

泊 発 電 所

敷地地盤の振動特性について

(まとめ)

平成26年3月12日
北海道電力株式会社

1. 概要	.....	8
2. 地下構造に関する調査結果	.....	10
3. 地震観測記録を用いた検討	.....	19
4. 地質構造を考慮した解析による検討	.....	45
5. 深部凹構造による振動特性に関する検討	.....	57
6. 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討	.....	69
【参考】	.....	74

No	コメントの要旨	指摘時期	説明時期
1	<ul style="list-style-type: none"> 地下構造を把握するための手段の一つである地震観測記録の評価については、全周からの地震の観測データにより、敷地における地震動の異方性についての検討結果などの評価結果を示すこと。 	事業者ヒアリング① (平成25年7月11日)	第5回審査会合 (平成25年7月31日)
2	<ul style="list-style-type: none"> 地震観測記録結果など敷地地下構造を把握するために実施した内容の詳細を示すこと。特に地下構造を把握するための手段の一つである地震観測記録の評価については、全周からの地震の観測データにより、敷地における地震動の異方性についての検討結果などの評価結果を示すこと。 	第2回審査会合 (平成25年7月23日)	第5回審査会合 (平成25年7月31日)
3	<ul style="list-style-type: none"> 地震観測データについて、測定値が小さく分析に用いることが出来ないという理由で排除しているものがあるとのことだが、提示した上でなぜ使えないのか説明する必要がある。 	事業者ヒアリング② (平成25年7月25日)	第5回審査会合 (平成25年7月31日)
4	<ul style="list-style-type: none"> 敷地内の地下に伝わる地震波に異方性があるのかどうかや、サイト内の異なる観測点での違いの有無を判断するため、一つの観測点の地震観測記録でなく、複数の観測点での観測記録と比較し、違いがある場合はその理由の分析を含めた説明をして欲しい。 	事業者ヒアリング② (平成25年7月25日)	第5回審査会合 (平成25年7月31日)

No	コメントの要旨	指摘時期	説明時期
5	<ul style="list-style-type: none"> 建設時にサイト敷地内の多数の場所でボーリングが行われているはずなので、地震観測記録だけでなくそれら他の方法による地下構造調査の結果も提示した上で、1, 2号機と3号機の違いを含め地下構造をどの程度把握しているのか、また、それをどのようにそれぞれの号機の基準地震動を策定する際の地下構造モデルに反映させたのか示すこと。 	事業者ヒアリング② (平成25年7月25日)	第5回審査会合 (平成25年7月31日) 及び 第27回審査会合 (平成25年10月2日)
6	<ul style="list-style-type: none"> 敷地地盤の地層が西側に傾斜しているが、地震観測データからもそのような傾向が現れているのかどうか説明してもらいたい。 	事業者ヒアリング② (平成25年7月25日)	第5回審査会合 (平成25年7月31日)
7	<ul style="list-style-type: none"> 主に1, 2号炉観測点の地震観測記録を用いて検討しているが、3号炉観測点の地震観測記録も用いて傾斜構造の影響を含めた敷地地盤の振動特性を検討すること。 	第5回審査会合 (平成25年7月31日)	第27回審査会合 (平成25年10月2日)
8	<ul style="list-style-type: none"> 3号炉側の地盤には、安山岩が分布し、その下にD級岩盤があるので、これが地震動に与える影響について説明すること。 	第5回審査会合 (平成25年7月31日)	第27回審査会合 (平成25年10月2日)
9	<ul style="list-style-type: none"> 1, 2号炉観測点と3号炉観測点の地震観測記録の比較は、標高+2.3mの地中の観測記録を用いているが、それぞれの観測点で地表面からの深さが異なるため、はぎとり波を用いたほうがよい。 	第5回審査会合 (平成25年7月31日)	第27回審査会合 (平成25年10月2日)
10	<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。 	第5回審査会合 (平成25年7月31日)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)

No	コメントの要旨	指摘時期	説明時期
11	・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)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
12	・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)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
13	・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)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
14	・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)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
15	・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)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
16	・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)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
17	・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)	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
18	・3号炉地盤の最大傾斜方向の断面による解析を実施すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)

No	コメントの要旨	指摘時期	説明時期
19	・ 3号炉地盤の解析において、入射角を±25度より大きくした場合についても検討すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)
20	・ 地震観測記録による分析結果と解析による検討結果の傾向について、比較すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)
21	・ 3号炉の地震動評価に用いる地下構造モデルについては、データ検証のみで1, 2号炉のモデルを流用するのではなく、3号炉の地下構造に基づき地震動評価モデルを構築した上で検討すること。	事業者ヒアリング ^⑭ (平成25年11月18日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)
22	・ 地質構造を考慮した解析による検討のうちRicker波による検討について、スナップショットの詳細および波形を示すこと。また、周辺断面についてもRicker波による検討結果を示すこと。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)
23	・ 弾性波探査結果にみられるP波速度1.7km/sの層を考慮して解析的に振動特性を検討すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)
24	・ 経験的サイト増幅特性の検討における設定パラメータを適切に見直す等により、地震観測記録を用いた深部地盤からの増幅特性を検討すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)
25	・ 地震動評価に用いる地下構造モデルについて、3号炉は1, 2号炉とは異なることを踏まえた上でどのように設定しているかを丁寧に説明すること。	事業者ヒアリング ^⑱ (平成25年12月20日)	第63回審査会合 (平成25年12月25日)
26	・ 敷地地盤の振動特性に関するこれまでの検討結果を整理すること。	第63回審査会合 (平成25年12月25日)	第92回審査会合 (平成26年3月12日)

No	コメントの要旨	指摘時期	説明時期
27	・最大傾斜断面を考慮して地震観測記録の特性を確認すること。	第63回審査会合 (平成25年12月25日)	第92回審査会合 (平成26年3月12日)
28	・地質構造を考慮した解析による検討のうちRicker波による検討について、炉心位置に加えて複数地点の波形を示すこと。	第63回審査会合 (平成25年12月25日)	第92回審査会合 (平成26年3月12日)
29	・参考ケースとして、3号炉地盤の特性を考慮し、2次元地盤モデルを用いた地震動評価について検討すること。	第63回審査会合 (平成25年12月25日)	第92回審査会合 (平成26年3月12日)

1. 概要(敷地地盤の振動特性に関する検討項目)

【地下構造に関する調査結果】

- 地震基盤とみなせるP波速度6.0km/sの層は、敷地周辺では標高-2200m程度で大局的には平坦
- 敷地は、凝灰岩礫岩及び凝灰岩等を主体(3号炉側に一部安山岩が分布)とした地質構造であり、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
- 敷地地盤は硬質で、速度構造に極端なコントラストのある部分が存在していない

【地震観測記録を用いた検討】

【Noda et al. (2002) による応答スペクトルとの比較検討】

- ・観測された地震の特異な増幅特性の有無を確認
- ・深部地盤を含めた敷地における増幅特性の有無を確認

【地震の到来方向による影響検討】

- ・地震の到来方向による特異な増幅特性の有無を確認することで、敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅特性の有無を確認

【安山岩等による影響検討】

- ・3号炉側に分布する安山岩等を含む観測点間のフーリエスペクトル比を評価し、安山岩等による特異な増幅特性の有無を確認

【1号炉観測点と3号炉観測点との比較】

- ・号機間の増幅特性の差異を確認

【解析による検討】

【地質構造を考慮した解析による検討】

【傾斜構造、入射角、入射方位角による影響検討】

- ・傾斜構造、入射角、入射方位角が伝達関数へ与える影響を確認

【観測記録と解析による検討の比較】

- ・2次元地盤モデルにより解析的に評価した伝達関数の妥当性確認

【深部凹構造による振動特性に関する検討】

【フォーカシングに関する検討】

- ・泊発電所敷地を含む領域のレンズ状の凹構造による特異な増幅特性の有無を確認

【地震動評価に用いる地下構造モデルの検討】

【地震動評価に用いる地下構造モデルの検討】

- ・3号炉地盤の地質構造による特性を踏まえた地震動評価モデルを設定
- ・地震動評価に用いる地下構造モデルの妥当性確認

1. 概要(敷地地盤の振動特性に関する検討結果)

敷地地盤の振動特性

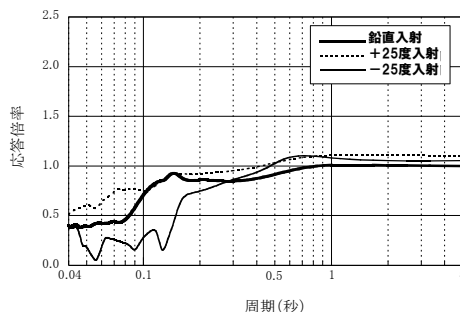
0

■3号炉地盤に傾斜して存在する安山岩とその直下の相対的に速度の低い層による振動特性への影響を把握

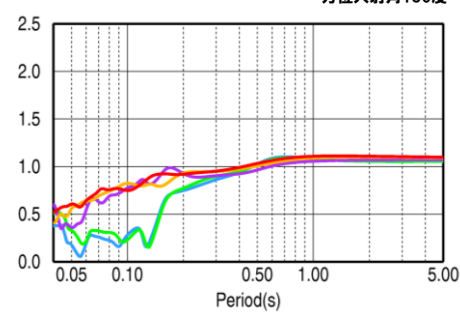
- 浅部地盤の振動特性
 - ・敷地地盤の傾斜構造
 - ・地震の到来方向
 - ・3号炉側の安山岩およびD級岩盤
 - ・敷地全体にみられる傾斜構造

地震動評価に大きな影響を与えるものではない

■3号炉地盤の特徴, 入射方向等による振動特性の影響はみられるものの, 特異な増幅はみられない



入射角を考慮した伝達関数 (最大傾斜断面)



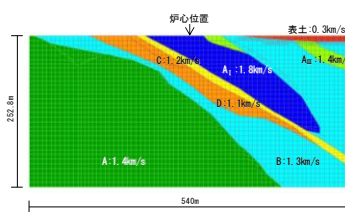
方位入射角を考慮した伝達関数 (最大傾斜断面)

地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

1 3号炉地盤の地質構造に基づく地盤モデル

- ・3号炉地盤の局所的に存在する安山岩とその直下の相対的に速度の低い層
- ・傾斜構造

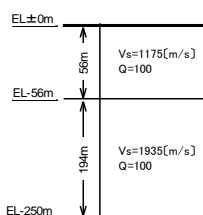
2次元FEMによる地盤モデル化(海山断面≒最大傾斜断面)



安山岩により短周期側の応答が低減される

地震動評価モデルへの展開

2



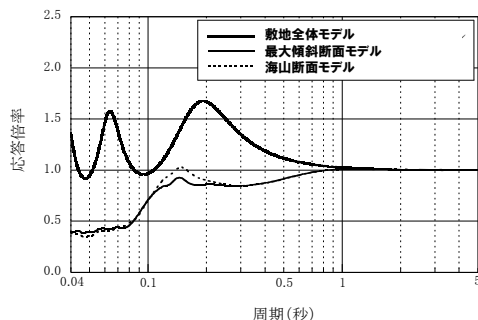
「安山岩による応答の低減効果」を考慮しない(安全側の配慮)

敷地全体に分布する火砕岩類に基づいた1次元モデルを安全側のモデルとして採用

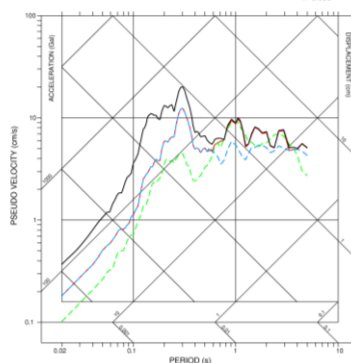
3号炉地盤への適用性確認 (安山岩の応答低減効果を考慮しないことによる安全性の確認)

3

3号炉地盤モデルと敷地全体モデルの伝達関数を比較



敷地前面海域の複数のアスペリティを対象に統計的グリーン関数法による地震波への影響を確認



- SGFIによる結果(敷地全体モデル)(Asp2+Asp3)
- 3号炉地盤モデル(最大傾斜断面)(Asp2+Asp3)
- - 3号炉地盤モデル(最大傾斜断面)(Asp2)
- - 3号炉地盤モデル(最大傾斜断面)(Asp3)

3号炉地盤の局所的に存在する安山岩等の影響に対して, 敷地全体モデルが地震動を安全側に評価することを確認

3号炉の地震動評価において, 安山岩の応答低減効果を見込まない敷地全体モデルで地震動評価することが可能

1 ~ 3 より, 現行の敷地全体モデルを地震動評価に用いる地下構造モデルとして採用

2. 地下構造に関する調査結果

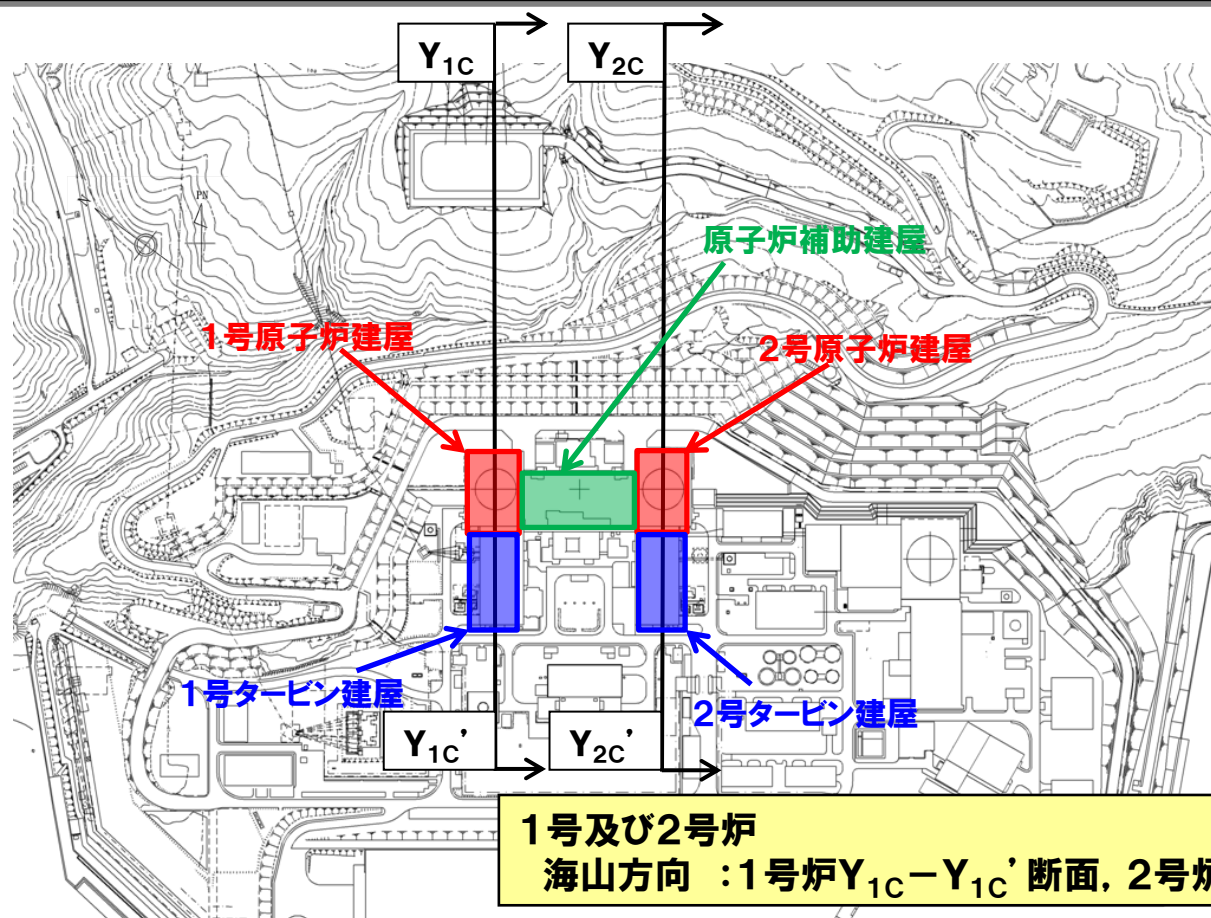
2.1 敷地内調査結果

一部加筆修正 (7/31審査会合資料)

敷地内で実施した地下構造に関する調査結果

- 地下構造に関する調査結果より、敷地は、凝灰角礫岩及び凝灰岩等を主体(3号炉側に一部安山岩が分布)とした地質構造であり、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。

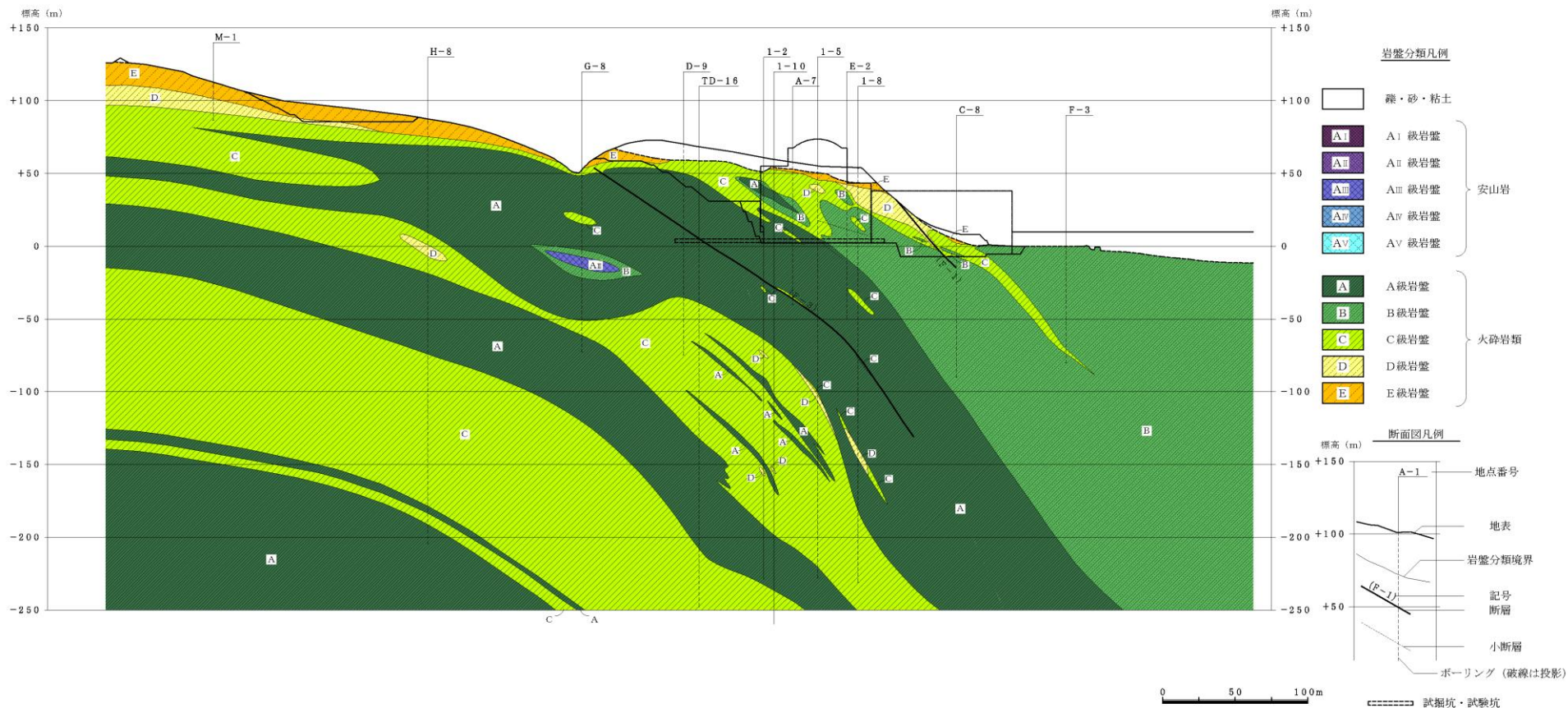
1, 2号炉 鉛直岩盤分類図 位置図



2.1 敷地内調査結果

再掲 (7/31審査会合資料)

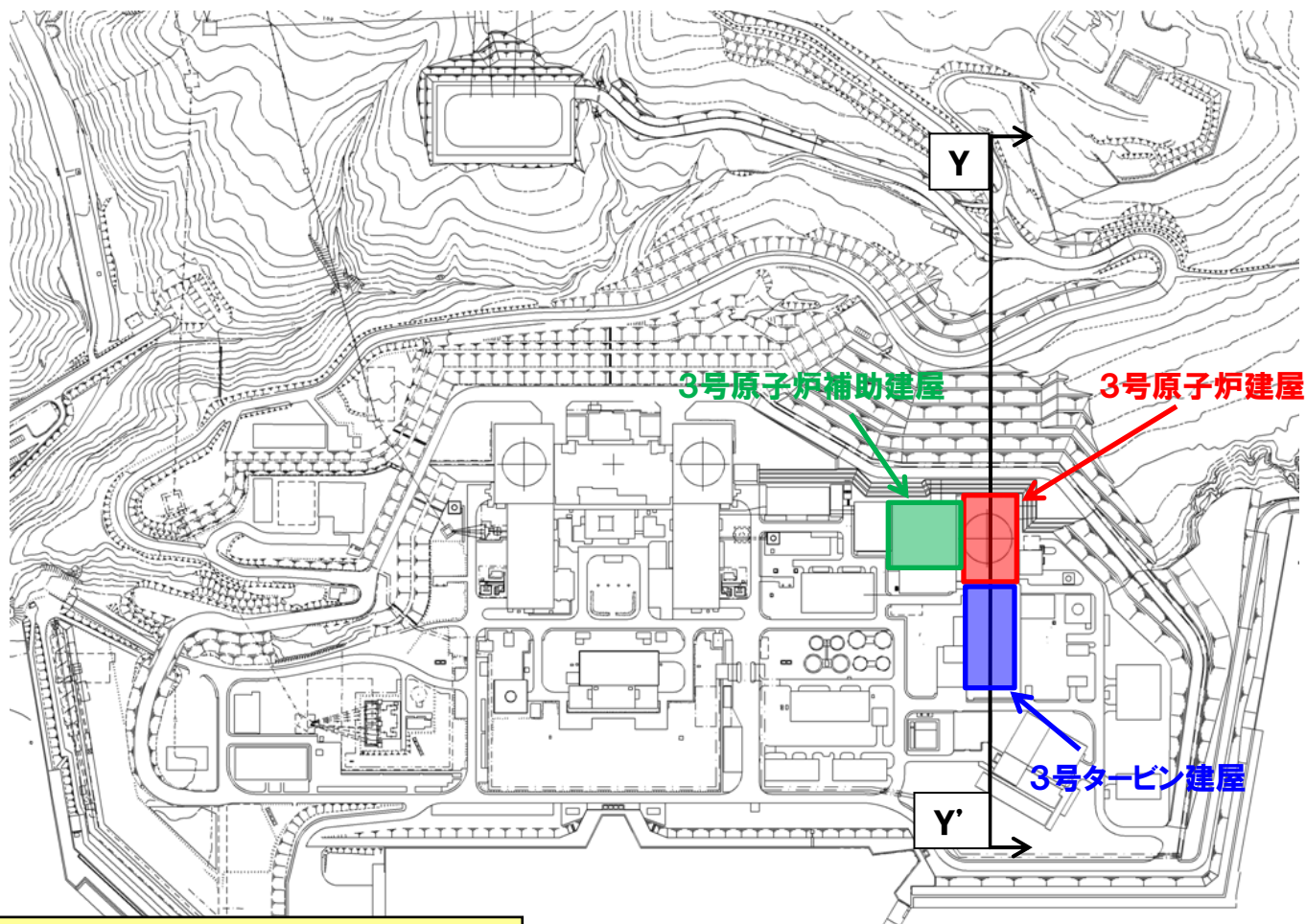
敷地鉛直岩盤分類図(1号炉Y_{1C}-Y_{1C'}断面)



2.1 敷地内調査結果

再掲(10/2審査会合資料)

3号炉 鉛直岩盤分類図 位置図

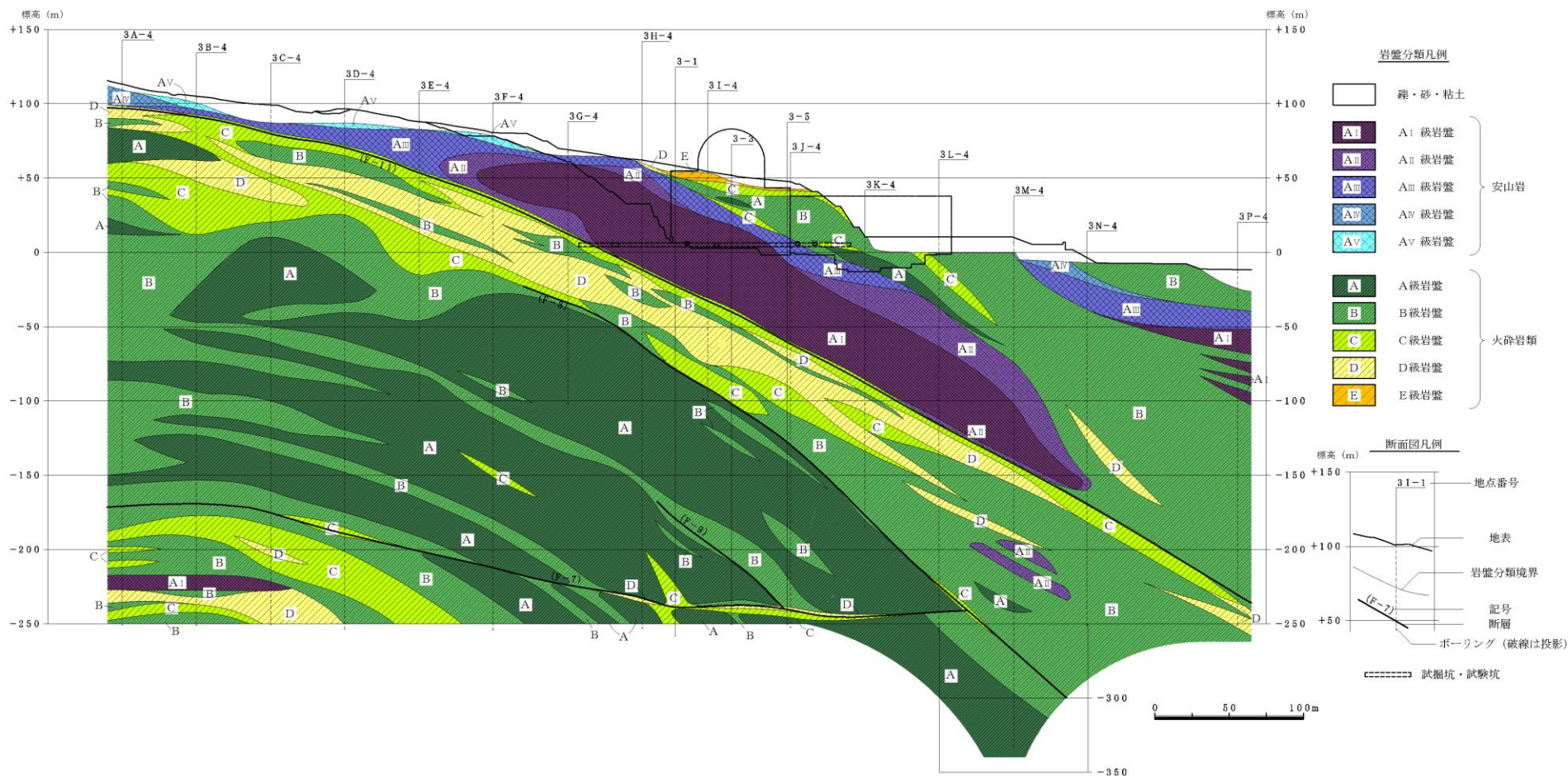


3号炉
海山方向 : Y-Y' 断面

2.1 敷地内調査結果

再掲(10/2審査会合資料)

敷地鉛直岩盤分類図(3号炉Y-Y'断面)



●3号炉側の地盤上部に分布する安山岩(岩級A I ~A III)のS波速度は、A I 級1.8km/s, A II 級1.7km/s, A III 級1.4km/sである。また、火砕岩類(岩級A~D)のS波速度は、A 級1.4km/s, B 級1.3km/s, C 級1.2km/s, D 級1.1km/sである。

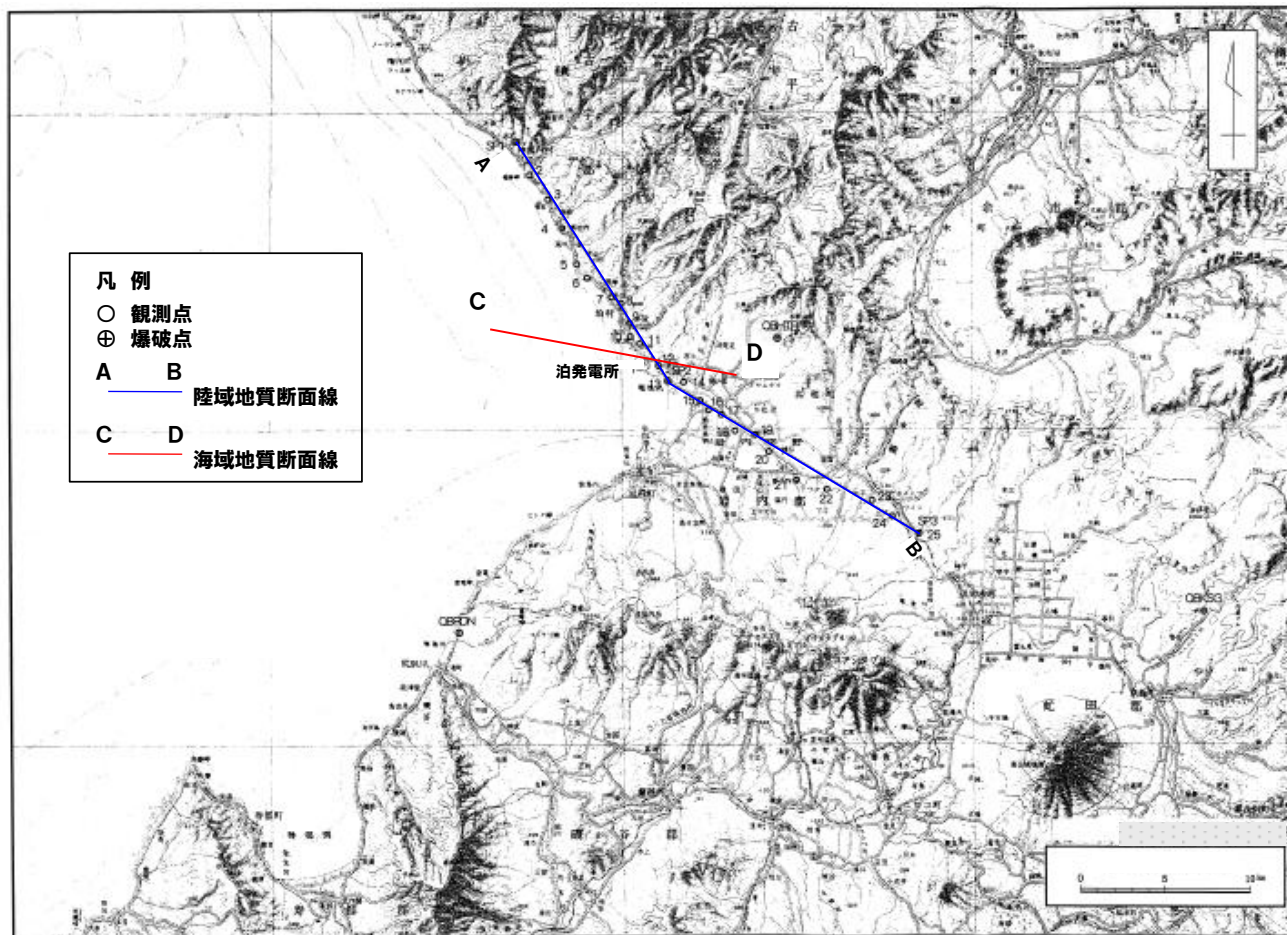
2. 地下構造に関する調査結果

2.2 敷地周辺で実施した弾性波探査結果

再掲 (7/31審査会合資料)

敷地周辺で実施した弾性波探査

- 泊発電所の敷地周辺においては、神恵内村神恵内から共和町小沢に至る陸域の測線に加え、敷地西方の海域で弾性波探査を行っている。



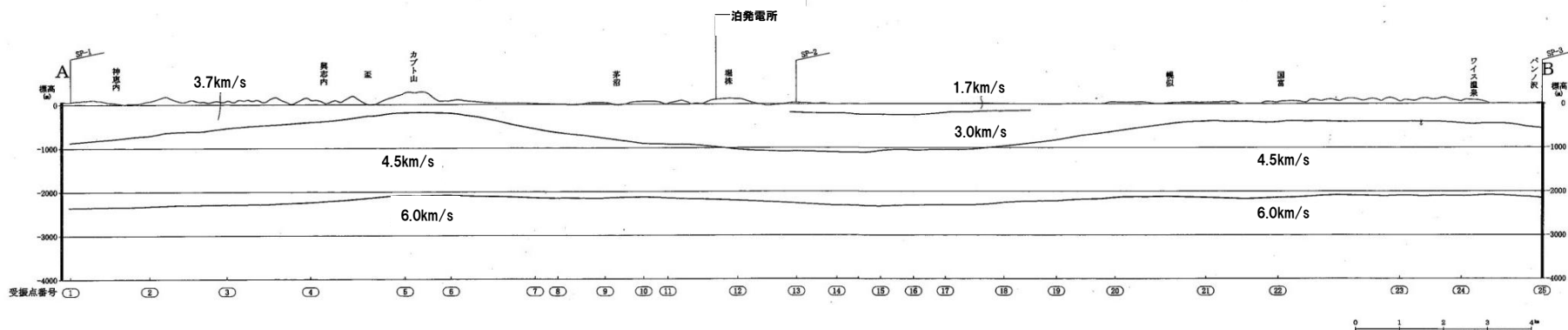
調査位置図

2.2 敷地周辺で実施した弾性波探査結果

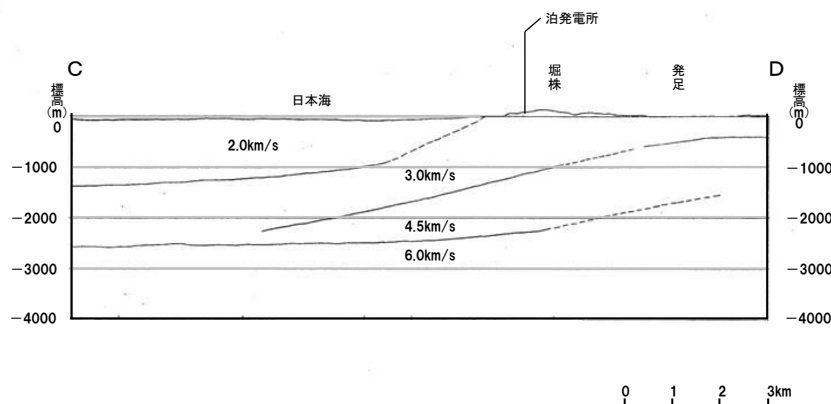
再掲 (7/31審査会合資料)

敷地周辺で実施した弾性波探査結果(P波速度)

陸域(A-B)



海域(C-D)



●標高-2200mで地震基盤とみなせるP波速度6.0km/sの層がみられる。

2.3 地下構造に関する調査結果のまとめ

一部加筆修正 (7/31審査会合資料)

- 地震基盤とみなせるP波速度6.0km/sの層は、敷地周辺では標高-2200m程度で大局的には平坦である。
- 敷地の地盤は、全体的にS波速度約1.0km/s以上の硬質な地盤である。
- 敷地は、凝灰角礫岩及び凝灰岩等を主体(3号炉側に一部安山岩が分布)とした地質構造であり、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。
- 敷地地盤は硬質で、速度構造に極端なコントラストのある部分が存在していない。

3. 地震観測記録を用いた検討

3. 地震観測記録を用いた検討

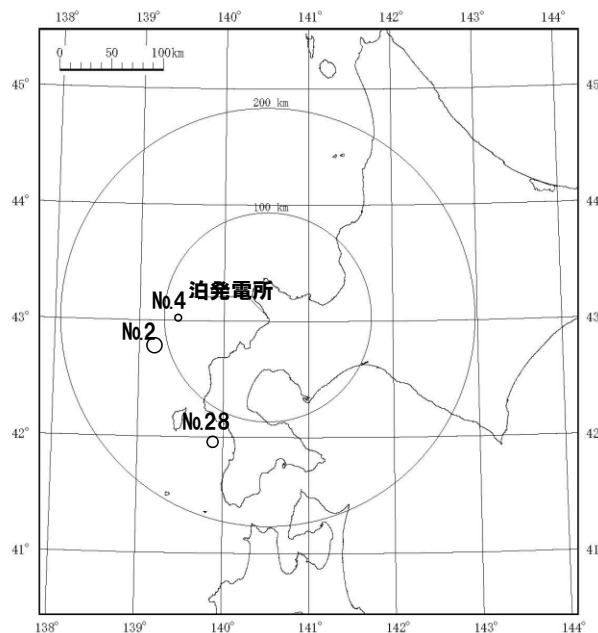
3.1 主要な観測地震を用いた振動特性の検討

再掲 (7/31審査会合資料)

●泊発電所で観測された主要な地震である1993年北海道南西沖地震及びその余震についての諸元, 観測記録を以降に示す。

観測地震の諸元

No.	年月日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地名 (地震名)
		東経(°)	北緯(°)				
2	1993. 7.12	139.180°	42.782°	35	7.8	113	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震)
4	1993. 7.12	139.457°	43.022°	35	5.4	86	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震・余震)
28	1993. 8. 8	139.882°	41.958°	24	6.3	131	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震・最大余震)



※ 1, 2号炉観測点で観測

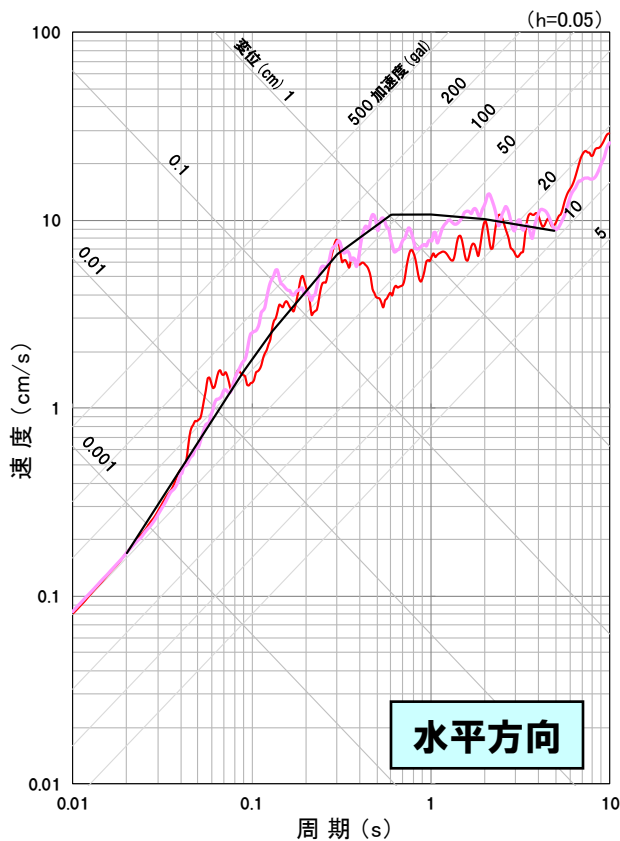
※ 地震の諸元は気象庁地震カタログ

3. 地震観測記録を用いた検討

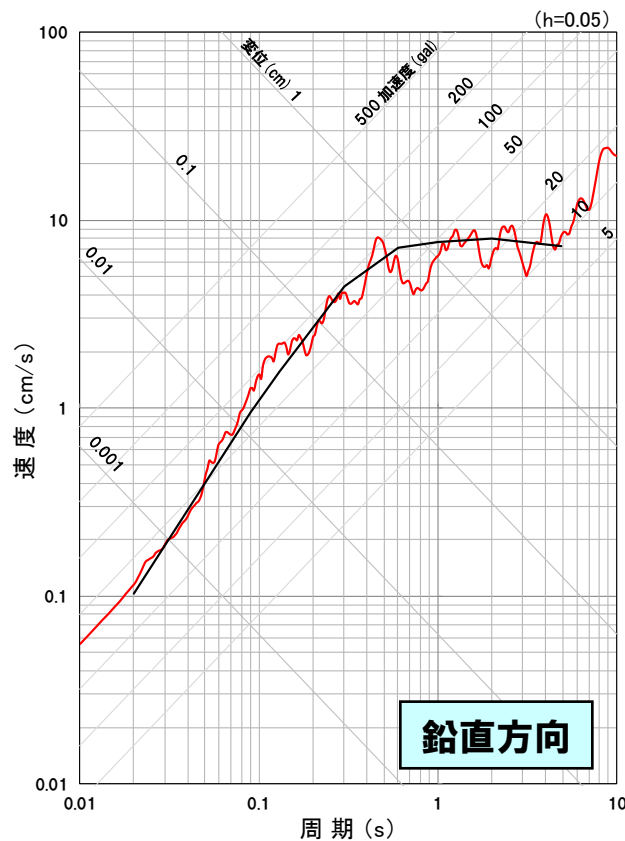
3.1 主要な観測地震を用いた振動特性の検討

再掲 (7/31審査会合資料)

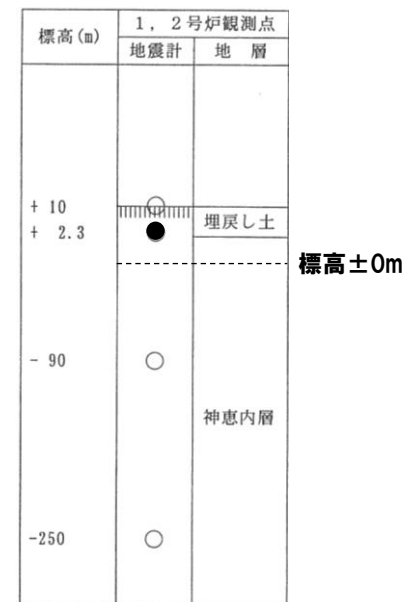
●1993年北海道南西沖地震及びその余震, 最大余震について, 標高±0mから上部の影響を取り除いた応答スペクトルとNoda et al.(2002)による応答スペクトルとの比較を実施した。

Noda et al.(2002)との応答スペクトルの比較 1993年北海道南西沖地震(M7.8, $\Delta = 113\text{km}$)

水平方向



鉛直方向



※1 標高±0mより上部の地盤の影響を取り除いた応答スペクトル

※2 Noda et al.(2002)による応答スペクトルは, $V_s=1.4\text{km/s}$, $V_p=2.7\text{km/s}$ として算定

1993年北海道南西沖地震(M7.8, $\Delta = 113\text{km}$)

- 標高±0m(NS方向)※1
- 標高±0m(EW方向)※1
- Noda et al.(2002)※2

1993年北海道南西沖地震(M7.8, $\Delta = 113\text{km}$)

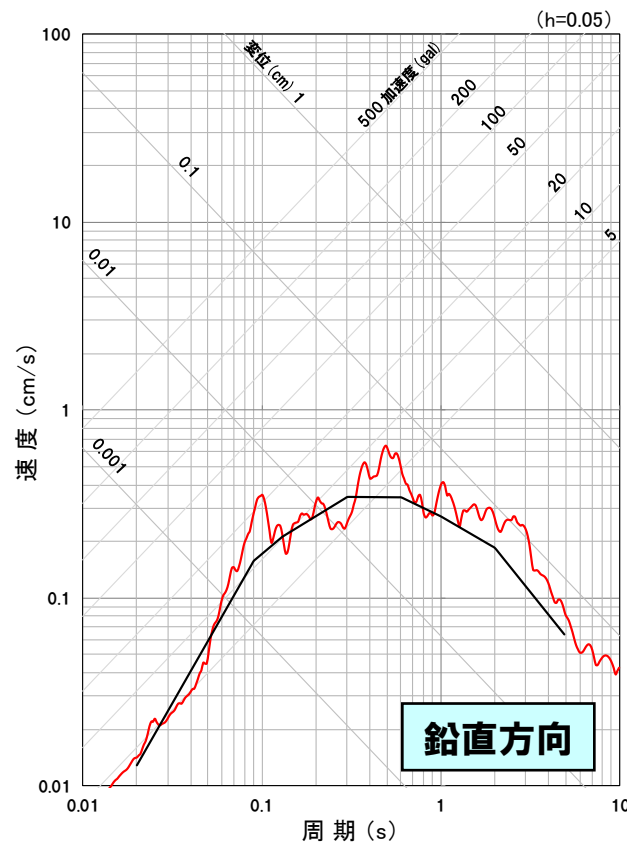
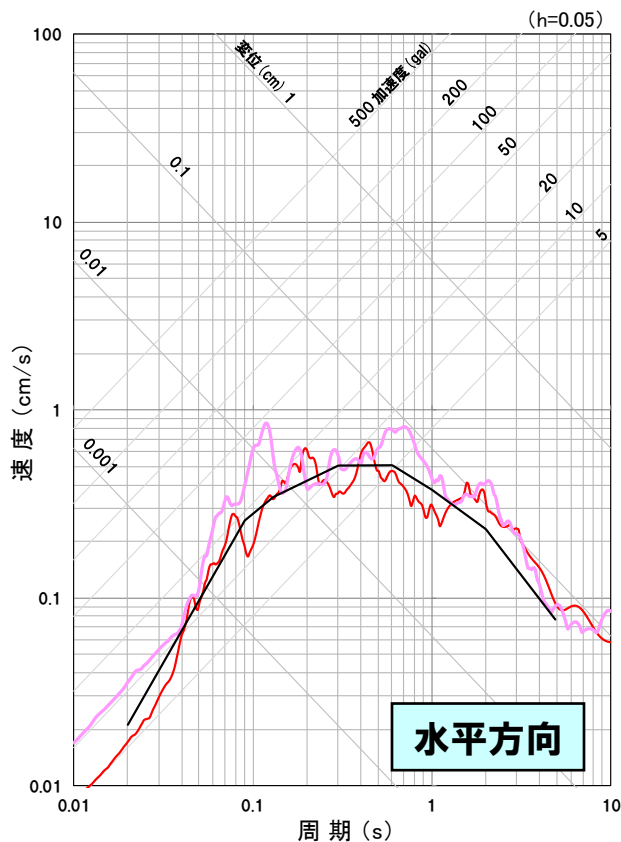
- 標高±0m(UD方向)※1
- Noda et al.(2002)※2

●Noda et al.(2002)による
応答スペクトルと概ね同様の
傾向にある。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.1 主要な観測地震を用いた振動特性の検討

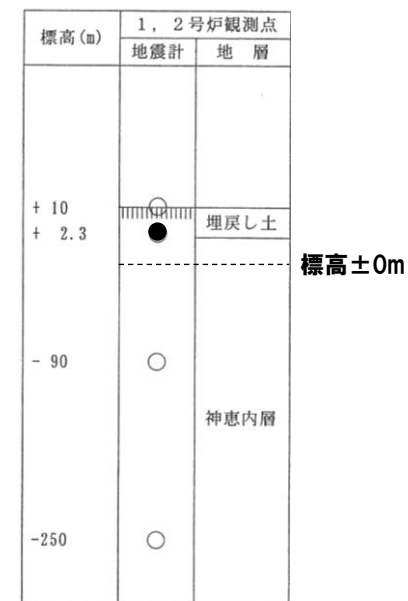
再掲 (7/31審査会合資料)

Noda et al.(2002)との応答スペクトルの比較 1993年北海道南西沖地震・余震(M5.4, $\Delta=86\text{km}$)1993年北海道南西沖地震・余震(M5.4, $\Delta=86\text{km}$)

- 標高±0m(NS方向)※1
- 標高±0m(EW方向)※1
- Noda et al.(2002)※2

1993年北海道南西沖地震・余震(M5.4, $\Delta=86\text{km}$)

- 標高±0m(UD方向)※1
- Noda et al.(2002)※2



※1 標高±0mより上部の地盤の影響を取り除いた応答スペクトル

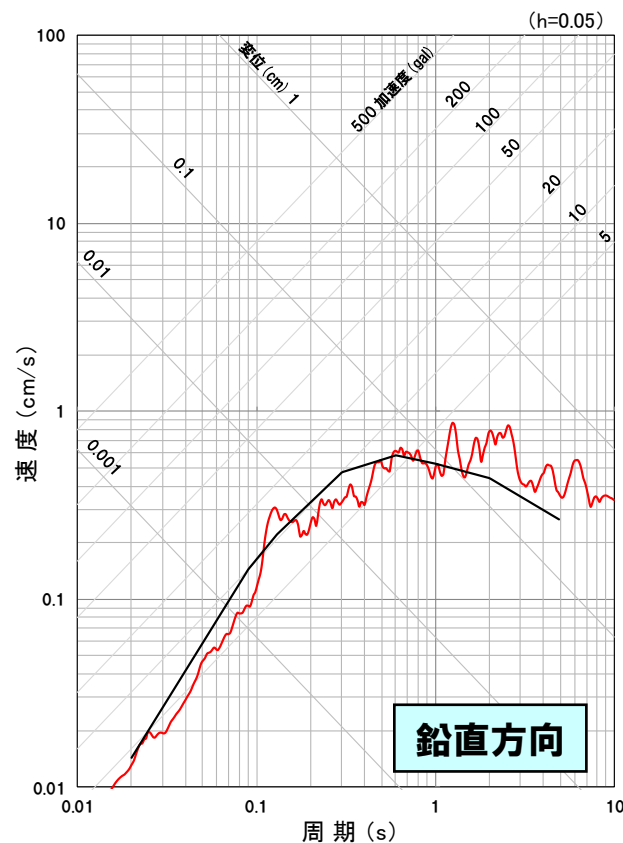
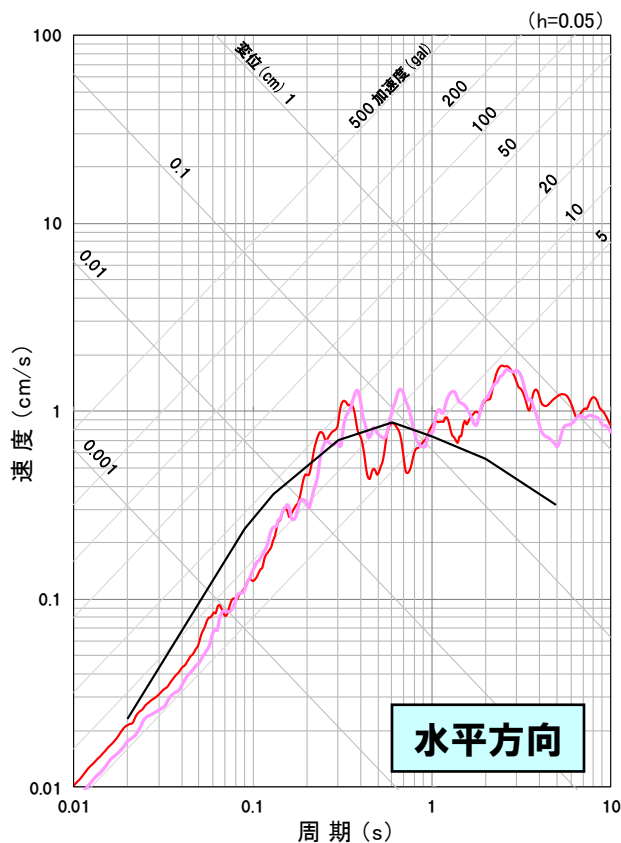
※2 Noda et al.(2002)による応答スペクトルは、 $V_s=1.4\text{km/s}$, $V_p=2.7\text{km/s}$ として算定

●Noda et al.(2002)による
応答スペクトルと概ね同様の
傾向にある。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.1 主要な観測地震を用いた振動特性の検討

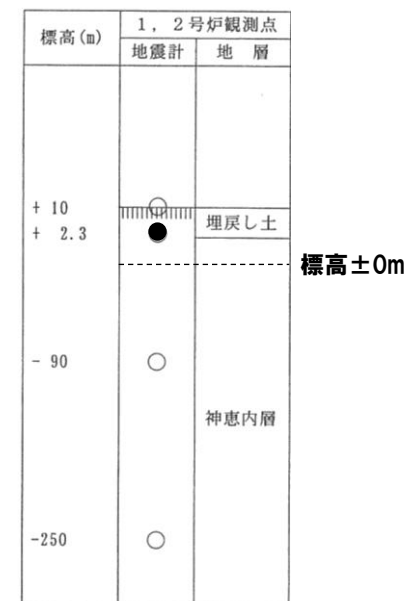
再掲(7/31審査会合資料)

Noda et al.(2002)との応答スペクトルの比較 1993年北海道南西沖地震・最大余震(M6.3, $\Delta = 131\text{km}$)1993年北海道南西沖地震・最大余震
(M6.3, $\Delta = 131\text{km}$)

- 標高±0m(NS方向)※1
- 標高±0m(EW方向)※1
- Noda et al.(2002)※2

1993年北海道南西沖地震・最大余震
(M6.3, $\Delta = 131\text{km}$)

- 標高±0m(UD方向)※1
- Noda et al.(2002)※2



※1 標高±0mより上部の地盤の影響を取り除いた応答スペクトル

※2 Noda et al.(2002)による応答スペクトルは、 $V_s=1.4\text{km/s}$, $V_p=2.7\text{km/s}$ として算定

●Noda et al.(2002)による
応答スペクトルと概ね同様の
傾向にある。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

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, 2号炉観測点, 3号炉観測点における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について確認する。
- また, 敷地周辺の外機関の観測点における地震観測記録も用いて, 泊発電所における地震の到来方向による特異な増幅傾向の有無について確認する。

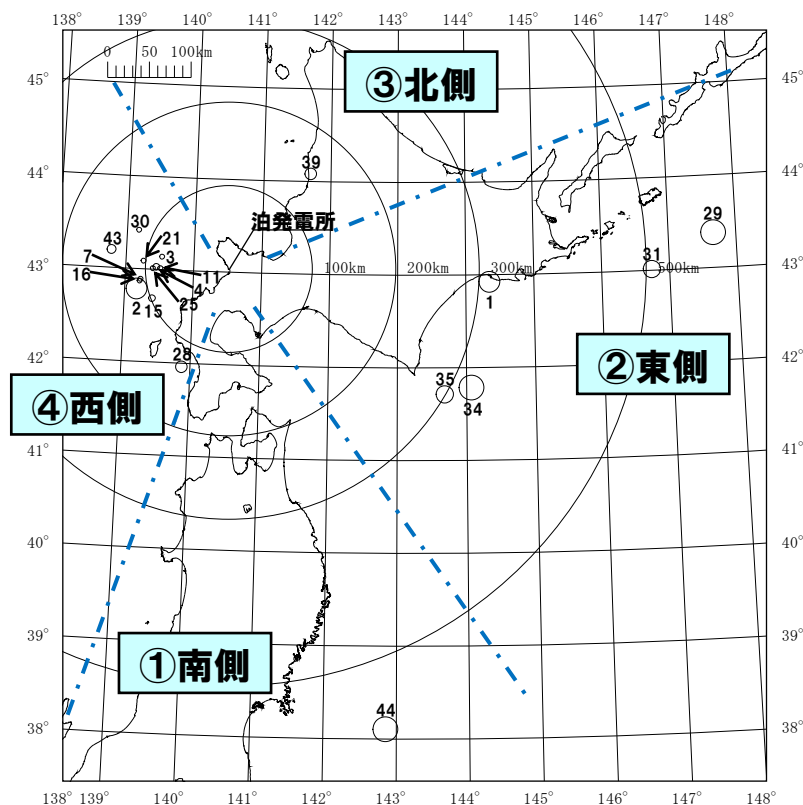
検討対象地震の諸元

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)			最大加速度(Gal) 3号炉観測点 (標高+2.3m)		
					NS	EW	UD	NS	EW	UD
1	1993年釧路沖地震	101	7.5	313	11	5	7	-	-	-
2	1993年北海道南西沖地震	35	7.8	113	49	54	35	-	-	-
3	積丹半島北西沖	37	4.7	81	1	2	1	-	-	-
4	積丹半島北西沖	35	5.4	86	5	11	4	-	-	-
7	北海道南西沖	20	4.8	106	2	2	1	-	-	-
11	積丹半島北西沖	28	4.1	81	1	2	0.4	-	-	-
15	北海道南西沖	3	5.2	98	3	5	2	-	-	-
16	北海道南西沖	29	4.7	107	1	2	1	-	-	-
21	積丹半島北西沖	32	4.3	102	2	4	2	-	-	-
25	積丹半島北西沖	38	3.8	90	2	4	1	-	-	-
28	1993年北海道南西沖地震最大余震	24	6.3	131	7	5	4	-	-	-
29	1994年北海道東方沖地震	28	8.2	583	4	5	4	-	-	-
30	1999年積丹半島北西沖	28	4.5	116	2	1	2	0.5	0.2	1
31	根室半島沖	59	7.0	506	2	1	1	1	1	1
34	2003年十勝沖地震	45	8.0	325	7	8	6	9	8	7
35	十勝沖	21	7.1	299	3	3	2	3	3	3
39	留萌支庁南部	9	6.1	150	1	2	1	1	1	1
43	北海道南西沖	25	5.8	158	2	3	1	1	1	1
44	東北地方太平洋沖地震	24	9.0	583	3	2	2	2	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

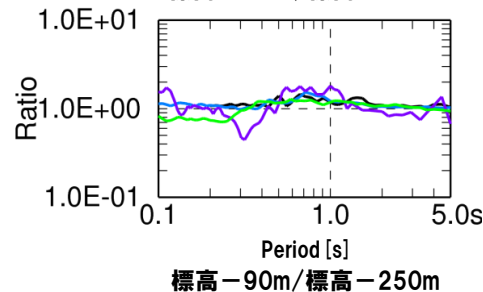
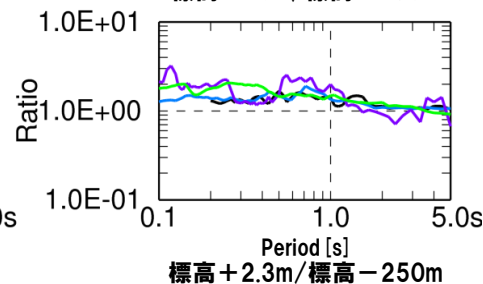
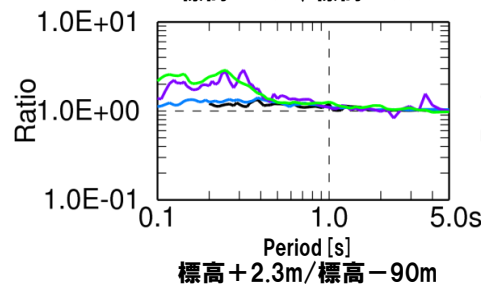
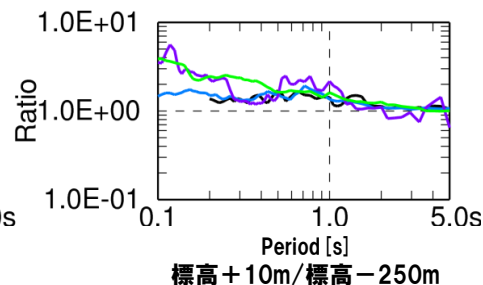
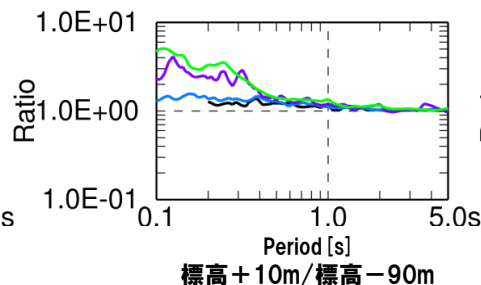
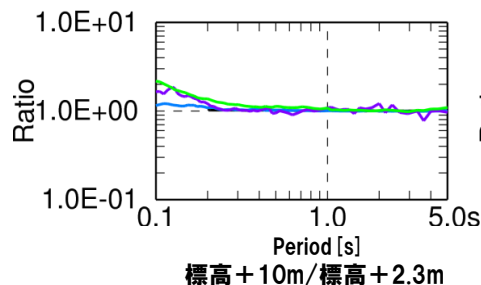


3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

〔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 NS方向)



①南
②東
③北
④西

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)		
					NS	EW	UD
44	南	東北地方太平洋沖地震	9.0	583	3	2	2
1	東	1993年釧路沖地震	7.5	313	11	5	7
34		2003年十勝沖地震	8.0	325	7	8	6
29		1994年北海道東方沖地震	8.2	583	4	5	4
35		十勝沖	7.1	299	3	3	2
31		根室半島沖	7.0	506	2	1	1
39	北	留萌支庁南部	6.1	150	1	2	1
2	西	1993年北海道南西沖地震	7.8	113	49	54	35
28		1993年北海道南西沖地震最大余震	6.3	131	7	5	4
4		積丹半島北西沖	5.4	86	5	11	4
15		北海道南西沖	5.2	98	3	5	2
30		1999年積丹半島北西沖	4.5	116	2	1	2
25		積丹半島北西沖	3.8	90	2	4	1
43		北海道南西沖	5.8	158	2	3	1
7		北海道南西沖	4.8	106	2	2	1
21		積丹半島北西沖	4.3	102	2	4	2
16		北海道南西沖	4.7	107	1	2	1
3		積丹半島北西沖	4.7	81	1	2	1
11	積丹半島北西沖	4.1	81	1	2	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。

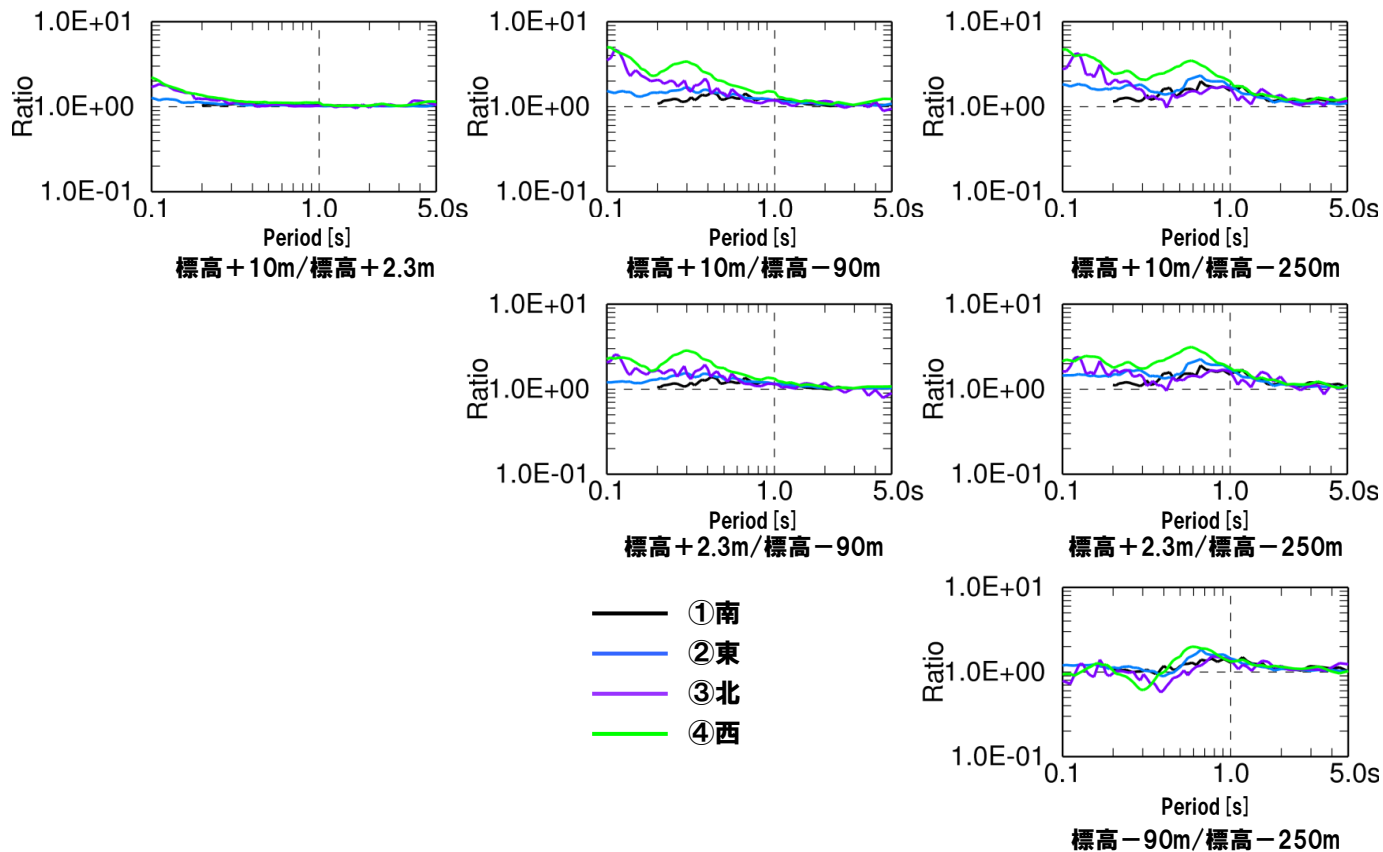
●「①南及び②東」は、短周期側で地震動がほぼ増幅しない傾向がみられる。

●一方で、「③北及び④西」の短周期側は、標高-90m/標高-250mを除き、地震動が増幅する傾向にある。

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

〔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 EW方向)



●全体の傾向は、NS方向と概ね同様の傾向を示している。

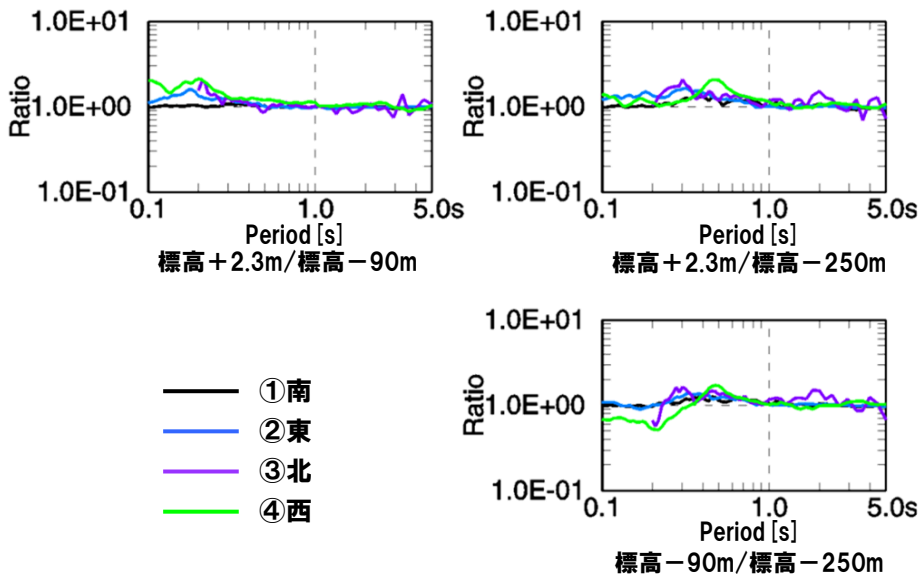
●NS方向と同様に短周期側で地震の到来方向による応答スペクトル比の傾向に差異がみられる。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

〔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)



●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。

●なお、「①南」及び「②東」の地震は、震源が泊発電所から遠い地震(震央距離約300km以上)であるため、「③北」及び「④西」とは異なる特性を示していることが考えられる。

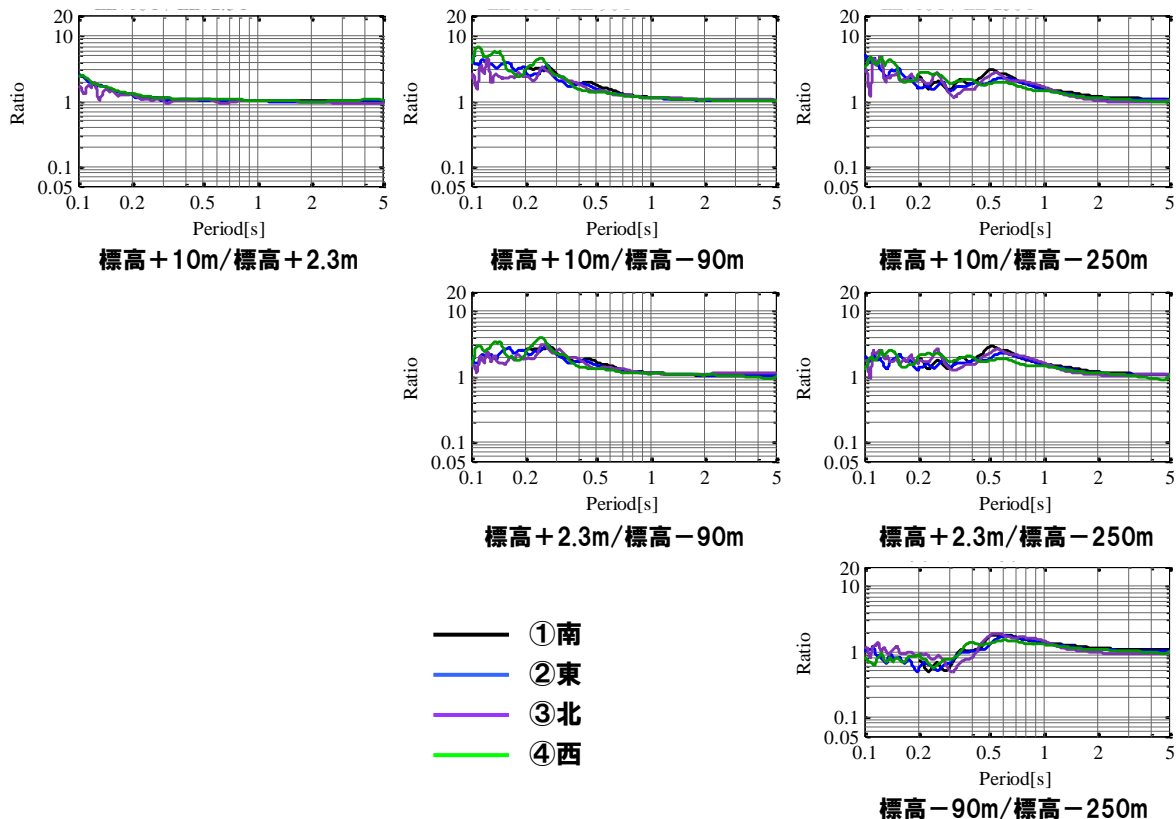
3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

再掲(10/2審査会合資料)

●「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 NS方向)



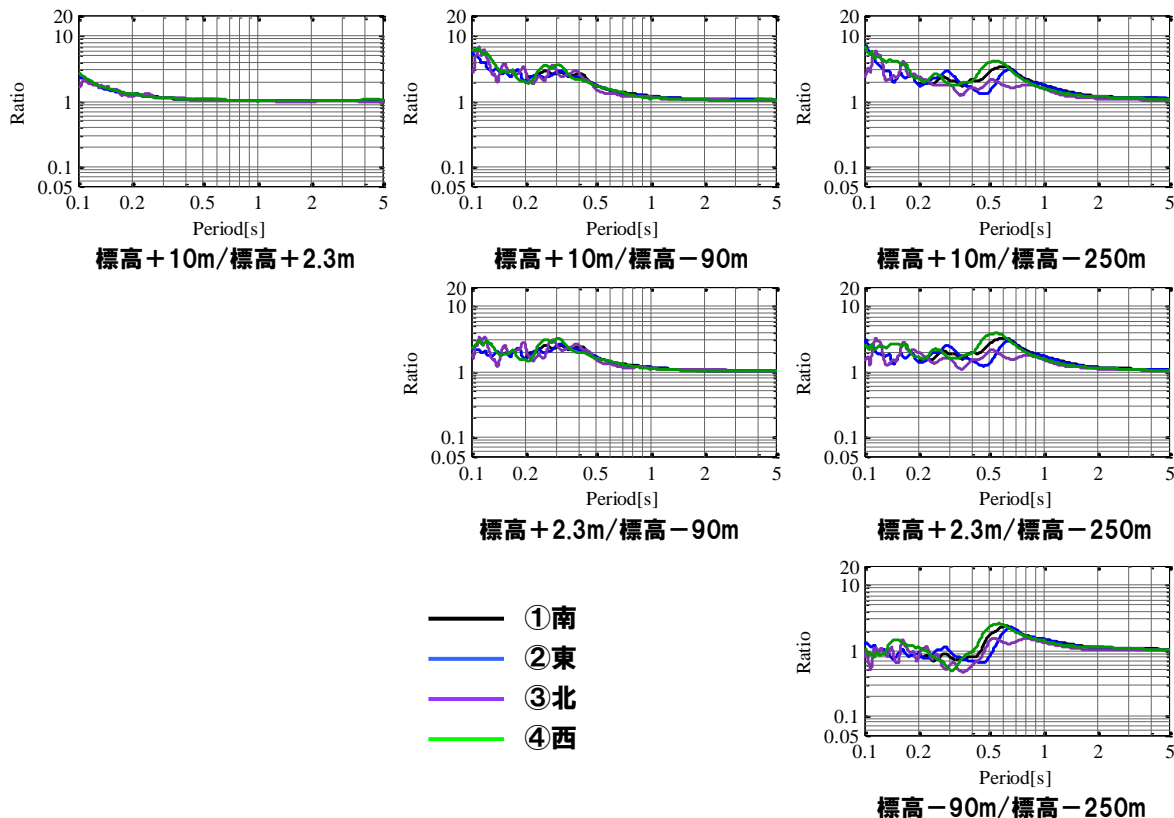
●いずれの検討結果においても地震の到来方向によるフーリエスペクトル比の傾向に差異はみられないことから、地震の到来方向により特異な増幅傾向はみられない。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

〔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)

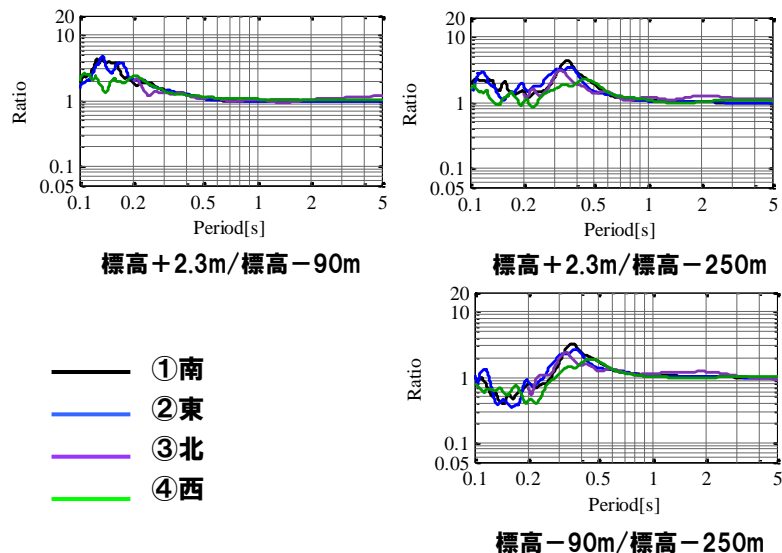


- NS方向と同様に地震の到来方向によるフーリエスペクトル比の傾向に差異はみられないことから、地震の到来方向により特異な増幅特性はみられない。
- 到来方向を含めた全体の傾向は、NS方向及びEW方向で概ね同様の傾向を示していることから、敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向はみられない。

3.2 地震の到来方向による影響の検討

再掲(11/20審査会合資料)

〔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。

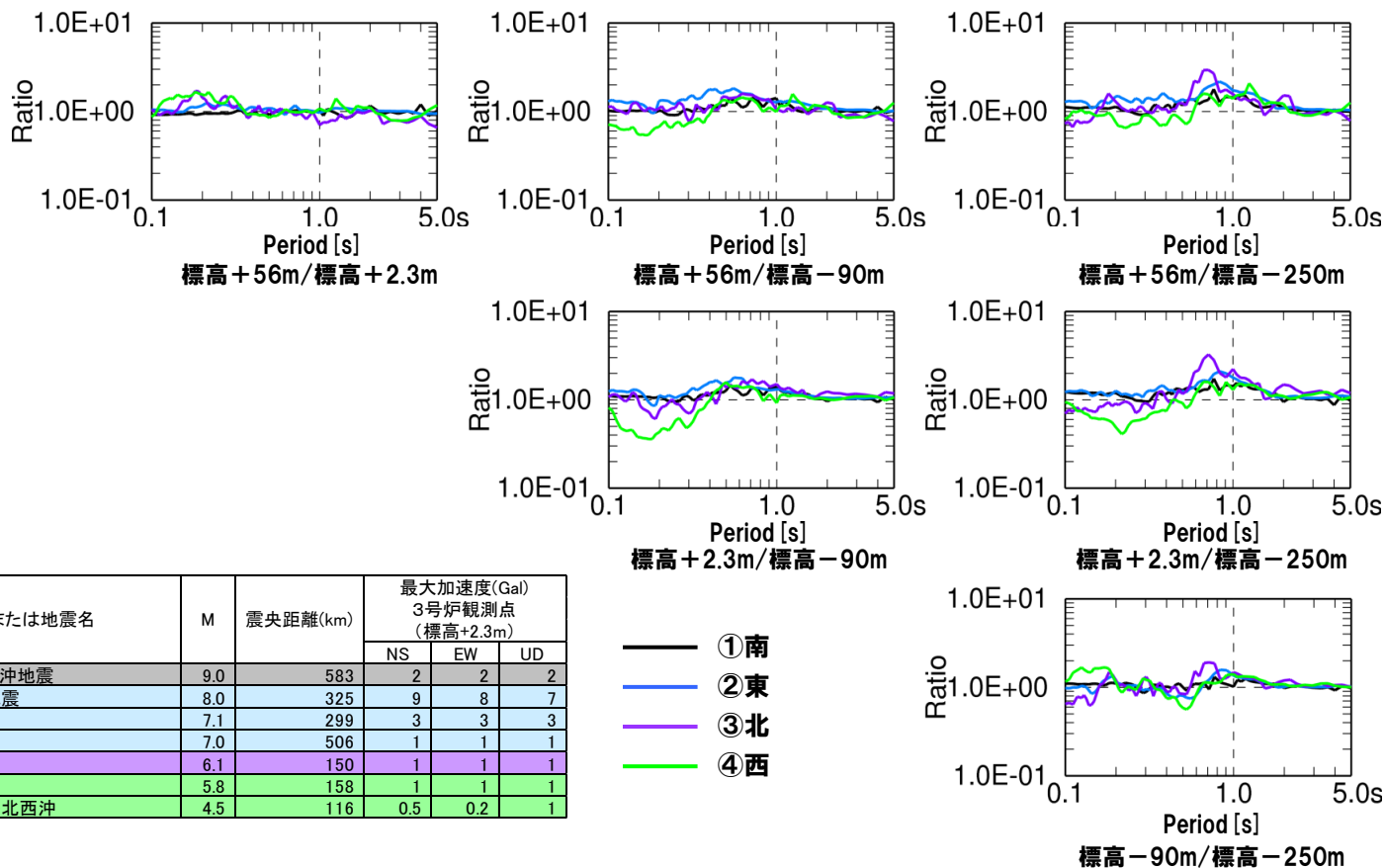
●これらのことから、1, 2号炉観測点においては、地震の到来方向による特異な増幅傾向及び敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅傾向はみられないものと考えられる。これは、敷地地盤は海山方向へ傾斜する構造となっているものの、速度構造のコントラストが大きいことによるものと考えられる。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

〔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 NS方向)



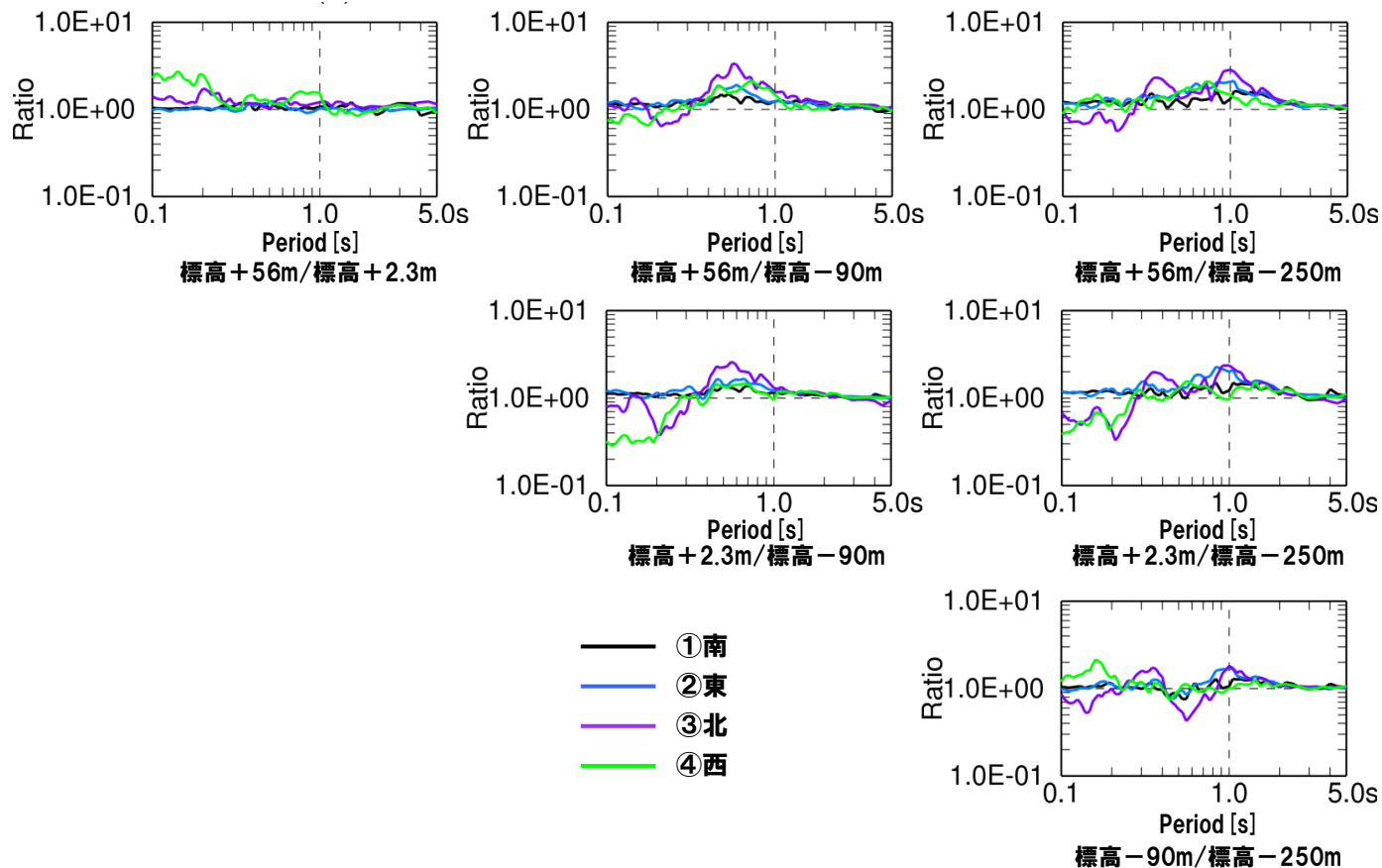
No.	方位	地名または地震名	M	震央距離(km)	最大加速度(Gal) 3号炉観測点 (標高+2.3m)		
					NS	EW	UD
44	南	東北地方太平洋沖地震	9.0	583	2	2	2
34	東	2003年十勝沖地震	8.0	325	9	8	7
35		十勝沖	7.1	299	3	3	3
31		根室半島沖	7.0	506	1	1	1
39	北	留萌支庁南部	6.1	150	1	1	1
43	西	北海道南西沖	5.8	158	1	1	1
30		1999年積丹半島北西沖	4.5	116	0.5	0.2	1

- 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の差異はみられない。
- 「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。
- 一方で、「③北及び④西」の短周期側は、標高+2.3m/標高-90m、標高+2.3m/標高-250mなどにおいて、地震動が低減する傾向がみられる。
- 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。

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

〔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 EW方向)



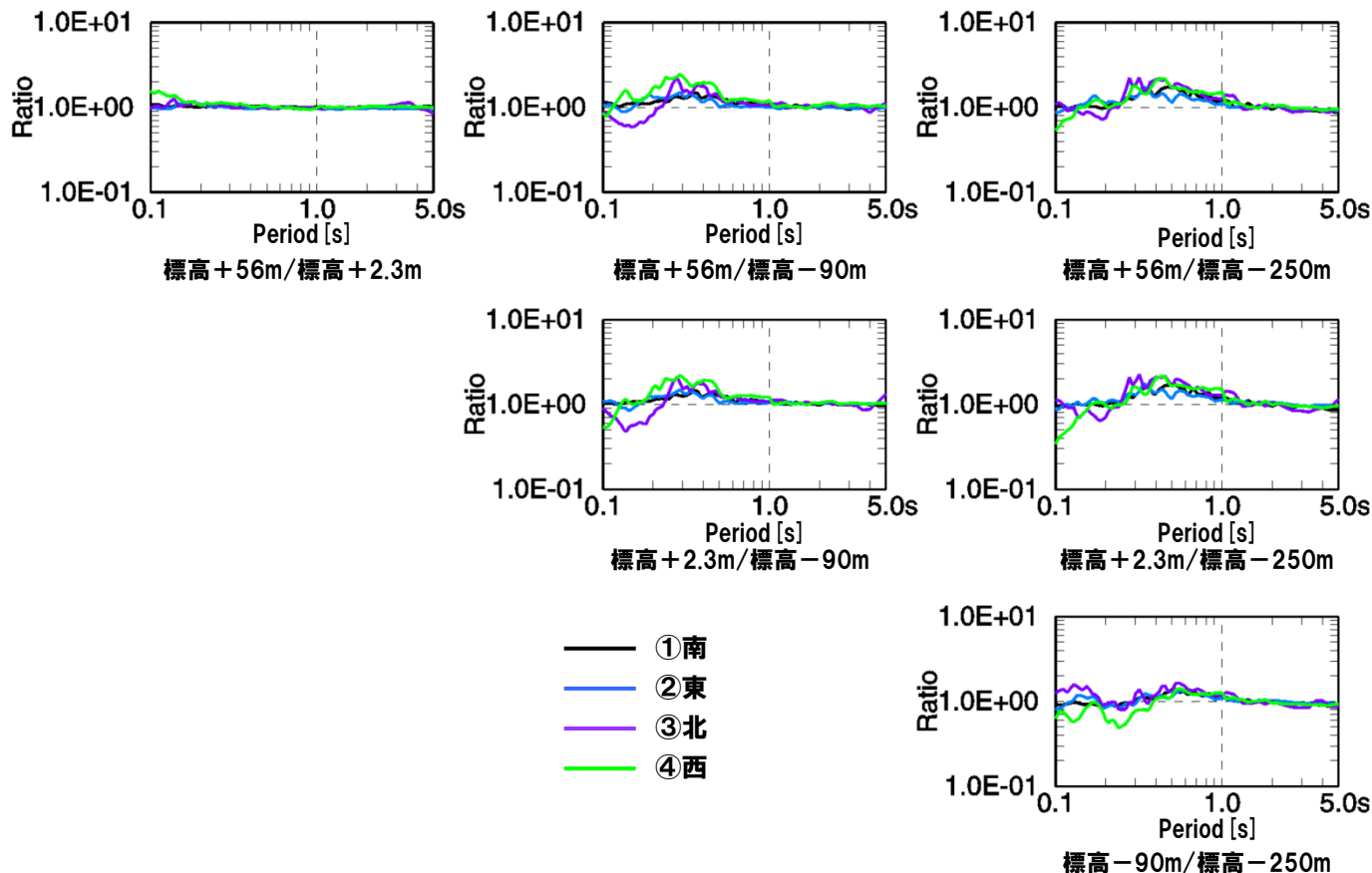
●全体の傾向は、NS方向と概ね同様の傾向を示している。

●NS方向と同様に短周期側で地震の到来方向による応答スペクトル比の傾向に差異がみられる。

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

〔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)



- 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。

- なお、「①南」及び「②東」の地震は、震源が泊発電所から遠い地震(震央距離約300km以上)であるため、「③北」及び「④西」とは異なる特性を示していることが考えられる。

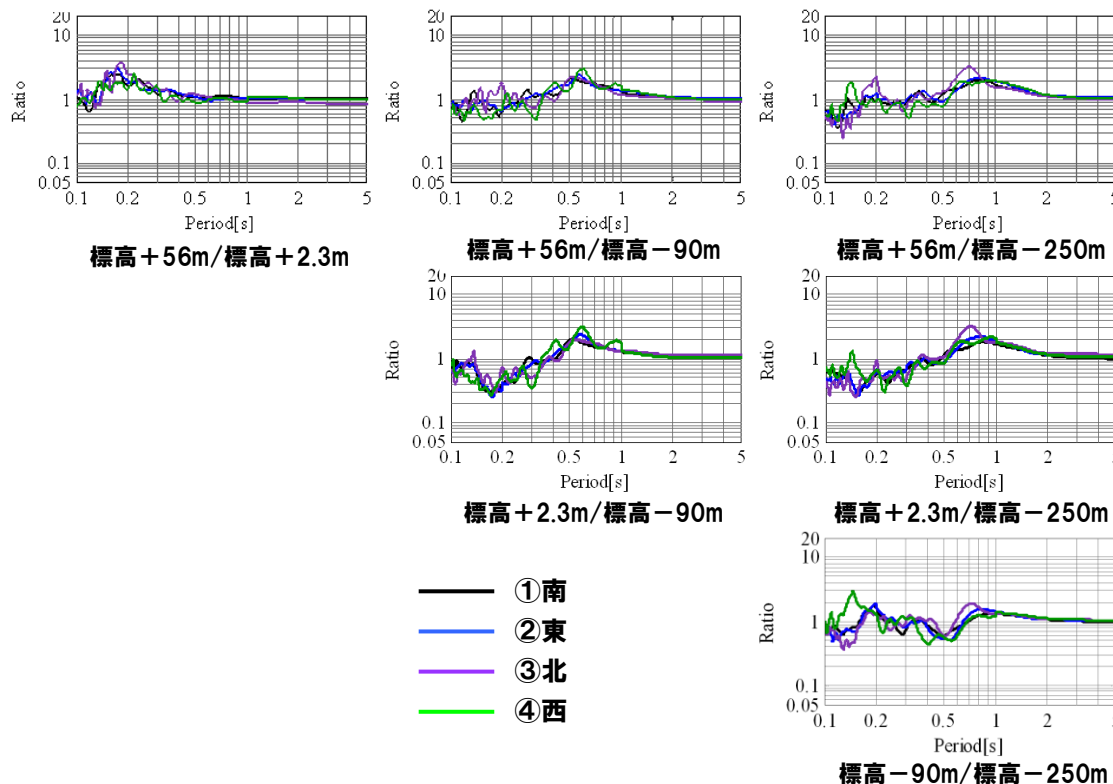
3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

再掲(10/2審査会合資料)

●「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 NS方向)



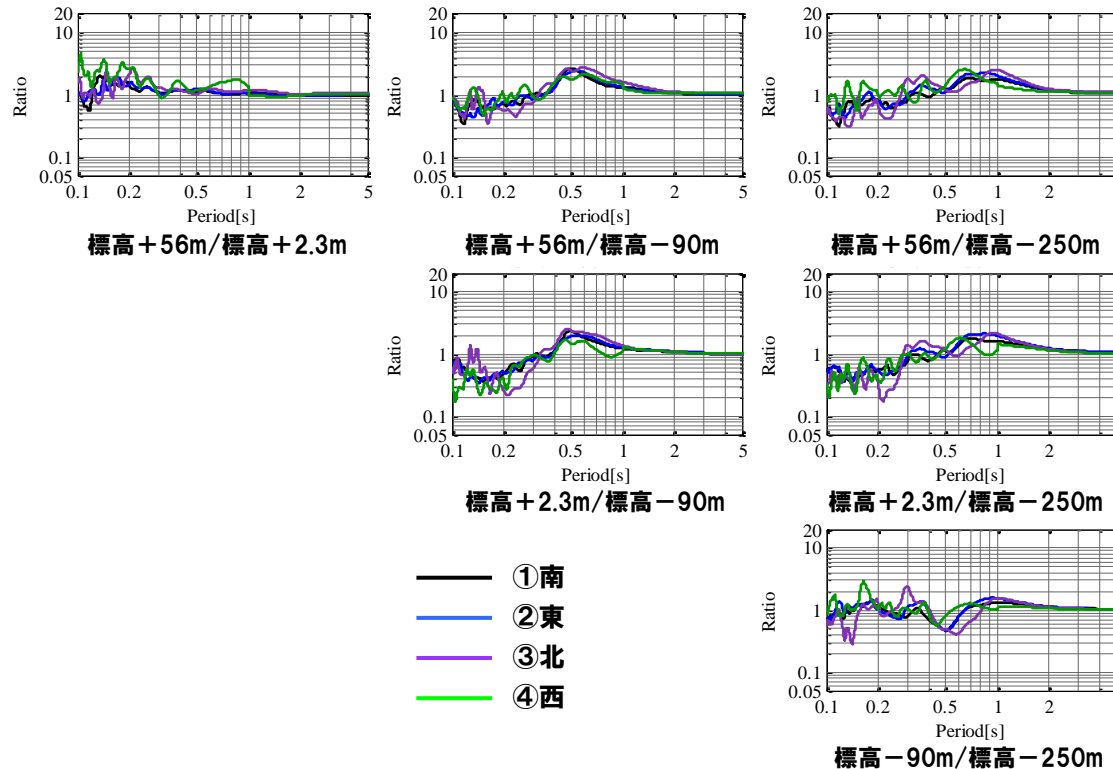
●検討に用いた地震観測記録が少なく、地震動レベルも小さいことから、多少のばらつきはあるものの、いずれの結果でも地震の到来方向によるフーリエスペクトル比の傾向に概ね差異はみられないことから、地震の到来方向により特異な増幅傾向はみられない。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

〔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)



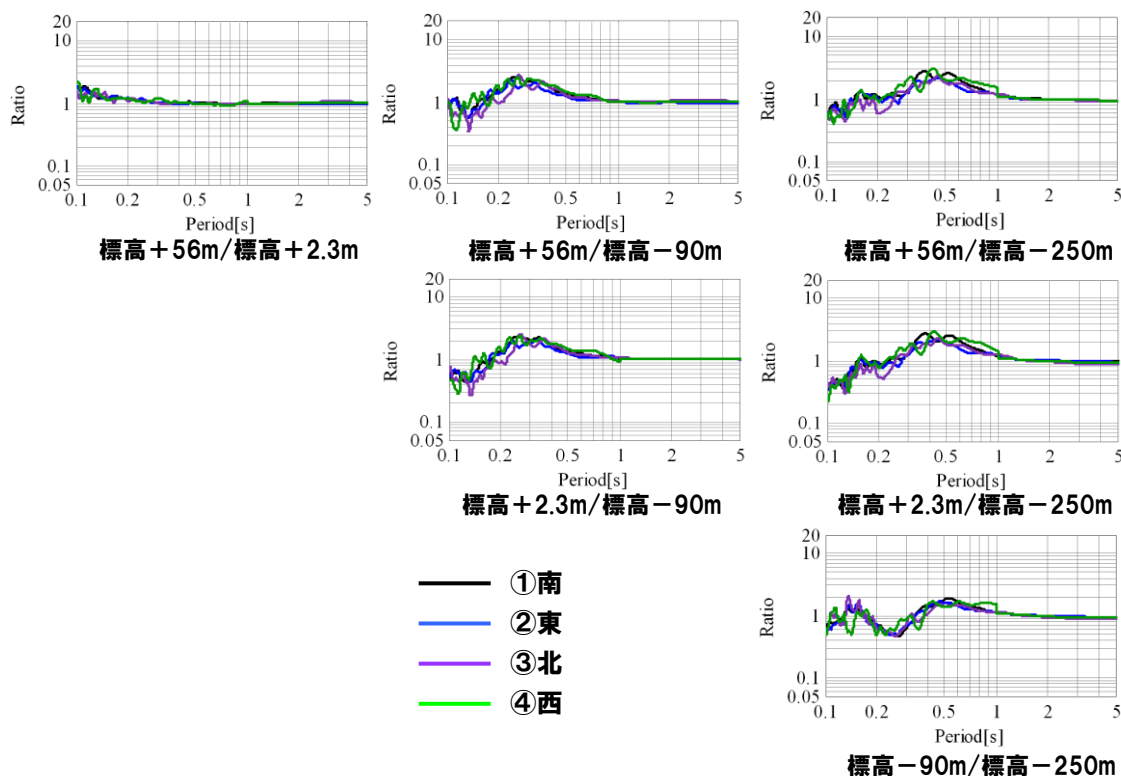
- NS方向と同様に地震の到来方向によるフーリエスペクトル比の傾向に概ね差異はみられないことから、地震の到来方向により特異な増幅傾向はみられない。
- 到来方向を含めた全体の傾向は、NS方向及びEW方向で概ね同様の傾向を示していることから、敷地地盤の傾斜構造により特異な増幅傾向はみられない。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.2 地震の到来方向による影響の検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

〔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考えられる。

●なお、3号炉観測点における検討対象地震は少なく、地震動レベルも小さいことから、1、2号炉観測点での検討より到来方向による短周期側のばらつきが大きくなる傾向がみられる。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.3 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

一部加筆修正 (10/2審査会合資料)

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地震観測記録を用いて、鉛直アレ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。

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AⅠ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)

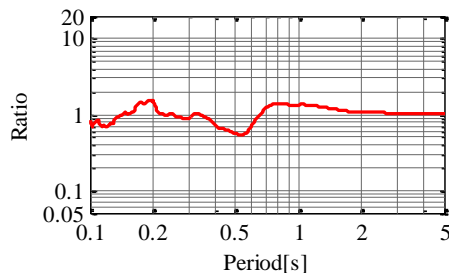
標尺 (m)	標高 (m)	地質名	岩種区分	岩級区分	P波速度 (km/sec)		地震計設置位置 (m)
					1.0	2.0	
0	163.9				0.31		
	158.5	凝湿じり砂質シルト	土砂	土砂	0.61		標高+58m
		安山岩	Aa	AⅡ	0.71, 2.7	1.2	
				AⅢ	2.01	3.83	
50				AⅠ			
	-9.7	凝灰岩	Tf	B			標高+2.3m
	-20.6			C			
		含泥岩凝灰岩	Tfm	D			
				C	0.98	2.14	
				B			
				A			
	-45.0	凝灰角礫岩	Tb	B			
				C			
				D			
				E			
	-71.7	凝灰岩	Tf	B	1.34	2.82	標高-90m
		凝灰角礫岩	Tb	B			
				C			
				D			
				E			
	-90.8	凝灰岩	Tf	A	2.16	3.71	174
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-141.0	凝灰岩	Tf	A			160
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-146.2	凝灰岩	Tf	A	1.41	2.45	174
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-166.3	凝灰岩	Tf	A			252
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-171.7	凝灰岩	Tf	A			252
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-186.0	凝灰岩	Tf	A			252
		凝灰角礫岩	Tb	A			
		含泥岩凝灰岩	Tfm	C			
		軽石凝灰岩	Pv	B			
				C			
				D			
				E			
	-191.0	凝灰岩	Tf	A	1.20	2.35	314
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-211.6	凝灰岩	Tf	A			314
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-231.0	凝灰岩	Tf	A			314
		凝灰角礫岩	Tb	A			
				B			
				C			
				D			
				E			
	-250.0	凝灰岩	Tf	B			標高-250m

3. 地震観測記録を用いた検討

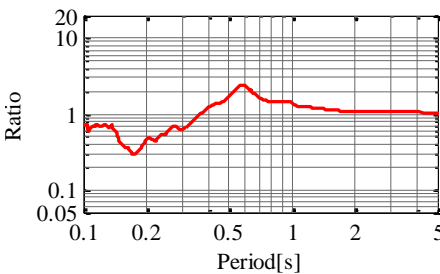
3.3 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

一部加筆修正(10/2,11/20審査会合資料)

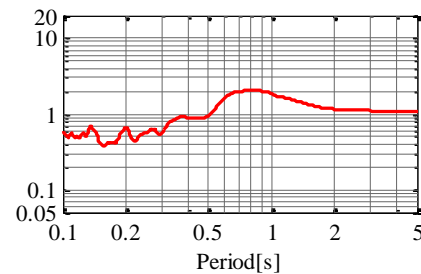
3号炉観測点 鉛直アレー観測点間のフーリエスペクトル比



① 標高-90m/標高-250m



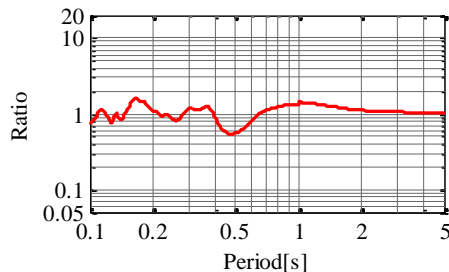
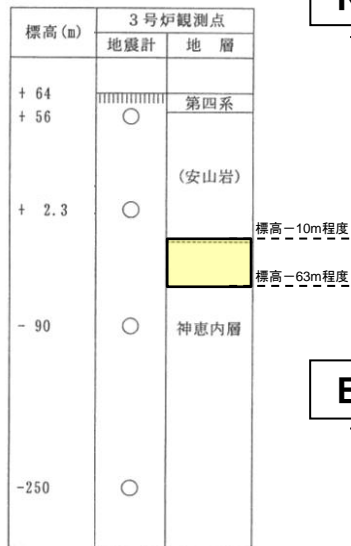
② 標高+2.3m/標高-90m



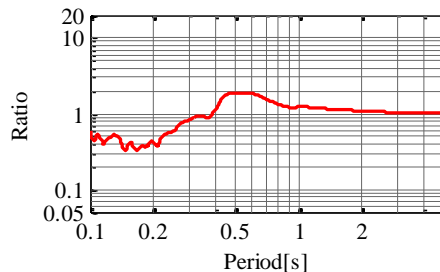
③ 標高+2.3m/標高-250m

NS方向

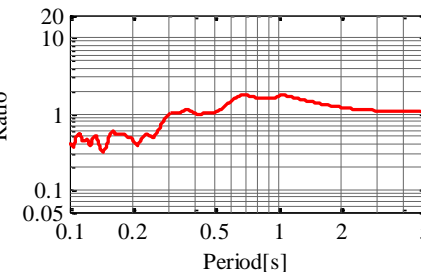
— フーリエスペクトル比平均



① 標高-90m/標高-250m



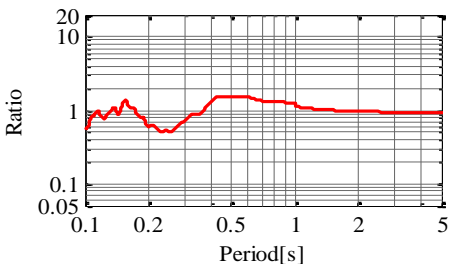
② 標高+2.3m/標高-90m



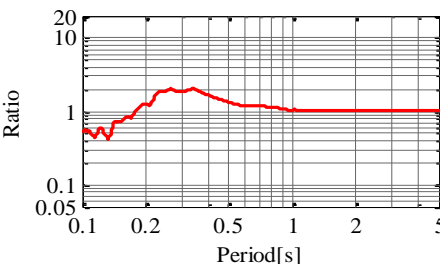
③ 標高+2.3m/標高-250m

EW方向

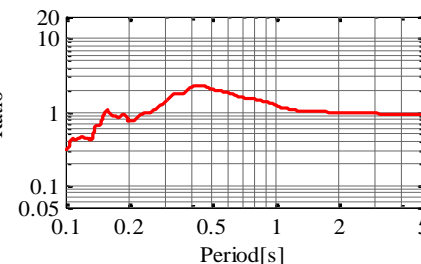
— フーリエスペクトル比平均



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

— フーリエスペクトル比平均

3.3 安山岩及びD級岩盤による影響の検討

再掲(10/2.11/20審査会合資料)

- 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位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。

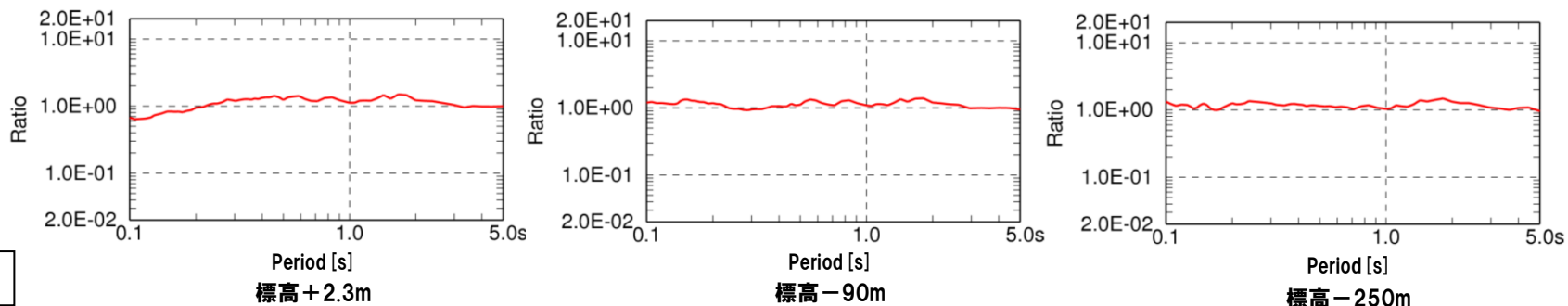
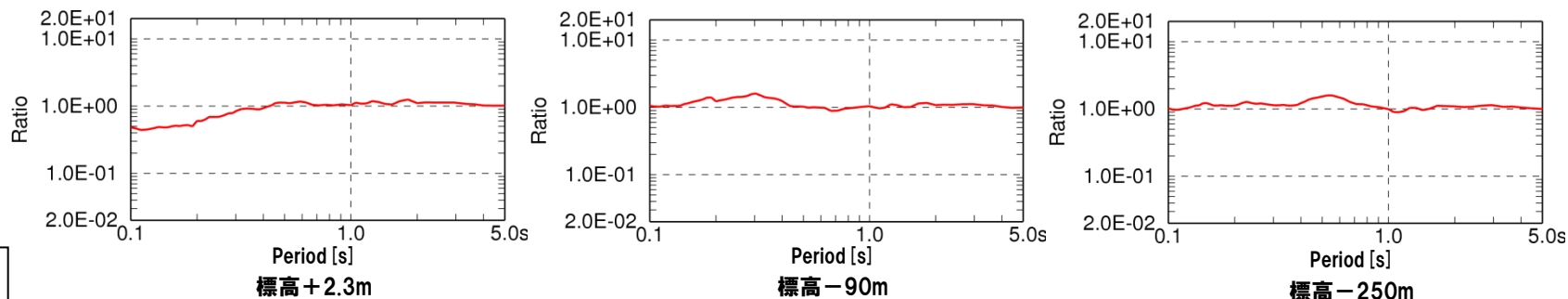
3.4 1, 2号炉観測点と3号炉観測点との比較

一部加筆修正(10/2,11/20審査会合資料)

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。

深度別応答スペクトル比



※ 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増幅しないものと考えられる。

3.4 1, 2号炉観測点と3号炉観測点との比較

一部加筆修正(10/2,11/20審査会合資料)

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

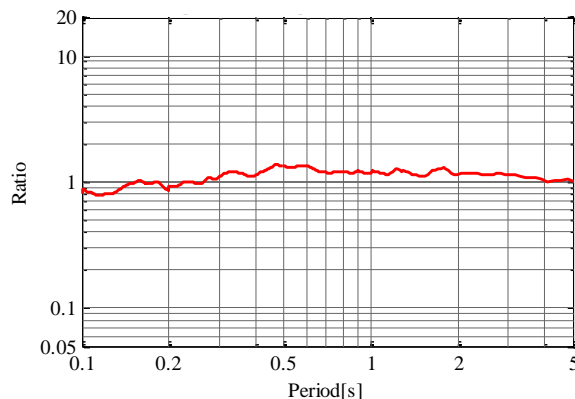
- 1, 2号炉及び3号炉の両観測点で観測された7地震の地震記録を用いて、解放基盤表面相当レベルでのはぎとり波の応答スペクトルの比較を行い、解放基盤表面相当レベルでの両観測点の地震動の関係を確認する。

はぎとり解析位置

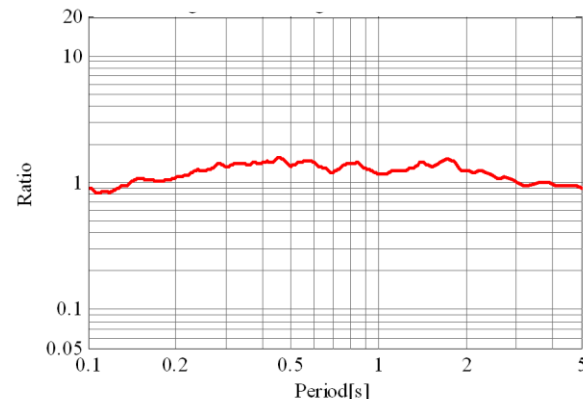
標高(m)	1, 2号炉観測点		3号炉観測点	
	地震計	地層	地震計	地層
+64				第四系
+56			○	(安山岩)
+10	○	埋戻し土		
+2.3	●		●	
-90	○	神恵内層	○	神恵内層
-250	○		○	

標高±0m

はぎとり波 応答スペクトル比



水平方向



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, 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。

3. 地震観測記録を用いた検討

3.5 1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動の比較

一部加筆修正(10/2.11/20審査会合資料)

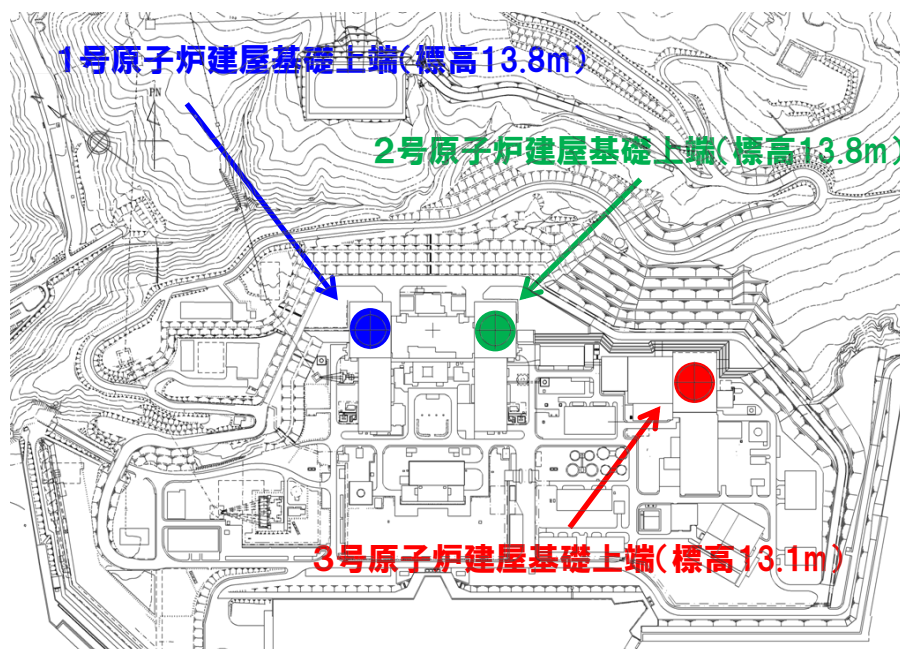
1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動の比較

- 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) 1号R/B(EL13.8m)			最大加速度(Gal) 2号R/B(EL13.8m)			最大加速度(Gal) 3号R/B(EL13.1m)		
					NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
43	北海道南西沖	25	5.8	158	1	2	1	1	2	1	1	1	1
44	東北地方太平洋沖地震	24	9.0	583	2	2	2	2	2	2	2	2	2

観測位置

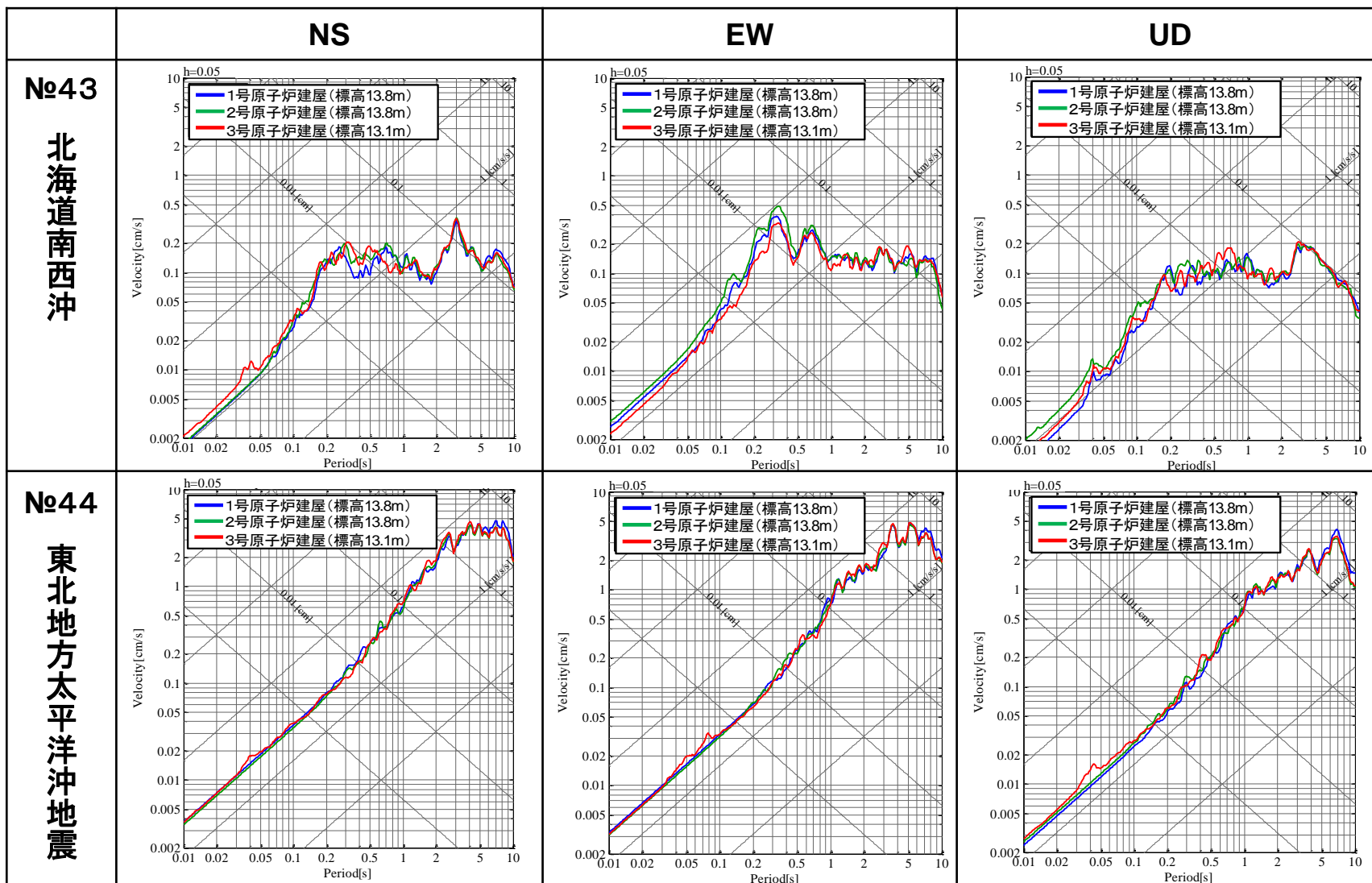


3. 地震観測記録を用いた検討

3.5 1号～3号の原子炉建屋で観測された地震動の比較

一部加筆修正(10/2.11/20審査会合資料)

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



● 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。

地震観測記録を用いた検討 まとめ

- 敷地における地震観測記録の応答スペクトルは、Noda et al. (2002) による応答スペクトルとほぼ同様の傾向にある。
- 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, 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、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、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。

4. 地質構造を考慮した解析による検討

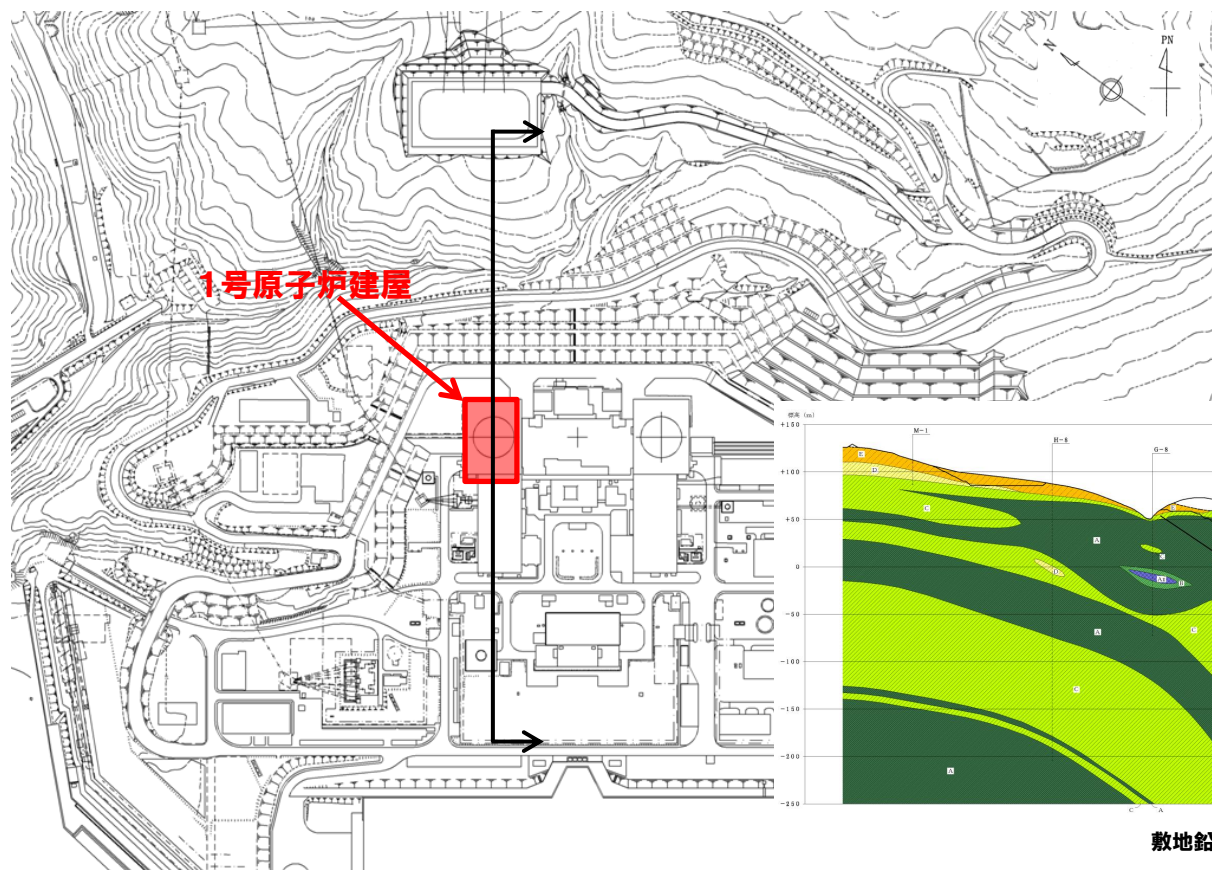
4.1 敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

再掲 (11/20審査会合資料)

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

4.1 敷地地盤の傾斜構造による影響の検討

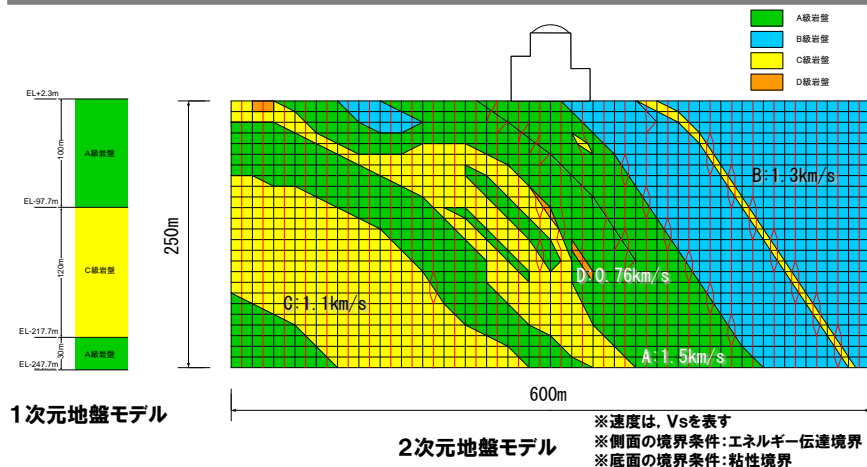
再掲(11/20審査会合資料)

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。

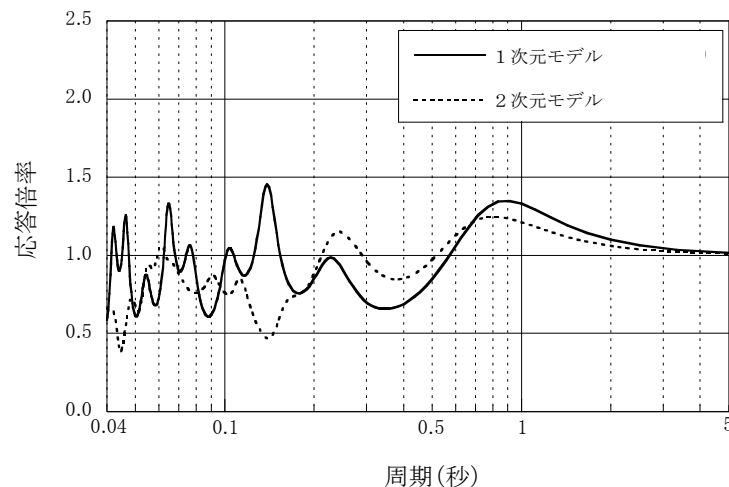
※以降、特記なき場合、SV波入力による解析

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 V_s (km/s)	P波速度 V_p (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。

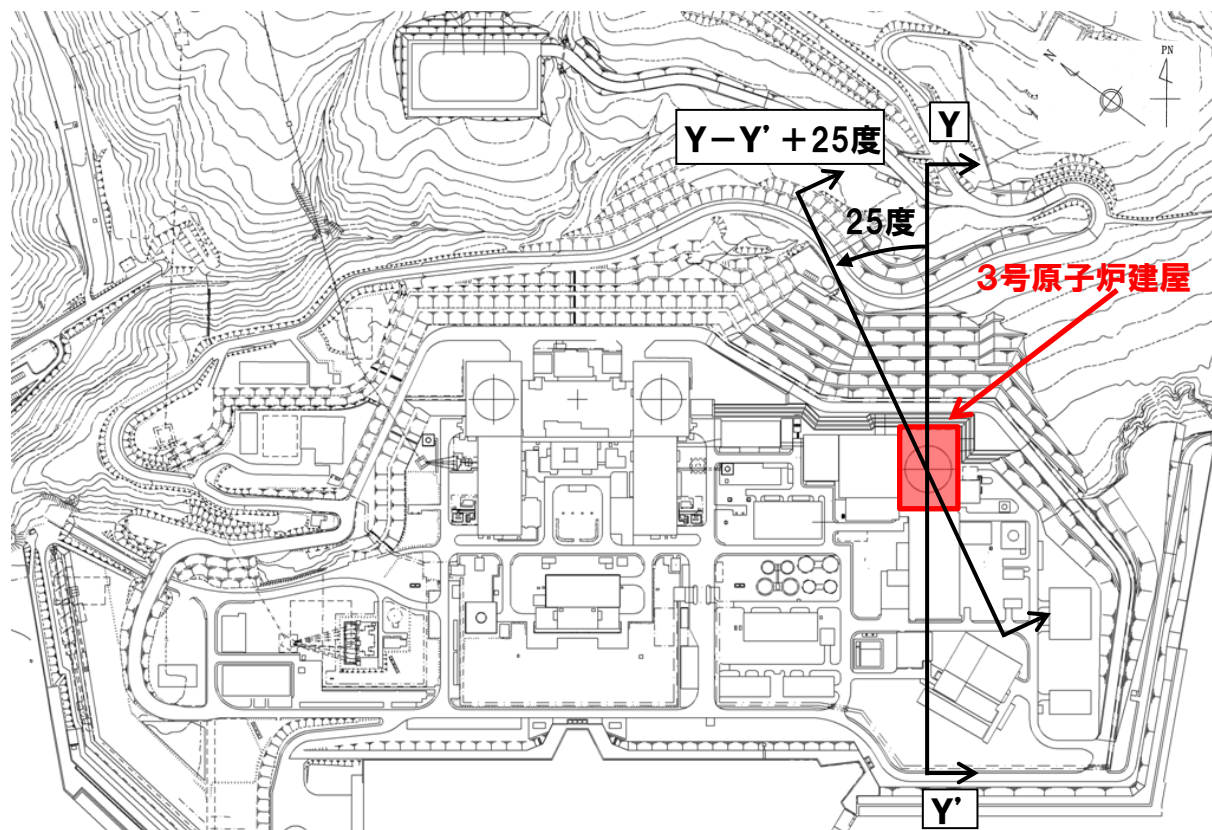
4.2 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

再掲(12/25審査会合資料)

3号炉地盤における最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

- 地震観測記録からは、特異な増幅特性はみられない。
- また、3号原子炉建屋を通る海山方向のY-Y'断面(以下、海山断面)において、特異な増幅特性がないことを解析的な検討より確認している。
- 3号炉地盤における最大傾斜方向を考慮した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、3号炉地盤の傾斜を考慮し、Y-Y' + 25度断面(以下、「最大傾斜断面」とする)とする。

4. 地質構造を考慮した解析による検討

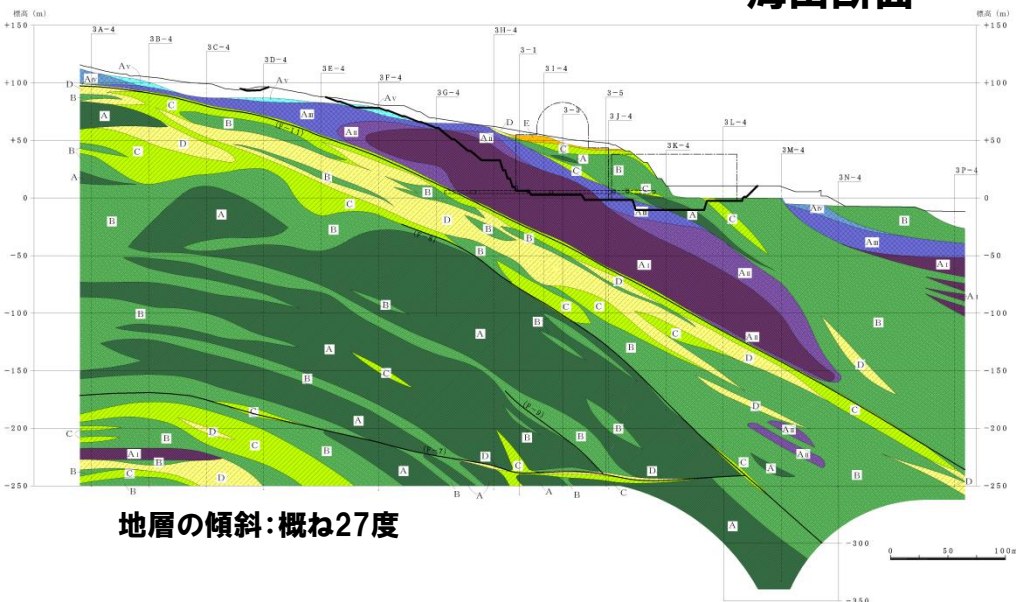
4.2 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

再掲 (12/25審査会合資料)

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D級岩盤を含む相対的に速度の低い層が分布している。
- 最大傾斜断面は、海山断面と比較して地層の傾斜が僅かに大きいものの、概ね同様の地質構造である。

海山断面



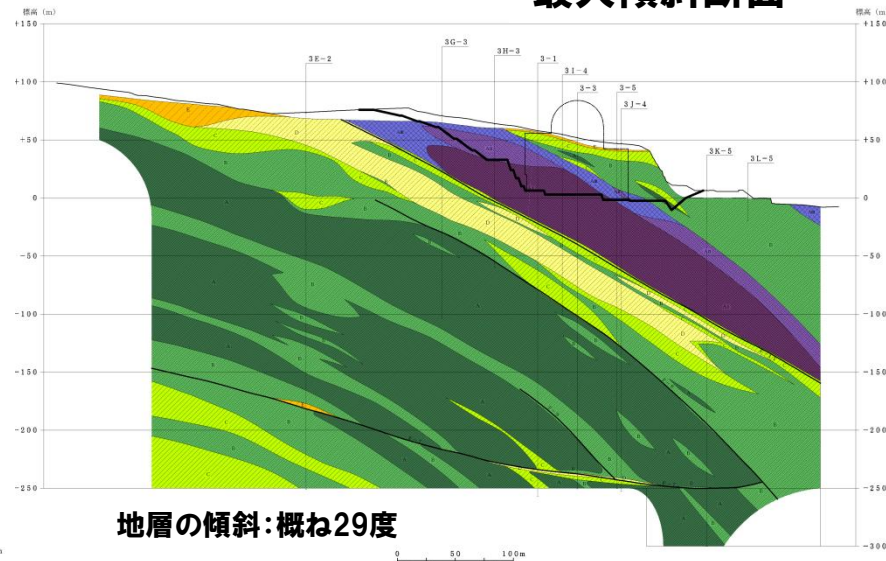
地層の傾斜: 概ね27度

岩盤分類凡例

	礫・砂・粘土		A級岩盤	火砕岩類
	A1級岩盤		B級岩盤	
	A2級岩盤		C級岩盤	
	A3級岩盤		D級岩盤	
	A4級岩盤		E級岩盤	
	A5級岩盤			

敷地鉛直岩盤分類図(海山断面)

最大傾斜断面



地層の傾斜: 概ね29度

岩盤分類凡例

	礫・砂・粘土		A級岩盤	火砕岩類
	A1級岩盤		B級岩盤	
	A2級岩盤		C級岩盤	
	A3級岩盤		D級岩盤	
	A4級岩盤		E級岩盤	
	A5級岩盤			

敷地鉛直岩盤分類図(最大傾斜断面)

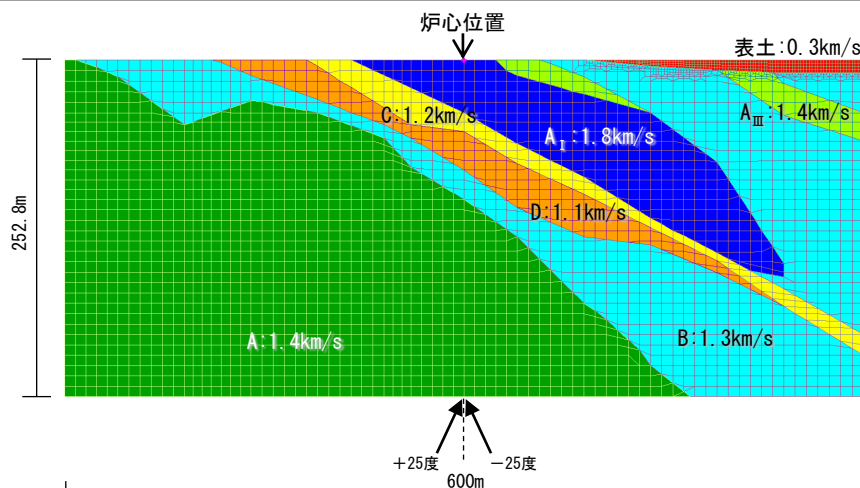
4.2 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

再掲(12/25審査会合資料)

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(海山断面)及び540m(最大傾斜断面)の範囲を対象としたFEMモデルとする。
- 入射角は、0度(鉛直入射)及び±25度とした。
- 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、海山断面と最大傾斜断面の振動特性を比較検討する。

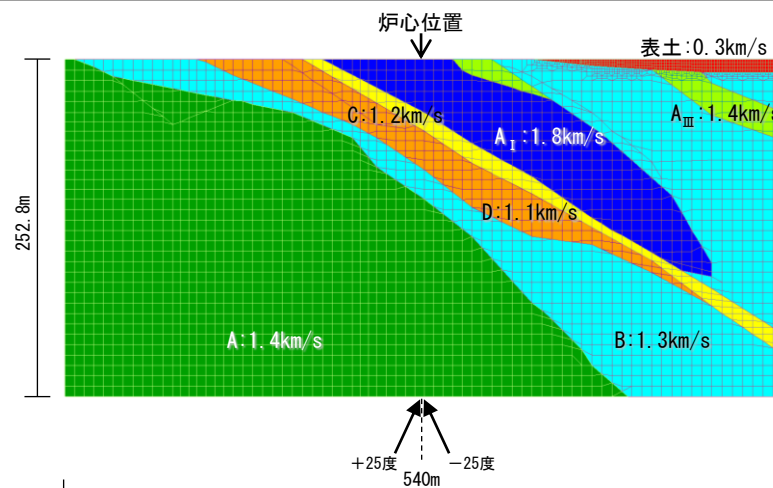
3号炉地盤モデル及び地盤物性値



2次元地盤モデル(海山断面)

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



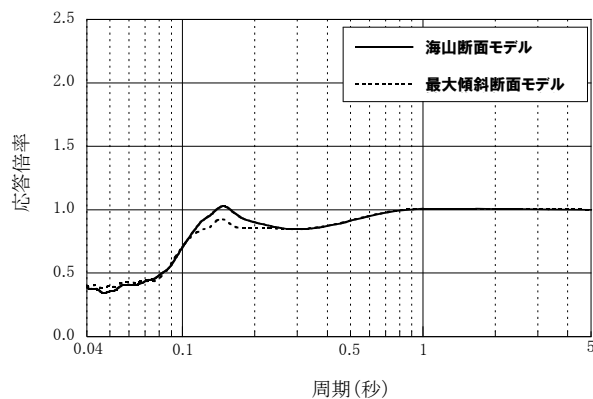
2次元地盤モデル(最大傾斜断面)

※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

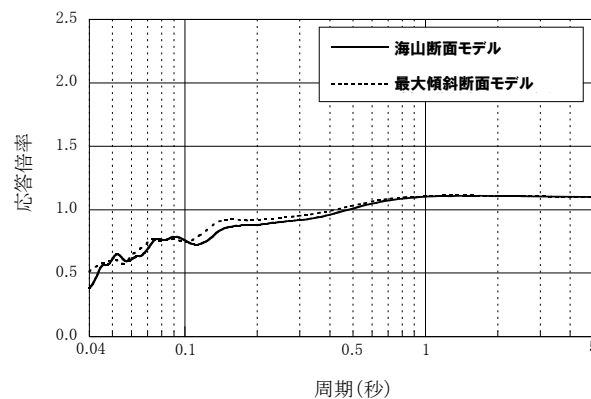
4.2 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

一部加筆修正 (12/25審査会合資料)

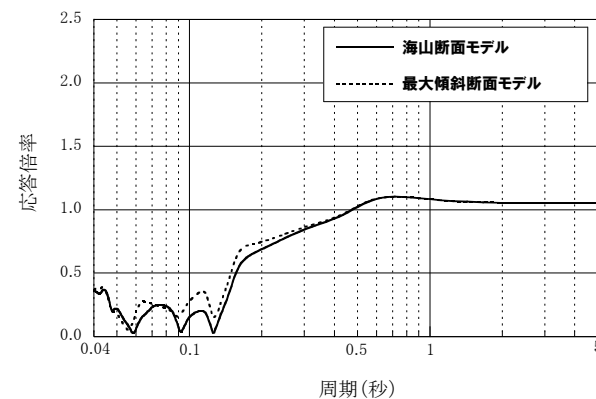
3号炉心直下の伝達関数



3号炉心直下 伝達関数(鉛直入射)



3号炉心直下 伝達関数(+25度)



3号炉心直下 伝達関数(-25度)

- 海山断面モデルと最大傾斜断面モデルの伝達関数を比較した結果、鉛直入射、±25度入射ともに両者のモデルは同様の傾向となっている。
- これらより、最大傾斜断面は、海山断面とほぼ同様の振動特性を示す。

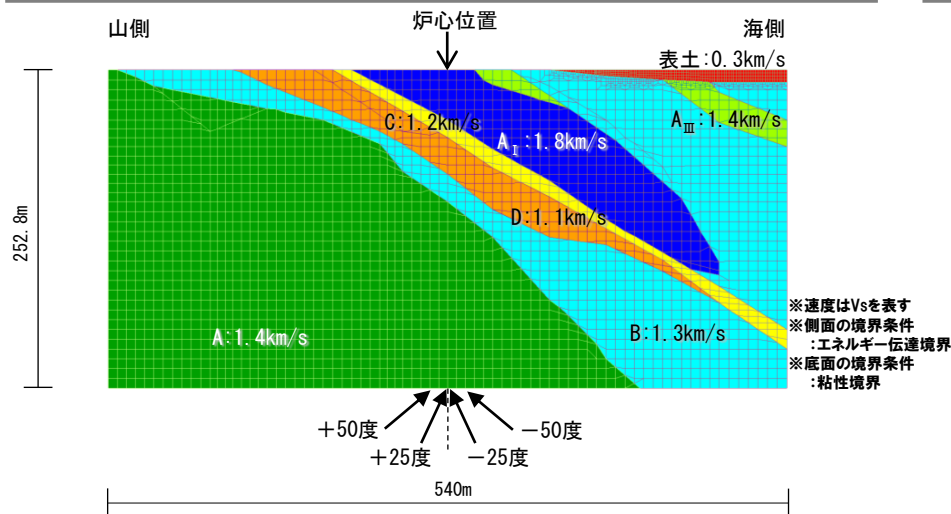
4.2 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

再掲 (12/25審査会合資料)

入射角による振動特性への影響

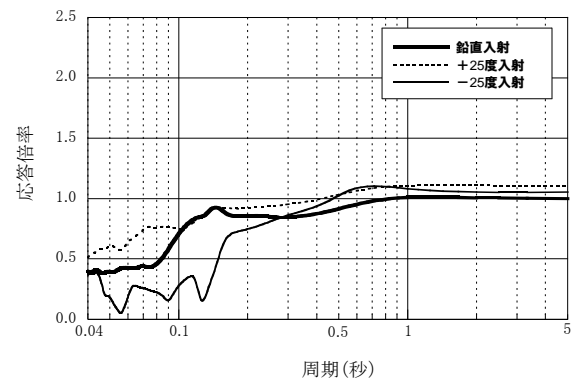
- 最大傾斜断面モデルを用いて、地震波の入射角による敷地地盤の振動特性への影響を検討する。
- 入射角は、0度(鉛直入射)、±25度及び±50度とした。
- モデル下端に対する炉心直下地表面の伝達関数(2E/2E)を算出して比較検討する。

3号炉地盤モデル及び入射角

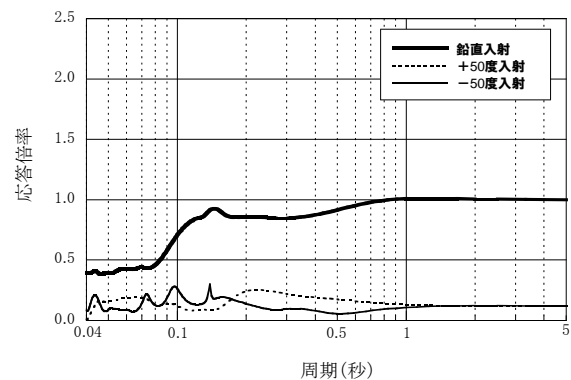


- 検討結果より、±25度入射で海側入射(-25度)は、短周期側の応答が低減する傾向がみられる。また、山側からの入射(+25度)は、海側入射より大きい応答を示しており、鉛直入射と同様に短周期側で応答が低減される傾向にある。
- ±50度入射は、海側入射(-50度)、山側入射(+50度)ともに大幅に応答が低減する傾向がみられる。
- これらより、入射角の影響により応答が大きく増幅する傾向はみられない。

3号炉心直下の伝達関数



3号炉心直下 伝達関数(入射角±25度)



3号炉心直下 伝達関数(入射角±50度)

4. 地質構造を考慮した解析による検討

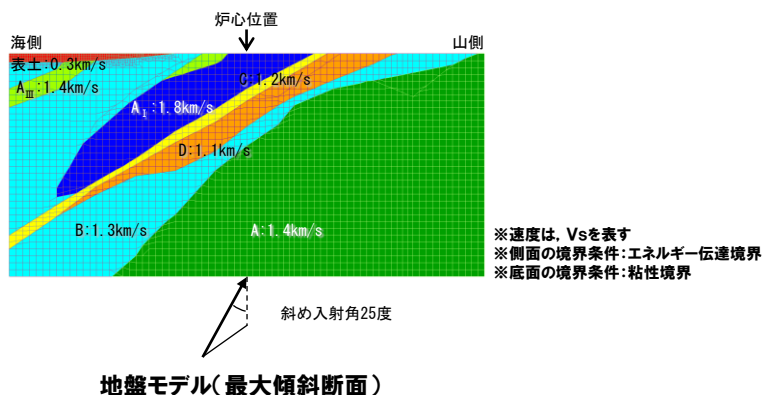
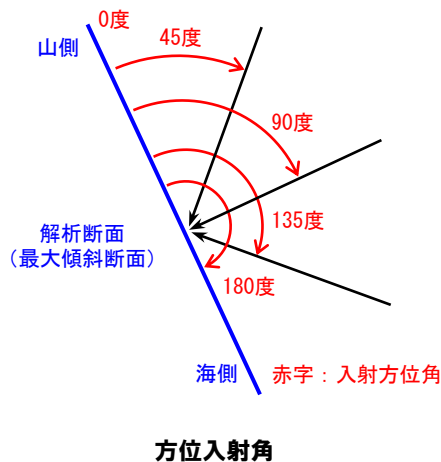
4.2 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

再掲(12/25審査会合資料)

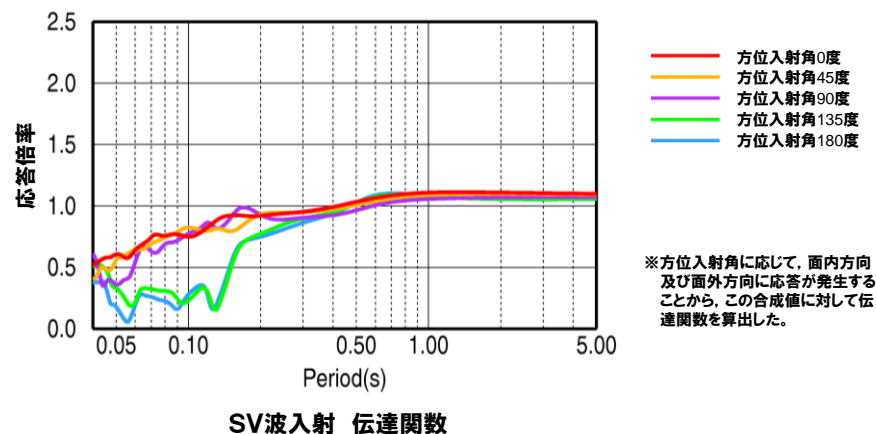
入射角及び方位入射角による振動特性への影響

- 最大傾斜断面モデルを用いて、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、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25度、方位入射角は0度、45度、90度、135度、180度とする。

地盤モデル及び方位入射角



解析結果



- 検討結果より、方位入射角0度と比較して、45度及び90度が概ね同様の傾向にある。また、同様に方位入射180度と比較して135度が概ね同様の傾向にある。
- これらより、方位入射を全周に亘って考慮した場合、振動特性に違いはあるものの、方位入射の影響により応答が大きく増幅する傾向はみられない。

4.3 地震観測記録の比較

再掲(12/25審査会合資料)

3号炉地盤の地下構造モデルにおける振動特性と地震観測記録の比較

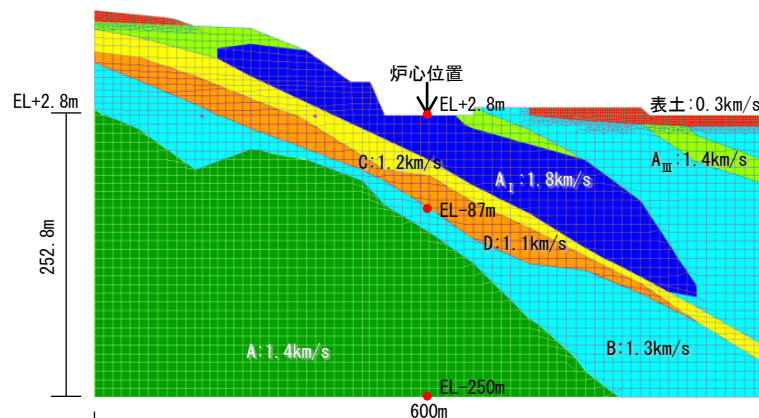
- 地震観測記録からは、特異な増幅特性はみられない。
- また、3号炉2次元地盤モデルにおいて、特異な増幅特性がないことを解析的な検討から確認している。
- 3号炉2次元地盤モデルによる伝達関数と観測記録より得られた伝達関数を比較検討する。

地盤モデルの設定

- 比較検討に用いる2次元地盤モデルは、海山断面に3号炉後背斜面を考慮した地盤モデルとする。
- 地震計設置位置に対応する伝達関数($E+F/E+F^*$)と観測記録より得られる伝達関数($E+F/E+F$)を比較検討する。
- 伝達関数の評価点は、地震計設置位置(標高+2.3m, 標高-90m, 標高-250m)を考慮し、標高+2.8m, 標高-87m, 標高-250mとする。

※標高-250m位置のE+Fは、境界条件(粘性境界)による影響が小さいことから、モデル下端でのE+Fとした。

3号炉地盤モデル



2次元地盤モデル
(後背斜面モデル)

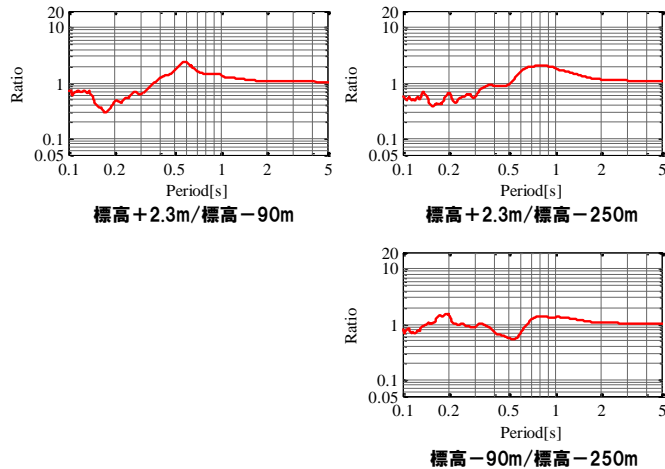
※速度は、 V_s を表す
 ※側面の境界条件:エネルギー伝達境界
 ※底面の境界条件:粘性境界
 ※入射角は、鉛直入射とする

地盤物性値

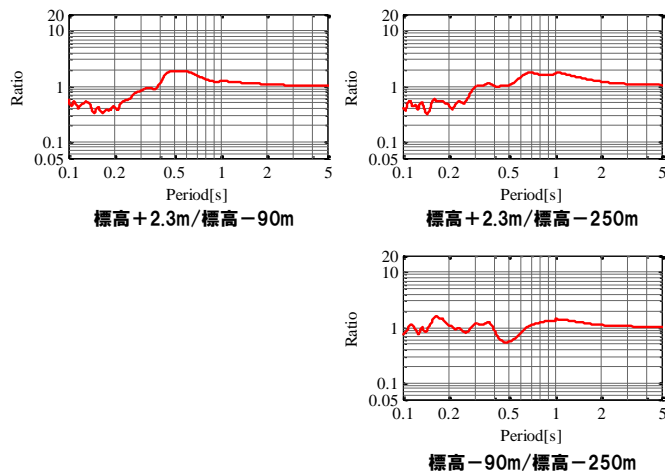
	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A _I 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A _Ⅲ 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50

検討結果

観測記録による伝達関数

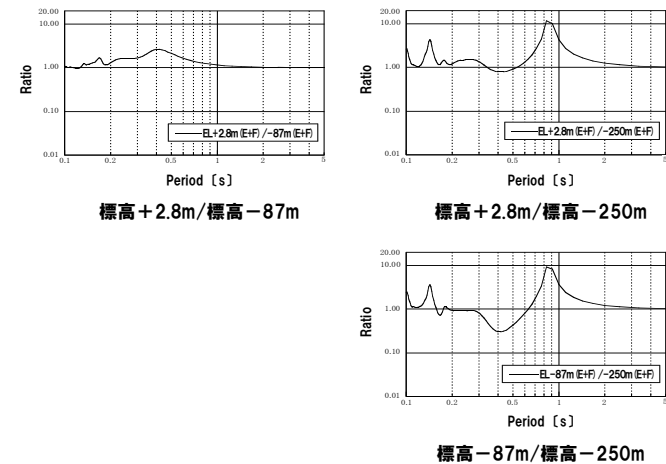


3号観測点 フーリエスペクトル比(NS方向)



3号観測点 フーリエスペクトル比(EW方向)

3号炉地盤モデルによる伝達関数



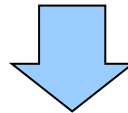
3号炉地盤モデル(後背斜面モデル)

伝達関数

- 3号炉2次元地盤モデルの伝達関数は、地盤の振動モードとなる周期帯で増幅のピークを示している。
- 3号炉2次元地盤モデルの伝達関数は、観測記録の伝達関数とほぼ同様の傾向を示している。
- これらより、3号炉2次元地盤モデルは、解析上、ピーク値などの特性が顕著に表れる傾向にあるが、観測記録の特徴を概ね捉えているものと考えられる。

4.4 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号炉敷地地盤の構造の特徴(傾斜構造, 安山岩等の分布)を踏まえ、振動特性評価を実施した。
 - 3号炉地盤における最大傾斜方向等を考慮した場合においても、海山方向と概ね同様の振動特性を示し、特異な増幅傾向はみられない。
 - 3号炉地盤において、入射角の影響により応答が大きく増幅する傾向はみられない。また、方位入射を全周に亘って考慮した場合においても、振動特性の違いはあるものの、方位入射の影響により応答が大きく増幅する傾向はみられない。
 - 3号炉2次元地盤モデルは、観測記録の特徴を概ね捉えているものと考えられる。



- 地質構造の特徴, 入射方向等による振動特性への影響はみられるものの、特異な増幅はみられない。

5. 深部凹構造による振動特性に関する検討

5.1 解析モデルの設定

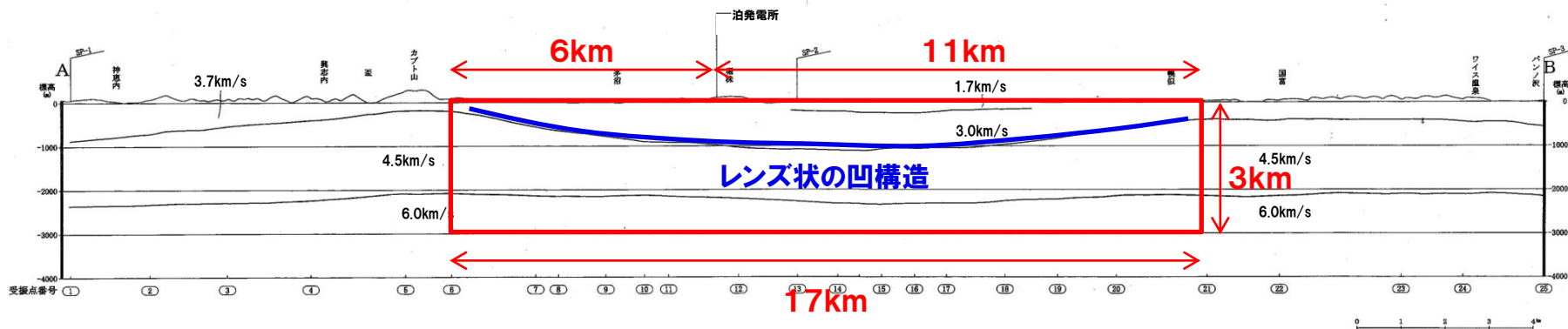
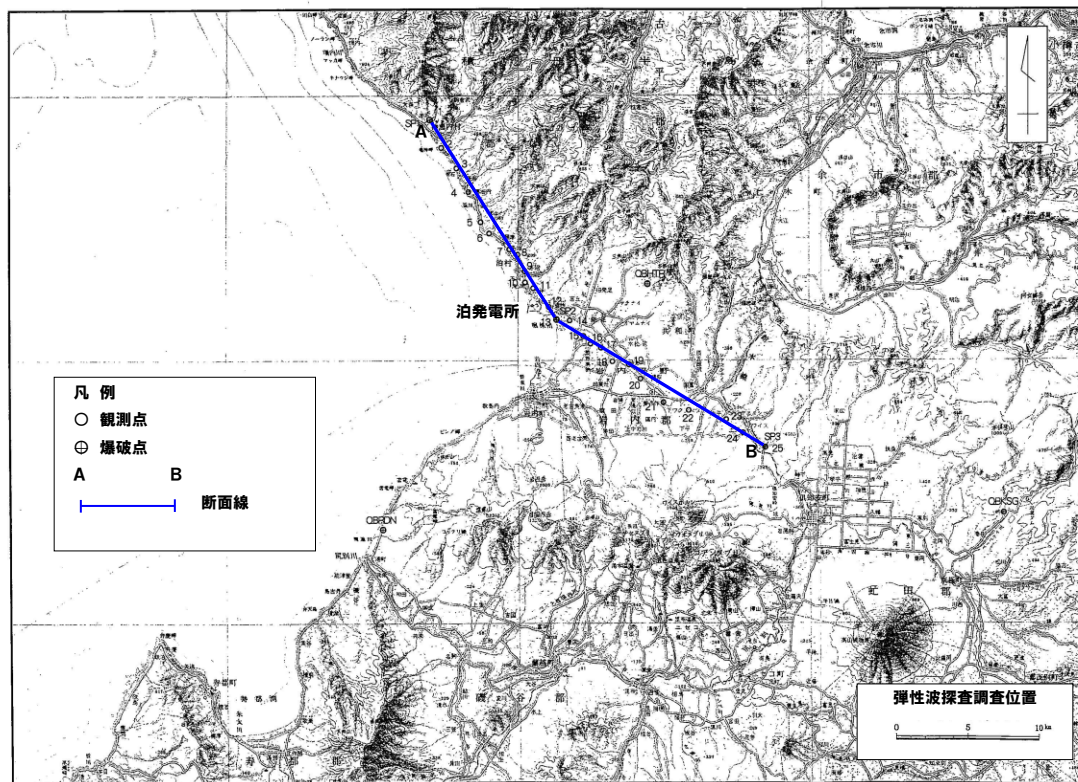
一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

敷地周辺で実施した弾性波探査結果及び解析モデルの範囲

●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。

●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。

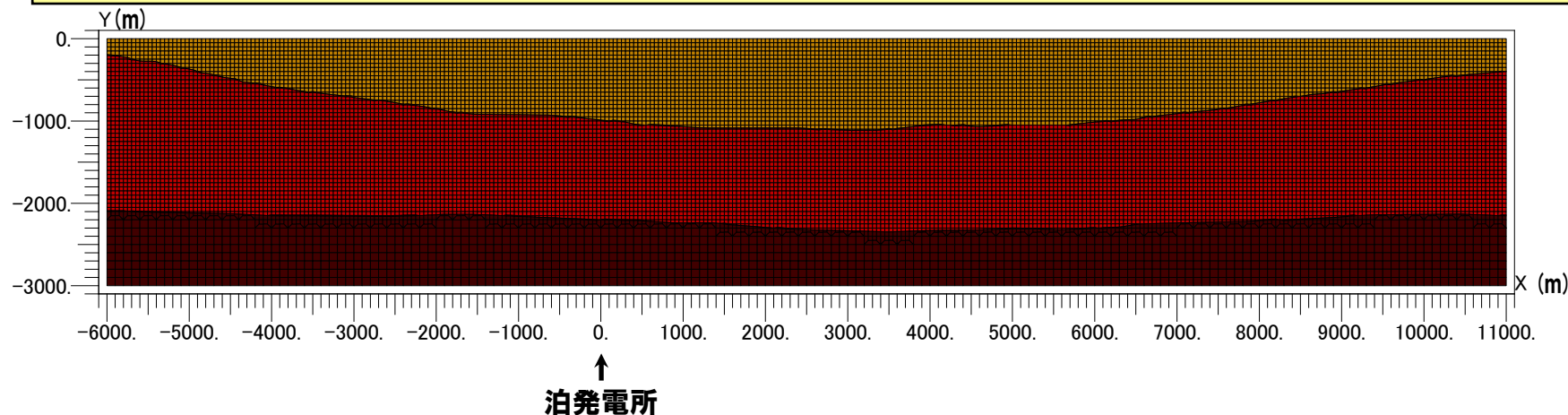


5.1 解析モデルの設定

再掲(11/20審査会合資料)

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

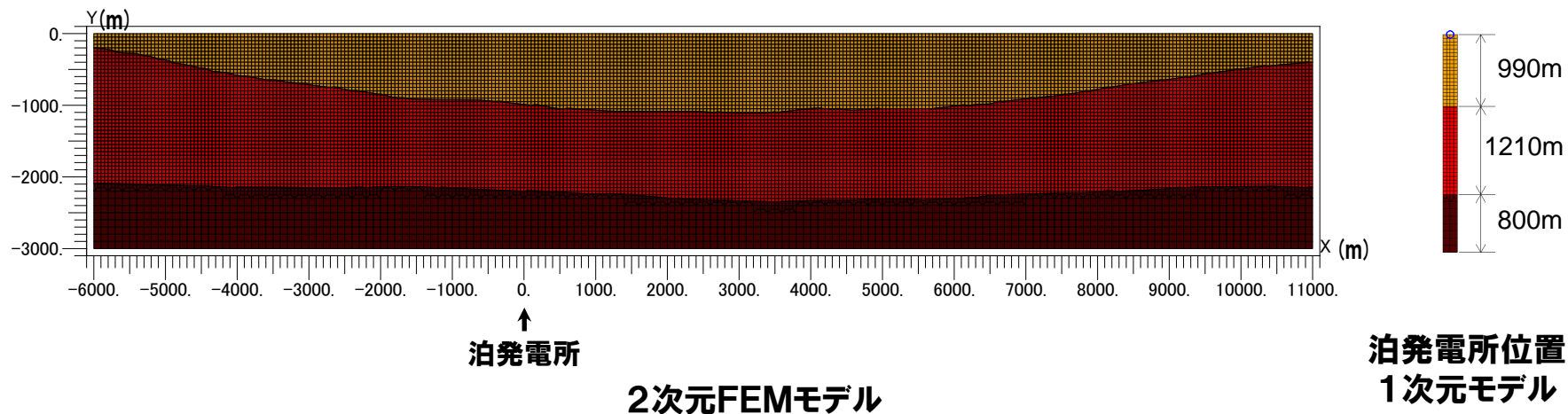
	P波速度 V_p (m/s)	S波速度 V_s (m/s)	密度 ρ (g/cm ³)	Q値
■	3000	1300	2.3	100
■	4500	2400	2.5	100
■	6000	3700	2.7	150
—	6000	3700	2.7	150

5.2 1次元地盤モデルとの比較

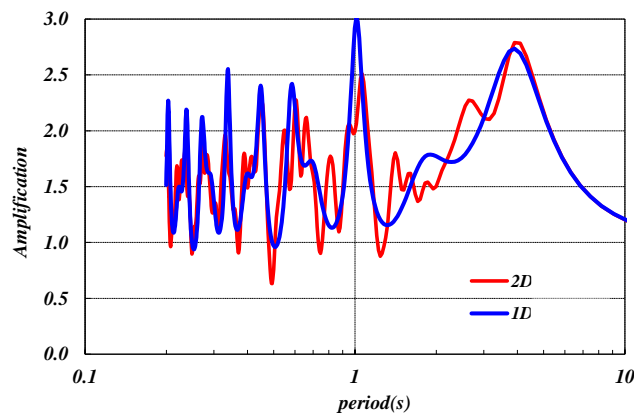
再掲(11/20審査会合資料)

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。

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

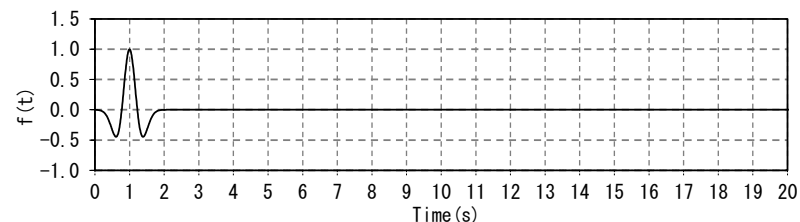
t_c : 中心周期

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

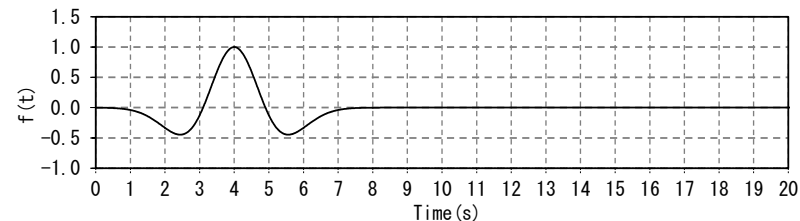
f_c : 中心振動数

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。

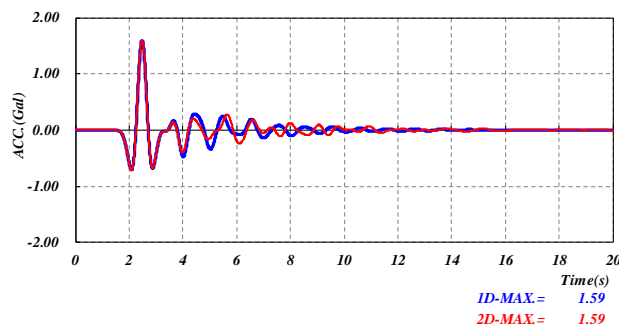


中心周期1.0s

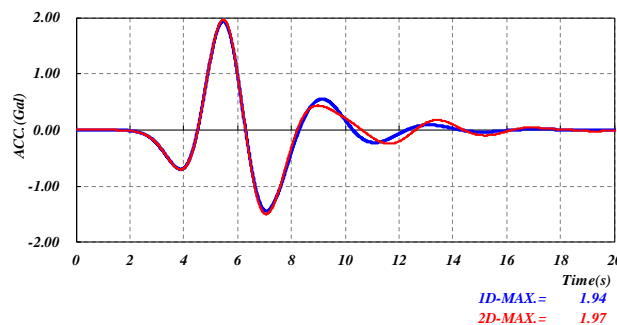


中心周期4.0s

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。

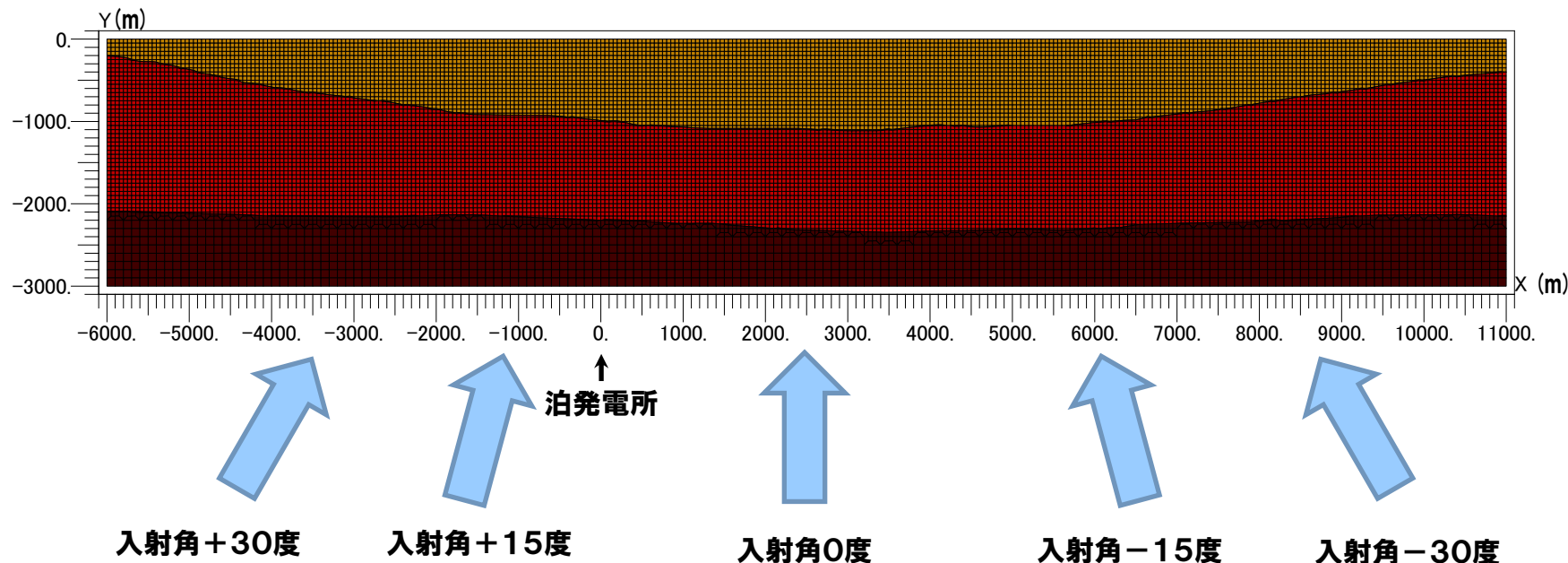
5.3 フォーカシングに関する考察

再掲(11/20審査会合資料)

- 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。

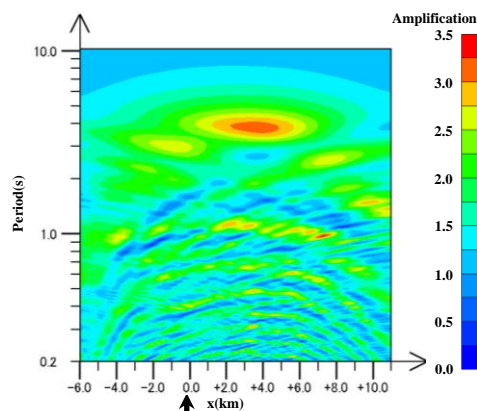
解析条件

- 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。

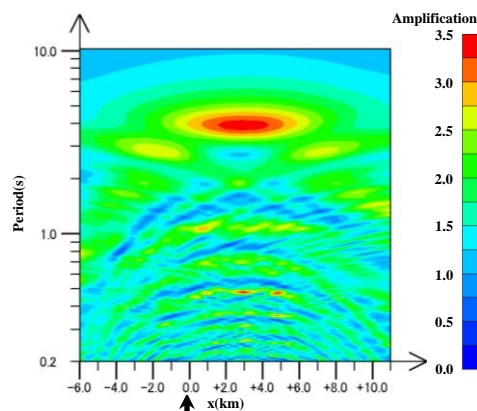


ケース	入射角	ケース	入射角
ケース1	0度(鉛直入射)	ケース4	+30度
ケース2	+15度	ケース5	-30度
ケース3	-15度		

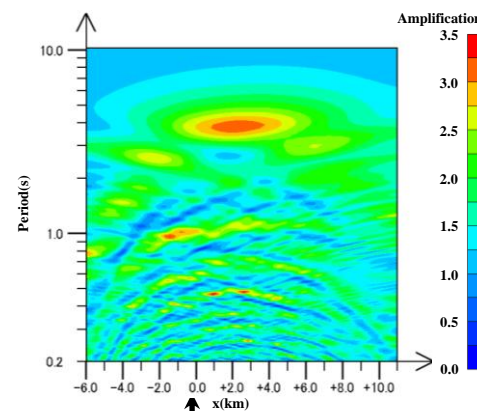
伝達関数分布(水平方向)



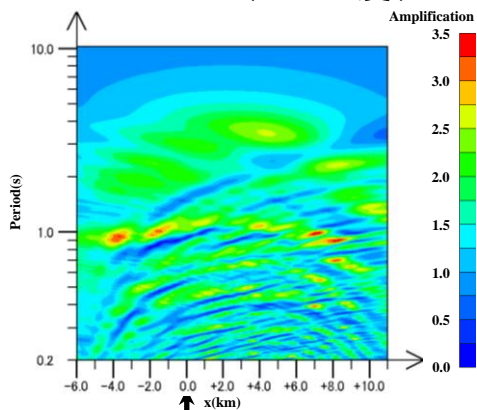
泊発電所
ケース2(+15度)



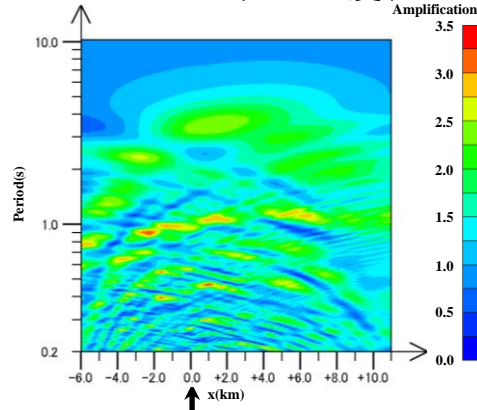
泊発電所
ケース1(0度(鉛直入射))



泊発電所
ケース3(-15度)



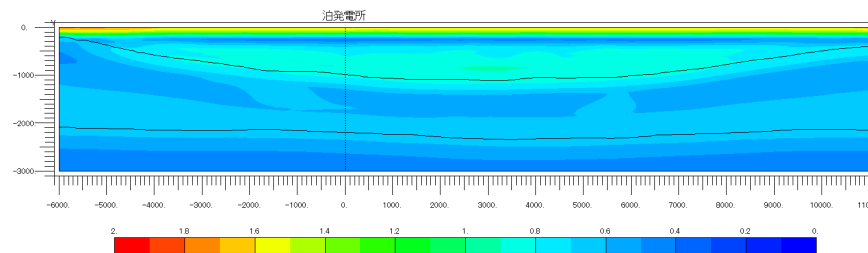
泊発電所
ケース4(+30度)



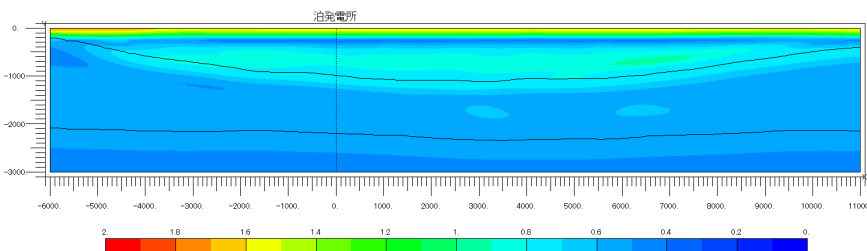
泊発電所
ケース5(-30度)

- 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。

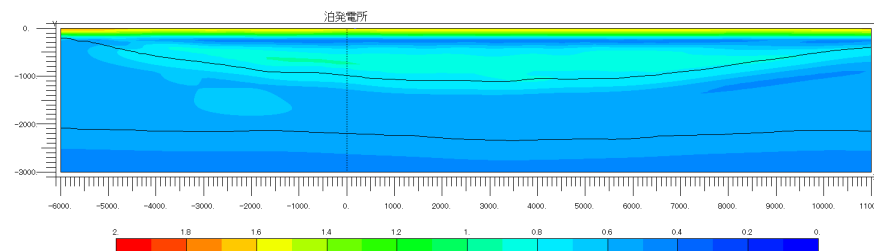
Ricker波による最大加速度応答分布(水平方向, 中心周期1.0s)



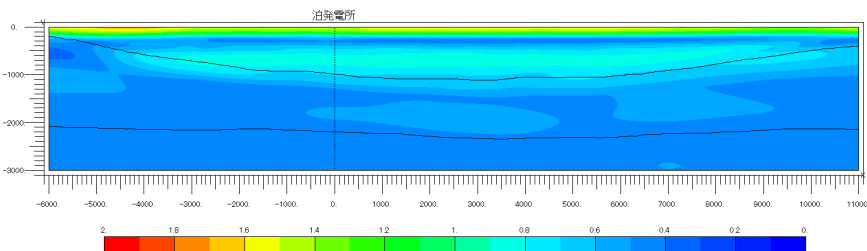
ケース1(0度(鉛直入射))



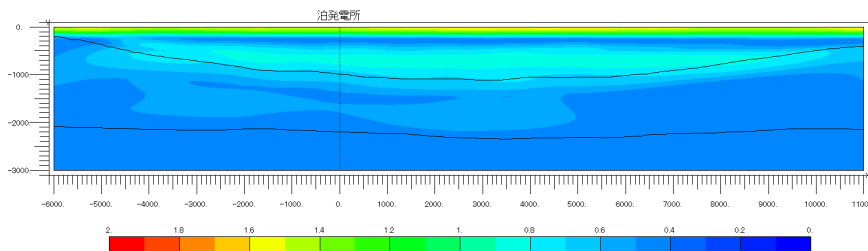
ケース2(+15度)



ケース3(-15度)



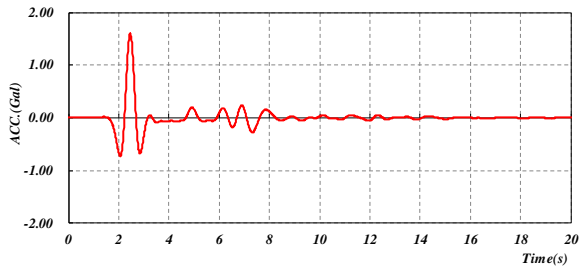
ケース4(+30度)



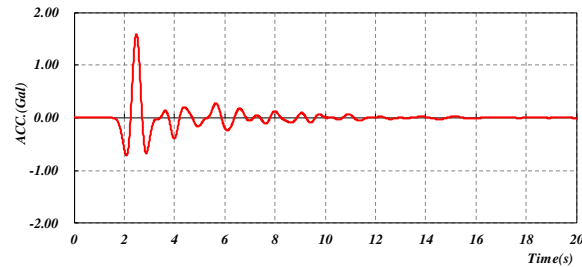
ケース5(-30度)

●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。

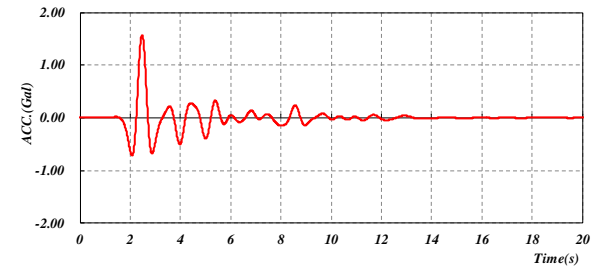
Ricker波による泊発電所位置での加速度応答波形(水平方向, 中心周期1.0s)



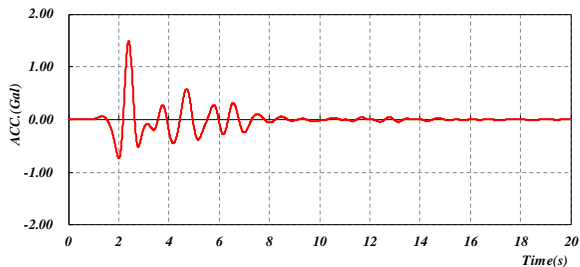
ケース2(+15度) 2D-MAX= 1.60



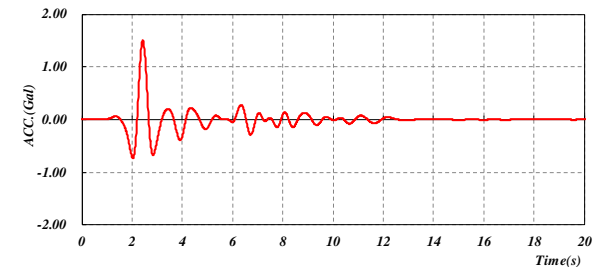
ケース1(0度(鉛直入射)) 2D-MAX= 1.59



ケース3(-15度) 2D-MAX= 1.57



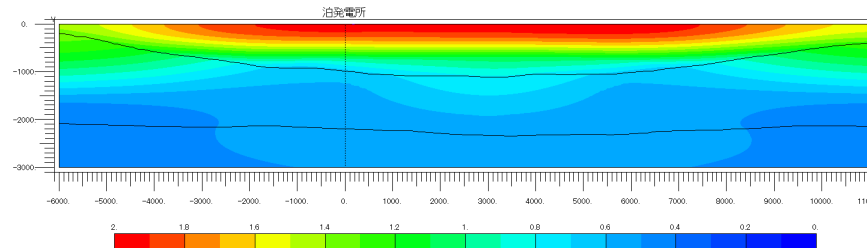
ケース4(+30度) 2D-MAX= 1.50



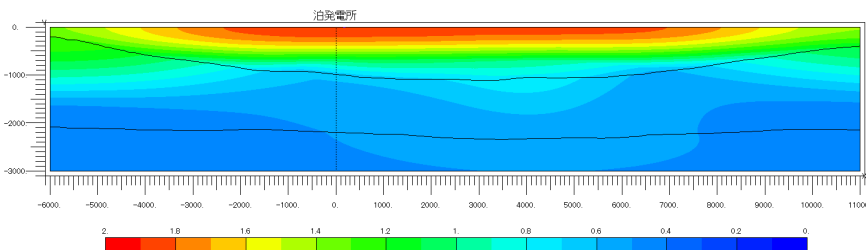
ケース5(-30度) 2D-MAX= 1.51

- 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。

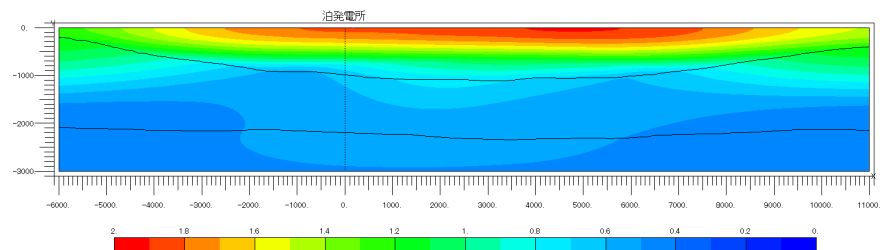
Ricker波による最大加速度応答分布(水平方向, 中心周期4.0s)



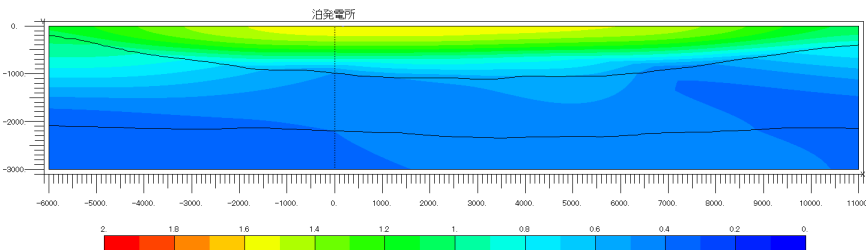
ケース1(0度(鉛直入射))



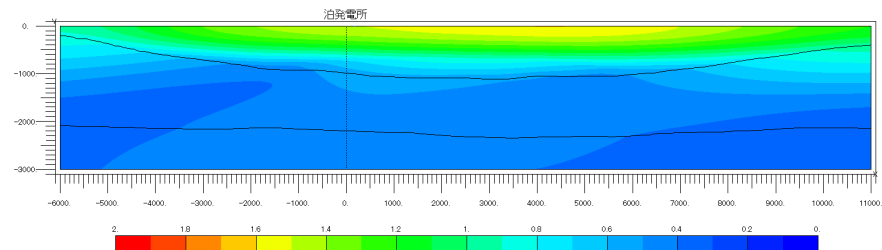
ケース2(+15度)



ケース3(-15度)



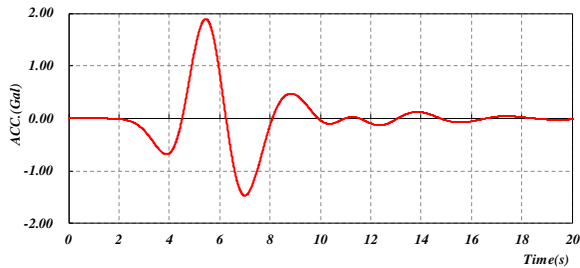
ケース4(+30度)



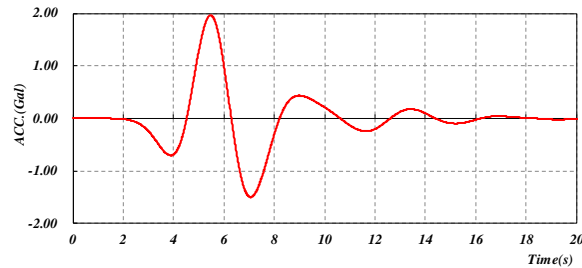
ケース5(-30度)

●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。

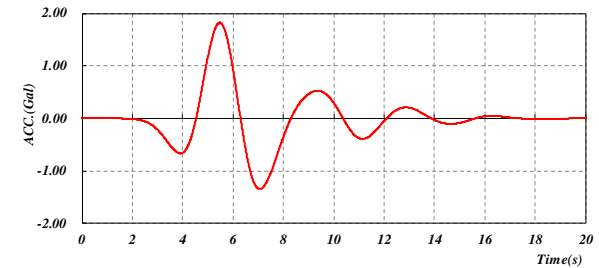
Ricker波による泊発電所位置での加速度応答波形(水平方向, 中心周期4.0s)



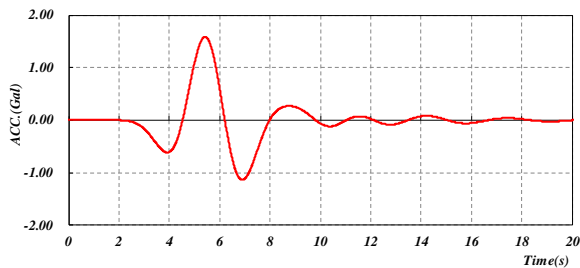
ケース2(+15度) 2D-MAX= 1.90



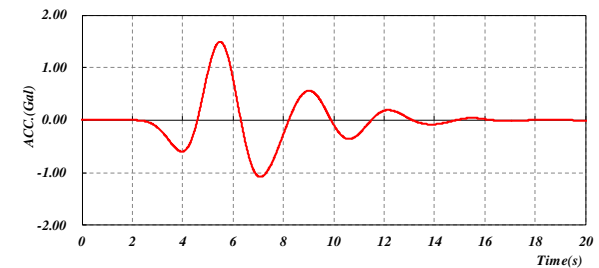
ケース1(0度(鉛直入射)) 2D-MAX= 1.97



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。

5.4 まとめ

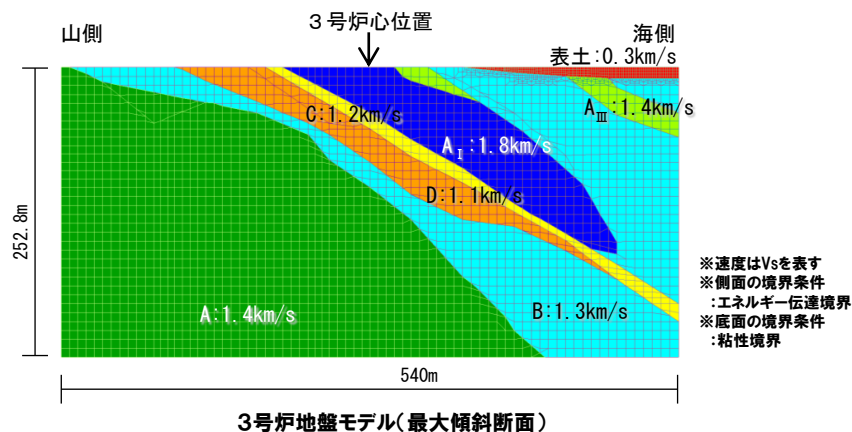
- 敷地周辺で実施した弾性波探査結果において、泊発電所敷地を含む領域の深部に緩やかな傾斜ではあるが、レンズ状の凹構造の地盤がみられることから、深部地下構造をモデル化した2次元FEM解析により振動特性に与える影響を評価した。
 - 1次元モデルとの比較によると、泊発電所位置での水平方向の伝達関数及び加速度応答波形は、同様の傾向となっており、レンズ状の凹構造による特異な傾向はみられない。
 - レンズ状の凹構造の地盤を含む解析モデル全体では、速度構造境界の傾斜により励起される地震波の干渉と考えられる増幅傾向がみられるが、泊発電所付近において局所的な増幅はみられない。
 - 泊発電所位置の加速度応答波形は、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。

6. 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

6.1 3号炉地盤の地質構造に基づく地盤モデル

3号炉地盤の地質構造に基づく地盤モデル

- 3号炉地盤に局所的に存在する安山岩及びD級岩盤と敷地全体にみられる傾斜構造を考慮して、2次元FEMにより3号炉地盤をモデル化した。
- 3号炉敷地地盤の構造の特徴(安山岩等の分布、傾斜構造)を踏まえ、振動特性評価を実施し、地質構造の特徴、入射方向等による振動特性への影響はみられるものの、特異な増幅はみられないことを確認した。
- 特に安山岩により短周期側の応答が低減されることを確認した。



3号炉地盤モデル地盤物性値

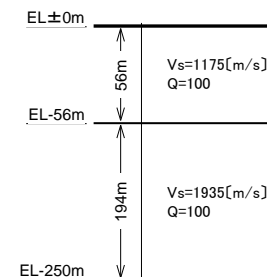
	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A _I 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A _Ⅲ 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50

地震動評価モデルへの展開

- 地震動評価に用いる地盤モデルは、安全側の配慮として、「3号炉地盤に局所的に存在する安山岩による応答の低減効果」を考慮しない。



- 敷地全体に分布する火砕岩類に基づいた1次元モデル(敷地全体モデル)を安全側のモデルとして採用する。



敷地全体モデル

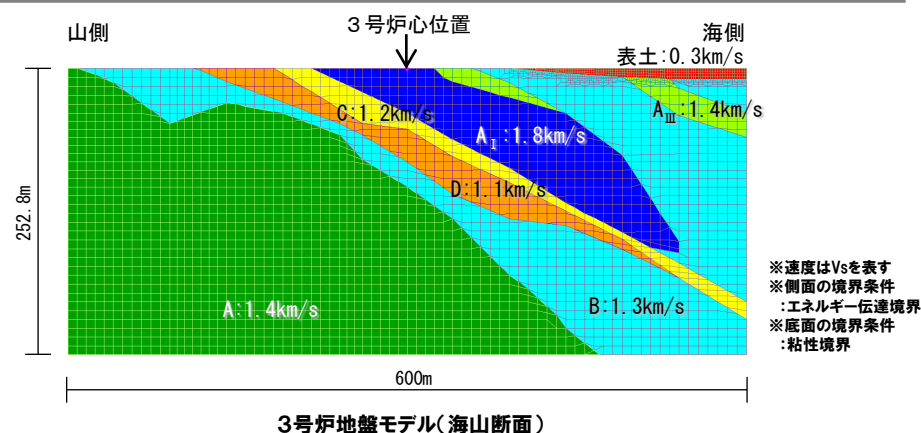
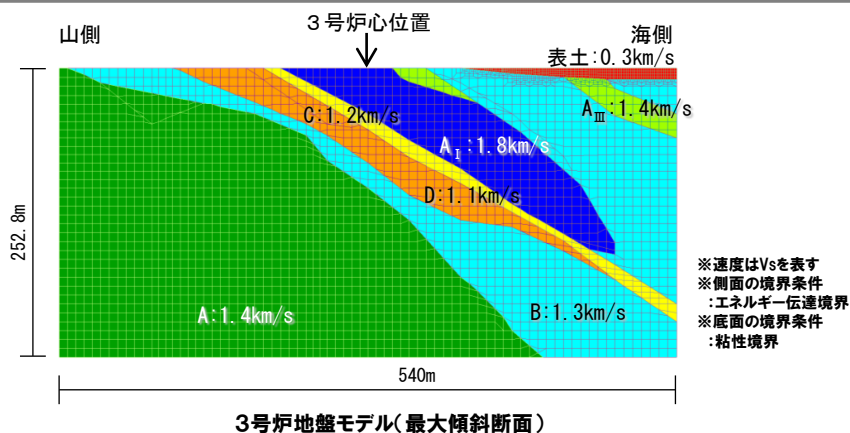
6. 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

6.2 敷地全体モデルの3号炉地盤への適用性確認

敷地全体モデルの3号炉地盤への適用性確認

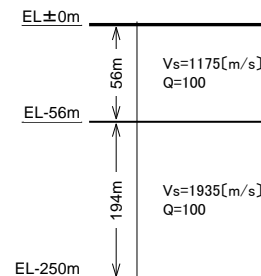
- 3号炉地盤に局部的に存在する安山岩による応答の低減効果を考慮しないことによる地震動評価への安全性を確認する。
- 敷地全体モデルと3号炉地盤モデル(最大傾斜断面及び海山断面)の振動特性を比較し、地震動評価の安全性を確認する。
- 検討にあたっては、各モデル下端に対する地表面の伝達関数(2E/2E)により比較検討する。

検討に用いる地盤モデル



3号炉地盤モデル地盤物性値

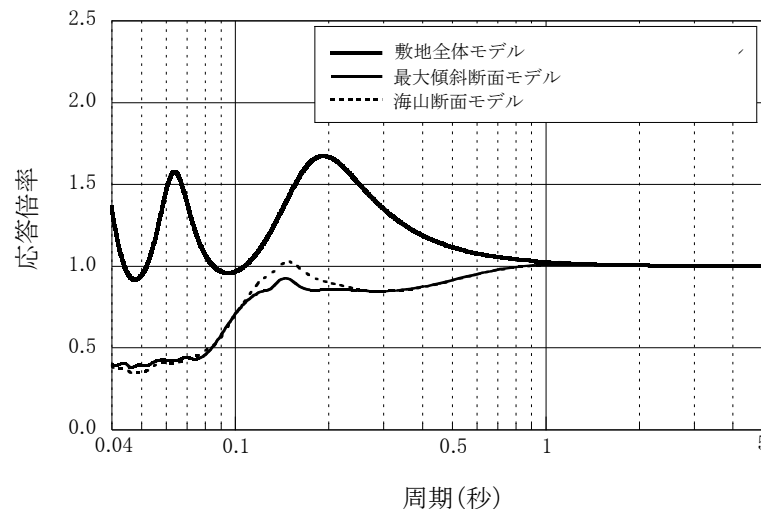
	密度ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(km/s)	P波速度 Vp(km/s)	Q値
A _i 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A _{iii} 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50



敷地全体モデル

6.2 敷地全体モデルの3号炉地盤への適用性確認

比較検討結果



各地盤モデルによる伝達関数

- 海山断面モデルと最大傾斜断面モデルによる伝達関数は、同様の傾向となっている。
- 3号炉地盤モデル(最大傾斜断面及び海山断面)による伝達関数は、敷地全体モデルの伝達関数と比較して、概ね同程度以下となっている。



- 3号炉の地震動評価において、安山岩の応答低減効果を見込まない敷地全体モデルで安全側に地震動評価を実施することが可能と考えられる。

6.3 まとめ

●3号炉地盤に局所的に存在する安山岩及びD級岩盤と敷地全体にみられる傾斜構造を考慮して、2次元FEMにより3号炉地盤をモデル化。



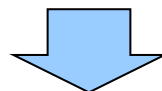
●地震動評価に用いる地盤モデルは、安全側の配慮として、「3号炉地盤に局所的に存在する安山岩による応答の低減効果」を考慮しない。
●敷地全体に分布する火砕岩類に基づいた1次元モデル(敷地全体モデル)を安全側のモデルとして採用。



●3号炉地盤に局所的に存在する安山岩による応答の低減効果を考慮しないことによる地震動評価の安全性を確認。
➢3号炉地盤モデルによる伝達関数は、敷地全体モデルの伝達関数と比較して、概ね同程度以下となっている。
➢敷地全体モデルを用いてSGFにより算出された地震波に比べて、3号炉地盤モデルにより算出された地震波は、短周期側で小さくなる傾向にある。



●3号炉の地震動評価において、安山岩の応答低減効果を見込まない敷地全体モデルで地震動評価することが可能。



●現行の敷地全体モデルを地震動評価に用いる地下構造モデルとして採用。

【参考】

1. 地震観測記録を用いた検討 77
2. 地質構造を考慮した解析による検討 96
3. 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討 125

概要(敷地地盤の振動特性に関する検討項目)

【地下構造に関する調査結果】

- 地震基盤とみなせるP波速度6.0km/sの層は、敷地周辺では標高-2200m程度で大局的には平坦。
- 敷地は、凝灰角礫岩及び凝灰岩等を主体(3号炉側に一部安山岩が分布)とした地質構造であり、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。
- 敷地地盤は硬質で、速度構造に極端なコントラストのある部分が存在していない。

【地震観測記録を用いた検討】

【Noda et al. (2002) による応答スペクトルとの比較検討】

- ・観測された地震の特異な増幅特性の有無を確認
- ・深部地盤を含めた敷地における増幅特性の有無を確認

【参考検討】

- ・経験的サイト増幅特性に関する検討

【地震の到来方向による影響検討】

- ・地震の到来方向による特異な増幅特性の有無を確認することで、敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅特性の有無を確認

【参考検討】

- ・K-NET観測点及びKiK-net観測点の地震観測記録を用いた検討
- ・地震観測記録のS波主要動による検討

【安山岩等による影響検討】

- ・3号炉側に分布する安山岩等を含む観測点間のフーリエスペクトル比を評価し、安山岩等による特異な増幅特性の有無を確認

【1号炉観測点と3号炉観測点との比較】

- ・号機間の増幅特性の差異を確認

【解析による検討】

【地質構造を考慮した解析による検討】

【傾斜構造、入射角、入射方位角による影響検討】

- ・傾斜構造、入射角、入射方位角が伝達関数へ与える影響を確認

【参考検討】

- ・安山岩及びD級岩盤による影響検討
- ・安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響検討
- ・安山岩等の平面的分布形状を考慮した検討
- ・後背斜面を考慮した検討
- ・Ricker波による各種検討

【観測記録と解析による検討の比較】

- ・2次元地盤モデルにより解析的に評価した伝達関数の妥当性を確認

【参考検討】

- ・最大傾斜断面を考慮した振動特性と地震観測記録の比較

【深部凹構造による振動特性に関する検討】

【フォーカシングに関する検討】

- ・泊発電所敷地を含む領域のレンズ状の凹構造による特異な増幅特性の有無を確認

【地震動評価に用いる地下構造モデルの検討】

【地震動評価に用いる地下構造モデルの検討】

- ・3号炉地盤の地質構造による特性を踏まえた地震動評価モデルの設定
- ・地震動評価に用いる地下構造モデルの妥当性を確認

【参考検討】

- ・敷地全体モデルの3号炉地盤への適用性確認

1. 地震観測記録を用いた検討

1. 地震観測記録を用いた検討

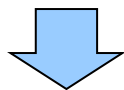
1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

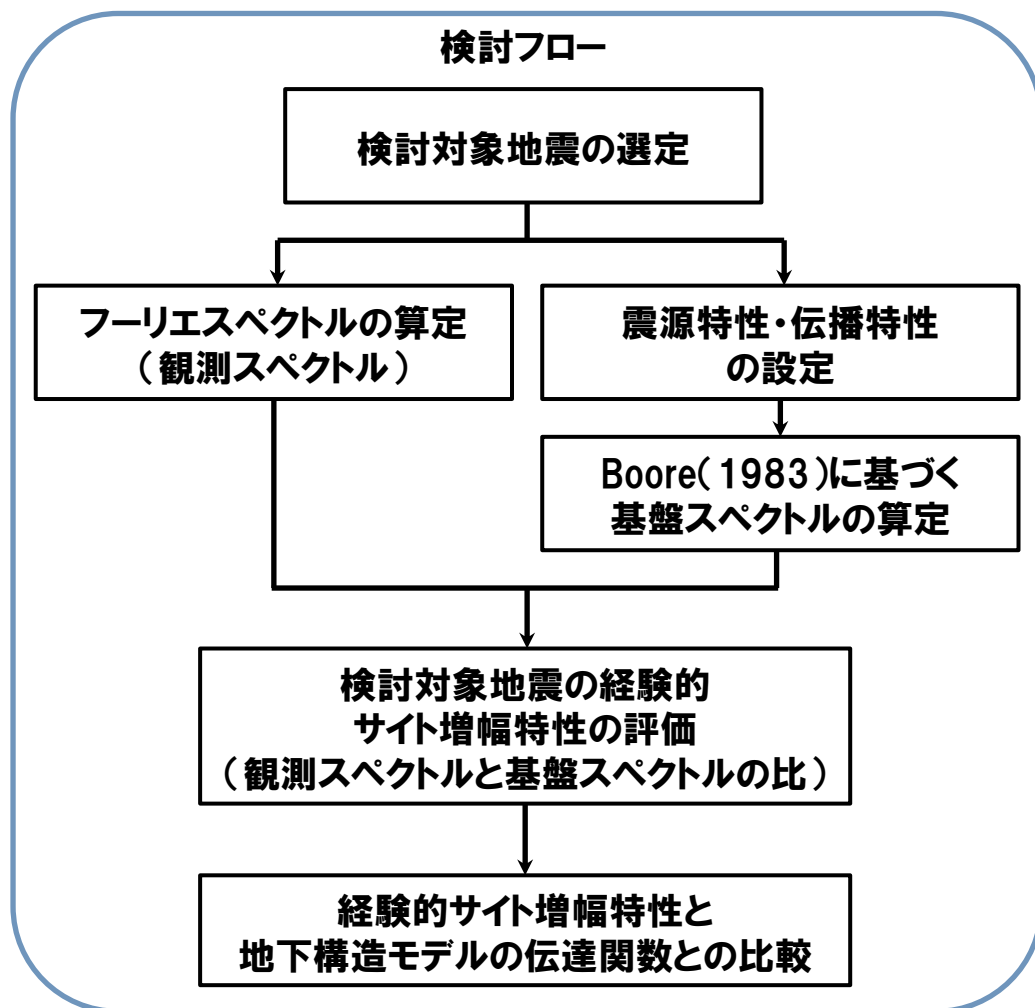
- 経験的サイト増幅特性評価に用いることができる観測記録が少なく、振幅レベルも小さいため、参考として、敷地で得られた観測既得を用いた経験的サイト増幅特性について検討する。

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。



1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

再掲(11/20審査会合資料)

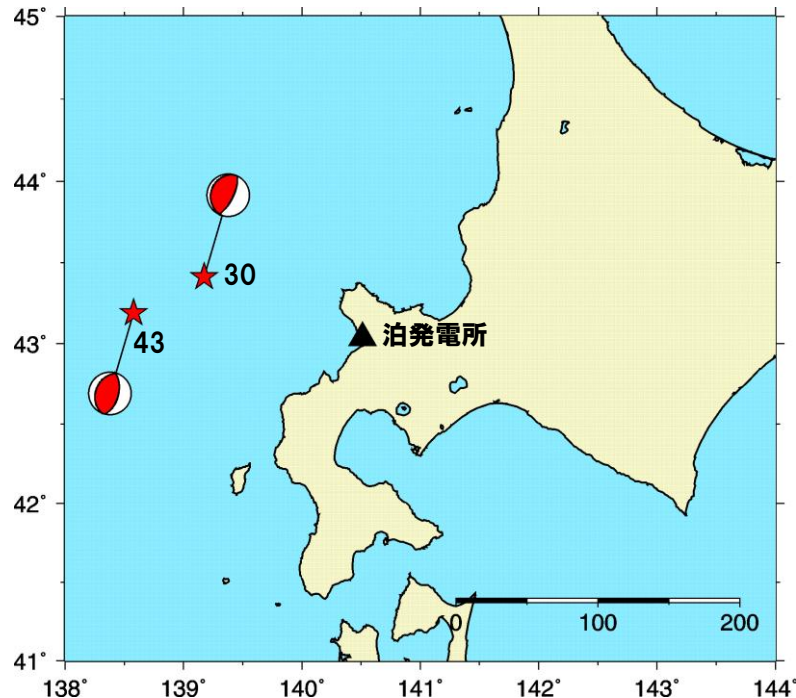
検討対象地震の選定

● 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



1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

再掲(11/20審査会合資料)

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	ω^{-2} モデルに基づく震源スペクトルと観測記録(標高±0mのはぎとり波)から伝播特性の影響を除いた震源スペクトルとの対応から推定
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

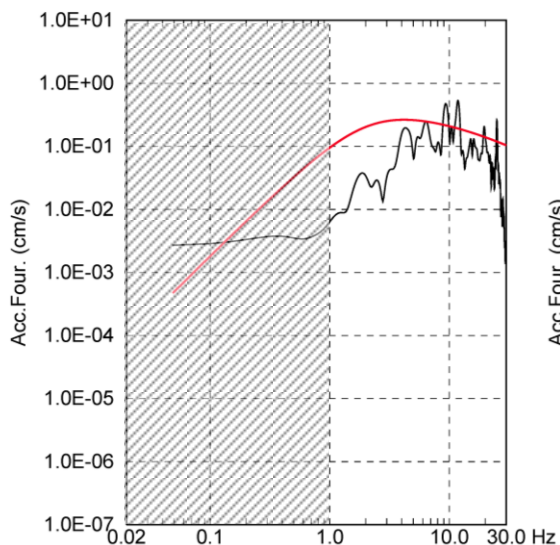
1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

再掲(11/20審査会合資料)

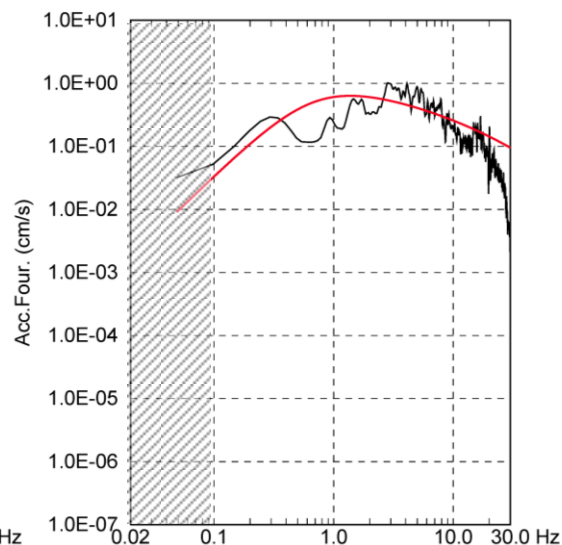
観測スペクトルと基盤スペクトルの算定結果

- 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

1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

再掲(11/20審査会合資料)

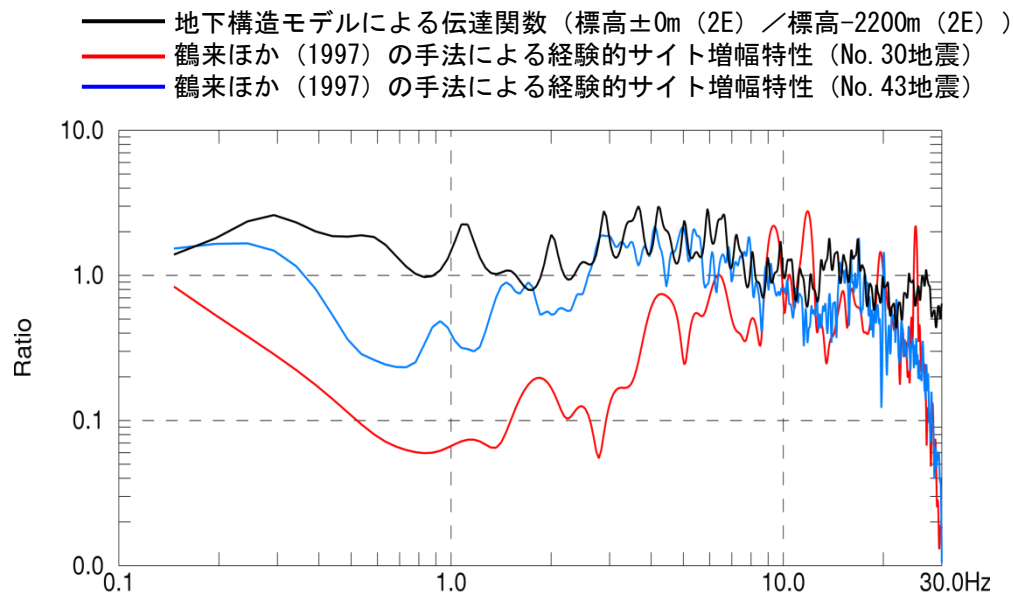
経験的サイト増幅特性と地下構造モデルによる伝達関数との比較

- 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。

1. 地震観測記録を用いた検討

1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

一部加筆修正 (12/25審査会合資料)

- 「No43 北海道南西沖」の地震について、鶴来ほか(1997)の手法を踏まえつつ参考として、設定パラメータの見直しを行い、地震観測記録を用いた深部地盤からの増幅特性を再検討した。

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. 43地震	
震源距離	160km	
地震モーメント	$3.73 \times 10^{17} \text{N} \cdot \text{m}$	F-netによる
コーナー周波数	0.7Hz	ω^{-2} モデルに基づく震源スペクトルと観測記録(標高±0mのはぎとり波)から伝播特性の影響を除いた震源スペクトルとの対応から推定
高周波遮断周波数※	20Hz (—)	
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※	$f \leq 0.5\text{Hz}$: 理論値 (0.63) $0.5\text{Hz} < f < 5\text{Hz}$: 遷移領域 (0.63) $f \geq 5\text{Hz}$: 0.445 (0.63)	
Q値	$110 \cdot f^{0.69}$	佐藤(1994)による

※ 設定パラメータの見直しを実施。括弧内は、見直し前の設定値

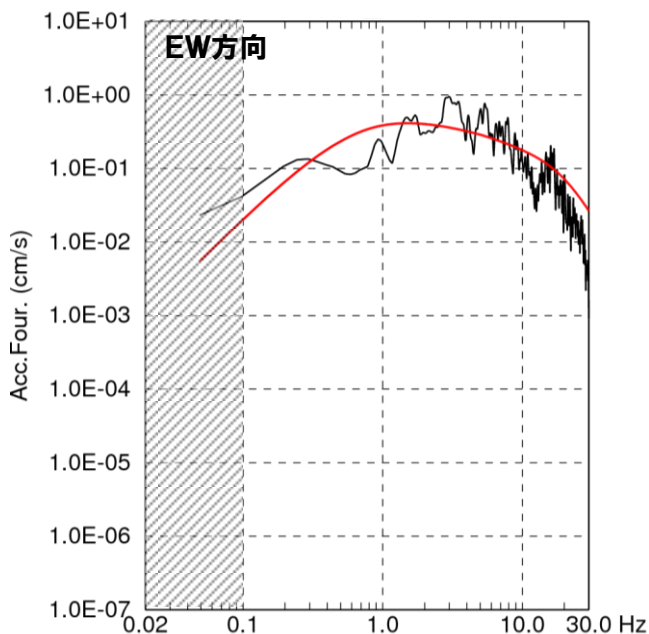
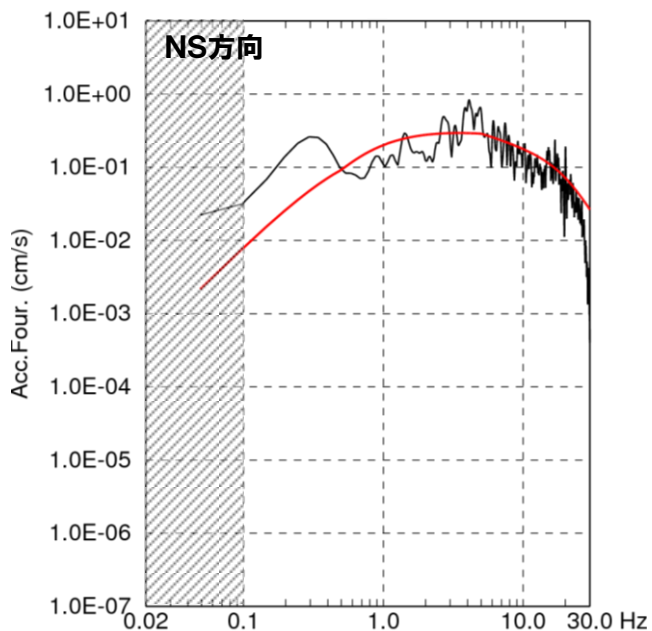
1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

再掲(12/25審査会合資料)

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.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

1.1 経験的サイト増幅特性に関する検討

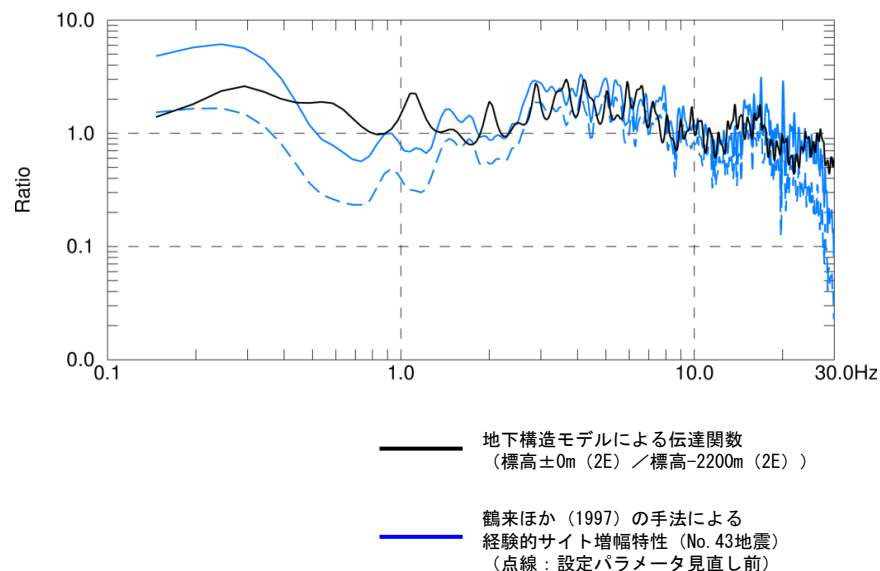
再掲(12/25審査会合資料)

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

- 経験的サイト増幅特性評価に用いることができる観測記録が少なく、振幅レベルも小さいことから、評価精度には限界があるものの、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、設定パラメータを見直したことにより、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に近づく結果となった。
- なお、経験的サイト増幅特性評価については、今後も継続的に地震観測記録の収集を実施し、精度向上に努める。

1. 地震観測記録を用いた検討

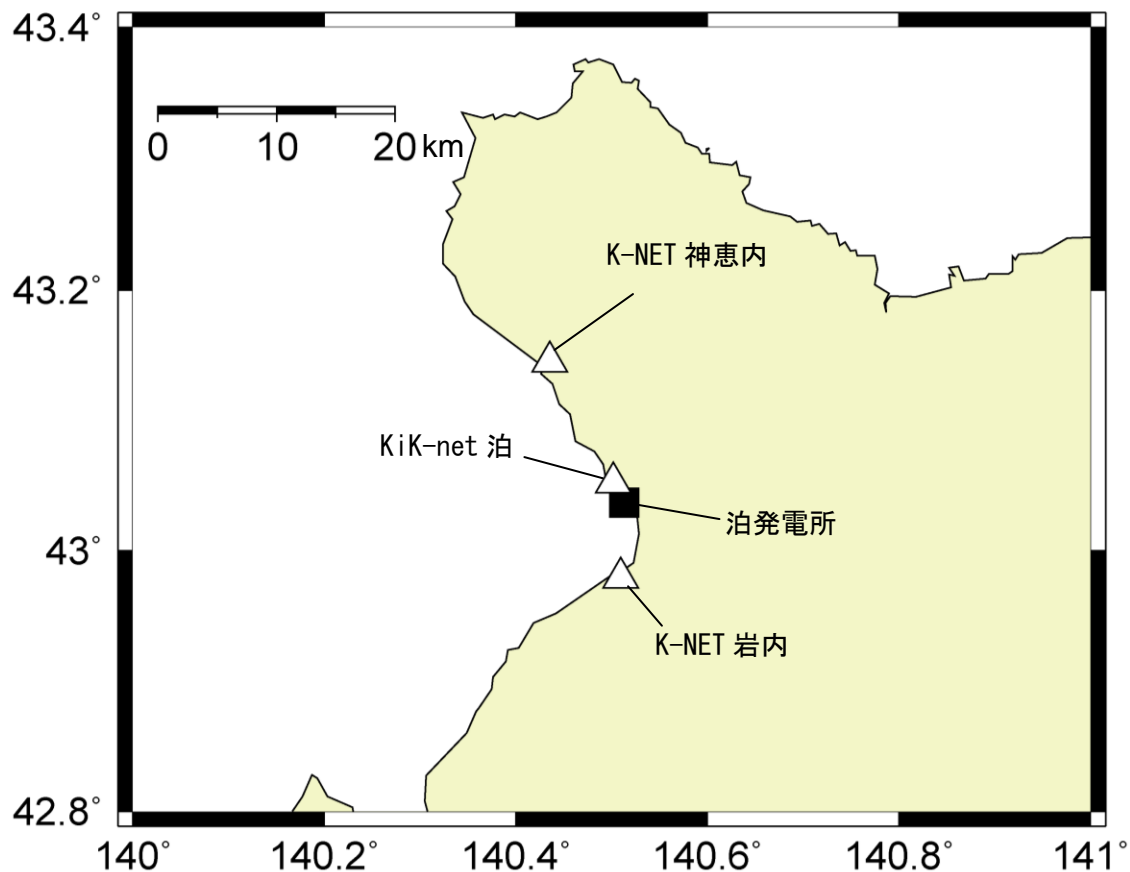
1.2 K-NET観測点等の地震観測記録を用いた検討

再掲(10/2審査会合資料)

K-NET観測点及びKiK-net観測点の地震観測記録を用いた検討

- 地震動の到来方向による増幅特性への影響について、敷地の地震観測記録と敷地周辺のK-NET及びKiK-net観測点の地震観測記録との比較による確認を行った。

検討に用いる地震観測点



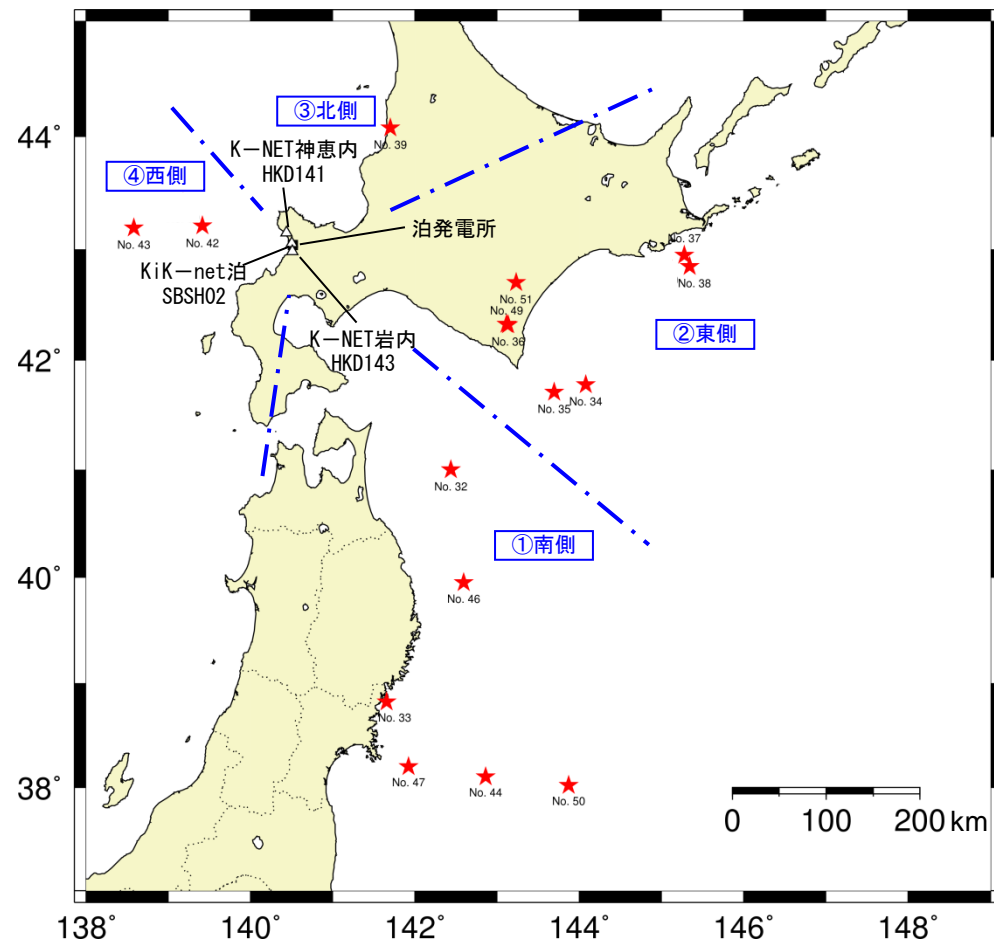
1. 地震観測記録を用いた検討

1.2 K- NET観測点等の地震観測記録を用いた検討

再掲(10/2審査会合資料)

検討対象地震

●検討対象とした地震を到来方向により分類し、各観測点の応答スペクトルと1, 2号炉観測点及び3号炉観測点との応答スペクトル比に基づき到来方向別の増幅特性を確認した。



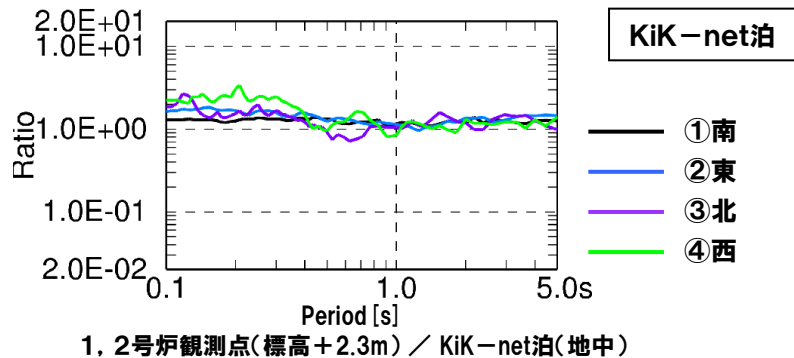
No.	1,2号炉	3号炉	泊	岩内	神恵内	分類
32	○	—	○	—	—	南
33	○	—	○	—	—	南
34	○	○	○	○	○	東
35	○	○	○	○	—	東
36	○	—	○	○	—	東
37	—	○	—	○	—	東
38	—	○	○	○	—	東
39	○	○	○	○	—	北
42	—	○	○	○	○	西
43	○	○	○	○	—	西
44	○	○	○	○	○	南
46	○	○	○	○	—	南
47	—	○	○	—	—	南
49	○	○	○	○	—	東
50	—	○	○	○	—	南
51	○	○	○	○	—	東

1. 地震観測記録を用いた検討

1.2 K-NET観測点等の地震観測記録を用いた検討

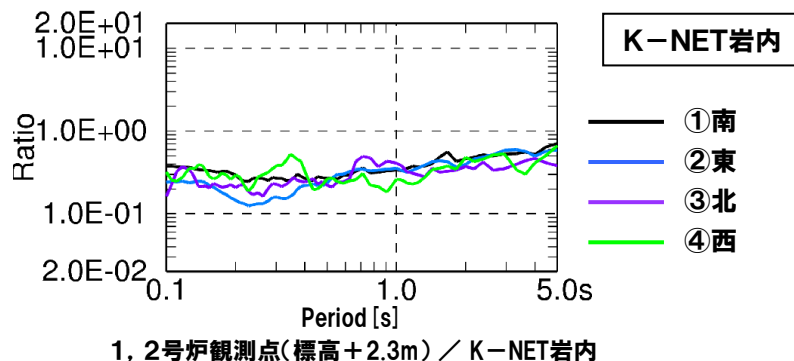
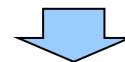
再掲(10/2審査会合資料)

〔到来方向別〕他機関との応答スペクトルの比較(1, 2号炉観測点)

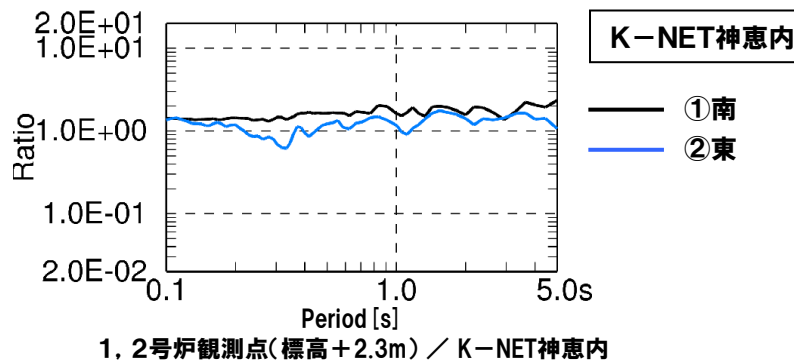


●敷地周辺のK-NET及びKiK-net観測点毎に各観測点の応答スペクトルと1, 2号炉観測点との応答スペクトルの比較に基づき到来方向別の傾向を検討

●泊発電所と他地点との応答スペクトル比の割合は、地点によって異なるが、この傾向は泊発電所以外の観測点を含めた地盤の影響と考えられる



●一方、各観測点毎の応答スペクトル比の傾向は、到来方向によらず概ね同様の傾向を示す



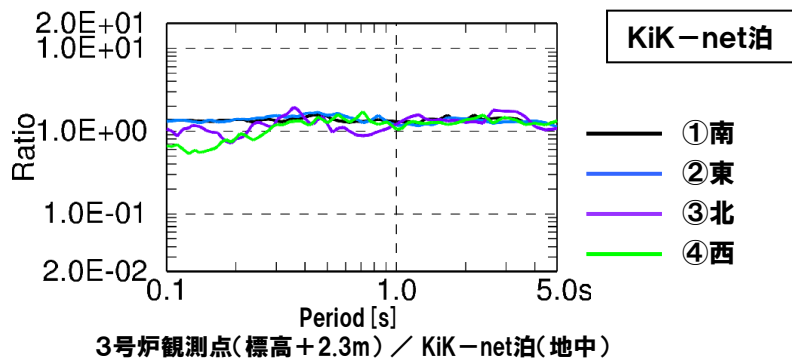
●泊発電所と他地点との比較においても、泊発電所の敷地地盤では、到来方向による顕著な増幅の傾向はみられていない

1. 地震観測記録を用いた検討

1.2 K-NET観測点等の地震観測記録を用いた検討

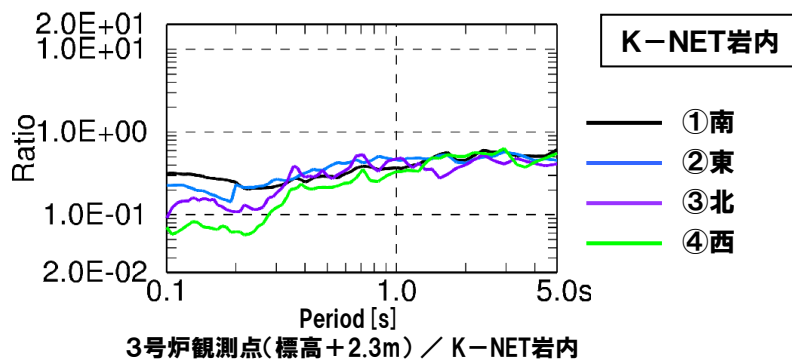
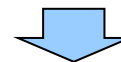
再掲(10/2審査会合資料)

〔到来方向別〕他機関との応答スペクトルの比較(3号炉観測点)

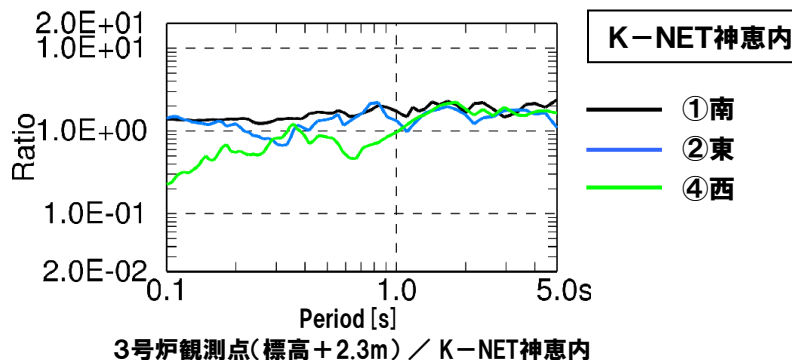
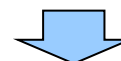


●敷地周辺のK-NET及びKiK-net観測点毎に各観測点の応答スペクトルと3号炉観測点との応答スペクトルの比較に基づき到来方向別の傾向を検討

●泊発電所と他地点との応答スペクトル比の割合は、地点によって異なるが、この傾向は泊発電所以外の観測点を含めた地盤の影響と考えられる



●一方、各観測点毎の応答スペクトル比の傾向は、到来方向によらず概ね同様の傾向を示す



●泊発電所と他地点との比較においても、泊発電所の敷地地盤では、到来方向による顕著な増幅の傾向はみられていない

●1, 2号炉観測点及び3号炉観測点共に到来方向による顕著な増幅の傾向はみられていないことから、泊発電所敷地地盤における地震の到来方向による特異な増幅傾向は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 地震観測記録のS波主要動による検討

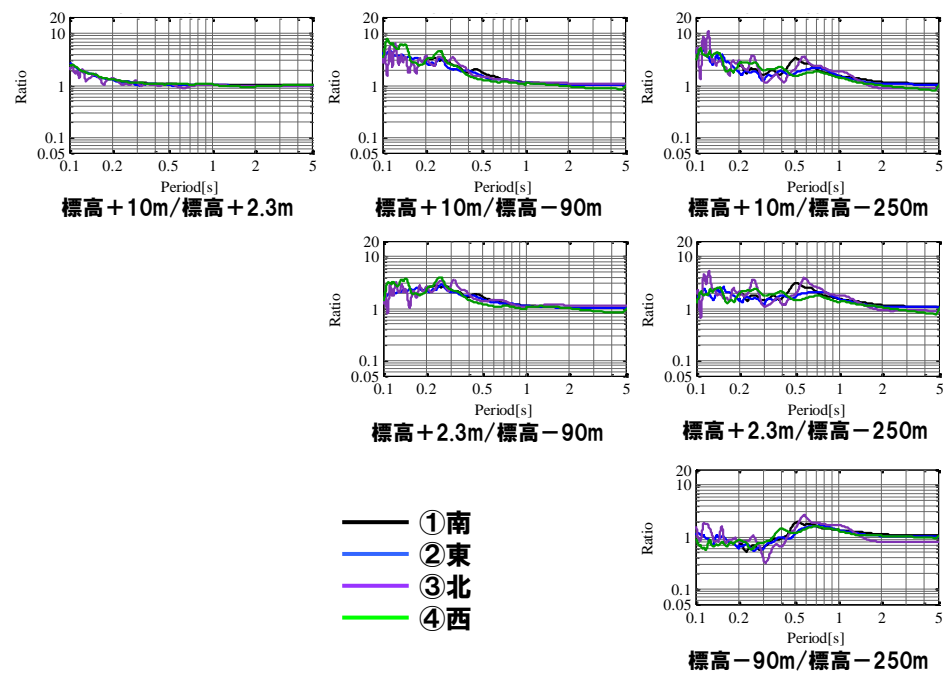
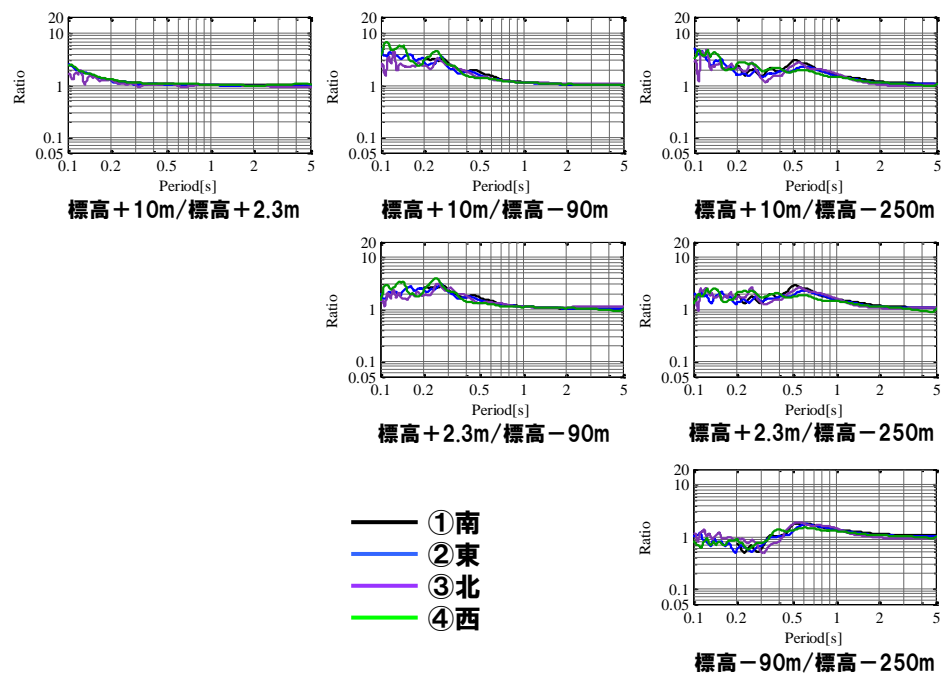
再掲 (11/20審査会合資料)

●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



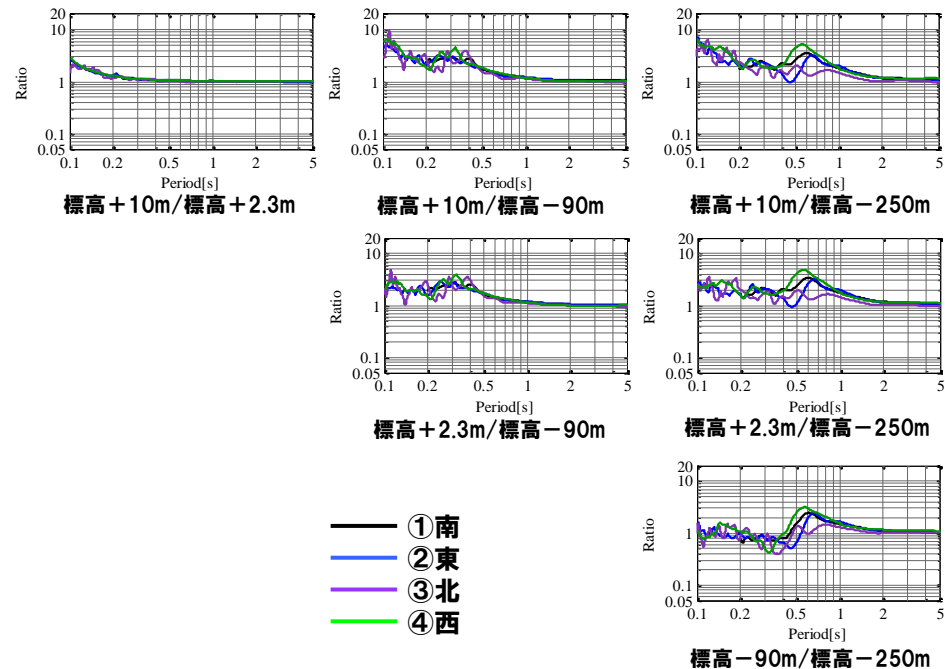
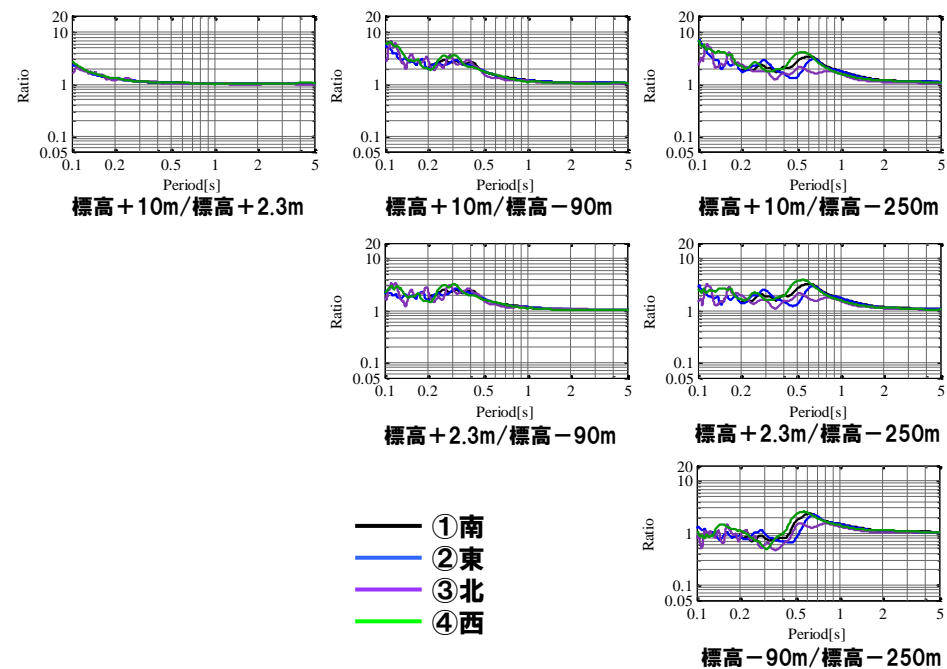
1.3 地震観測記録のS波主要動による検討

再掲 (11/20審査会合資料)

〔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



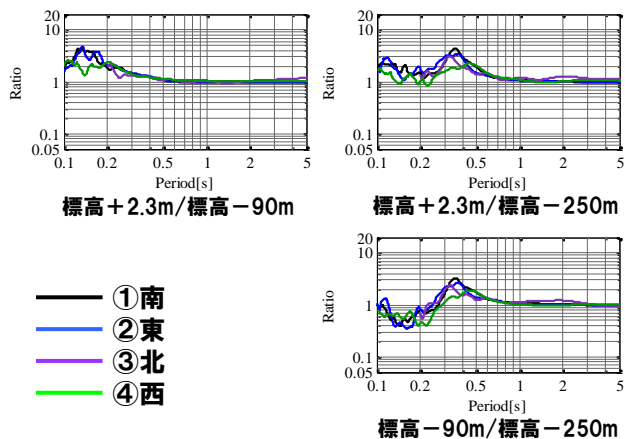
1. 地震観測記録を用いた検討

1.3 地震観測記録のS波主要動による検討

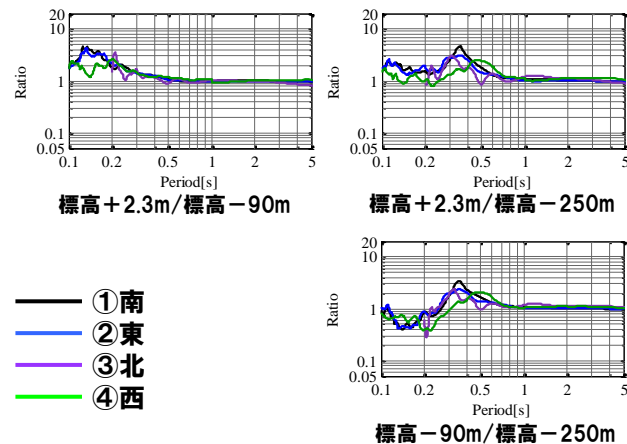
再掲(11/20審査会合資料)

〔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

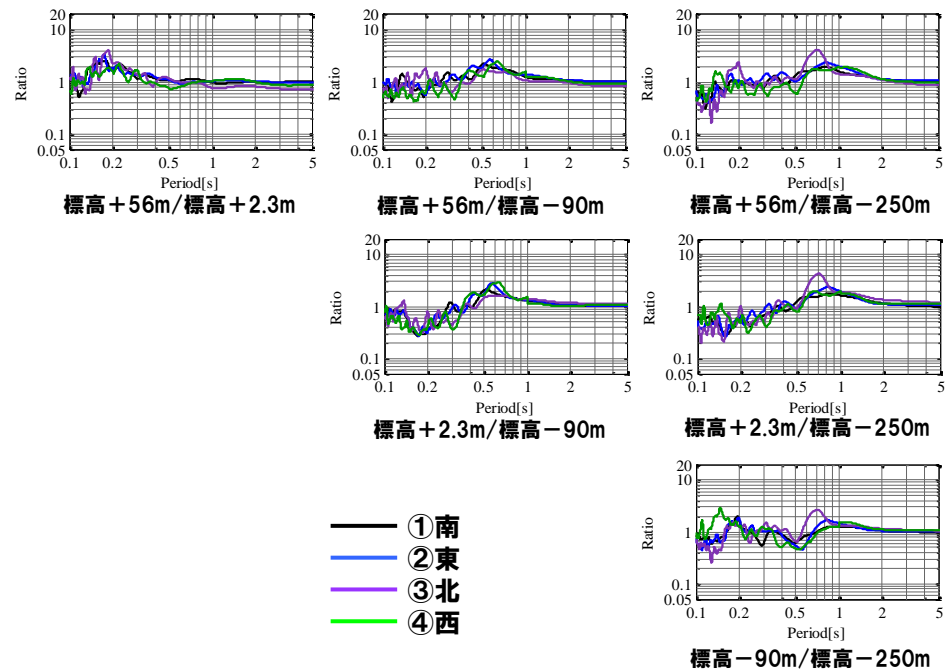
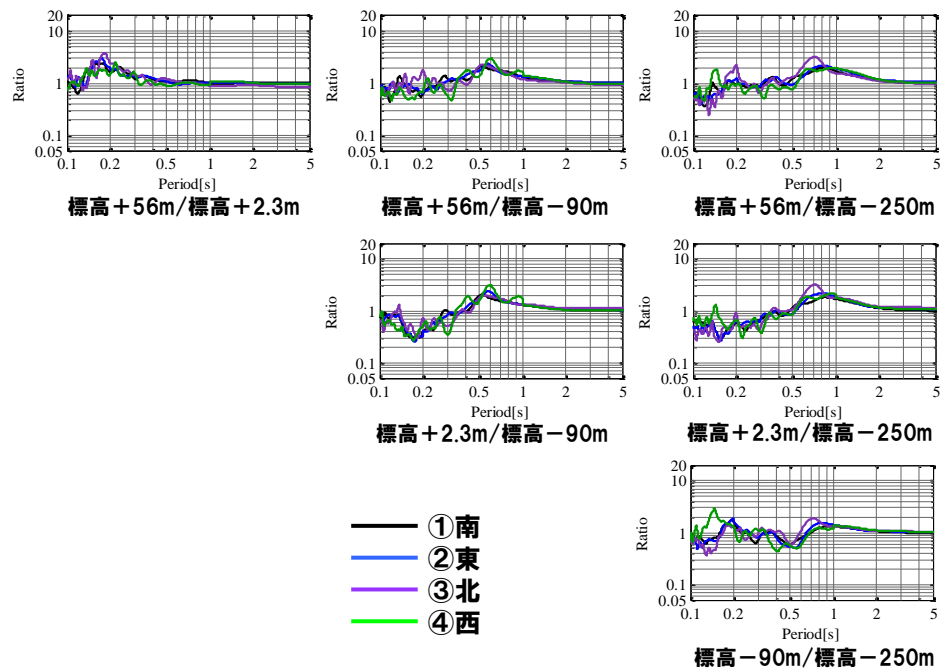
1.3 地震観測記録のS波主要動による検討

再掲 (11/20審査会合資料)

〔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

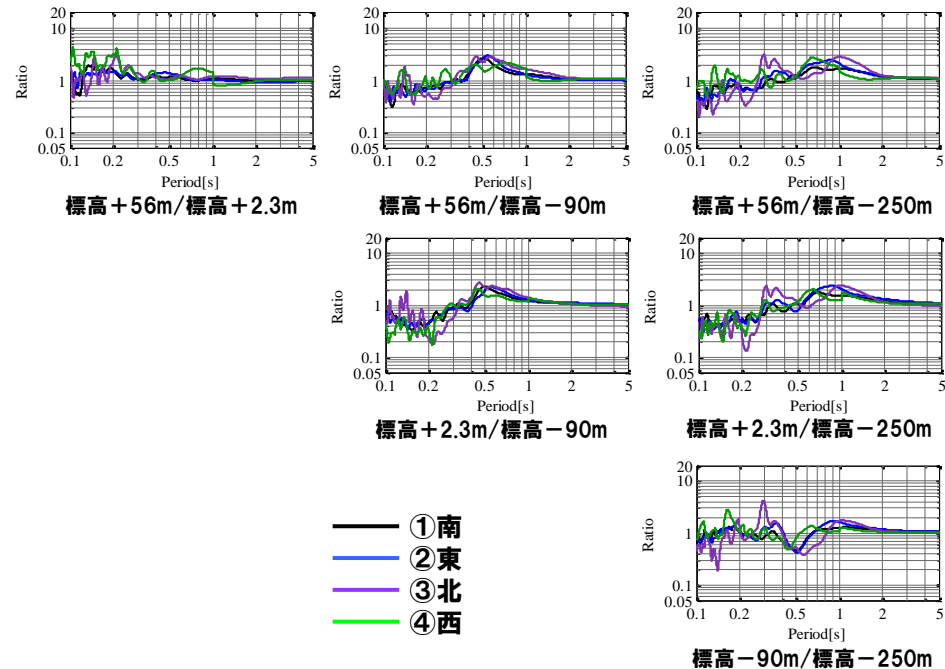
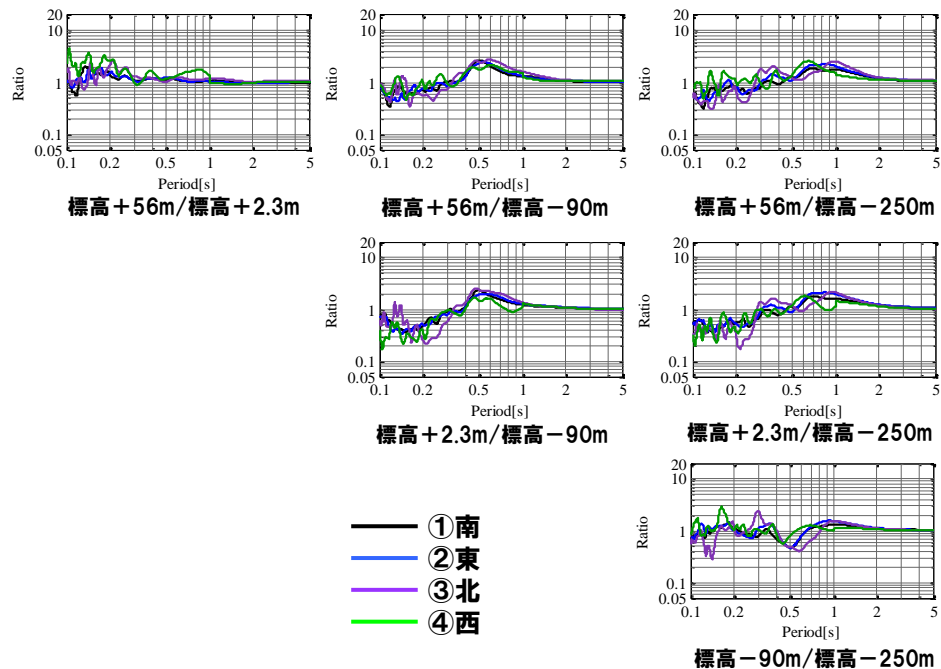
1.3 地震観測記録のS波主要動による検討

再掲 (11/20審査会合資料)

〔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

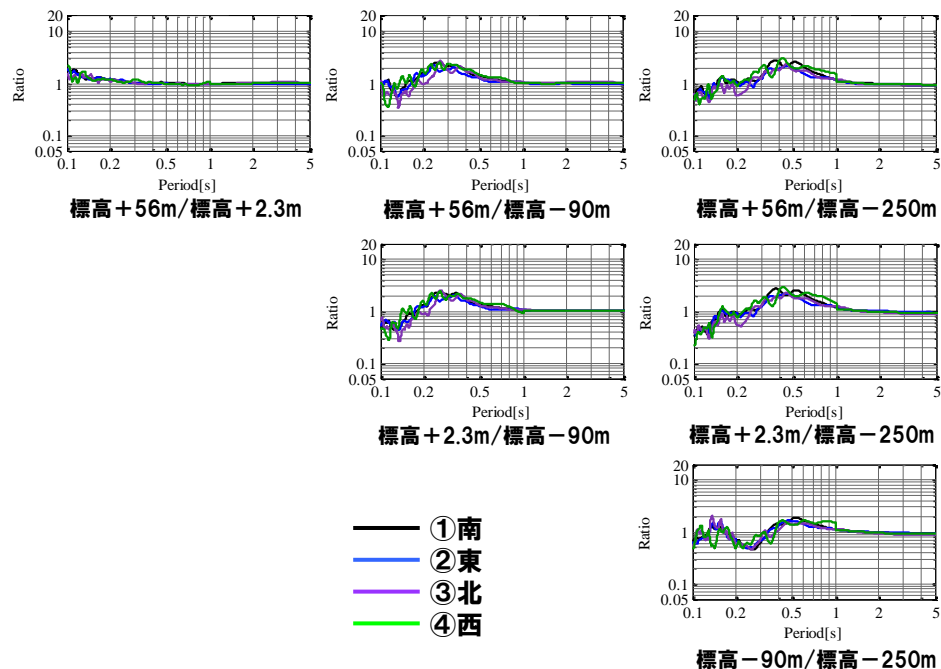


1.3 地震観測記録のS波主要動による検討

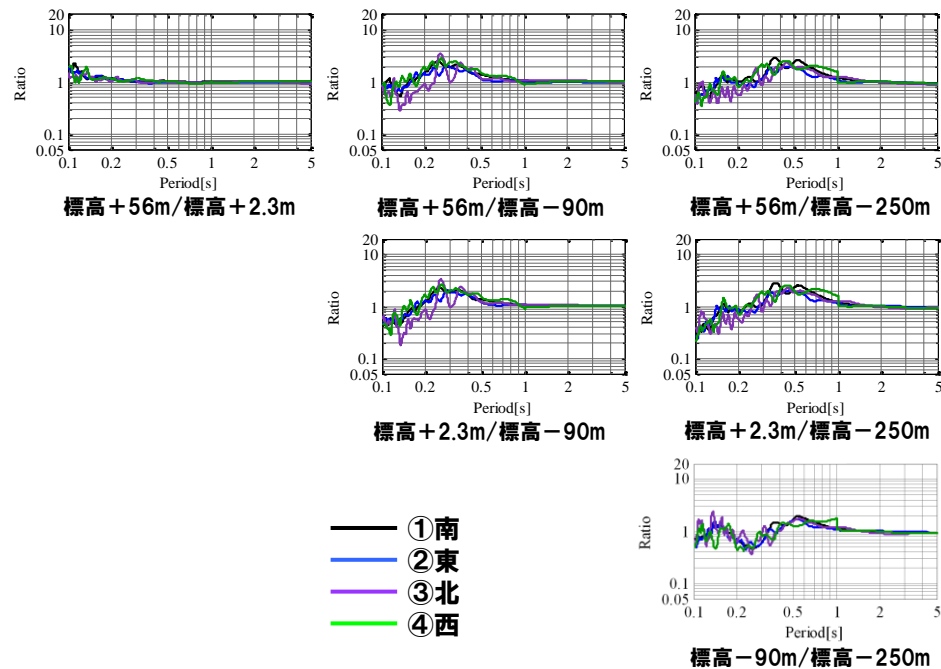
再掲(11/20審査会合資料)

〔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。

2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.1 安山岩及びD級岩盤による影響検討

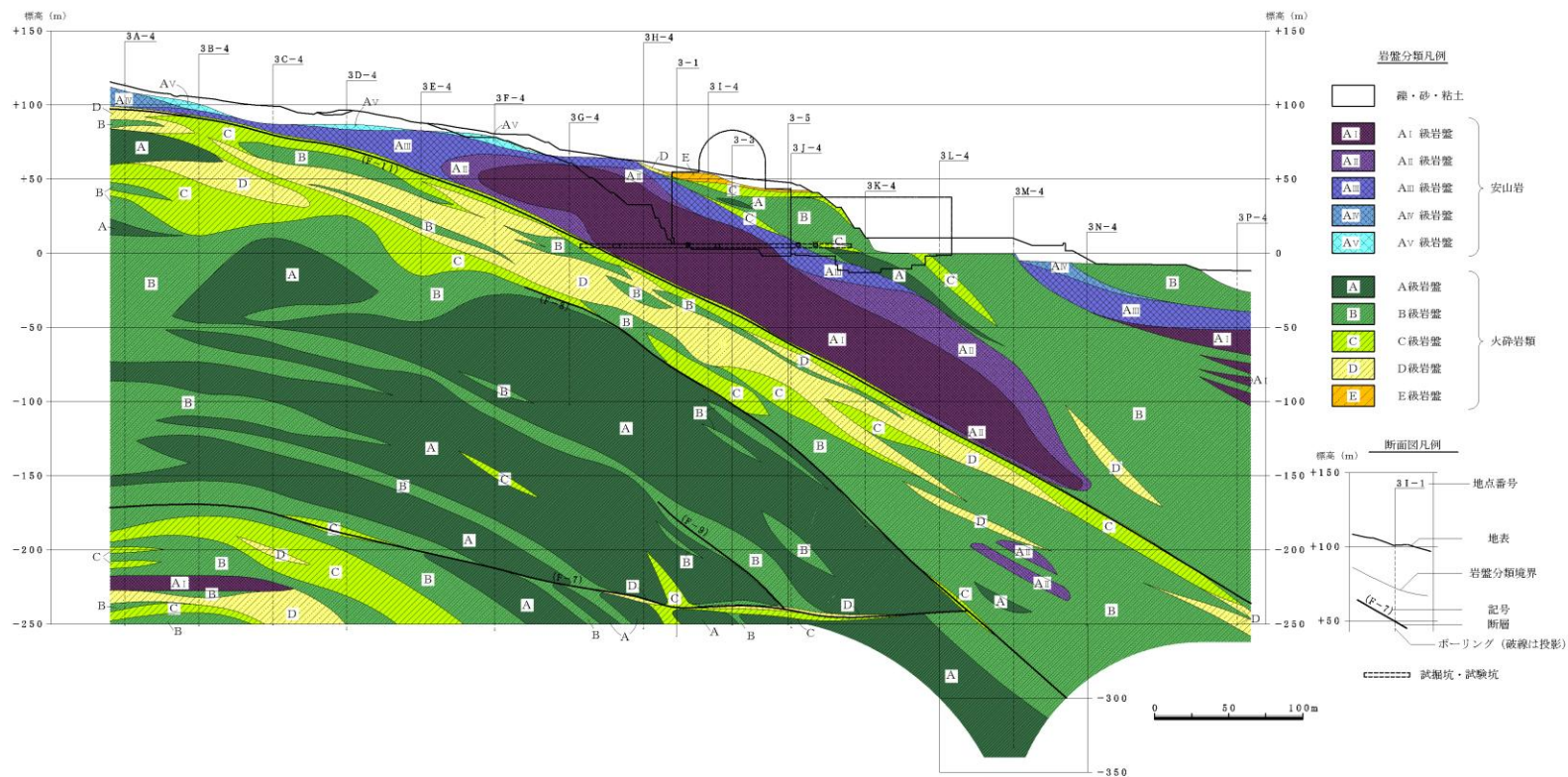
再掲 (11/20審査会合資料)

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)

2.1 安山岩及びD級岩盤による影響検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

- 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「2.2 安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響検討」における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。

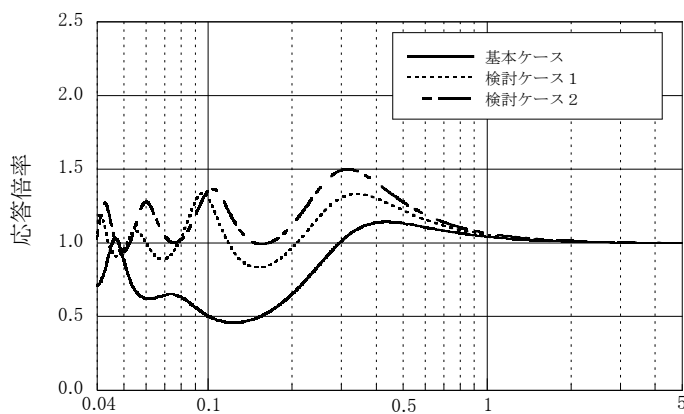


地盤物性値

	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。

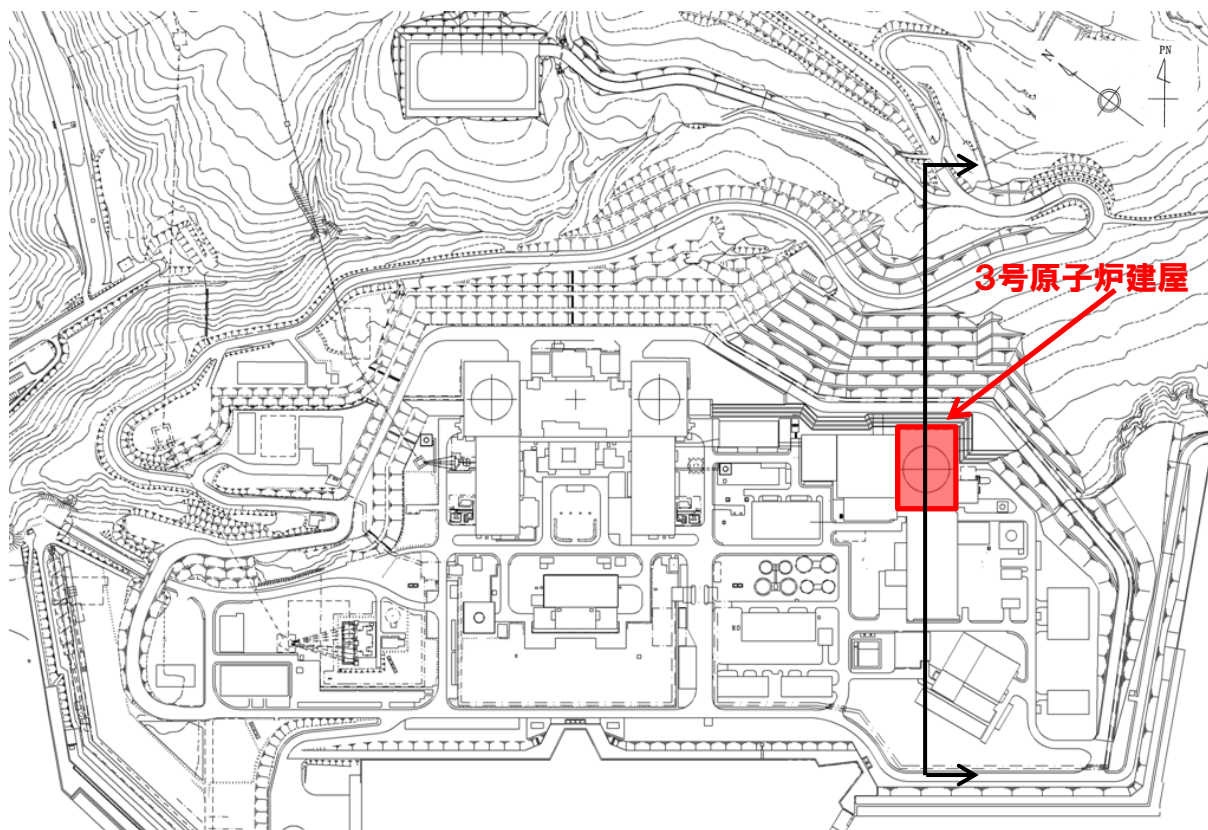
2.2 安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

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、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。

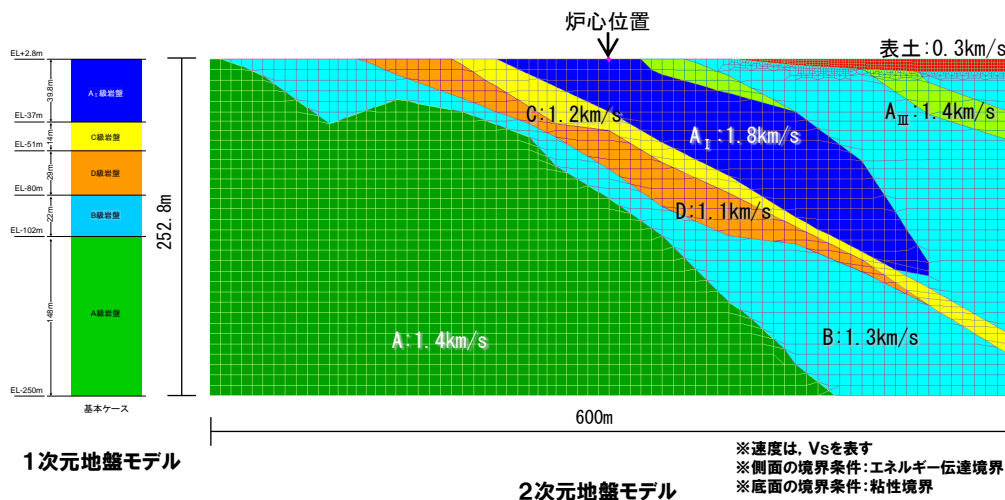
2.2 安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響検討

再掲(11/20審査会合資料)

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。

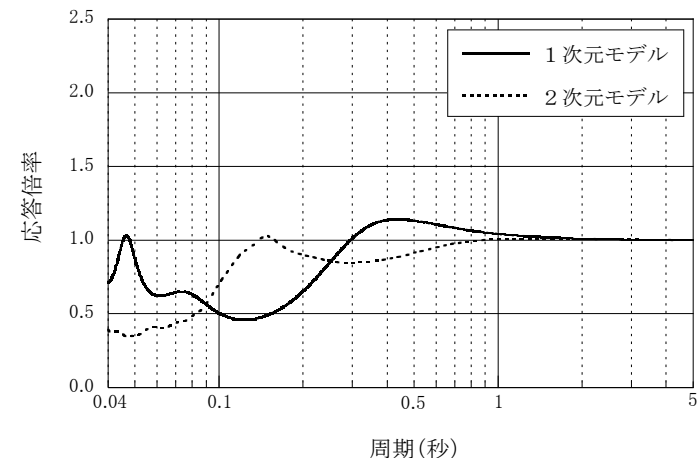
3号炉地盤モデル及び地盤物性値



地盤物性値

	密度ρ (g/cm ³)	S波速度 Vs(km/s)	P波速度 Vp(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。

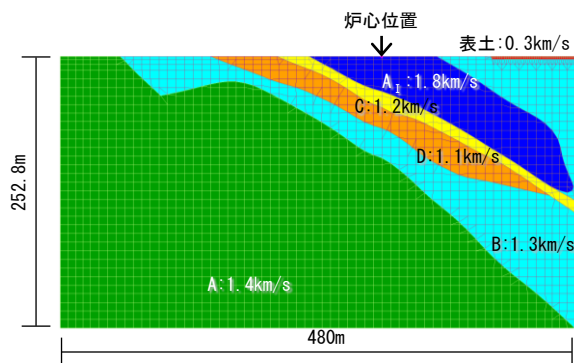
2.3 安山岩等の平面的分布形状を考慮した検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

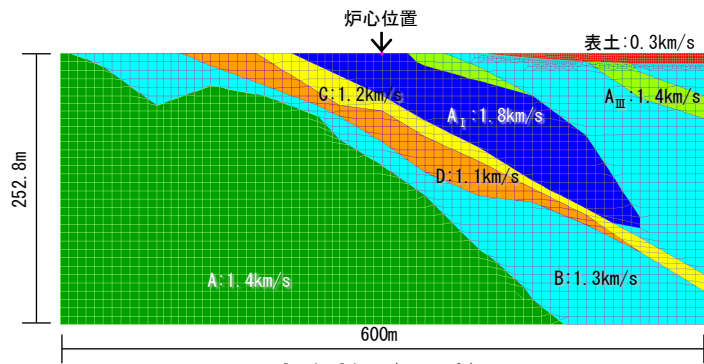
地盤モデルの設定及び検討結果

- 2次元地盤モデルは、標高-250mから標高+2.8mまで、幅を600m及び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号炉心位置地表面の応答の伝達関数(2E/2E)を算出して比較検討する。

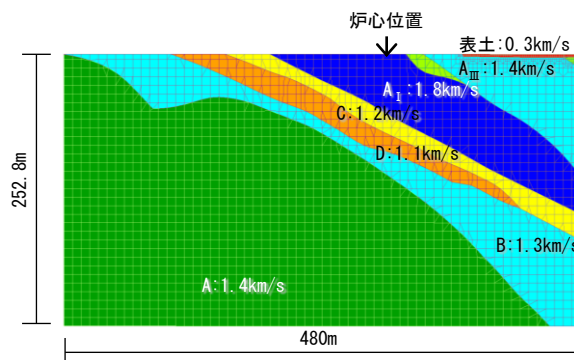
※地盤物性値は、『2.2 安山岩等を含む地盤の傾斜構造の影響検討』に用いた値と同様
 ※速度は、Vsを表す
 ※側面の境界条件:エネルギー伝達境界
 ※底面の境界条件:粘性境界



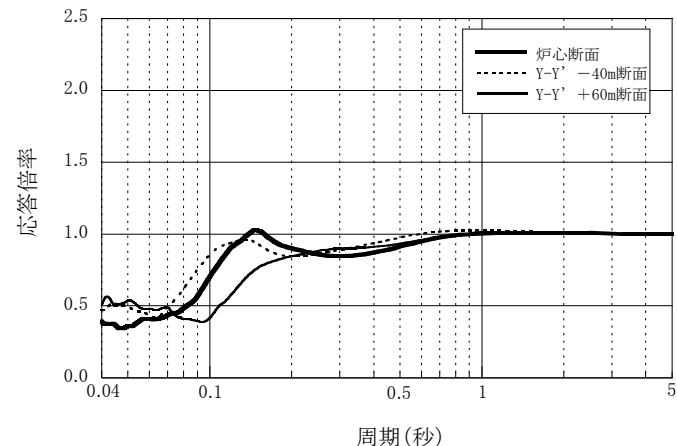
Y-Y' - 40m断面



炉心断面 (Y-Y')



Y-Y' + 60m断面



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Y-Y' + 60m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。

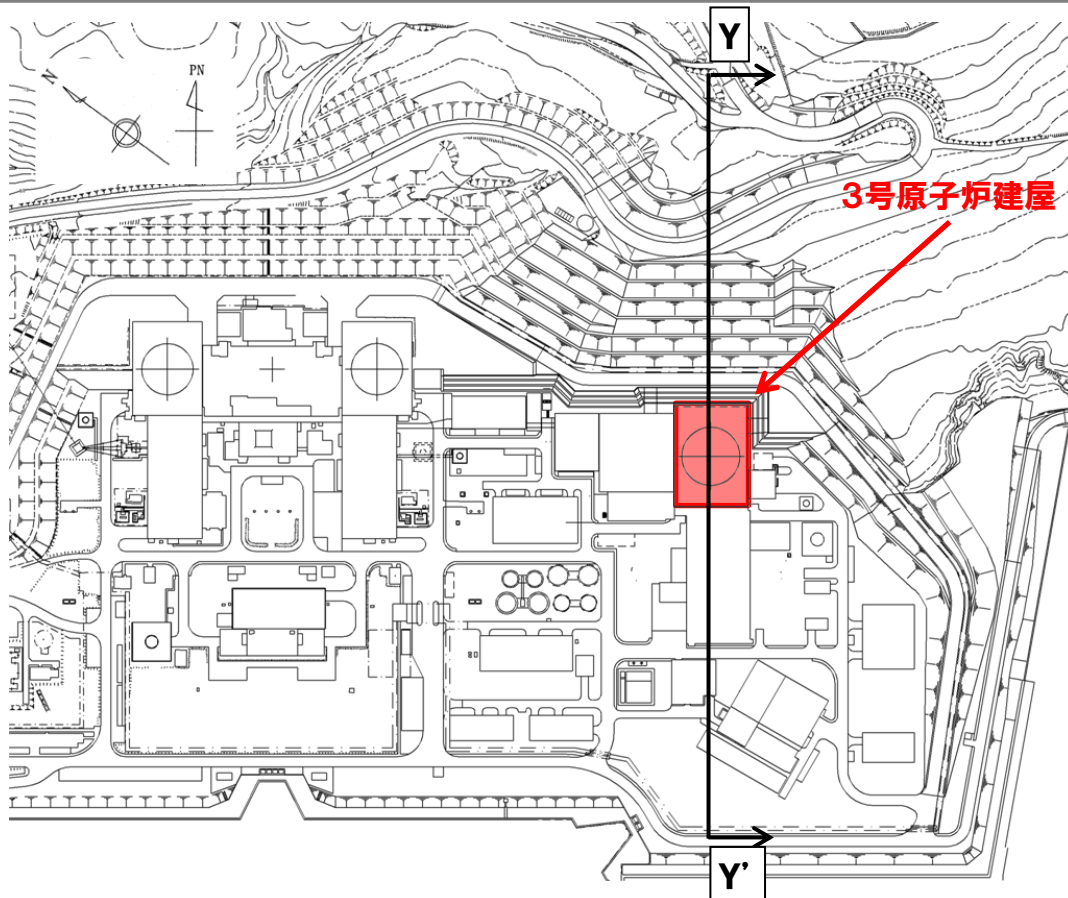
2.4 3号炉後背斜面を考慮した検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

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。

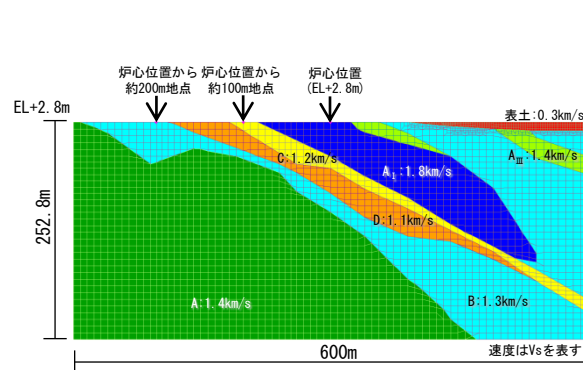
2.4 3号炉後背斜面を考慮した検討

一部加筆修正 (11/20審査会合資料)

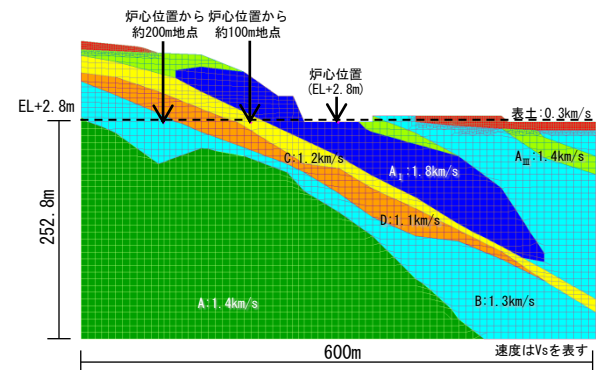
地盤モデルの設定

- 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($E+F/2E$)を算出して比較検討する。

※地盤物性値は、『2.2 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

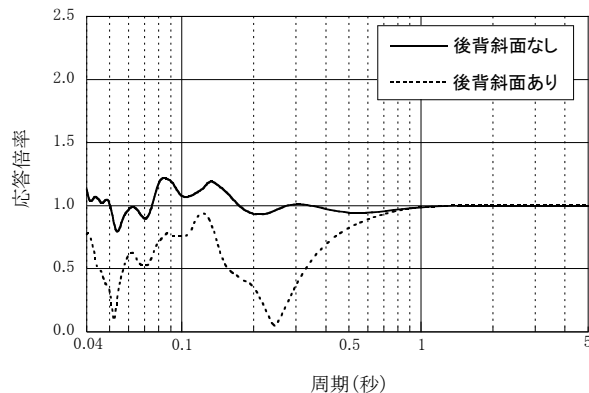


後背斜面なしモデル

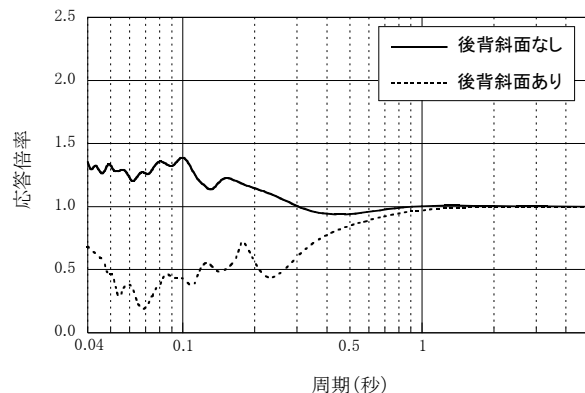


後背斜面ありモデル

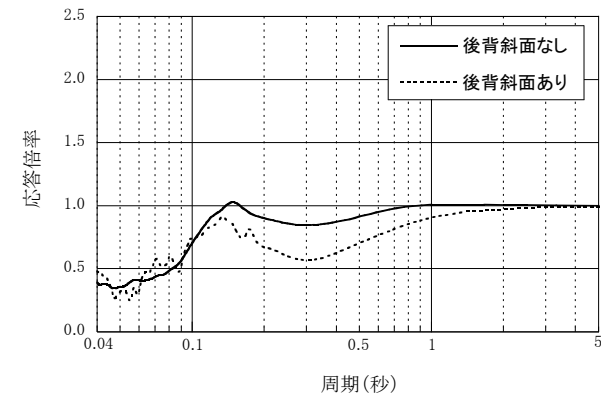
解析結果



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



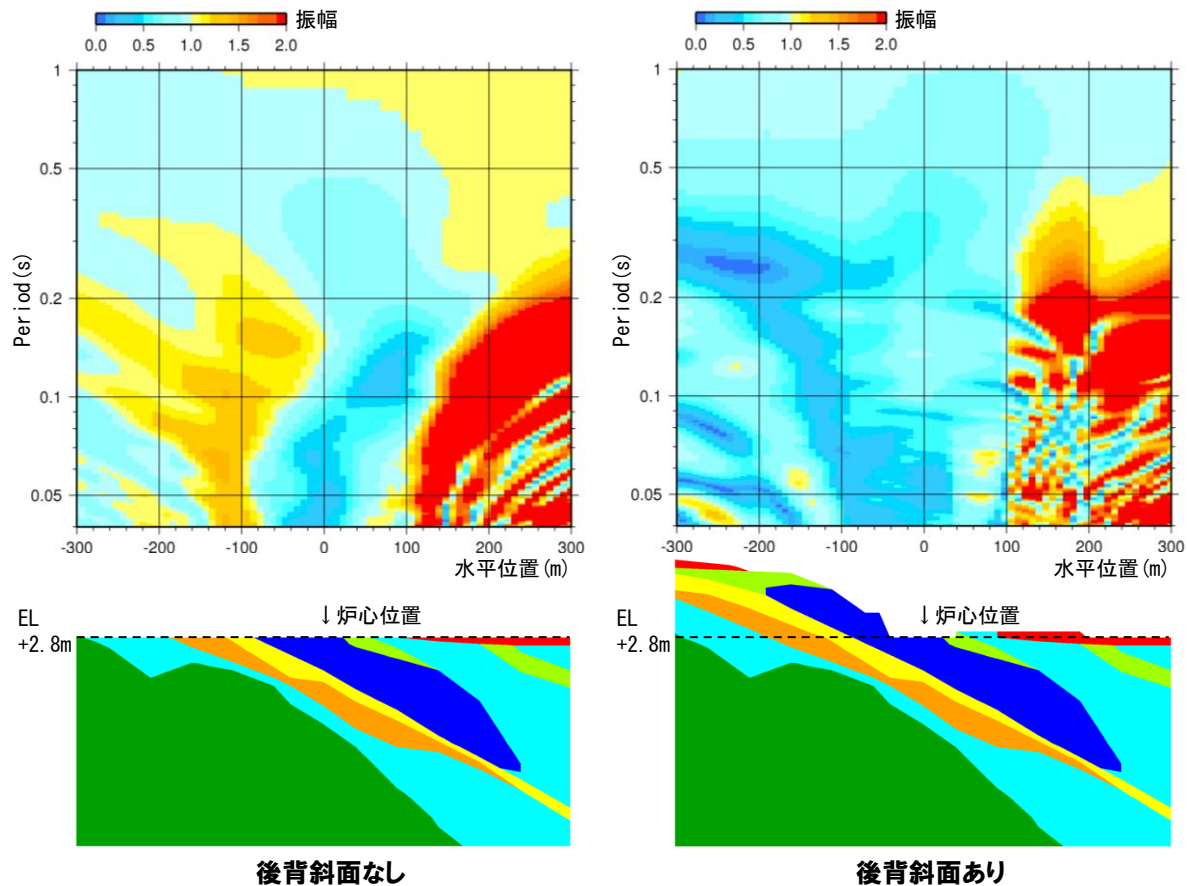
3号炉心直下 伝達関数

- 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。

2.4 3号炉後背斜面を考慮した検討

再掲(11/20審査会合資料)

入射波(2E)に対する標高+2.8mの伝達関数 解析結果

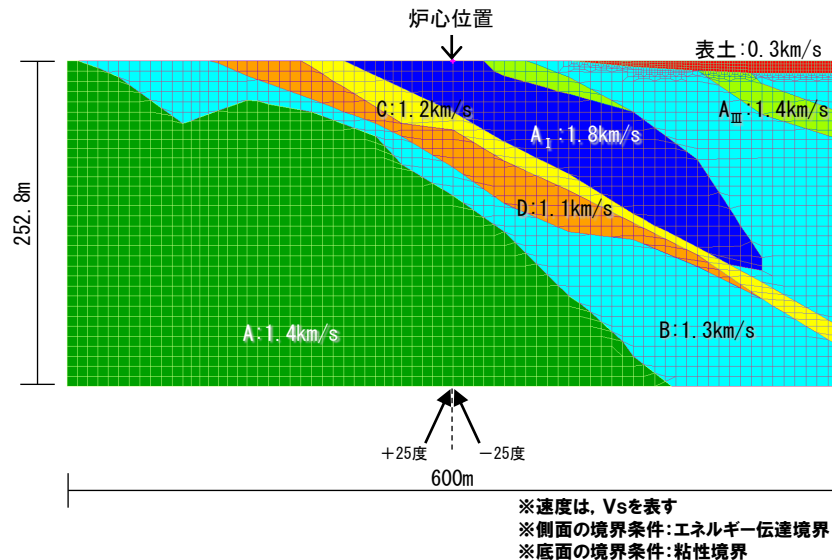


● 3号炉心位置を含めて、後背斜面の影響により全周期帯の応答が概ね低減する傾向がみられる。

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

地盤モデルの設定



3号炉地盤モデル(海山断面)

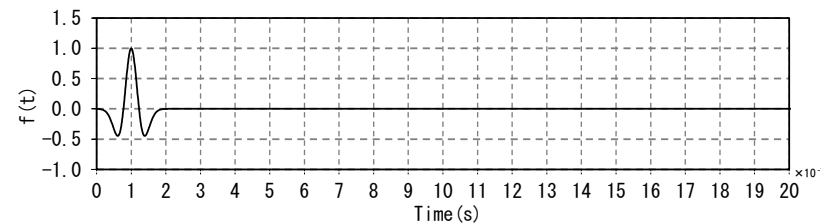
地盤物性値

	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の範囲を対象とした FEMモデルとする。

Ricker波を用いた伝播特性の検討

- 最大加速度1.0となる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度(鉛直入射)及び±25度の3ケースとする。

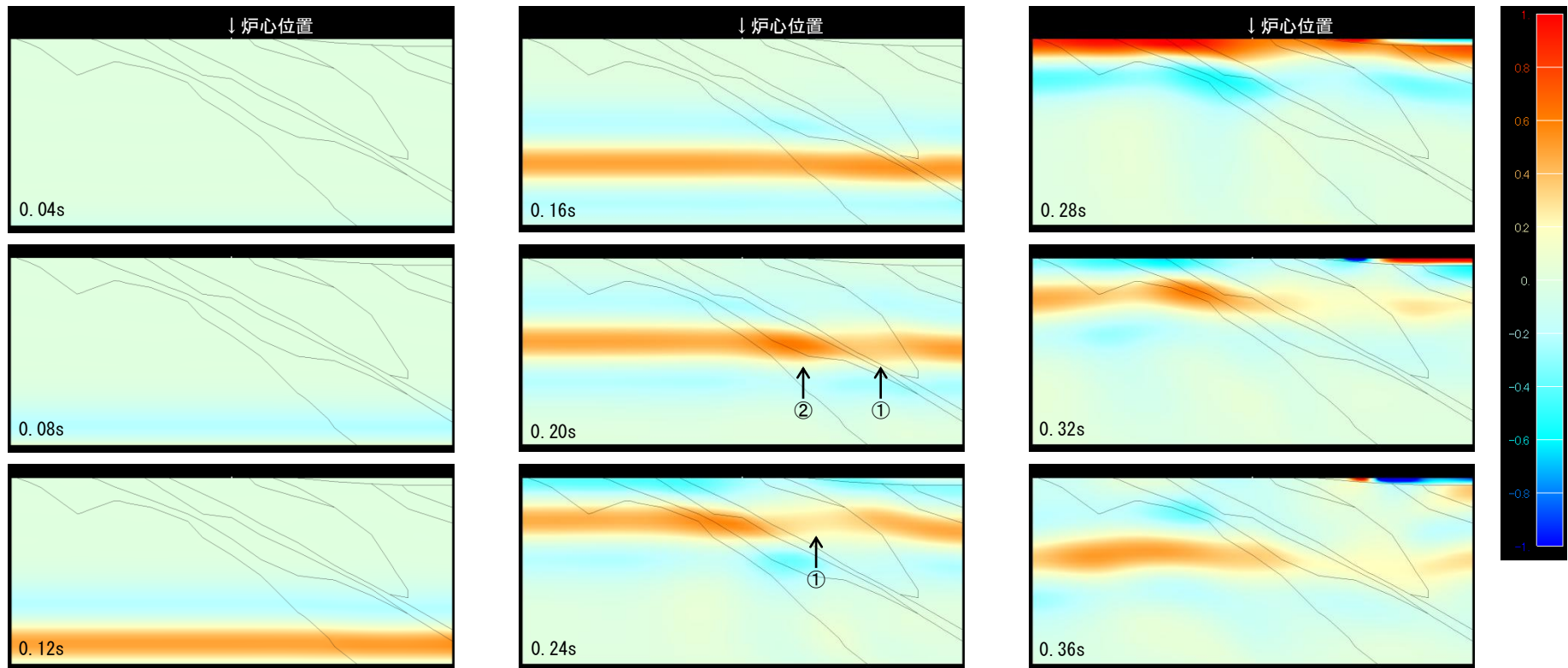


中心周期0.1s

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

Ricker波による伝播特性(鉛直入射)



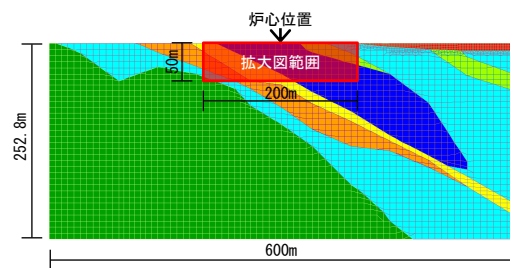
● 傾斜構造による局所的な増幅は、みられない。

● 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。

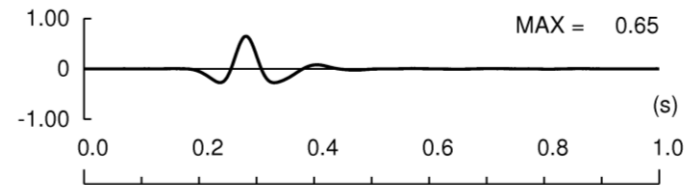
2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

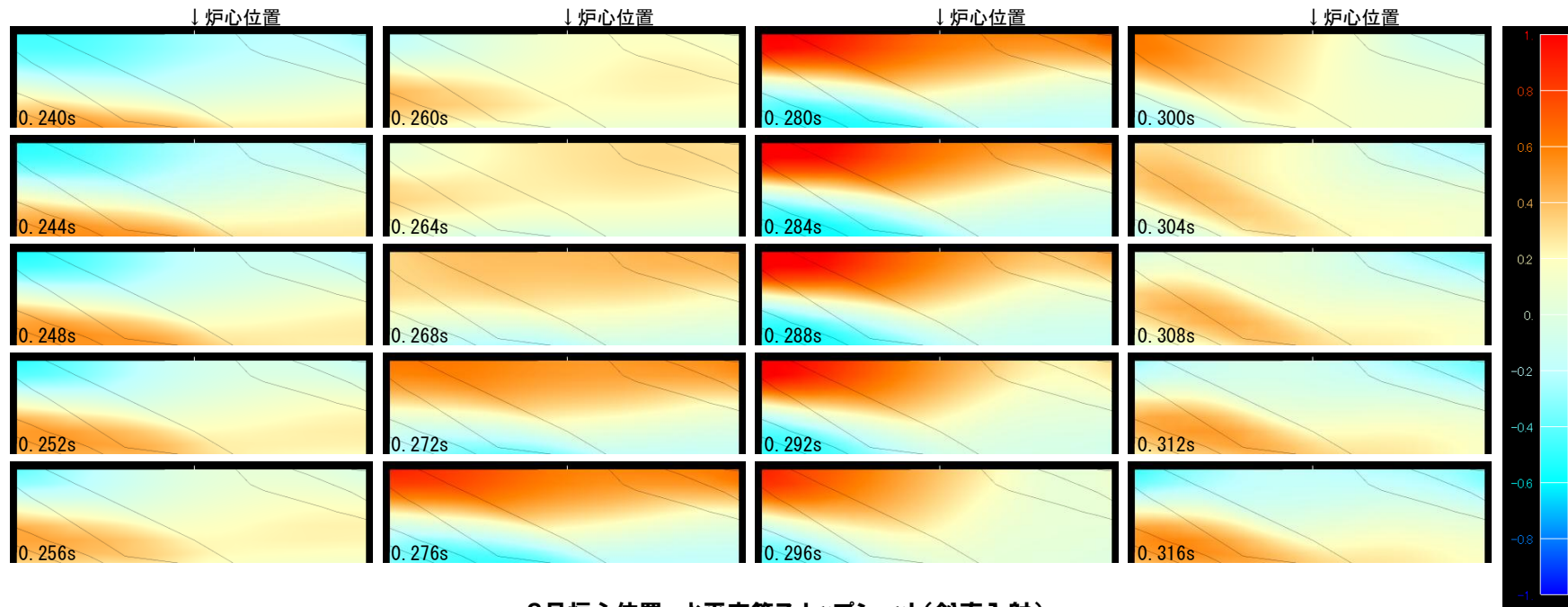
海山断面のRicker波による伝播特性(鉛直入射)



炉心付近の拡大位置図



3号炉心位置 時刻歴応答加速度(鉛直入射)



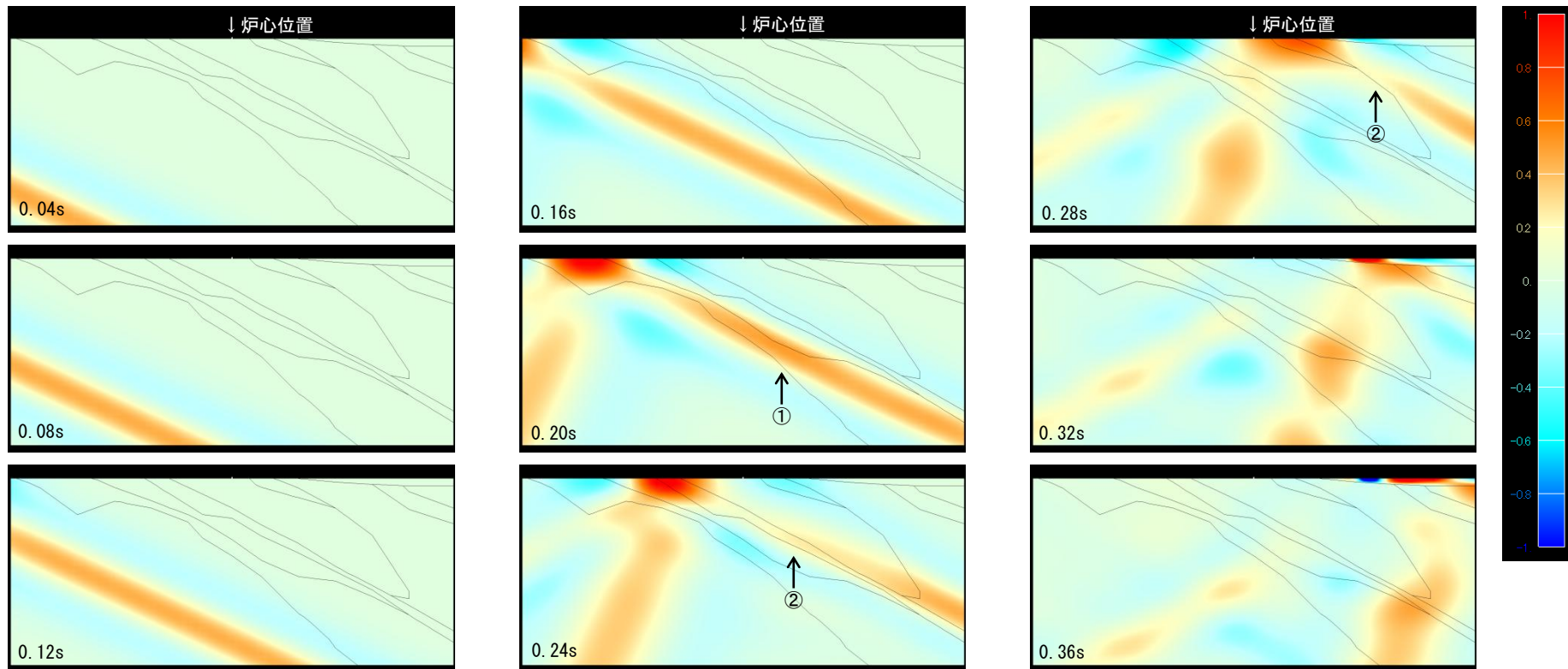
3号炉心位置 水平応答スナップショット(鉛直入射)

炉心位置付近の拡大(200m×50m), 0.24s~0.316sまで0.004s刻み

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角+25°)

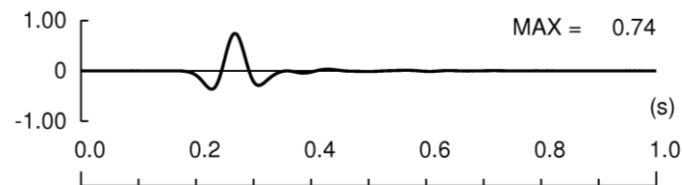


- 傾斜構造及び入射角による局所的な増幅特性はみられない。
- 0.2sのスナップショットから、D級岩盤の影響により振幅が増幅する傾向(①)がみられる。
- 0.24s~0.28sのスナップショットから、D級岩盤の影響により増幅した振幅が安山岩の影響により低減する傾向(②)がみられる。

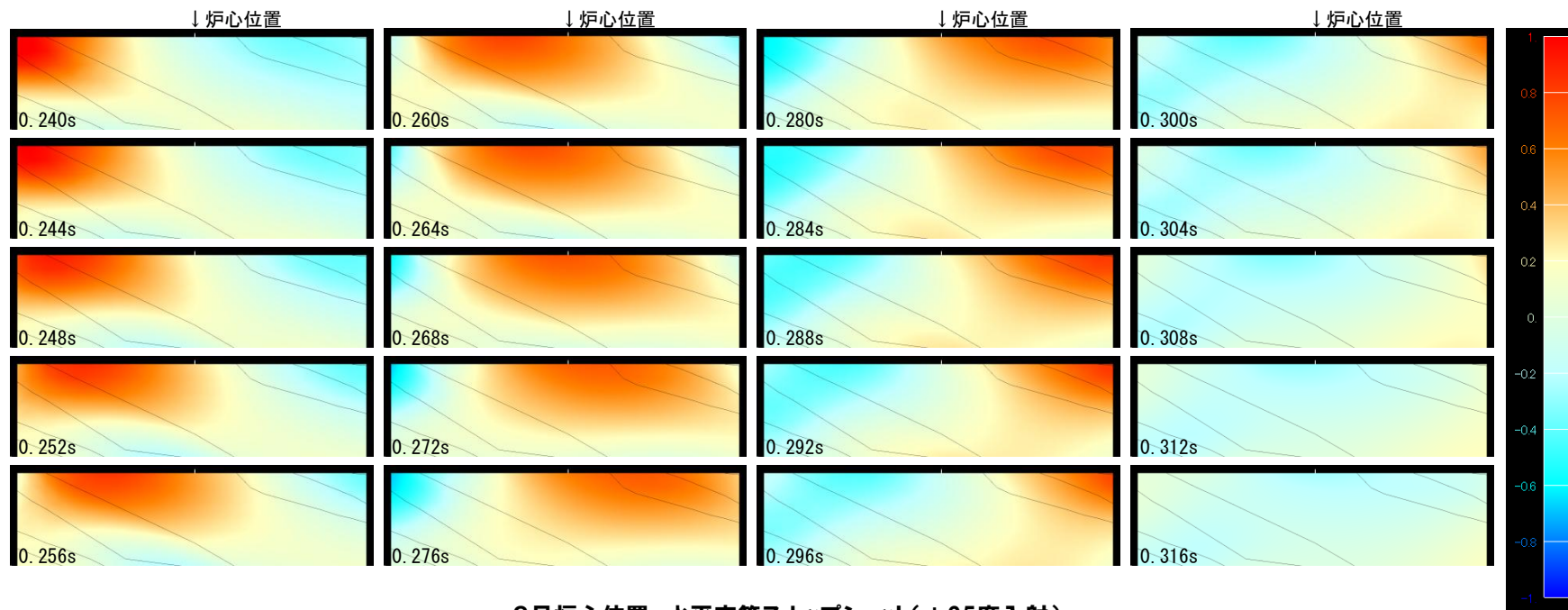
2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

海山断面のRicker波を用いた伝播特性(入射角+25度)



3号炉心位置 時刻歴応答加速度(+25度入射)

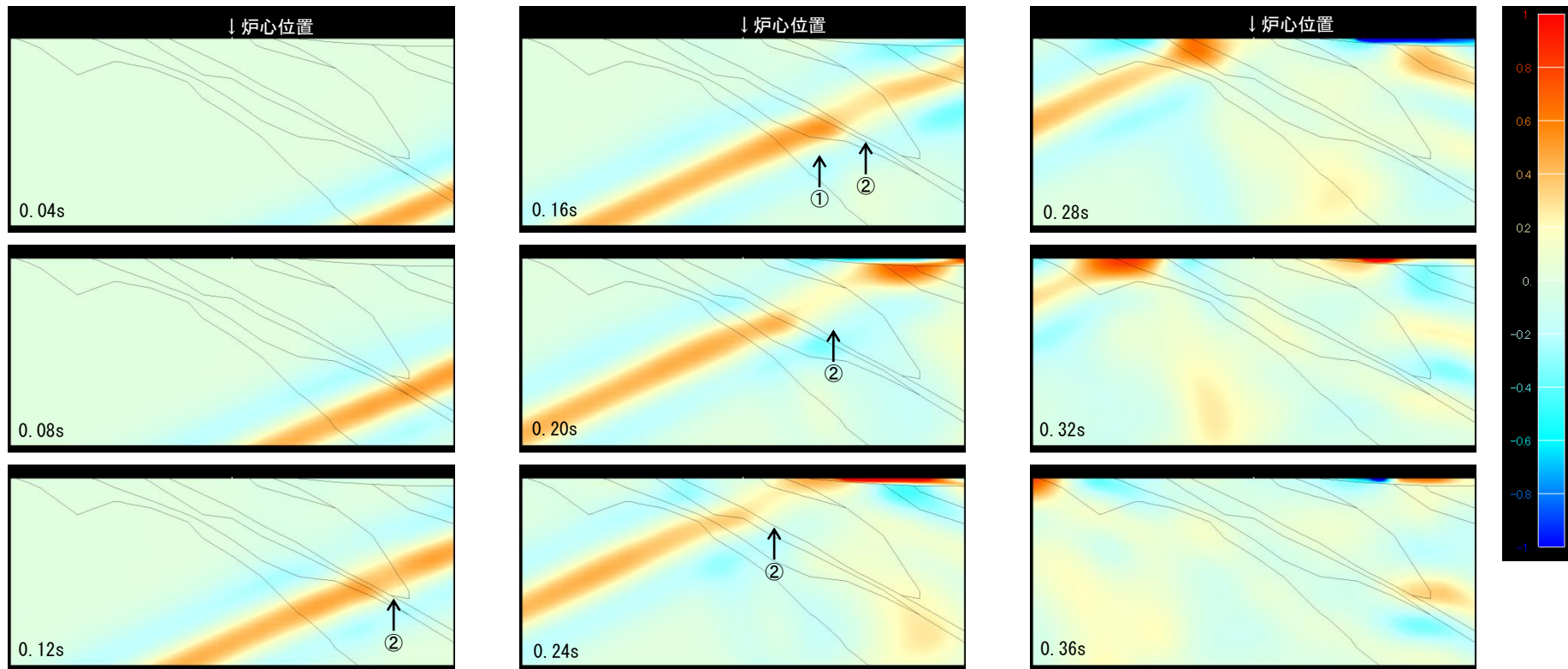


3号炉心位置 水平応答スナップショット(+25度入射)

炉心位置付近の拡大(200m×50m), 0.24s~0.316sまで0.004s刻み

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

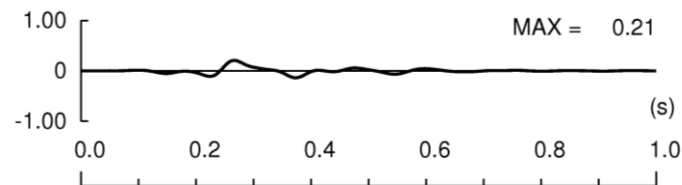
Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角 -25°)

- 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。

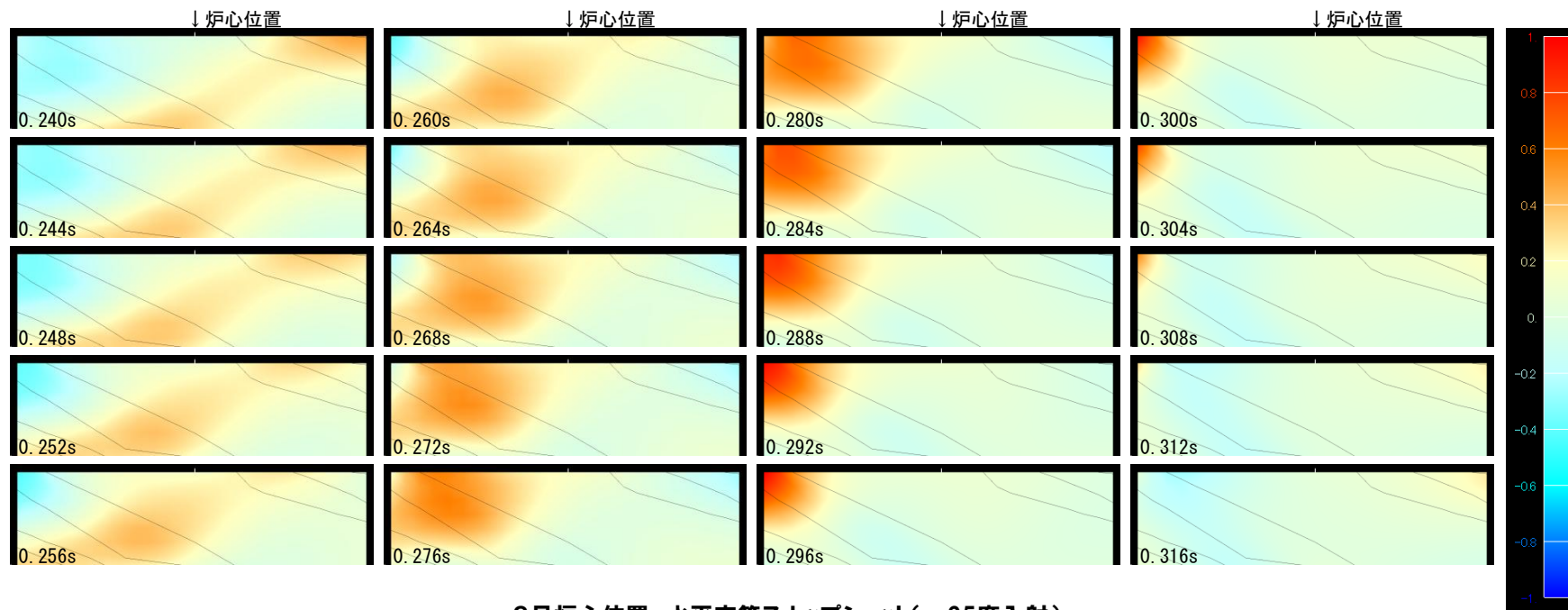
2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

海山断面のRicker波を用いた伝播特性(入射角-25度)



3号炉心位置 時刻歴応答加速度(-25度入射)



3号炉心位置 水平応答スナップショット(-25度入射)

炉心位置付近の拡大(200m×50m), 0.24s~0.316sまで0.004s刻み

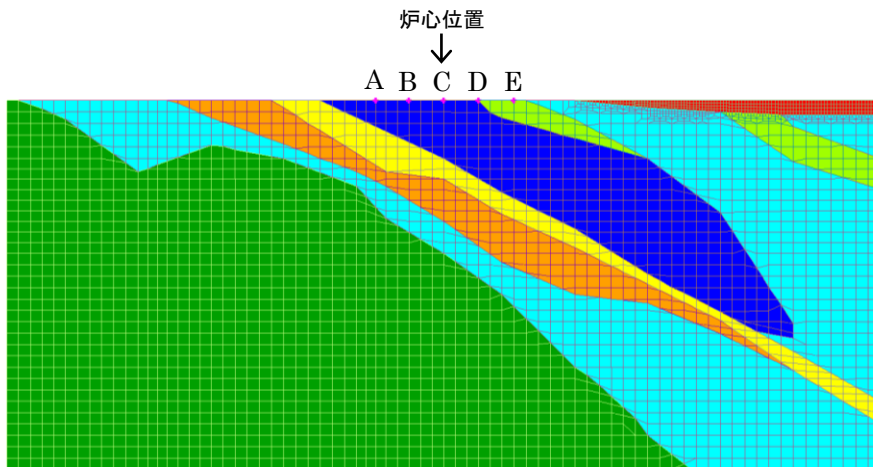
- Ricker波のスナップショットより3号炉心付近の応答は一様であり, 局所的な増幅はみられない。
- これらより, 傾斜構造及び入射角による振動特性への影響は小さいものと考えられる。

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

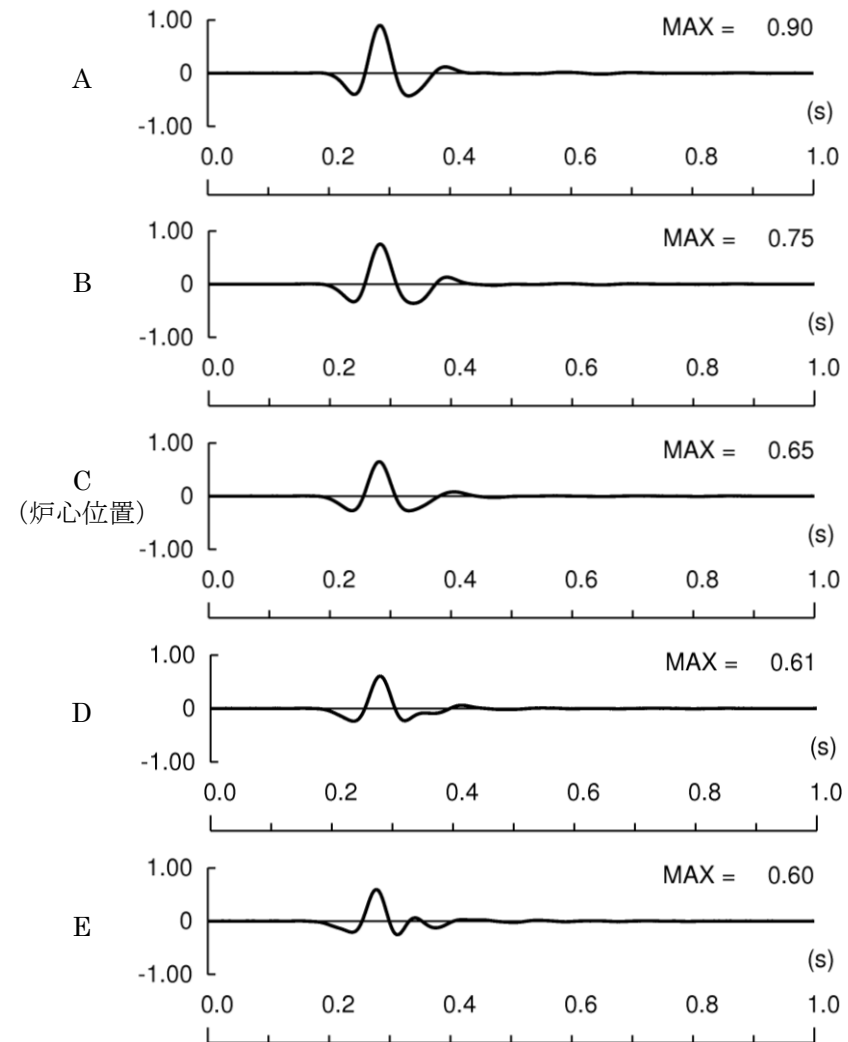
海山断面のRicker波による伝播特性(鉛直入射)

●評価点は、炉心位置から海側及び山側にそれぞれ約25m, 約50mとする。

※: 評価点は、山側からA~Eと表記する。



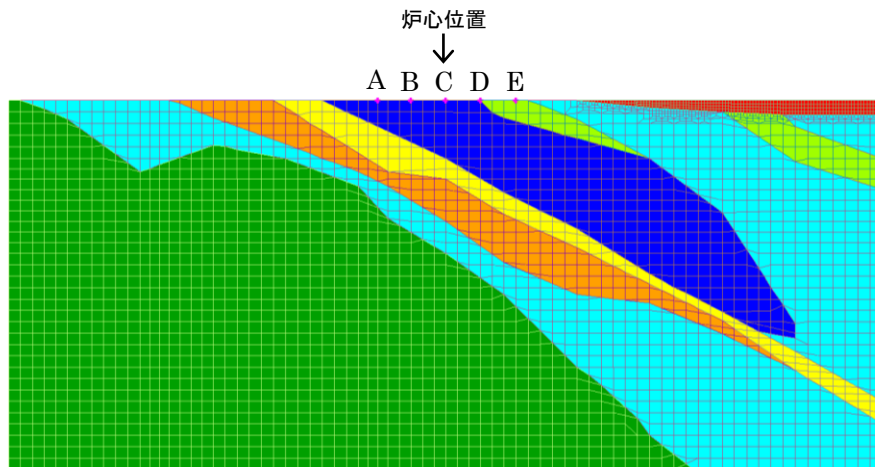
評価点位置図



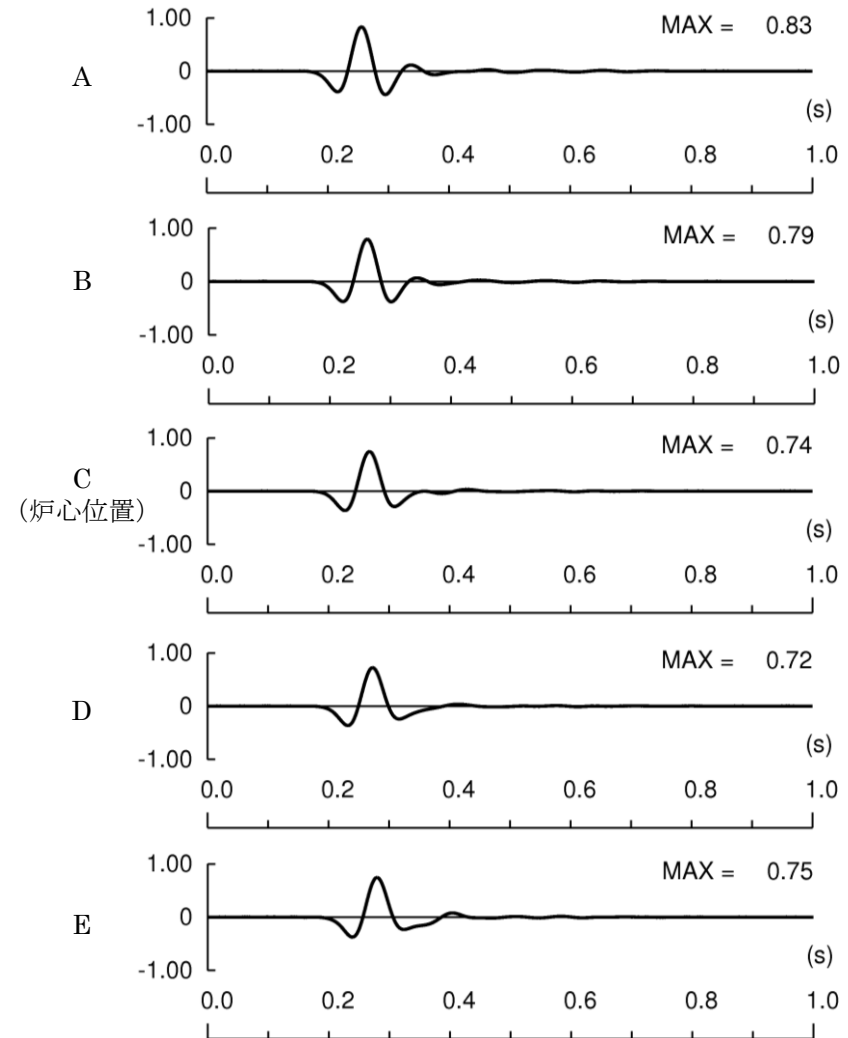
3号炉地盤モデル(海山断面)
時刻歴応答加速度

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

海山断面のRicker波による伝播特性(入射角+25度)



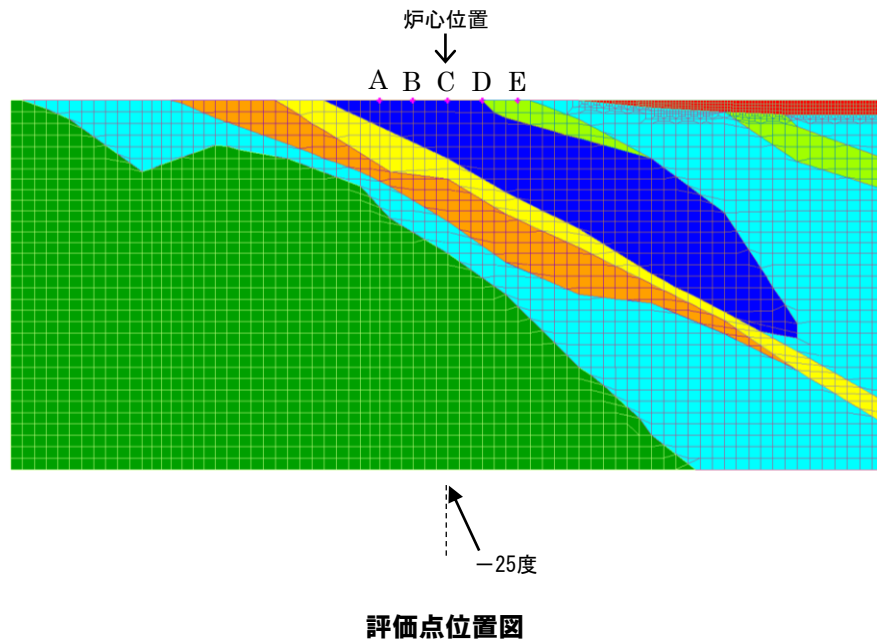
評価点位置図



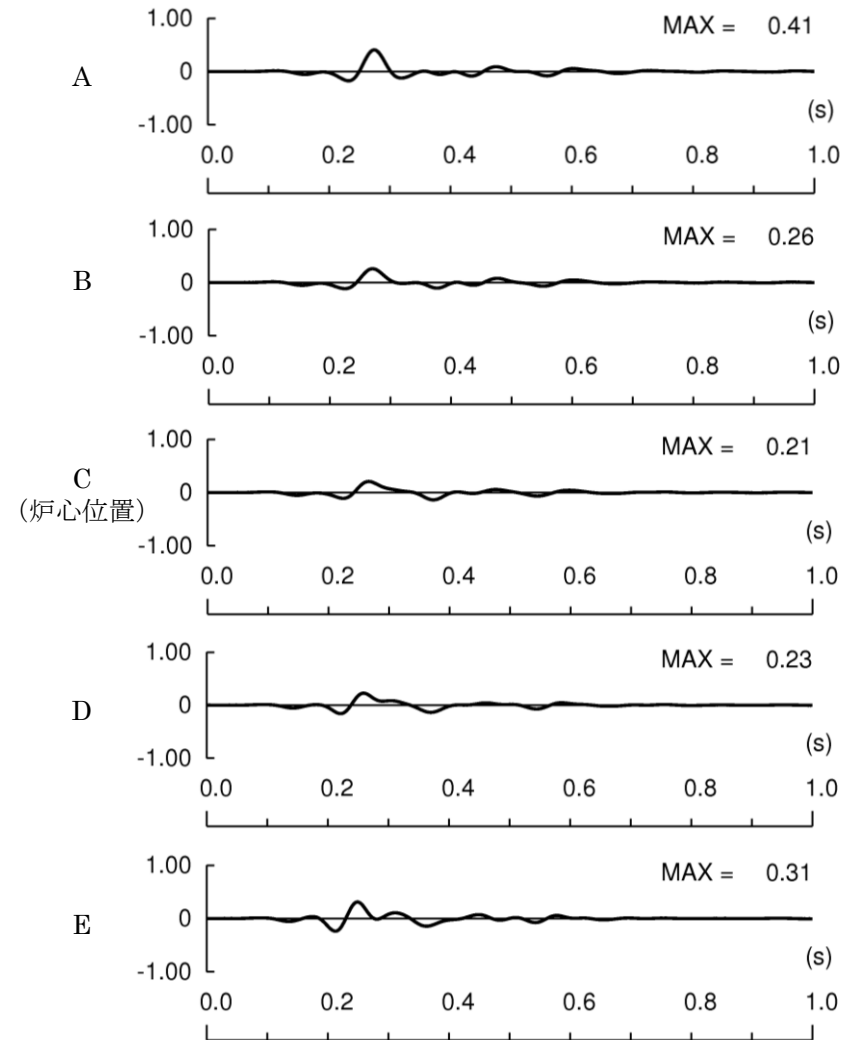
3号炉地盤モデル(海山断面)
時刻歴応答加速度

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

海山断面のRicker波による伝播特性(入射角-25度)



- 炉心位置及び炉心周辺の波形は概ね同様の傾向となっており、局所的な増幅特性はみられない。
- なお、評価点により安山岩の応答低減効果が若干異なることについては、地震動評価に用いる地下構造モデル設定の際に配慮する。



3号炉地盤モデル(海山断面)
時刻歴応答加速度

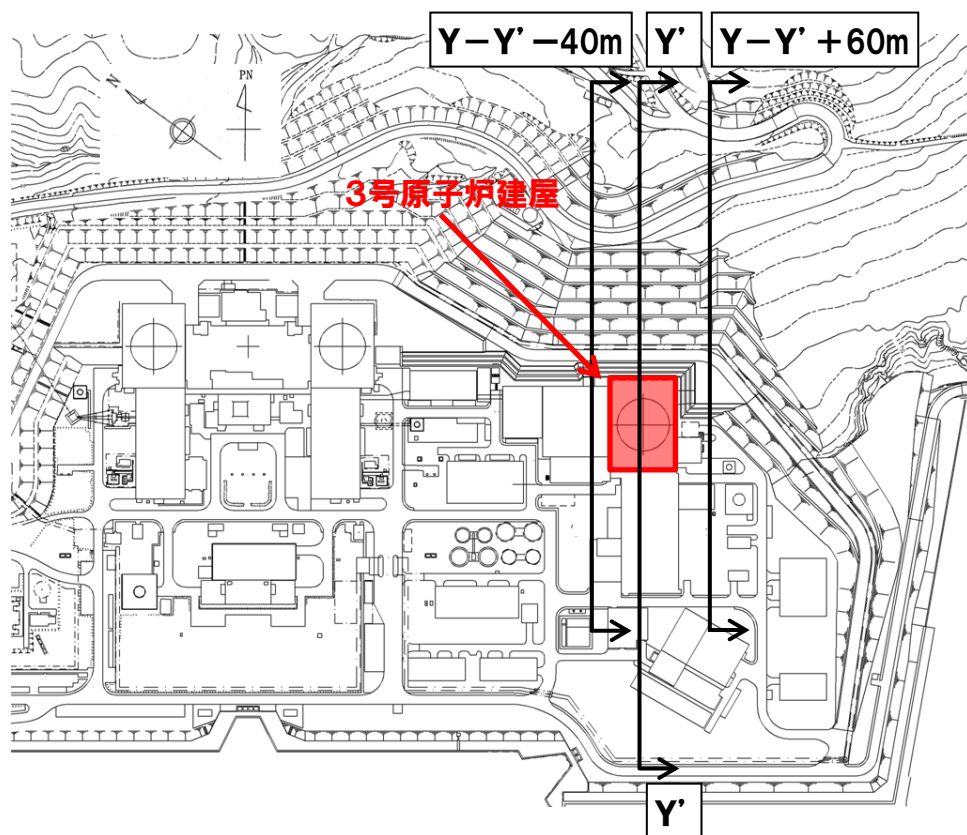
2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会資料)

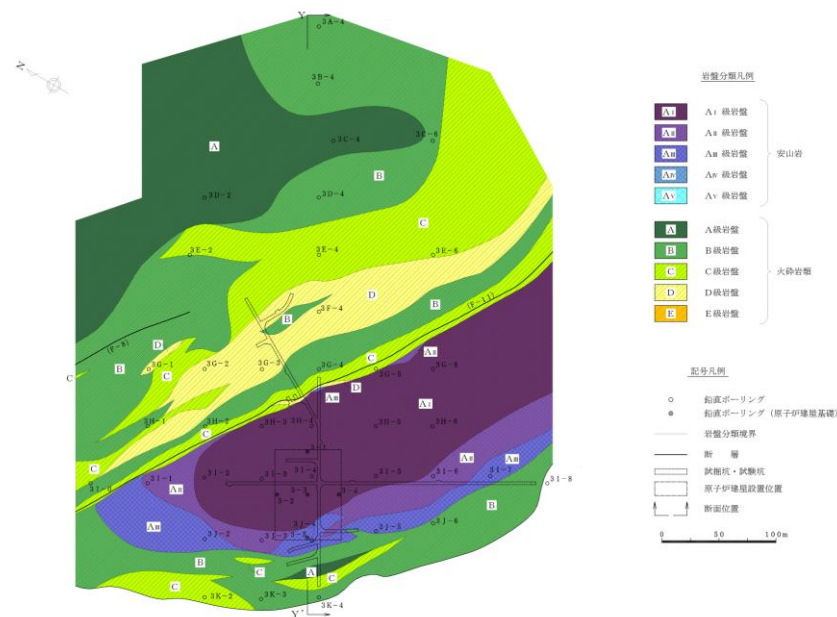
3号炉側の安山岩及びD級岩盤の平面的分布形状を考慮した解析的検討

- 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を用いて、Ricker波による伝播特性について検討する。

地盤モデルの設定位置



- 安山岩等の平面的な分布形状を考慮して、海山断面より海岸線と平行方向に40m移動したY-Y' -40m断面及び60m移動したY-Y' +60m断面について検討する。

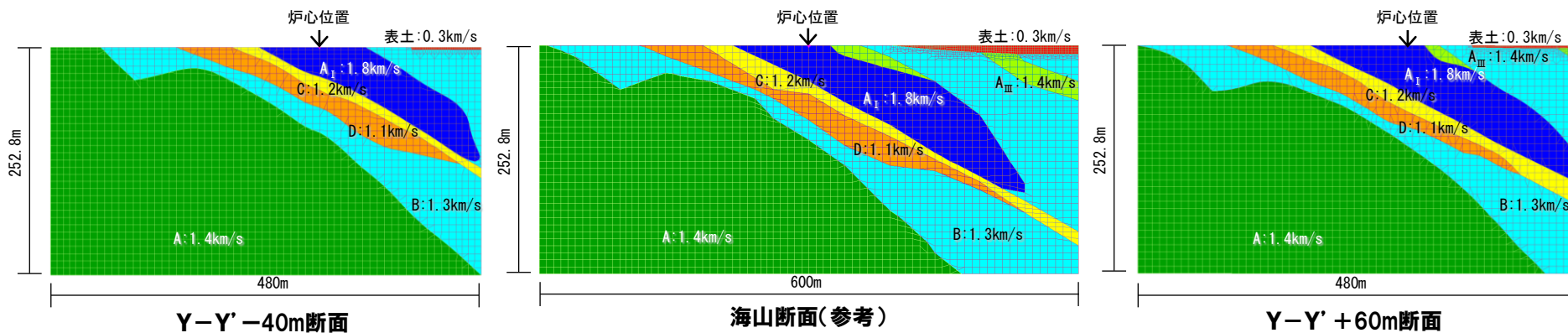


水平岩盤分類図(3号炉 標高+2.8m)

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会資料)

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、幅を480mの範囲を対象としたFEMモデルとする。

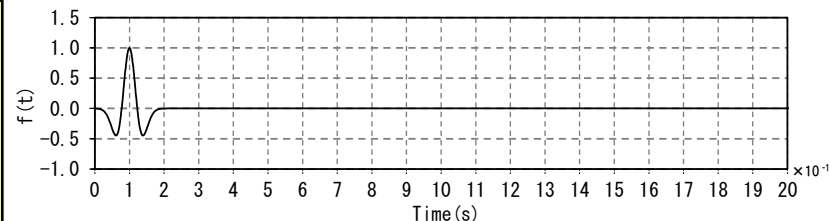
※速度は、 V_s を表す
 ※側面の境界条件: エネルギー伝達境界
 ※底面の境界条件: 粘性境界

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

Ricker波を用いた伝播特性の検討

- 最大加速度1.0となる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度(鉛直入射)とする。

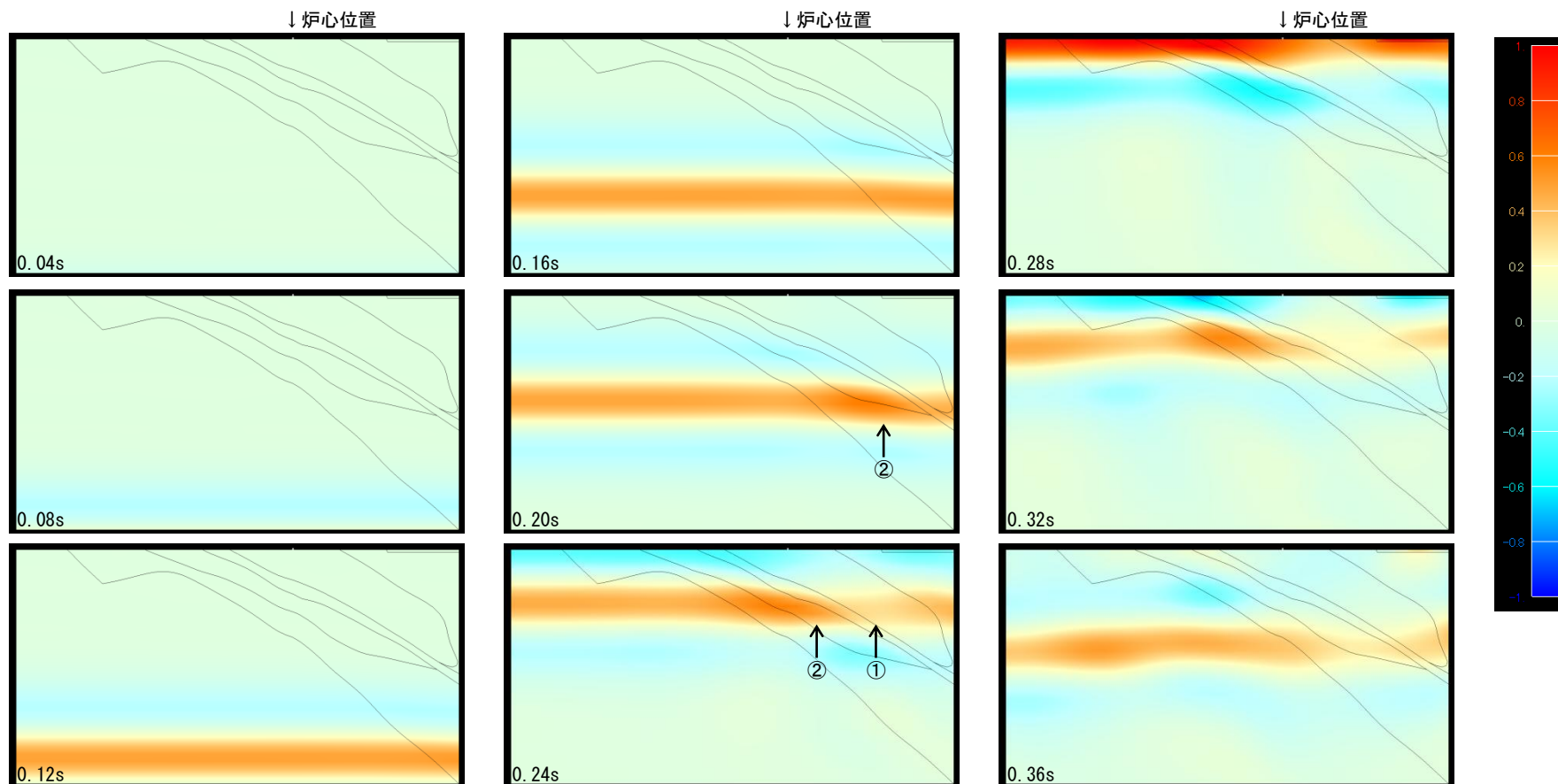


中心周期0.1s

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

Y-Y' - 40m断面のRicker波を用いた伝播特性



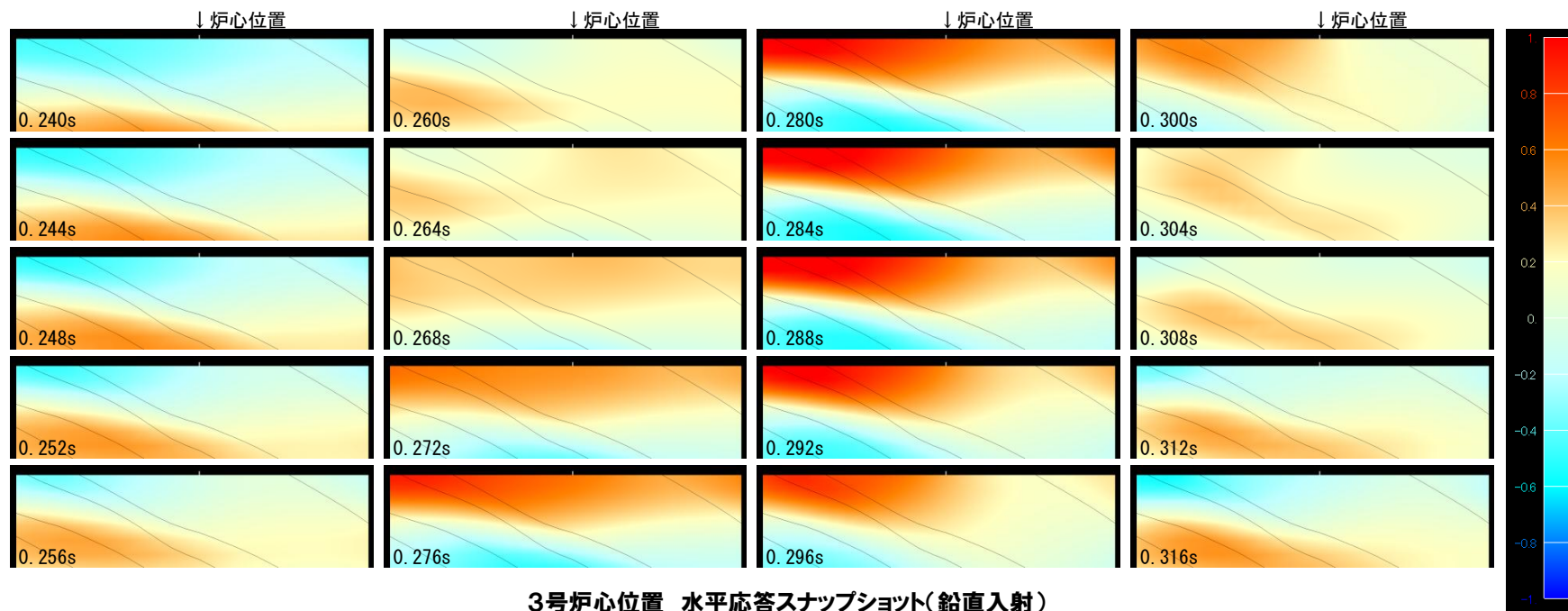
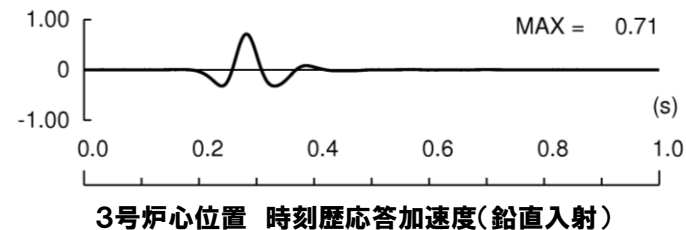
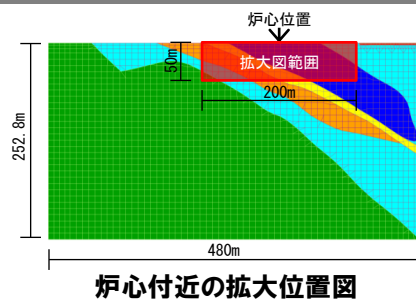
3号炉心位置 水平応答スナップショット(鉛直入射)
0.04s~0.36sまで0.04s刻み

- 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。

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

Y-Y' - 40m断面のRicker波を用いた伝播特性



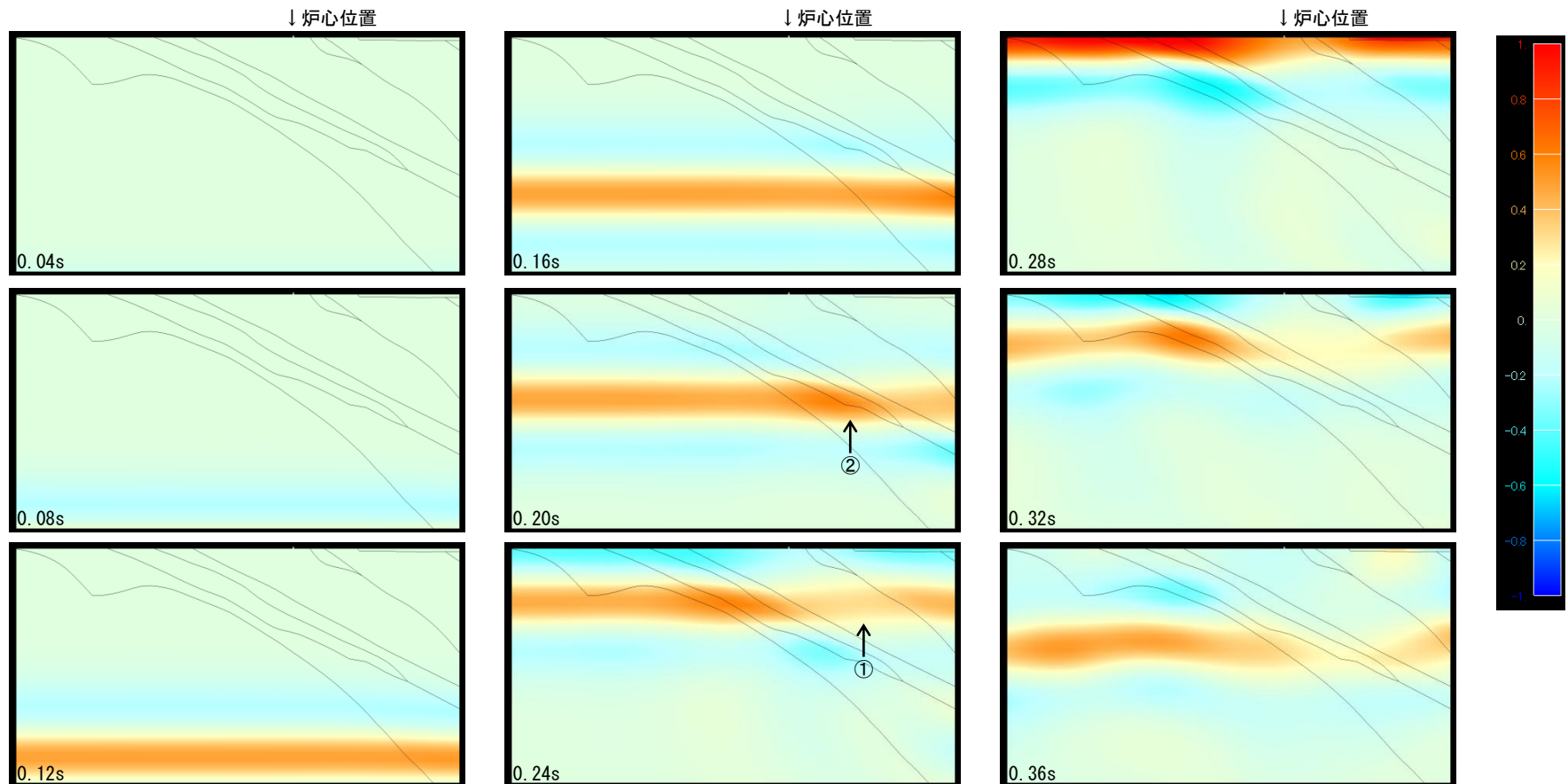
3号炉心位置 水平応答スナップショット(鉛直入射)
炉心位置付近の拡大(200m×50m), 0.24s~0.316sまで0.004s刻み

●Ricker波のスナップショットより3号炉心付近の応答は一様であり, 局所的な増幅はみられない。

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

Y-Y' + 60m断面のRicker波を用いた伝播特性



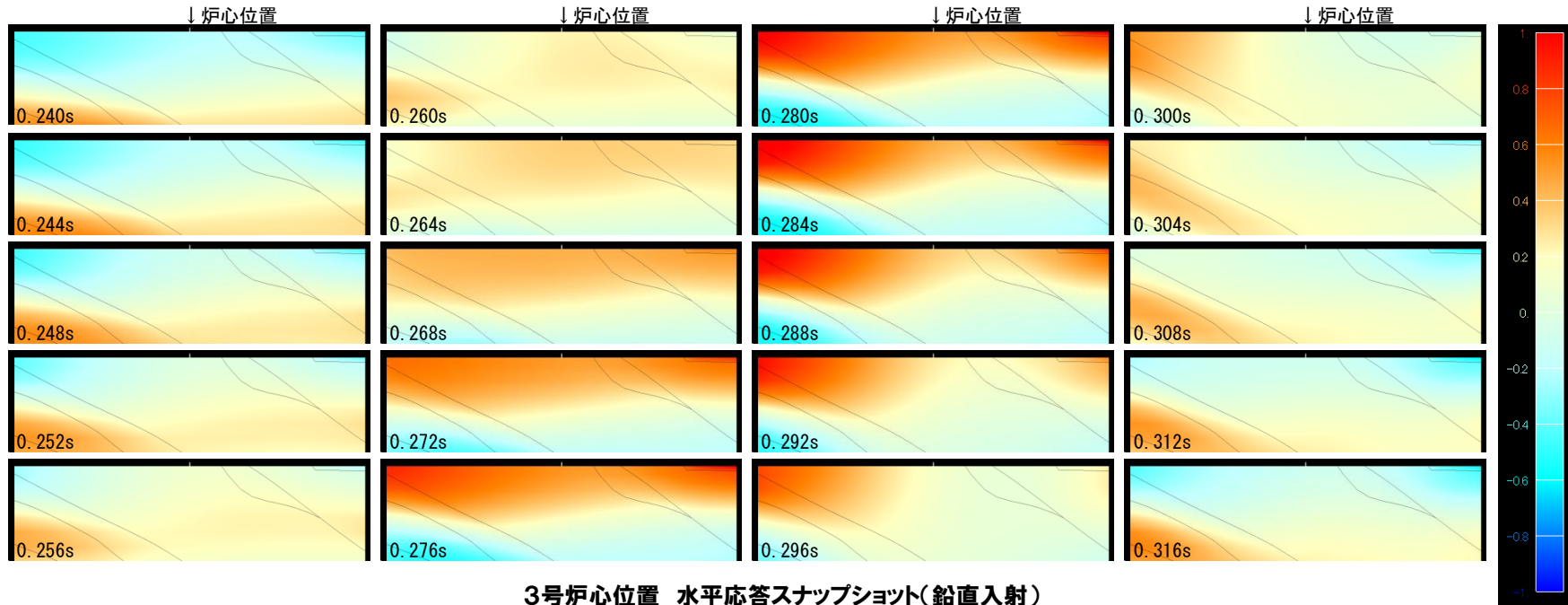
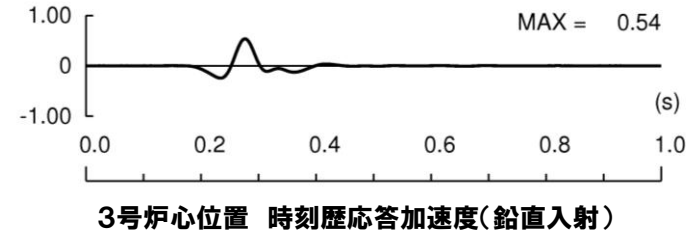
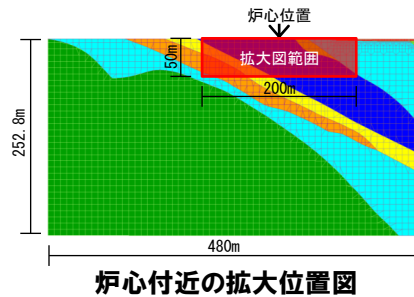
3号炉心位置 水平応答スナップショット(鉛直入射)
0.04s~0.36sまで0.04s刻み

- 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。

2.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

再掲(12/25審査会合資料)

Y-Y' + 60m断面のRicker波を用いた伝播特性



炉心位置付近の拡大(200m×50m), 0.24s~0.316sまで0.004s刻み

- Ricker波のスナップショットより3号炉心付近の応答は一様であり, 局所的な増幅はみられない。
- これらより, 検討断面は海山断面とほぼ同様の傾向を示している。

2. 地質構造を考慮した解析による検討

2.6 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

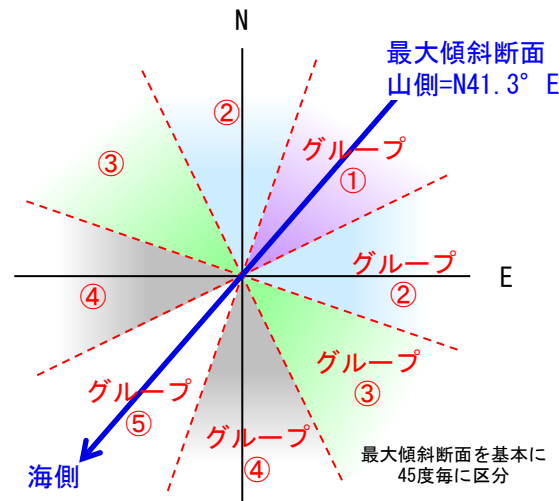
3号炉地盤の地下構造モデルにおける振動特性と地震観測記録の比較

- 3号炉地盤の傾斜が最大となる断面(以下、「最大傾斜断面」)を考慮して地震観測記録を分類し、地震の到来方向による特異な増幅特性の有無及び敷地地盤の傾斜構造による特異な増幅特性の有無を確認する。
- また、最大傾斜断面を考慮した3号炉2次元地盤モデルによる伝達関数と観測記録より得られた伝達関数を比較検討する。

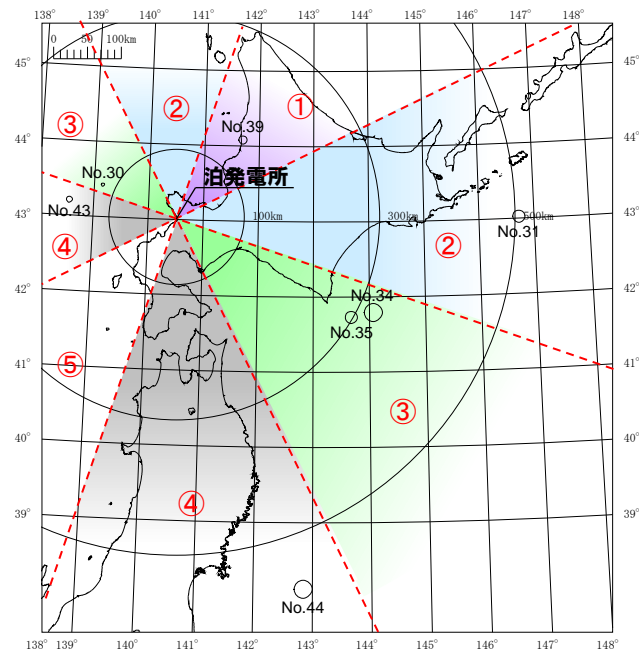
検討対象地震の諸元及び分類

No.	グループ	地名または地震名	M	震源深さ(km)	震央距離(km)	方位角(°)	入射角(°)	最大加速度(Gal) 3号炉観測点 (標高+2.3m)		
								NS	EW	UD
39	①	留萌支庁南部	6.1	9	150	39	20	1	1	1
31	②	根室半島沖	7.0	59	506	88	15	1	1	1
34	③	2003年十勝沖地震	8.0	45	325	114	15	9	8	7
35		十勝沖	7.1	21	299	118	18	3	3	3
30	④	1999年積丹半島北西沖	4.5	28	116	292	18	0.5	0.2	1
43		北海道南西沖	5.8	25	158	277	18	1	1	1
44		東北地方太平洋沖地震	9.0	24	583	159	18	2	2	2

- 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、3号炉観測点で観測された上記の7地震を対象として分析・検討を実施した。



観測地震の分類 概念図



震央分布図

2. 地質構造を考慮した解析による検討

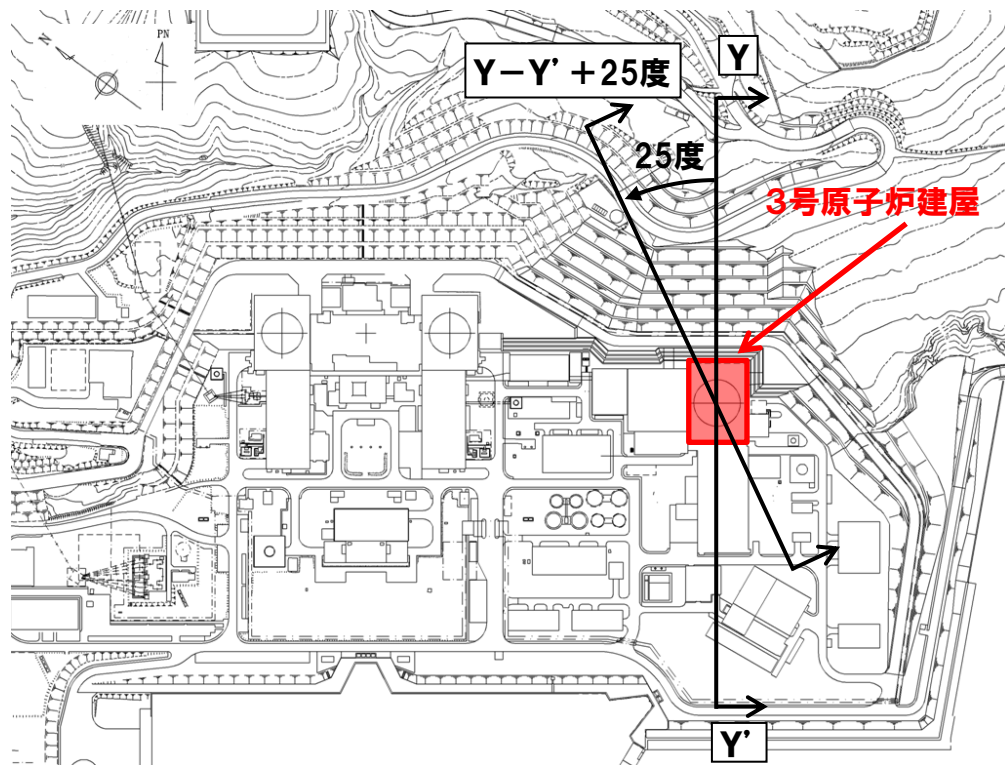
2.6 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

地盤モデルの設定

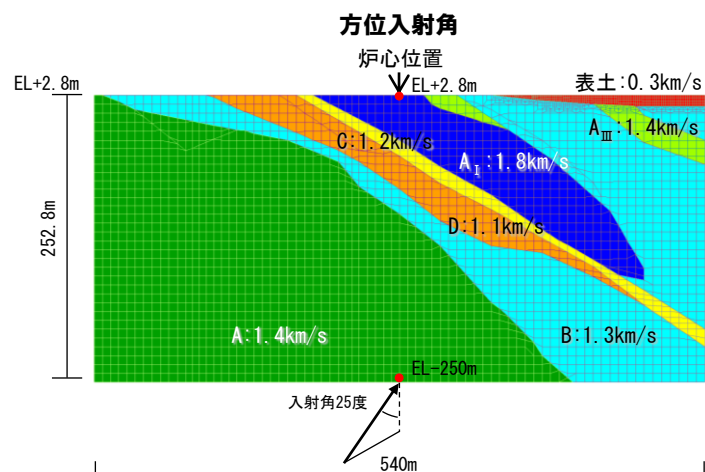
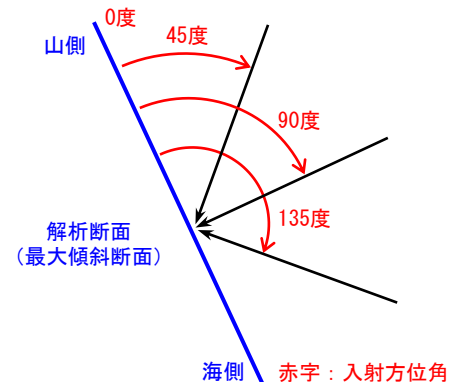
- 比較検討に用いる2次元地盤モデルは、最大傾斜断面(Y-Y' + 25度)を考慮した地盤モデルとし、入射角及び方位入射角を同時に考慮した解析を実施する。
- 地震計設置位置に対応する伝達関数(E+F/E+F※1)と観測記録※2より得られる伝達関数(E+F/E+F)を比較検討する。

※1: 標高-250m位置のE+Fは、境界条件(粘性境界)による影響が小さいことから、モデル下端でのE+Fとした。また、解析は、SV波について実施した。

※2: 各地震の方位角により方位変換し、到来方向成分の記録を用いた。



2次元地盤モデル設定位置

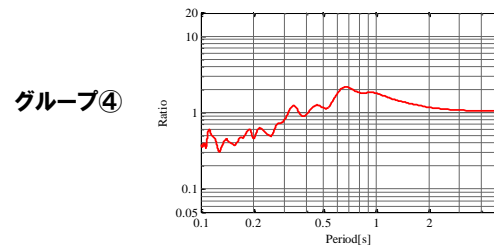
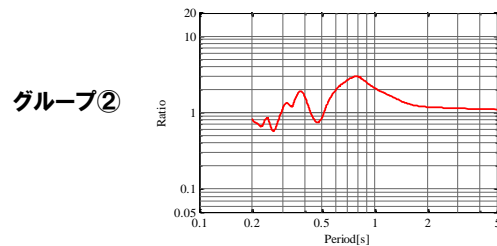
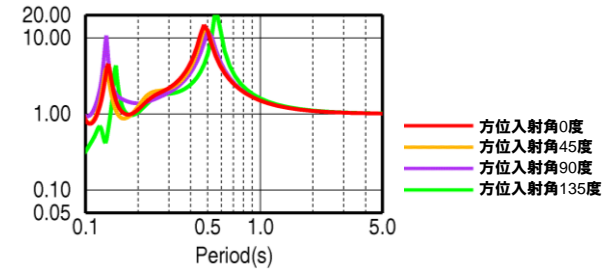
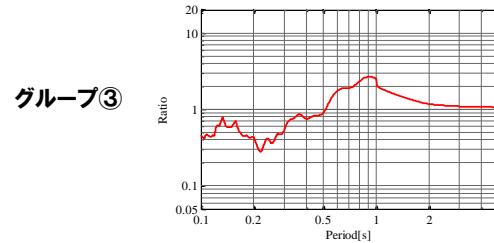
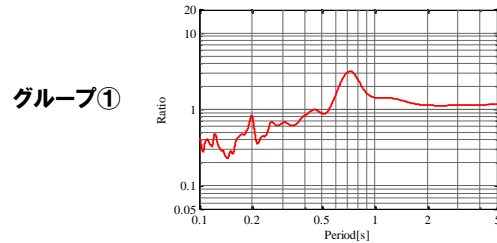
2次元地盤モデル
(最大傾斜断面モデル)

速度は、Vs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

2. 地質構造を考慮した解析による検討

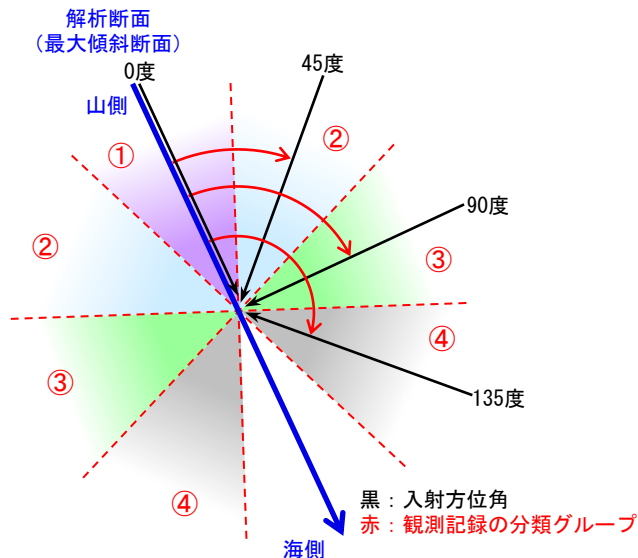
2.6 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

検討結果



3号炉2次元地盤モデル(最大傾斜断面)
伝達関数(標高+2.8m/標高-250m)

3号観測点 フーリエスペクトル比(標高+2.3m/標高-250m)



- 3号炉2次元地盤モデルの伝達関数は、地盤の振動モードとなる周期帯で増幅のピークを示している。
- 3号炉2次元地盤モデルの伝達関数は、観測記録の伝達関数とほぼ同様の傾向を示している。
- これらより、3号炉2次元地盤モデルは、解析上、ピーク値などの特性が顕著に表れる傾向にあるが、観測記録の特徴を概ね捉えているものと考えられる。
- なお、現状では検討に用いることができる観測記録が少なく、振幅レベルも小さいことから、今後も継続的に地震観測記録の収集及び分析を実施する。

3. 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

3.1 敷地全体モデルの3号炉地盤への適用性確認

3号炉地盤の特性による地震波への影響検討

●3号炉地盤モデルの伝達関数は、敷地全体モデルによる伝達関数と比較して、概ね同程度以下となっている。



●敷地地盤の特徴を踏まえても、敷地全体モデルによる地震動評価に大きな影響を与えるものではない。



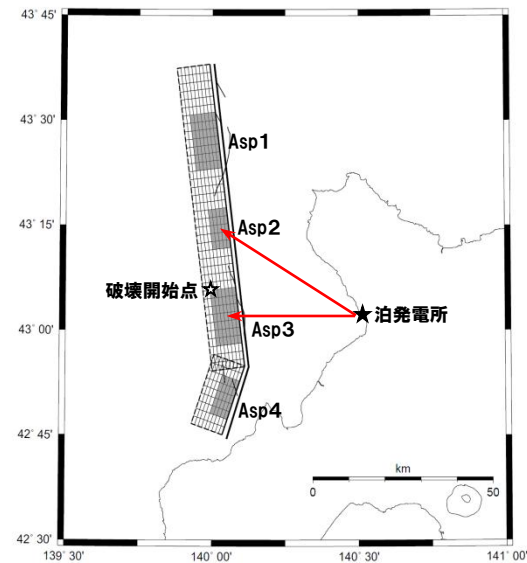
●局所的な地質構造の特性について、地震波への影響の程度を試計算する。

検討対象地震の選定

●複数のアスペリティを持つ敷地前面海域の断層のモデルから、短周期側において影響が大きいAsp2, Asp3の統計的グリーン関数法(以下, SGFという。)によって計算された地震波を抽出し、これを例として地震波への影響の程度を試計算する。

●3号炉地盤の特性を考慮した地震波は、3号炉の最大傾斜断面による2次元地盤モデルを用いて、各アスペリティから泊発電所への入射角及び方位入射角を考慮※して算定する。

●算定した3号炉地盤の特性を考慮した地震波と敷地全体モデルを用いて算出した地震波を比較し、局所的な地質構造の特性による地震波への影響の程度を評価する。



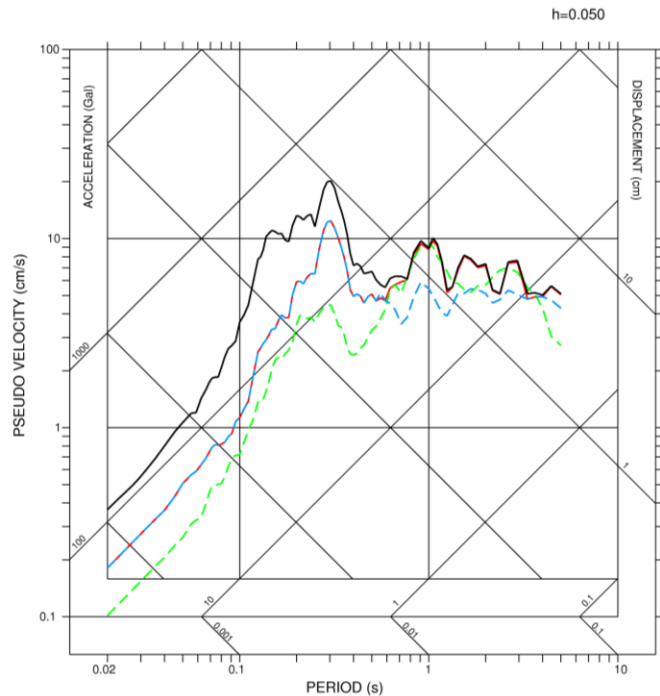
断層モデル図

※: Asp中心から泊発電所までの入射角及び方位入射角を評価した。

3. 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

3.1 敷地全体モデルの3号炉地盤への適用性確認

評価結果(NS成分)



応答スペクトル(NS成分)

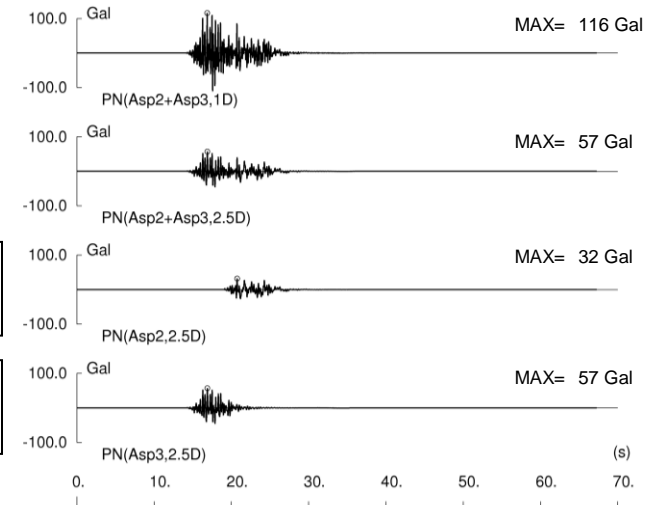
SGFによる結果
(敷地全体モデル)
Asp2+Asp3

3号炉地盤モデル
(最大傾斜断面モデル)
Asp2+Asp3

3号炉地盤モデル
(最大傾斜断面モデル)
Asp2

3号炉地盤モデル
(最大傾斜断面モデル)
Asp3

- SGFによる結果(敷地全体モデル)(Asp2+Asp3)
- 3号炉地盤モデル(最大傾斜断面)(Asp2+Asp3)
- - 3号炉地盤モデル(最大傾斜断面)(Asp2)
- - 3号炉地盤モデル(最大傾斜断面)(Asp3)

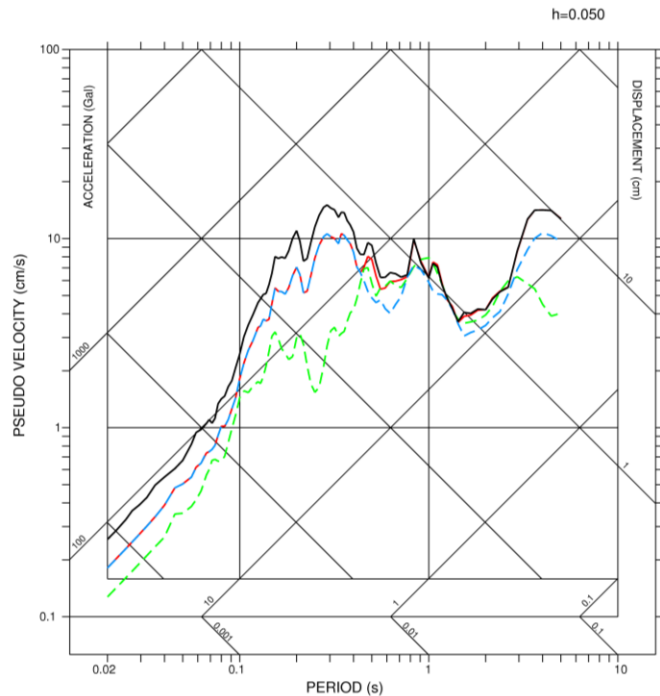


時刻歴波形(NS成分)

3. 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

3.1 敷地全体モデルの3号炉地盤への適用性確認

評価結果(EW成分)



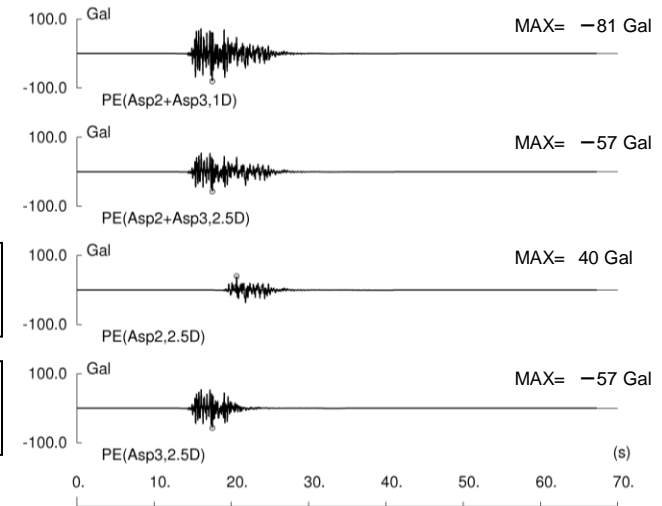
応答スペクトル(EW成分)

SGFによる結果
(敷地全体モデル)
Asp2+Asp3

3号炉地盤モデル
(最大傾斜断面モデル)
Asp2+Asp3

3号炉地盤モデル
(最大傾斜断面モデル)
Asp2

3号炉地盤モデル
(最大傾斜断面モデル)
Asp3



時刻歴波形(EW成分)

●敷地全体モデルを用いてSGFにより算出されたAsp2+Asp3の地震波に比べて、3号炉地盤における局所的な特性を考慮した地震波は、短周期側で小さくなる傾向にある。



●伝達関数による比較検討結果と同様に、敷地全体モデルで安全側に地震動評価を実施することが可能と考えられる。