

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

2021年9月22日
東京電力ホールディングス株式会社

前回会合（2021年7月9日 第4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、その代表性を示すこと。	P.21~P.23
2	伝達関数を用いた地下構造モデルの妥当性確認について、観測記録のばらつきを示すこと。また、スムージングの条件を揃えて示すこと。	P.29, P.31, P.32
3	地下構造モデルの妥当性確認について、解放基盤表面までの浅部及び地震基盤相当までの深部についてそれぞれ示すこと。	P.33, P.35~P.39, P.41
4	今回の地下構造モデルを用いて、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評価を実施した結果について示すこと。	P.35~P.39
5	標準応答スペクトルの評価にあたり、褶曲構造を踏まえた上で、1次元地下構造モデルを用いることの妥当性・代表性を示すこと。	P.35~P.39, P.42, P.48~P.55, P.67~P.71
6	標準応答スペクトルの評価にあたり、今回の地下構造モデルと既許可の地下構造モデルを用いる場合の差異について示すこと。	P.48~P.55
7	既許可の基準地震動Ssが標準応答スペクトルの評価結果を包絡している関係について、資料に説明を追記すること。	P.62~P.65, P.68~P.71
8	留萌地震の評価に対する影響確認について、大湊側だけでなく荒浜側の考え方についても、資料に説明を追記すること。	P.66
9	今回の地下構造モデルでは、荒浜側の解放基盤表面深度での弾性波速度が変わっているため、はぎとり波への影響がないか示すこと。	P.73, P.74

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
 - 4.4 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
 - 4.5 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
 - 4.4.1 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
 - 4.5 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
 - 4.4.1 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
 - 4.5 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

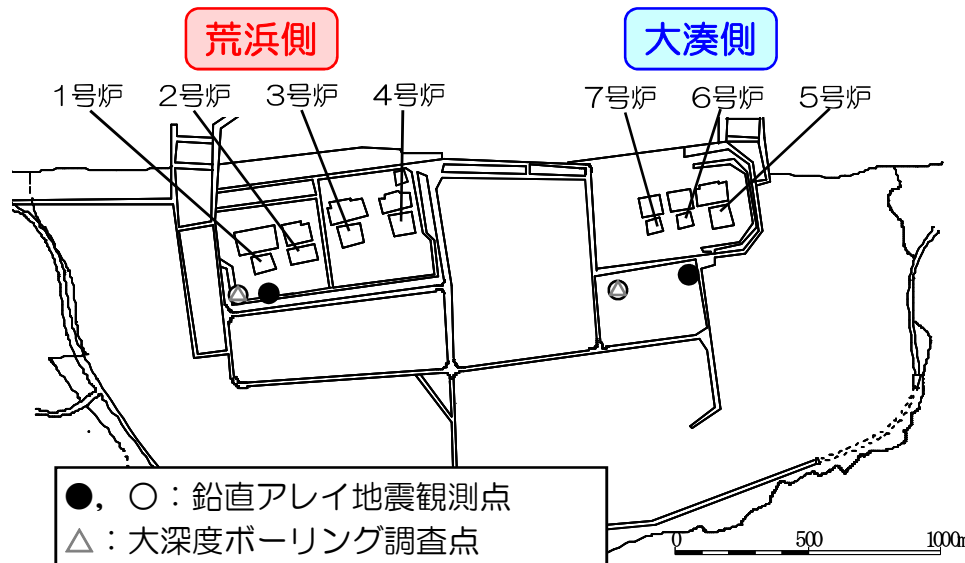
- 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、敷地における地震波の伝播特性を踏まえ、1号炉～4号炉が位置する荒浜側、5号炉～7号炉が位置する大湊側のそれぞれについて策定している。
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（基準地震動Ss-1～Ss-7）
敷地における地震波の伝播特性を適切に反映するため、地震観測記録に基づく評価を実施。
 - 応答スペクトルに基づく地震動評価：観測記録に基づく補正係数を考慮した評価
 - 断層モデルを用いた手法による地震動評価：敷地で得られた観測記録を要素地震として用いた経験的グリーン関数法による評価
- 震源を特定せず策定する地震動（基準地震動Ss-8（大湊側のみ））
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
 - 4.4.1 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
 - 4.5 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

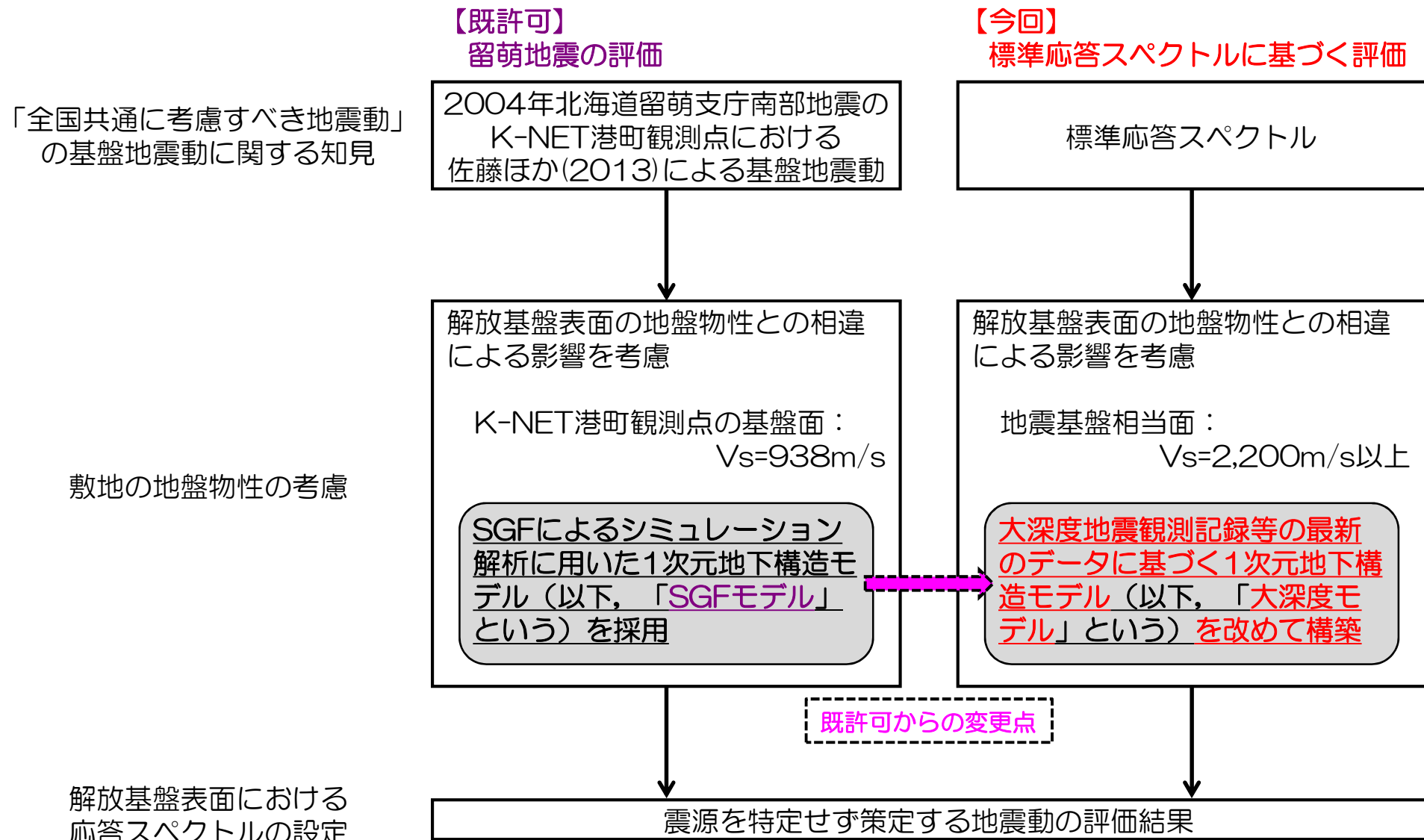
-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合し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
 - 4.4.1 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
 - 4.5 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

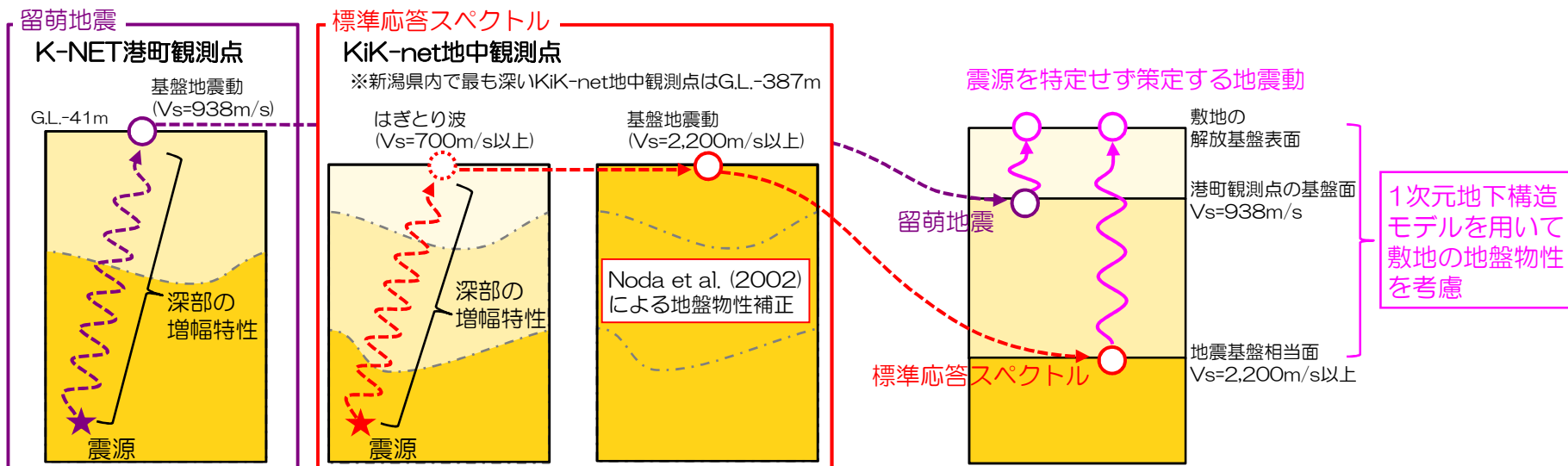
- 増幅特性の反映方針（既許可から変更無し、既許可の留萌地震と今回の標準応答スペクトルで共通）
 - 留萌地震の基盤地震動はK-NET港町観測点の $V_s=938\text{m/s}$ の基盤層，標準応答スペクトルは $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の地震基盤相当面において評価され，敷地の解放基盤表面とは地盤物性が異なる。
 - 留萌地震の基盤地震動及び標準応答スペクトルの知見には，観測点より深部の増幅特性（不整形による影響等）が含まれていると考えられる。
 - 以上を踏まえ，留萌地震の基盤地震動及び標準応答スペクトルに対し，敷地の地盤物性との相違による影響を1次元地下構造モ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
 - 4.4.1 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
 - 4.5 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

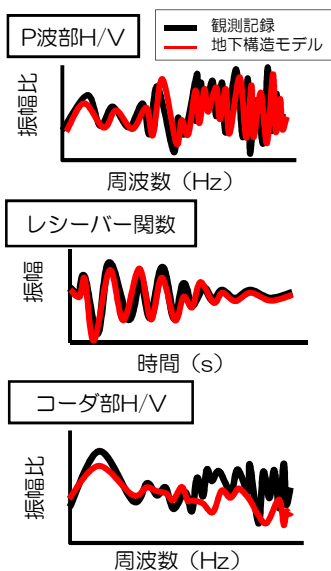
解析条件

- 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

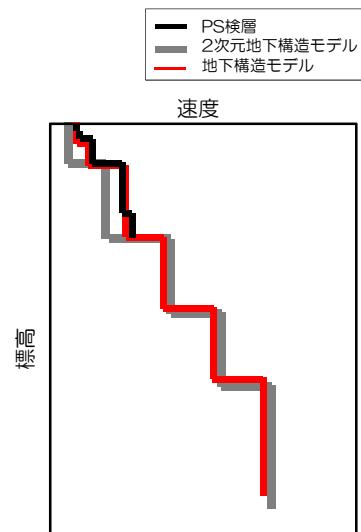
- ターゲットとした観測記録を再現する地下構造モデルを逆解析により同定



地下構造モデルの妥当性検証

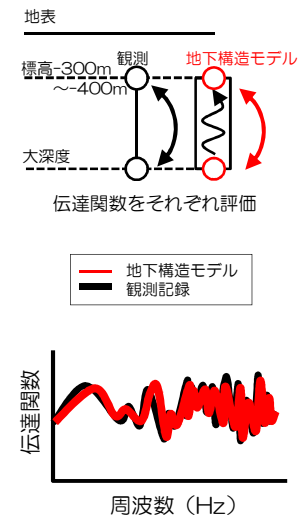
PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証

- 速度構造が概ね整合していることを確認

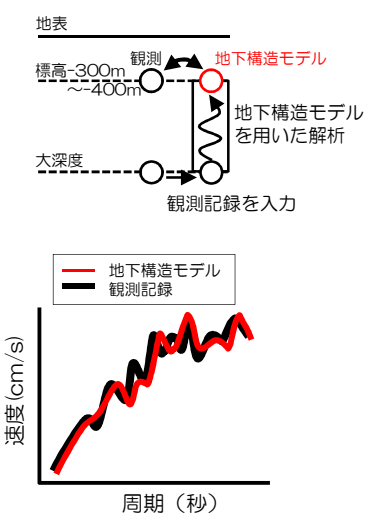


大深度地震観測記録による検証

- 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
 - 4.4 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
 - 4.5 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

①逆解析のターゲットに用いる観測記録

- 検討に用いる地震は、手法の適用性を考慮して以下の観点でそれぞれ選定。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。
 - P波部H/Vスペクトル比、レシーバー関数の検討：S/N比が良く、P波初動が記録されており、震央距離が同程度の地震
 - 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ている地震

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)
2004/10/24 09:28	4.8	35
2004/10/25 00:28	5.3	35
2004/11/01 04:35	5.0	36

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

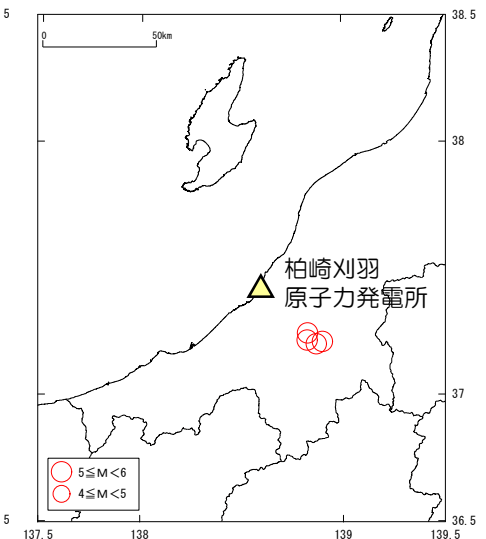
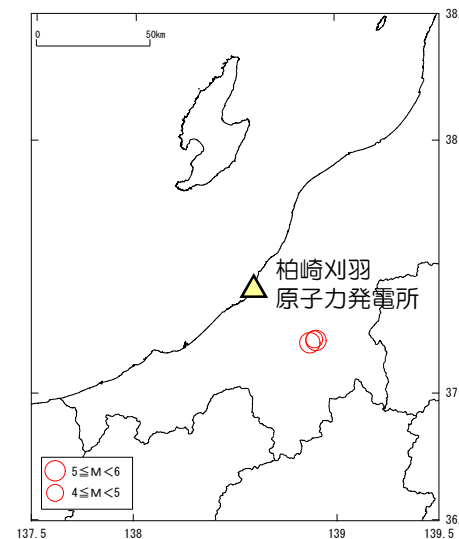
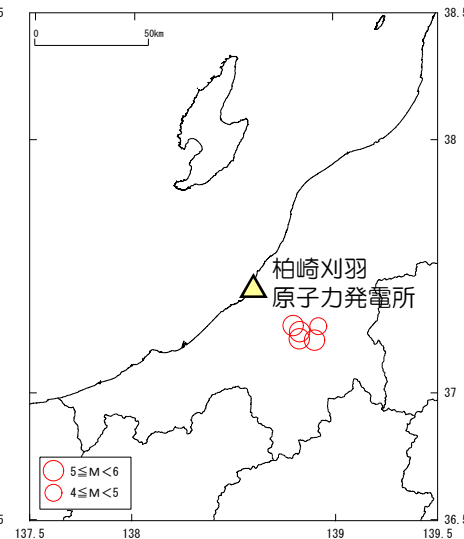
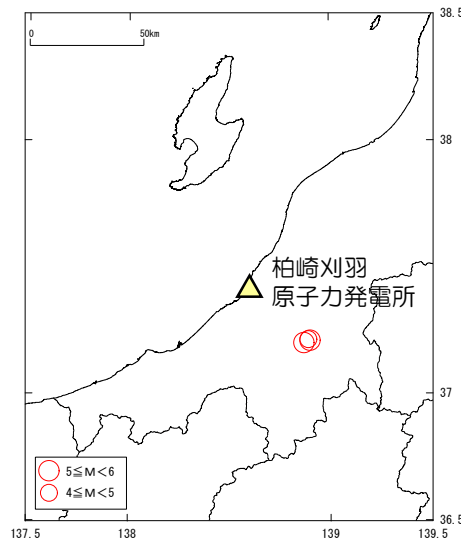
大湊側

P波部の検討に用いる地震

発震日時	Mj	震央距離 (km)
2004/10/24 09:28	4.8	35
2004/10/25 00:28	5.3	35
2004/11/01 04:35	5.0	36

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

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。

4.3 地下構造モデルの評価

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。

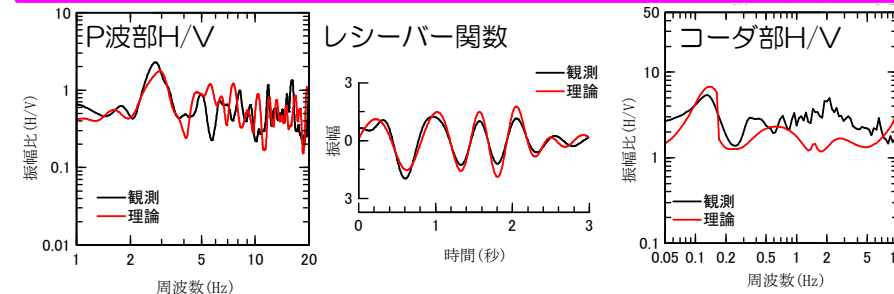
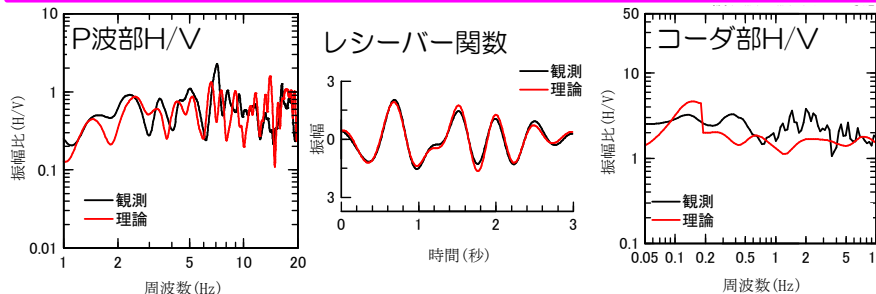
荒浜側

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】逆解析の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

- 地下構造モデルの逆解析のターゲットに用いる観測記録は、SGFモデルからの検討の連続性も考慮し、SGFモデルと同様に中越地震の余震域で発生した地震を用いて手法を適用する上で適切な条件から選定。
- 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について、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。

	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 凡例：○ ○ ○	S/N比が良く、P波初動が記録されている地震 (荒浜側・大湊側共通：66地震)	表面波が十分に含まれている地震 (荒浜側：55地震, 大湊側：51地震)
検討条件② 凡例：○ ○	逆解析のターゲットに用いた地震と震央距離や入射角が同程度の地震 (荒浜側・大湊側共通：38地震)	逆解析のターゲットに用いた地震と同様に敷地周辺の領域で発生した地震 (荒浜側：46地震, 大湊側：42地震)
検討条件③ 凡例：○	逆解析のターゲットに用いた地震 (荒浜側・大湊側共通：3地震)	逆解析の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		

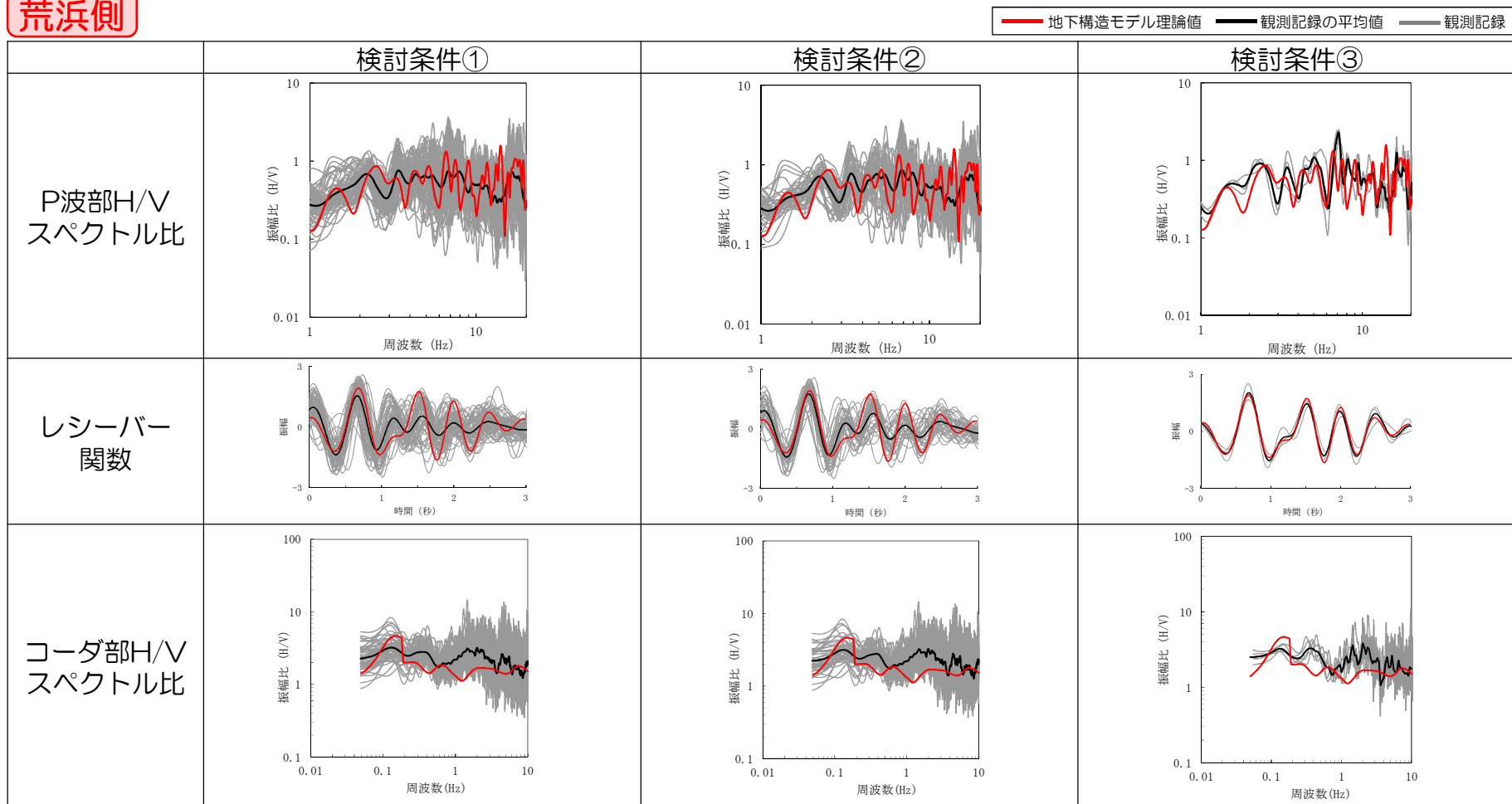
4.3 地下構造モデルの評価

【参考】逆解析の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

- 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



※ 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。

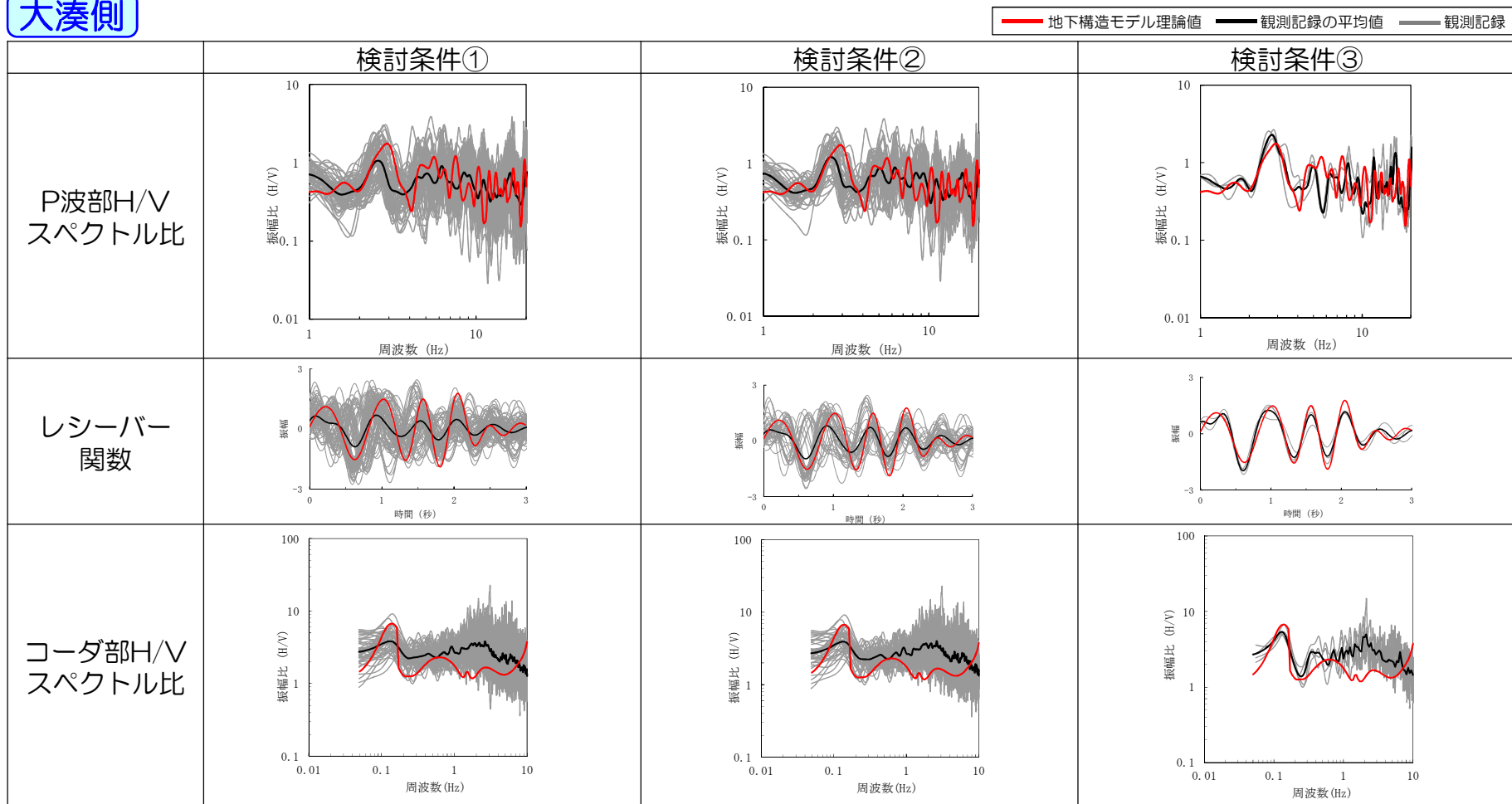
4.3 地下構造モデルの評価

【参考】逆解析の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

- 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
 - 4.4 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
 - 4.5 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

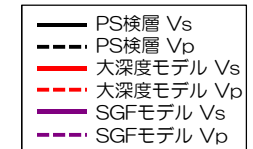
4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証

■ 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

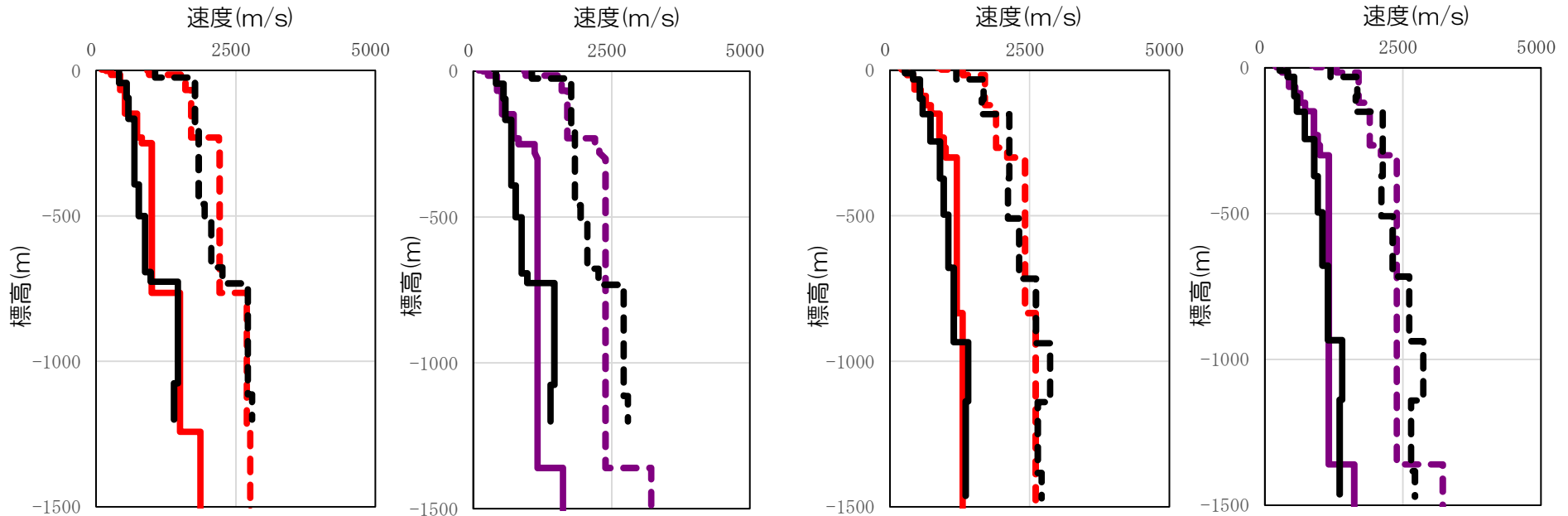


大深度モデル

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

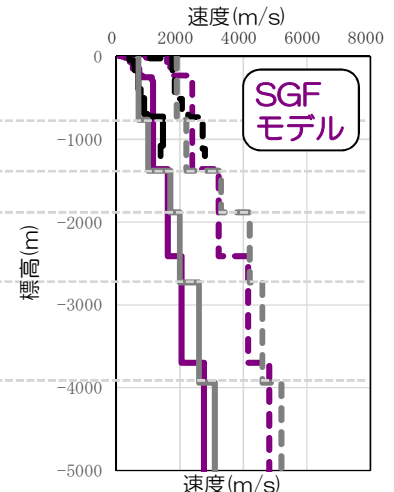
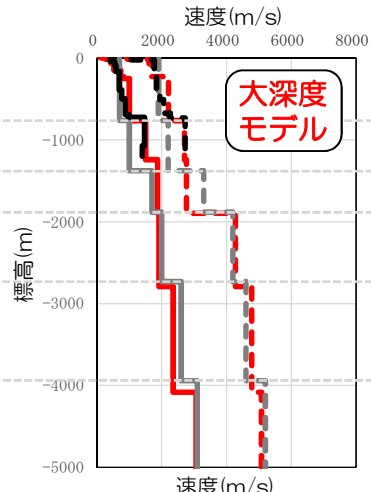
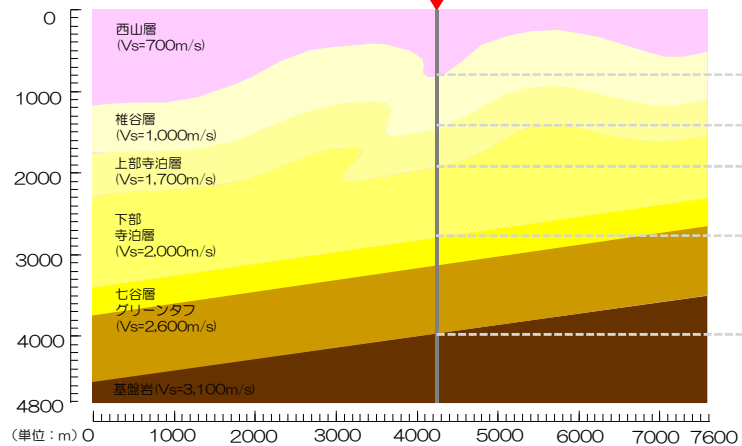
4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証

■ 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。

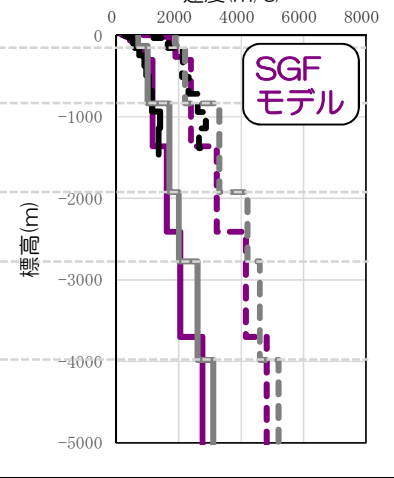
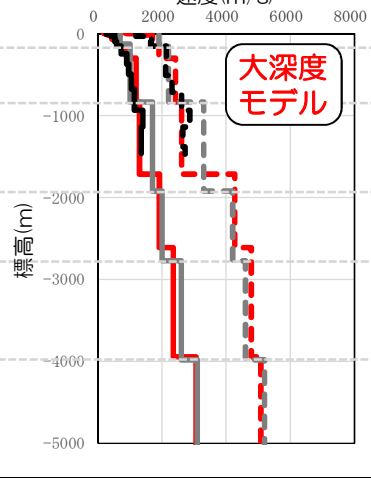
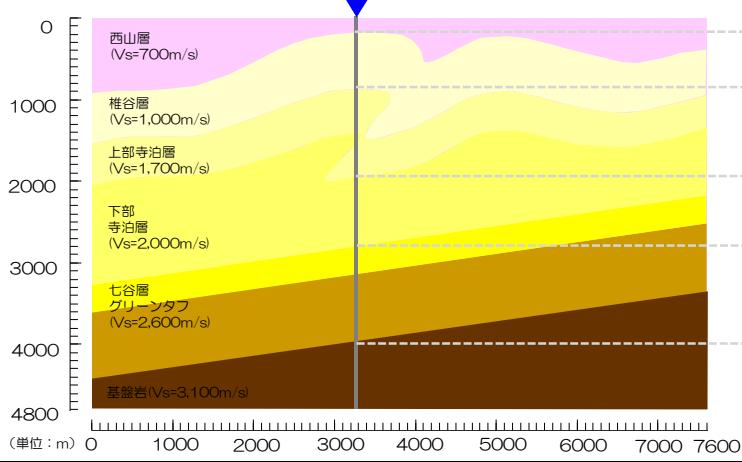
2次元地下構造モデルとの比較

— 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

荒浜側



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
 - 4.5 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伝達関数

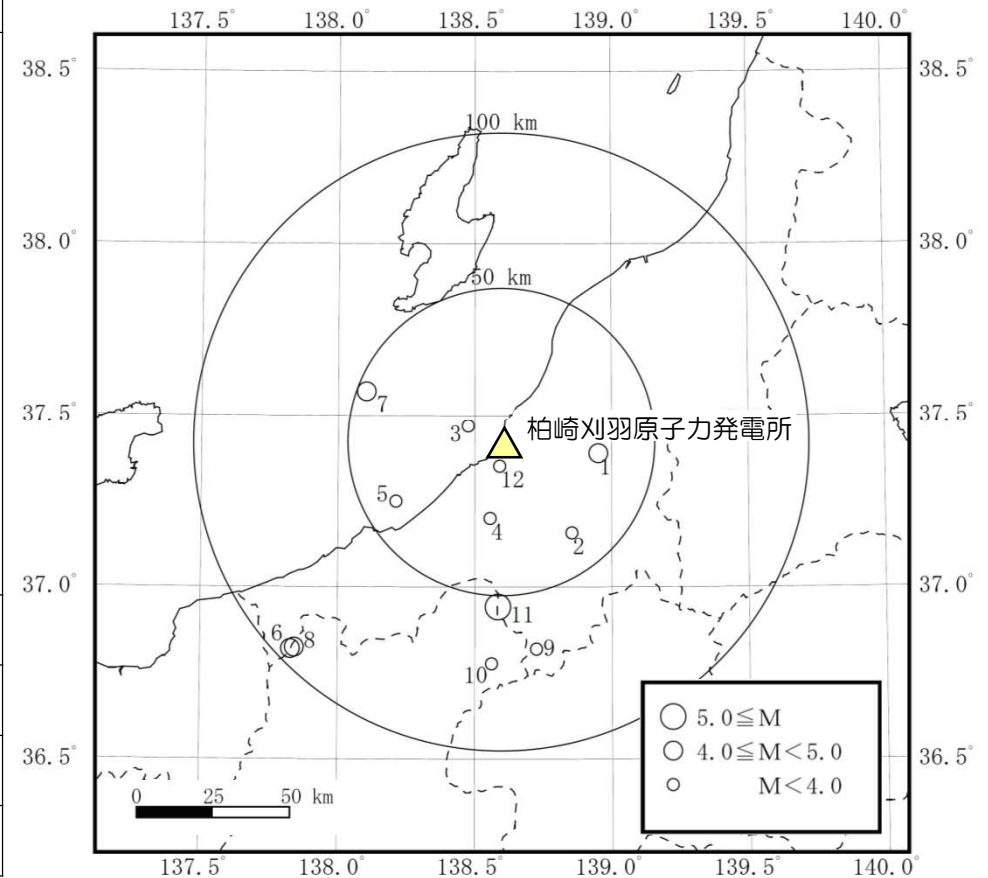
■ 地下構造モデルの理論伝達関数について、2021年3月までに敷地周辺の100km以内で発生したM3.5以上の地震を対象として、大深度地震観測記録と標高-300m～標高-400mの観測記録を用いて伝達関数を評価し比較。

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



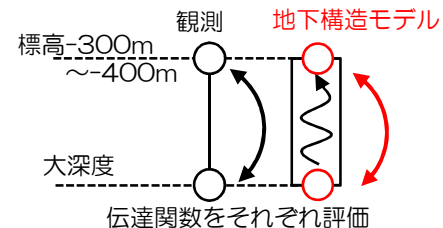
4.4 地下構造モデルの妥当性検証

4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ①伝達関数

コメント
No.2

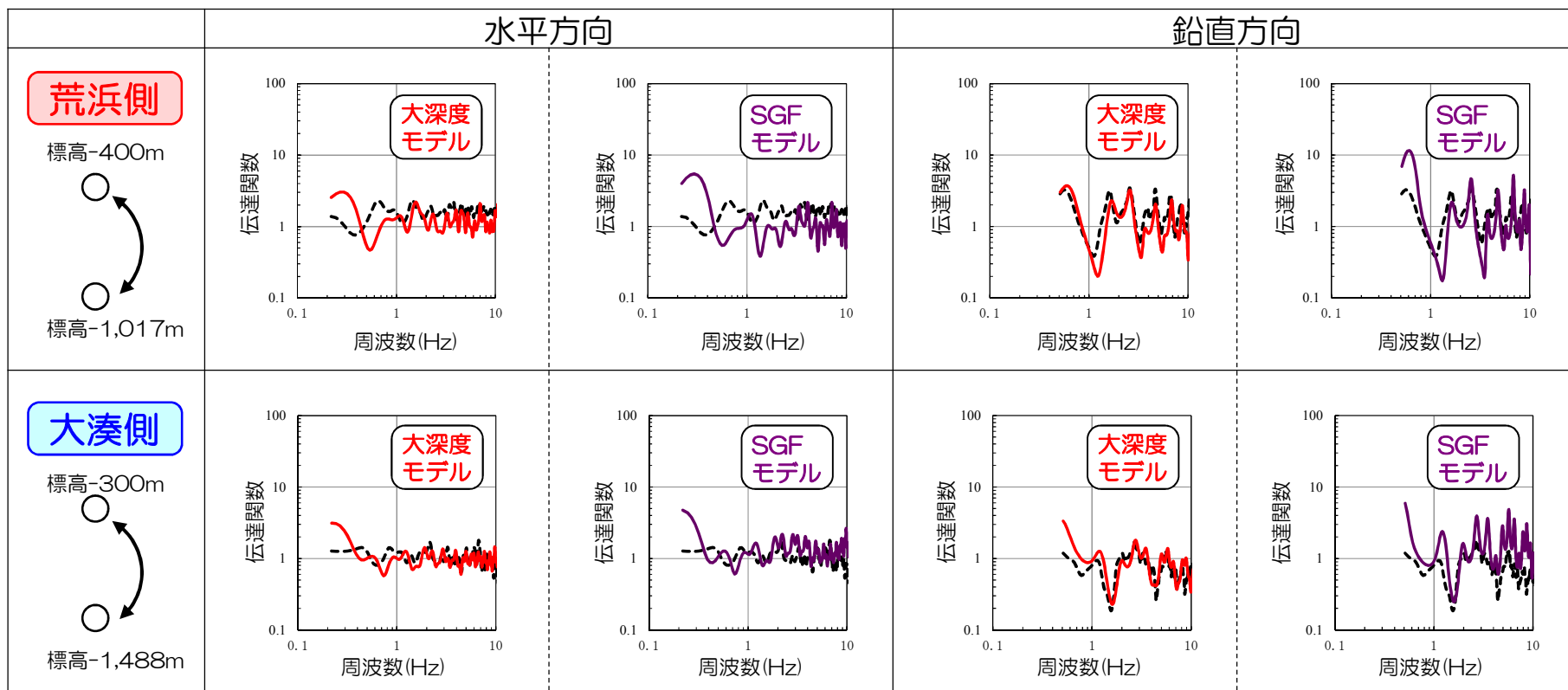
第4回会合
(2021.7.9)
資料1-2 P.12
一部修正

■ 大深度モデル及びSGFモデルの理論伝達関数について、観測記録の伝達関数と比較。



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。

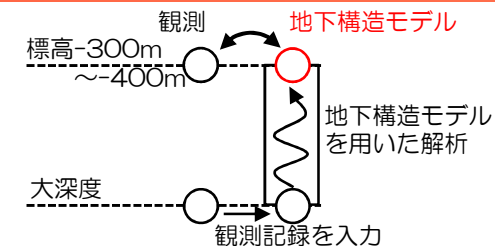
■ 大深度モデルの理論伝達関数は、SGFモデルよりも観測記録の伝達関数と整合していることを確認。

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 ②シミュレーション解析

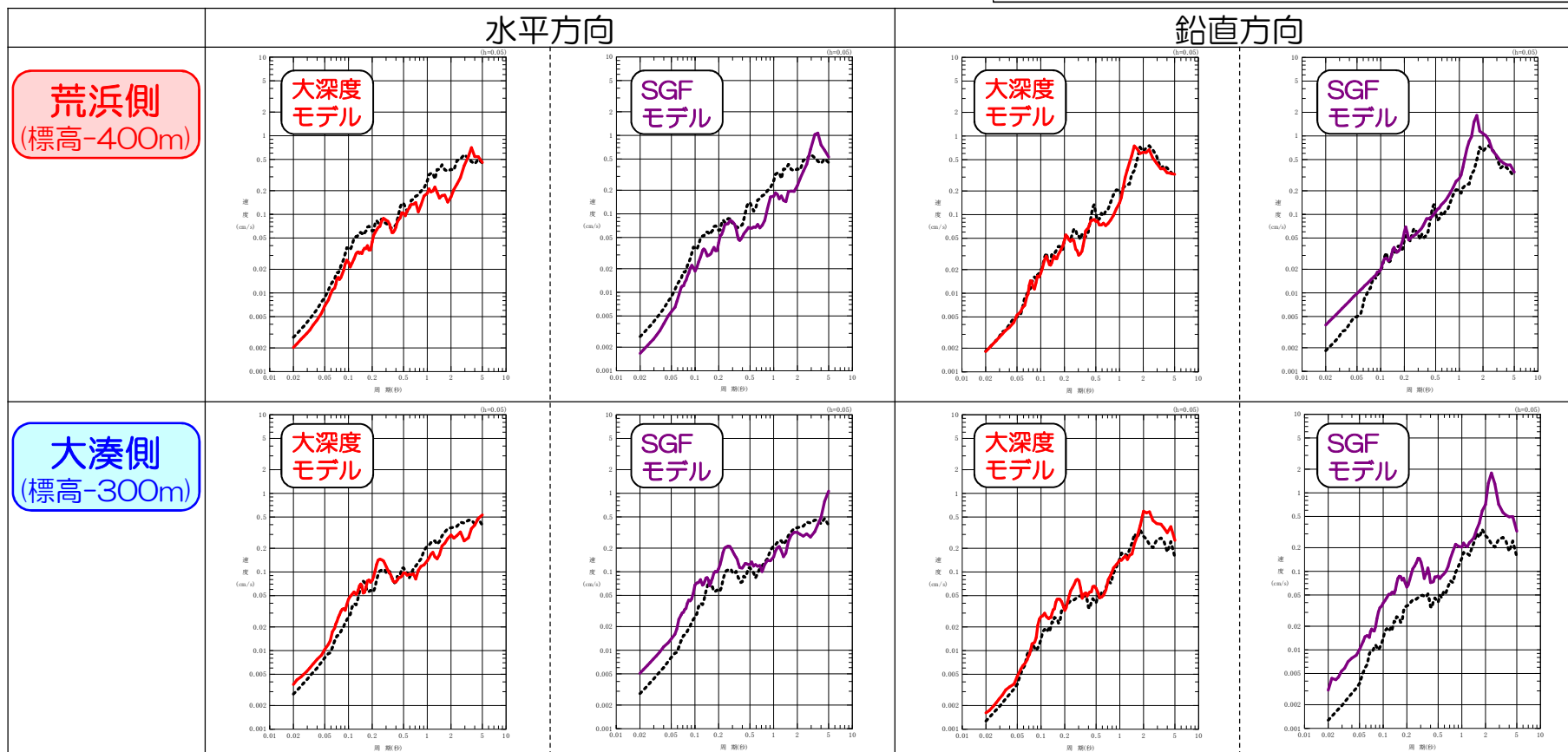
第4回会合
(2021.7.9)
資料1-2 P.13
一部修正

■ 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



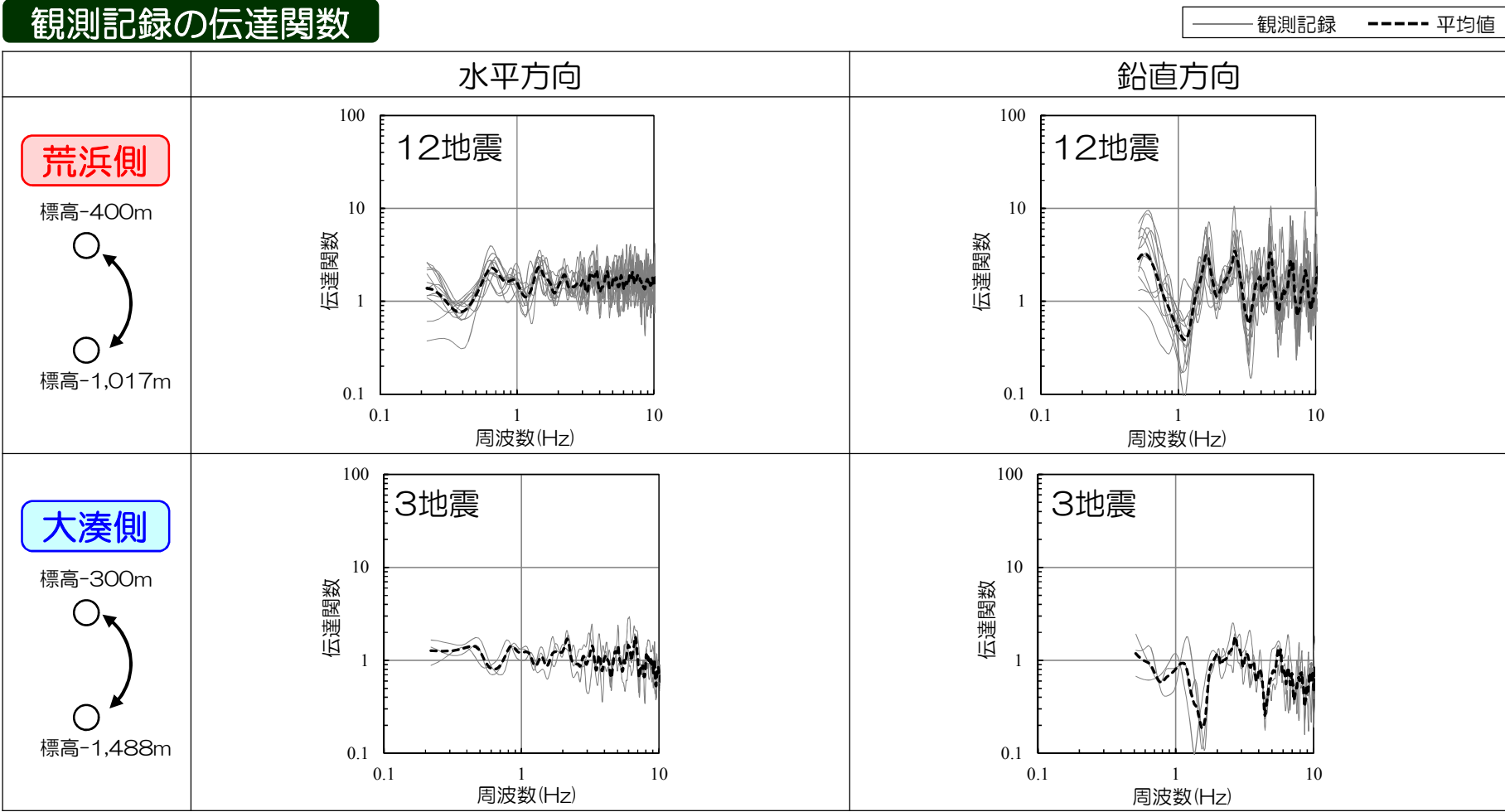
■ 大深度モデルを用いた解析結果は、SGFモデルよりも観測記録を良好に再現できていることを確認。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

コメント
No.2

4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ③伝達関数のばらつき

■ 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。

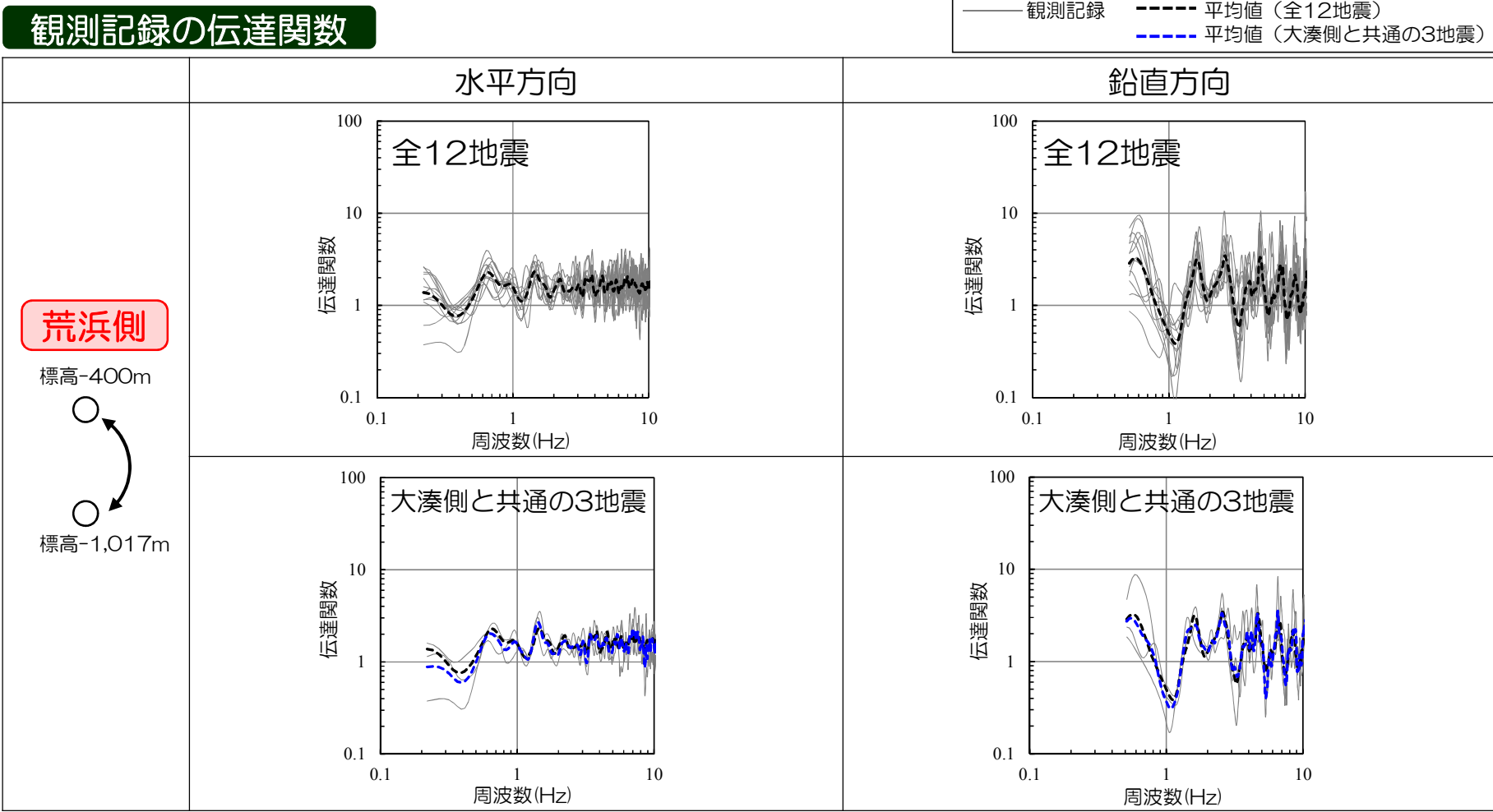
■ 観測記録の伝達関数は、各地震で有意なばらつきはなく、安定していることを確認。

4.4 地下構造モデルの妥当性検証

コメント
No.2

4.4.2 大深度地震観測記録による検証 ④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 ⑤浅部までの伝達関数

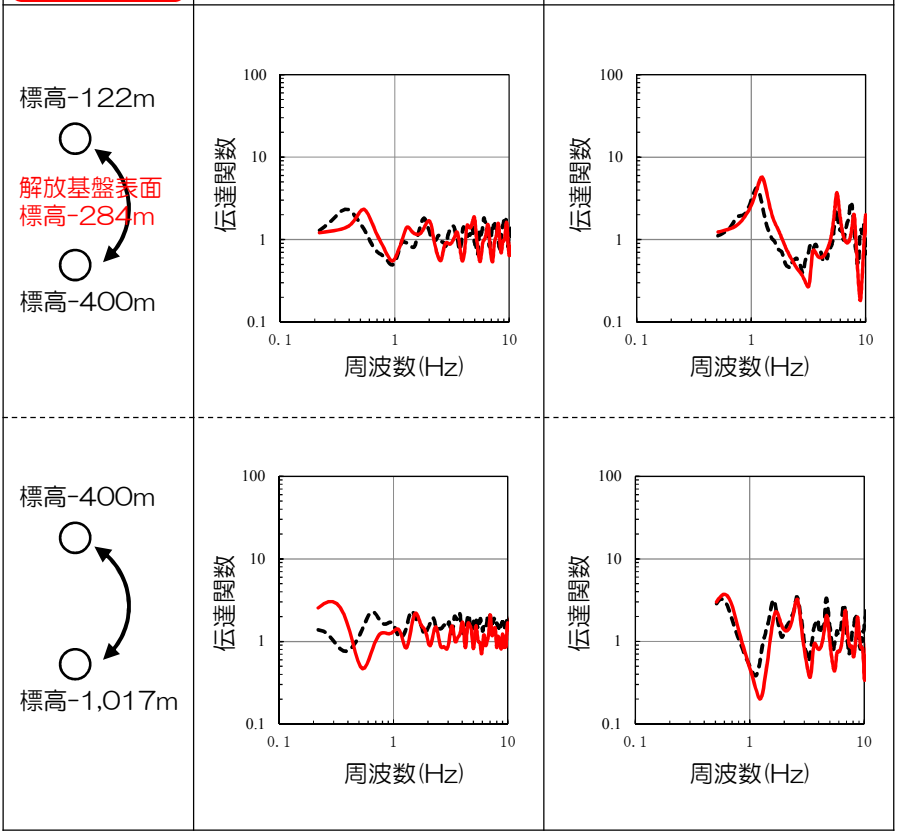
コメント
No.3

■ 大深度地震観測点から解放基盤表面より浅部までの理論伝達関数について、観測記録の伝達関数と比較。

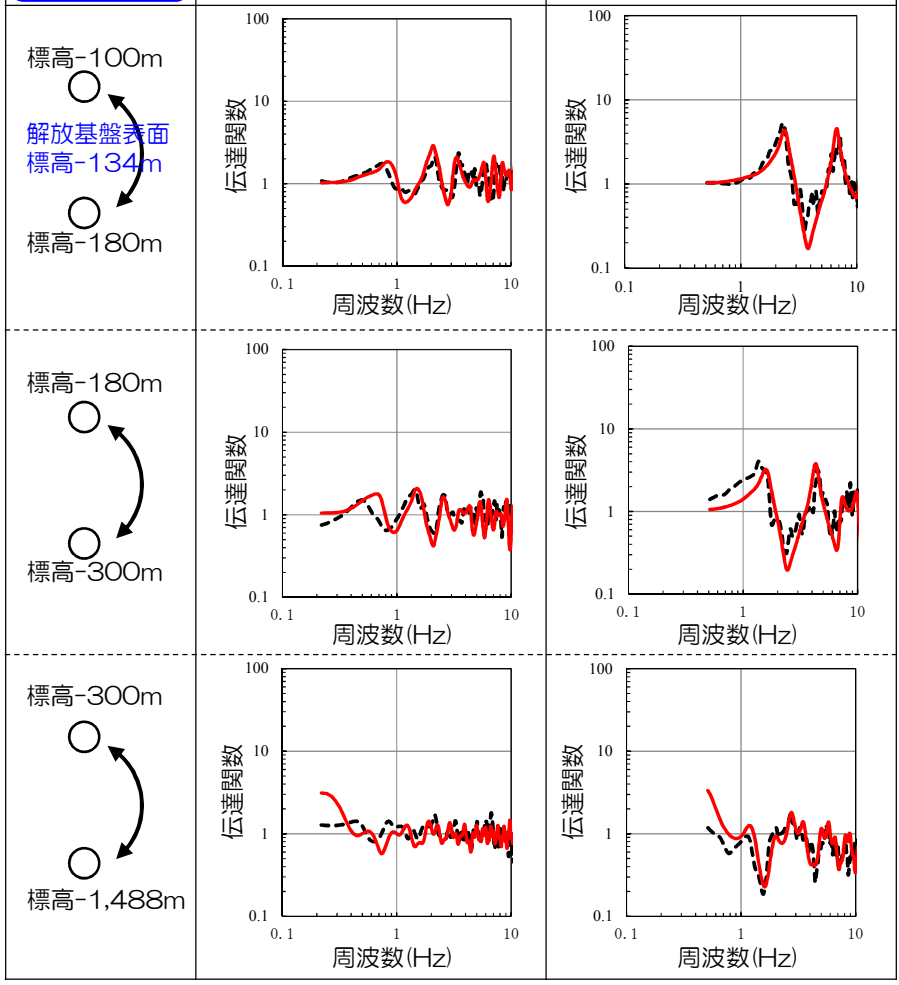
浅部までの伝達関数の比較

----- 観測記録 ———— 大深度モデル

荒浜側



大湊側



※ 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、観測記録の伝達関数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
 - 4.5 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

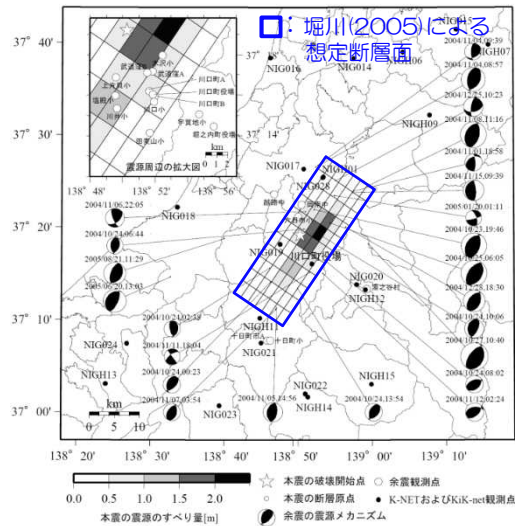
4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

①2004年新潟県中越地震

コメント
No.3,4,5

- 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2004年新潟県中越地震のシミュレーション解析を実施し、観測記録及び経験的グリーン関数法による評価結果と比較。
- 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。

震源モデル 神原ほか(2006)



本震の震源パラメータ

パラメータ	設定値
断層原点	東経(°) 139° 0' 23" 北緯(°) 37° 24' 12"
断層上端深さ(km)	0.2
断層長さ(km)	31
断層幅(km)	20
断層面積(km ²)	620
走向(°)	214
傾斜角(°)	56
S波速度(km/s)	3.4
破壊伝播速度(km/s)	2.45
地震モーメント(N・m)	8.17×10 ¹⁸
平均すべり量(cm)	43.8
平均応力降下量(MPa)	1.29

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。

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

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

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

- $A(f)$: 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, 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。

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

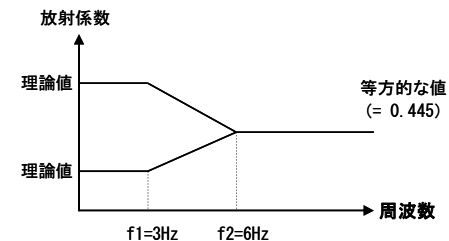
$$a = \{e/(\varepsilon T_w)\}^b \quad T_w = 2T_d \quad T_d = f_c^{-1}$$

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

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。



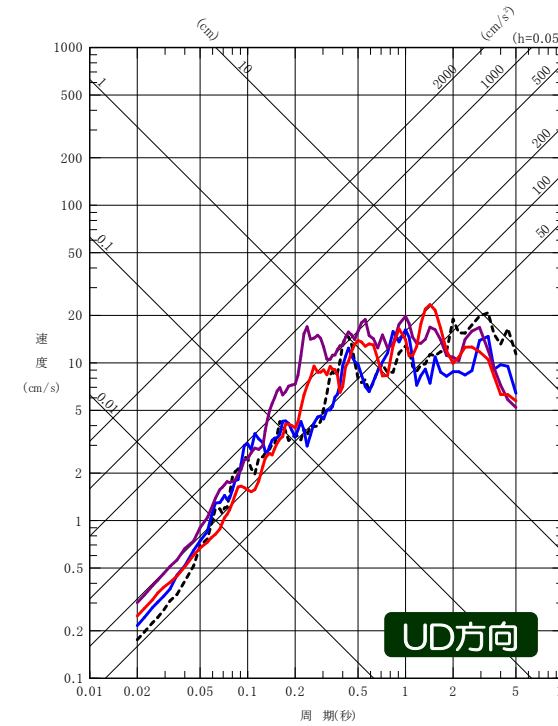
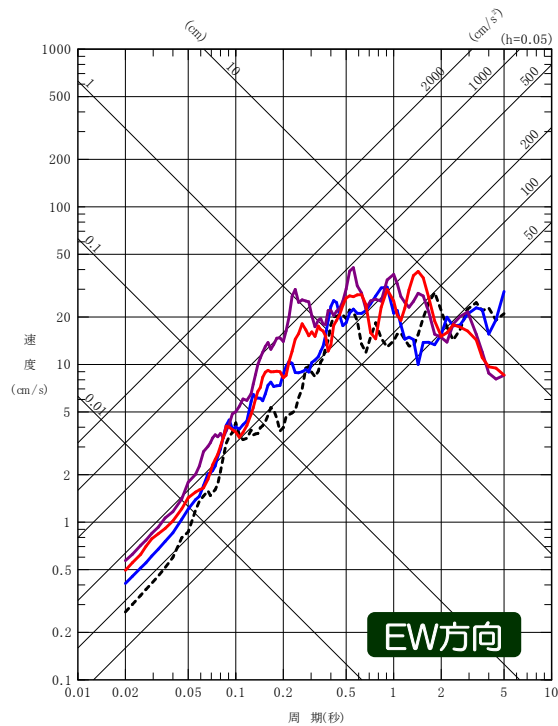
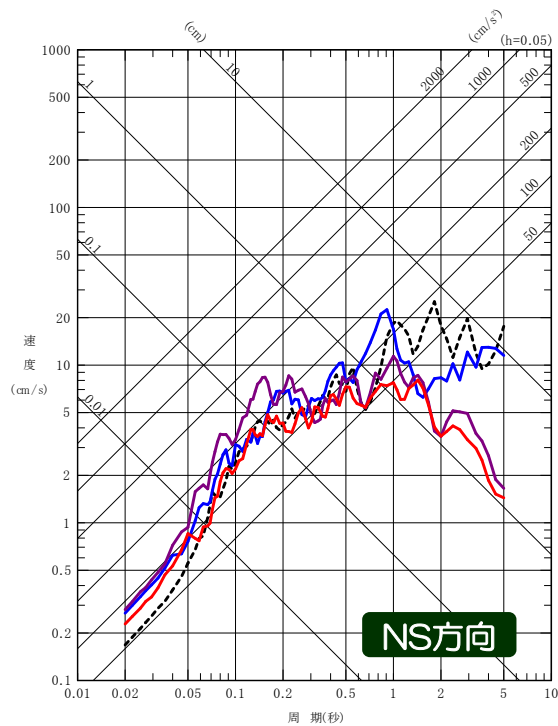
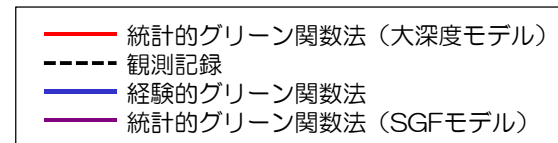
4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価

①2004年新潟県中越地震

コメント
No.3,4,5

- 大深度モデルを用いた統計的グリーン関数法による評価結果は、観測記録及び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。
- 大深度モデルを用いた場合でも基準地震動の評価に用いた経験的グリーン関数法の妥当性を確認できること、また、大深度モデルの大深度地震観測点より深部が適切にモデル化できていることを確認。
- 大深度モデルとSGFモデルによる評価結果を比較すると、短周期側ではSGFモデルの方が大深度モデルをやや上回る地震動レベル、長周期側では両者は同程度の地震動レベルとなることを確認。

大湊側

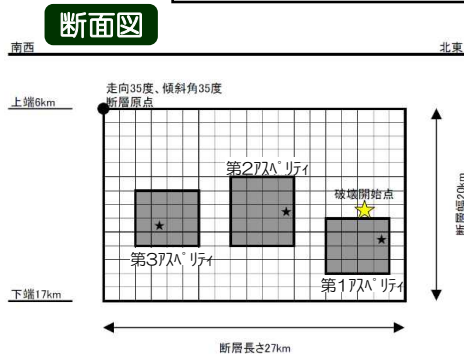
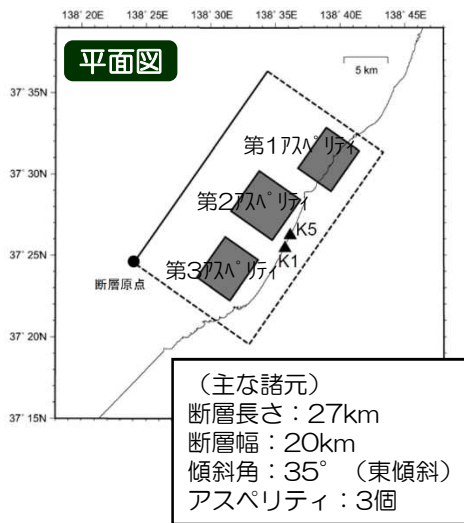


4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価 ②2007年新潟県中越沖地震

コメント
No.3,4,5

■ 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2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析を実施し、観測記録及び経験的グリーン関数法による評価結果と比較。

震源モデル 中越沖アスペリティモデル



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。

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

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{\max})^{2.5}}} \cdot FS$$

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

- $A(f)$: 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 : 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。

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

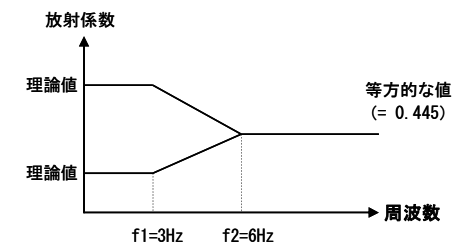
$$a = \{e/(\varepsilon T_w)\}^b \quad T_w = 2T_d \quad T_d = f_c^{-1}$$

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

- 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。



4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価 ②2007年新潟県中越沖地震

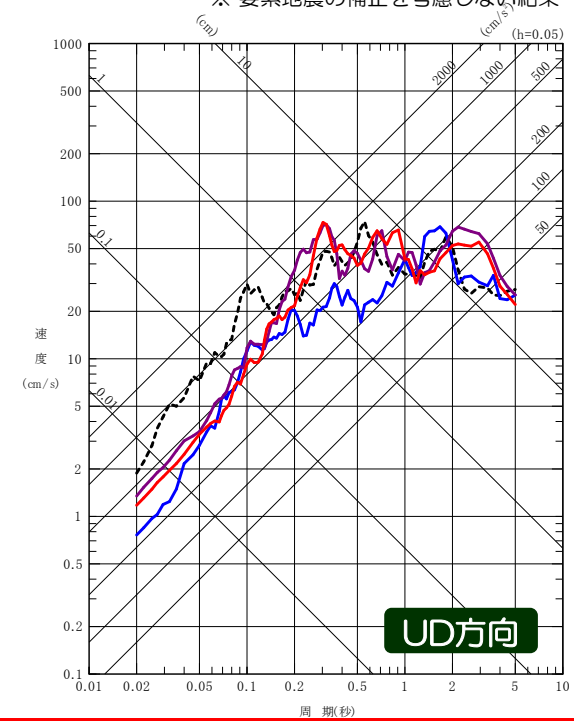
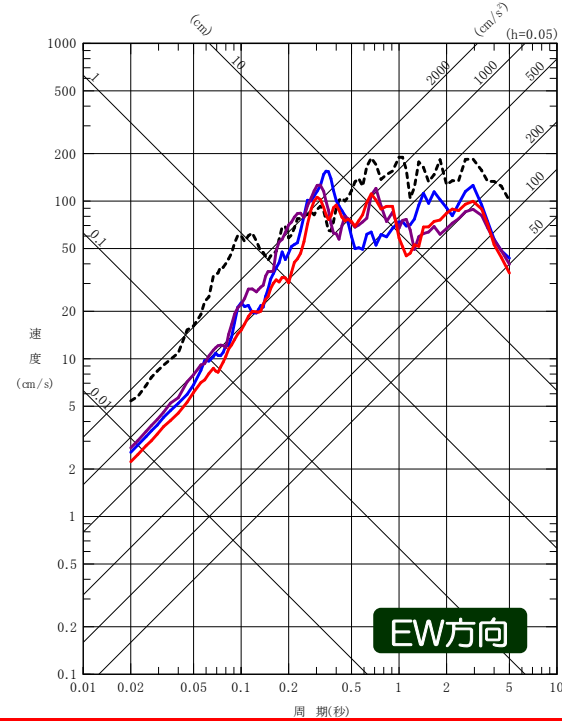
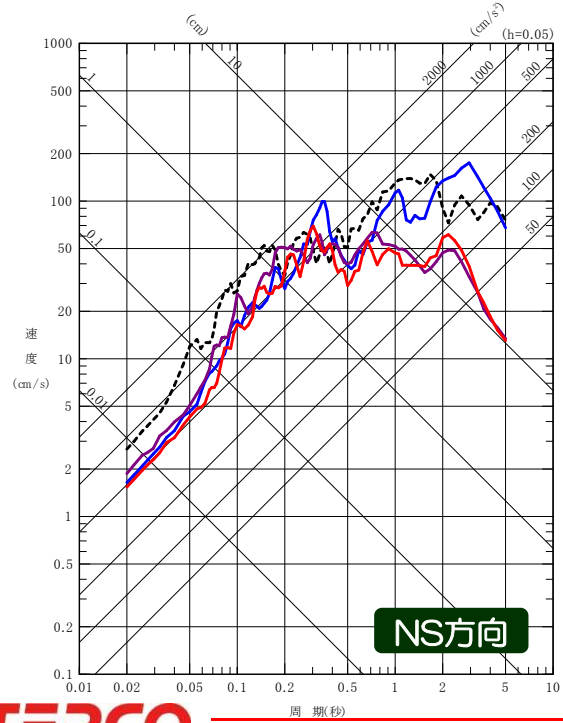
コメント
No.3,4,5

- 大深度モデルを用いた統計的グリーン関数法による評価結果は、要素地震の補正係数を考慮していない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。
- 大深度モデルを用いた場合でも基準地震動の評価に用いた経験的グリーン関数法の妥当性を確認できること、また、大深度モデルの大深度地震観測点より深部が適切にモデル化できていることを確認。
- 大深度モデルとSGFモデルによる評価結果を比較すると、短周期側ではSGFモデルの方が大深度モデルをやや上回る地震動レベル、長周期側では両者は同程度の地震動レベルとなることを確認。なお、どちらのモデルも褶曲構造の影響は反映できておらず、観測記録の地震動レベルまでは表現できていない。

荒浜側

— 統計的グリーン関数法（大深度モデル）
 - - - 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）

※ 要素地震の補正を考慮しない結果

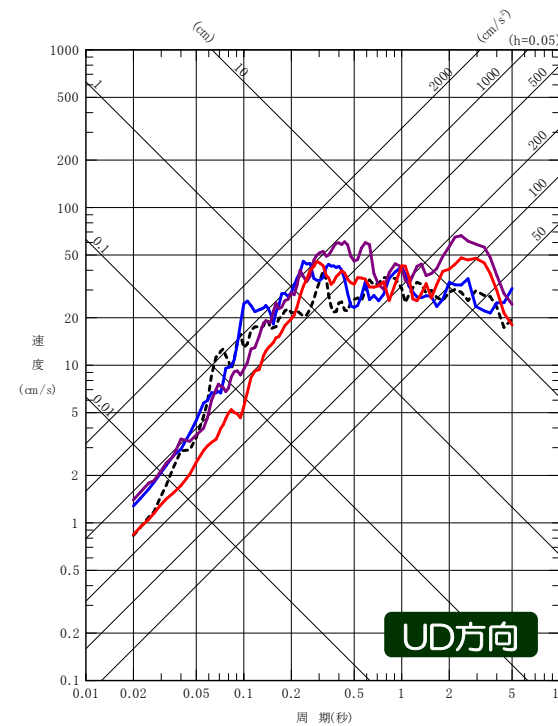
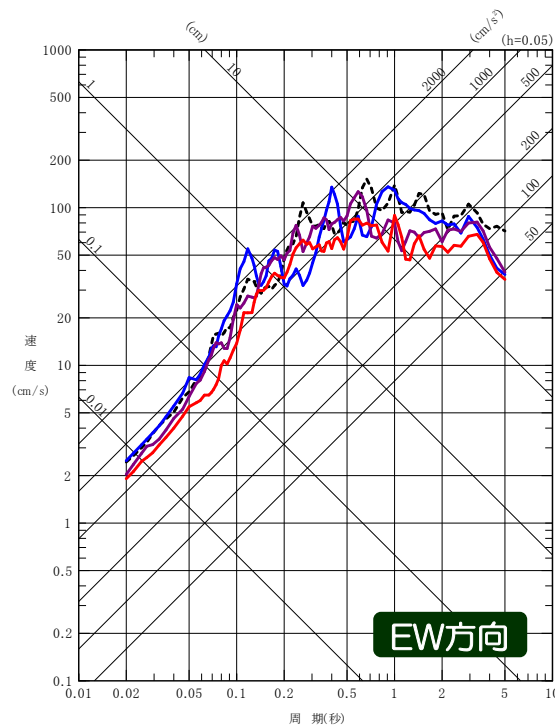
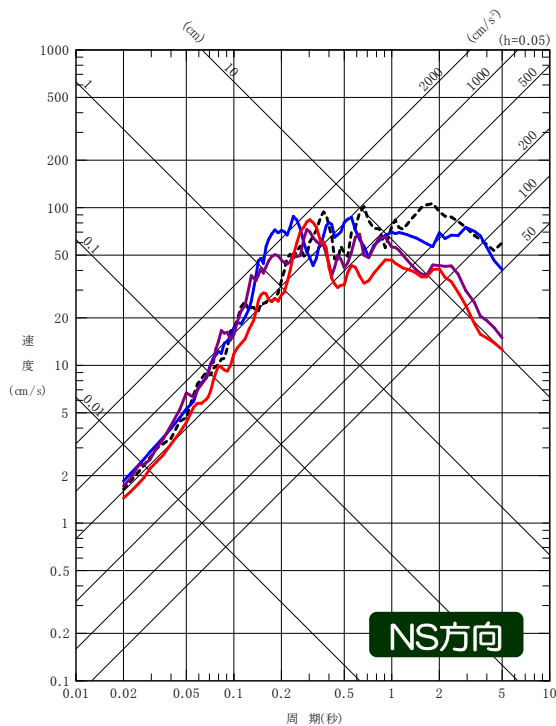
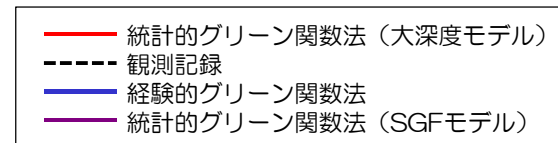


4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価 ②2007年新潟県中越沖地震

コメント
No.3,4,5

- 大深度モデルを用いた統計的グリーン関数法による評価結果は、観測記録及び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。
- 大深度モデルを用いた場合でも基準地震動の評価に用いた経験的グリーン関数法の妥当性を確認できること、また、大深度モデルの大深度地震観測点より深部が適切にモデル化できていることを確認。
- 大深度モデルとSGFモデルによる評価結果を比較すると、短周期側ではSGFモデルの方が大深度モデルをやや上回る地震動レベル、長周期側では両者は同程度の地震動レベルとなることを確認。

大湊側



-
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
 - 4.5 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。
- 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。

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。
- 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。

- 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る。
- 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る。

4.6 地下構造モデルの設定

コメント
No.5

第4回会合
(2021.7.9)
資料1-2 P.14
一部修正

■ 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、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、この地下構造モデルを用いた場合に変更が生じる可能性が考えられることから、確認を行う。(結果はP.66に示す。)

■ また、中越沖地震のシミュレーション解析結果等から、荒浜側では1次元地下構造モデルだけでは褶曲構造の影響の反映が難しいことを踏まえ、中越沖地震の観測記録に基づき荒浜側と大湊側の増幅特性の違いを考慮した場合の標準応答スペクトルの評価について、念のため確認を行う。(結果はP.67以降に示す。)

-
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
 - 4.5 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

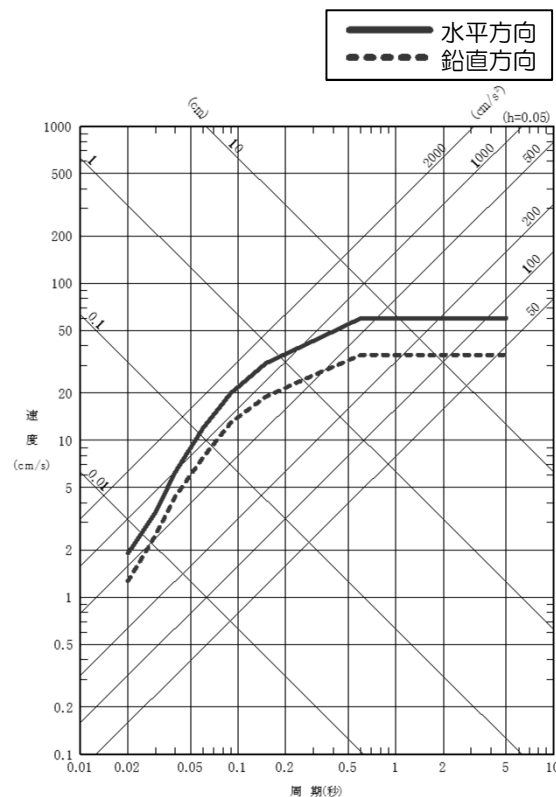
5. 標準応答スペクトルに基づく評価

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変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。

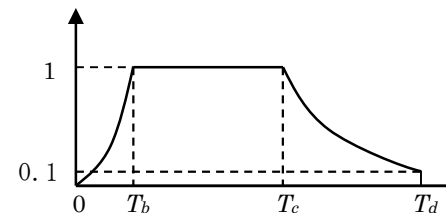
- 振幅包絡線の経時変化：Noda et al.(2002)に基づく形状
- 応答スペクトル比：0.85以上
- 応答スペクトル強さの比（SI比）：1.0以上

標準応答スペクトル



振幅包絡線の経時変化

地震規模 M	等価震源 距離 Xeq(km)	振幅包絡線の経時変化 (秒)		
		T_b	T_c	T_d
6.9	10	3.31	15.06	28.03

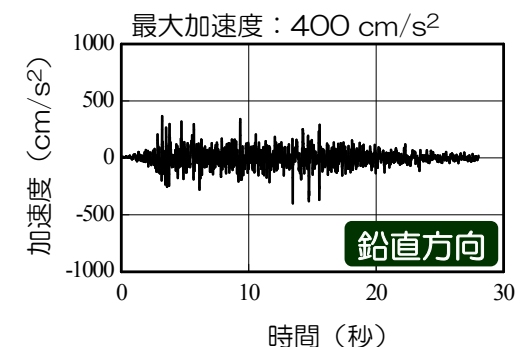
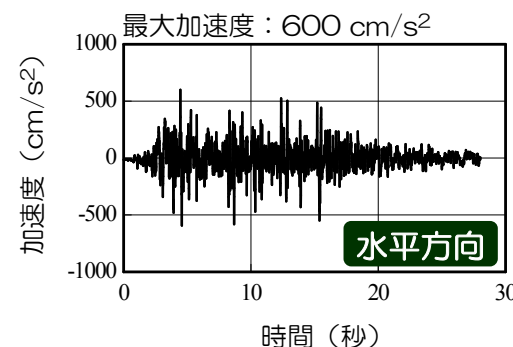


$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

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

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

標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形



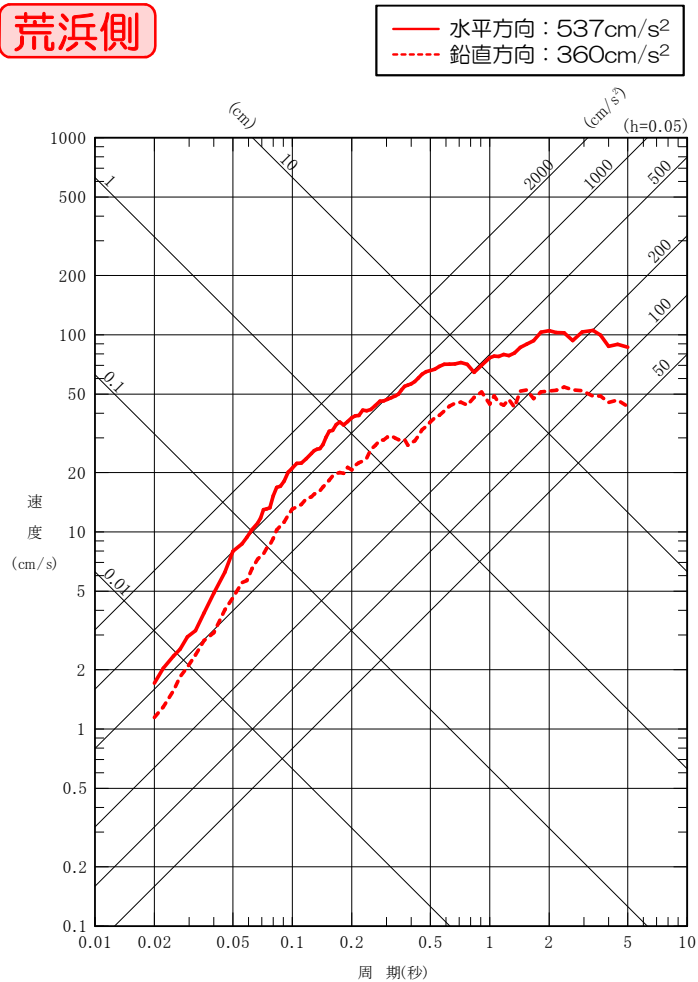
-
1. 概要
 2. 既許可の基準地震動の概要
 3. 標準応答スペクトルに基づく評価の方針
 4. 地下構造モデルの設定
 - 4.1 震源を特定せず策定する地震動に用いる地下構造モデル
 - 4.2 地下構造モデルの設定方針
 - 4.3 地下構造モデルの評価
 - 4.4 地下構造モデルの妥当性検証
 - 4.4.1 PS検層結果及び2次元地下構造モデルとの比較による検証
 - 4.4.2 大深度地震観測記録による検証
 - 4.5 統計的グリーン関数法による地震動評価
 - 4.6 地下構造モデルの設定
 5. 標準応答スペクトルに基づく評価
 - 5.1 標準応答スペクトルに適合し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

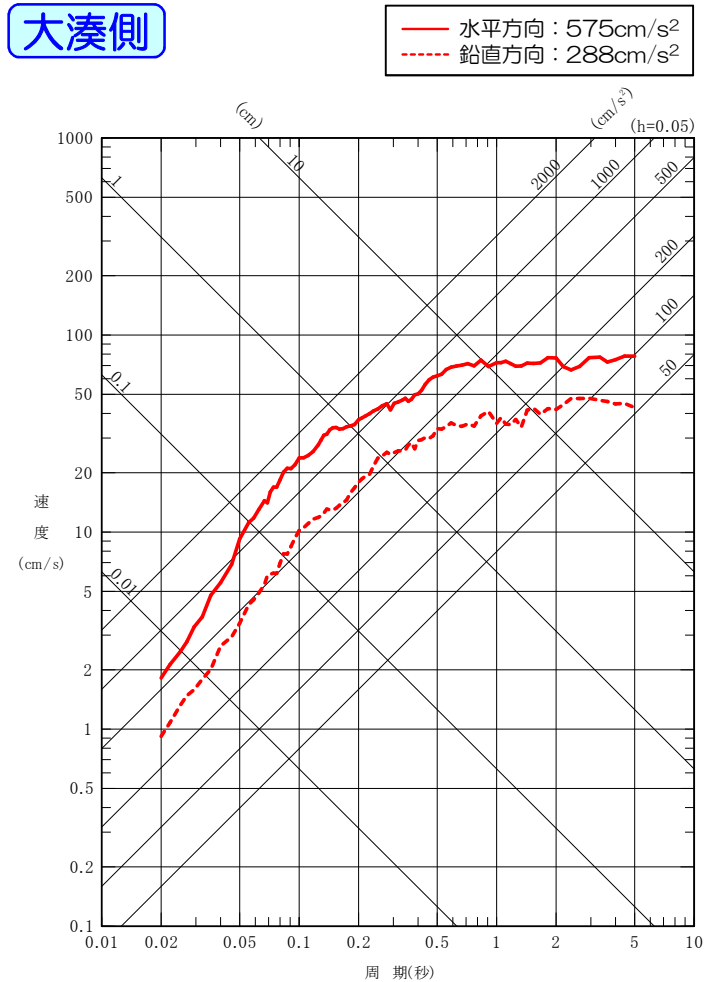
5.2 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果

- 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



大湊側



-
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
 - 4.5 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

コメント
No.5,6

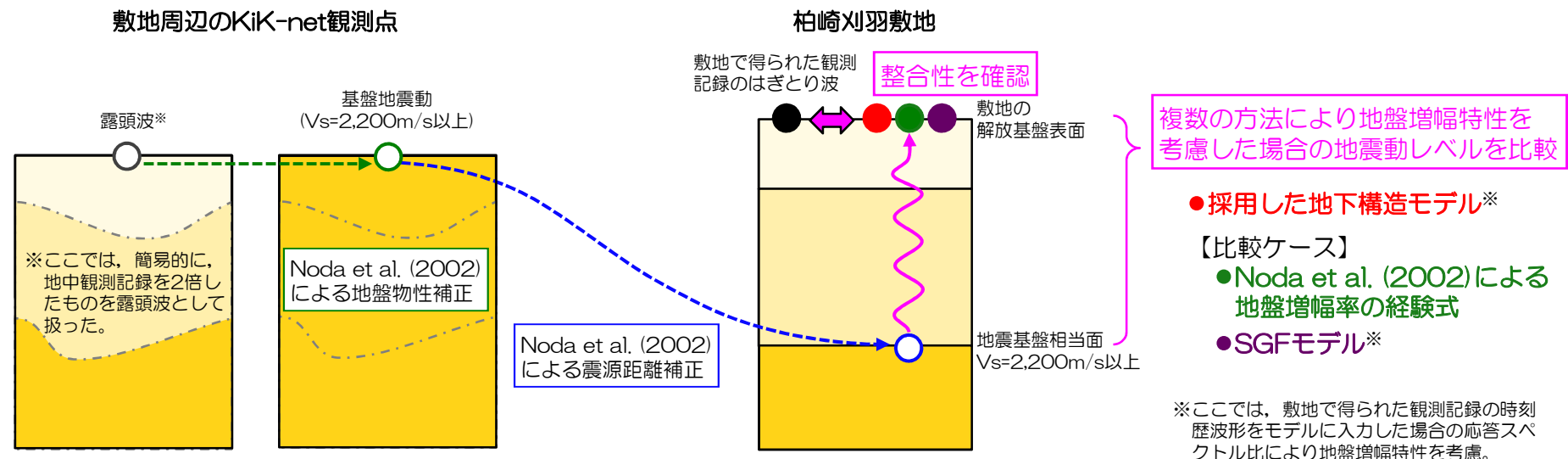
5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

- 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

コメント
No.5,6

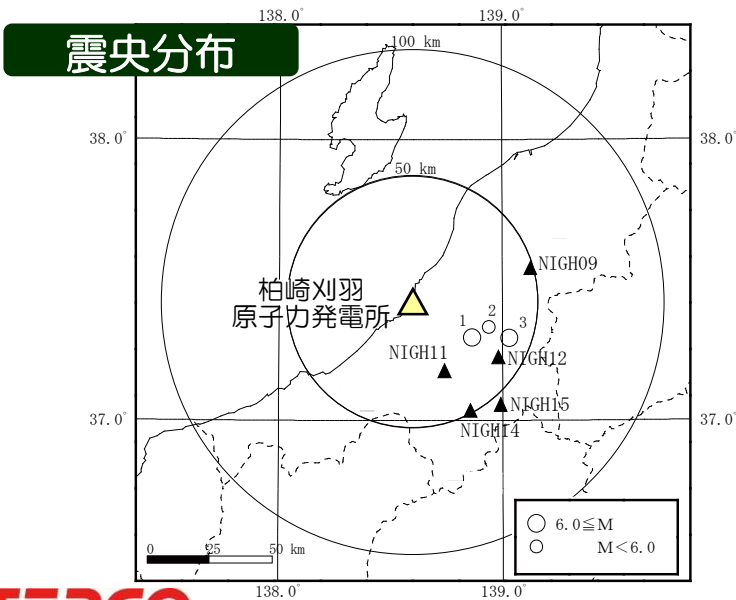
5.3 敷地及び敷地周辺の観測記録を用いた地震動レベルの検証

- 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

※地震の諸元は気象庁による

No.	発震日時	Mj	記録の取得状況						
			敷地		KiK-net観測点				
			荒浜側	大湊側	NIGH09	NIGH11	NIGH12	NIGH14	NIGH15
1	2004/10/23 17:56	6.8	-	○	○	○	○	-	○
2	2004/10/25 06:04	5.8	○	○	○	-	○	-	○
3	2004/10/27 10:40	6.1	○	○	○	○	○	○	○



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

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

※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

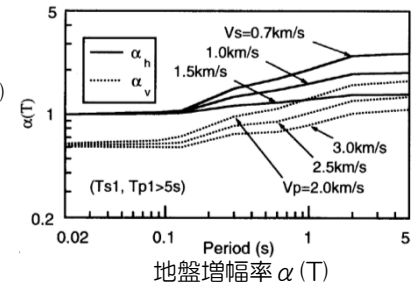
KiK-net観測点または敷地からの等価震源距離 X_{eq} と地震規模Mjを用いて、Noda et al.(2002)によりそれぞれの応答スペクトル S_b を求め、その比率によりKiK-net観測点から敷地の地震基盤相当の応答スペクトルへ補正

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

● 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)
 α (T) : 地盤増幅率の補正
 β (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

コメント
No.5,6

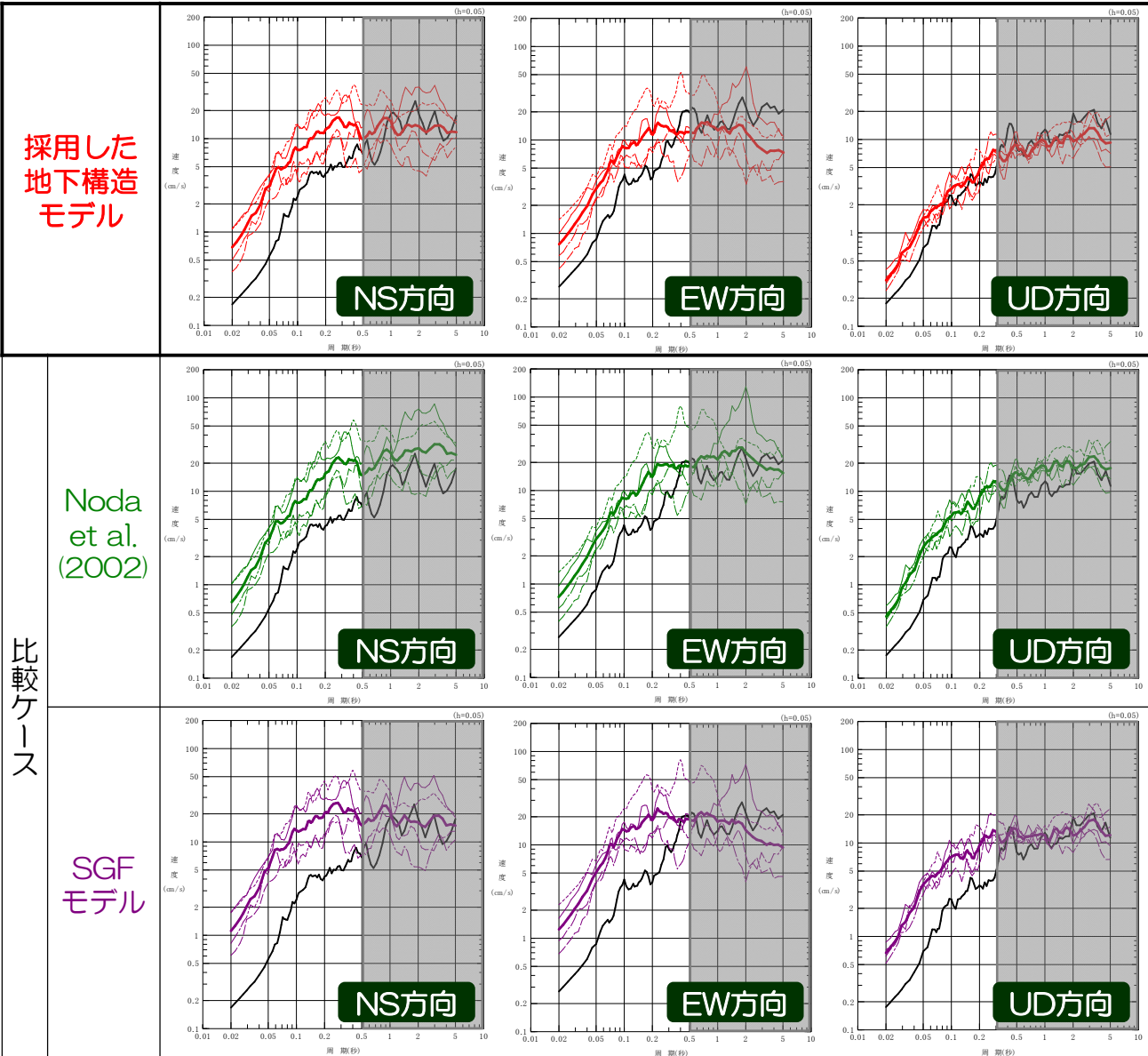
No.1
2004/10/23 M6.8

大湊側

- 採用した地下構造モデルによる評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた評価結果についても、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- SGFモデルを用いた評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルとの乖離があり、短周期側で過大評価となる傾向が顕著であることを確認。

※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



採用した
地下構造
モデル

Noda
et al.
(2002)

比較
ケース

SGF
モデル

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

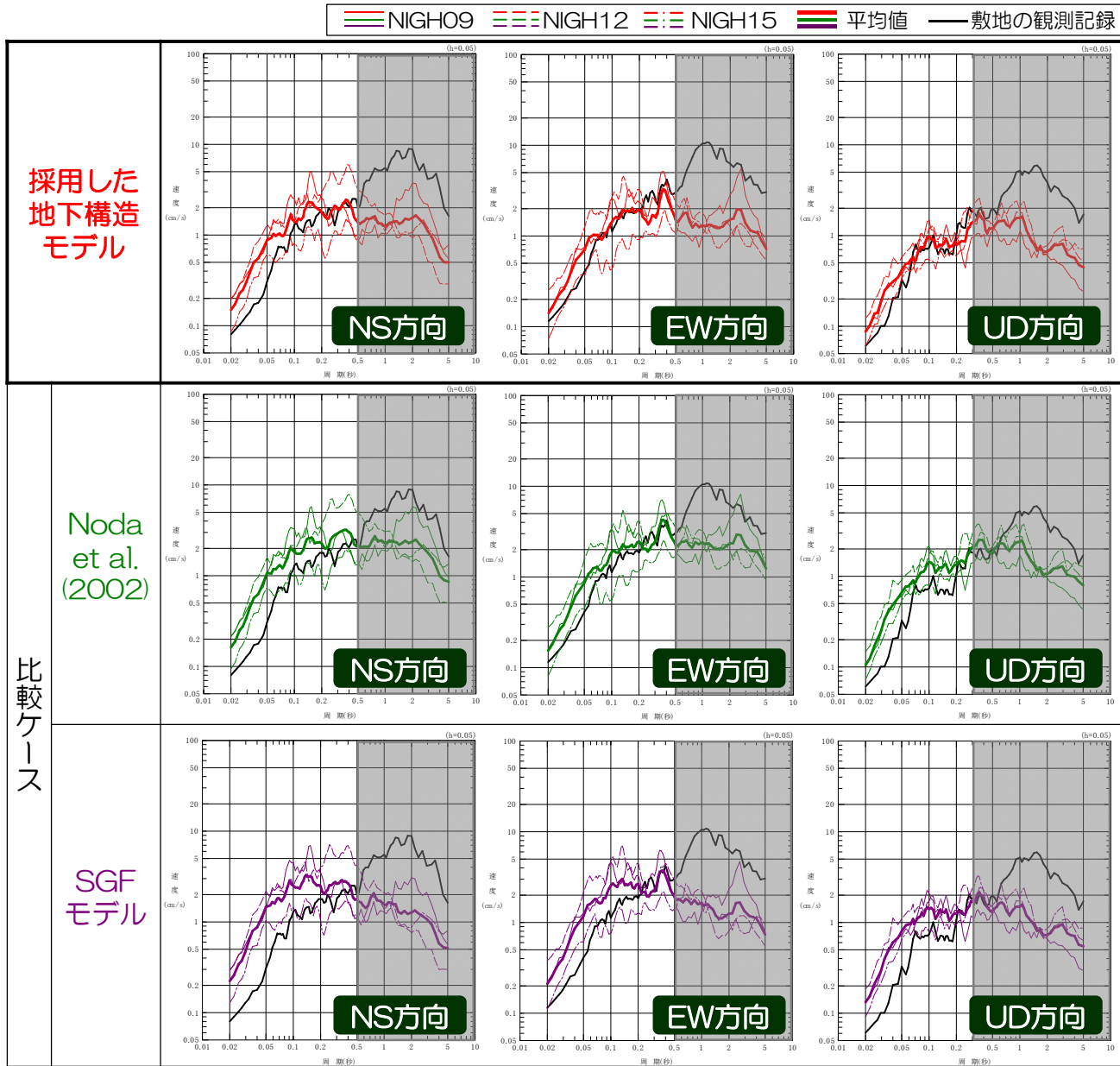
コメント
No.5,6

No.2
2004/10/25 M5.8

荒浜側

- 採用した地下構造モデルによる評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた評価結果についても、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- SGFモデルを用いた評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルとの乖離があり、短周期側で過大評価となる傾向が顕著であることを確認。

※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

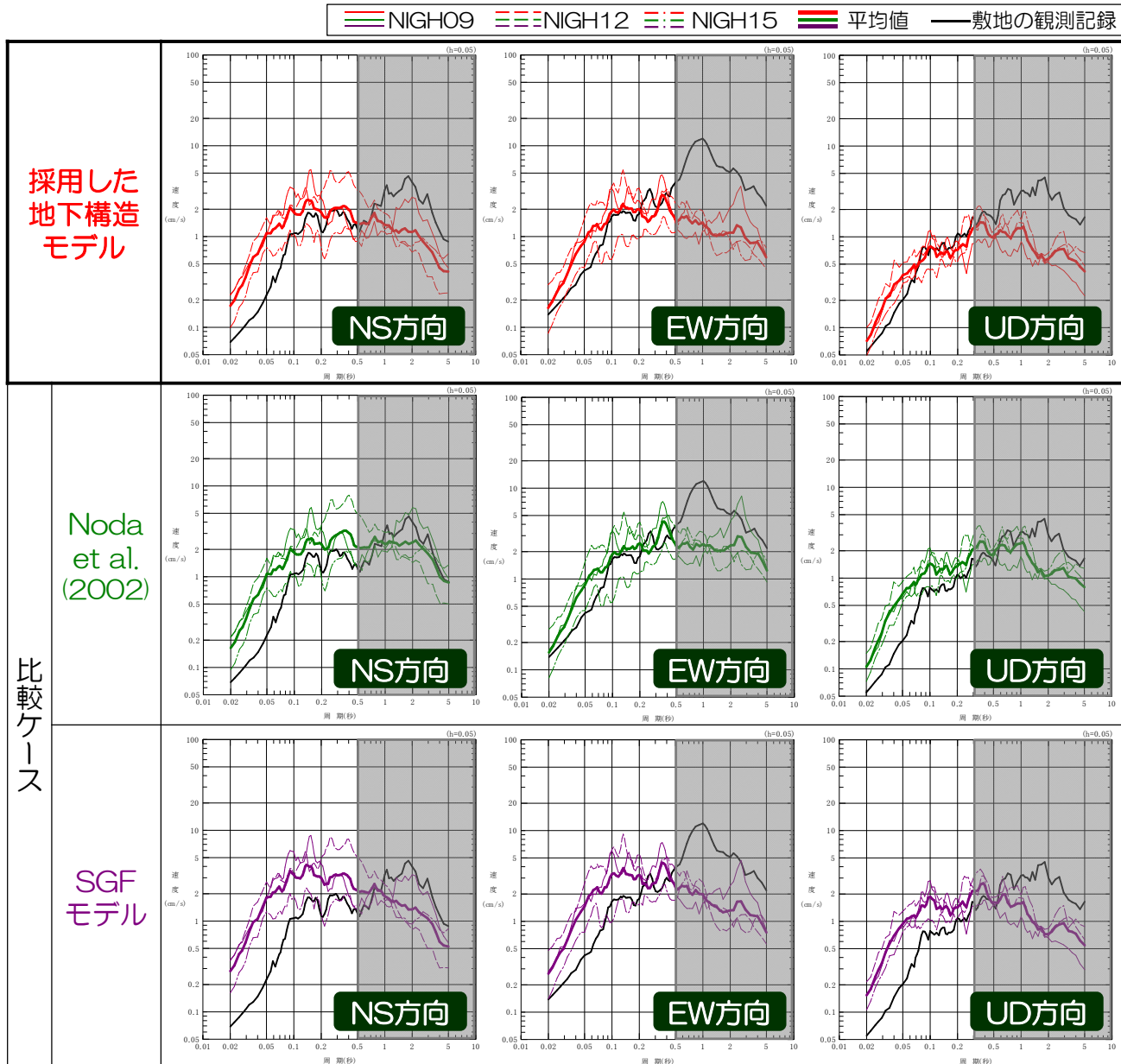
コメント
No.5,6

No.2
2004/10/25 M5.8

大湊側

- 採用した地下構造モデルによる評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた評価結果についても、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- SGFモデルを用いた評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルとの乖離があり、短周期側で過大評価となる傾向が顕著であることを確認。

※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

コメント
No.5,6

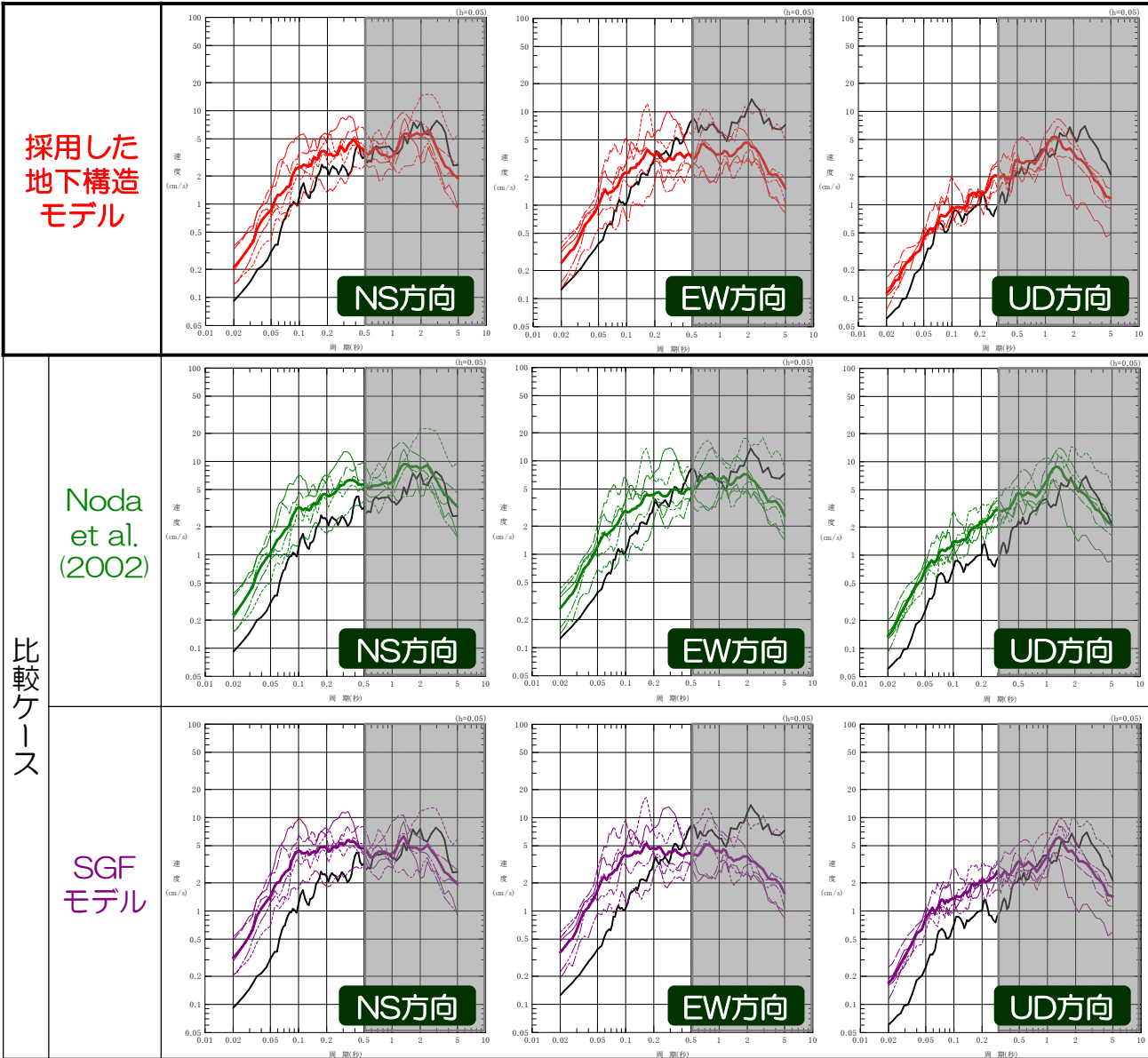
No.3
2004/10/27 M6.1

荒浜側

- 採用した地下構造モデルによる評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた評価結果についても、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- SGFモデルを用いた評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルとの乖離があり、短周期側で過大評価となる傾向が顕著であることを確認。

※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



採用した
地下構造
モデル

比較
ケース

Noda
et al.
(2002)

SGF
モデル

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

コメント
No.5,6

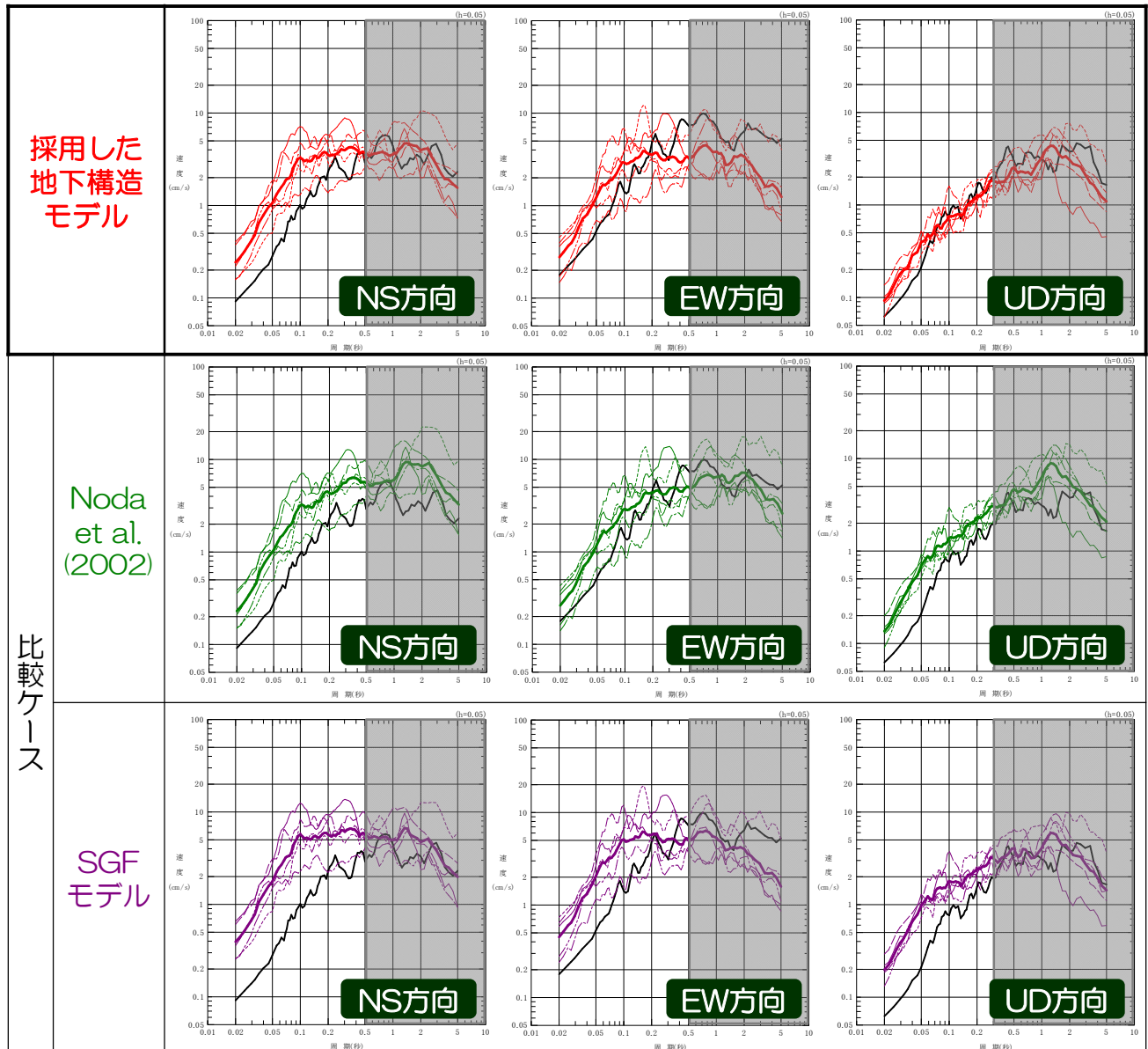
No.3
2004/10/27 M6.1

大湊側

- 採用した地下構造モデルによる評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた評価結果についても、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認。
- SGFモデルを用いた評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルとの乖離があり、短周期側で過大評価となる傾向が顕著であることを確認。

※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

コメント
No.5,6

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

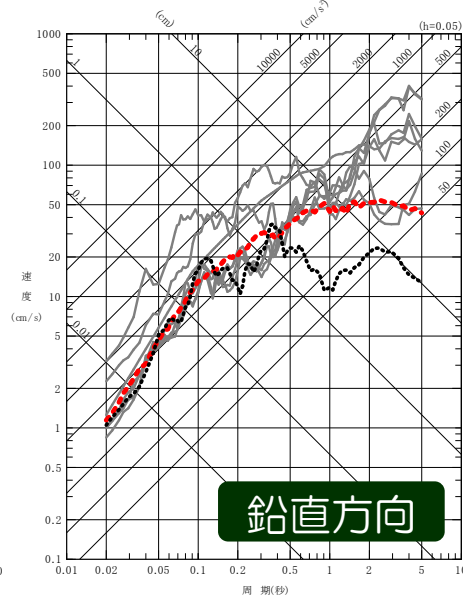
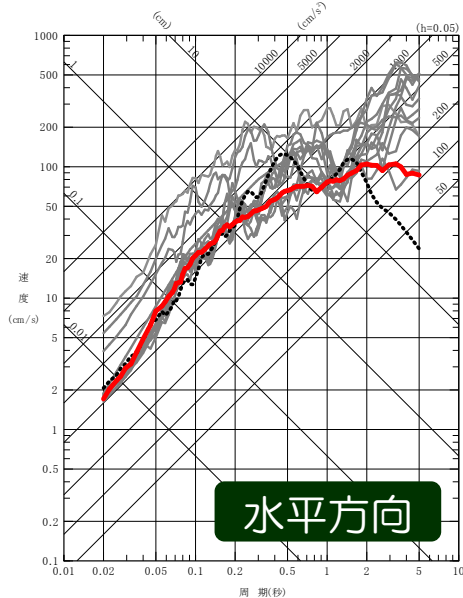
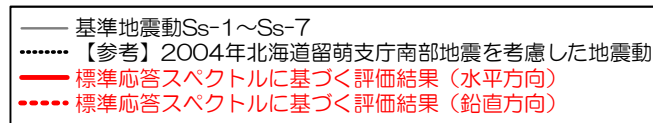
- 標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルの評価について、採用した地下構造モデルによる評価結果の妥当性・代表性を確認するために、敷地周辺のKiK-net観測点の記録を用いて、複数の方法により敷地の地盤増幅特性を考慮し、敷地で得られた観測記録の解放基盤表面での地震動レベルとの整合性を検証した。
- 採用した地下構造モデルによる評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認した。このことから、標準応答スペクトルに基づく評価において、採用した地下構造モデルにより地盤増幅特性を考慮することの妥当性を確認した。
- また、Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた場合の評価結果についても、敷地で得られた観測記録の地震動レベルと整合していることを確認した。柏崎刈羽の敷地周辺においては、標準応答スペクトルの策定における地盤物性の補正と同じ方法を用いることの有効性が確認された。このことから、複数の方法により地盤増幅特性を考慮することで保守的な評価を行う観点から、この地盤増幅率を考慮した場合の標準応答スペクトルに基づく評価についても、念のため確認を行う。（結果はP.67以降に示す。）
- 一方、SGFモデルを用いた場合の評価結果は、敷地で得られた観測記録の地震動レベルとの乖離があり、短周期側で過大評価となる傾向が顕著であることを確認した。このことから、標準応答スペクトルに基づく評価において、SGFモデルを採用することは適切ではないと考えられる。

-
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
 - 4.4 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
 - 4.5 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

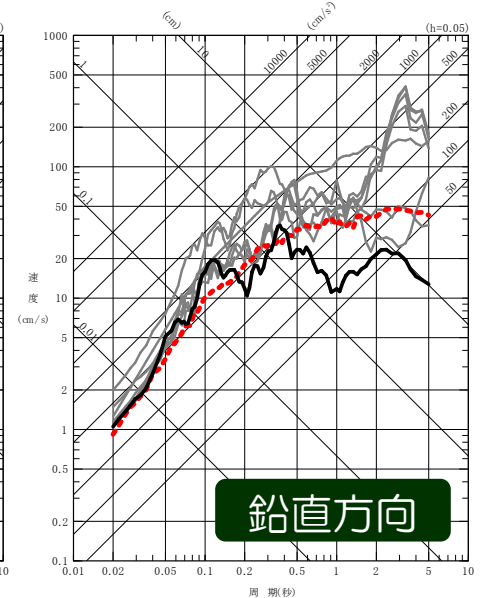
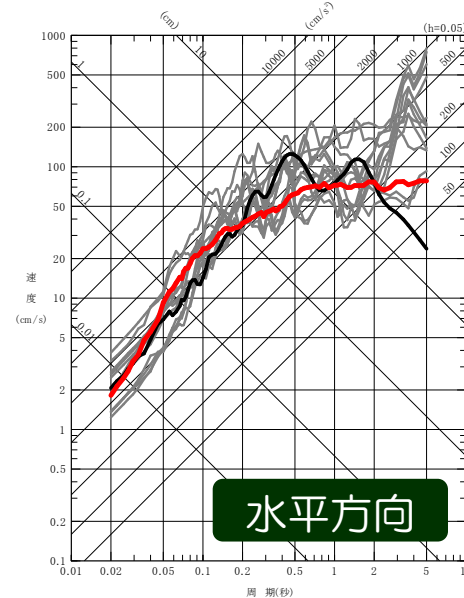
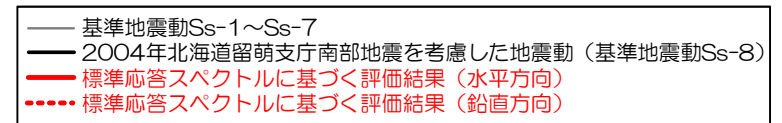
6. 既許可の基準地震動との比較

- 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

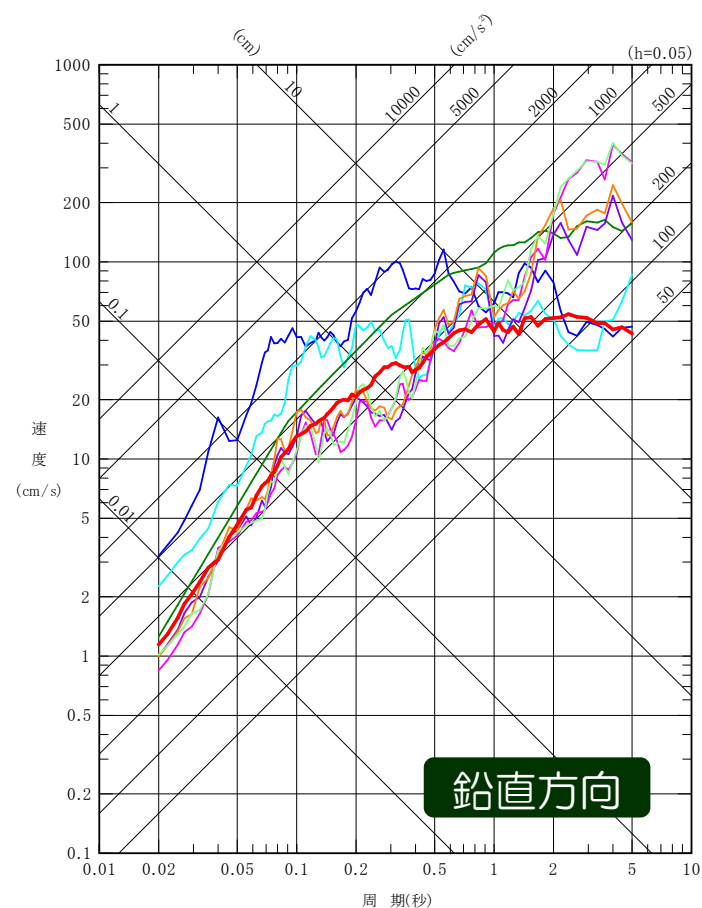
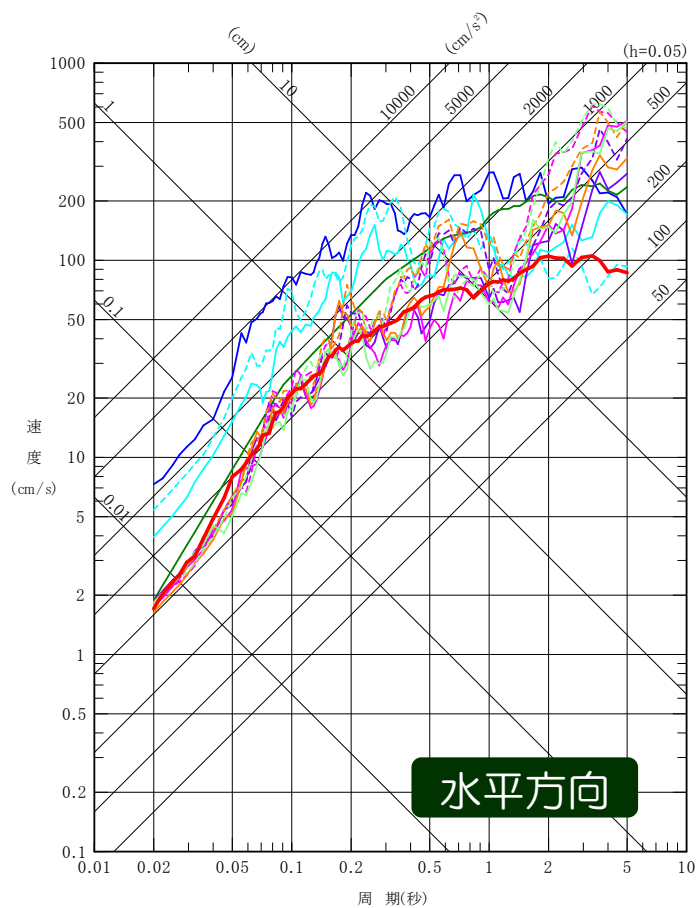
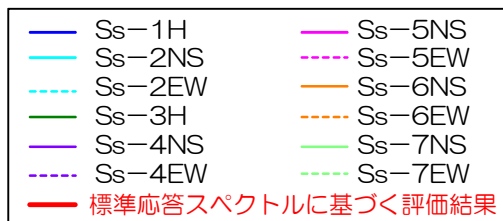


大湊側



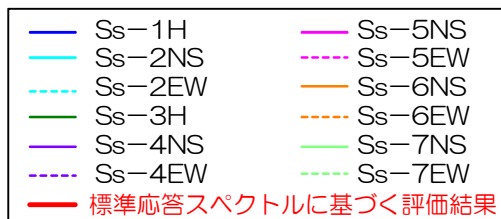
6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

荒浜側

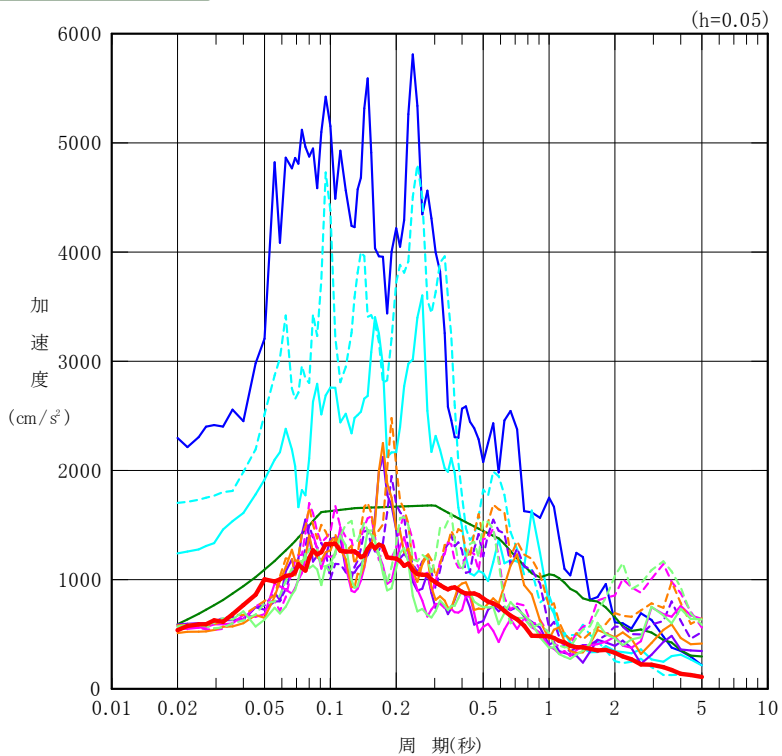


6. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（荒浜側）

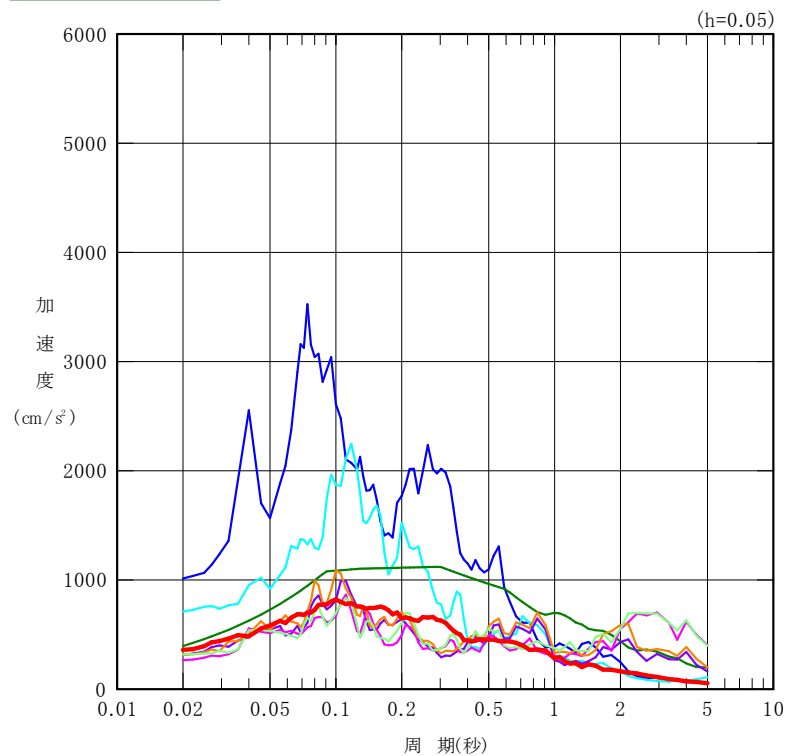
荒浜側



水平方向

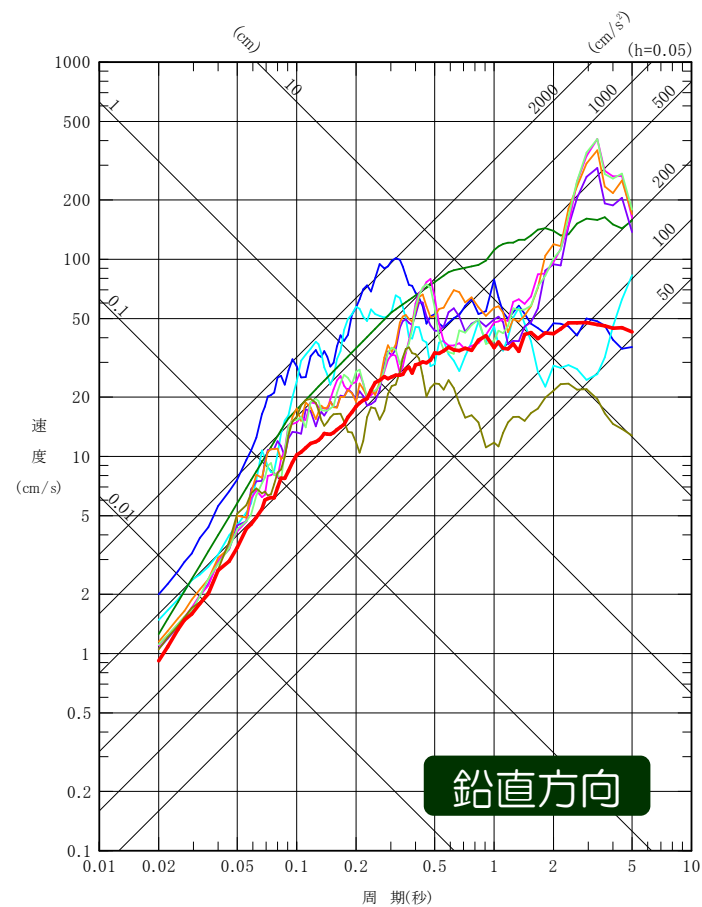
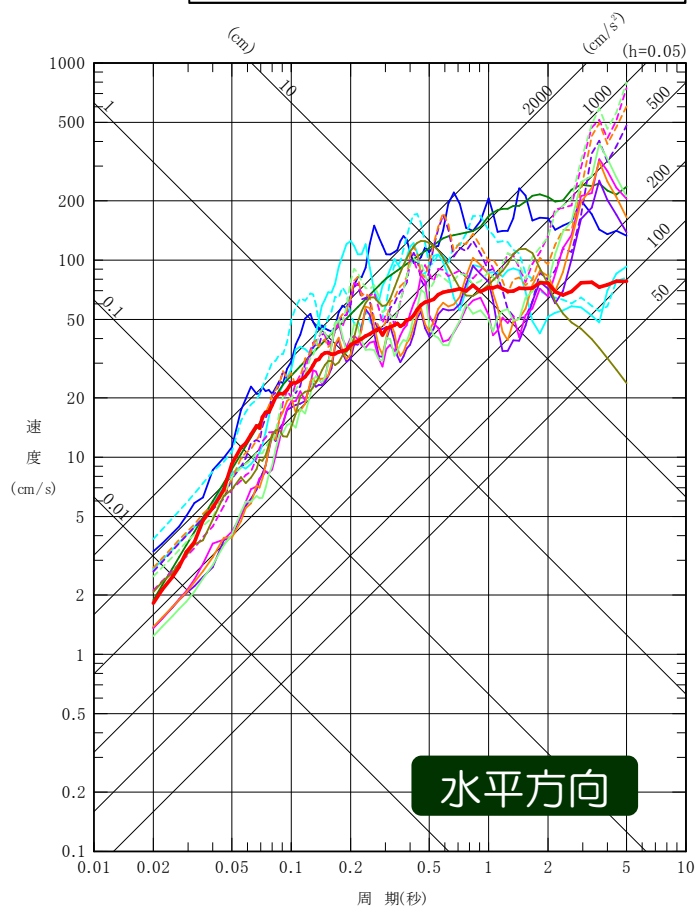
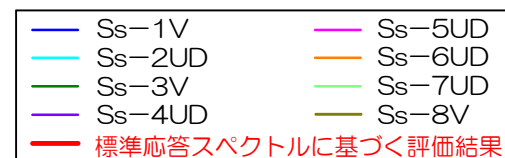
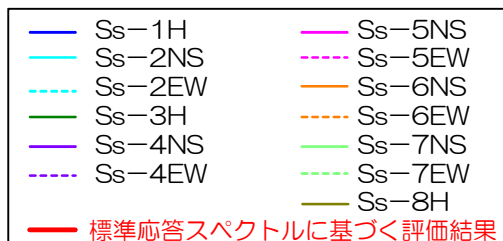


鉛直方向



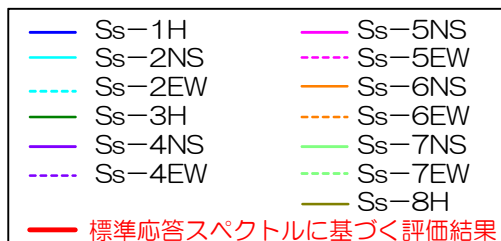
6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（大湊側）

大湊側

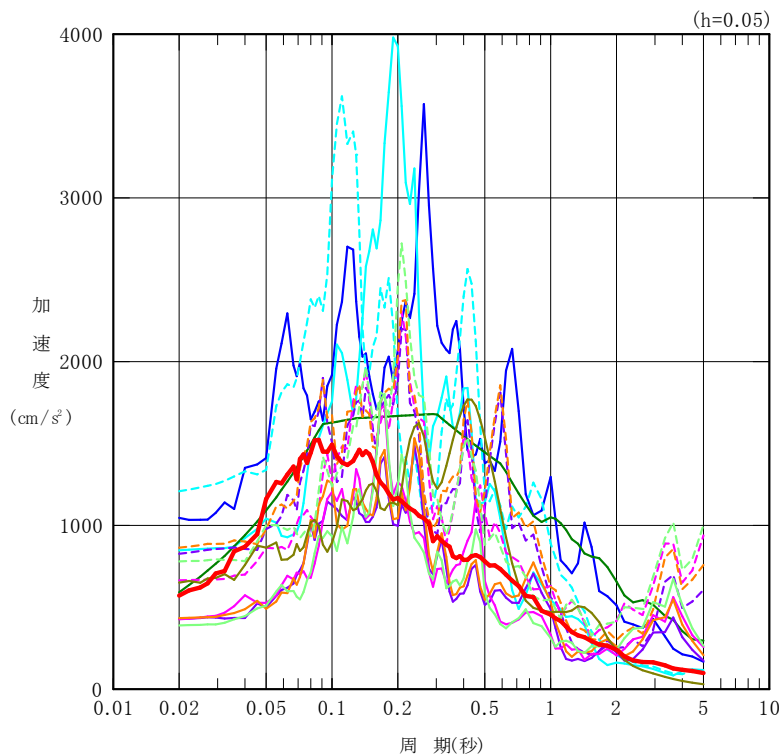


6. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（大湊側）

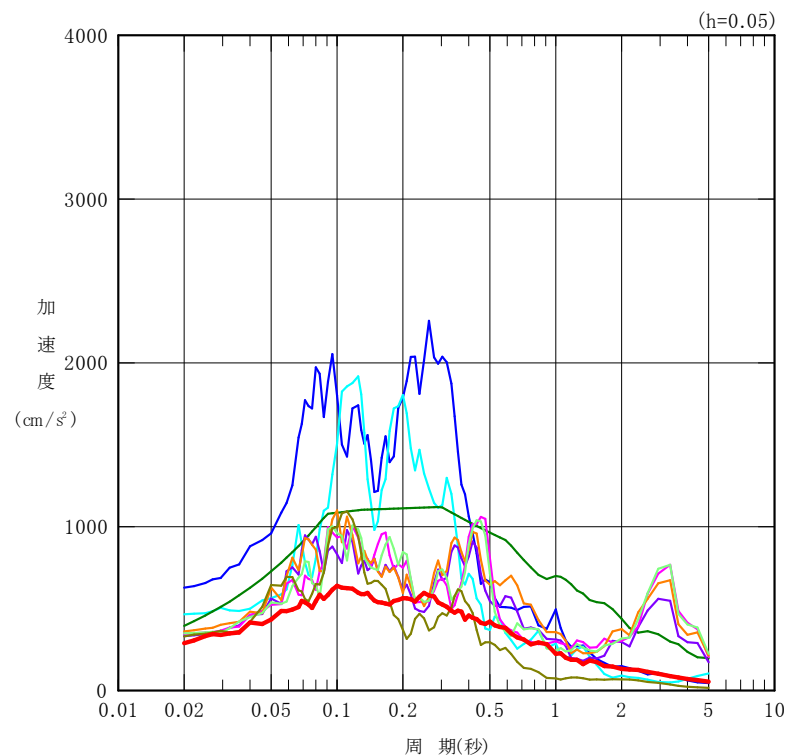
大湊側



水平方向



鉛直方向



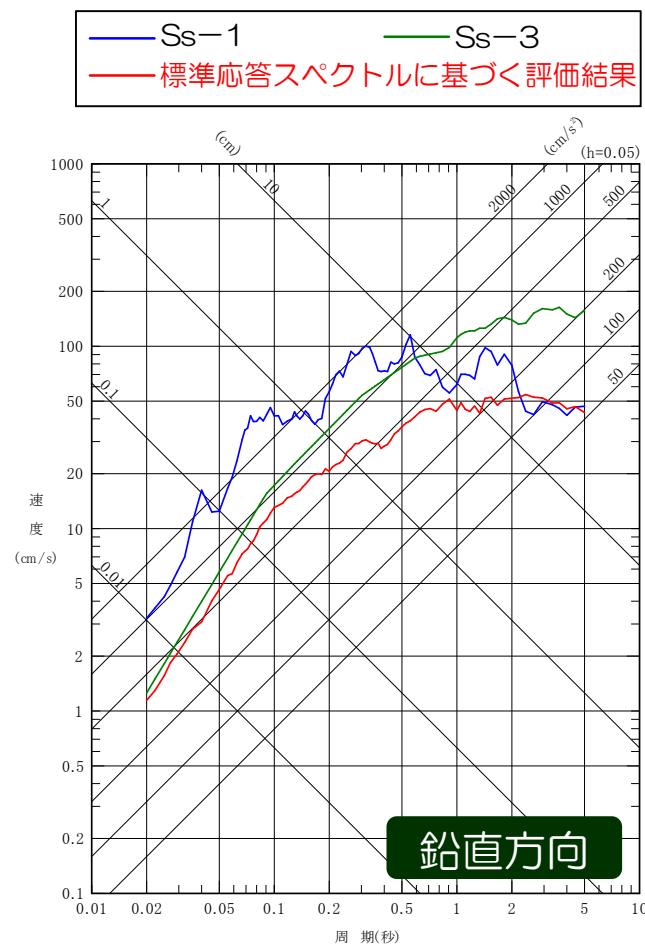
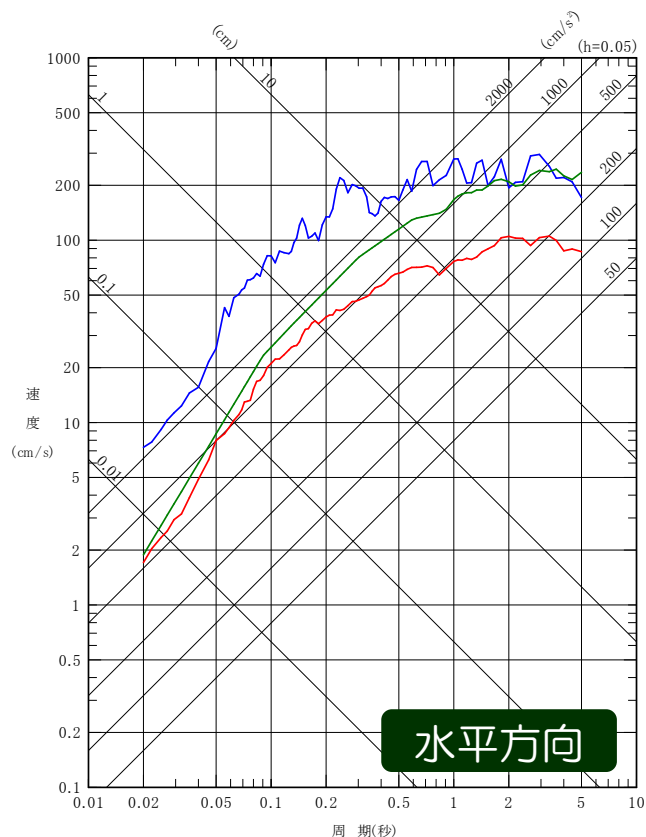
6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

コメント
No.7

第4回会合
(2021.7.9)
資料1-1 P.12
一部修正

- 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）

コメント
No.7

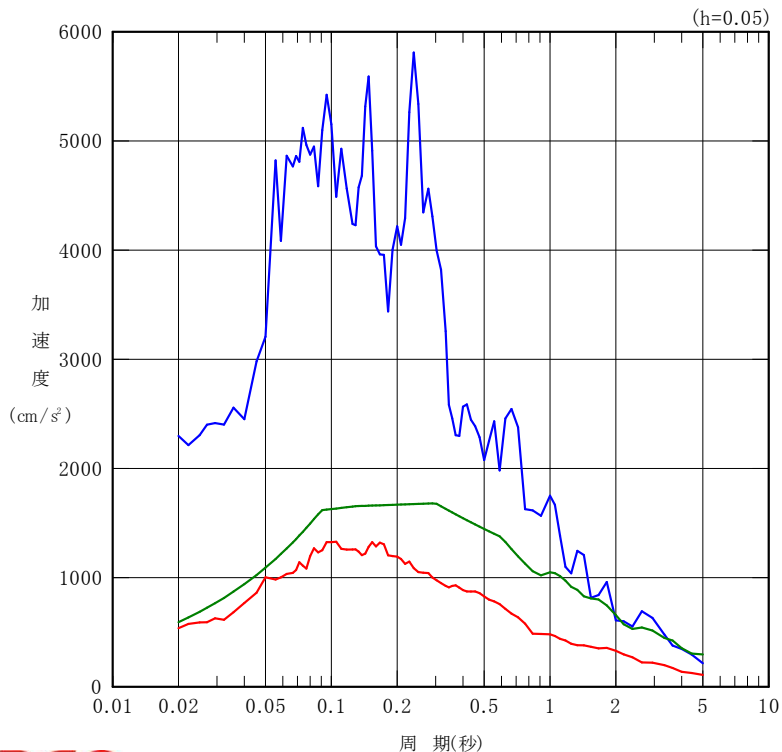
第4回会合
(2021.7.9)
資料1-1 P.13
一部修正

- 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。

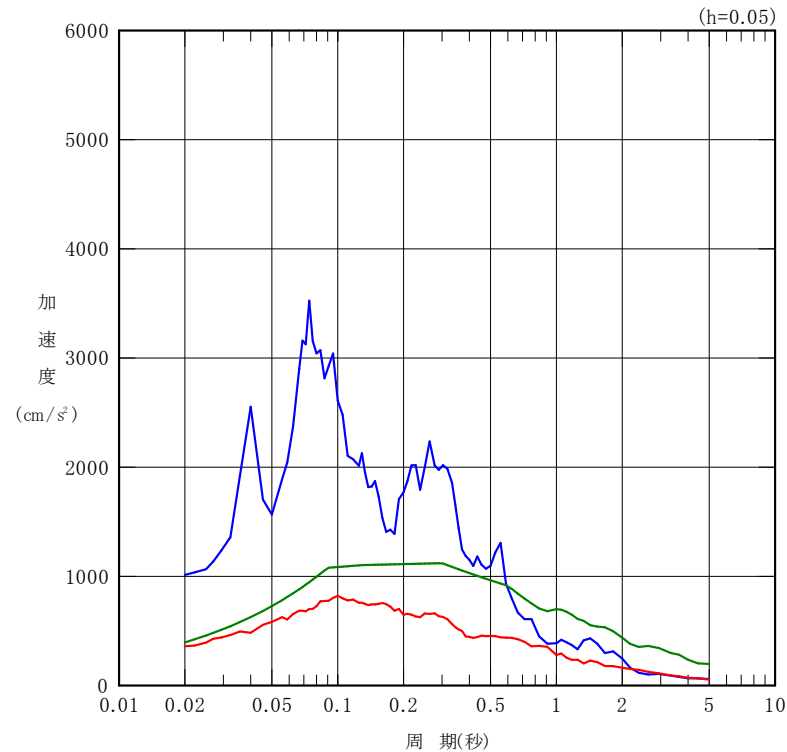
荒浜側

— 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



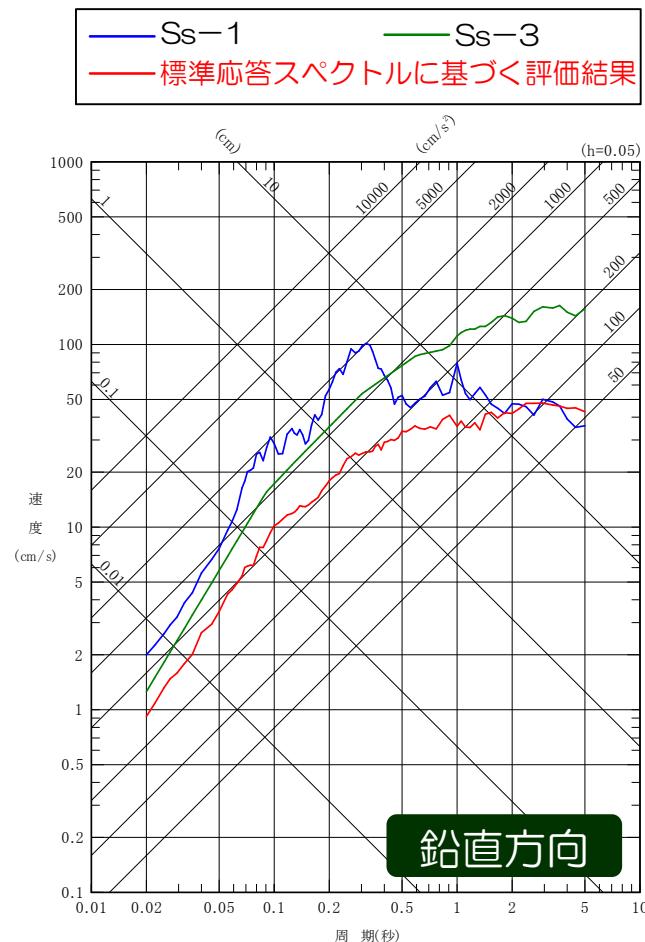
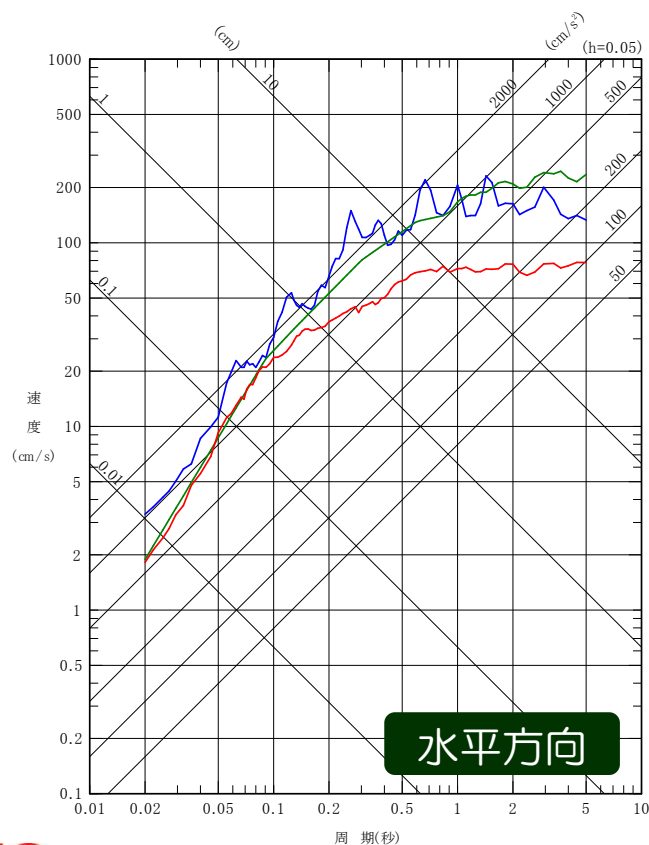
6. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（大湊側）

コメント
No.7

第4回会合
(2021.7.9)
資料1-1 P.14
一部修正

- 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）

コメント
No.7

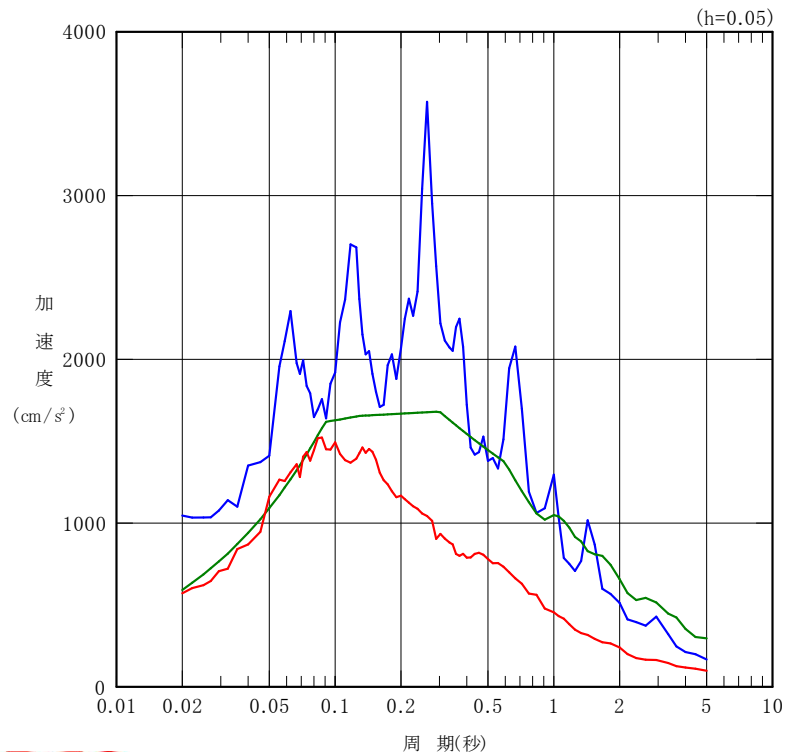
第4回会合
(2021.7.9)
資料1-1 P.15
一部修正

- 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。

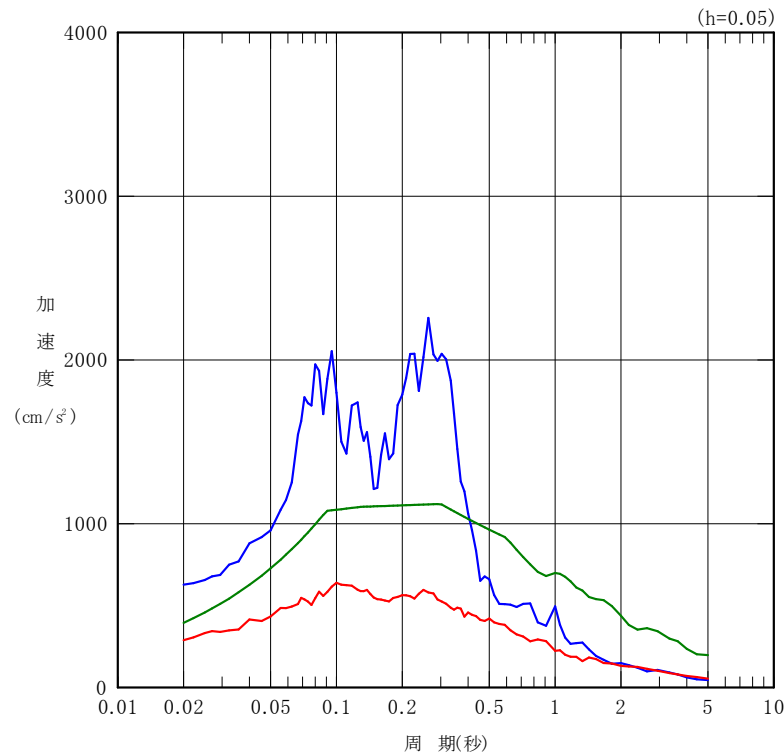
大湊側

— 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 基準地震動Ss-8への影響確認

コメント
No.8

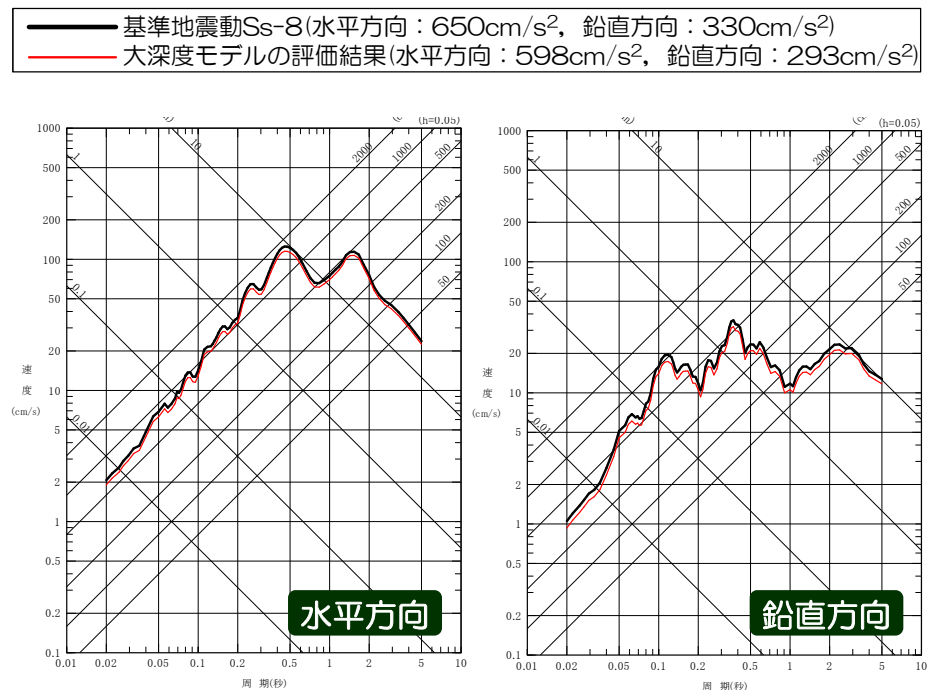
第4回会合
(2021.7.9)
資料1-2 P.15
一部修正

- 既許可での評価と同様にして、大湊側の大深度モデルにおいて、港町観測点の基盤層のVs=938m/sに近いVs=960m/s層の上面に、不確かさを考慮した港町観測点の基盤地震動を入力し、重複反射理論により解放基盤表面の応答スペクトルを評価。
- 既許可の基準地震動Ss-8は、評価結果に保守性を加えて策定したものであることから、これと大深度モデルを用いた場合の評価結果を比較。
- 大深度モデルを用いた場合の評価結果は、Ss-8を下回ることを確認したことから、既許可の基準地震動Ss-8に変更はない。
- なお、荒浜側の大深度モデルでは、解放基盤表面においてVs=997m/sであり、港町観測点の基盤層のVs=938m/sを上回ることから、荒浜側については地盤物性の補正は必要ないものと考えられる。これは、既許可での評価と同様である。

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。



6. 既許可の基準地震動との比較

【参考】異なる方法を用いて評価した場合の確認

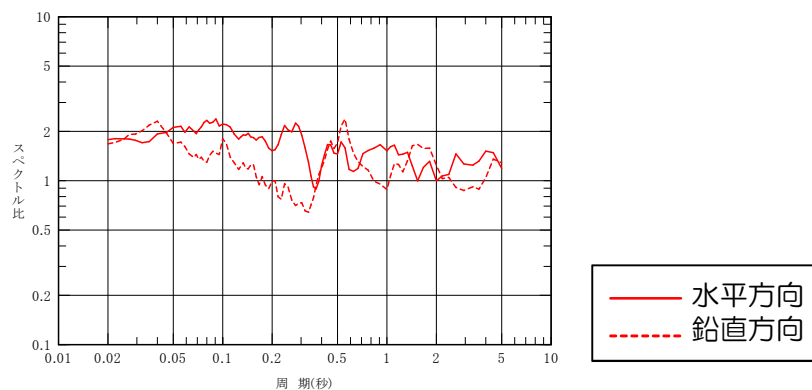
コメント
No.5

■ 【確認ケース①（荒浜側・大湊側）】 Noda et al.(2002)の地盤増幅率を用いた場合

- 柏崎刈羽の敷地周辺においては、標準応答スペクトルの策定における地盤物性の補正と同じ方法を用いることの有効性が確認されたことから、標準応答スペクトルに基づく評価において、この地盤増幅率を考慮した場合についても、念のため確認を行う。

■ 【確認ケース②（荒浜側のみ）】 褶曲構造の影響を考慮した場合

- 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。しかしながら、中越沖地震のシミュレーション解析結果等から、荒浜側では1次元地下構造モデルだけでは褶曲構造の影響の反映が難しいことを踏まえ、中越沖地震の観測記録に基づき荒浜側と大湊側の増幅特性の違いを考慮した場合の標準応答スペクトルの評価について、念のため確認を行う。
- 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.76参照）、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、荒浜側の褶曲構造の影響を考慮した。



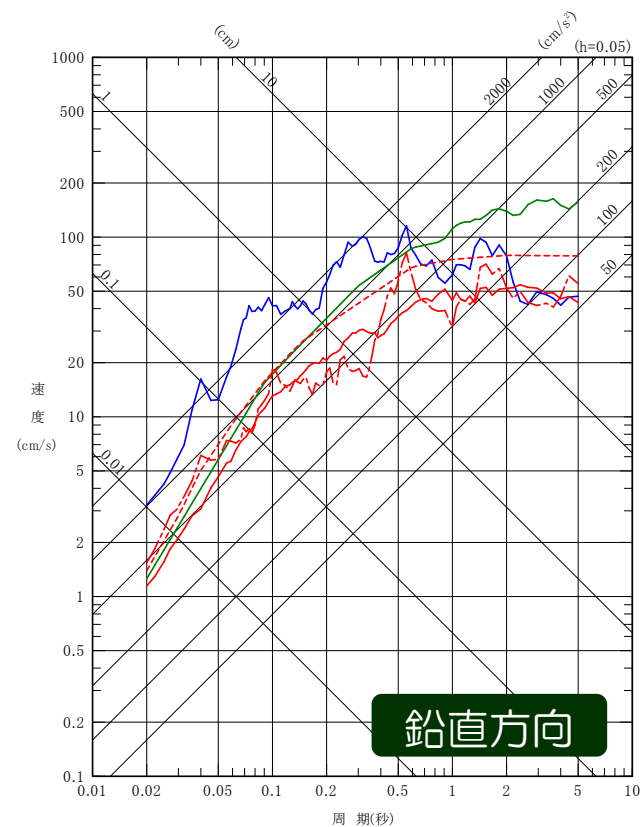
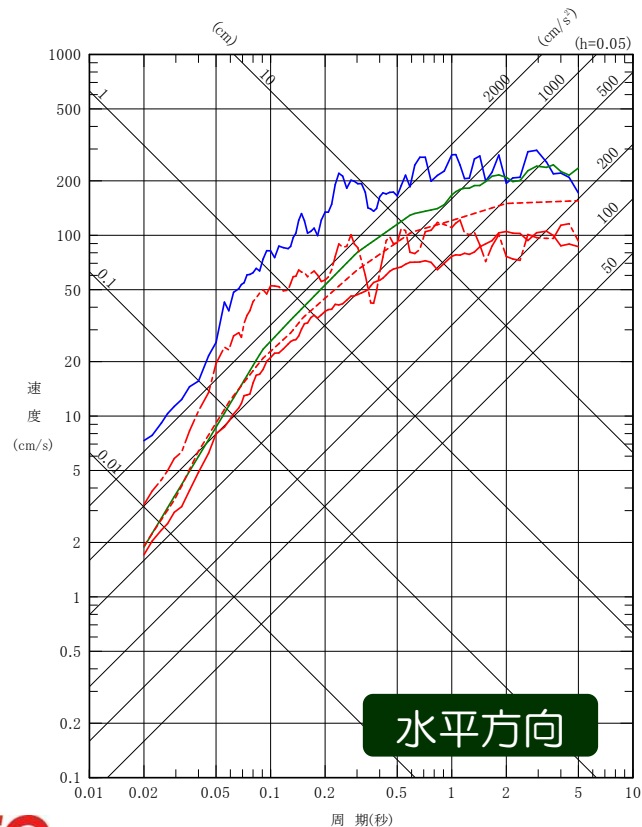
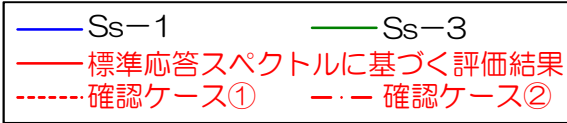
中越沖地震の解放基盤波に基づく荒浜側と大湊側の応答スペクトル比

6. 既許可の基準地震動との比較 【参考】 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

コメント
No.5,7

- 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

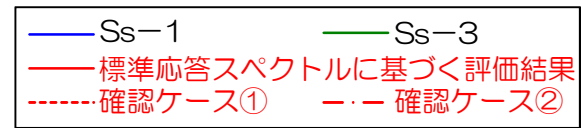


6. 既許可の基準地震動との比較 【参考】加速度応答スペクトル（荒浜側）

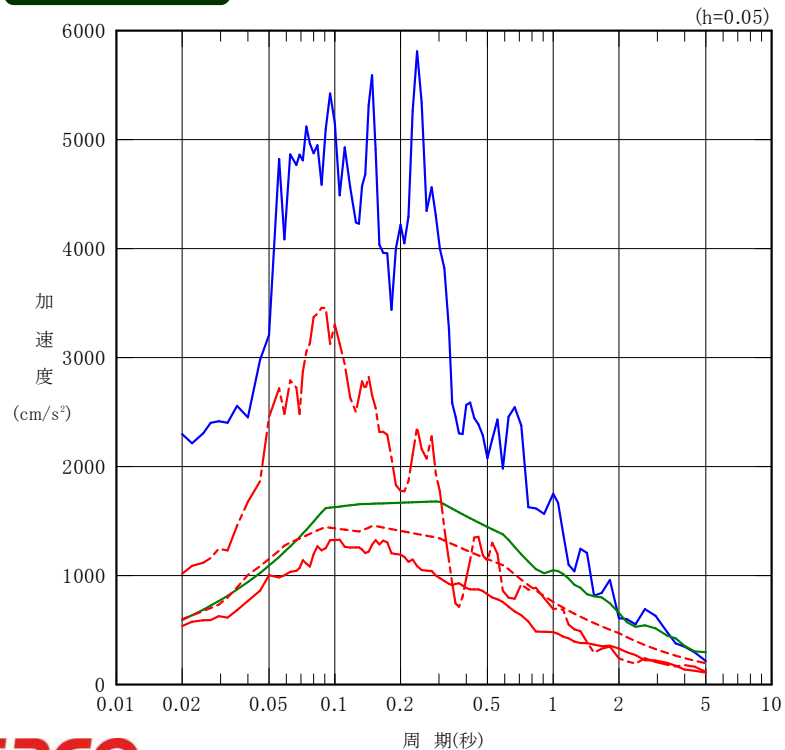
コメント
No.5,7

- 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。

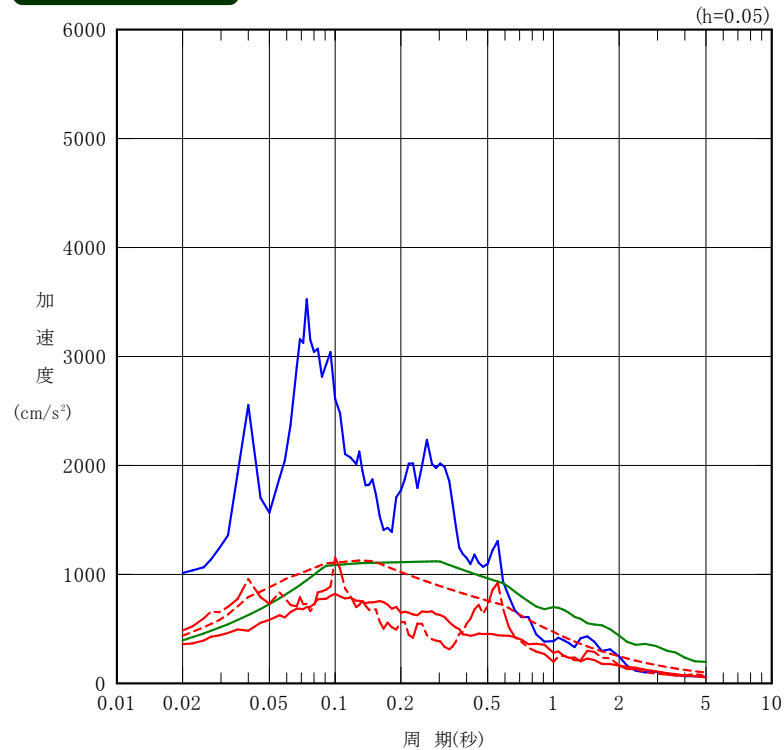
荒浜側



水平方向



鉛直方向



6. 既許可の基準地震動との比較

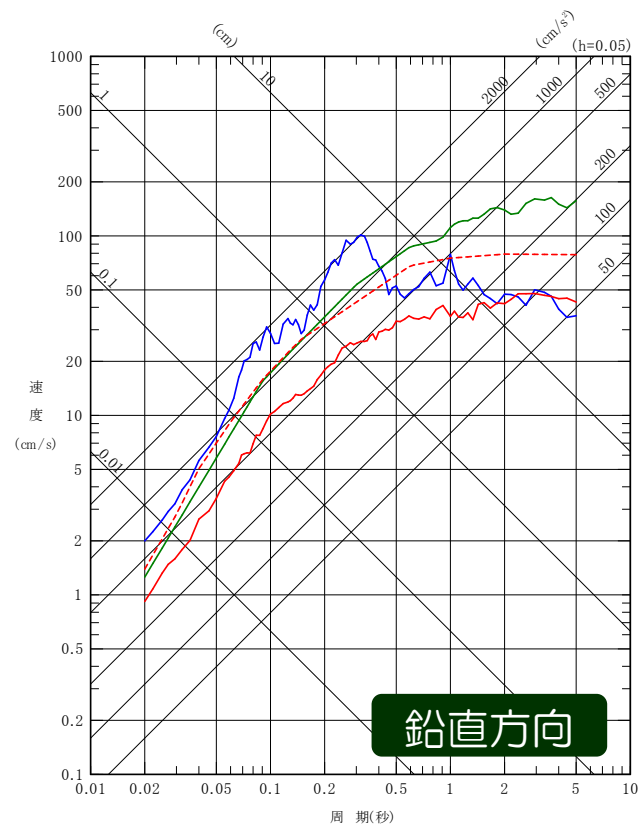
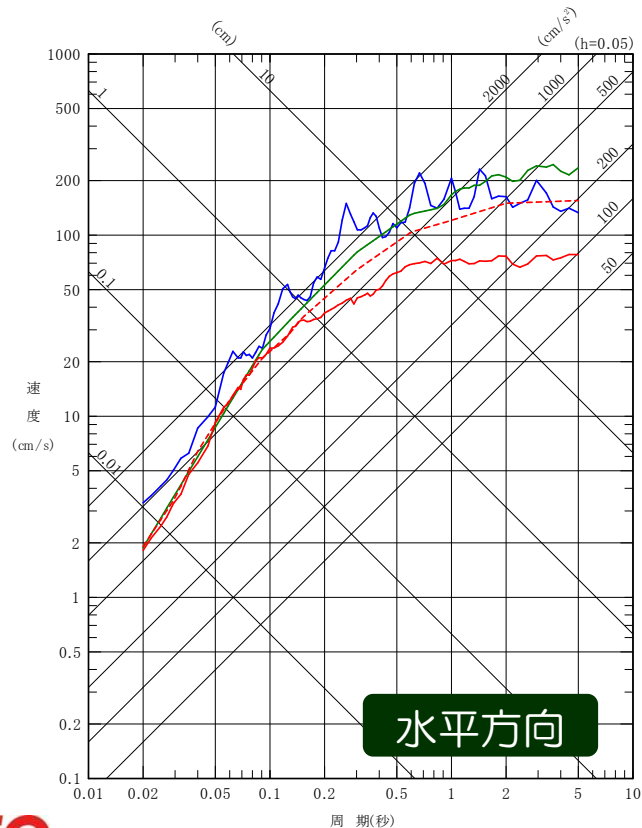
【参考】擬似速度応答スペクトル（大湊側）

コメント
No.5,7

- 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

— Ss-1 — Ss-3
 — 標準応答スペクトルに基づく評価結果
 - - - 確認ケース①

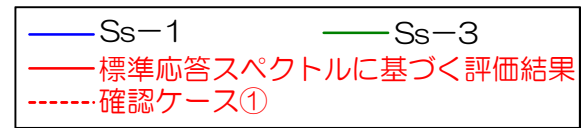


6. 既許可の基準地震動との比較 【参考】加速度応答スペクトル（大湊側）

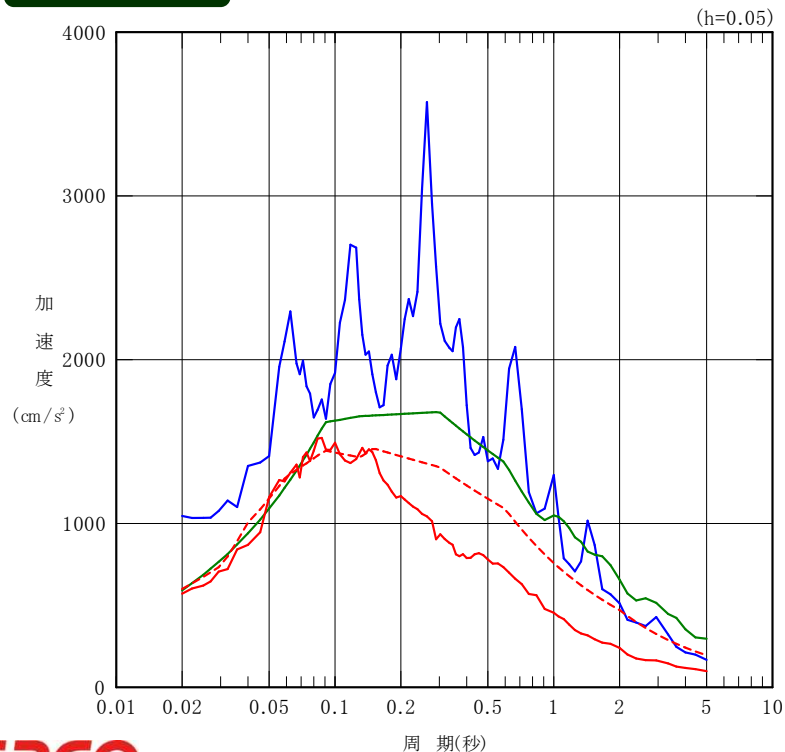
コメント
No.5,7

- 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。

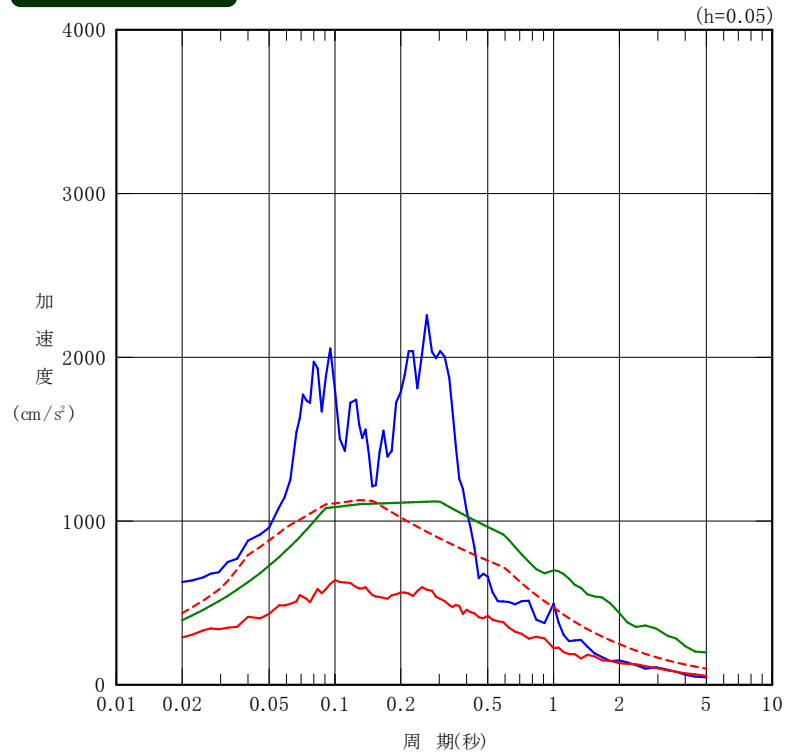
大湊側



水平方向



鉛直方向



【参考1】 荒浜側のはぎとり地盤モデルについて

【参考2】 既許可における評価

【参考1】 荒浜側のはぎとり地盤モデルについて

コメント
No.9

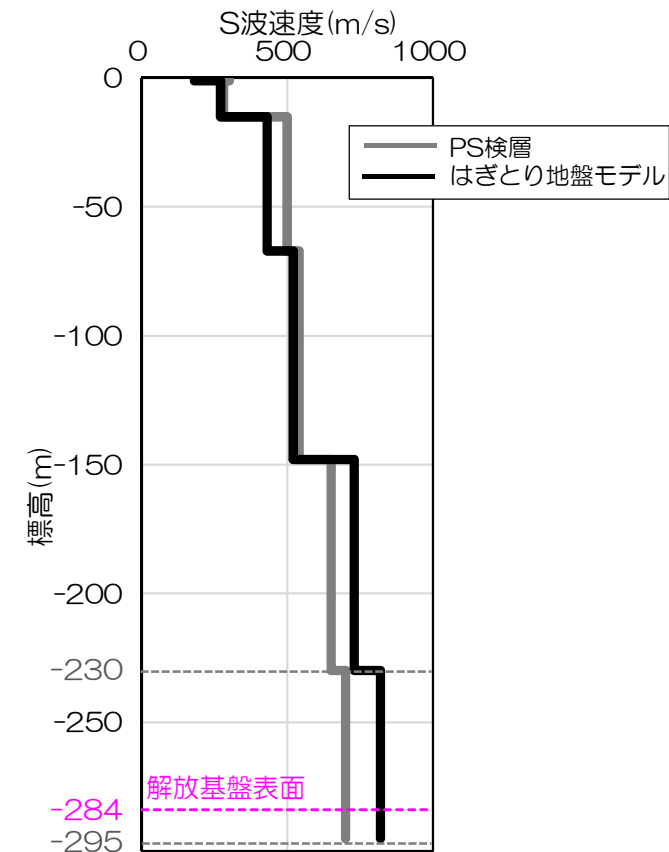
- 既許可のはぎとり地盤モデルは、鉛直アレイ観測記録による伝達関数に対し重複反射理論に基づく逆解析により同定しており、荒浜側の解放基盤表面付近については、PS検層結果より標高-230mから-295mまで同じ速度の層が連続していることを確認した上で、同定したVs=820m/sの層を設定している。
- 一方、地震基盤までの従来のSGFモデルや今回の大深度モデルは、地震計設置位置の標高-250mを区切りにそれ以深の速度を同定しているが、はぎとり地盤モデルに変更はなく、はぎとり波にも影響しない。

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
+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



鉛直アレイ観測点のPS検層及びはぎとり地盤モデル

【参考1】 荒浜側のはぎとり地盤モデルについて

- 確認のために、荒浜側のはぎとり地盤モデルの標高-250m以深を大深度モデルの物性に変更した場合について、伝達関数（2E [標高-284m] / E+F [地震計設置位置]）を比較。
- はぎとり地盤モデルの伝達関数は、大深度モデルの物性に変更した場合よりも保守的な評価となっていることを確認。

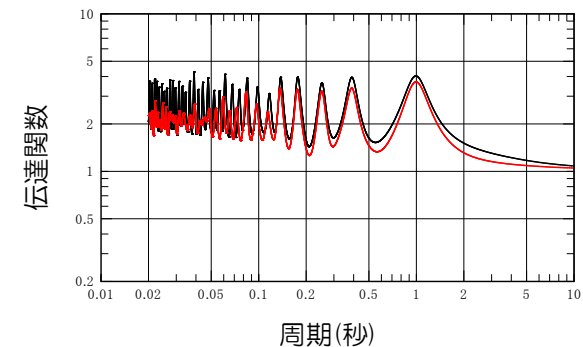
荒浜側

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
+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	1.70	997	0.03	0.89
	∞				

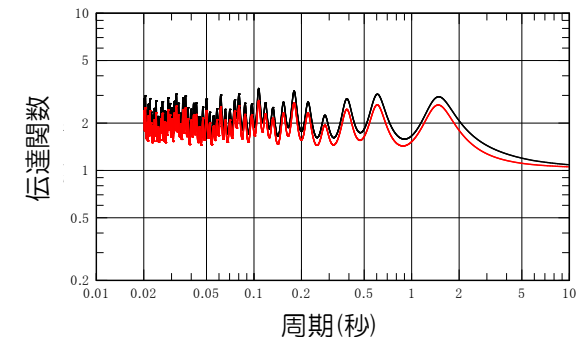
解放基盤表面 -284

● 地震計設置位置 大深度モデルの物性に変更

— はぎとり地盤モデル
— 大深度モデルの物性に変更



(2E [標高-284m] / E+F [標高-122m])



(2E [標高-284m] / E+F [標高-250m])

伝達関数の比較

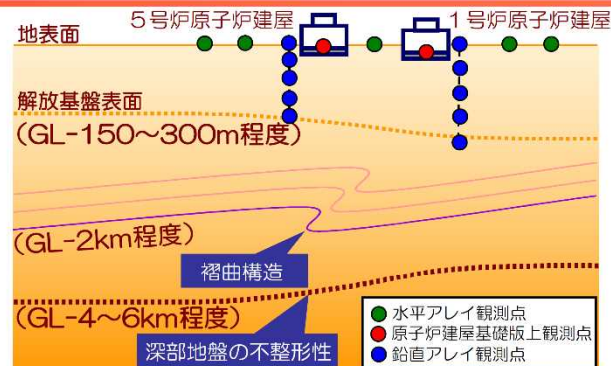
【参考2】既許可における評価

①地震波の増幅特性

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

5.3 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)



解放基盤表面以浅の影響	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と解放基盤表面相当～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
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
□：新規基準への適合審査にて追加検討した事項

【参考2】既許可における評価

①地震波の増幅特性

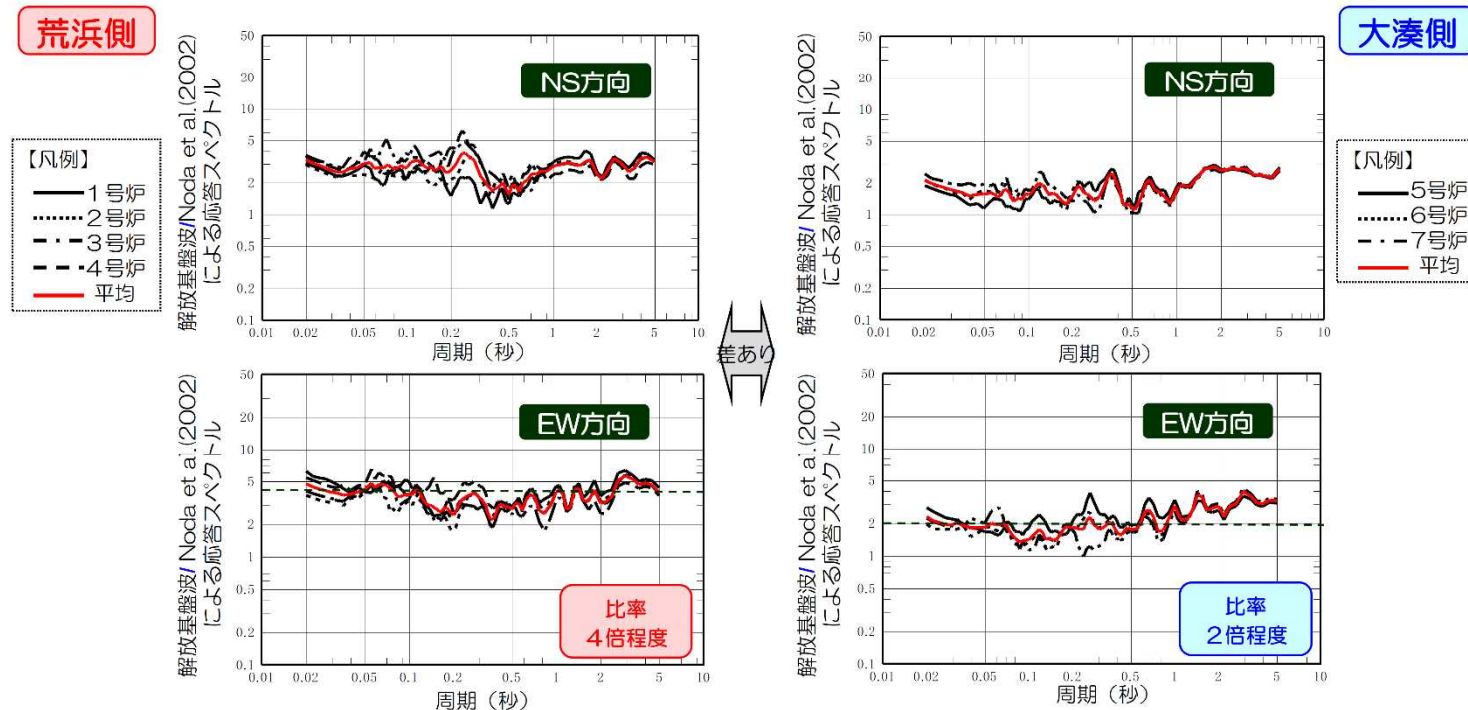
柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

5.3 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

【参考2】既許可における評価

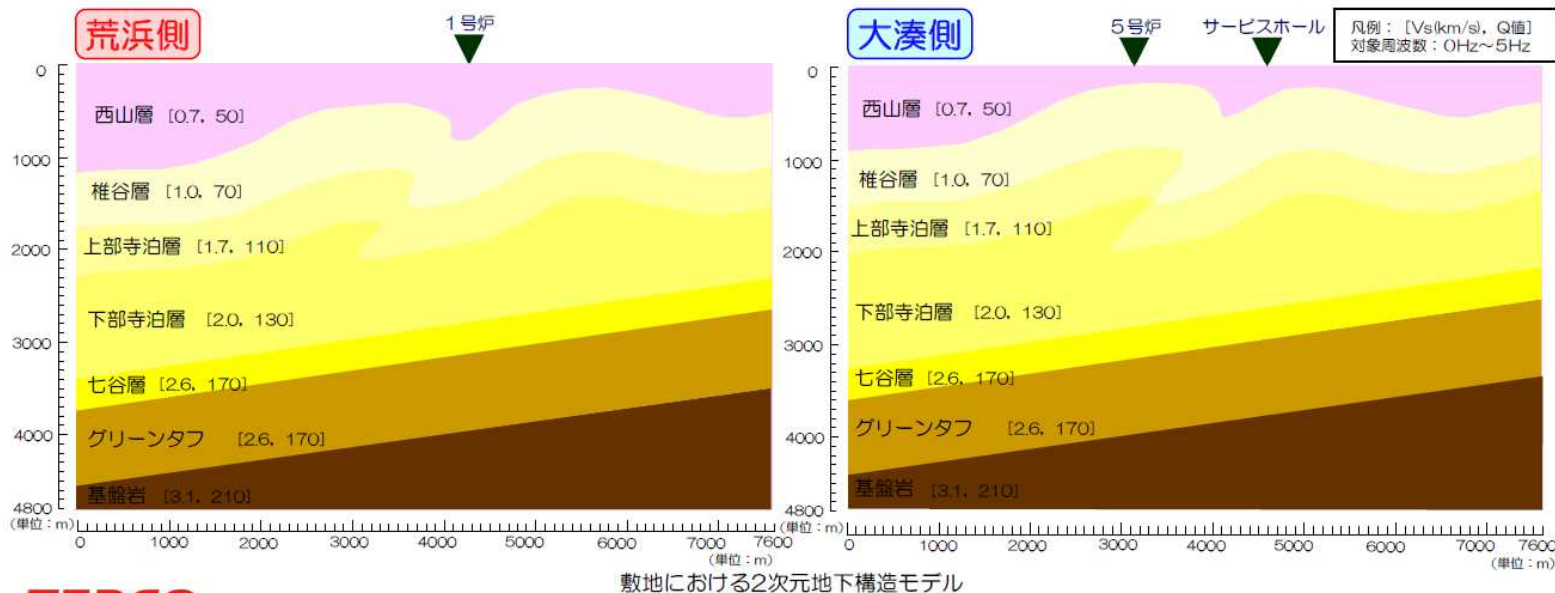
①地震波の増幅特性

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

5.3 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。



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。

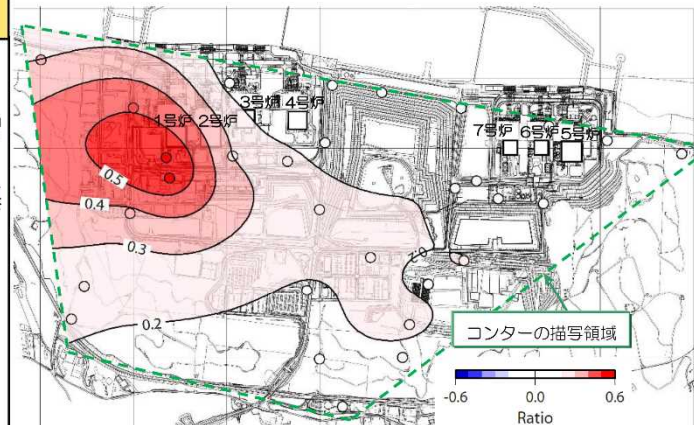
5.3.2 解析的検討

- 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。

【参考2】既許可における評価

②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

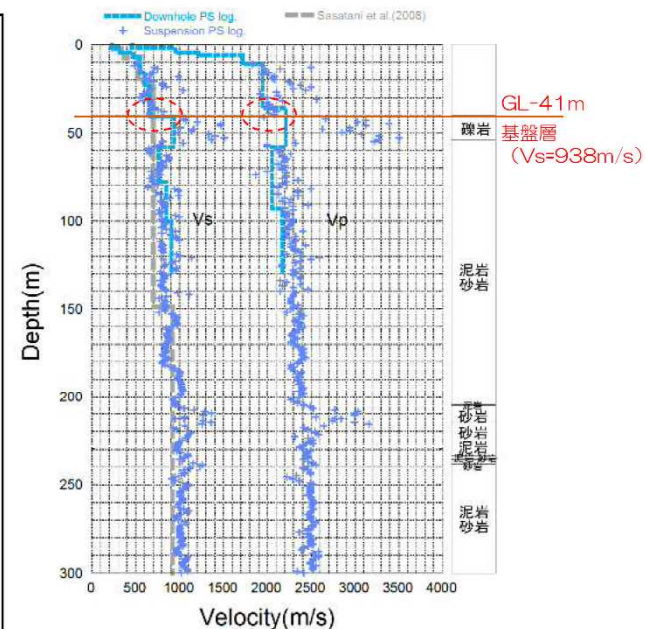
6. 震源を特定せず策定する地震動

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

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

【参考2】既許可における評価

②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

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等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 (-)
1	-134	15	2.03	730	1800	50f
2	-149	31	2.03	890	1900	50f
3	-180	51	2.03	890	1900	50f
4	-231	35	2.03	960	1900	50f
5	-266	34	2.03	1000	2100	50f
6	-300	1060	2.12	1160	2390	50f
7	-1360	1050	2.25	1620	3220	50f
8	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
9	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
10	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
	-	-	2.59	3170	5230	-

地震基盤

入力位置

【参考2】既許可における評価 ②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

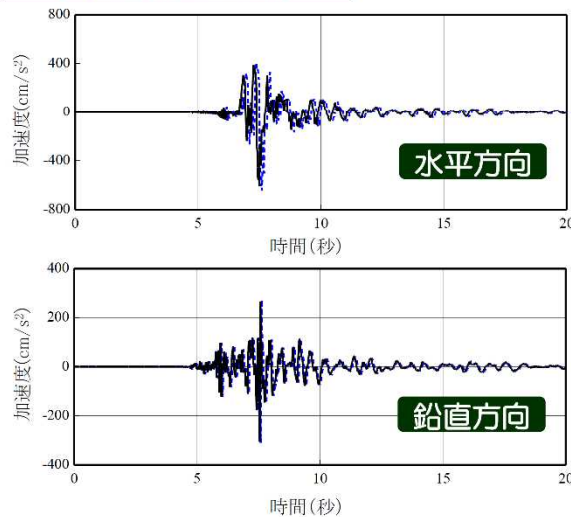
6. 震源を特定せず策定する地震動

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

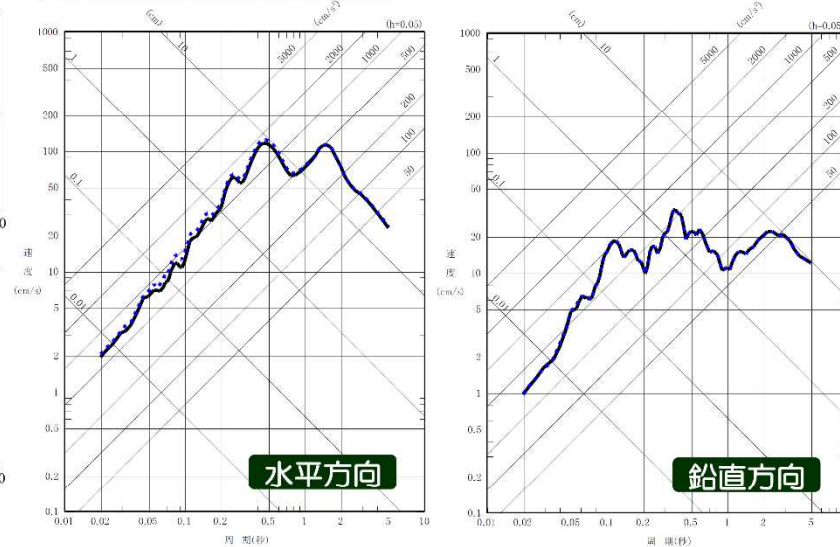
敷地における地盤物性を考慮したところ、解放基盤表面の地震動は、水平方向：643 cm/s^2 、鉛直方向：310 cm/s^2 と評価された。

— 佐藤ほか(2013)の検証結果の最大ケース
(水平方向:609 cm/s^2 、鉛直方向:306 cm/s^2)
- - - 敷地の地盤物性を考慮
(水平方向:643 cm/s^2 、鉛直方向:310 cm/s^2)

加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル



検討⑥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：643 cm/s^2 、鉛直：310 cm/s^2 ）と、佐藤ほか(2013)による基盤地震動（水平：585 cm/s^2 、鉛直：296 cm/s^2 ）と比較して大きくなっている。

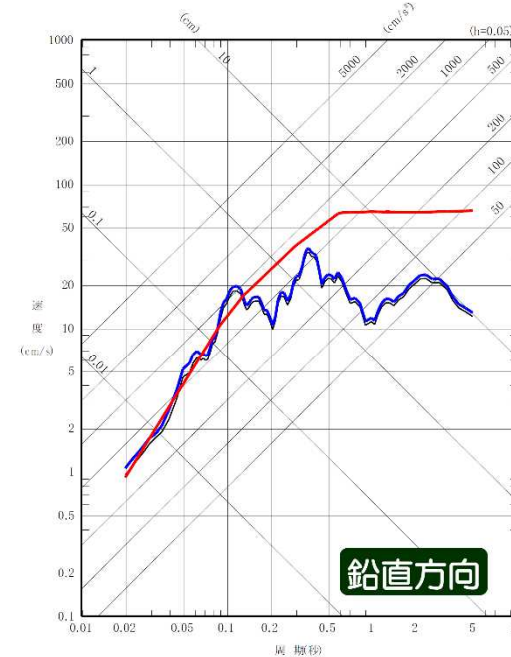
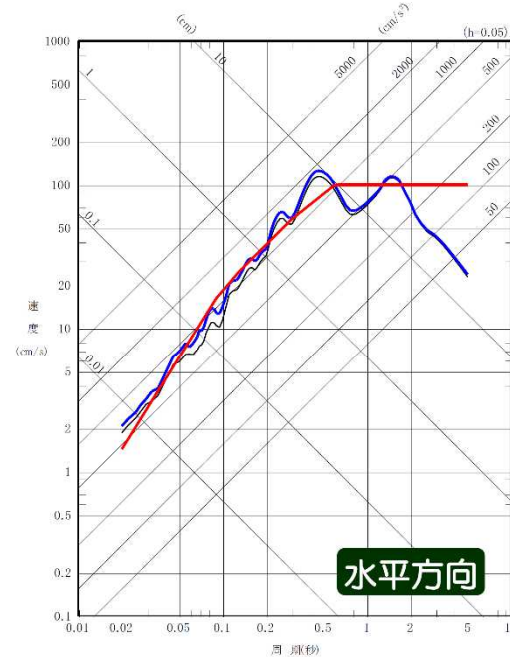
【参考2】既許可における評価 ②震源を特定せず策定する地震動

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HKD020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。はざ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2】既許可における評価 ②震源を特定せず策定する地震動

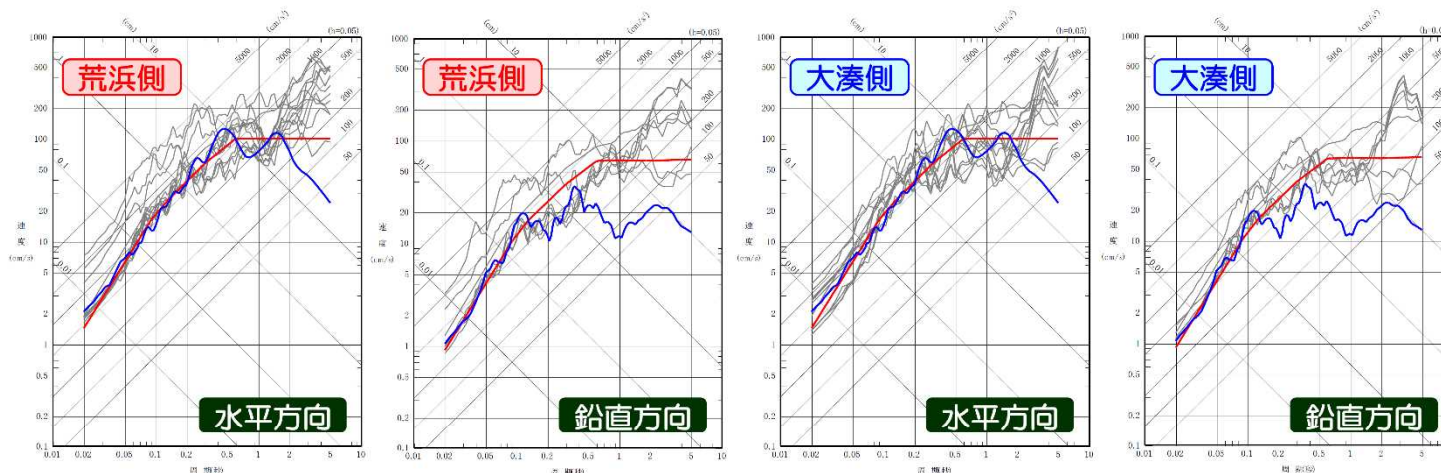
柏崎刈羽原子力発電所
6号及び7号炉審査資料
(2017年12月)より抜粋

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)

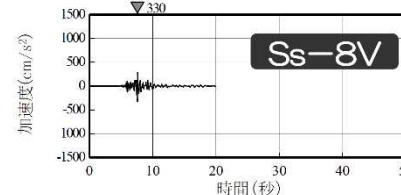
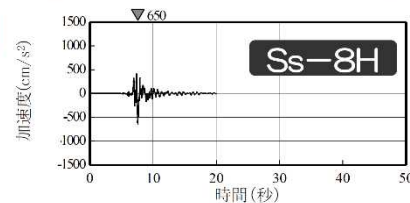


※荒浜側は、地盤物性による補正の必要はないと考えられるが、保守的に比較

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



【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
- 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
- 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, 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
- 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
- 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
- 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