

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密  
又は防護上の観点から公開できません。

# 東海第二発電所

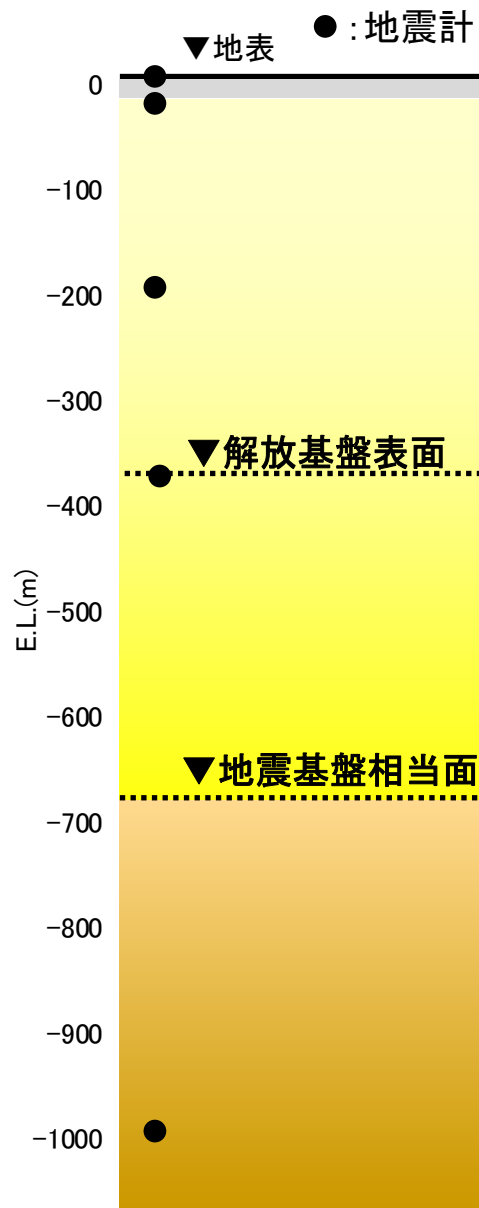
## 標準応答スペクトルを考慮した評価の概要について

- ・地震動評価
- ・基礎地盤及び周辺斜面の  
安定性評価

令和3年7月30日

日本原子力発電株式会社

# 標準応答スペクトルに基づく地震動評価の方針



- 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際しては、標準応答スペクトルを用いることが規定された。
- 敷地における解放基盤表面は $V_s 700\text{m/s}$ 以上となるE.L.-370m位置に設定している。一方、標準応答スペクトルが地震基盤相当面( $V_s 2200\text{m/s}$ 以上の地層)で定義されていることを踏まえ、標準応答スペクトルを解放基盤表面において評価するうえでは、地震基盤相当面から解放基盤表面までの増幅特性を考慮する。
- 増幅特性の考慮に際しては、上記地震基盤相当面の設定が重要と考えられるところ、既許可の地盤モデルでは、地震基盤相当面を境に $V_s$ が $1000\text{m/s}$ 未満から $3000\text{m/s}$ 近くに急変するため、 $V_s 2200\text{m/s}$ 層が無い。そこで、大深度ボーリングのPS検層結果を精査し、新たに $V_s 2200\text{m/s}$ の層を設定した地盤モデルを検討した。また、減衰定数についても、既許可の地盤モデル検討時点より、大深度地震計の観測記録が多数得られていること、同定の対象とした範囲を地下1000mの深部から地表まで広げることによって精度向上を図った。

## 標準応答スペクトルに基づく地震動評価の流れ



左図：東海第二発電所敷地地盤のイメージ図

# 1. 地盤モデルの設定

■地盤モデルについては、標準応答スペクトルが定義されているVsと敷地における地下構造調査結果との対応に関する検討や、大深度地震計観測記録の蓄積を踏まえて、新たに設定する。

## (1) 速度構造と地震基盤相当面位置の設定

- ・大深度ボーリング調査結果を含めた地下構造調査結果に基づき、速度構造を検討した。
- ・上記検討に基づき、地震基盤相当面位置をVs2200m/s層の上面位置であるE.L.-679m位置に設定した。

## (2) 減衰定数の設定

大深度地震計(E.L.-992m)の地震観測記録を用いた伝達関数の逆解析により、地震基盤相当面から解放基盤表面までの区間を含め、地盤の減衰定数を設定した。

備考 既許可での地盤モデル

【統計的グリーン関数法による検証で用いた地盤モデル】

東海第二発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」における断層モデル手法の計算は、すべて経験的グリーン関数法により評価している。一方、その妥当性確認のため統計的グリーン関数法による検証も実施しており、その計算には各種地下構造調査結果により設定した地盤モデルを用いている。

【2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた地盤モデル】

K-NET HKD020(港町)観測点の基盤地震動はVs 938m/s層で評価されているため、敷地での地盤増幅特性を考慮する際には、Vs 938m/s層を考慮できるように統計的グリーン関数法に用いた地盤モデルの層区分を細分化したものをを用いている。また、減衰定数についても、大深度地震計(E.L.-992m)の観測記録も用いた同定解析によりE.L.-679m以深の値を設定している。

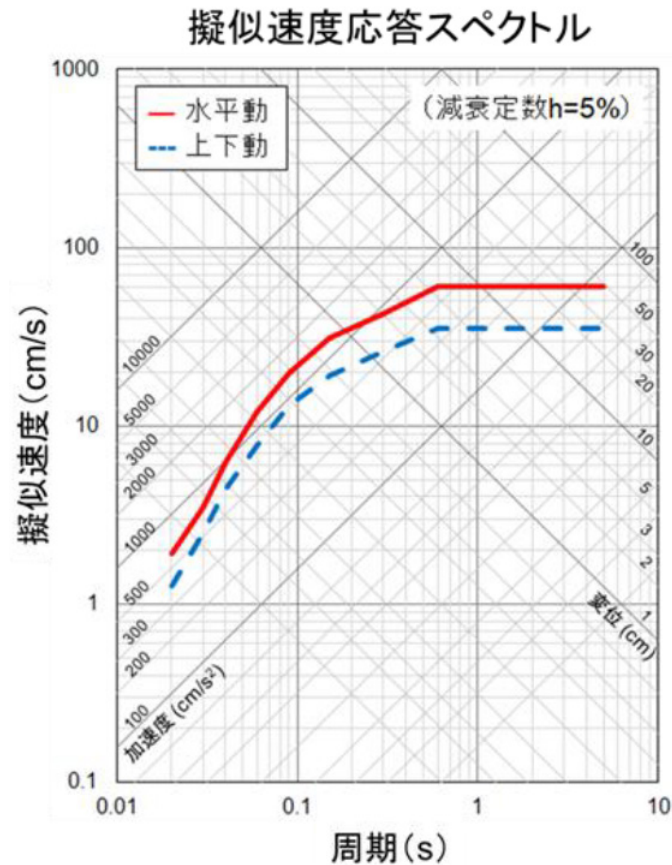
新たに設定した地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数h(f)	
					水平	鉛直
● 8.0	2.5	130	280	1.71	$0.921f^{-1.32}$ ( $f \leq 18.74$ )	$1.170f^{-0.91}$ ( $f \leq 19.45$ )
					$0.019$ ( $f > 18.74$ )	$0.079$ ( $f > 19.45$ )
	4.5	151	403	1.71	$0.793f^{-1.32}$ ( $f \leq 18.74$ )	$0.813f^{-0.91}$ ( $f \leq 19.45$ )
					$0.017$ ( $f > 18.74$ )	$0.055$ ( $f > 19.45$ )
1.0	8.0	308	1589	1.66	$0.389f^{-1.32}$ ( $f \leq 18.74$ )	$0.206f^{-0.91}$ ( $f \leq 19.45$ )
					$0.008$ ( $f > 18.74$ )	$0.014$ ( $f > 19.45$ )
-7.0	8.0	478	1509	1.82	$0.250f^{-1.32}$ ( $f \leq 18.74$ )	$0.217f^{-0.91}$ ( $f \leq 19.45$ )
					$0.005$ ( $f > 18.74$ )	$0.015$ ( $f > 19.45$ )
● -17.0	2.0	477	1753	1.69	$0.102f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.301f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.014$ ( $f > 6.78$ )	$0.008$ ( $f > 31.74$ )
-106.0	89.0	557	1742	1.74	$0.087f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.303f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.012$ ( $f > 6.78$ )	$0.008$ ( $f > 31.74$ )
-168.0	24.0	669	2067	1.78	$0.072f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.256f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.010$ ( $f > 6.78$ )	$0.007$ ( $f > 31.74$ )
● -192.0	68.0	756	2256	1.82	$0.064f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.234f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.009$ ( $f > 6.78$ )	$0.006$ ( $f > 31.74$ )
-260.0	108.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.008$ ( $f > 6.78$ )	$0.007$ ( $f > 31.74$ )
● -368.0	2.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.008$ ( $f > 6.78$ )	$0.007$ ( $f > 31.74$ )
-370.0	2.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.008$ ( $f > 6.78$ )	$0.007$ ( $f > 31.74$ )
● -372.0	104.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.008$ ( $f > 6.78$ )	$0.007$ ( $f > 31.74$ )
-476.0	90.0	835	2124	1.89	$0.058f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.249f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.008$ ( $f > 6.78$ )	$0.007$ ( $f > 31.74$ )
-566.0	89.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.240f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.007$ ( $f > 6.78$ )	$0.006$ ( $f > 31.74$ )
● -655.0	24.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.234f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
					$0.007$ ( $f > 6.78$ )	$0.006$ ( $f > 31.74$ )
-679.0	55.0	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ ( $f \leq 1.31$ )	$0.004f^{-0.23}$ ( $f \leq 16.46$ )
					$0.012$ ( $f > 1.31$ )	$0.002$ ( $f > 16.46$ )
-734.0	258.0	2800	5300	2.78	$0.010f^{-0.21}$ ( $f \leq 1.31$ )	$0.004f^{-0.23}$ ( $f \leq 16.46$ )
					$0.009$ ( $f > 1.31$ )	$0.002$ ( $f > 16.46$ )
● -992.0	-	2800	5300	2.78	$0.010f^{-0.21}$ ( $f \leq 1.31$ )	$0.004f^{-0.23}$ ( $f \leq 16.46$ )
					$0.009$ ( $f > 1.31$ )	$0.002$ ( $f > 16.46$ )

●：地震計位置

## 2. 模擬地震波の検討

- 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を作成する。
- 作成に際しては、複数の手法(乱数位相を用いた手法, 実観測記録の位相を用いた手法)による検討を行う。



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

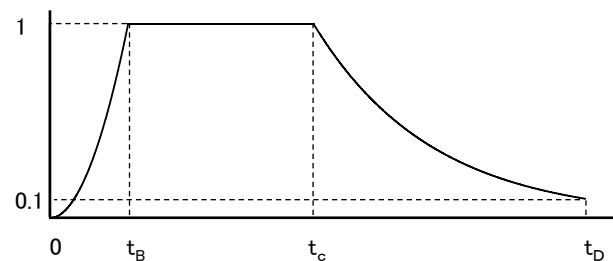
標準応答スペクトル

原子力規制委員会(2021)より抜粋

# 乱数位相を用いた模擬地震波の作成の例

■ 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变化については、Noda et al.(2002)の方法に基づき、下記に示す形状とする。

模擬地震波	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	継続時間(s)	振幅包絡線の経時的变化(s)		
			t <sub>B</sub>	t <sub>C</sub>	t <sub>D</sub>
水平方向	600	28.03	3.31	15.06	28.03
鉛直方向	400	28.03	3.31	15.06	28.03



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

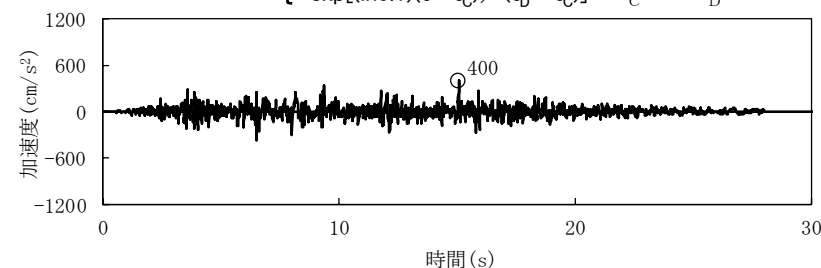
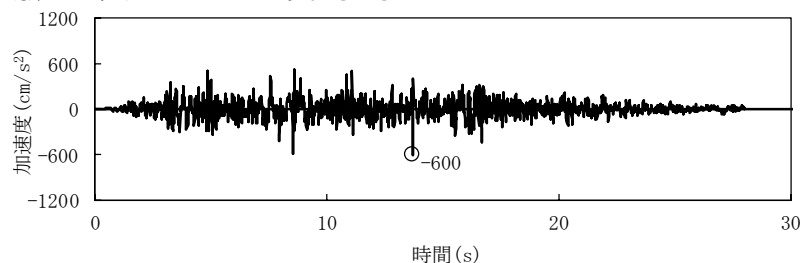
$$t_C - t_B = 10^{0.3M - 1.0}$$

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

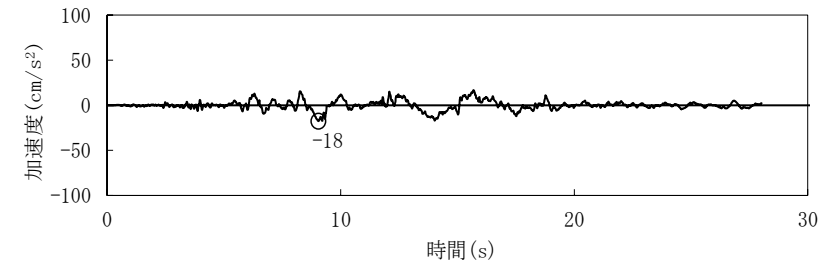
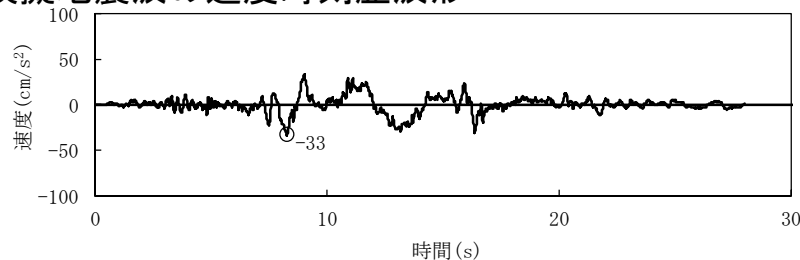
$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \leq t \leq t_B \\ 1 & t_B \leq t \leq t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t - t_C)/(t_D - t_C)] & t_C \leq t \leq t_D \end{cases}$$

地震規模M及び等価震源距離X<sub>eq</sub>は、M6.9、X<sub>eq</sub>=10.0kmとする。

模擬地震波の加速度時刻歴波形



模擬地震波の速度時刻歴波形



水平方向

鉛直成分

### 3. 地盤増幅特性の考慮

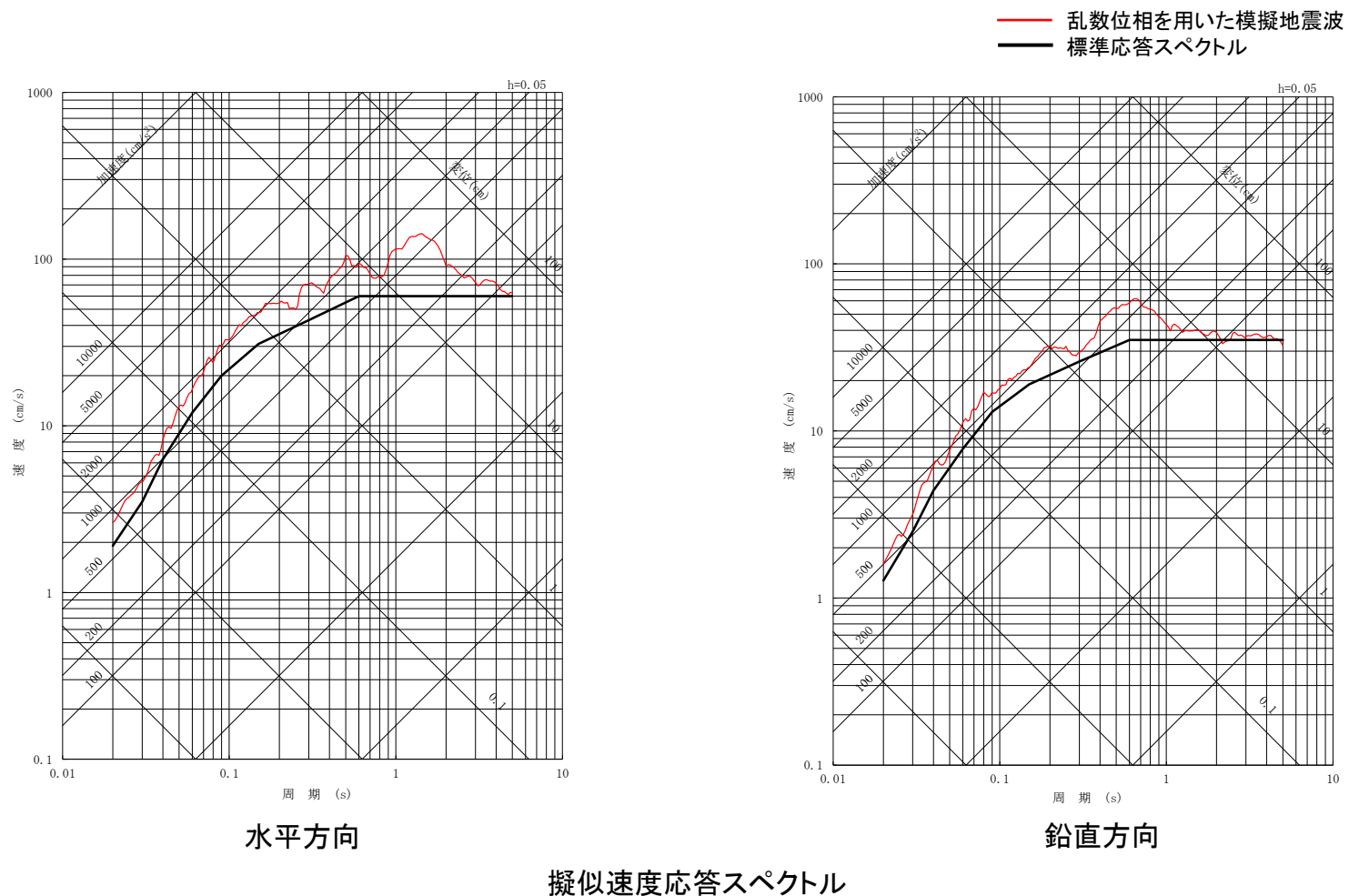
- 標準応答スペクトルに敷地の地盤増幅特性を考慮するため、地震基盤相当面(S波速度2200m/s)に対応するE.L.-679mに標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を入力し、E.L.-370mの解放基盤表面の地震動を評価する。

標準応答スペクトルに敷地の地盤増幅特性を考慮するための地盤モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数h(f)		出力位置 ▽
					水平	鉛直	
-370.0							
	2.0	790	2000	1.85	0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78) 0.008 (f>6.78)	0.264f <sup>-1.05</sup> (f≤31.74) 0.007 (f>31.74)	
-372.0							
	104.0	790	2000	1.85	0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78) 0.008 (f>6.78)	0.264f <sup>-1.05</sup> (f≤31.74) 0.007 (f>31.74)	
-476.0							
	90.0	835	2124	1.89	0.058f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78) 0.008 (f>6.78)	0.249f <sup>-1.05</sup> (f≤31.74) 0.007 (f>31.74)	
-566.0							
	89.0	904	2205	2.00	0.054f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78) 0.007 (f>6.78)	0.240f <sup>-1.05</sup> (f≤31.74) 0.006 (f>31.74)	
-655.0							
	24.0	947	2256	2.07	0.051f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78) 0.007 (f>6.78)	0.234f <sup>-1.05</sup> (f≤31.74) 0.006 (f>31.74)	入力位置 ▽
-679.0							
	-	2200	4800	2.65	0.013f <sup>-0.21</sup> (f≤1.31) 0.012 (f>1.31)	0.004f <sup>-0.23</sup> (f≤16.46) 0.002 (f>16.46)	

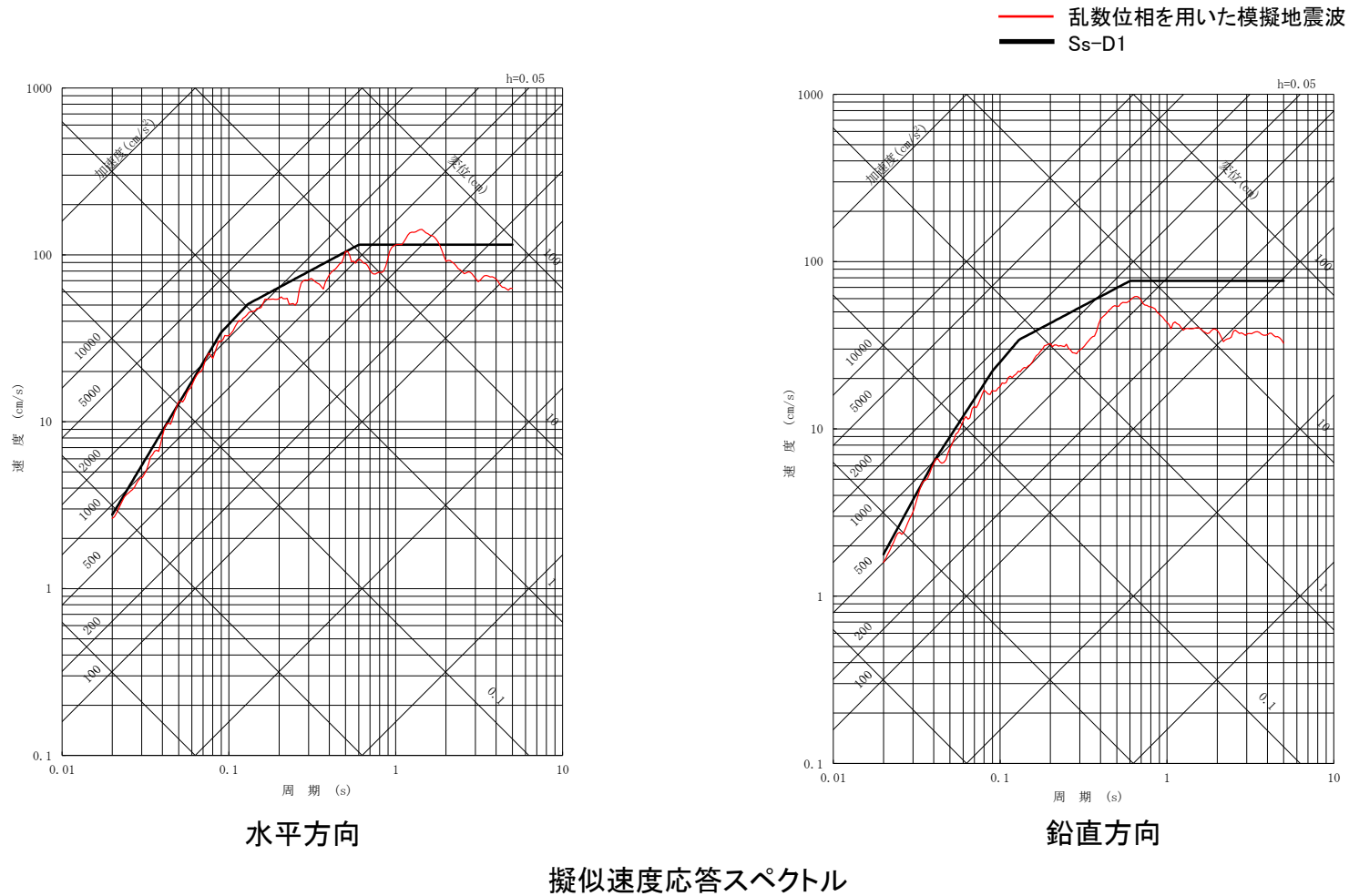
# 解放基盤表面上における地震動評価結果

- 複数の手法で検討した模擬地震波について比較検討し、乱数位相を用いた模擬地震波を採用する。
- 乱数位相を用いた模擬地震波について、地盤増幅特性を考慮して解放基盤表面上で評価した結果を示す。



## 4. 基準地震動Ssの策定(1/4)

- 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動は、一部の周期帯において、基準地震動Ss-D1(応答スペクトル手法による基準地震動)を上回るため、新たに基準地震動として追加した。

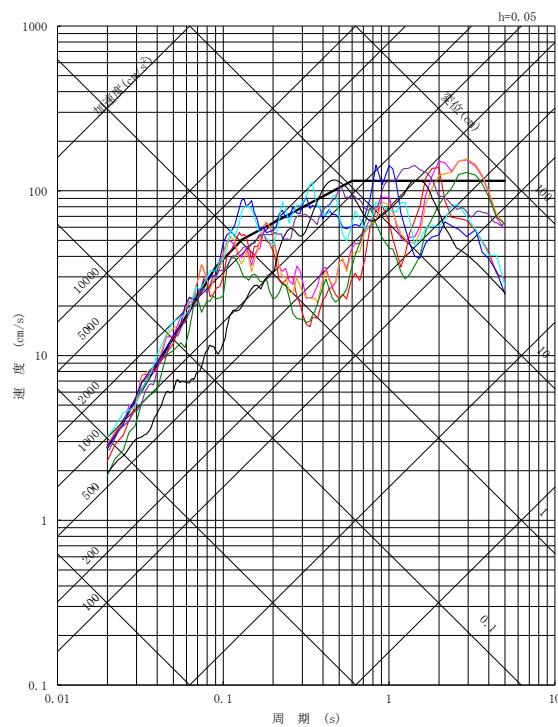




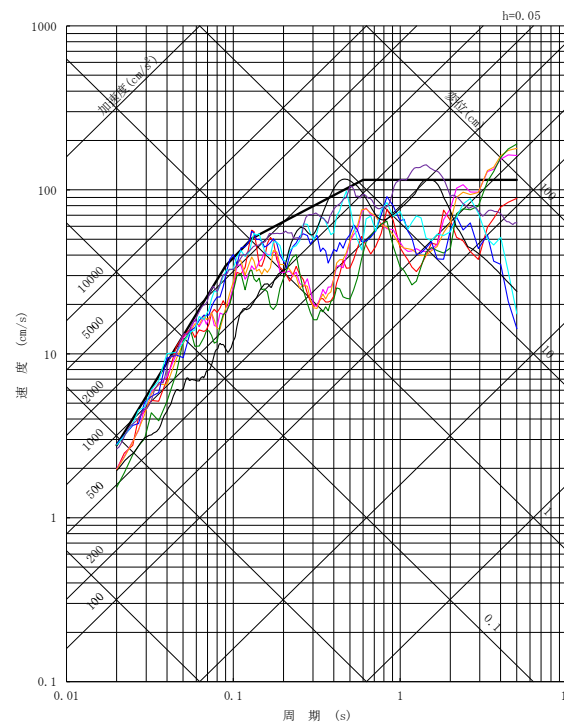
## 4. 基準地震動Ssの策定(2/4)

■標準応答スペクトルに基づき策定した地震動を基準地震動Ss-32とし、既許可の全ての基準地震動と合わせて下記に示す。

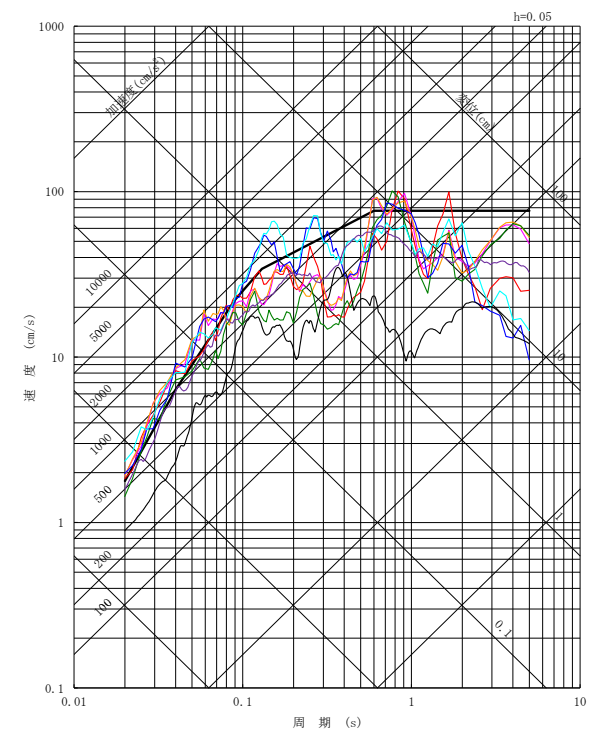
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 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
- Ss-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



NS方向



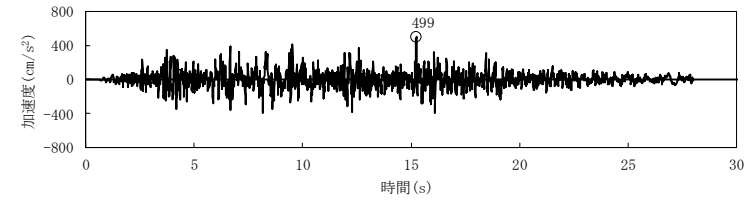
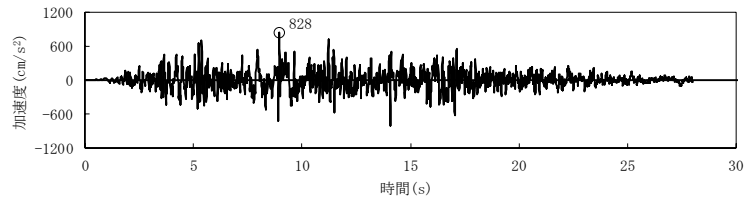
EW方向



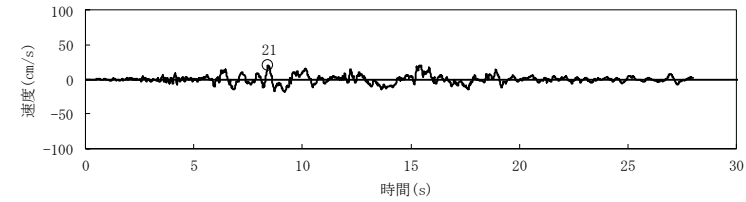
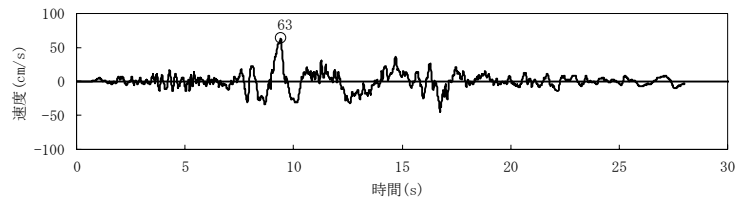
UD方向

## 4. 基準地震動Ssの策定(3/4)

■ Ss-32(標準応答スペクトルに基づき策定した地震動)の時刻歴波形を下記に示す。



加速度時刻歴波形



速度時刻歴波形

水平方向

鉛直方向

解放基盤表面における時刻歴波形

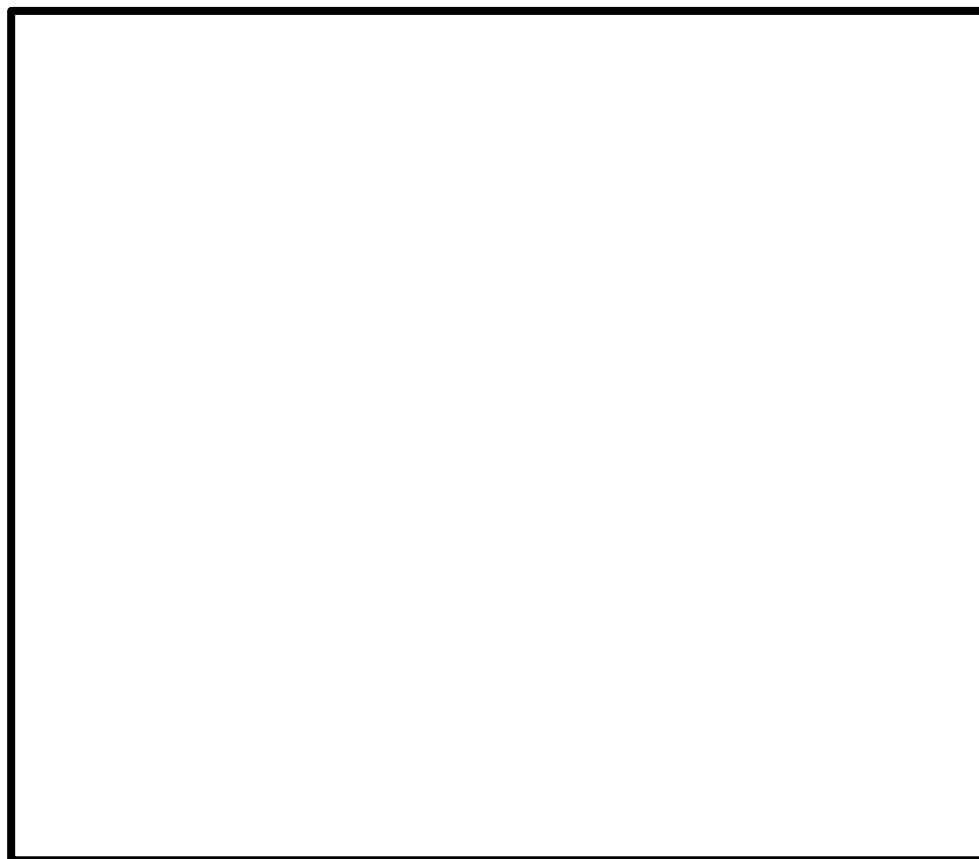
## 4. 基準地震動Ssの策定(4/4)

■ 基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
Ss-11	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1)	717	619	579
Ss-12	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)	871	626	602
Ss-13	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3)	903	617	599
Ss-14	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)	586	482	451
Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
Ss-22	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)	1009	874	736
Ss-31	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	610		280
Ss-32	標準応答スペクトルに基づき策定した地震動	828		499

## 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について

- 基準地震動 $S_s-32$ について、下図に示す評価対象施設の基礎地盤の安定性評価を実施した結果、基礎地盤のすべり・基礎の支持力・基礎底面の傾斜について、いずれも評価基準値を上回ることを確認した。
- 基準地震動 $S_s-32$ について、下図に示す評価対象施設の周辺斜面の安定性評価を実施した結果、地盤のすべりについて、評価基準値を上回ることを確認した。



枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

評価対象施設位置図

### 基礎地盤の安定性評価

- ↑ ↑ : 原子炉建屋
- ↑ ↑ : 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁) [北側]
- ↑ ↑ : 緊急時対策所建屋
- ↑ ↑ : 取水構造物

### 周辺斜面の安定性評価

- ↑ ↑ : 使用済燃料乾式貯蔵建屋

### 基礎地盤及び周辺斜面 の安定性評価結果

評価項目	評価結果 ( $S_s-32$ )
基礎地盤の安定性	評価基準値を満足
周辺斜面の安定性	評価基準値を満足

## 参考文献

---

- 原子力規制委員会(2021):第5回原子力規制委員会 資料1 標準応答スペクトルの規制への取り入れのための実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正—改正案に対する意見募集の結果及びこれを踏まえた修正並びに今後の対応—
- 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, Istanbul.