

島根原子力発電所2号炉 審査資料	
資料番号	特EP(E)-002(説)
提出年月日	2022年10月27日

島根原子力発電所2号炉
基準地震動について
標準応答スペクトルに関する検討

令和4年10月27日
中国電力株式会社

目次

1. 標準応答スペクトルを考慮した基準地震動策定の流れ(補正概要)	2
2. 標準応答スペクトルに関する検討の流れ	3
3. 標準応答スペクトルに基づく「震源を特定せず策定する地震動」の検討方針	4
4. 地震基盤相当面の設定	5
5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成	
(1) 乱数位相を用いた模擬地震波の作成	6
(2) 敷地における観測記録の整理	9
(3) 観測位相を用いた模擬地震波の作成	12
(4) 解放基盤表面における地震動の比較	15
6. 基準地震動との比較	17
7. まとめ	18

参考資料

・第7回 標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴う 設置変更許可申請等の要否に係る会合(2021年11月26日)資料	20
・新規制基準適合性審査会合資料(抜粋)	44

1. 標準応答スペクトルを考慮した基準地震動策定の流れ(補正概要)

- 標準応答スペクトルに基づく評価については、島根原子力発電所2号炉既許可(2021年9月15日)の基準地震動による応答スペクトル比を用いた検討(参考資料20~43ページ)に関する審議を受け、基準地震動が変更不要であることを認める通知を受領(2021年12月8日)している。
- 今回補正(2022年2月28日)では、標準応答スペクトルの模擬地震波を作成のうえ、既許可の地下構造モデルを用いて検討を行い、基準地震動との比較を行った。その結果、基準地震動S_s-Dに包絡されることから、標準応答スペクトルに基づく「震源を特定せず策定する地震動」は基準地震動として選定しないこととした。

【敷地の地下構造モデル】[変更なし]

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動】
[変更なし]

- ・宍道断層による地震
- ・F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震

【震源を特定せず策定する地震動】

- ・加藤スペクトル
- ・鳥取県西部地震
- ・留萌支庁南部地震
- ・標準応答スペクトル(地盤増幅特性を考慮)[追加]

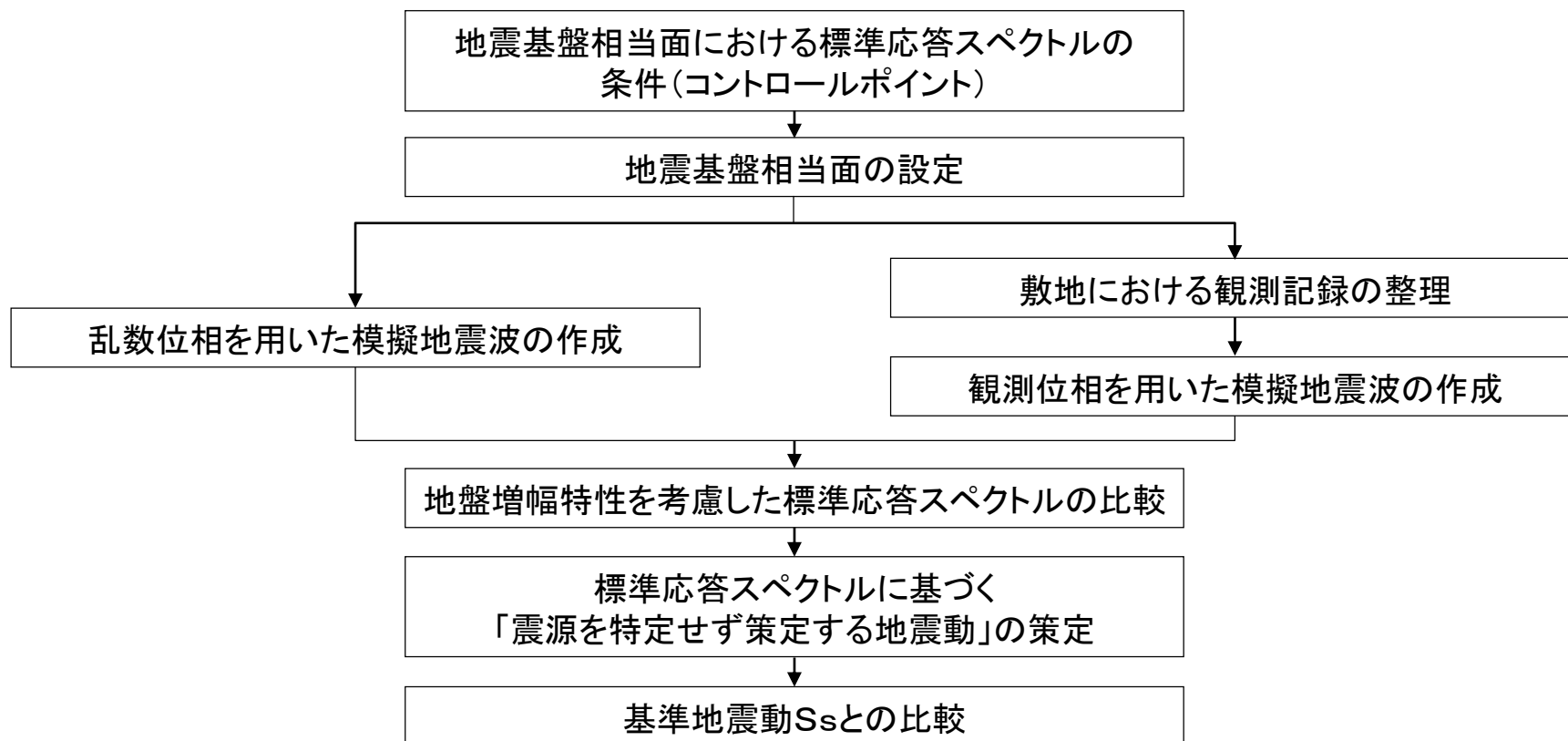
【基準地震動】[変更なし]

- ・S_s-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- ・S_s-F1 断層モデル手法による基準地震動
- ・S_s-F2 断層モデル手法による基準地震動
- ・S_s-N1 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動
- ・S_s-N2 2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録

標準応答スペクトルを考慮した基準地震動策定の流れ

2. 標準応答スペクトルに関する検討の流れ

- 標準応答スペクトルに関する検討の流れを以下に示す。
- 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成にあたっては、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を作成し、解放基盤表面における地震動(以下、「地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル」という。)として評価する。



標準応答スペクトルに関する検討の流れ

3. 標準応答スペクトルに基づく「震源を特定せず策定する地震動」の検討方針

- 地震基盤相当面 ($V_s=2,200\text{m/s}$ 以上) で定義された標準応答スペクトルに基づき, 解放基盤表面 ($V_s=1,520\text{m/s}$) における地震動(地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル)を評価する。

■ 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 $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の地層をいう。)における標準的な応答スペクトルとして次の図に示すもの。

(令和3年4月21日 原規技発第2104216号 原子力規制委員会決定「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」による。)

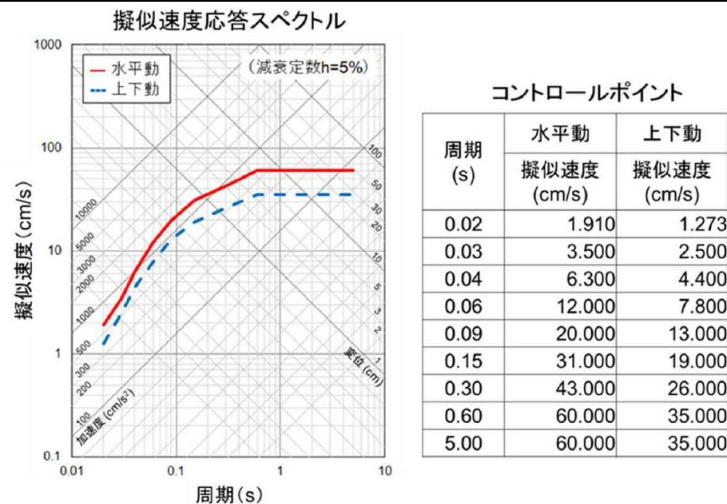


図 地震基盤相当面における標準応答スペクトル



島根原子力発電所2号炉の解放
基盤表面のせん断波速度 V_s

検討方針

1,520m/s

- 地震基盤相当面における標準応答スペクトルに適合した模擬地震波を作成し, 地下構造モデルによって地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮する。
- 地震基盤相当面から解放基盤表面までの地震波の地盤増幅特性に, 位相の違いによるばらつきや差異があることが否定できないため, 一様乱数の位相特性を持つ正弦波の重ね合わせによる方法及び実観測記録(敷地内で観測された記録)の位相特性を用いる方法により, 模擬地震波を作成する。

4. 地震基盤相当面の設定

- 地震基盤相当面は $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上と定義されていることから、島根原子力発電所の地震動評価に用いる地下構造モデルにおいて $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上となり、それ以深の層も $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上となる標高 -955m ($V_s=2,730\text{m/s}$)を地震基盤相当面に設定した。
- 地震基盤相当面において定義された標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を、島根原子力発電所の地震動評価に用いる地下構造モデルにより解放基盤表面まで引き上げる。

地震動評価に用いる地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	密度 (kg/m^3)	減衰定数(%)	
						h_s	h_p
						$h(f)$	$h(f)$
1	-10	14	1520	3240	2500	$12.3f^{-0.733}$	$31.1f^{-0.733}$
2	-24	116	1900	3860	2570	$6.53f^{-0.463}$	$13.5f^{-0.463}$
3	-140	32	2100	4150	2490	$11.4f^{-0.739}$	$16.9f^{-0.739}$
4	-172	43	1770	3800	2560	$13.0f^{-0.817}$	$13.9f^{-0.817}$
5	-215	130	2530	5220	2680	$3.81f^{-0.363}$	$4.27f^{-0.363}$
6	-345	610	2190	4350	2650	$2.51f^{-0.497}$	$2.70f^{-0.497}$
7	-955	555	2730	5160	2640	$4.73f^{-0.920}$	$4.84f^{-0.920}$
8	-1510	530	3020	5220	2620	0.250	0.125
9	-2040	13960	3570	6180	2720	0.185	0.091
10	-16000	22000	3870	6700	2800	0.125	0.063
11	-38000	∞	4510	7800	3100	0.100	0.050

▽解放基盤表面

($V_s=1,520\text{m/s}$, $V_p=3,240\text{m/s}$)

▽地震基盤相当面

($V_s=2,730\text{m/s}$, $V_p=5,160\text{m/s}$)

(島根原子力発電所2号炉 原子炉設置変更許可申請書
添付六 第5.5-4表 地震動評価に用いる地下構造モデル)

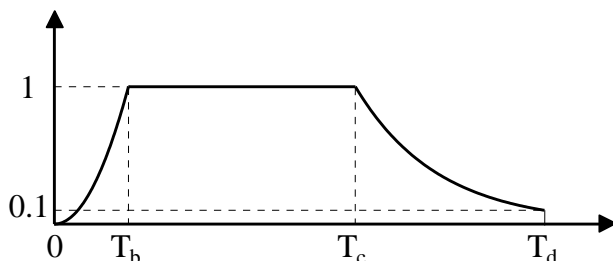
5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (1) 乱數位相を用いた模擬地震波の作成

- 振幅包絡線の経時的変化については, Noda et al.(2002) に基づき設定し, 設定条件は「M7.0, Xeq 10km」とした※。
- 標準応答スペクトルの模擬地震波は, 日本電気協会(2008)に示される以下の適合度の条件を満足することを目標に作成する。
 - ・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が全周期帯で0.85以上
 - ・応答スペクトル強さの比(SI比)が1.0以上

標準応答スペクトルの模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

模擬地震波	マグニチュード M	等価震源距離 Xeq(km)	振幅包絡線の経時的変化(s)		
			T _b	T _c	T _d (継続時間)
水平方向 鉛直方向	7.0	10	3.7	16.3	29.8



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

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

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

$$\text{振幅包絡線} : E(T) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} & T_c \leq T \leq T_d \end{cases}$$

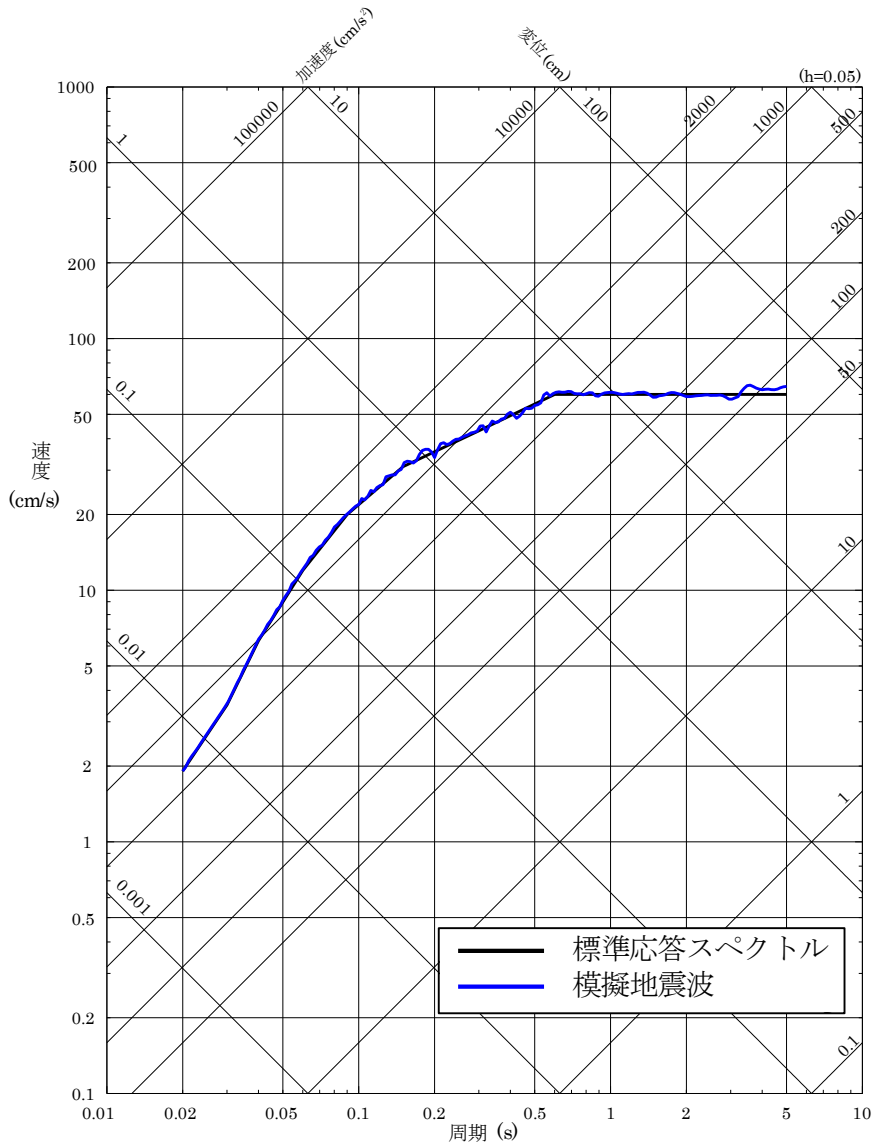
※地震規模は, 2022年2月28日補正申請においてM6.9としているが, 全国共通に考慮すべき地震の規模(Mw6.5程度未満)に幅があることを踏まえ, 模擬地震波の特に強震部の継続時間が長めとなるようM7.0に見直している。

等価震源距離は, 震源近傍を想定しXeq 10kmと設定する。

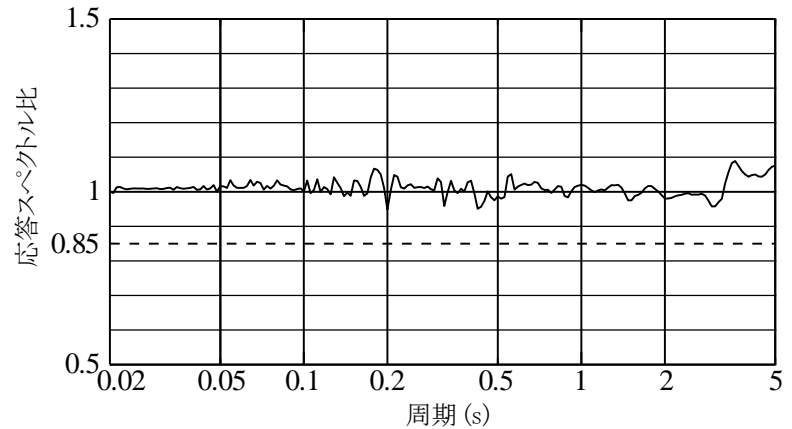
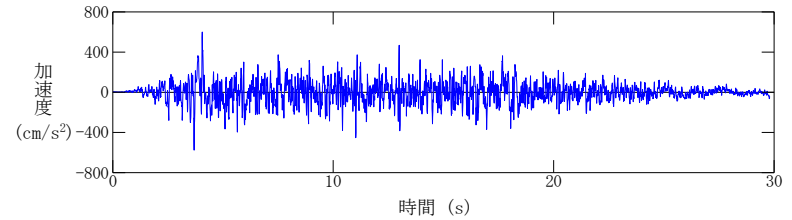
5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (1) 乱數位相を用いた模擬地震波の作成

■ 作成した模擬地震波(水平方向)を以下に示す。



模擬地震波の応答スペクトル



応答スペクトル比の最小値	0.95
SI比(周期0.1~2.5秒)	1.00

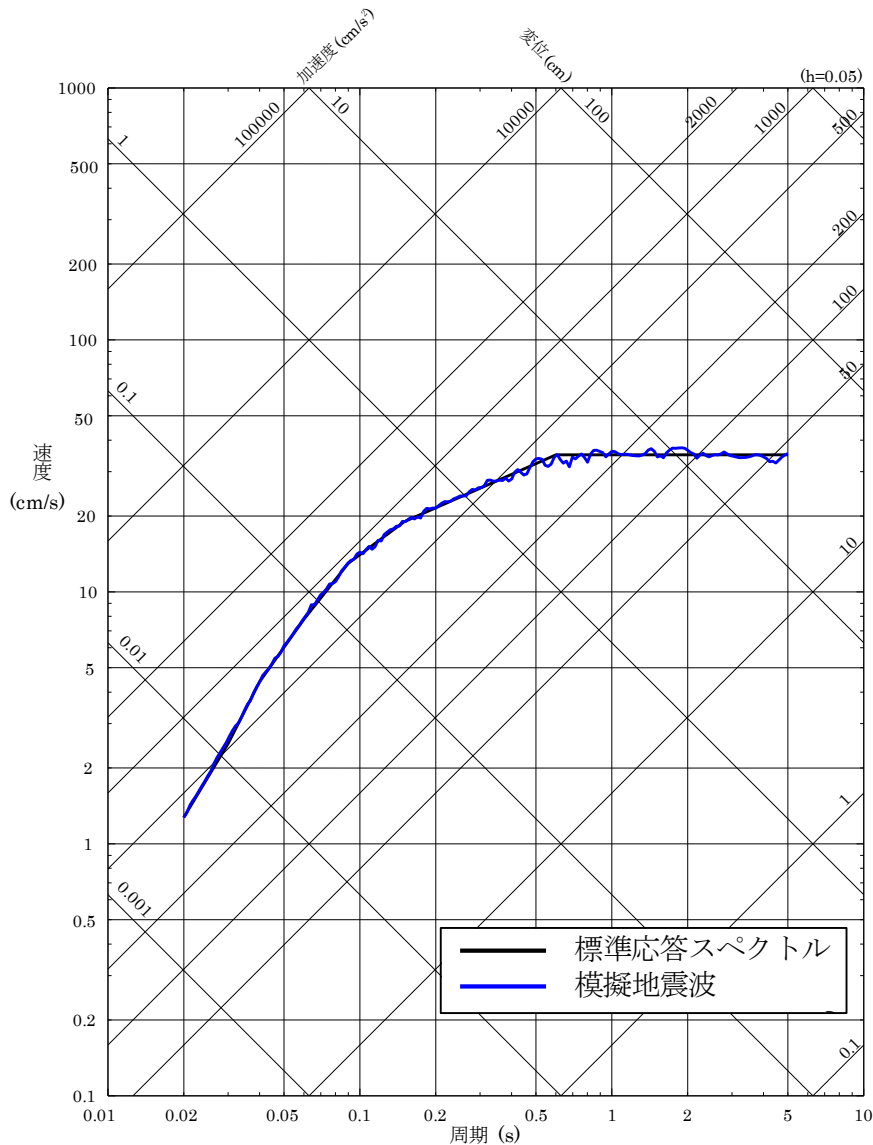
$$SI比: \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \overline{S_v(T)} dt}$$

SI : 応答スペクトル強さ(減衰定数h=5%)
 $S_v(T)$: 模擬地震波の速度応答スペクトル(cm/s)
 $\overline{S_v(T)}$: 目標とする速度応答スペクトル(cm/s)
 T : 固有周期(秒)

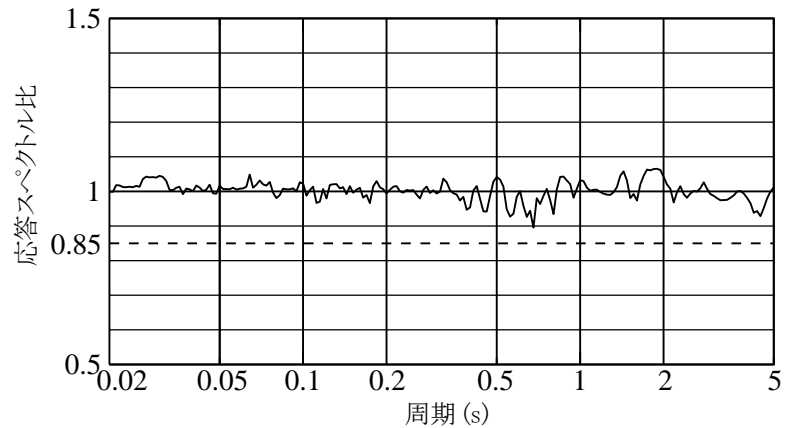
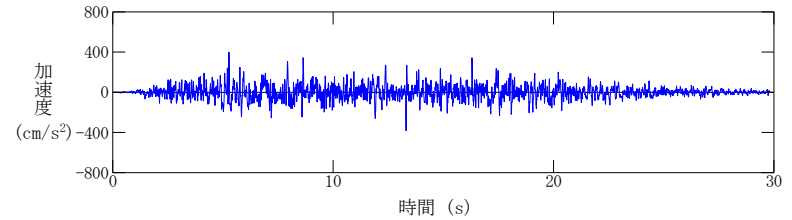
5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (1) 乱數位相を用いた模擬地震波の作成

■ 作成した模擬地震波(鉛直方向)を以下に示す。



模擬地震波の応答スペクトル



応答スペクトル比の最小値	0.90
SI比(周期0.1~2.5秒)	1.00

$$SI比: \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \overline{S_v(T)} dt}$$

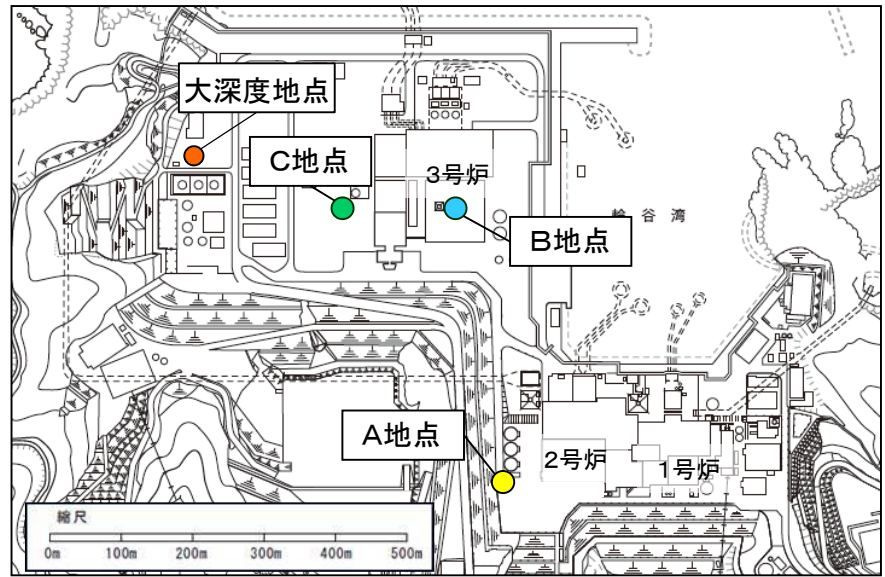
SI : 応答スペクトル強さ(減衰定数h=5%)
 $\overline{S_v(T)}$: 模擬地震波の速度応答スペクトル(cm/s)
 $S_v(T)$: 目標とする速度応答スペクトル(cm/s)
 T : 固有周期(秒)

5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (2) 敷地における観測記録の整理

■ 敷地地盤の地震観測点としては、2号観測点のA地点と、3号観測点のB・C地点及び大深度地点がある。そのうちB地点については、3号建設時に撤去しているのので、現在はA地点と、C地点及び大深度地点の3地点で地震観測を行っている。

地震計設置位置・観測期間



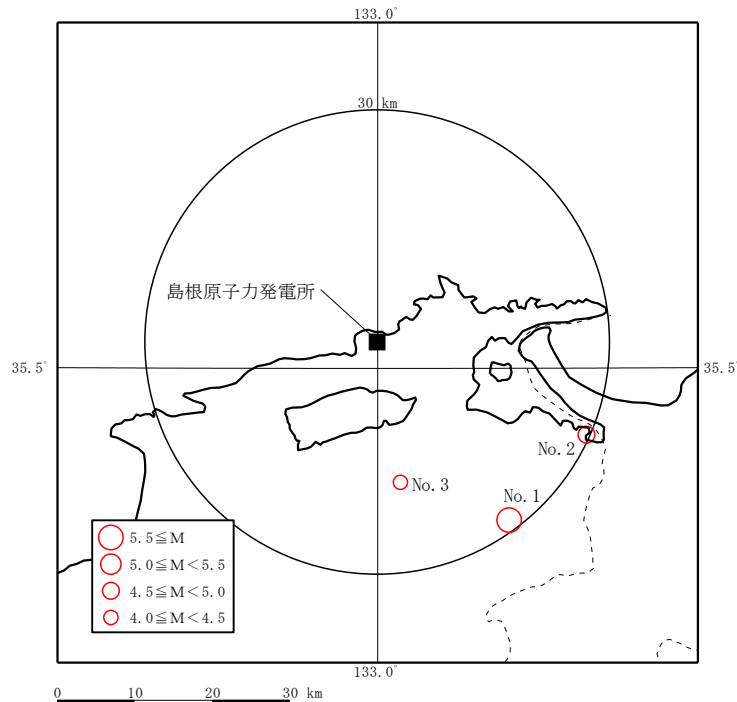
地震観測点

観測点	A地点		B地点		C地点		大深度地点	
	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層
地震計設置位置 (数値は標高を表す。) ○:地震計			G.L. +46m					
	G.L. ※1 +15m							
	○ ±1.0m		○ ±.8m		G.L. +8.5m		G.L. +8.5m	
	○ ※3 -6m (-5m)		○ -1.3m	成相寺層※2	○ -1.0m			
		成相寺層※2	○ -1.00m		成相寺層※2			成相寺層※2
	○ -1.35m		○ -2.21m		○ -1.35m			
				○ -2.15m				
								○ -500m
観測期間	1988年9月 └ 現在		1998年6月 └ 2004年3月		2011年2月 └ 現在		2015年7月 └ 現在	

○:地震計
 ※1 2007年6月観測開始
 ※2 新第三紀中新世の堆積岩
 ※3 2013年10月から設置深度を標高-5mから-6mに変更

5. (2) 敷地における観測記録の整理

- 標準応答スペクトルは全国共通に考慮すべき地震(Mw6.5程度未満)として, 震源近傍の内陸地殻内地震の観測記録(Mw5.0~6.6, 震源深さ0~20km, 震央距離30km以内)を収集して策定されている。
- 観測位相を用いた模擬地震波の作成にあたっては, サイトの特性を反映できるよう, 敷地内で観測された内陸地殻内地震の位相を採用することとし, 下記の抽出条件により検討対象地震を抽出した。
- 検討対象地震のうち, 標準応答スペクトルの検討用地震の収集条件に合致する1991年島根県東部の地震(M5.9, Mw5.7相当)を選定し, この観測記録の位相特性を模擬地震波に反映させる。



抽出条件

期間 : 1988年9月~2022年7月
 M : 4.0以上
 震源深さ : 20km以浅
 震央距離 : 30km以内

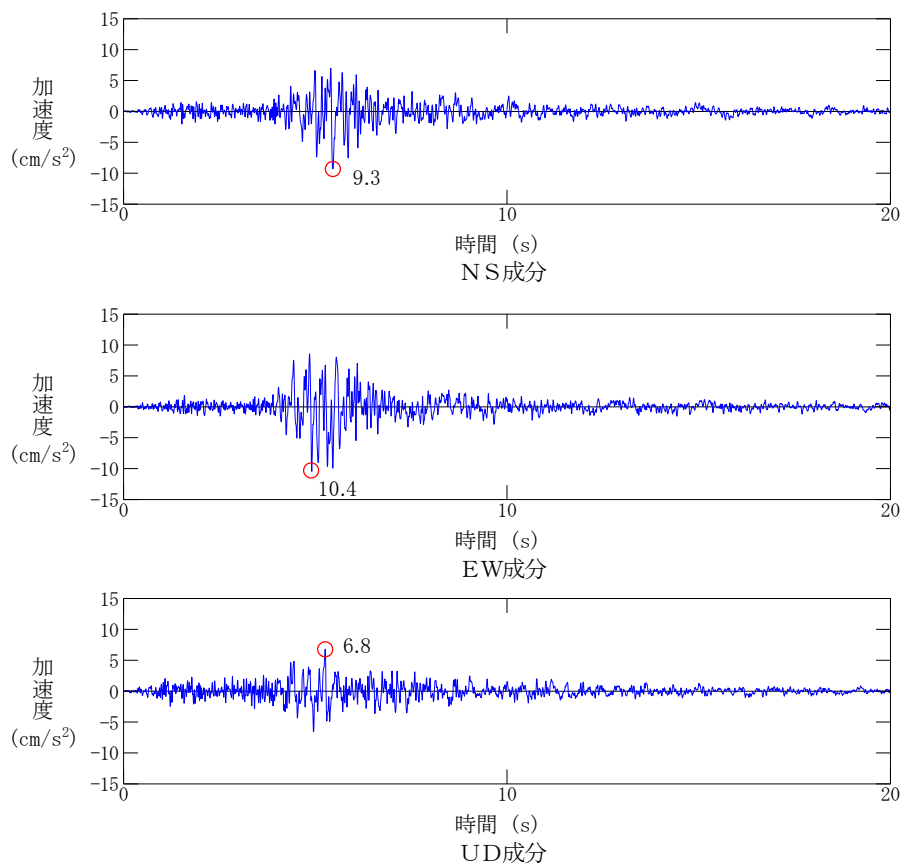
検討対象地震

No.	年月日	時刻	震央地名	M	震源深さ (km)	震央距離 (km)
1	1991.8.28	10:29	島根県東部	5.9	13	29.2
2	2001.2.11	09:17	鳥取県西部	4.5	11	29.8
3	2022.2.11	06:32	島根県東部	4.0	9	19.1

※地震情報の諸元は, 気象庁地震カタログによる。

5. (2) 敷地における観測記録の整理

- 選定した1991年島根県東部の地震の観測記録を以下に示す。
- 模擬地震波は、観測記録の位相特性を用い標準応答スペクトルと適合するようフーリエ振幅を修正することにより、日本電気協会(2008)に示される以下の適合度の条件を満足することを目標に作成する。
 - ・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が全周期帯で0.85以上
 - ・応答スペクトル強さの比(SI比)が1.0以上

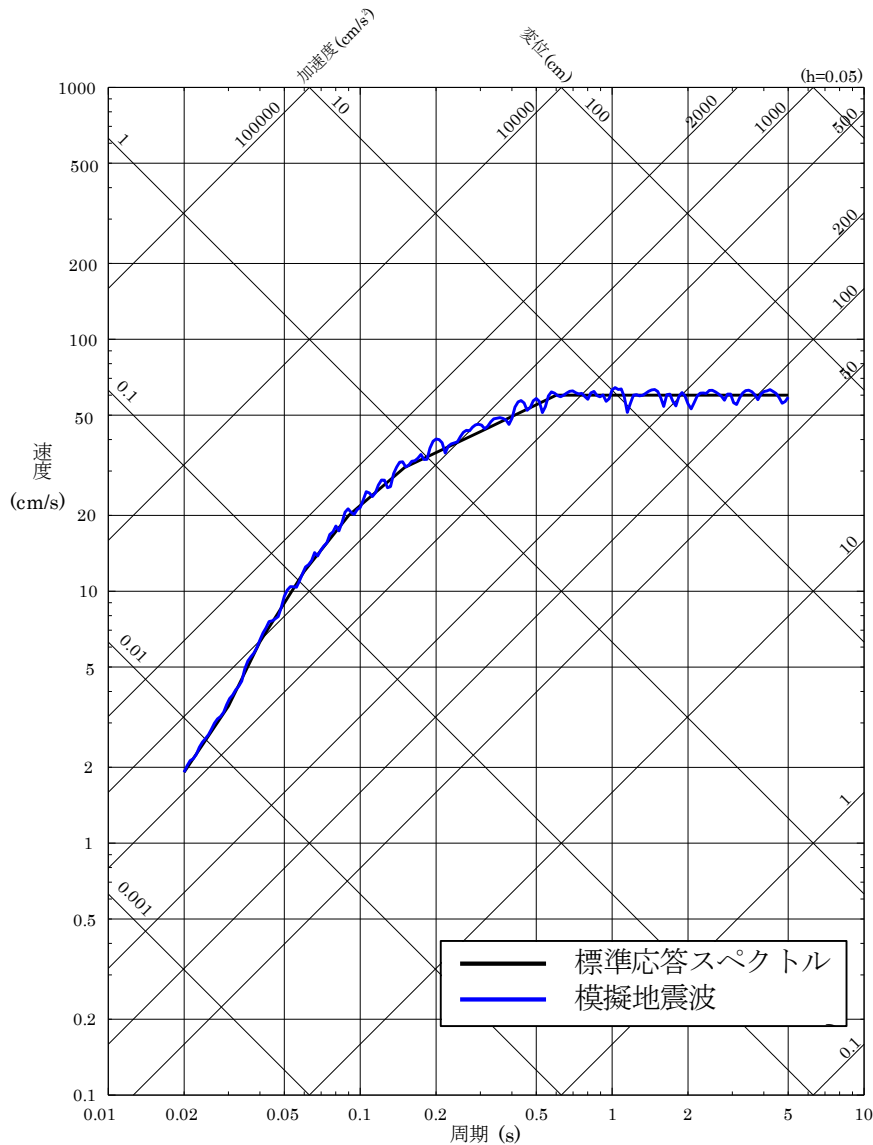


A地点標高-135mの観測記録

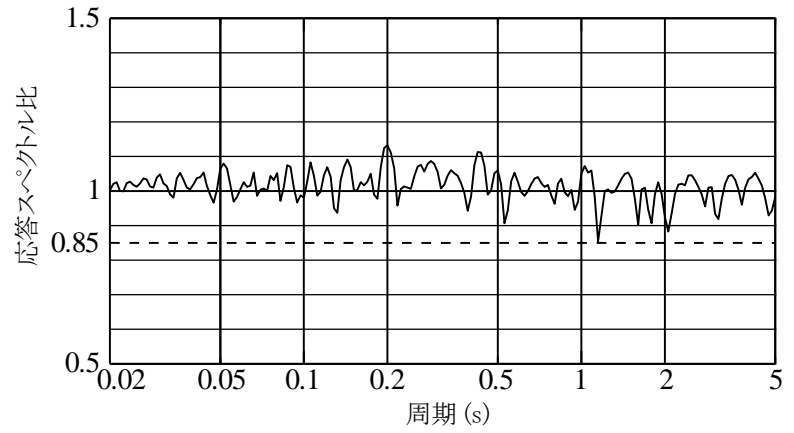
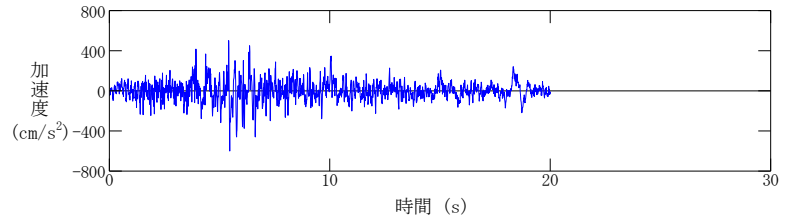
5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (3) 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 作成した模擬地震波(NS成分)を以下に示す。



模擬地震波の応答スペクトル



応答スペクトル比の最小値	0.85
SI比(周期0.1~2.5秒)	1.00

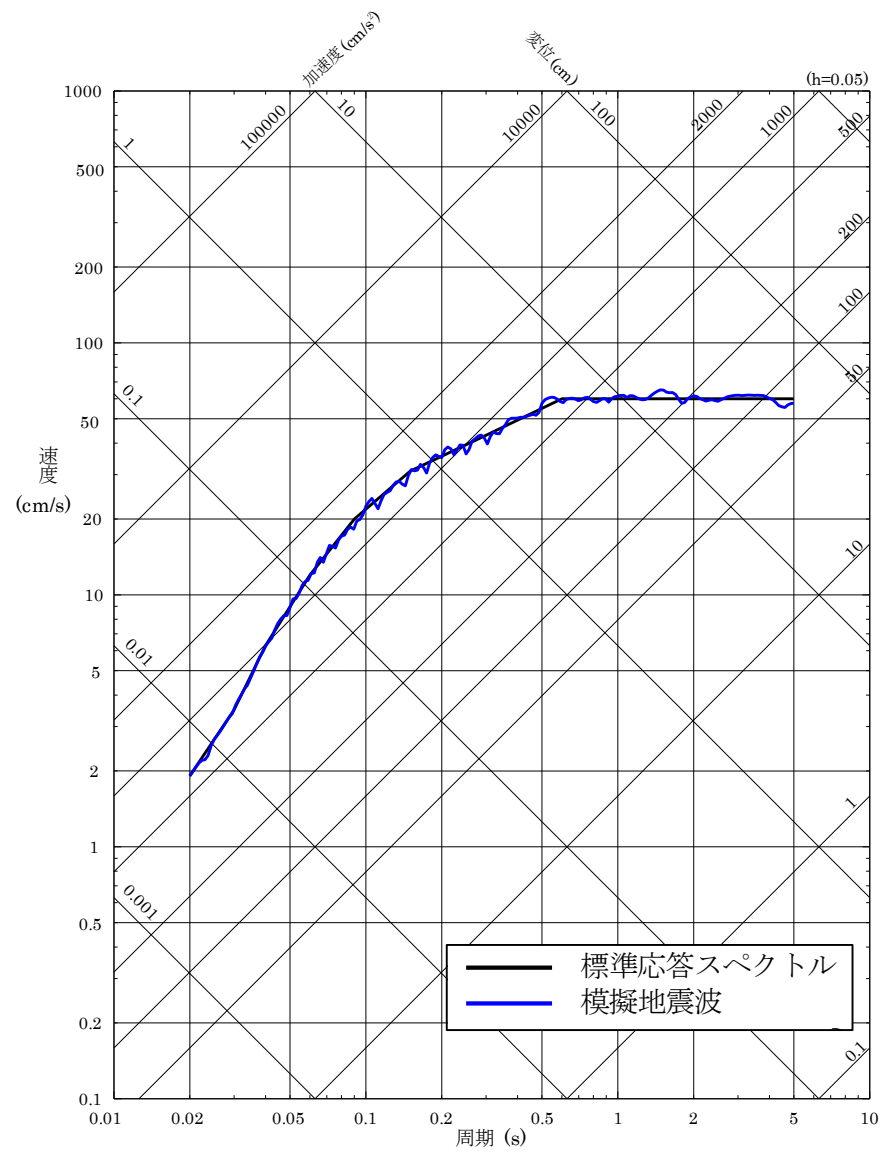
$$SI比 : \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \overline{S_v(T)} dt}$$

SI : 応答スペクトル強さ(減衰定数h=5%)
 $S_v(T)$: 模擬地震波の速度応答スペクトル(cm/s)
 $\overline{S_v(T)}$: 目標とする速度応答スペクトル(cm/s)
 T : 固有周期(秒)

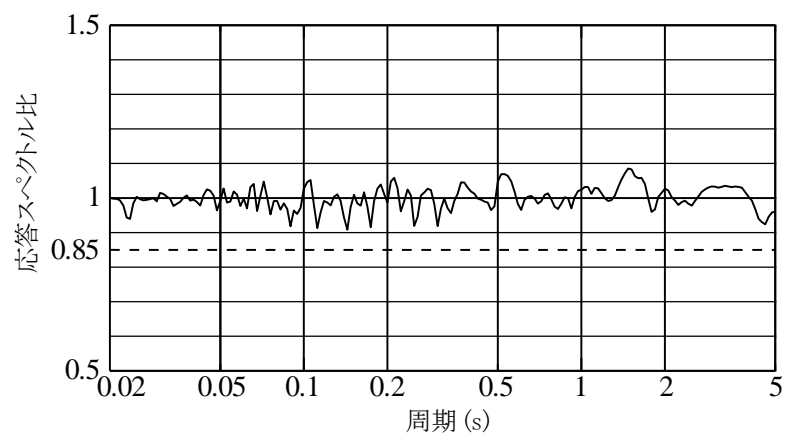
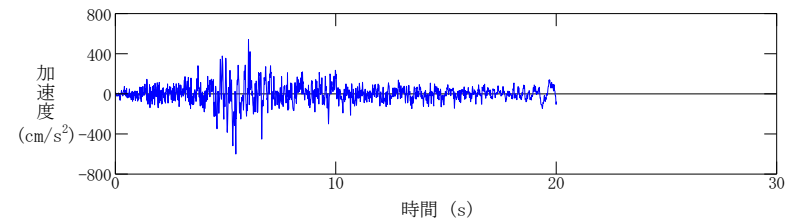
5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (3) 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 作成した模擬地震波(EW成分)を以下に示す。



模擬地震波の応答スペクトル



応答スペクトル比の最小値	0.91
SI比(周期0.1~2.5秒)	1.01

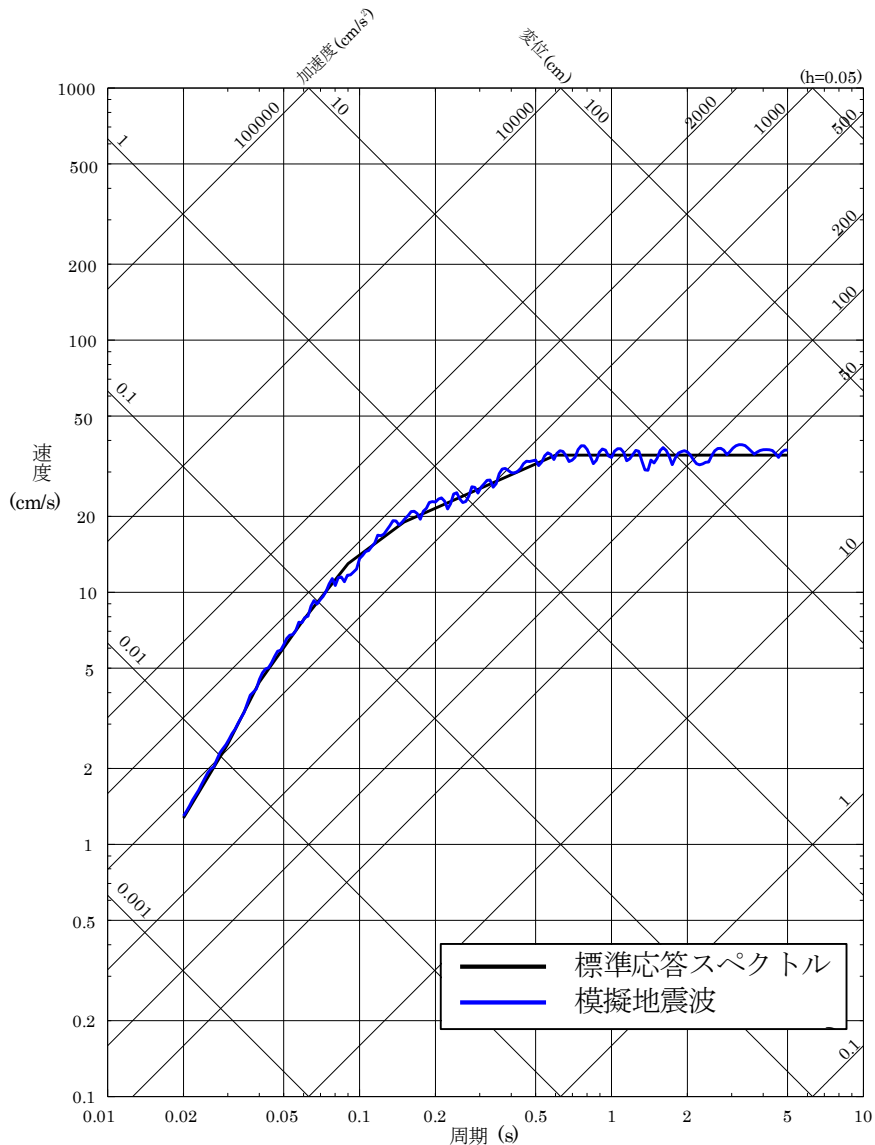
$$SI比: \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \overline{S_v(T)} dt}$$

SI : 応答スペクトル強さ(減衰定数h=5%)
 $S_v(T)$: 模擬地震波の速度応答スペクトル(cm/s)
 $\overline{S_v(T)}$: 目標とする速度応答スペクトル(cm/s)
 T : 固有周期(秒)

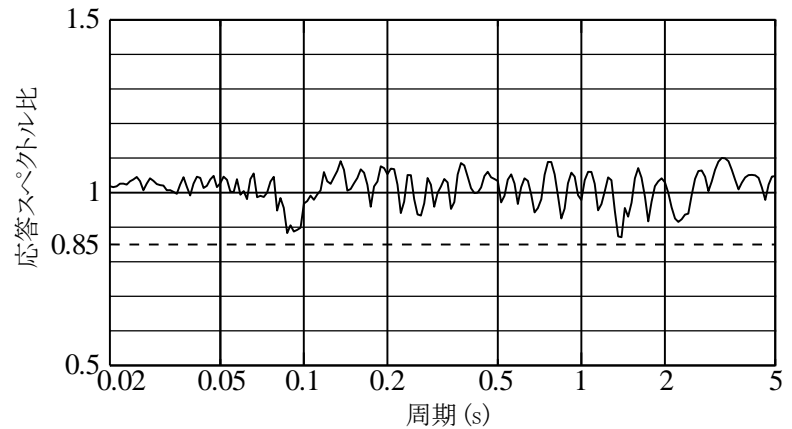
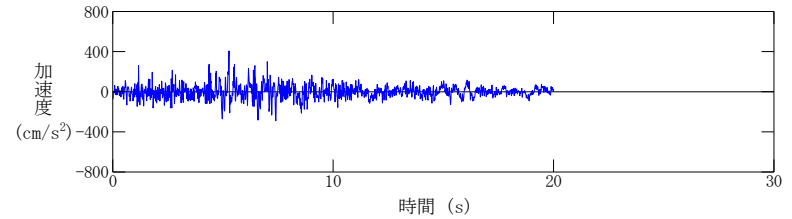
5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (3) 観測位相を用いた模擬地震波の作成

■ 作成した模擬地震波(UD成分)を以下に示す。



模擬地震波の応答スペクトル



応答スペクトル比の最小値	0.87
SI比(周期0.1~2.5秒)	0.99※

$$SI比: \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt}$$

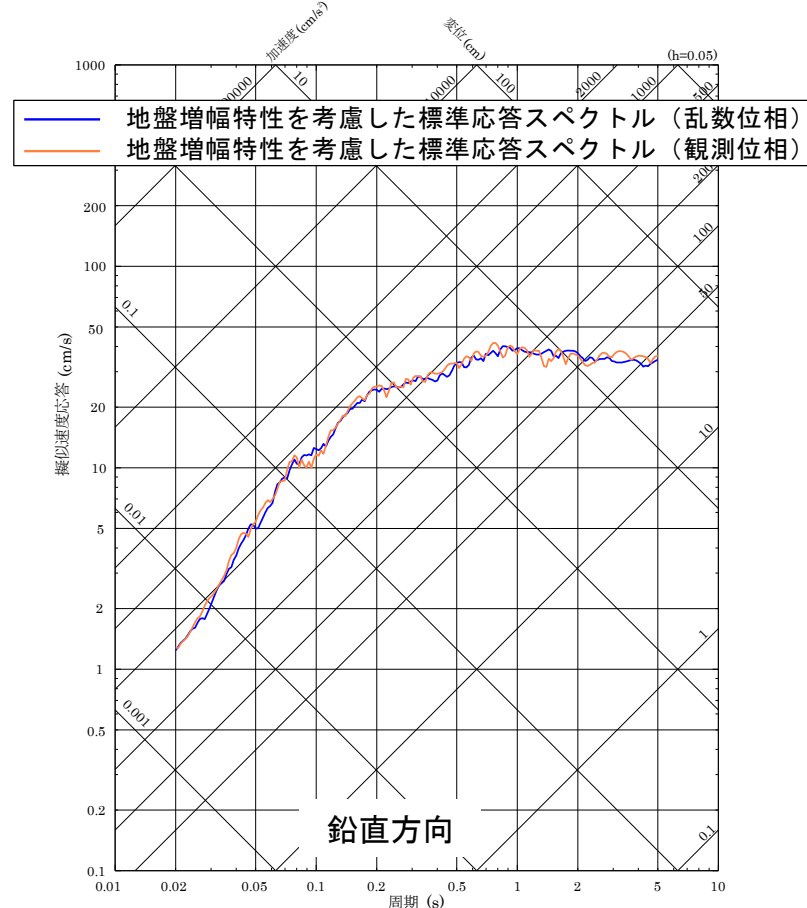
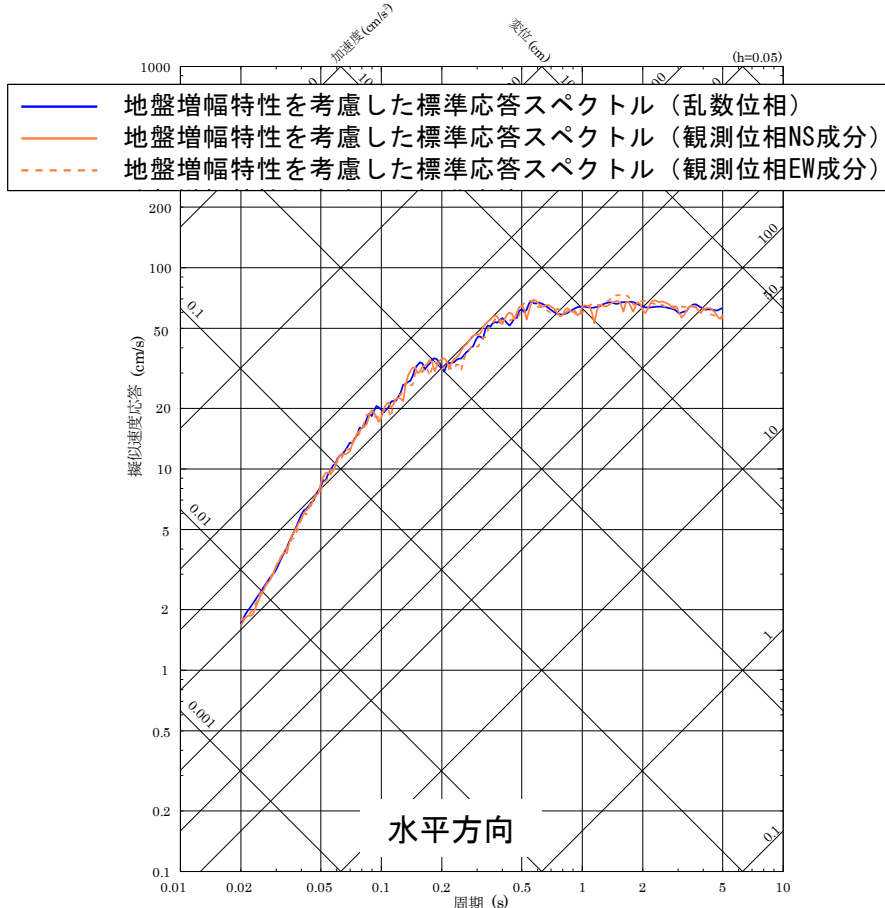
SI : 応答スペクトル強さ(減衰定数h=5%)
 $S_v(T)$: 模擬地震波の速度応答スペクトル(cm/s)
 $\bar{S}_v(T)$: 目標とする速度応答スペクトル(cm/s)
 T : 固有周期(秒)

※SI比の適合条件をわずかに満足しないがほぼ1であり、応答スペクトル比の適合条件を満足していることから、この波を用いることとする。

5. 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波の作成

5. (4) 解放基盤表面における地震動の比較

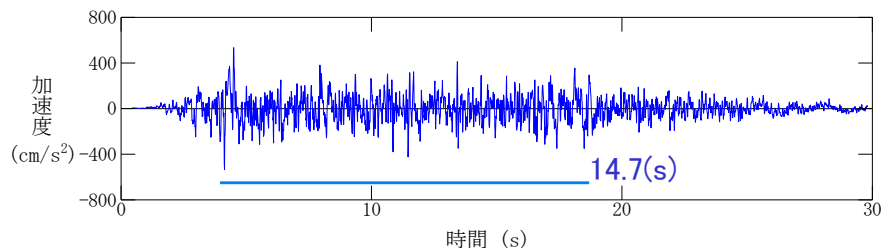
- 作成した標準応答スペクトルの模擬地震波を地下構造モデルを用いて一次元波動論によって解放基盤表面に引き上げた地震動の応答スペクトル(地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル)を以下に示す。
- 模擬地震波の作成に乱数位相, 観測位相を用いても, 地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトルに有意な差は見られない。



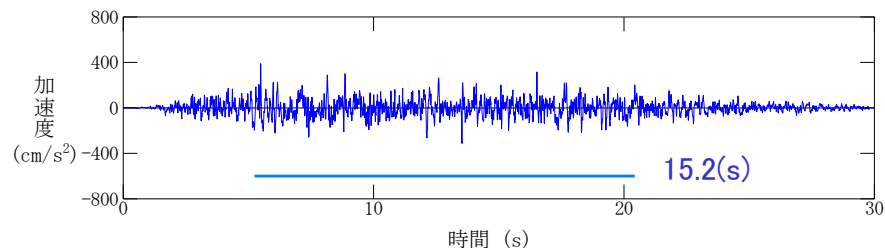
地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル

5. (4) 解放基盤表面における地震動の比較

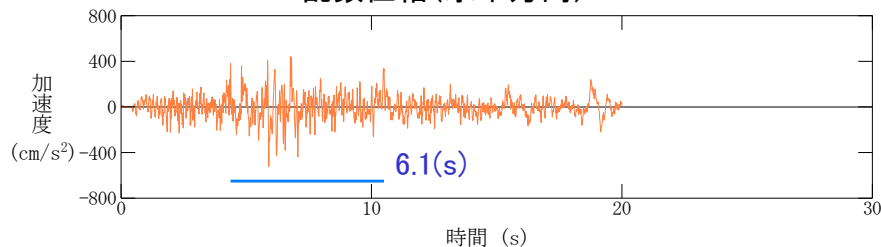
- 地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトルの加速度時刻歴波形(以下、「解放基盤表面波」という。)を以下に示す。
- 解放基盤表面波の主要動継続時間は、観測位相を用いた模擬地震波より乱數位相を用いた模擬地震波の方が長い。
- 応答スペクトルの比較では各地震動に有意な差はないが、時刻歴波形の比較では乱數位相を用いた模擬地震波の方が主要動継続時間が長いことから、乱數位相を用いた模擬地震波に基づく地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトルを「震源を特定せず策定する地震動」として採用する。



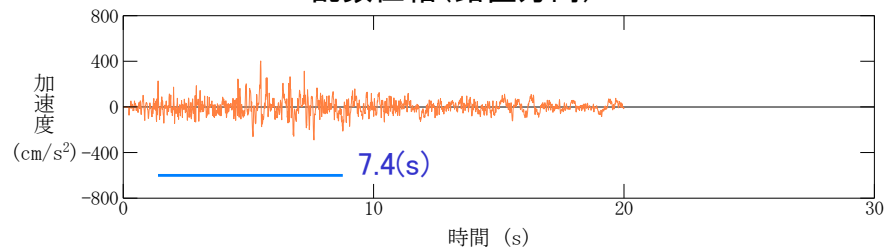
乱數位相(水平方向)



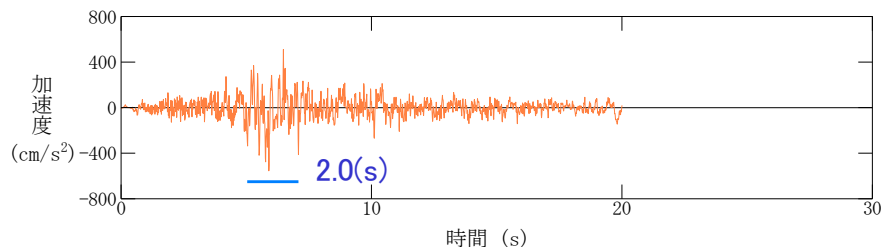
乱數位相(鉛直方向)



観測位相(NS成分)



観測位相(UD成分)

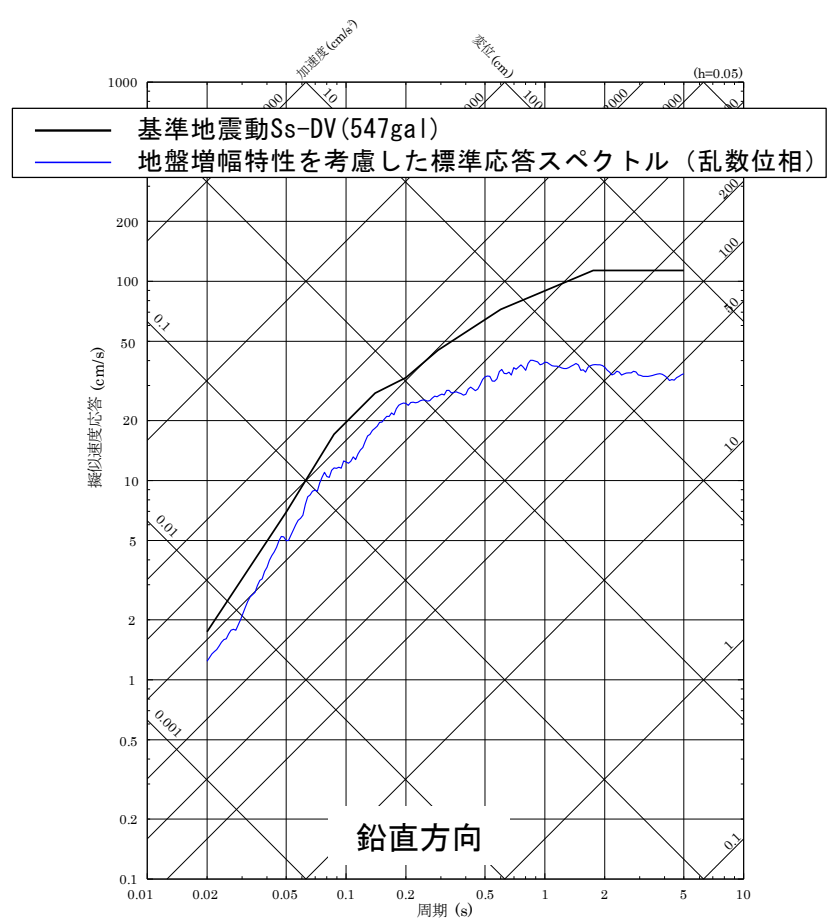
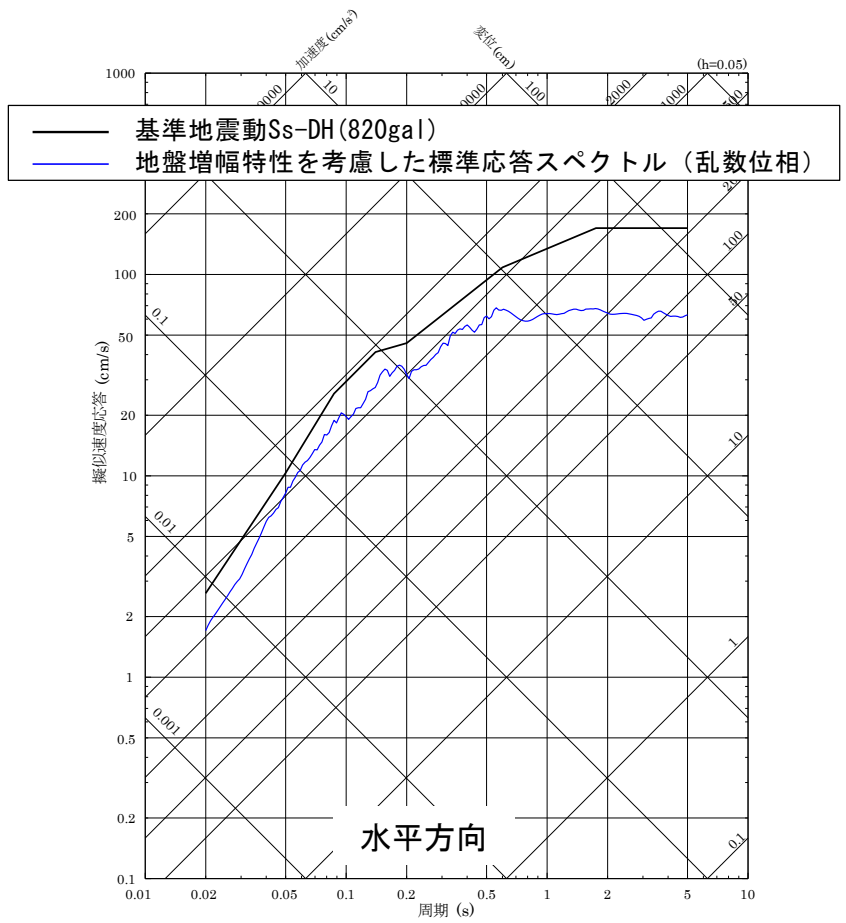


観測位相(EW成分)

解放基盤表面波

6. 基準地震動との比較

- 地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル(乱数位相)と「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 S_s-D の比較を以下に示す。
- 地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル(乱数位相)は、全周期帯で基準地震動 S_s-D に包絡されることから、基準地震動として選定しない。

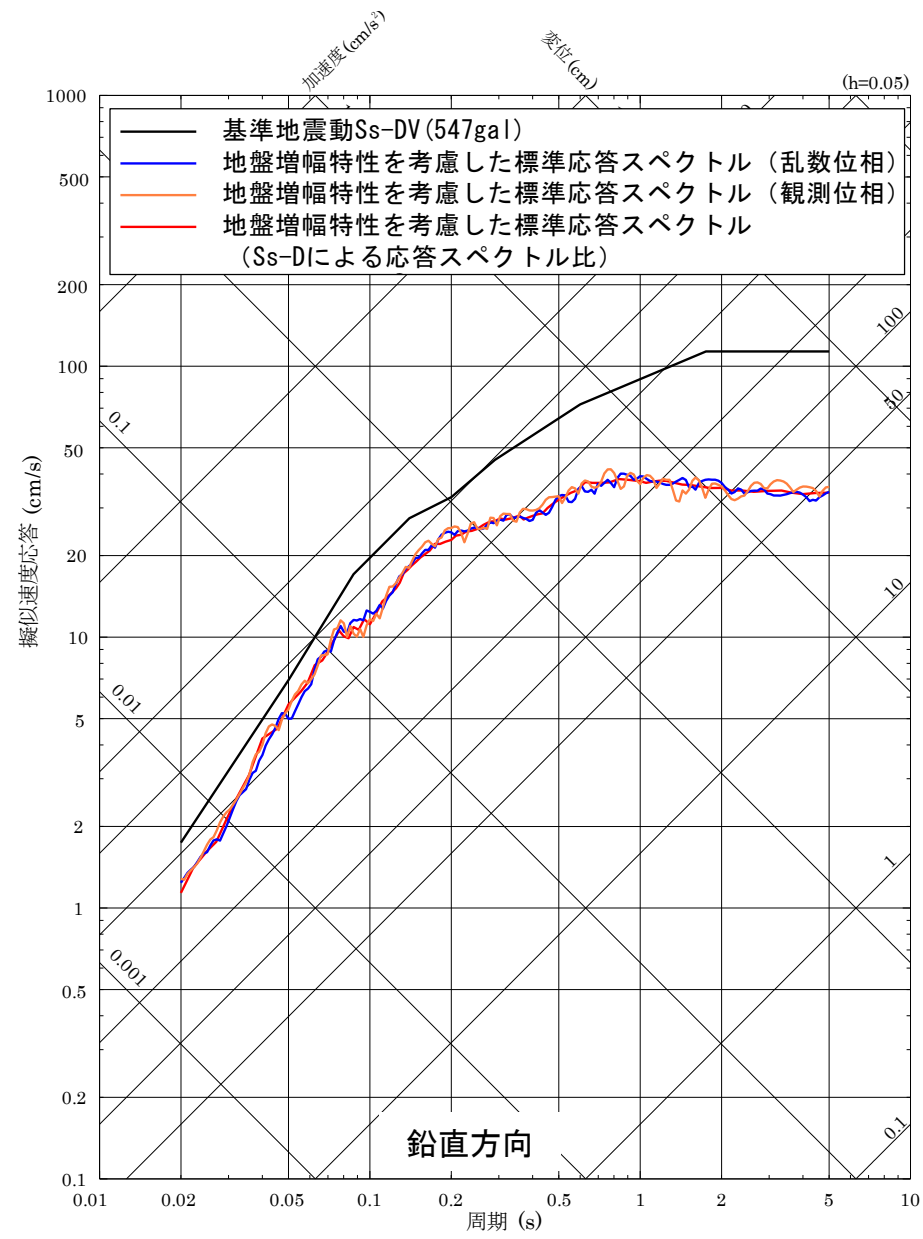
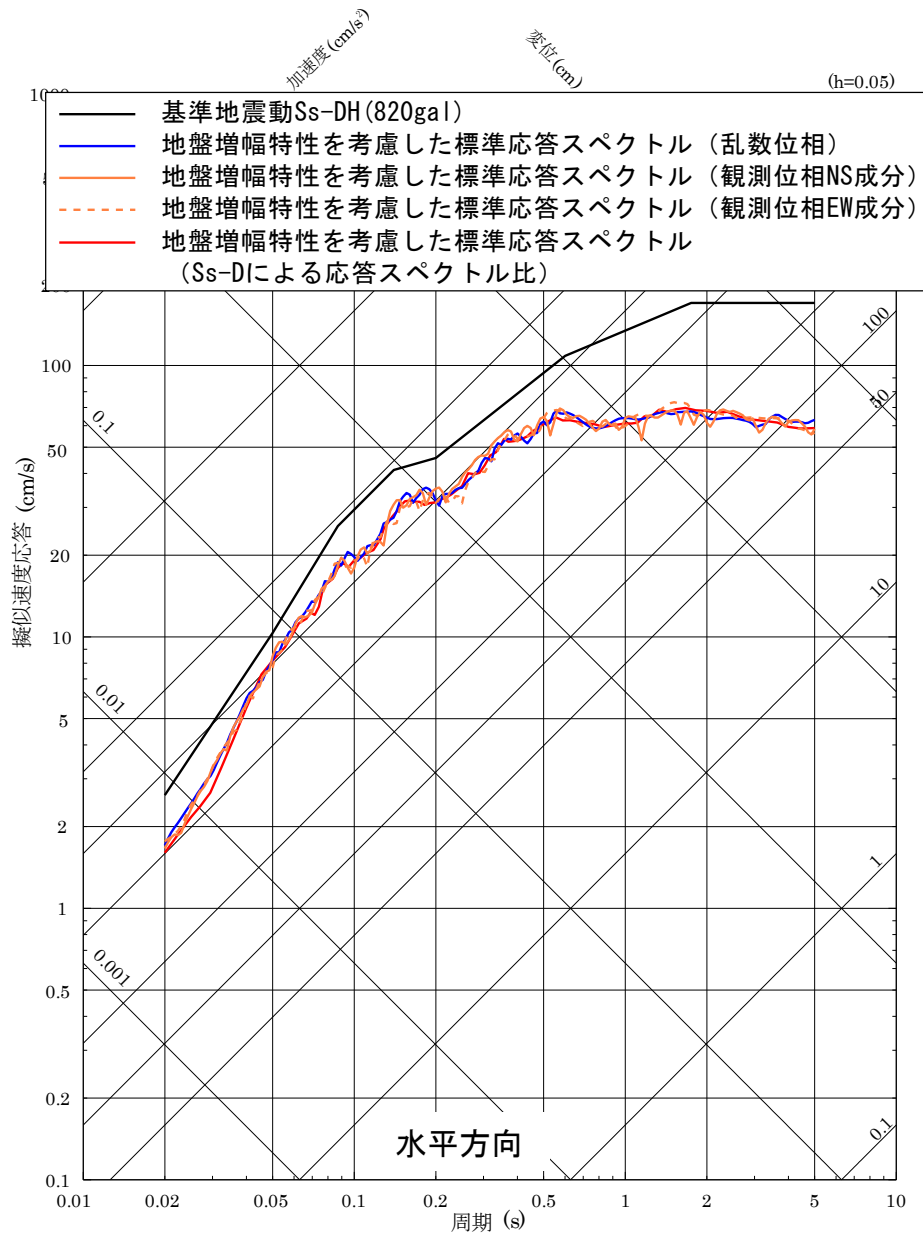


地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル

7. まとめ

- 島根原子力発電所2号炉の基準地震動について、「震源を特定せず策定する地震動」のうち、標準応答スペクトルに関する検討を実施した。
- 標準応答スペクトルはせん断波速度 $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の地震基盤相当面にて定義されており、島根原子力発電所の基準地震動を策定している解放基盤表面は $V_s=1,520\text{m/s}$ であることから、標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を作成し、地下構造モデルによって地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮した。
- 標準応答スペクトルの模擬地震波は、一様乱数の位相特性を持つ正弦波の重ね合わせによる方法と観測記録の位相特性を用いる方法により作成した。
- 各模擬地震波に地盤増幅特性を考慮したところ、応答スペクトルに有意な差はないが、時刻歴波形の比較では観測位相を用いた模擬地震波よりも乱數位相を用いた模擬地震波の方が主要動継続時間が長いことから、乱數位相を用いた模擬地震波に地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトルを「震源を特定せず策定する地震動」として採用した。
- 地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトルは、全周期帯で基準地震動 S_s-D に包絡されることから、基準地震動としては選定しない。

7. まとめ



第7回 標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴う
設置変更許可申請等の要否に係る会合
(2021年11月26日)資料

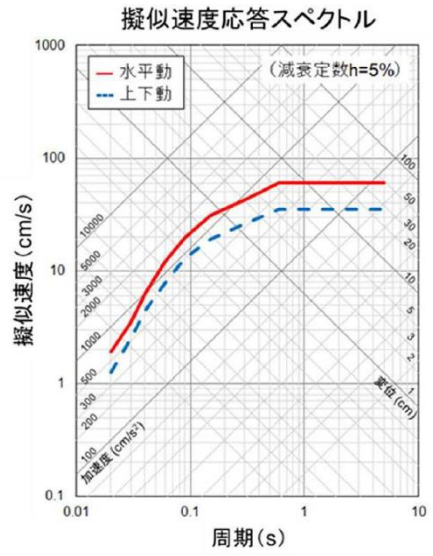
1. 検討方針

■ 新たに制定された標準応答スペクトルと島根原子力発電所の基準地震動 S_s との比較を行う。

■ 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 $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の地層をいう。)における標準的な応答スペクトルとして次の図に示すもの。

(令和3年4月21日 原規技発第2104216号 原子力規制委員会決定「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」による。)



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

図 地震基盤相当面における標準応答スペクトル



島根原子力発電所2号炉の基準地震動 S_s 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
1,520m/s	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 標準応答スペクトルに対して、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮したうえで、基準地震動S_s-Dと比較して影響を確認する。 ➤ 地盤増幅特性は基準地震動S_s-Dを地下構造モデルを介して地震基盤相当面まで引き戻し、その引き戻し波と解放基盤表面で設定した基準地震動S_s-Dとの応答スペクトル比を求め、標準応答スペクトルに乗じることで考慮する。

2. 標準応答スペクトルの影響検討

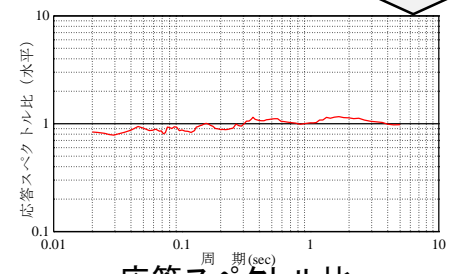
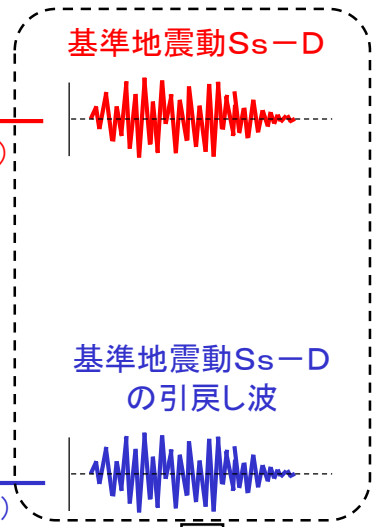
- 地震基盤相当面は $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上と定義されていることから、島根原子力発電所の地震動評価に用いる地下構造モデルにおいて $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上となり、それ以深の層も $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上となる標高-955m($V_s=2,730\text{m/s}$)を地震基盤相当面に設定した。
- 解放基盤表面($V_s=1,520\text{m/s}^*$)で策定された基準地震動 S_s-D と、地下構造モデルによる地震基盤相当面($V_s=2,730\text{m/s}^*$)での基準地震動 S_s-D の引戻し波との応答スペクトル比を算出する。(地下構造モデルについては参考資料(45~59ページ)参照)
 ※鉛直方向については、水平方向のそれぞれの V_s に対応する V_p を有する層を対象に、同様の計算を行う。

地震動評価に用いる地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数(%)	
						h_s	h_p
						$h(f)$	$h(f)$
1	-10	14	1520	3240	2500	$12.3f^{-0.733}$	$31.1f^{-0.733}$
2	-24	116	1900	3860	2570	$6.53f^{-0.463}$	$13.5f^{-0.463}$
3	-140	32	2100	4150	2490	$11.4f^{-0.739}$	$16.9f^{-0.739}$
4	-172	43	1770	3800	2560	$13.0f^{-0.817}$	$13.9f^{-0.817}$
5	-215	130	2530	5220	2680	$3.81f^{-0.363}$	$4.27f^{-0.363}$
6	-345	610	2190	4350	2650	$2.51f^{-0.497}$	$2.70f^{-0.497}$
7	-955	555	2730	5160	2640	$4.73f^{-0.920}$	$4.84f^{-0.920}$
8	-1510	530	3020	5220	2620	0.250	0.125
9	-2040	13960	3570	6180	2720	0.185	0.091
10	-16000	22000	3870	6700	2800	0.125	0.063
11	-38000	∞	4510	7800	3100	0.100	0.050

▽解放基盤表面
($V_s=1,520\text{m/s}$, $V_p=3,240\text{m/s}$)

▽地震基盤相当面
($V_s=2,730\text{m/s}$, $V_p=5,160\text{m/s}$)

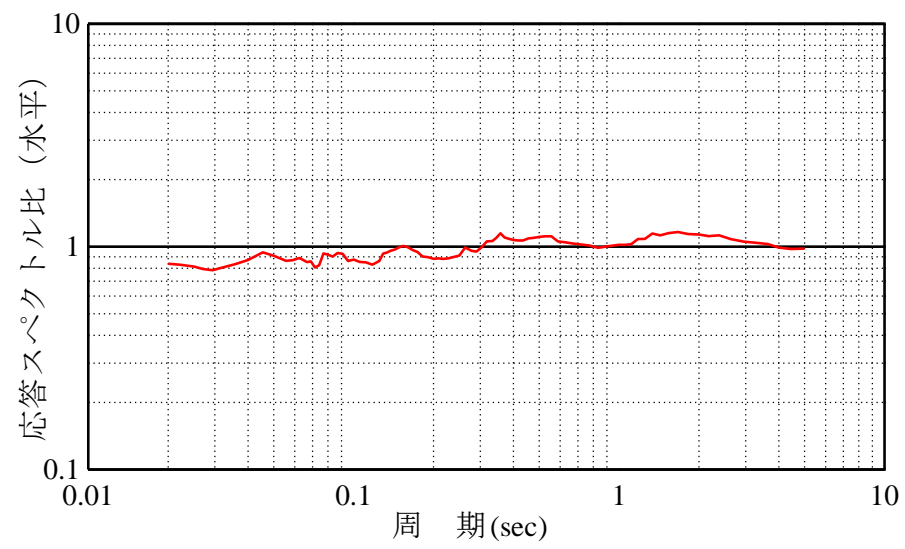


応答スペクトル比
(基準地震動 S_s-D / 基準地震動 S_s-D の引戻し波)

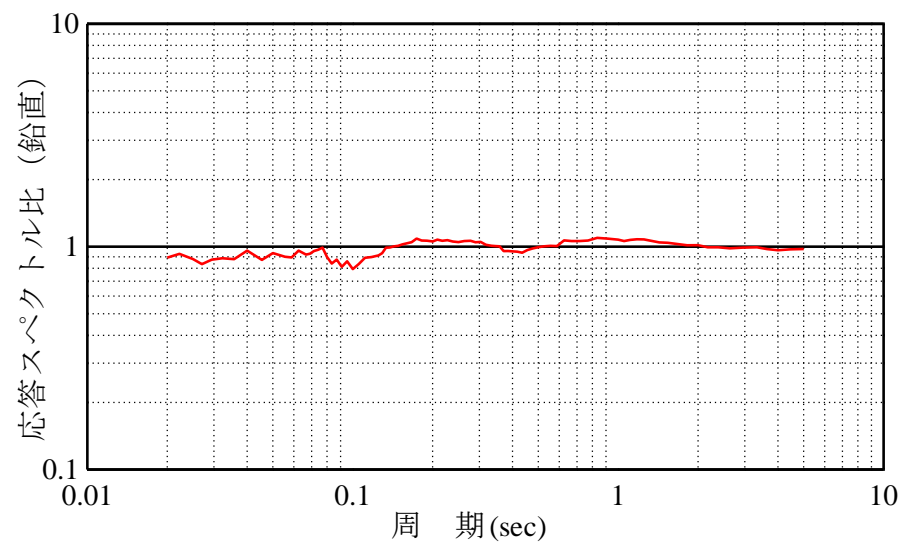
(島根原子力発電所2号炉 原子炉設置変更許可申請書 添付六 第5.5-4表 地震動評価に用いる地下構造モデル)

2. 標準応答スペクトルの影響検討

- 基準地震動S_s-Dと、基準地震動S_s-Dの引戻し波により得られた以下に示す応答スペクトル比を、標準応答スペクトルに乗ずることで地盤増幅特性を考慮する。



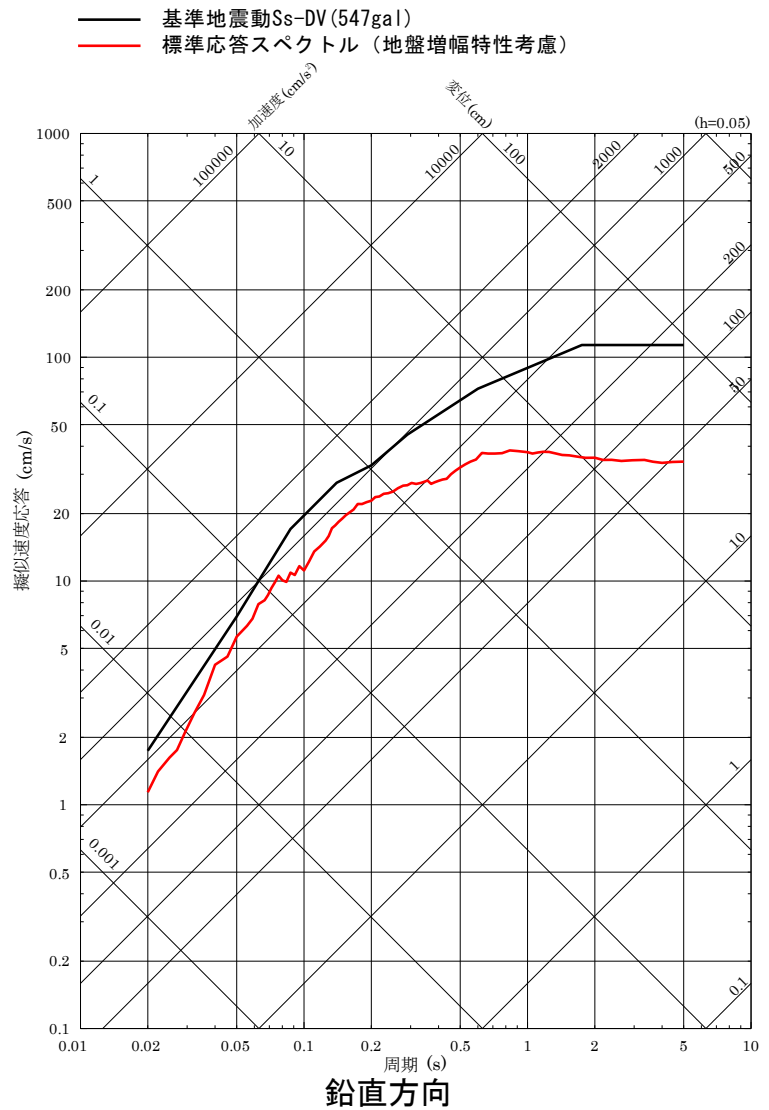
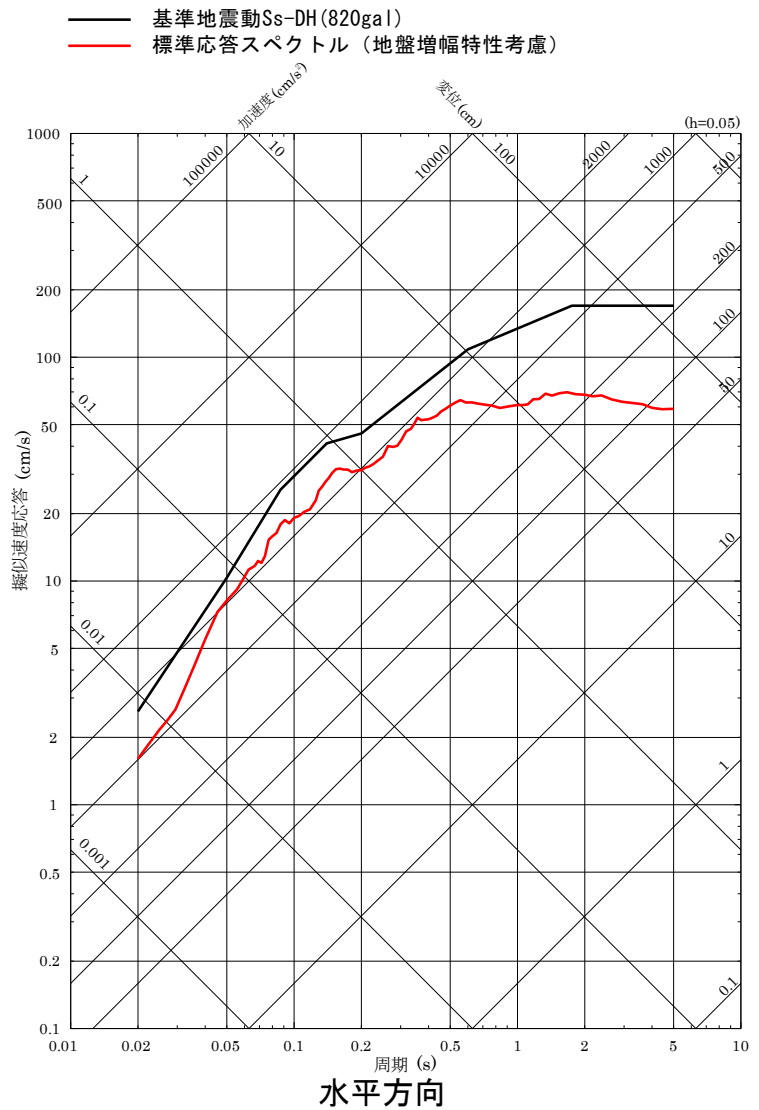
応答スペクトル比(水平方向)



応答スペクトル比(鉛直方向)

2. 標準応答スペクトルの影響検討

■ 基準地震動S_s-Dで算定した応答スペクトル比を用いて地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトルは、全周期帯で基準地震動S_s-Dに包絡される。



擬似速度応答スペクトル

2. 標準応答スペクトルの影響検討

■ 標準応答スペクトル(地盤増幅特性考慮)は全周期帯で基準地震動 S_s-D に包絡される。

周期※1 (s)	水平方向 擬似速度応答(cm/s)		鉛直方向 擬似速度応答(cm/s)	
	標準応答スペクトル (地盤増幅特性考慮)	S_s-D ※2	標準応答スペクトル (地盤増幅特性考慮)	S_s-D ※2
0.02	1.602	2.611	1.136	1.742
0.03	2.786	4.803	2.204	3.211
0.04	5.491	7.401	4.223	4.956
0.06	10.46	13.95	7.126	9.334
0.09	18.55	26.50	10.70	17.67
0.15	30.82	42.04	19.22	28.45
0.30	42.27	62.82	27.28	46.10
0.60	62.77	108.5	35.70	72.34
5.00	58.82	170.0	34.17	113.4

※1: 周期は標準応答スペクトルのコントロールポイントを示す
 ※2: 赤字は基準地震動 S_s-D のコントロールポイントの線形補間による値

3. S_s-D 以外の応答スペクトル比を用いた検討

- 「2. 標準応答スペクトルの影響検討」にて、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性の考慮に用いた応答スペクトル比の妥当性確認として、下記の検討を行う。また、それぞれの応答スペクトル比を考慮した標準応答スペクトルと基準地震動 S_s-D を比較する。

(1) S_s-D 以外の基準地震動による応答スペクトル比の検討

S_s-D 以外の複数の基準地震動で応答スペクトル比を算定した際に、 S_s-D で算定した場合と同程度の応答スペクトル比となることを確認する。

(2) 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

地震観測記録を用いて応答スペクトル比を算定した際に、 S_s-D で算定した場合と同程度の応答スペクトル比となることを確認する。

3. S_s-D以外の応答スペクトル比を用いた検討3. (1) S_s-D以外の基準地震動による応答スペクトル比の検討

- S_s-D以外のすべての基準地震動を用いて検討を行う。(基準地震動については参考資料(60~66ページ)参照)

島根原子力発電所の基準地震動

基準地震動		最大加速度(ガル)	
		水平方向	鉛直方向
S _s -D	応答スペクトル手法による基準地震動	820	547
S _s -F1	断層モデル手法による基準地震動 (宍道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍):破壊開始点5)	(NS) 549	337
		(EW) 560	
S _s -F2	断層モデル手法による基準地震動 (宍道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍):破壊開始点6)	(NS) 522	426
		(EW) 777	
S _s -N1	2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動	620	320
S _s -N2	2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録	(NS) 528	485
		(EW) 531	

検討に用いる基準地震動

3. Ss-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (1) Ss-D以外の基準地震動による応答スペクトル比の検討

- 解放基盤表面 ($V_s=1,520\text{m/s}^*$) で策定されたSs-D以外の各基準地震動と、地下構造モデルによる地震基盤相当面 ($V_s=2,730\text{m/s}^*$) での各基準地震動の引戻し波との応答スペクトル比を確認する。(「2. 標準応答スペクトルの影響検討」にてSs-Dを用いて実施したのと同じ手法)

※鉛直方向については、水平方向のそれぞれの V_s に対応する V_p を有する層を対象に、同様の計算を行う。

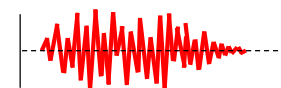
地震動評価に用いる地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	密度 (kg/m^3)	減衰定数(%)	
						h_s	h_p
						$h(f)$	$h(f)$
1	-10	14	1520	3240	2500	$12.3f^{-0.733}$	$31.1f^{-0.733}$
2	-24	116	1900	3860	2570	$6.53f^{-0.463}$	$13.5f^{-0.463}$
3	-140	32	2100	4150	2490	$11.4f^{-0.739}$	$16.9f^{-0.739}$
4	-172	43	1770	3800	2560	$13.0f^{-0.817}$	$13.9f^{-0.817}$
5	-215	130	2530	5220	2680	$3.81f^{-0.363}$	$4.27f^{-0.363}$
6	-345	610	2190	4350	2650	$2.51f^{-0.497}$	$2.70f^{-0.497}$
7	-955	555	2730	5160	2640	$4.73f^{-0.920}$	$4.84f^{-0.920}$
8	-1510	530	3020	5220	2620	0.250	0.125
9	-2040	13960	3570	6180	2720	0.185	0.091
10	-16000	22000	3870	6700	2800	0.125	0.063
11	-38000	∞	4510	7800	3100	0.100	0.050

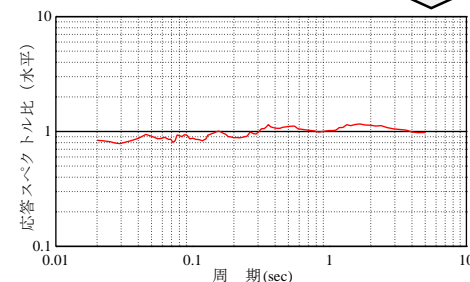
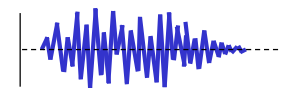
▽解放基盤表面

($V_s=1,520\text{m/s}$, $V_p=3,240\text{m/s}$)

基準地震動

基準地震動の
引戻し波

▽地震基盤相当面

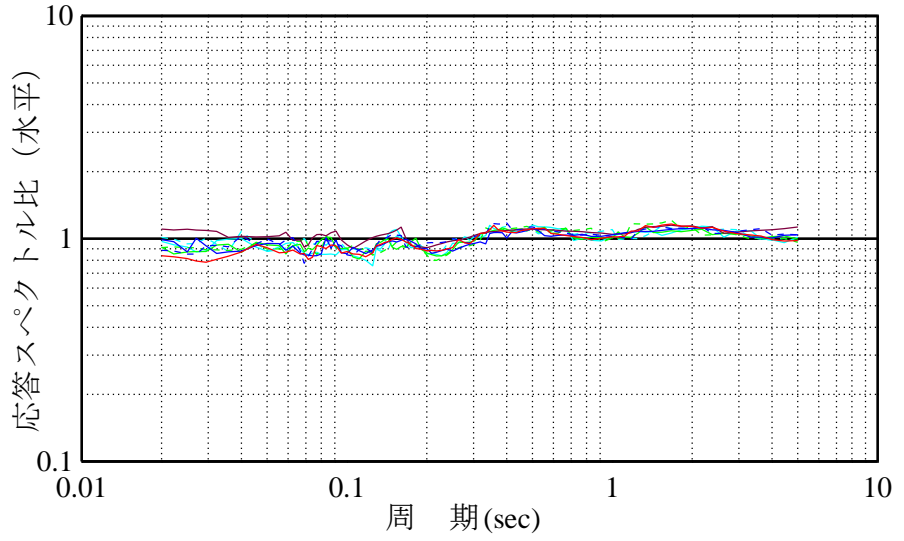
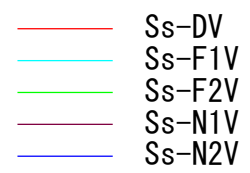
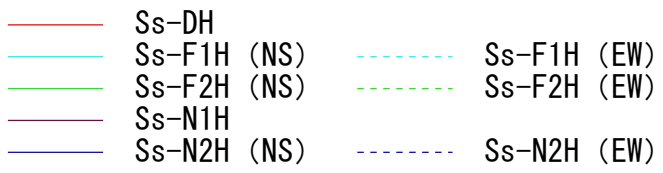
($V_s=2,730\text{m/s}$, $V_p=5,160\text{m/s}$)

応答スペクトル比
(基準地震動/基準地震動の引戻し波)

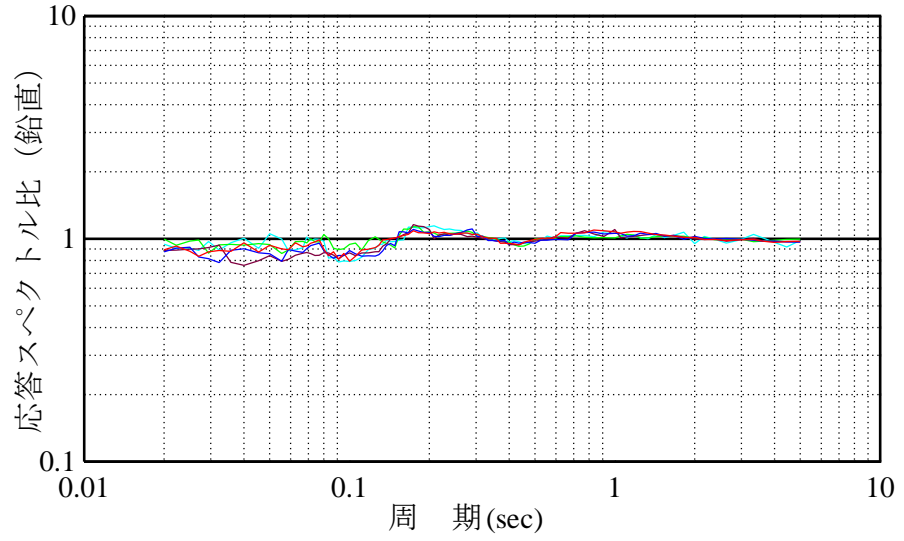
(島根原子力発電所2号炉 原子炉設置変更許可申請書
添付六 第5.5-4表 地震動評価に用いる地下構造モデル)

3. (1) S_s-D以外の基準地震動による応答スペクトル比の検討

- 各基準地震動と、それに対応する基準地震動の引戻し波により得られた応答スペクトル比を以下に示す。
- S_s-D以外の各基準地震動を用いた応答スペクトル比は、基準地震動S_s-Dを用いた応答スペクトル比と同程度であることを確認した。



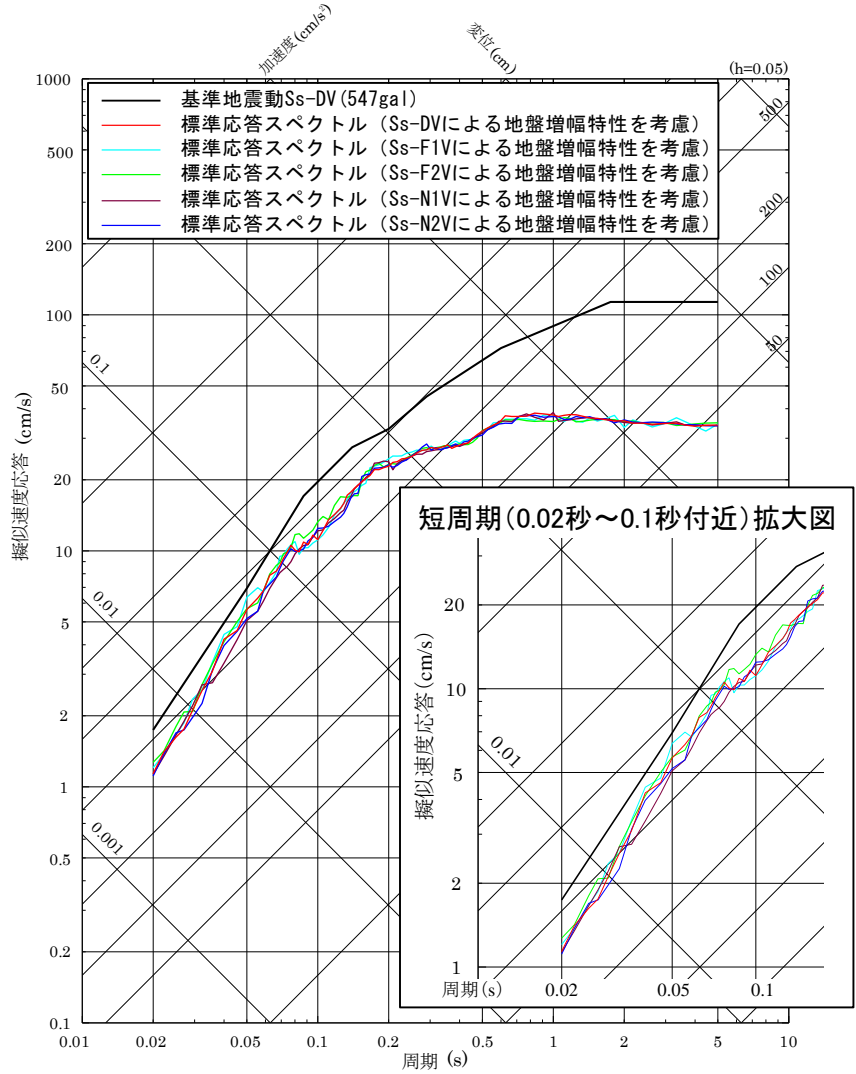
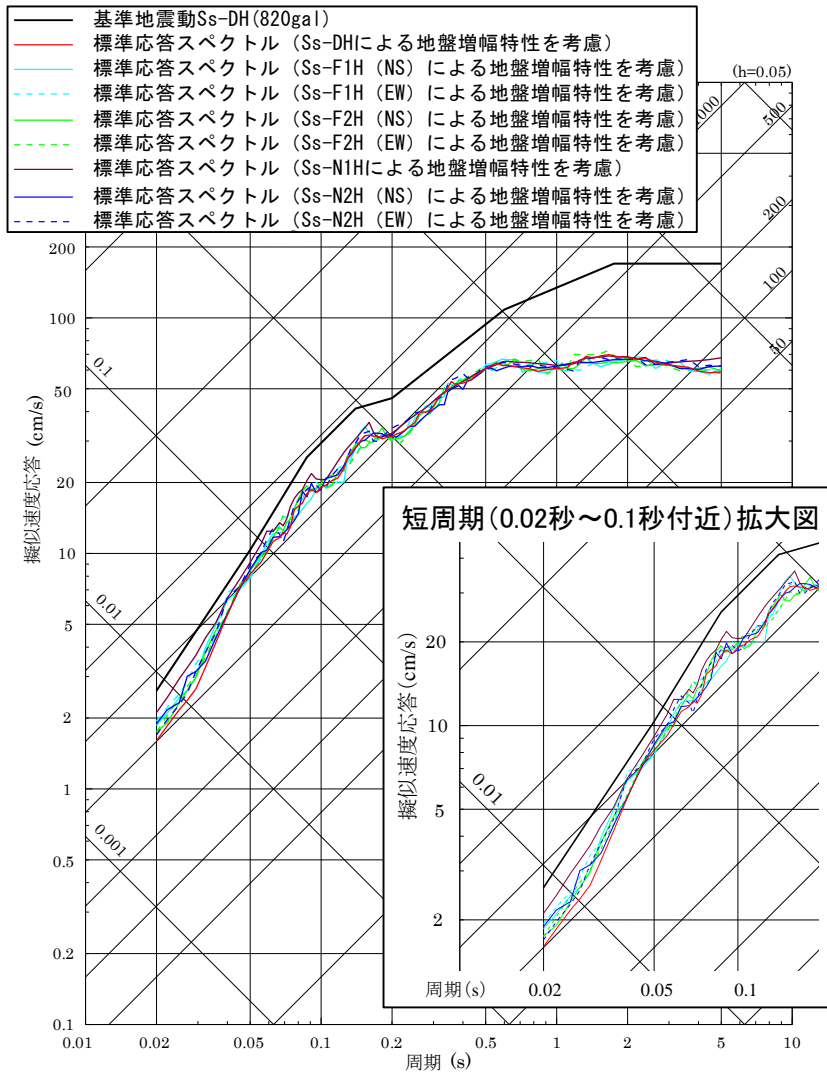
応答スペクトル比(水平方向)



応答スペクトル比(鉛直方向)

3. (1) S_s-D以外の基準地震動による応答スペクトル比の検討

■ S_s-D以外の各基準地震動による応答スペクトル比を用いて標準応答スペクトルに地盤増幅特性を考慮しても、全周期帯で基準地震動S_s-Dに包絡される。



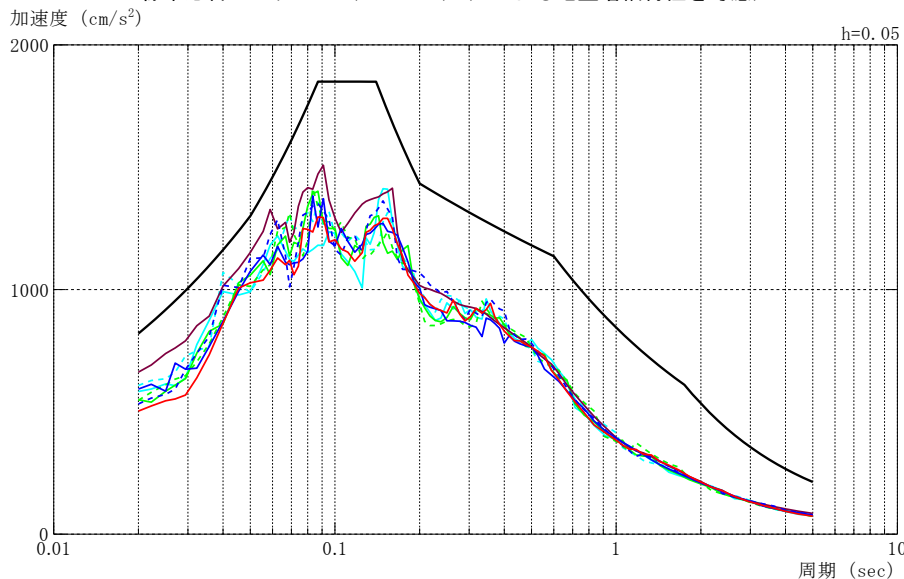
擬似速度応答スペクトル

3. (1) S_s-D以外の基準地震動による応答スペクトル比の検討

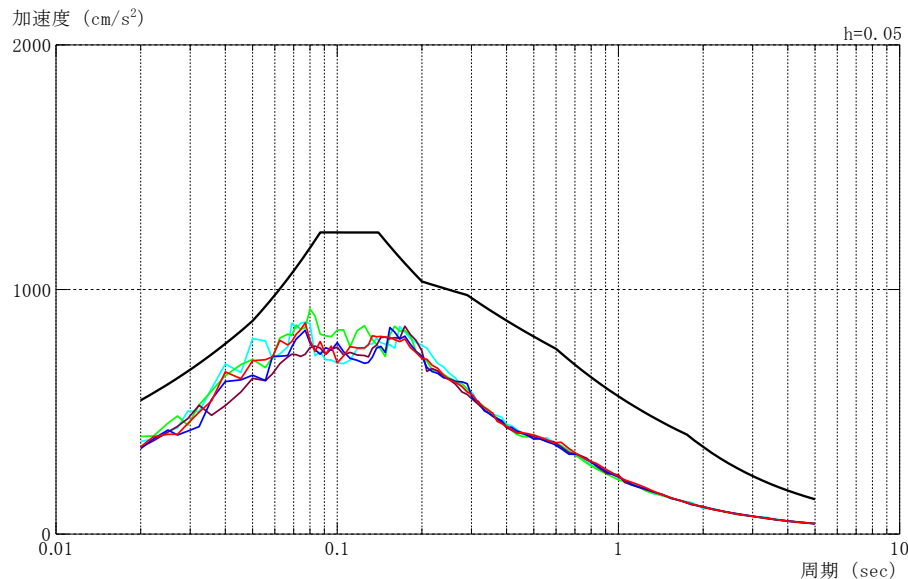
■ S_s-D以外の各基準地震動による応答スペクトル比を用いて標準応答スペクトルに地盤増幅特性を考慮しても、全周期帯で基準地震動S_s-Dに包絡される。

- 基準地震動S_s-DH(820gal)
- 標準応答スペクトル (S_s-DHによる地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-F1H (NS) による地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-F1H (EW) による地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-F2H (NS) による地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-F2H (EW) による地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-N1Hによる地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-N2H (NS) による地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-N2H (EW) による地盤増幅特性を考慮)

- 基準地震動S_s-DV(547gal)
- 標準応答スペクトル (S_s-DVIによる地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-F1VIによる地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-F2VIによる地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-N1VIによる地盤増幅特性を考慮)
- 標準応答スペクトル (S_s-N2VIによる地盤増幅特性を考慮)



水平方向



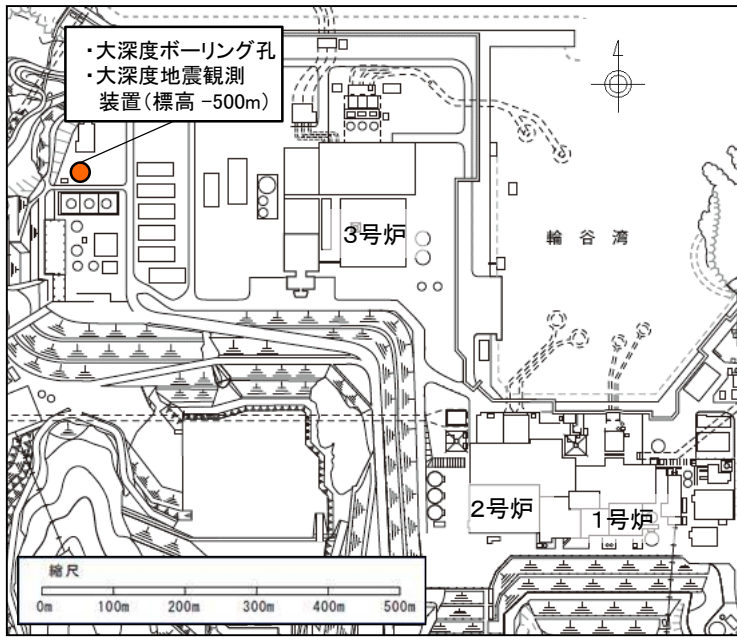
鉛直方向

加速度応答スペクトル

3. Ss-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (2) 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

- 島根サイトでは2015年7月より、発電所敷地内の大深度ボーリング孔で地震観測を実施しており、地震基盤相当面と同程度の岩盤中(標高-500m:Vs=2190m/s)における地震観測記録が得られている。
- 大深度ボーリング孔で得られた地震観測記録を用いて、解放基盤表面/地震基盤相当面の応答スペクトル比を算出する。



大深度ボーリング

標高	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)
+8.5m				
-16.5m	25	760	1870	2150
-51.5m	35	2660	5320	2610
-241.5m	190	1710	3940	2390
-371.5m	130	2530	5220	2680
-500.0m	610	2190	4350	2650
-981.5m	210	2730	5160	2640
-1191.5m				

地震動評価に用いる地下構造モデル*

標高	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)
-10m	14	1520	3240	2500
-24m	116	1900	3860	2570
-140m	32	2100	4150	2490
-172m	43	1770	3800	2560
-215m	130	2530	5220	2680
-345m	610	2190	4350	2650
-500.0m	555	2730	5160	2640
-955m	530	3020	5220	2620
-1510m	—	3570	6180	2720
-2040m				

地震計
▽設置位置

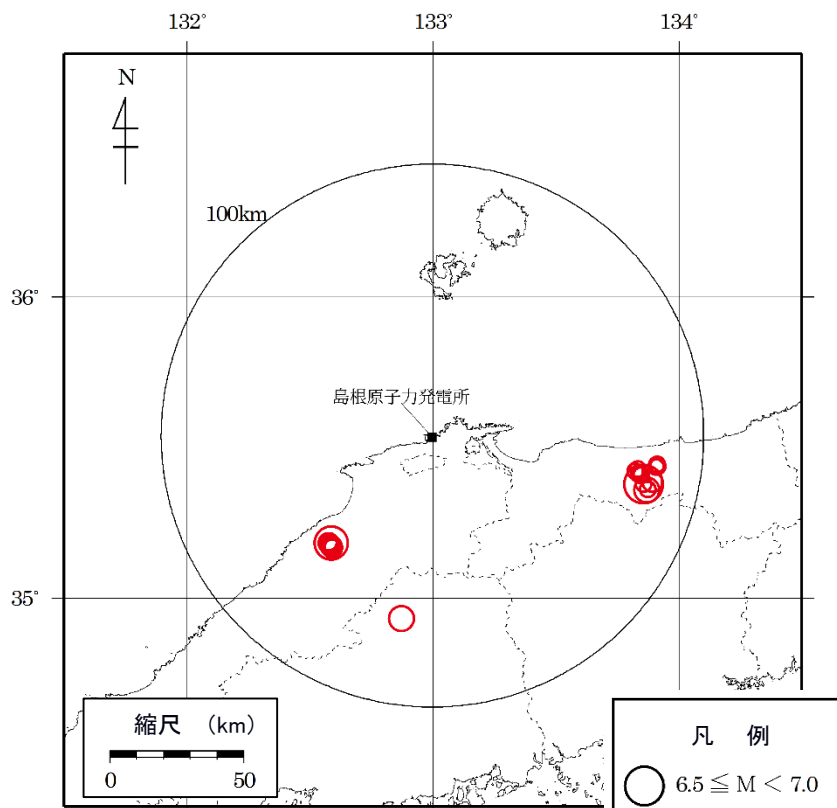
▽地震基盤相当面

※ 地震動評価に用いる地下構造モデルの速度値等の物性値は、3号地下構造モデルのものを用いている。(参考資料(55ページ)参照)

3. Ss-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (2) 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

- 島根原子力発電所の大深度地点(標高-500m)で観測された主な地震を示す。
- 記録の抽出条件は、広い周期帯で成分を確認できるように、M4.0以上、震央距離100km以内とした。



抽出条件
 期間 : 2015年7月～2021年7月
 M : 4.0以上
 震央距離: 100km以内

凡例

○ (largest)	6.5 ≤ M < 7.0
○ (medium-large)	6.0 ≤ M < 6.5
○ (medium)	5.5 ≤ M < 6.0
○ (medium-small)	5.0 ≤ M < 5.5
○ (small)	4.5 ≤ M < 5.0
○ (smallest)	4.0 ≤ M < 4.5

No.	年月日	時刻	震央地名	M	震源深さ (km)	震央距離 (km)
1	2015.10.18	08:30	鳥取県中部	4.2	8	83.2
2	2015.10.18	08:36	鳥取県中部	4.3	8	83.8
3	2015.12.14	15:01	鳥取県中部	4.2	8	83.5
4	2016.10.21	12:12	鳥取県中部	4.2	10	79.7
5	2016.10.21	14:07	鳥取県中部	6.6	11	79.8
6	2016.10.21	14:30	鳥取県中部	4.4	10	77.2
7	2016.10.21	14:33	鳥取県中部	4.4	5	77.5
8	2016.10.21	14:50	鳥取県中部	4.2	10	78.2
9	2016.10.21	14:53	鳥取県中部	5.0	9	81.4
10	2016.10.21	15:02	鳥取県中部	4.3	10	81.8
11	2016.10.21	16:52	鳥取県中部	4.1	6	78.1
12	2016.10.21	17:59	鳥取県中部	4.3	9	76.7
13	2016.10.22	06:17	鳥取県中部	4.0	11	75.9
14	2016.10.29	13:43	鳥取県中部	4.5	7	82.9
15	2018. 4. 9	01:32	島根県西部	6.1	12	54.0
16	2018. 4. 9	01:43	島根県西部	4.5	10	55.1
17	2018. 4. 9	01:56	島根県西部	4.8	10	54.8
18	2018. 4. 9	02:03	島根県西部	4.2	10	54.5
19	2018. 4. 9	02:10	島根県西部	4.9	10	55.1
20	2018. 4. 9	02:30	島根県西部	4.0	9	55.1
21	2018. 4. 9	05:05	島根県西部	4.6	9	54.8
22	2018. 4.23	01:01	島根県西部	4.1	11	55.0
23	2018. 6.26	17:00	広島県北部	5.0	12	68.1

※地震情報の諸元は、気象庁地震カタログによる。

3. Ss-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (2)地震観測記録による応答スペクトル比の検討

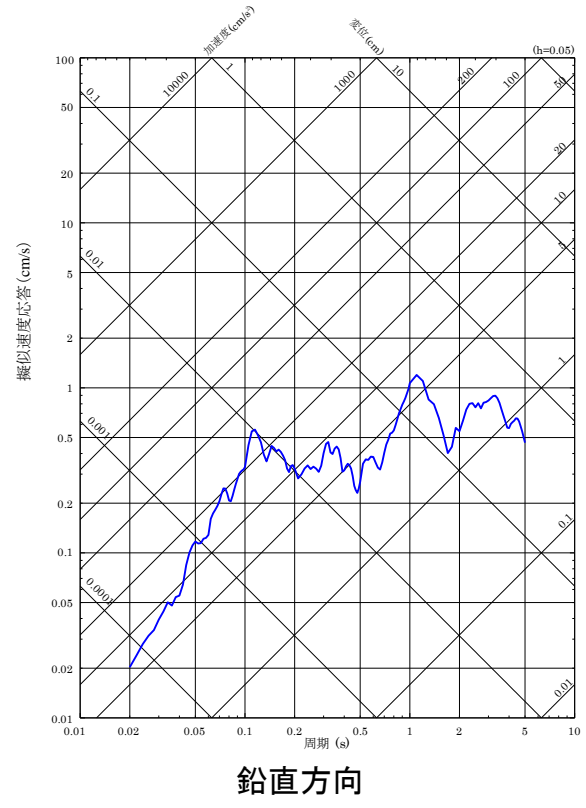
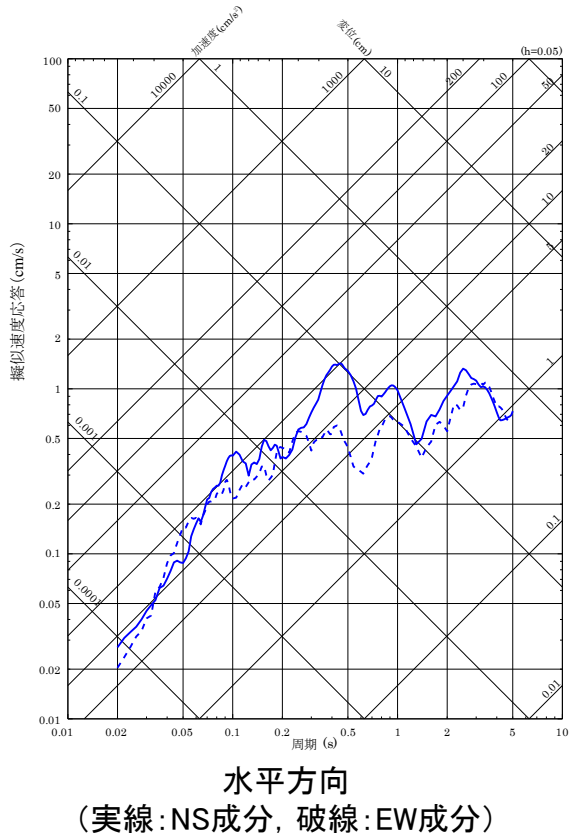
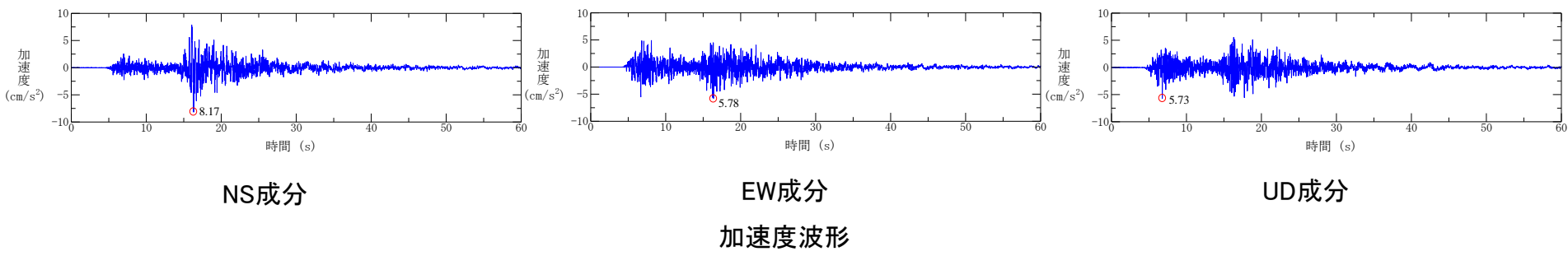
- 地震観測記録の最大加速度一覧を示す。最大加速度は、最大で8ガル程度である。
- 検討対象地震は、島根原子力発電所で観測された地震記録のうち、M及び最大加速度が大きい「No.5:2016年鳥取県中部の地震」及び「No.15:2018年島根県西部の地震」とする。

No.	年月日	時刻	震央地名	M	震源深さ (km)	震央距離 (km)	大深度地点(標高-500m) 最大加速度(cm/s ²)		
							NS	EW	UD
1	2015.10.18	08:30	鳥取県中部	4.2	8	83.2	0.12	0.15	0.12
2	2015.10.18	08:36	鳥取県中部	4.3	8	83.8	0.15	0.12	0.13
3	2015.12.14	15:01	鳥取県中部	4.2	8	83.5	0.21	0.20	0.17
4	2016.10.21	12:12	鳥取県中部	4.2	10	79.7	0.29	0.30	0.28
5	2016.10.21	14:07	鳥取県中部	6.6	11	79.8	8.17	5.78	5.73
6	2016.10.21	14:30	鳥取県中部	4.4	10	77.2	0.26	0.56	0.38
7	2016.10.21	14:33	鳥取県中部	4.4	5	77.5	0.13	0.18	0.16
8	2016.10.21	14:50	鳥取県中部	4.2	10	78.2	0.17	0.40	0.21
9	2016.10.21	14:53	鳥取県中部	5.0	9	81.4	0.31	0.47	0.43
10	2016.10.21	15:02	鳥取県中部	4.3	10	81.8	0.26	0.23	0.19
11	2016.10.21	16:52	鳥取県中部	4.1	6	78.1	0.17	0.16	0.20
12	2016.10.21	17:59	鳥取県中部	4.3	9	76.7	0.24	0.35	0.37
13	2016.10.22	06:17	鳥取県中部	4.0	11	75.9	0.21	0.22	0.16
14	2016.10.29	13:43	鳥取県中部	4.5	7	82.9	0.17	0.15	0.13
15	2018. 4. 9	01:32	島根県西部	6.1	12	54.0	7.37	7.20	3.87
16	2018. 4. 9	01:43	島根県西部	4.5	10	55.1	0.09	0.14	0.09
17	2018. 4. 9	01:56	島根県西部	4.8	10	54.8	0.47	0.60	0.47
18	2018. 4. 9	02:03	島根県西部	4.2	10	54.5	0.40	0.37	0.37
19	2018. 4. 9	02:10	島根県西部	4.9	10	55.1	1.10	1.38	0.65
20	2018. 4. 9	02:30	島根県西部	4.0	9	55.1	0.29	0.35	0.15
21	2018. 4. 9	05:05	島根県西部	4.6	9	54.8	0.26	0.40	0.26
22	2018. 4.23	01:01	島根県西部	4.1	11	55.0	0.84	1.19	0.44
23	2018. 6.26	17:00	広島県北部	5.0	12	68.1	1.32	1.93	1.14

3. Ss-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (2)地震観測記録による応答スペクトル比の検討

■ 「No.5:2016年鳥取県中部の地震」の加速度波形及び擬似速度応答スペクトルを以下に示す。

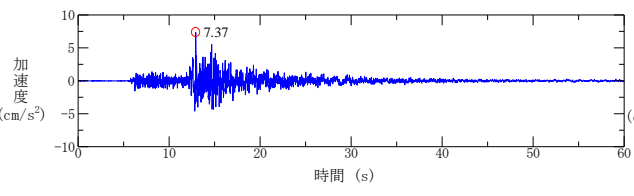


擬似速度応答スペクトル

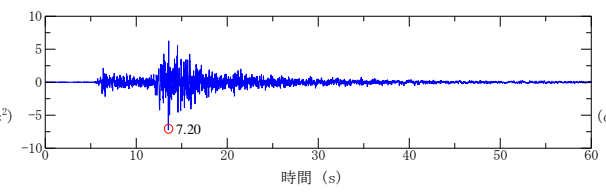
3. Ss-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (2)地震観測記録による応答スペクトル比の検討

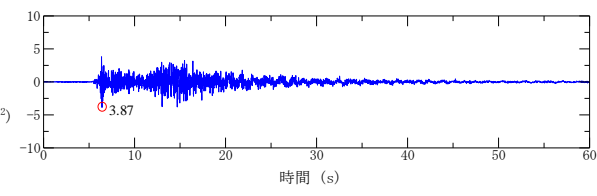
■ 「No.15:2018年島根県西部の地震」の加速度波形及び擬似速度応答スペクトルを以下に示す。



NS成分

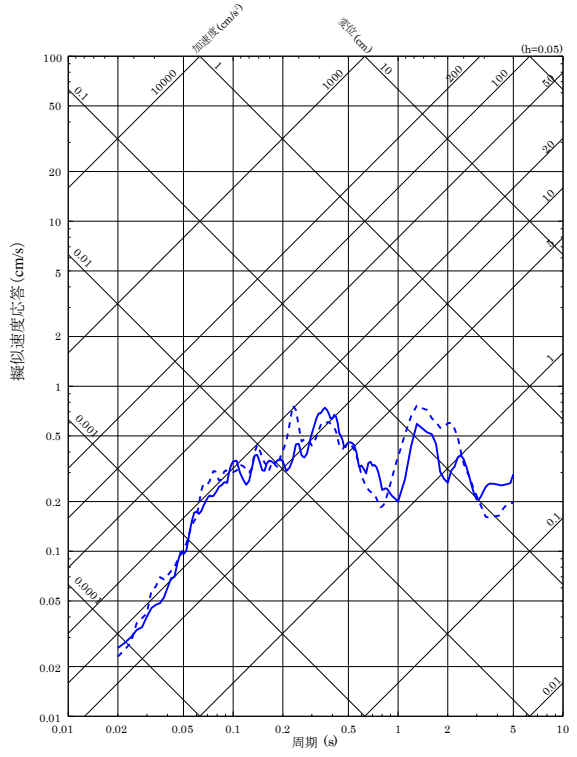


EW成分



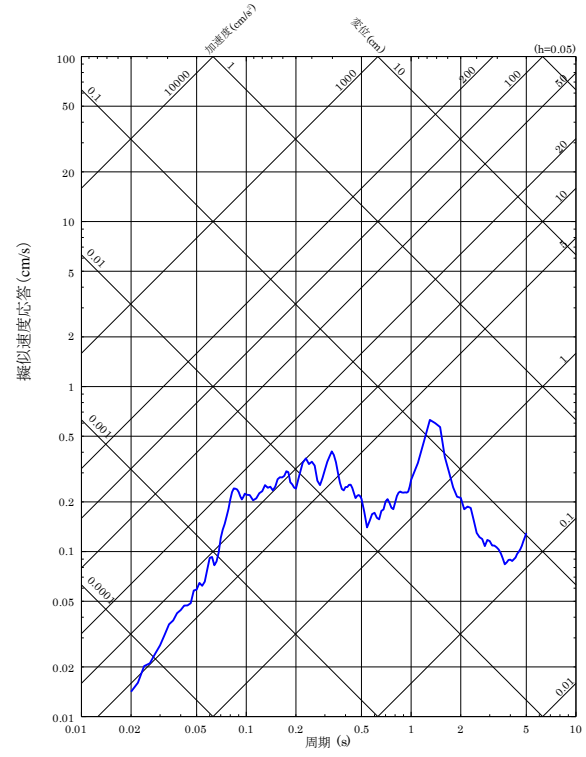
UD成分

加速度波形



水平方向

(実線: NS成分, 破線: EW成分)



鉛直方向

擬似速度応答スペクトル

3. Ss-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (2) 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

- 地震観測記録を用いた応答スペクトル比の算出方法を以下に示す。
- ① 大深度地点(標高-500m)の地震観測記録を地下構造モデルに入力し、地震基盤相当面に引き戻す。
- ② 地震基盤相当面に引き戻した地震観測記録を解放基盤表面に引き上げ、地震観測記録による解放基盤表面／地震基盤相当面の応答スペクトル比を算出する。

地震動評価に用いる地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数(%)	
						h _s	h _p
						h(f)	h(f)
1	-10	14	1520	3240	2500	12.3f ^{-0.733}	31.1f ^{-0.733}
2	-24	116	1900	3860	2570	6.53f ^{-0.463}	13.5f ^{-0.463}
3	-140	32	2100	4150	2490	11.4f ^{-0.739}	16.9f ^{-0.739}
4	-172	43	1770	3800	2560	13.0f ^{-0.817}	13.9f ^{-0.817}
5	-215	130	2530	5220	2680	3.81f ^{-0.363}	4.27f ^{-0.363}
6	-345	155	2190	4350	2650	2.51f ^{-0.497}	2.70f ^{-0.497}
6'	-500	455	2190	4350	2650	2.51f ^{-0.497}	2.70f ^{-0.497}
7	-955	555	2730	5160	2640	4.73f ^{-0.920}	4.84f ^{-0.920}
8	-1510	530	3020	5220	2620	0.250	0.125
9	-2040	13960	3570	6180	2720	0.185	0.091
10	-16000	22000	3870	6700	2800	0.125	0.063
11	-38000	∞	4510	7800	3100	0.100	0.050

▽解放基盤表面

(Vs=1,520m/s, Vp=3,240m/s)

▽地震計設置位置

▽地震基盤相当面

(Vs=2,730m/s, Vp=5,160m/s)

地震観測記録(地震基盤相当面への引戻し波)を解放基盤表面に引き上げる

地震観測記録を地震計設置位置に入力

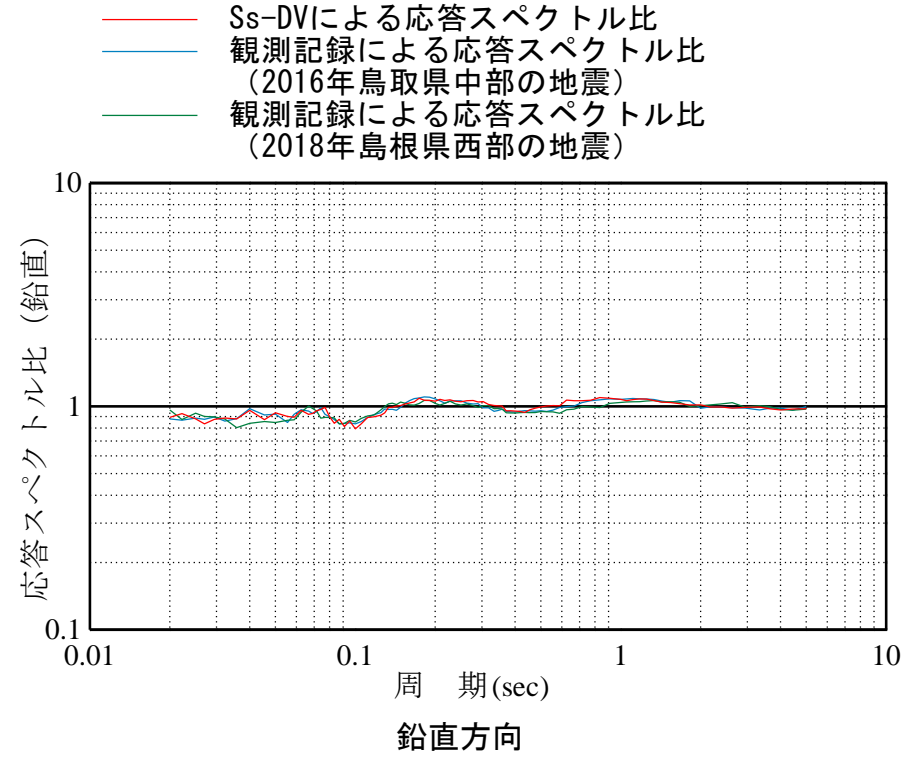
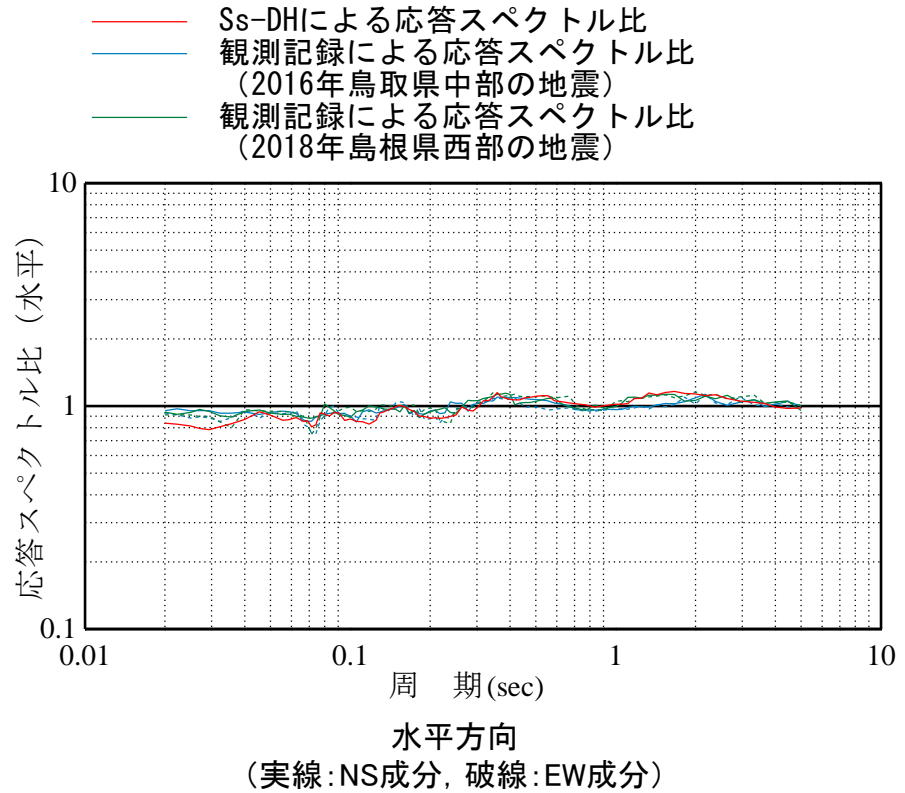
地震観測記録を地震基盤相当面に引き戻す

② 応答スペクトル比を算出

(検討に用いる地震)
No.5: 2016年鳥取県中部の地震
No.15: 2018年島根県西部の地震

3. (2) 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

- 2016年鳥取県中部の地震及び2018年島根県西部の地震の観測記録による応答スペクトル比を以下に示す。
- 観測記録による応答スペクトル比は、基準地震動S_s-Dの引戻し波による応答スペクトル比と同程度であることを確認した。

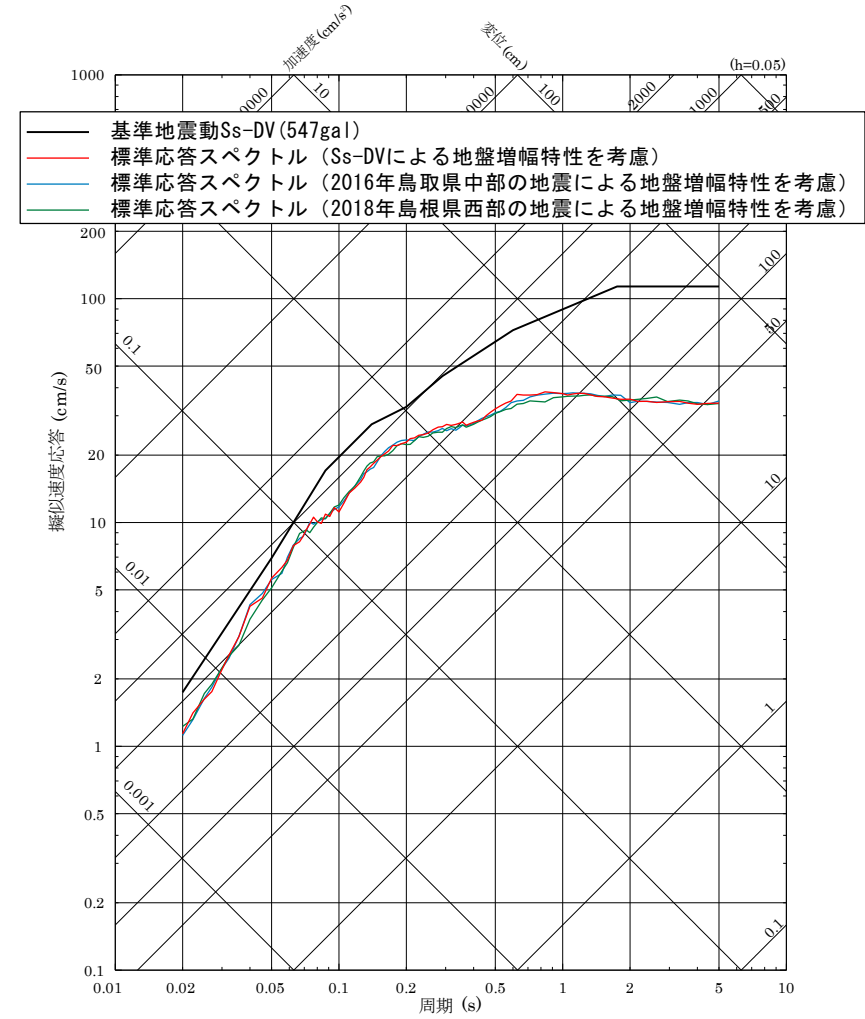
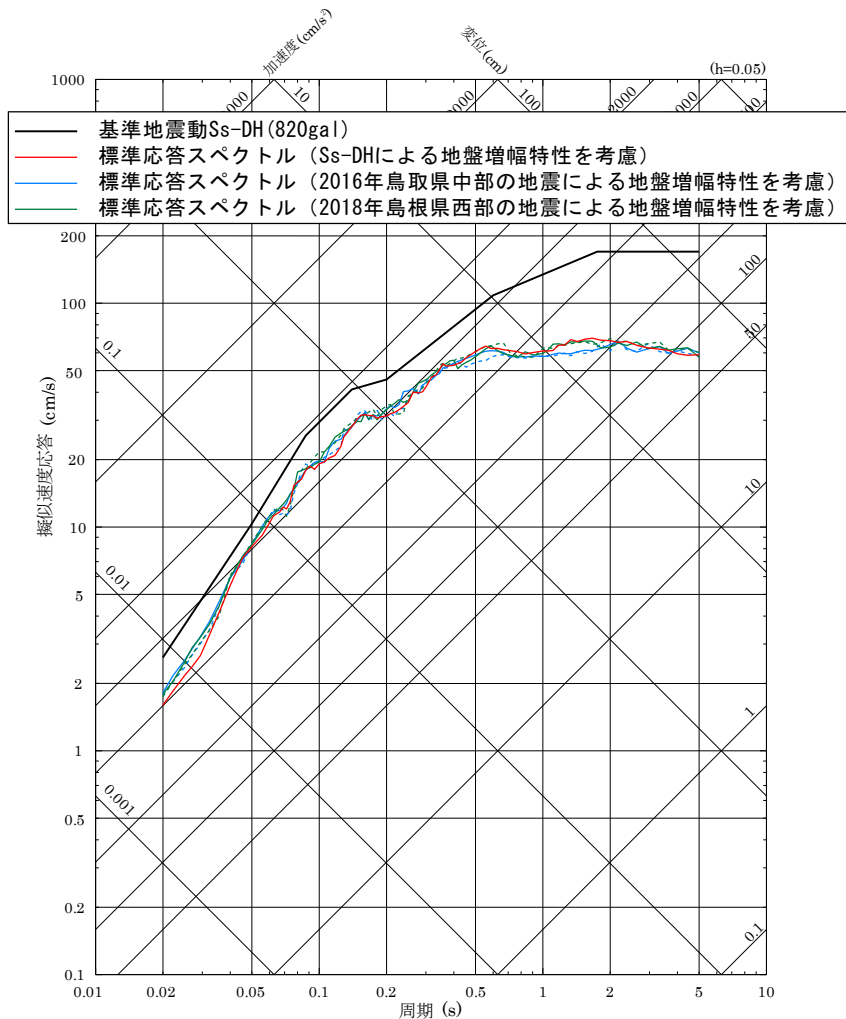


大深度地点(標高-500m)観測記録による応答スペクトル比

3. S_s-D以外の応答スペクトル比を用いた検討

3. (2) 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

- 地震観測記録による応答スペクトル比を用いて標準応答スペクトルに地盤増幅特性を考慮しても、全周期帯で基準地震動S_s-Dに包絡される。



水平方向
(実線: NS成分, 破線: EW成分)

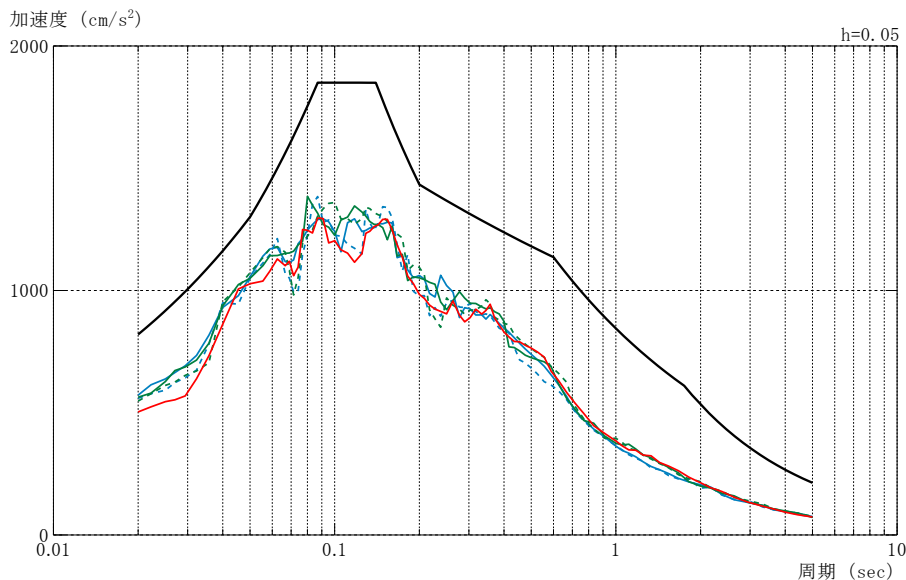
鉛直方向

擬似速度応答スペクトル

3. (2) 地震観測記録による応答スペクトル比の検討

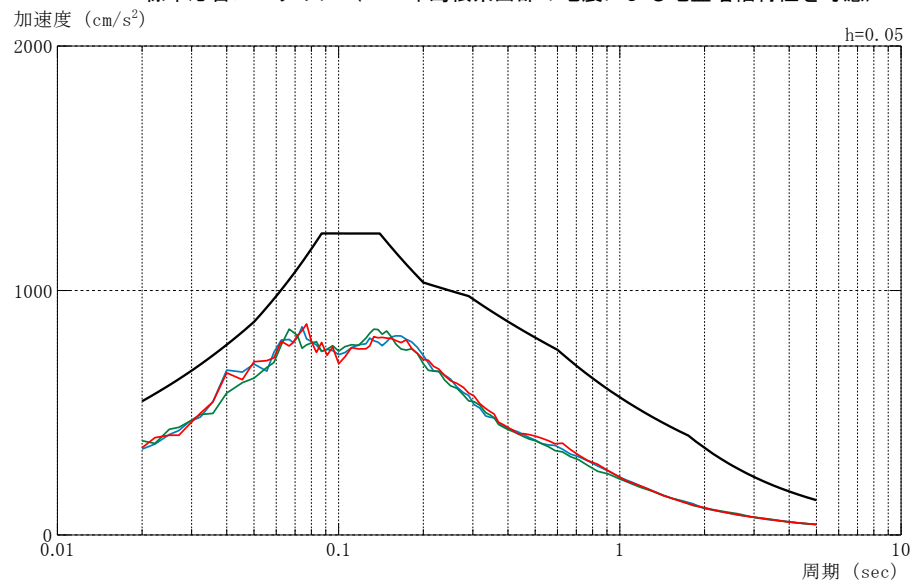
- 地震観測記録による応答スペクトル比を用いて標準応答スペクトルに地盤増幅特性を考慮しても、全周期帯で基準地震動 S_s-D に包絡される。

— 基準地震動 S_s-DH (820gal)
 — 標準応答スペクトル (S_s-DH による地盤増幅特性を考慮)
 — 標準応答スペクトル (2016年鳥取県中部の地震による地盤増幅特性を考慮)
 — 標準応答スペクトル (2018年島根県西部の地震による地盤増幅特性を考慮)



水平方向
(実線: NS成分, 破線: EW成分)

— 基準地震動 S_s-DV (547gal)
 — 標準応答スペクトル (S_s-DV による地盤増幅特性を考慮)
 — 標準応答スペクトル (2016年鳥取県中部の地震による地盤増幅特性を考慮)
 — 標準応答スペクトル (2018年島根県西部の地震による地盤増幅特性を考慮)



鉛直方向

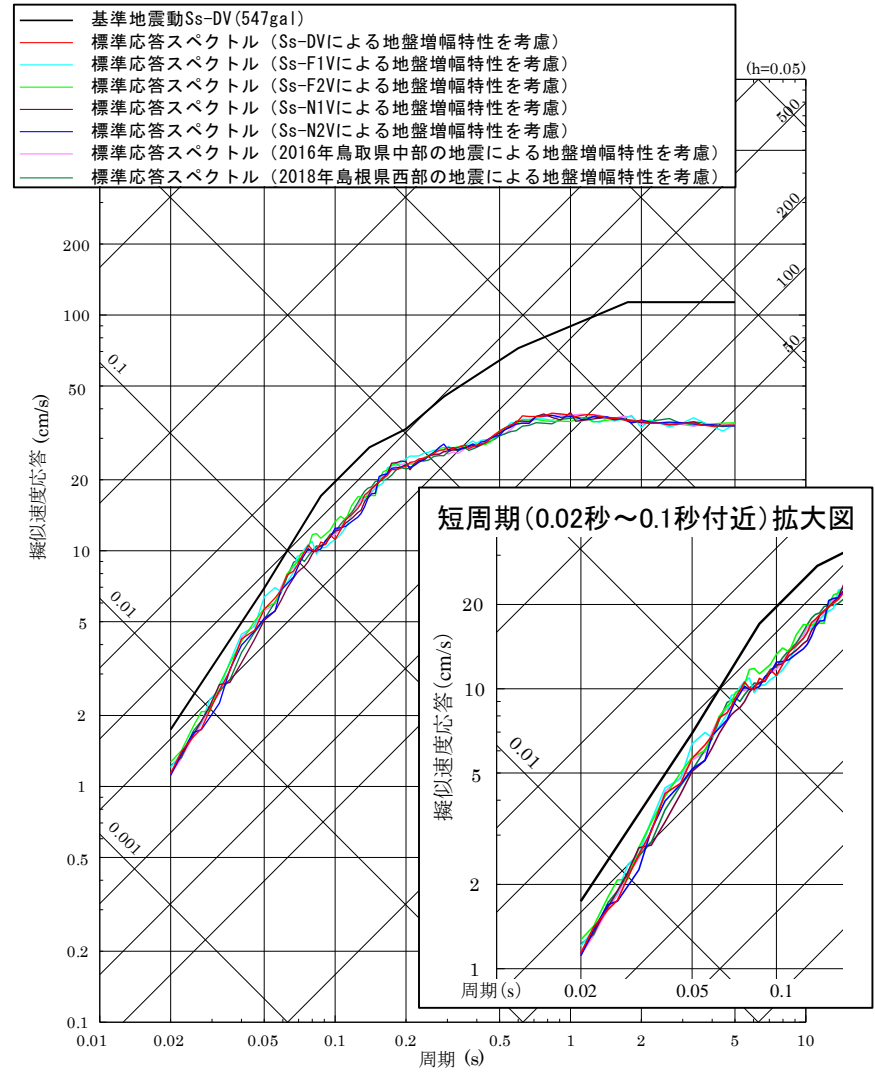
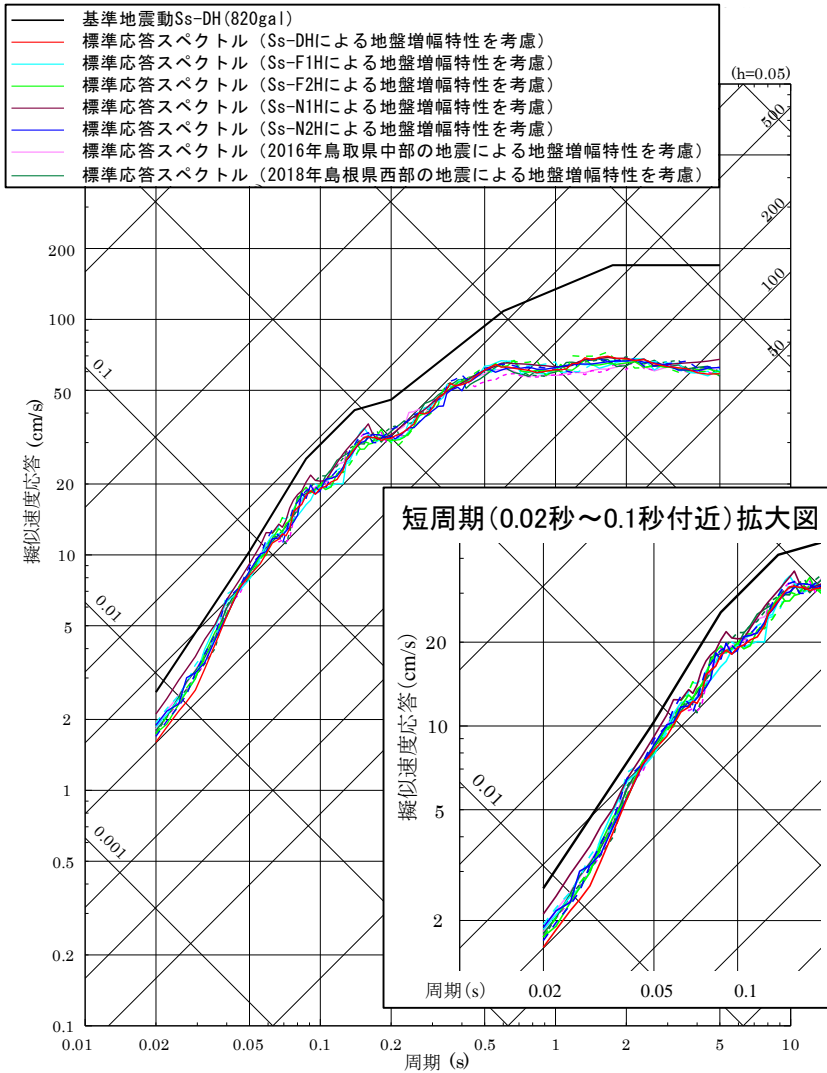
加速度応答スペクトル

4. まとめ

- 島根原子力発電所2号炉について、新たに策定された標準応答スペクトルと基準地震動を比較した。
- 標準応答スペクトルはせん断波速度 $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の地震基盤相当面にて定義されており、島根原子力発電所の基準地震動を策定している解放基盤表面は $V_s=1,520\text{m/s}$ であることから、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地盤増幅特性を考慮したうえで、基準地震動 S_s-D と比較した。
- 地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性の考慮方法は、解放基盤表面で策定された基準地震動 S_s-D と、地下構造モデルによる地震基盤相当面(標高 -955m : $V_s=2,730\text{m/s}$ に設定)での基準地震動 S_s-D の引戻し波との応答スペクトル比を標準応答スペクトルに乗ずる手法とした。検討の結果、地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトルは全周期帯で基準地震動 S_s-D に包絡されることを確認した。
- また、応答スペクトル比について、 S_s-D 以外の基準地震動や地震観測記録を用いた場合でも、 S_s-D による応答スペクトル比と同程度となることを確認した。各検討で算定した応答スペクトル比を用いて標準応答スペクトルに地盤増幅特性を考慮しても、全周期帯で基準地震動 S_s-D に包絡されることを確認した。
- 以上の検討の結果、基準地震動の変更は不要と判断した。

4. まとめ

■ 基準地震動S_s-Dと地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル(全評価結果)



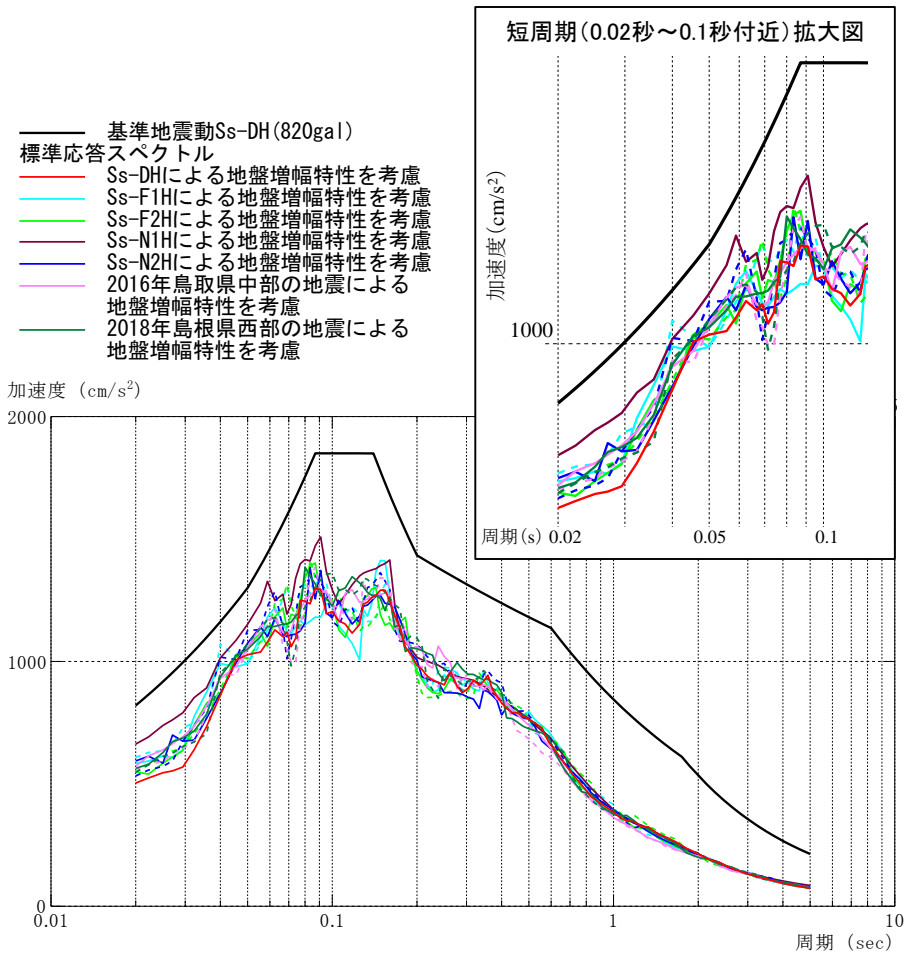
水平方向(実線:NS成分, 破線:EW成分)

鉛直方向

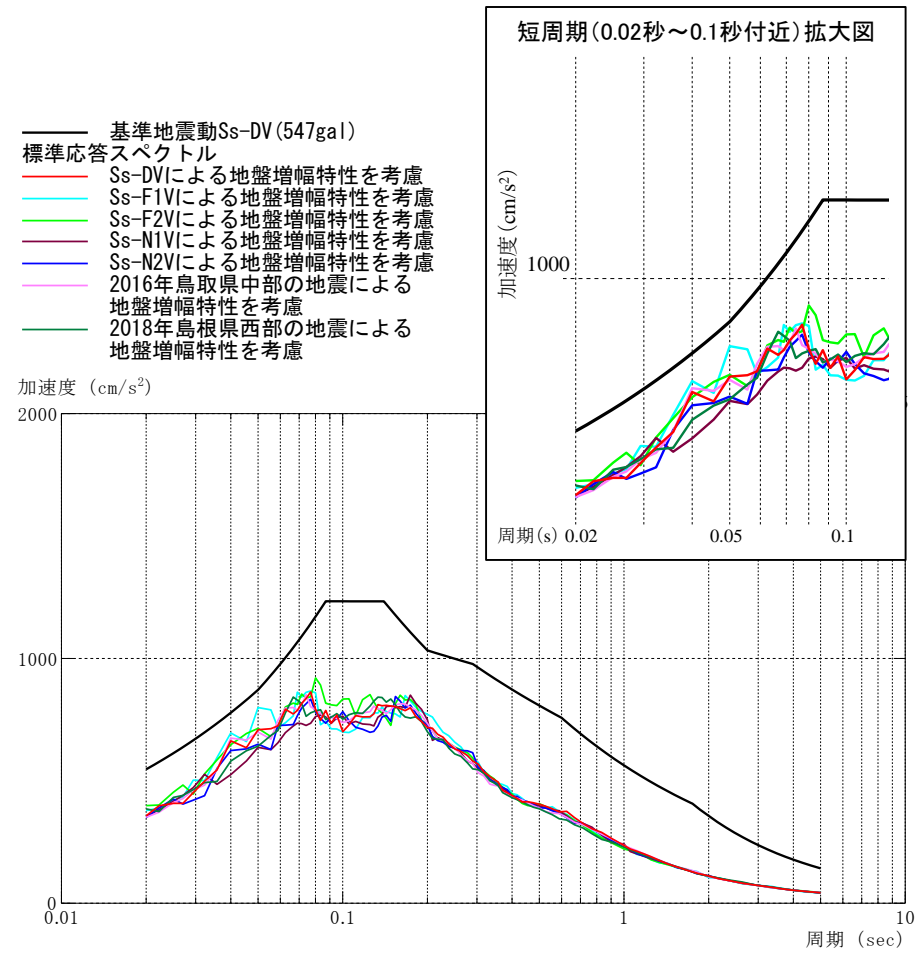
擬似速度応答スペクトル

4. まとめ

■ 基準地震動Ss-Dと地盤増幅特性を考慮した標準応答スペクトル(全評価結果)



水平方向
(実線: NS成分, 破線: EW成分)



鉛直方向

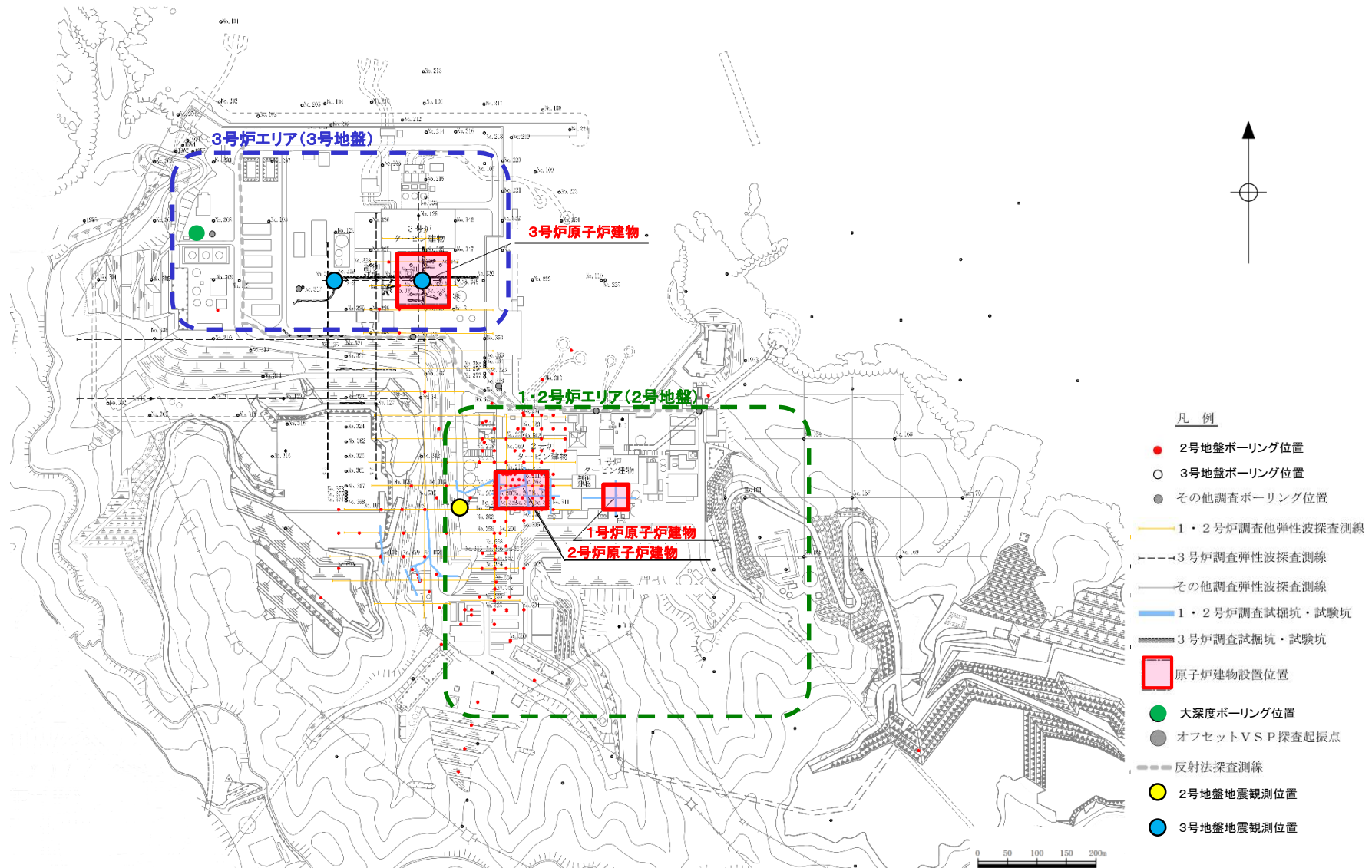
加速度応答スペクトル

新規制基準適合性審査会合資料(抜粋)

(2) 敷地地盤の地質・地質構造(敷地地盤の位置関係)

令和3年6月16日ヒアリング資料7 P26 再掲

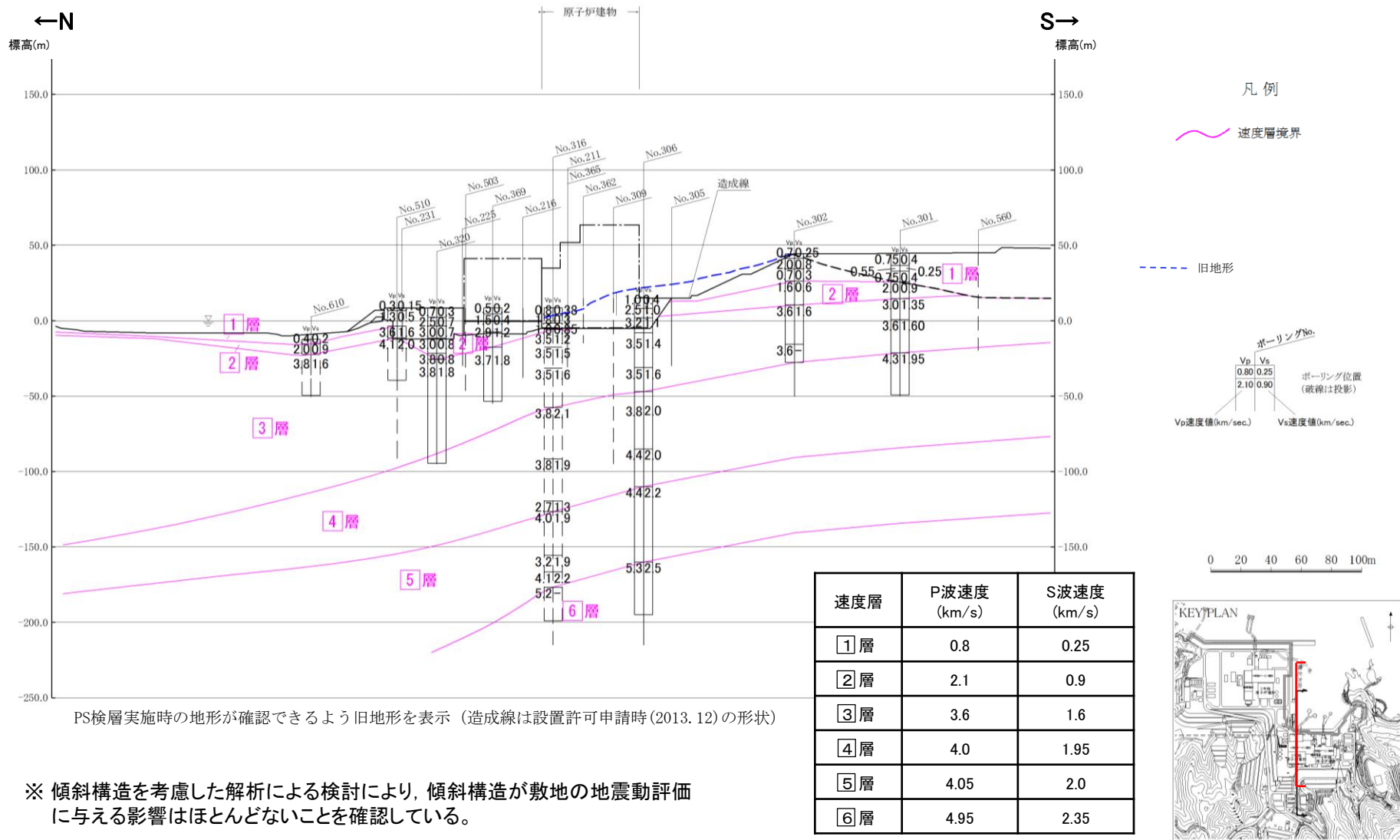
■ 敷地は1・2号炉が位置するエリアと3号炉が位置するエリアに分かれ、それぞれでボーリング調査及び地震観測を行っており、前者を「2号地盤」、後者を「3号地盤」とする。



(2) 敷地地盤の地質・地質構造(2号地盤の速度層断面図:南北断面)

第972回審査会合資料5-1 P28 再掲

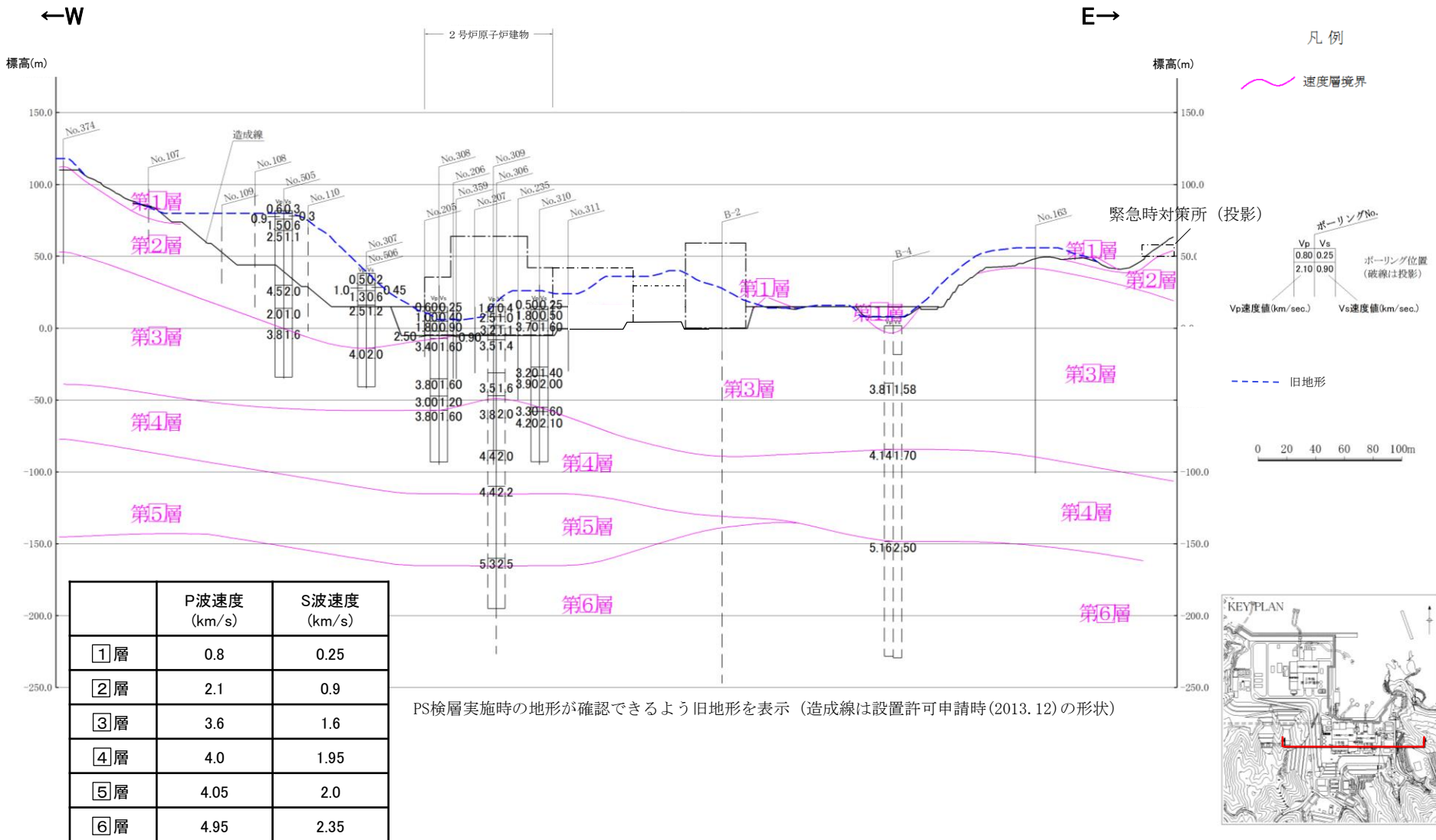
■ 2号地盤の南北断面における速度層区分より、2号地盤の南北方向の地下構造は北に傾斜している*。



(2) 敷地地盤の地質・地質構造(2号地盤の速度層断面図:東西断面)

第972回審査会合資料5-1 P29 再掲

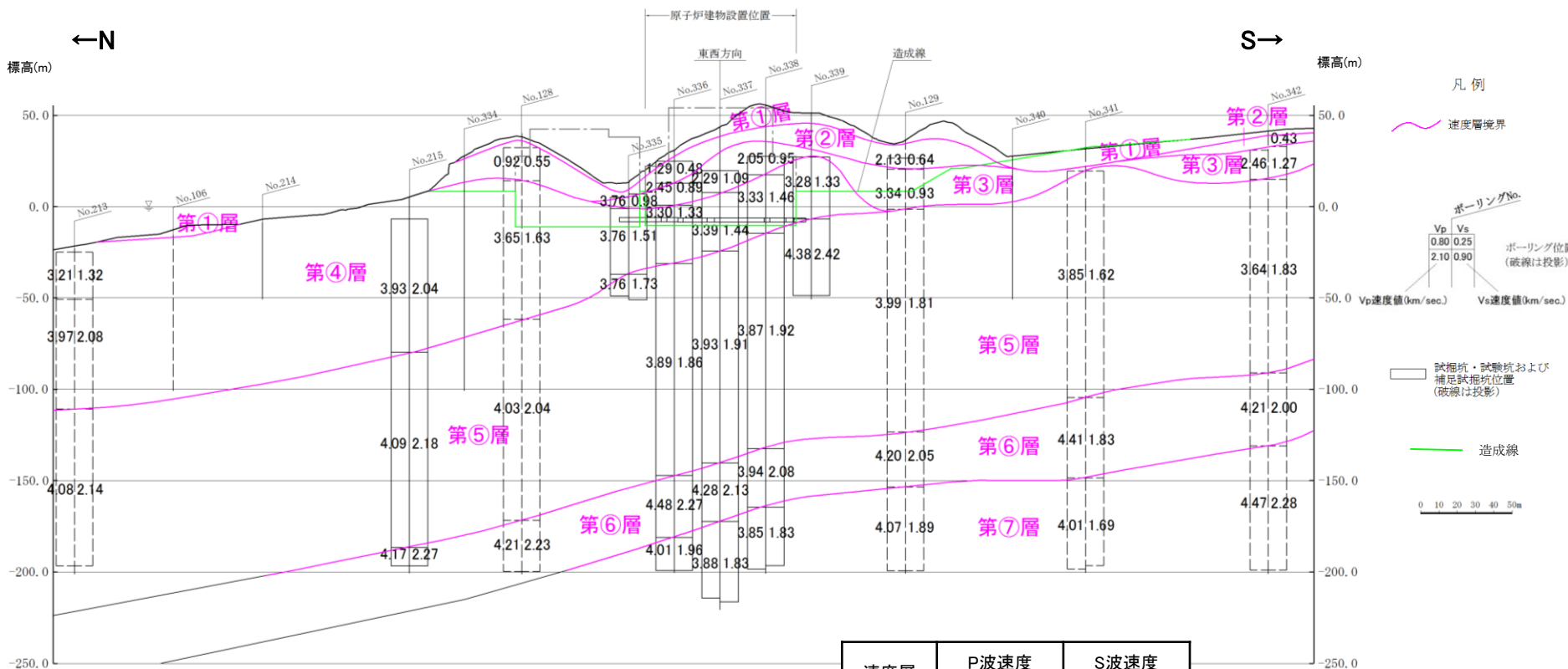
■ 2号地盤の東西断面における速度層区分より, 2号地盤の東西方向の地下構造は, ほぼ水平成層である。(緊急時対策所が位置する地盤を含む)



(2) 敷地地盤の地質・地質構造(3号地盤の速度層断面図:南北断面)

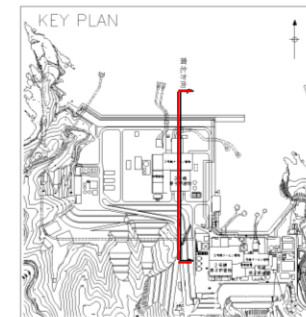
第972回審査会合資料5-1 P30 再掲

■ 3号地盤の南北断面における速度層区分より、3号地盤の南北方向の地下構造は北に緩やかに傾斜している*。



PS検層実施時の地形が確認できる旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013. 12)の形状)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
①層	0.52	0.27
②層	1.71	0.62
③層	2.27	0.96
④層	3.24	1.52
⑤層	3.86	1.90
⑥層	4.15	2.10
⑦層	3.80	1.77

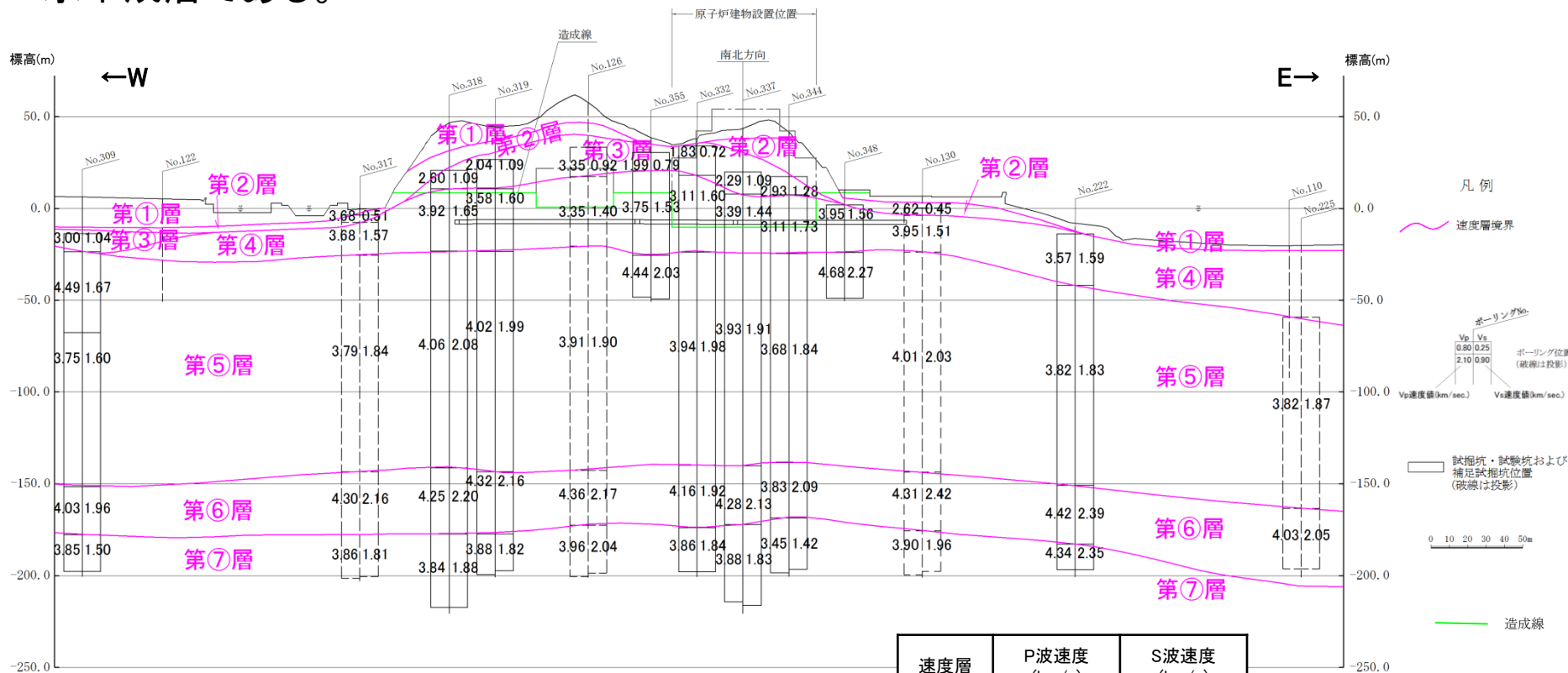


* 傾斜構造を考慮した解析による検討により、傾斜構造が敷地の地震動評価に与える影響はほとんどないことを確認している。

(2) 敷地地盤の地質・地質構造(3号地盤の速度層断面図:東西断面)

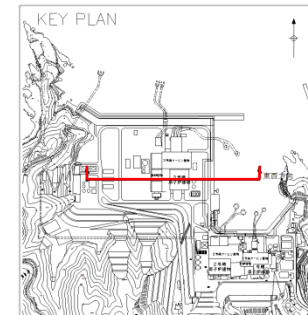
第972回審査会合資料5-1 P31 再掲

■ 3号地盤の東西断面における速度層区分より、3号地盤の東西方向の地下構造はほぼ水平成層である。



PS検層実施時の地形が確認できるように旧地形を表示 (造成線は設置許可申請時(2013.12)の形状)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
①層	0.52	0.27
②層	1.71	0.62
③層	2.27	0.96
④層	3.24	1.52
⑤層	3.86	1.90
⑥層	4.15	2.10
⑦層	3.80	1.77



解放基盤表面

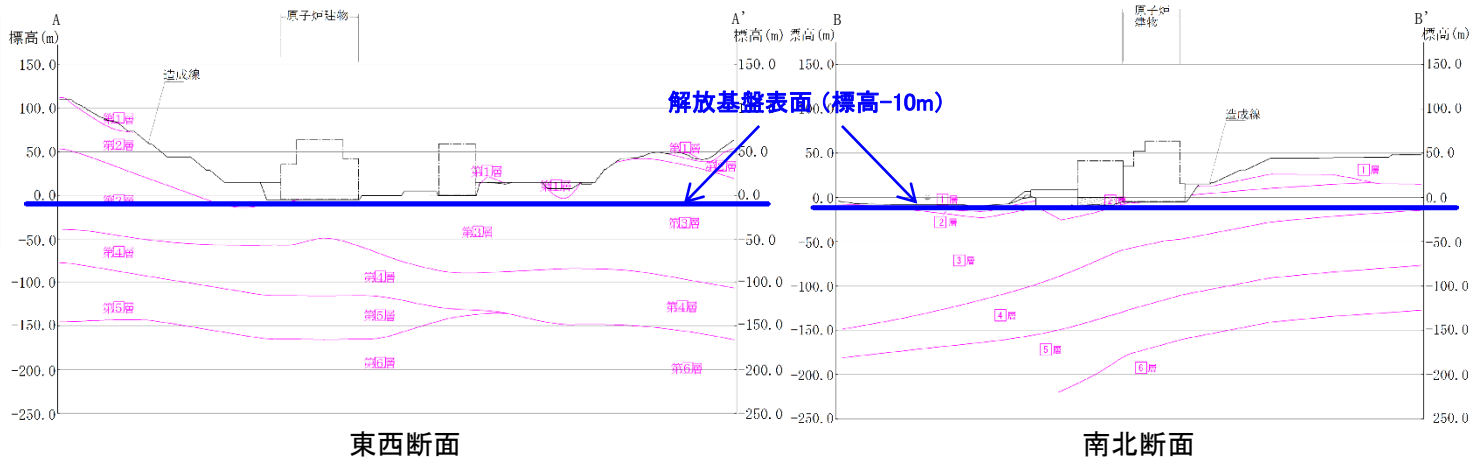
■ 解放基盤表面は、標高-10mの位置に設定した。

P波速度及びS波速度(2号地盤)

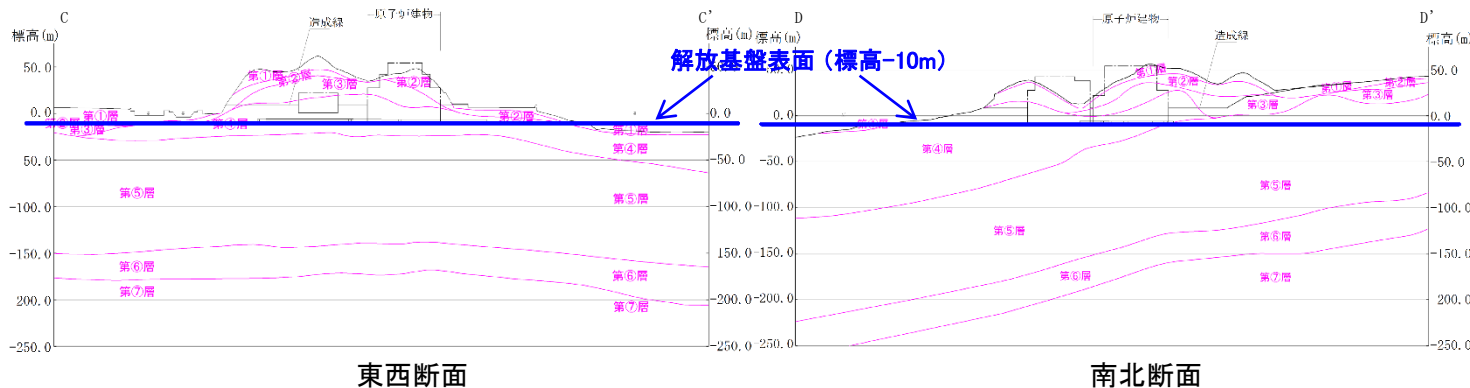
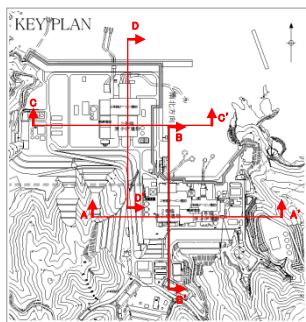
速度層	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)
①層	800	250
②層	2100	900
③層	3600	1600
④層	4000	1950
⑤層	4050	2000
⑥層	4950	2350

P波速度及びS波速度(3号地盤)

速度層	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)
①層	520	270
②層	1710	620
③層	2270	960
④層	3240	1520
⑤層	3860	1900
⑥層	4150	2100
⑦層	3800	1770



速度層断面図(2号地盤)

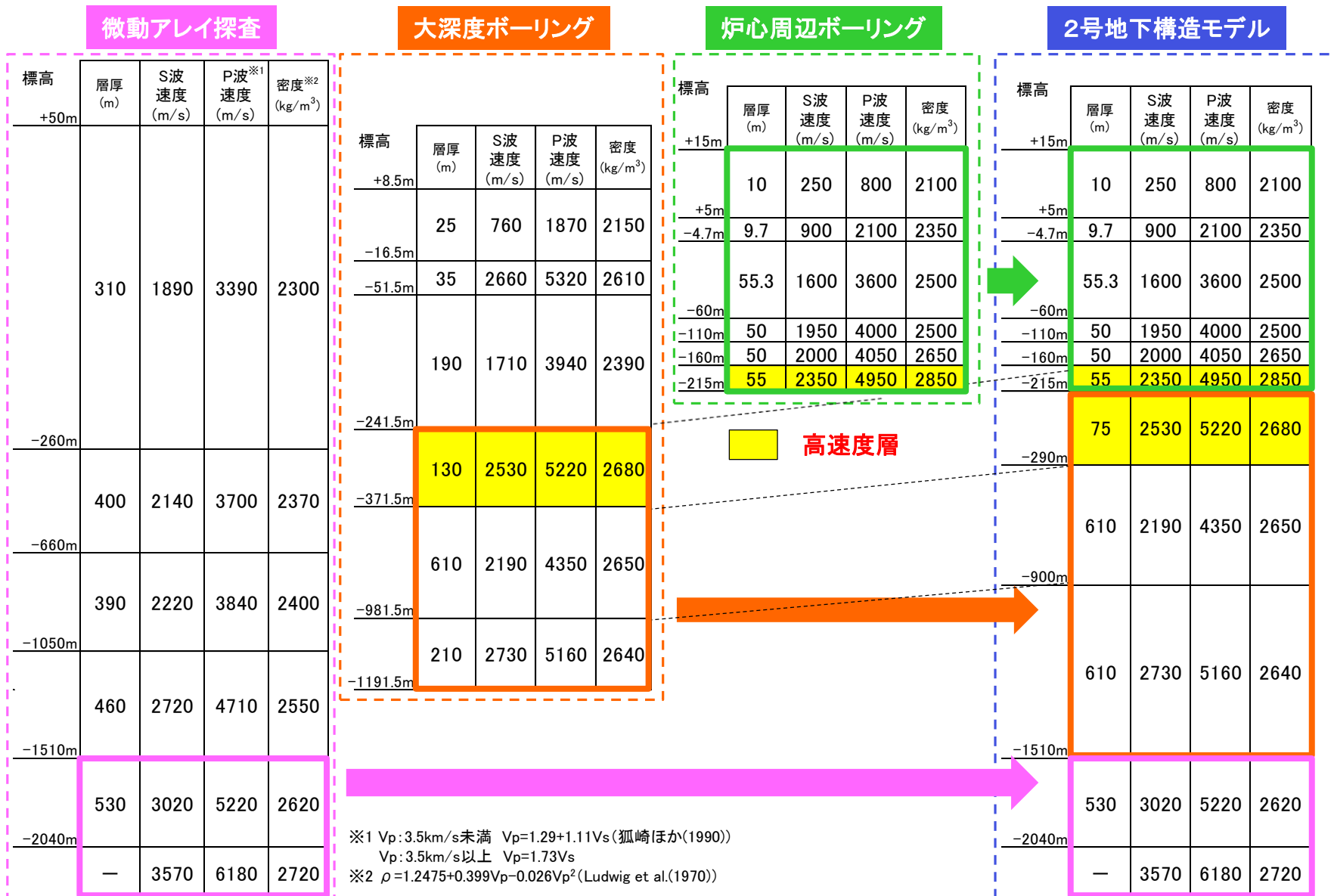


速度層断面図(3号地盤)

※ 造成線は設置許可申請時(2013. 12)の形状

(1) 2号地下構造モデルの設定(速度値, 密度の設定)

■ 2号地下構造モデルのS波・P波速度, 密度については, 各種調査結果に基づき設定した。



(1) 2号地下構造モデルの設定(モデル設定値)

第972回審査会合資料5-1 P86 再掲

- 2号地下構造モデルを以下のとおり設定した。なお、標高-1510m以深の減衰については岩田・関口(2002)で用いられている地下構造モデル※1の値を用いている。

2号地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数(%)									
						h _s					h _p				
						h(f) ^{※2}	0.05s	0.1s	0.2s	0.5s	h(f) ^{※2}	0.05s	0.1s	0.2s	0.5s
1	+15	5	250	800	2100	75.8f ^{-0.003}	75.12	75.28	75.43	75.64	77.0f ^{-0.003}	76.31	76.47	76.63	76.84
2	+10	8.8	900	2100	2350	54.6f ^{-0.319}	21.00	26.19	32.68	43.77	70.4f ^{-0.319}	27.07	33.77	42.13	56.43
3	+1.2	61.2	1600	3600	2500	46.0f ^{-0.987}	2.39	4.74	9.39	23.21	83.2f ^{-0.987}	4.33	8.57	16.99	41.98
4	-60	50	1950	4000	2500	27.3f ^{-0.539}	5.43	7.89	11.47	18.79	77.4f ^{-0.539}	15.40	22.37	32.51	53.27
5	-110	50	2000	4050	2650	48.4f ^{-0.582}	8.47	12.67	18.97	32.33	82.9f ^{-0.582}	14.50	21.70	32.49	55.38
6	-160	73.5	2350	4950	2850	7.62f ^{-0.363}	2.57	3.30	4.25	5.92	8.53f ^{-0.363}	2.88	3.70	4.76	6.63
7	-233.5 ^{※3}	56.5	2530	5220	2680	7.62f ^{-0.363}	2.57	3.30	4.25	5.92	8.53f ^{-0.363}	2.88	3.70	4.76	6.63
8	-290	610	2190	4350	2650	5.01f ^{-0.497}	1.13	1.60	2.25	3.55	5.40f ^{-0.497}	1.22	1.72	2.43	3.83
9	-900	610	2730	5160	2640	9.46f ^{-0.920}	0.60	1.14	2.15	5.00	9.67f ^{-0.920}	0.61	1.16	2.20	5.11
10	-1510	530	3020	5220	2620	0.250					0.125				
11	-2040	∞	3570	6180	2720	0.185					0.091				

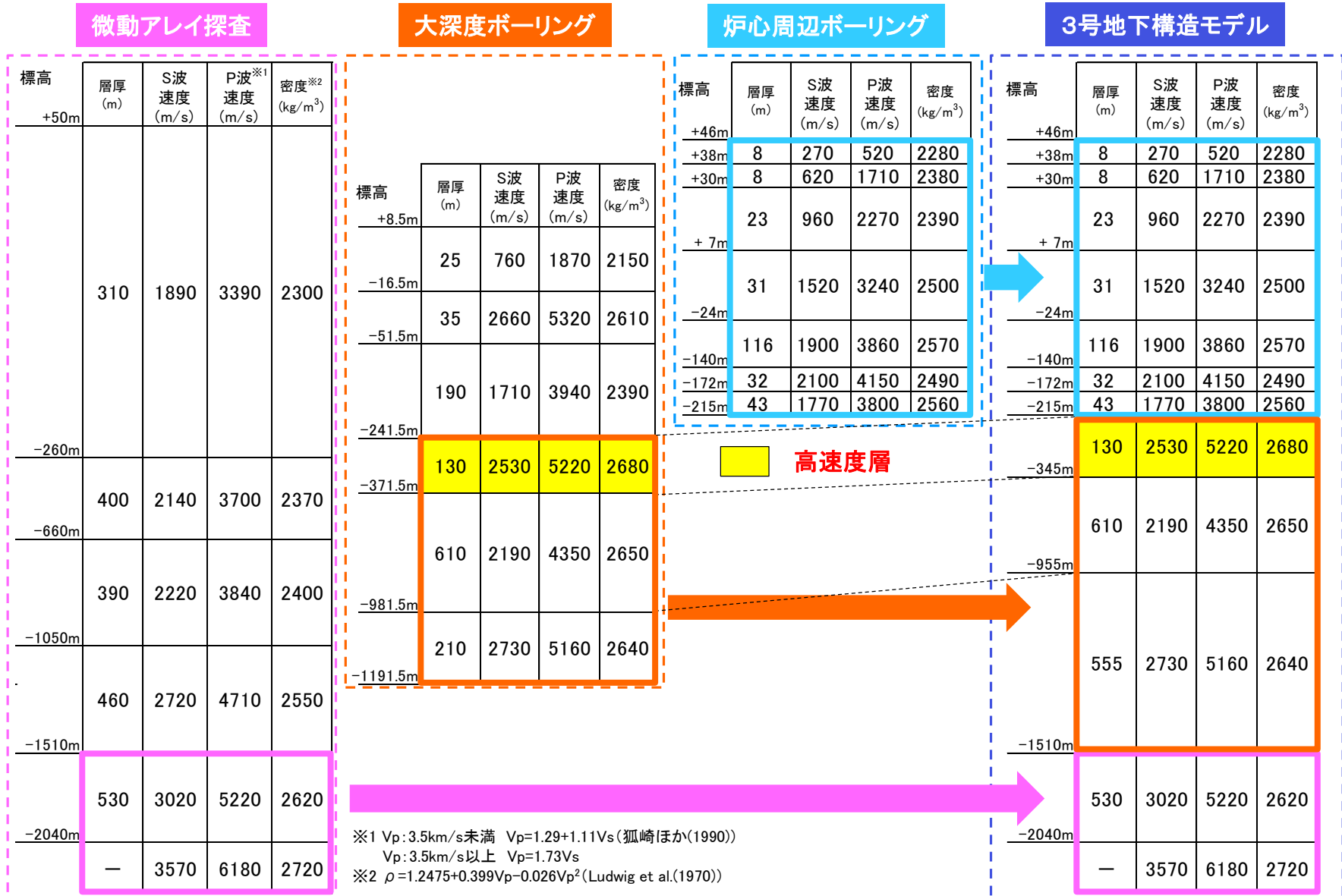
※1 京都大学防災研究所地震予知センター鳥取地震観測所が震源決定に用いている速度構造(P波速度)を参考に設定された地下構造モデルで、2000年鳥取県西部地震の震源インバージョン及び強震動シミュレーションに用いられており、強震動シミュレーション結果は観測記録と良く対応することが確認されている。

※2 fは振動数を表す。

※3 炉心周辺ボーリング及び大深度ボーリングのPS検層結果の接続部分であり、PS検層では境界を把握できないため同定解析により設定。

(2) 3号地下構造モデルの設定(速度値, 密度の設定)

■ 3号地下構造モデルのS波・P波速度, 密度については, 各種調査結果に基づき設定した。



(2) 3号地下構造モデルの設定(モデル設定値)

第972回審査会合資料5-1 P92 再掲

- 3号地下構造モデルを以下のとおり設定した。なお、標高-1510m以深の減衰については岩田・関口(2002)で用いられている地下構造モデル※¹の値を用いている。

3号地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数(%)									
						h _s					h _p				
						h(f) ^{※2}	0.05s	0.1s	0.2s	0.5s	h(f) ^{※2}	0.05s	0.1s	0.2s	0.5s
①	+46	3.3	270	520	2280	15.7f ^{-0.887}	1.10	2.04	3.77	8.49	24.9f ^{-0.887}	1.75	3.23	5.97	13.46
②	+42.7	6.4	620	1710	2380	8.92f ^{-0.845}	0.71	1.27	2.29	4.97	12.5f ^{-0.845}	0.99	1.79	3.21	6.96
③	+36.3	29.3	960	2270	2390	62.9f ^{-0.263}	28.61	34.33	41.19	52.42	64.5f ^{-0.263}	29.34	35.20	42.24	53.75
④	+7	31	1520	3240	2500	24.7f ^{-0.733}	2.75	4.57	7.59	14.86	62.0f ^{-0.733}	6.90	11.47	19.06	37.30
⑤	-24	116	1900	3860	2570	13.1f ^{-0.463}	3.27	4.51	6.22	9.50	26.9f ^{-0.463}	6.72	9.26	12.77	19.52
⑥	-140	32	2100	4150	2490	22.8f ^{-0.739}	2.49	4.16	6.94	13.66	33.8f ^{-0.739}	3.69	6.16	10.29	20.25
⑦	-172	43	1770	3800	2560	25.9f ^{-0.817}	2.24	3.95	6.95	14.70	27.8f ^{-0.817}	2.40	4.24	7.46	15.78
⑧	-215	130	2530	5220	2680	7.62f ^{-0.363}	2.57	3.30	4.25	5.92	8.53f ^{-0.363}	2.88	3.70	4.76	6.63
⑨	-345	610	2190	4350	2650	5.01f ^{-0.497}	1.13	1.60	2.25	3.55	5.40f ^{-0.497}	1.22	1.72	2.43	3.83
⑩	-955	555	2730	5160	2640	9.46f ^{-0.920}	0.60	1.14	2.15	5.00	9.67f ^{-0.920}	0.61	1.16	2.20	5.11
⑪	-1510	530	3020	5220	2620	0.250					0.125				
⑫	-2040	∞	3570	6180	2720	0.185					0.091				

※¹ 京都大学防災研究所地震予知センター鳥取地震観測所が震源決定に用いている速度構造(P波速度)を参考に設定された地下構造モデルで、2000年鳥取県西部地震の震源インバージョン及び強震動シミュレーションに用いられており、強震動シミュレーション結果は観測記録と良く対応することが確認されている。

※² f は振動数を表す。

地震動評価に用いる地下構造モデル(速度値等の物性値)

第972回審査会合資料5-1 P96 再掲

■ 2号及び3号地下構造モデルの地盤増幅特性(解放基盤表面／地震基盤面)を比較すると、同程度となるが、3号地下構造モデルの方が若干大きくなるため、地震動評価に用いる地下構造モデルの速度値等の物性値は、3号地下構造モデルのものを用了。

2号地下構造モデル

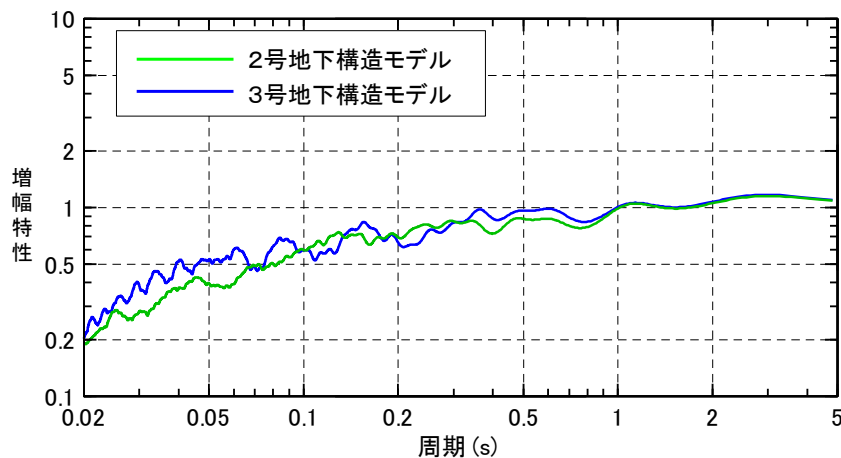
層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数 (%)
1	+15	5.0	250	800	2100	75.8f ^{-0.003}
2	+10	8.8	900	2100	2350	54.6f ^{-0.319}
3	+1.2	61.2	1600	3600	2500	46.0f ^{-0.987}
4	-60	50.0	1950	4000	2500	27.3f ^{-0.539}
5	-110	50.0	2000	4050	2650	48.4f ^{-0.582}
6	-160	73.5	2350	4950	2850	7.62f ^{-0.363}
7	-233.5	56.5	2530	5220	2680	7.62f ^{-0.363}
8	-290	610.0	2190	4350	2650	5.01f ^{-0.497}
9	-900	610.0	2730	5160	2640	9.46f ^{-0.920}
10	-1510	530.0	3020	5220	2620	0.250
11	-2040	∞	3570	6180	2720	0.185

f: 振動数

3号地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数 (%)
①	+46	3.3	270	520	2280	15.7f ^{-0.887}
②	+42.7	6.4	620	1710	2380	8.92f ^{-0.845}
③	+36.3	29.3	960	2270	2390	62.9f ^{-0.263}
④	+7	31.0	1520	3240	2500	24.7f ^{-0.733}
⑤	-24	116.0	1900	3860	2570	13.1f ^{-0.463}
⑥	-140	32.0	2100	4150	2490	22.8f ^{-0.739}
⑦	-172	43.0	1770	3800	2560	25.9f ^{-0.817}
⑧	-215	130.0	2530	5220	2680	7.62f ^{-0.363}
⑨	-345	610.0	2190	4350	2650	5.01f ^{-0.497}
⑩	-955	555.0	2730	5160	2640	9.46f ^{-0.920}
⑪	-1510	530.0	3020	5220	2620	0.250
⑫	-2040	∞	3570	6180	2720	0.185

f: 振動数



地震動評価に用いる地下構造モデルに採用

地盤増幅特性(解放基盤表面／地震基盤面)の比較

地震動評価に用いる地下構造モデル(減衰定数の設定)

■ 地震動評価に用いる地下構造モデルの減衰定数は、地震観測記録に基づく3号地盤の減衰定数の同定解析結果及び大深度ボーリング孔におけるQ値測定結果を考慮し、地盤増幅特性が安全側になるように設定した。なお、8層以深の減衰定数も浅部と比較すると、設定自体は安全側の評価(減衰定数が小さいので地盤増幅特性に対する感度は小さい)となっている。

3号地下構造モデル

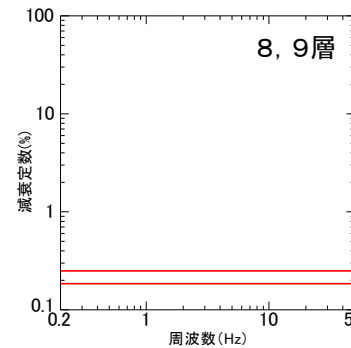
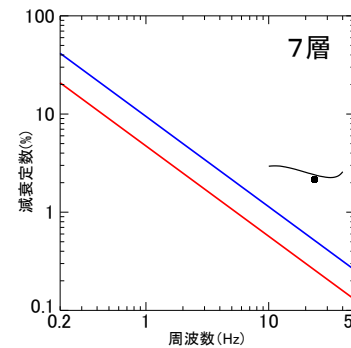
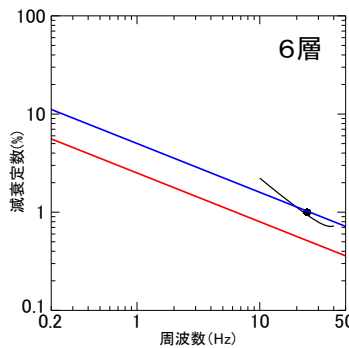
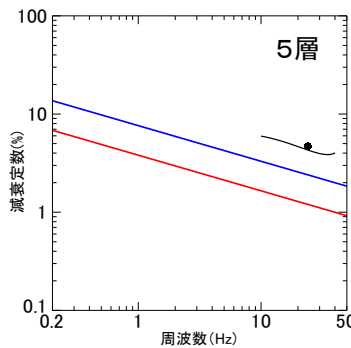
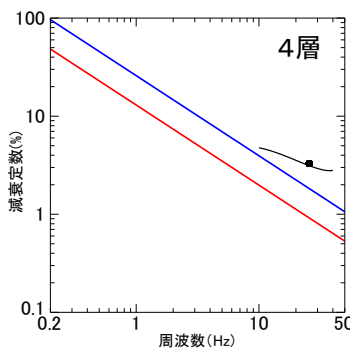
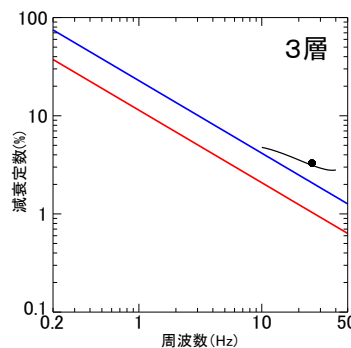
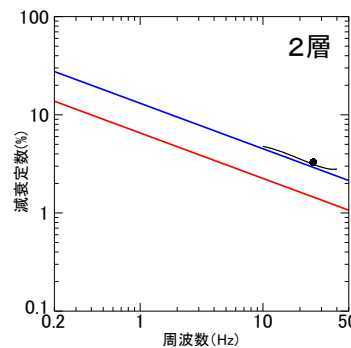
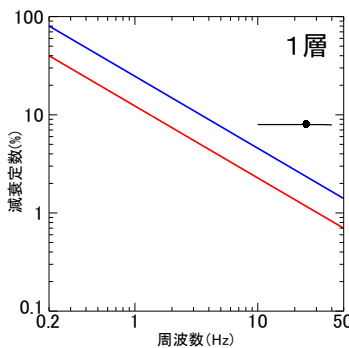
層番号	標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数 (%)
1	-10	1520	3240	2500	24.7f ^{-0.733}
2	-24	1900	3860	2570	13.1f ^{-0.463}
3	-140	2100	4150	2490	22.8f ^{-0.739}
4	-172	1770	3800	2560	25.9f ^{-0.817}
5	-215	2530	5220	2680	7.62f ^{-0.363}
6	-345	2190	4350	2650	5.01f ^{-0.497}
7	-955	2730	5160	2640	9.46f ^{-0.920}
8	-1510	3020	5220	2620	0.250
9	-2040	3570	6180	2720	0.185

安全側に設定

12.3f ^{-0.733}
6.53f ^{-0.463}
11.4f ^{-0.739}
13.0f ^{-0.817}
3.81f ^{-0.363}
2.51f ^{-0.497}
4.73f ^{-0.920}
0.250
0.185

f: 振動数

- Q値測定結果(最大振幅法)
- Q値測定結果(振幅スペクトル法)
- 3号地下構造モデルの減衰定数
- 地震動評価に用いる地下構造モデルの減衰定数



減衰定数の設定結果

地震動評価に用いる地下構造モデル(モデル設定値)

第972回審査会合資料5-1 P98 再掲

- 地震動評価に用いる地下構造モデルを以下のとおり設定した。なお、深部の物性値(モデルの網掛け箇所)は岩田・関口(2002)で用いられている地下構造モデル※¹の値を用いている。

地震動評価に用いる地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	減衰定数(%)									
						h _s					h _p				
						h(f) ^{※2}	0.05s	0.1s	0.2s	0.5s	h(f) ^{※2}	0.05s	0.1s	0.2s	0.5s
1	-10	14	1520	3240	2500	12.3f ^{-0.733}	1.37	2.27	3.78	7.40	31.1f ^{-0.733}	3.46	5.75	9.56	18.71
2	-24	116	1900	3860	2570	6.53f ^{-0.463}	1.63	2.25	3.10	4.74	13.5f ^{-0.463}	3.37	4.65	6.41	9.79
3	-140	32	2100	4150	2490	11.4f ^{-0.739}	1.25	2.08	3.47	6.83	16.9f ^{-0.739}	1.85	3.08	5.14	10.13
4	-172	43	1770	3800	2560	13.0f ^{-0.817}	1.12	1.98	3.49	7.38	13.9f ^{-0.817}	1.20	2.12	3.73	7.89
5	-215	130	2530	5220	2680	3.81f ^{-0.363}	1.28	1.65	2.12	2.96	4.27f ^{-0.363}	1.44	1.85	2.38	3.32
6	-345	610	2190	4350	2650	2.51f ^{-0.497}	0.57	0.80	1.13	1.78	2.70f ^{-0.497}	0.61	0.86	1.21	1.91
7	-955	555	2730	5160	2640	4.73f ^{-0.920}	0.30	0.57	1.08	2.50	4.84f ^{-0.920}	0.31	0.58	1.10	2.56
8	-1510	530	3020	5220	2620	0.250					0.125				
9	-2040	13960	3570	6180	2720	0.185					0.091				
10	-16000	22000	3870	6700	2800	0.125					0.063				
11	-38000	∞	4510	7800	3100	0.100					0.050				

↑ 統計的グリーン関数法
↓ 理論的手法

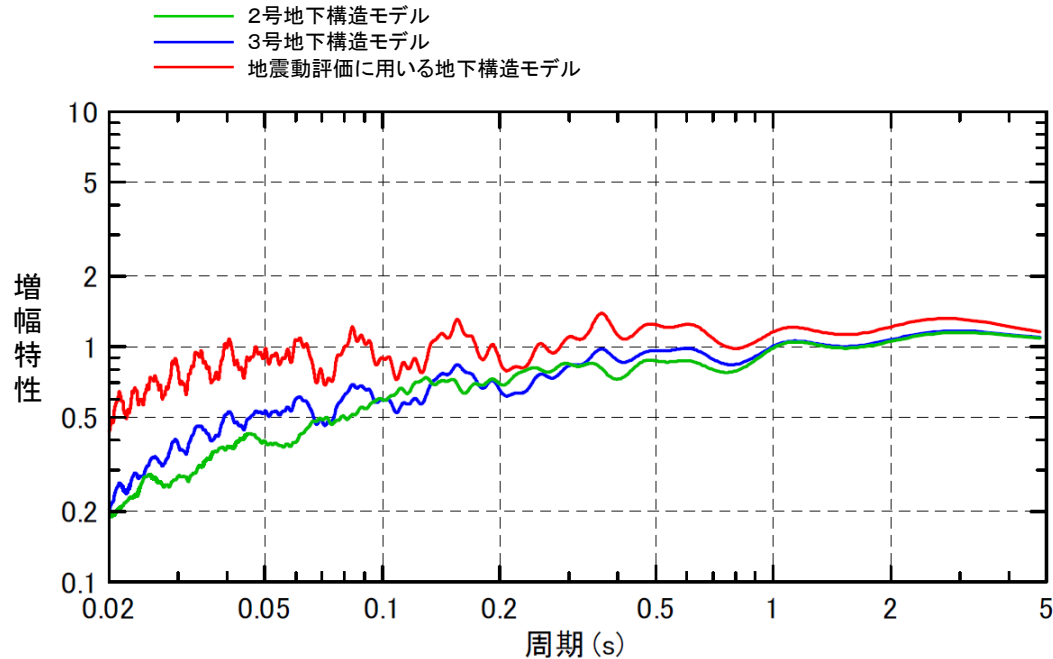
※¹ 京都大学防災研究所地震予知センター鳥取地震観測所が震源決定に用いている速度構造(P波速度)を参考に設定した地下構造モデルで、2000年鳥取県西部地震の震源インバージョン及び強震動シミュレーションに用いられており、強震動シミュレーション結果は観測記録と良く対応することが確認されている。

※² fは振動数を表す。

地震動評価に用いる地下構造モデル(地盤増幅特性)

第972回審査会合資料5-1 P99 再掲

- 地震動評価に用いる地下構造モデルの地盤増幅特性は、2号及び3号地下構造モデルの地盤増幅特性より大きくなり、敷地の地震動を安全側に評価する地下構造モデルを設定した。



地盤増幅特性(解放基盤表面／地震基盤面)の比較

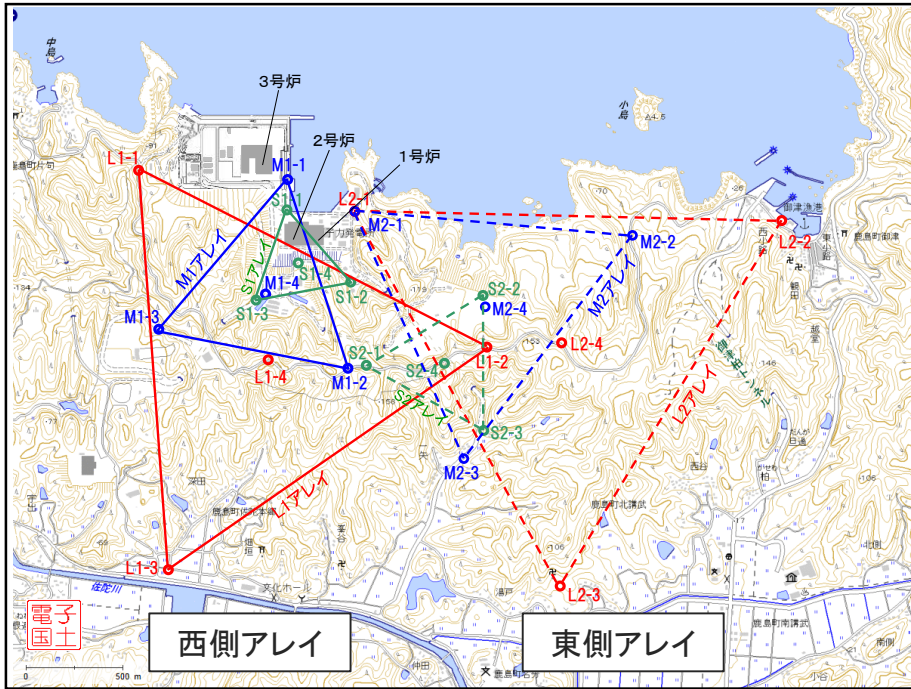
地震動評価に用いる地下構造モデル(物性値の妥当性確認)

第972回審査会合資料5-1 P100 再掲

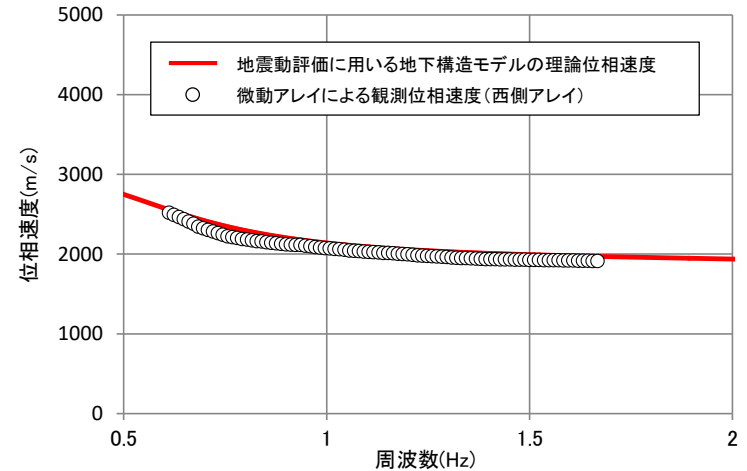
■ 地震動評価に用いる地下構造モデルから求めた理論位相速度と、微動アレイ観測記録(西側アレイ)から求めた位相速度を比較すると、同程度となっていることから、地震動評価に用いる地下構造モデルの深さ2km程度までの物性値は妥当であることを確認した。

地震動評価に用いる地下構造モデル

層番号	標高 (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)
1	-10	14	1520	3240	2500
2	-24	116	1900	3860	2570
3	-140	32	2100	4150	2490
4	-172	43	1770	3800	2560
5	-215	130	2530	5220	2680
6	-345	610	2190	4350	2650
7	-955	555	2730	5160	2640
8	-1510	530	3020	5220	2620
9	-2040	∞	3570	6180	2720



微動アレイ探査配置図



理論位相速度と観測位相速度の比較

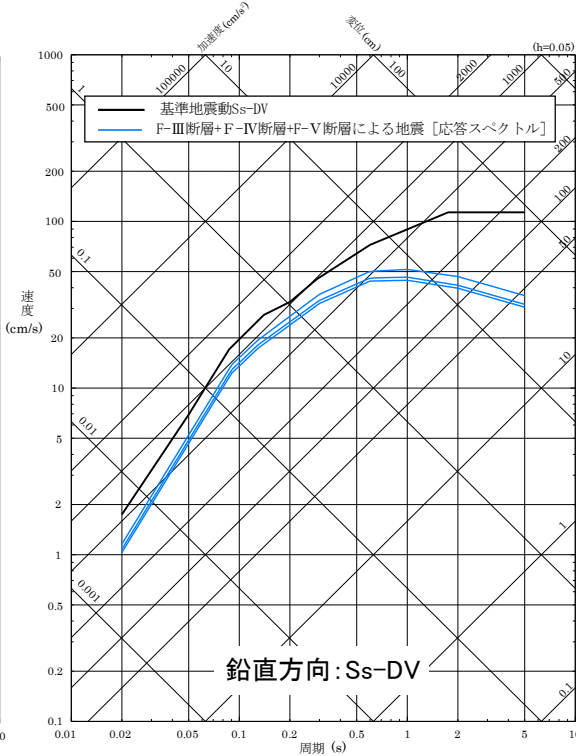
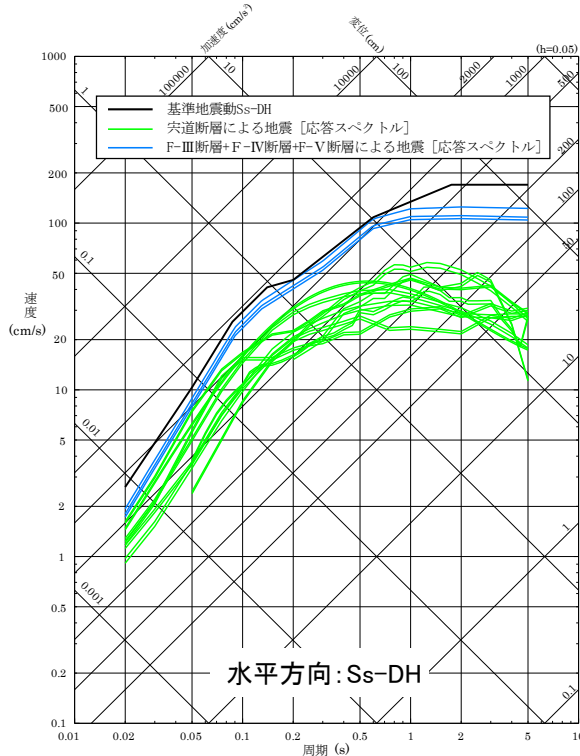
(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 1/4

■ 審査ガイドでは、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動は、検討用地震ごとに評価した応答スペクトルを下回らないように作成することを要求。



■ 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動として、検討用地震の応答スペクトル手法による地震動評価結果を包絡する基準地震動S_s-Dの設計用応答スペクトルを設定。この設計用応答スペクトルは、断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡させている。
 なお、鉛直方向の設計用応答スペクトルは、水平方向の2/3倍を下回らないように設定している。

S _s -D コントロール ポイント	周期(s)	0.020	0.050	0.087	0.14	0.20	0.29	0.60	1.75	5.00
	S _s -DH	速度 (cm/s)	2.611	10.35	25.62	41.22	45.63	61.16	108.5	170.0
S _s -DV	速度 (cm/s)	1.742	6.939	17.08	27.48	32.88	45.10	72.34	113.4	113.4



基準地震動S_s-D及び応答スペクトル手法による地震動評価結果の応答スペクトルの比較

(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 2/4

- 基準地震動S_s-Dの設計用応答スペクトルに適合する模擬地震波は、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。
- 振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)に基づき、以下に示す耐専式を適用する検討用地震の地震動評価ケースのうち、継続時間が長くなるように「F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の基本震源モデル(M:武村(1990))」の諸元により設定する。なお、T_d(継続時間)は同ケースの算定結果[52.6(s)]よりも安全側に長く[60.0(s)]設定する。

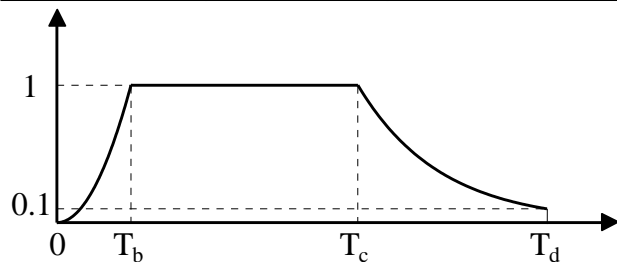
検討用地震のM, X_{eq}及び振幅包絡線の経時的変化

地震動評価ケース		マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的変化(s)			
				T _b	T _c	T _c -T _b	T _d (継続時間)
F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層 +F-Ⅴ断層による地震	基本震源モデル (M:松田(1975))	7.6	17.3	7.4	26.5	19.1	49.4
	基本震源モデル (M:武村(1990))	7.7	17.3	8.3	28.7	20.4	52.6
	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース (M:松田(1975))	7.6	16.7	7.4	26.5	19.1	49.0
(参考) 央道断層 による地震	基本震源モデル (M:松田(1975)及び武村(1990))	7.5	8.8	6.6	24.4	17.8	39.7

※央道断層による地震は耐専式の適用外としているが、参考に基本震源モデルについて記載。

基準地震動S_s-Dの模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

模擬地震波	最大加速度 (cm/s ²)	マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的変化(s)		
				T _b	T _c	T _d (継続時間)
S _s -DH	820	7.7	17.3	8.3	28.7	60.0
S _s -DV	547					



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

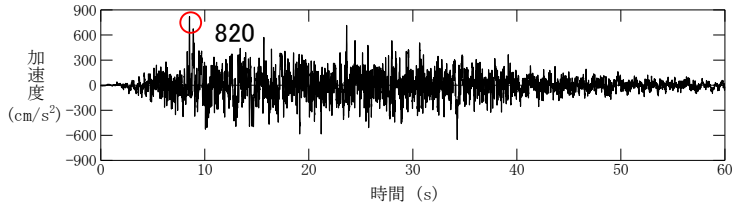
$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.541\log X_{eq}-0.6}$$

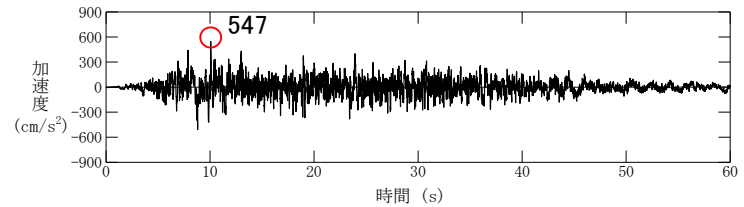
$$\text{振幅包絡線} : E(T) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} & T_c \leq T \leq T_d \end{cases}$$

(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 3/4

■ 基準地震動 S_s-D の模擬地震波の加速度時刻歴波形

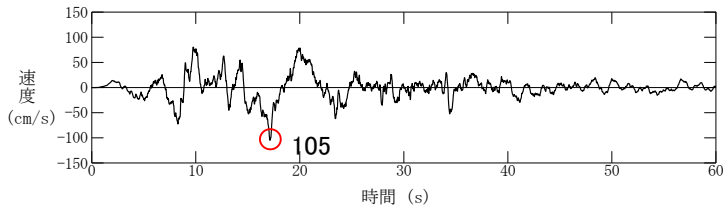


水平方向： S_s-DH

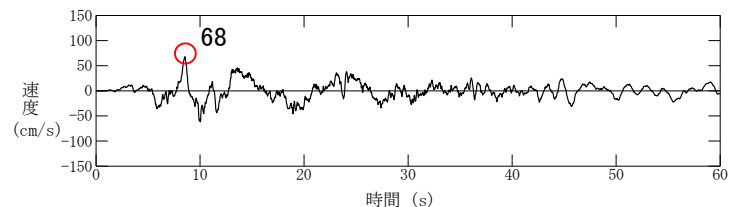


鉛直方向： S_s-DV

■ 基準地震動 S_s-D の模擬地震波の速度時刻歴波形



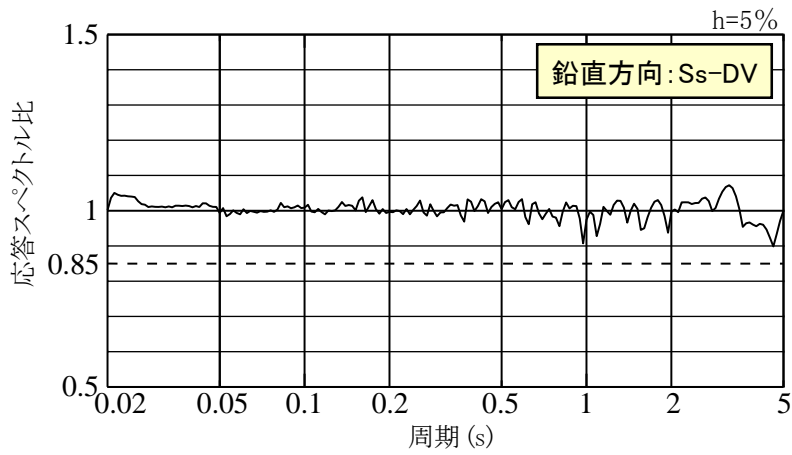
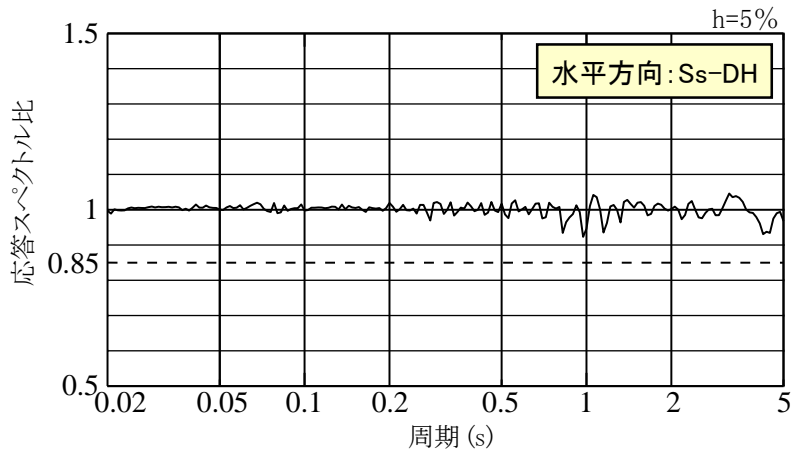
水平方向： S_s-DH



鉛直方向： S_s-DV

(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 4/4

- 作成した基準地震動S_s-Dの模擬地震波が、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した。
 - ・ 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が全周期帯で0.85以上
 - ・ 応答スペクトル強さの比(SI比)が1.0以上



応答スペクトル強さの比(SI比)

応答スペクトル	SI比 (周期0.1~2.5秒)
S _s -DH	1.00
S _s -DV	1.00

$$SI比 = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \overline{S_v(T)} dt}$$

SI : 応答スペクトル強さ(減衰定数h=5%)
 S_v(T) : 設計用模擬地震波の速度応答スペクトル(cm/s)
 $\overline{S_v(T)}$: 目標とする設計用速度応答スペクトル(cm/s)
 T : 固有周期(秒)

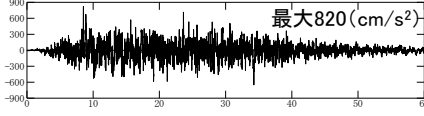
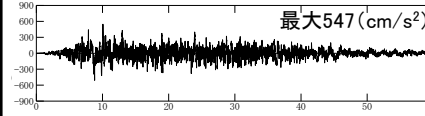
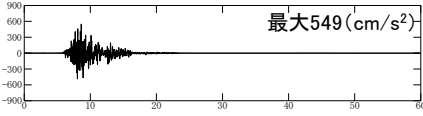
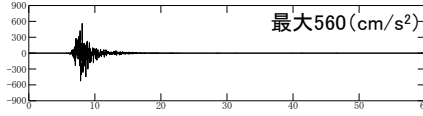
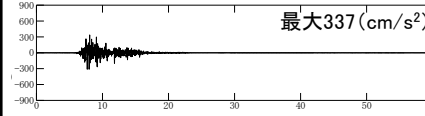
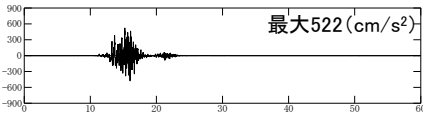
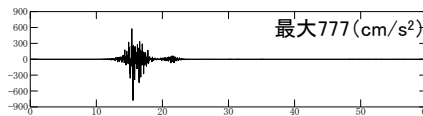
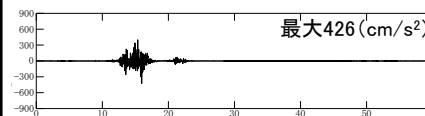
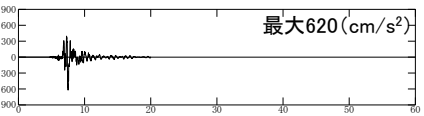
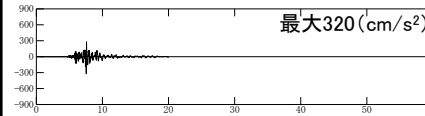
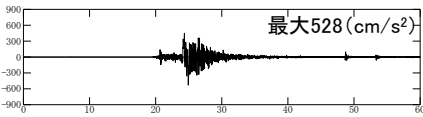
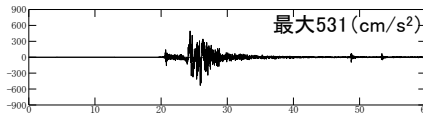
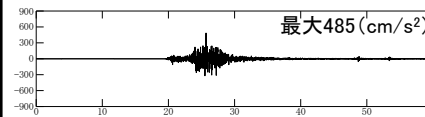
基準地震動S_s-Dの応答スペクトル比

基準地震動の策定のまとめ(最大加速度値)

令和3年6月16日ヒアリング資料7 P199 再掲

■ 基準地震動の最大加速度値を以下に示す。

基準地震動の最大加速度値

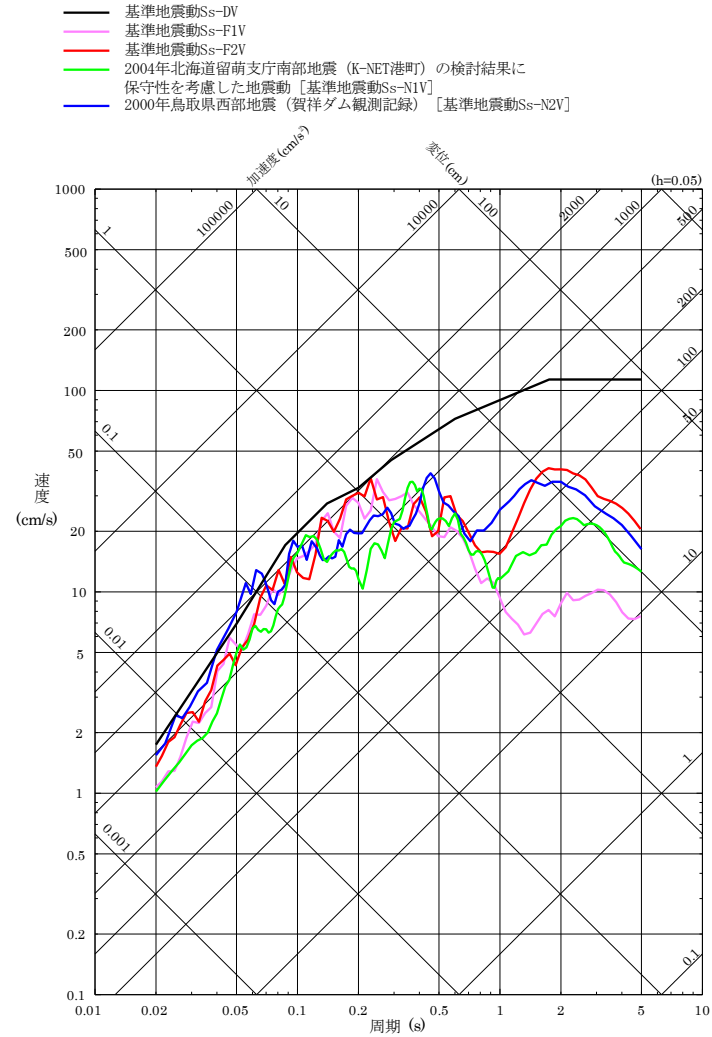
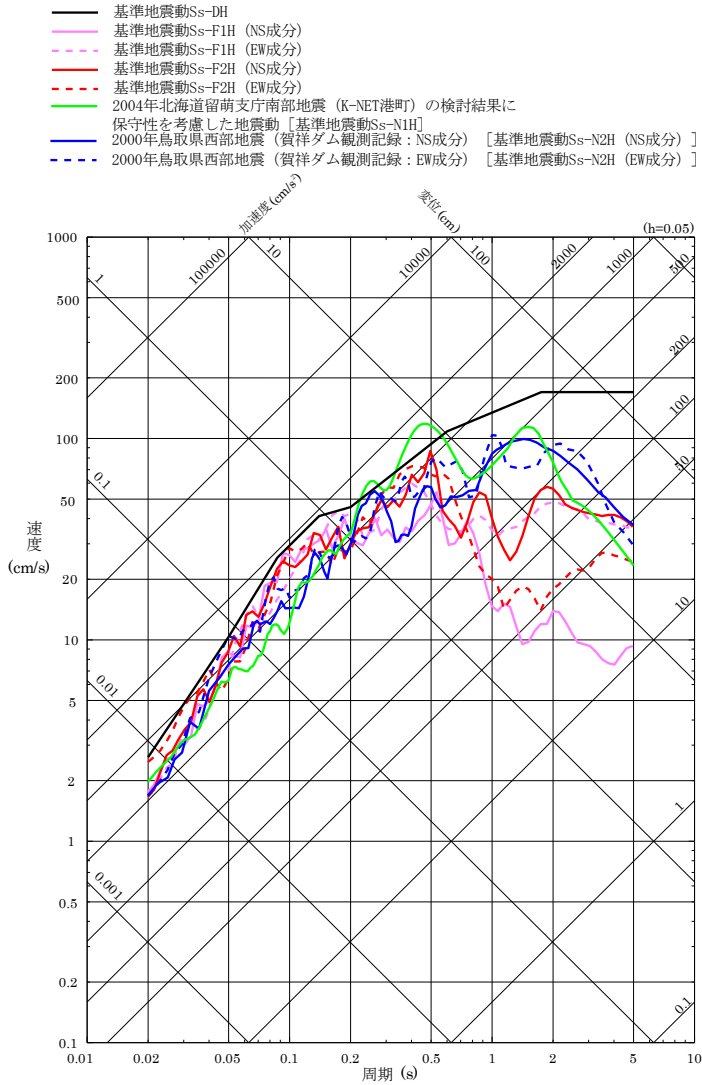
基準地震動		水平方向(NS成分)	水平方向(EW成分)	鉛直方向
Ss-D	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 〔応答スペクトル手法による基準地震動〕			
Ss-F1	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔宍道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)破壊開始点5〕			
Ss-F2	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔宍道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)破壊開始点6〕			
Ss-N1	「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 〔2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動〕			
Ss-N2	「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 〔2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録〕			

※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸:加速度(cm/s²), 横軸:時間(s)]

基準地震動の策定のまとめ(応答スペクトル) 1/2

令和3年6月16日ヒアリング資料7 P200 再掲

■ 策定した基準地震動の応答スペクトル(擬似速度)を以下に示す。



水平方向

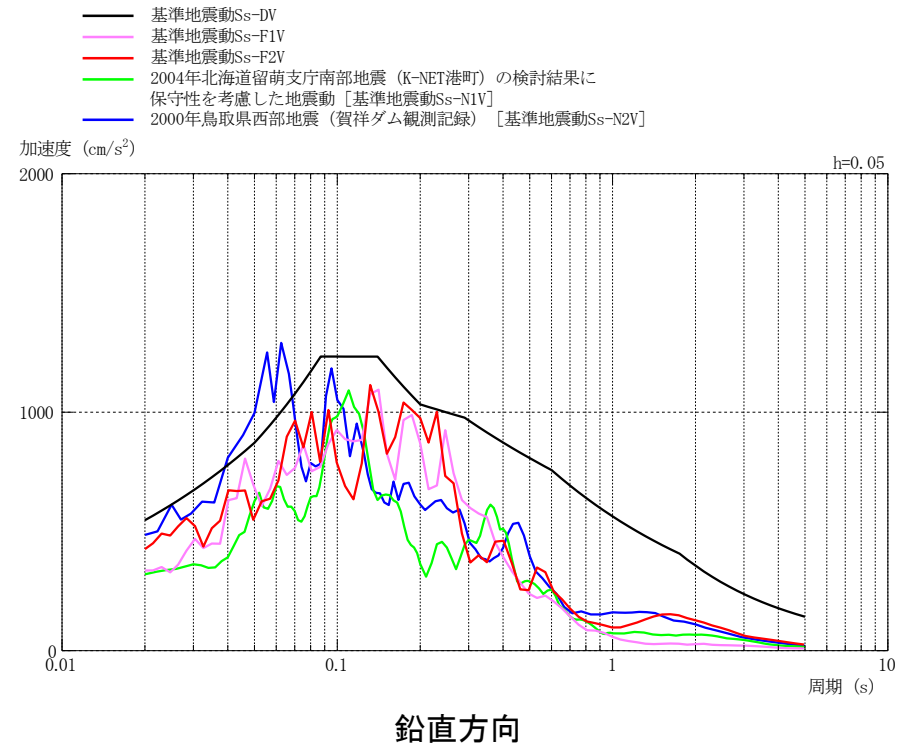
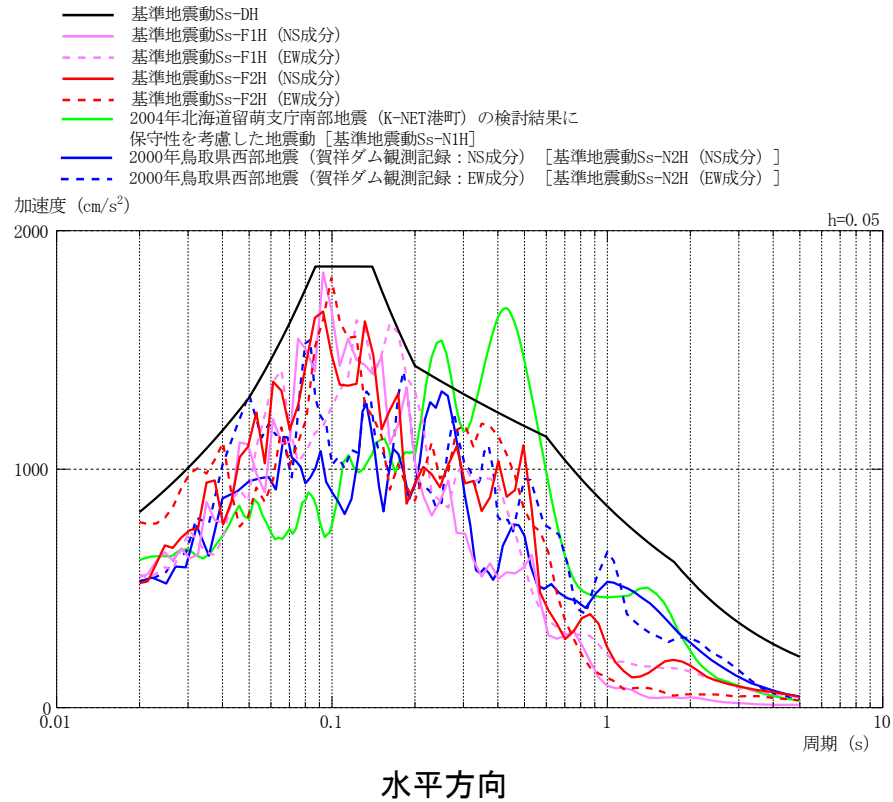
鉛直方向

基準地震動の擬似速度応答スペクトルの比較

基準地震動の策定のまとめ(応答スペクトル) 2/2

令和3年6月16日ヒアリング資料7 P201 再掲

■ 策定した基準地震動の応答スペクトル(加速度)を以下に示す。



基準地震動の加速度応答スペクトルの比較