

柏崎刈羽原子力発電所における
基準地震動の変更が不要であることの説明について

2021年6月30日
東京電力ホールディングス株式会社

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。

2. 既許可の基準地震動の概要

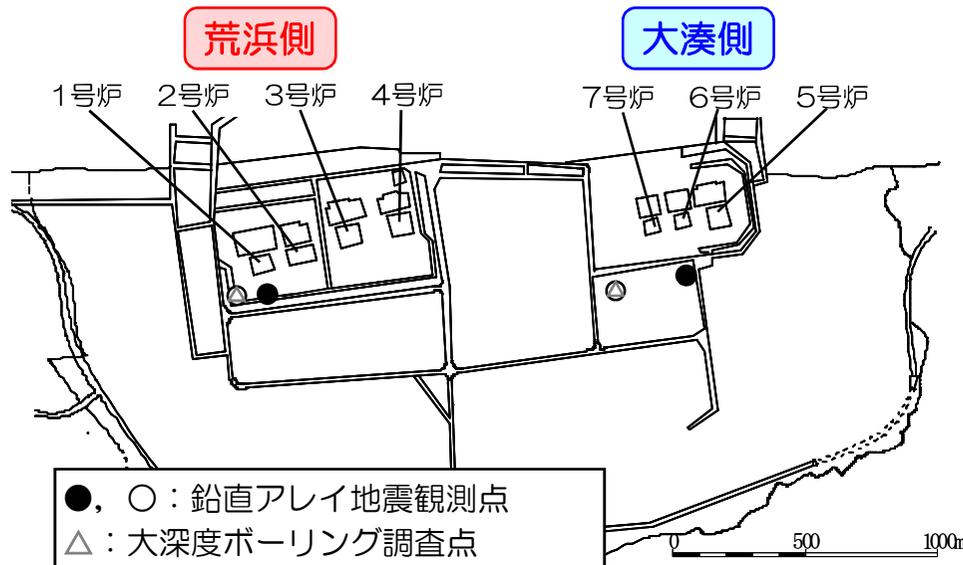
- 柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動は、敷地における地震波の伝播特性を踏まえ、1号炉～4号炉が位置する荒浜側、5号炉～7号炉が位置する大湊側のそれぞれについて策定している。
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（基準地震動Ss-1～Ss-7）
敷地における地震波の伝播特性を適切に反映するため、地震観測記録に基づく評価を実施。
 - 応答スペクトルに基づく地震動評価：観測記録に基づく補正係数を考慮した評価
 - 断層モデルを用いた手法による地震動評価：敷地で得られた観測記録を要素地震として用いた経験的グリーン関数法による評価
- 震源を特定せず策定する地震動（基準地震動Ss-8（大湊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

3. 標準応答スペクトルに基づく評価

3.1 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

3. 標準応答スペクトルに基づく評価

3.2 地下構造モデルの設定

- 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用いる1次元地下構造モデルは、以下の通り設定。（詳細は、資料2に示す）
 - 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、観測記録をターゲットとした逆解析により、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
- 設定した地下構造モデルのVs=2,350m/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。

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)=Qo×fn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)=Qo×fnを仮定。

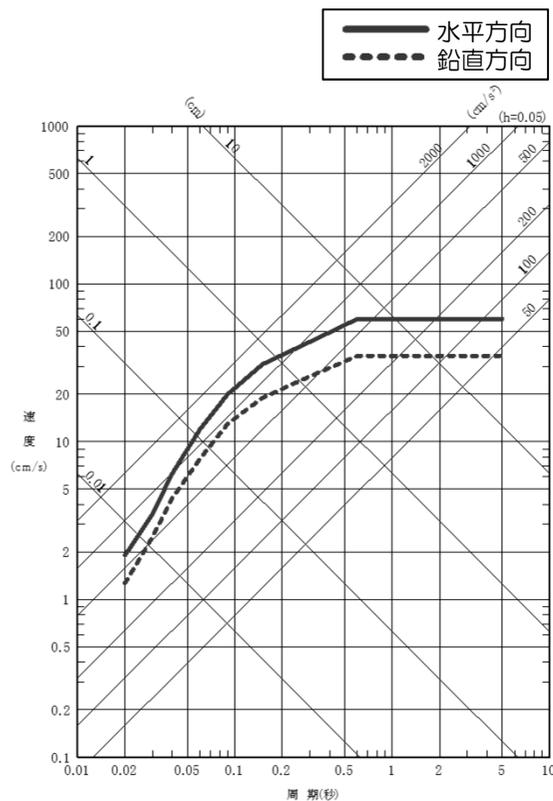
3. 標準応答スペクトルに基づく評価

3.3 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。

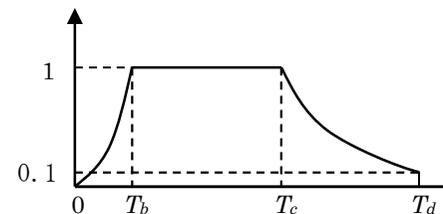
- 振幅包絡線の経時変化：Noda et al.(2002)に基づく形状
- 応答スペクトル比：0.85以上
- 応答スペクトル強さの比（SI比）：1.0以上

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

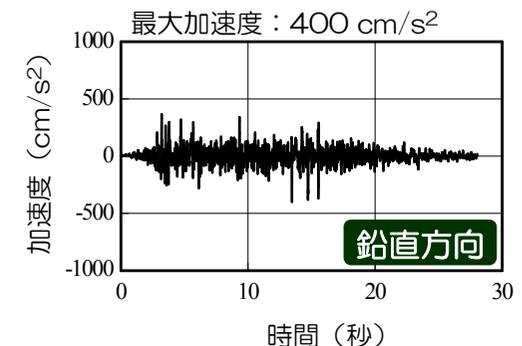
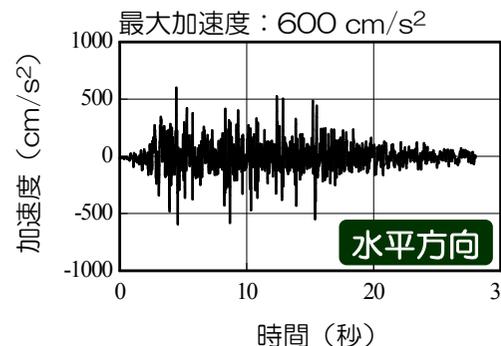


$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

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

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

標準応答スペクトルに適合した時刻歴波形

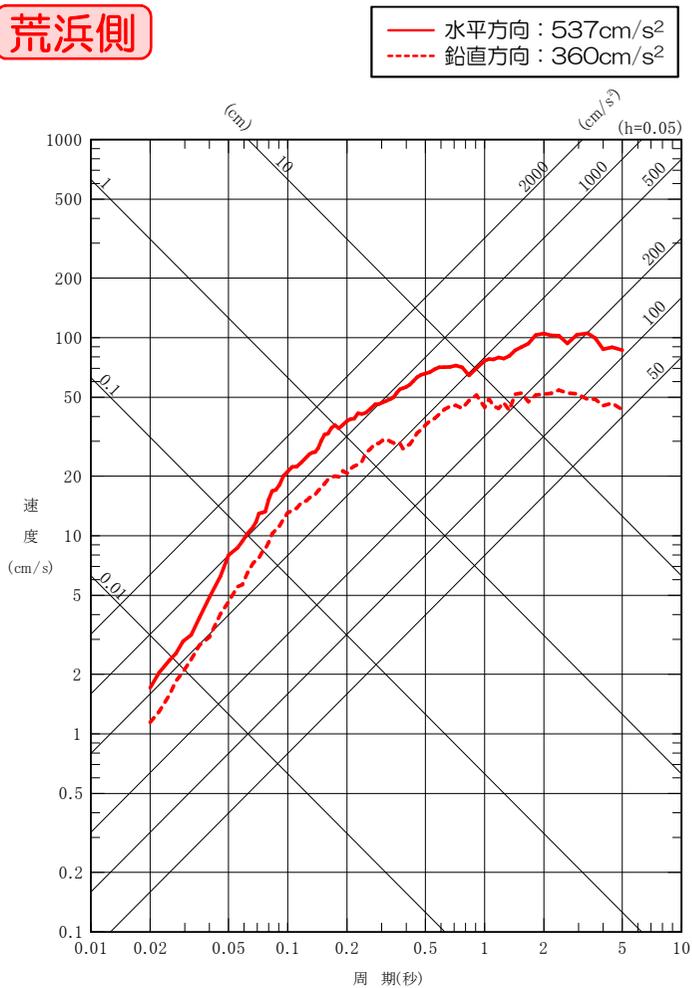


3. 標準応答スペクトルに基づく評価

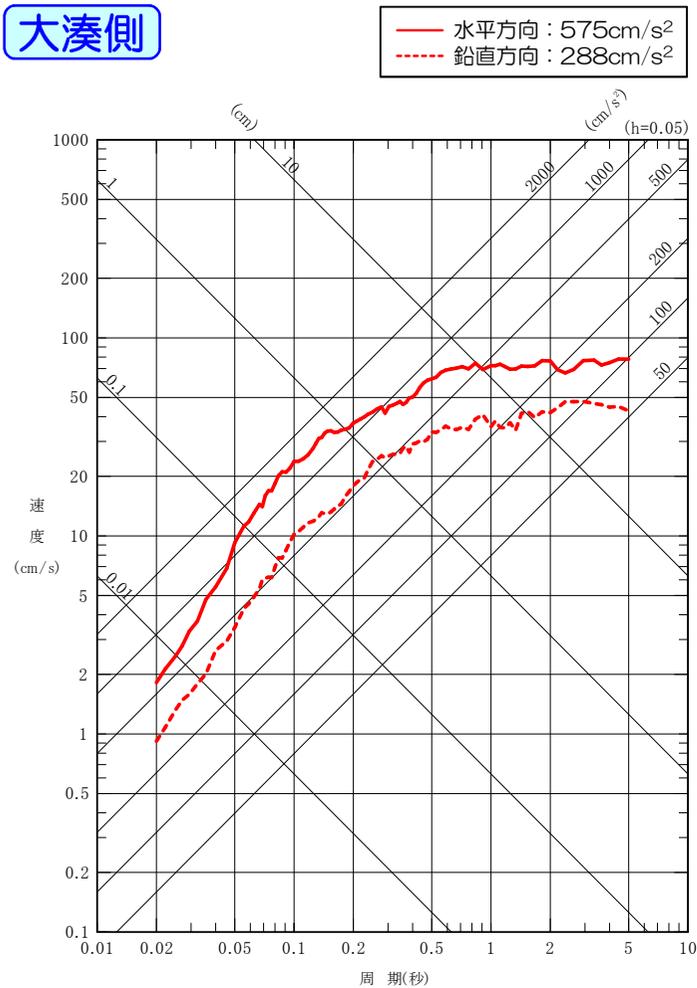
3.4 解放基盤表面における応答スペクトルの評価結果

■ 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



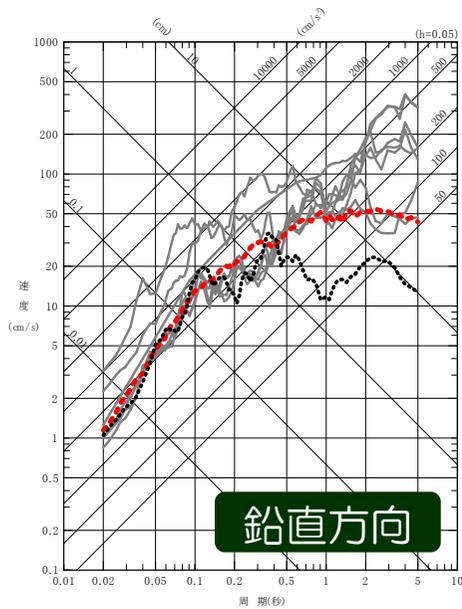
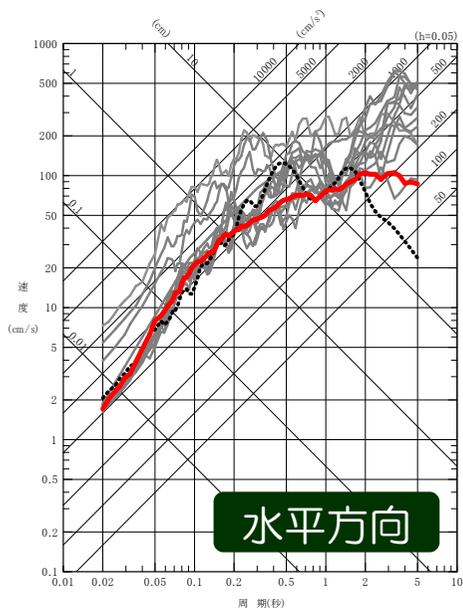
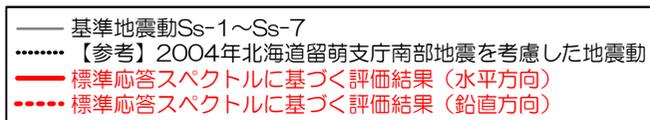
大湊側



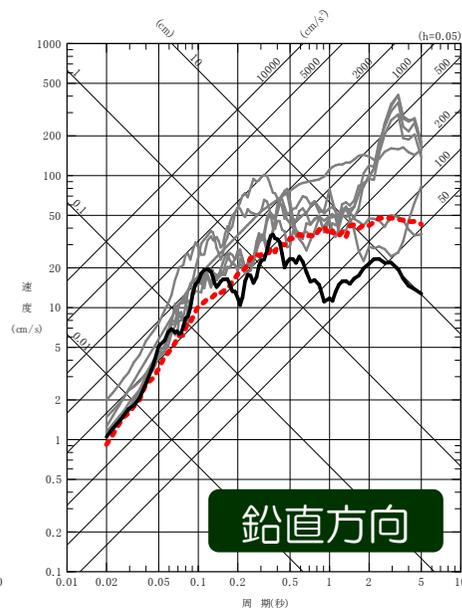
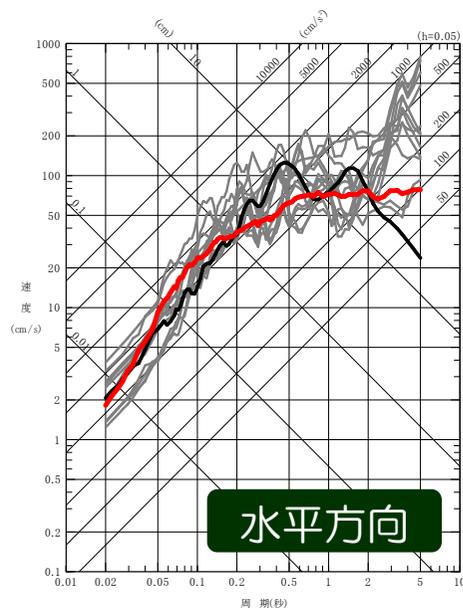
4. 既許可の基準地震動との比較

- 標準応答スペクトルに基づく評価結果は、既許可の荒浜側の基準地震動Ss-1～Ss-7及び大湊側の基準地震動Ss-1～Ss-8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

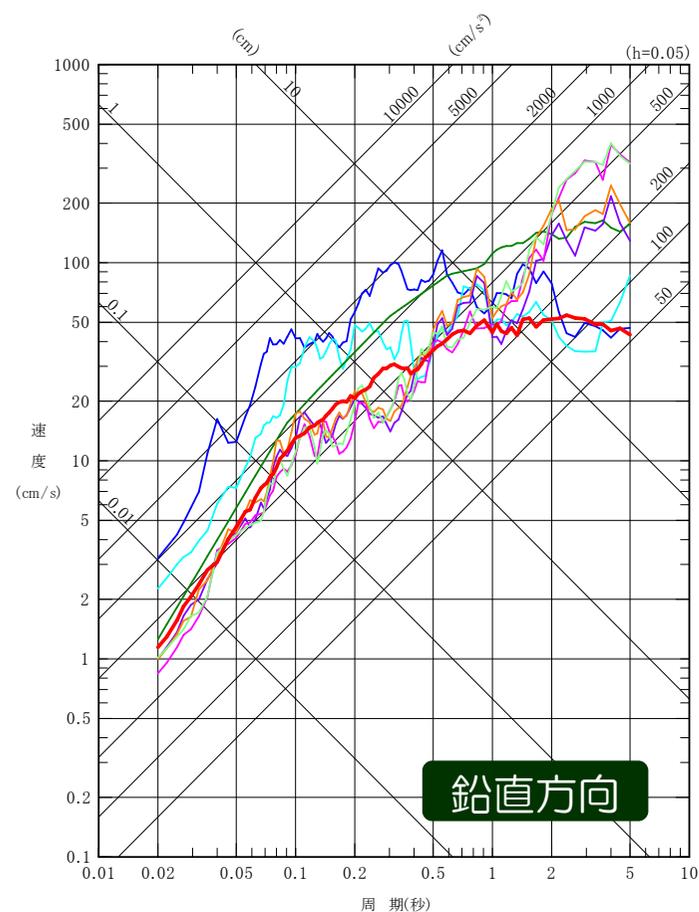
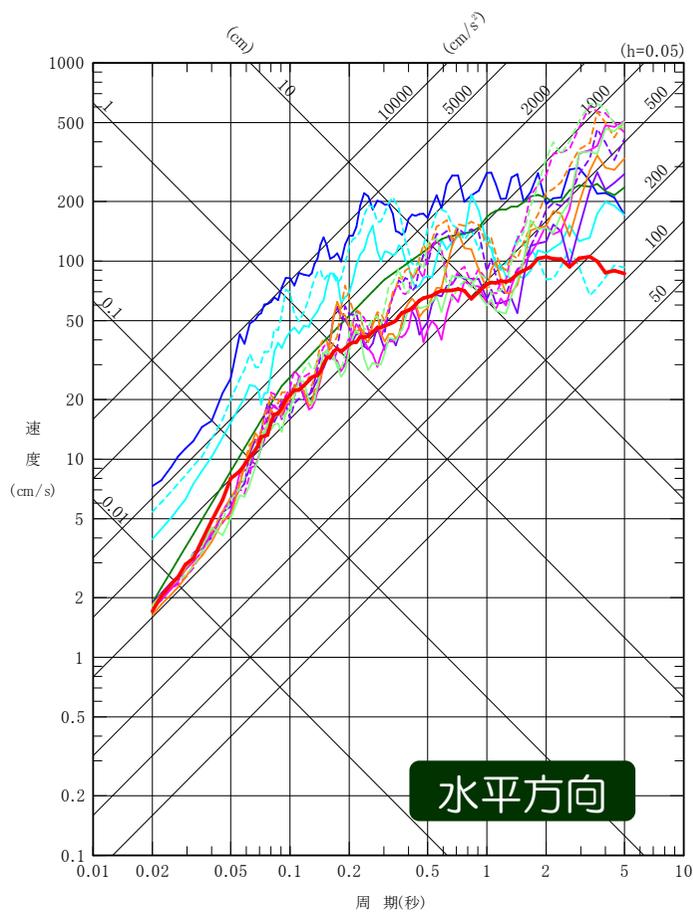
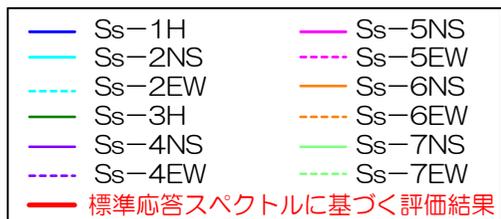


大湊側



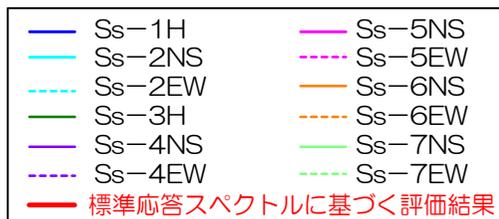
4. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

荒浜側

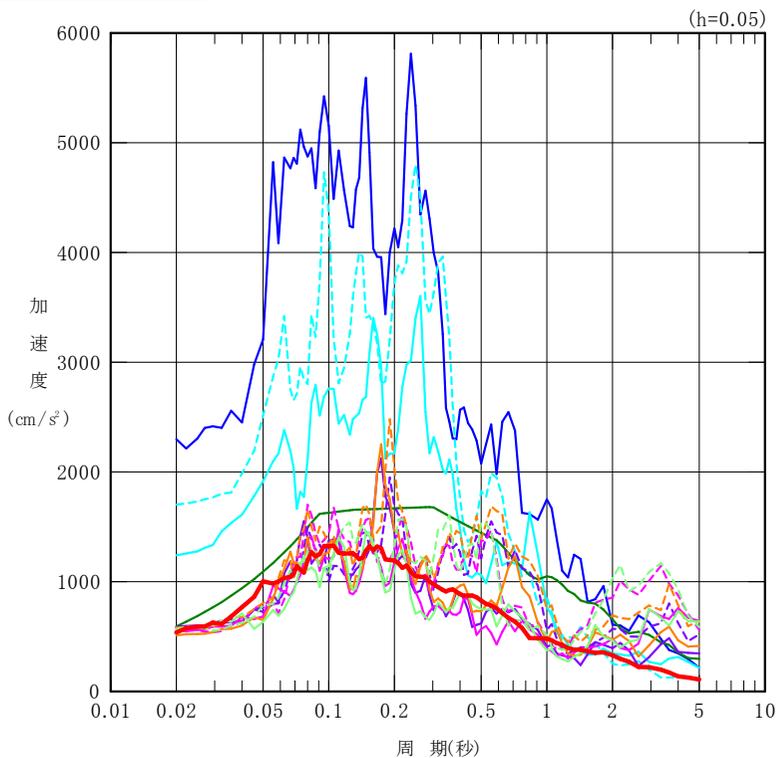


4. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（荒浜側）

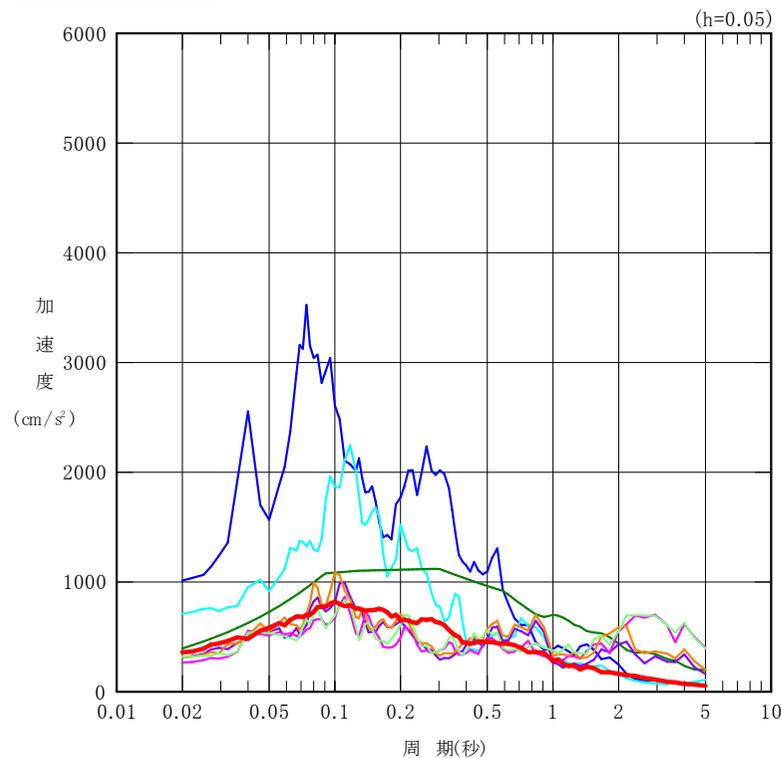
荒浜側



水平方向

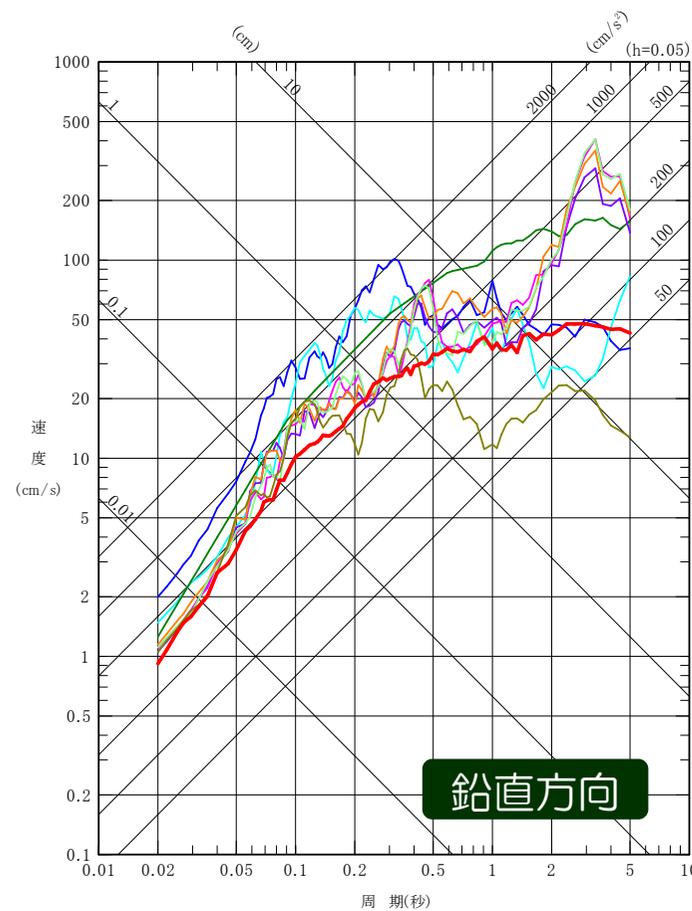
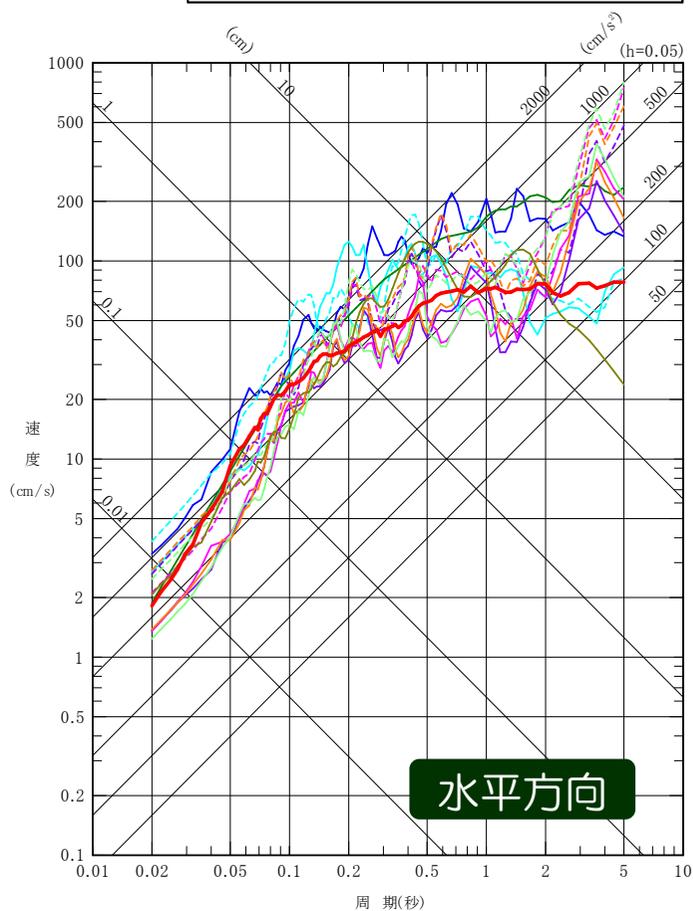
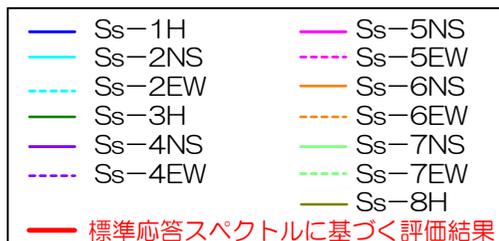


鉛直方向



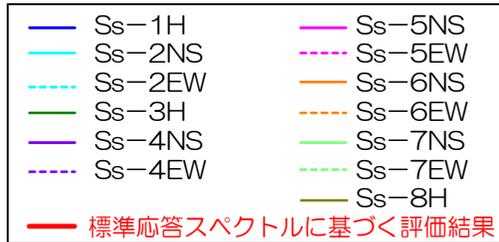
4. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（大湊側）

大湊側

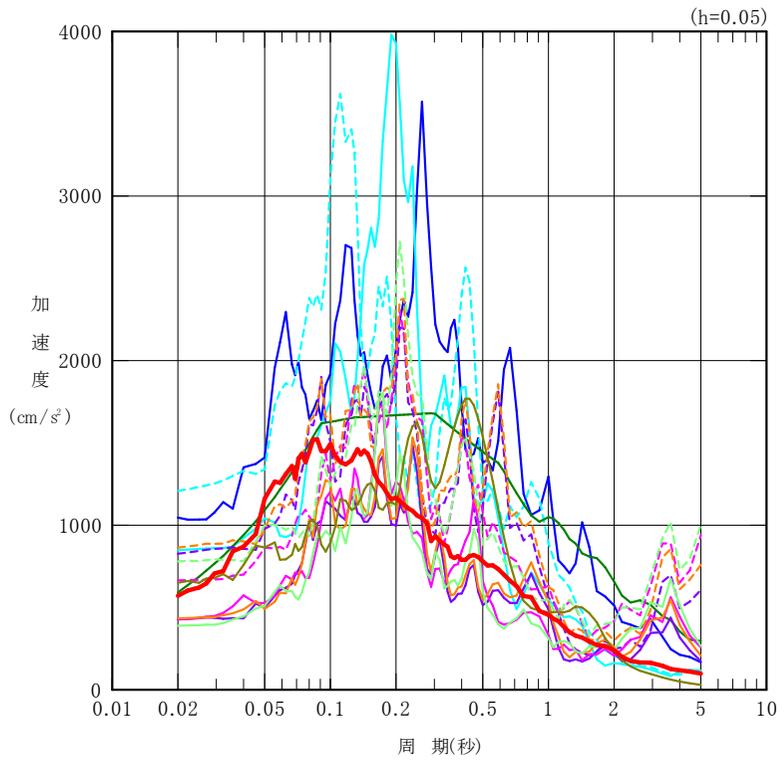


4. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（大湊側）

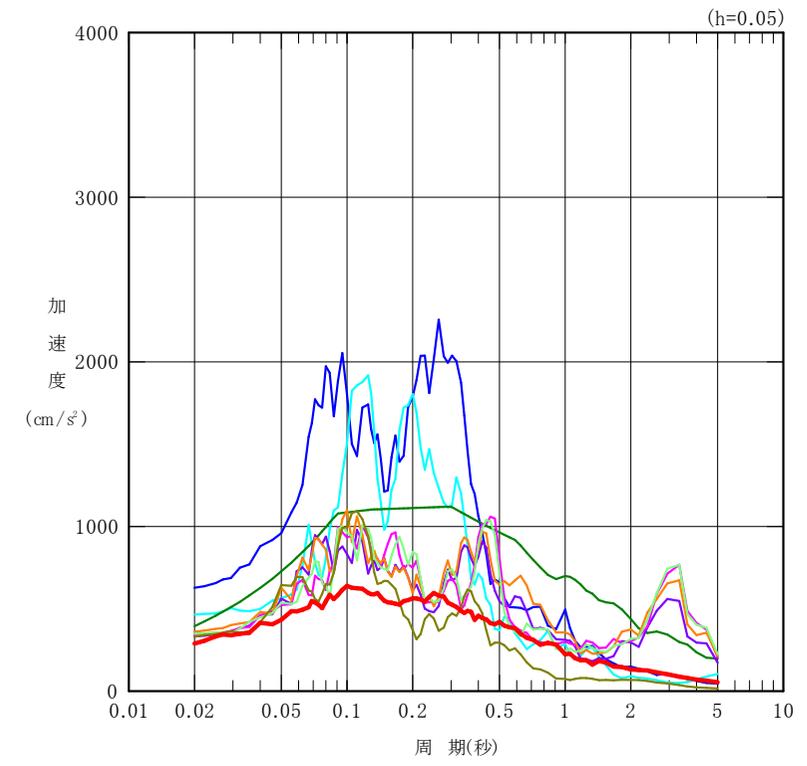
大湊側



水平方向

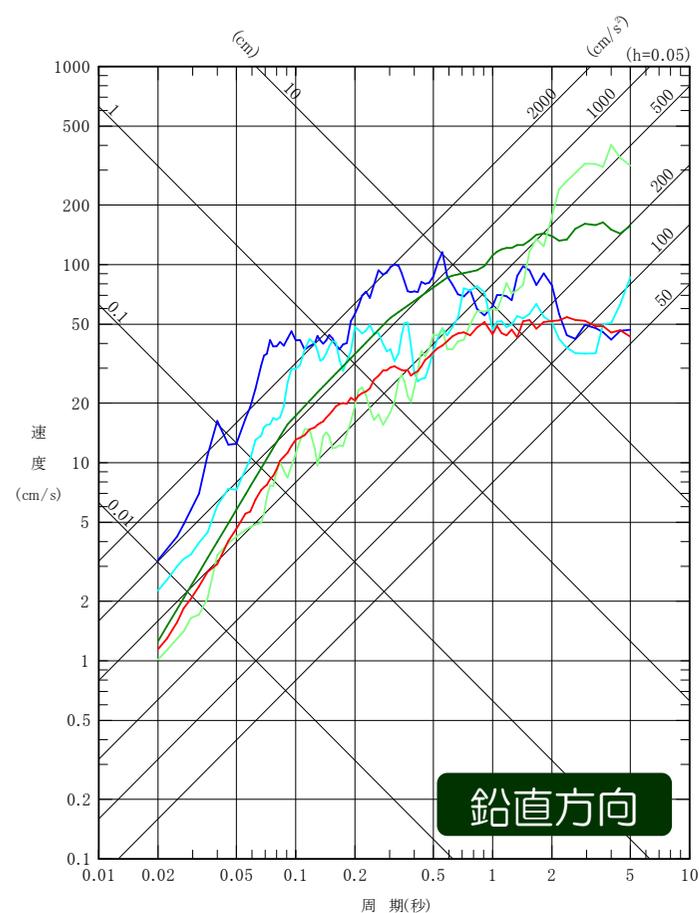
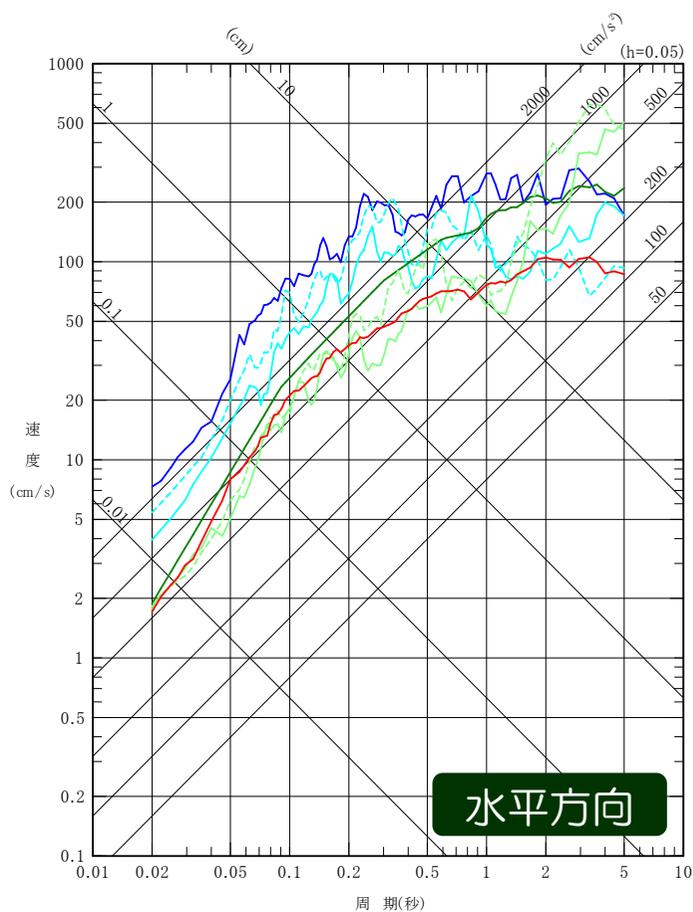


鉛直方向



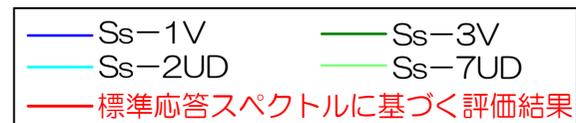
4. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

荒浜側

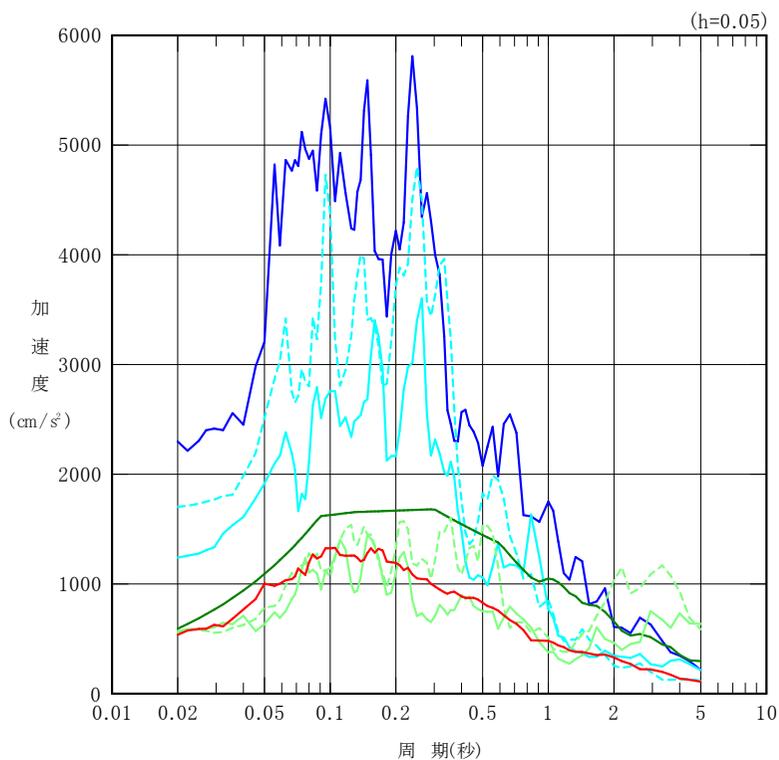


4. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（荒浜側）

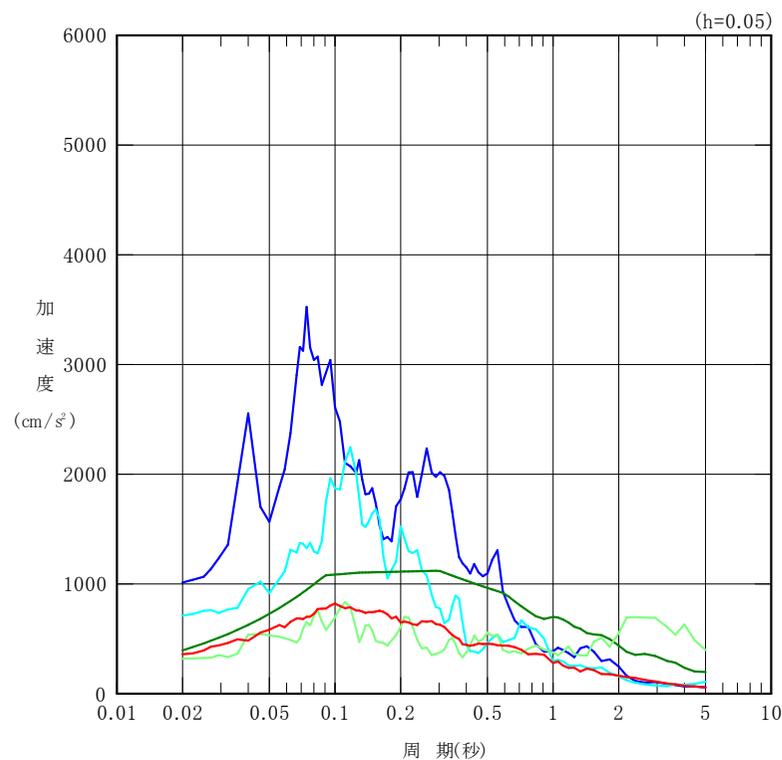
荒浜側



水平方向

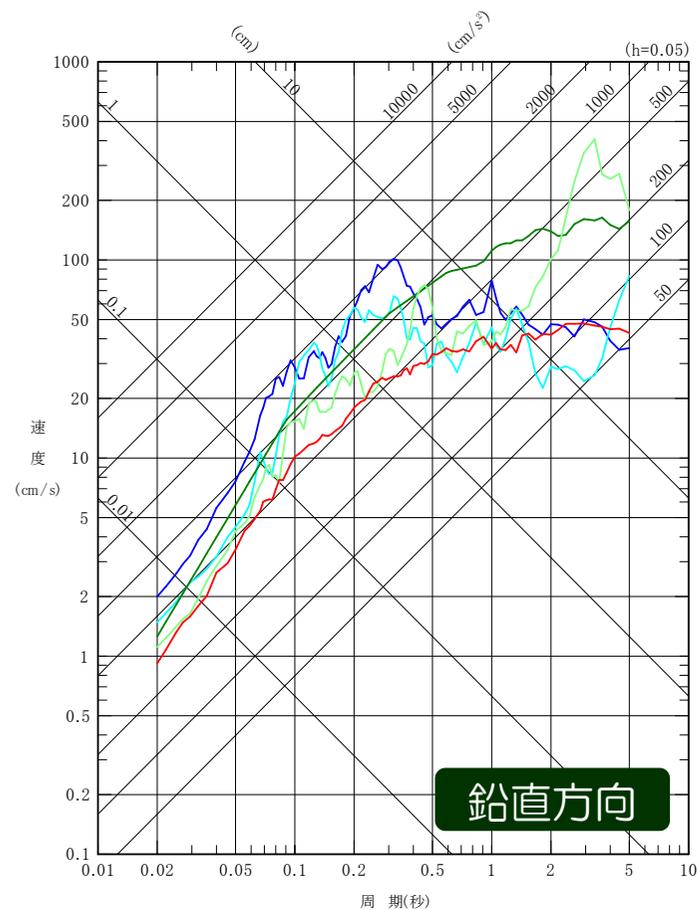
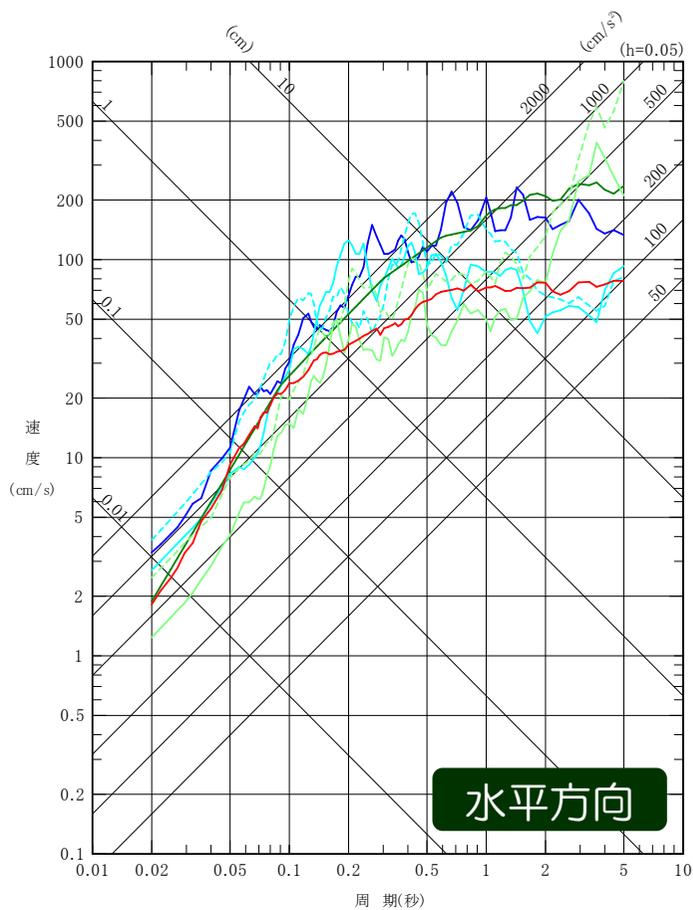
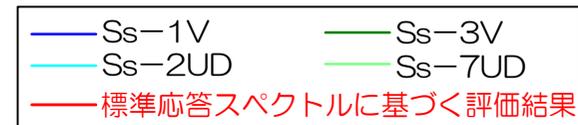


鉛直方向



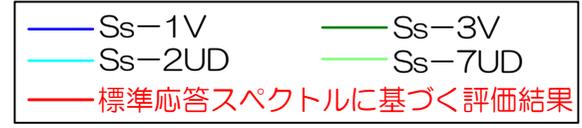
4. 既許可の基準地震動との比較 擬似速度応答スペクトル（大湊側）

大湊側

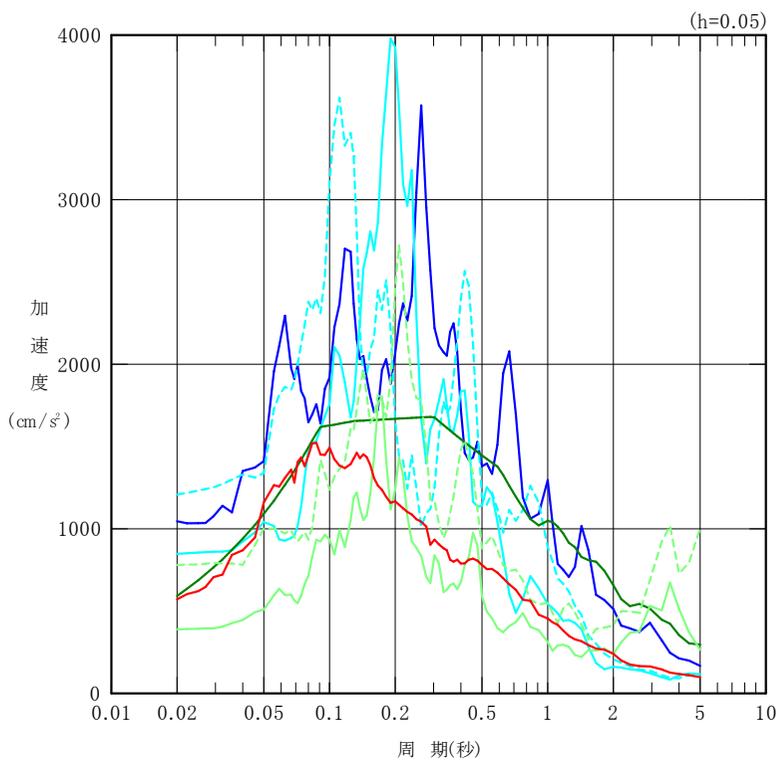


4. 既許可の基準地震動との比較 加速度応答スペクトル（大湊側）

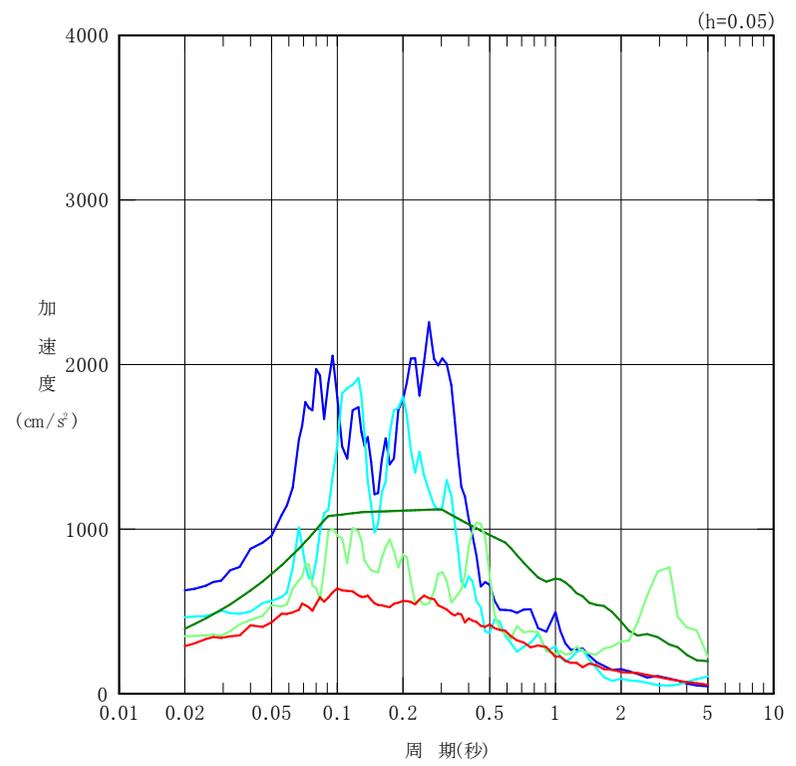
大湊側



水平方向



鉛直方向



【参考文献】

- 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/>
- 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
- 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