

令 0 3 原機(科研) 0 2 6

令 和 4 年 3 月 3 日

原子力規制委員会 殿

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

理事長 児玉 敏雄

(公印省略)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所の

原子炉施設（JRR-3 原子炉施設）の基準地震動の変更が不要であることを説明する文書

（補正）

令和 3 年 7 月 7 日付け令 03 原機(科研)005 をもって提出した国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所の原子炉施設（JRR-3 原子炉施設）の基準地震動の変更が不要であることを説明する文書を別紙のとおり補正いたします。

別 紙

添付資料の補正

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所の原子炉施設（JRR-3 原子炉施設）の基準地震動の変更が不要であることを説明する文書の添付資料を別添のとおり変更する。

以上

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所の原子炉施設
(JRR-3 原子炉施設)

標準応答スペクトルを考慮した地震動の確認結果

1. 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 日付け原規規発第 1811076 号で設置変更許可を受けた原子力科学研究所の原子炉施設（JRR-3 原子炉施設）（以下「JRR-3」という。）の基準地震動（以下「現行の基準地震動」という。）に包絡されることを確認する。

2. 現行の基準地震動の概要

現行の基準地震動は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を特定せず策定する地震動について、JRR-3 の解放基盤表面における水平成分、鉛直成分の地震動をそれぞれ策定している。

JRR-3 の解放基盤表面は G.L.-360m とし、地震動評価上、解放基盤表面における S 波速度は、 $V_s=0.71\text{km/s}$ に設定している。

現行の基準地震動のうち、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動は、応答スペクトルに基づく地震動評価結果を包絡して基準地震動 Ss-D を策定している。また、F1 断層、北方陸域の断層及び塩ノ平断層の同時活動による地震は断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づき、基準地震動 Ss-1、Ss-2 及び Ss-3 を策定している。同様に、2011 年東北地方太平洋沖型地震は断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づき、基準地震動 Ss-4 を策定している。

震源を特定せず策定する地震動は、加藤ほか（2004）⁽¹⁾に基づき設定した応答スペクトル及び 2004 年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動の応答スペクトルが基準地震動 Ss-D に包絡されることを確認している。

現行の基準地震動の最大加速度を第 2-1 表に示す。

3. 標準応答スペクトルの概要

標準応答スペクトルは、過去の内陸地殻内地震の多数の地震動観測記録（Mw5.0～Mw6.5程度）を対象として統計的な手法を用いた処理により算出した応答スペクトルを踏まえ設定されたものであり、地震基盤相当面で定義されている。

地震基盤相当面における標準応答スペクトルを第3-1表に示す。

4. 標準応答スペクトルを考慮した地震動の作成（乱数位相による検討）

標準応答スペクトルは、地震基盤相当面で定義されており、標準応答スペクトルを基に、地震基盤相当面における模擬地震波を作成し、地盤構造モデルを用いて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作成する。

4.1 地盤構造モデル

標準応答スペクトルを考慮した地震動の作成に用いる地盤構造モデルは、平成30年11月7日付け原規規発第1811076号で設置変更許可を受けた原子炉設置変更許可申請書に示すモデルを用いる。地盤構造モデルを第4-1表に示す。

4.2 地震基盤相当面の設定

地震基盤相当面は、標準応答スペクトルが定義されている地盤のS波速度を踏まえ、第4-1表に示す地盤構造モデルのS波速度2.50km/sの層上面であるG.L.-0.997kmに設定する。

4.3 模擬地震波の作成（乱数位相による検討）

地震基盤相当面における模擬地震波は、標準応答スペクトルに適合するよう、乱数位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成する。振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)⁽²⁾に基づき、第4-2表に示す形状とする。地震基盤相当面における模擬地震波の作成結果を第4-3表、模擬地震波の時刻歴波形を第4-1図、標準応答スペクトルに対する模擬地震波の応答スペクトル比を第4-2図に示す。

4.4 解放基盤表面における地震動の作成（乱数位相による検討）

4.3において作成した地震基盤相当面における模擬地震波を用い、第4-1表に示す地盤構造モデル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を作成する。作成した地震動の時刻歴波形を第4-3図に示す。

4.5 標準応答スペクトルを考慮した地震動（乱数位相による検討）と現行の基準地震動 Ss-D の比較

標準応答スペクトルを考慮した地震動及び現行の基準地震動 Ss-D の応答スペクトルを第 4-4 図～第 4-5 図に示す。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は、現行の基準地震動 Ss-D に包絡されることを確認した。

5. 標準応答スペクトルを考慮した地震動の作成（実位相による検討）

地震基盤相当面から解放基盤表面において、地震波の伝播特性には、ばらつきや差異があることが考えられるため、乱数位相による検討の他に実位相による検討を実施し、現行の基準地震動 Ss-D との比較を行う。

地震観測記録の位相特性には敷地地盤の振動特性に起因する特徴が反映されており、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」を踏まえ、地震基盤相当面における地震動の位相特性を用いて、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作成する。

5.1 地盤構造モデル

標準応答スペクトルを考慮した地震動の作成に用いる地盤構造モデルは、4.1 に示す。

5.2 地震基盤相当面の設定

地震基盤相当面の設定は、4.2 に示す。

5.3 地震観測記録の選定

実位相による検討で用いる地震観測記録は、敷地地盤の振動特性に起因する特徴を適切に反映させるため、内陸地殻内地震のうち、敷地に最も近い位置で発生した観測記録（2011 年 7 月 16 日（M3.5,震源距離 14km））とし、この地震観測記録の位相特性を模擬地震波に反映させる。JRR-3 近傍の地震観測記録を第 5-1 図に示す。解放基盤表面における地震観測記録（2011 年 7 月 16 日（M3.5,震源距離 14km））の時刻歴波形を第 5-2 図に示す。

5.4 模擬地震波の作成（実位相による検討）

解放基盤表面の地震観測記録を地震基盤相当面に引き戻し、地震基盤相当面における地震動を算出する。地震観測記録の引き戻しに用いる地盤構造モデルを第 5-1 表に示す。地震基盤相当面における地震動の時刻歴波形を第 5-3 図に示す。

模擬地震波は、地震基盤相当面における地震動の位相特性を用いて作成した。地震基盤相当面における模擬地震波の作成結果を第 5-2 表、模擬地震波の時刻歴波形を第 5-4 図、標準応答スペクトルに対する模擬地震波の応答スペクトル比を第 5-5 図に示す。

5.5 解放基盤表面における地震動の作成（実位相による検討）

5.4 において作成した地震基盤相当面における模擬地震波を用い、第 4-1 表に示す地盤構造モデル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を作成する。作成した地震動の時刻歴波形を第 5-6 図に示す。

5.6 標準応答スペクトルを考慮した地震動と現行の基準地震動 Ss-D の比較

標準応答スペクトルを考慮した地震動及び現行の基準地震動 Ss-D の応答スペクトルを第 5-7 図～第 5-8 図に示す。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は、現行の基準地震動 Ss-D に包絡されることを確認した。

6. 標準応答スペクトルを考慮した地震動と現行の基準地震動の比較

標準応答スペクトルを考慮した地震動及び現行の基準地震動の応答スペクトルを第 6-1 図～第 6-3 図に示す。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は、現行の基準地震動の応答スペクトルに包絡されることを確認した。

7. まとめ

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伴い、JRR-3 における震源を特定せず策定する地震動として標準応答スペクトルを考慮した地震動を作成した結果、現行の基準地震動に包絡されることを確認した。

8. 参考文献

- (1) 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大榮, 上田圭一, 壇一男. 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベルー地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討ー. 日本地震工学会論文集. vol.4, no.4, 2004, pp.46-86.
- (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.

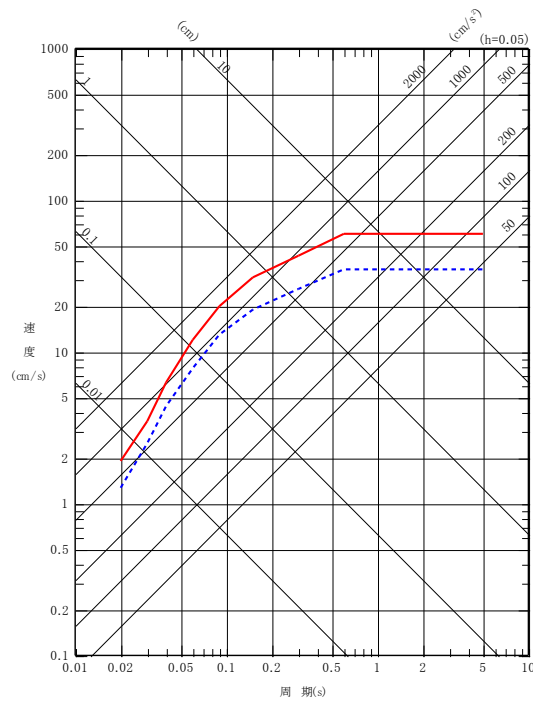
第 2-1 表 現行の基準地震動の最大加速度

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		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

第 3-1 表 地震基盤相当面における標準応答スペクトルのコントロールポイント

周期 (s)	水平成分	鉛直成分
	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 (水平成分)
 - - - : 標準応答スペクトル (鉛直成分)



地震基盤相当面における標準応答スペクトル

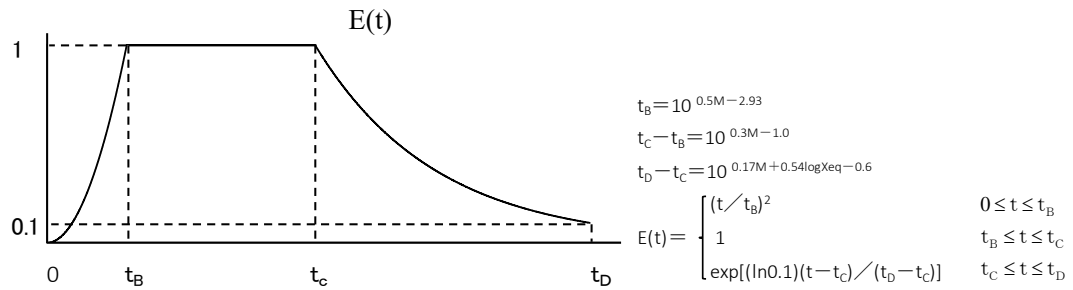
第 4-1 表 地盤構造モデル (深部)

上面 G.L. (km)	層厚 (km)	密度 (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
0.000	0.360	—	—	—	—	—	—	—
-0.360	0.287	1.86	0.710	100	0.005	2.040	100	0.005
-0.647	0.327	2.11	1.200			2.610		
-0.974	0.009	2.24	1.500			3.100		
-0.983	0.014	2.42	2.000			3.950		
-0.997	0.013	2.57	2.500			4.800		
-1.010	3.790	2.66	2.900	$110 \times f^{0.69}$	$0.0045 \times f^{-0.69}$	5.490	$110 \times f^{0.69}$	$0.0045 \times f^{-0.69}$
-4.800	12.640	2.70	3.600			5.960		
-17.440	14.560	2.80	4.170			6.810		
-32.000	∞	3.20	4.320			7.640		

第 4-2 表 地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく
 模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

模擬 地震波	目標最大 加速度 (cm/s ²)	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 : X_{eq}=10(km)



第 4-3 表 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結果
(乱数位相による検討)

標準応答 スペクトル	作成条件	作成結果			
	応答 スペクトル	最大加速度 (cm/s ²)	継続時間等	応答 スペクトル比 R(T)	SI 比
水平成分	第 3-1 表	600	第 4-1 図	第 4-2 図	1.04
鉛直成分	第 3-1 表	400	第 4-1 図	第 4-2 図	1.03

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

ただし、 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

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

ただし、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値 (cm/s)

$\bar{S}_v(T)$ ：目標とする応答スペクトル値 (cm/s)

T ：固有周期(s)

第 5-1 表 地盤構造モデル (浅部+深部)

上面 G.L. (km)	層厚 (km)	密度 (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
0.000	0.001	1.97	0.192	$0.732 \times f^{-1.053}$	0.504	$0.546 \times f^{-0.531}$
-0.001	0.005	1.97	0.199		0.470	
-0.006	0.003	1.92	0.333		1.196	
-0.009	0.003	1.77	0.487	$0.286 \times f^{-1.478}$	1.650	$0.987 \times f^{-1.081}$
-0.012	0.001	1.82	0.559		1.603	
-0.013	0.017	1.82	0.483		1.764	
-0.030	0.070	1.73	0.494		1.967	
-0.100	0.110	1.73	0.542	$0.061 \times f^{-1.506}$	1.825	$0.408 \times f^{-1.788}$
-0.210	0.070	1.75	0.619		1.797	
-0.280	0.080	1.78	0.760		2.119	
-0.360	0.287	1.86	0.710	0.005	2.040	0.005
-0.647	0.327	2.11	1.200		2.610	
-0.974	0.009	2.24	1.500		3.100	
-0.983	0.014	2.42	2.000		3.950	
-0.997	0.013	2.57	2.500		4.800	
-1.010	3.790	2.66	2.900	$0.0045 \times f^{-0.69}$	5.490	$0.0045 \times f^{-0.69}$
-4.800	12.640	2.70	3.600		5.960	
-17.440	14.560	2.80	4.170		6.810	
-32.000	∞	3.20	4.320		7.640	

第 5-2 表 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結果
(実位相による検討)

標準応答 スペクトル	作成条件	作成結果			
	応答 スペクトル	最大加速度 (cm/s ²)	継続時間等	応答 スペクトル比 R(T)	SI 比
水平成分	第 3-1 表	510	第 5-4 図	第 5-5 図	1.01
鉛直成分	第 3-1 表	390	第 5-4 図	第 5-5 図	1.01

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

ただし、 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

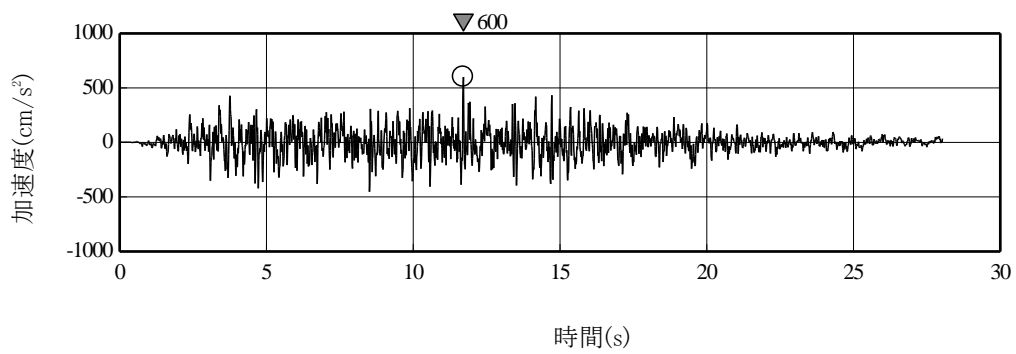
$$SI \text{ 比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T)}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T)} \geq 1.0$$

ただし、SI : 応答スペクトル強さ

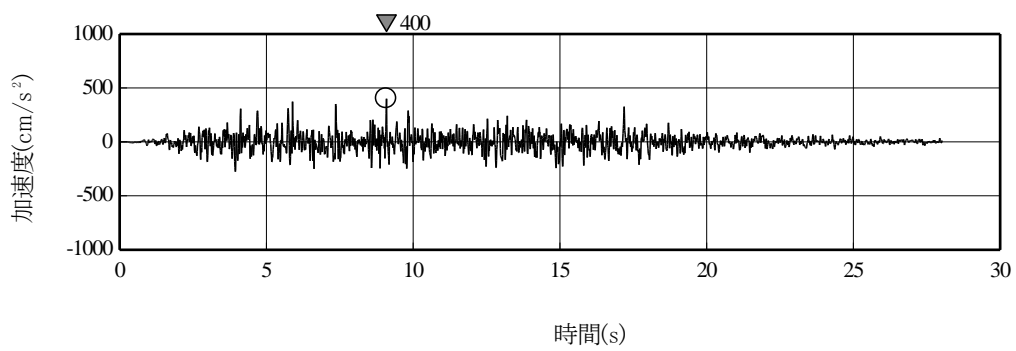
$S_v(T)$: 模擬地震波の応答スペクトル値 (cm/s)

$\bar{S}_v(T)$: 目標とする応答スペクトル値 (cm/s)

T : 固有周期(s)

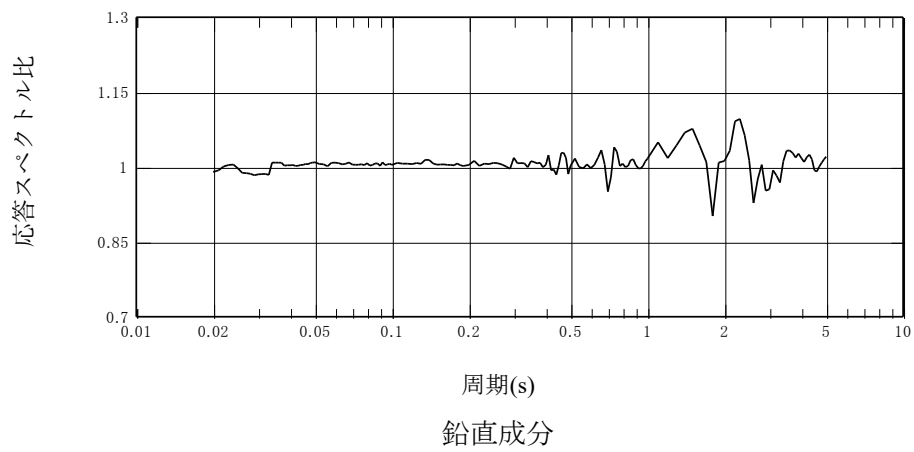
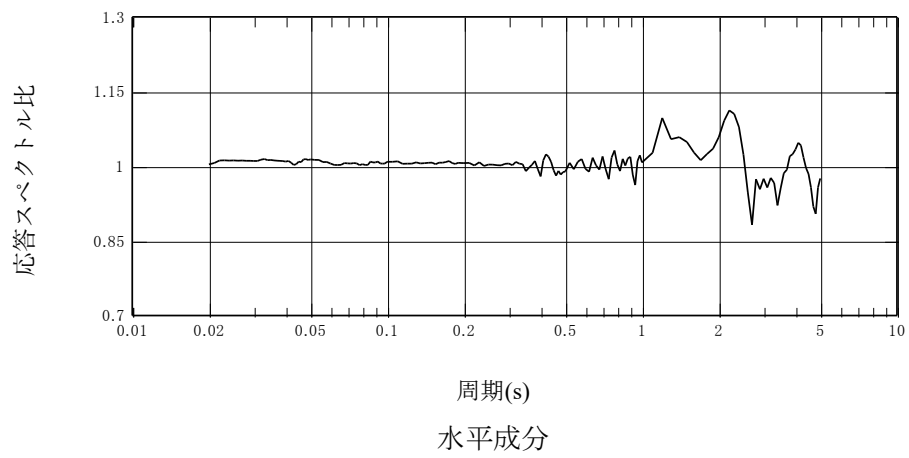


水平成分

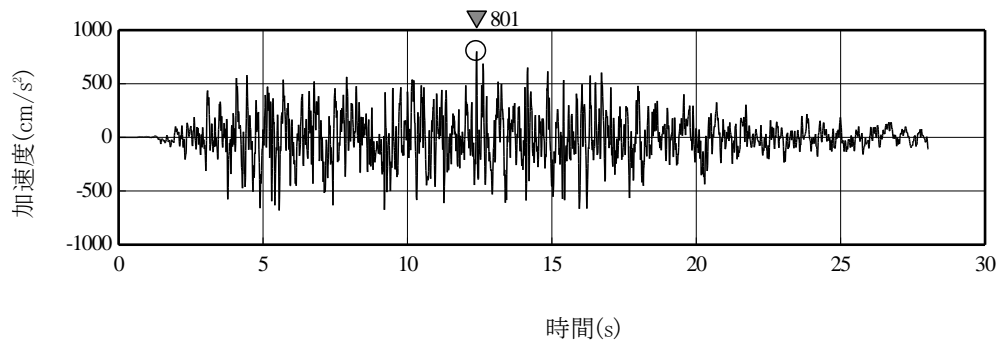


鉛直成分

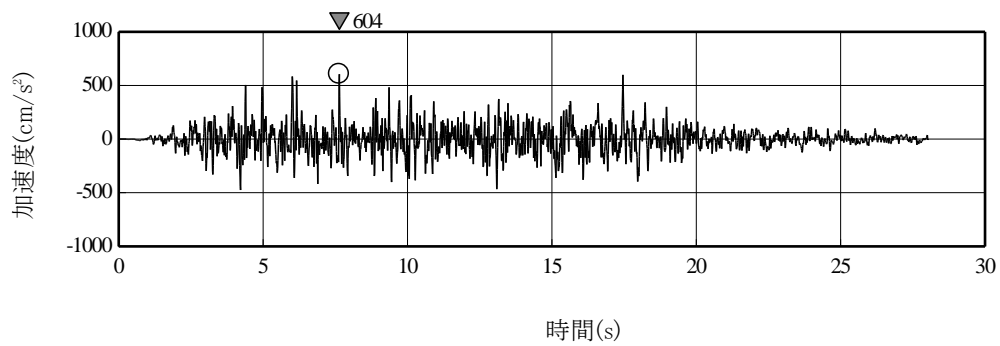
第 4-1 図 地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の時刻歴波形



第 4-2 図 地震基盤相当面における標準応答スペクトルに対する模擬地震波の
応答スペクトル比

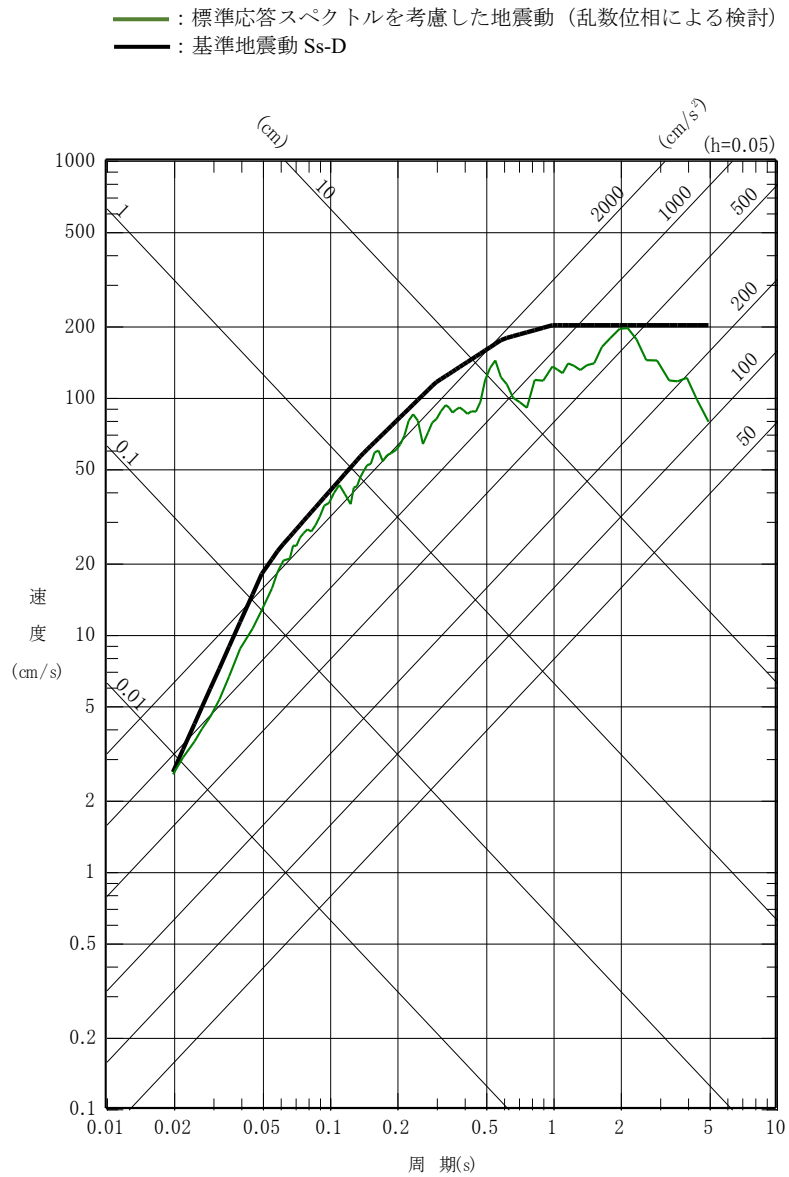


水平成分

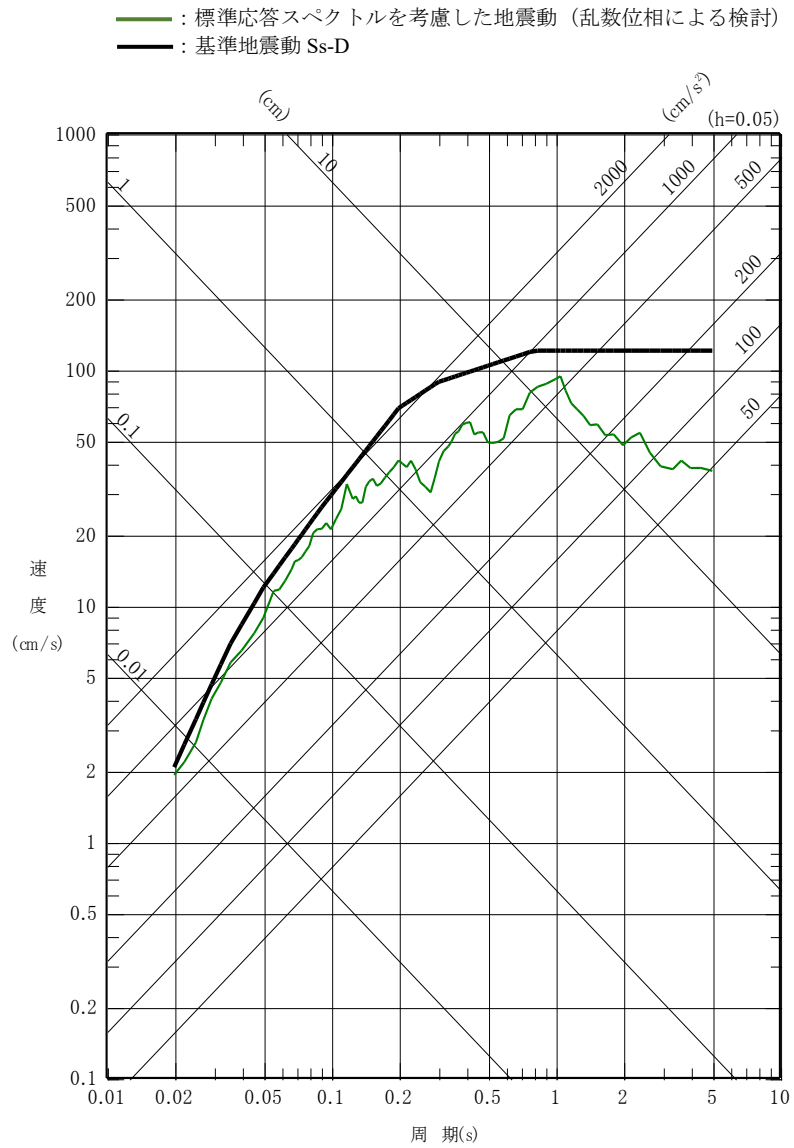


鉛直成分

第 4-3 図 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の時刻歴波形



第 4-4 図 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及び
 現行の基準地震動 Ss-D の応答スペクトル (水平成分)

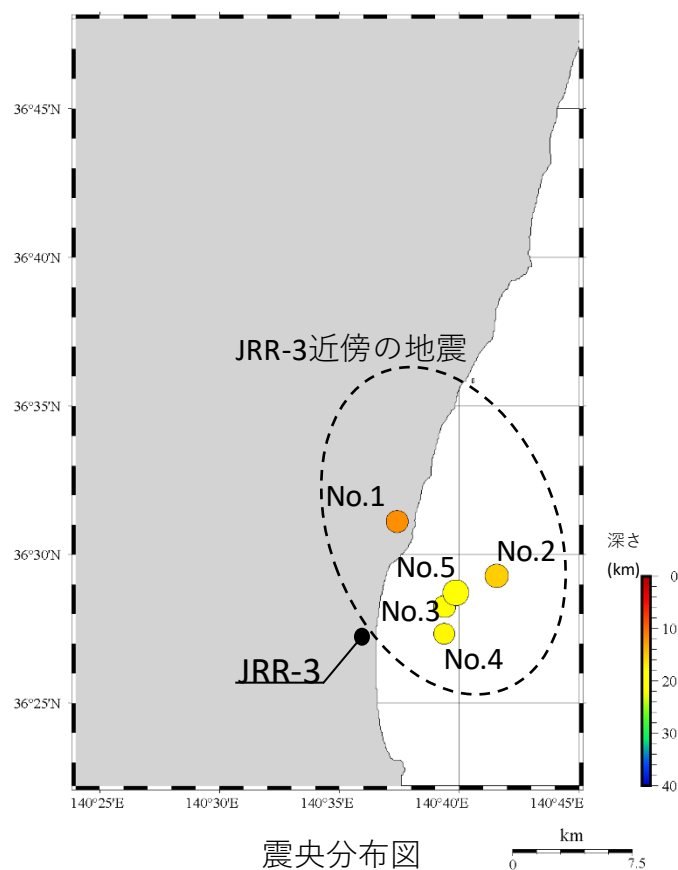


第 4-5 図 解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動及び
 現行の基準地震動 Ss-D の応答スペクトル (鉛直成分)

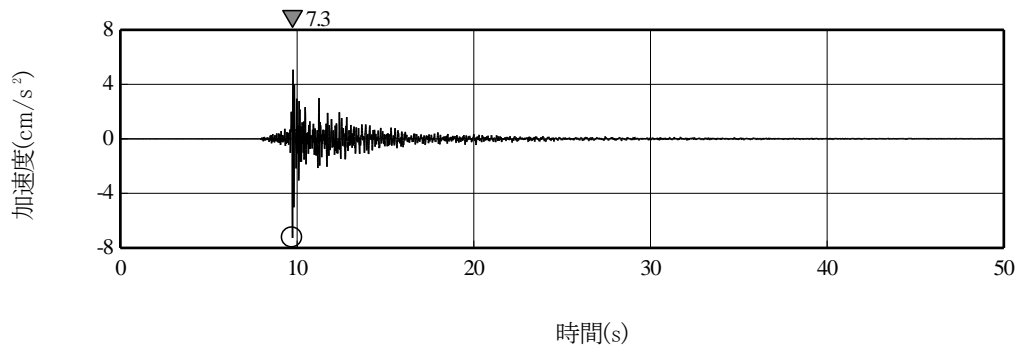
JRR-3で観測された地震観測記録

JRR-3から震央距離約10 kmの範囲にある深さ0~20kmの地震観測記録

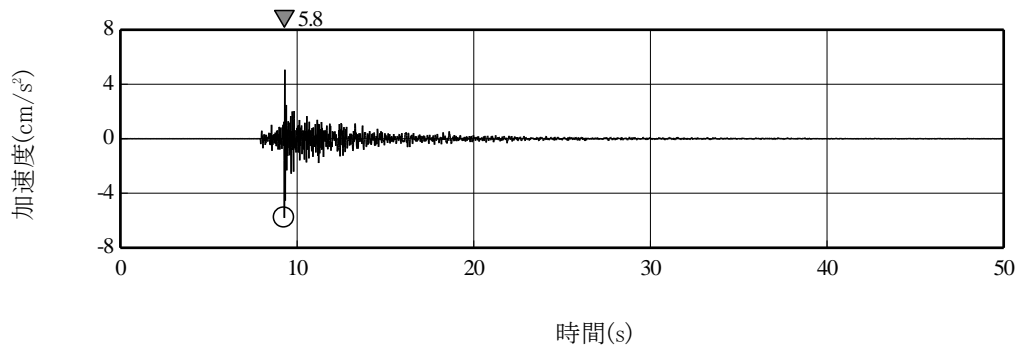
No.	年月日	震央位置		地震規模 M	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	地震発生様式
		北緯	東経					
1	2011/7/16	36° 31.1'	140° 37.4'	3.5	12	7.4	14	内陸地殻内地震
2	2011/11/25	36° 29.2'	140° 41.5'	3.7	15	9.0	17	〃
3	2016/7/21	36° 28.2'	140° 39.3'	3.5	18	5.3	19	〃
4	2019/1/23	36° 27.3'	140° 39.3'	3.3	18	5.0	19	〃
5	2020/9/10	36° 28.7'	140° 39.8'	4.1	19	6.2	20	〃



第 5-1 図 JRR-3 近傍の地震観測記録

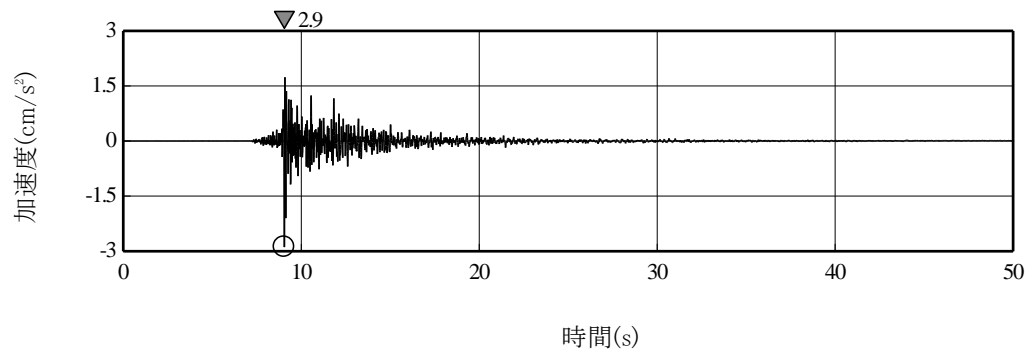


水平成分

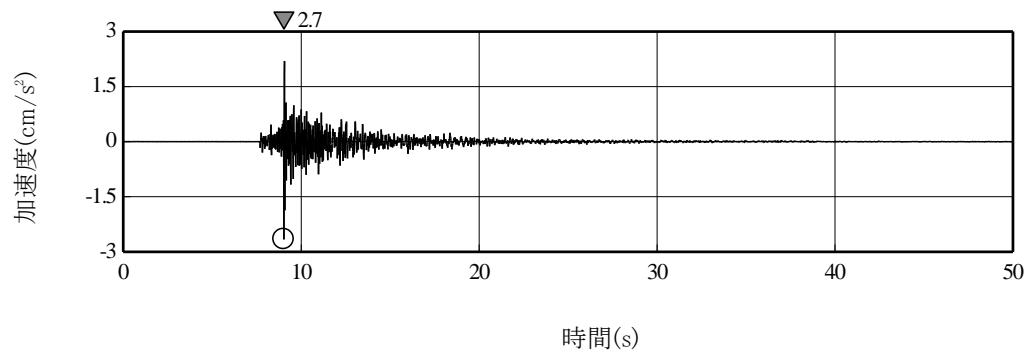


鉛直成分

第 5-2 図 解放基盤表面における地震観測記録（2011 年 7 月 16 日（M3.5））の時刻歴波形

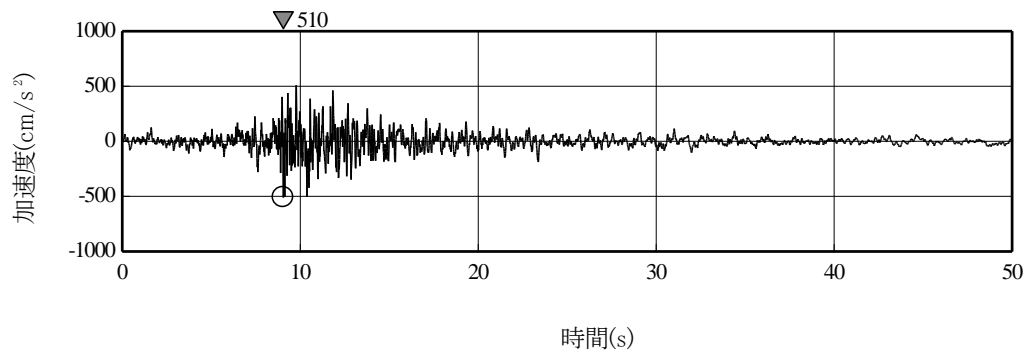


水平成分

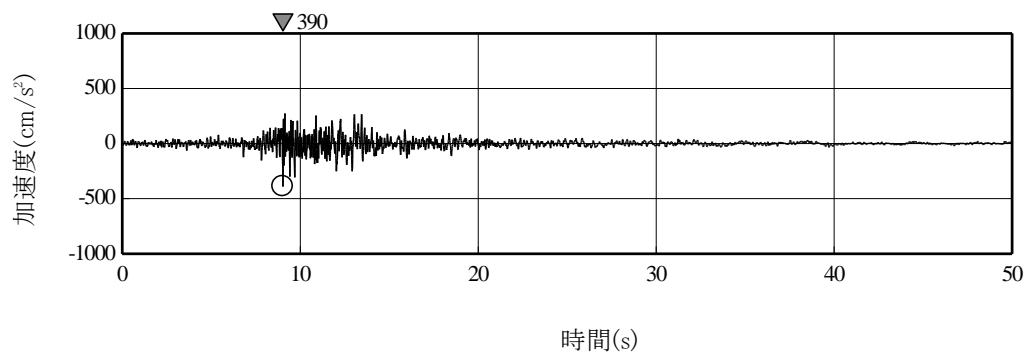


鉛直成分

第 5-3 図 地震基盤相当面における地震動の時刻歴波形

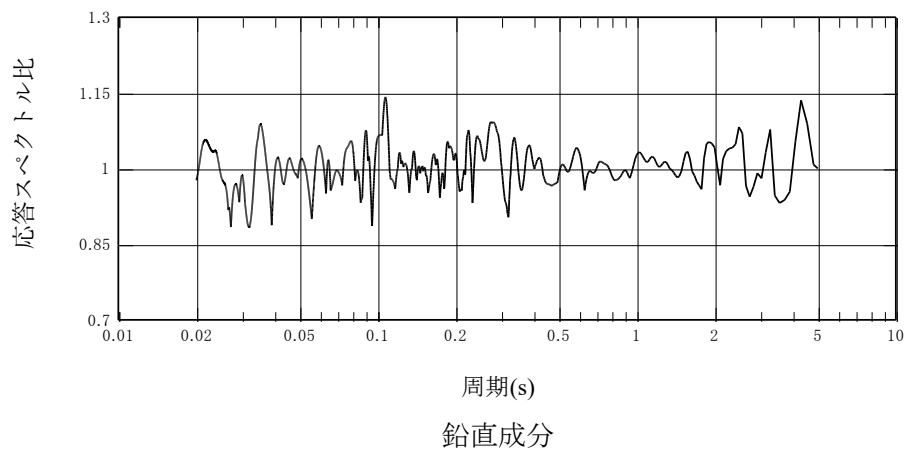
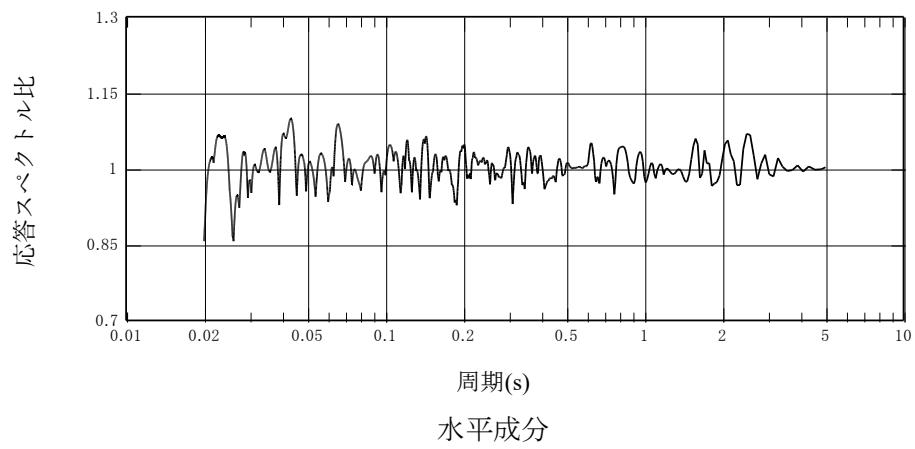


水平成分

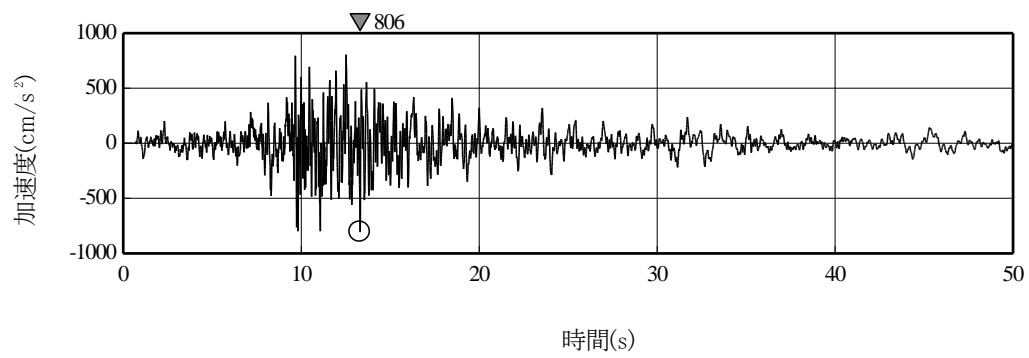


鉛直成分

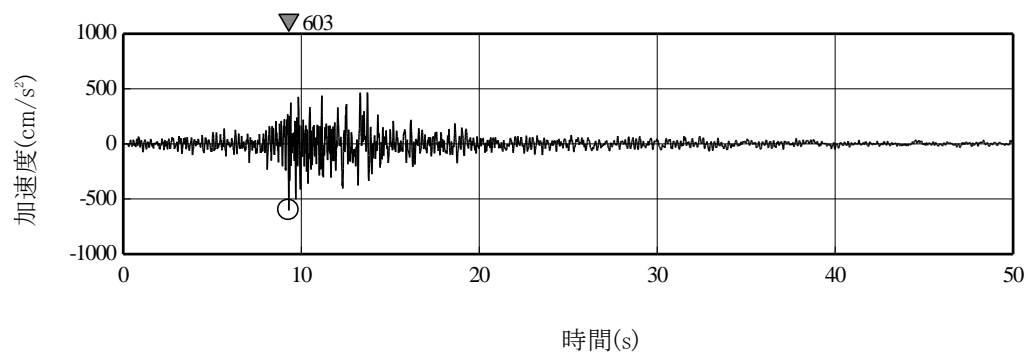
第 5-4 図 地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の時刻歴波形



第 5-5 図 地震基盤相当面における標準応答スペクトルに対する模擬地震波の
応答スペクトル比

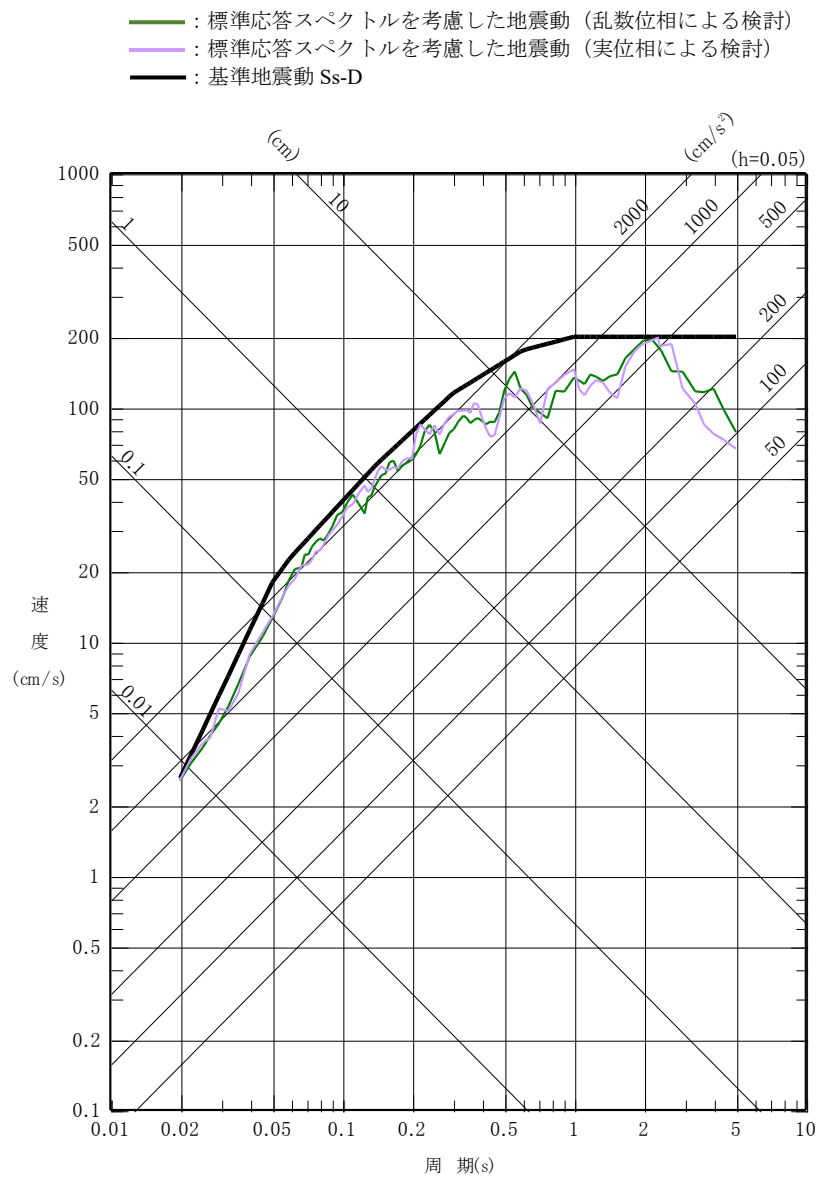


水平成分

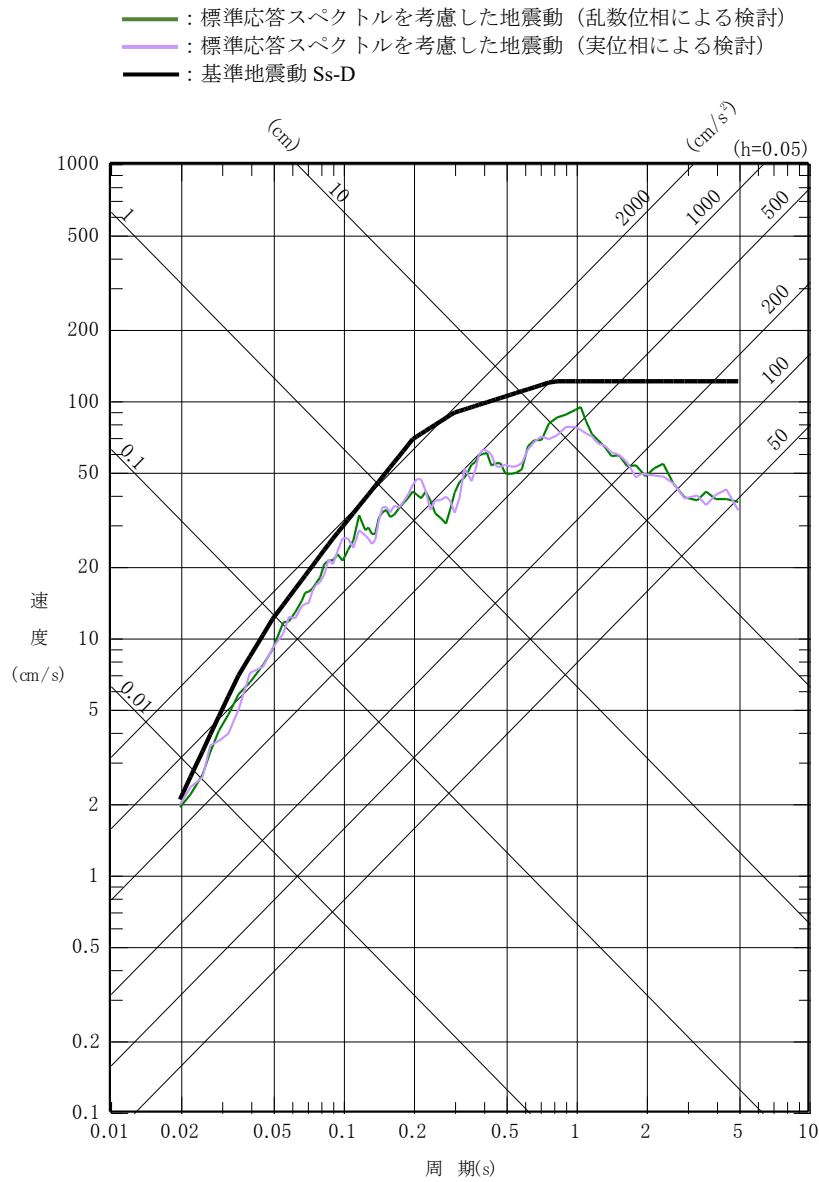


鉛直成分

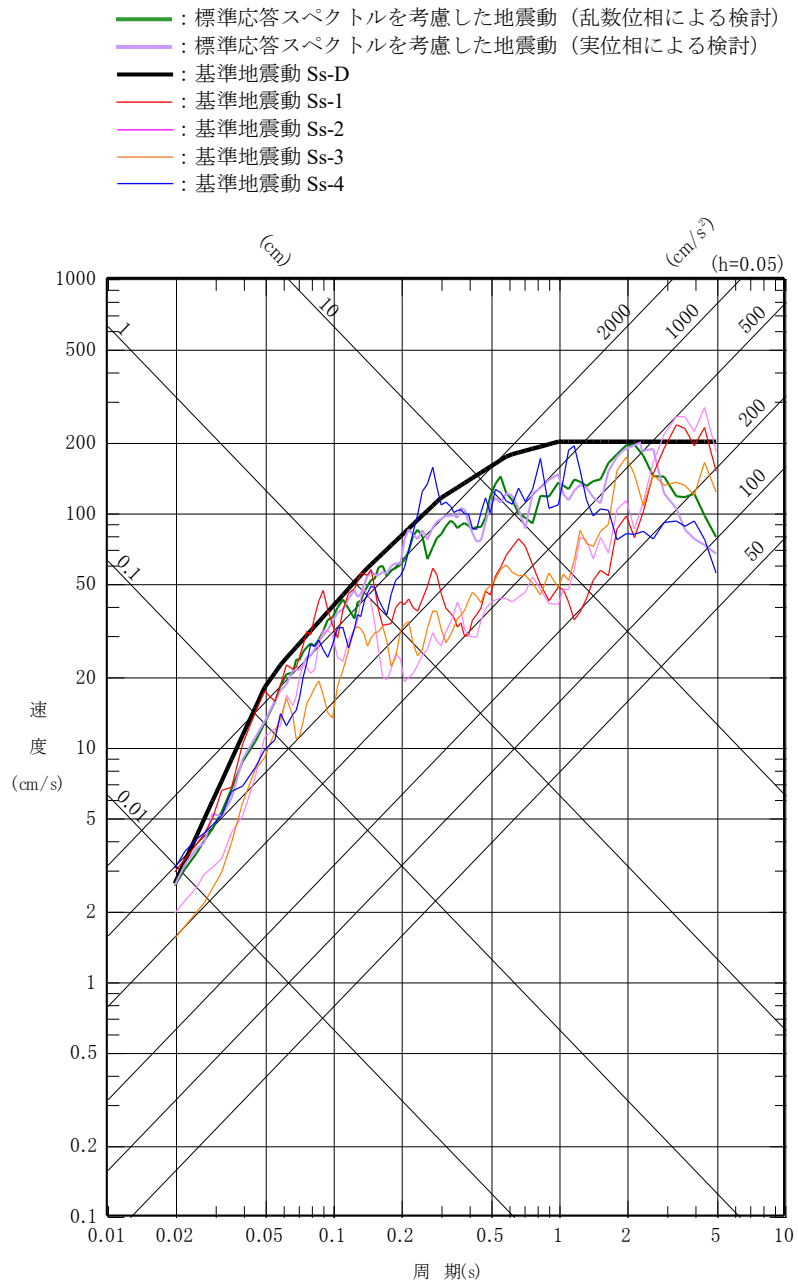
第 5-6 図 解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動の時刻歴波形



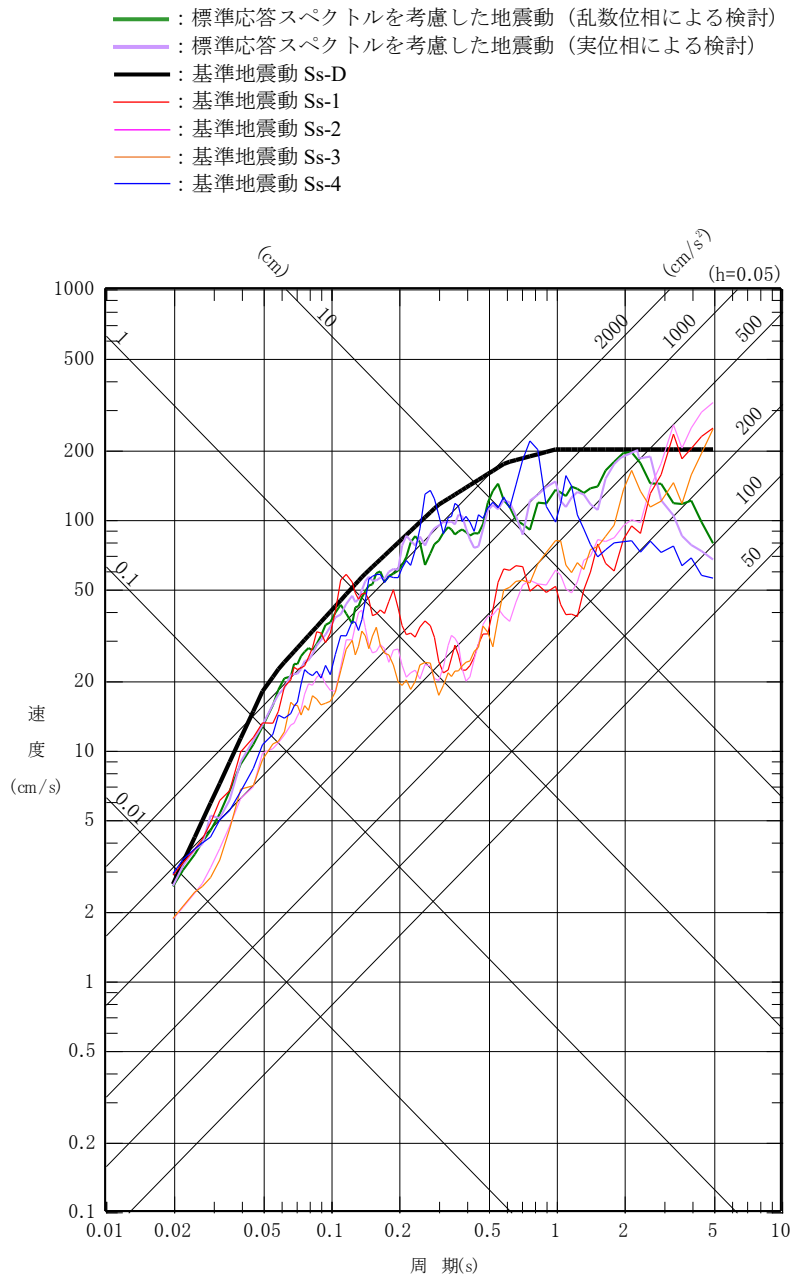
第 5-7 図 解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動及び
 現行の基準地震動 Ss-D の応答スペクトル (水平成分)



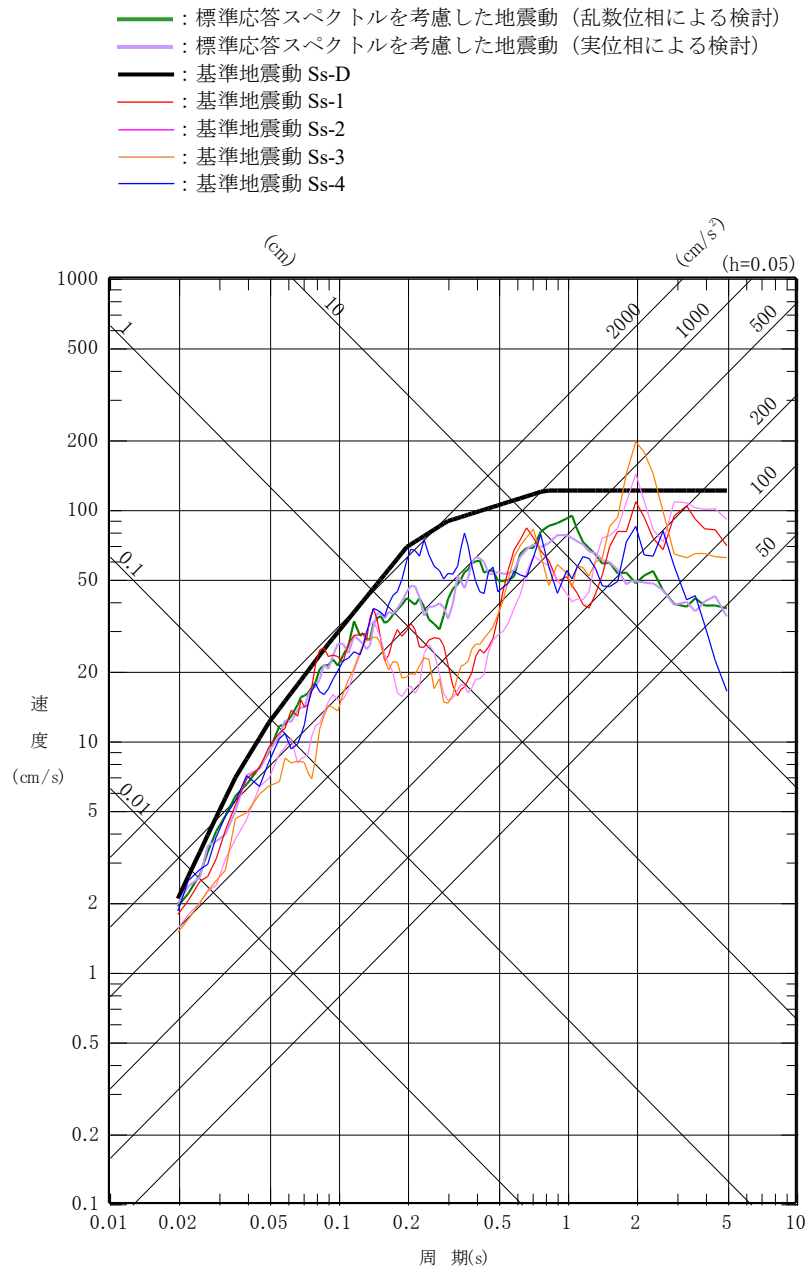
第 5-8 図 解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動及び
 現行の基準地震動 Ss-D の応答スペクトル (鉛直成分)



第 6-1 図 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及び
 現行の基準地震動の応答スペクトル (NS 成分)



第 6-2 図 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及び
 現行の基準地震動の応答スペクトル (EW 成分)



第 6-3 図 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及び
 現行の基準地震動の応答スペクトル (UD 成分)