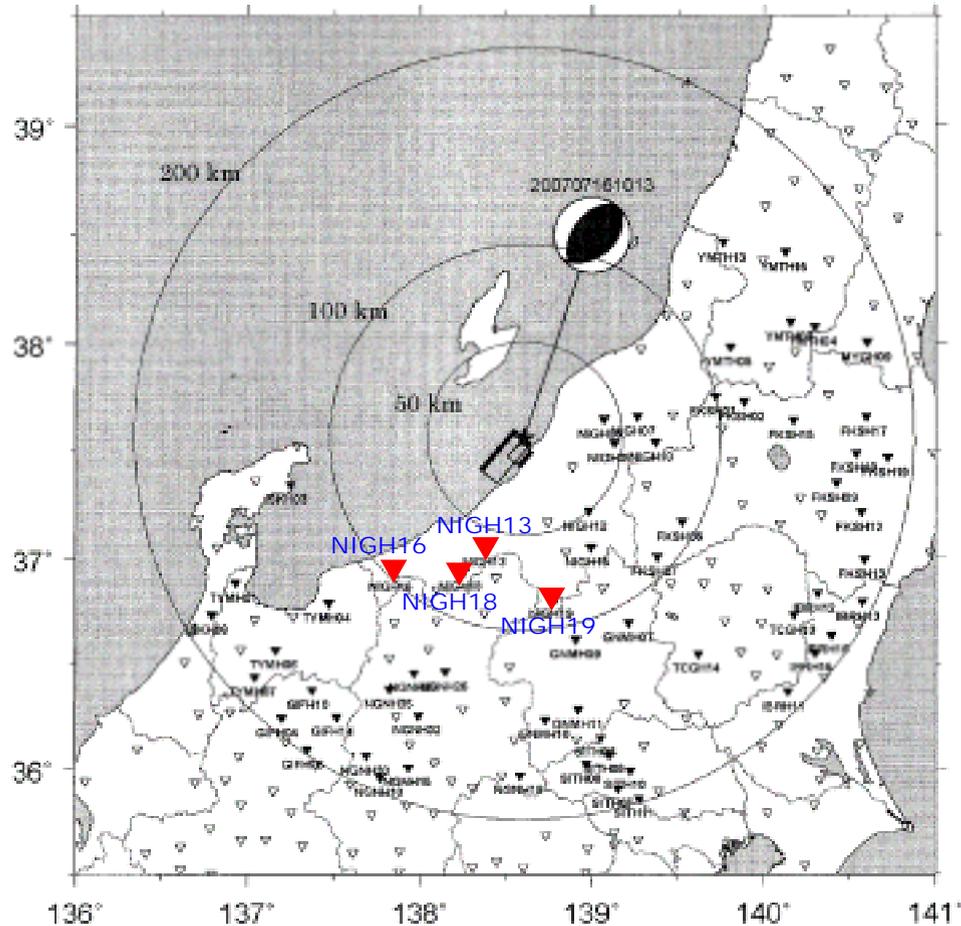
- 海域と陸域で発生する地震で増幅率の傾向が異なることがわかったので、敷地周辺のKiK-net観測点においても同様の傾向がみられるか検討する。
- まず、中越沖地震において検討を行う
- 次に、「海域」と「陸域」に分けて検討を行う。
- 検討は、観測記録に基づいた解放基盤表面の推定波による応答スペクトルと耐専スペクトル<sup>1</sup>（内陸補正<sup>2</sup>なし）を比較した。

<sup>1</sup>耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

<sup>2</sup>内陸補正：内陸地震を対象とした補正

### 3 . 敷地周辺の観測記録に基づく検討

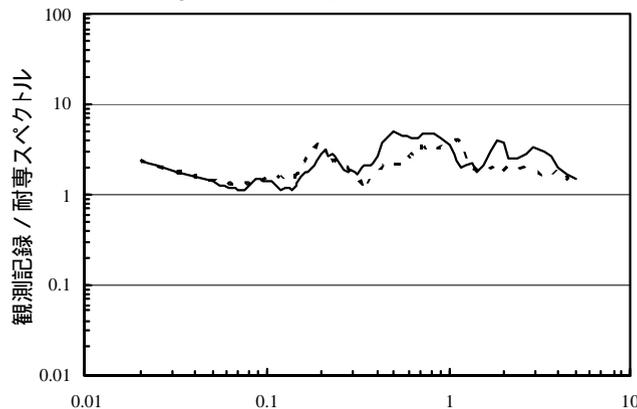
#### 2007年新潟県中越沖地震の検討対象地点



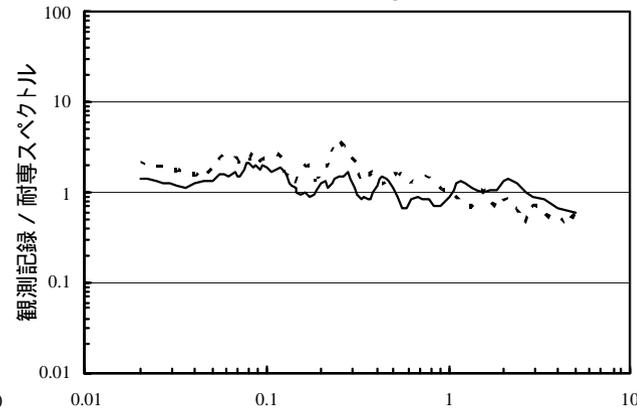
### 3 . 敷地周辺の観測記録に基づく検討

2007年  
新潟県中越沖地震

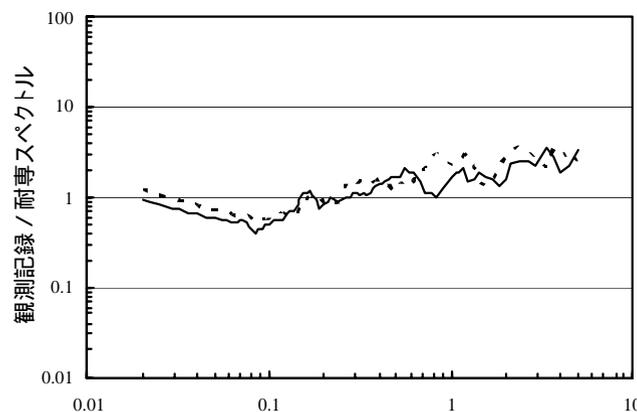
残差(観測記録(推定波) / 耐専スペクトル <sup>1</sup> 内陸補正なし )



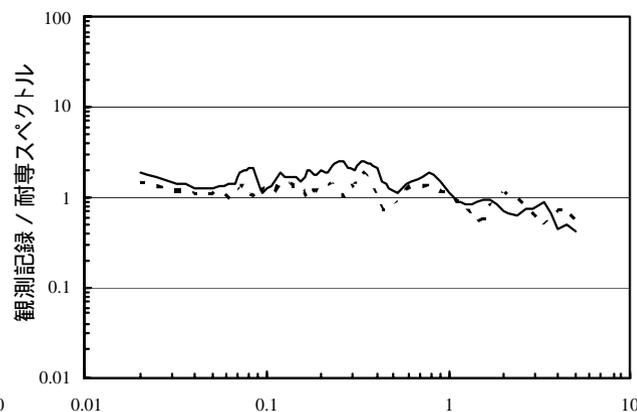
NIGH13



NIGH16



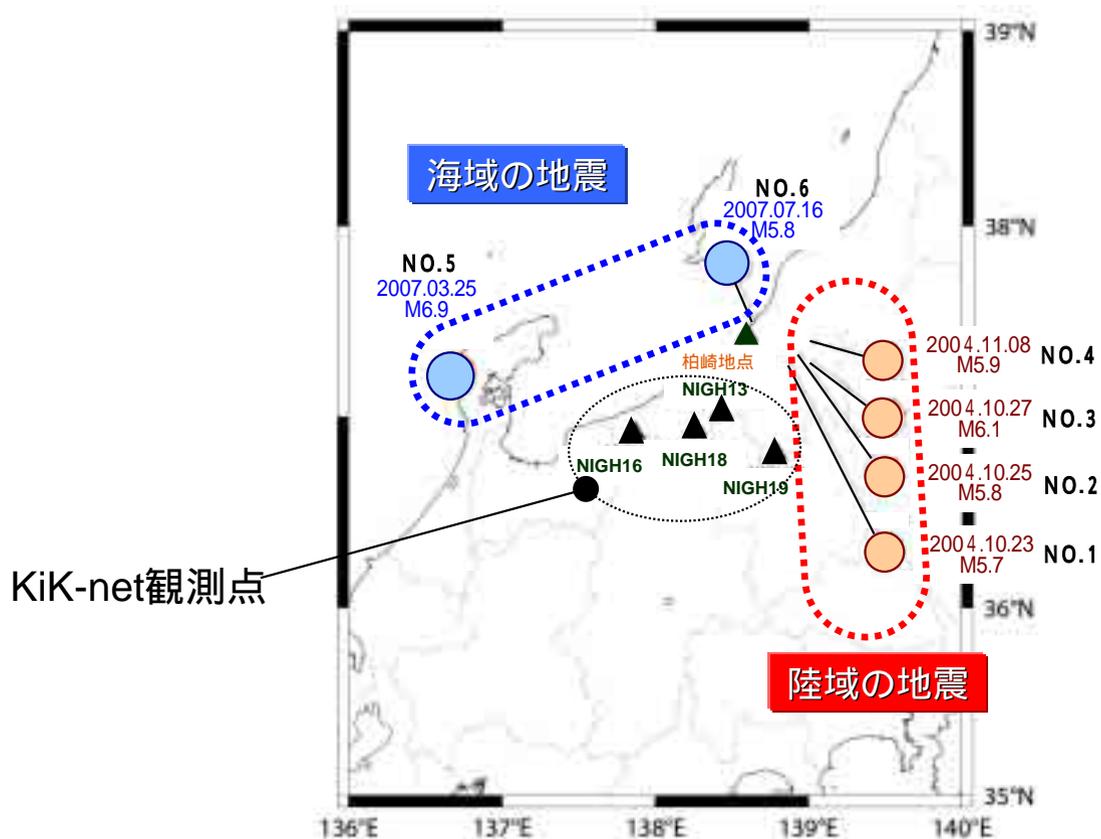
NIGH18



NIGH19

### 3 . 敷地周辺の観測記録に基づく検討

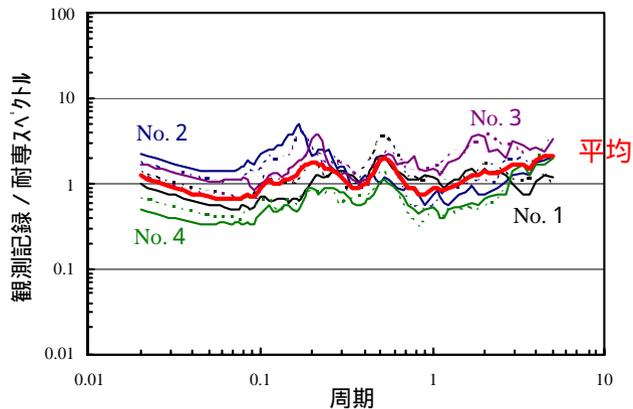
#### 検討対象とした地震の分布図



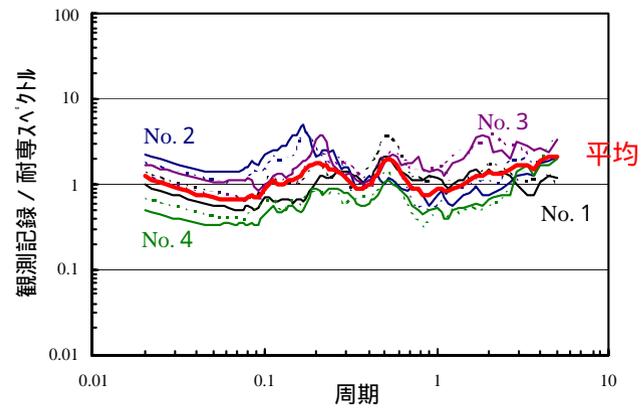
検討に用いた地震の震央分布

### 3 . 敷地周辺の観測記録に基づく検討

残差 (観測記録 (推定波) / 耐専スペクトル <内陸補正なし> )

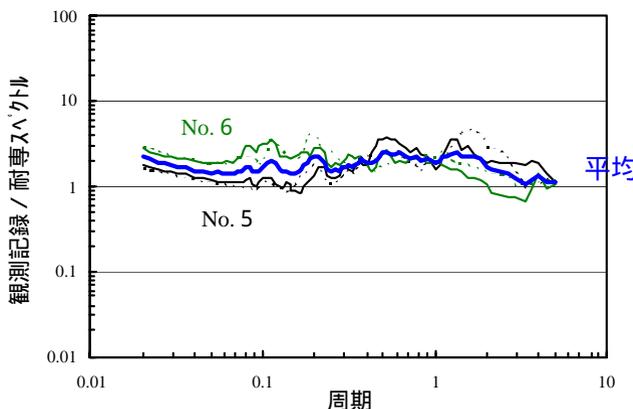


陸域



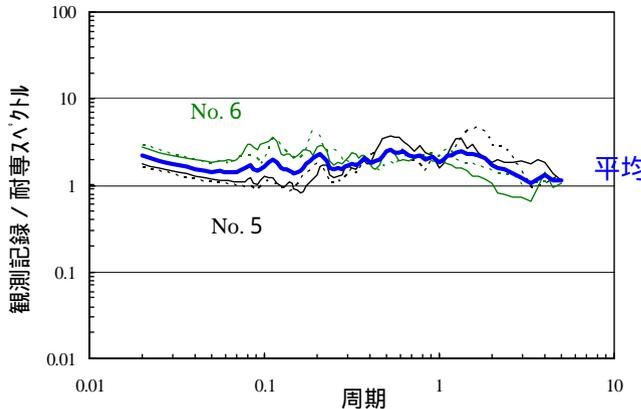
陸域

NIGH13



海域

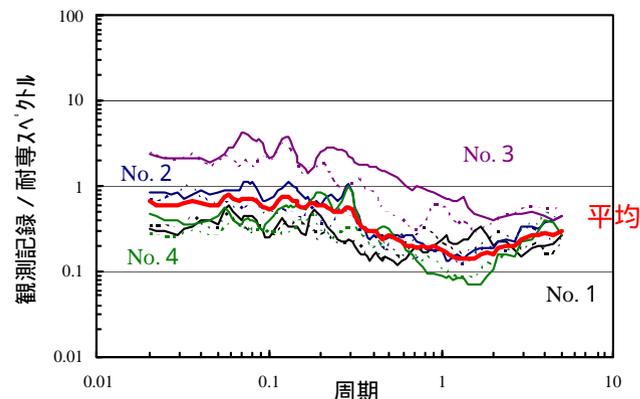
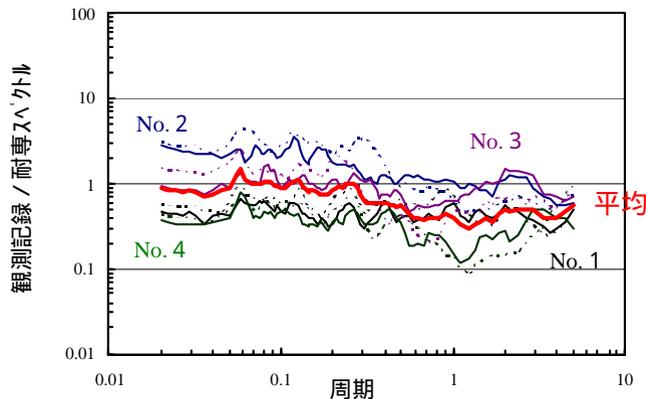
NIGH16



海域

### 3 . 敷地周辺の観測記録に基づく検討

残差（観測記録（推定波） / 耐専スペクトル <内陸補正なし>）

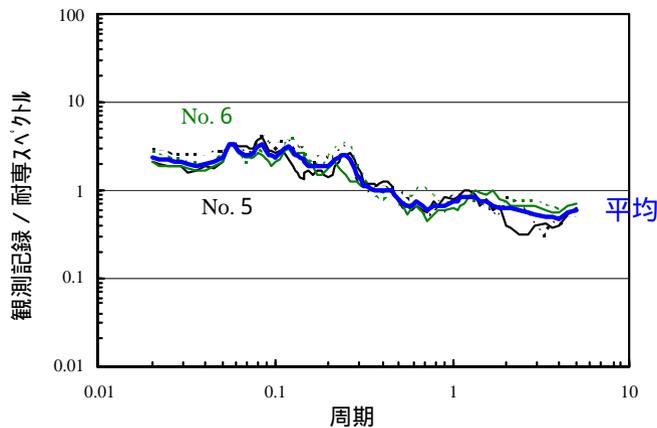


NIGH18

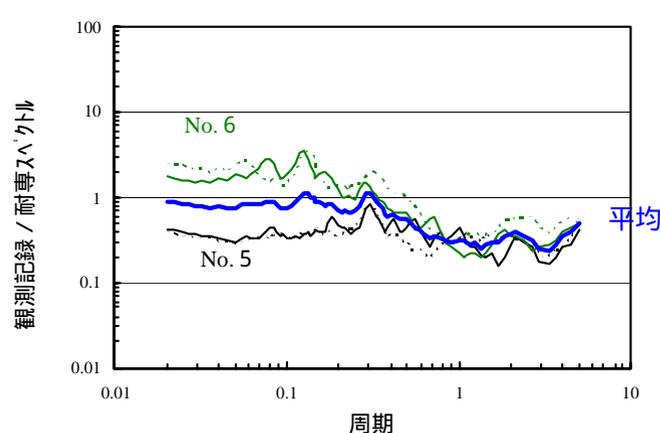
陸域

NIGH19

陸域



海域



海域

### 3 . 敷地周辺の観測記録に基づく検討（まとめ）

---

- 敷地内の観測記録に基づく検討と同様に，海域で発生する地震では，耐専スペクトル<sup>1</sup>と比較して大きい，陸域で発生する地震では，小さいか，大きな差がみられない

<sup>1</sup>耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

---

## 2 ) 解析手法を用いた検討

## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

---

- 観測記録に基づく検討から，解放基盤表面の地震動は，耐専スペクトル（Noda et al（2002）による応答スペクトル）より大きいことが分かったので，震源特性の影響を震源インバージョンに基づき検討する

### 検討内容

敷地内および震源域周辺の強震動記録を用いて震源インバージョン手法を適用し，中越沖地震の震源を推定する

推定された震源に基づき，観測された地震動を再現するための特性化震源モデルを構築する

経験的グリーン関数法により原子炉建屋基礎版およびサービスホール地中最深部の地震動シミュレーションを実施し，観測記録の再現性を検証する

## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

### 震源インバージョンの条件

#### 解析手法

経験的グリーン関数法を用いた  
震源インバージョン

#### 経験的グリーン関数

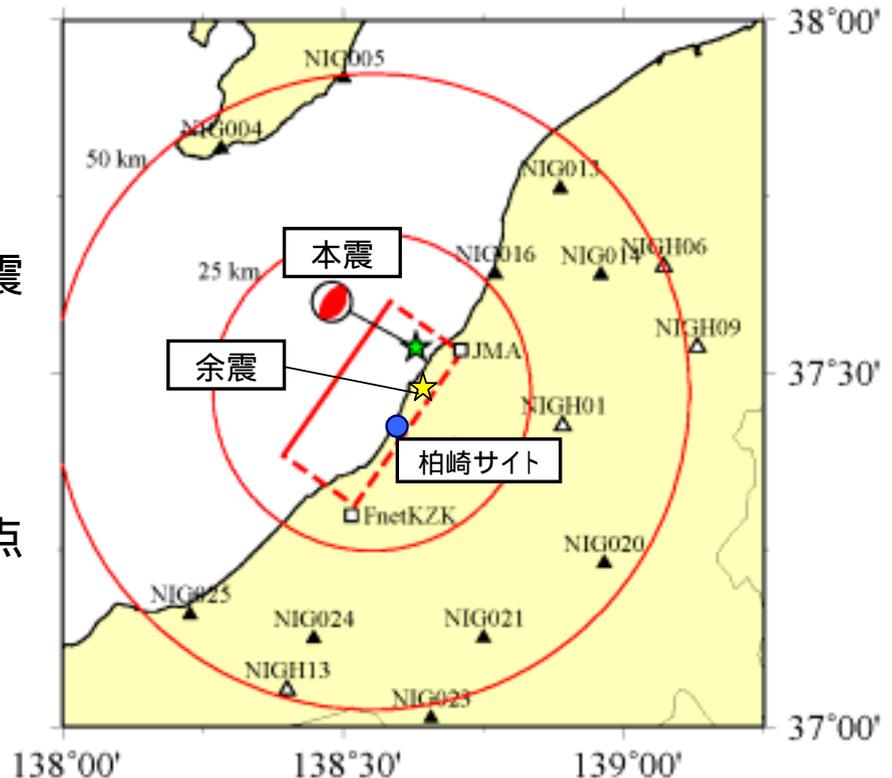
2007年7月16日21:08 M4.4の余震

#### 解析に用いた観測点

柏崎サイト: 2地点  
(1号機と5号機の基礎版上)  
K-NET: 10地点、KiK-net: 4地点  
JMA、F-net: 各1地点

#### 目的関数

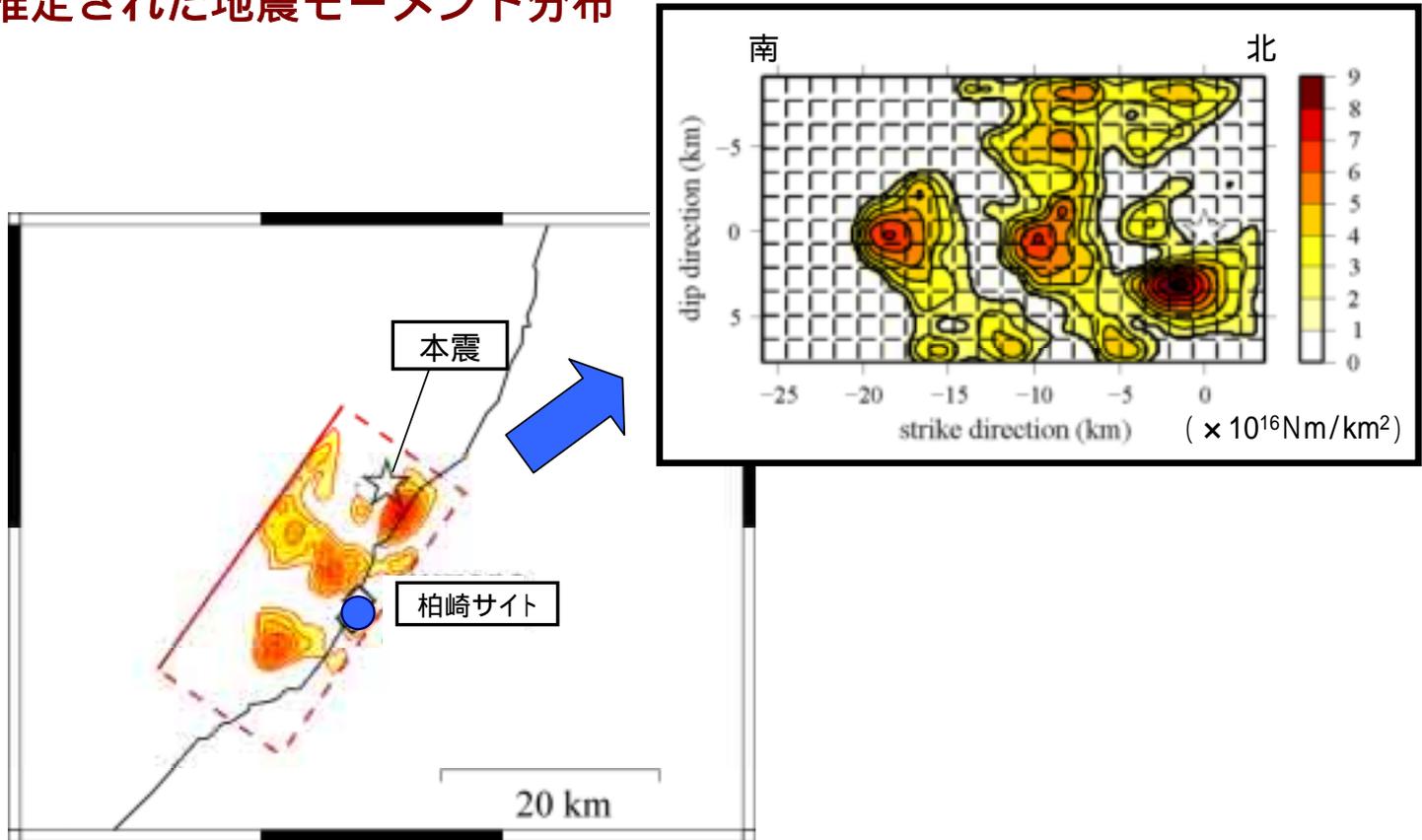
解析周波数帯域0.1 ~ 2Hz  
変位波形



解析に用いた観測点の分布

## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

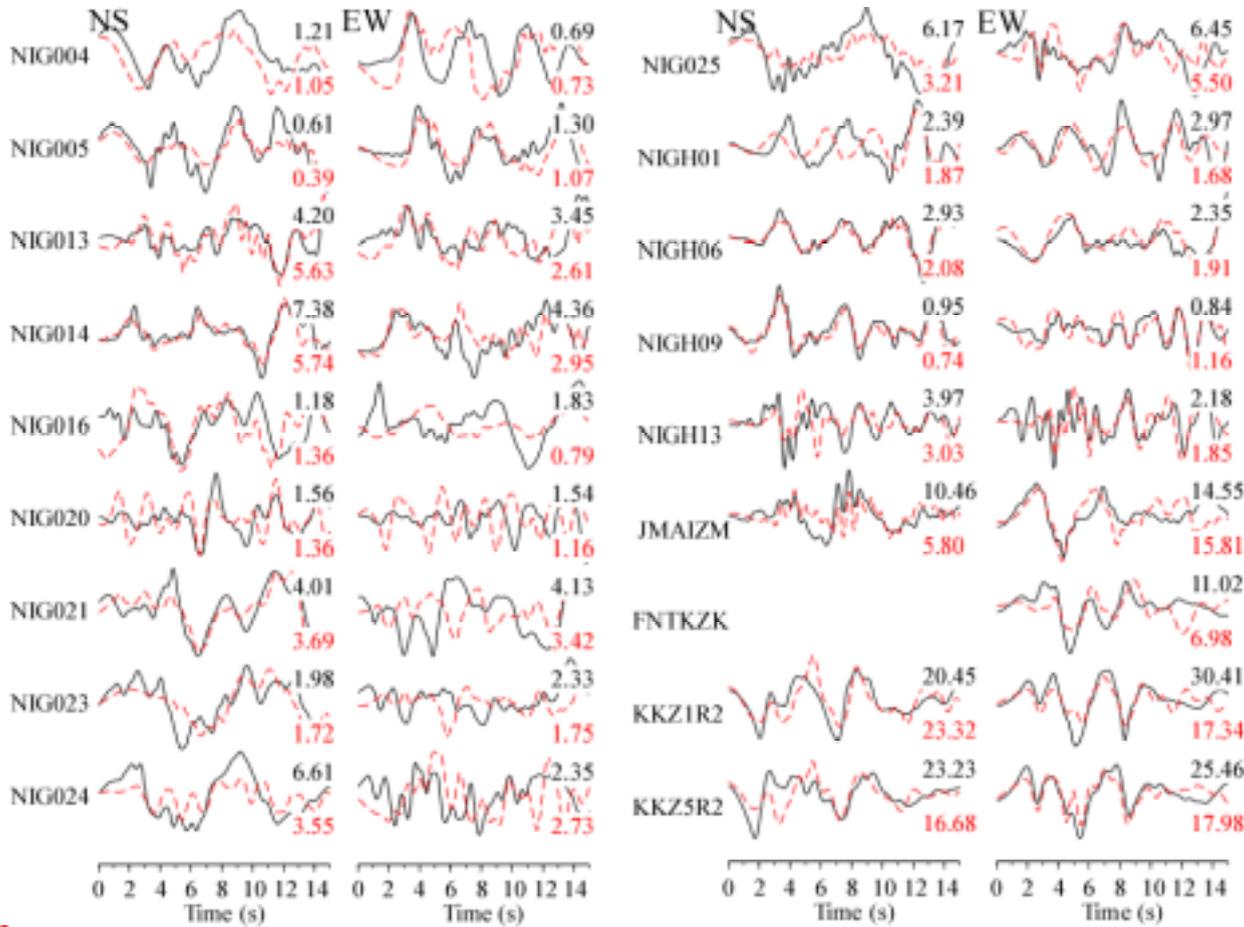
推定された地震モーメント分布



モーメント分布の地図上投影

# 4 . 震源インバージョンに基づく検討

## 推定された地震モーメント分布に基づく変位波形と観測記録の比較

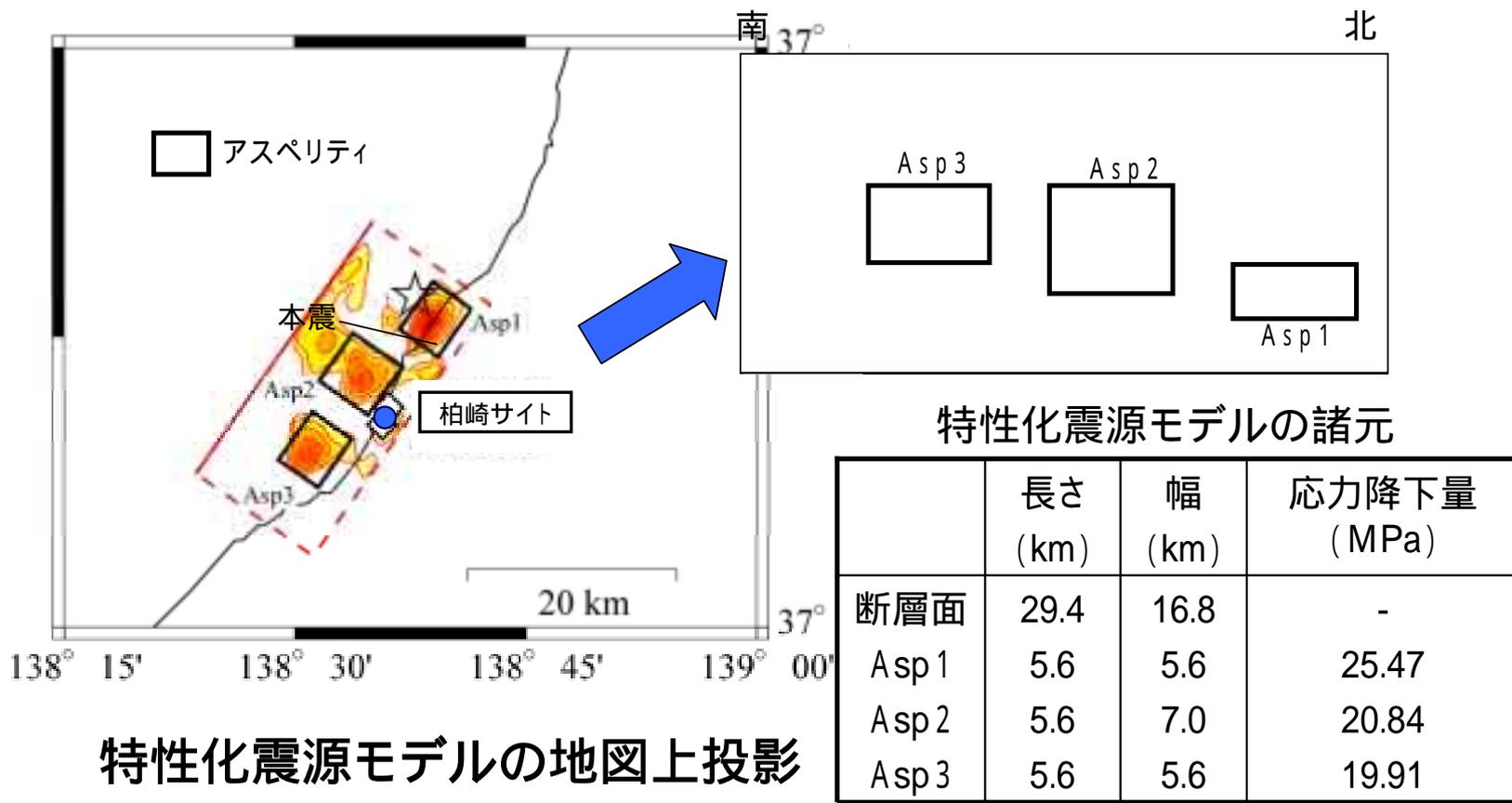


計算値は観測記録とよく対応している

— 観測波形  
 - - - 計算波形

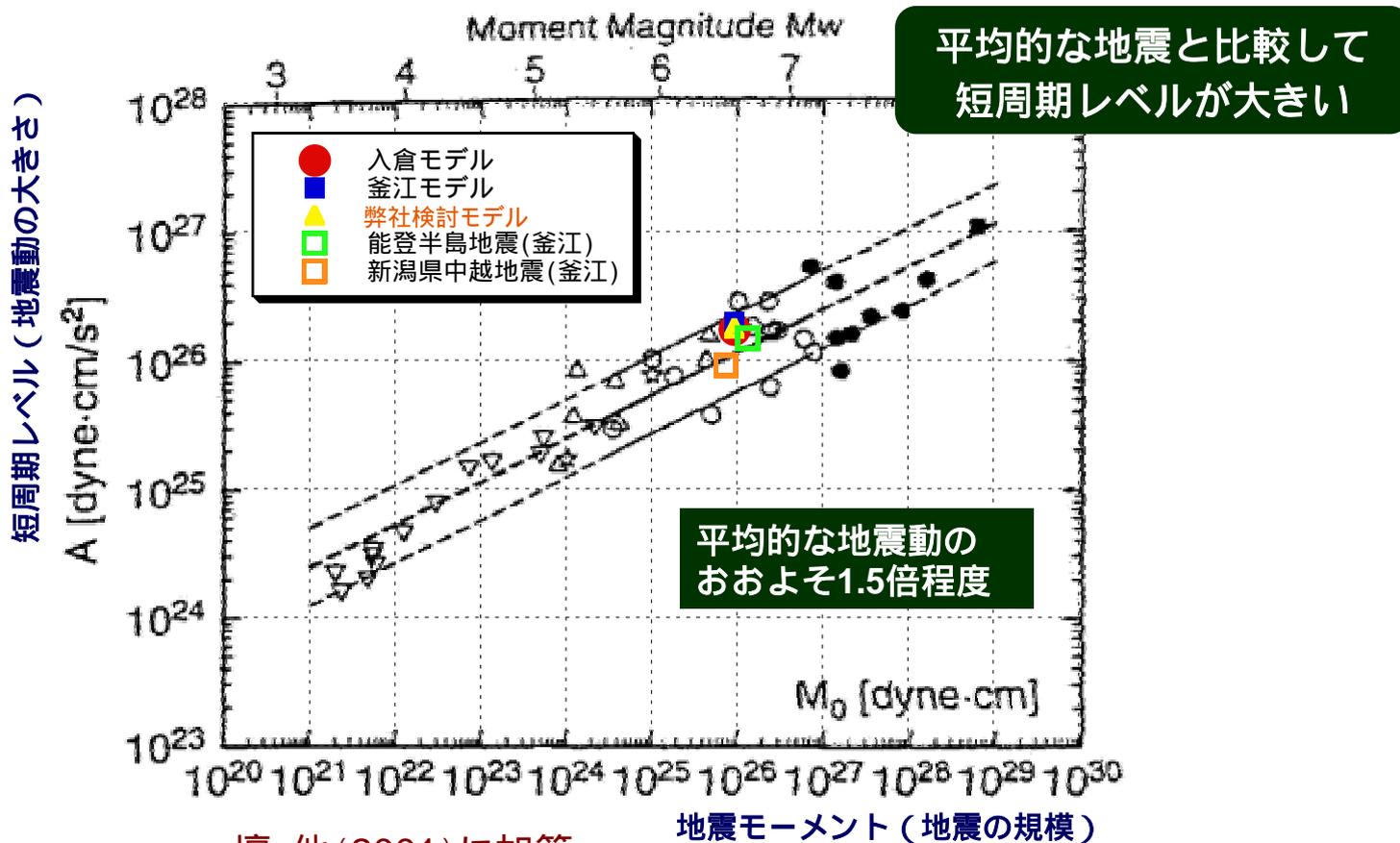
## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

### 震源インバージョン結果から特性化震源モデルを構築



## 4. 震源インバージョンに基づく検討

### 断層モデルに基づく中越沖地震の短周期レベル

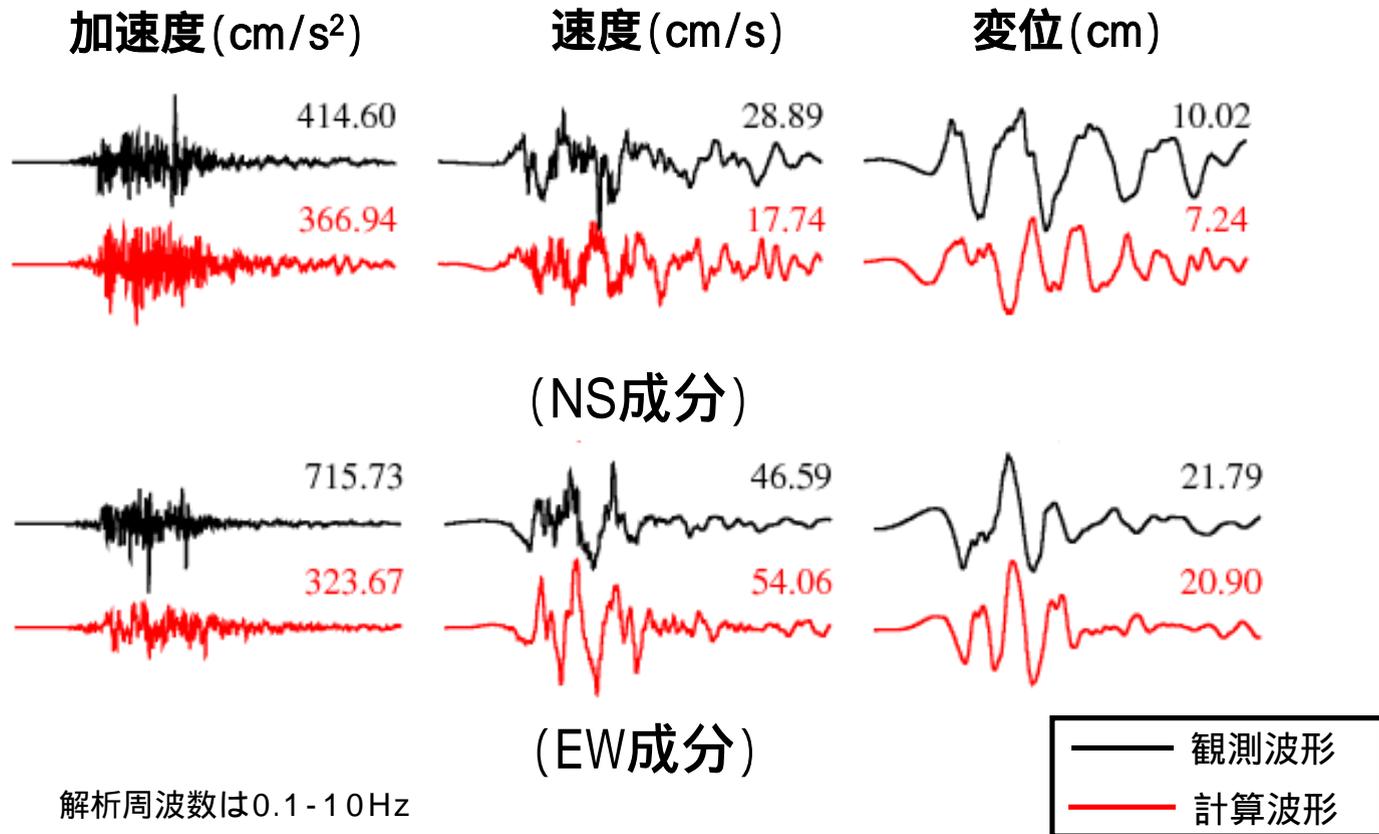


壇・他(2001)に加筆

## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

特性化した震源モデルを用いた強振動予測

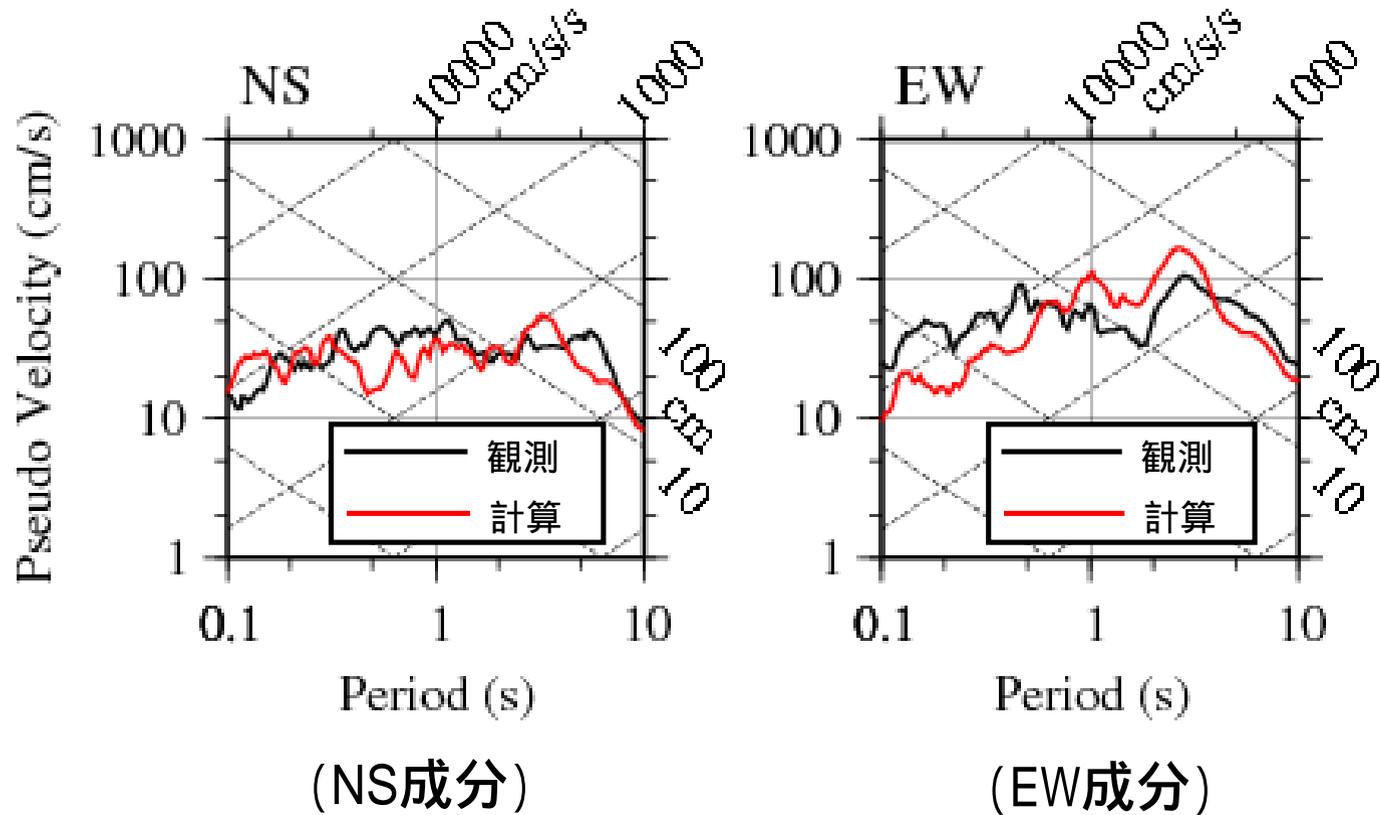
サービスホール (GL-250m) のシミュレーション結果



## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

### 特性化した震源モデルを用いた強振動予測

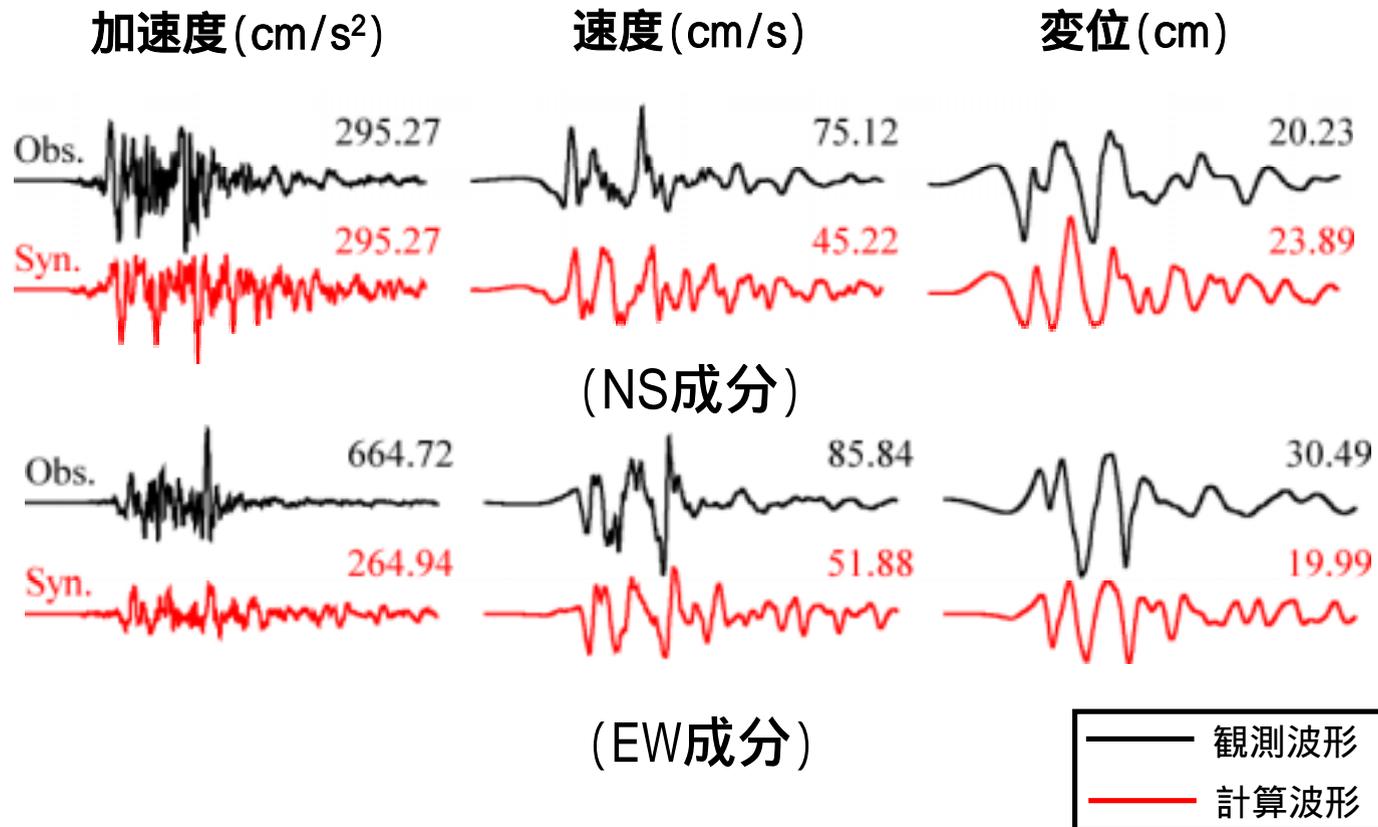
サービスホール (GL-250m) のシミュレーション結果



## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

特性化した震源モデルを用いた強振動予測

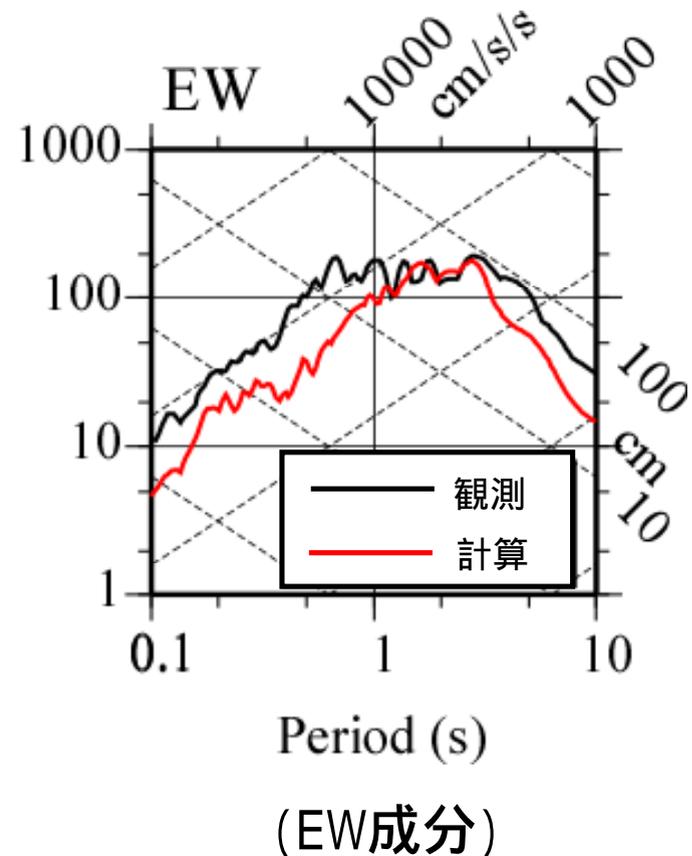
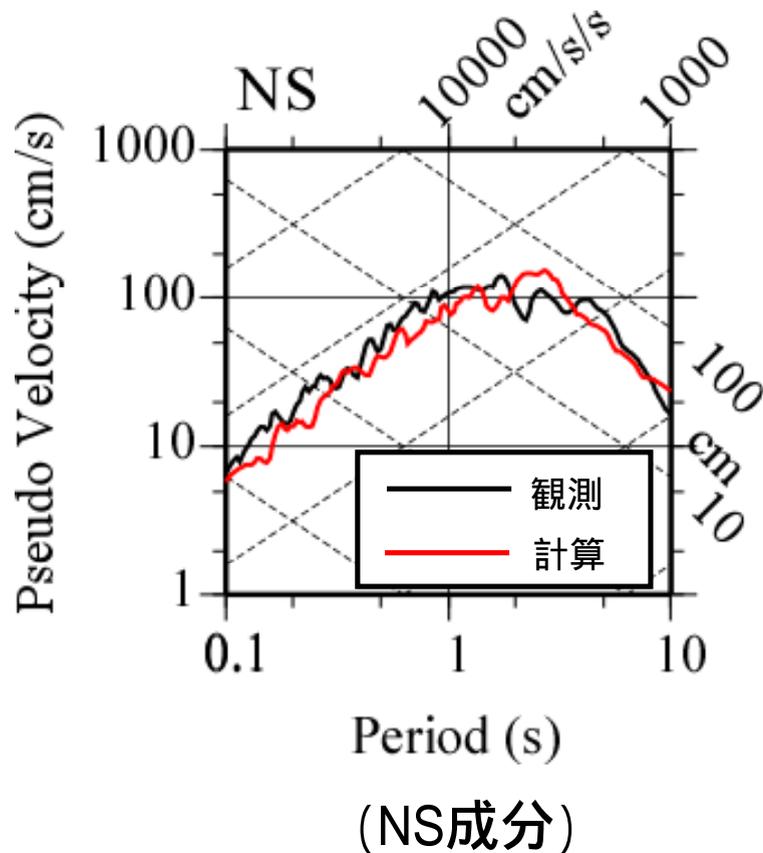
1号機（基礎版上）のシミュレーション結果



## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

### 特性化した震源モデルを用いた強振動予測

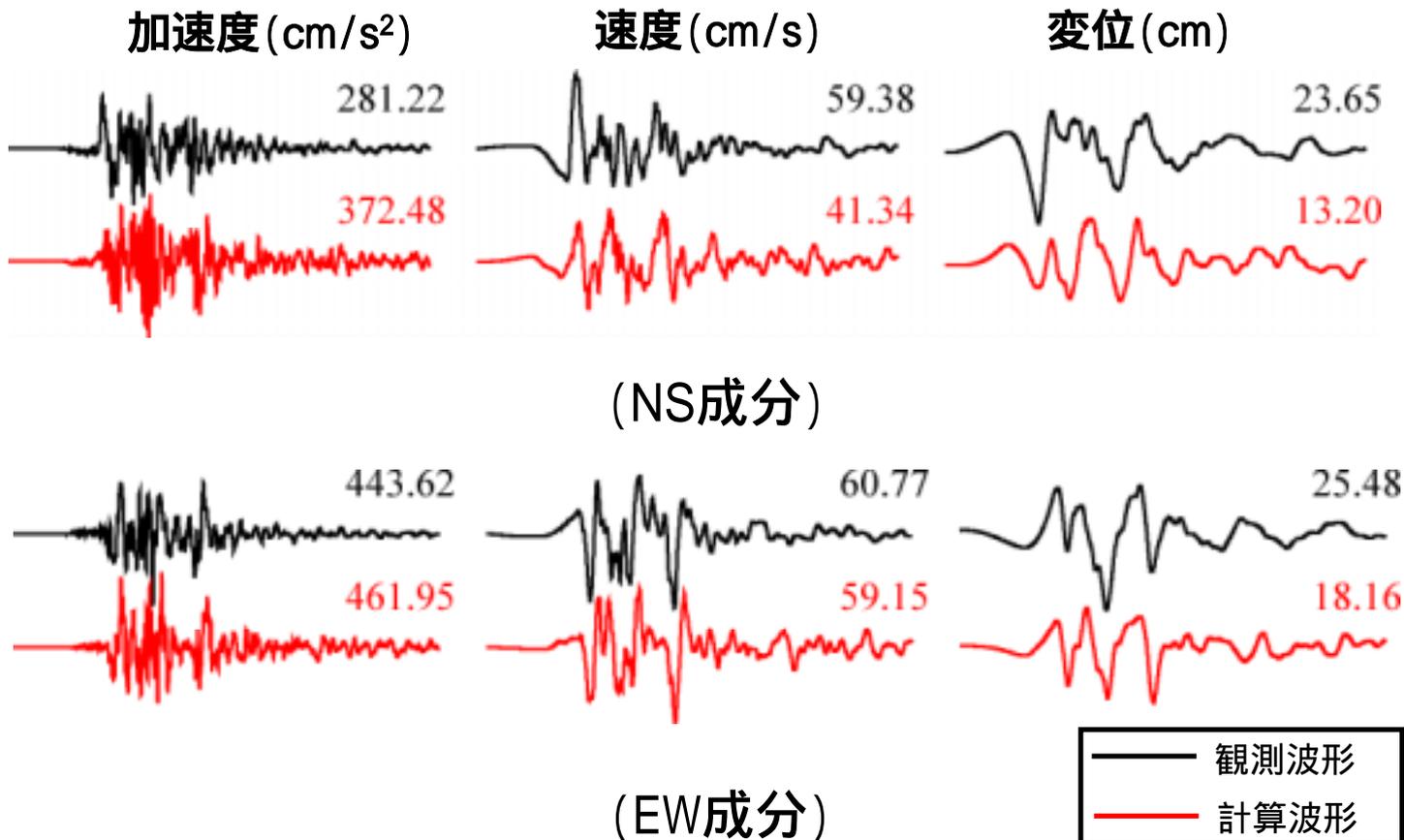
1号機（基礎版上）のシミュレーション結果



## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

特性化した震源モデルを用いた強振動予測

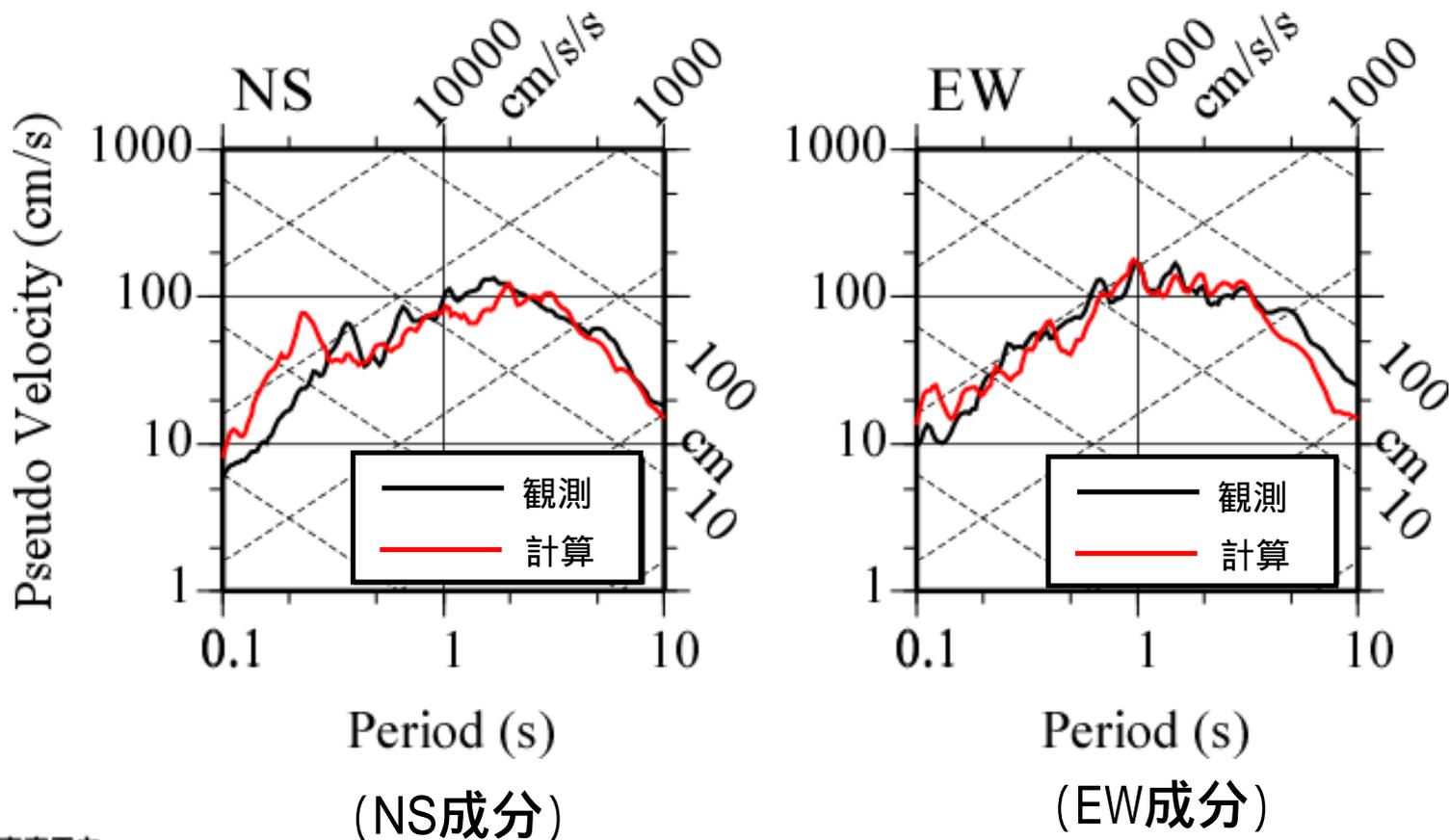
5号機（基礎版上）のシミュレーション結果



## 4 . 震源インバージョンに基づく検討

特性化した震源モデルを用いた強振動予測

5号機（基礎版上）のシミュレーション結果



## 4．震源インバージョンに基づく検討（まとめ）

---

### まとめ

- 特性化した震源モデルの応力降下量は，平均的地震に比べて大きい
- 特性化した震源モデルにおける強振動予測は，おおむね観測記録と対応している

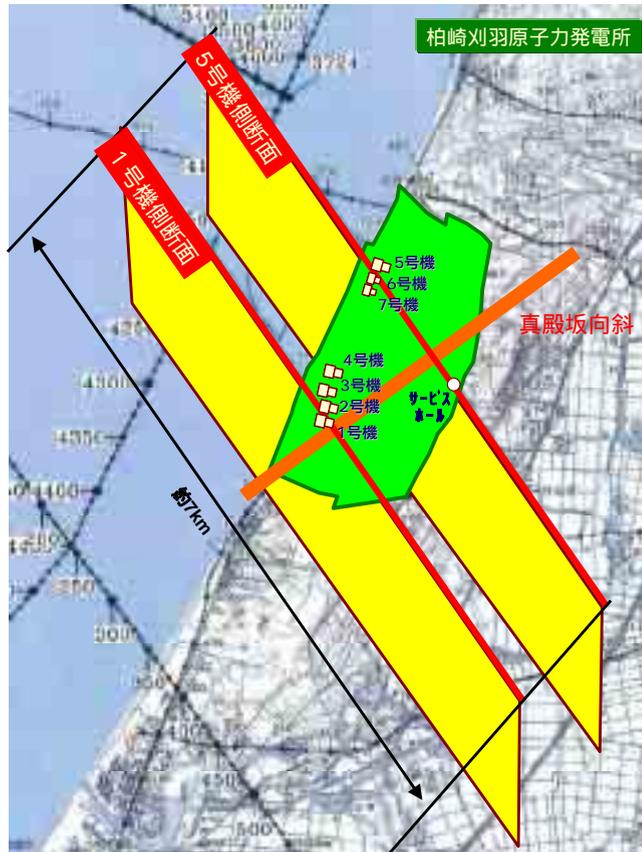
## 2．敷地下にある褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる解析検討

---

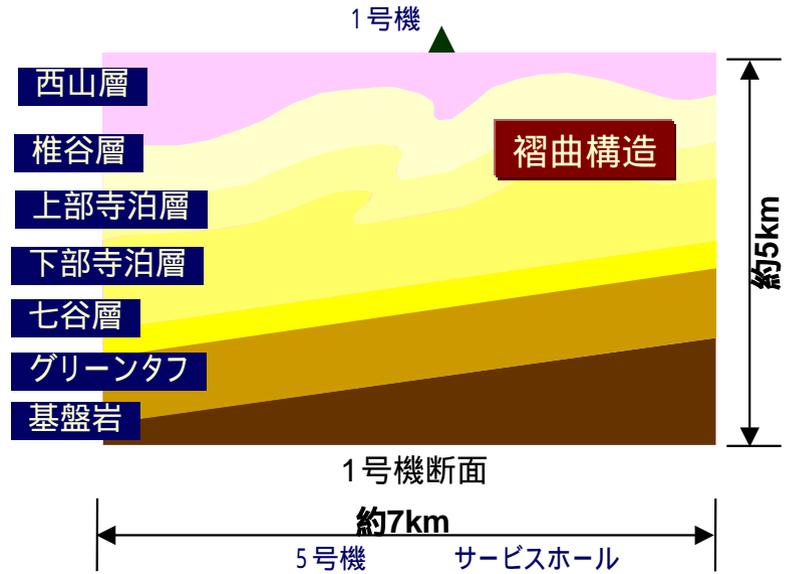
- 観測記録の検討から，敷地内における増幅率の差がみられる
- 地盤調査の結果に基づいた不整形性を考慮した地盤モデルによって，地震動シミュレーションを実施し，地盤の増幅特性を検討する

## 2. 敷地下にある褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる解析検討

真殿坂向斜に直交する断面で  
2次元FEM地盤モデルを作成



地盤モデルのイメージ図

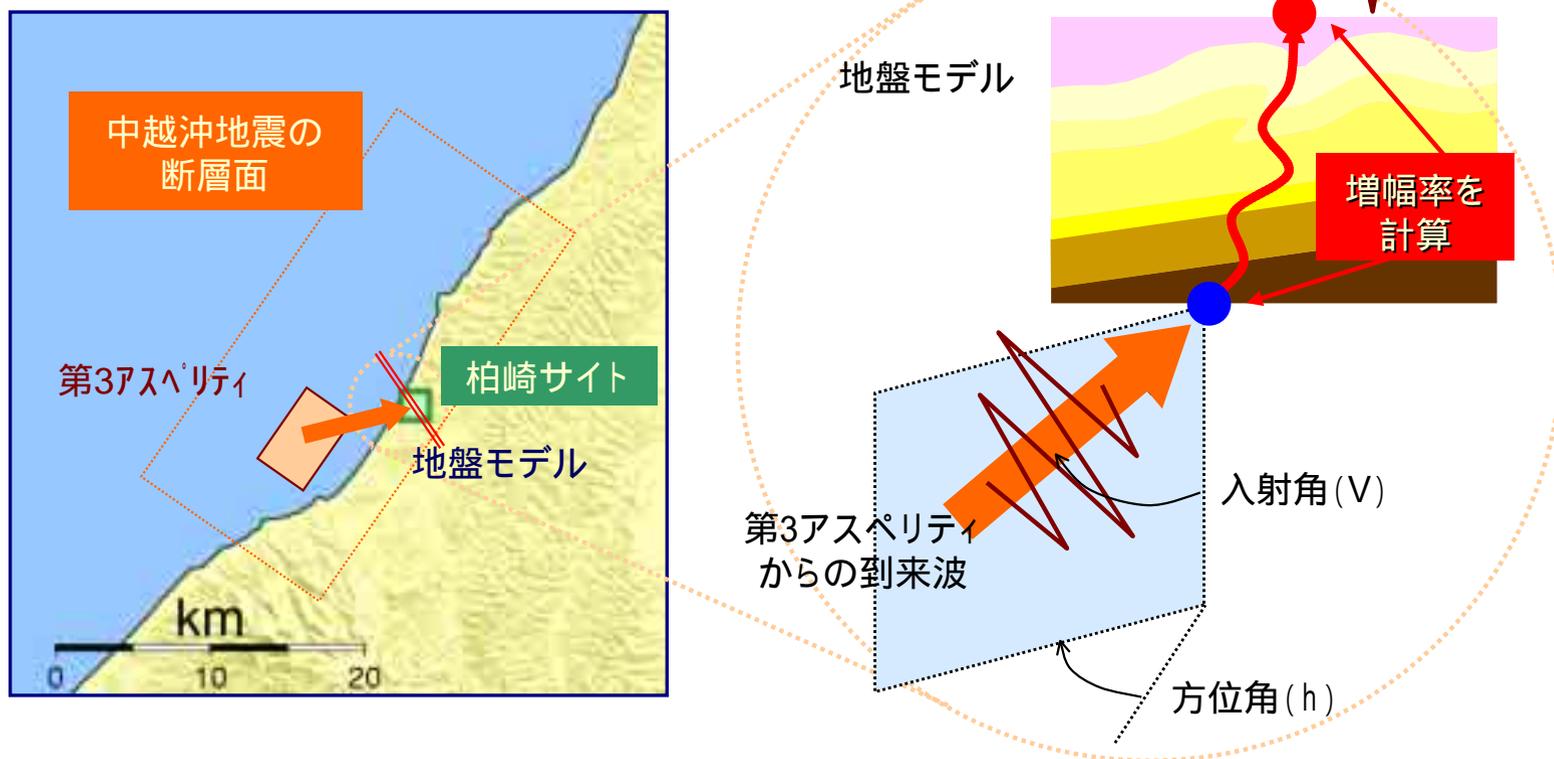


5号機断面

## 2. 敷地下にある褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる解析検討

### 入力地震動の入射角・放射角について

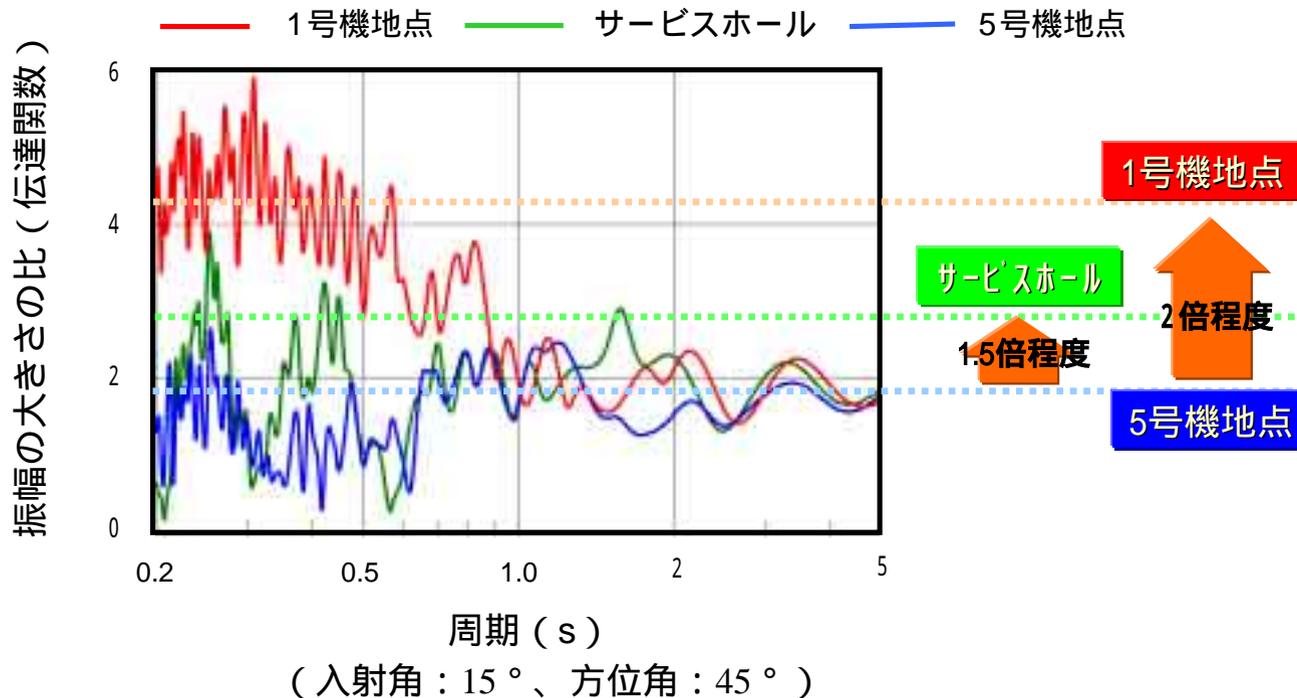
中越沖地震の第3アスペリティ位置から到来する地震波を想定し、斜め入射角及び方位入射角を設定



## 2. 敷地下にある褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる解析検討

### 地震基盤からの地盤増幅特性

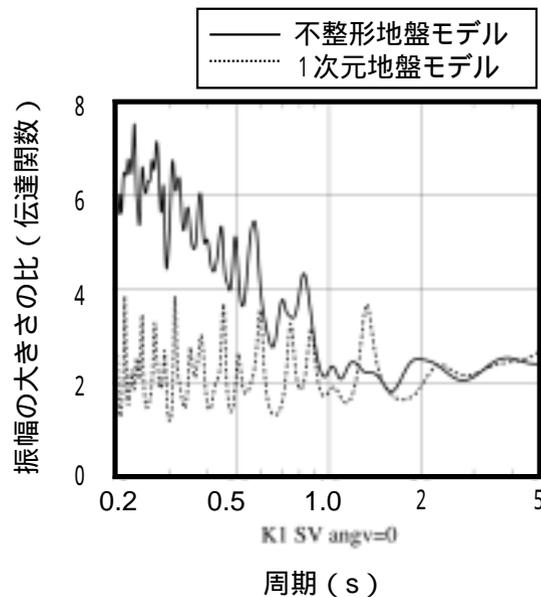
#### 第3アスペリティから入射する地震動の地盤増幅特性



地盤モデル底部から入力した地震波がモデル上端に到達したときの増幅率

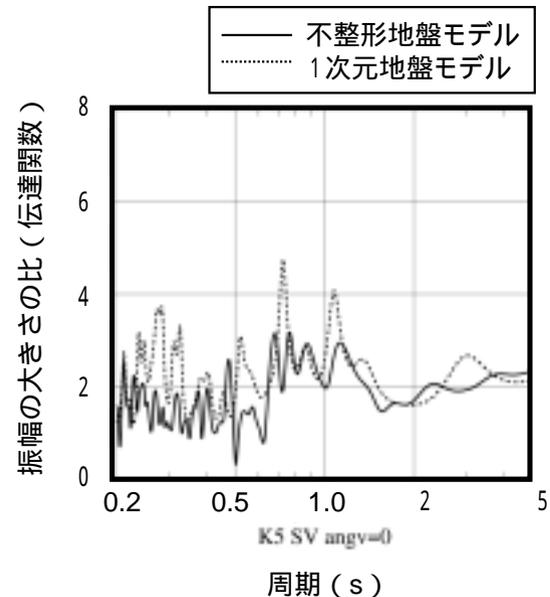
## 2. 敷地下にある褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる解析検討

### 地震基盤からの地盤増幅特性



1次元地盤モデル < 不整形地盤モデル

1号機地点



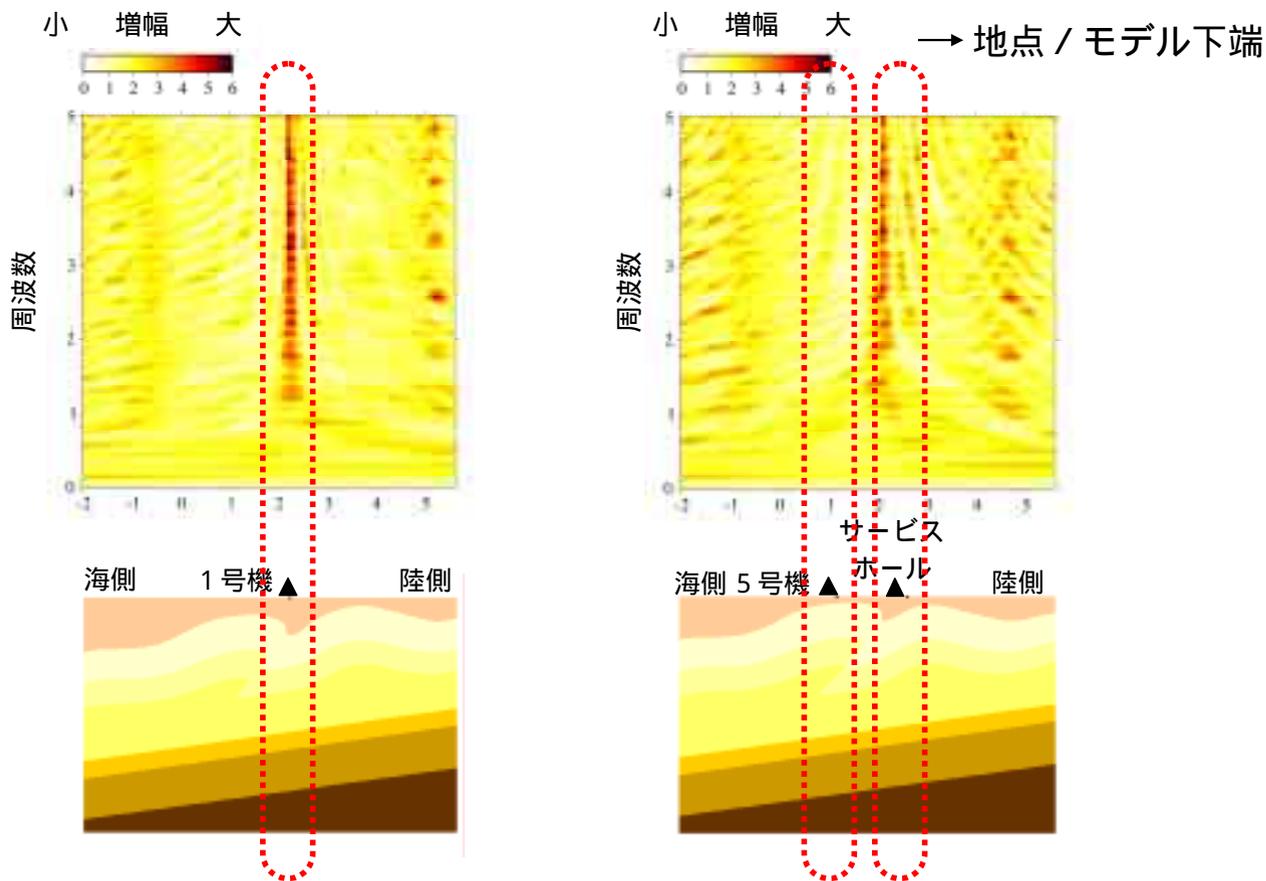
1次元地盤モデル < 不整形地盤モデル

5号機地点

1号機地点は不整形の影響が大きい

## 2. 敷地下にある褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる解析検討

### 地震基盤からの地盤増幅特性



1号機付近では全周期帯にわたり増幅することが確認できる

## 2 . 敷地下にある褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる解析検討

---

### まとめ

- 1号機地点の増幅は，5号機地点の増幅と比較して有意に大きい
- 5号機地点は1次元地盤の増幅特性と差異が少ないが，1号機地点は，不整形の効果が大き
- 局所的な領域に地震波が集中する傾向を確認でき，1号機は，地震波が集中する場所に位置することが確認できた。

### 3 . 深部地盤の不整形性が地震動に及ぼす影響の検討

---

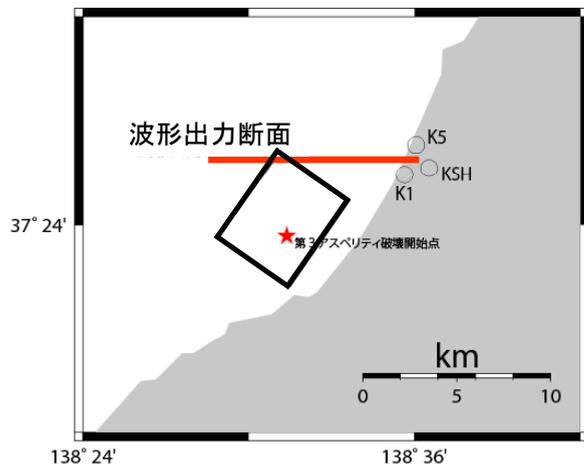
- 震源から敷地までの伝播経路において、地震動が増幅する傾向が見られるか、3次元地下構造モデルを用いて検討する
- 震源は震源インバージョン手法で求めた第3アスペリティからの地震波を求める。また、3次元地下構造の設定は、JNES（2005）による速度構造モデルを基本とする

JNES（2005）の地盤モデルと今回解析に用いた地盤モデルとの相違点

- ・ 震源の端部が、JNES（2005）による地盤モデルの境界に近い場合、平行成層を仮定してモデル境界を拡張した
- ・ 震源インバージョン手法で使用した地震基盤のS波速度とJNESモデルが異なるため、震源インバージョン手法によるS波速度に置き換えた。

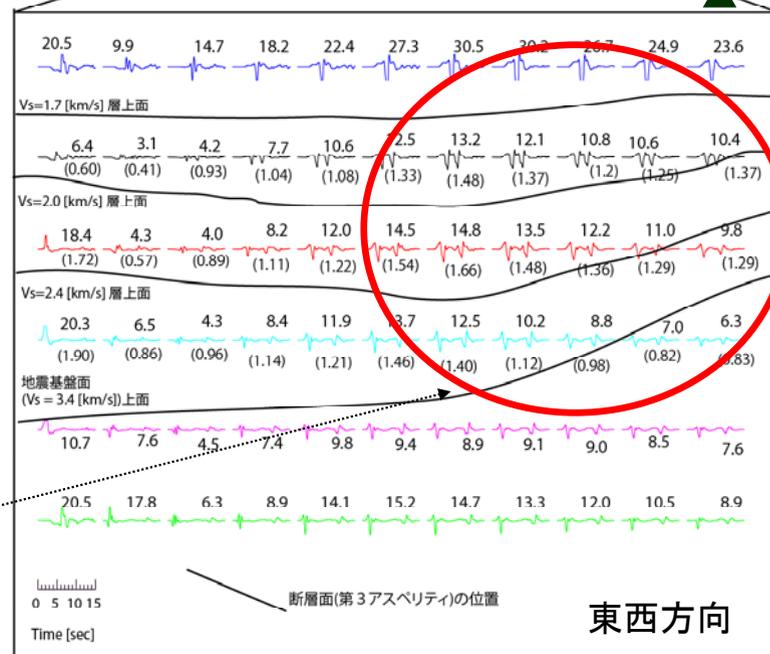
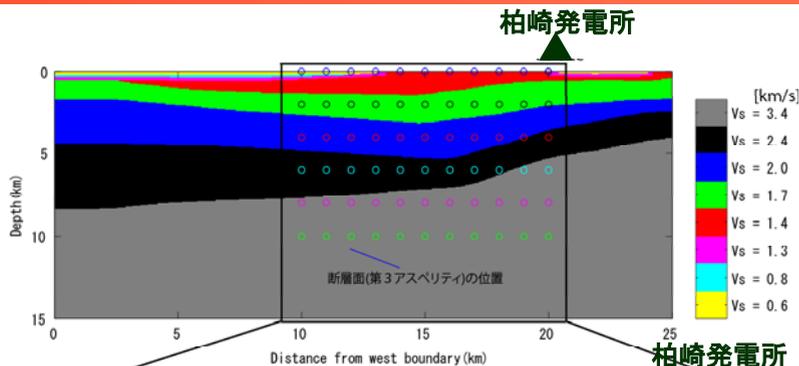
### 3. 深部地盤の不整形性が地震動に及ぼす影響の検討

#### 解析の結果



上段の数値は速度波形の値の最大値を示す  
( )内の数値は、地震基盤面における  
最大速度波形(ピンク色)に対する比率を示す

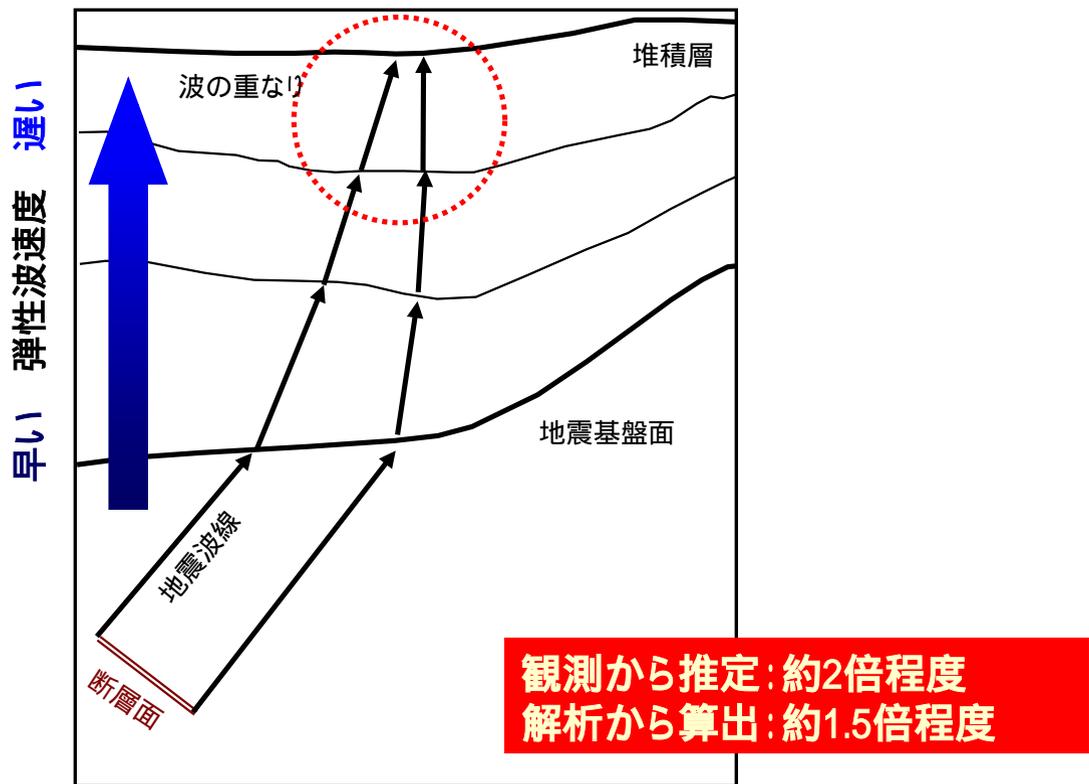
● 第3アスペリティからの地震動  
を入力した解析結果から、  
増幅する傾向がみられる



### 3 . 深部地盤の不整形性が地震動に及ぼす影響の検討

#### 深部地盤の不整形性による増幅の解釈

深部地盤の不整形性によって、波が屈折して集まる



概念図

## 要因の推定（まとめ）

### 中越沖地震の現象

敷地における観測記録は，中越沖地震の地震規模に相当する耐専スペクトル（内陸補正なし）より大きかった

（推定）1～4号機地点：4倍程度　5～7号機側：2倍程度

### 要因の推定

- 地震の規模から推定される地震動が，既往の地震の平均値より大きい

震源の要因　　1.5倍程度

- 深部地盤の3次元的構造が複雑な形状をしているため，地震動が増幅した（フォーカシング等）

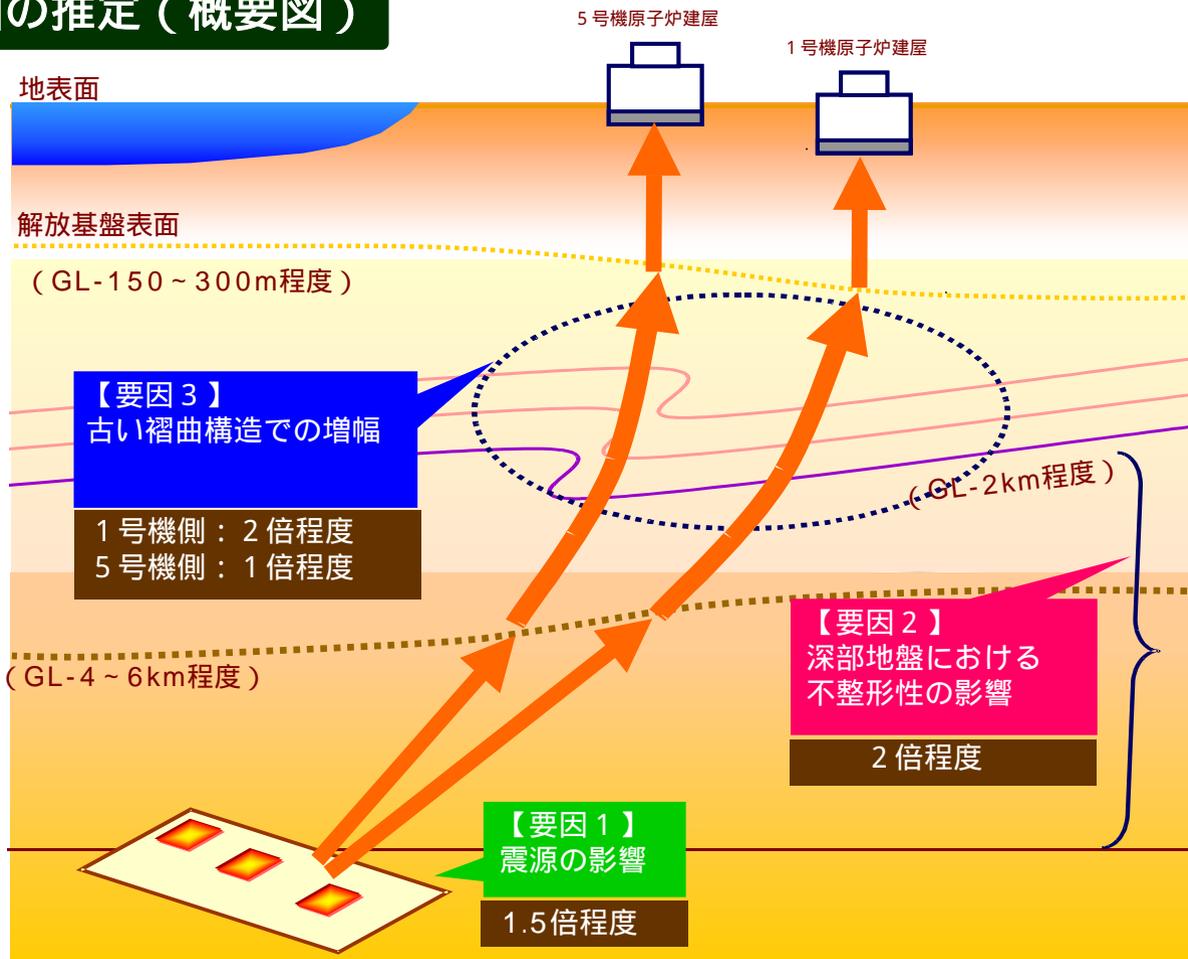
深部地盤の要因　　2倍程度

- 敷地下にある古い褶曲構造により，地震動が屈折し，重なり合う現象が起こり，向斜部の上部に立つ1～4号機地点の地震動が増幅した

敷地の地下にある褶曲構造の要因　　1～4号機：2倍程度  
5～7号機地点：1倍程度

# 要因の推定（概要図）

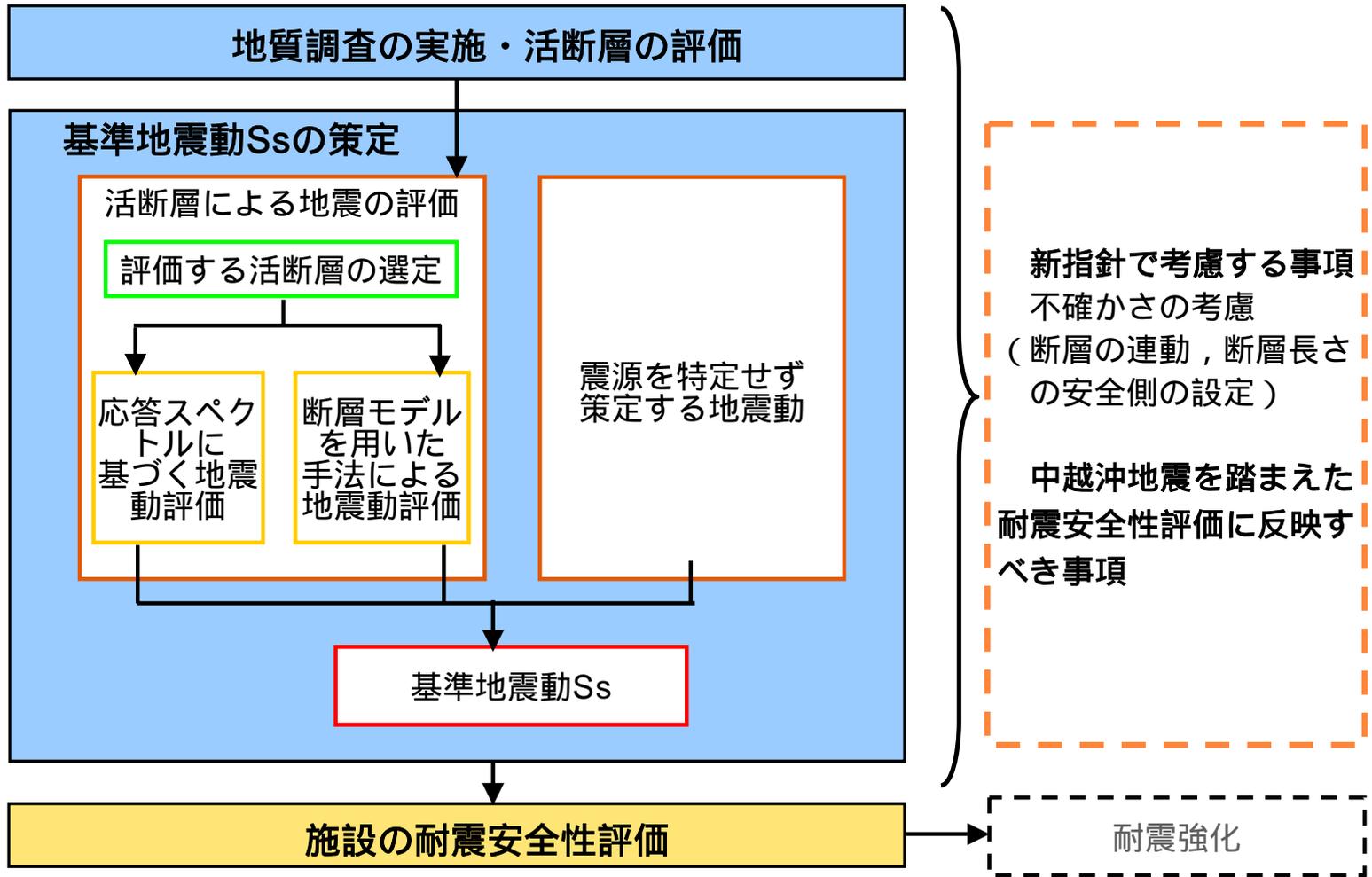
## 要因の推定（概要図）



---

### ( 3 ) 中越沖地震の知見を踏まえた基準地震動の策定

# 1 . 基準地震動の策定の方針



## 2 . 中越沖地震で得た知見の反映事項

### 反映事項

#### 地質調査結果の反映

- ・ 調査結果に基づき、考慮すべき活断層を選定する

海域で発生した地震は、荒浜側と大湊側で地震動の大きさが異なる

- ・ 海域の活断層による地震については、荒浜側（1号機～4号機）と大湊側（5号機～7号機）を分けて基準地震動を策定する

#### 震源特性の影響

- ・ Noda et al（2002）による応答スペクトルにおいて、内陸補正を行わない
- ・ 断層モデルにおいて、短周期レベルを1.5倍とする

#### 震源から敷地までの伝播特性の影響

- ・ Noda et al（2002）による応答スペクトルにおいて、海域と陸域のサイト補正係数を分ける
- ・ 経験的グリーン関数法には、適切な要素地震を選定する



## 4 . 敷地周辺の主な活断層

- 考慮すべき活断層を対象として，Noda et al. ( 2002 ) による応答スペクトルの比較を行い，敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる地震を検討用地震として選定する。

### 敷地周辺の活断層



### 主な活断層

	断層名	断層長さ
海域	佐渡島棚東縁断層	約37km
	F - B断層	約34km
	佐渡島南方断層	約29km
	F - D断層	約30km
	高田冲断層	約25km
陸域	角田・弥彦断層	約54km
	気比ノ宮断層	約22km
	片貝断層	約16km

当社調査結果に基づく断層長さは27kmで，安全評価上全長を約34kmと評価

## 4 . 敷地周辺の主な活断層

### 海域の活断層

#### 基本ケース

- F-B断層（断層長さ27km）
- F-D断層（断層長さ30km）
- 高田沖断層（断層長さ25km）

安全評価上の不確かさとして、断層長さ34kmに対応する（M7.0）を考慮

安全評価上の不確かさとして、一連の断層として評価した「F-D断層及び高田沖断層」（断層長さ55km，M7.7）を考慮

### 陸域の活断層

#### 基本ケース

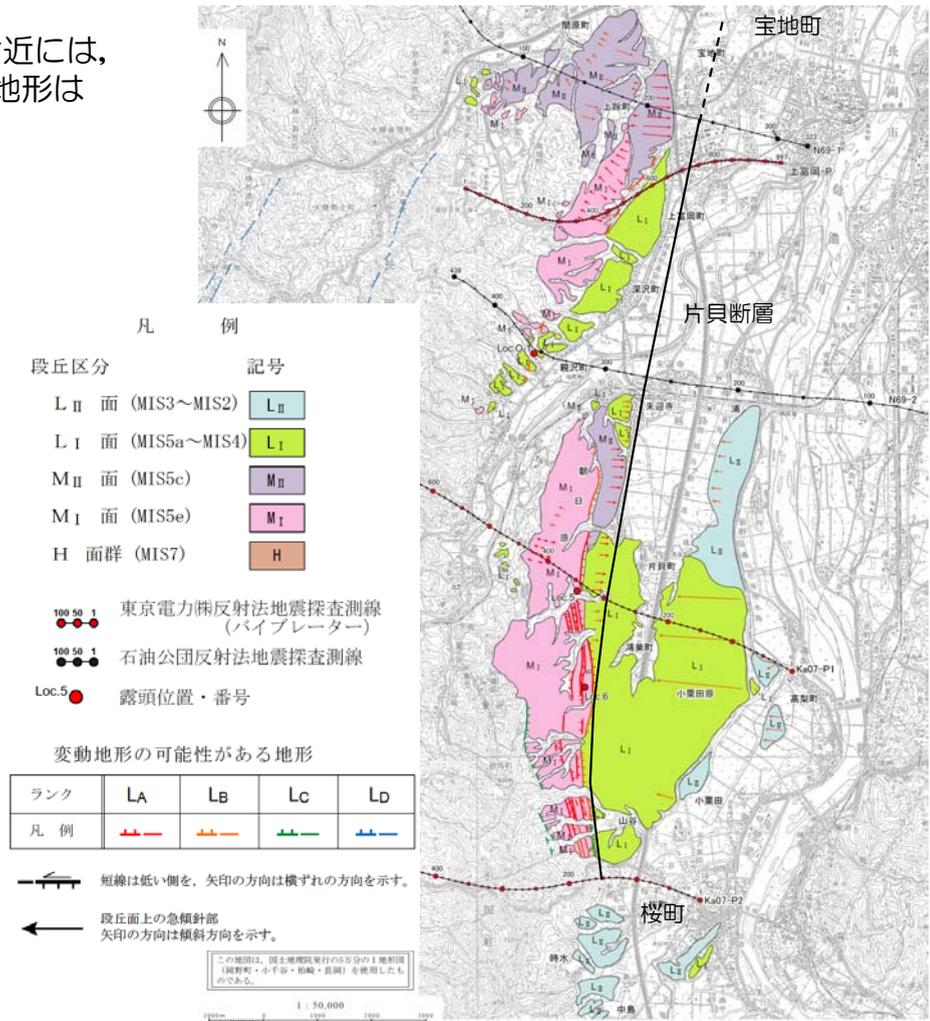
- 角田・弥彦断層（断層長さ54km）
- 気比ノ宮断層（断層長さ22km）
- 片貝断層（断層長さ16km）

安全評価上の不確かさとして、一連の断層として評価した「長岡平野西縁断層帯」（断層長さ91km，M8.1）を考慮

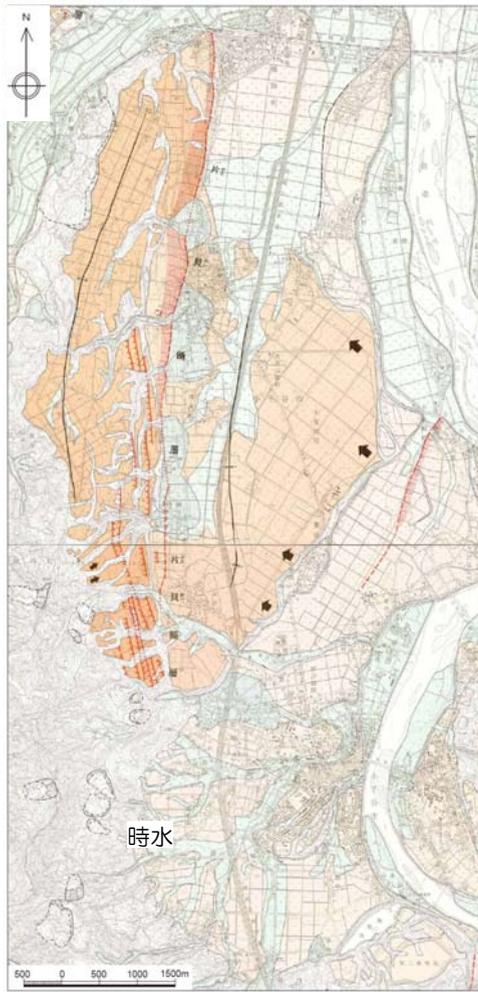
F - B断層は中越沖地震と震源断層の大きさの関係を、入倉・三宅（2001）及び武村（1998）のスケールリングに基づいて断層長さ34kmの震源断層に相当する地震規模Mを設定  
その他の断層は、松田（1975）を用いて設定

# 5. 片貝断層の補足説明①（南方延長部に分布する段丘面）

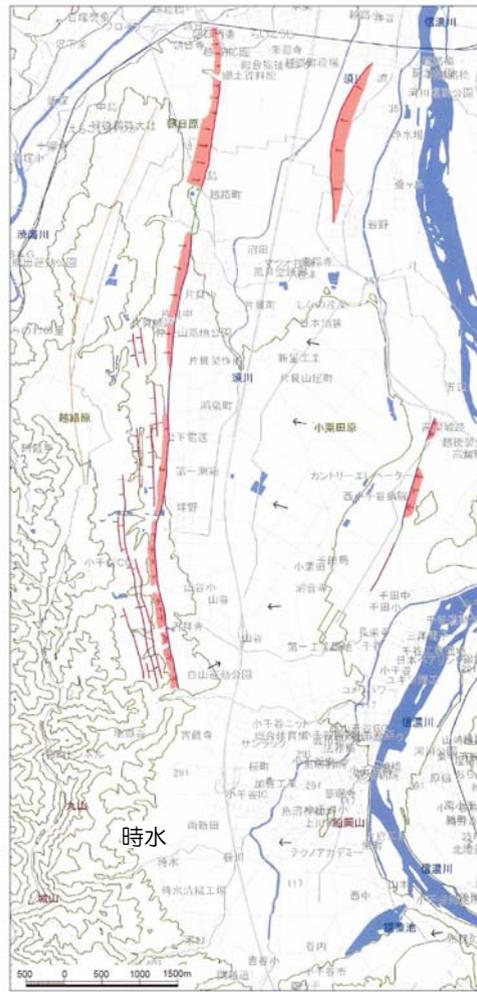
- 片貝断層南方延長部の小千谷市桜町付近には、L<sub>II</sub>面及びL<sub>I</sub>面が分布しており、変動地形は認められない



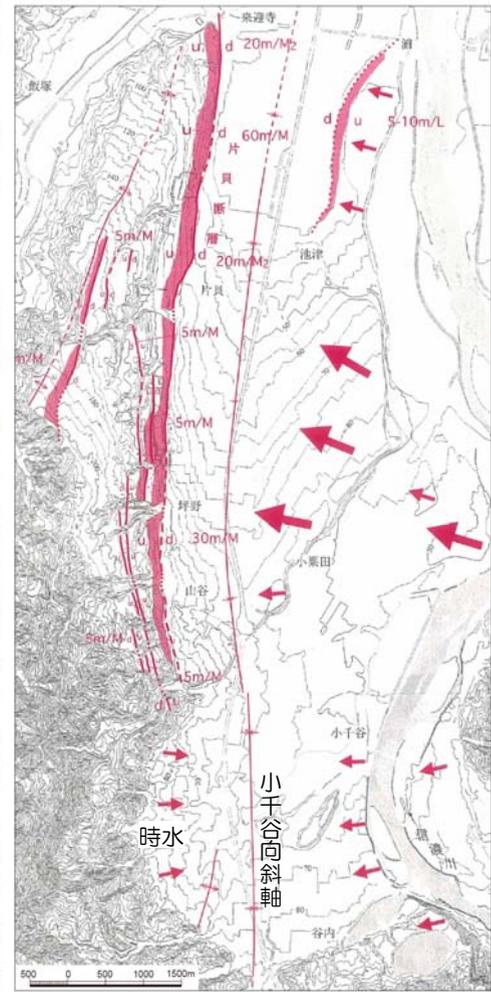
## 5. 片貝断層の補足説明②（文献による南方延長部の傾動）



都市圏活断層図「長岡」・「小千谷」(2001)  
東京電力



活断層詳細デジタルマップ(2002)

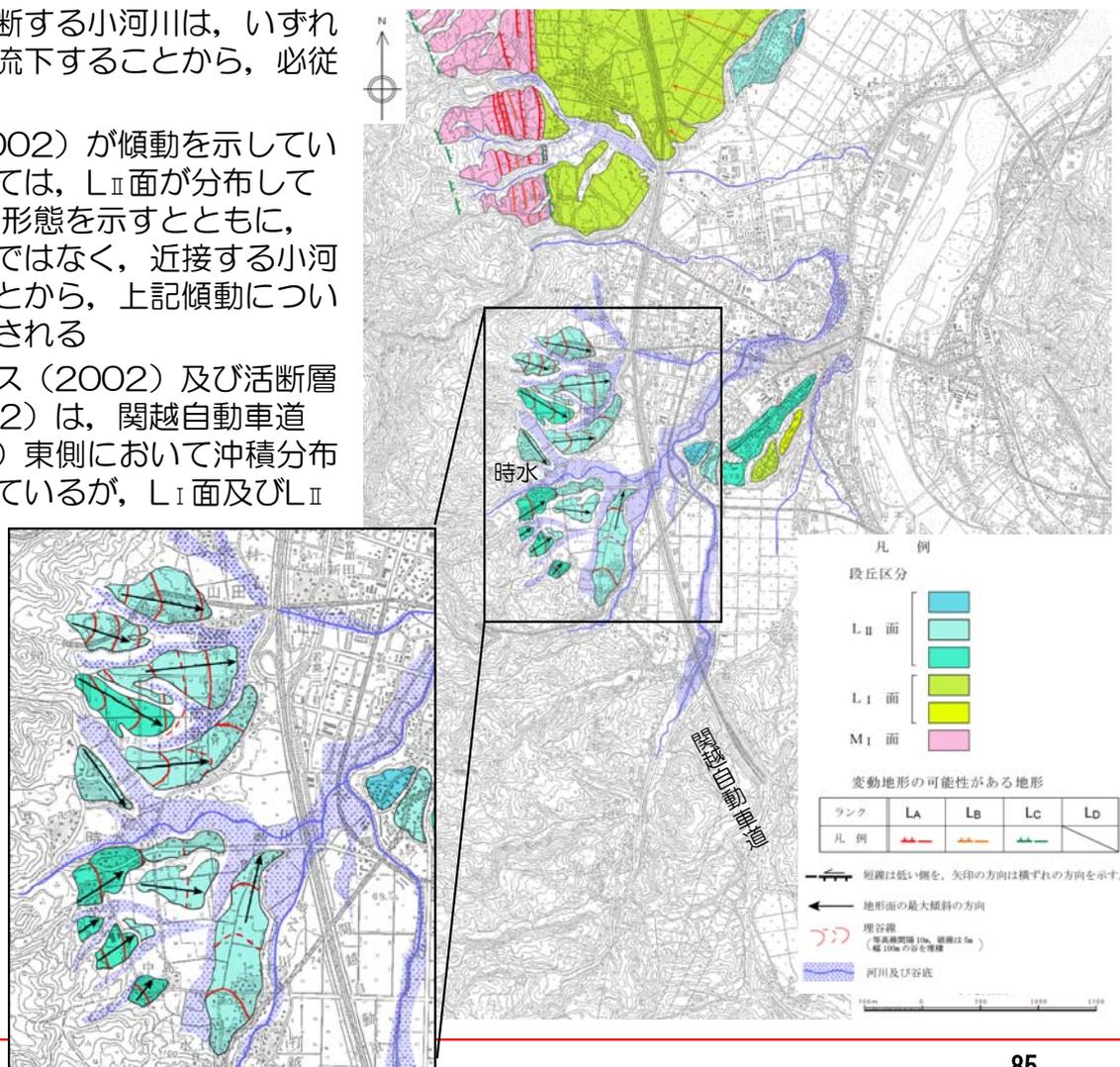


第四紀逆断層アトラス(2002)



## 5. 片貝断層の補足説明③（南部及び南方延長部の空中写真判読結果）

- 片貝断層による撓曲崖を横断する小河川は、いずれも撓曲崖の最大傾斜方向に流下することから、必従河川である
- 第四紀逆断層アトラス（2002）が傾動を示している小千谷市時水付近においては、L<sub>II</sub>面が分布しており、同L<sub>II</sub>面は扇状地状の形態を示すとともに、各面の最大傾斜方向は一定ではなく、近接する小河川の方角と一致していることから、上記傾動については扇状地面の傾斜と判断される
- また、第四紀逆断層アトラス（2002）及び活断層詳細デジタルマップ（2002）は、関越自動車道（ほぼ小千谷向斜軸の位置）東側において沖積分布域等に西方への傾動を示しているが、L<sub>I</sub>面及びL<sub>II</sub>面に傾動は認められない
- 以上のことから、第四紀逆断層アトラス（2002）等が傾動を示している小千谷市時水付近には、片貝断層による活動が及んでいないと判断される



## 6 . 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

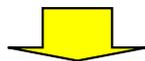
### 検討用地震の選定ステップ

敷地周辺の活断層



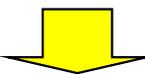
海域と陸域で分類

地震の発生域（海域と陸域）によって、敷地における地震動特性が異なるため



Noda et al. (2002) の方法による応答スペクトルの比較

敷地に及ぼす影響度を比較することが目的であるため、サイト補正係数は考慮しない



検討用地震の選定

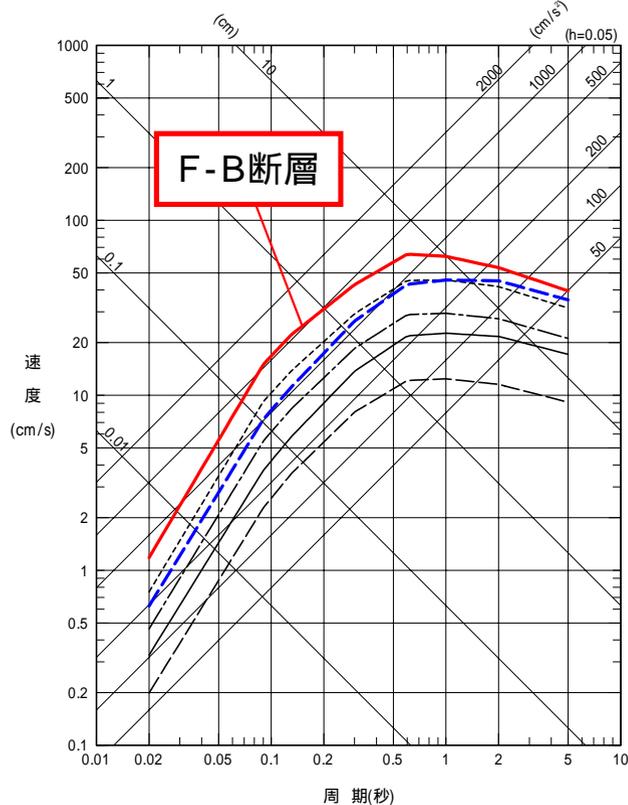


地震動評価

- ・ 応答スペクトルに基づく評価  
(Noda et al (2002) の手法：サイト補正係数を考慮)
- ・ 断層モデルを用いた手法による評価

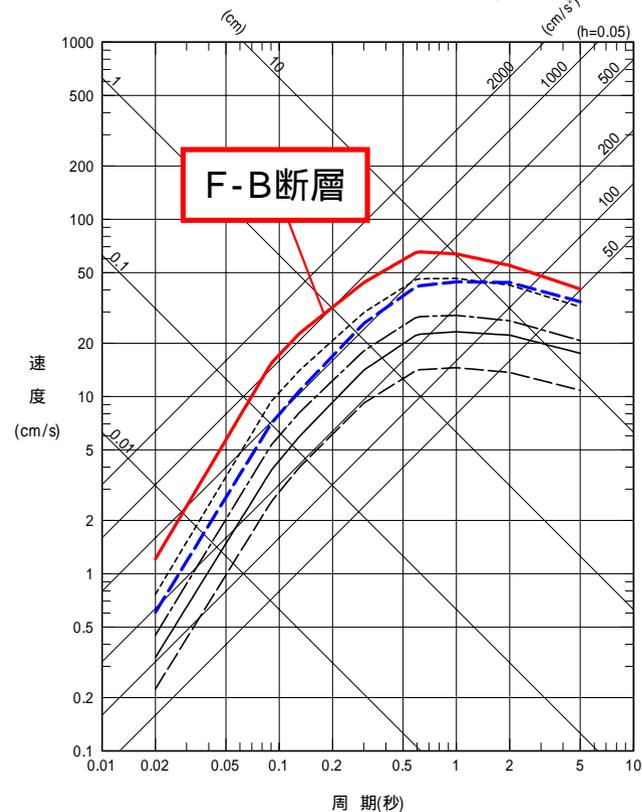
# 7 . Noda et al ( 2002 ) による応答スペクトル ( 海域 )

- 佐渡島棚東縁撓曲 ( M7.4 , Xeq=55km )
- F - B断層 ( M7.0 , Xeq=13km )
- - - 佐渡島南方断層 ( M7.3 , Xeq=26km )
- · - F - D断層 ( M7.3 , Xeq=38km )
- - - 高田沖断層 ( M7.2 , Xeq=59km )
- · - F - D断層 + 高田沖断層 ( M7.7 , Xeq=41km )



荒浜側 ( 1 ~ 4号機 )

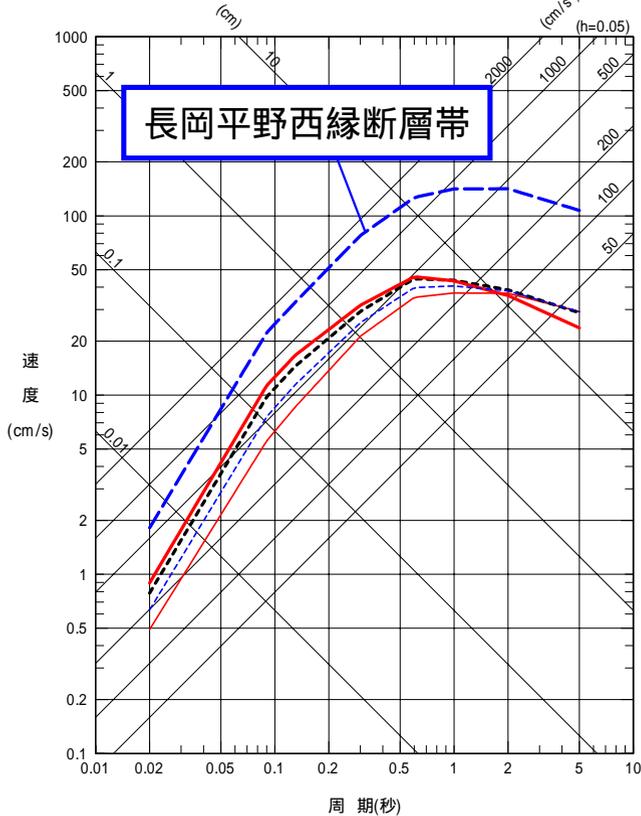
- 佐渡島棚東縁撓曲 ( M7.4 , Xeq=53km )
- F - B断層 ( M7.0 , Xeq=13km )
- - - 佐渡島南方断層 ( M7.0 , Xeq=25km )
- · - F - D断層 ( M7.3 , Xeq=39km )
- - - 高田沖断層 ( M7.2 , Xeq=60km )
- · - F - D断層 + 高田沖断層 ( M7.7 , Xeq=43km )



大湊側 ( 5 ~ 7号機 )

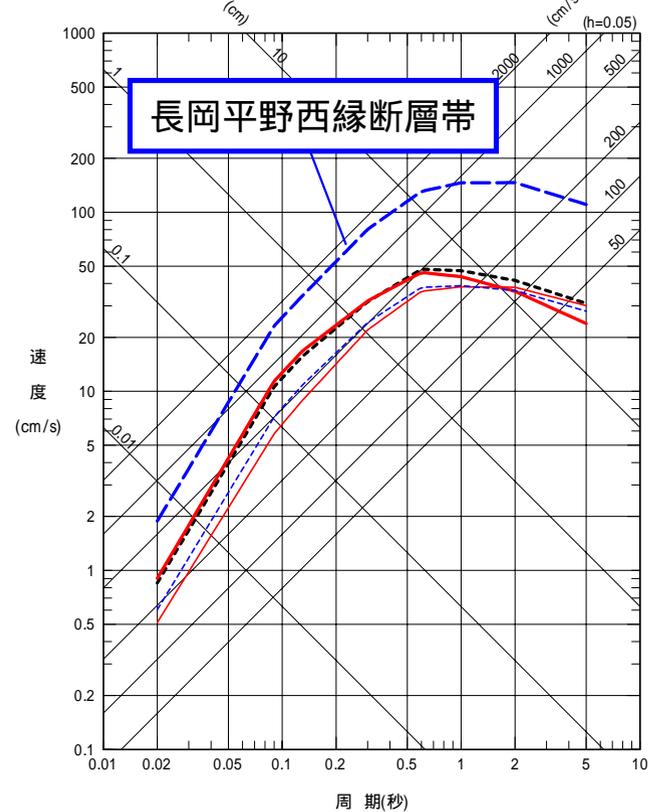
# 7 . Noda et al ( 2002 ) による応答スペクトル ( 陸域 )

- 角田・弥彦断層 ( M7.7, Xeq=51km )
- - - 気比ノ宮断層 ( M7.1, Xeq=21km )
- 片貝断層 ( M6.8, Xeq=14km )
- - - 長岡平野西縁断層帯 ( M8.1, Xeq=25km )
- - - 十日町盆地西縁断層 ( M7.4, Xeq=32km )



荒浜側 ( 1 ~ 4号機 )

- 角田・弥彦断層 ( M7.7, Xeq=49km )
- - - 気比ノ宮断層 ( M7.1, Xeq=20km )
- 片貝断層 ( M6.8, Xeq=14km )
- - - 長岡平野西縁断層帯 ( M8.1, Xeq=25km )
- - - 十日町盆地西縁断層 ( M7.4, Xeq=33km )



大湊側 ( 5 ~ 7号機 )

## 8 . 検討用地震の選定結果及び地震動評価

---

### 検討用地震

**海域の活断層** ■ F-B断層による地震 ( M 7.0 )

**陸域の活断層** ■ 長岡平野西縁断層帯による地震 ( M 8.1 )

### 地震動評価

#### ■ 応答スペクトルに基づく地震動評価

Noda et al ( 2002 ) による応答スペクトル評価に用いる補正係数を海域で発生した地震と陸域で発生した地震で分けて評価

#### ■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

想定した震源域で発生した中小地震を要素地震として用いることにより、伝播特性等を反映することが可能な経験的グリーン関数法で評価

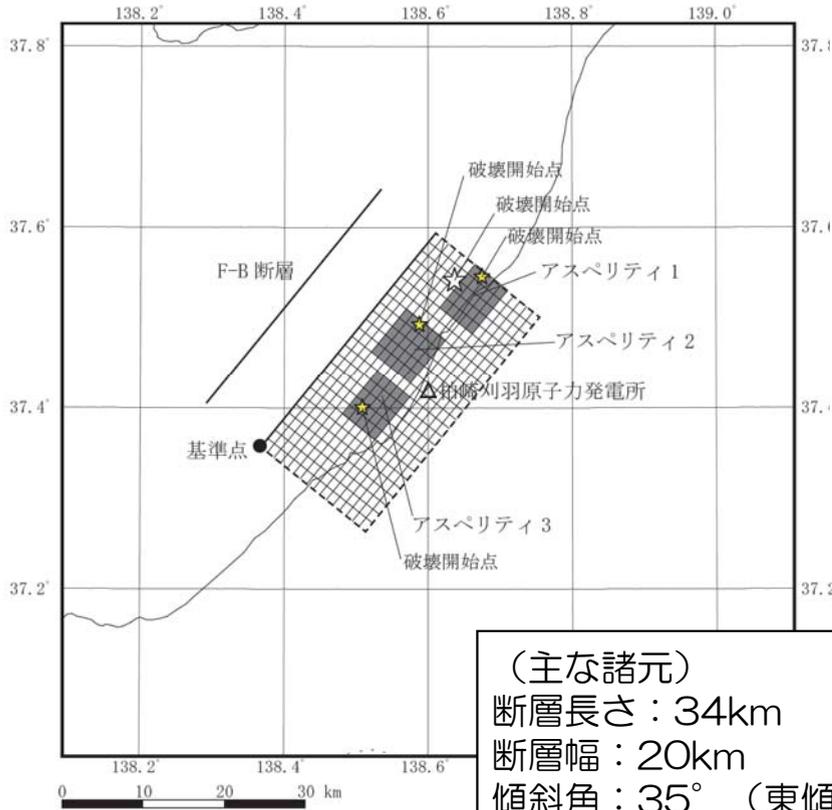
## 8 . 検討用地震の選定結果及び地震動評価

- 検討用地震の応答スペクトル・断層モデルによる地震動評価結果をそれぞれ基準地震動Ssとして設定

基準地震動	検討用地震	地震動評価手法
Ss - 1	F - B断層による地震 ( M7.0 )	応答スペクトル 〔 Noda et al. ( 2002 ) 〕
Ss - 2		断層モデル 〔 経験的グリーン関数法 〕
Ss - 3	長岡平野西縁断層帯 による地震 ( M8.1 )	応答スペクトル 〔 Noda et al. ( 2002 ) 〕
Ss - 4		断層モデル 〔 経験的グリーン関数法 〕

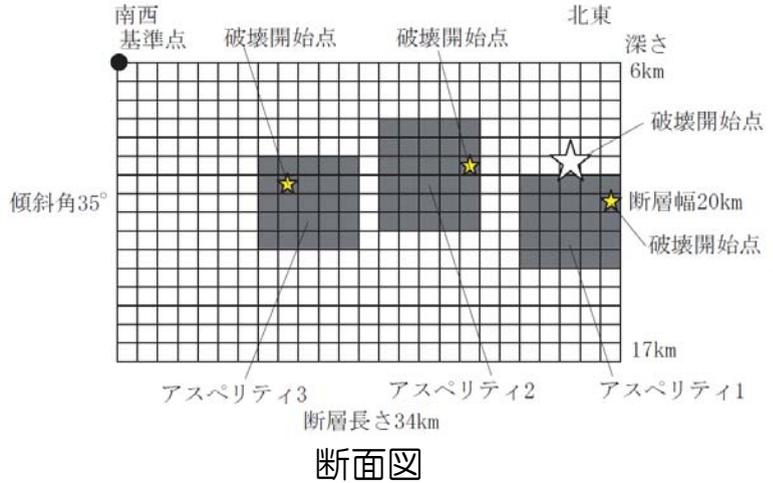
# 9. F-B断層による地震の地震動評価①

## F-B断層の断層モデル



(主な諸元)  
 断層長さ：34km  
 断層幅：20km  
 傾斜角：35° (東傾斜)  
 アスペリティ：3個

平面図



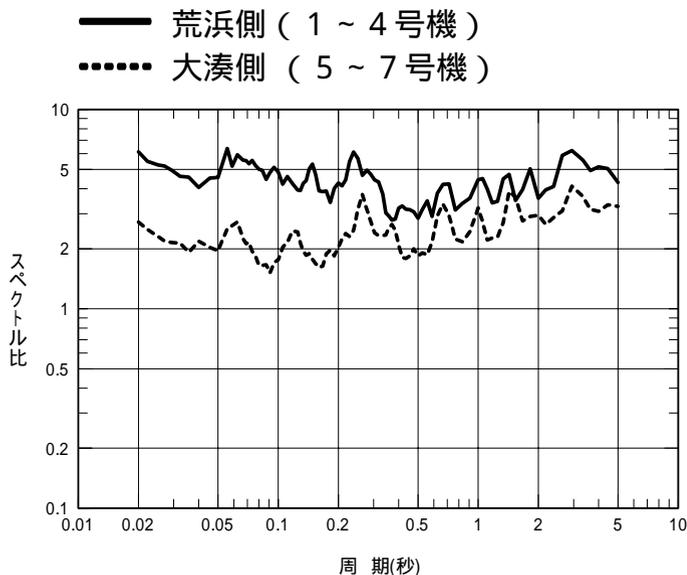
断面図

中越沖地震  
 震源インバージョンモデル (M6.8) → F-B断層モデル (M7.0)

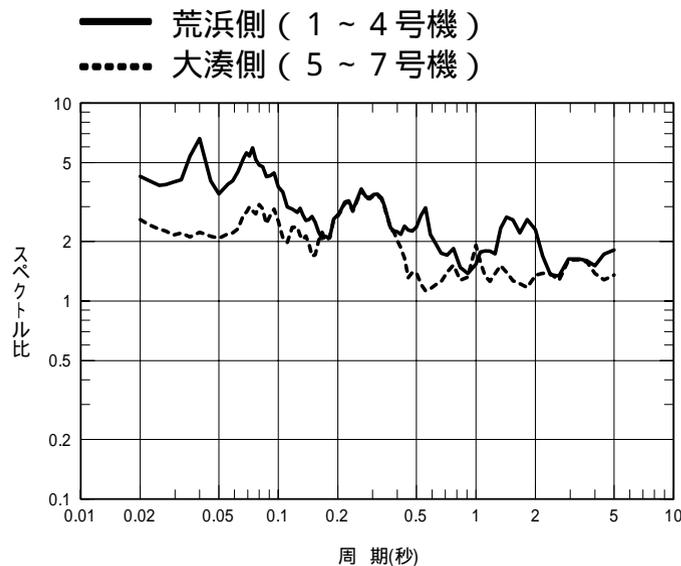
## 9 . F - B 断層による地震の地震動評価

### 応答スペクトルに基づく地震動評価

- 評価手法： Noda et al. ( 2002 ) による手法
- 補正係数： 中越沖地震の各号機原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al. ( 2002 ) による応答スペクトルの比を、安全側に包絡するように設定



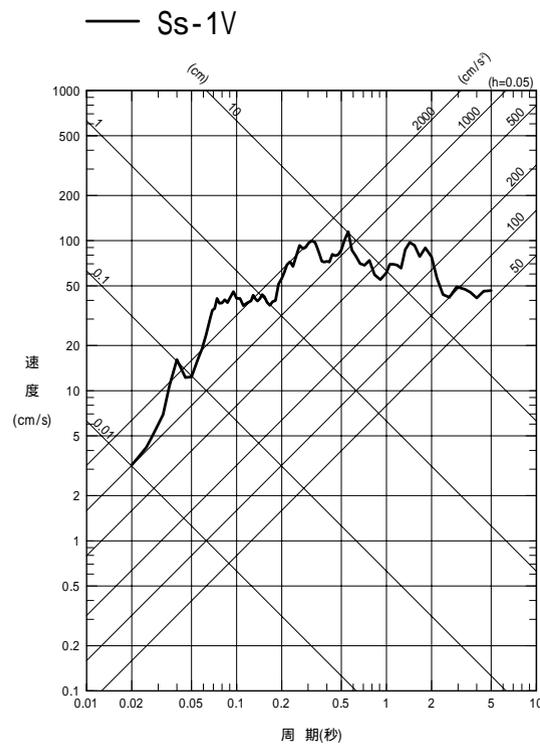
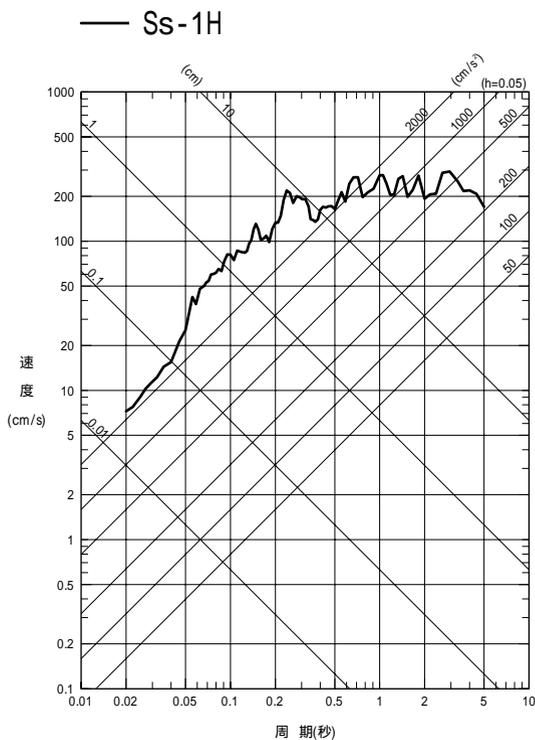
水平方向



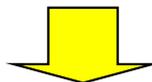
鉛直方向

# 9 . F - B 断層による地震の地震動評価

## 応答スペクトルに基づく地震動評価結果（荒浜側）



水平方向

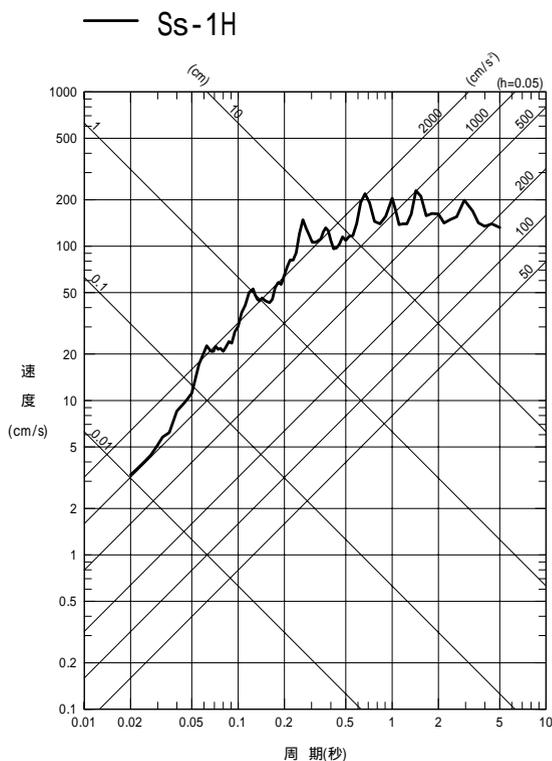


鉛直方向

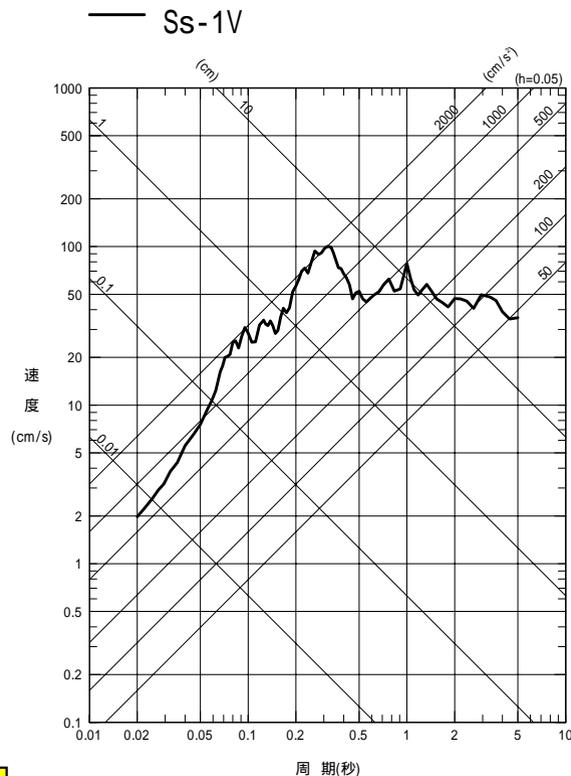
基準地震動Ss - 1 ( 1 ~ 4号機 )

# 9 . F - B 断層による地震の地震動評価

## 応答スペクトルに基づく地震動評価結果（大湊側）



水平方向



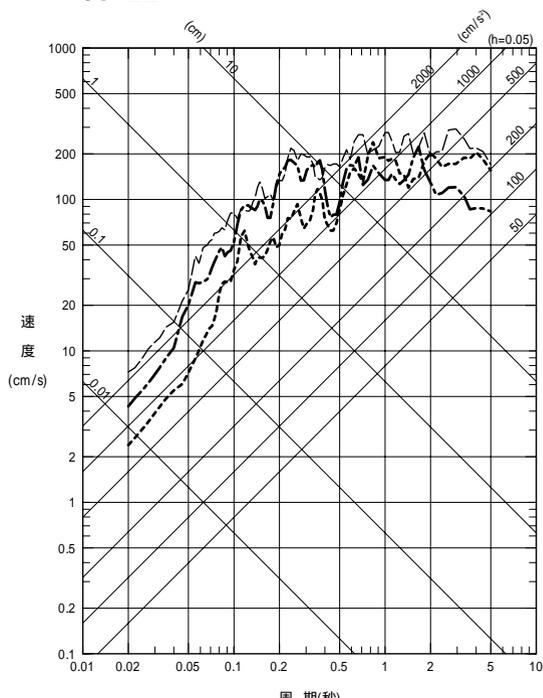
鉛直方向

基準地震動Ss - 1 ( 5 ~ 7号機 )

# 9 . F - B 断層による地震の地震動評価

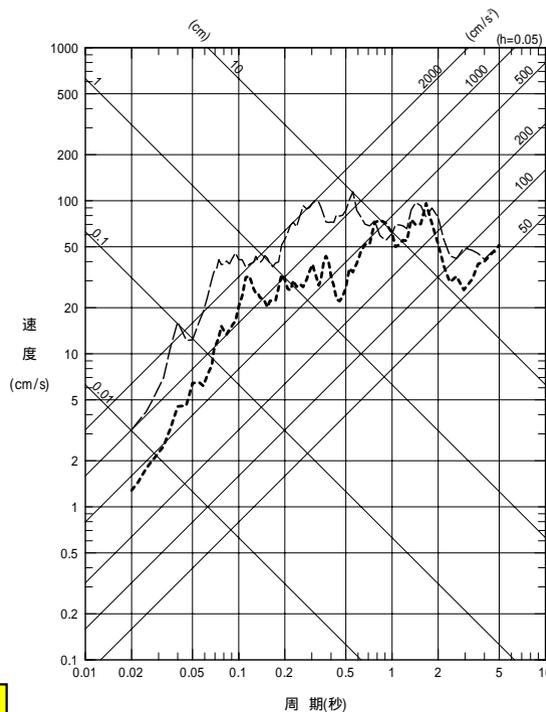
## 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果（荒浜側）

--- Ss-1H  
 ..... Ss-2NS  
 - - - Ss-2EW



水平方向

--- Ss-1V  
 ..... Ss-2UD

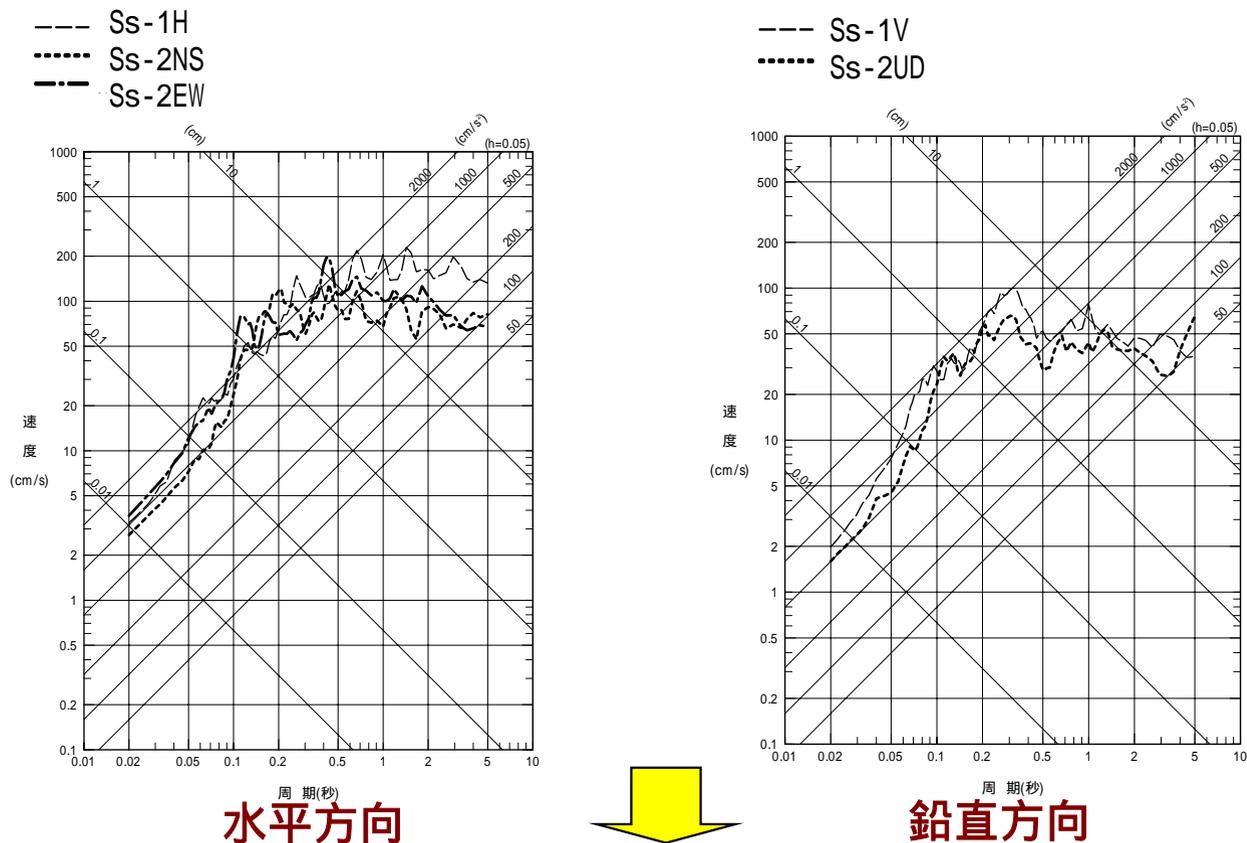


鉛直方向

基準地震動 Ss - 2 ( 1 ~ 4 号機 )

# 9 . F - B 断層による地震の地震動評価

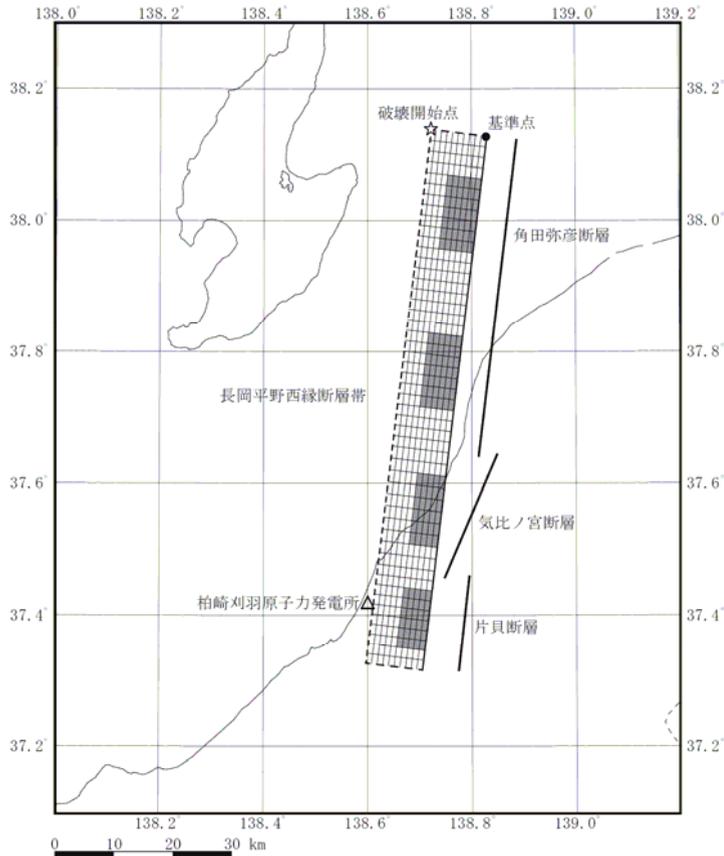
## 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果（大湊側）



基準地震動 Ss - 2 ( 5 ~ 7 号機 )

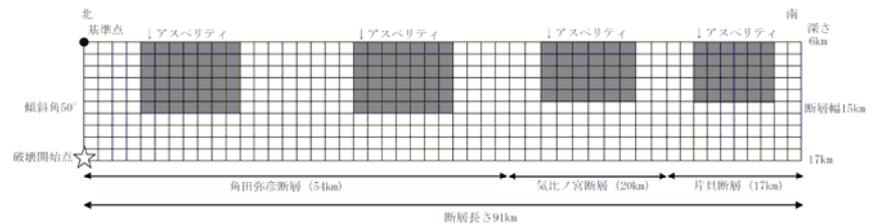
# 10. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価①

## 長岡平野西縁断層帯の断層モデル



平面図

(主な諸元)  
断層長さ：91km  
断層幅：15km  
傾斜角：50° (西傾斜)  
アスペリティ：4個



断面図

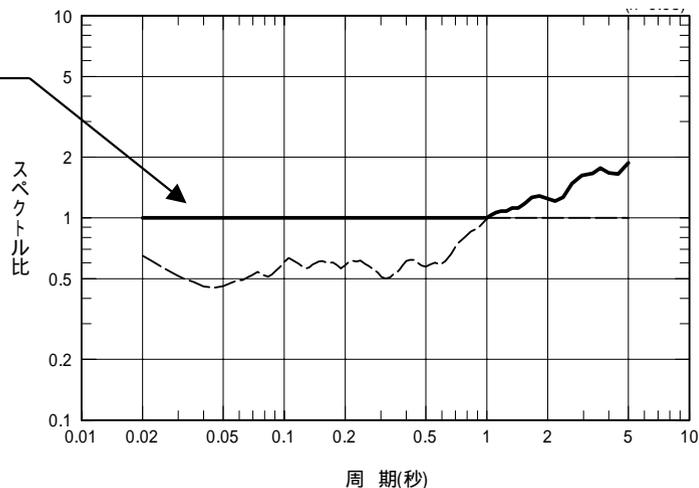
# 10 . 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

## 応答スペクトルに基づく地震動評価

- 評価手法：Noda et al. (2002) による手法
- 補正係数：想定地震と同一方向の陸域（中越地域）で発生した地震の解放基盤波とNoda et al. (2002) による応答スペクトルとの比【1～7号機で共通】

—— 観測記録に基づく応答スペクトル比（陸域・中越地域）

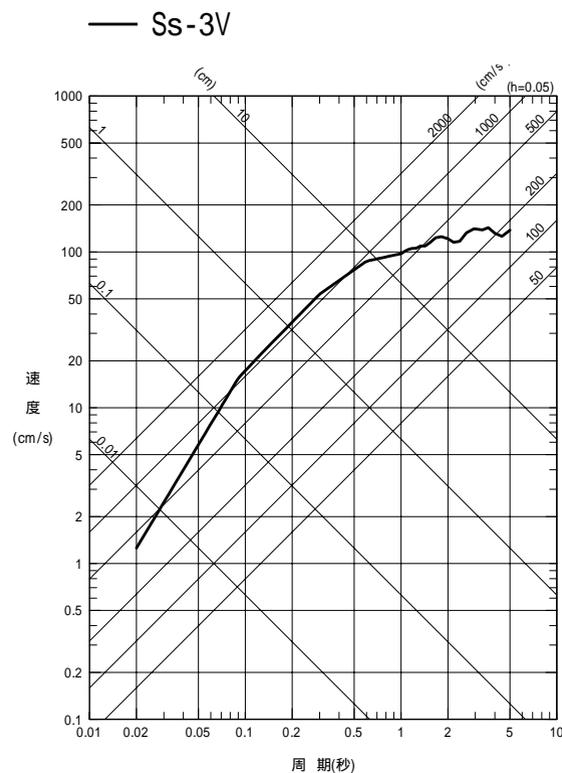
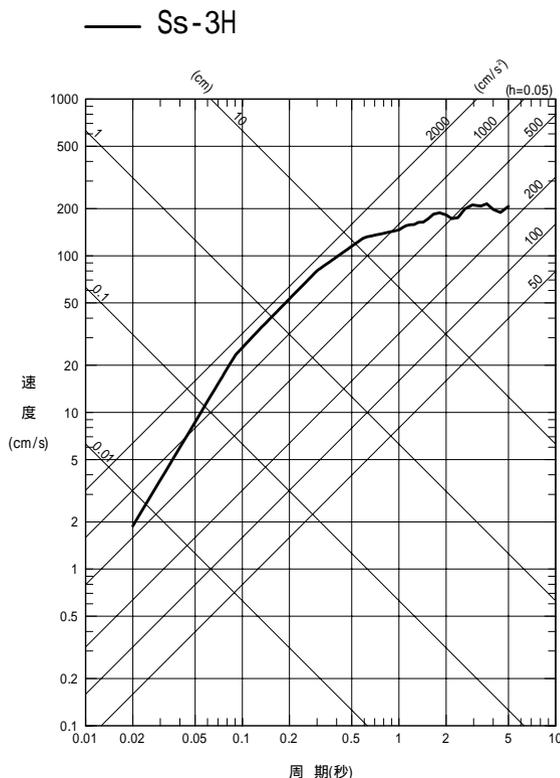
安全評価上、スペクトル比の下限を1とした補正係数を設定



水平方向

# 10 . 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果（荒浜側，大湊側共通）



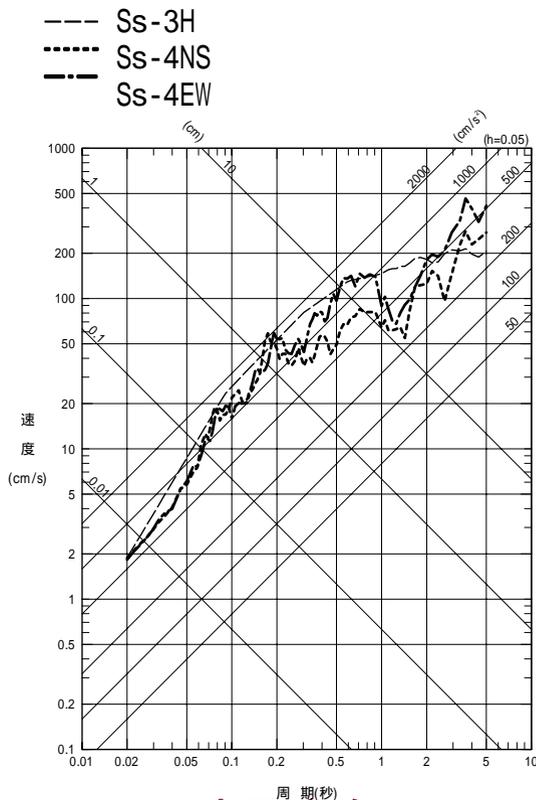
水平方向

鉛直方向（水平方向 × 2/3）

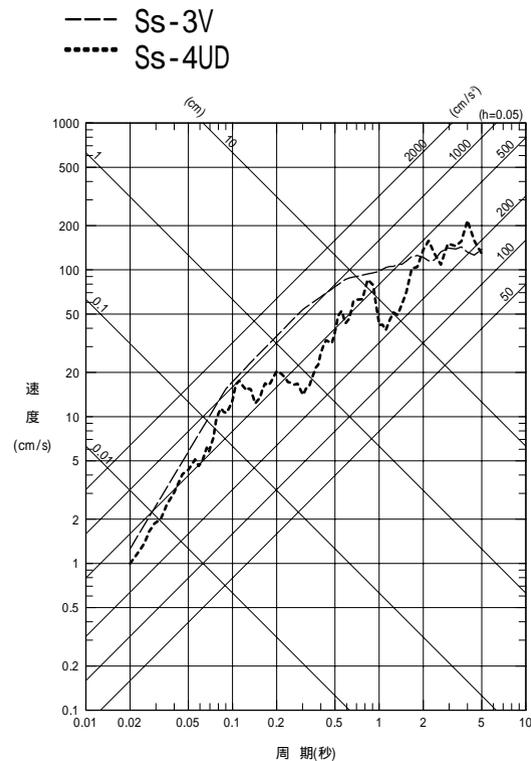
基準地震動Ss - 3（1 ~ 7号機共通）

# 10 . 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

## 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果（荒浜側）



水平方向

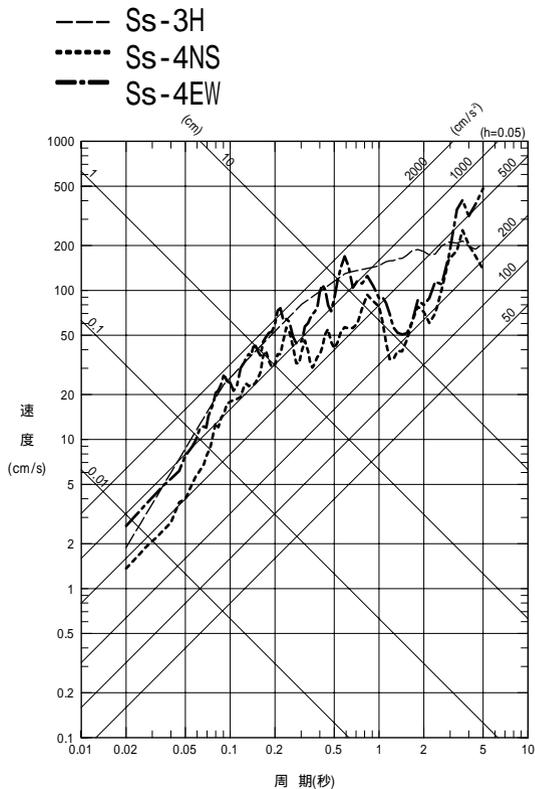


鉛直方向

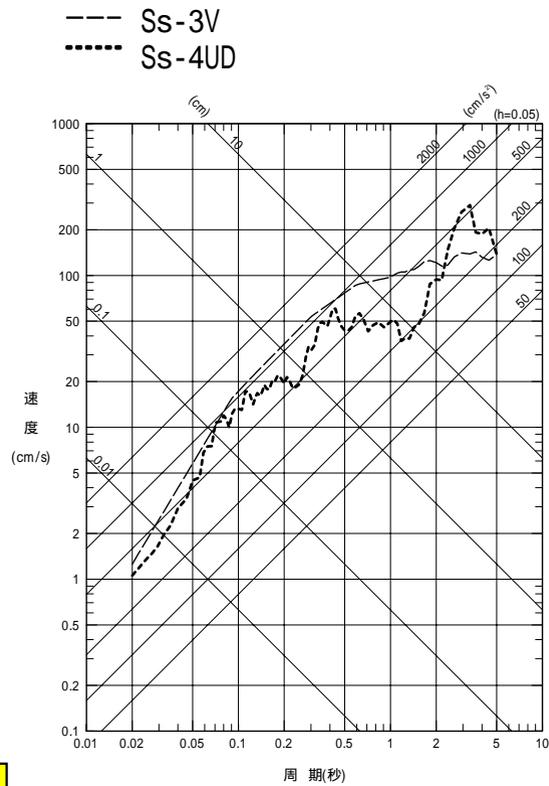
基準地震動Ss - 4 ( 1 ~ 4号機 )

# 10 . 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

## 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果（大湊側）



水平方向



鉛直方向

基準地震動Ss - 4 ( 5 ~ 7号機 )

## 1 1 . 基準地震動Ssの最大加速度値

( 単位 : Gal )

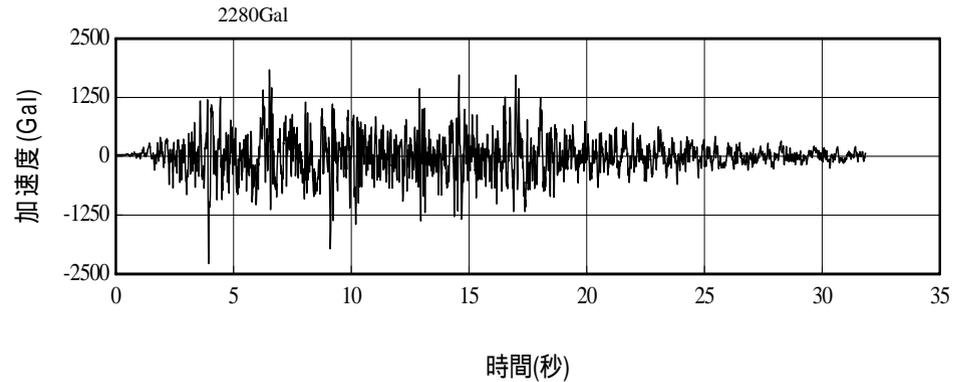
基準地震動	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
Ss - 1 ( F-B断層・応答スペクトル )	水平 : 2280 鉛直 : 1010				水平 : 1040 鉛直 : 630		
Ss - 2 ( F-B断層・断層モデル )	水平 : 1354 鉛直 : 402				水平 : 1156 鉛直 : 501		
Ss - 3 ( 長岡平野西縁断層帯・応答スペクトル )	水平 : 600 鉛直 : 400				水平 : 600 鉛直 : 400		
Ss - 4 ( 長岡平野西縁断層帯・断層モデル )	水平 : 589 鉛直 : 314				水平 : 826 鉛直 : 332		

( 水平方向の値はN S , E W方向の大きい方を記載 )

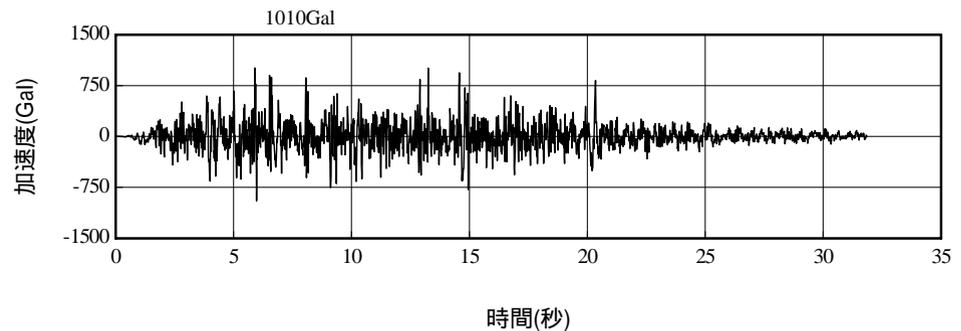
## 1 2 . 設計用模擬地震波 (F-B断層)

### 基準地震動Ss - 1 (荒浜側) の加速度時刻歴波形

( a ) Ss-1H ( 荒浜側 )



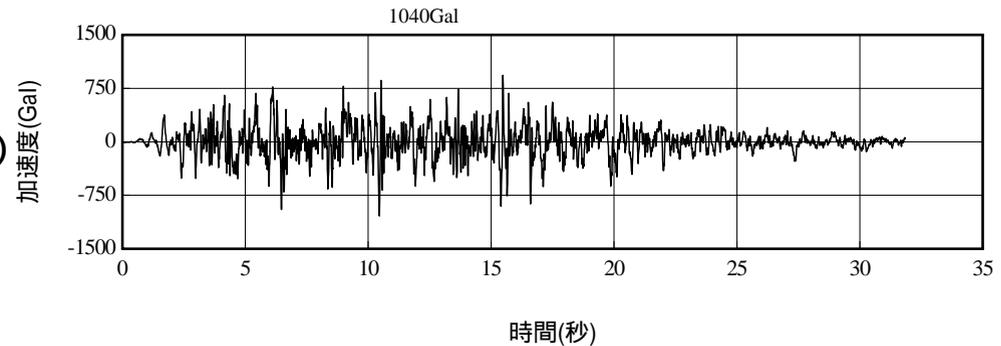
( b ) Ss-1V ( 荒浜側 )



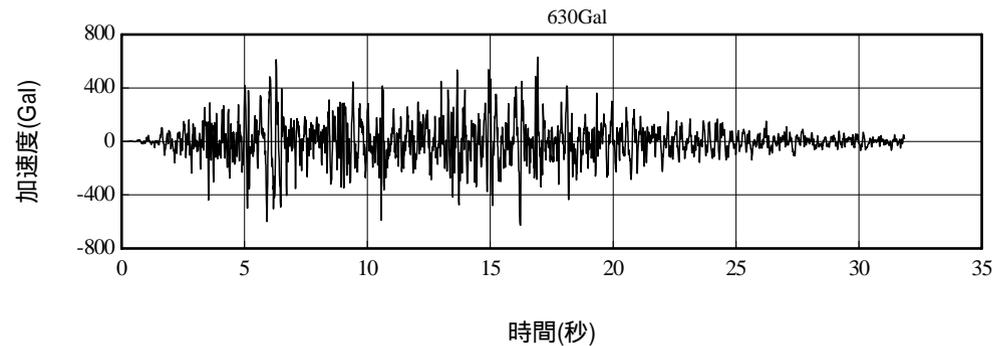
## 1 2 . 設計用模擬地震波 (F-B断層)

### 基準地震動Ss - 1 (大湊側) の加速度時刻歴波形

(a) Ss-1H (大湊側)



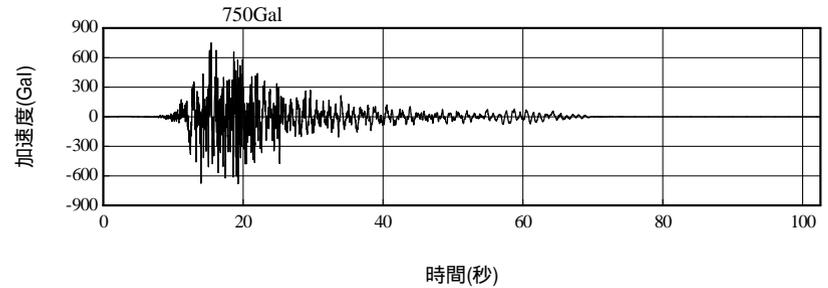
(b) Ss-1V (大湊側)



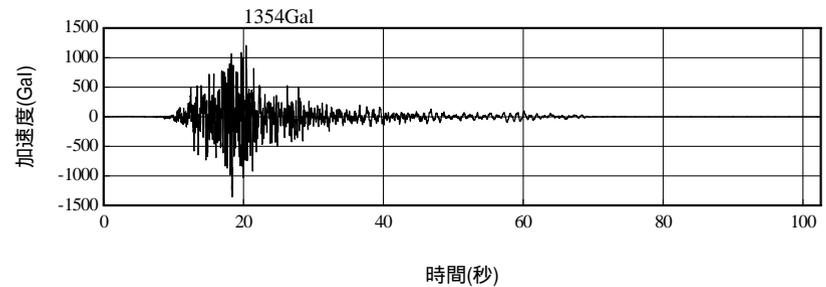
## 1 2 . 設計用模擬地震波 (F-B断層)

### 基準地震動Ss - 2 (荒浜側) の加速度時刻歴波形

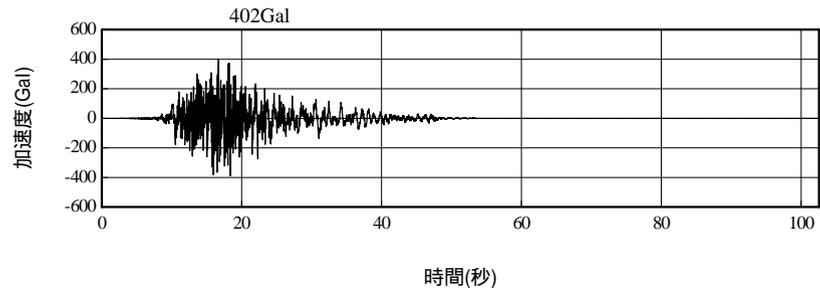
( a ) Ss-2NS ( 荒浜側 )



( b ) Ss-2EW ( 荒浜側 )



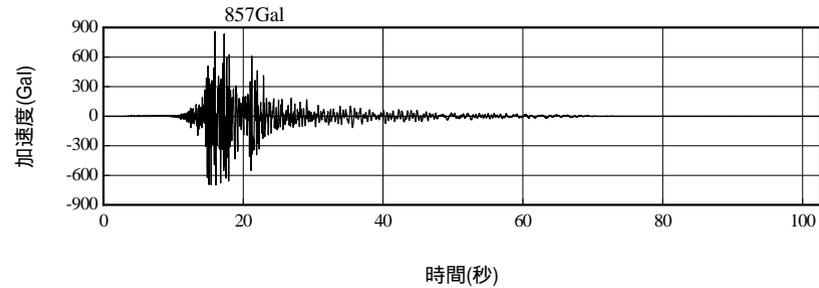
( c ) Ss-2UD ( 荒浜側 )



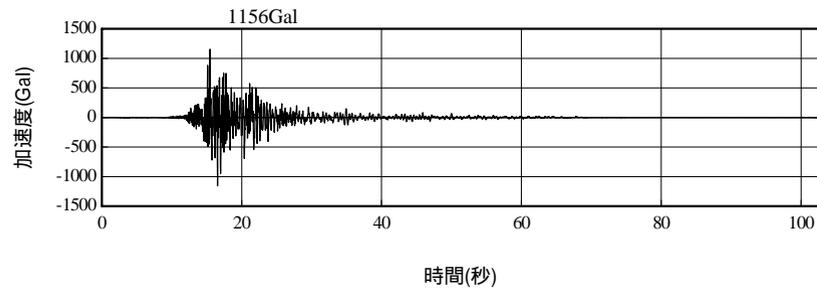
## 1 2 . 設計用模擬地震波 (F-B断層)

### 基準地震動Ss - 2 (大湊側) の加速度時刻歴波形

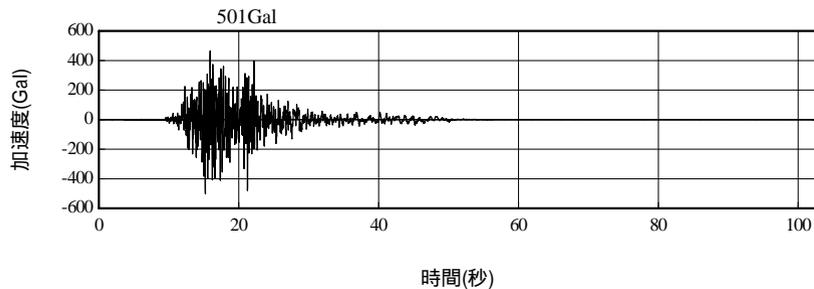
(a) Ss-2NS (大湊側)



(b) Ss-2EW (大湊側)



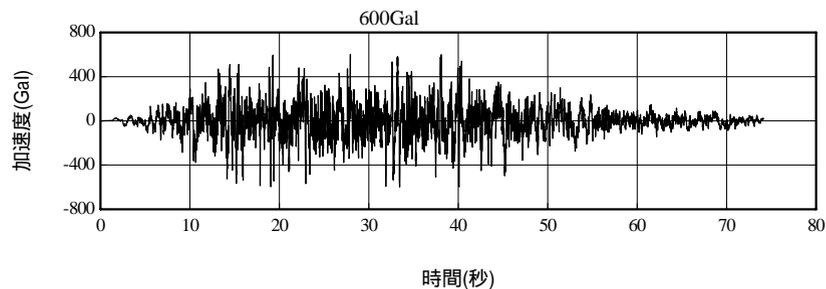
(c) Ss-2UD (大湊側)



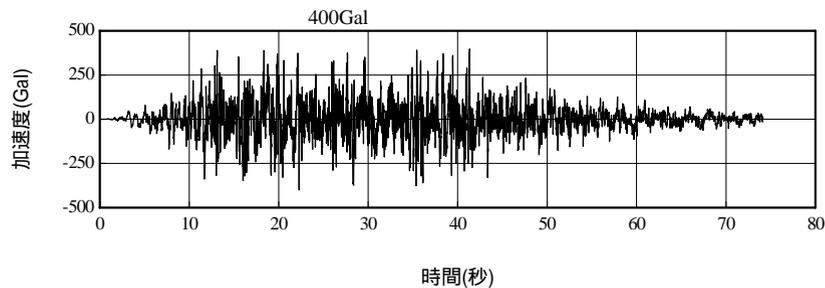
## 1 2 . 設計用模擬地震波 (長岡平野西縁断層帯)

### 基準地震動Ss - 3 (荒浜側・大湊側共通)の加速度時刻歴波形

( a ) Ss-3H



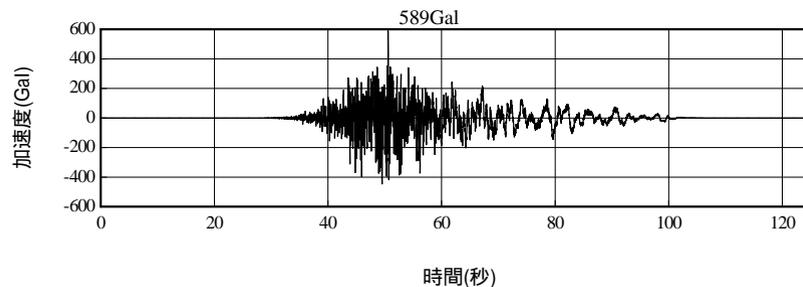
( b ) Ss-3V



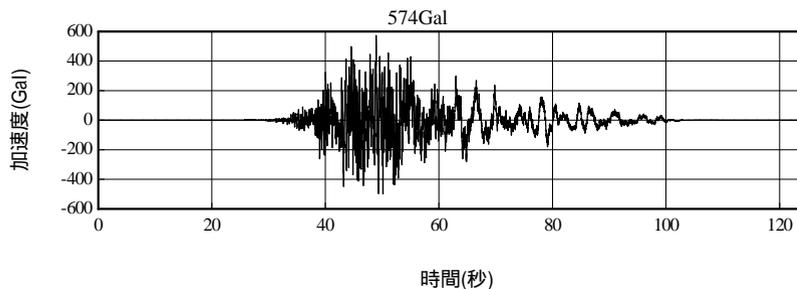
## 1 2 . 設計用模擬地震波 (長岡平野西縁断層帯)

### 基準地震動Ss - 4 (荒浜側) の加速度時刻歴波形

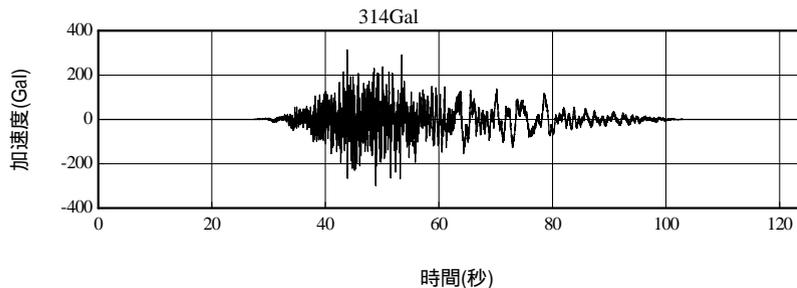
(a) Ss-4NS (荒浜側)



(b) Ss-4EW (荒浜側)



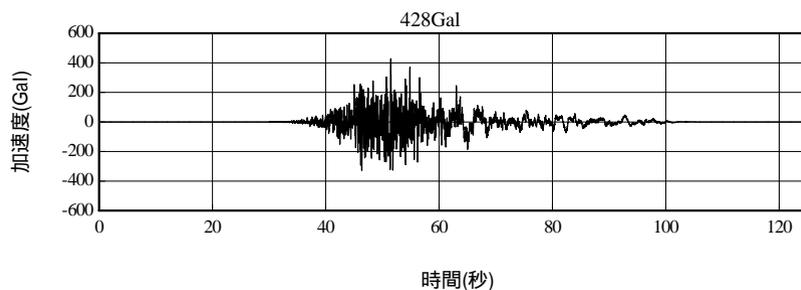
(c) Ss-4UD (荒浜側)



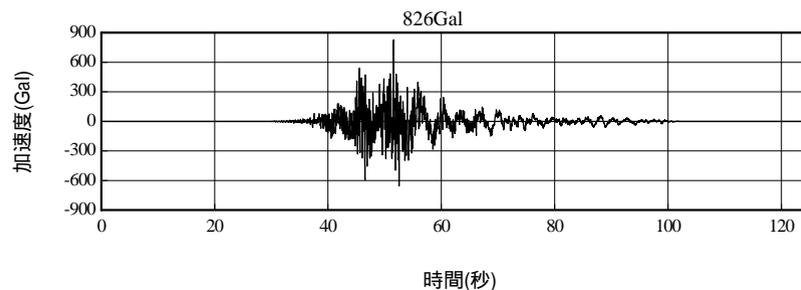
## 1 2 . 設計用模擬地震波 (長岡平野西縁断層帯)

### 基準地震動Ss - 4 (大湊側) の加速度時刻歴波形

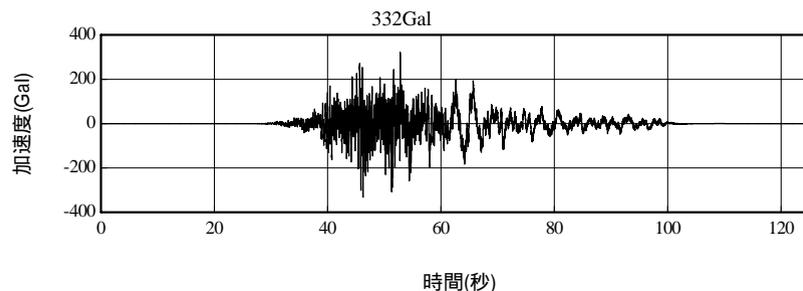
( a ) Ss-4NS (大湊側)



( b ) Ss-4EW (大湊側)



( c ) Ss-4UD (大湊側)

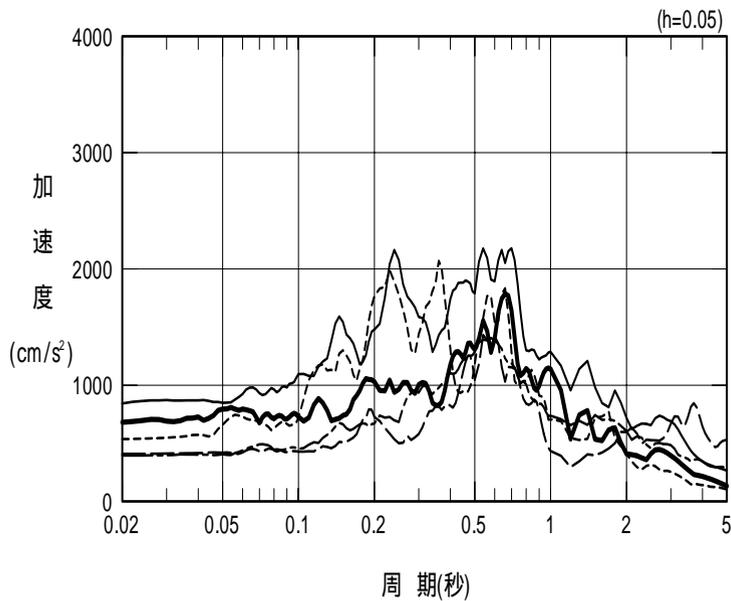


# 1 3 . 原子炉建屋基礎版における応答の比較

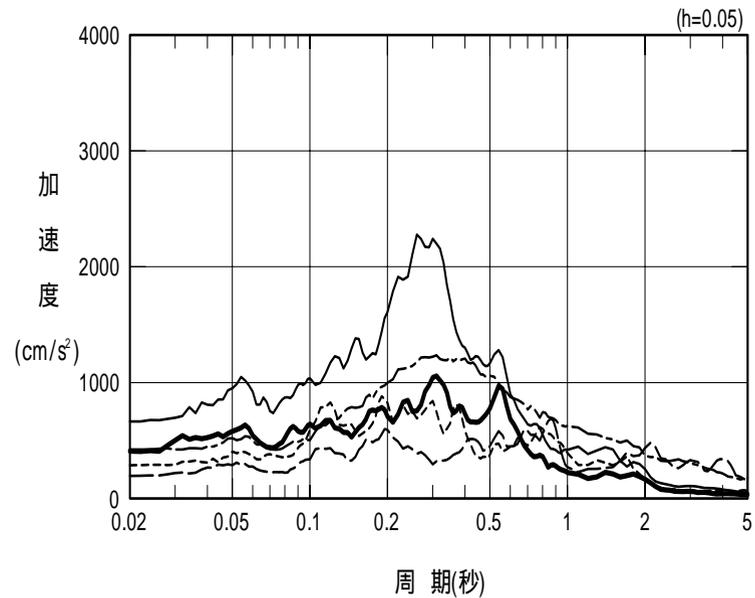
## 基準地震動と中越沖地震の比較（1号機）

- 中越沖地震観測記録
- Ss-1H
- - - Ss-2EW
- · - Ss-3H
- - - Ss-4EW

- 中越沖地震観測記録
- Ss-1V
- - - Ss-2UD
- · - Ss-3V
- - - Ss-4UD



(a) EW方向



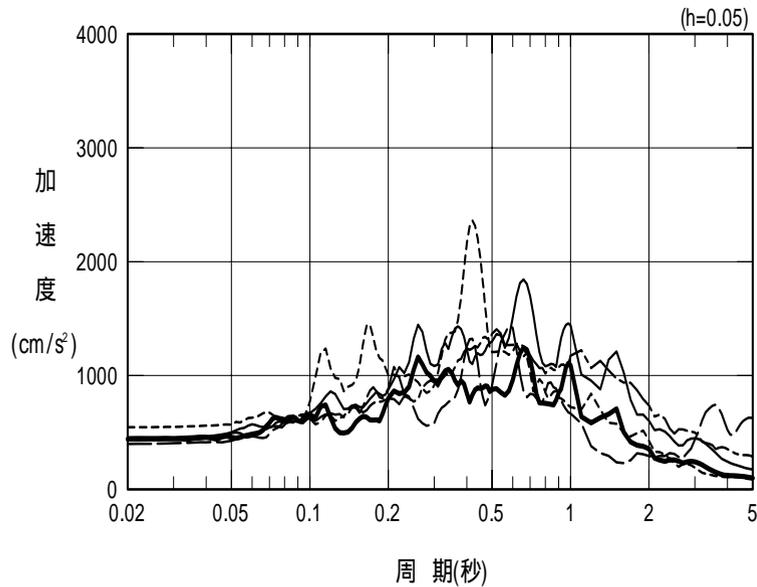
(b) UD方向

# 1 3 . 原子炉建屋基礎版における応答の比較

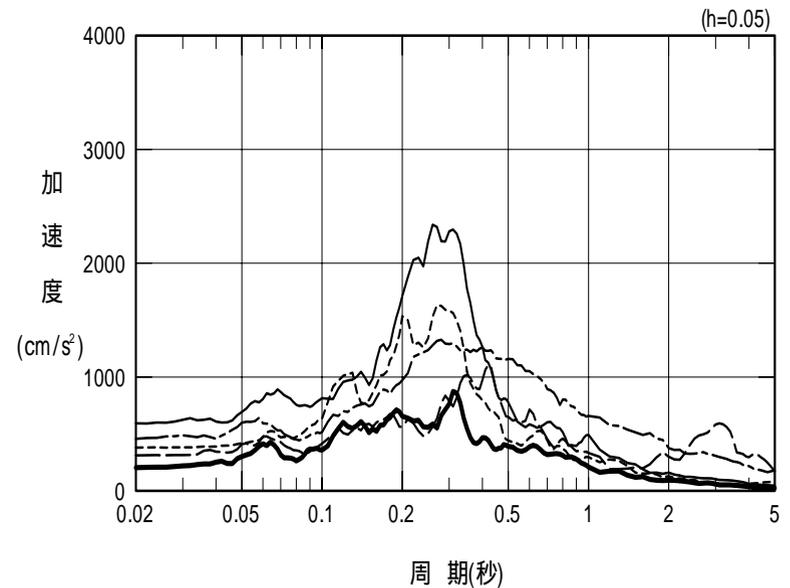
## 基準地震動と中越沖地震の比較（5号機）

- 中越沖地震観測記録
- Ss-1H
- - - Ss-2EW
- · - Ss-3H
- - - Ss-4EW

- 中越沖地震観測記録
- Ss-1V
- - - Ss-2UD
- · - Ss-3V
- - - Ss-4UD



(a) EW方向



(b) UD方向

---

## ( 4 ) 今後の取り組み

## 1 . 今後の取り組み

---

一層の耐震信頼性向上のために、以下の取り組みを進めてまいります。

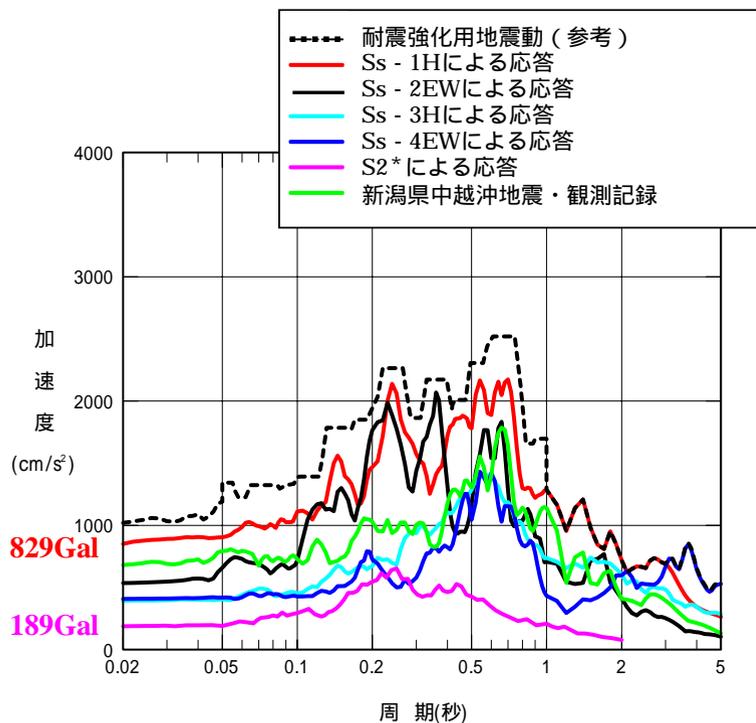
本WGにおける審議の状況等を踏まえつつ、耐震安全性の確認作業を進めていく。

各設備の耐震安全性の向上を図るため、1～7号機の全てに対して原子炉建屋基礎版上で1000ガルの揺れに耐えられるよう工事を実施していく。

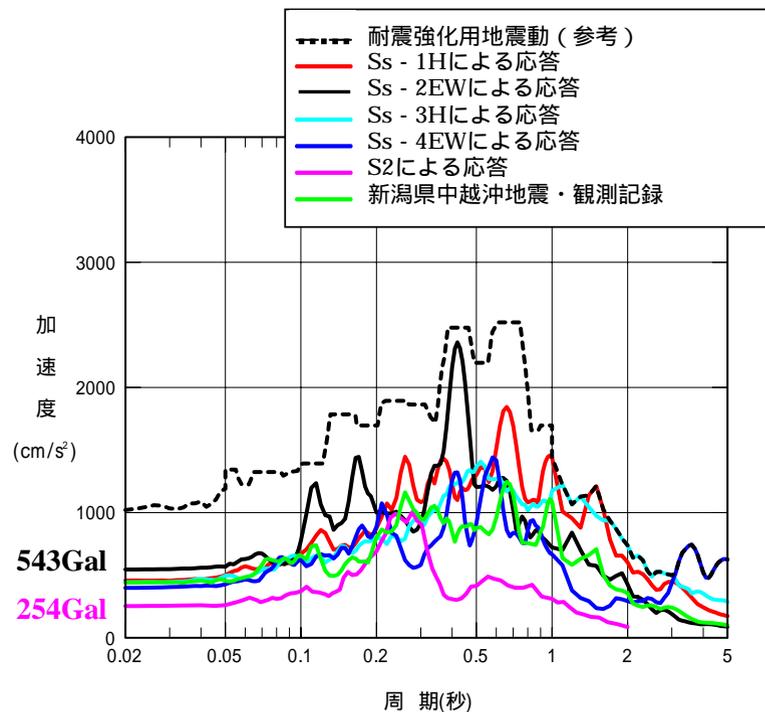
上記の工事についても、本WGにおける審議の状況等を適切に反映していく。

一層の耐震性向上の観点から、大深度地震観測などの実施に向けた検討を行う。

## 2 . 耐震強化用地震動の概念図



(a) 1号機



(b) 5号機

\* 耐震設計審査指針（昭和56年7月26日原子力安全委員会決定）  
 に対するバックチェック時の応答