

## 原子力科学研究所(JRR-3)

# 基準地震動に対する標準応答スペクトルの影響検討

令和3年9月3日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. 検討概要	.....	3
2. 標準応答スペクトルの影響検討	.....	4
3. 参考文献	.....	14
4. 参考資料	.....	15

## 1. 検討概要

- 試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈の一部改正により、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当たっては、「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。
- 本資料では、標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定し、標準応答スペクトルを考慮した地震動が、平成30年11月7日付けで設置変更許可(以下「既許可」という。)を受けた原子力科学研究所のJRR-3原子炉施設(以下「JRR-3」という。)の基準地震動に包絡され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. 標準応答スペクトルの影響検討 検討方針

- 新たに制定された標準応答スペクトルに基づく地震動と基準地震動S<sub>s</sub>-Dの比較を行う。

### ■ 標準応答スペクトルの概要

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(地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層をいう。)における標準応答スペクトルとして次の図に示すものとする。

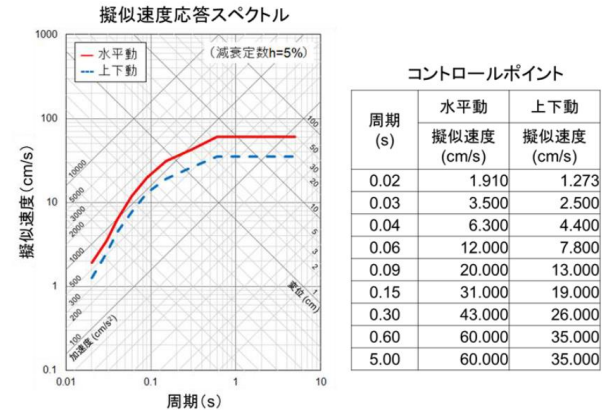


図 地震基盤相当面における標準応答スペクトル  
※2021年4月21日原子力規制委員会資料より抜粋



基準地震動S<sub>s</sub>を策定している解放基盤表面のせん断波速度 $V_s$

### 検討方針

710m/s

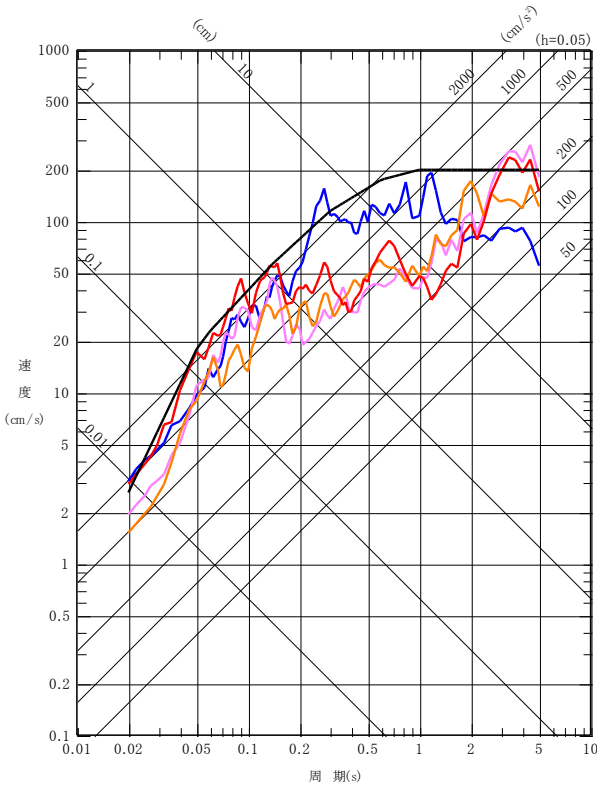
- 標準応答スペクトルに対し、地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝搬特性を解放基盤表面の応答スペクトルに反映させるとともに、設定された応答スペクトルと基準地震動S<sub>s</sub>-Dとを比較し影響を確認する。検討は、以下の2つの方法で実施した。
- 地震基盤相当面については、既許可の地盤構造モデルにおいて、 $V_s=2200\text{m/s}$ に最も近い $V_s=2000\text{m/s}$ の層上面(G.L.-0.983km)に設定し、評価を実施※<sup>1</sup>。【本編資料の記載】
- また、標準応答スペクトルで定義されている地震基盤相当面(せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層)を踏まえ、JRR-3の地盤構造モデルの地震基盤相当面の地盤物性を考慮した検討を実施。【参考資料に記載】

※1:「基準地震動が変更が不要であることを説明する文書(R3.7.7提出)」の報告内容。

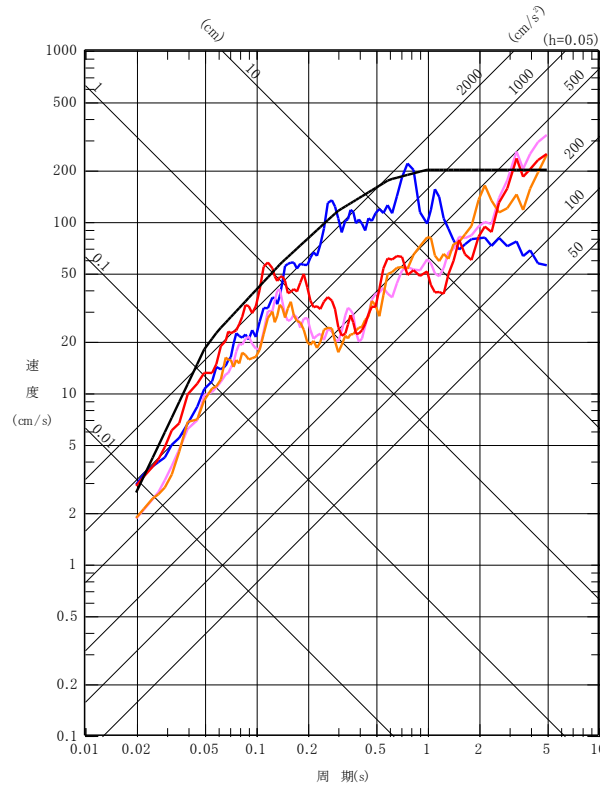
## 2. 標準応答スペクトルの影響検討 基準地震動Ssの応答スペクトル

- 既許可の基準地震動Ss※1の応答スペクトルを示す。
- 標準応答スペクトルの影響検討結果については、既許可における基準地震動Ss-Dとの比較を実施。

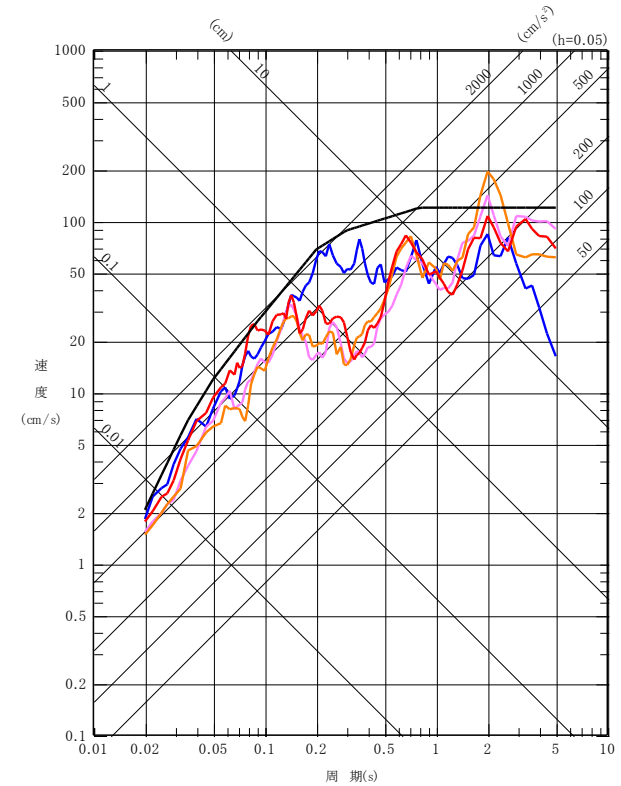
- Ss-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-1 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-2 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-3 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-4 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)



NS成分



EW成分



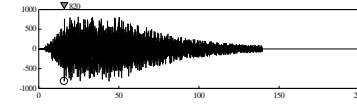
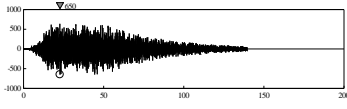
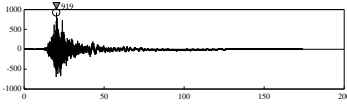
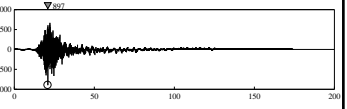
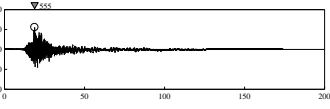
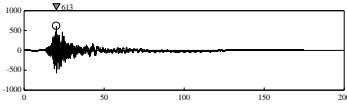
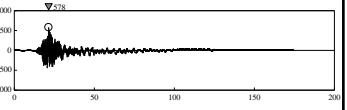
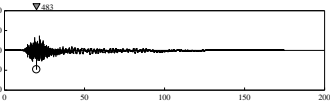
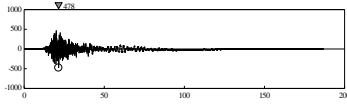
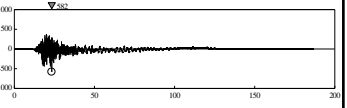
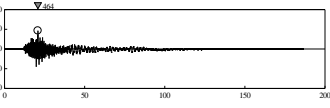
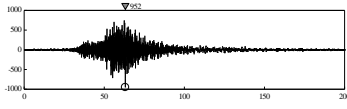
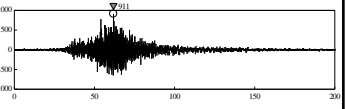
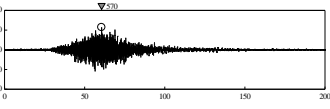
UD成分

速度応答スペクトル(cm/s)

※1 平成30年11月7日付で設置変更許可を受けた基準地震動

## 2. 標準応答スペクトルの影響検討 基準地震動 $S_s$ (最大加速度値)

- 既許可の基準地震動 $S_s$ ※1の最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度※2 (cm/s <sup>2</sup> )		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D	応答スペクトル手法による基準地震動	820 		650 
Ss-1	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	919 	897 	555 
Ss-2	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	613 	578 	483 
Ss-3	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)	478 	582 	464 
Ss-4	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	952 	911 	570 

※1 平成30年11月7日付けで設置変更許可を受けた基準地震動

※2 表中のグラフは各基準地震動 $S_s$ の加速度時刻歴波形(縦軸:加速度[cm/s<sup>2</sup>], 横軸:時間[s])

## 標準応答スペクトルを考慮した地震動の検討

- 試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈の一部改正を踏まえ、JRR-3において、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施する。
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を以下の流れで実施する。

### 【標準応答スペクトルを考慮した地震動の検討の流れ】

①地盤構造モデルを設定



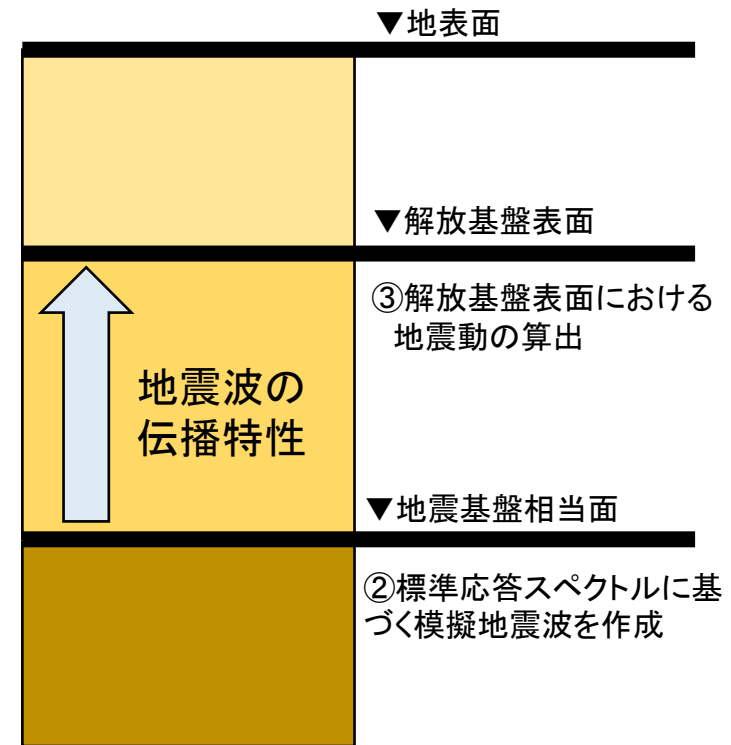
②地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の作成



③解放基盤表面における地震動の算出



④現行の基準地震動Ss-Dとの比較



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. 標準応答スペクトルの影響検討 地盤構造モデルの設定

- 既許可の地盤構造モデルを下記に示す。
- 標準応答スペクトルは地震基盤相当面(せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層をいう。)で定義されており、当該地盤においては、 $V_s=2200\text{m/s}$ に最も近い $V_s=2000\text{m/s}$ ※<sup>1</sup>の層上面(G.L.-0.983km)に設定する。

※1: 標準応答スペクトルの地震基盤相当面は $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層であると定義されているが、参考文献<sup>1),2),3),4),5)</sup>より、「地震基盤相当面」の物理的意味としては「地震基盤」からの地盤増幅率が小さく地震動として地震基盤面と同等とみなせる地盤の解放面であり、「地震基盤相当面」は $V_s=2000\sim 3000\text{m/s}$ 程度の地層と解釈し、既許可の地盤構造モデルにおいて $V_s=2200\text{m/s}$ と近い値である $V_s=2000\text{m/s}$ (G.L.-0.983km)とした。

- 設定した地震基盤相当面に模擬地震波を入力し、地震応答解析により、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評価を実施する。

既許可の地盤構造モデル※<sup>2</sup>

	層番号	上面 G.L. (km)	層厚 (km)	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	水平成分			鉛直成分		
					S波速度 (km/s)	減衰定数		P波速度 (km/s)	減衰定数	
						Qs	hs		Qp	hp
▼解放基盤表面	1	0.000	0.360	—	—	—	—	—	—	—
▼地震基盤相当面	2	-0.360	0.287	1.86	0.710	100	0.005	2.040	100	0.005
	3	-0.647	0.327	2.11	1.200			2.610		
	4	-0.974	0.009	2.24	1.500			3.100		
	5	-0.983	0.014	2.42	2.000			3.950		
	6	-0.997	0.013	2.57	2.500			4.800		
	7	-1.010	3.790	2.66	2.900	5.490	$110 \times f^{0.69}$	$0.0045 \times f^{-0.69}$		
	8	-4.800	12.640	2.70	3.600	5.960				
	9	-17.440	14.560	2.80	4.170	6.810				
10	-32.000	$\infty$	3.20	4.320	7.640					

※2: 平成30年11月7日付で設置変更許可を受けた地盤構造モデル



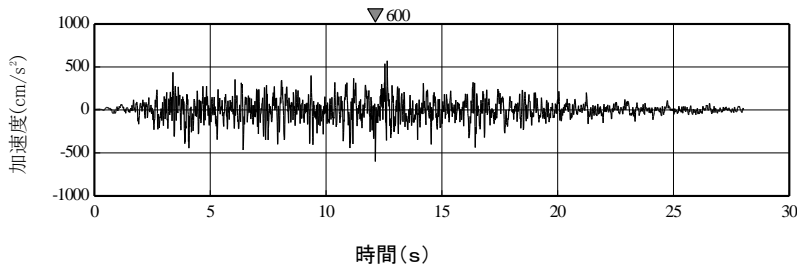
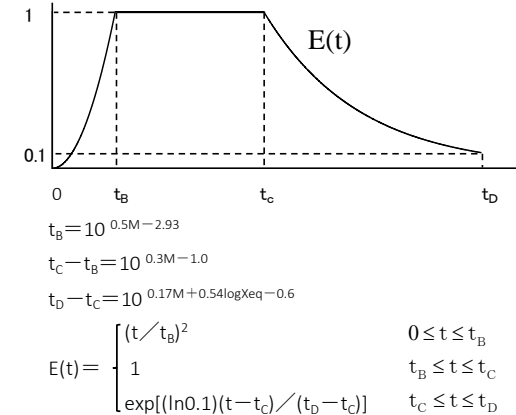
## 2. 標準応答スペクトルの影響検討

## 地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の作成(作成結果)

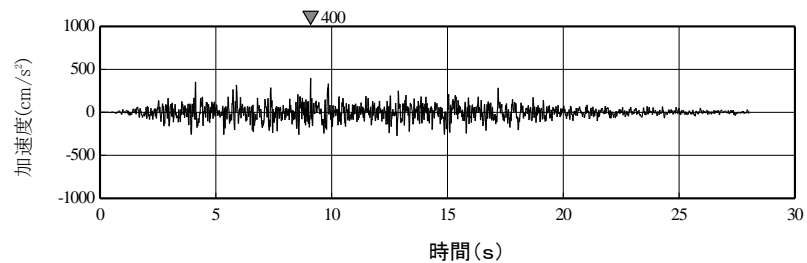
- 乱数位相を用いた模擬地震波は、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するものとし、振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)<sup>2)</sup>の方法に基づき、下記に示す形状とする。

模擬地震波	目標最大 加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的変化(s)		
			t <sub>B</sub>	t <sub>C</sub>	t <sub>D</sub>
水平成分	600	28.0	3.3	15.0	28.0
鉛直成分	400	28.0	3.3	15.0	28.0

マグニチュード:M=6.9、等価震源距離:Xeq=10km



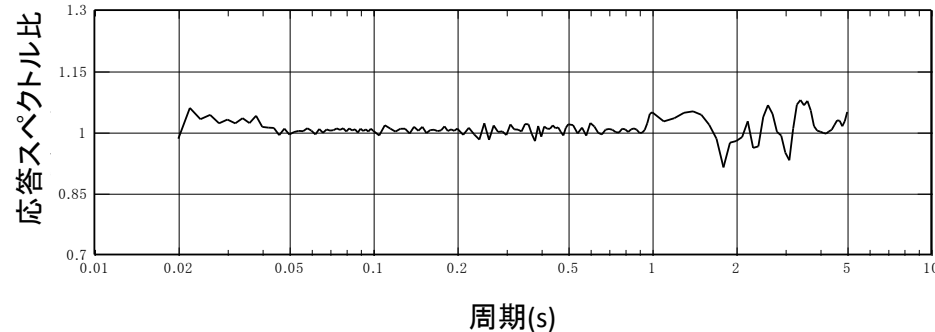
水平成分



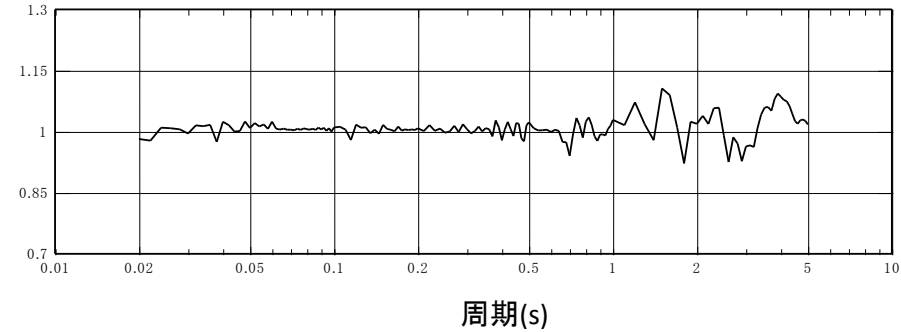
鉛直成分

地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波(加速度時刻歴波形)

- 作成した模擬地震波が、日本電気協会(2008)に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認する。
- 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比(応答スペクトル比)が全周期帯で0.85以上、応答スペクトルの強度値の比(SI比)が1.0以上である。



応答スペクトル比(水平成分)



応答スペクトル比(鉛直成分)

応答スペクトルの強度比(SI比)

模擬地震波	SI比
水平成分	1.01
鉛直成分	1.02

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

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

ただし、

$R(T)$ : 応答スペクトル比

$T$ : 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

ただし、

SI: 応答スペクトル強さ

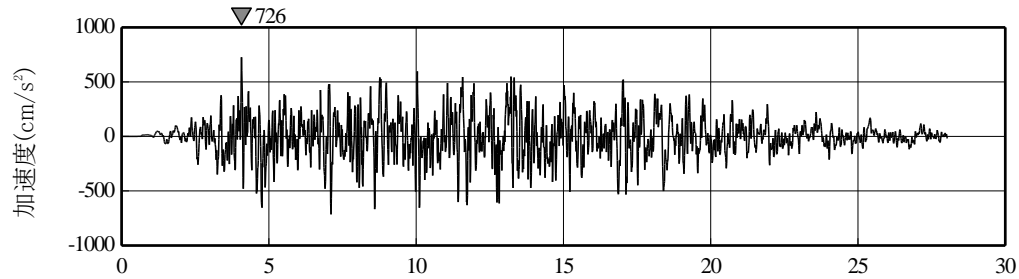
$S_v(T)$ : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$\bar{S}_v(T)$ : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

$T$ : 固有周期(s)

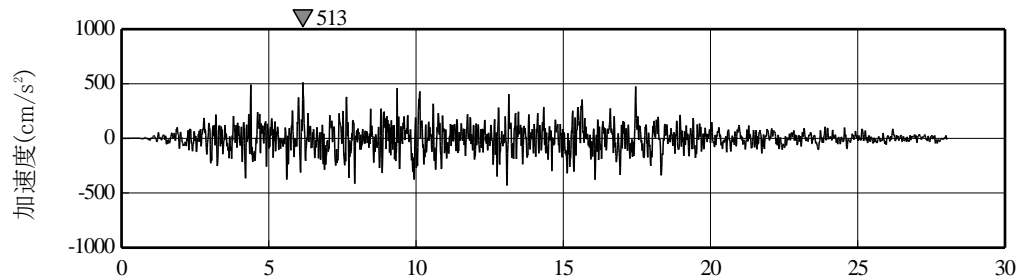
作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)に示される適合度の条件を満足していることを確認した。

- P9,p10で作成した模擬地震波を地震基盤相当面に入力し、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評価する。
- 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下記に示す。



時間(s)

水平成分



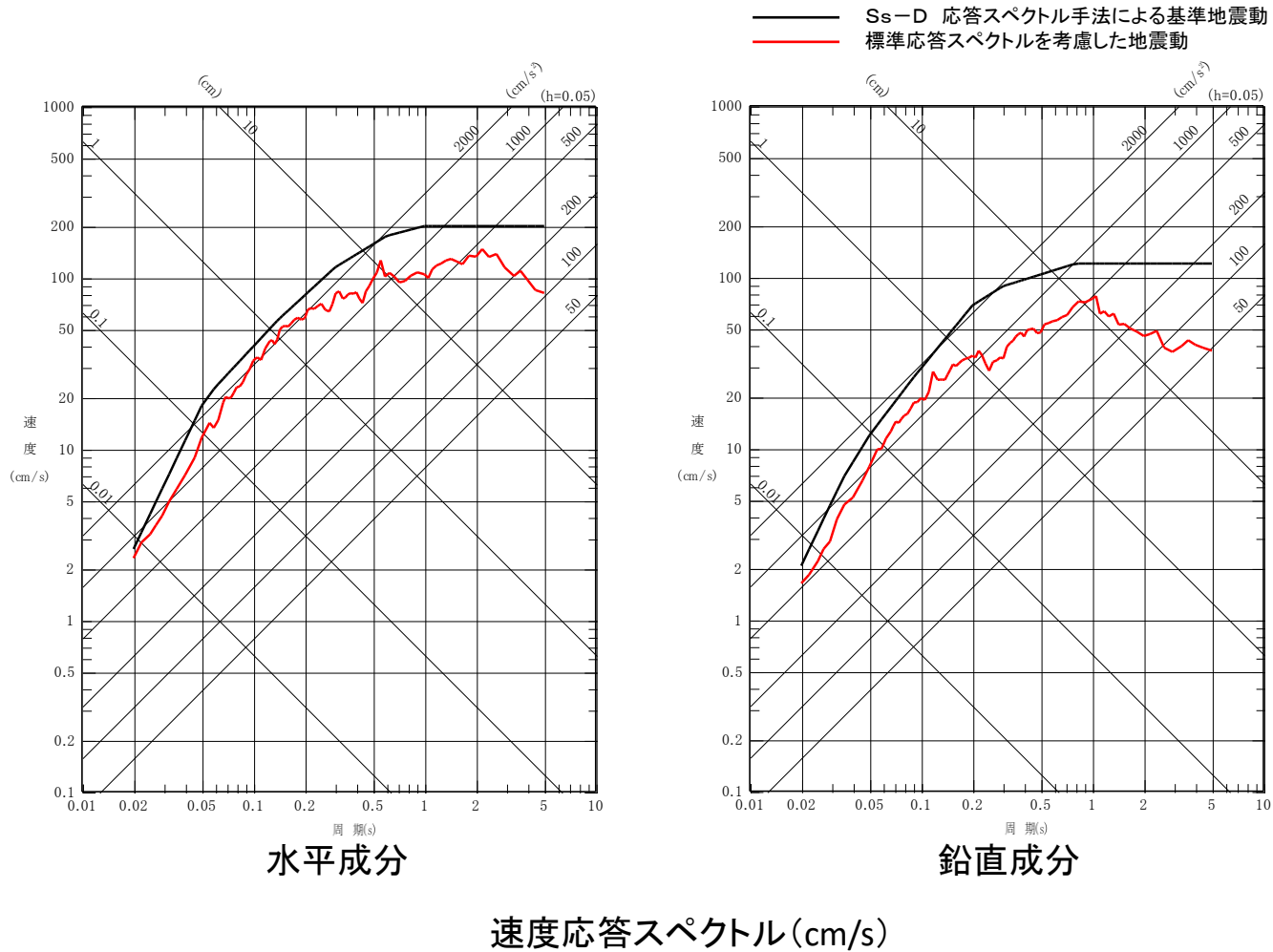
時間(s)

鉛直成分

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(加速度時刻歴波形)

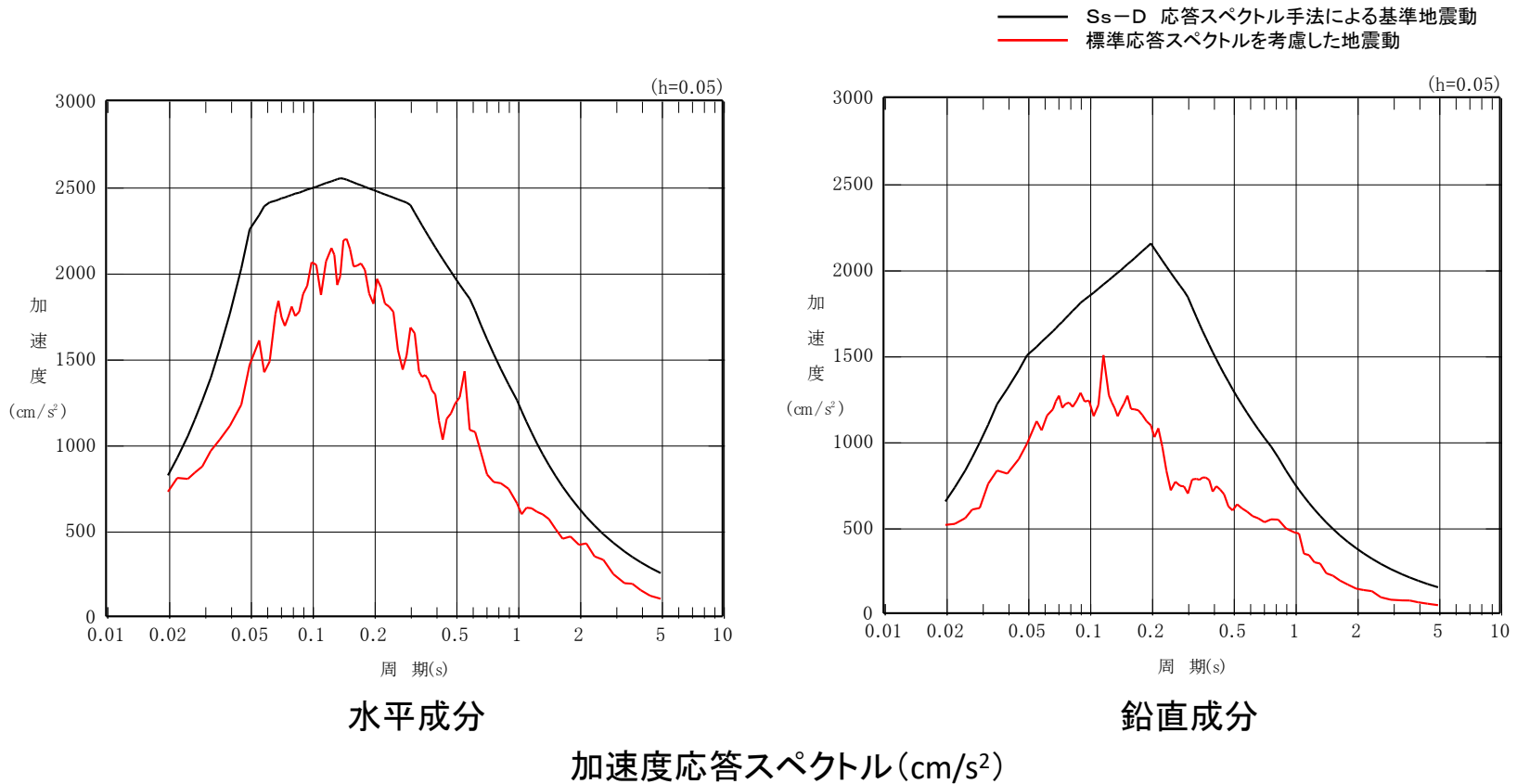
## 2. 標準応答スペクトルの影響検討 基準地震動Ss-Dとの比較(速度応答スペクトル)

- 標準応答スペクトル考慮した地震動と基準地震動Ss-Dを比較する。



標準応答スペクトルを考慮した地震動の検討結果は、全周期帯でSs-Dを下回ることを確認した。

## 2. 標準応答スペクトルの影響検討 基準地震動Ss-Dとの比較(加速度応答スペクトル)



標準応答スペクトルを考慮した地震動の検討結果は、全周期帯でSs-Dを下回ることを確認した。

### 3. 参考文献

- 1) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム(2019): 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討報告書、令和元年8月7日.
- 2) Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide Watanabe. RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES. OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Istanbul, 16-18 October, 2002.
- 3) 加藤研一、武村雅之、八代和彦(1998): 強震記録から評価した短周期震源スペクトルの地域特性、地震第2輯、51巻、123-138.
- 4) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム(2019): 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討報告書 参考資料 標準応答スペクトルに係る検討について、令和元年8月7日.
- 5) 日本電気協会(2015): 原子力発電所耐震設計技術指針、JEAG4601-2015.

4. 1	JRR-3の地盤構造モデルの地震基盤相当面の地盤物性を考慮した検討	16
------	-----------------------------------	----

- 標準応答スペクトルは地震基盤相当面(せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層をいう。)で定義されており、微動アレイ観測記録に基づく地盤同定解析により、当該地盤構造モデルにおけるせん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ の層を推定する。
- 推定した地盤構造モデルをもとに、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施する。

地盤構造モデル

層番号	上面 G.L. (km)	層厚 (km)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	水平成分		鉛直成分			
				S波速度 (km/s)	減衰定数		P波速度 (km/s)	減衰定数	
					Qs	hs		Qp	hp
1	0.000	0.360	—	—	—	—	—	—	
2	-0.360	0.287	1.86	0.710	—	—	2.040	—	
3	-0.647	0.327	2.11	1.200	—	—	2.610	—	
4	-0.974	0.009	2.24	1.500	100	0.005	3.100	100 0.005	
5	-0.983	0.014	2.42	2.000	110×f <sup>0.69</sup>	0.0045×f <sup>-0.69</sup>	3.950	110×f <sup>0.69</sup> 0.0045×f <sup>-0.69</sup>	
6	-0.997	0.013	2.57	2.500			4.800		
7	-1.010	3.790	2.66	2.900	110×f <sup>0.69</sup>	0.0045×f <sup>-0.69</sup>	5.490	110×f <sup>0.69</sup> 0.0045×f <sup>-0.69</sup>	
8	-4.800	12.640	2.70	3.600			5.960		
9	-17.440	14.560	2.80	4.170			6.810		
10	-32.000	∞	3.20	4.320	—	—	7.640	—	

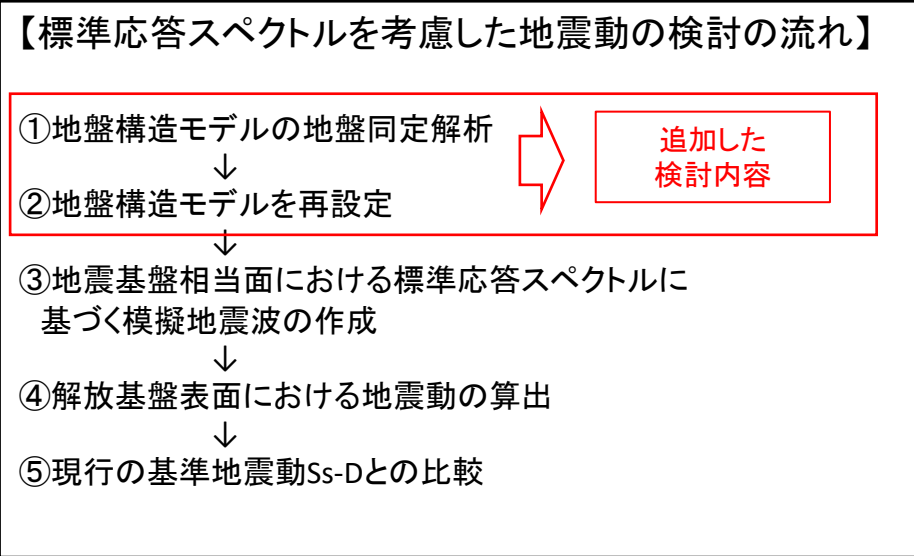
※赤枠は再設定の範囲



地盤同定解析結果を反映させた地盤構造モデル

層番号	上面 G.L. (km)	層厚 (km)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	水平成分		鉛直成分			
				S波速度 (km/s)	減衰定数		P波速度 (km/s)	減衰定数	
					Qs	hs		Qp	hp
1	0.000	0.360	—	—	—	—	—	—	
2	-0.360	0.287	1.86	0.710	—	—	2.040	—	
3	-0.647	0.327	2.11	1.200	—	—	2.610	—	
4	-0.974	0.009	2.24	1.500	100	0.005	3.100	100 0.005	
5	-0.983	0.027	2.42	2.000			3.950		
5'	-1.010	0.027	2.48	2.200	110×f <sup>0.69</sup>	0.0045×f <sup>-0.69</sup>	4.290	110×f <sup>0.69</sup> 0.0045×f <sup>-0.69</sup>	
6	-1.037	0.013	2.57	2.500			4.800		
7	-1.050	3.750	2.66	2.900			5.490		
8	-4.800	12.640	2.70	3.600	110×f <sup>0.69</sup>	0.0045×f <sup>-0.69</sup>	5.960	110×f <sup>0.69</sup> 0.0045×f <sup>-0.69</sup>	
9	-17.440	14.560	2.80	4.170			6.810		
10	-32.000	∞	3.20	4.320	—	—	7.640	—	

※赤枠は再設定の範囲





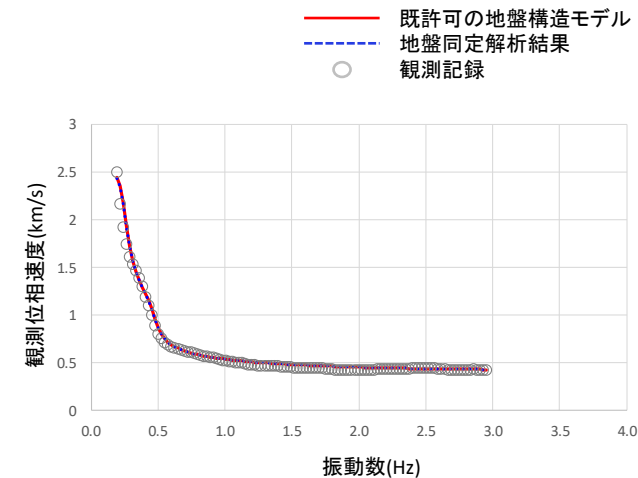
## 4. 1 JRR-3の地盤構造モデルの地震基盤相当面の地盤物性を考慮した検討 地盤構造モデルの地盤同定解析

- 微動アレイ観測記録に基づく地盤同定解析により、当該地盤構造モデルにおけるせん断波速度 $V_s = 2200\text{m/s}$ の層を推定する。
- 地盤同定解析結果を反映させた地盤構造モデルを以下に示す。

地盤同定解析結果を反映させた地盤構造モデル

層番号	上面 G.L. (km)	層厚 (km)	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	水平成分			鉛直成分		
				S波速度 (km/s)	減衰定数		P波速度 (km/s)	減衰定数	
					Qs	hs		Qp	hp
1	0.000	0.360	—	—	—	—	—	—	—
2	-0.360	0.287	1.86	0.710	100	0.005	2.040	100	0.005
3	-0.647	0.327	2.11	1.200			2.610		
4	-0.974	0.009	2.24	1.500			3.100		
5	-0.983	0.027	2.42	2.000			3.950		
5'	-1.010	0.027	2.48	2.200			4.290		
6	-1.037	0.013	2.57	2.500	4.800				
7	-1.050	3.750	2.66	2.900	5.490	$110 \times f^{0.69}$	$0.0045 \times f^{-0.69}$	$110 \times f^{0.69}$	$0.0045 \times f^{-0.69}$
8	-4.800	12.640	2.70	3.600	5.960				
9	-17.440	14.560	2.80	4.170	6.810				
10	-32.000	$\infty$	3.20	4.320	7.640				

※赤字は既許可の地盤構造モデルから変更になった値



理論位相速度と観測位相速度の比較

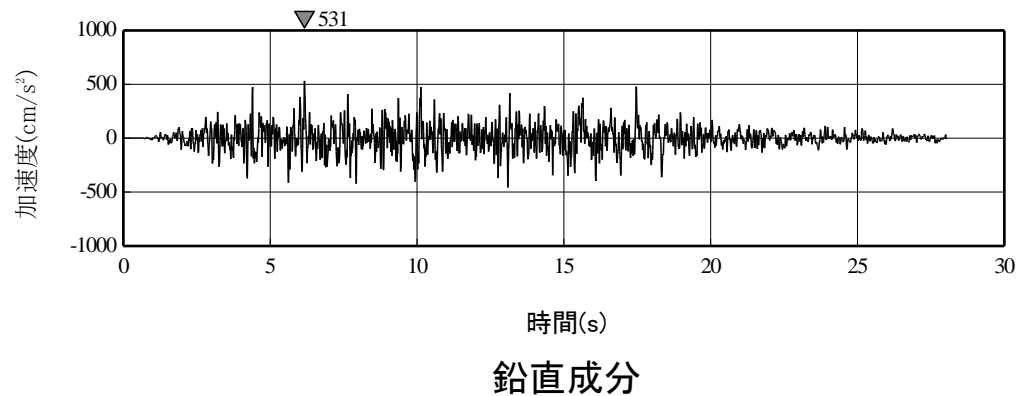
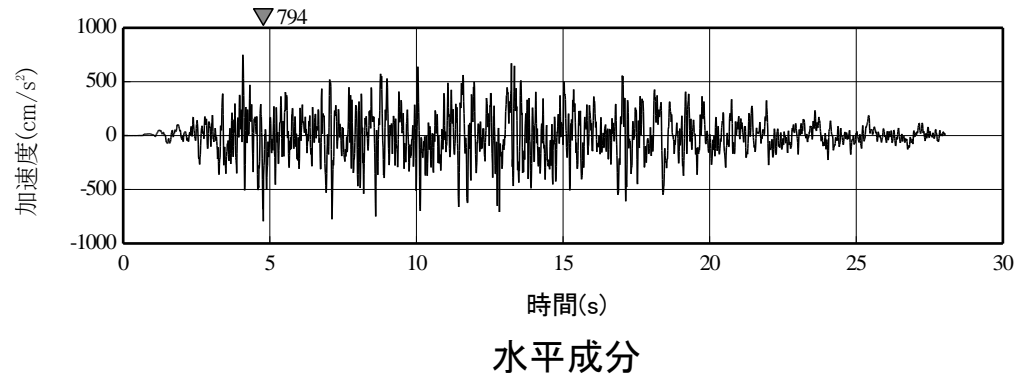
地盤同定解析結果を反映させた地盤構造モデルを用いて、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施する。

- 当該地盤における地震基盤相当面は、 $V_s=2200\text{m/s}$ の層上面 (G.L. -1.010km) に設定する。
- 設定した地震基盤相当面に模擬地震波を入力し、地震応答解析により、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評価を実施する。

地盤同定解析結果を反映させた地盤構造モデル

	層番号	上面 G.L. (km)	層厚 (km)	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	水平成分		鉛直成分			
					S波速度 (km/s)	減衰定数		P波速度 (km/s)	減衰定数	
						$Q_s$	$h_s$		$Q_p$	$h_p$
▼解放基盤表面	1	0.000	0.360	—	—	—	—	—	—	
▼地震基盤相当面	2	-0.360	0.287	1.86	0.710	100	0.005	2.040	100	0.005
	3	-0.647	0.327	2.11				2.610		
	4	-0.974	0.009	2.24				3.100		
	5	-0.983	0.027	2.42				3.950		
	5'	-1.010	0.027	2.48				4.290		
	6	-1.037	0.013	2.57				4.800		
	7	-1.050	3.750	2.66	2.900	110×f <sup>0.69</sup>	0.0045×f <sup>-0.69</sup>	5.490	110×f <sup>0.69</sup>	0.0045×f <sup>-0.69</sup>
	8	-4.800	12.640	2.70	3.600			5.960		
	9	-17.440	14.560	2.80	4.170			6.810		
	10	-32.000	∞	3.20	4.320			7.640		

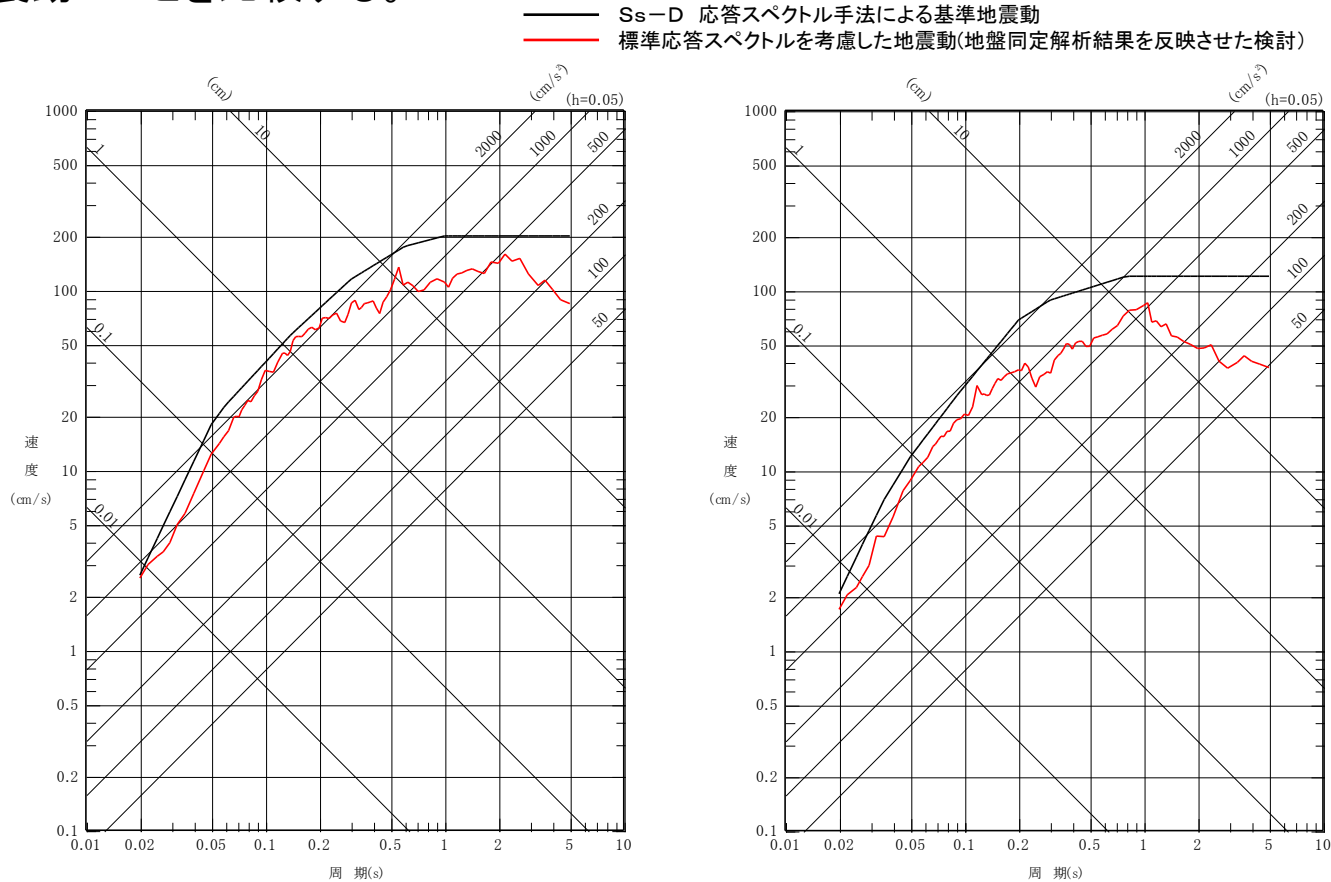
- p9,p10で作成した模擬地震波を地震基盤相当面に入力し、解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を評価する。
- 地盤同定解析結果を反映させた検討による解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を下記に示す。



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(加速度時刻歴波形)

### 4. 1 JRR-3の地盤構造モデルの地震基盤相当面の地盤物性を考慮した検討 基準地震動Ss-Dとの比較(速度応答スペクトル)

- 地盤同定解析結果を反映させた検討による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と基準地震動Ss-Dとを比較する。



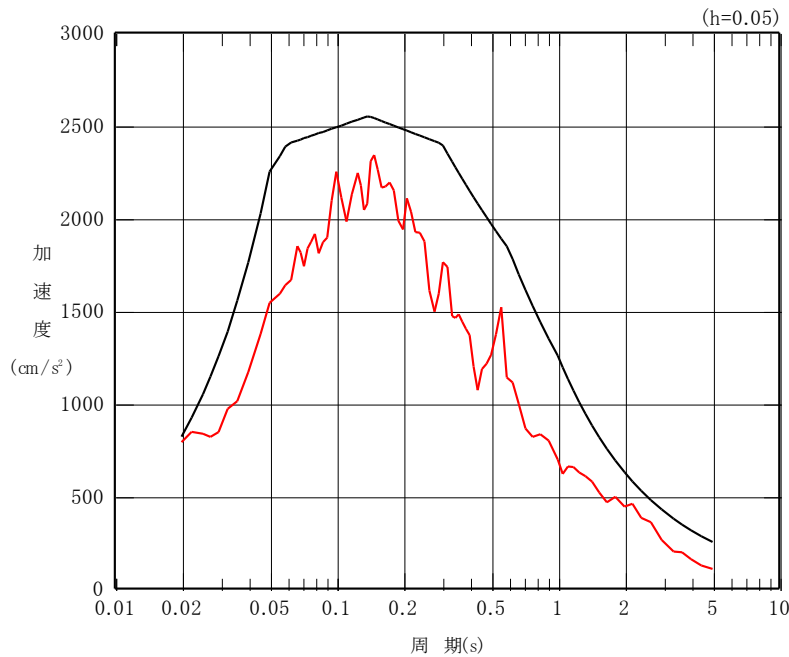
水平成分

鉛直成分

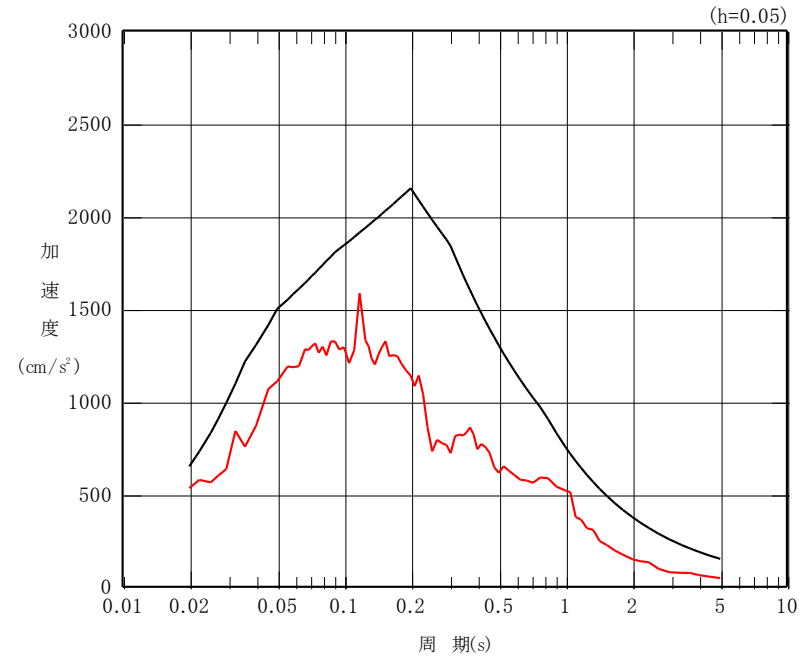
速度応答スペクトル(cm/s)

地盤同定解析結果を反映させた検討結果は、全周期帯でSs-Dを下回ることを確認した。

— S<sub>s</sub>-D 応答スペクトル手法による基準地震動  
— 標準応答スペクトルを考慮した地震動(地盤同定解析結果を反映させた検討)



水平成分



鉛直成分

加速度応答スペクトル(cm/s<sup>2</sup>)

地盤同定解析結果を反映させた検討結果は、全周期帯でS<sub>s</sub>-Dを下回ることを確認した。