

柏崎刈羽原子力発電所 6号炉及び7号炉

敷地における地震波の増幅特性について
コメント回答

平成27年7月3日

東京電力株式会社



東京電力

本日のご説明内容

第194回審査会合（平成27年2月13日）

・ご説明内容

1. 地震観測記録の分析
 - ・敷地における観測記録に基づき、地下構造による増幅特性について分析した結果をご説明。
2. 地下構造の把握
 - ・敷地及び敷地周辺における反射法地震探査、ボーリング、文献調査等の結果についてご説明。
3. 解析的検討
 - ・調査結果に基づく地下構造モデルを用いたシミュレーション解析により、増幅特性を評価した結果をご説明。

・コメント内容

- ① 解放基盤以浅の増幅特性及び地下構造モデル
- ② 荒浜側と大湊側の増幅特性の差
- ③ 2次元地下構造モデルの作成過程
- ④ 2次元地下構造モデルの妥当性

本日の主なご説明内容

- ① 解放基盤以浅の増幅特性及び地下構造モデル
 - ・地震波の到来方向を詳細に分割した場合においても、解放基盤以浅においては、到来方向別の増幅特性に差がなく、不整形などの影響は確認されないことをご説明。
 - ・1次元地下構造モデルで、観測記録を再現できることをご説明。
- ② 荒浜側と大湊側の増幅特性の差
 - ・地震波の到来方向を詳細に分割した場合においても、敷地の南西から到来する地震波において、荒浜側と大湊側で顕著な差が発生し、中越沖地震に見られた傾向と対応することをご説明。
- ③ 2次元地下構造モデルの作成過程
 - ・バランス断面法による地下構造モデルの推定結果について詳細にご説明。
- ④ 2次元地下構造モデルの妥当性
 - ・微動アレイや水平アレイ観測に基づく1次元地下構造モデルとの対応関係についてご説明。
 - ・2次元地下構造モデルを用いた感度解析により、妥当性を検証した結果についてご説明。

コメント一覧

		内容	説明概要	ページ
1	H27 2/13	地震観測記録の分析や解析的検討の中で対象としている周期がそれぞれ異なる理由を説明すること。	・各検討で対象としている周期帯について一覧表に整理。	8
2	H27 2/13	解放基盤表面の設定方法について、考え方を整理し説明すること。	・解放基盤表面の設定についてご説明。	12 27
3	H27 2/13	はぎとり解析に用いた地下構造モデルの妥当性を示すこと。	・地下構造モデルの設定方法と妥当性についてご説明。	13~17
4	H27 2/13	解放基盤以浅の地中から地表への増幅特性について、いくつか例示して説明すること。	・最大加速度の鉛直分布について、観測記録と解析結果の比較をご説明。	17
5	H27 2/13	地震観測記録と耐専スペクトルの比較について、2011年・2014年長野県北部地震などの記録を検討すること。	・追加検討した結果、従来の検討と同様な傾向であることをご説明。	36
6	H27 2/13	地下構造評価の妥当性を示すにあたって、オフセットVSPなど地質調査データを拡充することが一つの手段として考えられる。	・観測記録の分析から解放基盤以浅においては特異な増幅特性は確認されないこと、及び解放基盤以深においては特異な増幅特性が確認されるものの解析的検討によると褶曲構造によるものと考えられ、局所的な低速度層等による影響は確認されないことをご説明。	42~50 167~171
7	H27 2/13	第2アスペリティからの地震波について、荒浜側と大湊側の増幅特性に著しい差が生じていないことを確認するため、検討結果を提示すること。	・詳細区分した領域区分のうち、第2アスペリティ付近から到来する地震波は得意な増幅特性が確認されないことをご説明。	48~50
8	H27 2/13	中小地震に関する荒浜側と大湊側のはぎとり波の比較において中越沖当時の荒浜側と大湊側の比（2倍程度）との整合性についてどう考えるか示すこと。	・中越沖地震と中小地震の、荒浜側と大湊側の比について対応関係を整理してご説明。	51~52
9	H27 2/13	水平アレイによる到来方向別の検討について、従来の評価よりも短周期側でのみ増幅する傾向にあるため、従来評価との対応関係について説明すること。	・対象地震の観測記録は、0.1~0.2秒付近の成分が支配的であり、それ以外の周期帯に対しては相対的に成分が少ないため感度が低いと考えられることをご説明。	74~75
10	H27 2/13	2次元地下構造モデルの設定において、バランス断面法を用いているが、どのように評価を行っているか詳細を説明すること。	・バランス断面法による地下構造モデルの推定結果についてご説明。併せてパラメータスタディにより2次元地下構造モデルを検証した結果をご説明。	126~128 131~132 160~165
11	H27 2/13	水平アレイを活用し1次元の地下構造モデルを同定するなど、総合的に評価すること。	・水平アレイ観測点の1次元地下構造モデルや微動アレイによる1次元地下構造モデルと2次元地下構造モデルの対応関係について分析した結果をご説明。併せてパラメータスタディにより2次元地下構造モデルを検証した結果をご説明。	133~149 89~91 159
12	H27 2/13	分析に用いた地震をリスト化し、波形・応答スペクトル・方位角・入射角をまとめ、提示すること。	・資料集としてヒアリングにてご提示。	-

目次

1. はじめに	P.	4
2. 地震観測記録の分析	P.	9
3. 地下構造調査結果の分析	P.	79
4. 地下構造モデルを用いた解析的検討	P.	100
5. 基準地震動評価への反映事項	P.	189

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

各検討で対象とした周期帯について

		内容	説明概要	ページ
1	H27 2/13	地震観測記録の分析や解析的検討の中で対象としている周期がそれぞれ異なる理由を説明すること。	・各検討で対象としている周期帯について一覧表に整理。	8

地震波の増幅特性に関する評価結果の概要

1. 地震観測記録の分析

敷地における観測記録に基づき、地下構造による増幅特性について分析を実施。

- ・ 海域で発生した地震は、耐専スペクトルと比較して大きく、陸域で発生した地震については、耐専スペクトルと比較して小さい。
- ・ 海域の地震のうち特に敷地の南西で発生した地震については、荒浜側は大湊側より大きな増幅特性を示す。

3. 解析的検討

調査結果に基づく地下構造モデルを用いたシミュレーション解析により、地下構造による増幅特性を評価。

- ・ 海域から到来する地震波は深部の地下構造の影響により増幅される傾向にある。
- ・ 敷地の南西から到来する地震波は、敷地近傍の褶曲構造の影響により、荒浜側は大湊側より大きな増幅特性を示す。

2. 地下構造の把握

敷地及び敷地周辺における反射法地震探査、ボーリング、文献調査等を実施。

- ・ 敷地周辺の地下構造は深部に傾斜が認められる。
- ・ 敷地近傍の地下構造は西山層以下の褶曲構造により特徴付けられる。

地下構造調査結果に基づく地下構造モデルによる解析結果は、観測記録の傾向を再現していることから、深部地下構造の不整形性及び敷地近傍の褶曲構造が、敷地における増幅特性に影響していることを確認。

4. 地震動評価への反映 敷地における観測記録に基づき、地震動評価を実施

① 深部構造の影響

海域・陸域からの到来方向で伝播特性が異なる。

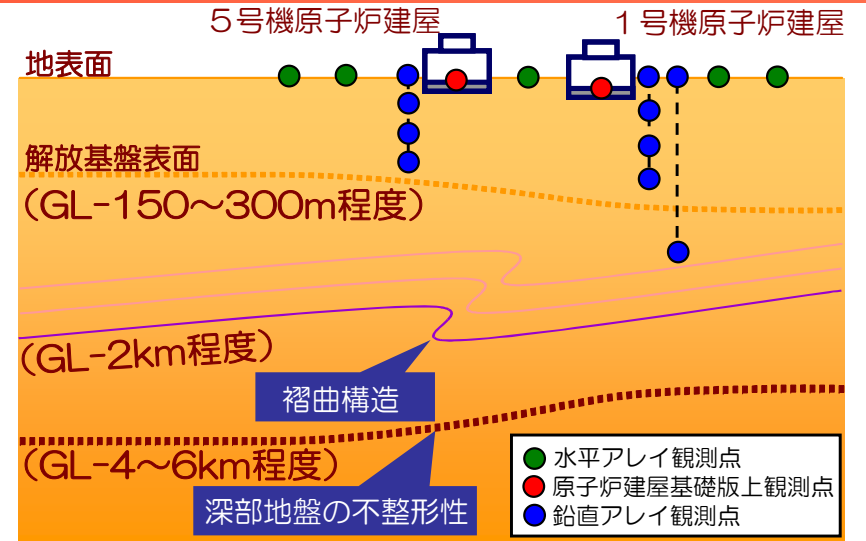
② 褶曲構造の影響

海域の地震のうち南西側からの地震動は荒浜側が大湊側より大きい。

- ・ 海域の活断層と陸域の活断層に分類して評価を実施。
- ・ 海域の活断層による地震については、荒浜側（1～4号機）と大湊側（5～7号機）でそれぞれ基準地震動を策定。
- ・ 応答スペクトルに基づく地震動評価では、海域の地震と陸域の地震に分類して、それぞれ観測記録に基づく補正係数を考慮。
- ・ 断層モデルによる地震動評価では、経験的グリーン関数法を用い、海域と陸域の地震動特性を反映した適切な要素地震を採用。

敷地の増幅特性に関する検討の概要

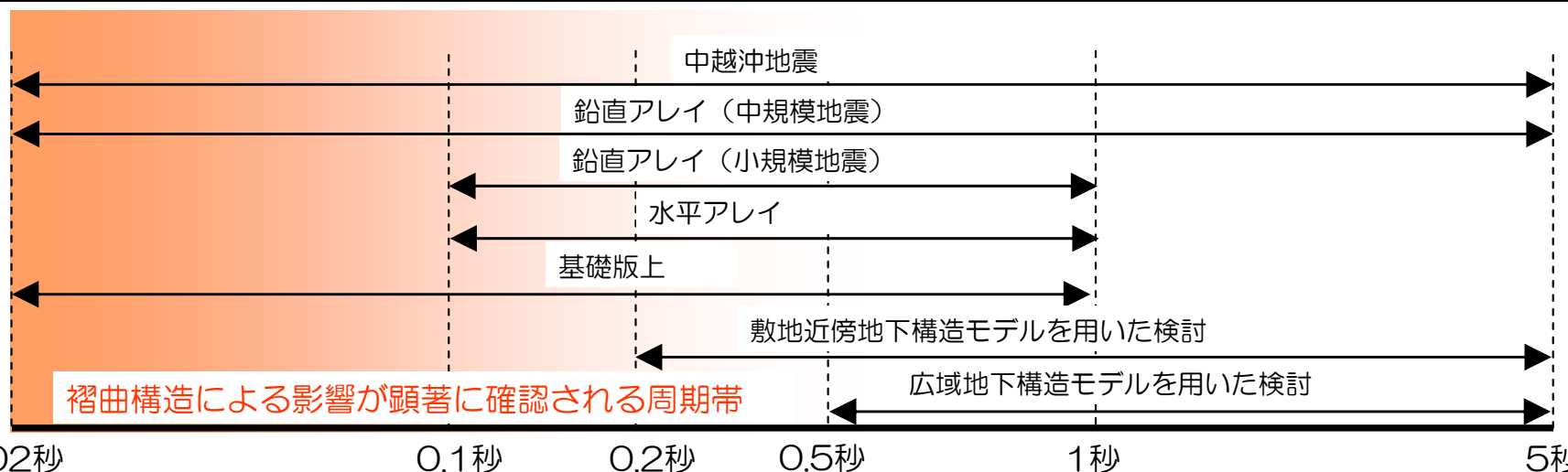
- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。



解放基盤表面以浅の影響	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認</p>				<p>2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録</p> <p>5号機を基準としてスペクトル比を算定</p> <p>大湊側はばらつきが小さい</p> <p>荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる</p>	<p>2.(4)水平アレイ観測記録</p> <p>5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認</p> <p>荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない</p> <p>大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない</p>
古い褶曲構造の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖と同じ傾向)</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度</p>	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析</p>	<p>4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認</p>		
深部地盤における不整形性の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る</p>	<p>敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認</p>	<p>4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認</p>		

検討において対象とした周期帯について

各分析において検討対象とした周期帯は以下の通り。



	中越沖地震	鉛直アレイ		水平アレイ	基礎版上		敷地近傍地下構造モデルを用いた検討	広域地下構造モデルを用いた検討
対象地震	中越沖地震本震	中規模地震	小規模地震	小規模地震	小規模地震			
比較指標	応答スペクトル	応答スペクトル	フーリエスペクトル	フーリエスペクトル	応答スペクトル	メッシュ幅	西山層：25m 椎谷層：40m 上部寺泊層：60m 下部寺泊層：80m 七谷・Gタフ：100m 基盤岩類：100m	全層：50m
検討周期	0.02～5秒	0.02～5秒	0.1～1秒	0.1～1秒	0.02～1秒			
根拠	耐専スペクトルとの比較を実施するため周期0.02～5秒を分析。	耐専スペクトルとの比較を実施するため周期0.02～5秒を分析。	規模の小さい地震を検討対象としたため、長周期成分においてはパワーが少ないこと、また、短周期成分においてはノイズの影響を考慮。	規模の小さい地震を検討対象としたため、長周期成分においてはパワーが少ないこと、また、短周期成分においてはノイズの影響を考慮。	基礎版上では建屋への影響度を確認するという観点から応答スペクトルの周期0.02～1秒を分析。なお、長周期においては検討対象地震の規模が小さいことから1秒までを検討。	比較指標	伝達関数	最大速度比
			検討周期	0.2秒以上	0.5秒以上	根拠	1波長5メッシュとなる有効周期により決定。 (下部寺泊層により決定)	1波長5メッシュとなる有効周期により決定。 (Vs0.6km/sの表層により決定)

1. はじめに

2. 地震観測記録の分析

- (1) 2007年中越沖地震の地震観測記録
- (2) 鉛直アレイ観測記録
- (3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録
- (4) 水平アレイ観測記録

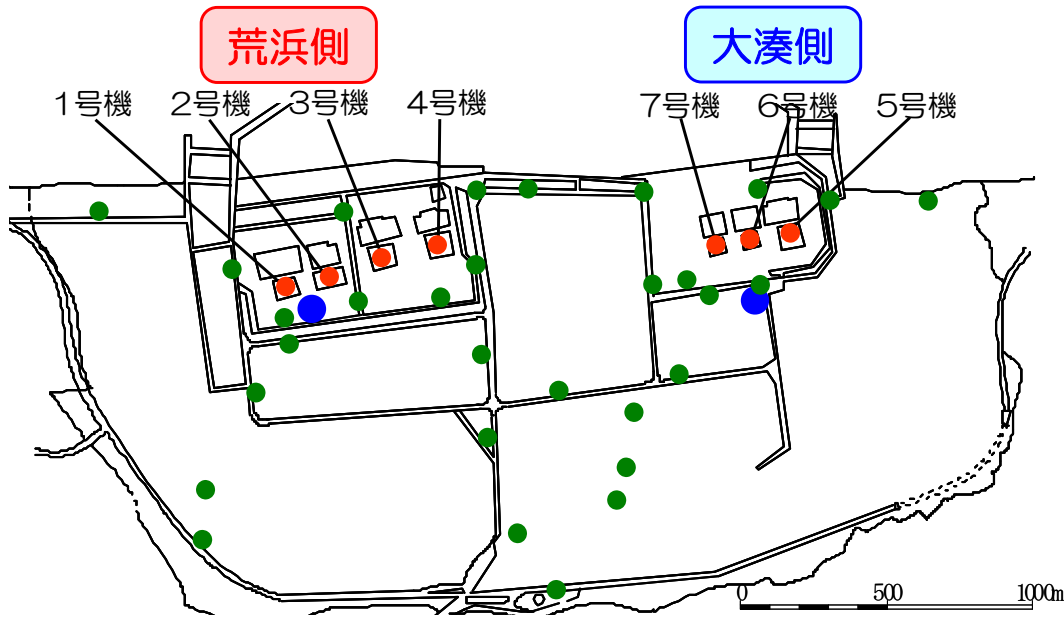
3. 地下構造調査結果の分析

4. 地下構造モデルを用いた解析的検討

5. 基準地震動評価への反映事項

解放基盤以浅の地下構造モデルについて

		内容	説明概要	ページ
2	H27 2/13	解放基盤表面の設定方法について、考え方を整理し説明すること。	・解放基盤表面の設定についてご説明。	12 27
3	H27 2/13	はぎとり解析に用いた地下構造モデルの妥当性を示すこと。	・地下構造モデルの設定方法と妥当性についてご説明。	13~17
4	H27 2/13	解放基盤以浅の地中から地表への増幅特性について、いくつか例示して説明すること。	・最大加速度の鉛直分布について、観測記録と解析結果の比較をご説明。	17



■ 水平アレイ (図中●点)

中越沖地震を踏まえ、敷地内における地震動特性をより詳細に把握することを目的に、2010年より敷地内のほぼ全域に渡って、地表に地震計を稠密に配置して観測を実施



■ 原子炉建屋基礎版上 (図中●点)

2007年より全号機の原子炉建屋基礎版上において観測を実施

■ 鉛直アレイ (図中●点)

1980年代より、荒浜側と大湊側で観測を実施

標高 T.M.S.L.(m) ※1	1号機地盤系		5号機地盤系	
	地震計	地層	地震計	地層
+12.0m +9.3m			▽G.L.	
+5.0m	● ※2	古安田層	● ※2	古安田層
-24.0m -40.0m	●	西山層	●	西山層
-100m -122m	●		●	
-180m -250m	● ※3		●	椎谷層
-300m -400m	● ※4	●		

※1：T.M.S.L.：東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Level の略で、東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準

※2：地中に設置

※3：2007年11月観測終了

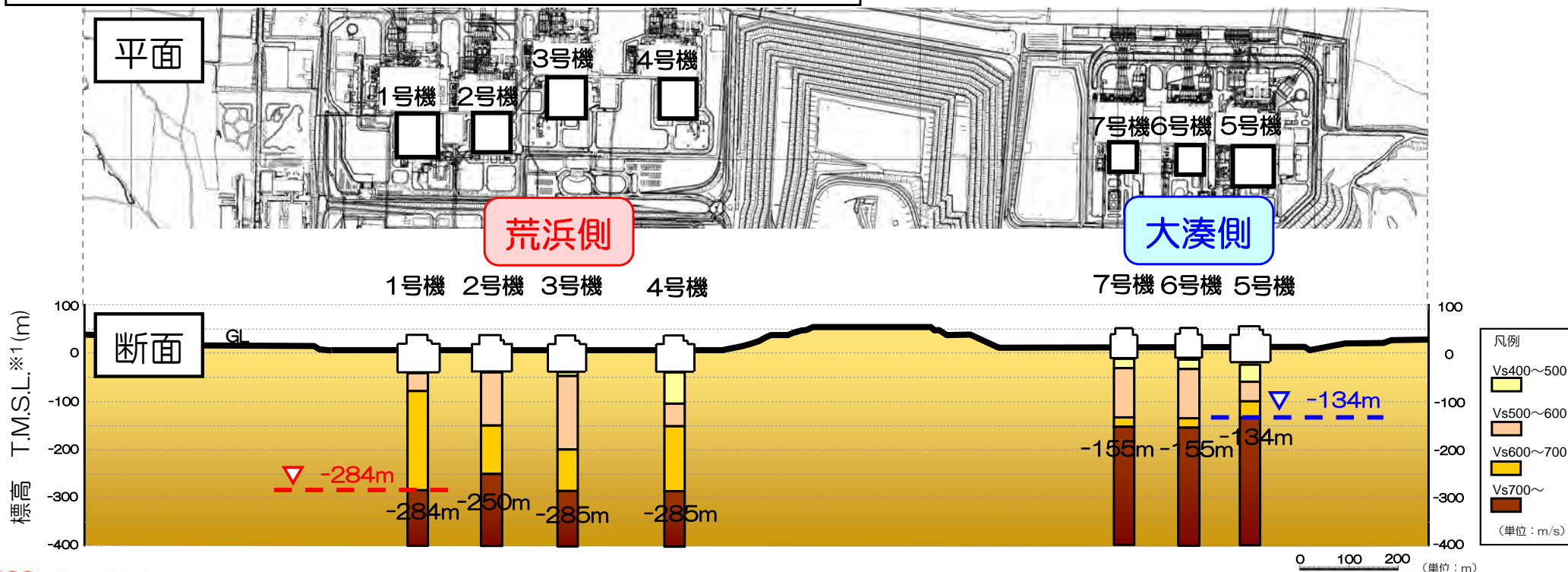
※4：2009年3月観測開始

解放基盤表面の設定

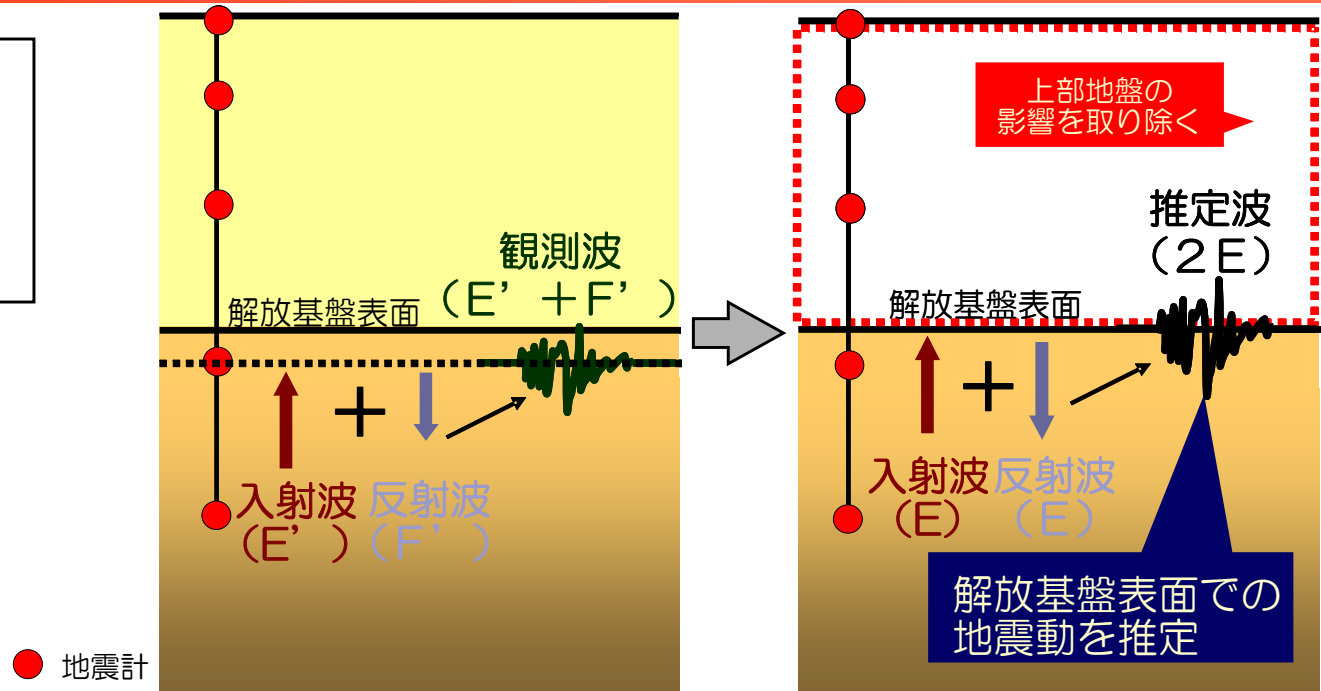
- ボーリング調査等の結果より、S波速度が700m/s以上の地層が分布している標高に解放基盤表面を設定。
- 地震動評価においては解放基盤表面の位置を、荒浜側では1号機を代表しT.M.S.L.-284m、大湊側では5号機を代表しT.M.S.L.-134mと設定して基準地震動を策定。
- 原子炉建屋等の耐震安全性評価においては、各号機直下で実施されたPS検層結果を重視し、解放基盤表面の位置を右表の通り設定し、評価を実施。
- なお、中越沖地震の各号機で推定された解放基盤表面の地震動は、荒浜側および大湊側それぞれで概ね等しいことを確認している（P.27を参照）。

号機	標高 T.M.S.L.※1(m)	整地面からの 深さ(m)
1	-284m	289m
2	-250m	255m
3	-285m	290m
4	-285m	290m
5	-134m	146m
6	-155m	167m
7	-155m	167m

※1：T.M.S.L.：東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Levelの略で、東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準



■地盤中の記録から，上部地盤の影響を取り除き，解放基盤表面の地震動を推定するために用いる地下構造モデル（以下、「はぎとり地盤モデル」）を設定。



はぎとり解析の概念図

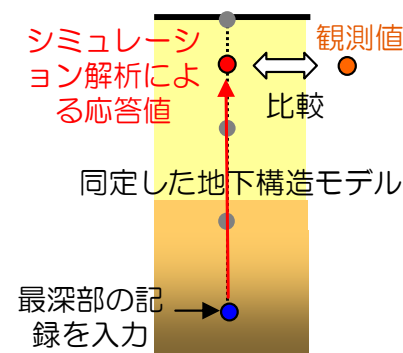
■はぎとり解析の検討フロー

①はぎとり地盤モデルの同定

中小地震の観測記録を用いて評価した伝達関数を対象に逆解析を実施し，はぎとり地盤モデルを同定。

②妥当性確認

最深部の記録を入力としたシミュレーション解析により同定したはぎとり地盤モデルの妥当性を確認。

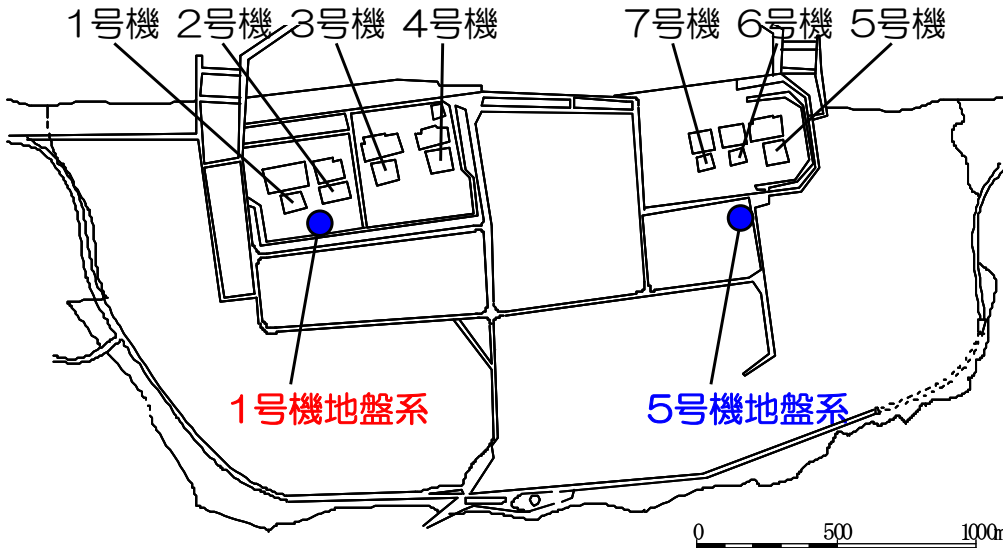


③解放基盤波推定

解析により解放基盤表面での地震動を推定。

はぎとり解析に用いる地下構造モデルの設定

■ 荒浜側と大湊側で実施している鉛直アレイ観測点における観測記録を用いて解放基盤表面以浅の増幅特性を再現可能な地下構造モデル（はぎとり地盤モデル）を評価。



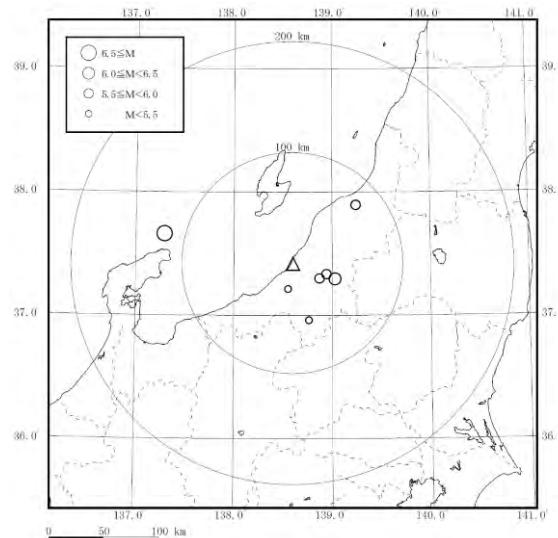
鉛直アレイ観測点の概要

標高	1号機地盤系		5号機地盤系	
	地震計	地層	地震計	地層
T.M.S.L.(m) ※1				
+12.0m +9.3m			▽G.L. ●※2	
+5.0m	▽G.L. ●※2	古安田層		古安田層
-24.0m -40.0m	●		●	西山層
-100m -122m	●	西山層	●	椎谷層
-180m -250m	●※3		●	
-300m -400m	●※4		●	

■ 検討対象とした地震

年	月	日	時	分	M	深さ (km)
1990	12	7	18	38	5.4	14.90
1993	2	7	22	27	6.6	24.80
1995	4	1	12	49	5.6	16.16
2001	1	4	13	18	5.3	11.23
2004	10	23	19	45	5.7	12.35
2004	10	25	06	04	5.8	15.20
2004	10	27	10	40	6.1	11.60

※諸元は気象庁による

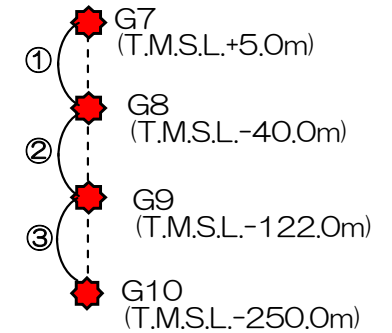


※1：T.M.S.L.：東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Level の略で、東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準
 ※2：地中に設置
 ※3：2007年11月観測終了
 ※4：2009年3月観測開始

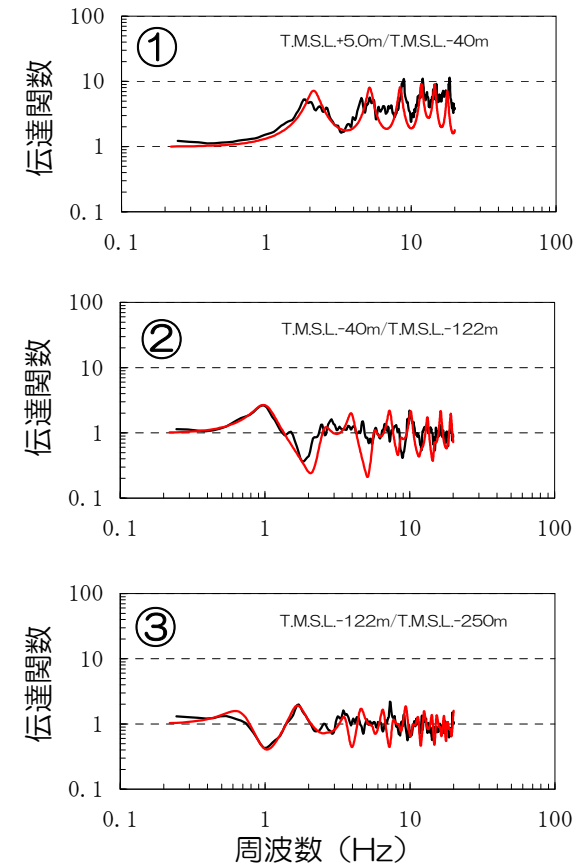
1号機地盤系 地下構造モデルの同定

コメント
No.3

- 観測記録による伝達関数に対し、1次元波動論に基づく逆解析により地下構造モデルを同定。
- 逆解析には遺伝的アルゴリズムを用い、S波速度及び減衰を同定。
(層厚、密度はPS検層結果で固定)



固定パラメータ			初期モデル	同定結果		
T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$	
					h_0	α
+5.0			300	100	0.2	0.9
+3.0	2.0	2.00		180	0.2	0.9
-1.0	4.0	2.00		280	0.2	0.9
-15.0	14.0	1.76	280	270	0.2	0.9
-40.0	25.0	1.72	500	430	0.2	0.9
-67.0	27.0			0.2	0.9	
-122.0	55.0	1.72	540	520	0.2	0.9
-148.0	26.0			0.2	0.9	
-230.0	82.0	1.72	650	730	0.2	0.9
-250.0	20.0			0.2	0.9	
	—	1.72	700	820	0.2	0.9

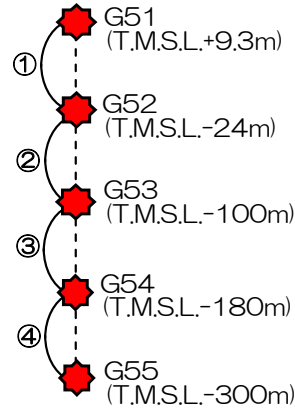


● 地震計設置位置
※固定パラメータは、PS検層結果による。

同定した地下構造モデルの理論伝達関数（赤）と
観測記録による伝達関数（黒）の比較

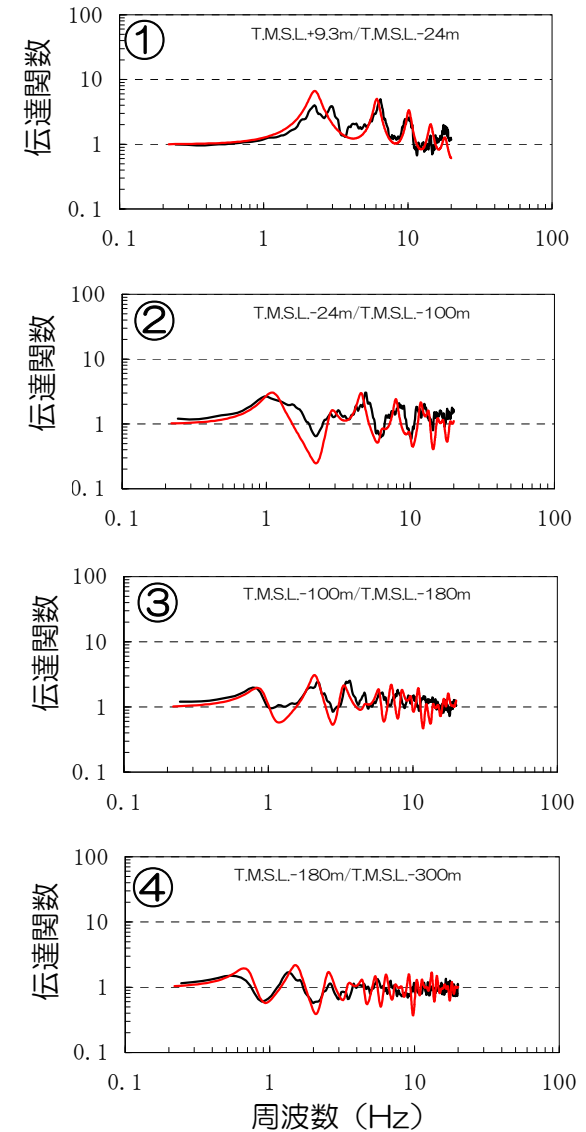
5号機地盤系 地下構造モデルの同定

■ 観測記録による伝達関数に対し、1次元波動論に基づく逆解析により地下構造モデルを同定
 ■ 逆解析には遺伝的アルゴリズムを用い、S波速度及び減衰を同定。（層厚、密度はPS検層結果で固定）



固定パラメータ			初期モデル		同定結果	
T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	減衰 $h(f)=h_0 \times f^\alpha$	
					h_0	α
+12.0						
+9.3	2.7	2.00	160	180	0.8	0.1
+2.0	7.3			210	0.2	0.85
-16.6	18.6	1.78	390	310	0.2	0.85
-24.0	7.4	1.70	500	420	0.2	0.85
-33.0	9.0				0.2	0.85
-66.0	33.0	1.75	540	440	0.2	0.85
-88.0	22.0	1.75	550	550	0.2	0.85
-100.0	12.0	1.84	660	640	0.1	0.85
-120.0	20.0				0.1	0.85
-149.0	29.0	2.03	770	730	0.1	0.85
-180.0	31.0	2.03	840	890	0.1	0.85
-231.0	51.0				0.1	0.85
-266.0	35.0	2.03	860	960	0.1	0.85
-300.0	34.0	2.03	870	1000	0.1	0.85
	—				0.1	0.85

● 地震計設置位置
 ※固定パラメータは、PS検層結果による。



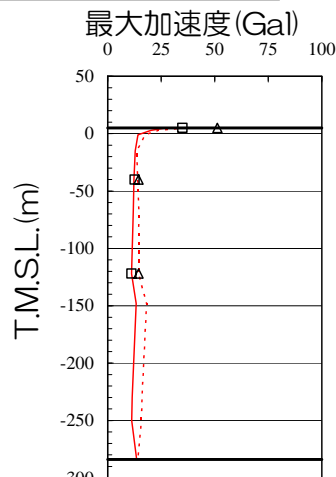
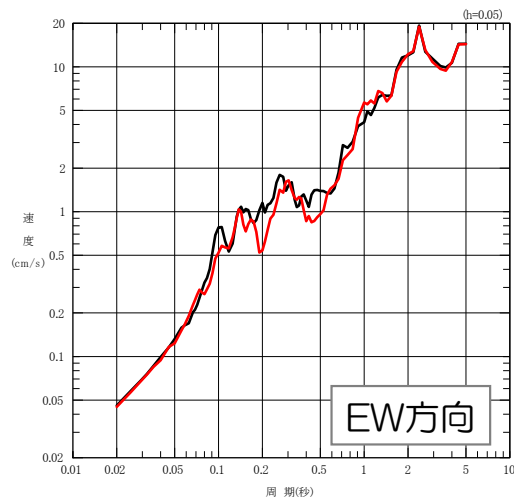
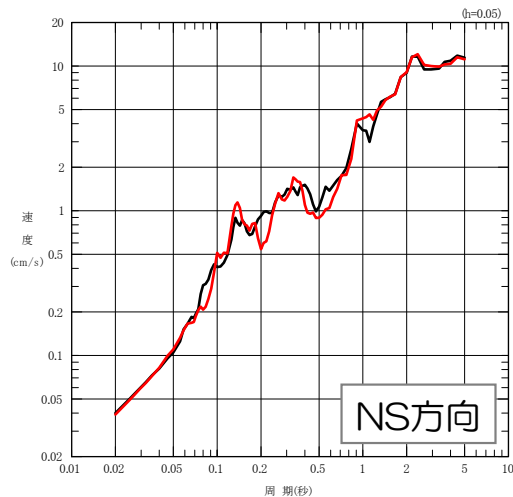
同定した地下構造モデルの理論伝達関数（赤）と観測記録による伝達関数（黒）の比較

地下構造モデルの妥当性確認

コメント
No.3・4

1号機 地盤系

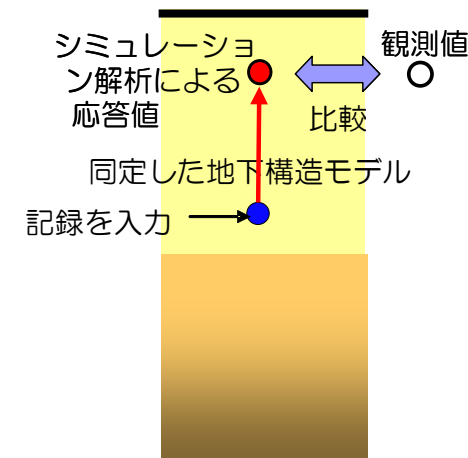
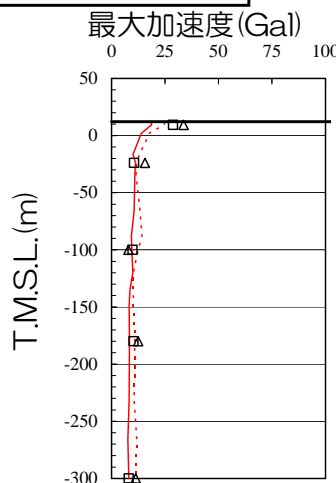
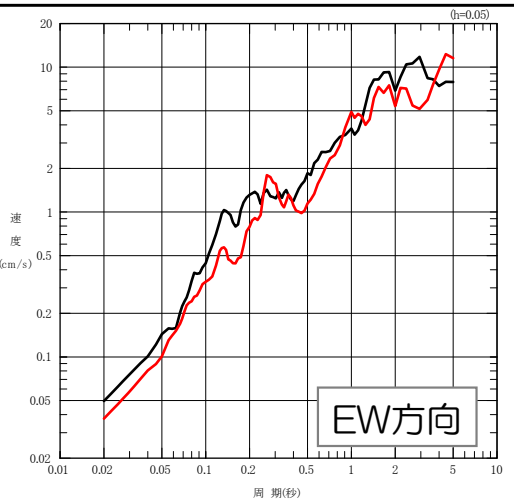
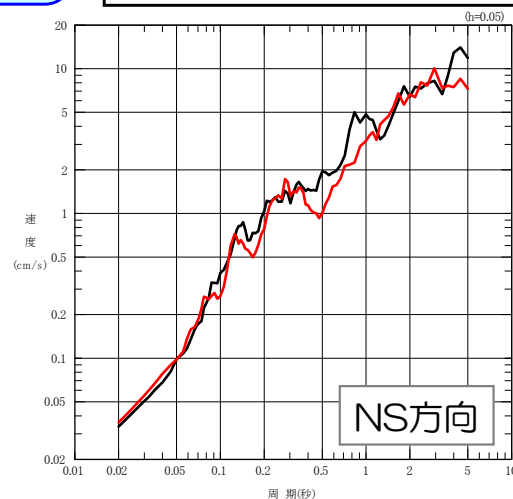
■ 同定した地下構造モデルにT.M.S.L.-122mの記録を入力し、T.M.S.L.-40.0m地点の応答値と観測記録を比較。



- 観測記録 (NS方向)
- △ 観測記録 (EW方向)
- シミュレーション (NS方向)
- - - シミュレーション (EW方向)

5号機 地盤系

■ 同定した地下構造モデルにT.M.S.L.-300mの記録を入力し、T.M.S.L.-24m地点の応答値と観測記録を比較。



■ 同定した地下構造モデルによるシミュレーション解析結果は観測記録を良好に再現できていることを確認。

1. はじめに

2. 地震観測記録の分析

(1) 2007年中越沖地震の地震観測記録

(2) 鉛直アレイ観測記録

(3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録

(4) 水平アレイ観測記録

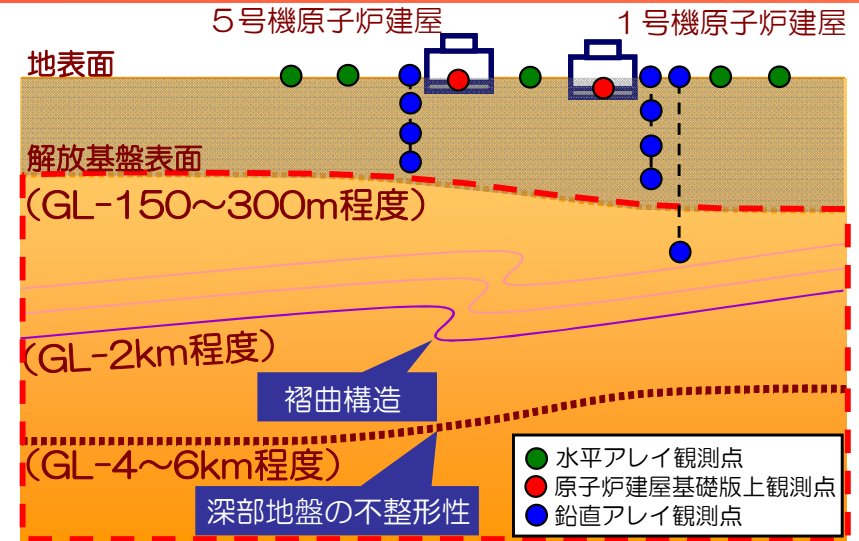
3. 地下構造調査結果の分析

4. 地下構造モデルを用いた解析的検討

5. 基準地震動評価への反映事項

敷地の増幅特性に関する検討の概要

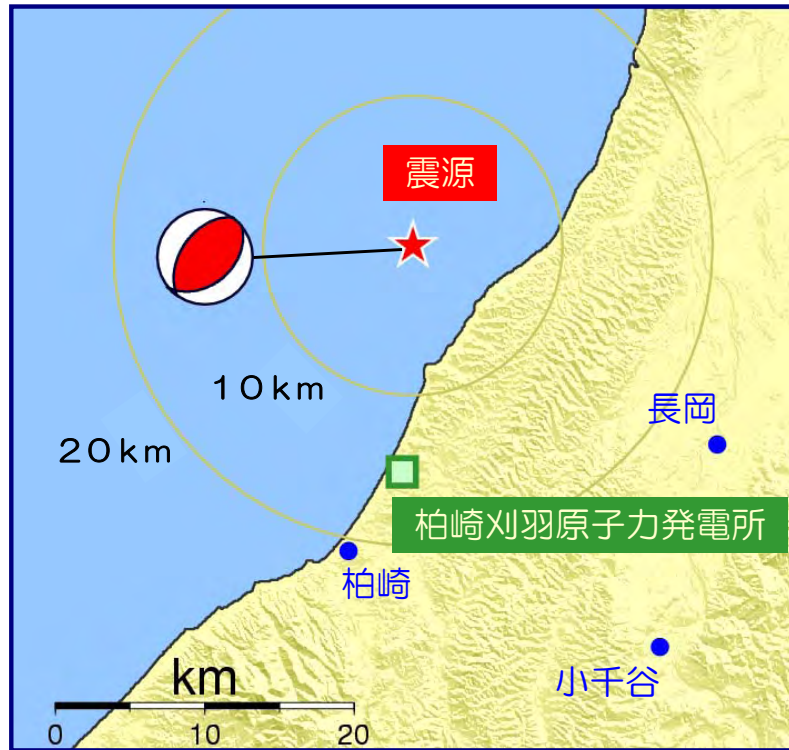
- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。



解放基盤表面以浅の影響	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認</p>				<p>2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録</p> <p>5号機を基準としてスペクトル比を算定</p> <p>大湊側はばらつきが小さい</p> <p>荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる</p>	<p>2.(4)水平アレイ観測記録</p> <p>5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認</p> <p>荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない</p> <p>大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない</p>
古い褶曲構造の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖と同じ傾向)</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度</p>	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析</p>	<p>4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認</p>		
深部地盤における不整形性の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る</p>	<p>敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認</p>	<p>4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認</p>		

2007年中越沖地震の地震観測記録

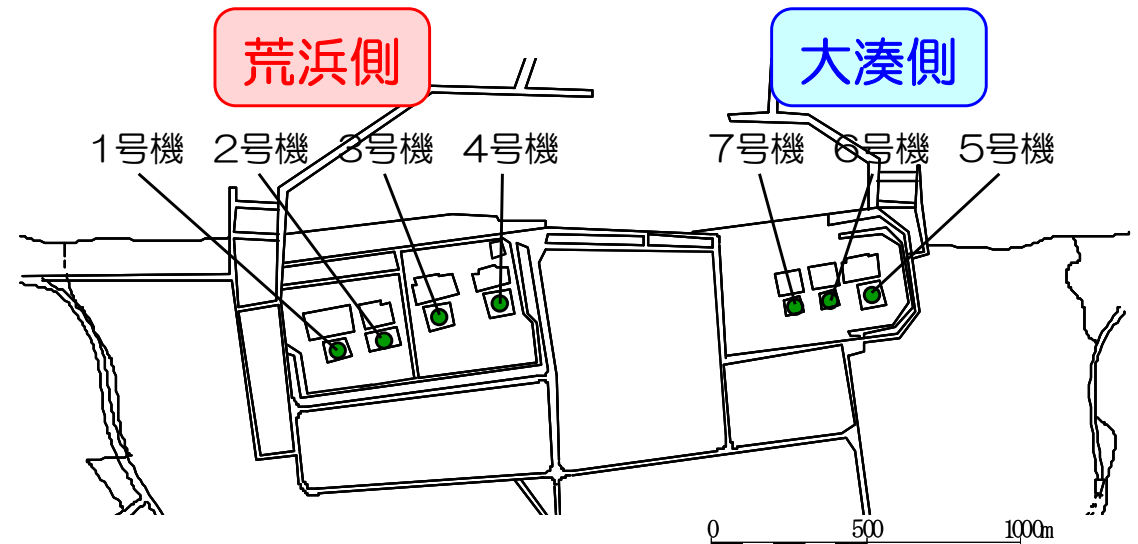
■ 敷地において最も大きな最大加速度値が観測された2007年新潟県中越沖地震の観測記録について、観測記録の特徴を分析するとともに、解放基盤表面での地震動（解放基盤波）を評価し、耐専スペクトルとの大きさの比較や荒浜側と大湊側の地震動特性の比較を実施。



中越沖地震

【地震諸元（気象庁）】

- 発生日時：2007/7/16 10:13
- 規模：マグニチュード 6.8
- 震央：北緯 37° 33.4'
東経 138° 36.5'
- 震源深さ 17 km



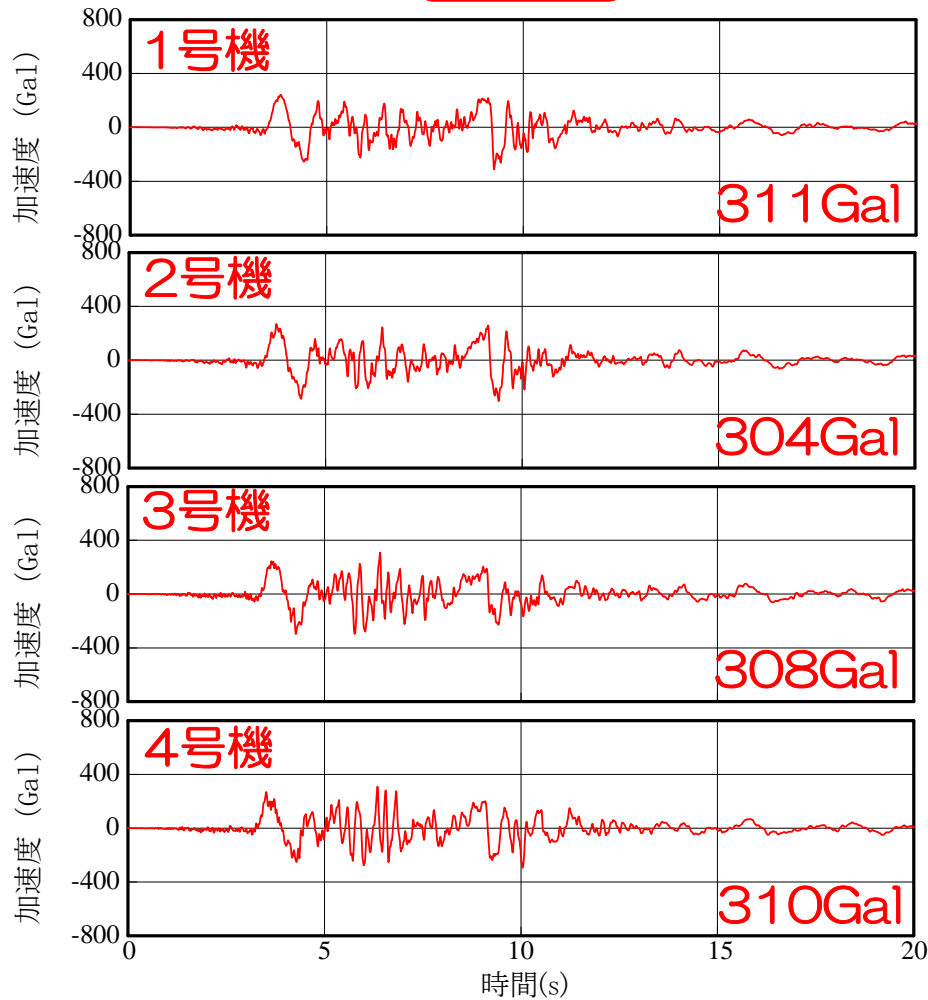
原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値（単位：Gal）

	荒浜側				大湊側		
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
NS方向	311	304	308	310	277	271	267
EW方向	680	606	384	492	442	322	356
UD方向	408	282	311	337	205	488	355

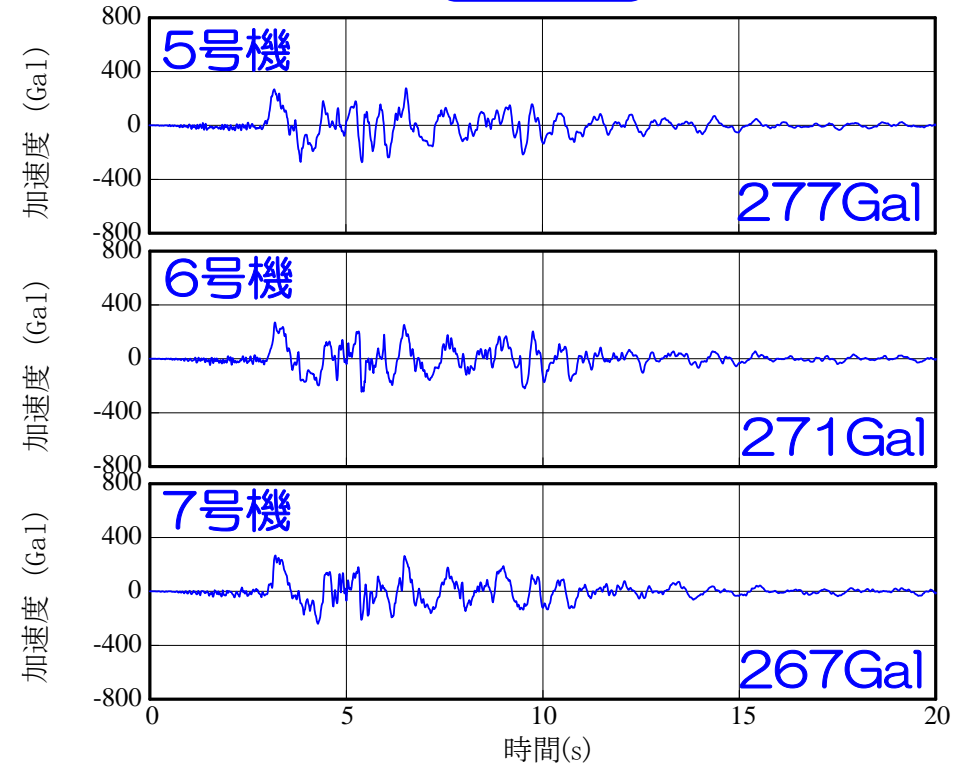
- 各号機で地震観測記録が得られている。
- 1～4号機が位置する荒浜側と5～7号機が位置する大湊側で最大加速度値に差が見られる。

原子炉建屋基礎版上における観測記録の加速度波形（NS方向）

荒浜側



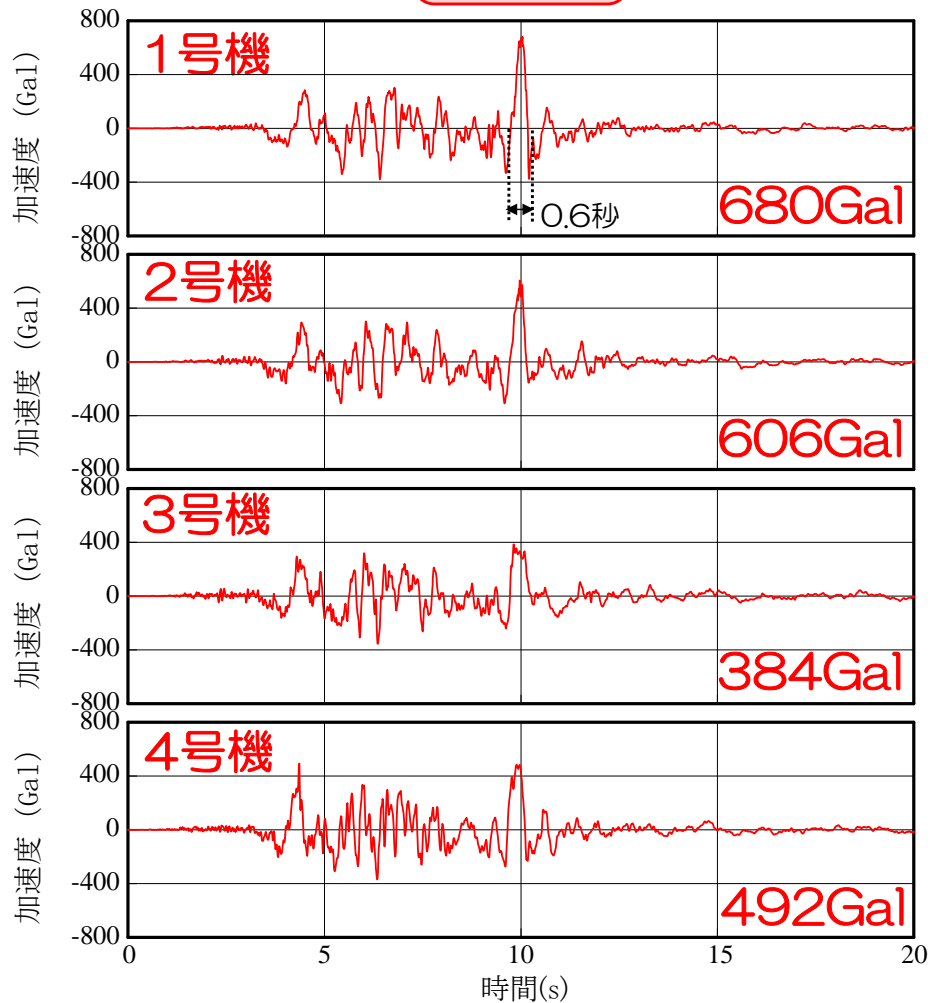
大湊側



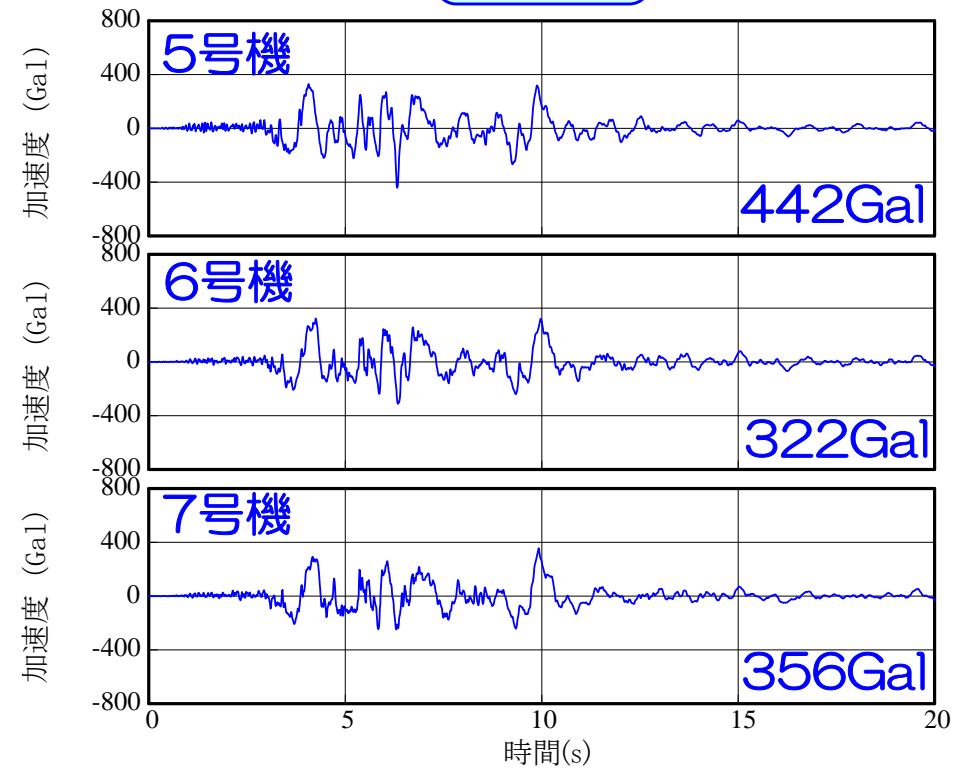
■ 波形の後半部分に見られる3番目の波群において、荒浜側と大湊側で顕著な差が見られる。

原子炉建屋基礎版上における観測記録の加速度波形（EW方向）

荒浜側



大湊側

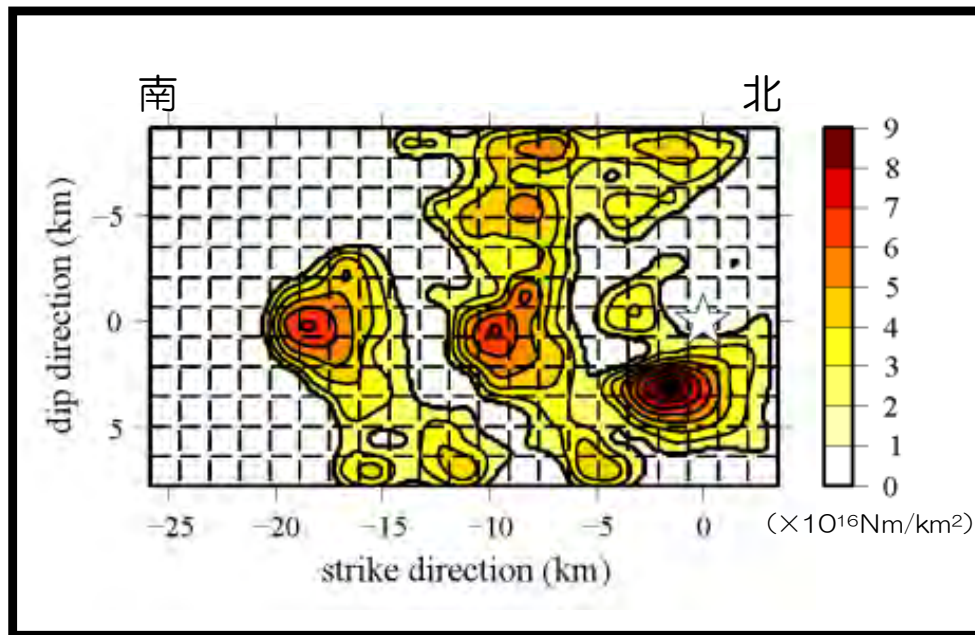


■ 波形の後半部分に見られる3番目のおよそ周期0.6秒の波群において、荒浜側と大湊側で顕著な差が見られ、荒浜側の方が最大加速度値が大きくなっている。

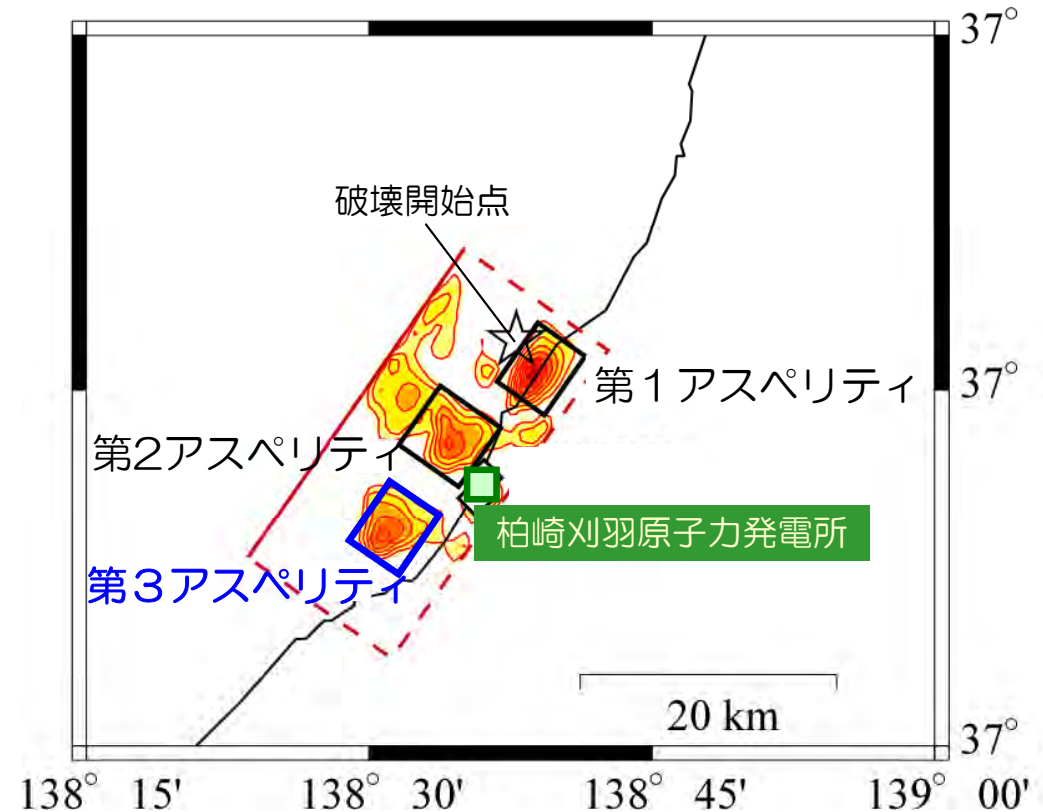
■ 中越沖地震の観測記録の分析にあたり、震源特性について知見を整理。

芝(2008)

- 震源域近傍の強震記録から、震源断層面上でのすべり量の分布を震源インバージョン解析により推定。
- 推定された地震モーメント密度分布から、空間的に明瞭に分離した3箇所のアスペリティを確認。
- 荒浜側と大湊側で顕著な差が見られた3番目の波群は、敷地の南西側に位置する第3アスペリティより到来した波であると考えられる。



インバージョン解析により推定された
地震モーメント密度分布



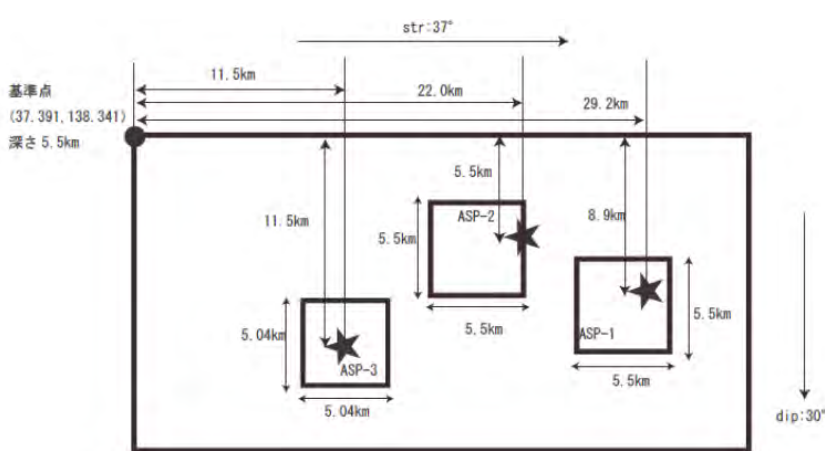
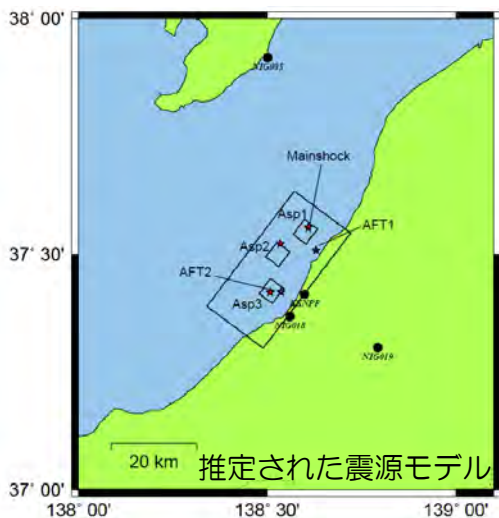
特性化震源モデルのアスペリティ位置

2007年中越沖地震の震源特性

中越沖地震の震源モデル 入倉ほか(2008), Kamae and Kawabe(2008)

入倉ほか(2008)

経験的グリーン関数法を用いた震源断層のモデル化



strike	dip	rake
37	30	90

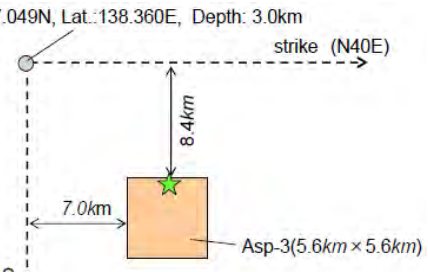
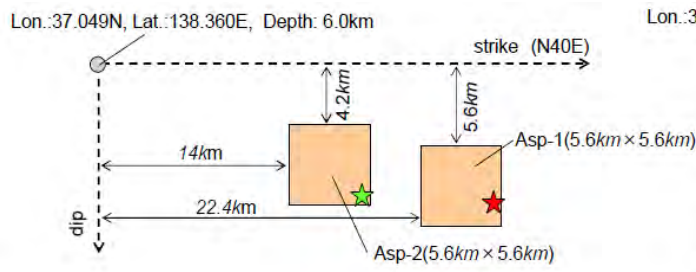
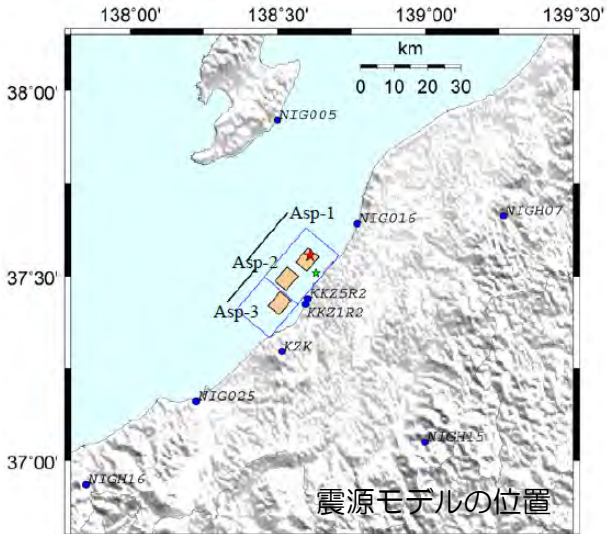
	Rupture start point	Depth (km)	Mo (Nm)
ASP1	(4,3)	10.0	1.69×10^{18}
ASP2	(5,2)	8.3	1.69×10^{18}
ASP3	(4,5)	11.3	1.02×10^{18}

	L (km) × W (km)	$\Delta\sigma$ (MPa)	Risetime (second)
ASP1	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP2	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP3	5.04 × 5.04 (N:9 × 9)	19.8	0.45

入倉ほか(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

Kamae and Kawabe(2008)

経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングにより震源断層面上のアスペリティの位置, 大きさ, 応力降下量を定量化



	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	S (km ²)	Mo (Nm)	$\Delta\sigma$ (MPa)
Asp-1	40	40	90	5.6 × 5.6	1.33×10^{18}	18.4
Asp-2	40	40	90	5.6 × 5.6	2.00×10^{18}	27.6
Asp-3	40	40	90	5.6 × 5.6	1.67×10^{18}	23.0

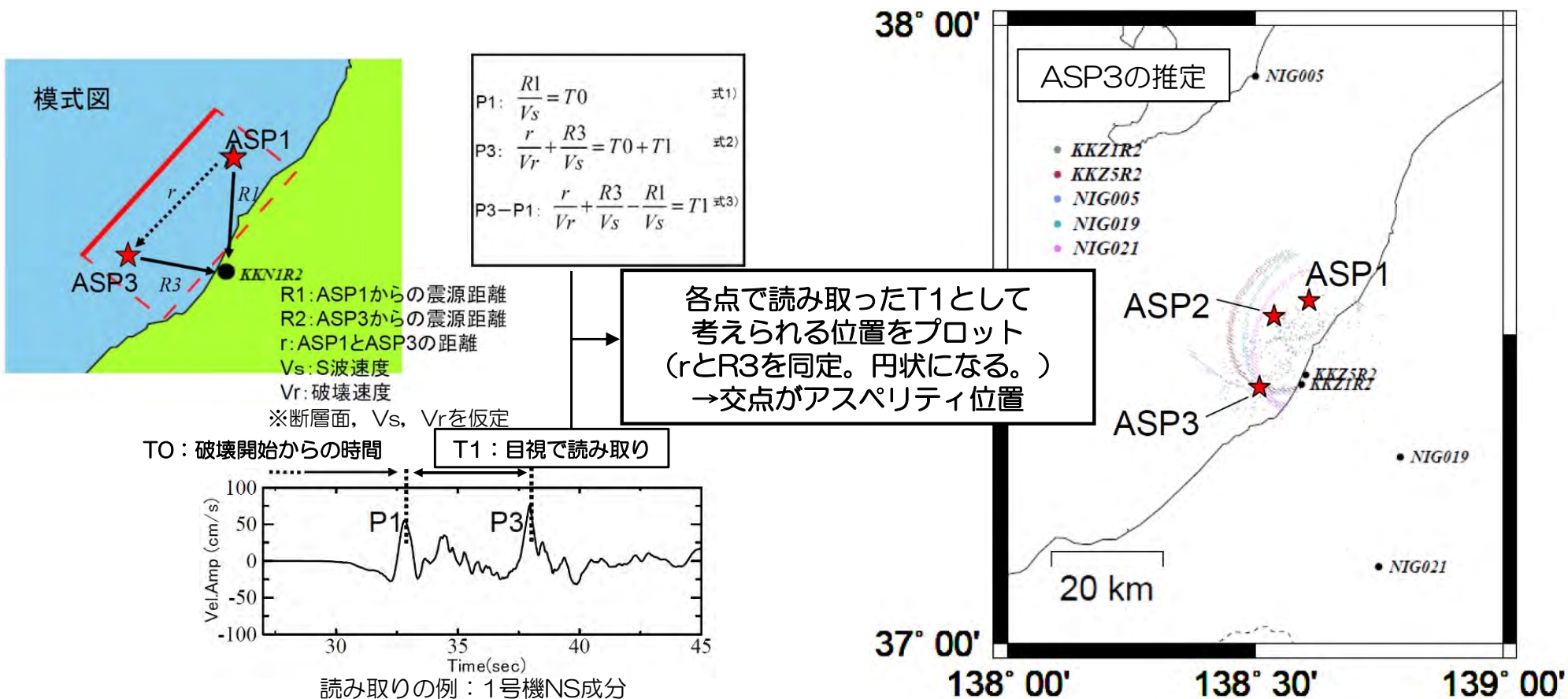
Kamae and Kawabe(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

- いずれのモデルにおいても, 3つのアスペリティが確認されている。
- いずれのモデルにおいても, 敷地の南西側にアスペリティが確認されている。

2007年中越沖地震の震源特性

中越沖地震のアスペリティ位置について 入倉ほか (2008)

- 以下の通り、観測されているパルスの時間差から各アスペリティの位置を推定。
 - 1) 破壊開始からパルス1 (P1) が到達する時間は式1) で示される。
 - 2) パルス3 (P3) は、破壊開始点 (ASP1) からASP3に破壊速度 V_r で破壊が進行し、ASP3からS波速度 V_s でS波が伝播し観測点に到達する (式2)) 。
 したがって、 T_1 と r と R_3 の関係により、ASP3の破壊開始点が推測できる。

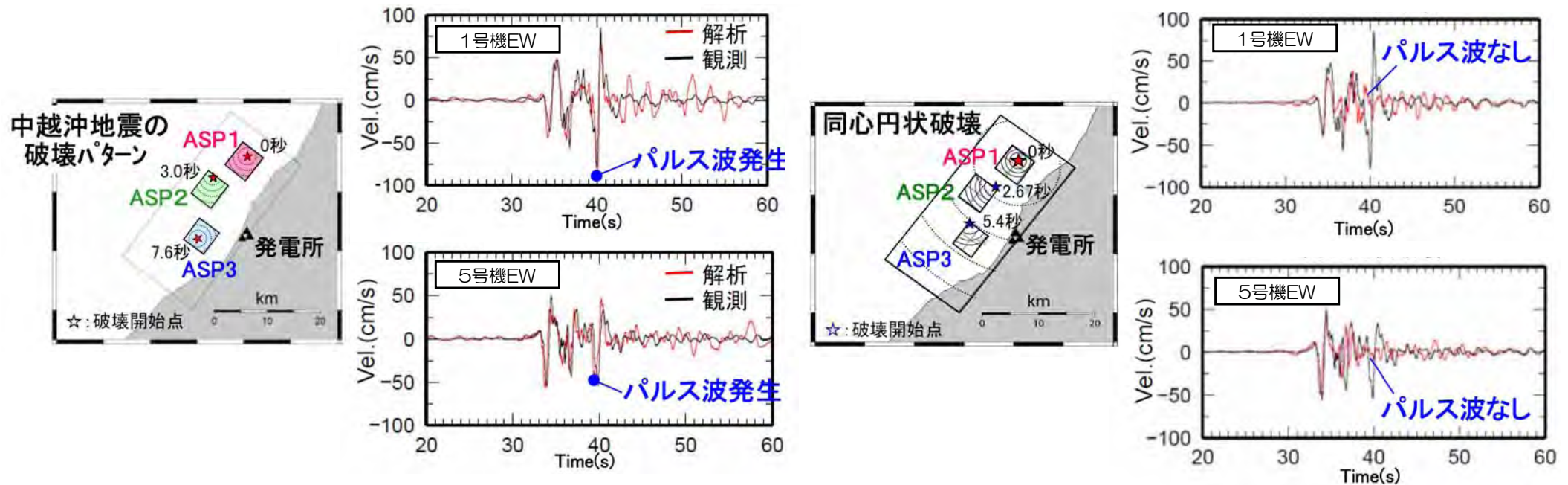


- 「5つの観測点から推定される各アスペリティの位置は、ASP2は震源 (ASP1) よりも南西方向で浅い場所、ASP3はASP2よりほぼ南方向で深い場所に推定された」とされている。

2007年中越沖地震の震源特性 破壊過程の影響 JNES (2008) による分析

JNES (2008)

- JNES (2008) においては、中越沖地震における周期0.6秒の第3パルスの発生について、断層の破壊過程による影響が確認されている。



JNES (2008) より抜粋 (一部加筆・修正)

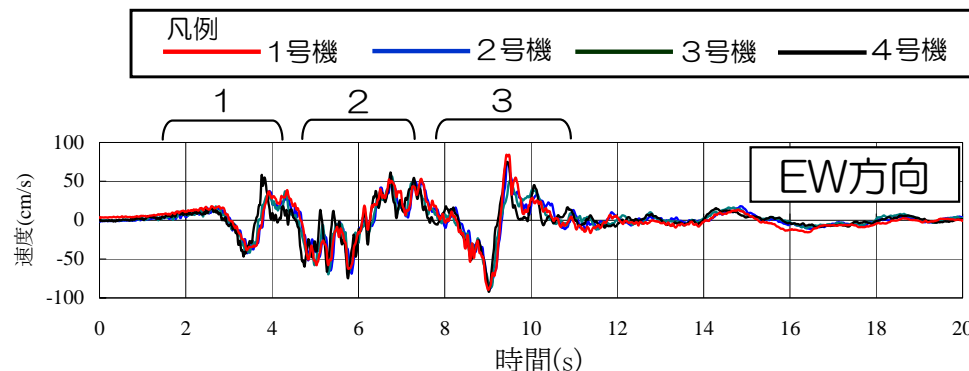
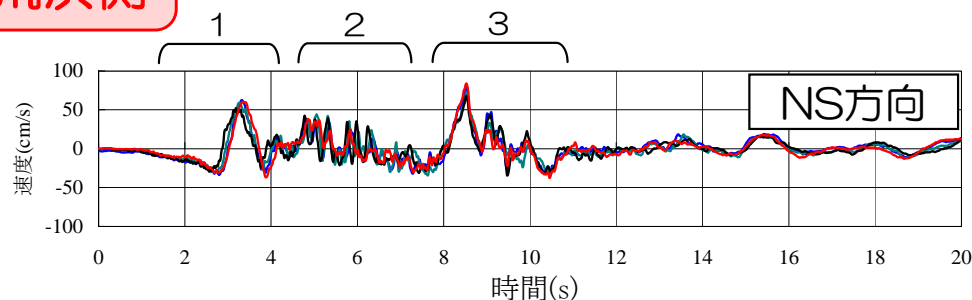
- 中越沖地震における周期0.6秒の第3パルスは、主に震源の破壊過程により生成され、褶曲構造により増幅することで荒浜側と大湊側の差が強調されているものと考えられる。
- なお、P.30以降に示す中小地震の分析においては、中小地震は点震源とみなされ、震源の破壊過程による影響が含まれていないため、周期0.6秒付近において中越沖地震ほどの荒浜側と大湊側の差異は生じていないものと考えられる。

- 各号機ごとに、原子炉建屋基礎版上の観測記録をもとに、解放基盤表面での地震動（解放基盤波）を推定。
- 耐専スペクトル※1（内陸補正※2なし）との比較を行い、地震動の大きさを検討。
- 荒浜側と大湊側での地点間の比較を行い、地震動特性の違いを検討。

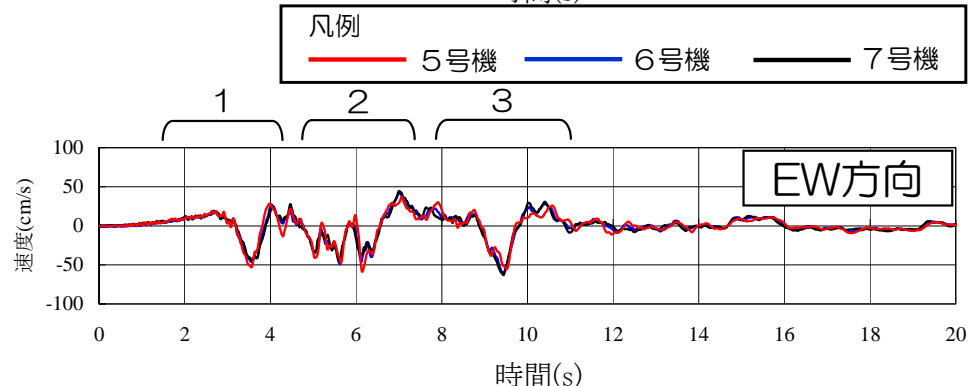
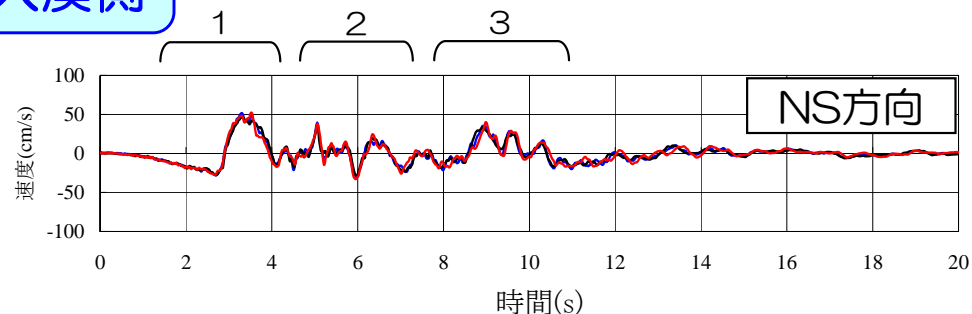
※1耐専スペクトル：Noda et al.（2002）に基づく応答スペクトル手法

※2内陸補正：内陸地震を対象とした補正

荒浜側



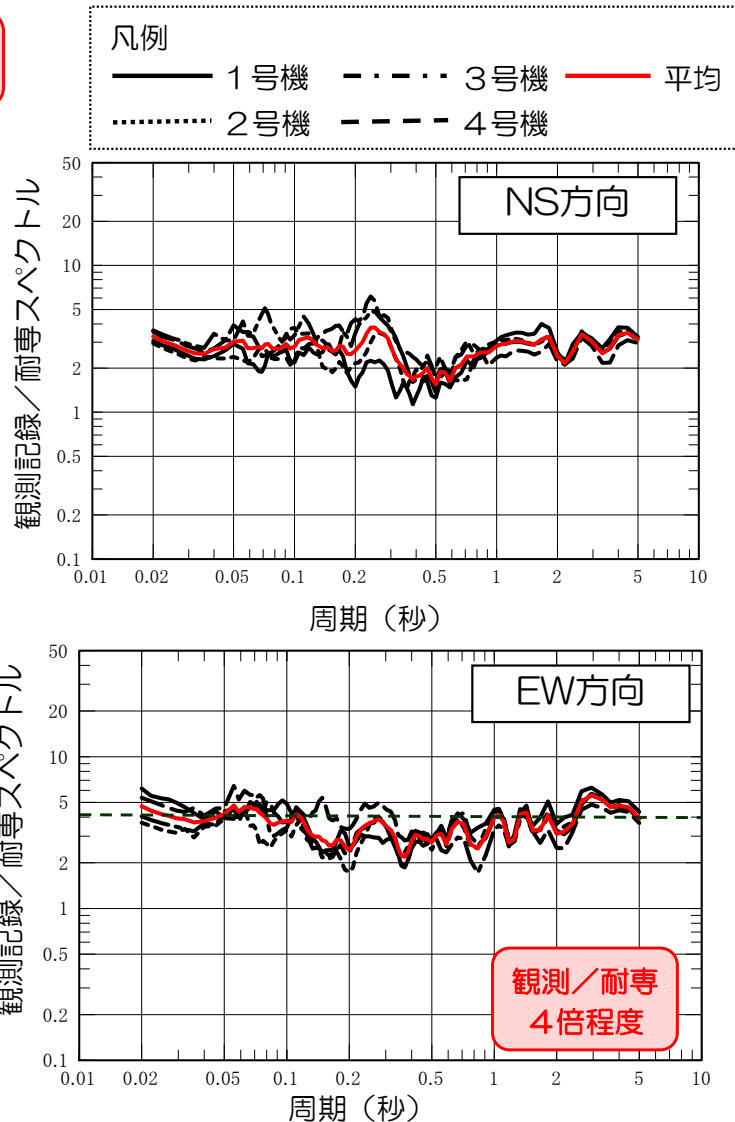
大湊側



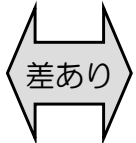
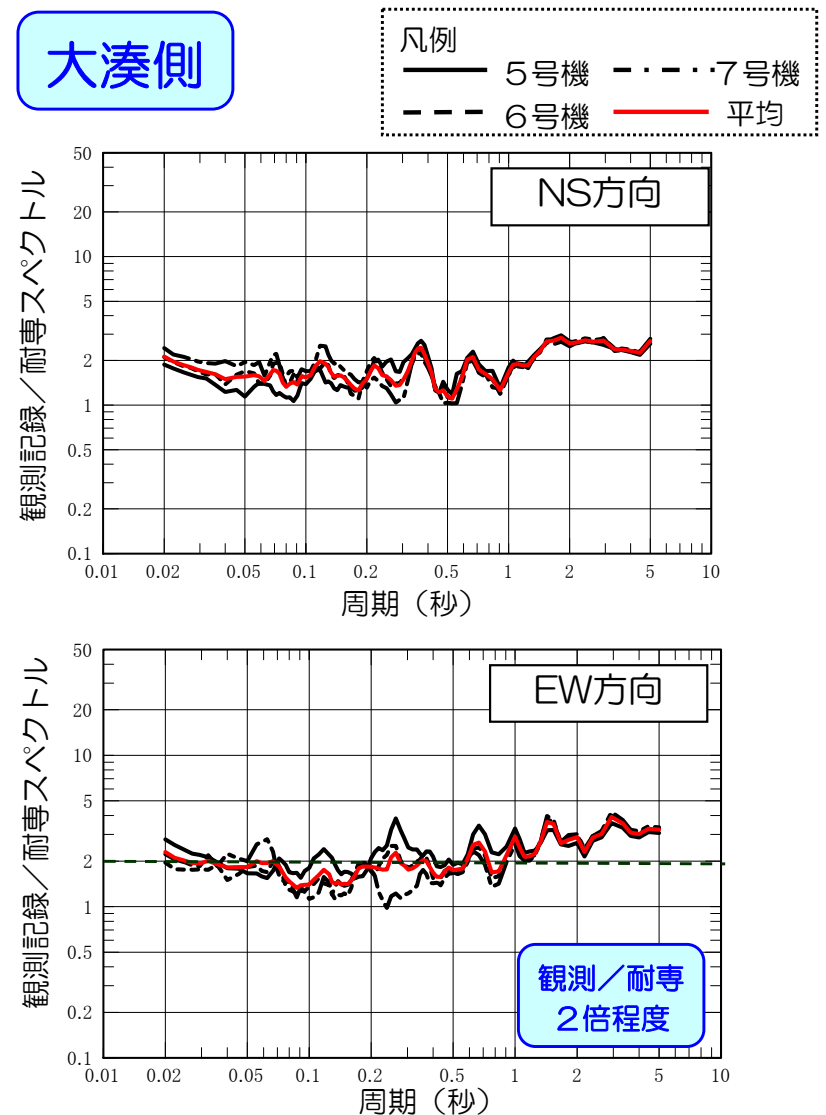
- 芝（2008）に対応する3つのフェーズが明瞭に認められ、時刻8～10秒の3番目の波群に着目すると荒浜側が大湊側に比べ顕著に大きくなっており、地震動レベルの差は、ほぼこのフェーズによって支配されている。
- 推定された解放基盤波は、荒浜側の1～4号機、大湊側の5～7号機でそれぞれ傾向が一致。
- 各号機で設定された解放基盤表面の深度においては、荒浜側および大湊側それぞれで地震動特性が概ね等しく、工学的に設定する解放基盤表面としての性質を十分有しているものと考えられる。

2007年中越沖地震の解放基盤波と耐専スペクトルの比率

荒浜側



大湊側



- 荒浜側，大湊側とも，耐専スペクトルとの比率が1を上回る。
- 荒浜側と大湊側で，耐専スペクトルとの比率に違いがあり，荒浜側は大湊側よりも2倍程度大きい。

(1) 2007年中越沖地震の地震観測記録 小括

■ 中越沖地震の観測記録より、以下を確認。

- 観測された波形に見られる3番目の波群において、荒浜側と大湊側で顕著な差が見られ、荒浜側の方が最大加速度値が大きくなっていること。
- 荒浜側と大湊側の顕著な差をもたらした3番目の波群については、中越沖地震の震源モデルとの対応関係から、敷地の南西側に位置する第3アスペリティより到来した波であると考えられること。
- 観測記録に基づく解放基盤波は、荒浜側の1～4号機、大湊側の5～7号機でそれぞれ傾向が一致すること。
- 観測記録に基づく解放基盤波は、荒浜側、大湊側とも、耐専スペクトルを上回る傾向にあること。
- 荒浜側と大湊側で、耐専スペクトルとの比率に違いがあり、荒浜側は大湊側よりも2倍程度大きいこと。

1. はじめに

2. 地震観測記録の分析

(1) 2007年中越沖地震の地震観測記録

(2) 鉛直アレイ観測記録

a. 中規模地震を用いた検討

b. 小規模地震を用いた検討

(3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録

(4) 水平アレイ観測記録

3. 地下構造調査結果の分析

4. 地下構造モデルを用いた解析的検討

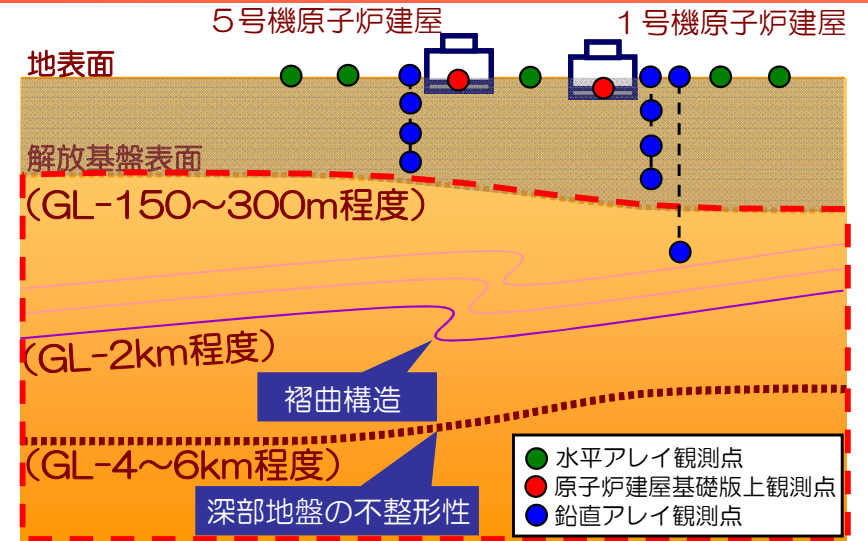
5. 基準地震動評価への反映事項

陸域から到来する地震波の 耐専スペクトルとの比較について

		内容	説明概要	ページ
5	H27 2/13	地震観測記録と耐専スペクトルの比較について、2011年・2014年長野県北部地震などの記録を検討すること。	・追加検討した結果、従来の検討と同様な傾向であることをご説明。	36

敷地の増幅特性に関する検討の概要

- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。



解放基盤表面以浅の影響	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認</p>				<p>2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録</p>	<p>2.(4)水平アレイ観測記録</p>
古い褶曲構造の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖と同じ傾向)</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度</p>	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析</p>	<p>4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認</p>	<p>5号機を基準としてスペクトル比を算定</p> <p>大湊側はばらつきが小さい</p> <p>荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる</p>	<p>5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認</p> <p>荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない</p>
深部地盤における不整形性の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る</p>	<p>敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認</p>	<p>4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認</p>		<p>大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない</p>

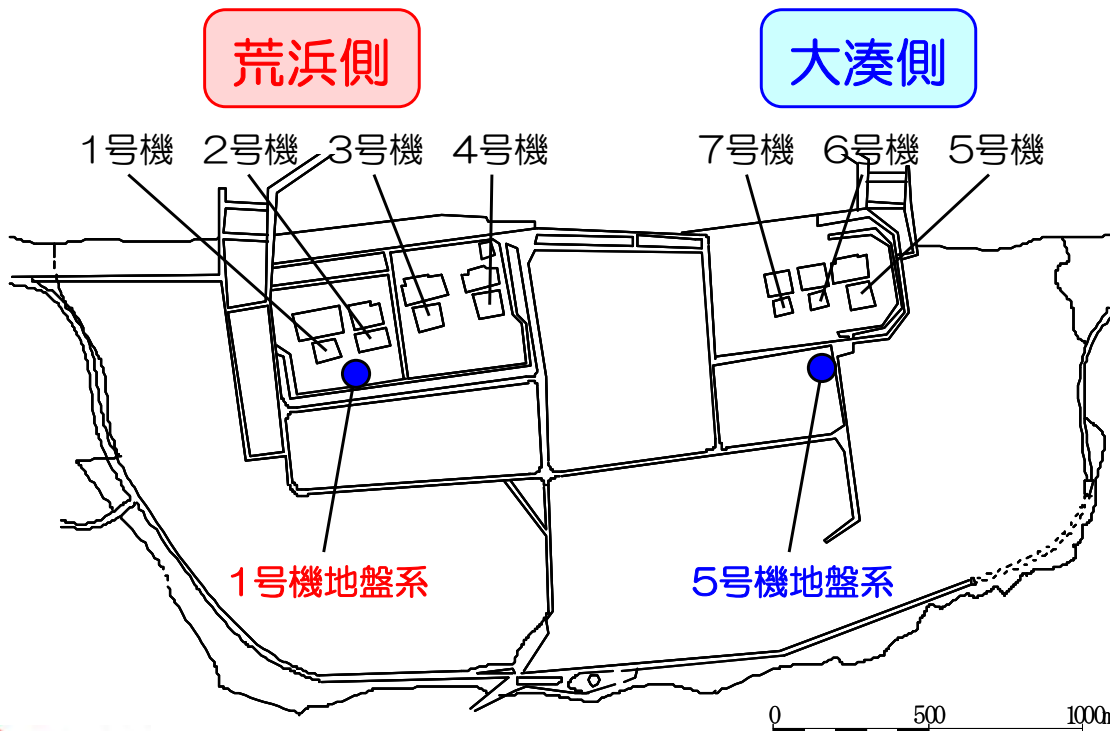
中規模地震を用いた検討 概要

- 敷地周辺で発生した中規模地震を対象として分析。
- 敷地地盤で得られた鉛直アレイ地震観測記録をもとに、解放基盤波を推定し、耐専スペクトルとの大きさの比較、荒浜側と大湊側の地震動特性の比較を実施。

鉛直アレイ観測点の概要

標高	1号機地盤系		5号機地盤系	
	地震計	地層	地震計	地層
T.M.S.L.(m) ※1				
+12.0m +9.3m			▽G.L.	
+5.0m	▽G.L. ●※2	古安田層	●※2	古安田層
-24.0m -40.0m	●		●	西山層
-100m -122m	●	西山層	●	椎谷層
-180m	●		●	
-250m	●※3		●	
-300m -400m	●※4		●	

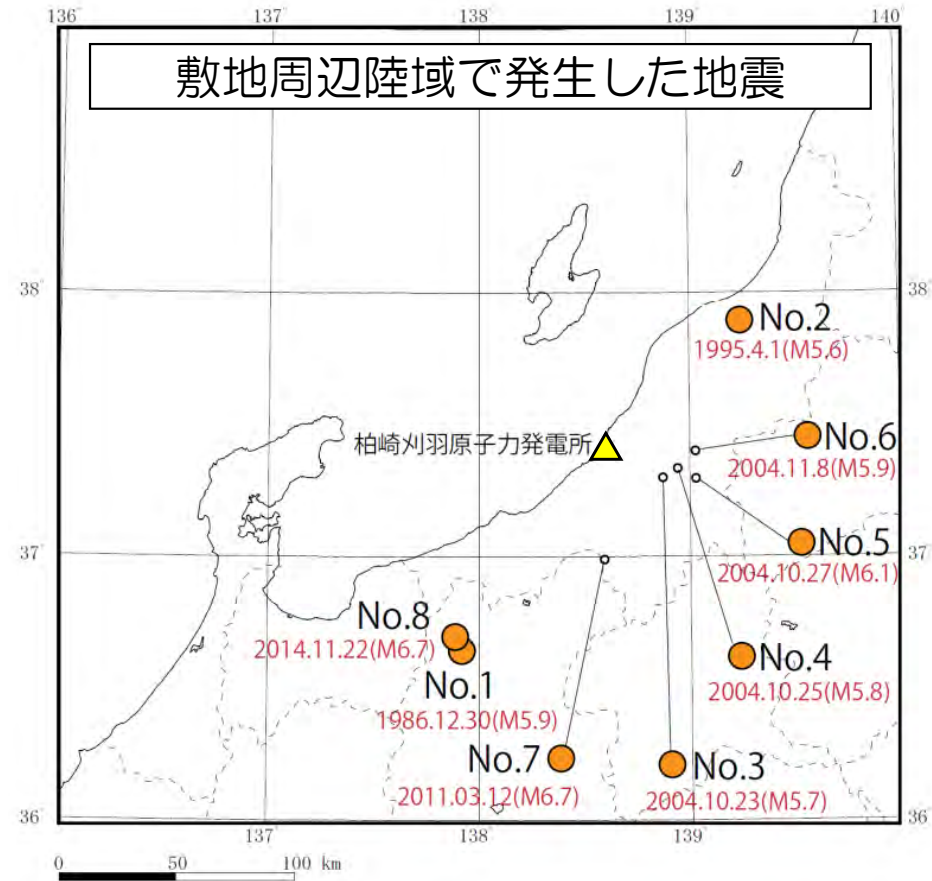
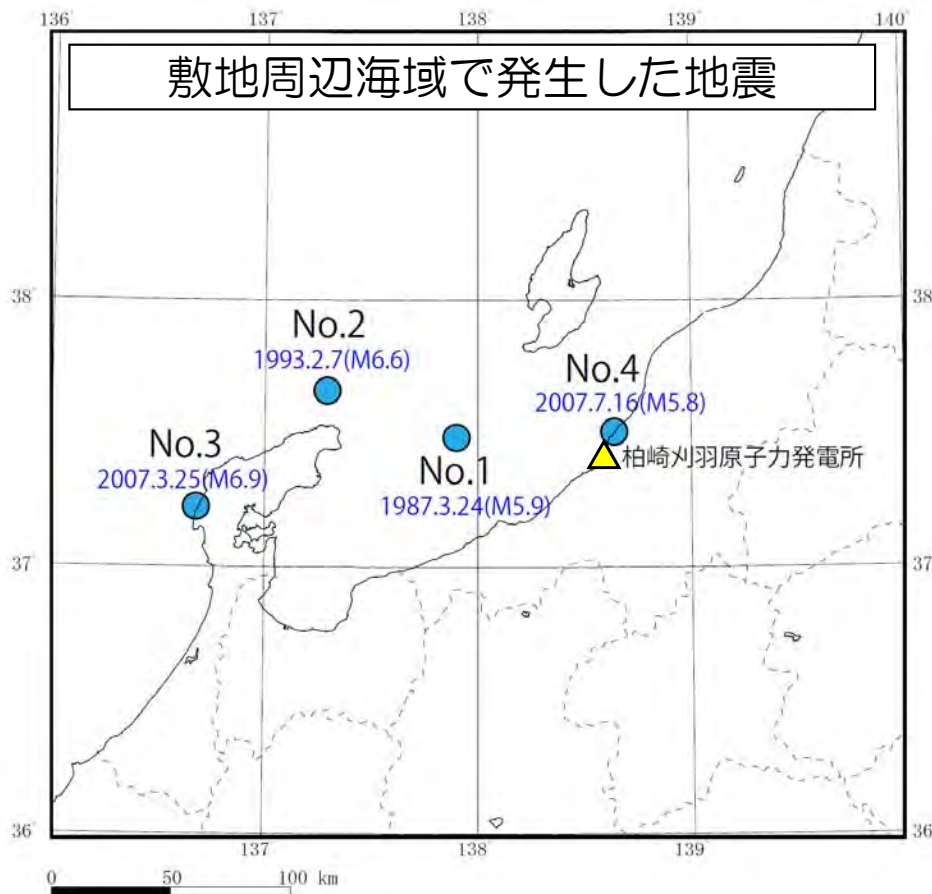
※1：T.M.S.L.：東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Level の略で、東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準
 ※2：地中に設置
 ※3：2007年11月観測終了
 ※4：2009年3月観測開始



中規模地震を用いた検討 対象地震の選定

検討対象地震

- M5.5以上
- 震源距離200km以内
- 解放基盤に近い地盤系観測点で観測されており，最大加速度値が1Gal程度以上
- 1号機地盤系及び5号機地盤系で共通に記録が得られている地震

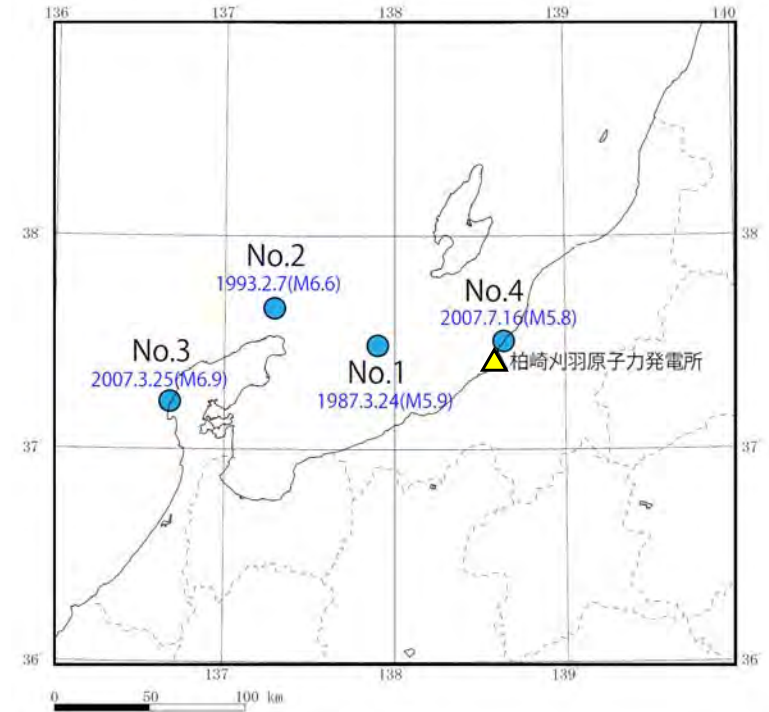


検討に用いた地震の震央分布

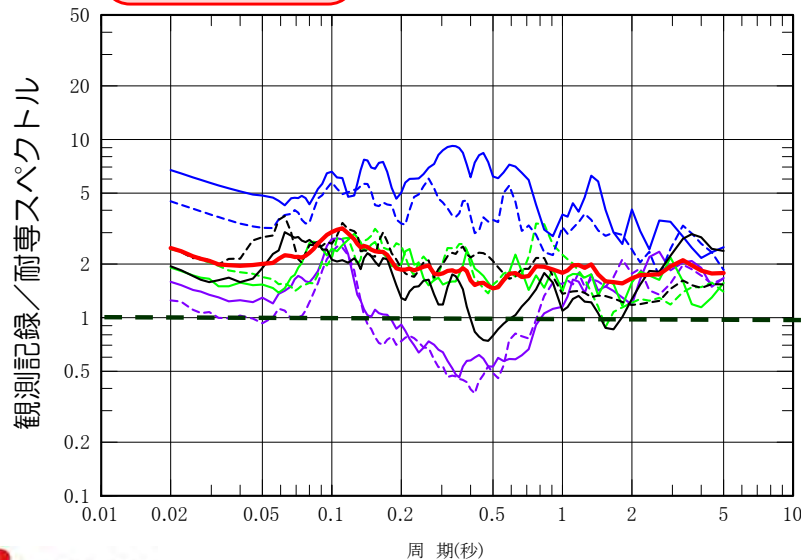
敷地周辺の海域で発生した地震

推定された解放基盤波と耐専スペクトルの比率の比較（海域で発生した地震）

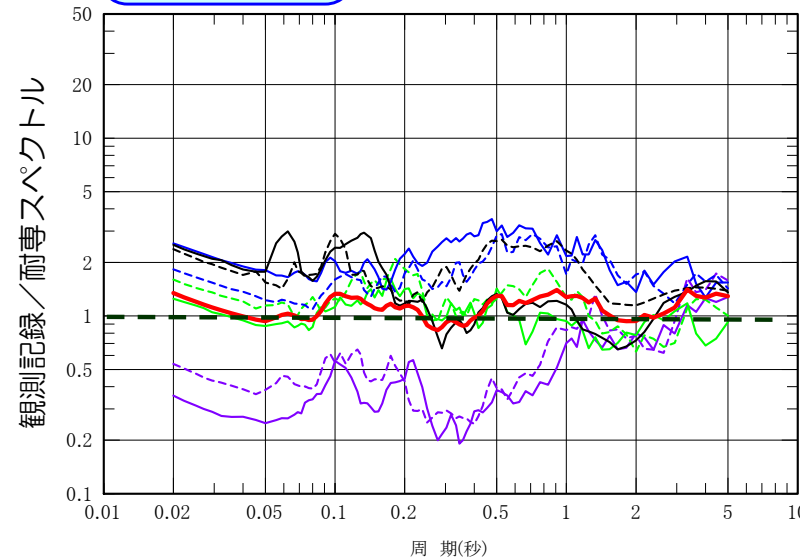
- 荒浜側，大湊側とも，耐専スペクトルとの比率が1を上回る傾向。
- 荒浜側と大湊側で耐専スペクトルとの比率に違いがあり，荒浜側の方が大きい。



荒浜側 (1号機地盤系)



大湊側 (5号機地盤系)

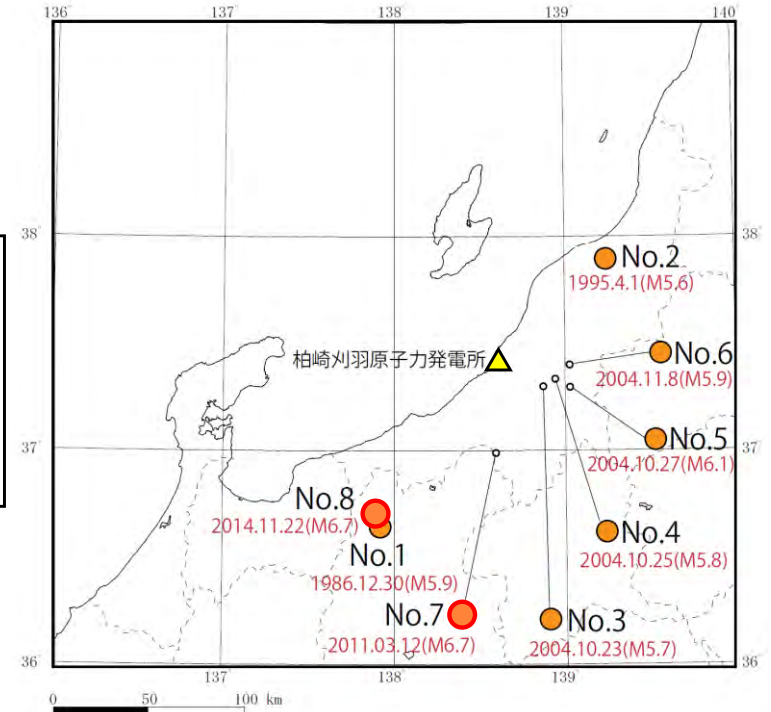


凡例

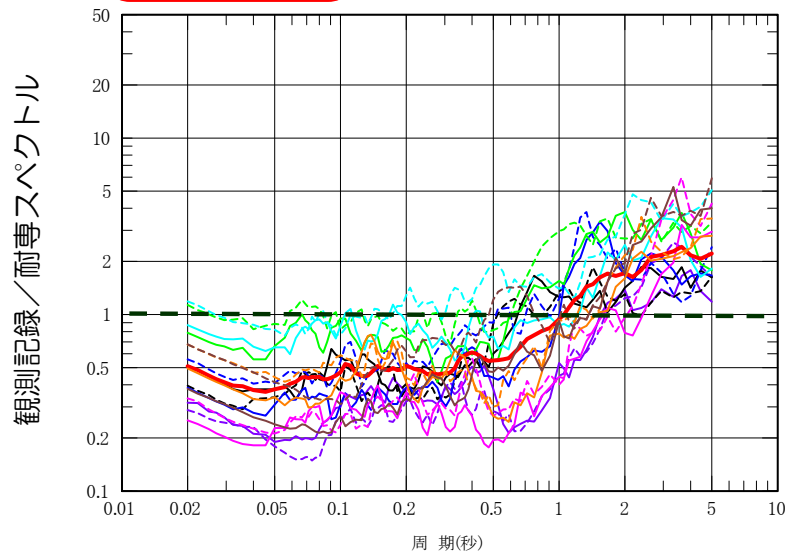
- No.1 (NS)
- - - No.1 (EW)
- No.2 (NS)
- - - No.2 (EW)
- No.3 (NS)
- - - No.3 (EW)
- No.4 (NS)
- - - No.4 (EW)
- 平均

推定された解放基盤波と耐専スペクトルの比率の比較（陸域で発生した地震）

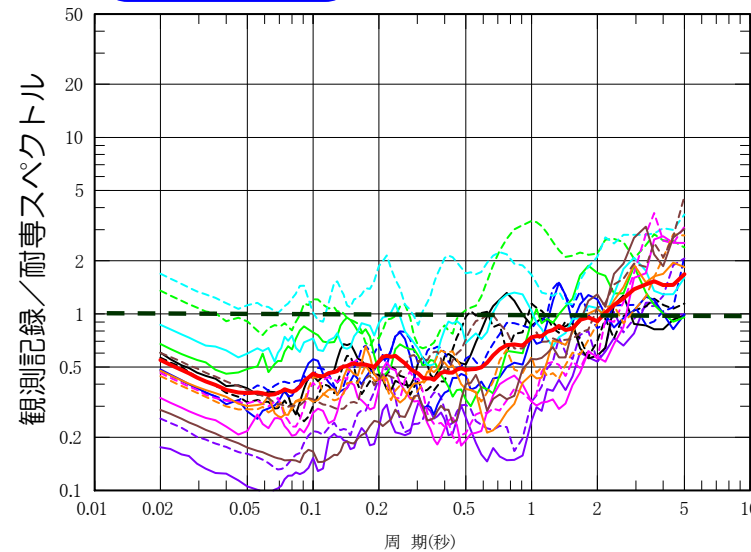
- 荒浜側，大湊側とも，耐専スペクトルとの比率が1秒より短い周期帯で1を下回る傾向。
- 荒浜側と大湊側で耐専スペクトルとの比率に違いが見られない。
- 2011年3月12日の地震（No.7）及び2014年11月22日の地震（No.8）は，従来の陸域で発生した地震と調和的。



荒浜側 (1号機地盤系)



大湊側 (5号機地盤系)

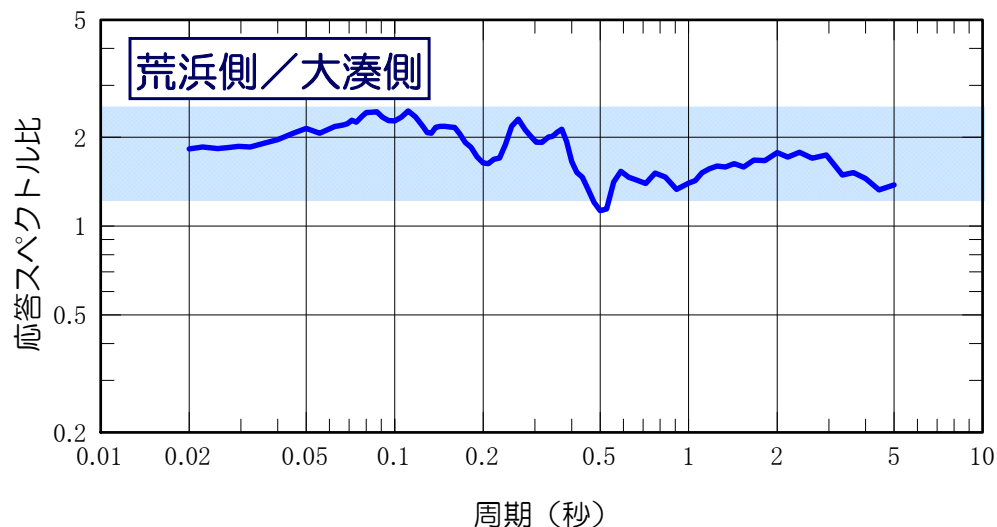


凡例

- No.1 (NS)
- - - No.1 (EW)
- No.2 (NS)
- - - No.2 (EW)
- No.3 (NS)
- - - No.3 (EW)
- No.4 (NS)
- - - No.4 (EW)
- No.5 (NS)
- - - No.5 (EW)
- No.6 (NS)
- - - No.6 (EW)
- No.7 (NS)
- - - No.7 (EW)
- No.8 (NS)
- - - No.8 (EW)
- 平均

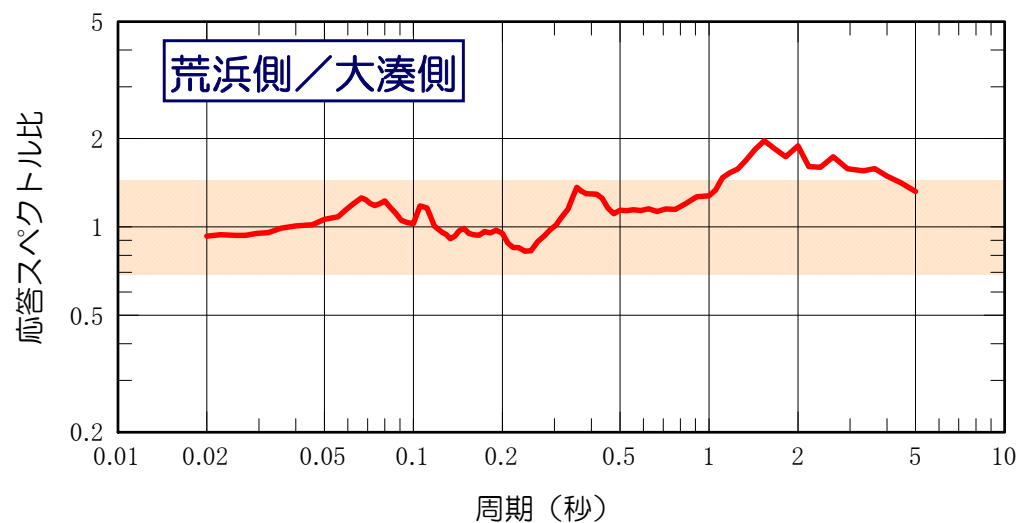
注) 平均はNo.1～No.6地震を用いて算定

海域で発生した地震



荒浜側平均 / 大湊側平均
= 2倍程度

陸域で発生した地震



注) 平均はNo.1～No.6地震を用いて算定

荒浜側平均 ÷ 大湊側平均

■ 海域で発生した地震と陸域で発生した地震では、大湊側に対する荒浜側のスペクトル比の傾向が異なり、2倍程度の差が確認される。

(2) 鉛直アレイ観測記録 a.中規模地震を用いた検討 小括

- 鉛直アレイで観測された中規模地震の記録を対象とした検討より、以下を確認。
 - 海域で発生した中規模地震については、耐専スペクトルと比較して大きくなること。
 - また、荒浜側と大湊側で地震動特性が異なり、その比率はおよそ2倍程度であること。
 - 上記の傾向は、中越沖地震で見られた傾向と同様であること。
- 陸域で発生した中規模地震については、耐専スペクトルと比較して小さくなること
- また、荒浜側と大湊側で地震動特性に特異な差は確認されないこと。

1. はじめに

2. 地震観測記録の分析

(1) 2007年中越沖地震の地震観測記録

(2) 鉛直アレイ観測記録

a. 中規模地震を用いた検討

b. 小規模地震を用いた検討

(3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録

(4) 水平アレイ観測記録

3. 地下構造調査結果の分析

4. 地下構造モデルを用いた解析的検討

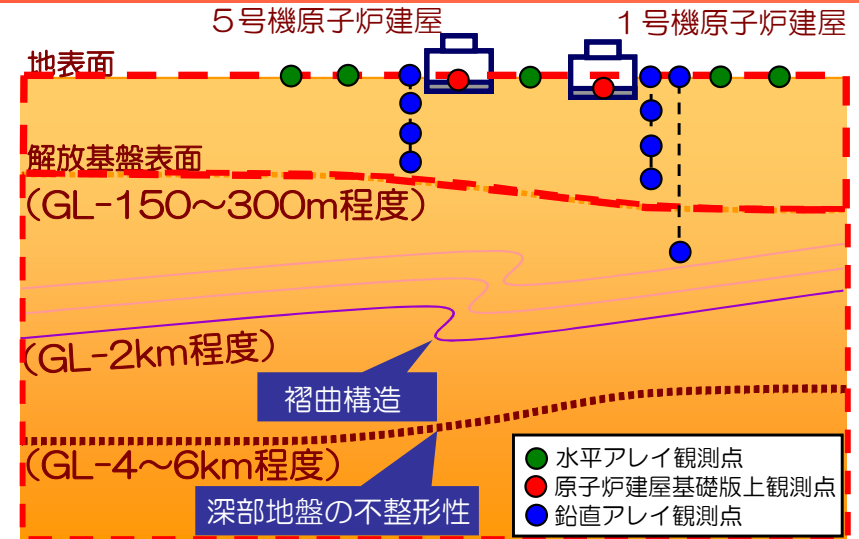
5. 基準地震動評価への反映事項

解放基盤以浅の増幅特性及び 荒浜側と大湊側の増幅特性について

		内容	説明概要	ページ
6	H27 2/13	地下構造評価の妥当性を示すにあたって、オフセットVSPなど地質調査データを拡充することが一つの手段として考えられる。	・地震観測記録の分析結果から解放基盤以浅においては特異な増幅特性は確認されないこと、及び解放基盤以深においては特異な増幅特性が確認されるものの解析的検討によると褶曲構造によるものと考えられ、局所的な低速度層等による影響は確認されないことをご説明。	42~50 167~171
7	H27 2/13	第2アスペリティからの地震波について、荒浜側と大湊側の増幅特性に著しい差が生じていないことを確認するため、検討結果を提示すること。	・詳細区分した領域区分のうち、第2アスペリティ付近から到来する地震波は得意な増幅特性が確認されないことをご説明。	48~50
8	H27 2/13	中小地震に関する荒浜側と大湊側のはぎとり波の比較において中越沖当時の荒浜側と大湊側の比（2倍程度）との整合性についてどう考えるか示すこと。	・中越沖地震と中小地震の、荒浜側と大湊側の比について対応関係を整理してご説明。	51~52

敷地の増幅特性に関する検討の概要

- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。



解放基盤表面以浅の影響

2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)

地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認

2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録

5号機を基準としてスペクトル比を算定
大湊側はばらつきが小さい
荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる

2.(4)水平アレイ観測記録

5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認
荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない
大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない

古い褶曲構造の影響

2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録

耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい

2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)

【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖と同じ傾向)
【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度

2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)

荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析

4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討

敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認

深部地盤における不整形性

2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録

耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る

2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)

【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る
【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る

敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認

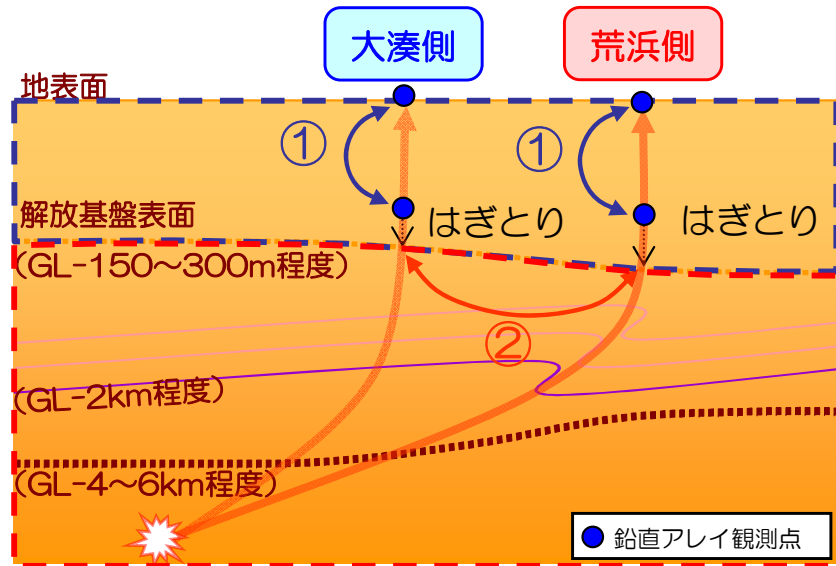
4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討

3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認

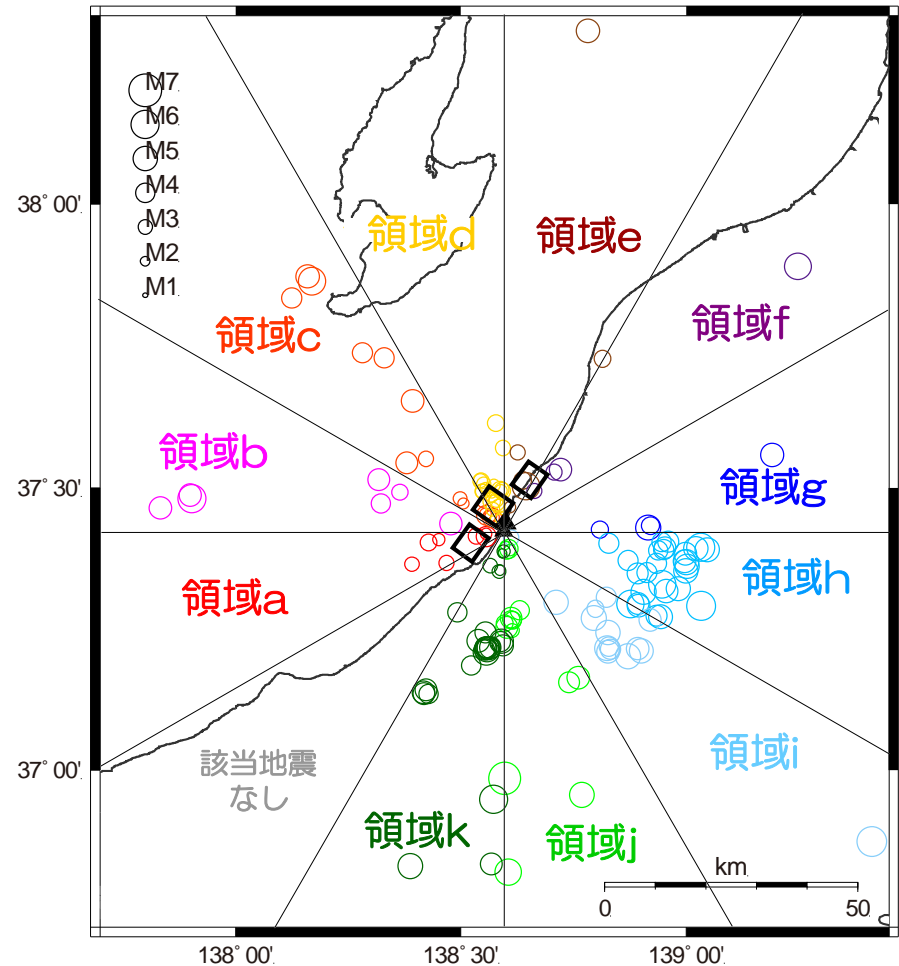
■敷地地盤で得られた鉛直アレイ地震観測記録を用いて、地震波到来方向別の分析を実施し、解放基盤表面以浅の浅部地下構造及び解放基盤表面以深の深部地下構造が地震動特性に与える影響を分析。

■検討対象地震

- ・震源距離100km以内
- ・解放基盤に近い地盤系観測点で観測されており、最大加速度値が1Gal程度以上
- ・1号機地盤系及び5号機地盤系で共通に記録が得られている地震



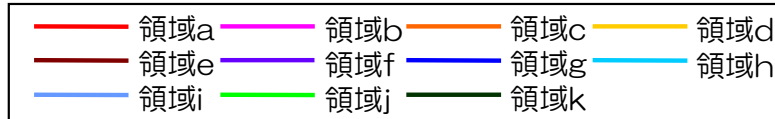
- ①浅部地下構造による増幅特性の把握
→各地点の地表と地中のフーリエスペクトル比を分析。
- ②深部地下構造による増幅特性の把握
→各地点の解放基盤波を求め、地点間のフーリエスペクトル比を分析。



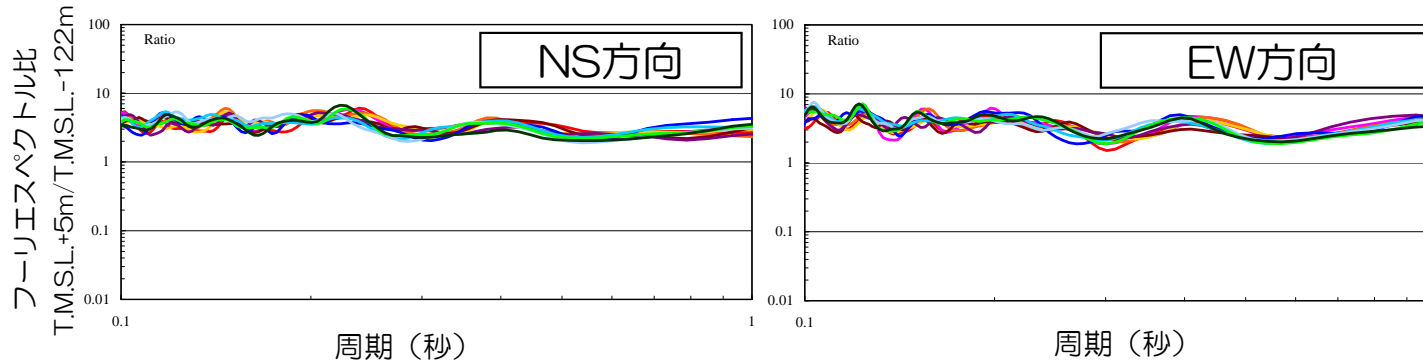
①浅部地下構造（解放基盤以浅）による増幅特性の検討

■解放基盤以浅の浅部地下構造による増幅特性を把握するため、荒浜側と大湊側のそれぞれの鉛直アレイ観測点について、フーリエスペクトル比（地表観測点／地中観測点）を評価し、到来方向別に分析。

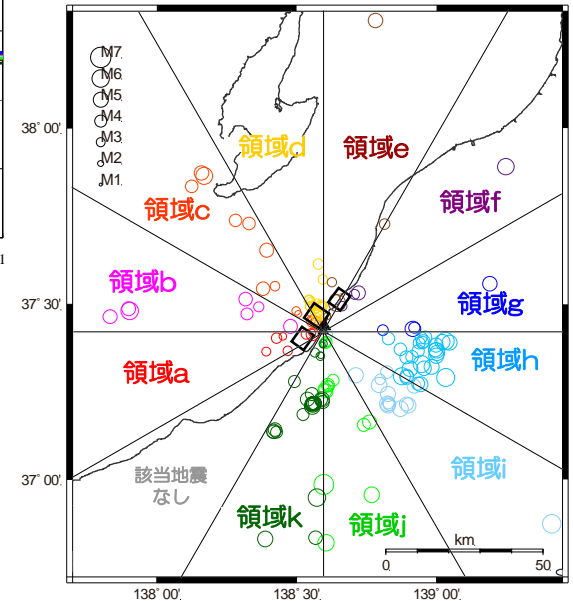
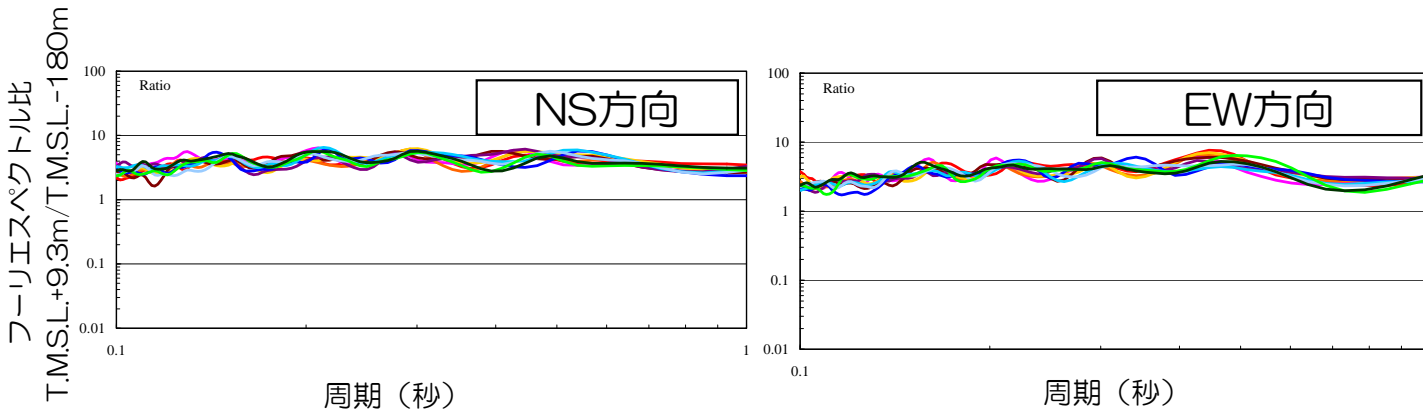
地表観測点の地中観測点に対するフーリエスペクトル比



荒浜側



大湊側

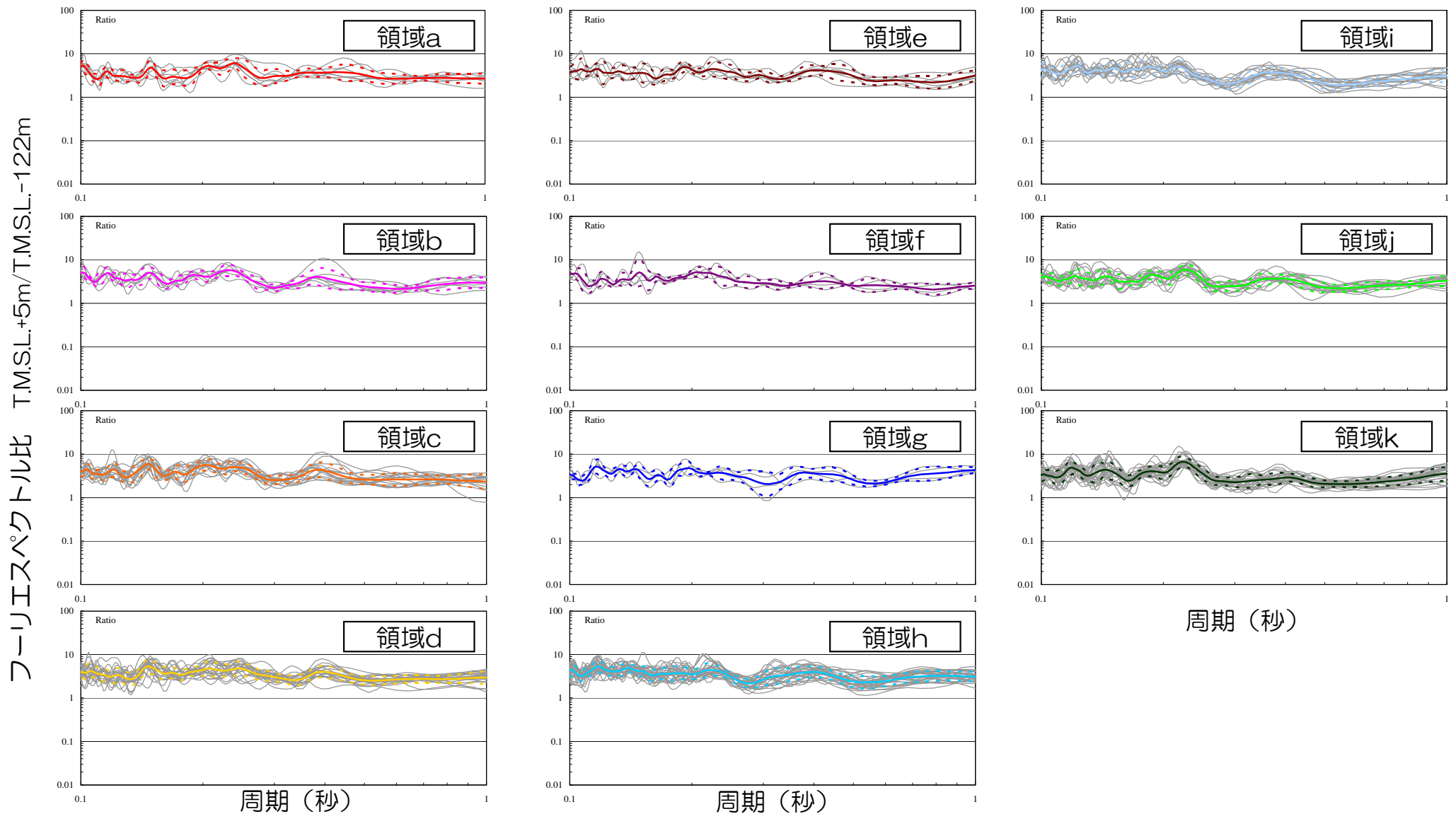


■解放基盤表面以浅においては、到来方向による顕著な差異は確認されない。

①浅部地下構造（解放基盤以浅）による増幅特性の検討

コメント
No.6

領域別のフーリエスペクトル比の検証（荒浜側 NS方向）



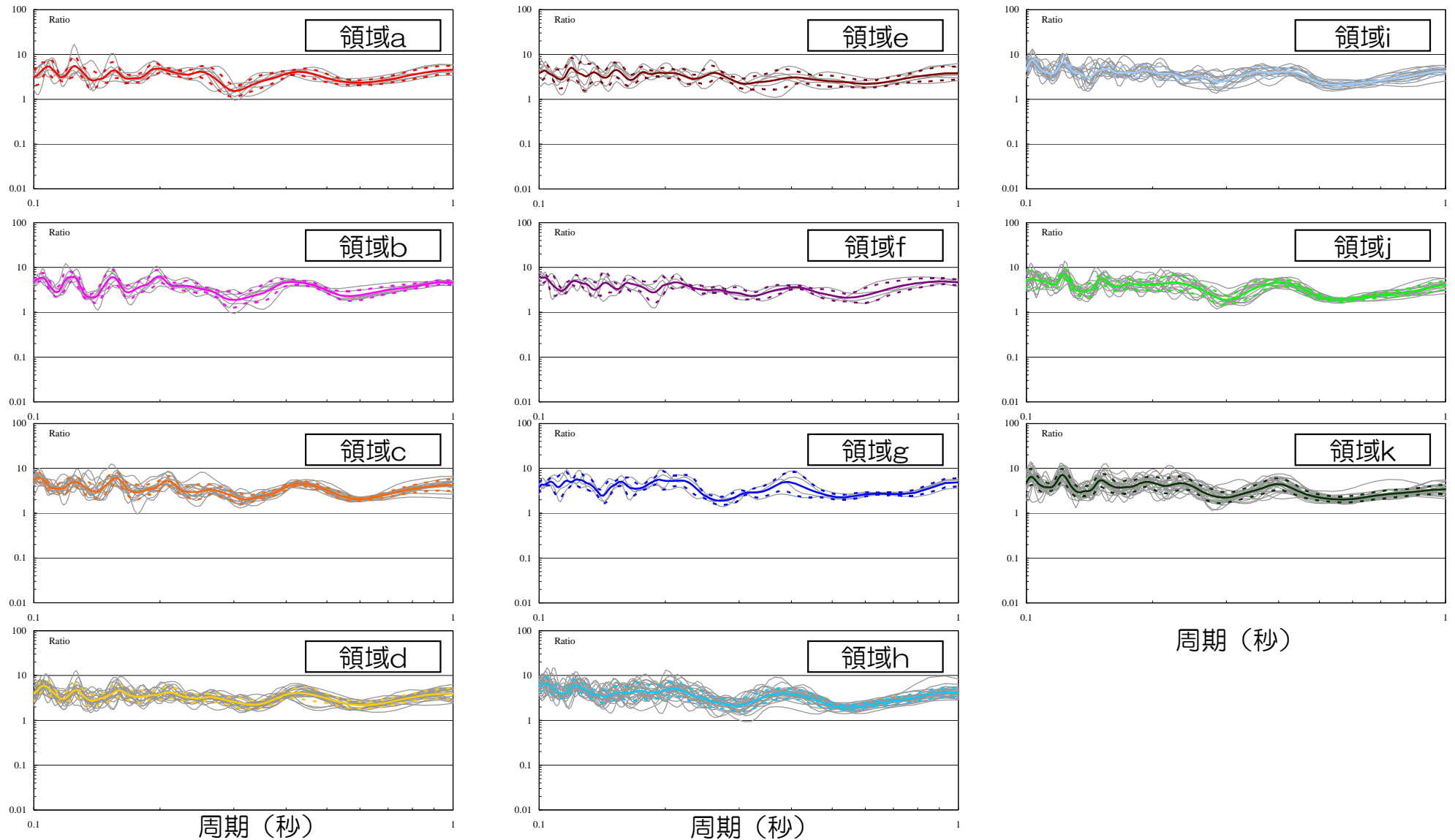
■いずれの到来方向においても、ばらつきは大きくないことを確認。

①浅部地下構造（解放基盤以浅）による増幅特性の検討

コメント
No.6

領域別のフーリエスペクトル比の検証（荒浜側 EW方向）

フーリエスペクトル比 T.M.S.L.+5m/T.M.S.L.-122m

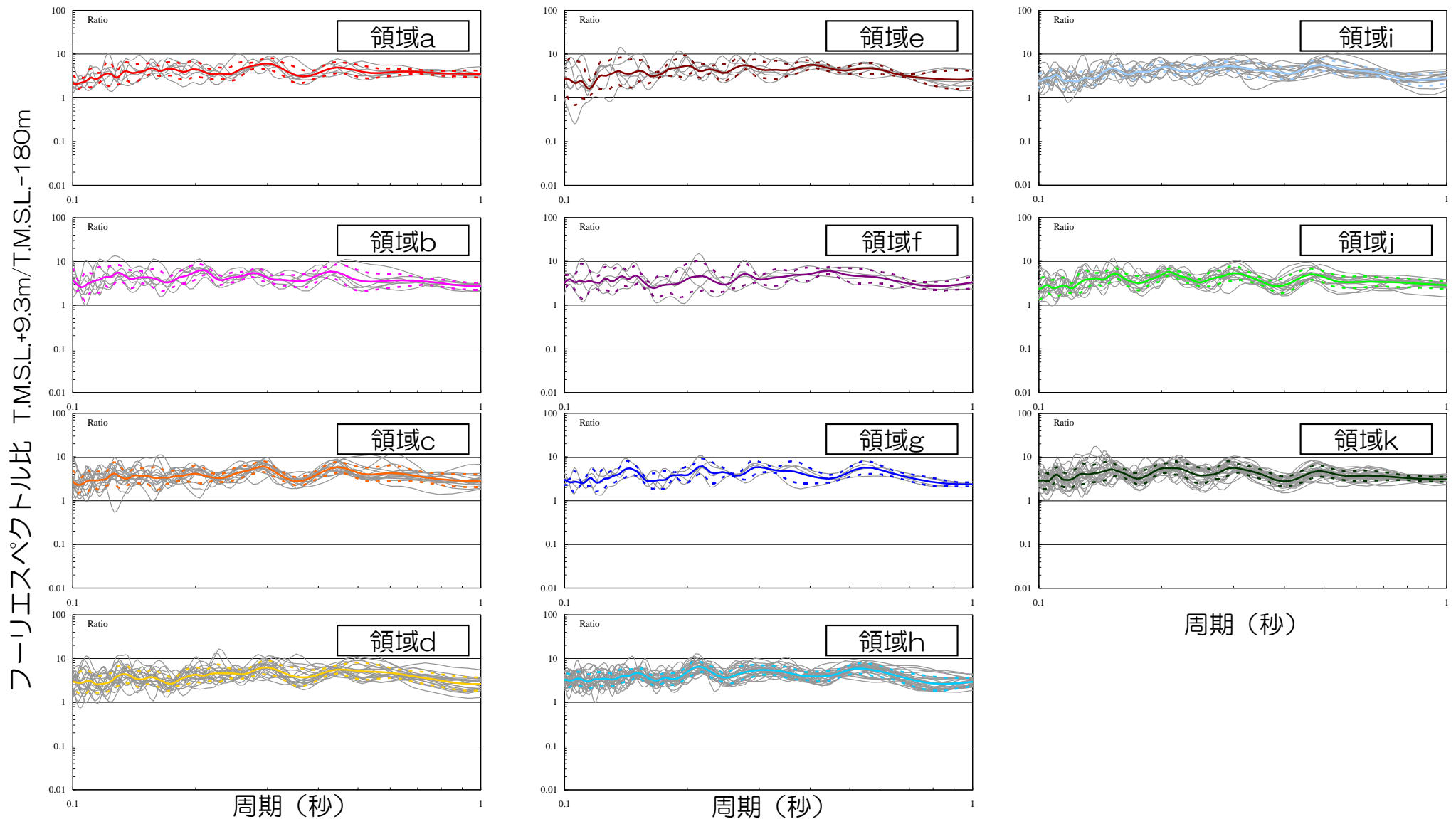


■いずれの到来方向においても、ばらつきは大きいことを確認。

①浅部地下構造（解放基盤以浅）による増幅特性の検討

コメント
No.6

領域別のフーリエスペクトル比の検証（大湊側 NS方向）

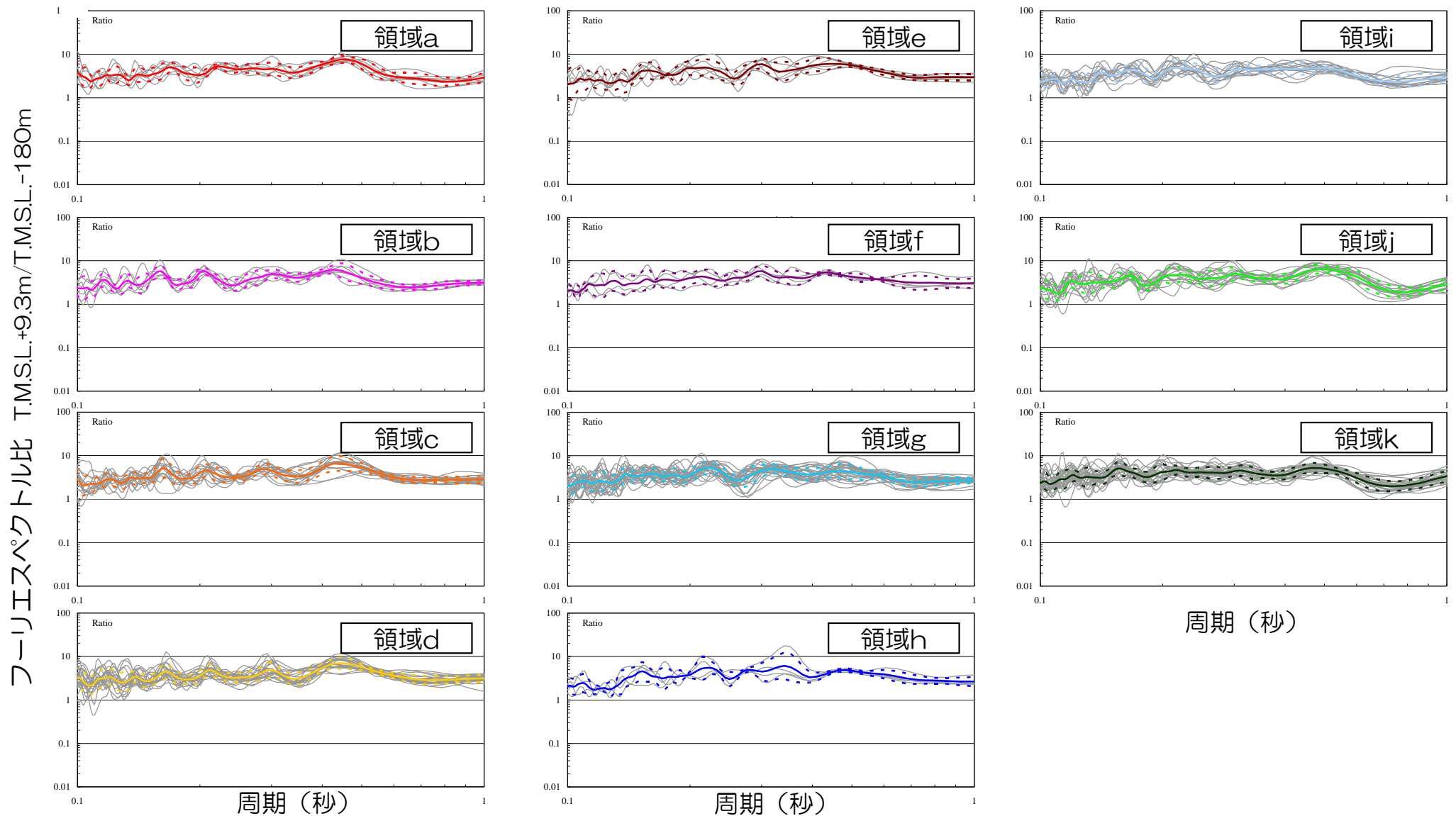


■いずれの到来方向においても、ばらつきは大きいことを確認。

①浅部地下構造（解放基盤以浅）による増幅特性の検討

コメント
No.6

領域別のフーリエスペクトル比の検証（大湊側 EW方向）

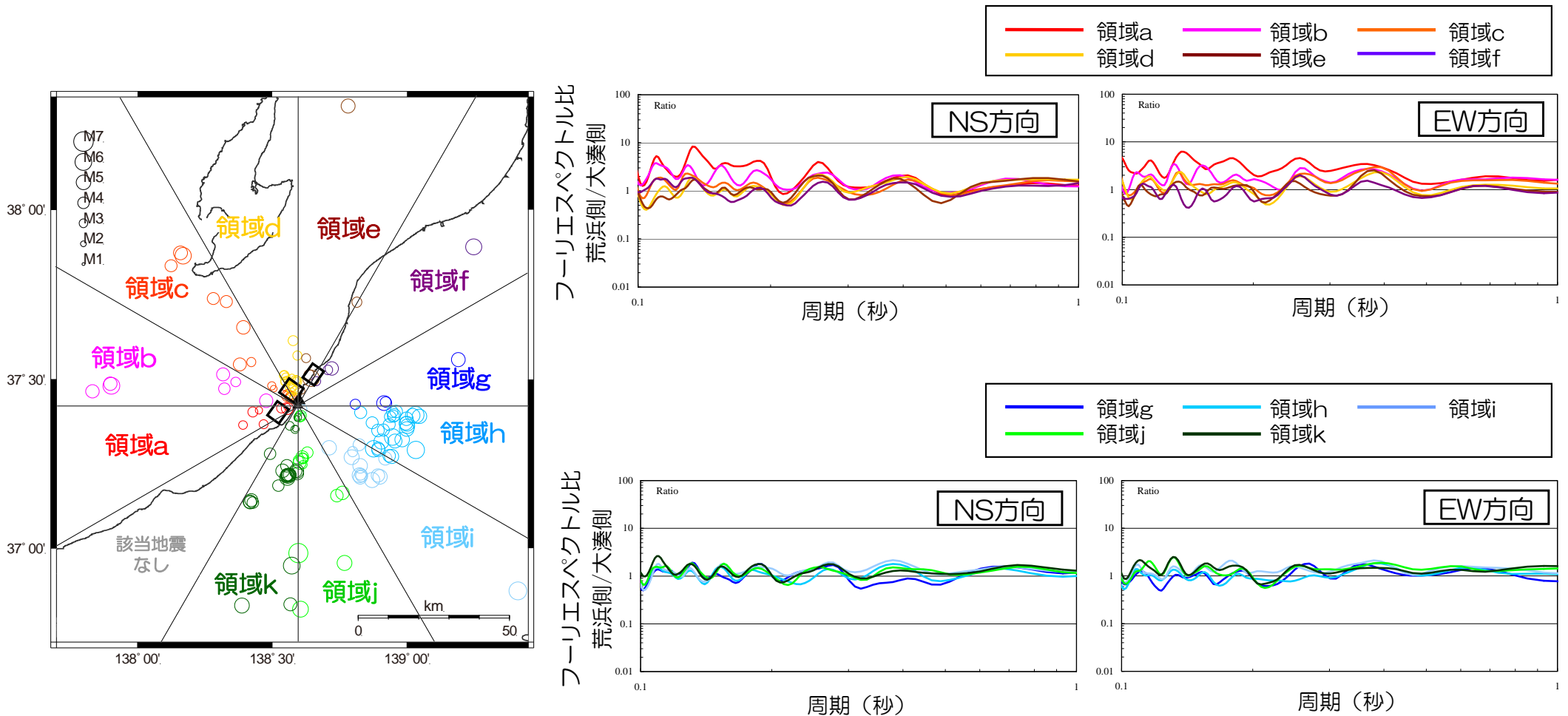


■いずれの到来方向においても、ばらつきは大きくないことを確認。

②深部地下構造（解放基盤以深）による増幅特性の検討

コメント
No.6・7

■ 検討対象とする領域区分を30°として各領域における荒浜側と大湊側のフーリエスペクトル比を評価。

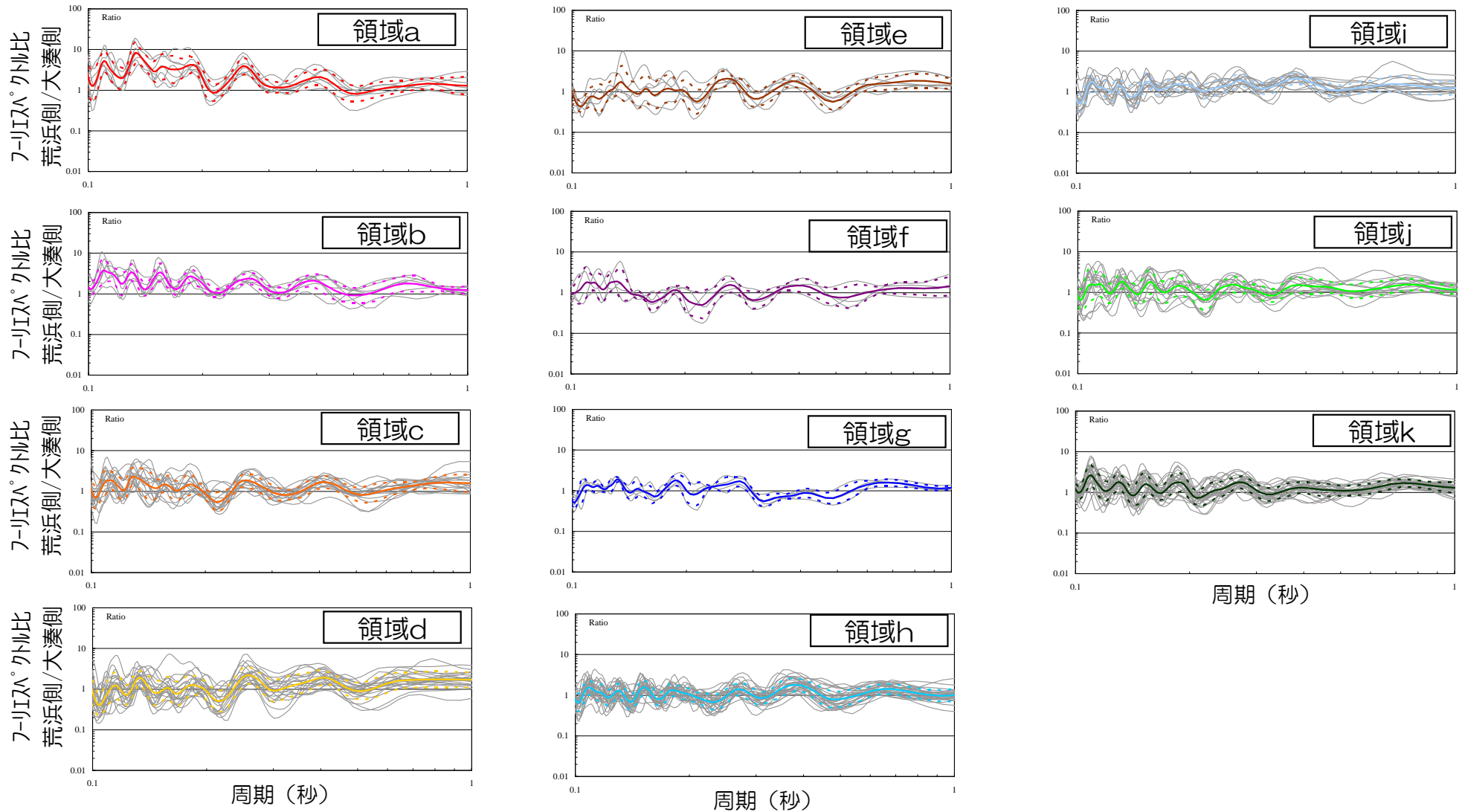


- 敷地南西側の領域aから領域bにかけて、荒浜側が大湊側に比べ有意に大きくなる傾向。
- その他の領域区分においては、特異な増幅傾向は確認されない。

②深部地下構造（解放基盤以深）による増幅特性の検討

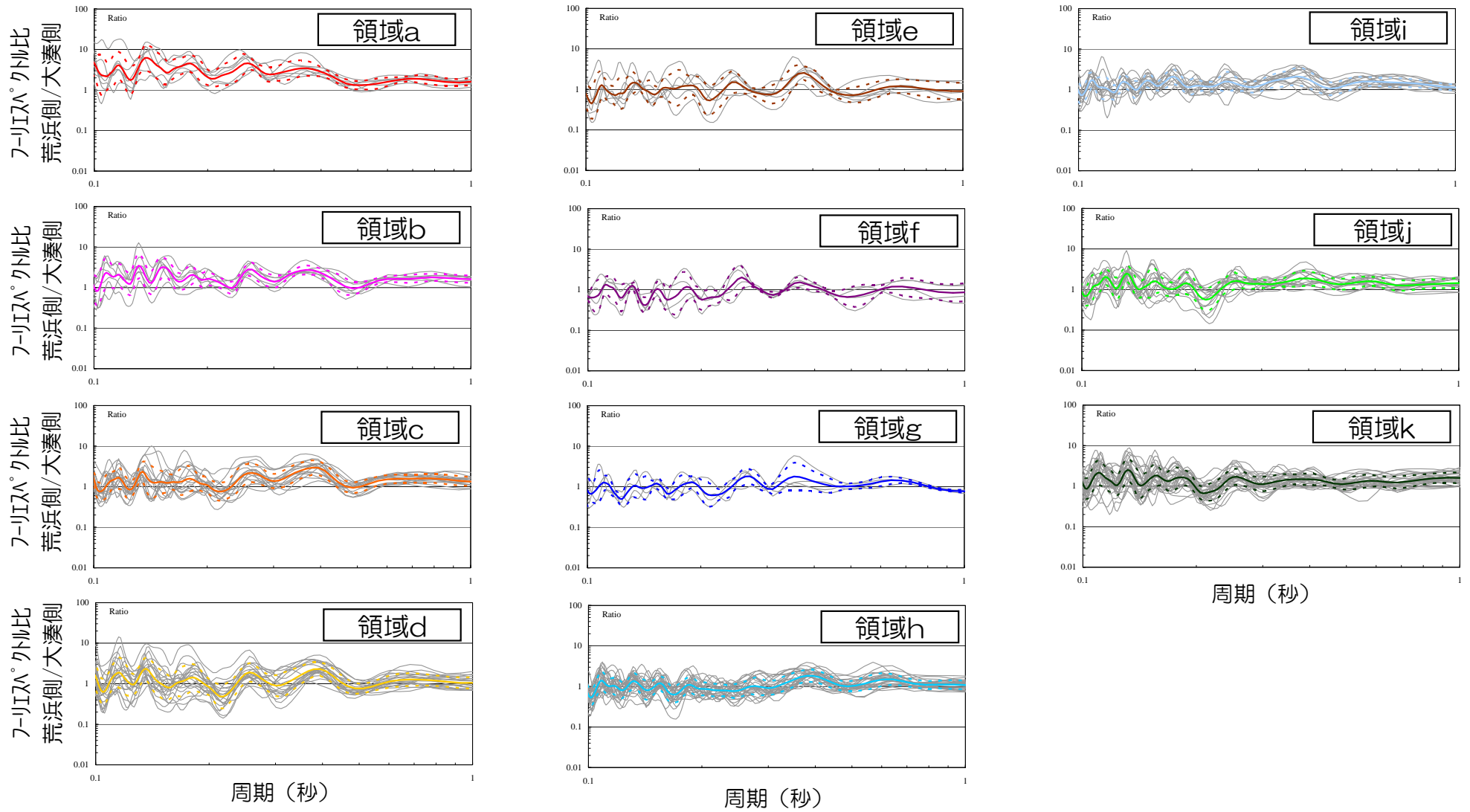
コメント
No.6・7

領域別のフーリエスペクトル比の検証（NS方向）



■ いずれの到来方向においても、ばらつきは大きいことを確認。

領域別のフーリエスペクトル比の検証（EW方向）

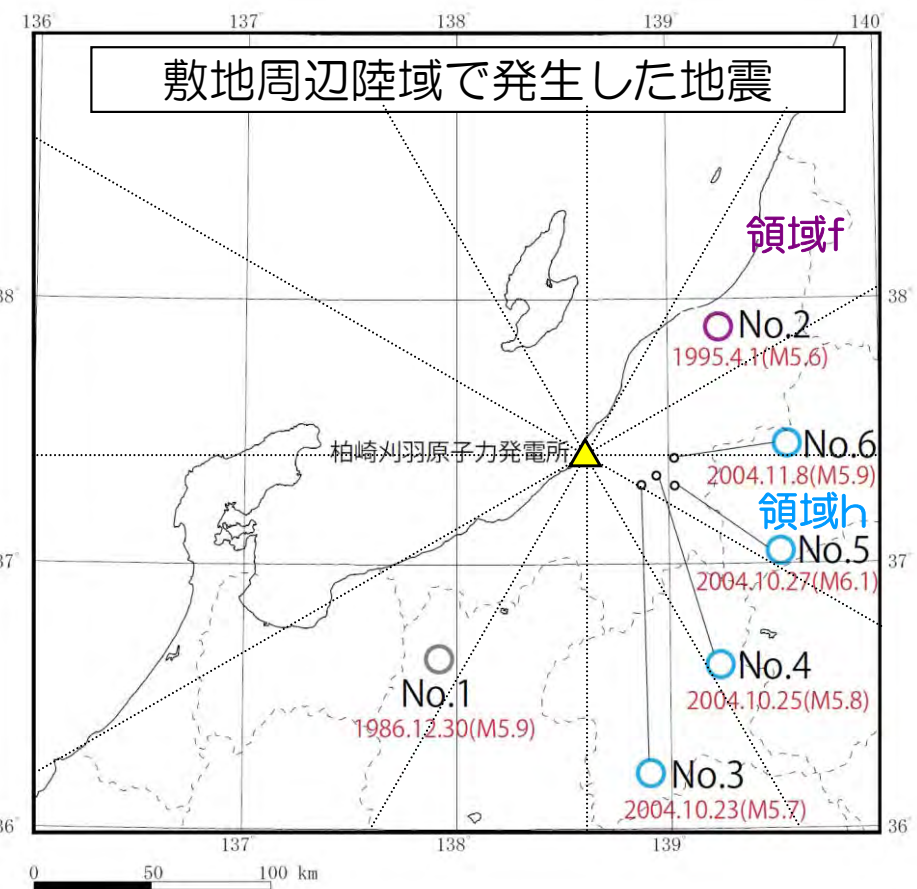
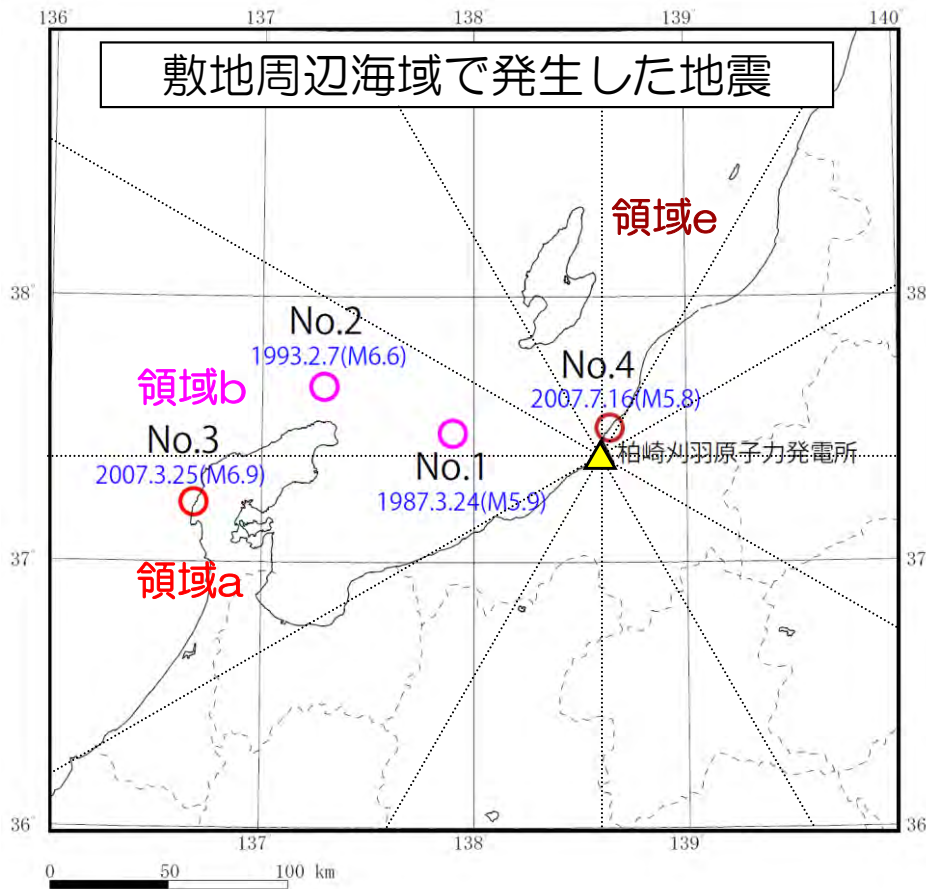


■ いずれの到来方向においても、ばらつきは大きいことを確認。

中規模地震を用いた検討結果との比較

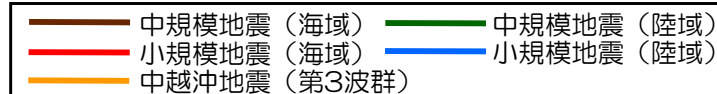
■ 検討対象地震

- M5.5以上
- 震源距離200km以内
- 解放基盤に近い地盤系観測点で観測されており、最大加速度値が1Gal程度以上
- 1号機地盤系及び5号機地盤系で共通に記録が得られている地震

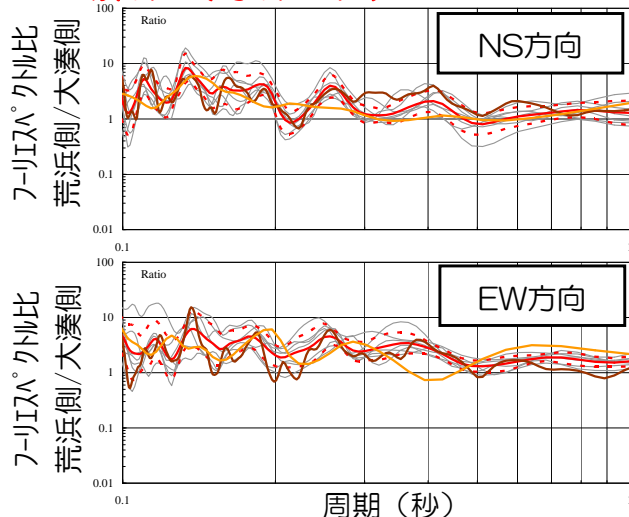


検討に用いた地震の震央分布

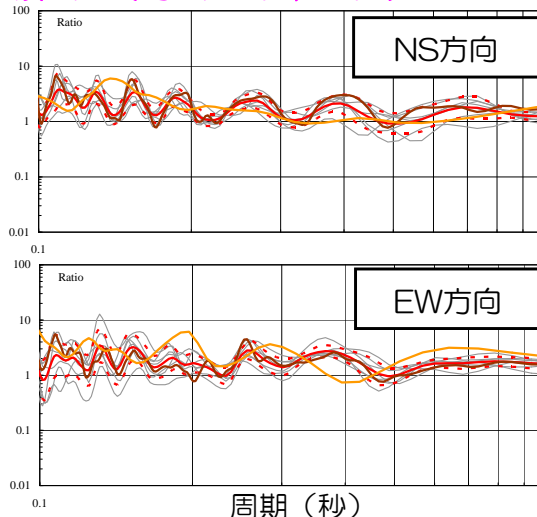
中規模地震と小規模地震による結果の比較



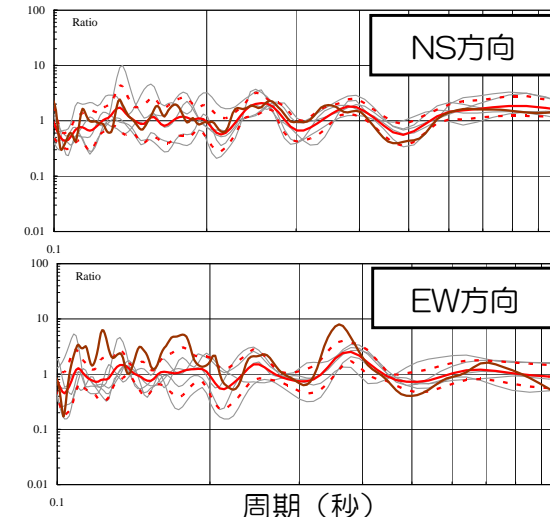
領域a (海域No.3)



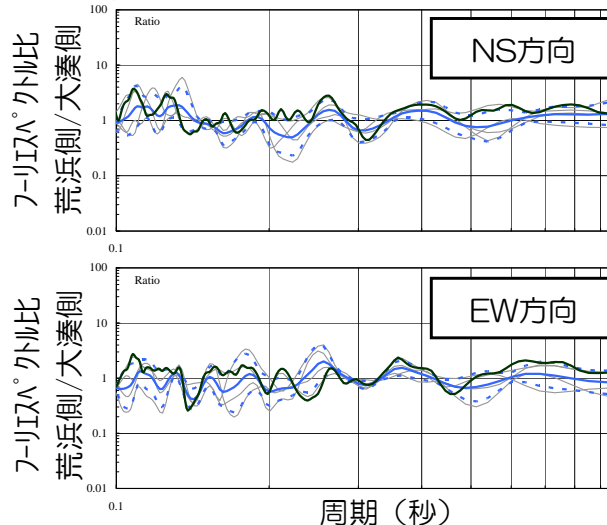
領域b (海域No.1, No.2)



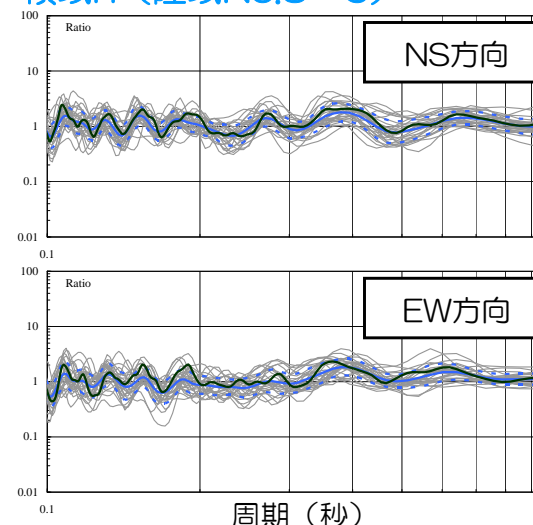
領域e (海域No.4)



領域f (陸域No.2)



領域h (陸域No.3~6)



- 中越沖地震の第3波群は、敷地の南西側で発生した中小地震と同様に荒浜側が大湊側よりも大きくなる傾向。
- 中越沖地震全体の特徴としては荒浜側が大湊側よりも2倍程度の増幅特性を有しているが、より詳細に第3アスペリティのみを抽出すると2~4倍程度の増幅特性を有している。
- この特性については、荒浜側の地震動評価に用いる要素地震の補正係数と整合している。

- 中規模地震による地震は地震数が少ないものの、小規模地震による個別結果の傾向と、概ね整合している。

領域eにおける海域No.4地震の分析

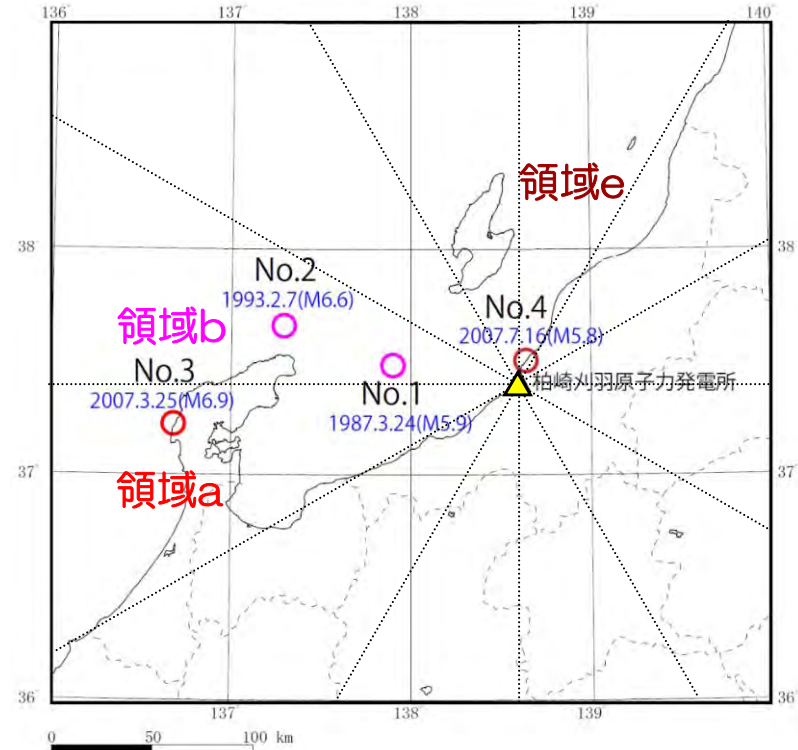
- 海域No.4地震は小規模地震による検討結果と比較してEW方向で差異が確認されたため、要因を分析。
- 海域No.4地震は中越沖地震の最大余震であり、M5.8で震央距離8~9kmと規模が大きく震央距離も近い地震となっている。

海域No.4地震の諸元（気象庁による）

年	月	日	時	分	M	深さ (km)	震央距離 (km)	
							1号機	5号機
2007	7	16	15	37	5.8	23	9	8

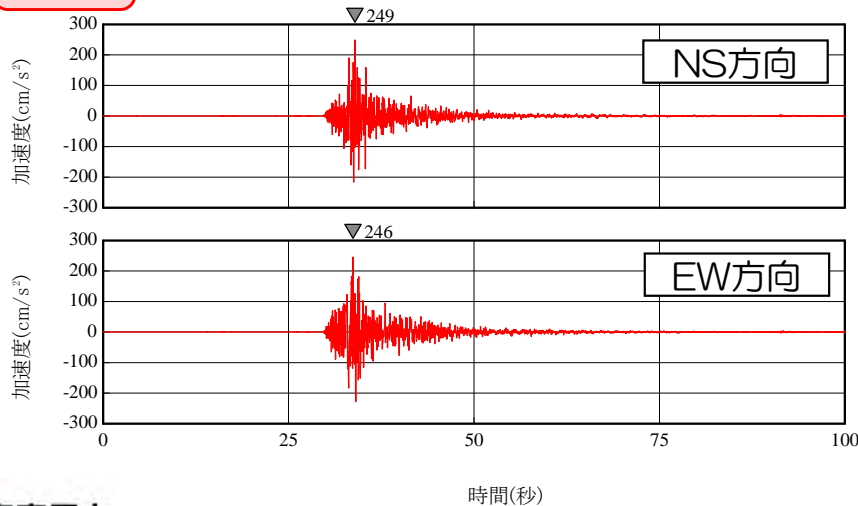
観測波形の分析

- 荒浜側と大湊側の地表観測点の最大加速度はいずれの成分においても100galを超えていることから、表層地盤の非線形化の影響が考えられる。

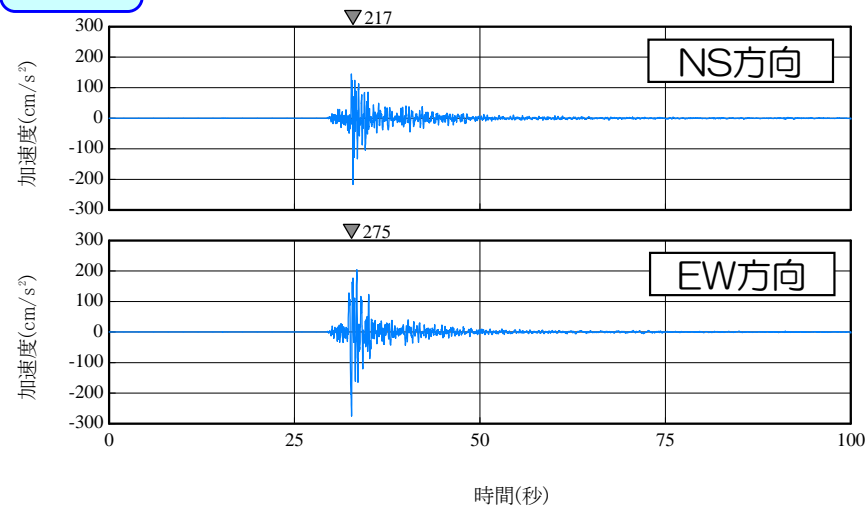


震央分布

荒浜側



大湊側

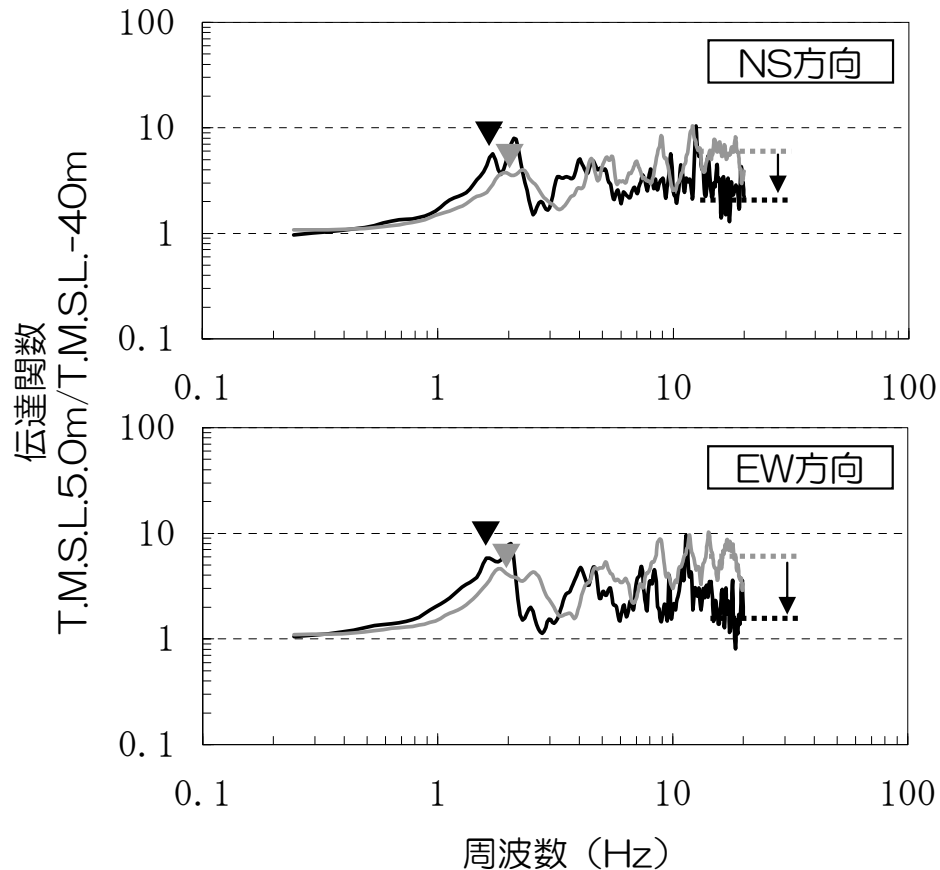


領域eにおける海域No.4地震の分析

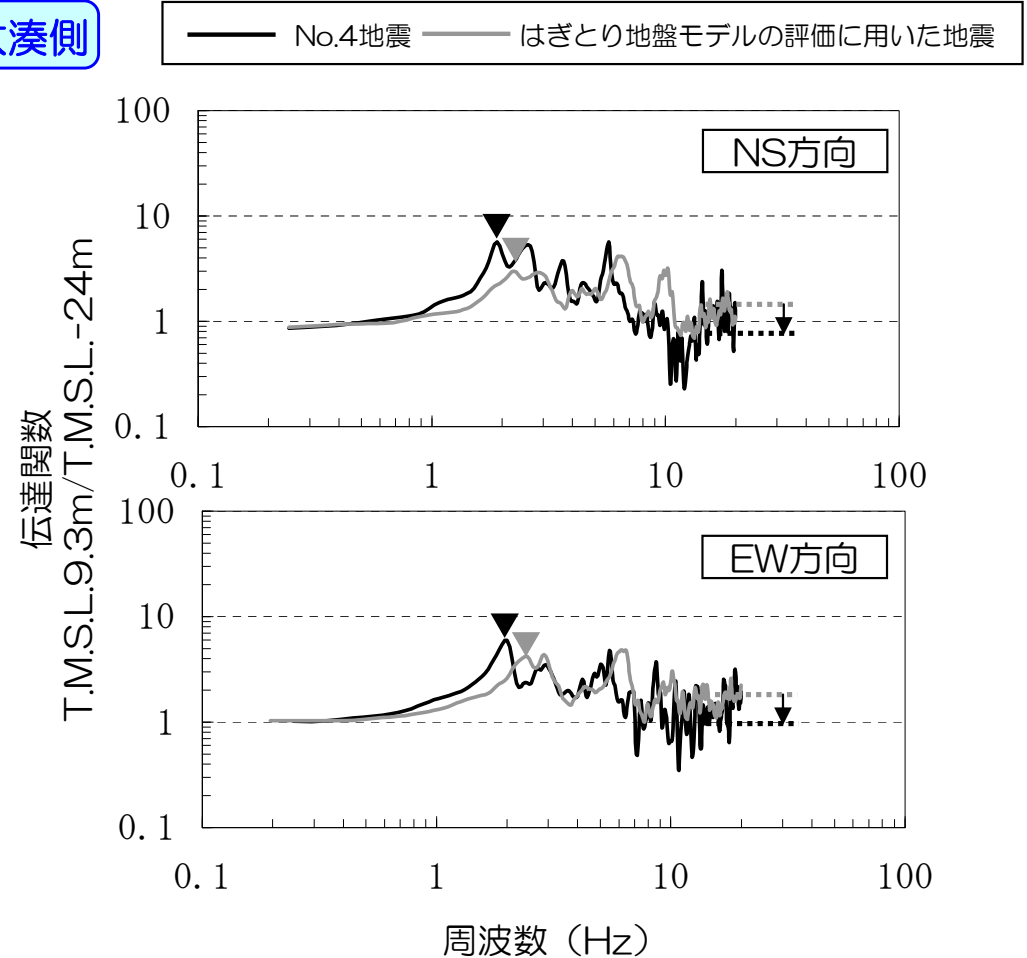
伝達関数の分析

- はぎとり地盤モデルの評価に用いた地震の伝達関数と、海域No.4地震の伝達関数とを比較。
- 海域No.4地震の伝達関数のピークは低周波数側にシフトしている傾向が認められるとともに、高周波数側においては海域No.4地震の伝達関数が小さくなる傾向にあることから、表層地盤の非線形化による影響が示唆される。

荒浜側



大湊側

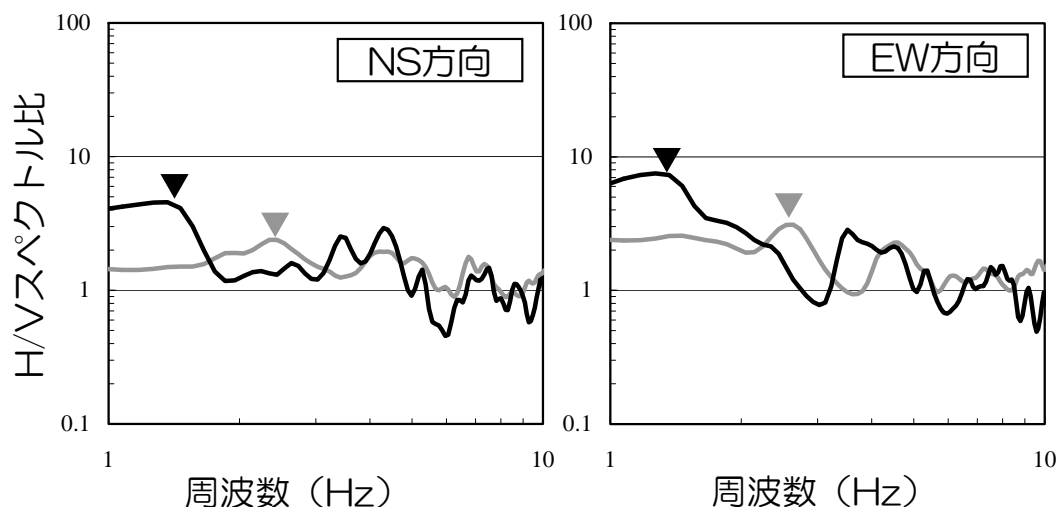


領域eにおける海域No.4地震の分析

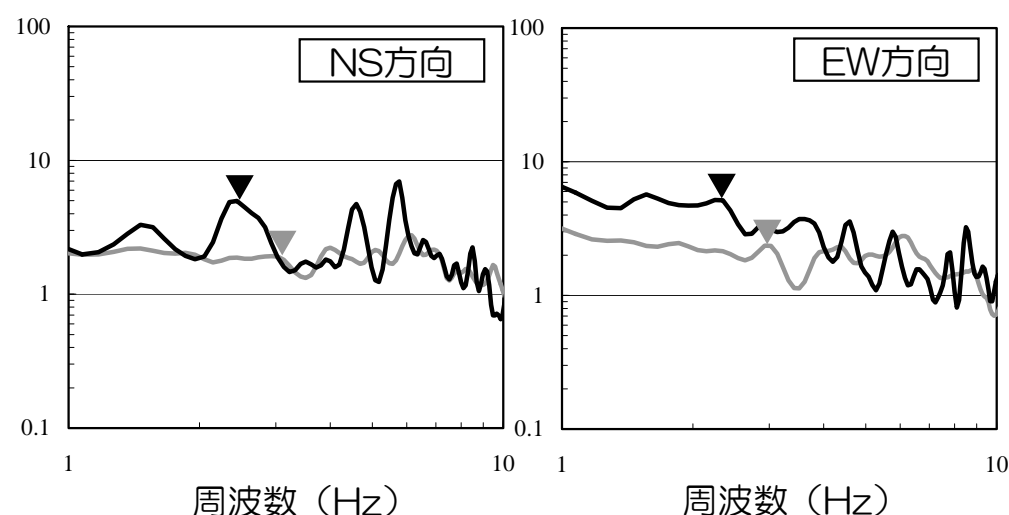
H/Vスペクトル比の分析

- はぎとり地盤モデルの評価に用いた地震のH/Vスペクトル比と、海域No.4地震のH/Vスペクトル比とを比較し、表層地盤の非線形化による影響について分析。
- 海域No.4地震のH/Vスペクトル比のピークは低周波数側にシフトしている傾向が認められ、表層地盤の非線形化による影響が示唆される。
- また、海域No.4地震のH/Vスペクトル比のピークはNS方向とEW方向で異なる傾向にあり、上記の非線形化の影響は成分ごとに異なると考えられる。

荒浜側



大湊側



- 海域No.4地震については、表層地盤の非線形化による影響で、精度の高い解放基盤波を推定できていないことが、荒浜側と大湊側の差異に影響しているものと考えられる。

- 鉛直アレイで観測された小規模地震の記録を対象とした検討より、以下を確認。
 - 解放基盤表面以浅においては、到来方向による顕著な差異は確認されないため、地下構造の不整形性などの影響はないと考えられること。
 - 解放基盤表面以深においては、敷地の南西側で発生した地震において、荒浜側と大湊側で増幅特性が異なるため、地下構造の不整形性などの影響があると考えられること。
一方、その他の方向で発生した地震では、荒浜側と大湊側で増幅特性の差異は確認されず、地下構造の不整形性などの影響はないと考えられること。

1. はじめに

2. 地震観測記録の分析

- (1) 2007年中越沖地震の地震観測記録
- (2) 鉛直アレイ観測記録
- (3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録
- (4) 水平アレイ観測記録

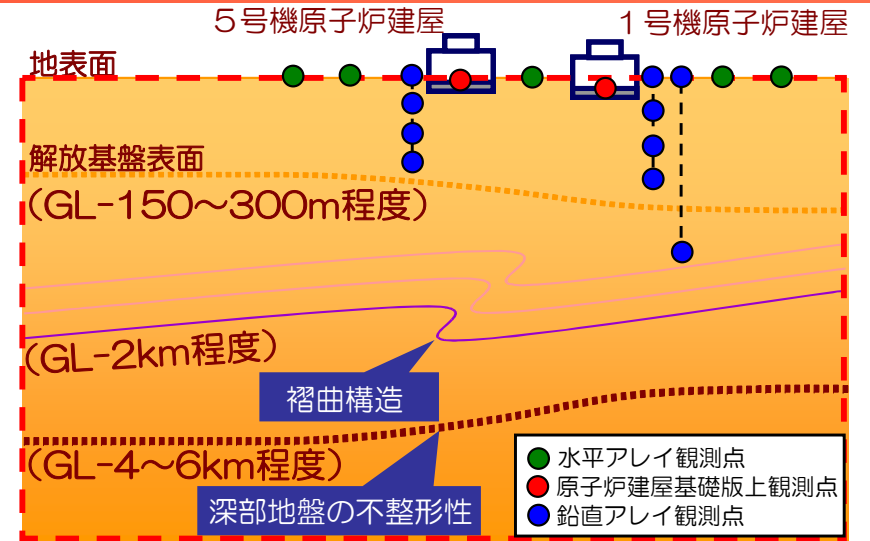
3. 地下構造調査結果の分析

4. 地下構造モデルを用いた解析的検討

5. 基準地震動評価への反映事項

敷地の増幅特性に関する検討の概要

- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。



2.(2)b.鉛直アレイ観測（小規模地震）

地表観測点／地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認

2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録

5号機を基準としてスペクトル比を算定
大湊側はばらつきが小さい
荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる

2.(4)水平アレイ観測記録

5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認
荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない
大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない

解放基盤表面以浅の影響

古い褶曲構造の影響

深部地盤における不整形性

2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録

耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい

2.(2)a.鉛直アレイ観測記録（中規模地震）

【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい
【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度

2.(2)b.鉛直アレイ観測記録（小規模地震）

荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析

4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討

敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認

2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録

耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る

2.(2)a.鉛直アレイ観測記録（中規模地震）

【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る
【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る

敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認

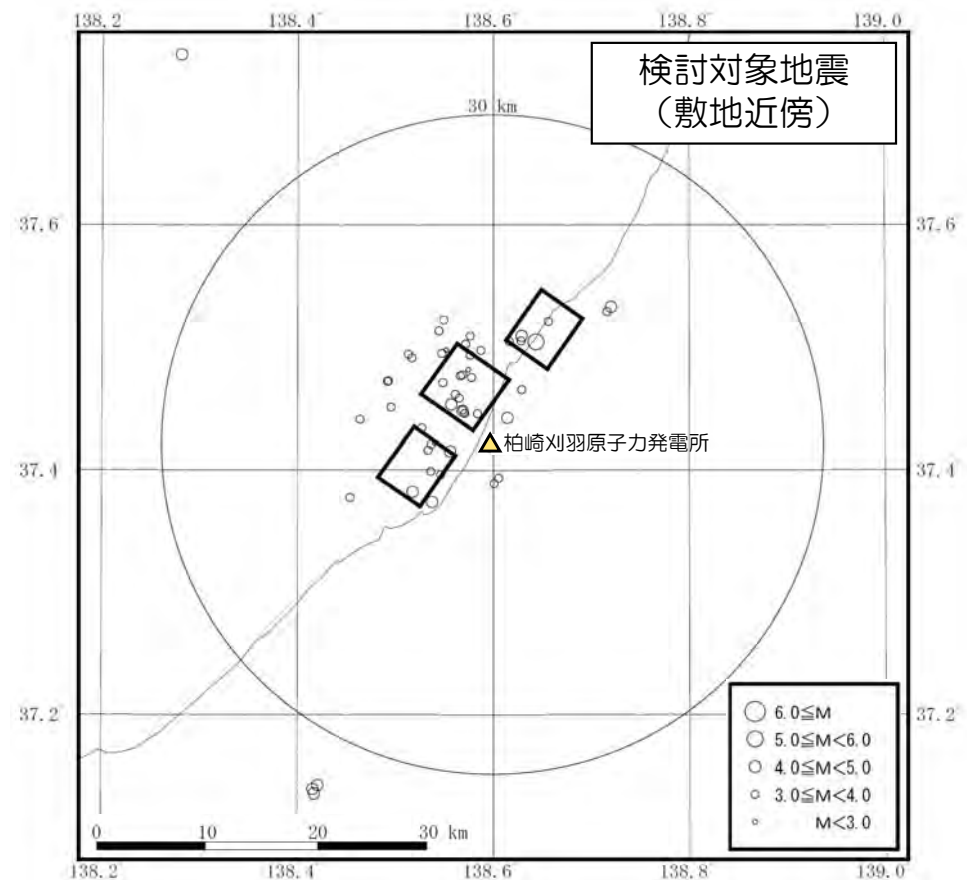
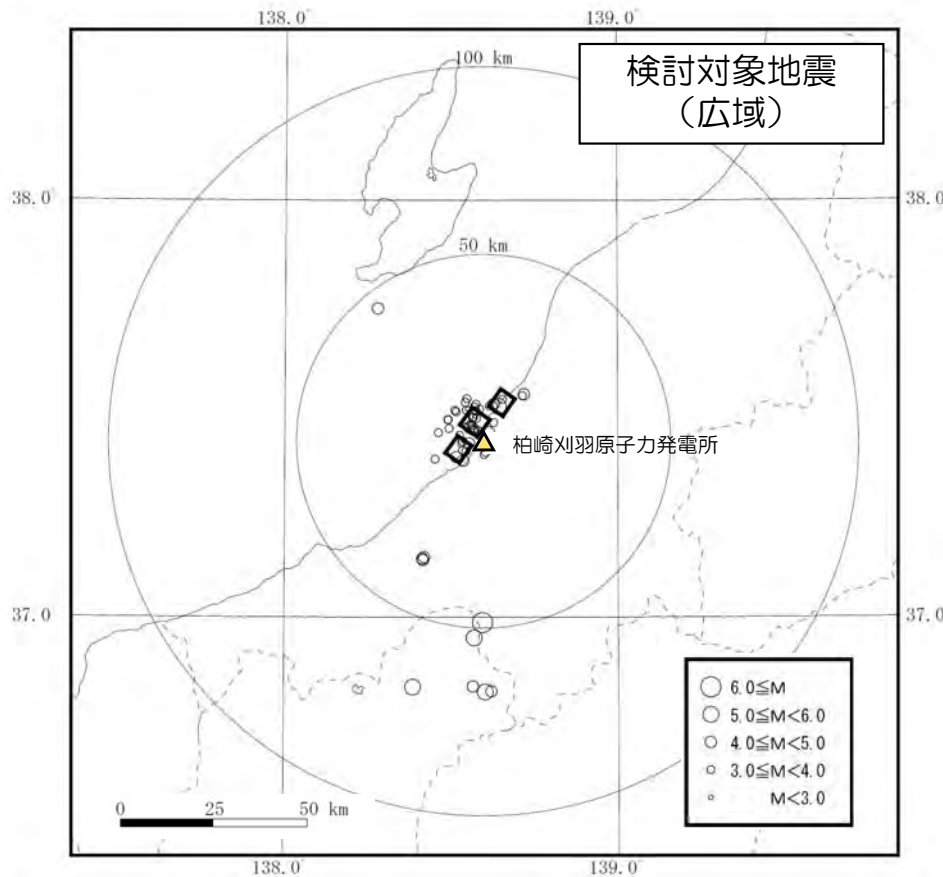
4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討

3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認

■ 各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録について、5号機を基準として応答スペクトル比をとることで、各号機の地震動特性について検討。

■ 検討対象地震

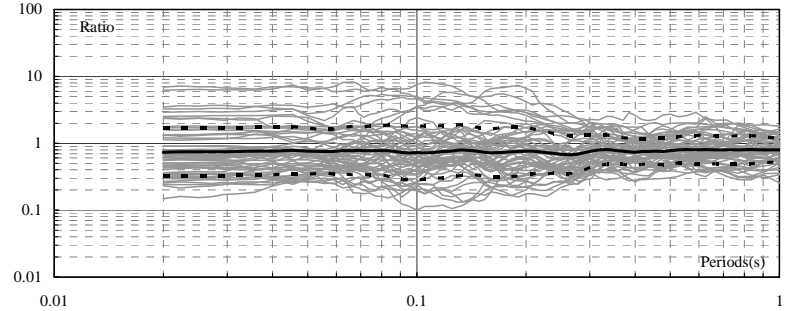
- ・ 全号機で記録が得られている地震
- ・ 震源距離100km以内
- ・ 最大加速度値が1Gal程度以上



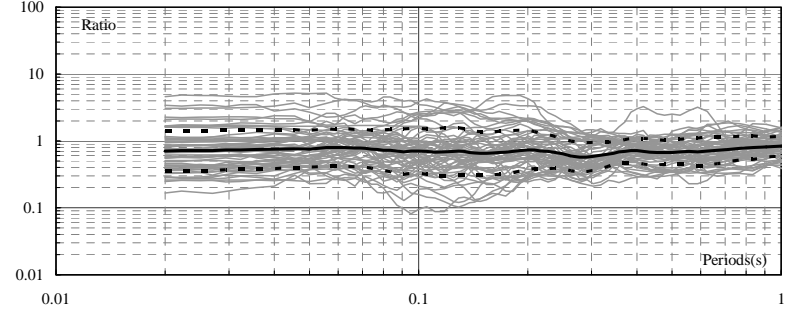
5号機に対する各号機の応答スペクトル比 (NS方向)

荒浜側

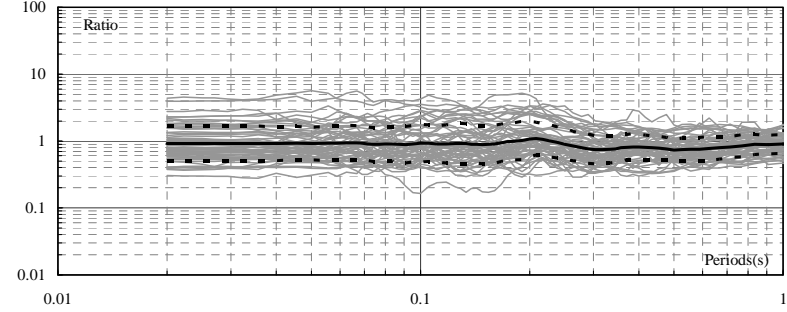
応答スペクトル比
1号機/5号機



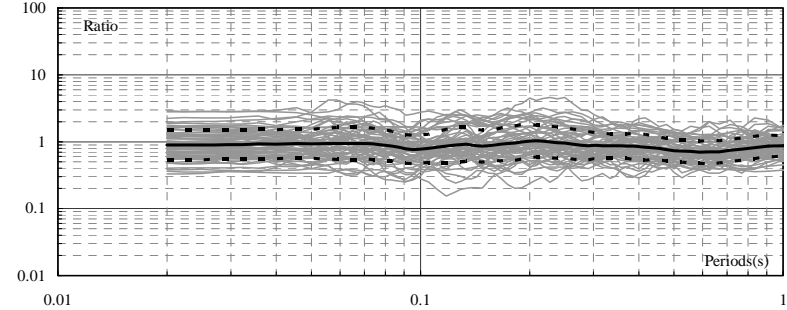
応答スペクトル比
2号機/5号機



応答スペクトル比
3号機/5号機



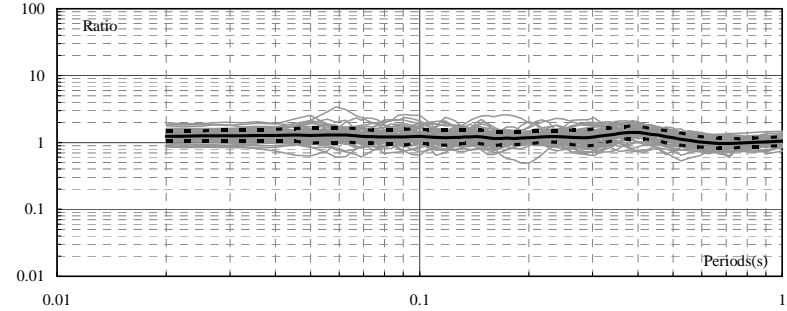
応答スペクトル比
4号機/5号機



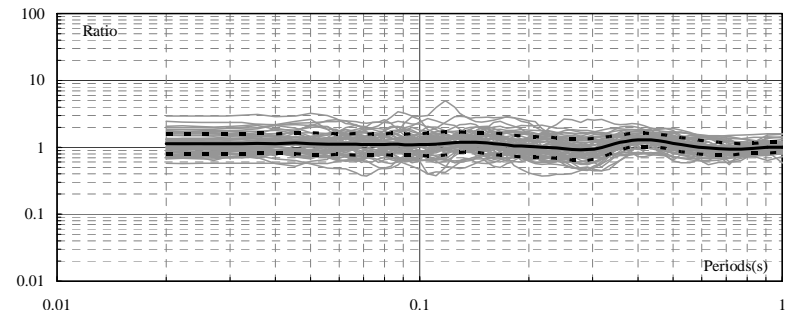
周期(秒)

大湊側

応答スペクトル比
6号機/5号機



応答スペクトル比
7号機/5号機



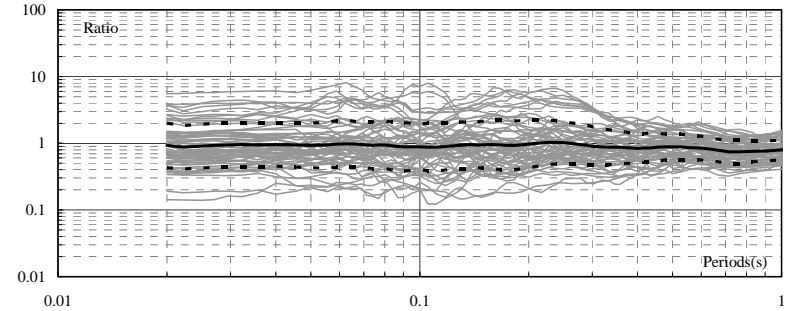
周期(秒)

- 大湊側 (5~7号機側) は、ばらつきが小さく、号機間の差はわずか。
- 荒浜側 (1~4号機側) は、大湊側 (5~7号機側) と傾向が異なる。

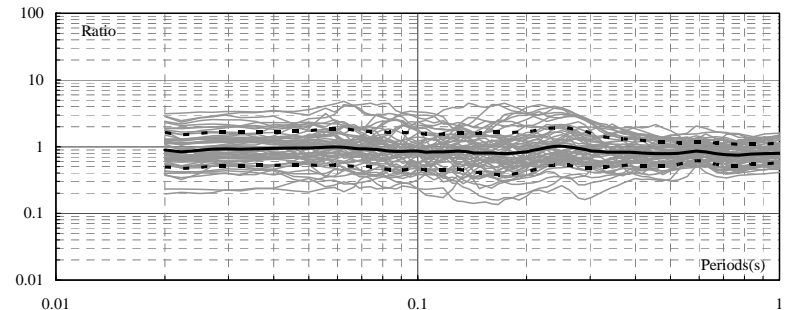
5号機に対する各号機の応答スペクトル比 (EW方向)

荒浜側

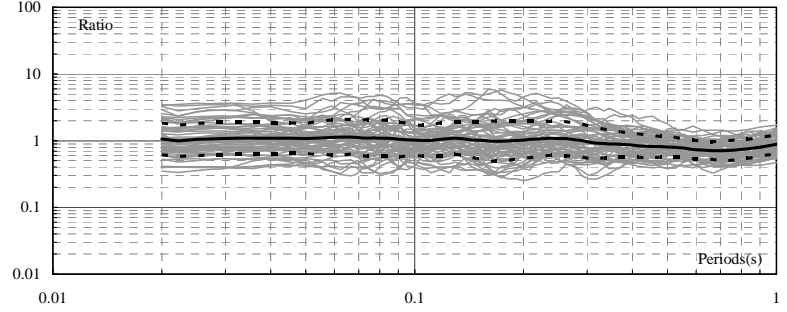
応答スペクトル比
1号機/5号機



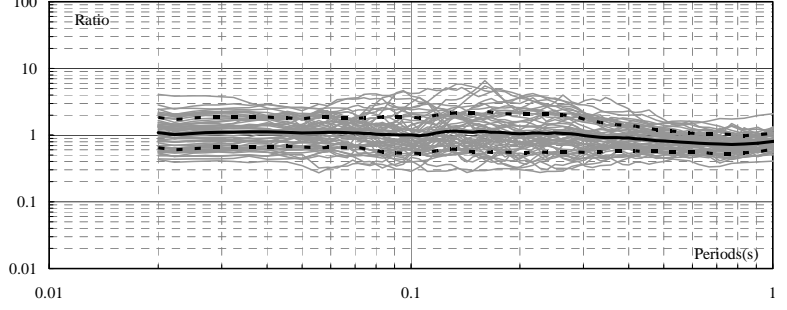
応答スペクトル比
2号機/5号機



応答スペクトル比
3号機/5号機



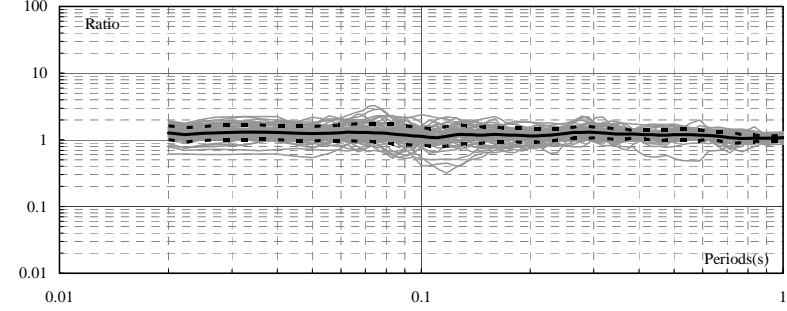
応答スペクトル比
4号機/5号機



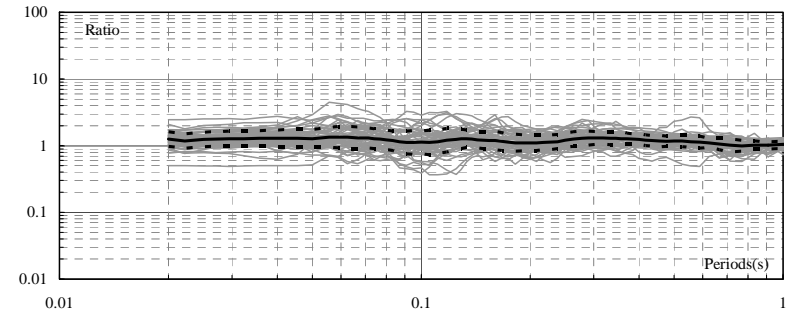
周期(秒)

大湊側

応答スペクトル比
6号機/5号機



応答スペクトル比
7号機/5号機



周期(秒)

- 大湊側 (5~7号機側) は、ばらつきが小さく、号機間の差はわずか。
- 荒浜側 (1~4号機側) は、大湊側 (5~7号機側) と傾向が異なる。

(3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録 小括

- 原子炉建屋基礎版上の観測記録を対象とした検討より、以下を確認。
 - 大湊側（5～7号機側）は、ばらつきが小さく、号機間の差はわずかであること。
 - 一方、荒浜側（1～4号機側）は、大湊側（5～7号機側）と傾向が異なること。
 - 上記の傾向は、中越沖地震の観測記録に基づく解放基盤波が荒浜側の1～4号機、大湊側の5～7号機で傾向が一致することと調和的であること。

1. はじめに

2. 地震観測記録の分析

- (1) 2007年中越沖地震の地震観測記録
- (2) 鉛直アレイ観測記録
- (3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録
- (4) 水平アレイ観測記録

3. 地下構造調査結果の分析

4. 地下構造モデルを用いた解析的検討

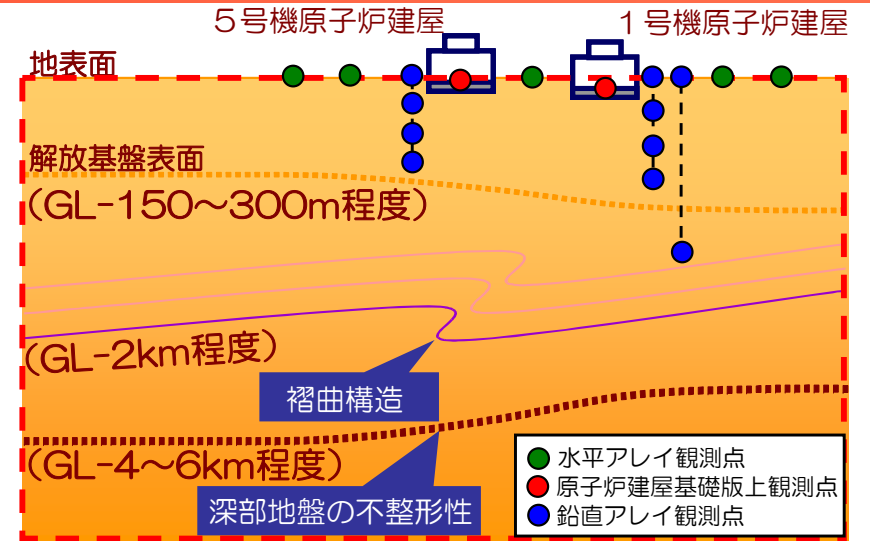
5. 基準地震動評価への反映事項

増幅特性の顕著な差が確認される周期帯について

		内容	説明概要	ページ
9	H27 2/13	水平アレイによる到来方向別の検討について、従来の評価よりも短周期側でのみ増幅する傾向にあるため、従来評価との対応関係について説明すること。	・対象地震の観測記録は、0.1～0.2秒付近の成分が支配的であり、それ以外の周期帯に対しては相対的に成分が少ないため感度が低いと考えられることをご説明。	74～75

敷地の増幅特性に関する検討の概要

- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。



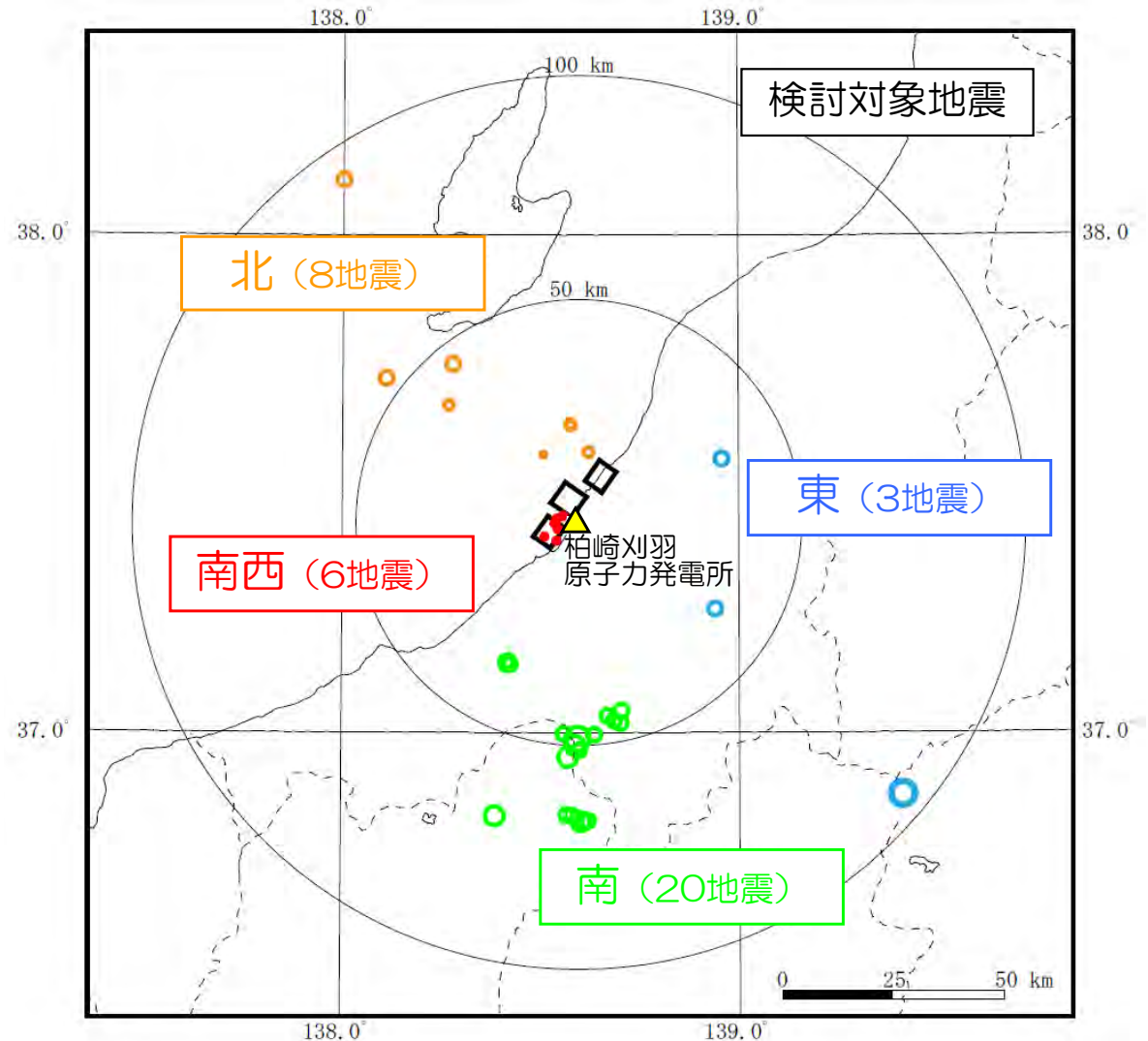
解放基盤表面以浅の影響	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認</p>				<p>2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録</p> <p>5号機を基準としてスペクトル比を算定</p> <p>大湊側はばらつきが小さい</p> <p>荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる</p>	<p>2.(4)水平アレイ観測記録</p> <p>5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認</p> <p>荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない</p> <p>大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない</p>
古い褶曲構造の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖と同じ傾向)</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度</p>	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析</p>	<p>4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認</p>		
深部地盤における不整形性の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る</p>	<p>敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認</p>	<p>4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認</p>		

■地震の発生した領域を到来方向別に区分し、5号機周辺の観測点を基準としてフーリエスペクトル比をとり、敷地内の各観測点間の地震動特性の差異を検討。

■検討対象地震

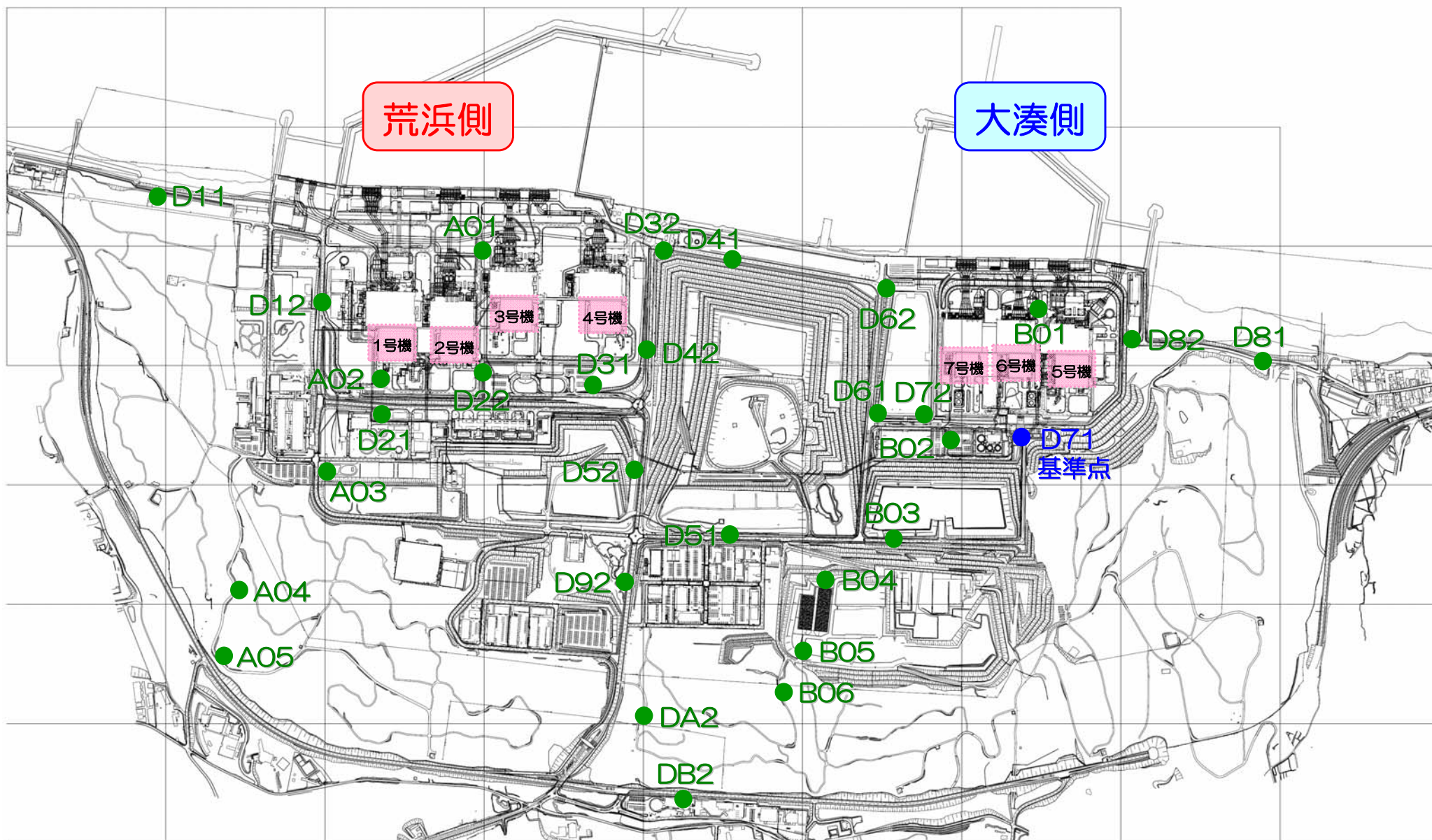
- ・ M4.0以上
- ・ 震源距離100km以内
- ・ 基準とした観測点（D71観測点）での最大加速度値が1Gal程度以上

※但し、新潟県上中越沖においては、M4.0以上の地震が発生していないが、中越沖地震の震源域であることから、マグニチュードの小さい地震についても検討に加えている。

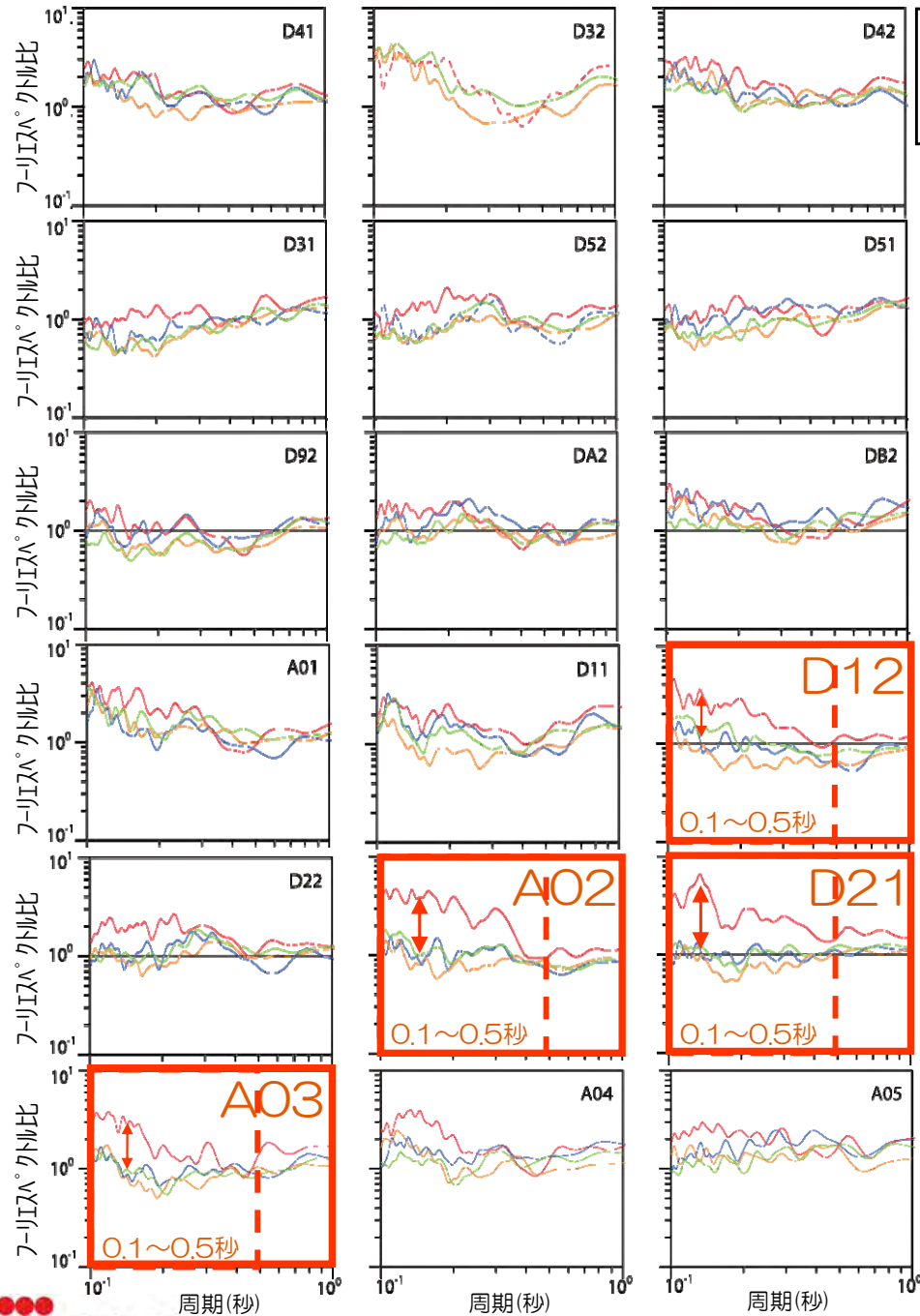


敷地地表における水平アレイ観測点

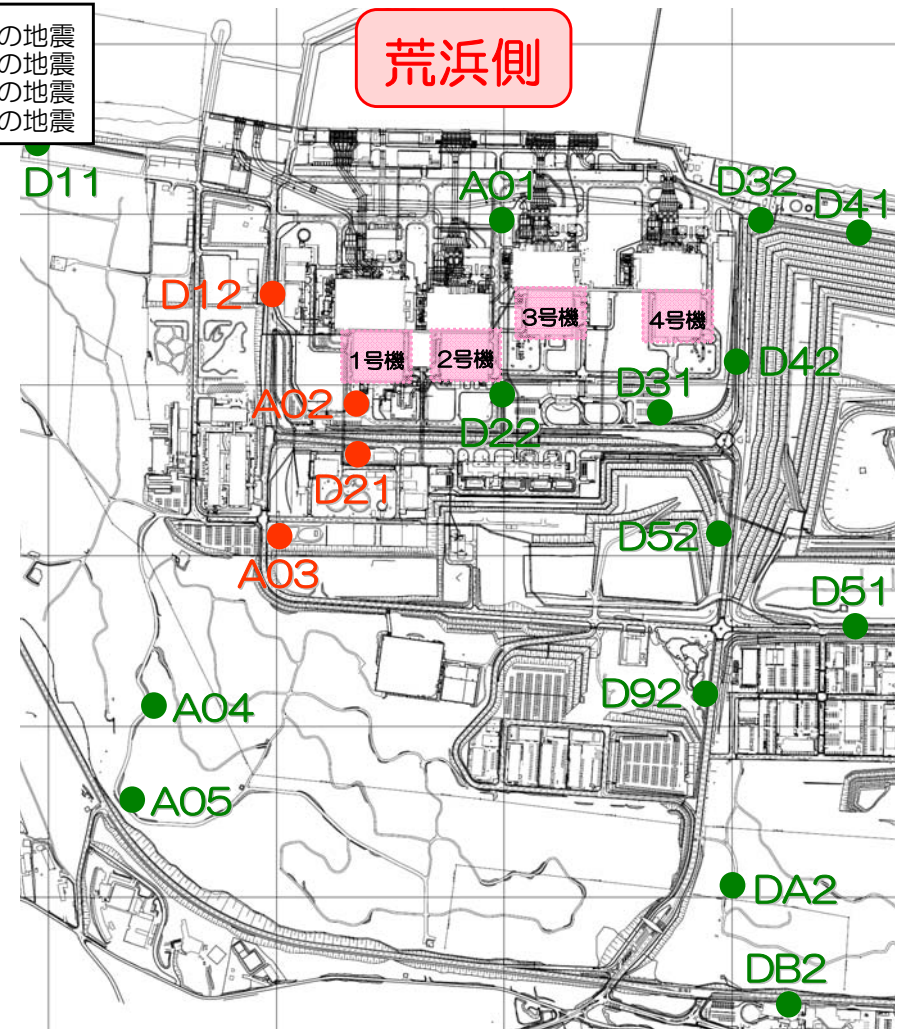
敷地地表の30点に地震計を稠密に配置し、連続観測を実施中。



到来方向別のフーリエスペクトル比 (NS成分とEW成分の幾何平均)



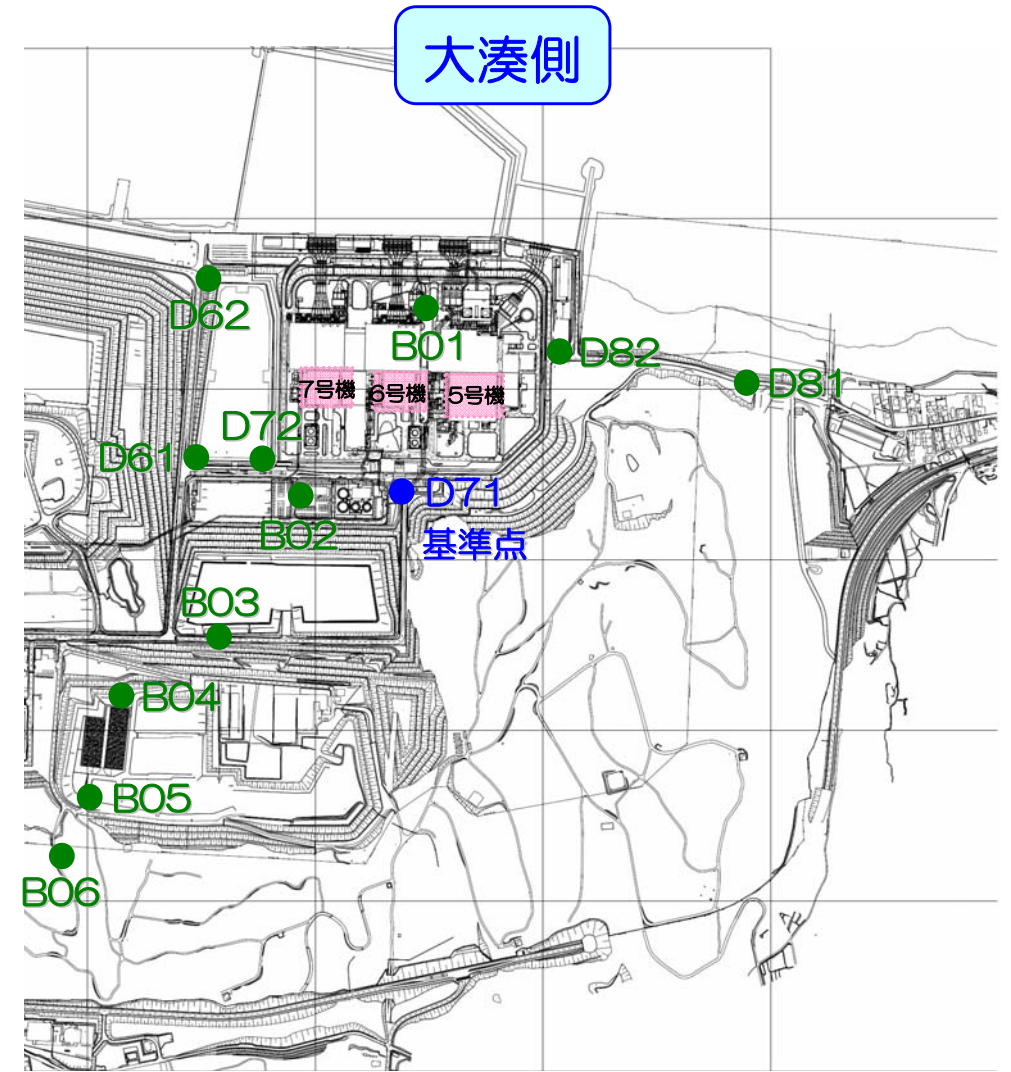
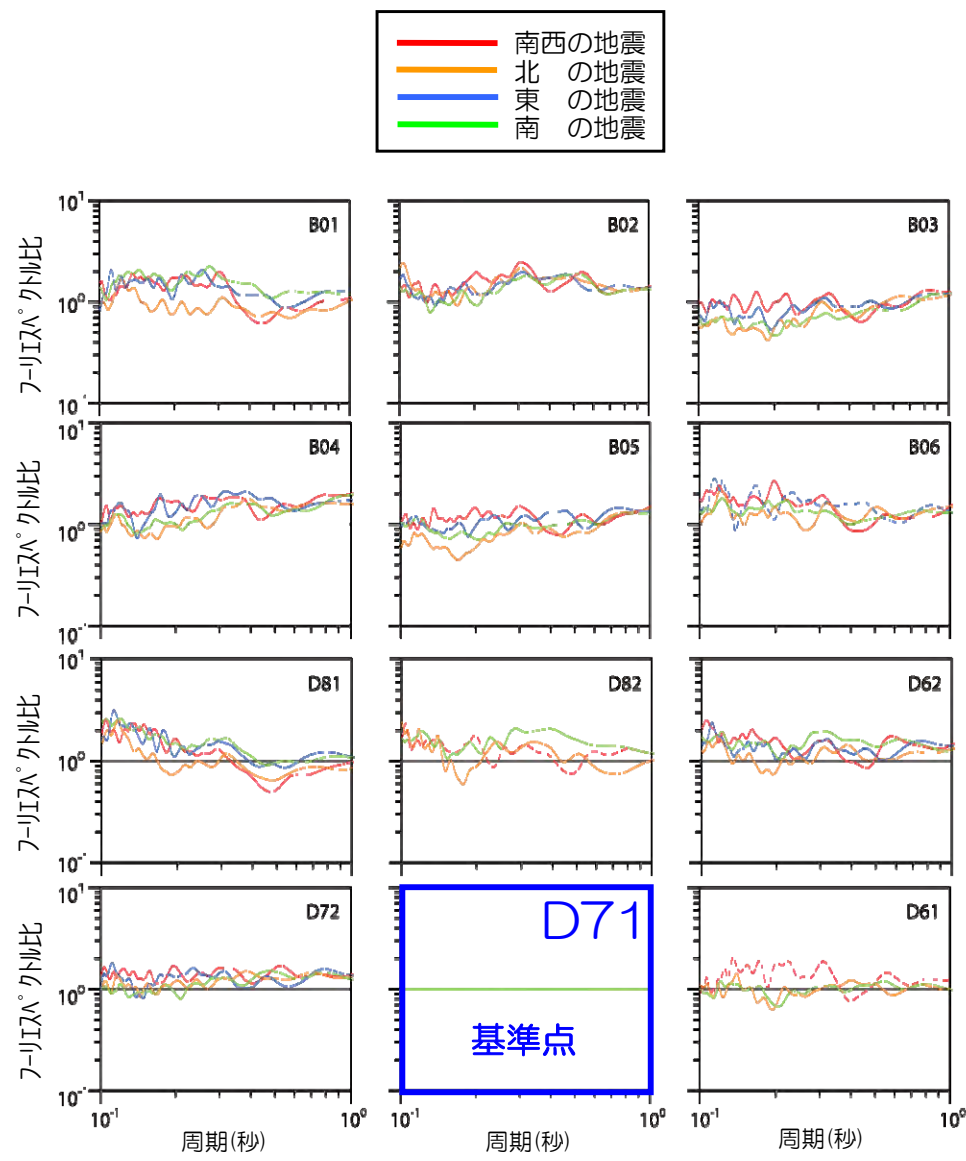
— 南西の地震
— 北の地震
— 東の地震
— 南の地震



■ 敷地の南西側で発生した地震では、特に1号機周辺で顕著な増幅が確認される。

■ その他の方向で発生した地震では、特異な増幅は見られない。

到来方向別のフーリエスペクトル比 (NS成分とEW成分の幾何平均)

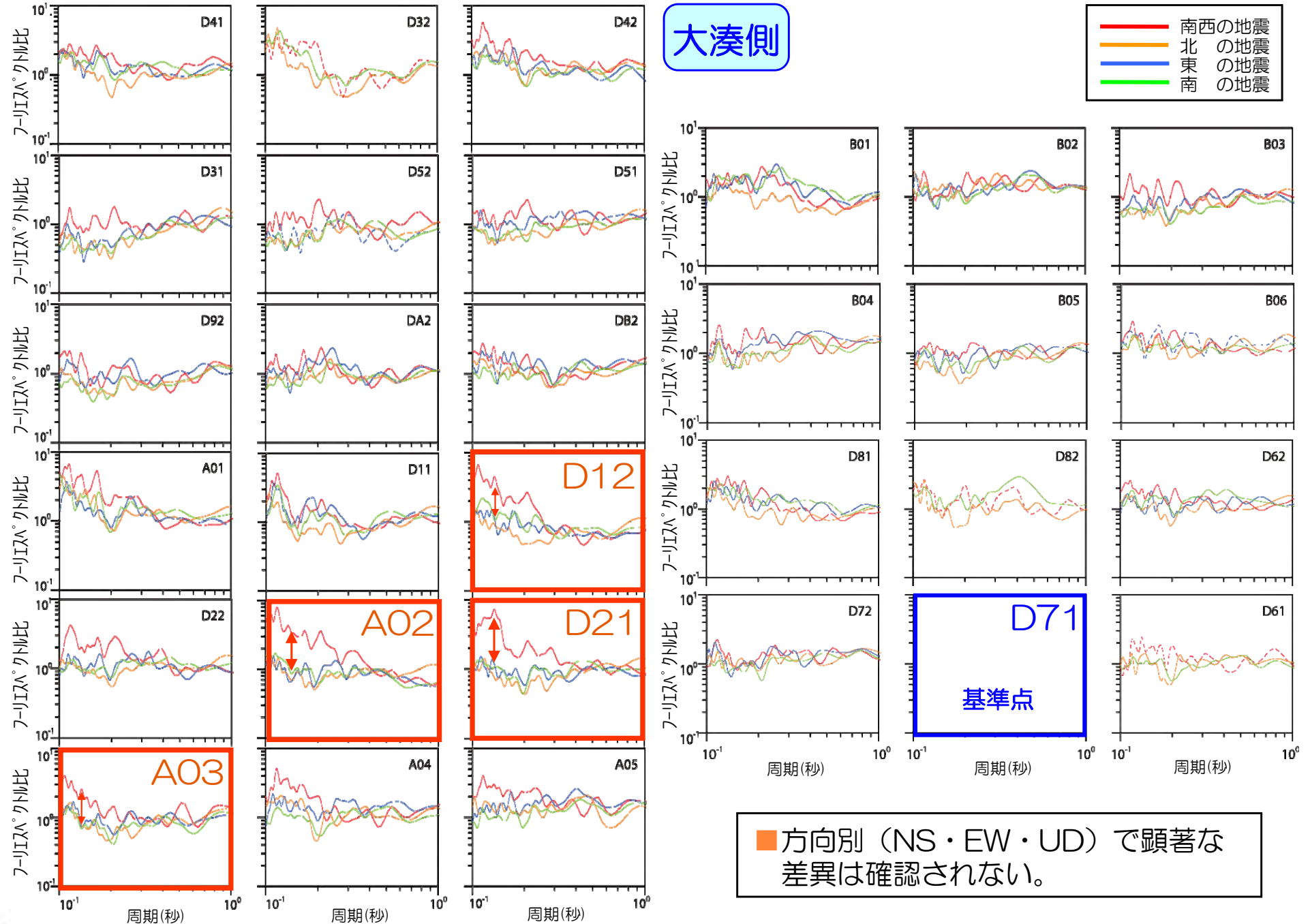
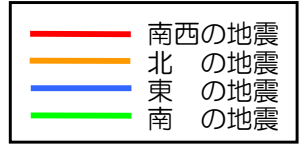


■ 全ての方向で発生した地震について、特異な増幅は見られない。

【参考】 到来方向別のフーリエスペクトル比 (NS方向)

荒浜側

大湊側

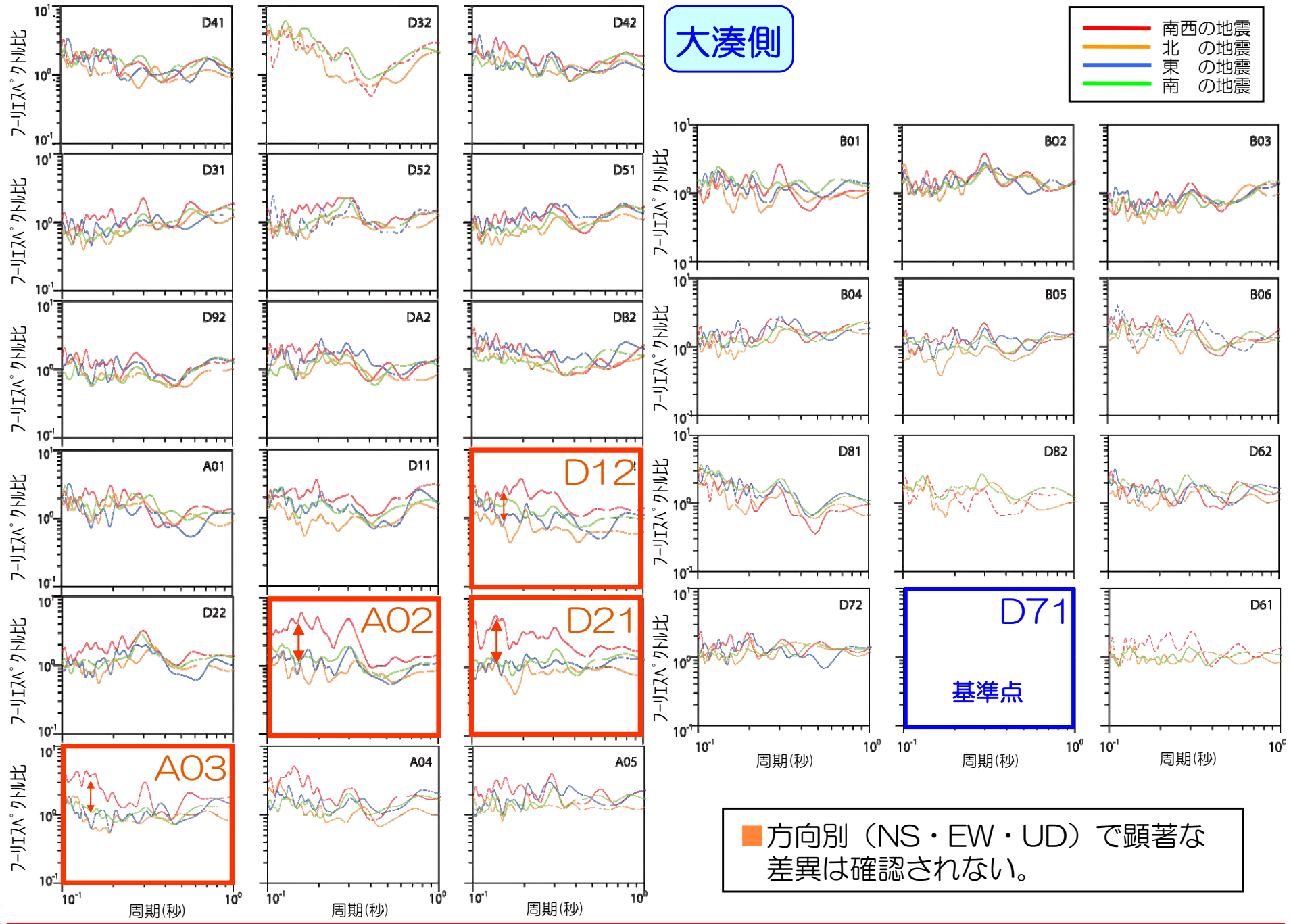
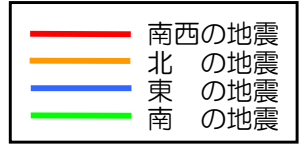


■ 方向別 (NS・EW・UD) で顕著な差異は確認されない。

【参考】 到来方向別のフーリエスペクトル比 (EW方向)

荒浜側

大湊側



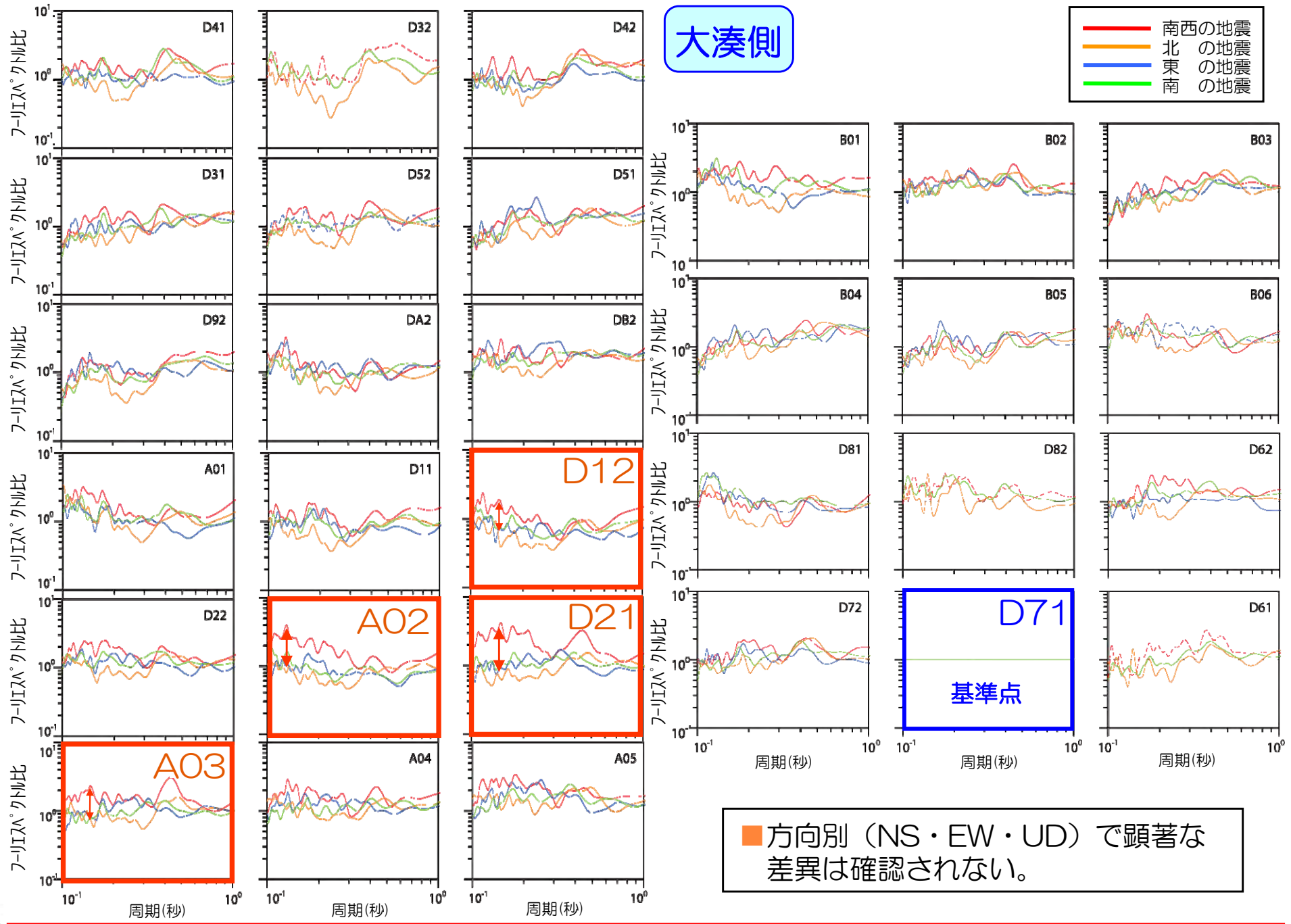
■ 方向別 (NS・EW・UD) で顕著な差異は確認されない。

【参考】 到来方向別のフーリエスペクトル比 (UD方向)

荒浜側

大湊側

— 南西の地震
— 北の地震
— 東の地震
— 南の地震



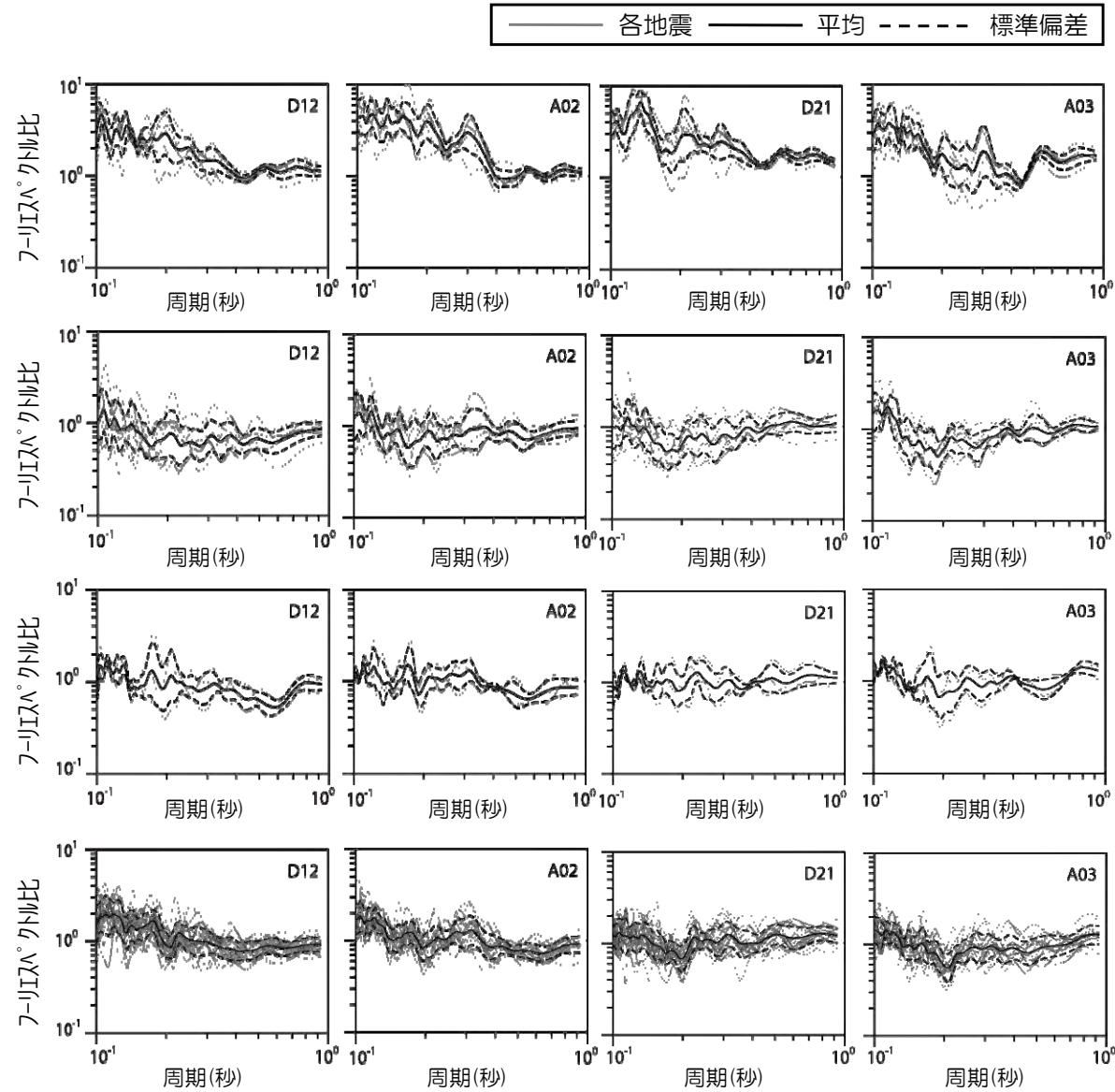
領域別のフーリエスペクトル比のばらつき

南西の地震

北の地震

東の地震

南の地震



■ 区分された領域内におけるばらつきが大きくないことを確認。

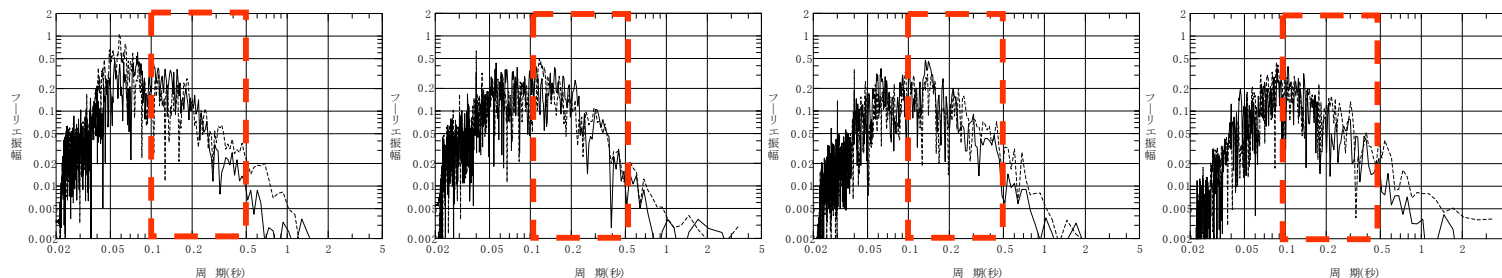
到来方向別の差が確認される周期帯について

コメント
No.9

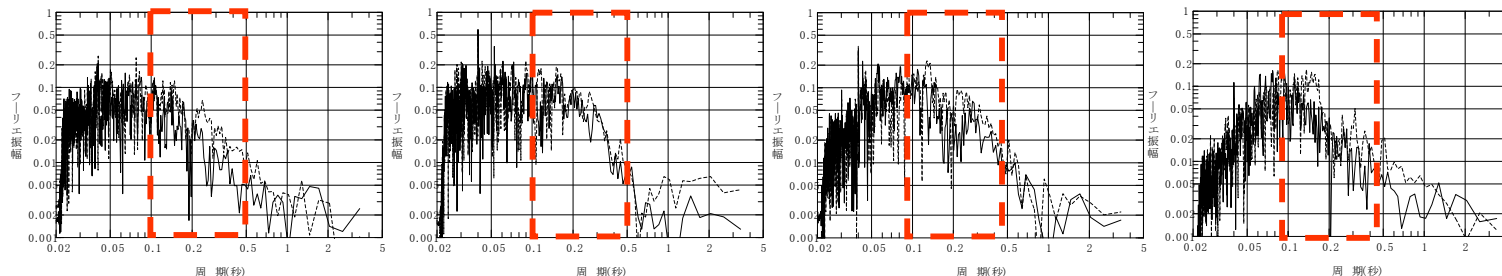
南西の地震

— : NS成分
- - - : EW成分

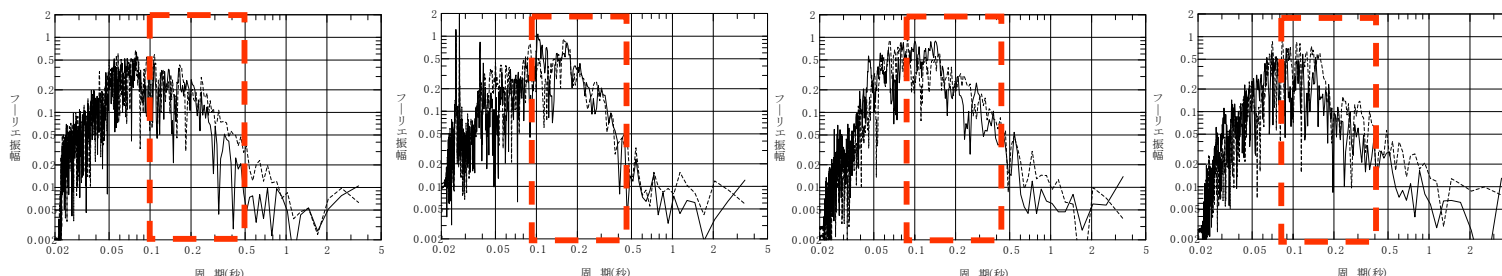
2011/4/9 19:56
(M1.7)



2011/7/8 03:30
(M1.5)



2011/12/15 15:29
(M1.9)



D12

A02

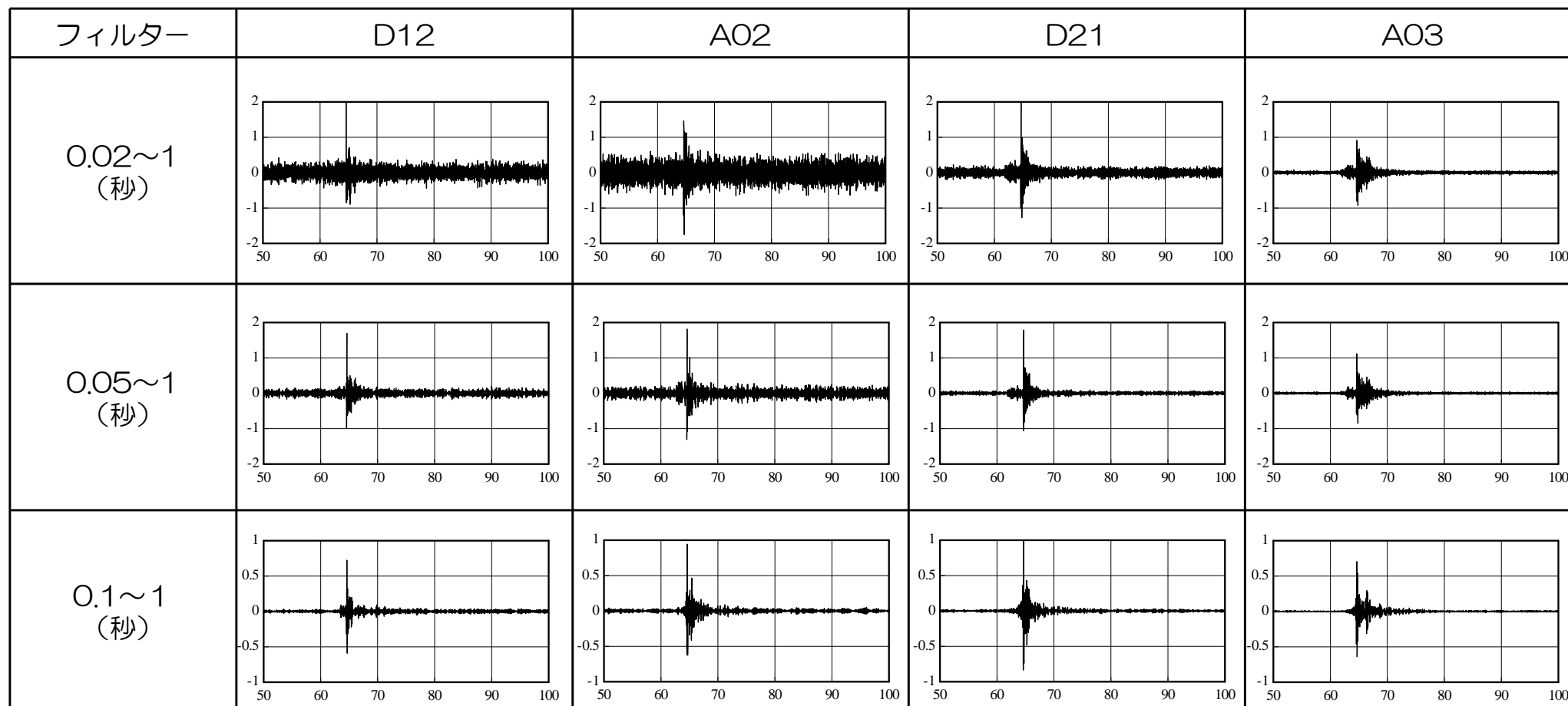
D21

A03

- 概ね0.1~0.2秒付近の成分が支配的であり、それ以外の周期帯に対しては相対的に成分が少ない。
- 0.3~0.5秒付近においては感度が低いため、到来方向別の差が顕著に確認されないものと考えられる。

南西の地震

2011/7/8 03:30 (M1.5) EW成分

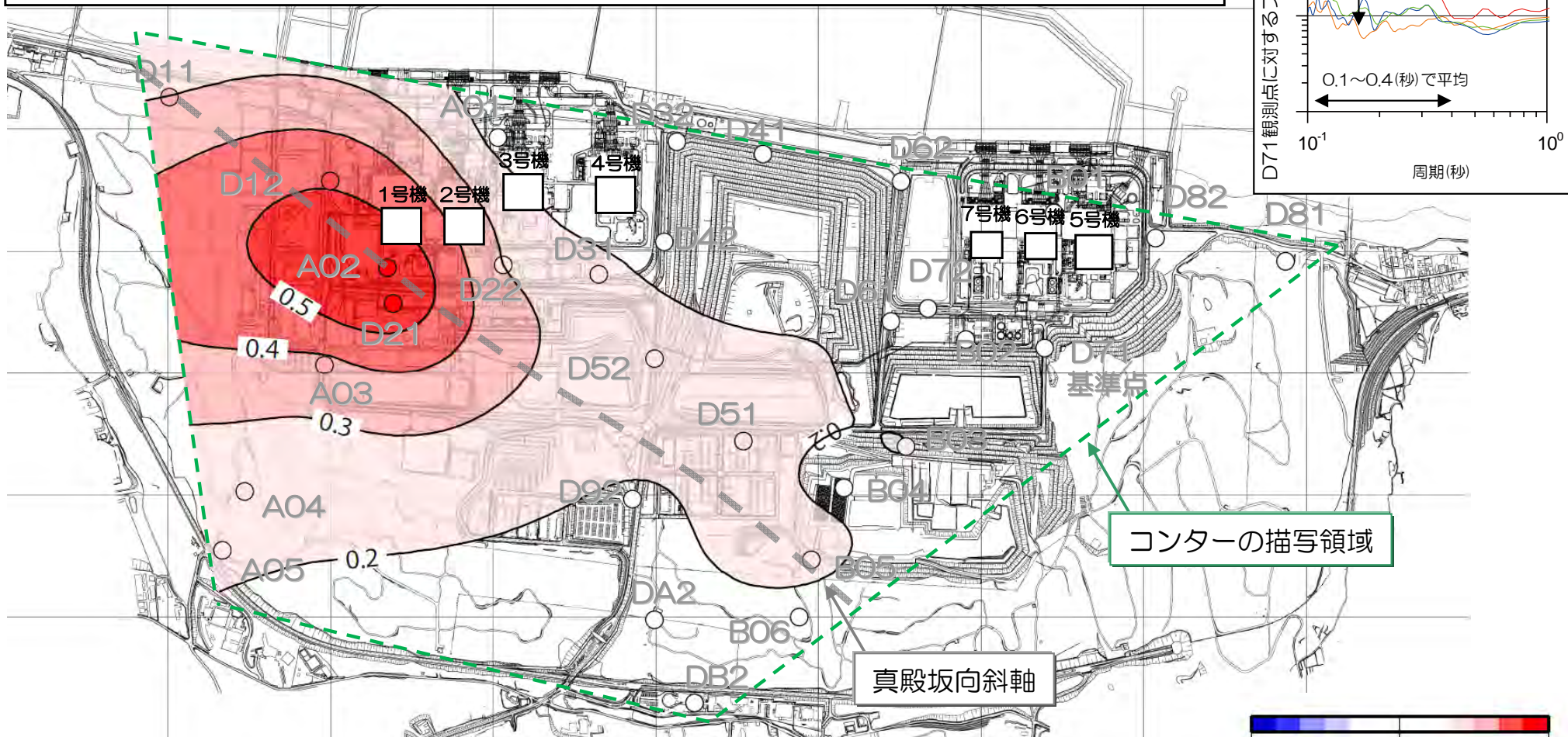


注) 縦軸は加速度 (Gal) , 横軸は時間 (秒)

■ 周期0.1秒以下の周期帯においては、ノイズの成分が支配的であるため分析においては、周期0.1~1秒を使用。

南西から到来する地震波が顕著に増幅する領域

- 各地点における地下構造の不整形性の影響を抽出するため、顕著な影響がない北側の地震に対する、南西側の地震の比を算定。
- 南西方向からの地震波が増幅する領域は1号機周辺で確認されるが、その他の領域については、顕著な増幅が確認されない。
- 南西方向からの地震波が増幅する領域は、真殿坂向斜軸と対応している。



注1) 数値及び色はフーリエスペクトル比の常用対数を示している。(1.0は10倍, 0.6は約4倍)
 注2) 赤い地点ほど南西側の地震に対する応答が北側の地震よりも相対的に大きいことを意味する。
 注3) コンターは観測点間で補完しており、観測点がない端部は外挿となるため緑点線以内の領域を描写している。

(4) 水平アレイ観測記録 小括

■ 水平アレイ観測記録を対象とした検討より、以下を確認。

- 荒浜側は、南西から到来する地震動のみ、大湊側よりも大きくなり、その傾向は特に1号機周辺の観測点において顕著であること。
- その他の到来方向については、敷地内において顕著な増幅特性の差は生じないこと。
- 上記の傾向は、中越沖地震の観測記録や鉛直アレイ観測記録の分析結果と調和的であること。

2. 地震観測記録の分析 まとめ

- 中越沖地震の観測記録及び鉛直アレイ観測記録より、以下を確認。
 - ・ 中越沖地震など海域で発生した地震については、耐専スペクトルと比較して大きくなり、荒浜側と大湊側で地震動特性が異なること。特に敷地南西で発生した地震については、その差が顕著となること。
 - ・ 陸域で発生した地震については、耐専スペクトルと比較して小さく、荒浜側と大湊側で地震動特性に特異な差は確認されないこと。

- 水平アレイ地震観測記録より、以下を確認。
 - ・ 荒浜側は、南西から到来する地震動のみ、大湊側よりも大きくなり、その傾向は特に1号機周辺において顕著であること。
 - ・ その他の到来方向については、敷地内において顕著な増幅特性の差は生じないこと。

- 中越沖地震の観測記録及び原子炉建屋基礎版上の観測記録より、以下を確認。
 - ・ 敷地内の地震動特性は荒浜側と大湊側にグルーピングできること。

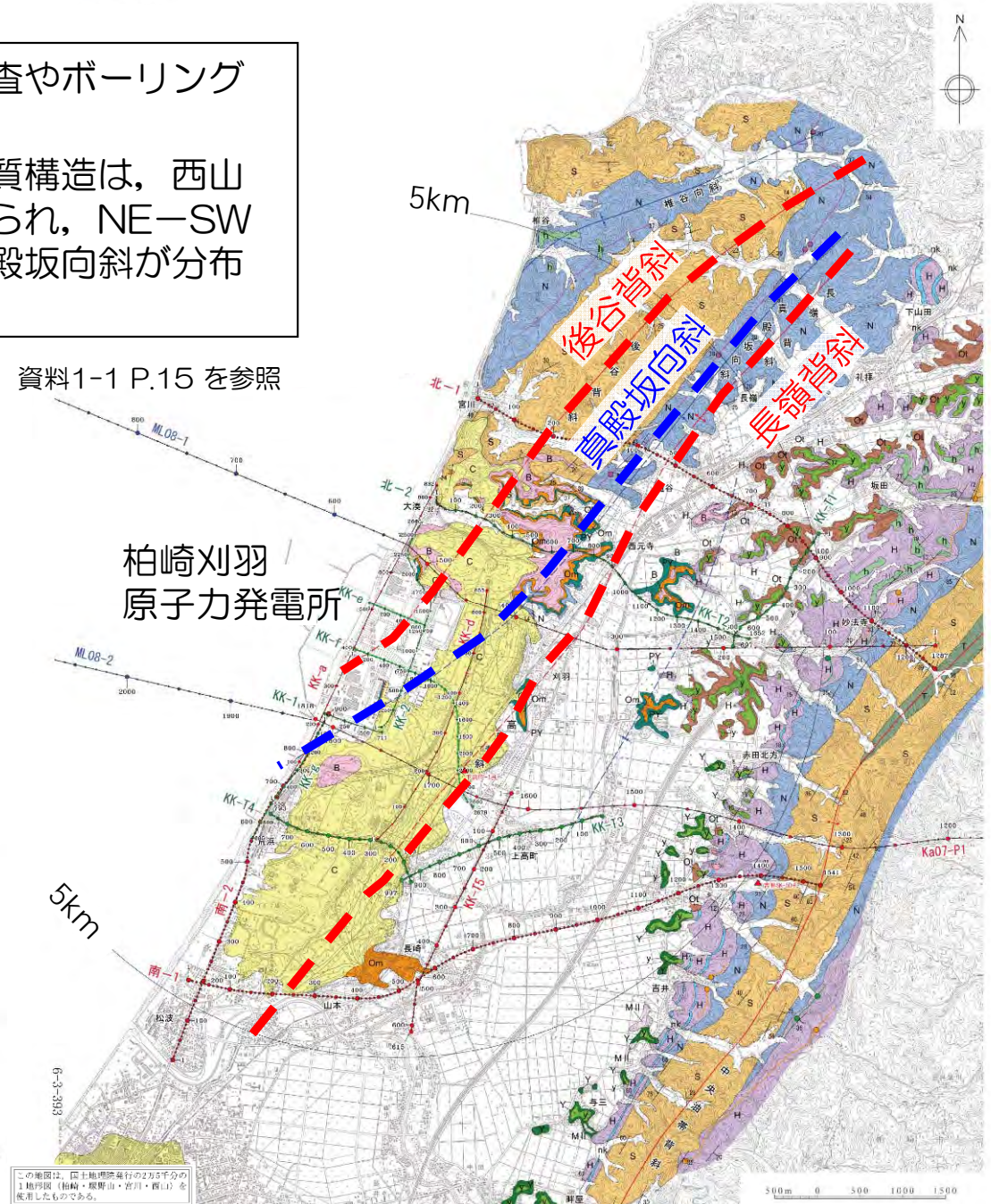
-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

- 柏崎刈羽原子力発電所周辺における反射法探査やボーリング等の調査結果により広域の地下構造を把握。
- 柏崎刈羽原子力発電所敷地及び敷地近傍の地質構造は、西山層以下の地層にみられる褶曲構造に特徴付けられ、NE-SW方向の後谷背斜及び長嶺背斜，両背斜間に真殿坂向斜が分布することを確認。

※H26 1/24 審査会合 資料1-1 P.15 を参照

- 凡 例
- a 沖積層・盛土
 - C 新期砂層
 - MII MII 面堆積物 (MIS5e)
 - B 番神砂層 (MIS5e~4)
 - Om 大湊砂層 (MIS5e)
 - y 安田層上部層 (MIS5e)
 - Y 安田層下部層
 - PY 古安田層
 - h H面群堆積物
 - Ot 大坪層
 - H 灰爪層
 - nk 灰爪層 (石灰質砂岩)
 - N 西山層
 - S 椎谷層
 - T 寺泊層
 - Iz テフラ (○は確認地点)
 - Az テフラ
 - Zn テフラ
- テフラの名称は岸ほか (1996) による

- 向斜軸
- 背斜軸
- 層理面の走向・傾斜
- 東京電力㈱反射法地震探査測線
パイプレーター
- 東京電力㈱反射法地震探査測線
インパクト
- 東京電力㈱ケーブル探査測線
- 石油公団ボーリング位置



敷地近傍における地下構造調査の実施

- 敷地内においては以下の調査を実施し、敷地近傍の地下構造を把握。
- 反射法地震探査 7測線、 延長約18km※1
- ボーリング調査 約830孔、延長約71,500m
- 試掘坑調査 (5, 6, 7号炉) 延長約1,085m
- 立坑調査 3箇所 (荒浜側含む)

※1：広域調査を目的とした測線及び現在実施中の調査を除く
 ※2：H26 1/24 審査会合 資料1-1 P.38 を参照

- 凡 例
- ボーリング (平成19年度以降に実施)
 - ボーリング (既往調査)
 - 試掘坑調査
 - 立坑調査
 - 100 50 1 東京電力(株)反射法地震探査測線
パイプレーター
 - 100 50 1 東京電力(株)反射法地震探査測線
インパクト
 - 100 50 1 東京電力(株)ベイクケーブル探査測線
エアガン, パイプレーター
 - - - 敷地境界

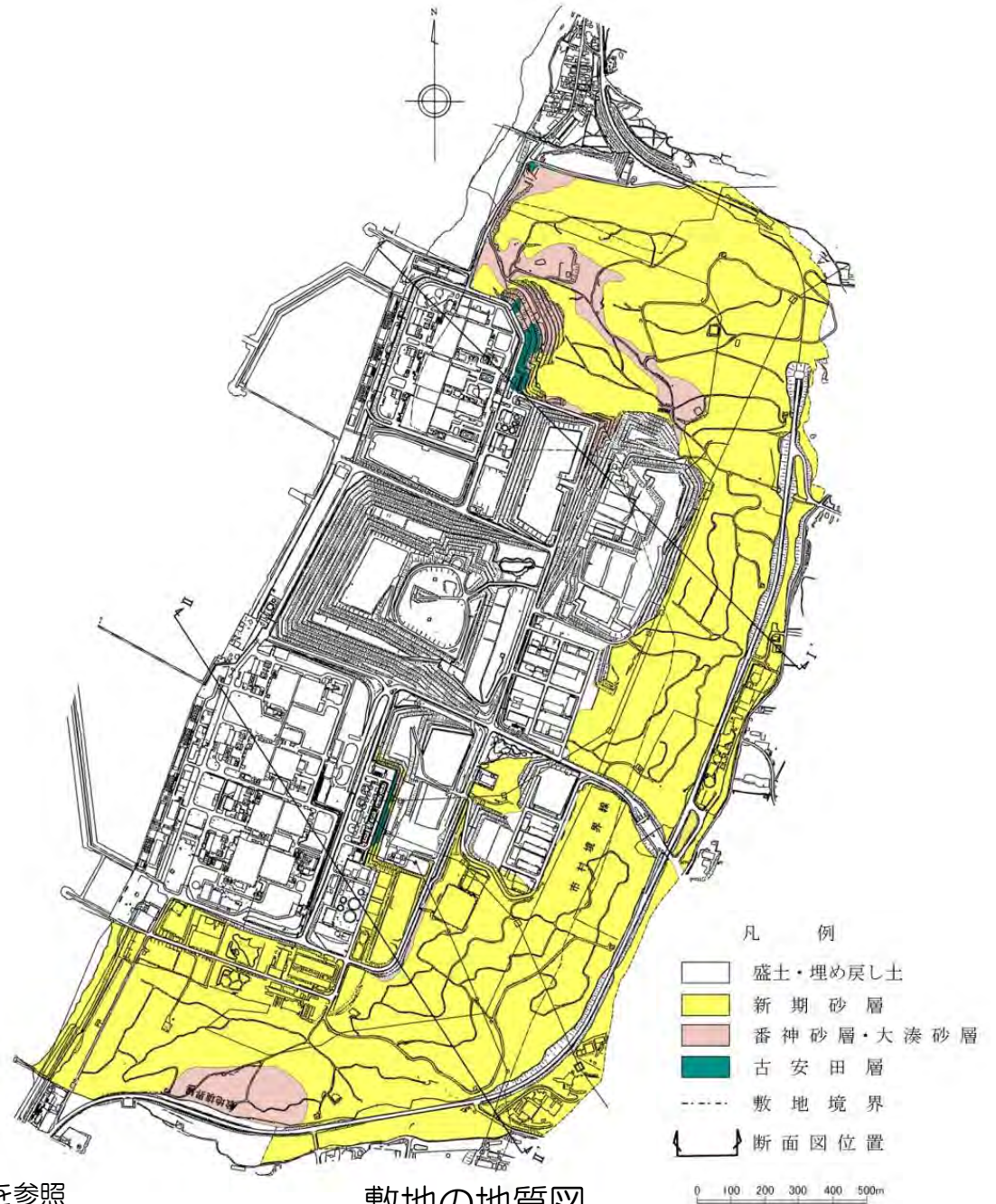


敷地の地質調査位置図

敷地の地質層序表

時代	地層名	主な層相・岩質	テフラ・放射年代		
第四紀	完新世	新期砂層	上部は灰白色の細～中粒砂 下部は茶褐色の細～中粒砂，腐植物を含む	腐植 (6, 150±170年)	
		後期	番神砂層		灰白色～赤褐色の中～粗粒砂
	更新世	大湊砂層	褐色～黄褐色の中～粗粒砂， シルトの薄層を含む	y-1 (刈羽テフラ) (約0.2Ma)	
		古安田層	A ₁ 部層		最上部は砂 粘土～シルト，砂を多く挟む
			A ₂ 部層	粘土～シルト 綿状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む	
			A ₃ 部層	粘土～シルト 砂，厚い砂礫，有機物を挟む	Ata-Th (約0.24Ma)
		前期	A ₄ 部層	粘土～シルト 砂，砂礫を挟む	Kkt (約0.33～0.34Ma)
			灰爪層	凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩	Iz (約1.5Ma)
	西山層		N ₃ 部層	砂質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 貝化石を含む	Fup (約2.2Ma)
			N ₂ 部層	シルト質泥岩 綿状泥岩，凝灰岩，ノジュールを多く挟む	Tsp (約2.3Ma) Az (約2.4Ma)
N ₁ 部層		シルト質～粘土質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む	Nt-17 (340±20万年) Nt-7 (350±20万年)		
第三紀	後期	椎谷層	砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む		
	前期	寺泊層	黒色泥岩，砂岩・泥岩互層		

不整合

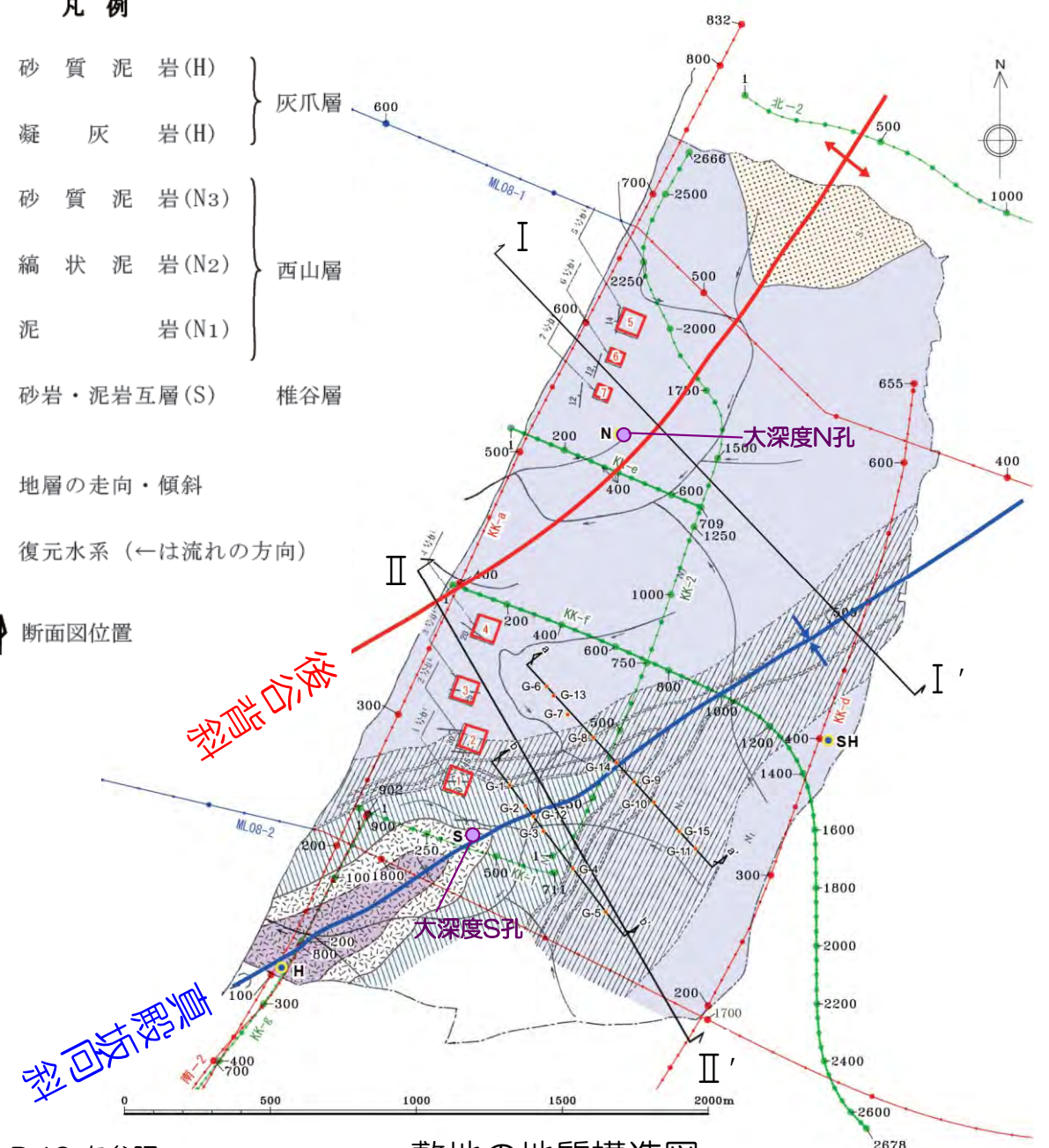
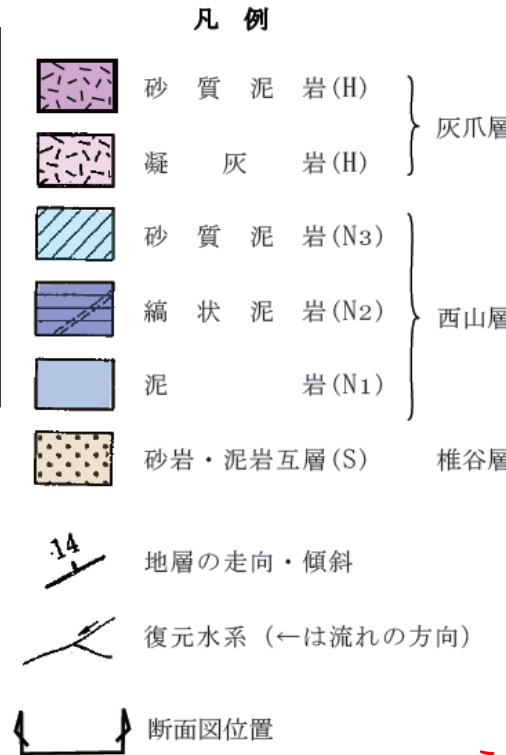


※H26 1/24 審査会合 資料1-1 P.39 を参照

敷地の地質図

敷地の地質構造

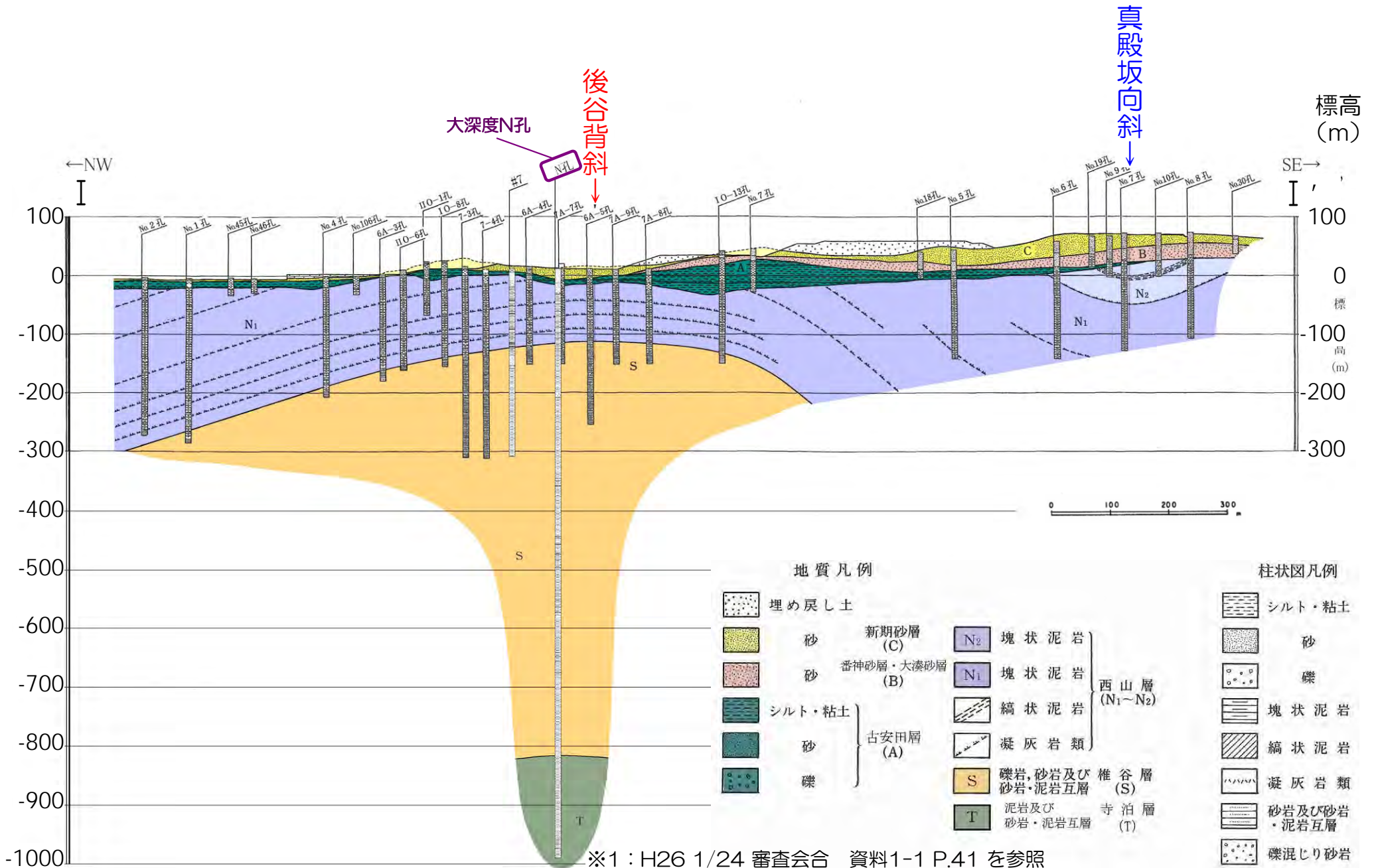
- 敷地北部では椎谷層が上位の西山層に囲まれて、敷地南西部では灰爪層が下位の西山層に囲まれて分布。
- 後谷背斜及び真殿坂向斜は、NE-SW方向に連続し、全体としてSW方向にプランジしている。



※H26 1/24 審査会合 資料1-1 P.40 を参照

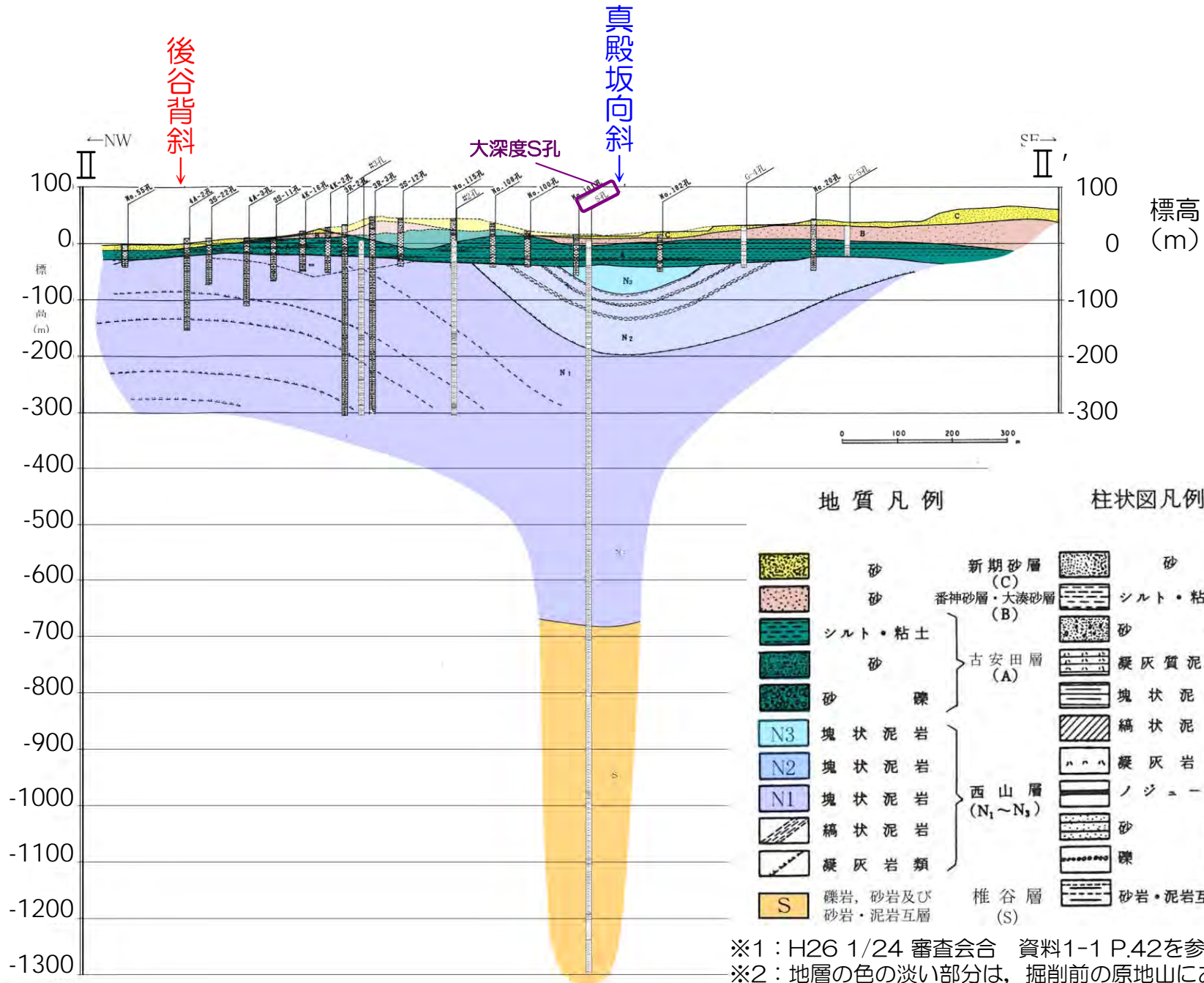
敷地の地質構造図

敷地の地質断面図 (I - I' 断面)



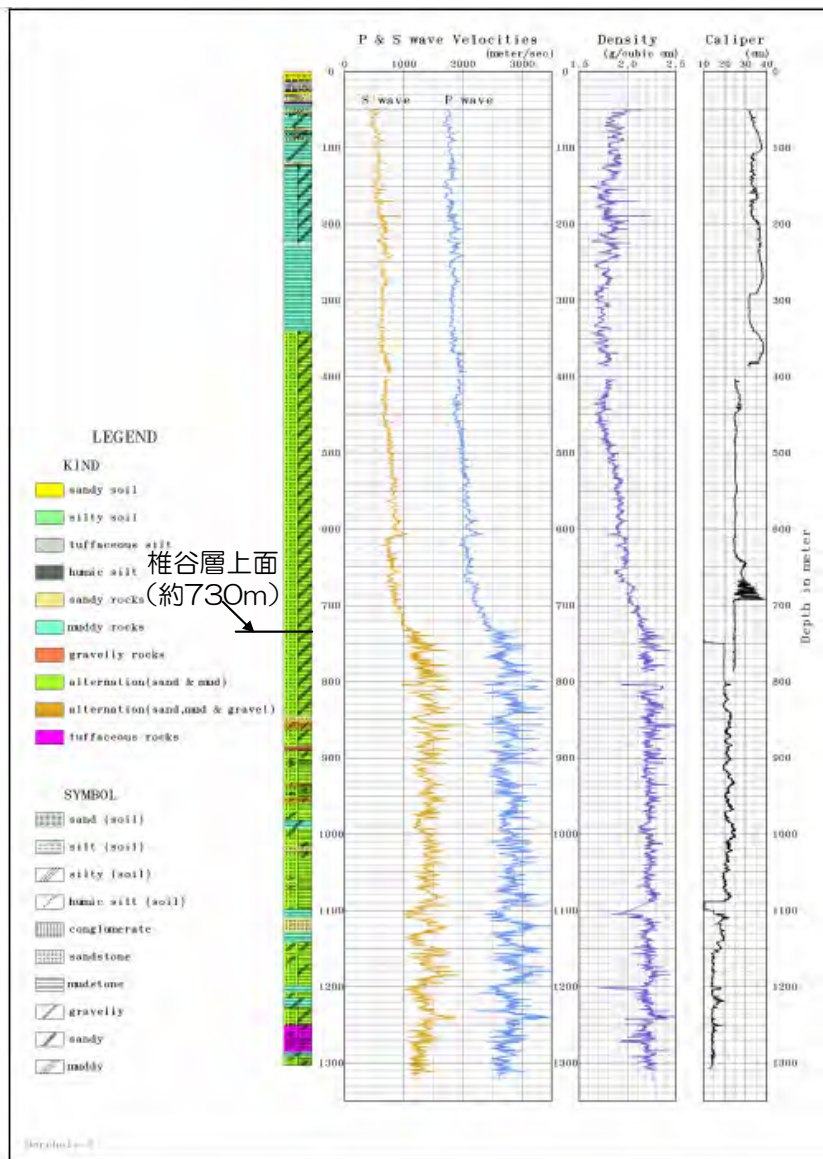
※1: H26 1/24 審査会合 資料1-1 P.41 を参照
 ※2: 地層の色の淡い部分は、掘削前の原地山における地層分布を示す

敷地の地質断面図（Ⅱ－Ⅱ'断面）

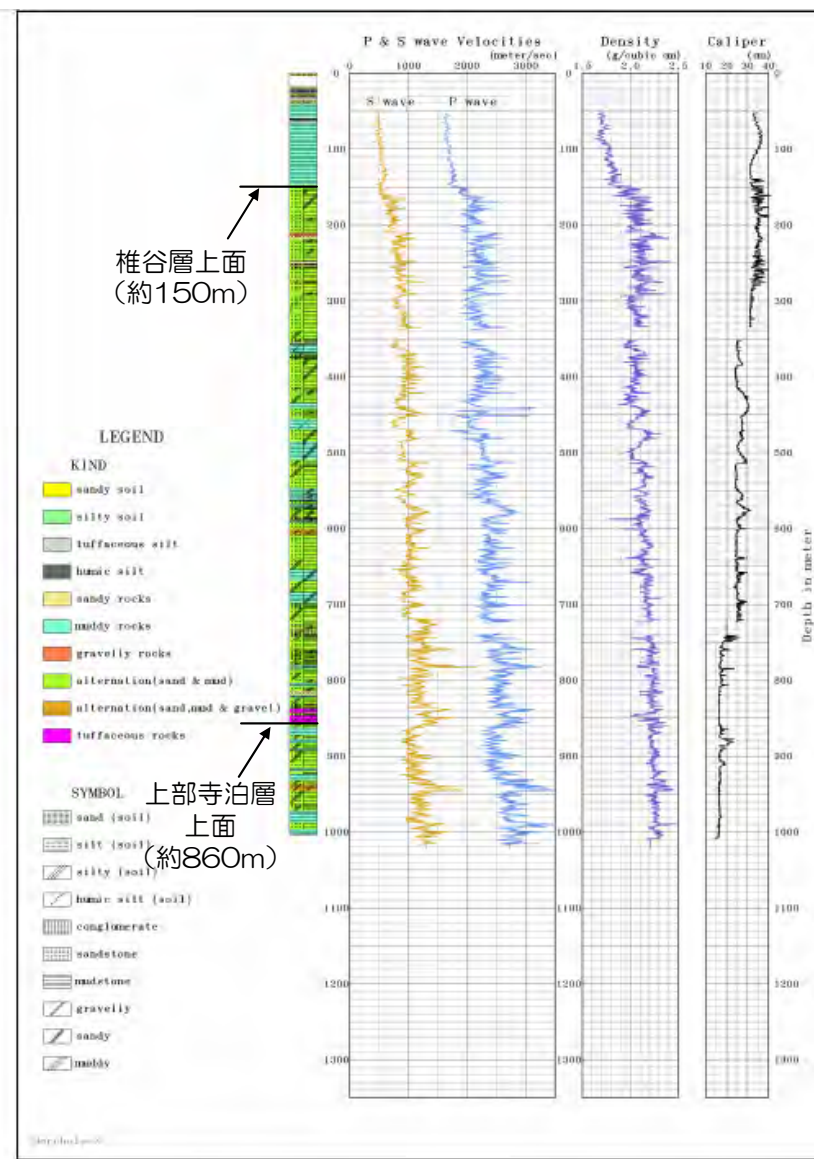


※1: H26 1/24 審査会合 資料1-1 P.42を参照
※2: 地層の色の淡い部分は、掘削前の原地山における地層分布を示す

- 大深度ボーリングにより、深さ1000m程度までのS波速度構造を把握するとともに、椎谷層及び上部寺泊層の上面深度を確認している。



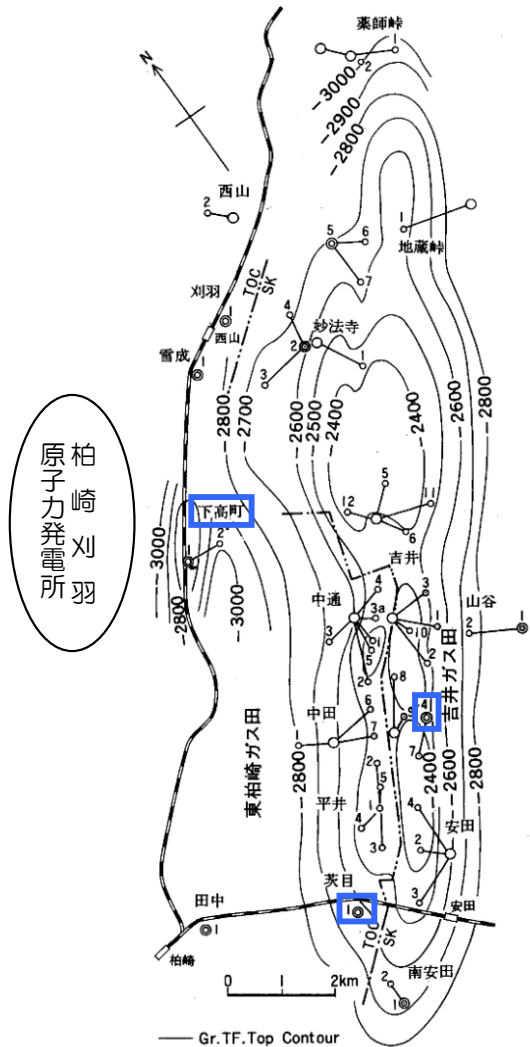
S孔（荒浜側）



N孔（大湊側）

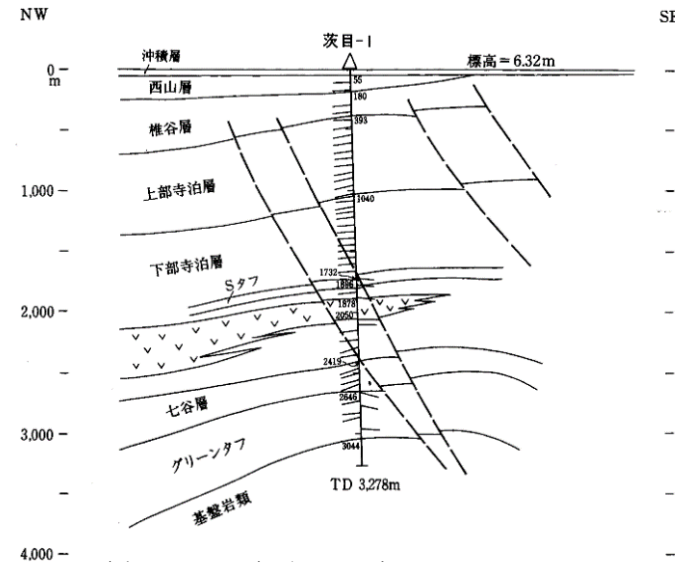
他機関によるボーリング結果 小林ほか（1995）

- 敷地より東側の地点においては、深度2000～3000m程度のボーリングが複数地点で実施されている。
- 茨目-1地点及び吉井SK-4地点においては、基盤岩まで確認されている。

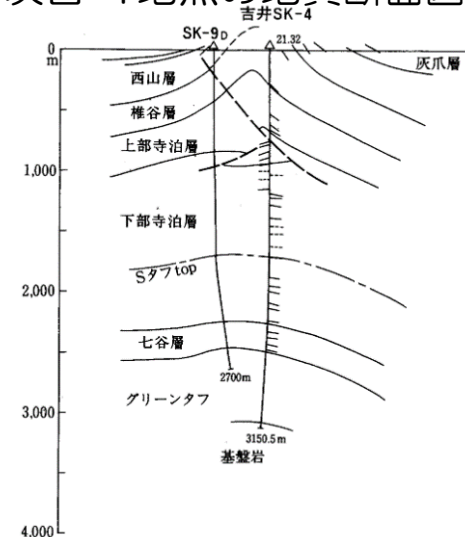


ボーリング調査地点

※小林ほか（1995）より引用・加筆



茨目-1地点の地質断面図

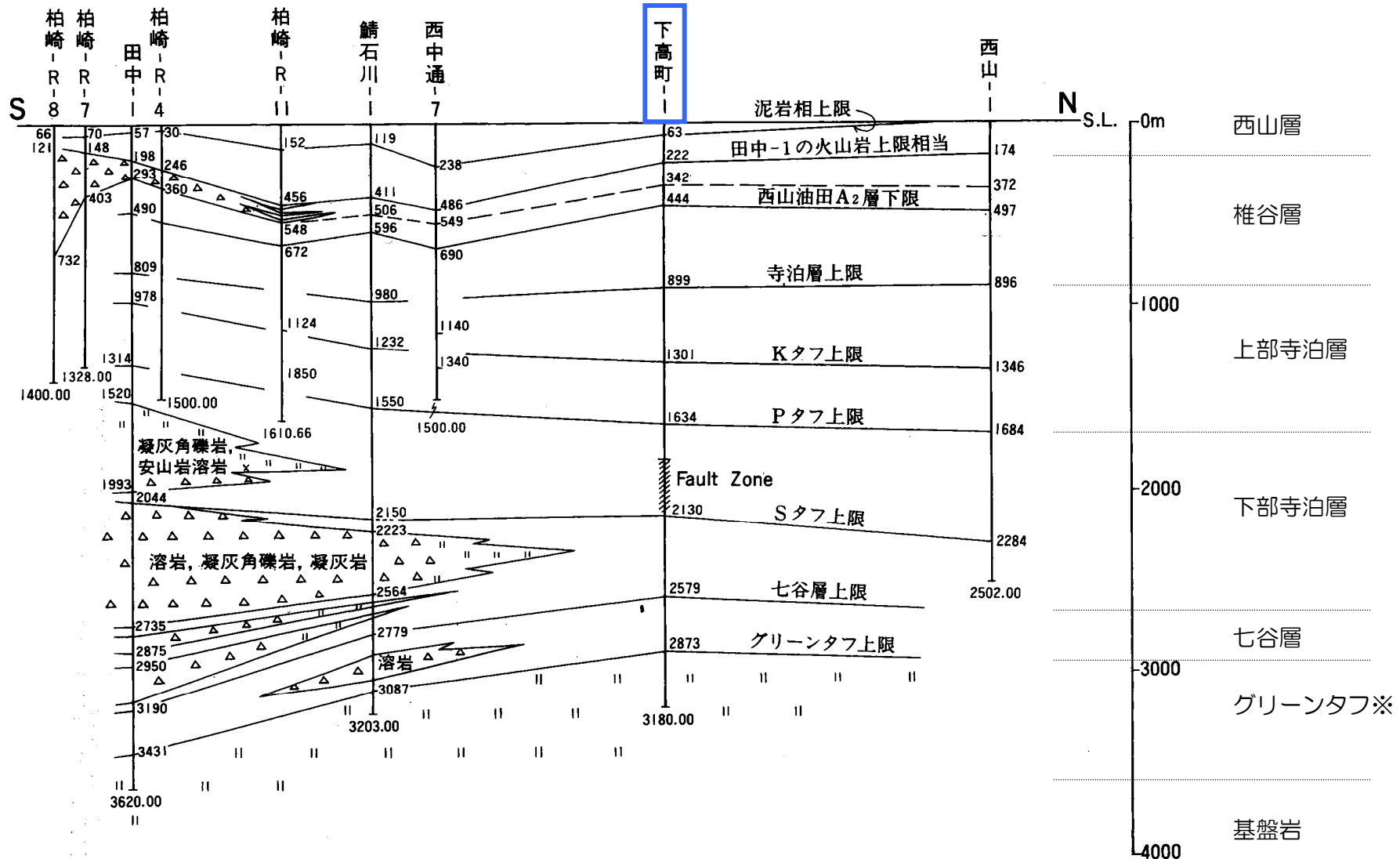


吉井SK-4地点の地質断面図

他機関によるボーリング結果 小林ほか（1995）

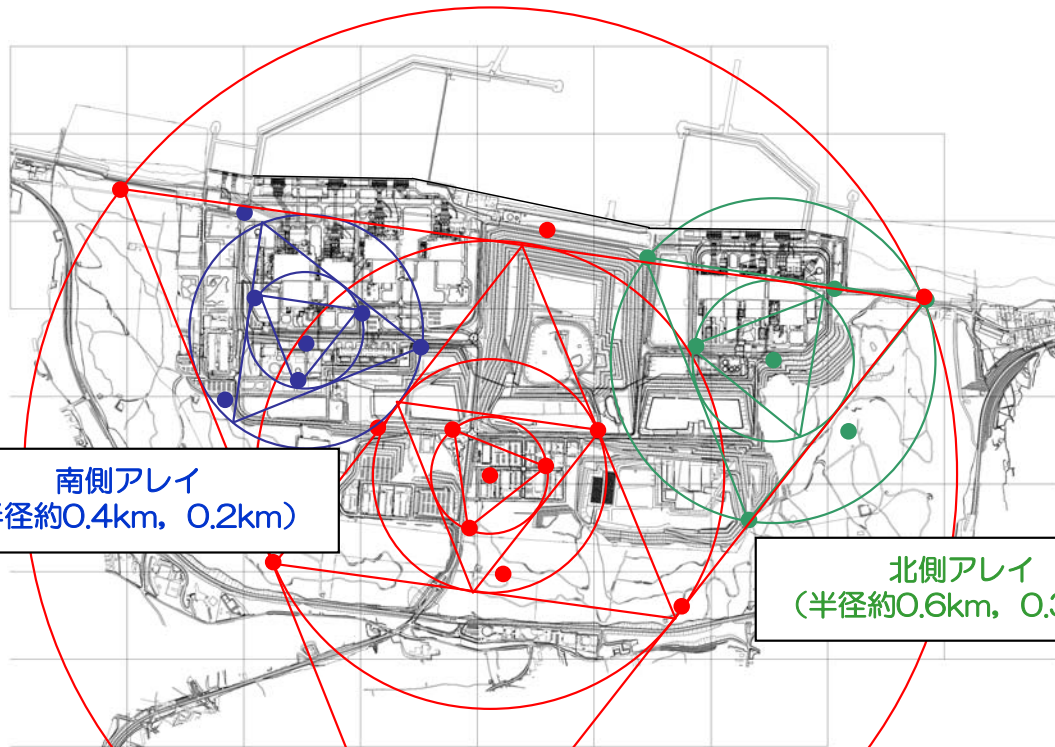
敷地周辺では下高町-1地点で3200m程度のボーリングが実施され、グリーンタフ※まで確認されている。

※天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。



小林ほか（1995）より引用・加筆

- 敷地における平均的な地下構造を把握することを目的として、微動アレイを実施。
- 微動アレイでは、空間的に展開した観測点で同時に取得された記録から、表面波の位相速度を推定し、それを逆解析することにより地下構造を得ることができる。
- 但し、微動アレイ観測により推定される地下構造は、アレイ内の平均的な1次元地下構造となる。
- そのため、敷地内全域を対象としたメインアレイ、荒浜側を対象とした南側アレイ、大湊側を対象とした北側アレイにおいて微動アレイを実施。



南側アレイ
(半径約0.4km, 0.2km)

北側アレイ
(半径約0.6km, 0.3km)

メインアレイ
(半径約1.6km, 0.8km, 0.4km, 0.2km)

地下構造推定の流れ

微動アレイ観測

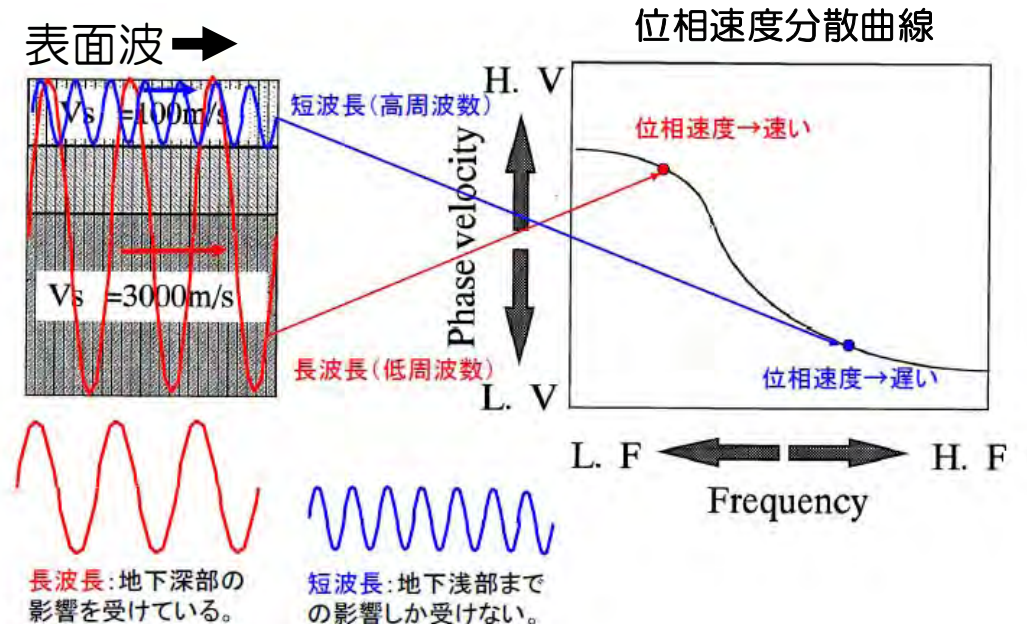
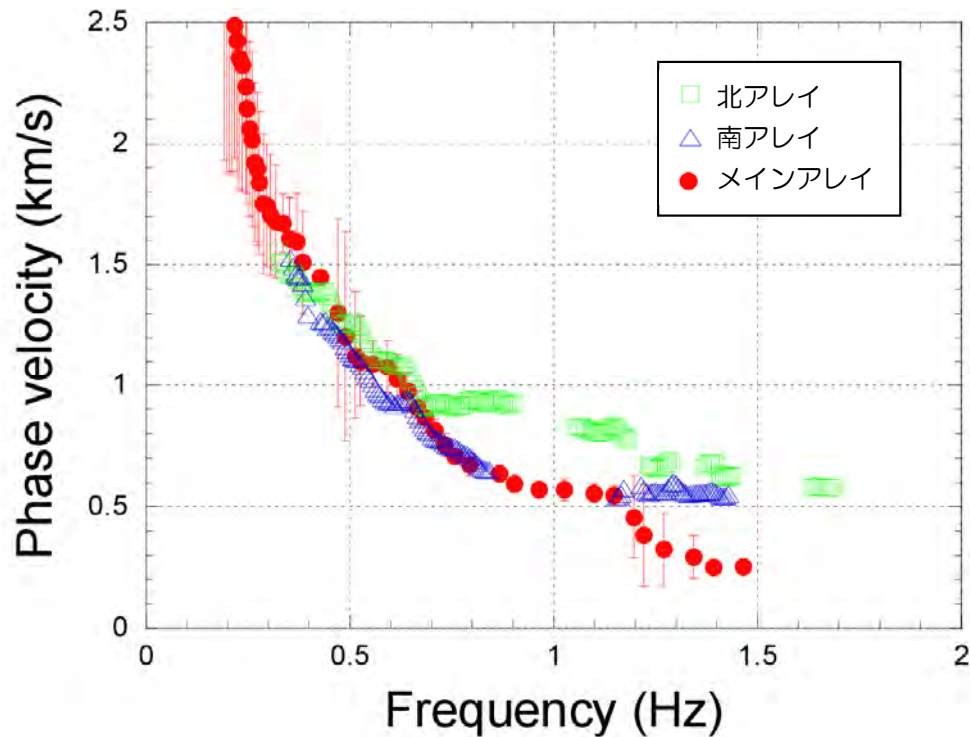
位相速度の推定

位相速度の逆解析

1次元地下構造モデル

凡例

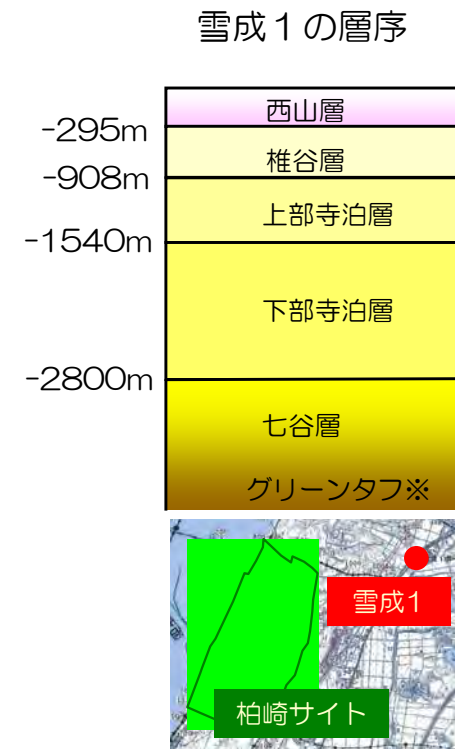
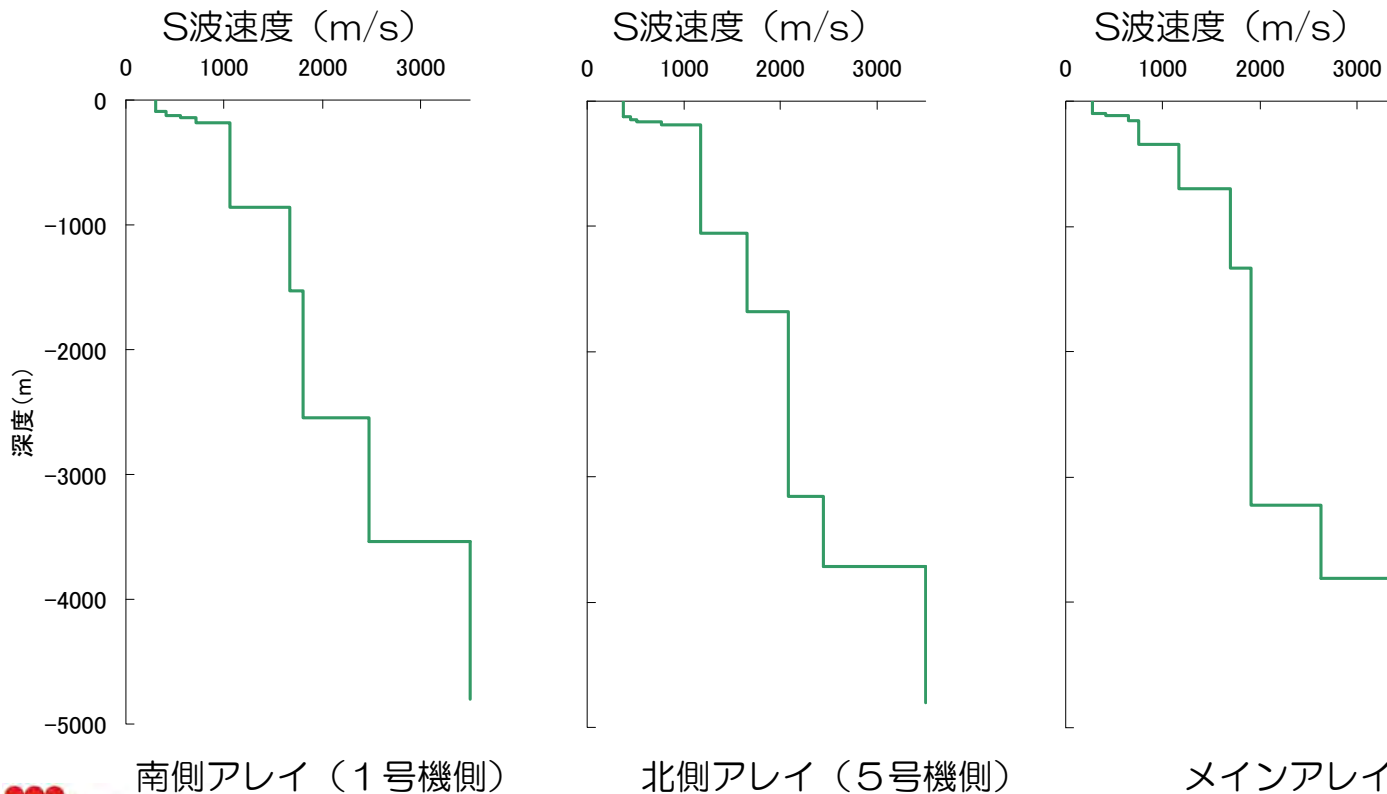
- : メインアレイ観測点
- : 南側アレイ観測点
- : 北側アレイ観測点



- 0.5Hz程度まではメインアレイ・北アレイ・南アレイの位相速度は概ね等しい。
- 0.5Hzよりも高周波数では両者に差が確認されるが、これは主に、地震基盤相当の深部よりも浅部における荒浜側と大湊側の地下構造の差異を反映しているものと考えられる。
- なお、1.2Hzより高周波数におけるメインアレイの位相速度が、北アレイ及び南アレイよりも小さくなる傾向があるが、表層付近の差異を反映しているものと考えられる。

- 探索モデル：既往の地質調査に基づき9層モデルを仮定
- P波速度については、関係式によりS波速度から換算
 - ・ $V_p=1.65V_s+0.96$
(新潟県内のK-NET及びKiK-netでの検層結果, $V_s \leq 1.5\text{km/s}$)
 - ・ $V_p=1.11V_s+1.29$
(狐崎ほか(1990), $V_s > 1.5\text{km/s}$)
- 地震基盤のVs値は、小林ほか(1995)における既往のP波探査より地震基盤のP波速度を推定し、上式から3.5km/sで固定

地層	P波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)	探索範囲	
			S波速度 (km/s)	層厚 (km)
沖積層 段丘堆積物	1.65Vs + 0.96	1.80	0.2~0.4	0.01~0.20
		1.95	0.4~0.6	0.01~0.25
魚沼層群 灰爪層	1.11Vs + 1.29	2.00	0.5~0.7	0.01~0.25
西山層		2.10	0.6~0.8	0.01~0.50
椎谷層	1.11Vs + 1.29	2.20	0.7~1.2	0.1~1.00
上部寺泊層		2.30	1.2~1.7	0.5~3.00
下部寺泊層		2.40	1.7~2.1	0.5~3.00
七谷層		2.55	2.1~3.0	0.5~3.00
グリーンタフ				
足尾帯・上越帯		2.70	(3.5)	-



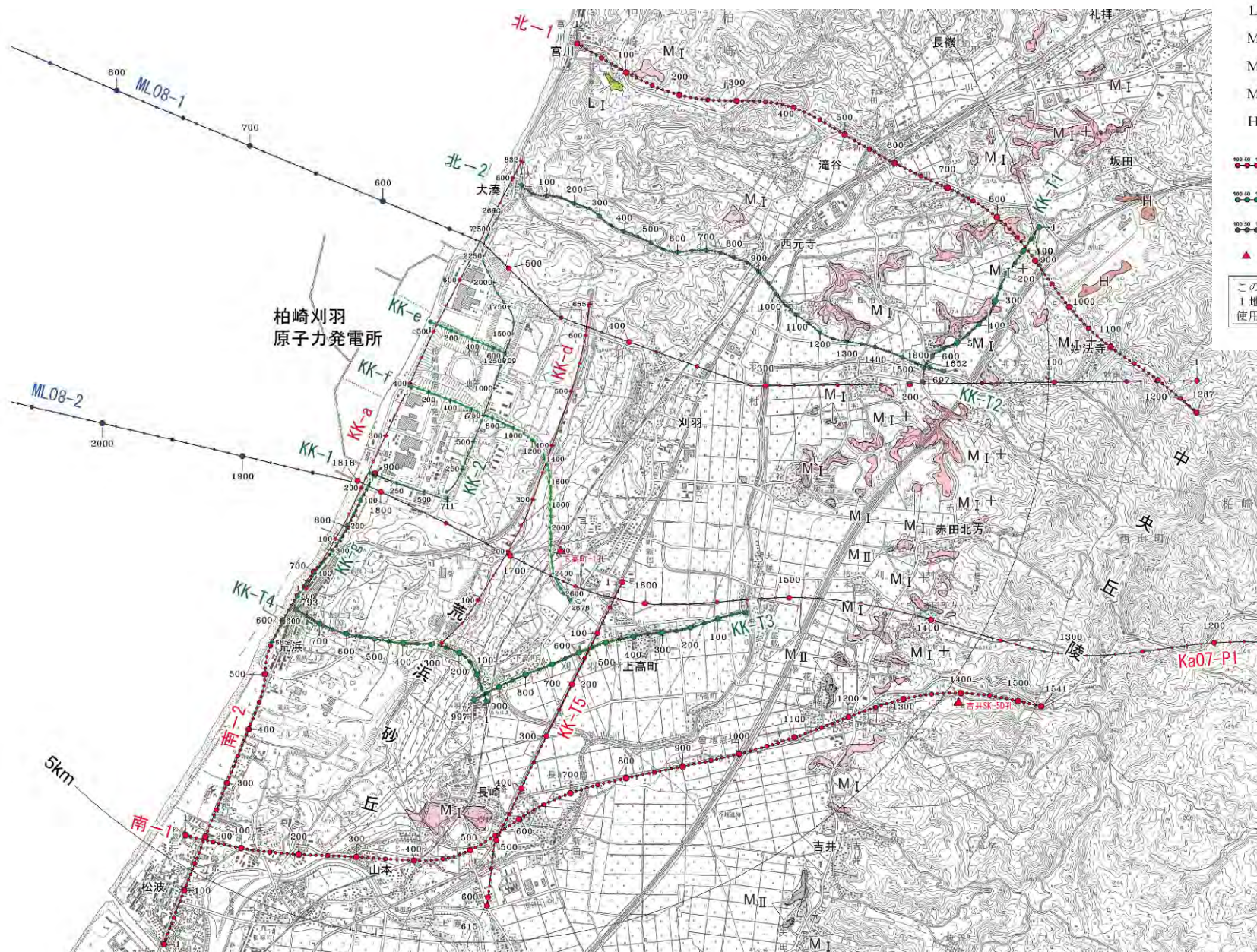
※天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

敷地及び敷地周辺における地下構造調査の実施

敷地内及び敷地周辺において、反射法地震探査を以下の測線で実施。

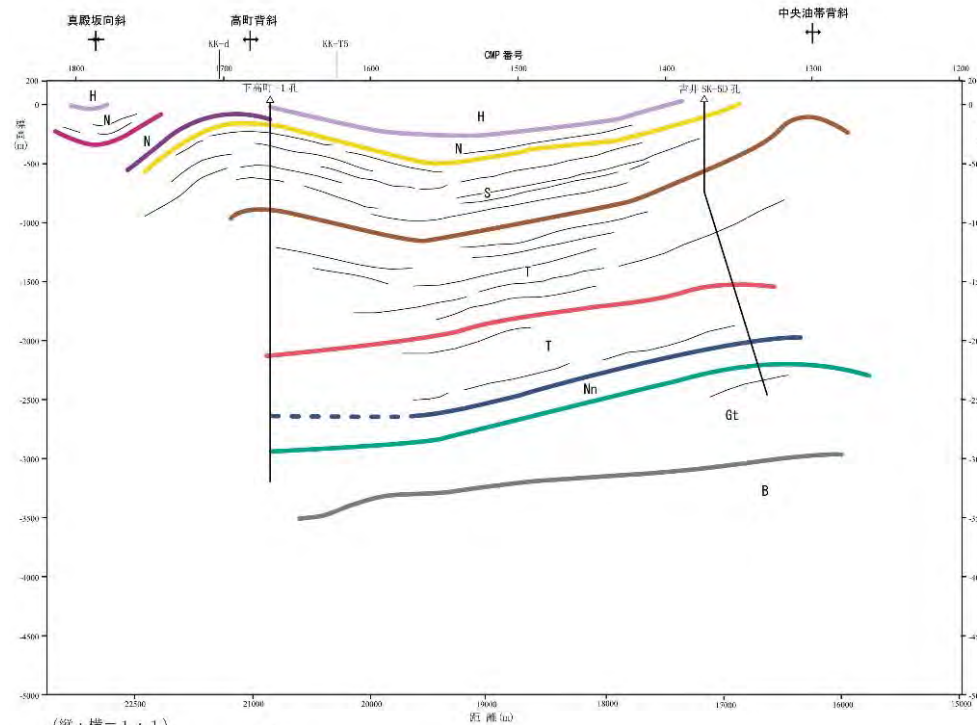
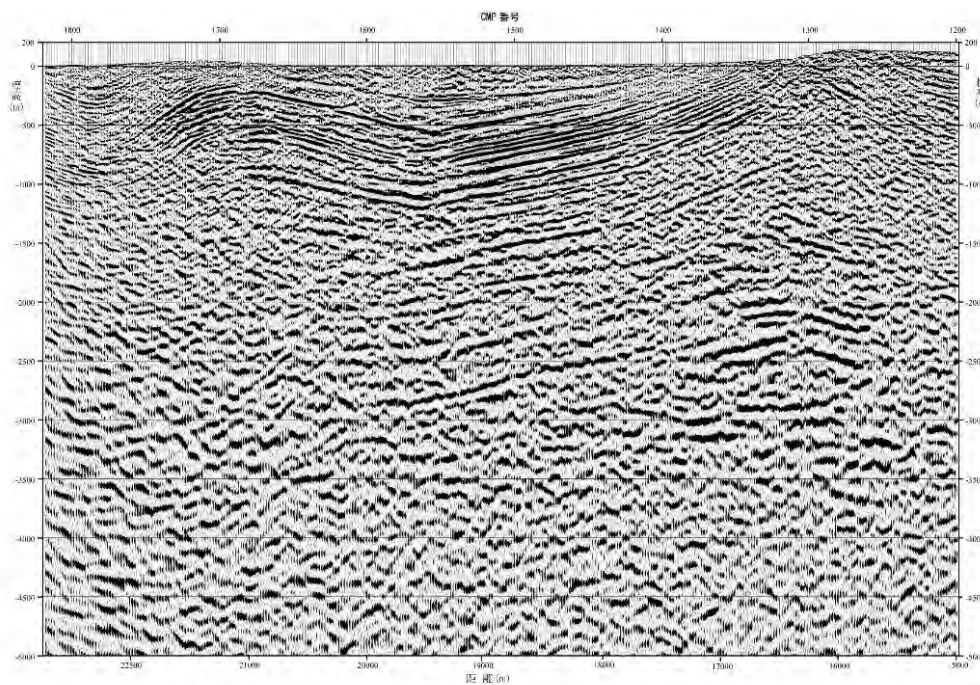
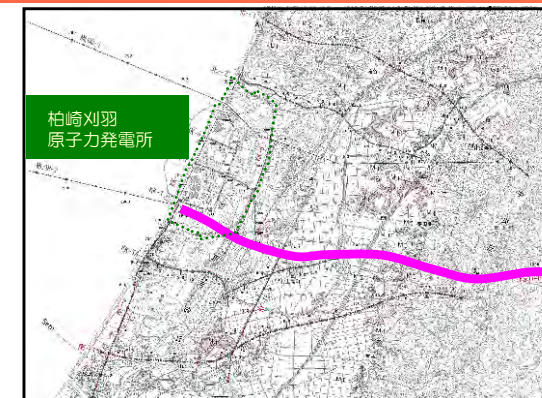
- 凡 例
- 段丘区分
- L I 面 (MIS5a~4) L I
 - M II 面 (MIS5c) M II
 - M I 面 (MIS5e) M I
 - M I+ 面 (MIS5e) M I+
 - H 面群 (MIS7) H
- 東京電力側反射法地震探査測線
パイプリーダー
 - 東京電力側反射法地震探査測線
インパクト
 - 東京電力側ケーブル探査測線
 - ▲ 石油公団ボーリング位置

この地図は、国土地理院発行の2万5千分の1地形図（柏崎・塚野山・宮川・西山）を使用したものである。



反射法地震探査結果 Ka07-P1測線

- 真殿坂向斜及び高町背斜が確認される。
- 基盤岩までの反射面が確認され、深部の地層境界は緩やかに西に傾斜している傾向が確認される。

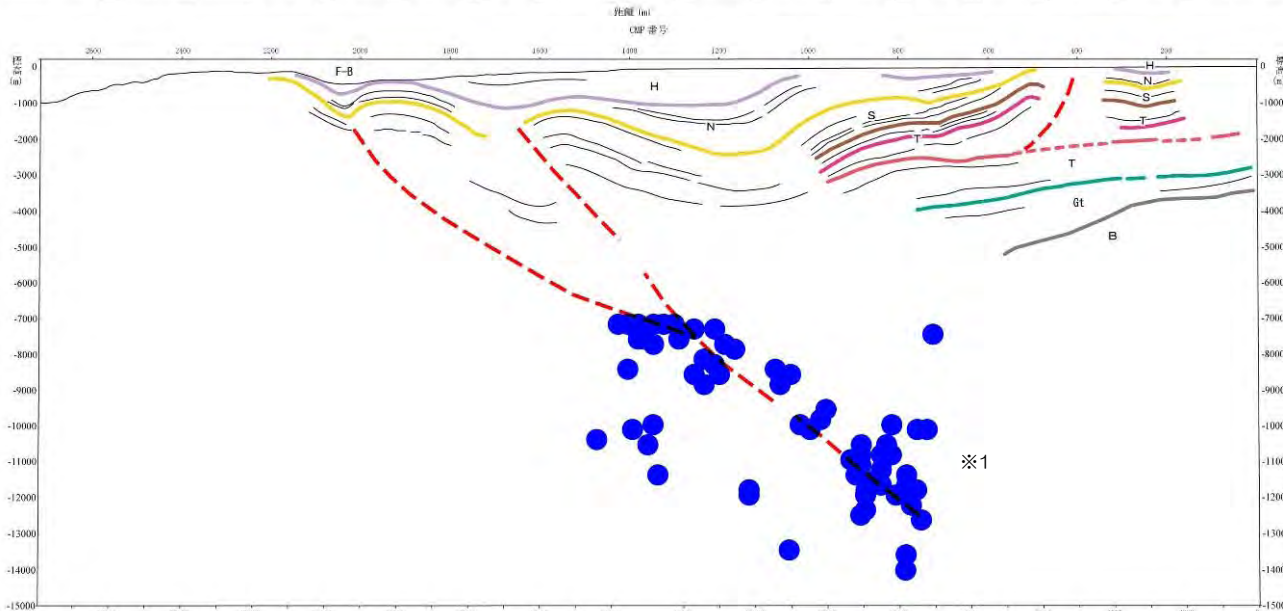
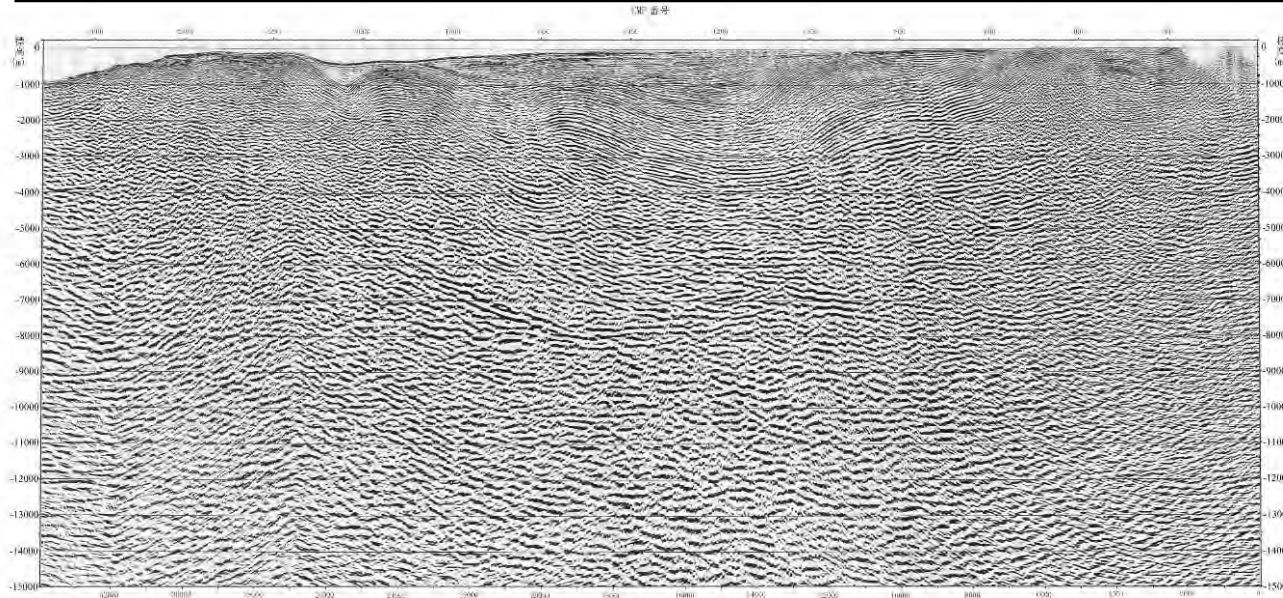
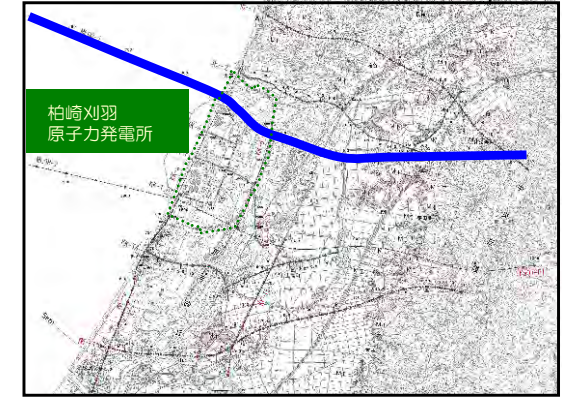


- 凡例
- 真殿坂 (H) — テフラ ※1
 - 西川層 (N) — Nt16, Zn ※1
 - 稚谷層 (S) — S-tuff
 - 寺泊層 (T) — S-tuff
 - 七谷層 (Nn) — S-tuff
 - グリーンタフ (Gt) ※2
 - 基盤岩類 (B)

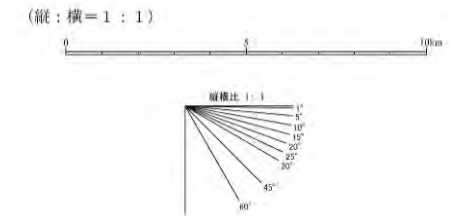
※1：テフラ名称は敷地内調査結果、岸ほか（1996）、石油関係論文による。
※2：天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。

反射法地震探査結果 ML08-1測線

- 敷地直下に褶曲構造が認められる。
- 深部の層境界は、陸から海側に向かい深くなる傾向が認められる。



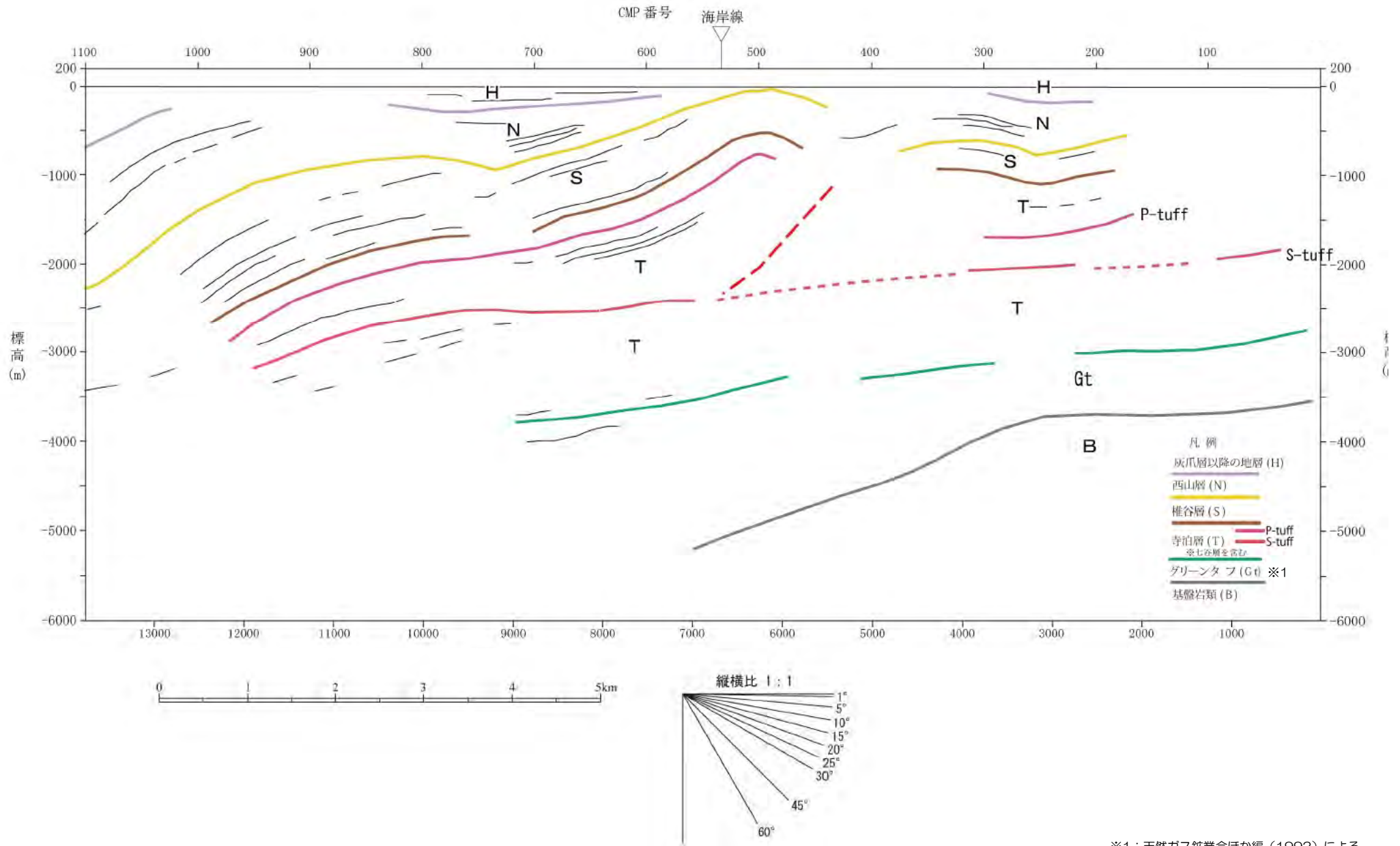
- 凡例
- 灰灰層以降の地層 (H)
 - 西山層 (N)
 - 椎谷層 (S)
 - 寺泊層 (T)
 - グリーンタフ (G) ※2
 - 基盤岩類 (B)
 - P-tuff
 - S-tuff



※震源分布は、東京大学地震研究所 (2008) による

※1：震源分布は、東京大学地震研究所 (2008) による。
※2：天然ガス鉱業会ほか編 (1992) による。

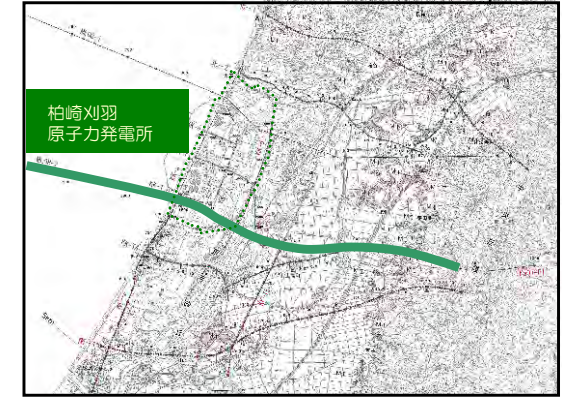
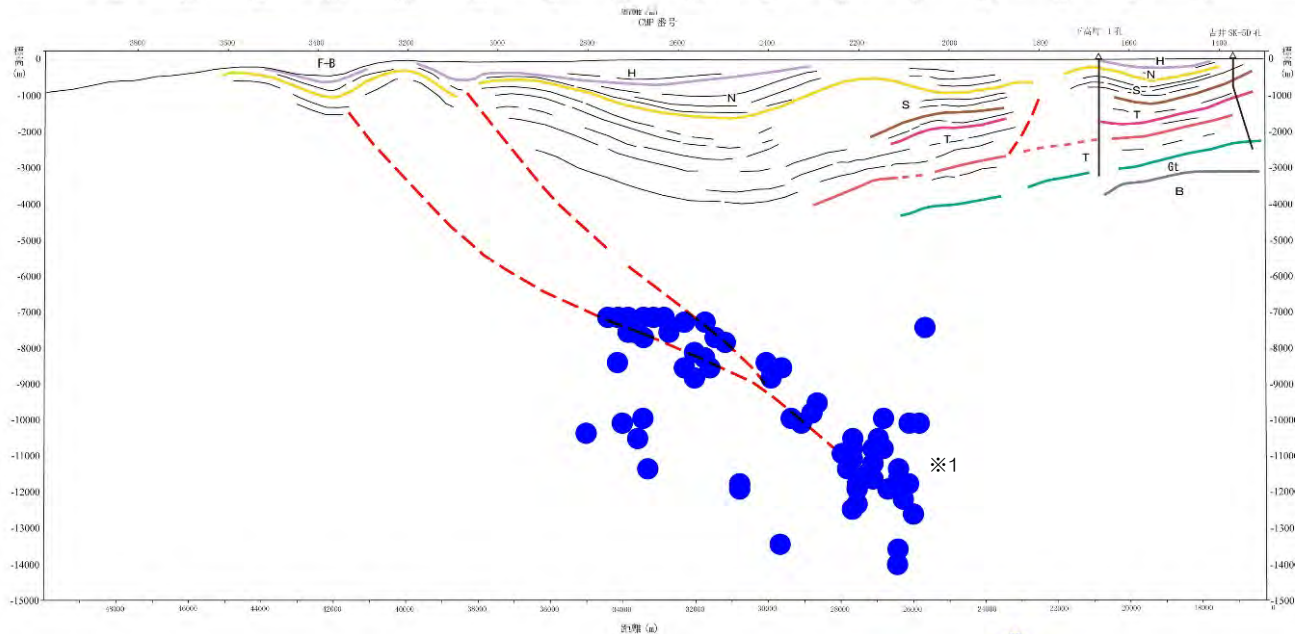
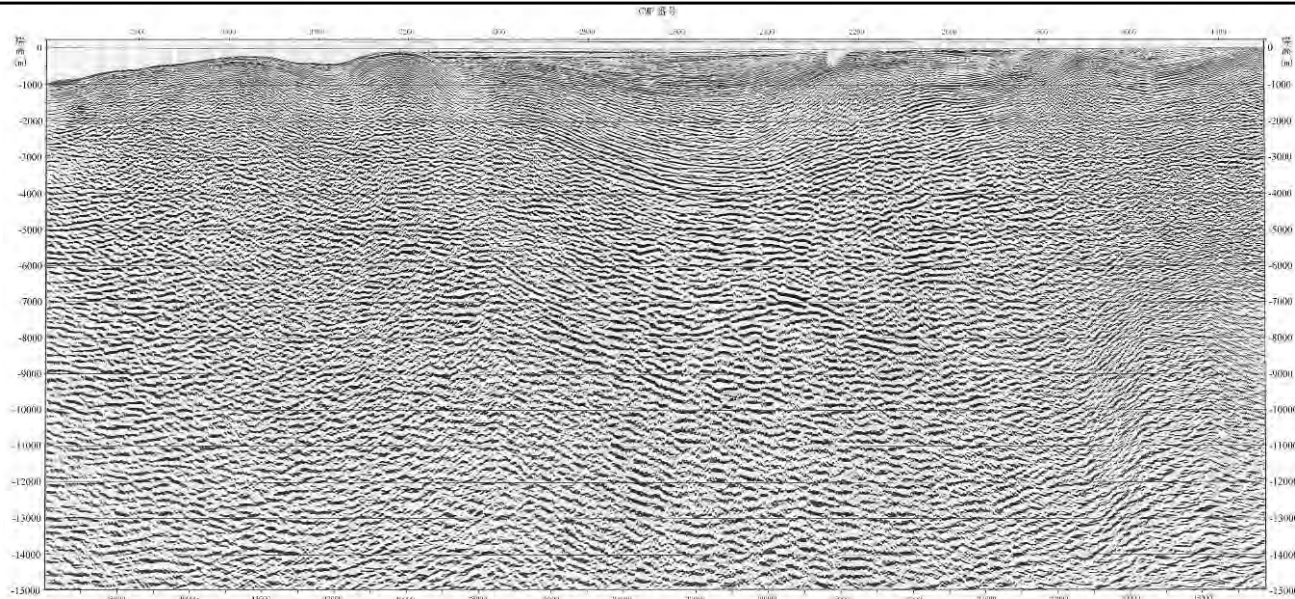
反射法地震探査結果 ML08-1測線（サイト近傍拡大）



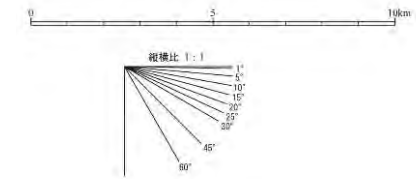
※1：天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。

反射法地震探査結果 ML08-2測線

- 敷地直下に褶曲構造が認められる。
- 深部の層境界は、陸から海側に向かい深くなる傾向が認められる。

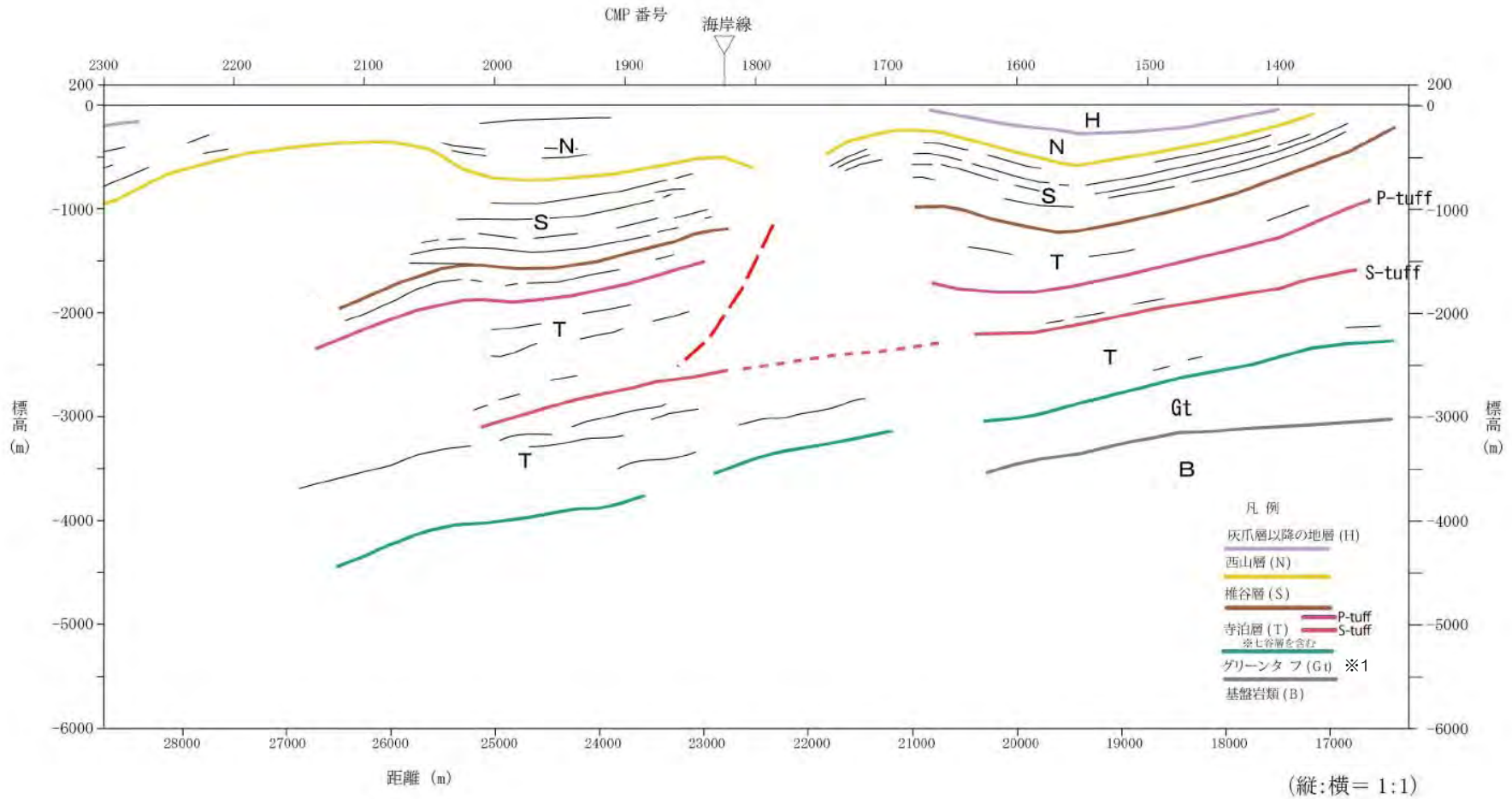


- 凡例
- 灰爪層以降の地層 (H)
 - 西山層 (N)
 - 椎谷層 (S)
 - 寺泊層 (T) ※1
 - グリーンタフ (Gt) ※2
 - 基盤岩類 (B)
 - P-tuff
 - S-tuff



※1：震源分布は、東京大学地震研究所（2008）による。
※2：天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。

反射法地震探査結果 ML08-2測線（サイト近傍拡大）



※1：天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。

3. 地下構造調査結果の分析 まとめ

- 敷地及び敷地周辺における反射法探査やボーリング等の調査結果より、以下を確認。
 - 敷地周辺の地下構造において、深部の層境界が陸から海側に向かい深くなる傾向が認められること。
 - 敷地近傍の地下構造は、西山層以下の褶曲構造により特徴付けられること。

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析

 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.3次元地下構造モデルの設定
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討

 5. 基準地震動評価への反映事項

目的

- 観測記録を分析した結果、中越沖地震など海域で発生した地震については、荒浜側も大湊側も耐専スペクトルによる評価結果よりも大きくなる傾向が認められた。
- 敷地内の荒浜側と大湊側とに共通して確認される傾向であることから、比較的広域な地下構造に影響されているものと考えられる。
- 敷地周辺の広域な地下構造は、地下構造調査結果及びJNES（2005）による地下構造モデルから、深部の層境界が陸から海側に向かい深くなる傾向が認められることが確認されている。
- そのため、敷地周辺の広域における深部の地下構造の不整形性が、地震動の増幅特性に与える影響を検討するため、3次元地下構造モデルによる解析検討を実施する。

評価の流れ

地下構造モデルの設定

- ・ 敷地周辺の地下構造調査結果に基づき作成された、JNES（2005）による地下構造モデルに基づき設定。

地下構造モデルの検証

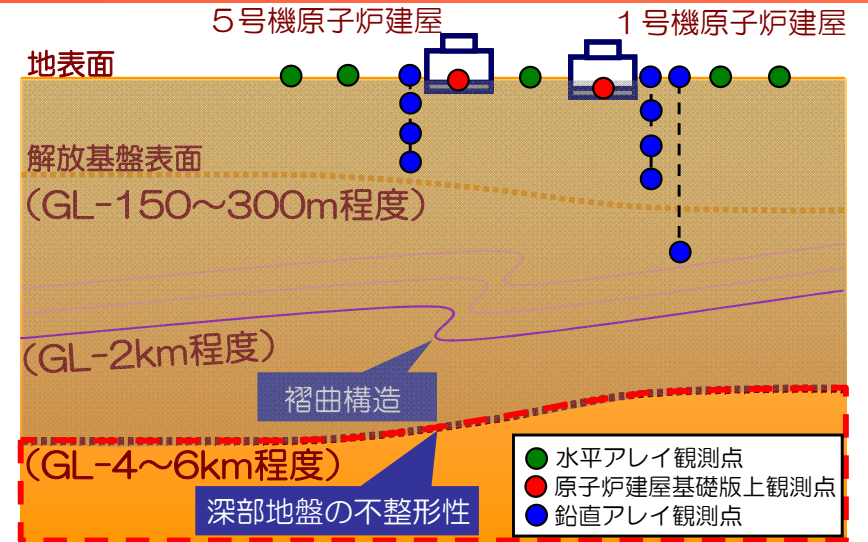
- ・ JNES（2005）による検討結果を参照し、地下構造モデルの妥当性を確認。

増幅特性の検討

- ・ 地下構造モデルに基づき増幅特性を評価し、観測記録との対応関係について分析。

敷地の増幅特性に関する検討の概要

- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。

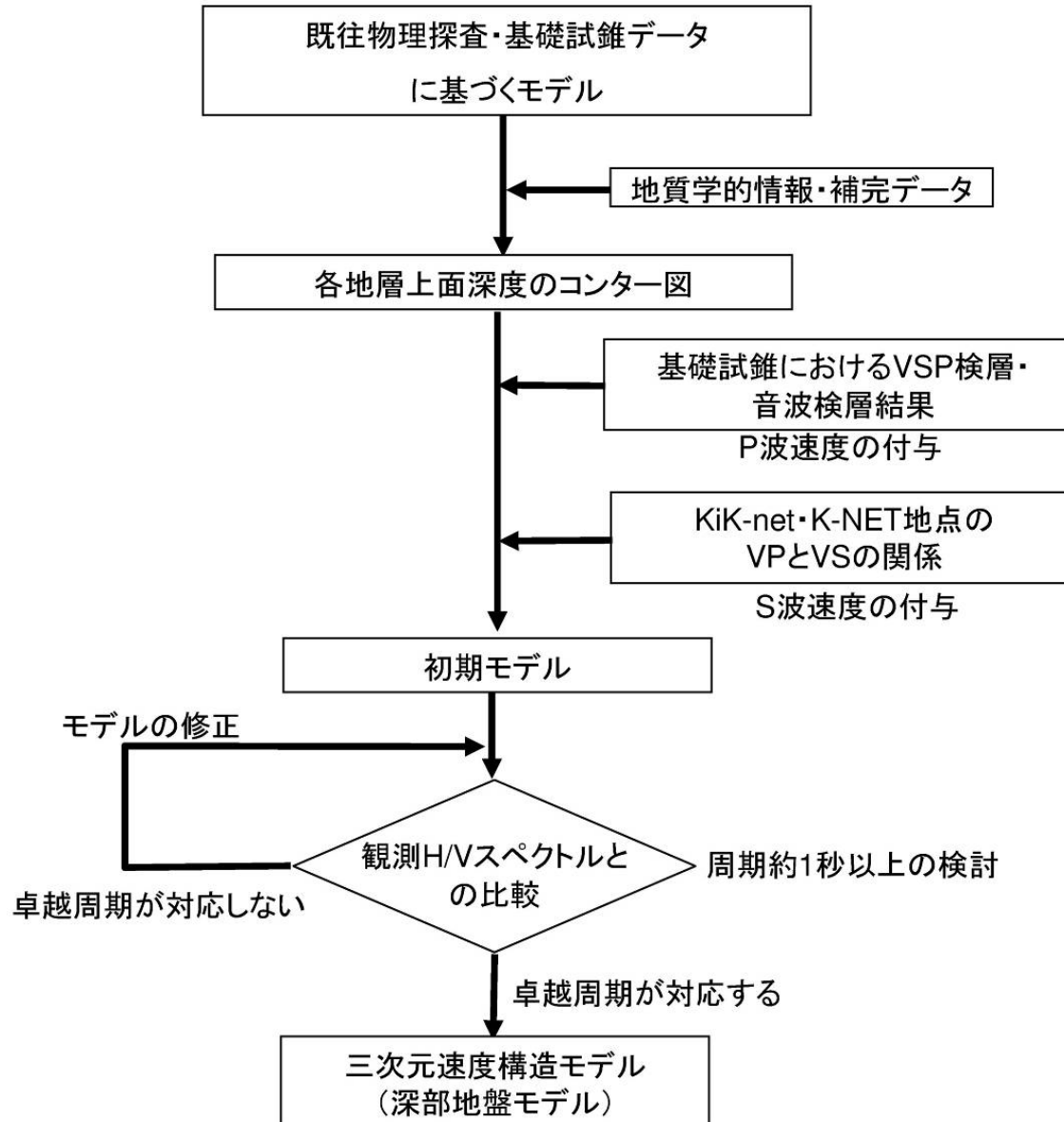


解放基盤表面以浅の影響	2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震) 地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認				2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録	2.(4)水平アレイ観測記録
古い褶曲構造の影響	2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録 耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい	2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震) 【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖と同じ傾向) 【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度	2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震) 荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析	4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討 敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認	5号機を基準としてスペクトル比を算定 大湊側はばらつきが小さい 荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる	5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認 荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない
	深部地盤における不整形性	2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録 耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る	2.(2)a.鉛直アレイ観測 (中規模地震) 【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る 【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る	敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認	4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討 3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認	大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.3次元地下構造モデルの設定
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

3次元地下構造モデルの作成方法 JNES (2005)

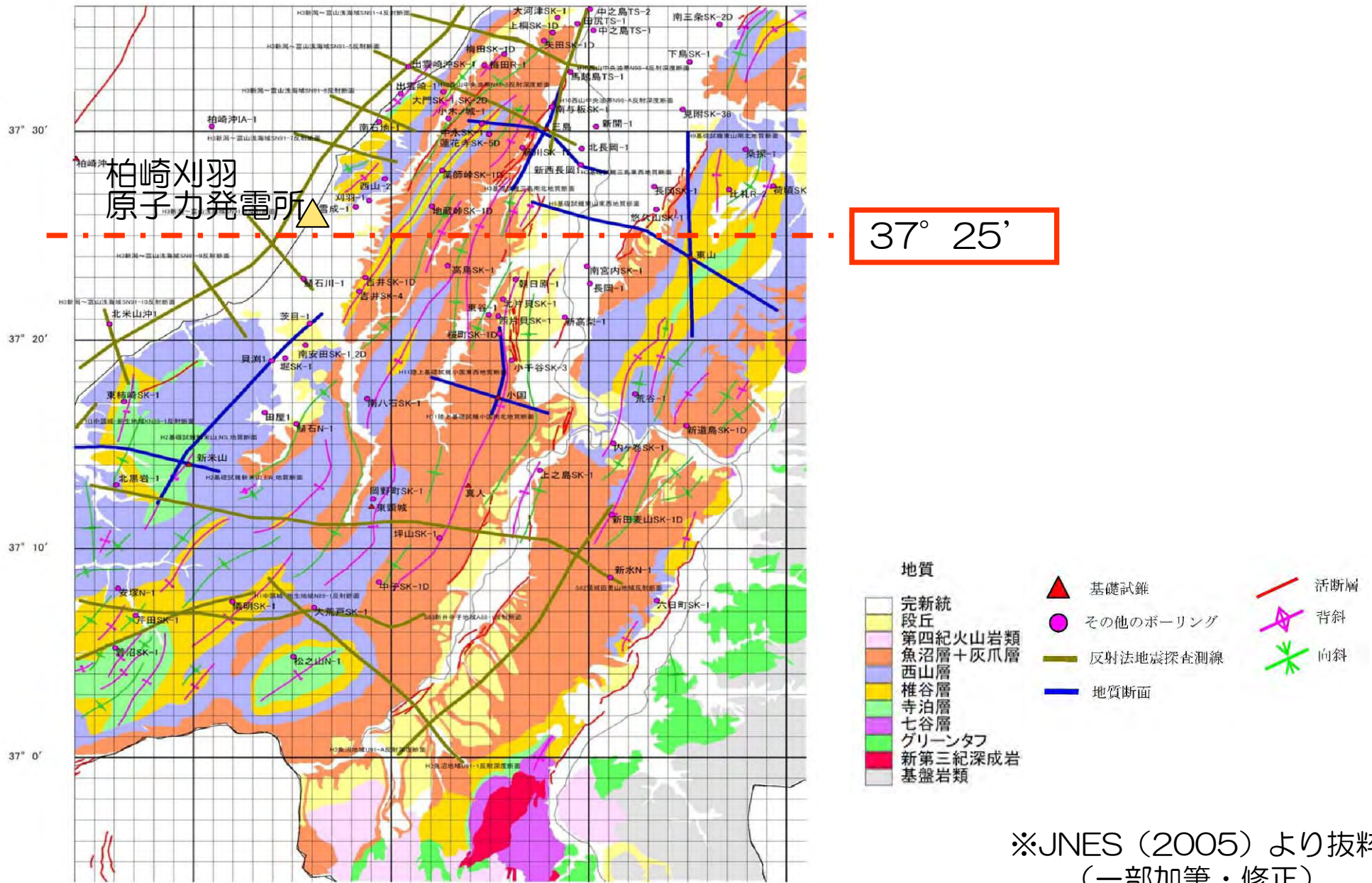
- 広域の地下構造モデルはJNES (2005) により以下の通り作成されている。



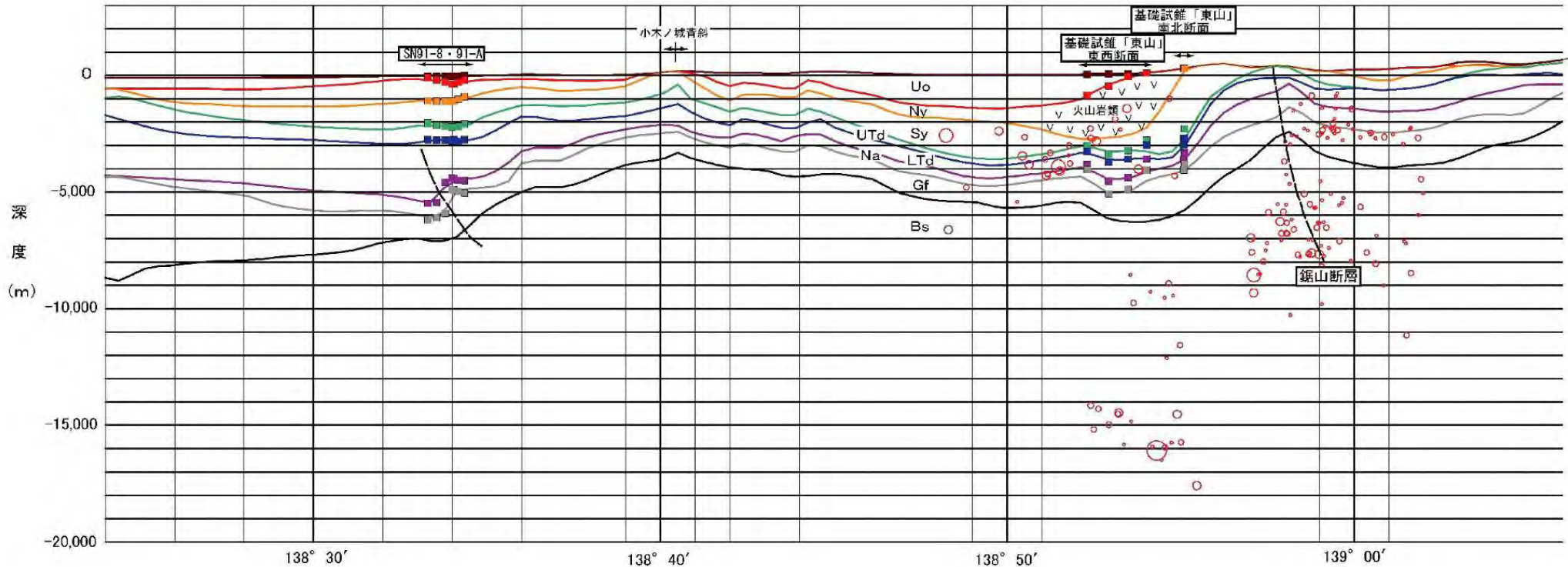
※JNES (2005) より抜粋

3次元地下構造モデルの作成方法 JNES (2005)

■ 敷地周辺の地下構造調査結果に基づき、各地層境界の深度を推定。



敷地周辺の地下構造調査結果に基づき、各地層境界の深度を推定。

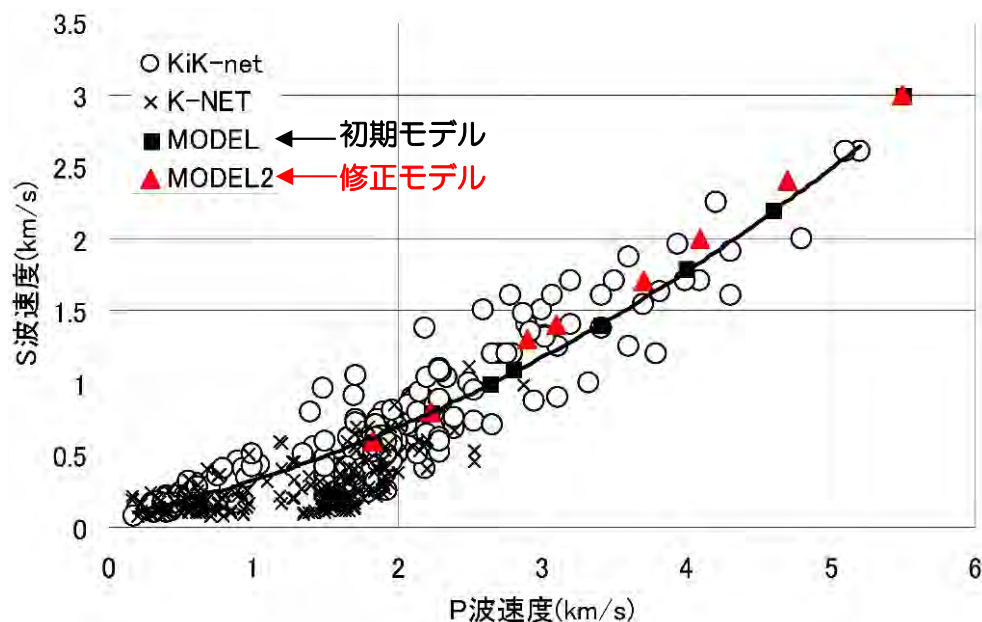


地質断面図 (北緯37° 25')

Uo : 魚沼層群, Ny : 西山層, Utd : 上部寺泊層, LTd : 下部寺泊層, Na : 七谷層, Gf : グリーンタフ, Bs : 基盤岩類

※JNES (2005) より抜粋
(一部加筆・修正)

- 初期モデルの速度構造は，検層データ等の分析結果より，速度区分・速度を設定。
- P波速度を基礎試錐の音波検層結果から設定し，S波速度は以下のP波速度とS波速度の関係から設定。



S波速度とP波速度の関係

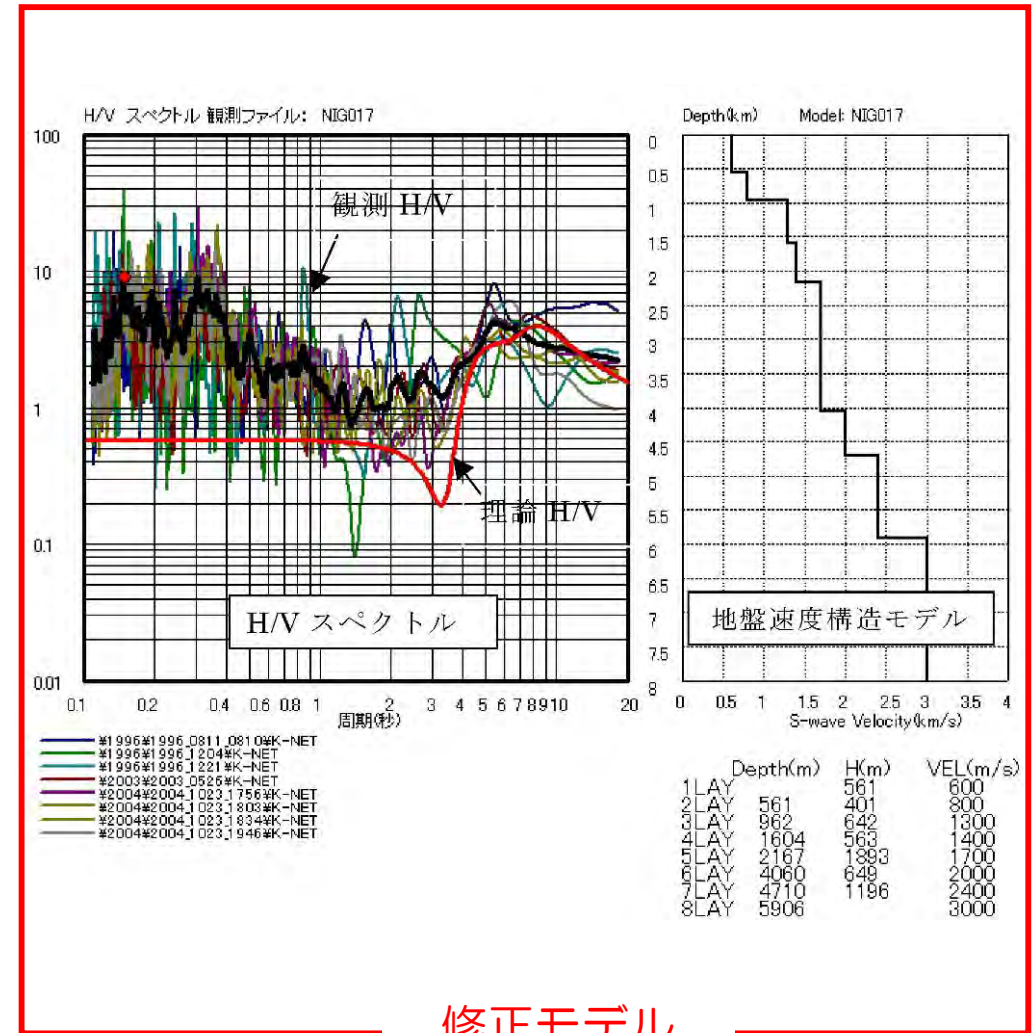
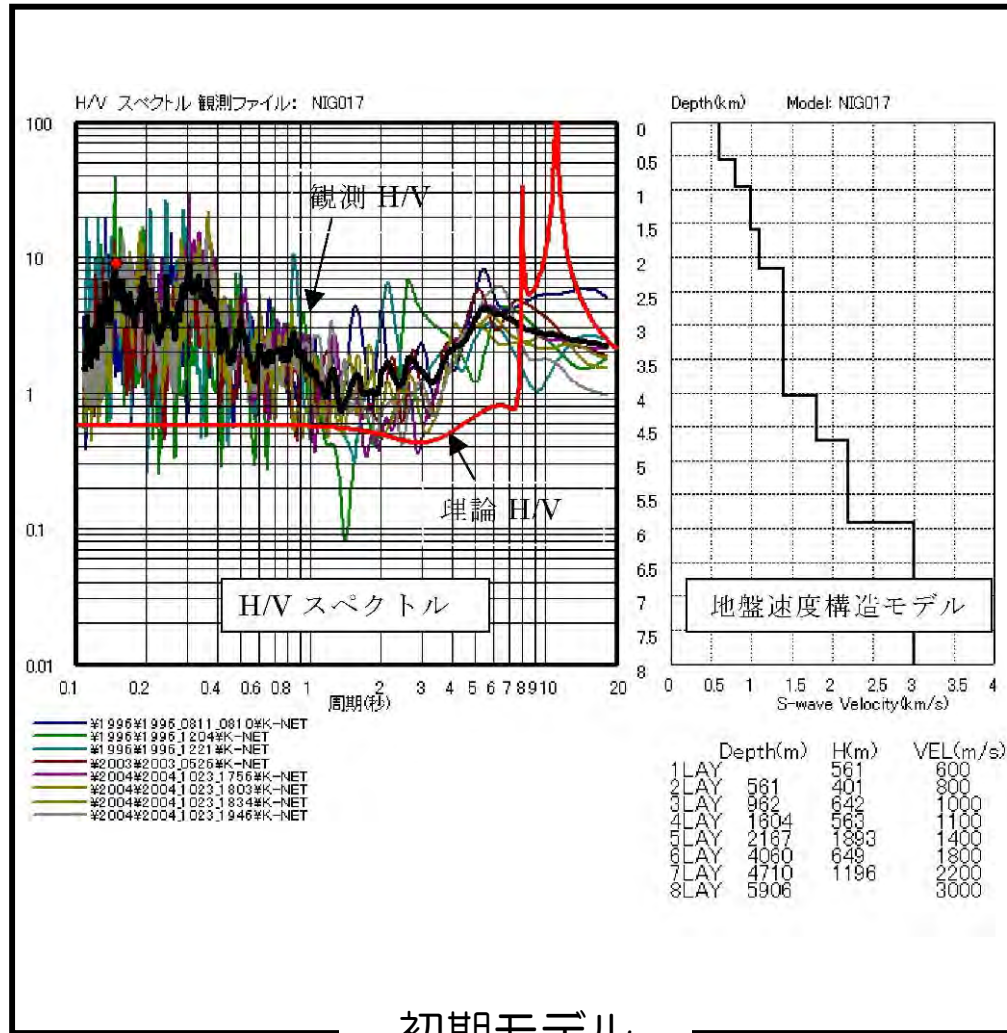
設定された速度

	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)	風化帯の厚さ (m)
魚沼層群	1.8	0.6	1.90	-
	2.2	0.8	2.05	-
	2.6 (2.9)	1.0 (1.3)	2.15 (2.20)	-
西山層	2.8 (3.1)	1.1 (1.4)	2.20 (2.25)	-
椎谷層	3.3 (3.7)	1.4 (1.7)	2.30 (2.35)	-
上部寺泊層	3.4 (3.7)	1.4 (1.7)	2.30 (2.35)	-
下部寺泊層	4.0 (4.1)	1.8 (2.0)	2.40	-
七谷層	4.6 (4.7)	2.2 (2.4)	2.50	-
グリーンタフ	4.5 (4.7)	2.2 (2.4)	2.50	-
基盤岩類	5.5	3.0	2.65	440

黒字：初期モデル，赤字：修正モデル

※JNES (2005) より抜粋
(一部加筆・修正)

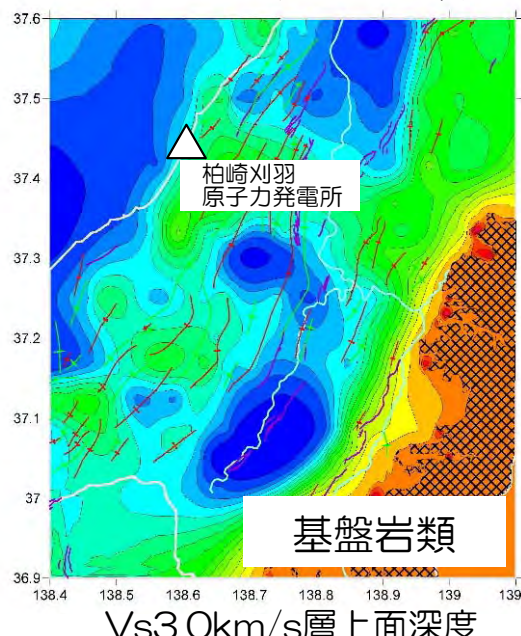
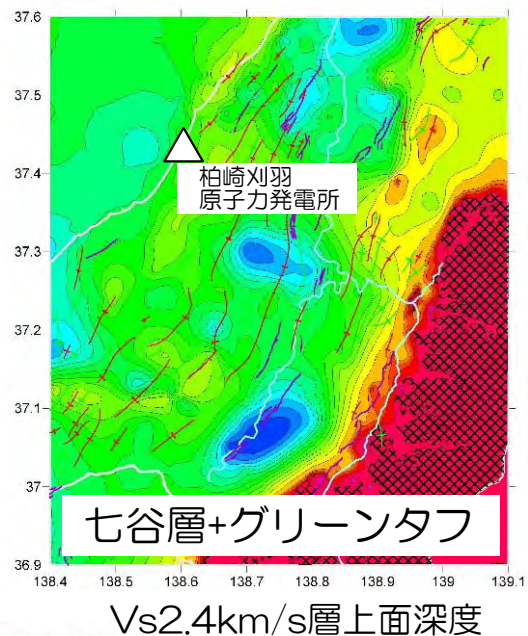
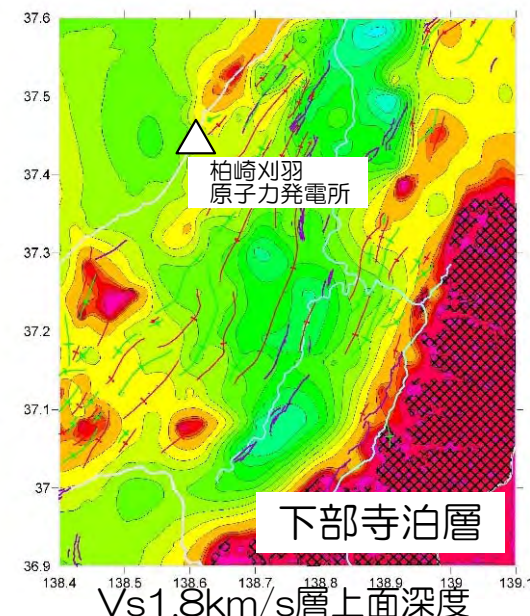
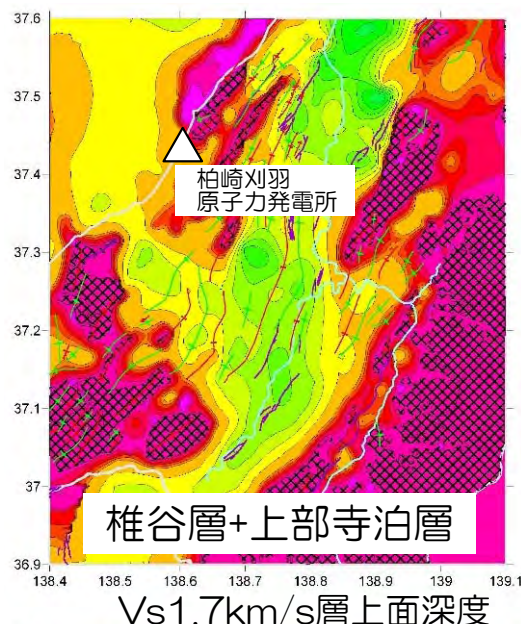
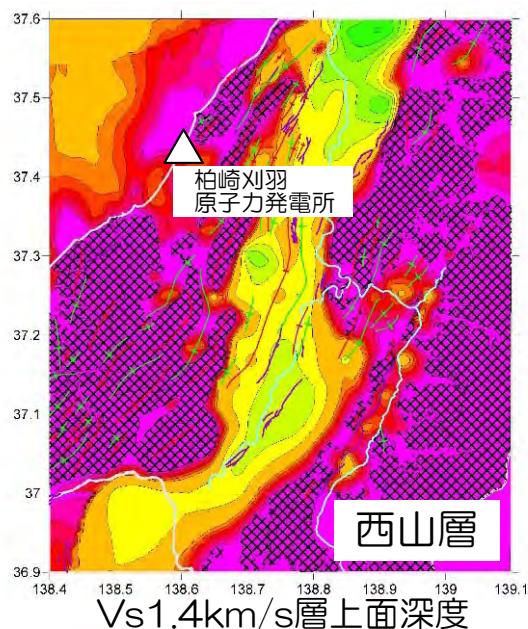
■ 初期モデルの速度構造を，H/Vスペクトルに基づき修正（NIG017の例）。



※JNES (2005) より抜粋
(一部加筆・修正)

3次元地下構造モデルの作成方法 JNES (2005)

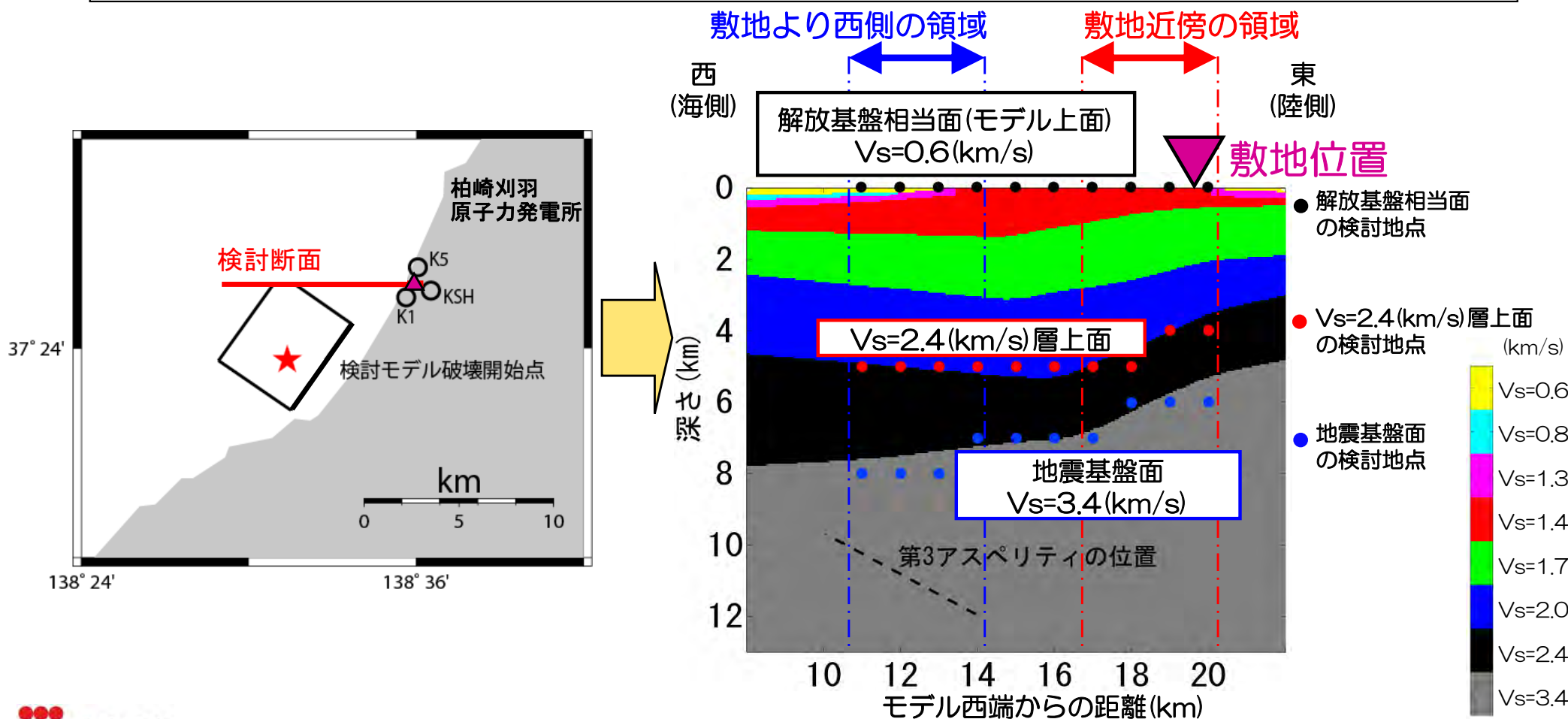
■ 以下の通り，地下構造モデルを作成。



※JNES (2005) より抜粋
(一部加筆・修正)

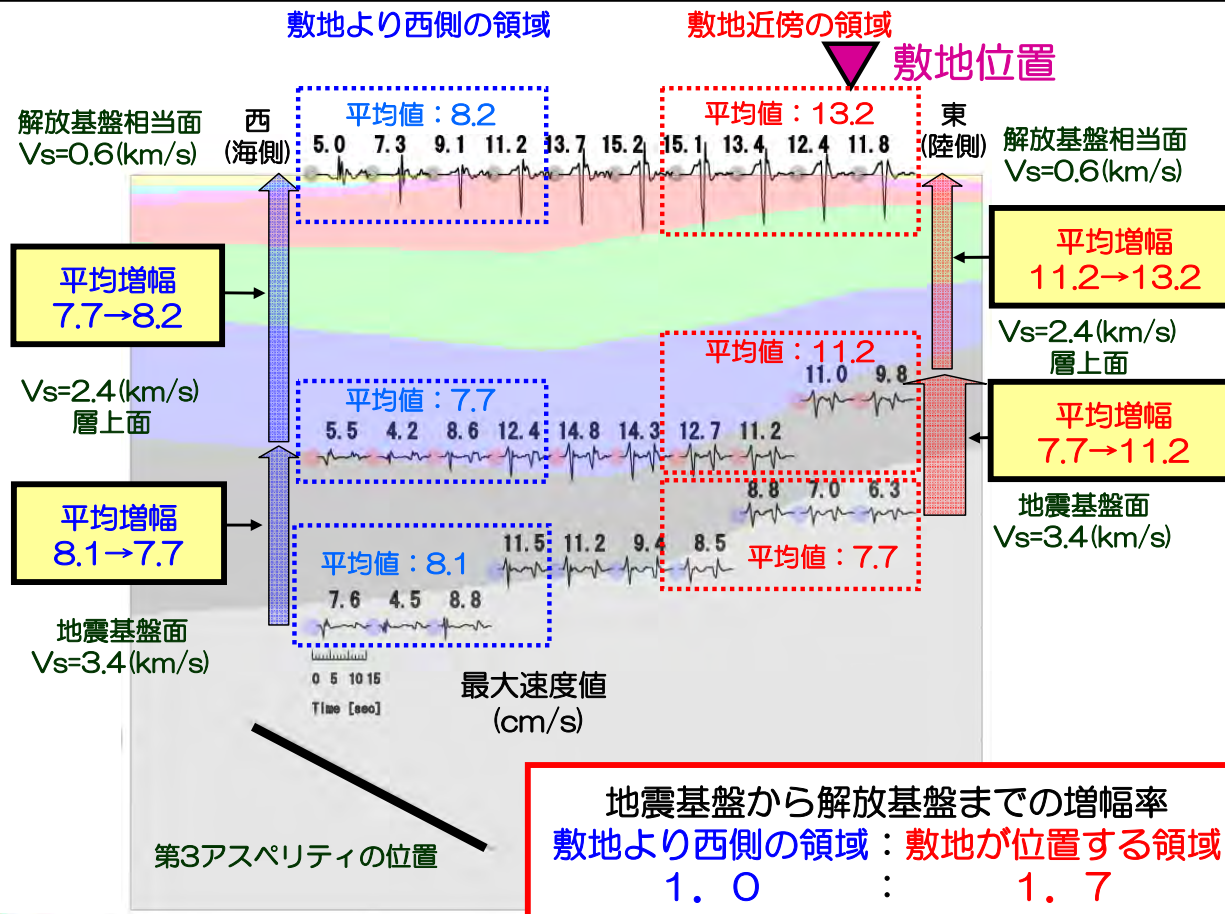
-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.3次元地下構造モデルの設定
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

- 地下構造の変化は南北方向に比べて東西方向に大きいため、東西方向に波形を出力する断面を設定し、その断面上での地下構造の増幅特性の検討を行う。
- 解放基盤相当面、 $V_s=2.4$ (km/s)層上面、地震基盤上面近傍の3つの深度で速度波形を抽出する。
- 地下構造の水平方向の変化が大きい敷地近傍の領域と、水平方向の変化が小さい敷地より西側の領域で、地震基盤から解放基盤までの増幅率を比較する。
- 本検討では、観測された記録の中で最も振幅の大きかった第3アスペリティのEW成分を計算対象とする。

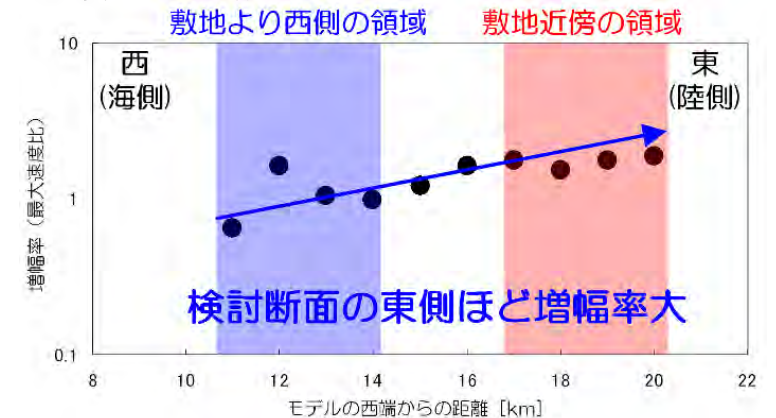


中越沖地震のシミュレーション解析

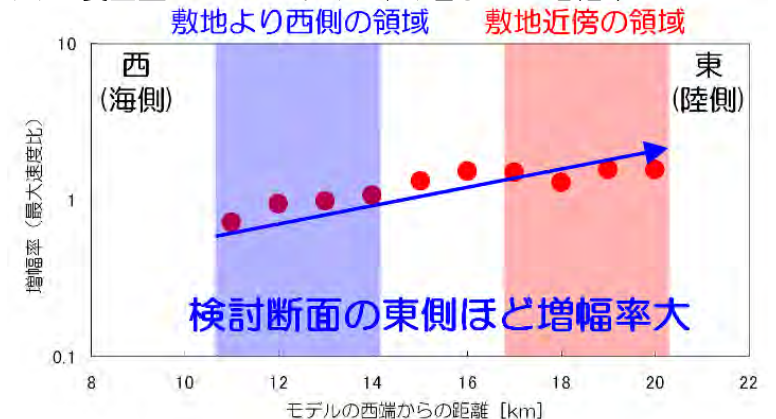
- 波形出力断面における解放基盤相当面、 $V_s=2.4\text{km/s}$ 層上面、地震基盤上面近傍における各地点での速度波形（左下図），各層間における各地点での増幅率（右下図）を算定。
- 各出力波形上の数値はそれぞれの最大値を示す。
- 解放基盤面では自由表面の効果があるため，波形の最大振幅を $1/2$ にして最大速度値を求めている。
- 2つの領域（敷地より西側の領域，敷地近傍の領域）で増幅率を比較すると，敷地近傍での増幅の方が敷地より西側の領域での増幅より大きくなっている。
- 2つの領域における増幅率の違いの原因の一つとして，敷地近傍の領域の方が地下構造の水平方向の変化が大きいことが影響していると考えられる。



(1) 地震基盤から解放基盤までの増幅率



(2) 地震基盤から $V_s=2.4\text{ (km/s)}$ 層までの増幅率



(1) 広域の地下構造モデルを用いた検討 小括

- 敷地周辺における広域の3次元地下構造モデルを用いて、中越沖地震の第3アスペリティからの入力に対する増幅特性について、2つの領域（敷地より西側の領域、敷地近傍の領域）における違いに関して検討を行った結果、以下を確認。
 - ・ 敷地近傍の領域の方が敷地より西側の領域よりも大きく増幅する傾向にあること。
 - ・ 上記の原因の一つとして、敷地近傍の領域においては深部の層境界が海から陸側に向けて浅くなっており、地下構造の水平方向の変化が大きいことが影響していると考えられること。

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.2次元地下構造モデルの作成
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - d.パラメータスタディ
 - e.到来方向別の増幅特性に関する検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

2次元地下構造モデルの作成過程及び妥当性について

		内容	説明概要	ページ
10	H27 2/13	2次元地下構造モデルの設定において、バランス断面法を用いているが、どのように評価を行っているか詳細を説明すること。	・バランス断面法による地下構造モデルの推定結果についてご説明。併せてパラメータスタディにより2次元地下構造モデルを検証した結果をご説明。	126~128 131~132 160~165
11	H27 2/13	水平アレイを活用し1次元の地下構造モデルを同定するなど、総合的に評価すること。	・水平アレイ観測点の1次元地下構造モデルや微動アレイによる1次元地下構造モデルと2次元地下構造モデルの対応関係について分析した結果をご説明。併せてパラメータスタディにより2次元地下構造モデルを検証した結果をご説明。	133~149 89~91 159

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.2次元地下構造モデルの作成
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - d.パラメータスタディ
 - e.到来方向別の増幅特性に関する検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

目的

- 観測記録を分析した結果、中越沖地震など海域で発生した地震については、荒浜側が大湊側よりも大きくなる傾向が認められ、その傾向は敷地南西で発生する地震ほど顕著であることが確認された。
- 敷地内の荒浜側と大湊側の領域間で確認される差異であることから、比較的敷地近傍の地下構造に影響されているものと考えられる。
- 敷地近傍の地下構造は、地下構造調査結果から、西山層以下の褶曲構造により特徴付けられることが確認されている。
- そのため、敷地近傍に存在する褶曲構造が荒浜側と大湊側の増幅特性に与える影響を定性的に把握するため、褶曲軸に直交する2次元モデルを作成し、解析検討を実施する。

評価の流れ

地下構造モデルの設定

- ・ 敷地及び敷地周辺における地下構造調査結果に基づき、2次元の地下構造モデルを作成。

地下構造モデルの検証

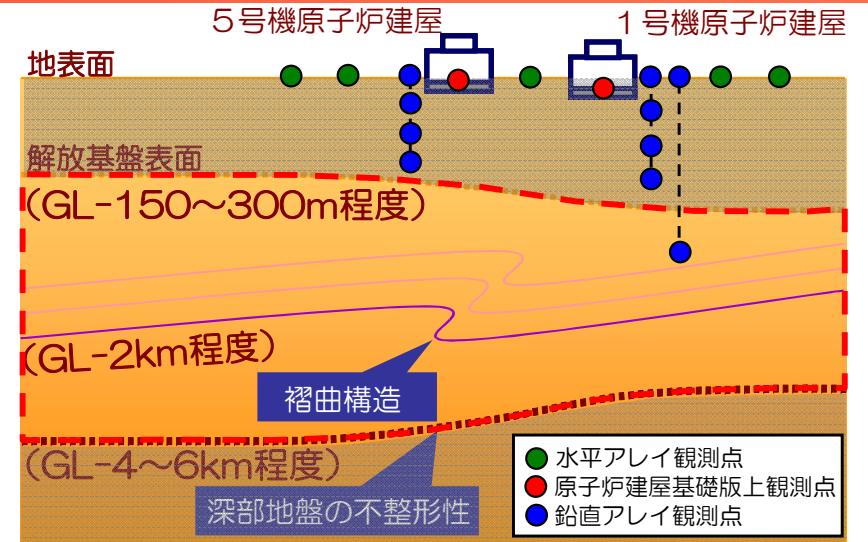
- ・ 中越沖地震の観測記録を対象としたシミュレーションにより、地下構造モデルの妥当性を確認。
- ・ パラメータスタディにより、各パラメータが増幅特性に与える影響を確認するとともに、増幅特性に大きく影響しているパラメータを把握。

増幅特性の検討

- ・ 地下構造モデルに基づき増幅特性を評価し、観測記録との対応関係について分析。

敷地の増幅特性に関する検討の概要

- 敷地の増幅特性に関しては、解放基盤表面以浅の影響、古い褶曲構造の影響、深部地盤における不整形性の影響について地震観測記録の分析、解析的検討により十分に把握ができているものと考えられる。
- また、原子炉建屋基礎版上の観測記録、水平アレイ観測記録を活用することで、敷地内全体の増幅特性が把握ができているものと考えられる。



解放基盤表面以浅の影響	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認</p>			<p>2.(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録</p>	<p>2.(4)水平アレイ観測記録</p>	
古い褶曲構造の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖と同じ傾向)</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率は荒浜側と大湊側で同程度</p>	<p>2.(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)</p> <p>荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析</p>	<p>4.(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認</p>	<p>5号機を基準としてスペクトル比を算定</p> <p>大湊側はばらつきが小さい</p> <p>荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる</p>	<p>5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認</p> <p>荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない</p>
深部地盤における不整形性の影響	<p>2.(1)2007年中越沖地震の地震観測記録</p> <p>耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p>	<p>2.(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)</p> <p>【海域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る</p> <p>【陸域】耐専スペクトルとの比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る</p>	<p>敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認</p>	<p>4.(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討</p> <p>3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認</p>		<p>大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない</p>

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.2次元地下構造モデルの作成
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - d.パラメータスタディ
 - e.到来方向別の増幅特性に関する検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

- 敷地及び敷地周辺で実施した地下構造調査結果及び小林ほか（1995）による既往の地質調査資料などを用い，荒浜側と大湊側の地震動特性を検討することを目的として，荒浜側と大湊側でそれぞれ2次元地下構造をモデル化。
- 敷地周辺の地盤はN55° Eの方向（北から時計回りに55度東の方向）に連続する，概ね2次元的な形状を呈しているため，断面はN55° Eの方向（真殿坂向斜の向斜軸）にほぼ直交する方向に設定。

評価の流れ

各地層境界の設定

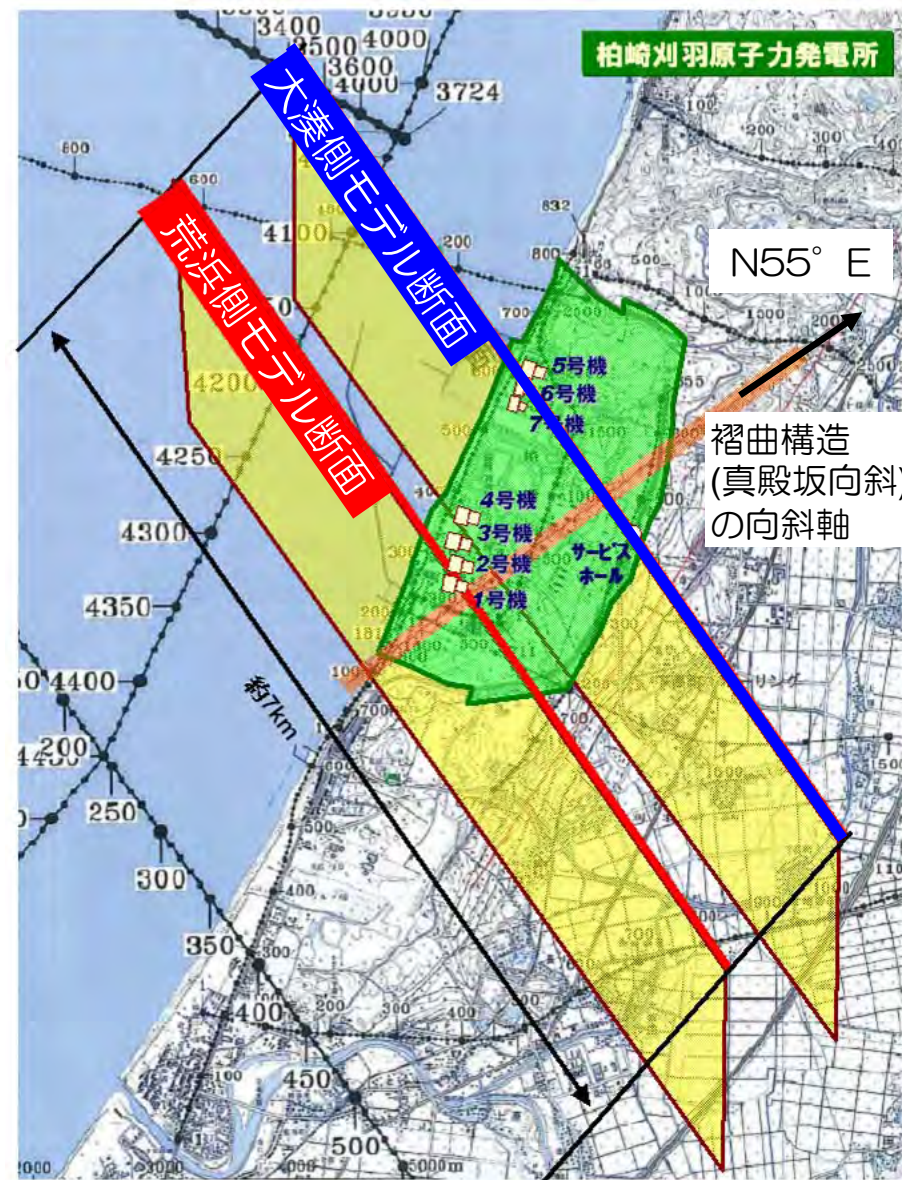
- ・ 反射法探査結果やボーリング結果等に基づき各地層境界面を設定。
- ・ 反射法探査結果の反射面が不明瞭な領域については，バランス断面法による推定結果と併せて地層境界面を設定。

2次元モデルへの反映

- ・ 設定した地層境界面を荒浜側と大湊側の断面へ投影することで，2次元モデルを作成。

各地層に物性値を付与

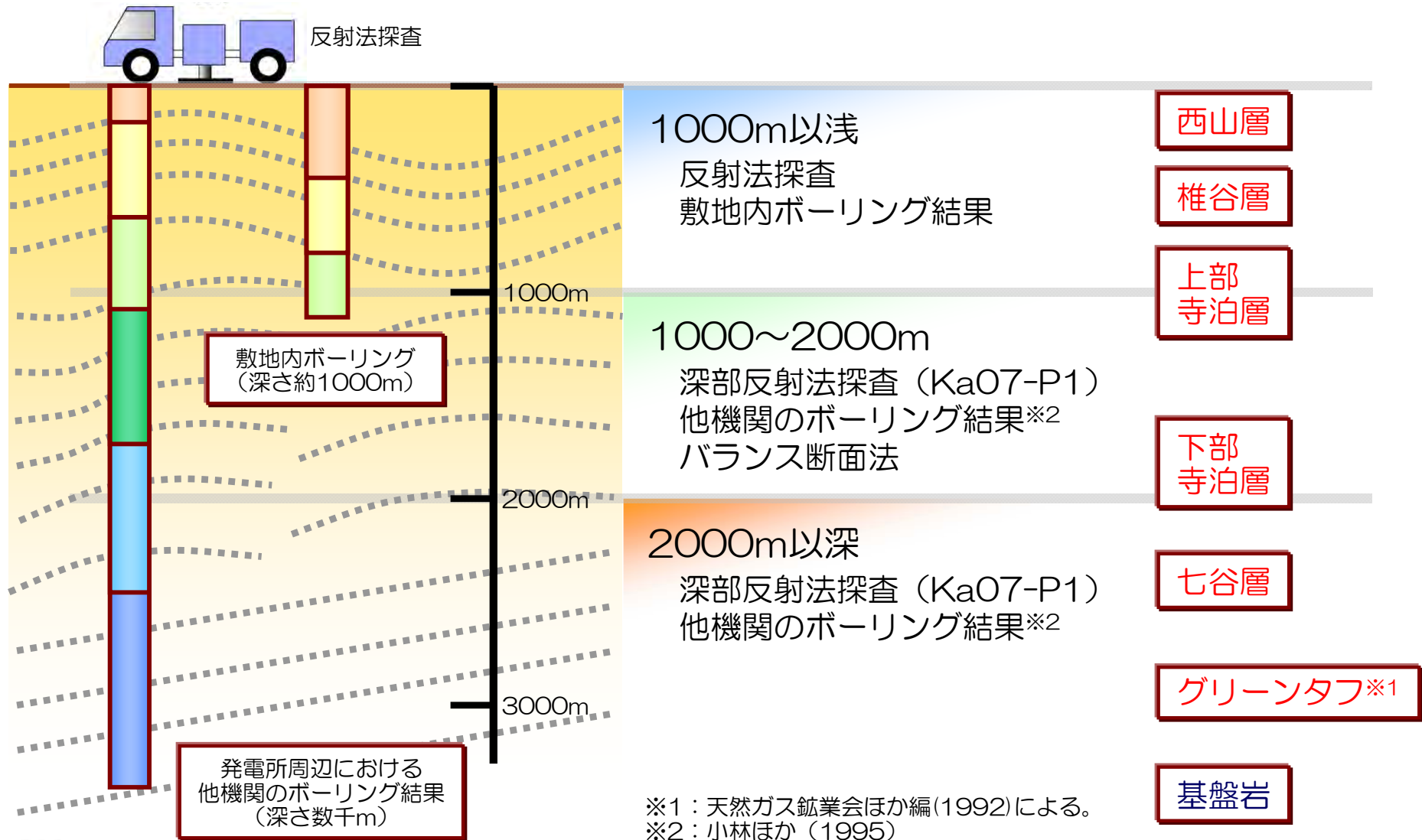
- ・ 設定した各地層に速度値などの物性値を付与することで解析モデル断面を設定。



2次元地下構造モデルのイメージ図

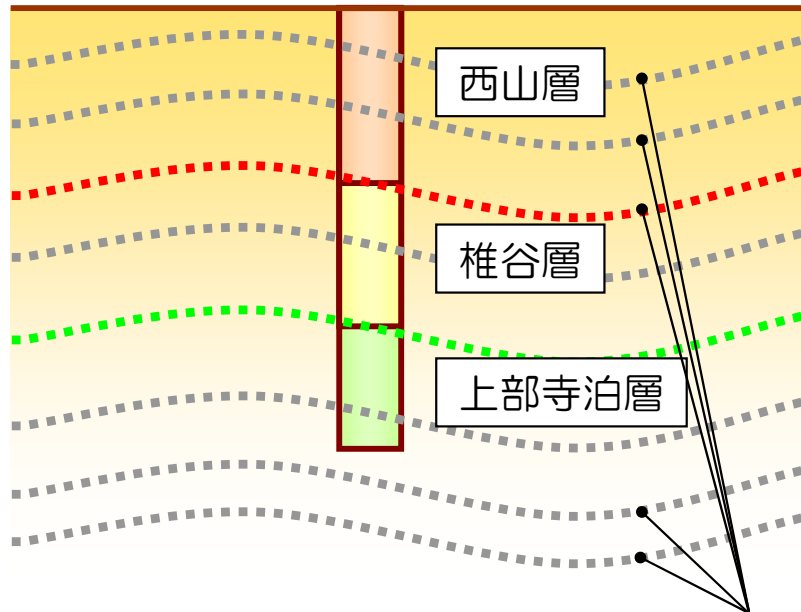
モデル化に使用した情報 徳光ほか（2009）

- 小林ほか（1995）による敷地周辺の層序を踏まえ、基盤岩より上部の地層を、下からグリーントフ※1、七谷層、下部寺泊層、上部寺泊層、椎谷層、西山層として設定。
- 地下構造モデルは、深度に応じ、以下の情報に基づき層境界を設定した。

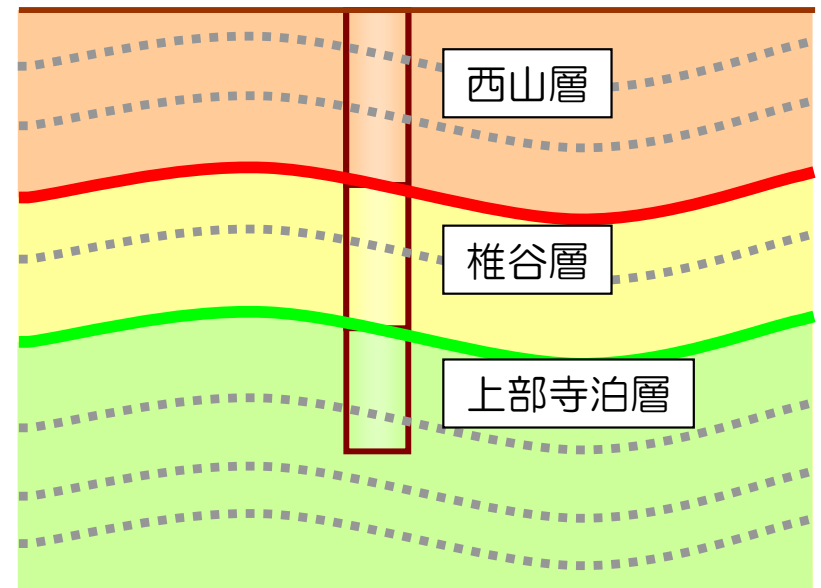


- 1000m以浅のモデル化（椎谷層・上部寺泊層の上面を決定）
 - ・ 敷地内ボーリング結果より層境界を設定。
 - ・ 反射法探査の反射断面に基づき地質構造を設定。

ボーリング結果

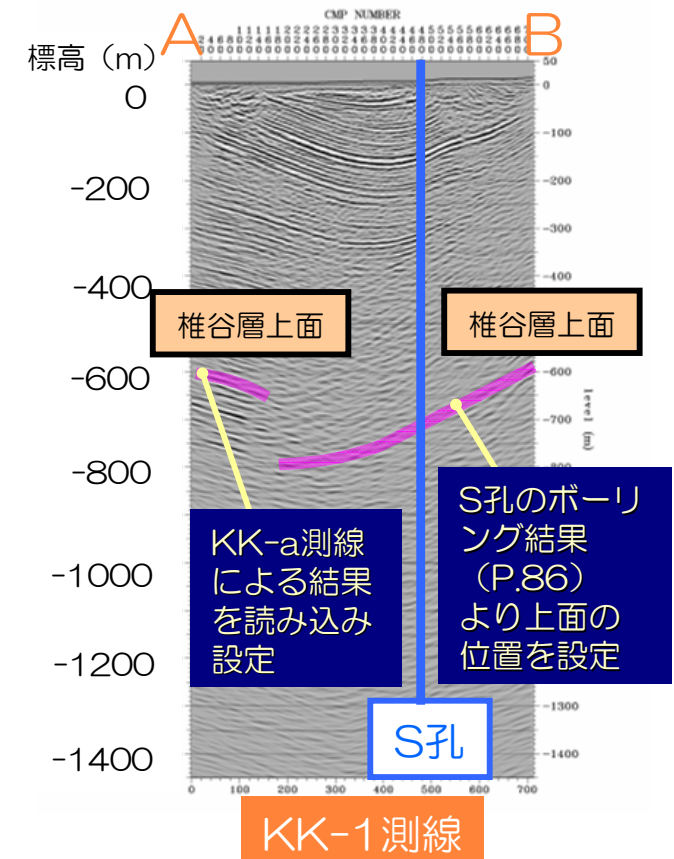
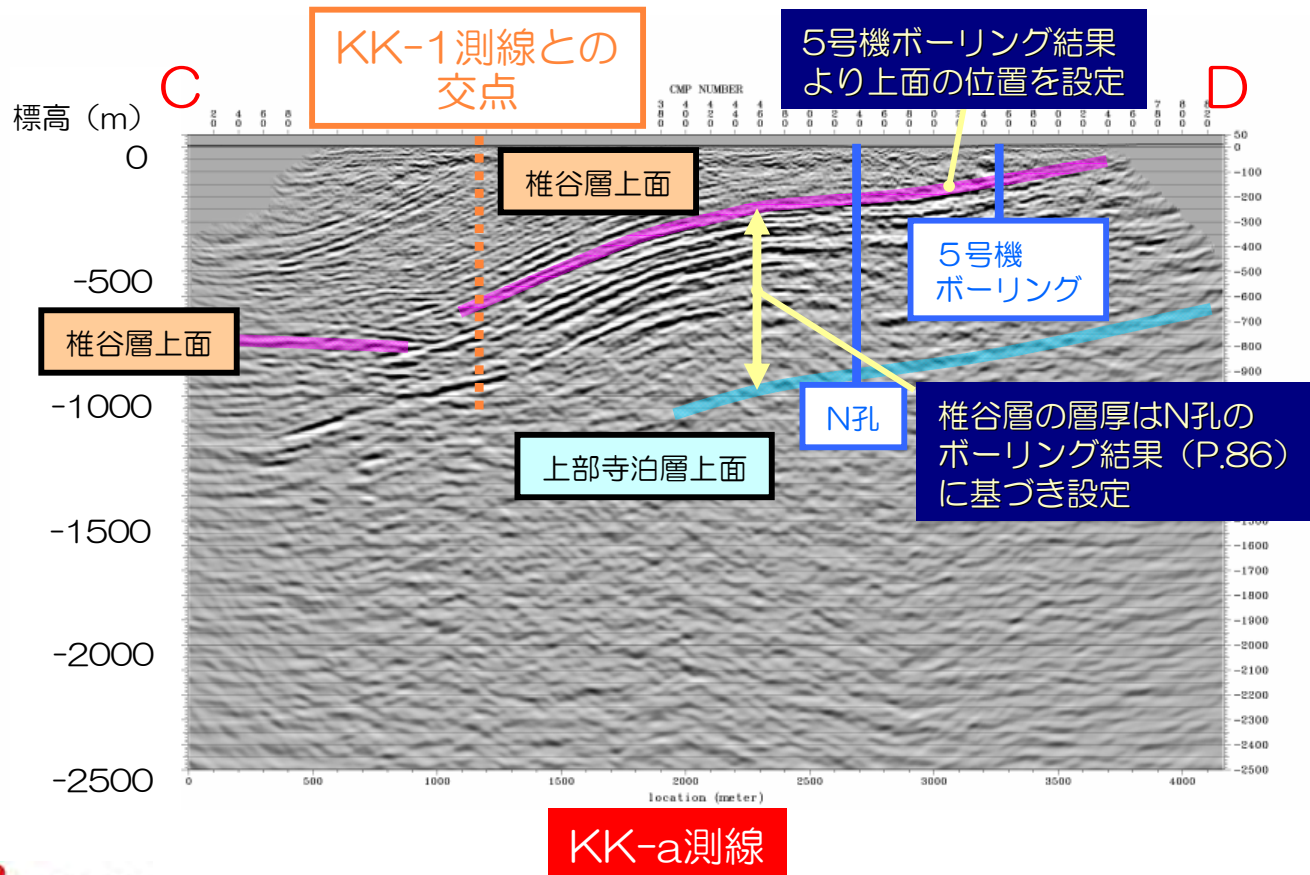
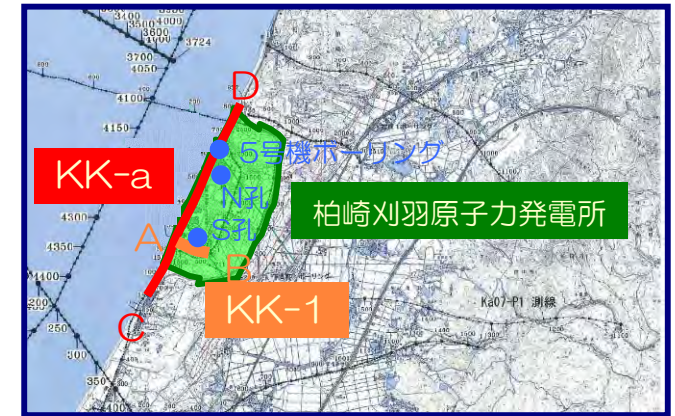


反射法探査による
地中の反射面



地下構造モデルの作成 モデル化の方法① 徳光ほか（2009）

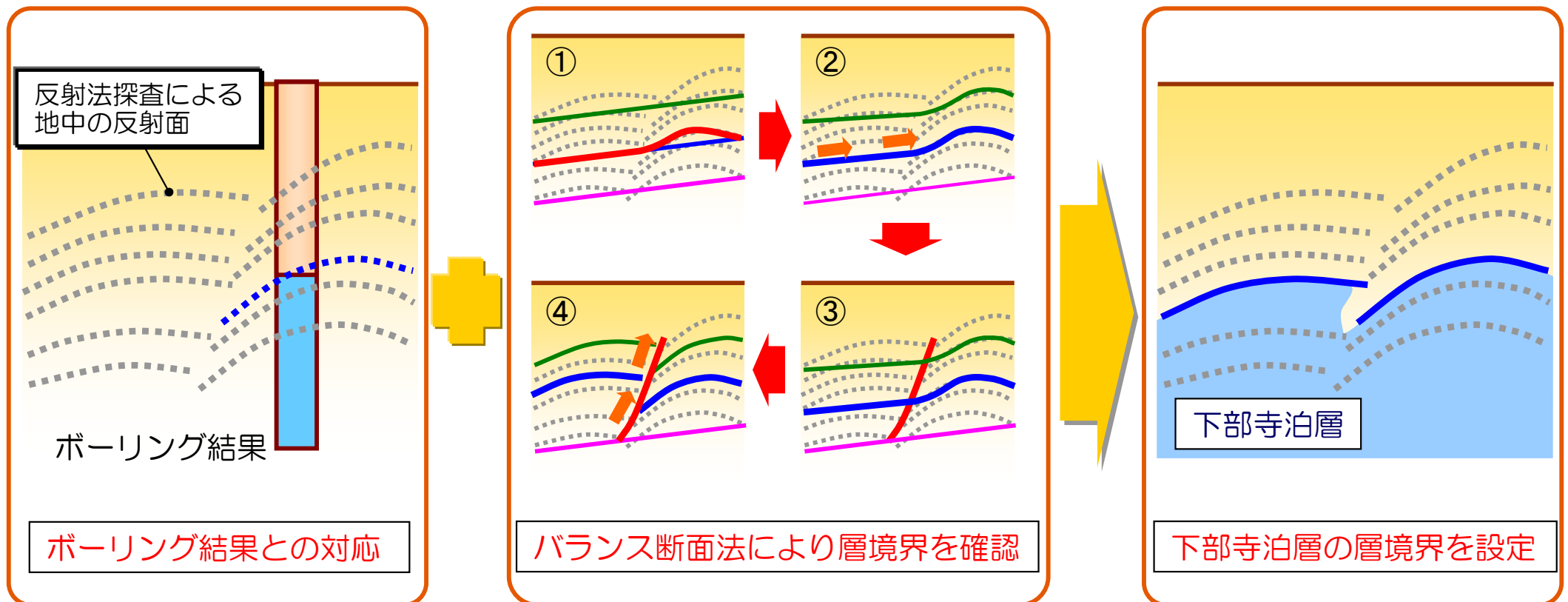
- 椎谷層上面の内，上盤側は5号機やN孔のボーリング結果によって確認されている上面深度を手がかりに，KK-a測線における反射法探査の反射断面を追跡することにより推定。
- 椎谷層上面の内，下盤側はS孔のボーリング結果によって確認される上面深度を手がかりに，KK-1測線における反射法探査の反射断面を追跡することにより推定。
- 上部寺泊層の上面は反射法探査の反射断面では明瞭に確認できないことから，N孔における椎谷層の層厚（710m）を基本とし，反射断面を確認しながら推定。

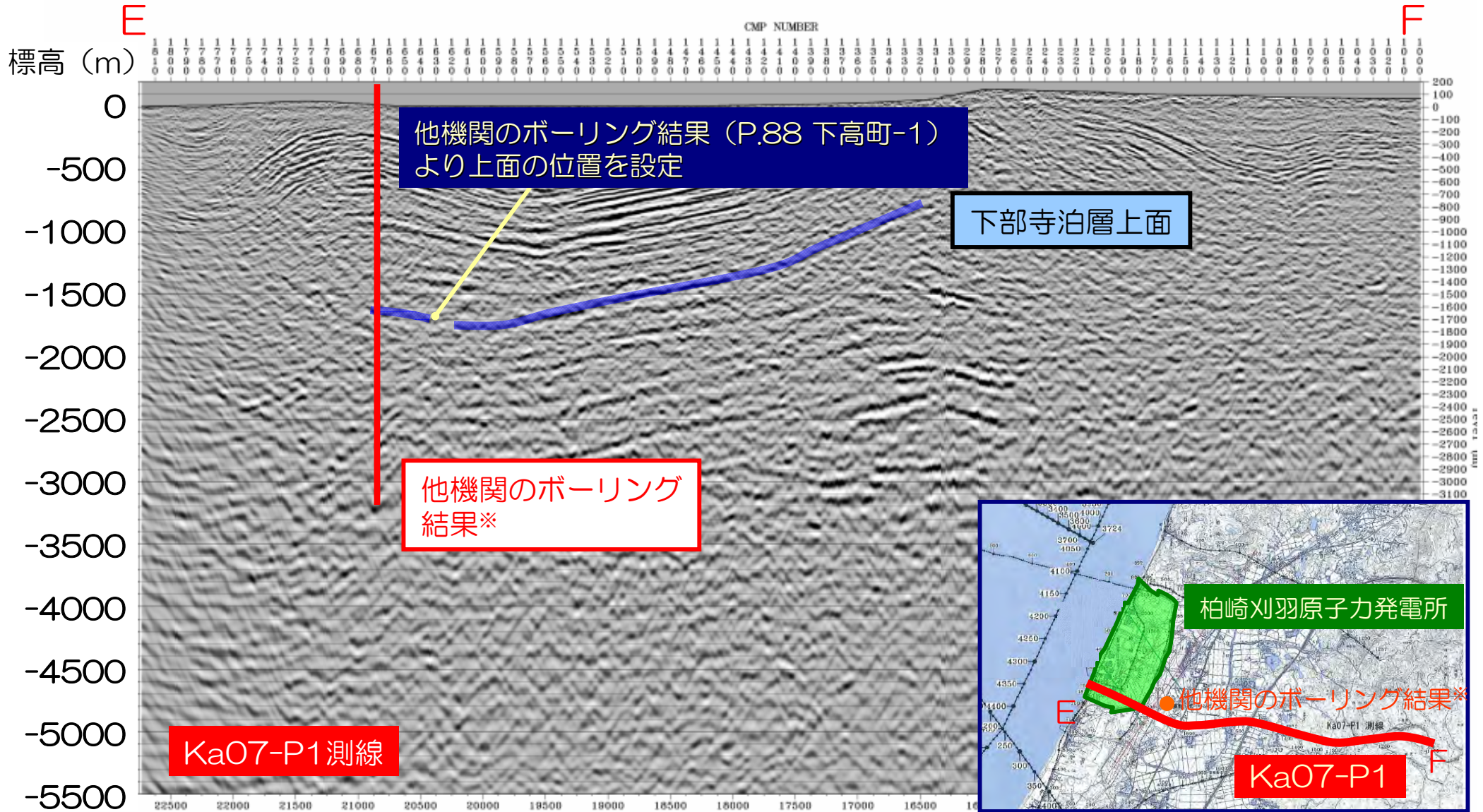


■ 1000~2000mのモデル化（下部寺泊層の上面を決定）

- ・ 他機関のボーリング結果※により層境界を設定。
- ・ 深部反射法探査の反射断面に基づき地質構造を設定。
- ・ 反射断面により推定できない領域は、バランス断面法により補完。

※小林ほか（1995）





※小林ほか（1995）

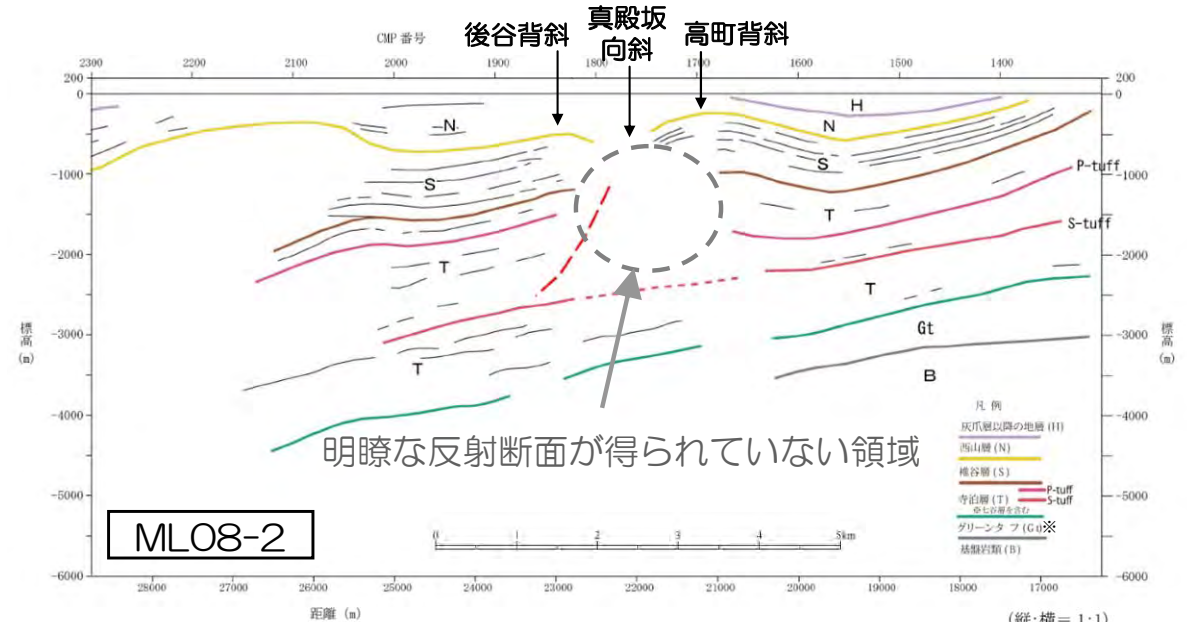
■ 反射法探査の反射断面のみでは地質構造を十分な精度で判断することが難しいため、バランス断面法による結果と併せて下部寺泊層の層境界を設定。

■ 下部寺泊層上面および上部寺泊層の真殿坂向斜の褶曲部については、明瞭な反射断面が得られていないことから、バランス断面法により補完して地下構造モデルを作成。



バランス断面法により推定した領域は、直接的に地下構造を把握できていないことから、パラメータスタディにより影響を検討。

- ・ 地層境界面の影響 → P160～
- ・ 真殿坂向斜の褶曲部の影響 → P164～

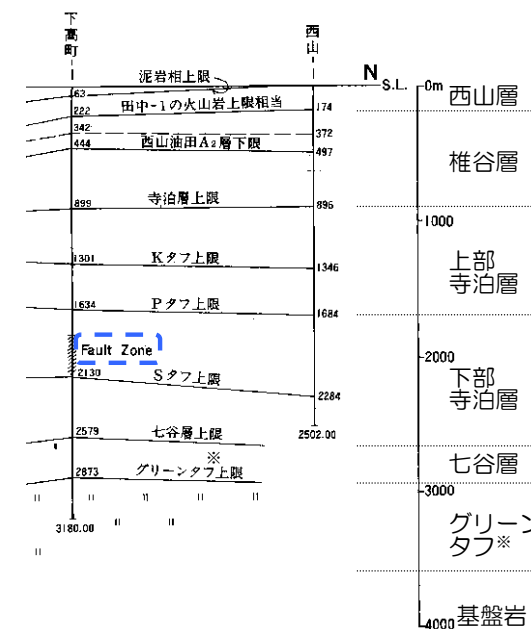
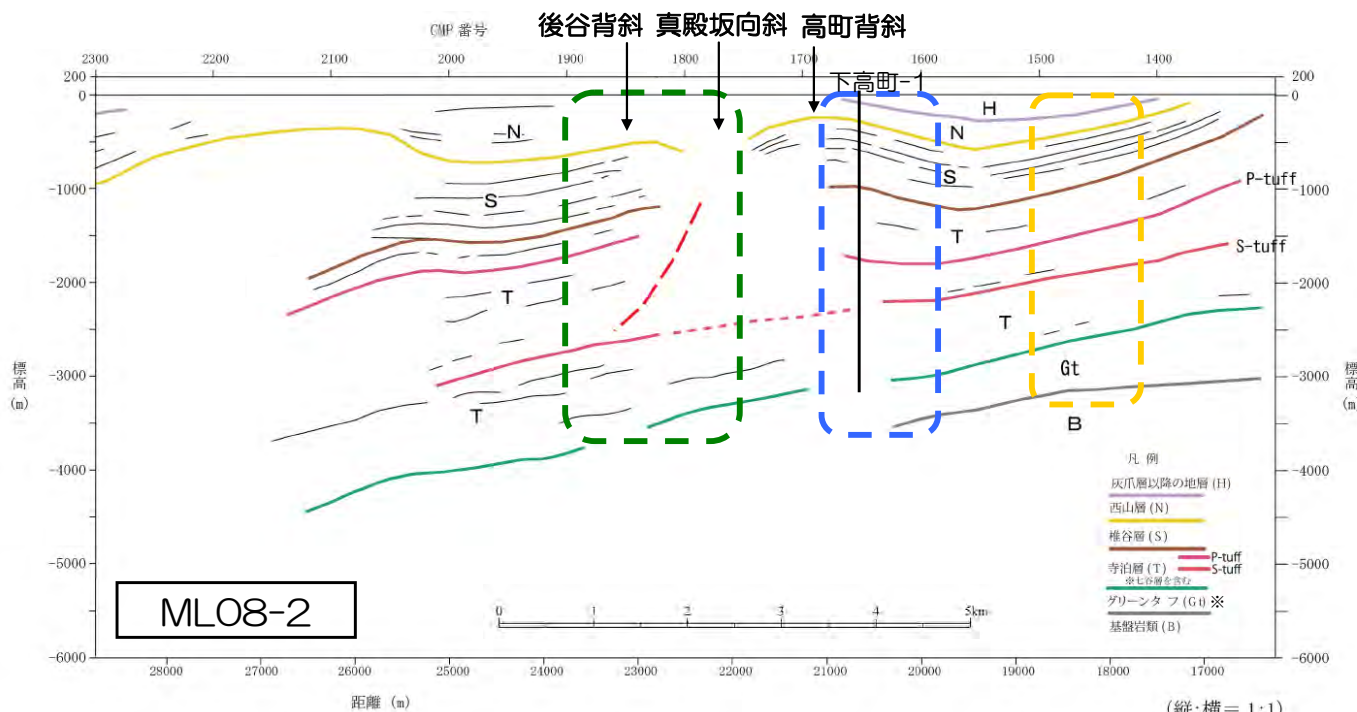
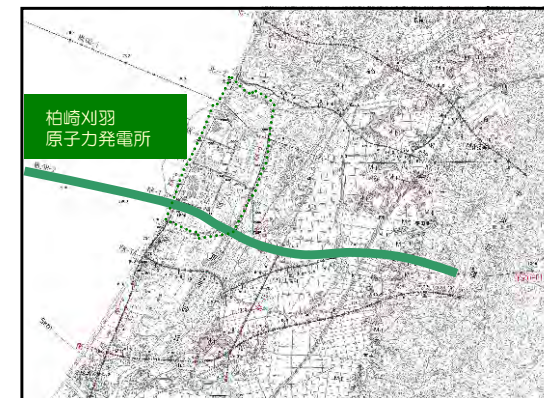


- バランス断面法は、堆積時の単純な地質構造をもとに、地質構造発達プロセスを仮定し、現在に見られる褶曲や断層などの変形を受けた状態を作成する解析方法。
- バランス断面法では、断層変位や褶曲の成長によって、水平の短縮量と地層の変形量が等しいと仮定する。(地層の面積が変化しないと仮定)
- バランス断面法による推定断面は、1号機側断面と5号機側断面との中間に設定し、検討を実施。



初期モデルの設定とすべり面の設定

- すべりが発生する前の初期モデルは、敷地周辺では各地層に変形が確認されるため、各層で変形が確認されない領域を参考に設定。（黄点線部）
- 敷地周辺の地下構造を形成したと考えられる変形は2回に分けて起きたと仮定。
- 1回目のすべり面は、下高町-1におけるボーリング結果においてSタフとPタフの間に「Fault Zone」と記載されていることや、反射断面において、Pタフより上層は褶曲が激しいのに対してSタフより下層は比較的平坦となっていることから、PタフとSタフの間にあると仮定。（青点線部）
- 2回目のすべり面は、反射断面に基づき、真殿坂向斜を形成したと考えられるSタフから上部寺泊層に至るすべり面を仮定。（緑点線部）



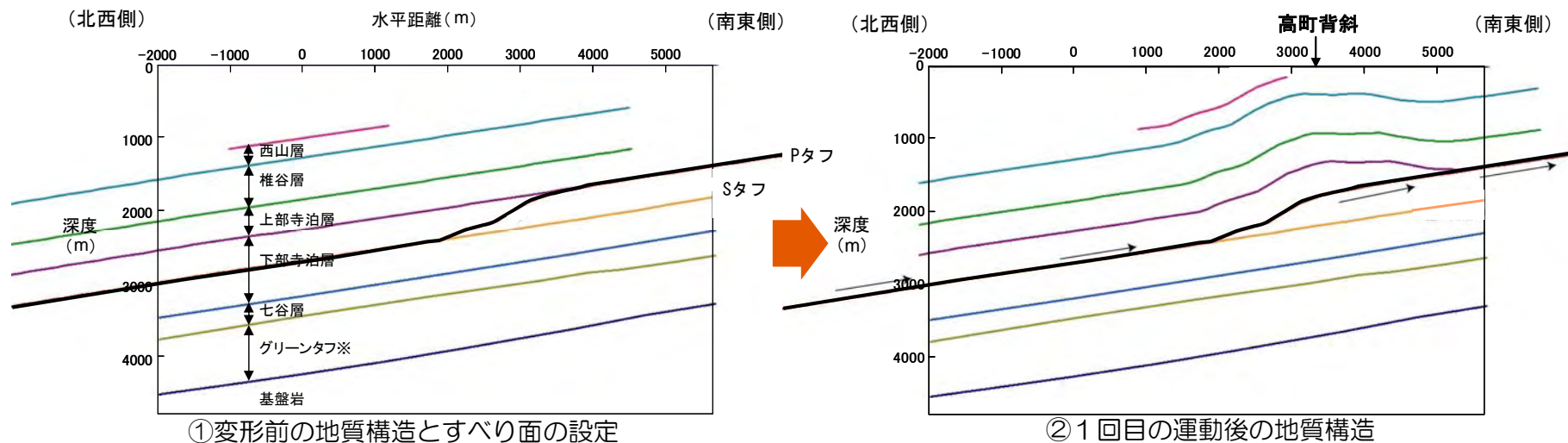
小林ほか（1995）より引用・加筆

※ 天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。

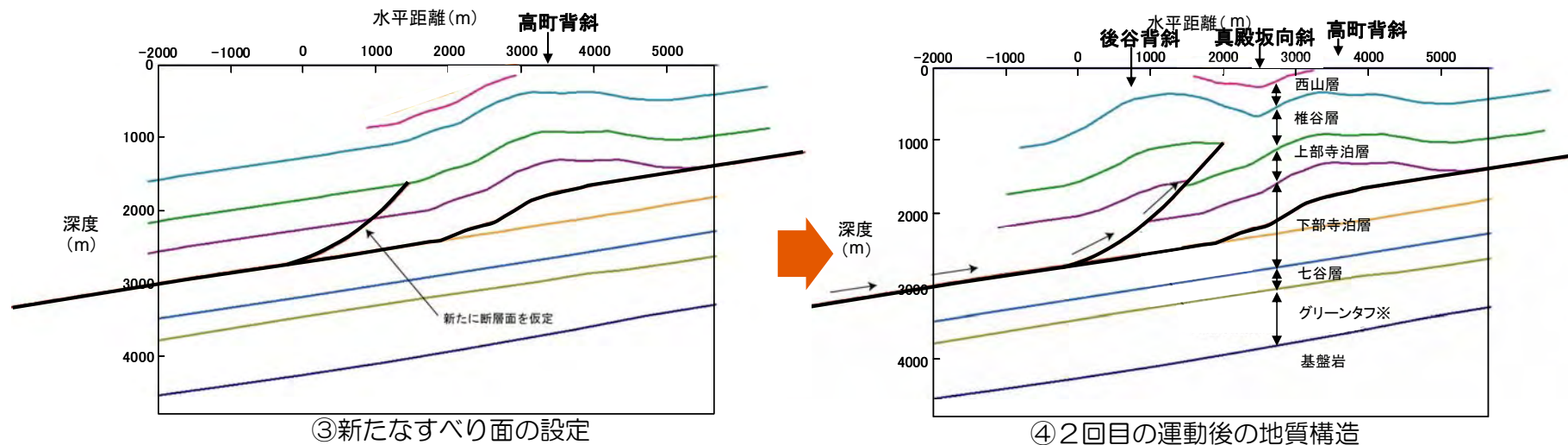
バランス断面法による推定結果

コメント
No.10

■ 変形前の地層は平行を仮定し、不連続面において上盤を東方向に変位させることで、高町背斜を再現。



■ 変形域の西側に、新たな不連続面を設定し、上盤を東に変位させることで後谷背斜及び真殿坂向斜を再現。

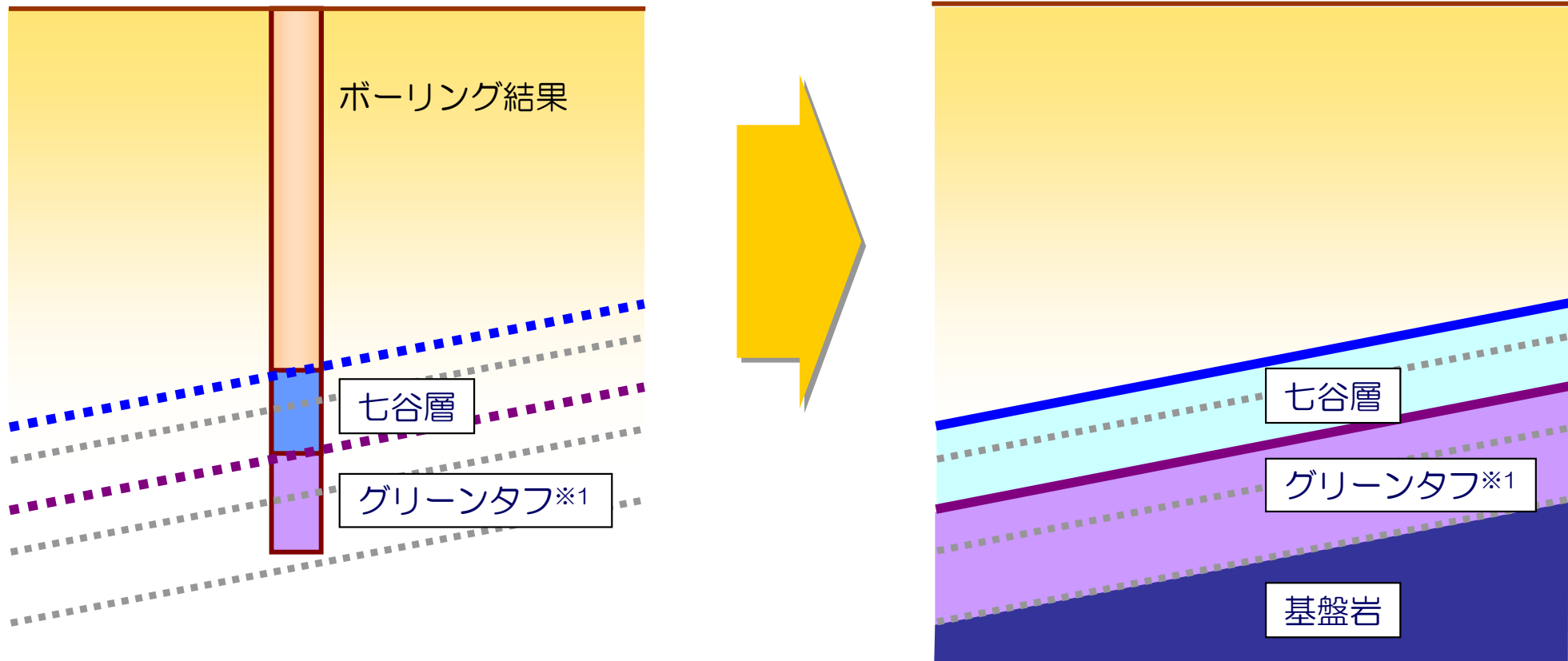


■ 得られた解析結果は、反射法探査結果により得られている椎谷層上面及び上部寺泊層上面の形状と整合している。

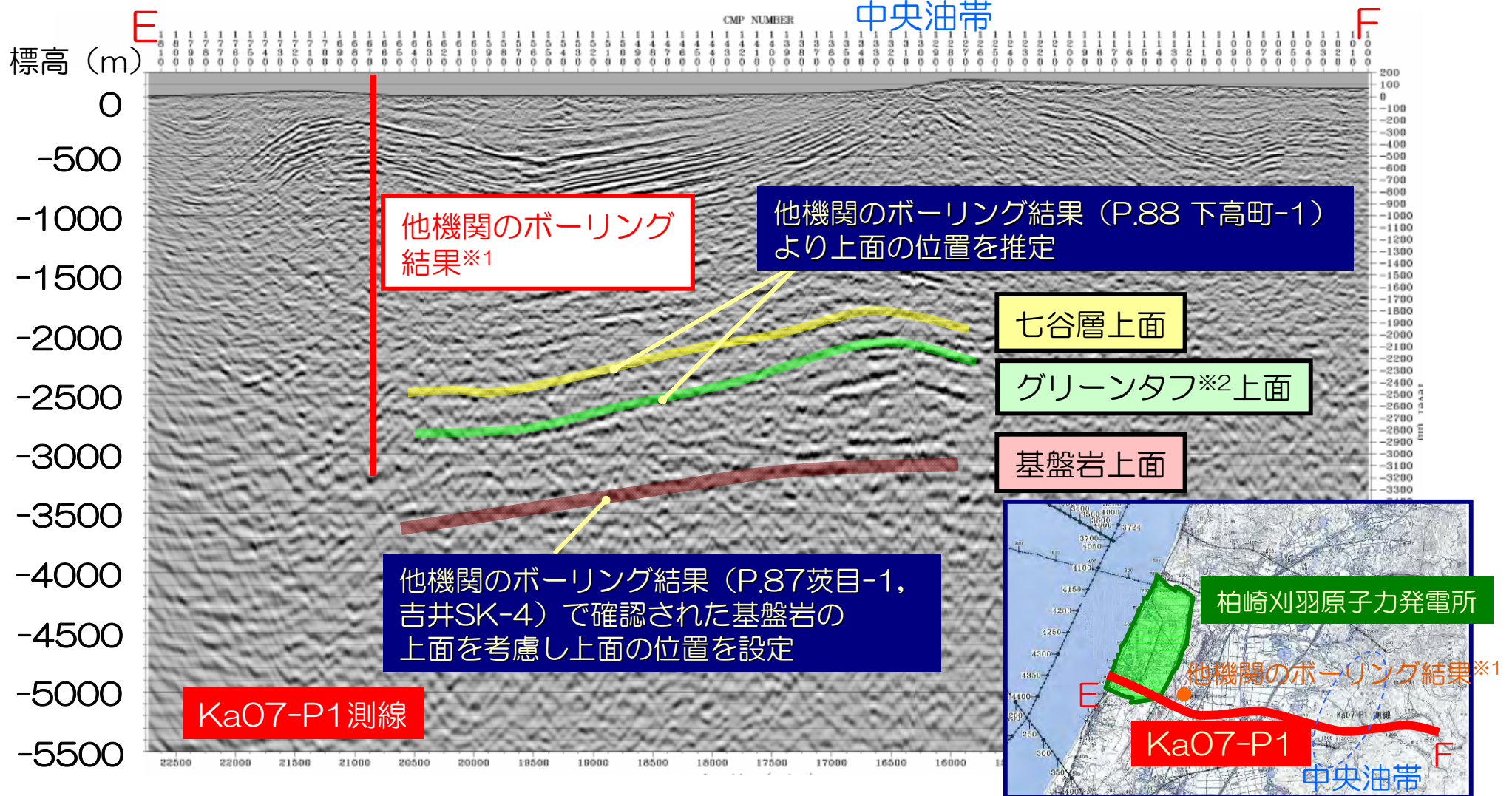
※ 天然ガス鉱業会ほか編 (1992) による。

■ 2000m以深のモデル化（七谷層・グリーンタフ※1・基盤岩の上面を決定）

- ・ 緩やかに傾斜した平行成層地盤と仮定。
- ・ 他機関のボーリング結果※2（P.87 茨目-1，吉井SK-4）により層境界を設定。
- ・ 深部反射法探査による反射断面により地質構造を設定。



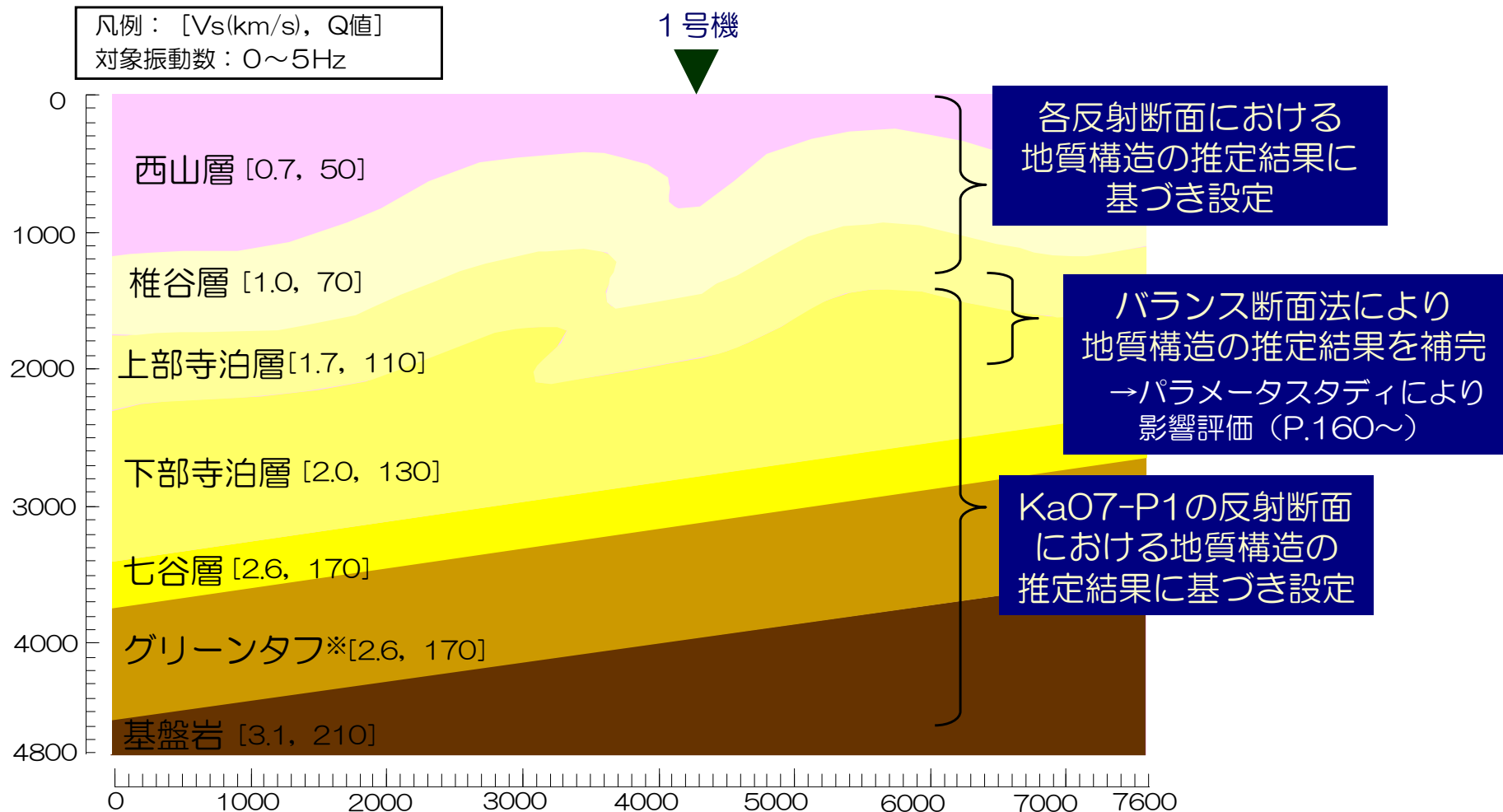
※1：天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。
※2：小林ほか（1995）



- 中央油帯付近において深さ3100m付近に基盤岩と見られる反射面が確認される。
- 小林ほか（1995）における，中央油帯のボーリング調査地点の内，吉井SK-4及び茨目-1においては基盤岩が確認されており，反射法探査による深さと調和的。
- 地層境界は大局的には緩やかに西に傾斜している傾向が確認できる。

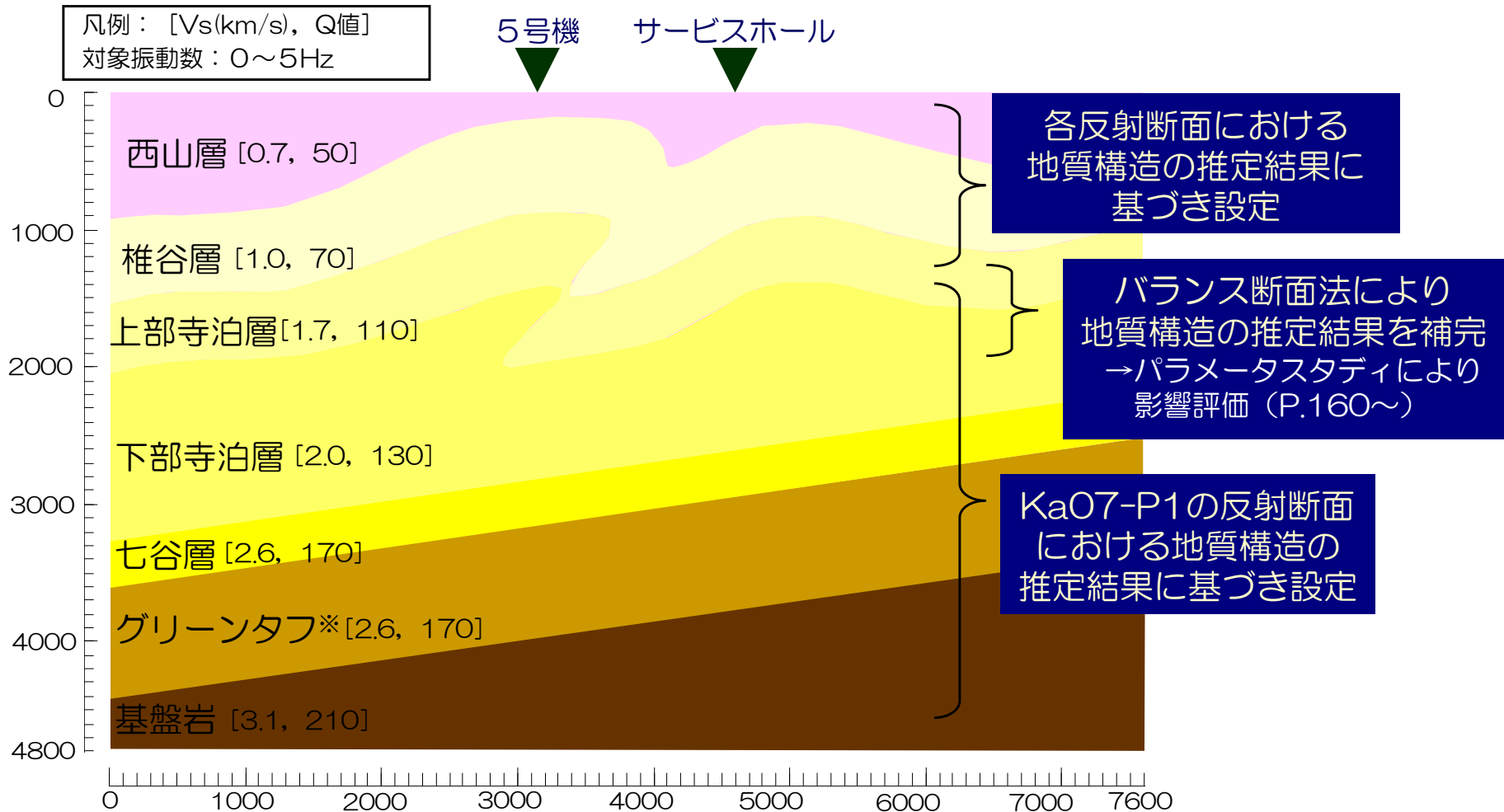
※1：小林ほか（1995）
※2：天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

- 推定された地下構造を、解析断面に投影し、地下構造モデルを作成。
- なお、速度構造は、水平／上下スペクトル振幅比とレシーバー関数を用いた逆解析により設定。また減衰（Q値）は算定式（ $Q = V_s / 15$ ）より設定。



※：天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

- 推定された地下構造を、解析断面に投影し、地下構造モデルを作成。
- なお、速度構造は、水平／上下スペクトル振幅比とレシーバー関数を用いた逆解析により設定。また減衰（Q値）は算定式（ $Q = V_s / 15$ ）より設定。

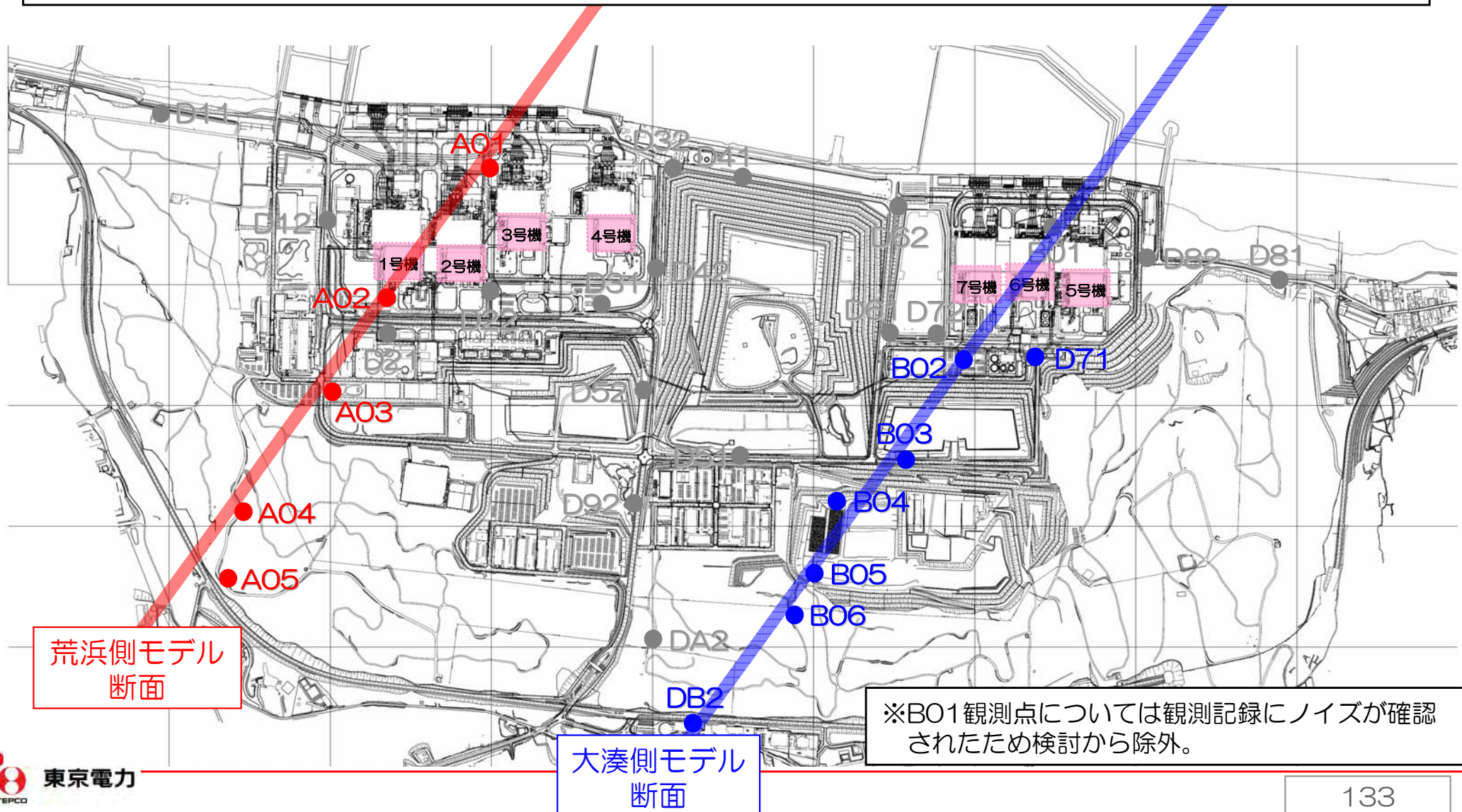


※：天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

水平アレイ観測地点の1次元地下構造モデルによる検証

コメント
No.11

- 作成した2次元地下構造モデルについて、以下の検討を実施し、対応関係について確認。
 - ①2次元地下構造モデルの解析断面位置に近いA・B測線の1次元地下構造モデルを評価し、2次元地下構造モデルとの対応関係を確認。
 - ②2次元地下構造モデルにおける水平アレイ観測点の投影位置の1次元地下構造モデルを抽出し、観測記録の再現性を確認。



①1次元地下構造モデルの評価 評価方法について

- 水平アレイ観測点について、梅田・小林(2010)に基づき、P波部H/Vスペクトル比、レシーバー関数及びコーダ部H/Vスペクトル比をジョイントインバージョンし、各観測点の1次元地下構造モデルを評価。

モデル作成の流れ

深部地盤物性の同定

鉛直アレイ付近に設置されている代表3点(A02,D71,DB2)について深部の地盤物性を同一とした逆解析により物性値を同定。

地下構造モデルの評価

同定した深部の物性値を各観測点に適用して、各観測点の逆解析を行い1次元地下構造モデルを評価。

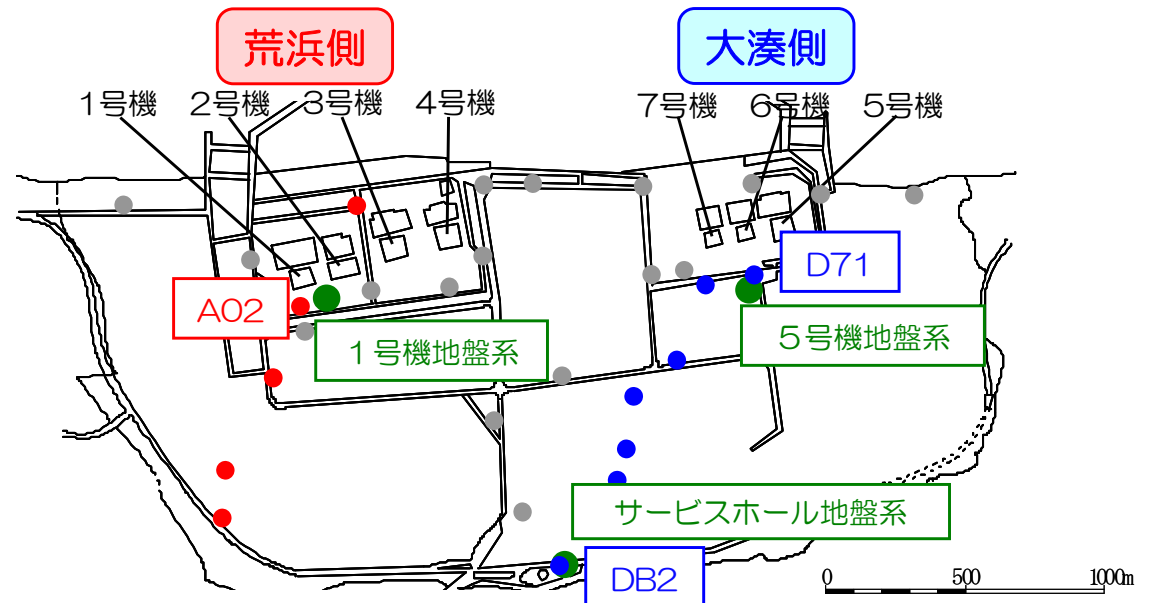
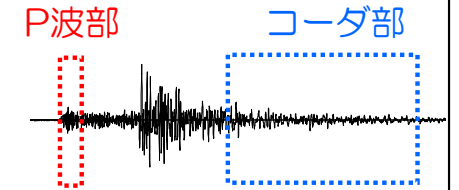
	層厚	物性
浅部	単点逆解析	単点逆解析
深部	単点逆解析	3地点逆解析

2次元モデルとの比較

推定した1次元地下構造モデルを2次元地下構造モデルに投影し、両者の対応関係について確認。

- P波部のH/Vスペクトル比には、速度構造・減衰等の情報が含まれる。
- P波部のレシーバー関数には、地震基盤以浅の速度構造に関係する量であるPS-P時間の情報等が含まれる。
- コーダ部のH/Vスペクトル比には、表面波による影響が多く含まれていることから、地震基盤以浅の速度構造の情報が含まれる。

これらをジョイントインバージョンすることで精度の高い地下構造モデルを推定する。



①1次元地下構造モデルの評価 検討対象地震について

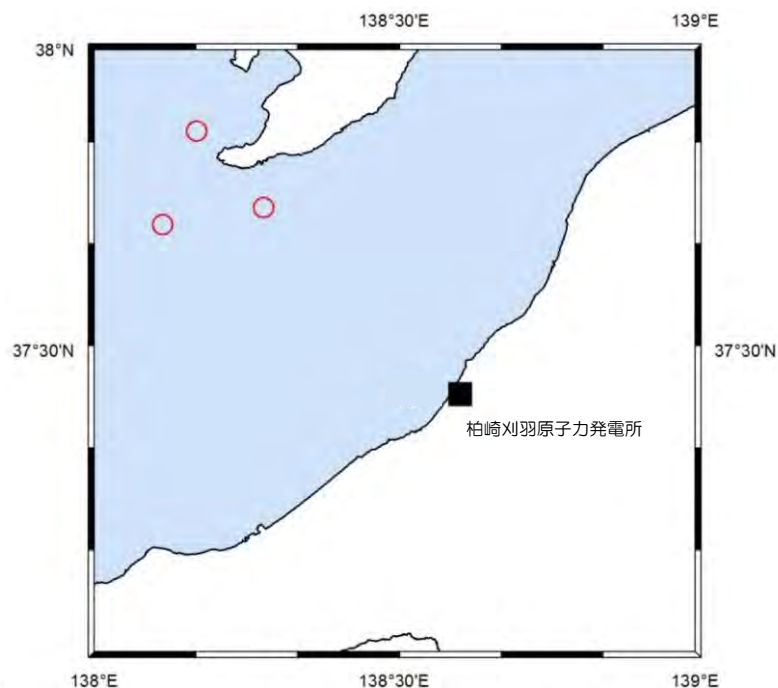
- 検討対象とした地震はすべての観測点で記録が得られていることを前提とし、以下の観点から選定。
 - P波部の検討においては、P波初動が記録されており、S/N比が良いM4.0~6.0で震央距離が近い地震を選定。
 - コーダ部の検討においては、M6.5以上の表面波が十分含まれている地震を選定。

P波部の検討に用いる地震

発震日時	震源深さ (km)	Mj	震央距離 (km)
2011/05/06 08:00	18	4.2	54
2011/11/26 09:05	24	4.3	45
2012/02/08 21:01	14	5.7	63

コーダ部の検討に用いる地震

発震日時	震源深さ (km)	Mj	震央距離 (km)
2011/03/12 00:13	22	6.7	342
2011/03/12 03:59	8	6.7	48
2011/04/11 17:16	6	7.0	191
2011/07/31 03:53	57	6.5	240



①1次元地下構造モデルの評価 深部地盤物性の同定

コメント
No.11

- 代表3点 (A02,D71,DB2) について深部の地盤物性を同一とした逆解析により物性値を同定。
- 遺伝的アルゴリズムを用い層厚, S波速度, P波速度, Q_s , Q_p , を未知数として探索する。
- 探索範囲は基本的に3観測点で共通とし, 大深度ボーリング等のPS検層結果や反射法地震探査結果が反映された2次元地下構造モデルを参考に設定。

地質	層 No.	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Q_s *3		Q_p *3	
						Q_0	n	Q_0	n
表層	1	1~50	※1	100~300	200~1000*2	1~20	0~1	1~20	※4
	2	1~50	※1	300~400	400~1600	1~20	0~1	1~20	
	3	1~250	※1	400~500	1400~1800	1~20	0~1	1~20	
西山層	4	1~250	1.7	500~700	1400~2000	1~20	0~1	1~20	
	5	1~500	1.7	600~800	1700~2100	5~40	0~1	5~40	
椎谷層	6	1~500	2.1	700~1000	1800~2400	5~50	0~1	5~50	
	7	300~1100	2.1	1000~1500	2000~2800	5~100	0.5~1	5~100	
上部寺泊層	8	300~1200	2.3	1200~1870	2400~3470	5~100	0.5~1	5~100	
下部寺泊層	9	700~1500	2.4	1800~2200	3990~4410	5~100	0.5~1	5~100	
七谷層 グリーン タフ※5	10	1000~1400	2.5	2340~2860	4370~4830	5~100	0.5~1	5~100	
基盤岩	11	800~1200	2.6	2790~3410	4940~5460	5~100	0.5~1	5~100	
	12	—	2.7	3060~3740	5410~5990	5~100	0.5~1	5~100	

※1: Kobayashi et al.(2000)に基づきS波速度に連動。 ※2: DB2観測点はPS検層結果に基づき200~700(m/s)と設定。

※3: $Q(f) = Q_0 \times f^n$ を仮定。 ※4: Q_s と同じ値とする。 ※5: 天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

■ : 大深度PS検層結果から下部寺泊層以深について3観測点で共通とする。

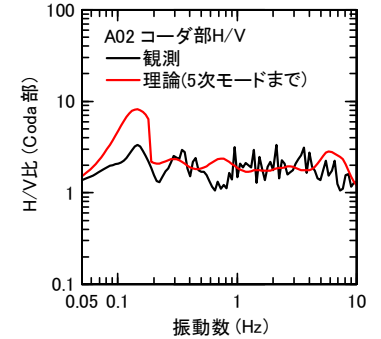
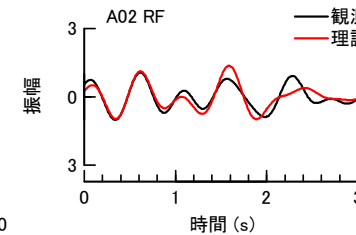
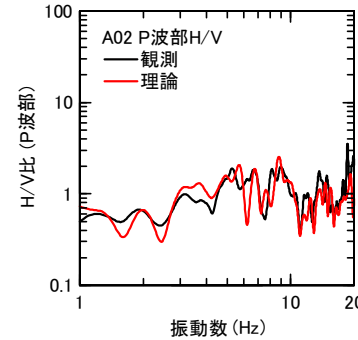
①1次元地下構造モデルの評価 深部地盤物性の同定

コメント
No.11

■ 逆解析結果は観測記録を良好に再現できていることから、適切に深部物性が同定できていると考えられる。

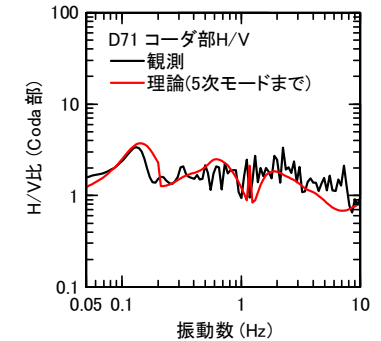
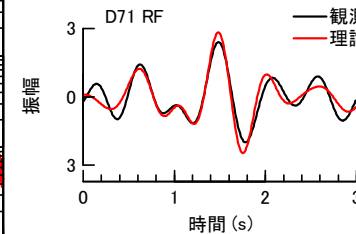
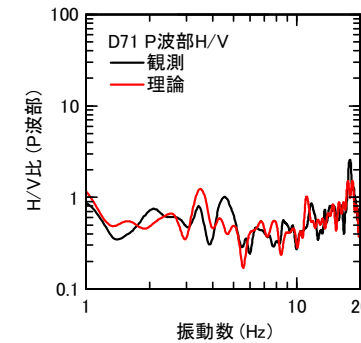
A02

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	6.2	1.68	179	812	8.2	0.87	2.9	0.87
2	28.1	1.79	342	1214	10	0.78	6.2	0.78
3	58.9	1.86	473	1437	13	0.68	8.0	0.68
4	57.0	1.70	625	1628	16	0.87	9.4	0.87
5	117.1	1.70	764	1807	15	0.71	13	0.71
6	383.3	2.10	893	2071	19	0.32	6.5	0.32
7	350.4	2.10	1323	2654	14	0.52	8.5	0.52
8	985.4	2.30	1684	3290	16	0.81	5.2	0.81
9	1170.8	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1008.4	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1091.4	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12	-	2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



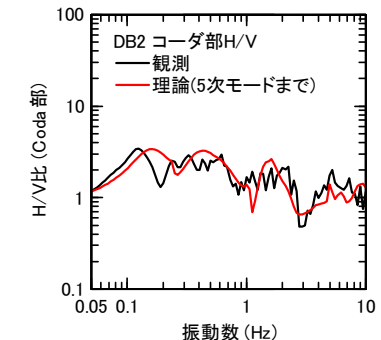
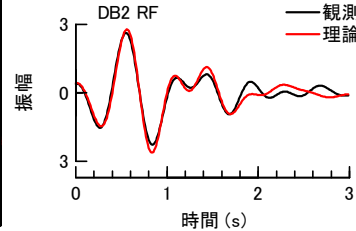
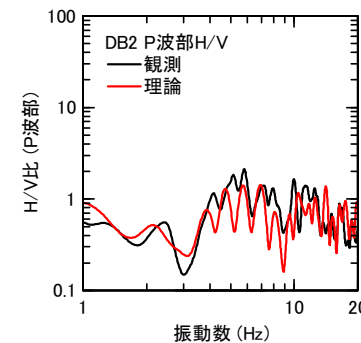
D71

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	14.9	1.72	224	475	8.0	0.85	4.4	0.85
2	23.1	1.80	361	727	16	0.37	14	0.37
3	17.1	1.86	475	1601	16	0.23	15	0.23
4	70.6	1.70	584	1927	18	0.51	17	0.51
5	84.3	1.70	705	2043	14	0.74	7.7	0.74
6	69.4	2.10	966	2135	21	0.60	9.8	0.60
7	842.3	2.10	1381	2780	25	0.91	12	0.91
8	683.3	2.30	1786	3271	27	0.80	12	0.80
9	1171.3	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1168.2	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	878.0	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12	-	2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



DB2

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	32.7	1.72	225	461	4.9	0.38	1.8	0.38
2	6.8	1.79	345	732	8.3	0.19	3.7	0.19
3	118.9	1.87	491	1527	13	0.38	5.4	0.38
4	20.3	1.70	568	1740	15	0.50	10	0.50
5	19.0	1.70	653	1987	9.8	0.59	5.9	0.59
6	69.1	2.10	980	2163	12	0.91	9.9	0.91
7	326.8	2.10	1156	2495	19	0.63	7.8	0.63
8	531.1	2.30	1832	3327	19	0.85	10	0.85
9	1390.6	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1270.5	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	951.6	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12	-	2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



①1次元地下構造モデルの評価 各地点地下構造モデルの評価

- 深部地盤物性を代表3点の逆解析結果で固定し，各地点単独に，遺伝的アルゴリズムを用い層厚，S波速度，P波速度， Q_s ， Q_p ，を未知数として探索する。
- 探索範囲は代表3点の逆解析と同様とする。
- 地下構造モデルの評価は，代表3点を再度，単点で逆解析し，鉛直アレイ観測記録との対応を確認した上で，その他地点の逆解析を実施する。

地質	層 No.	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Q_s ※3		Q_p ※3		
						Q_0	n	Q_0	n	
表層	1	1~50	※1	100~300	200~1000※2	1~20	0~1	1~20	※4	
	2	1~50	※1	300~400	400~1600	1~20	0~1	1~20		
	3	1~250	※1	400~500	1400~1800	1~20	0~1	1~20		
西山層	4	1~250	1.7	500~700	1400~2000	1~20	0~1	1~20		
	5	1~500	1.7	600~800	1700~2100	5~40	0~1	5~40		
椎谷層	6	1~500	2.1	700~1000	1800~2400	5~50	0~1	5~50		
	7	300~1100	2.1	1000~1500	2000~2800	5~100	0.5~1	5~100		
上部寺泊層	8	300~1200	2.3	1200~1870	2400~3470	5~100	0.5~1	5~100		
下部寺泊層	9	700~1500	2.40	1994	4131	23	0.83	16		0.83
七谷層 グリーン タフ※5	10	1000~1400	2.50	2498	4510	25	0.71	14		0.71
基盤岩	11	800~1200	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70	
	12	—	2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78	

※1：Kobayashi et al.(2000)に基づきS波速度に連動。 ※2：DB2観測点はPS検層結果に基づき200~700(m/s)と設定。
 ※3： $Q(f) = Q_0 \times f^n$ を仮定。 ※4： Q_s と同じ値とする。 ※5：天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。
 ■：3地点逆解析結果から全地点で共通とする。

①1次元地下構造モデルの評価

A02観測点の逆解析結果

コメント
No.11

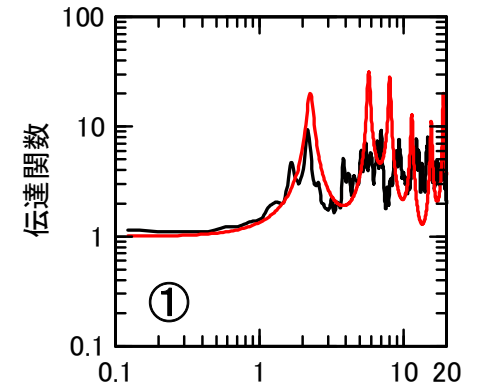
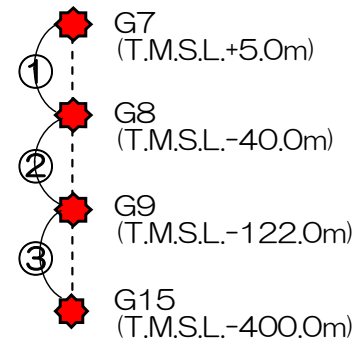
■ 3地点逆解析による深部地盤物性を用い、単点逆解析により地下構造モデルを評価。

■ A02観測点近傍の1号機鉛直アレイの伝達関数と同定した地下構造モデルの伝達関数を比較し、評価手法の妥当性を確認。

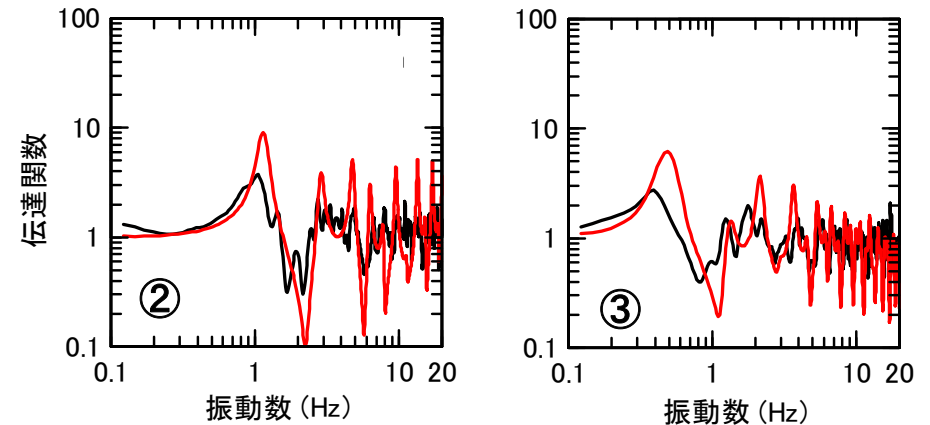
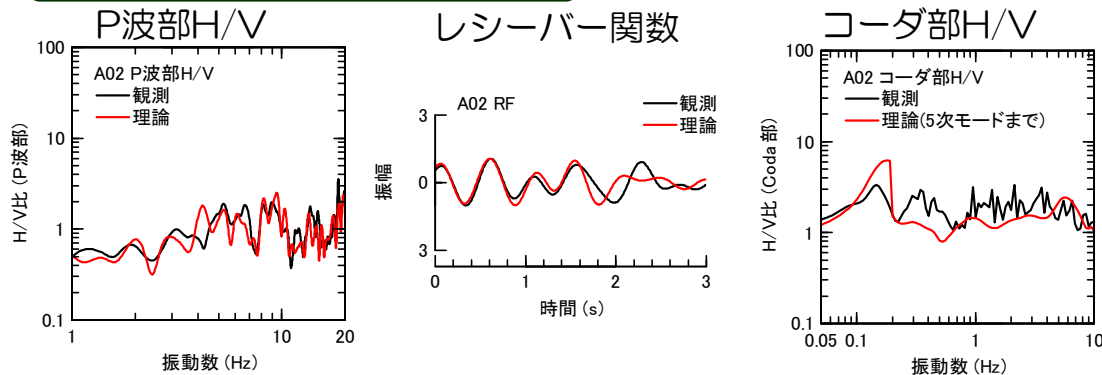
地下構造モデルの推定結果

層No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	4.0	1.62	104	632	17	0.74	6.1	0.74
2	25.4	1.78	317	675	9.2	0.54	4.0	0.54
3	5.9	1.86	462	1455	12	0.78	6.2	0.78
4	81.6	1.70	578	1527	12	0.59	8.2	0.59
5	494.5	1.70	799	1912	14	0.39	5.7	0.39
6	15.0	2.10	910	2061	16	0.87	14	0.87
7	560.6	2.10	1408	2795	31	0.83	15	0.83
8	917.1	2.30	1731	3470	22	0.82	9.0	0.82
9	748.9	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1007.7	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1010.8	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78

鉛直アレイ伝達関数との対応



観測記録の再現性



■ ターゲットとした観測記録を良好に再現。

■ 観測記録を良好に再現。

①1次元地下構造モデルの評価

D71観測点の逆解析結果

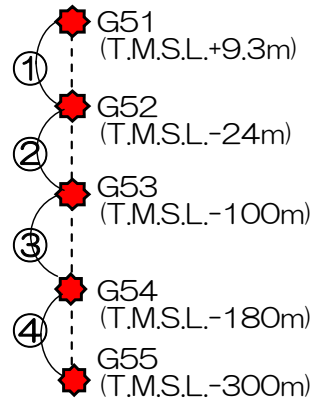
コメント
No.11

■ 3地点逆解析による深部地盤物性を用い、単点逆解析により地下構造モデルを評価。

■ D71観測点近傍の5号機鉛直アレイの伝達関数と同一した地下構造モデルの伝達関数を比較し、評価手法の妥当性を確認。

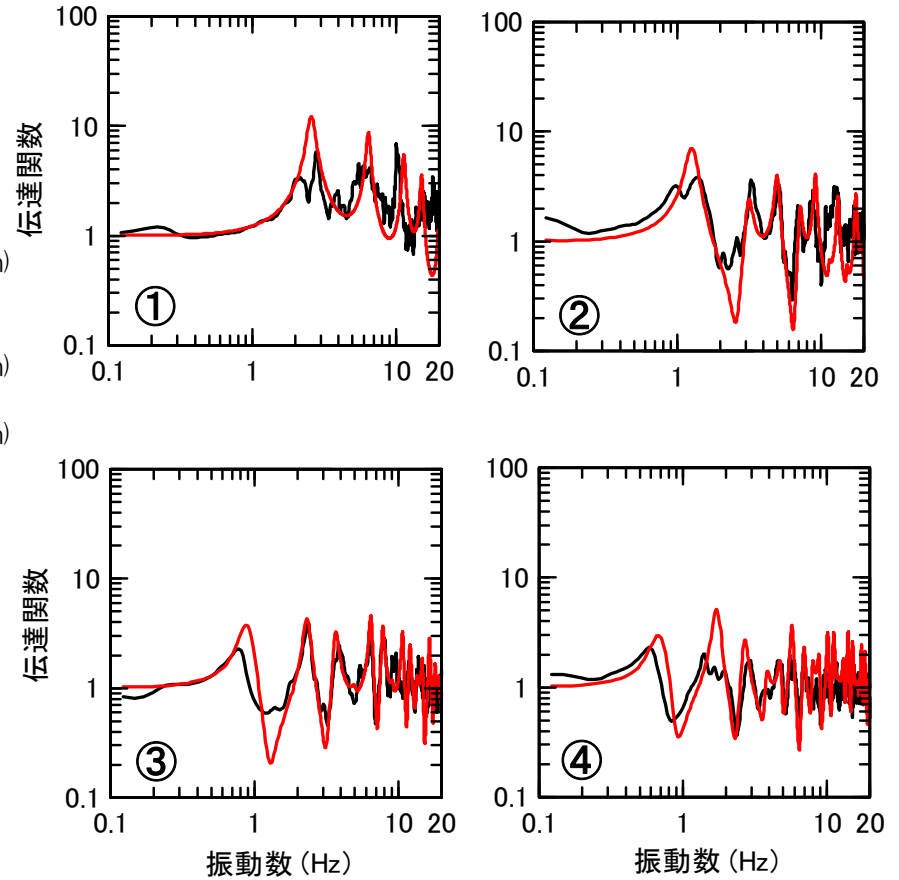
地下構造モデルの推定結果

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Q ₀	n	Q ₀	n
1	14.8	1.73	242	554	5.7	0.56	2.7	0.56
2	13.9	1.81	368	1190	5.0	0.52	3.2	0.52
3	28.4	1.86	465	1495	7.1	0.70	4.2	0.70
4	66.4	1.70	633	1720	7.2	0.71	4.9	0.71
5	40.3	1.70	694	1836	9.8	0.74	6.8	0.74
6	113.5	2.10	854	1953	17	0.82	14	0.82
7	869.5	2.10	1285	2596	20	0.76	14	0.76
8	619.8	2.30	1826	3413	25	0.92	16	0.92
9	1073.3	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1169.1	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	890.8	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78

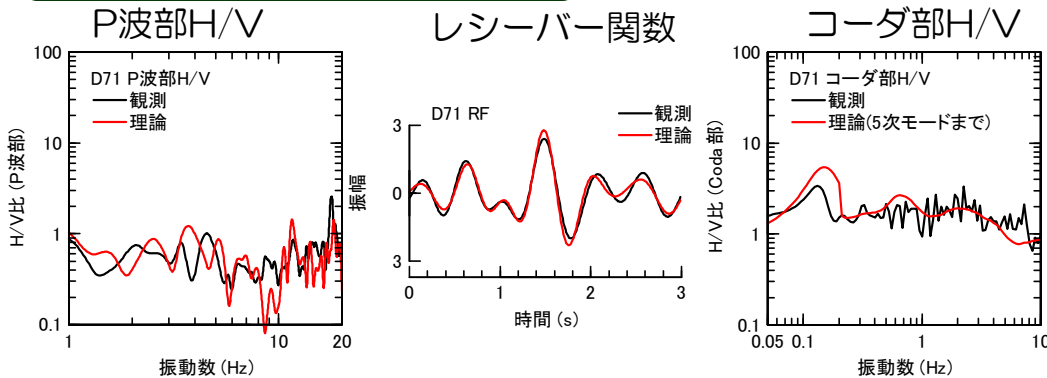


鉛直アレイ伝達関数との対応

— 観測
— 理論



観測記録の再現性



■ ターゲットとした観測記録を良好に再現。

■ 観測記録を良好に再現。

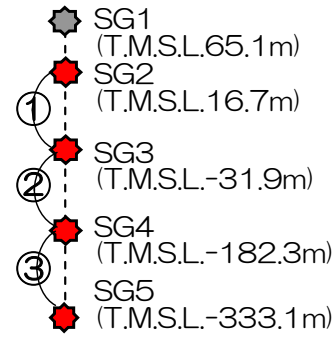
■ 3地点逆解析による深部地盤物性を用い、単点逆解析により地下構造モデルを評価。

■ DB2観測点近傍のサービスホール鉛直アレイの伝達関数と同定した地下構造モデルの伝達関数を比較し、評価手法の妥当性を確認。

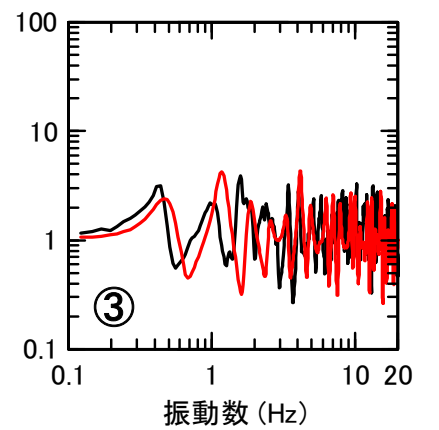
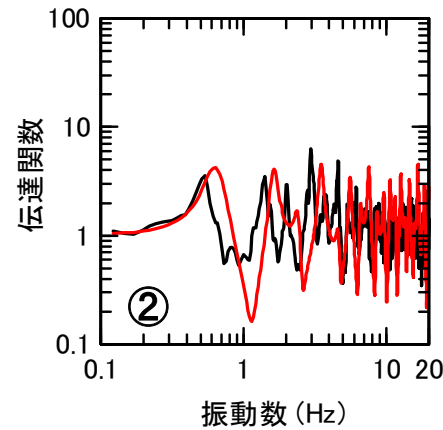
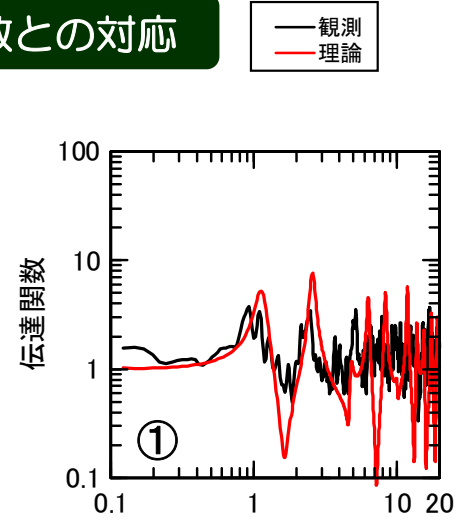
地下構造モデルの推定結果

層No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	31.3	1.73	245	480	13	0.64	4.7	0.64
2	10.3	1.81	382	564	11	0.69	3.9	0.69
3	84.4	1.87	482	1511	7.9	0.82	2.7	0.82
4	34.9	1.70	578	1553	6.2	0.67	2.2	0.67
5	78.9	1.70	791	1916	13	0.79	5.3	0.79
6	159.6	2.10	837	2371	17	0.91	6.9	0.91
7	311.0	2.10	1404	2783	34	0.80	14	0.80
8	672.3	2.30	1869	3360	27	0.54	9.1	0.54
9	1196.3	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1098.1	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	974.6	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78

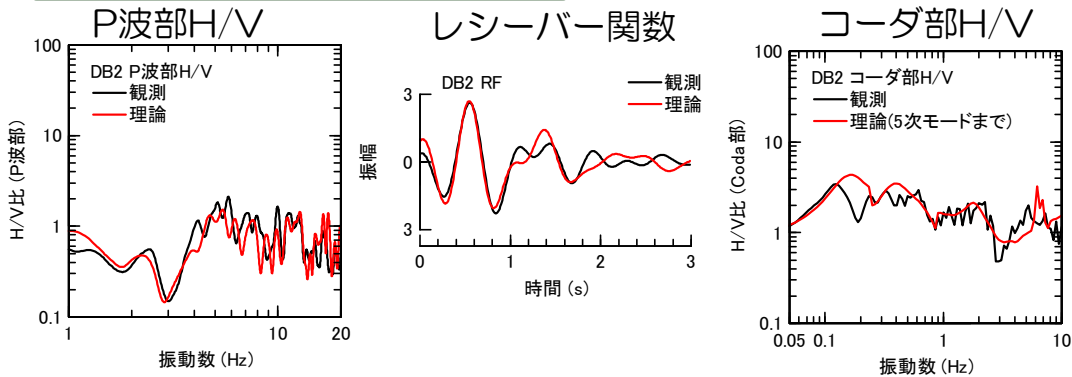
鉛直アレイ伝達関数との対応



※SG1はノイズの影響により除外



観測記録の再現性



■ ターゲットとした観測記録を良好に再現。

■ 観測記録を良好に再現。

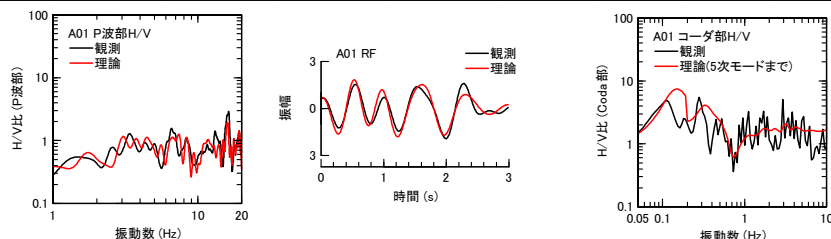
①1次元地下構造モデルの評価 荒浜側観測点の逆解析結果

コメント
No.11

■ 代表3点について、評価手法の妥当性が確認できたため、その他の観測点について逆解析を実施。

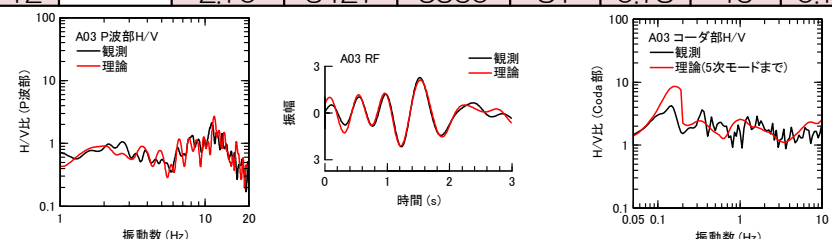
A01

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	2.9	1.71	220	883	5.7	0.81	3.0	0.81
2	13.0	1.79	336	1455	5.2	0.55	2.9	0.55
3	149.8	1.83	418	1578	9.3	0.83	3.6	0.83
4	98.8	1.70	565	1744	6.3	0.88	2.9	0.88
5	136.8	1.70	781	1907	12	0.89	7.9	0.89
6	17.1	2.10	896	2166	18	0.96	8.8	0.96
7	351.7	2.10	1355	2641	27	0.67	13	0.67
8	1119.5	2.30	1615	3203	31	0.68	16	0.68
9	1042.4	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1211.9	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1004.1	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



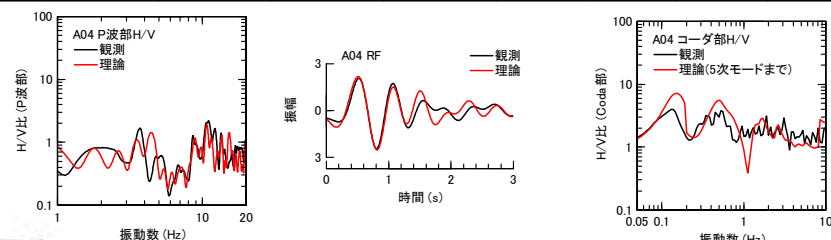
A03

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	3.7	1.67	165	432	6.1	0.74	3.3	0.74
2	30.1	1.77	301	799	8.2	0.78	5.0	0.78
3	31.9	1.86	462	1587	6.7	0.64	3.6	0.64
4	62.1	1.70	622	1932	7.6	0.45	3.2	0.45
5	383.1	1.70	789	1986	13	0.42	5.1	0.42
6	15.6	2.10	908	2192	17	0.25	8.6	0.25
7	401.2	2.10	1388	2701	23	0.63	9.4	0.63
8	783.7	2.30	1569	3263	27	0.70	15	0.70
9	1160.5	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1081.2	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	886.3	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



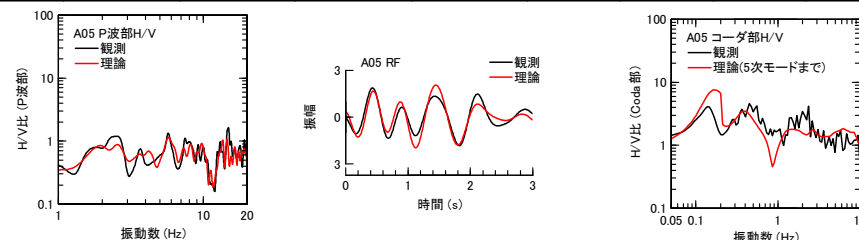
A04

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	20.1	1.75	266	535	9.0	0.48	4.3	0.48
2	12.8	1.78	313	1174	12	0.72	5.1	0.72
3	126.4	1.83	409	1785	18	1.00	8.6	1.00
4	25.5	1.70	587	1941	14	0.87	8.5	0.87
5	16.3	1.70	681	1962	13	0.81	7.9	0.81
6	9.9	2.10	926	1966	15	0.68	7.0	0.68
7	792.8	2.10	1453	2767	17	0.51	5.8	0.51
8	966.5	2.30	1495	3254	7.6	0.70	5.1	0.70
9	704.1	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1085.9	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1101.7	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



A05

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	6.3	1.70	195	978	15	0.71	6.3	0.71
2	25.5	1.77	302	1042	15	0.75	6.9	0.75
3	152.8	1.83	407	1480	13	0.99	4.7	0.99
4	78.1	1.70	696	1489	11	0.66	4.1	0.66
5	34.0	1.70	794	1718	17	0.63	8.2	0.63
6	69.5	2.10	927	1846	18	0.40	7.3	0.40
7	632.3	2.10	1371	2765	16	0.68	14	0.68
8	577.8	2.30	1528	3006	25	0.68	16	0.68
9	1062.4	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1051.1	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	880.6	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78

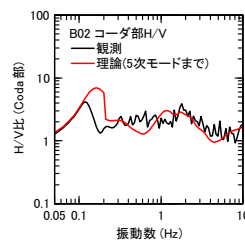
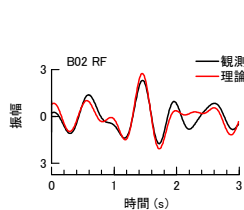
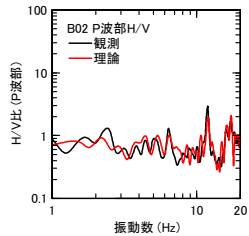


①1次元地下構造モデルの評価 大湊側観測点の逆解析結果

コメント
No.11

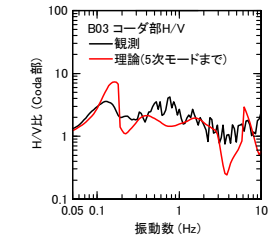
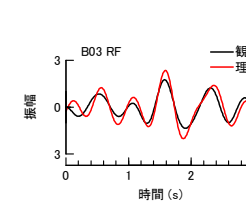
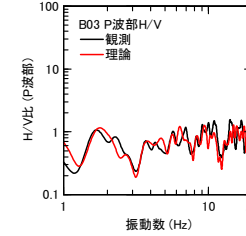
B02

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	2.2	1.70	201	616	6.2	0.89	3.7	0.89
2	22.0	1.78	323	1040	7.9	0.69	5.0	0.69
3	16.6	1.84	434	1582	8.7	0.92	4.8	0.92
4	39.6	1.70	641	1865	12	0.79	5.5	0.79
5	64.5	1.70	794	1956	6.9	0.80	5.6	0.80
6	394.3	2.10	818	2123	22	0.98	14	0.98
7	496.2	2.10	1396	2687	37	0.91	14	0.91
8	611.5	2.30	1807	3254	40	0.60	22	0.60
9	1112.0	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1090.3	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	882.8	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



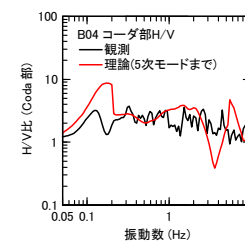
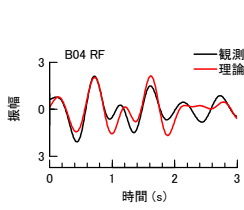
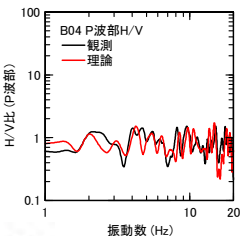
B03

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	19.1	1.67	164	856	15	0.89	5.3	0.89
2	39.4	1.80	359	950	13	0.84	6.0	0.84
3	38.5	1.87	497	1578	3.3	0.51	1.5	0.51
4	55.6	1.70	565	1750	6.8	0.79	4.8	0.79
5	52.2	1.70	693	1788	8.8	0.85	7.1	0.85
6	248.9	2.10	873	1967	19	0.49	8.1	0.49
7	349.7	2.10	1366	2778	17	0.60	5.8	0.60
8	1167.0	2.30	1457	3313	32	0.90	22	0.90
9	722.3	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1021.5	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1009.5	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



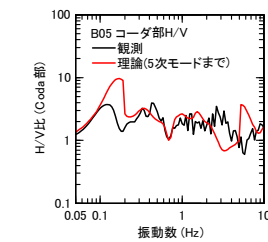
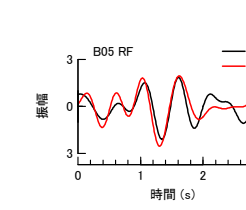
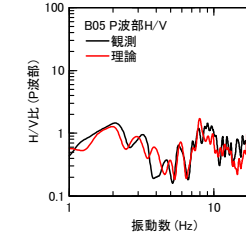
B04

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	18.3	1.65	141	993	8.7	0.64	4.0	0.64
2	27.3	1.81	376	1196	5.4	0.84	3.5	0.84
3	32.1	1.84	429	1502	8.1	0.83	4.0	0.83
4	131.1	1.70	636	1568	15	0.71	10	0.71
5	65.2	1.70	737	1872	11	0.87	8.1	0.87
6	244.4	2.10	800	2273	20	0.97	13	0.97
7	556.8	2.10	1363	2699	19	0.59	7.7	0.59
8	672.2	2.30	1816	3367	29	0.68	17	0.68
9	900.3	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1174.4	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1100.5	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



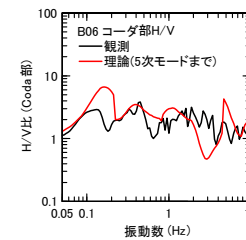
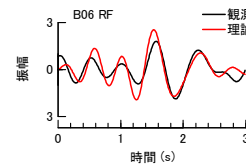
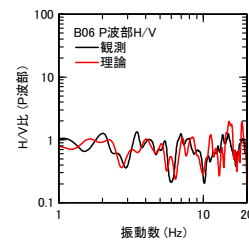
B05

層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	23.1	1.68	180	431	13	0.61	5.5	0.61
2	30.4	1.79	340	1532	15	0.86	5.8	0.86
3	66.1	1.84	436	1761	6.5	0.81	3.3	0.81
4	46.0	1.70	535	1938	8.2	0.89	5.0	0.89
5	219.9	1.70	638	1978	15	0.85	13	0.85
6	56.4	2.10	904	2322	15	0.50	9.0	0.50
7	1011.7	2.10	1430	2751	33	0.74	15	0.74
8	384.7	2.30	1727	3151	27	0.84	23	0.84
9	883.8	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1112.2	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1172.8	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



B06

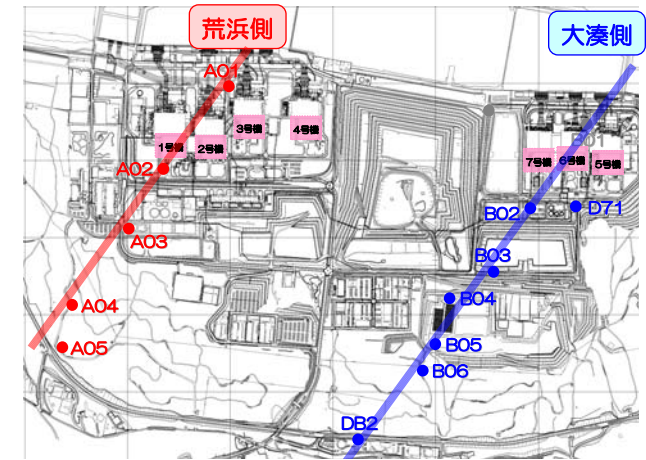
層 No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs		Qp	
					Qo	n	Qo	n
1	22.0	1.66	149	707	11	0.32	5.0	0.32
2	34.0	1.77	309	1017	15	0.76	9.2	0.76
3	37.7	1.87	490	1555	8.6	0.93	3.2	0.93
4	106.4	1.70	567	1717	12	0.56	4.6	0.56
5	157.3	1.70	781	1901	18	0.28	8.9	0.28
6	83.0	2.10	980	2157	13	0.45	6.2	0.45
7	409.1	2.10	1428	2769	35	0.62	12	0.62
8	905.4	2.30	1613	3121	37	0.84	16	0.84
9	866.8	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1158.5	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	1104.5	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12		2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78



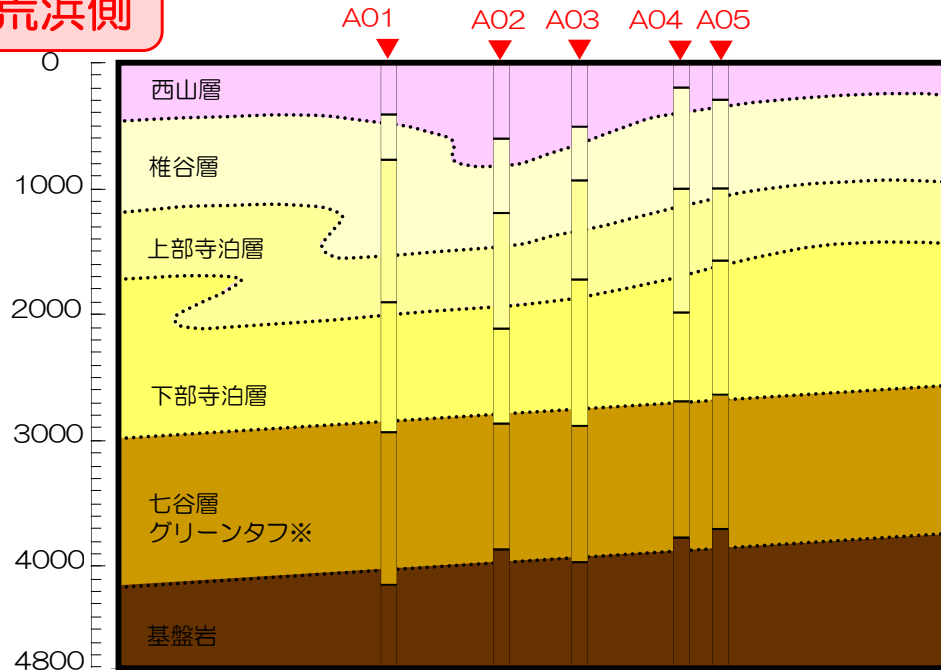
■ いずれの観測点においても観測記録を良好に再現。

①1次元地下構造モデルの評価 2次元地下構造モデルとの比較

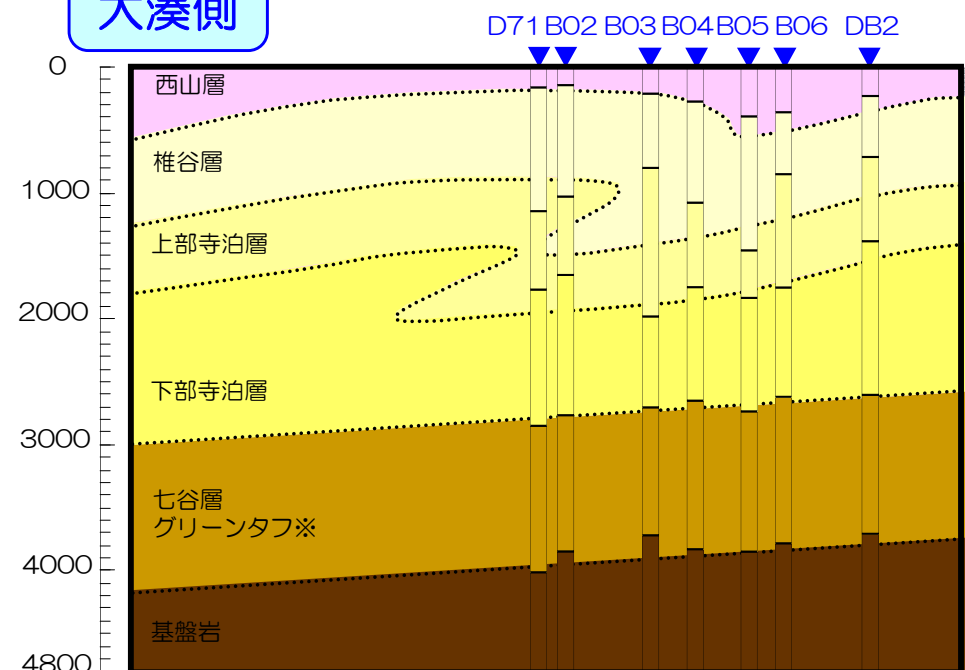
- 推定された1次元地下構造モデルを2次元地下構造モデルに投影し、対応関係を整理。
- 推定された1次元地下構造モデルは真殿坂向斜部に対応する観測点で椎谷層上面が深くなる傾向が見られ、2次元地下構造モデルと調和的。
- 一方、椎谷層以深については、特に真殿坂向斜付近の観測点において2次元地下構造モデルと乖離している結果となっている。
- これは、不整形性が認められる地下構造を1次元の地下構造と仮定し逆解析しているため、差が生じていると考えられる。



荒浜側



大湊側

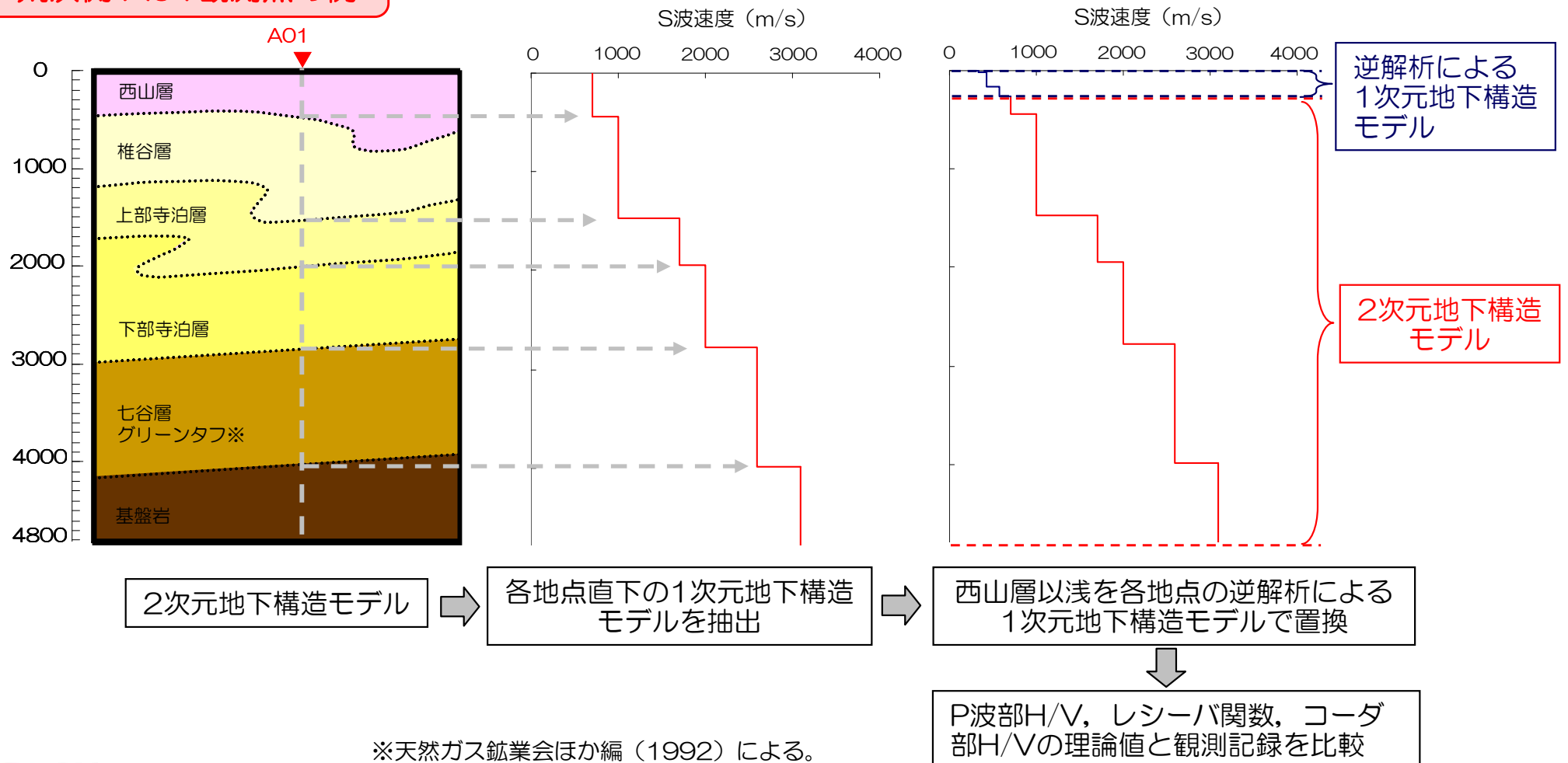


※天然ガス鉱業会ほか編（1992）による。

②2次元地下構造モデルによる観測記録の再現性検証

- 2次元地下構造モデルから、水平アレイ観測点の投影位置における1次元地下構造モデルを抽出し、抽出したモデルから算定される理論値と観測記録を比較する。
- なお、2次元地下構造モデルにおいては西山層以浅の地下構造をモデル化していないため、1次元地下構造モデルの逆解析による結果を表層に追加し検討を実施。

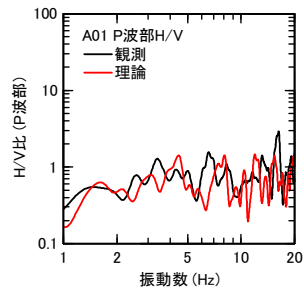
荒浜側 AO1 観測点の例



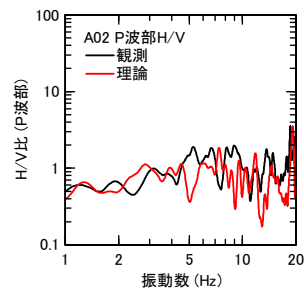
②2次元地下構造モデルによる観測記録の再現性検証

- 逆解析においてターゲットとしたP波部H/V, レシーバ関数, コーダ部H/Vについて観測値と理論値を比較。
- 特に, レシーバ関数については観測値と理論値に差が確認される。これは, 理論値の算出において1次元地下構造を仮定しているため, 地下構造の不整形性の影響が含まれていないことに起因しているものと考えられる。

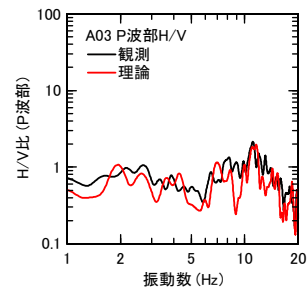
A01



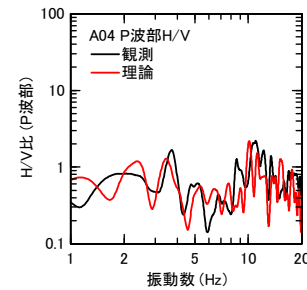
A02



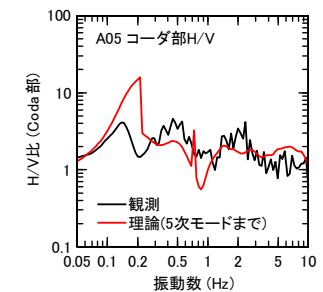
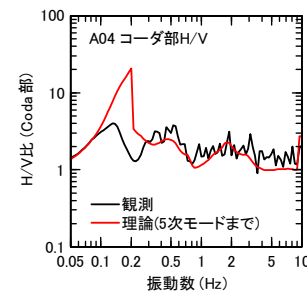
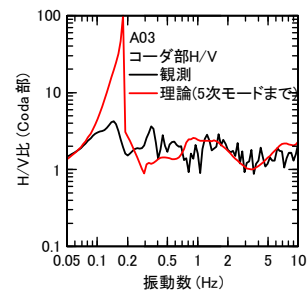
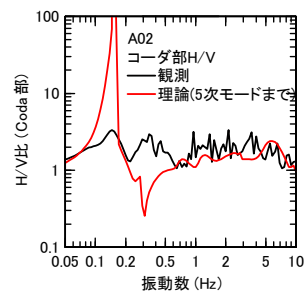
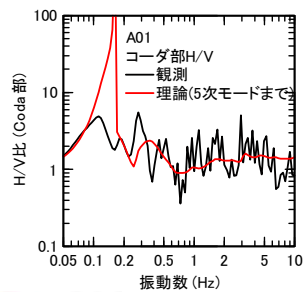
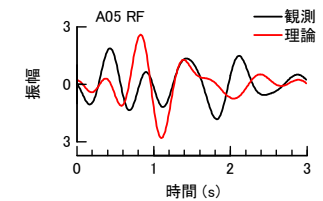
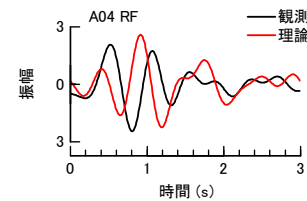
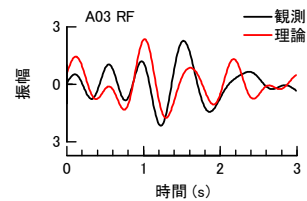
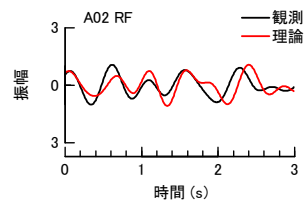
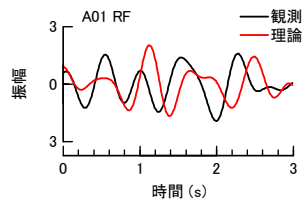
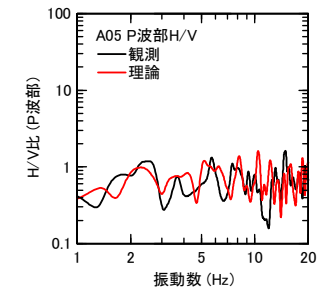
A03



A04

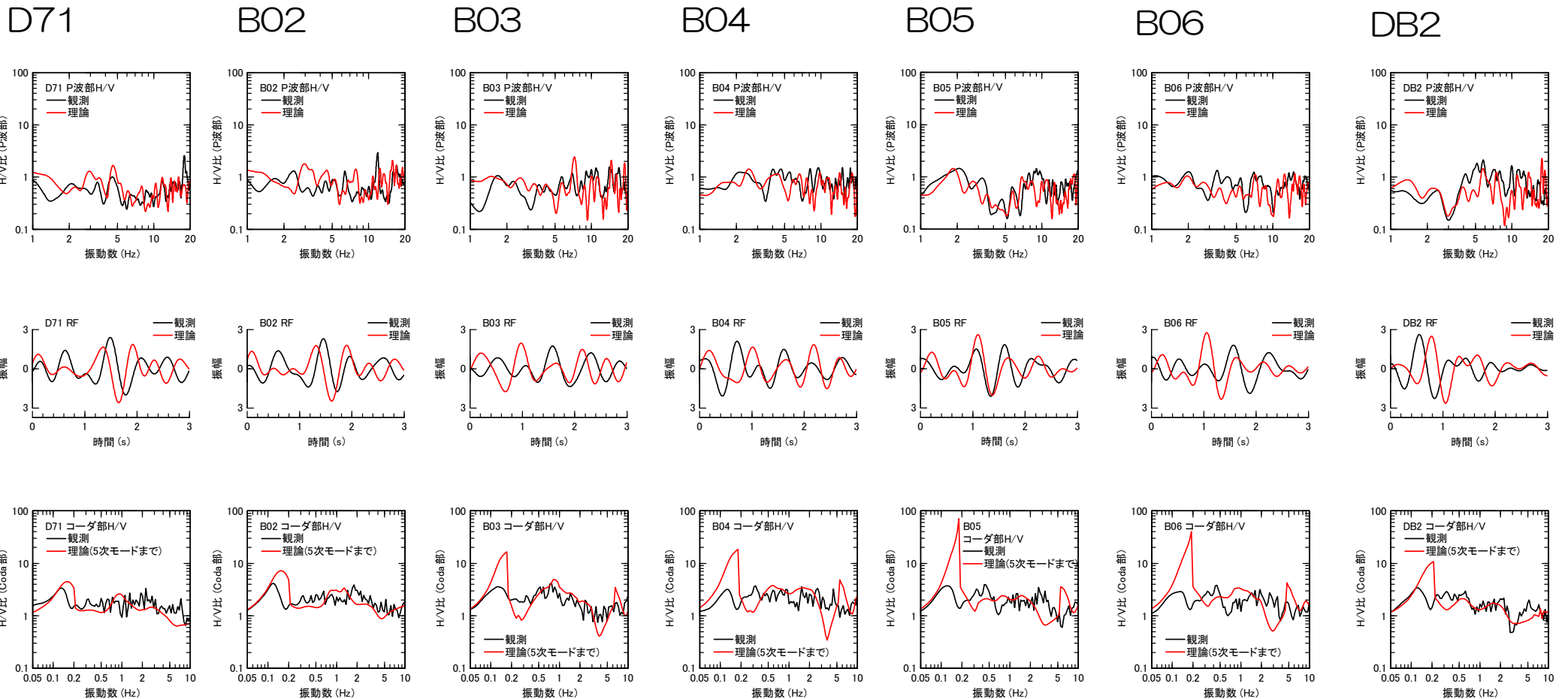


A05



②2次元地下構造モデルによる観測記録の再現性検証

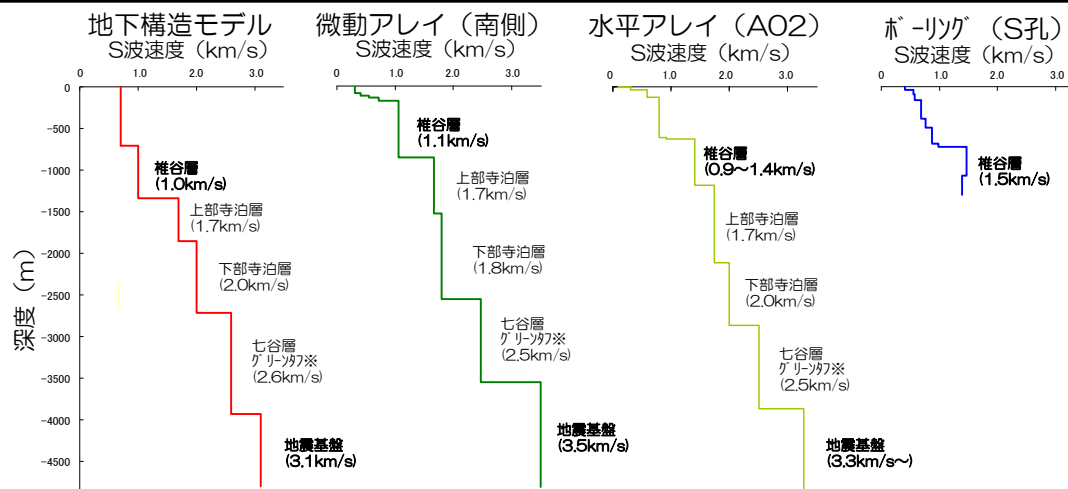
- 逆解析においてターゲットとしたP波部H/V, レシーバ関数, コーダ部H/Vについて観測値と理論値を比較。
- 特に, レシーバ関数については観測値と理論値に差が確認される。これは, 理論値の算出において1次元地下構造を仮定しているため, 地下構造の不整形性の影響が含まれていないことに起因しているものと考えられる。



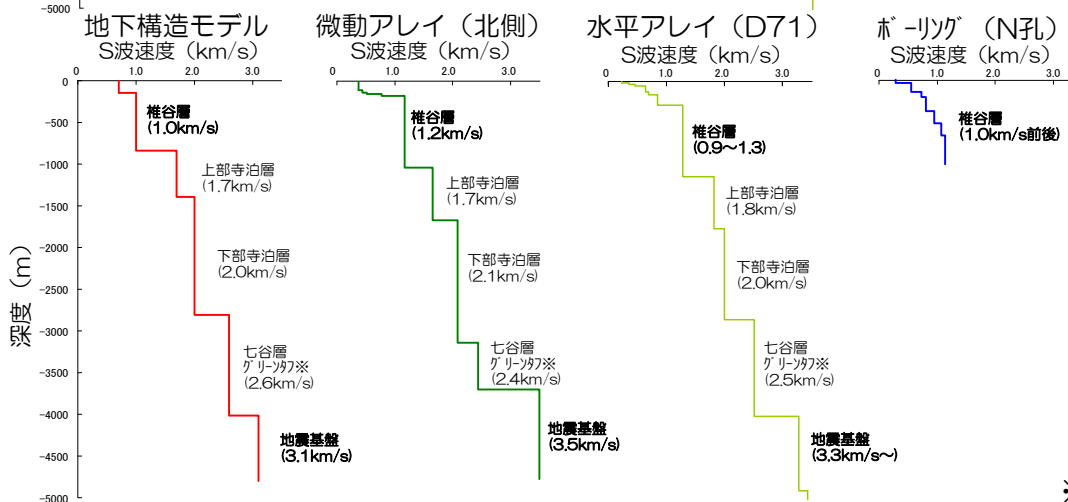
各調査結果による地下構造の比較

- 2次元地下構造モデルと、微動アレイ及び水平アレイ観測点における1次元地下構造モデル及び大深度ボーリングによるPS検層結果とを比較。
- 2次元地下構造モデルと1次元地下構造モデルでは地層境界の深度に差異が認められる。これは、微動アレイ及び水平アレイ観測点における地下構造モデルでは、1次元の構造を前提とした評価であり、不整形性の影響によるためと考えられる。
- そのため、地層境界については反射法地震探査結果等が反映された2次元地下構造モデルを重視し、物性値についてはパラメータスタディによる検証を実施する。

荒浜側



大湊側



- 各調査結果による椎谷層のS波速度は、2次元地下構造モデルに比べやや大きい傾向。
 - 各調査結果による地震基盤のS波速度は、2次元地下構造モデルに比べやや大きい傾向。
- パラメータスタディにより影響評価 (P.159)

※天然ガス鉱業会ほか編 (1992) による。

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.2次元地下構造モデルの作成
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - d.パラメータスタディ
 - e.到来方向別の増幅特性に関する検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

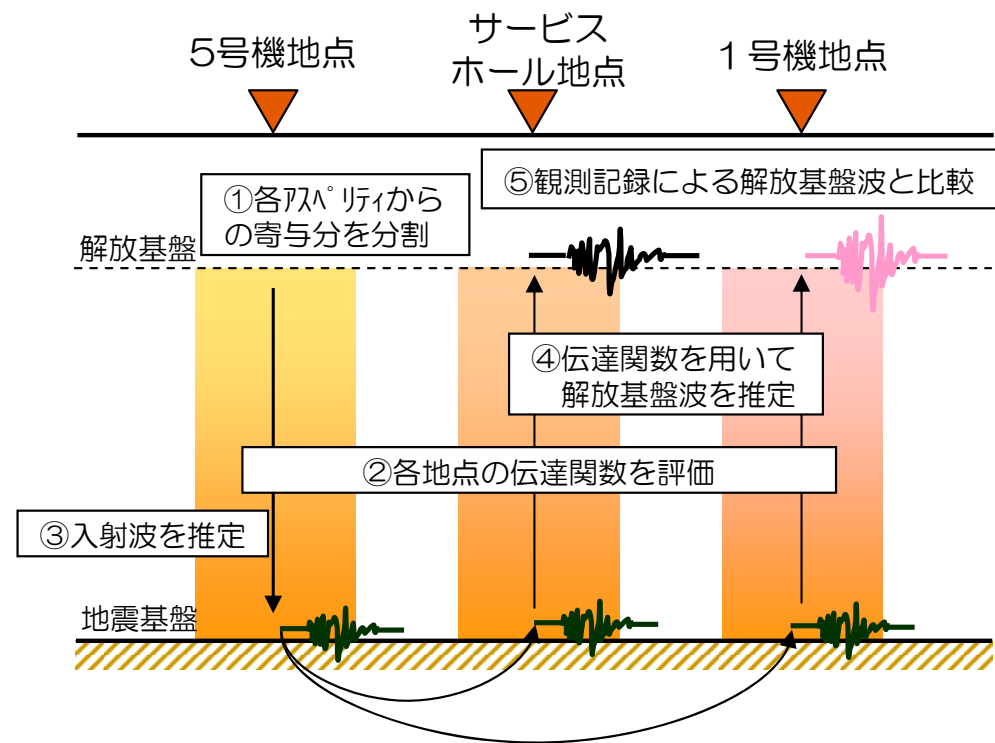
中越沖地震のシミュレーション解析 渡辺ほか（2011）

■概要

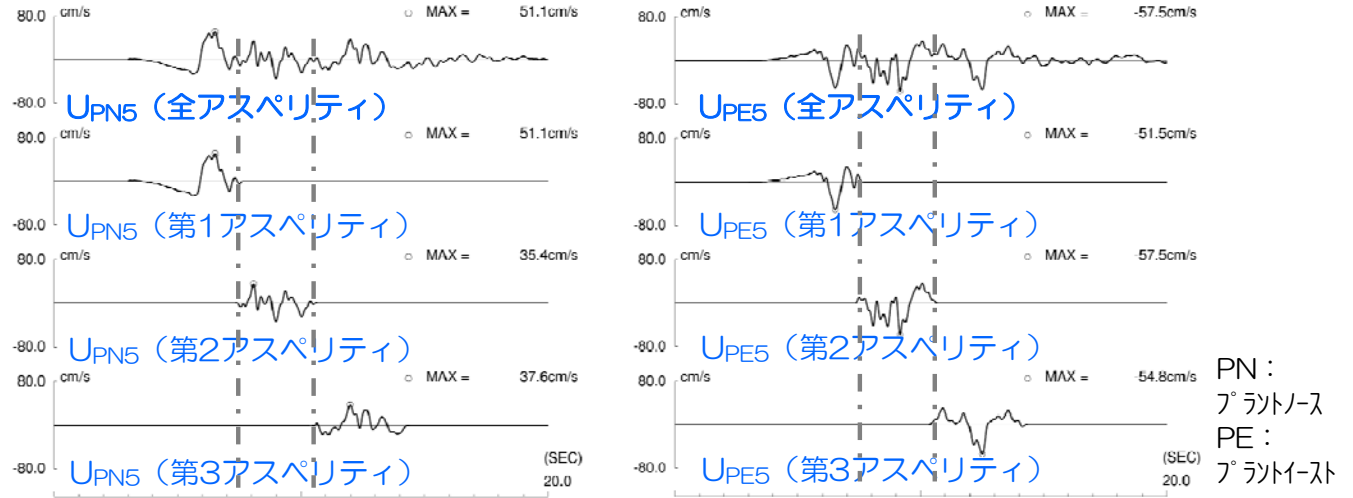
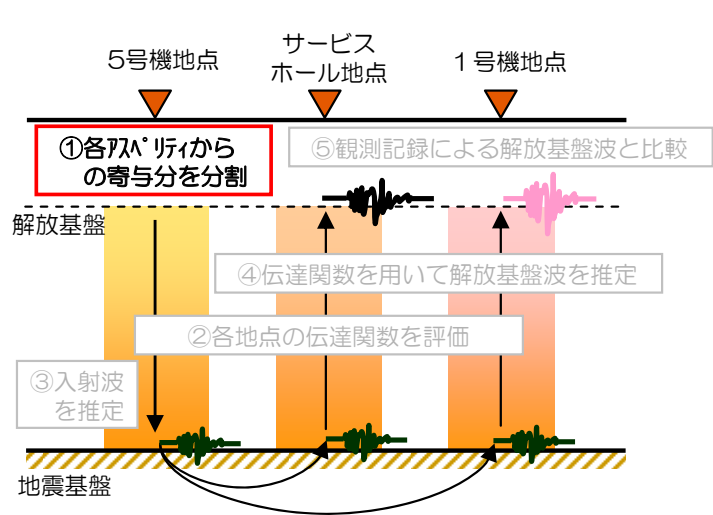
作成した地下構造モデルを用いた中越沖地震の解析結果と、観測記録から求めた解放基盤波との比較を行う。

■解析方法

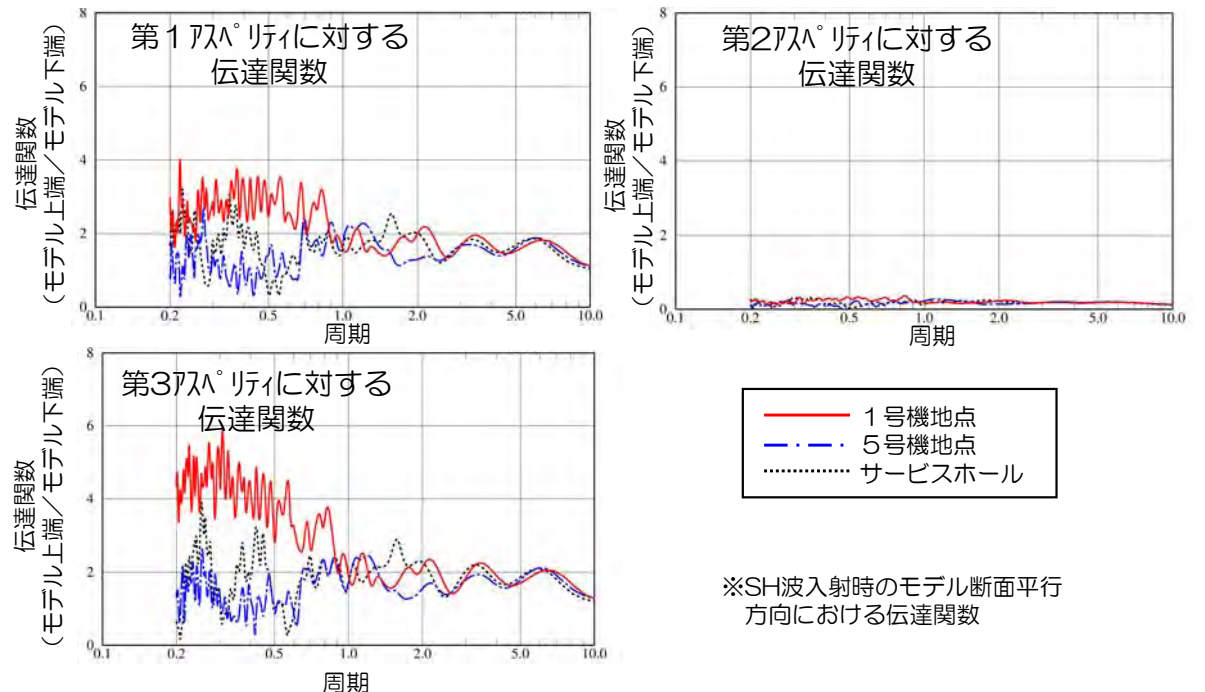
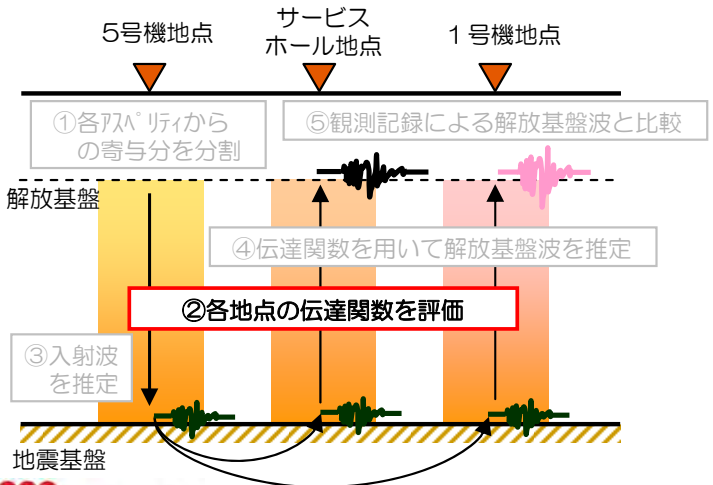
- ①各アスペリティの入射条件を考慮するため、5号機の解放基盤表面における地震動を時間軸上で3つに分け、各アスペリティからの寄与分とする。
- ②各アスペリティごとに、入射条件を考慮した地下構造モデルにおける伝達関数を求める（5号機地点、1号機地点、サービスホール地点の伝達関数を求める）。
- ③②で求めた伝達関数と5号機解放基盤波を用いて、各アスペリティの入射波を推定する。
- ④③で推定した各アスペリティの入射波を地下構造モデルに入力し、②で求めた伝達関数を介して1号機地点、サービスホール地点の解放基盤波を推定（逆算）する。
- ⑤④で推定した解放基盤波と観測記録より得られた解放基盤波を比較する。



①各アスペリティの入射条件を考慮するため、5号機の解放基盤表面における地震動を時間軸上で3つにわけ、各アスペリティからの寄与分と仮定する。

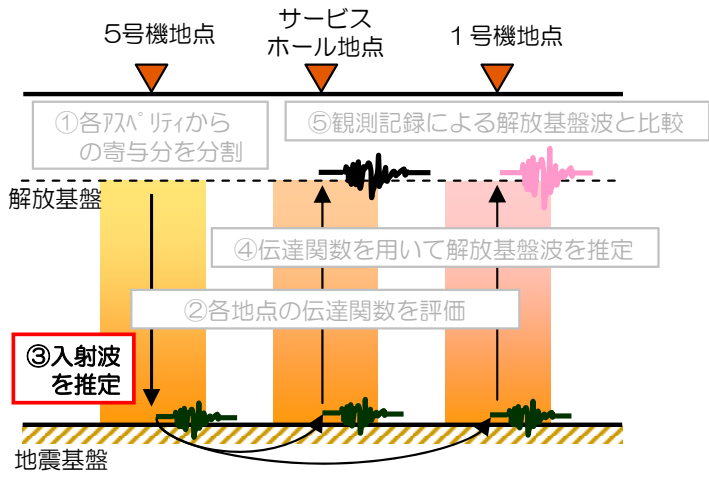


②各アスペリティごとに、入射条件を考慮した地下構造モデルにおける伝達関数を求める。

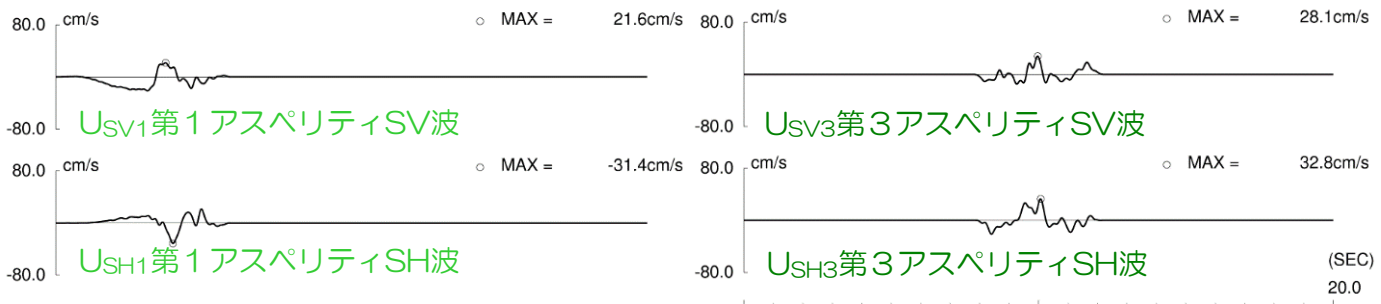


中越沖地震のシミュレーション解析 渡辺ほか (2011)

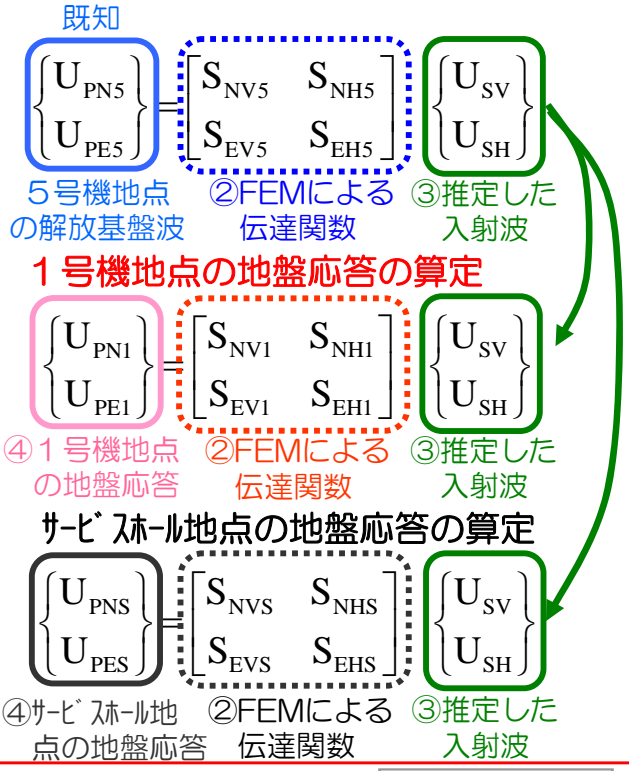
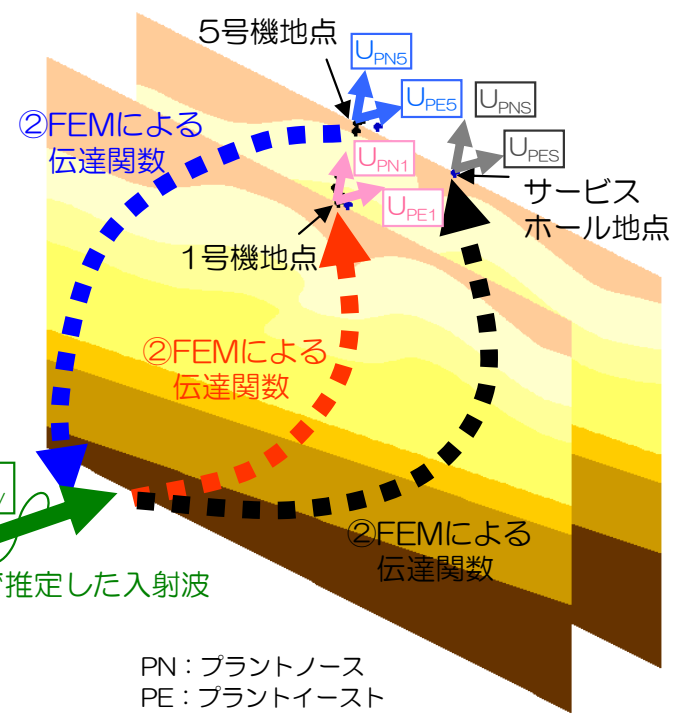
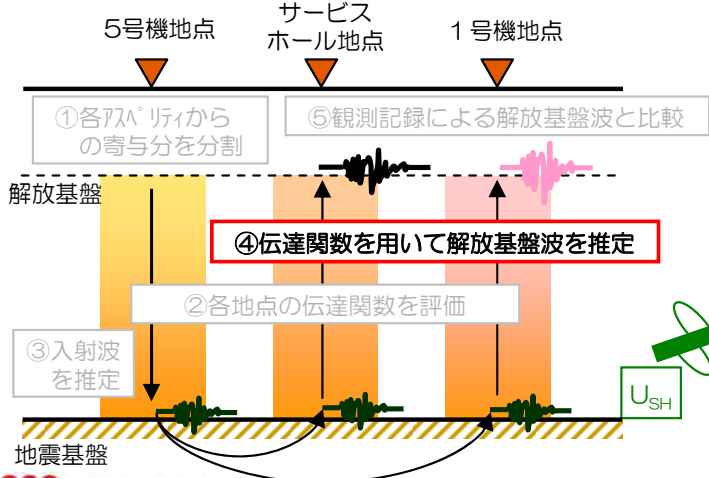
③②で求めた伝達関数と5号機解放基盤表面波を用いて、各アスペリティの入射波を推定（逆算）する。



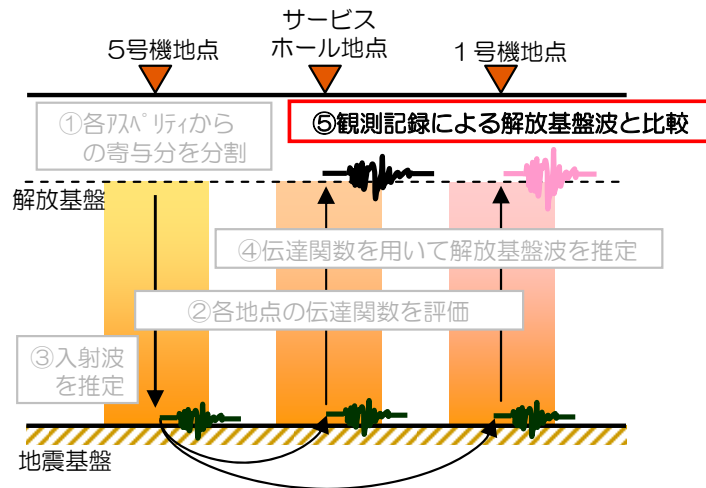
第1, 第2, 第3アスペリティからのSH・SV入射波 (U_{SH} , U_{SV}) をそれぞれ推定。



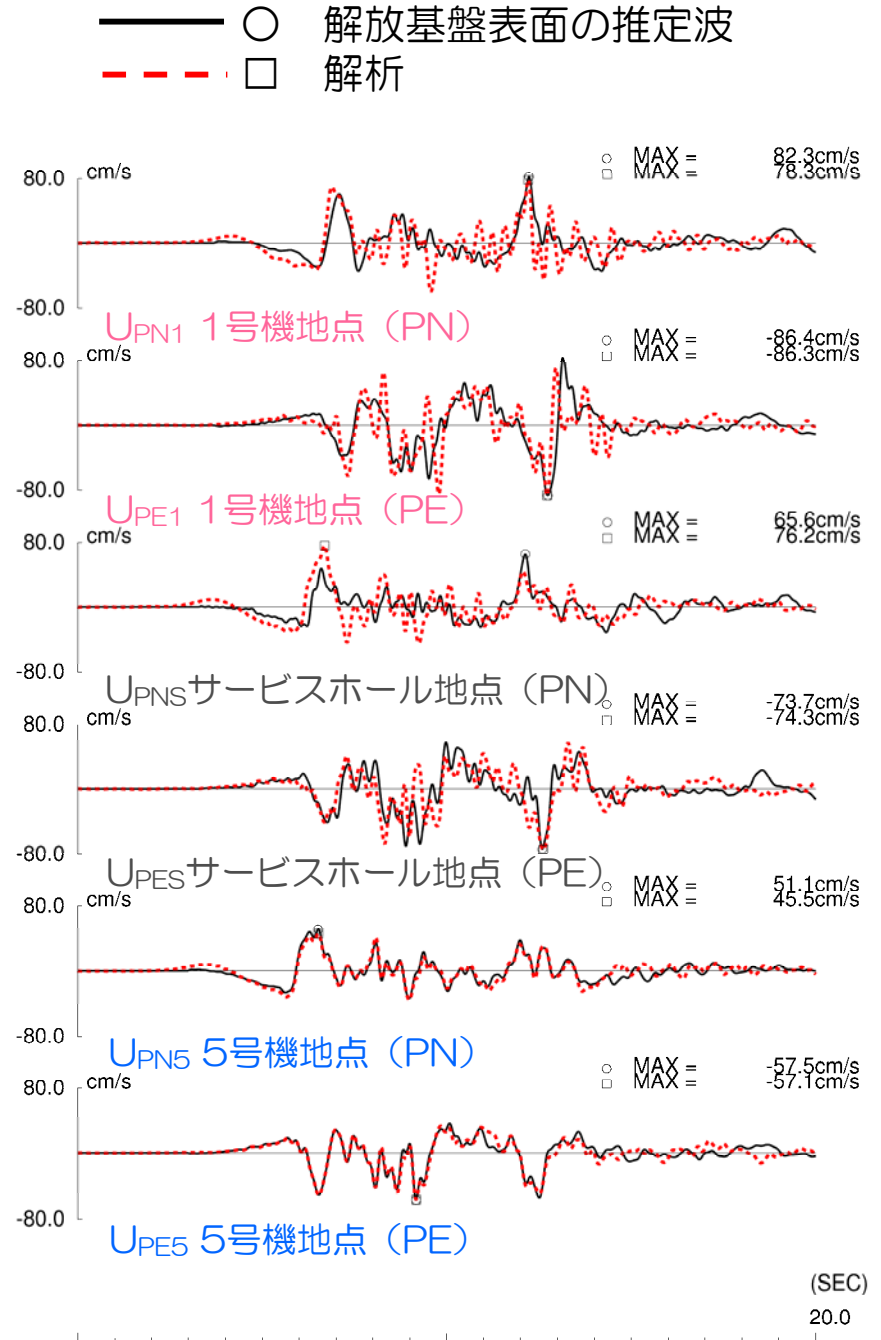
④③で推定した各アスペリティの入射波を地下構造モデルに入力し、②で求めた伝達関数を介して各地点の解放基盤波を推定。



⑤④で推定した解放基盤波と観測記録より得られた解放基盤波を比較する。



- 各地点における、観測記録から求めた解放基盤波と、2次元地下構造モデルを用いて求められた解放基盤波との比較結果を右図に示す。
- これによると、1号機地点、サービスホール地点ともに解析結果は観測記録に基づく解放基盤波と概ね対応することが確認できる。
- 作成した2次元不整形地下構造モデルは概ね妥当であると考えられる。



-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.2次元地下構造モデルの作成
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - d.パラメータスタディ
 - e.到来方向別の増幅特性に関する検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

パラメータスタディ 全体概要

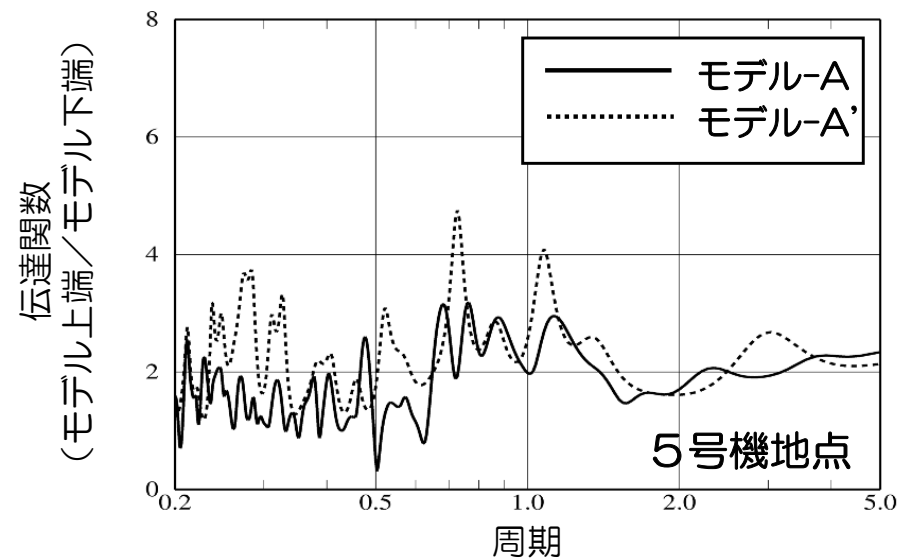
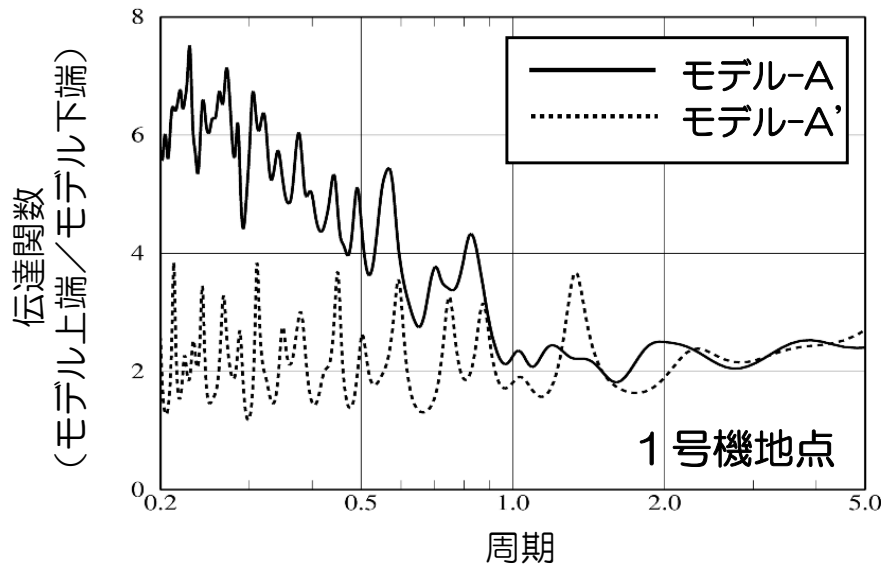
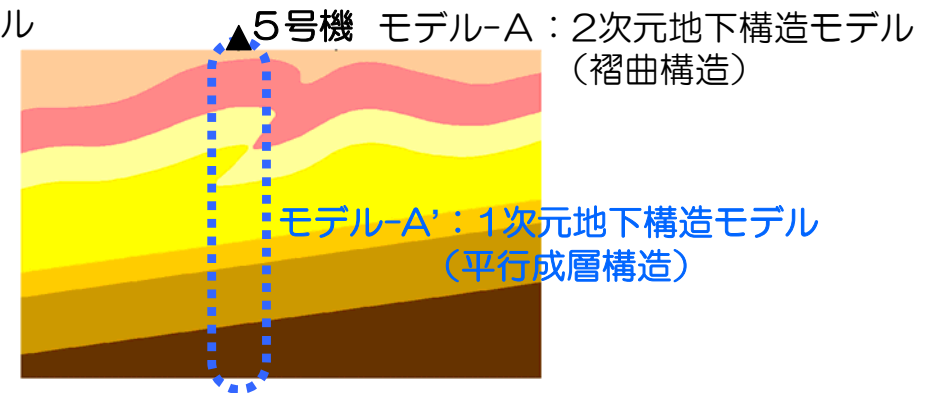
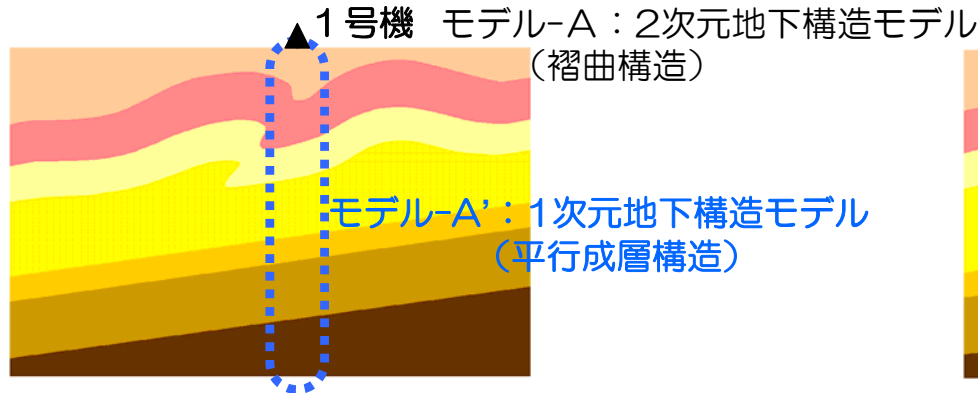
■ 2次元地下構造モデルの設定及び増幅特性の把握においては、以下のパラメータスタディにより、不確かさの影響について確認し、増幅特性に大きく影響しているパラメータを把握する。

検討 No.	検討概要	パラメータ	解析モデル名称
①	平行成層との比較	・ 2次元地下構造モデル (褶曲構造)	モデル-A (基本モデル)
		・ 1次元地下構造モデル (平行成層構造)	モデル-A'
②	入射角による影響	・ 入射角	モデル-A (基本モデル)
③	物性値の影響	・ 椎谷層の物性値	モデル-B
		・ 地震基盤の物性値	モデル-C
④	褶曲構造をなす境界面の影響	・ 椎谷層上面のみ褶曲面	モデル-D
		・ 上部寺泊層上面のみ褶曲面	モデル-E
		・ 椎谷層上面と上部寺泊層上面に褶曲面	モデル-F
⑤	褶曲構造をなす境界面の形状 (褶曲度合い) の影響	・ 平滑化・小	モデル-G
		・ 平滑化・大	モデル-H

パラメータスタディ ①平行成層との比較 渡辺ほか（2011）

■目的と概要

褶曲構造が増幅特性に与える影響を把握するため、各号機の直下の地層を平行成層とした1次元地下構造モデルを作成し、SV波を鉛直入射した場合の面内応答について、伝達関数（モデル下端に対するモデル上端の応答）を比較する。



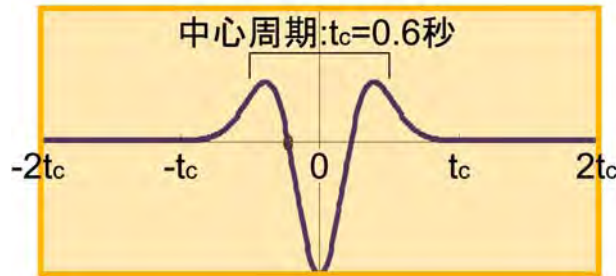
■ 1号機地点（荒浜側）は短周期側で2次元褶曲構造モデルの増幅率が大きくなることから、不整形性の影響が大きいと考えられる。

パラメータスタディ ②入射角による影響 渡辺ほか (2011)

目的と概要

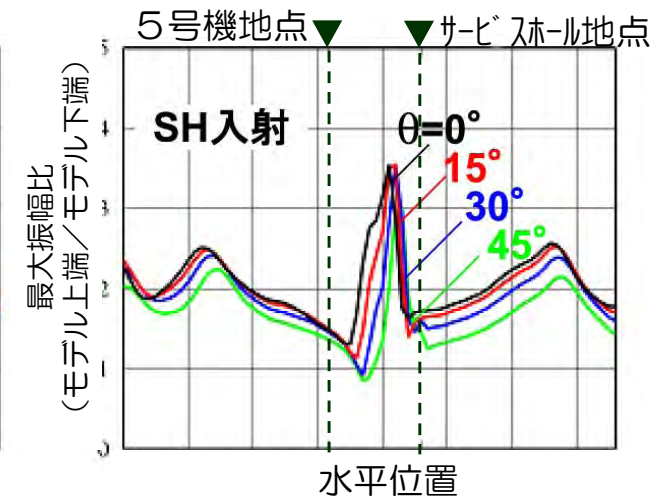
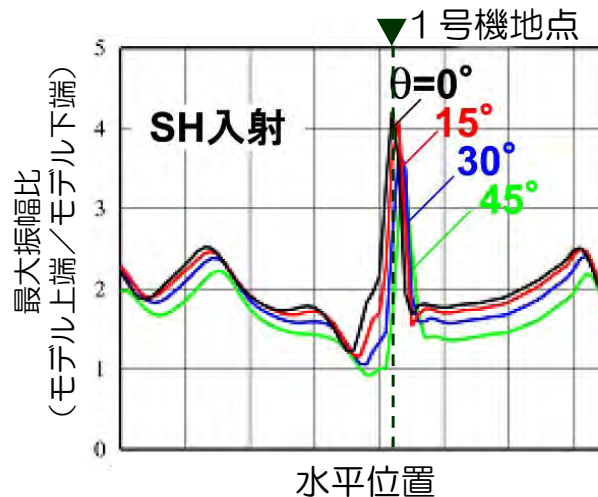
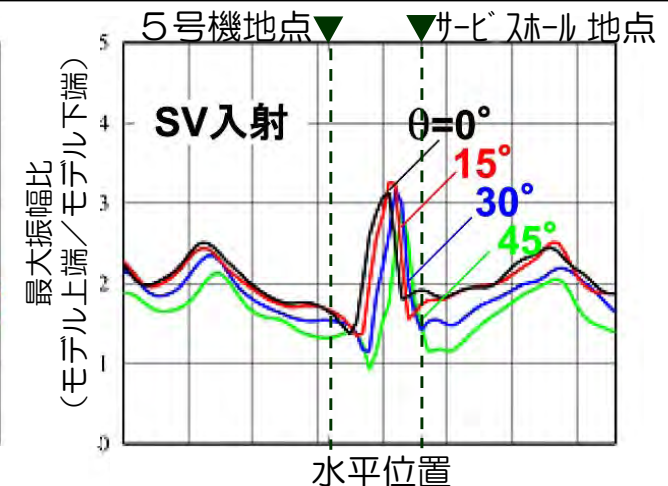
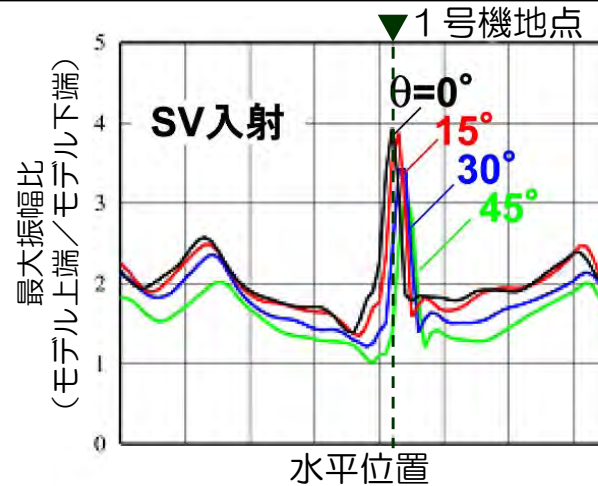
入射角が増幅特性に与える影響について把握するため、入射角を面内方向に角度を振った場合の最大振幅比（モデル下端に対するモデル上端の応答）を比較する。入射波は中心周期0.6sで最大振幅1のリッカー波とする。

モデル-A：2次元地下構造モデル



リッカー波*1

*1リッカー波：中心周期に最大成分を有するパルス波



■入射角により最大振幅比の分布は若干変化するが、1号機地点の最大振幅比は大きくなり、5号機・サービスホール地点の最大振幅比は小さくなる傾向は変化しない。

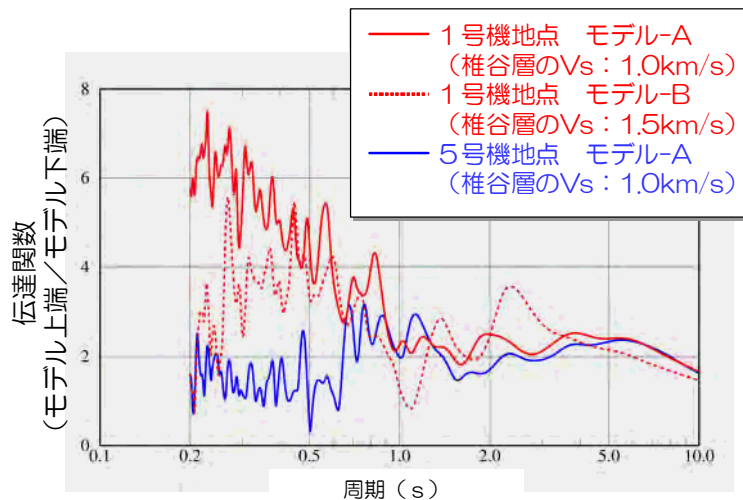
■目的と概要

地下構造モデルの物性値が荒浜側の増幅特性に与える影響を把握するため、物性値を変えた地下構造モデルを作成し、SV波を鉛直入射した場合の面内応答について、伝達関数（モデル下端に対するモデル上端の応答）を比較する。

椎谷層の物性値の影響

モデル-A → モデル-B

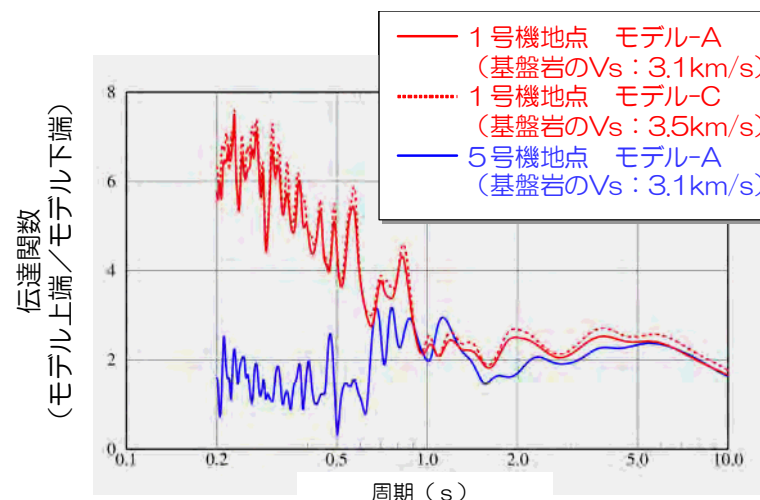
地層名	V_S (km/s)	V_P (km/s)	Q_0
西山層	0.7	1.9	50
椎谷層	1.0→1.5	2.2→2.7	70→100
上部寺泊層	1.7	3.3	110
下部寺泊層	2.0	4.2	130
七谷層	2.6	4.6	170
グリーンタフ	2.6	4.6	170
基盤岩	3.1	5.2	210



基盤岩の物性値の影響

モデル-A → モデル-C

地層名	V_S (km/s)	V_P (km/s)	Q_0
西山層	0.7	1.9	50
椎谷層	1.0	2.2	70
上部寺泊層	1.7	3.3	110
下部寺泊層	2.0	4.2	130
七谷層	2.6	4.6	170
グリーンタフ	2.6	4.6	170
基盤岩	3.1→3.5	5.2	210→230



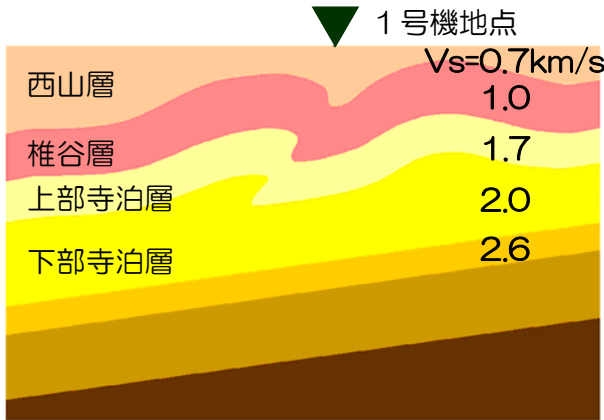
■いずれのモデルも1号機地点の増幅率が5号機地点の増幅率より大きくなる傾向は変わらない。

目的と概要

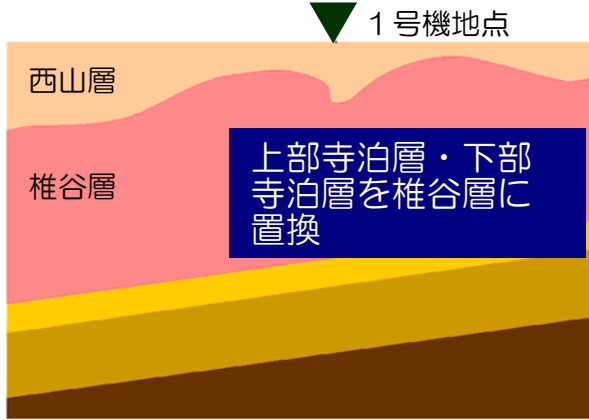
褶曲構造をなす境界面が増幅特性に与える影響を把握するため、特定の境界面を排除した2次元地下構造モデルをいくつか作成し、S波入射による増幅率の変化を比較する。

荒浜側モデル断面の例（大湊側も同様に設定）

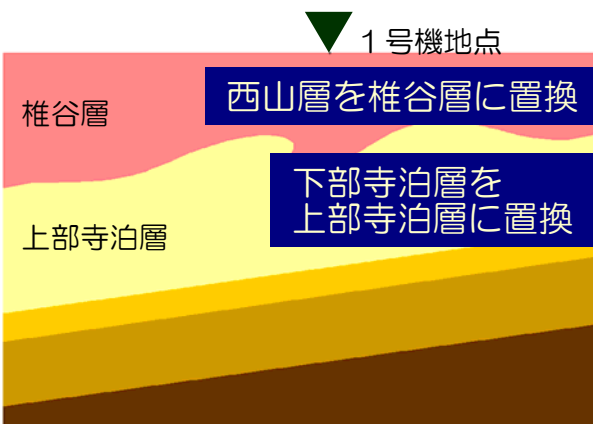
モデル-A
基本モデル



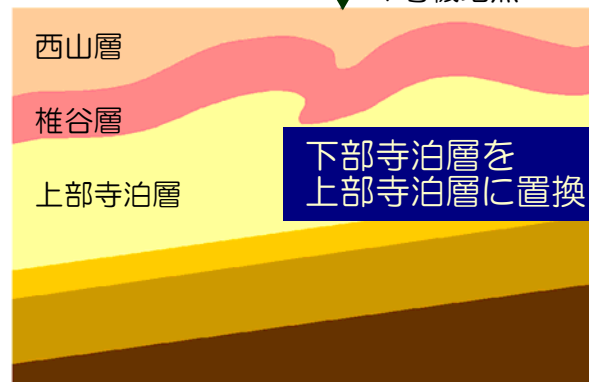
モデル-D
椎谷層上面のみ褶曲面考慮



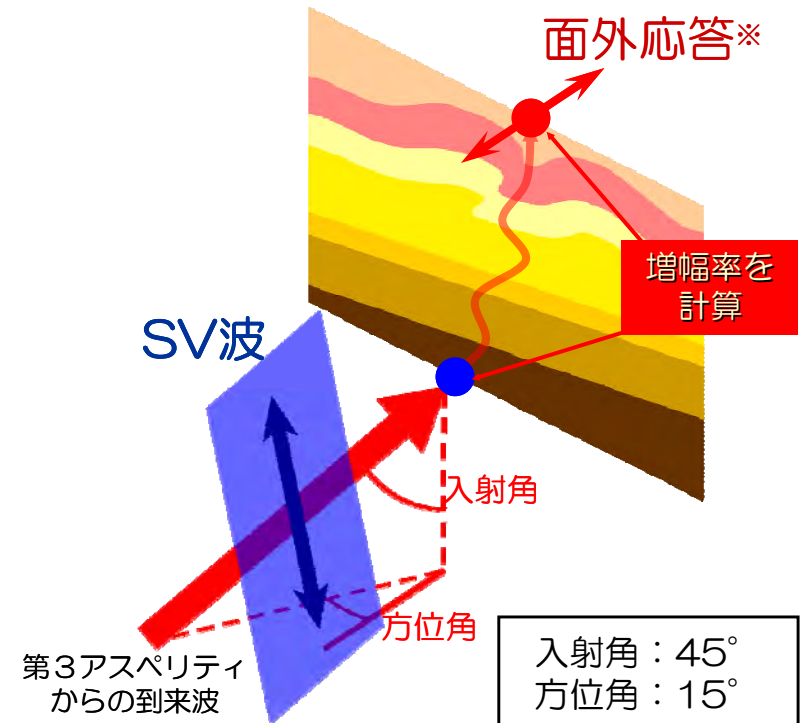
モデル-E
上部寺泊層上面のみ褶曲面考慮



モデル-F
椎谷層上面と上部寺泊層上面に褶曲面考慮

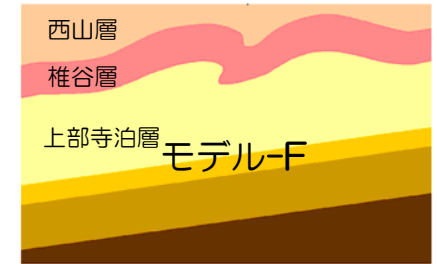
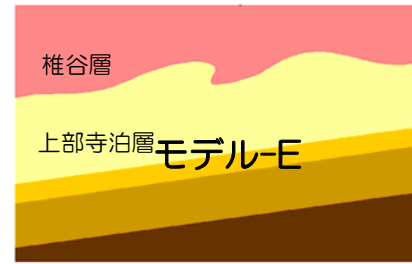
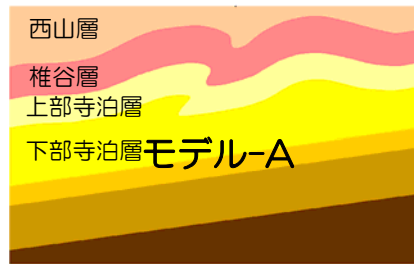
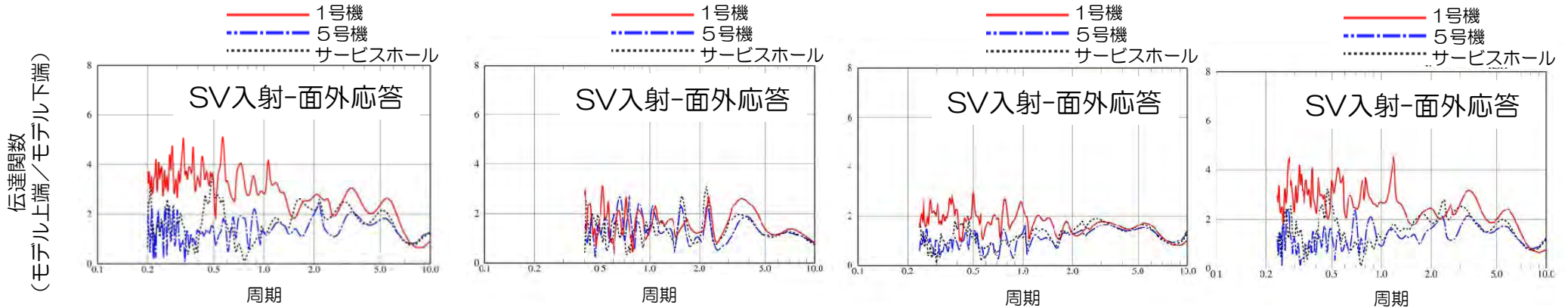
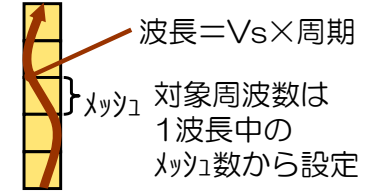


解析条件



*面外応答：地下構造モデルと直交方向の応答

解析結果



■ 1号機と5号機の差は見られない

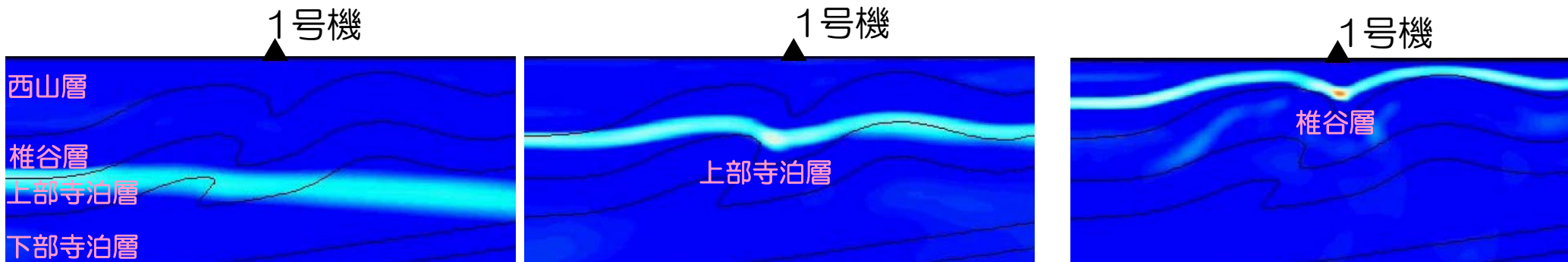
■ 号機間の差は生じるがモデル-Aほど明確ではない

■ モデル-Aと同程度の差が生じる

- 1号機地点の増幅は椎谷層上面と上部寺泊層の上面の2つの褶曲面によって生じており、上部寺泊層以浅の構造による影響が大きいものと考えられる。
- これに対し、下部寺泊層上面における層境界面のインピーダンス比はそれより上部に比べ小さいため、褶曲面での波面の屈折は小さくなっていると考えられ、下部寺泊層以深の構造は1号機地点の増幅に大きな影響を及ぼさないと考えられる。

荒浜側モデル断面のスナップショット

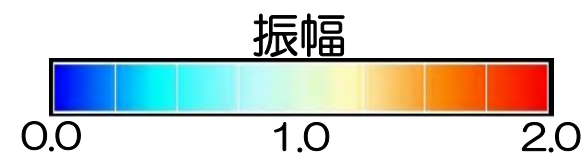
[第3アスペリティからのSV波入射, 面外水平応答, リッカー波中心周期0.6s]



- ①上部寺泊層までは平面波の形状を保ったまま波動が伝播する。
- ②上部寺泊層上面の褶曲を通過すると、向斜構造の中心部に波動が集中する。
- ③椎谷層上面の褶曲を通過すると、1号機の直下で波動の集中度が増す。

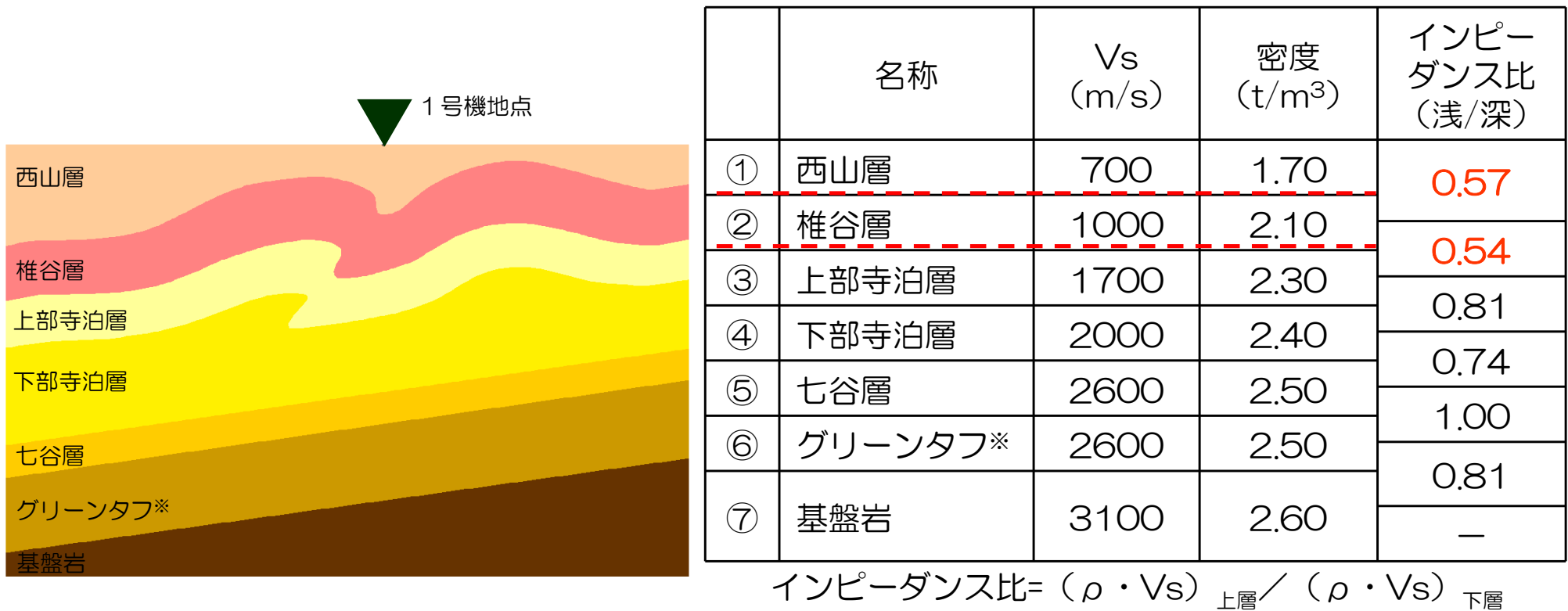


- ④波動の集中はそのまま1号機へ伝播する。
- ⑤1号機は大きな増幅を示す。



■スナップショットによる波動伝播特性の分析からも、1号機地点の増幅特性に椎谷層上面と上部寺泊層の上面の2つの褶曲面が大きく影響していることが確認できる。

■地下構造モデルのインピーダンス比を評価し、地震波の増幅特性に影響する速度コントラストの大きな層境界について検討。

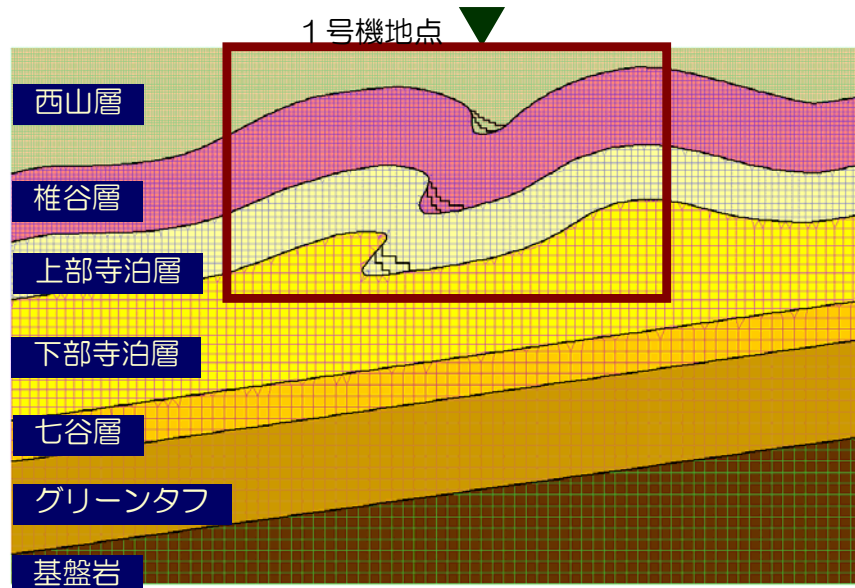


■地下構造モデルのインピーダンスコントラストは椎谷層上面及び上部寺泊層上面で大きくなっているため、地震波の増幅特性としては、これらの層境界の影響が大きいと考えられる。

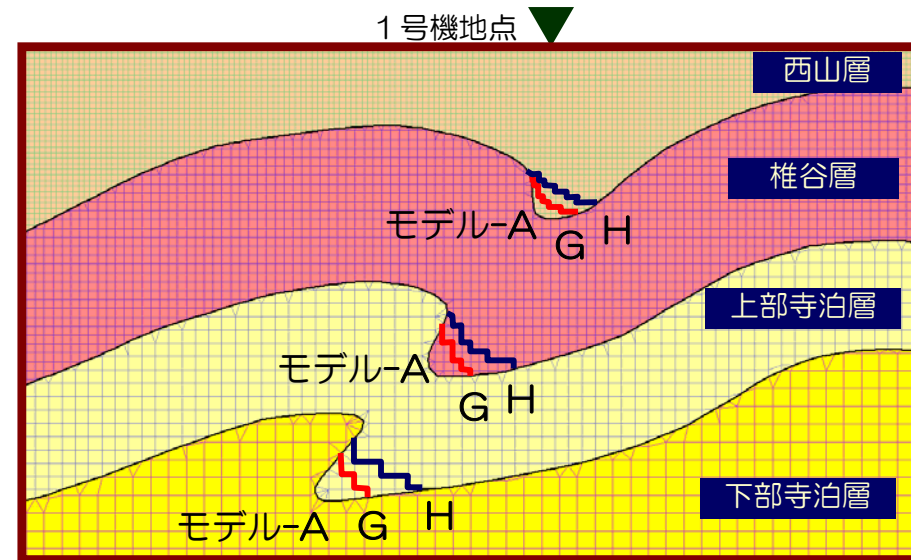
※：天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

目的と概要

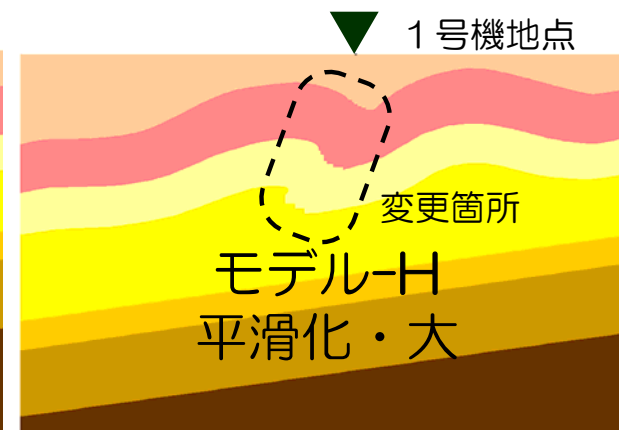
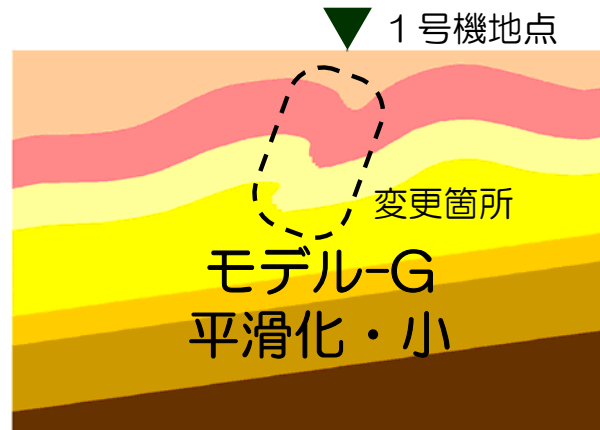
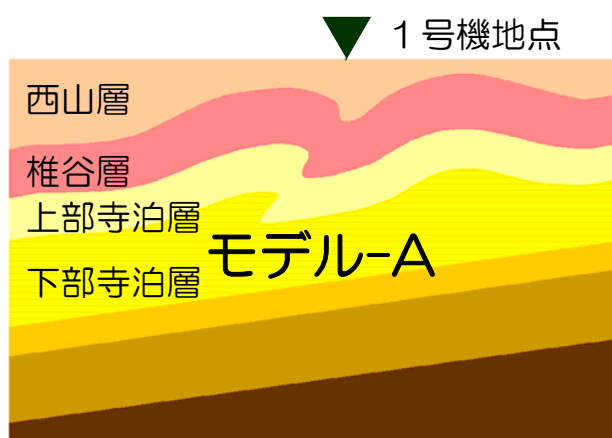
褶曲構造をなす境界面の褶曲度合いが増幅特性に与える影響を把握するため、境界面の褶曲度合いを段階的に緩やかにした2次元地下構造モデルをいくつか作成し、SV波入射による増幅率の変化を比較する。



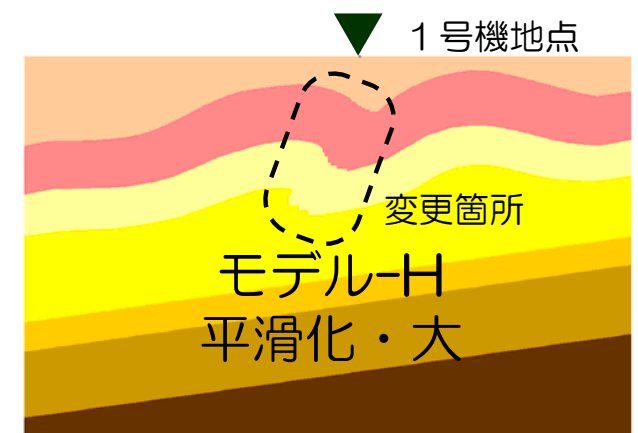
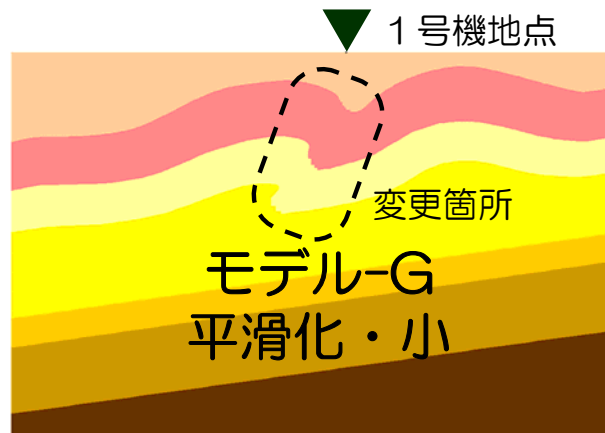
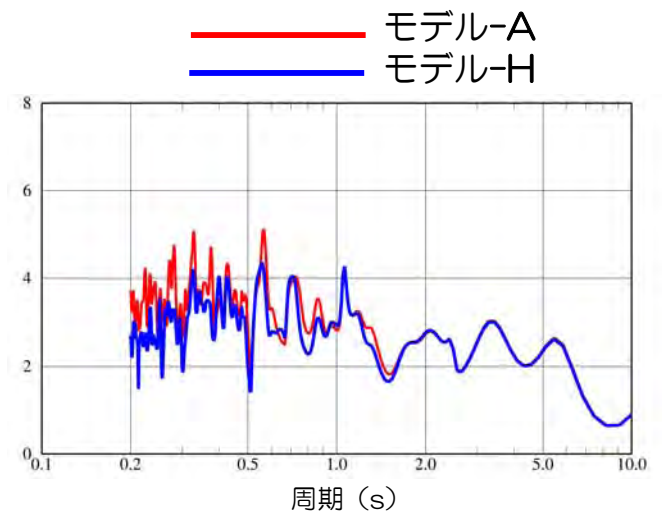
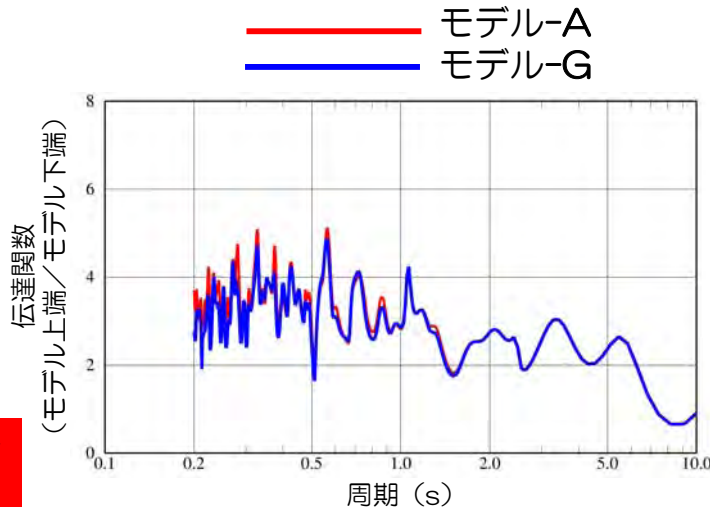
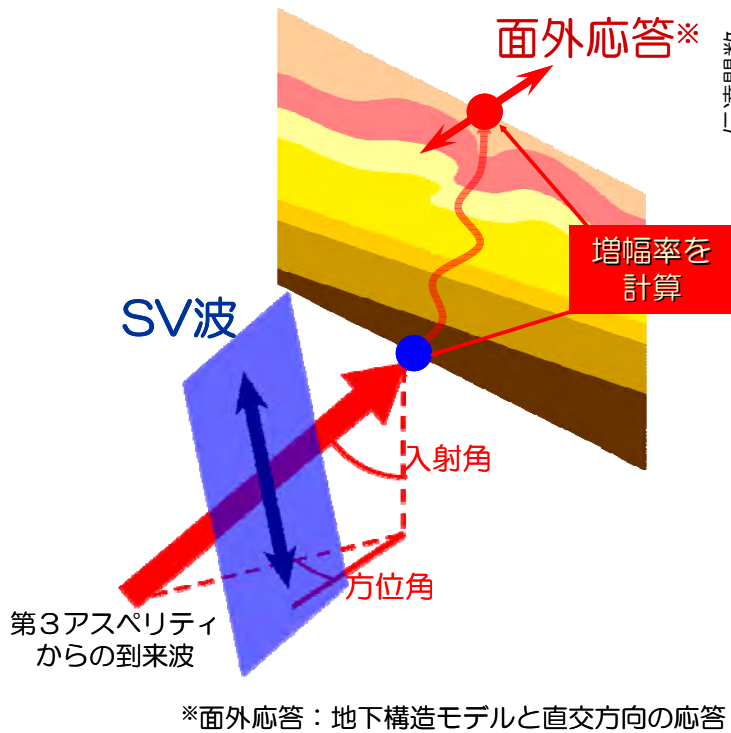
地下構造モデル（全体図）



地下構造モデル（拡大図）



解析結果



■ モデル-Aと同等の応答が生じる。

■ モデル-Aに比べて応答が若干小さくなるが、ほぼ同等。

■ 向斜の凹んだ部分を局所的に埋めたとしても、1号機地点が背斜に挟まれた向斜軸上にあるという大局的な位置関係は変わらないため、1号機地点の増幅への影響が小さかったと考えられる。

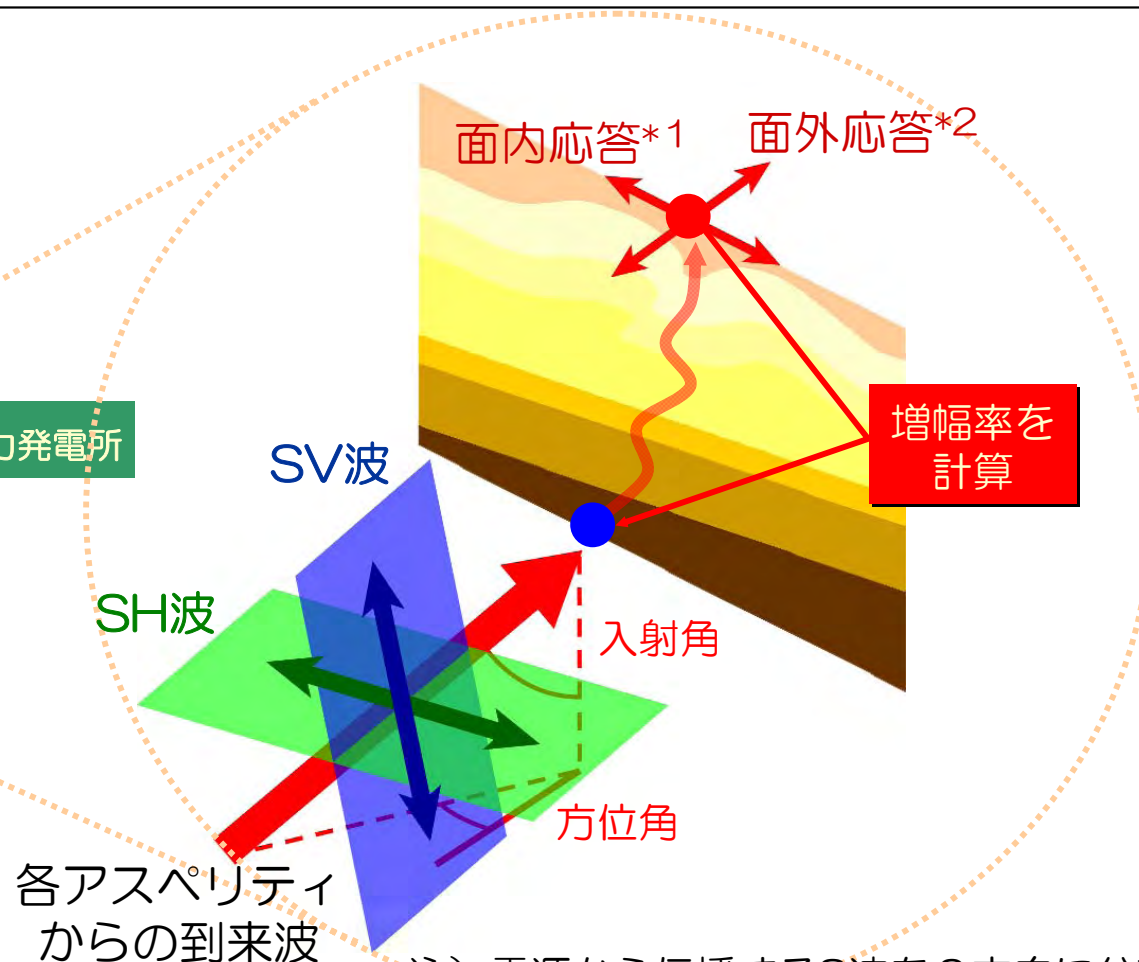
-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析

 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - a.目的
 - b.2次元地下構造モデルの作成
 - c.中越沖地震のシミュレーション解析
 - d.パラメータスタディ
 - e.到来方向別の増幅特性に関する検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討

 5. 基準地震動評価への反映事項

■目的と概要

到来方向による荒浜側と大湊側の増幅特性の違いについて検討するため、陸域（片貝断層のアスペリティ）から入射した場合の増幅率について新たに算出し、中越沖地震の各アスペリティからの入射に対する増幅率と比較する。



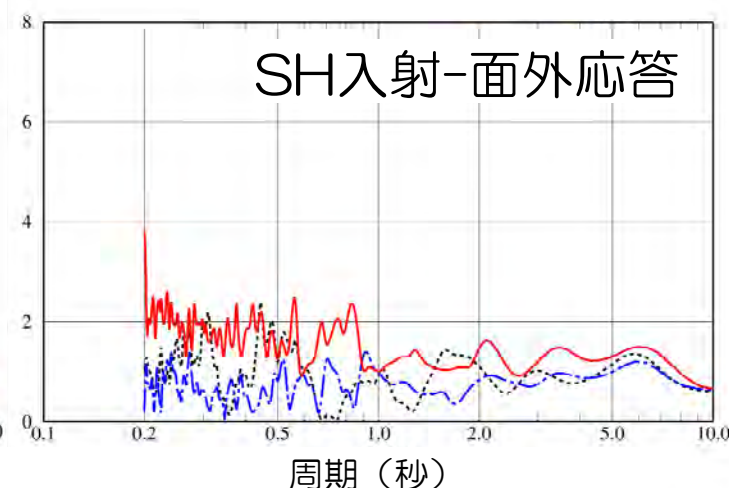
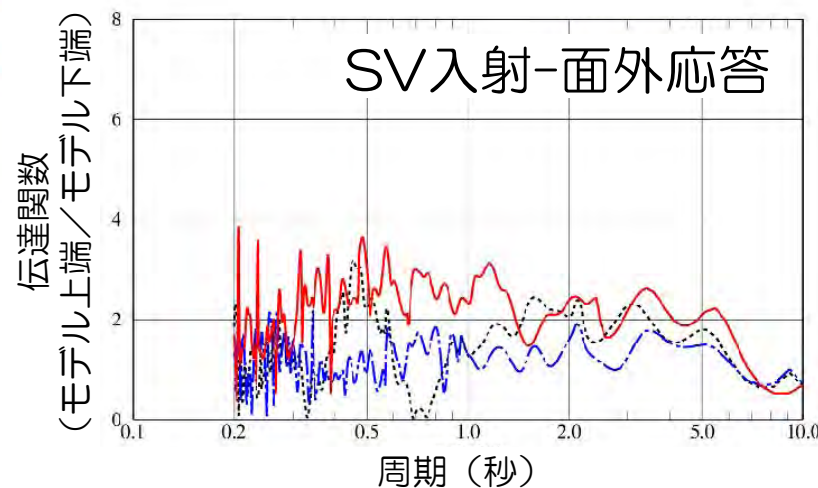
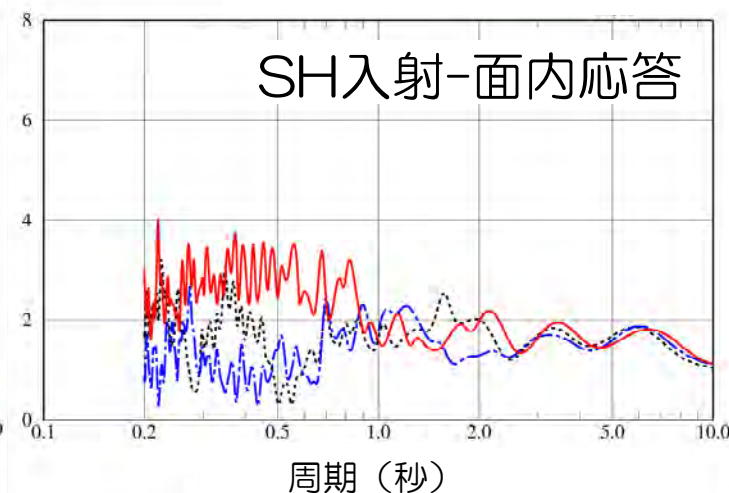
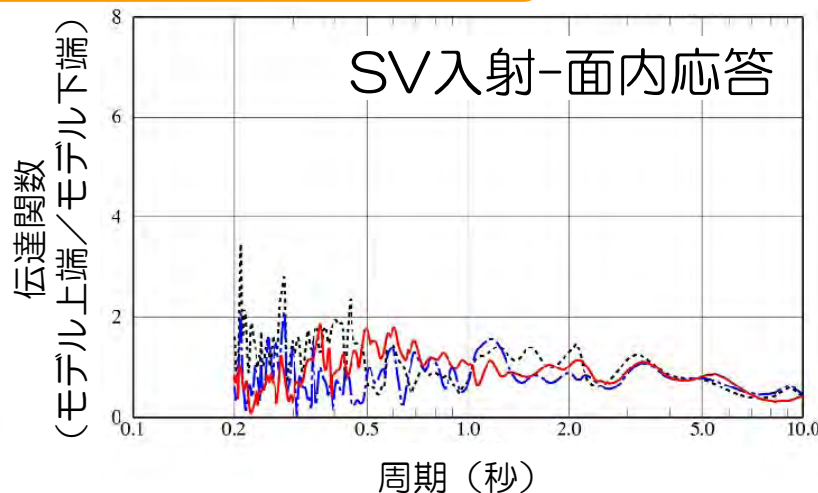
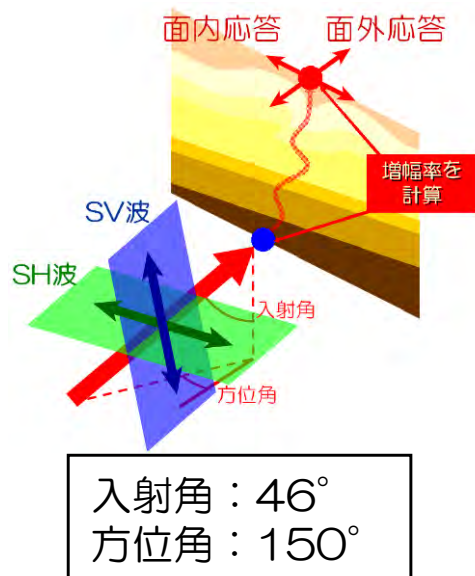
注) 震源から伝播するS波を2方向に分離

※1 面内応答：地下構造モデル断面と平行方向の応答

※2 面外応答：地下構造モデル断面と直交方向の応答

中越沖地震 第1アスペリティ

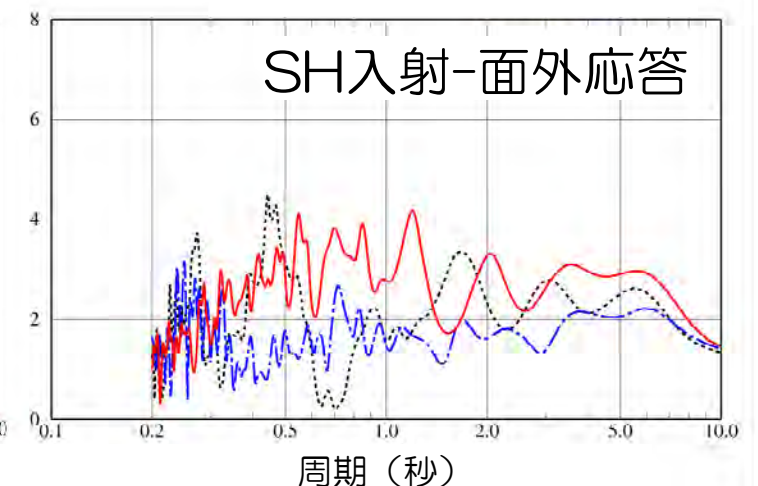
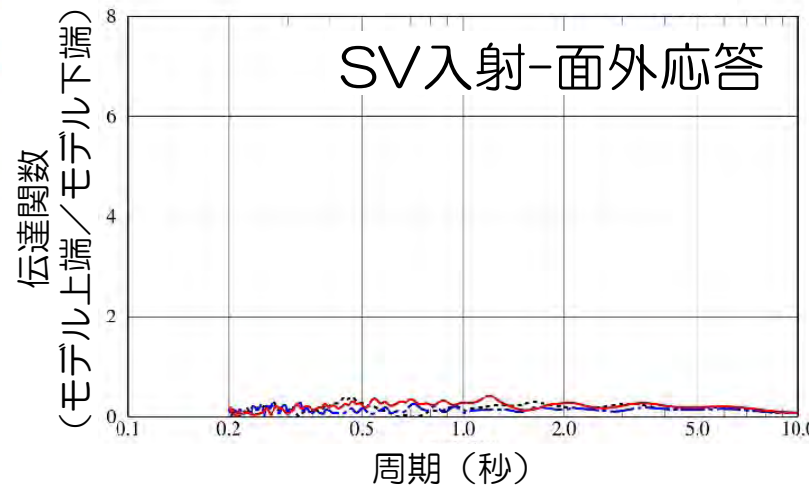
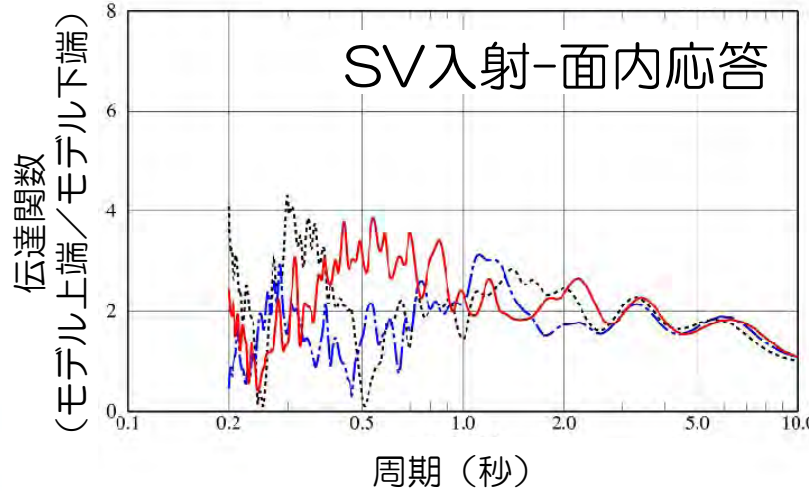
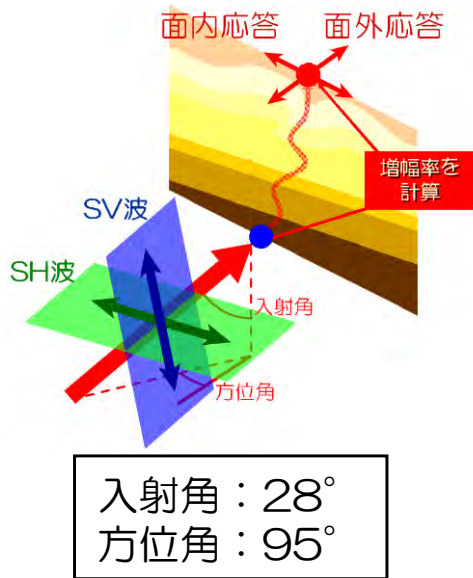
- 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)
- サービスホール



■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

中越沖地震 第2アスペリティ

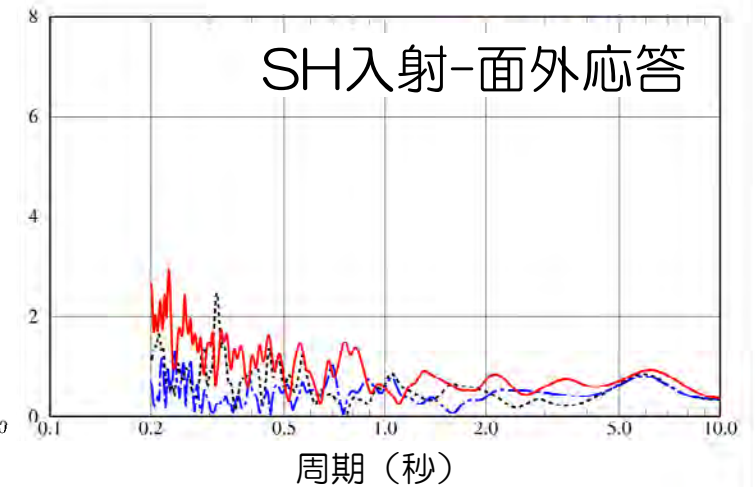
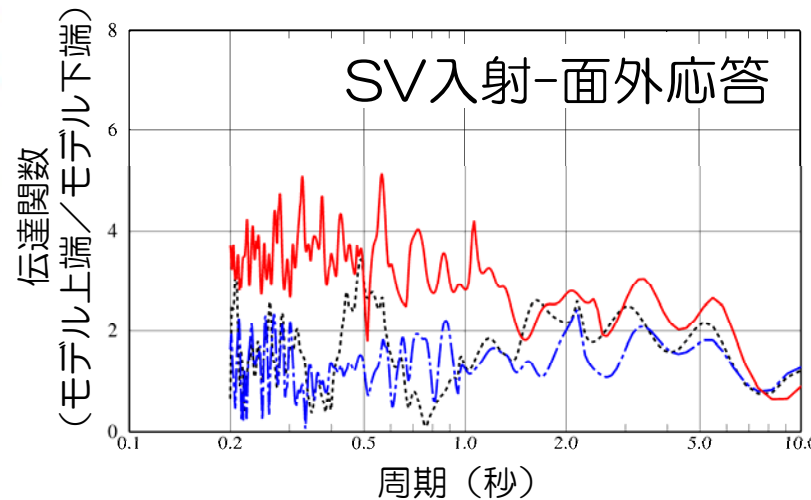
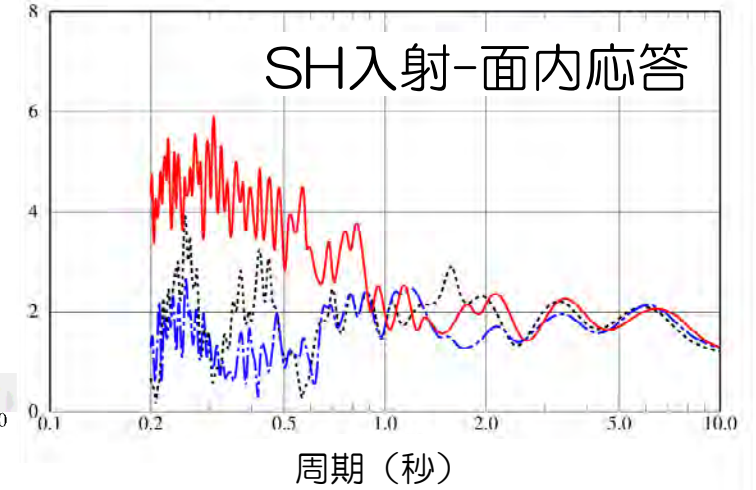
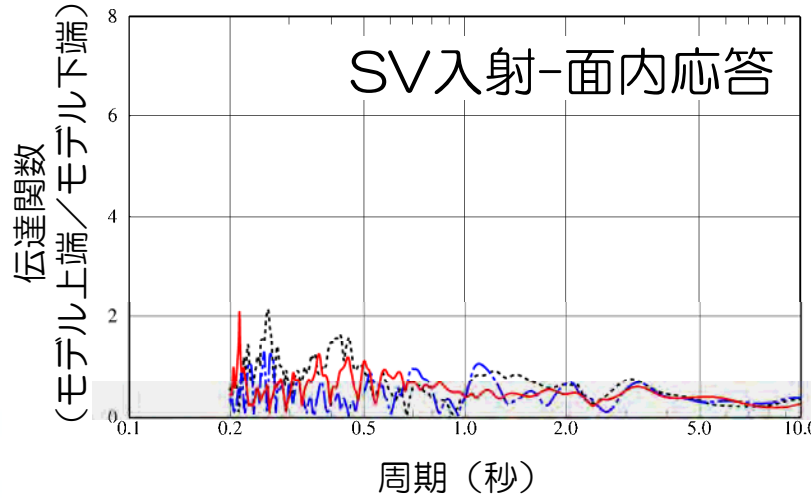
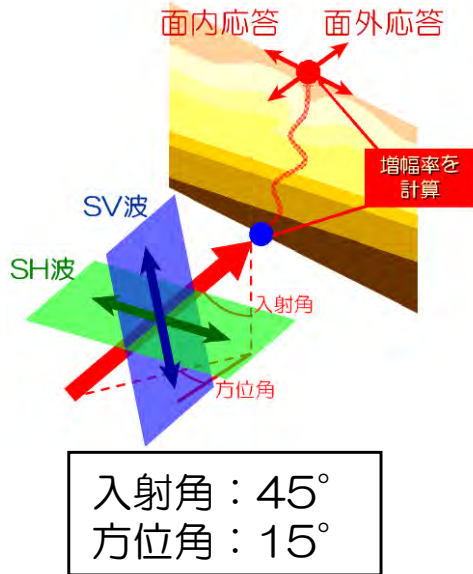
- 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)
- サービスホール



■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

中越沖地震 第3アスペリティ

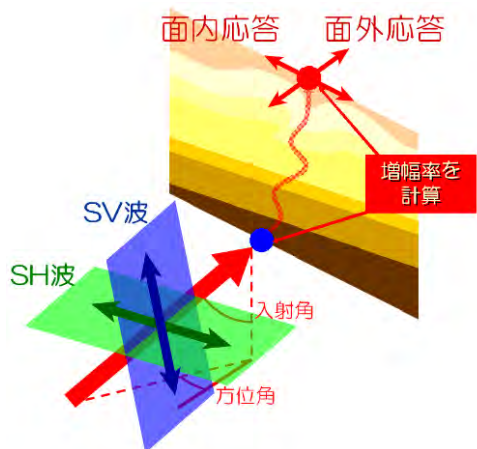
- 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)
- ⋯ サービスホール



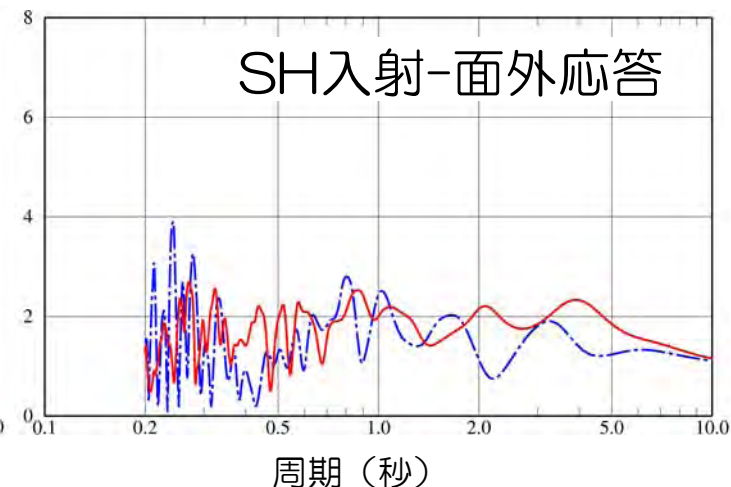
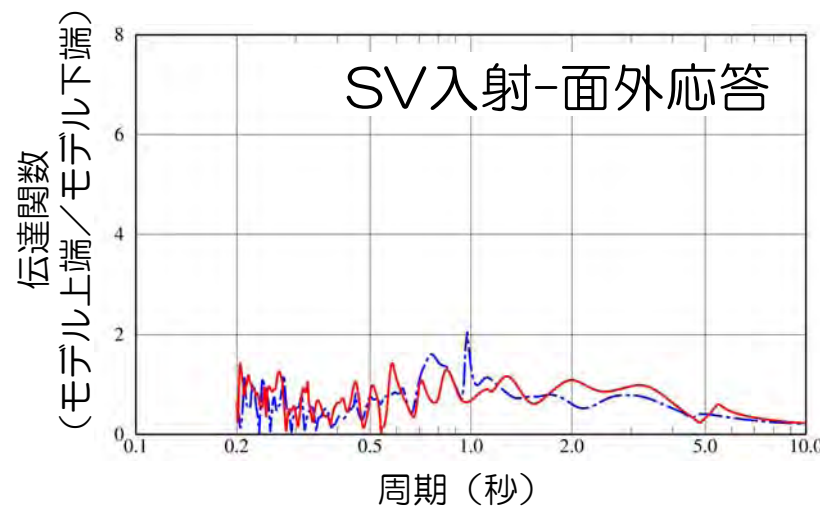
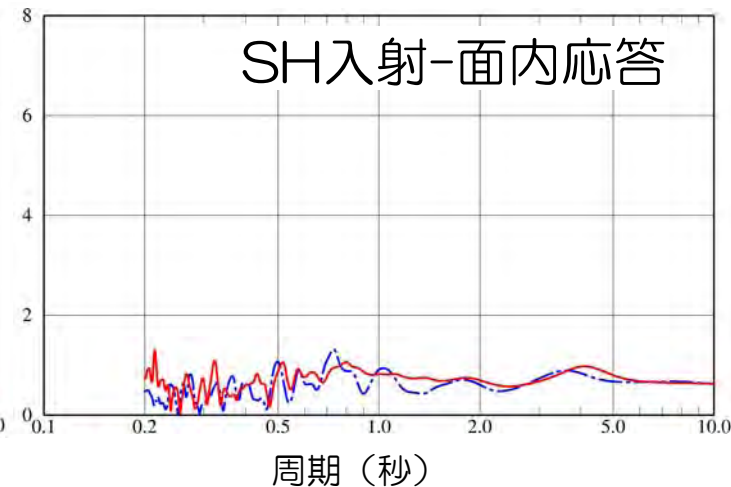
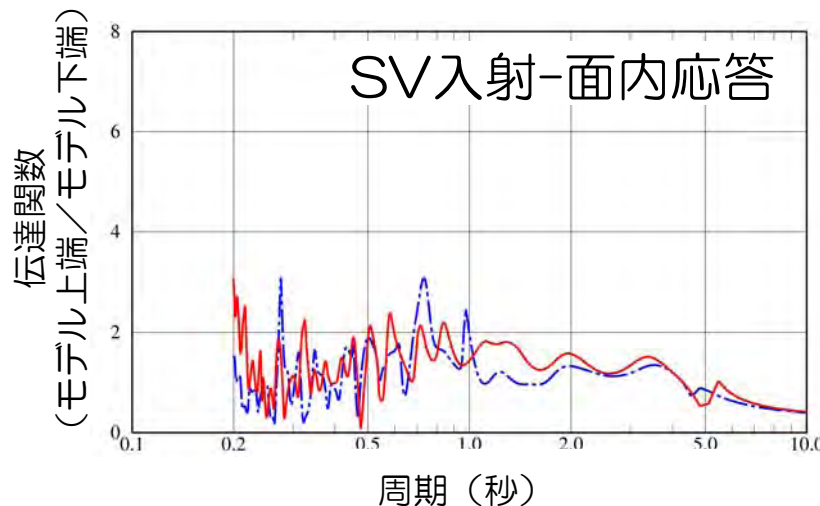
■ 荒浜側と大湊側の増幅率には有意な差があり、荒浜側は大湊側の2~4倍程度となることを確認。

片貝断層 アスペリティ

- 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)
- サービスホール

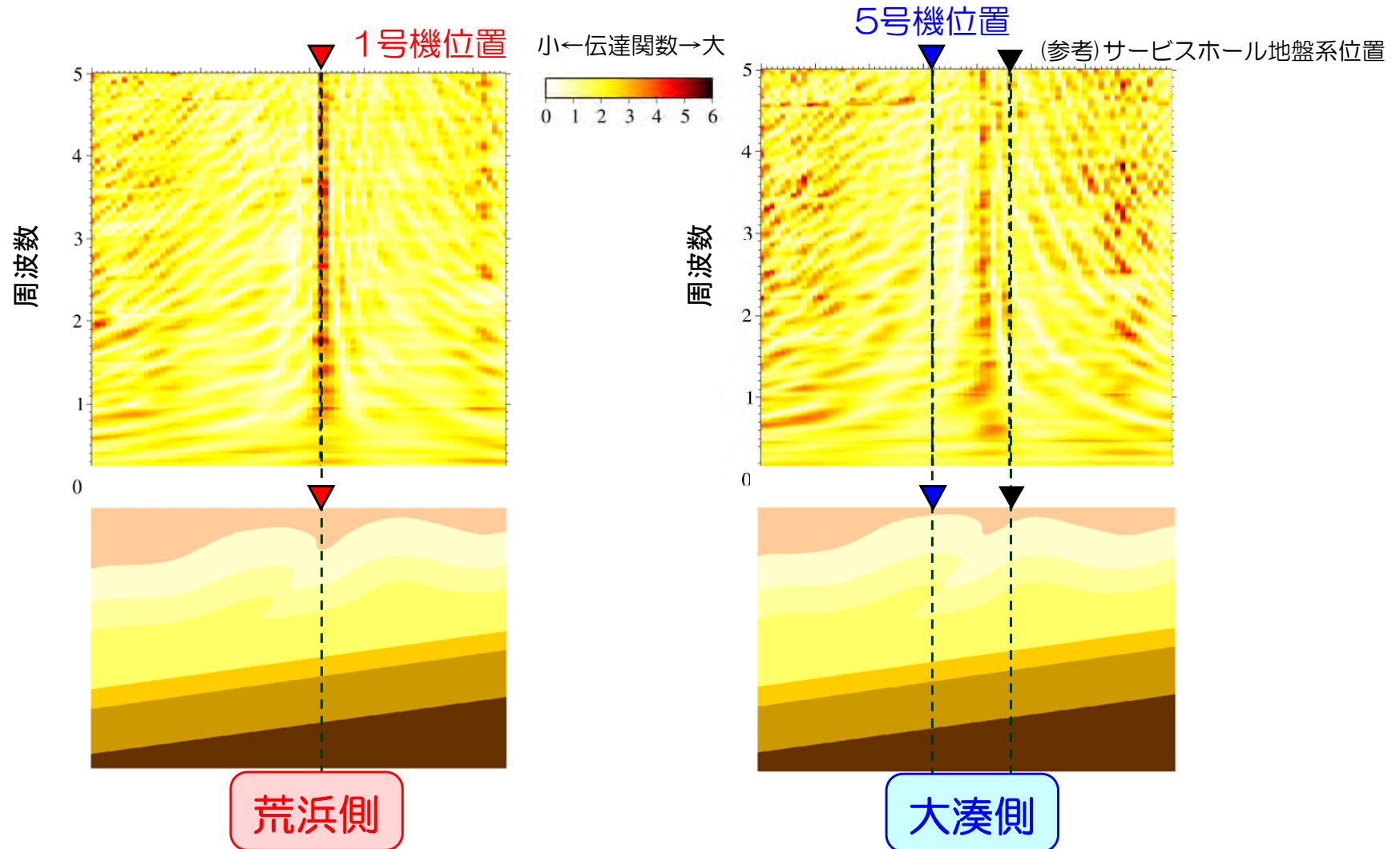


入射角：60°
方位角：242°



■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

- 荒浜側で顕著な増幅特性が見られた第3アスペリティについて、伝達関数（モデル上端／モデル下端）の面的な分布を確認。



- 向斜の直上において地震波が局所的に集中し、1号機で増幅が大きくなることを確認。

解析による検討結果

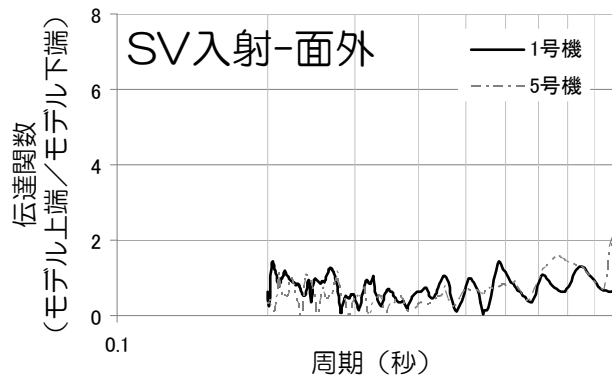
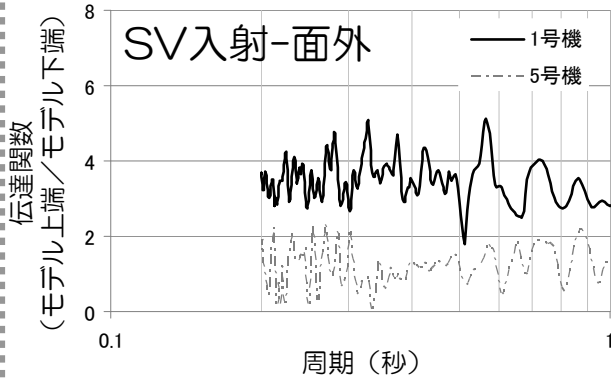
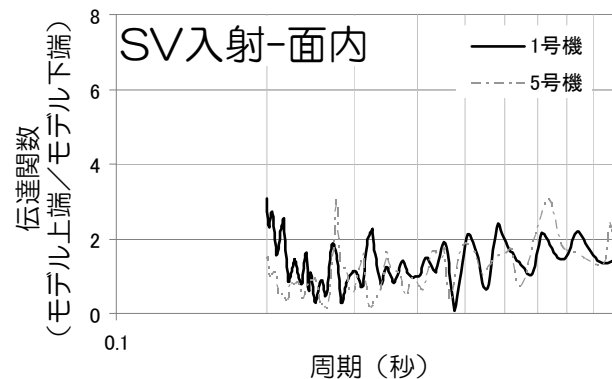
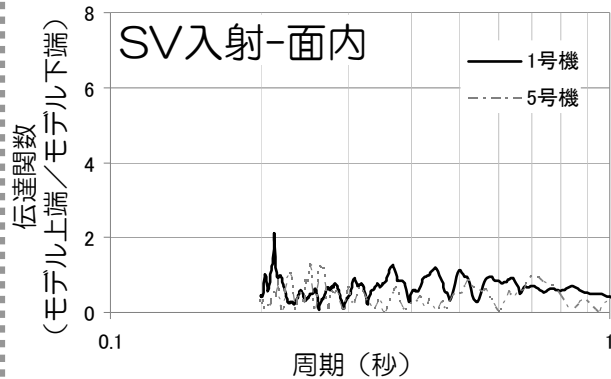
※P.170, 171参照

観測記録の分析結果

※P. 48参照

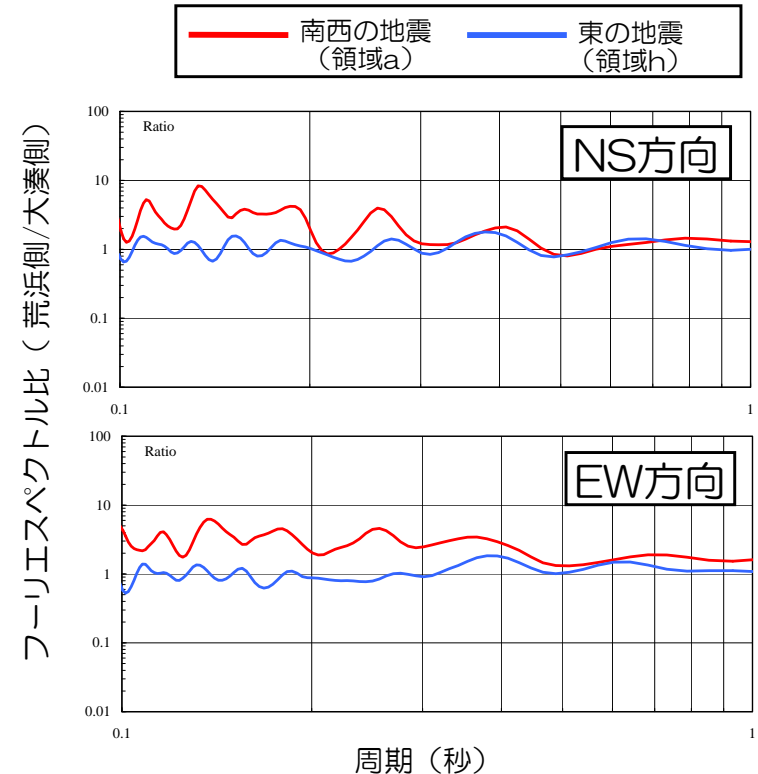
中越沖地震第3アスペリティ
(南西)からの入射

片貝断層のアスペリティ
(東)からの入射



荒浜側と大湊側の
増幅率に差がある

荒浜側と大湊側の
増幅率に差はない



- 南西の地震では、荒浜側と大湊側で増幅特性が異なる
- 東の地震では、荒浜側と大湊側で増幅特性に差はない

■ 解析結果と観測記録の分析結果が整合していることを確認。

(2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討 小括

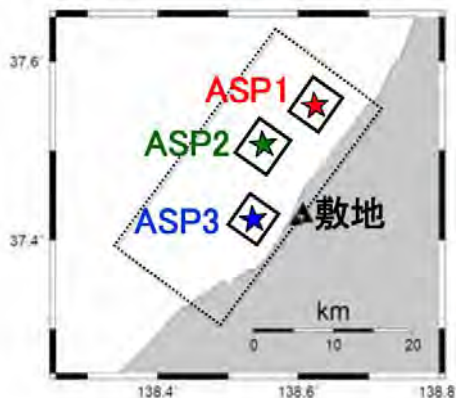
- 敷地近傍における2次元地下構造モデルを作成し、その妥当性を検証した上で、地震の到来方向による荒浜側、大湊側の増幅特性の違いを検討した結果、以下を確認。
 - ・ 敷地及び敷地周辺の地下構造調査結果に基づく2次元地下構造モデルにより、中越沖地震の観測記録を良好に再現できたことから、妥当な地下構造モデルであること。
 - ・ 1号機地点の増幅は、椎谷層上面と上部寺泊層の上面の2つの背斜部による影響が大きく、上部寺泊層以深の構造及び向斜部の形状による影響は小さいこと。
 - ・ 敷地の南西側に位置する中越沖地震の第3アスペリティからの地震波に対して、荒浜側と大湊側で増幅特性が異なり、荒浜側の方が有意に大きな増幅となること。
 - ・ その他の到来方向においては、荒浜側と大湊側で増幅特性に顕著な差はないこと。
 - ・ 上記の知見は、観測記録の分析結果と整合していること。

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 - (1) 広域の地下構造モデルを用いた検討
 - (2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討
 - (3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

3次元差分法による解析的検討 JNES (2008)

■ JNES (2008) による地下構造モデルを用い、3次元差分法により中越沖地震本震のシミュレーションを実施している。

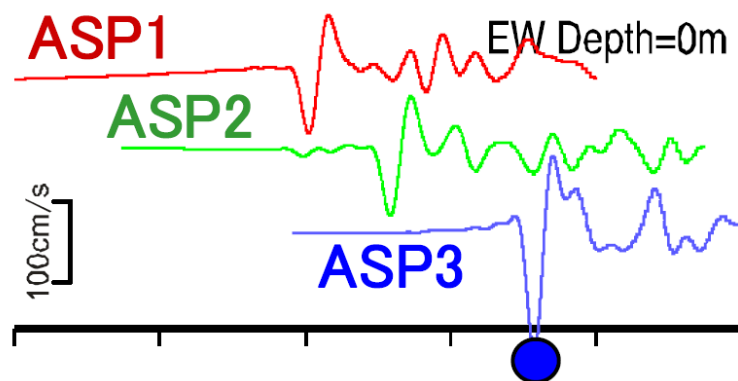
■ 点震源モデルによる検討
各アスペリティからの地震動の基本的な伝播特性を把握するため、点震源モデルによりシミュレーションを実施。



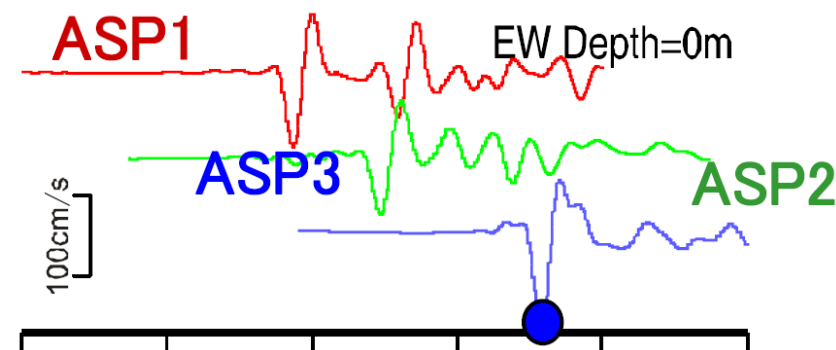
〔点震源モデル〕

	Mo (Nm)	深さ (km)	走向 (度)	傾斜角 (度)	すべり角 (度)
ASP1	1.69×10^{18}	10	40	40	90
ASP2	1.69×10^{18}	8.3	40	40	90
ASP3	1.02×10^{18}	11.3	40	30	90

震源時間関数: 三角形型時間関数、継続時間: 1秒



KK1解析結果 (EW方向)



KK5解析結果 (EW方向)

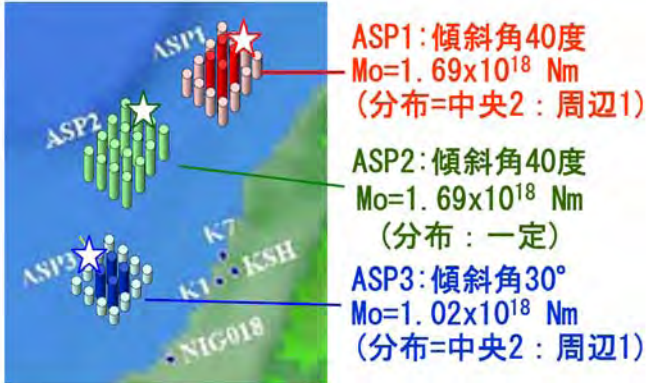
- 以下の通り、分析している。
 - ・ アスペリティ3によるパルス状の地震動は、KK1側がKK5側よりも顕著に大きい(観測記録と整合)。
 - ・ アスペリティ1と2の地震動は、各号機間でほぼ同レベル(観測記録と整合)。

※JNES (2008) より抜粋 (一部加筆・修正)

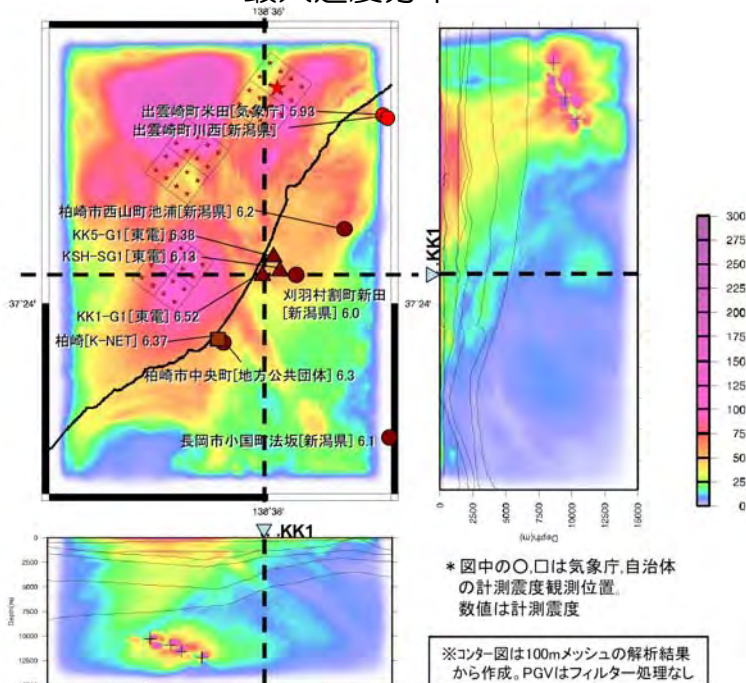
3次元差分法による解析的検討 JNES (2008)

断層の破壊伝播を考慮したシミュレーションを実施し、観測記録との対応関係について分析している。

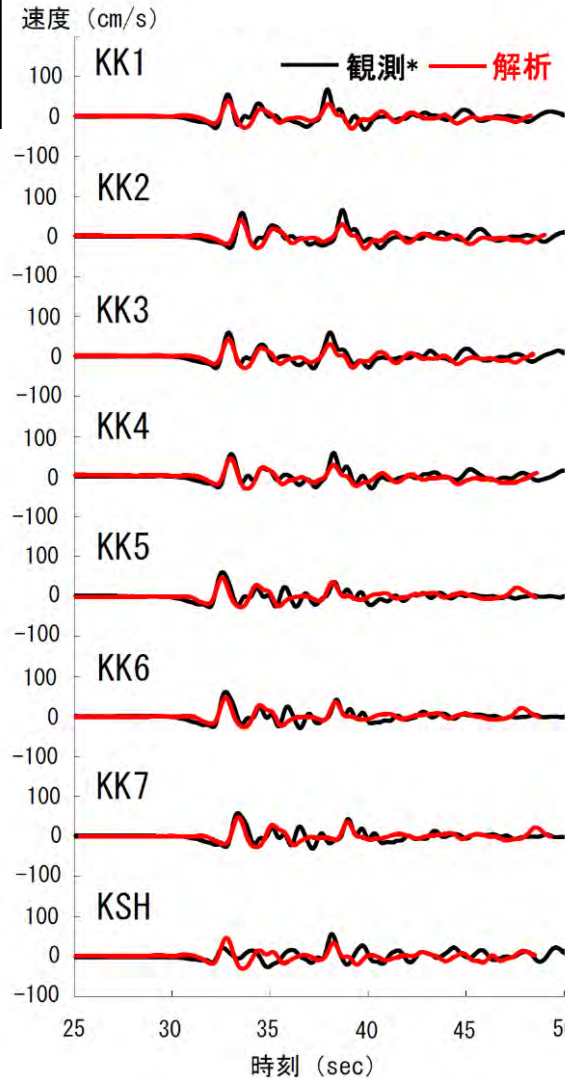
震源モデル (入倉(2007)を参考としたモデル)



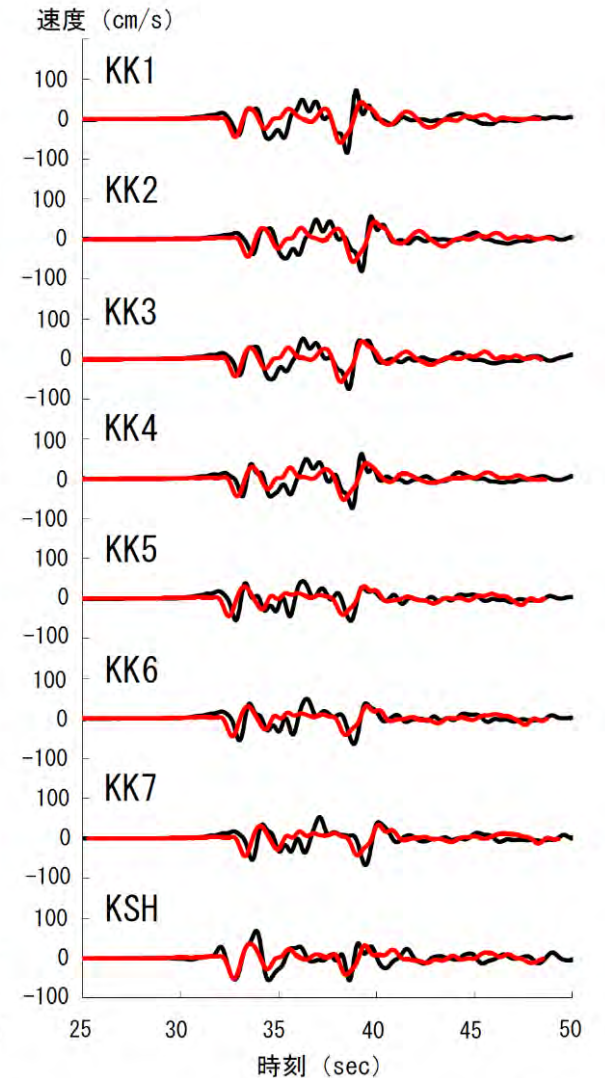
最大速度分布



NS方向速度波形



EW方向速度波形



※0.05Hz~1.6Hzまでフラット、2.0Hz以上をカットする台形フィルターをかけて求めた。

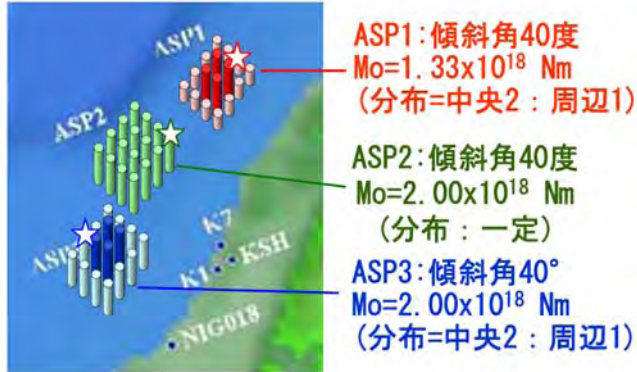
解析結果は観測記録の傾向を概ね再現されている。

※JNES (2008) より抜粋 (一部加筆・修正)

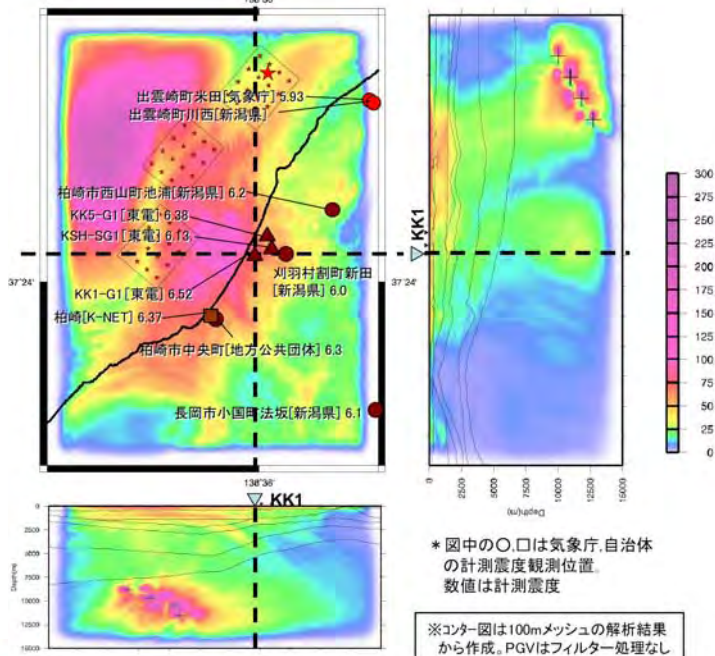
3次元差分法による解析的検討 JNES (2008)

断層の破壊伝播を考慮したシミュレーションを実施し、観測記録との対応関係について分析している。

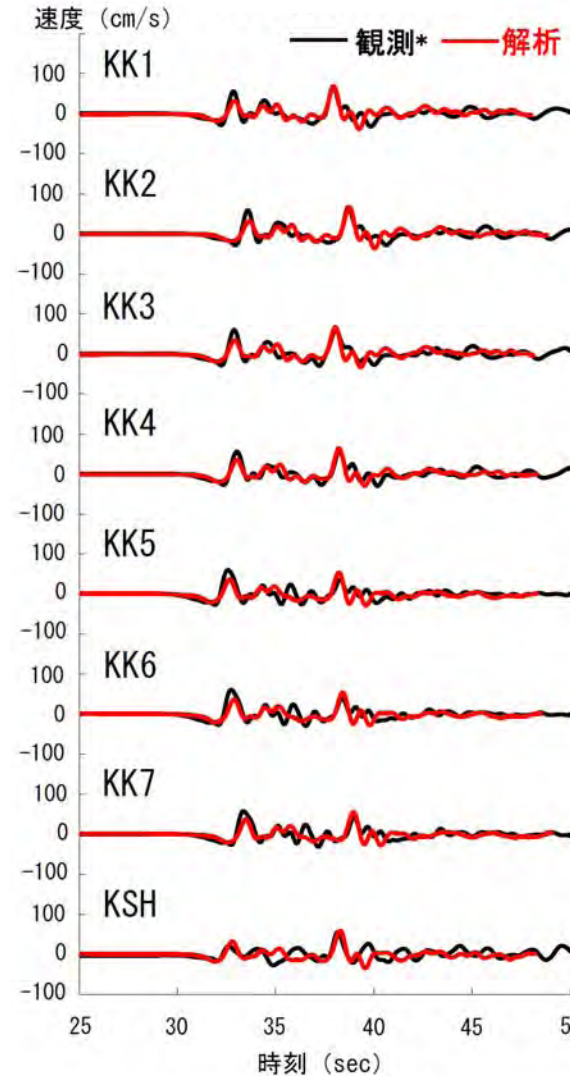
震源モデル (釜江(2008)を参考としたモデル)



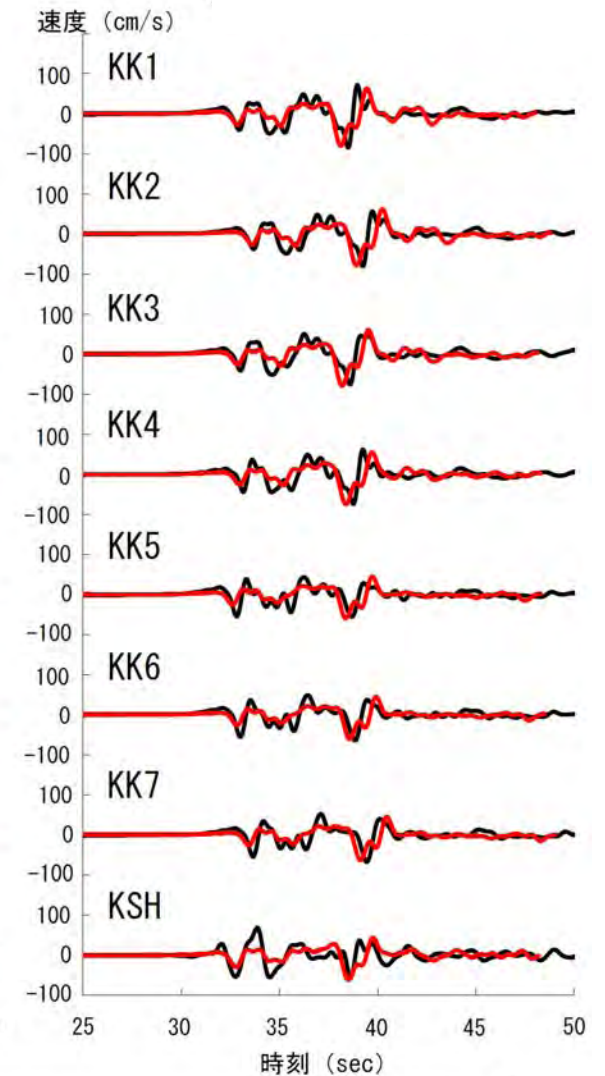
最大速度分布



NS方向速度波形



EW方向速度波形



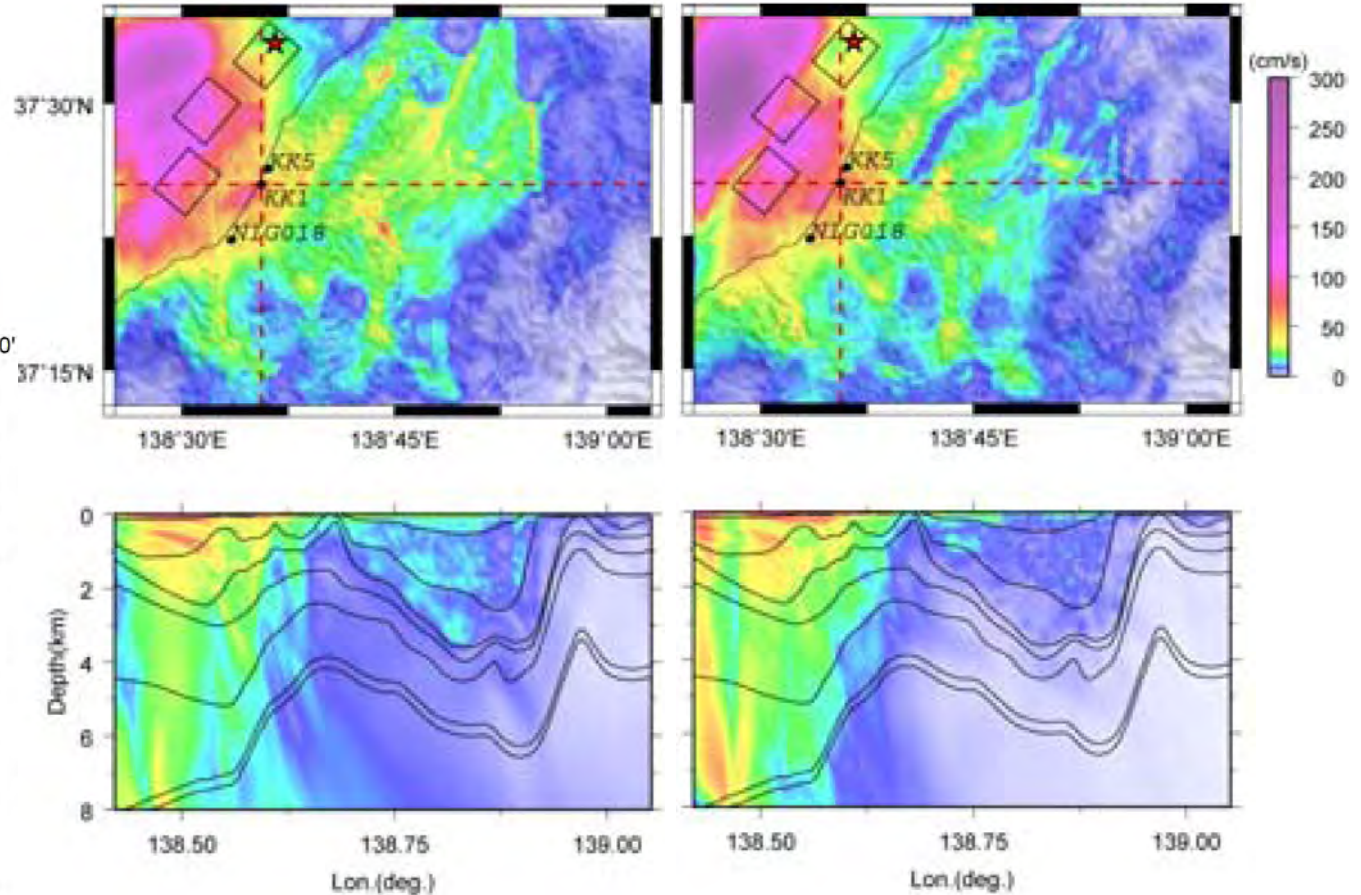
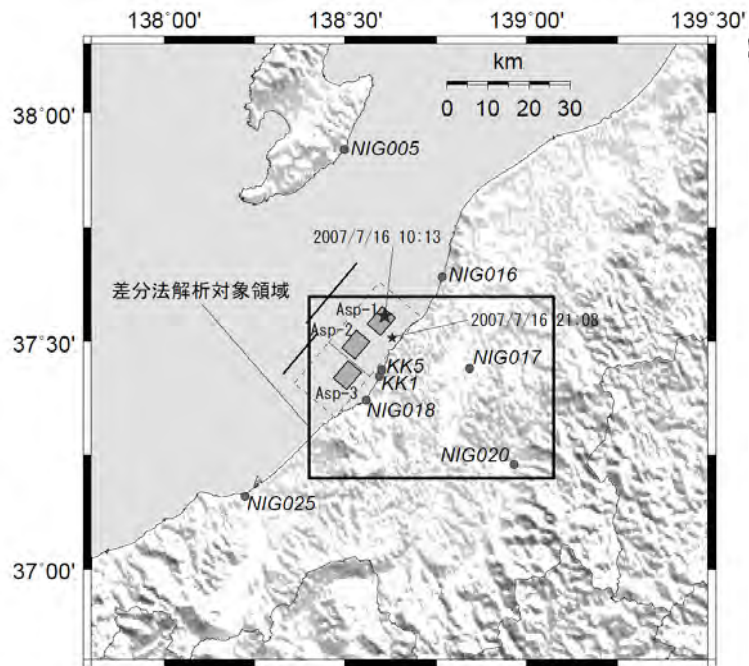
※0.05Hz~1.6Hzまでフラット、2.0Hz以上をカットする台形フィルターをかけて求めた。

解析結果は観測記録の傾向を概ね再現されている。

※JNES (2008) より抜粋 (一部加筆・修正)

3次元差分法による解析的検討 川辺ほか (2010)

■ JNES (2005) によるモデルに柏崎刈羽原子力発電所周辺における反射法地震探査の結果を反映した地下構造モデルを用い、3次元差分法により中越沖地震本震のシミュレーションを実施。

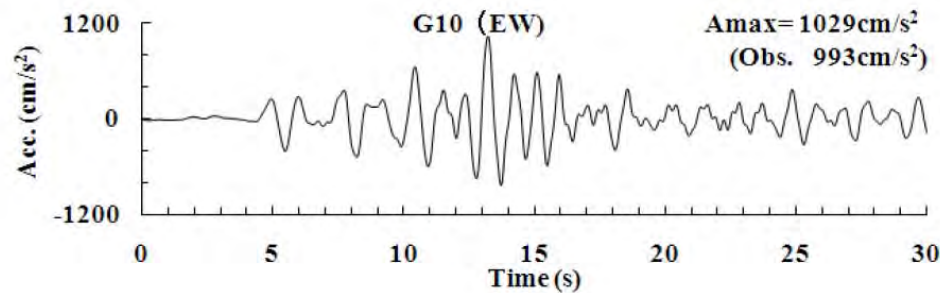
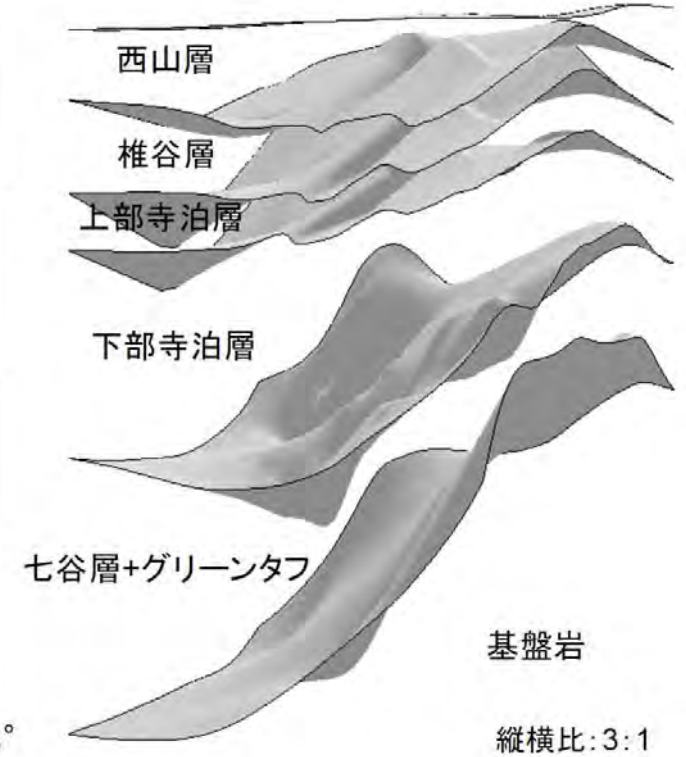
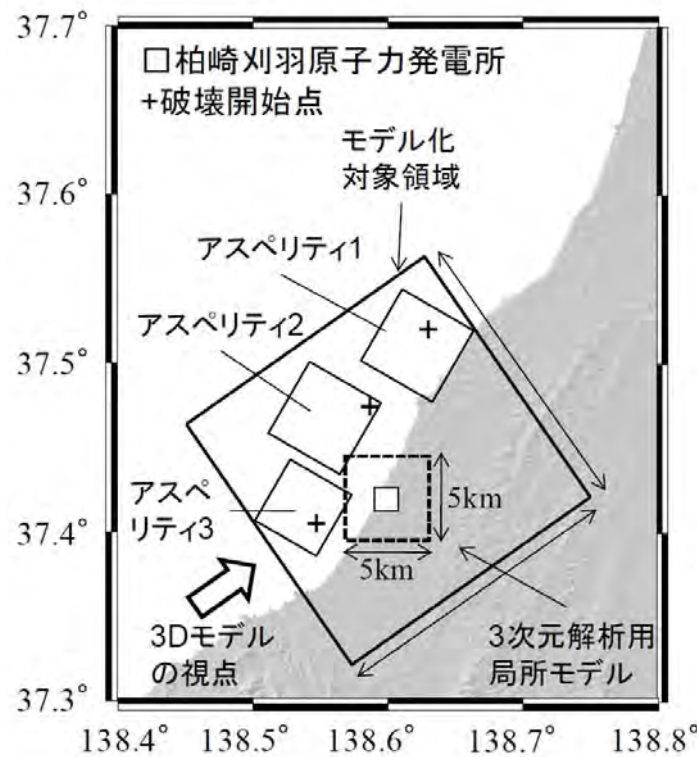


NS方向 EW方向
3次元地下構造モデルによる最大速度分布

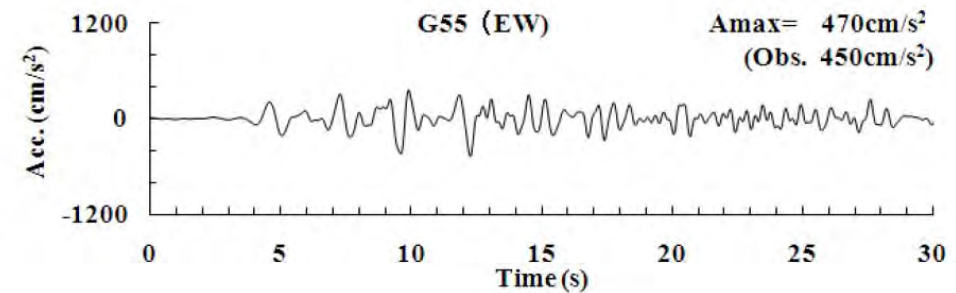
■ 「KK1地点周辺では、観測地点が震源の近傍であったことに加え、南北、東西断面ともに地下構造の各層の上面は海から陸域に向かって浅くなっており、地下構造の3次元的な影響により強い地震動が生成されたと考えられる。」としている。

3次元有限要素法による解析的検討 佐口ほか（2010）

■ JNES（2008）による地下構造モデルに敷地近傍の2次元地下構造モデルを反映させた地下構造モデルを作成し、3次元FEM解析による中越沖地震本震の強震動シミュレーションを実施。



1号機における解析結果



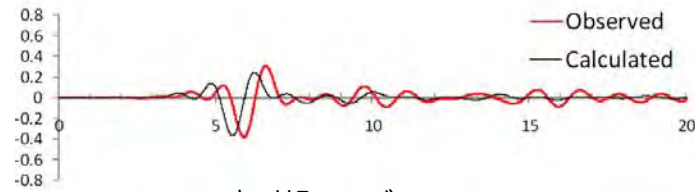
5号機における解析結果

■ 「1号機（荒浜側）では5号機（大湊側）に比べて振幅が2倍程度大きくなっている傾向は良く再現されている。」としている。

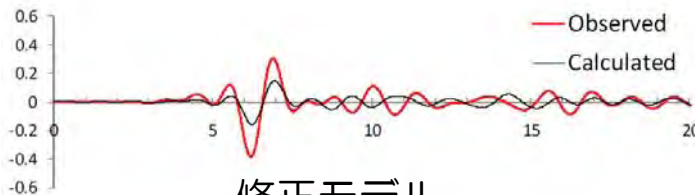
※佐口ほか（2010）より抜粋（一部加筆・修正）

3次元差分法による解析的検討 新田ほか（2010）

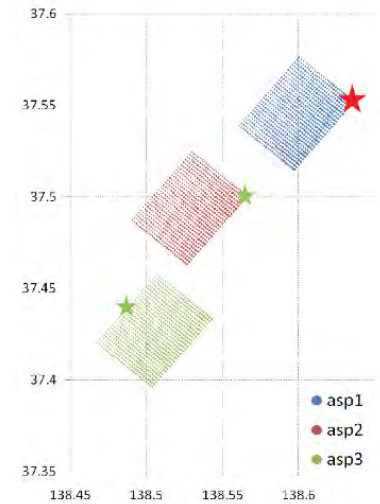
■ JNES（2008）に基づく地下構造モデルについて、余震観測記録のシミュレーションからチューニングを実施し、中越沖地震本震を対象に、3次元差分法によるシミュレーションを実施。



初期モデル

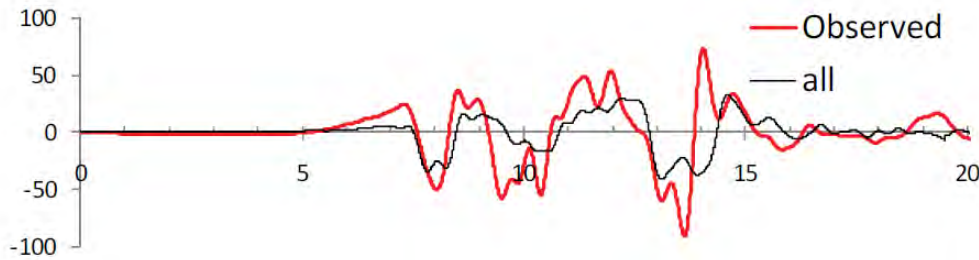


修正モデル

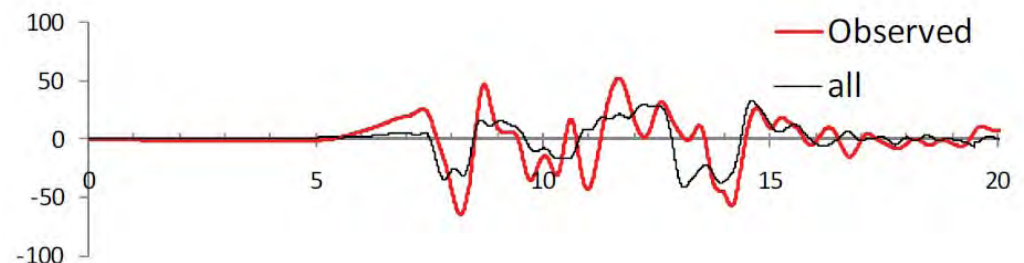


S-P時間を対象にチューニングを実施。
※縦軸の最大値が異なる

※釜江（2008）モデルのASP1・ASP3について地震モーメントを1.5倍して評価



KK1解析結果（EW方向）



KK5解析結果（EW方向）

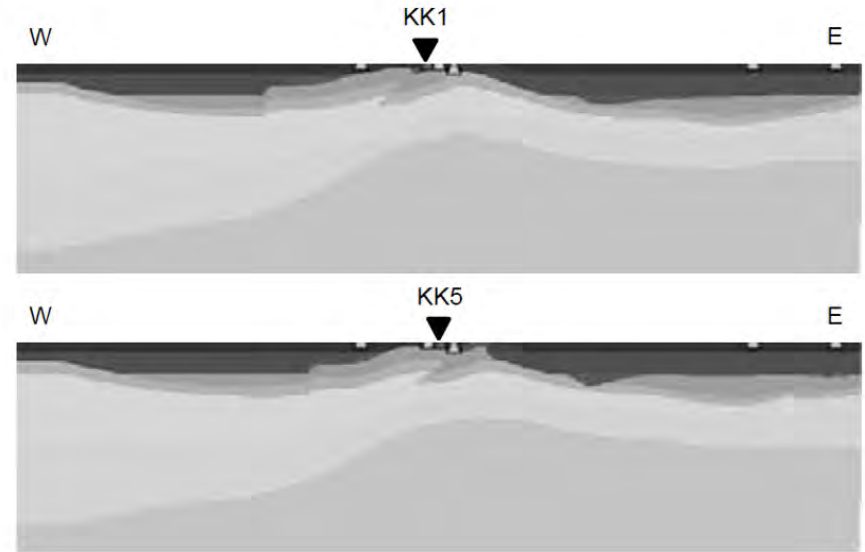
■ 以下の通り、分析している。

- ・ 概ねKK1の観測記録を再現することが出来た。しかし、EW方向に現れている第3パルスの形状は再現することはできなかった。
- ・ KK1の特異な東西方向パルスの生成原因について、地下構造と震源の両面から分析を進めたい。

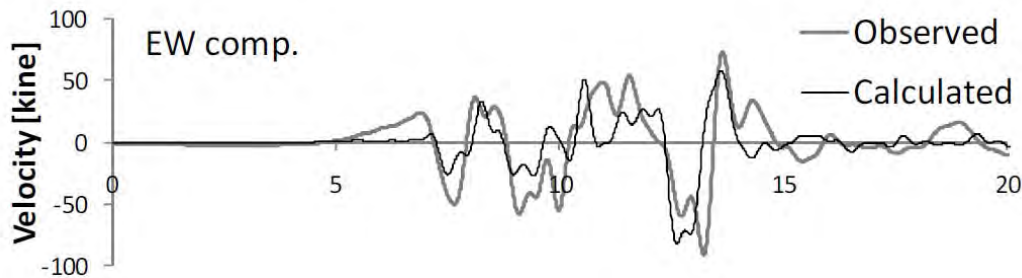
※新田ほか（2010）より抜粋（一部加筆・修正）

3次元差分法による解析的検討 新田ほか（2011）

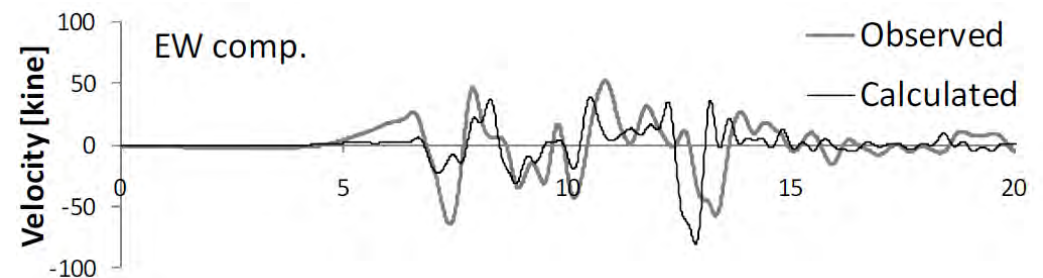
■ JNES（2008）による地下構造モデルに、敷地近傍の2次元地下構造モデルを挿入し、3次元差分法による、中越沖地震本震の強震動シミュレーションを実施。



褶曲構造を挿入した地下構造モデル



1号機における解析結果（EW方向）

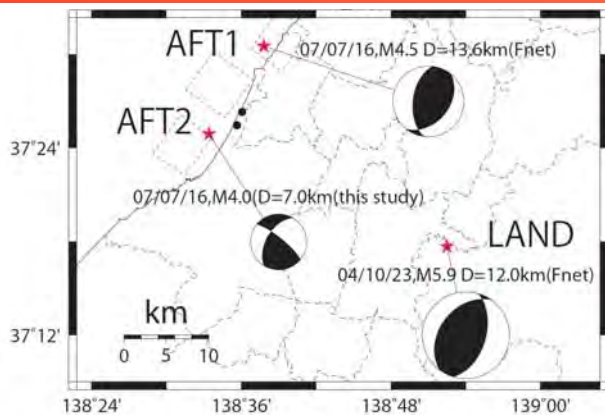


5号機における解析結果（EW方向）

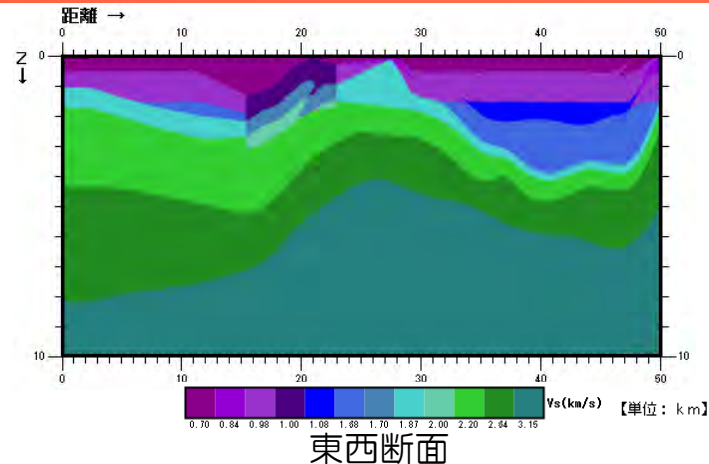
■ 「柏崎刈羽原子力発電所直下に見られる褶曲構造を考慮することにより、新潟県中越沖地震の本震記録に見られる敷地内の観測点間の顕著な差異を概ね再現することが出来た。」としている。

3次元差分法による解析的検討 早川ほか (2011)

■ JNES (2008) による地下構造モデルに敷地近傍の2次元地下構造モデルを反映させた地下構造モデルを作成し、中小地震を対象とした3次元差分法による解析により、地下構造モデルの妥当性を検証。

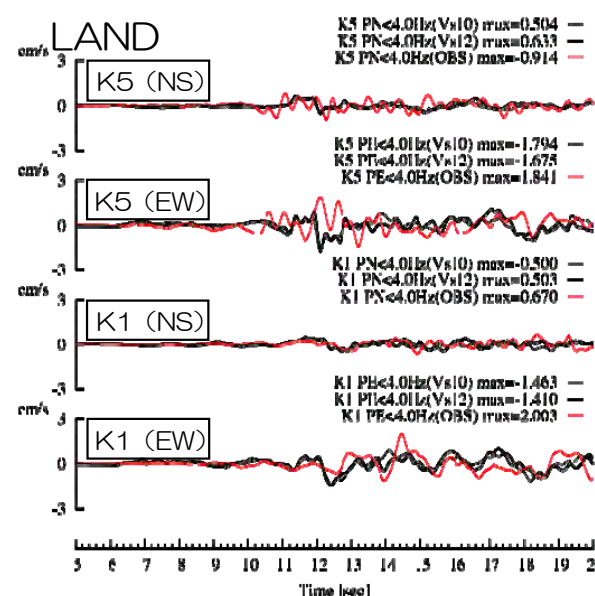
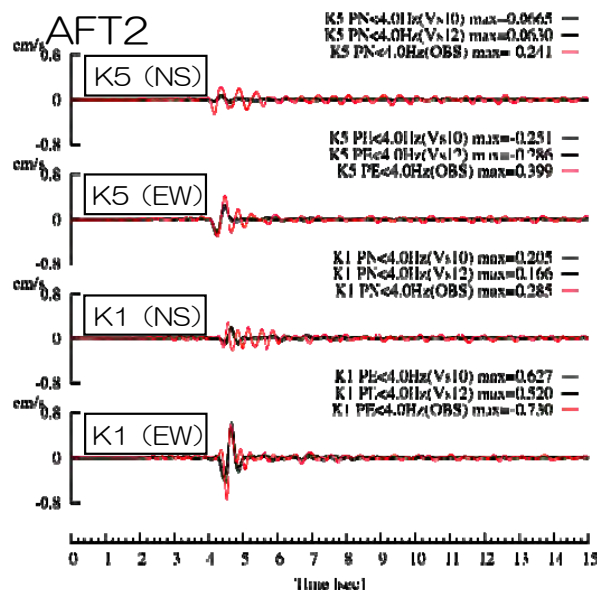
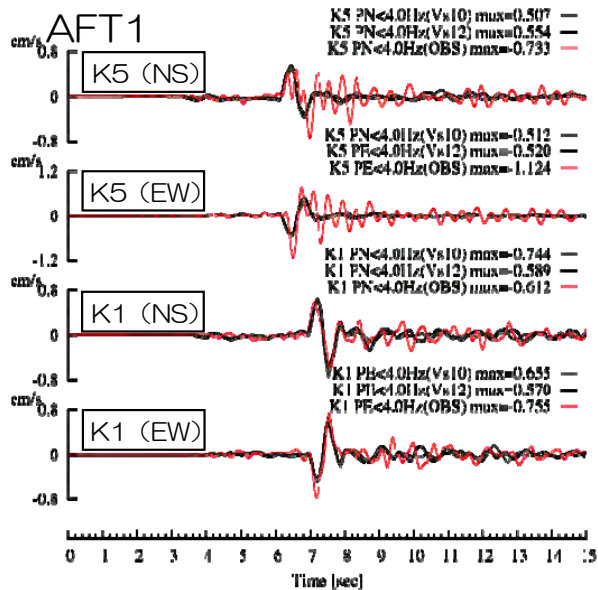


検討地震



東西断面

凡例 — 解析 (椎谷層Vs1.0km/s) — 観測
 — 解析 (椎谷層Vs1.2km/s) — 観測

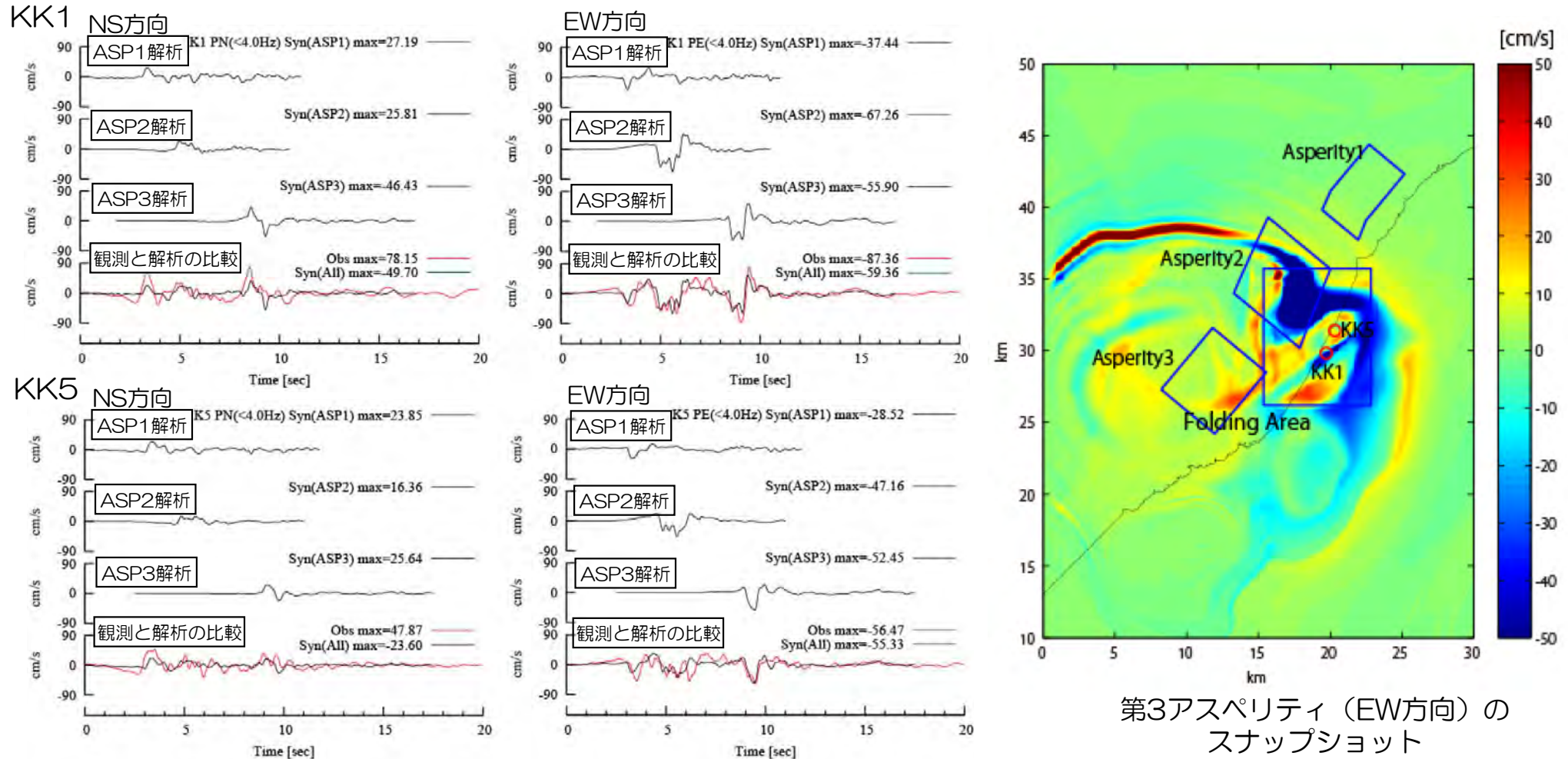


■ 以下の通り、分析している。

- 全地震とも原子炉建屋1号機と5号機の観測記録をほぼ再現することができた。
- 第3アスペリティ近傍で発生したAFT2は、観測波では1号機が5号機に比べ2倍程度振幅が大きいですが、計算波でもこの相違が再現されている。

3次元差分法による解析的検討 Tsuda et al. (2011)

■ JNES(2008)によるモデルに褶曲構造を埋め込んだ地下構造モデルで、3次元差分法により中越沖地震本震のシミュレーションを実施。



■ 中越沖地震の観測記録を概ね再現されている。
 ■ 第3アスペリティのスナップショットから、KK1付近に褶曲軸に対応した大きな振幅となる領域があり、KK1とKK5の差は、褶曲構造による影響と考えられる。

(3) 3次元地下構造モデルを用いたその他の検討 小括

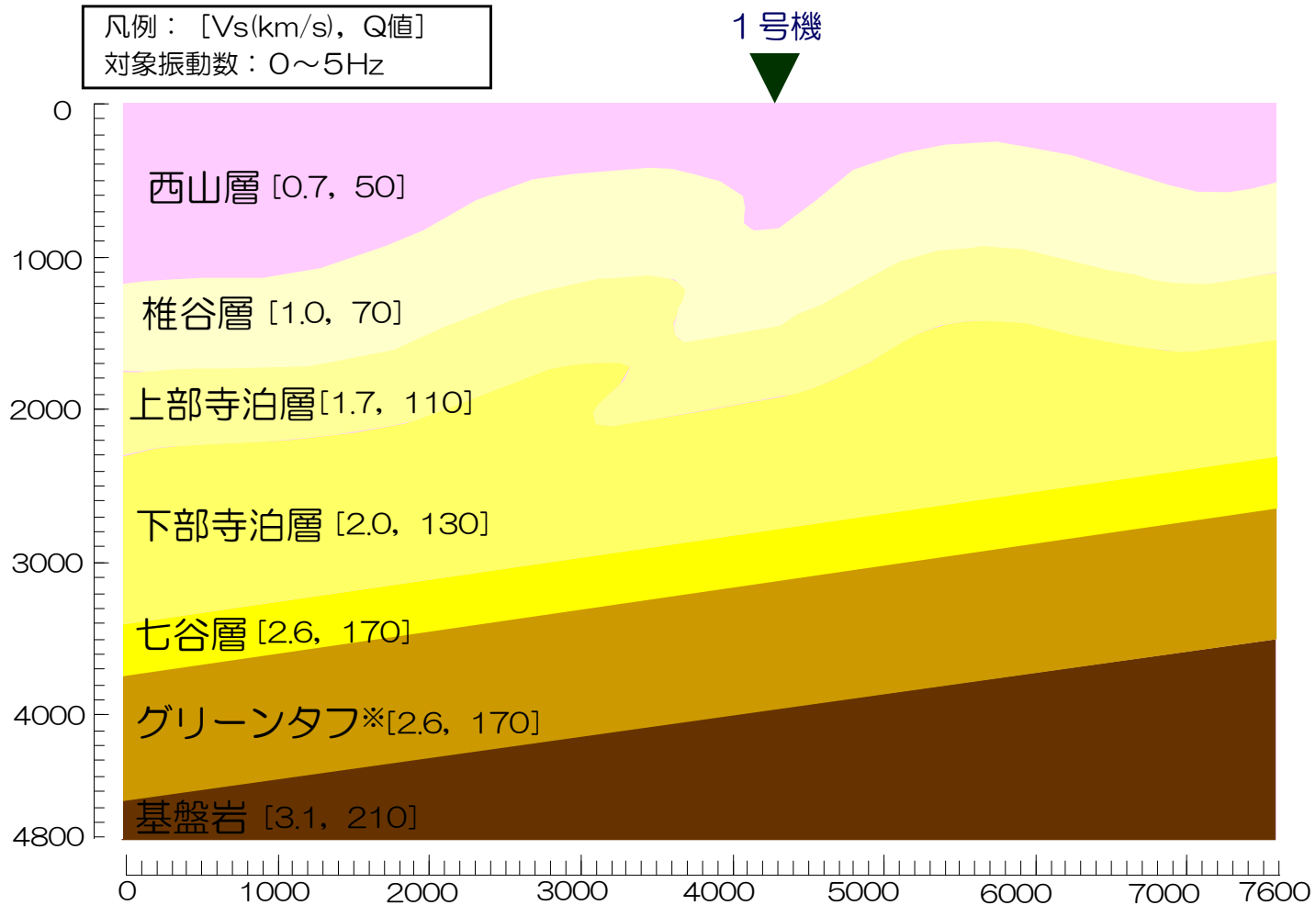
- 敷地周辺の3次元地下構造モデルを用いた検討について、その他の研究成果を含めて分析し、以下を確認。
 - 3次元地下構造モデルによるシミュレーションにより、敷地で観測された中越沖地震の記録の傾向を再現できること。
 - 荒浜側と大湊側とで差異が確認される、観測波形の後半部にみられる第3波群については、褶曲構造を取り入れることで再現性が向上すること。

4. 地下構造モデルを用いた解析的検討 まとめ

- 敷地および敷地周辺の地下構造を反映した地下構造モデルを用いた解析的検討より、以下を確認。
 - 海域より到来する地震波は、広域の3次元的な地下構造により、増幅する傾向にあること。
 - 敷地の南西方向より到来する地震波は、敷地近傍の褶曲構造により、荒浜側と大湊側で差異が発生すること。
その他の方向から到来する地震波については、荒浜側と大湊側で概ね等しい増幅特性となること。
 - 上記の分析結果は、その他の研究成果とも整合すること。

地下構造モデルの設定 荒浜側 (P.131抜粋)

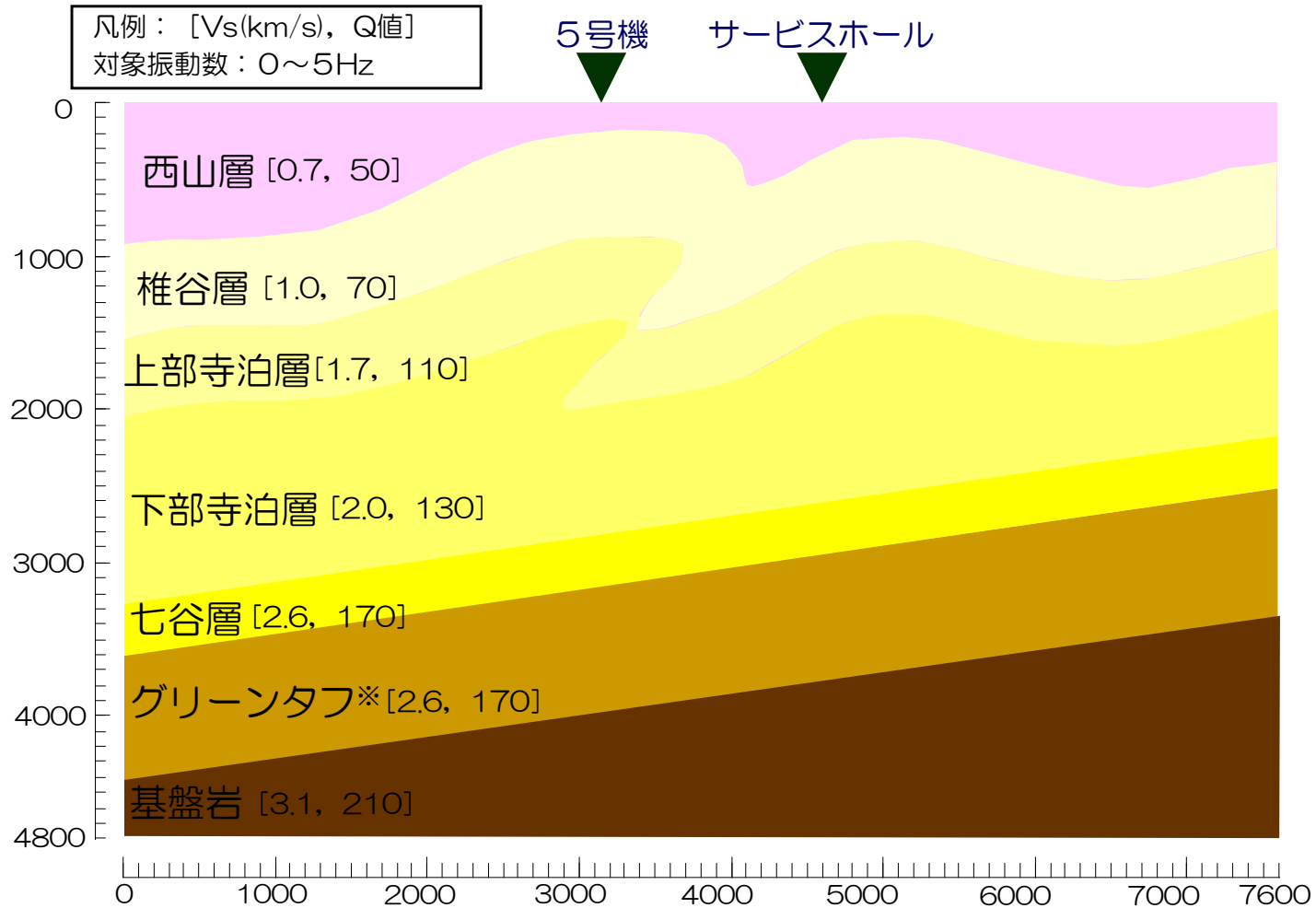
■ 荒浜側における地下構造モデルを、以下の通り設定。



※：天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

地下構造モデルの設定 大湊側 (P.132抜粋)

大湊側における地下構造モデルを、以下の通り設定。



※：天然ガス鉱業会ほか編(1992)による。

-
1. はじめに
 2. 地震観測記録の分析
 3. 地下構造調査結果の分析
 4. 地下構造モデルを用いた解析的検討
 5. 基準地震動評価への反映事項

敷地周辺の地下構造を踏まえた基準地震動への反映事項

①到来方向による地震波の伝播特性の違いについて

- ・ 中越沖地震など海域で発生した地震については，耐専スペクトルと比較して大きい。
- ・ 陸域で発生した地震については，耐専スペクトルと比較して小さい。

②敷地内における地震動特性の違いについて

- ・ 敷地内の地震動特性は，荒浜側と大湊側にグルーピングできる。
- ・ 中越沖地震など海域の特に敷地南西側で発生した地震においては，荒浜側と大湊側で地震動特性が異なる。
- ・ その他の領域で発生した地震については，敷地内の地震動特性に特異な差は確認されない。

【反映事項】 敷地における観測記録に基づき，基準地震動を策定

- 海域の活断層と陸域の活断層に分類して評価を実施。
- 海域の活断層による地震については，荒浜側（1～4号機）と大湊側（5～7号機）でそれぞれ基準地震動を策定。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価では，**海域の地震と陸域の地震に分類して，それぞれ観測記録に基づく補正係数を考慮。**
- 断層モデルによる地震動評価では，**経験的グリーン関数法を用い，海域と陸域の地震動特性を反映した適切な要素地震を採用。**

参考文献

【地震観測記録の分析】

- ・気象庁：地震年報2011年版，地震・火山月報ほか
- ・芝良昭（2008）：2007年新潟県中越沖地震の震源過程の解明と広帯域強震動評価，電力中央研究所報告，研究報告NO8007
- ・入倉孝次郎，香川敬生，宮腰研，倉橋奨（2008）：2007年新潟県中越沖地震の強震動—なぜ柏崎刈羽原子力発電所は想定以上の破壊的強震動に襲われたのか？—2008年03月19日再修正版，http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_080319.pdf
- ・Kamae, K., and H.Kawabe（2008）：SOURCE MODELING AND STRONG GROUND MOTION SIMULATION OF THE 2007 NIIGATAKEN CHUETSU-OKI EARTHQUAKE (Mj=6.8) IN JAPAN, The 14th World Conference on Earthquake Engineering
- ・独立行政法人 原子力安全基盤機構：2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析，合同W9-2-1，総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ 第9回，2008年5月22日
- ・土方勝一郎，西村功，水谷浩之，徳光亮一，真下貢，田中信也（2010）：2007年新潟県中越沖地震の地震動特性，日本建築学会構造系論文集，第75巻 第653号
- ・S. Noda, K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe（2002）：RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18, Istanbul

【地下構造調査結果の分析】

- ・第72回原子力発電所の新規基準適合性に係る審査会合 資料1-1 柏崎刈羽原子力発電所 敷地近傍及び敷地の地質・地質構造（概要），<http://www.nsr.go.jp/data/000035152.pdf>
- ・岸 清，宮脇理一郎（1996）：新潟県柏崎平野周辺における鮮新世～更新世の褶曲形成史，地学雑誌，vol.105，pp.88-112
- ・小林巖雄，立石雅昭，吉村尚久，上田哲郎，加藤碩一（1995）：柏崎地域の地質，地質調査所，平成7年12月
- ・天然ガス鉱業会，大陸棚石油開発協会（1992）：日本の石油・天然ガス資源（改訂版）
- ・佐藤浩章，東貞成，植竹富一，徳光亮一（2010）：微動・地震観測に基づく深部地盤のモデル化—柏崎刈羽原子力発電所を対象とした微動アレイ観測の適用性，電力中央研究所報告，研究報告NO9013
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET, KiK-net），<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- ・狐崎長琅，後藤典俊，小林芳正，井川猛，堀家正則，斉藤徳美，黒田徹，山根一修，奥住宏一（1990）：地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定，日本自然災害学会，自然災害科学 9(3)，1-17
- ・東京大学地震研究所（2008）：平成20年1月11日第177回地震調査委員会資料「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震の評価」http://www.jishin.go.jp/main/chousa/08jan_chuetsu_oki/index.htm

【地下構造モデルを用いた解析的検討】

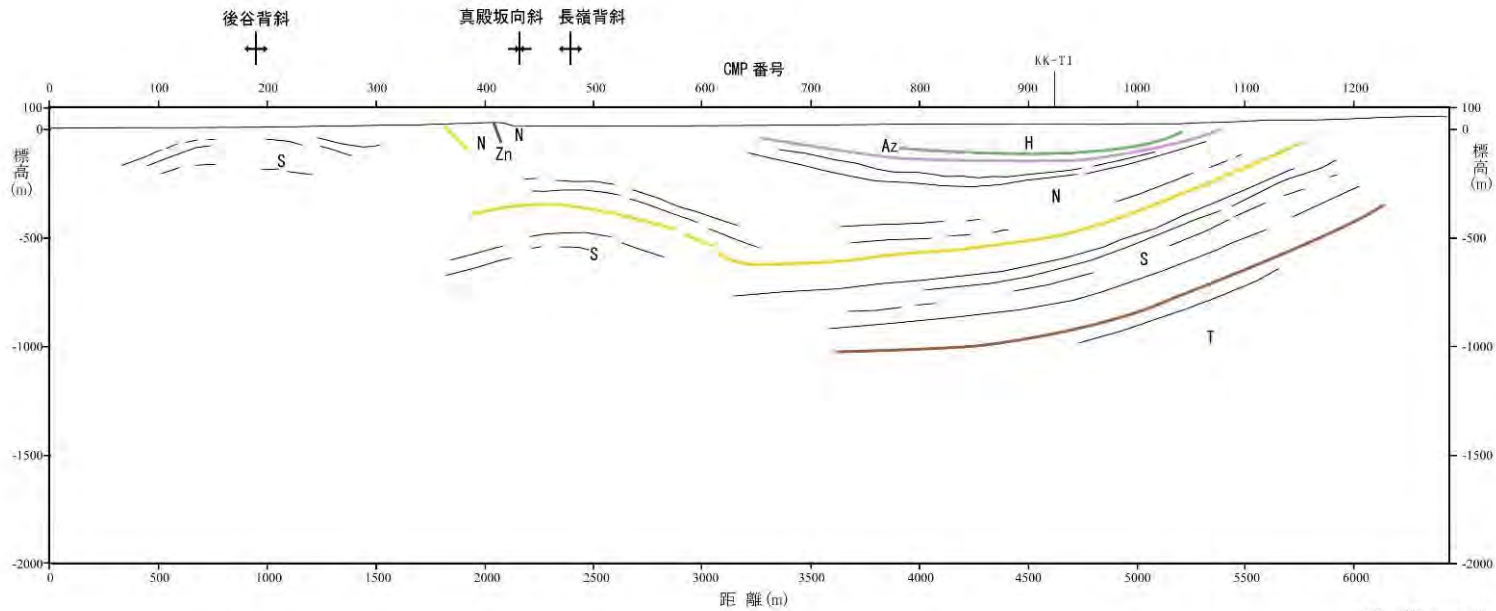
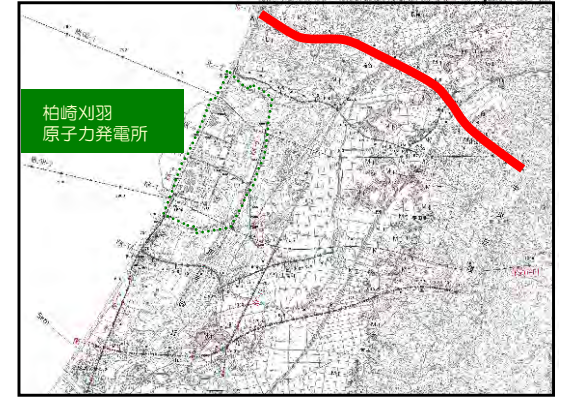
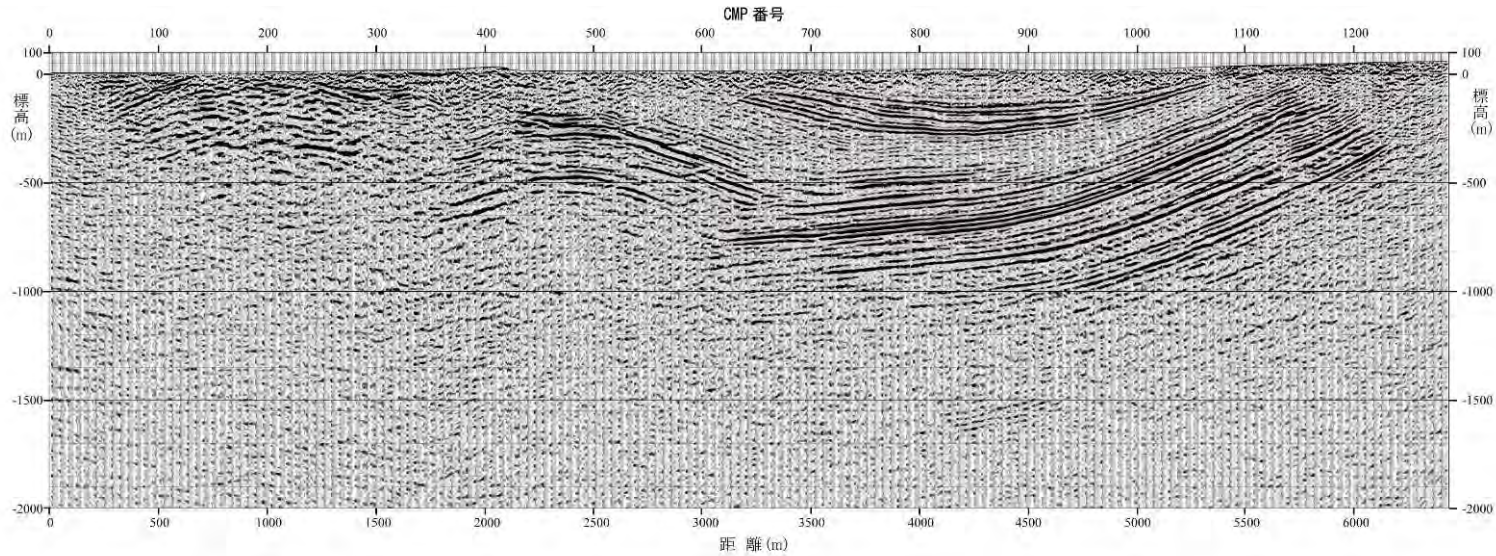
- ・独立行政法人 原子力安全基盤機構（2005）：地震に係る確率論的安全評価手法の整備=深部地盤速度構造同定に基づく地震動特性評価に関する検討=に関する報告書，JNES/SAE05-048，平成17年12月
- ・徳光亮一，西村功，土方勝一郎，本田道紀，横田裕，渡辺哲史（2009）：2007年新潟県中越沖地震で見られた柏崎刈羽原子力発電所における地震動特性と地質構造との関係，物理探査学会第120回学術講演会論文集
- ・小林巖雄，立石雅昭，吉村尚久，上田哲郎，加藤碩一（1995）：柏崎地域の地質，地質調査所，平成7年12月
- ・天然ガス鉱業会，大陸棚石油開発協会（1992）：日本の石油・天然ガス資源（改訂版）

参考文献

- ・梅田尚子, 小林喜久二 (2010) : 地震記録の逆解析による地下構造推定手法の適用性検討, 第13回地震工学シンポジウム論文集
- ・Kobayashi,K., T.Uetake, M.Mashimo and H.Kobayashi (2000) : Estimation of deep underground velocity structures by inversion of spectral ratio of horizontal to vertical component in P-wave part of earthquake ground motion, 12th World Conf.Earthq.Eng.
- ・渡辺哲史, 諸井孝文, 徳光亮一, 西村功, 土方勝一郎 (2011) : 褶曲構造を考慮した解析によるアスペリティ位置と地震動増幅特性の関連性の検討ー柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の観測記録に基づく評価ー, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻 第659号
- ・独立行政法人 原子力安全基盤機構 : 2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析, 合同W9-2-1, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ 第9回, 2008年5月22日
- ・独立行政法人 原子力安全基盤機構 : 2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析-5/22合同WG報告内容・質問事項の補足説明ー, 合同W10-1, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ 第10回, 2008年6月6日
- ・川辺秀憲, 釜江克宏 (2010) : 2007年新潟県中越沖地震 (Mj6.8) の震源のモデル化および3次元地震動シミュレーション, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集
- ・佐口浩一郎, 鈴木結理, 正木和明, 倉橋奨, 入倉孝次郎 (2010) : 深層および浅層の3次元構造を考慮した柏崎刈羽原子力発電所における2007年新潟県中越沖地震の強震動シミュレーション, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集
- ・新田祐平, 松島信一, 川瀬 博 (2010) : 2007年新潟県中越沖地震の震源域における強震動シミュレーション, 第13回日本地震工学シンポジウム
- ・新田祐平, 松島信一, 川瀬 博 (2011) : 柏崎刈羽原子力発電所における微細な褶曲構造を考慮した2007年新潟県中越沖地震の本震観測波形の再現, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) 2011年8月
- ・早川崇, 津田健一, 植竹富一, 引間和人, 徳光亮一, 南雲秀樹 (2011) : 2007年新潟県中越沖地震震源域の3次元速度構造モデルの検討ー柏崎刈羽原子力発電所直下の褶曲モデルの取り込みー, 日本地球惑星科学連合大会, SSS023-P14
- ・Tsuda,K., T.Hayakawa, T.Uetake, K.Hikima, R.Tokumitsu, H.Nagumo and Y.Shiba (2011) : Modeling 3D Velocity Structure in the Fault Region of the 2007 Niigataken Chuetsu-Oki Earthquake with Folding Structure, 4th IASPEI / IAEE International Symposium Effects of Surface Geology on Seismic Motion

以下，参考

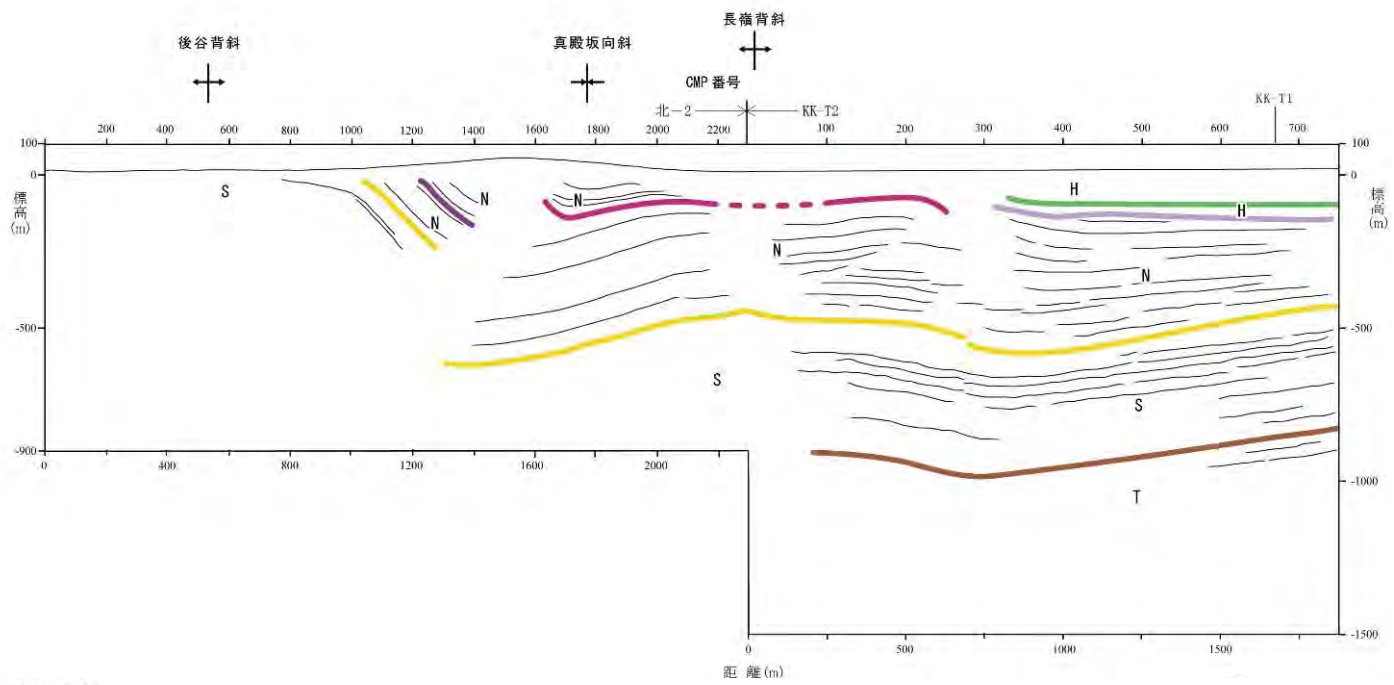
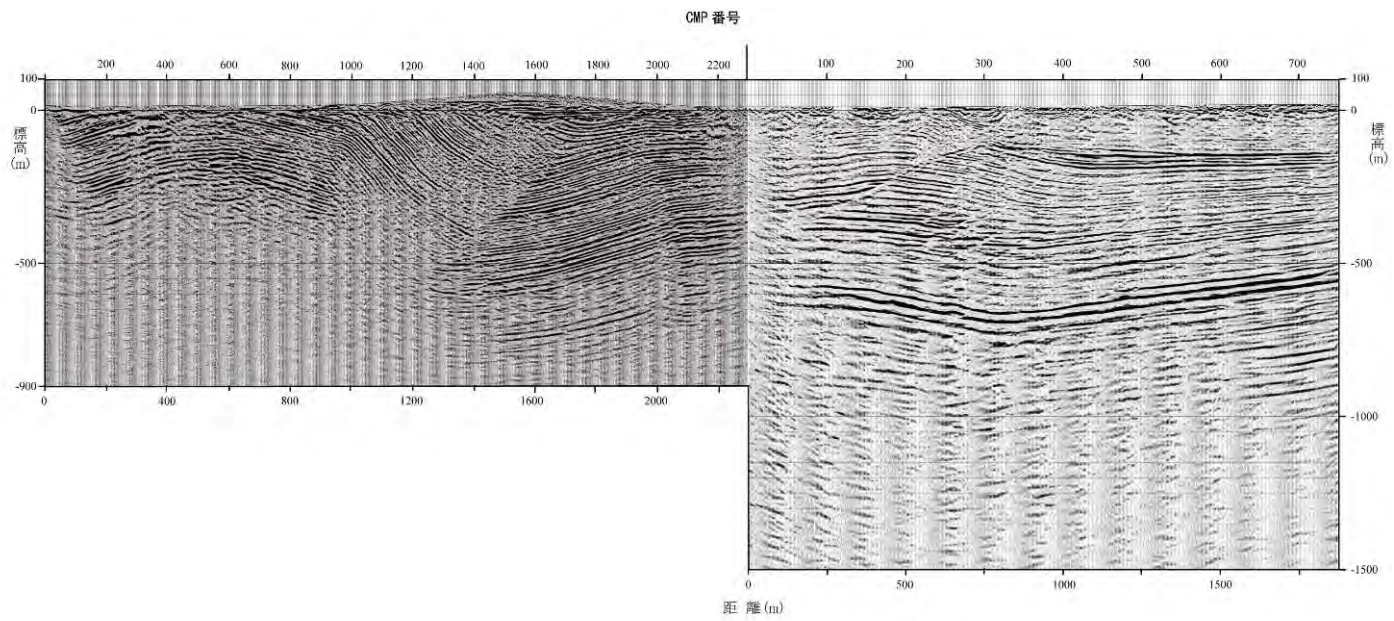
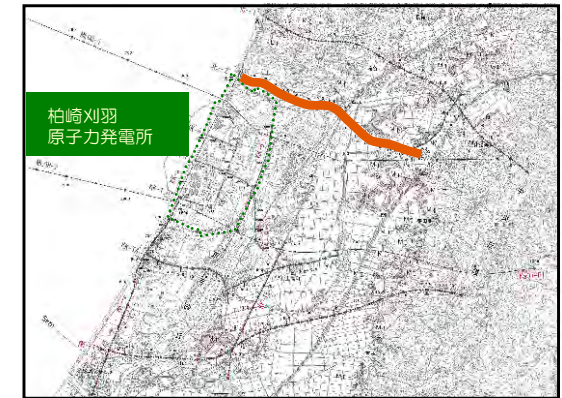
反射法地震探査結果 北-1測線



- 凡例
- テフラ (Tephra) — Az
 - 灰爪層 (H) — H
 - 西山層 (N) — N
 - 椎谷層 (S) — S
 - 寺泊層 (T) — T
 - Zn — Zn
- (注) テフラの名称は岸田が(1996)による

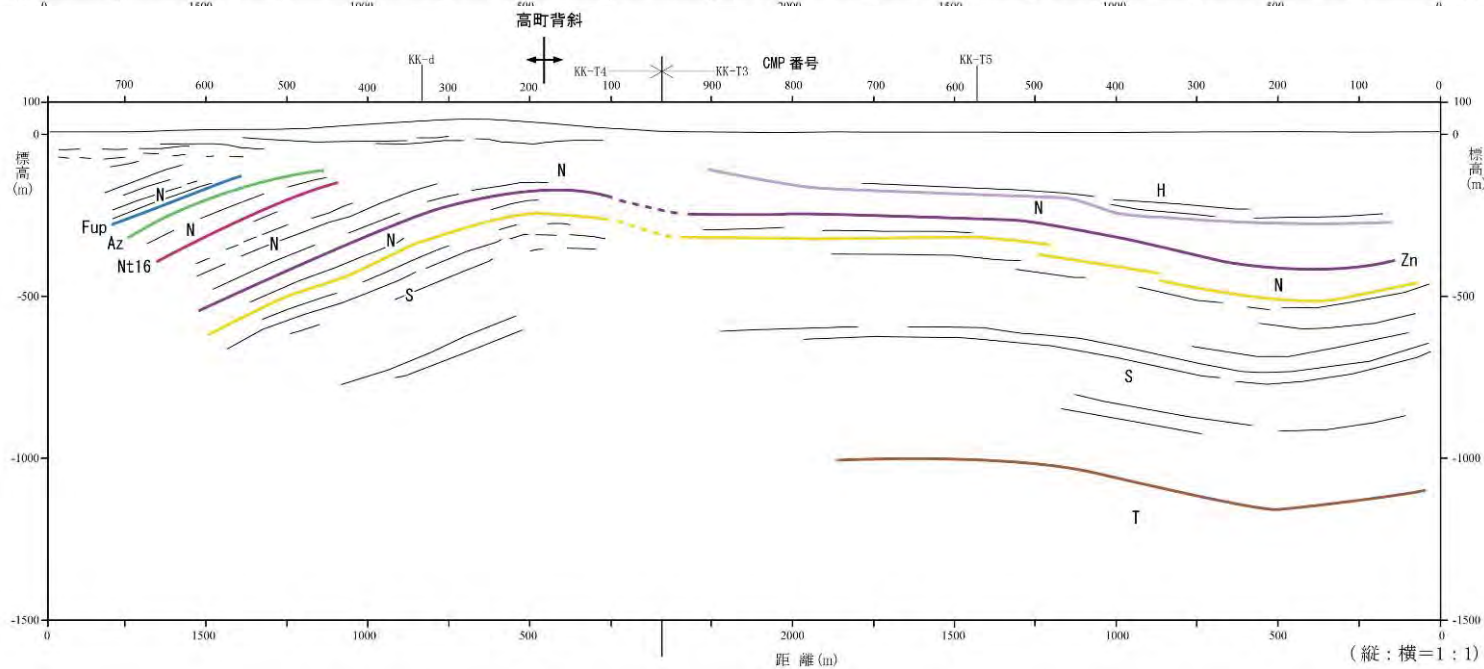
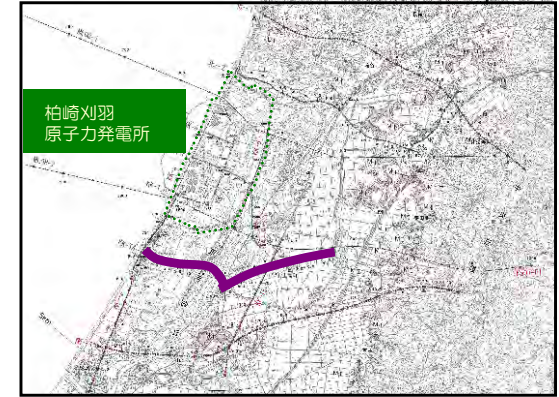
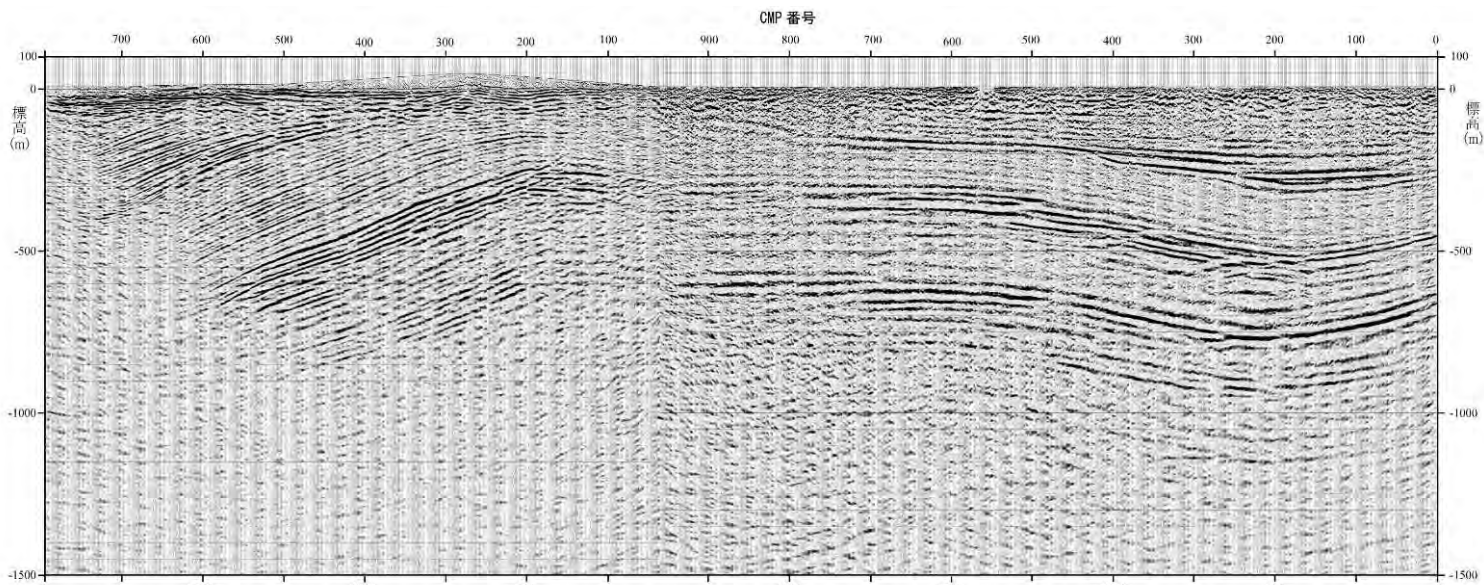
(縦:横=1:1)

反射法地震探査結果 北-2・KK-T2測線



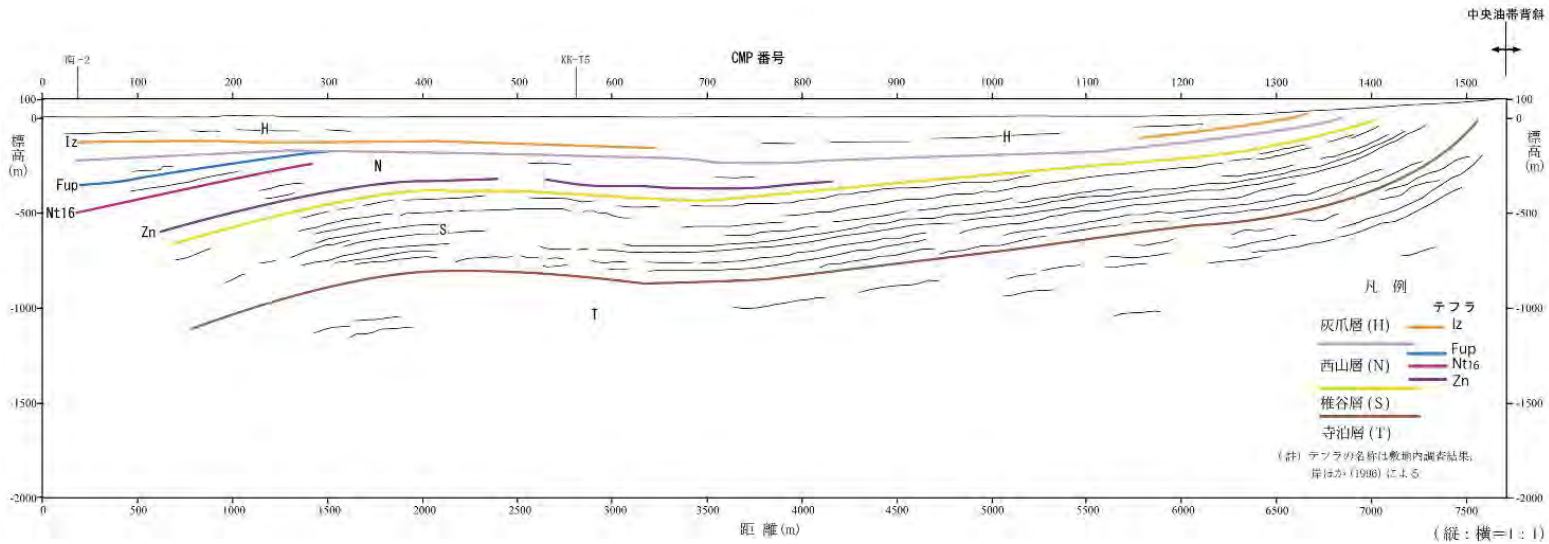
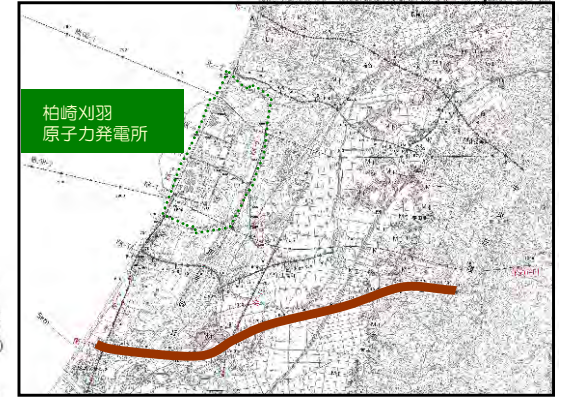
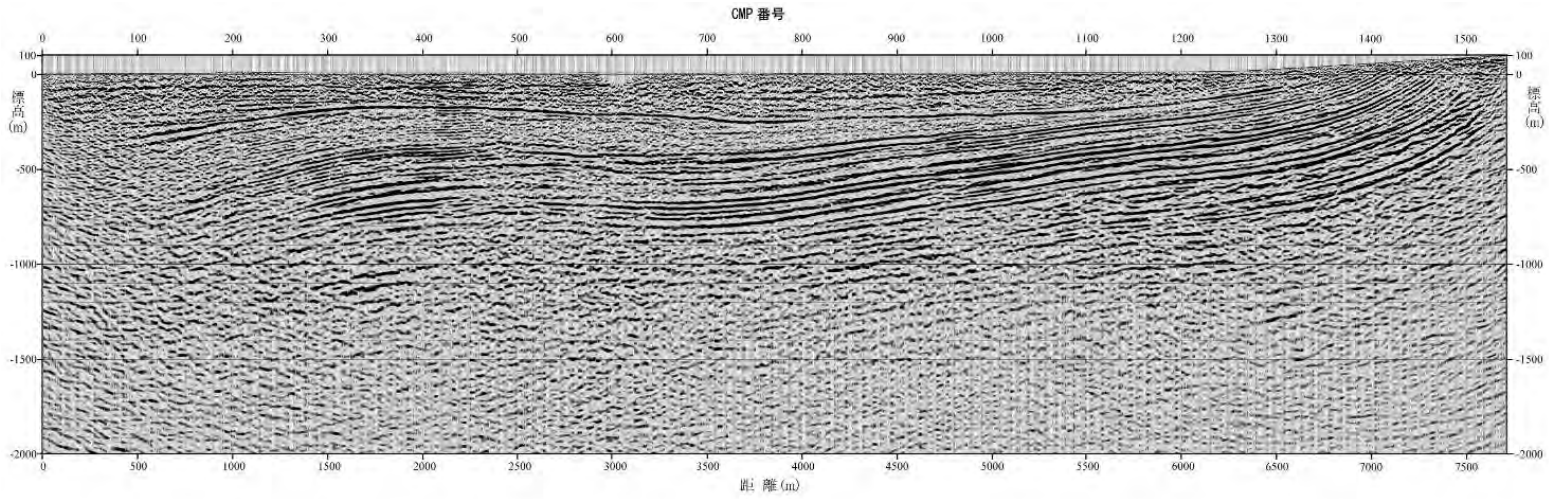
- 凡例
- テフラ
 - 灰爪層 (H) — Az
 - 西山層 (N) — Nt16
 - Zn
 - 椎谷層 (S) —
 - 寺泊層 (T) —
- (註) テフラ名は、敷地内調査結果、
摩ほか(1996)による

反射法地震探査結果 KK-T4・KK-T3測線

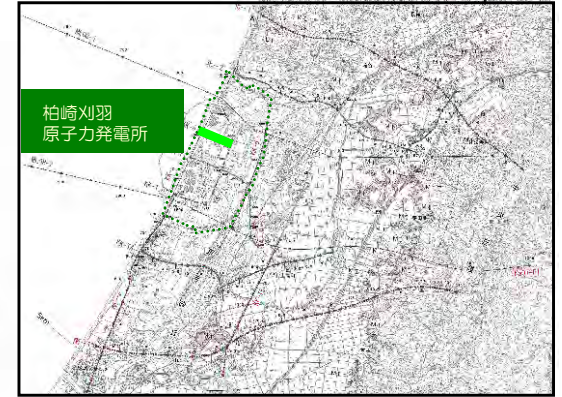
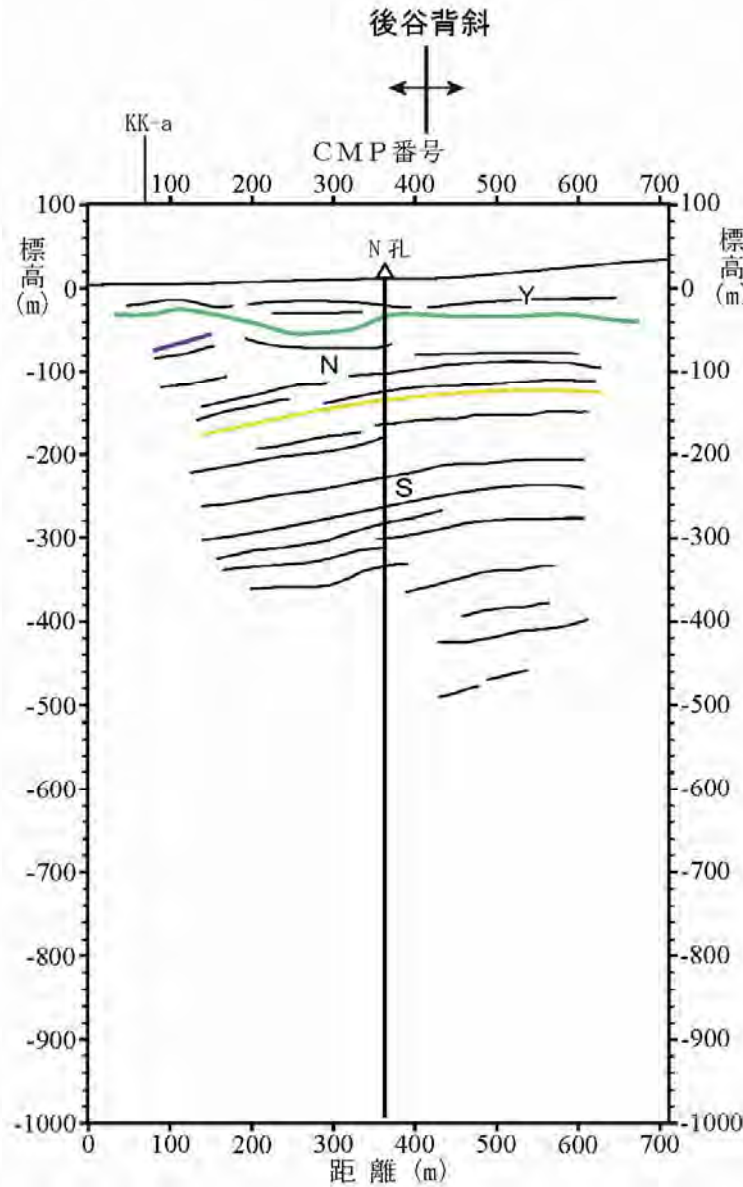
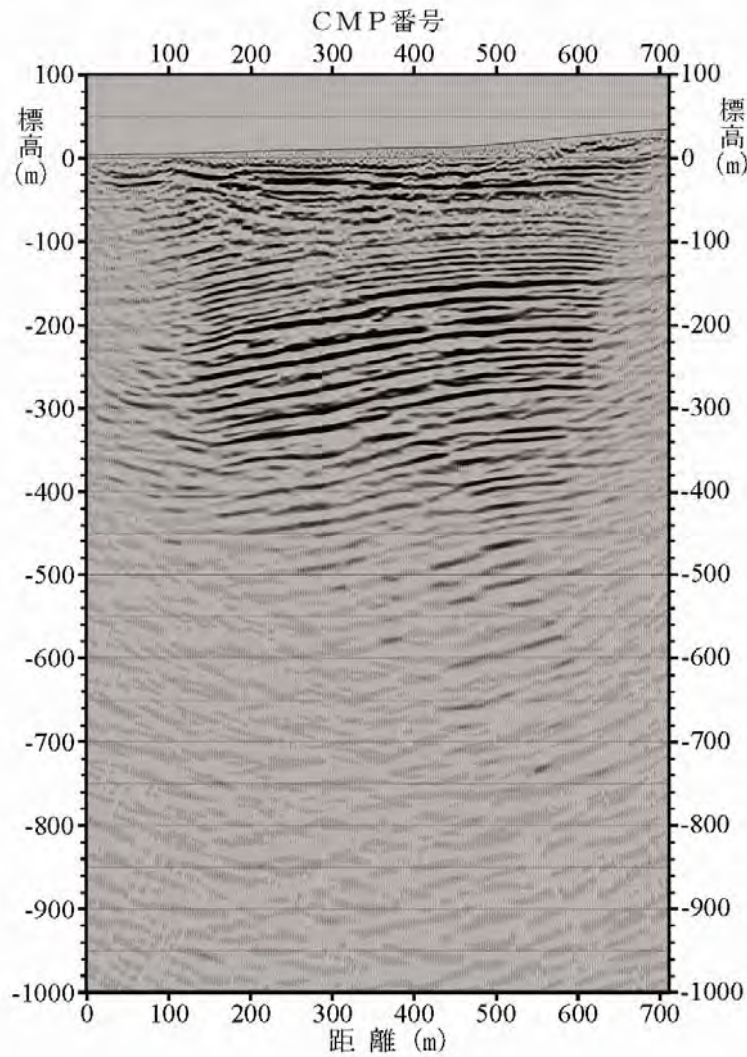


- 凡例
- 灰爪層 (H)
 - 西山層 (N)
 - Fup
 - Az
 - Nt16
 - Zn
 - 椎谷層 (S)
 - 寺泊層 (T)
- (註) テフラの名称は敷地内調査結果、岸ほか(1996)による

反射法地震探査結果 南-1測線



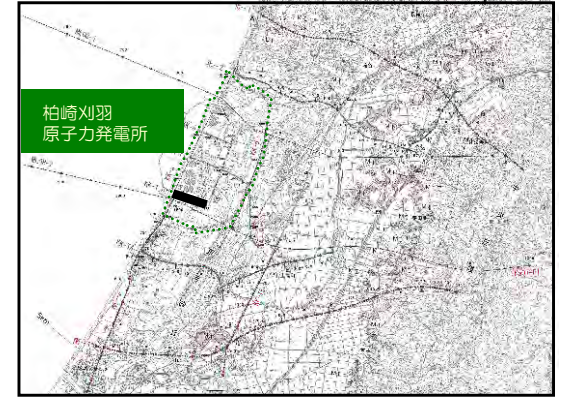
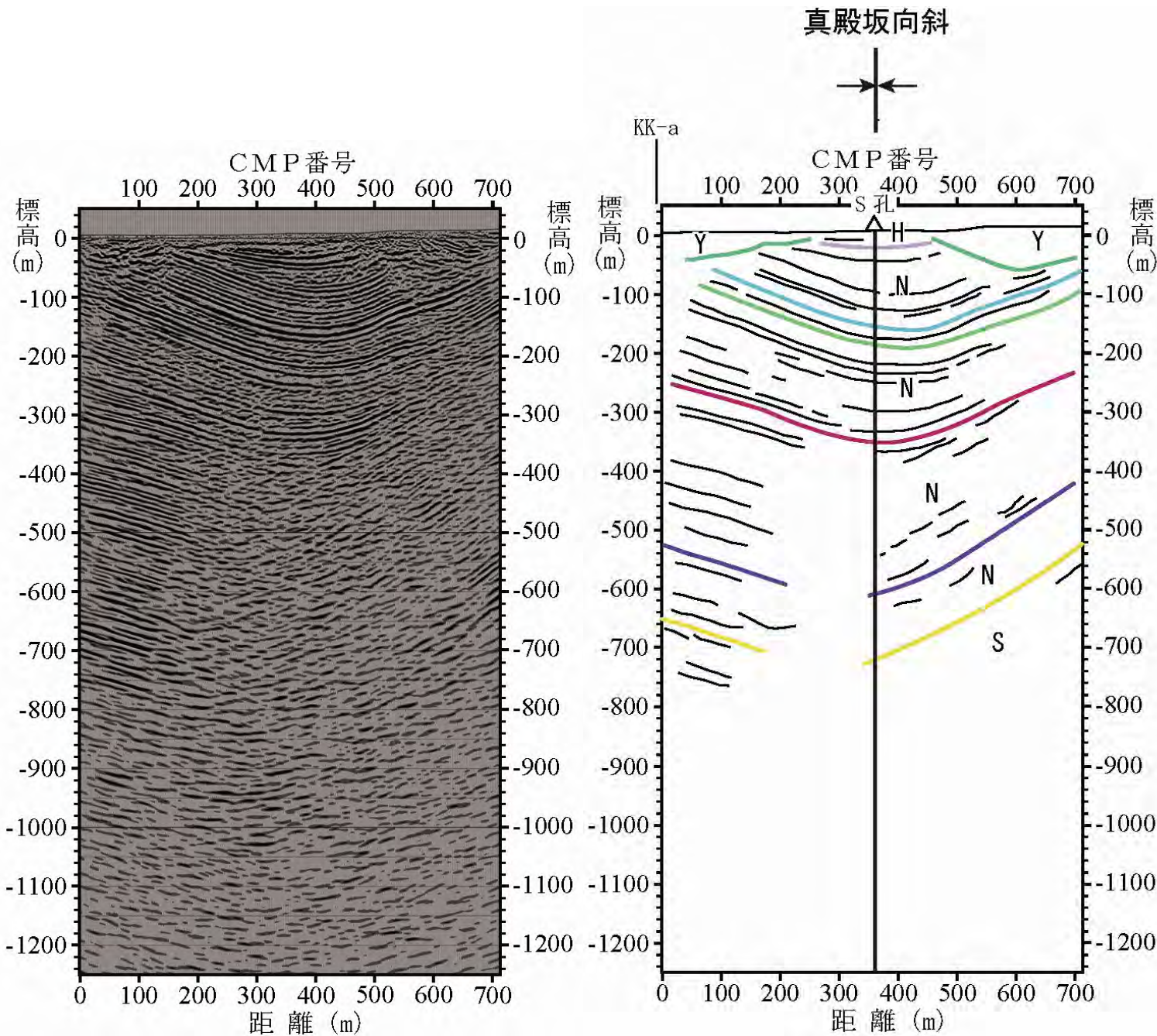
反射法地震探査結果 KK-e測線



- 凡例
- 古安田層以降の地層 (Y) —
 - 西山層 (N) — Zn
 - 椎谷層 (S) —
- (註) テフラの名称は敷地内調査結果、岸ほか (1996) による

(縦：横 = 1 : 1)

反射法地震探査結果 KK-1測線



凡例

古安田層以降の地層 (Y)

灰爪層 (H)

西山層 (N)

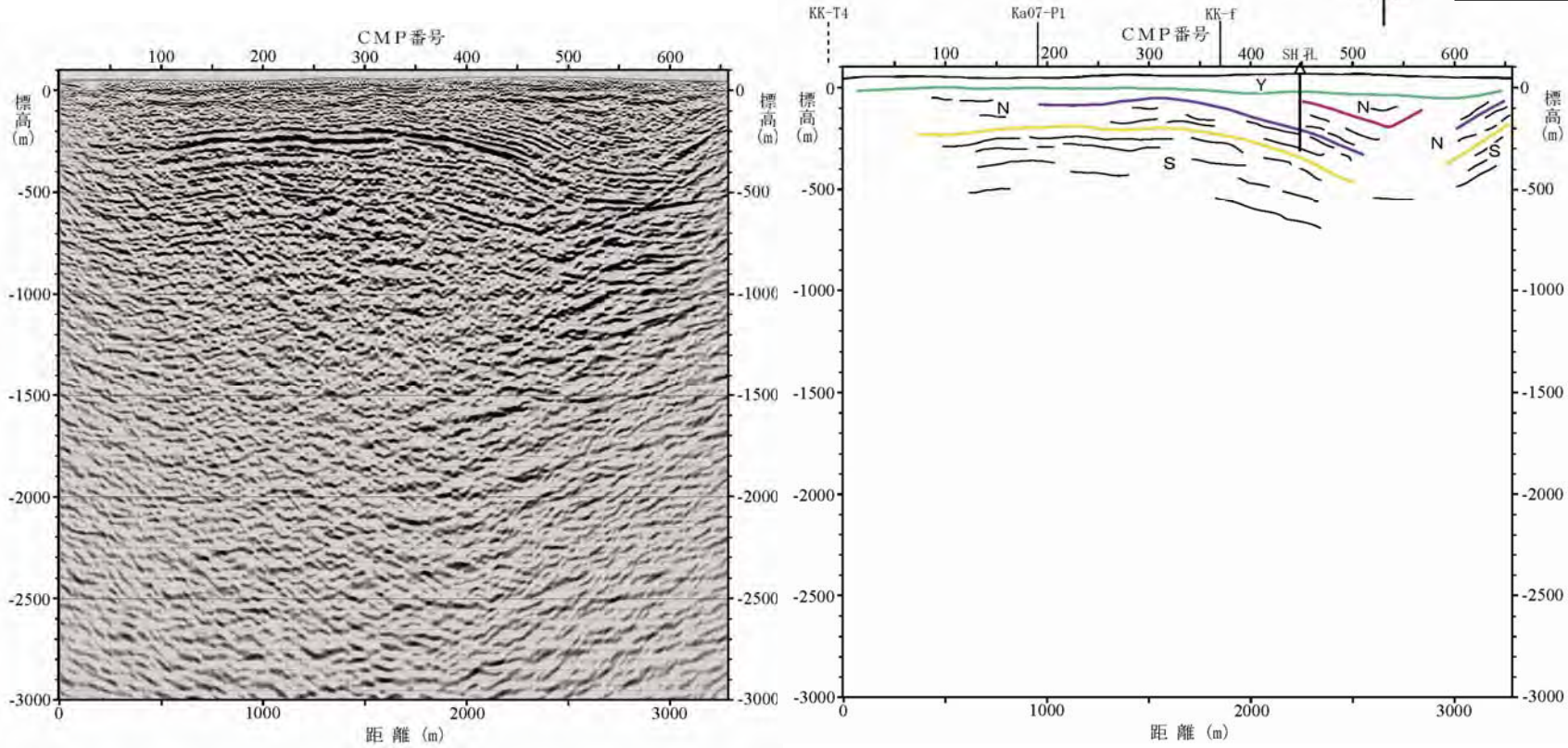
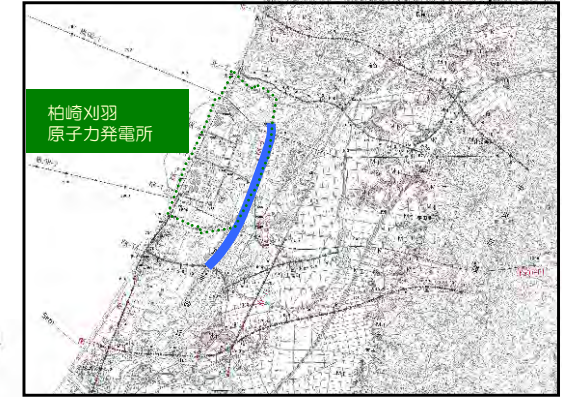
椎谷層 (S)

- Fup
- Az
- Nt16
- Zn

(註) テフラの名称は敷地内調査結果,
岸ほか (1996) による

(縦 : 横 = 1 : 1)

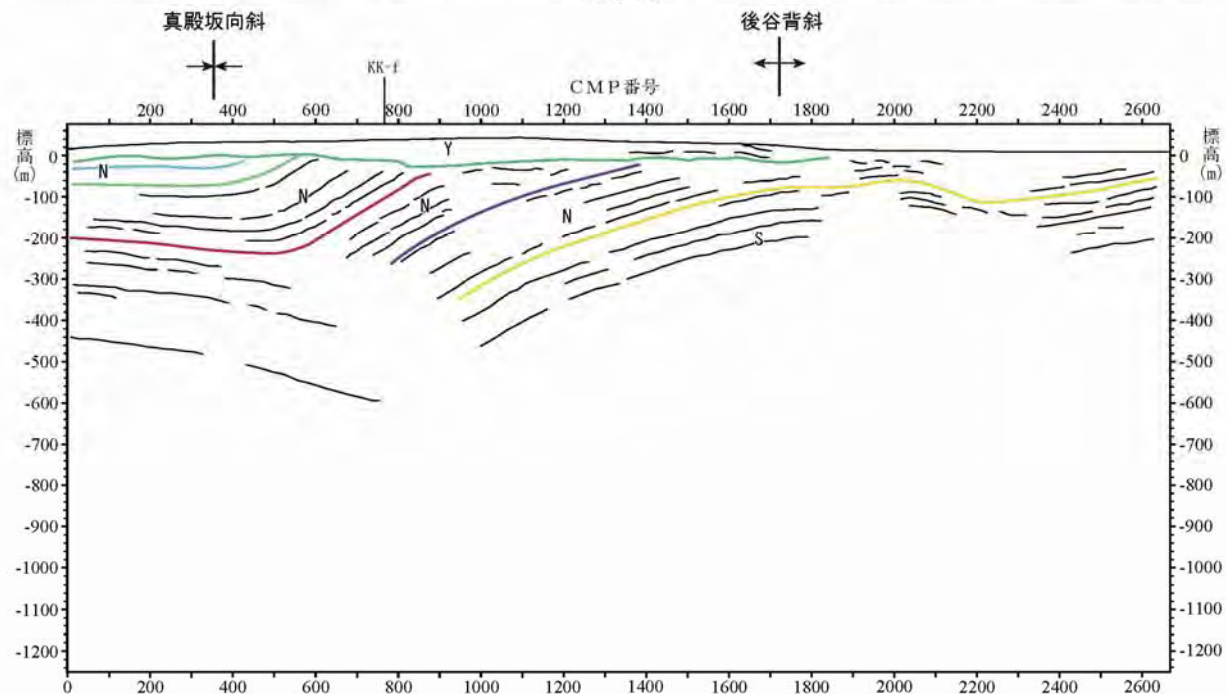
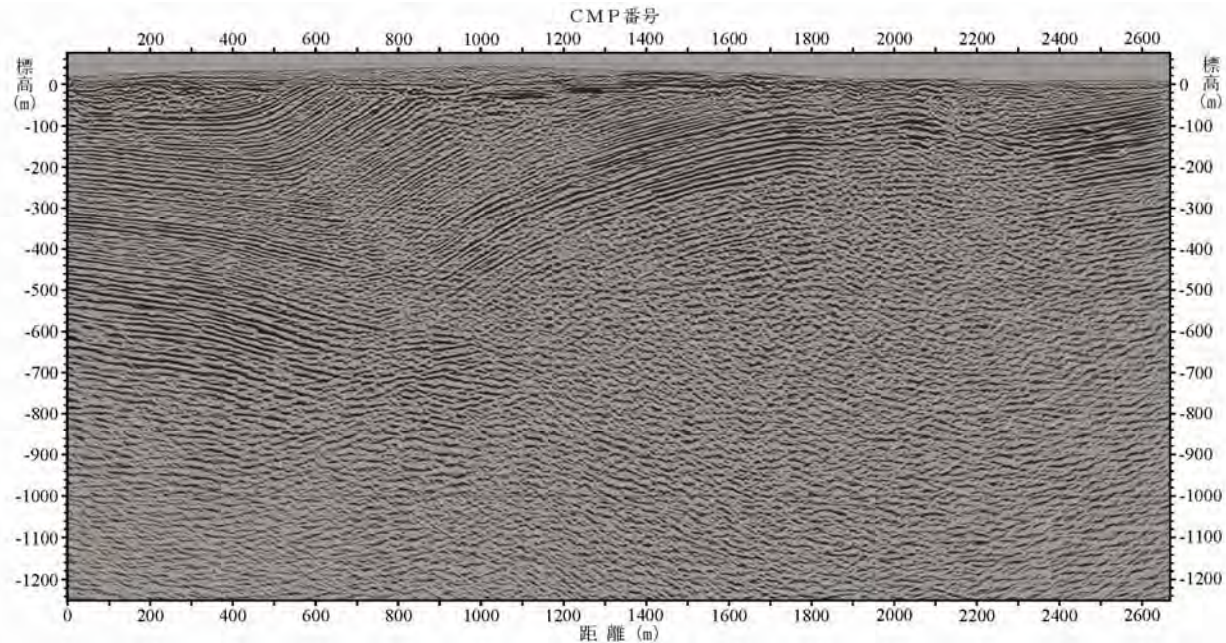
反射法地震探査結果 KK-d測線



- 凡例
- 古安田層以降の地層 (Y) —
 - 西山層 (N) — Nt16
 - Zn
 - 椎谷層 (S) —
- (註) テフラの名称は敷地内調査結果、岸ほか(1996)による

(縦:横=1:1)

反射法地震探査結果 KK-2測線

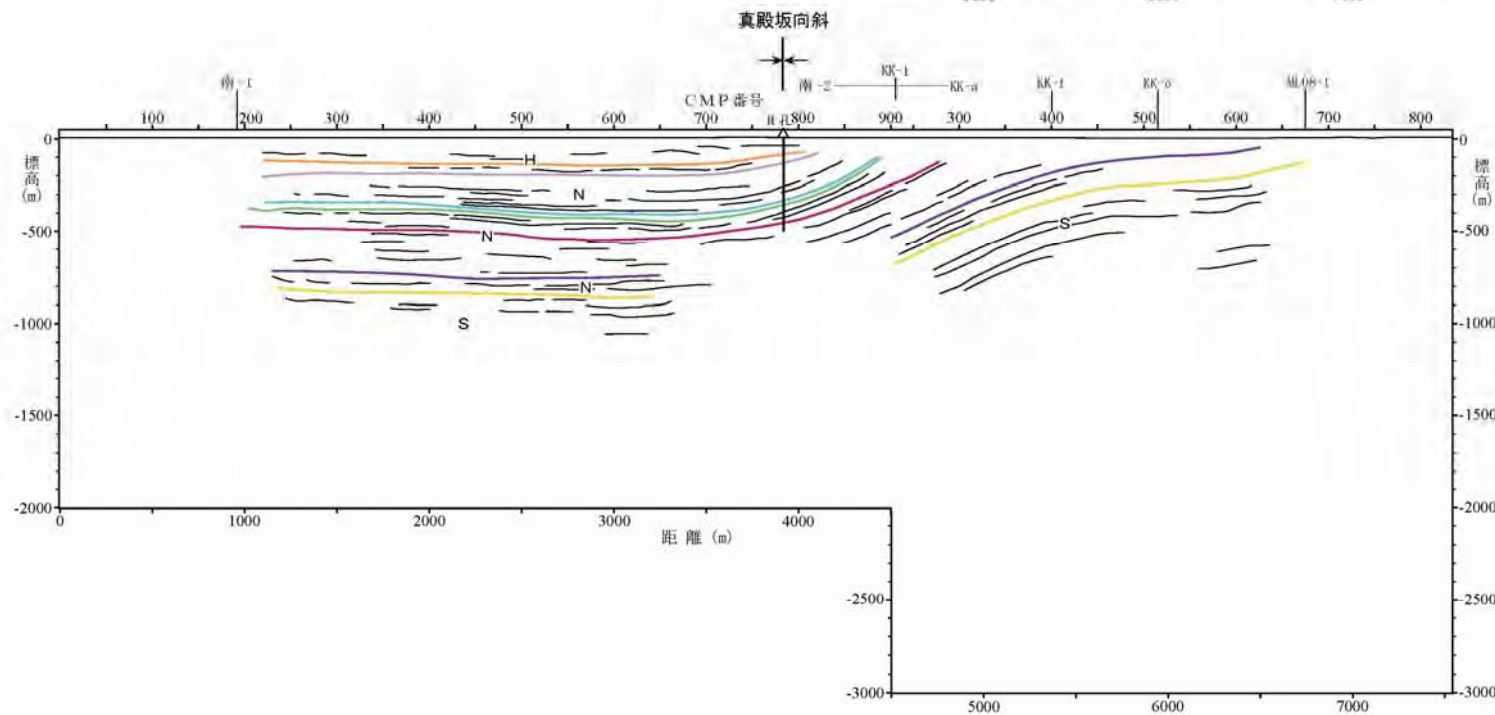
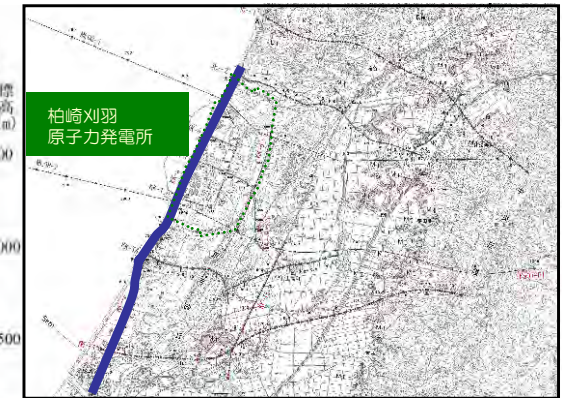
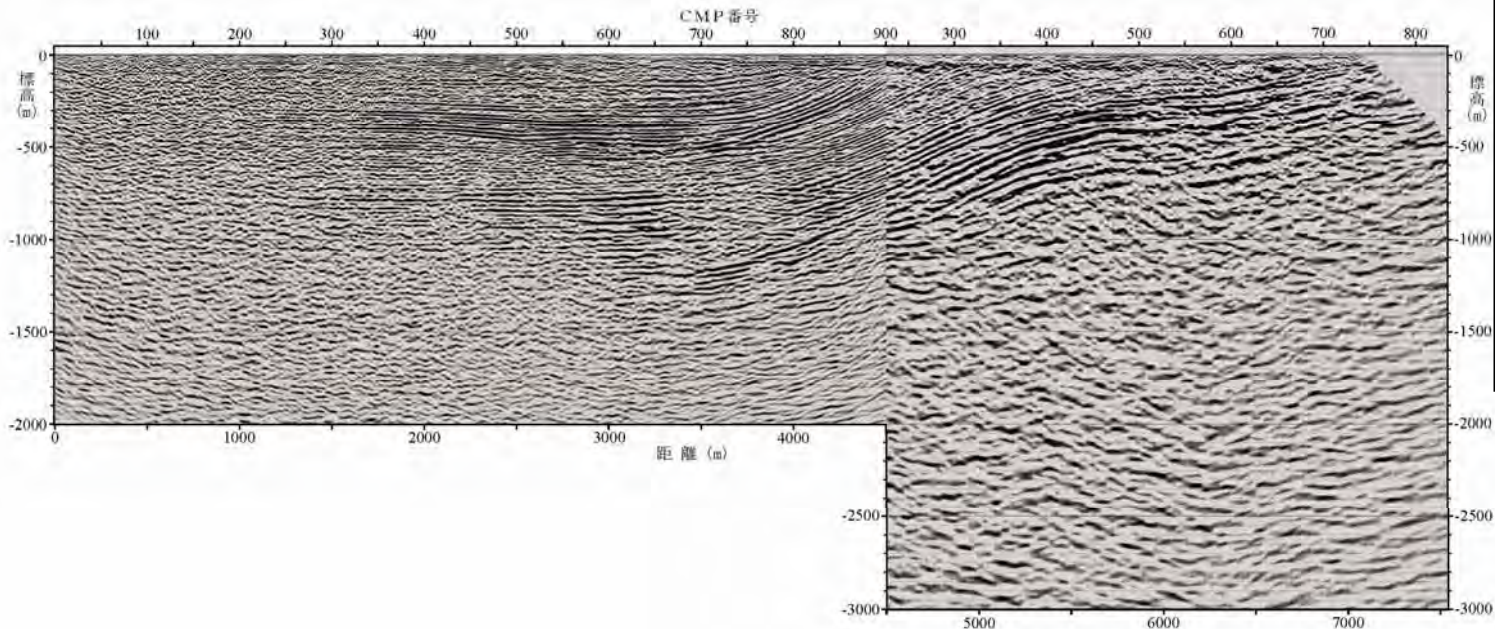


- 凡例
- 古安田層 (Y)
 - Fup
 - Az
 - 西山層 (N)
 - Nt16
 - Zn
 - 椎谷層 (S)

(註) テフラの名称は敷地内調査結果、岸ほか(1996)による

(縦:横=1:1)

反射法地震探査結果 南-2・KK-a測線



- 凡例
- 灰爪層 (H) — Iz
 - Fup
 - Az
 - 西山層 (N) — Nt16
 - Zn
 - 椎谷層 (S)
- (註) テフラの名称は敷地内調査結果、岸ほか(1996)による

(縦：横＝1：1)

反射法地震探査結果 KK-g測線

