

福島第一原子力発電所
福島第二原子力発電所

新耐震指針に照らした耐震安全性評価（中間報告）
コメント回答（その1）

平成22年2月22日
東京電力株式会社



東京電力

1. 福島第一原子力発電所の地下構造の影響について



東京電力

No.	コメント概要
No.1	福島第一原子力発電所敷地の調査で、富岡層については、北側の方は数十cmから数cmの誤差で高度が揃っているが、南側では数m高く、北側とずれが大きいがこの理由は何か。

福島第一原子力発電所における地下探査

敷地を東西に横断する地下探査とケーブル探査測線を接続
敷地内の地下探査測線近くで大深度ボーリングを実施

地下探査

- 発 震：大型バイブレータ2台
- 発震点間隔：10m
- 受 振：地震計
- 受振点間隔：20m
- 測 線 長：11km

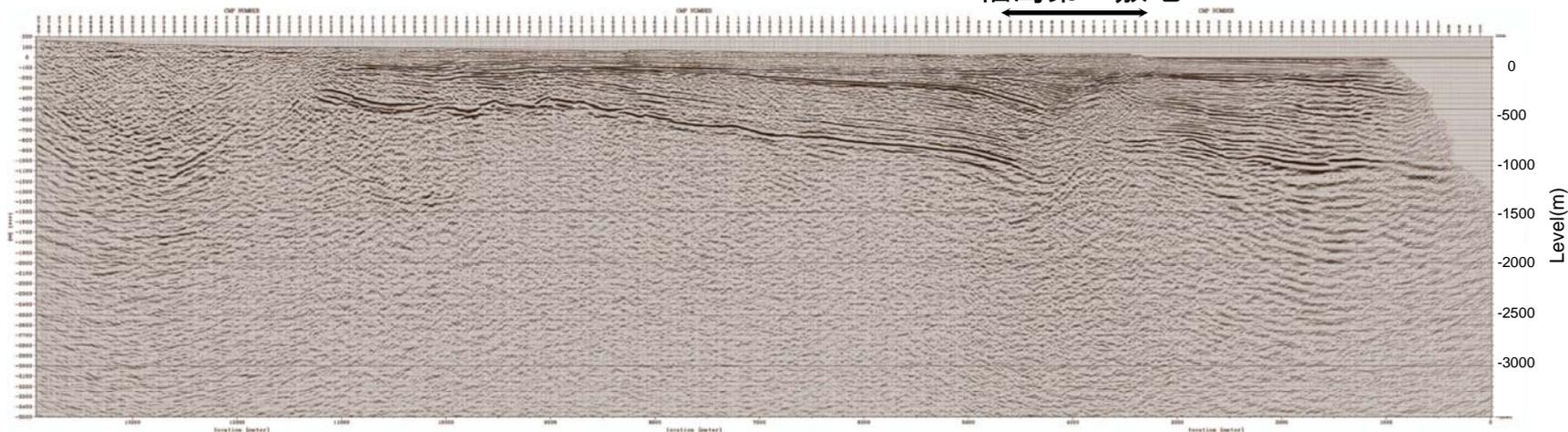


ケーブル探査

- 発 震：[海域]エアガン
(水深8m以上：500in³, 水深8m以下：40in³)
[陸域]インパクト
- 発震点間隔：[海域]水深8m以上：20m, 水深8m以下：10m
[陸域]20～10m
- 受 振：[海域]ハイドロフォン(ケーブル)
[陸域]地震計
- 受振点間隔：10m
- 測 線 長：[海域]2.4km
[陸域]1.0km

福島第一原子力発電所における地下探査

福島第一敷地

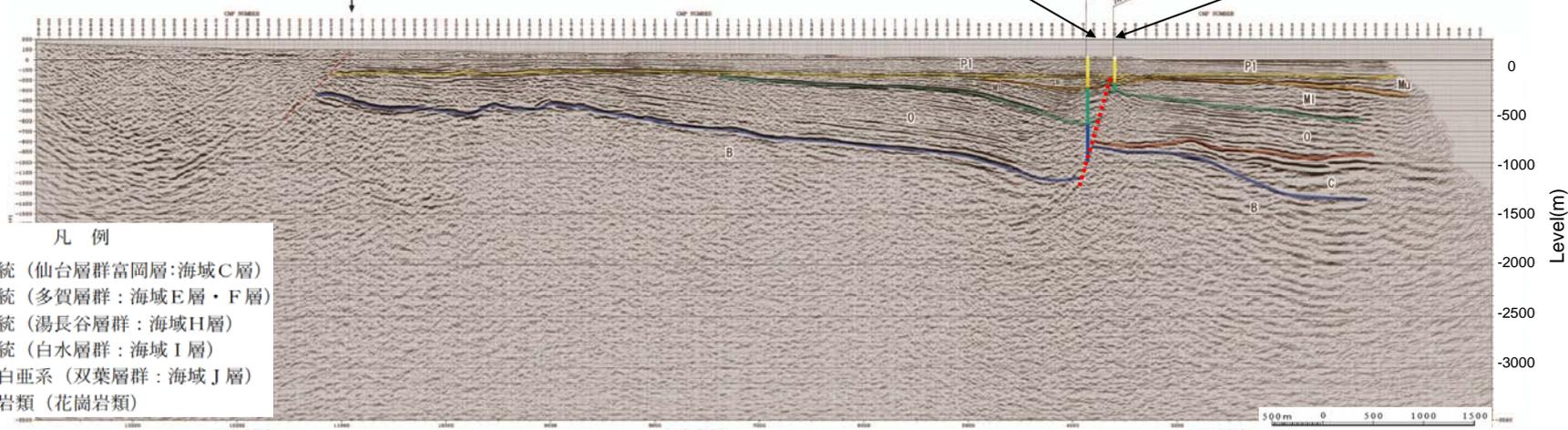


大深度ボーリング(FD-1孔)

福島第一敷地

7A11孔

双葉断層

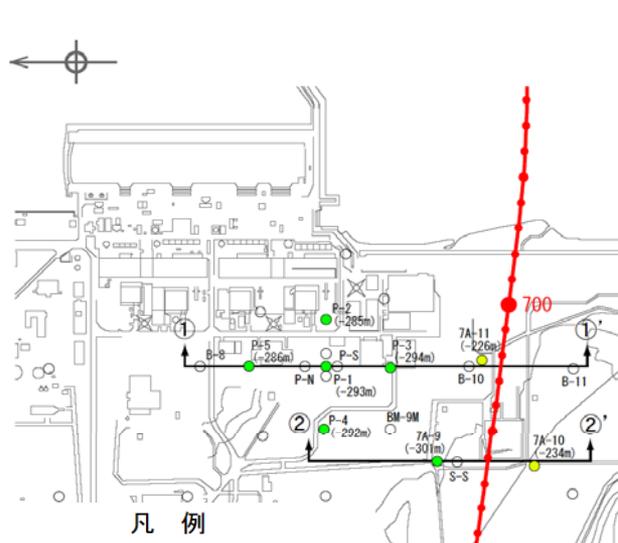


凡例

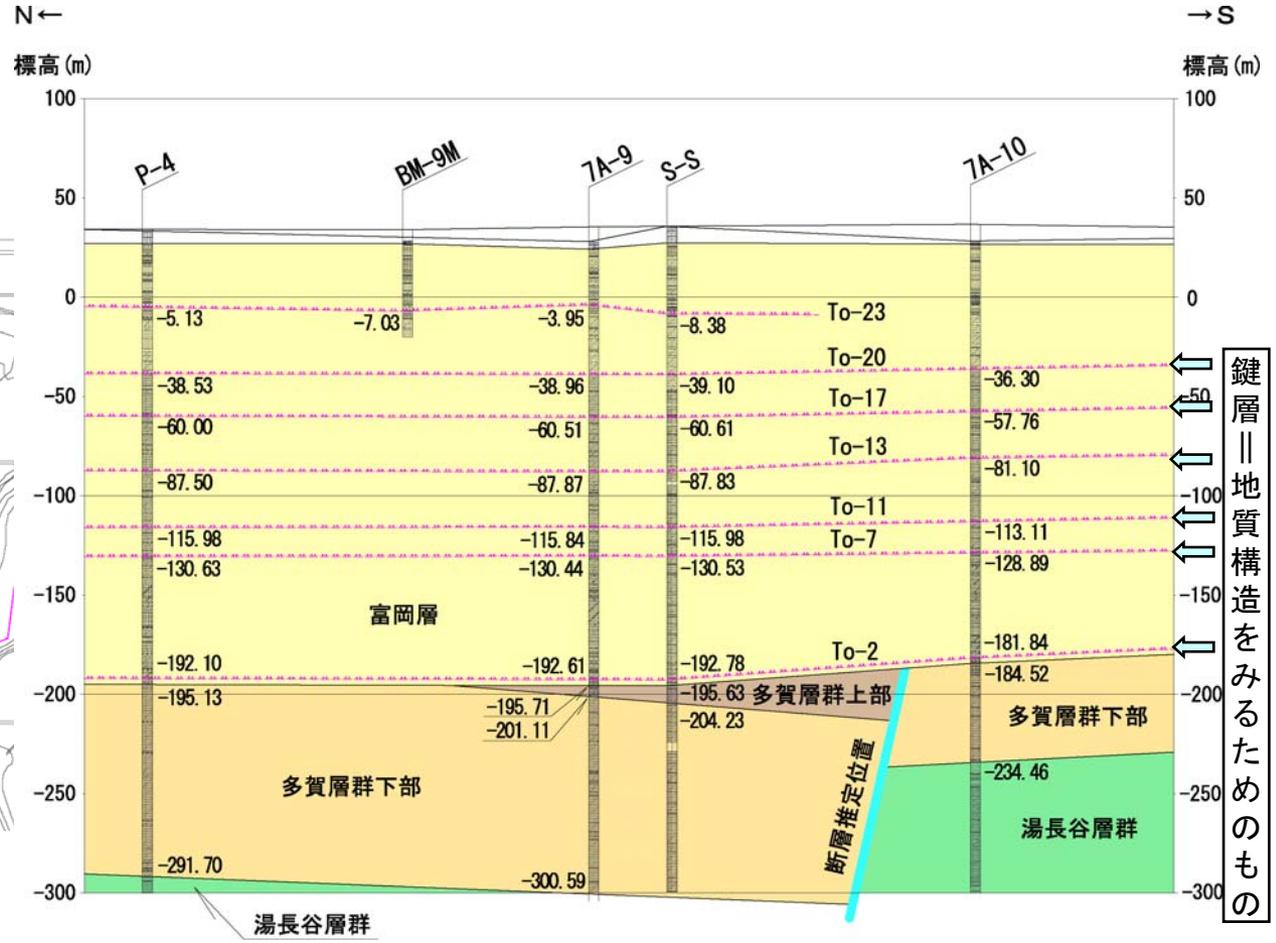
- P1 : 鮮新統 (仙台層群富岡層: 海域C層)
- Mu : 中新統 (多賀層群: 海域E層・F層)
- MI : 中新統 (湯長谷層群: 海域H層)
- O : 漸新統 (白水層群: 海域I層)
- C : 上部白亜系 (双葉層群: 海域J層)
- B : 基盤岩類 (花崗岩類)

■ 深部に古い正断層が確認されるが、原子炉基礎岩盤である鮮新統（富岡層）はほぼ水平に堆積。

断層推定位置及び断面図 (②-②' 断面)



- 湯長谷層群の上限標高
- 標高 -200m ~ -250m
- 標高 -250m 以深
- 湯長谷層群まで達していない
- ↑↑ 断面位置
- 反射法地震探査解析測線 (数字は5m間隔のCMP番号)
- 敷地境界



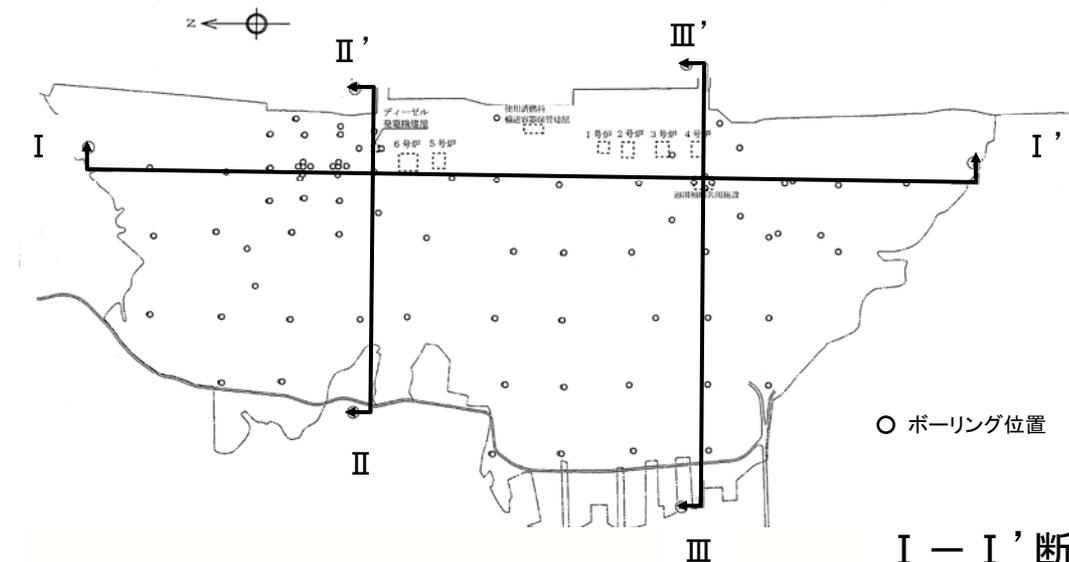
鍵層 地質構造をみるためのもの

② - ②' 断面

■ ①周辺のボーリング調査によって富岡層中に断層が確認されないこと、②ボーリング孔間の標高差に累積性は認められないことから活断層による変位ではなく、富岡層の堆積構造によるものと推定される。

No.	コメント概要
No.2	福島第一原子力発電所における解放基盤表面として設定されているのは、具体的には、中新統の多賀層群上面にほぼ相当するとしているが、解放基盤としての定義「著しく高低差がなく、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」に合致するのか。また、地下構造が地震動特性に及ぼす影響が小さければ、深部の地層の高度差は問題ないのか。

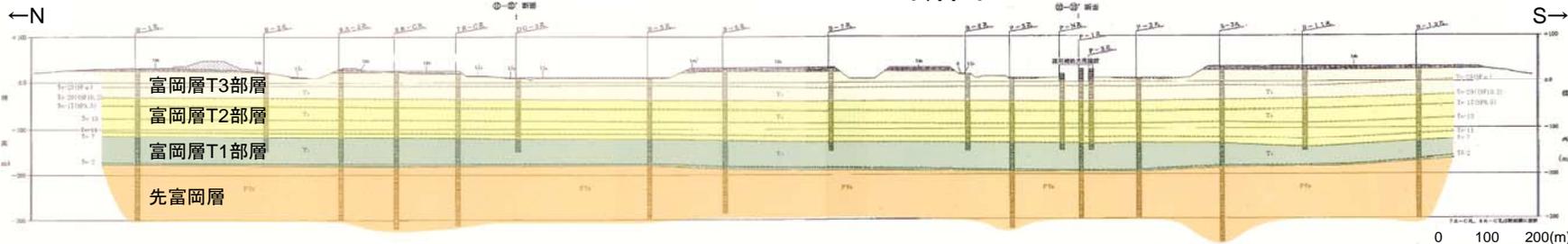
福島第一原子力発電所敷地内の地質及び地質構造



■ ボーリング調査等の地質調査結果によると、先富岡層上面（主として多賀層群上面）は、ほぼ水平かつ広範囲に分布しており解放基盤表面の設定に問題はない。
 （地震動特性への影響についてはNo.5, 6に示す。）

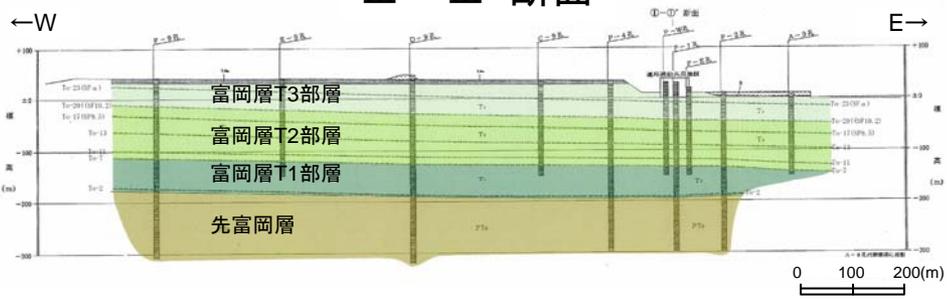
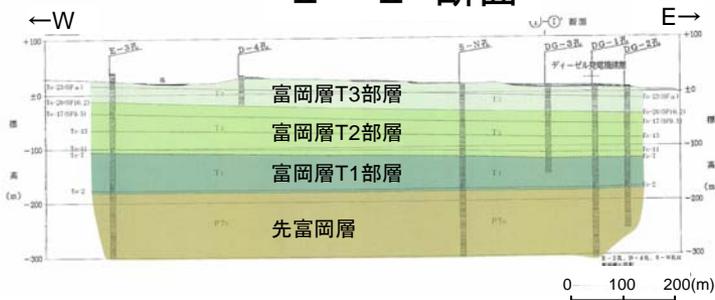
○ ボーリング位置

I - I' 断面



II - II' 断面

III - III' 断面



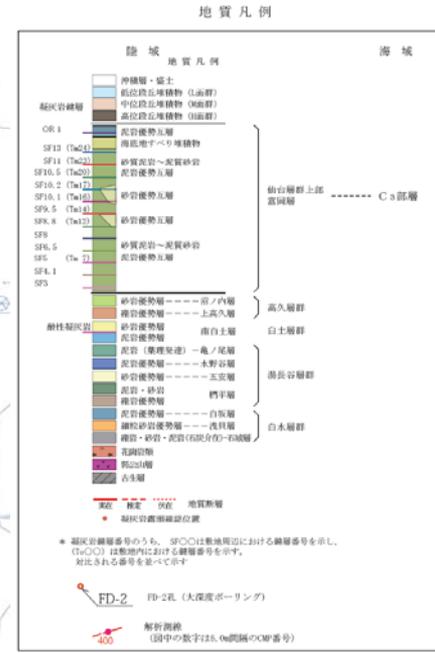
No.	コメント概要
No.3	福島第一原子力発電所の敷地には、地下 200m位から一部については断層となる不整形性が見られるが、福島第二原子力発電所の敷地についてはそういうものがなく、比較的表層及び深いところも正層に近いということによいか。

福島第二原子力発電所における地下探査

敷地を東西に横断する地下探査とベイケーブル探査測線を接続
敷地内の地下探査測線近くで大深度ボーリングを実施

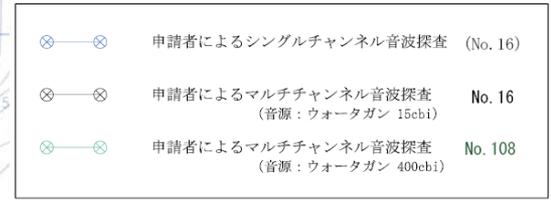
地下探査

- 発 震：大型バイブレータ2台、一部インパクト
- 発震点間隔：10m
- 受 振：地震計
- 受振点間隔：20m
- 測 線 長：10.4km



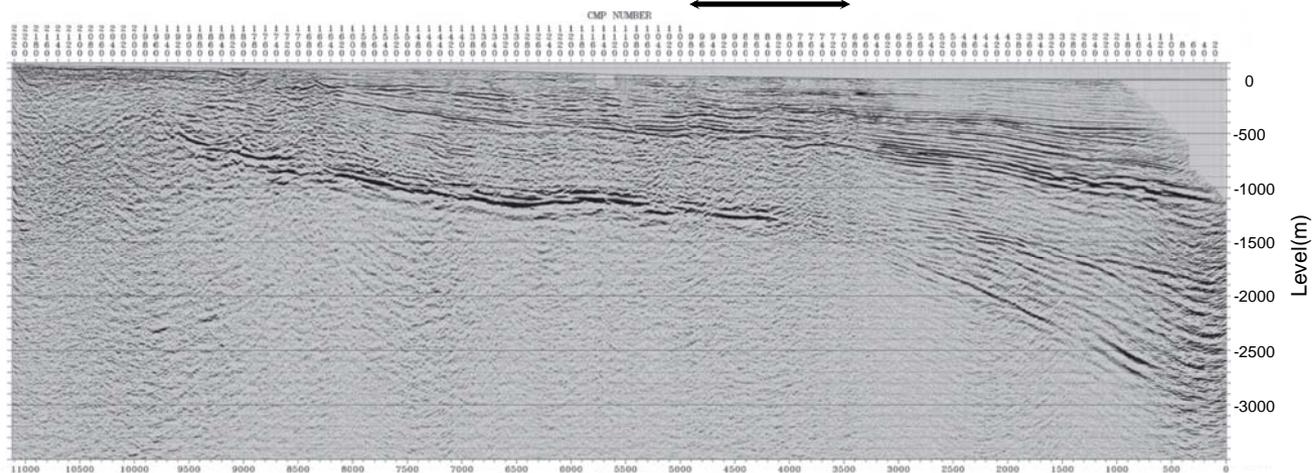
ベイケーブル探査

- 発 震：[海域]エアガン
(水深8m以上：500in³, 水深8m以下：40in³)
[陸域]インパクト
- 発震点間隔：[海域]水深8m以上：20m, 水深8m以下：10m
[陸域]20~10m
- 受 振：[海域]ハイドロフォン(ベイケーブル)
[陸域]地震計
- 受振点間隔：10m
- 測 線 長：[海域]2.4km
[陸域]1.0km



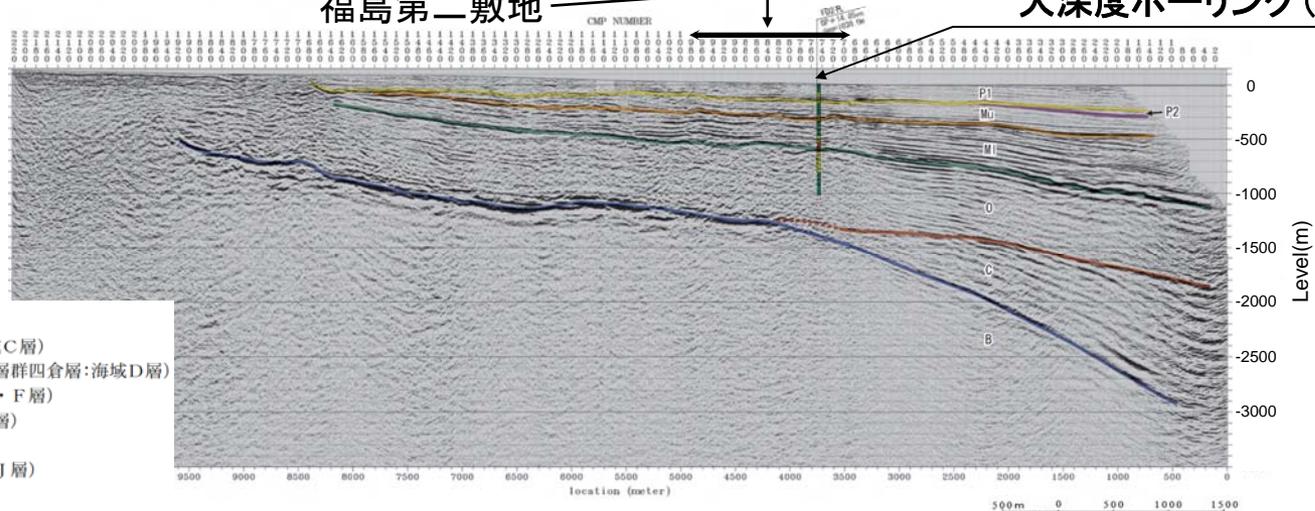
福島第二原子力発電所における地下探査

福島第二敷地



福島第二敷地

大深度ボーリング(FD-2孔)

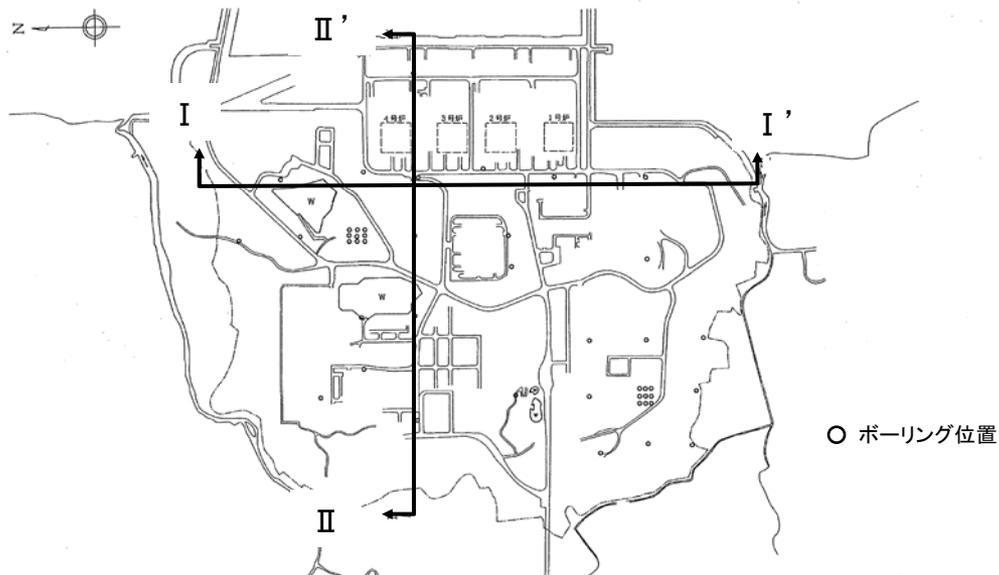


凡例

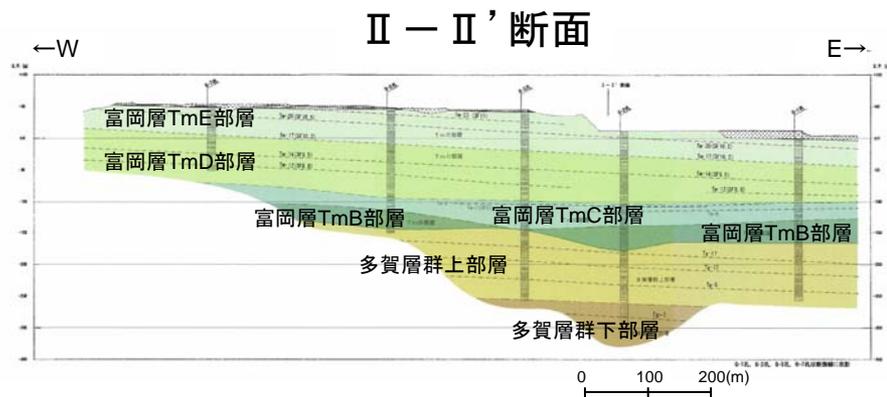
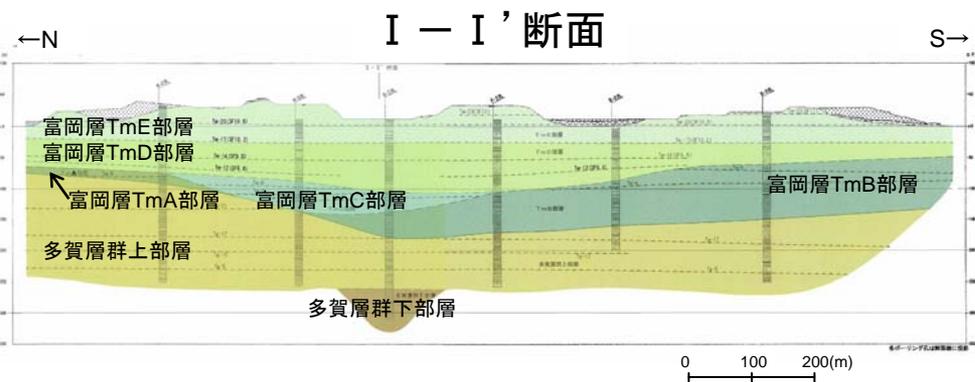
- P1: 鮮新統 (仙台層群富岡層:海城C層)
- P2: 鮮新統~最上部中新統 (仙台層群四倉層:海城D層)
- Mu: 中新統 (多賀層群:海城E層・F層)
- M1: 中新統 (湯長谷層群:海城H層)
- O: 漸新統 (白水層群:海城I層)
- C: 上部白亜系 (双葉層群:海城J層)
- B: 基盤岩類 (花崗岩類)

■原子炉基礎岩盤である富岡層は双葉断層から東側にほぼ水平に堆積

福島第二原子力発電所敷地内の地質及び地質構造



■ ボーリング調査等の地質調査結果によると、富岡層はほぼ水平かつ広範囲に分布している。



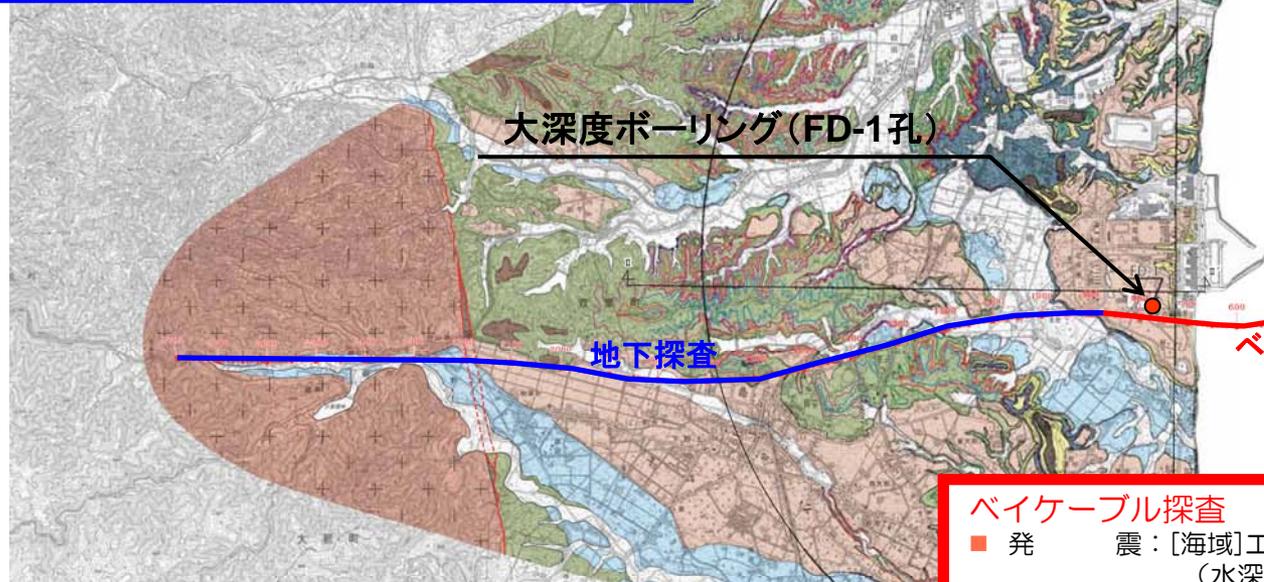
No.	コメント概要
No.4	福島第一原子力発電所の敷地では、南北断面で断層が見られるが、敷地全体で考えた場合にも同じ様な構造が続いているのか。

福島第一原子力発電所における地下探査

敷地を東西に横断する地下探査とケーブル探査測線を接続
敷地内の地下探査測線近くで大深度ボーリングを実施

地下探査

- 発 震：大型バイブレータ2台
- 発震点間隔：10m
- 受 振：地震計
- 受振点間隔：20m
- 測 線 長：11km



大深度ボーリング(FD-1孔)

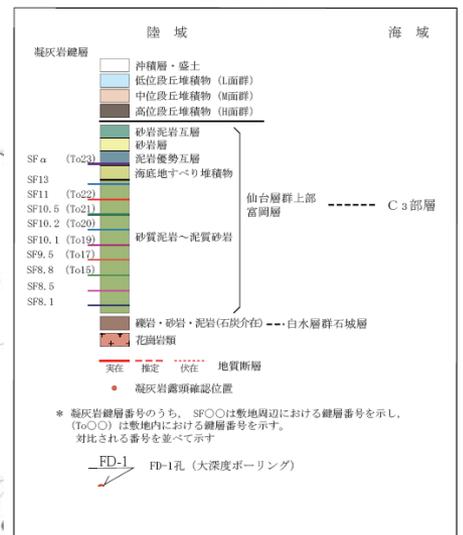
地下探査

ケーブル探査

音波探査測線凡例

	申請者によるシングルチャンネル音波探査 (No. 16)
	申請者によるマルチチャンネル音波探査 (No. 16) (音源：ウォータガン 15ch)
	申請者によるマルチチャンネル音波探査 (No. 108) (音源：ウォータガン 400ch)

地質凡例

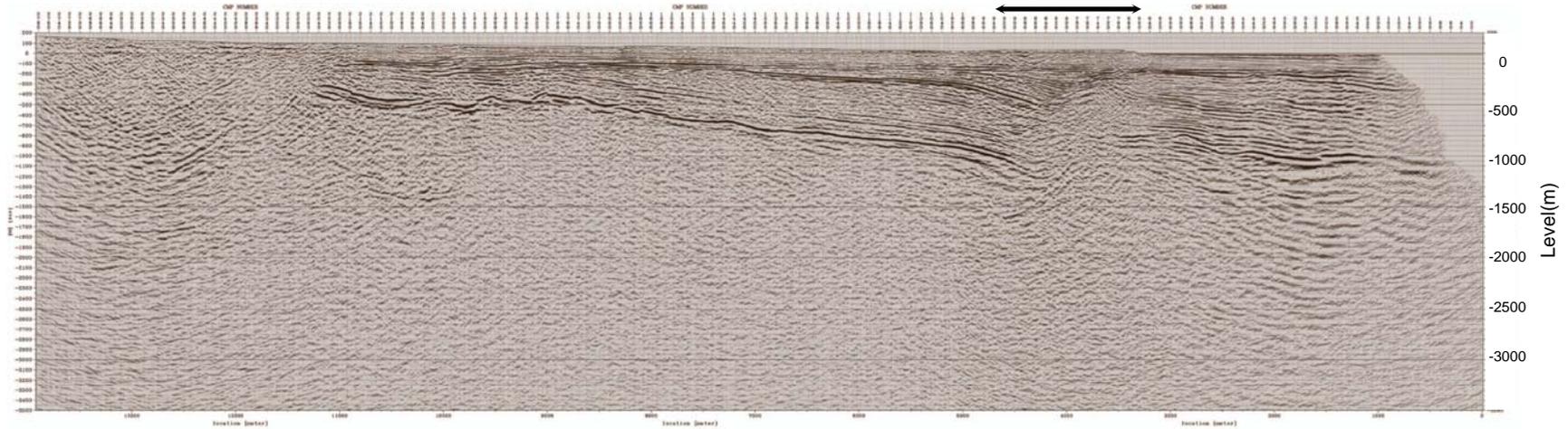


ケーブル探査

- 発 震：[海域]エアガン
(水深8m以上：500in³, 水深8m以下：40in³)
[陸域]インパクト
- 発震点間隔：[海域]水深8m以上：20m, 水深8m以下：10m
[陸域]20~10m
- 受 振：[海域]ハイドロフォン(ケーブル)
[陸域]地震計
- 受振点間隔：10m
- 測 線 長：[海域]2.4km
[陸域]1.0km

福島第一原子力発電所における地下探査

福島第一敷地



大深度ボーリング(FD-1孔)

福島第一敷地

7A11孔

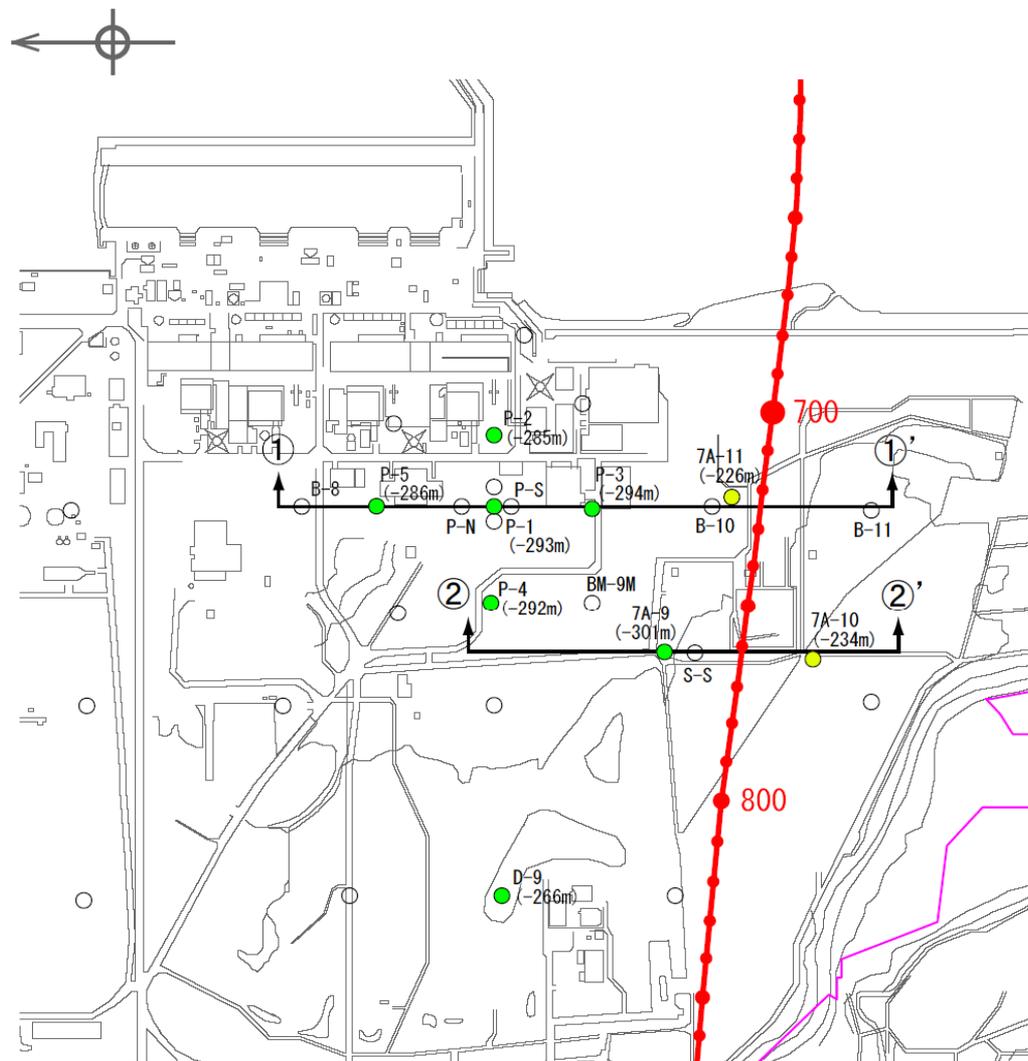
双葉断層



凡例

- P1 : 鮮新統 (仙台層群富岡層: 海域C層)
- Mu : 中新統 (多賀層群: 海域E層・F層)
- MI : 中新統 (湯長谷層群: 海域H層)
- O : 漸新統 (白水層群: 海域I層)
- C : 上部白亜系 (双葉層群: 海域J層)
- B : 基盤岩類 (花崗岩類)

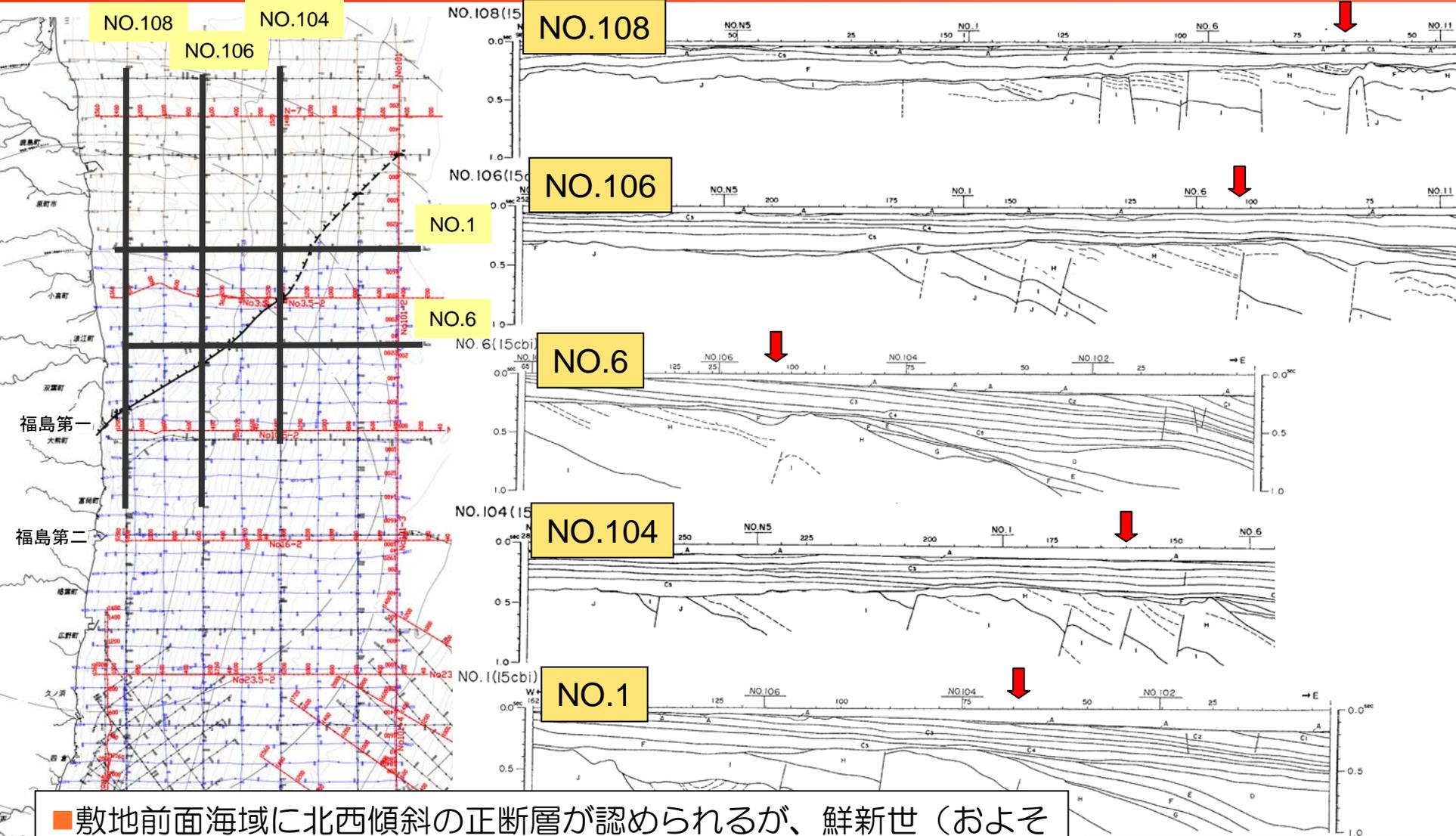
断層推定位置及び断面図 (②-②' 断面)



①-①' 断面は参考資料参照

■ボーリング調査結果に基づく湯長谷層群の上面標高分布から断層の走向はNE-SW方向に推定される。

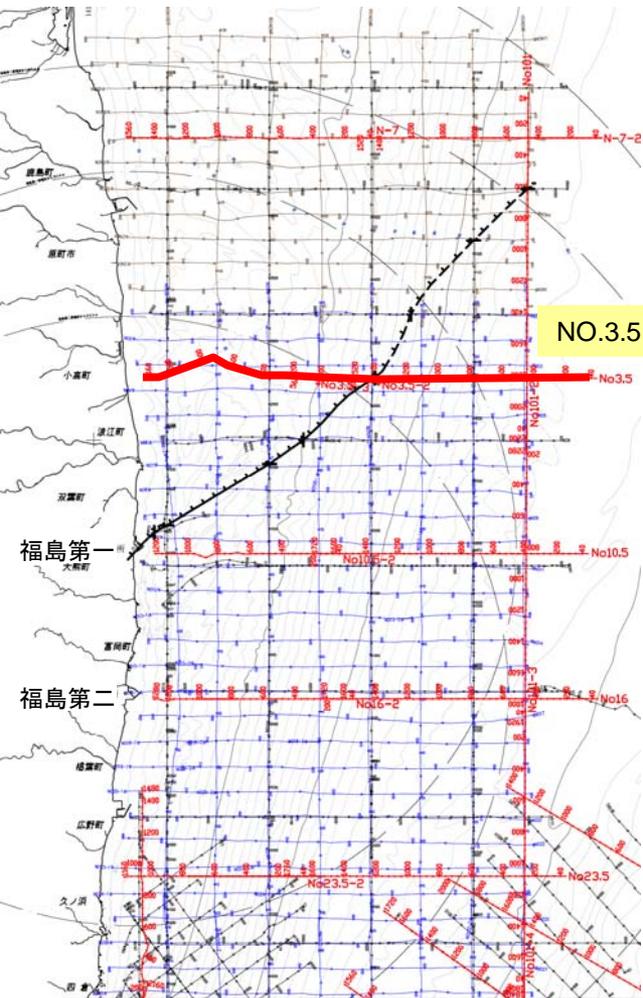
海上音波探査結果（中越沖地震前に実施した調査）



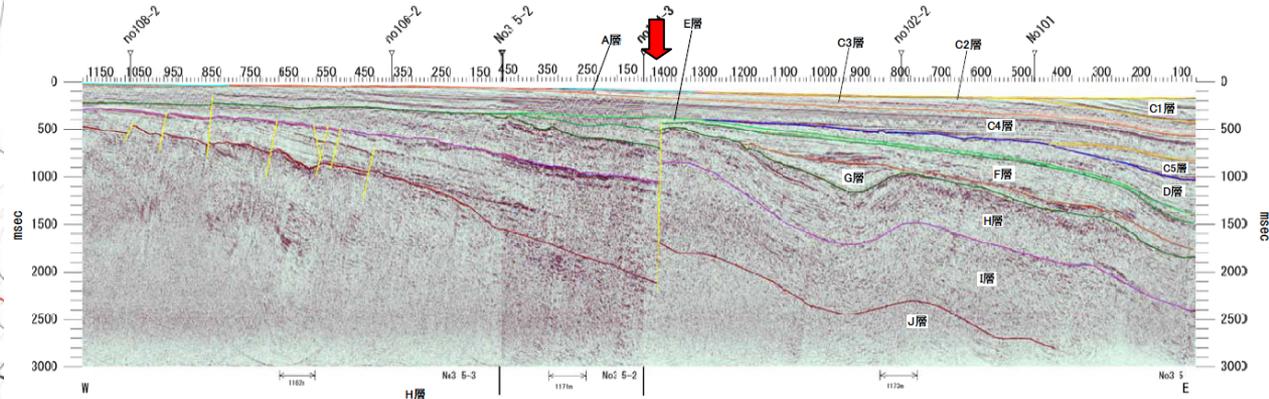
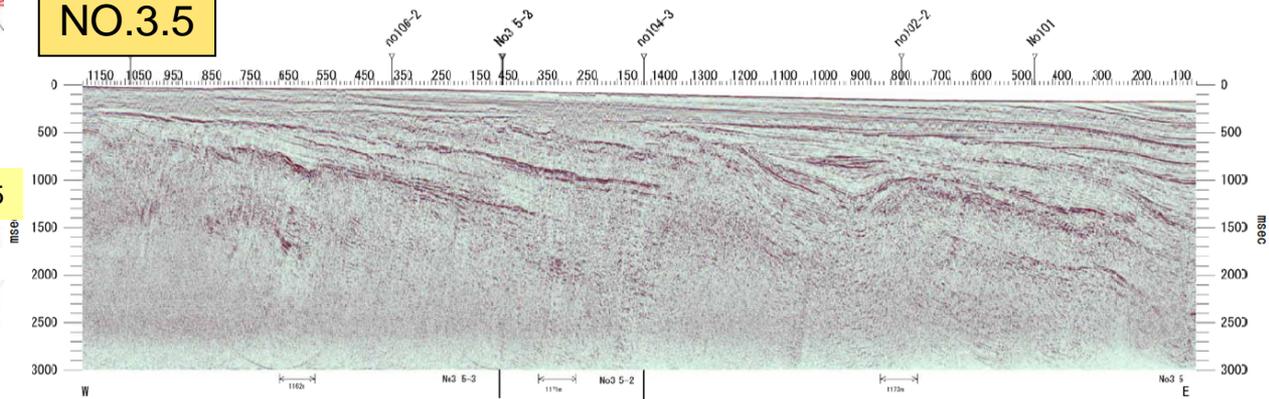
■敷地前面海域に北西傾斜の正断層が認められるが、鮮新世（およそ200~500万年前）以降の地層に変位・変形を与えていないことを確認している。

↓ 福島第一敷地近傍から連続する断層の位置

海上音波探査（中越沖地震後に実施した調査）



NO.3.5



■ 既往の海上音波探査結果と同様、北西傾斜の正断層が認められるが、鮮新世（およそ200～500万年前）以降の地層に変位・変形を与えていないことを確認した。



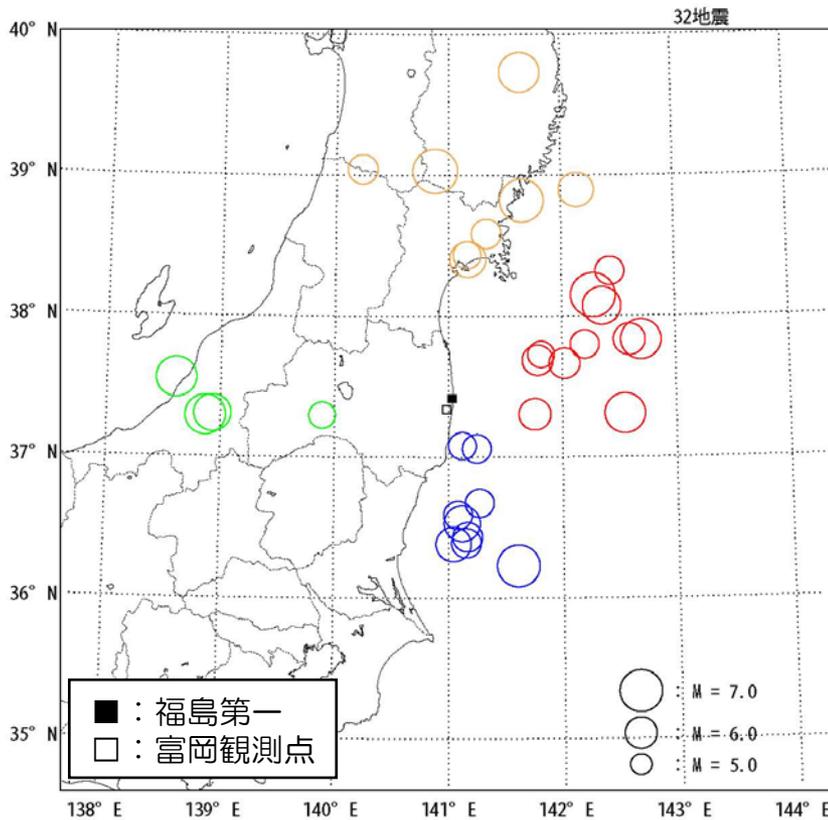
福島第一敷地近傍から連続する断層の位置

No.	コメント概要
No.5	<p>■地下構造による影響の評価結果で、平均応答スペクトル比が概ね1とあるが、図の縦軸はlog軸であり、倍率で2～3倍はあるのでないか。</p> <p>■平均応答スペクトル比を取る分母は富岡観測点（GL-100m）、分子は福島第一原子力発電所（GL-335m）となっており、深さが異なるが、この位置付けはどういうことによるものか。</p>

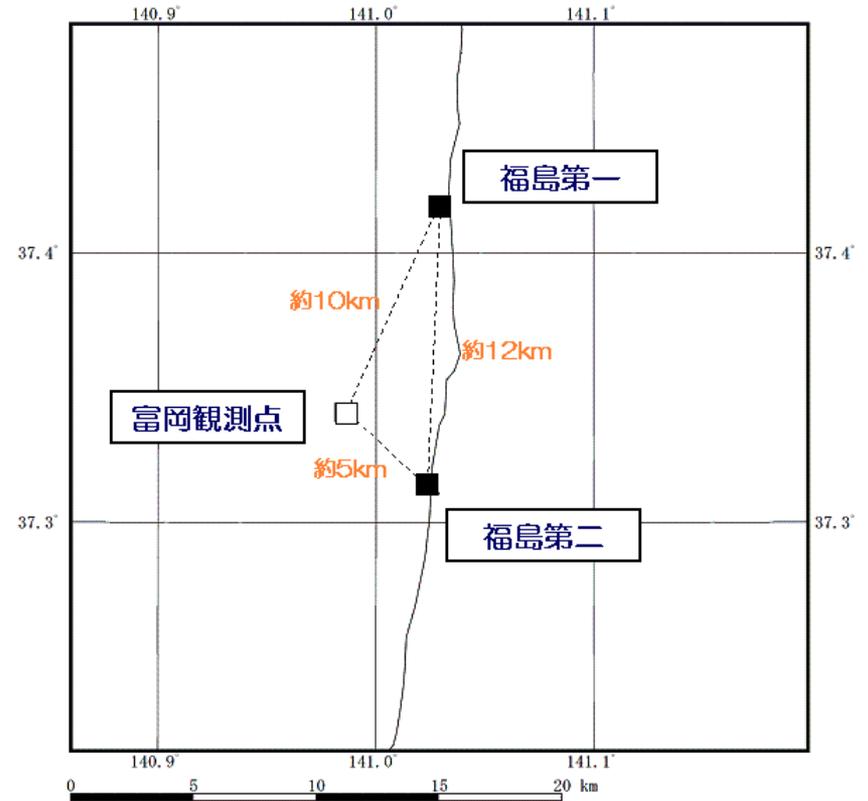
- 本検討では、応答スペクトル比の絶対値に着目しているのではなく、応答スペクトル比が震央の方位（地震波の到来方向）によって差異がないことを確認したもの。
- 地震波の到来方向によって、応答スペクトル比に大きな差異はみられないことから、敷地周辺の地下構造が地震動特性に及ぼす影響は小さいと考えられる。
- また、原子力施設の耐震設計において主要な周期帯である短周期側においては、概ねその比が1程度となっており、特異な地下構造を有していない富岡観測点と同程度の揺れやすさであると言える。

地下構造による影響の評価方法

- 福島第一サイト地震観測記録のうち、周辺の富岡観測点で同時に観測された記録を対象として、震央の方位（東西南北）毎に加速度応答スペクトル比（福島第一／富岡）を算定。
- ➡ 富岡観測点は福島第一サイトの周辺に位置するため、同一の地震におけるスペクトル比を算定することにより、震源特性及び伝播経路特性による影響を除去し、地下構造による影響を抽出することが可能。



検討対象地震の震央分布



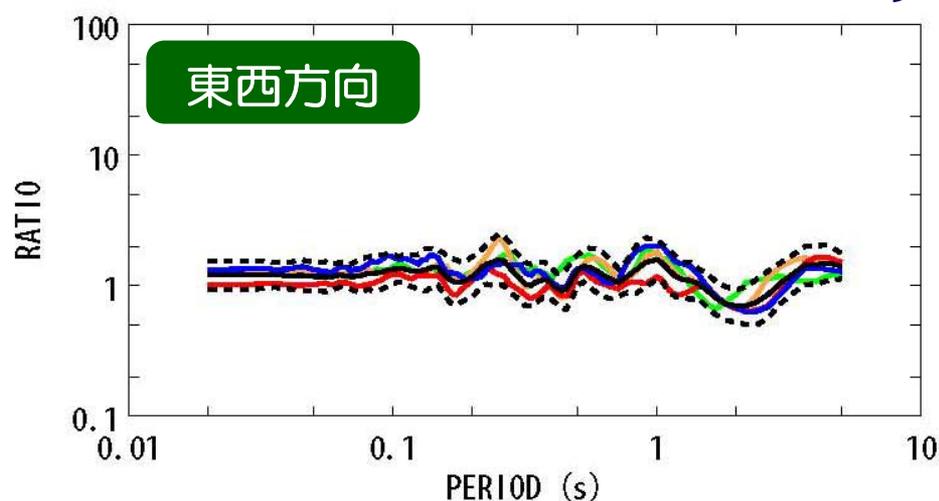
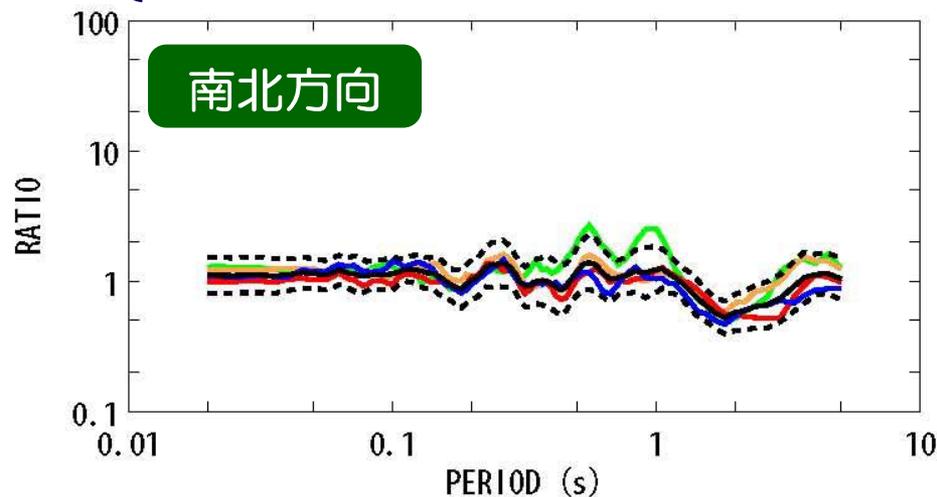
福島第一サイトと富岡観測点の位置関係

地下構造による影響の評価結果

■ 富岡観測点に対する福島第一サイトの平均応答スペクトル比は震央の方位によって大きく変化することはなく、概ね1程度。

➡ 福島第一サイト周辺の地下構造が地震動特性に及ぼす影響は小さいことを確認。

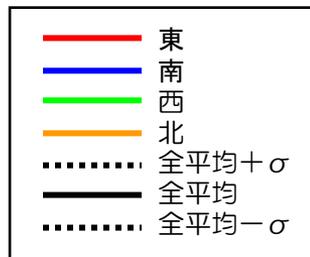
〔 なお、福島第二サイト周辺の地下構造には不整形性がみられないが、同様の検討を実施し、問題がないことを確認している。 〕



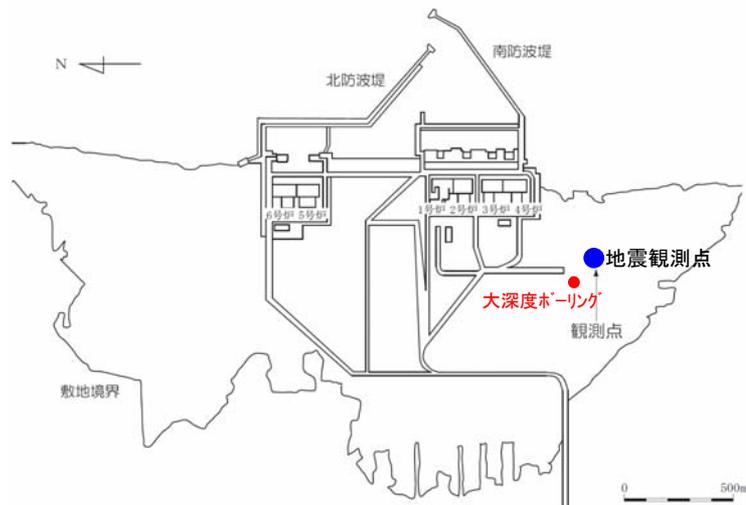
平均応答スペクトル比〔福島第一(GL-335m)/富岡 (GL-100m)〕

※1：検討にはそれぞれS波速度700m/s程度の観測点における記録を採用した。

※2：南北方向の一部周期帯で西側から到来する波の平均スペクトル比が他の方向と比較して大きめとなっているが、敷地の西側に検討用地震はないため、地震動評価上の影響はない。



福島第一サイト地震観測点における速度構造

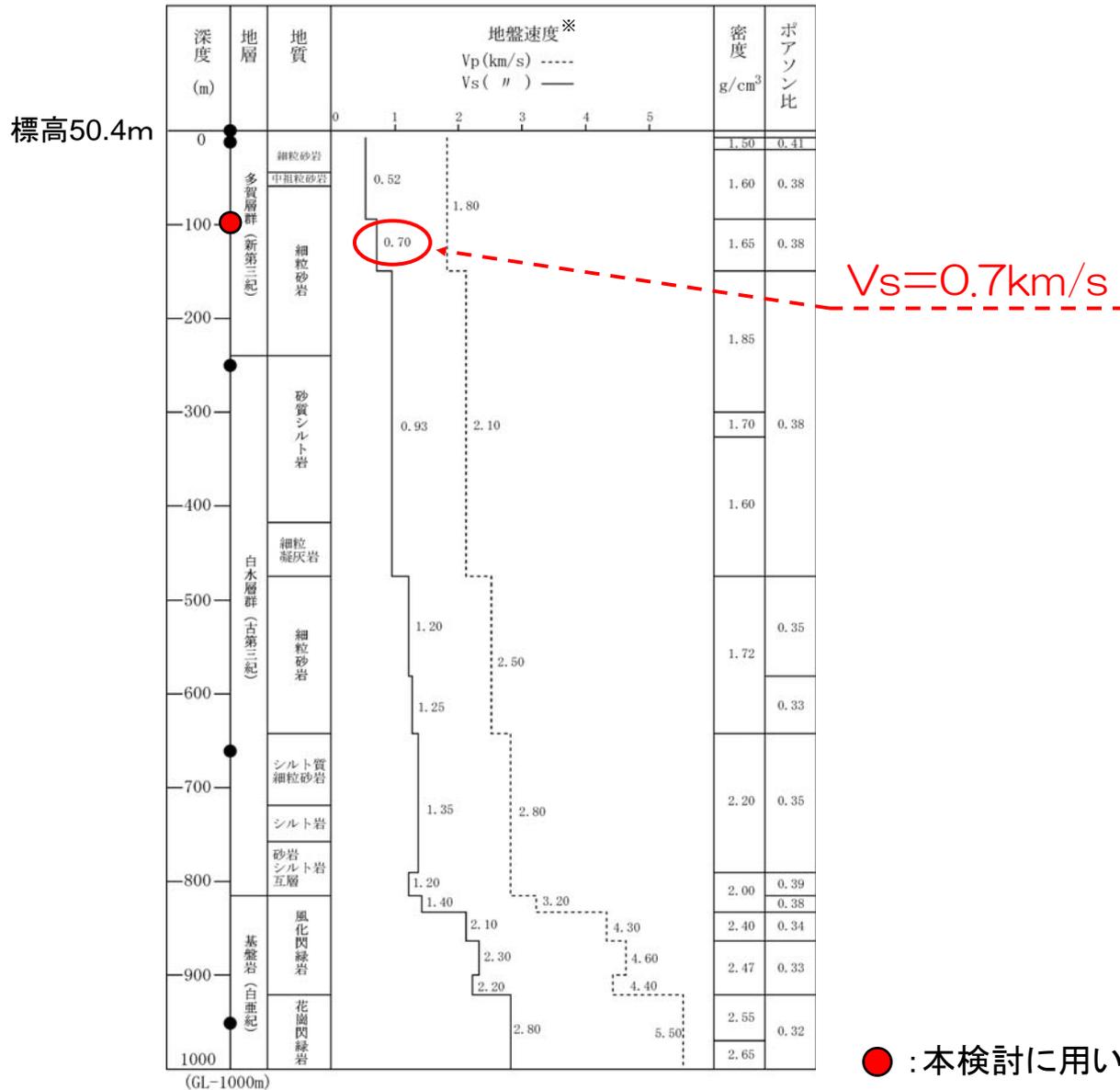


GL (m)	OP (m)	地震計	地層区分	地質区分	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)
0.0	34.9		段丘堆積物	第四紀	2.0	2.10	440	800
-2.0	32.9	●			6.0	2.10	440	800
-8.0	26.9				8.0	2.00	280	1,200
-16.0	18.9		富岡層	新第三紀	22.0	1.73	460	1,730
-38.0	-3.1				1.9	1.73	520	1,730
-39.9	-5.0	●			68.1	1.73	520	1,730
-108.0	-73.1				26.9	1.80	590	1,730
-134.9	-100.0	●			9.1	1.80	590	1,730
-144.0	-109.1		先富岡層		86.0	1.76	650	1,810
-230.0	-195.1				4.9	1.80	730	2,000
-234.9	-200.0	●			100.0	1.80	730	2,000
-334.9	-300.0	●						

● : 本検討に用いた観測点

富岡観測点における速度構造

※ダウンホール法に基づく

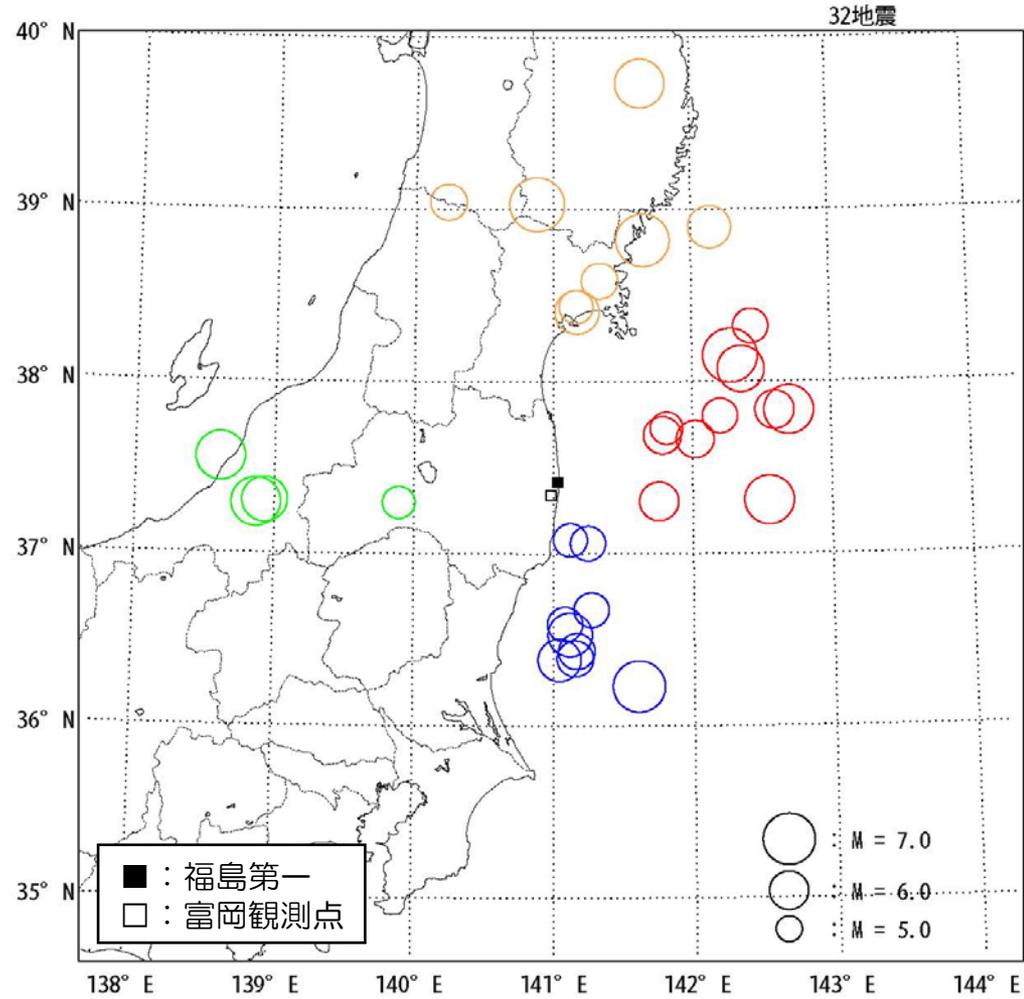


No.	コメント概要
No.6	<ul style="list-style-type: none"> ■原子力発電所サイト内の深いところと地表面の関係はどうなっているのか。 ■原子力サイト内という観点でみた場合、原子炉建屋基礎位置での影響はどうなっているのか。

- 福島第一原子力発電所敷地地盤の鉛直アレイ観測点における観測記録を用いて、敷地内の地震動特性に関する追加検討を実施し、その結果を次頁以降に示す。
 - (a) 最大加速度分布を地震波の到来方向毎に分類し、比較することにより、特定の方向から到達する波が鉛直方向に特異な増幅をしていないか確認する。
 - (b) 敷地内2箇所（北・南）の鉛直アレイ観測点で、最深部観測点に対する各深度の応答スペクトル比を比較することにより、敷地内の深さ方向における地震動特性を把握する。
 - (c) 敷地内2箇所（北・南）の鉛直アレイ最深部観測点の同一地震に対する応答スペクトル比を評価することにより、敷地内の平面的な地震動特性を把握する。
- なお、原子炉建屋基礎位置となると、建屋の影響も含まれることから、あくまで地中の地震観測記録を用いて検討を実施している。

検討に用いた地震の震央分布

■ 福島第一サイトにおいて、観測開始～2008年の期間に富岡観測点と共通に観測された $M \geq 5.5$ の地震（32地震）



検討に用いた地震の諸元

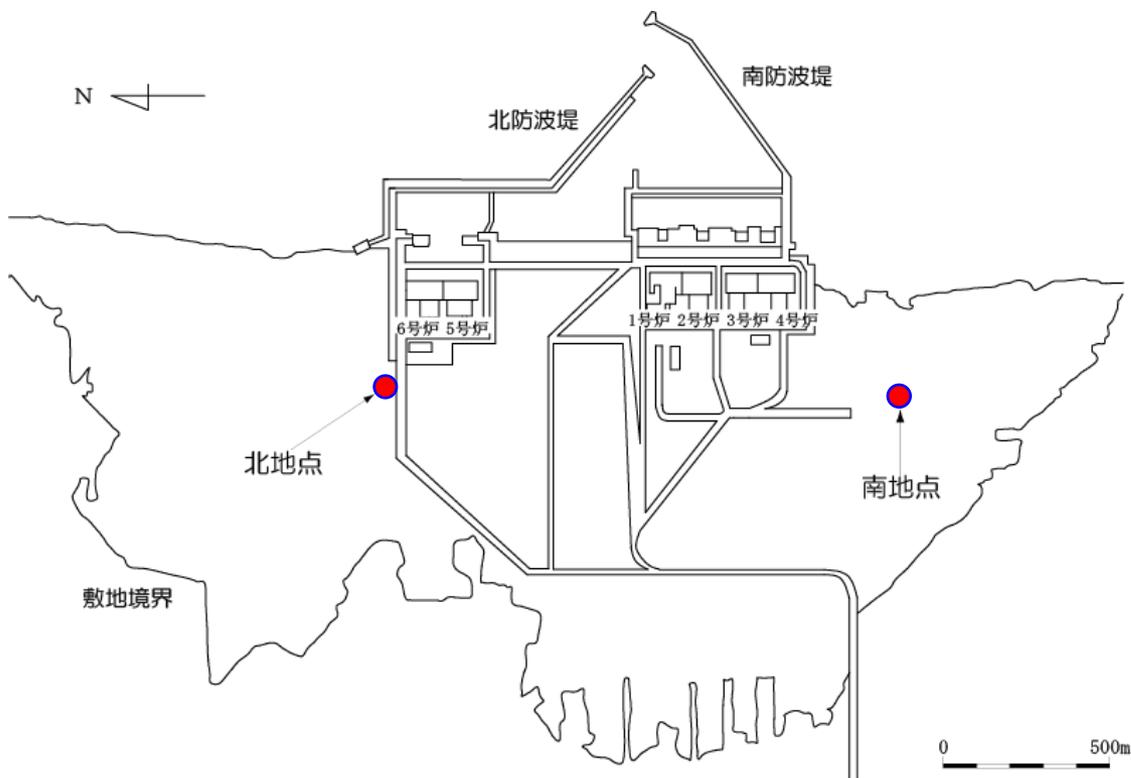
番号	震源時			震央位置名	M	震源深さ (km)	福島第一(GL-335m)			富岡観測点(GL-100m)				
	年	月日	時分秒				震源距離 (km)	最大加速度(Gal)			震源距離 (km)	最大加速度(Gal)		
								NS	EW	UD		NS	EW	UD
1	1992	6/1	22:51:21.0	茨城県東方沖	5.7	44	96	7	8	5	89	6	6	4
2	1993	11/27	15:11:23.8	宮城県北部	5.8	112	172	19	23	9	179	18	17	9
3	1994	8/16	19:09:32.0	宮城県南東沖	6.0	22	147	4	4	3	153	5	4	2
4	1994	12/18	20:07:33.9	福島県西部	5.5	6	102	3	3	2	98	2	2	2
5	1996	2/17	00:22:58.18	福島県東方沖	6.8	58	146	48	46	22	149	38	37	25
6	1997	5/12	07:59:38.23	福島県東方沖	5.7	54	70	33	47	18	66	23	29	13
7	1999	11/15	10:34:35.48	宮城県東方沖	5.7	46	165	8	7	3	172	5	4	4
8	2000	7/21	03:39:18.60	茨城県東方沖	6.4	49	110	13	13	10	103	11	10	9
9	2001	10/2	17:19:50.24	福島県東方沖	5.5	41	87	10	10	6	93	18	13	9
10	2002	2/12	22:44:37.93	茨城県東方沖	5.7	48	103	7	11	5	96	14	11	9
11	2002	11/3	12:37:43.62	金華山	6.3	46	195	7	9	4	205	5	6	4
12	2003	3/3	07:46:47.67	福島県東方沖	5.9	41	84	7	6	4	90	9	7	5
13	2003	5/26	18:24:33.42	宮城県北部	7.1	72	179	105	100	38	188	48	64	38
14	2003	7/26	00:13:08.25	宮城県北部	5.6	12	114	8	7	3	123	8	7	4
15	2003	7/26	07:13:31.52	宮城県北部	6.4	12	111	14	17	7	120	13	14	12
16	2003	10/31	10:06:30.67	宮城県南東沖	6.8	33	157	7	5	4	163	5	5	3
17	2003	11/15	03:43:51.64	茨城県東方沖	5.8	48	120	9	8	5	112	10	11	6
18	2004	4/4	08:02:00.69	茨城県東方沖	5.8	49	124	7	10	6	116	7	6	4
19	2004	5/29	12:47:10.19	宮城県南東沖	5.9	38	99	12	11	5	104	7	7	7
20	2004	10/23	17:56:00.30	新潟県中部	6.8	13	192	9	12	9	189	9	8	10
21	2004	10/23	18:34:05.69	新潟県中部	6.5	14	187	7	6	6	184	5	5	4
22	2005	8/16	11:46:25.74	宮城県東方沖	7.2	42	143	49	54	32	150	54	51	23
23	2005	10/19	20:44:42.68	茨城県東方沖	6.3	48	124	12	15	8	116	10	—	6
24	2005	10/22	22:12:46.78	福島県東方沖	5.6	52	65	22	41	13	60	14	—	12
25	2005	12/2	22:13:07.90	宮城県東方沖	6.6	40	143	8	6	4	151	7	—	4
26	2006	1/18	23:25:25.64	宮城県南東沖	5.7	36	117	6	5	4	124	6	5	4
27	2007	7/16	10:13:22.55	新潟県南部沖	6.8	17	215	7	8	7	212	7	7	6
28	2007	11/26	22:51:37.56	福島県東方沖	6.0	44	79	10	8	4	81	9	9	6
29	2008	4/17	04:19:36.80	秋田県南部	5.8	166	253	8	10	4	258	5	5	3
30	2008	5/8	01:45:18.77	茨城県はるか東方沖	7.0	51	150	8	10	7	144	9	8	7
31	2008	6/14	08:43:45.36	岩手県南部	7.2	8	179	19	21	9	188	16	15	11
32	2008	7/24	00:26:19.69	岩手県北部	6.8	108	282	30	32	21	290	23	24	13

〔震央の方位〕

- : 東
- : 南
- : 西
- : 北

※「—」は欠測を表す。

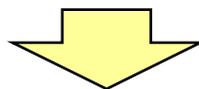
鉛直アレイ観測点の地震計配置



O. P. (m)	地震計	
	北地点	南地点
34.9		
32.9		●
14.2		
12.2	●	
-5	●	●
-100	●	●
-200	●	●
-300	●	●

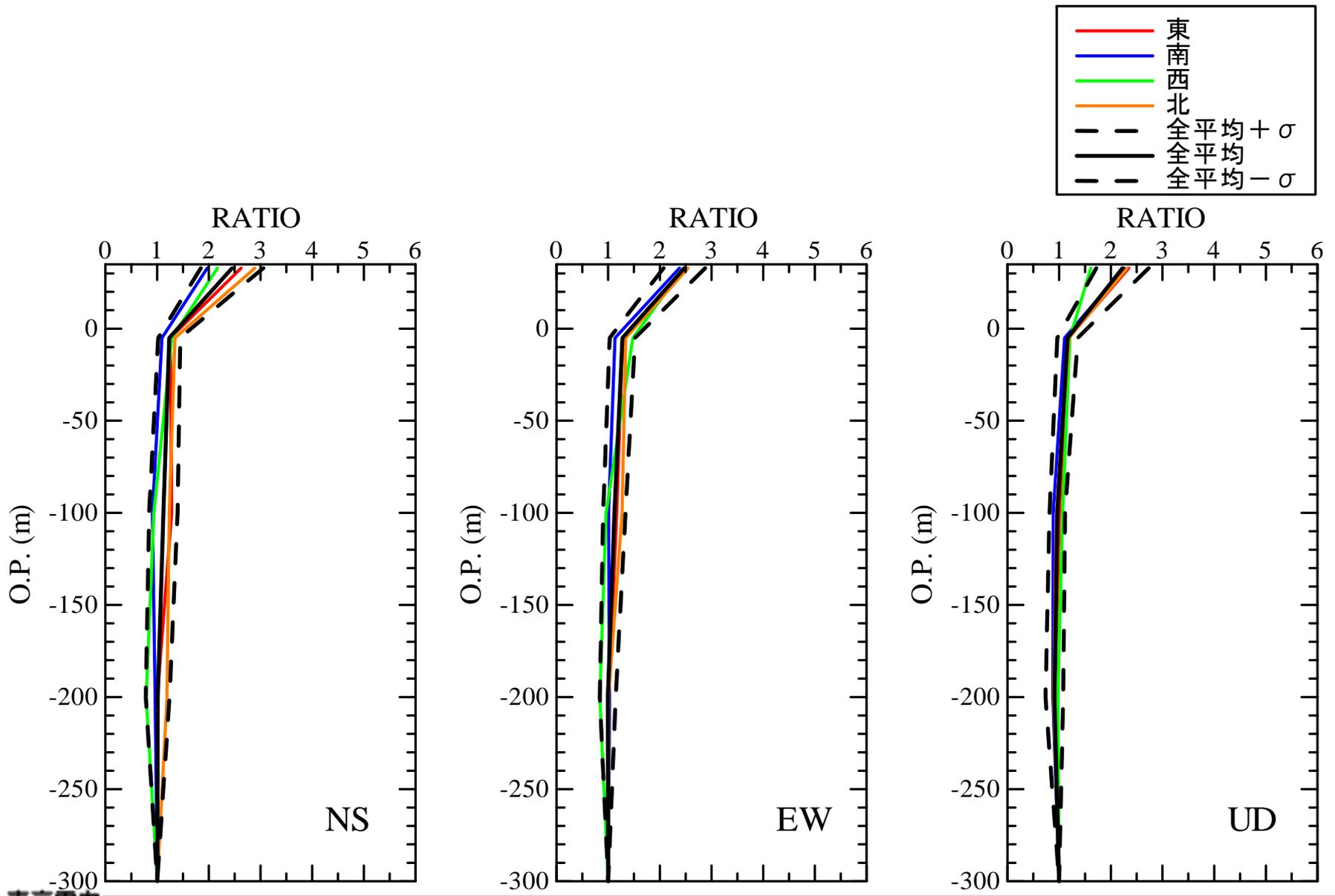
(a) 南地点の鉛直アレイ観測点における最大加速度分布

- 南地点鉛直アレイ観測点の各深度における最大加速度値を、最深部（標高-300m）で規準化し、鉛直方向の地震動増幅特性を評価。
- この際、震央の方位（地震波の到来方向）毎に平均的な増幅特性を評価することで、地下構造の影響を把握する。



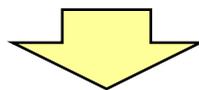
- 地表付近では増幅がみられるのに対し、地中の岩盤内では著しい増幅はみられない。
- また、到来方向による増幅特性の差は小さい。

(a) 南地点の鉛直アレイ観測点における最大加速度分布



(b) 北地点及び南地点の鉛直アレイ観測点における増幅特性比較

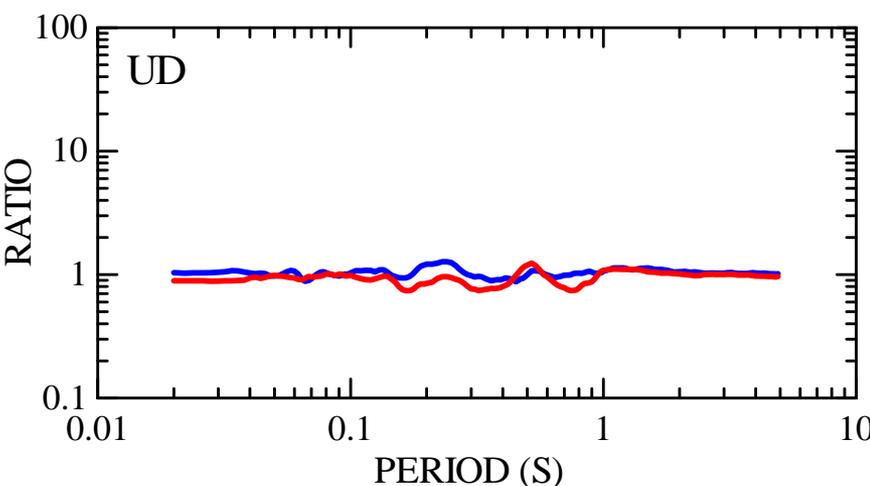
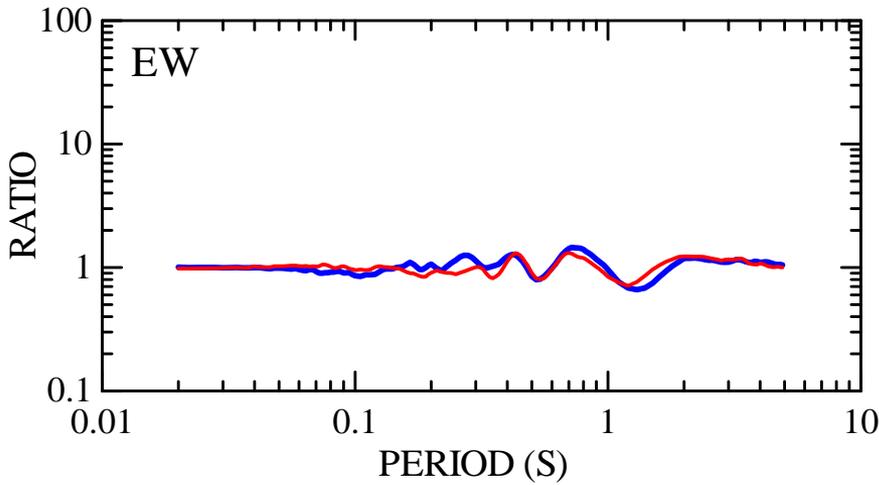
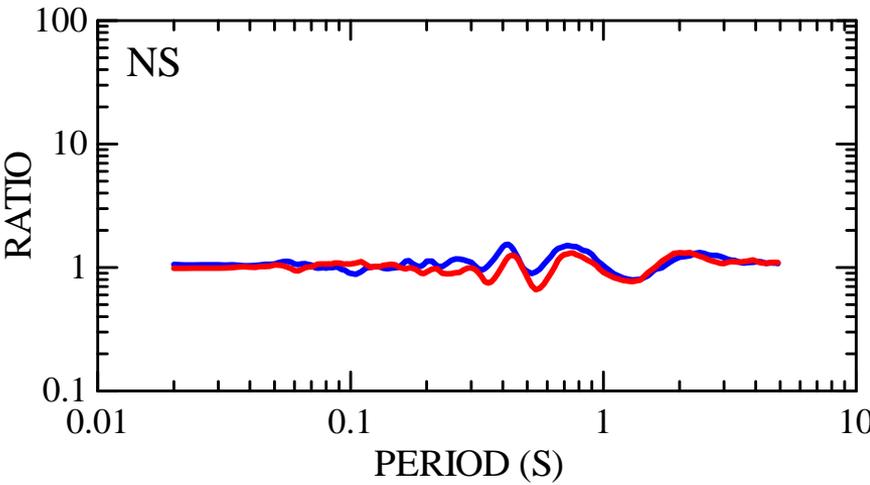
- 北地点及び南地点鉛直アレイ観測点の各深度における応答スペクトルを，最深部（標高-300m）で規準化し，両地点における地震動増幅特性（深さ方向における地震動特性）を比較。



- 地表付近では，両地点の地盤物性が異なるため，増幅特性に若干の差異がみられるものの，地中の岩盤内では増幅特性に差異はみられず，短周期側では殆ど増幅しないことを確認。

(b) 北地点及び南地点の鉛直アレイ観測点における増幅特性比較

OP-200m/OP-300m

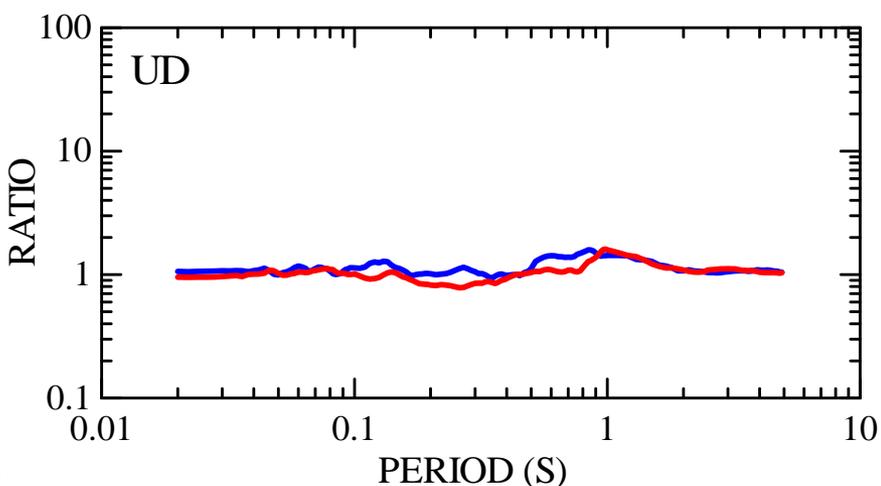
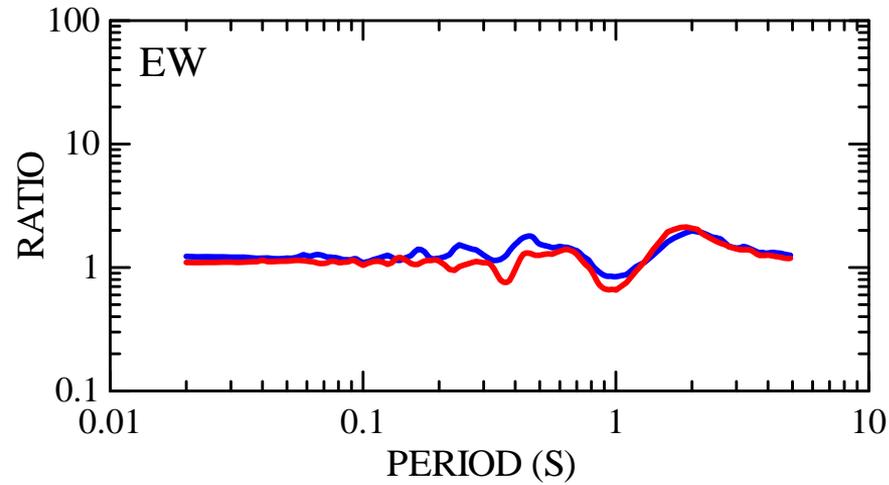
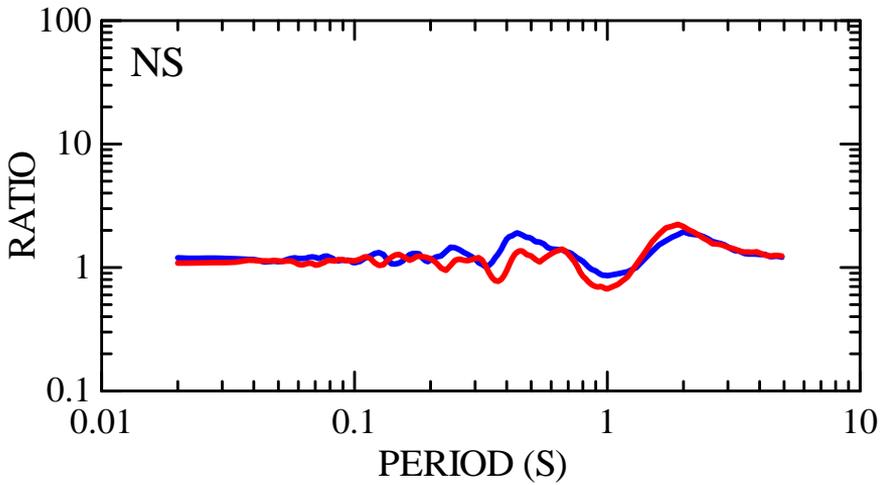


— 北地点全平均
— 南地点全平均

O.P. (m)	地震計	
	北地点	南地点
34.9		
32.9		●
14.2		
12.2	●	
-5	●	●
-100	●	●
-200	●	●
-300	●	●

(b) 北地点及び南地点の鉛直アレイ観測点における増幅特性比較

OP-100m/OP-300m

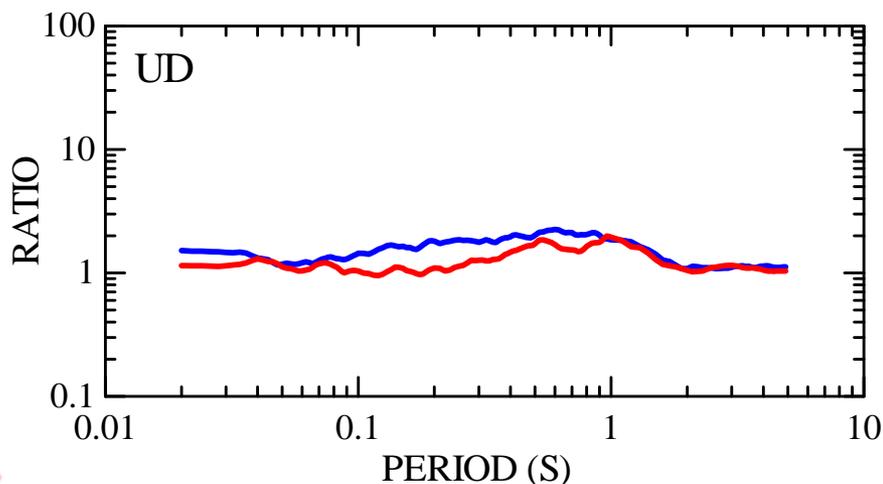
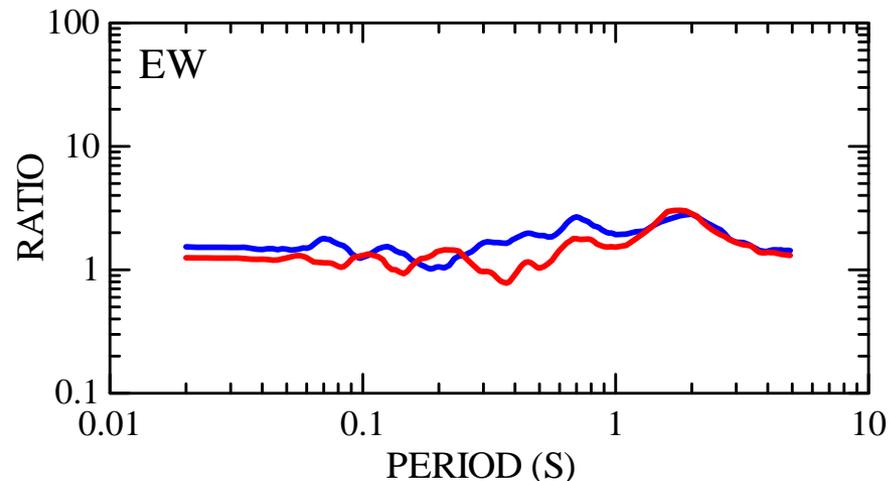
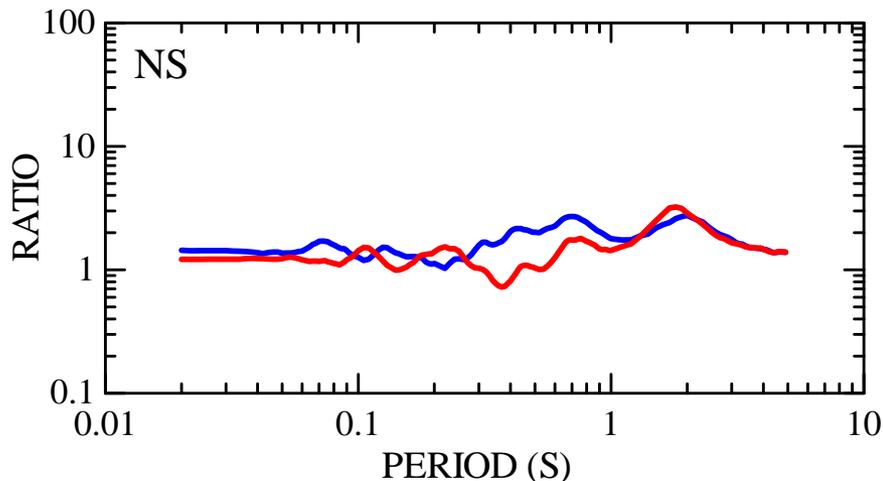


— 北地点全平均
— 南地点全平均

O.P. (m)	地震計	
	北地点	南地点
34.9		
32.9		●
14.2		
12.2	●	
-5	●	●
-100	●	●
-200	●	●
-300	●	●

(b) 北地点及び南地点の鉛直アレイ観測点における増幅特性比較

OP-5m/OP-300m

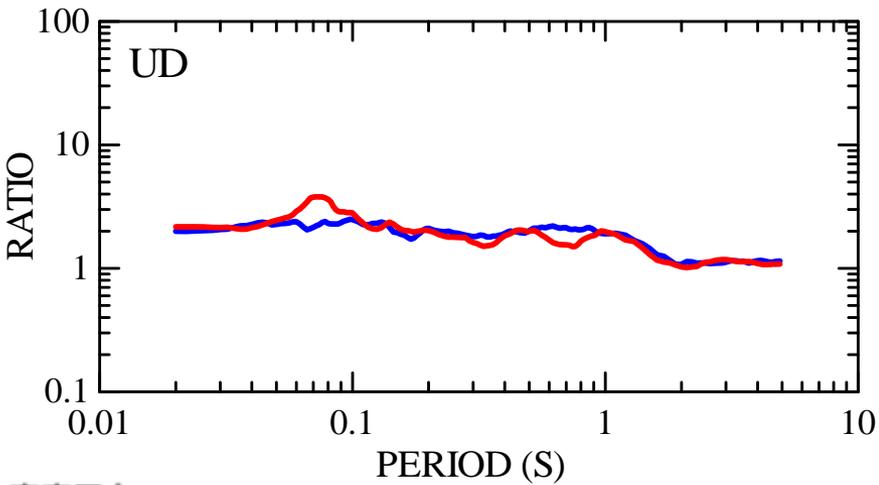
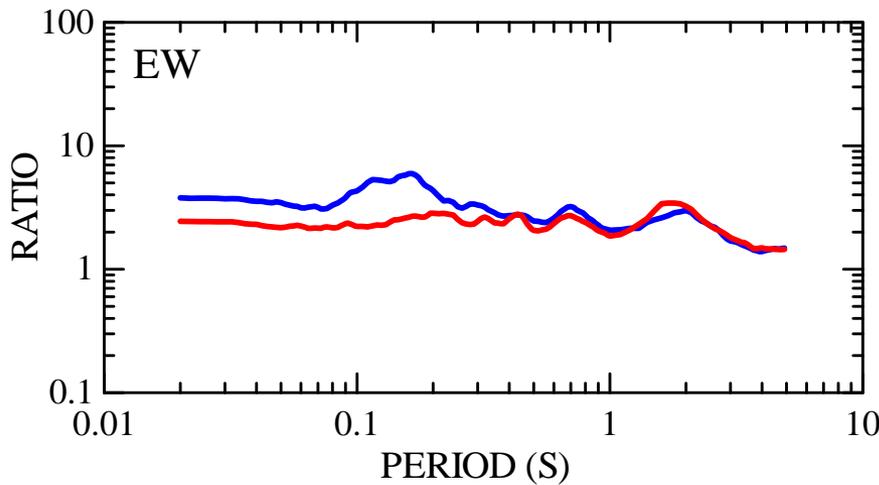
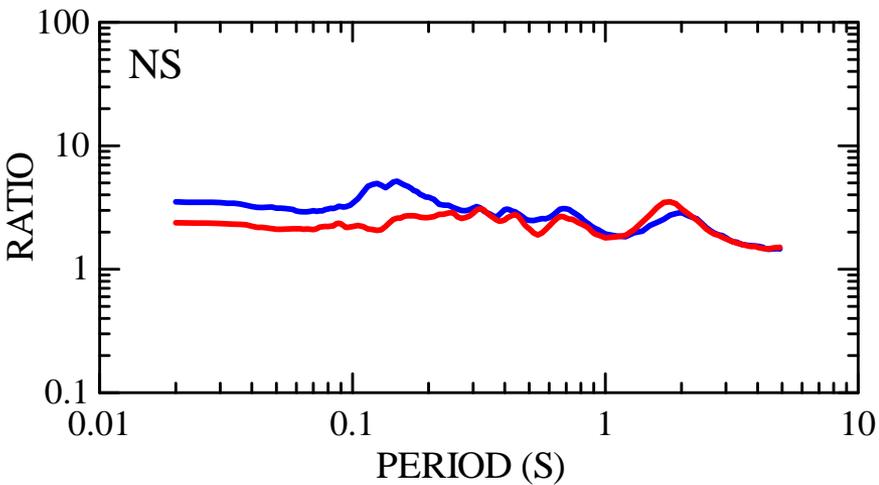


— 北地点全平均
— 南地点全平均

O.P. (m)	地震計	
	北地点	南地点
34.9		
32.9		●
14.2		
12.2	●	
-5	●	●
-100	●	●
-200	●	●
-300	●	●

(b) 北地点及び南地点の鉛直アレイ観測点における増幅特性比較

GL-2m/OP-300m

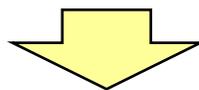


— 北地点全平均
— 南地点全平均

O.P. (m)	地震計	
	北地点	南地点
34.9		
32.9		
14.2		●
12.2	●	
-5	●	●
-100	●	●
-200	●	●
-300	●	●

(c) 鉛直アレイ最深部観測点における地震動特性の比較

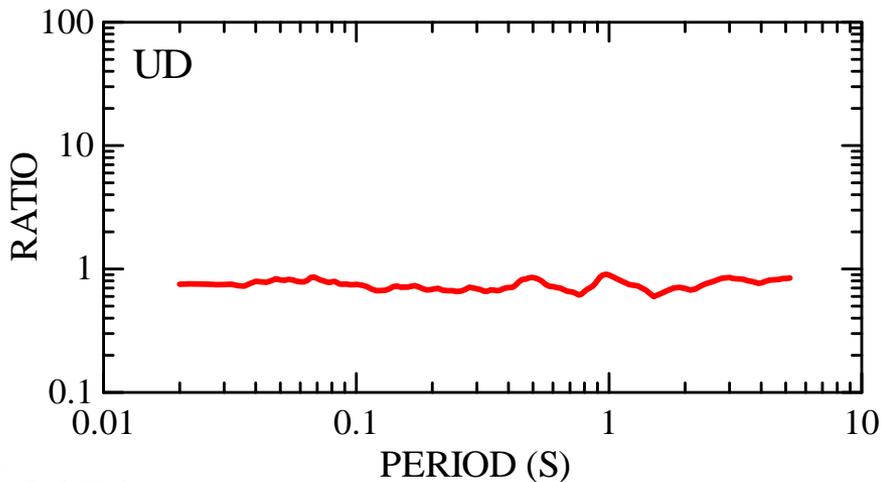
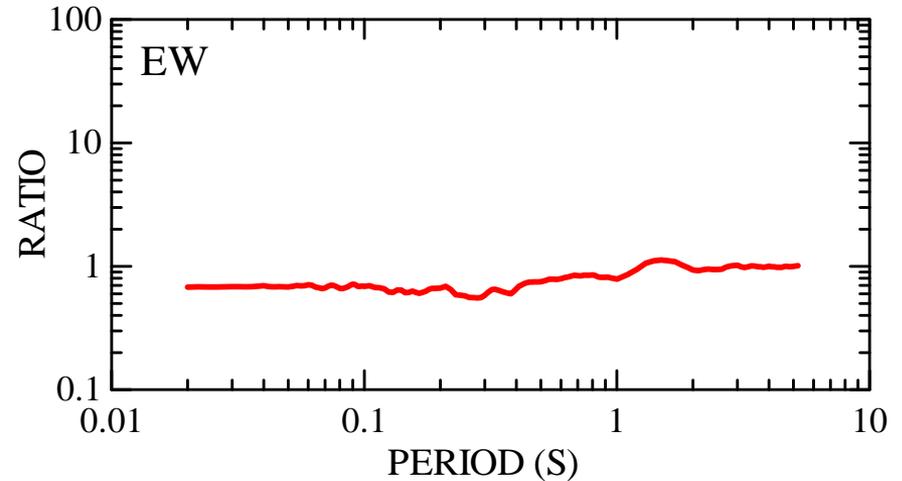
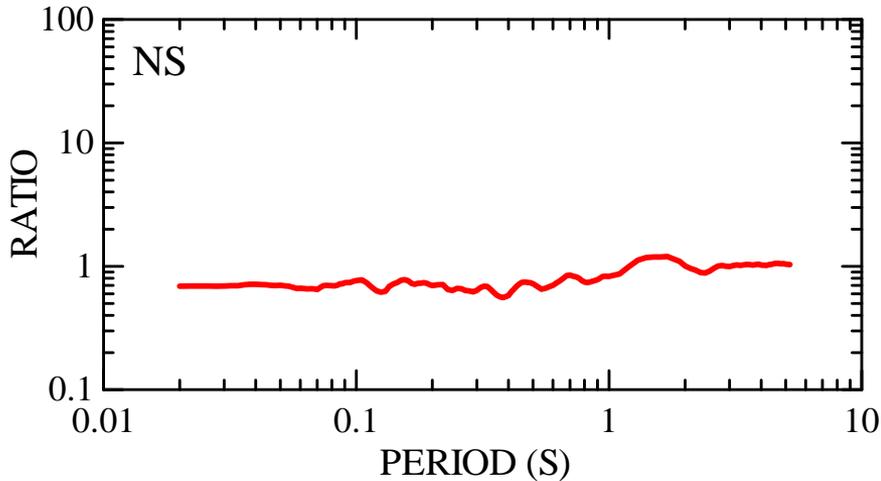
- 北地点及び南地点鉛直アレイ観測点の最深部（標高-300m）における応答スペクトル比を求め、岩盤深部における平面的な地震動特性を評価。



- 鉛直アレイ観測点の最深部（標高-300m）における地震動レベルは、北地点の方が南地点に比べ若干小さめとなっている。
- ただし、基準地震動 S_s は、（相対的に大きめとなっている）南地点における検討用地震の地震動評価結果を上回るように策定しているため、安全上の問題はない。
- 敷地内の地震動特性については、今後敷地内で地震観測を追加実施し、引き続き検討を進めていく予定。

(c) 鉛直アレイ最深部観測点における地震動特性の比較

北地点OP-300m / 南地点OP-300m



— 全平均

O.P. (m)	地震計	
	北地点	南地点
34.9		
32.9		●
14.2		
12.2	●	
-5	●	●
-100	●	●
-200	●	●
-300	●	●

2. 基準地震動 S_s の策定について

(1) 双葉断層に基づく地震動の評価手法の妥当性について



No.	コメント概要
No.1	断層モデルで、双葉断層の評価に限って、応答スペクトル法より小さめになっているのは、応答スペクトル法で内陸補正係数を用いていないからか、それとも、断層モデルに要因があるのか。

- 双葉断層による地震の評価結果について、断層モデルの評価が小さめとなっている要因としては、応答スペクトル法（耐専スペクトル）の内陸補正係数（低減係数）を考慮せず、相対的に安全側の評価を行っていること等が挙げられる。

No.	コメント概要
No.2	断層深さの下限を物理データから18kmとしているが、強震動レシピで断層長さから地震モーメント、断層面積を松田式から求めていくと東京電力の評価より大きめとなるのではないか。

- 強震動レシピには、以下の2通りの震源断層設定法が示されている。
 - (ア) 過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合
 - (イ) 地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合
- ご指摘の方法は上記（イ）を指しているが、双葉断層については詳細な調査を行っているため、上記（ア）に従い震源断層を設定している。

（参考）

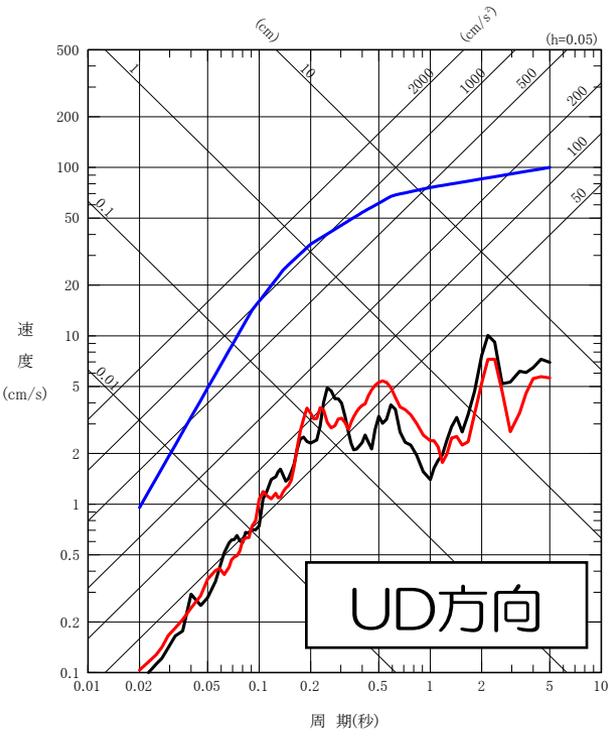
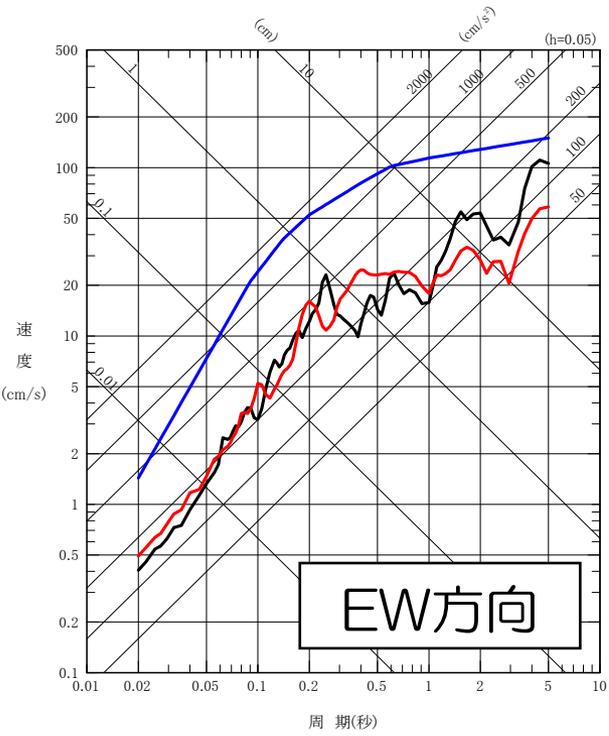
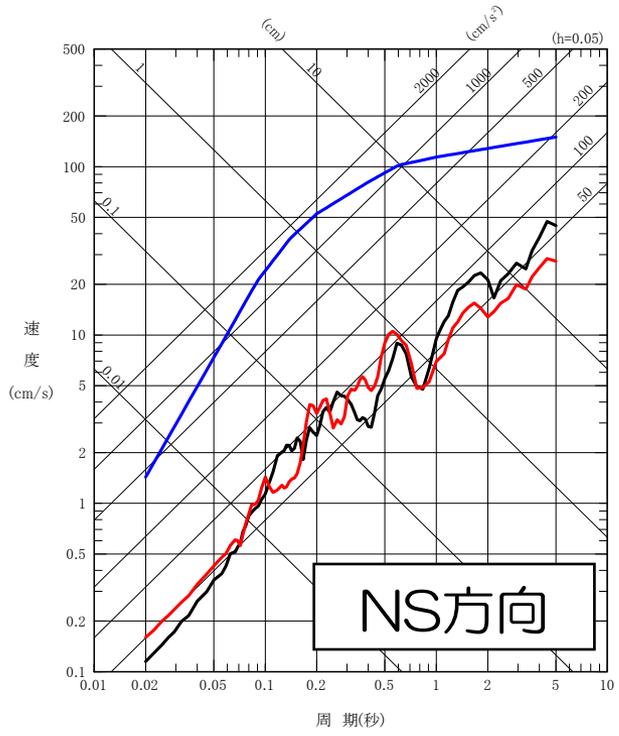
- 仮にレシピの（イ）を採用した場合、断層長さ41km、断層幅17km（面積697km²）となり、調査結果に基づく断層長さ37km、断層幅15km（面積555km²）を上回るものの、基準地震動Ss策定時には、暫定評価の断層長さ47.5km、断層幅15km（面積713km²）のモデルを考慮しており、その場合も地震動レベルに大きな差はみられないことから、問題ないものとする。

双葉断層の断層長さ見直しに伴う地震動評価結果

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

福島第一

- 断層モデル (ハイブリッド法) 断層長さ47.5km 【参考】
- 断層モデル (ハイブリッド法) 断層長さ37km
- 基準地震動Ss-1H, Ss-1V



No.	コメント概要
No.3	<p>応答スペクトルに基づく手法（耐専スペクトル）の元となった観測記録には内陸地殻内地震が少なく、手法の策定後に内陸補正係数が提案されている状況にある。（双葉断層については、敷地周辺で発生した内陸地殻内地震の観測記録が得られていないことから、当該補正係数を考慮せず、相対的には厳しめの評価となっているが。）</p> <p>一方、新潟県中越沖地震では、耐専スペクトルから想定される地震動をはるかに上回る地震動が観測され、当該手法の適用には地下構造特性を把握することが必要とされたが、耐専スペクトルによる評価は、現時点で十分実証性、妥当性を有していると言えるのか。</p>

- ご指摘のとおり、双葉断層による地震の地震動評価においては、耐専スペクトルの内陸補正係数（低減係数）を考慮せず、相対的に安全側の評価を行っている。
- 新潟県中越沖地震の際に柏崎刈羽原子力発電所で観測された地震動が大きかった要因については、分析の結果、震源の影響や地下構造の影響などが挙げられている。
- 一方、福島地点においては、地震観測記録に基づき地下構造の影響が小さいことを確認していること、また応答スペクトル法だけでなく断層モデルを用いた手法でも地震動評価を行って、それら全てを上回るように基準地震動 S_s を策定していることから、妥当なものと考えている。

2. 基準地震動 S_s の策定について

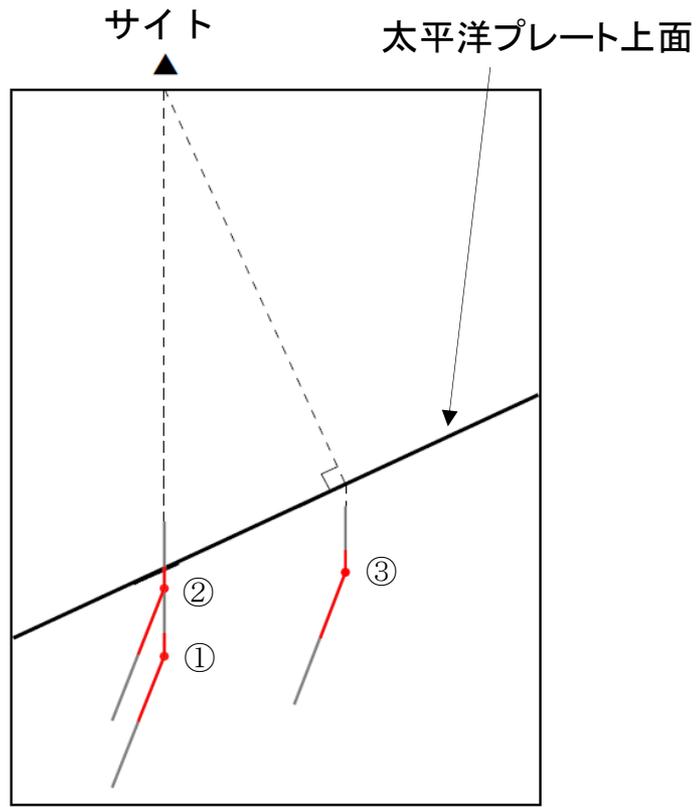
(2) 海洋プレート内地震の想定の妥当性について



No.	コメント概要
No.4	<p>海洋プレート内地震について、敷地下方のM 7.1の地震が敷地に最も大きな影響を及ぼすと言えるのか。</p> <p>（海洋プレートの傾斜を考えれば、若干東側を震源とした場合の方が敷地との距離は小さいのではないか。）</p>

- 海洋プレート内地震については、過去に敷地周辺で影響の大きな地震は発生していないが、基準地震動Ssの策定に当たっては、念のため敷地直下の位置に地震調査研究推進本部による最大規模（M7.1）の地震を想定している。
- ご指摘の位置（敷地から太平洋プレート上面に向けて法線を引いた位置）に同様の震源を想定した場合には、若干距離は近づくものの、想定敷地下方の地震についてはさらに震源位置の不確かさを考慮しており、ご指摘の位置に震源を想定した場合はこの震源位置の不確かさを考慮した場合と同程度の距離となる。
- また、震源位置の不確かさを考慮した場合の地震動評価結果も上回るように基準地震動Ss-2を策定していることから、仮にご指摘の位置に震源を想定した場合も、基準地震動Ssに及ぼす影響はないものと考えている。

想定敷地下方の地震の震源モデル

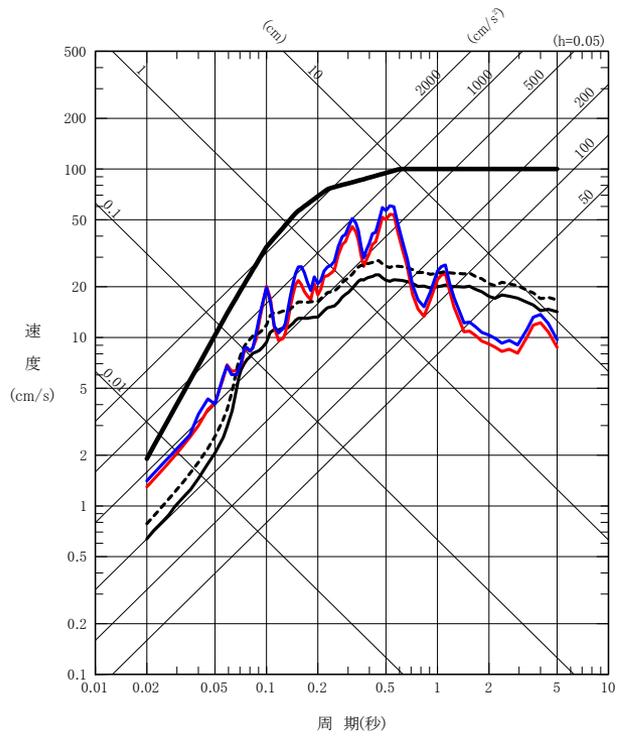


	等価震源距離 X_{eq} (km)	
	福島第一	福島第二
①基本震源モデル	81	79
②震源位置の不確かさを考慮したモデル	72	70
③ご指摘の位置に想定した場合	73	71

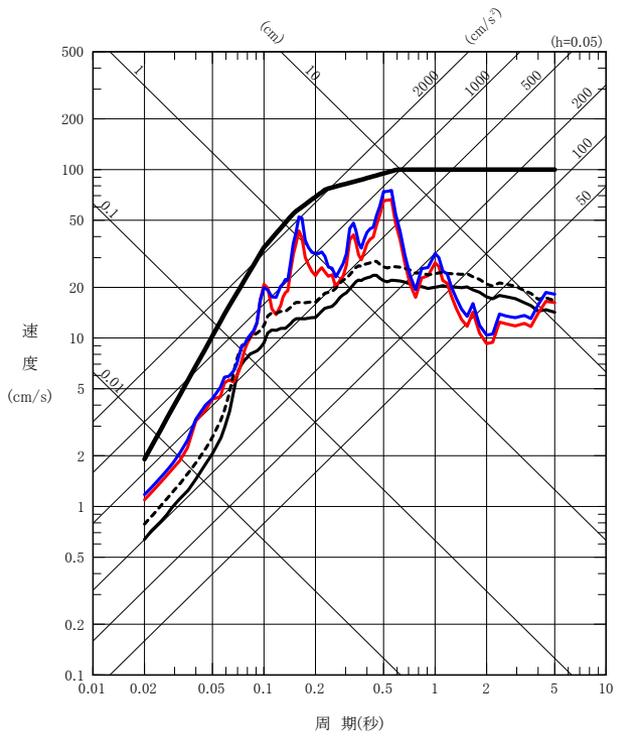
想定敷地下方の地震の地震動評価結果

地震動評価結果（福島第二）

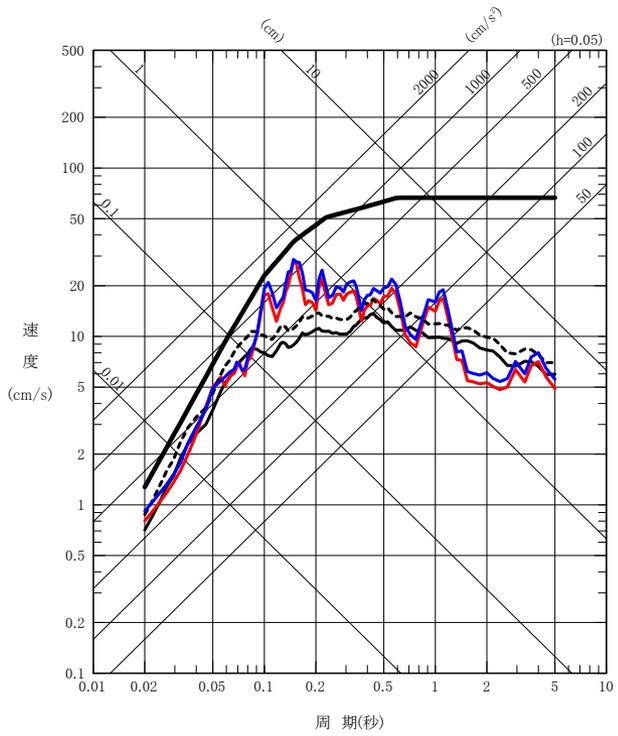
- 基準地震動Ss-2
- 応答スペクトル法 基本震源モデル (M7.1, Xeq=79km)
- 断層モデル (経験的G関数法) 基本震源モデル
- - - 応答スペクトル法 震源位置の不確かさを考慮したモデル (M7.1, Xeq=70km)
- 断層モデル (経験的G関数法) 震源位置の不確かさを考慮したモデル



NS方向



EW方向



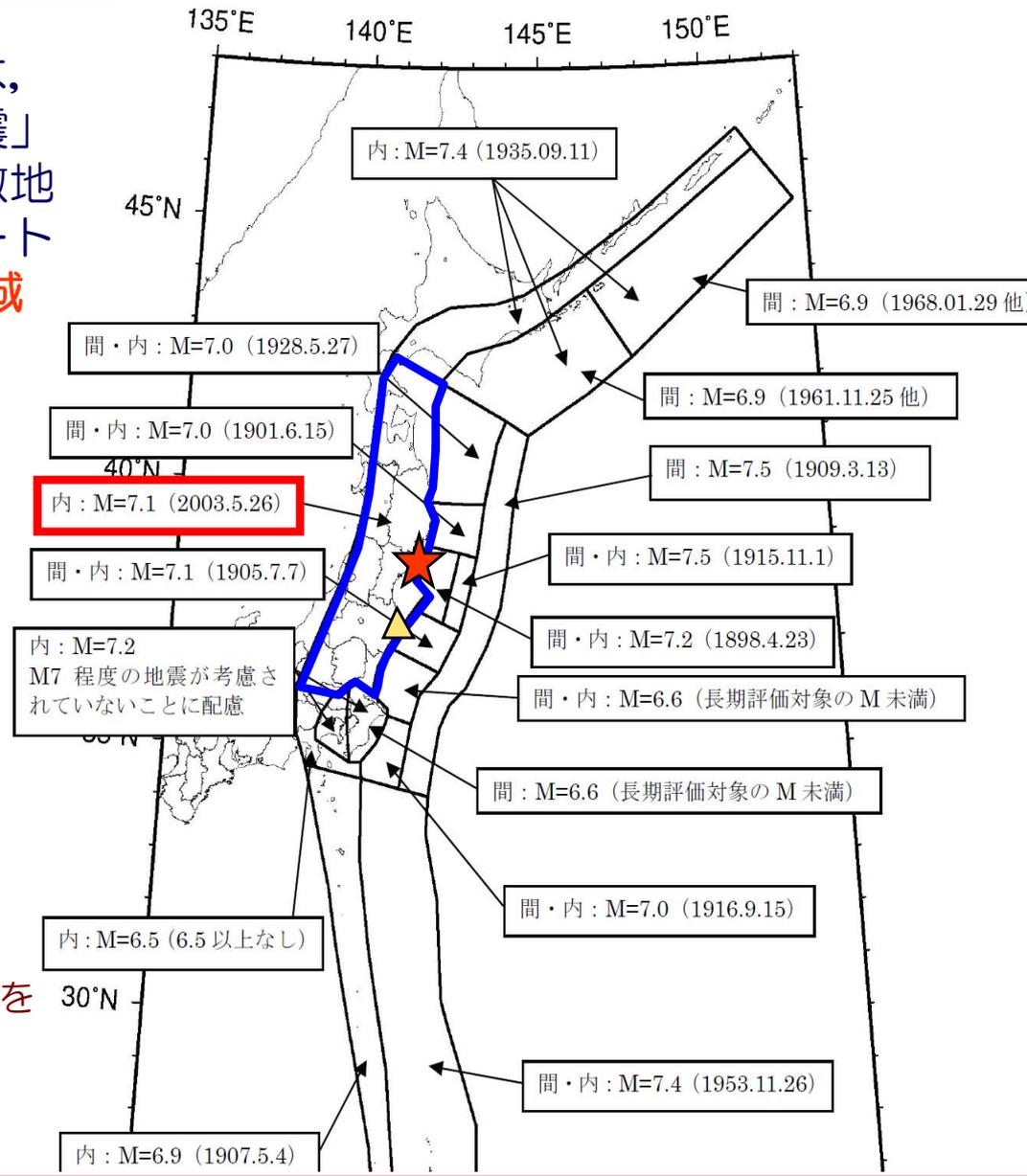
UD方向

No.	コメント概要
No.5	塩屋崎沖の地震④（M7.4）は、海洋プレート内地震であるとされるが、この規模の地震が敷地直下で発生しないとする根拠は何か。

- 想定敷地下方の地震の規模（M7.1）は、地震調査研究推進本部による海洋プレート内地震の「震源断層を予め特定しにくい地震」の敷地が位置する領域における最大規模（2003年宮城県沖の地震，M7.1）を根拠としている。
- 塩屋崎沖の地震④（M7.4）については、地震調査研究推進本部においてプレート間地震として評価が行われていること、また、既往の研究によりプレート間地震と比べても短周期成分の励起が小さいとされていることから、検討用地震の選定においてはプレート間地震として扱い、検討用地震である塩屋崎沖の地震②（M7.5）及び③（M7.3）と比べて影響が小さいことを確認している。

敷地が位置する領域における海洋プレート内地震の最大規模

地震調査研究推進本部（2006）は、「震源断層を予め特定しにくい地震」を領域震源として考慮しており、敷地が位置する領域における海洋プレート内地震の最大規模を、**2003年宮城県沖の地震**の **M7.1**としている。



- ▲ : 福島第一・福島第二サイト
- ★ : 2003年宮城県沖の地震の震央

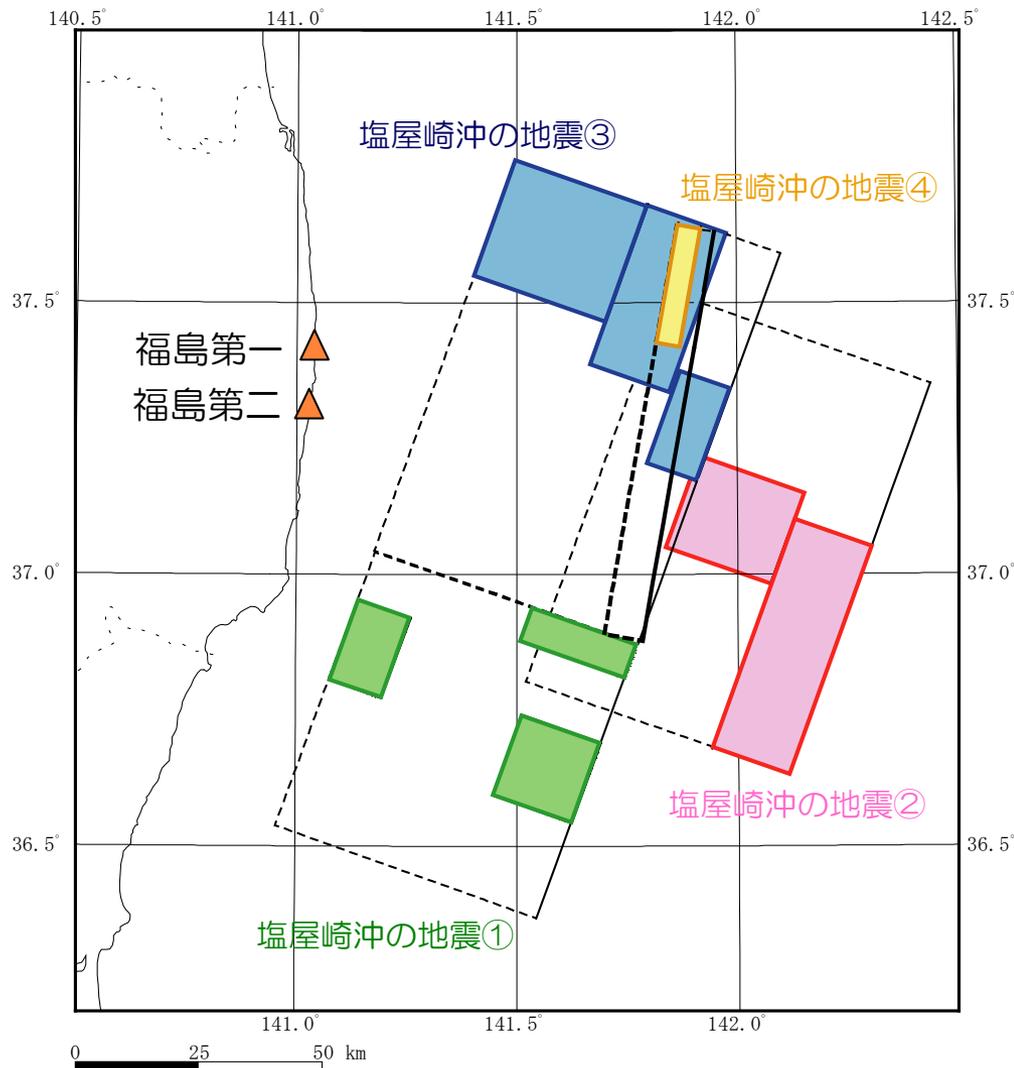
プレート間地震・海洋プレート内地震の震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード
 間：プレート間地震 内：海洋プレート内地震
 【地震調査研究推進本部(2006)に加筆】

1938年塩屋崎沖地震群の震源モデル

■敷地へ最も影響を与えるプレート間地震として，敷地前面のプレート境界付近で発生した1938年塩屋崎沖地震群を選定。

地震	M	等価震源距離 Xeq(km)	
		1 F	2 F
塩屋崎沖の地震①	7.0	92	84
塩屋崎沖の地震②	7.5	102	98
塩屋崎沖の地震③	7.3	73	75
塩屋崎沖の地震④	7.4	98	98

■地震規模Mは，気象庁地震カタログによる。
■等価震源距離Xeqは，池田ほか(2008)による1938年塩屋崎沖地震群の特性化震源モデルに基づき算定。

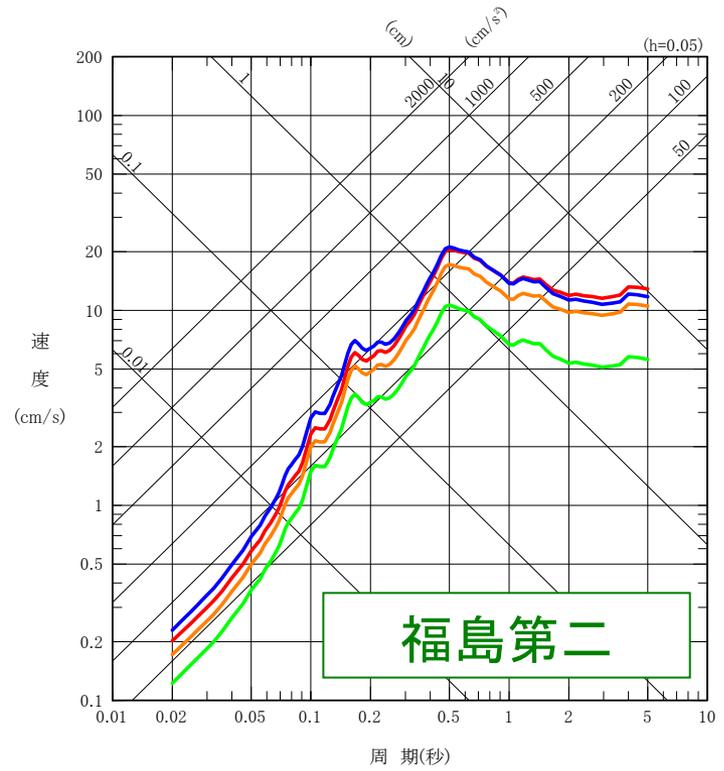
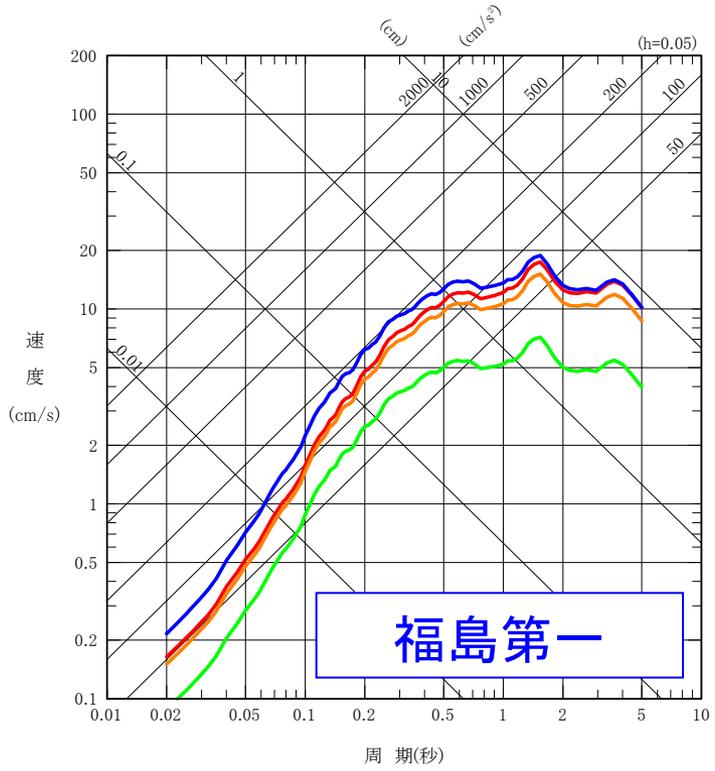


プレート間地震の検討用地震の選定

■ 応答スペクトルに基づく手法【耐専スペクトル：Noda et al.(2002)】により、福島第一・福島第二サイトにおけるプレート間地震の検討用地震として塩屋崎沖の地震② (M7.5) 及び塩屋崎沖の地震③ (M7.3) を選定。

- 塩屋崎沖の地震① (M7.0, Xeq = 92km)
- 塩屋崎沖の地震② (M7.5, Xeq = 102km)
- 塩屋崎沖の地震③ (M7.3, Xeq = 73km)
- 塩屋崎沖の地震④ (M7.4, Xeq = 98km)

- 塩屋崎沖の地震① (M7.0, Xeq = 84km)
- 塩屋崎沖の地震② (M7.5, Xeq = 98km)
- 塩屋崎沖の地震③ (M7.3, Xeq = 75km)
- 塩屋崎沖の地震④ (M7.4, Xeq = 98km)

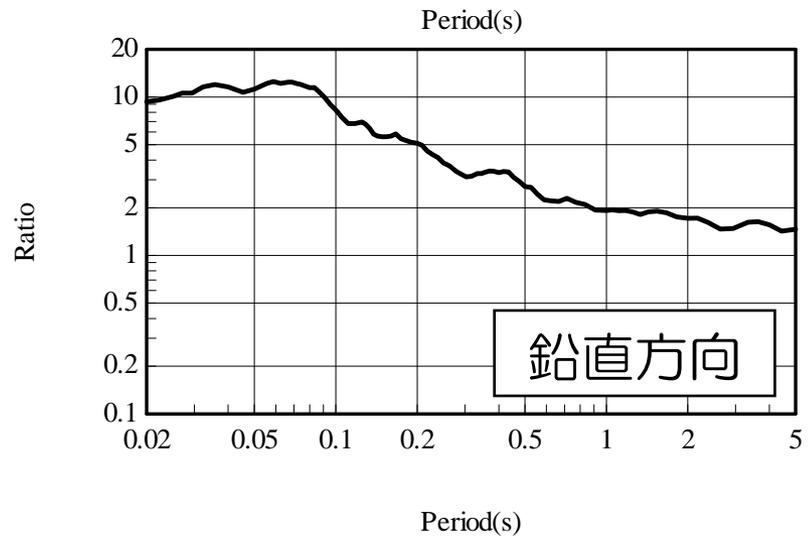
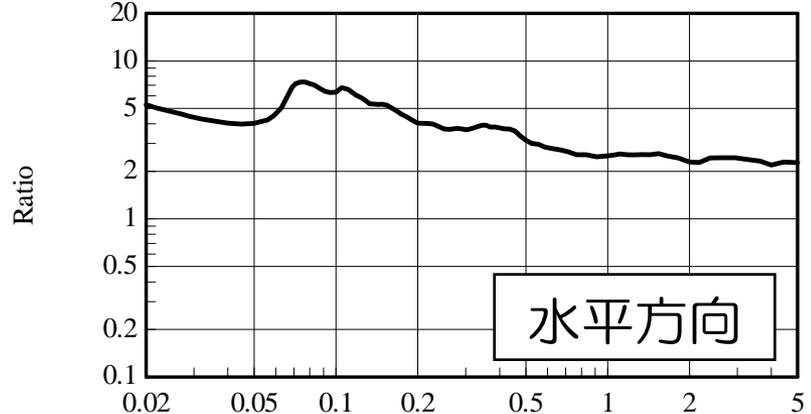
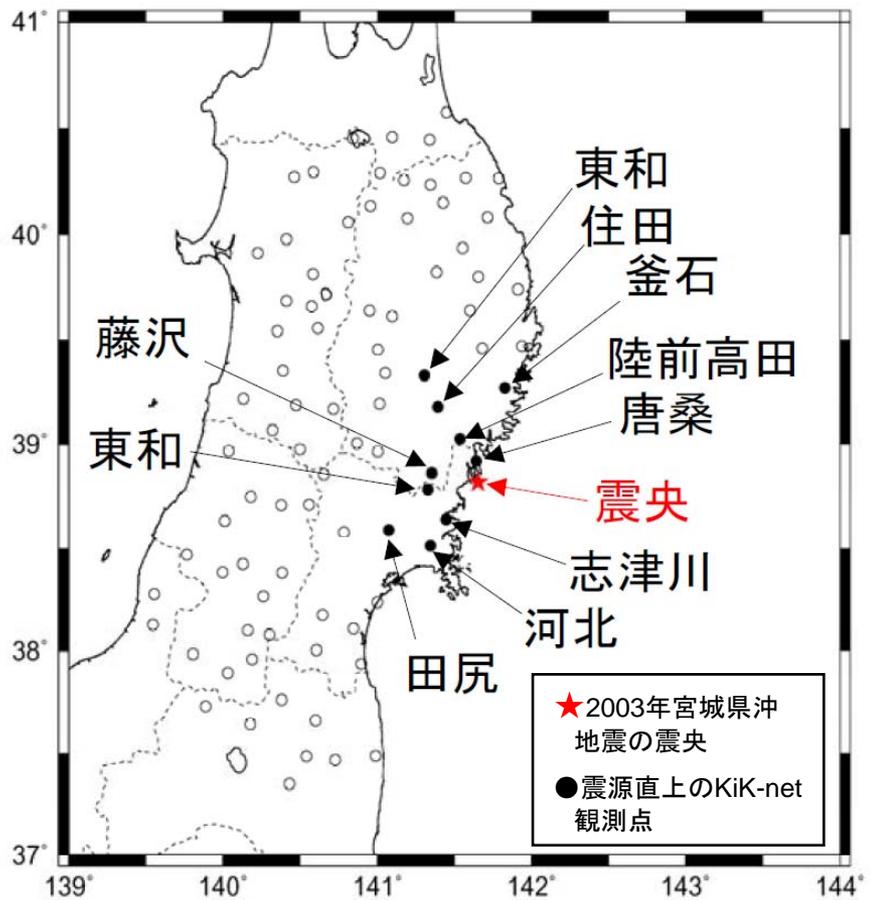


No.	コメント概要
No.6	<p>応答スペクトルに基づく手法（耐専スペクトル）の元となった観測記録には、海洋プレート内地震が含まれていないように見受けられるが、当該手法により福島第一・福島第二原子力発電所の直下の海洋プレート内地震を正しく評価できるのか。</p>

- 海洋プレート内地震の検討用地震である想定敷地下方の地震は、敷地下方の海洋プレート内に2003年宮城県沖の地震（M7.1）を想定したもの。
- 2003年宮城県沖の地震では、短周期成分の励起が特徴的であったため、そのような震源特性を地震動評価に反映する必要がある。
- 2003年宮城県沖の地震では、数多くの観測点で記録が得られていることから、想定地震と敷地との位置関係に類似した震源直上の観測点で得られた記録に基づく補正係数を考慮することにより、想定地震の震源特性をより正しく評価しているものと考えている。

海洋プレート内地震の補正係数

■ 2003年宮城県沖の地震（M7.1）の震源直上KiK-net観測点における記録と耐専スペクトルとの残差を、耐専スペクトルによる評価で用いる補正係数として採用。



2. 基準地震動 S_s の策定について

(3) プレート間地震の想定の妥当性について

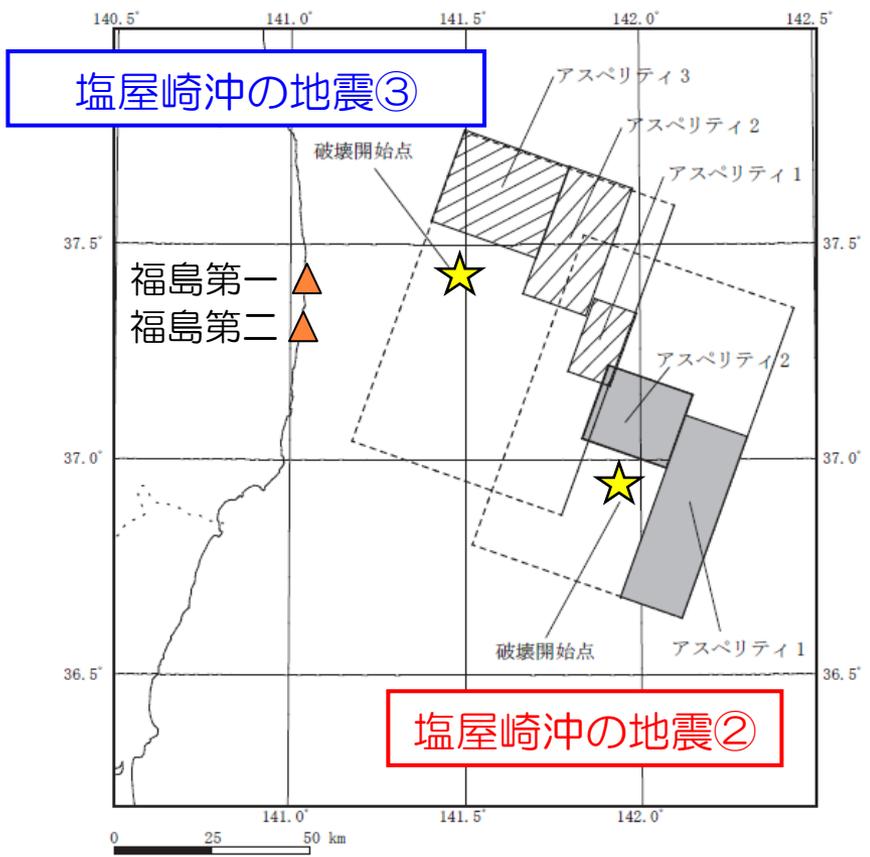


No.	コメント概要
No.7	プレート間地震では、不確かさの考慮として、複数イベントの連動を想定しているが、断層面積と地震モーメントはどのような関係になると考えているのか。また、地震モーメントは単純に各イベントの和でよいのか。

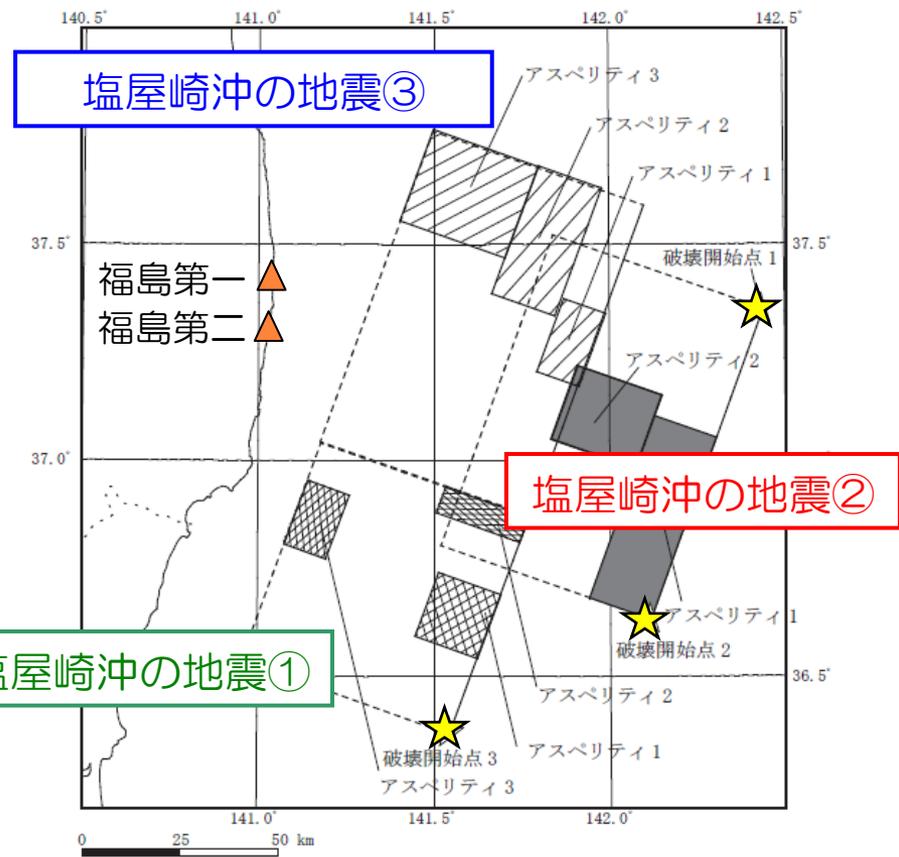
- プレート間地震である塩屋崎沖の地震①～③については、実際にはそれぞれ個別の地震として活動しており、国（地震調査研究推進本部・中央防災会議）においても同時活動は考慮されていないものの、基準地震動Ssの策定に当たっては、安全側に同時活動を考慮したもの。
- 同時活動を考慮する際の断層面積は、各地震の断層面積を包含するように設定し、地震モーメントは各地震の地震モーメントの和としている。
- なお、各地震の震源断層モデルは、池田ほか（2008）による1938年塩屋崎沖地震群の波形インバージョン結果に基づく特性化震源モデルに基づき設定しているが、これらのモデルの短周期レベルは壇ほか（2001）による平均レベルと比較して2倍程度以上となっていること、また、同時活動を考慮する際には、破壊開始点を最も厳しいと考えられる破壊が敷地に向かう位置に複数設定していることから、現状の評価で問題ないと考えている。

プレート間地震における不確かさの考慮

<p>基本震源モデル</p>	<p>不確かさを考慮したモデル</p>
<p>塩屋崎沖の地震②及び③ 単独</p>	<p>塩屋崎沖の地震①・②・③の同時活動 (M7.9) 及び破壊開始点</p>



基本震源モデル

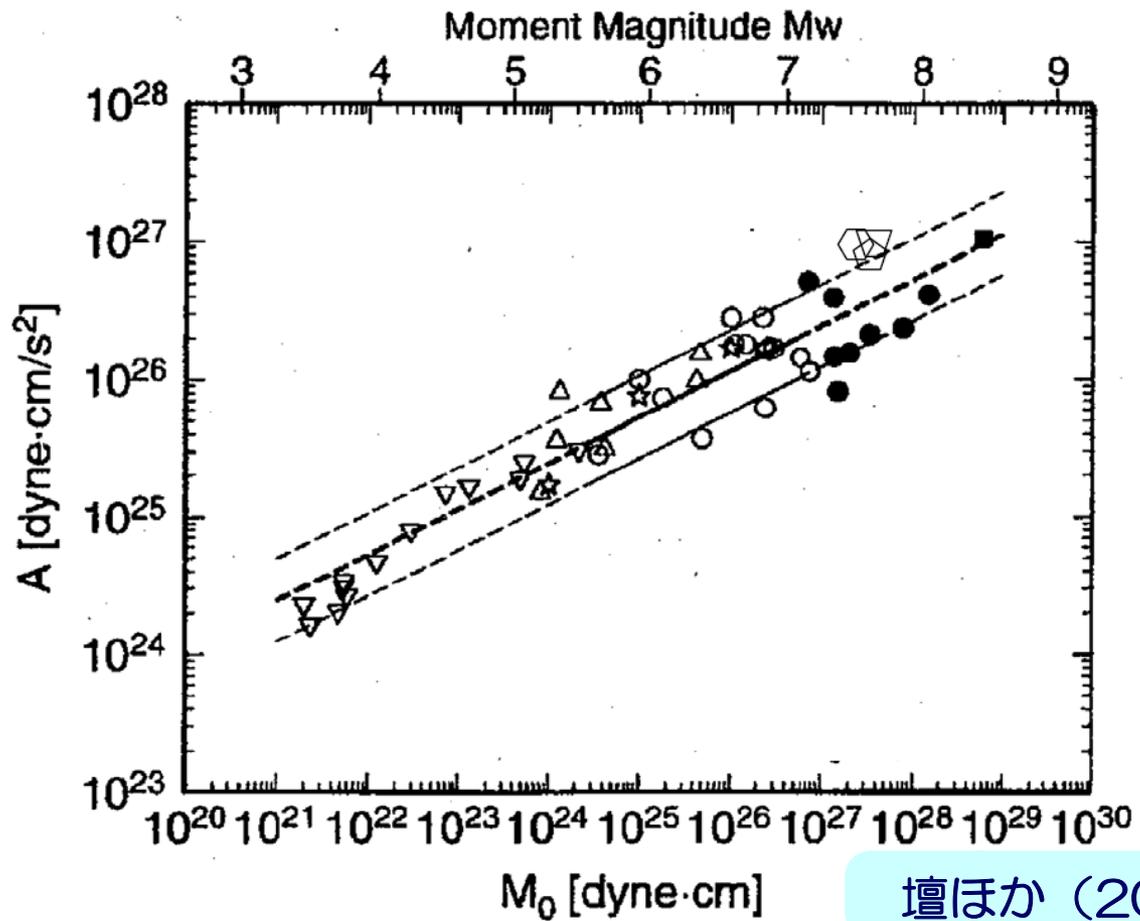


仮想塩屋崎沖の地震

塩屋崎沖の地震の短周期レベル

■ 塩屋崎沖の地震①～③の震源モデルから求まる短周期レベルの値は、壇ほか(2001)による平均的な値の2～3倍程度。

- 塩屋崎沖の地震①
- ◇ 塩屋崎沖の地震②
- ▽ 塩屋崎沖の地震③
- Dan (2001, Inland)
- ☆ Papageorgiou(1988)
- Kamae(1997)
- ▽ Kamae(1990)
- Dan (2001, Sea)
- Kamae(1996)
- ◇ Irikura(1999)
- △ Kato-1(1998)



壇ほか(2001)に加筆。

3. 施設等の耐震安全性における工事設計認可時と 中間報告の評価の違いについて



No.	コメント概要
No.1	<p>機器・配管系の耐震安全性評価について、工事設計認可時の構造強度評価と中間報告の評価では、どのように異なっているのか。</p> <p>福島第一原子力発電所5号機の制御棒の挿入性、福島第二原子力発電所4号機の主蒸気系配管等の発生最大応力などのように、中間報告値の方が小さくなるものが出てくる理由は何か。</p>

- 今回の耐震安全性評価は、基準地震動が設計時とは異なる他、現在の設計で使用されている基準等に従い評価していることから、工事設計認可時の構造強度評価とは解析の条件等が異なっている。
- 中間報告の方が応力値などが小さく出ている項目について、具体的な要因を次頁以降に説明する。

評価結果の差の要因について（福島第一5号機）

■ 残留熱除去系ポンプ基礎ボルト

● 評価結果

評価部位	設計時	耐震安全性評価中間報告
	発生値[MPa]	発生値[MPa]
基礎ボルト	30	29

● 評価に用いるボルト断面積

- ✓ 設計時ボルト断面積 : ボルト谷径 (31.67mm) に基づき算出 → 788mm²
- ✓ 耐震安全性評価ボルト断面積 : ボルト呼び径 (36mm) に基づき算出 → 1018mm²
- ✓ 現在、設計においては、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)」により、ボルト呼び径に基づき算出することとし、評価基準値は、谷径断面積 / 呼び径断面積の比で低減することとなっている。

◆ 仮に設計時のボルト断面積を耐震安全性評価と同じ考え方とした場合

設計時応力発生値 = 30MPa × 0.77* = 23MPa

*0.77は面積比（設計時ボルト断面積 / 耐震安全性評価ボルト断面積）を示す。

➡ 設計時 (23MPa) < 耐震安全性評価 (29MPa) となる

以上より、耐震安全性評価より設計時の応力発生値が大きくなる主な要因として、**適用する規格内容の明確化による違い**が挙げられる。

評価結果の差の要因について（福島第一5号機）

■原子炉压力容器（基礎ボルト）

●評価結果

評価部位	設計時	耐震安全性評価中間報告
	発生値[MPa]	発生値[MPa]
基礎ボルト	46	39

●評価法

- ✓ 設計時はモーメント、鉛直力による最大の引張荷重が全ての基礎ボルトに一律に作用すると仮定して基礎ボルトの引張応力を算出。
- ✓ 耐震安全性評価では、モーメントと鉛直力によって片側のボルトに引張応力が、その反対側には圧縮力が働くことを考慮した転倒計算に基づき、基礎ボルトの引張応力を算出。

◆ 評価法には上記の相違がある。参考として、耐震安全性評価と同様の手法で設計時の荷重条件に対する引張応力を求めると以下となる。

- ・ 設計時の荷重を用いて耐震安全性評価の手法で評価を行った場合、引張応力は36MPa。

以上より、耐震安全性評価より設計時の応力発生値が大きいのは、**評価法が異なることが主な要因**と考えられる。

評価結果の差の要因について（福島第一5号機）

■制御棒（挿入性）

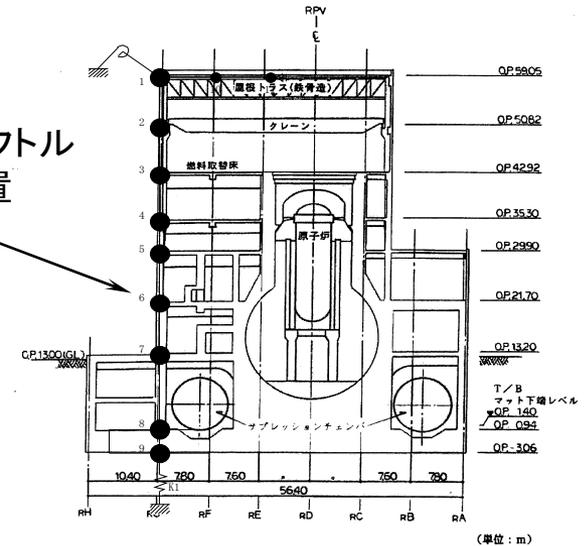
●評価結果

評価部位	設計時	耐震安全性評価中間報告
	発生値[mm]	発生値[mm]
—	15.5	13.8

●床応答スペクトル

- ✓ 相対変位は、炉内構造物の時刻歴解析から求めるため、明確な差異要因は特定しにくい。
- ✓ このため、燃料と同等レベルの床応答スペクトルにより加速度を確認した。確認した床応答スペクトルの位置は、右図に示す建屋中間階の床。

床応答スペクトル
比較位置



- ✓ 燃料集合体の固有周期付近で、設計時の方が耐震安全性評価より大きな加速度となっていることを確認。
- ✓ 燃料集合体の相対変位においても加速度と同様な傾向が現れているものと推測。

評価結果の差の要因について（福島第二4号機）

■炉心支持構造物(シュラウドサポート)

●評価結果

評価部位	設計時	耐震安全性評価中間報告
	発生値[MPa]	発生値[MPa]
シュラウドサポート	161	89

●評価に用いる地震荷重

- ✓ 耐震安全性評価は今回策定した基準地震動Ssによる大型機器地震応答解析によって算出された荷重をそのまま用いている。
- ✓ 設計時は基準地震動S2による大型機器地震応答解析によって算出された荷重そのもので評価したのではなく、それらの荷重を上回る荷重を用いている。

上記の理由により、設計時の水平力とモーメントが今回の耐震安全性評価より大きいため、見かけ上設計時の応力値が大きくなっている。

評価結果の差の要因について（福島第二4号機）

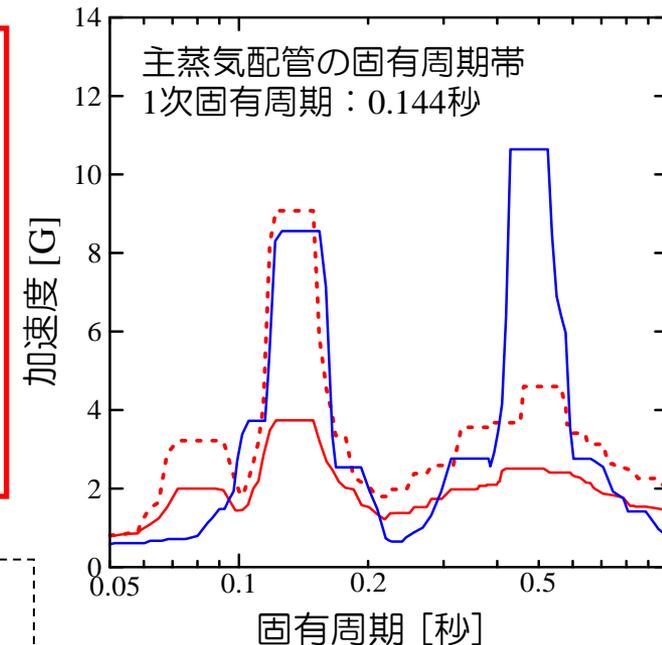
■主蒸気系配管

●評価結果

評価部位	設計時	耐震安全性評価中間報告
	発生値[MPa]	発生値[MPa]
配管本体	192	157

- ✓ 今回の耐震安全性評価では、実験等で妥当性が確認されている減衰定数を使用しており、減衰定数を設計時の0.5%から2%に変更している。
- ✓ 主蒸気系配管の評価用床応答スペクトルを比較すると、**評価結果に大きな影響を与える低次のモード付近で耐震安全性評価よりも、設計時の方が応答加速度が大きくなっているため**、応力発生値も同様の傾向を示していると考えられる。

- 耐震安全性評価（減衰定数2%）（評価用）
- - - 耐震安全性評価（減衰定数0.5%）（参考用）
- 設計時（減衰定数0.5%）（評価用）



主蒸気系配管の評価に用いた床応答スペクトルの、設計時と耐震安全性評価における比較（水平方向）