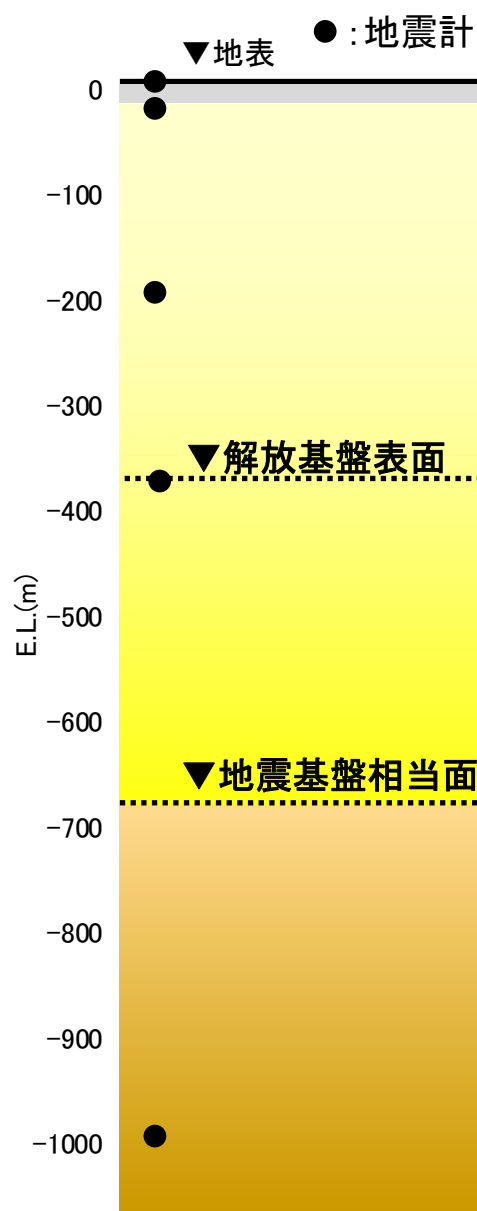


# 東海第二発電所 標準応答スペクトルを考慮した評価について (地震動評価)

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



■敷地における解放基盤表面は $V_s$ 700m/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( $V_s$ 2200m/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1000m/s未満から3000m/s近くに急変するため、 $V_s$ 2200m/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 $V_s$ 2200m/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で精度向上を図った。

## ■標準応答スペクトルに基づく地震動評価の流れ

### 1. 地盤モデルの設定 (P3~)

#### (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、検討に用いる速度構造と地震基盤相当面位置を設定する。

#### (2) 減衰定数の設定

大深度地震計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する。

### 2. 模擬地震波の検討 (P11~)

標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を複数の手法により検討する。

### 3. 地盤増幅特性の考慮 (P18~)

地震基盤相当面位置から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮した地震動を評価する。また、複数の手法により検討した模擬地震波について比較検討を行う。

### 4. 基準地震動 $S_s$ の策定 (P22~)

既許可の基準地震動 $S_s$ との比較より、基準地震動 $S_s$ を策定する。

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 (1) 速度構造と地震基盤相当面の設定

■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、速度構造と地震基盤相当面位置を設定する。

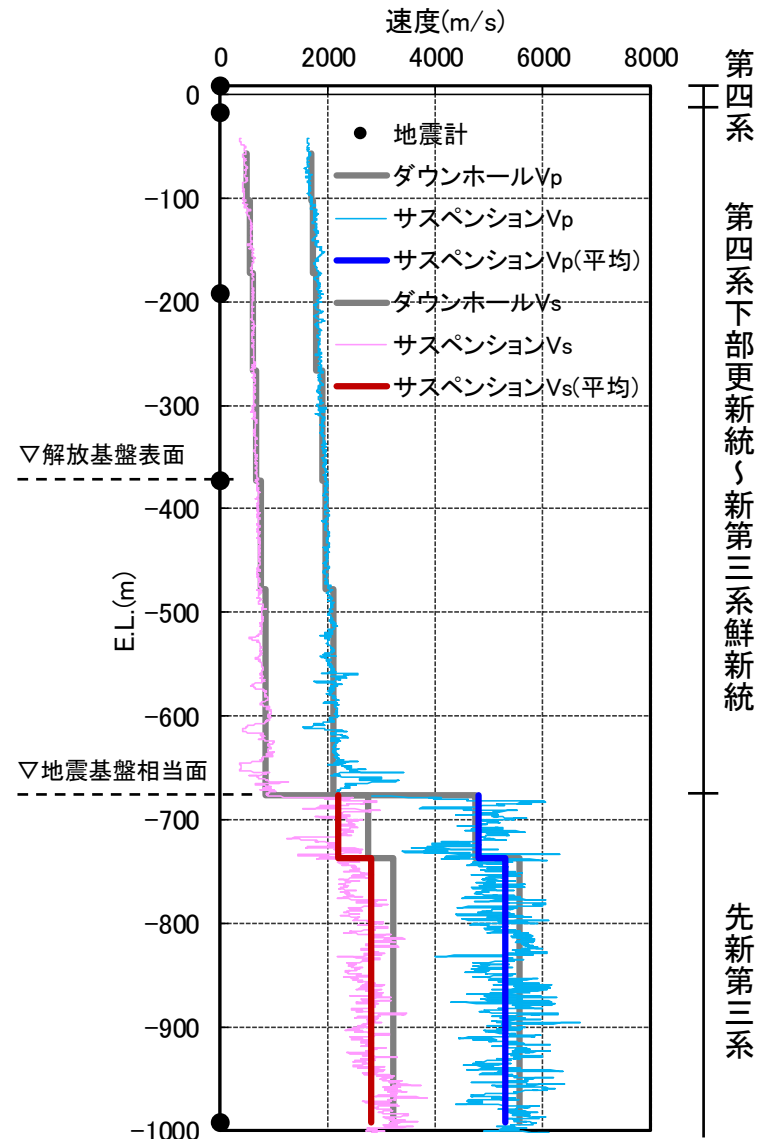
## 【E.L.-679m以浅(解放基盤表面～新第三系鮮新統下端)】

- ・Vs, Vpとも深くなるにつれ値が漸増する構造であり、また複数の調査結果で整合していることから、2004年北海道留萌支庁南部地震の検討においては、解放基盤表面からE.L.-679m(新第三系鮮新統下端)までの速度構造を標高依存式により設定している。
- ・標準応答スペクトルによる地震動の検討に際しても、解放基盤表面からE.L.-679m(新第三系鮮新統下端)までの速度構造は、既許可の2004年北海道留萌支庁南部地震の検討で用いたものを用いる。

## 【E.L.-679m以深(先新第三系)】

- ・標準応答スペクトルがVs 2200m/s以上の地震基盤相当面で設定されていることを踏まえて、大深度ボーリングのPS検層結果を改めて精査し、サスペンション法の結果を重視して速度構造を設定する。具体的には、ダウンホール法における同一層内で、サスペンション法のVs, Vpをそれぞれ平均して求めた値を用いる\*。
- ・地震基盤相当面は、E.L.-679mにS波速度2200m/s層の上面として設定する。

\* 既許可においては、地盤モデルの層区分との対応が明確なダウンホール法のVs, Vp値を設定。地震基盤相当面位置でのVs, Vp値はそれぞれ2750m/s, 4740m/s。



大深度ボーリングのPS検層結果の例

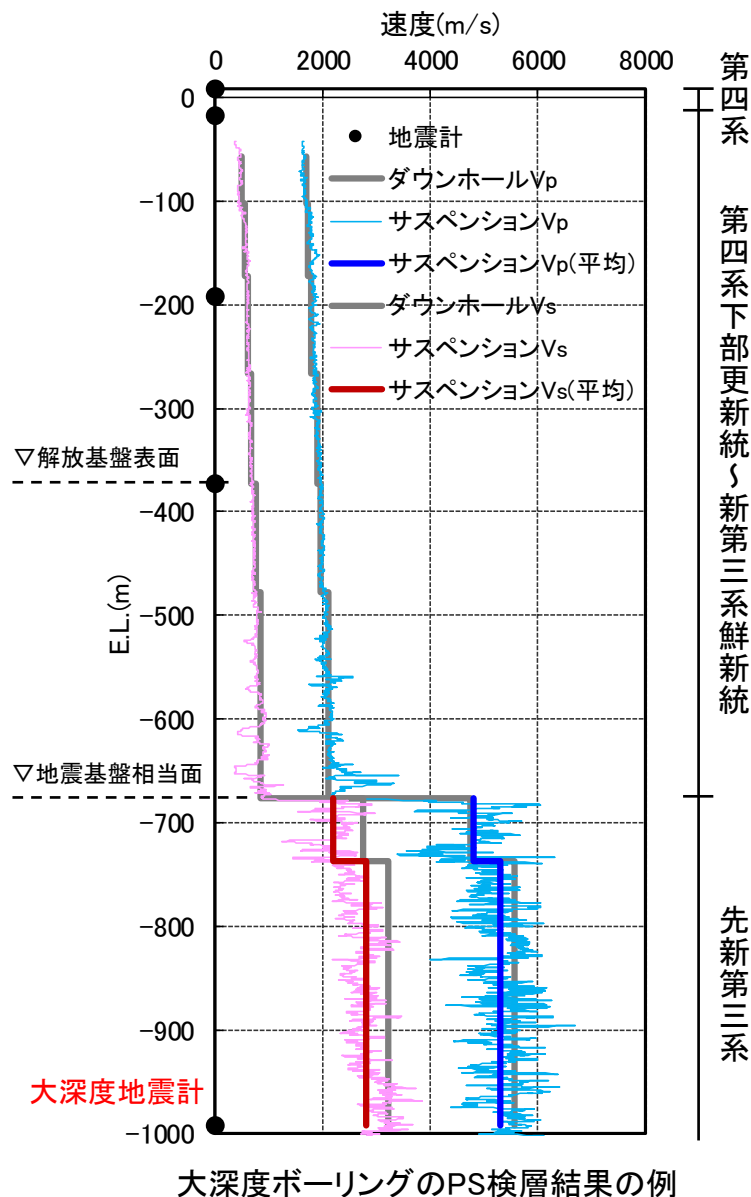
## (2) 減衰定数の設定

■大深度地震計を含む鉛直アレイ地震観測記録を用いて減衰定数を設定する。

- ・大深度地震計は地震基盤相当面より深い位置(E.L.-992m)に設置されており、他の鉛直アレイ地震観測記録と併用することで、地震基盤相当面から解放基盤までの地震波の伝播の状況を直接調べることができる。そこで、大深度地震計を含めた鉛直アレイ地震観測記録の伝達関数の逆解析により、減衰定数(Q値)を求める。
- ・伝達関数の逆解析による減衰定数の同定範囲は地表面からE.L.-992mの範囲とする。
- ・地盤の減衰定数は一般に振動数依存が認められ、高振動数になるほど減衰定数が低下する性質があるが、それには下限が存在すると考えられることから(例えば佐藤他(2006)), 減衰定数の同定に際しては、減衰定数の下限を考慮する。

参考 既許可での評価方法との比較

項目		2004年北海道留萌支庁南部地震の検討	本検討
設定方法	地表～解放基盤表面	E.L.-372m以浅の地震観測記録による同定解析	大深度地震観測記録を含めた同定解析
	解放基盤表面～地震基盤相当面	上記結果うち、第四系下部更新統～新第三系鮮新統の値を設定	
	地震基盤相当面以深	大深度地震観測記録を含めた同定解析	
減衰定数のモデル		振動数依存(下限考慮なし)	振動数依存(下限考慮あり)



# 地盤同定解析に用いる地盤モデル及び探索範囲

■ Q値を対象に地盤同定解析を行う。

■ Q値の上限(減衰定数の下限)を考慮したバイリニア型のモデルを用いる。また、Q値のS波速度(Vs), P波速度(Vp)依存を考慮する。

- ① 地表(E.L.8m)からE.L.-372mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行い設定した地盤モデルを用いる。
- ② 概ね100m程度を目安に層厚を設定する。
- ③ E.L.-372m ~ -476mの地盤物性については、上層との連続性を考慮し、上層と同じ値を設定する。
- ④ E.L.-476m ~ -679mの地盤物性については、調査結果に基づく標高依存式より算出する。
- ⑤ E.L.-679m以深のS波速度及びP波速度については、1000mボーリングにおけるPS検層(サスペンション法)結果、密度については1000mボーリングにおける密度検層結果を基に設定する。
- ⑥ 地表(E.L.8m)からE.L.-992mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行う。

同定解析における探索範囲

固定パラメータ						探索範囲					
E.L. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Q=(Vs/n)(f/f0) <sup>α</sup>			Q=(Vp/n)(f/f0) <sup>α</sup>		
						水平			鉛直		
						n	α	f0	n	α	f0
● 8.0	2.5	第四系	① 130	280	1.71	⑥ 1-50	0.0-1.5	1.0-20.0	1-200	0.0-1.5	1.0-33.3
5.5	4.5		151	403	1.66						
1.0	8.0		308	1589	1.82						
-7.0	8.0		478	1509	1.69						
● -15.0	2.0	第四系 下部更新統 ~ 新第三系 鮮新統	477	1753	1.74	10-80	0.0-1.5	1.0-20.0	10-320	0.0-1.5	1.0-33.3
● -17.0	89.0		557	1742	1.78						
● -106.0	62.0		669	2067	1.82						
● -168.0	24.0		756	2256	1.85						
● -192.0	68.0		790	2000	1.85						
● -260.0	108.0		790	2000	1.85						
▽ 解放基盤表面 -370.0	2.0	先第三系	② 790	③ 2000	1.89	10-100	0.0-1.5	1.0-20.0	10-400	0.0-1.5	1.0-33.3
● -372.0	2.0		835	2124	2.00						
● -476.0	104.0		904	④ 2205	2.07						
● -566.0	90.0		947	2256	2.65						
● -655.0	89.0		2200	4800	2.78						
● -679.0	24.0		2800	5300	2.78						
▽ 地震基盤相当面 -679.0	55.0	先第三系	⑤ 2200	4800	2.65	10-100	0.0-1.5	1.0-20.0	10-400	0.0-1.5	1.0-33.3
● -734.0	258.0		2800	5300	2.78						
● -992.0	-		2800	5300	2.78						

●：地震計位置

網掛け：第409回審査会合の2004年北海道留萌支庁南部地震の検討に用いた値と異なる箇所

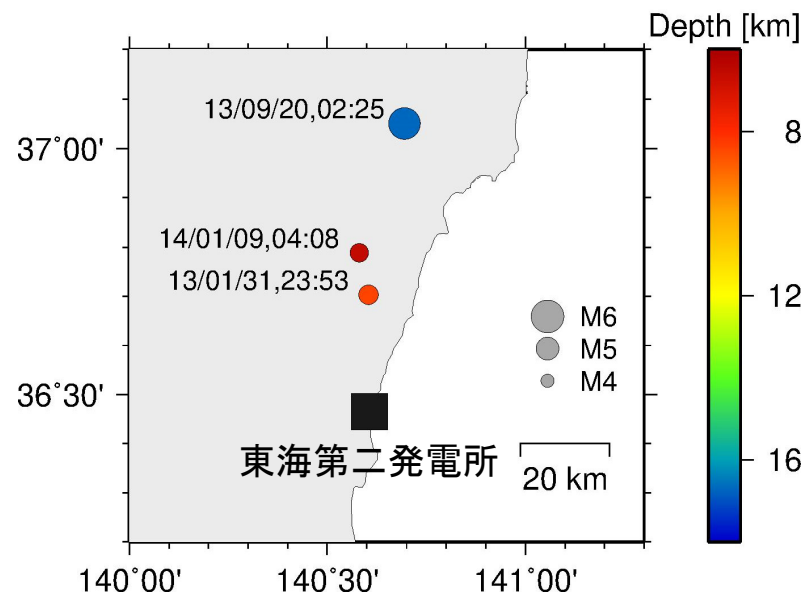
## 地盤同定解析に用いる地震

■地盤同定解析に用いる検討対象地震については、標準応答スペクトルの策定の対象とした地震同様、内陸地殻内地震とし、具体的には下記の条件で選定する。

### 検討対象地震の選定条件

- ・地震発生様式 : 内陸地殻内地震
- ・対象期間 : 2012年8月～2019年1月  
(2012年8月は大深度地震観測の開始時期)
- ・震源深さ : 25km以浅
- ・上記の条件で抽出された地震のうち、地震規模が比較的大きい地震※

※ 比較的大規模の地震を選定することで、振幅が大きく、また広帯域の振動数成分が含まれることになる。その結果、S/Nが大きくなり、同定解析に用いる伝達関数の精度が高まる。



震央分布図

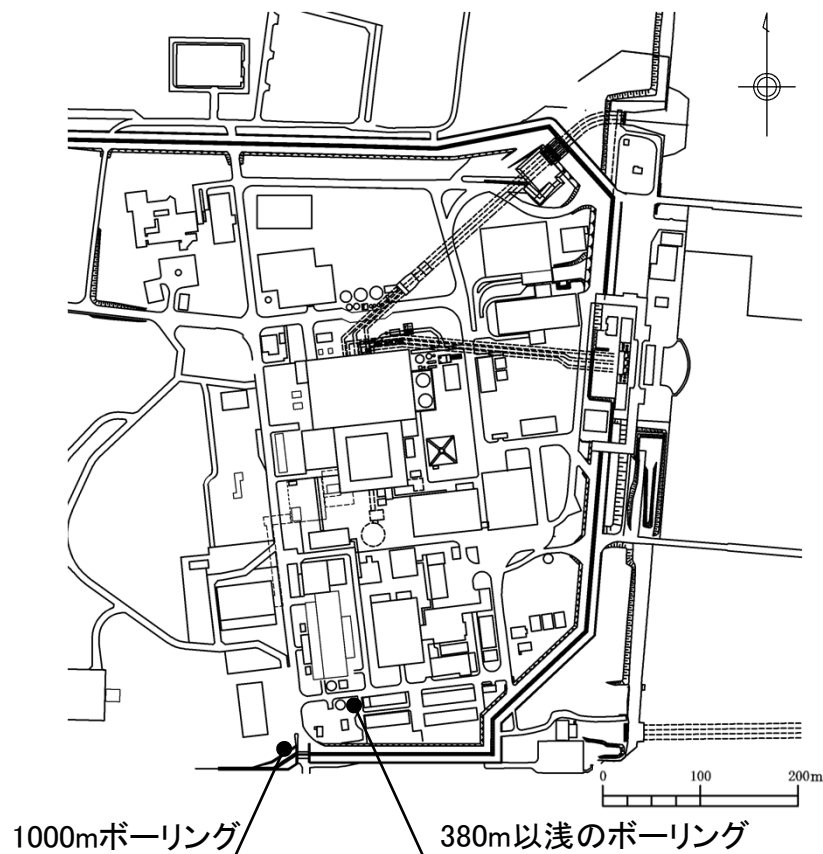
### 検討対象地震

No.	発震日時		震央位置		マグニチュード	震源深さ (km)	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
1	2013/01/31	23:53	36.7030	140.6040	4.7	8.4	26.0
2	2013/09/20	02:25	37.0510	140.6950	5.9	16.7	65.0
3	2014/01/09	04:08	36.7885	140.5810	4.6	6.6	35.9

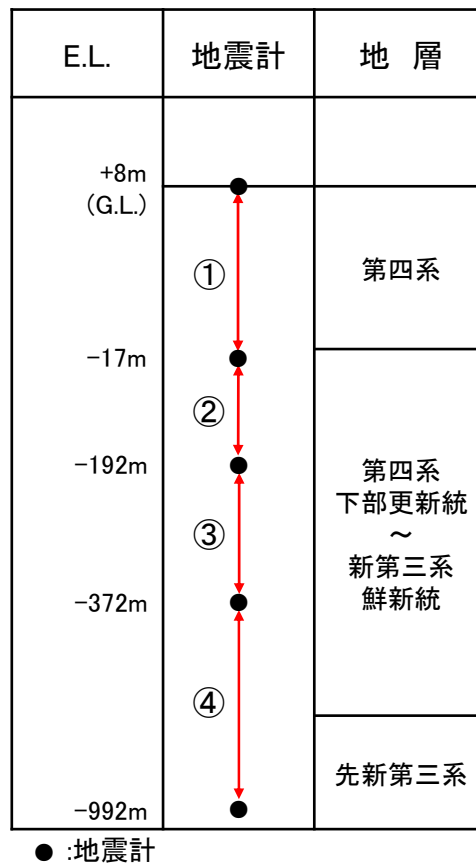


## 解析条件

- 地震計間の伝達関数には、①E.L.+8m/E.L.-17m、②E.L.-17m/E.L.-192m、③E.L.-192m/E.L.-372m、④E.L.-372m/E.L.-992mの4ペアを用いる。
- 前述した3地震の観測記録の伝達関数を同時にフィッティングさせてQ値を同定する。フィッティングに際しては3地震それぞれの入射角も未知数として同定対象とする。
- 逆解析については5回の試行を行い、そのうち最小の解を結果とする。



地震計の設置位置



地震計の設置深さ

No.	地震	入射角	
		入射角探索範囲*	
		Transverse 方向	UD 方向
1	2013/01/31	55-65	60-70
2	2013/09/20	30-40	45-55
3	2014/01/09	25-35	55-65

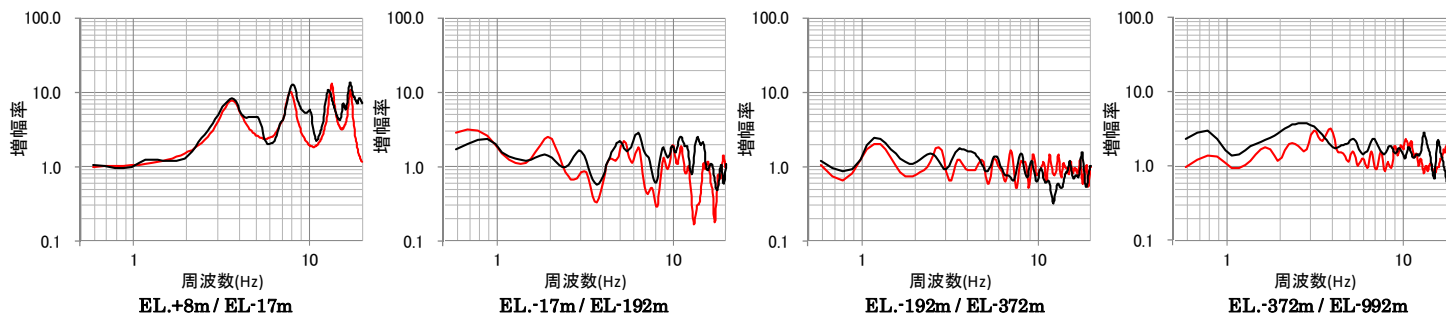
※震源と観測点の位置関係及びE.L.-992mの地震計のUD方向-Transverse方向のオービットに基づき設定。

# 観測伝達関数と理論伝達関数の比較 (Transverse方向)

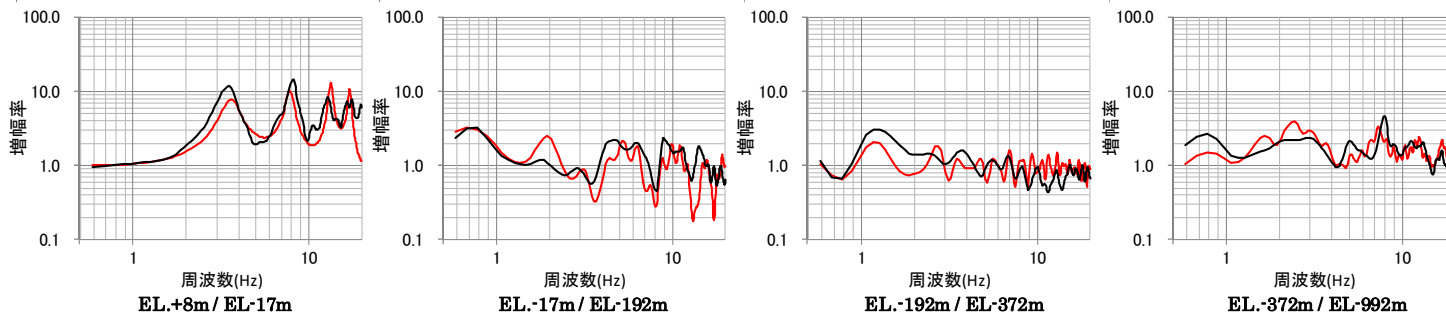
■ 観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数を下記に示す。

— 同定結果  
— 観測記録

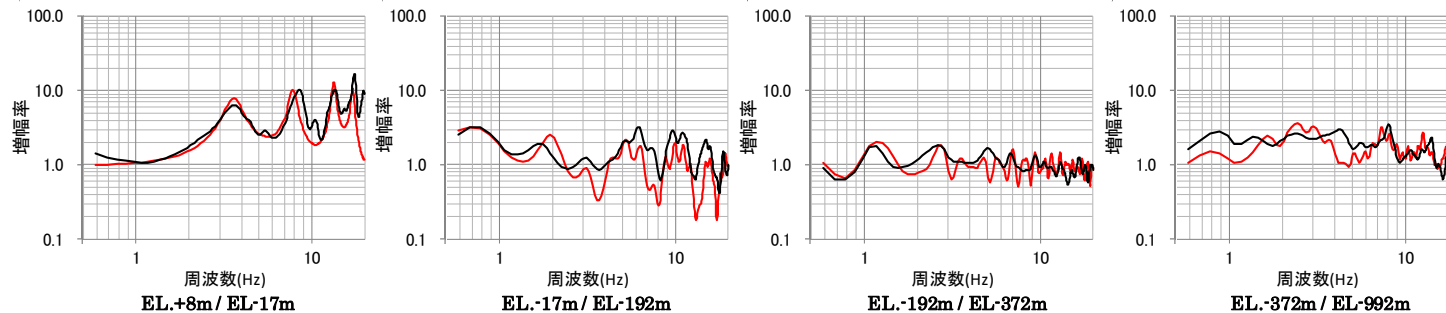
2013年1月31日  
入射角: 55.63°



2013年9月20日  
入射角: 30.22°



2014年1月9日  
入射角: 34.30°



観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数

備考

対象周波数: 0.5~20Hz。地震観測記録の伝達関数は、0.5HzのParzen windowで平滑化。

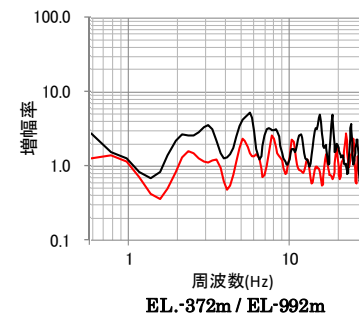
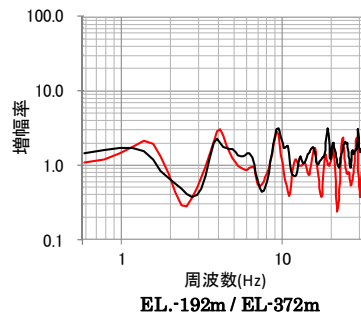
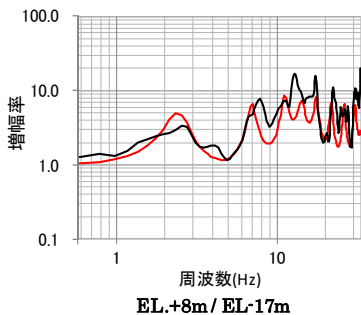


# 観測伝達関数と理論伝達関数の比較(UD方向)

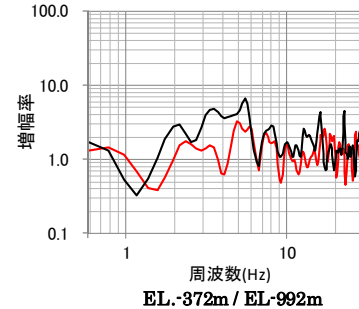
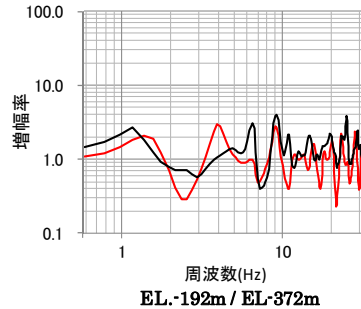
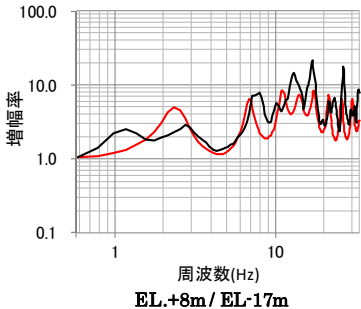
■ 観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数を下記に示す。

— 同定結果  
— 観測記録

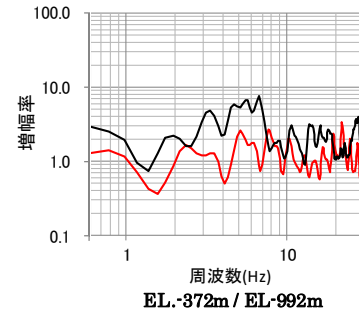
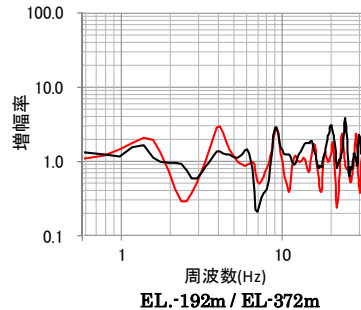
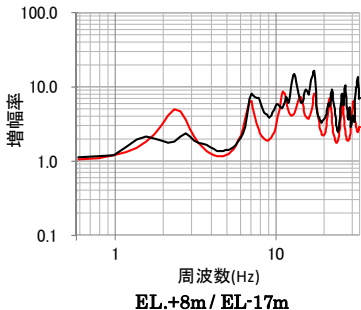
2013年1月31日  
入射角: 60.74°



2013年9月20日  
入射角: 45.27°



2014年1月9日  
入射角: 55.99°



## 観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数

備考

- ・対象周波数: 0.5~33Hz。地震観測記録の伝達関数は、0.5HzのParzen windowで平滑化。
- ・UD方向のE.L.-17mの地震計は故障のため欠測。現在は復旧済。

# 地盤モデルの設定結果

■Q値の同定結果及び標準応答スペクトルに基づく地震動評価のために新たに設定した地盤モデルを下表に示す。

## 新たに設定した地盤モデル

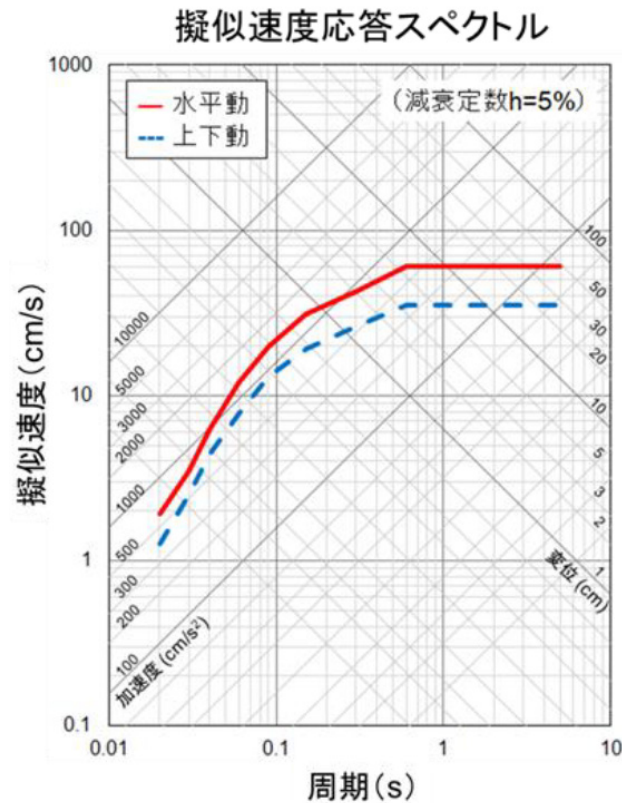
(減衰定数hは $Q=1/(2h)$ の関係より算定)

固定パラメータ						同定結果							
E.L. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	$Q=(V_s/n)(f/f_0)^{\alpha}$			$Q=(V_p/n)(f/f_0)^{\alpha}$			減衰定数h(f)	
						水平			鉛直			水平	鉛直
						n	$\alpha$	f <sub>0</sub>	n	$\alpha$	f <sub>0</sub>		
●	8.0	第四系	130	280	1.71	5	1.32	18.74	44	0.91	19.45	0.921f <sup>-1.32</sup> (f≤18.74)	1.170f <sup>0.91</sup> (f≤19.45)
	5.5											0.019 (f>18.74)	0.079 (f>19.45)
	4.5											0.793f <sup>-1.32</sup> (f≤18.74)	0.813f <sup>0.91</sup> (f≤19.45)
	1.0											0.017 (f>18.74)	0.055 (f>19.45)
	-7.0											0.389f <sup>-1.32</sup> (f≤18.74)	0.206f <sup>0.91</sup> (f≤19.45)
●	8.0	第四系	308	1589	1.66	5	1.32	18.74	44	0.91	19.45	0.008 (f>18.74)	0.014 (f>19.45)
	-15.0											0.250f <sup>-1.32</sup> (f≤18.74)	0.217f <sup>0.91</sup> (f≤19.45)
	8.0											0.005 (f>18.74)	0.015 (f>19.45)
	2.0											0.102f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.301f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	-17.0											0.014 (f>6.78)	0.008 (f>31.74)
●	89.0	第四系 下部更新統 ~ 新第三系鮮 新統	477	1753	1.69	13	1.05	6.78	28	1.05	31.74	0.087f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.303f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	-106.0											0.012 (f>6.78)	0.008 (f>31.74)
	62.0											0.072f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.256f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	-168.0											0.010 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
	24.0											0.064f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.234f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
●	68.0	第四系 下部更新統 ~ 新第三系鮮 新統	669	2067	1.78	13	1.05	6.78	28	1.05	31.74	0.009 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)
	-260.0											0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.264f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	108.0											0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
	-368.0											0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.264f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	2.0											0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
▽解放基盤表面	2.0	第四系 下部更新統 ~ 新第三系鮮 新統	790	2000	1.85	13	1.05	6.78	28	1.05	31.74	0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.264f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	-370.0											0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
	2.0											0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.264f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	-372.0											0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
	104.0											0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.264f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
▽地震基盤相当面	-476.0	第四系 下部更新統 ~ 新第三系鮮 新統	790	2000	1.85	13	1.05	6.78	28	1.05	31.74	0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
	-566.0											0.058f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.249f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	90.0											0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)
	-655.0											0.054f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.240f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	89.0											0.007 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)
●	24.0	先新第三系	947	2256	2.07	53	0.21	1.31	20	0.23	16.46	0.051f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78)	0.234f <sup>1.05</sup> (f≤31.74)
	-679.0											0.007 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)
	55.0											0.013f <sup>-0.21</sup> (f≤1.31)	0.004f <sup>0.23</sup> (f≤16.46)
	-734.0											0.012 (f>1.31)	0.002 (f>16.46)
	258.0											0.010f <sup>-0.21</sup> (f≤1.31)	0.004f <sup>0.23</sup> (f≤16.46)
●	-992.0	先新第三系	2800	5300	2.78	53	0.21	1.31	20	0.23	16.46	0.009 (f>1.31)	0.002 (f>16.46)
	-											2800	5300

●: 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、複数の手法として下記の手法による検討を行う。
  - ・ Ss-D1の模擬地震波作成において適用実績のある乱数位相を用いた手法
  - ・ 震源を特定せず策定する地震動の特徴を反映できるよう、内陸地殻内地震におけるMw6.5程度未満の実観測記録の位相を用いた手法



標準応答スペクトル

コントロールポイント

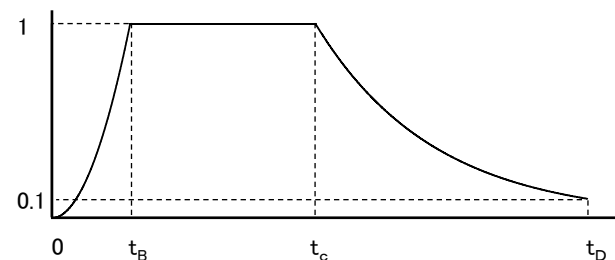
周期 (s)	水平動	上下動
	擬似速度 (cm/s)	擬似速度 (cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

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(1/2)

■ 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



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

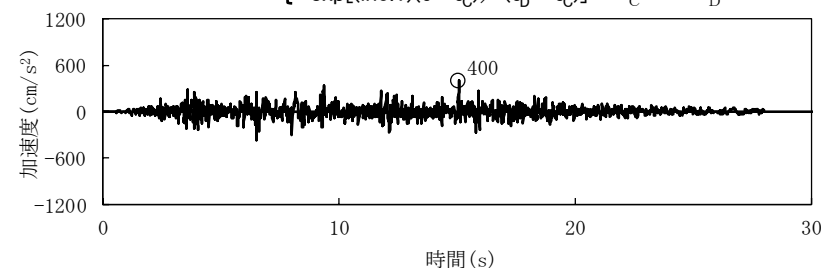
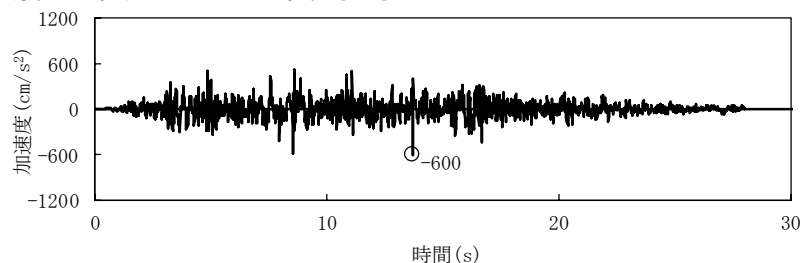
$$t_C - t_B = 10^{0.3M - 1.0}$$

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

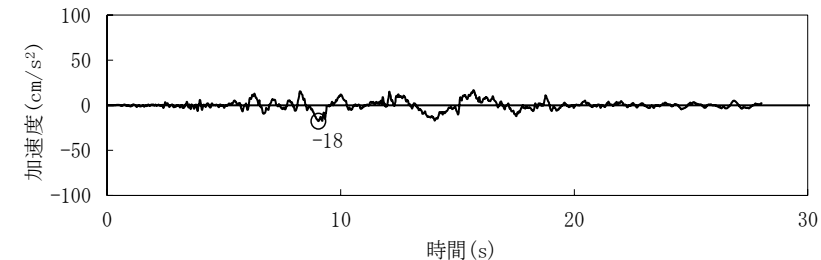
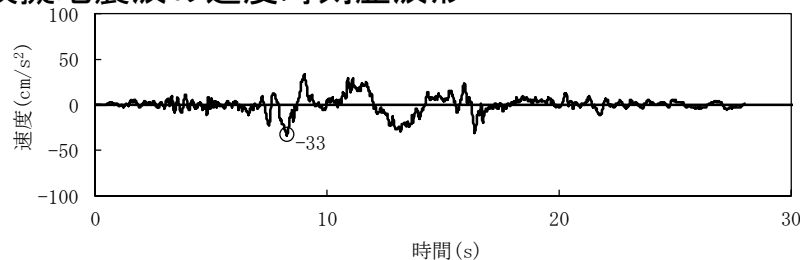
$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \leq t \leq t_B \\ 1 & t_B \leq t \leq t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t - t_C)/(t_D - t_C)] & t_C \leq t \leq t_D \end{cases}$$

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



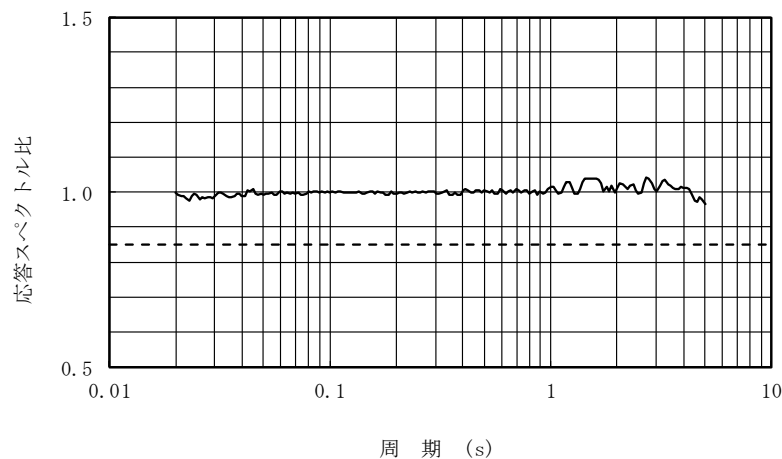
水平方向

鉛直方向

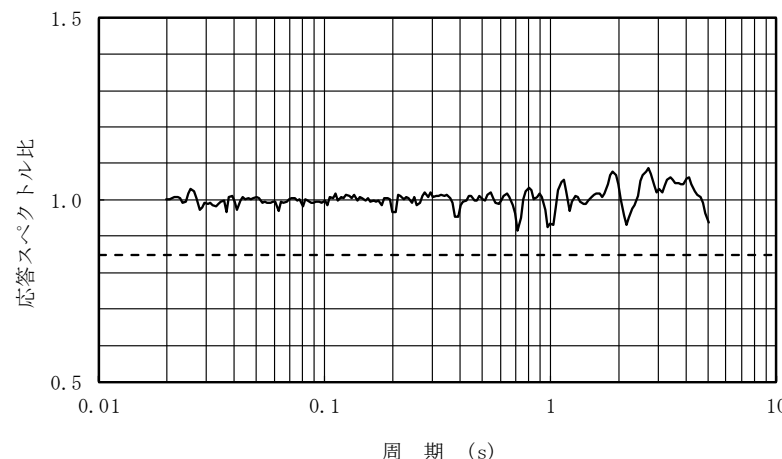
## 乱数位相を用いた模擬地震波の作成(2/2)

■作成した模擬地震波が、日本電気協会(2015)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
- ・目標とする応答スペクトル強度値に対する模擬地震波の応答スペクトル強度値の比(SI比)が1.0以上



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル比

応答スペクトルの強度値の比(SI比)

模擬地震波	SI比 (周期0.1~2.5秒)
水平方向	1.012
鉛直方向	1.002

ここで、  

$$\text{スペクトル強度値} = \int_{T_1}^{T_2} S_v(T, h) dT$$

$$S_v : \text{擬似速度応答スペクトル}$$

$$T : \text{周期}$$

$$h : \text{減衰定数(5\%)}$$

作成した模擬地震波は、日本電気協会(2015)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。

## 実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成(1/3)

### ■考慮する実観測記録の位相について

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については、震源が敷地に近いことや地震の規模がMw6.5程度未満であることを念頭に置くと、波形としての特徴は継続時間が短く、数個のパルス状の波形で構成されることが予想される。そのような観測記録の位相情報を用いて模擬地震波を作成することとする。

### ■実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成に用いる記録の選定

- ・模擬地震波の位相として用いる観測記録としては、敷地近傍で発生したMw6.5程度未満の内陸地殻内地震の敷地で得られた観測記録が理想的と考えられるが、そのような観測記録は得られていない。
- ・一方で、敷地周辺の茨城県と福島県の県境付近では2011年東北地方太平洋沖地震以降、正断層型の内陸地殻内地震が多く発生していることから、そのような地域性を考慮することとし、2011年茨城県北部地震(Mw5.8, 正断層型)を震央距離約1kmで観測したKiK-net高萩(IBRH13)の記録を用いることとする。
- ・この地震観測記録については、佐藤他(2019)により基盤地震動が推定されていることから、この基盤地震動の位相を用いて模擬地震波を作成する。

### ■2011年茨城県北部地震の概要

発生日時:2011/03/19 18:56

地震規模:Mj6.1(Mw5.8)

深さ :5km

タイプ :正断層型

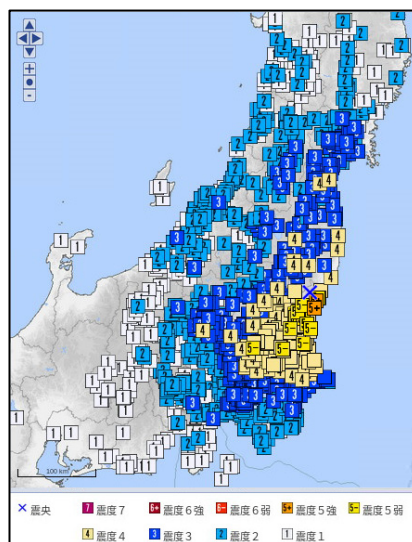
震度5強:茨城県日立市

5弱:茨城県常陸太田市,

高萩市, 笠間市,

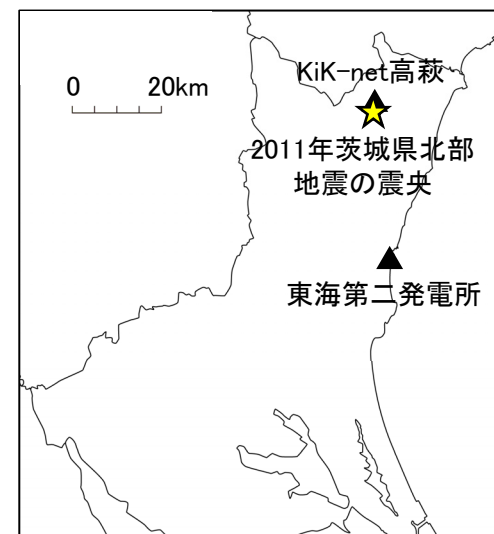
ひたちなか市

(東海第二発電所周辺は震度4)



震度分布図

左図 気象庁HP  
より抜粋・加筆



震央と観測点位置

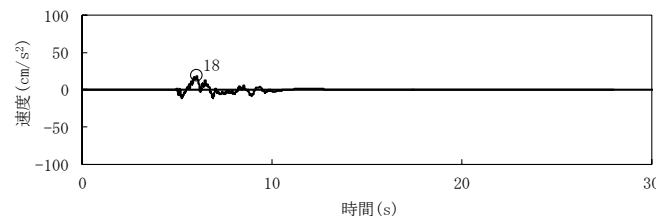
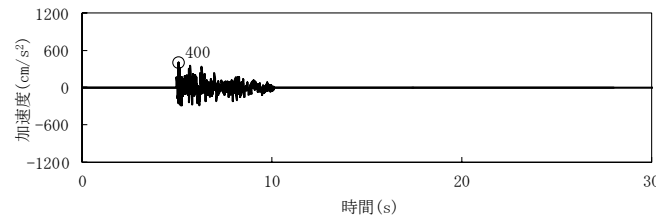
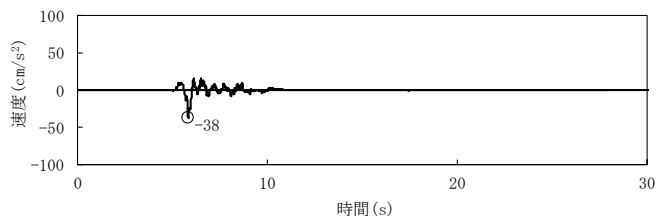
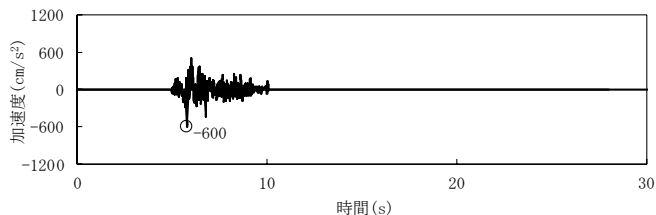


# 実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成(2/3)

■佐藤他(2019)における2011年茨城県北部地震の基盤推定波と、その位相を用いて作成した模擬地震波を下記に示す。

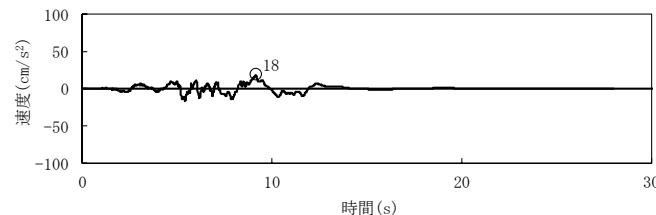
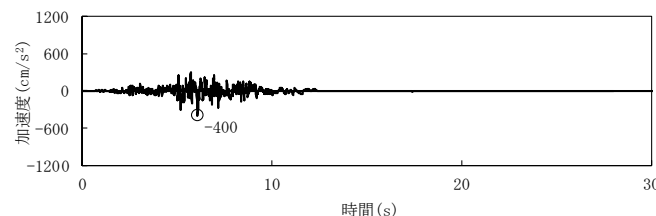
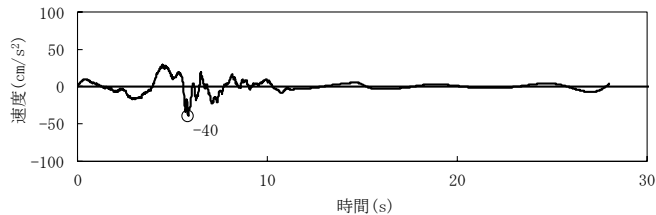
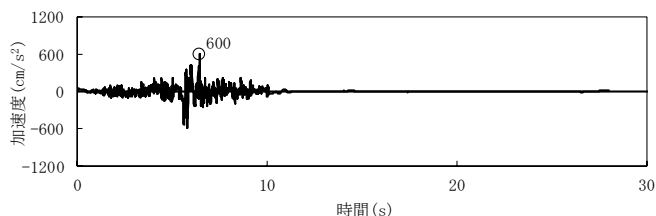
【佐藤他(2019)の地震動※】

※ 図の時刻歴波形は、佐藤他(2019)の結果を標準応答スペクトルの最大加速度に基準化して示している。



〔鉛直方向については、佐藤他(2019)において実施された地盤調査結果を参考に、別途基盤波を推定〕

【作成した模擬地震波】



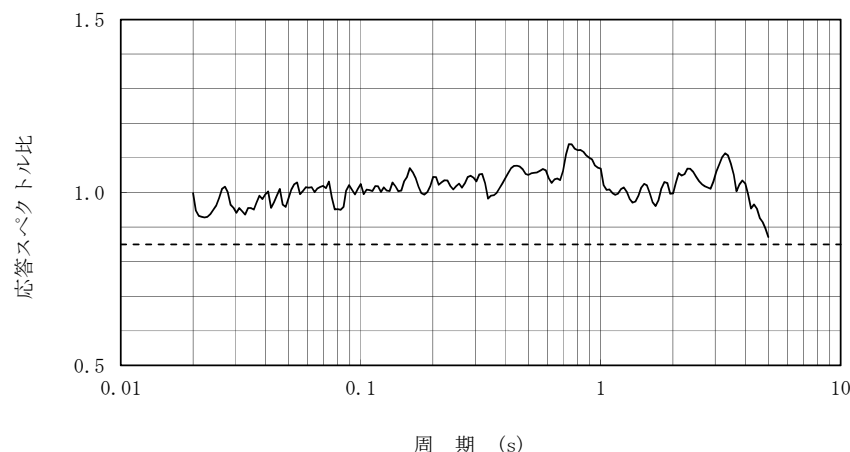
水平方向

鉛直方向

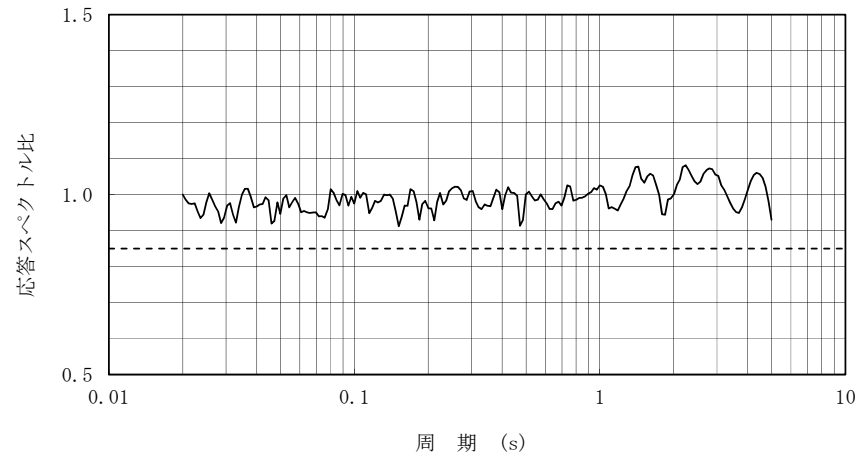
## 実観測記録の位相を用いた模擬地震波の作成(3/3)

■作成した模擬地震波が、日本電気協会(2015)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
- ・目標とする応答スペクトル強度値に対する模擬地震波の応答スペクトル強度値の比(SI比)が1.0以上



水平方向



鉛直方向

応答スペクトル比

応答スペクトルの強度値の比(SI比)

模擬地震波	SI比 (周期0.1~2.5秒)
水平方向	1.034
鉛直方向	1.012

$$\text{スペクトル強度値} = \int_{T_1}^{T_2} S_v(T, h) dT$$

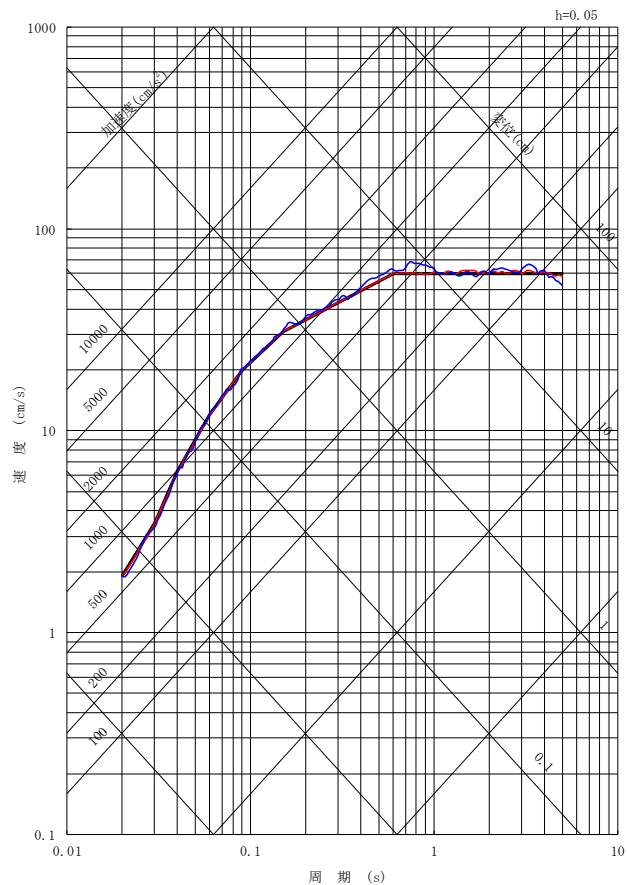
ここで、  
 $S_v$  : 擬似速度応答スペクトル  
 $T$  : 周期  
 $h$  : 減衰定数(5%)

作成した模擬地震波は、日本電気協会(2015)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。

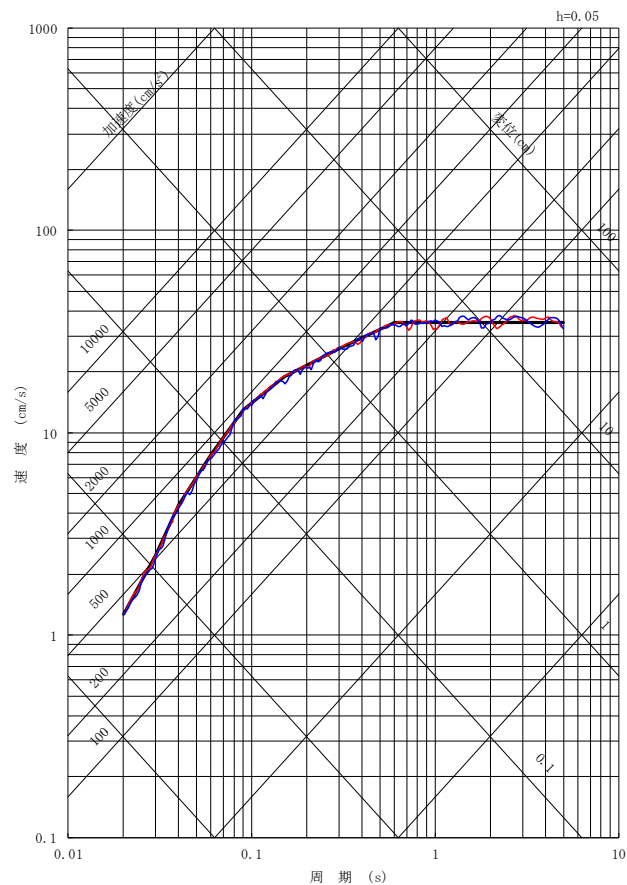
# 地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトル

■ 乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波の応答スペクトルを示す。

- 乱数位相を用いた模擬地震波
- 実観測記録の位相を用いた模擬地震波
- 標準応答スペクトル



水平方向



鉛直方向

擬似速度応答スペクトル

### 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。

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 ( $f > 19.45$ )
5.5	4.5	151	403	1.66	$0.793f^{-1.32}$ ( $f \leq 18.74$ )	$0.813f^{-0.91}$ ( $f \leq 19.45$ )
					0.017 ( $f > 18.74$ )	0.055 ( $f > 19.45$ )
1.0	8.0	308	1589	1.66	$0.389f^{-1.32}$ ( $f \leq 18.74$ )	$0.206f^{-0.91}$ ( $f \leq 19.45$ )
-7.0	8.0	478	1509	1.82	$0.250f^{-1.32}$ ( $f \leq 18.74$ )	$0.217f^{-0.91}$ ( $f \leq 19.45$ )
-15.0	2.0	477	1753	1.69	$0.102f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.301f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-17.0					0.014 ( $f > 6.78$ )	0.008 ( $f > 31.74$ )
-106.0	89.0	557	1742	1.74	$0.087f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.303f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-168.0	0.012 ( $f > 6.78$ )				0.008 ( $f > 31.74$ )	
-192.0	24.0	669	2067	1.78	$0.072f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.256f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-260.0	68.0				0.010 ( $f > 6.78$ )	0.007 ( $f > 31.74$ )
-368.0	108.0	756	2256	1.82	$0.064f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.234f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-370.0	2.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-372.0	2.0	790	2000	1.85	0.008 ( $f > 6.78$ )	0.007 ( $f > 31.74$ )
-476.0	104.0				$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-566.0	90.0	835	2124	1.89	$0.058f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.249f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-655.0	89.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.240f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-679.0	24.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.234f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-734.0	55.0	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ ( $f \leq 1.31$ )	$0.004f^{-0.23}$ ( $f \leq 16.46$ )
-992.0	258.0	2800	5300	2.78	$0.010f^{-0.21}$ ( $f \leq 1.31$ )	$0.004f^{-0.23}$ ( $f \leq 16.46$ )
-	-	2800	5300	2.78	0.009 ( $f > 1.31$ )	0.002 ( $f > 16.46$ )

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

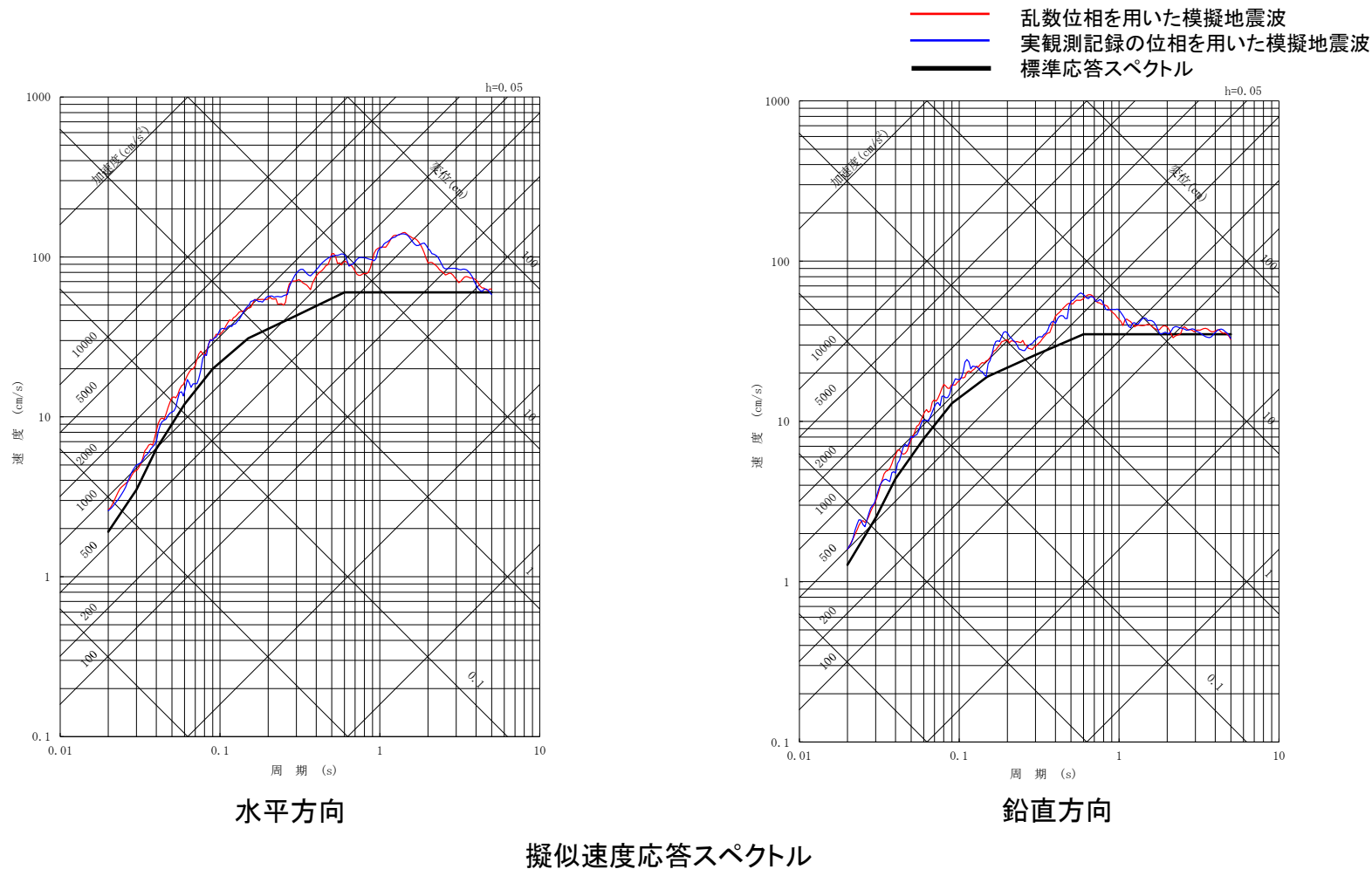
解放基盤表面  
↓  
地震基盤相当面  
↓

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
-370.0	2.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-372.0	104.0	790	2000	1.85	$0.061f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.264f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-476.0	90.0	835	2124	1.89	$0.058f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.249f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-566.0	89.0	904	2205	2.00	$0.054f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.240f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-655.0	24.0	947	2256	2.07	$0.051f^{-1.05}$ ( $f \leq 6.78$ )	$0.234f^{-1.05}$ ( $f \leq 31.74$ )
-679.0	-	2200	4800	2.65	$0.013f^{-0.21}$ ( $f \leq 1.31$ )	$0.004f^{-0.23}$ ( $f \leq 16.46$ )

出力位置  
▽  
入力位置  
▽

# 解放基盤表面上における地震動評価結果

■ 乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波を解放基盤表面上で比較する。

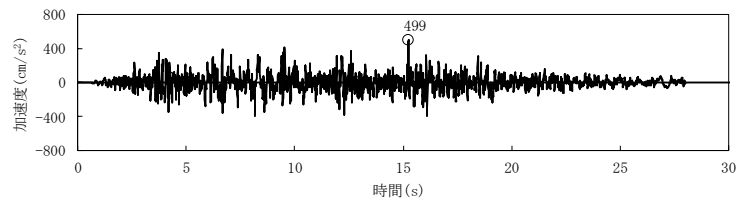
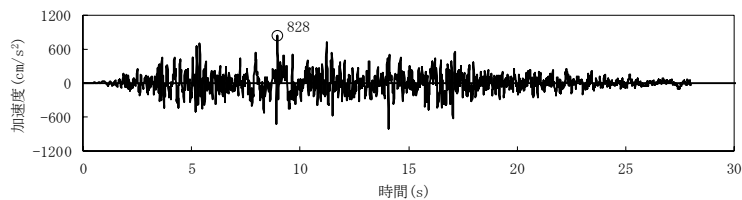


乱数位相を用いた模擬地震波と実観測記録の位相を用いた模擬地震波の応答スペクトルは、概ね同程度である。

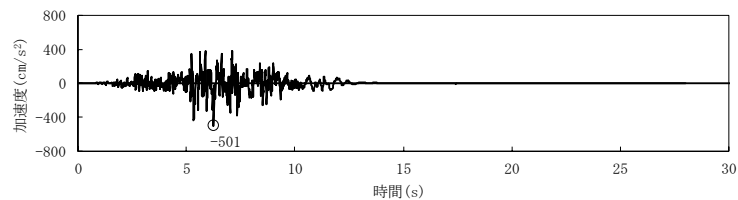
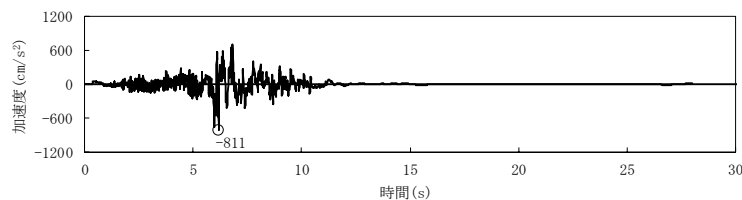
# 模擬地震波の比較検討(1/2)

■乱數位相, 実観測記録の位相を用いた模擬地震波の時刻歴波形と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)の時刻歴波形の比較検討を行う。

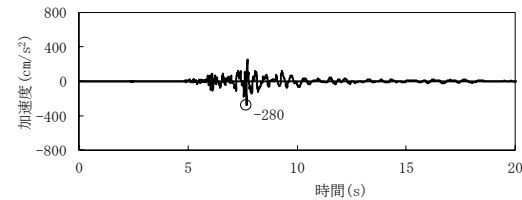
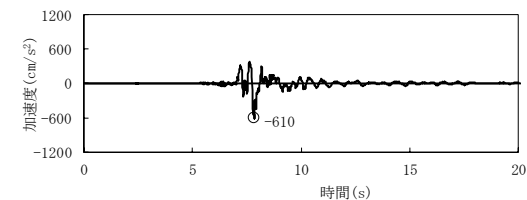
・乱數位相を用いた模擬地震波



・実観測記録の位相を用いた模擬地震波



・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)



水平方向

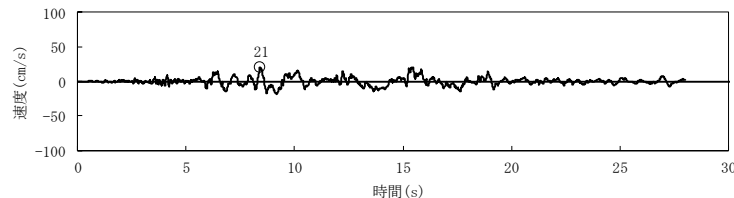
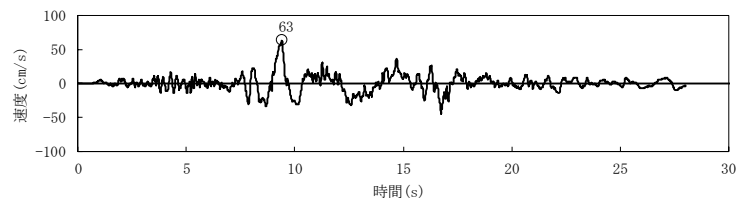
鉛直方向

解放基盤表面における加速度時刻歴波形

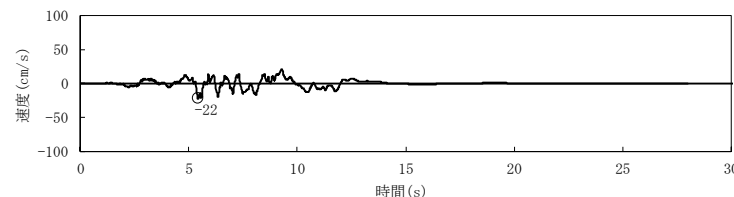
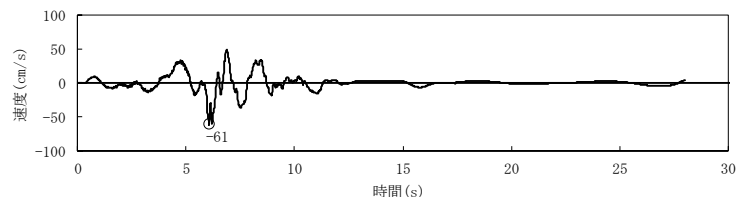


# 模擬地震波の比較検討(2/2)

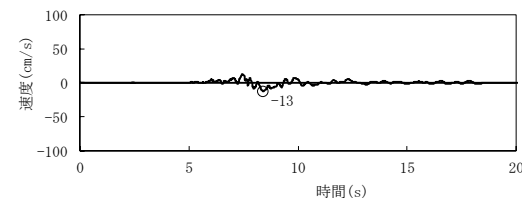
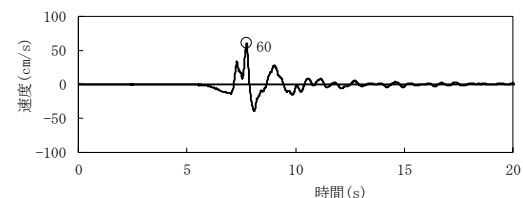
## ■ 乱數位相を用いた模擬地震波



## ■ 実観測記録の位相を用いた模擬地震波



## ■ 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)



水平方向

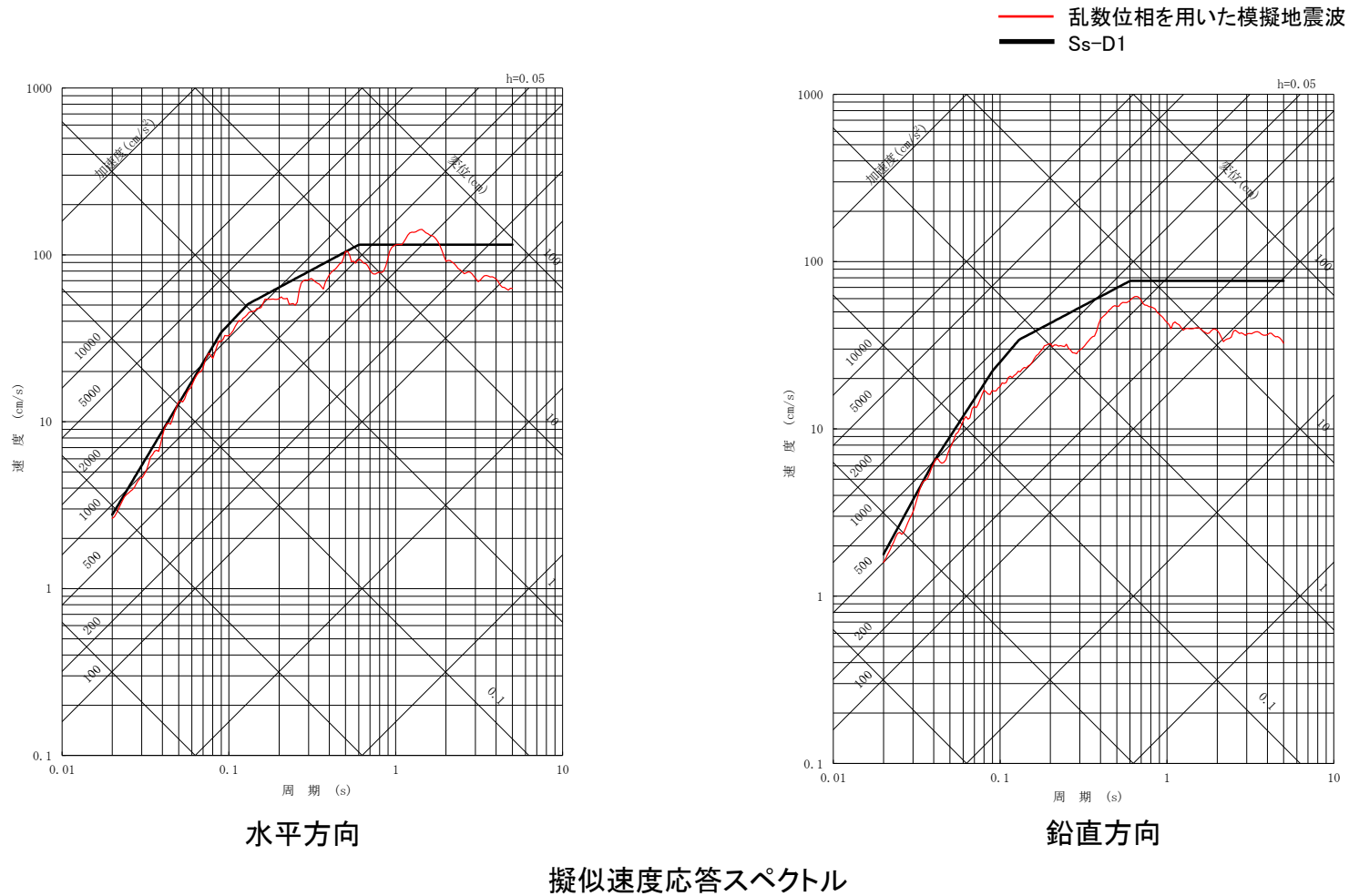
鉛直方向

解放基盤表面における速度波形

- ・実観測記録の位相を用いた模擬地震波とSs-31は、継続時間が短い等の特徴が似ている。一方、乱數位相を用いた模擬地震波は継続時間も長く、他の模擬地震波とは位相特性が異なっている。
- ・地震動の位相を考える場合、同じ特徴を持つ位相よりも、様々な特徴を持つ位相を地震動に反映した方が多様な地震動が得られるため、震源を特定せず策定する地震動に用いる模擬地震波の位相としては、既に選定されているSs-31とは異なる位相特性を有する乱數位相を採用する。

## 4. 基準地震動Ssの策定(1/4)

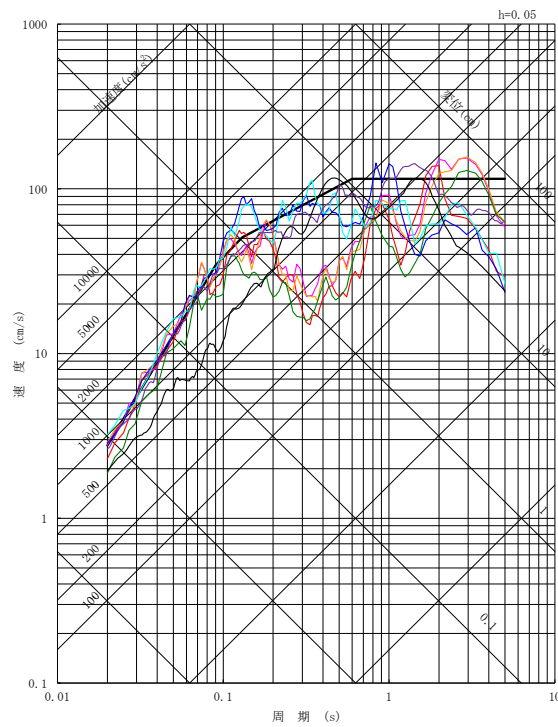
- 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動は、一部の周期帯において、基準地震動Ss-D1(応答スペクトル手法による基準地震動)を上回るため、新たに基準地震動として追加した。



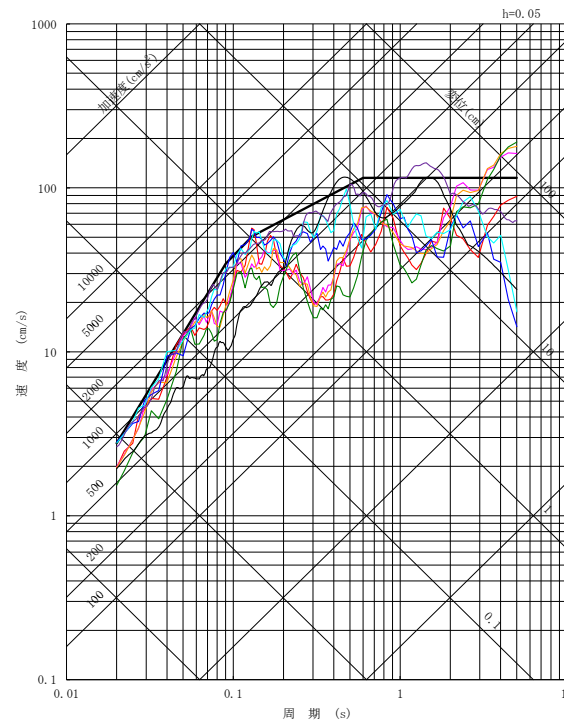
## 4. 基準地震動Ssの策定(2/4)

■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。

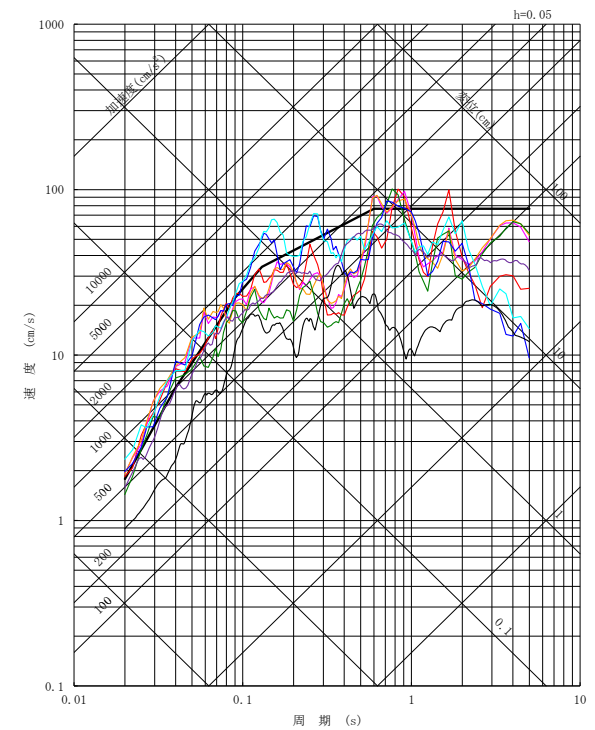
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(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



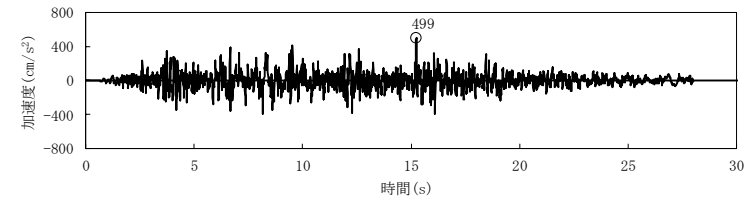
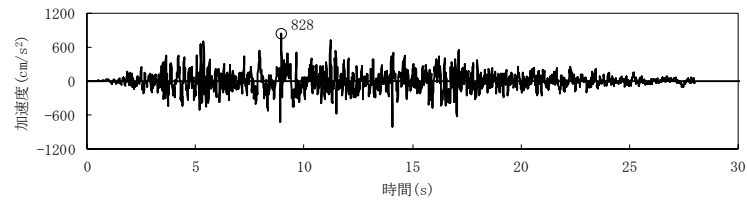
EW方向



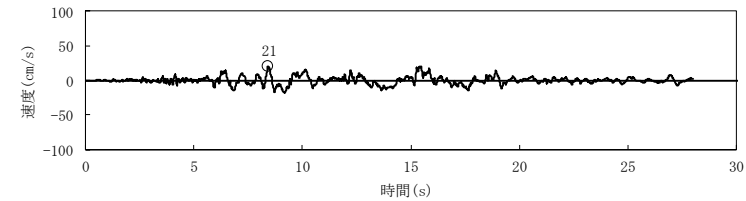
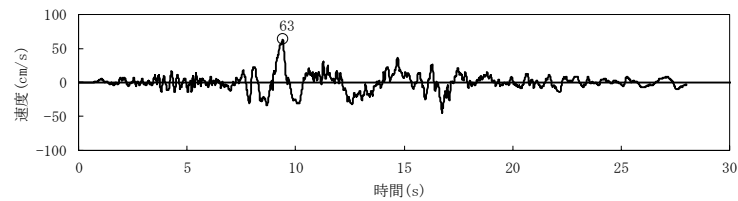
UD方向

## 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

## 参考文献

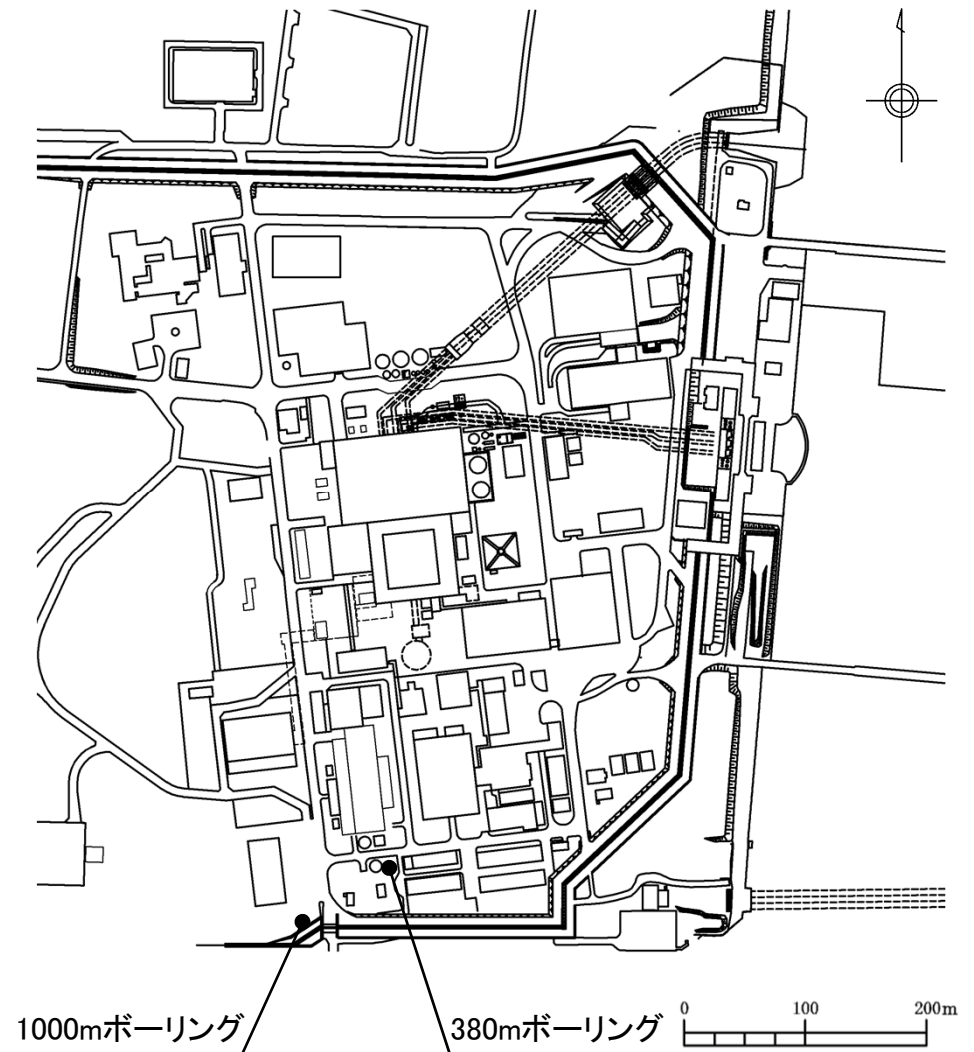
---

- 佐藤浩章・金谷守・大島靖樹(2006):減衰定数の下限値を考慮したスペクトル比の逆解析による同定手法の提案:岩盤における鉛直アレイ記録への適用と減衰特性の評価,日本建築学会構造系論文集,第604号,pp.55-62
- 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.
- 日本電気協会(2015):原子力発電所耐震設計技術指針
- 佐藤浩章・東貞成・芝良昭・藤原広行・功刀卓(2019):等価線形解析による非線形サイト特性評価のための有効ひずみ係数の最適化,日本建築学会構造系論文集,第760号,pp.781-791



- ① 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  
(第409回審査会合資料の再掲)
- ② 標準応答スペクトル用地盤モデルによる既往の断層モデル地震動評価への影響
- ③ 標準応答スペクトル用地盤モデルによるSs-31(留萌波)への影響

- ・第338回審査会合において、東海第二発電所で実施した1000mボーリングによる調査結果に基づく地盤モデルについて説明した。
- ・その後、1000mボーリング孔に設置している地震計による地震観測記録の中から、ノイズや機器の不具合等による影響のないデータを選定し、解放基盤表面以深の地盤モデルについて再検討を実施した。

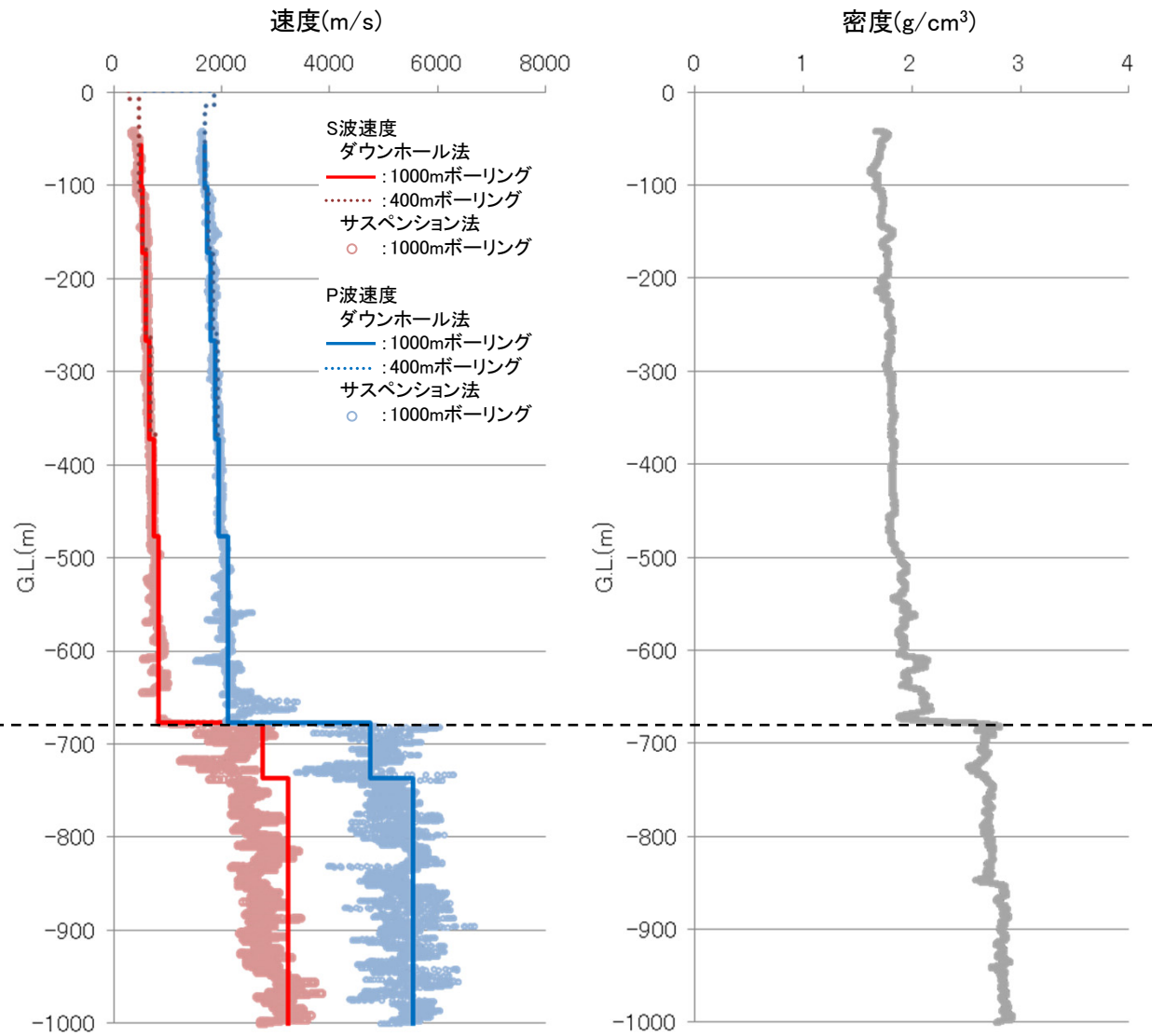


地盤モデルの検討に用いた  
ボーリング位置(平面)

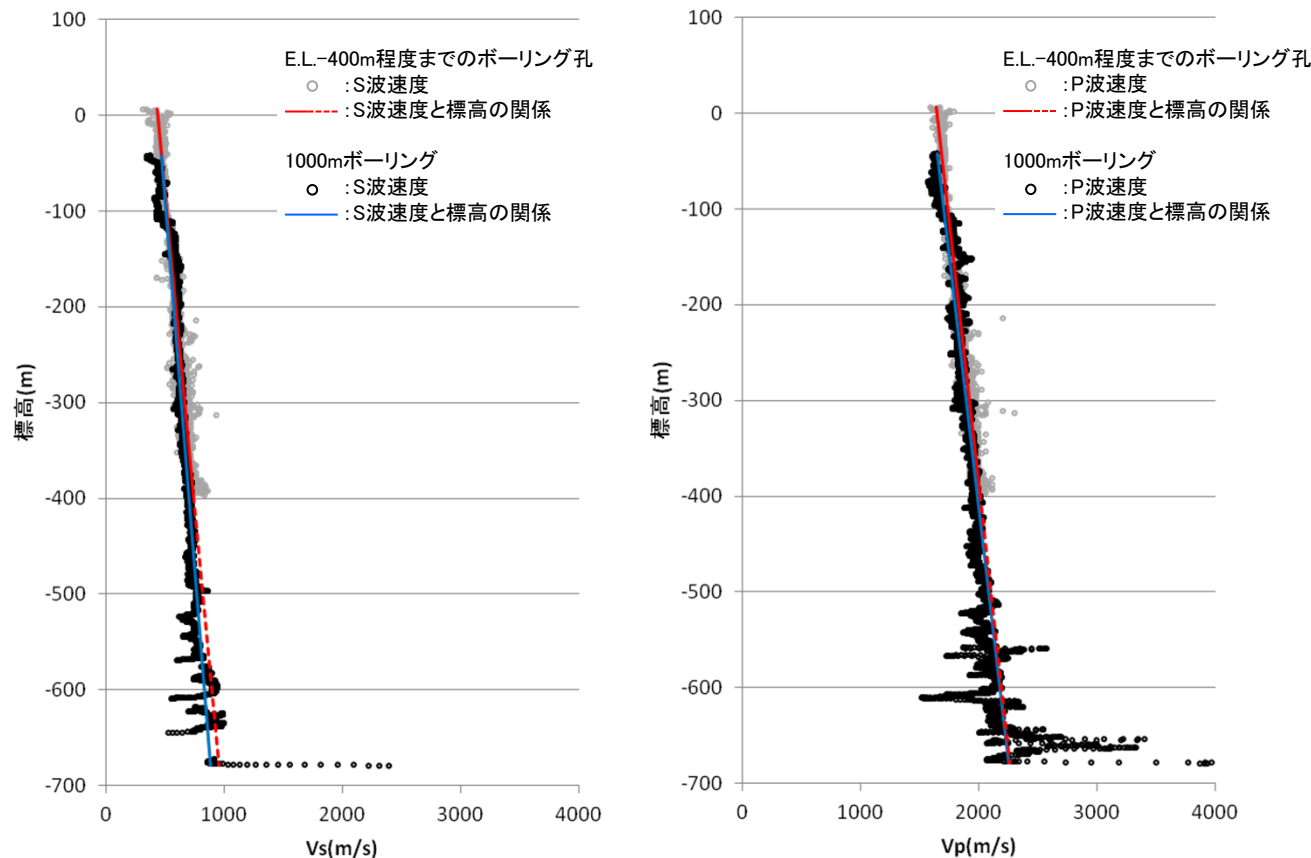
5.2 地盤モデルの設定について  
**1000mボーリングの調査結果**

**【1000mボーリング】**

G.L. (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数		地層
			水平	鉛直	
-65	—	—			新第三系
-110	500	1680			
-180	540	1730			
-275	600	1790	—	—	
-380	650	1890			
-485	840	2110	0.0246	0.0103	
-685	2750	4740	0.0725	0.0397	先新第三系
-745	3220	5550	0.0154	0.0102	
-1000	—	—	—	—	



- ・東海第二発電所敷地に分布する新第三系の久米層の地盤速度は、深度方向に増大する傾向を示す。
- ・標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施したPS検層によって得られた地盤速度と1000mボーリングで実施したPS検層によって得られた地盤速度を以下に示す。また併せて、それぞれのPS検層結果から得られる標高と地盤速度の関係を示す。
- ・標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施したPS検層データを基に作成した地盤速度と標高の関係は、1000mボーリングで実施したPS検層結果と整合的であり、久米層における地盤速度は、標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施したPS検層データを基に作成した地盤速度と標高の関係より求める。



久米層における  
地盤速度と標高の関係

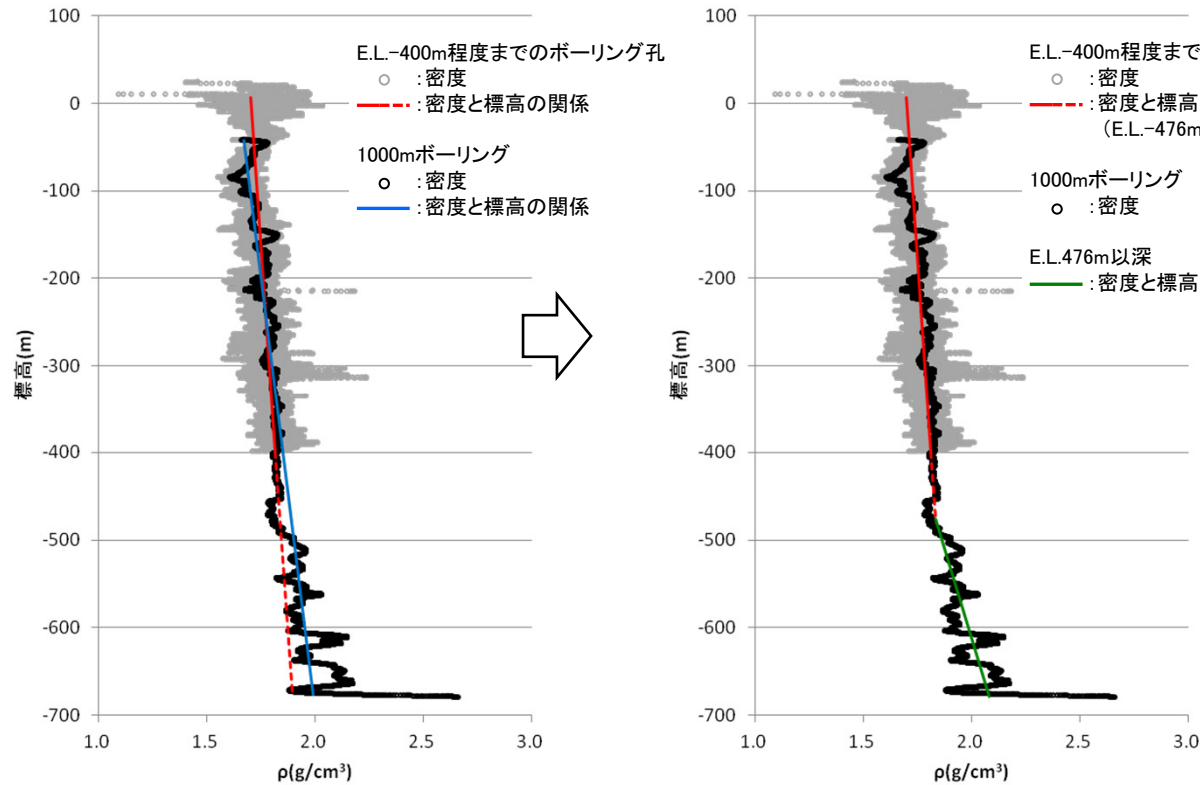
$$V_s = 0.433 - 7.71 \times 10^{-4} \cdot Z$$

$$V_p = 1.65 - 9.09 \times 10^{-4} \cdot Z$$

ここで、 $V_s$ : S波速度 (km/s)  
 $V_p$ : P波速度 (km/s)  
 $Z$ : 標高 (m)

# 久米層内における密度の検討

- ・東海第二発電所敷地に分布する新第三系の久米層の密度は、深度方向に増大する傾向を示す。
- ・標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施した密度検層によって得られた密度と1000mボーリングで実施した密度検層によって得られた密度を以下に示す。また併せて、それぞれの密度検層結果から得られる標高と密度の関係を示す。
- ・標高-400m程度まで掘削した5孔のボーリング孔で実施した密度検層データを基に作成した密度と標高の関係は、1000mボーリングで実施した密度検層結果とE.L.-500m程度まで整合的であるが、E.L.-500m以深では密度と標高の関係より密度検層データが大きくなる。
- ・1000mボーリング結果によると、E.L.-476m以深では砂質泥岩層と乱堆積物層との互層が見られることより、E.L.-476mを境に密度と標高の関係を変えることとした。



**久米層における  
密度と標高の関係**

$$\rho = 1.702 - 2.828 \times 10^{-4} \cdot Z$$

( E.L.-476m 以浅 )

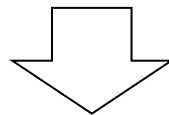
$$\rho = 1.253 - 1.220 \times 10^{-3} \cdot Z$$

( E.L.-476m 以深 )

ここで、 $\rho$  : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
Z : 標高 (m)

# 初期地盤モデルの設定

- ① E.L.-372m以浅の地盤モデルは、地表(E.L.8m)からE.L.-372mで観測した地震記録をもとに地盤同定解析を行い設定した地盤モデルを用いた。  
【第291回審査会合】
- ② 概ね100m程度を目安に層厚を設定した。
- ③ E.L.-372m ~ -476mの地盤物性については、上層との連続性を考慮し、上層と同じ値を設定した。
- ④ E.L.-476m ~ -679mの地盤物性については、調査結果に基づく標高依存式より算出した。
- ⑤ E.L.-372 ~ -679mの新第三系(久米層)の減衰定数は、上層との連続性を考慮し、上層と同じ値を設定した。
- ⑥ E.L.-679m以深のS波速度及びP波速度については、1000mボーリングにおけるPS検層(ダウンホール法)結果、密度については1000mボーリングにおける密度検層結果を基に設定した。
- ⑦ E.L.-679m以深の減衰定数は仮定した。



●初期地盤モデルの理論伝達関数と観測記録による伝達関数を比較する

設定した初期地盤モデル

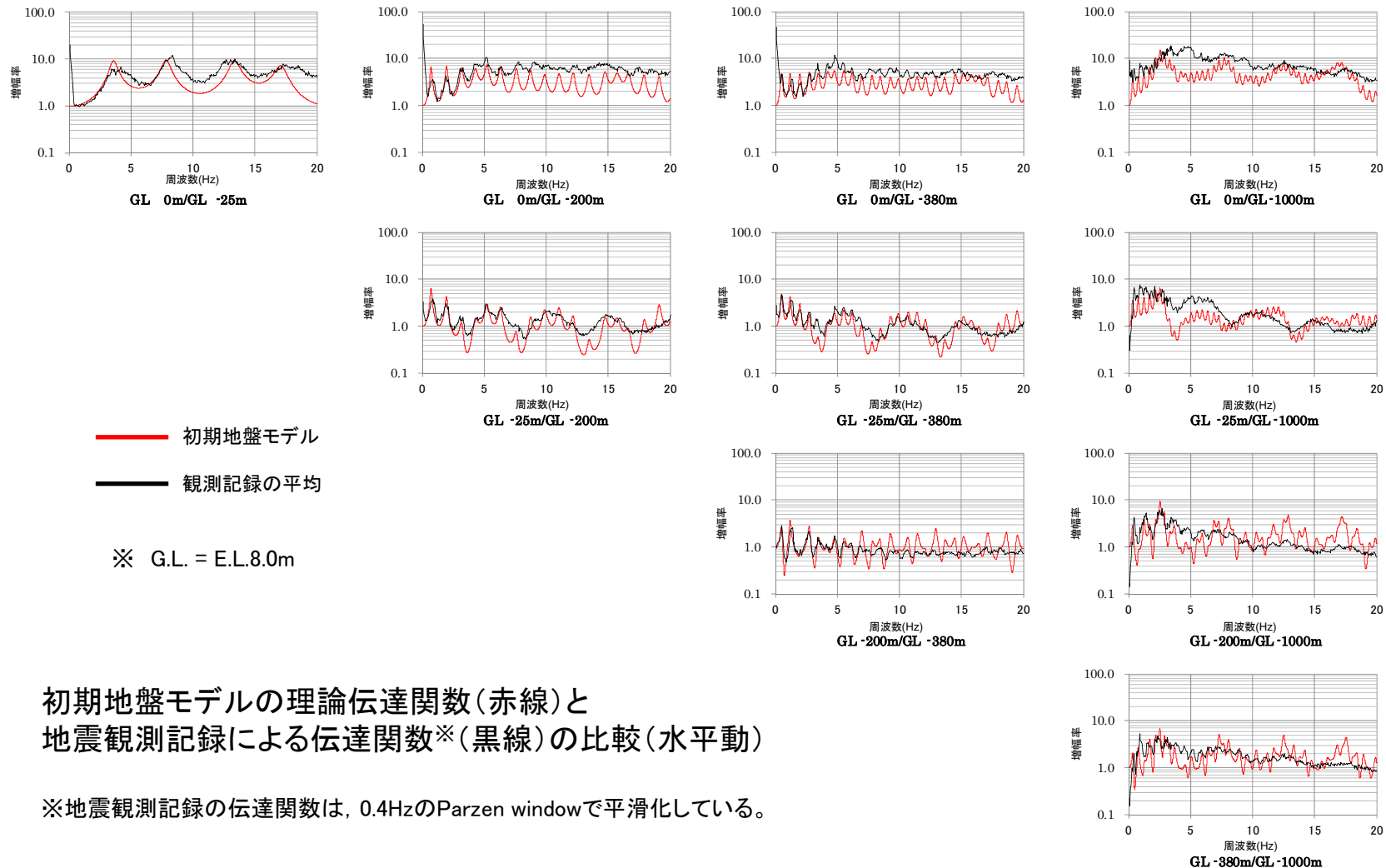
E.L. (m)	層厚 (m)	地層	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	減衰定数	
						水平	鉛直
▼ 8.0	① 2.5	第四系	1.71	130	280	0.236f <sup>-0.752</sup>	0.203f <sup>-0.21</sup>
5.5	4.5			151	403		
1.0	8.0			308	1589		
-7.0	8.0			478	1509		
-15.0	2.0	新第三系	1.69	477	1753	0.072f <sup>-0.931</sup>	0.203f <sup>-0.93</sup>
▼ -17.0	89.0						
-106.0	62.0						
-168.0	24.0						
▼ -192.0	68.0						
-260.0	108.0						
-368.0	2.0	先新第三系	1.85	790	2000	0.010	0.010
▽ -370.0	2.0						
▼ -372.0	② 104.0		③ 1.85	790	2000	⑤ 0.072f <sup>-0.931</sup>	0.203f <sup>-0.93</sup>
-476.0	90.0		1.89	835	2124		
-566.0	89.0		④ 2.00	904	2205		
-655.0	24.0		2.07	947	2256		
△ -679.0	⑥ 55.0	先新第三系	2.65	2750	4740	⑦ 0.010	0.010
-734.0	258.0		2.78	3220	5550		
▼ -992.0	-		2.78	3220	5550		

▼:地震計位置 ▽:解放基盤表面 △:地震基盤

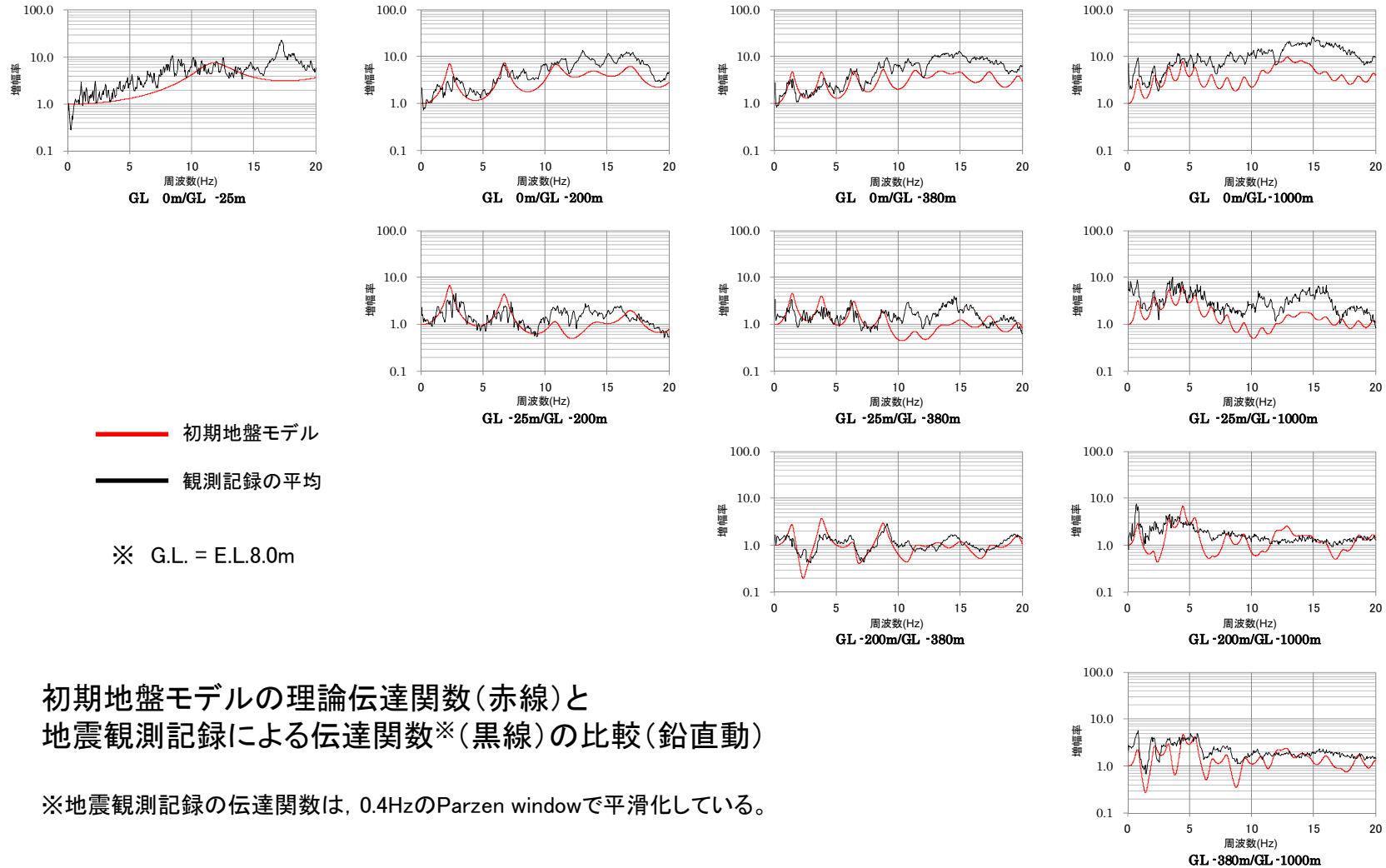




- ・初期地盤モデルによる理論伝達関数を算出し、地震観測記録による伝達関数と比較した。
- ・初期地盤モデルと地震観測記録による伝達関数のピークとトラフは整合しており、初期地盤モデルの層厚と地盤速度の設定は妥当であり、地盤同定解析では減衰定数を解析対象とする。







## ●地盤モデルの同定結果

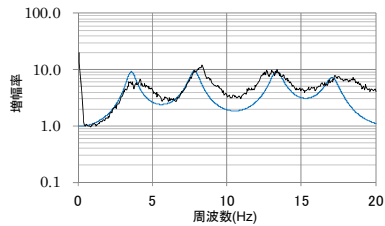
- 地震観測記録から求めた伝達関数に、一次元波動論に基づく理論伝達特性を当てはめる逆解析により、地盤モデルを同定した。
- 減衰定数の初期値は0.01(1%)と仮定した。
- 解析手法は遺伝的アルゴリズムを用い、乱数の初期値を変えた5通りの計算結果の平均値を採用した。
- 解析パラメータについては、山中・石田(1995)を参考に設定した。
- 得られた結果を以下に示す。  
 水平成分  $h(f)=0.022$   
 鉛直成分  $h(f)=0.001 \times f^{-1.000}$

同定解析における初期値, 探索範囲, 同定結果

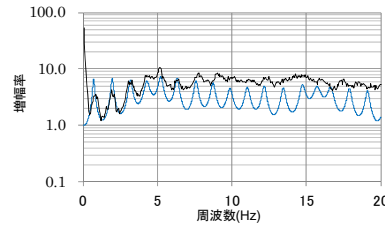
E.L. (m)	層厚 (m)	地層	固定パラメータ			探索範囲		同定結果	
			S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$		水平	鉛直
						水平	鉛直		
▼ 8.0	2.5	第四系	130	280	1.71	0.236f <sup>-0.752</sup>	0.203f <sup>-0.21</sup>	-	
5.5	4.5		151	403					
1.0	8.0		308	1589					
-7.0	8.0		478	1509					
▼ -15.0	2.0	新第三系	477	1753	1.69	0.072f <sup>-0.931</sup>	0.203f <sup>-0.93</sup>	-	
▼ -17.0	89.0		557	1742					
-106.0	62.0		669	2067					
-168.0	24.0		756	2256					
▼ -192.0	68.0	先新第三系	790	2000	1.85	0.072f <sup>-0.931</sup>	0.203f <sup>-0.93</sup>	-	
▽ -260.0	108.0		790	2000					
-368.0	2.0		835	2124					
▼ -372.0	2.0		904	2205					
-476.0	104.0	先新第三系	947	2256	2.07	0.072f <sup>-0.931</sup>	0.203f <sup>-0.93</sup>	-	
-566.0	90.0		2750	4740					
-655.0	89.0		3220	5550					
△ -679.0	24.0		3220	5550					
▼ -734.0	55.0	先新第三系	2750	4740	2.65	-	-	h <sub>0</sub> :0.001~1.000 α:0.000~1.000	h <sub>0</sub> :0.022 α:0.000
▼ -992.0	258.0		3220	5550					
▼ -992.0	-		3220	5550	2.78				

▼:地震計位置 ▽:解放基盤表面 △:地震基盤

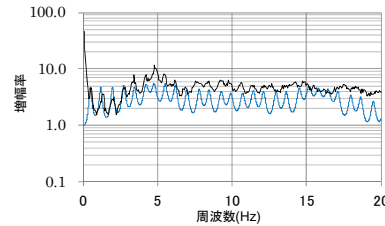
h<sub>0</sub>:0.001~1.000  
α:0.000~1.000: 同定対象



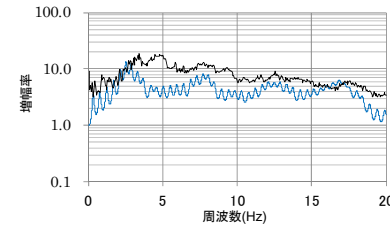
GL 0m/GL -25m



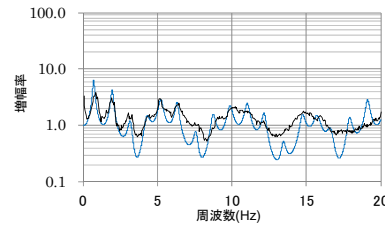
GL 0m/GL -200m



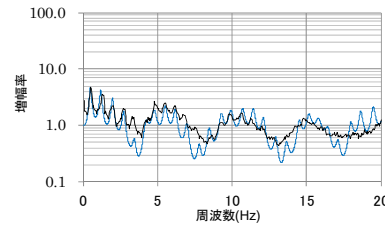
GL 0m/GL -380m



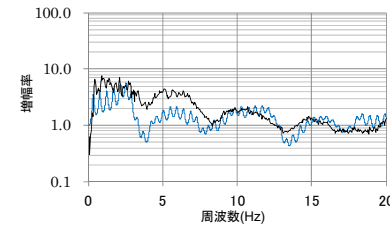
GL 0m/GL -1000m



GL -25m/GL -200m



GL -25m/GL -380m



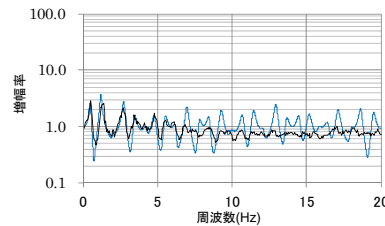
GL -25m/GL -1000m

— 同定結果  
— 観測記録の平均

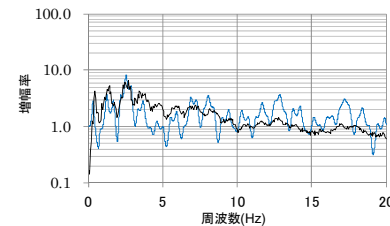
※ G.L. = E.L.8.0m

同定結果の理論伝達関数(青線)と地震観測記録による伝達関数※(黒線)の比較(水平動)

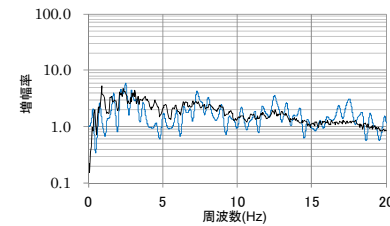
※地震観測記録の伝達関数は、0.4HzのParzen windowで平滑化している。



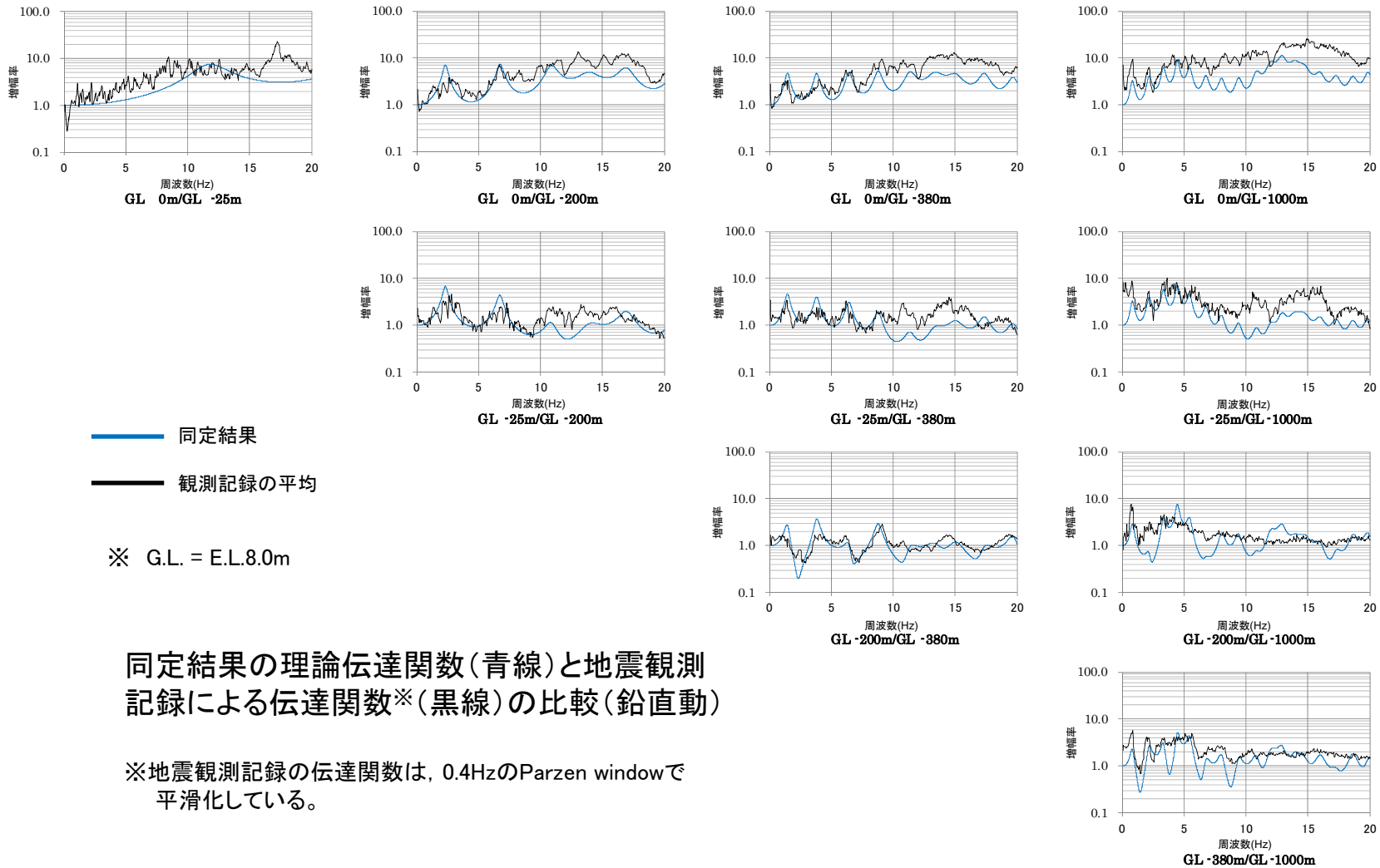
GL -200m/GL -380m



GL -200m/GL -1000m



GL -380m/GL -1000m



- 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の断層モデル手法による地震動評価は、全て経験的グリーン関数法で実施しているが、結果の妥当性確認のため統計的グリーン関数法(SGF法)による地震動評価も行っている。
- そこで、検討用地震である、2011年東北地方太平洋沖型地震、F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震及び茨城県南部の地震(プレート内地震)の基本震源モデルを対象に、標準応答スペクトル用地盤モデルでSGFの評価を行い、従来のSGFの評価結果に与える影響を検討する。
- また、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でのSGFの評価も行い、併せて結果を示すこととする。

SGF用地盤モデル

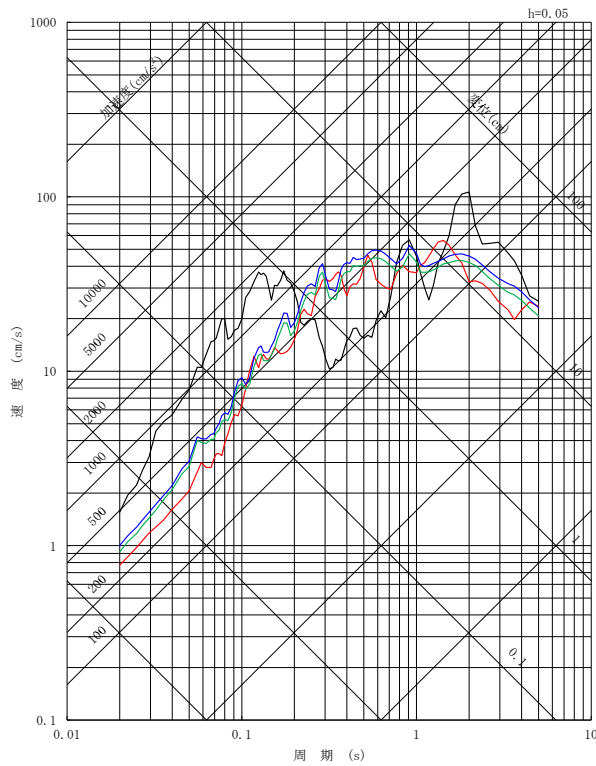
留萌用地盤モデル

標準応答スペクトル用地盤モデル

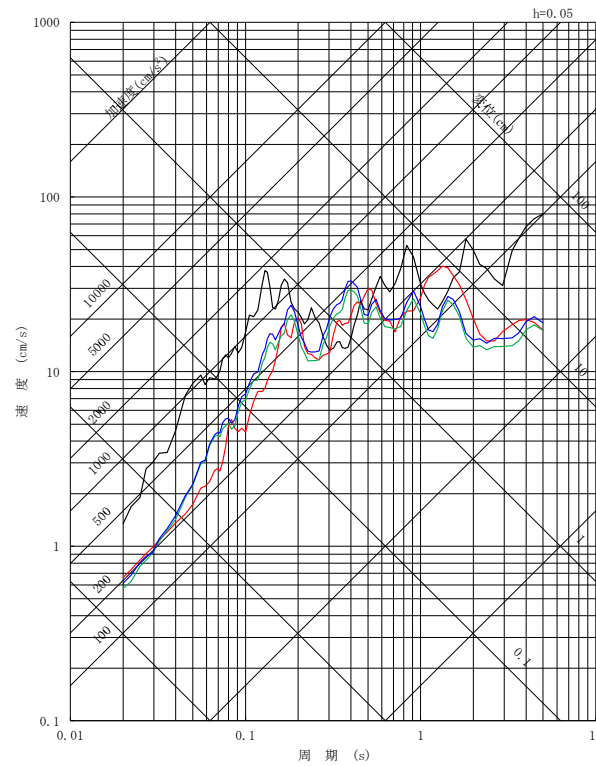
	SGF用地盤モデル				留萌用地盤モデル					標準応答スペクトル用地盤モデル								
	上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数		上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数		上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数	
水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	水平					鉛直							
解放基盤 表面	-370.0	790	2000	1.85	0.02	0.01	-370.0	790	2000	1.85	0.072f <sup>0.93</sup>	0.203f <sup>-0.93</sup>	-370.0	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)
地震基盤 相当面	-477.0	840	2110	1.96			-476.0	835	2124	1.89			-476.0	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	904	2205	2.00			-566.0	904	2205	2.00			-566.0	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	947	2256	2.07			-655.0	947	2256	2.07			-655.0	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)
	-677.0	2750	4740	2.63			-679.0	2750	4740	2.65			-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)

■ F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震  
(基本震源モデル, 破壊開始点1の例)

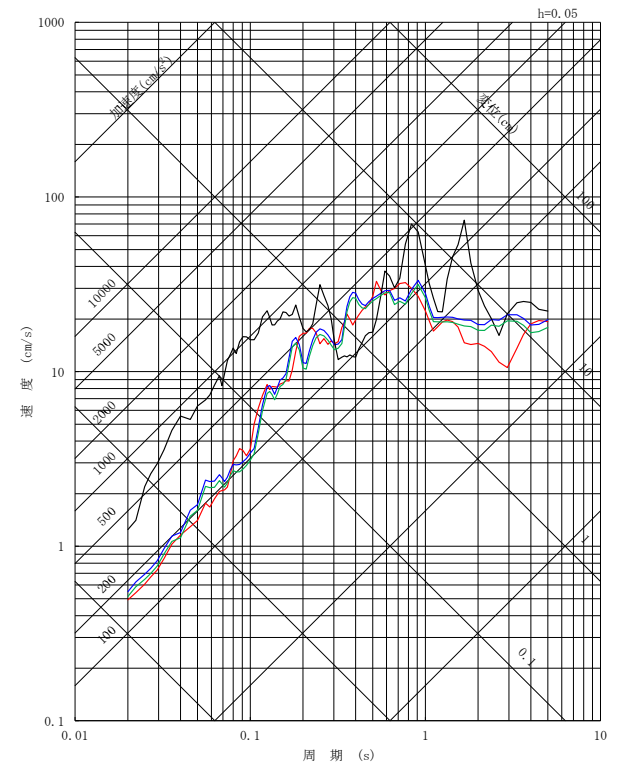
- EGF
- SGF用地盤モデル
- 留萌用地盤モデル
- 標準応答スペクトル用地盤モデル



NS方向



EW方向



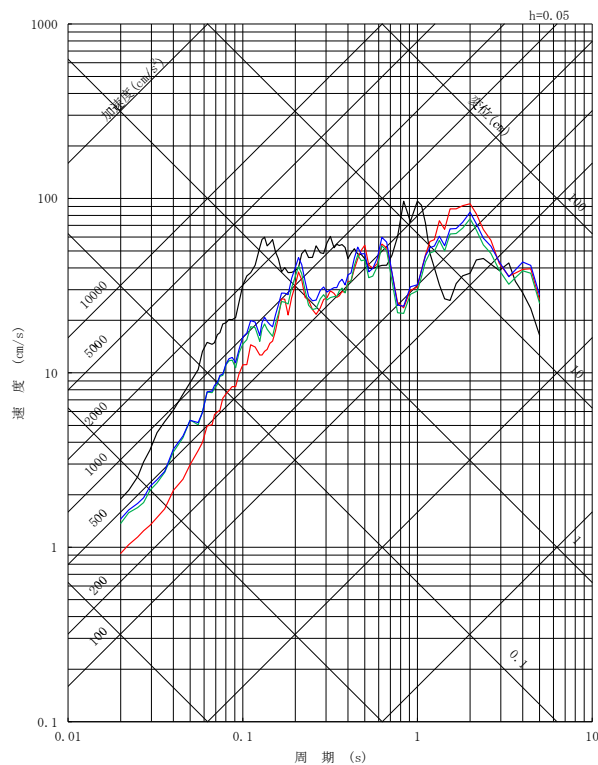
UD方向

擬似速度応答スペクトル

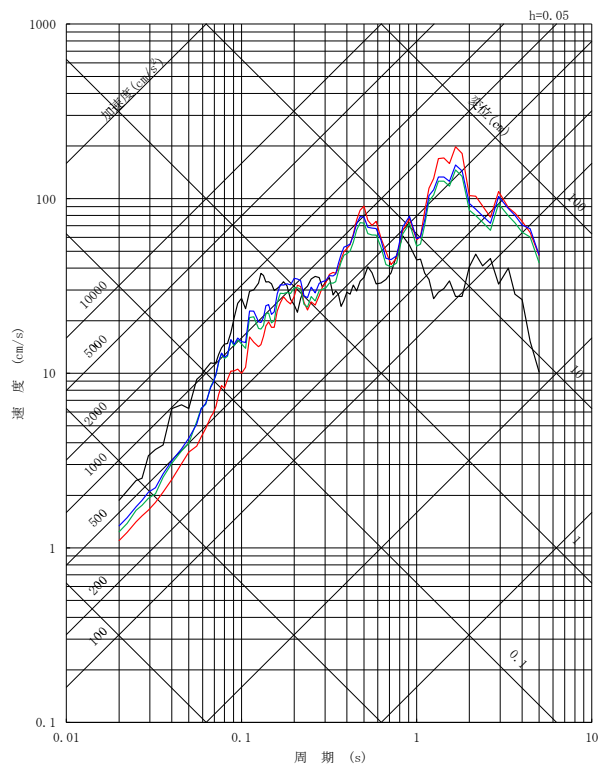
標準応答スペクトル用地盤モデルを用いたSGFの評価結果は、従来のSGF用地盤モデルを用いたSGFの評価結果とほぼ同等である。

■ 2011年東北地方太平洋沖型地震  
(基本震源モデル, 破壊開始点1の例)

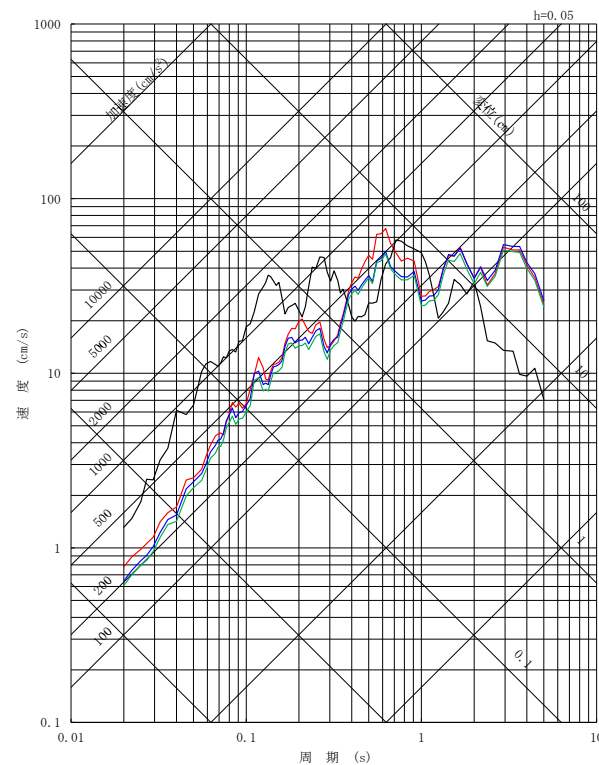
- EGF
- SGF用地盤モデル
- 留萌用地盤モデル
- 標準応答スペクトル用地盤モデル



NS方向



EW方向



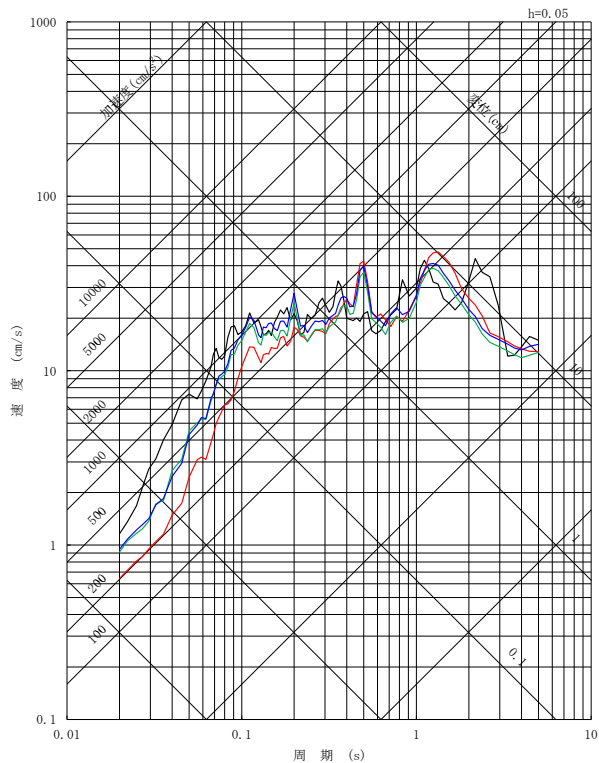
UD方向

擬似速度応答スペクトル

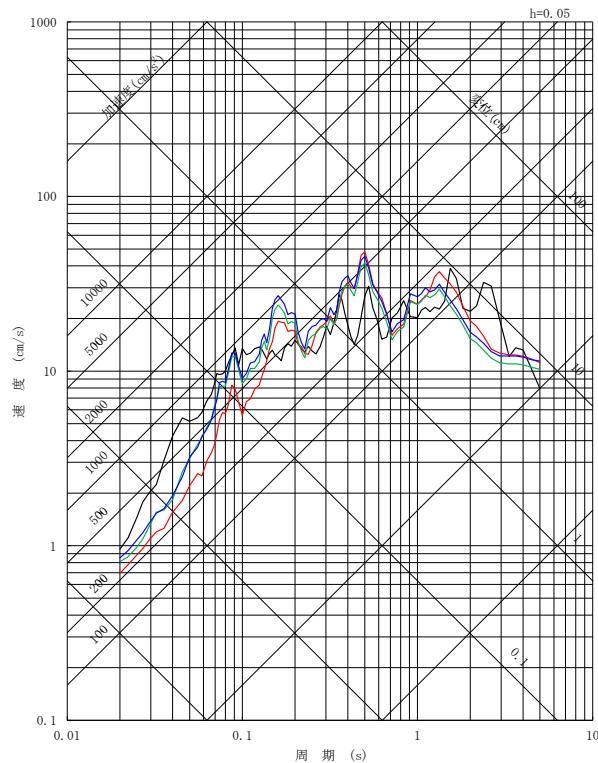
標準応答スペクトル用地盤モデルを用いたSGFの評価結果は, 従来のSGF用地盤モデルを用いたSGFの評価結果とほぼ同等である。

■茨城県南部の地震(プレート内地震)  
(基本震源モデル, 破壊開始点1の例)

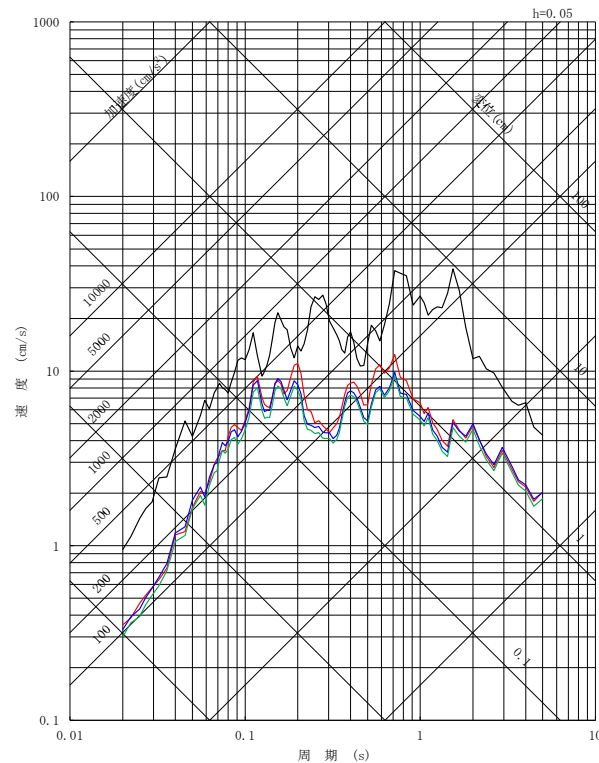
- EGF
- SGF用地盤モデル
- 留萌用地盤モデル
- 標準応答スペクトル用地盤モデル



NS方向



EW方向



UD方向

擬似速度応答スペクトル

標準応答スペクトル用地盤モデルを用いたSGFの評価結果は, 従来のSGF用地盤モデルを用いたSGFの評価結果とほぼ同等である。



- 2004年北海道留萌支庁南部地震による検討では、SGF用地盤モデルとは別に設定した地盤モデル(留萌用地盤モデル)を用いて地盤増幅特性の検討を行っている。
- そこで、標準応答スペクトル用地盤モデルで2004年北海道留萌支庁南部地震の検討を行い、従来の評価結果に与える影響を検討する。

留萌用地盤モデル

標準応答スペクトル用地盤モデル

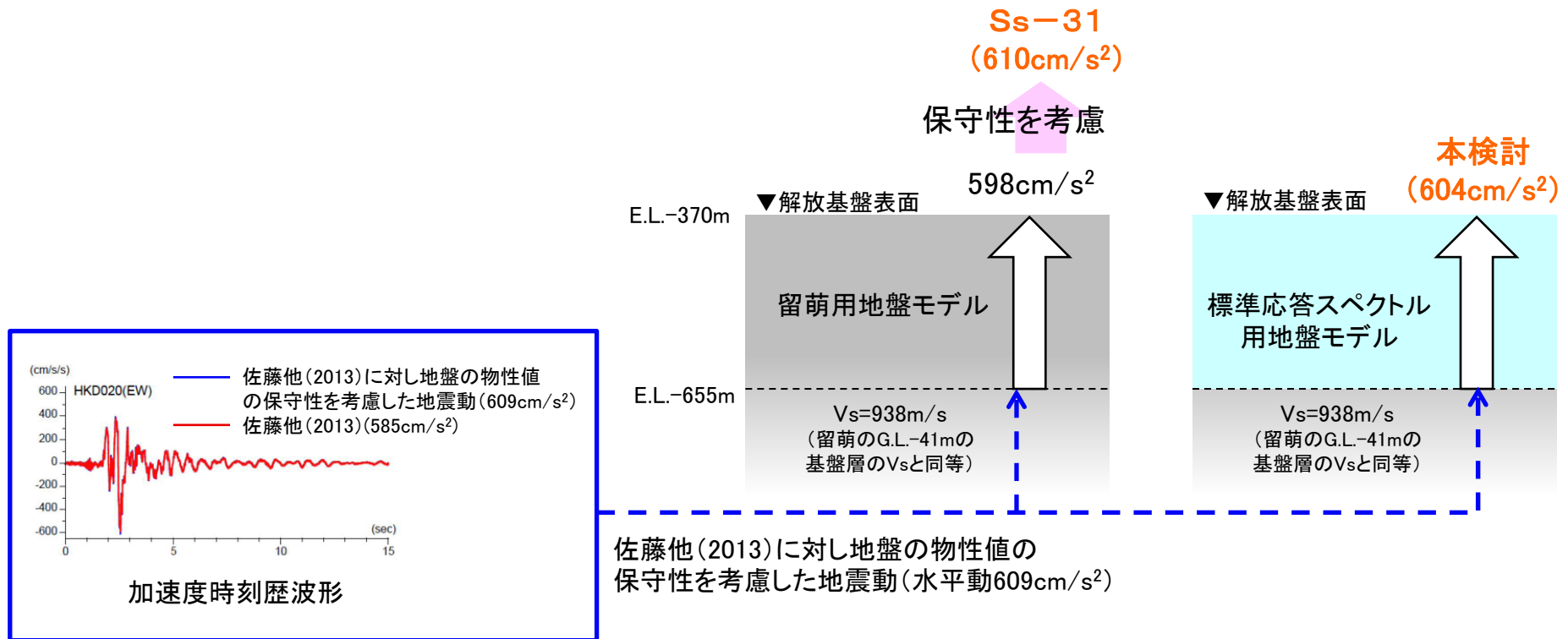
	上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数		上端標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数	
					水平	鉛直					水平	鉛直
解放基盤 表面	-370.0	790	2000	1.85	0.072f <sup>0.93</sup>	0.203f <sup>0.93</sup>	-370.0	790	2000	1.85	0.061f <sup>-1.05</sup> (f≤6.78) 0.008 (f>6.78)	0.264f <sup>-1.05</sup> (f≤31.74) 0.007 (f>31.74)
	-476.0	835	2124	1.89			-476.0	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	904	2205	2.00			-566.0	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)
基盤地震動 推定位置	-655.0	938	2245	2.05			-655.0	938	2245	2.05	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)

留萌用地盤モデルと異なる物性値

備考

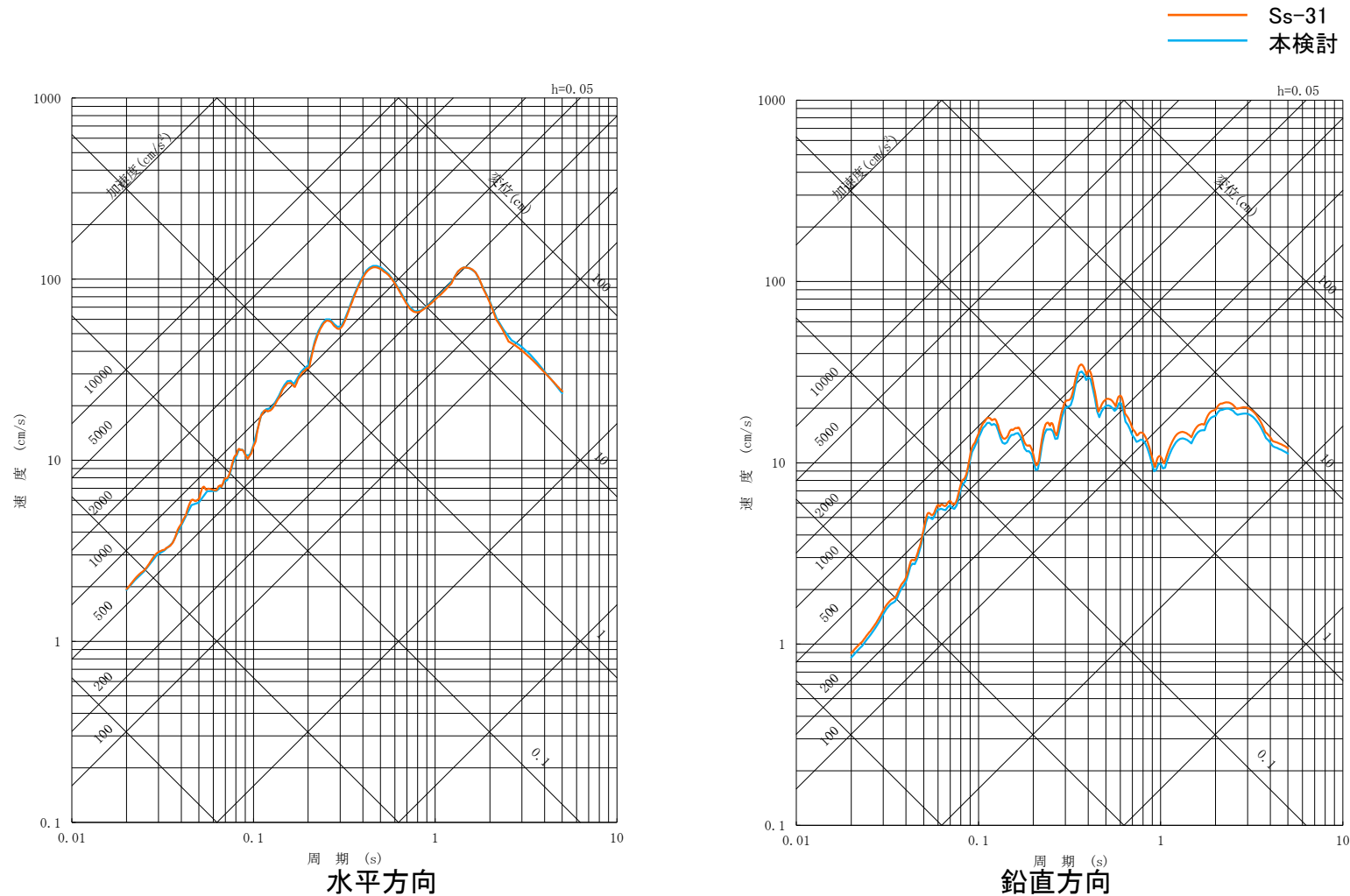
- ・基盤地震動推定位置は、K-NET港町観測点においてはぎとり波が推定された基盤とVsが同等の基盤の位置
- ・P39の留萌用地盤モデル、標準応答スペクトル用地盤モデルにおける地震基盤相当面以浅のVs、Vp、密度についてはP30、P31に示す標高依存式により、当該層の中心位置で求めた値をそれぞれ設定している。一方、本ページにおける基盤地震動推定位置直下のVs、Vp、密度は、標高依存式によりE.L.-655m位置で求めた値を設定している。

■ Ss-31(留萌波)のもとになった、佐藤他(2013)に対し地盤の物性値の保守性を考慮した地震動を標準応答スペクトル用地盤モデルに入力して解放基盤表面における地震動を評価する。



# Ss-31(留萌波)への影響(3/3)

■佐藤他(2013)に対し地盤の物性値の保守性を考慮した地震動を標準応答スペクトル用地盤モデルに入力した結果, Ss-31には影響はないことを確認した。



擬似速度応答スペクトル