

玄海原子力発電所 3号炉及び4号炉

標準応答スペクトルを考慮した地震動評価における
模擬地震波の作成及び基準地震動の策定について

2023年6月16日
九州電力株式会社

目次

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール	P. 2
2. 模擬地震波の作成	P. 8
2.1 模擬地震波の作成方針	P. 9
2.2 乱数位相を用いた模擬地震波の作成	P. 11
2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成	P. 14
2.4 解放基盤表面の地震波の比較	P. 21
3. 基準地震動の策定	P. 27
4. 超過確率の参照	P. 33
5. まとめ	P. 36
【参考】解放基盤表面の地震波の作成における地盤減衰（Q値）の影響	P. 38



1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

No.	コメント	指摘場所	対応状況
1	既許可の地下構造モデルと新たに設定した地下構造モデルの位置づけの記載を充実すること。	第1026回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年1月21日)	第1080回会合にて説明
2	新たに設定した地下構造モデルについて、以下を踏まえ、地盤減衰の設定の考え方、根拠を明確にし、説明すること。 ①15Hz程度までの範囲で評価した地盤減衰の高周波数帯への適用性 ②地震観測記録が得られていない深さにおける地盤減衰の設定 ③地盤減衰の不確かさの考え方		第1049回会合、 第1103回会合にて説明
3	地震基盤相当面は、設置許可基準規則解釈別記2の定義に従い $V_s=2, 200\text{m/s}$ 以上の層に設定すること。		第1057回会合にて説明
4	乱數位相を用いた模擬地震波の作成について、継続時間の設定を含め検討し、説明すること。		説明方針： 第1097回会合にて説明 コメント回答： 方針に基づく検討結果を 今回説明（P11～P13）
5	地震動評価にあたって、どのような地下構造モデルを使うのか方針を示すこと。	第1049回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年5月20日)	第1057回会合にて説明
6	全体スケジュールを考慮した上で、地下構造モデル設定、地震動評価及び全体方針を示すこと。		第1057回会合にて説明
7	審査全体を見通した上で、スケジュールを示すこと。	第1057回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年7月1日)	第1080回会合にて説明
8	今回地下構造モデルの方針を変更していることから、説明済みとなっているコメントに関しても、改めて説明すること。		コメントNo. 2について 第1103回会合にて説明
9	新たなボーリング調査から得られる結果を踏まえ、設定した地下構造モデルの妥当性を示すこと。		第1103回会合にて説明
10	今後説明予定の新たに設定した地下構造モデルの妥当性について、適切な論理で十分な根拠に基づき説明すること。	第1080回、第1088回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年10月7日、 令和4年10月28日)	説明方針： 第1088回会合にて説明 コメント回答： 第1103回会合にて説明
11	審査事項に係る方針・考え方を準備ができたものから前倒しで説明する等、効果的かつ効率的な審査スケジュールを示すこと。		適宜説明

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

No.	コメント	指摘場所	対応状況
12	地下構造モデルについて、追加調査結果に見られる一部の周期帯におけるピークが適切に評価できていないことを踏まえ、検討すること。	第1103回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年12月16日)	第1113回会合にて説明
13	鉛直方向の観測事実との整合性に係る検討、最深部地震計からEL. -200mまでの範囲の地盤減衰の設定の考え方を追加したうえで、全体の取り纏めとあわせて説明すること。	第1113回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和5年2月10日)	第1142回会合にて説明
14	審査会合において確認した上下動の一部周期における観測記録との不整合の要因及び地下構造モデルへの反映要否についての考え方などを資料に反映すること。	第1142回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和5年4月28日)	資料1-1にて説明
15	EL. -90mからEL. -200mの範囲の地盤減衰を $Q=16.7$ に設定した標準応答スペクトル用モデルと観測事実との比較結果について、資料に追加すること。		資料1-1にて説明

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

■ 川内原子力発電所に関するコメントの反映

- ・ 第983回審査会合において、川内原子力発電所に関するコメントを受領。
- ・ 玄海原子力発電所についても共通する以下のコメントへの対応を実施。

No.	コメント	指摘場所	対応状況
S-1	地下構造モデルの地盤減衰の設定について、既許可からの変更点の妥当性を説明すること。その際、地盤減衰の設定根拠としている地震観測記録が得られていない範囲（EL. -90m～EL. -200m）の地盤減衰の設定の妥当性についても併せて説明すること。	第983回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 （令和3年6月11日）	第1026回会合、 第1103回会合にて説明
S-2	地下構造モデルの変更に伴う既許可の基準地震動への影響について説明すること。		第1026回会合、 第1103回会合にて説明 資料1-1にて説明
S-3	地震基盤相当面について、設置許可基準規則解釈別記2の $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上に対し、 $V_s=2,100\text{m/s}$ の層上面（EL. -200m）に設定したことの妥当性を説明すること。		第1026回会合にて説明
S-4	模擬地震波の作成について、複数の方法から一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせを採用した妥当性を説明すること。		説明方針： 第1097回会合にて説明 コメント回答： 方針に基づく検討結果を 今回説明（P21～P26）
S-5	既許可以降の観測・調査・分析などについて説明すること。		第1103回会合にて説明

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

〔本日のご説明〕

今回、第1097回審査会合で示したコメント回答方針に基づき、以下の通り模擬地震波の作成結果をお示しするとともに、基準地震動の策定及び超過確率の参照についてご説明。

■ No. 4に対するコメント回答概要

- 第1097回審査会合において、乱数位相を用いた模擬地震波の作成については、Noda et al. (2002)による方法を採用することとし、継続時間が長めに設定されるよう保守的にM7.0として設定することを説明。(11頁)
- 今回、乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果を説明。(12～13頁)

■ No. S-4に対するコメント回答概要

- 第1097回審査会合において、乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波について、解放基盤表面の地震波を作成し、時刻歴波形及び応答スペクトルについて比較・検討した上で、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる模擬地震波を設定することを説明。(21頁)
- 今回、2つの解放基盤表面の地震波について、時刻歴波形及び応答スペクトルについて比較・検討した結果、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価には、乱数位相を用いた模擬地震波を用いることを説明。(22～26頁)

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

項目	内容	関連 コメント	対応方針	...	2022年度			2023年度												
					7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
地下構造モデル 位置付け	・既許可モデルと新たに設定したモデルの位置付け	No.1	・既許可モデルと新たに設定したモデルは検討の目的に応じて設定することを明記					▼★第1080回												
	・既許可の地震動評価への影響	No.S-2	・新たな地下構造モデルによる既許可の基準地震動への影響確認を実施																▼▼☆	
地盤減衰	・地盤減衰の設定および妥当性確認	No.2 No.S-1 No.12	・地震観測記録に基づく伝達関数の分析、地震波干渉法等、複数の手法により設定 ・地震計設置以浅について、観測記録による応答スペクトルの比較等により確認 ・地震計設置以深は、追加調査等を基に地震計設置以浅で設定した地盤減衰と同等であることを多面的な検討により確認					(方針) 第1088回 ▼★												▼:資料提出(実績) ▽:資料提出(予定) ★:審査会合(実績) ☆:審査会合希望時期
	・設定した地下構造モデルの妥当性	No.9 No.10 No.12 No.13	・観測記録による応答スペクトルの比較により地震計設置以浅の妥当性を確認 ・追加調査による伝達関数の比較によりEL-200m以浅の妥当性を確認					(方針) 第1088回 ▼★												▼★第1103回 ▼★第1113回 ▼★第1142回 ▼☆
地震基盤相当面	・設置許可基準規則解釈別記2の定義に基づく設定	No.3 No.S-3	・ $V_s=3,100\text{m/s}$ の層上面に設定					★第1057回												
模擬地震波	・乱数位相を用いた地震動評価	No.4	・先行他社と同様に、M7.0、 $X_{eq}10\text{km}$ で継続時間を設定																	▼(方針) 第1097回 ▼★
	・複数の手法による検討	No.S-4	・先行他社と同様に、複数の手法による検討により、乱数位相を用いた地震波を選定した妥当性を説明																	▼(方針) 第1097回 ▼★
基準地震動策定	・ S_s-6 の策定	-	・地震基盤相当面、地盤減衰、模擬地震波の設定を踏まえ、 S_s-6 を策定																	▼▼☆
基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価	・ S_s-6 による評価	-	・基礎地震動見直し後の基礎地盤及び周辺斜面の安定性の評価を実施 ・評価条件は、既許可申請と同じもので評価																	▼(方針) 第1097回 ▼★
補正申請	-	-	-																	(安定性解析) ◇

2. 模擬地震波の作成

2.1 模擬地震波の作成方針

■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる模擬地震波の作成方針

- 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」（以下、「審査ガイド」とする。）では、下記のように示されている。

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動は、設定された応答スペクトル（地震動レベル）に対して、地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化等の特性が適切に考慮されていることを確認する。また、設定された応答スペクトルに基づいて模擬地震動を作成する場合には複数の方法（例えば、正弦波の重ね合わせによる位相を用いる方法、実観測記録の位相を用いる方法等）により検討が行われていることを確認する。

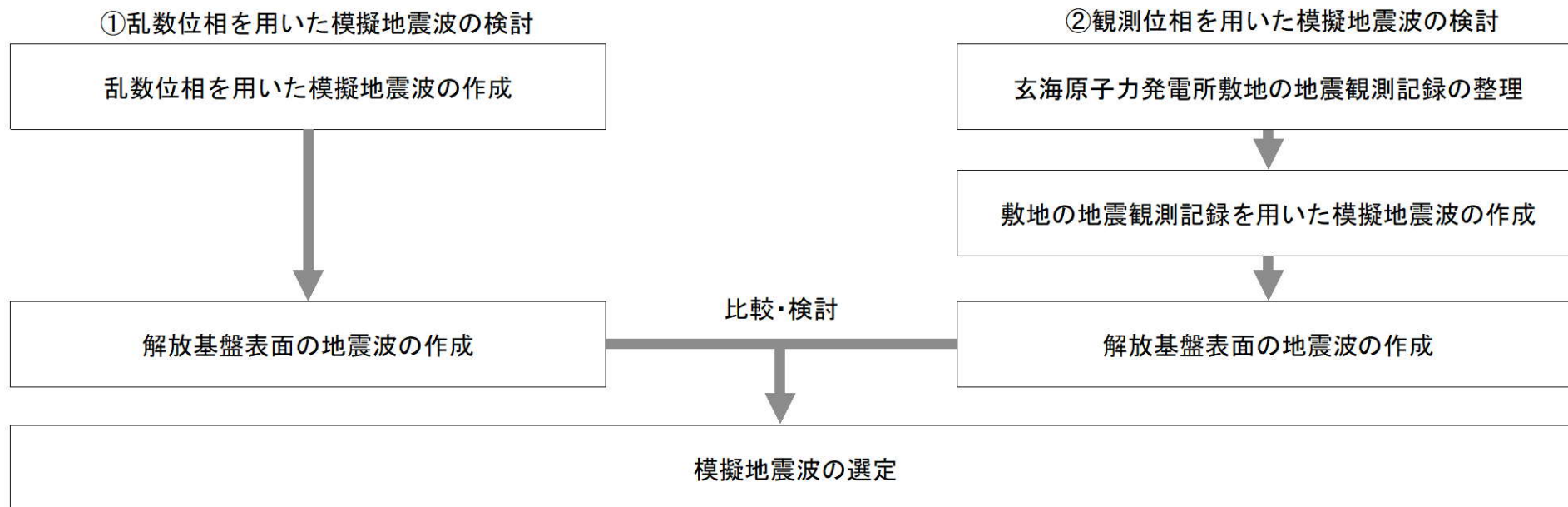
- 審査ガイドを踏まえて、以下の方針で模擬地震波を作成し、解放基盤表面における地震波を比較・検討した上で、「標準応答スペクトルを考慮した地震動」に用いる模擬地震波を設定する。

①正弦波の重ね合わせによる位相（乱數位相）を用いた模擬地震波（以下、乱數位相を用いた模擬地震波という。）

→Noda et al. (2002)の手法に基づき乱數位相を用いた模擬地震波を作成。

②実観測記録の位相を用いた模擬地震波（以下、観測位相を用いた模擬地震波という。）

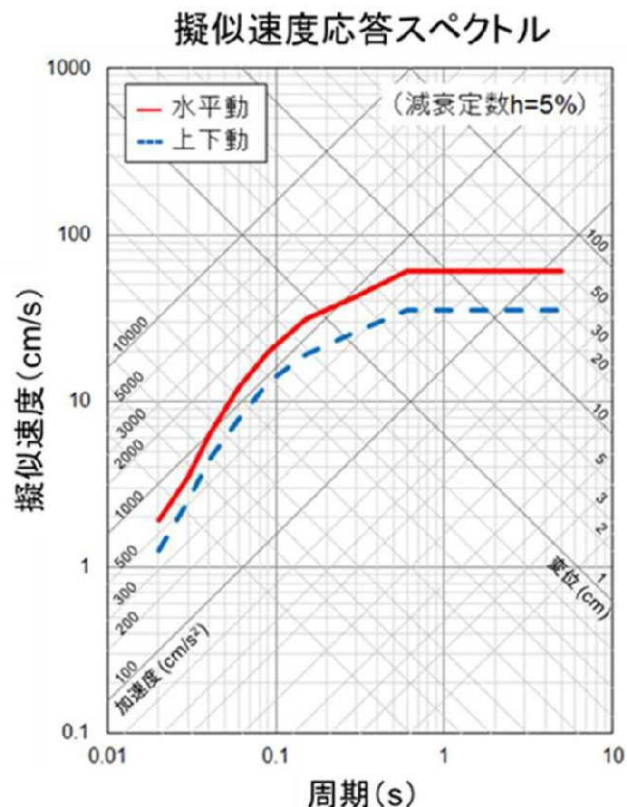
→玄海原子力発電所敷地で得られた地震観測記録を整理し、実観測記録の位相を用いて模擬地震波を作成。



2.1 模擬地震波の作成方針

■ 地震基盤相当面における模擬地震波の作成

- 複数の方法による検討では、「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」に記載された標準応答スペクトルに適合するように地震基盤相当面における模擬地震波を作成する。
- また、模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度は、日本電気協会(2015)に記載された判定基準を満足させることで確認する。



コントロールポイント

周期 (s)	水平動	上下動
	擬似速度 (cm/s)	擬似速度 (cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
解放基盤表面	-15m	0.0	1350	3000	12.5
	-50m	-0.035	1570	3440	12.5
	-90m	-0.075	1570	3440	16.7
	-100m	-0.085	1730	3470	16.7
	-150m	-0.135	1770	3650	16.7
	-200m	-0.185	2100	4000	200
地震基盤相当面	-1804m	-1.789	3100	5500	300

地震基盤相当面における標準応答スペクトル
 (「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」より抜粋)

2.2 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

■ 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

- 地震基盤相当面での乱数位相を用いた模擬地震波の作成にあたっては、Noda et al. (2002) による振幅包絡線の経時的変化を採用し、下記の条件でマグニチュードM及び等価震源距離 X_{eq} を設定した上で、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせにより作成。

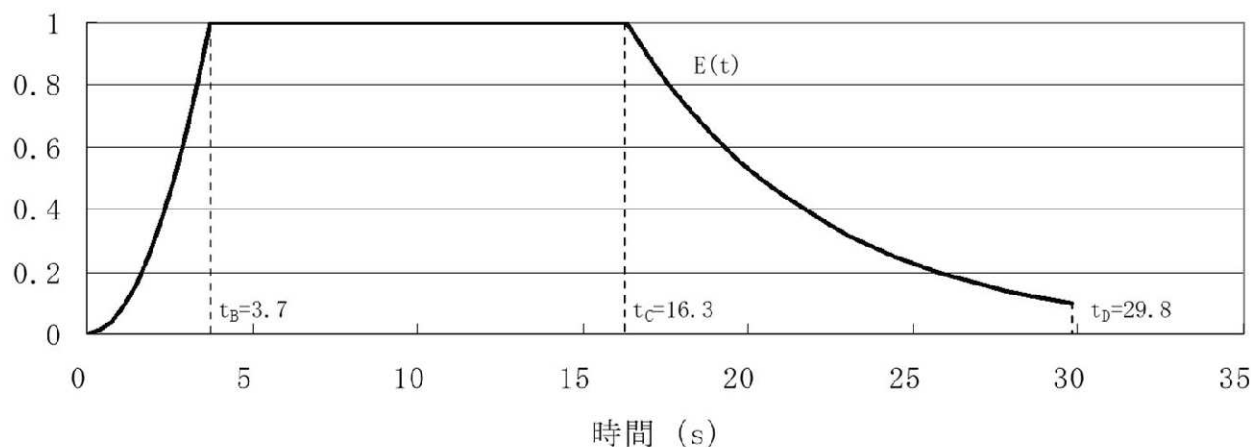
マグニチュード M:

審査ガイドにおける「全国共通に考慮すべき地震動」の地震規模は、Mw6.5程度未満と記載されている。武村(1990)の M_0 -M関係及びKanamori(1977)の M_0 -Mw関係によりMw6.5をMに換算するとM6.9となる。審査ガイドでは「Mw6.5程度未満」と幅をもって示されていることから、換算式から求められるMについても幅を持たせ、模擬地震波の主要動の継続時間が長めとなるよう保守的にM7.0として設定。

等価震源距離 X_{eq} :

等価震源距離は震源近傍を想定し、 $X_{eq}=10\text{km}$ として設定。

模擬地震波	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
		t_B	t_C	t_D
水平	29.8	3.7	16.3	29.8
鉛直	29.8	3.7	16.3	29.8



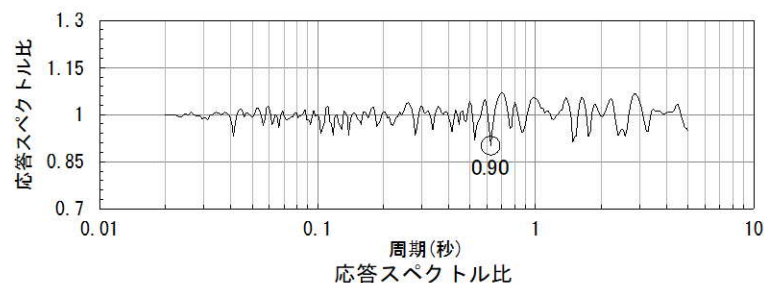
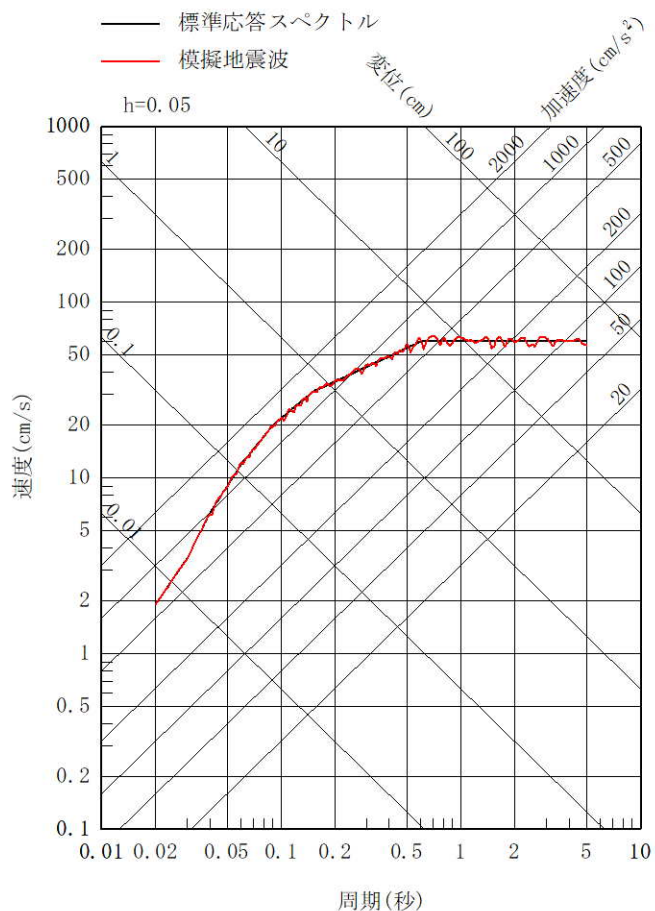
$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & (0 < t \leq t_B) \\ 1.0 & (t_B < t \leq t_C) \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{t_D - t_C}(t - t_C)} & (t_C < t \leq t_D) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} t_B &= 10^{0.5M - 2.93} \\ t_C - t_B &= 10^{0.3M - 1.0} \\ t_D - t_C &= 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6} \end{aligned}$$

2.2 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

■ 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（水平方向）

- 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（水平方向）を以下に示す。
- 模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度が日本電気協会(2015)に記載された判定基準を満足することを確認した。



	作成結果
①応答スペクトル比R(T)	0.90 ≥ 0.85
②SI比	1.00 ≥ 1.00

$$\textcircled{1} \quad R(T) = \frac{S_{v1}(T)}{S_{v2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

T : 周期 (s)

$S_{v1}(T)$: 模擬地震波の応答スペクトル値

$S_{v2}(T)$: 目標とする応答スペクトル値

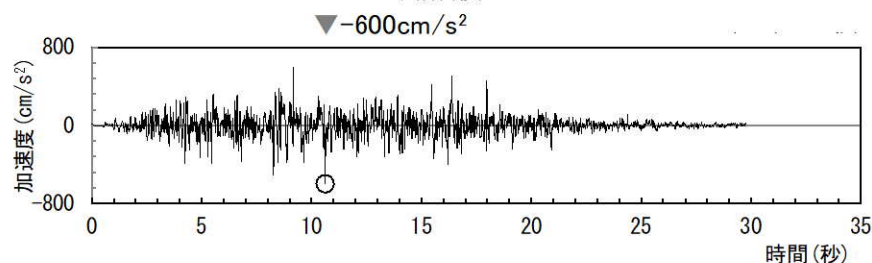
$$\textcircled{2} \quad \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} \geq 1.0$$

SI : 応答スペクトル強さ

$S_v(T)$: 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)

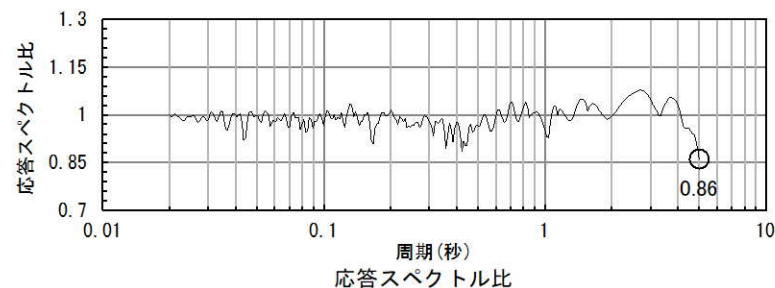
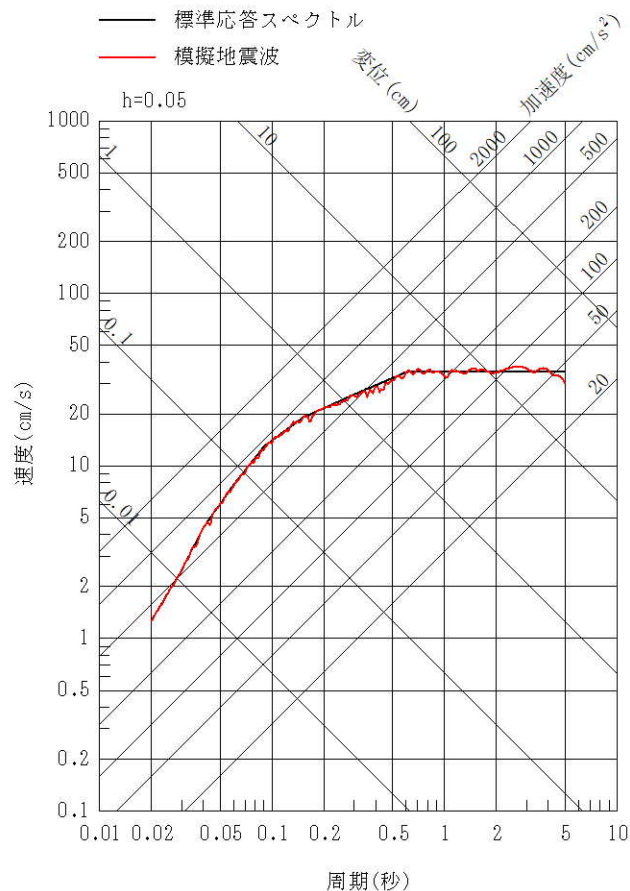
T : 固有周期 (s)



2.2 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

■ 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（鉛直方向）

- 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（鉛直方向）を以下に示す。
- 模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度が日本電気協会(2015)に記載された判定基準を満足することを確認した。



	作成結果
①応答スペクトル比R(T)	0.86 ≥ 0.85
②SI比	1.01 ≥ 1.00

$$\textcircled{1} \quad R(T) = \frac{S_{v1}(T)}{S_{v2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

T : 周期 (s)

$S_{v1}(T)$: 模擬地震波の応答スペクトル値

$S_{v2}(T)$: 目標とする応答スペクトル値

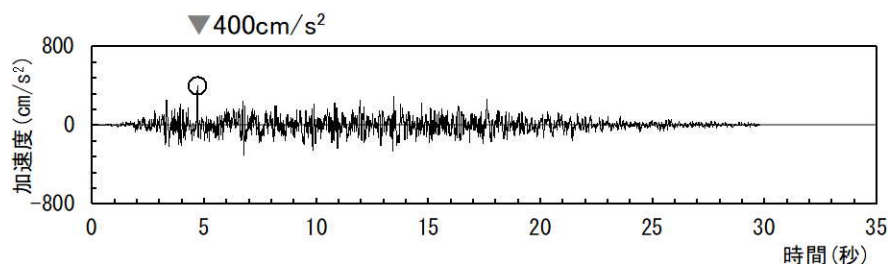
$$\textcircled{2} \quad \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} \geq 1.0$$

SI : 応答スペクトル強さ

$S_v(T)$: 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)

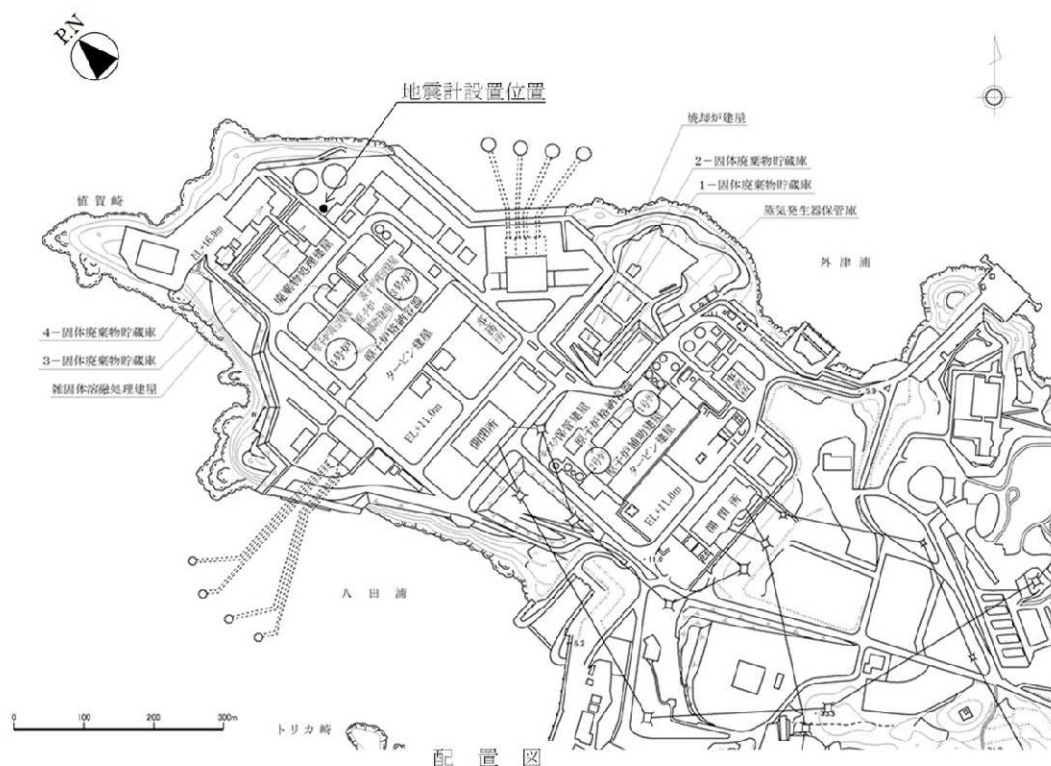
T : 固有周期 (s)



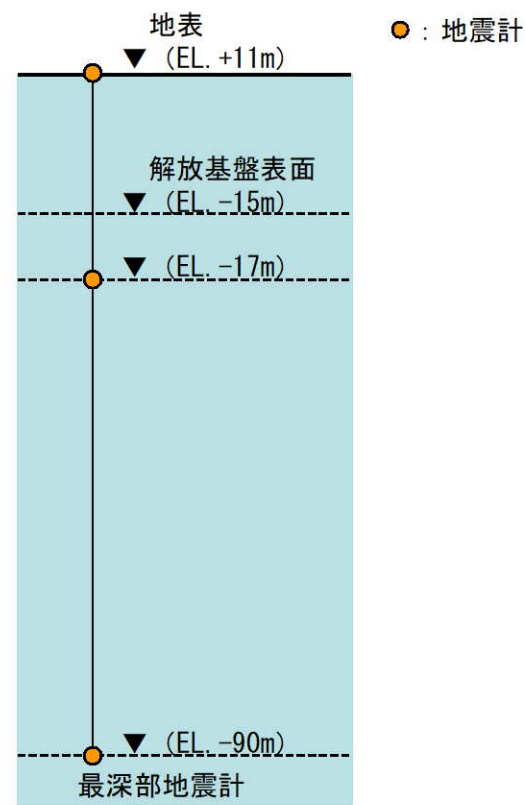
2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 観測位相を用いた模擬地震波作成のための観測記録の収集条件（1 / 2）

- 玄海原子力発電所の敷地地盤では、原子炉建屋周辺において、鉛直アレイ地震観測を実施している。
- 地震基盤相当面での観測位相を用いた模擬地震波の作成にあたっては、敷地の地震計で得られた観測記録（EL. +11m）を用いる。



敷地の鉛直アレイ地震計平面配置図

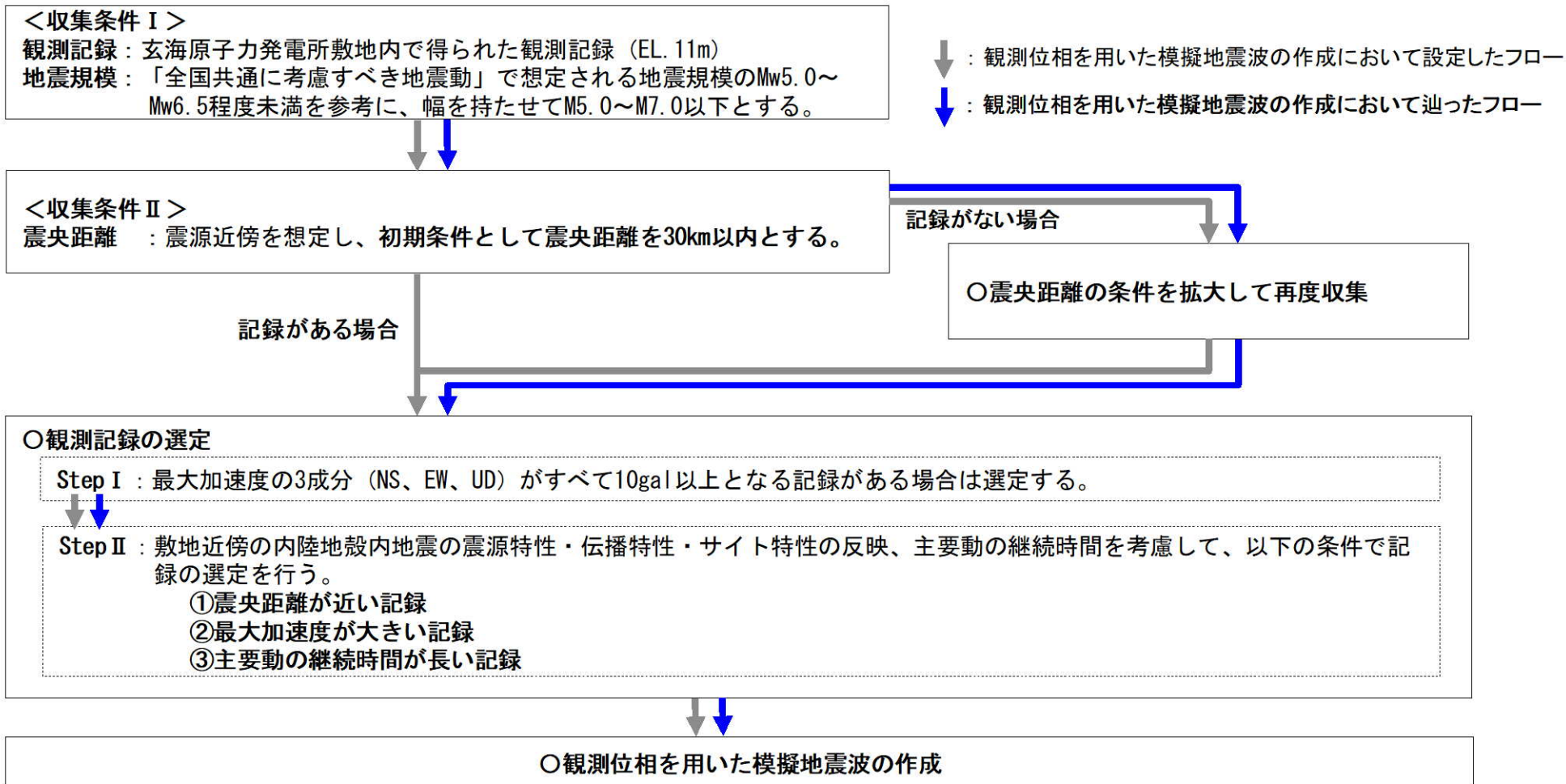


敷地の鉛直アレイ地震計断面位置

2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 観測位相を用いた模擬地震波作成のための観測記録の収集条件（2 / 2）

- 観測位相を用いた模擬地震波は、下記のフローに従い玄海原子力発電所の敷地地盤で得られた観測記録の位相を与えて作成する。
 - 観測位相を用いた模擬地震波には敷地地盤の振動特性を適切に反映することが必要と考えられることから、下記の条件により敷地近傍で発生した内陸地殻内地震の観測記録を収集する。記録が得られていない場合は、対象範囲を拡大した上で観測記録を収集する。
 - 収集した記録が複数ある場合には適切に選定し、観測位相を用いた模擬地震波を作成する。

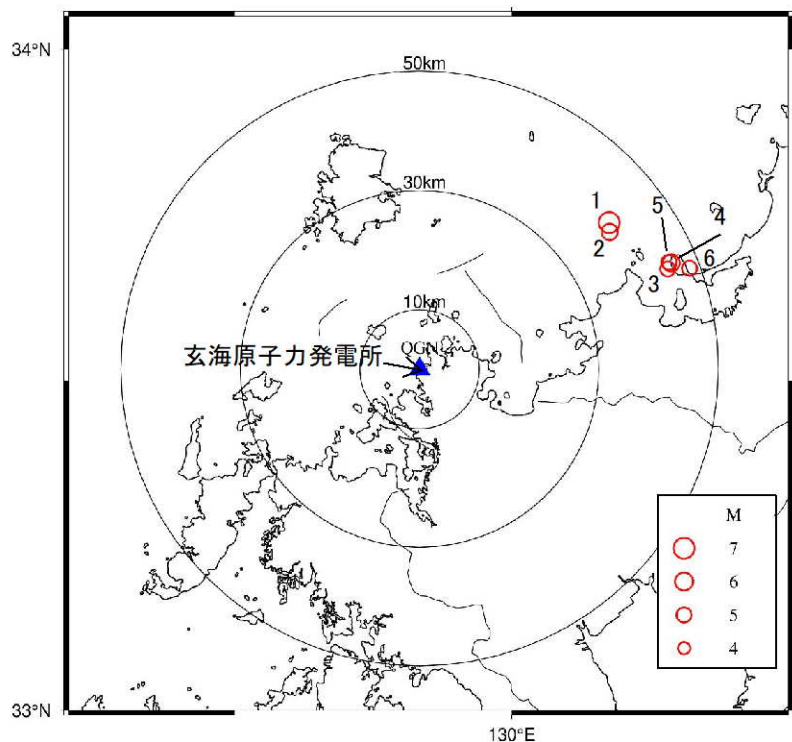


観測位相を用いた模擬地震波作成のための観測記録の収集・選定フロー

2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 敷地における地震観測記録の収集及び選定（収集条件 I, II 及び観測記録の選定 Step I）

- 玄海原子力発電所の敷地において、マグニチュード5.0以上で震央距離30km以内の内陸地殻内地震の観測記録は該当なし。
- 敷地からの震央距離を50km以内に対象を拡大すると、6地震が得られる。6地震の震央分布図及び諸元を示す。
- そのうちNS、EW、UD方向すべてが10gal以上の地震は2地震となる。
- なお、6地震の観測記録については、特異な位相特性をもつ記録がないことを確認。



収集した6地震の震央分布図

収集した6地震の諸元

地震 No.	発生年月日・時刻					地名	北緯		東経		震源 深さ (km)	M	震央 距離 (km)	最大加速度 (Gal)			最大加速度 (3成分) 10gal以上 判定
	年	月	日	時	分		度	分	度	分				NS	EW	UD	
1	2005	3	20	10	53	九州北西沖	33	44.35	130	10.58	9.2	7.0	40.2	84.2	69.5	50.9	○
2	2005	3	22	15	55	九州北西沖	33	43.52	130	10.61	10.5	5.4	39.3	4.1	4.1	3.5	除外
3	2005	4	10	20	34	福岡県中部	33	40.11	130	16.93	4.7	5.0	44.9	2.5	3.3	2.1	除外
4	2005	4	20	6	11	福岡県中部	33	40.69	130	17.29	13.5	5.8	45.8	31.8	29.6	16.0	○
5	2005	4	20	9	9	福岡県中部	33	40.72	130	17.03	13.3	5.1	45.5	13.8	17.4	5.8	除外
6	2005	5	2	1	23	福岡県中部	33	40.22	130	19.23	11.4	5.0	48.3	22.1	11.5	4.5	除外

2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 敷地における地震観測記録の収集・選定（観測記録の選定 Step II）

- Step I で選定された2地震について、①震央距離、②最大加速度、③主要動の継続時間について比較・検討する。
- ①震央距離が最も近く、②最大加速度が最も大きく、③主要動の継続時間が最も長いのは、「No.1 2005年3月20日 九州北西沖の地震（福岡県西方沖地震 本震）（M7.0）」
- 以上より、「No.1 2005年3月20日 九州北西沖の地震（福岡県西方沖地震 本震）（M7.0）」を、観測位相を用いた模擬地震波に用いる記録として選定する。

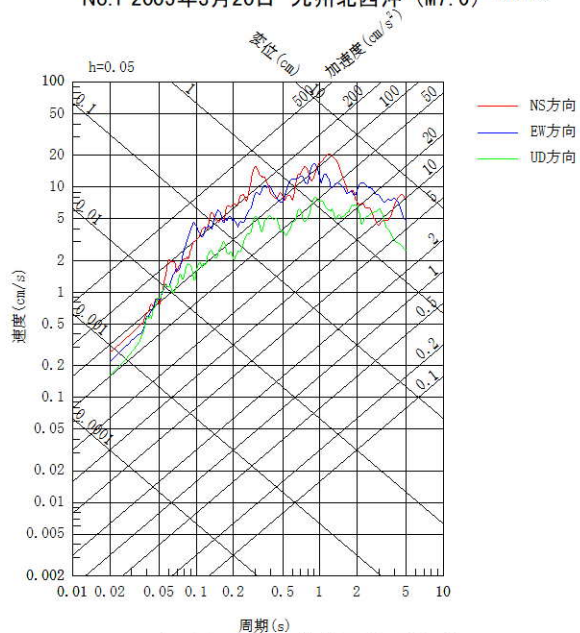
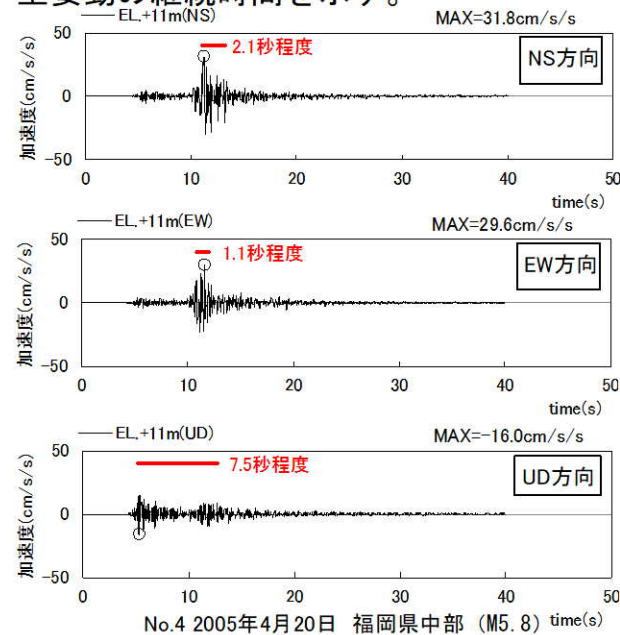
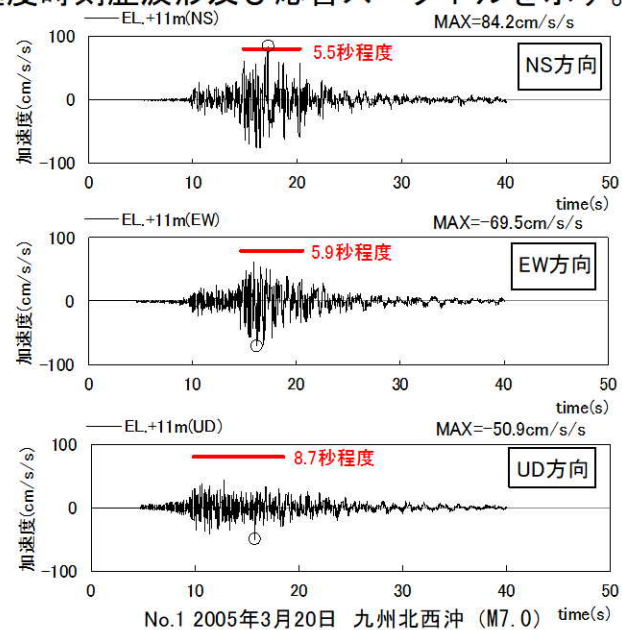
No.	地震名	地震規模 M	①震央距離 (km)	②最大加速度 (gal)	③主要動の継続時間※ (秒)			実観測位相の選定
					NS	EW	UD	
1	2005年3月20日 九州北西沖の地震 (福岡県西方沖地震 本震)	7.0	<u>40.2</u>	<u>84.2</u>	<u>5.5</u>	<u>5.9</u>	<u>8.7</u>	①震央距離が最も近い ②最大加速度が最も大きい ③主要動の継続時間が最も長い
4	2005年4月20日 福岡県中部の地震 (福岡県西方沖地震 余震)	5.8	45.8	31.8	2.1	1.1	7.5	①震央距離が遠い ②最大加速度が小さい ③主要動の継続時間が短い

※最大加速度の0.5倍以上の振幅の継続時間を主要動の継続時間として評価。

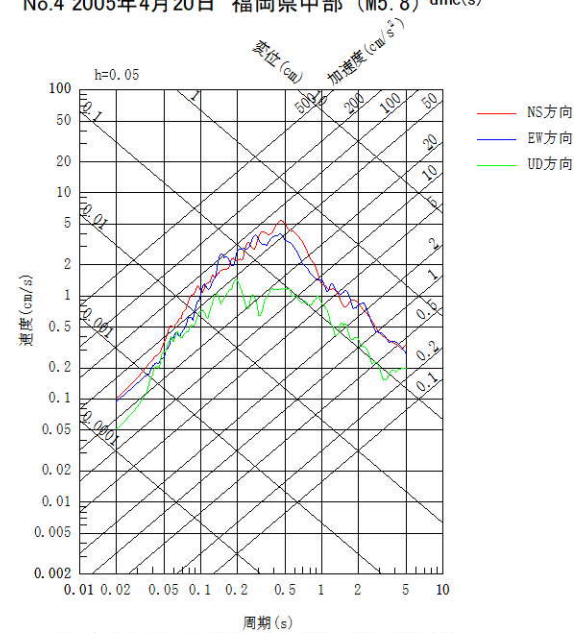
2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 収集・選定された地震観測記録（加速度時刻歴波形・応答スペクトルの比較）

- 2地震の加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを示す。なお、赤線は、主要動の継続時間を示す。



No.1 2005年3月20日 九州北西沖 (M7.0)

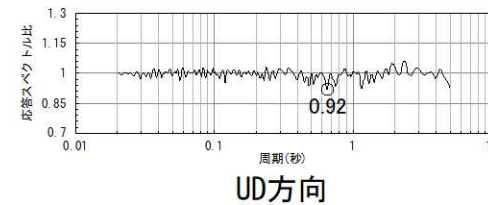
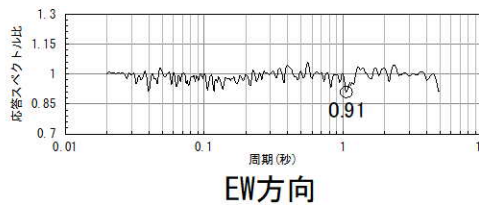
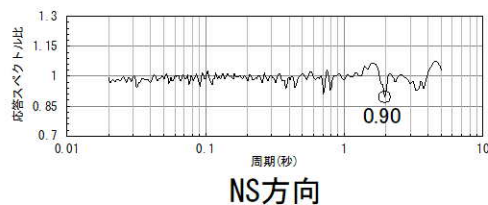
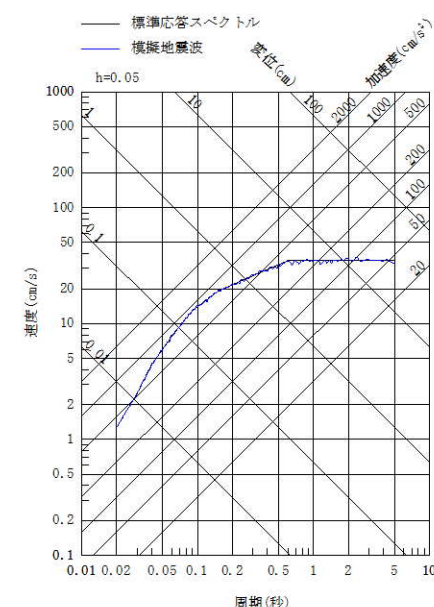
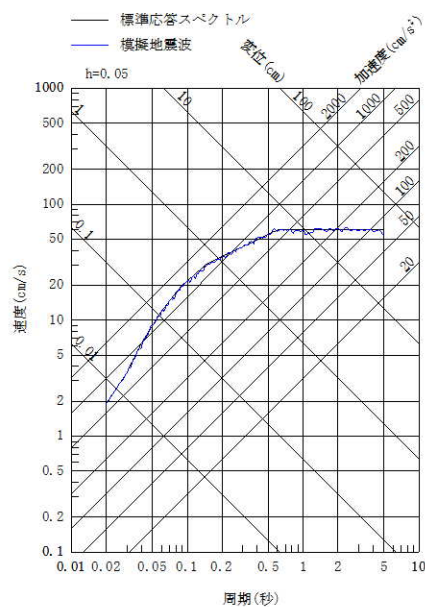
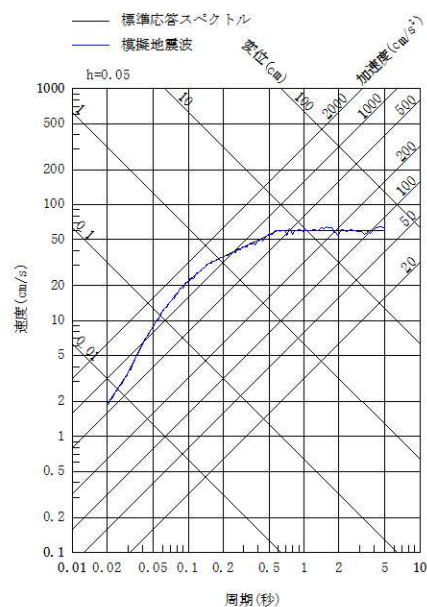
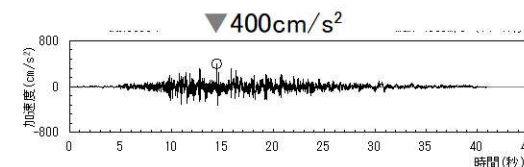
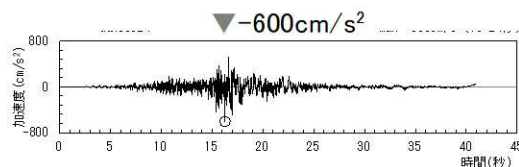
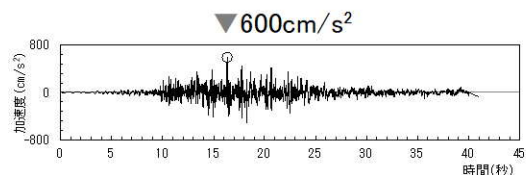


No.4 2005年4月20日 福岡県中部 (M5.8)

2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 模擬地震波の作成結果 (No1. 2005年3月20日の地震)

- 観測位相を用いた模擬地震波の応答スペクトル及び時刻歴波形を以下に示す。
- 模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度が日本電気協会(2015)に記載された判定基準を満足することを確認した。

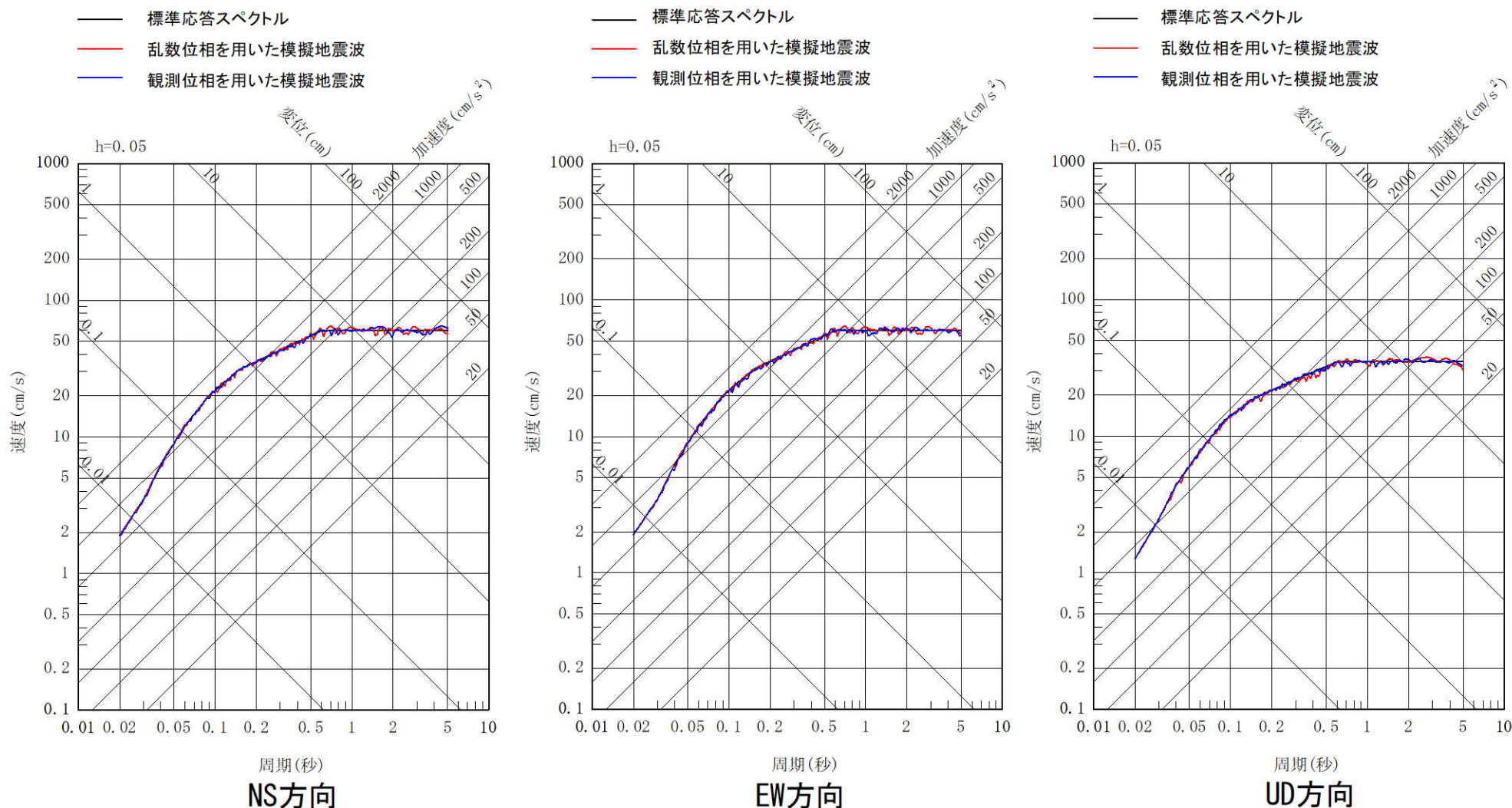


作成結果	NS方向	EW方向	UD方向
①応答スペクトル比R(T)	0.90 ≥ 0.85	0.91 ≥ 0.85	0.92 ≥ 0.85
②SI比	1.00 ≥ 1.00	1.00 ≥ 1.00	1.00 ≥ 1.00

2.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトル（乱数位相を用いた模擬地震波との比較）

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波の応答スペクトルの比較を以下に示す。
- 両者の応答スペクトルは、標準応答スペクトルに適合するよう作成していることから、有意な差は見られない。



地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトルの比較

2.4 解放基盤表面の地震波の比較

■ 解放基盤表面の地震波の作成

- 地震基盤相当面における模擬地震波に対して、一次元波動論により、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映し、標準応答スペクトルを考慮した解放基盤表面での地震動を作成する。解放基盤表面における地震動の検討は、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデルを使用する。

■ 解放基盤表面の地震波の比較

- 乱數位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波について、下記のような着目点で比較を行い複数の方法による特徴の違いを確認した上で、標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる模擬地震波を選定する。

比較・検討項目	着目点	概要
①時刻歴波形	<ul style="list-style-type: none">最大加速度の大きさ強震部の継続時間[※]の長さ	<ul style="list-style-type: none">解放基盤表面における時刻歴波形の最大加速度について比較解放基盤表面における時刻歴波形の強震部の継続時間について比較
②応答スペクトル	<ul style="list-style-type: none">周期ごとの応答値の大きさ周期ごとの応答値の比の大きさ	<ul style="list-style-type: none">解放基盤表面における応答スペクトルの比較地震基盤相当面における応答スペクトルに対する解放基盤表面における応答スペクトルの比による増幅率の比較

※水平300gal以上、鉛直200gal以上の振幅の継続時間を強震部の継続時間として評価。

2.4 解放基盤表面の地震波の比較

■ 解放基盤表面の地震波の作成

- 地震基盤相当面の模擬地震波に対して、敷地の地盤増幅特性を考慮するため、一次元波動論により、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデルを使用して解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映し、解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定する。

標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル



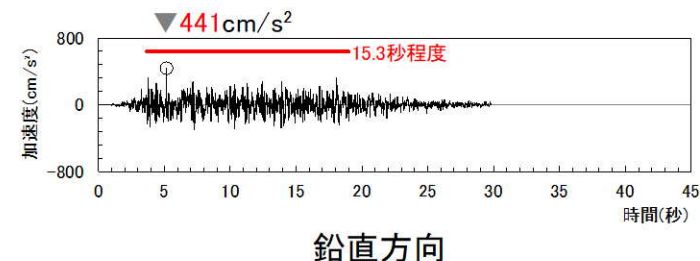
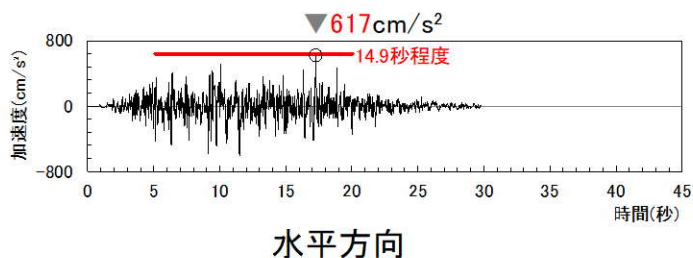
標準応答スペクトルを考慮した
地震動の評価のイメージ

2.4 解放基盤表面の地震波の比較

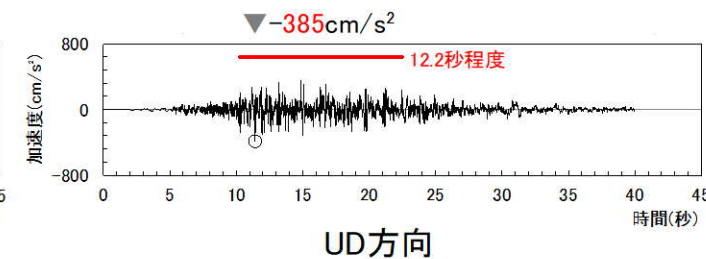
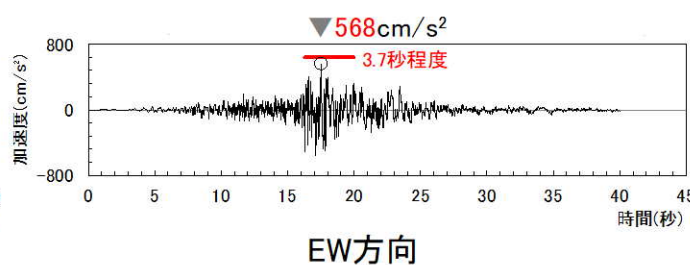
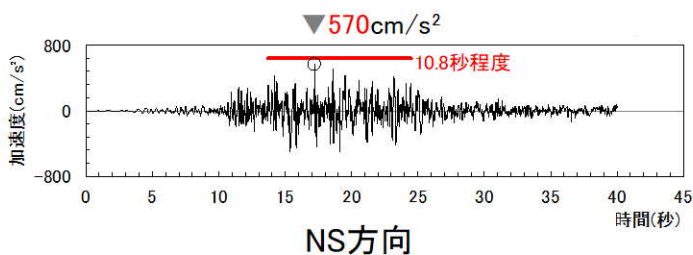
■ 解放基盤表面の地震波の比較：①時刻歴波形

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波を以下に示す。なお、赤線は、強震部の継続時間を示す。
- 最大加速度の大きさは、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の方が大きいことを確認。
- 強震部の継続時間についても同様に、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の方が長いことを確認。

● 乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波



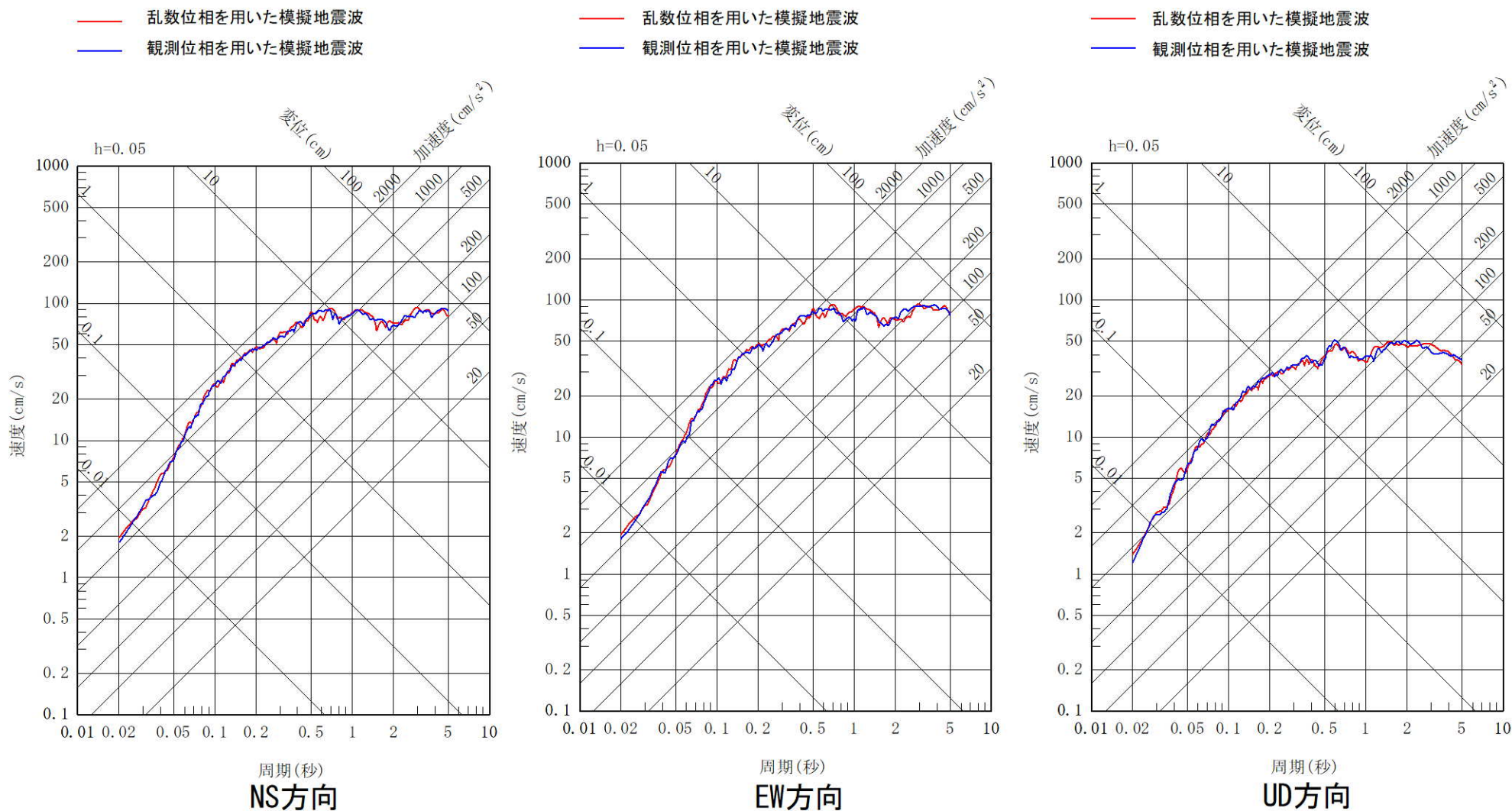
● 観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波



2.4 解放基盤表面の地震波の比較

■ 解放基盤表面の地震波の比較：②応答スペクトル

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の応答スペクトルを以下に示す。
- 解放基盤表面での両者の応答スペクトルは同程度であり、位相の違いによる影響がないことを確認。

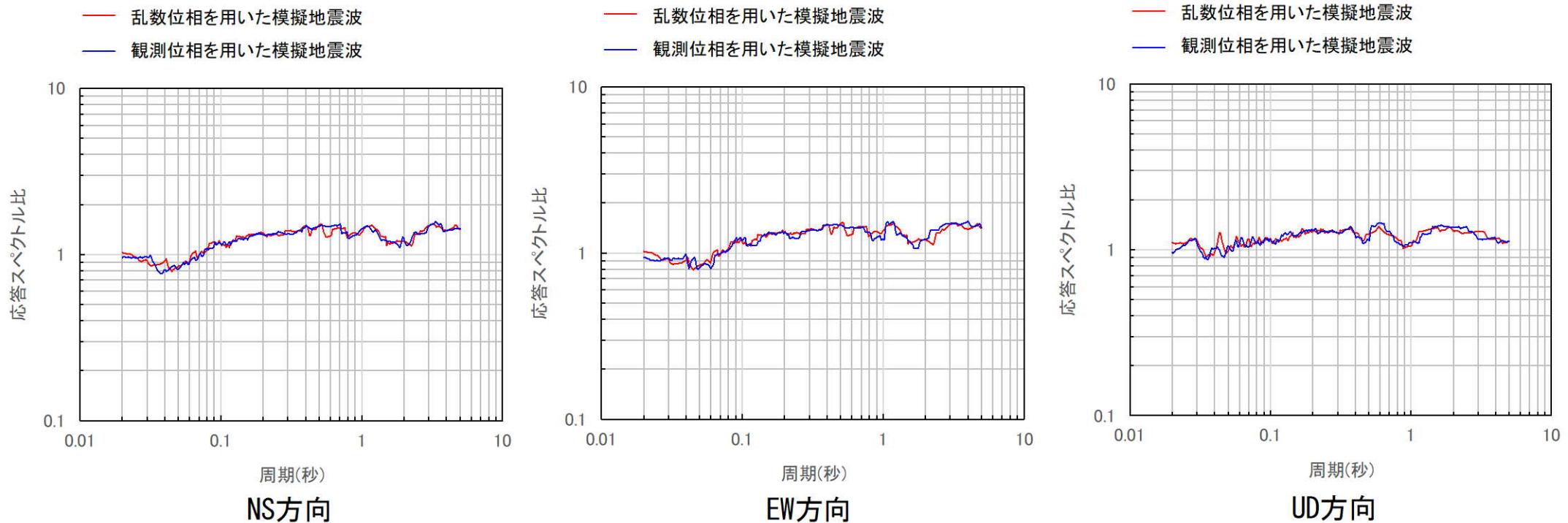


解放基盤表面の地震波の応答スペクトル

2.4 解放基盤表面の地震波の比較

■ 解放基盤表面の地震波の比較：②応答スペクトル

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波について、地震基盤相当面における応答スペクトルに対する解放基盤表面における応答スペクトルの比を示す。
- 両者の応答スペクトル比は同程度であり、位相の違いによる影響がないことを確認。



応答スペクトルの比(解放基盤表面/地震基盤相当面)

2.4 解放基盤表面の地震波の比較

■ 解放基盤表面の地震波の比較結果

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の比較結果を以下に示す。
- 比較の結果、時刻歴波形については、観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波よりも乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の方が最大加速度が大きく強震部の継続時間が長いこと、応答スペクトルについては、応答値の大きさ及び応答値の比の大きさともに、両者が同程度であることを確認した。
- 以上より、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価においては、乱数位相を用いた模擬地震波を採用する。

解放基盤表面の地震波の比較結果

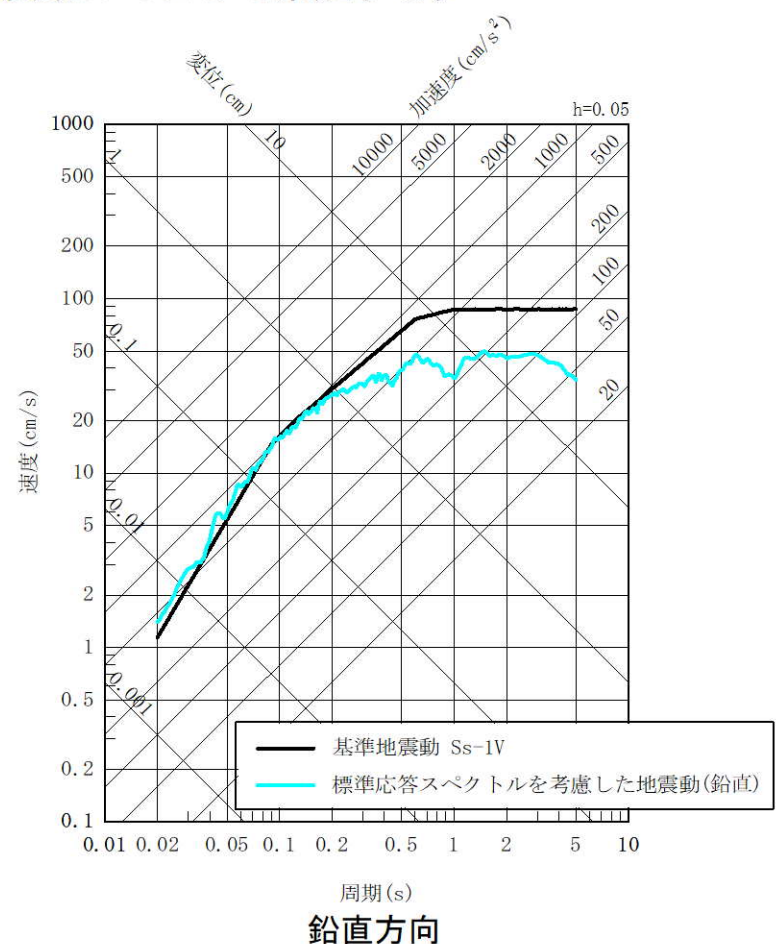
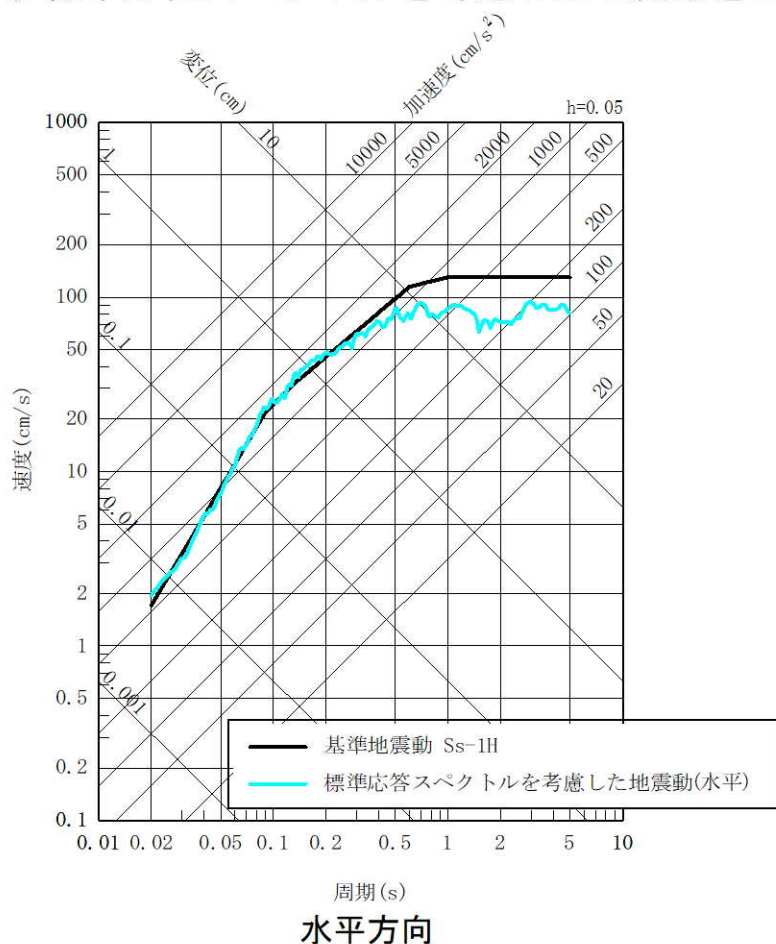
比較・検討項目	着目点	比較結果
①時刻歴波形	最大加速度の大きさ	観測位相を用いた模擬地震波よりも乱数位相を用いた模擬地震波の方が大きい
	強震部の継続時間の長さ	観測位相を用いた模擬地震波よりも乱数位相を用いた模擬地震波の方が長い
②応答スペクトル	周期ごとの応答値の大きさ	乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度
	周期ごとの応答値の比の大きさ	乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度

3. 基準地震動の策定

3. 基準地震動の策定

■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動による基準地震動の策定

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動による基準地震動の策定にあたっては、標準応答スペクトルを考慮した地震動の応答スペクトルがいずれかの周期帯で基準地震動Ss-1の応答スペクトルを上回る場合、新たに基準地震動として策定する。
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動は、一部の周期帯で基準地震動Ss-1を上回る。
- このため、標準応答スペクトルを考慮した地震動を基準地震動Ss-6として策定する。

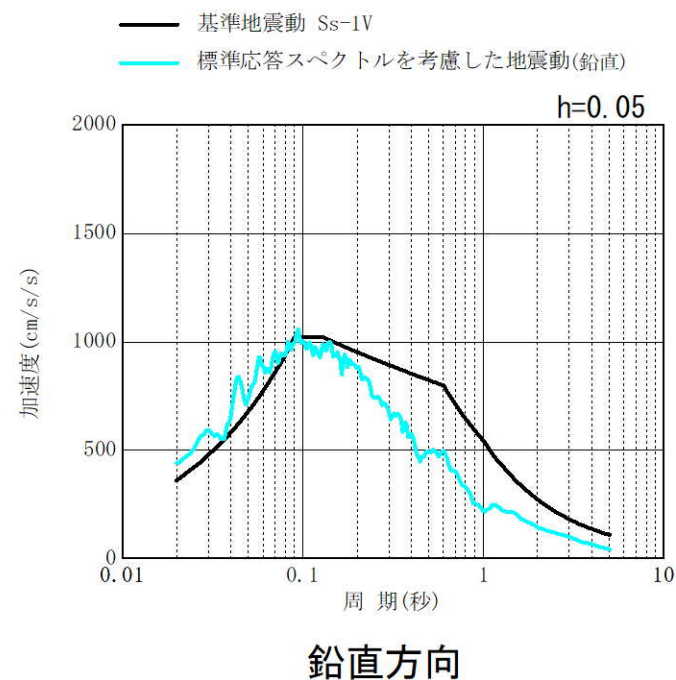
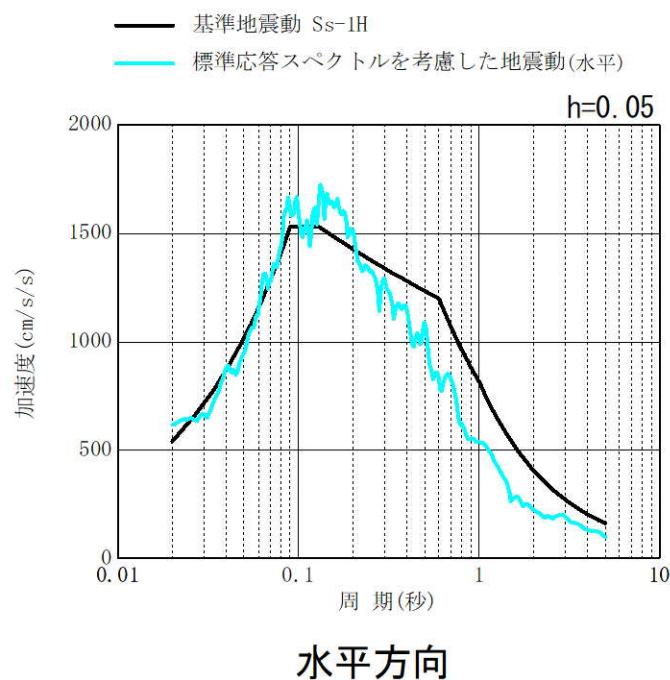


標準応答スペクトルを考慮した地震動と基準地震動Ss-1との応答スペクトルの比較

3. 基準地震動の策定

■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動による基準地震動の策定

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動の水平成分は、周期0.2秒付近より長周期側では基準地震動Ss-1を下回るが、周期0.2秒付近より短周期側の一部の周期帯（0.02~0.03秒付近、0.04秒付近、0.06~0.2秒付近）では、基準地震動Ss-1を上回る。
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動の鉛直成分は、周期0.09秒付近より長周期側では基準地震動Ss-1を下回るが、周期0.09秒付近より短周期側では、基準地震動Ss-1を上回る。

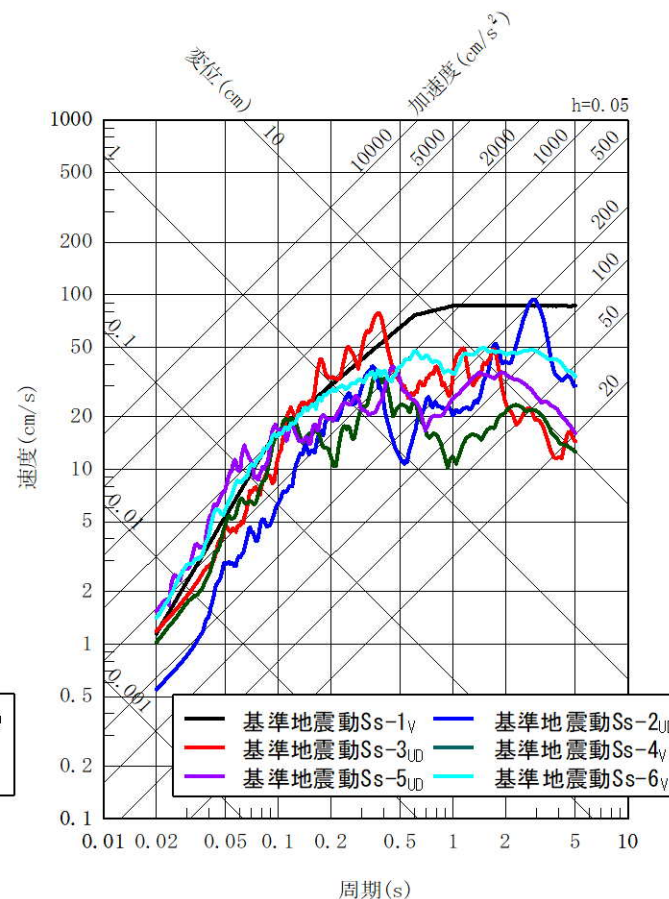
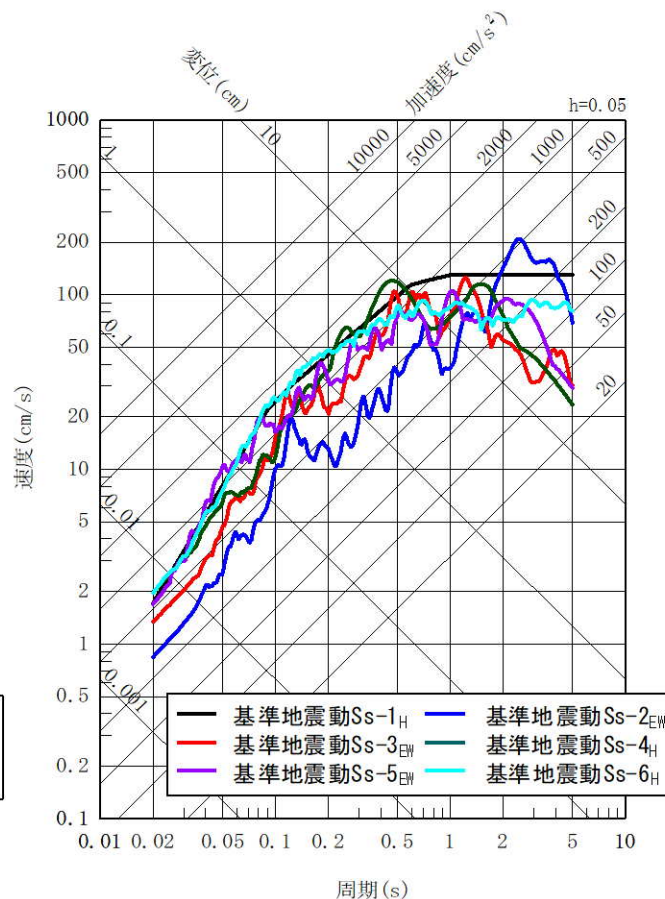
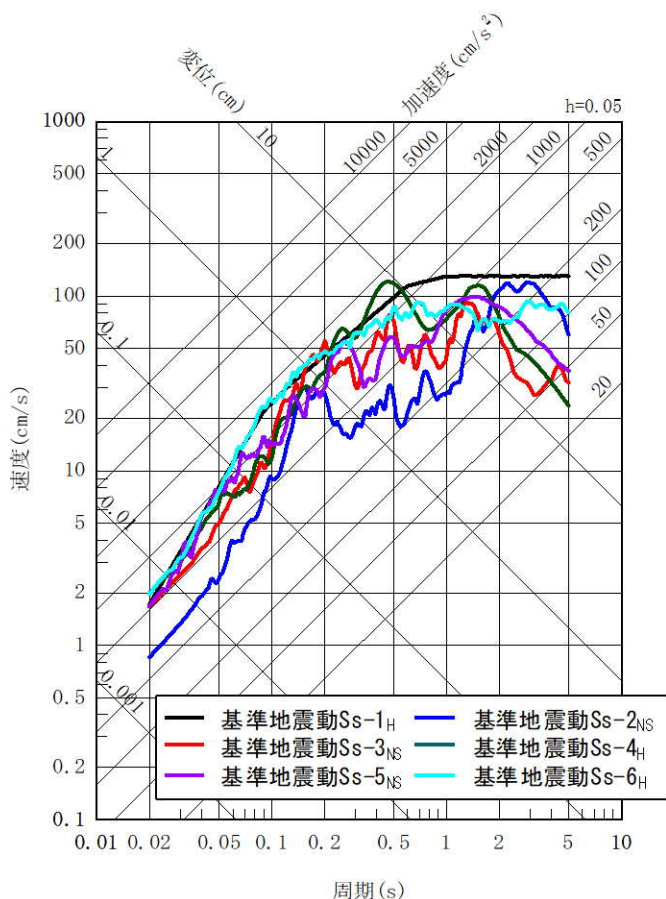


標準応答スペクトルを考慮した地震動と基準地震動Ss-1との応答スペクトルの比較

3. 基準地震動の策定

■ 基準地震動の応答スペクトル

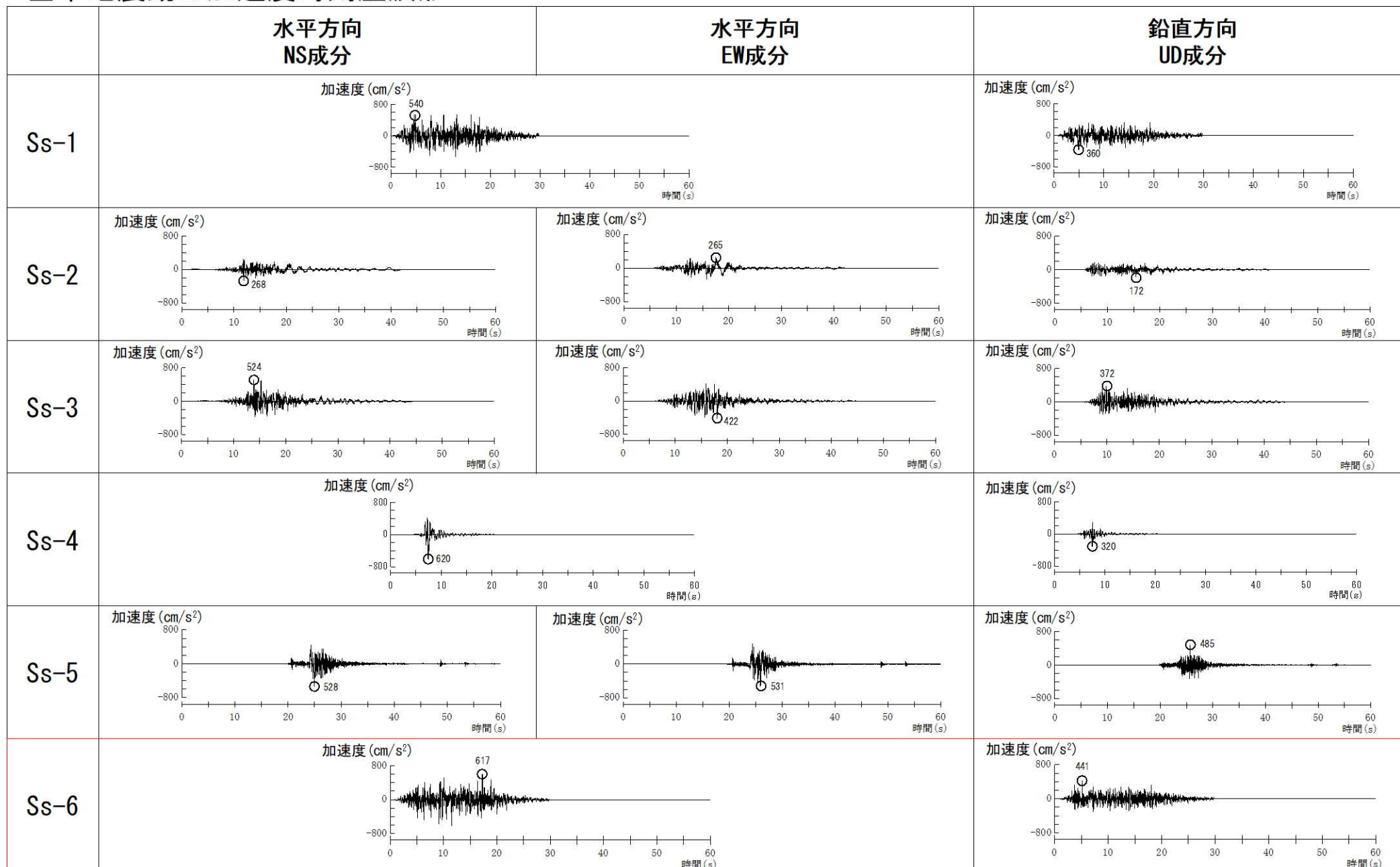
- 基準地震動Ss-1～Ss-6の応答スペクトルを以下に示す。



基準地震動の応答スペクトル

3. 基準地震動の策定

■ 基準地震動の加速度時刻歴波形



3. 基準地震動の策定

■ 基準地震動の最大加速度一覧

基準地震動の最大加速度(単位:cm/s²)

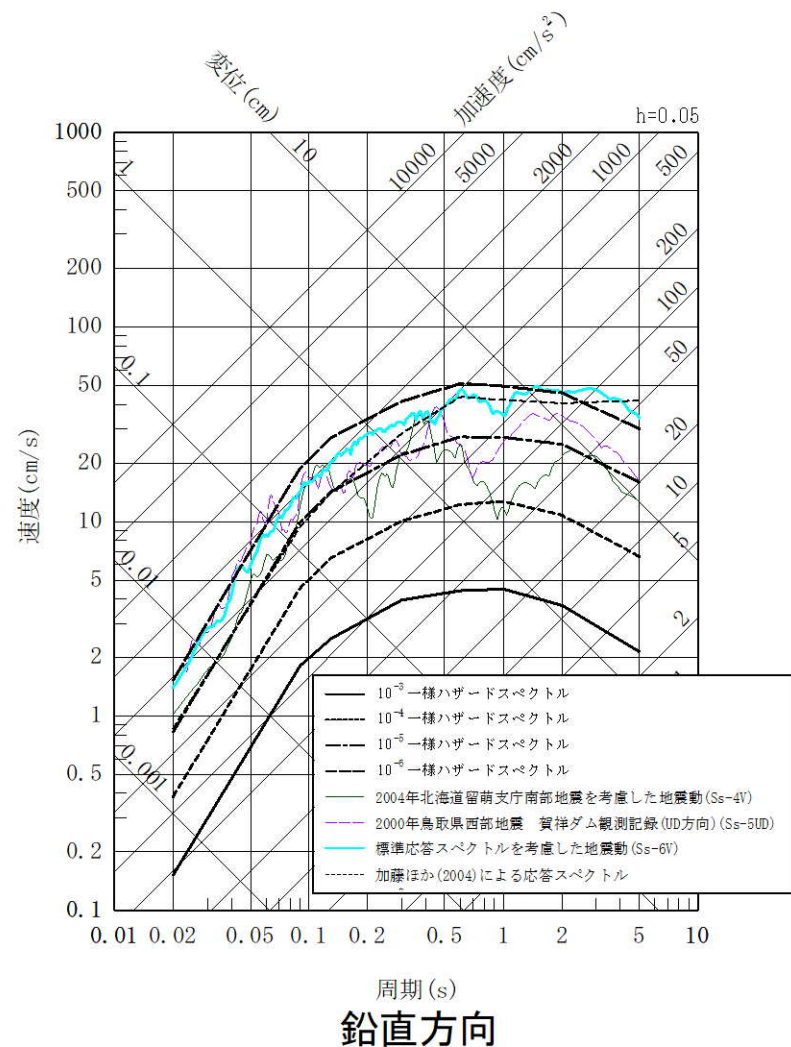
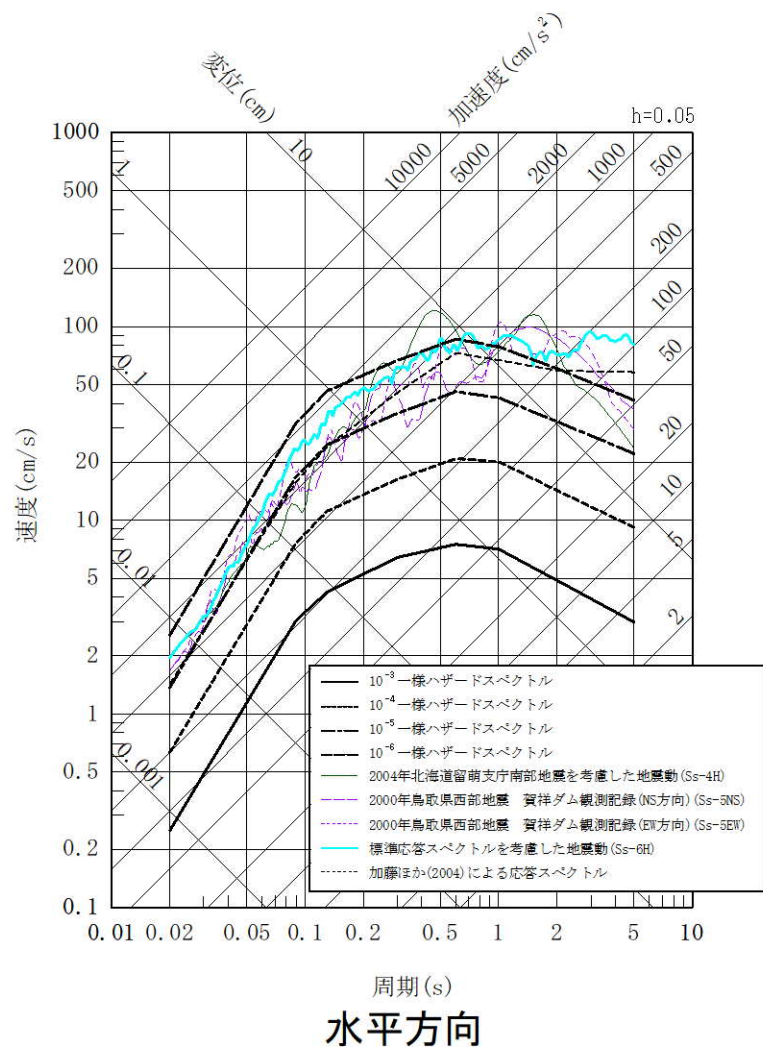
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動		Ss	水平方向 NS成分	水平方向 EW成分	鉛直方向 UD成分
応答スペクトルに基づく手法		Ss-1	540		360
断層モデルを用いた手法	城山南断層	Ss-2	268	265	172
	竹木場断層	Ss-3	524	422	372
震源を特定せず策定する地震動		Ss	水平方向 NS成分	水平方向 EW成分	鉛直方向 UD成分
全国共通に考慮すべき 地震動(Mw6.5程度未満)	留萌地震	Ss-4	620		320
地域性を考慮する地震動 (Mw6.5程度以上)	鳥取県西部地震	Ss-5	528	531	485
全国共通に考慮すべき 地震動(Mw6.5程度未満)	標準応答スペクトル	Ss-6	617		441

4. 超過確率の参照

4. 超過確率の参照

■ 「震源を特定せず策定する地震動」の超過確率

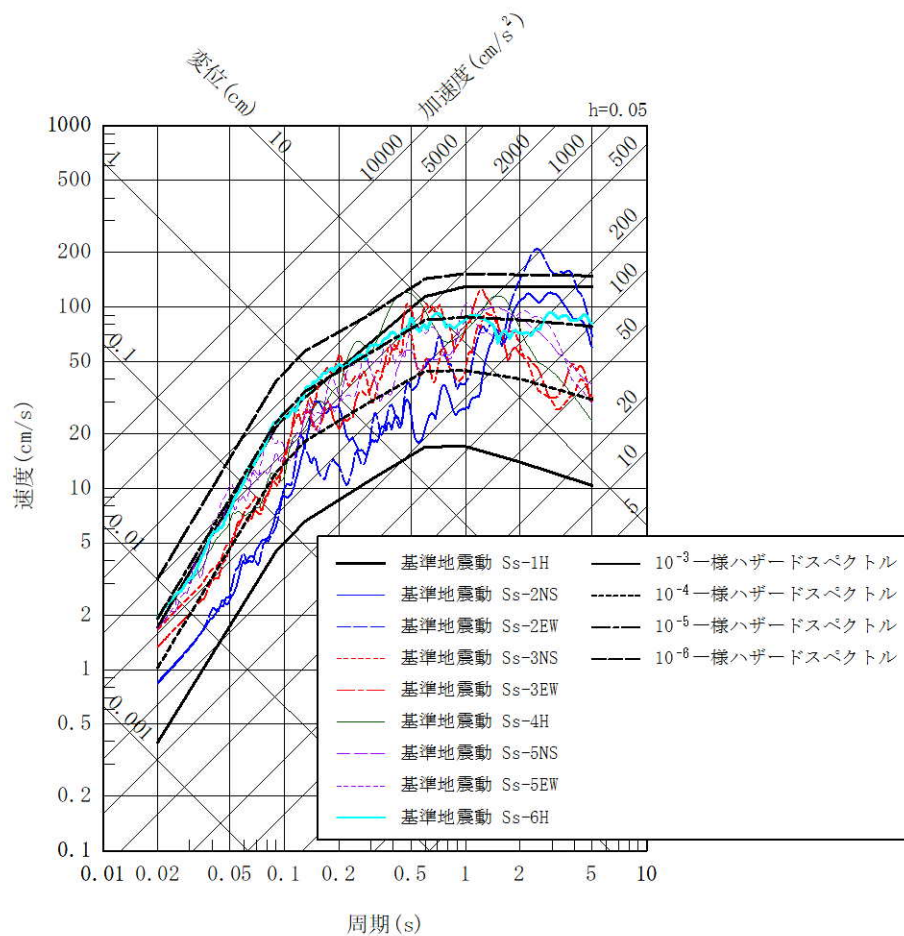
- 「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較する。
- 「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認。



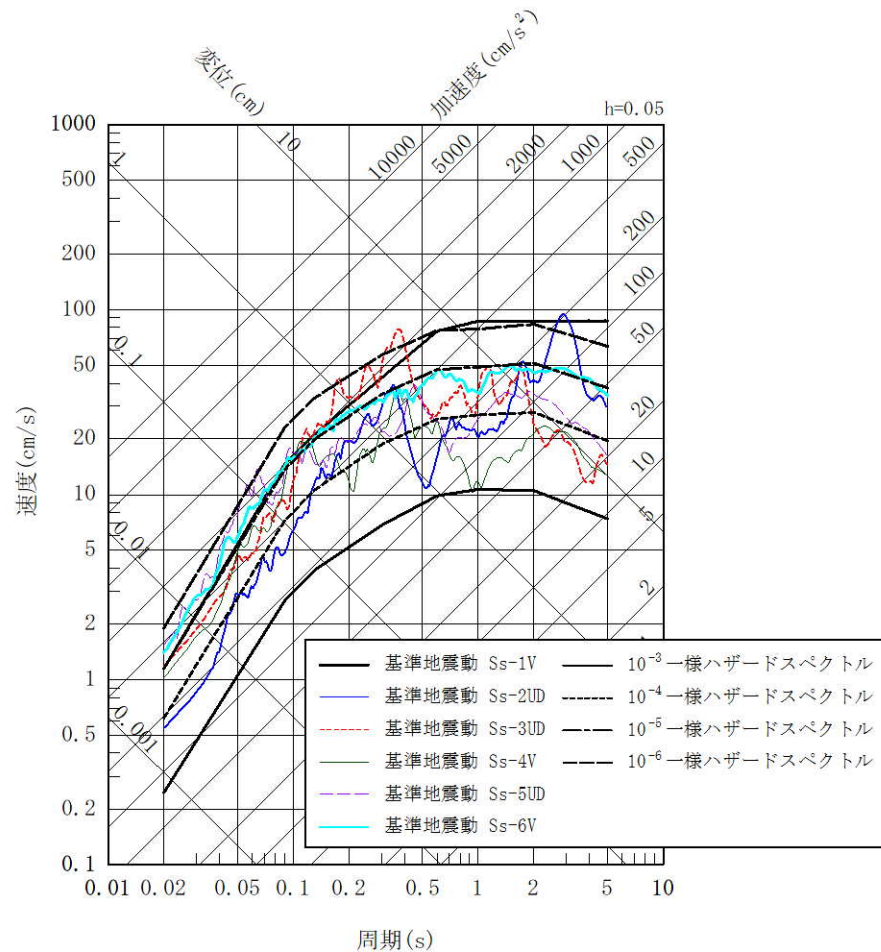
4. 超過確率の参照

■ 基準地震動の超過確率

- 基準地震動の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「特定震源モデル」及び「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較する。
- 基準地震動の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認。



水平方向



鉛直方向

5. まとめ

5. まとめ

【模擬地震波の作成】

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる模擬地震波は、乱数位相を用いる方法と観測位相を用いる方法の2つの方法と比較する方針とし、以下の通り確認したことから、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価においては乱数位相を用いた模擬地震波を採用した。
 - 解放基盤表面における時刻歴波形の最大加速度について、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波の方が大きい
 - 解放基盤表面における時刻歴波形の強震部の継続時間について、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波の方が長い
 - 解放基盤表面における応答スペクトルについて、乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度
 - 地震基盤相当面における応答スペクトルに対する解放基盤表面における応答スペクトルの比について、乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度

【基準地震動の策定】

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動は、一部の周期帯で基準地震動 $Ss-1$ を上回ることから基準地震動 $Ss-6$ として策定した。

【超過確率の参照】

- 「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較した結果、「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認した。
- 基準地震動の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「特定震源モデル」及び「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較した結果、基準地震動の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認した。

【参考】 解放基盤表面の地震波の作成における地盤減衰（Q値）の影響

【参考】解放基盤表面の地震波の作成における地盤減衰（Q値）の影響

■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデルの設定

- 第1142回審査会合では、既許可降取得した地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき設定した地下構造モデルについて、地盤減衰（Q値）の見直しを行い、標準応答スペクトル用モデルを設定することを説明。
- 地盤減衰（Q値）の見直しを行ったことによる、解放基盤表面での地震動レベルへの影響について、次頁にて確認。

■ 標準応答スペクトル用モデルの設定

- 前頁を踏まえ、設定した地下構造モデルを以下の通り見直す。
 - 見直し後の地下構造モデルを用いて、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施する。
- ※ 地盤減衰（Q値）の見直しにより地震動レベルは、最大加速度で10～20cm/s²程度増大すると想定。

第1142回
審査会合資料

設定した地下構造モデル

標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル
(標準応答スペクトル用モデル)

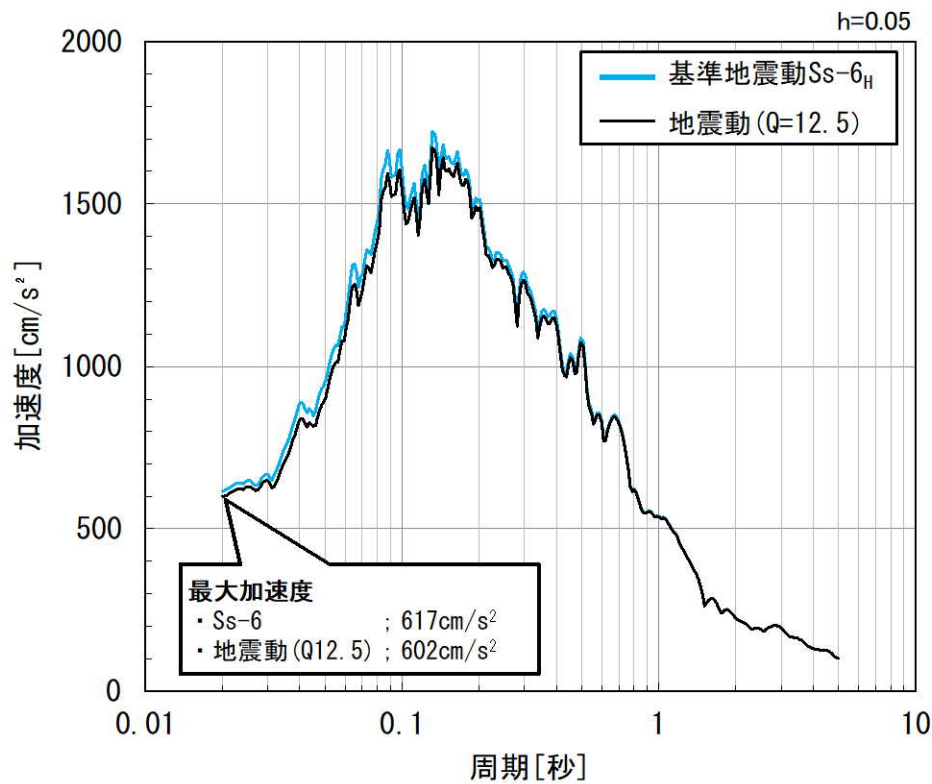
EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
解放基盤表面										
-15m	0.0	2.35	1350	3000	12.5	0.0	2.35	1350	3000	12.5
-50m						-0.035	2.35	1570	3440	12.5
-90m	-0.035	2.35	1570	3440	12.5	-0.075	2.35	1570	3440	16.7
-100m	-0.085	2.35	1730	3470	12.5	-0.085	2.35	1730	3470	16.7
-150m	-0.135	2.35	1770	3650	12.5	-0.135	2.35	1770	3650	16.7
-200m	-0.185	2.40	2100	4000	200	-0.185	2.40	2100	4000	200
-1804m	-1.789	2.60	3100	5500	300	-1.789	2.60	3100	5500	300

16.7 : 見直し範囲

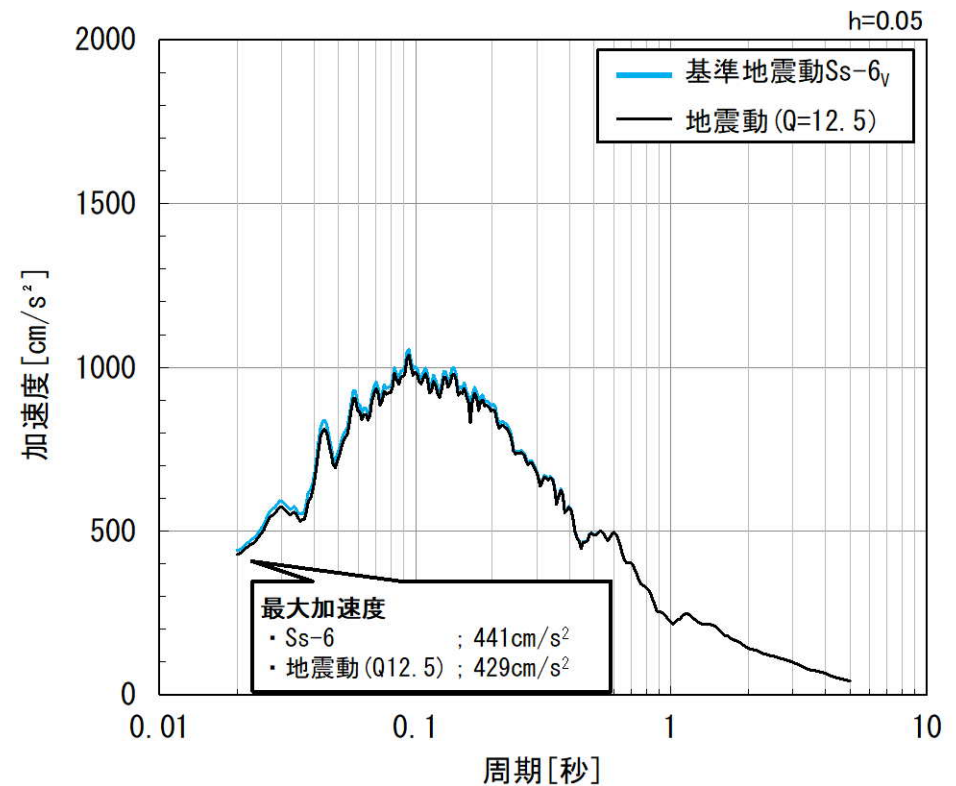
【参考】解放基盤表面の地震波の作成における地盤減衰（Q値）の影響

■ 地盤減衰（Q値）の見直しに伴う解放基盤表面での地震動レベルへの影響

- 基準地震動Ss-6について、地盤減衰（Q値）の見直し前（ $Q=12.5$ ）の地震動との比較結果を下図に示す。
- 基準地震動Ss-6の最大加速度は、地盤減衰（Q値）の見直し前（ $Q=12.5$ ）の地震動に比べて、水平； 15cm/s^2 、鉛直； 12cm/s^2 大きくなっており、応答スペクトルの短周期帯でも基準地震動Ss-6が大きい傾向にあることを確認した。



水平方向



鉛直方向

参考文献

- 1) 日本電気協会(2015):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015,一般社団法人日本電気協会
- 2) S. Noda, K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering, Oct. 16-18, 399-408.
- 3) 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係,地震 第2輯,第43巻.
- 4) H. Kanamori(1977): The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.82, No.20, 2981-2987.