

# 泊 発 電 所

## 積丹半島北西沖の断層による地震の 地震動評価について

---

平成29年7月28日  
北海道電力株式会社

## 積丹半島北西沖の断層による地震の地震動評価方針

- 積丹半島西岸の地形および地質・地質構造に関する評価を踏まえ、積丹半島北西沖に最大長さ約11kmの断層による地震を想定し、「孤立した短い活断層」として地震動を評価する。
  - ⇒地震動評価における基本震源モデルとしては、内陸地殻内地震の地震発生層として設定している上端深さ2km、下端深さ18km、その厚さ16kmおよび断層傾斜角45°を考慮し、震源断層が地震発生層を飽和する断層幅と同じ断層長さをもつ断層面を仮定して、断層長さ22.6kmと設定する。
- 断層パラメータは、地震調査委員会「レシピ」に基づき設定する。
- 地震動評価においては、さらに安全側に地震動評価における不確かさを考慮することとし、検討ケースを設定する。
- なお、断層パラメータ、検討ケース、地震動評価手法等については、「孤立した短い活断層」として地震動評価を実施している尻別川断層による地震と同様である。

## 積丹半島北西沖の断層による地震の地震動評価手法

積丹半島北西沖の断層による地震の地震動評価は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」および「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施

○応答スペクトルに基づく地震動評価手法について

- 解放基盤表面における水平および鉛直方向の地震動評価ができること、震源の拡がりを考慮できること、地震観測記録を用いて諸特性(地域特性等)を考慮できることから、Noda et al.(2002)の方法を用いる。
- Noda et al.(2002)の方法に従って求めた地盤増幅率を用いて応答スペクトルを補正する。なお、内陸地殻内地震の補正係数は安全側に考慮しない。
- 地震規模は、松田式により算定する。

○断層モデルを用いた手法による地震動評価手法について

- 評価地点の震源近傍で発生した地震で要素地震として適切な観測記録が得られていないことから、短周期側を統計的グリーン関数法(Dan et al.(1989))、長周期側を理論的手法(波数積分法)を適用したハイブリッド合成法により評価する。
- PS検層結果、弾性波探査結果等を基に、敷地の地震観測記録に基づき設定した地下構造モデルを用いて評価する。

## 地震発生層の設定(内陸地殻内地震)

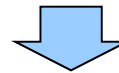
○地震発生層の設定にあたっては、敷地周辺で実施した弾性波探査結果、微小地震分布等を総合的に判断して設定する。

○敷地周辺で実施した弾性波探査結果  
地震基盤とみなせる層の上端深さ 2.2km

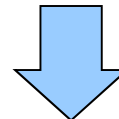
○地震調査委員会(2014) ※黒松内低地断層帯の評価を参照  
地震発生層上端深さ : 2km  
地震発生層下端深さ : 15km

○敷地周辺のキュリー点深度(大久保(1984))  
地震発生層の下端の目安とされる、キュリー点深度の1.5倍の深度:約10~15km

○微小地震分布(敷地周辺におけるD10-D90評価)  
D10:3.9km, D90:13.6km



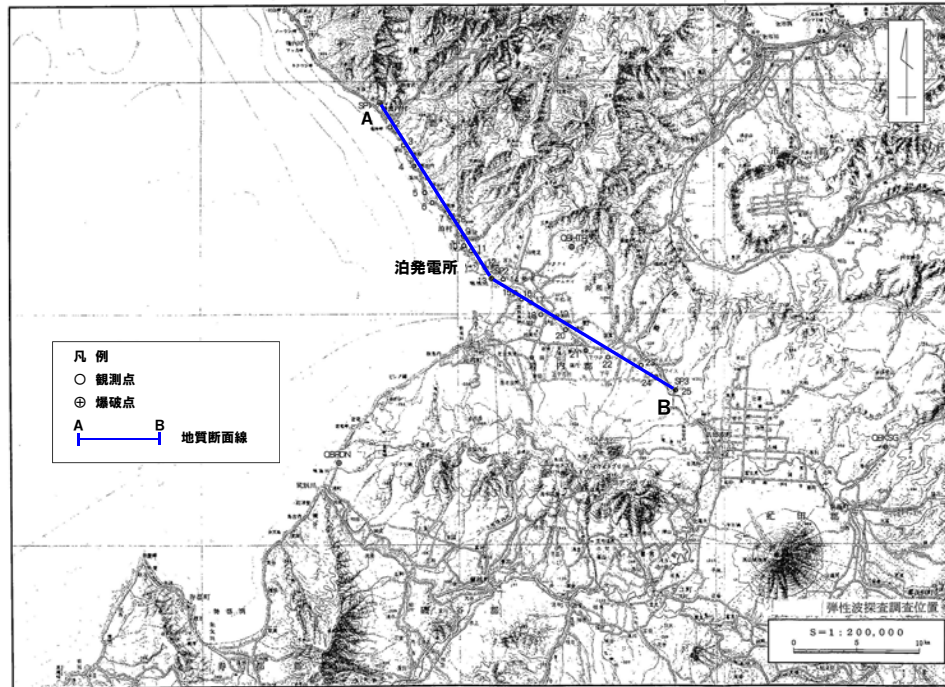
○敷地周辺の地震発生層  
上端深さ3km程度、下端深さ15km程度と想定



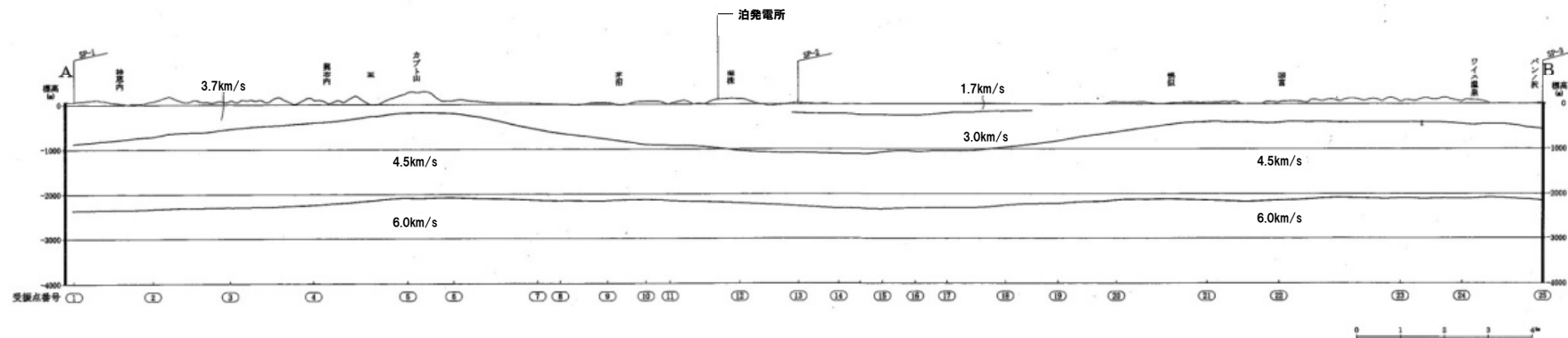
※地震動評価において、既往の評価では上端深さ2.2km、下端深さ18kmと設定していたが、地震調査委員会(2014)を踏まえ、安全側に設定

○地震動評価においては、安全側に上端深さ2km、下端深さ18kmと設定  
(地震発生層厚さ16km)

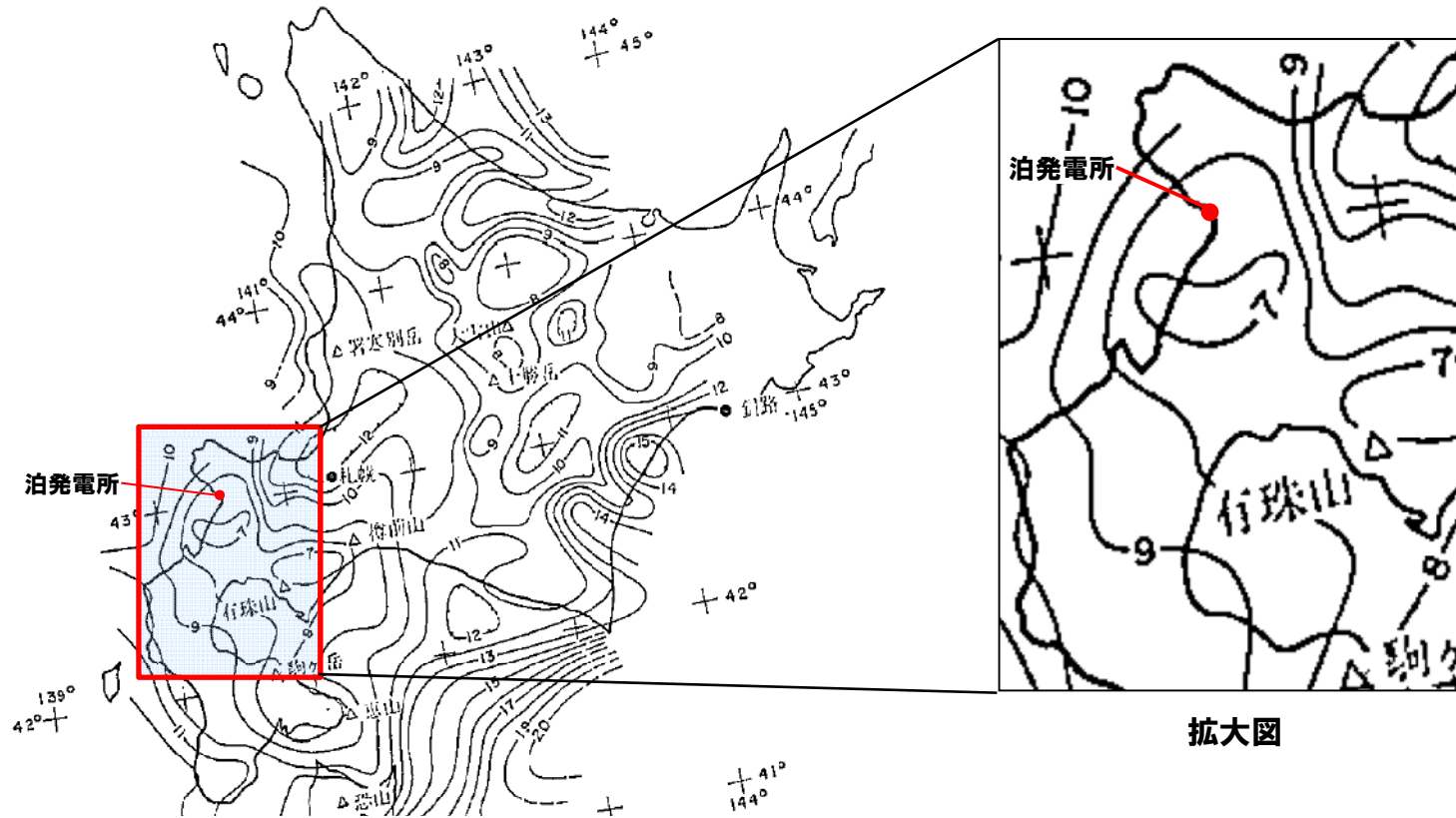
## 敷地周辺で実施した弾性波探査結果



○地震基盤とみなせる層の上端深さ  
標高-2200mで地震基盤とみなせるP波速度  
6km/s(S波速度3.7km/s相当)の層に到達



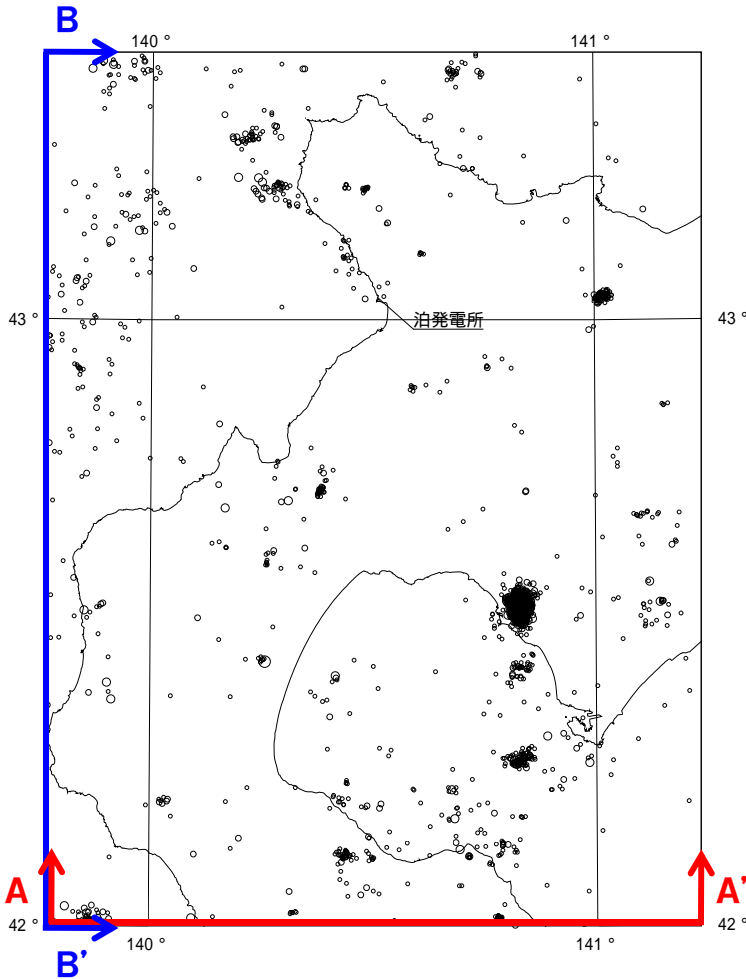
## キュリー点深度分布(大久保(1984)より抜粋)



キュリー点深度分布(大久保(1984)に一部加筆)

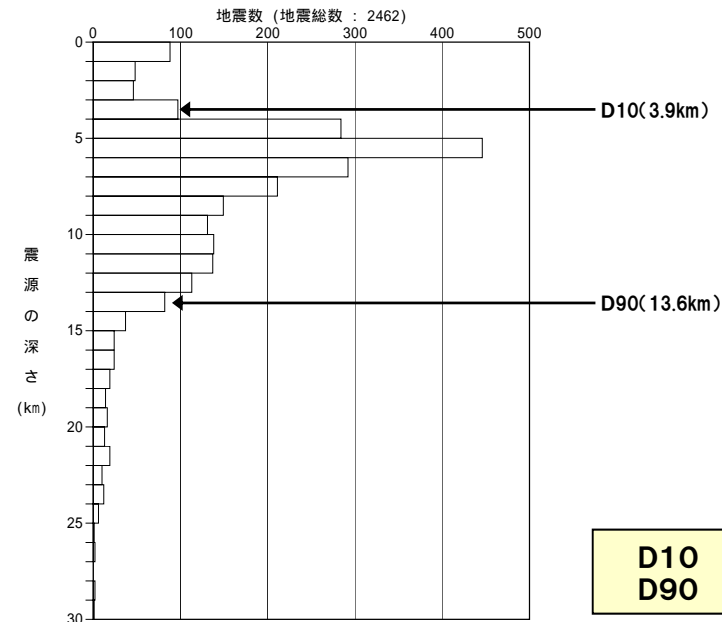
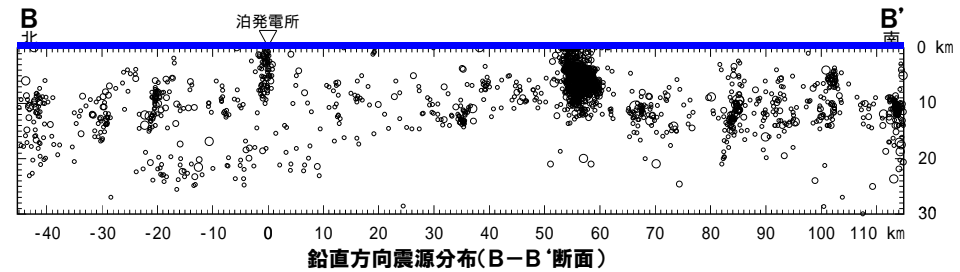
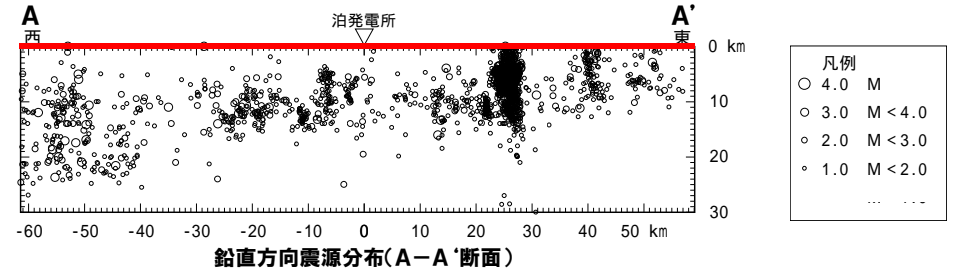
- 敷地周辺のキュリー点深度
- 敷地周辺のキュリー点深度: 約7~10km程度
- ⇒キュリー点深度の1.5倍の深度: 約10~15km程度

## 敷地周辺におけるD10-D90評価



気象庁で観測された地震の震央分布および震源鉛直分布  
 (深さ30km以浅,  $M \geq 1$ )  
 (1983年1月~2011年12月)  
 [「気象庁地震カタログ」より作成]

- 凡例
- 4.0 M
  - 3.0  $M < 4.0$
  - 2.0  $M < 3.0$
  - 1.0  $M < 2.0$
  - ...



## 統計的グリーン関数法に用いた地下構造モデル

○PS検層結果, 弾性波探査結果等を基に, 敷地の地震観測記録に基づき設定

標高 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ ( $g/cm^3$ )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	Q値
0~-56	56	2.1	1175	2660	100
-56~-250	194	2.2	1935	3230	100
-250~-430	180	1.9	1350	2700	100
-430~-990	560	1.9	1560	3100	100
-990~-2000 <sup>*1</sup>	1010	2.5	2400	4500	100
-2000 <sup>*1</sup> ~	-	2.8 <sup>*2</sup>	3500 <sup>*2</sup>	6400 <sup>*2</sup>	150 <sup>*2</sup>

◁ 解放基盤表面相当

◁ 地震基盤相当

※1 弾性波探査結果から標高-2200mが地震基盤(地震発生層上端)と考えられるが, 安全側に-2000mに設定

※2 -2000m以深の物性値については(独)防災科学技術研究所(2005)による

## 理論的手法(波数積分法)に用いた地下構造モデル

○標高-2000m以浅については, 統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデルと同様

○標高-2000m以深については, (独)防災科学技術研究所(2005)による強震動評価において作成された地下構造モデルを参考に設定

標高 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ ( $g/cm^3$ )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	Q値
0~-56	56	2.1	1175	2660	100
-56~-250	194	2.2	1935	3230	100
-250~-430	180	1.9	1350	2700	100
-430~-990	560	1.9	1560	3100	100
-990~-2000 <sup>*1</sup>	1010	2.5	2400	4500	100
-2000 <sup>*1</sup> ~-20000	18000	2.8 <sup>*2</sup>	3500 <sup>*2</sup>	6400 <sup>*2</sup>	150 <sup>*2</sup>
-20000 <sup>*2</sup> ~-30000	10000	3.0 <sup>*2</sup>	3800 <sup>*2</sup>	6900 <sup>*2</sup>	150 <sup>*2</sup>
-30000 <sup>*2</sup> ~	-	3.4 <sup>*2</sup>	4500 <sup>*2</sup>	8000 <sup>*2</sup>	600 <sup>*2</sup>

◁ 解放基盤表面相当

◁ 地震基盤相当

※1 弾性波探査結果から標高-2200mが地震基盤(地震発生層上端)と考えられるが, 安全側に-2000mに設定

※2 (独)防災科学技術研究所(2005)による



## 不確かさを考慮する断層パラメータ

## 不確かさを考慮する断層パラメータの基本的な考え方

## ○不確かさを考慮するパラメータ

- |             |   |   |
|-------------|---|---|
| ① 断層傾斜角     | } | 認識論的な不確かさに分類されるもので、<br>事前の詳細な調査や経験式等に基づき設定できるもの |
| ② 応力降下量     |   |   |
| ③ アスペリティの位置 | } | 偶然的な不確かさに分類されるもので、<br>事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの   |
| ④ 破壊開始点     |   |   |

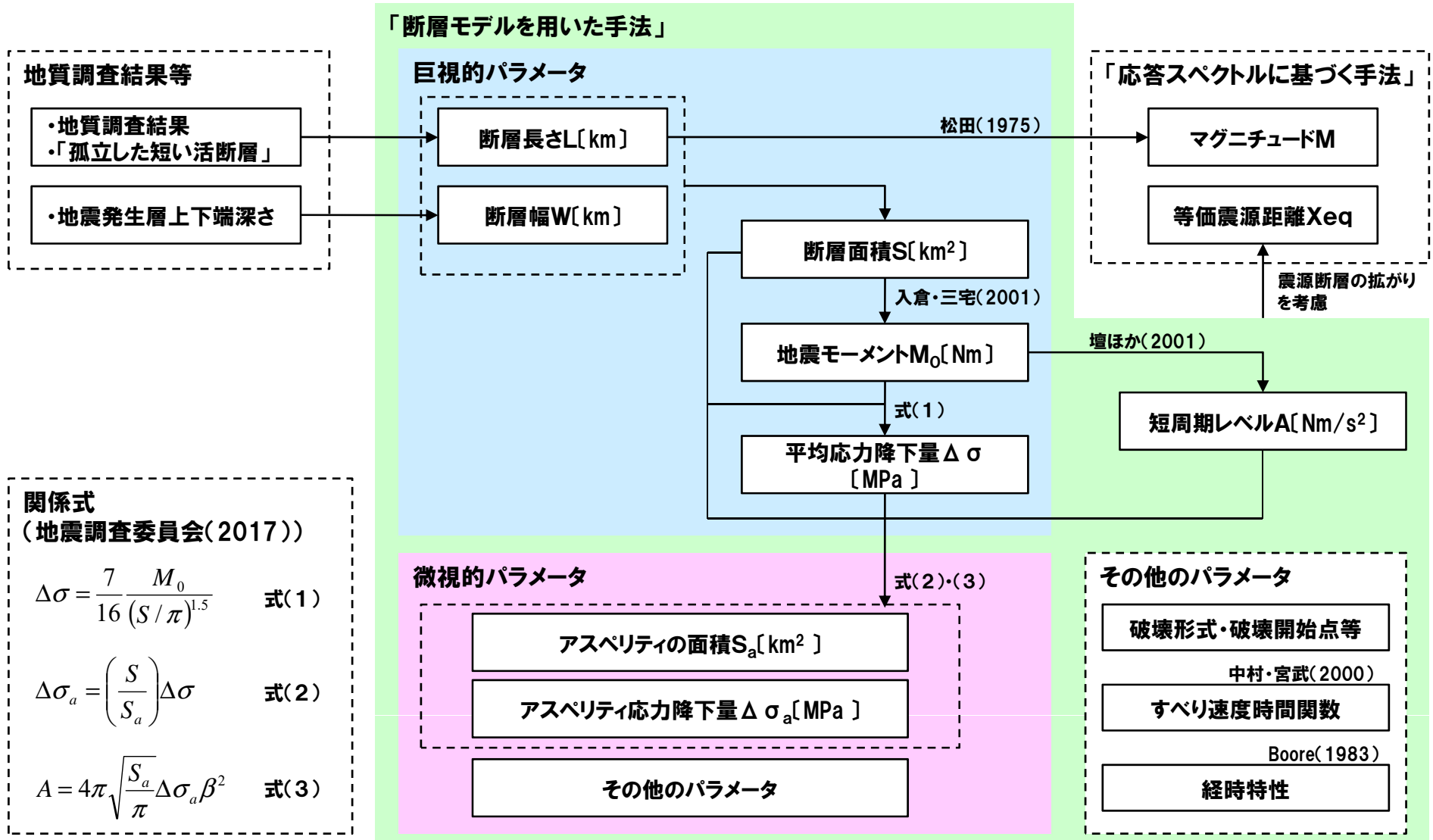


## ○不確かさの重畳について

- 「事前の詳細な調査や経験式等に基づき設定できるもの」については、それぞれ独立させて不確かさを考慮する。
- 「事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの」については、事前に把握することが困難であるため、「事前の詳細な調査や経験式等に基づき設定できるもの」と重畳させて考慮する。

## 断層パラメータの設定フロー

○地震調査委員会「レシピ」に基づき設定



## 震源パラメータの設定根拠

	基本震源モデルのパラメータ設定根拠	不確かさを考慮したモデルのパラメータ設定根拠
断層長さ	地質調査結果により想定した断層長さは11kmである。ただし、地震動評価における基本震源モデルとしては、震源断層が地震発生層の上端から下端まで広がっており、断層幅と同じ断層長さをもつ断層面を仮定して、断層長さ22.6kmと設定。	断層の傾斜角の不確かさを考慮することに伴い、断層長さ32.0kmを考慮。
断層幅	地震発生層上下端深さ及び断層の傾斜角に基づき、断層幅22.6kmと設定。	断層の傾斜角の不確かさを考慮することに伴い、断層幅32.0kmを考慮。
断層の傾斜角	当社の調査結果を踏まえた敷地前面海域にあるFs-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜が比較的高角であることから高角の断層を想定することが適切と考えられるが、地震調査委員会(2017)を踏まえ45°と設定。	地震規模(地震モーメント)が大きくなるように30°と設定。
アスペリティの位置, 数	地質調査結果に基づき想定した断層長さ11kmの中央位置が基本と考えているが、安全側の評価として、地質調査結果に基づき想定した断層の範囲内で、敷地に近い位置の地表付近に1個設定する。	
各アスペリティの応力降下量, 平均すべり量	地震調査委員会(2017)に基づき設定。	応力降下量について十分な知見が得られていないことから、2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、地震調査委員会(2017)による値の1.5倍の応力降下量を考慮。
破壊開始点	破壊の進行方向が敷地へ向かうようにアスペリティ下端中央に設定。	基本震源モデルとは異なる複数の位置に設定。

## 地震動評価検討ケース

震源モデル	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層の傾斜角 (°)	アスペリティ 位置	破壊開始点	応力降下量	備考
(地質調査結果)	11	—	—	—	—	—	○地質調査結果により断層長さ11km ○地震動評価は基本震源モデルにて代表
基本震源モデル	22.6	22.6	45	敷地に近い 位置の地表 付近 <sup>※1</sup>	アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2017)	○地震調査委員会(2017)等を参考に、 震源断層が地震発生層の上端から下端まで 拡がっており、断層幅と同じ断層長さをもつ 断層面を仮定し、断層長さ22.6kmを考慮 したモデル ○M7.1, Xeq=26km <sup>※2</sup>
					アスペリティ下端端部		
					巨視的断層面下端中央		
					巨視的断層面下端端部		
不確かさ考慮モデル (断層の傾斜角)	32.0	32.0	30	敷地に近い 位置の地表 付近 <sup>※1</sup>	アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2017)	○基本震源モデルの傾斜角について、不確 かさを考慮して30°としたモデル ○M7.3, Xeq=23km <sup>※2</sup>
					アスペリティ下端端部		
					巨視的断層面下端中央		
					巨視的断層面下端端部		
不確かさ考慮モデル (応力降下量)	22.6	22.6	45	敷地に近い 位置の地表 付近 <sup>※1</sup>	アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2017) ×1.5	○基本震源モデルの応力降下量について、 不確かさを考慮してアスペリティと背景領域 の応力降下量をいずれも1.5倍したモデル
					アスペリティ下端端部		
					巨視的断層面下端中央		
					巨視的断層面下端端部		

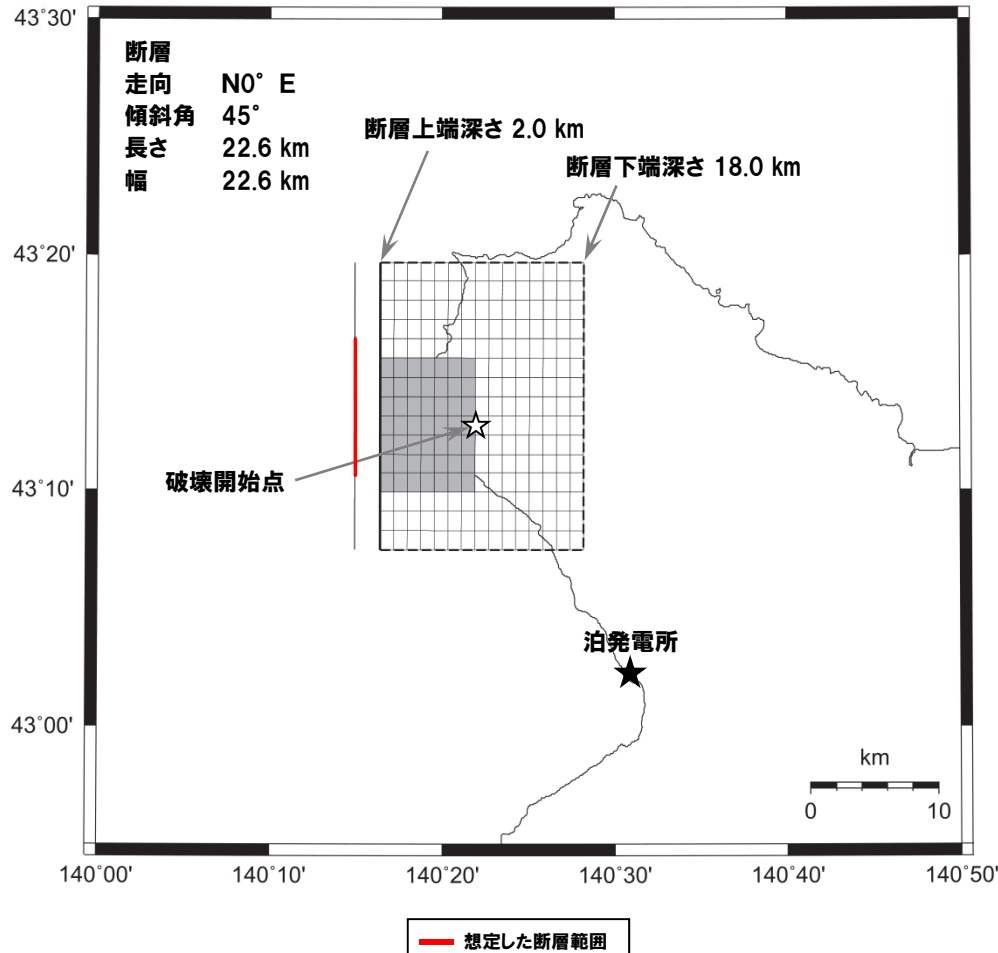
□ : 不確かさを考慮して設定するパラメータ (認識論的な不確かさ)

□ : 全てのケースにおいて共通的に考慮するパラメータ (偶然的な不確かさ)

※1 地質調査結果に基づき想定した断層長さ11kmの中央位置が基本と考えているが、安全側の評価として、地質調査結果に基づき想定した断層の範囲内で、敷地に近い位置の地表付近に1個設定

※2 応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる諸元

## 震源モデル図, 断層パラメータ(基本震源モデル)

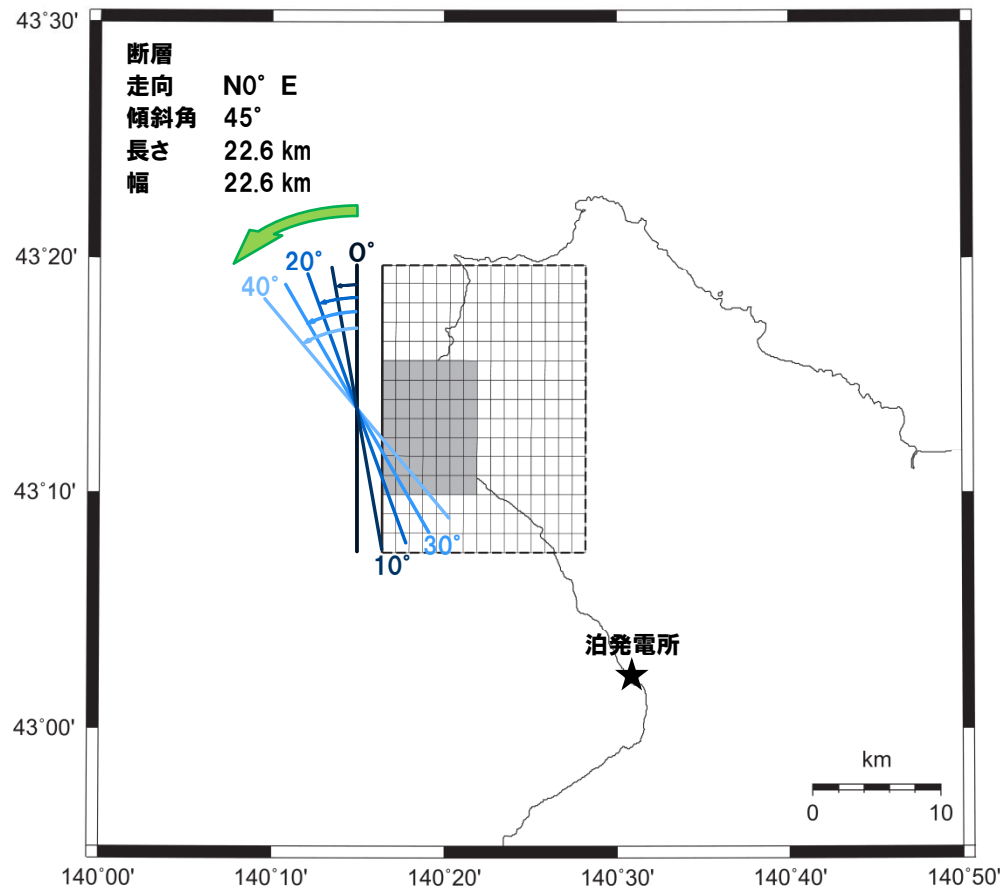


基本震源モデル

項目	設定値	設定方法
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 43.124° 東経 140.273°	積丹半島北西沖の断層両端より均等に延長して定めたモデル地表トレス南端
走向	N0° E	地質調査結果による断層南端～北端
傾斜角	45°	地震調査委員会(2017)を参考に45°と設定
断層長さ	22.6km	L=Wと設定
断層幅	22.6km	断層上下端深さと傾斜角より設定
断層面積	510.8km <sup>2</sup>	S=L×W
断層上端深さ	2km	調査結果等を踏まえて設定
断層下端深さ	18km	調査結果等を参考に設定
地震モーメント	1.45E+19N・m	$M_0 = [S / (4.24 \times 10^{-11})]^2$ (入倉・三宅(2001))
モーメントマグニチュード	6.7	$\text{Log}M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$
(気象庁マグニチュード)	(7.1)	$(M_j) = (\text{log}L + 2.9) / 0.6$ (松田(1975))
平均応力降下量	3.1MPa	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^3$
剛性率	3.43E+10N/m <sup>2</sup>	$\mu = \rho \beta^2$ , $\rho = 2.8\text{g/cm}^3$ : 防災科研(2005)に基づき設定
平均すべり量	82.8cm	$D = M_0 / (\mu S)$
S波速度	3.5km/s	$\beta = 3.5\text{km/s}$ : 防災科研(2005)に基づき設定
破壊伝播速度	2.5km/s	$V_R = 0.72 \times \beta \text{ km/s}$ (Geller(1976))
破壊伝播様式	破壊開始点から同心円状	地震調査委員会(2017)に基づき設定
破壊開始点	アスベリティ下端中央	破壊の進行方向が敷地へ向かうように破壊開始点を設定
短周期レベル	1.29E+19N・m/s <sup>2</sup>	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$
高周波速断特性	6Hz	地震調査委員会(2017)に基づき設定
アスベリティ	位置	敷地に近い位置の地表付近
	数	1個
	総面積	110.4km <sup>2</sup>
	平均すべり量	165.7cm
背景領域	地震モーメント	6.28E+18N・m
	応力降下量	14.2MPa
	地震モーメント	8.24E+18N・m
	面積	400.3km <sup>2</sup>
背景領域	平均すべり量	60.0cm
	実効応力	2.4MPa

## 【参考】震源モデルの走向の確認①

- 震源モデルの走向は、地質調査結果を踏まえてN-S( $N0^{\circ}E$ )としている。
- 震源モデルの走向はN-SからNW-SEの可能性も考えられることから、N-S方向を基準( $0^{\circ}$ )としてNW-SE方向に震源モデルを回転させた場合の泊発電所における等価震源距離を評価した。その結果、設定した震源モデル( $N0^{\circ}E$ )の等価震源距離が最も小さいことから、震源モデルの走向はN-S( $N0^{\circ}E$ )とする。

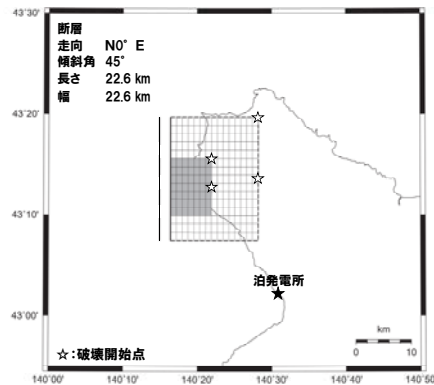
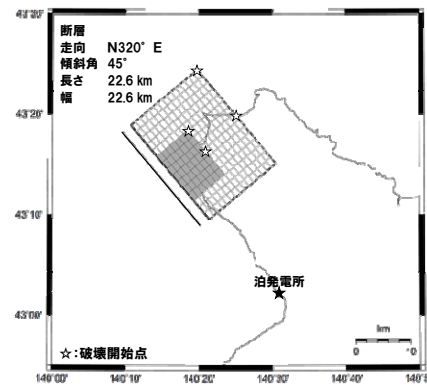


走向	走向の回転角 <sup>※</sup> $\theta(^{\circ})$	等価震源距離 $X_{eq}(km)$
$N0^{\circ}E$	0	26
$N35^{\circ}E$	10	26
$N34^{\circ}E$	20	27
$N33^{\circ}E$	30	28
$N32^{\circ}E$	40	30

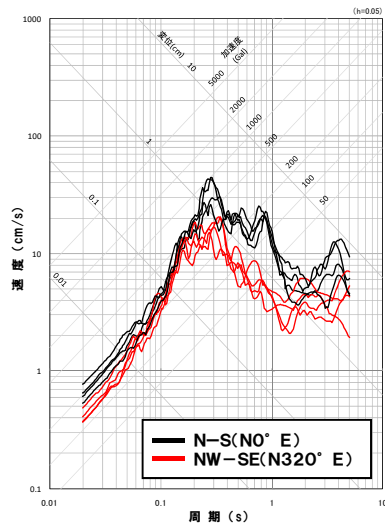
※ $N0^{\circ}E$ を基準( $0^{\circ}$ )としたNW-SE方向への回転角

## 【参考】震源モデルの走向の確認②

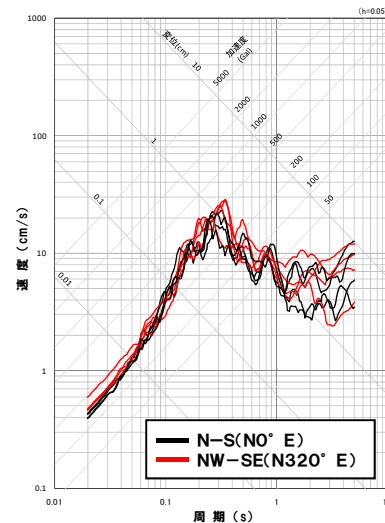
- 震源モデルの走向は、地質調査結果および等価震源距離の比較を踏まえてN-S( $NO^{\circ}$  E)としている。
- N-S( $NO^{\circ}$  E)とNW-SE( $N320^{\circ}$  E)との断層モデルを用いた手法による地震動を比較した。その結果、N-S( $NO^{\circ}$  E)の地震動がNW-SE( $N320^{\circ}$  E)の地震動と同等以上の傾向となっている。

N-S( $NO^{\circ}$  E)

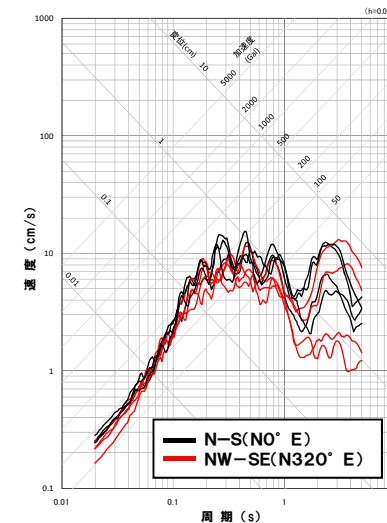
震源モデル図

NW-SE( $N320^{\circ}$  E)

応答スペクトル図(NS方向)

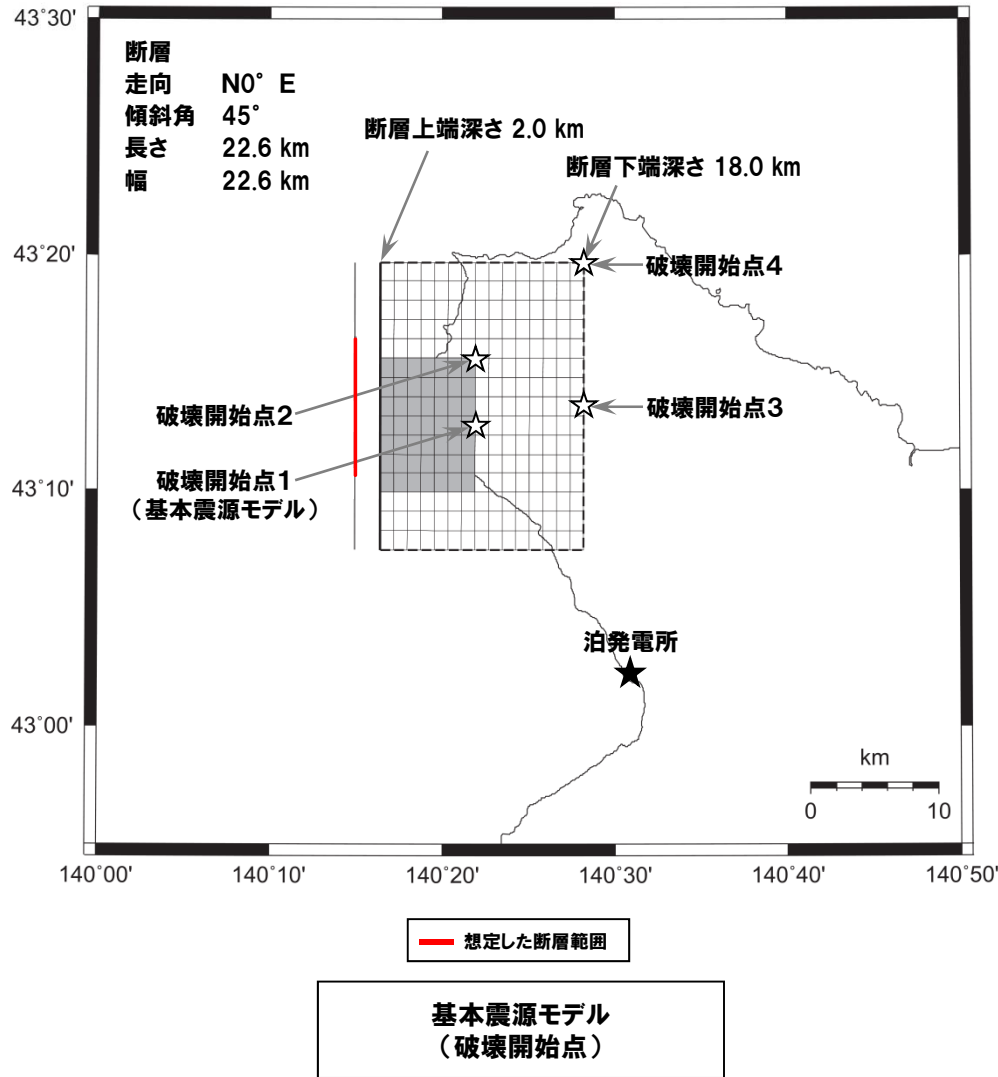


応答スペクトル図(EW方向)



応答スペクトル図(UD方向)

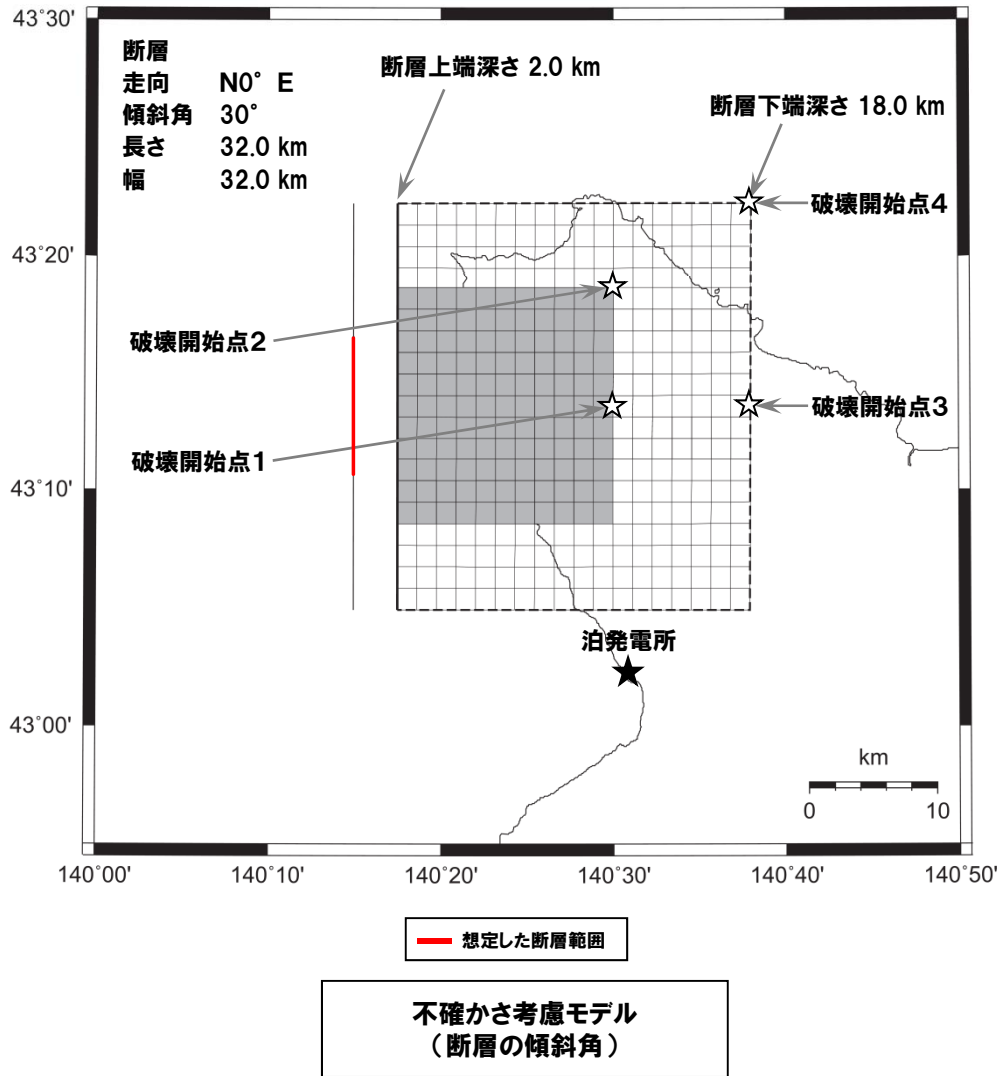
## 震源モデル図, 断層パラメータ(基本震源モデル(破壊開始点))



項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレース原点)	北緯 43.124° 東経 140.273°	積丹半島北西沖の断層両端より均等に延長して定めたモデル地表トレース南端	
走向	N0° E	断層南端～北端	
傾斜角	45°	地震調査委員会(2017)を参考に45°と設定	
断層長さ	22.6km	L=Wと設定	
断層幅	22.6km	断層上下端深さと傾斜角より設定	
断層面積	510.8km <sup>2</sup>	S=L×W	
断層上端深さ	2km	調査結果等を踏まえて設定	
断層下端深さ	18km	調査結果等を参考に設定	
地震モーメント	1.45E+19N・m	M <sub>0</sub> = (S / (4.24 × 10 <sup>-11</sup> )) <sup>2</sup> (入倉・三宅(2001))	
モーメントマグニチュード	6.7	LogM <sub>0</sub> (N・m) = 1.5 × M <sub>w</sub> + 9.1	
(気象庁マグニチュード)	(7.1)	(M <sub>j</sub> = (logL + 2.9) / 0.6 (松田(1975)))	
平均応力降下量	3.1MPa	Δσ = 7/16 × M <sub>0</sub> / R <sup>3</sup>	
剛性率	3.43E+10N/m <sup>2</sup>	μ = ρ β <sup>2</sup> , ρ = 2.8g/cm <sup>3</sup> : 防災科研(2005)に基づき設定	
平均すべり量	82.8cm	D = M <sub>0</sub> / (μ S)	
S波速度	3.5km/s	β = 3.5km/s: 防災科研(2005)に基づき設定	
破壊伝播速度	2.5km/s	V <sub>b</sub> = 0.72 × β km/s (Geller(1976))	
破壊伝播様式	破壊開始点から同心円状	地震調査委員会(2017)に基づき設定	
破壊開始点	アスペリティ下端中央 (破壊開始点1)	破壊の進行方向が敷地へ向かうように破壊開始点を設定	
	アスペリティ下端端部 (破壊開始点2)		
	巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3)		
	巨視的断層面下端端部 (破壊開始点4)		
短周期レベル	1.29E+19N・m/s <sup>2</sup>	A = 2.46 × 10 <sup>10</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2017)に基づき設定	
アスペリティ	位置	敷地に近い位置の地表付近	地質調査結果に基づき想定した断層の範囲で、敷地に近い位置の地表付近に設定
	数	1個	1セグメントに1個設定
	総面積	110.4km <sup>2</sup>	S <sub>a</sub> = π r <sup>2</sup> , r = 7π / 4 × M <sub>0</sub> / AR × β <sup>2</sup> , R = (S / π) <sup>0.5</sup>
	平均すべり量	165.7cm	D <sub>a</sub> = γ <sub>0</sub> × D
	地震モーメント	6.28E+18N・m	M <sub>0a</sub> = μ S <sub>a</sub> D <sub>a</sub>
背景領域	応力降下量	14.2MPa	Δσ <sub>a</sub> = 7/16 × M <sub>0a</sub> / (r <sup>2</sup> R)
	地震モーメント	8.24E+18N・m	M <sub>0b</sub> = M <sub>0</sub> - M <sub>0a</sub>
	面積	400.3km <sup>2</sup>	S <sub>b</sub> = S - S <sub>a</sub>
	平均すべり量	60.0cm	D <sub>b</sub> = M <sub>0b</sub> / (μ S <sub>b</sub> )
実効応力	2.4MPa	σ <sub>a</sub> = (D <sub>b</sub> / W <sub>b</sub> ) (π <sup>0.5</sup> / D <sub>b</sub> ) r × Σ γ <sub>i</sub> <sup>3</sup> σ <sub>a</sub>	

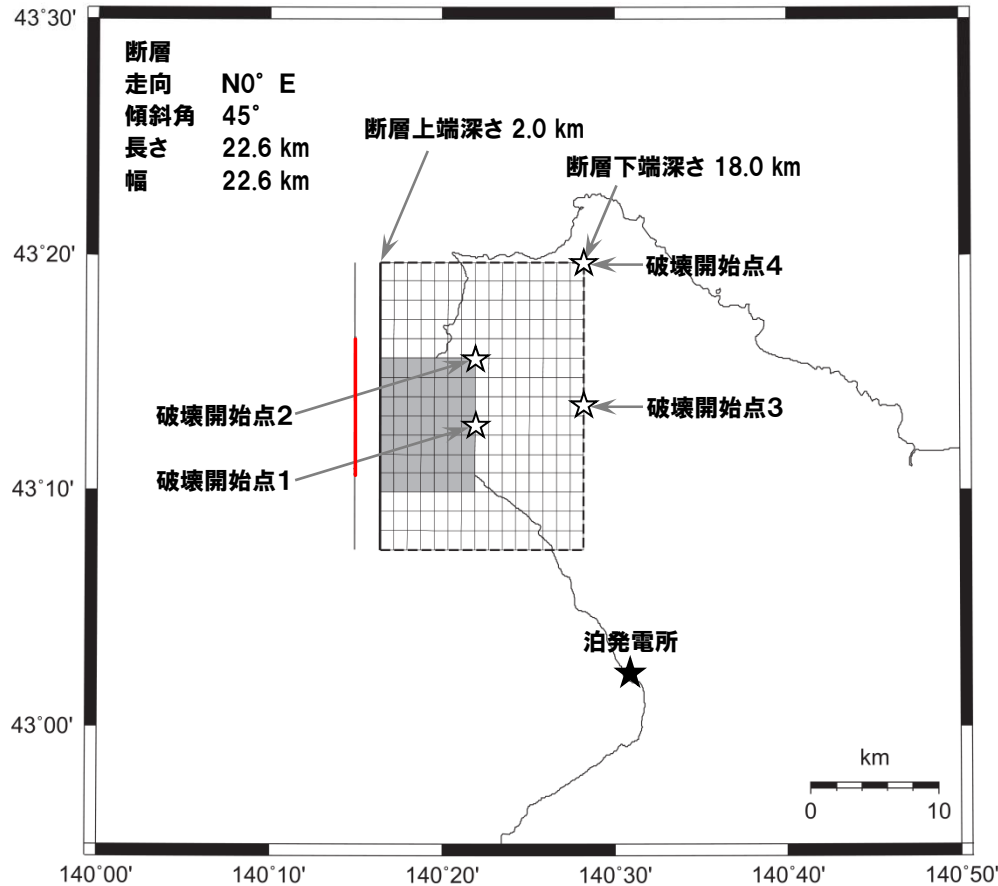


## 震源モデル図, 断層パラメータ(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))



項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 43.082° 東経 140.291°	積丹半島北西沖の断層両端より均等に延長して定めたモデル地表トレス南端	
走向	N0° E	断層南端～北端	
傾斜角	30°	不確かさを考慮し、念のため 30° と設定	
断層長さ	32.0km	L=W と設定	
断層幅	32.0km	断層上下端深さと傾斜角より設定	
断層面積	1024.0km <sup>2</sup>	S=L×W	
断層上端深さ	2km	調査結果等を踏まえて設定	
断層下端深さ	18km	調査結果等を参考に設定	
地震モーメント	5.83E+19N・m	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^2 \times (\text{入倉・三宅 (2001)})$	
モーメントマグニチュード	7.1	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$	
(気象庁マグニチュード)	(7.3)	$(M_j = (\log L + 2.9) / 0.6 \text{ (松田 (1975))})$	
平均応力降下量	4.3MPa	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^3$	
剛性率	3.43E+10N/m <sup>2</sup>	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.8 \text{g/cm}^3$ ; 防災科研(2005)に基づき設定	
平均すべり量	166.1cm	$D = M_0 / (\mu S)$	
S波速度	3.5km/s	$\beta = 3.5 \text{km/s}$ ; 防災科研(2005)に基づき設定	
破壊伝播速度	2.5km/s	$V_b = 0.72 \times \beta \text{ km/s}$ (Geller(1976))	
破壊伝播様式	破壊開始点から同心円状	地震調査委員会(2017)に基づき設定	
破壊開始点	アスベリティ下端中央 (破壊開始点1)	破壊の進行方向が敷地へ向かうように破壊開始点を設定	
	アスベリティ下端端部 (破壊開始点2)		
	巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3)		
	巨視的断層面下端端部 (破壊開始点4)		
短周期レベル	2.06E+19N・m/s <sup>2</sup>	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2017)に基づき設定	
アスベリティ	位置	敷地に近い位置の地表付近	地質調査結果に基づき想定した断層の範囲で、敷地に近い位置の地表付近に設定
	数	1個	1セグメントに1個設定
	総面積	352.0km <sup>2</sup>	$S_a = \pi r^2, r = 7 \pi / 4 \times M_0 / \text{AR} \times \beta^2, R = (S / \pi)^{0.5}$
	平均すべり量	332.1cm	$D_a = \gamma_D \times D$
	地震モーメント	4.01E+19N・m	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
背景領域	応力降下量	12.6MPa	$\Delta \sigma_a = 7 / 16 \times M_{0a} / (r^2 R)$
	地震モーメント	1.82E+19N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	672.0km <sup>2</sup>	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	79.1cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	実行応力	1.8MPa	$\sigma_a = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_b) r \times \Sigma \gamma_1^3 \sigma_a$

## 震源モデル図, 断層パラメータ(不確かさ考慮モデル(応力降下量))



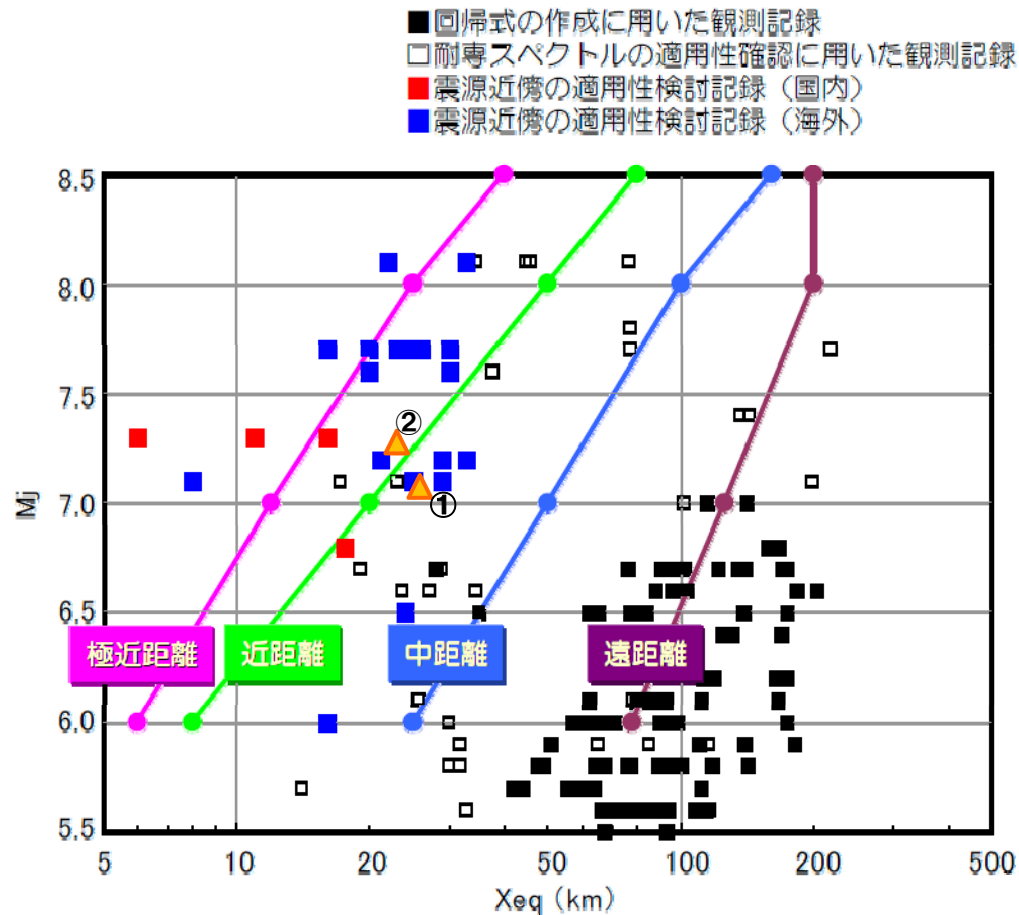
— 想定した断層範囲

不確かさ考慮モデル  
(応力降下量)  
震源モデル図は基本震源モデルと同様

項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 43.124° 東経 140.273°	積丹半島北西沖の断層両端より均等に延長して定めたモデル地表トレス南端	
走向	N0° E	断層南端～北端	
傾斜角	45°	地震調査委員会(2017)を参考に45°と設定	
断層長さ	22.6km	L=Wと設定	
断層幅	22.6km	断層上下端深さと傾斜角より設定	
断層面積	510.8km <sup>2</sup>	S=L×W	
断層上端深さ	2km	調査結果等を踏まえて設定	
断層下端深さ	18km	調査結果等を参考に設定	
地震モーメント	1.45E+19N・m	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^2$ (入倉・三宅(2001))	
モーメントマグニチュード	6.7	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$	
(気象庁マグニチュード)	(7.1)	$(M_j = (\log L + 2.9) / 0.6)$ (松田(1975))	
平均応力降下量	3.1MPa	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^3$	
剛性率	3.43E+10N/m <sup>2</sup>	$\mu = \rho \beta^2$ , $\rho = 2.8\text{g/cm}^3$ ; 防災科研(2005)に基づき設定	
平均すべり量	82.8cm	$D = M_0 / (\mu S)$	
S波速度	3.5km/s	$\beta = 3.5\text{km/s}$ ; 防災科研(2005)に基づき設定	
破壊伝播速度	2.5km/s	$V_b = 0.72 \times \beta \text{ km/s}$ (Geller(1976))	
破壊伝播様式	破壊開始点から同心円状	地震調査委員会(2017)に基づき設定	
破壊開始点	アスベリティ下端中央 (破壊開始点1)	破壊の進行方向が敷地へ向かうように破壊開始点を設定	
	アスベリティ下端端部 (破壊開始点2)		
	巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3)		
	巨視的断層面下端端部 (破壊開始点4)		
短周期レベル	1.29E+19N・m/s <sup>2</sup>	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2017)に基づき設定	
アスベリティ	位置	敷地に近い位置の地表付近	地質調査結果に基づき想定した断層の範囲で、敷地に近い位置の地表付近に設定
	数	1個	1セグメントに1個設定
	総面積	110.4km <sup>2</sup>	$S_a = \pi r^2$ , $r = 7\pi / 4 \times M_0 / AR \times \beta^2$ , $R = (S / \pi)^{0.5}$
	平均すべり量	165.7cm	$D_a = \gamma_D \times D$
	地震モーメント	6.28E+18N・m	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
応力降下量	21.2MPa	$\Delta \sigma_a = 1.5 \times 7 / 16 \times M_0 / (r^2 R)$	
背景領域	地震モーメント	8.24E+18N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	400.3km <sup>2</sup>	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	60.0cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	実効応力	3.6MPa	$\sigma_a = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_b) r \times \Sigma \gamma_1^3 \sigma_a$

## Noda et al. (2002) の適用性の検討

○積丹半島北西沖の断層による地震について、Noda et al. (2002) による方法の適用性を検討した結果、適用範囲内にあることを確認した。

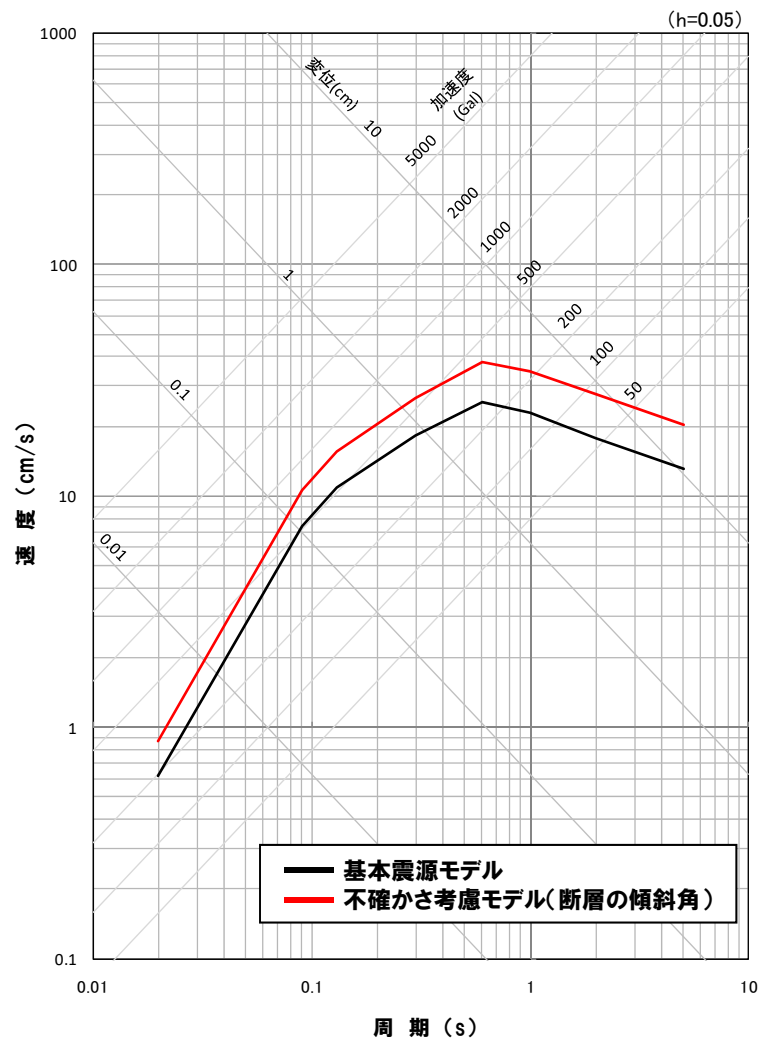


Noda et al. (2002) による方法の適用性(東京電力(2009)に加筆)

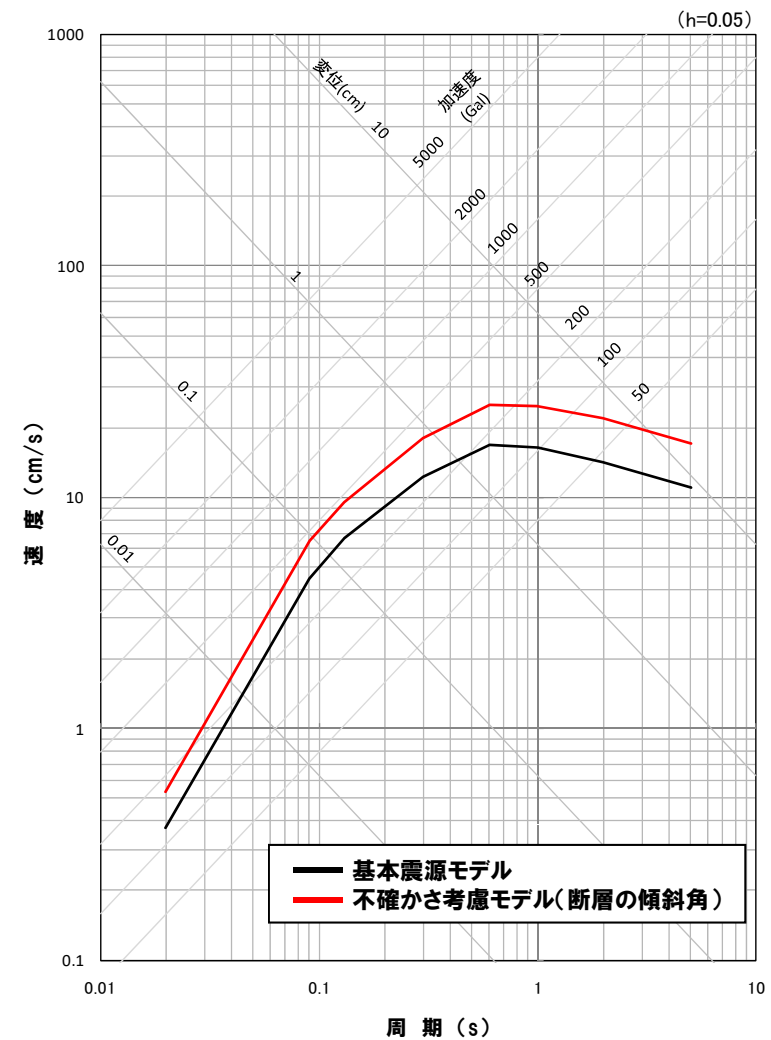
## ▲ 積丹半島北西沖の断層による地震

- ① 積丹半島北西沖の断層による地震  
(基本震源モデル( $M7.1$ ,  $X_{eq}=26\text{km}$ ))
- ② 積丹半島北西沖の断層による地震  
(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角)  
( $M7.3$ ,  $X_{eq}=23\text{km}$ ))

### 応答スペクトルに基づく地震動評価結果

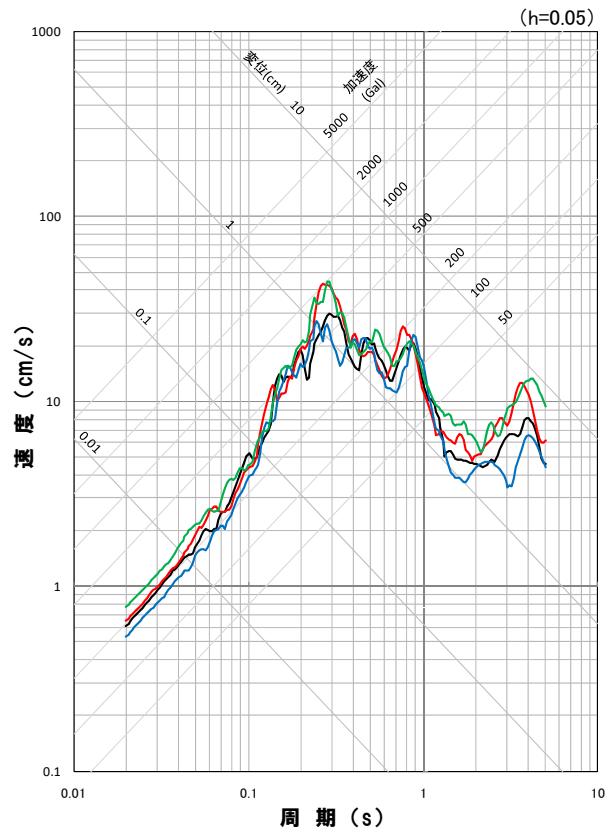


応答スペクトル図(水平方向)

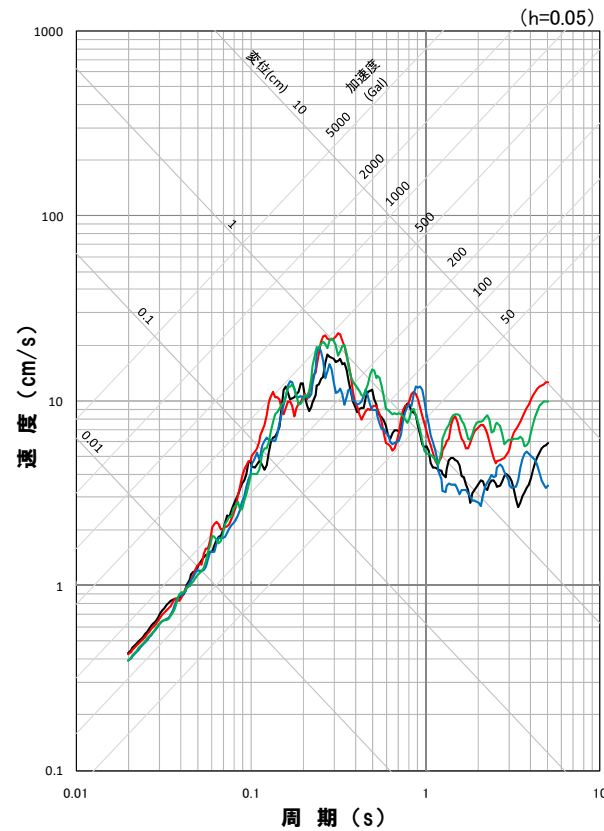


応答スペクトル図(鉛直方向)

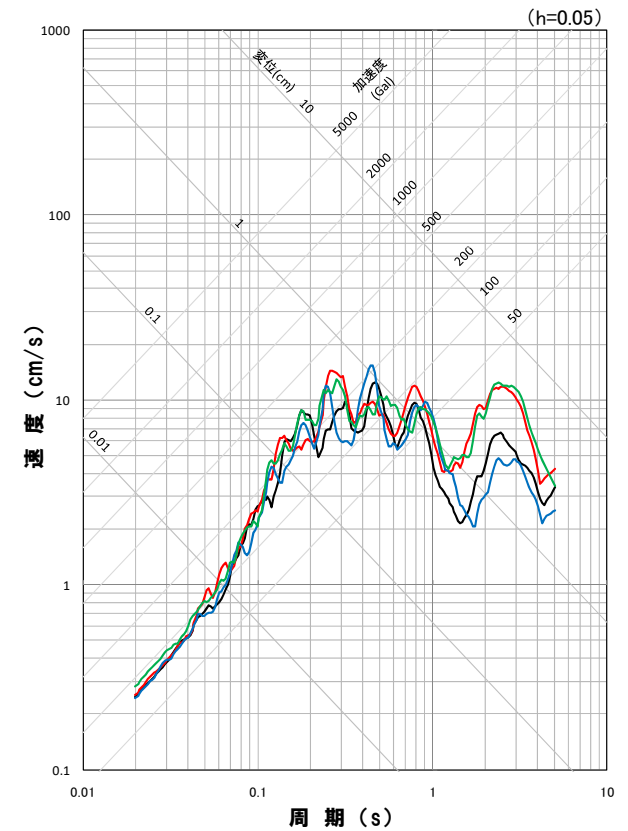
### 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (基本震源モデル)



応答スペクトル図(NS方向)



応答スペクトル図(EW方向)



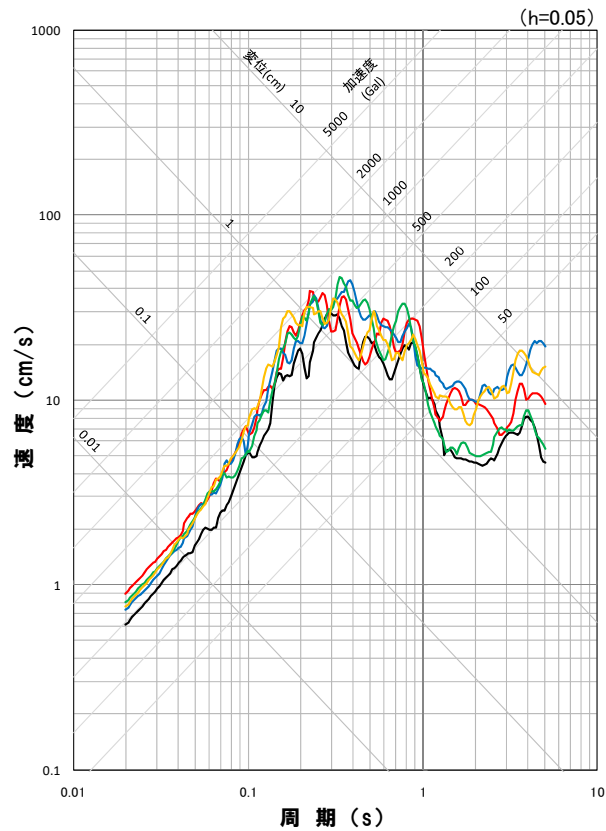
応答スペクトル図(UD方向)

#### 地震動評価結果

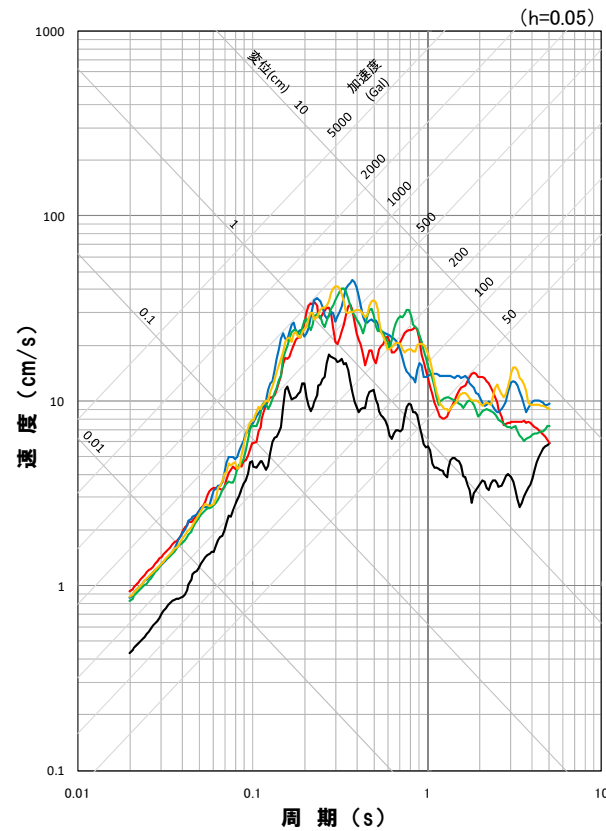
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 基本震源モデル,破壊開始点2
- 基本震源モデル,破壊開始点3
- 基本震源モデル,破壊開始点4

※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

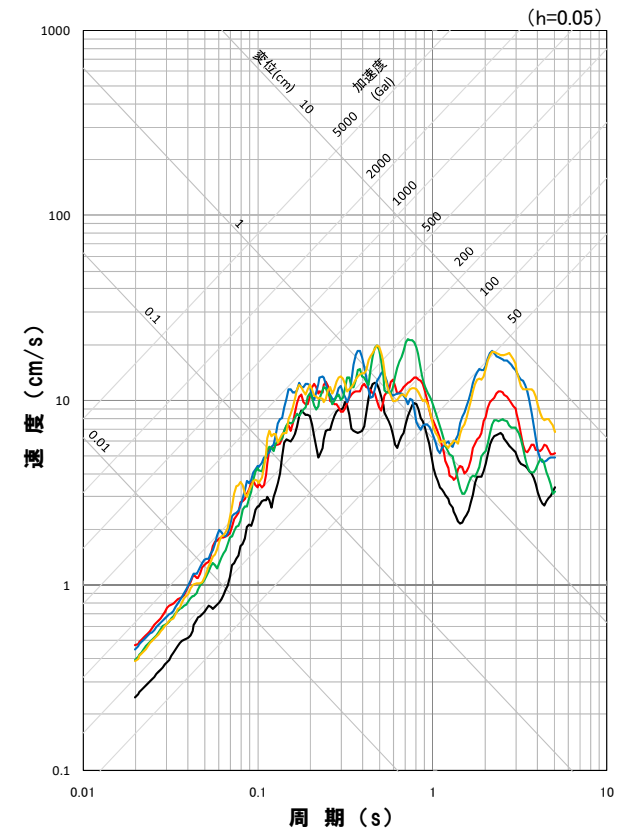
### 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))



応答スペクトル図(NS方向)



応答スペクトル図(EW方向)



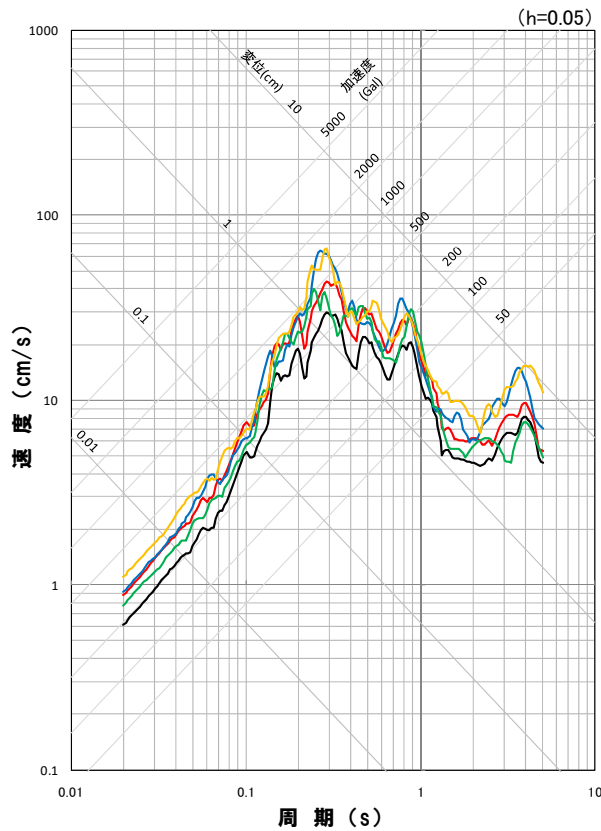
応答スペクトル図(UD方向)

#### 地震動評価結果

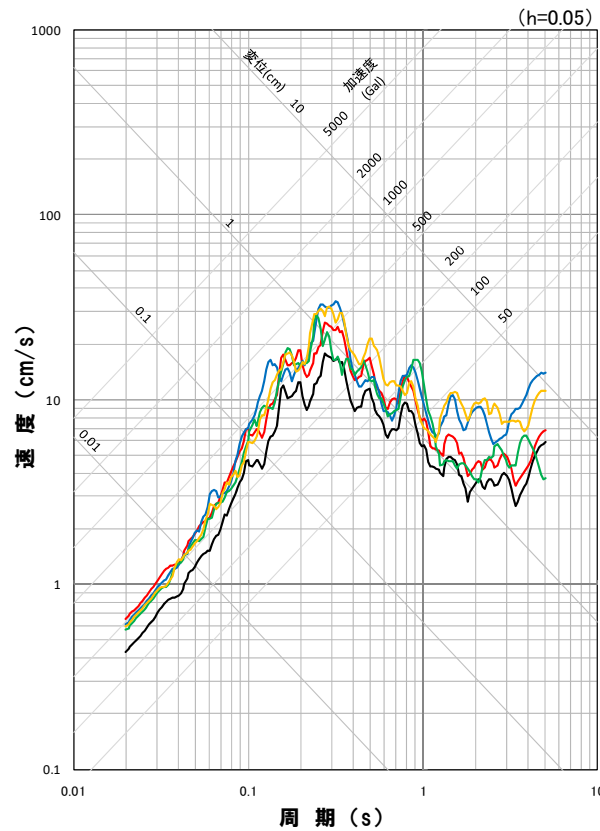
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4

※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

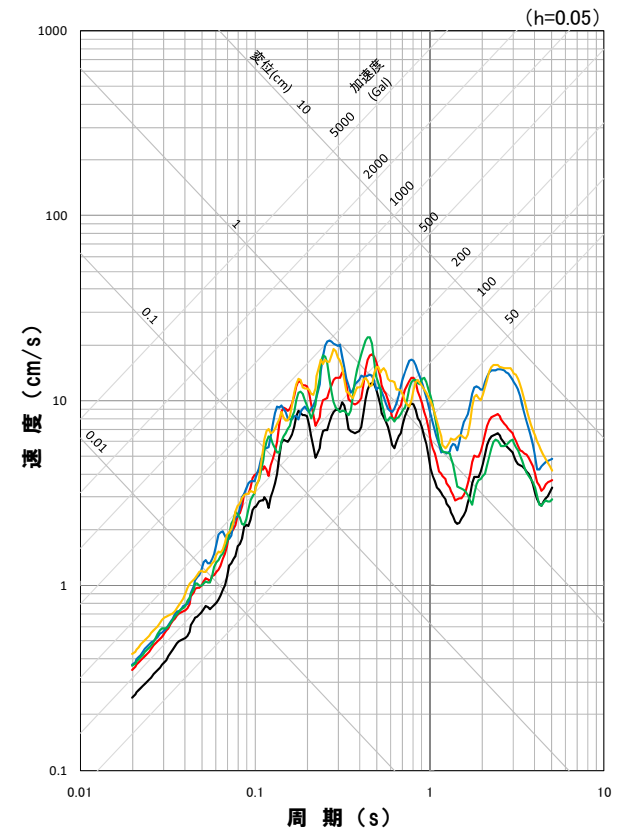
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果  
(不確かさ考慮モデル(応力降下量))



応答スペクトル図(NS方向)



応答スペクトル図(EW方向)



応答スペクトル図(UD方向)

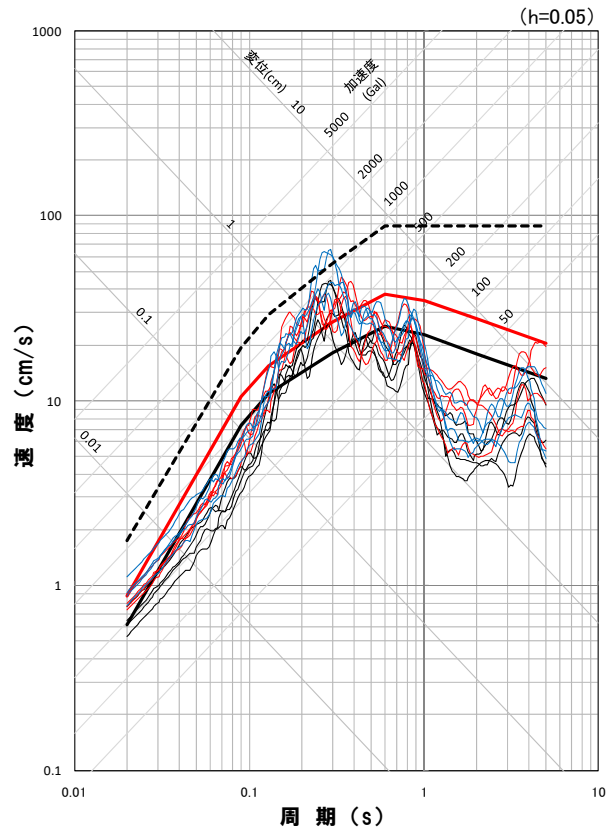
- 地震動評価結果**
- 基本震源モデル,破壊開始点1
  - 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点1
  - 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点2
  - 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点3
  - 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点4

※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

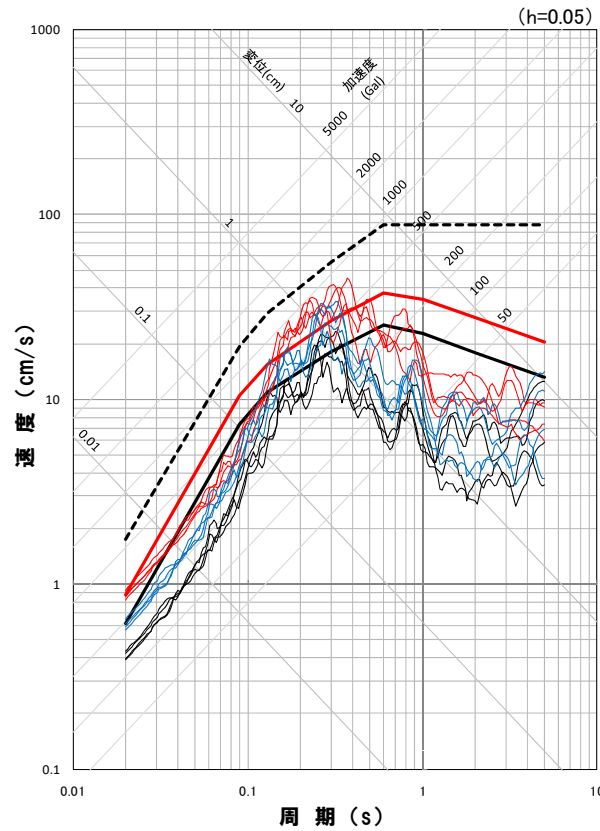


## 地震動評価結果 まとめ

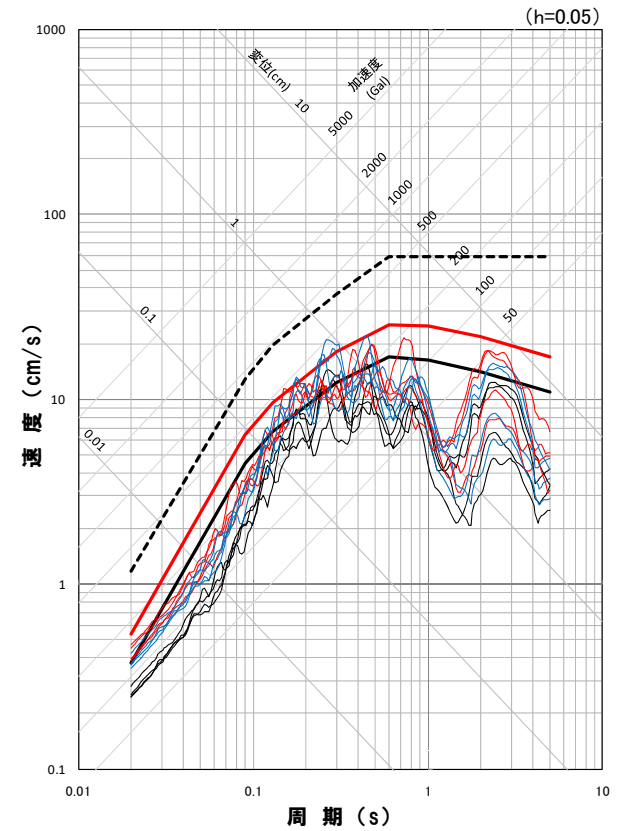
○積丹半島北西沖の断層による地震について地震動を評価した結果、2ケースの一部の周期帯で基準地震動Ss1を上回る。



応答スペクトル図(NS方向)



応答スペクトル図(EW方向)



応答スペクトル図(UD方向)

- 地震動評価結果**
- 基本震源モデル
  - 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角)
  - 不確かさ考慮モデル(応力降下量)
  - 基準地震動Ss1

※太線は応答スペクトルに基づく地震動評価結果



- 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 Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering,Oct.16-18,Istanbul,399-408
- K.Dan, T.Watanabe and T.Tanaka(1989):a SEMI-EMPIRICAL METHOD TO SYNTHESIZE EARTHQUAKE GROUND MOTIONS BASED ON APPROXIMATE FAR-FIELD SHEAR-WAVE DISPLACEMENT,Journal Of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ),No.396,27-36
- 地震調査委員会(2014):「全国地震動予測地図2014年版～全国の地震動ハザードを概観して～」, 地震調査研究推進本部
- 大久保泰邦(1984):全国のキュリー点解析結果, 地質ニュース, 362-10, 12-17
- 独立行政法人 防災科学技術研究所(2005):石狩低地東縁断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料 第283号
- 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯, 第28巻, 269-283
- 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110, 849-875
- 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001):断層の非一様すべり破壊モデルから算出される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 545, 51-62
- 中村洋光・宮武隆(2000):断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, 地震, 第2輯, 第53巻, 1-9
- David M.Boore(1983):Stochastic Simulation of High-Frequency Ground Motions based on Seismological Models of the Radiated Spectra. Bulletin of Seismological Society of America, Vol.73
- 地震調査委員会(2017):「全国地震動予測地図2017年版」, 地震調査研究推進本部
- Geller, R.J.(1976):Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes,Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 1501-1523
- 東京電力株式会社(2009):「第1-2号 耐震スペクトルの適用性検討」『原子力安全委員会「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会』