

柏崎刈羽原子力発電所における
標準応答スペクトルに基づく評価について

2022年1月11日
東京電力ホールディングス株式会社

前回会合（2021年12月3日 第8回会合）におけるコメント

No.	内容	今回資料説明箇所
1	地下構造モデルの逆解析のターゲットに用いた地震について、選定における考え方やしきい値の設定の考え方を説明すること。	P.19, P.27
2	P波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数について、ターゲットに用いた地震とは異なる傾向にある観測記録に対する分析を示すこと。	P.32~P.40
3	コーダ部H/Vスペクトル比について、逆解析では1次ピーク周波数を重視してフィッティングさせていることの考え方を説明すること。	P.42
4	地下構造モデルの妥当性に関して、荒浜側の水平方向の伝達関数については、モデルの理論値が大深度観測点から標高-400mの区間で観測記録を下回る傾向にあることに対する要因の分析を示すこと。	P.55~P.57
5	地下構造モデルの妥当性に関して、既往の知見を確認・整理し、設定したモデルとの比較検討を示すこと。特に、深部の地下構造モデルに関して参考となる知見を確認し、説明性を向上させること。	P.59~P.66
6	地下構造モデルの妥当性に関して、大湊側の統計的グリーン関数法によるシミュレーション結果については、中越地震と中越沖地震で観測記録との大小関係が異なることに対する分析を示すこと。	P.73~P.76
7	はぎとり地盤モデルについて、解放基盤表面のS波速度が保守的に設定されていることを確認するために、大深度モデルのS波速度を用いた場合はぎとり波を算定して示すこと。	P.117

目次

1. 概要
2. 既許可の基準地震動の概要
3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録
 - 4.3.2 逆解析の探索範囲
 - 4.3.3 地下構造モデルの逆解析
 - 4.3.4 逆解析に関する補足検討
 - (1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認
 - (2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析
 - (3) コーダ部の検討の考え方
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.4.3 浅部までの鉛直アレイ地震観測記録による検証
 - 4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証
 - 4.4.5 既往の知見による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
6. 既許可の基準地震動との比較

※ 追加検討を実施した項目

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

1. 概要

- 2021年4月21日、原子力規制委員会において「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正」（以下、「本件の改正」という）が決定され、震源を特定せず策定する地震動のうち全国共通に考慮すべき地震動の策定にあたっては、「震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面における標準的な応答スペクトル」（以下、「標準応答スペクトル」という）を用いることが新たに規定された。
- 柏崎刈羽原子力発電所において、標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果を示し、この結果が2017年12月27日に許可を受けた基準地震動（以下、「既許可の基準地震動」という）を下回ることを確認したことから、本件の改正に係る基準地震動の変更が不要であることを説明する。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

2. 既許可の基準地震動の概要

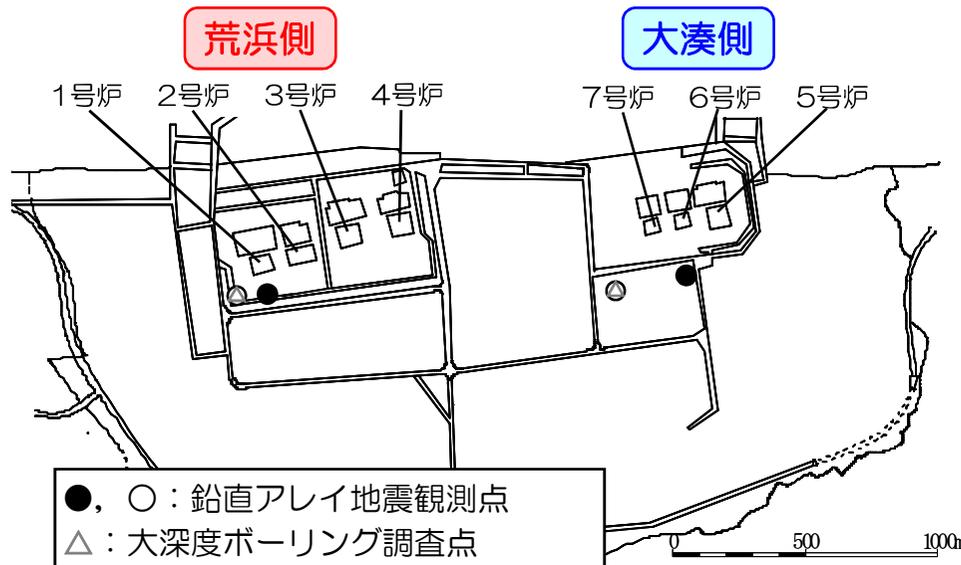
- 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、敷地における地震波の伝播特性を踏まえ、1号炉～4号炉が位置する荒浜側、5号炉～7号炉が位置する大湊側のそれぞれについて策定している。
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（基準地震動Ss-1～Ss-7）
敷地における地震波の伝播特性を適切に反映するため、地震観測記録に基づく評価を実施。
 - 応答スペクトルに基づく地震動評価：観測記録に基づく補正係数を考慮した評価
 - 断層モデルを用いた手法による地震動評価：敷地で得られた観測記録を要素地震として用いた経験的グリーン関数法による評価
- 震源を特定せず策定する地震動（基準地震動Ss-8（大湊側のみ））
2004年北海道留萌支庁南部地震について、K-NET港町観測点の基盤と敷地の解放基盤表面との地盤物性の相違による影響を考慮し、1次元地下構造モデルを用いた重複反射理論に基づく評価を実施。
 - 荒浜側：基準地震動Ss-1～Ss-7は、2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した震源を特定せず策定する地震動を上回るため、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動で代表させる
 - 大湊側：基準地震動Ss-1～Ss-7に対して、一部の周期帯で2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した震源を特定せず策定する地震動が上回ることから、これを基準地震動Ss-8として策定

基準地震動				最大加速度値 (cm/s ²)					
				荒浜側			大湊側		
				NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	F-B断層による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価	2300		1050	1050		650
Ss-2			断層モデルを用いた手法による地震動評価	1240	1703	711	848	1209	466
Ss-3		長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価	600		400	600		400
Ss-4			断層モデルを用いた手法による地震動評価	589	574	314	428	826	332
Ss-5				553	554	266	426	664	346
Ss-6				510	583	313	434	864	361
Ss-7				570	557	319	389	780	349
Ss-8		震源を特定せず策定する地震動	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	—			650		330

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針

- 標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルの評価は、既許可の基準地震動における震源を特定せず策定する地震動の評価と同様にして、敷地の解放基盤表面との地盤物性の相違による影響を考慮し、1次元地下構造モデルを用いた重複反射理論に基づき実施。
 - 標準応答スペクトルは、S波速度が2,200m/s以上の地震基盤相当面で策定されており、2004年北海道留萌支庁南部地震についてのK-NET港町観測点の基盤に対する検討とは条件が異なることに留意
 - 標準応答スペクトルは、多数の観測記録に基づき策定された応答スペクトルであることから、観測記録の再現性を重視して妥当性を確認した1次元地下構造モデルを用いる必要
- 敷地の荒浜側と大湊側のそれぞれで、大深度ボーリング調査によるPS検層結果や、大深度地震観測による観測記録を蓄積しており、敷地の地下構造に関して継続して新たなデータを取得。
- これらの最新の知見を活用することにより、従来よりも深部まで信頼性を高めた地下構造モデルを構築可能であると考えられることから、本評価にあたっては1次元地下構造モデルを改めて構築し用いる。



標高	荒浜側	大湊側
+12.0m		▽G.L. ○※6
+9.3m		●※5
+5.0m	▽G.L. ●※1 ○※4	
-24.0m		●※5
-40.0m	●※1	
-100m		●※5
-122m	●※1	
-180m		●※5
-250m	●※2	
-300m		●※5
-400m	○※3	
-1017m		○※6
-1488m	○※4	

大深度地震観測点

※1：1982年4月観測開始
 ※2：1982年4月観測開始～2007年11月観測終了
 ※3：2009年3月観測開始
 ※4：2013年9月観測開始
 ※5：1985年9月観測開始
 ※6：2017年3月観測開始

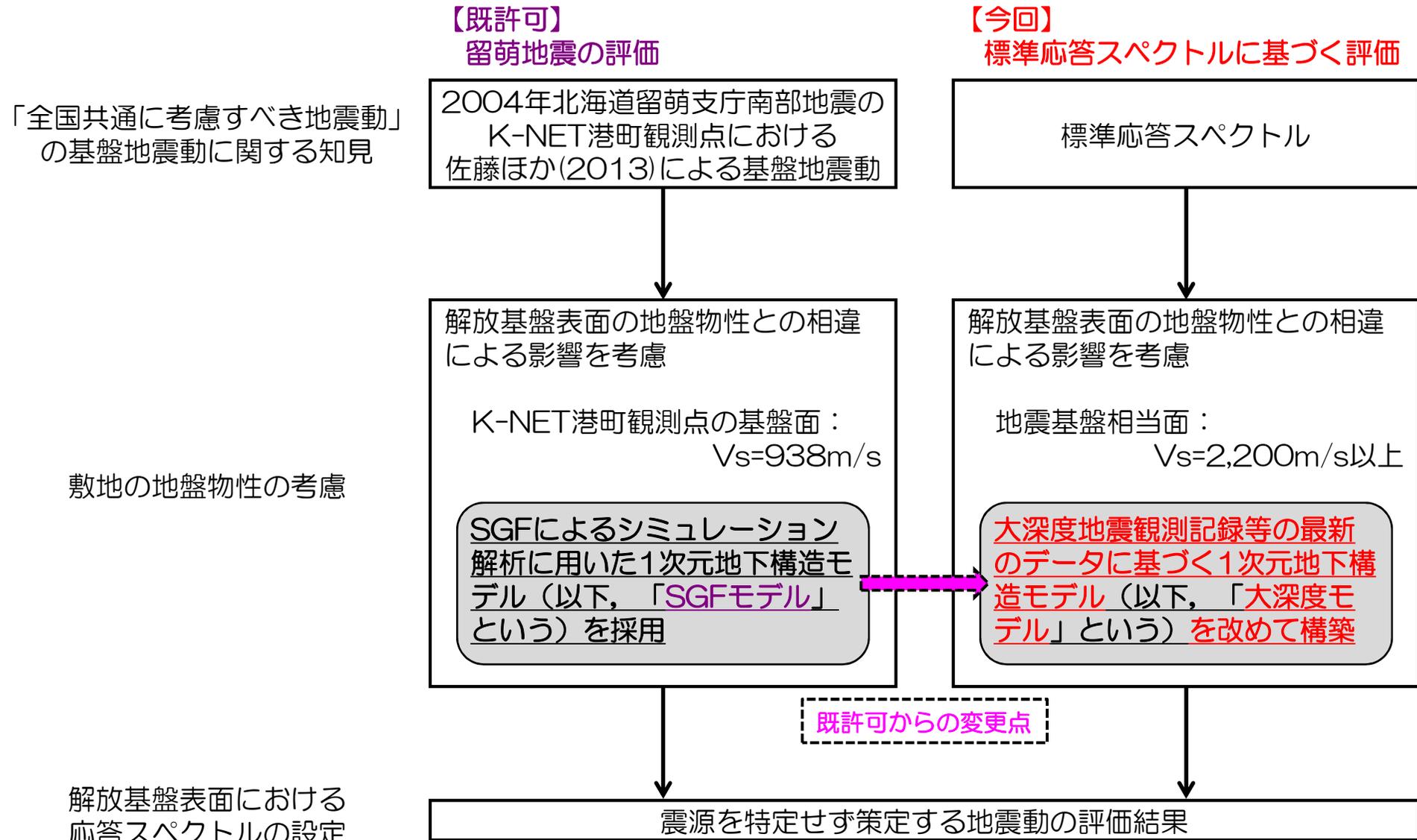
-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4. 地下構造モデルの設定

- 柏崎刈羽原子力発電所では、既許可以降も、敷地地盤における地震観測に継続して取り組み、データの取得に努めてきた。
- 敷地地盤の深部での増幅特性をより直接的に把握するために、大深度地震観測にも新たに取り組み、荒浜側・大湊側のそれぞれでデータの蓄積が進んでいる。
- 更なる安全性・信頼性の向上を目的に、新たに蓄積されたデータを活用し、既許可の審査に用いた1次元地下構造モデルの検証に組み込むとともに、新たに、大深度地震観測記録に整合する1次元地下構造モデルの構築にも取り組んできた。
- 今回、標準応答スペクトルが規制に取り入れられることとなり、この新たな知見に対して適切なモデルを用いて評価を行うことを念頭に、地下構造モデルの更なる精度向上・検証に関する検討を進めてきた。
- 以上の既許可以降の取り組みを踏まえ、本評価においては、最新のデータを活用して新たに構築した1次元地下構造モデルを採用する。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル



4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル

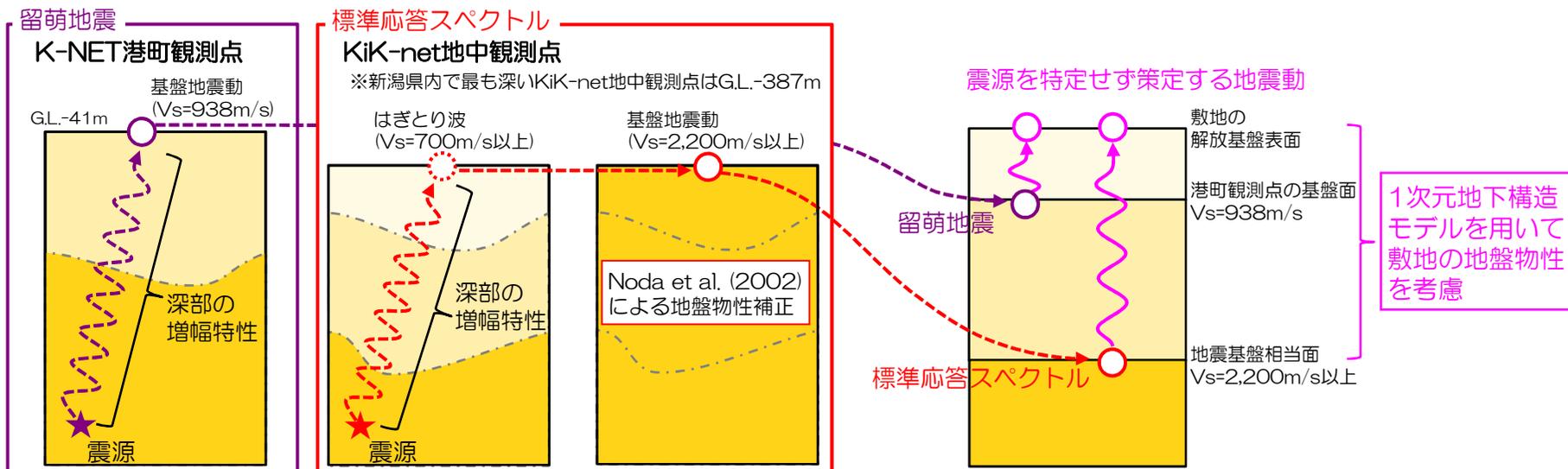
- 増幅特性の反映方針（既許可から変更無し、既許可の留萌地震と今回の標準応答スペクトルで共通）
 - 留萌地震の基盤地震動はK-NET港町観測点の $V_s=938\text{m/s}$ の基盤層，標準応答スペクトルは $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の地震基盤相当面において評価され，敷地の解放基盤表面とは地盤物性が異なる。
 - 留萌地震の基盤地震動及び標準応答スペクトルの知見には，観測点より深部の増幅特性（不整形による影響等）が含まれていると考えられる。
 - 以上を踏まえ，留萌地震の基盤地震動及び標準応答スペクトルに対し，敷地の地盤物性との相違による影響を1次元地下構造モデルを用いて考慮し，解放基盤表面における応答スペクトルを設定する。
 - なお，敷地の増幅特性に関しては，南西方向から到来する地震波では荒浜側の増幅が異なることが明らかとなっており，これは「震源を特定して策定する地震動」の評価において適切に反映している。

● 留萌地震及び標準応答スペクトル

- 敷地の解放基盤表面と異なる地盤物性で評価されている
- 基盤地震動には深部の増幅特性（不整形による影響等）が含まれる

● 震源を特定せず策定する地震動の評価

- 1次元地下構造モデルを用いて敷地の地盤物性を考慮する
- 既に深部の増幅特性が考慮された基盤地震動を用いる



-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.2 地下構造モデルの設定方針

	SGFモデル	大深度モデル
手法とターゲット	小林ほか(2005) ・P波部H/Vスペクトル比 ・レシーバー関数	梅田・小林(2010) ・P波部H/Vスペクトル比 ・レシーバー関数 ・コーダ部H/Vスペクトル比
ターゲットに用いた地震	2004年新潟県中越地震の余震域の地震	2004年新潟県中越地震の余震域の地震
同定範囲	荒浜側：標高-250m～地震基盤 大湊側：標高-300m～地震基盤 (浅部ははぎとりモデルで固定)	荒浜側：標高-250m～地震基盤 大湊側：標高-300m～地震基盤 (浅部ははぎとりモデルで固定)
探索条件	荒浜側と大湊側で地盤物性・層厚とも等しいと仮定	荒浜側と大湊側のそれぞれで同定し、下部4層では地盤物性が等しいと仮定
探索範囲	範囲を広く設定	大深度ボーリングによるPS検層結果及び反射法地震探査等に基づく2次元地下構造モデルを参照して設定
減衰	全層で一律の値を設定	観測記録に基づき最適化された同定結果
大深度地震観測記録による妥当性検証	— (今回、比較として確認を実施)	2021年3月までに得られた大深度地震観測記録 (M3.5以上, 震央距離100km以内) ・荒浜側：12地震 ・大湊側：3地震

□：精度向上のために検討を追加した項目

4.2 地下構造モデルの設定方針

- 敷地における水平アレイ地震観測点の1次元地下構造モデルの評価で適用実績のある梅田・小林(2010)の手法に基づき、敷地の地震基盤から地表までの増幅特性の情報を含んだ地表の観測記録を用いて、P波部H/Vスペクトル比、レシーバー関数、コーダ部H/Vスペクトル比をターゲットとした同時逆解析により、地震基盤までの地下構造モデルを評価。
- 評価した地下構造モデルについて、大深度ボーリングのPS検層結果等との整合性や大深度地震観測記録の再現性を確認し、その妥当性を検証。

地下構造モデルの設定手順

地下構造モデルの評価

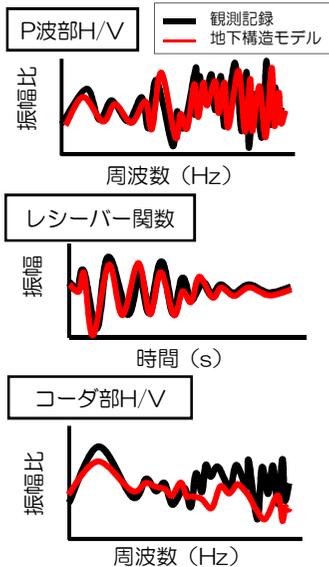
解析条件

- 探索範囲は大深度PS検層結果等を参考に設定



地下構造モデルの逆解析

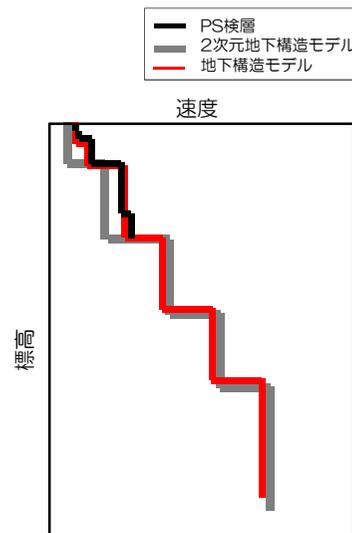
- ターゲットとした観測記録を再現する地下構造モデルを逆解析により同定



地下構造モデルの妥当性検証

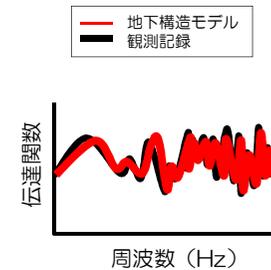
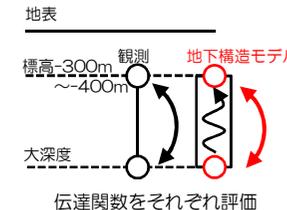
PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証

- 速度構造が概ね整合していることを確認

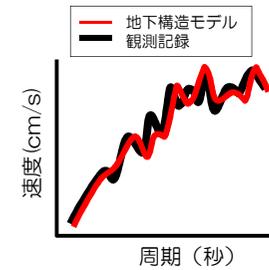
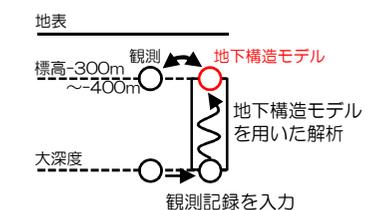


大深度地震観測記録による検証

- 地下構造モデルと観測記録の伝達関数の整合性を確認



- 地下構造モデルを用いた解析により観測記録の再現性を確認



-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録
 - 4.3.2 逆解析の探索範囲
 - 4.3.3 地下構造モデルの逆解析
 - 4.3.4 逆解析に関する補足検討
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.3 地下構造モデルの評価

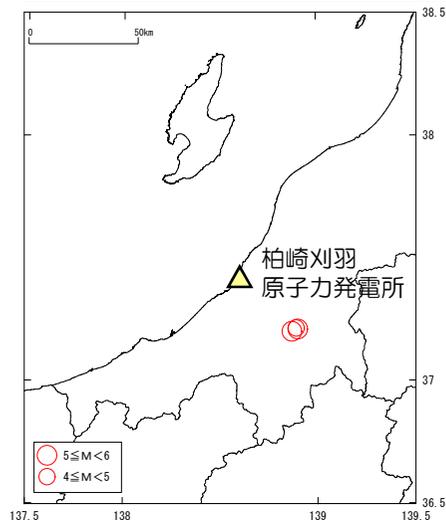
4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録

- 敷地の地震基盤から地表までの増幅特性の情報を含んだ地表の観測記録を用いて評価。
- 梅田・小林(2010)の手法では、ばらつきの少ない観測記録群をターゲットに用いることで、逆解析の解の一義性を高め、精度の高い地下構造モデルを同定することが可能となることから、地震規模、震央距離及び見かけ入射角が類似する地震群によりこれを評価することとし、以下の地震をそれぞれ選定。
 - P波部H/Vスペクトル比、レシーバー関数の検討：P波初動が記録されS/N比が良い観測記録の中から、震央距離、見かけ入射角及び地震規模が同程度の地震群を選定
 - コーダ部H/Vスペクトル比の検討：表面波が十分に含まれる観測記録の中から、P波部の検討に用いる地震群の周辺で発生した地震で、地震規模が同程度の地震群を選定

荒浜側

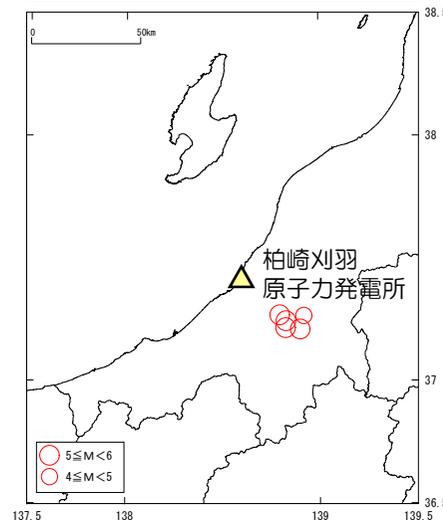
P波部の検討に用いる地震

発震日時	Mj	震央距離 (km)	見かけ入射角 (°)
2004/10/24 09:28	4.8	35	71
2004/10/25 00:28	5.3	35	74
2004/11/01 04:35	5.0	36	77



コーダ部の検討に用いる地震

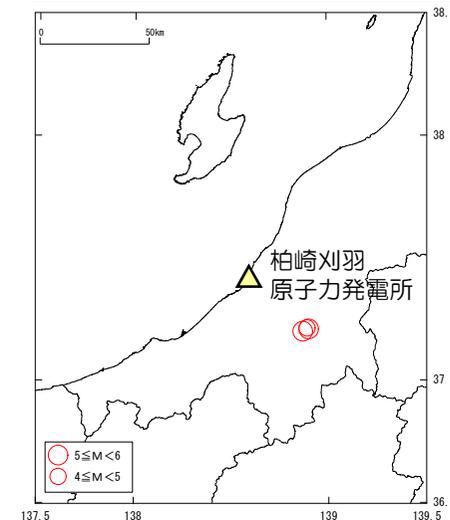
発震日時	Mj	震央距離 (km)
1998/02/21 09:55	5.2	25
2004/10/23 19:36	5.3	31
2004/10/24 14:21	5.0	28
2004/11/01 04:35	5.0	36
2007/01/08 18:59	4.8	34



大湊側

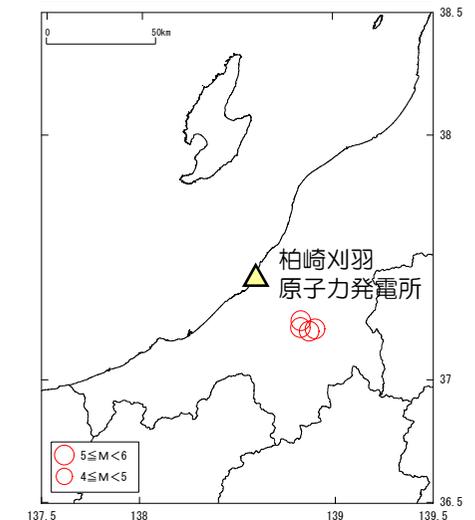
P波部の検討に用いる地震

発震日時	Mj	震央距離 (km)	見かけ入射角 (°)
2004/10/24 09:28	4.8	35	71
2004/10/25 00:28	5.3	35	74
2004/11/01 04:35	5.0	36	77



コーダ部の検討に用いる地震

発震日時	Mj	震央距離 (km)
2004/10/23 19:36	5.3	31
2004/10/24 14:21	5.0	28
2004/10/25 00:28	5.3	35
2004/11/01 04:35	5.0	36



※地震の諸元は気象庁による

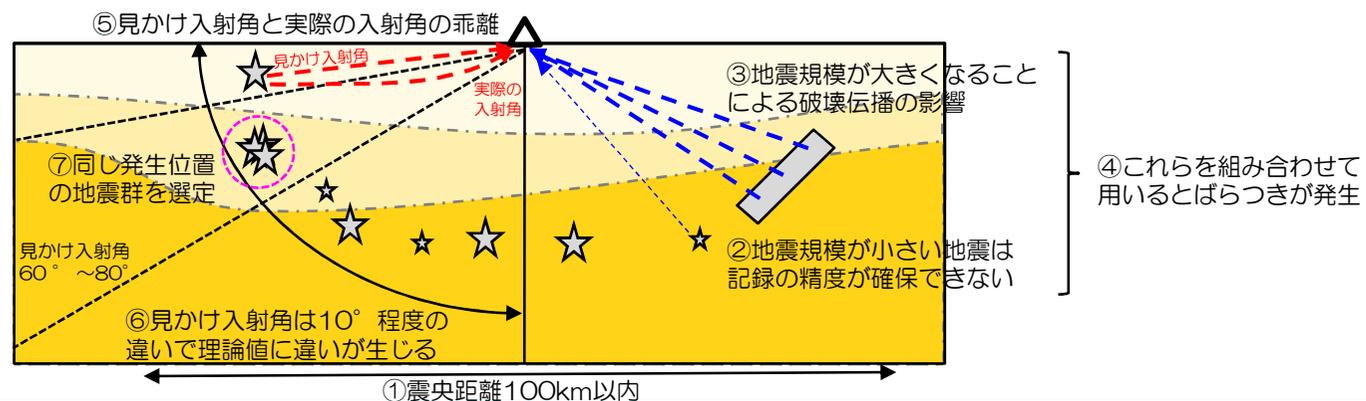
4.3 地下構造モデルの評価

コメント
No.1

4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録

■ 基本的な選定の考え方

- ばらつきの少ない観測記録群の平均値をターゲットとすることで、精度の高い地下構造モデルを評価。
- ターゲットは以下のパラメータにより影響を受けることを踏まえて、ばらつきが小さくなるような観測記録群を選定。
 - ✓ 震央距離（P波部及びコーダ部）
 - 敷地周辺の伝播特性が反映されており記録の精度が良い、震央距離100km以内の地震を対象とした。
 - ✓ 地震規模（P波部及びコーダ部）
 - 地震規模が小さい地震は記録の精度が確保できないためM4.5以上の地震を対象とした。
 - また、M6.0を超える地震では断層面の大きさが数km四方となり、震源の破壊伝播の影響が無視できないため、M6.0以下の地震を対象とした。
 - 地震規模が大きい地震と小さい地震を組み合わせるとばらつきが大きくなるため、地震規模の差が0.5以下の地震群を対象とした。
 - ✓ 見かけ入射角（P波部）
 - 見かけ入射角は大きいほどPS-P時間が長くなり、レシーバー関数の特徴を把握しやすいものの、大きすぎると地震波が深部から潜り込んで伝播することで実際の入射角との乖離が生じることを踏まえ、敷地で多くの記録が得られている見かけ入射角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ の地震を対象とした。
 - 見かけ入射角は 10° 程度の違いでP波部H/Vスペクトル比とレシーバー関数の理論値に違いが生じることを踏まえ、見かけ入射角の差が 10° 以内の地震群を対象とした。
 - ✓ 発生位置（P波部及びコーダ部）
 - P波部は、概ね等しい発生位置の地震群から、ばらつきの小さい観測記録群を選定するため、震央距離の差及び震央間の距離が3km以内で3地震以上の地震群を対象とした。コーダ部は、P波部と伝播経路を整合させるため、P波部と同様の領域で発生したばらつきの小さい地震群を対象とした。



-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録
 - 4.3.2 逆解析の探索範囲
 - 4.3.3 地下構造モデルの逆解析
 - 4.3.4 逆解析に関する補足検討
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.3 地下構造モデルの評価

4.3.2 逆解析の探索範囲

- 地下構造モデルの逆解析は、遺伝的アルゴリズムを用い、層厚、S波速度、P波速度、減衰（ Q_s , Q_p ）を未知数として探索。
- 探索範囲は、大深度ボーリングのPS検層結果や、反射法地震探査結果等に基づく2次元地下構造モデルを参考に設定。
- なお、標高-250m～標高-300m 以浅については、既許可のはざとり解析に用いている地下構造モデルで固定。

荒浜側

層No.	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Qs ^{*2}		Qp ^{*2}	
					Qo	n	Qo	n
1	2.0	2.00	100	920	2.50	0.90	1.70	0.90
2	4.0	2.00	180	920	2.50	0.90	1.70	0.90
3	14.0	1.76	270	950	2.50	0.90	2.50	0.80
4	52.0	1.72	430	1600	2.50	0.90	2.50	0.80
5	81.0	1.72	520	1700	2.50	0.90	5.00	0.80
6	82.0	1.72	730	1700	2.50	0.90	5.00	0.80
7	20.0	1.72	820	2200	2.50	0.90	5.00	0.80
8	430~ 530	1.70	820~ 1000	2200~ 2300	5~50	0~1	5~50	0~1
9	470~ 870	2.10	1300~ 1500	2700~ 2800	5~50	0~1	5~50	0~1
10	280~ 680	2.30	1200~ 1870	2400~ 3470	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
11 ^{*1}	640~ 1040	2.40	1800~ 2200	3990~ 4410	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
12 ^{*1}	980~ 1380	2.50	2340~ 2860	4370~ 4830	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
13 ^{*1}	2100~ 2600	2.60	2790~ 3410	4940~ 5460	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
14 ^{*1}	/	2.70	3060~ 3500	5410~ 5990	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1

大湊側

■ : はざとり解析に用いている地下構造モデル
□ : 今回評価

層No.	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Qs ^{*2}		Qp ^{*2}	
					Qo	n	Qo	n
1	2.7	2.00	180	850	0.63	0.10	1.67	0.60
2	7.3	2.00	210	920	2.50	0.85	2.50	0.60
3	18.6	1.78	310	1300	2.50	0.85	1.25	0.60
4	16.4	1.70	420	1700	2.50	0.85	2.00	0.60
5	33.0	1.75	440	1700	2.50	0.85	2.00	0.90
6	22.0	1.75	550	1700	2.50	0.85	2.00	0.90
7	32.0	1.84	640	1700	5.00	0.85	3.33	0.90
8	29.0	2.03	730	1800	5.00	0.85	3.33	0.90
9	82.0	2.03	890	1900	5.00	0.85	3.33	0.90
10	35.0	2.03	960	1900	5.00	0.85	3.33	0.90
11	34.0	2.03	1000	2100	5.00	0.85	3.33	0.90
12	500~ 600	2.10	1000~ 1200	2100~ 2500	5~50	0~1	5~50	0~1
13	840~ 1240	2.30	1300~ 1450	2600~ 2900	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
14 ^{*1}	650~ 1050	2.40	1800~ 2200	3990~ 4410	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
15 ^{*1}	1000~ 1400	2.50	2340~ 2860	4370~ 4830	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
16 ^{*1}	2050~ 2550	2.60	2790~ 3410	4940~ 5460	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1
17 ^{*1}	/	2.70	3060~ 3500	5410~ 5990	5~100	0.5~1	5~100	0.5~1

※1 層厚以外の物性値は荒浜側・大湊側で共通と仮定。

※2 $Q(f) = Q_0 \times f^n$ を仮定。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録
 - 4.3.2 逆解析の探索範囲
 - 4.3.3 地下構造モデルの逆解析
 - 4.3.4 逆解析に関する補足検討
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.3 地下構造モデルの評価

4.3.3 地下構造モデルの逆解析

■ P波部H/Vスペクトル比，レシーバー関数，コーダ部H/Vスペクトル比をターゲットとした同時逆解析により，荒浜側と大湊側のそれぞれで地下構造モデルを同定。

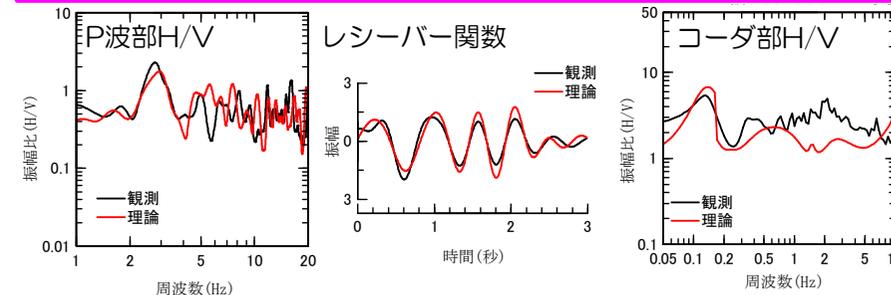
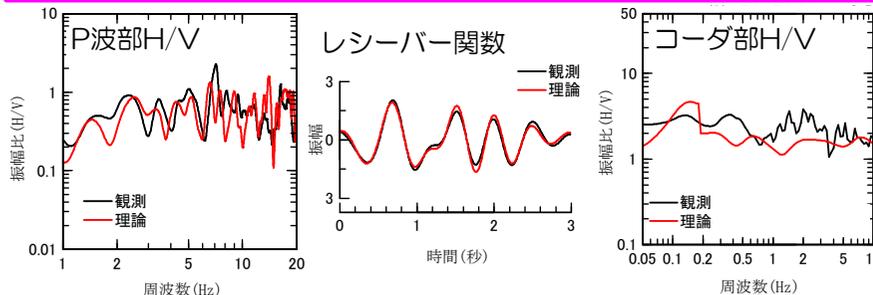
荒浜側

層No.	標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Qs		Qp	
						Qo	n	Qo	n
1	5.0	2.0	2.00	100	920	2.50	0.90	1.70	0.90
2	3.0	4.0	2.00	180	920	2.50	0.90	1.70	0.90
3	-1.0	14.0	1.76	270	950	2.50	0.90	2.50	0.80
4	-15.0	52.0	1.72	430	1600	2.50	0.90	2.50	0.80
5	-67.0	81.0	1.72	520	1700	2.50	0.90	5.00	0.80
6	-148.0	82.0	1.72	730	1700	2.50	0.90	5.00	0.80
7	-230.0	20.0	1.72	820	2200	2.50	0.90	5.00	0.80
8	-250.0	514.5	1.70	997	2210	14.91	0.89	5.27	0.61
9	-764.5	477.8	2.10	1500	2700	19.37	0.75	10.22	0.85
10	-1242.3	654.0	2.30	1870	2760	11.55	0.52	9.19	0.70
11	-1896.3	895.9	2.40	1920	4270	14.35	0.75	9.46	0.66
12	-2792.2	1289.3	2.50	2350	4780	20.71	0.57	17.80	0.85
13	-4081.5	2388.3	2.60	3060	5080	66.23	0.78	37.72	0.72
14	-6469.8		2.70	3490	5440	66.23	0.78	37.72	0.72

大湊側

層No.	標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Qs		Qp	
						Qo	n	Qo	n
1	12.0	2.7	2.00	180	850	0.63	0.10	1.67	0.60
2	9.3	7.3	2.00	210	920	2.50	0.85	2.50	0.60
3	2.0	18.6	1.78	310	1300	2.50	0.85	1.25	0.60
4	-16.6	16.4	1.70	420	1700	2.50	0.85	2.00	0.60
5	-33.0	33.0	1.75	440	1700	2.50	0.85	2.00	0.90
6	-66.0	22.0	1.75	550	1700	2.50	0.85	2.00	0.90
7	-88.0	32.0	1.84	640	1700	5.00	0.85	3.33	0.90
8	-120.0	29.0	2.03	730	1800	5.00	0.85	3.33	0.90
9	-149.0	82.0	2.03	890	1900	5.00	0.85	3.33	0.90
10	-231.0	35.0	2.03	960	1900	5.00	0.85	3.33	0.90
11	-266.0	34.0	2.03	1000	2100	5.00	0.85	3.33	0.90
12	-300.0	534.5	2.10	1200	2420	14.32	0.90	6.11	0.59
13	-834.5	881.7	2.30	1300	2610	15.05	0.89	6.12	0.61
14	-1716.2	897.1	2.40	1920	4270	14.35	0.75	9.46	0.66
15	-2613.3	1331.0	2.50	2350	4780	20.71	0.57	17.80	0.85
16	-3944.3	2148.1	2.60	3060	5080	66.23	0.78	37.72	0.72
17	-6092.4		2.70	3490	5440	66.23	0.78	37.72	0.72

■ : はざり解析に用いている地下構造モデル
□ : 今回評価



※ 観測及び理論ともに，次の波形処理を同様に実施。P波部H/V：Parzen Window 0.5Hzでスムージング，レシーバー関数：P波部H/Vをフーリエ逆変換し1~2Hzのバンドパスフィルター，コーダ部H/V：Parzen Window 0.1Hzでスムージング。

■ 地下構造モデルによる理論値は，ターゲットとした観測記録を良好に再現できており，逆解析による地下構造モデルの同定が適切に行われていることを確認。

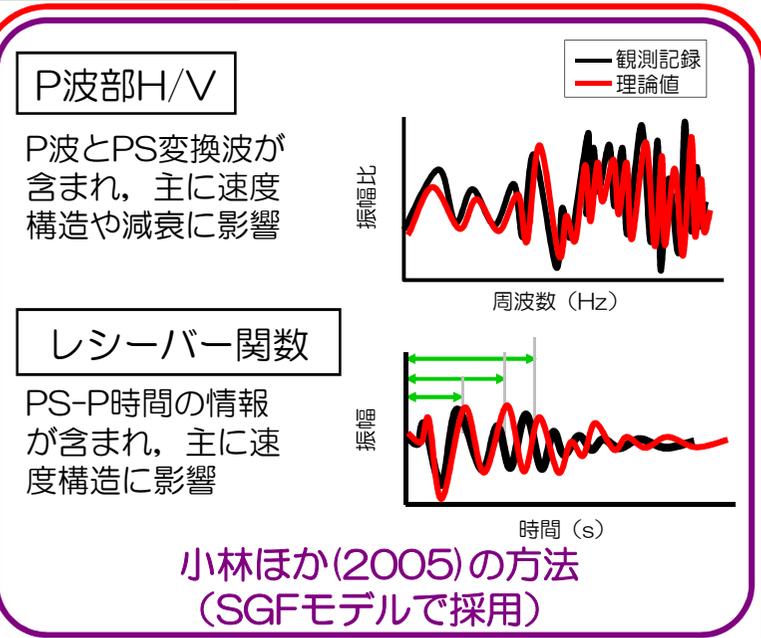
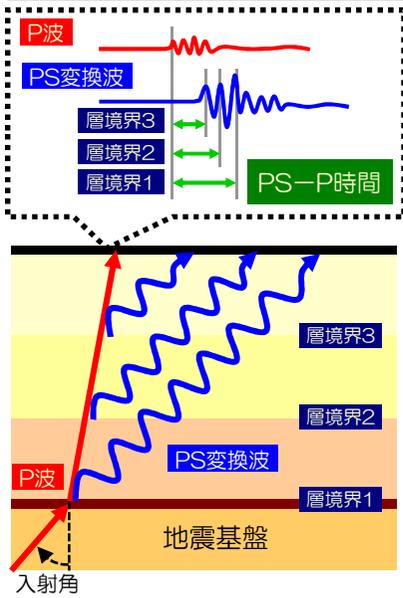
4.3 地下構造モデルの評価

【参考】梅田・小林 (2010)に基づく地下構造モデルの推定手法

第8回会合
(2021.12.3)
資料1-1 P.21
再掲

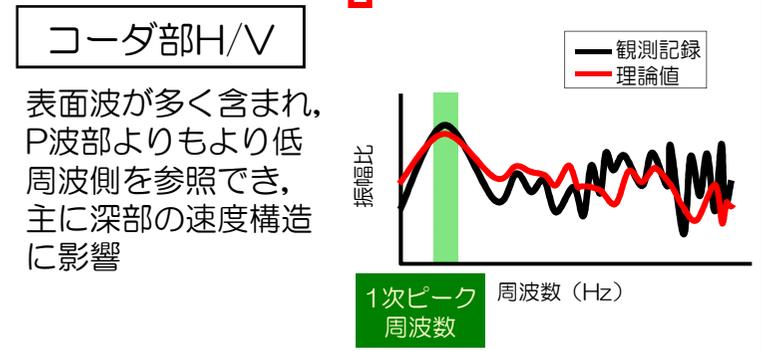
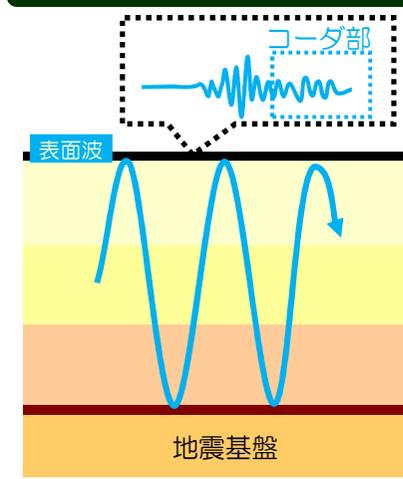
- 梅田・小林(2010)の手法は、P波部H/Vスペクトル比, レシーバー関数, コーダ部H/Vスペクトル比をターゲットとした同時逆解析により, 地下構造モデルを推定する手法。
- 今回は, 以下の条件で同時逆解析を実施。
 - P波部H/Vスペクトル比, レシーバー関数
観測記録の全体的な形状を再現するように理論値をフィッティング。
 - P波部H/Vスペクトル比の低周波側には, 重みをつけてフィッティングさせることで, 深部のモデル推定の精度を向上。
 - コーダ部H/Vスペクトル比
観測記録の1次ピーク周波数に対し, 表面波の1次モードを考慮した理論値をフィッティング。1次ピーク周波数をフィッティングさせることで, 深部のモデル推定の精度を向上。

P波部H/Vスペクトル比, レシーバー関数



小林ほか(2005)の方法 (SGFモデルで採用)

コーダ部H/Vスペクトル比



梅田・小林(2010)の方法 (今回採用)

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録
 - 4.3.2 逆解析の探索範囲
 - 4.3.3 地下構造モデルの逆解析
 - 4.3.4 逆解析に関する補足検討
 - (1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認
 - (2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析
 - (3) コーダ部の検討の考え方
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.3.4 逆解析に関する補足検討

(1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認

■ ターゲットに用いた観測記録の代表性を確認するために、敷地で得られた多くの観測記録から、以下の検討条件①, ②, ③に示す観測記録を選定し、それぞれ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スペクトル比を評価し比較。

検討条件

● P波部H/Vスペクトル比, レシーバー関数の検討

敷地の観測記録
S/N比が良く, P波初動を記録

- 敷地周辺の地震
震央距離0km~100km, M4.0~6.0

検討条件① (凡例: ○ ○ ○)
荒浜側・大湊側共通: 69地震

- 見かけ入射角60° ~ 80°

検討条件② (凡例: ○ ○)
荒浜側・大湊側共通: 40地震

- 震央距離, 見かけ入射角及び地震規模が同程度の地震群
(震央距離の差 ≤ 3 km, 見かけ入射角の差 $\leq 10^\circ$, 震央間の距離 ≤ 3 kmで3地震以上の地震群, 地震規模 ≥ 4.5 , 地震規模の差 ≤ 0.5)

検討条件③ (凡例: ○)
ターゲットに用いた地震
荒浜側・大湊側共通: 3地震

● コーダ部H/Vスペクトル比の検討

敷地の観測記録
表面波が十分に含まれている記録

- 敷地周辺の地震
震央距離0km~100km, M4.0~6.0
- 表面波が卓越する遠方の地震
震央距離200km~400km, M6.5以上

検討条件① (凡例: ○ ○ ○)
荒浜側: 58地震, 大湊側: 54地震

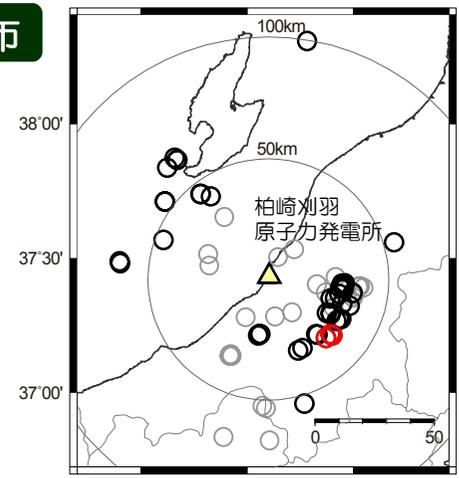
- 震央距離0km~100km

検討条件② (凡例: ○ ○)
荒浜側: 47地震, 大湊側: 43地震

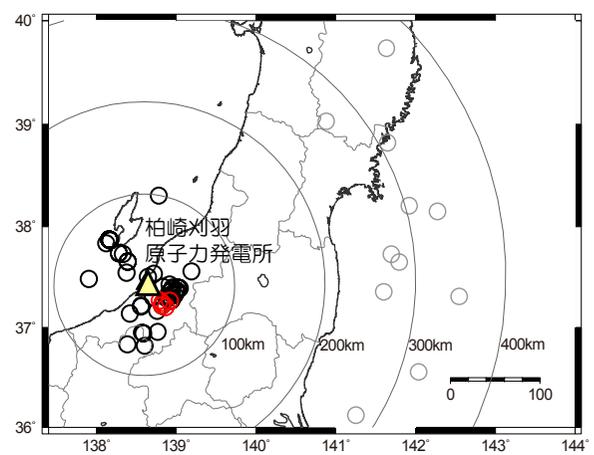
- P波部の検討に用いる地震群の周辺で発生した地震
- 地震規模が同程度の地震群
(地震規模 ≥ 4.5 , 地震規模の差 ≤ 0.5)

検討条件③ (凡例: ○)
ターゲットに用いた地震
荒浜側: 5地震, 大湊側: 4地震

震央分布



P波部の検討に用いた地震



コーダ部の検討に用いた地震

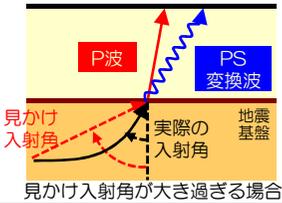
4.3.4 逆解析に関する補足検討

(1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認

コメント
No.1

■ 検討条件①, ②, ③を設定した考え方は以下の通り。

	P波部H/Vスペクトル比, レシーバー関数	コーダ部H/Vスペクトル比
検討条件①	<ul style="list-style-type: none"> 敷地周辺の地震 震央距離0km~100km, M4.0~6.0 <p>敷地周辺の伝播特性が反映されており記録の精度が良い, 震央距離100km以内の地震を対象とした。 地震規模が小さい地震は記録の精度が確保できないためM4.0以上の地震を対象とした。また, M6.0を超える地震では断層面の大きさが数km四方となり, 震源の破壊伝播の影響が無視できないためM6.0以下の地震を対象とした。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 敷地周辺の地震 震央距離0km~100km, M4.0~6.0 表面波が卓越する遠方の地震 震央距離200km~400km, M6.5以上 <p>P波部と同様の考え方で敷地周辺の地震を対象とした。 ただし, コーダ部は長周期の成分が含まれていると考えられる震央距離200km~400kmで発生したM6.5以上の地震も対象とした。</p>
検討条件②	<ul style="list-style-type: none"> 見かけ入射角60° ~80° <p>見かけ入射角は大きいほどPS-P時間が長くなりレシーバー関数の特徴を把握しやすいものの, 大きすぎると地震波が深部から潜り込んで伝播することで実際の入射角との乖離が生じることを踏まえ, 敷地で多くの記録が得られている見かけ入射角60° ~80° の地震を対象とした。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 震央距離0km~100km <p>敷地周辺で発生した地震の特徴を反映するため, 震央距離0km~100kmの地震を対象とした。</p>
検討条件③ ターゲットに用いた地震	<ul style="list-style-type: none"> 震央距離, 見かけ入射角及び地震規模が同程度の地震群 (震央距離の差≤ 3km, 見かけ入射角の差$\leq 10^\circ$, 震央間の距離≤ 3kmで3地震以上の地震群, 地震規模≥ 4.5, 地震規模の差≤ 0.5) <p>震央距離, 見かけ入射角及び地震規模が同程度の地震群を選定することがターゲットのばらつきを小さくすることに寄与し, 精度の高い地下構造モデルを同定することが可能となると考え条件を設定。</p> <p>震央距離: 概ね等しい発生位置の地震群から, ばらつき小さい観測記録群を選定するため, 震央距離の差及び震央間の距離が3km以内で3地震以上の地震群を対象とした。</p> <p>見かけ入射角: 見かけ入射角は10°程度の違いで理論値に違いが生じることを踏まえ, 見かけ入射角の差が10°以内の地震群を対象とした。</p> <p>地震規模: より精度の高い記録を対象とするためM4.5以上の地震を対象とし, 地震規模が大きい地震と小さい地震を組み合わせると, ばらつきが大きくなるため, 地震規模の差が0.5以下の地震群を対象とした。</p>	<ul style="list-style-type: none"> P波部の検討に用いる地震群の周辺で発生した地震 地震規模が同程度の地震群 (地震規模≥ 4.5, 地震規模の差≤ 0.5) <p>地震の発生領域及び地震規模が同程度の地震群を選定することが, ターゲットのばらつきを小さくすることに寄与し, 精度の高い地下構造モデルを同定することが可能となると考え条件を設定。</p> <p>地震の発生領域: P波部と伝播経路を整合させるため, P波部と同様の領域で発生したばらつき少ない地震群を対象とした。</p> <p>地震規模: より精度の高い記録を対象とするためM4.5以上の地震を対象とし, 地震規模が大きい地震と小さい地震を組み合わせると, ばらつきが大きくなるため, 地震規模の差が0.5以下の地震群を対象とした。</p>



4.3.4 逆解析に関する補足検討

(1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認

地震の諸元

※地震の諸元は気象庁による
※配色はP.26に示す震央分布の凡例と対応

発震日時	Mj	震央距離 (km)	震源深さ (km)	見かけ入射角 (°)	P波部	コーダ部	
						荒浜側	大湊側
1987/3/24 21:49	5.9	62	22	71	○	○	○
1987/3/24 22:22	4.7	62	23	70	○	-	-
1990/12/7 18:38	5.4	24	15	58	○	○	○
1990/12/7 20:21	4.2	24	12	63	○	-	-
1990/12/7 21:34	4.4	23	15	58	○	-	-
1990/12/7 22:30	4.9	23	13	61	○	○	○
1990/12/13 2:27	4.4	23	2	85	○	-	-
1991/2/22 21:27	4.5	23	12	63	○	-	-
1995/8/9 4:27	4.6	27	24	48	○	-	-
1996/2/17 0:22	6.8	350	58	81	-	○	○
1998/2/21 9:55	5.2	25	19	53	-	○	-
1998/4/4 1:40	4.6	23	26	41	-	○	○
1999/11/14 6:57	4.0	16	13	51	○	-	-
2000/2/29 19:15	4.3	41	22	62	○	○	-
2000/3/25 22:02	4.1	18	11	59	○	-	-
2001/1/4 13:18	5.3	54	11	78	○	○	○
2002/2/2 5:09	4.0	31	11	70	○	-	-
2003/5/26 18:24	7.1	309	72	77	-	○	○
2003/9/30 12:22	4.3	62	19	73	○	○	-
2004/3/11 0:44	4.1	25	25	45	○	-	-
2004/3/15 7:38	4.7	31	24	53	○	○	○
2004/10/23 19:36	5.3	31	11	71	○	○	○
2004/10/23 19:45	5.7	29	12	67	○	○	○
2004/10/23 19:49	4.8	30	18	60	○	○	○
2004/10/23 21:44	5.0	35	15	67	○	○	○
2004/10/23 22:34	4.4	34	18	63	○	-	-
2004/10/23 23:34	5.3	30	20	56	○	○	○
2004/10/24 7:16	4.3	25	21	50	○	-	-
2004/10/24 9:28	4.8	35	12	71	○	-	-
2004/10/24 14:21	5.0	28	12	68	-	○	○
2004/10/24 16:06	4.6	30	12	67	○	○	○
2004/10/25 0:28	5.3	35	10	74	○	-	○
2004/10/25 1:27	4.7	32	6	79	○	○	○
2004/10/25 6:04	5.8	33	15	65	○	○	○
2004/10/25 6:32	4.3	32	15	65	○	○	○
2004/10/26 3:32	4.2	21	13	59	○	○	○
2004/10/27 10:26	4.3	29	14	64	○	○	○
2004/10/27 14:59	4.2	31	11	70	○	○	○
2004/10/27 20:31	4.0	31	12	68	○	-	-
2004/11/1 4:35	5.0	36	8	77	○	○	○
2004/11/4 8:57	5.2	28	18	57	○	○	○

発震日時	Mj	震央距離 (km)	震源深さ (km)	見かけ入射角 (°)	P波部	コーダ部	
						荒浜側	大湊側
2004/11/6 2:53	5.1	37	0	90	○	○	○
2004/11/6 18:25	4.4	32	10	72	○	-	-
2004/11/6 22:05	4.4	28	13	66	○	-	-
2004/11/8 11:15	5.9	39	0	90	○	○	○
2004/11/8 11:27	5.0	38	0	90	○	○	○
2004/11/8 11:32	5.1	40	6	82	○	○	○
2004/11/9 4:15	5.0	37	0	90	○	○	○
2004/11/10 3:43	5.3	36	5	83	○	○	○
2004/12/23 21:03	4.5	32	10	72	○	○	○
2004/12/25 10:23	4.4	32	10	72	○	-	-
2004/12/28 18:30	5.0	36	8	77	○	○	○
2005/1/18 21:50	4.7	36	8	78	○	○	○
2005/7/9 19:22	4.3	31	11	70	○	-	-
2005/8/16 11:46	7.2	334	42	83	-	○	○
2005/8/21 11:29	5.0	17	17	45	○	○	○
2006/12/26 5:17	4.9	63	14	77	○	○	○
2007/1/8 18:59	4.8	34	13	69	○	○	-
2007/7/16 15:37	5.8	10	22	24	○	○	○
2007/7/25 6:52	4.8	16	24	33	○	○	○
2008/6/14 8:43	7.2	268	8	88	-	○	○
2008/7/24 0:26	6.8	368	108	74	-	○	○
2009/8/2 0:57	4.9	99	28	74	○	○	○
2010/5/1 18:20	4.9	55	9	80	○	○	○
2010/10/2 12:35	4.0	35	22	58	○	-	-
2010/10/3 6:37	4.5	35	23	57	○	-	-
2010/10/3 6:52	4.6	36	24	57	○	-	-
2010/10/3 9:26	4.7	35	22	57	○	○	○
2011/3/11 15:15	7.6	278	43	81	-	○	○
2011/3/11 16:14	6.8	321	25	86	-	○	○
2011/3/12 4:31	5.9	53	1	89	○	○	○
2011/4/7 23:32	7.2	305	66	78	-	○	○
2011/4/12 7:26	5.6	67	0	90	○	○	○
2011/5/6 18:00	4.2	53	18	72	○	-	-
2011/8/19 14:36	6.5	284	51	80	-	○	○
2011/11/26 9:05	4.3	45	24	62	○	○	-
2012/2/8 21:01	5.7	62	14	78	○	○	○
2012/7/10 12:48	5.2	68	8	83	○	○	○
2014/4/8 5:07	4.4	32	9	75	○	-	-
2016/6/27 13:36	4.6	46	26	61	○	-	-
2016/11/22 5:59	7.4	267	25	85	-	○	○
2018/5/25 21:13	5.2	54	6	84	○	○	○
2021/2/13 23:07	7.3	276	55	79	-	○	○

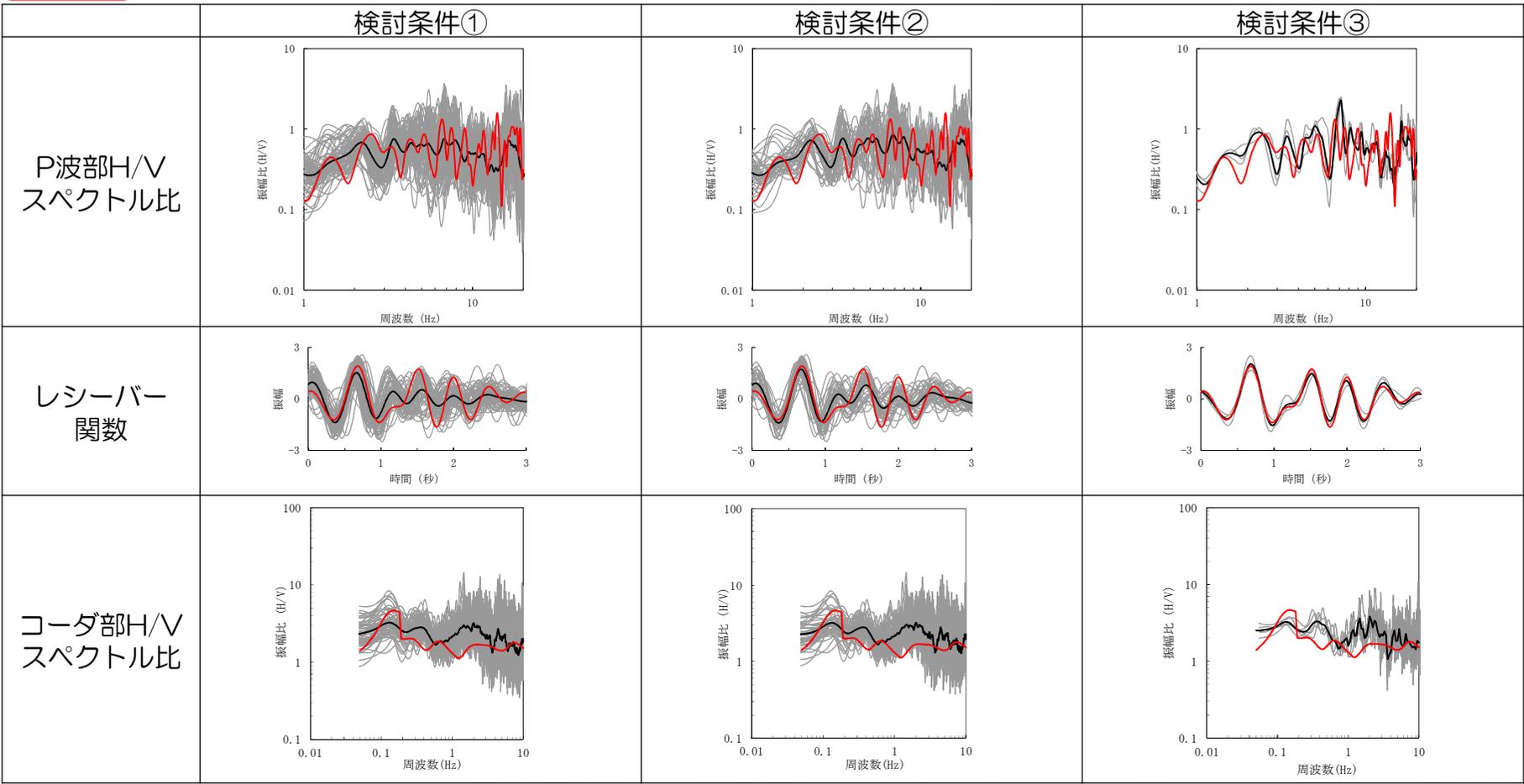
4.3.4 逆解析に関する補足検討

(1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認

- 各検討条件における観測記録の平均値の特徴に大きな違いはなく、地下構造モデルの逆解析のターゲットとして選定した地震は、敷地の観測記録の全体的な傾向と整合したものであることを確認。
- 同定した地下構造モデルの理論値は、各検討条件における観測記録の平均値のピーク等の特徴を捉えたものとなっており、観測記録の全体的な傾向を反映した逆解析が適切に実施できていることを確認。

荒浜側

— 地下構造モデル理論値 — 観測記録の平均値 — 観測記録



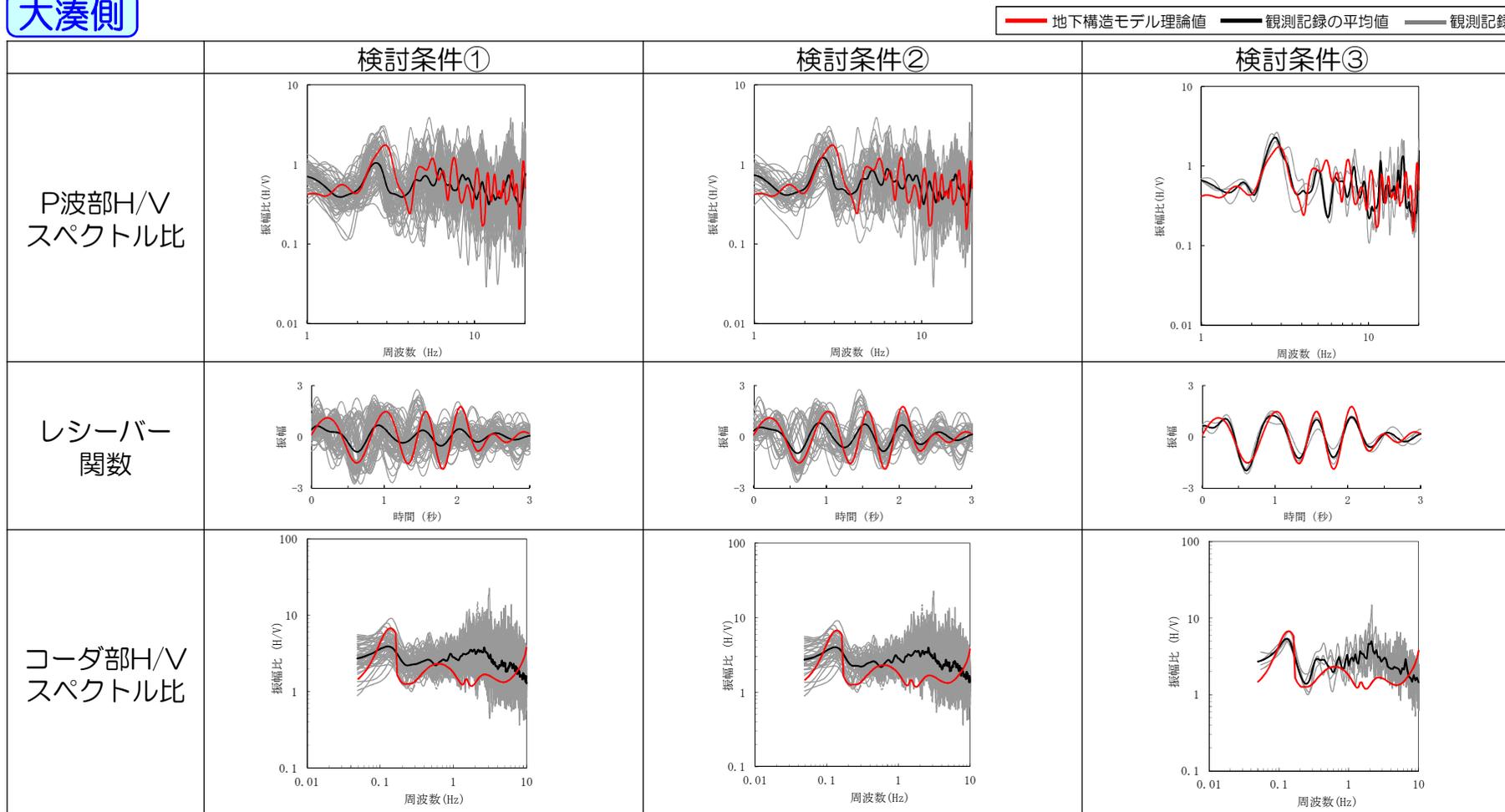
※ 観測及び理論ともに、次の波形処理を同様に実施。P波部H/V：Parzen Window 0.5Hzでスムージング、レシーバー関数：P波部H/Vをフーリエ逆変換し1~2Hzのバンドパスフィルター、コーダ部H/V：Parzen Window 0.1Hzでスムージング。

4.3.4 逆解析に関する補足検討

(1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認

- 各検討条件における観測記録の平均値の特徴に大きな違いはなく、地下構造モデルの逆解析のターゲットとして選定した地震は、敷地の観測記録の全体的な傾向と整合したものであることを確認。
- 同定した地下構造モデルの理論値は、各検討条件における観測記録の平均値のピーク等の特徴を捉えたものとなっており、観測記録の全体的な傾向を反映した逆解析が適切に実施できていることを確認。

大湊側



※ 観測及び理論ともに、次の波形処理を同様に実施。P波部H/V：Parzen Window 0.5Hzでスムージング、レシーバー関数：P波部H/Vをフーリエ逆変換し1~2Hzのバンドパスフィルター、コーダ部H/V：Parzen Window 0.1Hzでスムージング。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録
 - 4.3.2 逆解析の探索範囲
 - 4.3.3 地下構造モデルの逆解析
 - 4.3.4 逆解析に関する補足検討
 - (1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認
 - (2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析
 - (3) コーダ部の検討の考え方
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

■ P波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数についてより詳細な分析を行うために、検討対象とした全観測記録に対して、ターゲットに用いた観測記録に違いが見られる点を以下の通り整理。

— 地下構造モデル理論値 — 観測記録の平均値 — 観測記録

	荒浜側	大湊側
P波部H/V スペクトル比		
	<ul style="list-style-type: none"> • 2Hz~3Hzの間に見られる明瞭なピークの周波数にやや違いが見られる 	<ul style="list-style-type: none"> • 2Hz~3Hzの間に見られる明瞭なピークの周波数にやや違いが見られる
レシーバー 関数		
	<ul style="list-style-type: none"> • 1秒以降に見られる4つのピークのうち、1.2秒付近のピークについては、ターゲットではフラットな形状となっており明瞭なピークとして見えていない 	<ul style="list-style-type: none"> • 1秒付近に見られるピークの時間にやや違いが見られる • 0.6秒付近や1.5秒付近に明瞭なピークが見られるなど、全観測記録の中にはターゲットとは傾向が異なる地震が存在する

■ 違いが見られる要因を分析するため、以下の検討を実施。

- (1) 理論値の入射角を変化させたパラメータスタディ
- (2) 観測記録の到来方向別の整理

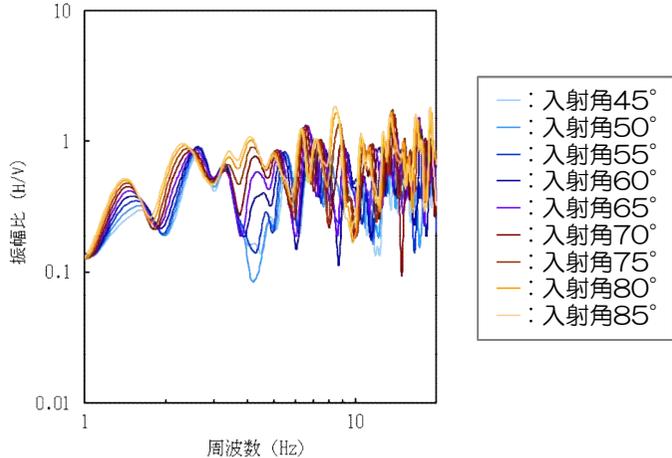
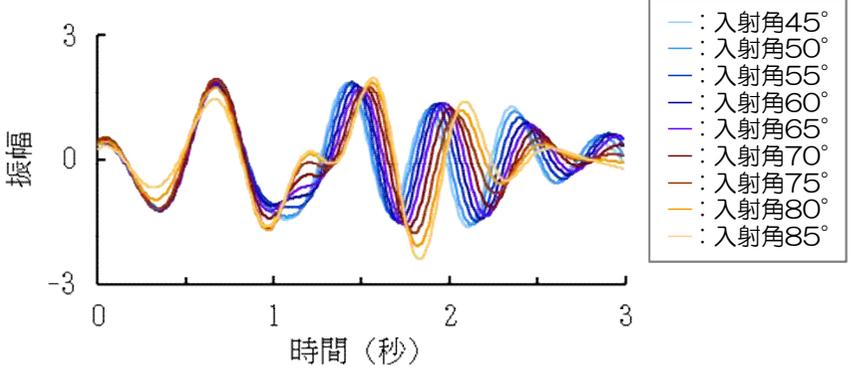
4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

■ 同定した地下構造モデルに対して、入射角を変化させた場合のP波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数の理論値に関するパラメータスタディを実施。

荒浜側 (1) 理論値の入射角を変化させたパラメータスタディ

P波部H/Vスペクトル比	レシーバー関数
	
<ul style="list-style-type: none"> 2Hz～3Hzの間に見られるピークの周波数は、入射角を変化させることにより違いが生じる 	<ul style="list-style-type: none"> 0.6秒～0.7秒付近に見られるピークの時間は、入射角を変化させても変わらない 一方、1秒以降に見られるピークは、入射角を変化させることにより時間や振幅に違いが生じる 1.2秒付近のピークは、入射角が70°程度ではフラットな形状となっているが、入射角を変化させるとピークとして見られる

■ P波部H/Vスペクトル比の2Hz～3Hzの間に見られるピーク及びレシーバー関数の1秒以降に見られるピークは、入射角を変化させると違いが生じることを確認した。

■ 全観測記録とターゲットで見られた違いは、入射角を変化させた場合に生じる傾向と整合することから、主に入射角の影響により生じているものと考えられる。

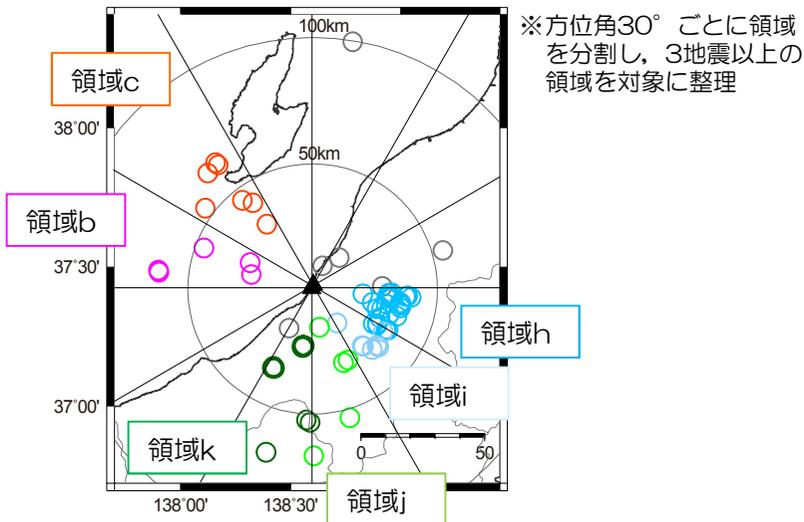
4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

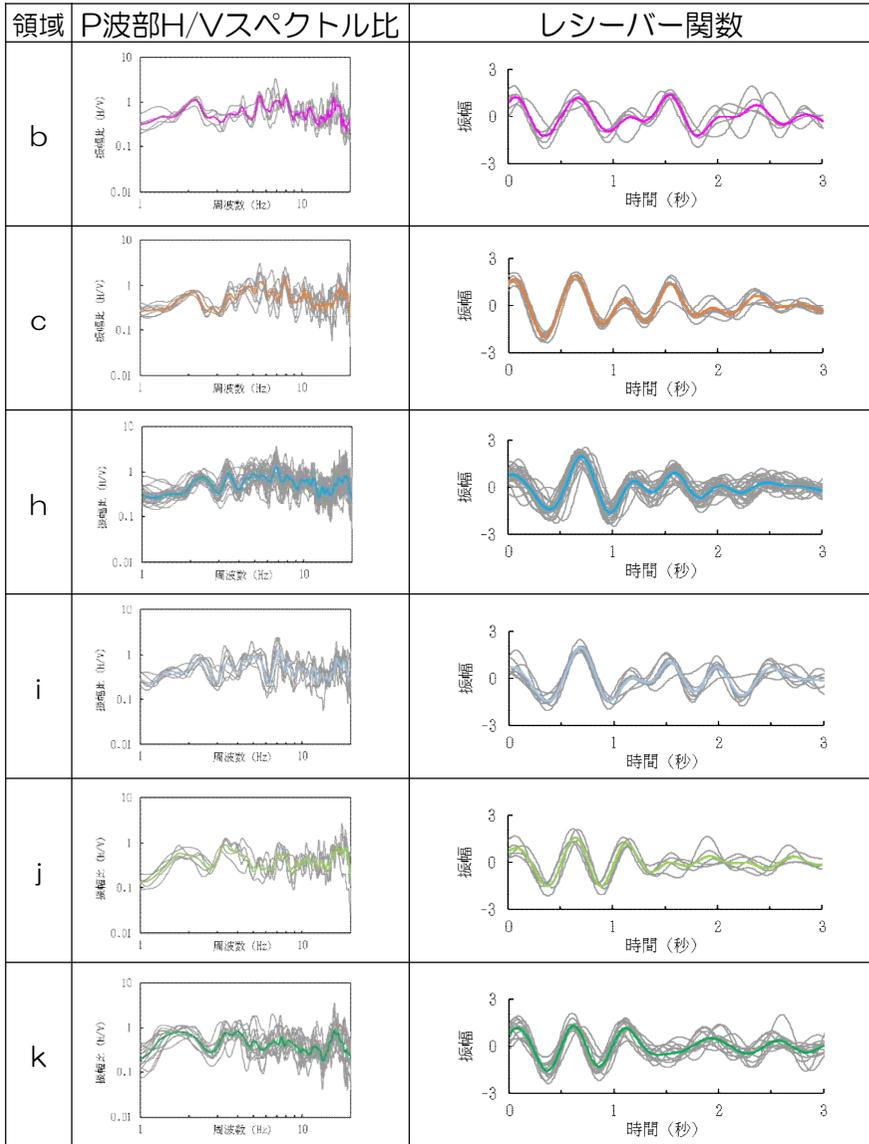
■ 観測記録のP波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数について、到来方向により整理。

荒浜側 (2) 観測記録の到来方向別の整理



P波部H/Vスペクトル比	レシーバー関数
<ul style="list-style-type: none"> • 2Hz~3Hzの間にピークが見られる特徴は、到来方向によらず変わらない 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.6秒~0.7秒付近に見られるピークの時間は、到来方向によらず変わらない • 1秒以降に4つのピークが見られる特徴は、到来方向によらず変わらない • 1.2秒付近のピークは、領域b~iでは振幅が小さく、領域j~kでは明瞭になるが、その時間は変わらない

■ 荒浜側では、到来方向により特徴が大きく異なる傾向は見られない。



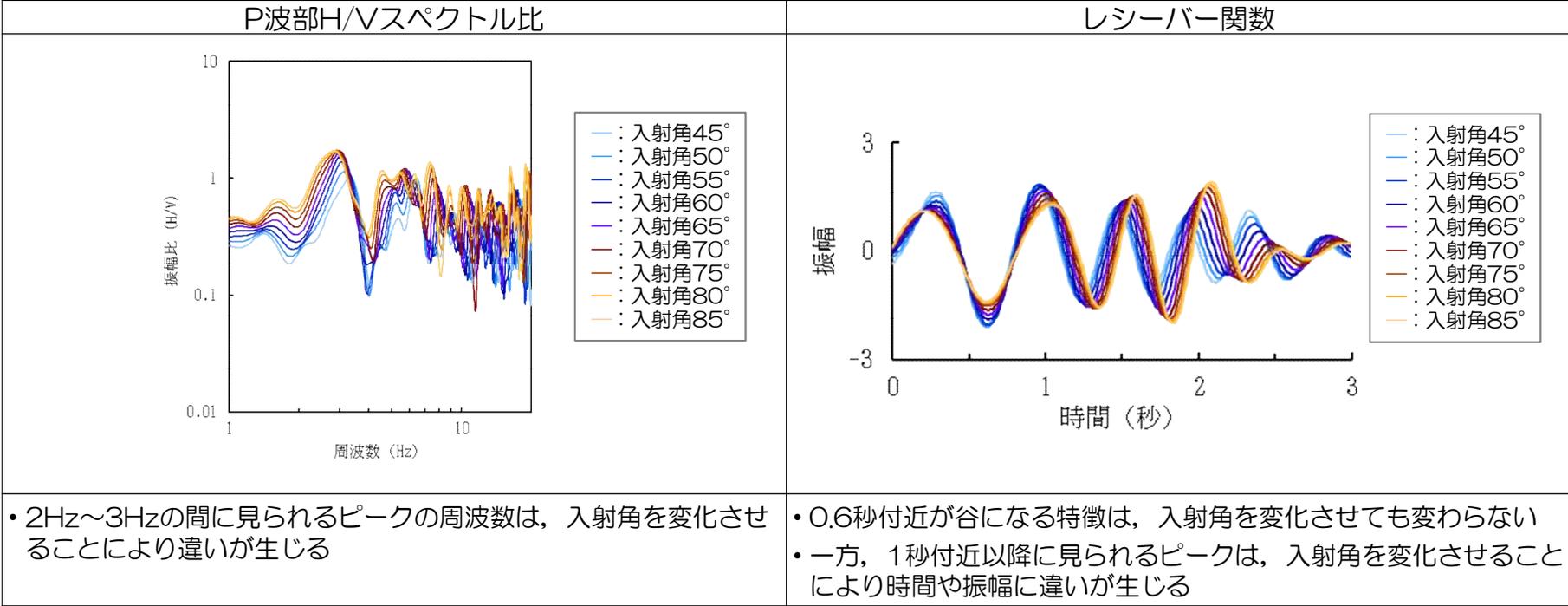
4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

■ 同定した地下構造モデルに対して、入射角を変化させた場合のP波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数の理論値に関するパラメータスタディを実施。

大湊側 (1) 理論値の入射角を変化させたパラメータスタディ



■ P波部H/Vスペクトル比の2Hz~3Hzの間に見られるピーク及びレシーバー関数の1秒付近以降に見られるピークは、入射角を変化させると違いが生じることを確認した。

■ しかしながら、全観測記録のレシーバー関数の一部に見られた0.6秒付近のピークは、入射角を変化させても生じないことから、入射角以外の影響を受けているものと考えられる。

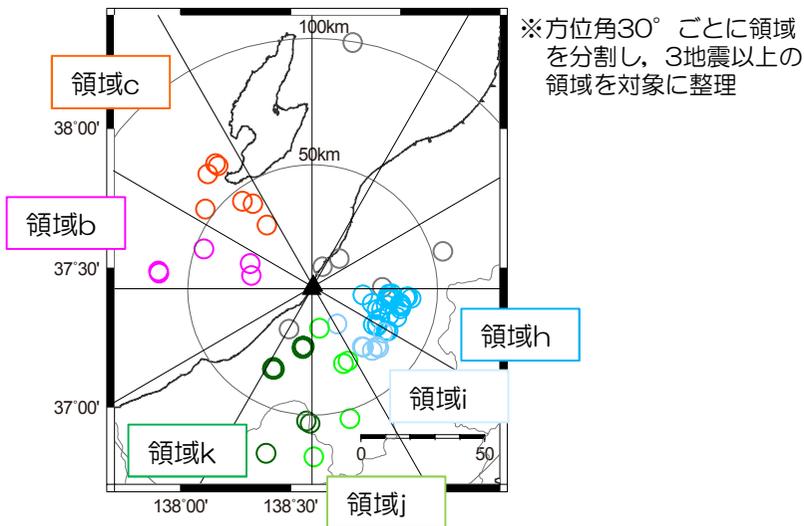
4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

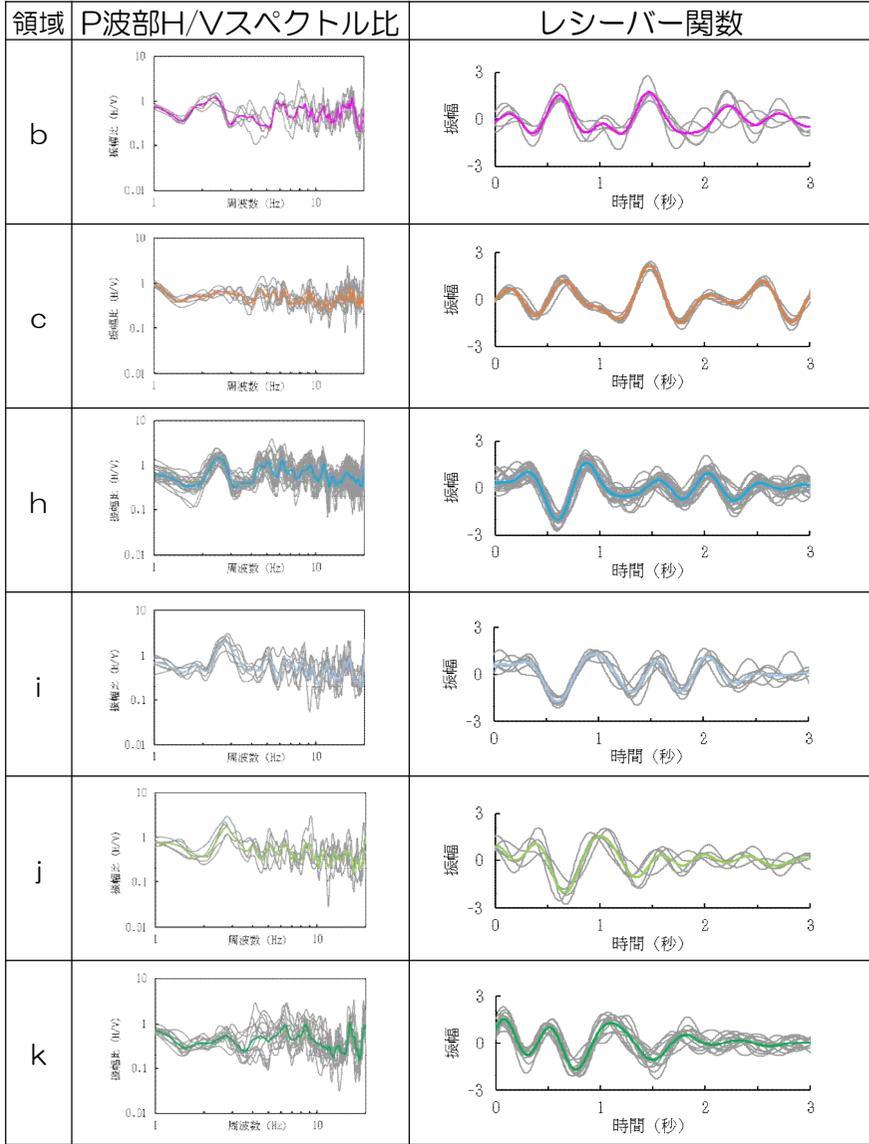
■ 観測記録のP波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数について、到来方向により整理。

大湊側 (2) 観測記録の到来方向別の整理



P波部H/Vスペクトル比	レシーバー関数
<ul style="list-style-type: none"> 2Hz~3Hzの間にピークが見られる特徴は、到来方向によらず変わらない 	<ul style="list-style-type: none"> 領域h~kでは1秒付近に大きなピークが見られるのに対し、領域b~cでは0.6秒付近と1.5秒付近に大きなピークが見られ、到来方向により特徴が異なる

■ 大湊側では、到来方向により特にレシーバー関数の特徴が異なる傾向が見られる。

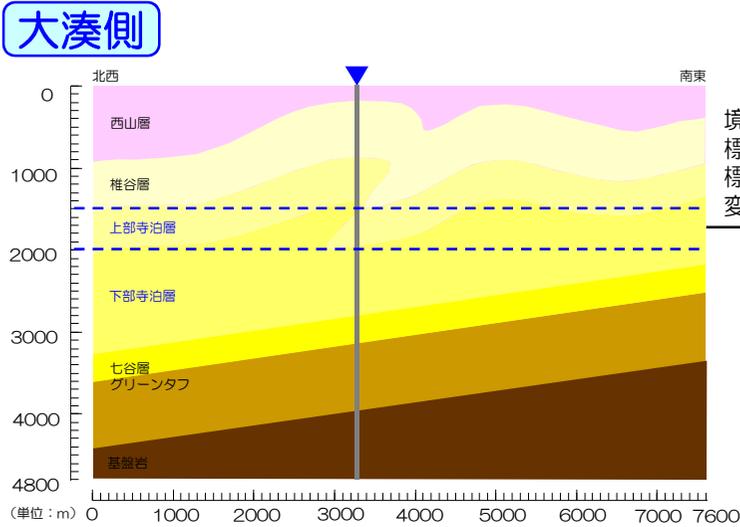


4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

- 大湊側では到来方向によりレシーバー関数の特徴が異なる傾向が見られたことから、この違いが同定される地下構造モデルに与える影響について、更なる分析を実施した。
- レシーバー関数が異なる要因としては、以下が考えられる。
 - 上部寺泊層と下部寺泊層の境界面には、褶曲構造による高低差がある。そのため、到来方向により伝播経路上の層境界深さが異なることとなり、この境界面で生成されるPS変換波の差異によりレシーバー関数の性状が変化していることが考えられる。
 - なお、椎谷層と上部寺泊層の境界面については、大湊側の大深度ボーリングのPS検層結果からS波速度に明瞭な差は認められず、設定した地下構造モデルでも両者のS波速度に大きな差はない。
- 上記の確認のため、上部寺泊層と下部寺泊層の境界面深さを変化させたモデル計算を行い影響を検討した。その深さは、2次元地下構造モデルを参考に、標高-1,500m～標高-2,000mの範囲で変化させた。
- それぞれのケースにおいてP波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数への影響を確認するとともに、その深さの変化が地下構造モデルの伝達関数に与える影響についても併せて確認した。



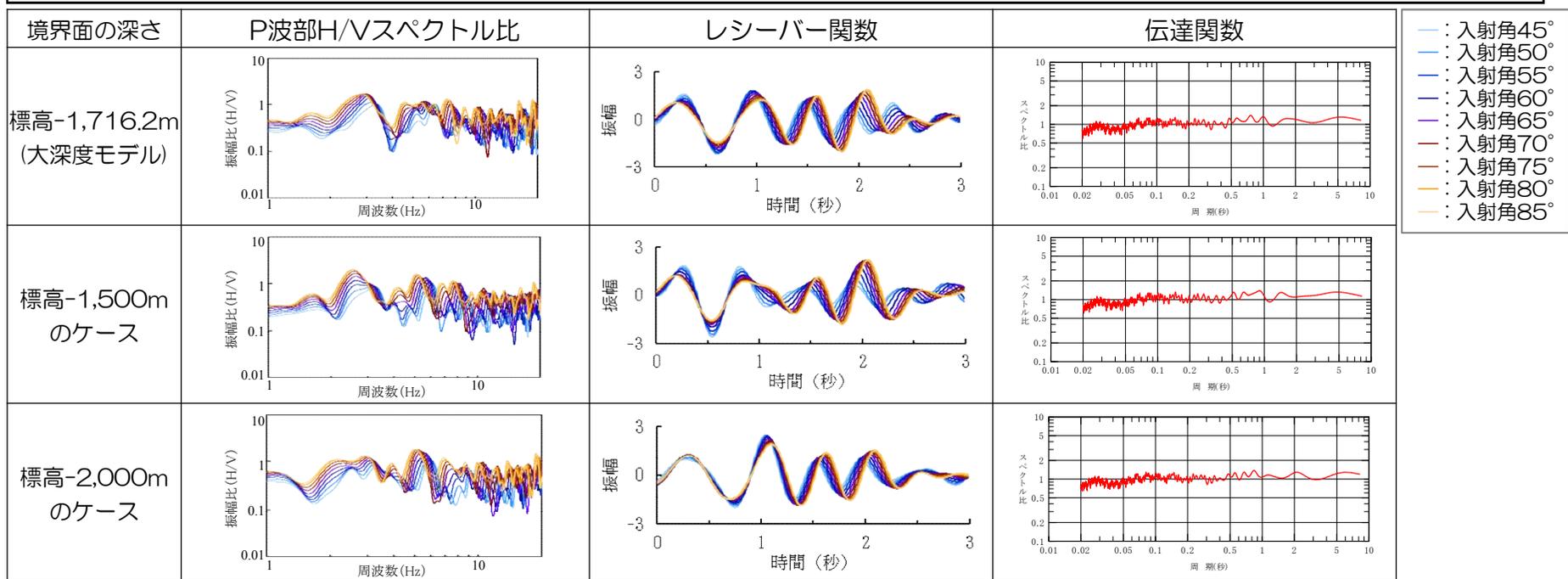
層No.	標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Qs		Qp	
						Qo	n	Qo	n
1	12.0	2.7	2.00	180	850	0.63	0.10	1.67	0.60
2	9.3	7.3	2.00	210	920	2.50	0.85	2.50	0.60
3	2.0	18.6	1.78	310	1300	2.50	0.85	1.25	0.60
4	-16.6	16.4	1.70	420	1700	2.50	0.85	2.00	0.60
5	-33.0	33.0	1.75	440	1700	2.50	0.85	2.00	0.90
6	-66.0	22.0	1.75	550	1700	2.50	0.85	2.00	0.90
7	-88.0	32.0	1.84	640	1700	5.00	0.85	3.33	0.90
8	-120.0	29.0	2.03	730	1800	5.00	0.85	3.33	0.90
9	-149.0	82.0	2.03	890	1900	5.00	0.85	3.33	0.90
10	-231.0	35.0	2.03	960	1900	5.00	0.85	3.33	0.90
11	-266.0	34.0	2.03	1000	2100	5.00	0.85	3.33	0.90
12	-300.0	34.0	2.03	1000	2100	5.00	0.85	3.33	0.90
13	-834.5	534.5	2.10	1200	2420	14.32	0.90	6.11	0.59
14	-1716.2	881.7	2.30	1300	2610	15.05	0.89	6.12	0.61
15	-2643.3	897.1	2.40	1920	4270	14.35	0.75	9.46	0.66
16	-3944.3	1331.0	2.50	2350	4780	20.71	0.57	17.80	0.85
17	-6092.4	2148.1	2.60	3060	5080	66.23	0.78	37.72	0.72
18	-	-	2.70	3490	5440	66.23	0.78	37.72	0.72

4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

- 上部寺泊層と下部寺泊層の境界面の深さを変化させると、レシーバー関数の1秒付近に見られるピークの出現時間が前後に大きく変化することが確認された。また、P波部H/Vスペクトル比の2Hz~3Hzの間に見られるピークの形状も変化することが確認された。
- 特に、境界面の深さを浅くしたケースでは、レシーバー関数のピークの出現時刻が早くなったが、これは全観測記録のレシーバー関数の一部に見られた0.6秒付近のピークの出現時間に近づく傾向である。
- これらのことから、上部寺泊層と下部寺泊層の境界面の深さが波の到来方向により変化することにより、観測されたレシーバー関数に比較的大きなばらつきが生じた可能性が考えられる。
- 一方、これらのケースにおける地震基盤相当から解放基盤表面までのモデルの理論伝達関数はほぼ同じであり、上部寺泊層と下部寺泊層の境界面の深さの設定が増幅特性に与える影響は殆どないことを確認した。このことは、既許可での観測記録の分析において、大湊側では褶曲構造による到来方向による特異な増幅特性が見られないこととも整合している。



4.3.4 逆解析に関する補足検討

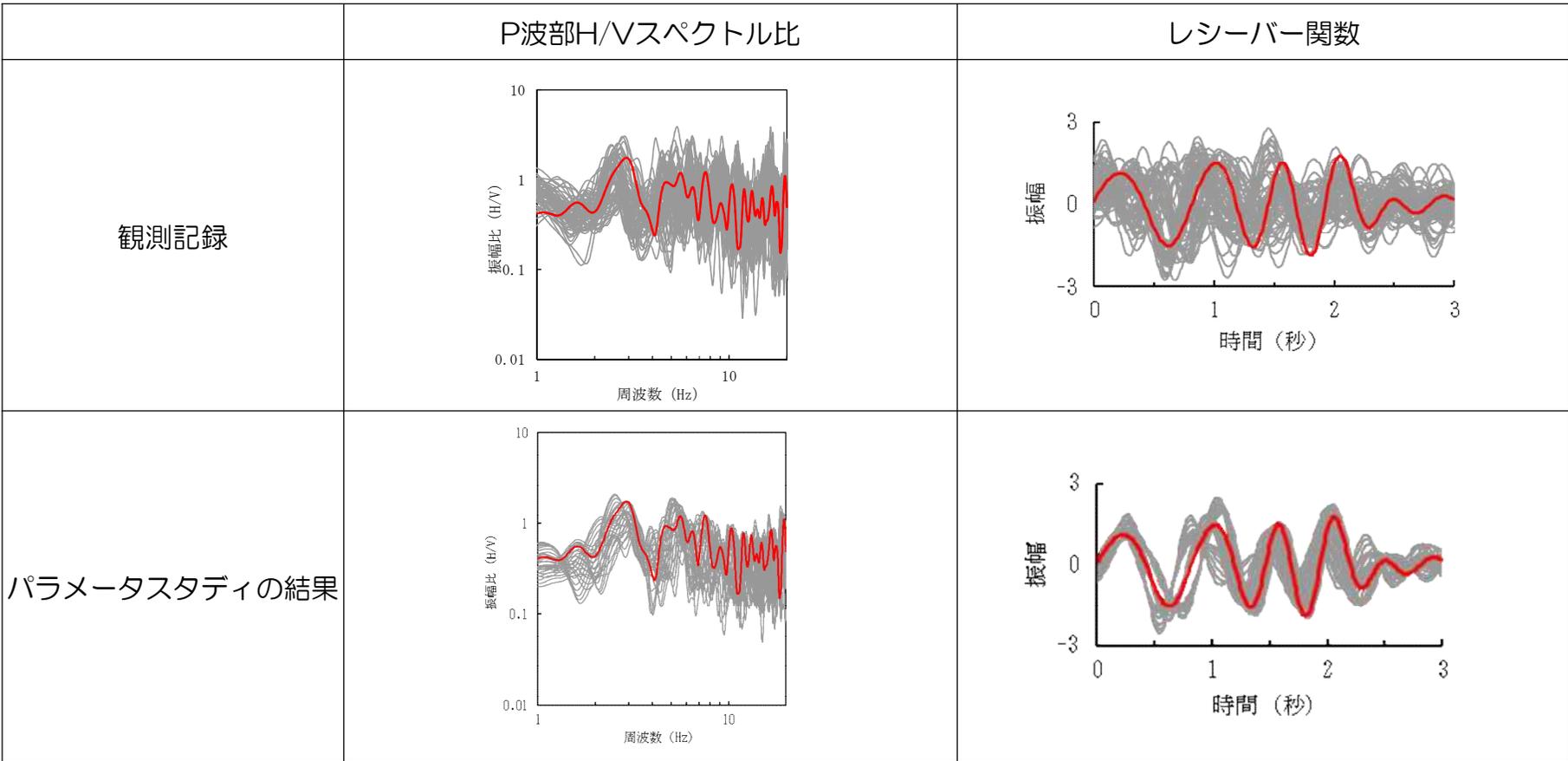
(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

- 実施したパラメータスタディの全結果について、観測記録及び大深度モデルの理論値と比較して示す。
- 大湊側の観測記録に見られた、P波部H/Vスペクトル比の2Hz~3Hzの間に見られるピークの周波数の違いや、レシーバー関数の0.6秒付近及び1秒付近に見られるピークの時間の違いについては、入射角の影響に加えて、上部寺泊層と下部寺泊層の境界面の深さが到来方向により変化することの影響を考慮したパラメータスタディにより、定性的な傾向は再現することができているものと考えられる。

大湊側

— 地下構造モデル理論値 — 観測記録, パラメータスタディの結果



4.3.4 逆解析に関する補足検討

(2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析

コメント
No.2

- 観測記録のP波部H/Vスペクトル比及びレシーバー関数に見られる違いについて整理し、その要因に関する分析を実施した。
 - 荒浜側では、入射角を変化させた場合に生じる傾向と整合することから、主に入射角の影響により違いが生じているものと考えられ、到来方向により特徴が大きく異なる傾向は見られなかった。
 - 大湊側では、入射角を変化させた場合に生じる傾向だけでは説明できないことから、入射角以外にも影響を受けて違いが生じているものと考えられ、到来方向により特徴が異なる傾向が見られた。
 - 到来方向による影響については、上部寺泊層と下部寺泊層の境界面の深さを変化させたパラメータスタディを実施した結果、観測記録に見られた特徴を定性的に再現することができた。一方で、境界面の深さの変化が地下構造モデルの増幅特性に与える影響は、殆どないことを併せて確認した。

- 以上の分析を踏まえ、逆解析のターゲットに用いる観測記録の代表性に関しては、以下の通り考察する。
 - 入射角により観測記録に違いが生じることについては、入射角が類似する地震群をターゲットに用いることで、敷地の地下構造を代表すると見なすことができるモデルを同定できるものと考えられる。入射角が異なる地震群により観測記録をスタッキングしてターゲットに用いた場合には、敷地の地下構造の特徴が適切に反映されない可能性があると考えられる。
 - 到来方向により観測記録に違いが生じることについては、同じ到来方向の地震群をターゲットに用いた上で、特徴の異なる到来方向の地震群に対する分析や他の調査等との検証を加えることにより、敷地の地下構造を代表すると見なすことができるモデルを同定できるものと考えられる。本検討においては、以下の確認を行っている。
 - ✓ 特徴の異なる観測記録を踏まえたパラメータスタディから増幅特性には影響しないことを確認 (P.38参照)
 - ✓ PS検層結果及び2次元地下構造モデルの速度構造との整合を検証 (P.44~P.45参照)

- 従って、今回同定した地下構造モデルは、荒浜側及び大湊側ともに、標準応答スペクトルの評価に用いる上で、敷地の増幅特性を代表すると見なすことができる1次元地下構造モデルであると考えられる。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.3.1 逆解析のターゲットに用いる観測記録
 - 4.3.2 逆解析の探索範囲
 - 4.3.3 地下構造モデルの逆解析
 - 4.3.4 逆解析に関する補足検討
 - (1) ターゲットに用いる観測記録の代表性の確認
 - (2) ターゲットと傾向が異なる観測記録の分析
 - (3) コーダ部の検討の考え方
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.3.4 逆解析に関する補足検討

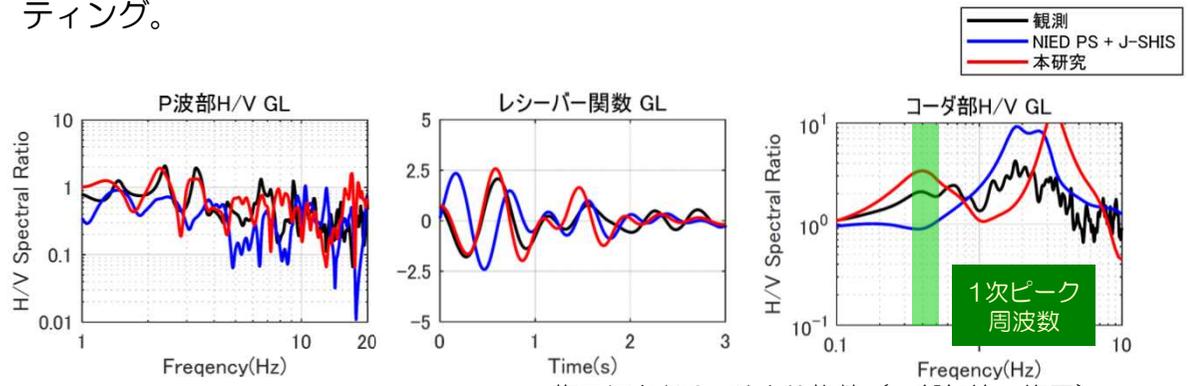
(3) コーダ部の検討の考え方

コメント
No.3

- コーダ部H/Vスペクトル比に関して、1次ピーク周波数のみをフィッティングさせている考え方について以下の通り整理。
 - 地下構造モデルの逆解析において、表面波であるコーダ部はP波部よりもより低周波側を参照でき、深部の速度構造を拘束できることからターゲットとしている。
 - 本検討においては、コーダ部は低周波側の1次ピーク周波数のみをフィッティングすることで深部の速度構造を拘束し、それ以浅の構造は実体波であるP波部の再現を重視して地下構造モデルを推定した。
 - 本検討と同様の考え方により1次ピーク周波数のみをフィッティングさせている知見として梅田ほか(2018)があり、KiK-net益城(KMMH16)の地震基盤までの地下構造モデルを推定し、その妥当性を確認している。
 - また、今回の逆解析においては1次モードまで考慮した理論値を用いているが、5次モードまで考慮した理論値と比較した結果、高次モードの影響は大きくないことを確認している。
- 以上の通り、コーダ部は1次ピーク周波数のみをフィッティングすることで深部の速度構造を拘束し、それ以浅は実体波であるP波部をより再現することで、適切な地下構造モデルが評価できているものと考えられる。

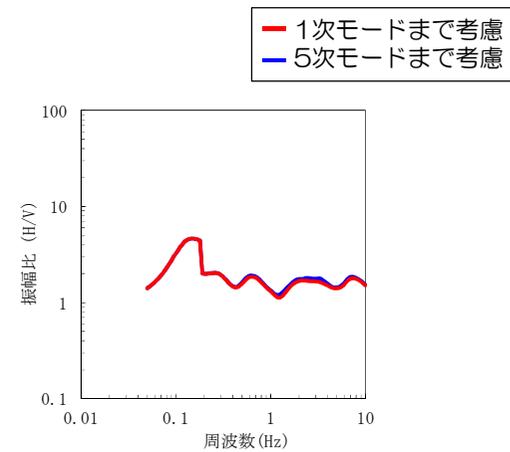
梅田ほか(2018)

KiK-net益城(KMMH16)を対象とし、P波部H/Vスペクトル比、レシーバー関数、コーダ部H/Vスペクトル比の逆解析により地下構造モデルを推定。コーダ部H/Vスペクトル比の高周波側の振幅比までをフィッティングすると、P波部H/Vスペクトル比およびレシーバー関数を同時に再現することが困難になるケースがあることから、P波部H/Vスペクトル比およびレシーバー関数の再現を重視して、コーダ部H/Vスペクトル比の1次ピーク周波数のみをフィッティング。



高次モードの影響

梅田・小林(2010)では、5次モードまで考慮した理論値を用いていることから、5次モードまで考慮した理論値と1次モードまで考慮した理論値を比較。



-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.4.3 浅部までの鉛直アレイ地震観測記録による検証
 - 4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証
 - 4.4.5 既往の知見による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証

■ 大深度モデル及びSGFモデルの速度構造について、PS検層結果と比較。

PS検層結果との比較

荒浜側

大湊側

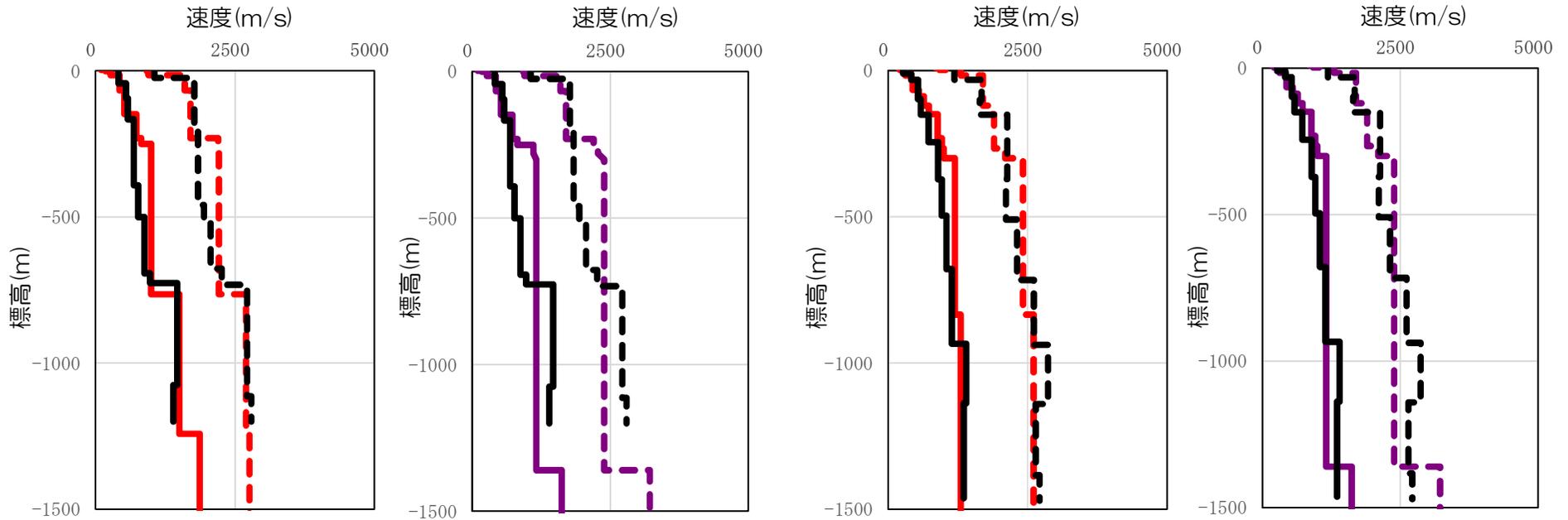


大深度モデル

SGFモデル

大深度モデル

SGFモデル



■ SGFモデルは大深度ボーリングを実施する以前の検討でありPS検層結果との対応が十分でなかったが、大深度モデルはPS検層結果と整合していることを確認。

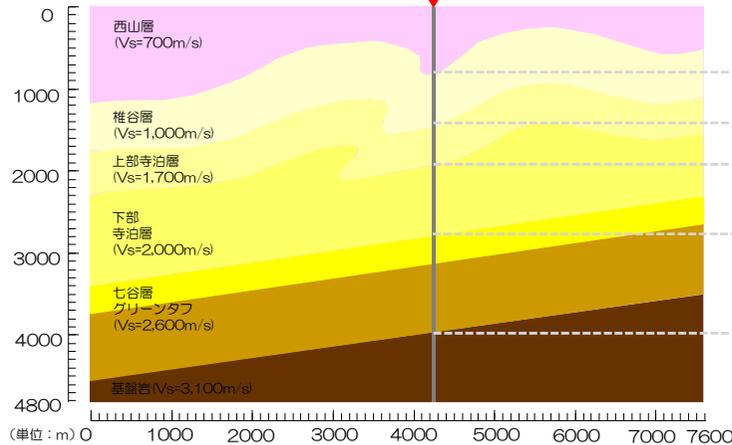
4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証

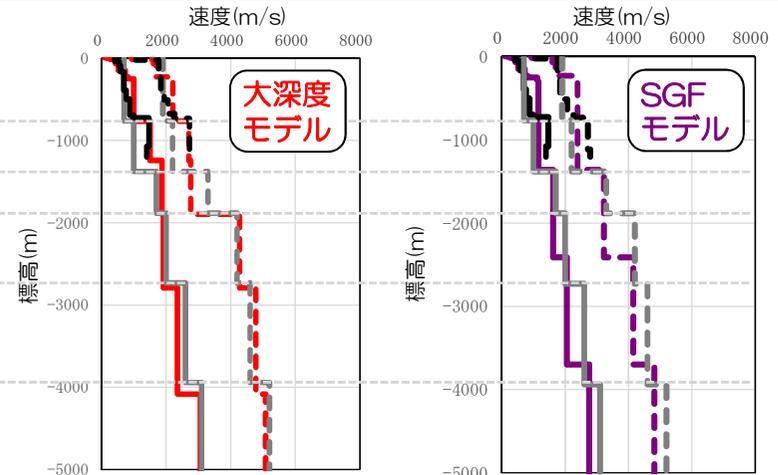
- 大深度モデル及びSGFモデルの速度構造について、反射法地震探査結果等に基づく2次元地下構造モデルから鉛直アレイ地震観測点位置で抽出した速度構造と比較。

2次元地下構造モデルとの比較

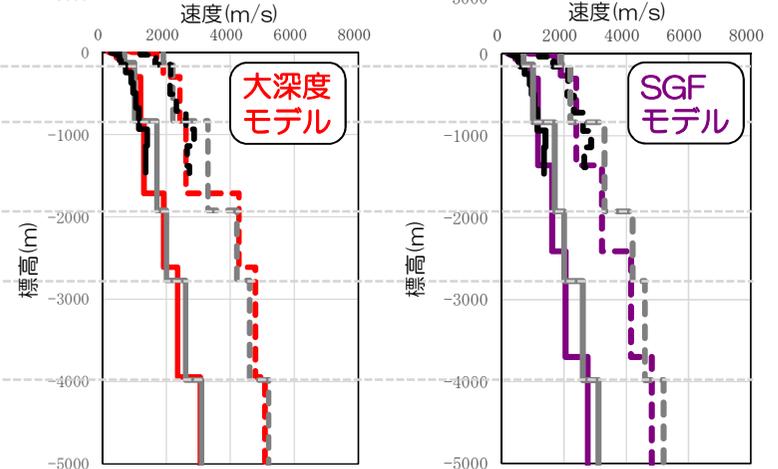
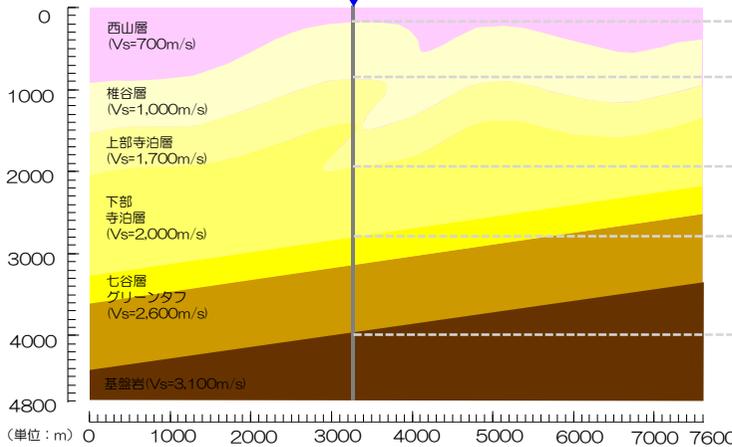
荒浜側



— PS検層 Vs — 2次元地下構造モデル Vs — 大深度モデル Vs — SGFモデル Vs
 - - - PS検層 Vp - - - 2次元地下構造モデル Vp - - - 大深度モデル Vp - - - SGFモデル Vp



大湊側



- SGFモデルは荒浜側と大湊側で共通の層構造を仮定したことから2次元地下構造モデルの層境界との対応が十分でなかったが、大深度モデルは2次元地下構造モデルの速度構造と整合していることを確認。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.4.3 浅部までの鉛直アレイ地震観測記録による検証
 - 4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証
 - 4.4.5 既往の知見による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ①観測記録の伝達関数

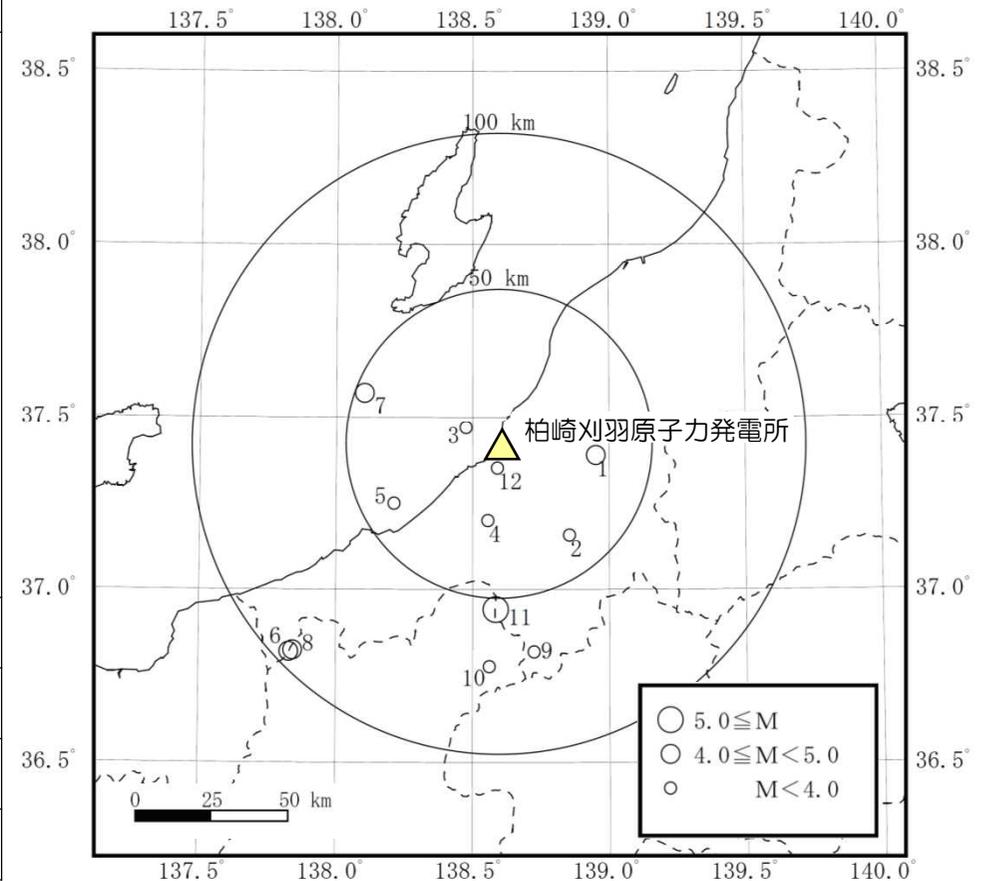
■ 2021年3月までに敷地周辺の100km以内で発生したM3.5以上の地震を対象として、大深度地震観測記録と標高-300m～標高-400mの観測記録を用いて伝達関数を評価し、地下構造モデルの理論伝達関数との比較による検証を行う。

地震の諸元

※地震の諸元は気象庁による

No.	発震日時	Mj	震央距離 (km)	記録の取得状況	
				荒浜側	大湊側
1	2014/04/08 05:07	4.4	32	○	観測 開始前
2	2015/04/24 03:27	3.9	38	○	
3	2015/06/16 13:42	3.8	11	○	
4	2015/07/20 22:56	3.5	25	○	
5	2016/05/01 00:41	3.5	39	○	
6	2016/06/25 13:51	4.8	96	○	
7	2016/06/27 13:36	4.6	46	○	
8	2016/07/01 08:04	4.6	94	○	
9	2017/04/14 23:01	3.9	68	○	○
10	2017/08/11 16:46	3.8	72	○	起動なし
11	2018/05/25 21:13	5.2	54	○	○
12	2020/07/24 21:38	3.5	8	○	○

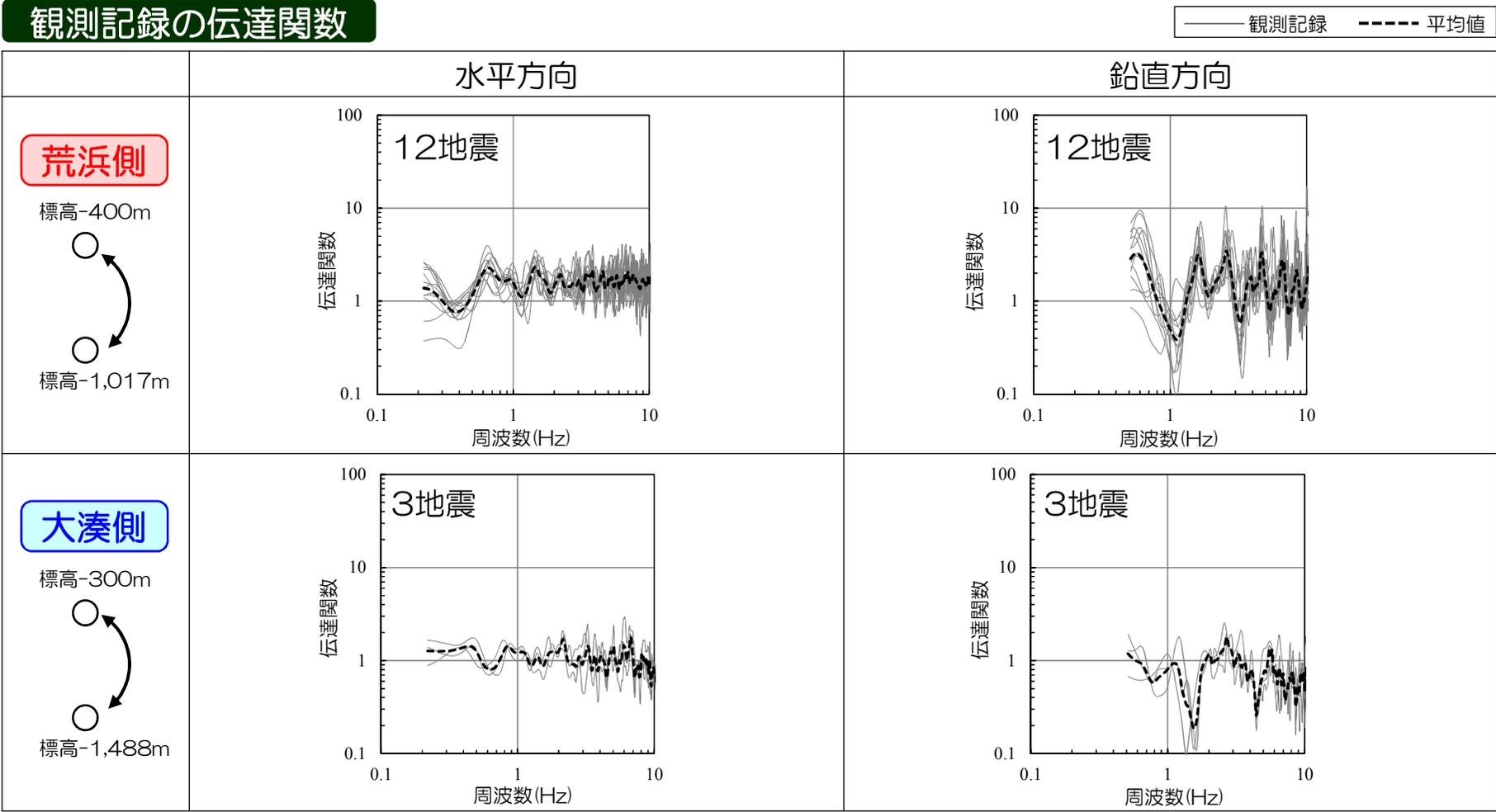
震央分布



4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ①観測記録の伝達関数

■ 観測記録の伝達関数について、荒浜側及び大湊側の各地震で比較。



※ 観測記録の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング。

■ 観測記録の伝達関数は、各地震で有意なばらつきはなく、安定していることを確認。これらから、観測記録の特徴的な山谷を抽出して比較するために、検証においては全記録の平均値を用いることとする。

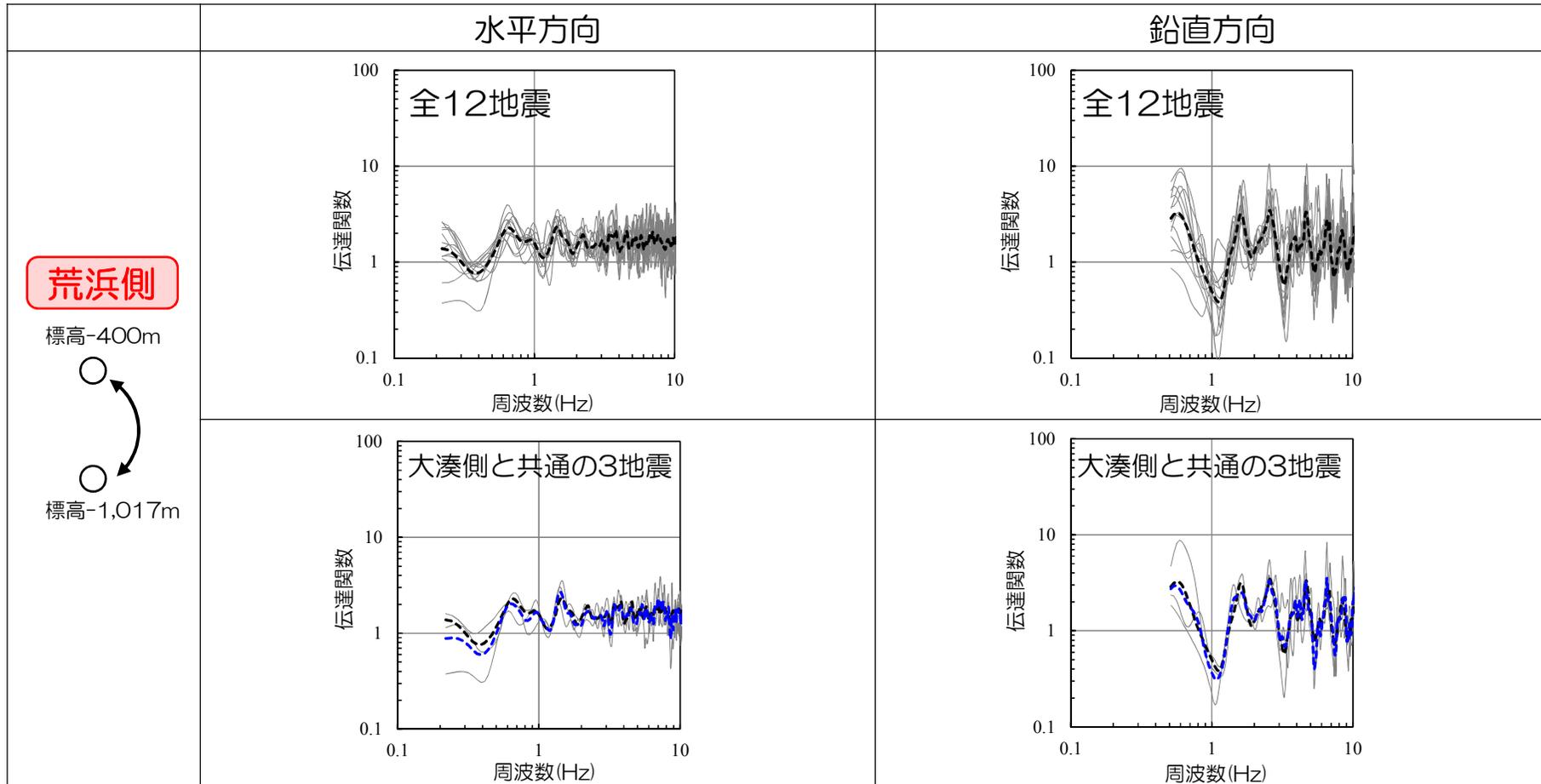
4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ②伝達関数を評価する地震数の影響

■ 伝達関数を評価する地震数の影響について、荒浜側において、大湊側と共通の3地震とした場合を評価。

観測記録の伝達関数

— 観測記録 - - - 平均値 (全12地震)
- - - 平均値 (大湊側と共通の3地震)



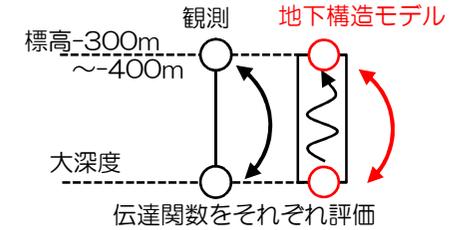
※ 観測記録の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング。

■ 全12地震の場合と大湊側と共通の3地震の場合で、伝達関数の平均値はおおむね一致しており、地震数の影響は小さいことを確認。3地震で評価した大湊側の伝達関数についても妥当なものと考えられる。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

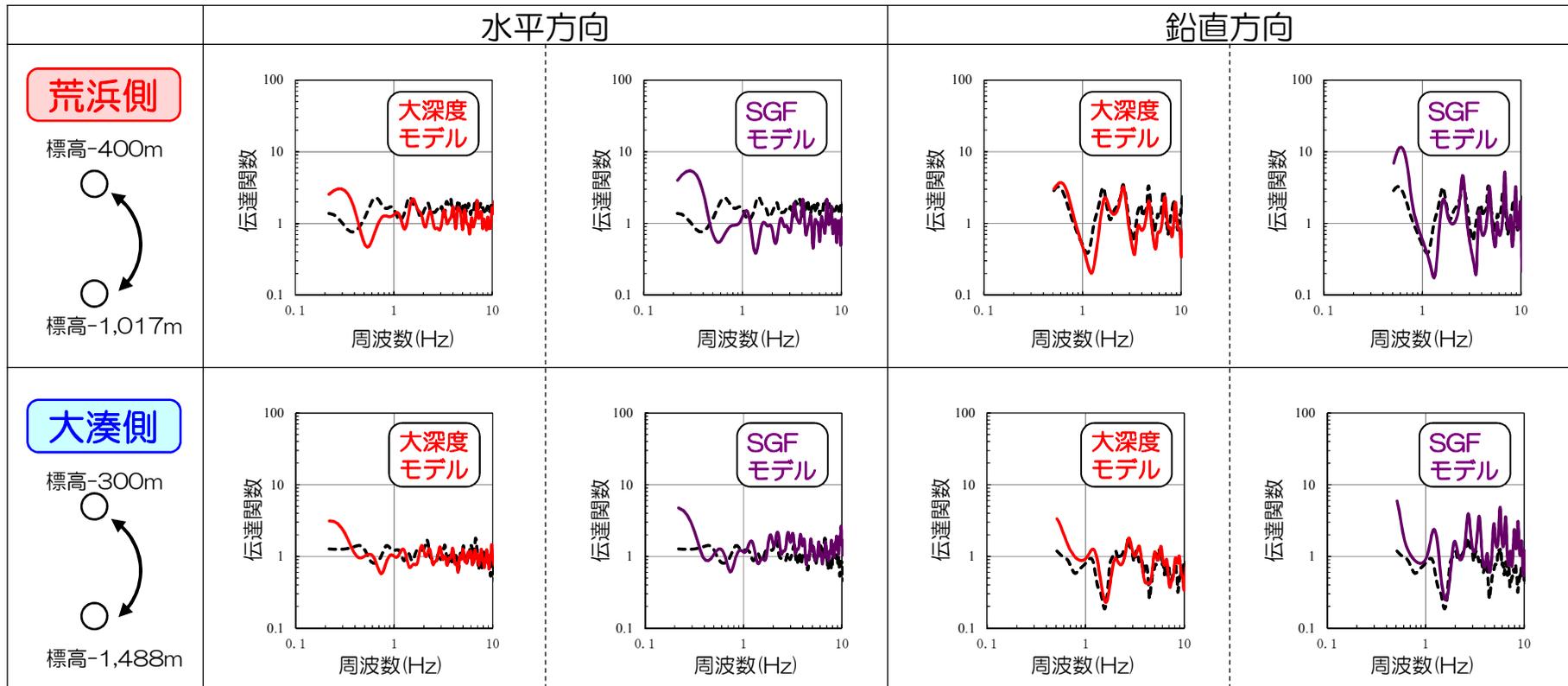
4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ③伝達関数の比較

■ 大深度モデル及びSGFモデルの観測記録との整合性を比較し検証するため、モデルの理論伝達関数と観測記録の伝達関数を比較。



伝達関数の比較

----- 観測記録 ———— 大深度モデル ———— SGFモデル



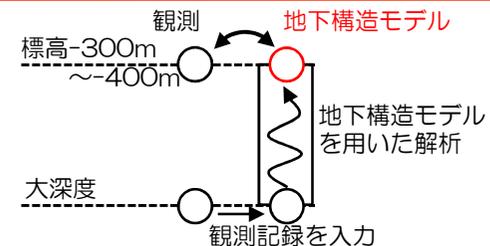
※ 観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング。

■ 大深度モデルの理論伝達関数は、SGFモデルよりも観測記録の伝達関数と整合していることを確認。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

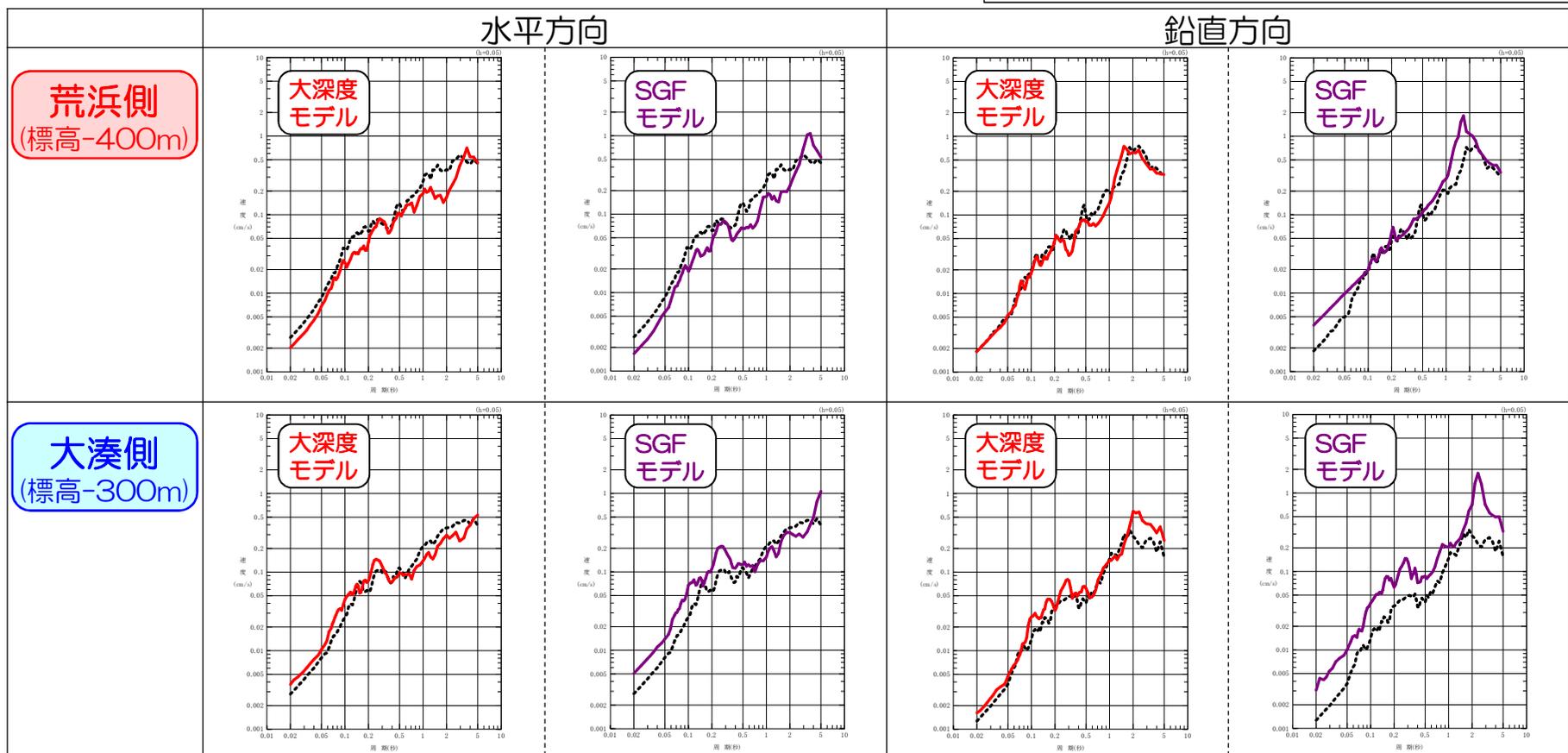
4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ④シミュレーション解析

■ 大深度モデル及びSGFモデルを用いたシミュレーション解析による観測記録の再現性について、大深度地震観測記録が得られている規模の最も大きな地震を対象として、重複反射理論に基づく評価を実施し、観測記録と比較。



シミュレーション解析結果と観測記録の比較 (No.11 2018/05/25 21:13, M5.2の地震)

----- 観測記録 ——— 大深度モデル ——— SGFモデル



■ 大深度モデルを用いた解析結果は、SGFモデルよりも観測記録を良好に再現できていることを確認。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.4.3 浅部までの鉛直アレイ地震観測記録による検証
 - 4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証
 - 4.4.5 既往の知見による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

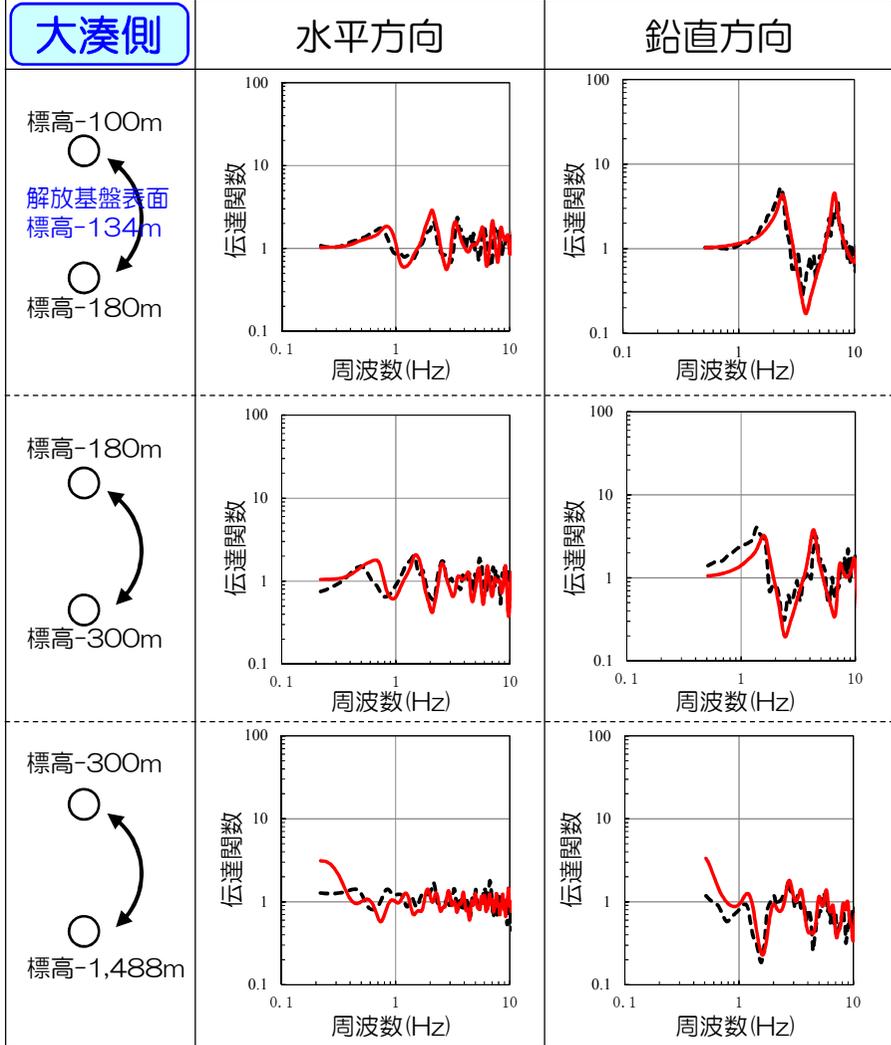
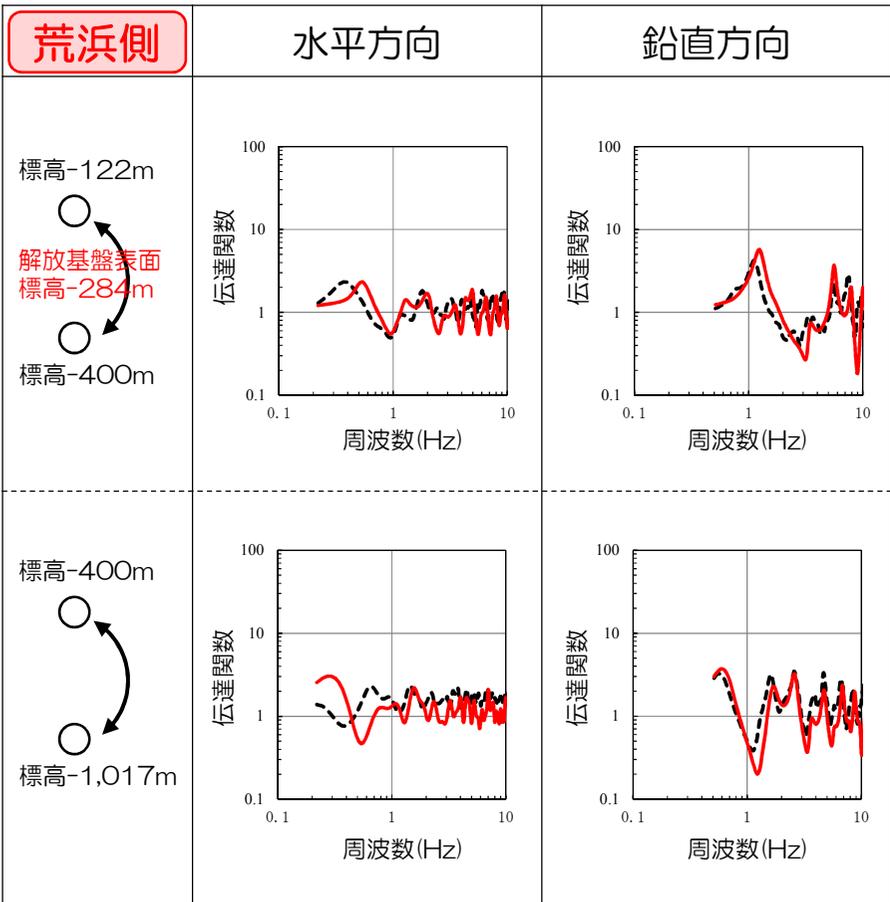
4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.3 浅部までの鉛直アレイ地震観測記録による検証

■ 大深度モデルの浅部までの妥当性を検証するため、理論伝達関数と観測記録の伝達関数を比較。

浅部までの伝達関数の比較

----- 観測記録 ———— 大深度モデル



※ 観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング。

■ 解放基盤表面を含む浅部まで、モデルの理論伝達関数と観測記録の伝達関数が整合していることを確認。

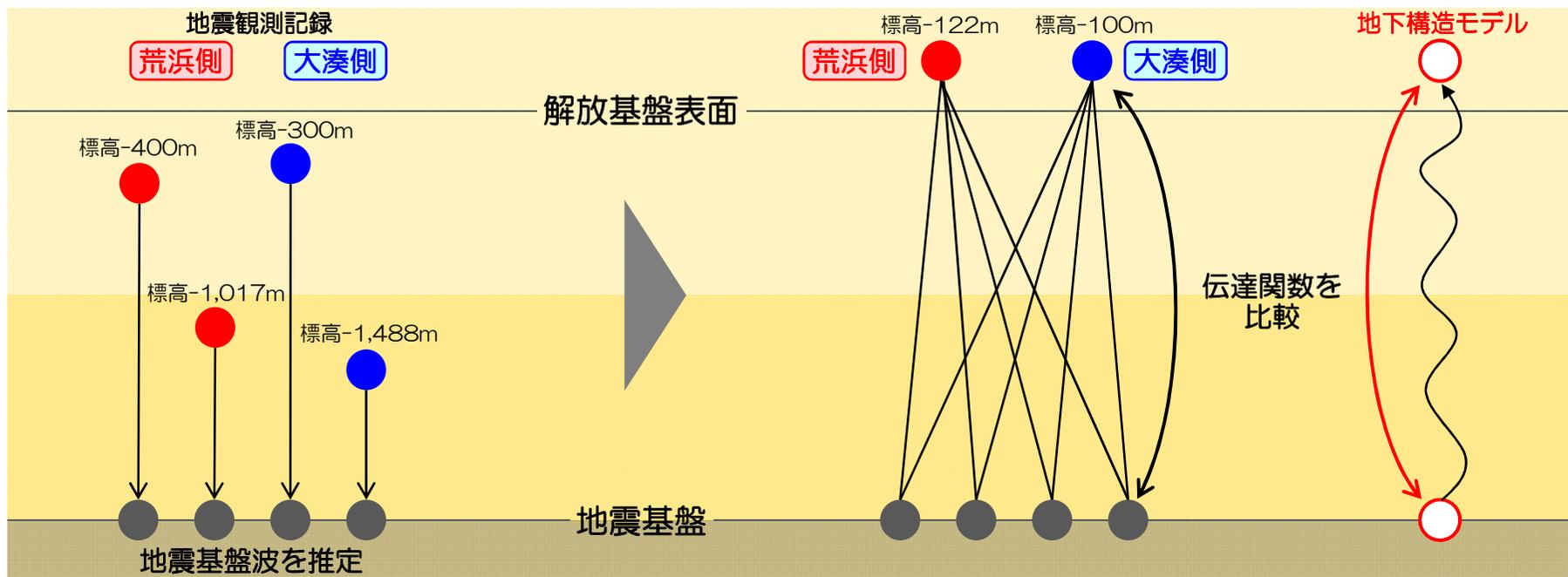
-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.4.3 浅部までの鉛直アレイ地震観測記録による検証
 - 4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証
 - 4.4.5 既往の知見による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

コメント
No.4

4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証

- 荒浜側の水平方向については、大深度地震観測点と標高-400mの観測点の区間においては、伝達関数及びシミュレーション解析ともに、大深度モデルの理論値及び解析結果が観測記録をやや下回る傾向が見られることから、モデル全体として過小評価とはなっていないことを確認することを目的として、地震基盤から解放基盤表面を含む浅部までに区間を拡大して、伝達関数の比較を検討した。
- 検討は、以下の手順で実施。
 - 荒浜側及び大湊側の大深度地震観測記録及び標高-300m～標高-400mの観測記録の計4点より、荒浜側及び大湊側それぞれの地下構造モデルを用いて、地震基盤波を推定
 - 推定した地震基盤波を基準として、解放基盤表面以浅の観測記録との伝達関数を算定
 - 地下構造モデルによる理論伝達関数と比較を行い、モデルの妥当性を検証
 - 対象とした地震は、荒浜側及び大湊側で共通して大深度地震観測記録が得られている3地震とした

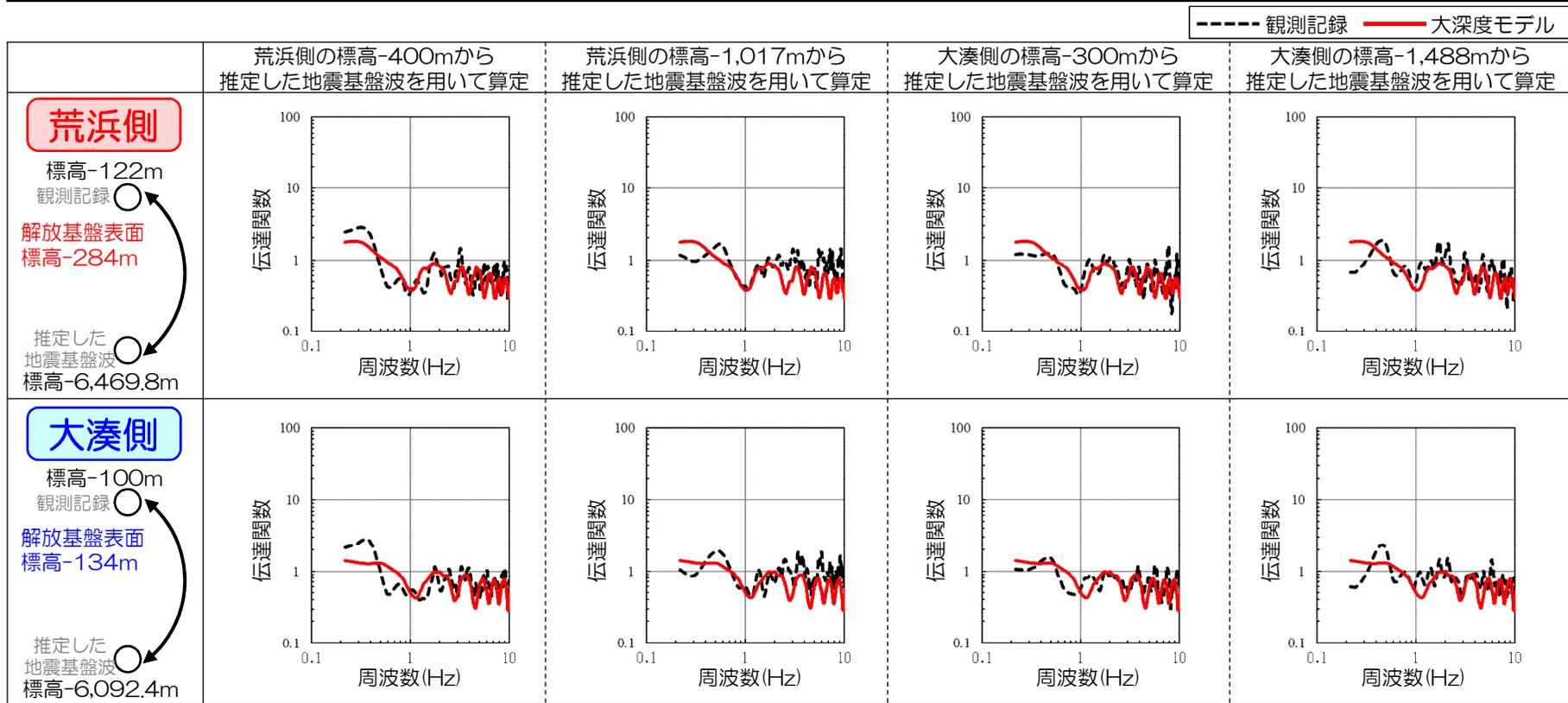


4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証

コメント
No.4

- 荒浜側の大深度地震観測点（標高-1,017m）から推定した地震基盤波を用いた場合には、荒浜側及び大湊側ともに、モデルの理論伝達関数が観測記録の伝達関数をやや下回る傾向にあることから、荒浜側の大深度地震観測点付近の一部の区間では、モデルの方が観測記録よりもやや大きめの傾向となっていることが要因として考えられる。
- 一方、荒浜側の大深度地震観測点以外の3観測点から推定した地震基盤波を用いた場合には、荒浜側及び大湊側ともに、モデルの理論伝達関数と観測記録の伝達関数はよく整合することを確認した。
- 従って、地震基盤から解放基盤表面までのモデル全体としては、モデルの理論伝達関数と観測記録の伝達関数はよく整合しており、荒浜側の大深度モデルが過小評価となっているものではないと考えられる。



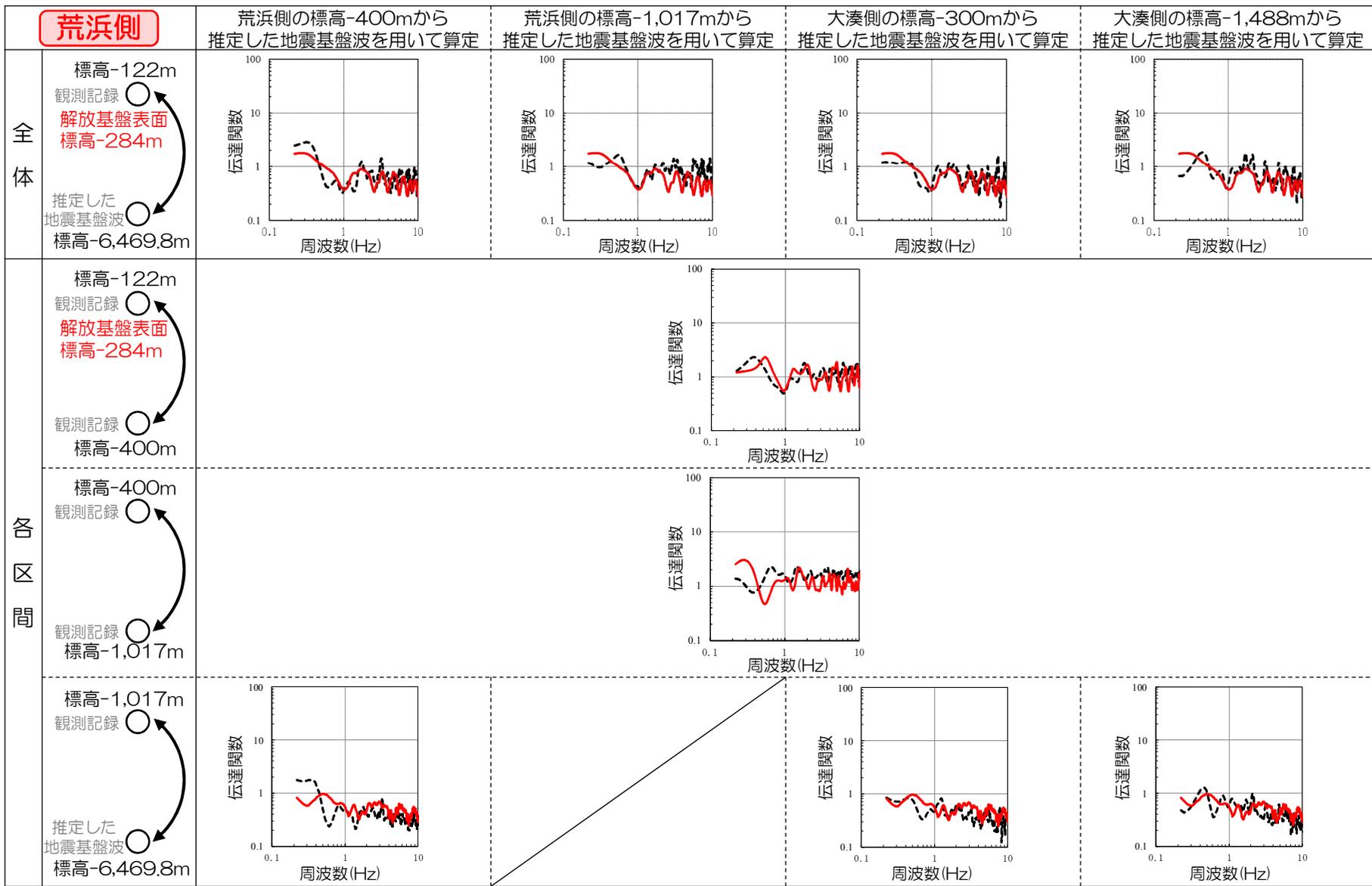
※ 観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証

コメント
No.4

--- 観測記録 — 大深度モデル



※ 観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.4.3 浅部までの鉛直アレイ地震観測記録による検証
 - 4.4.4 観測記録より推定した地震基盤波による検証
 - 4.4.5 既往の知見による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

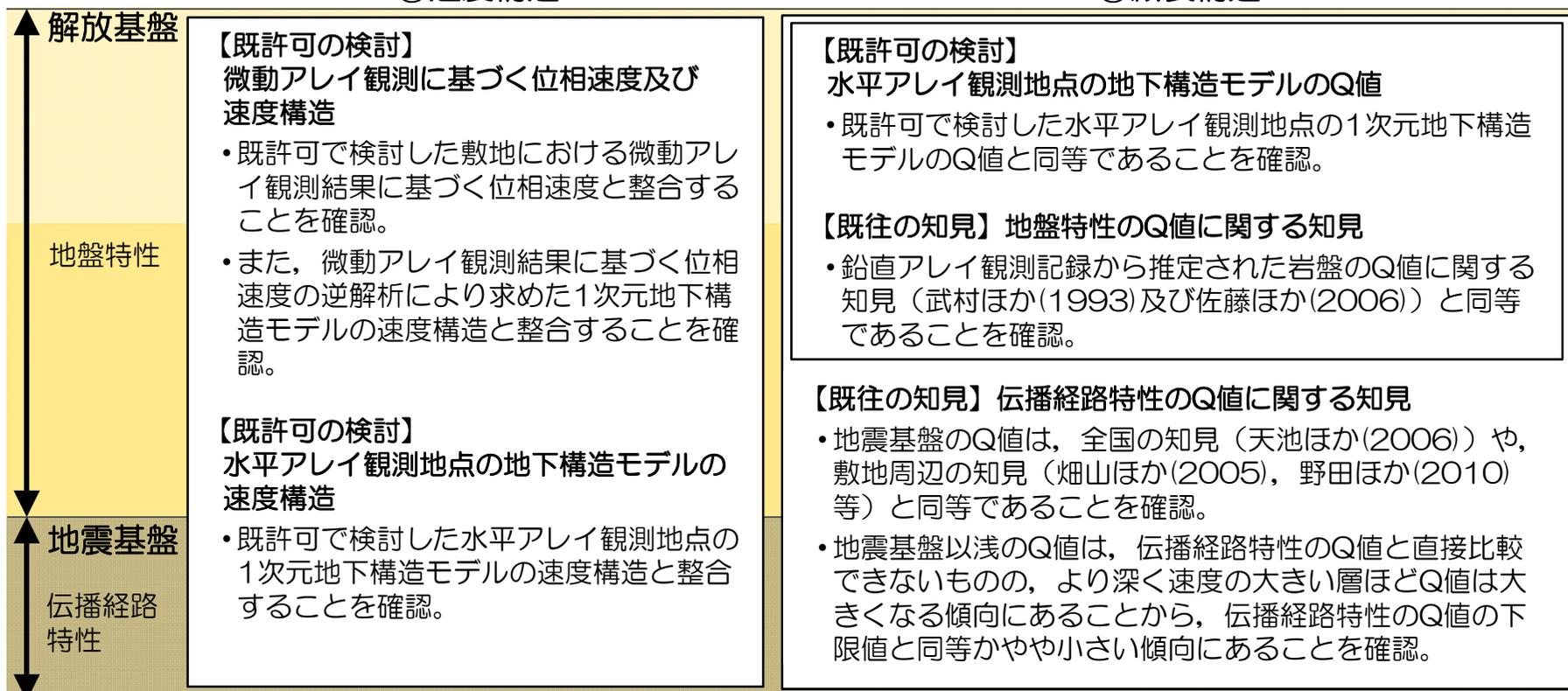
コメント
No.5

4.4.5 既往の知見による検証

- 既往の知見及び既許可において行った検討について、特に深い地下構造に関する知見を整理し、大深度モデルと比較することにより、速度構造及び減衰構造の妥当性を検証。
- 速度構造については、既許可で検討した微動アレイ観測に基づく地下構造モデル及び水平アレイ観測地点の地下構造モデルとの比較を行い、大深度モデルの妥当性を確認した。
- 減衰構造については、地震基盤以浅のQ値と地震基盤のQ値に分類し、既許可で検討した水平アレイ観測地点の地下構造モデルのQ値並びに既往の知見による地盤特性及び伝播経路特性のQ値との比較を行い、大深度モデルの妥当性を確認した。

①速度構造

②減衰構造



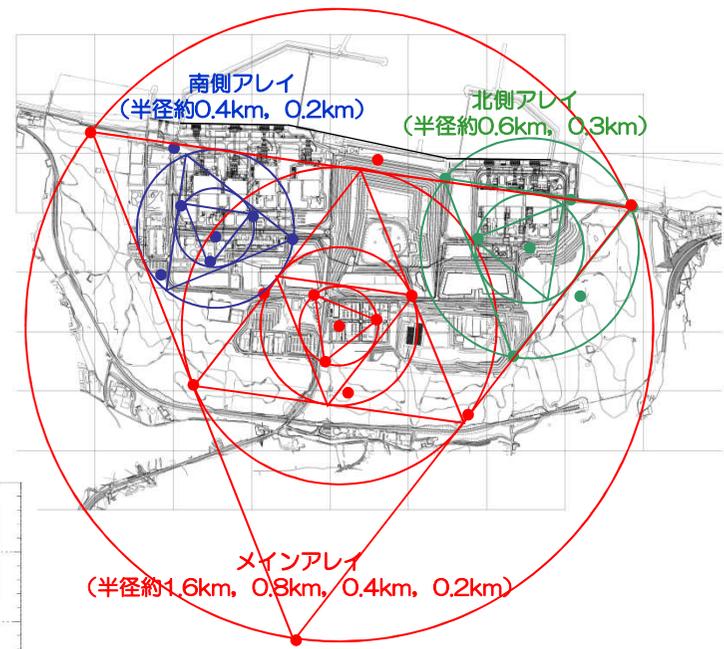
4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.5 既往の知見による検証 ①速度構造

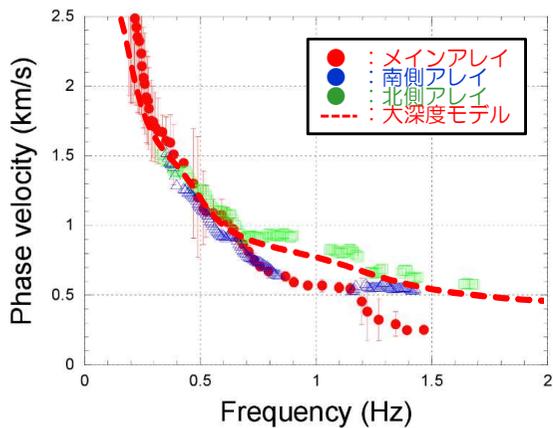
コメント
No.5

【既許可の検討】
微動アレイ観測 佐藤ほか(2010)

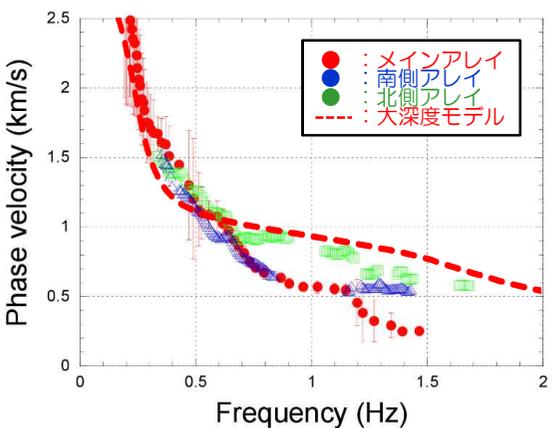
- 敷地における平均的な地下構造を把握することを目的として、微動アレイ観測を実施し位相速度を評価している。
- この検討と大深度モデルを用いた理論位相速度を比較。



荒浜側

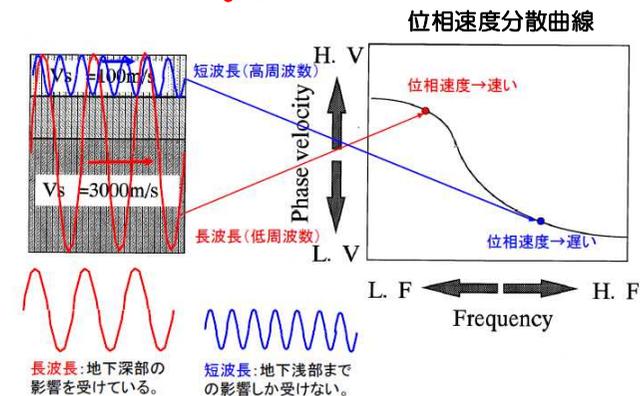


大湊側



微動アレイ観測記録から求められた位相速度との比較

佐藤ほか(2010)より抜粋 (一部加筆・修正)



地下構造と位相速度の対応関係の概要

- 深部の地下構造を反映している低周波側の位相速度は、大深度モデルと微動アレイで概ね整合していることを確認。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.5 既往の知見による検証 ①速度構造

コメント
No.5

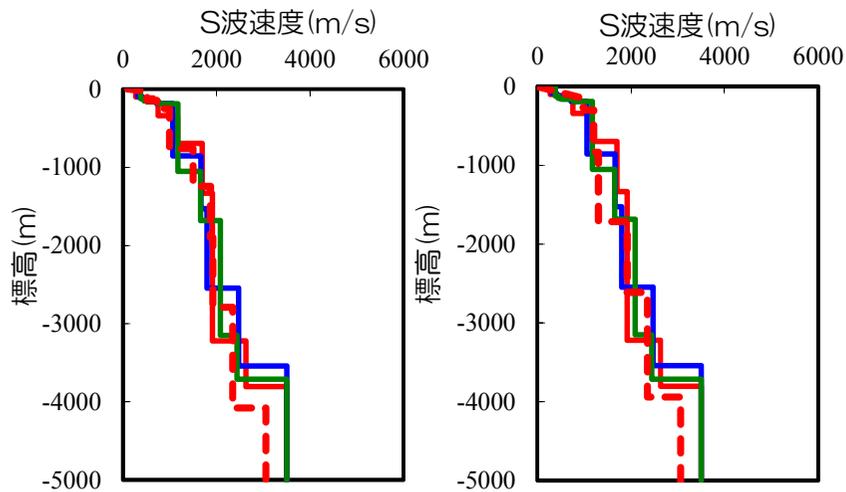
【既許可の検討】 微動アレイ観測に基づく地下構造モデル

- 微動アレイ観測による位相速度の逆解析により1次元地下構造モデルを求めている。
- この検討と大深度モデルの速度構造を比較。



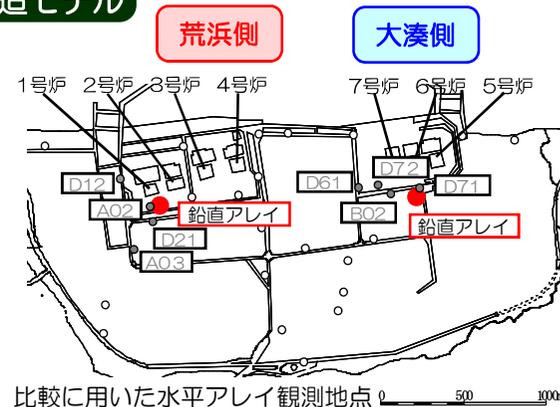
荒浜側

大湊側



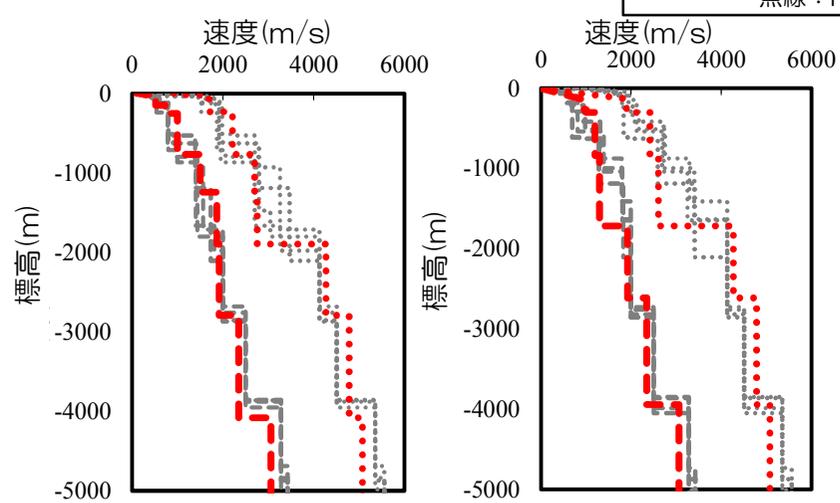
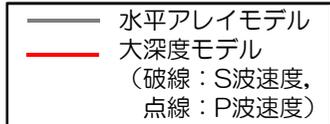
【既許可の検討】 水平アレイ観測地点の地下構造モデル

- 水平アレイ観測地点において1次元地下構造モデルを求めている。
- この検討から、鉛直アレイ観測地点に近い水平アレイ観測地点で検討した地下構造モデルの速度構造と、大深度モデルの速度構造を比較。



荒浜側

大湊側



■ 大深度モデルの速度構造は、微動アレイ観測に基づく地下構造モデル及び水平アレイ観測地点の地下構造モデルの速度構造と概ね整合していることを確認。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

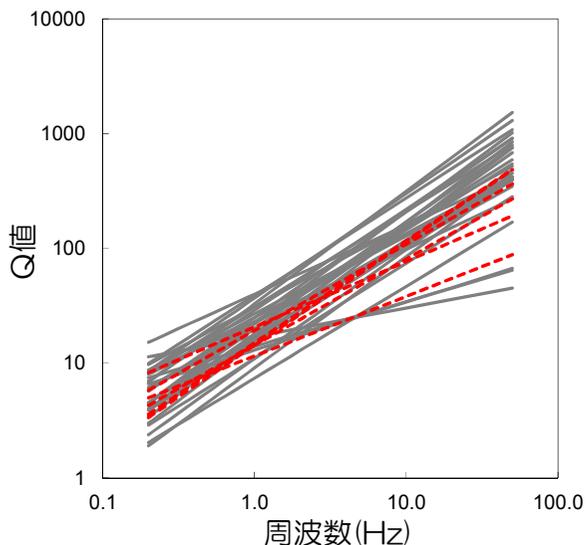
4.4.5 既往の知見による検証 ②減衰構造（地盤特性）

コメント
No.5

【既許可の検討】 水平アレイ観測地点の地下構造モデル

- 水平アレイ観測地点において1次元地下構造モデルを求めている。
- この検討から、鉛直アレイ観測地点に近い水平アレイ観測地点（P.61に示す観測点）で検討した地下構造モデルのQ値と、大深度モデルのQ値を比較。

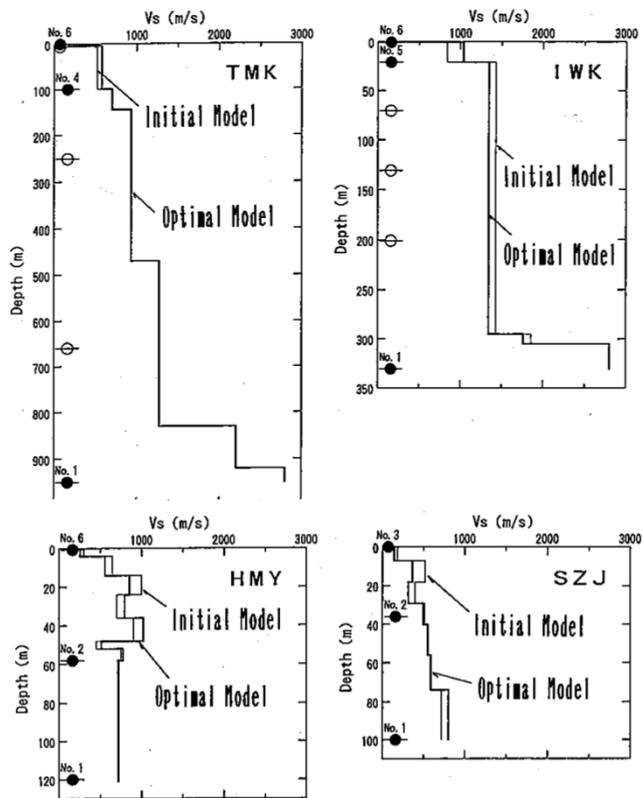
— 水平アレイ - - - 大深度モデル
(いずれも地震基盤～解放基盤の同定結果)



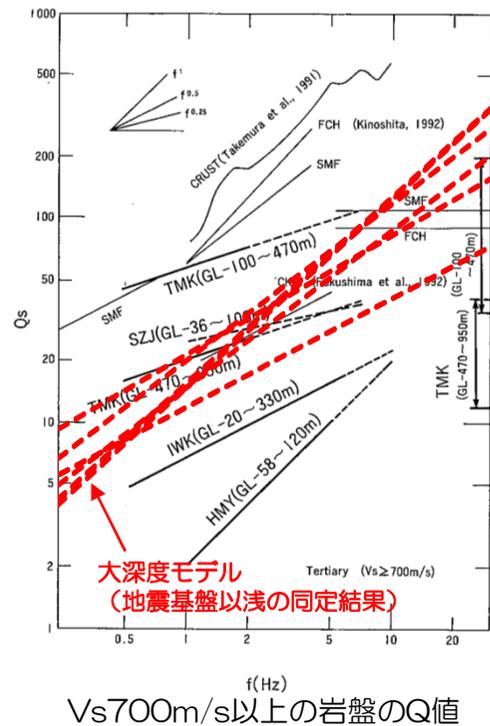
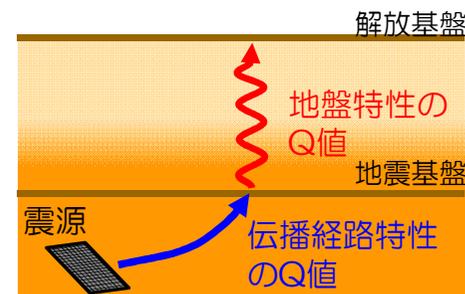
- 大深度モデルのQ値は、水平アレイ観測地点の地下構造モデルのQ値と同等であることを確認。

【既往の知見】 武村ほか(1993)

- 武村ほか(1993)では、4地点の鉛直アレイ観測記録について、伝達関数の逆解析によりVs=700m/s以上の岩盤のQ値を推定している。
- この知見と大深度モデルのQ値を比較。



対象地点の速度構造



- 大深度モデルのQ値は、既往の知見と同等であることを確認。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

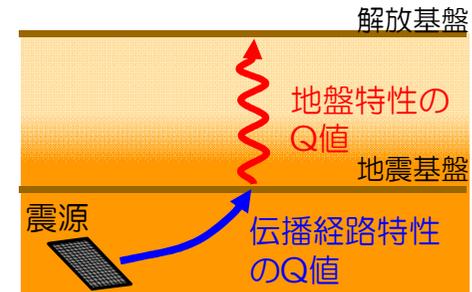
4.4.5 既往の知見による検証 ②減衰構造（地盤特性）

コメント
No.5

【既往の知見】
佐藤ほか(2006)

- 佐藤ほか(2006)では、岩盤で実施されている2地点の鉛直アレイ観測記録について、伝達関数の逆解析により岩盤の減衰定数 h^* を同定している。
- この知見と大深度モデルの減衰定数 h を比較。

※ $h=1/(2Q)$ の関係



OBS-A

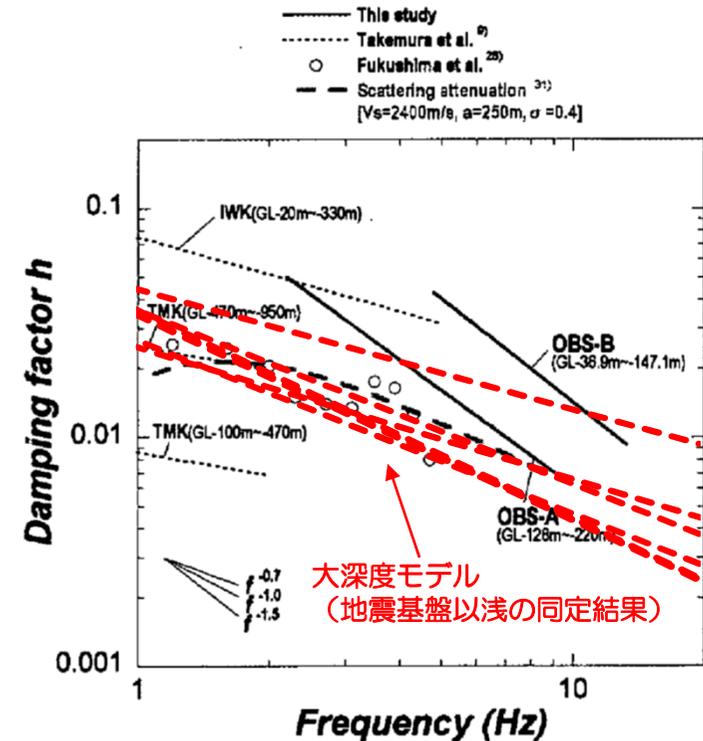
Layer	Thickness (m)	Density (g/cm ³)	Vs (m/s)	Damping			Incident angle (deg.)	
				h_0	α	f_0 (Hz)	A-1	A-2
PS-log				Identified				
1	5	2.20	250 (100-400)	0.33	0.94	13.4	0.2	15.1
2	20	2.00	600 (400-1200)					
3	35	2.37	1430 (1000-1800)					
4	68	2.37	1750 (1600-2000)					
5	92	2.38	1960 (1800-2400)	0.15	1.39	9.1		
6	-	-	2397					

(): search limits for SA inversion

OBS-B

Layer	Thickness (m)	Density (g/cm ³)	Vs (m/s)	Damping			Incident angle (deg.)		
				h_0	α	f_0 (Hz)	B-1	B-2	B-3
PS-log				Identified					
1	1.7	2.1	990 (792-1188)	0.68	1.25	7.0	12.8	28.8	19.3
2	17	2.1	1016						
3	8.6	2.55	1510						
4	9.6	2.55	1812 (1208-1812)						
5	18	2.66	2010 (1608-2412)	0.45	1.50	13.3			
6	25	2.7	2210 (1768-2652)						
7	27	2.68	2210 (1700-2610)	2610					
8	40.2	2.68	2610						
9	-	2.68	2610						

(): search limits for SA inversion



GL-100m以深の岩盤の減衰定数 h

- 大深度モデルの減衰定数 h は、既往の知見と同等であることを確認。

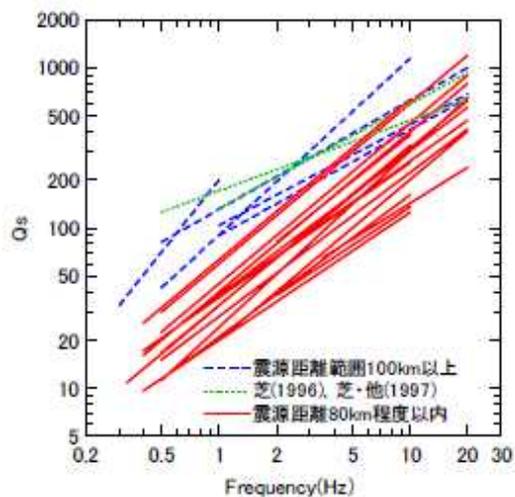
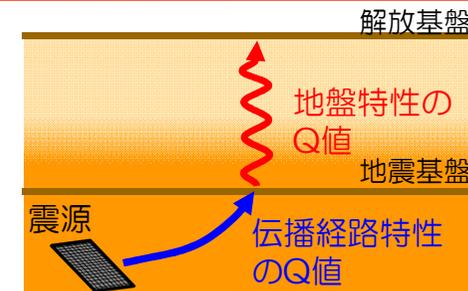
4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.5 既往の知見による検証 ②減衰構造（伝播経路特性）

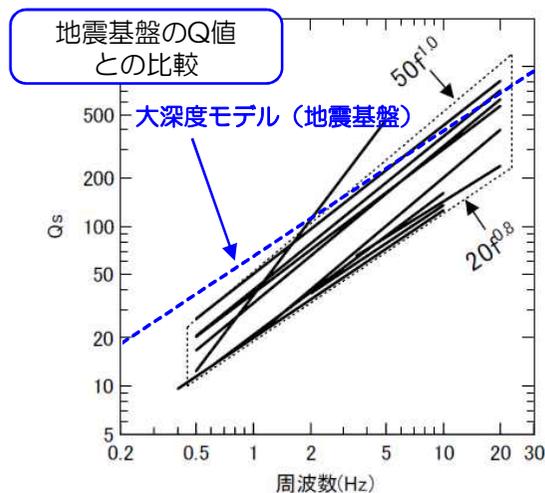
コメント
No.5

【既往の知見】
天池ほか(2006)

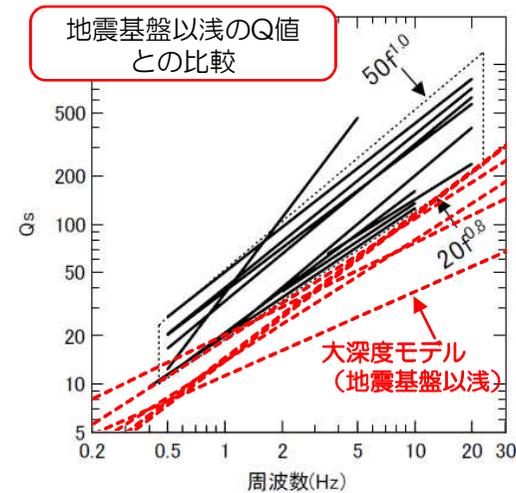
- 天池ほか(2006)では、全国各地の伝播経路特性のQ値を整理し分析している。
 - 対象とする地震の震源距離が大きくなると、伝播経路特性のQ値は大きくなる傾向にあることを確認し、この要因として近距離の地震に比べ遠距離の地震は深部を伝播する距離が長いこと等が挙げられている。
 - 震源距離が60km以内の全国各地のQ値は、 $Q=[20\sim 50]f^{[0.8\sim 1.0]}$ 程度であるとしている。
- この知見と大深度モデルのQ値を比較。



全国各地で推定された伝播経路特性のQ値



震源距離60km以内の伝播経路特性のQ値



天池ほか(2006)より抜粋（一部加筆・修正）

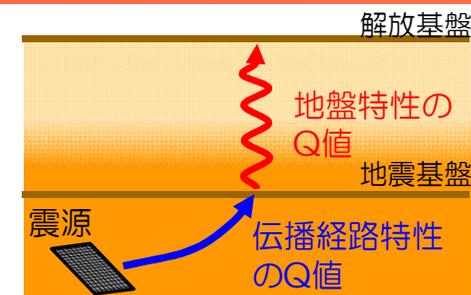
- 大深度モデルの地震基盤のQ値は、既往の知見の伝播経路のQ値と同程度であることを確認。
- 大深度モデルの地震基盤以浅のQ値は、既往の知見の伝播経路のQ値と同程度かやや下回る傾向にあることを確認。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

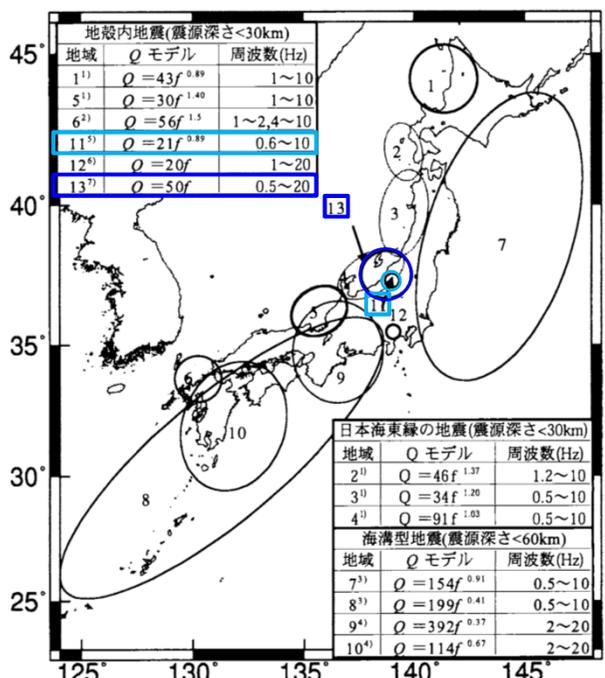
4.4.5 既往の知見による検証 ②減衰構造（伝播経路特性）

コメント
No.5

- 敷地周辺における伝播経路のQ値に関して、以下の既往の知見が得られている。
 - 佐藤(2006)では、敷地周辺の畑山ほか(2005)と金谷ほか(2006)を含む、全国各地のQ値を分析しており、天池ほか(2006)と同様に震源距離が大きくなるほどQ値が大きくなる傾向にあることを指摘している。
 - その他に、敷地周辺のQ値に関する知見として池浦・植竹(2001)や岩田(2005)が挙げられる。
- これらの知見と大深度モデルのQ値を比較。

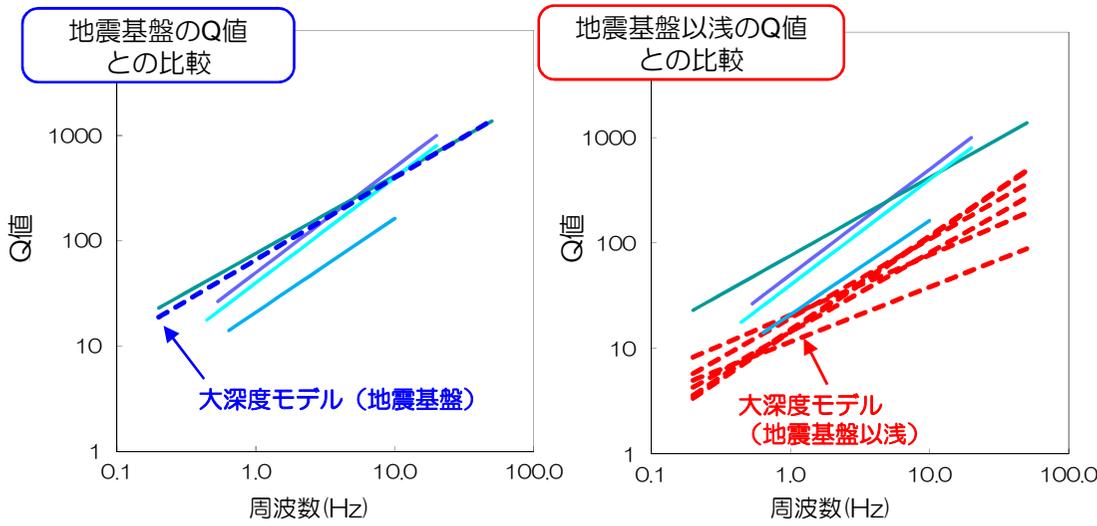


【既往の知見】佐藤(2006)



佐藤(2006)より抜粋（一部加筆・修正）

- 金谷ほか(2006) $Q=50f$ (震源距離200km以内)
- 岩田ほか(2005) $Q=76f^{0.74}$ (震源距離140km以内)
- 池浦・植竹(2001) $Q=40f$ (震源距離80km以内)
- 畑山ほか(2005) $Q=21f^{0.89}$ (震源距離50km以内)



- 大深度モデルの地震基盤のQ値は、既往の知見の伝播経路のQ値と同程度であることを確認。
- 大深度モデルの地震基盤以浅のQ値は、既往の知見の伝播経路のQ値と同程度かやや下回る傾向にあることを確認。

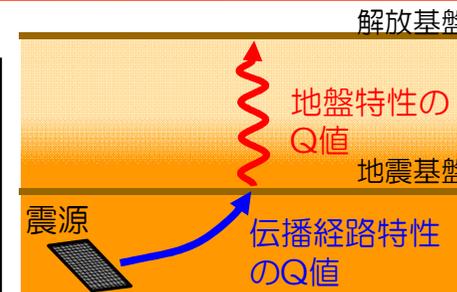
4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.5 既往の知見による検証 ②減衰構造（伝播経路特性）

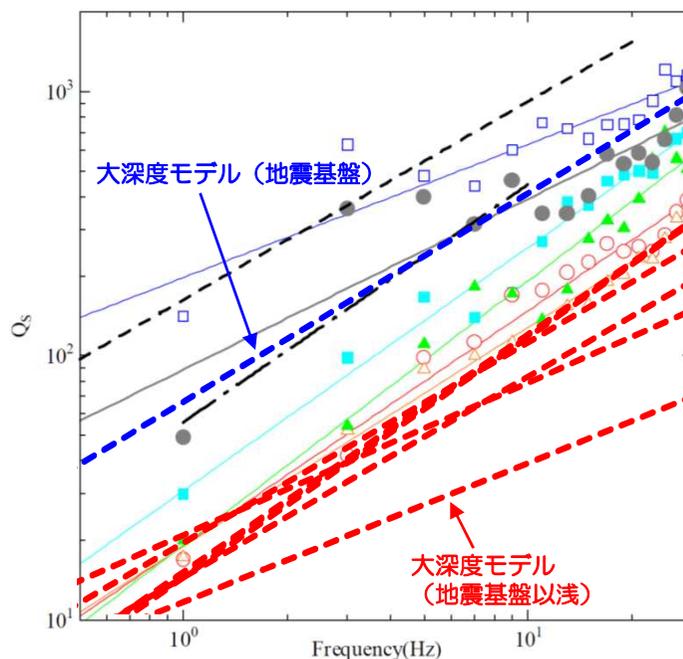
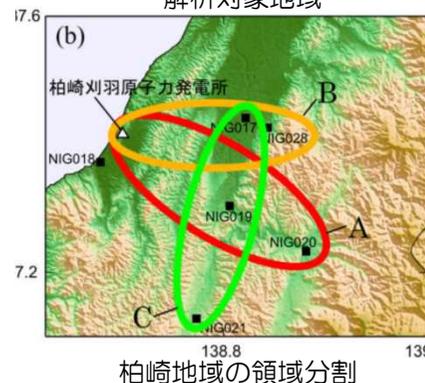
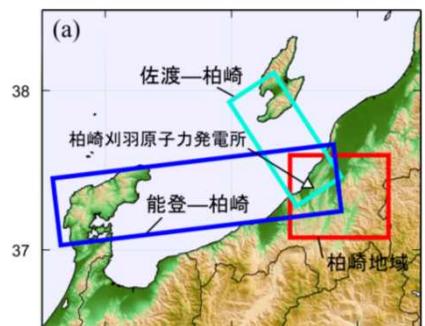
コメント
No.5

【既往の知見】野田ほか(2010)

- 野田ほか(2010)では、二重スペクトル比の手法を用い、敷地周辺における伝播経路のQ値を推定している。
 - 解析対象地域は、能登-柏崎間、佐渡-柏崎間、柏崎地域の3領域を設定し、柏崎地域については詳細にA, B, Cの3地域に分割。
 - 推定されたQ値は、能登-柏崎間>佐渡-柏崎間>柏崎地域の関係となり、その要因としてそれぞれの領域の評価に用いた地震の震央距離が異なること*が影響していると分析。
- これらの知見と大深度モデルのQ値を比較。



*能登-柏崎では100km~160km程度、佐渡-柏崎では40km~60km程度、柏崎地域30km~40km程度。



—□—	能登-柏崎	$Q_s=197.5f^{0.50}$
—■—	佐渡-柏崎	$Q_s=30.78f^{0.92}$
—○—	柏崎地域 A	$Q_s=19.06f^{0.89}$
—△—	柏崎地域 B	$Q_s=19.01f^{0.83}$
—▲—	柏崎地域 C	$Q_s=19.16f^{1.00}$
—●—	柏崎地域 A-2※	$Q_s=88.53f^{0.65}$
- - -	川瀬・松尾(2004)	$Q_s=163f^{0.75}$
- - -	中村(2009)	$Q_s=56f^{0.90}$

※柏崎地域A-2のQ値は、震央距離の影響を分析するため、柏崎地域Aの領域で震央距離80km~100km程度の記録のみを対象として推定されている。柏崎地域Aよりも大きなQ値が推定され、震央距離が大きい地震は深部を伝播していることからQ値はより深い領域の値を反映して大きな値となっていると分析されている。

野田ほか(2010)より抜粋（一部加筆・修正）

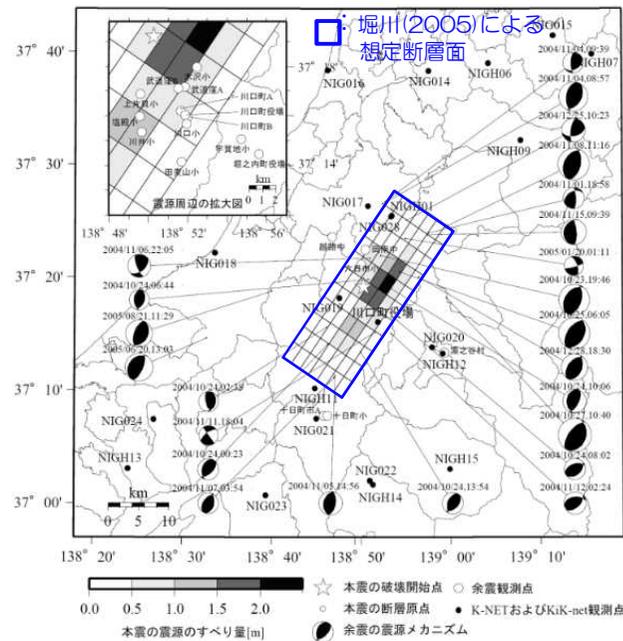
- 大深度モデルの地震基盤のQ値は、既往の知見の伝播経路のQ値と同程度であることを確認。
- 大深度モデルの地震基盤以浅のQ値は、既往の知見の伝播経路のQ値と同程度かやや下回る傾向にあることを確認。

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

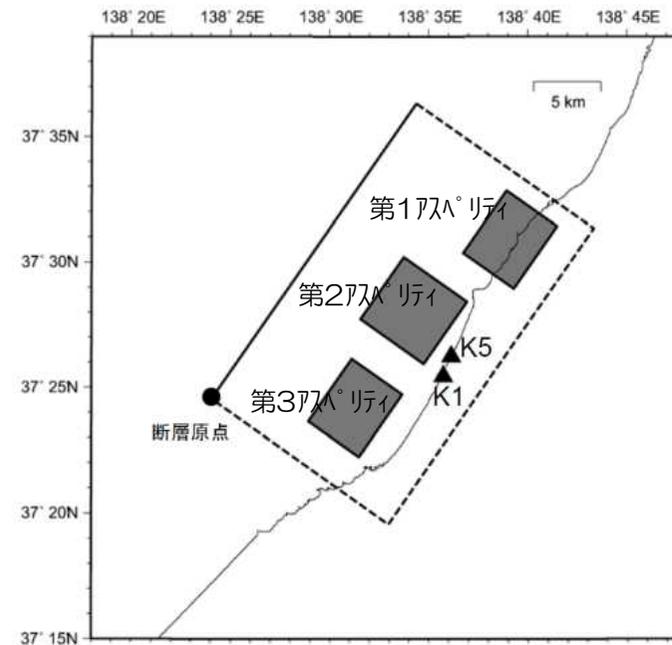
- 既許可においては、基準地震動の評価に用いた経験的グリーン関数法（EGF）による地震動レベルの妥当性を確認することを目的に、2004年新潟県中越地震及び2007年新潟県中越沖地震を対象に統計的グリーン関数法（SGF）によるシミュレーション解析を実施。（P.136～P.141参照）
- これを踏まえ、新たに評価した大深度モデルを用いた場合についても、既許可と同様にして、両地震を対象とした統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析を実施し、以下の確認を行った。
 - ① 大深度モデルを用いた場合の統計的グリーン関数法の評価結果と、観測記録及び経験的グリーン関数法の評価結果を比較することで、大深度モデルを用いた場合の既許可への影響について確認を行う。
 - ② 併せて、大深度モデルの地震基盤から解放基盤表面までの設定の妥当性についても確認する。

中越地震の震源モデル



神原ほか(2006)

中越沖地震の震源モデル



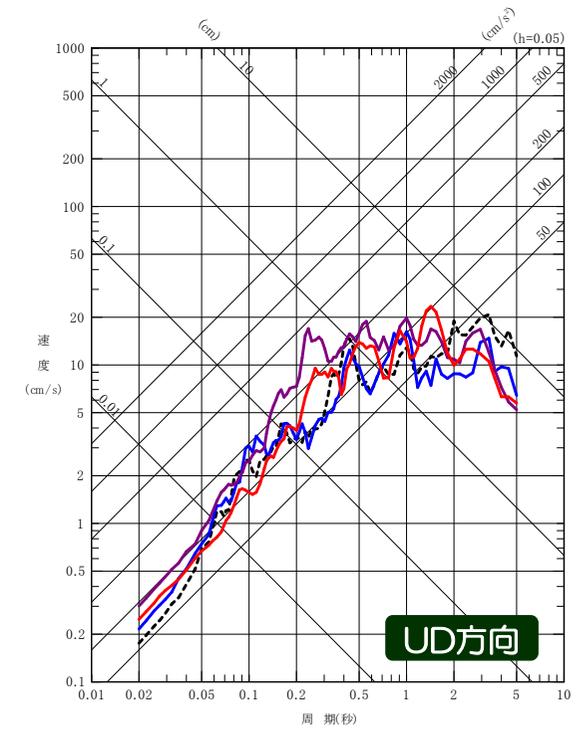
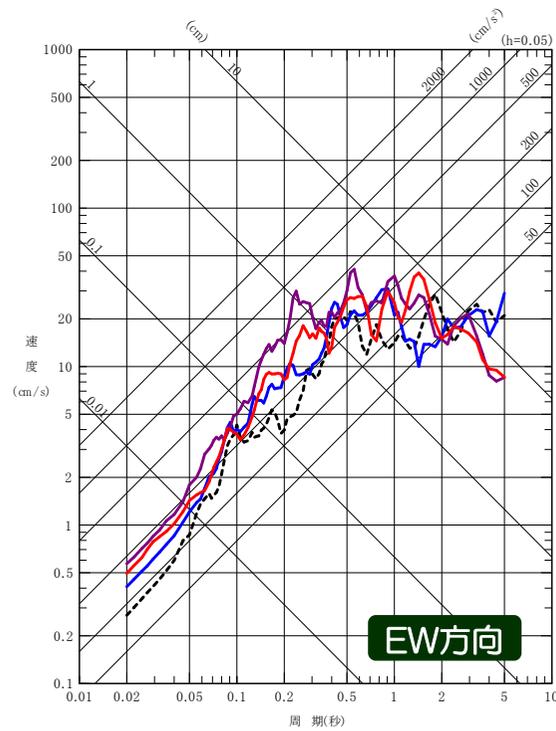
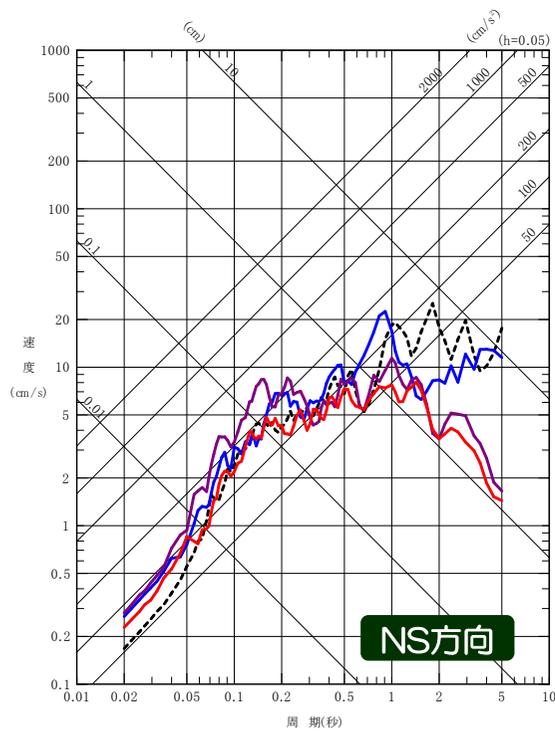
中越沖アスペリティモデル

4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

■ 2004年新潟県中越地震の大湊側の結果を以下に示す。

大湊側

- 統計的グリーン関数法 (大深度モデル) — **【今回】**
 - - - 観測記録
 - 経験的グリーン関数法
 - 統計的グリーン関数法 (SGFモデル)
- } **【既許可】**



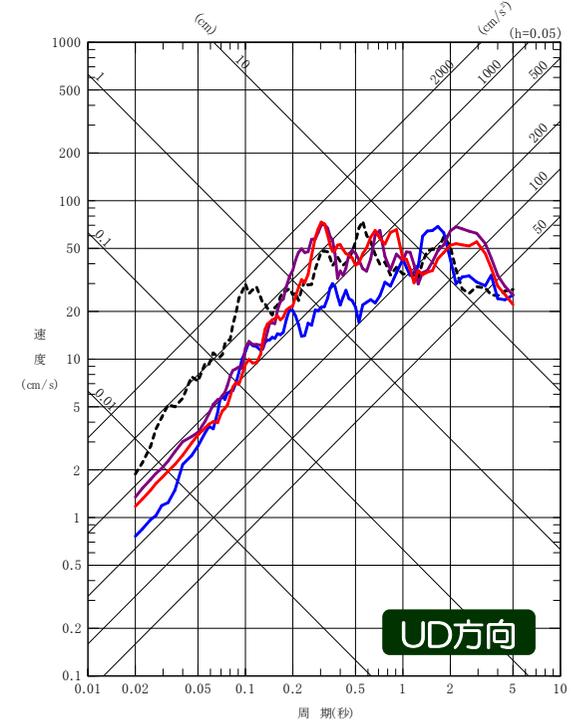
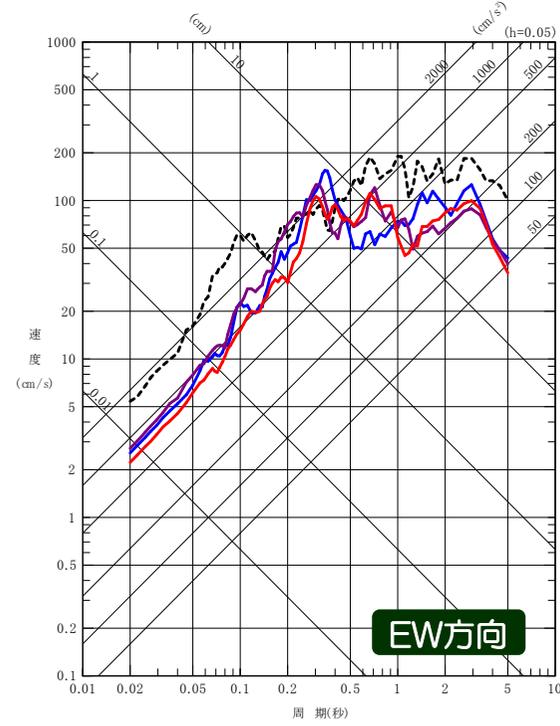
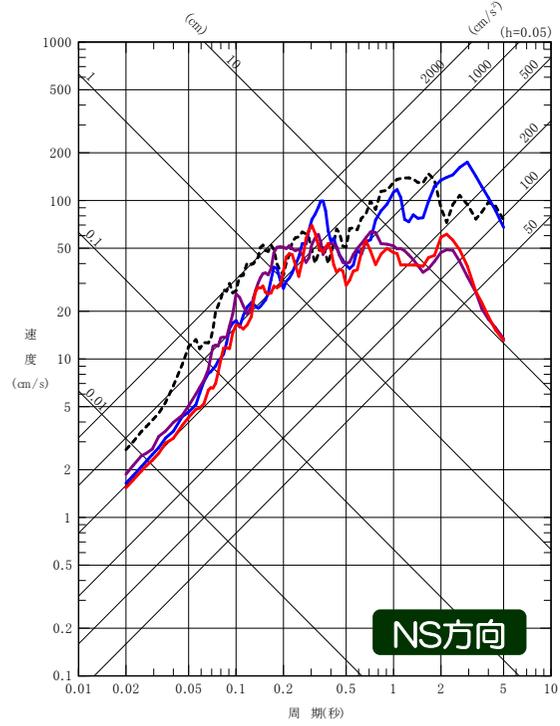
4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

■ 2007年新潟県中越沖地震の荒浜側の結果を以下に示す。

荒浜側

- 統計的グリーン関数法（大深度モデル） — **【今回】**
 - - - 観測記録*
 - 経験的グリーン関数法
 - 統計的グリーン関数法（SGFモデル）
- } **【既許可】**

※第3アスペリティに用いる要素地震の補正を考慮しない結果

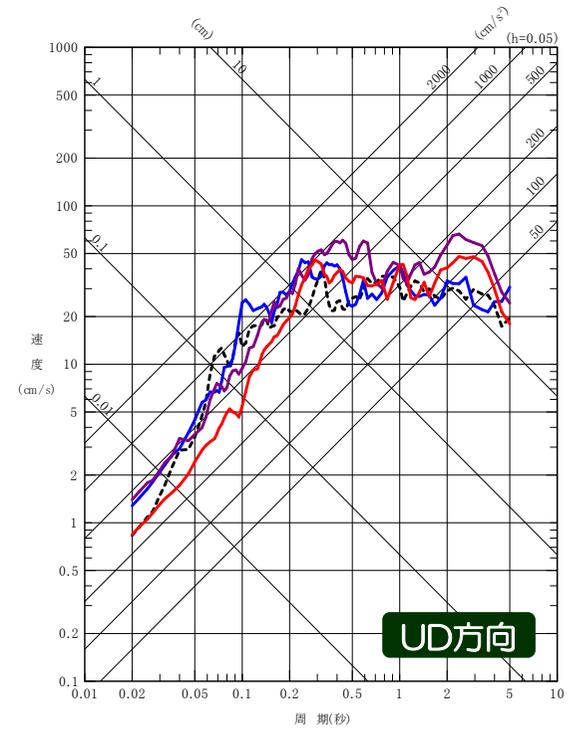
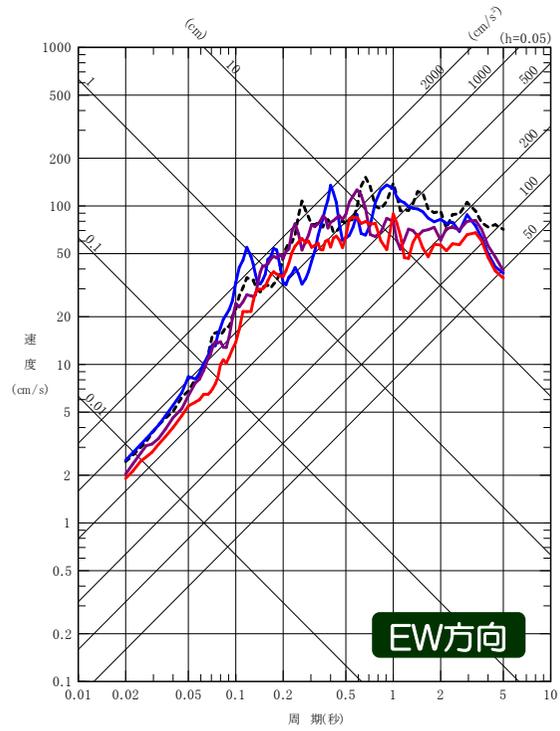
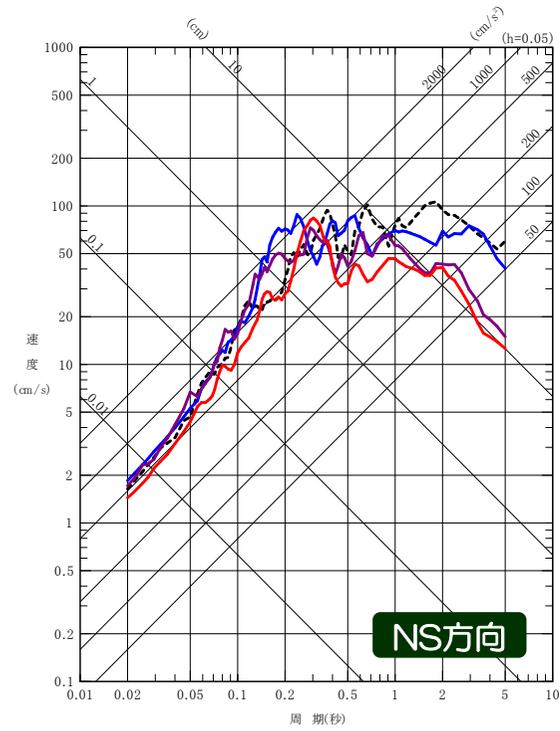


4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

■ 2007年新潟県中越沖地震の大湊側の結果を以下に示す。

大湊側

- 統計的グリーン関数法 (大深度モデル) — 【今回】
 - - - 観測記録
 - 経験的グリーン関数法
 - 統計的グリーン関数法 (SGFモデル)
- } 【既許可】



4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

① 既許可への影響の確認

荒浜側 (2007年新潟県中越沖地震)

【既許可】 (P.140参照)

- 荒浜側のSGFは、褶曲構造の影響が反映できていないため観測記録の地震動レベルが表現できていない。
- なお、褶曲構造の影響を反映していない(補正係数を考慮していない)EGFとSGFの地震動レベルは、おおむね同程度となっている。

大湊側

(2004年新潟県中越地震及び2007年新潟県中越沖地震)

【既許可】 (P.137及びP.141参照)

- 観測記録、EGF及びSGFを比較し地震動レベルを確認。おおむね同程度の地震動レベルとなっている。

【今回】

- 大深度モデルを用いた場合のSGFの結果は、SGFモデルによる結果の方が大きい傾向にあるが、観測記録及びEGFの地震動レベルとの比較においては、上記の既許可での傾向と同様であることを確認した。

既許可への影響はない。

② 地下構造モデルの妥当性の確認

荒浜側 (2007年新潟県中越沖地震)

- EGFとSGFの地震動レベルがおおむね同程度であることから、大深度モデルの地震基盤から解放基盤表面までのモデル化において、大きな問題はないものと考えられる。

大湊側 (2004年新潟県中越地震及び2007年新潟県中越沖地震)

- 観測記録、EGF及びSGFの地震動レベルがおおむね同程度であることから、大深度モデルの地震基盤から解放基盤表面までのモデル化において、大きな問題はないものと考えられる。
- なお、中越地震と中越沖地震で観測記録とSGFの大小関係に違いが見られる要因については、地下構造モデルの妥当性の観点から分析を行う。

4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

■ 大湊側の中越地震と中越沖地震のSGFによるシミュレーション結果と観測記録の比較から、SGFでの課題について以下の通り整理し、要因について分析を行った。

	2004年新潟県中越地震	2007年新潟県中越沖地震
既許可のSGFモデルによるシミュレーション結果	・観測記録よりも大きめの傾向	・観測記録とよく整合
▼	・SGFモデルによる結果の方が大深度モデルによる結果よりも大きい傾向	
今回の大深度モデルによるシミュレーション結果	・観測記録よりもやや大きめの傾向	・観測記録よりもやや小さめの傾向

大深度モデルが地下構造モデルとして過小ではないことの確認

■ 大深度モデルでは、観測記録に基づく減衰の値を採用した一方、SGFモデルでは、地盤の影響も含む高周波遮断周波数 (f_{max}) の設定を踏まえて全層一律の減衰の値を採用している。(P.15参照)

■ 大深度モデルによるシミュレーションにおいて f_{max} の設定をそのまま用いると、地盤の減衰の影響が二重に考慮されることとなり、その結果、観測記録よりもやや小さめの傾向が見られたものと考えられる。

■ 以上を踏まえ、仮に f_{max} を考慮しない場合のSGFの結果と観測記録の比較を確認することにより、大深度モデルが地下構造モデルとして過小ではないことの確認を行う。

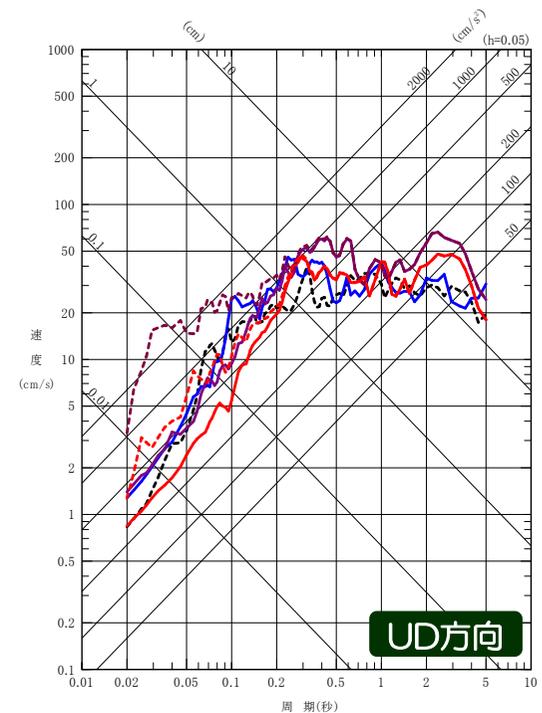
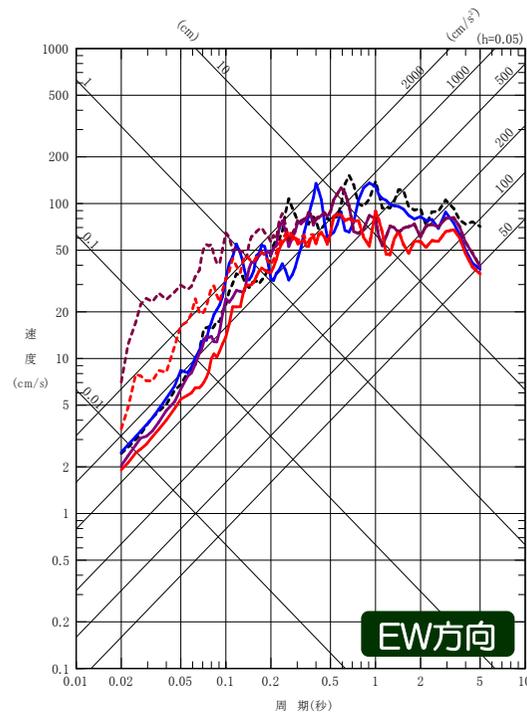
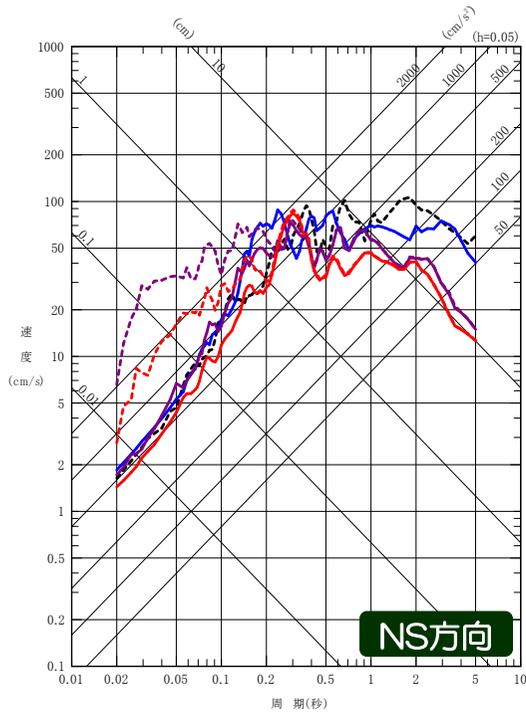
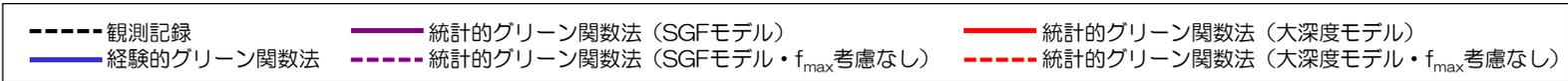
中越地震のSGFの結果が観測記録よりも大きめの傾向となることの分析

■ 中越地震のSGFの結果が観測記録よりも大きめの傾向となることについて、SGFの結果と観測記録で差が見られる点に関する分析を行い、地下構造モデルの妥当性確認への影響の観点から確認を行う。

4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

- 2007年新潟県中越沖地震の大湊側について、仮に f_{max} を考慮しない場合の結果を以下に示す。
- f_{max} を考慮しない場合の大深度モデルによるSGFの結果は、特に観測記録より小さめの傾向が見られていたUD方向を含めて、観測記録に対して過小とはならないことを確認した。
- 従って、大深度モデルが、地下構造モデルとして過小評価となるものではないと考えられる。

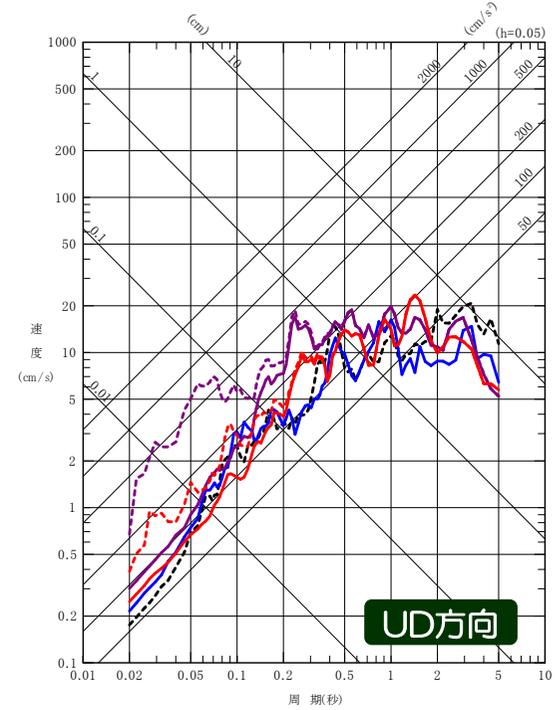
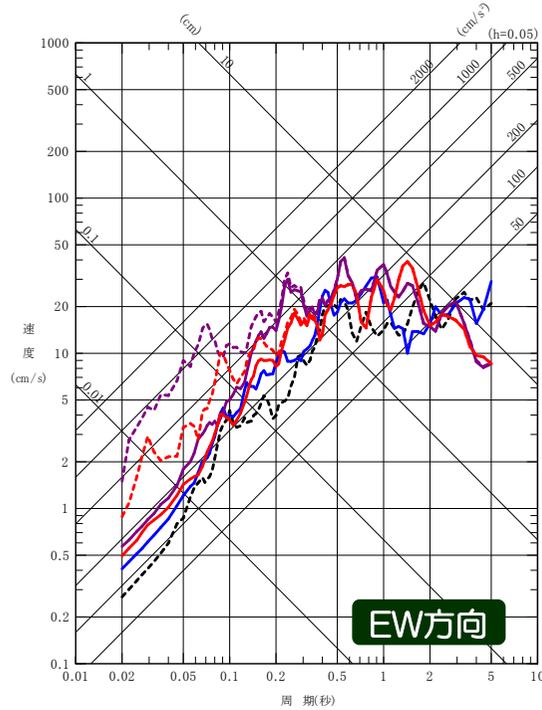
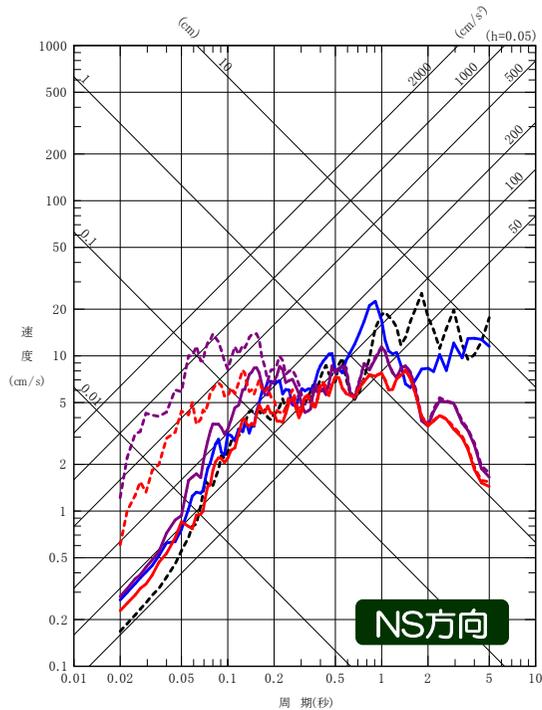
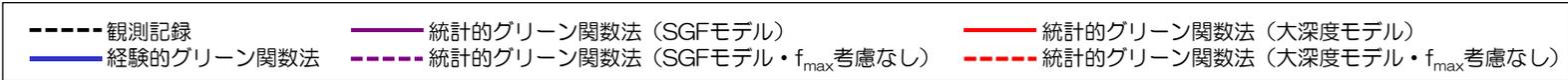
大湊側



4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

- 2004年新潟県中越地震の大湊側について、仮に f_{max} を考慮しない場合の結果を以下に示す。
- f_{max} を考慮しない場合の大深度モデルによるSGFの結果は、中越沖地震と同様に、観測記録に対して過小とはならないことを確認した。
- また、 f_{max} を考慮しない場合のSGFの結果と観測記録の関係は、いずれも短周期側ではSGFの結果の方が観測記録よりも大きな傾向にあり、中越地震と中越沖地震で同様の傾向にあることを確認した。

大湊側

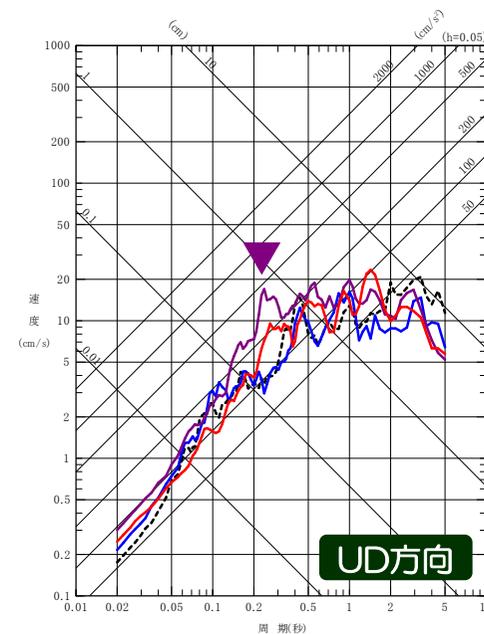
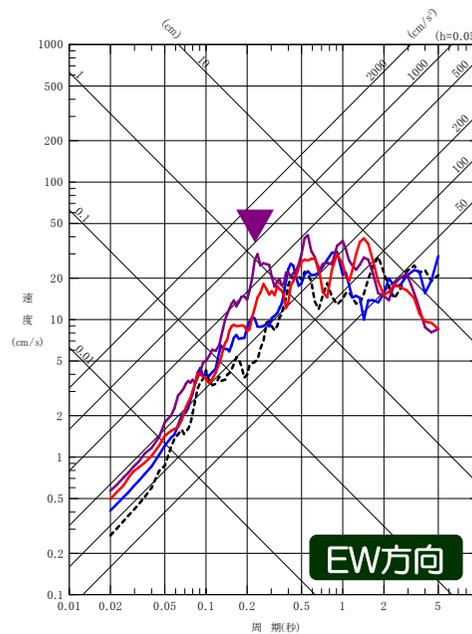
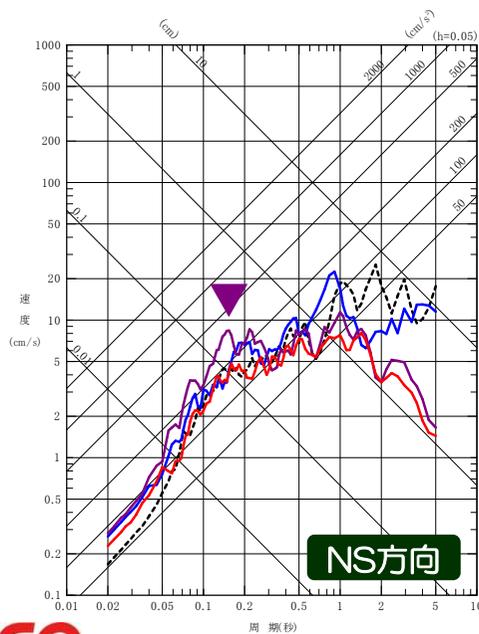


4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

- 次に、中越地震のSGFの結果が観測記録よりも大きめの傾向となることの分析を行った。
- SGFの結果は、SGFモデル及び大深度モデルともに、0.1秒～0.3秒程度の周期帯において、観測記録及びEGFの結果よりも大きくなっている。このことが、この周期帯より短周期側の応答スペクトルのレベルを持ち上げる影響を与えており、全体的に観測記録よりも大きめの傾向となったものと考えられる。
- 従って、中越地震のシミュレーションにおいては一部の周期帯でSGFの結果が観測記録よりもやや過大評価となっているものの、特定の領域からの増幅などの影響により中越地震と中越沖地震でSGFの結果と観測記録の大小関係に違いが生じているものではないと考えられる。
- 以上より、地下構造モデルの妥当性確認の観点では、中越地震のSGFの結果が観測記録よりも大きめの傾向となっていることの影響はないものと考えられる。

大湊側

- 統計的グリーン関数法（大深度モデル） — 【今回】
- - - 観測記録
- 経験的グリーン関数法
- 統計的グリーン関数法（SGFモデル） — 【既許可】



-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

4.6 地下構造モデルの設定

- 敷地の地下構造に関して継続して取得している新たなデータを活用し、最新の知見を反映した1次元地下構造モデルの構築に関する検討を行った。
- 敷地の地震基盤から地表までの増幅特性の情報を含んだ地表の観測記録を用いて、P波部H/Vスペクトル比、レシーバー関数、コーダ部H/Vスペクトル比をターゲットとした同時逆解析を行い、観測記録を良好に再現できる地震基盤までの地下構造モデルを設定した。

解放基盤表面～大深度地震観測点までの地下構造モデルの妥当性確認

- 設定した地下構造モデルの速度構造は、大深度PS検層結果と整合していることを確認。(P.44参照)
- 設定した地下構造モデルの理論伝達関数は、解放基盤表面を含む浅部から大深度地震観測点まで、観測記録の伝達関数と整合していることを確認。(P.53参照)

解放基盤表面～地震基盤までの地下構造モデルの妥当性確認

- 設定した地下構造モデルの速度構造は、反射法地震探査結果等に基づく2次元地下構造モデルの速度構造と整合していることを確認。(P.45参照)
- 設定した地下構造モデルの理論伝達関数は、解放基盤表面を含む浅部から地震基盤まで、複数の観測記録から推定した地震基盤波を用いた伝達関数と整合していることを確認。(P.55～P.57参照)
- 設定した地下構造モデルの速度構造及び減衰構造は、既往の知見と比較して妥当な設定となっていることを確認。(P.59～P.66参照)
- 設定した地下構造モデルを用いた統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析結果は、観測記録または経験的グリーン関数法による評価結果とおおむね同程度の地震動レベルとなることを確認。(P.68～P.76参照)

- 以上より、設定した地下構造モデルは、現時点における最新の大深度地震観測記録との整合が良好であり、また、地質調査結果とも整合する1次元地下構造モデルであると考えます。
- なお、従来のSGFモデルについては、統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析結果が適切であることが確認できており、解放基盤表面における地震動レベルの確認を目的とした統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析に用いるという使用目的において適切なモデルであったものと考えます。
- 設定した地下構造モデルよりもSGFモデルの方が統計的グリーン関数法の結果が大きい傾向を踏まえ、標準応答スペクトルに適用した場合の地震動レベルの妥当性は別途検証する。(結果はP.86～P.96参照)

4.6 地下構造モデルの設定

■ なお、荒浜側については、褶曲構造の影響を踏まえた上で、今回の評価に1次元地下構造モデルを採用することの妥当性について、以下の通り整理した。

■ 荒浜側の褶曲構造が地震波の増幅特性に与える影響については、既許可での検討において、以下を確認している。

- 敷地の南西方向より到来する地震波は、荒浜側の方が大湊側に比べ大きく増幅する傾向があること
- その他の方向より到来する地震波は、荒浜側と大湊側でおおむね等しい増幅特性となること

鉛直アレイ観測記録を用いた検討

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.123~P.124参照)

- 敷地の南西側の領域で発生した地震において、荒浜側が大湊側に比べ有意に大きくなる傾向。
- その他の領域で発生した地震においては、特異な増幅傾向は確認されない。

水平アレイ観測記録を用いた検討

5号炉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.125~P.128参照)

- 南西から到来する地震動のみ、地震波の顕著な増幅が認められる領域が確認され、1号炉周辺の観測点で著しく大きくなる。
- 南西以外の到来方向については、敷地内において顕著な増幅は認められない。

2次元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て検討。(P.129~P.134参照)

- 敷地の南西方向から到来する地震波は、敷地の褶曲構造により、荒浜側と大湊側で差異が発生する。
- その他の方向から到来する地震波については、荒浜側と大湊側でおおむね等しい増幅特性となる。

■ 以上を踏まえ、敷地の南西側の一部の特定の領域で発生する地震を除いて褶曲構造による特異な増幅は認められないことを確認していることから、「震源を特定せず策定する地震動」の評価における荒浜側の地震波の増幅特性は、1次元地下構造モデルにより反映することが可能であると考え、これを採用することとした。

■ また、敷地の南西側の一部の特定の領域で発生する地震による増幅特性の影響は、既許可の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価において適切に反映している。F-B断層による地震は、この領域を含む地震であり、「震源を特定せず策定する地震動」の地震規模を上回るM7.0の震源を敷地近傍で考慮している。

■ なお、「震源を特定せず策定する地震動」が敷地の南西側の一部の特定の領域で発生することを考慮した場合の標準応答スペクトルへの影響については、この領域の増幅特性を含む中越沖地震の観測記録に基づき荒浜側の増幅特性を考慮した場合の評価を念のために補足検討として確認した。(結果はP.118~P.120参照)

4.6 地下構造モデルの設定

- 以上の検討を踏まえ、標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルの評価においては、以下に示す地下構造モデルを採用し、 $V_s=2,350\text{m/s}$ 層の上面に、標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形を入力して重複反射理論に基づく評価を実施する。

荒浜側

層No.	標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m^3)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	Qs*		Qp*		備考
						Qo	n	Qo	n	
	-284.0									解放基盤表面
1	-764.5	480.5	1.70	997	2210	14.91	0.89	5.27	0.61	
2	-1242.3	477.8	2.10	1500	2700	19.37	0.75	10.22	0.85	
3	-1896.3	654.0	2.30	1870	2760	11.55	0.52	9.19	0.70	
4	-2792.2	895.9	2.40	1920	4270	14.35	0.75	9.46	0.66	入力位置
5	-4081.5	1289.3	2.50	2350	4780	20.71	0.57	17.80	0.85	
6	-6469.8	2388.3	2.60	3060	5080	66.23	0.78	37.72	0.72	
7			2.70	3490	5440	66.23	0.78	37.72	0.72	

※ $Q(f)=Q_0 \times f^n$ を仮定。

大湊側

層No.	標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m^3)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	Qs*		Qp*		備考
						Qo	n	Qo	n	
	-134.0									解放基盤表面
1	-149.0	15.0	2.03	730	1800	5.00	0.85	3.33	0.90	
2	-231.0	82.0	2.03	890	1900	5.00	0.85	3.33	0.90	
3	-266.0	35.0	2.03	960	1900	5.00	0.85	3.33	0.90	
4	-300.0	34.0	2.03	1000	2100	5.00	0.85	3.33	0.90	
5	-834.5	534.5	2.10	1200	2420	14.32	0.90	6.11	0.59	
6	-1716.2	881.7	2.30	1300	2610	15.05	0.89	6.12	0.61	
7	-2613.3	897.1	2.40	1920	4270	14.35	0.75	9.46	0.66	入力位置
8	-3944.3	1331.0	2.50	2350	4780	20.71	0.57	17.80	0.85	
9	-6092.4	2148.1	2.60	3060	5080	66.23	0.78	37.72	0.72	
10			2.70	3490	5440	66.23	0.78	37.72	0.72	

※ $Q(f)=Q_0 \times f^n$ を仮定。

- なお、この地下構造モデルを採用した場合において、既許可のSGFによる妥当性確認への影響がないことは4.5章で示した通りであるが、その他の項目についても、既許可の基準地震動への影響がないことを確認している。確認結果については、補足検討として示す。(結果はP.112~P.117参照)

-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

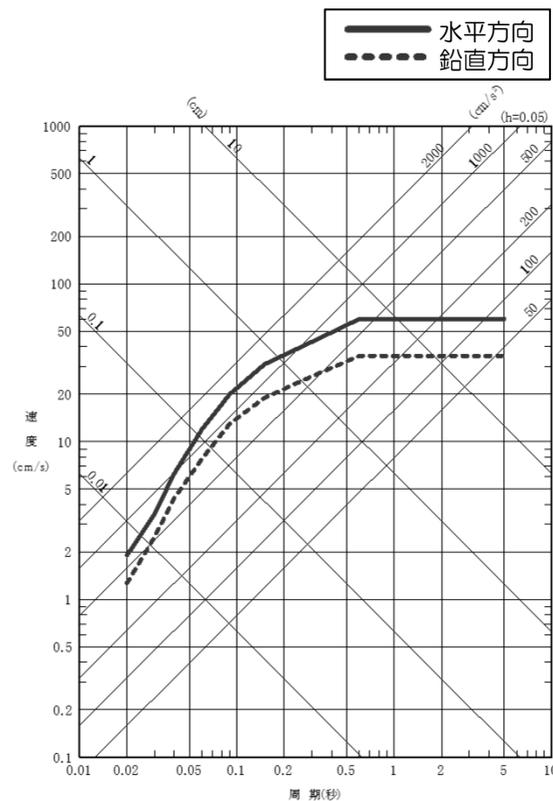
5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成

■ 地下構造モデルを用いた重複反射理論に基づく評価に用いる標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形は、既許可で適用実績のある地震動の振幅包絡線の経時的变化に基づく一様乱数の位相を有する正弦波の重ね合わせにより作成。

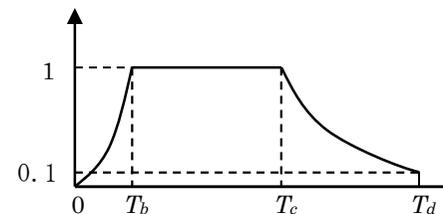
- 振幅包絡線の経時的变化：Noda et al.(2002)に基づく形状
- 応答スペクトル比：0.85以上
- 応答スペクトル強さの比（SI比）：1.0以上

標準応答スペクトル



振幅包絡線の経時的变化

地震規模 M	等価震源 距離 Xeq(km)	振幅包絡線の経時的变化 (秒)		
		T _b	T _c	T _d
6.9	10	3.31	15.06	28.03

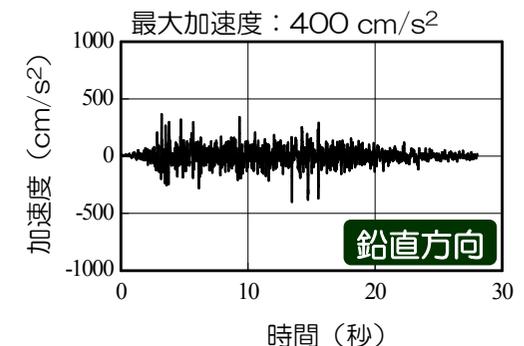
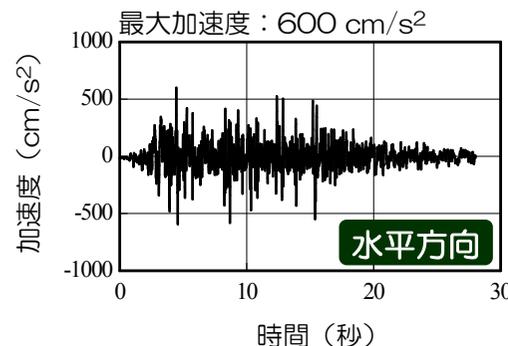


$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54 \log X_{eq}-0.6}$$

標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形



-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

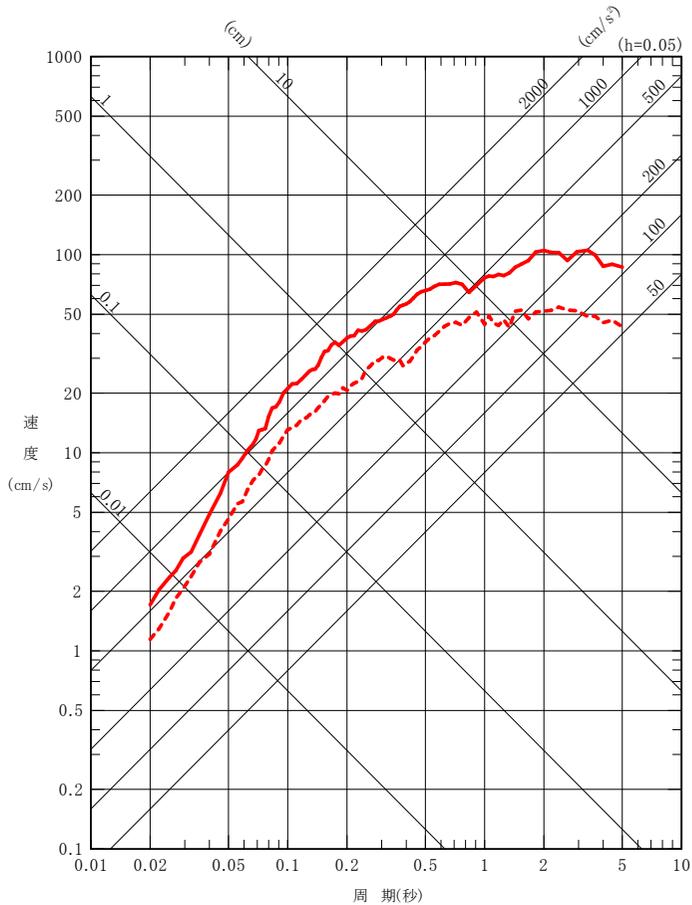
5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果

■ 地下構造モデルの $V_s=2,350\text{m/s}$ 層の上面に、標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形を入力して重複反射理論に基づく評価を実施し、荒浜側及び大湊側のそれぞれで標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルを評価。

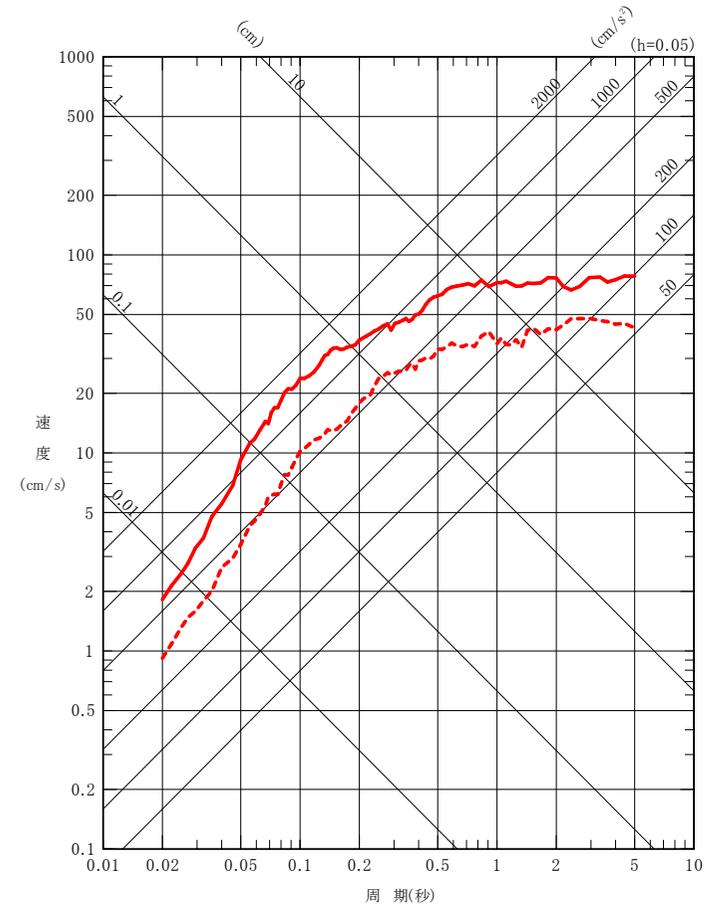
荒浜側

— 水平方向：537 cm/s^2
- - - 鉛直方向：360 cm/s^2



大湊側

— 水平方向：575 cm/s^2
- - - 鉛直方向：288 cm/s^2



-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

5. 標準応答スペクトルに基づく評価

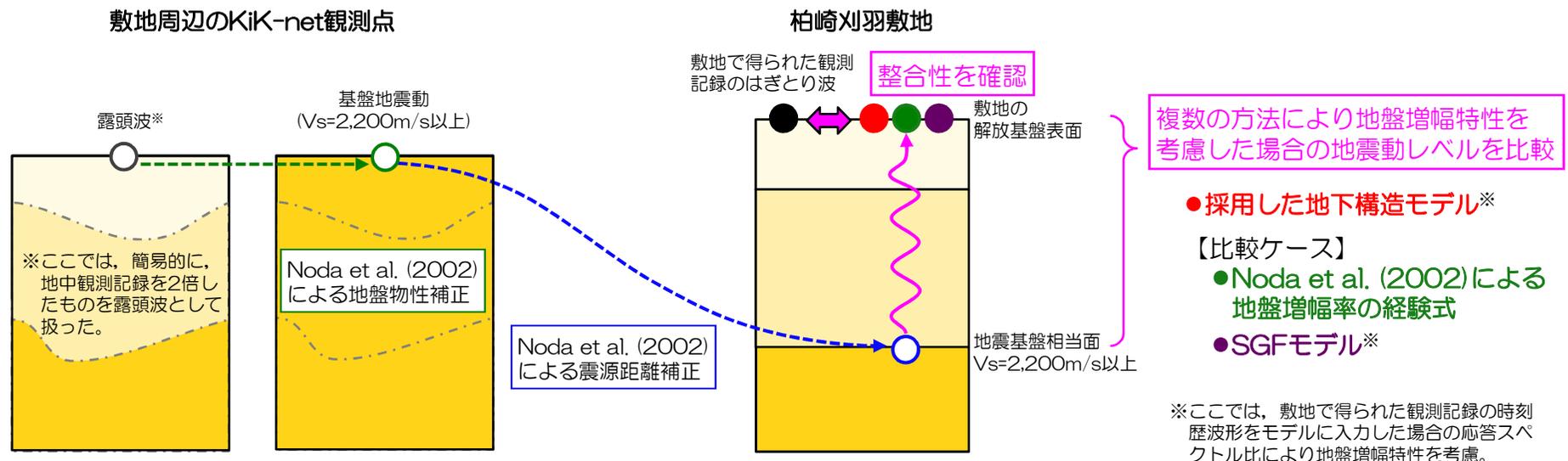
5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

- 標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルの評価について、採用した地下構造モデルによる評価結果の妥当性・代表性を確認するために、複数の方法により敷地の地盤増幅特性を考慮した場合の評価結果と地震動レベルを比較することで検証を行う。
- 比較には、SGFモデルを用いた場合及び標準応答スペクトルの策定において地盤物性補正に採用されたNoda et al. (2002)による地盤増幅率の経験式を用いた場合を考慮した。
- 検証は、敷地周辺のKiK-net観測点の記録を用いて、標準応答スペクトルの策定手順と同様の考え方で地盤物性補正及び震源距離補正を実施した上で、それぞれの方法により敷地の地盤増幅特性を考慮し、敷地で得られた観測記録の解放基盤表面での地震動レベルとの整合性を確認することで実施した。

敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証の手順

敷地周辺のKiK-net観測点の地中記録を、標準応答スペクトルの策定手順と同様の考え方で、敷地の地震基盤相当へ補正

複数の方法により地盤増幅特性を考慮し、敷地で得られた観測記録のはざとり波の地震動レベルとの整合性を確認



5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

- 検討対象とした地震は、標準応答スペクトルの策定に採用された89地震の中から、敷地周辺で発生し、敷地で観測記録が得られている主な地震を選定した。
- 検討において記録を用いたKiK-net観測点は、標準応答スペクトルの策定に採用された震央距離30km以内の震源近傍の観測点及び敷地との震源距離の補正による影響を抑えるために敷地と震源距離が同程度となる観測点とした。

地震の諸元と観測記録

※地震の諸元は気象庁による

No.	発震日時	Mj	観測記録の取得状況						
			敷地		KiK-net観測点 (地中観測点深さでのVs(m/s))				
			荒浜側	大湊側	NIGH09 (1380)	NIGH11 (850)	NIGH12 (780)	NIGH14 (1330)	NIGH15 (1540)
1	2004/10/23 17:56	6.8	-	○	○	○	○	-	○
2	2004/10/25 06:04	5.8	○	○	○	-	○	-	○
3	2004/10/27 10:40	6.1	○	○	○	○	○	○	○

震央分布



KiK-net観測記録の補正方法

● 地盤物性補正

KiK-net観測点の地中地震計位置でのPS検層結果のVs及びVpを用いて、Noda et al.(2002)により地震基盤から地中地震計位置までの地盤増幅率 α を求め、地中観測記録から地震基盤相当の応答スペクトルへ補正

$$\boxed{\text{基盤地震動 (KiK-net観測点)}} = \frac{\text{露頭波}^*}{\text{(KiK-net観測点)}} \times 1/\alpha$$

※ここでは、簡易的に、地中観測記録を2倍したものを露頭波として扱った。

● 震源距離補正

KiK-net観測点または敷地からの等価震源距離 X_{eq} と地震規模Mjを用いて、Noda et al.(2002)によりそれぞれの応答スペクトル S_b を求め、その比率によりKiK-net観測点から敷地の地震基盤相当の応答スペクトルへ補正

$$\boxed{\text{基盤地震動 (敷地)}} = \frac{\text{基盤地震動 (KiK-net観測点)}}{\text{(KiK-net観測点)}} \times S_b(\text{敷地}) / S_b(\text{KiK-net観測点})$$

● Noda et al. (2002)による解放基盤表面における応答スペクトル

$$S(T) = S_b(T) \times \alpha(T) \times \beta(T)$$

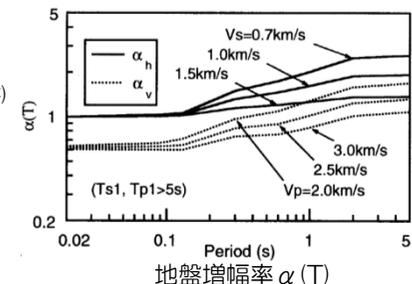
$S(T)$: 解放基盤表面における応答スペクトル(cm/s²)

$S_b(T)$: 地震基盤における応答スペクトル(cm/s²)

$\alpha(T)$: 地盤増幅率の補正

$\beta(T)$: 地盤の卓越周期の補正

T: 周期(s)



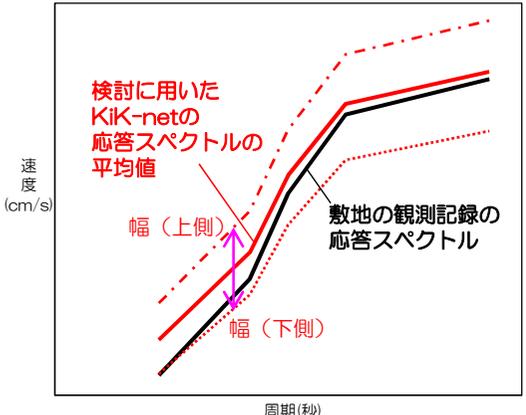
5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

No.1
2004/10/23 M6.8

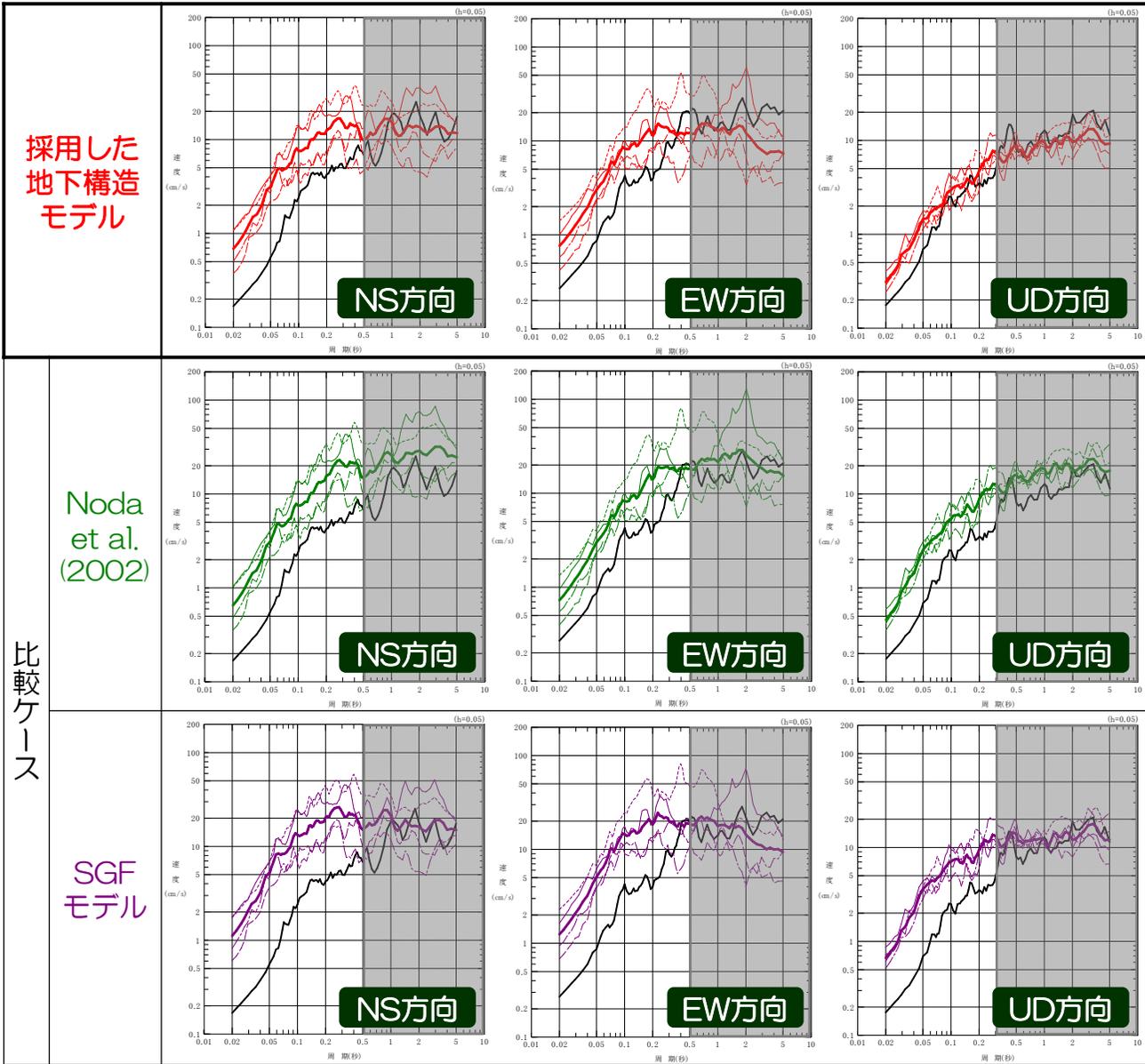
大湊側

- 各KiK-net観測点の記録による評価結果の幅とそれらの平均値が、敷地の観測記録に対してどのような関係にあるかを確認。
- 敷地の観測記録が、評価結果の幅の中にあり整合するような地震動レベルとなるのか、乖離があるのかを検証。



※ここでは、簡易的に、地中観測記録を2倍したものを露頭波として扱ったことから、表層地盤の影響の除去を近似可能と考えられる短周期側（水平方向：0.5秒程度以下、鉛直方向：0.3秒程度以下）に着目し、比較を行った。

— NIGH09 — NIGH11 — NIGH12 — NIGH15 — 平均値 — 敷地の観測記録



5. 標準応答スペクトルに基づく評価

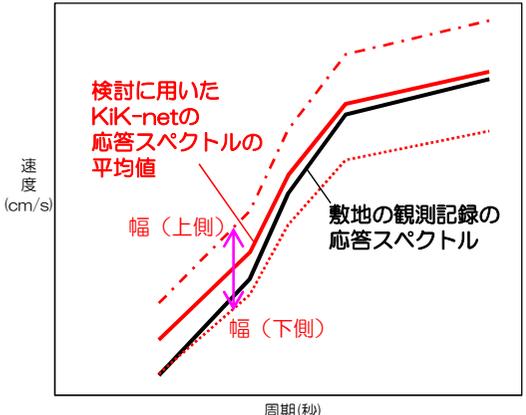
5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

第8回会合
(2021.12.3)
資料1-1 P.55
再掲

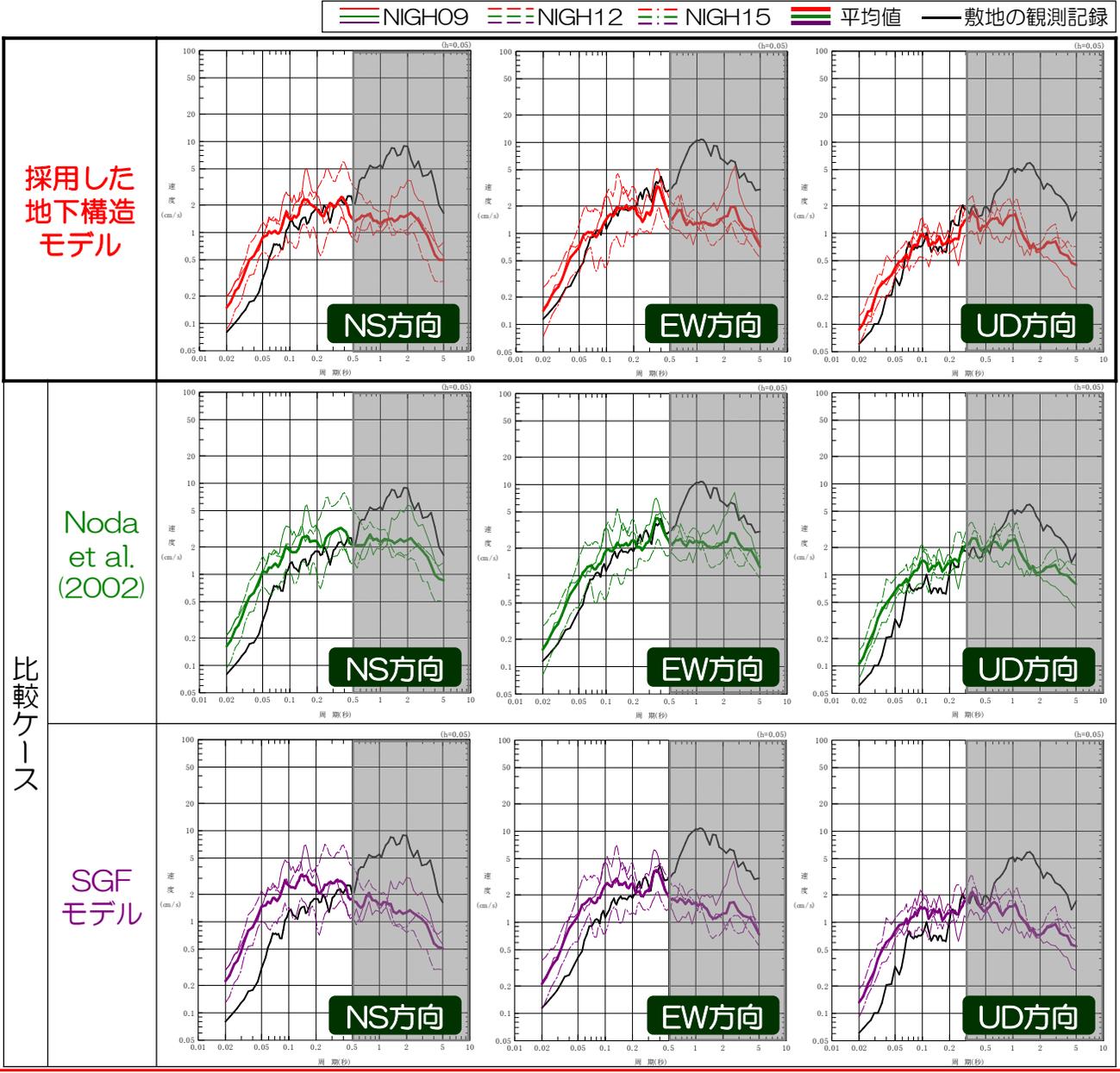
No.2
2004/10/25 M5.8

荒浜側

- 各KiK-net観測点の記録による評価結果の幅とそれらの平均値が、敷地の観測記録に対してどのような関係にあるかを確認。
- 敷地の観測記録が、評価結果の幅の中にあり整合するような地震動レベルとなるのか、乖離があるのかを検証。



※ここでは、簡易的に、地中観測記録を2倍したものを露頭波として扱ったことから、表層地盤の影響の除去を近似可能と考えられる短周期側（水平方向：0.5秒程度以下、鉛直方向：0.3秒程度以下）に着目し、比較を行った。



5. 標準応答スペクトルに基づく評価

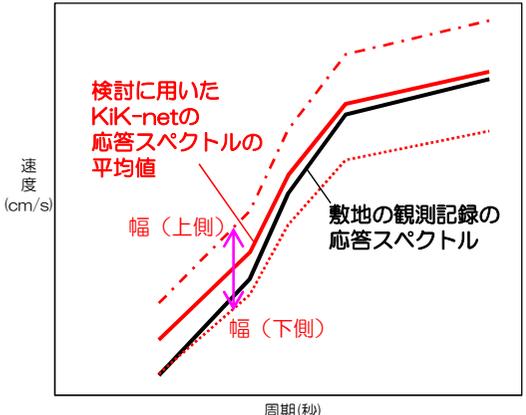
5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

第8回会合
(2021.12.3)
資料1-1 P.56
再掲

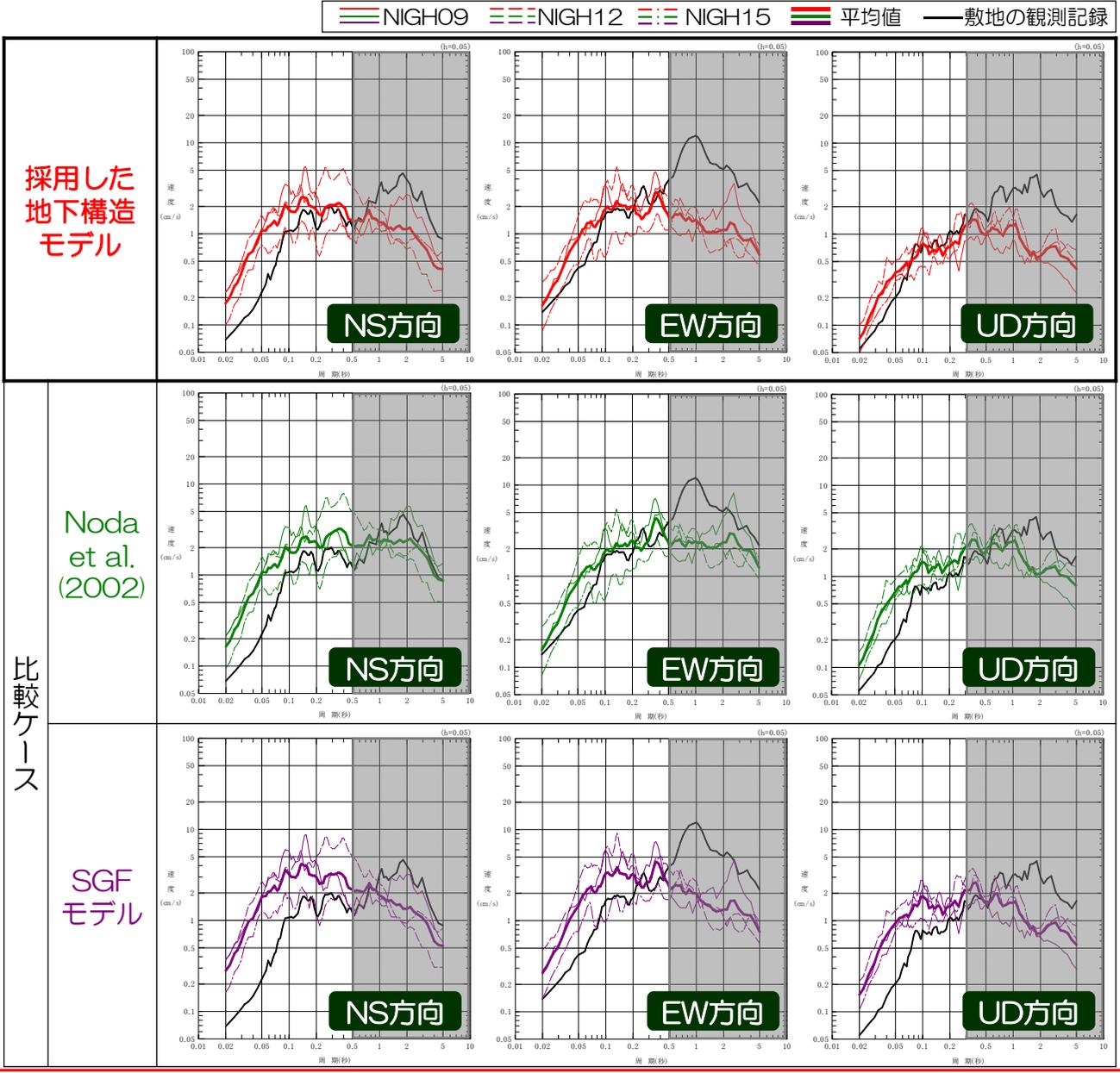
No.2
2004/10/25 M5.8

大湊側

- 各KiK-net観測点の記録による評価結果の幅とそれらの平均値が、敷地の観測記録に対してどのような関係にあるかを確認。
- 敷地の観測記録が、評価結果の幅の中にあり整合するような地震動レベルとなるのか、乖離があるのかを検証。



※ここでは、簡易的に、地中観測記録を2倍したものを露頭波として扱ったことから、表層地盤の影響の除去を近似可能と考えられる短周期側（水平方向：0.5秒程度以下、鉛直方向：0.3秒程度以下）に着目し、比較を行った。



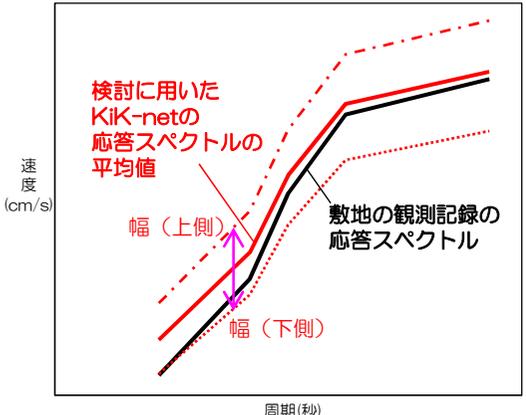
5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

No.3
2004/10/27 M6.1

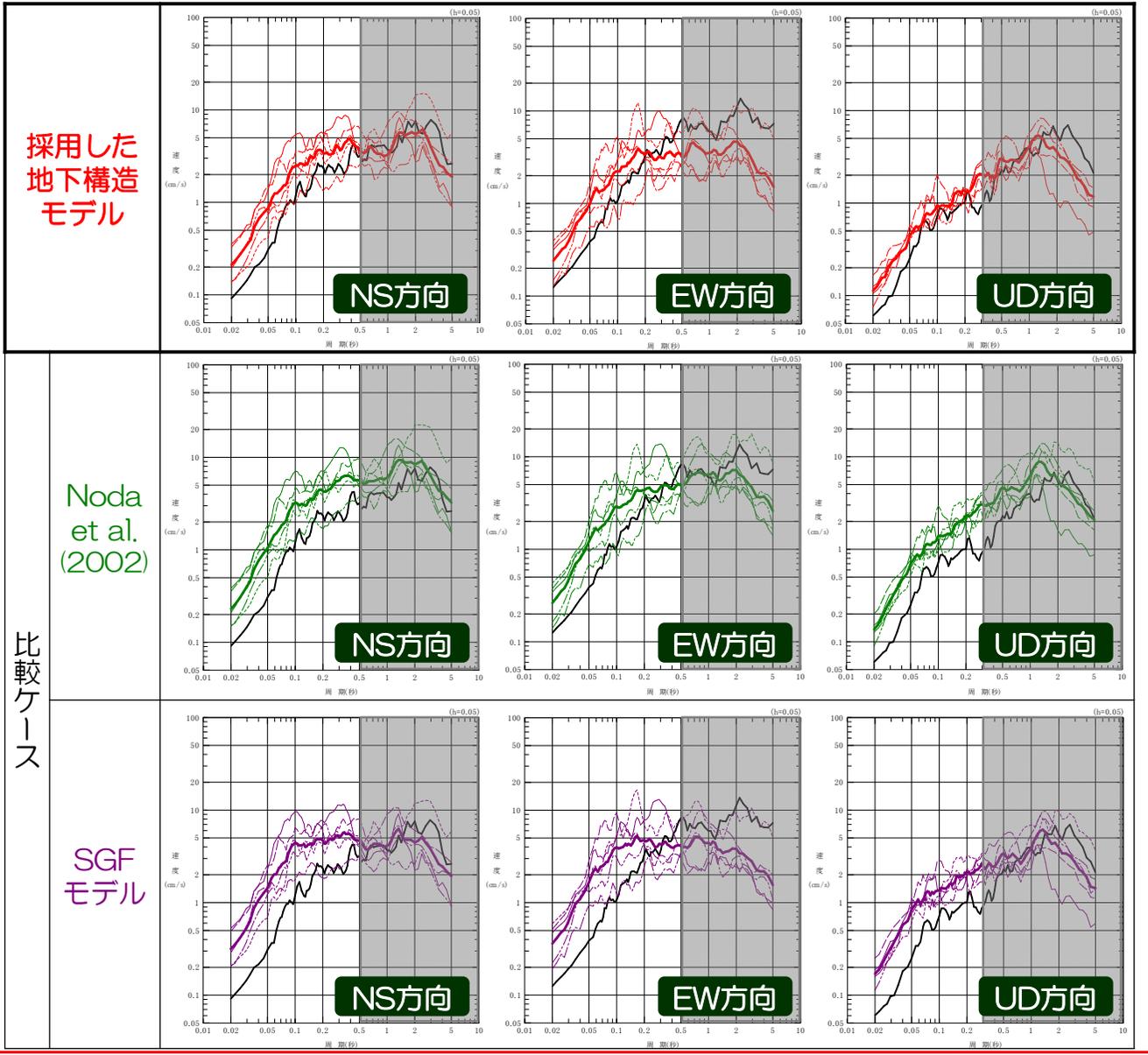
荒浜側

- 各KiK-net観測点の記録による評価結果の幅とそれらの平均値が、敷地の観測記録に対してどのような関係にあるかを確認。
- 敷地の観測記録が、評価結果の幅の中にあり整合するような地震動レベルとなるのか、乖離があるのかを検証。



※ここでは、簡易的に、地中観測記録を2倍したものを露頭波として扱ったことから、表層地盤の影響の除去を近似可能と考えられる短周期側（水平方向：0.5秒程度以下、鉛直方向：0.3秒程度以下）に着目し、比較を行った。

— NIGH09 — NIGH11 — NIGH12 — NIGH14 — NIGH15 — 平均値 — 敷地の観測記録



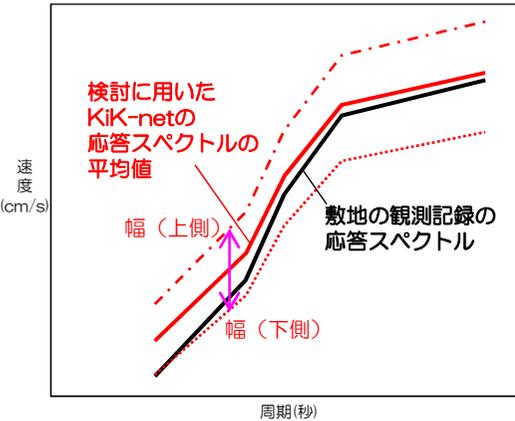
5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

No.3
2004/10/27 M6.1

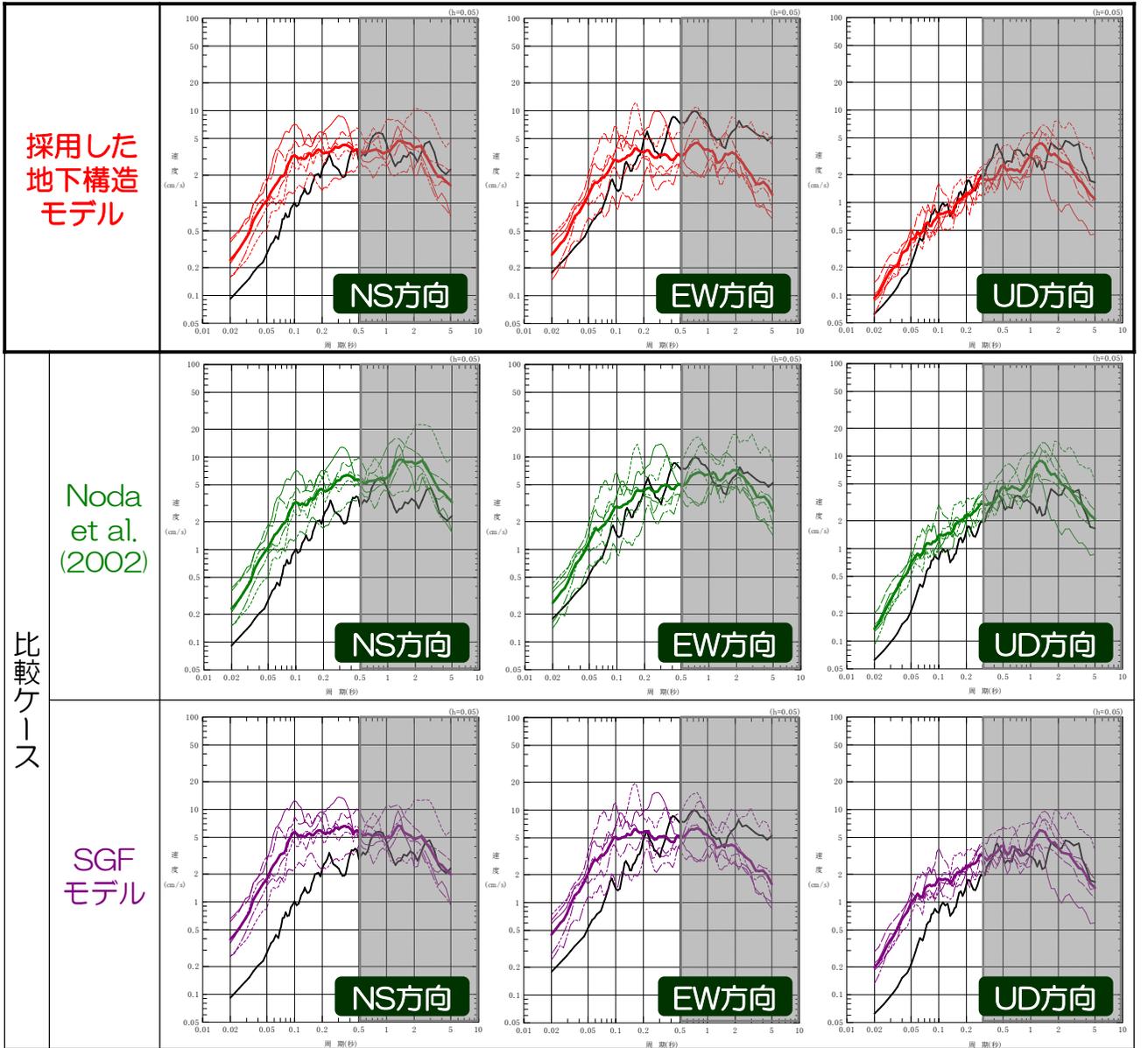
大湊側

- 各KiK-net観測点の記録による評価結果の幅とそれらの平均値が、敷地の観測記録に対してどのような関係にあるかを確認。
- 敷地の観測記録が、評価結果の幅の中にあり整合するような地震動レベルとなるのか、乖離があるのかを検証。



※ここでは、簡易的に、地中観測記録を2倍したものを露頭波として扱ったことから、表層地盤の影響の除去を近似可能と考えられる短周期側（水平方向：0.5秒程度以下、鉛直方向：0.3秒程度以下）に着目し、比較を行った。

— NIGH09 — NIGH11 — NIGH12 — NIGH14 — NIGH15 — 平均値 — 敷地の観測記録



5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証 まとめ

- 標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルの評価について、採用した地下構造モデルによる評価結果の妥当性・代表性を確認するために、敷地周辺のKiK-net観測点の記録を用いて、複数の方法により敷地の地盤増幅特性を考慮し、敷地で得られた観測記録の解放基盤表面での地震動レベルとの整合性を検証した。検証は、整合性を比較することのできる短周期側に着目して行った。

採用した 地下構造モデル		<ul style="list-style-type: none"> • 評価結果の平均値が敷地で得られた観測記録をおおむね上回り、各評価結果の幅の中に敷地で得られた観測記録がおおむね含まれる傾向を確認。 → 短周期側の地震動レベルは、<u>観測記録とおおむね整合</u>することを検証した。
比較 ケー ス	Noda et al. (2002) による地盤増幅率	<ul style="list-style-type: none"> • 評価結果の平均値が敷地で得られた観測記録をおおむね上回り、各評価結果の幅の中に敷地で得られた観測記録がおおむね含まれる傾向を確認。 → 短周期側の地震動レベルは、<u>観測記録とおおむね整合</u>することを検証し、<u>採用した地下構造モデルによる評価結果と同程度</u>となることを確認。
	SGFモデル	<ul style="list-style-type: none"> • 評価結果の平均値及び各評価結果の幅のどちらについても、敷地で得られた観測記録から乖離する傾向を確認。 → 短周期側の地震動レベルは、<u>観測記録と整合せず、過大評価となる傾向が顕著</u>であることを確認。

- 以上を踏まえ、標準応答スペクトルに基づく評価に採用するモデルとしての検証結果は以下の通り。

採用した地下構造モデル：観測記録の地震動レベルとおおむね整合し、これを採用することは妥当。

SGFモデル：観測記録の地震動レベルと整合せず、過大評価となる傾向が顕著であり、これを採用することは適切ではないと考えられる。

※ 柏崎刈羽では、地震基盤が深いために、統計的グリーン関数法に用いたSGFモデルは高周波遮断周波数の影響も踏まえたモデルとなっており、そのまま標準応答スペクトルの評価に適用することは難しいものと考えられることから、これを採用することは適切ではない。(P.94参照)

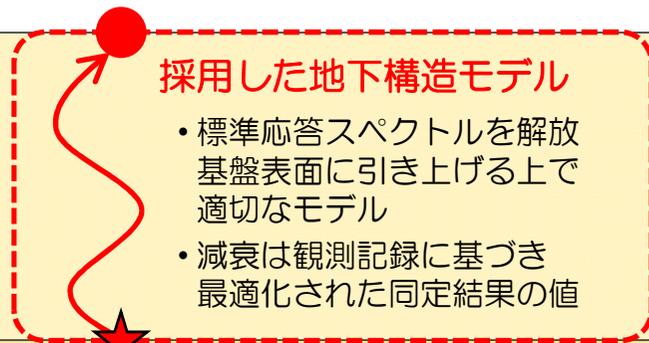
5. 標準応答スペクトルに基づく評価

5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証 まとめ

■ 以上の検証を踏まえると、標準応答スペクトルに基づく評価と統計的グリーン関数法（SGF）による地震動評価においては、それぞれの目的に応じて妥当性を検証した適切なモデルを用いる必要がある。

【標準応答スペクトルに基づく評価】

解放基盤表面における
標準応答スペクトルの評価結果



標準応答スペクトル※1

- 多数の観測記録に基づく応答スペクトルに適合させた波

※1 モデルに入力する波形の特性が異なる。
※2 柏崎刈羽の敷地の特徴として、地震基盤及び地震基盤相当までの距離が深いため、モデルによる影響が大きい。

【SGFによるシミュレーション解析】

SGFによる地震動評価結果



SGFによる地震基盤波※1

- 高周波遮断周波数 (f_{max}) により、地盤の影響も含めて、地震基盤の時点で短周期成分を低減させた波

解放基盤表面

地震基盤相当※2

地震基盤※2

震源



■ ここまでの検討において、標準応答スペクトルの評価に採用した地下構造モデルを用いてSGFの評価を行った場合には従来よりも小さい結果となる傾向にあったこと（P.72参照）、一方、SGFモデルを標準応答スペクトルの評価に用いる場合の検証を行った結果は観測記録と整合せず過大評価となる傾向にあったこと（P.93参照）は、上図の整理を踏まえると、整合した傾向であると考えられる。

5. 標準応答スペクトルに基づく評価

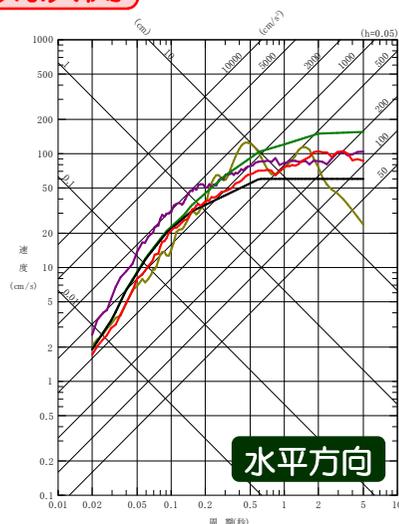
【参考】 複数の方法を用いた場合の標準応答スペクトルの比較

第8回会合
(2021.12.3)
資料1-1 P.61
再掲

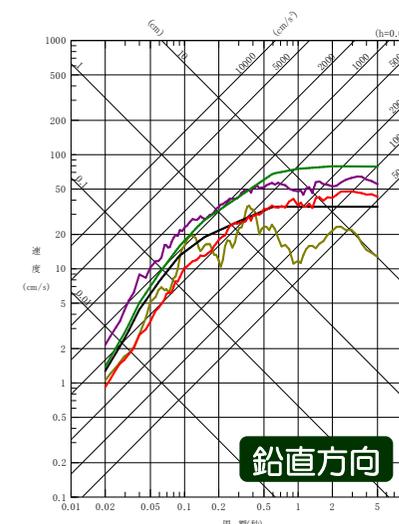
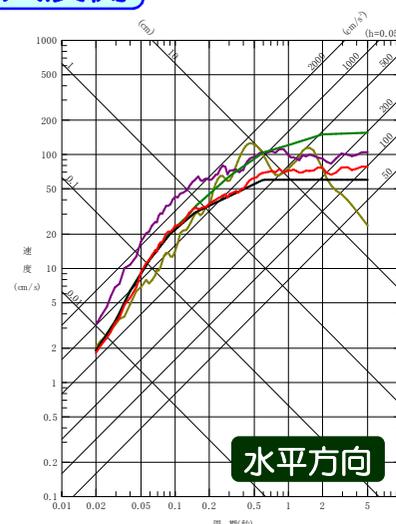
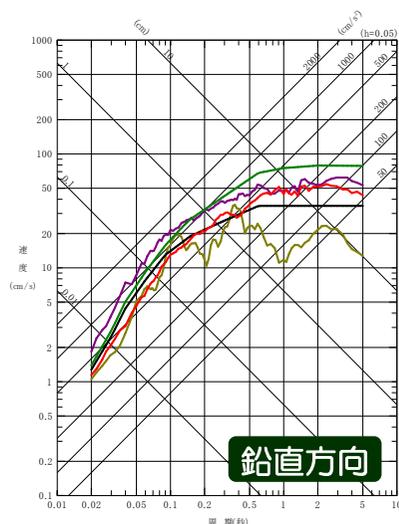
- 採用した地下構造モデルによる評価結果の妥当性を確認したことを踏まえた上で、比較ケースにより標準応答スペクトルを検討した場合にどのような差異が生じるかを確認しておくこととし、以下に示す。

標準応答スペクトル (地震基盤相当面)
 採用した地下構造モデル
 【比較ケース】 Noda et al.(2002) SGFモデル
 【参考】 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動

荒浜側



大湊側



- 採用した地下構造モデルによる応答スペクトルは、Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた場合の応答スペクトルと短周期側でおおむね同程度の地震動レベルとなっている。また、参考として示した既許可の震源を特定せず策定する地震動である2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動と比較しても、短周期側の地震動レベルとして大きな差がない。
- 一方、SGFモデルによる応答スペクトルは、敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証と同様の傾向となり、短周期側の地震動レベルが異なることを確認した。したがって、これは、標準応答スペクトルへの敷地の地盤増幅特性の反映として適切ではないものと考えられる。
 ※ 柏崎刈羽では、地震基盤が深いために、統計的グリーン関数法に用いたSGFモデルは高周波遮断周波数の影響も踏まえたモデルとなっており、そのまま標準応答スペクトルの評価に適用することは難しいものと考えられることから、これを採用することは適切ではない。(P.94参照)

5. 標準応答スペクトルに基づく評価

【参考】複数の方法を用いた場合の標準応答スペクトルの比較

■ 標準応答スペクトルの評価に採用した地下構造モデルとSGFモデルの差異について、改めて整理し以下に示す。

標準応答スペクトルの評価に採用した地下構造モデル (P.80参照)

(標準応答スペクトルに用いる妥当性を検証したモデル)

モデルの設定条件 (P.15参照)

- 荒浜側と大湊側それぞれで地下構造を同定
- 減衰は観測記録に基づき最適化された同定結果の値により設定

モデルの検証※ (P.44~P.57参照) ※本ページ下部にも再掲

- PS検層結果及び2次元地下構造モデルの速度構造と整合したモデルであることを確認
- 大深度地震観測記録を用いた伝達関数及びシミュレーション解析により、観測記録を良好に再現できるモデルであることを確認

標準応答スペクトルに用いる場合の地震動レベルの検証 (P.86~P.94参照)

- 敷地で得られた観測記録の地震動レベルとおおむね整合することから、標準応答スペクトルに用いる妥当性を確認

SGFモデル (P.139参照)

(統計的グリーン関数法 (SGF) に用いる妥当性を検証したモデル)

モデルの設定条件 (P.15参照)

- 荒浜側と大湊側で標高-300m以深は共通の地下構造を仮定
- 減衰はSGFに用いる上で全層一律の値を設定

モデルの検証 (P.136~P.141参照)

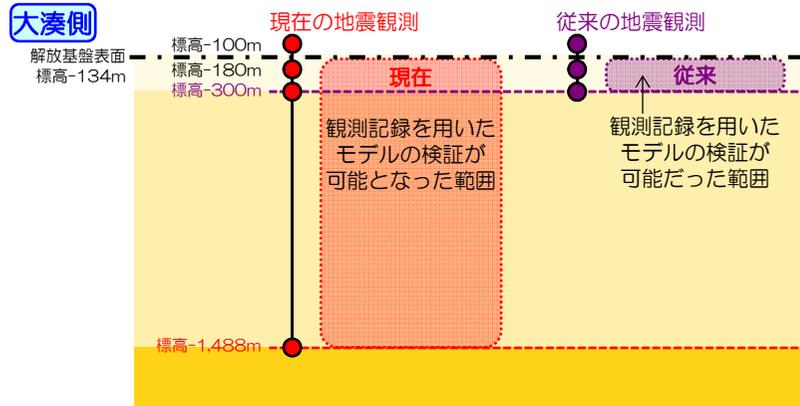
- 解放基盤表面における中越地震及び中越沖地震のSGFによるシミュレーション解析結果は、観測記録または経験的グリーン関数法 (EGF) による評価結果の地震動レベルとおおむね同程度となり、SGFに適切なモデルであることを確認

標準応答スペクトルに用いる場合の地震動レベルの検証 (P.86~P.94参照)

- 敷地で得られた観測記録の地震動レベルと乖離があることから、標準応答スペクトルに用いるのは適切ではないと判断

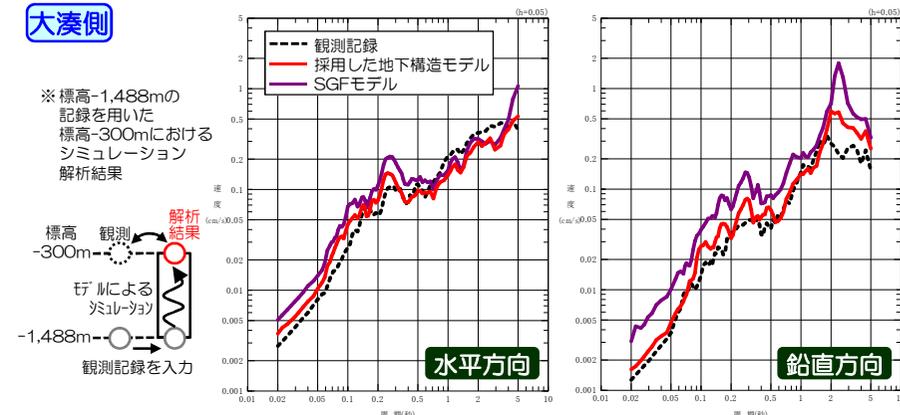
大深度地震観測点の追加 (P.8参照)

■ 大深度ボーリング調査によるPS検層結果や、大深度地震観測による観測記録を蓄積。敷地の地下構造に関して継続して新たなデータを取得。



大深度地震観測記録を用いたシミュレーション解析結果 (P.51参照)

■ 採用した地下構造モデルを用いた解析結果は、SGFモデルよりも観測記録を良好に再現できていることを確認。

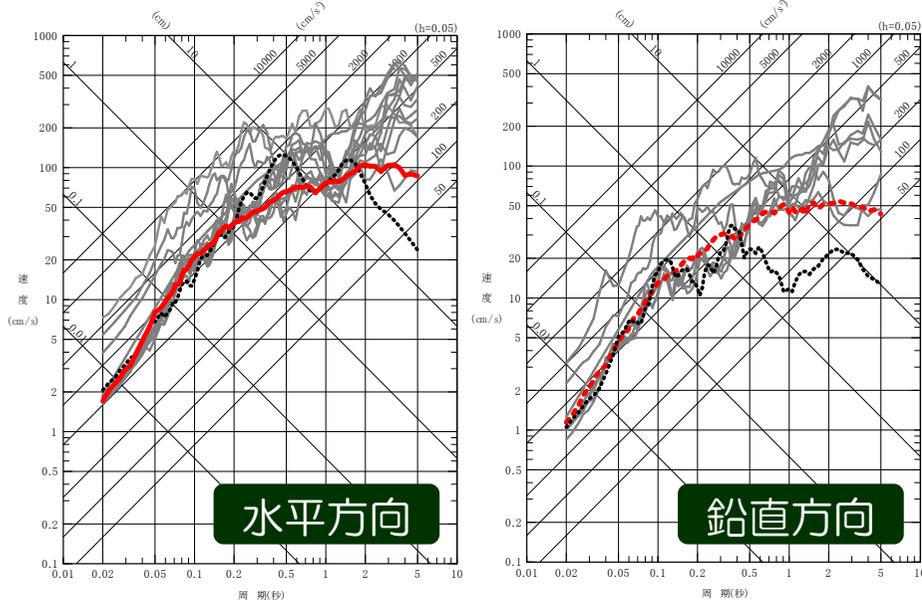
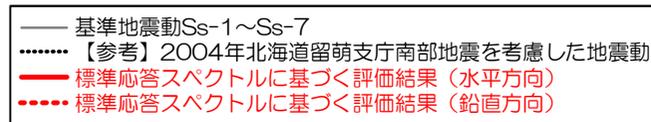


-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形の作成
 - 5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果
 - 5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証
 6. 既許可の基準地震動との比較

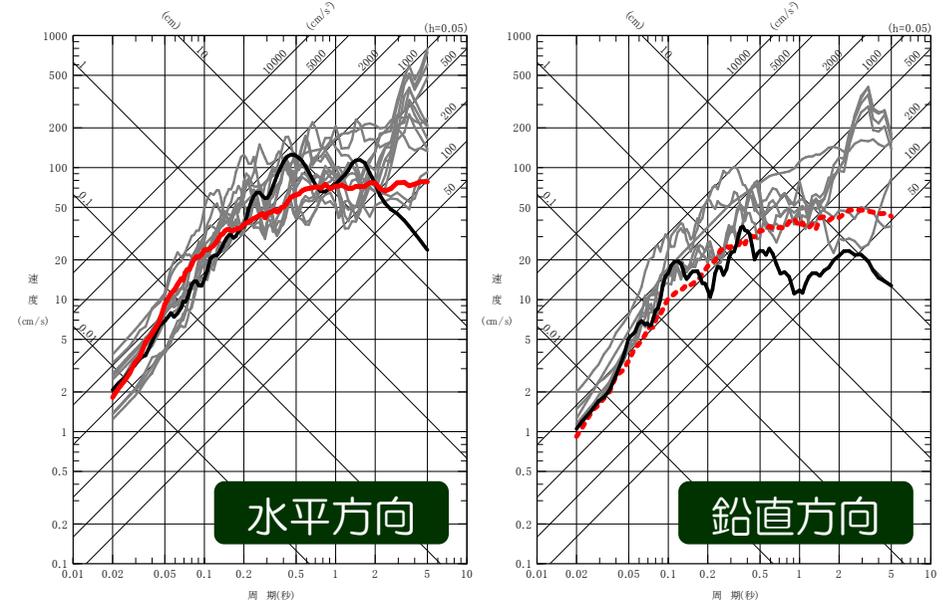
6. 既許可の基準地震動との比較

- 標準応答スペクトルに基づく評価結果は、荒浜側及び大湊側ともに、既許可の基準地震動により包絡されることを確認。
- また、標準応答スペクトルに基づく評価結果は、大湊側の基準地震動Ss-8として策定している2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトルに対し、敷地の解放基盤表面における地震動レベルとして大きな差がないことも、併せて確認。
- 以上より、柏崎刈羽原子力発電所においては、本件の改正に係る基準地震動の変更は不要である。

荒浜側

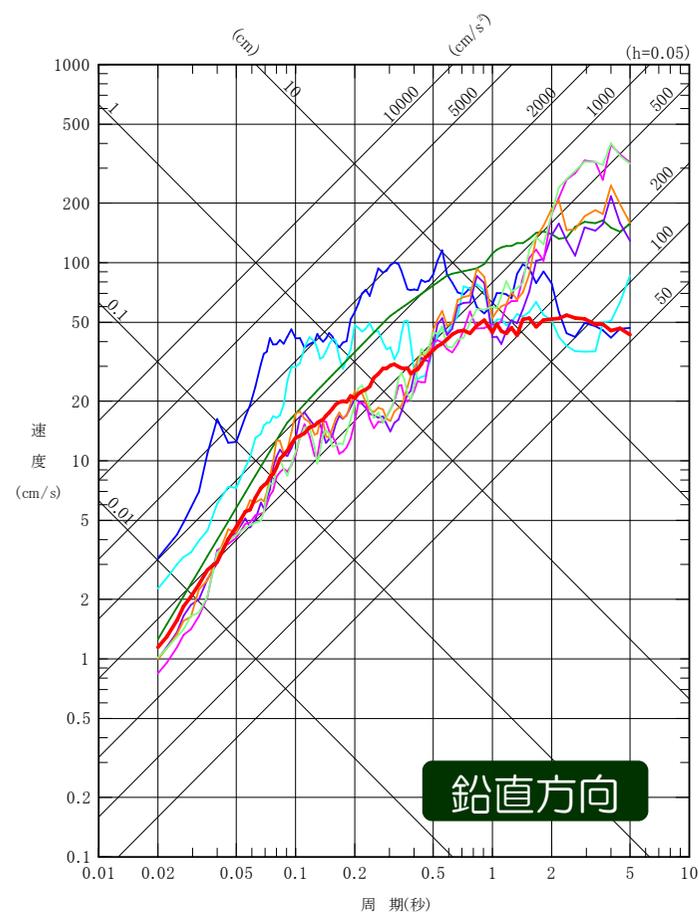
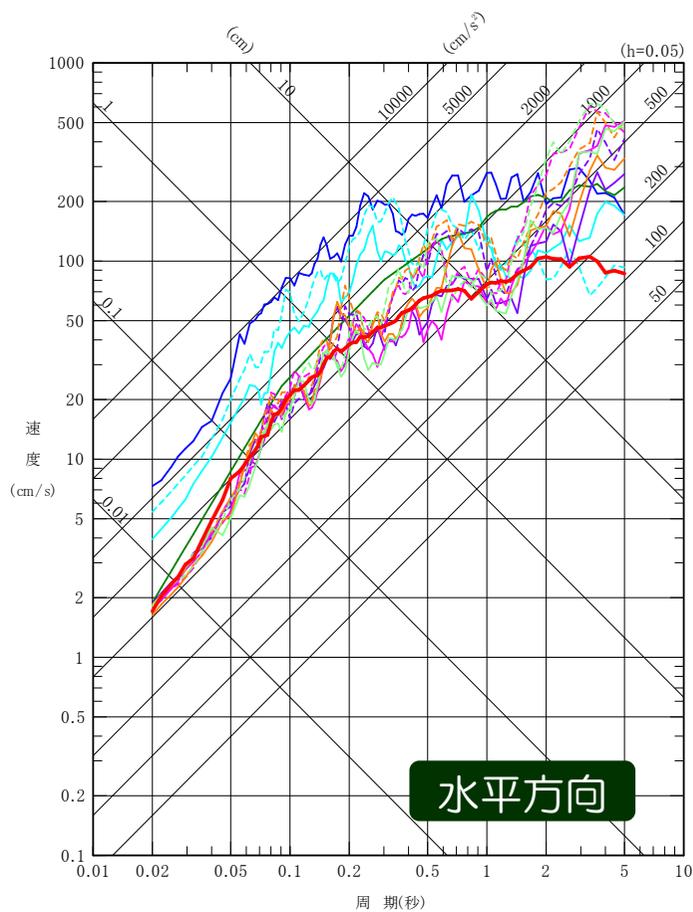
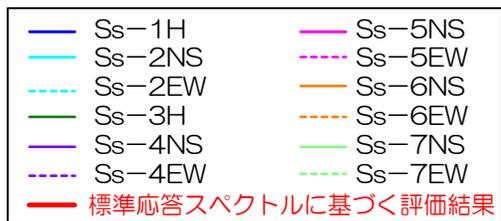


大湊側



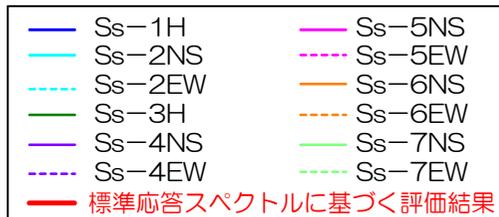
6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

荒浜側

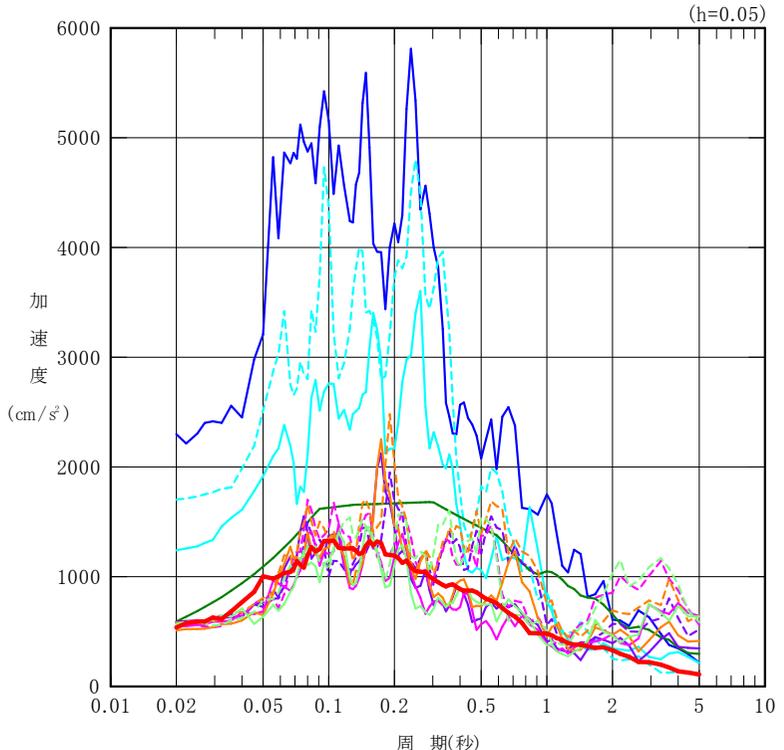


6. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（荒浜側）

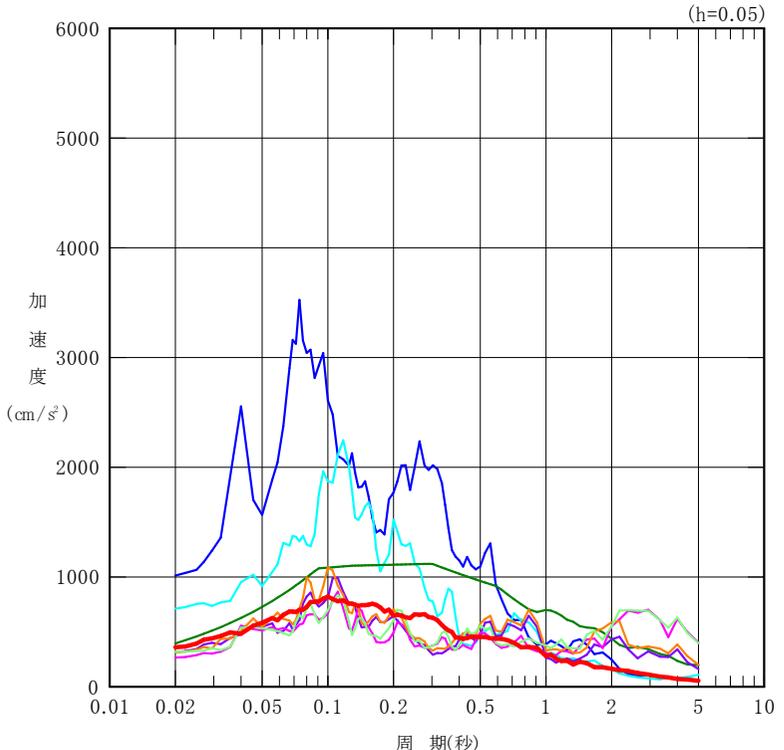
荒浜側



水平方向

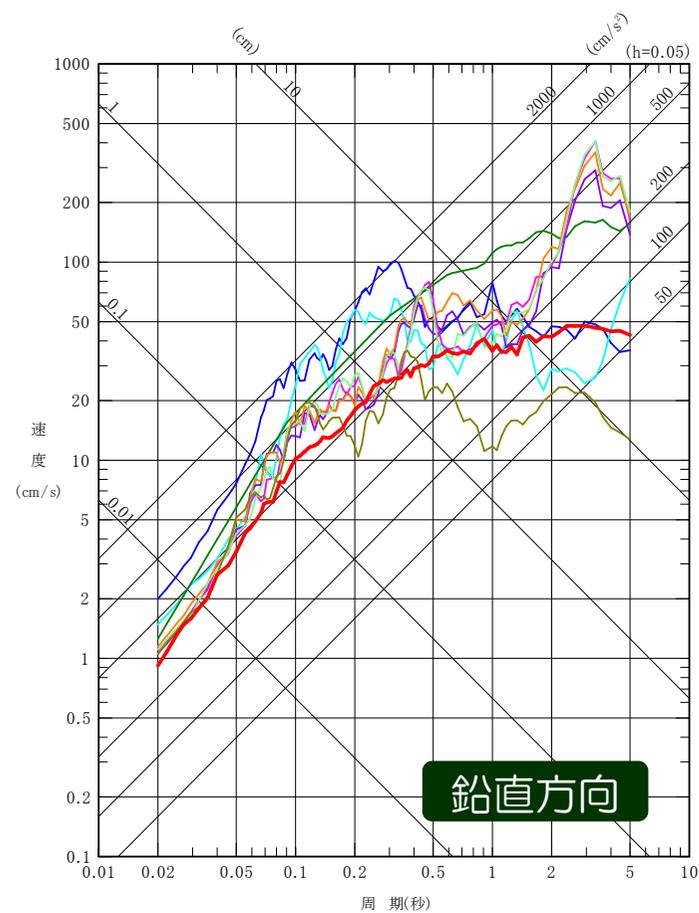
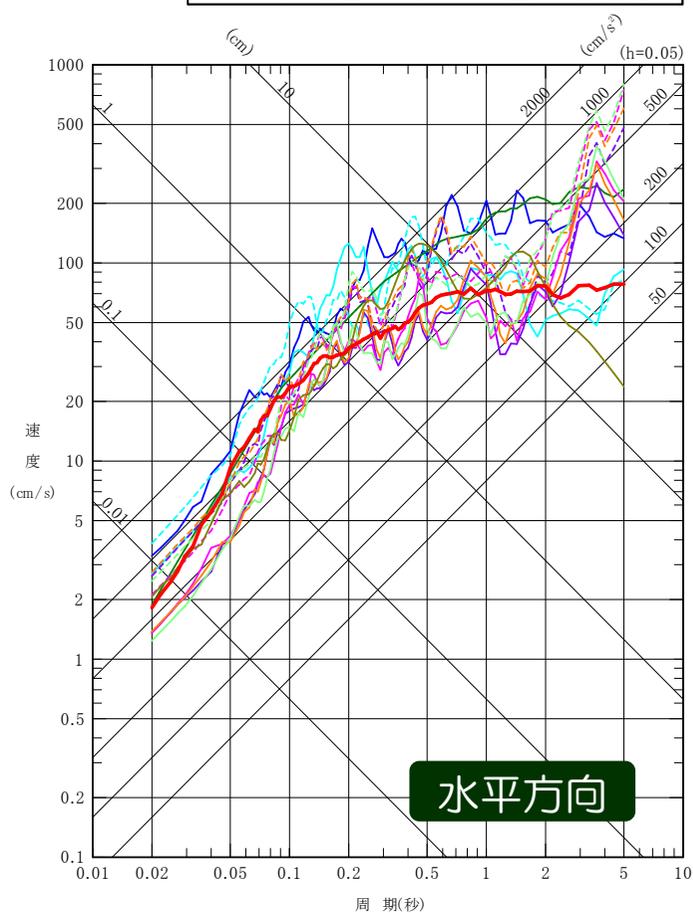
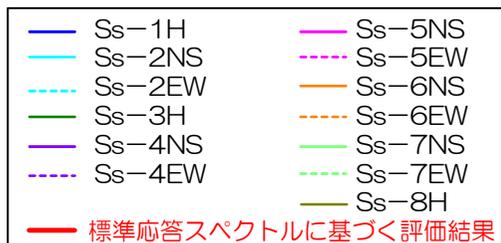


鉛直方向



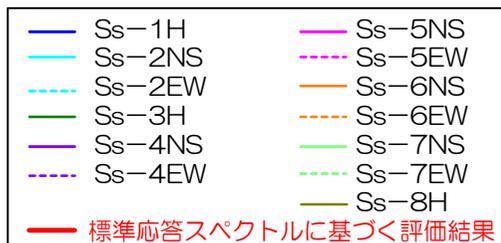
6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（大湊側）

大湊側

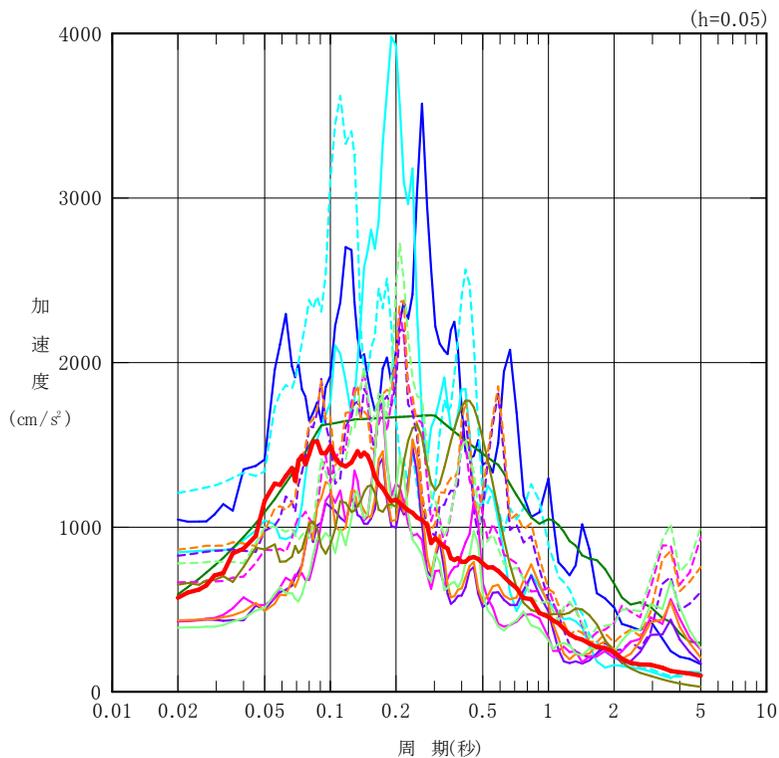


6. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（大湊側）

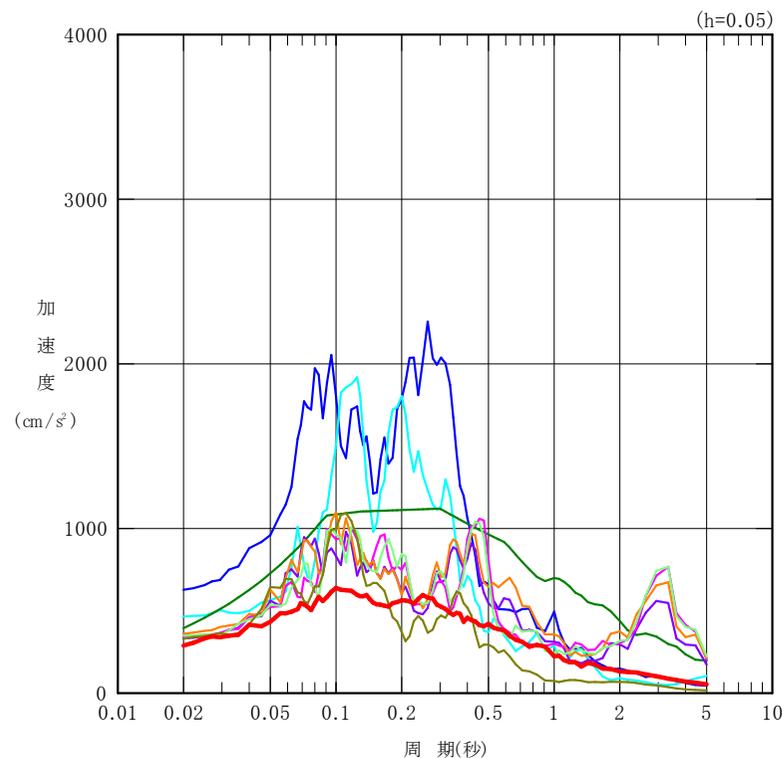
大湊側



水平方向



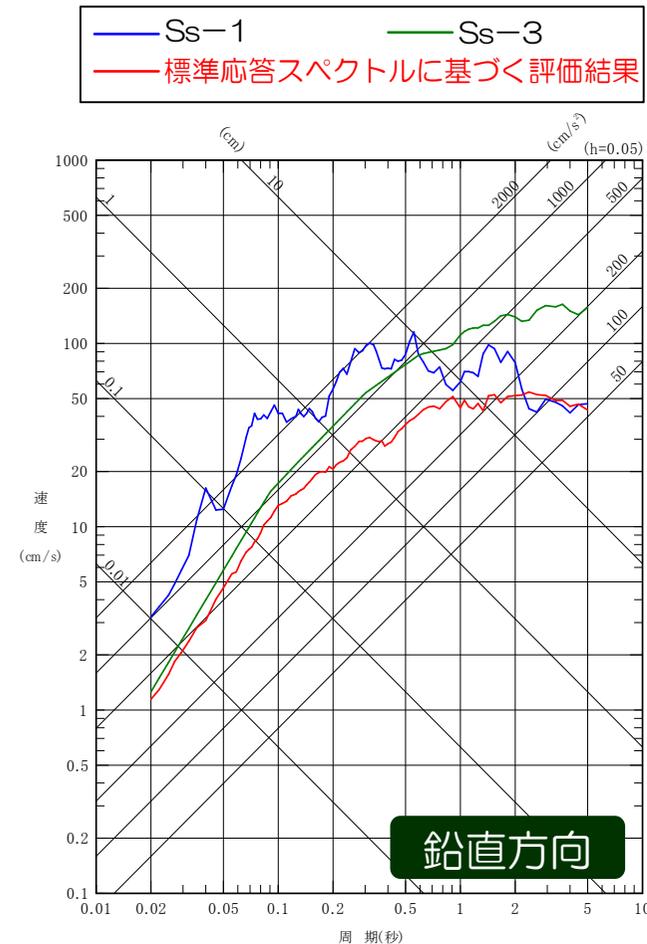
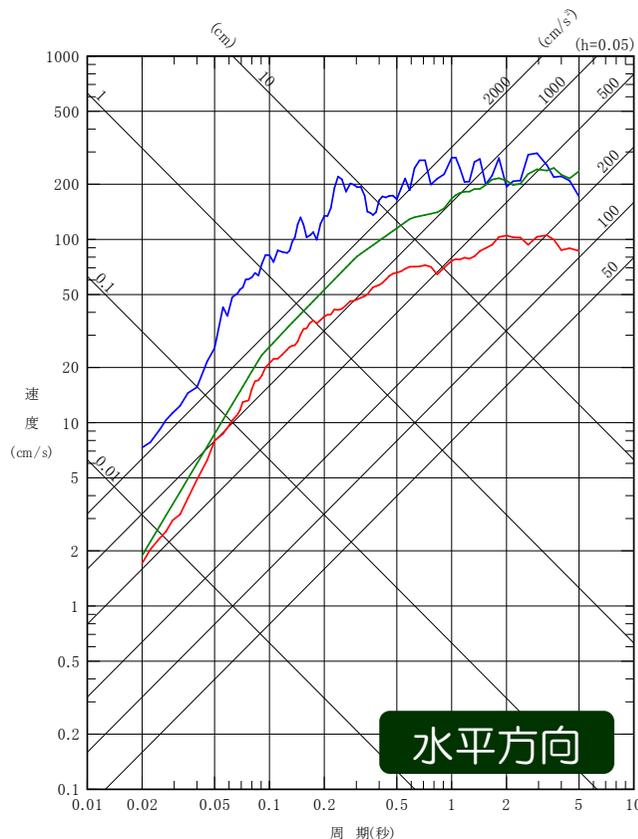
鉛直方向



6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

- 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、基準地震動Ss-1（F-B断層による地震）は主に短周期側、基準地震動Ss-3（長岡平野西縁断層帯による地震）は主に長周期側に大きな成分を持つという特徴があることから、これらの周期帯に着目して既許可の基準地震動との包絡関係を確認。
- 標準応答スペクトルに基づく評価結果は、短周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-1に包絡されること、長周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-3により包絡されることを確認。

荒浜側



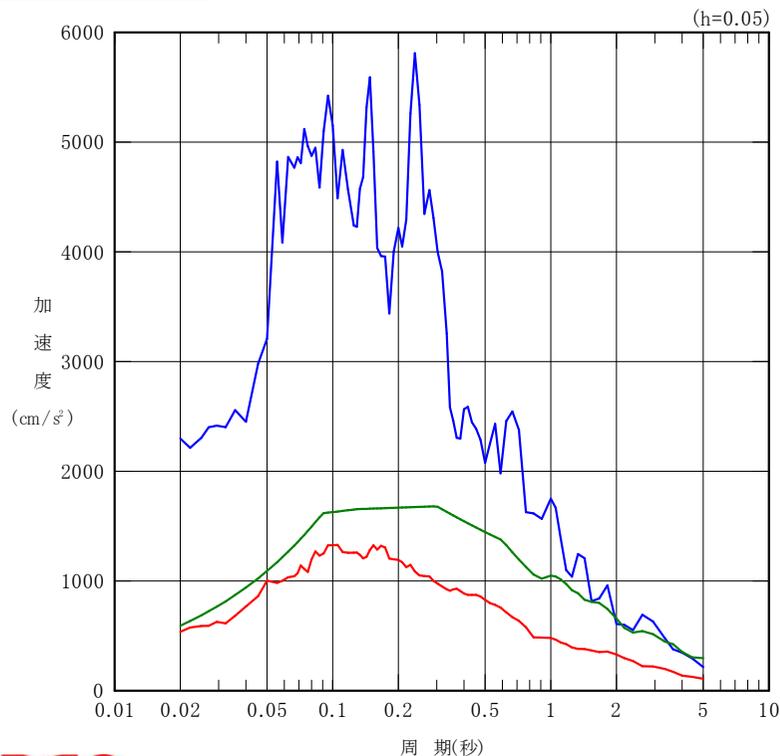
6. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（荒浜側）

- 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、基準地震動Ss-1（F-B断層による地震）は主に短周期側、基準地震動Ss-3（長岡平野西縁断層帯による地震）は主に長周期側に大きな成分を持つという特徴があることから、これらの周期帯に着目して既許可の基準地震動との包絡関係を確認。
- 標準応答スペクトルに基づく評価結果は、短周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-1に包絡されること、長周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-3により包絡されることを確認。

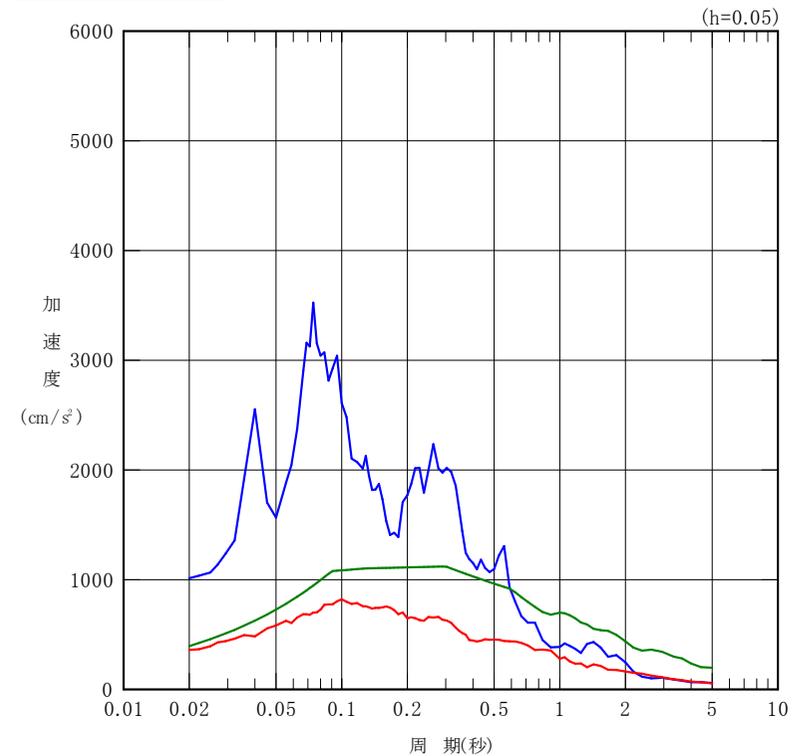
荒浜側

— Ss-1 — Ss-3
— 標準応答スペクトルに基づく評価結果

水平方向



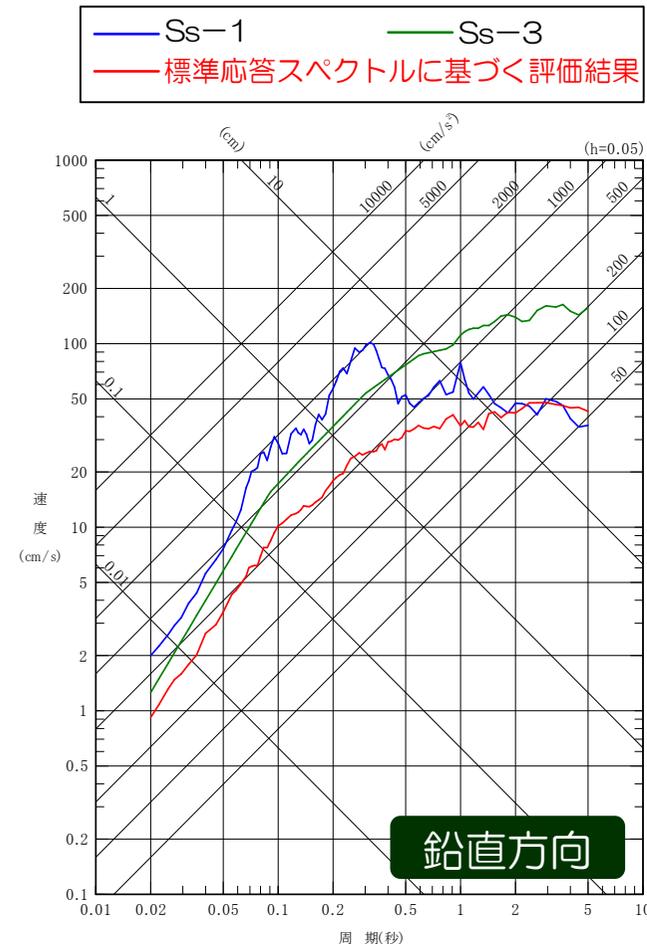
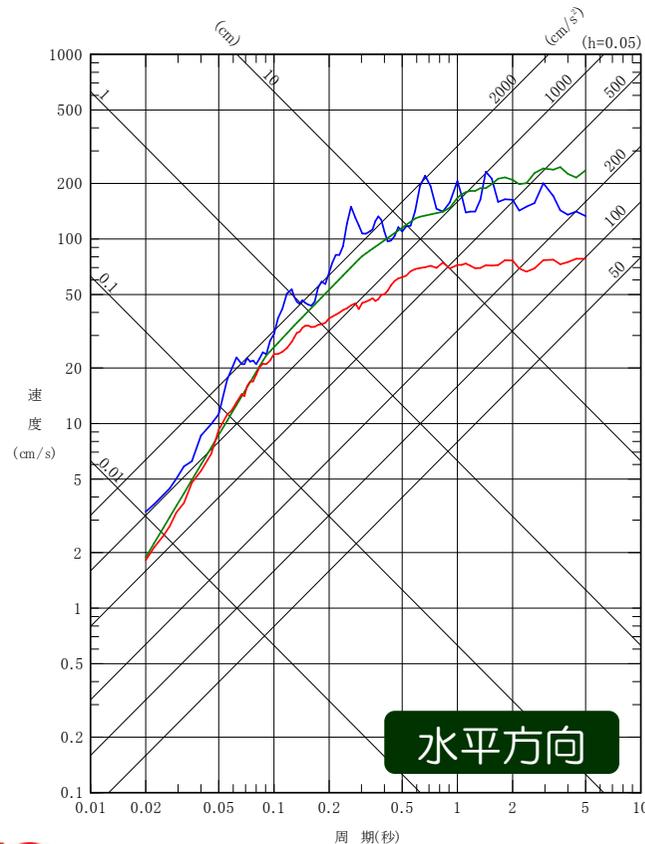
鉛直方向



6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（大湊側）

- 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、基準地震動Ss-1（F-B断層による地震）は主に短周期側、基準地震動Ss-3（長岡平野西縁断層帯による地震）は主に長周期側に大きな成分を持つという特徴があることから、これらの周期帯に着目して既許可の基準地震動との包絡関係を確認。
- 標準応答スペクトルに基づく評価結果は、短周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-1に包絡されること、長周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-3により包絡されることを確認。

大湊側



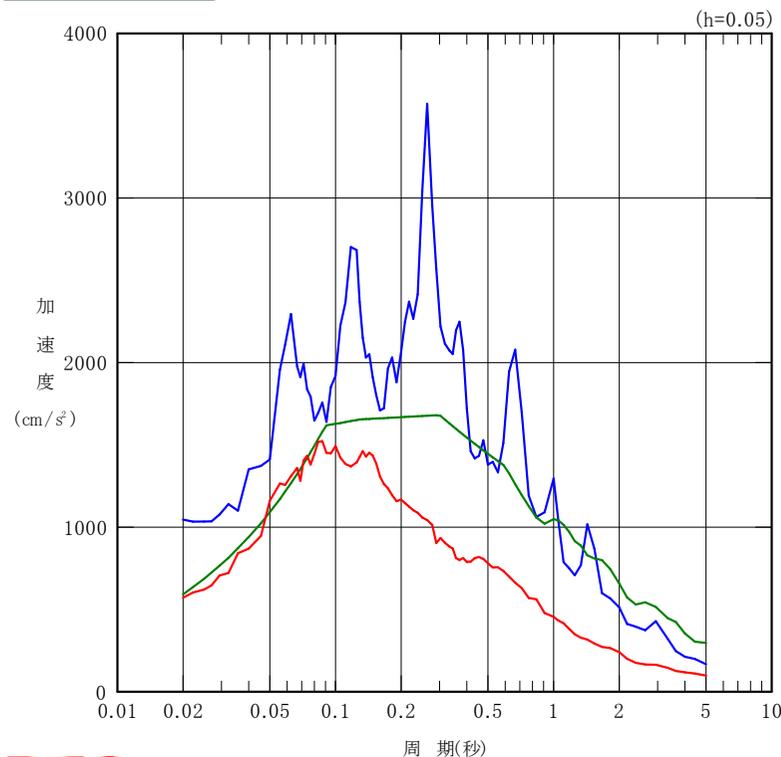
6. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（大湊側）

- 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、基準地震動Ss-1（F-B断層による地震）は主に短周期側、基準地震動Ss-3（長岡平野西縁断層帯による地震）は主に長周期側に大きな成分を持つという特徴があることから、これらの周期帯に着目して既許可の基準地震動との包絡関係を確認。
- 標準応答スペクトルに基づく評価結果は、短周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-1に包絡されること、長周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-3により包絡されることを確認。

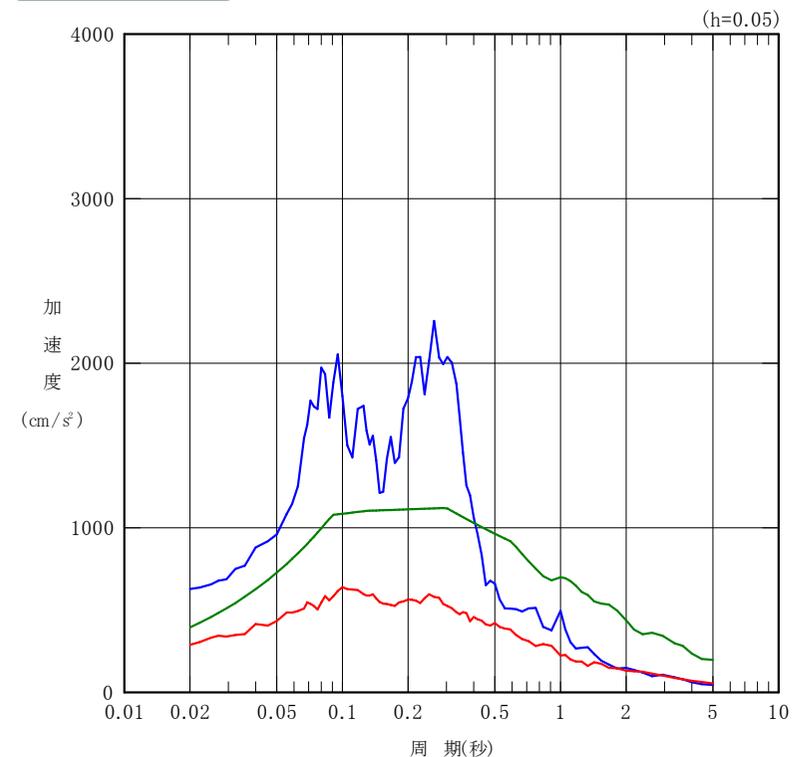
大湊側



水平方向



鉛直方向



6. 既許可の基準地震動との比較

- 標準応答スペクトルに基づく評価結果が、短周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動 S_s-1 に包絡され、長周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動 S_s-3 により包絡されることにより、既許可の基準地震動の変更は不要であるとするについて、施設の耐震設計並びに敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価への影響の観点から以下の確認を行った。

応答スペクトルの比較による検討

施設及び地盤の固有周期を踏まえた応答スペクトルの包絡の状況の確認

- 短周期側で標準応答スペクトルを包絡する基準地震動 S_s-1 は、水平方向については全ての周期帯で上回っており、鉛直方向についても周期約1.7秒以上の長周期側の周期帯を除き上回っている。この基準地震動 S_s-1 と標準応答スペクトルの大小関係は、荒浜側と大湊側で同様である。(P.103~P.106参照)
 - 以上の関係を踏まえ、この鉛直方向の長周期側の周期帯での包絡の状況と、施設及び地盤の固有周期の関係について網羅的に整理を行い、施設の耐震設計並びに敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価における影響がないことの確認を大湊側を代表として行った。
- ※ なお、荒浜側については、基準地震動 S_s-3 が全ての周期帯で水平及び鉛直方向とも標準応答スペクトルを上回っている。(P.103~P.104参照)

時刻歴波形の比較による検討

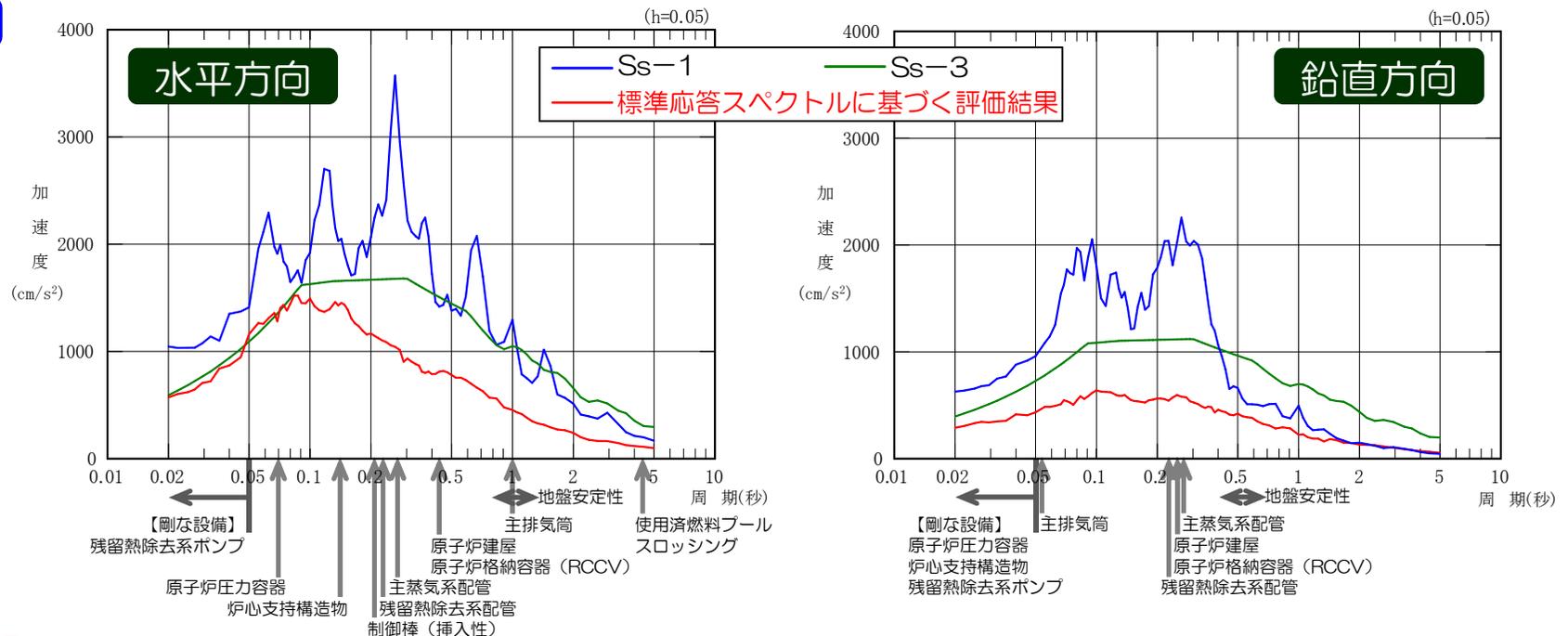
主要動の継続時間及びCAV値の確認

- 基準地震動 S_s-1 及び S_s-3 の時刻歴波形の方が、標準応答スペクトルの時刻歴波形よりも、施設の耐震設計並びに敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価に対する影響が大きい波であることの確認を行った。

6. 既許可の基準地震動との比較

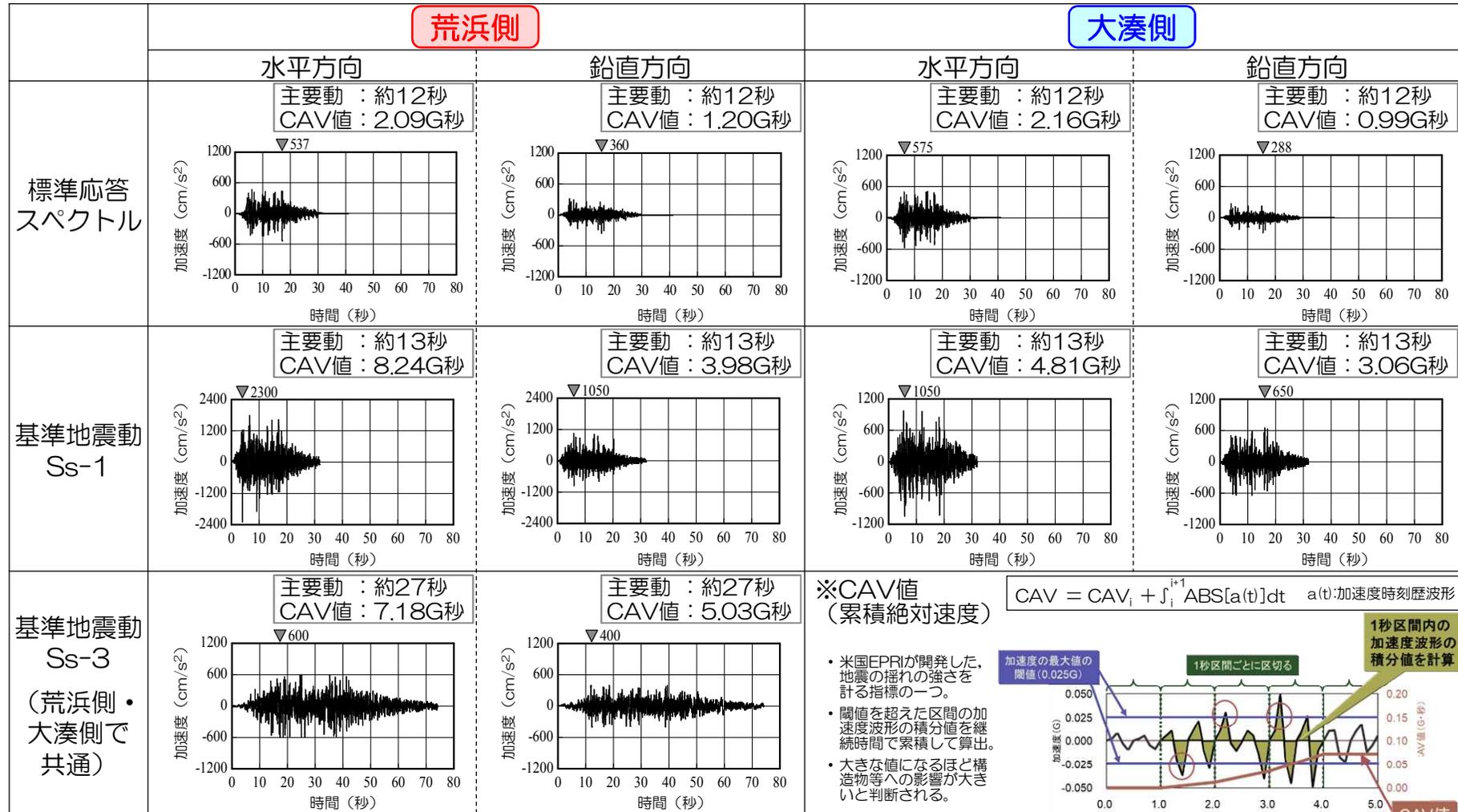
- 原子炉を「止める」, 「冷やす」, 放射性物質を「閉じ込める」ための主要な施設の固有周期は, 水平方向では0.5秒程度よりも短周期側, 鉛直方向では0.3秒程度よりも短周期側であることを確認した。
- 長周期側の影響が考えられる施設として, 主排気筒の固有周期は, 水平方向では長周期側となるのに対し, 鉛直方向では長周期側にはないことを確認した。同様に, 使用済燃料プールのスロッシングの固有周期は, 水平方向に対して定義されており, 鉛直方向の影響を受けない。
- また, 敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価における地盤の固有周期は, 水平方向では1.0秒前後, 鉛直方向では0.5秒～0.6秒前後であることを確認した。水平及び鉛直方向の同時入力を行うものについては, その解析条件において水平及び鉛直方向の固有周期をそれぞれ確認している。
- 以上を含めて網羅的に確認を行った結果, 周期約1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有する施設は存在しないことを確認した。したがって, 施設の耐震設計並びに敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価においては, 基準地震動Ss-1を用いる方が標準応答スペクトルを用いるよりも保守的な評価となることを確認した。

大湊側



6. 既許可の基準地震動との比較

- 時刻歴波形の観点からも、地震動が構造物等を与える影響を確認するための指標として、主要動の継続時間（P.82及びP.147参照）とCAV値※について比較した。
- その結果、基準地震動Ss-1及びSs-3の方が、標準応答スペクトルよりも主要動の継続時間は長く、CAV値は大きな値となることを確認した。



6. 既許可の基準地震動との比較

- 基準地震動Ss-1は、標準応答スペクトルに対して、水平方向については全ての周期帯で上回っており、鉛直方向についても周期約1.7秒以上の長周期側の周期帯を除き上回っていることから、施設及び地盤の固有周期との関係について整理を行い、施設の耐震設計並びに敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価への影響の観点から確認を行った。
- 網羅的に確認を行った結果、周期約1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有する施設は存在しないことを確認した。したがって、施設の耐震設計並びに敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価においては、基準地震動Ss-1を用いる方が標準応答スペクトルを用いるよりも保守的な評価となることを確認した。
- なお、基準地震動Ss-3は、周期約1.7秒以上の長周期側の周期帯に対して、水平及び鉛直方向ともに、標準応答スペクトルを上回ることも併せて確認をしている。
- また、時刻歴波形の観点からも、基準地震動Ss-1及びSs-3の時刻歴波形の方が、標準応答スペクトルよりも、主要動の継続時間は長く、CAV値は大きな値となることを確認した。
- 以上を踏まえ、標準応答スペクトルに対しては、既許可の基準地震動Ss-1及びSs-3を考慮することで、施設の耐震設計並びに敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価上の問題はないものと判断した。

補足検討資料

【補足1】 基準地震動Ss-8への影響確認

【補足2】 荒浜側のはぎとり地盤モデルについて

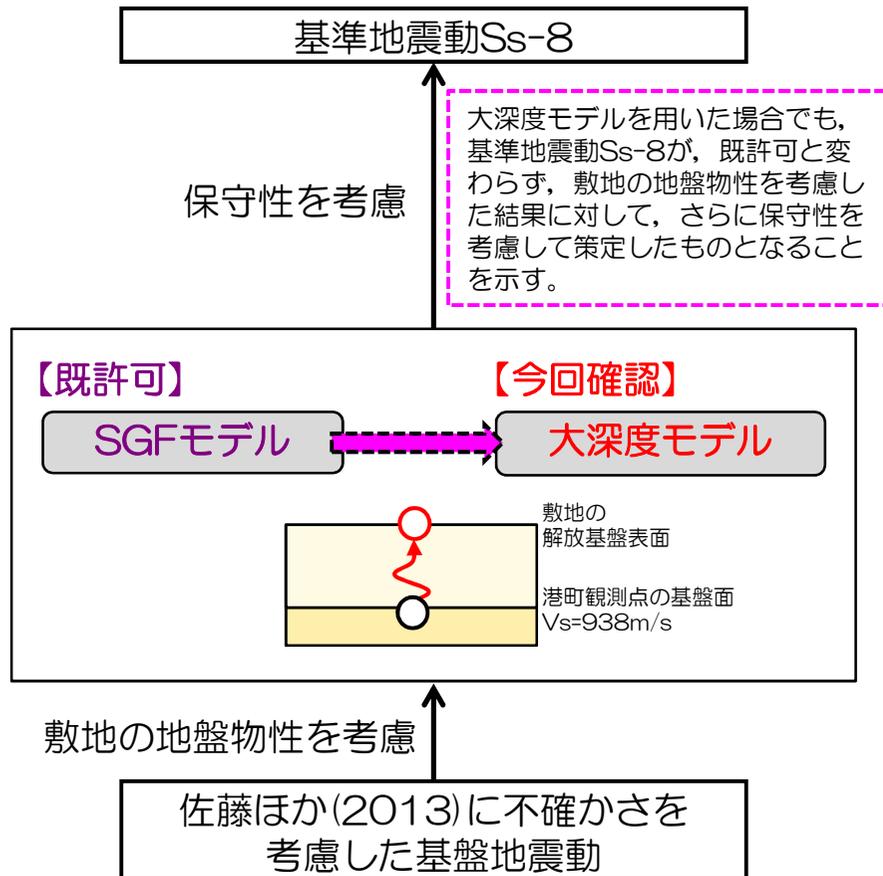
【補足3】 敷地の南西側で発生する地震による荒浜側の増幅特性の影響を考慮した場合の評価

参考資料

【参考】 新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

【補足1】 基準地震動Ss-8への影響確認

- 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した既許可の基準地震動Ss-8については、SGFモデルを用いて敷地の地盤物性との相違による影響を考慮しているため、今回採用した地下構造モデルを用いた場合でも既許可に変更が生じないことを確認し示す。
- 敷地の地盤物性の考慮には、既許可と同様に（P.143参照），大湊側の地下構造モデルを用いる。



大湊側

層No.	標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	Qs*		Qp*		備考
						Qo	n	Qo	n	
	-134.0									解放基盤表面
1	-149.0	15.0	2.03	730	1800	5.00	0.85	3.33	0.90	
2	-231.0	82.0	2.03	890	1900	5.00	0.85	3.33	0.90	入力位置
3	-266.0	35.0	2.03	960	1900	5.00	0.85	3.33	0.90	
4	-300.0	34.0	2.03	1000	2100	5.00	0.85	3.33	0.90	
5	-834.5	534.5	2.10	1200	2420	14.32	0.90	6.11	0.59	
6	-1716.2	881.7	2.30	1300	2610	15.05	0.89	6.12	0.61	
7	-2613.3	897.1	2.40	1920	4270	14.35	0.75	9.46	0.66	
8	-3944.3	1331.0	2.50	2350	4780	20.71	0.57	17.80	0.85	
9	-6092.4	2148.1	2.60	3060	5080	66.23	0.78	37.72	0.72	
10			2.70	3490	5440	66.23	0.78	37.72	0.72	

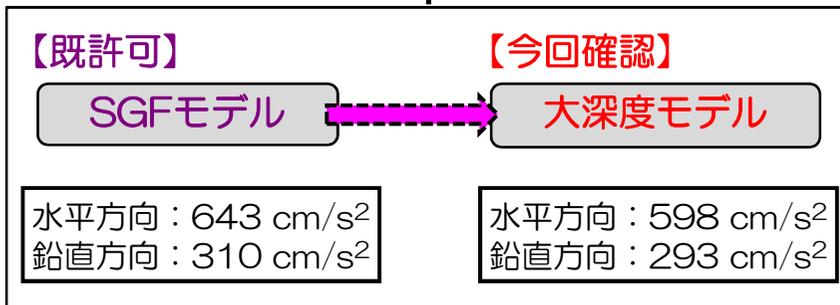
※Q(f)=Qo×fⁿを仮定。

【補足1】 基準地震動Ss-8への影響確認

- 大深度モデルを用いて敷地の地盤物性を考慮した場合の評価結果（水平方向：598cm/s²，鉛直方向：293cm/s²）に対して，基準地震動Ss-8が上回る関係になることを確認した。
- したがって，今回採用した地下構造モデルを用いた場合でも，基準地震動Ss-8は，敷地の地盤物性を考慮した結果に対して，さらに保守性を考慮して策定したのとなっており，その考え方に変更はない。
- 以上より，既許可の基準地震動Ss-8に変更はない。

基準地震動Ss-8
 水平方向：650 cm/s²
 鉛直方向：330 cm/s²

保守性を考慮

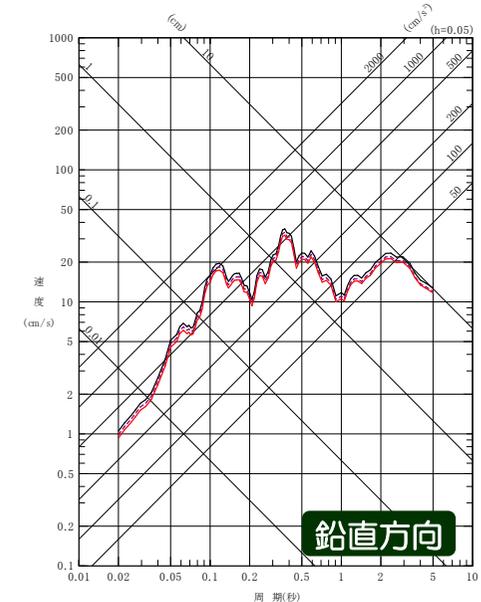
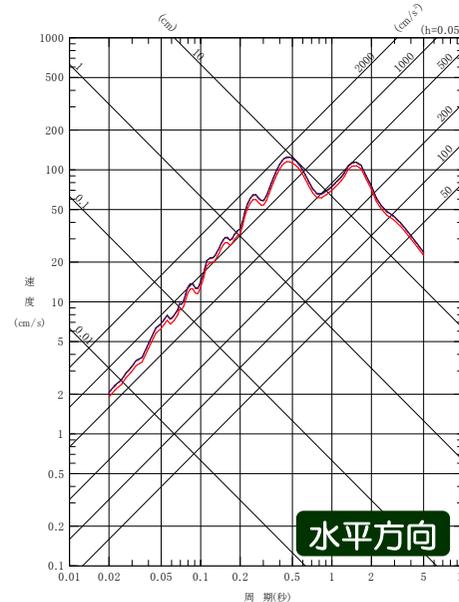


敷地の地盤物性を考慮

佐藤ほか(2013)に不確かさを考慮した基盤地震動
 水平方向：609 cm/s²
 鉛直方向：306 cm/s²

大湊側

— 基準地震動Ss-8(水平方向：650cm/s²，鉛直方向：330cm/s²)
 - - - SGFモデルの評価結果(水平方向：643m/s²，鉛直方向：310m/s²)
 — 大深度モデルの評価結果(水平方向：598cm/s²，鉛直方向：293cm/s²)



【補足1】 基準地震動Ss-8への影響確認

■ なお、荒浜側については、以下の2点について確認を行った。いずれも、既許可への影響はない。

【既許可】

- 荒浜側の地下構造モデルにおいては、解放基盤表面以深の層は $V_s=1,110\text{m/s}$ であり、港町観測点の基盤層の $V_s=938\text{m/s}$ を上回ることから、これによると地盤物性による補正の必要はないものと考えられる。(P.143参照)

【今回】

- 今回採用した地下構造モデルの解放基盤表面以深の層は $V_s=997\text{m/s}$ であり、既許可と同様に、港町観測点の基盤層の $V_s=938\text{m/s}$ を上回る。

既許可への影響はない。

荒浜側

層No.	標高 (m)	層厚 (m)	密度 (t/m^3)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	Qs*		Qp*		備考
						Qo	n	Qo	n	
	-284.0									解放基盤表面
1	-764.5	480.5	1.70	997	2210	14.91	0.89	5.27	0.61	
2	-1242.3	477.8	2.10	1500	2700	19.37	0.75	10.22	0.85	
3	-1896.3	654.0	2.30	1870	2760	11.55	0.52	9.19	0.70	
4	-2792.2	895.9	2.40	1920	4270	14.35	0.75	9.46	0.66	
5	-4081.5	1289.3	2.50	2350	4780	20.71	0.57	17.80	0.85	
6	-6469.8	2388.3	2.60	3060	5080	66.23	0.78	37.72	0.72	
7			2.70	3490	5440	66.23	0.78	37.72	0.72	

※ $Q(f)=Q_0 \times f^n$ を仮定。

【既許可】

- 荒浜側の「震源を特定せず策定する地震動」と「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の比較においては、地盤物性による補正の必要はないと考えられるが、保守的に大湊側の評価結果（前ページの基準地震動Ss-8、 $V_s=730\text{m/s}$ の地盤物性による補正を考慮）を用いて比較。(P.146参照)

【今回】

- 前ページの通り、大湊側の基準地震動Ss-8に変更はない。

既許可への影響はない。

【補足2】 荒浜側のはぎとり地盤モデルについて

- 既許可のSGFモデル及び今回の大深度モデルは、地表の観測記録をターゲットとした逆解析により、地表から地震基盤までの地下構造モデルを同定した上で、解放基盤表面から地震基盤までの地下構造モデルとして設定している。
- 同定の対象とした深さ（鉛直アレイ地震計設置位置の標高-250m以深）及び同定結果に基づき解放基盤表面から地震基盤までの地下構造モデルを設定する考え方は、既許可と今回で全く同様である。

荒浜側

【既許可】

地表の観測記録をターゲットとした逆解析により、
地表から地震基盤までの地下構造モデルを同定
※鉛直アレイ地震計設置位置の標高-250m以深を同定

層 No.	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)
1	5.0	2.0	100	920
2	3.0	4.0	180	920
3	-1.0	14.0	270	950
4	-15.0	52.0	430	1600
5	-67.0	81.0	520	1700
6	-148.0	82.0	730	1700
7	-230.0	20.0	820	2200
8	-250.0	50.0	1110	2280
9	-300.0	1060.0	1160	2390
10	-1360.0	1050.0	1620	3220
11	-2410.0	1290.0	2050	4150
12	-3700.0	2180.0	2760	4820
13	-5880.0	3170	5230	

SGFモデル

解放基盤表面から地震基盤までの
地下構造モデルを設定

層 No.	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)
1	-284.0	16.0	1110	2280
2	-300.0	1060.0	1160	2390
3	-1360.0	1050.0	1620	3220
4	-2410.0	1290.0	2050	4150
5	-3700.0	2180.0	2760	4820
6	-5880.0	3170	5230	

【今回】

地表の観測記録をターゲットとした逆解析により、
地表から地震基盤までの地下構造モデルを同定
※鉛直アレイ地震計設置位置の標高-250m以深を同定

層 No.	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)
1	5.0	2.0	100	920
2	3.0	4.0	180	920
3	-1.0	14.0	270	950
4	-15.0	52.0	430	1600
5	-67.0	81.0	520	1700
6	-148.0	82.0	730	1700
7	-230.0	20.0	820	2200
8	-250.0	514.5	997	2210
9	-764.5	477.8	1500	2700
10	-1242.3	654.0	1870	2760
11	-1896.3	895.9	1920	4270
12	-2792.2	1289.3	2350	4780
13	-4081.5	2388.3	3060	5080
14	-6469.8	3490	5440	

大深度モデル

解放基盤表面から地震基盤までの
地下構造モデルを設定

層 No.	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)
1	-284.0	16.0	1110	2280
2	-300.0	1060.0	1160	2390
3	-1360.0	1050.0	1620	3220
4	-2410.0	1290.0	2050	4150
5	-3700.0	2180.0	2760	4820
6	-5880.0	3170	5230	
7	-764.5	480.5	997	2210
8	-1242.3	477.8	1500	2700
9	-1896.3	654.0	1870	2760
10	-2792.2	895.9	1920	4270
11	-4081.5	1289.3	2350	4780
12	-6469.8	2388.3	3060	5080
13	-6469.8	3490	5440	

同定の対象とした深さ及び同定結果に基づき解放基盤表面から地震基盤までの
地下構造モデルを設定する考え方は、既許可と今回で全く同様である。

【補足2】 荒浜側のはぎとり地盤モデルについて

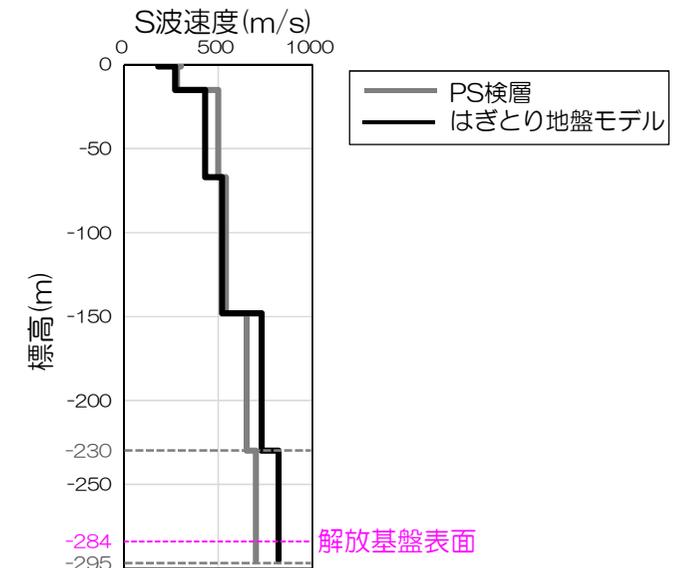
- 一方、既許可の荒浜側のはぎとり地盤モデルは、鉛直アレイ観測記録による伝達関数に対し重複反射理論に基づく逆解析により、地表から解放基盤表面までの地下構造モデルを同定して設定している。
- 荒浜側の解放基盤表面付近について、PS検層結果より標高-230mから-295mまで同じ速度の層が連続していることを確認した上で、解放基盤表面の標高-284m位置ではぎとり波を評価している。
- したがって、はぎとり波は、前ページの考え方で設定している解放基盤表面から地震基盤までの地下構造モデルには、影響を受けない。

既許可への影響はない。

荒浜側

標高 (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)	減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$	
				h_0	α
地表					
+5	2	2.00	100	0.20	0.90
+3	4	2.00	180	0.20	0.90
-1	14	1.76	270	0.20	0.90
-15	25	1.72	430	0.20	0.90
-40	27				
-67	55	1.72	520	0.20	0.90
-122	26				
-148	82	1.72	730	0.20	0.90
-230	20	1.72	820*	0.20	0.90
-250	34				
解放基盤表面	-284	∞			

● 地震計設置位置



※ 前ページの解放基盤表面から地震基盤までの地下構造モデルにおける解放基盤表面以深の層の $V_s=1,110\text{m/s}$ (SGFモデル) または $V_s=997\text{m/s}$ (大深度モデル) よりも、はぎとり波を評価する解放基盤表面のS波速度として保守的な設定となっている。

【補足2】 荒浜側のはぎとり地盤モデルについて

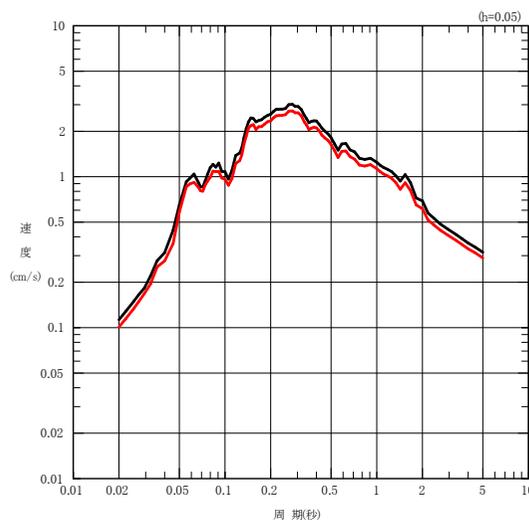
コメント
No.7

- はぎとり地盤モデルの標高-250m以深について、大深度モデルのS波速度に置き換えた場合にはぎとり波に与える影響を確認しておく観点から、以下の2ケースの検討を実施。
- いずれのケースにおいても、はぎとり波の応答スペクトルはほぼ変わらず、820m/sを用いた場合の方が997m/sを用いた場合をわずかに上回っていることから、保守的な評価となることを確認した。

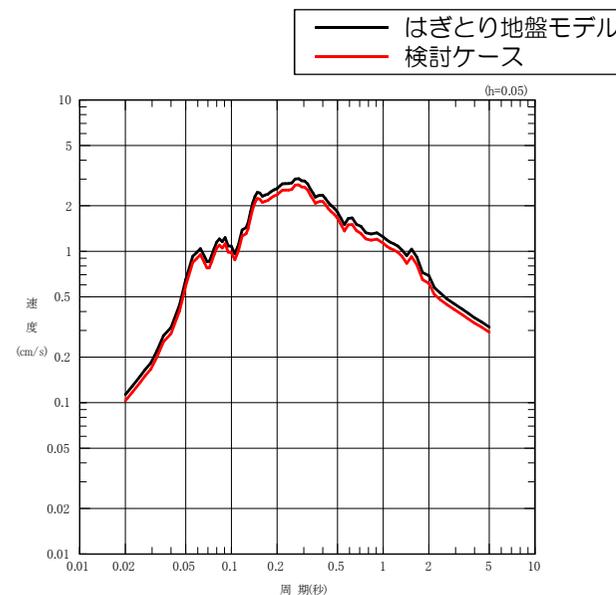
【検討ケース】

- (1) 逆解析において地下構造モデルの同定の対象とした深さを踏まえて、はぎとり地盤モデルの標高-250m以深を大深度モデルの $V_s=997\text{m/s}$ に置き換えたケース
- (2) 解放基盤表面から地震基盤までの地下構造モデルとして設定している大深度モデルとの連続性を踏まえて、はぎとり地盤モデルの標高-284m以深を大深度モデルの $V_s=997\text{m/s}$ に置き換えたケース

荒浜側



(1) 標高-250m以深を $V_s=997\text{m/s}$ に置き換えたケース



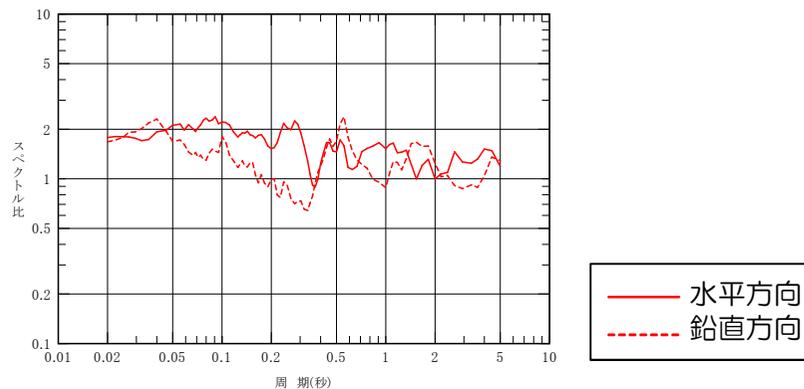
(2) 標高-284m以深を $V_s=997\text{m/s}$ に置き換えたケース

※ F-B断層による地震の要素地震 (EW方向) を用いて検討を実施

【補足3】敷地の南西側で発生する地震による荒浜側の増幅特性の影響を考慮した場合の評価

第8回会合
(2021.12.3)
資料1-1 P.83
再掲

- 標準応答スペクトルの知見には、観測点より深部の増幅特性が含まれていると考えられる。また、敷地の南西側の一部の特定の領域で発生する地震を除いて褶曲構造による特異な増幅は認められないことを確認していることから、「震源を特定せず策定する地震動」の評価における荒浜側の地震波の増幅特性は、1次元地下構造モデルにより反映することが可能であると考え、これを採用することとした。敷地の南西側の一部の特定の領域で発生する地震による増幅特性の影響は、既許可の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価において適切に反映している。
- しかしながら、「震源を特定せず策定する地震動」が敷地の南西側の一部の特定の領域で発生することを考慮した場合の標準応答スペクトルへの影響を確認する観点から、この領域の増幅特性を含む中越沖地震の観測記録に基づき荒浜側の増幅特性を考慮した場合の評価を念のために検討する。
- ここでは、既許可で行った中越沖地震の解放基盤波についての分析を踏まえ（P.122参照）、中越沖地震の解放基盤波に基づく荒浜側と大湊側の応答スペクトル比を大湊側の評価結果に乗じることで、敷地の南西側で発生する地震による荒浜側の増幅特性の影響を考慮した。

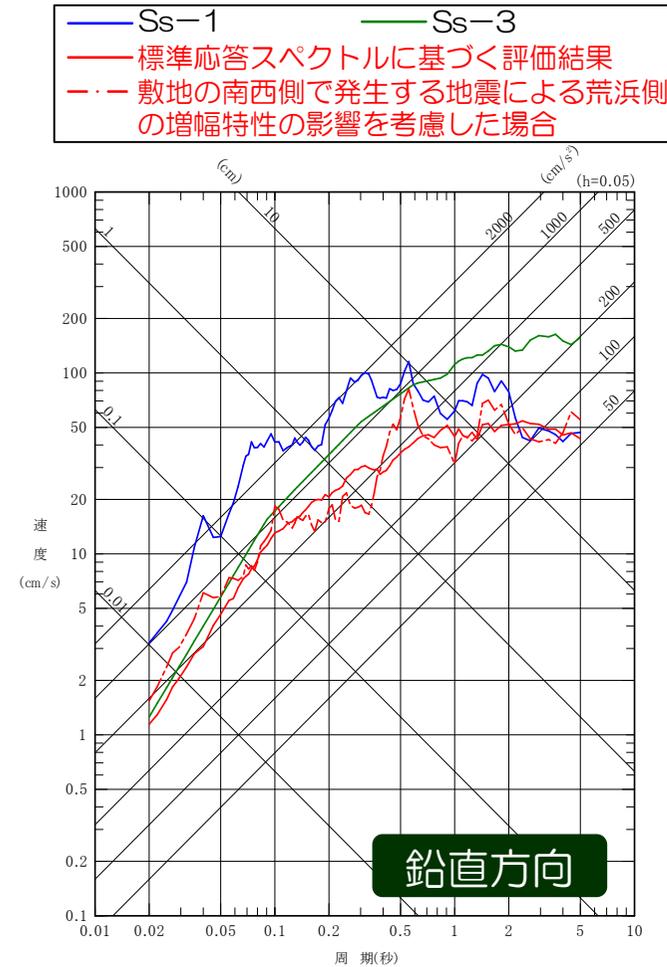
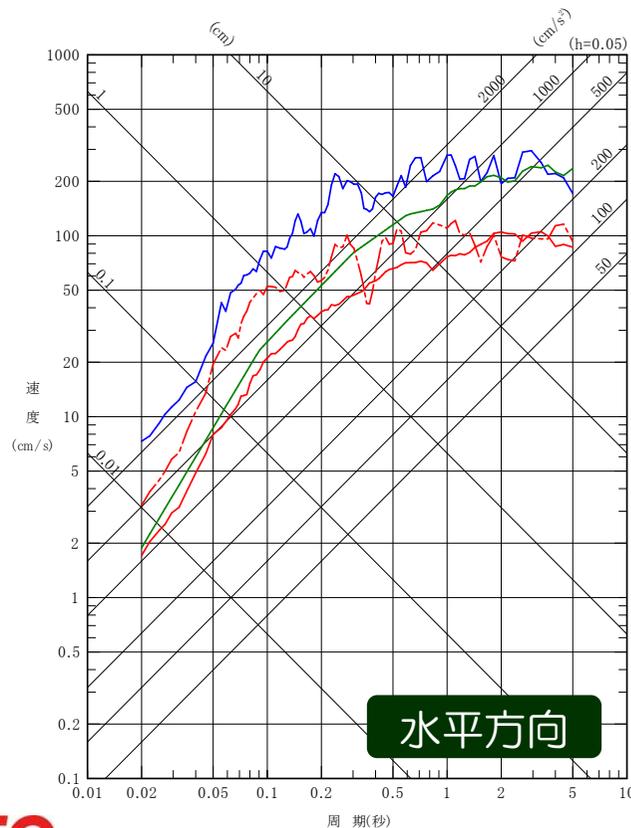


中越沖地震の解放基盤波に基づく荒浜側と大湊側の応答スペクトル比

【補足3】敷地の南西側で発生する地震による荒浜側の増幅特性の影響を考慮した場合の評価

- 敷地の南西側で発生する地震による荒浜側の増幅特性の影響を考慮した場合の評価結果は、もとの標準応答スペクトルに基づく評価結果と同様に、短周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-1に包絡されること、長周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-3により包絡されることを確認。
- なお、評価結果が基準地震動Ss-1を上回るのは鉛直方向の周期約2秒以上の長周期側のみであり、この周期帯に鉛直方向の固有周期を有する施設は存在しないことを確認している。

荒浜側



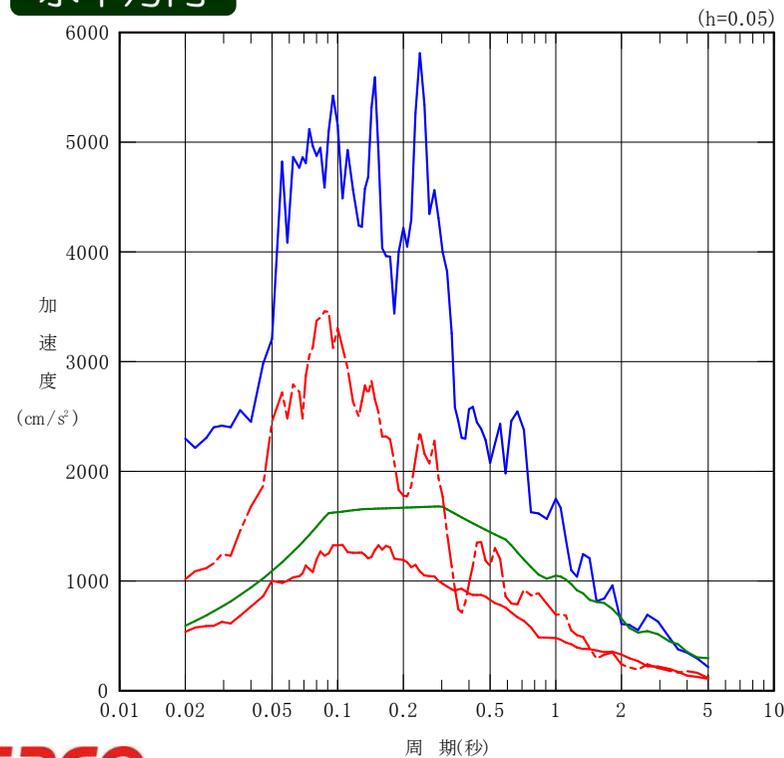
【補足3】敷地の南西側で発生する地震による荒浜側の増幅特性の影響を考慮した場合の評価

- 敷地の南西側で発生する地震による荒浜側の増幅特性の影響を考慮した場合の評価結果は、もとの標準応答スペクトルに基づく評価結果と同様に、短周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-1に包絡されること、長周期側では水平及び鉛直方向ともに基準地震動Ss-3により包絡されることを確認。
- なお、評価結果が基準地震動Ss-1を上回るのは鉛直方向の周期約2秒以上の長周期側のみであり、この周期帯に鉛直方向の固有周期を有する施設は存在しないことを確認している。

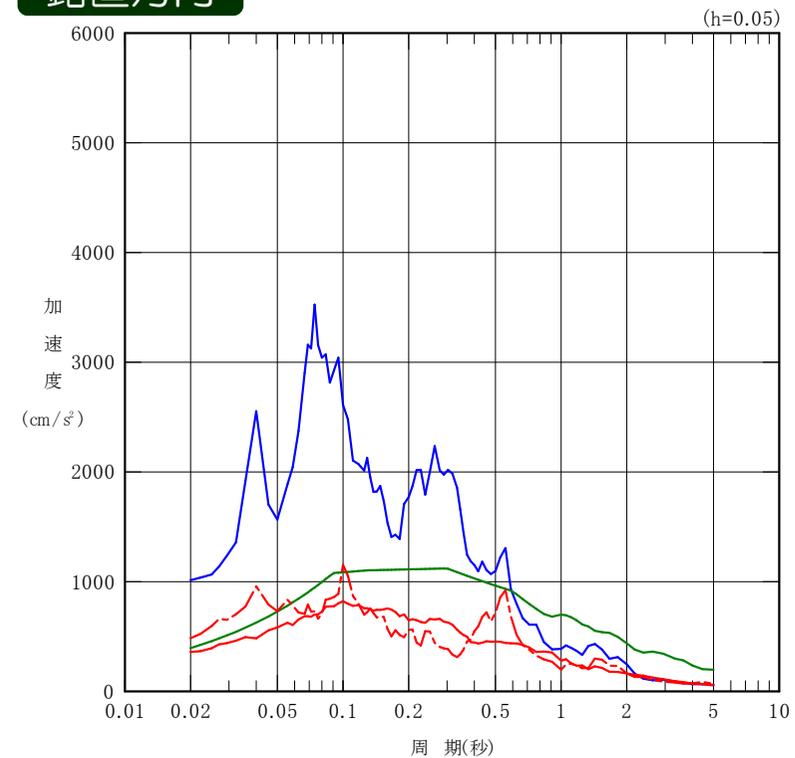
荒浜側



水平方向



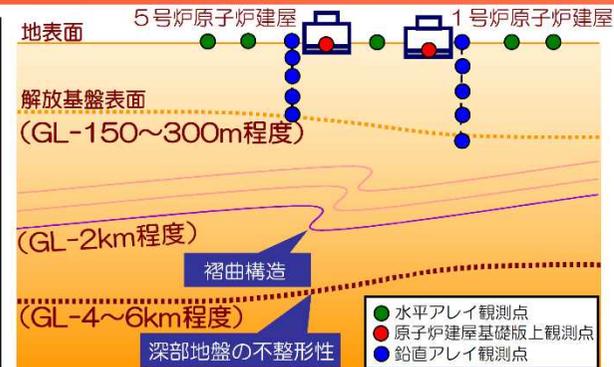
鉛直方向



①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

- 中越沖地震では、敷地の増幅特性に関して、地震観測記録の分析、解析的検討により、褶曲構造及び深部地盤における不整形性の影響が確認されている。
5.3.1(1), 5.3.1(2)a 及び 5.3.2(1), 5.3.2(2)
- これらに加え、解放基盤表面以浅の影響に関する検討及び原子炉建屋基礎版上の観測記録・水平アレイ観測記録の分析を実施することにより、敷地内全体の増幅特性を把握することができているものと考えられる。
5.3.1(2)b, 5.3.1(3), 5.3.1(4)



	5.3.1(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、解放基盤以浅においては不整形等による特異な増幅はない				5.3.1(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録	5.3.1(4)水平アレイ観測記録 5号炉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 南西から到来する地震動のみ、地震波の顕著な増幅が認められる領域が確認され、1号炉周辺の観測点で著しく大きくなる 補足説明資料 各地点で推定した地下構造モデルによる解放基盤表面相当～地表までの増幅率は荒浜側と大湊側で顕著な差異がない。
褶曲構造の影響	5.3.1(1)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	5.3.1(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（中越沖地震と同じ傾向） 【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	5.3.1(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	5.3.2(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号炉を基準としてスペクトル比を算定 5号炉～7号炉側はばらつきが小さい 1号炉～4号炉側は5号炉側とばらつきの傾向が異なる	
深部地盤における不整形性の影響	5.3.1(1)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	5.3.1(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	5.3.2(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		

※耐専スペクトル：Noda et al.(2002)による応答スペクトル

□：新規制基準への適合審査にて追加検討した事項

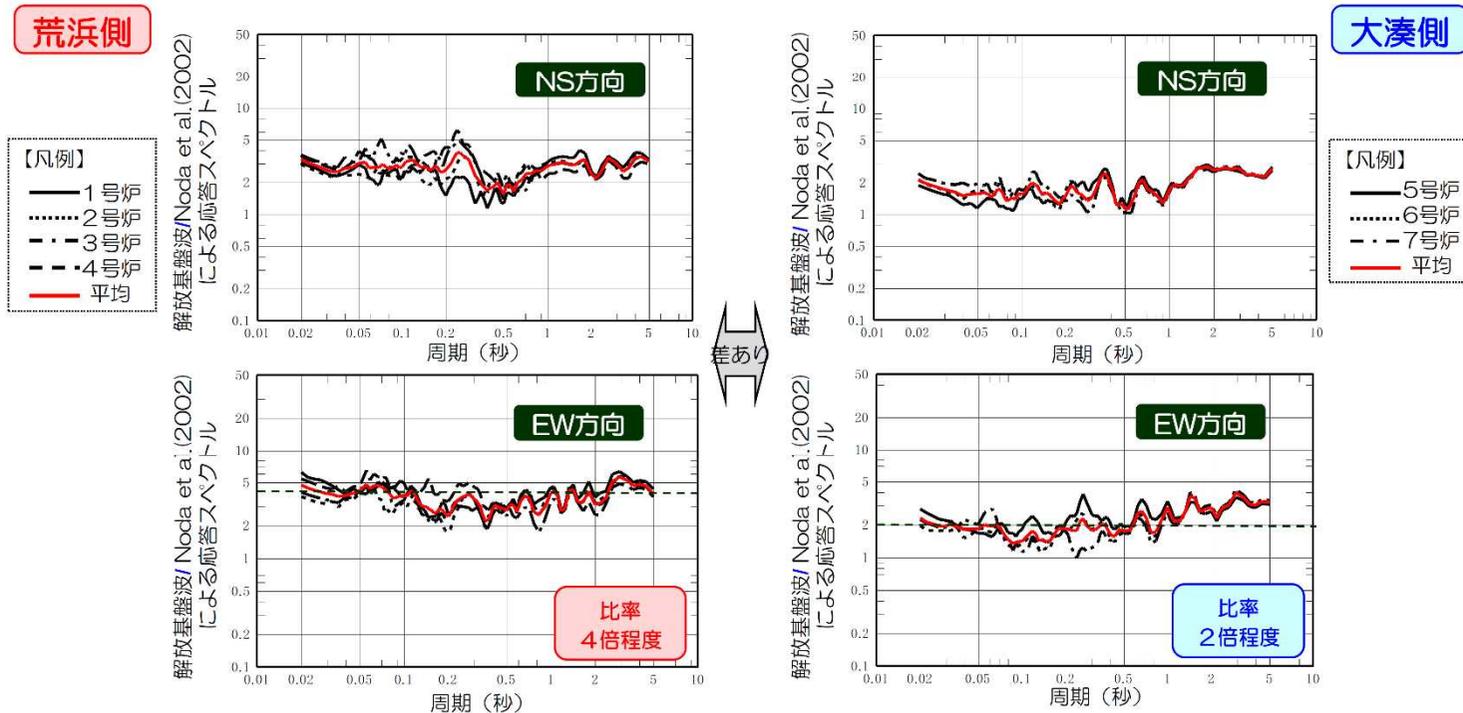
①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (1)中越沖地震の地震観測記録

- 解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトル（内陸補正※1なし）を比較し、以下を確認。
 - ① 荒浜側，大湊側とも，Noda et al.(2002)による応答スペクトルとの比率が1を上回る。
 - ② 荒浜側と大湊側で，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 内陸補正：Noda et al.(2002)で提案されている内陸地震を対象とした補正



原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

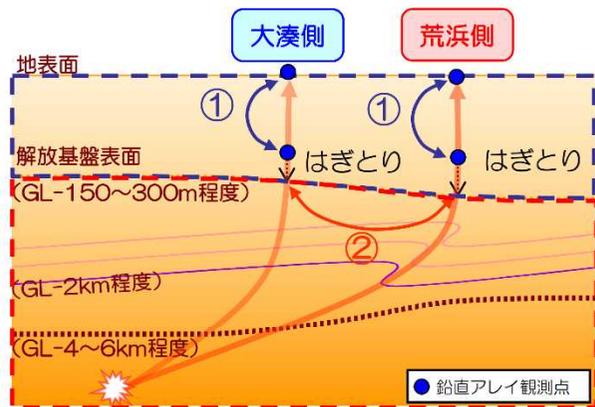
5.3.1 地震観測記録の分析 (2)鉛直アレイ観測記録 b.小規模地震

■ 敷地地盤で得られた鉛直アレイ地震観測記録を用いて、地震波の到来方向別に分析を実施し、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。

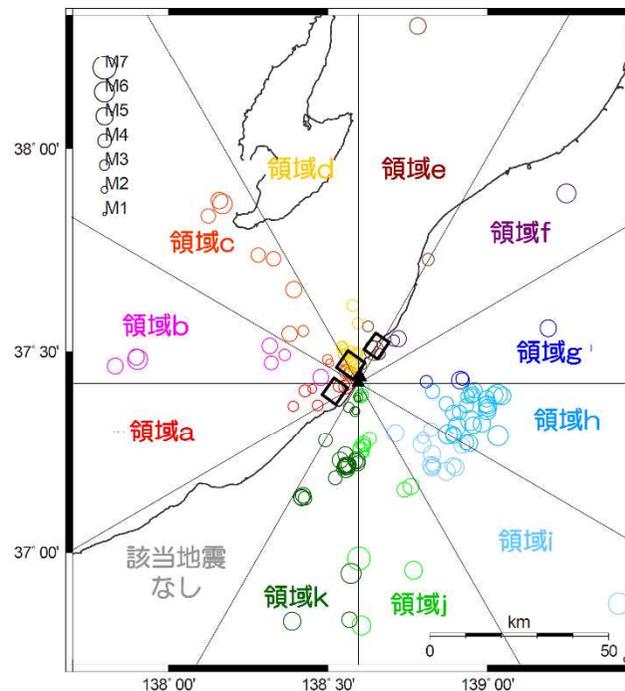
■ なお、到来方向別の分析については、30°刻みの領域区分ごとに整理して実施。

【対象地震】

- 震源距離100km以内
- 解放基盤表面に近い観測点で観測されており、最大加速度値が1cm/s²程度以上
- 1号炉及び5号炉鉛直アレイ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。

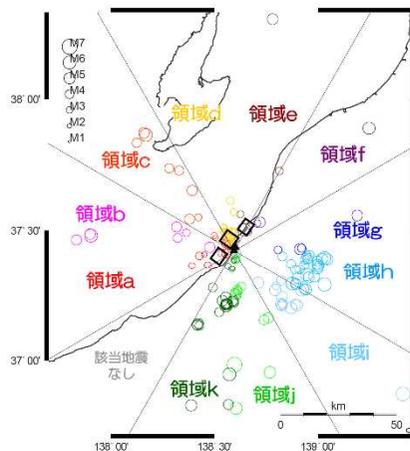


①地震波の増幅特性

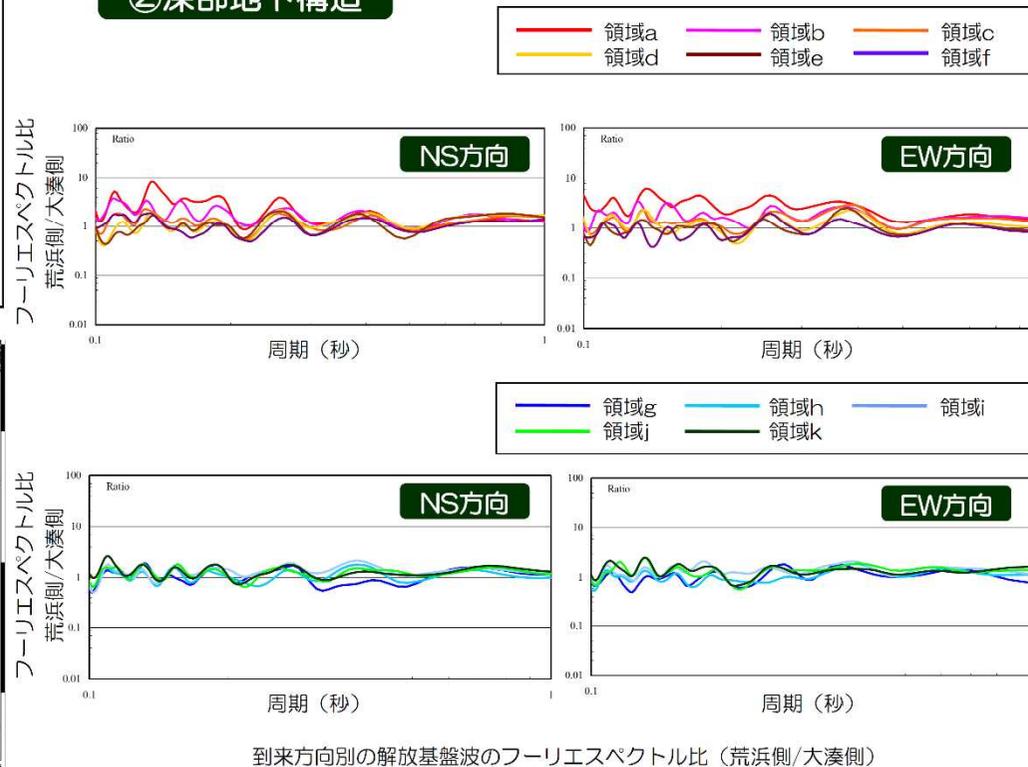
5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (2)鉛直アレイ観測記録 b.小規模地震

■ 解放基盤表面以深の深部地下構造による増幅特性を把握するため、荒浜側と大湊側の解放基盤波を求め、地点間のフーリエスペクトル比（荒浜側/大湊側）を評価し、到来方向別に分析。



②深部地下構造



■ 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。

【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (4)水平アレイ観測記録

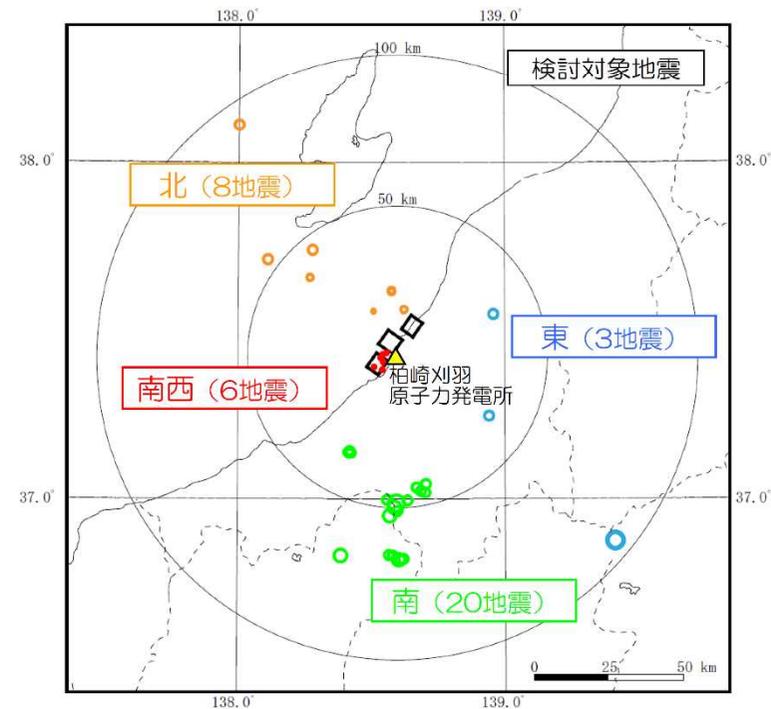
■ 地震の発生した領域を到来方向別に区分し、5号炉周辺の観測点（D71観測点）を基準としてフーリエスペクトル比をとり、敷地内の各観測点間の地震動特性の差異を検討。



水平アレイ観測点（●：30地点）の配置図と基準点位置

- 【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1cm/s²程度以上

※ただし、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。



対象地震の震央位置

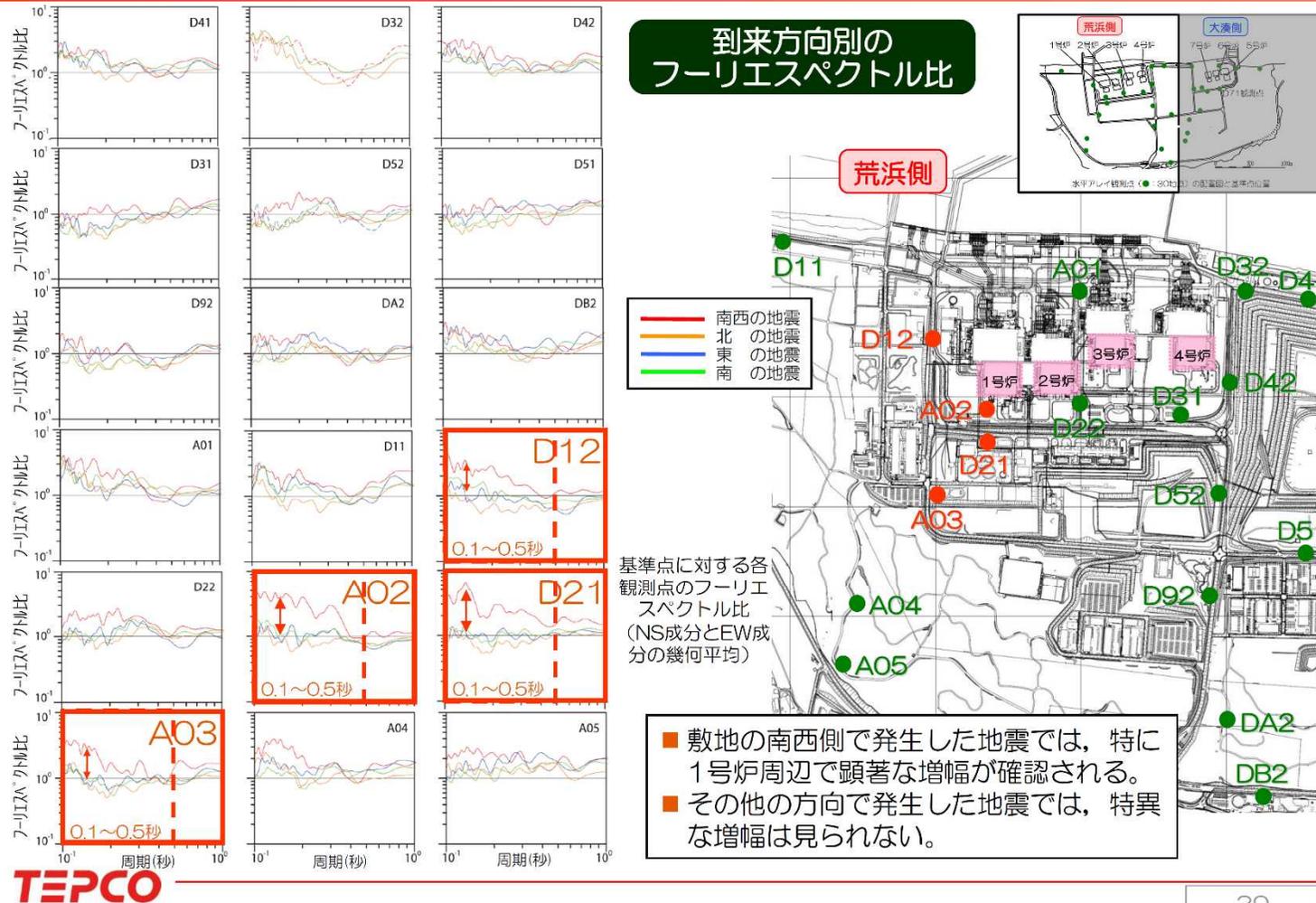
【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (4)水平アレイ観測記録



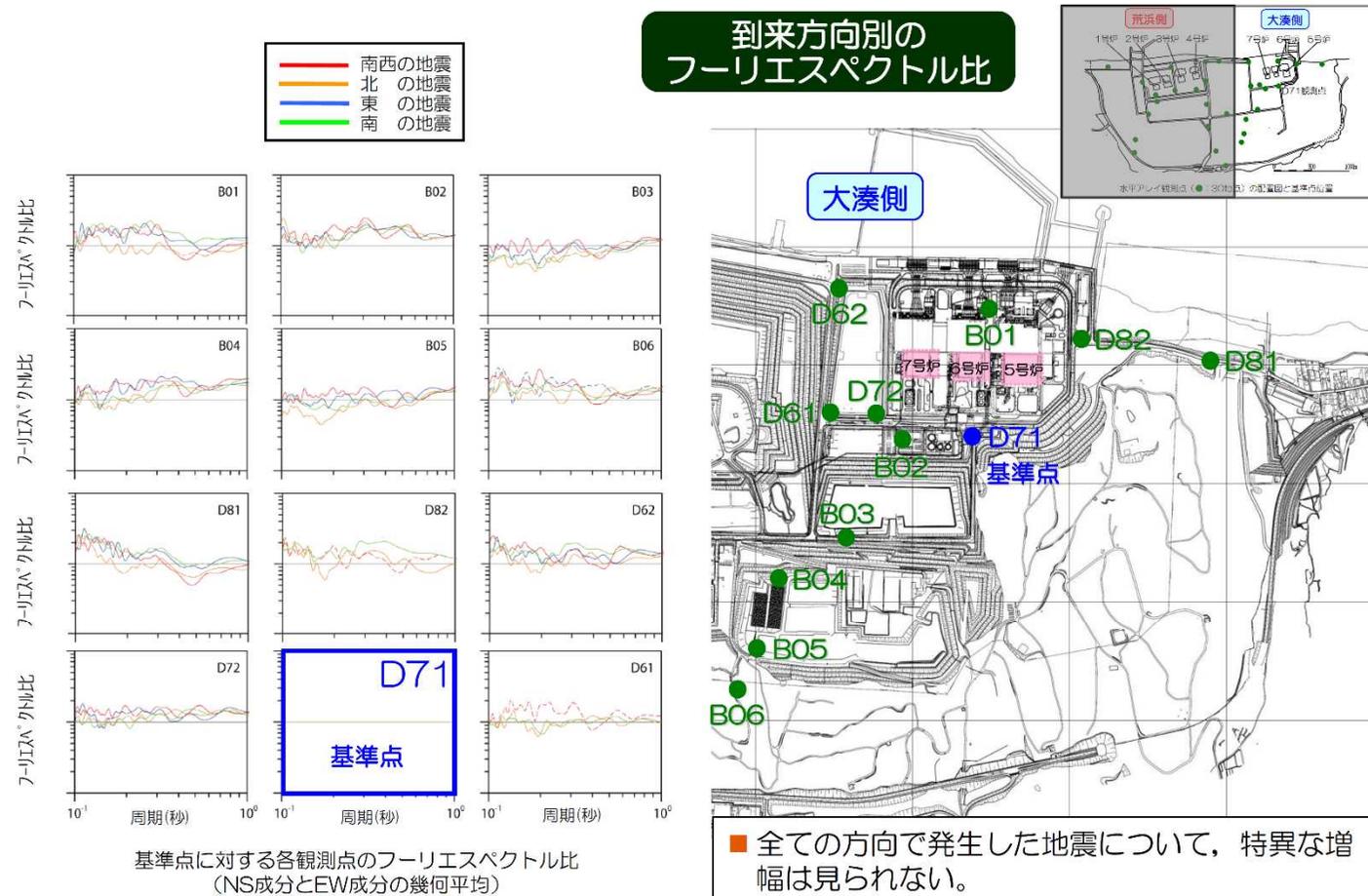
【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (4)水平アレイ観測記録



【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

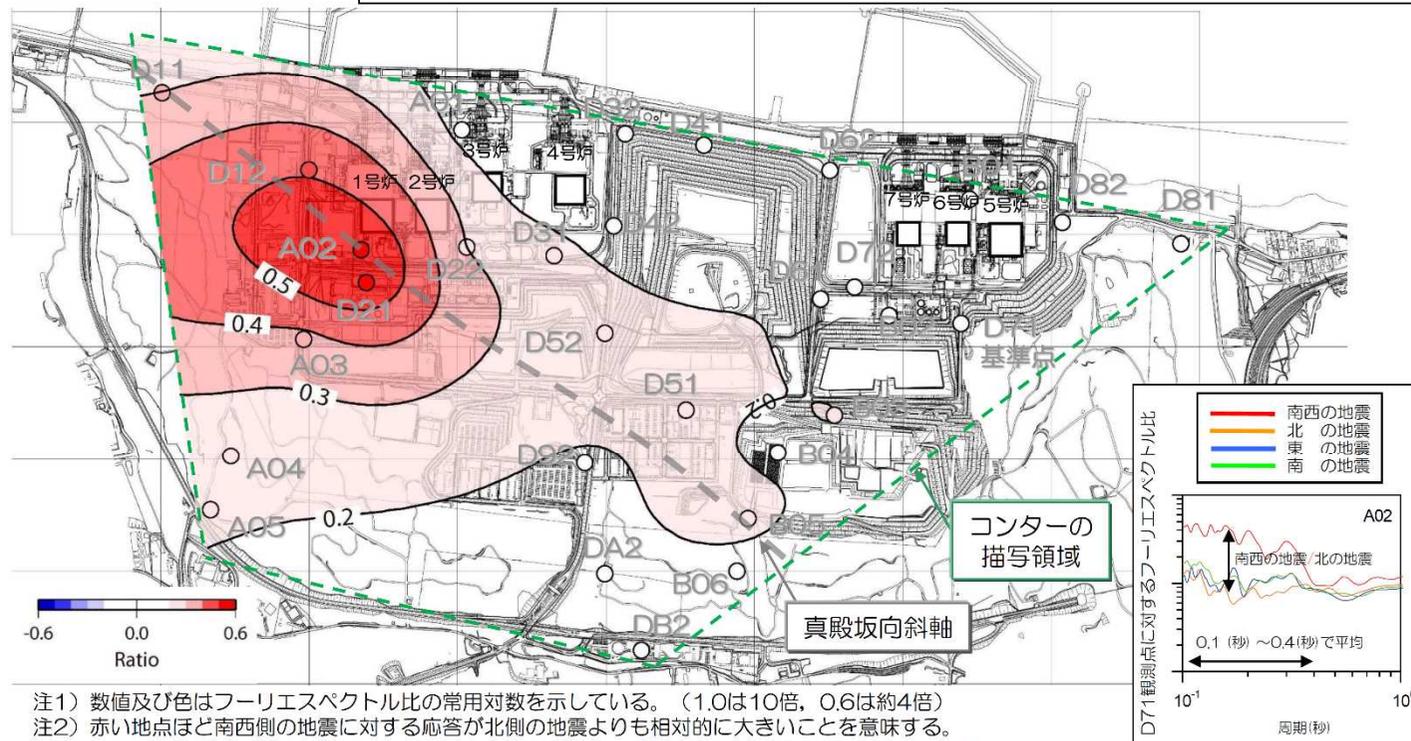
①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (4)水平アレイ観測記録

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号炉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。



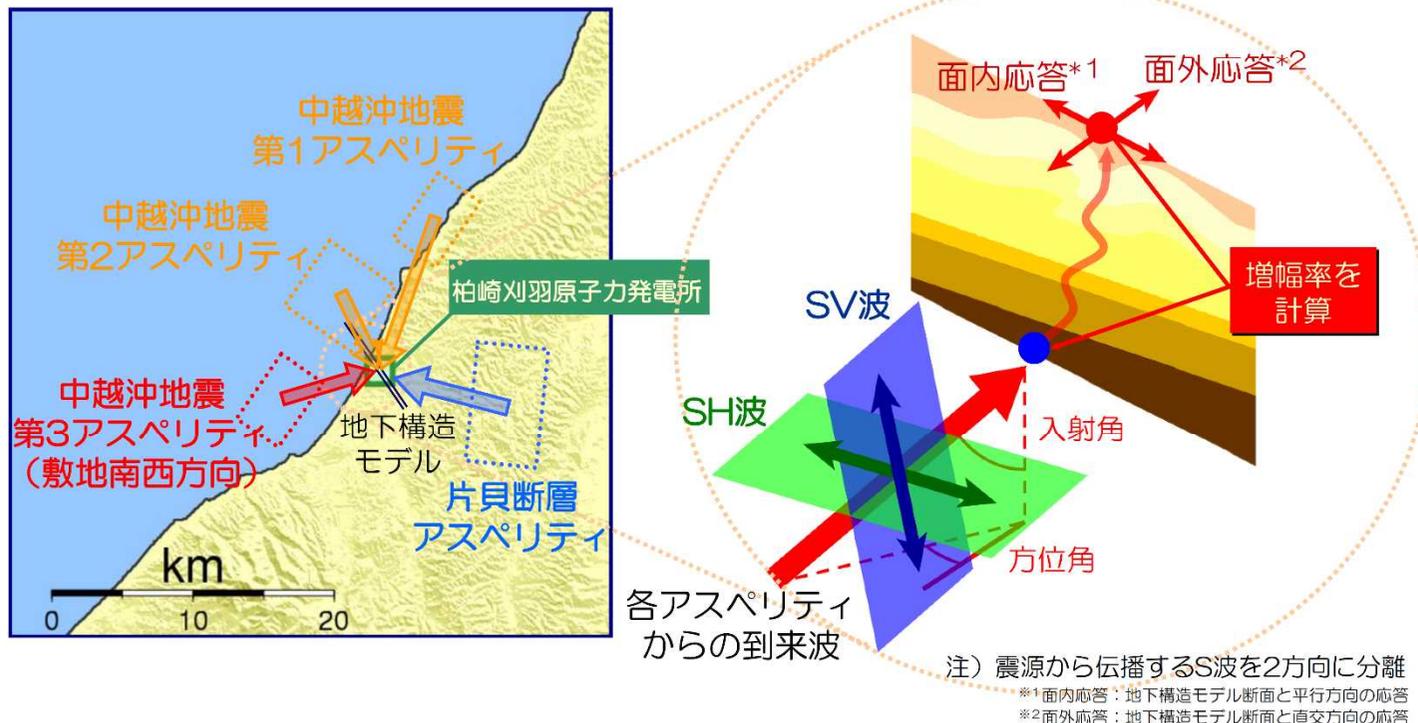
注1) 数値及び色はフーリエスペクトル比の常用対数を示している。(1.0は10倍、0.6は約4倍)
注2) 赤い地点ほど南西側の地震に対する応答が北側の地震よりも相対的に大きいことを意味する。
注3) コンターは観測点間で補間しており、観測点がない端部は外挿となるため緑点線以内の領域を描写している。

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2)敷地近傍

【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、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陸域（長岡平野西縁断層帯を構成する片貝断層のアスペリティ）から入射した場合の増幅率を比較する。



①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

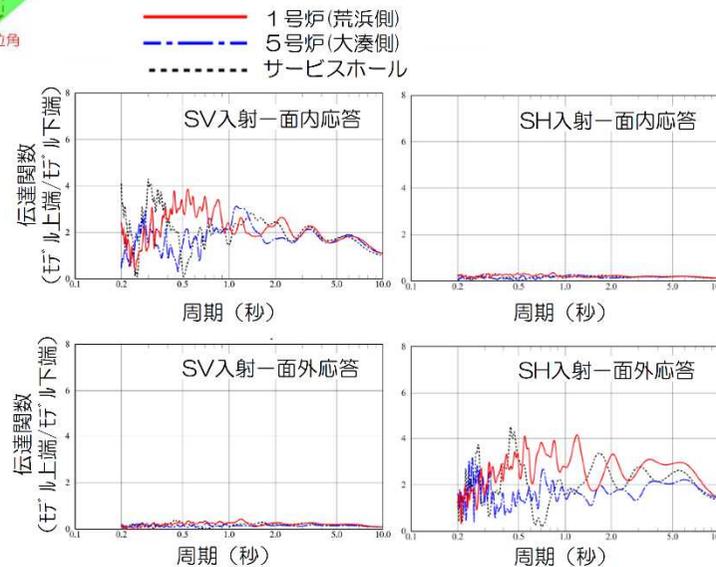
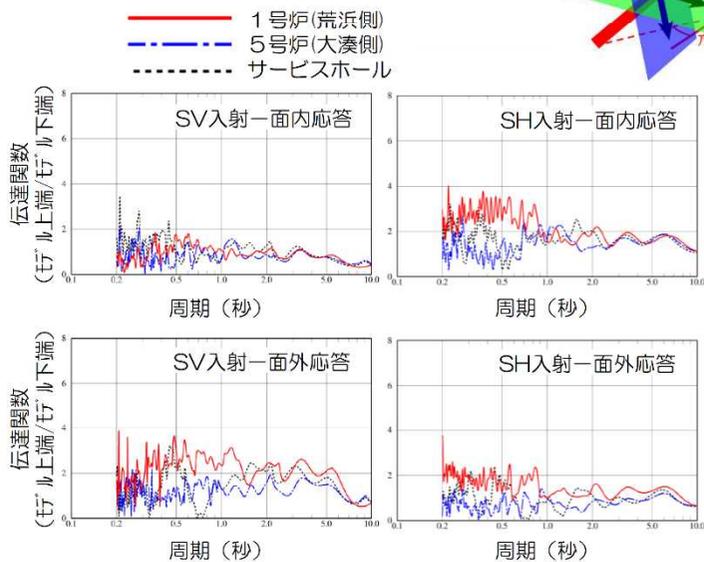
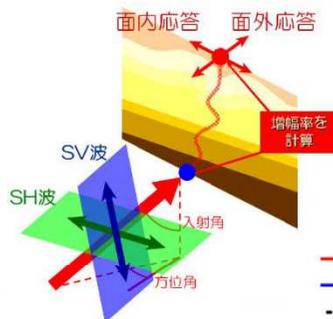
5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2)敷地近傍

中越沖地震 第1アスペリティ

入射角：46°
方位角：150°

中越沖地震 第2アスペリティ

入射角：28°
方位角：95°



■ 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。

■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

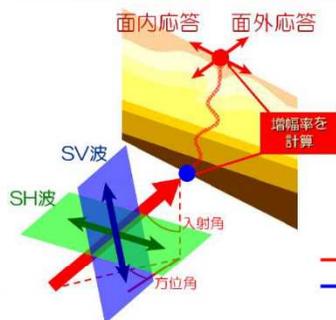
5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2)敷地近傍

中越沖地震 第3アスペリティ

片貝断層 アスペリティ

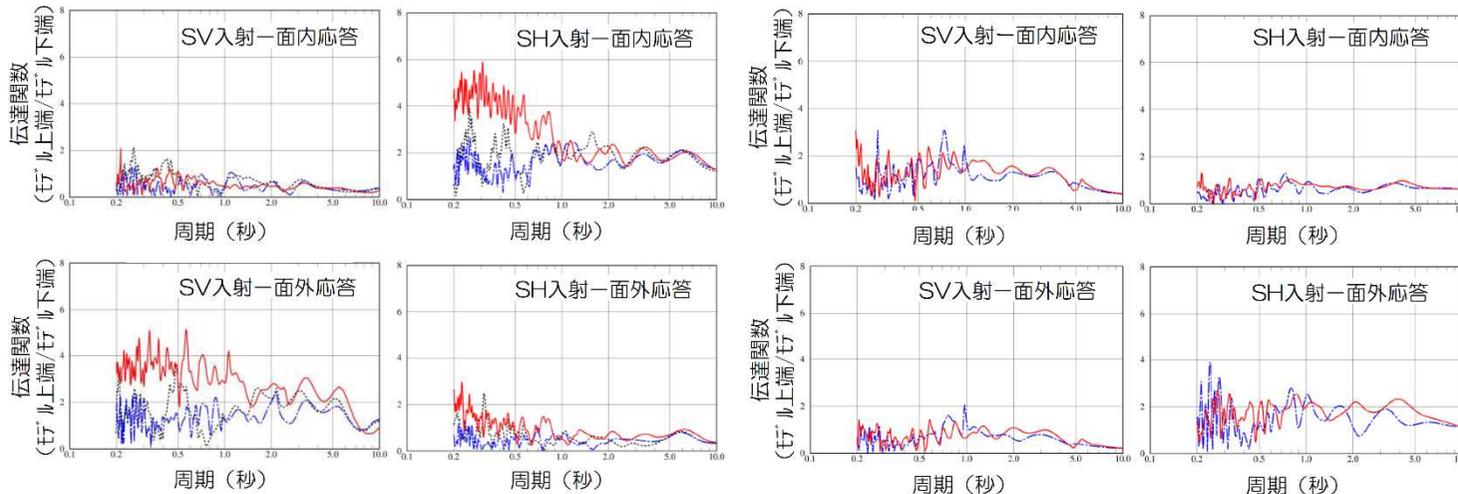
入射角：45°
方位角：15°

入射角：60°
方位角：242°



— 1号炉(荒浜側)
- - - 5号炉(大湊側)
····· サービスホール

— 1号炉(荒浜側)
- - - 5号炉(大湊側)



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

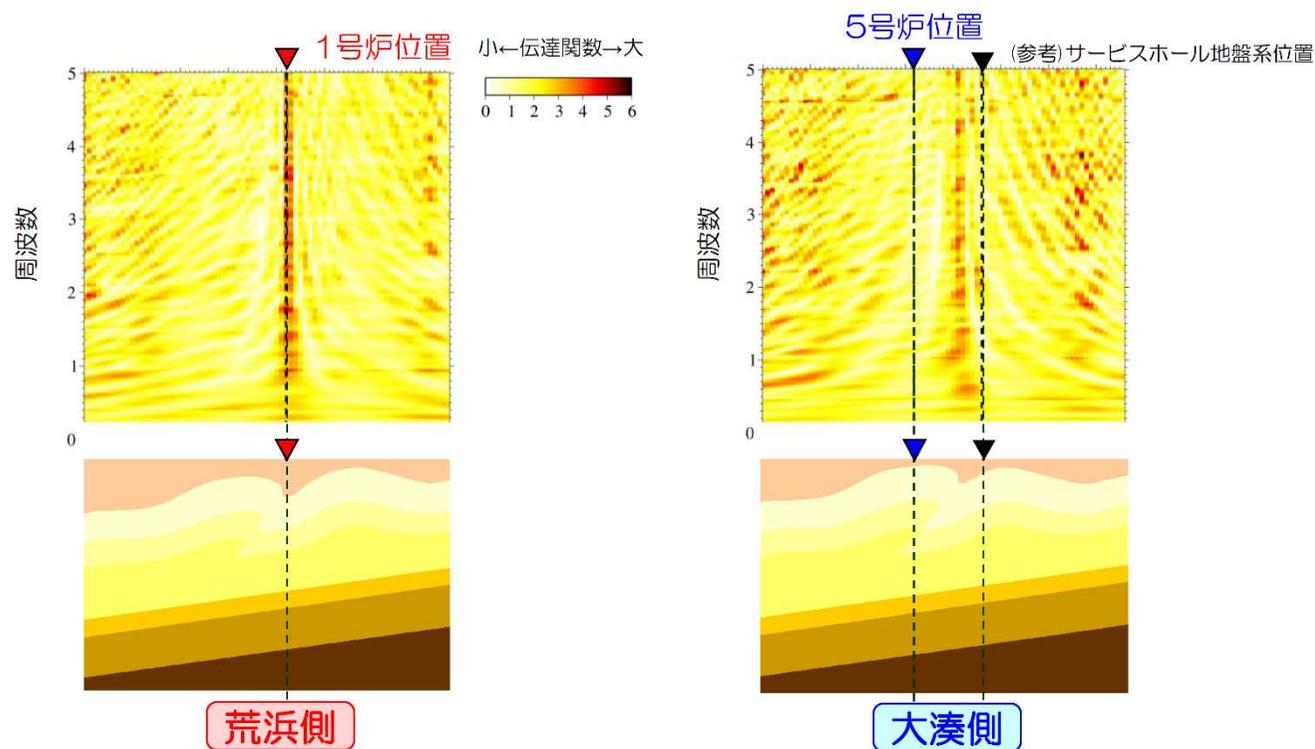
■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2)敷地近傍

■ 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号炉で増幅が大きくなることを確認。

①地震波の増幅特性

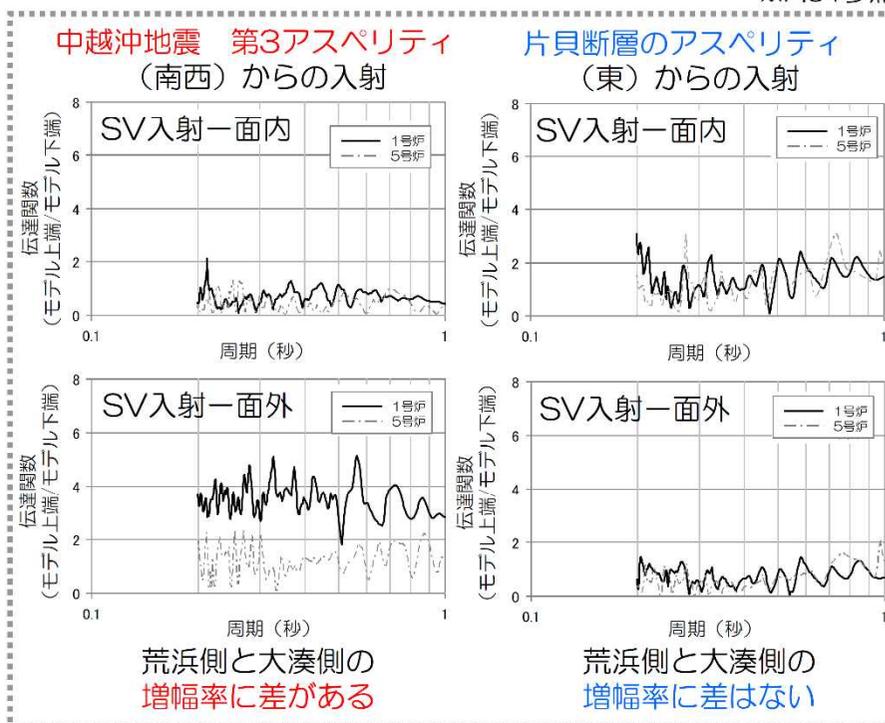
5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2)敷地近傍

観測記録との整合

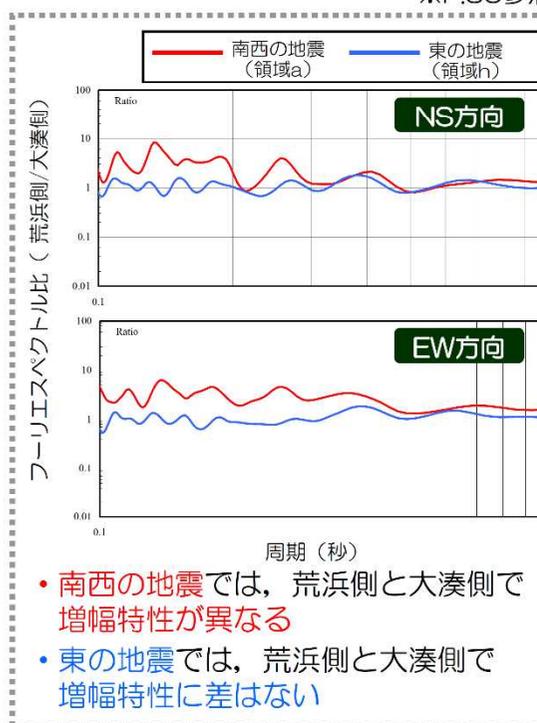
解析による検討結果

※P.51参照



観測記録の分析結果

※P.35参照



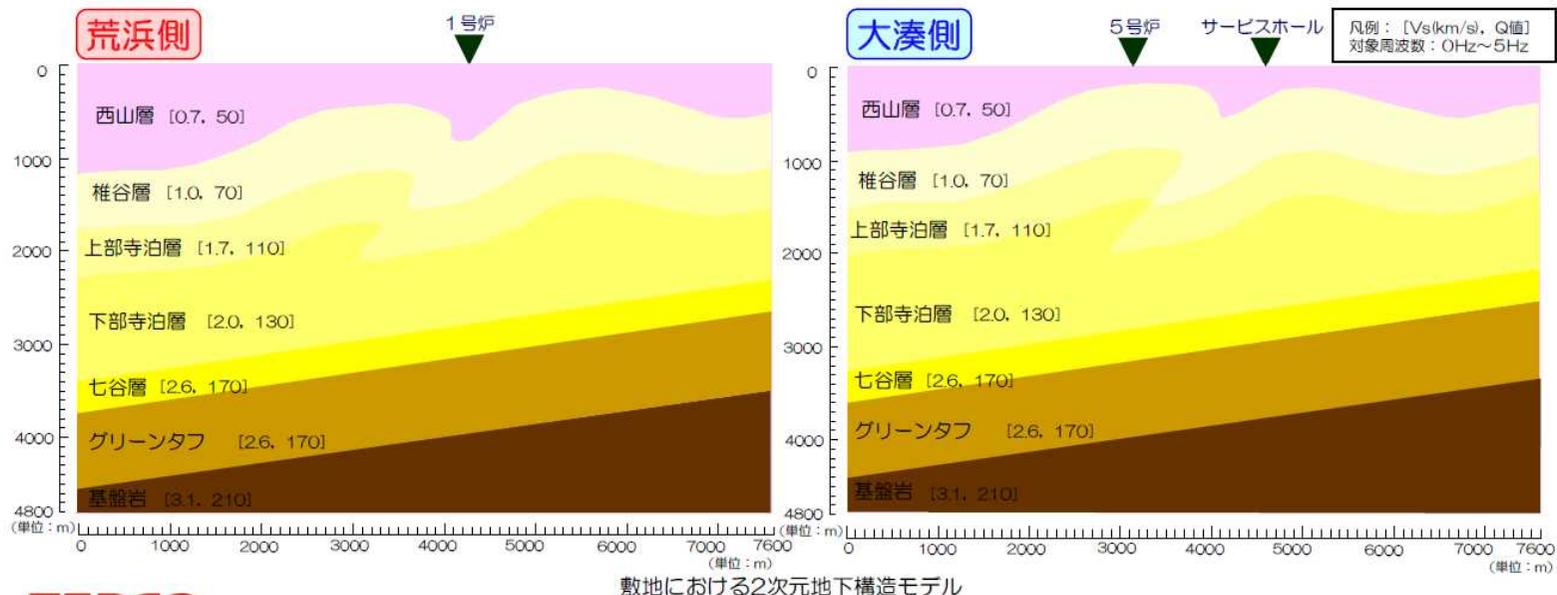
■ 解析結果と観測記録の分析結果が整合していることを確認。

①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 まとめ

- 敷地における地下構造の特徴を踏まえ以下の検討を実施した結果、2次元地下構造モデルにより敷地における地震波の増幅特性をおおむね再現できることを確認した。
 - ・ 地下構造調査から敷地における地下構造の特徴を分析し、2次元地下構造モデルを作成。
 - ・ パラメータスタディ、中越沖地震のシミュレーション解析、水平アレイ等による1次元地下構造モデルとの比較により、作成した2次元地下構造モデルの妥当性を検証。
 - ・ 到来方向別の増幅特性について解析的検討を実施したところ、南西から到来する地震波については、真殿坂向斜軸上で増幅する傾向があり、観測記録に見られる傾向を再現できることを確認。
- 上記のとおり、地震観測記録の分析・解析的検討から敷地における地震波の増幅特性を把握した上で、敷地においては地震動評価に適用可能な地震観測記録が得られていることを踏まえ、経験的グリーン関数法を用いて地震動評価を実施する。



①地震波の増幅特性

5.3 地震波の増幅特性

5.3.3 地震動評価への反映事項

5.3.1 地震観測記録の分析

- ① 海域で発生した地震は、Noda et al.(2002)による応答スペクトルと比較して大きく、一方、陸域で発生した地震は、小さい。
- ② 敷地の南西で発生した地震については、1号炉周辺において顕著に増幅する傾向が認められる。

【補足説明資料】

地下構造の把握

- ① 敷地周辺の地下構造は、深部に傾斜が認められる。
- ② 敷地近傍の地下構造は、褶曲構造の存在により特徴付けられる。

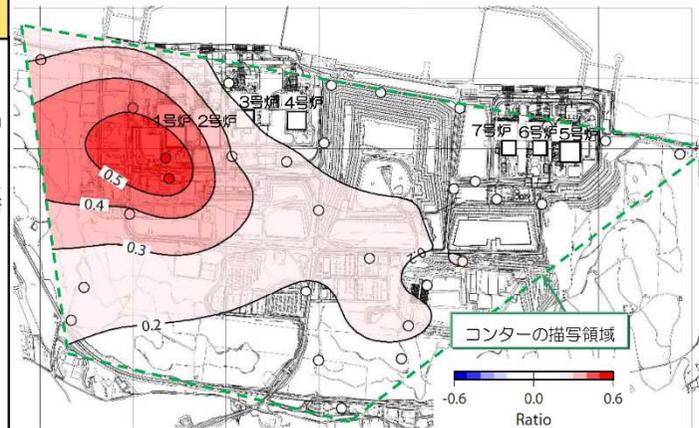
5.3.2 解析的検討

- ① 海域から到来する地震波は深部構造の影響により増幅される傾向にある。
- ② 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。

5.3.3 地震動評価への反映事項

観測記録に基づき地震動評価を実施

- 海域と陸域の活断層に分類して評価を実施。
- 地震波の顕著な増幅が認められる領域においては、著しい増幅が認められる1号炉を、地震波の顕著な増幅が認められない領域については、各号炉で顕著な相異がないことを確認した上で5号炉を代表として基準地震動を策定する。
- 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。
- 断層モデルを用いた手法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。
- なお、施設の耐震安全性評価においては、右図等による各施設の設置位置における地震波の増幅特性を参照し、荒浜側又は大湊側で策定した適切な基準地震動を採用する。



水平アレイ観測記録に基づく

敷地南西側から到来する地震波が増幅する領域

注) コンターは観測点間で補間しており、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。

②統計的グリーン関数法による地震動レベルの妥当性確認

5. 長岡平野西縁断層帯による地震

5.1 中越地震のシミュレーション解析 5.1.2 統計的グリーン関数法(SGF)

- 敷地は褶曲構造等の影響が認められるものの、断層モデルを用いた手法で評価される地震動レベルの妥当性を確認することを目的に統計的グリーン関数法による中越地震の震源モデルを用いたシミュレーション解析を実施。
- 評価対象地点は、中越地震の観測記録が得られている大湊側とする。なお、波形合成は、Dan et al.(1989)の手法による。

要素地震の加速度フーリエ変換モデル

Boore(1983)による統計的モデルに、震源のインピーダンスと地震基盤のインピーダンスとの相違を考慮した次式とする。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X} \quad f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0}\right)^{1/3}$$

- $A(f)$: 加速度フーリエスペクトル振幅 f : 周波数
- F : 放射特性 FS : 自由表面での増幅を表す係数 (地表:2, 地中:1)
- f_c : コーナー周波数 f_{max} : 高周波速断周波数 (6Hz : 鶴来ほか(1997))
- Q : Q値 (76 $f^{0.74}$: 岩田ほか(2005))
- s : 係数 (ここでは、佐藤ほか(1994)より $2s=4.2$)
- X : 震源距離 (サイトから断層面の中心までの距離)
- β ρ : 震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度
- β_s ρ_s : 評価点の地震基盤におけるS波速度(km/s)と地盤密度
- $\Delta\sigma$: 応力降下量(bar) (平均応力降下量と同じに設定)
- M_0 : 地震モーメント(dyne · cm) $M_0 = \frac{16}{7} \Delta\sigma \cdot r_e^3$ r_e : 要素断層の等価半径



要素地震の経時特性 (時刻歴包絡関数)

要素地震の経時特性 (時刻歴包絡関数) については、Boore(1983)による次式を使用。

$$w(t) = a \cdot t^b \cdot \exp(-ct) \cdot H(t)$$

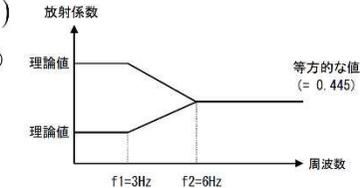
$$a = \{e / (\varepsilon T_w)\}^b \quad T_w = 2T_d \quad T_d = f_c^{-1}$$

$$b = -\varepsilon \cdot \ln \eta / \{1 + \varepsilon(\ln \varepsilon - 1)\} \quad c = b / (\varepsilon \cdot T_w)$$

t : 時間 $w(t)$: 経時特性 (時刻歴包絡関数)
 $H(t)$: ステップ関数 f_c : コーナー周波数
 ε η : 係数 ($\varepsilon=0.2, \eta=0.05$)

放射特性

佐藤(2000)を参考に、3Hz以下では理論値、6Hz以上の高周波領域ではBoore and Boatwright(1984)による等方的な値とし、3Hz~6Hzの遷移領域では放射係数が両対数軸で直線的に変化すると仮定。



地下構造モデル

小林ほか(2005)の方法を用いて、鉛直アレイの記録 (中越地震の余震) から算定したH/Vスペクトル比、レシーバー関数に対して遺伝的アルゴリズムによる逆解析を実施して推定した地下構造モデルを使用。

層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q (-)
	-134					
1	-149	15	2.03	730	1800	50f
2	-180	31	2.03	890	1900	50f
3	-231	51	2.03	890	1900	50f
4	-266	35	2.03	960	1900	50f
5	-300	34	2.03	1000	2100	50f
6	-1360	1060	2.12	1160	2300	50f
7	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
8	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
9	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
10	-	-	2.59	3170	5230	-

大湊側



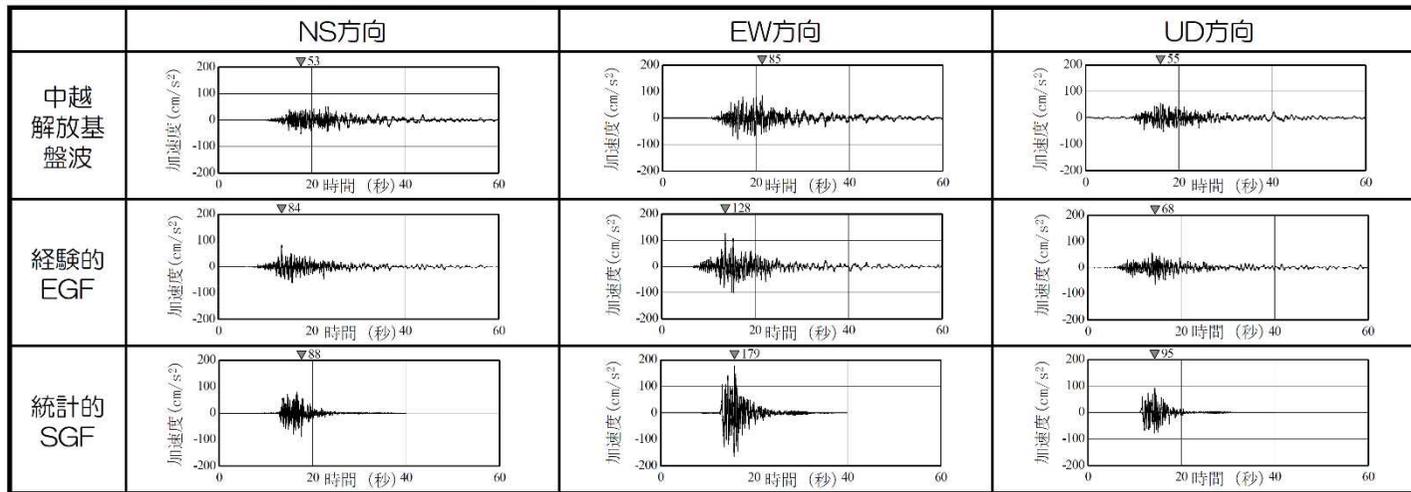
【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

②統計的グリーン関数法による地震動レベルの妥当性確認

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

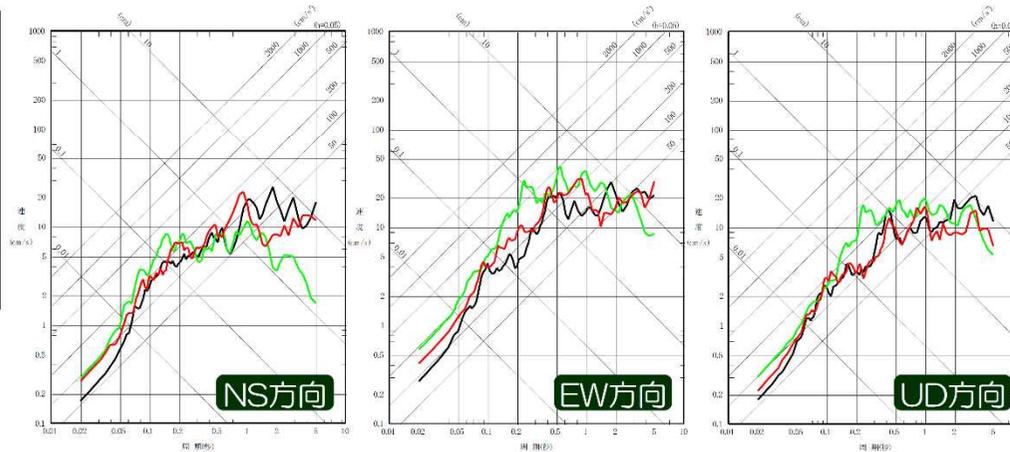
5. 長岡平野西縁断層帯による地震

5.1 中越地震のミレーション解析 5.1.2 統計的グリーン関数法(SGF)



■ 中越地震時の大湊側で得られている観測記録，経験的グリーン関数法(EGF)及び統計的グリーン関数法(SGF)による中越地震のシミュレーション解析結果を比較し，地震動レベルを確認した。

— 観測記録
— 経験的グリーン関数法(EGF)
— 統計的グリーン関数法(SGF)



4. F-B断層による地震

4.3 統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析 評価条件



- 敷地は褶曲構造等の影響が認められるものの、断層モデルを用いた手法で評価される地震動レベルの妥当性を確認することを目的に統計的グリーン関数法(SGF)による評価を行う。
- 中越沖地震アスペリティモデルを用いたシミュレーション解析を実施し、観測記録および経験的グリーン関数法(EGF)による結果と比較を行う。なお、波形合成は、Dan et al.(1989)の手法による。

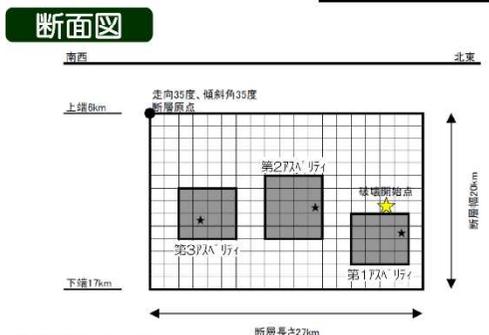
要素地震の加速度フーリエスペクトルモデル

Boore(1983)による統計的モデルに、震源のインピーダンスと地震基盤のインピーダンスとの相違を考慮した次式とする。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}} \quad S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X} \quad f_c = 4.9 \times 10^{-6} \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0}\right)^{1/3}$$

- $A(f)$: 加速度フーリエスペクトル振幅
- f : 周波数
- F : 放射特性
- FS : 自由表面での増幅を表す係数 (地表:2, 地中:1)
- f_c : コーナー周波数
- f_{max} : 高周波遮断周波数 (6Hz: 鶴来ほか(1997))
- Q : Q値 (76 $f^{0.74}$: 岩田ほか(2005))
- s : 係数 (ここでは、佐藤ほか(1994)より $2s=4.2$)
- X : 震源距離 (サイトから断層面の中心までの距離)
- β : 震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度
- β_s, ρ_s : 評価点の地震基盤におけるS波速度(km/s)と地盤密度
- $\Delta\sigma$: 応力降下量(bar) (平均応力降下量と同じに設定)
- M_0 : 地震モーメント(dyne・cm) $M_0 = \frac{16}{7} \Delta\sigma \cdot r_e^3$
- r_e : 要素断層の等価半径



【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

②統計的グリーン関数法による地震動レベルの妥当性確認

4. F-B断層による地震

4.3 統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析 評価条件

要素地震の経時特性 (時刻歴包絡関数)

要素地震の経時特性（時刻歴包絡関数）については、Boore(1983)による次式を使用。

$$w(t) = a \cdot t^b \cdot \exp(-ct) \cdot H(t)$$

$$a = \{e/(\varepsilon T_w)\}^b \quad T_w = 2T_d \quad T_d = f_c^{-1}$$

$$b = -\varepsilon \cdot \ln \eta / \{1 + \varepsilon(\ln \varepsilon - 1)\} \quad c = b/(\varepsilon \cdot T_w)$$

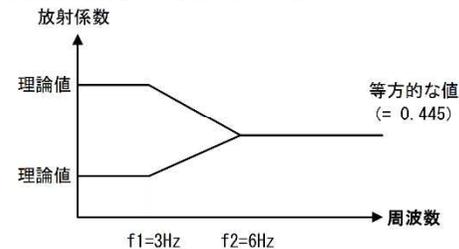
t : 時間 $w(t)$: 経時特性 (時刻歴包絡関数)

$H(t)$: ステップ関数 f_c : コーナー周波数

ε η : 係数 ($\varepsilon=0.2, \eta=0.05$)

放射特性

佐藤(2000)を参考に、3Hz以下では理論値、6Hz以上の高周波領域ではBoore and Boatwright(1984)による等方的な値とし、3Hz~6Hzの遷移領域では放射係数が両対数軸で直線的に変化すると仮定。



地下構造モデル

小林ほか(2005)の方法を用いて、鉛直アレイの記録（中越地震の余震）から算定したH/Vスペクトル比、レシーバー関数に対して遺伝的アルゴリズムによる逆解析を実施して推定した地下構造モデルを使用。

層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q (-)
	-284					
1	-300	16	2.11	1110	2280	50f
2	-1360	1060	2.12	1160	2390	50f
3	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
4	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
5	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
6	-	-	2.59	3170	5230	-

荒浜側

地震基盤

大湊側

層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q (-)
	-134					
1	-149	15	2.03	730	1800	50f
2	-180	31	2.03	890	1900	50f
3	-231	51	2.03	890	1900	50f
4	-266	35	2.03	960	1900	50f
5	-300	34	2.03	1000	2100	50f
6	-1360	1060	2.12	1160	2390	50f
7	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
8	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
9	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
10	-	-	2.59	3170	5230	-

地震基盤

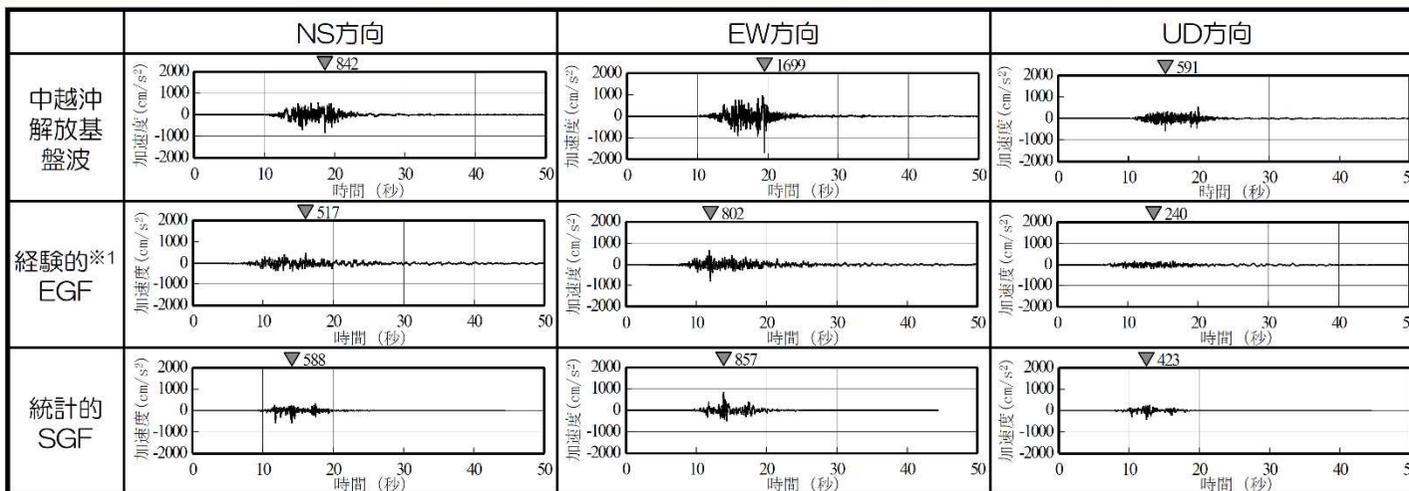
【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

②統計的グリーン関数法による地震動レベルの妥当性確認

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

4. F-B断層による地震

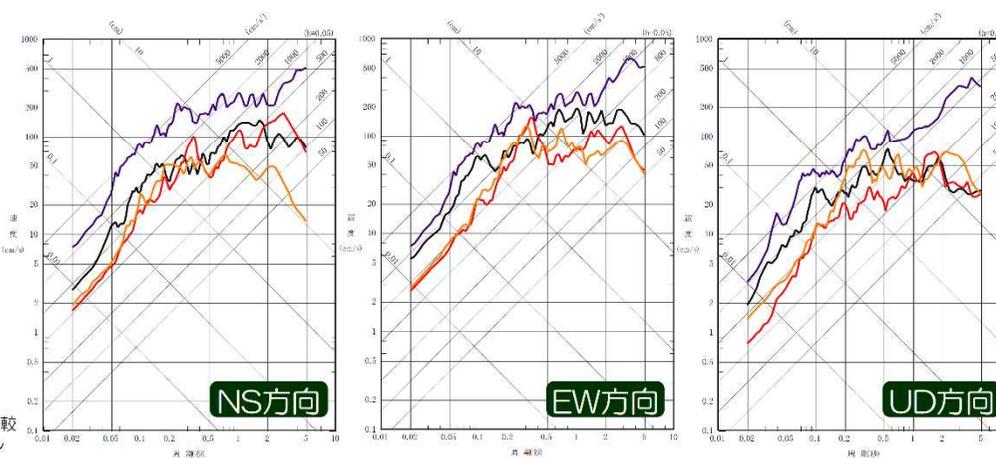
4.3 統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析 解析結果 荒浜側



- 荒浜側のSGFは、褶曲構造等の影響が反映できていないため観測記録の地震動レベルが表現できていない。
- なお、褶曲構造の影響を反映していない（補正係数を考慮していない）EGFとSGFの地震動レベルはおおむね同程度となっている。

— 観測記録
— 経験的グリーン関数法(EGF)※1
— 統計的グリーン関数法(SGF)
— 基準地震動S_sの包絡スペクトル※2

※1 荒浜側については要素地震の補正を考慮しない結果で比較
※2 基準地震動S_sの各周期の最大値をとった応答スペクトル



TEPCO

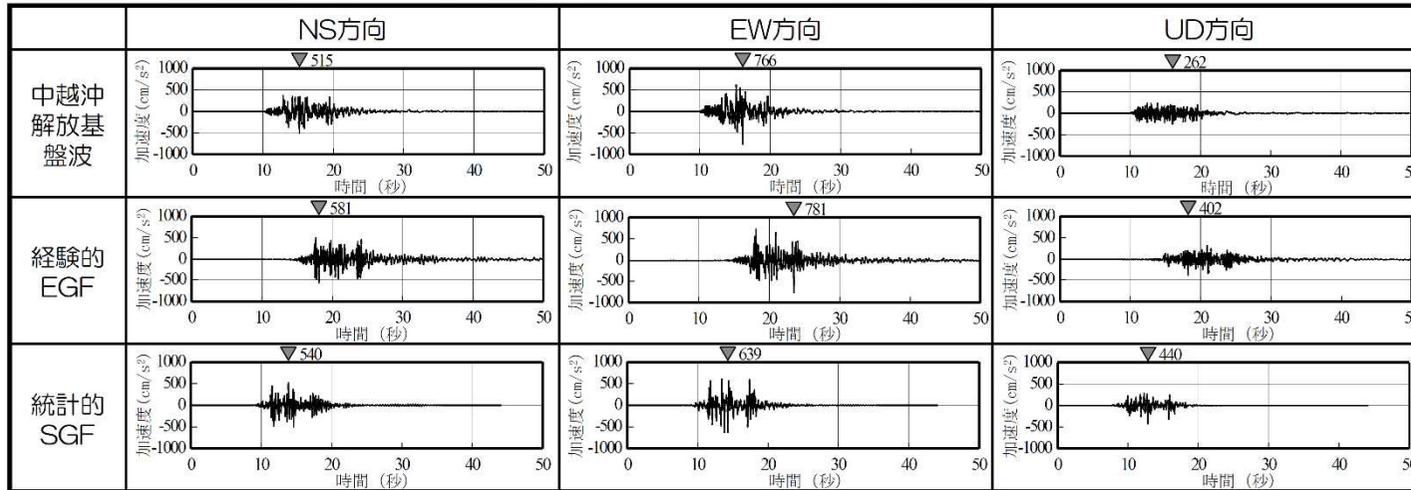
【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

②統計的グリーン関数法による地震動レベルの妥当性確認

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

4. F-B断層による地震

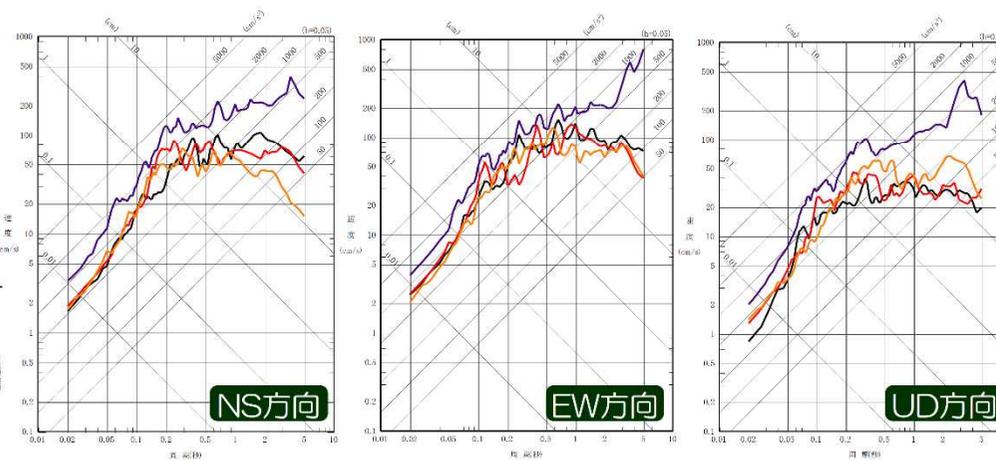
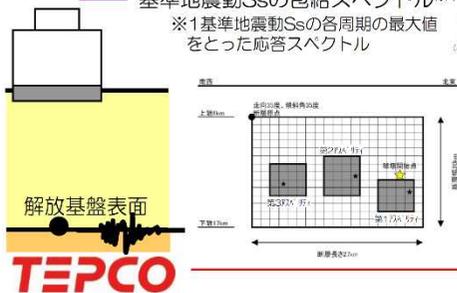
4.3 統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析 解析結果 大湊側



■ 大湊側のSGFは、EGFの評価結果とおおむね同程度の地震動レベルとなっている。

- 観測記録
- 経験的グリーン関数法(EGF)
- 統計的グリーン関数法(SGF)
- 基準地震動Ssの包絡スペクトル※1

※1 基準地震動Ssの各周期の最大値をとった応答スペクトル



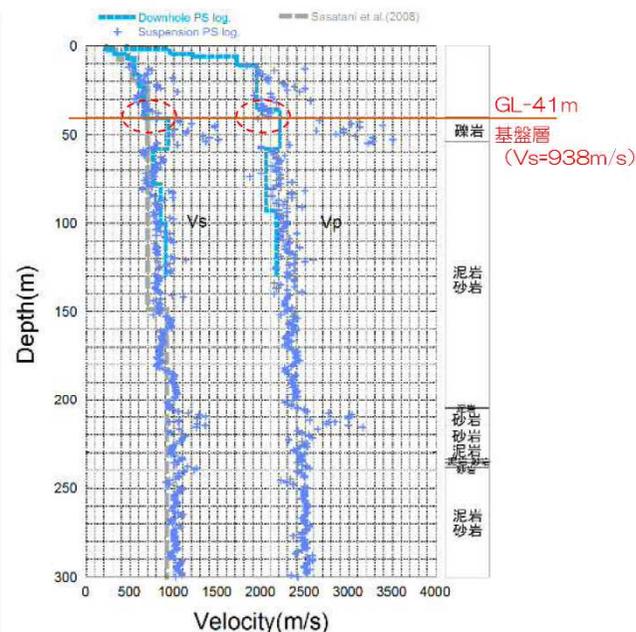
6. 震源を特定せず策定する地震動

6.2 M_w 6.5未満の地震 6.2.1 北海道留萌支庁南部地震 基盤地震動の検討

検討⑤：柏崎刈羽原子力発電所の地盤物性の影響を考慮した基盤地震動（水平・鉛直方向）評価

- 柏崎刈羽原子力発電所における地盤物性の影響を評価。
- 佐藤ほか(2013)によるHKD020港町観測点の基盤地震動は、地表観測記録に基づきGL-41mの $V_s=938\text{m/s}$ の基盤層において評価されている。柏崎刈羽原子力発電所における解放基盤表面のS波速度は荒浜側・大湊側ともに $V_s=700\text{m/s}$ と設定しているため、これらの地盤物性の影響を評価する。

- 一方、地震基盤から解放基盤表面までの増幅特性に関しては、柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺及び敷地内の地下構造の影響により地震波の到来方向により異なることが明らかとなっている。しかし、HKD020港町観測点のやや深部の増幅特性に関しては十分に明らかとなっていないものと考えられる。
- そこで「震源を特定せず策定する地震動」の候補としては、HKD020港町観測点の増幅特性が含まれたままの佐藤ほか(2013)による基盤地震動を重視し、これに対する不確かさ等を考慮した検討結果を参照して設定することとする。
- さらには、はぎとり解析の不確かさ等を考慮して最大加速度値を示すケースを考慮することにより保守的に設定することとする。
- なお、柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺及び敷地内の地下構造の影響については、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価において適切に反映している。



HKD020(港町)におけるPS検層結果と既往の研究によるS波速度構造モデル

③震源を特定せず策定する地震動

6. 震源を特定せず策定する地震動

6.2 M_w 6.5未満の地震 6.2.1 北海道留萌支庁南部地震 基盤地震動の検討

検討⑤：柏崎刈羽原子力発電所の地盤物性の影響を考慮した基盤地震動（水平・鉛直方向）評価

- 敷地において解放基盤表面までモデル化された1次元地下構造モデルにより地盤物性の影響を評価する。
- 荒浜側の1次元地下構造モデルは、褶曲構造の影響により評価精度が低いと考えられるため、大湊側の1次元地下構造モデルを参照する。なお、荒浜側の1次元地下構造モデルにおいては解放基盤表面のVsは1,100m/sであるため、これによると地盤物性による補正の必要はないものと考えられる。
- 補正にあたり、HKD020港町観測点の基盤層のVs=938m/sに近いVs=960m/s層の上面に、はぎとり解析の不確かさを考慮した基盤地震動（水平：609m/s²、鉛直：306m/s²）を入力し、Vs=730m/sの解放基盤表面の応答を評価した。

地下構造モデル

※SGFによる評価に用いた地下構造モデル

荒浜側

層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q (-)
	284					
1	-300	16	2.11	1110	2280	50f
2	-1360	1060	2.12	1160	2390	50f
3	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
4	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
5	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
6	-	-	2.59	3170	5230	-

地震基盤

大湊側

層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q (-)
	-134					
1	-149	15	2.03	730	1800	50f
2	-180	31	2.03	890	1900	50f
3	-231	51	2.03	890	1900	50f
4	-266	35	2.03	960	1900	50f
5	-300	34	2.03	1000	2100	50f
6	-1360	1060	2.12	1160	2390	50f
7	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
8	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
9	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
10	-	-	2.59	3170	5230	-

地震基盤

入力位置

【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

③震源を特定せず策定する地震動

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

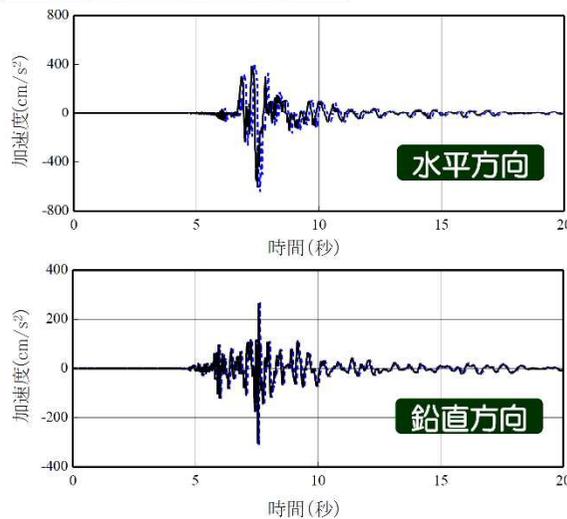
6. 震源を特定せず策定する地震動

6.2 M_w 6.5未満の地震 6.2.1 北海道留萌支庁南部地震 基盤地震動の検討

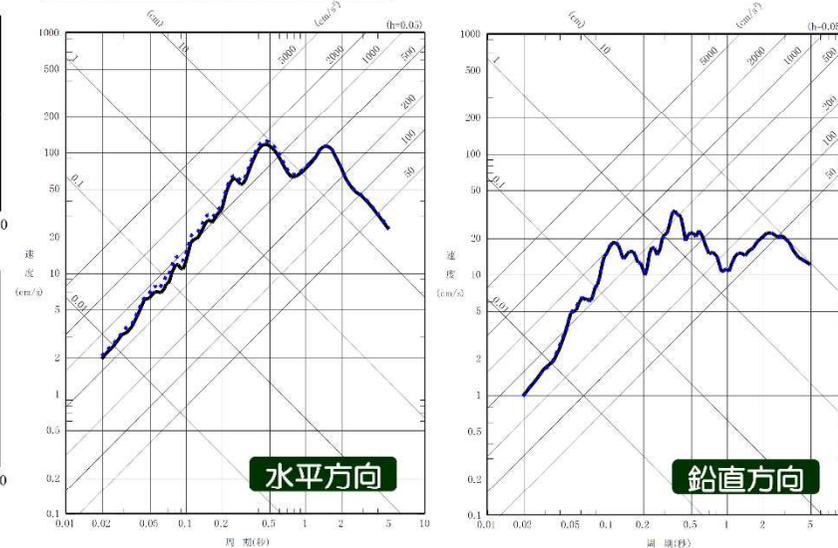
敷地における地盤物性を考慮したところ、解放基盤表面の地震動は、
水平方向：643cm/s²、鉛直方向：310cm/s²と評価された。

— 佐藤ほか(2013)の検証結果の最大ケース
(水平方向:609cm/s²、鉛直方向:306cm/s²)
- - - 敷地の地盤物性を考慮
(水平方向:643cm/s²、鉛直方向:310cm/s²)

加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル



検討⑤のまとめ

- HKD020港町観測点の基盤地震動の推定位置と敷地の解放基盤表面の地盤物性の違いを考慮した基盤地震動を評価。
- 検証①～④の最大ケースを入力とし、敷地の解放基盤表面の応答を評価した結果（水平：643cm/s²、鉛直：310cm/s²）と、佐藤ほか(2013)による基盤地震動（水平：585cm/s²、鉛直：296cm/s²）と比較して大きくなっている。

【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

③震源を特定せず策定する地震動

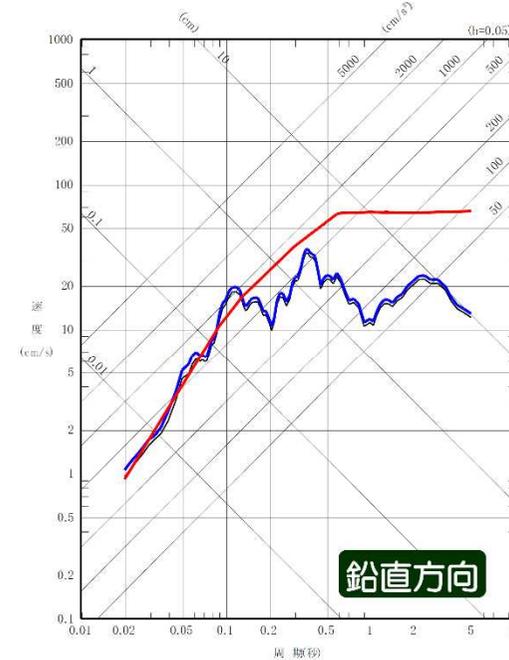
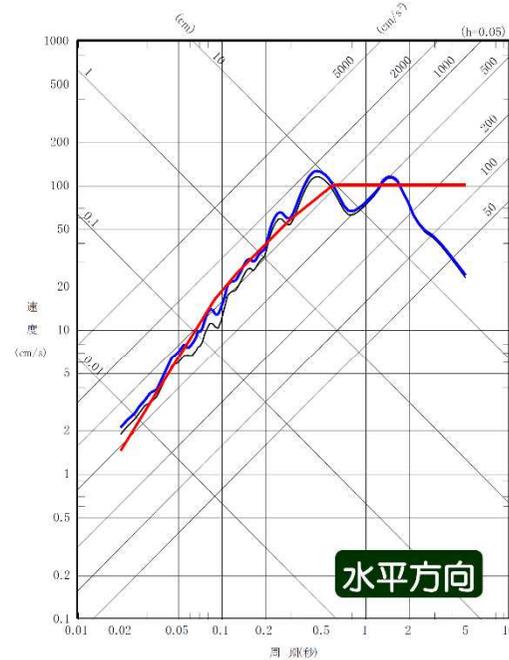
柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

7. 震源を特定せず策定する地震動

■ 2004年北海道留萌支庁南部地震HKDO20港町観測点の基盤地震動に基づき震源を特定せず策定する地震動を策定する。はぎとり解析の不確かさ及び敷地の地盤物性の影響を考慮した結果、水平方向：643cm/s²、鉛直方向：310cm/s²と評価され、これに対して保守性を考慮して、水平方向：650cm/s²、鉛直方向：330cm/s²の地震動を震源を特定せず策定する地震動として設定する。

擬似速度応答スペクトル

— 佐藤ほか(2013)の推計結果（水平方向:585cm/s²、鉛直方向:296cm/s²）
 — 震源を特定せず策定する地震動（水平方向:650cm/s²、鉛直方向:330cm/s²）
 — 【参考】加藤ほか(2004)による応答スペクトル（水平方向：S波速度=700m/s、鉛直方向：P波速度=2,000m/s）



【参考】新規制基準適合性に係る審査資料（抜粋）

③震源を特定せず策定する地震動

柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

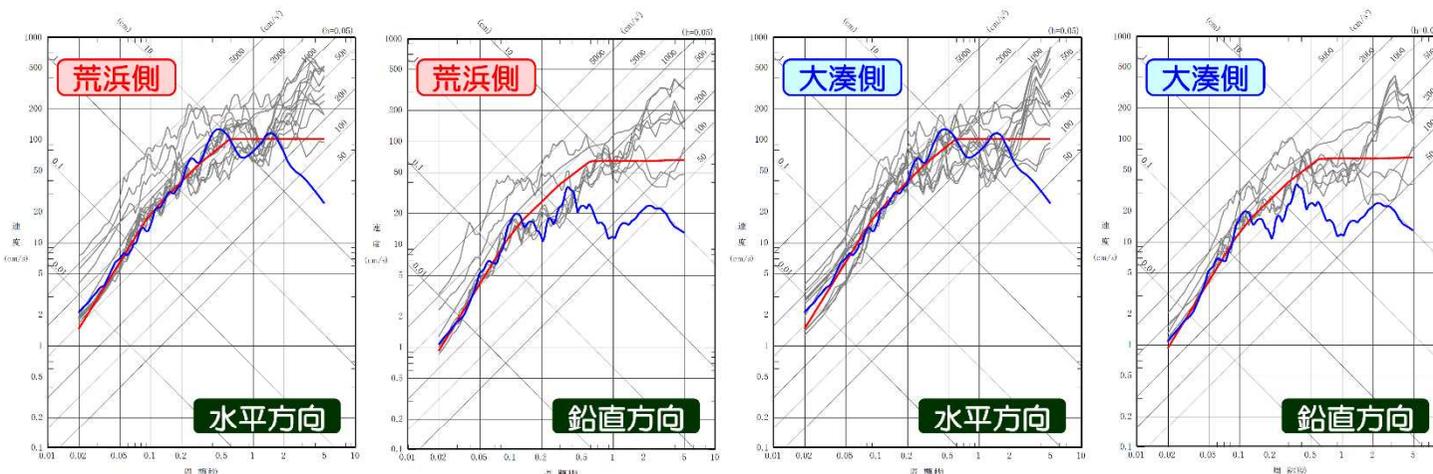
8. 基準地震動の策定

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動との比較によると、大湊側では、一部の周期帯で上回ることから、震源を特定せず策定する地震動を基準地震動Ss-8として大湊側を対象に策定する。

擬似速度応答スペクトル

— 震源を特定せず策定する地震動* (水平方向:650cm/s², 鉛直方向:330cm/s²)
 — 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動Ss-1~Ss-7
 【参考】加藤ほか(2004)による応答スペクトル (水平方向:S波速度=700m/s, 鉛直方向:P波速度=2,000m/s)

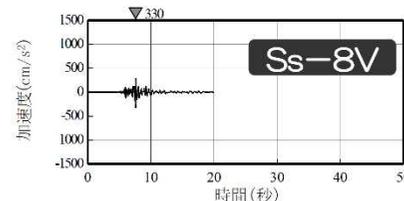
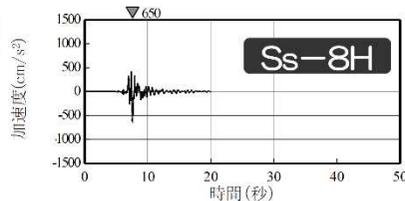


※荒浜側は、地盤物性による補正の必要はないと考えられるが、保守的に比較

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動と震源を特定せず策定する地震動の比較

加速度時刻歴波形

大湊側



④基準地震動Ss-1及びSs-3の継続時間

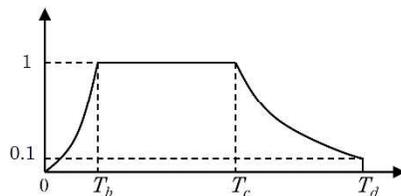
8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 模擬地震波

- 応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動（Ss-1及びSs-3）の模擬地震波は、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)に基づくものとする。
- 作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)による、以下の適合度の条件を満足していることを確認。
 - ①目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比が0.85以上
 - ②応答スペクトル強さの比（SI比）が1.0以上

模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

基準地震動	地震規模 (M)	等価震源距離 (Xeq) (km)	振幅包絡線の経時的変化 (秒)		
			T _b	T _c	T _d
Ss-1	7.0	13	3.72	16.30	31.85
Ss-3	8.1	25	13.18	40.10	74.13

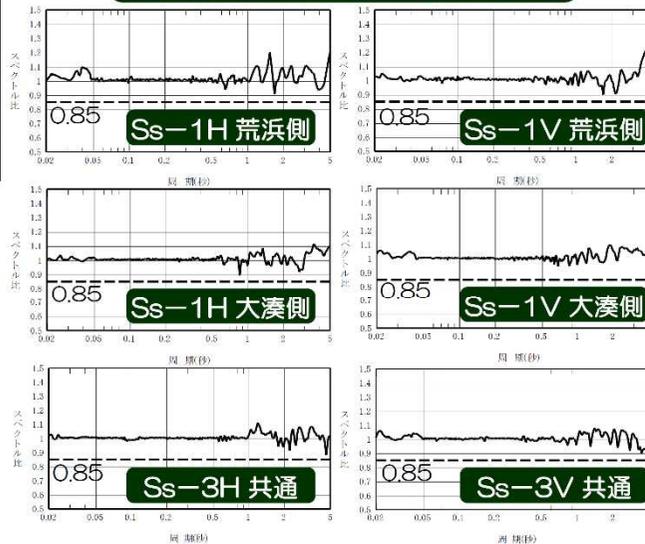


$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6}$$

目標とする応答スペクトル値に対する
模擬地震波の応答スペクトル値の比



応答スペクトル強さ
の比 (SI比)

模擬地震波	作成結果	
	最大加速度 (cm/s ²)	SI比
Ss-1H 荒浜側	2300	1.03
Ss-1V 荒浜側	1050	1.00
Ss-1H 大湊側	1050	1.01
Ss-1V 大湊側	650	1.02
Ss-3H 共通	600	1.01
Ss-3V 共通	400	1.02

$$SI比 = \frac{\int_{0.02}^{5} S_v(T) dt}{\int_{0.02}^{5} \bar{S}_v(T) dt}$$

： 応答スペクトル強さの比
S_v(T) : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)
 $\bar{S}_v(T)$: 目標とする応答スペクトル (cm/s)
T : 固有周期 (s)

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価から策定する基準地震動は、波形合成結果を採用。

【参考文献】

- BOORE, D.M.(1983) : STOCHASTIC SIMULATION OF HIGH-FREQUENCY GROUND MOTIONS BASED ON SEISMOLOGICAL MODELS OF THE RADIATED SPECTRA, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.73
- BOORE, D.M. AND BOATWRIGHT, J.(1984) : AVERAGE BODY-WAVE RADIATION COEFFICIENTS, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.74
- Noda, S., 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
- 天池文男, 植竹富一, 八代和彦(2006) : 内陸地殻内地震に対する伝播経路Qs値特性, 第12回地震工学シンポジウム論文集
- 池浦友則, 植竹富一(2001) : 新潟県中部とその周辺における浅発地震の震源特性・伝播経路のQ 値・K-NET 地点のサイトトファクター, 日本地球惑星科学連合大会
- 岩田知孝, 森勇人, 川瀬博(2005) : スペクトルインバージョンによる強震観測点サイトの非線形性の抽出, 平成16年(2004年)新潟県中越地震に関する緊急調査研究報告書
- 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
- 梅田尚子, 佐藤吉之, 小林喜久二(2018) : KiK-net益城観測点における地盤構造推定, 第15回地震工学シンポジウム論文集
- 金谷淳二, 池浦友則, 土方勝一郎, 植竹 富一(2006) : 新潟県中越地域の強震記録を用いたスペクトルインバージョン解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- 神原浩, 松島信一, 早川崇, 福喜多輝(2006) : 2004年新潟県中越地震の余震観測記録に基づく本震時の震源域の強震動推定, 清水建設研究報告, 第83号
- 気象庁 : 地震月報 (カタログ編) ほか
- 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 : 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 小林喜久二, 植竹富一, 土方勝一郎(2005) : 地震動の水平/上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法の標準化に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- 佐藤智美(2000) : 観測記録に基づく地震波放射特性の周波数依存性の分析とモデル化に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- 佐藤智美(2006) : 伝播経路モデルの与え方, 日本建築学会 第34回地盤震動シンポジウム
- 佐藤智美, 川瀬博, 佐藤俊明(1994) : ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性, 日本建築学会構造系論文集, 第461号

【参考文献】

- 佐藤浩章, 金谷守, 大鳥靖樹(2006): 減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案—岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価—, 日本建築学会構造系論文集, 第604号
- 佐藤浩章, 芝良昭, 東貞成, 功刀卓, 前田宜浩, 藤原広行(2013): 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKDO20)の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告, 研究報告:N13007
- 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N09013
- 武村雅之, 池浦友則, 高橋克也, 石田寛, 大島豊(1993): 堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価, 日本建築学会構造系論文集, 第446号
- 鶴来雅人, 香川敬生, 入倉孝次郎, 古和田明(1997): 近畿地方で発生する地震の f_{max} に関する基礎的検討, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集
- 野田朱美, 司宏俊, 西村功, 水谷浩之, 徳光亮一(2010): 柏崎及びその周辺地域における減衰特性(Q値)に関する検討—二重スペクトル比の方法を用いた結果—, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- 畑山健, 工藤一嘉, 松島信一, 神原浩, 早川崇, 福喜多輝, 坂上実(2005): 2004年新潟県中越地震の震源域における余震・微動観測とその記録を用いた分析(その3)余震記録を用いたサイト増幅特性の評価, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集
- 堀川晴央(2005): 再決定震源と強震記録による2004年中越地震の断層モデル, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集