

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12月25日
北海道電力株式会社

1. 地質構造を考慮した解析による検討 4
2. 深部凹構造による振動特性に関する検討 35
3. 経験的サイト増幅特性に関する検討 48

No	コメントの要旨	備考
1	<ul style="list-style-type: none"> 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)
2	<ul style="list-style-type: none"> 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)
3	<ul style="list-style-type: none"> 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)
4	<ul style="list-style-type: none"> 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)
5	<ul style="list-style-type: none"> 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)
6	<ul style="list-style-type: none"> 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)
7	<ul style="list-style-type: none"> 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)

1. 地質構造を考慮した解析による検討

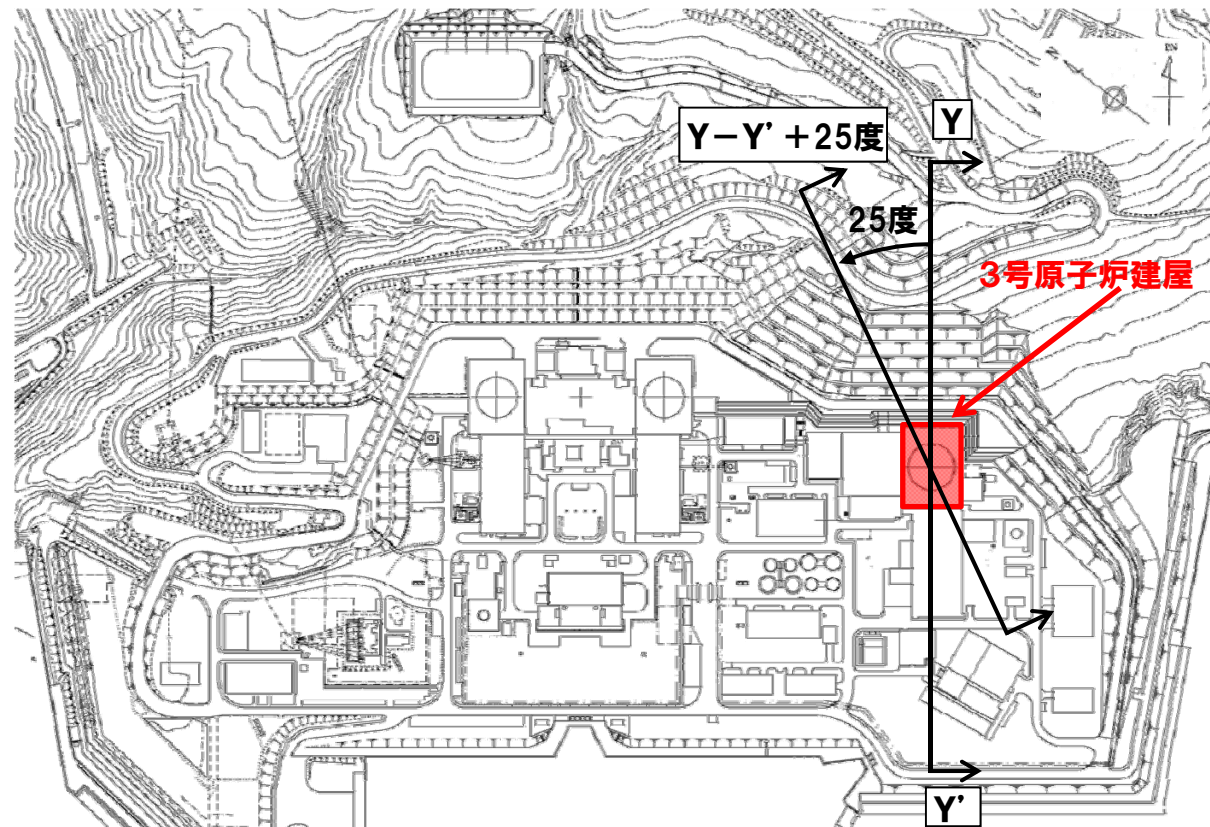
No	コメントの要旨	備考
1	・ 3号炉地盤の最大傾斜方向の断面による解析を実施すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
2	・ 3号炉地盤の解析において、入射角を±25度より大きくした場合についても検討すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
3	・ 地震観測記録による分析結果と解析による検討結果の傾向について、比較すること。	第49回審査会合 (平成25年11月20日)
4	・ 3号炉の地震動評価に用いる地下構造モデルについては、データ検証のみで1, 2号炉のモデルを流用するのではなく、3号炉の地下構造に基づき地震動評価モデルを構築した上で検討すること。	事業者ヒアリング ^⑭ (平成25年11月18日)
5	・ 地質構造を考慮した解析による検討のうちR i c k e r 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R i c k e r 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)

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

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

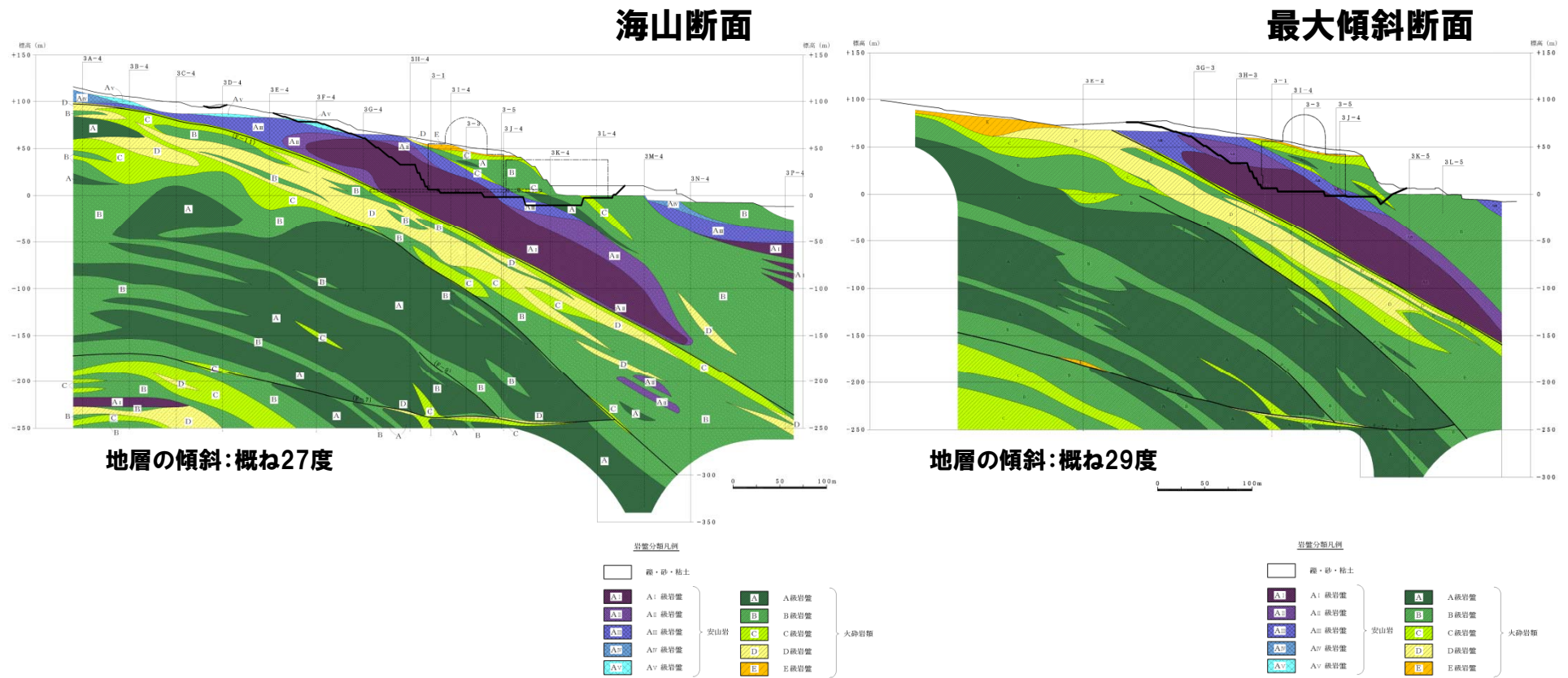


- 地下構造に関する調査結果より、敷地は、ほぼ海岸線に平行する走向で、海山方向へ傾斜する傾斜構造となっている。
- 解析に用いる断面は、3号炉地盤の傾斜を考慮し、Y-Y' + 25度断面(以下、「最大傾斜断面」とする)とする。

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

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。
- 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。



敷地鉛直岩盤分類図(海山断面)

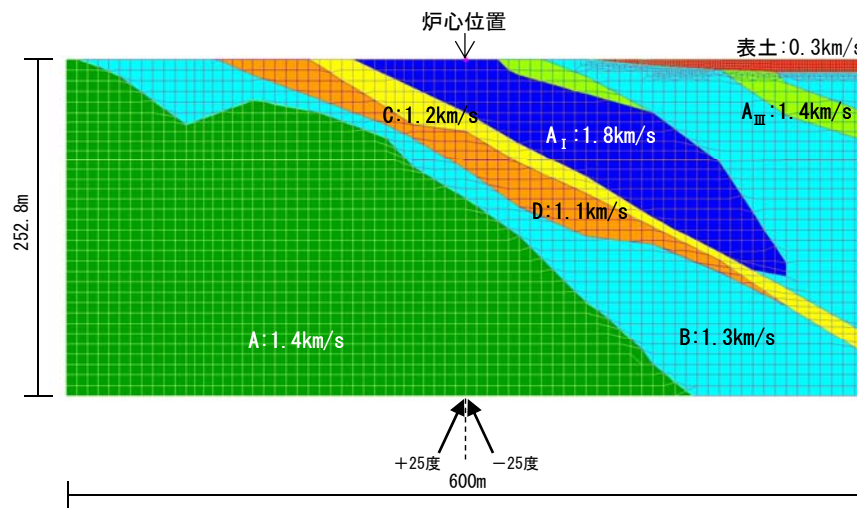
敷地鉛直岩盤分類図(最大傾斜断面)

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

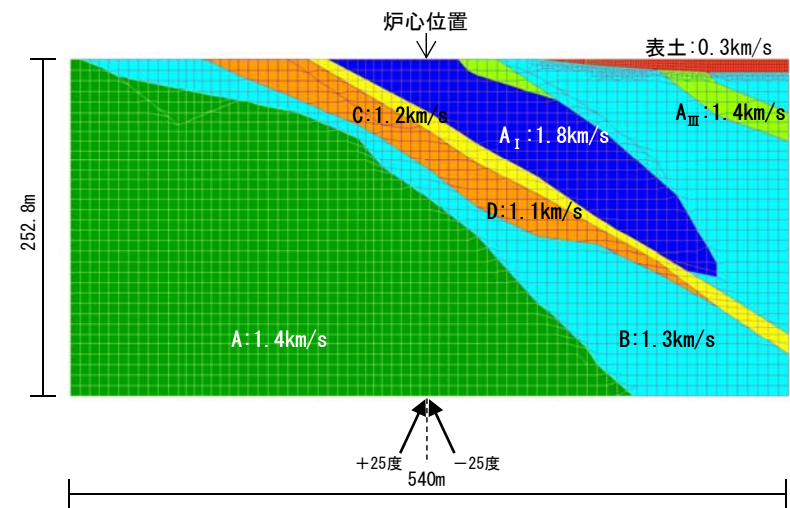
地盤モデルの設定

- 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)



2次元地盤モデル(最大傾斜断面)

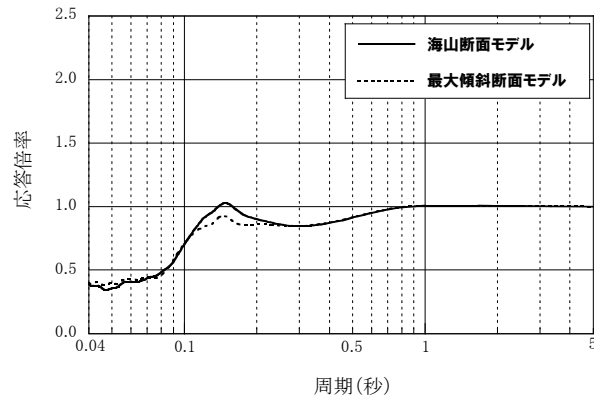
地盤物性値

	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

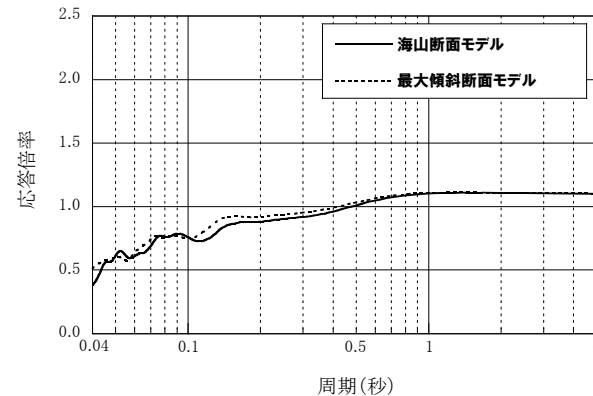
※速度は、 V_s を表す
 ※側面の境界条件:エネルギー伝達境界
 ※底面の境界条件:粘性境界

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

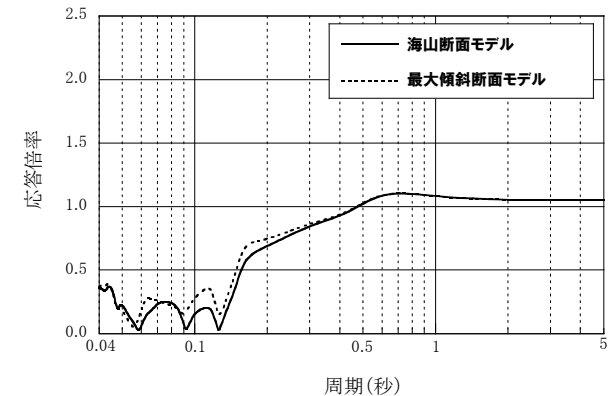
3号炉心直下の伝達関数



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。

- 次頁以降のRicker波を用いた検討においても、海山断面と最大傾斜断面は、同様の傾向を示している。
- 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。

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

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度（鉛直入射）及び±25度とする。

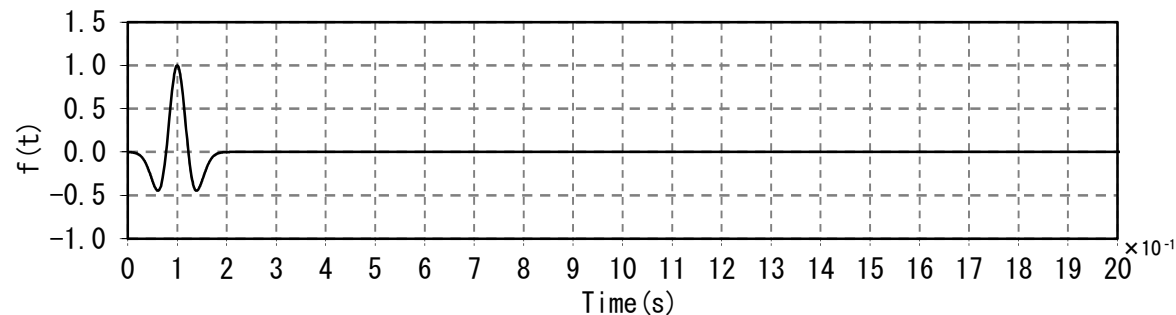
$$f(t) = (1 - 2A) \exp(-A)$$

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

t_C : 中心周期

f_C : 中心振動数

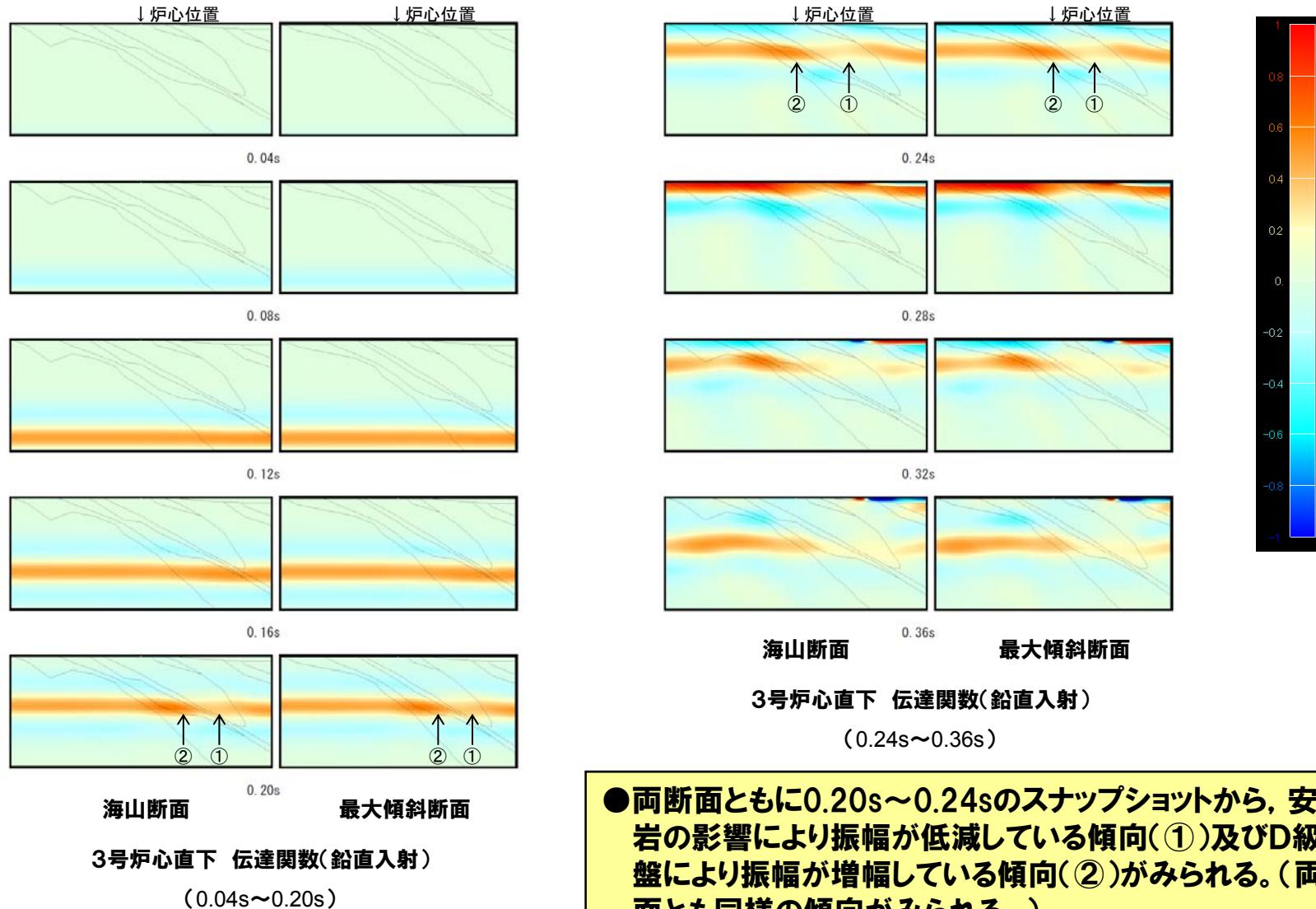
t_M : 最大値生起時刻



中心周期0.1s

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

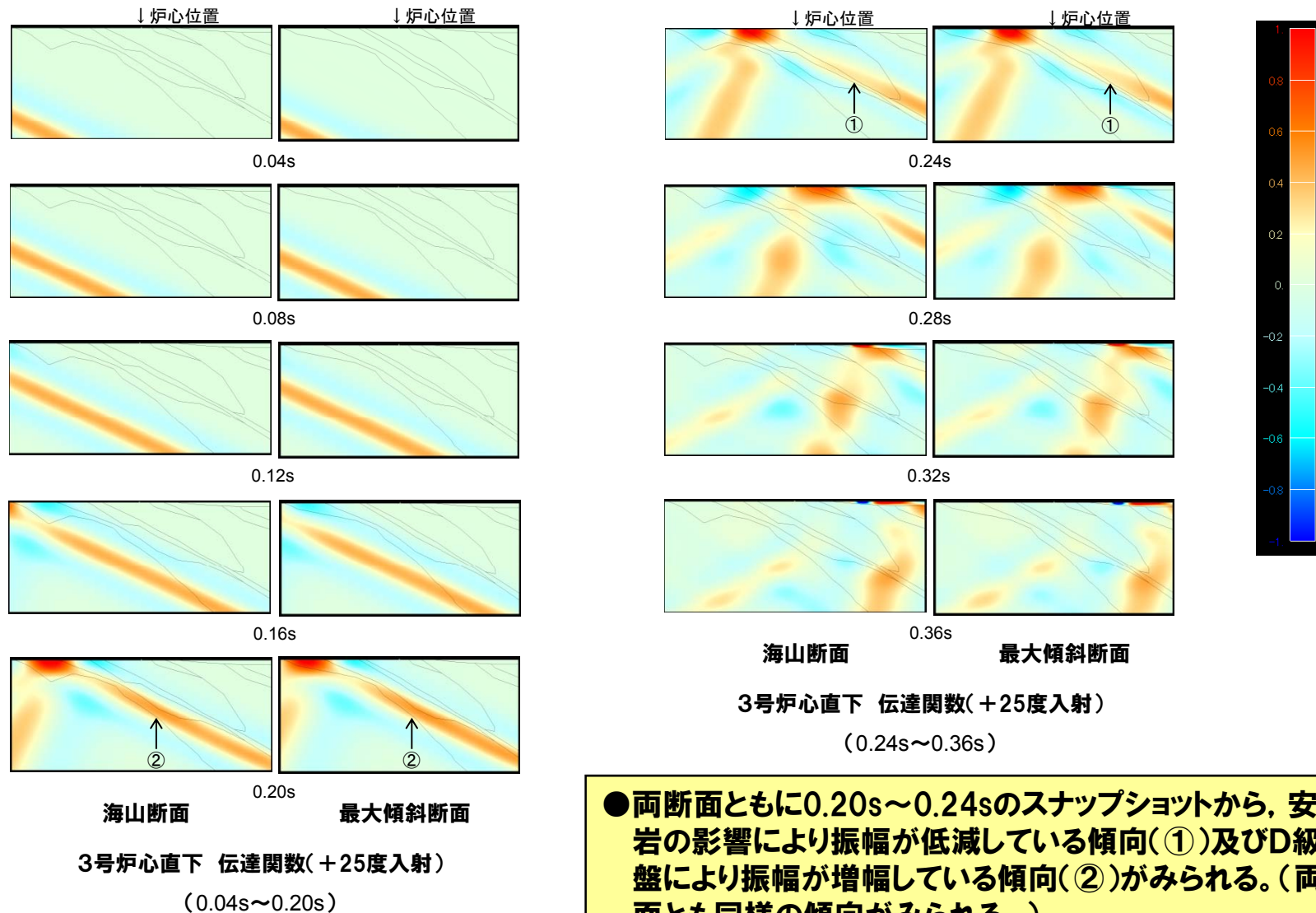
Ricker波による伝播特性(鉛直入射)



●両断面ともに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。(両断面とも同様の傾向がみられる。)

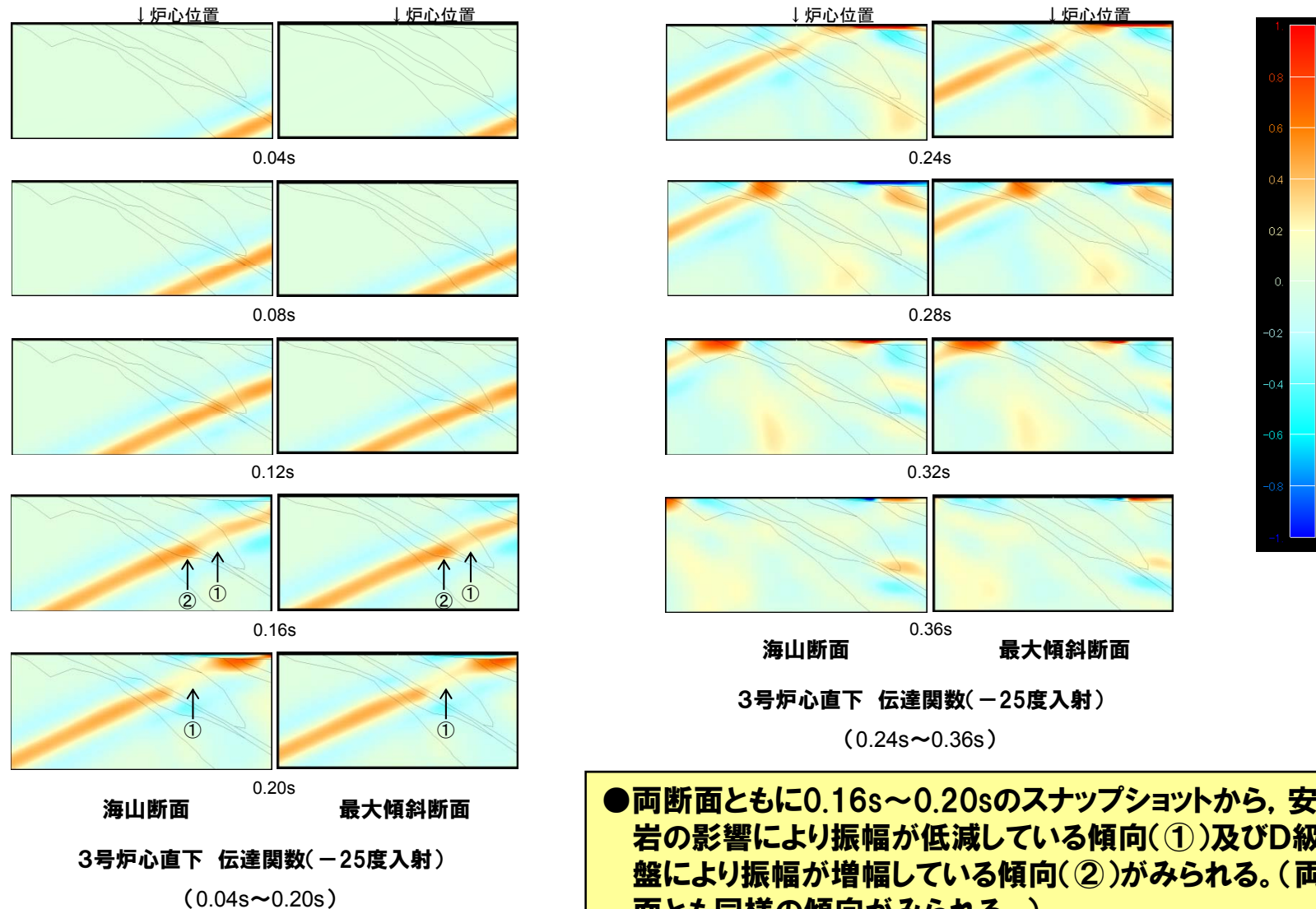
1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角+25度)



1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角-25度)



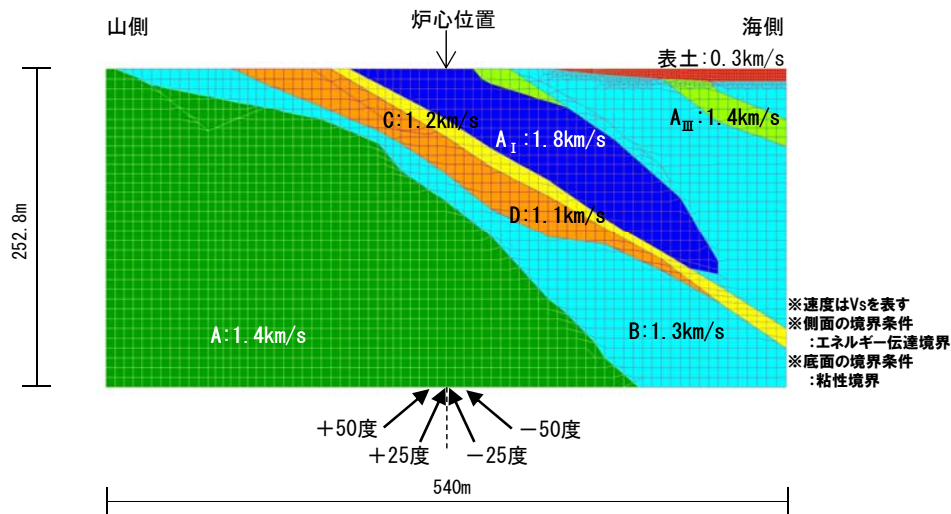
●両断面ともに0.16s~0.20sのスナップショットから、安山岩の影響により振幅が低減している傾向(①)及びD級岩盤により振幅が増幅している傾向(②)がみられる。(両断面とも同様の傾向がみられる。)

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

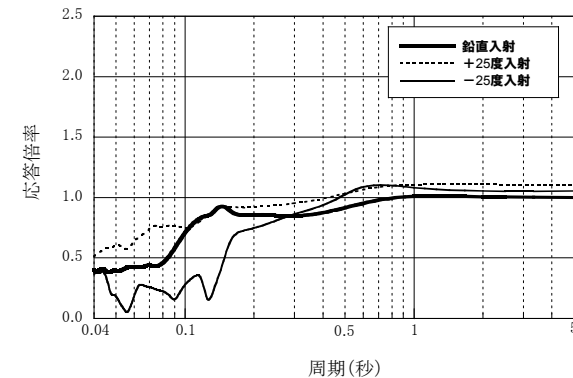
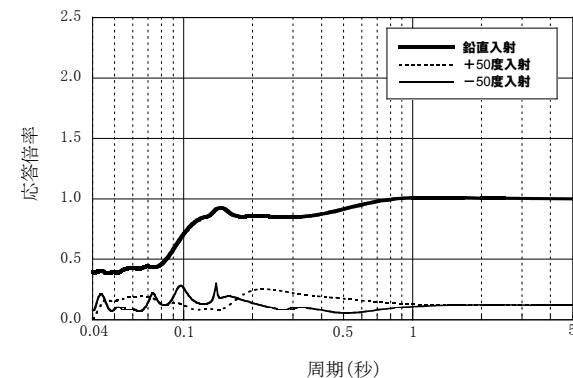
入射角による振動特性への影響

- 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



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)

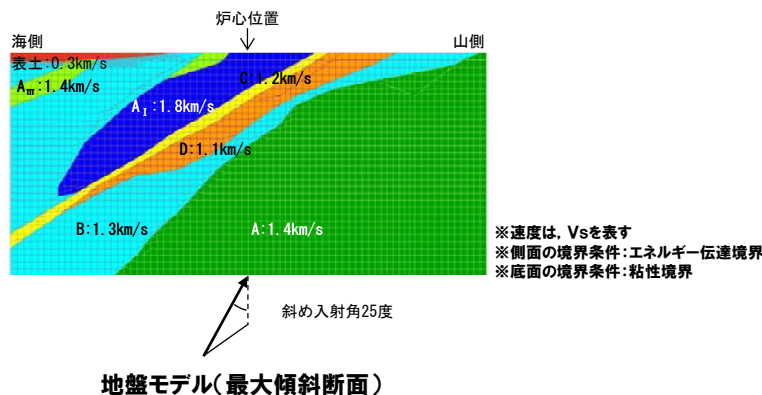
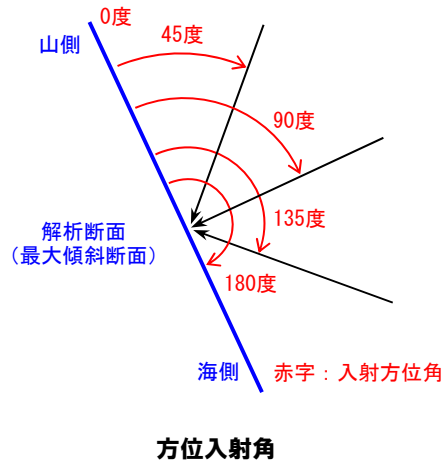
- 検討結果より、 ± 25 度入射で海側入射(-25 度)は、短周期側の応答が低減する傾向がみられる。また、山側からの入射($+25$ 度)は、海側入射より大きい応答を示しており、鉛直入射と同様に短周期側で応答が低減される傾向にある。
- ± 50 度入射は、海側入射(-50 度)、山側入射($+50$ 度)ともに大幅に応答が低減する傾向がみられる。
- これらより、入射角の影響により応答が大きく増幅する傾向はみられない。

1.1 最大傾斜方向を考慮した振動特性評価

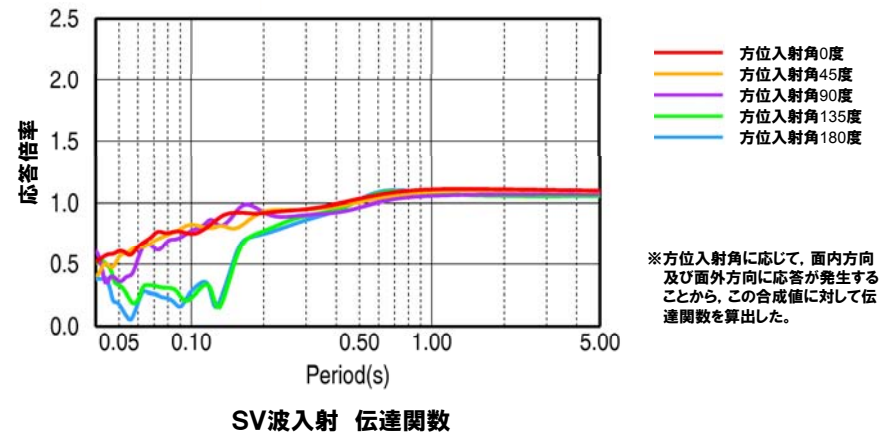
入射角及び方位入射角による振動特性への影響

- 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。

1.2 3号炉地盤の地下構造モデルの検討

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

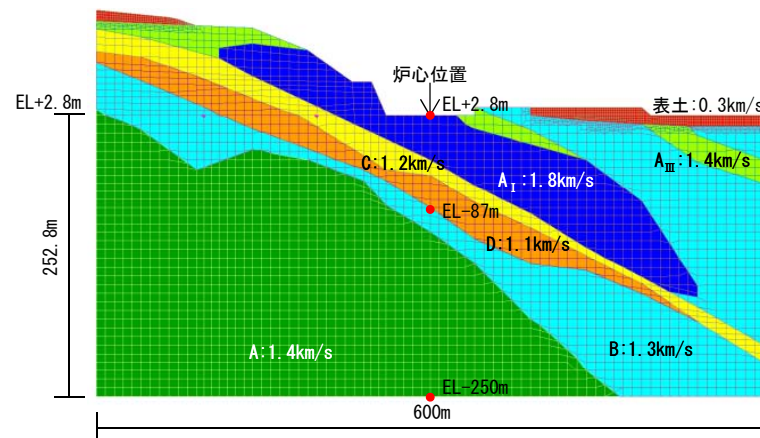
- 地震観測記録からは、特異な増幅特性はみられない。
- また、3号炉2次元地盤モデルにおいて、特異な増幅特性がないことを解析的な検討から確認している。
- 3号炉2次元地盤モデルによる伝達関数と観測記録より得られた伝達関数を比較検討する。

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、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
 ※入射角は、鉛直入射とする

地盤物性値

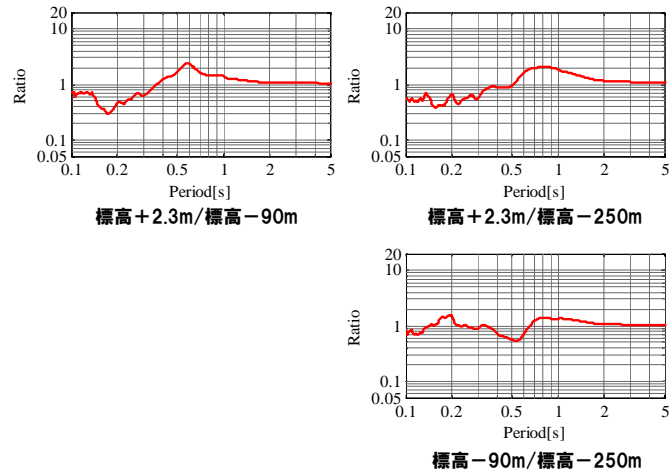
	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A _I 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A _{III} 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A 級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B 級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C 級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D 級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50

1. 地質構造を考慮した解析による検討

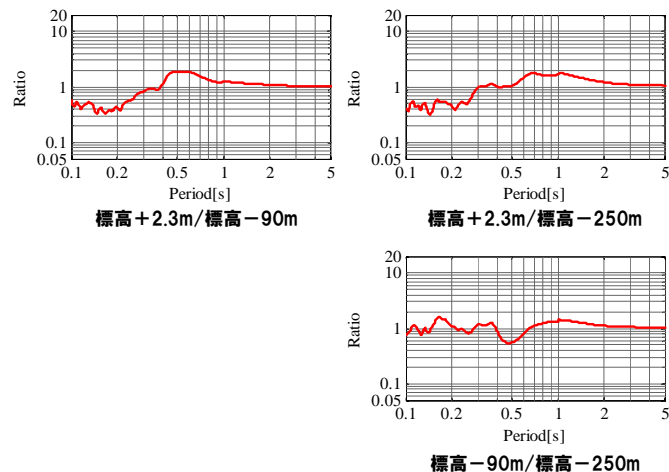
1.2 3号炉地盤の地下構造モデルの検討

検討結果

観測記録による伝達関数

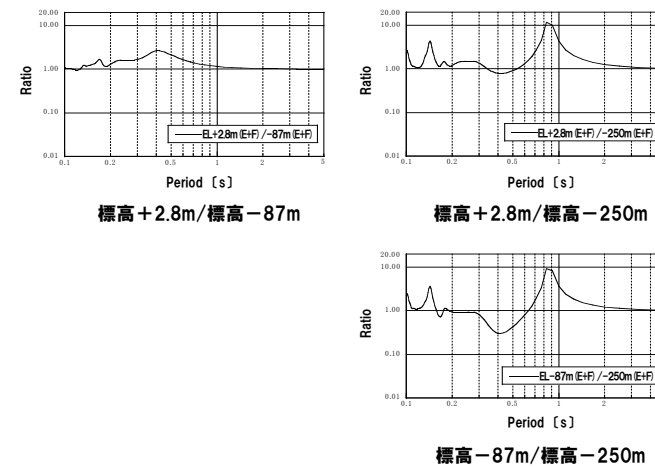


3号観測点 フーリエスペクトル比(NS方向)



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。

1.3 3号炉の地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

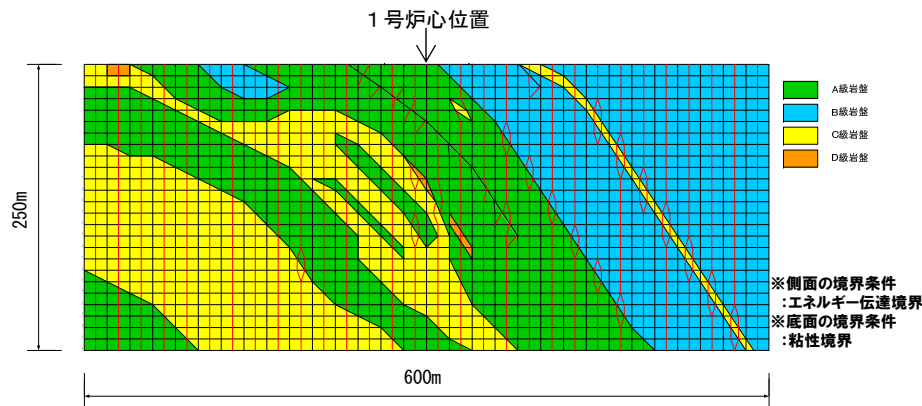
3号炉の地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

●観測記録及び解析的な検討結果より3号炉地盤において、特異な増幅特性がないことを確認した。

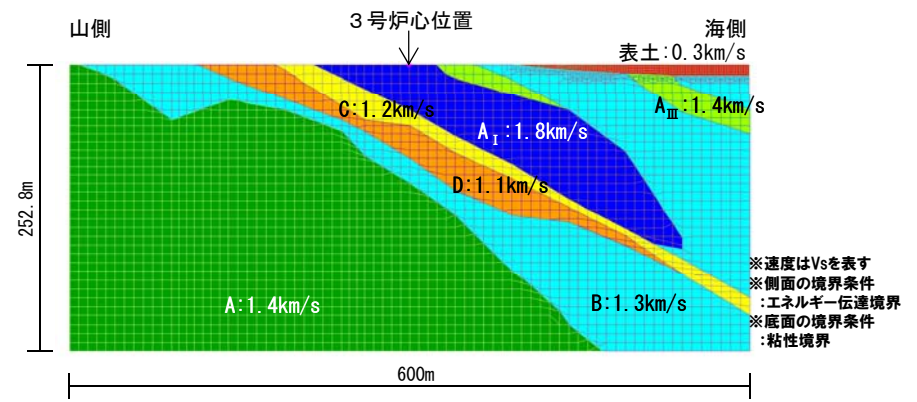
●3号炉の地震動評価に用いている地下構造モデルと3号炉心直下を含む地盤モデル(海山断面)及び1号炉心直下を含む地盤モデルの振動特性を評価し、地震動評価に用いる地下構造モデルを検討する。

●検討にあたっては、各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し、地震動評価に用いる地下構造モデルの妥当性を評価する。

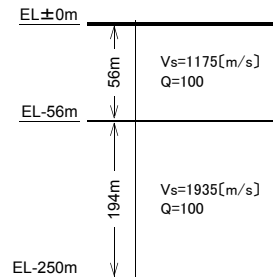
検討に用いる地盤モデル



1号炉2次元地盤モデル



3号炉2次元地盤モデル(海山断面モデル)



地震動評価用地下構造モデル

1号炉2次元地盤モデル地盤物性値

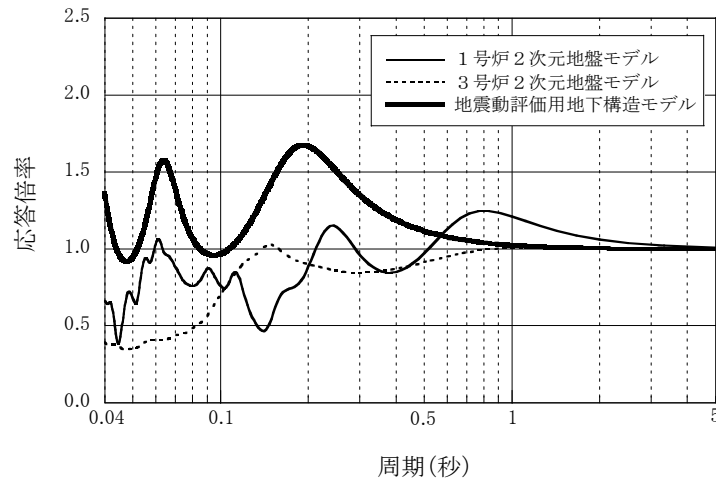
	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A級岩盤	2.2	1.5	3.2	100
B級岩盤	2.1	1.3	2.7	100
C級岩盤	1.9	1.1	2.4	100
D級岩盤	1.9	0.76	1.7	100

3号炉2次元地盤モデル地盤物性値

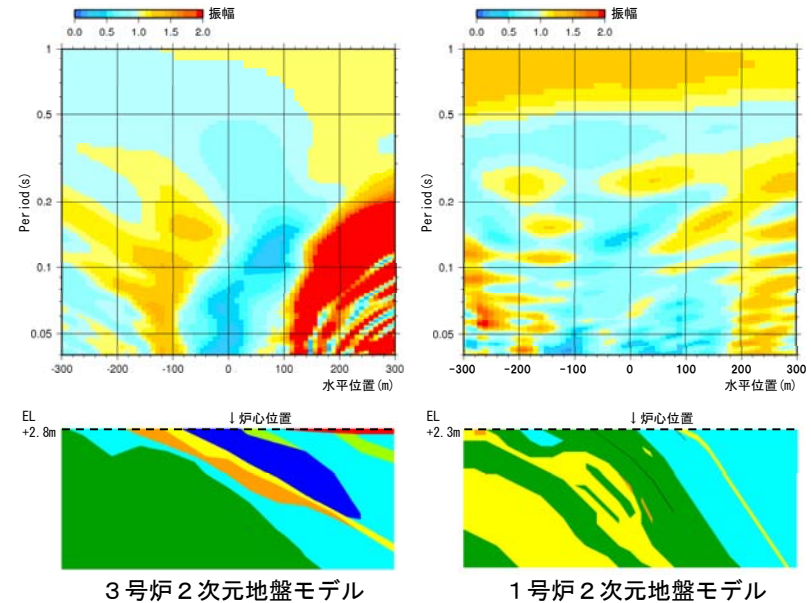
	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A ₁ 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A ₂ 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50

1.3 3号炉の地震動評価に用いる地下構造モデルの検討

比較検討結果



各地盤モデルによる伝達関数



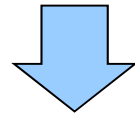
3号炉及び1号炉2次元地盤モデル 応答分布図

- 3号炉地盤モデルによる伝達関数は、1号炉地盤モデルの伝達関数より概ね小さくなっている。
- 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号炉地盤モデルの伝達関数は、地震動評価用地下構造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。

1.4 まとめ

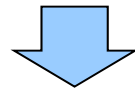
●3号炉敷地地盤の構造の特徴(傾斜構造, 安山岩等の分布)を踏まえ, 振動特性評価を実施した。

- 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。



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。

- 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。
- 3号炉地盤モデルの伝達関数は, 地震動評価用地下構造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。



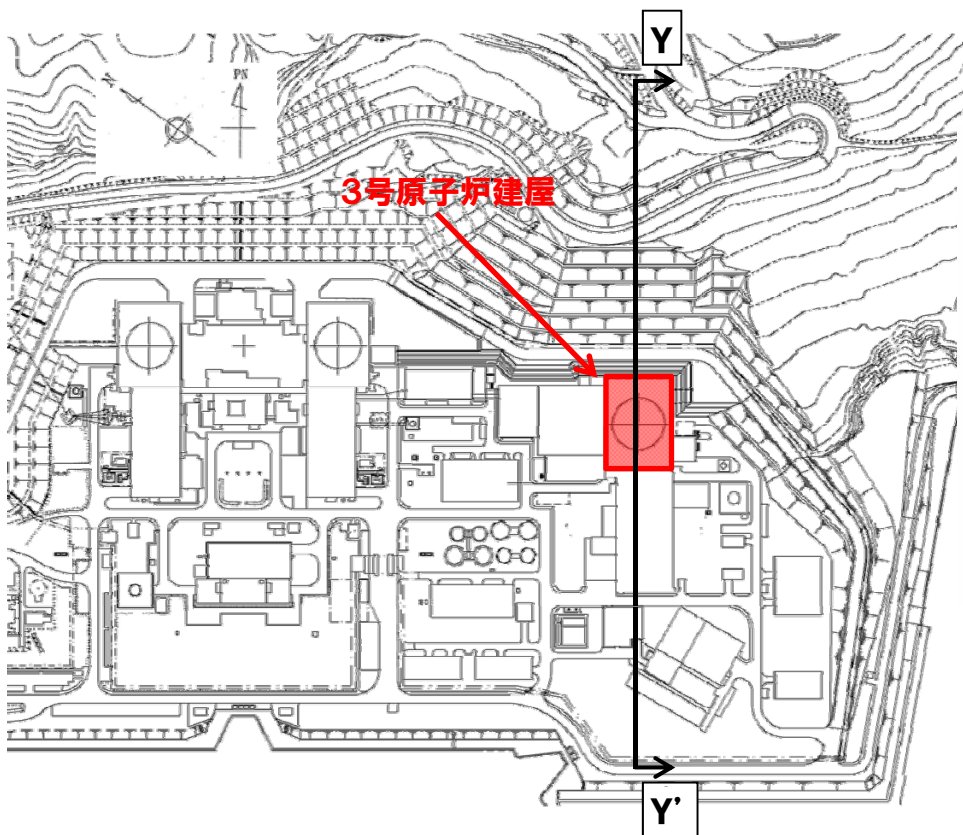
- 敷地地盤の特徴を踏まえても, 地震動評価用地下構造モデルによる地震動評価に大きな影響を与えるものではない。
- これらから, 地下構造調査結果等を活用して設定した地震動評価用地下構造モデルを用いて地震動評価を実施する。

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

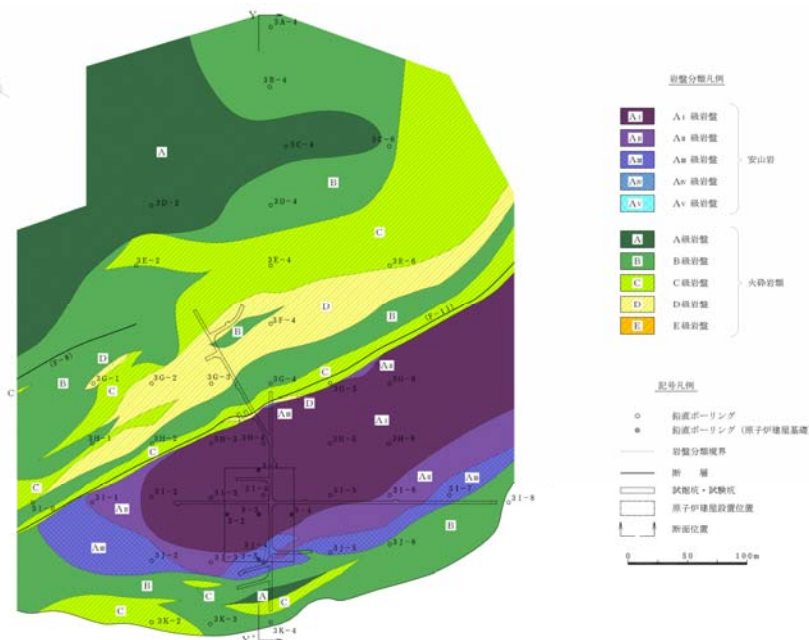
Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

●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を考慮した断面を用いて, 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



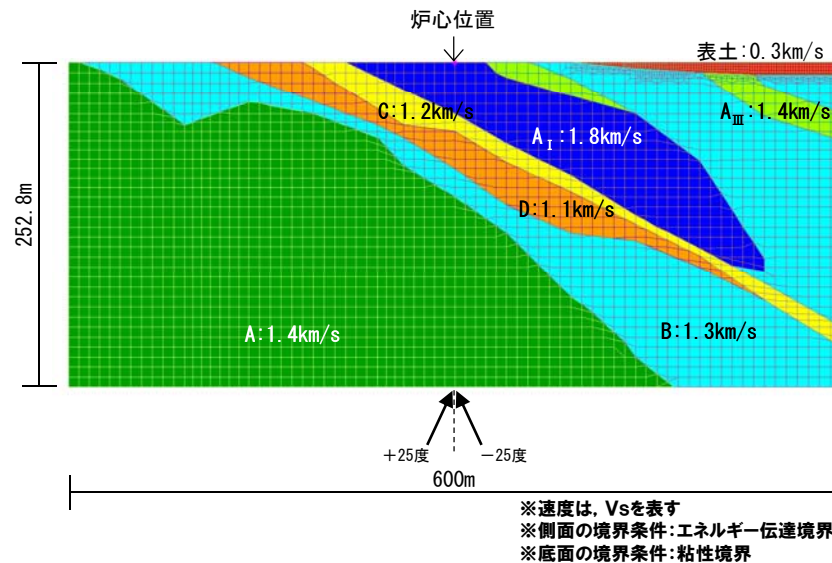
●解析断面は, 傾斜構造となっている3号原子炉建屋を通る海山断面とする。



水平岩盤分類図(3号炉 標高+2.8m)

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

地盤モデルの設定



3号炉地盤モデル(海山断面)

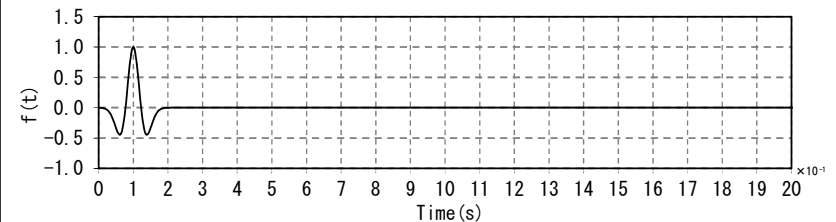
地盤物性値

	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

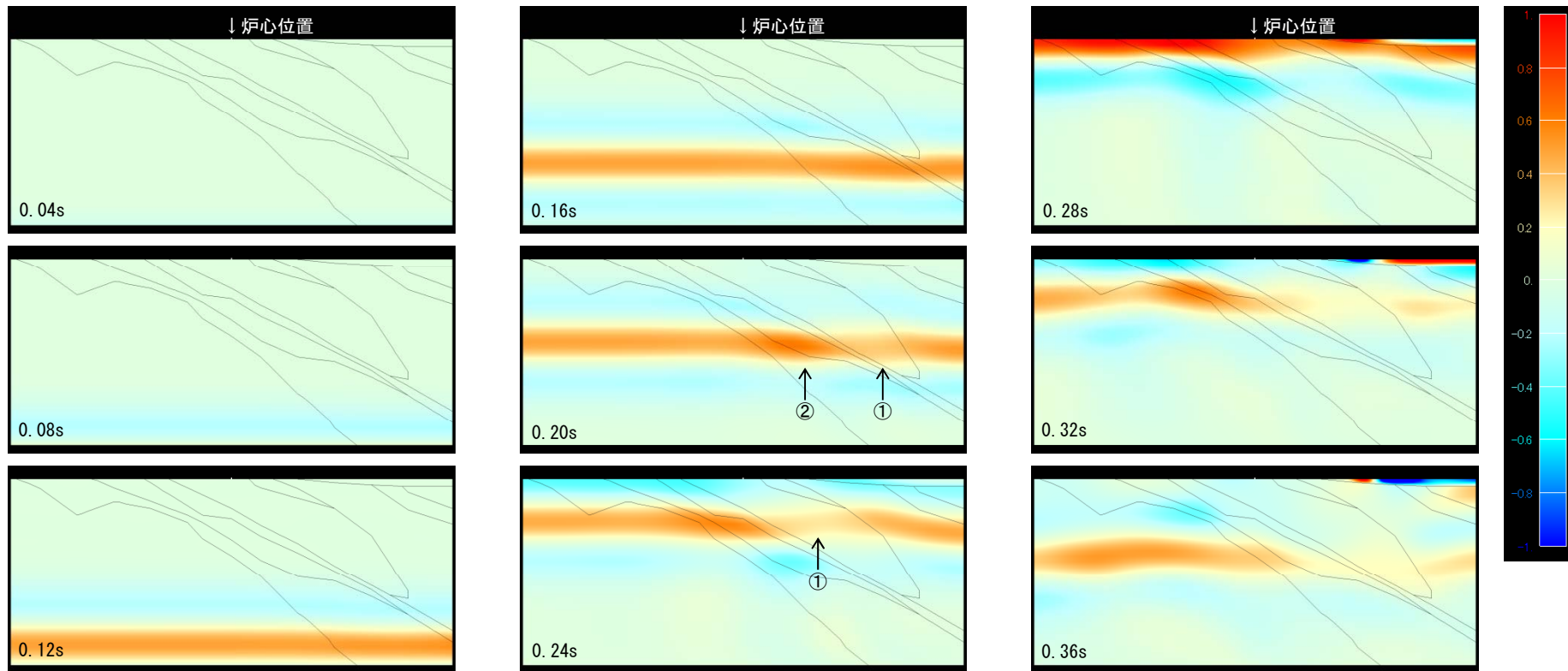
- 最大加速度1.0となるRicker波を解析モデル下端からSV波として入射した場合の伝播特性について検討する。
- 検討に用いるRicker波は、中心周期0.1s、最大値生起時刻0.1sとする。
- 入射角は、0度(鉛直入射)及び±25度の3ケースとする。



中心周期0.1s

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

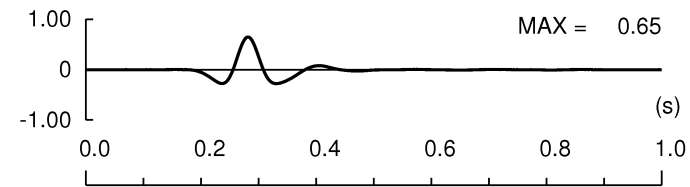
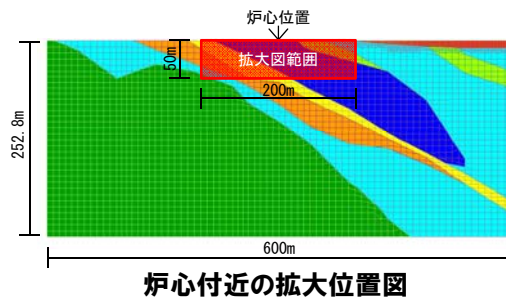
Ricker波による伝播特性(鉛直入射)



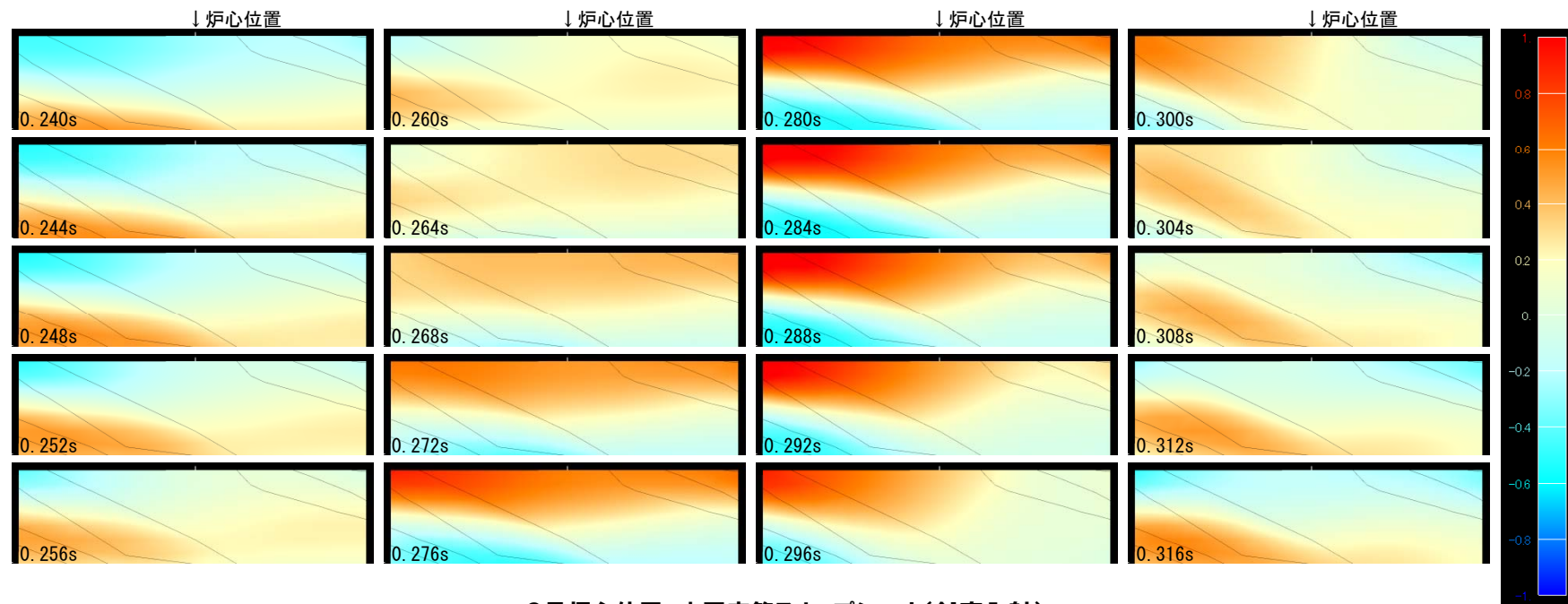
- 傾斜構造による局所的な増幅は、みられない。
- 0.20s~0.24sのスナップショットから、安山岩の影響により振幅が低減している傾向(①)及びD級岩盤により振幅が増幅している傾向(②)がみられる。

1.5 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)

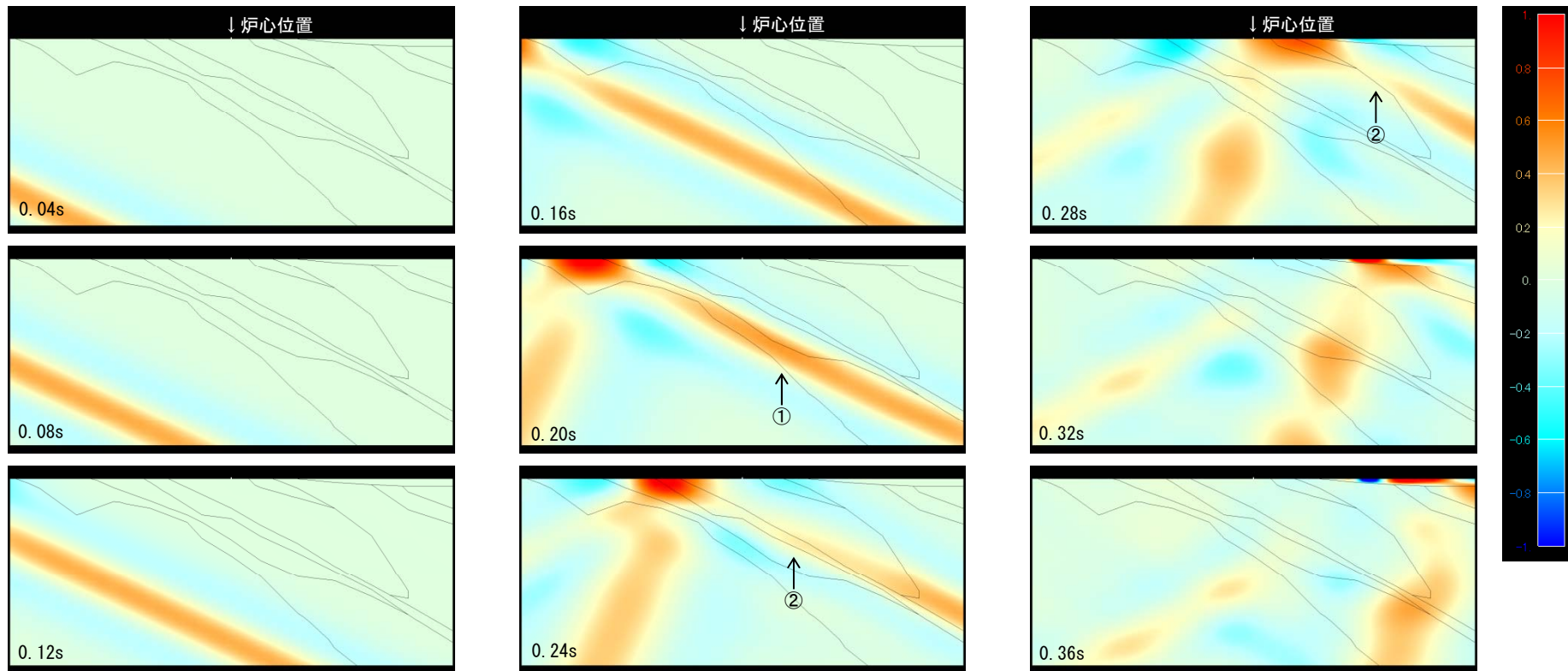


3号炉心位置 時刻歴応答加速度(鉛直入射)

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

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

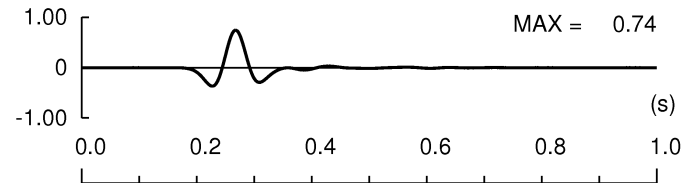
Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角+25°)



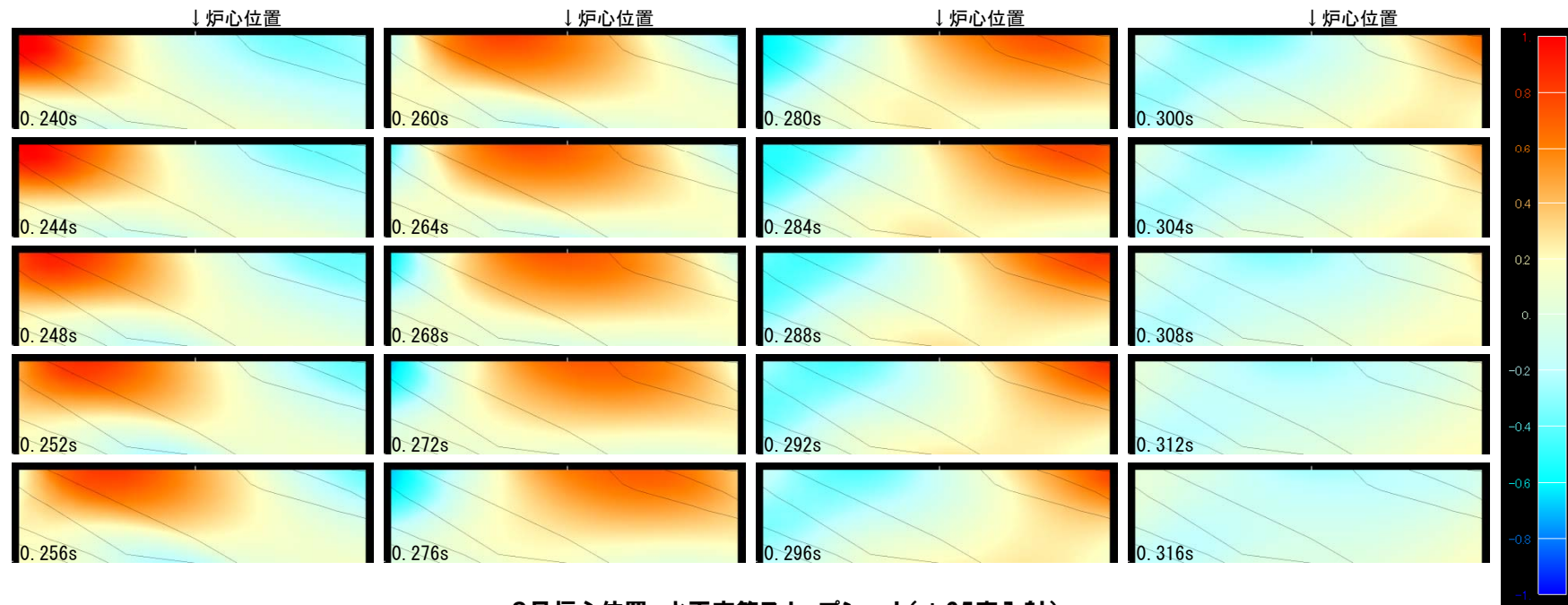
- 傾斜構造及び入射角による局所的な増幅特性はみられない。
- 0.2sのスナップショットから、D級岩盤の影響により振幅が増幅する傾向(①)がみられる。
- 0.24s~0.28sのスナップショットから、D級岩盤の影響により増幅した振幅が安山岩の影響により低減する傾向(②)がみられる。

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

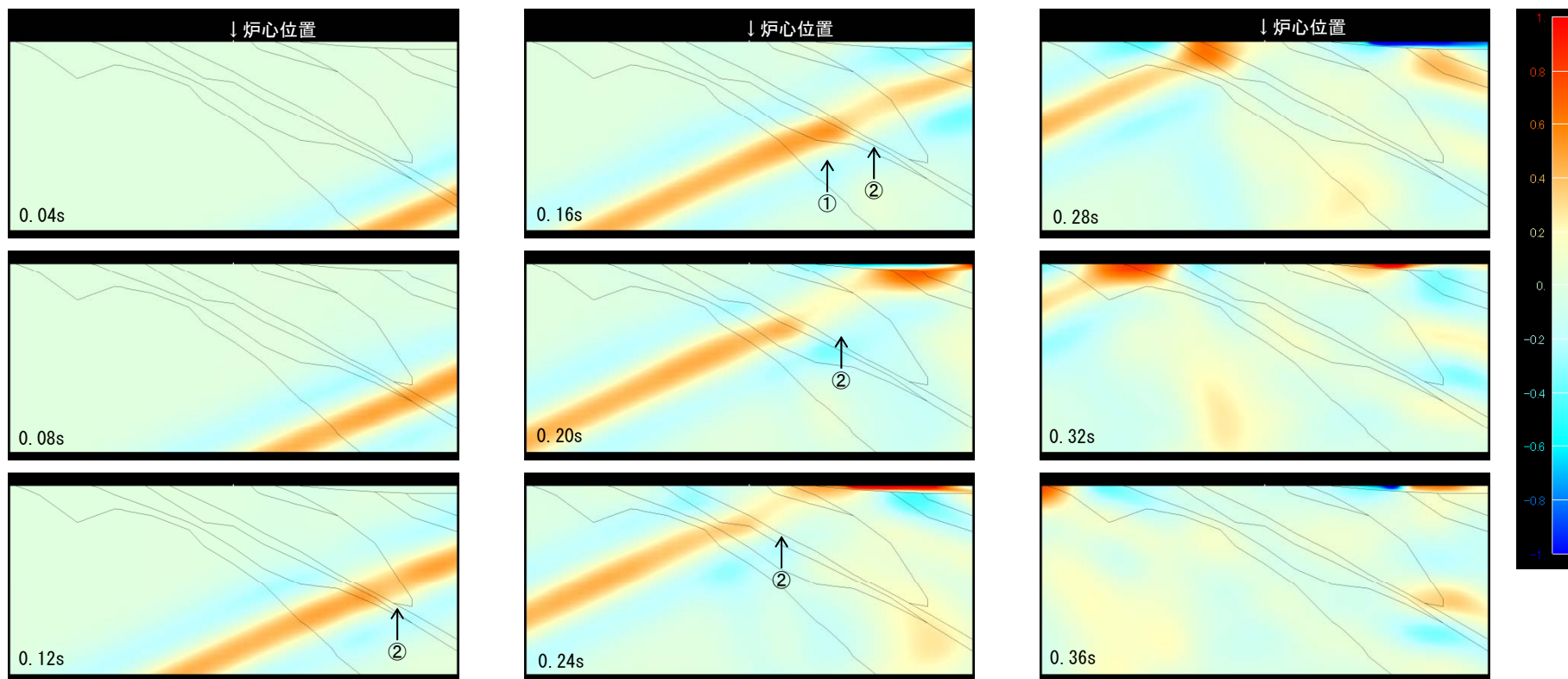
海山断面のRicker波を用いた伝播特性(入射角+25度)



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

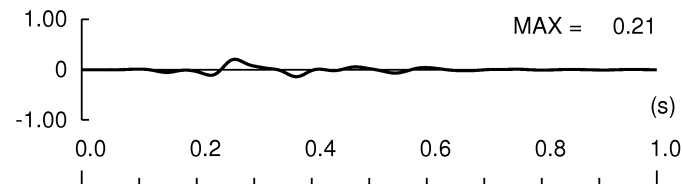
1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

Ricker波を用いた伝播特性の検討結果(入射角 -25°)

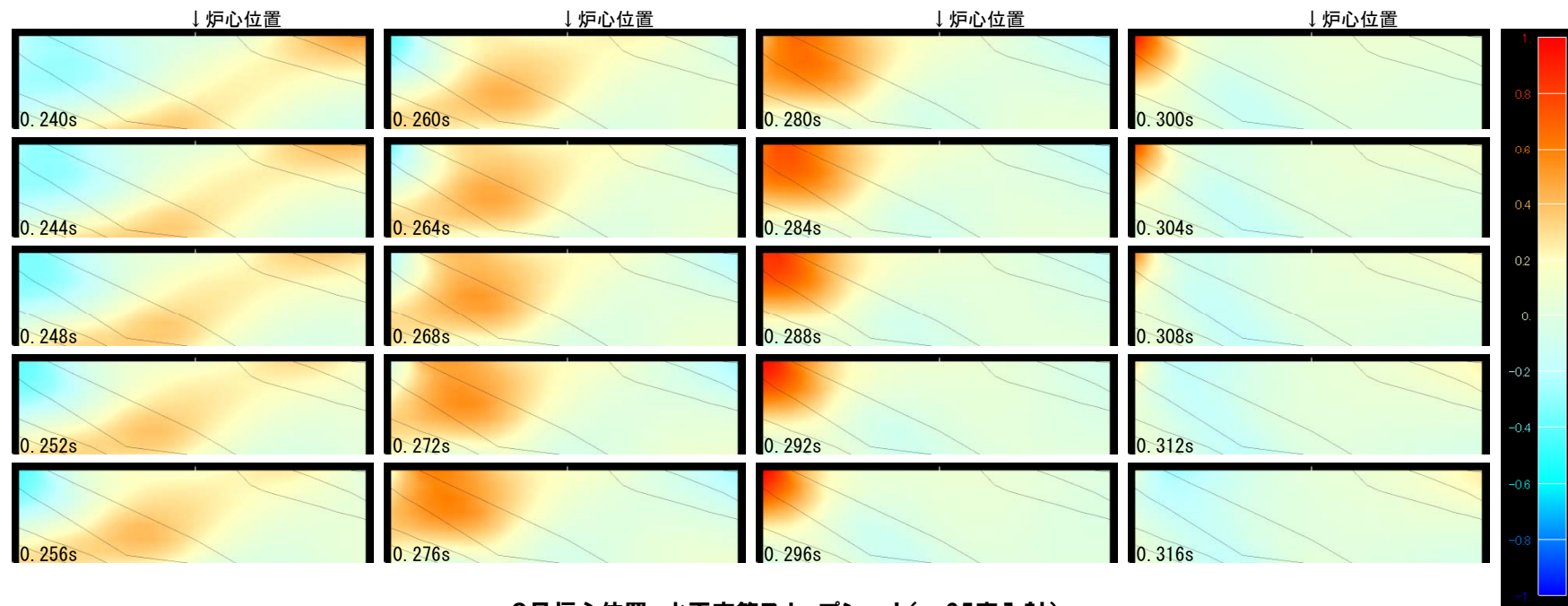
- 傾斜構造及び入射角による局所的な増幅特性はみられない。
- 0.12s~0.24sのスナップショットから、D級岩盤の影響により振幅が増幅(①)、安山岩の影響により振幅が低減する傾向(②)がそれぞれみられる。

1.5 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

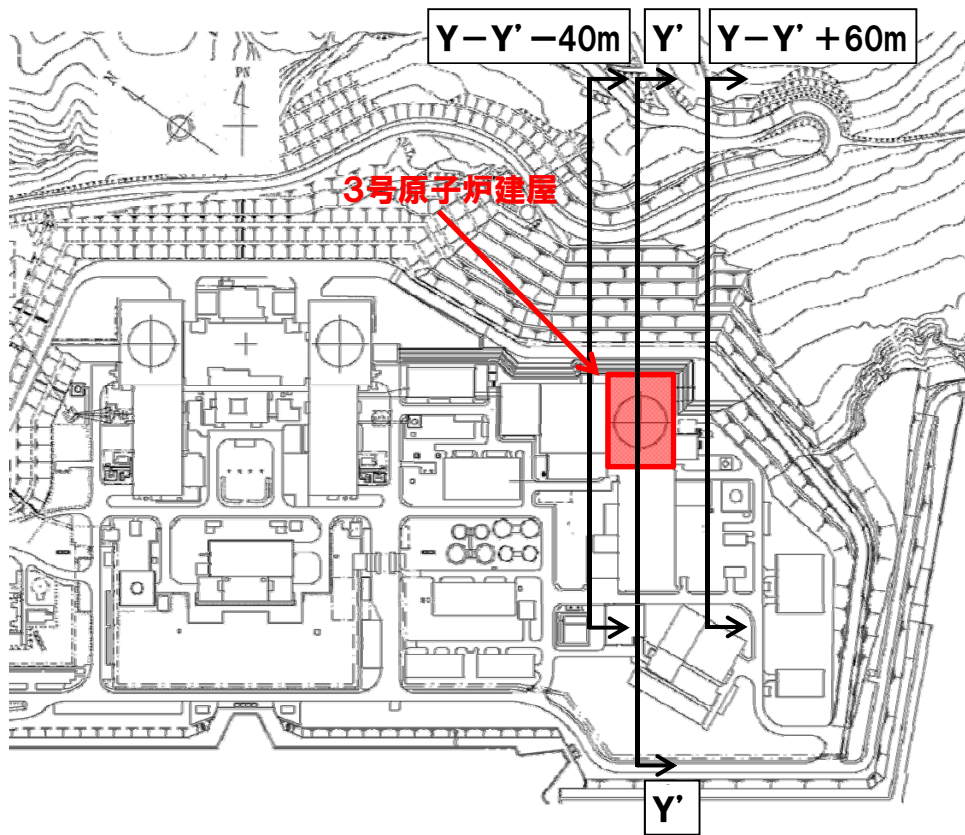
- Ricker波のスナップショットより3号炉心付近の応答は一様であり, 局所的な増幅はみられない。
- これらより, 傾斜構造及び入射角による振動特性への影響は小さいものと考えられる。

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

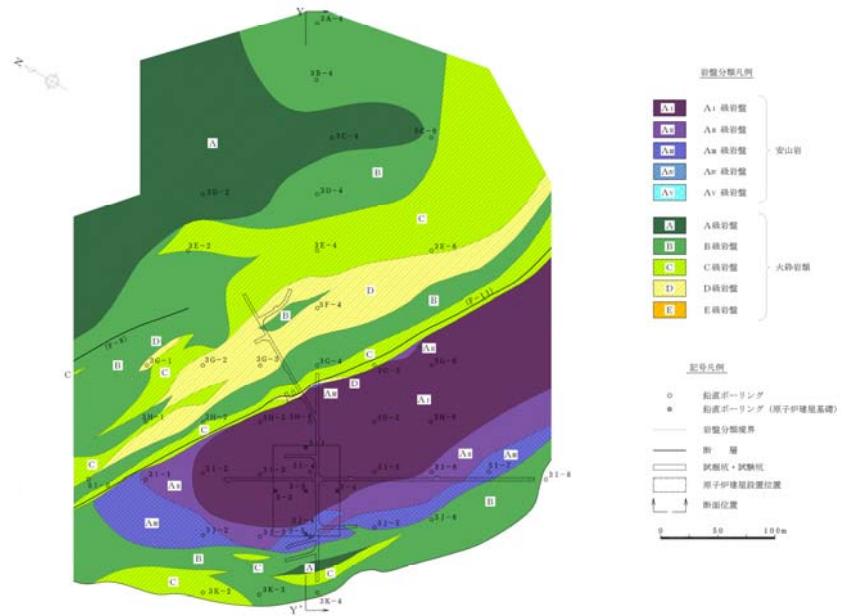
3号炉側の安山岩及びD級岩盤の平面的分布形状を考慮した解析的検討

●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



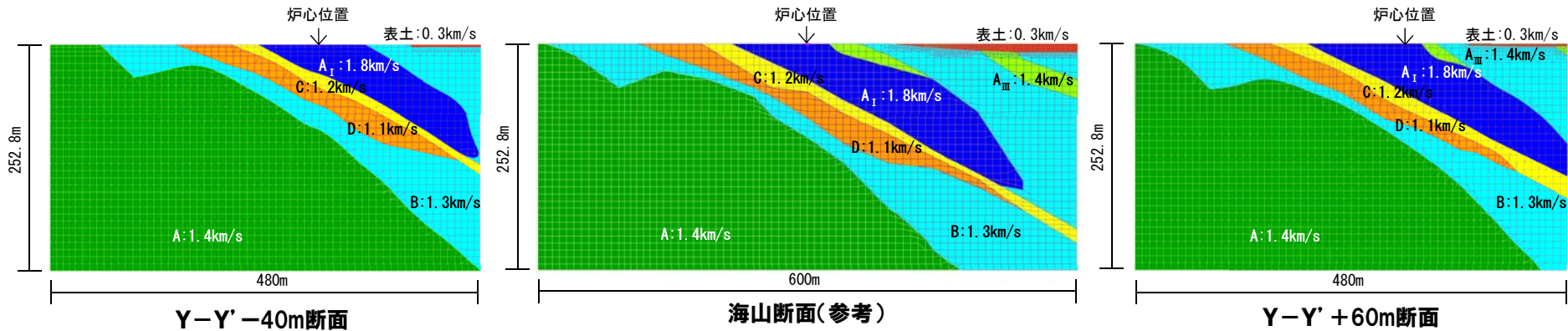
●安山岩等の平面的な分布形状を考慮して、海山断面より海岸線と平行方向に40m移動したY-Y' -40m断面及び60m移動したY-Y' +60m断面について検討する。



水平岩盤分類図(3号炉 標高+2.8m)

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

地盤モデルの設定



地盤物性値

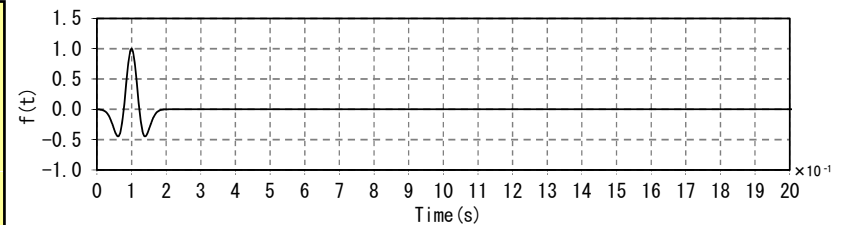
	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)	Q値
A _I 級岩盤	2.67	1.8	3.8	100
A _{III} 級岩盤	2.62	1.4	2.9	100
A級岩盤	2.20	1.4	3.0	100
B級岩盤	2.19	1.3	2.7	100
C級岩盤	2.01	1.2	2.5	100
D級岩盤	1.81	1.1	2.4	100
表土	1.81	0.3	0.73	50

●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

Ricker波を用いた伝播特性の検討

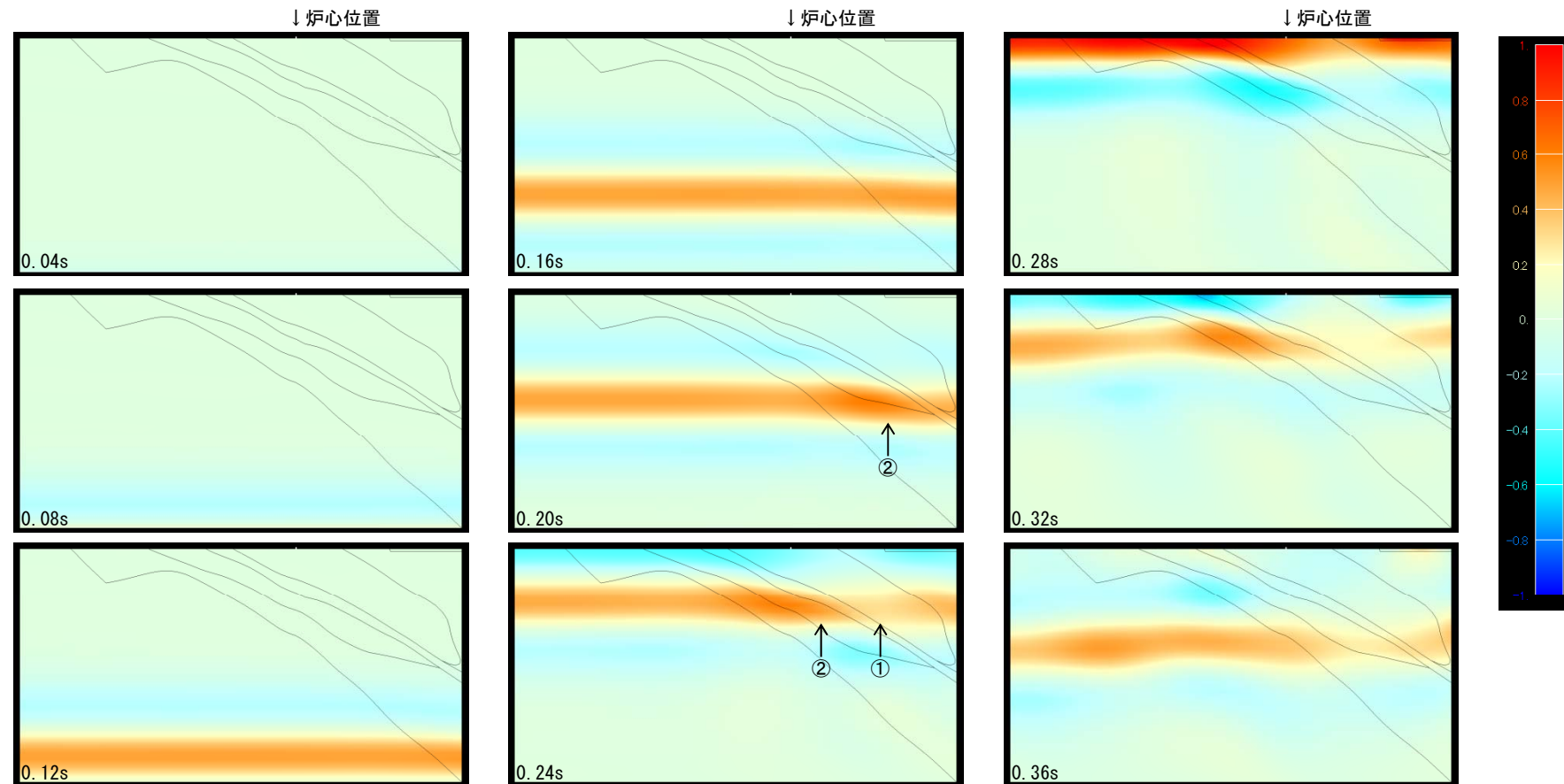
- 最大加速度1.0となるRicker波を解析モデル下端からSV波として入射した場合の伝播特性について検討する。
- 検討に用いるRicker波は、中心周期0.1s、最大値生起時刻0.1sとする。
- 入射角は、0度(鉛直入射)とする。



中心周期0.1s

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

Y-Y' -40m断面のRicker波を用いた伝播特性

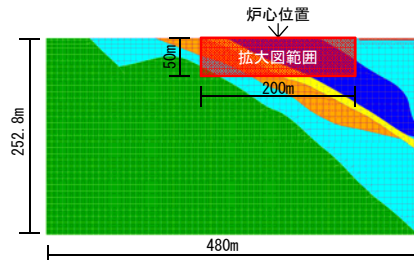


3号炉心位置 水平応答スナップショット(鉛直入射)
0.04s~0.36sまで0.04s刻み

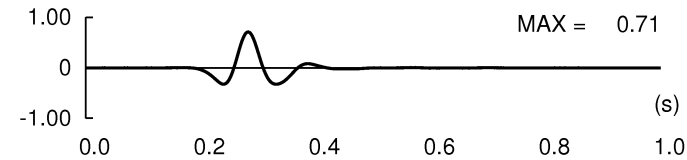
- 傾斜構造による局所的な増幅は、みられない。
- 0.20s ~0.24sのスナップショットから、安山岩の影響により振幅が低減している傾向(①)及びD級岩盤により振幅が増幅している傾向(②)がみられる。

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

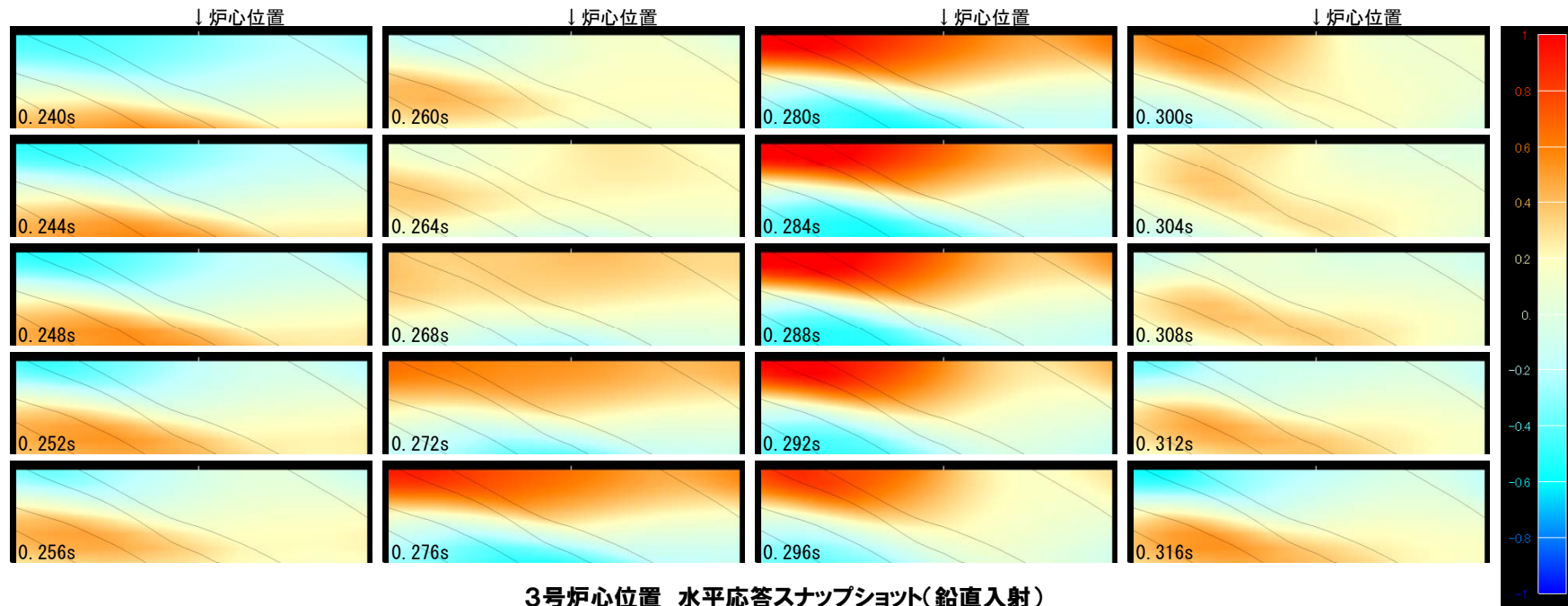
Y-Y' - 40m断面のRicker波を用いた伝播特性



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)

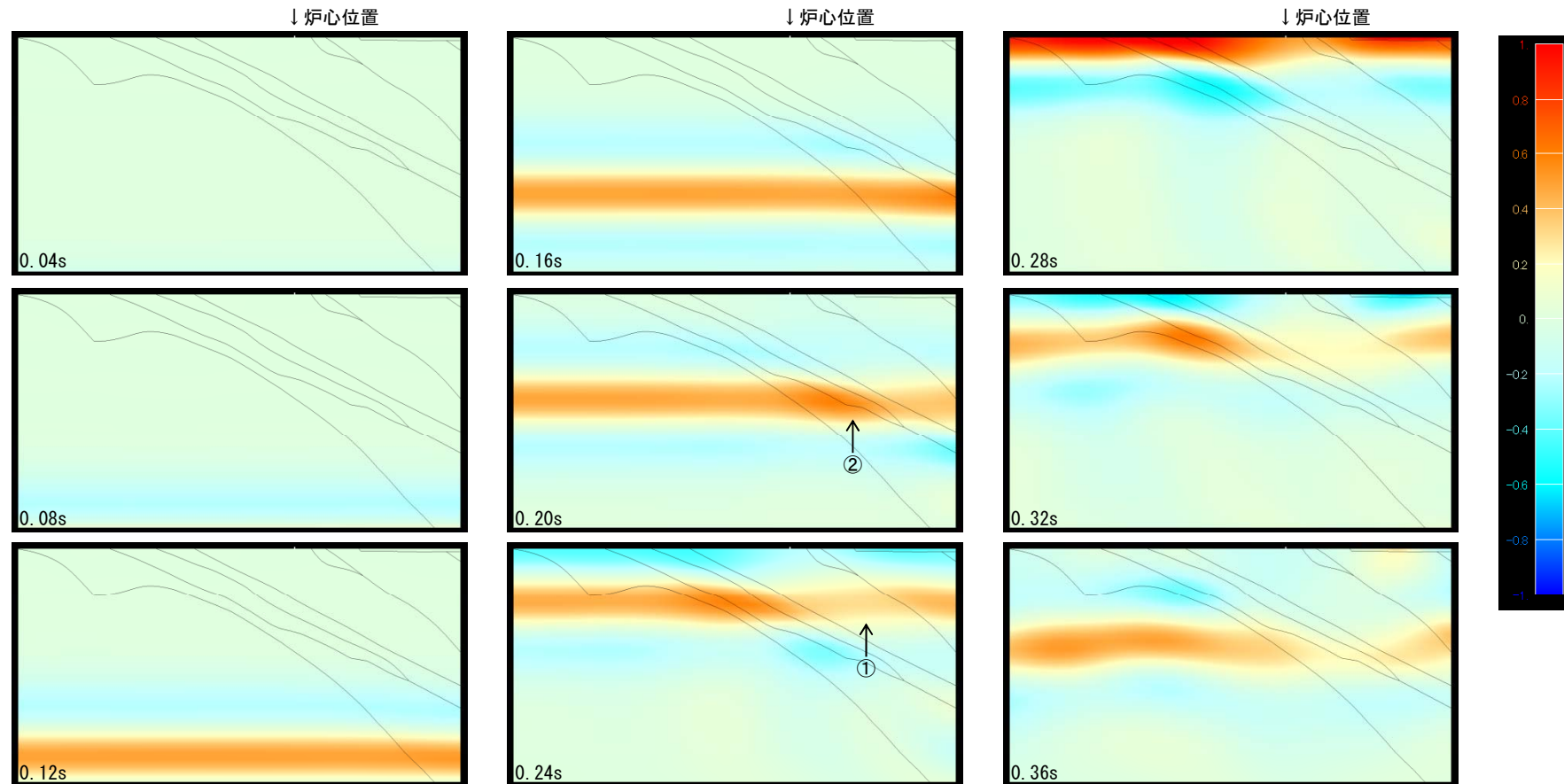


3号炉心位置 水平応答スナップショット(鉛直入射)
 炉心位置付近の拡大(200m×50m), 0.24s~0.316sまで0.004s刻み

●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。

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

Y-Y' +60m断面のRicker波を用いた伝播特性

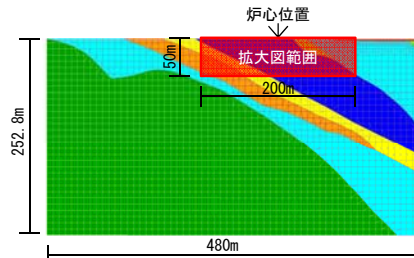


3号炉心位置 水平応答スナップショット(鉛直入射)
0.04s~0.36sまで0.04s刻み

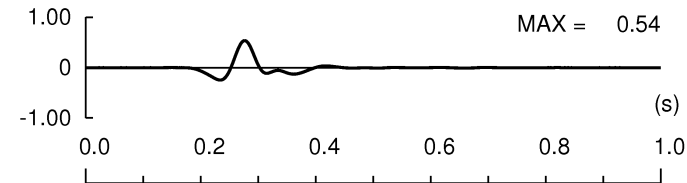
- 傾斜構造による局所的な増幅は、みられない。
- 0.20s~0.24sのスナップショットから、安山岩の影響により振幅が低減している傾向(①)及びD級岩盤により振幅が増幅している傾向(②)がみられる。

1.5 Ricker波を用いた安山岩等を含む傾斜構造の影響評価

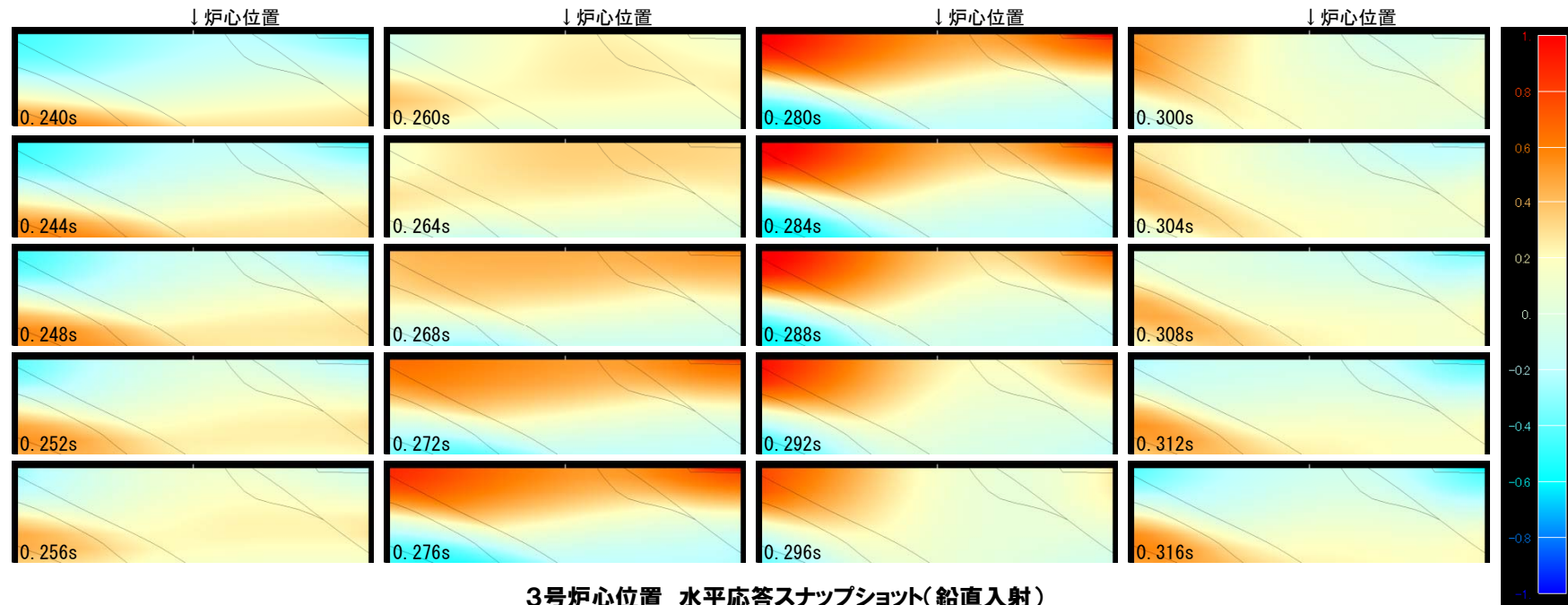
Y-Y' + 60m断面のRicker波を用いた伝播特性



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

- 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。

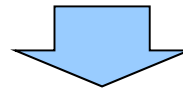
2. 深部凹構造による振動特性に関する検討

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)

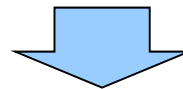
2.1 検討方針

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した。
 - 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した。
- 【平成25年11月20日第49回審査会合】

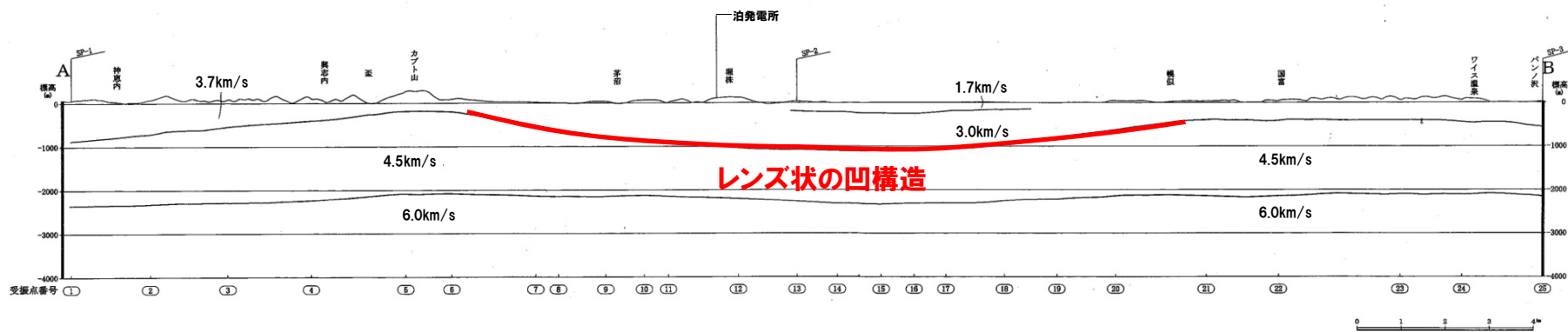
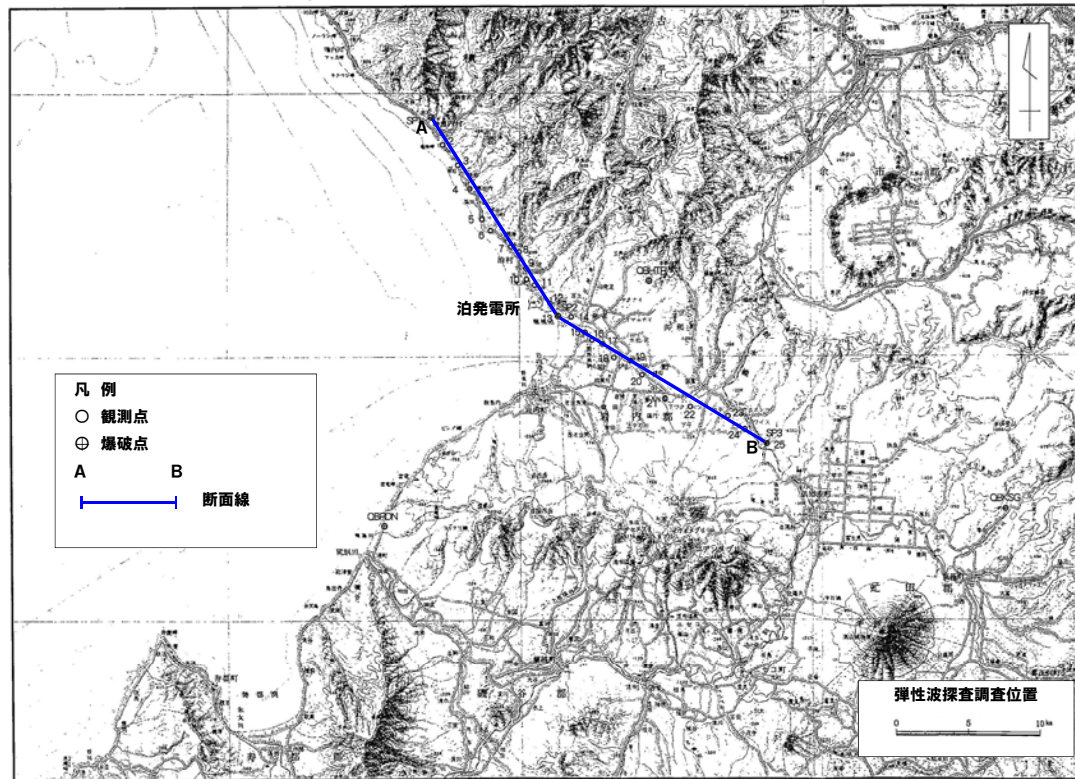


- 弾性波探査結果にみられるP波速度1.7km/sの層を含めてモデル化し、レンズ状の凹構造が振動特性に与える影響を評価する。
- 振動特性の評価にあたっては、これまでの検討と同様に伝達関数による検討及びRicker波による波動伝播特性について検討する。

2.2 深部地盤の調査結果

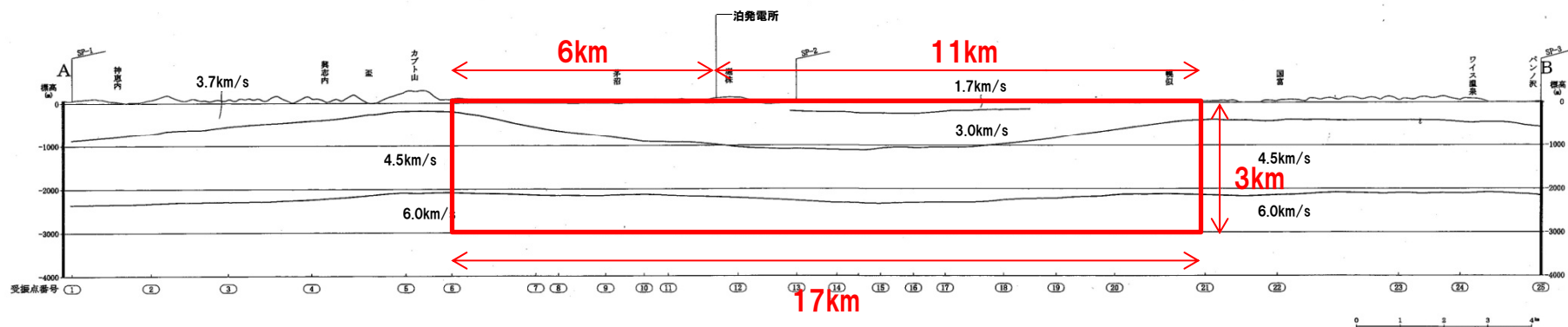
敷地周辺で実施した弾性波探査結果

● 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。



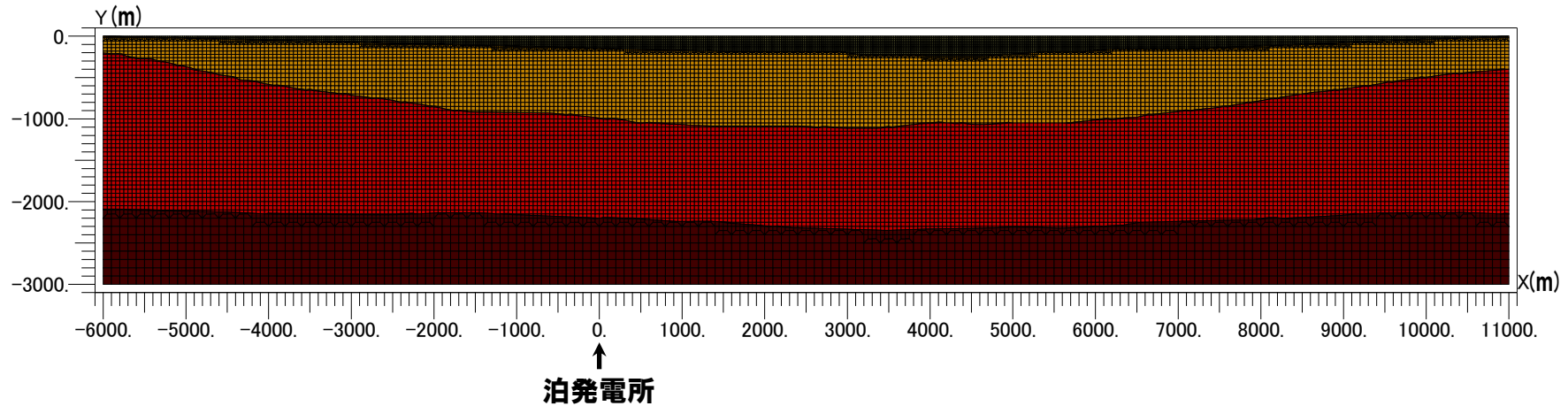
解析モデルの範囲

- 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。
- モデル化にあたっては、弾性波探査結果にみられる全ての層を考慮する。なお、P波速度1.7km/s層の一部不明瞭な部分については、層の傾斜を考慮してモデル化を実施する。



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。



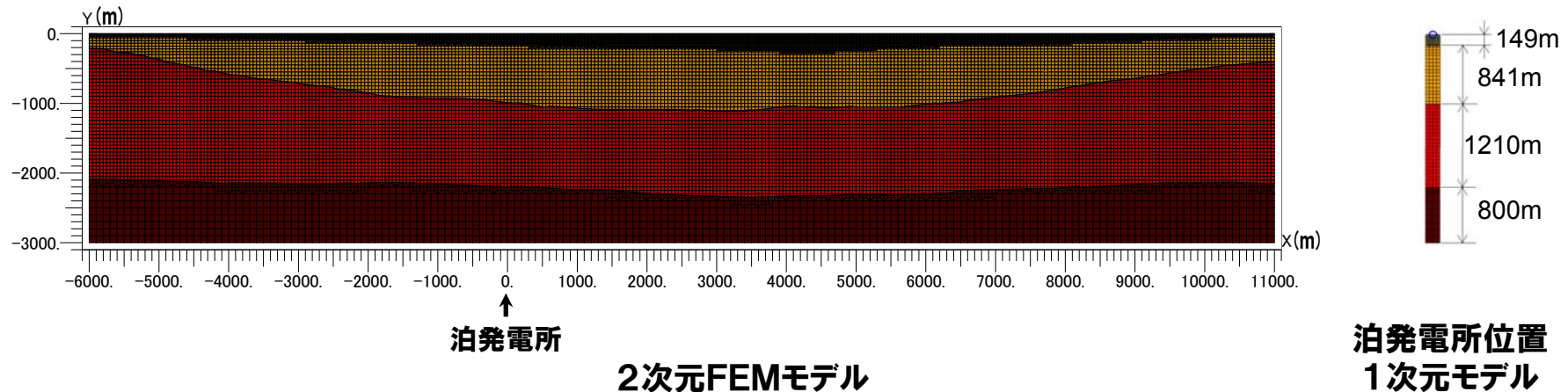
解析用物性値

- 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

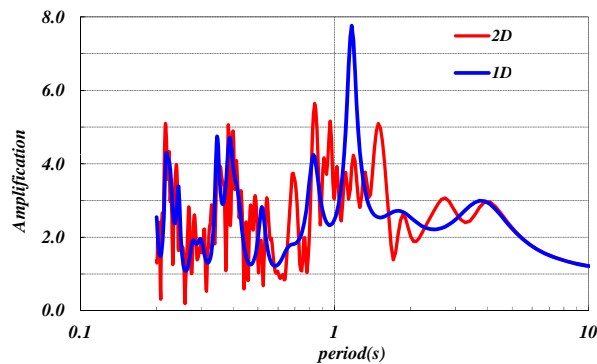
	P波速度 V_p (m/s)	S波速度 V_s (m/s)	密度 ρ (g/cm ³)	Q値
■	1700	530	2.0	100
■	3000	1300	2.3	100
■	4500	2400	2.5	100
■	6000	3700	2.7	150
—	6000	3700	2.7	150

伝達関数による検討

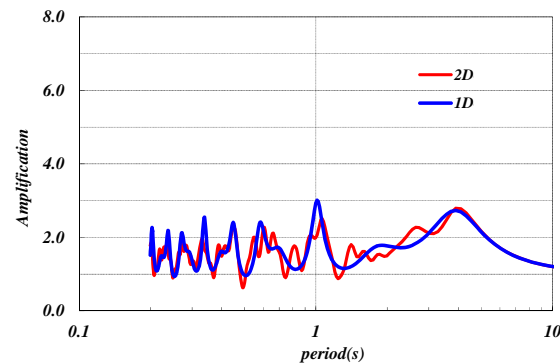
- 解析モデル下端にSV波を入力し、入力波(2E)に対する泊発電所位置での地表面の応答(2E)の伝達関数を算出し、泊発電所位置での1次元モデルによる伝達関数と比較する。



伝達関数



1次元モデルと2次元FEMモデルの
伝達関数
(表層:P波速度1.7km/s)



1次元モデルと2次元FEMモデルの
伝達関数
(表層:P波速度3.0km/s)

- 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、一部で卓越する周期に若干のずれがみられるが、周期0.2s、0.4s及び4s付近が卓越するなど、全体的に概ね同様の傾向となっている。
- P波速度の遅い表層地盤を考慮することにより、伝達関数が大きくなる。

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。

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

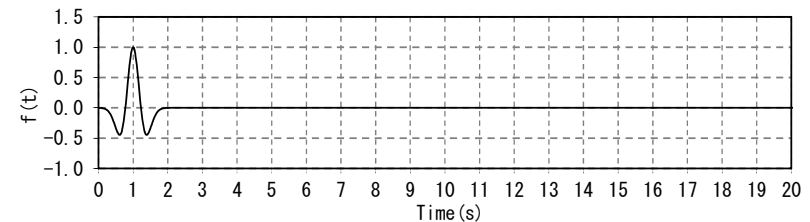
$$A = \frac{\pi^2(t - t_M)^2}{t_C^2} = f_C^2 \pi^2 (t - t_M)^2$$

t_C : 中心周期

f_C : 中心振動数

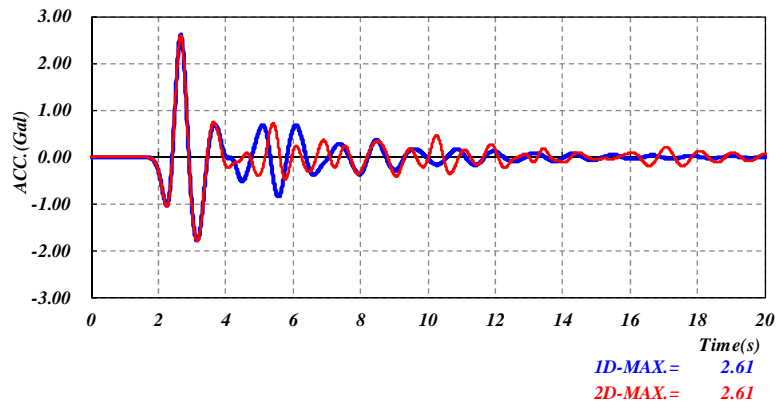
t_M : 最大値生起時刻

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



中心周期1.0s

加速度応答波形



中心周期1.0s

- 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、概ね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、概ね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。

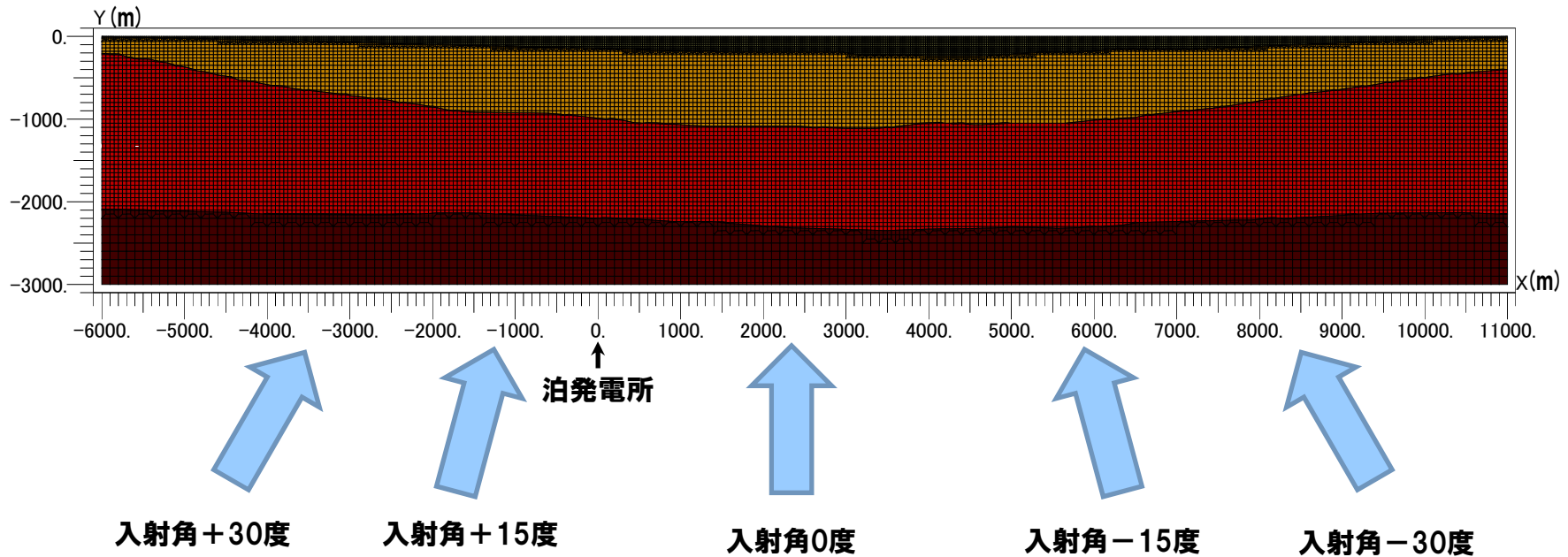
2. 深部凹構造による振動特性に関する検討

2.5 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。

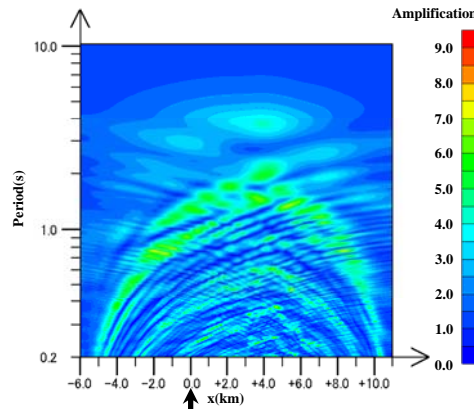
解析条件

- 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)とする。

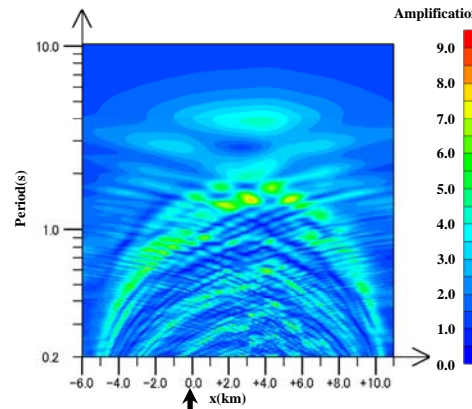


ケース	入射角	ケース	入射角
ケース1	0度(鉛直入射)	ケース4	+30度
ケース2	+15度	ケース5	-30度
ケース3	-15度		

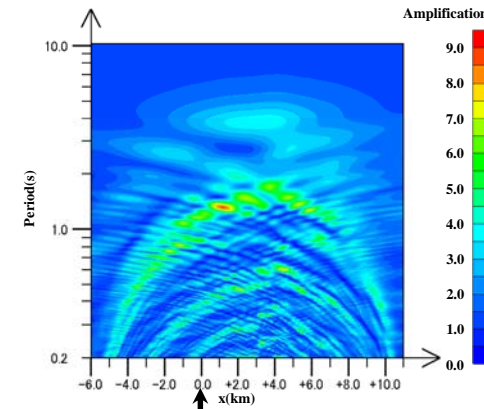
伝達関数分布(水平方向)



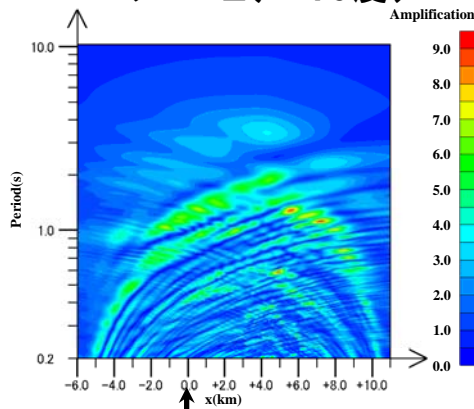
泊発電所
ケース2(+15度)



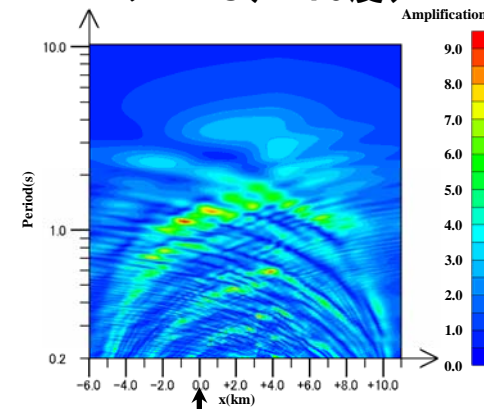
泊発電所
ケース1(0度(鉛直入射))



泊発電所
ケース3(-15度)



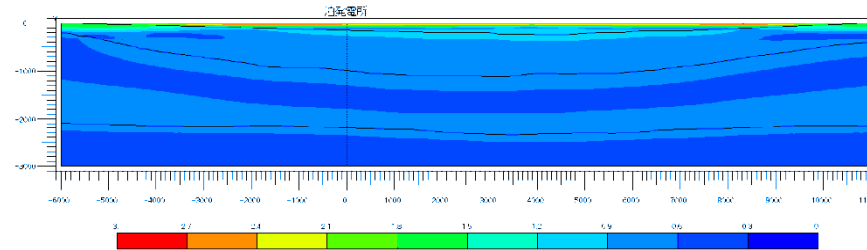
泊発電所
ケース4(+30度)



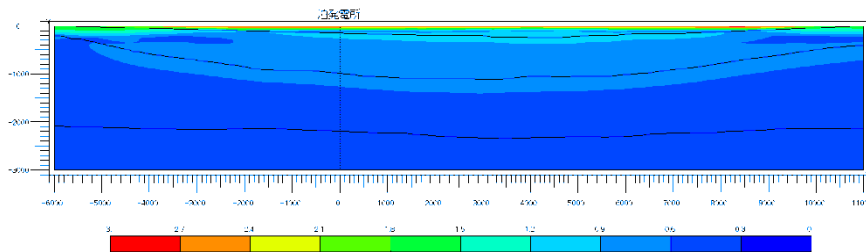
泊発電所
ケース5(-30度)

- 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。

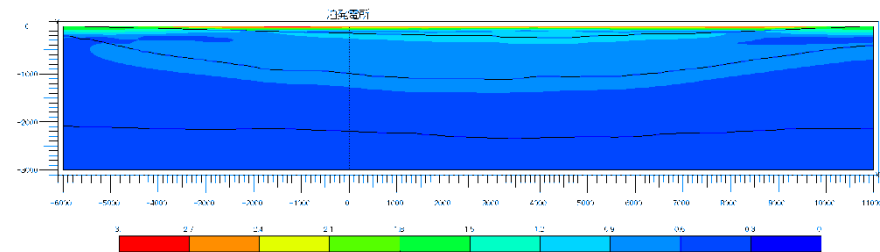
Ricker波による最大加速度応答分布(水平方向, 中心周期1.0s)



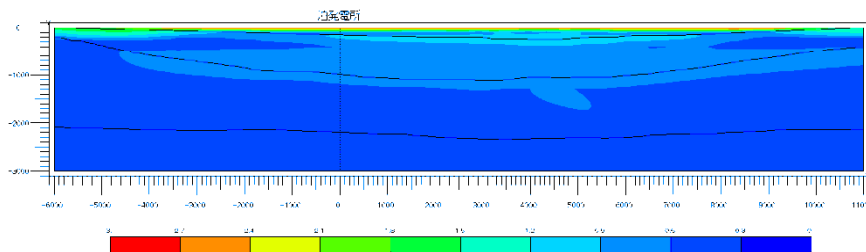
ケース1(0度(鉛直入射))



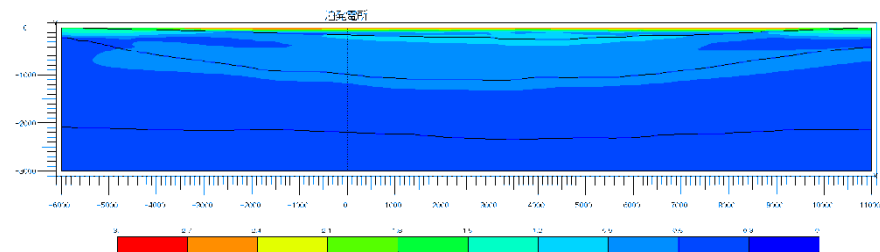
ケース2(+15度)



ケース3(-15度)



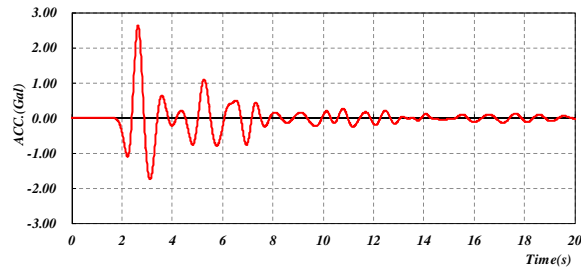
ケース4(+30度)



ケース5(-30度)

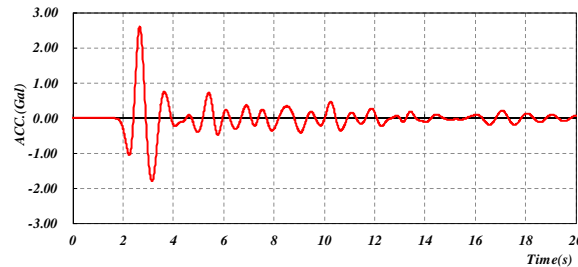
●すべてのケースにおいて、地表付近に局所的な増幅はみられず、泊発電所付近の応答も一様となっている。

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)



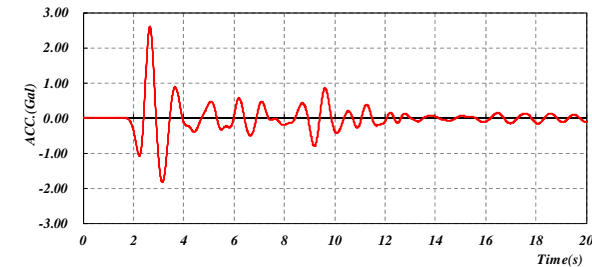
ケース2(+15度)

2D-MAX= 2.64



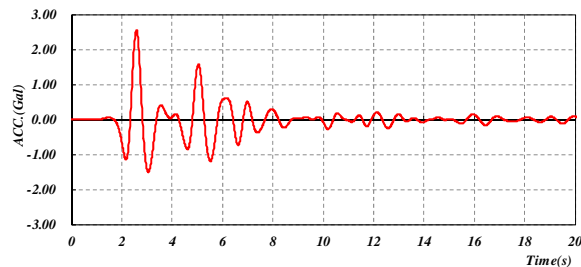
ケース1(0度(鉛直入射))

2D-MAX= 2.61



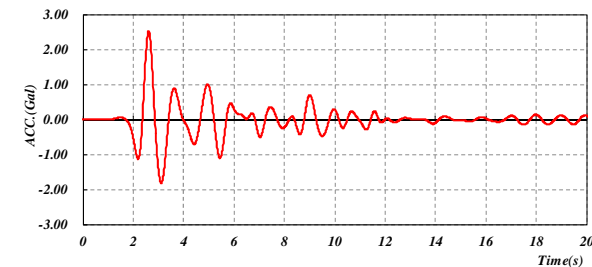
ケース3(-15度)

2D-MAX= 2.60



ケース4(+30度)

2D-MAX= 2.56



ケース5(-30度)

2D-MAX= 2.53

- 鉛直入射での加速度応答波形は、最大振幅が2.6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2.6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。

- 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。

2.6 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、概ね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。

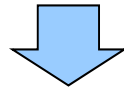
3. 経験的サイト増幅特性に関する検討

No	コメントの要旨	備考
7	・ 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)

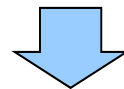
3.1 検討方針

経験的サイト増幅特性に関する検討方針

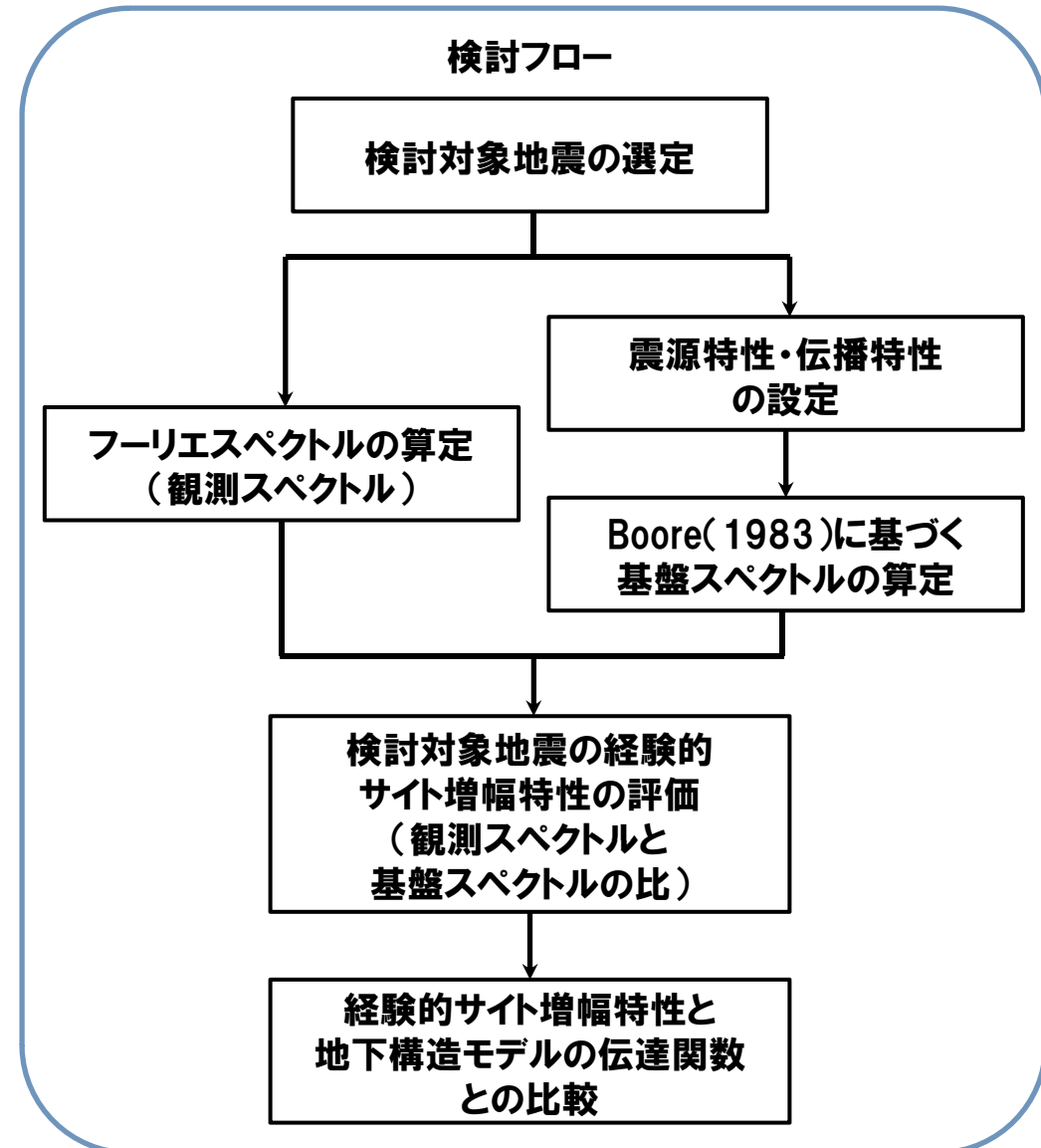
●敷地で得られた地震観測記録を用いて鶴来ほか(1997)の手法に基づき経験的サイト増幅特性を評価した。
【平成25年11月20日第49回審査会合】



●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した。
【平成25年11月20日第49回審査会合】



●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見直し、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する。



3.2 検討結果

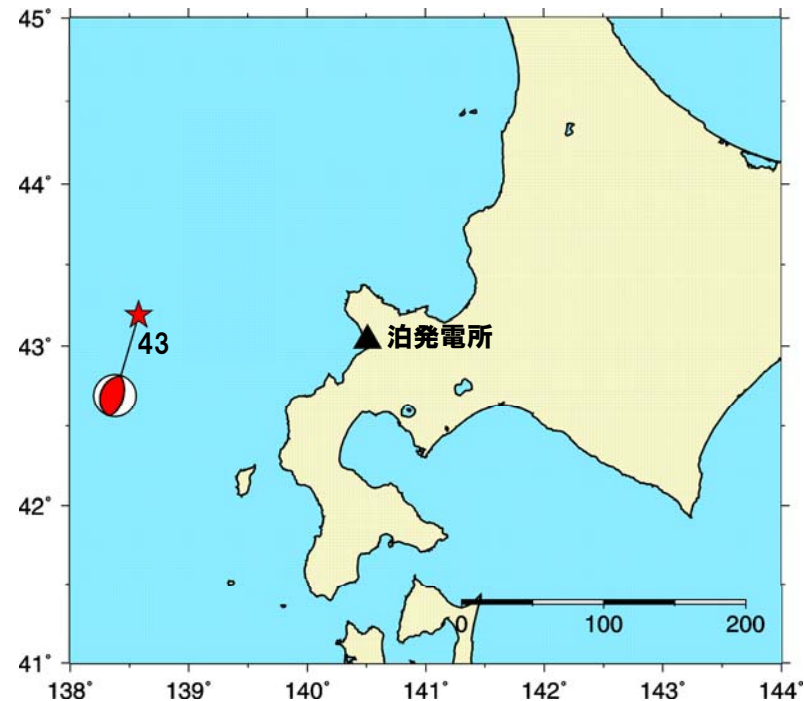
検討対象地震の選定

● 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、震源位置が比較的近い地震を選定する。

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				
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



3.2 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。

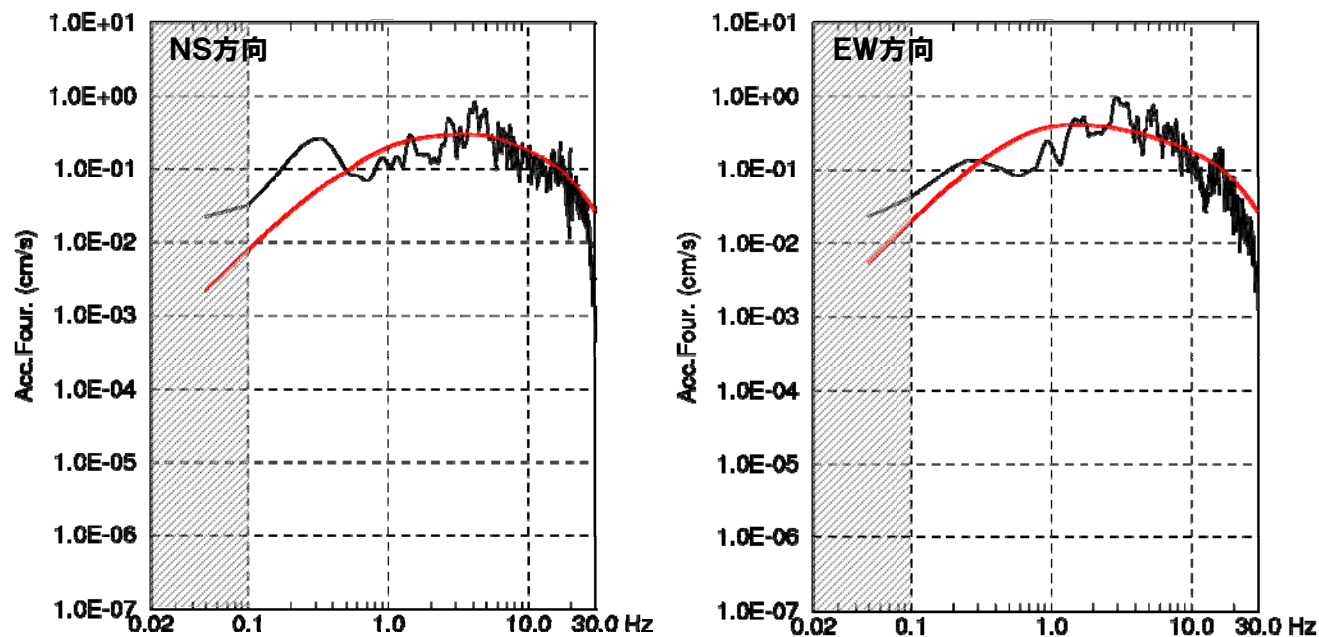
項目	設定値	備考
	No. 43地震	
震源距離	160km	
地震モーメント	$3.73 \times 10^{17} \text{N}\cdot\text{m}$	F-netによる
コーナー周波数	0.7Hz	観測記録から推定
高周波遮断周波数※	20Hz (—)	観測記録から推定
S波速度	3.8km/s	Mendoza and Fukuyama(1996)による
密度	2.9g/cm ³	Mendoza and Fukuyama(1996)による
ラディエーションパターン係数※	$f \leq 0.5\text{Hz}$: 理論値 (0.63) $0.5\text{Hz} < f < 5\text{Hz}$: 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

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

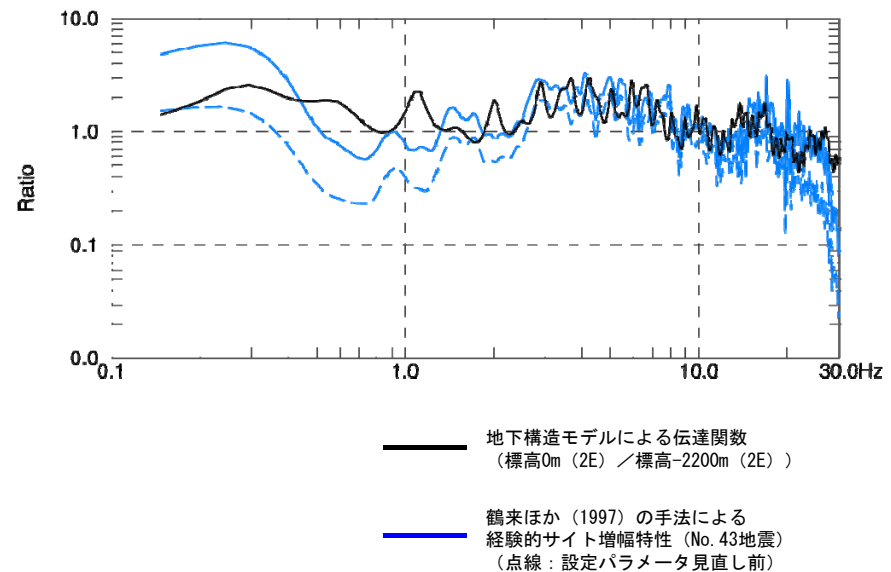
経験的サイト増幅特性と地下構造モデルによる伝達関数との比較

- 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。