

泊発電所

敷地地盤の振動特性について

(コメント回答)

平成25年11月20日
北海道電力株式会社

1. 地震観測記録を用いた検討 4
2. 地質構造を考慮した解析による検討 41
3. 深部凹構造による振動特性に関する検討 65
4. 経験的サイト増幅特性に関する検討 80

No	コメントの要旨	備考
1	<ul style="list-style-type: none"> 上下動について、1, 2号炉観測点に比べて3号炉観測点で大きくなっている場合があるので、水平動と同様に検討結果を示すこと。 	<p>第27回審査会合 (平成25年10月2日)</p>
2	<ul style="list-style-type: none"> 1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較について、7地震の応答スペクトル比を平均しているが、個々の地震の結果を示すこと。 	<p>第27回審査会合 (平成25年10月2日)</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> 地震観測記録を用いた検討に全波形を用いているが、S波主要動を用いて検討すること。 	<p>第27回審査会合 (平成25年10月2日)</p>
4	<ul style="list-style-type: none"> 地質・地質構造の傾斜を考慮した二次元地下構造モデルと水平成層を仮定した一次元地下構造モデルについて、解析的に比較検討すること。 	<p>事業者ヒアリング⑨ (平成25年9月26日)</p>
5	<ul style="list-style-type: none"> 3号炉側の安山岩とD級岩盤について、3次元的な分布形状を考慮して解析的に地盤の振動特性を検討すること。 	<p>第27回審査会合 (平成25年10月2日)</p>
6	<ul style="list-style-type: none"> 弾性波探査結果からレンズ状の地質構造がみられるので、フォーカシングの影響について検討して欲しい。 	<p>第5回審査会合 (平成25年7月31日)</p>
7	<ul style="list-style-type: none"> 審査会合で指摘している敷地地下にある凹構造の岩盤によるサイトへの地震動の影響の有無についても、評価がまとまり次第説明すること。 	<p>事業者ヒアリング⑨ (平成25年9月26日)</p>
8	<ul style="list-style-type: none"> 標高-250m以深について、経験的増幅特性等により影響を評価するとよい。 	<p>第5回審査会合 (平成25年7月31日)</p>

1. 地震観測記録を用いた検討

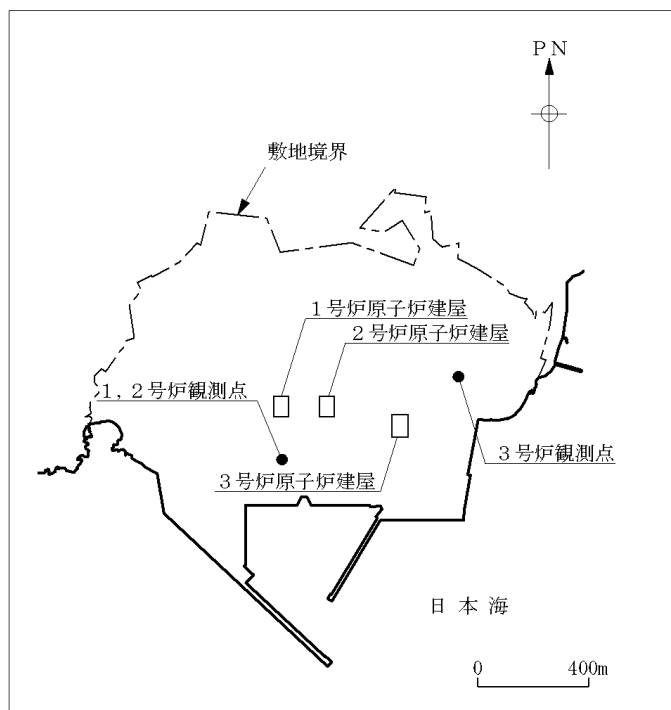
No	コメントの要旨	備考
1	・上下動について、1, 2号炉観測点に比べて3号炉観測点で大きくなっている場合があるので、水平動と同様に検討結果を示すこと。	第27回審査会合 (平成25年10月2日)

1.1 地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討(鉛直方向)

- 1, 2号炉及び3号炉観測点における鉛直方向の地震観測記録を用いて、鉛直アレー観測点間の応答スペクトルの比及びフーリエスペクトルの比による分析を行い、地震の到来方向による特異な増幅傾向の有無及び敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向の有無を確認する。

地震観測点



配置図

標高(m)	1, 2号炉観測点		3号炉観測点	
	地震計	地層	地震計	地層
+ 64				第四系
+ 56			○	(安山岩)
+ 10				
+ 2.3	○	埋戻し土	○	
- 90	○	神恵内層	○	神恵内層
- 250	○		○	

地震計の設置レベル

※1, 2号炉観測点標高+10mは水平方向のみ観測

1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

地震観測装置の主な仕様

- 1, 2号炉観測点は、1988年から観測を開始している。
- 3号炉観測点は、1997年から観測を開始している。
- 収録装置更新に伴い、1, 2号炉観測点及び3号炉観測点の仕様・設定を2009年より変更している。

種別	1, 2号炉観測点 (1988年～2008年)		1, 2号炉観測点 (2009年～)		3号炉観測点 (1997年～2008年)		3号炉観測点 (2009年～)	
	型式	仕様・設定	型式	仕様・設定	型式	仕様・設定	型式	仕様・設定
サーボ型 加速度計	JEP 5B (明石製作所)	測定範囲: 0.1Gal～2000Gal 感度: 3mv/Gal 周波数特性: 0.1～30Hz	左記の通り		SD-112-3P 3S 3 (勝島製作所)	測定範囲: 0.03Gal～1000Gal 感度: 10mv/Gal 周波数特性: 0.1～30Hz	左記の通り	
デジタル 収録装置	SAMTAC- 160D-72	サンプリング周波数設定: 200Hz 遅延時間設定: 5秒 トリガー設定: 標高-250m観測点 NS方向orEW方向で 0.5Gal以上 記録方法: 磁気テープ 時刻校正: ラジオ(NHK)の時報により 自動修正	SMAC- MDU	サンプリング周波数設定: 100Hz 遅延時間設定: 40秒(2011年まで60秒) トリガー設定: 標高-250m観測点 NS方向orEW方向or UD方向で0.5Gal以上 記録方法: メモ리카ード 時刻校正: GPSレシーバーにより 自動修正	Datol-150	サンプリング周波数設定: 200Hz 遅延時間設定: 20秒 トリガー設定: 標高-250m観測点 NS方向orEW方向or UD方向で0.5Gal以上 記録方法: メモ리카ード 時刻校正: GPSレシーバーにより 自動修正	AccuSEIS Omni	サンプリング周波数設定: 100Hz 遅延時間設定: 40秒(2011年まで60秒) トリガー設定: 標高-250m観測点 NS方向orEW方向or UD方向で0.5Gal以上 記録方法: メモ리카ード 時刻校正: GPSレシーバーにより 自動修正

1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

検討対象地震の諸元

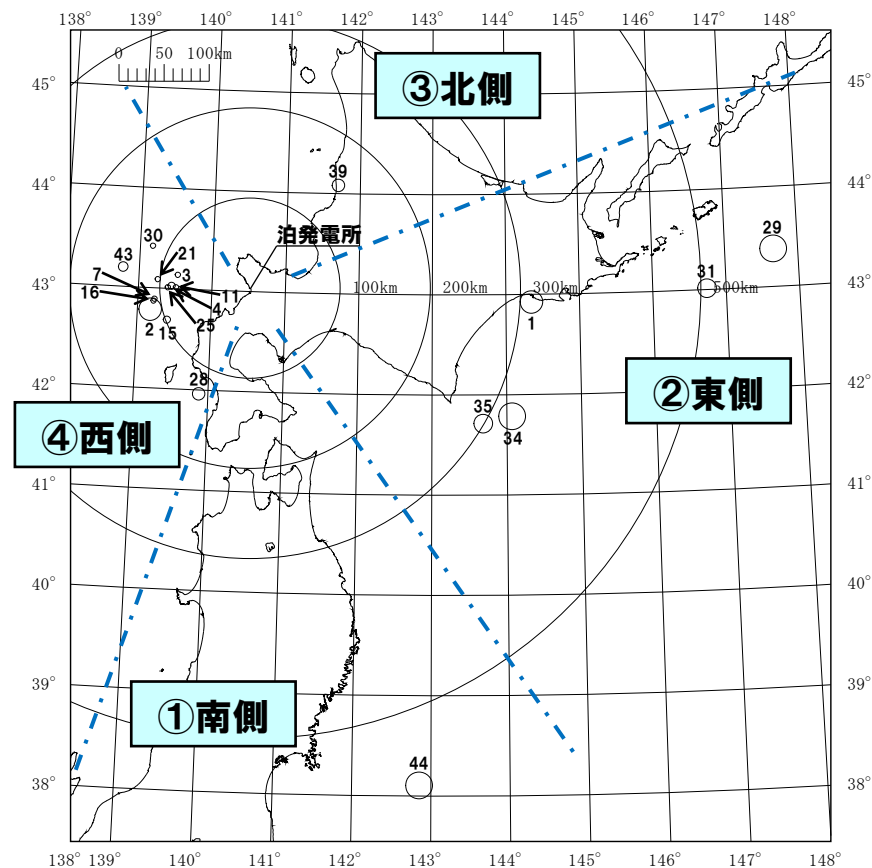
No.	地名または地震名	震源深さ (km)	M	震央距離 (km)	最大加速度(Gal)	
					1, 2号炉観測点 (標高+2.3m)	3号炉観測点 (標高+2.3m)
					UD	UD
1	1993年釧路沖地震	101	7.5	313	7	-
2	1993年北海道南西沖地震	35	7.8	113	35	-
3	積丹半島北西沖	37	4.7	81	1	-
4	積丹半島北西沖	35	5.4	86	4	-
7	北海道南西沖	20	4.8	106	1	-
11	積丹半島北西沖	28	4.1	81	0.4	-
15	北海道南西沖	3	5.2	98	2	-
16	北海道南西沖	29	4.7	107	1	-
21	積丹半島北西沖	32	4.3	102	2	-
25	積丹半島北西沖	38	3.8	90	1	-
28	1993年北海道南西沖地震最大余震	24	6.3	131	4	-
29	1994年北海道東方沖地震	28	8.2	583	4	-
30	1999年積丹半島北西沖	28	4.5	116	2	1
31	根室半島沖	59	7.0	506	1	1
34	2003年十勝沖地震	45	8.0	325	6	7
35	十勝沖	21	7.1	299	2	3
39	留萌支庁南部	9	6.1	150	1	1
43	北海道南西沖	25	5.8	158	1	1
44	東北地方太平洋沖地震	24	9.0	583	2	2

※ 地震の諸元は気象庁地震カタログ

● 検討対象地震は、観測開始後、現在までに観測された51地震のうち、上記の19地震として、分析・検討を実施した。

● なお、3号炉観測点は、観測開始時期が1, 2号炉観測点より遅いため、7地震を対象として分析・検討を実施した。

検討対象地震の震央分布図



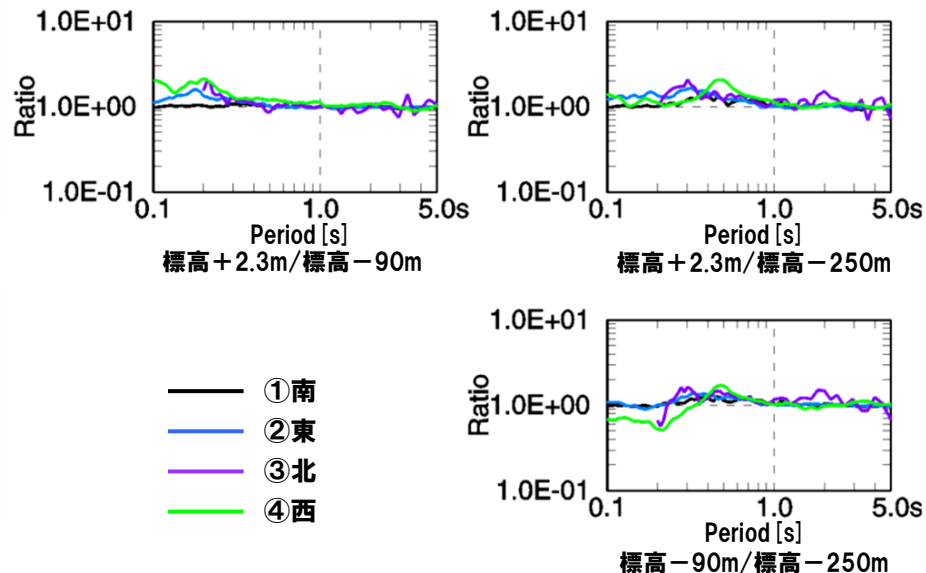
1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

●到来方向別の鉛直アレー観測点間の応答スペクトル比より、1、2号炉及び3号炉観測点における到来方向別の増幅特性を鉛直方向について確認した。

[到来方向別] 鉛直アレー観測点間の応答スペクトル比(1, 2号炉観測点 UD方向)

No.	方位	地名または地震名	M	震央距離 (km)	最大加速度(Gal)
					1, 2号炉観測点 (標高+2.3m) UD
44	南	東北地方太平洋沖地震	9.0	583	2
1	東	1993年釧路沖地震	7.5	313	7
34		2003年十勝沖地震	8.0	325	6
29		1994年北海道東方沖地震	8.2	583	4
35		十勝沖	7.1	299	2
31		根室半島沖	7.0	506	1
39	北	留萌支庁南部	6.1	150	1
2	西	1993年北海道南西沖地震	7.8	113	35
28		1993年北海道南西沖地震最大余震	6.3	131	4
4		積丹半島北西沖	5.4	86	4
15		北海道南西沖	5.2	98	2
30		1999年積丹半島北西沖	4.5	116	2
25		積丹半島北西沖	3.8	90	1
43		北海道南西沖	5.8	158	1
7		北海道南西沖	4.8	106	1
21		積丹半島北西沖	4.3	102	2
16		北海道南西沖	4.7	107	1
3		積丹半島北西沖	4.7	81	1
11	積丹半島北西沖	4.1	81	0.4	



●周期1秒程度以上で、いずれの検討結果においても地震の到来方向による応答スペクトル比の傾向に差異はみられない。

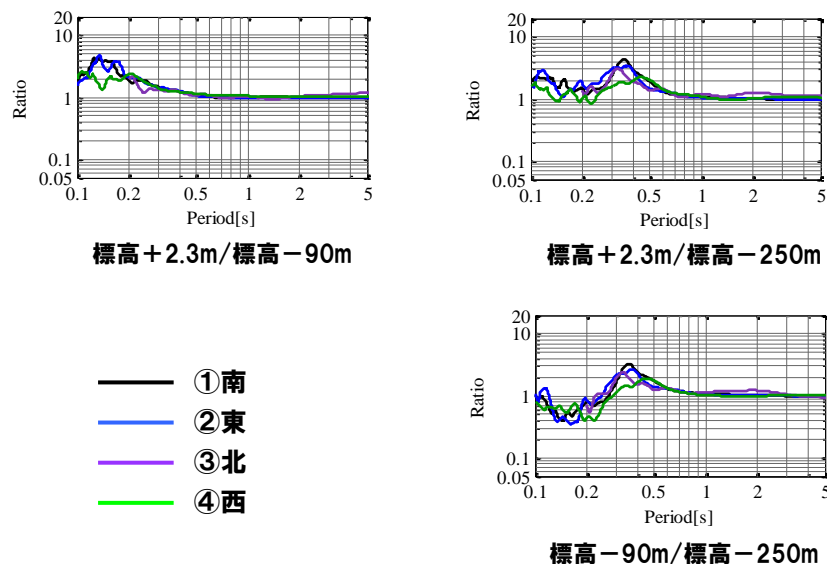
●短周期側では、地震の到来方向による応答スペクトル比の傾向に若干の差異がみられる。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

●「①南」及び「②東」の地震は、震源が泊発電所から約300km以遠にあり、短周期側の応答スペクトルが長周期側の地震動の影響を受けている可能性があることから、フーリエスペクトル比による検討も実施した。

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(1, 2号炉観測点 UD方向)



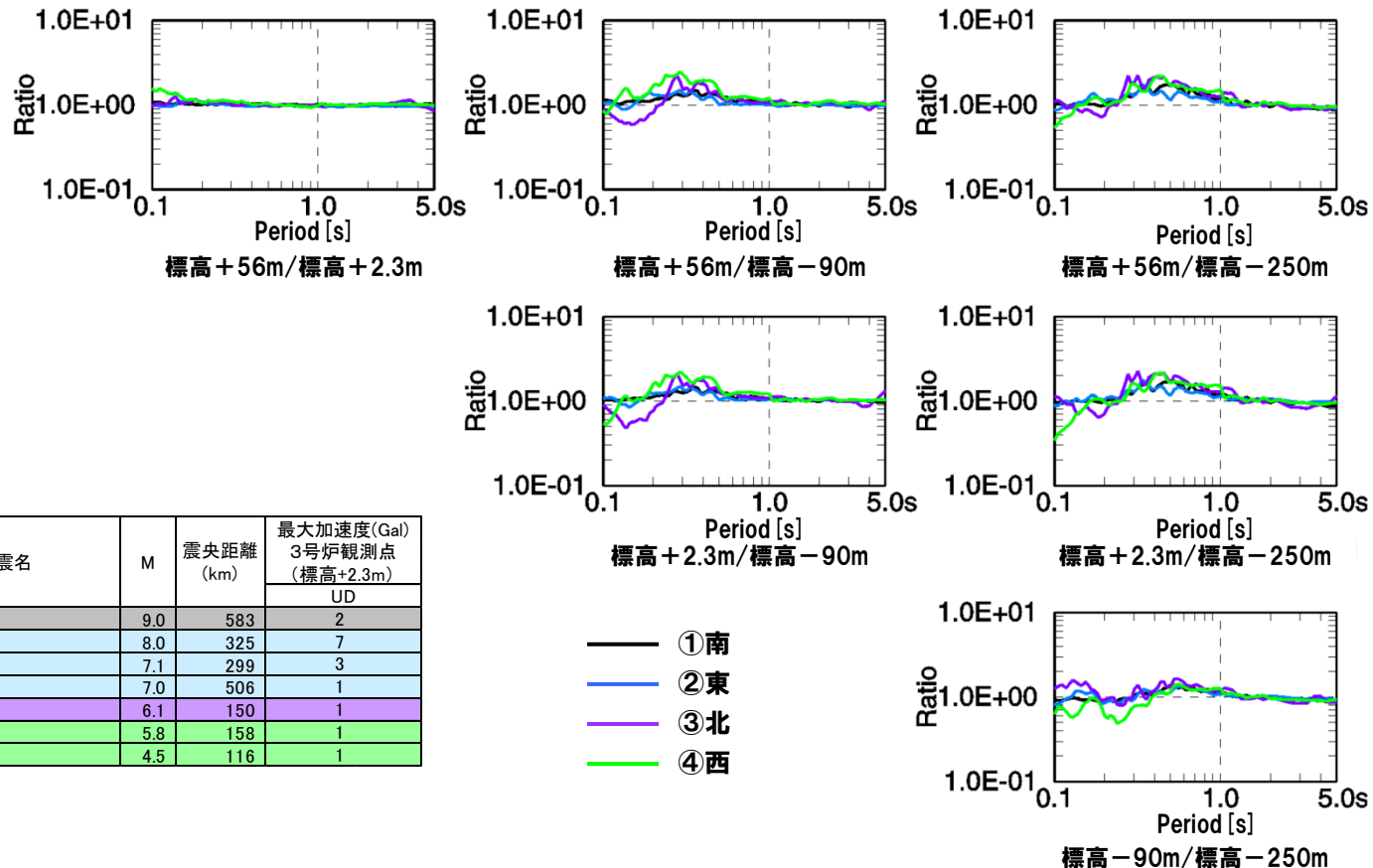
●いずれの検討結果においても地震の到来方向によるフーリエスペクトル比の傾向に差異はみられないことから、地震の到来方向により特異な増幅傾向はみられない。

●これらのことから、1, 2号炉観測点においては、地震の到来方向による特異な増幅傾向及び敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向はみられないものと考えられる。これは、敷地地盤は海山方向へ傾斜する構造となっているものの、速度構造のコントラストが大きいことによるものと考えられる。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間の応答スペクトル比(3号炉観測点 UD方向)



No.	方位	地名または地震名	M	震央距離 (km)	最大加速度(Gal)
					3号炉観測点 (標高+2.3m)
44	南	東北地方太平洋沖地震	9.0	583	2
34	東	2003年十勝沖地震	8.0	325	7
35		十勝沖	7.1	299	3
31	東	根室半島沖	7.0	506	1
39	北	留萌支庁南部	6.1	150	1
43	西	北海道南西沖	5.8	158	1
30		1999年積丹半島北西沖	4.5	116	1

●周期1秒程度以上で、いずれの検討結果においても地震の到来方向による応答スペクトル比の傾向に差異はみられない。

●「①南及び②東」は、短周期側でほぼ増幅しない傾向がみられる。

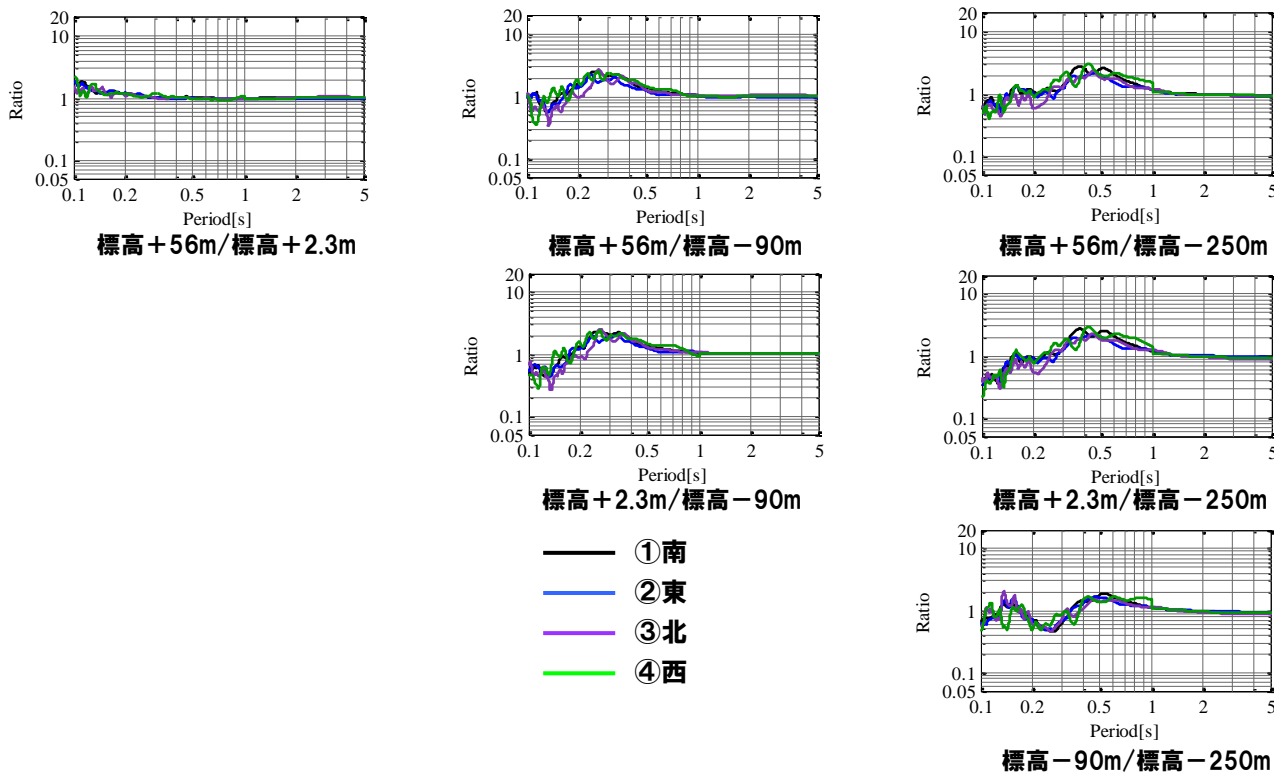
●また、「③北及び④西」は、「①南及び②東」と比較して、ばらつきが大きくなっている。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 地震の到来方向及び敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

●「①南」及び「②東」の地震は、震源が泊発電所から約300km以遠にあり、短周期側の応答スペクトルが長周期側の地震動の影響を受けている可能性があることから、フーリエスペクトル比による検討も実施した。

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(3号炉観測点 UD方向)



●いずれの検討結果においても地震の到来方向によるフーリエスペクトル比の傾向に差異はみられないことから、地震の到来方向により特異な増幅傾向はみられない。

●これらのことから、3号炉観測点においては、地震の到来方向による特異な増幅傾向及び敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向はみられないものとする。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.2 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

安山岩及びD級岩盤の振動特性評価

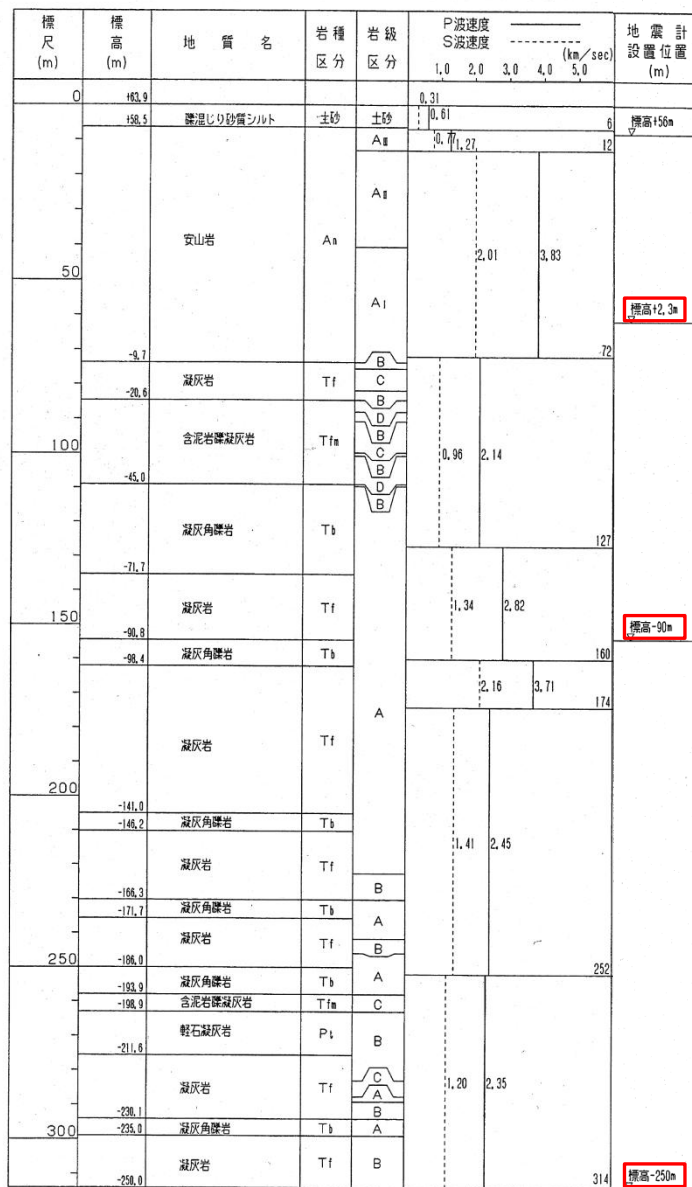
●3号炉観測点における鉛直方向の地震観測記録を用いて、鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトルの比による地盤の増幅特性に関する分析を行い、3号炉側の地盤に分布している安山岩及びD級岩盤による特異な増幅傾向の有無について確認する。更に安山岩とD級岩盤の効果について検討する。

3号炉観測点における地質の状況

●3号炉観測点では、安山岩は、標高+58m程度から標高-10m程度に分布している。また、標高-10m程度から標高-63m程度の間D級岩盤を含む相対的に速度の低い層が分布しており、3号原子炉建屋直下の安山岩以深と同様の構成となっている。

●地震計設置位置の地質と岩盤分類は、以下の通り。

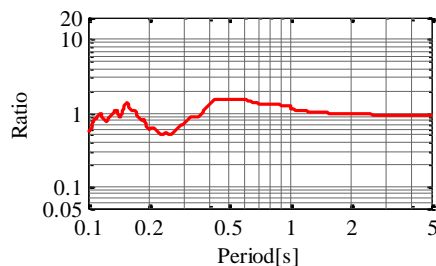
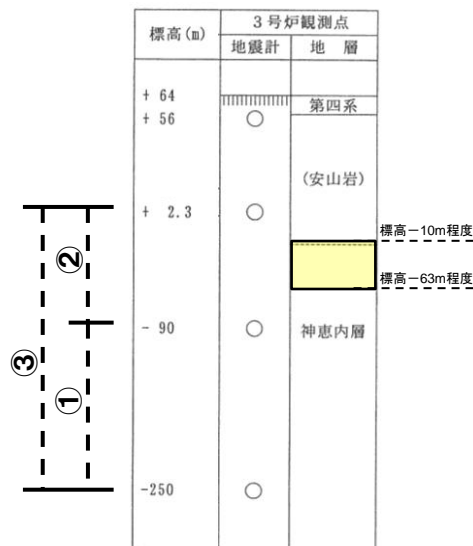
- ・標高+2.3m…… 安山岩(安山岩A₁級)
- ・標高-90m…… 凝灰岩(火砕岩類A級)
- ・標高-250m…… 凝灰岩(火砕岩類B級)



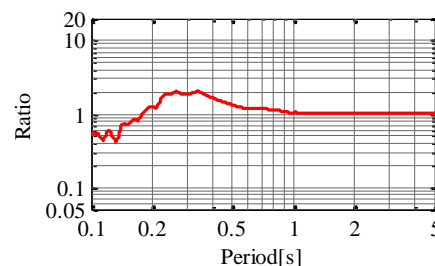
1. 地震観測記録を用いた検討

1.2 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

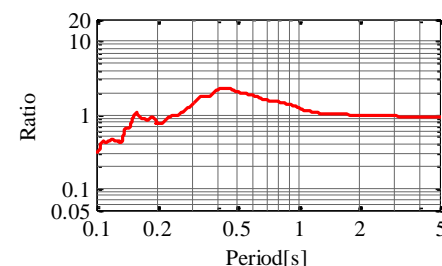
3号炉観測点 鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(鉛直方向)



① 標高-90m/標高-250m



② 標高+2.3m/標高-90m



③ 標高+2.3m/標高-250m

UD方向

— 7地震のフーリエスペクトル比の平均

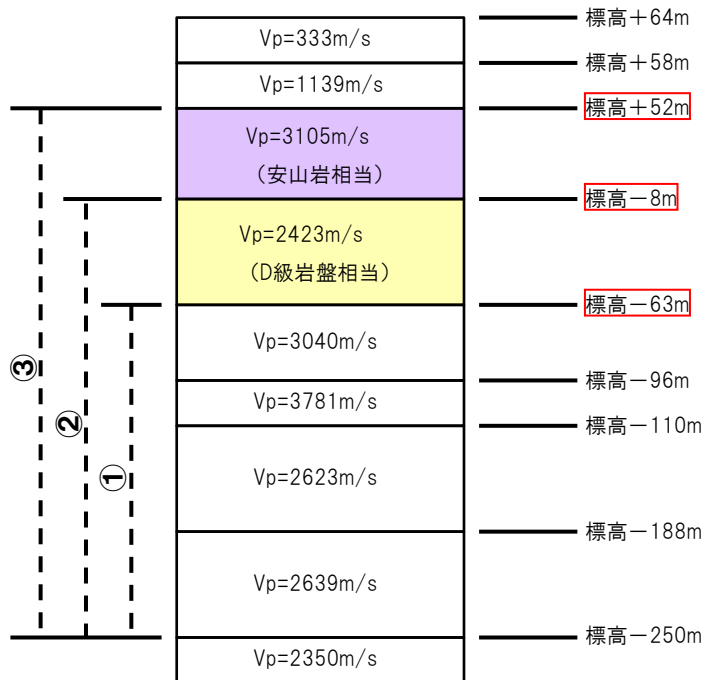
- D級岩盤以深の地震計設置位置におけるフーリエスペクトル比(①標高-90m/標高-250m)より、一部の周期帯において、若干の増幅傾向がみられる。
- 安山岩中の地震計設置位置におけるフーリエスペクトル比(②標高+2.3m/標高-90m)より、短周期側の増幅傾向がみられないことから、安山岩及びD級岩盤の影響により短周期側の地震動が低減される傾向にある。
- 最深部の地震計設置からの増幅傾向についても、③標高+2.3m/標高-250mのフーリエスペクトル比より地震動が短周期側で増幅しない傾向がみられる。
- 3号炉観測点における鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比に基づき、3号炉側の地盤に分布している安山岩及びD級岩盤により短周期側の地震動が増幅しないことを確認した。

1. 地震観測記録を用いた検討

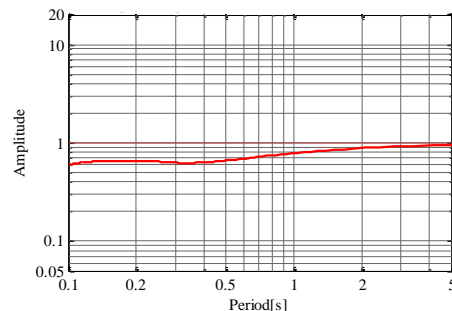
1.2 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

●3号炉観測点における地盤物性を考慮した1次元地盤モデルを用いた伝達関数(2E/2E)により,鉛直方向の観測記録にみられた増幅特性を分析する。

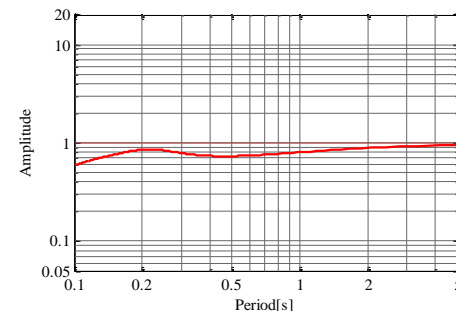
3号炉観測点 伝達関数(鉛直方向)



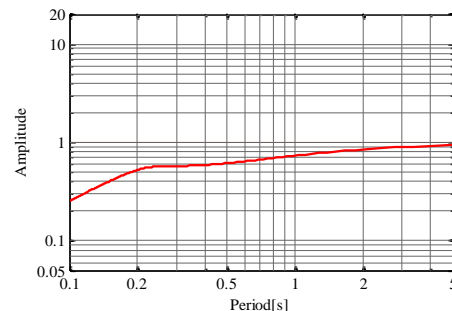
3号炉観測点 地盤モデル及び伝達関数算出位置
(※地盤モデルは,観測記録により同定)



①標高-63m(2E)/標高-250m(2E)



②標高-8m(2E)/標高-250m(2E)



③標高+52m(2E)/標高-250m(2E)

3号炉観測点 地盤モデルによる伝達関数

- D級岩盤以深の伝達関数(①)及びD級岩盤を含んだ伝達関数(②)より, D級岩盤による若干の増幅傾向が確認できる。
- 安山岩を含んだ伝達関数(③)より, D級岩盤により増幅した地震動が, その上部に分布する硬質な安山岩により低減する傾向がみられる。
- これらより, 安山岩及びD級岩盤の影響により地震動が短周期側で増幅しない傾向になっていると考えられる。

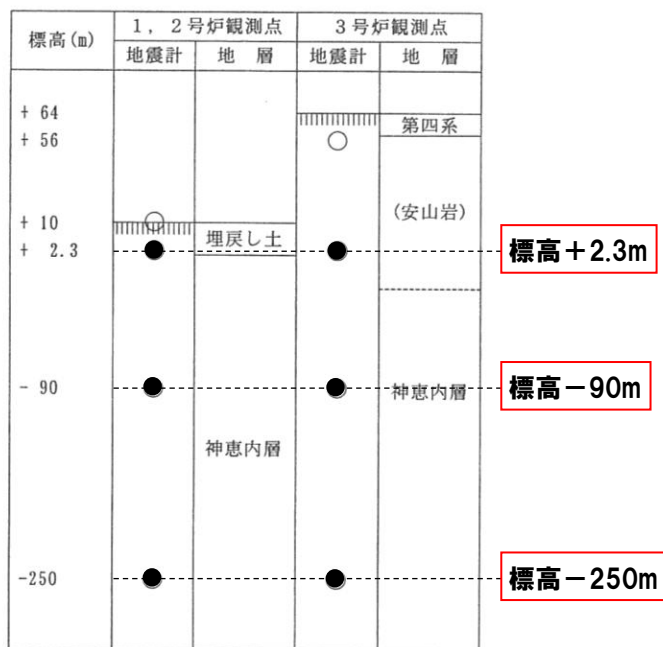
1. 地震観測記録を用いた検討

1.3 1, 2号炉観測点と3号炉観測点との比較

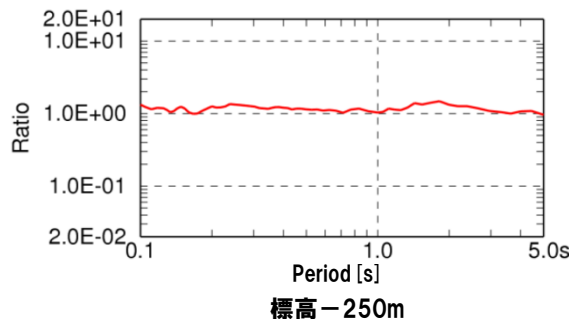
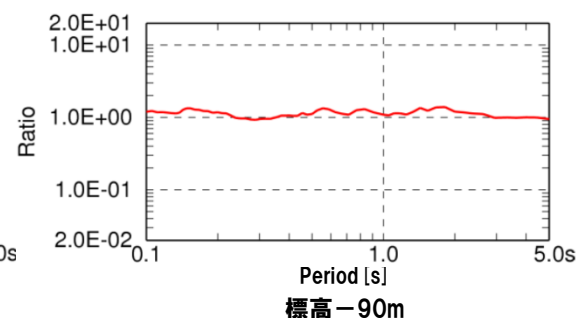
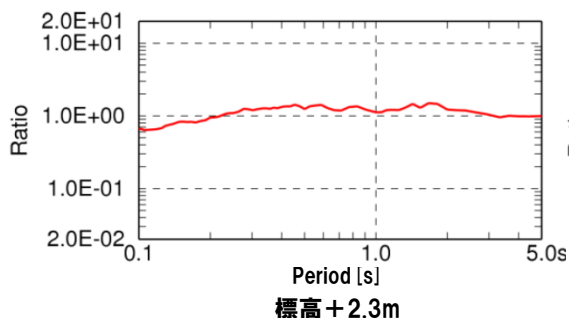
1, 2号炉観測点及び3号炉観測点との応答スペクトルの比較(鉛直方向)

- 1, 2号炉及び3号炉の両観測点で観測された7地震の鉛直方向の地震記録に基づき、同深度観測点の応答スペクトルの比較を行い、両観測点の地震動の関係を確認する。

応答スペクトル比較位置



深度別応答スペクトル比(鉛直方向)



※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)の平均

- 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点の鉛直方向における応答スペクトル比より、標高-250m観測点及び標高-90m観測点では、両観測点の応答スペクトルは、ほぼ同程度と考えられる。
- また、標高+2.3m観測点では、安山岩中である3号炉観測点の短周期側の地震動が鉛直方向で増幅しないものと考えられる。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.3 1, 2号炉観測点と3号炉観測点との比較

1, 2号炉観測点及び3号炉観測点との応答スペクトルの比較(鉛直方向)

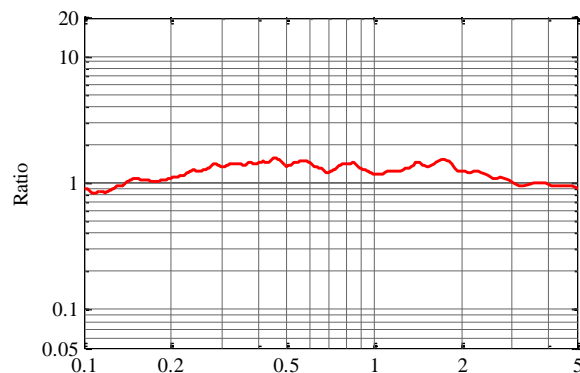
- 1, 2号炉及び3号炉の両観測点で観測された7地震の鉛直方向の地震記録を用いて、解放基盤表面相当レベルではぎとり波の応答スペクトルの比較を行い、解放基盤表面相当レベルでの両観測点の地震動の関係を確認する。

はぎとり解析位置

標高(m)	1, 2号炉観測点		3号炉観測点	
	地震計	地層	地震計	地層
+64				第四系
+56			○	(安山岩)
+10	○	埋戻し土		
+2.3	●		●	
				神恵内層
-90	○	神恵内層	○	
-250	○		○	

標高±0m

はぎとり波 応答スペクトル比(鉛直方向)



応答スペクトル比(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)の平均

- 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点の解放基盤表面相当レベルにおけるはぎとり波の応答スペクトル比より、両観測点の応答スペクトルは、ほぼ同程度と考えられる。

※ 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点共に標高+2.3mの観測点から標高±0mへはぎとり解析を実施

1. 地震観測記録を用いた検討

1.4 1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動の比較

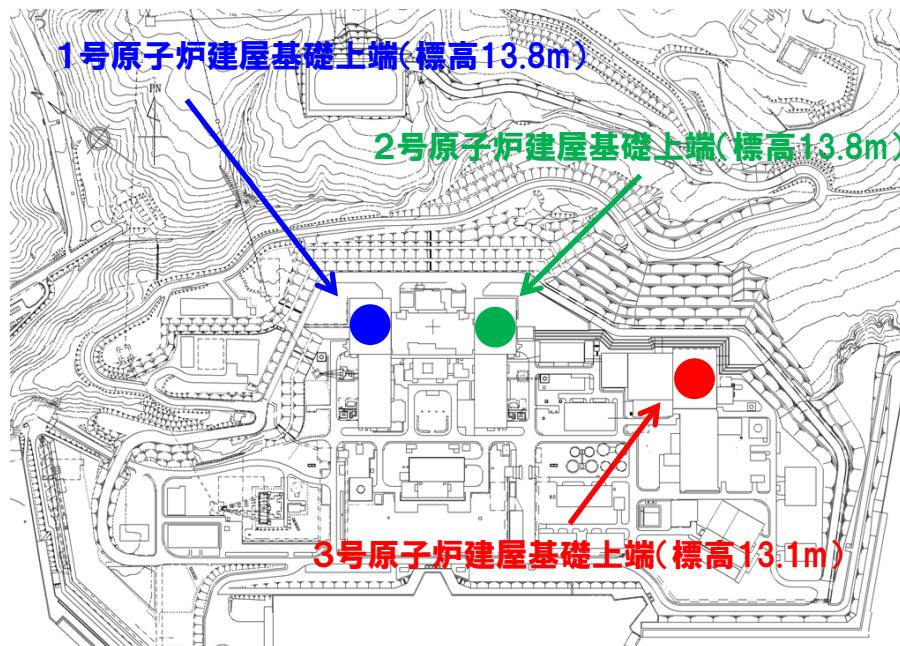
1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動の比較(鉛直方向)

- 3号建屋で観測を開始した2009年以降に観測された2地震について、1号～3号の原子炉建屋基礎上で鉛直方向の地震観測記録を用いて地震動を比較する。

検討地震

No.	地名または地震名	震源深さ (km)	M	震央距離 (km)	最大加速度(Gal)	最大加速度(Gal)	最大加速度(Gal)
					1号R/B(EL13.8m) UD	2号R/B(EL13.8m) UD	3号R/B(EL13.1m) UD
43	北海道南西沖	25	5.8	158	1	1	1
44	東北地方太平洋沖地震	24	9.0	583	2	2	2

観測位置



1. 地震観測記録を用いた検討

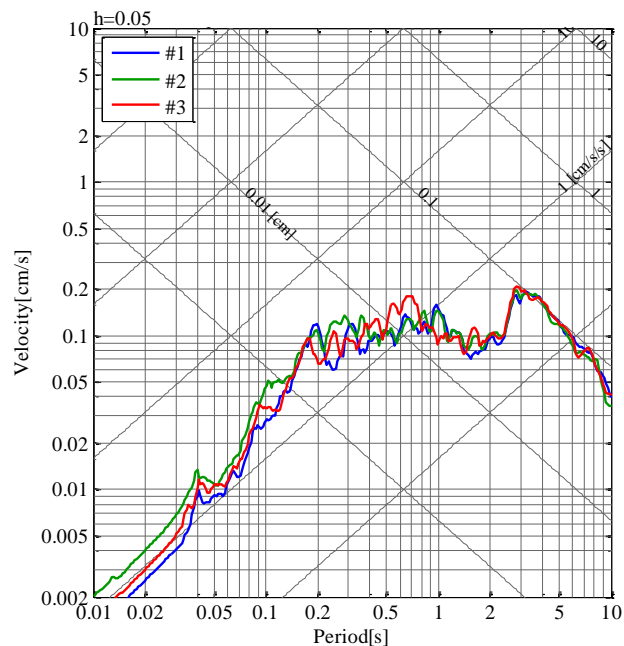
1.4 1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動の比較

1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動における応答スペクトルの比較(鉛直方向)

No. 43 北海道南西沖の地震

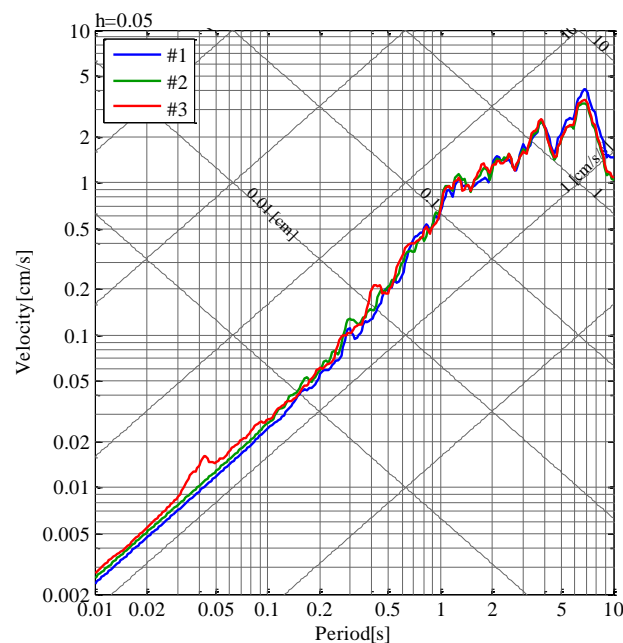
No. 44 東北地方太平洋沖地震

— 1号原子炉建屋(標高13.8m)
— 2号原子炉建屋(標高13.8m)
— 3号原子炉建屋(標高13.1m)



UD方向

— 1号原子炉建屋(標高13.8m)
— 2号原子炉建屋(標高13.8m)
— 3号原子炉建屋(標高13.1m)



UD方向

● 1号～3号の原子炉建屋基礎先端の地震観測記録の応答スペクトルは、ほぼ同程度である。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.5 鉛直方向の地震観測記録を用いた検討 まとめ

鉛直方向の地震観測記録を用いた検討 まとめ

- 1, 2号炉及び3号炉観測点における地震観測記録に基づく応答スペクトル及びフーリエスペクトルの比較検討結果より, 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点においては, 地震の到来方向による特異な増幅傾向及び敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向はみられないものと考ええる。
- 3号炉観測点における鉛直アレー観測点間の応答スペクトル比に基づき, 3号炉側の地盤に分布している安山岩及びD級岩盤により短周期側の地震動が増幅しないことを確認した。
- 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点における鉛直方向の地震観測記録の比較は, 同深度観測点の応答スペクトル比及び解放基盤表面相当レベルではぎとり波の応答スペクトル比より, ほぼ同程度と考えられる。
- 1～3号の原子炉建屋基礎上端における応答スペクトルについてもほぼ同程度となっている。

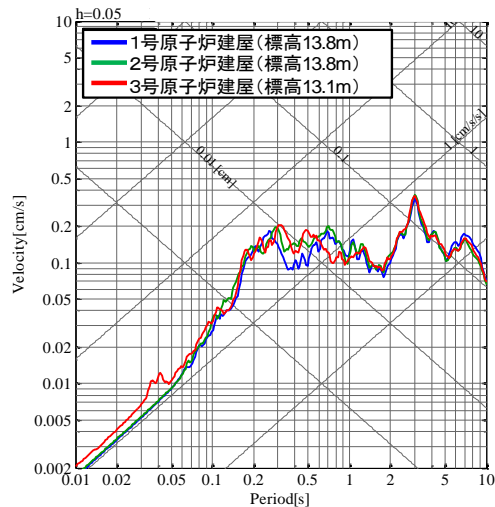
これらのことから, 鉛直方向の観測記録を中心とした敷地地盤の振動特性に関する検討より, 敷地地盤の傾斜構造, 地震の到来方向, 3号炉側の安山岩及びD級岩盤は, 鉛直方向の地震動評価に大きな影響を及ぼすものではないことを確認した。

1. 地震観測記録を用いた検討

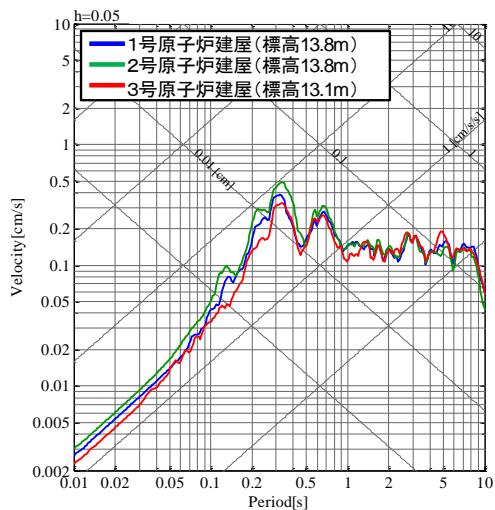
[参考] 1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動の比較

1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動における応答スペクトルの比較(水平方向)

No. 43 北海道南西沖の地震

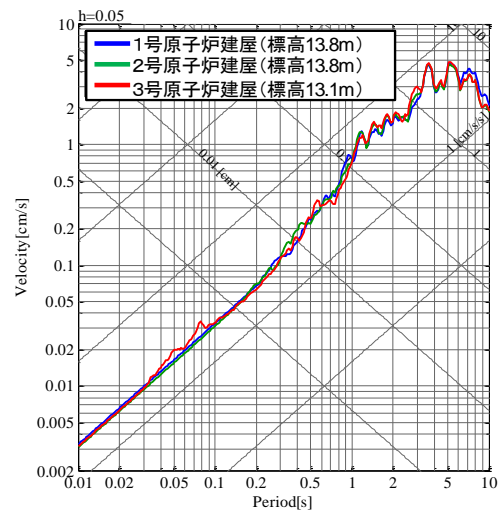
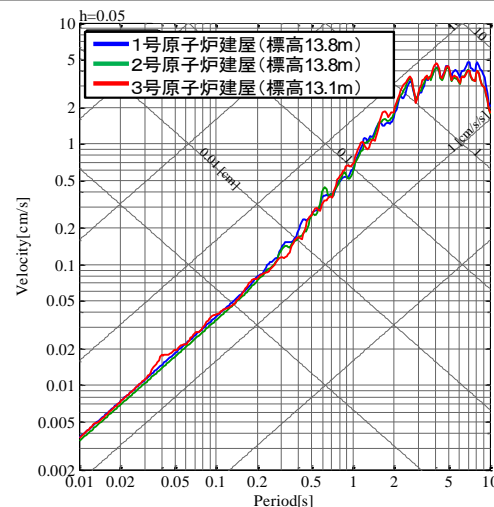


NS方向



EW方向

No. 44 東北地方太平洋沖地震



● 1号～3号の原子炉建屋基礎先端の地震観測記録の応答スペクトルは、ほぼ同程度である。

No	コメントの要旨	備考
2	・ 1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較について, 7地震の応答スペクトル比を平均しているが, 個々の地震の結果を示すこと。	第27回審査会合 (平成25年10月2日)

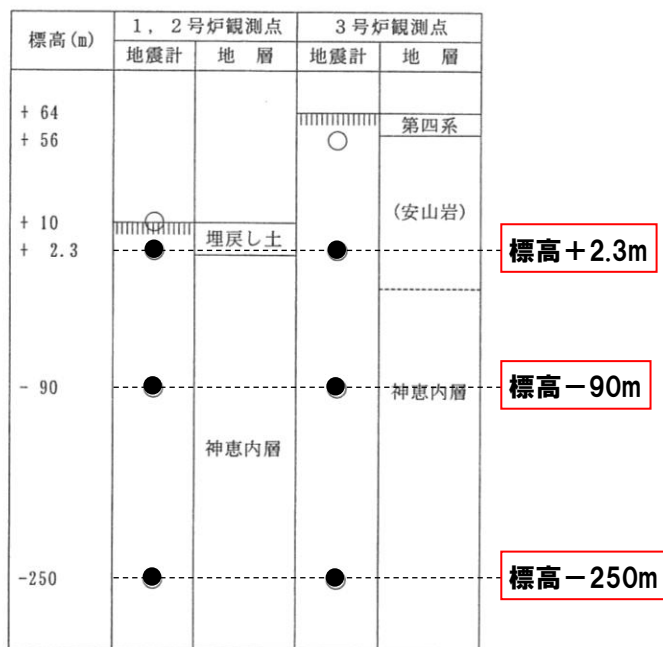
1. 地震観測記録を用いた検討

1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

1, 2号炉観測点及び3号炉観測点との応答スペクトルの比較

● 1, 2号炉及び3号炉の両観測点で観測された7地震について、地震観測記録に基づく同深度観測点の応答スペクトルの比較を示す。

応答スペクトル比較位置



検討対象地震の諸元

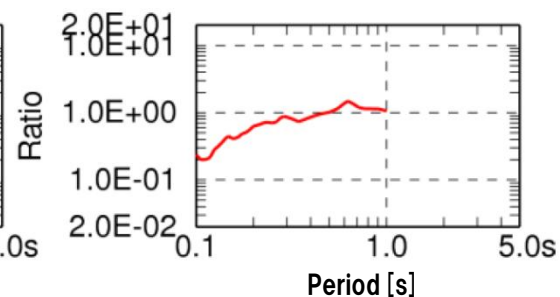
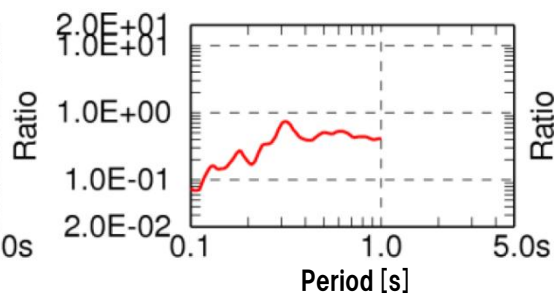
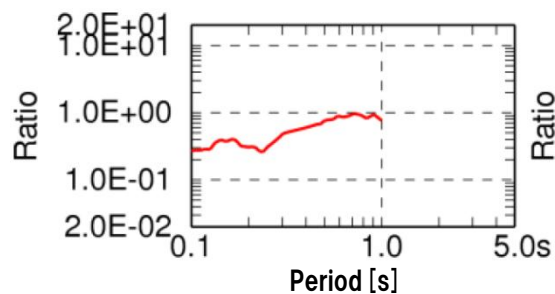
No.	地名または地震名	地震発生日	震源深さ (km)	M	震央距離 (km)
30	1999年積丹半島北西沖	1999年3月15日	28	4.5	116
31	根室半島沖	2000年1月28日	59	7.0	506
34	2003年十勝沖地震	2003年9月26日	45	8.0	325
35	十勝沖	2003年9月26日	21	7.1	299
39	留萌支庁南部	2004年12月14日	9	6.1	150
43	北海道南西沖	2010年3月30日	25	5.8	158
44	東北地方太平洋沖地震	2011年3月11日	24	9.0	583

1. 地震観測記録を用いた検討

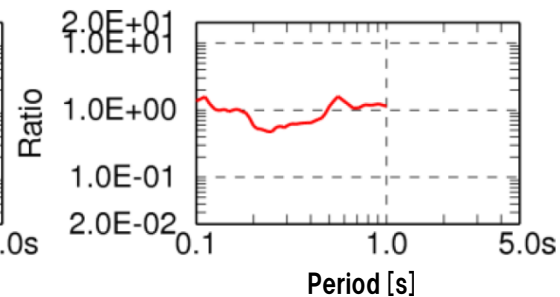
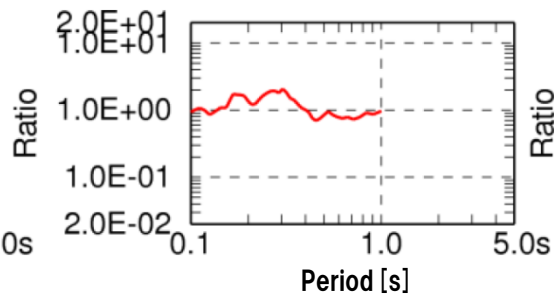
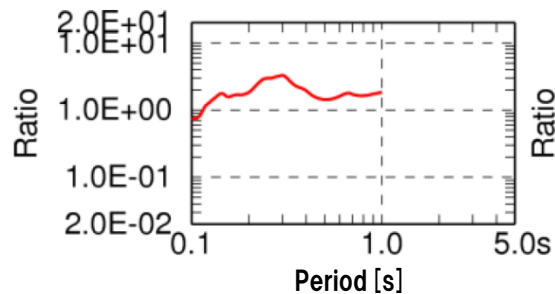
1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

No. 30 1999年積丹半島北西沖

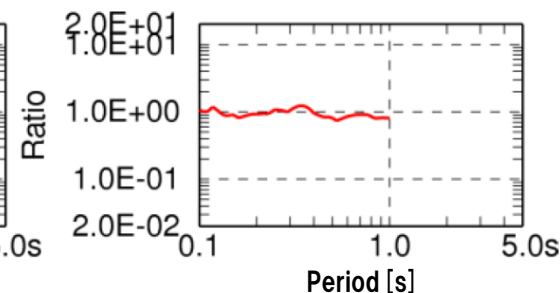
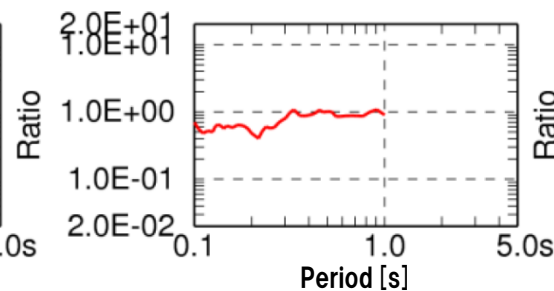
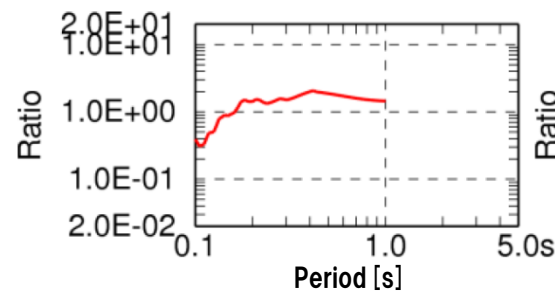
標高+2.3m



標高-90m



標高-250m



NS方向

EW方向

UD方向

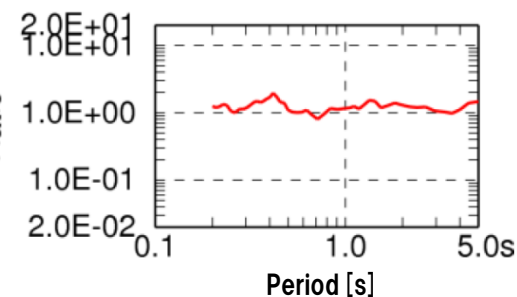
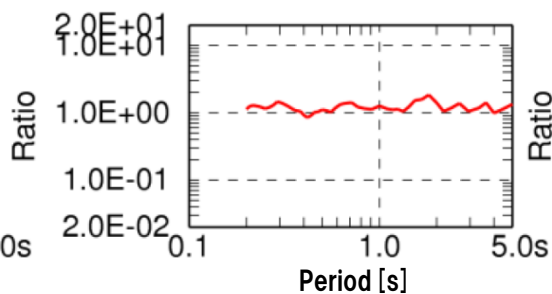
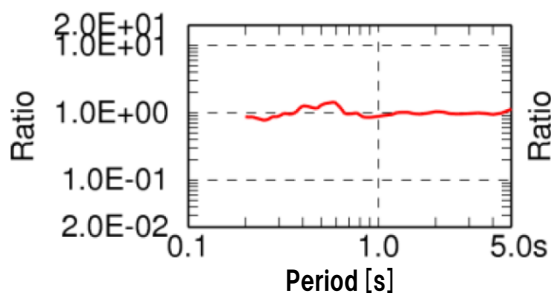
※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)

1. 地震観測記録を用いた検討

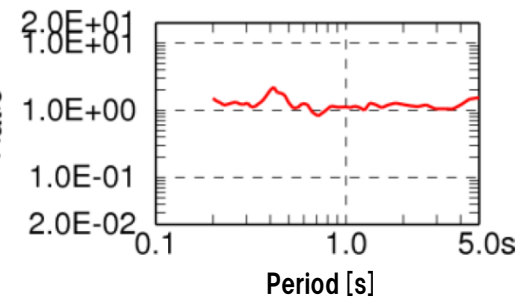
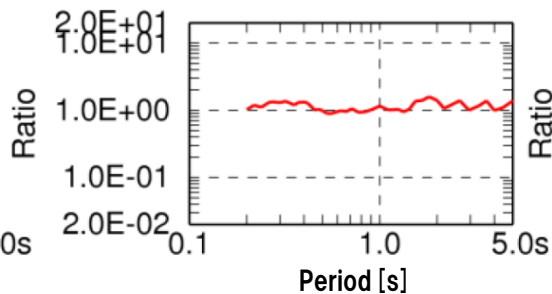
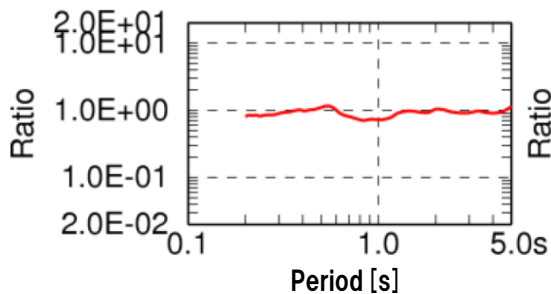
1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

No. 31 根室半島沖

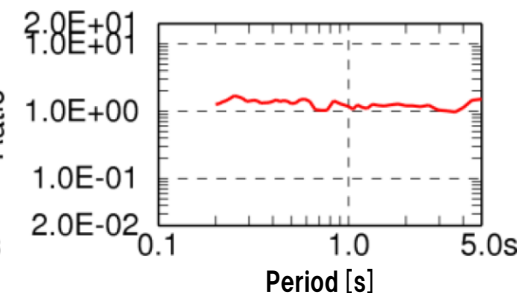
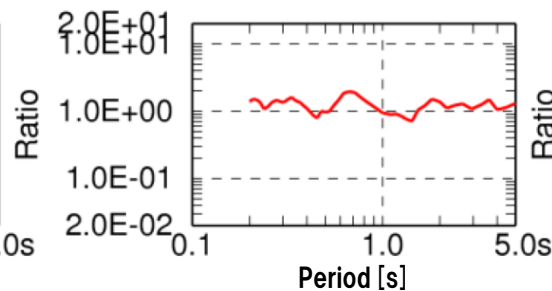
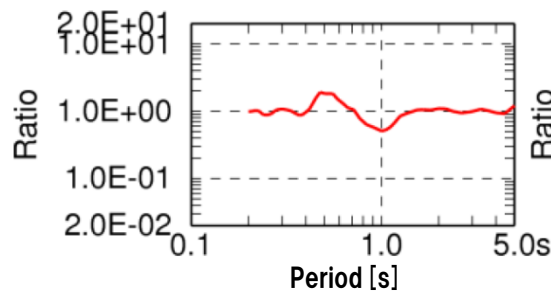
標高+2.3m



標高-90m



標高-250m



NS方向

EW方向

UD方向

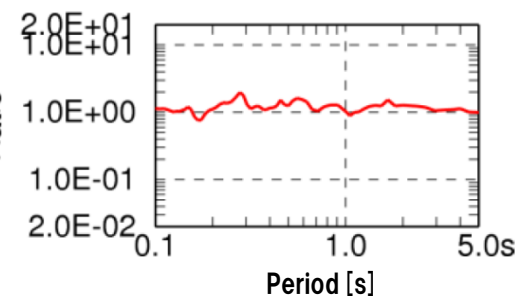
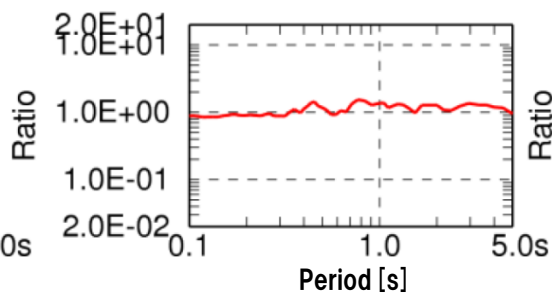
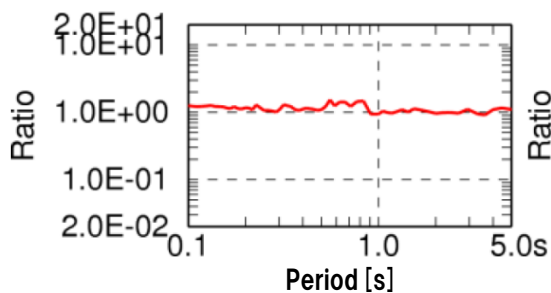
※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)

1. 地震観測記録を用いた検討

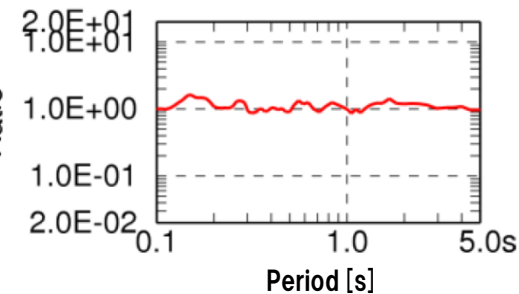
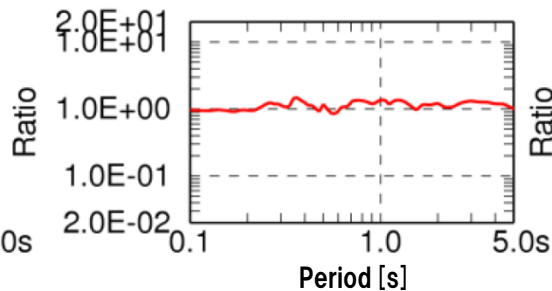
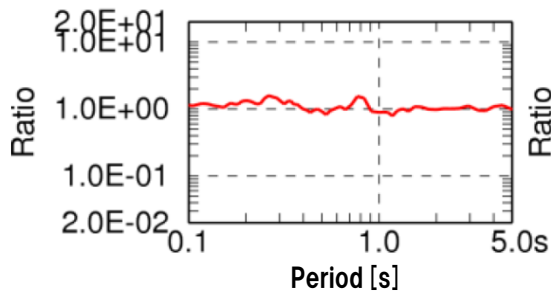
1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

No. 34 2003年十勝沖地震

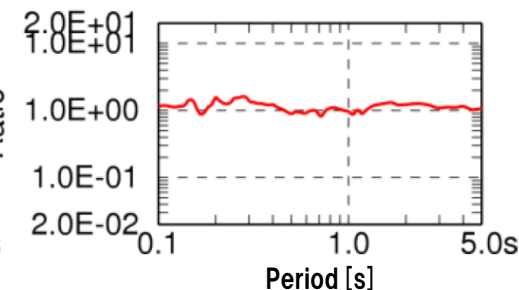
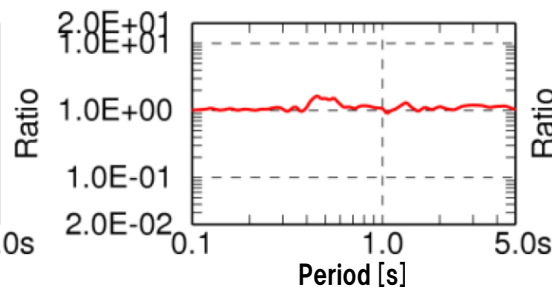
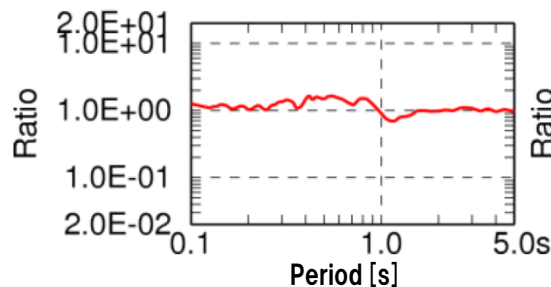
標高+2.3m



標高-90m



標高-250m



NS方向

EW方向

UD方向

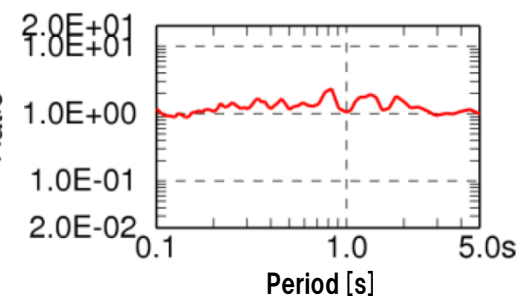
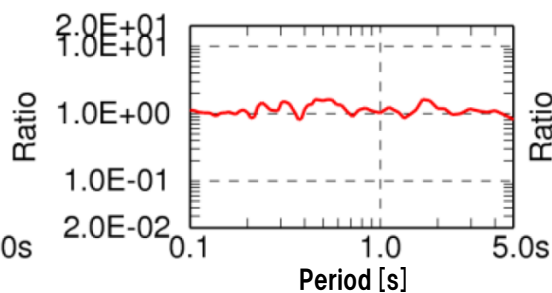
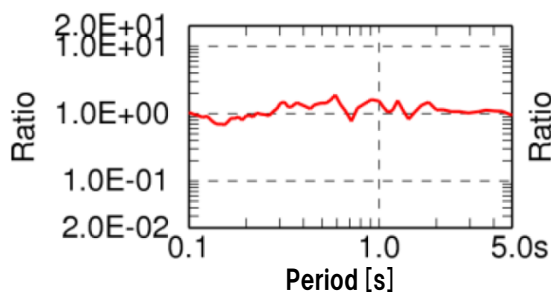
※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)

1. 地震観測記録を用いた検討

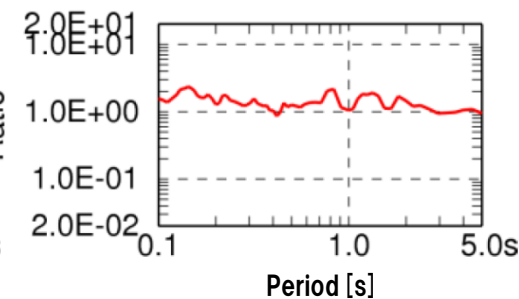
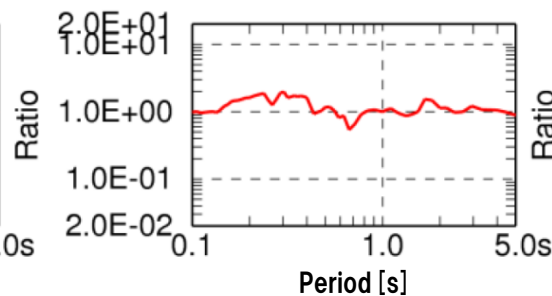
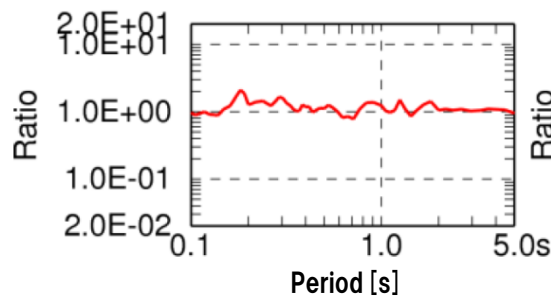
1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

No. 35 十勝沖

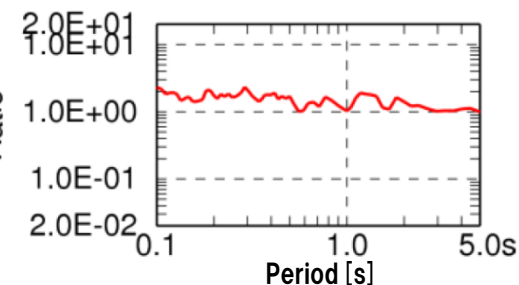
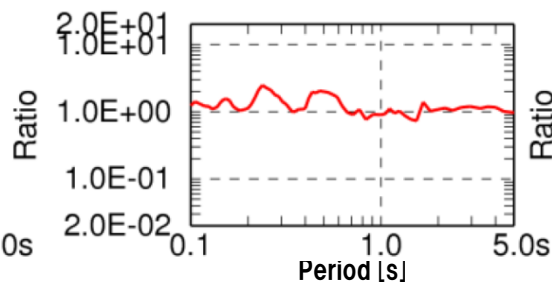
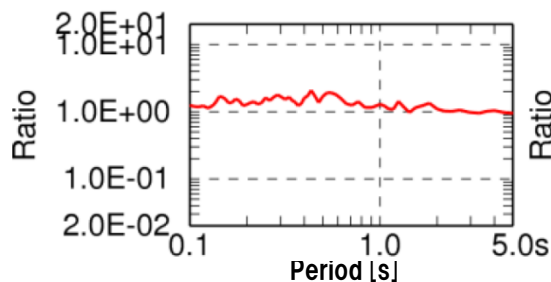
標高+2.3m



標高-90m



標高-250m



NS方向

EW方向

UD方向

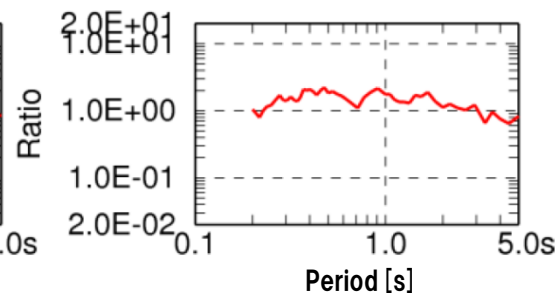
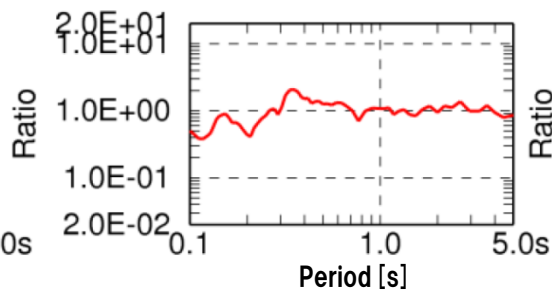
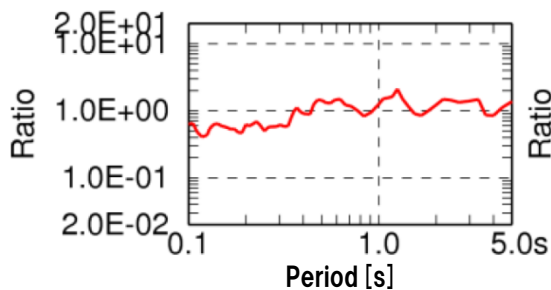
※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)

1. 地震観測記録を用いた検討

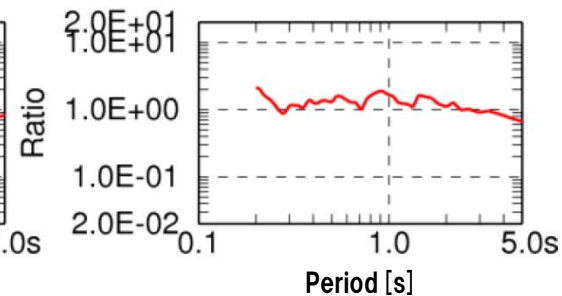
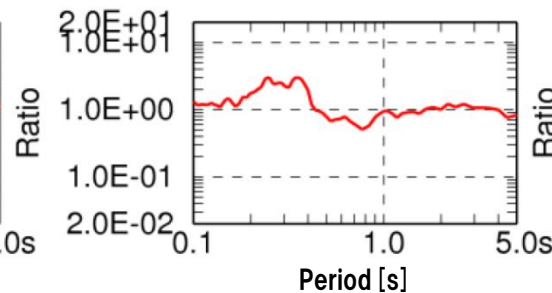
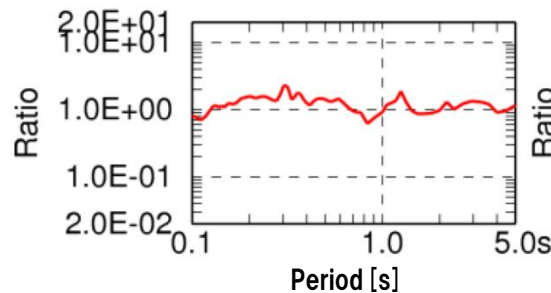
1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

No. 39 留萌支庁南部

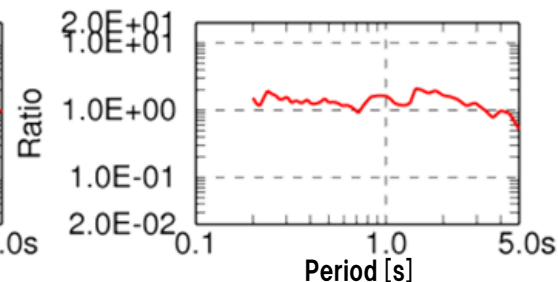
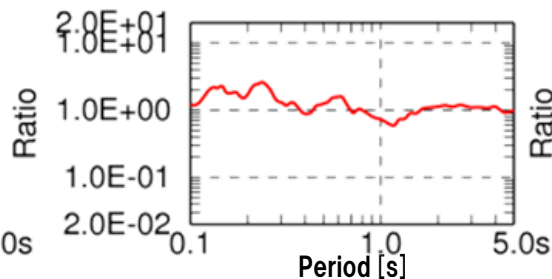
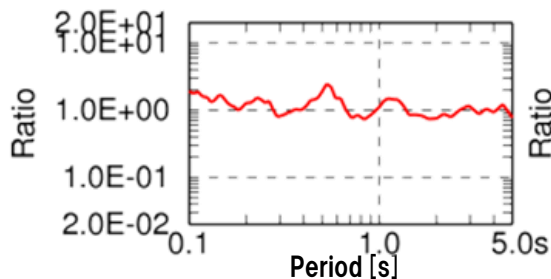
標高+2.3m



標高-90m



標高-250m



NS方向

EW方向

UD方向

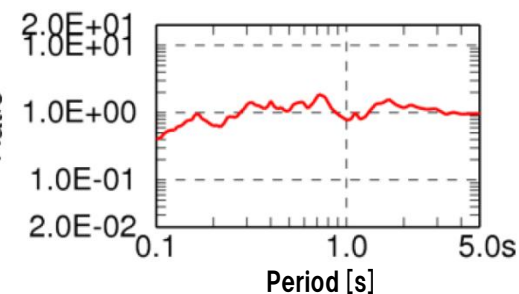
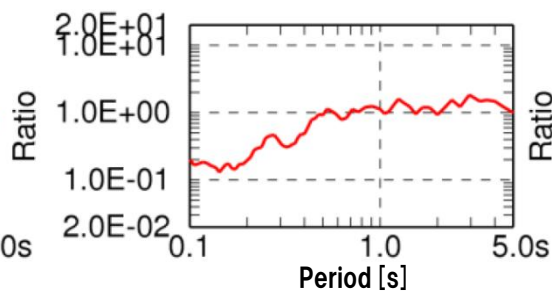
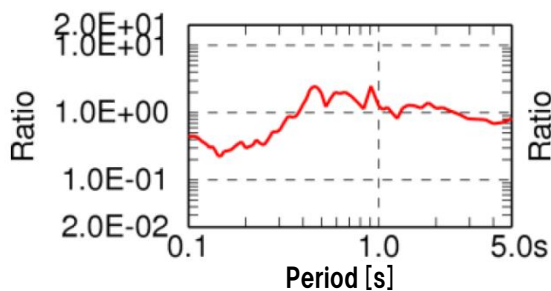
※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)

1. 地震観測記録を用いた検討

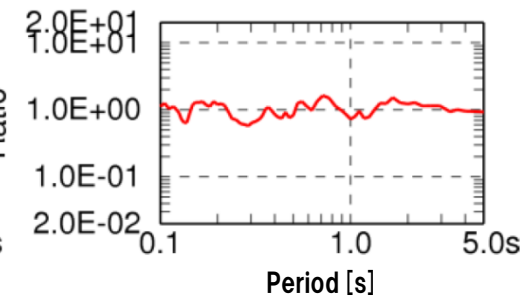
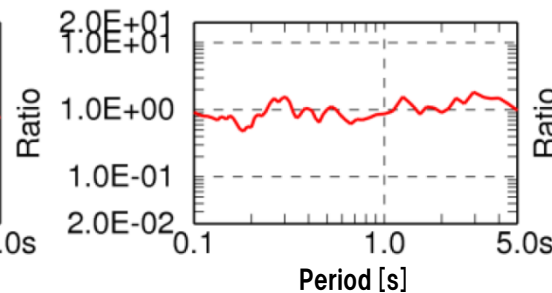
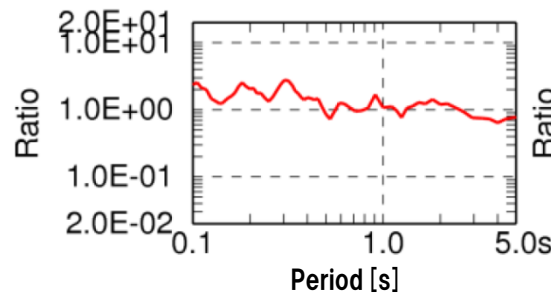
1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

No. 43 北海道南西沖

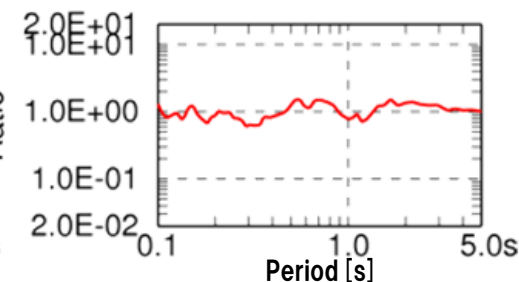
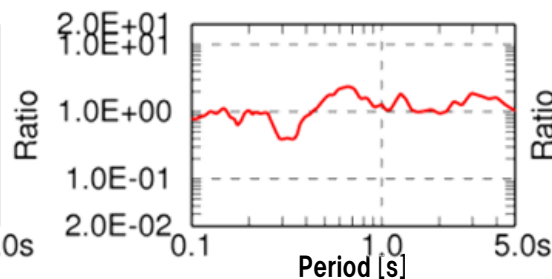
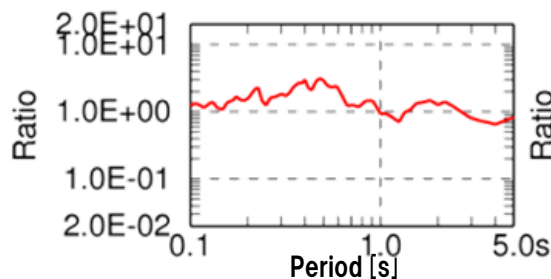
標高+2.3m



標高-90m



標高-250m



NS方向

EW方向

UD方向

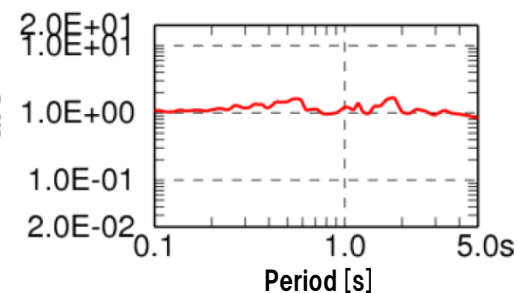
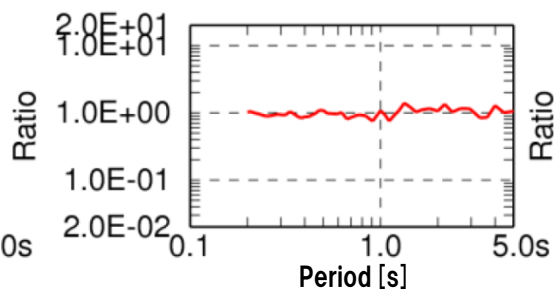
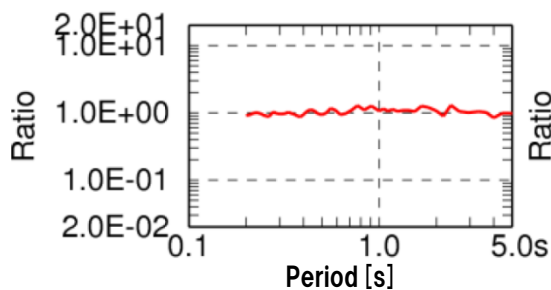
※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)

1. 地震観測記録を用いた検討

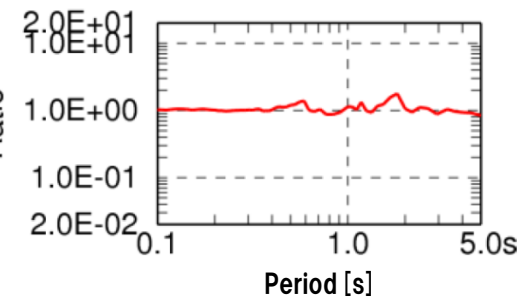
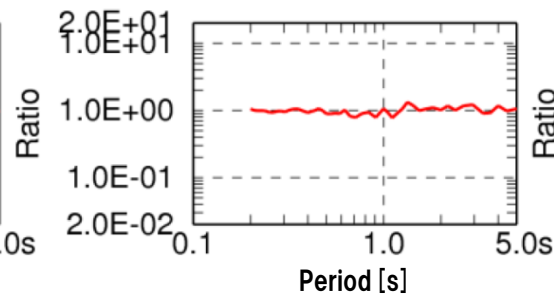
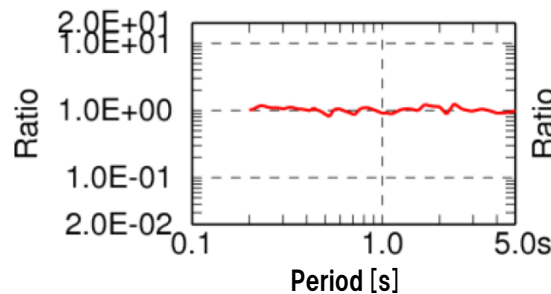
1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

No. 44 東北地方太平洋沖地震

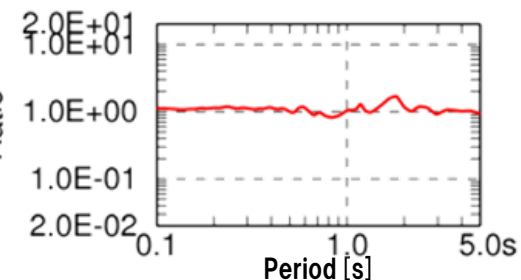
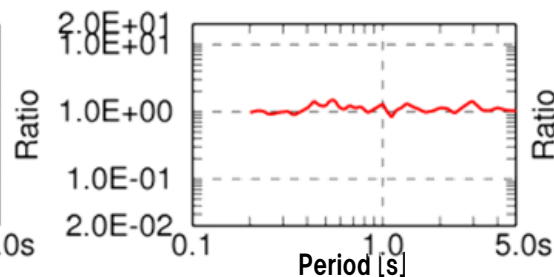
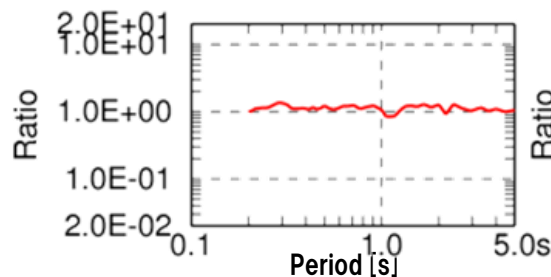
標高+2.3m



標高-90m



標高-250m



NS方向

EW方向

UD方向

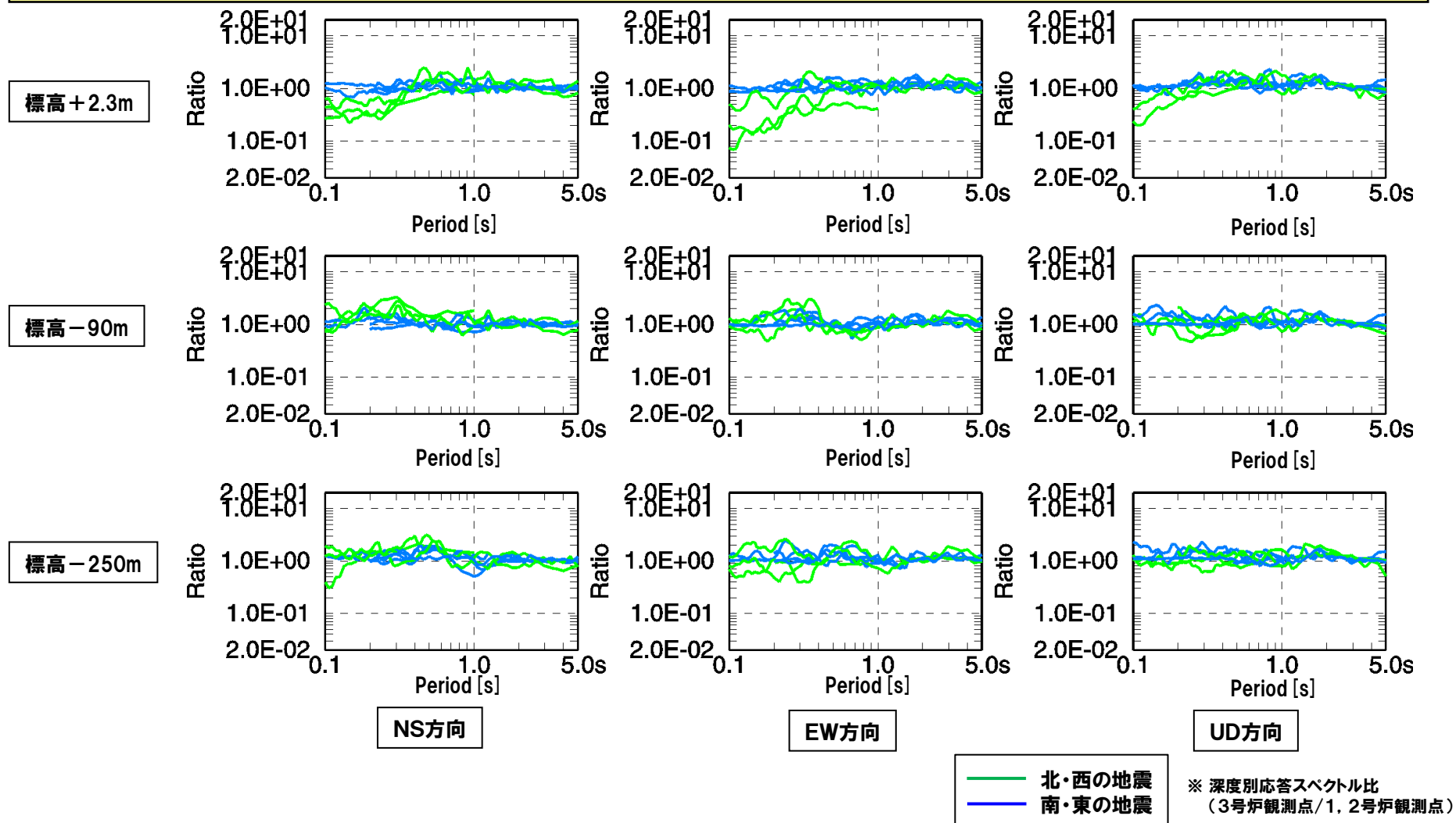
※ 深度別応答スペクトル比
(3号炉観測点/1, 2号炉観測点)

1. 地震観測記録を用いた検討

1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

1, 2号炉観測点及び3号炉観測点との応答スペクトルの比較

●7地震の応答スペクトル比を各深度及び各方向ごとにまとめて以下に示す。なお、7地震を敷地の南・東側の地震と北・西側の地震の2つに区分している。



1. 地震観測記録を用いた検討

1.6 観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較

1, 2号炉観測点及び3号炉観測点との応答スペクトルの比較

- 1, 2号炉及び3号炉観測点の同深度観測点の応答スペクトル比は、標高+2.3mの短周期側で地震により傾向が異なっている。それ以外については、地震により若干のばらつきがみられるものの概ね同様の傾向となっている。
 - 標高+2.3mの短周期側については、東・南側の地震の応答スペクトル比が1程度になっているのに対し、北・西側の地震の応答スペクトル比は小さくなっている。
 - これは、東・南側の地震では、300km程度以遠の太平洋側で発生した地震であり、短周期成分が減衰し、長周期成分の影響により応答スペクトル比が1程度になっているものと考えられる。一方、北・西側の地震は、比較的近い場所で発生した地震であり、短周期成分がそのまま応答スペクトルに現れて3号炉観測点の応答スペクトルが小さくなっていることによるものと考えられる。
- これらのことから、1, 2号炉及び3号炉観測点の応答スペクトル比によると、地震により若干のばらつきはみられるが、敷地地盤の傾斜構造、地震の到来方向等による特異な傾向はみられない。

No	コメントの要旨	備考
3	・地震観測記録を用いた検討に全波形を用いているが、S波主要動を用いて検討すること。	第27回審査会合 (平成25年10月2日)

1. 地震観測記録を用いた検討

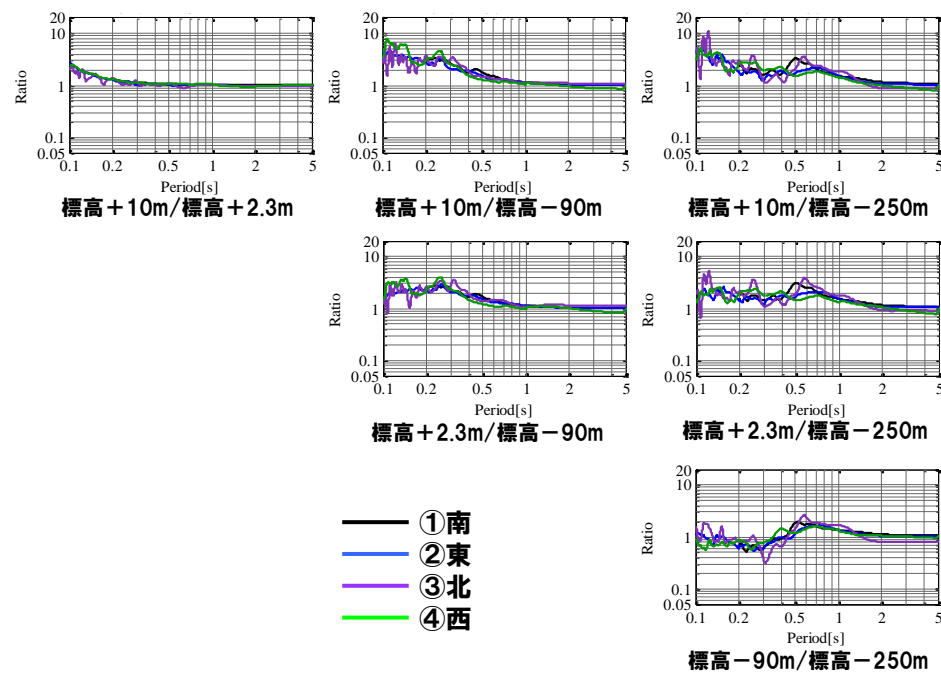
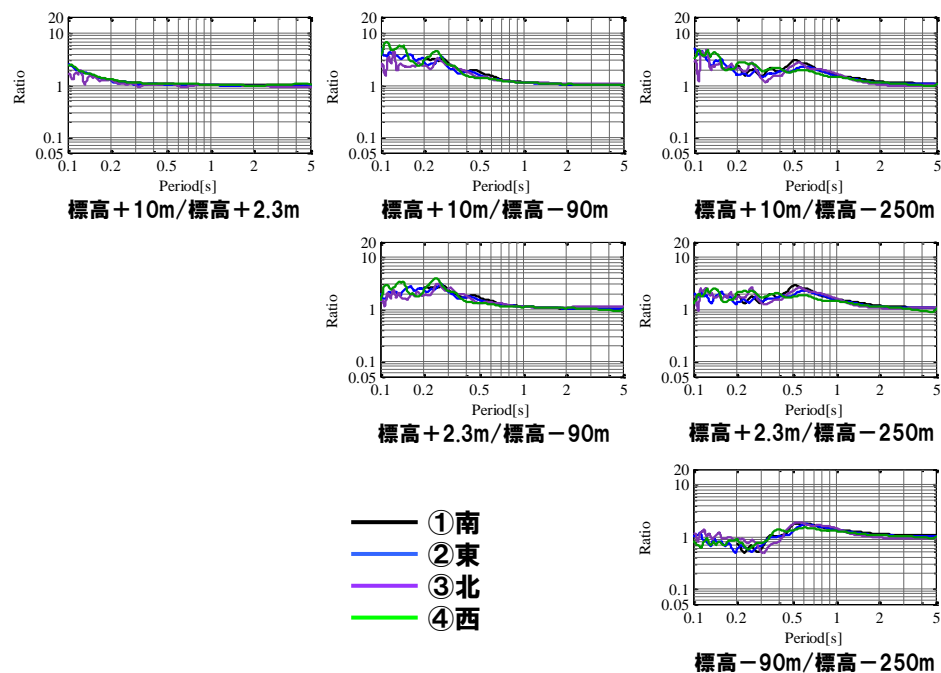
1.7 地震観測記録のS波主要動による検討

●1, 2号炉及び3号炉観測点における地震観測記録のS波主要動を用いて、鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトルの比による分析を行い、全波形を用いた場合と比較する。

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(1, 2号炉観測点 NS方向)

全波形

S波主要動



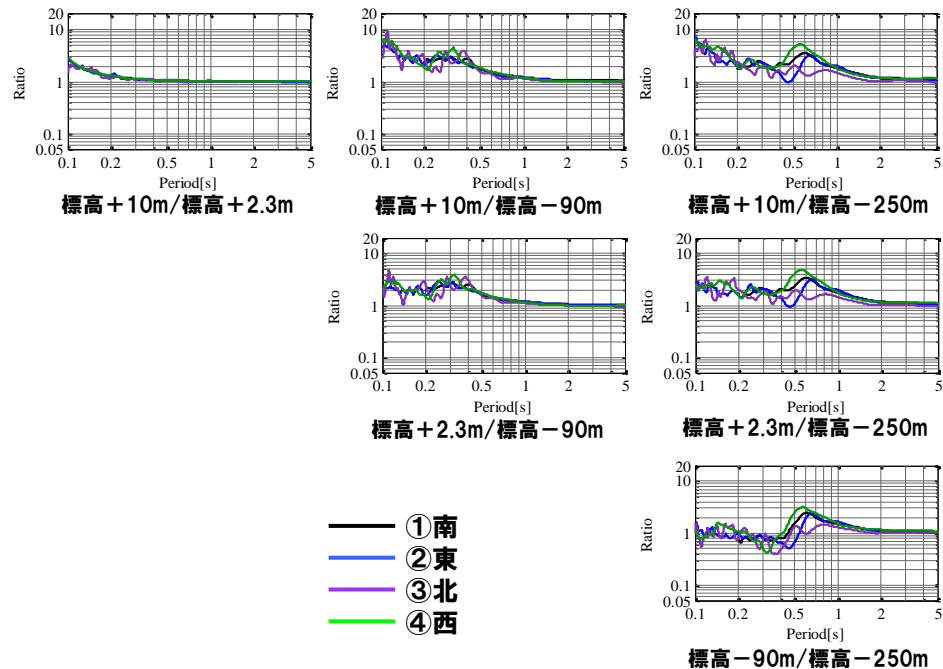
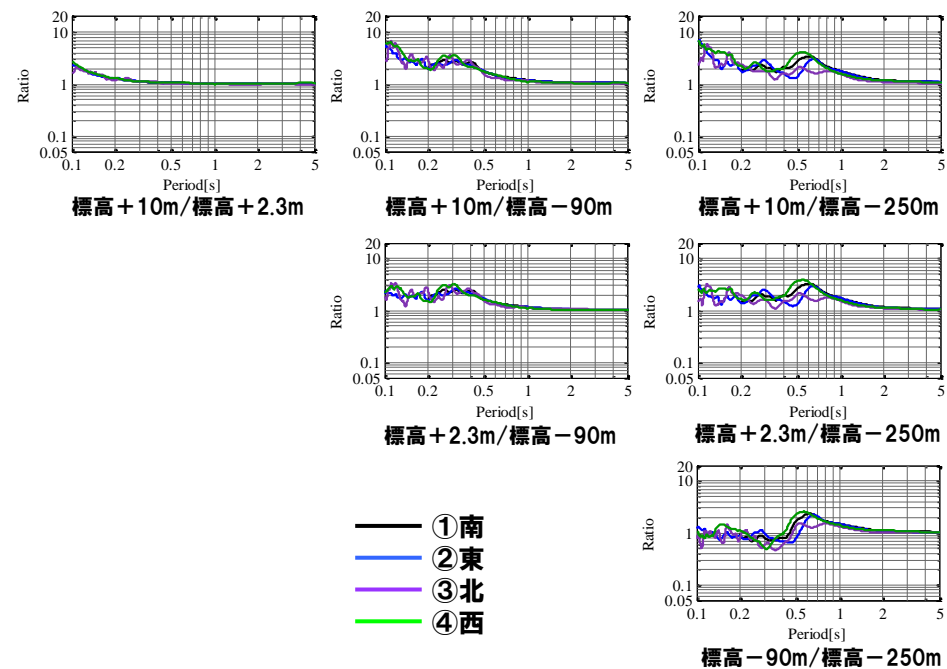
1. 地震観測記録を用いた検討

1.7 地震観測記録のS波主要動による検討

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(1, 2号炉観測点 EW方向)

全波形

S波主要動

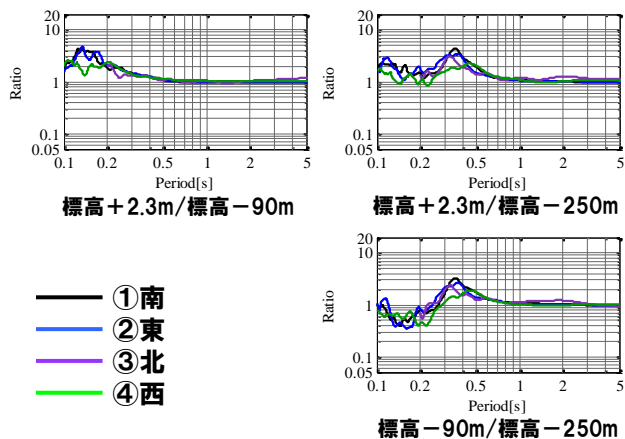


1. 地震観測記録を用いた検討

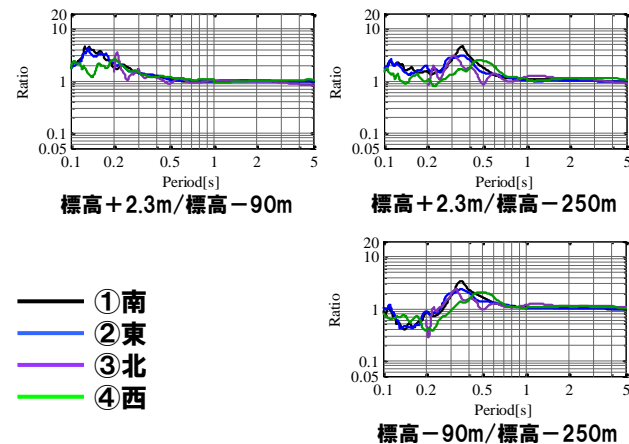
1.7 地震観測記録のS波主要動による検討

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(1, 2号炉観測点 UD方向)

全波形



S波主要動



●1, 2号炉観測点における、地震観測記録のS波主要動と全波形を用いた到来方向別鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比は、同様の傾向となっている。

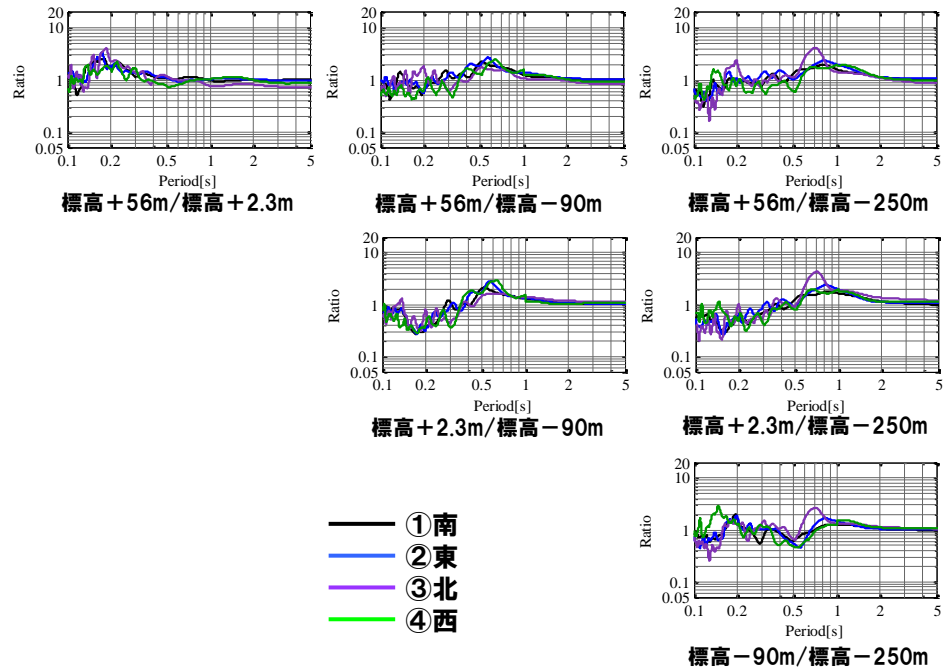
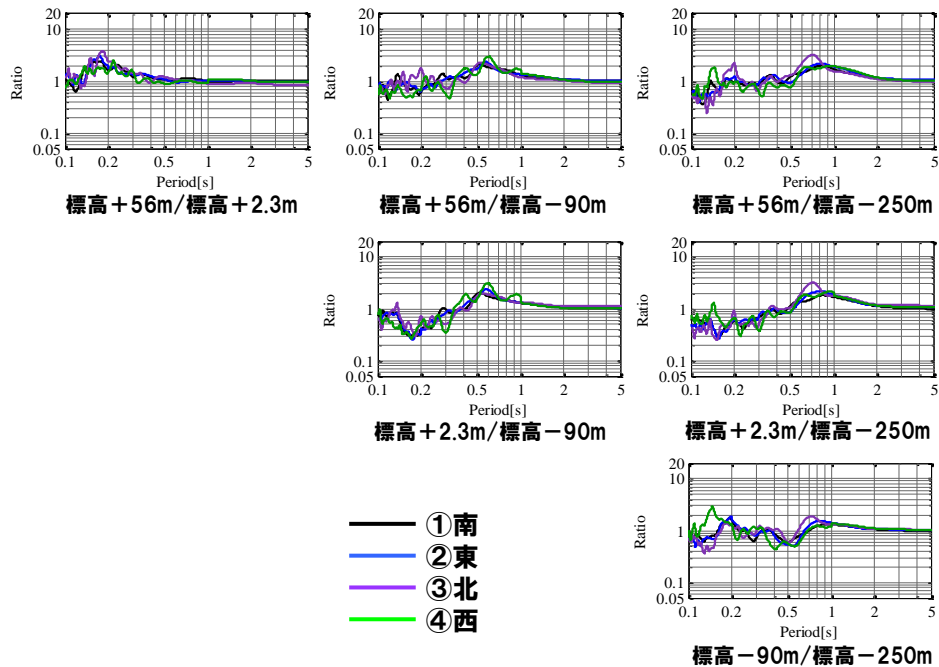
1. 地震観測記録を用いた検討

1.7 地震観測記録のS波主要動による検討

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(3号炉観測点 NS方向)

全波形

S波主要動



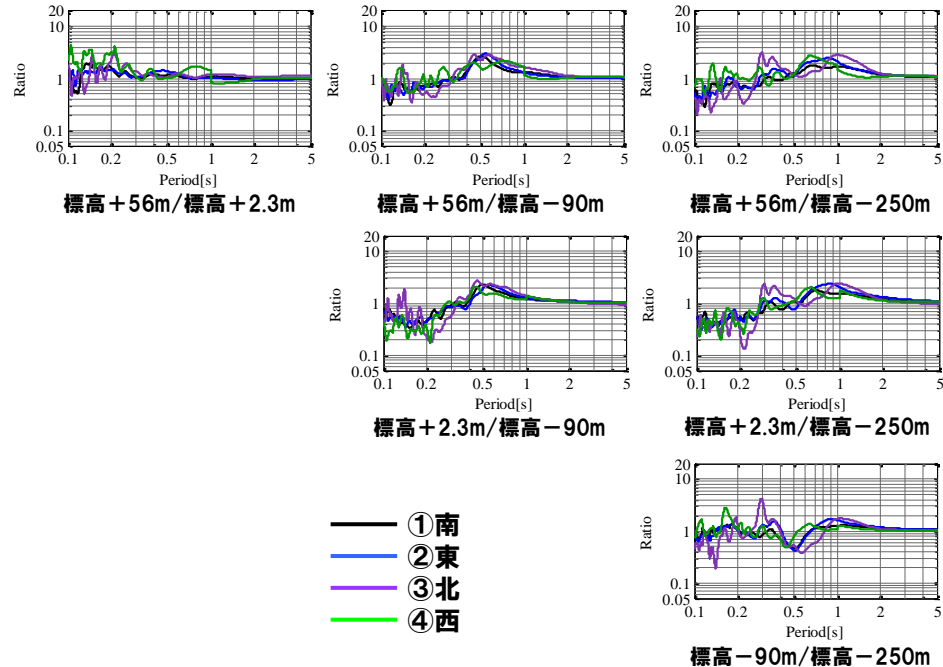
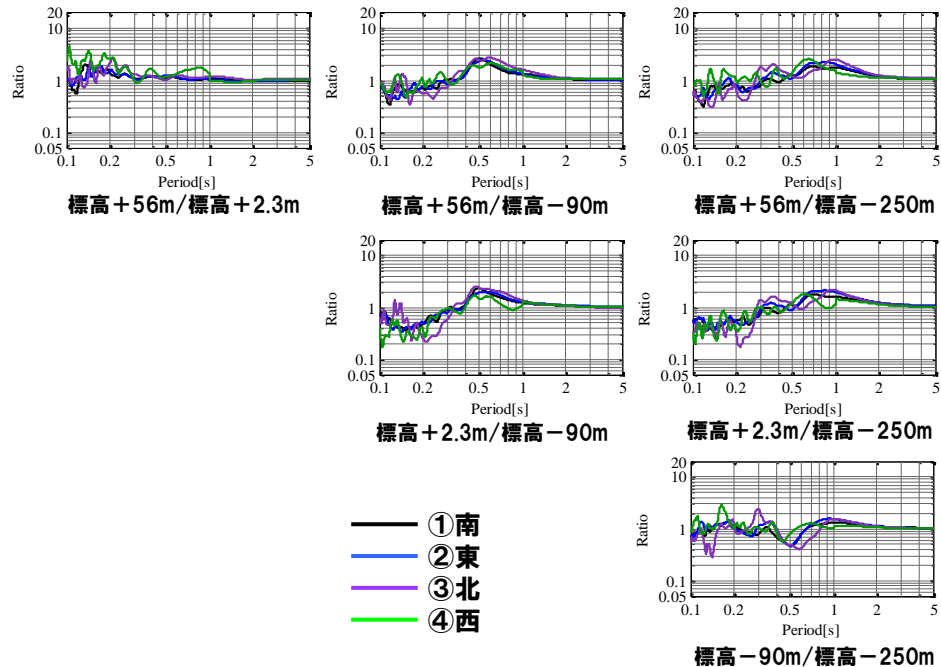
1. 地震観測記録を用いた検討

1.7 地震観測記録のS波主要動による検討

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(3号炉観測点 EW方向)

全波形

S波主要動

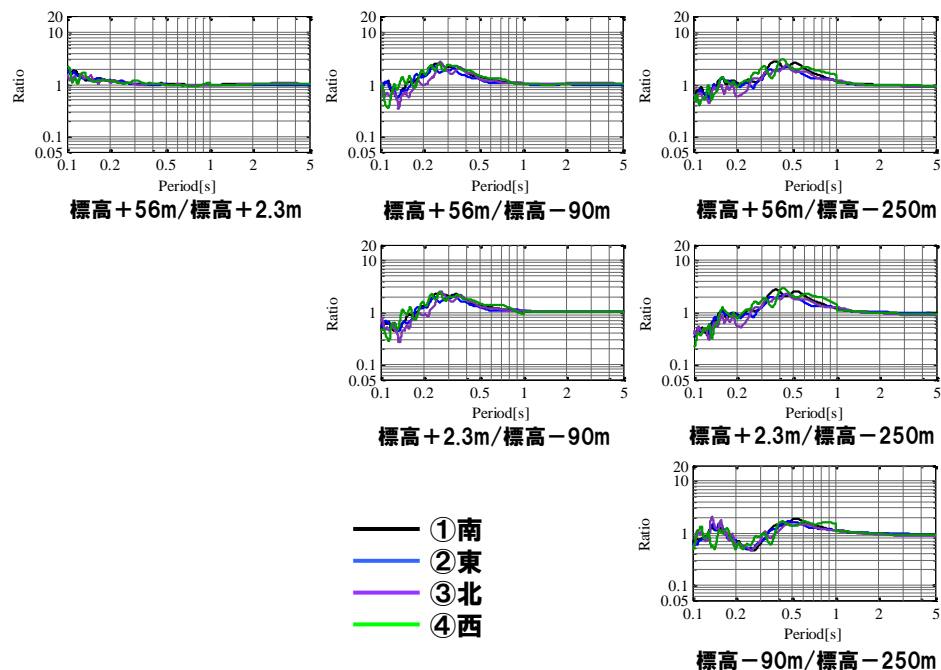


1. 地震観測記録を用いた検討

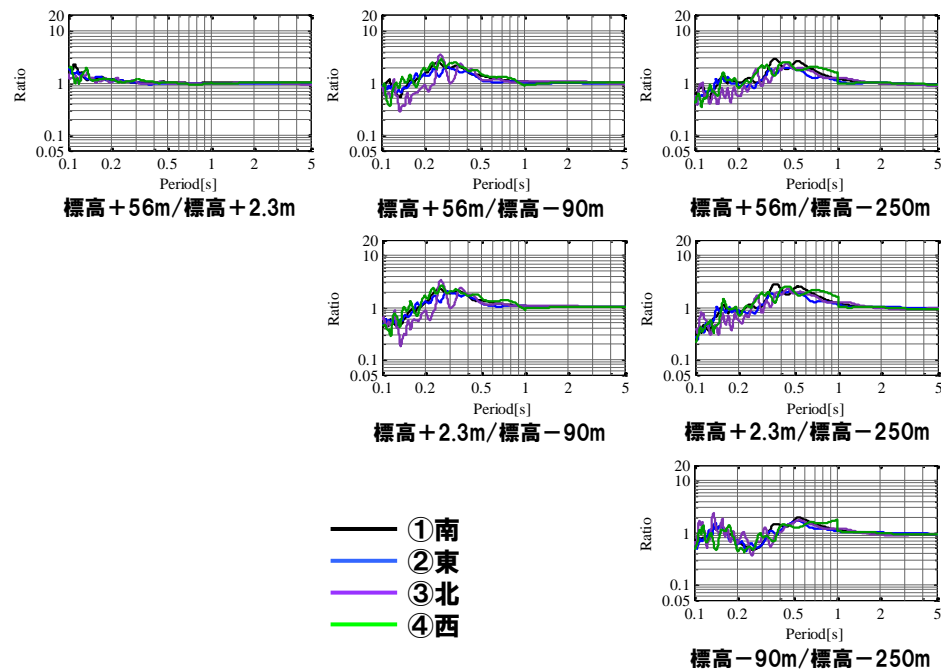
1.7 地震観測記録のS波主要動による検討

〔到来方向別〕鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比(3号炉観測点 UD方向)

全波形



S波主要動



●3号炉観測点における、地震観測記録のS波主要動と全波形を用いた到来方向別鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比は同様の傾向となっている。

●1, 2号炉観測点及び3号炉観測点における地震観測記録のS波主要動と全波形を用いた鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比を比較した結果、いずれも同様の傾向となっており、顕著な差異はみられないことを確認した。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.8 地震観測記録を用いた検討 まとめ

地震観測記録を用いた検討 まとめ

[鉛直方向の地震観測記録を用いた検討]

- 1, 2号炉及び3号炉観測点における地震観測記録に基づく応答スペクトル及びフーリエスペクトルの比較検討結果より, 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点においては, 地震の到来方向による特異な増幅傾向及び敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向はみられないものとする。
- 3号炉観測点における鉛直アレー観測点間の応答スペクトル比に基づき, 3号炉側の地盤に分布している安山岩及びD級岩盤により短周期側の地震動が増幅しないことを確認した。
- 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点における鉛直方向の地震観測記録の比較は, 同深度観測点の応答スペクトル比及び解放基盤表面相当レベルでのはぎとり波の応答スペクトル比より, ほぼ同程度と考えられる。
- 1～3号の原子炉建屋基礎上端における応答スペクトルについてもほぼ同程度となっている。

これらのことから, 鉛直方向の観測記録を中心とした敷地地盤の振動特性に関する検討より, 敷地地盤の傾斜構造, 地震の到来方向, 3号炉側の安山岩及びD級岩盤は, 鉛直方向の地震動評価に大きな影響を及ぼすものではないことを確認した。

[観測地震毎の1, 2号炉観測点と3号炉観測点の比較]

- 1, 2号炉及び3号炉観測点の応答スペクトル比によると, 地震により若干のばらつきはみられるが, 敷地地盤の傾斜構造, 地震の到来方向等による特異な傾向はみられない。

[地震観測記録のS波主要動による検討]

- 1, 2号炉観測点及び3号炉観測点における地震観測記録のS波主要動と全波形を用いた鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比を比較した結果, いずれも同様の傾向となっており, 顕著な差異はみられないことを確認した。

2. 地質構造を考慮した解析による検討

No	コメントの要旨	備考
4	・地質・地質構造の傾斜を考慮した二次元地下構造モデルと水平成層を仮定した一次元地下構造モデルについて、解析的に比較検討すること。	事業者ヒアリング⑨ (平成25年9月26日)
5	・3号炉側の安山岩とD級岩盤について、3次元的な分布形状を考慮して解析的に地盤の振動特性を検討すること。	第27回審査会合 (平成25年10月2日)

2. 地質構造を考慮した解析による検討

- 1号原子炉建屋を含む2次元地盤モデル及び1次元地盤モデルを用いて、敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向の有無を確認する。
.....(2. 1)
- 3号原子炉建屋を含む2次元地盤モデル及び1次元地盤モデルを用いて、3号炉地盤構造、3号炉側に分布する安山岩及びD級岩盤の分布形状を考慮した検討を実施し、敷地地盤の特異な増幅傾向の有無を確認する。
.....(2. 2~2. 8)

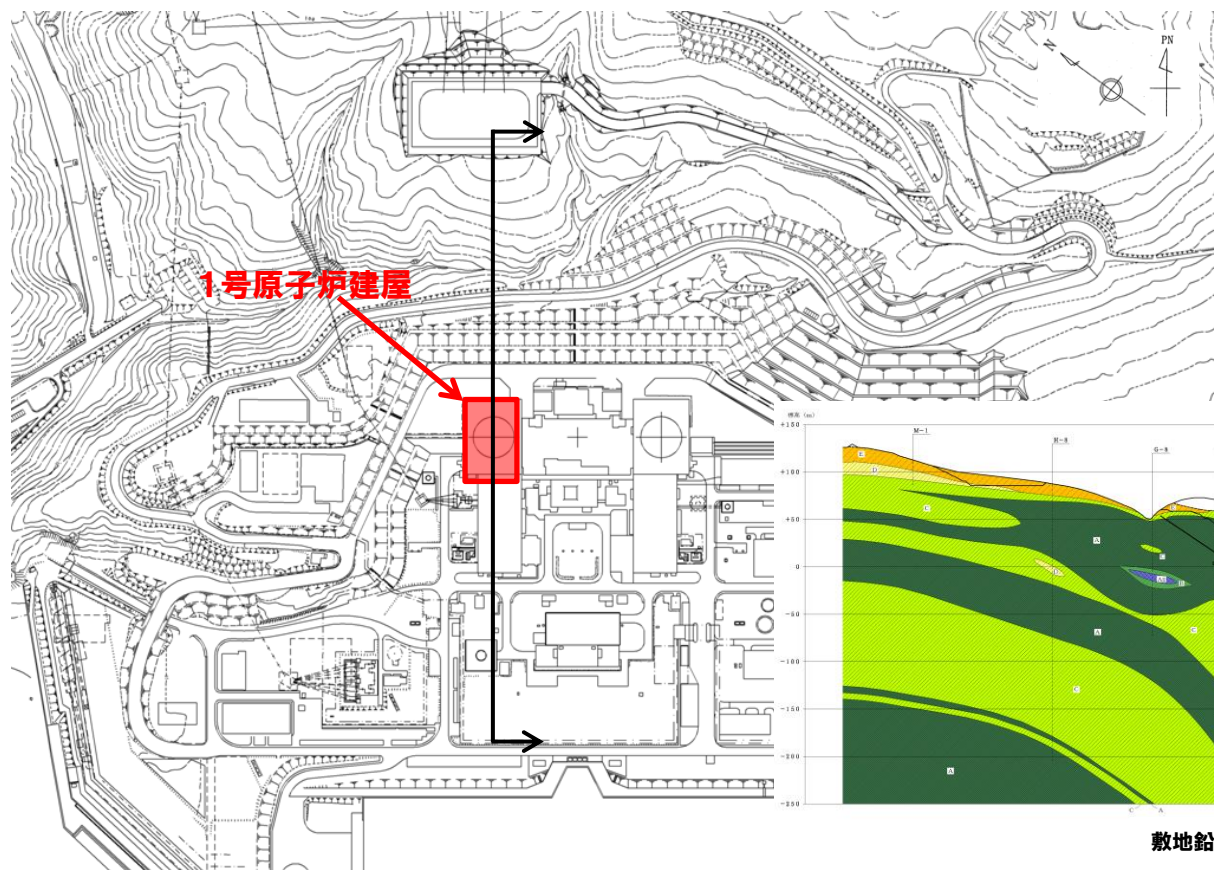
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.1 敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

傾斜構造による振動特性評価

- 地震観測記録からは、特異な増幅特性はみられない。
- 傾斜構造となっている1号炉地盤の振動特性について解析的検討を実施する。

1号炉地盤モデルの設定位置



- 地下構造に関する調査結果より、敷地は、ほぼ海岸線に平行する走向で、海山方向へ傾斜する傾斜構造となっている。
- 解析に用いる断面は、傾斜構造となっている1号原子炉建屋を通る海山方向断面とする。

敷地鉛直岩盤分類図(1号炉)

0 50 100m

2. 地質構造を考慮した解析による検討

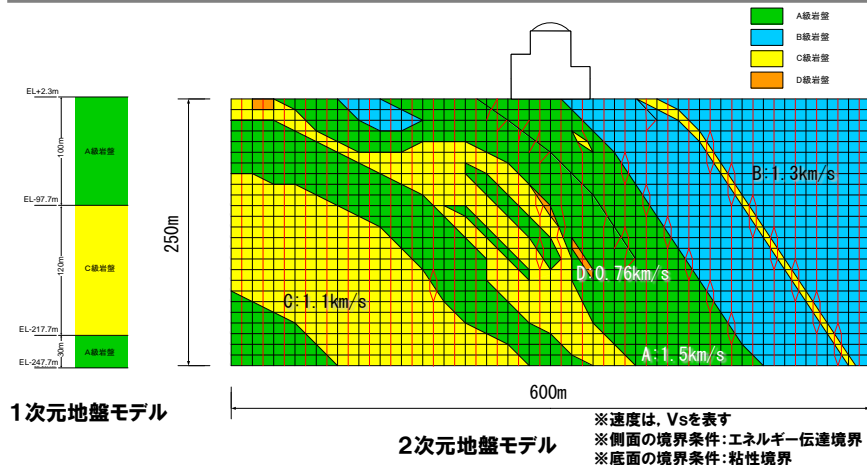
2.1 敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

解析モデルの設定

- 2次元地盤モデルは、1号炉心直下を含む標高-247.7mから標高+2.3mまで、幅は、炉心直下を中心に600mの範囲を対象としたFEMモデルとする。
- 2次元地盤モデルの炉心直下の構造に基づき1次元地盤モデルを設定する。
- モデル下端に対する炉心直下地表面の伝達関数(2E/2E)*を算出して比較検討する。

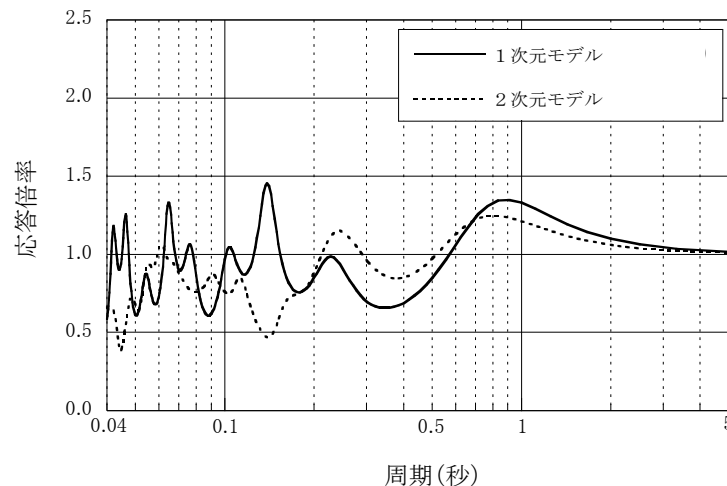
※以降、特記なき場合、SV波入力による解析

1号炉地盤モデル及び地盤物性値



	密度ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(km/s)	P波速度 Vp(km/s)	Q値
A級岩盤	2.2	1.5	3.2	100
B級岩盤	2.1	1.3	2.7	100
C級岩盤	1.9	1.1	2.4	100
D級岩盤	1.9	0.76	1.7	100

1号炉心直下の伝達関数



1号炉心直下 伝達関数

- 1次元地盤モデル及び2次元地盤モデルの伝達関数は、ほぼ同程度か、短周期側で1次元地盤モデルの伝達関数が大きめとなっている。
- 敷地地盤の傾斜構造による振動特性の影響は若干あると思われるが、地震動評価に大きな影響を与えるものではないと考えられる。

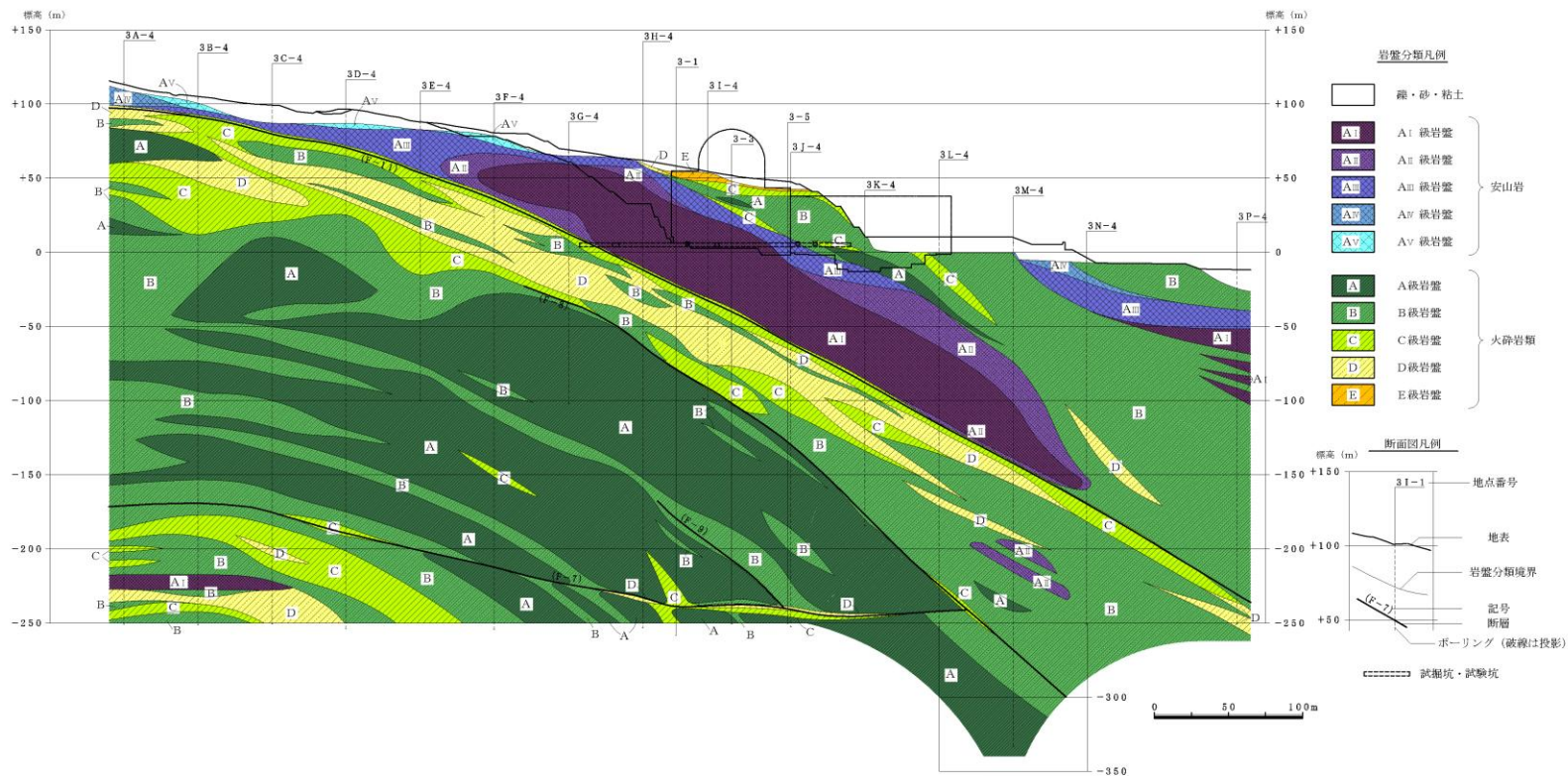
2.2 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

安山岩及びD級岩盤の振動特性評価

●3号炉側の地盤に分布している安山岩及びD級岩盤が振動特性へ与える影響について検討する。

3号炉心直下における地質の状況

●3号炉心直下では、安山岩は、標高-37m程度まで分布している。また、標高-51m程度から標高-80m程度の間にはD級岩盤を含む相対的に速度の低い層が分布している。



敷地鉛直岩盤分類図(3号炉)

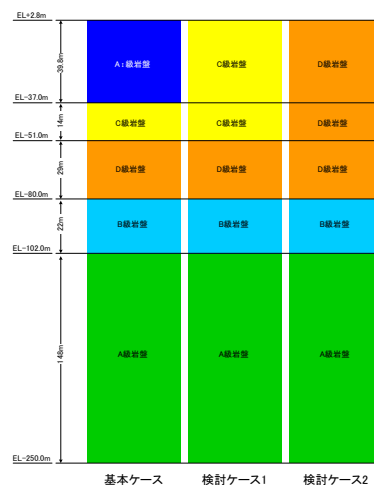
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.2 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

●はじめに、互層となっている地盤構造について、それぞれの層の物性値が増幅特性に与える影響を1次元地盤モデルを用いて検討した。

地盤モデルの設定

- 1次元地盤モデルは、後述の3号炉地盤2次元モデルを基に設定している。
- 互層構造の上部2層について右図に示すケーススタディを実施する。
- モデル下端に対する地表面の伝達関数($2E/2E$)を算出して比較検討する。

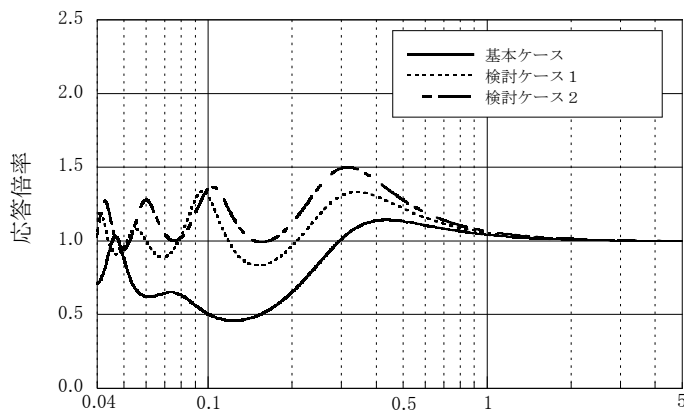


地盤物性値

	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A ₁ 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100

3号炉心直下 地盤モデル
(基本ケース及び検討ケース1, 2)

解析結果



3号炉心直下 伝達関数

- 検討ケース1と比較して、検討ケース2は、概ね全ての周期帯において応答倍率が大きくなっており、D級岩盤により、応答が増幅されていると考えられる。
- 基本ケースと比較して、検討ケース1は、応答倍率が大きくなっており、最上層の安山岩により応答が低減されることが考えられる。
- これらより、3号炉側に分布するD級岩盤は、応答を増幅させるが、その上部に分布する安山岩は、応答が低減する効果があると考えられる。

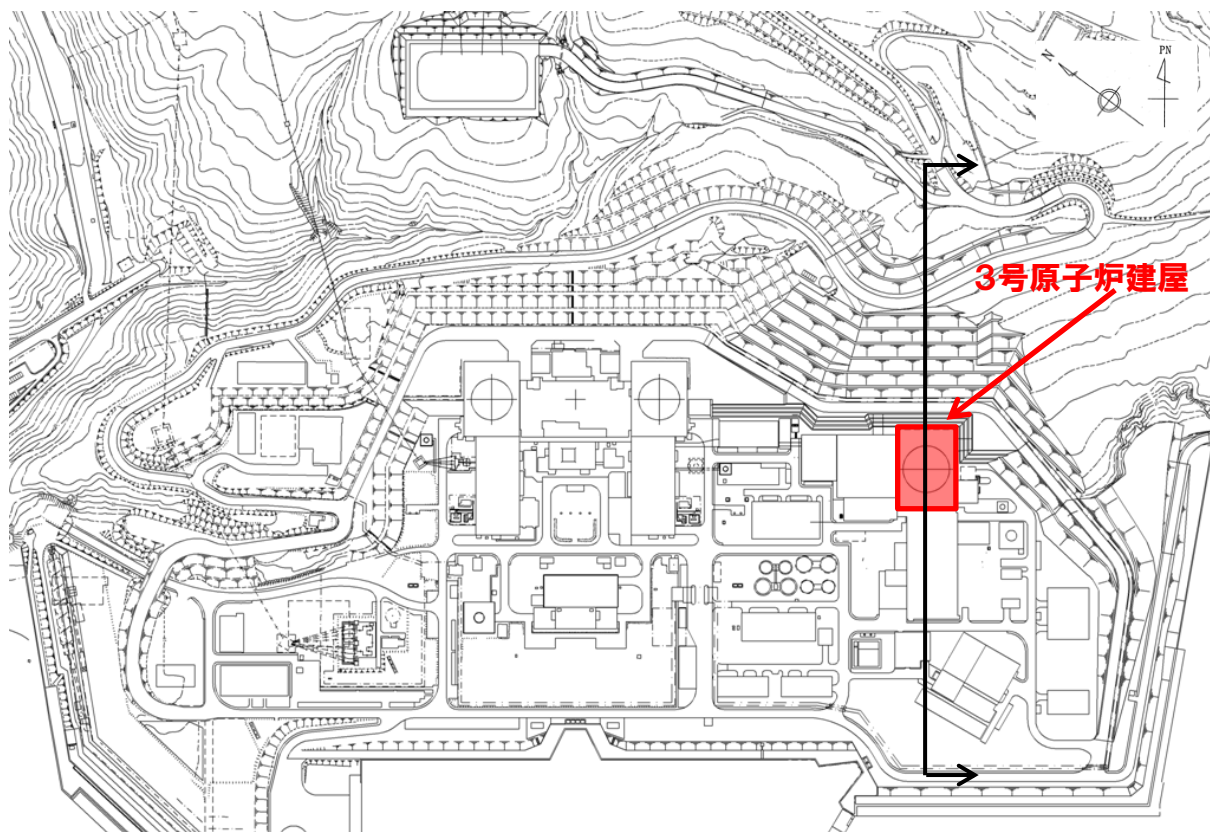
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.3 安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響

3号炉地盤における振動特性評価

- 地震観測記録からは、特異な増幅特性はみられない。
- また、前述の解析的な検討より、1号炉地盤において特異な増幅特性がないこと、3号炉側に分布する安山岩及びD級岩盤の層構造は、応答が増幅しない傾向であることを確認している。
- 3号炉側に分布する安山岩及びD級岩盤を含む傾斜構造の振動特性を解析的に検討する。

3号炉地盤モデルの設定位置



- 地下構造に関する調査結果より、敷地は、ほぼ海岸線に平行する走向で、海山方向へ傾斜する傾斜構造となっている。
- 解析に用いる断面は、傾斜構造となっている3号原子炉建屋を通る海山方向断面とする。

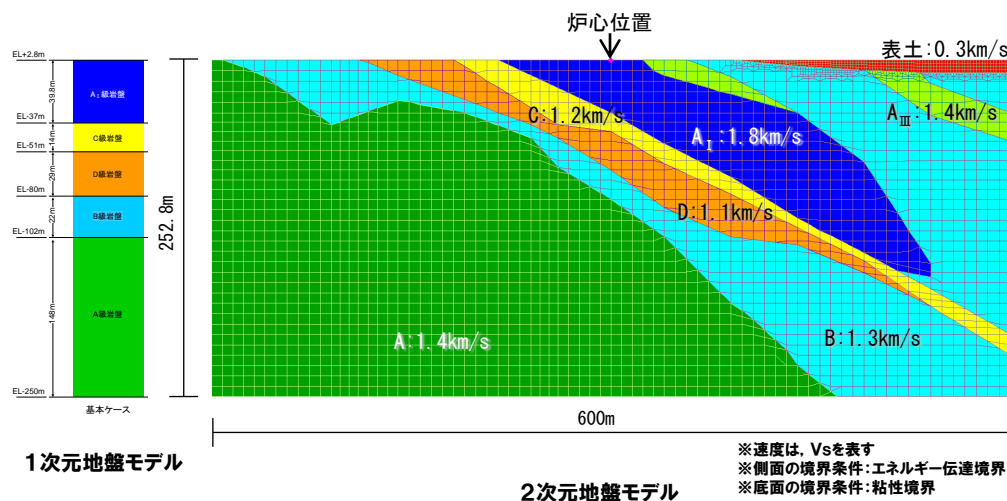
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.3 安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響

地盤モデルの設定

- 2次元地盤モデルは、3号炉心直下を含む標高-250mから標高+2.8mまで、幅は、炉心直下を中心に600mの範囲を対象としたFEMモデルとする。
- 2次元地盤モデルの炉心直下の地下構造に基づき1次元地盤モデルを設定する。
- モデル下端に対する炉心直下地表面の伝達関数($2E/2E$)を算出する。

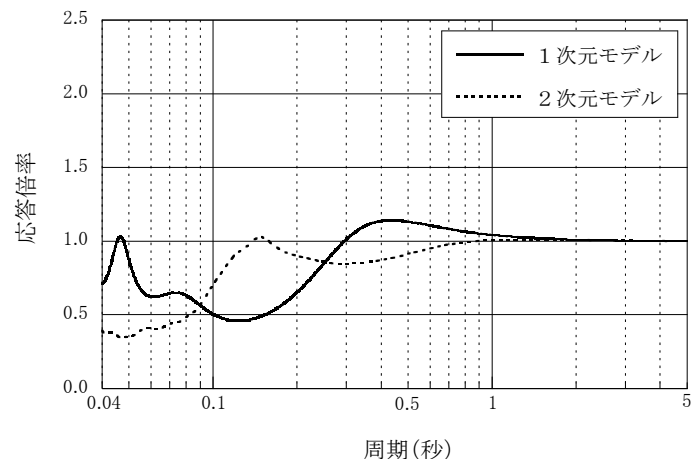
3号炉地盤モデル及び地盤物性値



地盤物性値

	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A _I 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A _{III} 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50

3号炉心直下の伝達関数



3号炉心直下 伝達関数

- 1次元地盤モデルと2次元地盤モデルによる伝達関数を比較した結果、両者に大きな乖離は見られない。
- 1次元地盤モデルは、水平方向に安山岩が無限に広がる仮定モデルで、安山岩による応答低減効果が強く反映されていることもあり、一部で2次元地盤モデルの伝達関数が1次元地盤モデルの伝達関数を上回る周期帯があるものの、両者共に伝達関数は概ね1.0を下回っている。

2. 地質構造を考慮した解析による検討

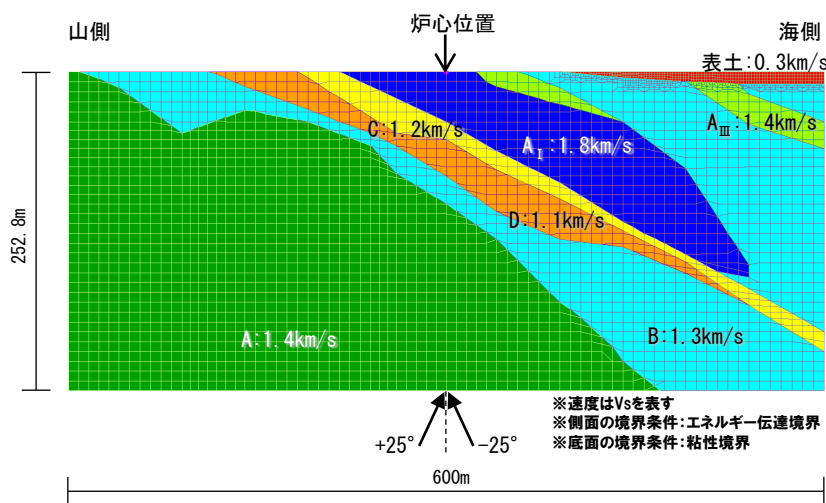
2.3 安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響

入射角による振動特性への影響

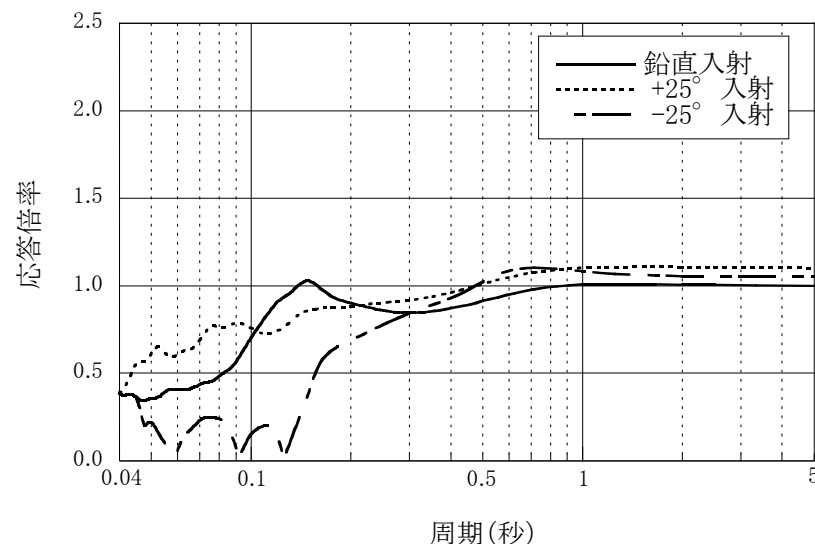
- 3号炉地盤モデルを用いて、地震波の入射角による敷地地盤の振動特性への影響を検討する。
- 入射角は、 0° （鉛直入射）及び $\pm 25^\circ$ ※とした。
- モデル下端に対する炉心直下地表面の伝達関数($2E/2E$)を算出して比較検討する。

※入射角は、尻別川断層を対象として波線追跡法により評価した入射角を参考とした。

3号炉地盤モデル及び入射角



3号炉心直下の伝達関数



3号炉心直下 伝達関数

- 全ての検討ケースにおいて、伝達関数は概ね1.0以下となっており、地盤の特異な増幅特性はみられない。
- 鉛直入射を考慮したケースと山側から入射するケース($+25^\circ$)は、概ね同程度となった。
- 鉛直入射を考慮したケースと比較して、海側から入射するケース(-25°)は、概ね同程度以下となった。
- これらより、斜め入射の影響により応答が大きく増幅しない傾向にあると考えられる。

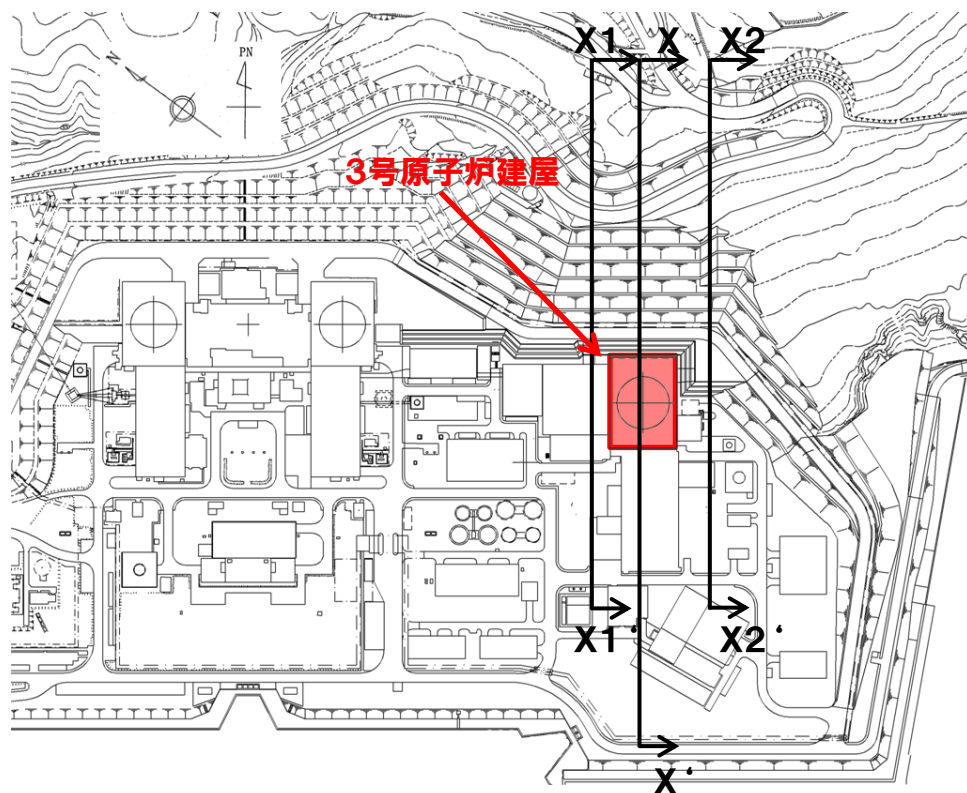
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.4 安山岩及びD級岩盤の平面的分布形状を考慮した検討

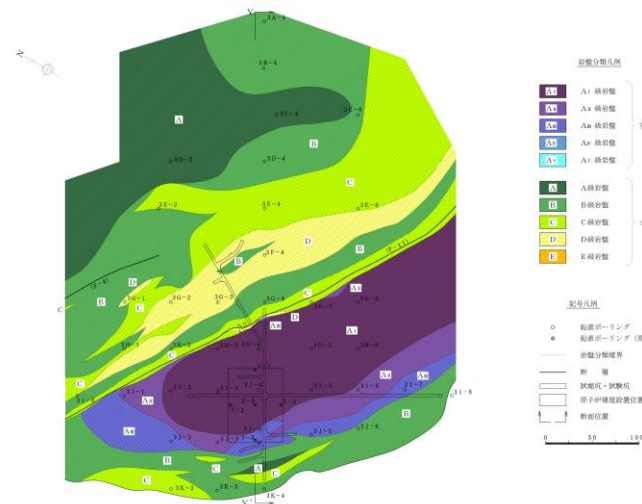
3号炉側の安山岩及びD級岩盤の平面的分布形状を考慮した解析的検討

- 前述の解析的検討より3号炉直下に分布する安山岩及びD級岩盤による振動特性への影響は、地震動を大きく増幅させるものではないと考えられる。
- 3号炉側に分布する安山岩及びD級岩盤の平面的分布形状を考慮した複数の断面による解析を実施し、安山岩等の3次元的影響を模擬した傾向分析を行う。

地盤モデルの設定位置



- 解析断面は、傾斜構造となっている3号原子炉建屋を通る海山方向断面を基本ケースとする。
- 安山岩等の平面的な分布形状を考慮して、基本ケースより海岸線と平行方向に40m移動した海山方向断面(X1-X1')及び60m移動した海山方向断面(X2-X2')を追加検討する。

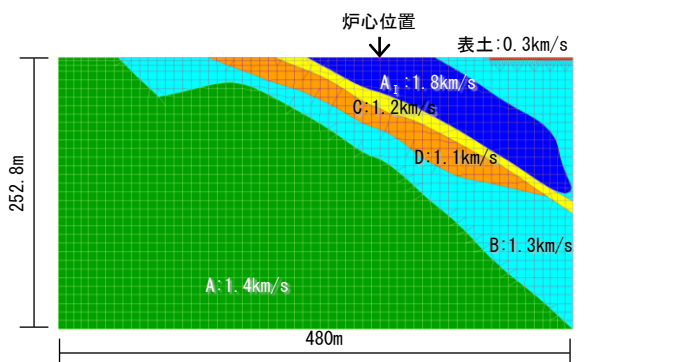


水平岩盤分類図(3号炉 標高+2.8m)

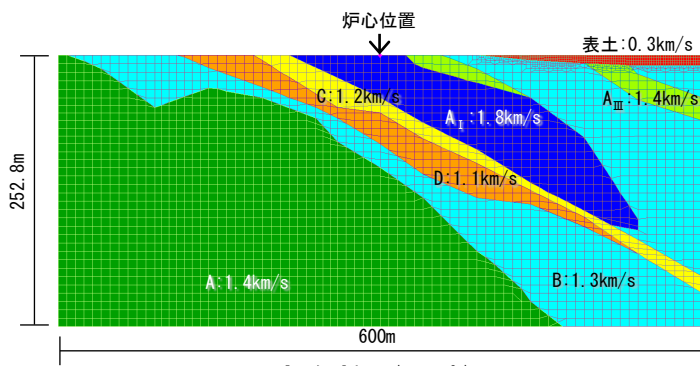
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.4 安山岩及びD級岩盤の平面的分布状況を考慮した検討

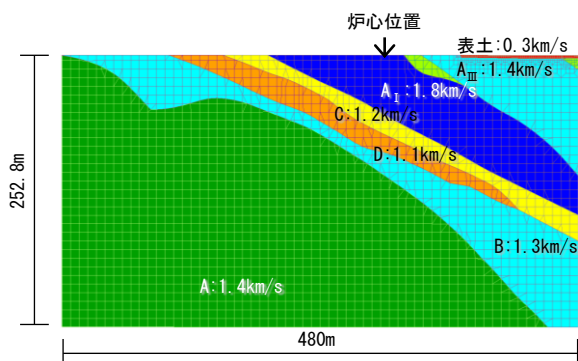
地盤モデルの設定及び検討結果



X1-X1' 断面



炉心断面 (X-X')



X2-X2' 断面

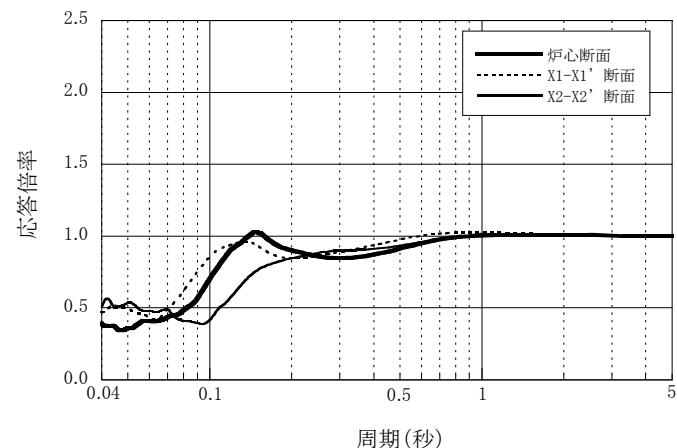
- 2次元地盤モデルは、3号炉心直下を含む標高-250mから標高+2.8mまで、幅を600m~480mの範囲を対象としたFEMモデルとする。
- モデル下端に対する3号炉心直下地表面の応答の伝達関数 ($2E/2E$)を算出して比較検討する。

※地盤物性値は、『2.3 安山岩及びD級岩盤を含む敷地地盤の傾斜構造の影響』に用いた値と同様

※速度は、 V_s を表す

※側面の境界条件:エネルギー伝達境界

※底面の境界条件:粘性境界



3号炉側地盤 伝達関数

- 全ての検討ケースにおいて、伝達関数が全周期帯で概ね1.0以下で同様の傾向を示し、安山岩の層が若干厚いX2-X2'断面では、応答の低減効果が若干大きくなっている。
- これらより、安山岩及びD級岩盤の平面的分布形状を考慮した場合でも、振動特性への影響は、小さいものと考えられる。

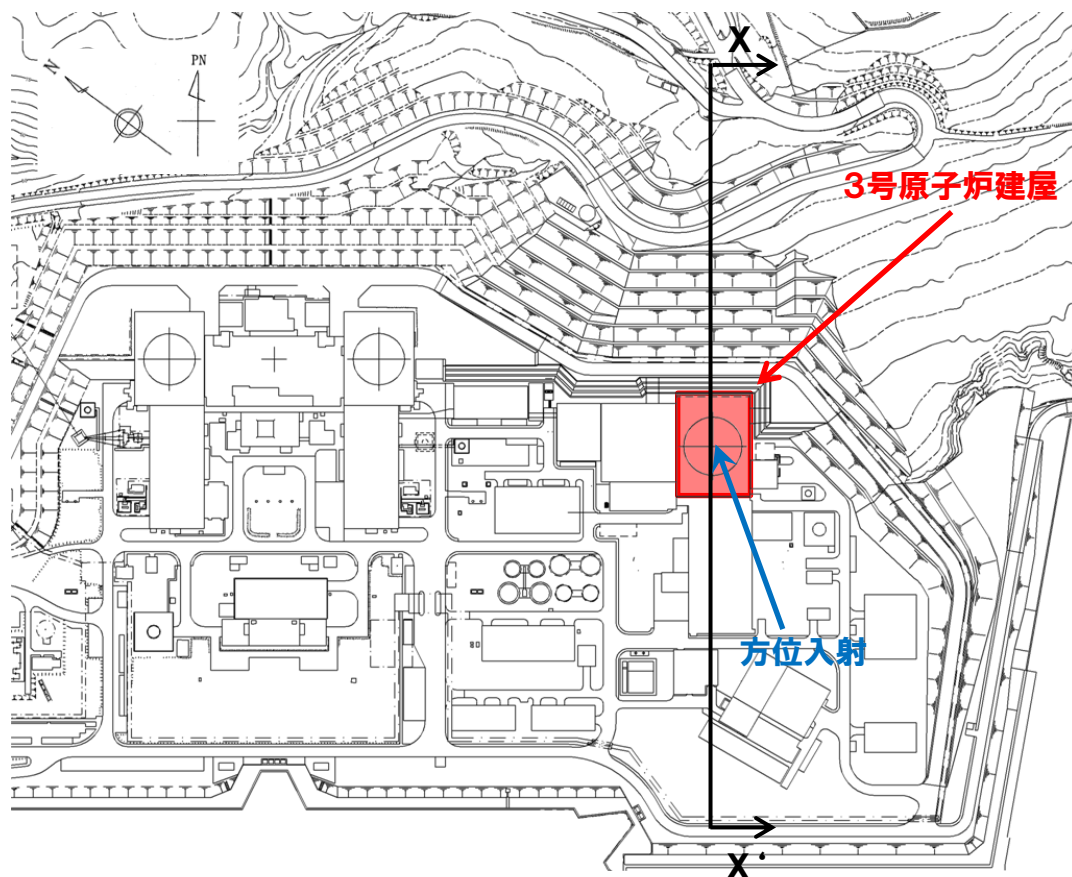
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.5 地震波の入射角及び方位入射角を考慮した検討

3号炉における地震波の入射角及び方位入射角を考慮した解析的検討

●3号炉地盤モデルにより, 入射角及び方位入射の振動特性への影響を検討する。

地盤モデルの設定位置



●解析断面は, これまでの検討と同様に傾斜構造となっている3号原子炉建屋を通る海山方向断面とする。

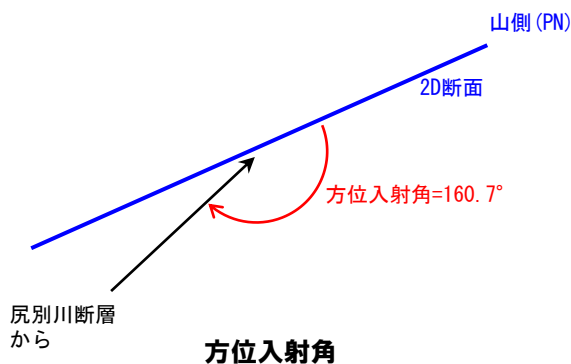
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.5 地震波の入射角及び方位入射角を考慮した検討

地盤モデルの設定及び入射角, 方位入射角の設定

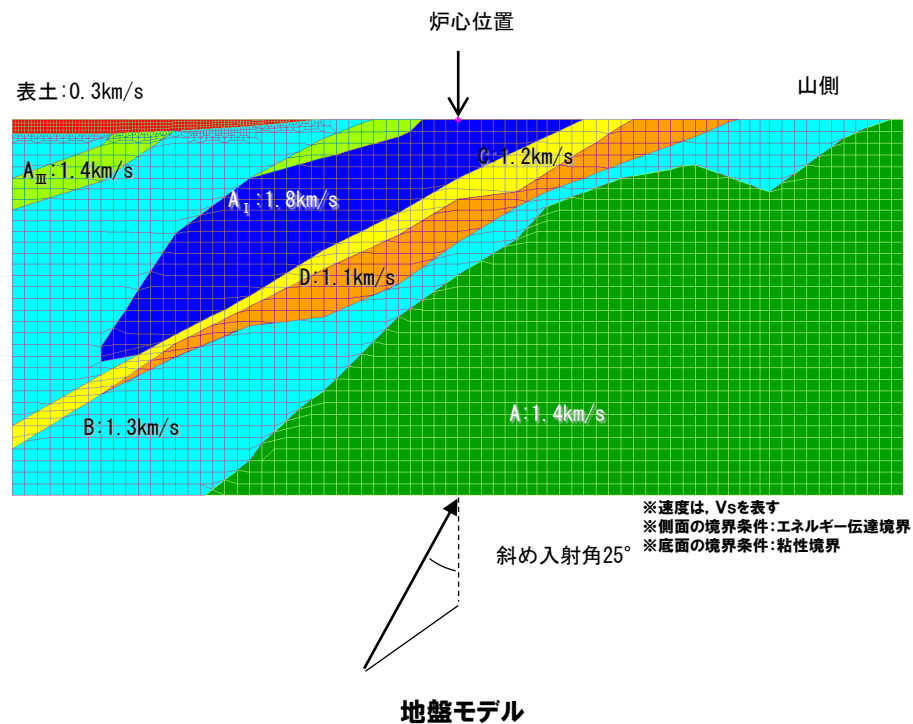
- 地盤モデルは、3号炉地盤モデルを用い、モデル底面に対する入射角, 及び方位入射角を同時に考慮した解析を実施する。
- SV波について、標高-250mから標高+2.8mまでのモデル下端に対する炉心直下地表面の伝達関数(2E/2E)を算出して比較検討する。なお、参考にSH波入射についても比較検討する。
- 入射角及び方位入射角は、尻別川断層を対象として設定した。(入射角(25°), 方位入射角(160.7°))

地盤モデル及び入射角, 方位入射角



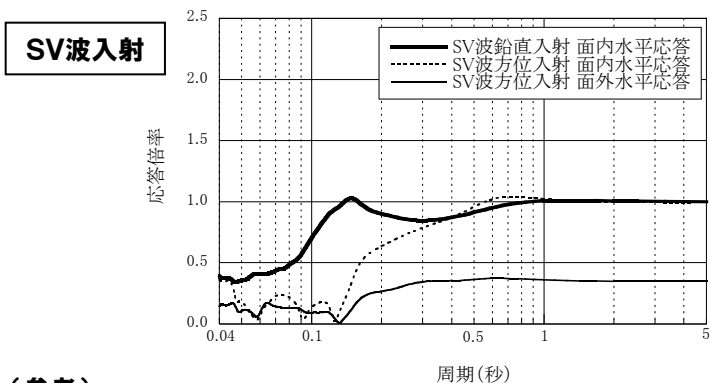
地盤物性値

	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A _I 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A _{III} 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50

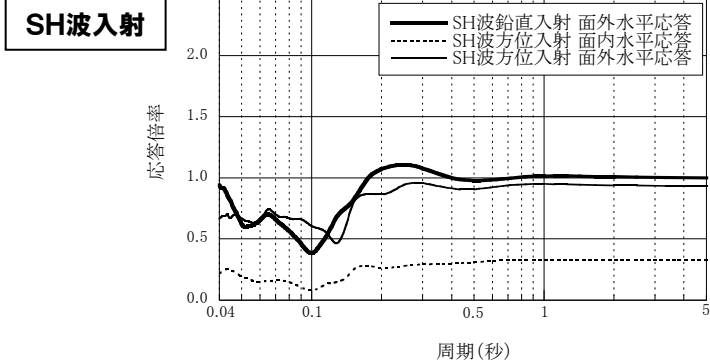


2.5 地震波の入射角及び方位入射角を考慮した検討

解析結果

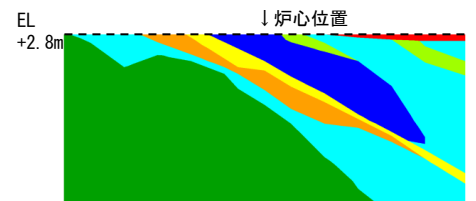
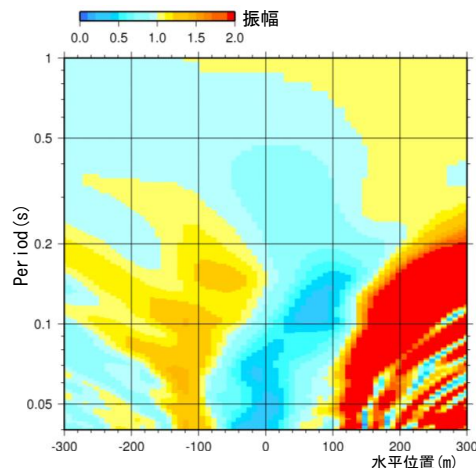


(参考)

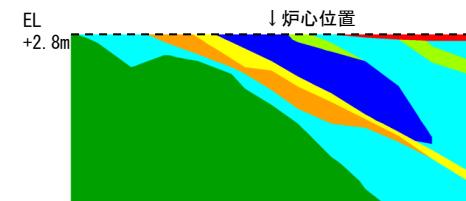
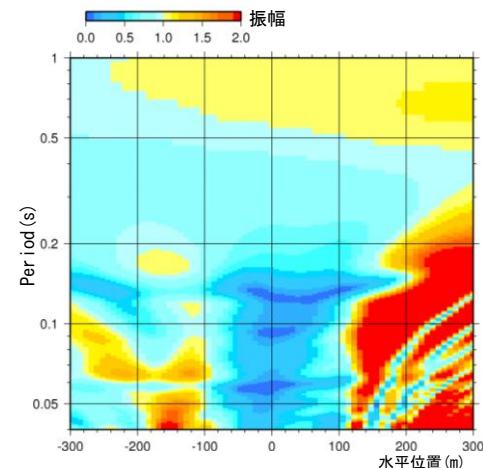


3号炉心直下 伝達関数

- SV波方位入射では、鉛直入射(面内水平応答)より応答倍率が小さくなる傾向にあり、入射角 -25° のみを考慮した場合と同程度となっていることから、方位入射による影響は小さい。
- SH波入射では、方位入射による影響は小さい。
- 入射角及び方位入射角を考慮した場合、全ての周期帯で伝達関数が概ね1.0以下となる。



SV波鉛直入射



SV波方位入射

3号炉心直下 方位入射角を考慮した伝達関数(SV波入射による面内水平応答)

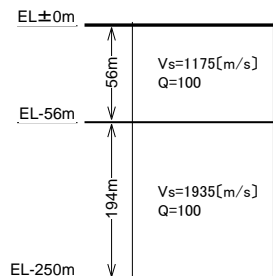
- 鉛直入射を考慮した検討結果と比較して、入射角及び方位入射角を考慮した検討結果は、3号炉心直下位置において、全周期帯で概ね応答が低減される傾向にある。
- これらより、入射角及び方位入射角により振動特性に与える影響は、小さいものと考えられる。

2.6 3号炉地盤と1号炉地盤における解析結果の比較

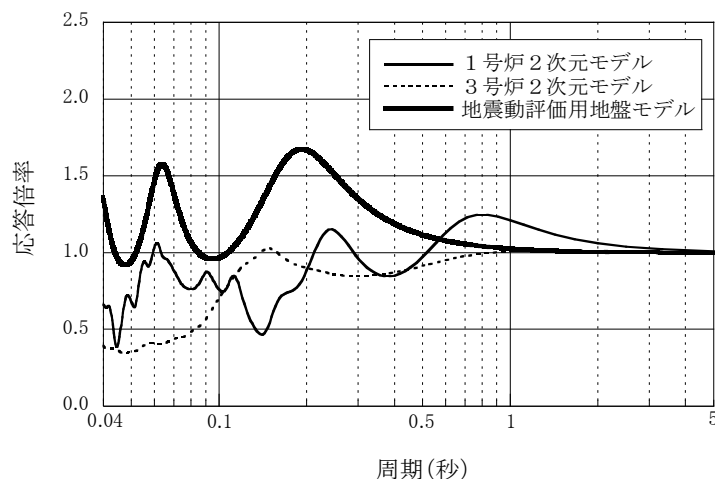
3号炉地盤及び1号炉地盤における解析結果の比較

- 3号炉及び1号炉の2次元地盤モデルと地震動評価用1次元地盤モデルを用いて振動特性を比較検討する。
- 地震動評価用地盤モデルの標高-250mから標高±0mまでの伝達関数(2E/2E)を算出して比較検討する。

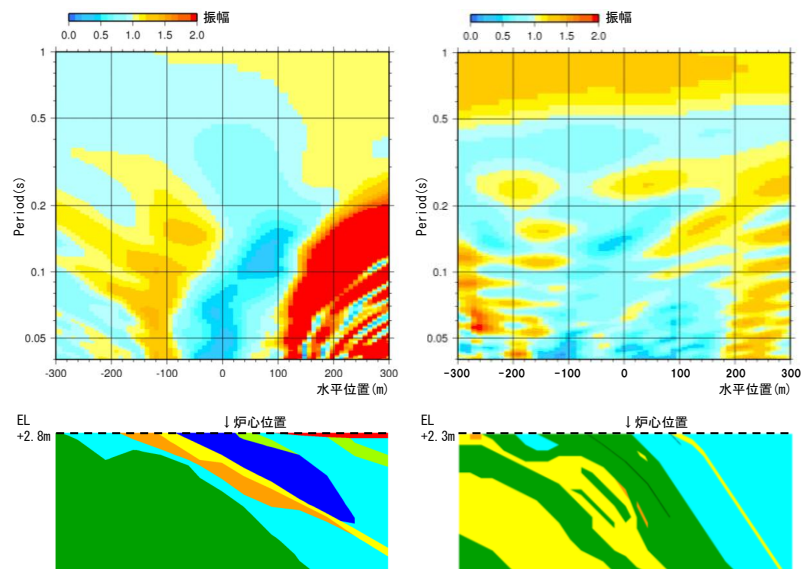
比較検討結果



地震動評価用地盤モデル



3号炉心直下及び1号炉心直下 伝達関数



3号炉 2次元地盤モデル

1号炉 2次元地盤モデル

- 3号炉及び1号炉地盤モデルによる伝達関数は、概ね1号炉地盤モデルの伝達関数が大きくなっている。
- 一部周期帯で3号炉地盤モデルの伝達関数が1号炉地盤モデルの伝達関数を上回るものの、3号炉及び1号炉の伝達関数は、応答倍率が概ね1.0以下となっている。
- 3号炉及び1号炉の伝達関数は、地震動評価用地盤モデルによる伝達関数と比較して、周期1秒以下の周期帯で概ね同程度以下となっている。
- これらより、敷地地盤の構造による振動特性の影響は若干あると思われるが、地震動評価に大きな影響を与えるものではない。

2.7 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響

Ricker波を用いた伝播特性の検討

- 最大加速度1.0となる下式に示すRicker波を解析モデル下端からSV波として入射した場合の伝播特性について検討する。
- 検討に用いるRicker波は、中心周期0.1s、最大値生起時刻0.1sとする。
- 入射角は、 0° （鉛直入射）及び $\pm 25^\circ$ の3ケースとする。

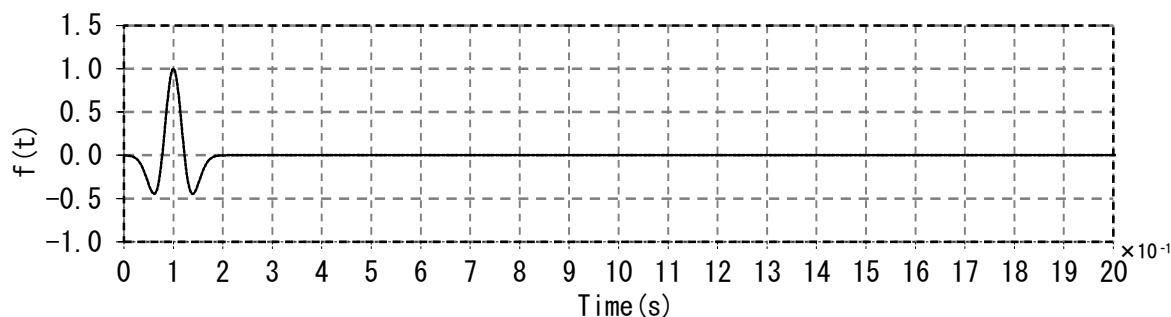
$$f(t) = (1 - 2A) \exp(-A)$$

$$A = \frac{\pi^2 (t - t_M)^2}{t_C^2} = f_C \pi^2 (t - t_M)^2$$

t_C : 中心周期

f_C : 中心振動数

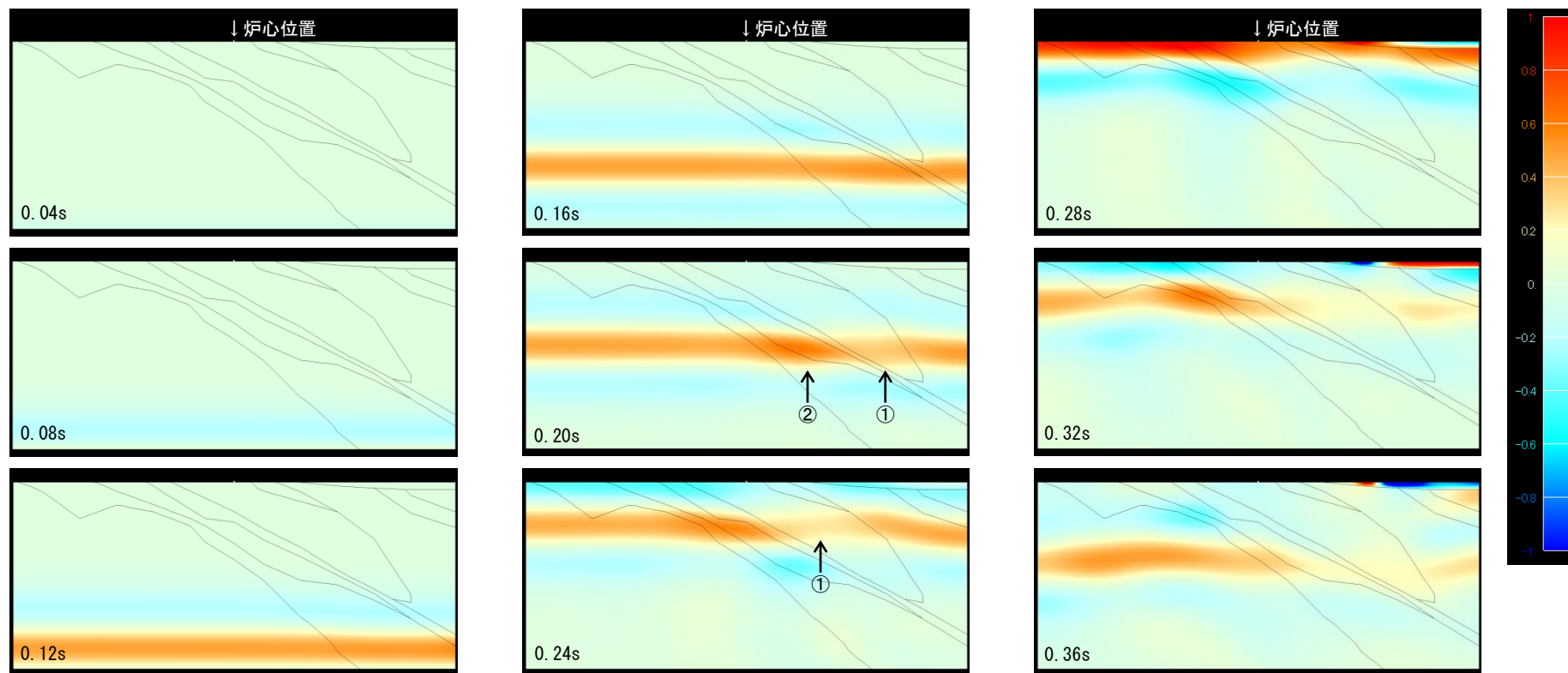
t_M : 最大値生起時刻



中心周期0.1s

2. 7 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響

Ricker波による伝播特性(鉛直入射)

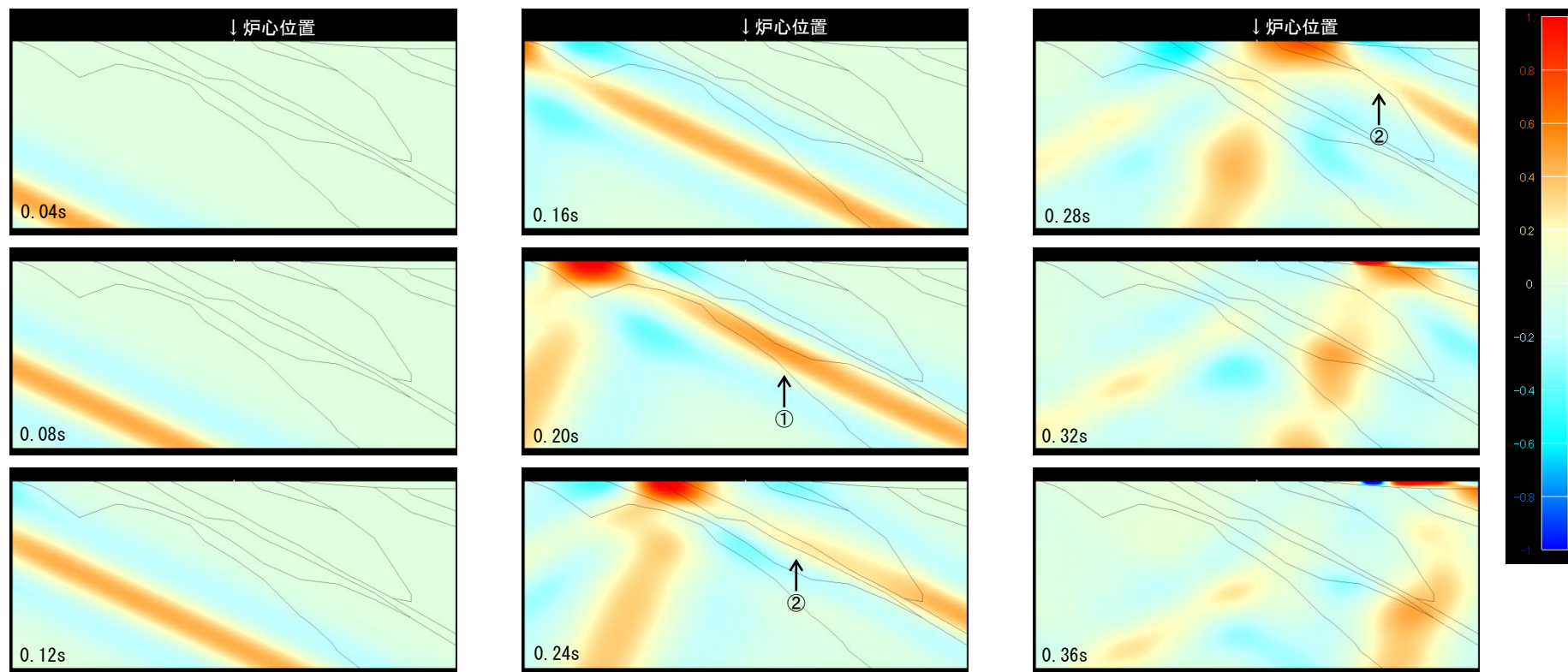


● 傾斜構造による局所的な増幅は、みられない。

● 0.20s~0.24sのスナップショットから、安山岩の影響により振幅が低減している傾向(①)及びD級岩盤により振幅が増幅している傾向(②)がみられる。

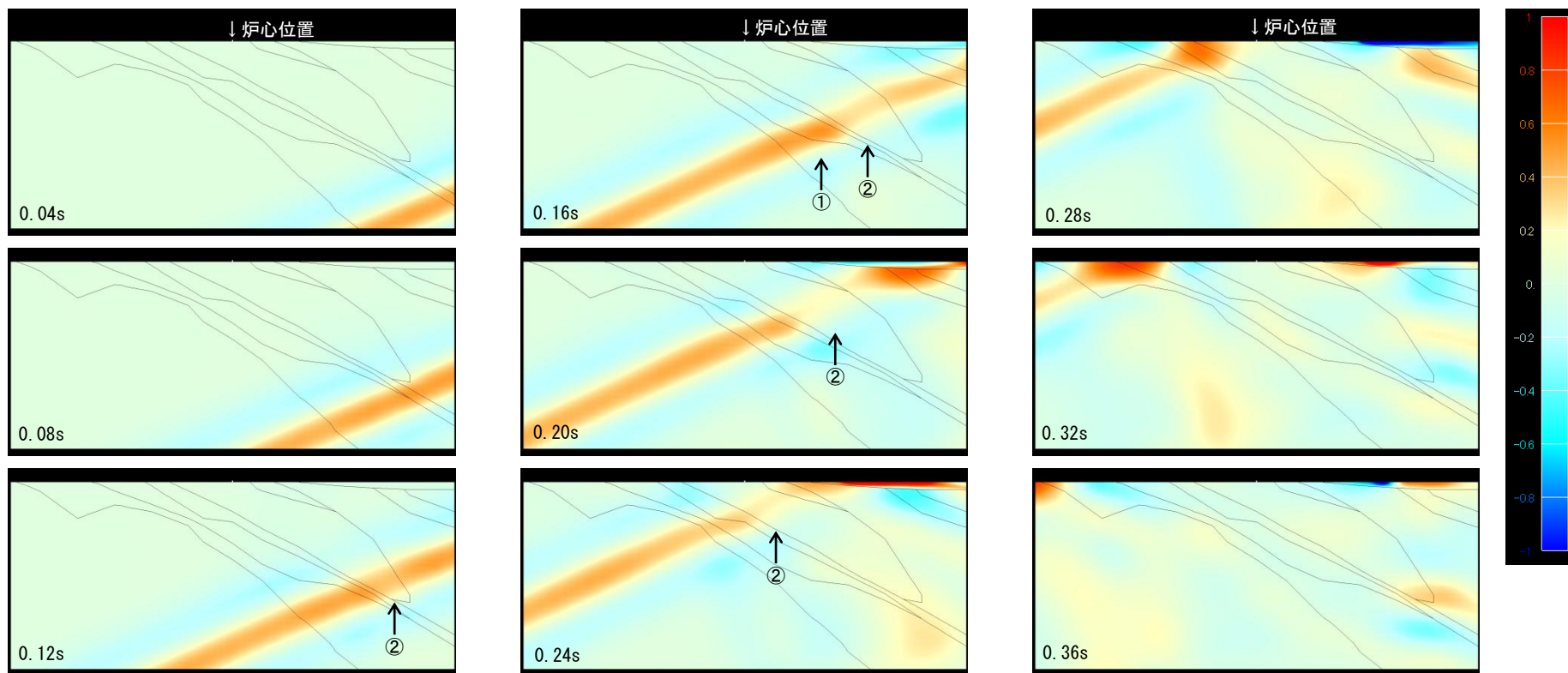
2.7 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響

Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角+25°)



- 傾斜構造及び入射角による局所的な増幅特性はみられない。
- 0.2sのスナップショットから、D級岩盤の影響により振幅が増幅する傾向(①)がみられる。
- 0.24s~0.28sのスナップショットから、D級岩盤の影響により増幅した振幅が安山岩の影響により低減する傾向(②)がみられる。

2. 7 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響

Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角 -25°)

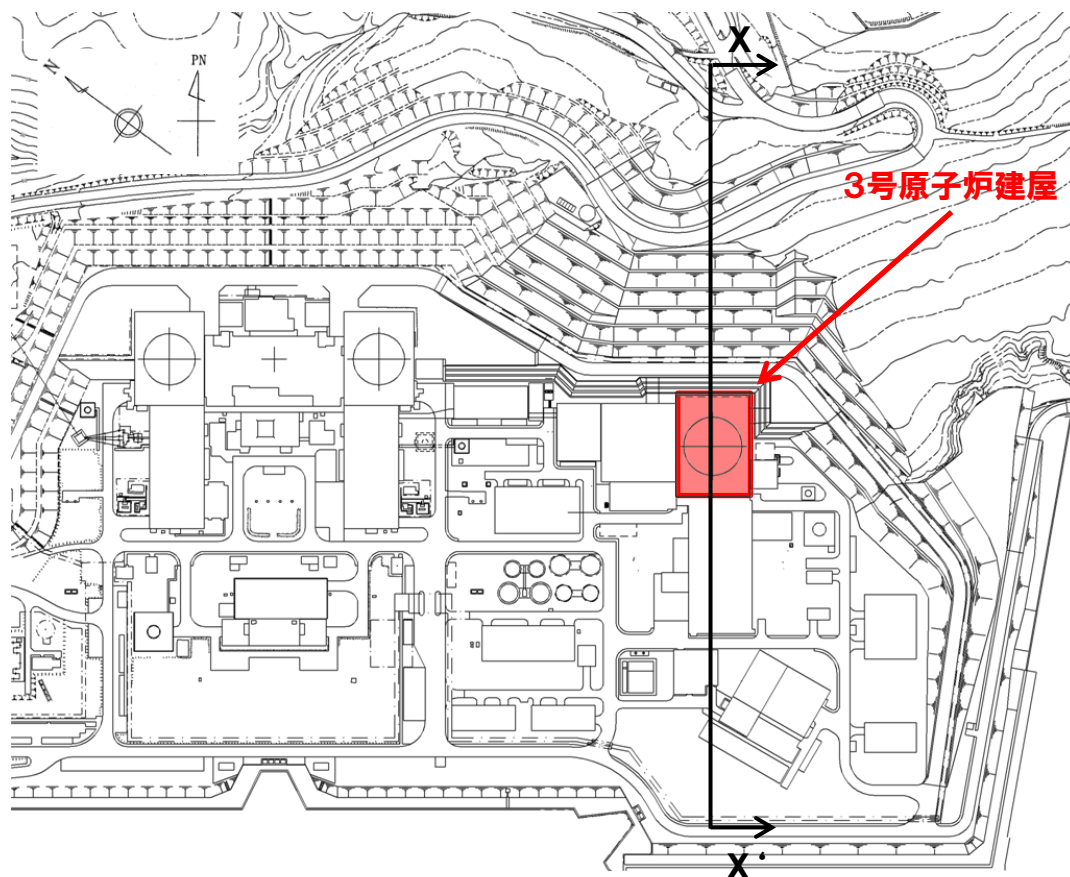
- 傾斜構造及び入射角による局所的な増幅特性はみられない。
- 0.12s~0.24sのスナップショットから、D級岩盤の影響により振幅が増幅(①)、安山岩の影響により振幅が低減する傾向(②)がそれぞれみられる。

2. 8 3号炉後背斜面を考慮した検討

3号炉後背斜面の影響検討

- 3号炉後背斜面の影響について2次元地盤モデルを用いて、振動特性を検討する。

地盤モデルの設定位置



- 解析断面は、傾斜構造となっている3号原子炉建屋を通る海山方向断面とし、3号炉後背斜面を含むモデルとする。

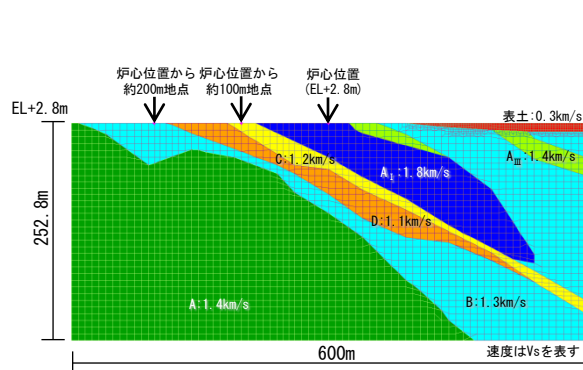
2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.8 3号炉後背斜面を考慮した検討

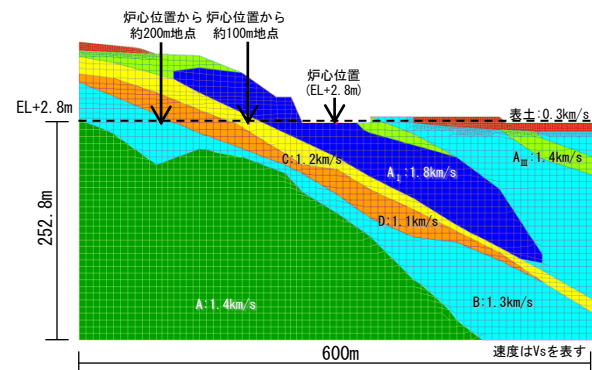
地盤モデルの設定

- 検討に用いる地盤モデルは、3号炉地盤モデルと、このモデルに後背斜面を考慮したモデルを設定した。
- モデル下端に対する炉心直下地表面とその周辺地点の伝達関数(2E/2E)を算出して比較検討する。

※地盤物性値は、『2.3 安山岩及びD級岩盤を含む敷地地盤の傾斜構造の影響』に用いた値と同様

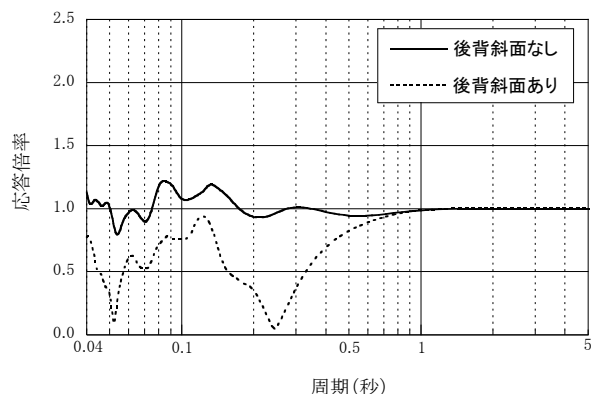


後背斜面なしモデル

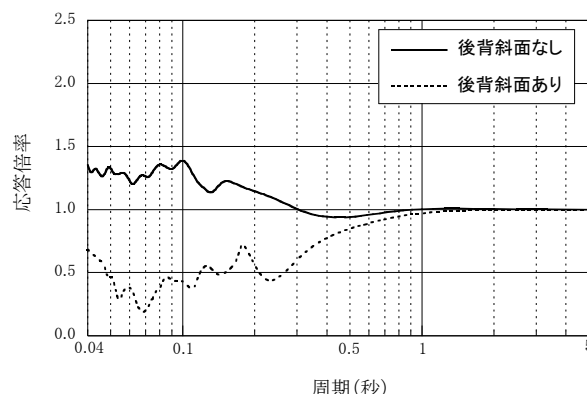


後背斜面ありモデル

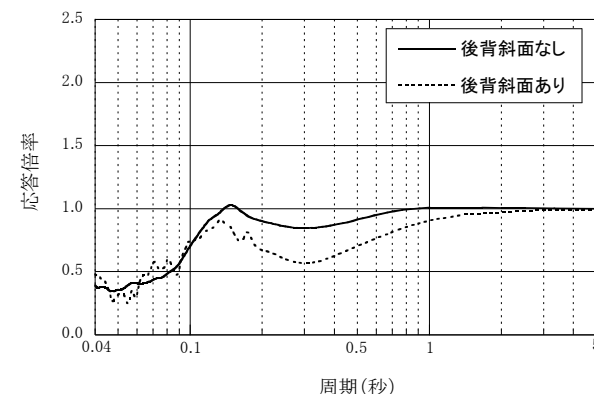
解析結果



3号炉心直下より山側へ200m地点 伝達関数



3号炉心直下より山側へ100m地点 伝達関数



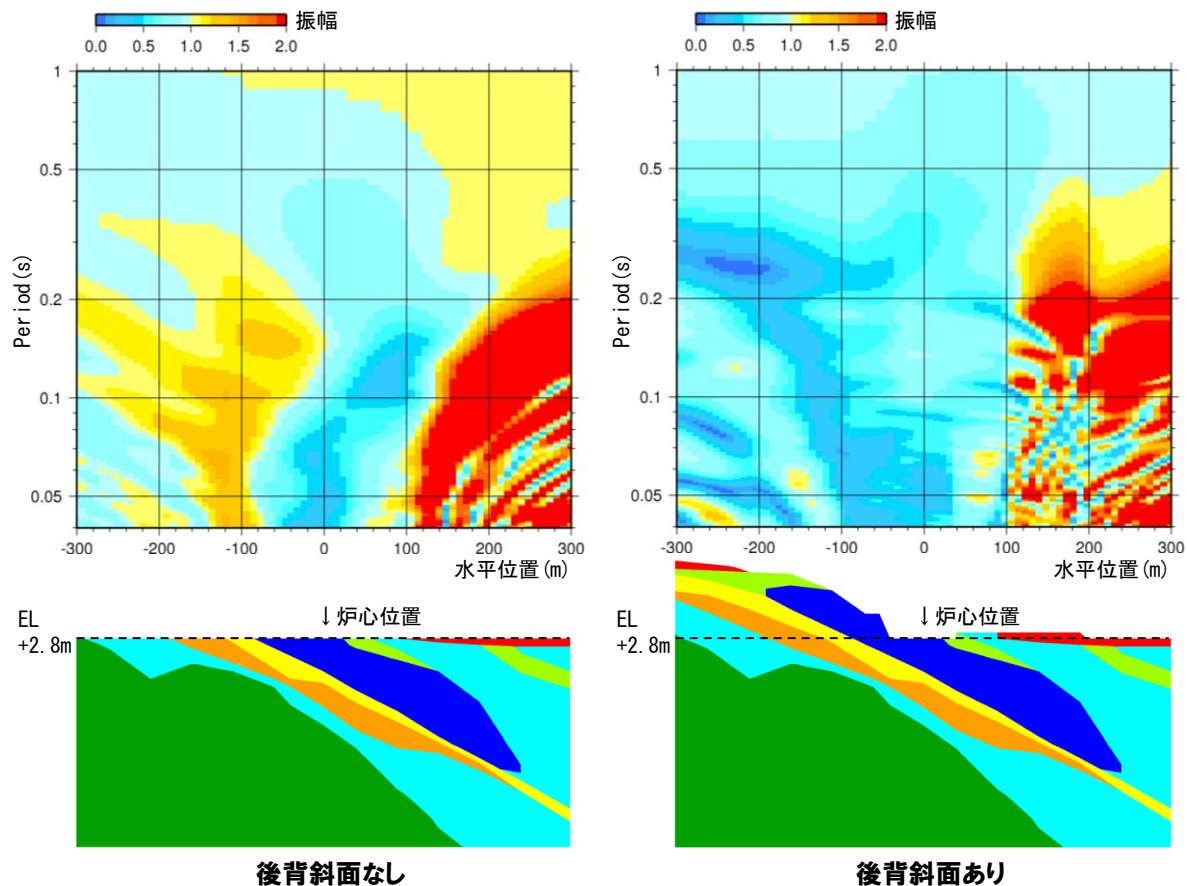
3号炉心直下 伝達関数

- 3号炉心直下の検討結果から、0.1秒以下では後背斜面を考慮した場合と考慮しない場合で概ね同程度となっている。0.1秒以上では、後背斜面の影響により、応答倍率が低減する傾向がみられる。
- その他の地点では、応答倍率が低減する。

2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.8 3号炉後背斜面を考慮した検討

入射波(2E)に対する標高+2.8mの伝達関数 解析結果



● 3号炉心位置を含めて、後背斜面の影響により全周期帯の応答が概ね低減する傾向がみられる。

2.9 地質構造を考慮した解析による検討 まとめ

地質構造を考慮した解析による検討 まとめ

- 敷地地盤の傾斜構造による振動特性への影響は、1号原子炉建屋を含む2次元地盤モデル及び1次元地盤モデルを用いた検討結果より、地震動評価に大きな影響を与えるものではないと考えられる。
- 3号炉側に分布する安山岩及びD級岩盤について、D級岩盤は応答を増幅させるが、その上部に分布する安山岩により応答が低減させる傾向があるものと考えられる。
また、安山岩及びD級岩盤の分布形状を考慮し、入射角等も含めて実施した検討結果より、3号炉地盤の地質構造が振動特性に与える影響は小さく、特異な傾向はみられないものと考えられる。
- 3号炉及び1号炉2次元地盤モデルの伝達関数は、概ね1号炉地盤モデルの方が大きくなる傾向である。
また、地震動評価用地盤モデルによる伝達関数と比較して、いずれも周期1秒以下の応答倍率が同程度以下となっている。

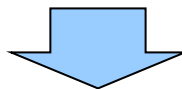
3. 深部凹構造による振動特性に関する検討

No	コメントの要旨	備考
6	・弾性波探査結果からレンズ状の地質構造がみられるので、フォーカシングの影響について検討して欲しい。	第5回審査会合 (平成25年7月31日)
7	・審査会合で指摘している敷地地下にある凹構造の岩盤によるサイトへの地震動の影響の有無についても、評価がまとまり次第説明すること。	事業者ヒアリング⑨ (平成25年9月26日)

3.1 検討方針

検討方針

●敷地周辺で実施した弾性波探査結果において、泊発電所敷地を含む領域の深部に緩やかな傾斜ではあるが、レンズ状の凹構造の地盤がみられる。

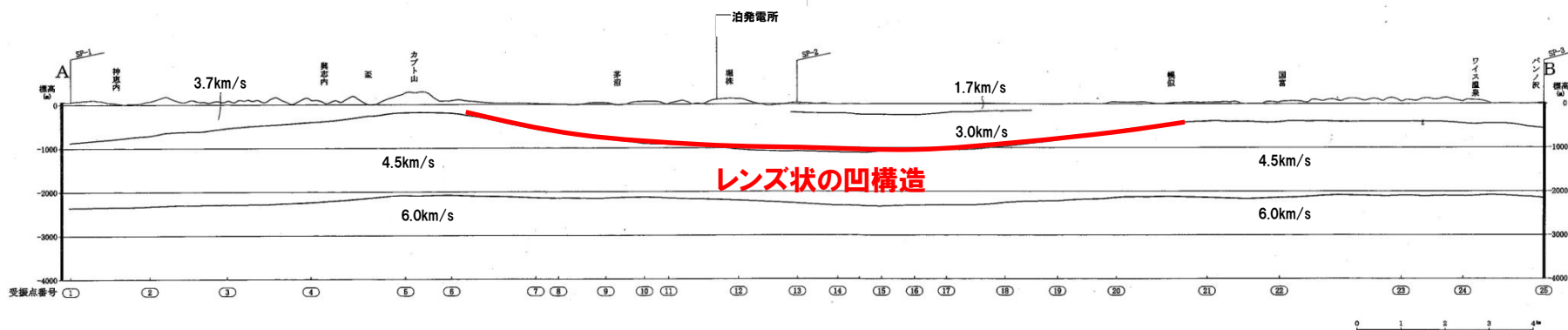
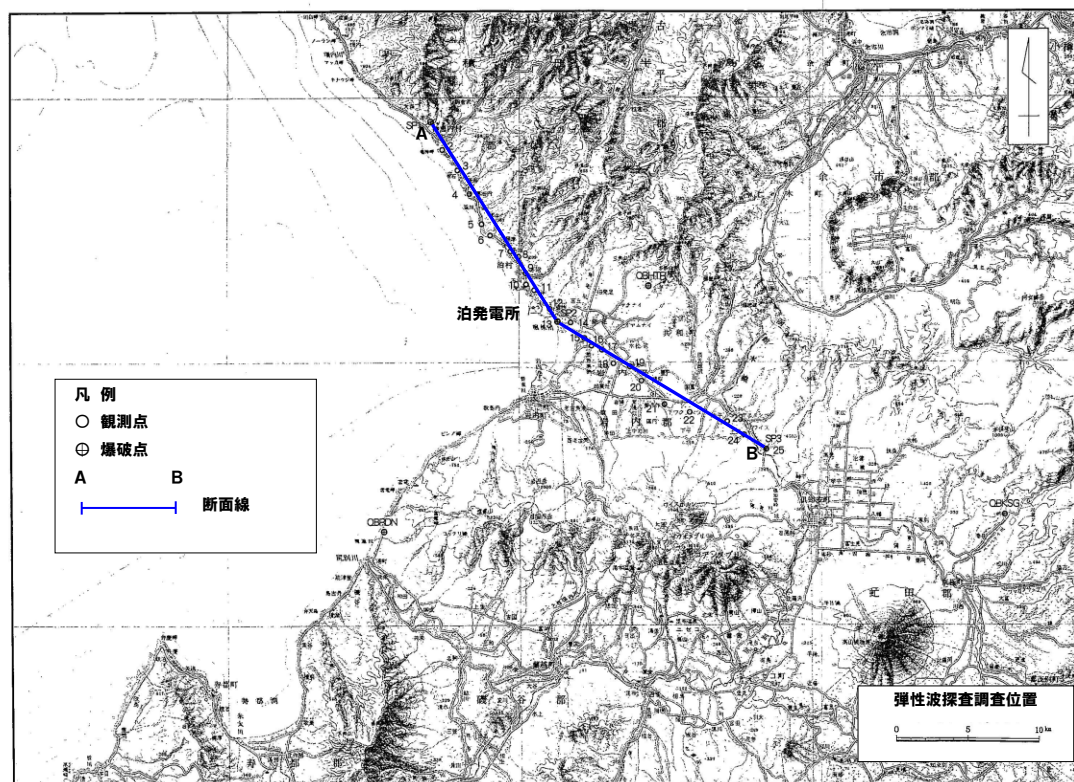


- 深部地下構造をモデル化した2次元FEM解析により振動特性に与える影響を評価する。
- 振動特性の評価にあたっては、伝達関数による検討に加えて、Ricker波による波動伝播特性についても検討する。

3.2 深部地盤の調査結果

敷地周辺で実施した弾性波探査結果

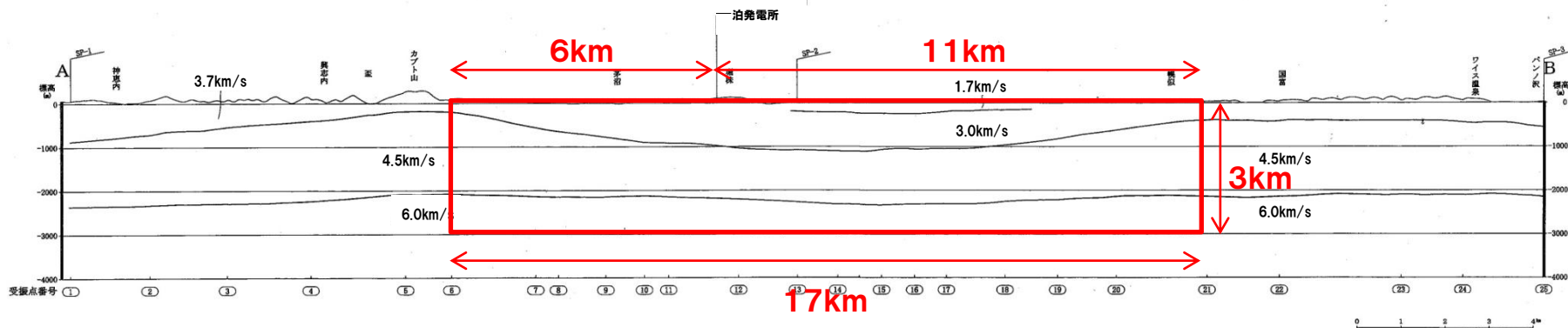
● 泊発電所敷地を含む領域のP波速度3.0km/s層と4.5km/s層の境界において、緩やかな傾斜ではあるが、レンズ状の凹構造の地盤がみられる。



3.3 解析モデルの設定

解析モデルの範囲

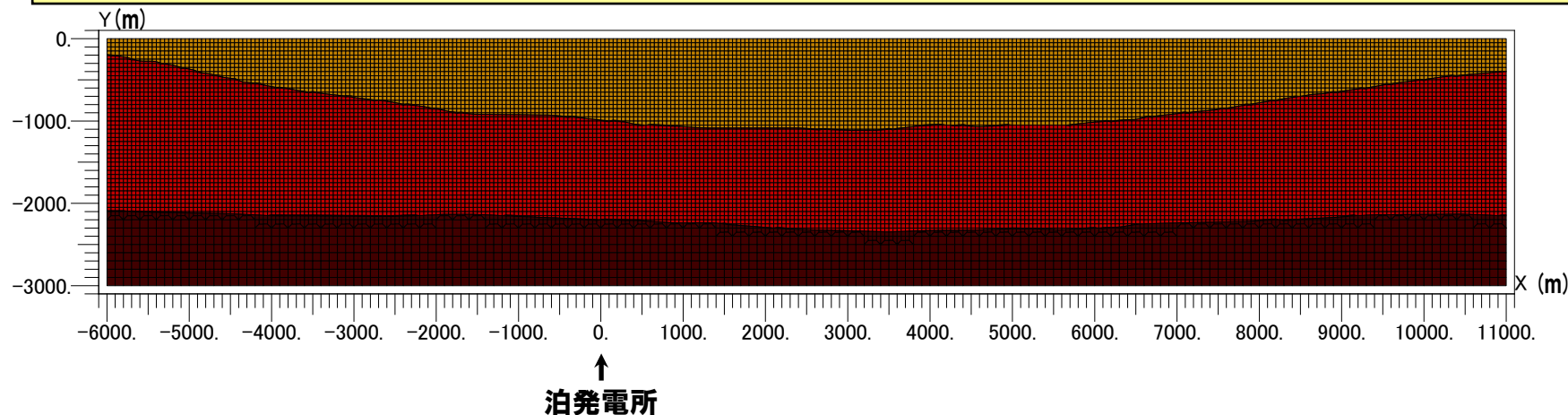
- 解析断面は、敷地周辺で実施した弾性波探査結果による断面を用いる。
- 解析モデルの範囲は、レンズ状の凹構造の地盤を含むものとして、水平方向では、泊発電所から北西方向に6km、南東方向に11kmの計17kmとし、鉛直方向では、深さ3kmとする。



3.3 解析モデルの設定

2次元FEMモデル

- 弾性波探査結果のP波速度構造に基づきモデルを設定し、側面をエネルギー伝達境界、底面を粘性境界とする。



解析用物性値

- P波速度:弾性波探査結果
- S波速度:太田ほか(1985)によるP波速度とS波速度の関係式
- 密度:物理探査ハンドブック(1999)によるP波速度と密度の関係式

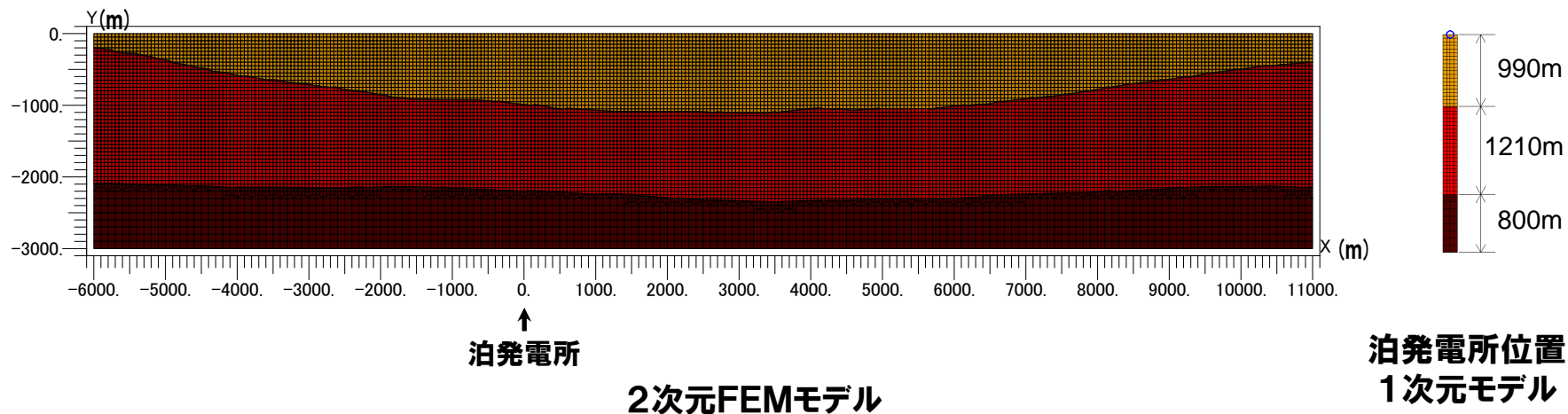
	P波速度 V_p (m/s)	S波速度 V_s (m/s)	密度 ρ (g/cm ³)	Q値
■ (Yellow)	3000	1300	2.3	100
■ (Red)	4500	2400	2.5	100
■ (Dark Red)	6000	3700	2.7	150
—	6000	3700	2.7	150

3. 深部凹構造による振動特性に関する検討

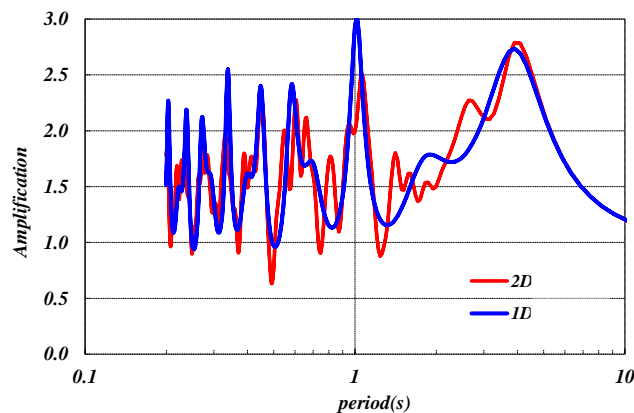
3.4 1次元地盤モデルとの比較

伝達関数による検討

●解析モデル下端にSV波を入力し、入力波(2E)に対する泊発電所位置での地表面の応答(2E)の伝達関数を算出し、泊発電所位置での1次元モデルによる伝達関数と比較する。



伝達関数



●2次元FEMモデルによる水平方向の伝達関数と1次元モデルによる伝達関数は、いずれも周期1s及び4s付近が卓越するなど、全体的に同様の傾向となっている。

Ricker波による検討

- 最大加速度1.0となる下式に示すRicker波を解析モデル下端からSV波として入射した場合と1次元モデルに入射した場合の泊発電所位置での加速度応答波形を比較する。

$$f(t) = (1 - 2A)\exp(-A)$$

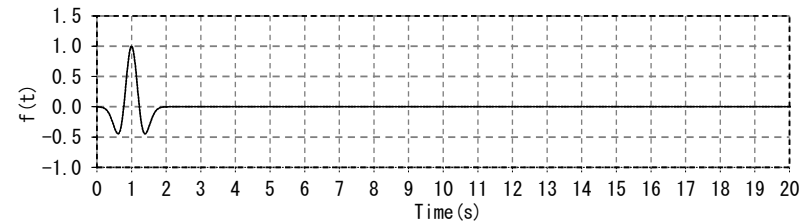
t_c : 中心周期

$$A = \frac{\pi^2 (t - t_M)^2}{t_c^2} = f_c^2 \pi^2 (t - t_M)^2$$

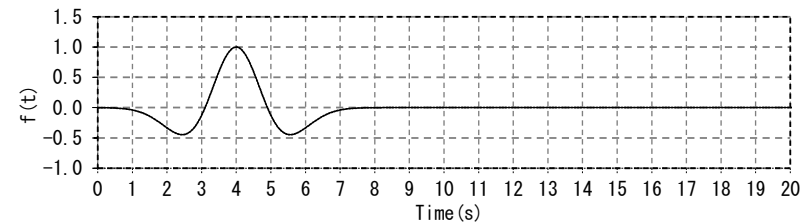
f_c : 中心振動数

t_M : 最大値生起時刻

- 検討に用いるRicker波は、中心周期1.0s、最大値生起時刻1.0s及び中心周期4.0s、最大値生起時刻4.0sとする。

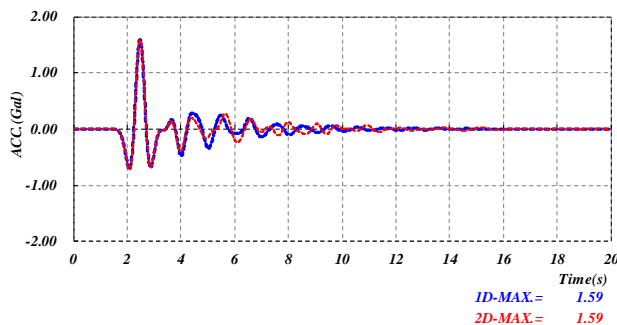


中心周期1.0s

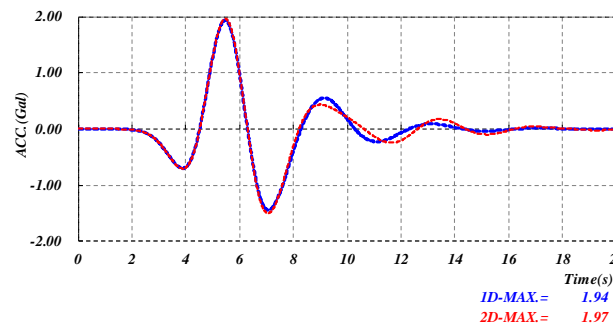


中心周期4.0s

加速度応答波形



中心周期1.0s



中心周期4.0s

- 2次元FEMモデルによる水平方向の加速度応答波形と1次元モデルによる加速度応答波形は、同様の傾向となっている。

- 2次元FEMモデルと1次元モデルとの比較によると、泊発電所位置での水平方向の伝達関数及び加速度応答波形は、同様の傾向となっており、レンズ状の凹構造による特異な傾向はみられない。

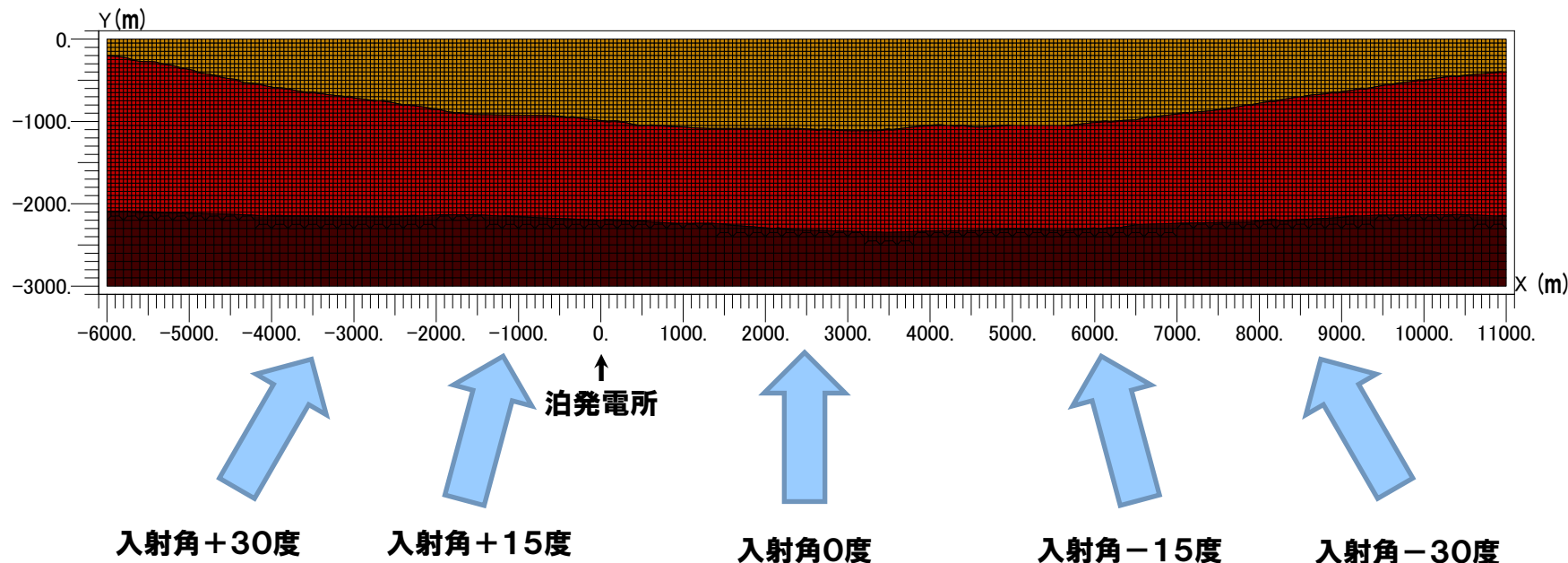
3.5 フォーカシングに関する考察

●入力波(2E)に対する解析モデルの地表面位置(2E)における伝達関数の分布及びRicker波入力による最大加速度応答分布により、レンズ状の地形によるフォーカシングの影響を確認する。

解析条件

●解析モデル下端にSV波を入力することとし、入射角は、0度(鉛直入射)、 ± 15 度、 ± 30 度の5ケースとする。

●Ricker波は、1次元モデルとの比較に用いたRicker波(中心周期1.0s及び4.0s)とする。

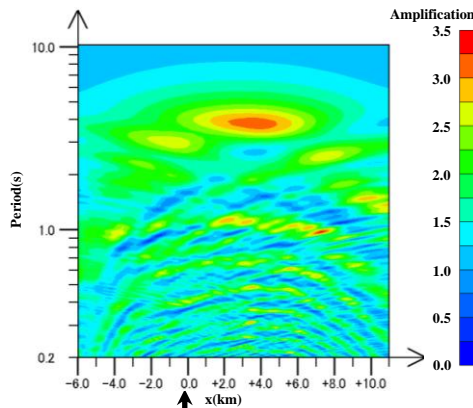


ケース	入射角	ケース	入射角
ケース1	0度(鉛直入射)	ケース4	+30度
ケース2	+15度	ケース5	-30度
ケース3	-15度		

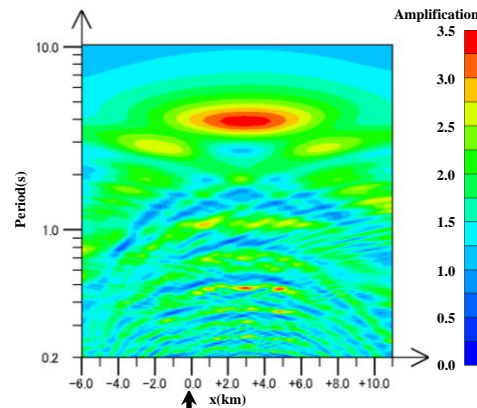
3. 深部凹構造による振動特性に関する検討

3.5 フォーカシングに関する考察

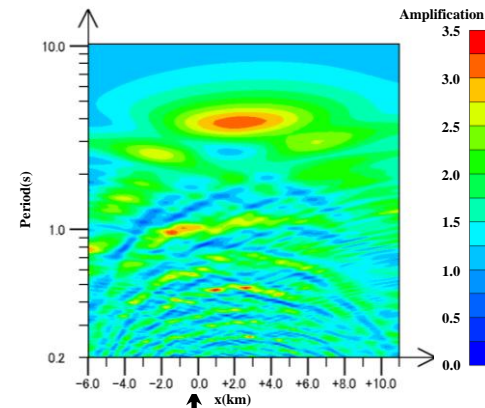
伝達関数分布(水平方向)



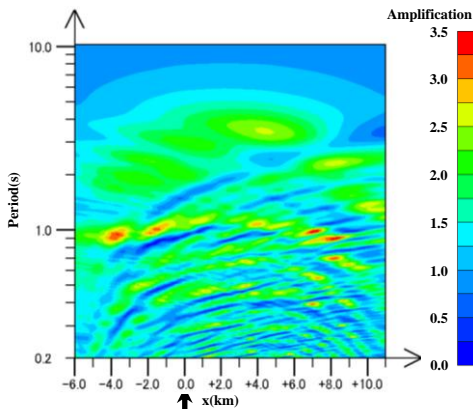
泊発電所
ケース2(+15度)



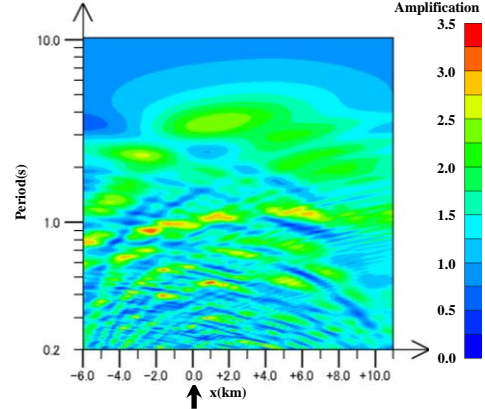
泊発電所
ケース1(0度(鉛直入射))



泊発電所
ケース3(-15度)



泊発電所
ケース4(+30度)



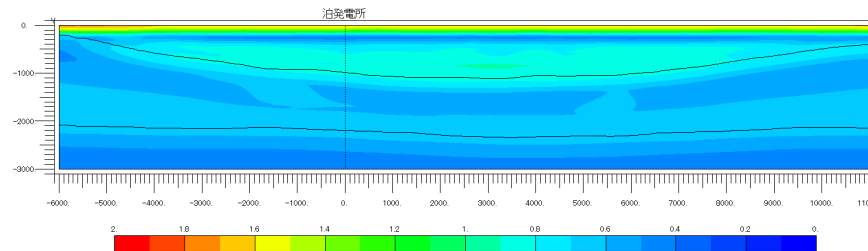
泊発電所
ケース5(-30度)

- すべてのケースにおいて、速度構造境界の傾斜により励起される地震波の干渉と考えられる曲線的な形状の縞模様がみられる。
- 鉛直入射では、 $X = +2.0 \sim +4.0$ km付近で若干の増幅がみられ、斜め入射の場合には、その傾向が周期により入射角の方向と逆方向に移動する傾向がみられるが、泊発電所付近において局所的な増幅はみられない。

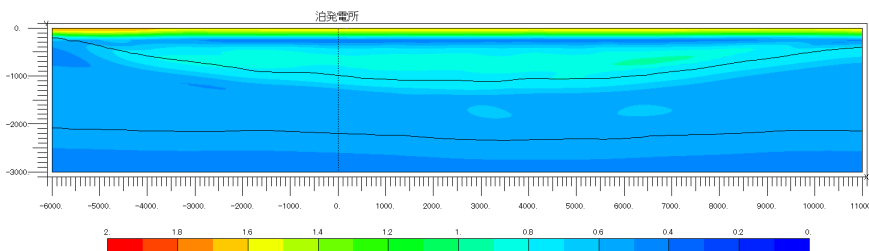
3. 深部凹構造による振動特性に関する検討

3.5 フォーカシングに関する考察

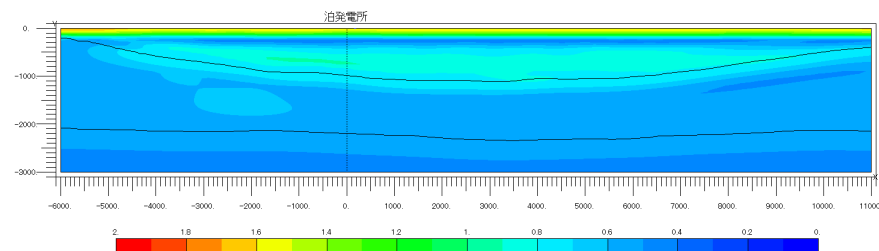
Ricker波による最大加速度応答分布(水平方向, 中心周期1.0s)



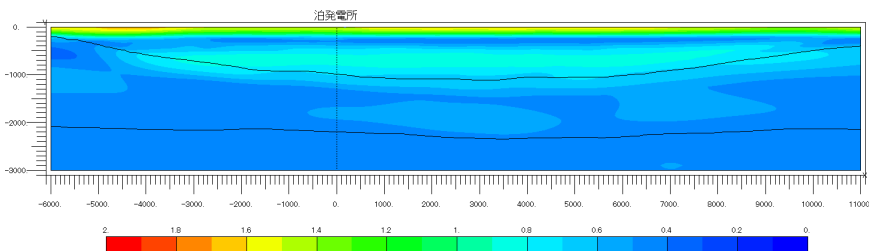
ケース1(0度(鉛直入射))



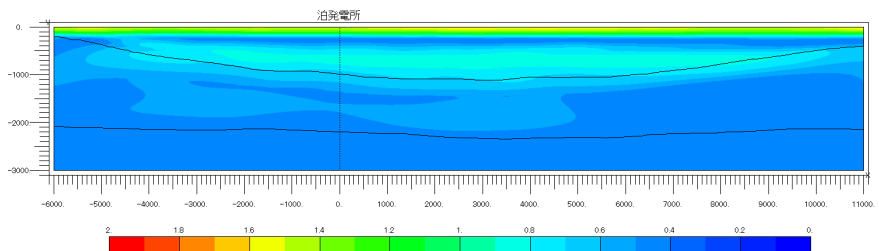
ケース2(+15度)



ケース3(-15度)



ケース4(+30度)



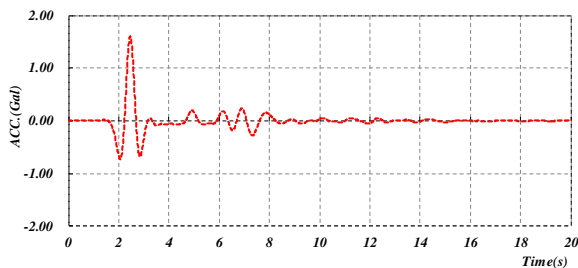
ケース5(-30度)

●すべてのケースにおいて、地表付近に局所的な増幅はみられず、泊発電所付近の応答も一様となっている。

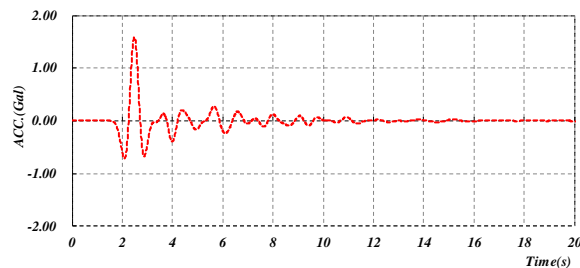
3. 深部凹構造による振動特性に関する検討

3.5 フォーカシングに関する考察

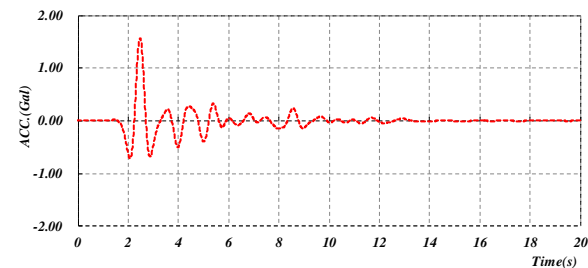
Ricker波による泊発電所位置での加速度応答波形(水平方向, 中心周期1.0s)



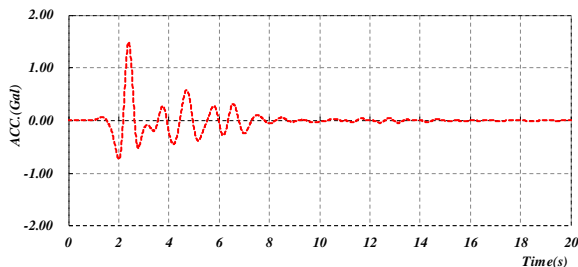
ケース2(+15度) 2D-MAX= 1.60



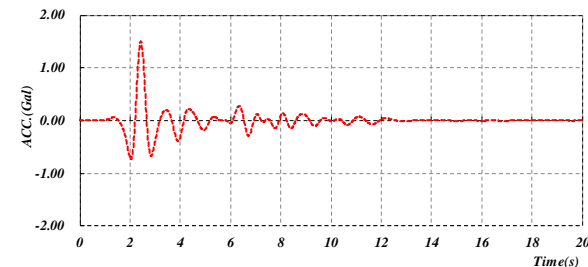
ケース1(0度(鉛直入射)) 2D-MAX= 1.59



ケース3(-15度) 2D-MAX= 1.57



ケース4(+30度) 2D-MAX= 1.50



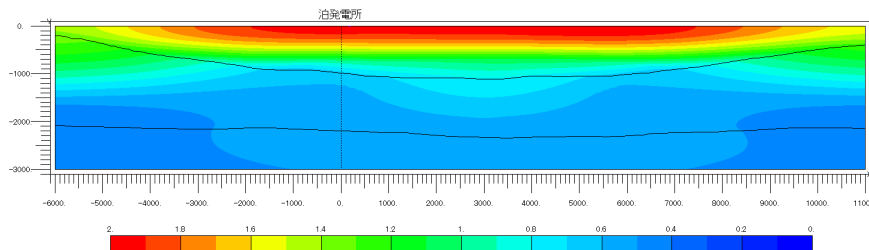
ケース5(-30度) 2D-MAX= 1.51

- 鉛直入射での加速度応答波形は、最大振幅が1.5程度であり、後続に小さい振幅の振動がみられる。
- 入射角を変えた場合も鉛直入射と同様に、最大振幅は1.5程度であり主要な振幅レベルは変わらない。また、ケース4(+30度)では、後続波の振幅が鉛直入射に比べて若干大きくなる傾向がみられるが、振幅レベルは大きなものではない。

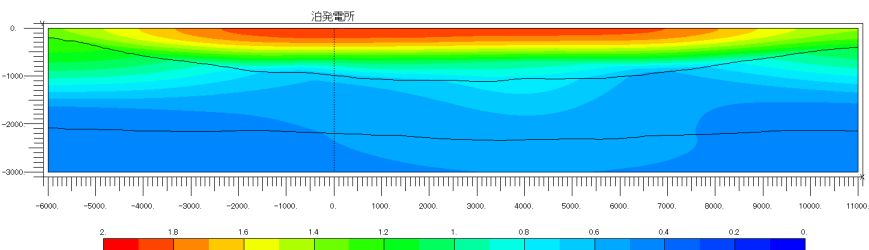
3. 深部凹構造による振動特性に関する検討

3.5 フォーカシングに関する考察

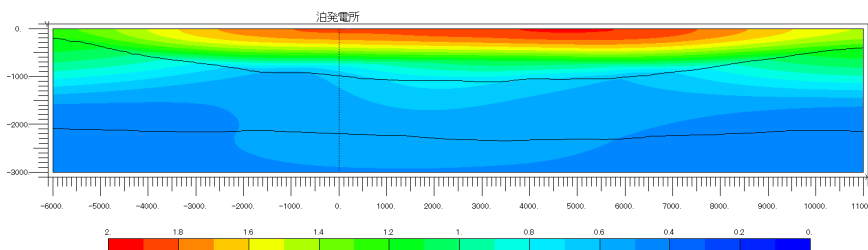
Ricker波による最大加速度応答分布(水平方向, 中心周期4.0s)



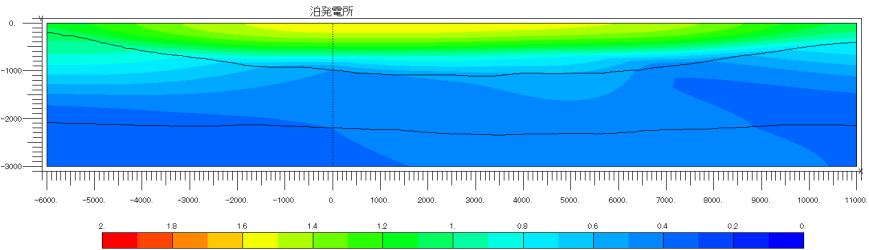
ケース1(0度(鉛直入射))



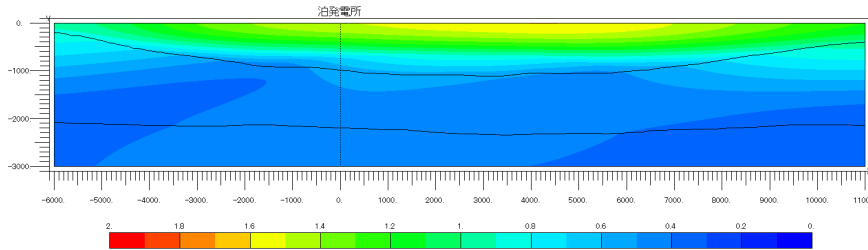
ケース2(+15度)



ケース3(-15度)



ケース4(+30度)



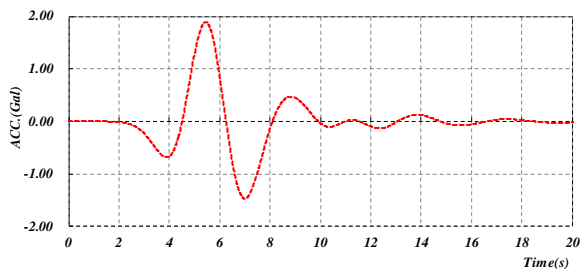
ケース5(-30度)

●すべてのケースにおいて、解析モデル中央付近から広い範囲で地表付近に若干の増幅傾向はみられるが、泊発電所付近での局所的な増幅はみられない。

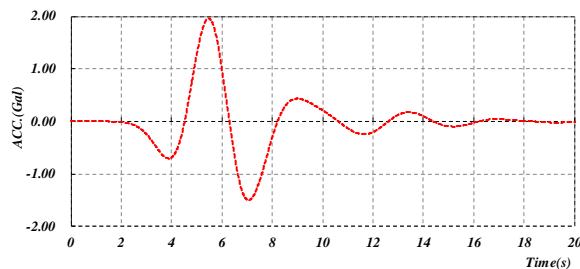
3. 深部凹構造による振動特性に関する検討

3.5 フォーカシングに関する考察

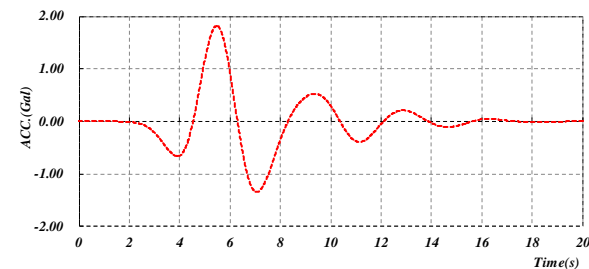
Ricker波による泊発電所位置での加速度応答波形(水平方向, 中心周期4.0s)



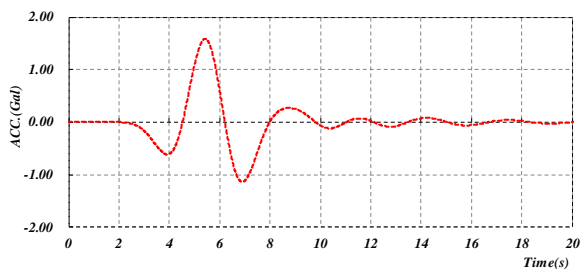
ケース2(+15度) 2D-MAX= 1.90



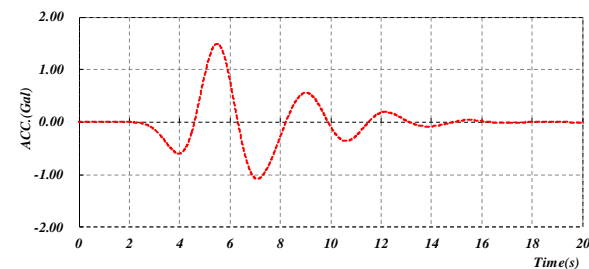
ケース1(0度(鉛直入射)) 2D-MAX= 1.97



ケース3(-15度) 2D-MAX= 1.82



ケース4(+30度) 2D-MAX= 1.59



ケース5(-30度) 2D-MAX= 1.50

●鉛直入射での加速度応答波形は、最大振幅が2.0程度であり、入射角を変えた場合も鉛直入射と同様な加速度応答波形となっており、最大振幅が若干小さくなる傾向がみられる。

●レンズ状の凹構造の地盤を含む解析モデル全体では、速度構造境界の傾斜により励起される地震波の干渉と考えられる増幅傾向がみられるが、泊発電所付近において局所的な増幅はみられない。

●泊発電所位置の加速度応答波形は、入射角により振幅レベルに若干の差異はみられるが、その程度は小さく概ね同様の傾向となっている。

3. 6 まとめ

●敷地周辺で実施した弾性波探査結果において、泊発電所敷地を含む領域の深部に緩やかな傾斜ではあるが、レンズ状の凹構造の地盤がみられることから、深部地下構造をモデル化した2次元FEM解析により振動特性に与える影響を評価した。

- 1次元モデルとの比較によると、泊発電所位置での水平方向の伝達関数及び加速度応答波形は、同様の傾向となっており、レンズ状の凹構造による特異な傾向はみられない。
- レンズ状の凹構造の地盤を含む解析モデル全体では、速度構造境界の傾斜により励起される地震波の干渉と考えられる増幅傾向がみられるが、泊発電所付近において局所的な増幅はみられない。
- 泊発電所位置の加速度応答波形は、入射角により振幅レベルに若干の差異はみられるが、その程度は小さく概ね同様の傾向となっている。

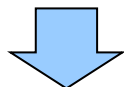
4. 経験的サイト増幅特性に関する検討

No	コメントの要旨	備考
8	・ 標高-250m以深について、経験的増幅特性等により影響を評価するとよい。	第5回審査会合 (平成25年7月31日)

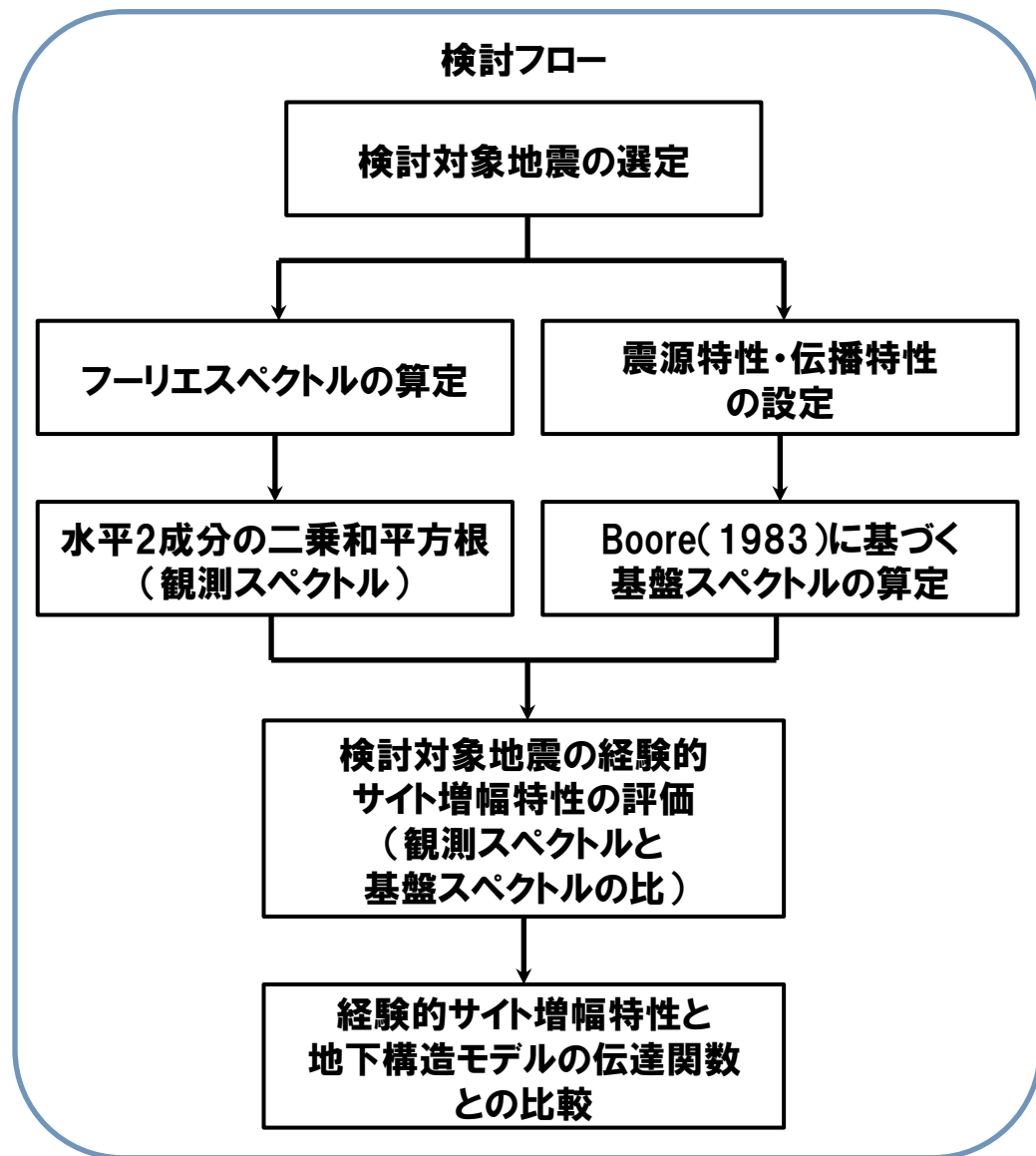
4.1 検討方針

経験的サイト増幅特性に関する検討方針

●敷地で得られた地震観測記録を用いて鶴来ほか(1997)の手法に基づき経験的サイト増幅特性を評価する。



●経験的サイト増幅特性と地震動評価に用いている地下構造モデルによる伝達関数を比較する。



4. 経験的サイト増幅特性に関する検討

4.2 検討結果

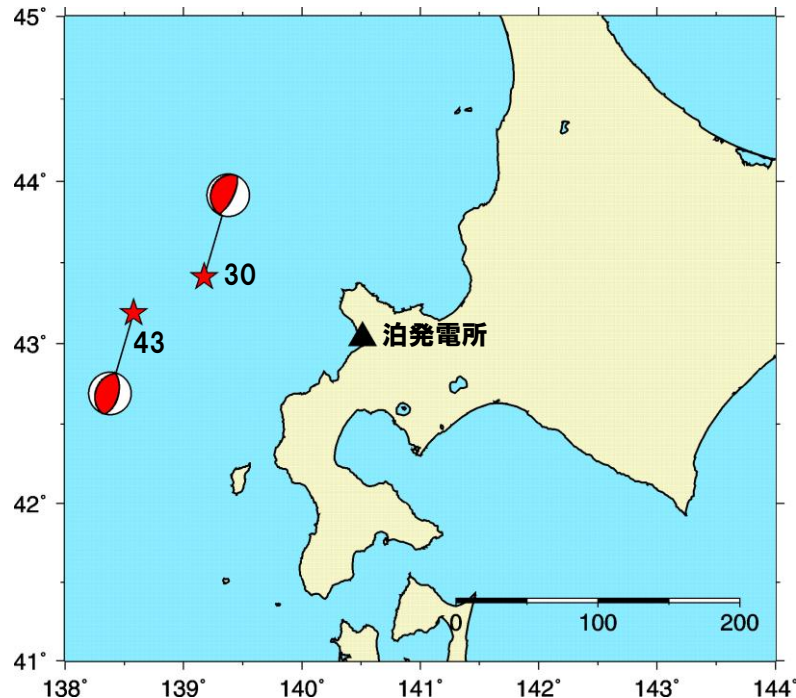
検討対象地震の選定

● 敷地で観測された地震のうち、F-netにおいて震源メカニズム及び M_0 が公開されており、震源メカニズム及び震央位置が比較的近い2地震を選定する。

No.	地名または地震名	年月日	震央位置		震源深さ (km)	M	震央距離 (km)	M_0 ($N \cdot m$)
			北緯	東経				
30	積丹半島北西沖	1999.3.15	43.416	139.177	28	4.5	116	1.27×10^{16}
43	北海道南西沖	2010.3.30	43.192	138.578	25	5.8	158	3.73×10^{17}

※ 地震の諸元は気象庁地震カタログ(M_0 :F-net)

検討対象地震の震央分布



4.2 検討結果

観測スペクトルの算定

●観測スペクトルは、敷地で観測された2地震の観測記録による標高±0mのはぎとり波(S波主要動)を用いて、水平2成分のフーリエスペクトルの二乗和平方根により算定する。

基盤スペクトルの算定

●基盤スペクトルは、以下の震源特性・伝播特性を用いて、Boore(1983)に基づき算定する。

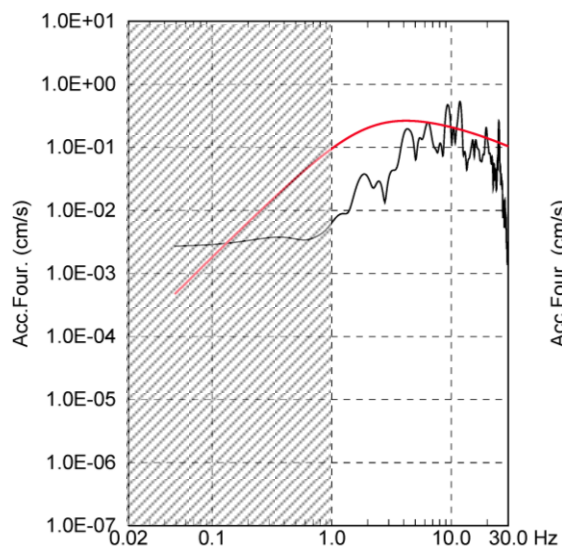
項目	設定値		備考
	No. 30地震	No. 43地震	
震源距離	119km	160km	
地震モーメント	$1.27 \times 10^{16} \text{N}\cdot\text{m}$	$3.73 \times 10^{17} \text{N}\cdot\text{m}$	F-netによる
コーナー周波数	2.2Hz	0.7Hz	観測記録から推定
高周波遮断周波数	考慮しない		
S波速度	3.8km/s		Mendoza and Fukuyama(1996)による
密度	2.9g/cm ³		Mendoza and Fukuyama(1996)による
ラディエーションパターン係数	0.63		Boore and Boatwright(1984)の平均値
エネルギー分配係数	1.0		
Q値	$110 \cdot f^{0.69}$		佐藤(1994)による

4. 2 検討結果

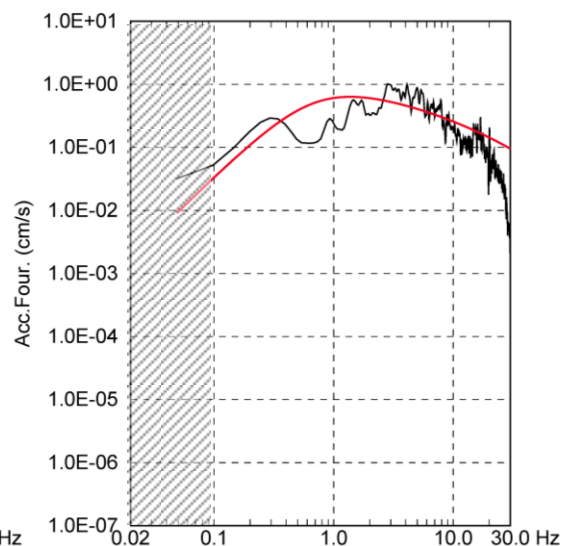
観測スペクトルと基盤スペクトルの算定結果

- 敷地で観測された2地震について、観測記録による標高±0mのはぎとり波(S波主要動)を用いて観測スペクトルを算定する。
- 同様に、敷地で観測された2地震について、設定した震源特性・伝播特性を用いてBoore(1983)に基づき基盤スペクトルを算定する。

No. 30地震



No. 43地震



— 観測スペクトル
— 基盤スペクトル

※網掛け部は、信頼周期の範囲外

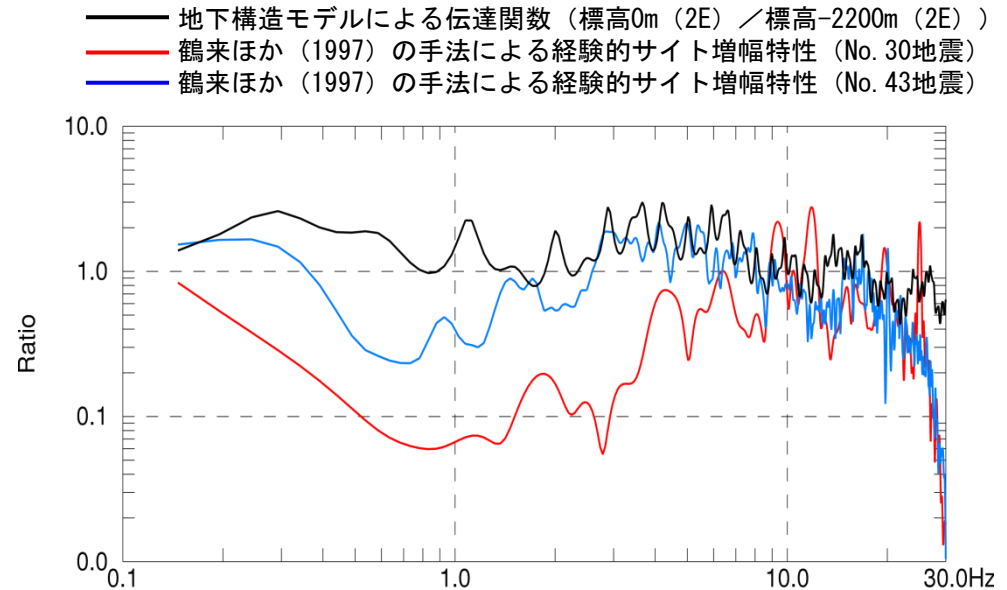
経験的サイト増幅特性と地下構造モデルによる伝達関数との比較

- 算定した観測スペクトルと基盤スペクトルの比により経験的サイト増幅特性(観測スペクトル/基盤スペクトル)を評価し、地震動評価に用いている地下構造モデルによる伝達関数と比較する。

地震動評価(統計的グリーン関数法)
に用いている地下構造モデル

標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	Q値
0	56	1175	2.1	100
-56	194	1935	2.2	100
-250	180	1350	1.9	100
-430	560	1560	1.9	100
-990	1210	2400	2.5	100
-2200	-	3500	2.8	150

経験的サイト増幅特性と
地下構造モデルによる伝達関数の比較



- 観測記録から求めた敷地における経験的サイト増幅特性は、地震動評価に用いている地下構造モデルによる伝達関数と同程度もしくは下回っている。