

4.2 地震発生層の設定

地震発生層の設定(内陸地殻内地震)

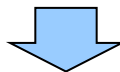
- 地震発生層の設定にあたっては、敷地周辺で実施した弾性波探査結果、微小地震分布等を総合的に判断して設定する。

- 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

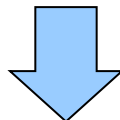
- 地震調査委員会(2009) ※黒松内低地断層帯の評価を参照
地震発生層上端深さ : 2km
地震発生層下端深さ : 15km

- 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



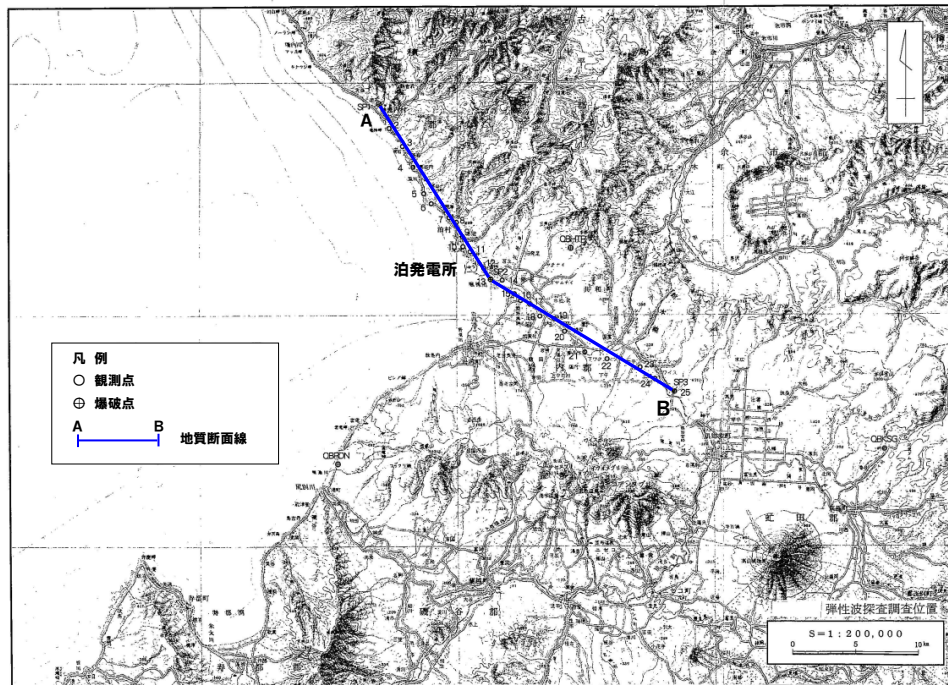
※地震動評価において、既往の評価では上端深さ2.2km, 下端深さ18kmと設定していたが、地震調査委員会(2009)を踏まえ、安全側に設定

- 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)

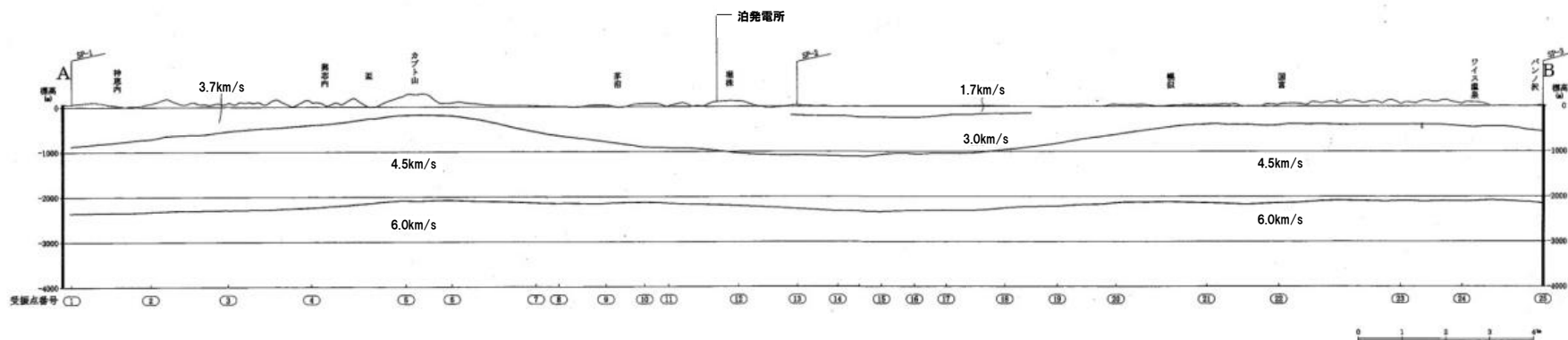
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.2 地震発生層の設定

敷地周辺で実施した弾性波探査結果

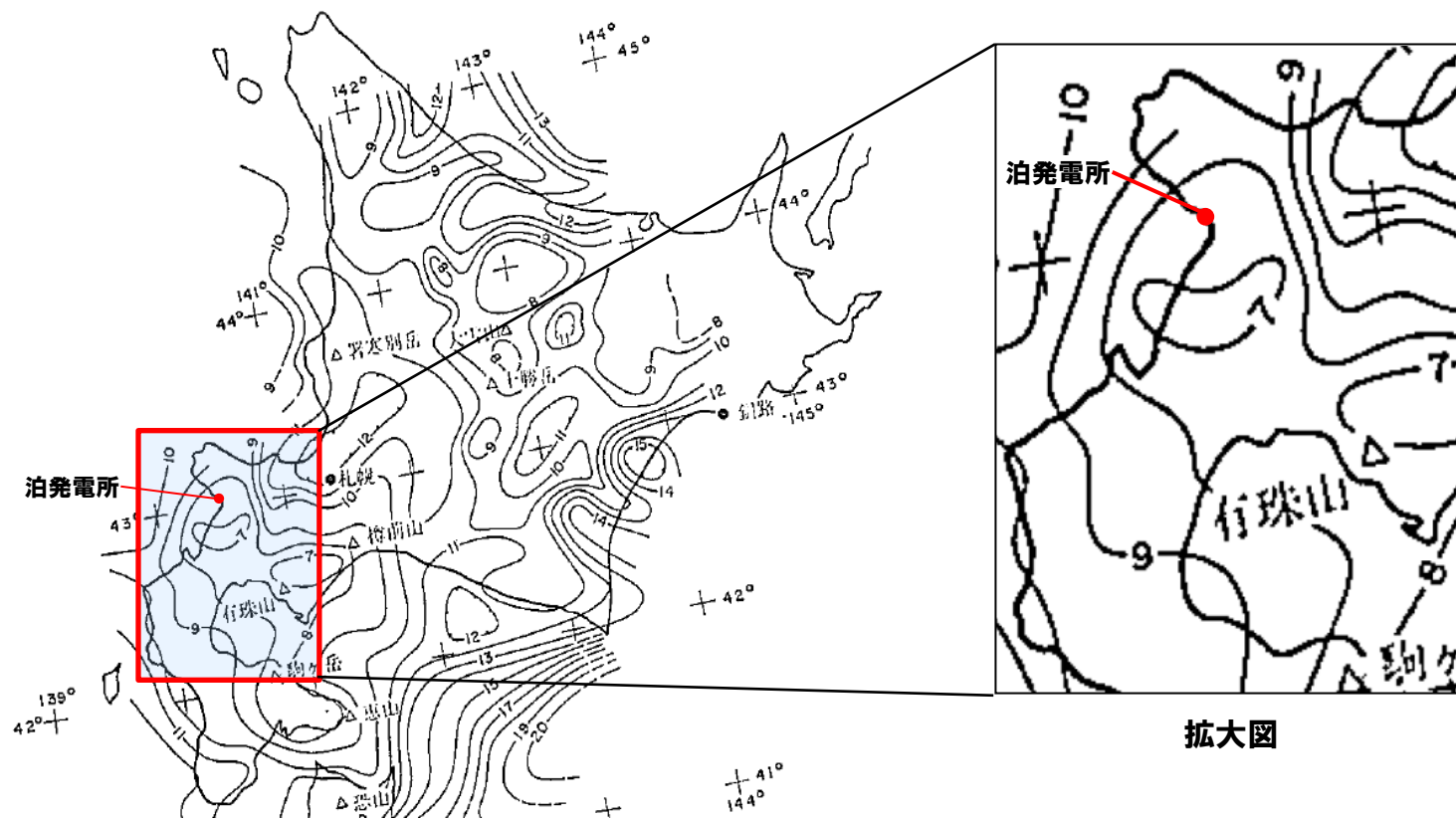


●地震基盤とみなせる層の上端深さ
 標高-2200mで地震基盤とみなせるP波速度
 6km/s(S波速度3.7km/s相当)の層に到達



4.2 地震発生層の設定

キュリー点深度分布(大久保(1984)より抜粋)



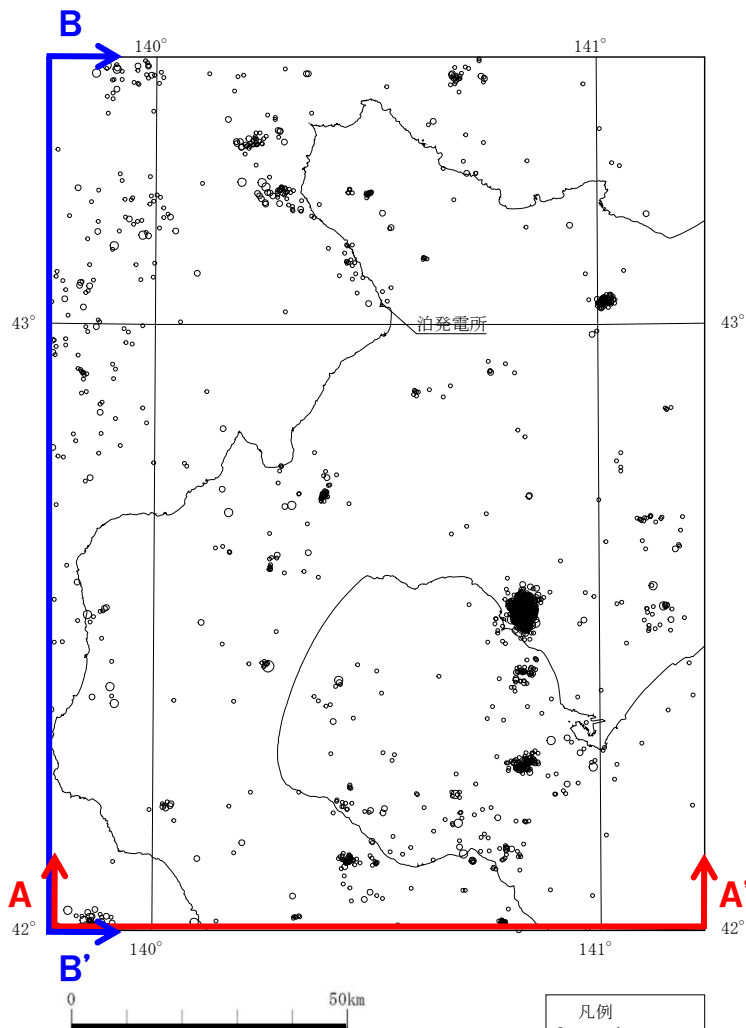
キュリー点震度分布(大久保(1984)に一部加筆)

- 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

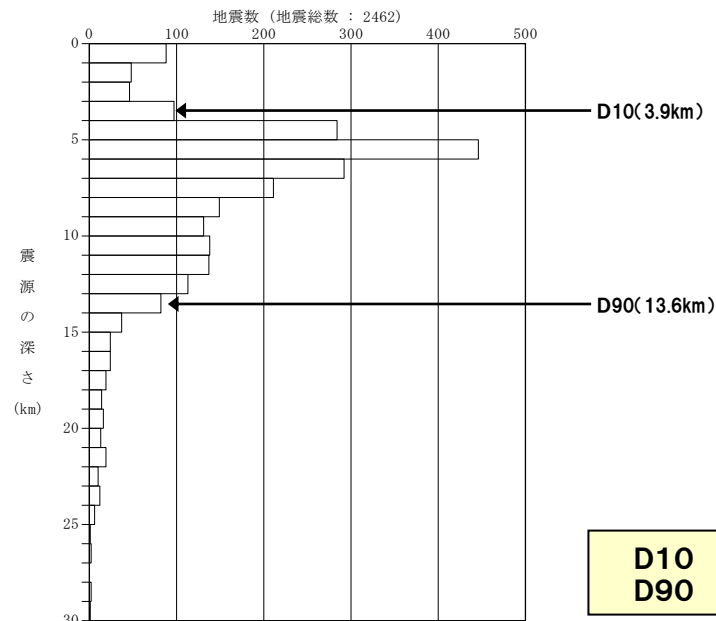
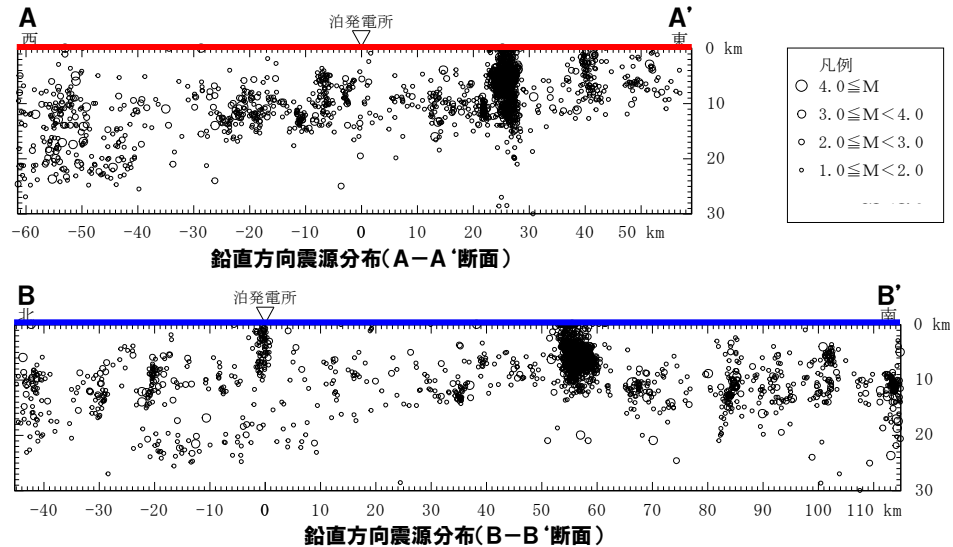
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.2 地震発生層の設定

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及び震源鉛直分布
(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]

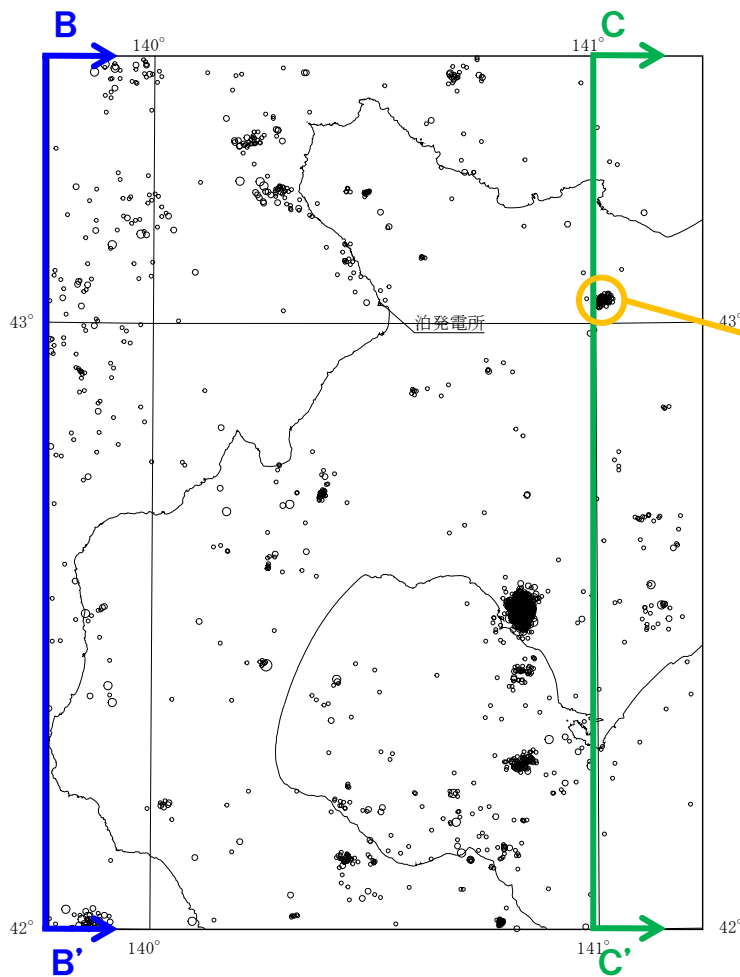


D10 3.9km
D90 13.6km

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

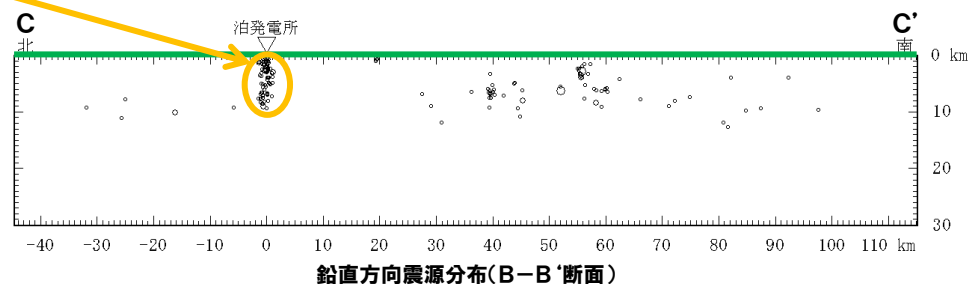
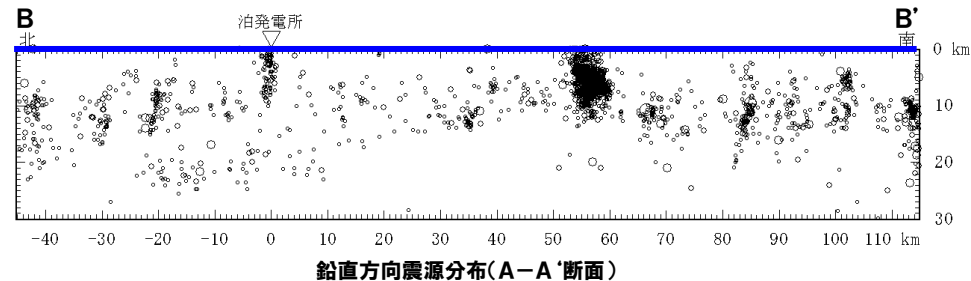
4.2 地震発生層の設定

【参考】敷地周辺における微小地震分布



気象庁で観測された地震の震央分布及び震源鉛直分布
 (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
 \bigcirc $4.0 \leq M$
 \circ $3.0 \leq M < 4.0$
 \odot $2.0 \leq M < 3.0$
 \bullet $1.0 \leq M < 2.0$



凡例
 \bigcirc $4.0 \leq M$
 \circ $3.0 \leq M < 4.0$
 \odot $2.0 \leq M < 3.0$
 \bullet $1.0 \leq M < 2.0$

● 泊発電所敷地直下において、地震が多く発生している状況ではない。

4.3 検討用地震の地震動評価

検討用地震の地震動評価手法

検討用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」及び「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及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。
- 内陸地殻内地震については、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。
- 日本海東縁部の地震については、観測記録を基にNoda et al.(2002)による応答スペクトルに対する比率を求め、日本海東縁部の地震の補正係数として用いる。
- 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(壇・佐藤(1998))、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。
- 3章にて示した地下構造モデルを用いて評価する。

※「尻別川断層による地震」及び「 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震」については、評価地点の近傍で発生した地震が観測されていない。また、「 F_B-2 断層による地震」については、評価地点の近傍で発生した地震の観測記録について、要素地震として適切な観測記録ではないことを確認しているものの、 F_B-2 断層の位置する日本海東縁部で発生した1993年北海道南西沖地震及びその余震について、敷地で地震観測記録が得られていることから、審査会合でのコメントを踏まえ、地震規模等を再度確認した上で、この地震観測記録を要素地震とする経験的グリーン関数法を用いた地震動評価を実施する。

4.3 検討用地震の地震動評価

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
- ② 応力降下量
- ③ 破壊伝播速度*

} 認識論的不確かさに分類されるもので、
事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの

- ④ アスペリティの位置
- ⑤ 破壊開始点

} 偶然的な不確かさに分類されるもので、
事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの

※破壊伝播速度は、断層長さが長い断層の地震動評価において影響が大きいと考えられることから、「F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震」、「F_B-2断層による地震」の地震動評価において、不確かさを考慮する。



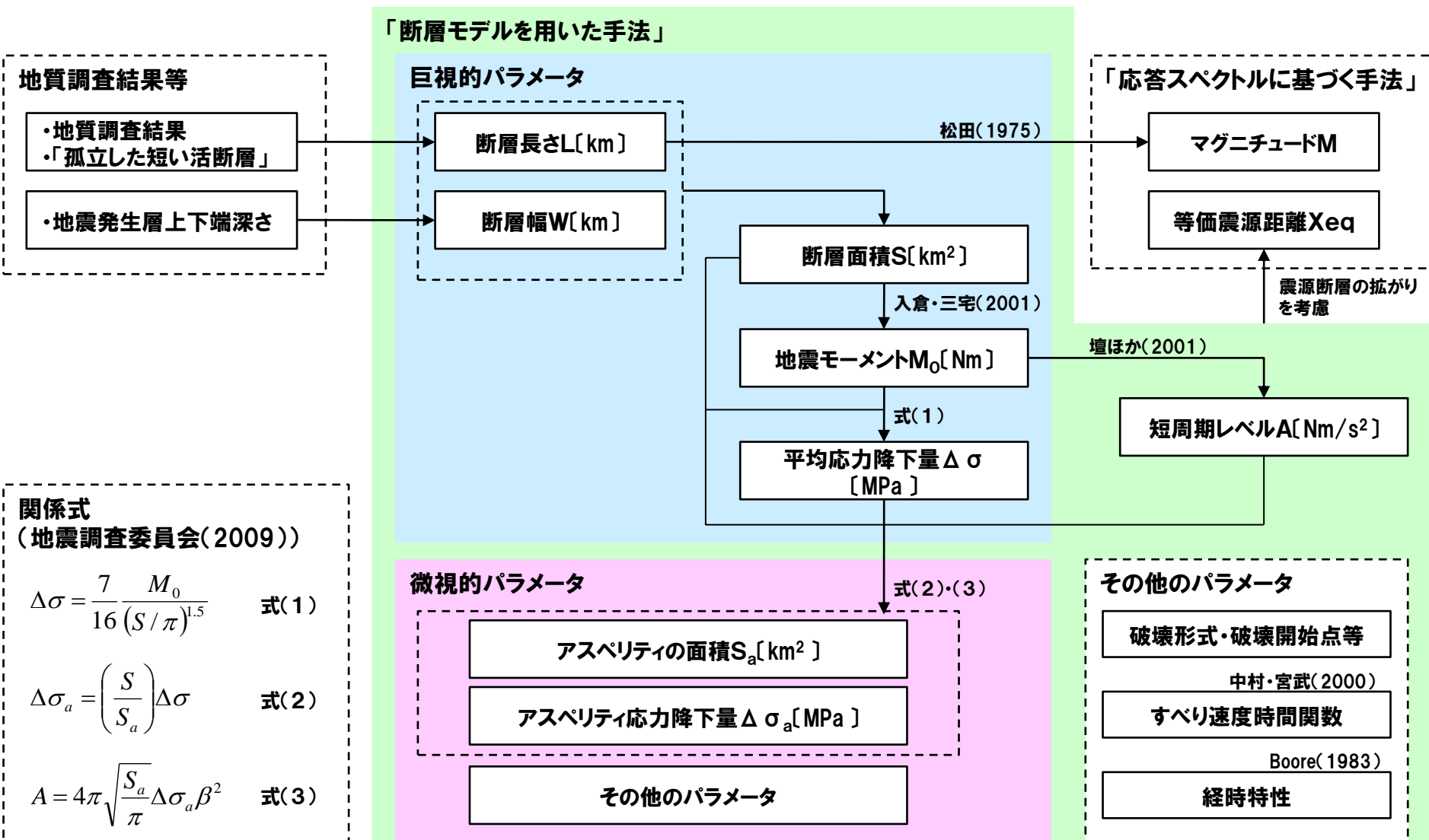
●不確かさの重畳について

- 「事前の詳細な調査や経験式などに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などにに基づき設定できるもの」と重畳させて考慮する。

4.3 検討用地震の地震動評価

(尻別川断層による地震)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



4.3 検討用地震の地震動評価

(尻別川断層による地震)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
断層長さ	地質調査結果により断層長さは16km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 <u>32.0km</u> 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 <u>22.6km</u> 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 <u>32.0km</u> を考慮。
断層の傾斜角	当社及び他機関の地質調査結果を踏まえた黒松内低地断層帯の傾斜角から60°程度と想定されるが、地震調査委員会(2009)を踏まえ <u>45°</u> と設定。	地震規模(地震モーメント)が大きくなるように <u>30°</u> と設定。
アスペリティの位置, 数	地質調査結果に基づき評価した断層長さ16km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評価した活断層の範囲内で、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(2009)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、安全評価上、2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、地震調査委員会(2009)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。

※ 下線部は、既往の評価(泊発電所発電用原子炉設置変更許可申請書:平成25年7月8日申請)からの変更箇所

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(尻別川断層による地震)傾斜角の設定

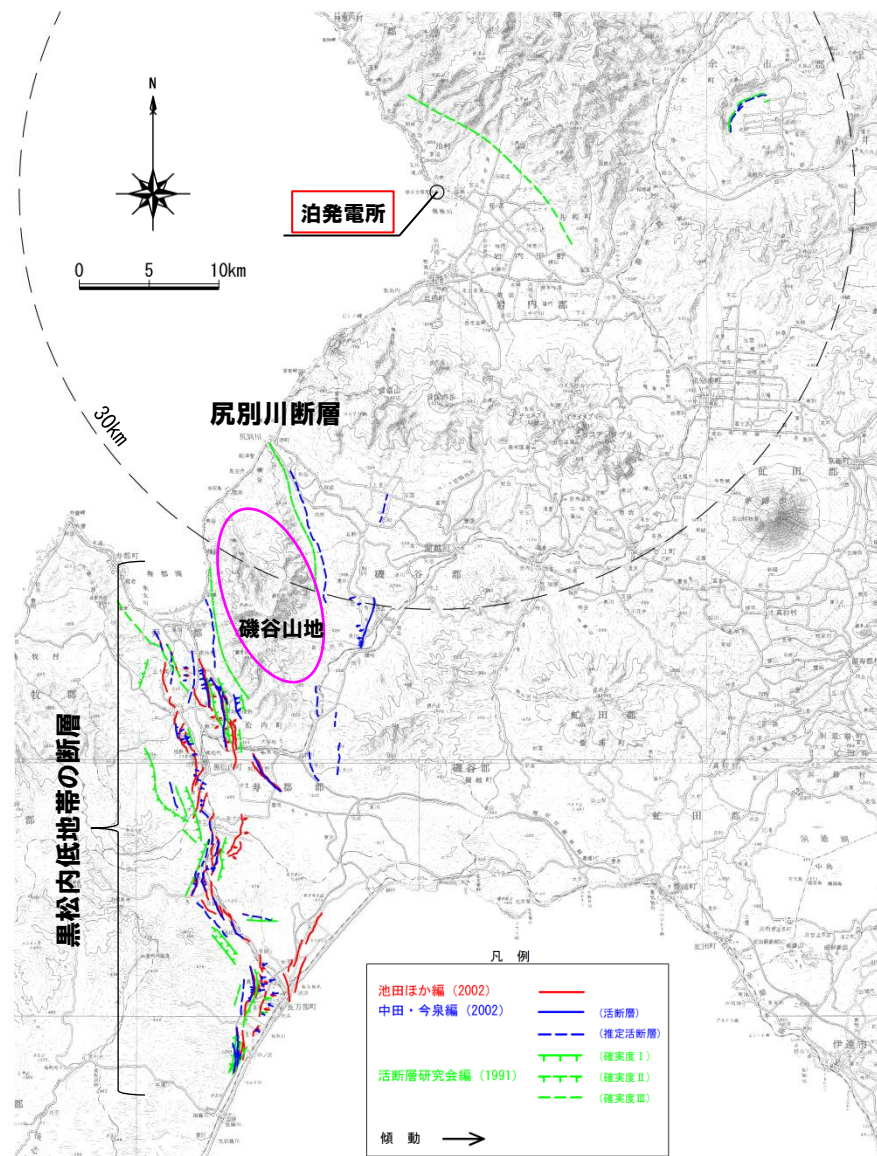
- 尻別川断層の断層モデルにおける傾斜角は、近接する黒松内低地帯の断層の特徴等を踏まえて設定した。
- 尻別川断層は、NNW-SSE走向で西側隆起の逆断層と推定される。
- 黒松内低地帯の断層は、N-S走向及びNW-SE走向で西側隆起の逆断層とされている。
- 両断層は、磯谷山地を挟み、比較的近接した位置に分布する。
- 両断層が分布する北海道南西部は、太平洋プレートの沈み込みにより東西圧縮の応力場にあるため、そこに分布する活断層は、ほぼ南北の走向を持つ逆断層が多いとされている。
- 当社地表地質踏査結果では、尻別川周辺の地質構造は、新第三系上部中新統の磯谷層及び新第三系鮮新統～第四系下部更新統の尻別川層との地質境界付近に急傾斜構造(約 80°)が認められる。



- 尻別川断層は、黒松内低地帯の断層と大局的に走向及び傾斜の向きが同様であること、比較的近接した位置であること、応力場が同様と考えられること及び急傾斜を呈する地質構造が認められることから、黒松内低地帯の断層と同様に傾斜角は比較的高角であると考えられる。
- 以上より、当社の判断として尻別川断層の傾斜角は 60° 程度と想定している。



- しかしながら、尻別川断層の傾斜角に関する直接的な知見がないことを踏まえ、安全側の判断として、地震調査委員会(2009)において、逆断層で一般的に想定される 45° と設定する。



敷地周辺陸域の文献断層分布図

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

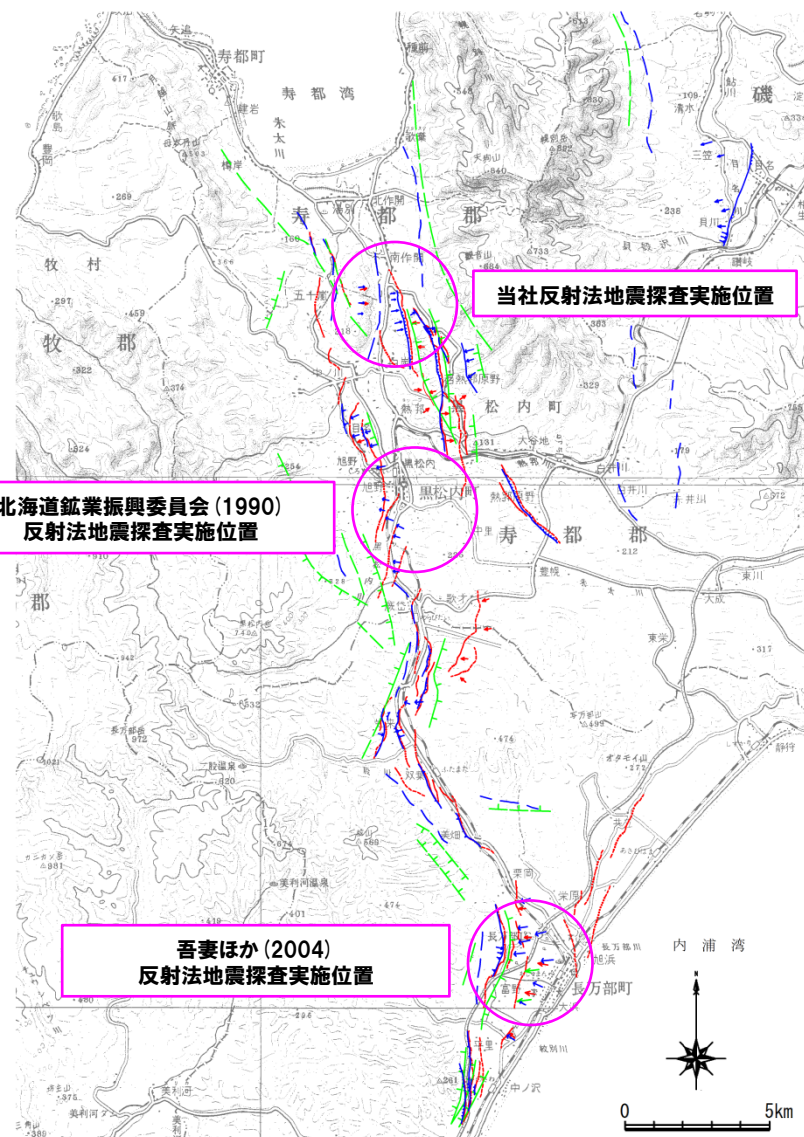
4.3 検討用地震の地震動評価

【参考】黒松内低地帯の断層の傾斜角

- 黒松内低地帯の断層の断層モデルにおける傾斜角は、当社及び他機関の地質調査結果を踏まえて設定した。
- 当社地質調査結果は、黒松内低地帯の断層の北側に位置する白炭断層を横断する反射法地震探査結果に基づき検討した。
- 他機関の地質調査結果は、地下構造を確認するために反射法地震探査を実施している吾妻ほか(2004)及び北海道鉱業振興委員会(1990)に基づき検討した。



- 当社及び他機関の地質調査結果から、黒松内低地帯の断層の傾斜角は比較的高角であると考えられる。



黒松内低地帯の文献断層分布図

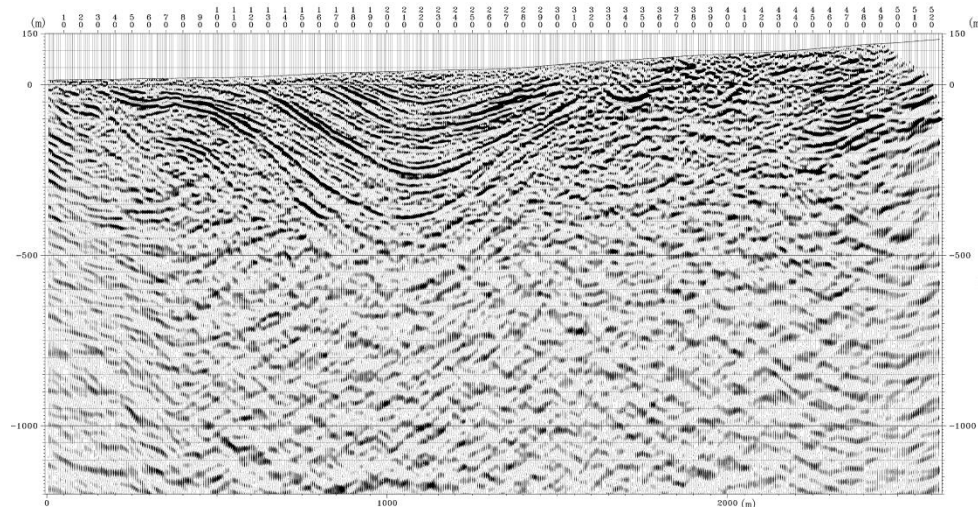
4.3 検討用地震の地震動評価

【参考】当社地質調査結果による検討(反射法地震探査)

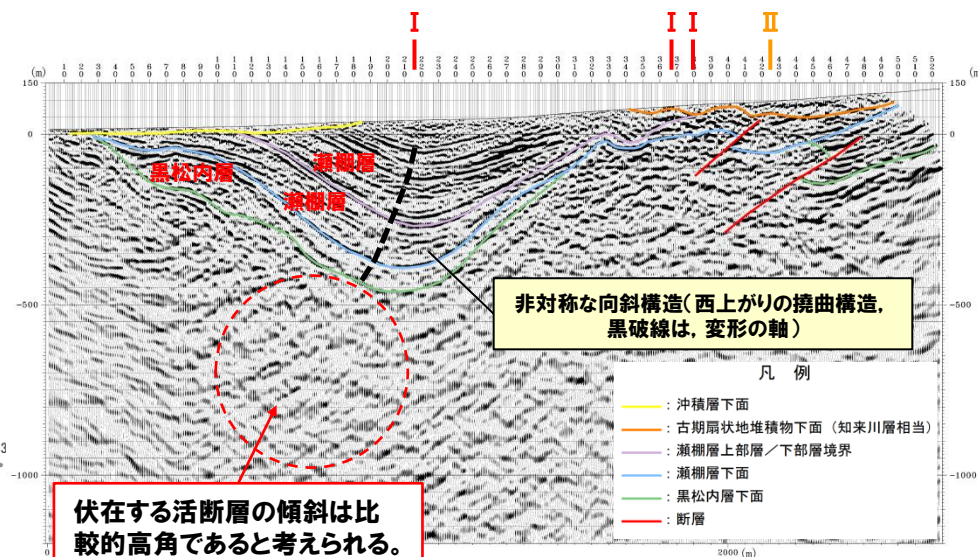
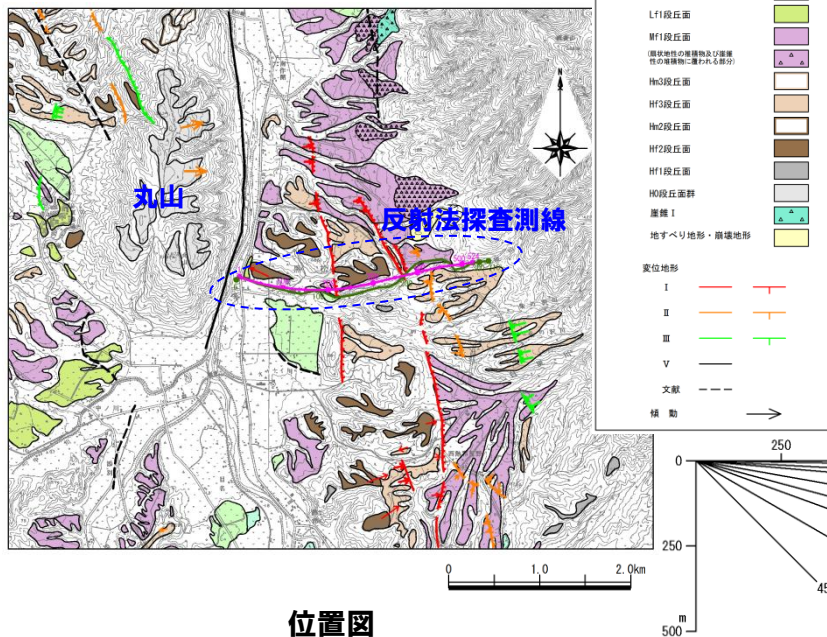
- 黒松内低地帯の断層の北側に位置する白炭断層周辺の丸山東縁から白炭断層を横断する約3kmの区間で反射法地震探査を実施した。
- CMP200付近を軸とする黒松内層及び瀬棚層に非対称な向斜構造(西上がりの撓曲構造)が認められる。
- 白炭断層の主体は、西上がりの撓曲構造と概ね一致する。



- 黒松内低地帯の断層を形成する主要な構造の一部であると考えられる白炭断層の主体は、西上がりの撓曲構造と概ね一致し、伏在する活断層の傾斜は比較的高角であると考えられる。



反射法地震探査記録

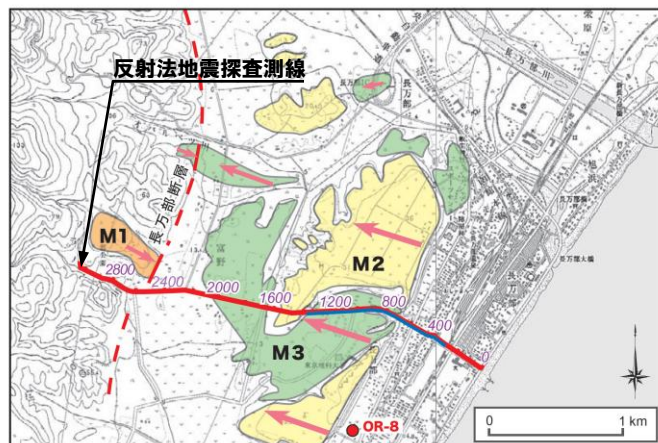


4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

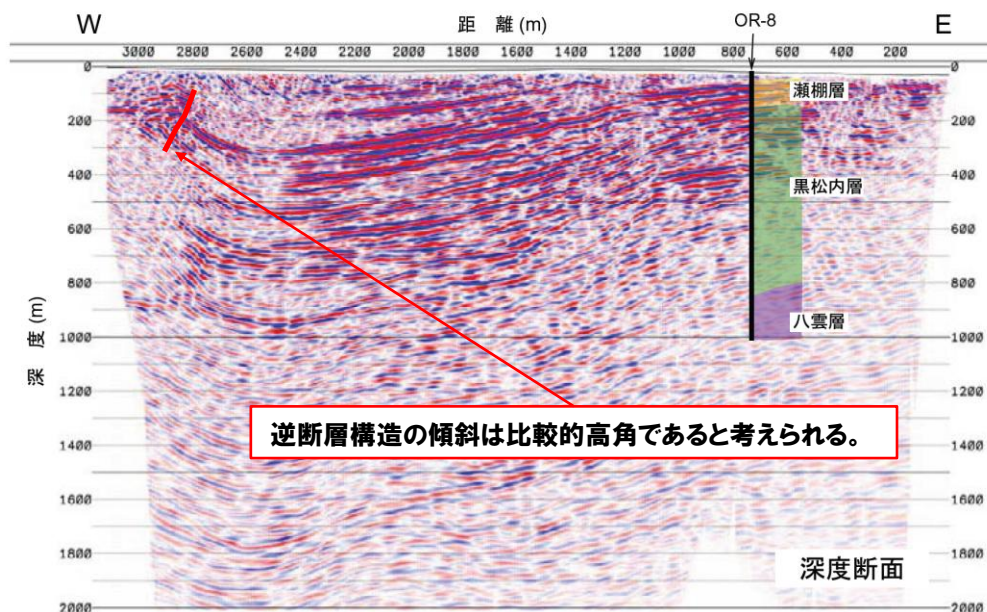
4.3 検討用地震の地震動評価

【参考】他機関の地質調査結果による検討(吾妻ほか, 2004)

- 吾妻ほか(2004)では、黒松内低地帯の断層の南側に位置する長万部地区において、長万部断層及びそれよりも海側の地下構造を明らかにするために、反射法地震探査を実施している。
- 反射断面には、山地と低地との境界付近に向斜軸が、海岸線付近に背斜軸が位置する褶曲構造が認められるとされている。
- 距離2,800mよりも西側の深度200m付近には、長万部断層と思われる逆断層構造が不明瞭ながら確認できるとされている。



長万部地区における反射法地震探査測線位置
(吾妻ほか(2004)に一部加筆)



マイグレーション処理後の深度変換断面
(吾妻ほか(2004)に一部加筆)

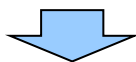
- 長万部断層と思われる逆断層構造の傾斜は、比較的高角であると考えられる。
- また、当社地表地質踏査結果によれば、当該測線周辺に分布する第四系下部～中部更新統の瀬棚層の地質構造にも比較的急傾斜が認められる。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

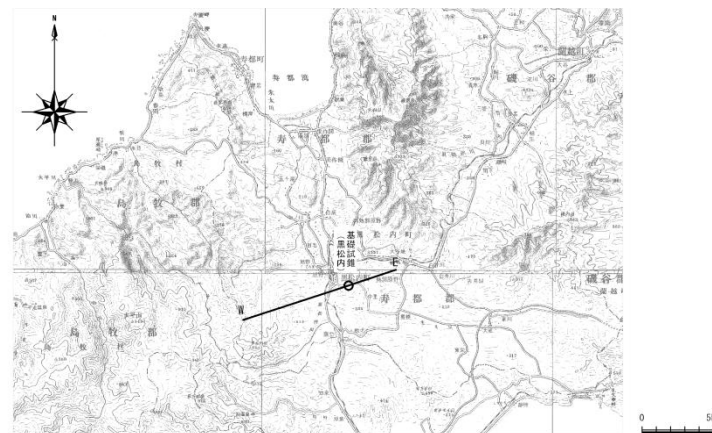
4.3 検討用地震の地震動評価

【参考】他機関の地質調査結果による検討(北海道鉱業振興委員会, 1990)

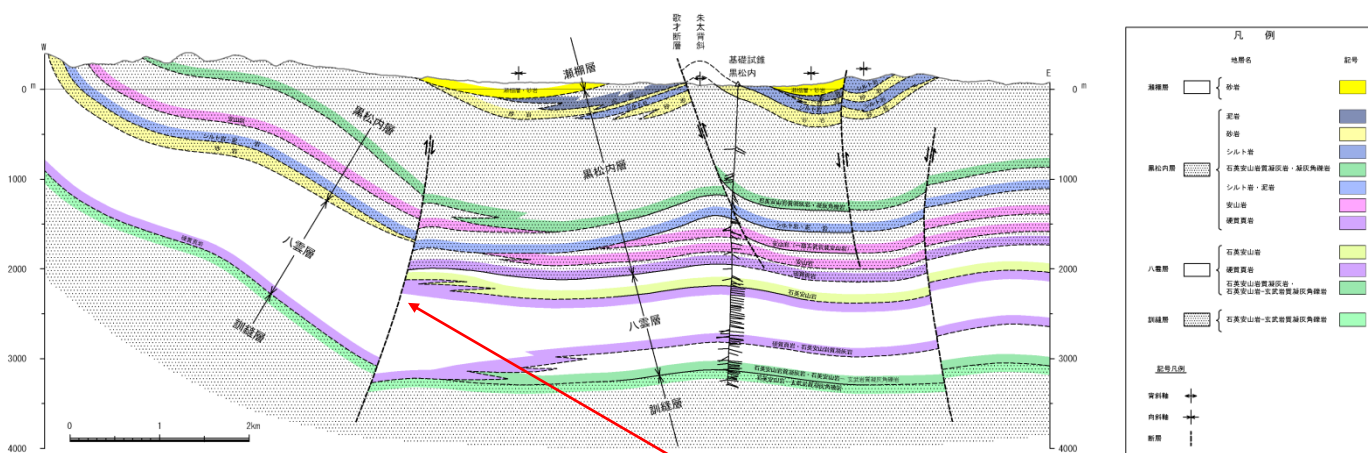
- 北海道鉱業振興委員会(1990)では、黒松内低地帯の断層の中央付近において、反射法地震探査を実施し、地形・地質断面図を作成している。
- 反射法地震探査結果から作成された地形・地質断面図については、池田ほか編(2002)「第四紀逆断層アトラス」において、断層は大局的には低地帯の両側の山地の隆起と低地帯の発達を示し、さらに低地帯の主な丘陵・凹地の形成に係る断層や背斜・向斜をよく表しているとされている。



- 黒松内低地帯の断層の特徴(ほぼ南北に延びる相対的に西側が隆起する逆断層)を呈する断層の傾斜は、比較的高角であると考えられる。



反射法地震探査測線位置



逆断層の傾斜は比較的高角であると考えられる。

地形・地質断面図(北海道鉱業振興委員会(1990)に一部加筆)

4.3 検討用地震の地震動評価

一部加筆修正 (H25.9.11審査会合資料)

(尻別川断層による地震)検討用地震の地震動評価

地震動評価の検討ケース

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)	16	—	—	—	—	—	○地質調査結果により断層長さ16km ○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 ^{※1}	アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○地震調査委員会(2009)などを参考に、 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=28km ^{※2}
					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 ^{※1}	アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○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=34km ^{※2}
					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 ^{※1}	アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2009) ×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

□:全てのケースにおいて共通的に考慮するパラメータ

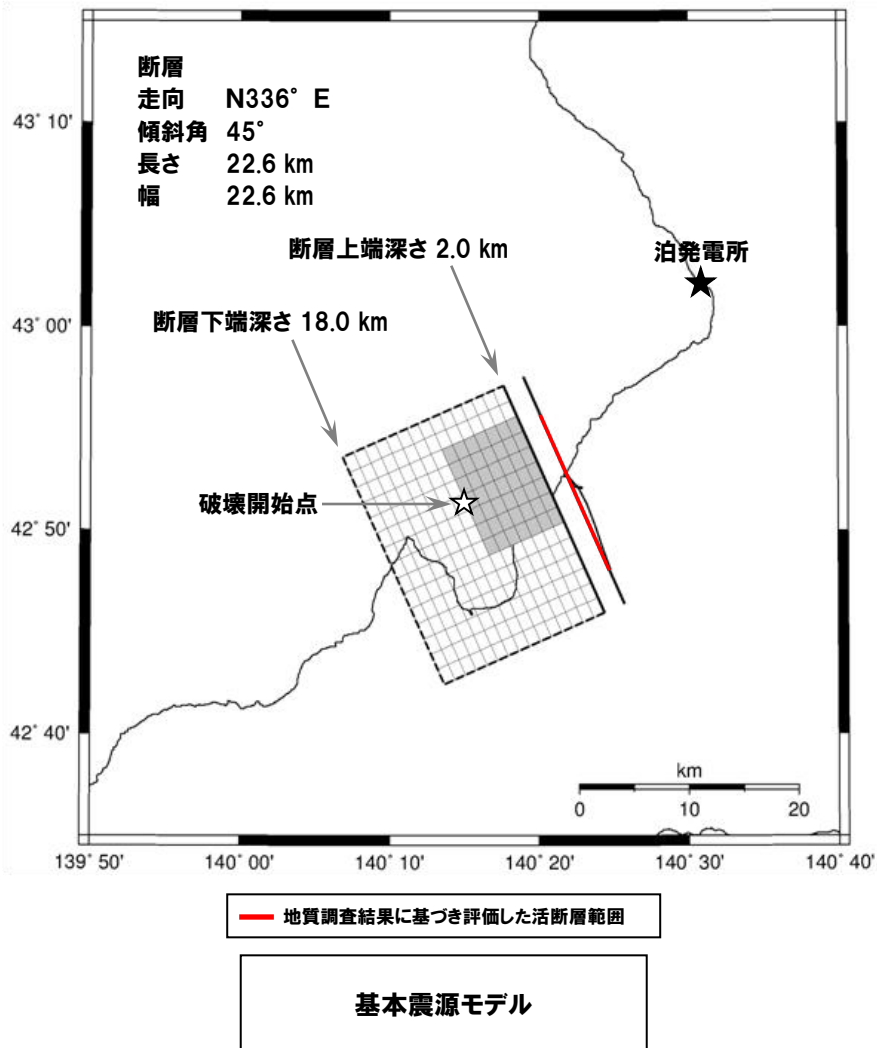
※1 地質調査結果に基づき評価した断層長さ16kmの中央位置が基本と考えているが、安全側の評価として、地質調査結果に基づき評価した活断層の範囲内で、敷地に近い位置の地表付近に1個設定

※2 応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる諸元

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(尻別川断層による地震)震源モデル図, 断層パラメータ(基本震源モデル)

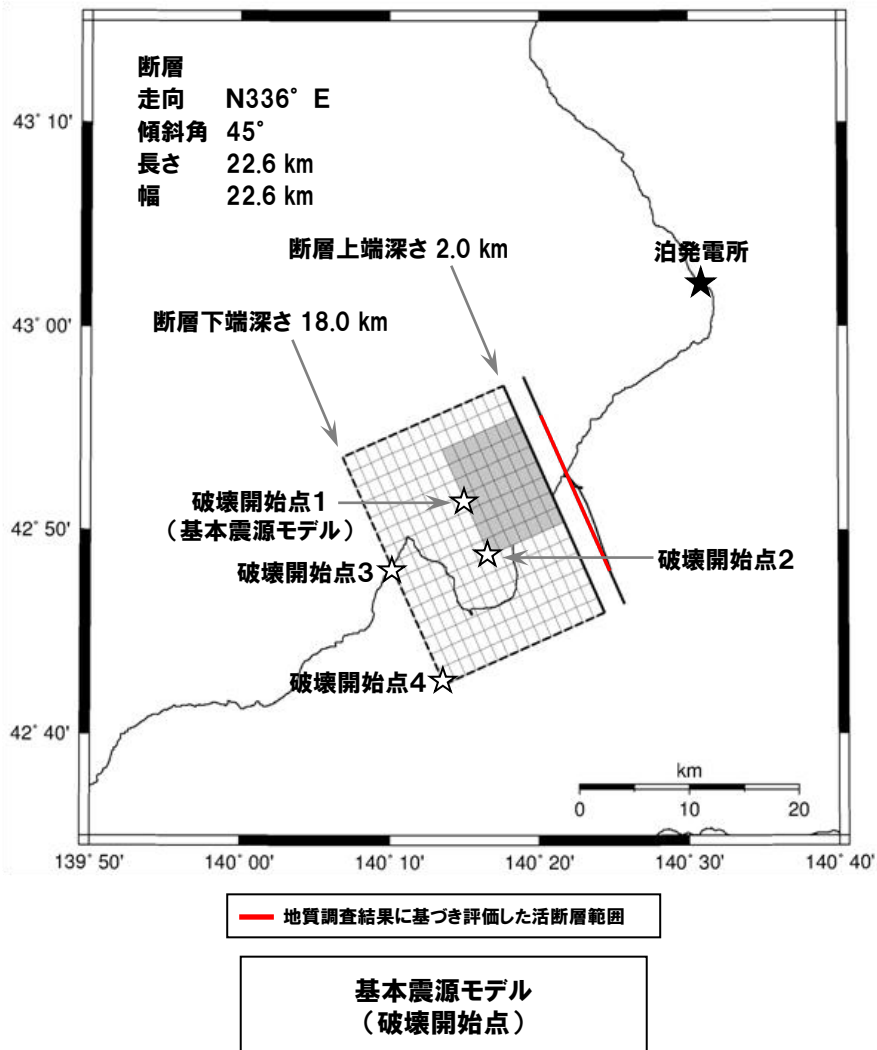


項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 42.773° 東経 140.428°	地質調査結果による尻別川断層両端より均等に延長して定めたモデル地表トレス南端	
走向	N336° E	地質調査結果による断層南端～北端	
傾斜角	45°	地震調査委員会(2009)を参考に45°と設定	
断層長さ	22.6km	L=Wと設定	
断層幅	22.6km	断層上下端深さと傾斜角より設定	
断層面積	510.8km ²	S=L×W	
断層上端深さ	2km	調査結果等を踏まえて設定	
断層下端深さ	18km	調査結果等を参考に設定	
地震モーメント	1.45E+19N・m	$M_0 = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^2$ (入倉・三宅(2001))	
モーメントマグニチュード	6.7	$\log M_0 (N \cdot m) = 1.5 \times M_w + 9.1$	
(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 ²	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.8g/cm^3$: 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	$\beta = 3.5km/s$: 防災科研(2005)に基づき設定	
破壊伝播速度	2.5km/s	$V_R = 0.72 \times \beta km/s$ (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(2009)に基づき設定	
破壊開始点	アスペリティ下端中央	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 ²	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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評価した活断層の範囲で、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 ²	$S_a = \pi r^2$, $r = 7\pi / 4 \times M_0 / AR \times \beta^2$, $R = (S / \pi)^{0.5}$
	平均すべり量	165.7cm	$D_a = Y_a \times D$
	地震モーメント	6.28E+18N・m	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
背景領域	応力降下量	14.2MPa	$\Delta \sigma_a = 7 / 16 \times M_0 / (r^2 R)$
	地震モーメント	8.24E+18N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	400.3km ²	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	60.0cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
応力降下量	2.4MPa	$\sigma_b = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_a) r \times \Sigma \gamma_i^3 \sigma_a$	

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

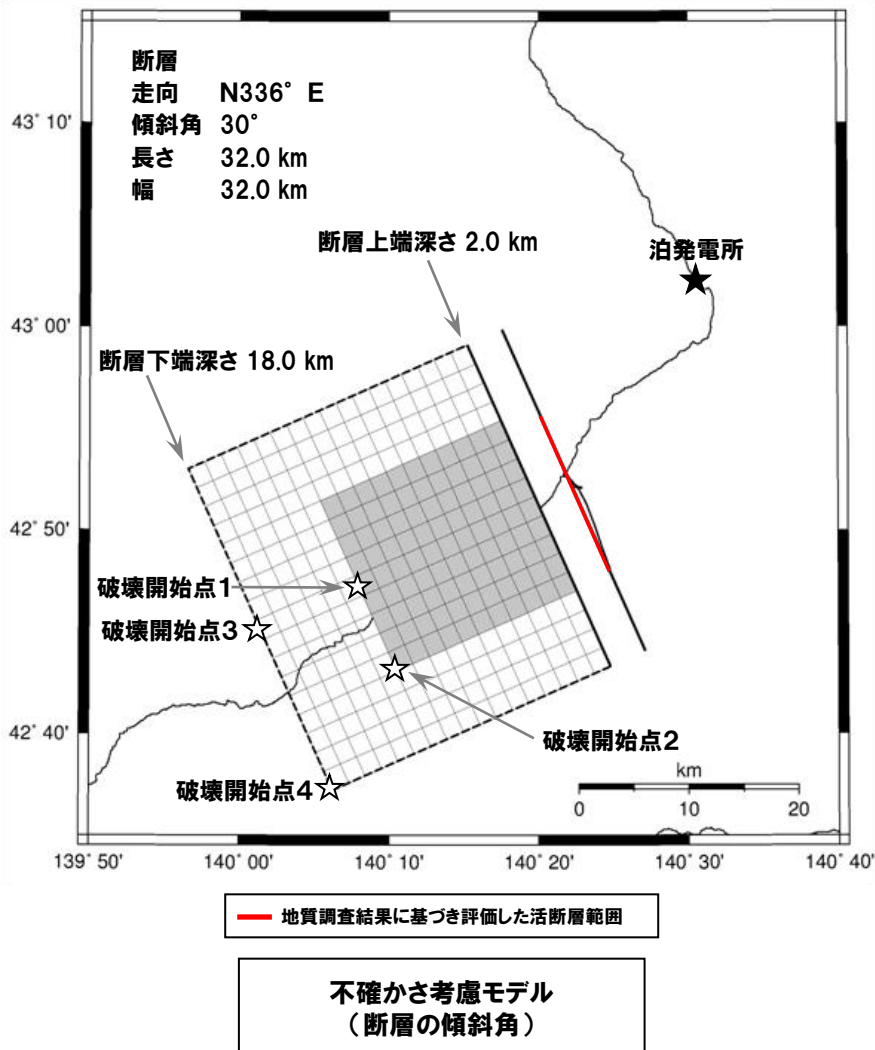
(尻別川断層による地震)震源モデル図, 断層パラメータ(基本震源モデル(破壊開始点))



項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 42.773° 東経 140.428°	地質調査結果による尻別川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	N336° 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(2009)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 ²	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	$M_0 = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^2 \times \text{入倉・三宅}(2001)$	
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)	$(M_j = (\text{log}L + 2.9) / 0.6(\text{松田}(1975)))$	
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 ²	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.8\text{g/cm}^3$: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(2009)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 ²	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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評価した活断層の範囲で、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 ²	$S_a = \pi r^2, r = 7\pi / 4 \times M_0 / AR \times \beta^2, R = (S / \pi)^{0.5}$
	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	14.2MPa	$\Delta \sigma_a = 7 / 16 \times M_0 / (r^2 R)$	
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 ²	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	60.0cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	応力降下量	2.4MPa	$\sigma_b = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_b) r \times \Sigma \gamma_i^3 \sigma_a$

4.3 検討用地震の地震動評価

(尻別川断層による地震)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))

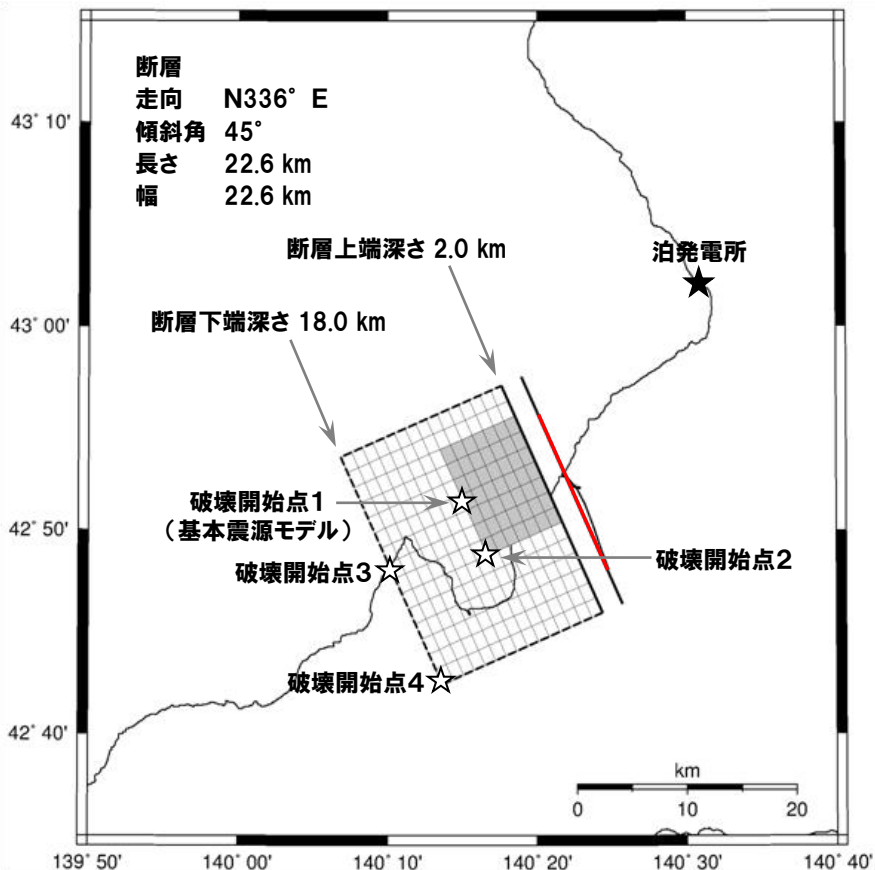


項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 42.734° 東経 140.451°	地質調査結果による尻別川断層両端より均等に延長して定めたモデル地表トレス南端	
走向	N336° E	地質調査結果による断層南端～北端	
傾斜角	30°	不確かさを考慮し, 念のため 30° と設定	
断層長さ	32.0km	L=W と設定	
断層幅	32.0km	断層上下端深さと傾斜角より設定	
断層面積	1024.0km ²	S=L×W	
断層上端深さ	2km	調査結果等を踏まえて設定	
断層下端深さ	18km	調査結果等を参考に設定	
地震モーメント	5.83E+19N・m	$M_0 = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^2$ (入倉・三宅(2001))	
モーメントマグニチュード (気象庁マグニチュード)	7.1 (7.3)	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$ ($M_j = (\text{log} L + 2.9) / 0.6$ (松田(1975)))	
平均応力降下量	4.3MPa	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^2$	
剛性率	3.43E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.8\text{g/cm}^3$: 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	$V_R = 0.72 \times \beta \text{ km/s}$ (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(2009)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 ²	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高周波減衰特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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	352.0km ²	$S_a = \pi r^2$, $r = 7\pi / 4 \times M_0 / AR \times \beta^2$, $R = (S / \pi)^{0.5}$
	平均すべり量	332.1cm	$D_a = Y_0 \times D$
	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	$\Delta \sigma_a = 7 / 16 \times M_0 / (r^2 R)$
	地震モーメント	1.82E+19N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	672.0km ²	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	79.1cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
応力降下量	1.8MPa	$\sigma_b = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_b) r \times \Sigma \gamma_1^3 \sigma_a$	

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(尻別川断層による地震)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))



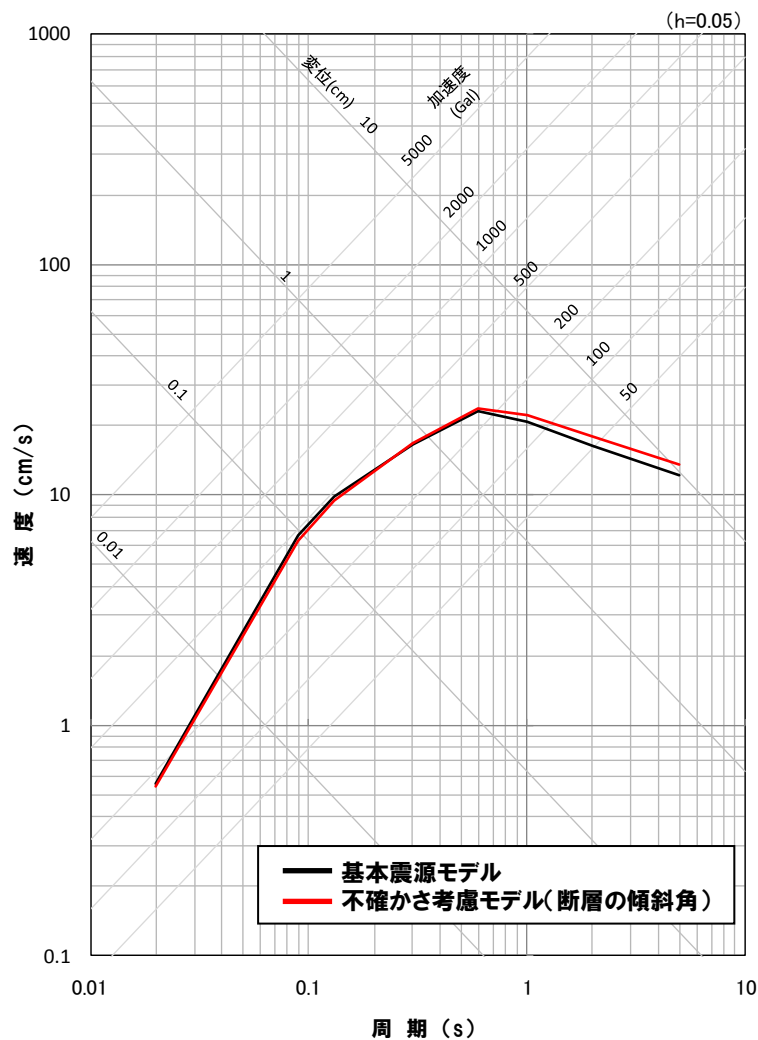
— 地質調査結果に基づき評価した活断層範囲

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

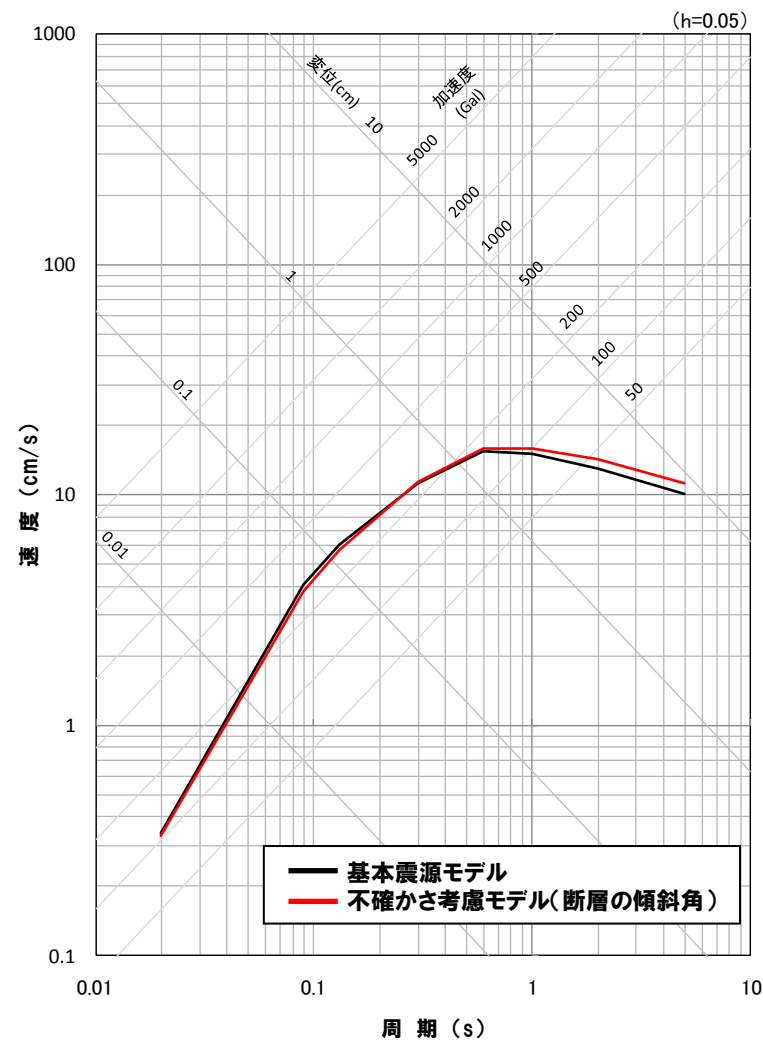
項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 42.773° 東経 140.428°	地質調査結果による尻別川断層両端より均等に延長して定めたモデル地表トレス南端	
走向	N336° E	地質調査結果による断層南端～北端	
傾斜角	45°	地震調査委員会(2009)を参考に45°と設定	
断層長さ	22.6km	L=Wと設定	
断層幅	22.6km	断層上下端深さと傾斜角より設定	
断層面積	510.8km ²	S=L×W	
断層上端深さ	2km	調査結果等を踏まえて設定	
断層下端深さ	18km	調査結果等を参考に設定	
地震モーメント	1.45E+19N・m	$M_0 = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^2 \times (\text{入倉・三宅}(2001))$	
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)	$(M_j = (\text{log} L + 2.9) / 0.6 (\text{松田}(1975)))$	
平均応力降下量	3.1MPa	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^2$	
剛性率	3.43E+10N/m ²	$\mu = \rho B^2$, $\rho = 2.8 \text{g/cm}^3$: 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(2009)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 ²	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
高周波減衰特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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 ²	$S_a = \pi r^2$, $r = 7\pi / 4 \times M_0 / AR \times \beta^2$, $R = (S / \pi)^{0.5}$
	平均すべり量	165.7cm	$D_a = Y_0 \times D$
背景領域	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	$\Delta \sigma_a = 1.5 \times 7 / 16 \times M_0 / (r^2 R)$
	地震モーメント	8.24E+18N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	400.3km ²	$S_b = S - S_a$
背景領域	平均すべり量	60.0cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	応力降下量	3.6MPa	$\sigma_b = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_b) r \times \Sigma \gamma_1^3 \sigma_a$

4.3 検討用地震の地震動評価

(尻別川断層による地震) 応答スペクトルに基づく地震動評価結果



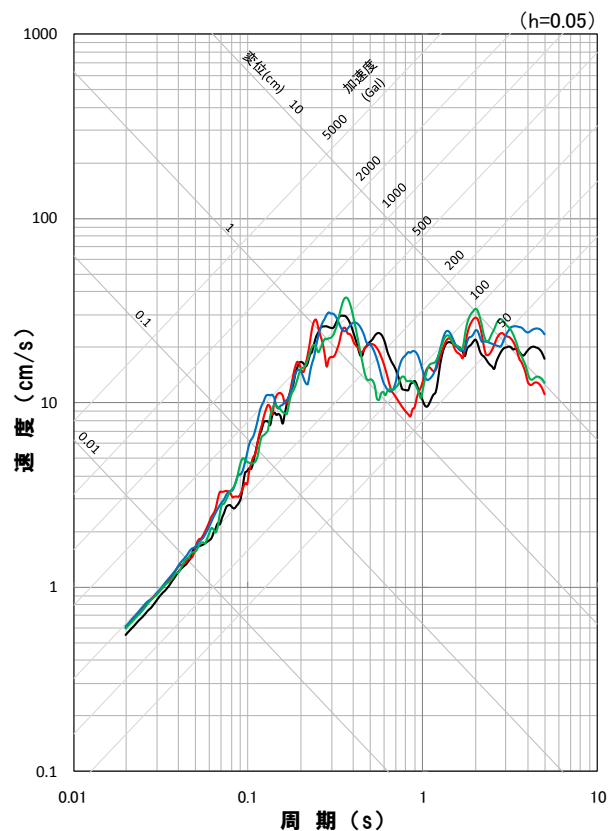
応答スペクトル図(水平方向)



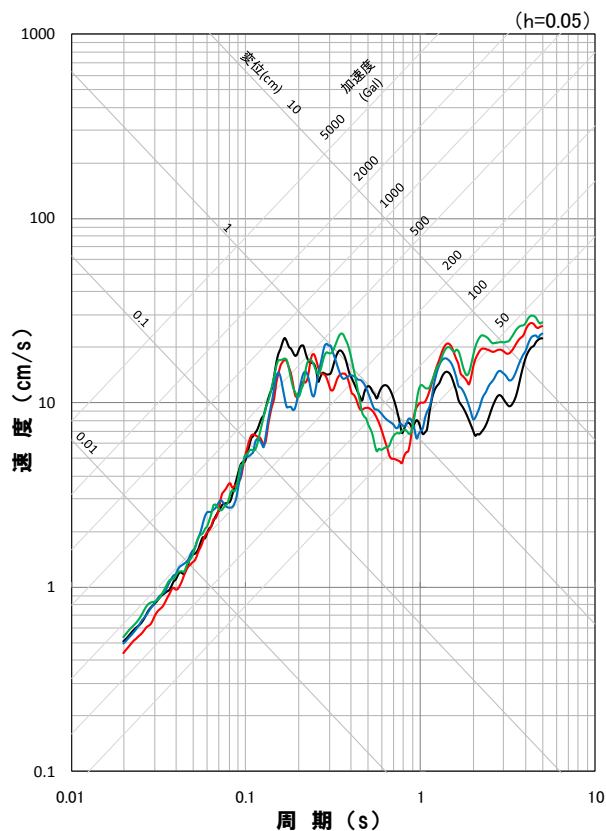
応答スペクトル図(鉛直方向)

4.3 検討用地震の地震動評価

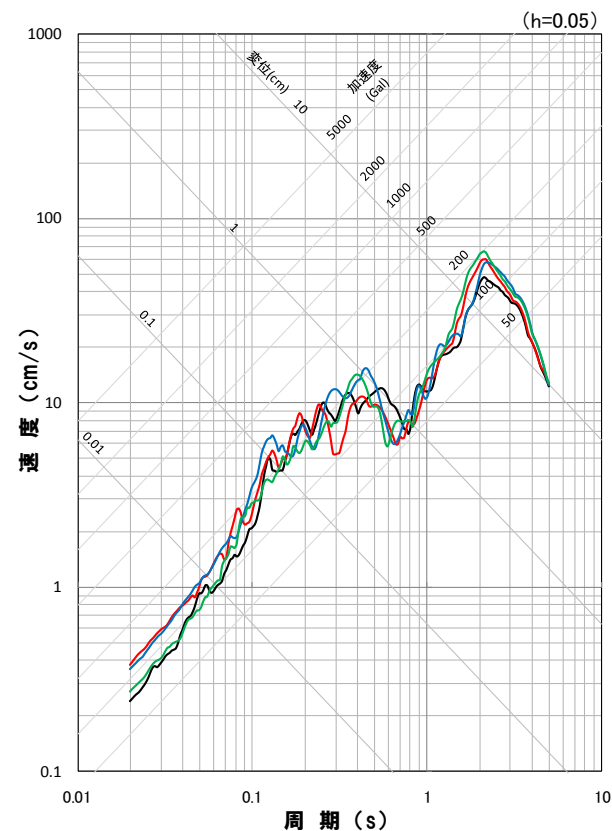
(尻別川断層による地震)断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
(基本震源モデル)



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)

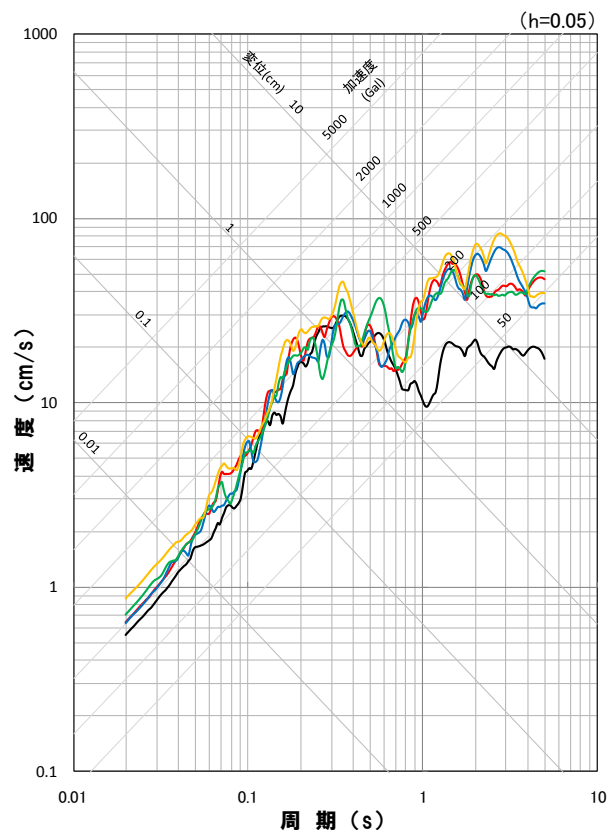
地震動評価結果

- 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

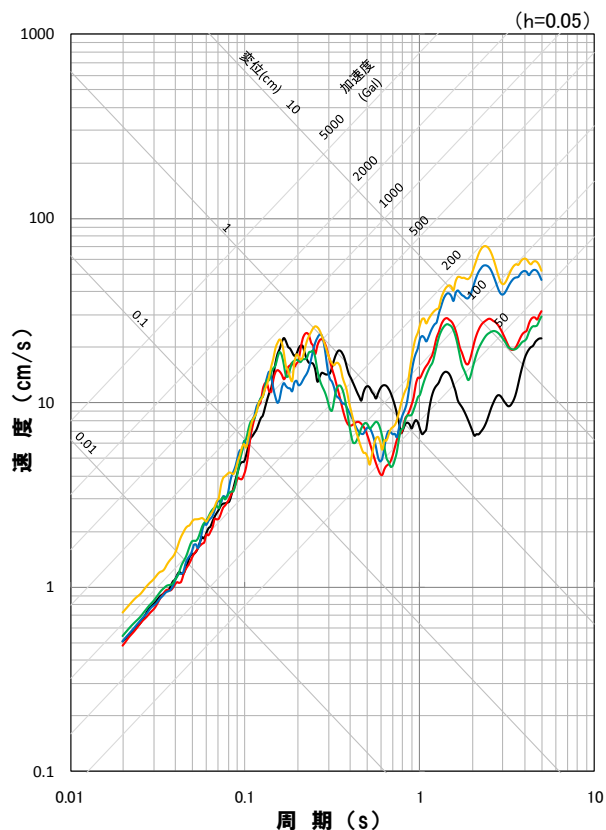
※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

4.3 検討用地震の地震動評価

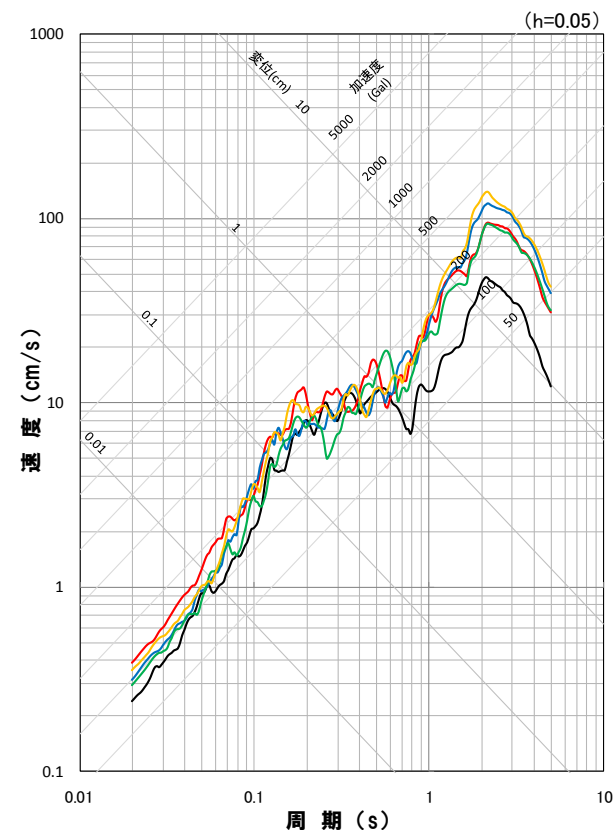
(尻別川断層による地震)断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))



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

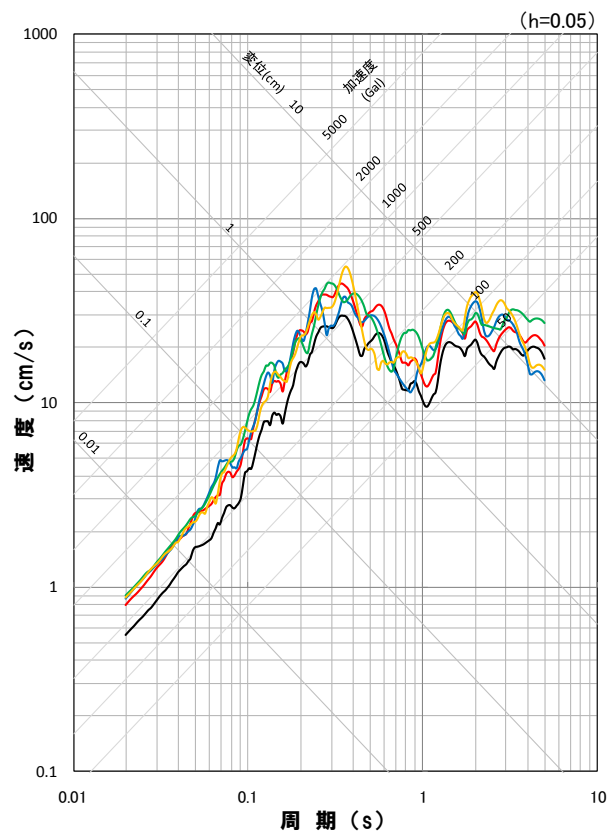
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4

※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

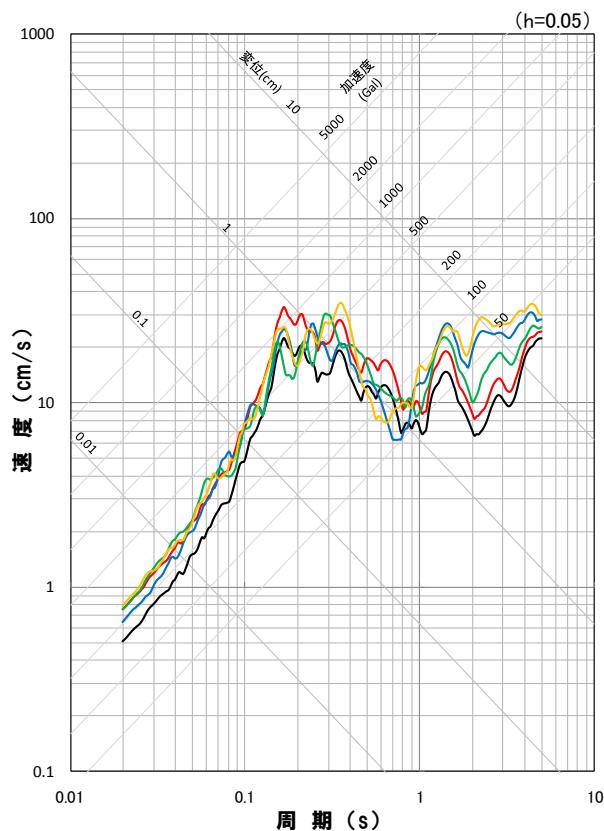
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

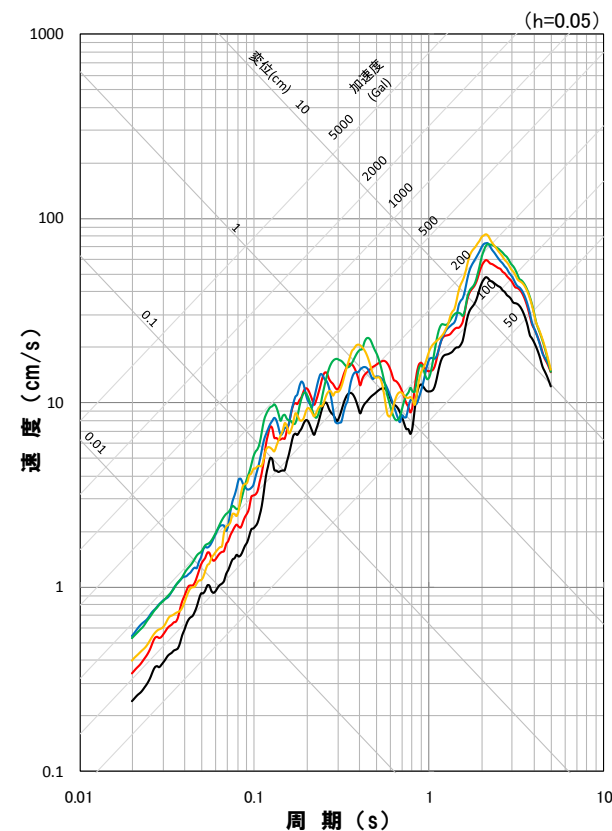
(尻別川断層による地震)断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
(不確かさ考慮モデル(応力降下量))



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)

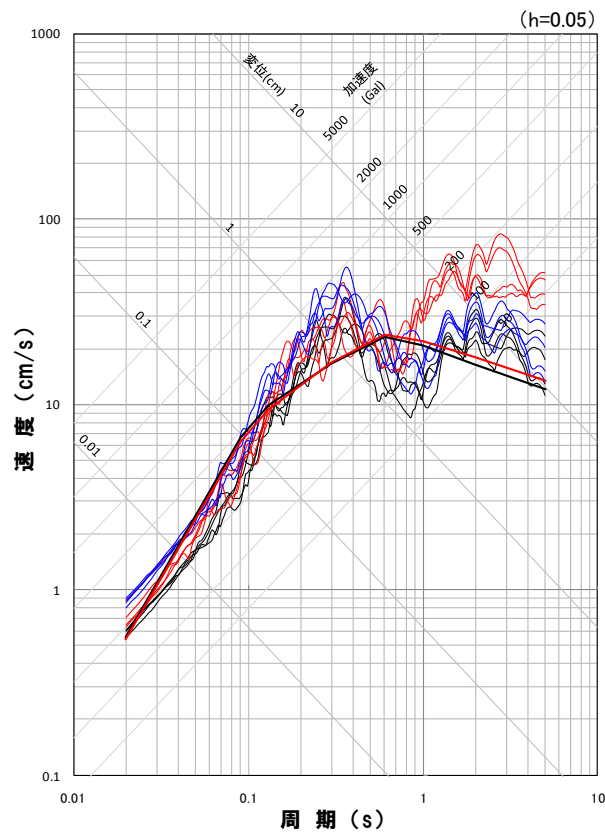
地震動評価結果

- 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

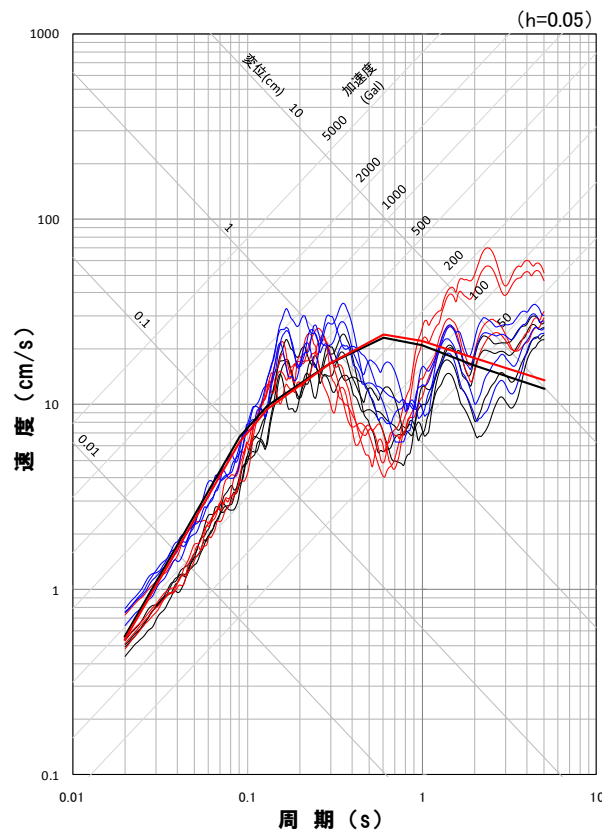
※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

4.3 検討用地震の地震動評価

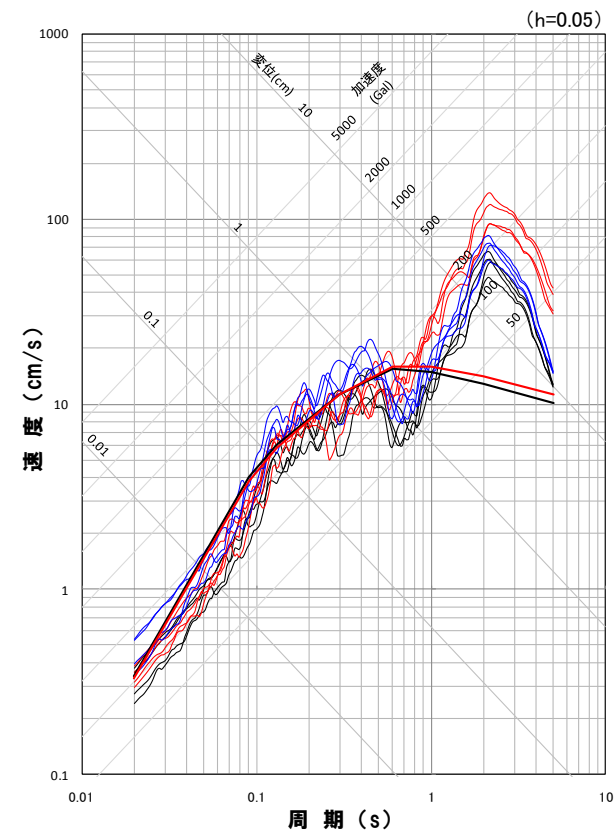
(尻別川断層による地震)地震動評価結果



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)

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)断層パラメータの設定方法

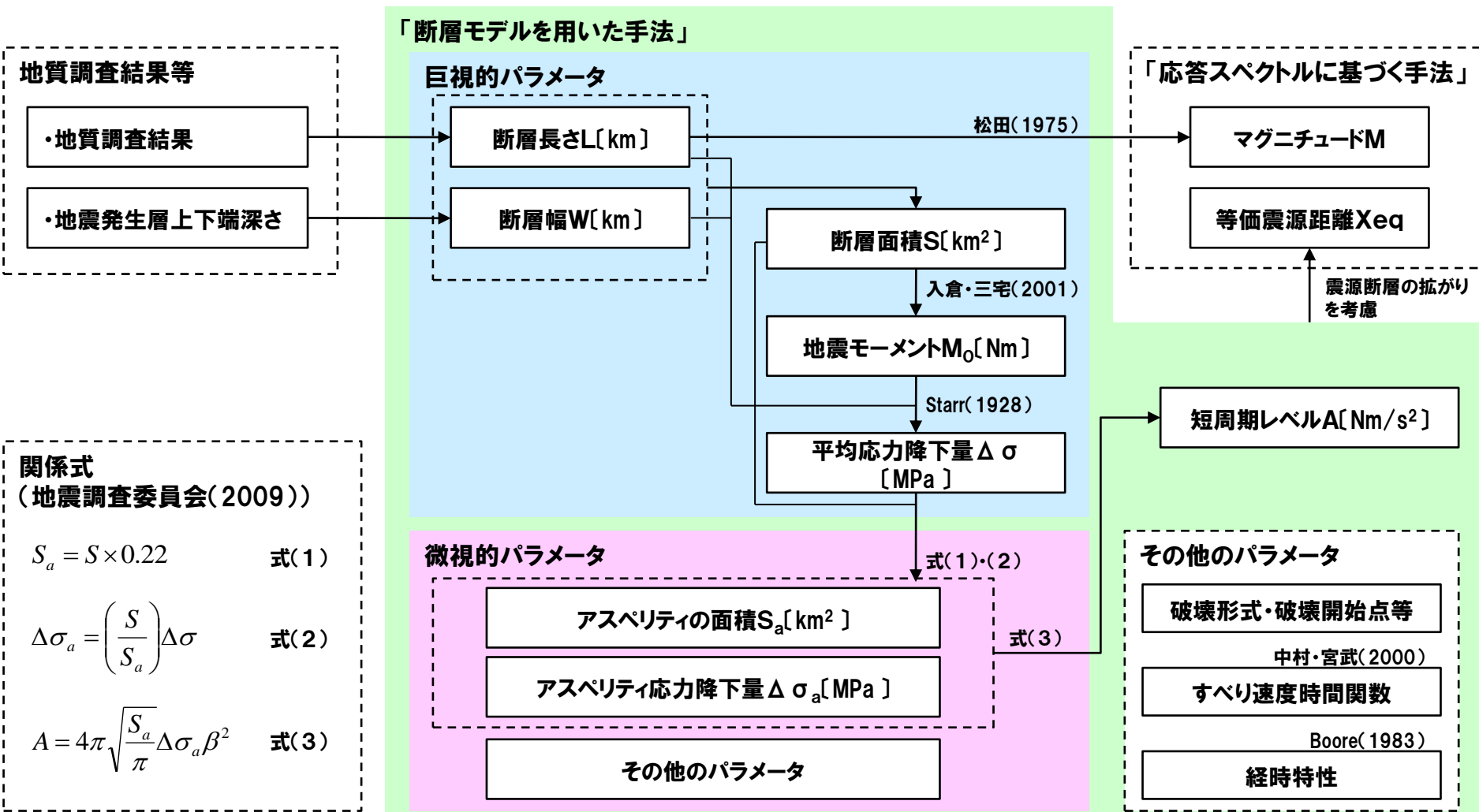
- F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震について、複数の方法で主要な断層パラメータを設定し、採用する方法を選定する。
- 方法1は、アスペリティ面積比(15～27%程度)が31%と若干大きくなることから、アスペリティ面積比を22%とした方法2を採用する。なお、方法3は、方法1より地震モーメント及び短周期レベルが小さくなっている。

	方法1	方法2	方法3
	地震調査委員会「レシピ」 ただし、 ・平均応力降下量は無限長縦ずれ断層の式 (Starr (1928))	地震調査委員会「レシピ」 ただし、 ・平均応力降下量は無限長縦ずれ断層の式 (Starr (1928)) ・アスペリティ面積比は22% (Somerville et al. (1999))	壇ほか(2015)
断層長さ	100.4km	100.4km	100.4km
断層幅	18.5km	18.5km	18.5km
断層面積	1817.9km ²	1817.9km ²	1817.9km ²
地震モーメント	1.84E+20N・m	1.84E+20N・m	1.78E+20N・m
平均応力降下量	4.5MPa	4.5MPa	2.4MPa
短周期レベル	3.01E+19N・m/s ²	3.59E+19N・m/s ²	2.48E+19N・m/s ²
アスペリティ面積	566.0km ²	399.9km ²	233.3km ²
アスペリティ応力降下量	14.6MPa	20.6MPa	18.7MPa
アスペリティ面積比	0.31	0.22	0.13

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)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
- 断層幅に対して断層長さが長いことから平均応力降下量については、無限長縦ずれ断層の式であるStarr(1928)に基づき設定
- また、アスペリティ面積をSomerville et al.(1999)に基づき、震源断層全体の面積の22%で設定



4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)震源パラメータの設定根拠

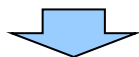
	基本震源モデルのパラメータ設定根拠	不確かさを考慮したモデルのパラメータ設定
断層幅	地震発生層上下端深さ及び断層の傾斜角に基づき、断層幅18.5kmと設定。	傾斜角の不確かさを考慮することに伴い、断層幅を22.6kmを考慮。
断層の傾斜角	当社の地質調査結果から傾斜角を60°と設定。	地震規模(地震モーメント)が大きくなるように45°と設定。
破壊伝播速度	地震調査委員会(2009)に基づき設定 Vr=0.72Vs	宮腰ほか(2003)の知見を参考に設定 Vr=0.87Vs
アスペリティの位置、数	地質調査結果等に基づき評価した活断層の範囲内で、敷地に近い位置の地表付近に4個設定する。	
各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(2009)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、安全評価上、2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、地震調査委員会(2009)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。

※ 下線部は、既往の評価(泊発電所発電用原子炉設置変更許可申請書:平成25年7月8日申請)からの変更箇所

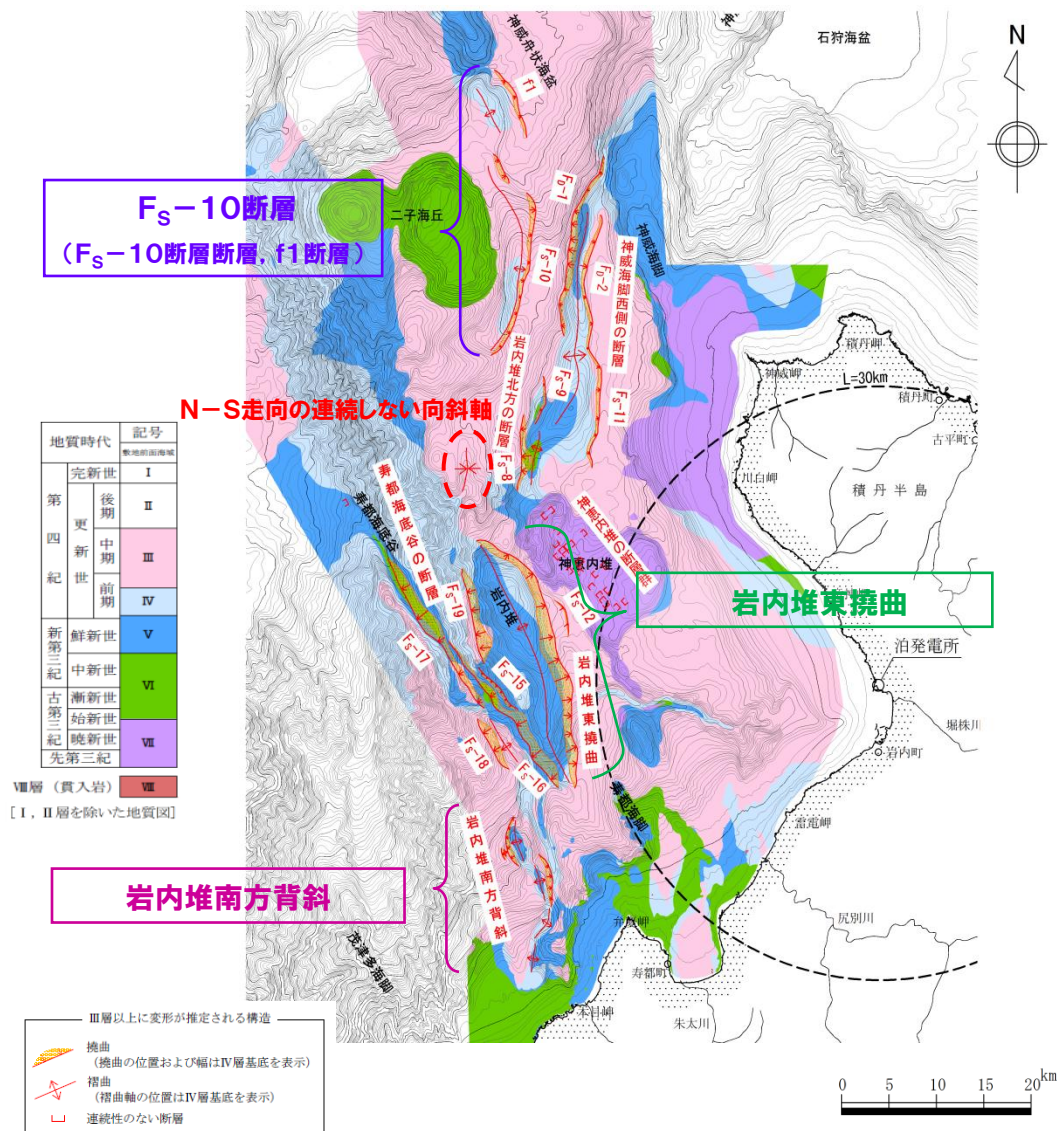
4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)傾斜角の設定

- 敷地前面海域で連動を考慮する断層は、F_S-10断層(F_S-10断層, f1断層), 岩内堆東撓曲及び岩内堆南方背斜である。
- F_S-10断層(F_S-10断層, f1断層)及び岩内堆東撓曲は、大局的にN-S走向で西側隆起の構造と推定される。
- F_S-10断層と岩内堆東撓曲の間には、長さの短い連続しない向斜軸が認められる。
- 岩内堆東撓曲の南西方には、大局的に西傾斜の伏在断層が推定される岩内堆南方背斜が分布する。
- これらの構造については、連続しないものの、ほぼ同走向で西傾斜の構造が断続的に分布すること等から、安全評価上、連動の対象として評価している。
- 敷地前面海域で連動を考慮する断層の断層モデルにおける傾斜角は、当社海上音波探査記録の検討を踏まえて設定した。



- 敷地前面海域で連動を考慮する断層の傾斜角は、断層の主部であるF_S-10断層及び岩内堆東撓曲の海上音波探査記録から、比較的高角であると考えられる。
- したがって、断層モデルの傾斜角には60°を設定した。

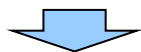


敷地前面海域における震源として考慮する活断層分布図

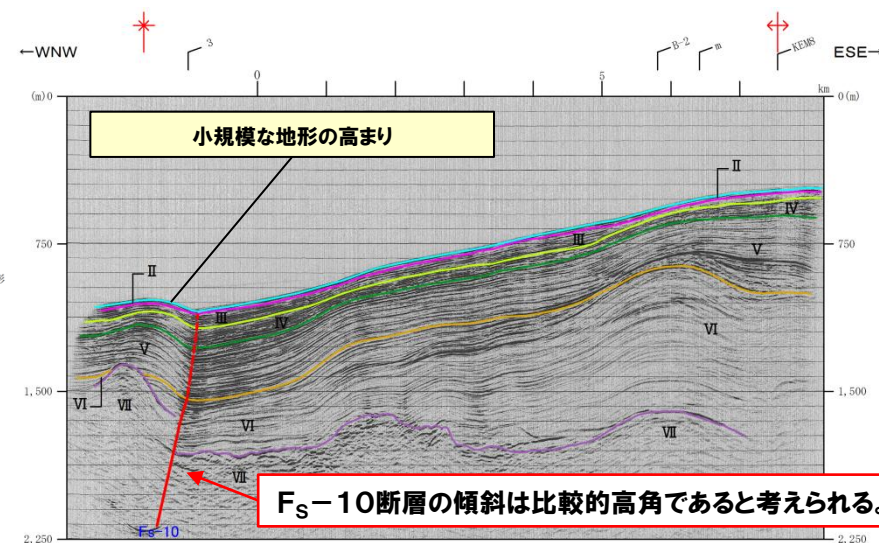
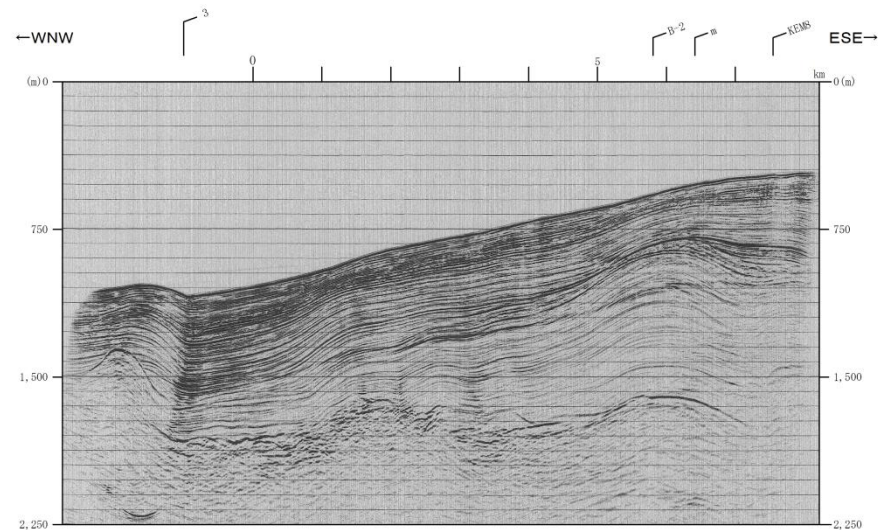
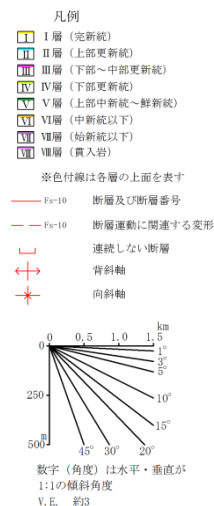
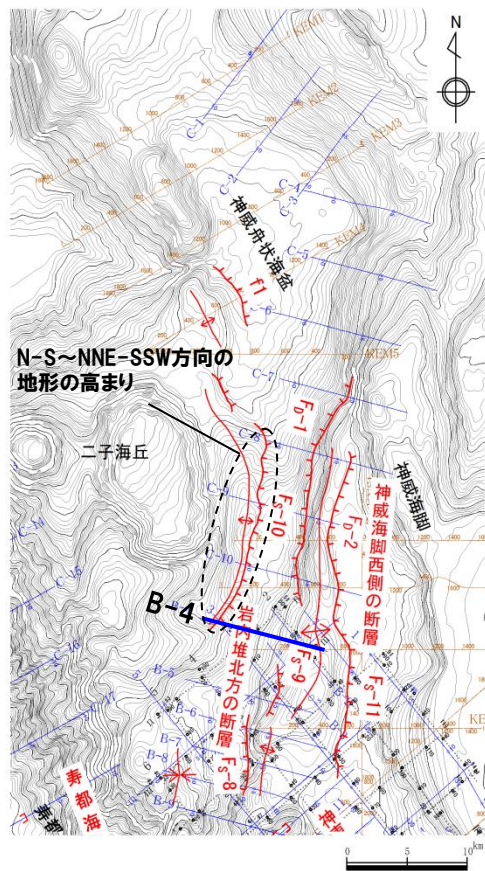
4.3 検討用地震の地震動評価

【参考】F_S-10断層(測線B-4)

- 西傾斜の斜面中に小規模な地形の高まりが存在し、その東翼基部にF_S-10断層が認められる。



- F_S-10断層の傾斜は、音波探査記録より比較的高角であると考えられる。



4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

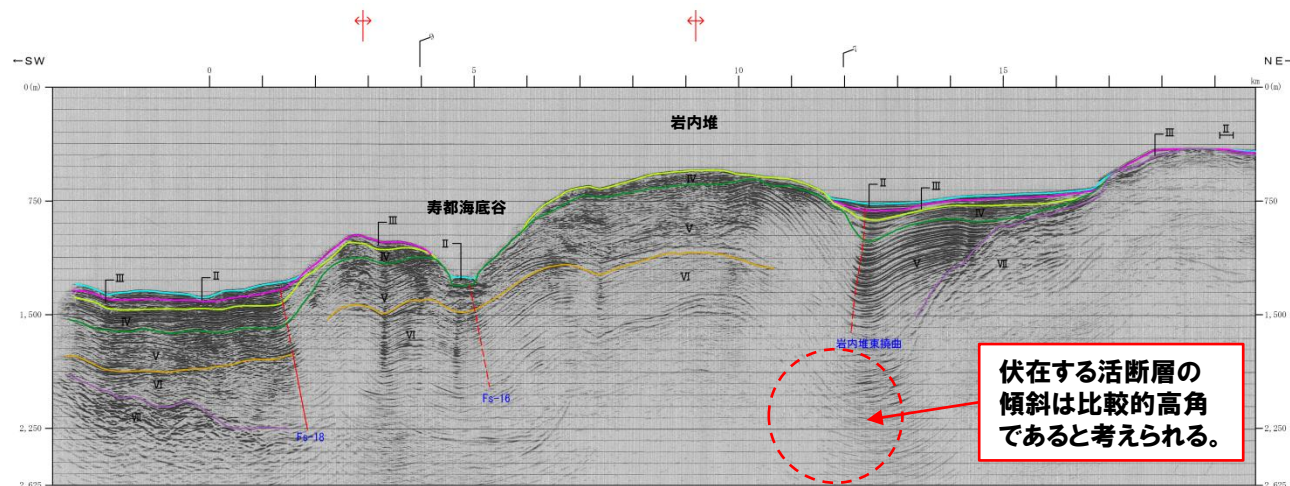
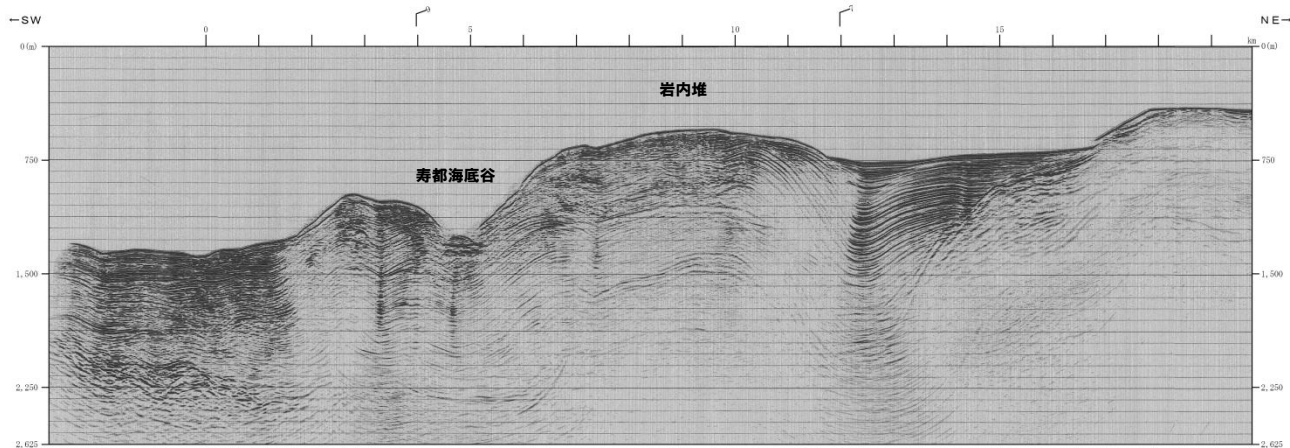
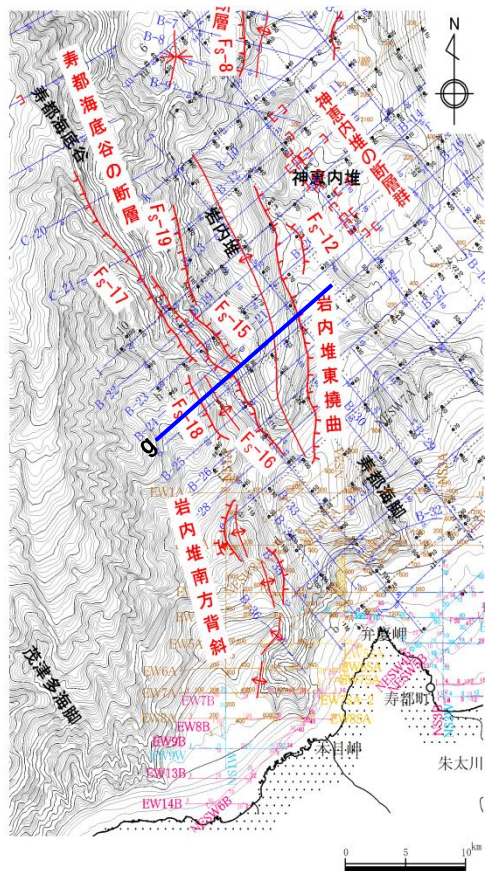
4.3 検討用地震の地震動評価

【参考】岩内堆東撓曲(測線g)

● 岩内堆の東翼基部に岩内堆東撓曲が認められる。



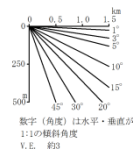
● 伏在する活断層の傾斜は、音波探査記録より比較的高角であると考えられる。



伏在する活断層の傾斜は比較的高角であると考えられる。

音波探査記録及び地質断面図(音源:GIガン)

- 凡例
- I層 (完新統)
 - II層 (上部更新統)
 - III層 (下部更新統)
 - IV層 (下部更新統)
 - V層 (上部中新統～鮮新統)
 - VI層 (中新統以下)
 - VII層 (始新統以下)
 - VIII層 (貫入岩)
- F5-10 断層及び断層番号
 - - - F5-10 断層運動に関連する変形
 - - - 連続しない断層
 - ↕ 背斜軸
 - * 向斜軸
- ※色付線は各層の上を表す



4.3 検討用地震の地震動評価

一部加筆修正 (H25.9.11審査会合資料)

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)検討用地震の地震動評価

地震動評価の検討ケース

震源モデル	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層の傾斜角 (°)	破壊伝播速度 (km/s)	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)	98	—	—	—	—	—	—	○地質調査結果により断層長さ98km ○地震動評価は基本震源モデルにて代表
基本震源モデル	100.4	18.5	60°	0.72Vs	敷地に近い 位置の地表 付近	北断層:アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○地質調査結果を基に、矩形断層面を設定し、断層長さ100.4kmを考慮したモデル ○M8.2(L=100.4km), Xeq=46km* ○基本震源モデルに破壊開始点の不確かさを考慮したモデル
						南断層:アスペリティ下端中央		
						北断層:アスペリティ下端端部		
						南断層:アスペリティ下端端部		
						北断層: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)	100.0	22.6	45°	0.72Vs	敷地に近い 位置の地表 付近	北断層:アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○基本震源モデルの傾斜角について、不確かさを考慮して45°としたモデル ○M8.2(L=100.0km), Xeq=49km*
						南断層:アスペリティ下端中央		
						北断層:アスペリティ下端端部		
						南断層:アスペリティ下端端部		
						北断層:巨視的断層面下端端部		
不確かさ考慮モデル (応力降下量)	100.4	18.5	60°	0.72Vs	敷地に近い 位置の地表 付近	北断層:アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2009) ×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
						南断層:アスペリティ下端中央		
						北断層:アスペリティ下端端部		
						南断層:アスペリティ下端端部		
						北断層:巨視的断層面下端端部		
不確かさ考慮モデル (破壊伝播速度)	100.4	18.5	60°	0.87Vs	敷地に近い 位置の地表 付近	北断層:アスペリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○基本震源モデルの破壊伝播速度について、不確かさを考慮して0.87Vsとしたモデル
						南断層:アスペリティ下端中央		
						北断層:アスペリティ下端端部		
						南断層:アスペリティ下端端部		
						北断層:巨視的断層面下端端部		

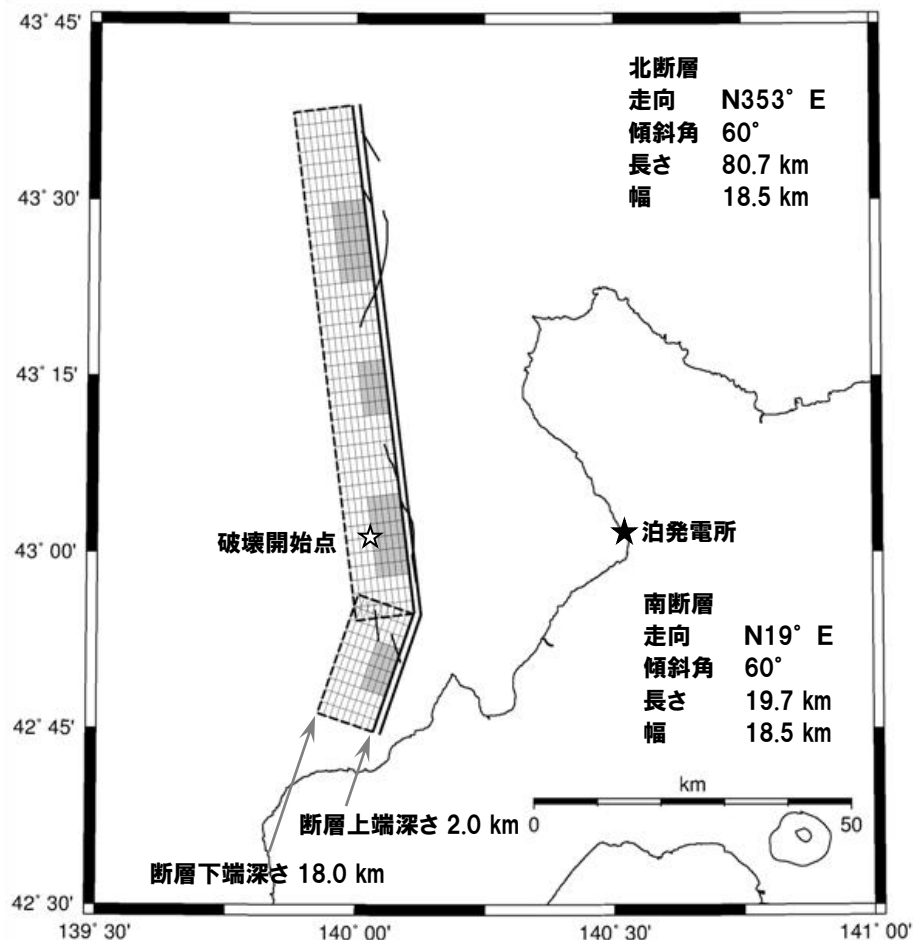
:不確かさを考慮して設定するパラメータ

:全てのケースにおいて共通的に考慮するパラメータ

※ 応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる諸元

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)
震源モデル図, 断層パラメータ(基本震源モデル)



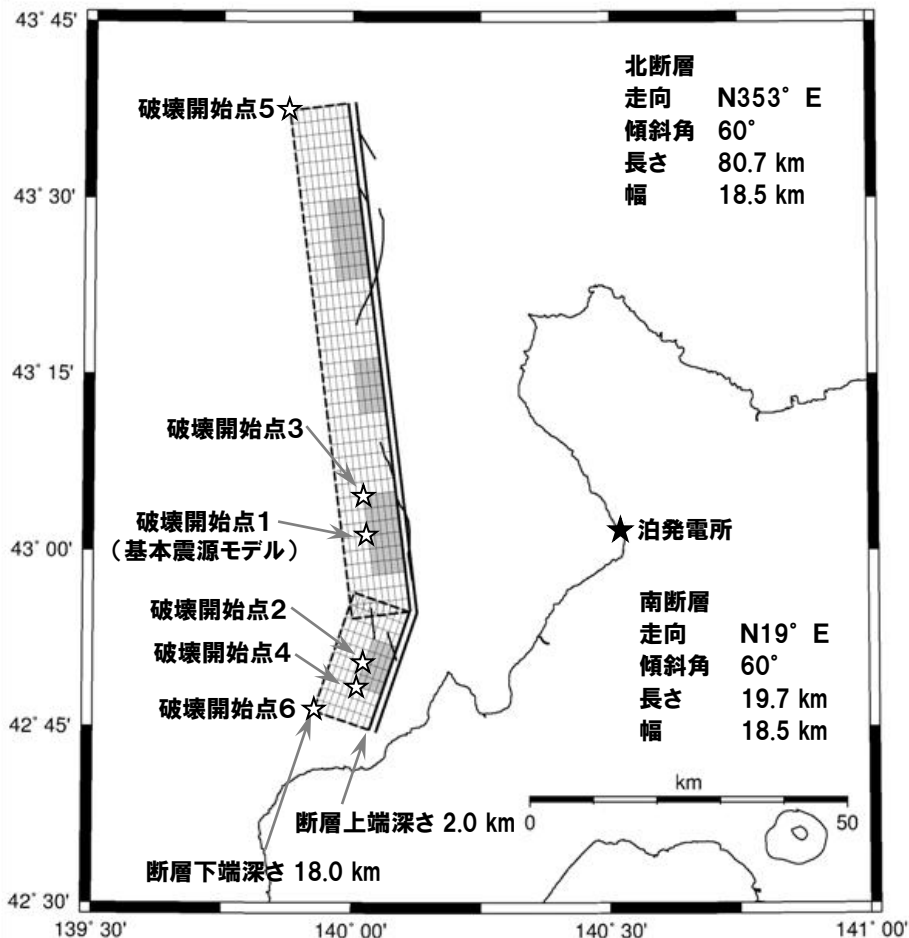
基本震源モデル

項目	設定値	設定方法
断層原点 (地表トレース原点)	北緯 42.912° 東経 140.127° 北緯 42.741° 東経 140.047°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端
走向	北断層: N353° E 南断層: N19° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端
傾斜角	60°	当社の地質調査結果を踏まえ 60° に設定
断層長さ	100.4km(80.7km+19.7km)	地質調査結果に基づき矩形断層として設定
断層幅	18.5km	断層上下端深さと傾斜角より設定
控除面積	39.5km ²	$\Delta S = W^2 \times \cos \theta \tan \{ (\theta_s - \theta_p) / 2 \}$
断層面積	1817.9km ²	$S = L \times W - \Delta S$
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	1.84E+20N・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	7.4	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$
(気象庁マグニチュード)	(8.2)	$(M_j = (\log L + 2.9) / 0.6 \text{ (松田 (1975))})$
平均応力降下量	4.5MPa	$\Delta \sigma = 8 / (3\pi) \times M_0 / (LW_{\max}^2)$
剛性率	3.43E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.8\text{g/cm}^3$: 防災科研(2005)に基づき設定
平均すべり量	294.8cm	$D = M_0 / (\mu S)$
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(2009)に基づき設定
破壊開始点	北断層アスペリティ下端中央	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	3.59E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_p / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma \times \beta^2$
高周波連断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)に基づき設定
全アスペリティ	位置	敷地に近い位置の地表付近
	数	4個
	総面積	399.9km ²
	平均すべり量	589.6cm
背景領域	地震モーメント	8.09E+19N・m
	応力降下量	20.6MPa
	地震モーメント	1.03E+20N・m
	面積	1418.0km ²
平均すべり量	211.7cm	
応力降下量	4.1MPa	

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震) 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))



基本震源モデル
(破壊開始点)

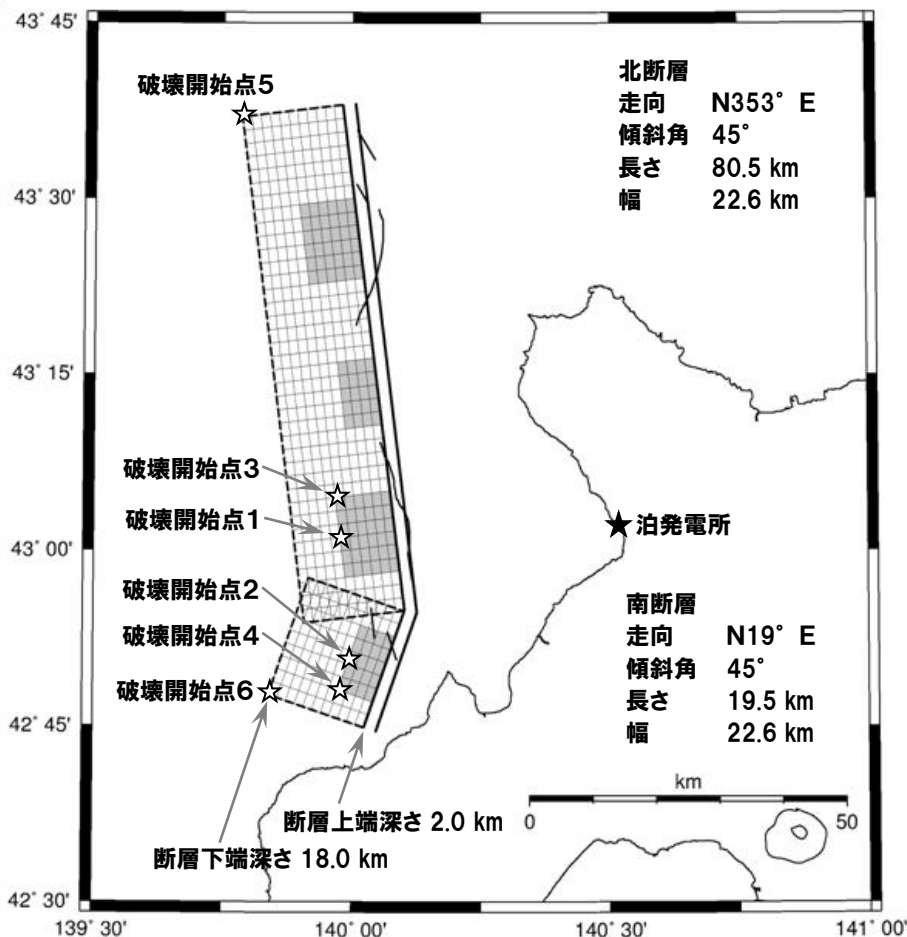
項目	設定値	設定方法
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 42.912' 東経 140.127' 北緯 42.741' 東経 140.047'	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端
走向	北断層:N353° E 南断層:N19° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端
傾斜角	60°	当社の地質調査結果を踏まえ 60° に設定
断層長さ	100.4km(80.7km+19.7km)	地質調査結果に基づき矩形断層として設定
断層幅	18.5km	断層上下端深さと傾斜角より設定
控除面積	39.5km ²	$\Delta S = W^2 \times \cos \delta \tan \{ (\theta_s - \theta_n) / 2 \}$
断層面積	1817.9km ²	$S = L \times W - \Delta S$
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	1.84E+20N・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	7.4	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$
(気象庁マグニチュード)	(8.2)	$(M_0) = (\text{log} L + 2.9) / 0.6 \text{ (松田 1975)}$
平均応力降下量	4.5MPa	$\Delta \sigma = 8 / (3\pi) \times M_0 / (LW_{\text{max}}^2)$
剛性率	3.43E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.8\text{g/cm}^3$:防災科研(2005)に基づき設定
平均すべり量	294.8cm	$D = M_0 / (\mu S)$
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(2009)に基づき設定
破壊開始点	北断層アスペリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスペリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層アスペリティ下端端部 (破壊開始点3) 南断層アスペリティ下端端部 (破壊開始点4) 北断層巨視的断層面下端端部 (破壊開始点5) 南断層巨視的断層面下端端部 (破壊開始点6)	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	3.59E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_0 / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma \times \beta^2$
高周波減断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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
	数	4個
	総面積	399.9km ²
	平均すべり量	589.6cm
	地震モーメント	8.09E+19N・m
背景領域	面積	1418.0km ²
	平均すべり量	211.7cm
	応力降下量	4.1MPa
	地震モーメント	1.03E+20N・m
	応力降下量	20.6MPa

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)

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))



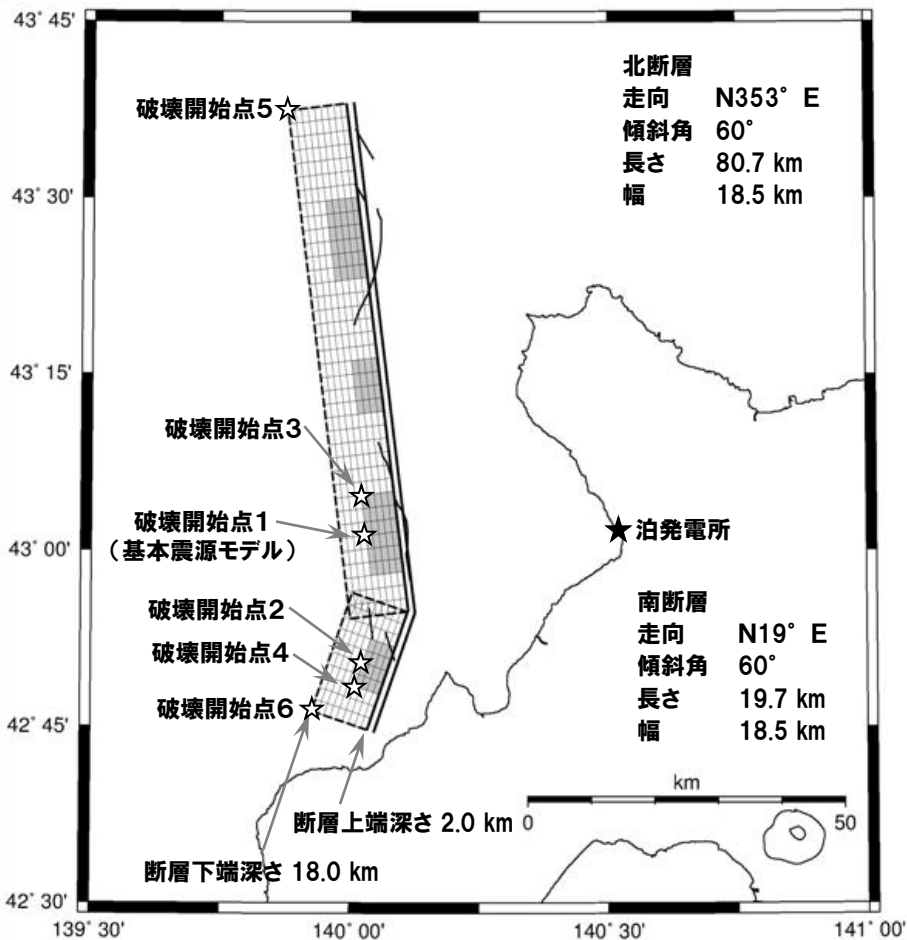
不確かさ考慮モデル
(断層の傾斜角)

項目	設定値	設定方法
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 42.912° 東経 140.127° 北緯 42.741° 東経 140.047°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端
走向	北断層:N353° E 南断層:N19° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端
傾斜角	45°	不確かさを考慮し、念のため45°と設定
断層長さ	100.0km(80.5km+19.5km)	地質調査結果に基づき矩形断層として設定
断層幅	22.6km	断層上下端深さと傾斜角より設定
控除面積	83.4km ²	$\Delta S = W^2 \times \cos \delta \tan \left(\frac{\theta_s - \theta_n}{2} \right)$
断層面積	2176.6km ²	$S = L \times W - \Delta S$
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	2.64E+20N・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	7.5	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$
(気象庁マグニチュード)	(8.2)	$(M_j = (\text{log} L + 2.9) / 0.6 \text{ (松田1975)})$
平均応力降下量	4.4MPa	$\Delta \sigma = 8 / (3\pi) \times M_0 / (LW_{\text{max}}^2)$
剛性率	3.43E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.8\text{g/cm}^3$:防災科研(2005)に基づき設定
平均すべり量	353.0cm	$D = M_0 / (\mu S)$
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	$V_s = 0.72 \times \beta \text{ km/s}$ (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(2009)に基づき設定
破壊開始点	北断層アスペリティ下端中央(破壊開始点1) 南断層アスペリティ下端中央(破壊開始点2) 北断層アスペリティ下端端部(破壊開始点3) 南断層アスペリティ下端端部(破壊開始点4) 北断層巨視的断層面下端端部(破壊開始点5) 南断層巨視的断層面下端端部(破壊開始点6)	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	3.78E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_0 / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_s \times \beta^2$
高周波減衰特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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
	数	4個
	総面積	478.9km ²
	平均すべり量	706.0cm
	地震モーメント	1.16E+20N・m
背景領域	応力降下量	19.9MPa
	地震モーメント	1.48E+20N・m
	面積	1697.8km ²
	平均すべり量	253.4cm
	応力降下量	3.6MPa

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_s-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震) 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))



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

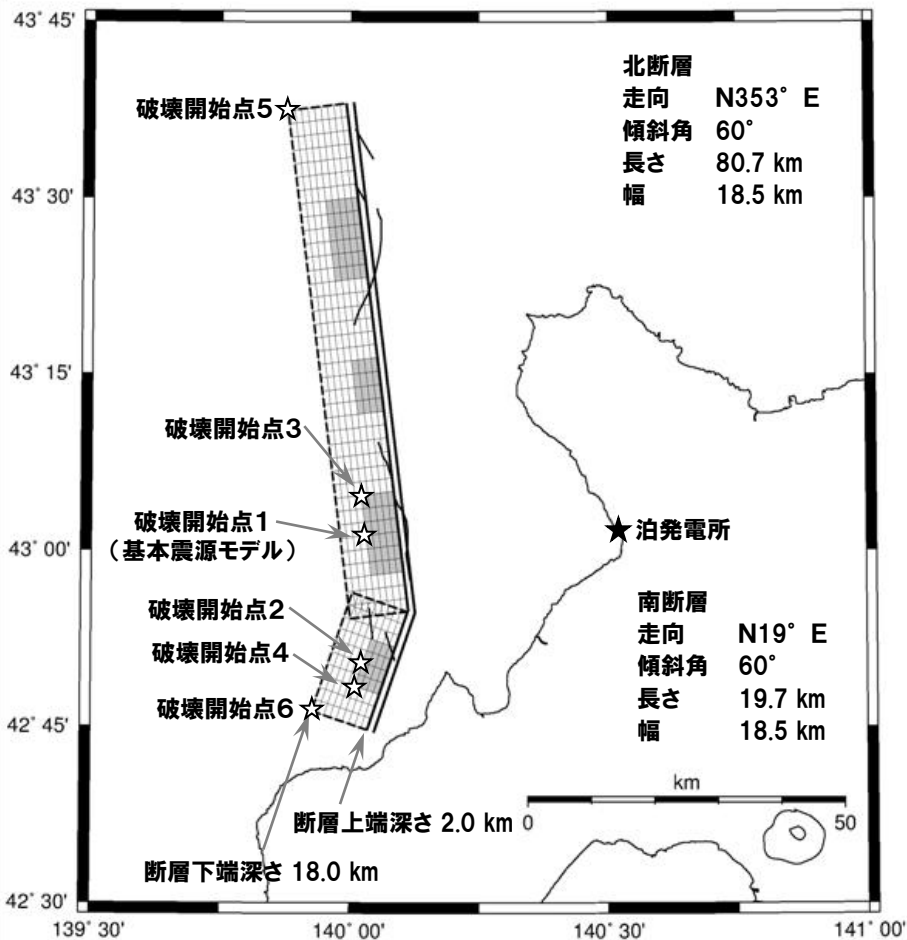
項目	設定値	設定方法
断層原点 (地表トレース原点)	北緯 42.912° 東経 140.127° 北緯 42.741° 東経 140.047°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端
走向	北断層:N353° E 南断層:N19° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端
傾斜角	60°	当社の地質調査結果を踏まえ 60° に設定
断層長さ	100.4km(80.7km+19.7km)	地質調査結果に基づき矩形断層として設定
断層幅	18.5km	断層上下端深さと傾斜角より設定
控除面積	39.5km ²	$\Delta S = W^2 \times \cos \delta \tan \{ (\theta_s - \theta_n) / 2 \}$
断層面積	1817.9km ²	$S = L \times W - \Delta S$
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	1.84E+20N・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	7.4	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$
(気象庁マグニチュード)	(8.2)	$(M_0) / (\text{kg} \cdot \text{m}^2) / 0.6 (\text{松田 1975))$
平均応力降下量	4.5MPa	$\Delta \sigma = 8 / (3\pi) \times M_0 / (LW_{\text{max}}^2)$
剛性率	3.43E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.8\text{g/cm}^3$:防災科研(2005)に基づき設定
平均すべり量	294.8cm	$D = M_0 / (\mu S)$
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	$V_s = 0.72 \times \beta \text{ km/s}$ (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(2009)に基づき設定
破壊開始点	北断層アスペリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスペリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層アスペリティ下端端部 (破壊開始点3) 南断層アスペリティ下端端部 (破壊開始点4) 北断層巨視的断層面下端端部 (破壊開始点5) 南断層巨視的断層面下端端部 (破壊開始点6)	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	5.38E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_0 / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_s \times \beta^2$
高周波減断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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
	数	4個
	総面積	399.9km ²
	平均すべり量	589.6cm
	地震モーメント	8.09E+19N・m
背景領域	位置	敷地に近い位置の地表付近
	数	4個
	総面積	399.9km ²
	平均すべり量	589.6cm
	地震モーメント	8.09E+19N・m
位置	敷地に近い位置の地表付近	地質調査結果を踏まえた上で、敷地に近い位置の地表付近に設定
数	4個	地質調査結果を踏まえた上で、4個設定
総面積	399.9km ²	$S_s = 0.22 \times S$
平均すべり量	589.6cm	$D_s = \gamma_p \times D$
地震モーメント	8.09E+19N・m	$M_{0s} = \mu S_s D_s$
応力降下量	31.0MPa	$\Delta \sigma_s = 1.5 \times (S / S_s) \times \Delta \sigma$
地震モーメント	1.03E+20N・m	$M_{00} = M_0 - M_{0s}$
面積	1418.0km ²	$S_s = S - S_0$
平均すべり量	211.7cm	$D_s = M_{00} / (\mu S_s)$
応力降下量	6.2MPa	$\sigma_s = (D_s / W_s) (\pi^{0.5} / D_s) r \times \gamma_r^2 \sigma_s$

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)

震源モデル図, 断層パラメータ(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度))



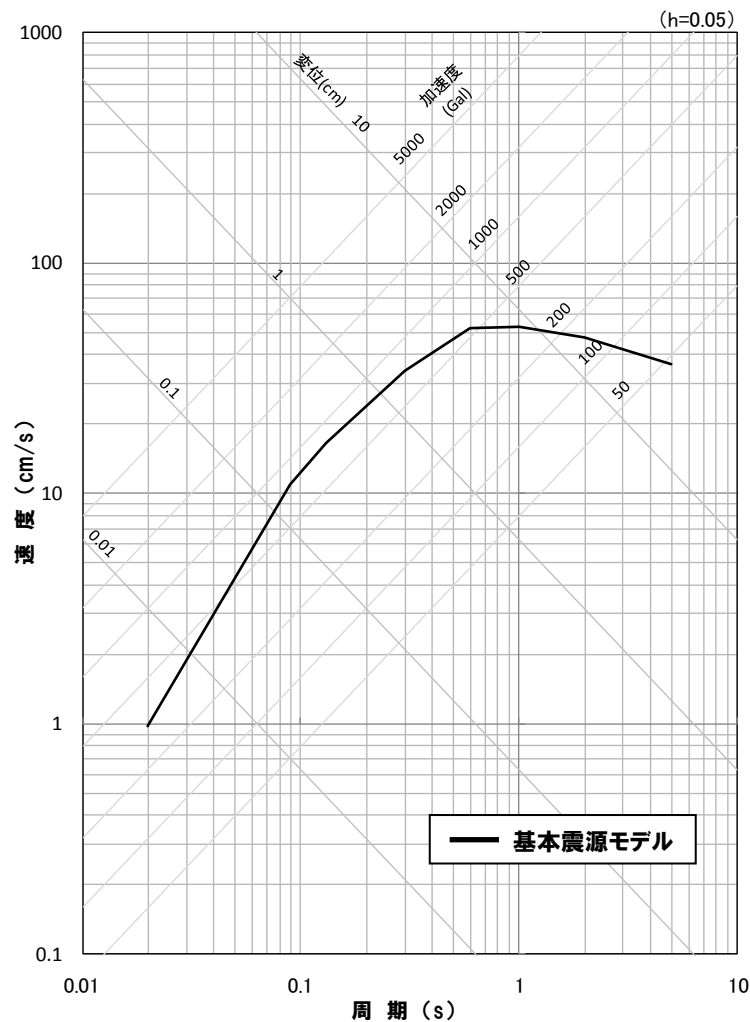
不確かさ考慮モデル
(破壊伝播速度)
震源モデル図は基本震源モデルと同様

項目	設定値	設定方法
断層原点 (地表トレース原点)	北緯 42.912' 東経 140.127' 北緯 42.741' 東経 140.047'	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端
走向	北断層:N353° E 南断層:N19° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端
傾斜角	60°	当社の地質調査結果を踏まえ 60° に設定
断層長さ	100.4km(80.7km+19.7km)	地質調査結果に基づき矩形断層として設定
断層幅	18.5km	断層上下端深さと傾斜角より設定
控除面積	39.5km ²	$\Delta S = W^2 \times \cos \delta \tan \{ (\theta_g - \theta_n) / 2 \}$
断層面積	1817.9km ²	$S = L \times W - \Delta S$
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	1.84E+20N・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	7.4	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$
(気象庁マグニチュード)	(8.2)	$(M_0) / (\text{kg} \cdot \text{m}^2) / 0.6 (\text{松田 1975})$
平均応力降下量	4.5MPa	$\Delta \sigma = 8 / (3\pi) \times M_0 / (LW_{\text{max}}^2)$
剛性率	3.43E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.8\text{g/cm}^3$:防災科研(2005)に基づき設定
平均すべり量	294.8cm	$D = M_0 / (\mu S)$
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	3.0km/s	$V_b = 0.87 \times \beta \text{ km/s}$
破壊伝播様式	破壊開始点から同心円状	地震調査委員会(2009)に基づき設定
破壊開始点	北断層アスペリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスペリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層アスペリティ下端端部 (破壊開始点3) 南断層アスペリティ下端端部 (破壊開始点4) 北断層巨視的断層面下端端部 (破壊開始点5) 南断層巨視的断層面下端端部 (破壊開始点6)	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	3.59E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_b / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma \times \beta^2$
高周波減断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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
	数	4個
	総面積	399.9km ²
	平均すべり量	589.6cm
	地震モーメント	8.09E+19N・m
背景領域	位置	敷地に近い位置の地表付近
	数	4個
	総面積	399.9km ²
	平均すべり量	589.6cm
	地震モーメント	8.09E+19N・m
位置	敷地に近い位置の地表付近	地質調査結果を踏まえた上で、敷地に近い位置の地表付近に設定
数	4個	地質調査結果を踏まえた上で、4個設定
総面積	399.9km ²	$S_b = 0.22 \times S$
平均すべり量	589.6cm	$D_b = \gamma_p \times D$
地震モーメント	8.09E+19N・m	$M_{0b} = \mu S_b D_b$
応力降下量	20.6MPa	$\Delta \sigma_b = (S_b / S_b) \times \Delta \sigma$
地震モーメント	1.03E+20N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
面積	1418.0km ²	$S_b = S - S_a$
平均すべり量	211.7cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
応力降下量	4.1MPa	$\sigma_b = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_b) r \times \gamma_r^2 \sigma_a$

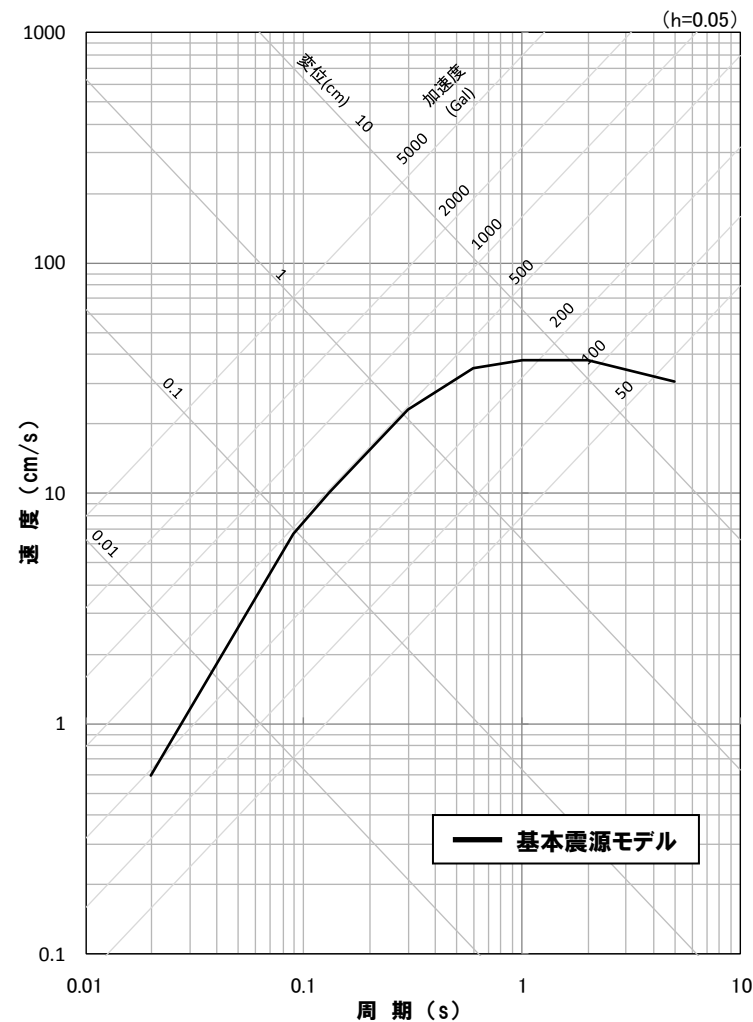
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)
 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)

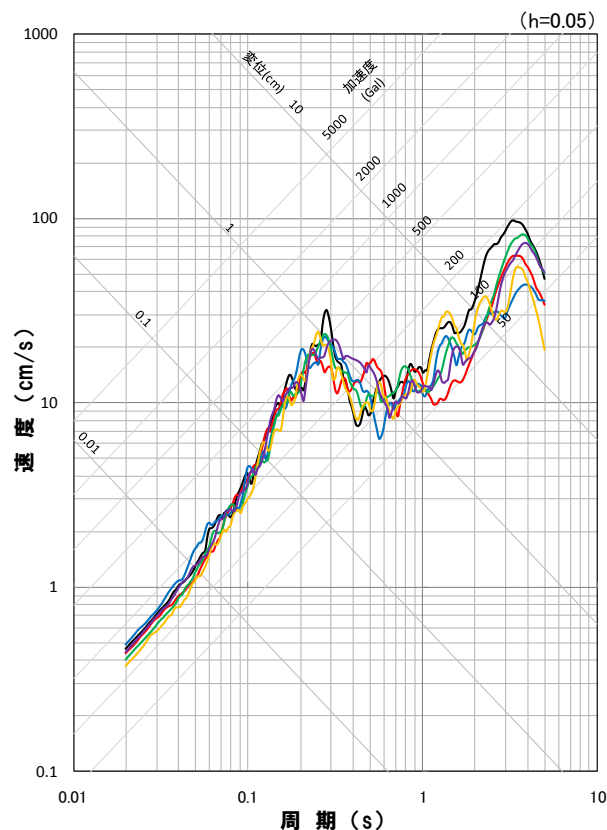


応答スペクトル図(鉛直方向)

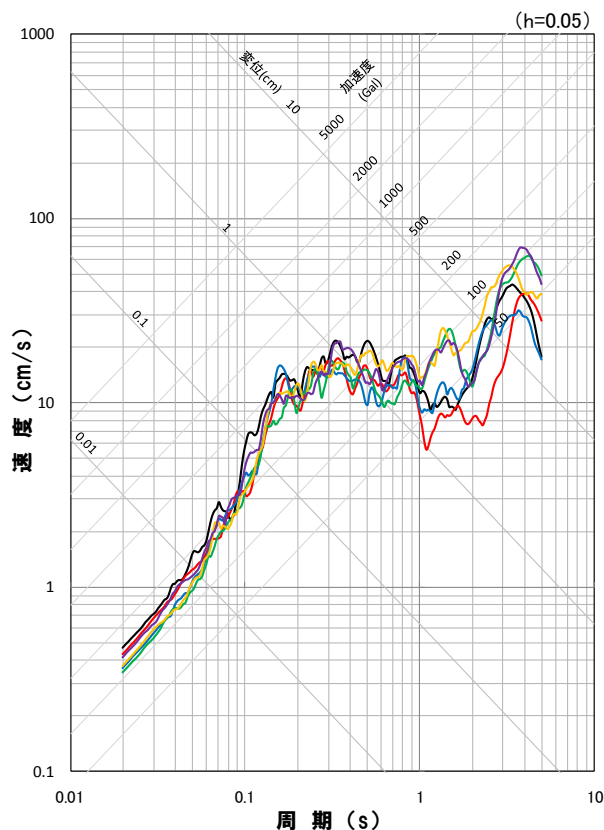
※ 基本モデル(M8.2, $X_{eq}=46\text{km}$)の評価結果は、不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角)(M8.2, $X_{eq}=49\text{km}$)の評価結果を包絡していることから、基本モデルの評価結果で代表させる。

4.3 検討用地震の地震動評価

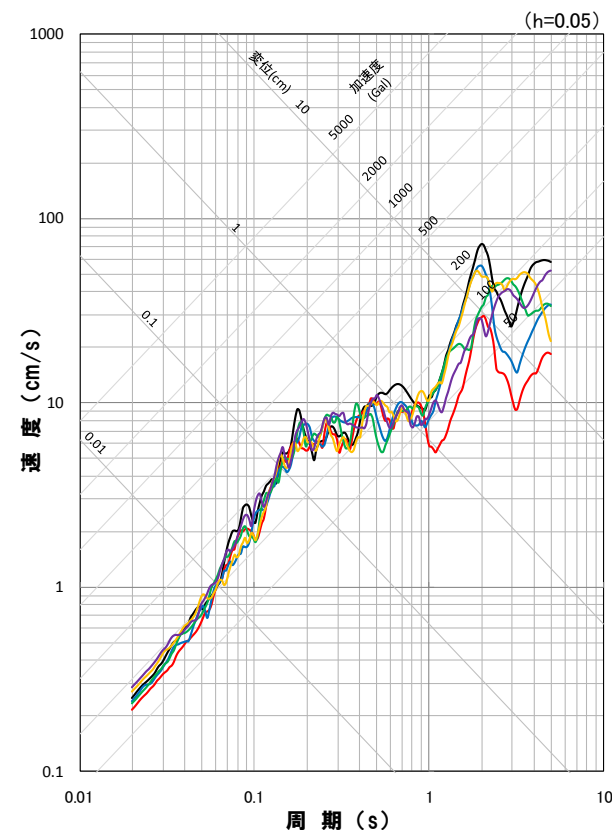
(F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(基本震源モデル)



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

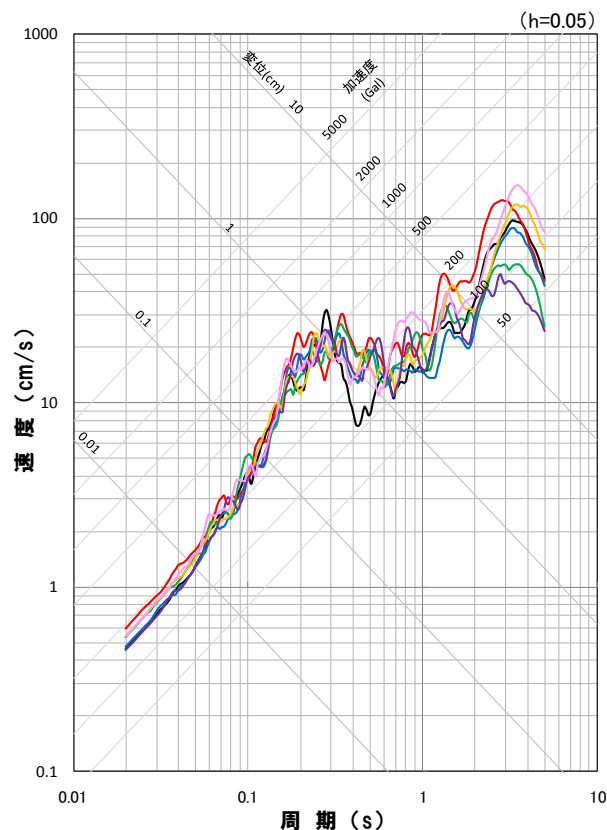
- | | |
|------------------|------------------|
| — 基本震源モデル,破壊開始点1 | — 基本震源モデル,破壊開始点2 |
| — 基本震源モデル,破壊開始点3 | — 基本震源モデル,破壊開始点4 |
| — 基本震源モデル,破壊開始点5 | — 基本震源モデル,破壊開始点6 |

※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

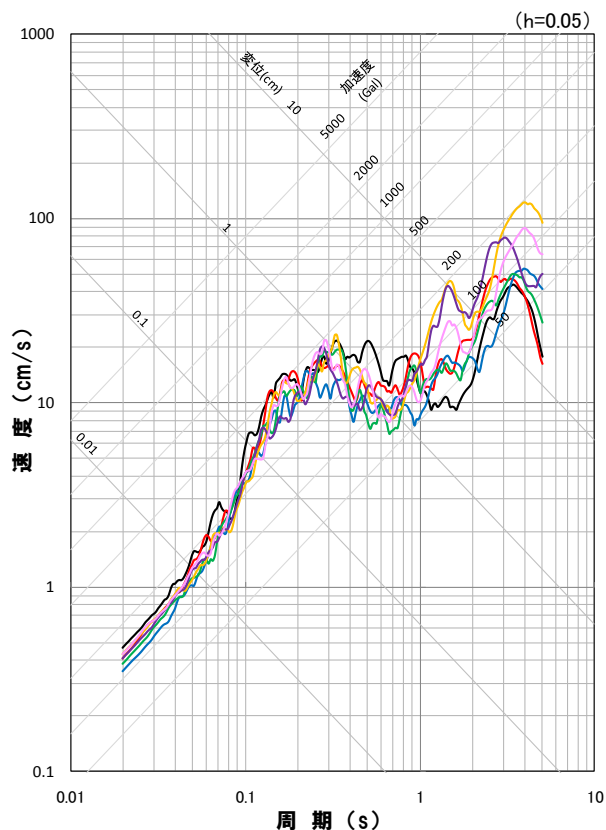
4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)

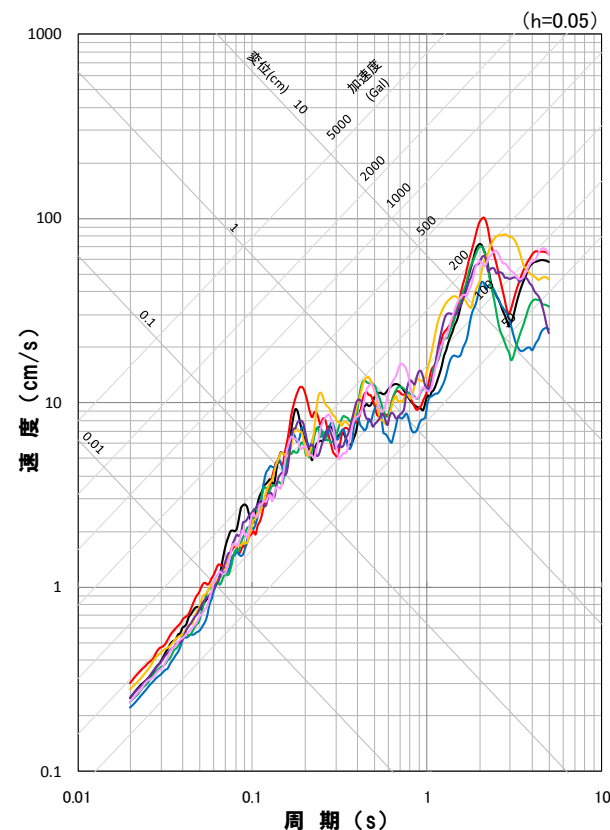
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))



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3

— 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点5

— 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点2

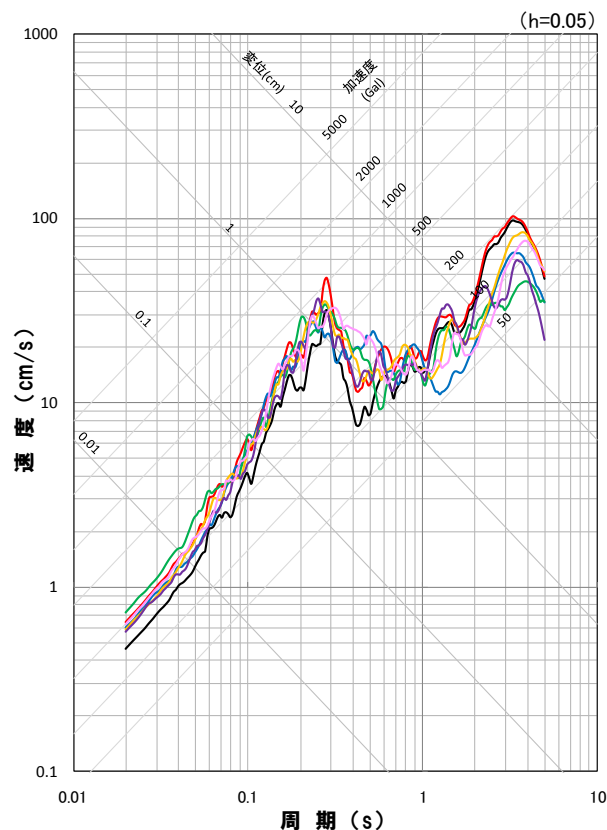
— 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4

— 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点6

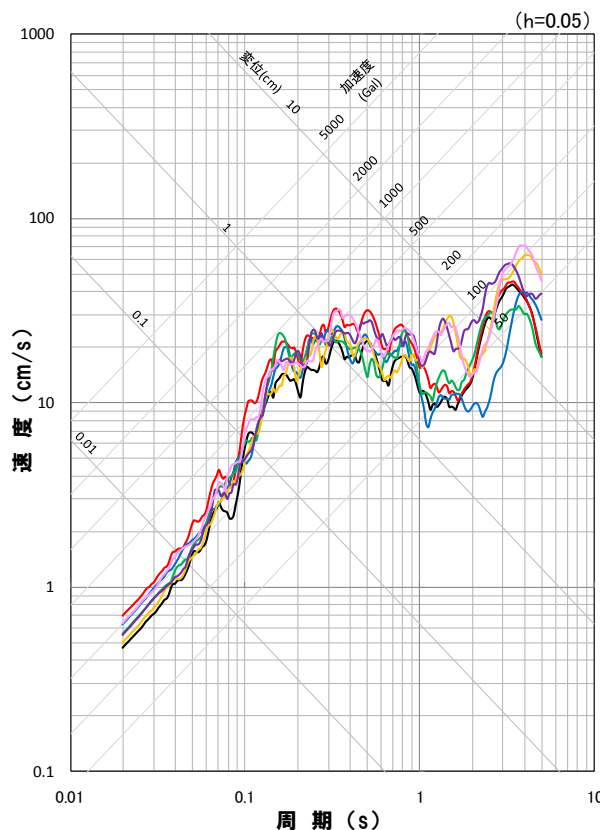
※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

4.3 検討用地震の地震動評価

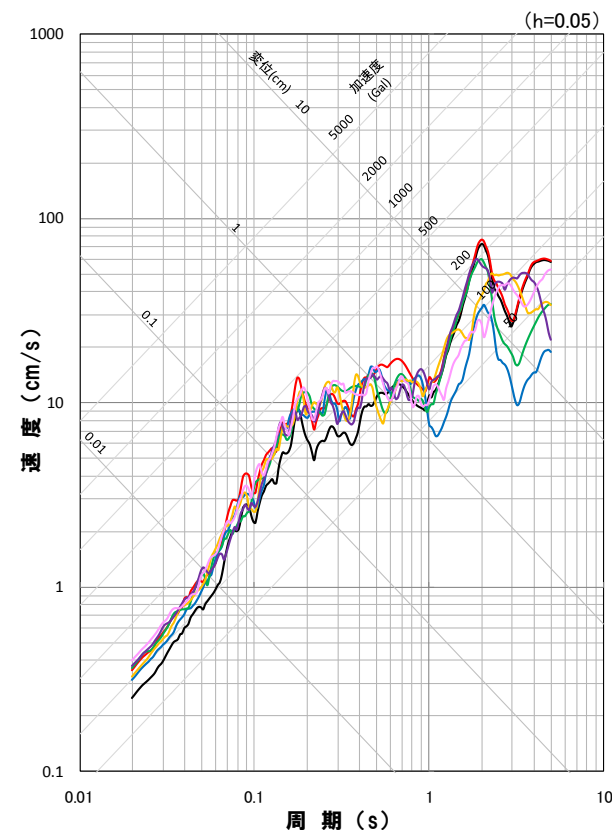
(F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(不確かさ考慮モデル(応力降下量))



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

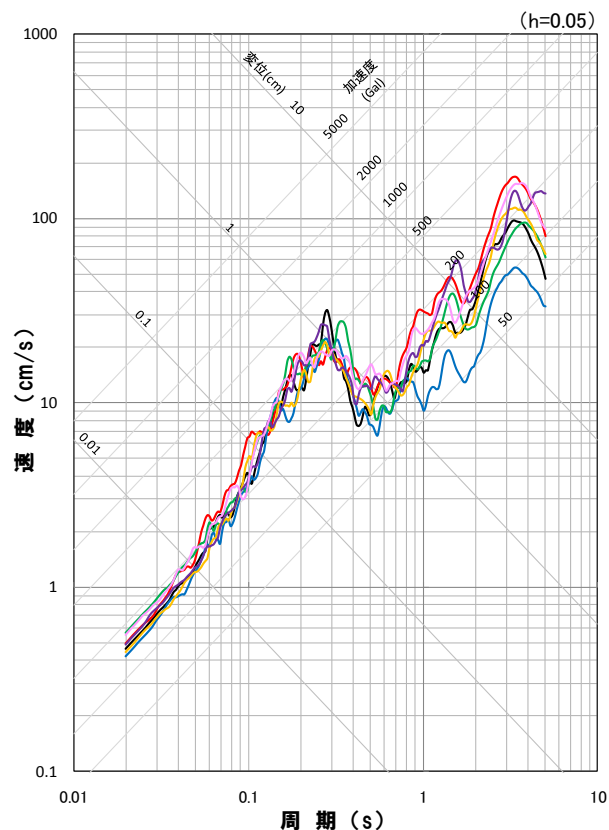
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点5
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点4
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点6

※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

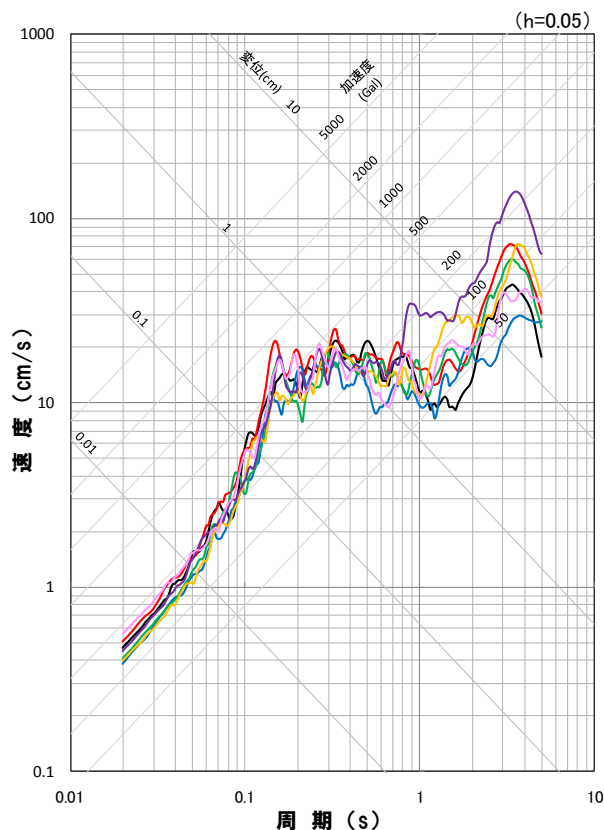
4.3 検討用地震の地震動評価

(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)

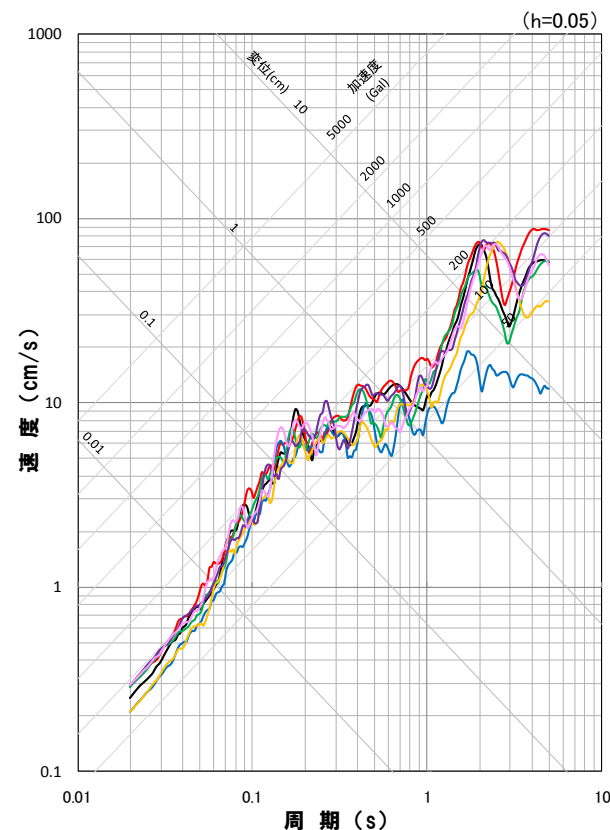
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度))



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

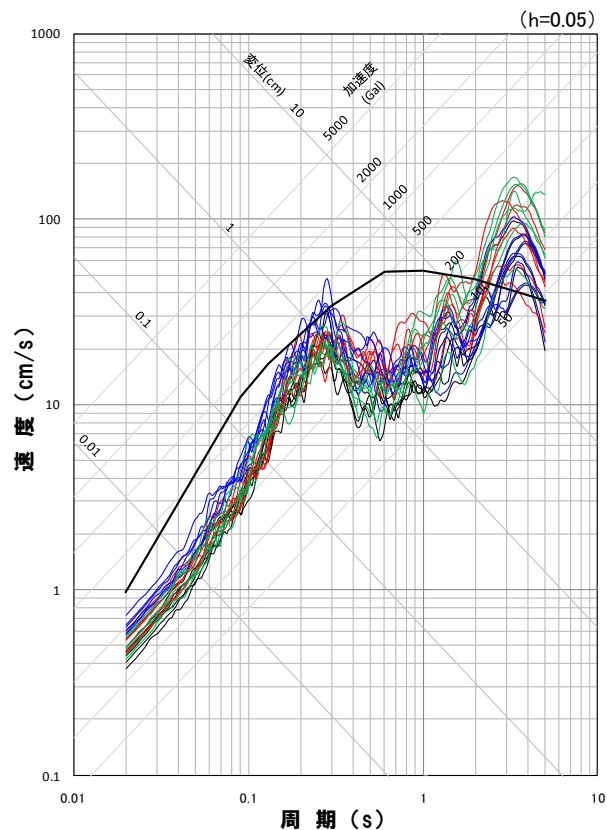
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点5
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点4
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点6

※ハイブリッド合成法における接続周期:1秒

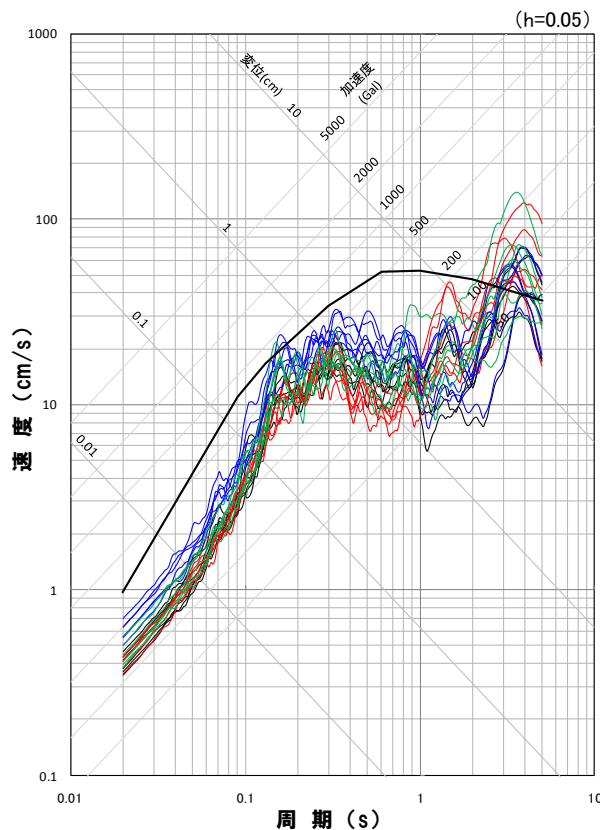
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

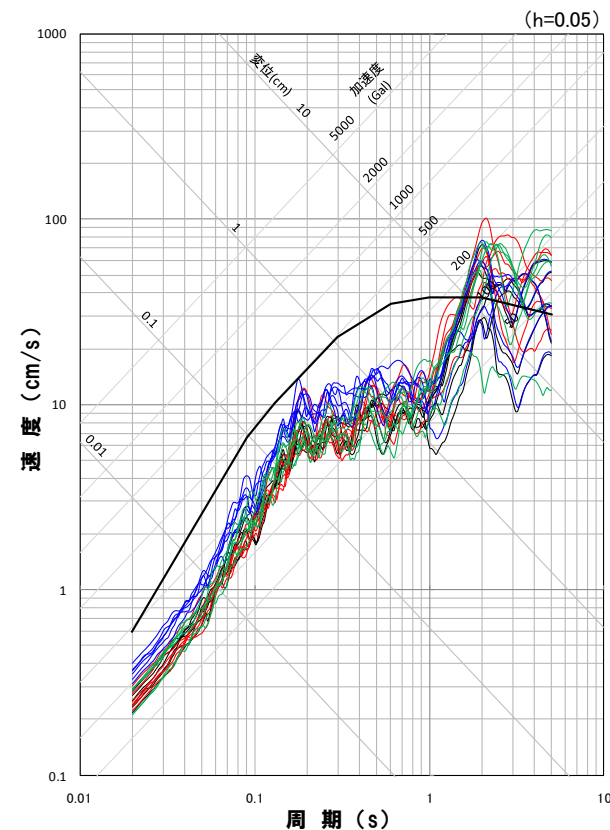
(F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震)
地震動評価結果



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)
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度)

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)断層パラメータの設定方法

- F_B-2断層による地震について、複数の方法で主要な断層パラメータを設定し、採用する方法を選定する。
- 方法1は、アスペリティ面積比(15~27%程度)が33%と若干大きくなることから、アスペリティ面積比を22%とした方法2を採用する。なお、方法3は、アスペリティ面積が断層面積を上回っており、断層パラメータとして成立していないことから採用できない。

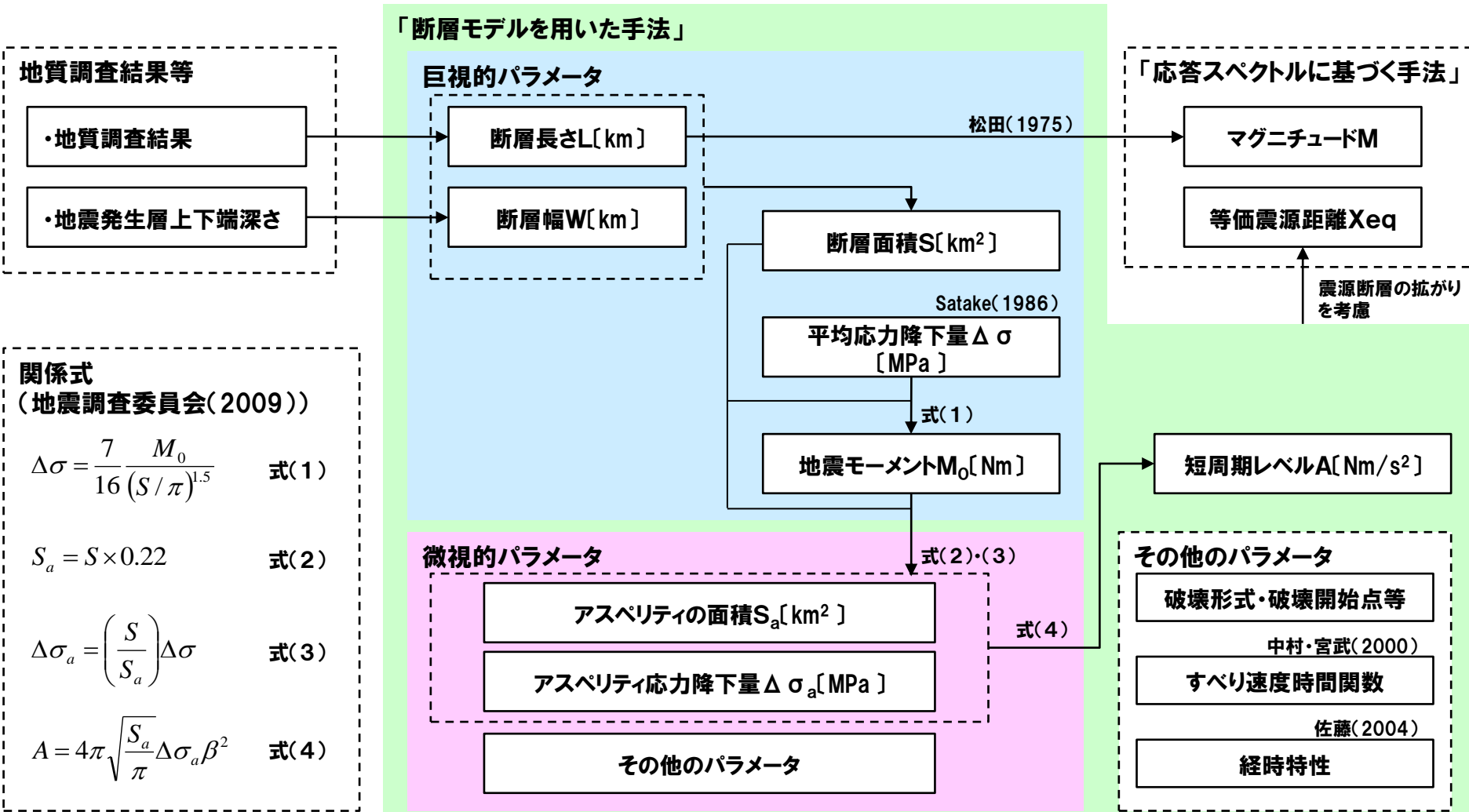
	方法1	方法2	方法3
	地震調査委員会「レシピ」 ただし、 ・平均応力降下量はSatake (1986)	地震調査委員会「レシピ」 ただし、 ・平均応力降下量はSatake (1986) ・アスペリティ面積比は22% (Somerville et al. (1999))	地震調査委員会「レシピ」 ・平均応力降下量は円形クラックの式 (Eshelby (1957))
断層長さ	96.0km	96.0km	96.0km
断層幅	50.0km	50.0km	50.0km
断層面積	4800.0km ²	4800.0km ²	4800.0km ²
地震モーメント	4.51E+20N・m	4.51E+20N・m	1.28E+21N・m
平均応力降下量	3.3MPa	3.3MPa	9.4MPa
短周期レベル	4.06E+19N・m/s ²	4.99E+19N・m/s ²	5.76E+19N・m/s ²
アスペリティ面積	1590.4km ²	1056.0km ²	6422.4km ²
アスペリティ応力降下量	10.0MPa	15.0MPa	7.0MPa
アスペリティ面積比	0.33	0.22	1.34

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)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
- なお、平均応力降下量については、既往の知見(Satake(1986))に基づき設定
- また、アスペリティ面積をSomerville et al.(1999)に基づき、震源断層全体の面積の22%で設定



4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)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
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50km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70kmを考慮。
断層の傾斜角	断層周辺において発生した地震における傾斜角を参考に45°と設定。	断層の傾斜角の不確かさを考慮し、1993年北海道南西沖地震における断層モデル等を参考に、念のため30°を考慮。
破壊伝播速度	地震調査委員会(2009)に基づき設定 $V_r=0.72V_s$	宮腰ほか(2003)の知見を参考に設定 $V_r=0.87V_s$
アスペリティの位置、数	地質調査結果等に基づき評価した活断層の範囲内で、敷地に近い位置の地表付近に2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(2009)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、安全評価上、2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、地震調査委員会(2009)に基づき設定した値の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位置に設定。

※ 下線部は、既往の評価(泊発電所発電用原子炉設置変更許可申請書:平成25年7月8日申請)からの変更箇所

4.3 検討用地震の地震動評価

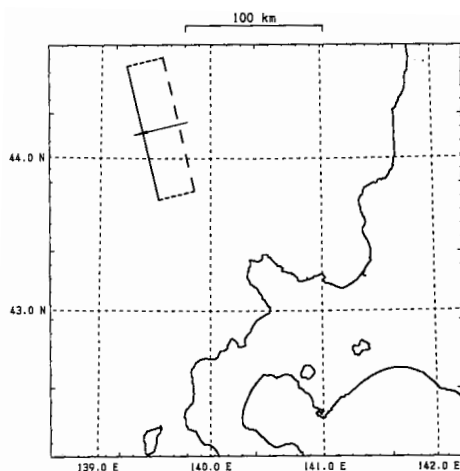
(F_B-2断層による地震)日本海東縁部の地震に関する知見

●日本海東縁部の地震に関する主な知見を以下に示す。

【Satake(1986)】

●1940年神威岬沖の地震について、津波数値実験により断層モデルを設定している。主要な断層パラメータ及び断層モデル図は、以下の通り。

主要な震源パラメータ	
断層長さ[km]	100
断層幅[km]	35
傾斜角[°]	40
地震モーメントM ₀ [N・m]	2.4×10^{20}
応力降下量 $\Delta\sigma$ [Mpa]	3.3
すべり量[cm]	150

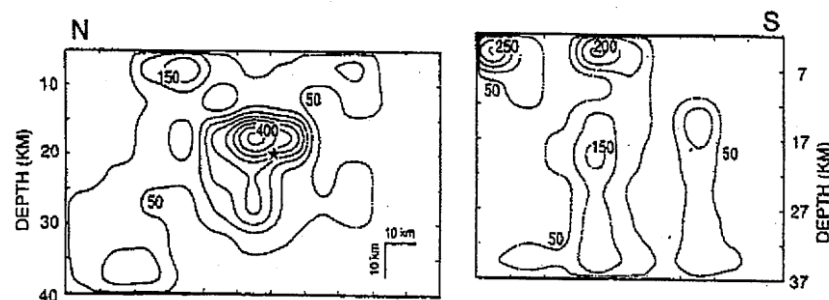


断層モデル図

【Mendoza and Fukuyama(1996)】

●1993年北海道南西沖地震について、地震観測記録のインバージョン解析を実施し、断層面とすべり量分布を求めている。主要な断層パラメータ及び断層モデル図は、以下の通り。

主要な震源パラメータ	北側面	南側面
断層長さ[km]	110	90
断層幅[km]	70	70
傾斜角[°]	30	30
地震モーメントM ₀ [N・m]	3.41×10^{20}	

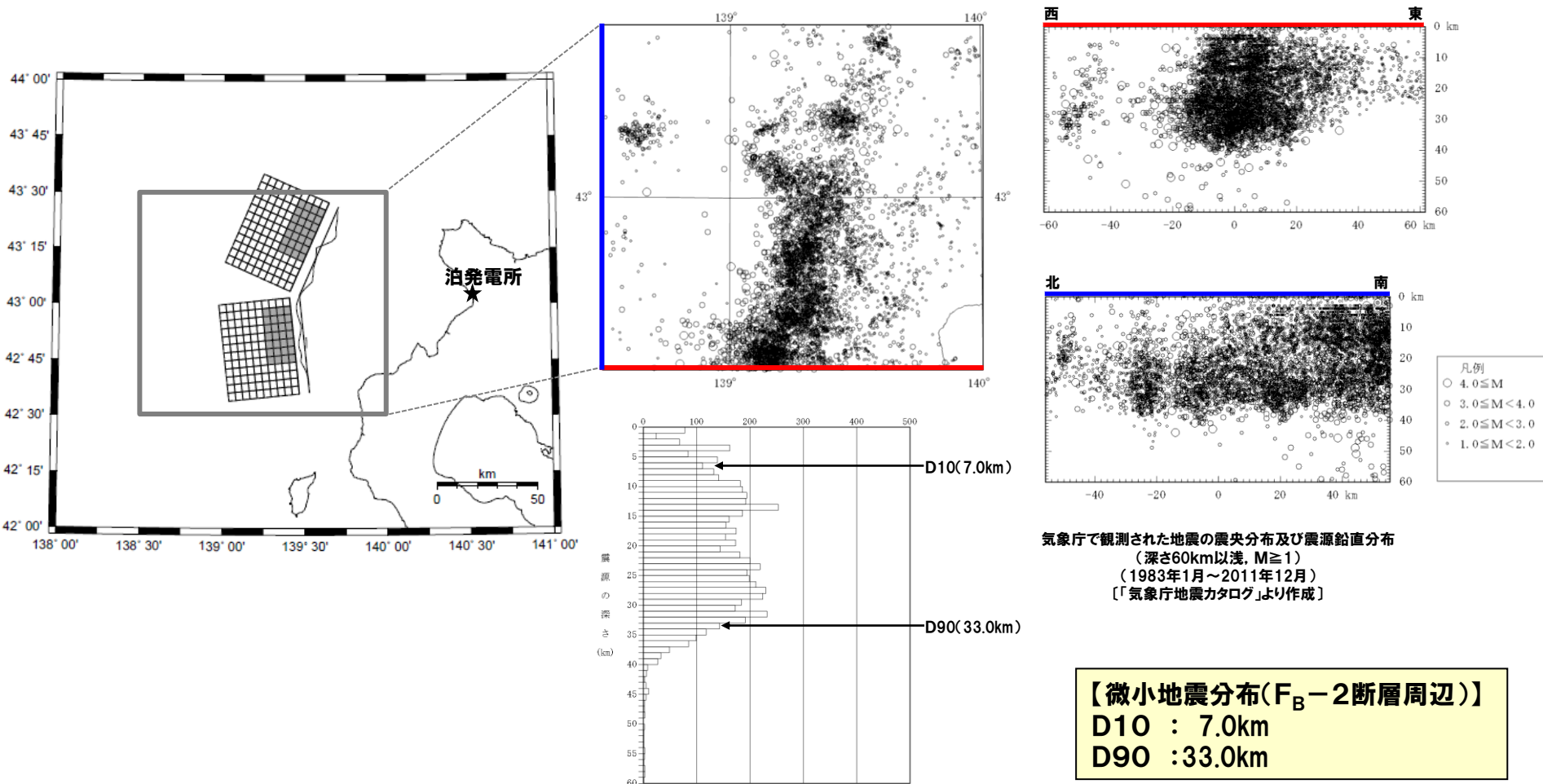


すべり量分布

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)断層上端深さ及び下端深さ

- 1993年北海道南西沖地震における断層モデル(Mendoza and Fukuyama(1996))によると断層モデルの上端を深さ5km, 下端を深さ40kmとして設定している。
- また, F_B-2断層周辺の地震発生状況からは, F_B-2断層周辺の地震発生層として上端深さ7km程度, 下端深さ33km程度と推定される。
- 以上より, F_B-2断層の断層モデルにおける上端深さを5km, 下端深さを40kmとして設定する。



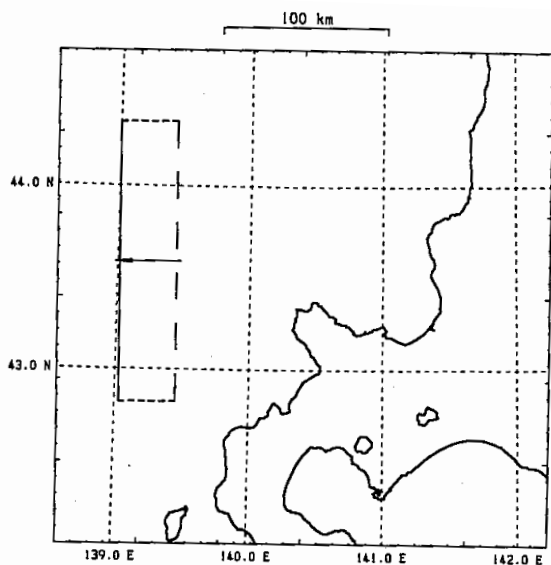
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

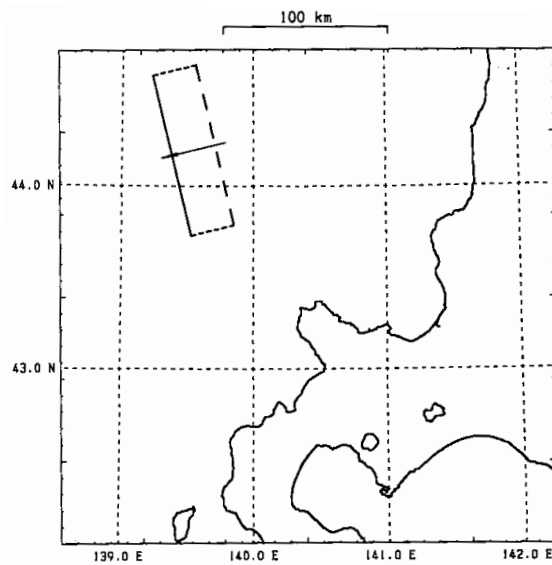
(F_B-2断層による地震)傾斜角の設定

●日本海東縁部の地震(F_B-2断層による地震)の断層モデルにおける傾斜角は、断層周辺において発生した1940年神威岬沖の地震及び1993年北海道南西沖地震の断層モデルの検討結果における傾斜角が30°～55°となっていることから、基本震源モデルを45°とし、断層の傾斜角の不確かさを考慮モデルとして30°として設定する。

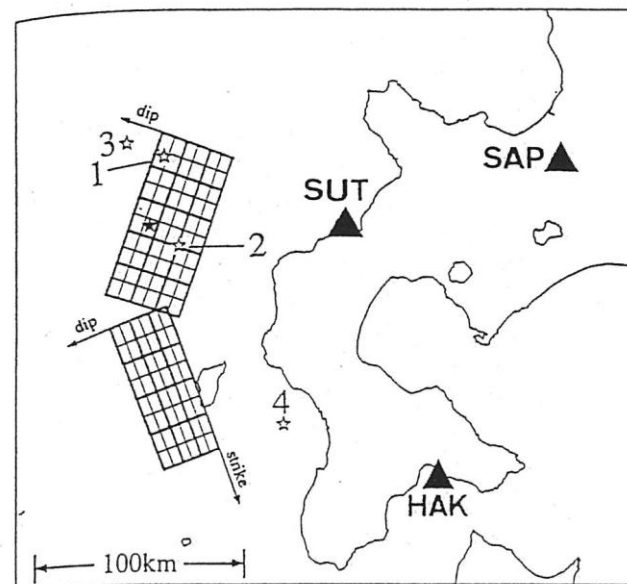
	1940年神威岬沖の地震		1993年北海道南西沖地震
	Fukao and Furumoto(1975)	Satake(1986)	Kakehi and Irikura(1997)
傾斜角	46°	40°	北断層30° 南断層55°



Fukao and Furumoto(1975)



Satake(1986)



Kakehi and Irikura(1997)

4.3 検討用地震の地震動評価

一部加筆修正 (H25.9.11審査会合資料)

(F_B-2断層による地震)検討用地震の地震動評価

地震動評価の検討ケース

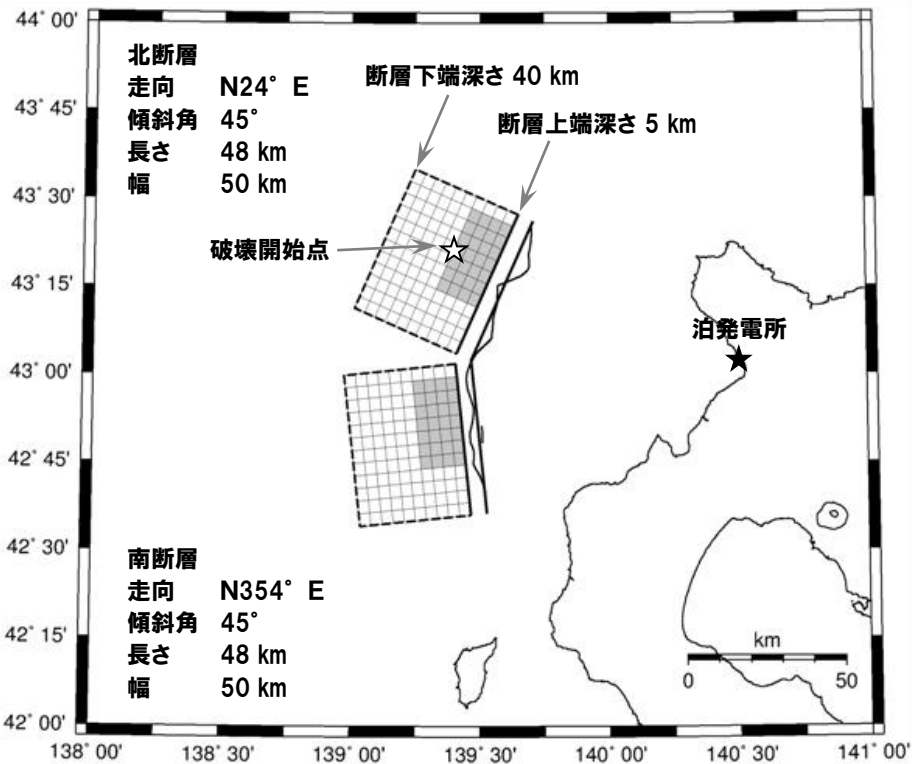
震源モデル	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層の傾斜角 (°)	破壊伝播速度 (km/s)	アスベリティ位置	破壊開始点	応力降下量	備考
(地質調査結果)	101	-	-	-	-	-	-	○地質調査結果により断層長さ101km ○地震動評価は基本震源モデルにて代表
基本震源モデル	96	50	45°	0.72Vs	敷地に近い位置の地表付近	北断層:アスベリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○地質調査結果を基に、矩形断層面を設定し、断層長さ96kmを考慮したモデル ○M8.2(L=101km), Xeq=99km* ○基本震源モデルに破壊開始点の不確かさを考慮したモデル
						南断層:アスベリティ下端中央		
						北断層:巨視的断層面下端中央		
						南断層:巨視的断層面下端中央		
不確かさ考慮モデル (断層の傾斜角)	96	70	30°	0.72Vs	敷地に近い位置の地表付近	北断層:アスベリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○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 ○M8.2(L=101km), Xeq=107km*
						南断層:アスベリティ下端中央		
						北断層:巨視的断層面下端中央		
						南断層:巨視的断層面下端中央		
不確かさ考慮モデル (応力降下量)	96	50	45°	0.72Vs	敷地に近い位置の地表付近	北断層:アスベリティ下端中央	地震調査委員会 (2009) ×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ベ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
						南断層:アスベリティ下端中央		
						北断層:巨視的断層面下端中央		
						南断層:巨視的断層面下端中央		
不確かさ考慮モデル (破壊伝播速度)	96	50	45°	0.87Vs	敷地に近い位置の地表付近	北断層:アスベリティ下端中央	地震調査委員会 (2009)	○基本震源モデルの破壊伝播速度について、不確かさを考慮して0.87Vsとしたモデル
						南断層:アスベリティ下端中央		
						北断層:巨視的断層面下端中央		
						南断層:巨視的断層面下端中央		

:不確かさを考慮して設定するパラメータ

:全てのケースにおいて共通的に考慮するパラメータ

※ 応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる諸元

4.3 検討用地震の地震動評価

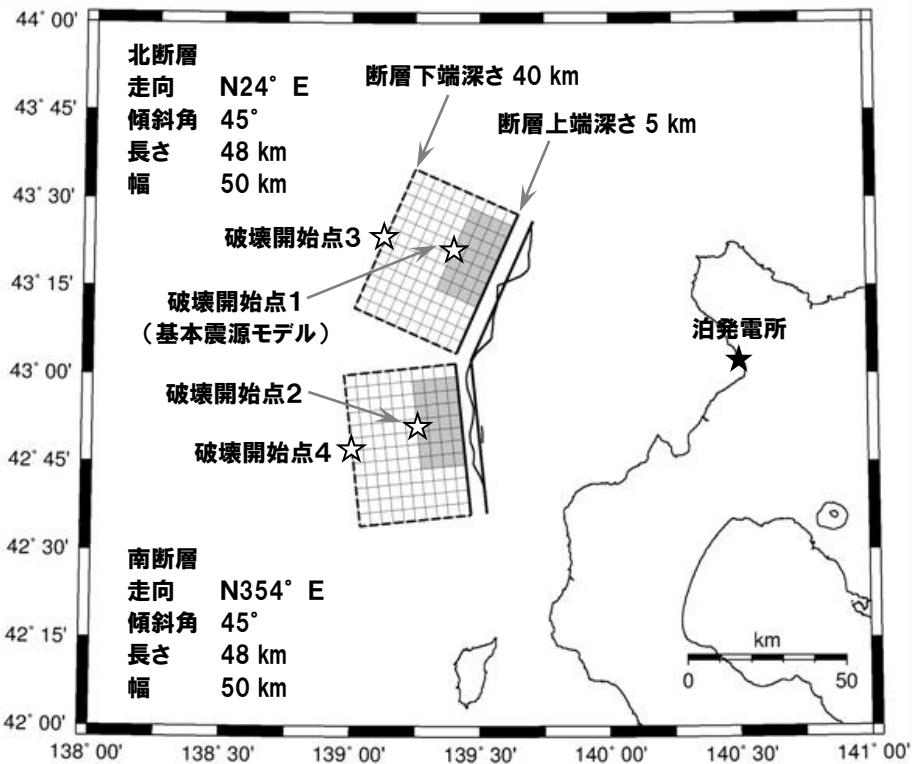
(F_B-2断層による地震)震源モデル図, 断層パラメータ(基本震源モデル)

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 43.042° 東経 139.465° 北緯 42.606° 東経 139.527°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端
走向	北断層:N 24° E 南断層:N354° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端
傾斜角	45°	断層周辺において発生した地震における傾斜角を参考に 45° と設定
断層長さ	96km(48km×2)*	地質調査結果に基づき矩形断層として設定
断層幅	50km	断層上下端深さと傾斜角から設定
断層面積	4800km ²	S=L×W
断層上端深さ	5km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定
断層下端深さ	40km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定
地震モーメント	4.51E+20N・m	$\Delta \sigma = 7/16 \times M_0 / R^3$
モーメントマグニチュード (気象庁マグニチュード)	7.7 (8.1)*	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$ ($M_J = (\text{Log} L + 2.9) / 0.6$ (松田(1975)))
平均応力降下量	3.3MPa	Satake(1986)に基づき設定
剛性率	4.19E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$ $\rho = 2.9\text{g/cm}^3$:Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定
平均すべり量	224.0cm	$D = M_0 / (\mu S)$
S波速度	3.8km/s	$\beta = 3.8\text{km/s}$:Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定
破壊伝播速度	2.7km/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(2009)に基づき設定
破壊開始点	北断層アスペリティ下端中央	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	4.99E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_0 / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_s \times \beta^2$
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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
	数	2個
	総面積	1056.0km ²
	平均すべり量	448.0cm
背景領域	地震モーメント	1.98E+20N・m
	応力降下量	15.0MPa
	地震モーメント	2.52E+20N・m
	面積	3744.0km ²
	平均すべり量	160.8cm
応力降下量	2.5MPa	

* 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価においては、地質調査結果による断層長さ101kmから松田(1975)による断層長ささと地震のマグニチュードの関係式により、M8.2を用いる。

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)震源モデル図(基本震源モデル(破壊開始点))

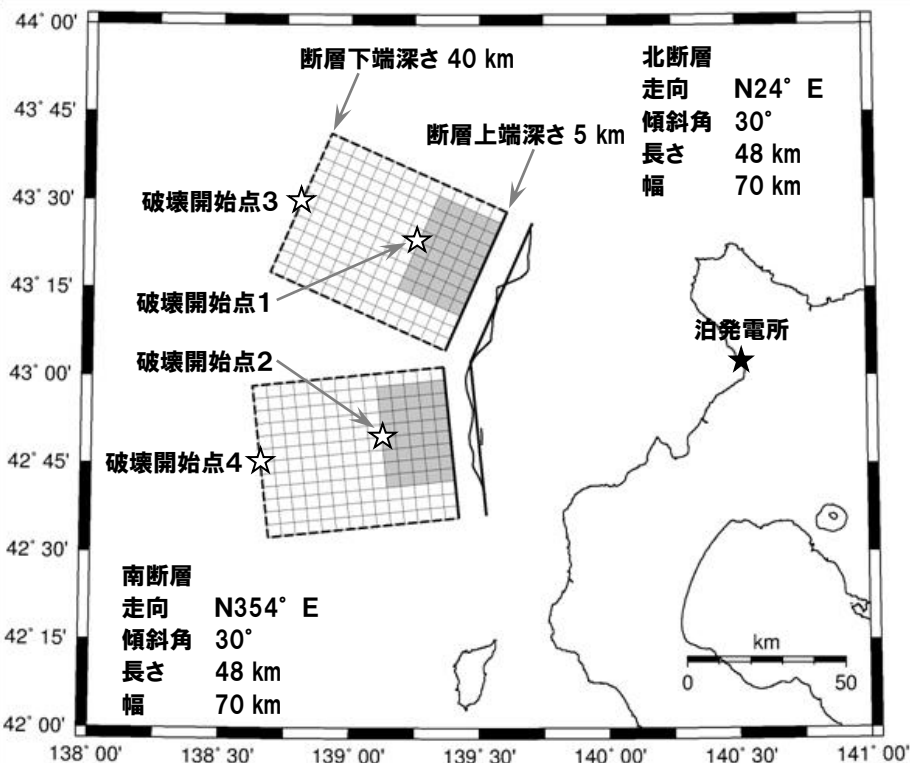
基本震源モデル
(破壊開始点)

項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 43.042° 東経 139.465° 北緯 42.606° 東経 139.527°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端	
走向	北断層:N 24° E 南断層:N354° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端	
傾斜角	45°	断層周辺において発生した地震における傾斜角を参考に 45° と設定	
断層長さ	96km(48km×2)*	地質調査結果に基づき矩形断層として設定	
断層幅	50km	断層上下端深さと傾斜角から設定	
断層面積	4800km ²	S=L×W	
断層上端深さ	5km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
断層下端深さ	40km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
地震モーメント	4.51E+20N・m	$\Delta \sigma = 7/16 \times M_0/R^3$	
モーメントマグニチュード (気象庁マグニチュード)	7.7 (8.1)*	$\text{Log}M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$ ($M_0 = (\text{log}L + 2.9) / 0.6$ (松田(1975)))	
平均応力降下量	3.3MPa	Satake(1986)に基づき設定	
剛性率	4.19E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$ $\rho = 2.9\text{g/cm}^3$:Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
平均すべり量	224.0cm	$D = M_0 / (\mu S)$	
S波速度	3.8km/s	$\beta = 3.8\text{km/s}$:Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
破壊伝播速度	2.7km/s	$V_a = 0.72 \times \beta \text{km/s}$ (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(2009)に基づき設定	
破壊開始点	北断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3) 南断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点4)	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	4.99E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_0/\pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_a \times \beta^2$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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	地質調査結果を踏まえた上で、敷地に近い位置の地表付近に設定
	数	2個	北断層及び南断層にそれぞれ1個設定
	総面積	1056.0km ²	$S_a = 0.22 \times S$
	平均すべり量	448.0cm	$D_a = \gamma_D \times D$
背景領域	地震モーメント	1.98E+20N・m	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量	15.0MPa	$\Delta \sigma_a = S/S_a \times \Delta \sigma$
	地震モーメント	2.52E+20N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	3744.0km ²	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	160.8cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
応力降下量	2.5MPa	$\sigma_b = (D_b/W_0) (\pi^{0.5}/D_b) r \times \gamma_1^3 \sigma_a$	

* 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価においては、地質調査結果による断層長さ101kmから松田(1975)による断層長ささと地震のマグニチュードの関係式により、M8.2を用いる。

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)震源モデル図(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))



不確かさ考慮モデル
(断層の傾斜角)

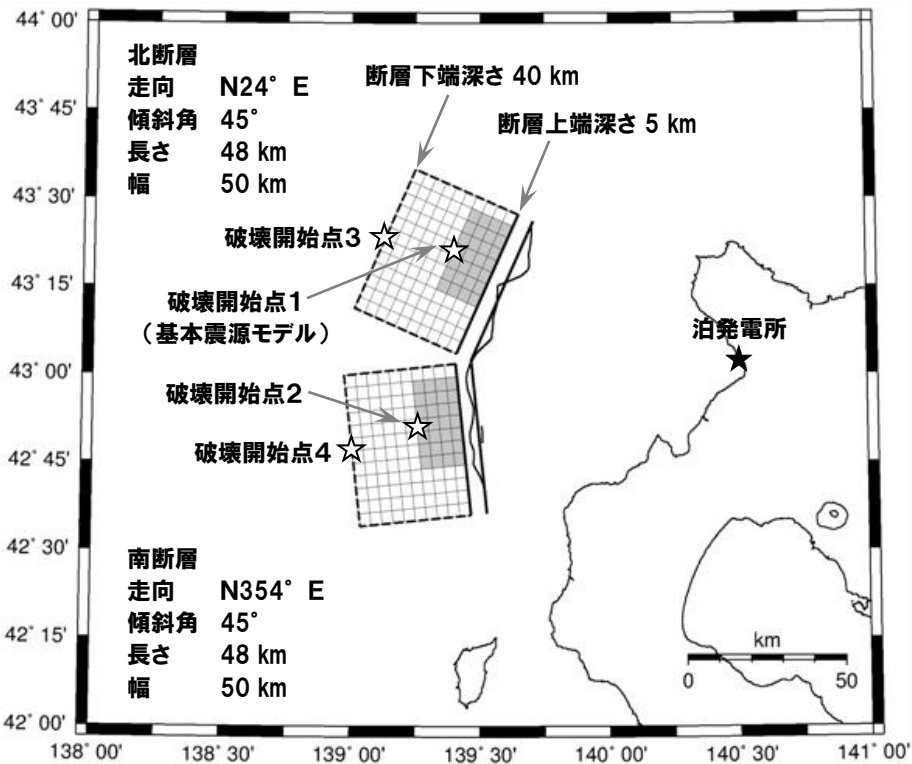
項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 43.042° 東経 139.465° 北緯 42.606° 東経 139.527°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端	
走向	北断層: N 24° E 南断層: N354° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端	
傾斜角	30°	不確かさを考慮し、念のため 30° と設定	
断層長さ	96km(48km×2)*	地質調査結果に基づき矩形断層として設定	
断層幅	70km	断層上下端深さと傾斜角から設定	
断層面積	6720km ²	S=L×W	
断層上端深さ	5km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
断層下端深さ	40km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
地震モーメント	7.46E+20N・m	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^3$	
モーメントマグニチュード (気象庁マグニチュード)	7.8 (8.1)*	$\text{Log}M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$ ($M_0 = (\text{log}L + 2.9) / 0.6$ (松田(1975)))	
平均応力降下量	3.3MPa	Satake(1986)に基づき設定	
剛性率	4.19E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$ $\rho = 2.9\text{g/cm}^3$: Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
平均すべり量	265.0cm	$D = M_0 / (\mu S)$	
S波速度	3.8km/s	$\beta = 3.8\text{km/s}$: Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
破壊伝播速度	2.7km/s	$V_a = 0.72 \times \beta \text{ km/s}$ (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(2009)に基づき設定	
破壊開始点	北断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3) 南断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点4)	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	5.90E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_0 / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_a \times \beta^2$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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	地質調査結果を踏まえた上で、敷地に近い位置の地表付近に設定
	数	2個	北断層及び南断層にそれぞれ1個設定
	総面積	1478.4km ²	$S_a = 0.22 \times S$
	平均すべり量	530.1cm	$D_a = \gamma_b \times D$
	地震モーメント	3.28E+20N・m	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
背景領域	応力降下量	15.0MPa	$\Delta \sigma_a = S / S_a \times \Delta \sigma$
	地震モーメント	4.18E+20N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	5241.6km ²	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	190.3cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
応力降下量	2.1MPa	$\sigma_b = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_b) r \times S \gamma_1^3 \sigma_a$	

* 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価においては、地質調査結果による断層長さ101kmから松田(1975)による断層長さとの関係式により、M8.2を用いる。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)震源モデル図(不確かさ考慮モデル(応力降下量))



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

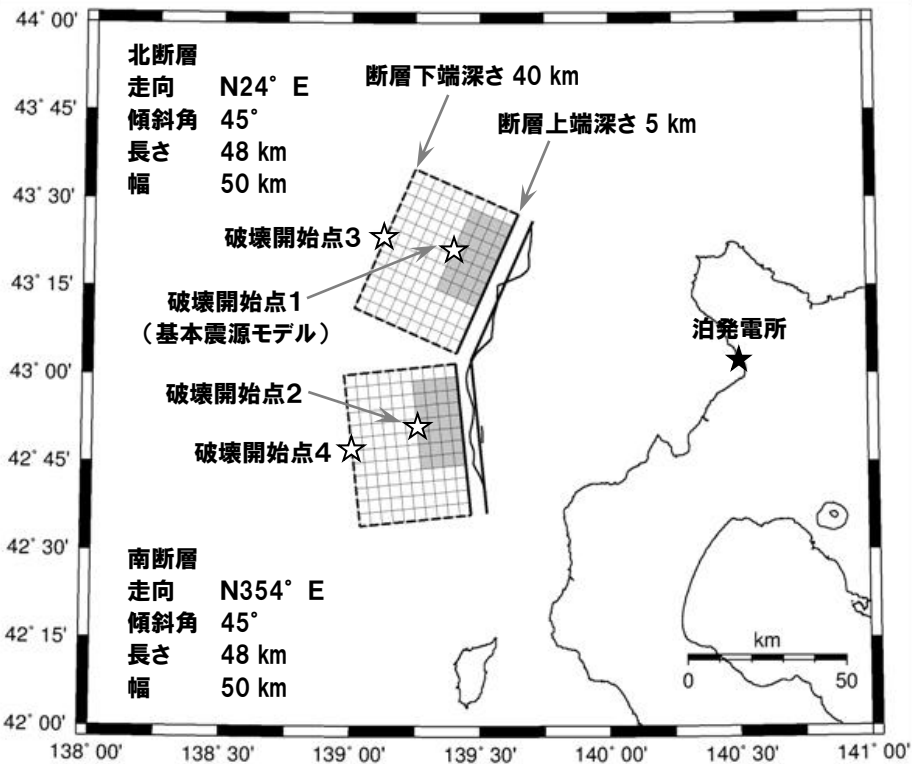
項目	設定値	設定方法	
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 43.042° 東経 139.465° 北緯 42.606° 東経 139.527°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端	
走向	北断層:N 24° E 南断層:N354° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端	
傾斜角	45°	断層周辺において発生した地震における傾斜角を参考に 45° と設定	
断層長さ	96km(48km×2)*	地質調査結果に基づき矩形断層として設定	
断層幅	50km	断層上下端深さと傾斜角から設定	
断層面積	4800km ²	S=L×W	
断層上端深さ	5km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
断層下端深さ	40km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
地震モーメント	4.51E+20N・m	$\Delta \sigma = 7/16 \times M_0/R^3$	
モーメントマグニチュード (気象庁マグニチュード)	7.7 (8.1)*	$\text{Log}M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$ ($M_0 = (\text{log}L + 2.9) / 0.6$ (松田(1975)))	
平均応力降下量	3.3MPa	Satake(1986)に基づき設定	
剛性率	4.19E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$ $\rho = 2.9\text{g}/\text{cm}^3$:Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
平均すべり量	224.0cm	$D = M_0 / (\mu S)$	
S波速度	3.8km/s	$\beta = 3.8\text{km}/\text{s}$:Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
破壊伝播速度	2.7km/s	$V_a = 0.72 \times \beta \text{ km}/\text{s}$ (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(2009)に基づき設定	
破壊開始点	北断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3) 南断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点4)	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	7.49E+19N・m/s ²	$A = 4\pi \times (S_b/\pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_a \times \beta^2$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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	地質調査結果を踏まえた上で、敷地に近い位置の地表付近に設定
	数	2個	北断層及び南断層にそれぞれ1個設定
	総面積	1056.0km ²	$S_a = 0.22 \times S$
	平均すべり量	448.0cm	$D_a = \gamma_b \times D$
	地震モーメント	1.98E+20N・m	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
背景領域	応力降下量	22.5MPa	$\Delta \sigma_a = 1.5 \times S/S_a \times \Delta \sigma$
	地震モーメント	2.52E+20N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	3744.0km ²	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	160.8cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
応力降下量	3.7MPa	$\sigma_b = (D_b/W_0) (\pi^{0.5}/D_0) r \times \Sigma \gamma_1^3 \sigma_a$	

* 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価においては、地質調査結果による断層長さ101kmから松田(1975)による断層長さとして地震のマグニチュードの関係式により、M8.2を用いる。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)震源モデル図(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度))



不確かさ考慮モデル
(破壊伝播速度)
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 43.042° 東経 139.465° 北緯 42.606° 東経 139.527°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端	
走向	北断層:N 24° E 南断層:N354° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端	
傾斜角	45°	断層周辺において発生した地震における傾斜角を参考に 45° と設定	
断層長さ	96km(48km×2)*	地質調査結果に基づき矩形断層として設定	
断層幅	50km	断層上下端深さと傾斜角から設定	
断層面積	4800km ²	S=L×W	
断層上端深さ	5km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
断層下端深さ	40km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定	
地震モーメント	4.51E+20N・m	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^3$	
モーメントマグニチュード	7.7	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$	
(気象庁マグニチュード)	(8.1)*	($M_j = (\text{log} M + 2.9) / 0.6$ (松田(1975)))	
平均応力降下量	3.3MPa	Satake(1986)に基づき設定	
剛性率	4.19E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$ $\rho = 2.9 \text{g/cm}^3$: Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
平均すべり量	224.0cm	$D = M_0 / (\mu S)$	
S波速度	3.8km/s	$\beta = 3.8 \text{km/s}$: Mendoza and Fukuyama(1996)に基づき設定	
破壊伝播速度	3.3km/s	$V_s = 0.87 \times \beta \text{ km/s}$ (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(2009)に基づき設定	
破壊開始点	北断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3) 南断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点4)	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	4.99E+19N・m/s ²	$A = 4 \pi \times (S_0 / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_s \times \beta^2$	
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)に基づき設定	
アスレリティ	位置	敷地に近い位置の地表付近	地質調査結果を踏まえた上で、敷地に近い位置の地表付近に設定
	数	2個	北断層及び南断層にそれぞれ1個設定
	総面積	1056.0km ²	$S_s = 0.22 \times S$
	平均すべり量	448.0cm	$D_s = \gamma_D \times D$
	地震モーメント	1.98E+20N・m	$M_{0s} = \mu S_s D_s$
背景領域	応力降下量	15.0MPa	$\Delta \sigma_s = S / S_s \times \Delta \sigma$
	地震モーメント	2.52E+20N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0s}$
	面積	3744.0km ²	$S_b = S - S_s$
	平均すべり量	160.8cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
応力降下量	2.5MPa	$\sigma_b = (D_b / W_b) (\pi^{0.5} / D_s) r \times \gamma_1^3 \sigma_s$	

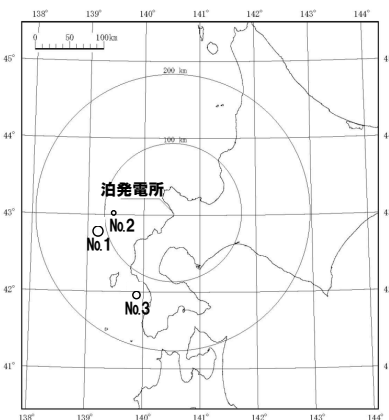
* 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価においては、地質調査結果による断層長さ101kmから松田(1975)による断層長さとして地震のマグニチュードの関係式により、M8.2を用いる。

4.3 検討用地震の地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価(日本海東縁部の地震の補正係数)

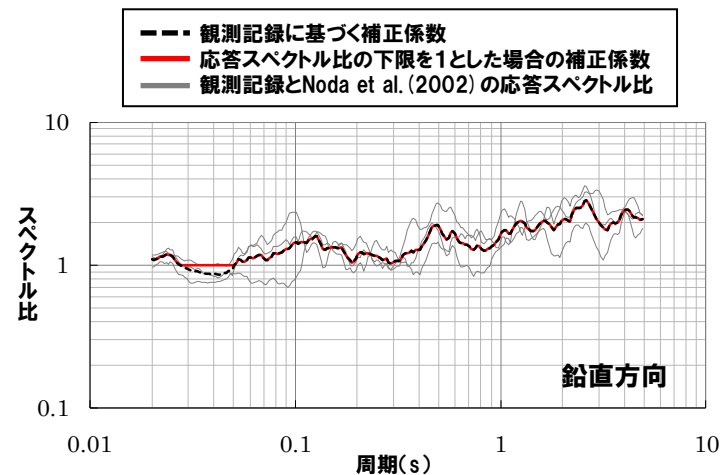
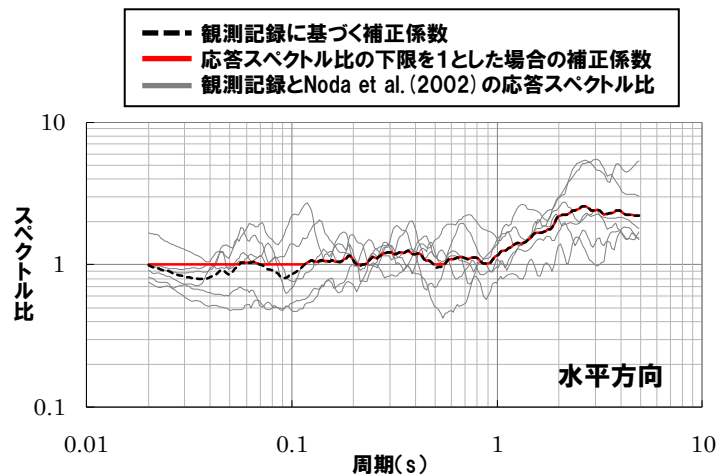
- 敷地で観測された代表的な観測記録である1993年北海道南西沖地震の観測記録を基に, Noda et al.(2002)による応答スペクトルに対する比率を求め, それらの平均値を日本海東縁部の地震の「応答スペクトルに基づく地震動評価」における補正係数とする。
- なお, 一部の周期帯で補正係数が1を下回ることから, 安全側の評価として補正係数の下限を1とする。
- 補正係数の評価に用いた観測記録の諸元, 評価された補正係数を以下に示す。

No	発生年月日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地名 (地震名)
		東経(°)	北緯(°)				
1	1993. 7.12	139.180°	42.782°	35	7.8	113	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震)
2	1993. 7.12	139.457°	43.022°	35	5.4	86	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震・余震)
3	1993. 8. 8	139.882°	41.958°	24	6.3	131	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震・最大余震)

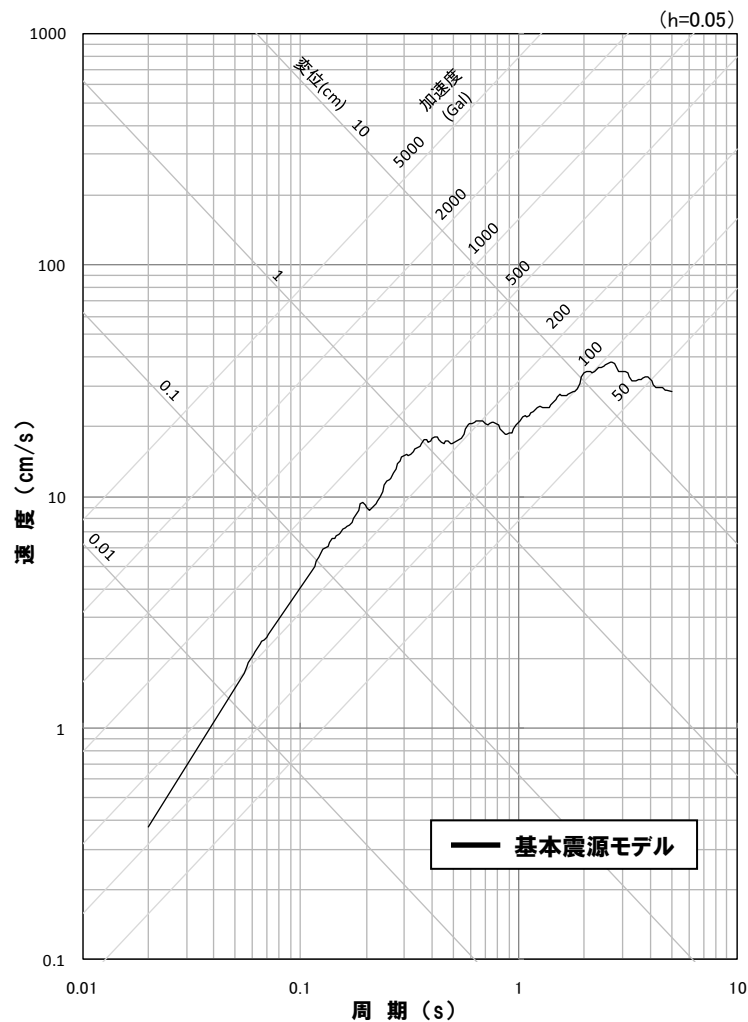


※ 地震の諸元は気象庁地震カタログ

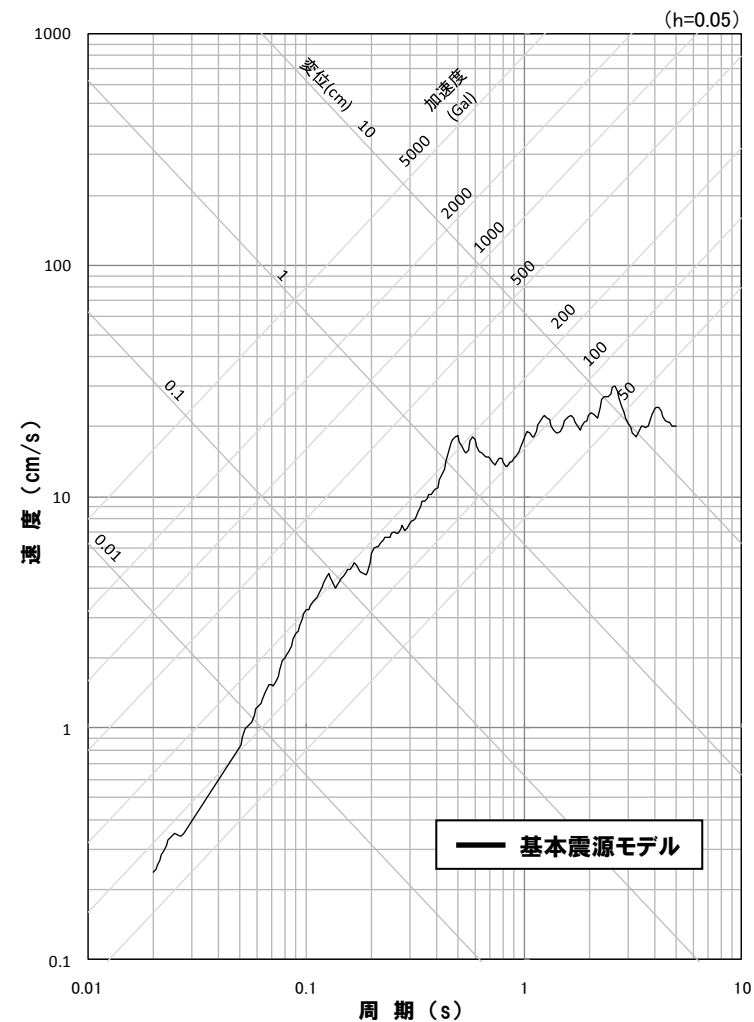
震央分布図

日本海東縁部の地震の観測記録に基づく応答スペクトル比
（「応答スペクトルに基づく地震動評価」における補正係数）

4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)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)

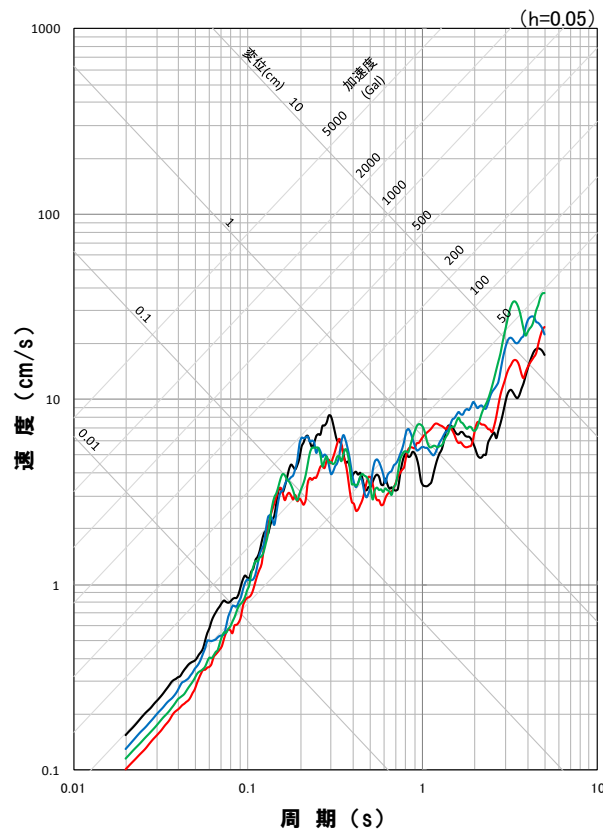


応答スペクトル図(鉛直方向)

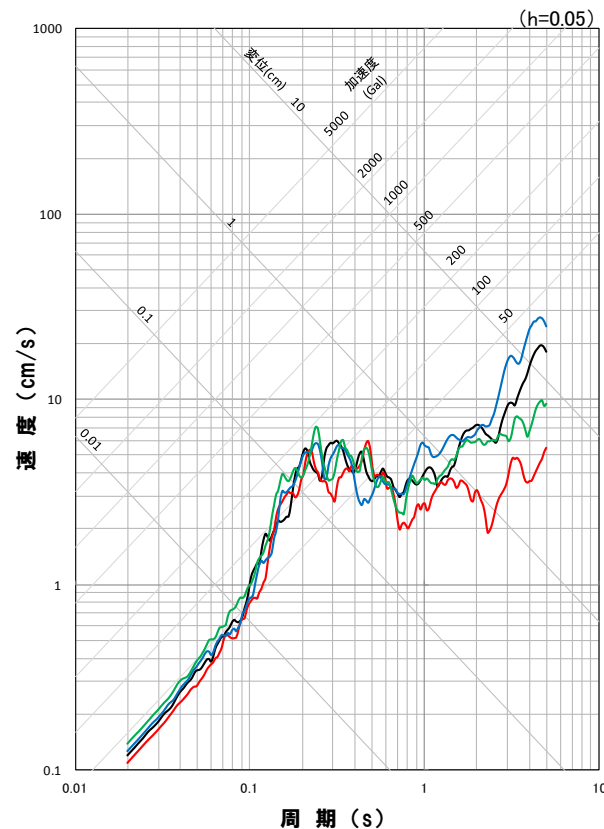
※ 基本モデル(M8.2, Xeq=99km)の評価結果は、不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角)(M8.2, Xeq=107km)の評価結果を包絡していることから、基本モデルの評価結果で代表させる。

4.3 検討用地震の地震動評価

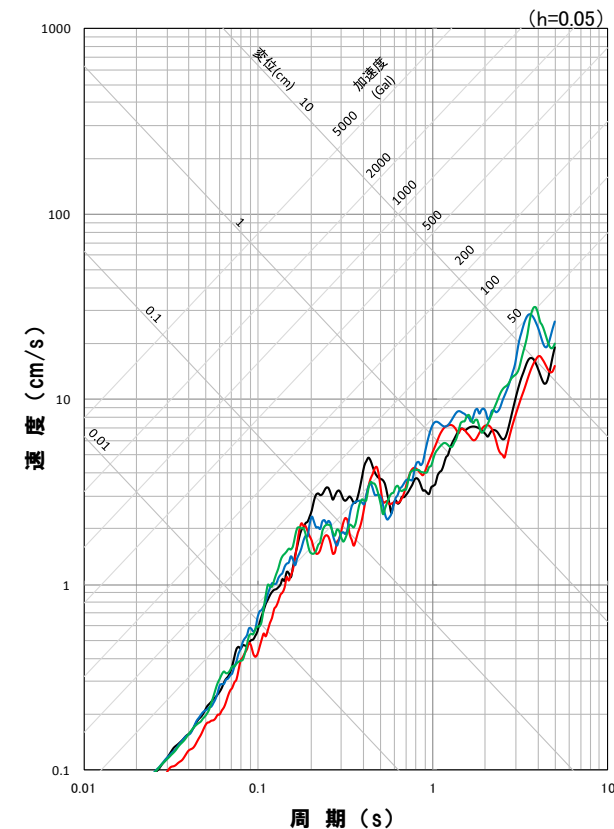
(F_B-2 断層による地震)断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
(基本震源モデル)



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3

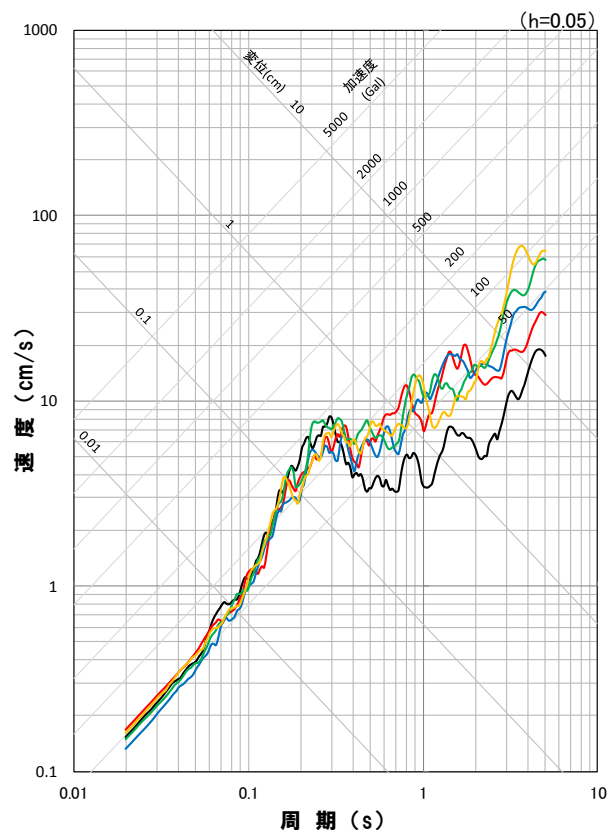
— 基本震源モデル,破壊開始点2
— 基本震源モデル,破壊開始点4

※ハイブリッド合成法における接続周期:2.5秒

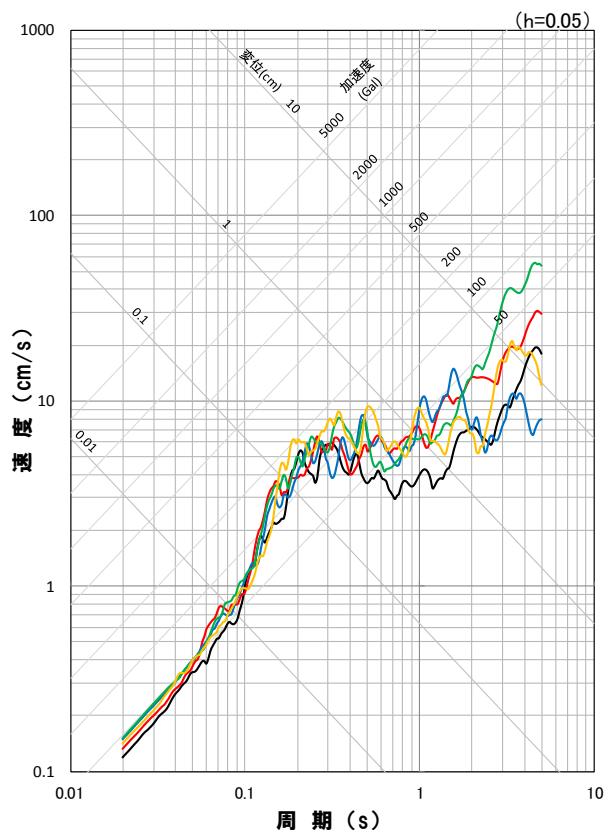
(統計的グリーン関数法による地震動評価結果と波数積分法による地震動評価結果を踏まえて, 接続周期を2.5秒とした)

4.3 検討用地震の地震動評価

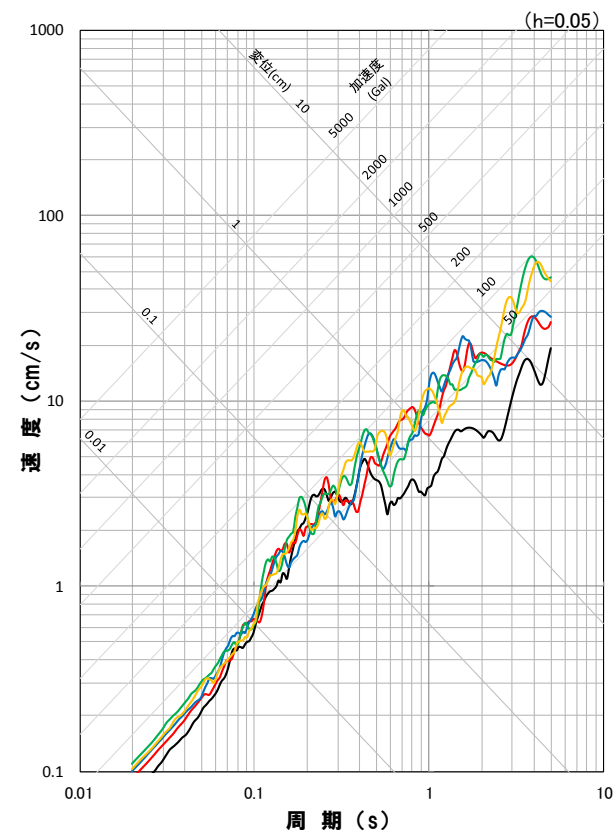
(F_B-2断層による地震)断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))



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

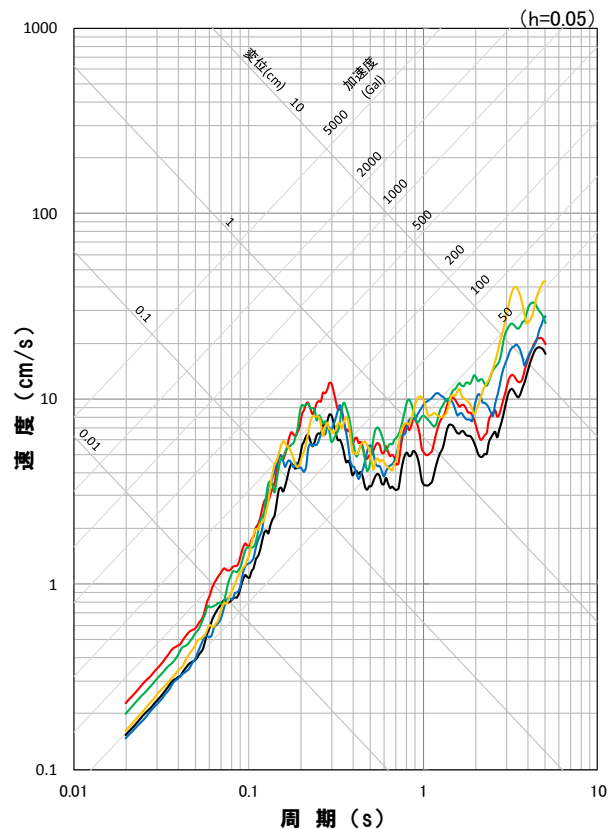
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4

※ハイブリッド合成法における接続周期:2.5秒

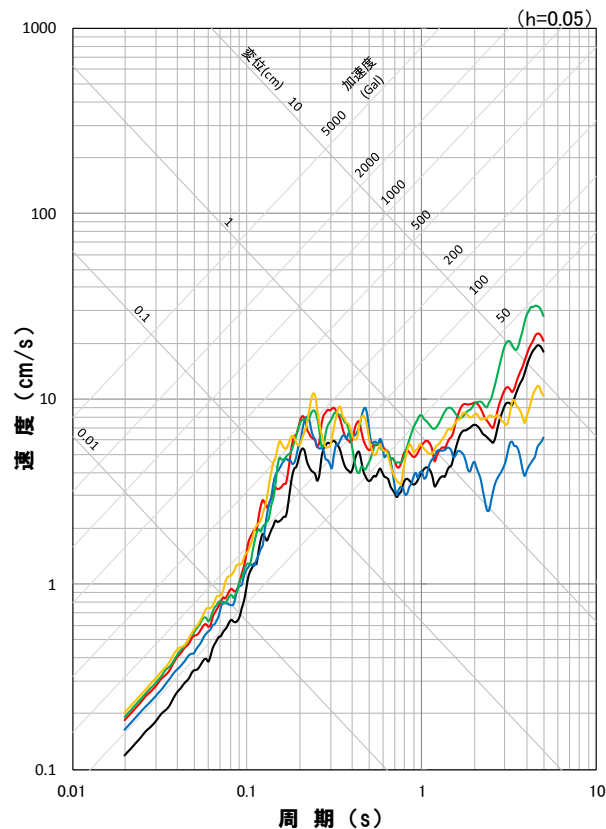
(統計的グリーン関数法による地震動評価結果と波数積分法による地震動評価結果を踏まえて, 接続周期を2.5秒とした)

4.3 検討用地震の地震動評価

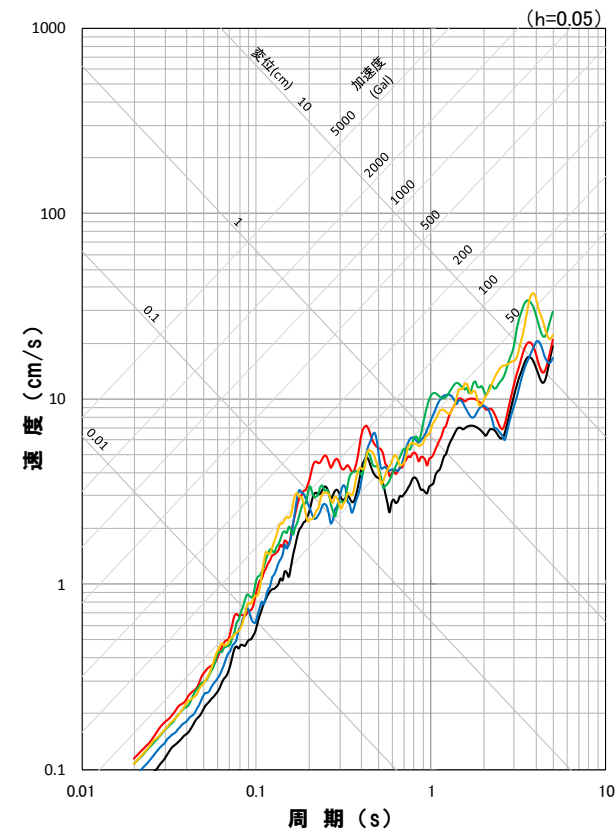
(F_B-2断層による地震)断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
(不確かさ考慮モデル(応力降下量))



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

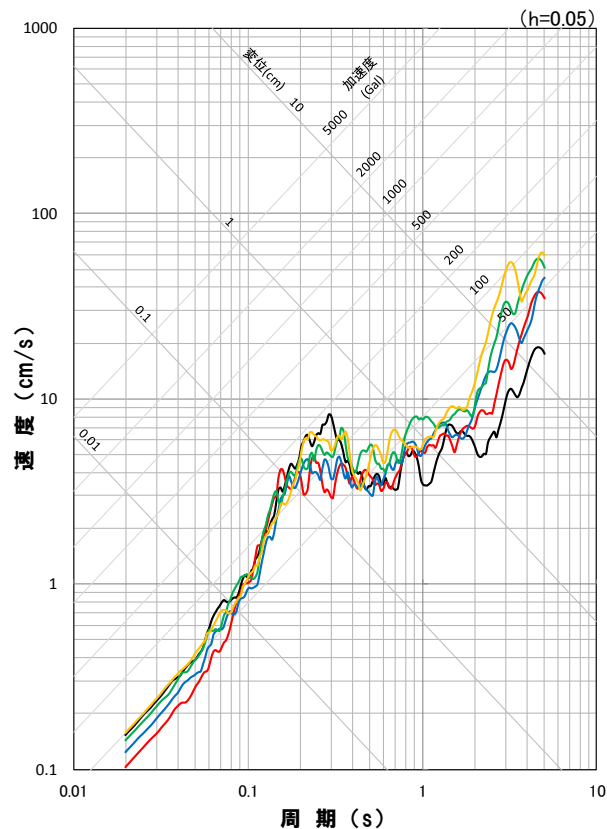
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点4

※ハイブリッド合成法における接続周期:2.5秒

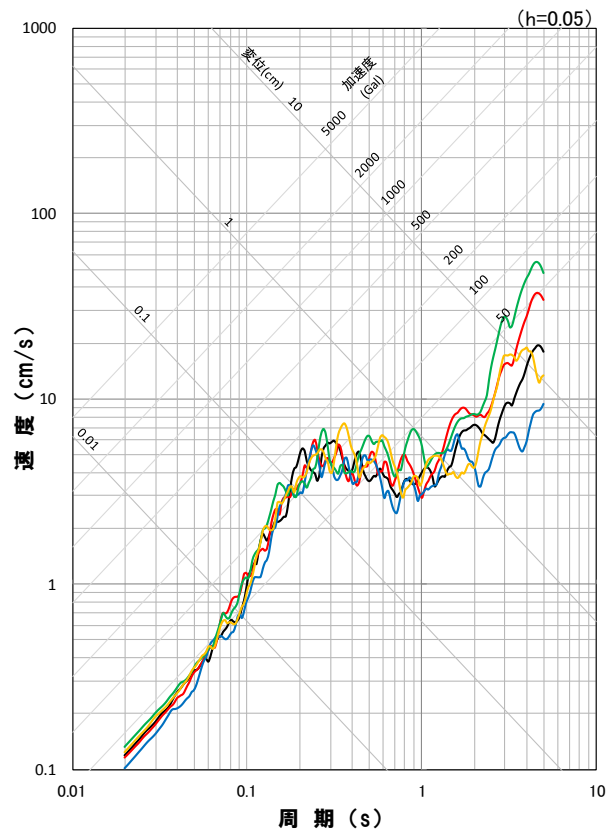
(統計的グリーン関数法による地震動評価結果と波数積分法による地震動評価結果を踏まえて,接続周期を2.5秒とした)

4.3 検討用地震の地震動評価

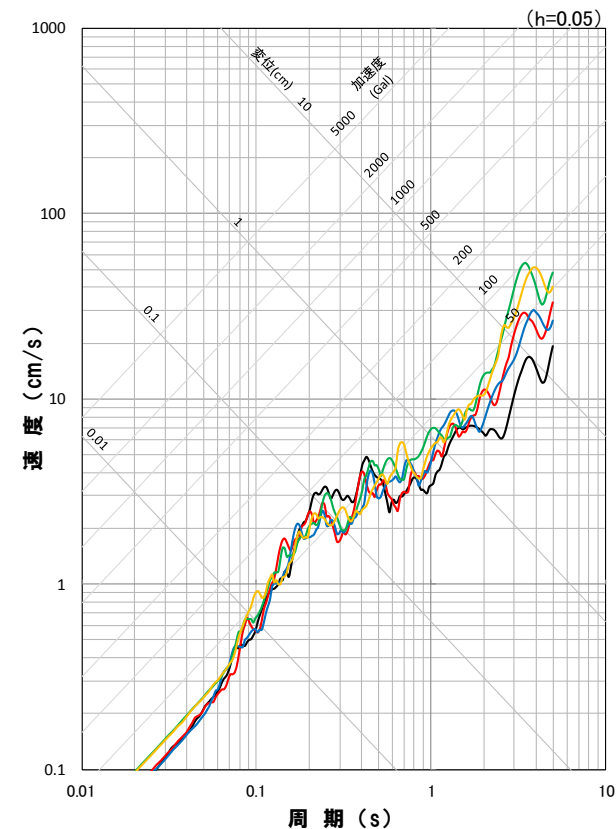
(F_B-2断層による地震)断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度))



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)

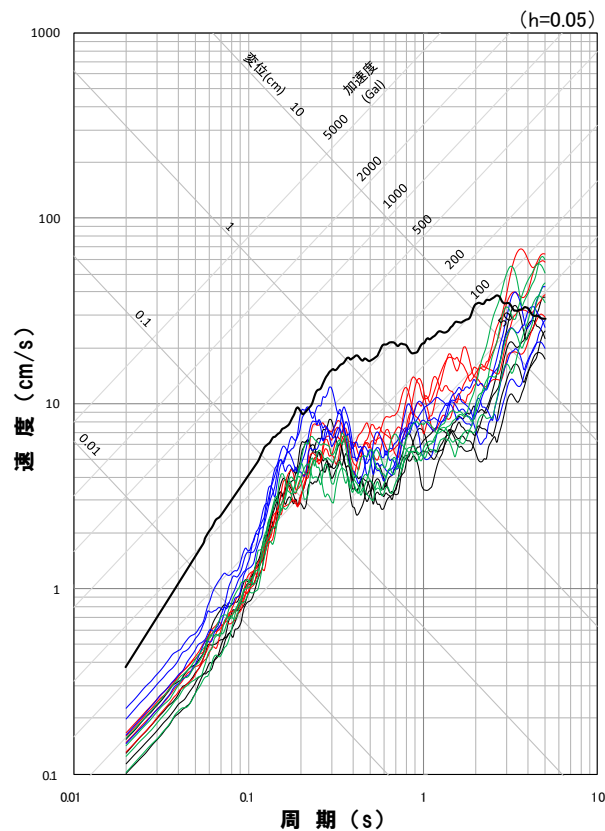
地震動評価結果

- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点4

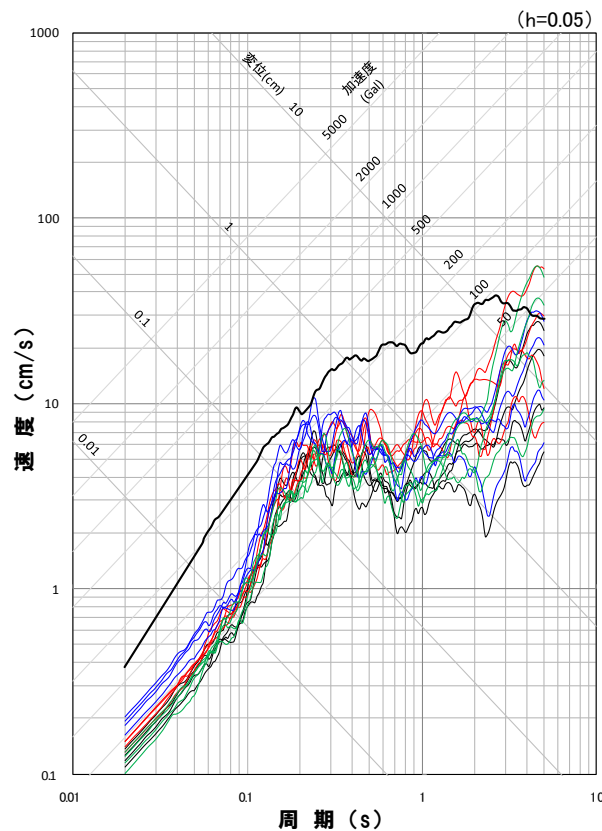
※ハイブリッド合成法における接続周期:2.5秒

(統計的グリーン関数法による地震動評価結果と波数積分法による地震動評価結果を踏まえて、接続周期を2.5秒とした)

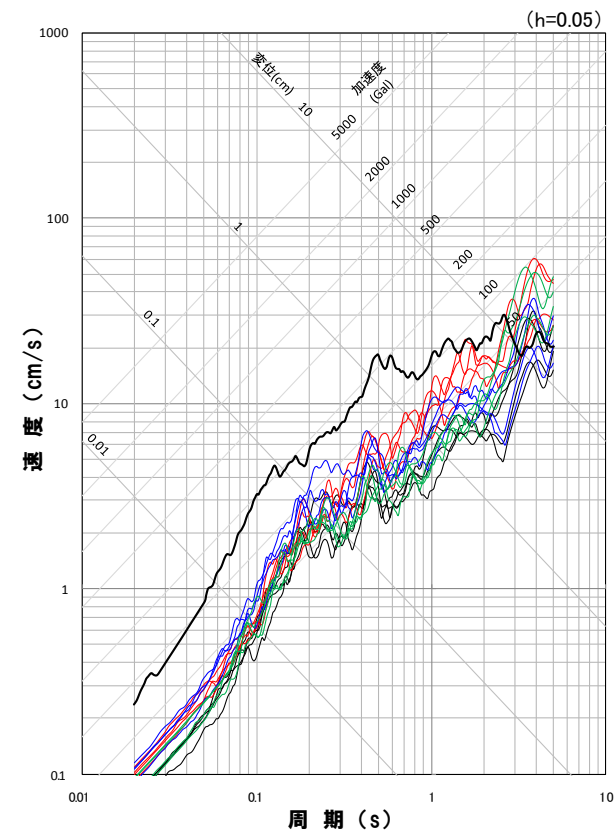
4.3 検討用地震の地震動評価

(F_B-2断層による地震)地震動評価結果

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)

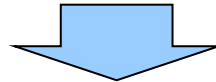
地震動評価結果

- 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)
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度)

4.3 検討用地震の地震動評価

F_B -2断層による地震の経験的グリーン関数法を用いた地震動評価方針

- 「 F_B -2断層による地震」の地震動評価
断層モデルを用いた手法による地震動評価においては、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、以下の手法に基づき地震動評価を実施している。
 - ・ハイブリッド合成法
 - ・短周期領域は統計的グリーン関数法
 - ・長周期領域は理論的手法



- F_B -2断層の位置する日本海東縁部で発生した1993年北海道南西沖地震及びその余震については、敷地で地震観測記録が得られていることから、審査会合でのコメントを踏まえ、地震規模等を再度確認した上で、この地震観測記録を要素地震とする、 F_B -2断層による地震の経験的グリーン関数法を用いた地震動評価を実施する。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

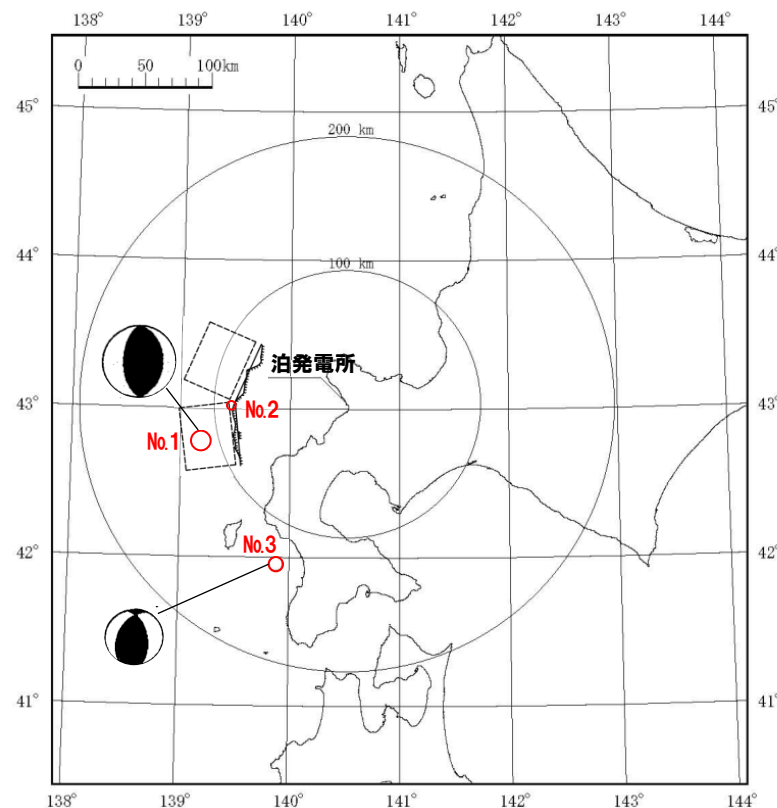
要素地震の選定

- 敷地で観測された、1993年北海道南西沖地震及びその余震を用いて、経験的グリーン関数法を用いた地震動評価を実施する。
- 要素地震は、適切な規模の地震であること、 F_B-2 断層の近傍で発生した地震であることを考慮して選定する。



- ・ No.1 : 「 F_B-2 断層による地震」と規模が同等であることから、要素地震として選定しない。
- ・ No.2 : 要素地震としては規模がやや小さいと考えられるものの、この地震を要素地震とする経験的グリーン関数法を用いた地震動評価を実施する。
- ・ No.3 : 震央位置が「 F_B-2 断層による地震」の断層面から離れていることから、要素地震として選定しない。

敷地における地震観測記録



※ メカニズム解: No.1は、ハーバード大学、No.3は、岩田ほか(1994)による。
 なお、No.2は、メカニズム解に関する知見はない。

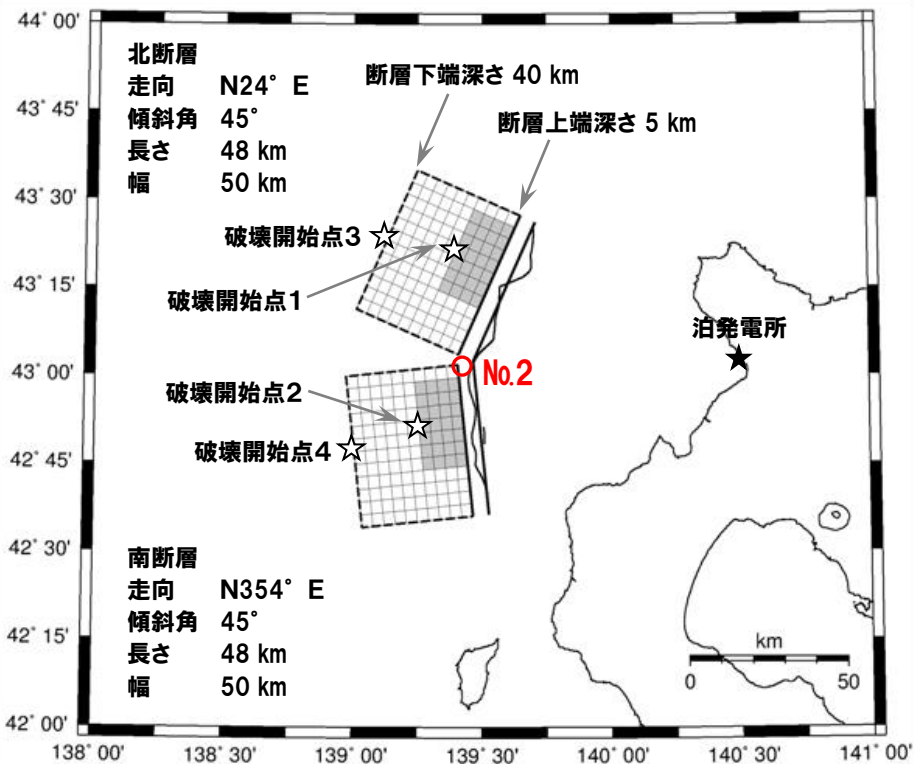
No.	年月日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード M	震央 距離 (km)	地名 (地震名)
		東経(°)	北緯(°)				
1	1993. 7.12	139.180°	42.782°	35	7.8	113	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震)
2	1993. 7.12	139.457°	43.022°	35	5.4	86	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震・余震)
3	1993. 8. 8	139.882°	41.958°	24	6.3	131	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖地震・最大余震)

※ 地震の諸元は気象庁地震カタログ

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

経験的グリーン関数法を用いた地震動評価(震源モデル, 断層パラメータ)



項目	設定値	設定方法
断層原点 (地表トレス原点)	北緯 43.042° 東経 139.465° 北緯 42.606° 東経 139.527°	地質調査結果による北断層南端 地質調査結果による南断層南端
走向	北断層: N 24° E 南断層: N354° E	地質調査結果による北断層の南端～北端 地質調査結果による南断層の南端～北端
傾斜角	45°	断層周辺において発生した地震における傾斜角を参考に 45° と設定
断層長さ	96km(48km×2)	地質調査結果に基づき矩形断層として設定
断層幅	50km	断層上下端深さと傾斜角から設定
断層面積	4800km ²	S=L×W
断層上端深さ	5km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定
断層下端深さ	40km	Mendoza and Fukuyama(1996)等を参考に設定
地震モーメント	4.51E+20N・m	$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / R^3$
モーメントマグニチュード	7.7	$\text{Log} M_0 (\text{N} \cdot \text{m}) = 1.5 \times M_w + 9.1$
(気象庁マグニチュード)	(8.1)	$(M_j = (\text{log} L + 2.9) / 0.6 (\text{松田}(1975)))$
平均応力降下量	3.3MPa	Satake (1986)に基づき設定
剛性率	4.19E+10N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$ $\rho = 2.9 \text{g/cm}^3$: Mendoza and Fukuyama (1996)に基づき設定
平均すべり量	224.0cm	$D = M_0 / (\mu S)$
S波速度	3.8km/s	$\beta = 3.8 \text{km/s}$: Mendoza and Fukuyama (1996)に基づき設定
破壊伝播速度	2.7km/s	$V_s = 0.72 \times \beta \text{km/s}$ (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(2009)に基づき設定
破壊開始点	北断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点1) 南断層アスベリティ下端中央 (破壊開始点2) 北断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点3) 南断層巨視的断層面下端中央 (破壊開始点4)	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	4.99E+19N・m/s ²	$A = 4 \pi \times (S_0 / \pi)^{0.5} \times \Delta \sigma_s \times \beta^2$
高周波遮断特性	6Hz	地震調査委員会(2009)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	2個
	総面積	1056.0km ²
	平均すべり量	448.0cm
	地震モーメント	1.98E+20N・m
背景領域	応力降下量	15.0MPa
	地震モーメント	2.52E+20N・m
	面積	3744.0km ²
	平均すべり量	160.8cm
	応力降下量	2.5MPa

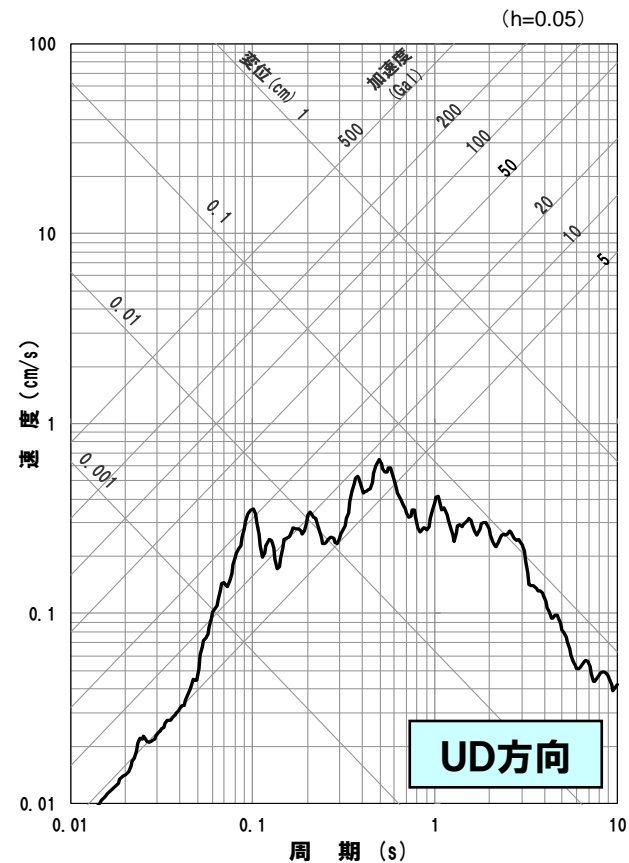
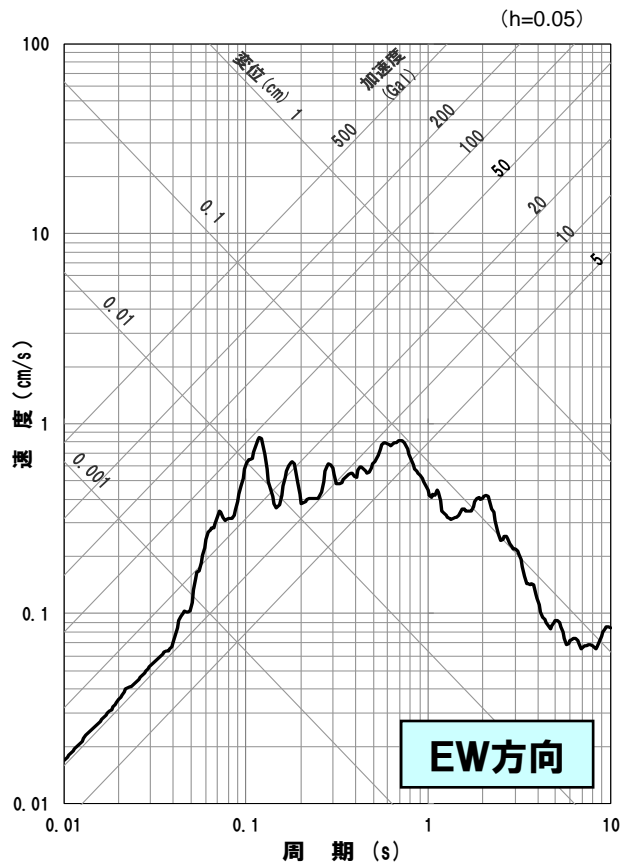
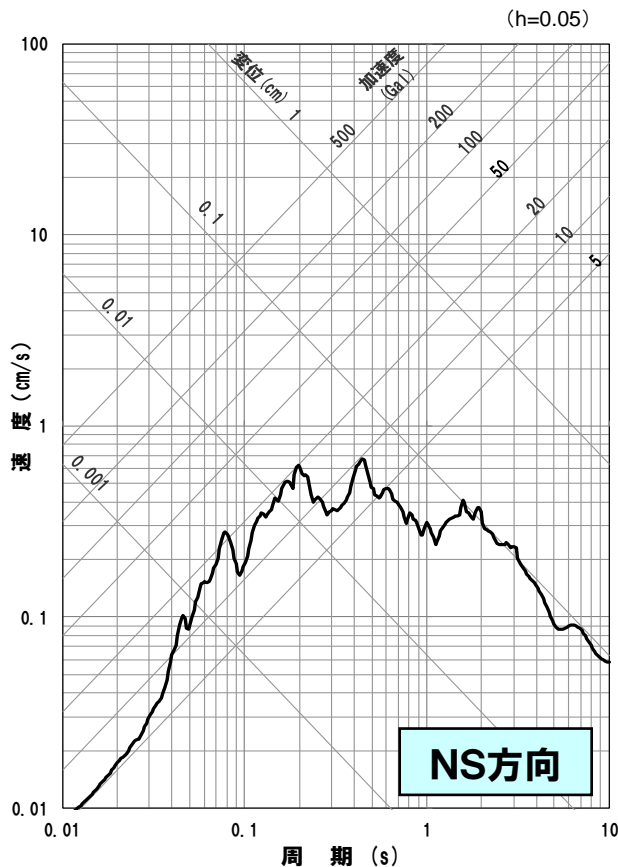
※ 震源モデル及び断層パラメータは、ハイブリッド合成法に用いたものと同様。

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

4.3 検討用地震の地震動評価

経験的グリーン関数法を用いた地震動評価(要素地震の応答スペクトル)

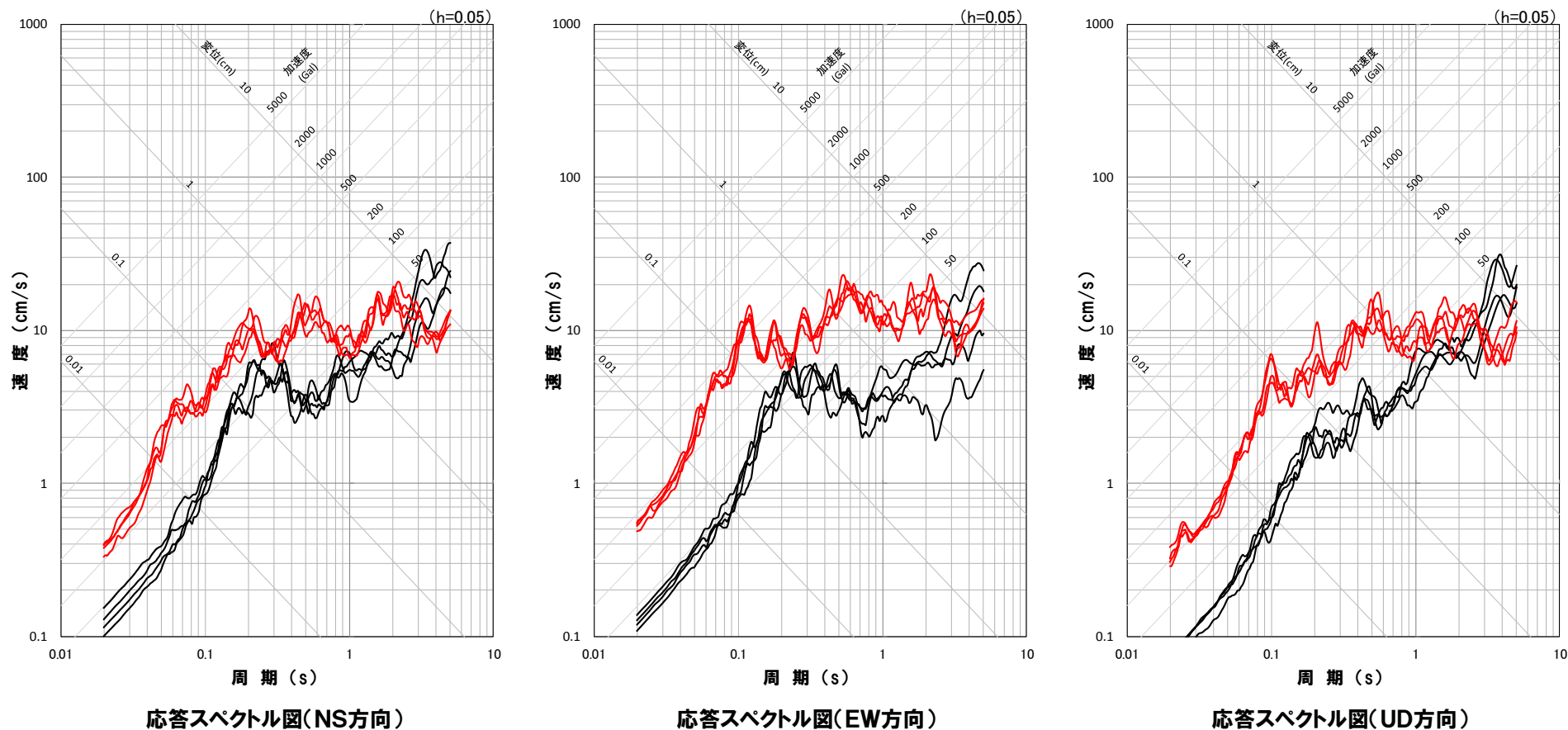
- 1993年北海道南西沖地震の余震(M5.4, $\Delta = 86\text{km}$)の地震観測記録のはざとり波(標高 $\pm 0\text{m}$ より上部の地盤の影響を取り除いた波)を要素地震とする。



※1 標高 $\pm 0\text{m}$ より上部の地盤の影響を取り除いた応答スペクトル

4.3 検討用地震の地震動評価

経験的グリーン関数法を用いた地震動評価結果(応答スペクトル)



地震動評価結果

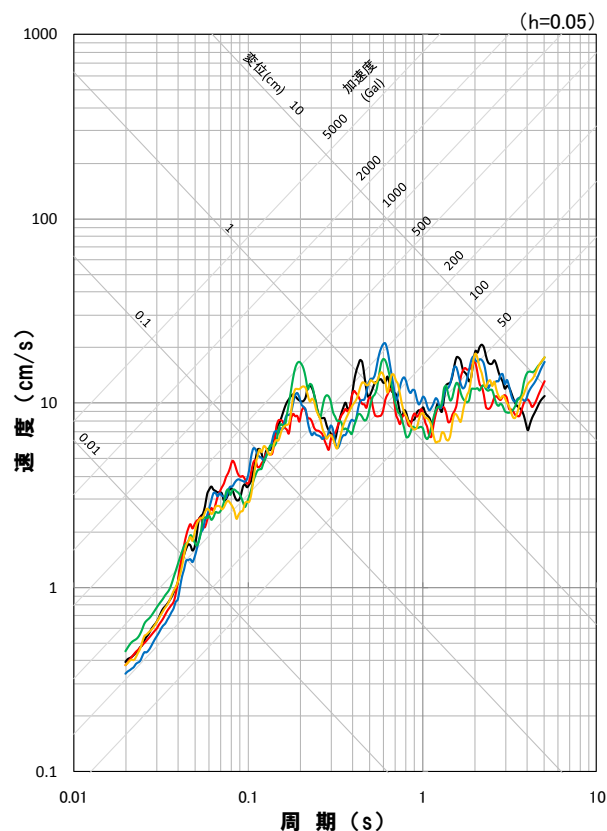
— ハイブリッド合成法

— 経験的グリーン関数法

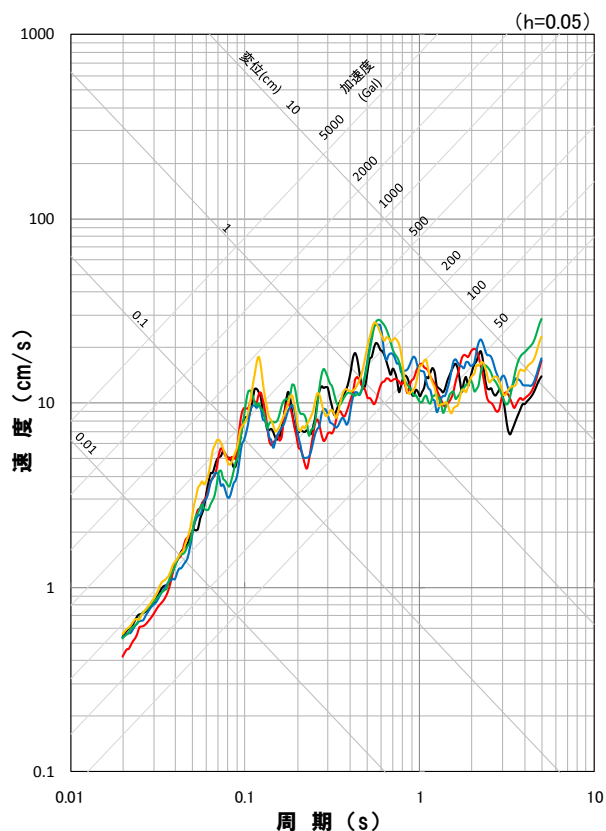
- 経験的グリーン関数法を用いた地震動評価の結果は、ハイブリッド合成法を用いた地震動評価結果より大きい結果となった。
- F_B -2断層による地震については、要素地震として適切な観測記録が得られていないものの、上記の結果を踏まえ、経験的グリーン関数法による地震動評価結果も F_B -2断層による地震の地震動評価結果として採用することとし、不確かさ考慮モデルでの地震動を評価する。

4.3 検討用地震の地震動評価

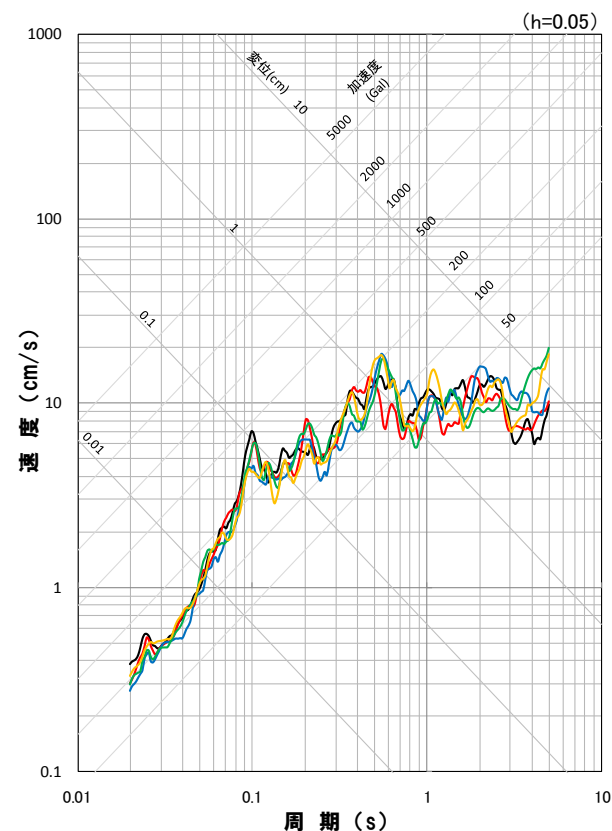
経験的グリーン関数法を用いた地震動評価結果(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))



応答スペクトル図(NS方向)



応答スペクトル図(EW方向)



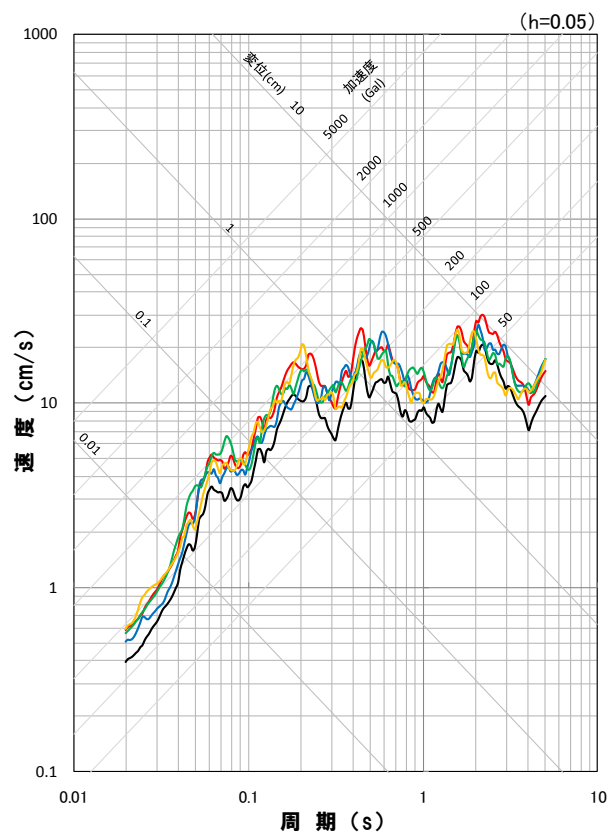
応答スペクトル図(UD方向)

地震動評価結果

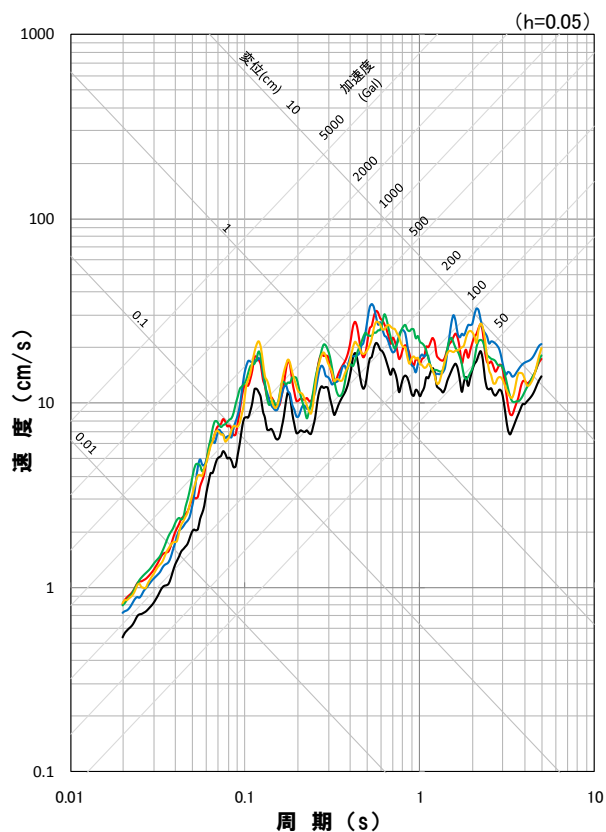
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4

4.3 検討用地震の地震動評価

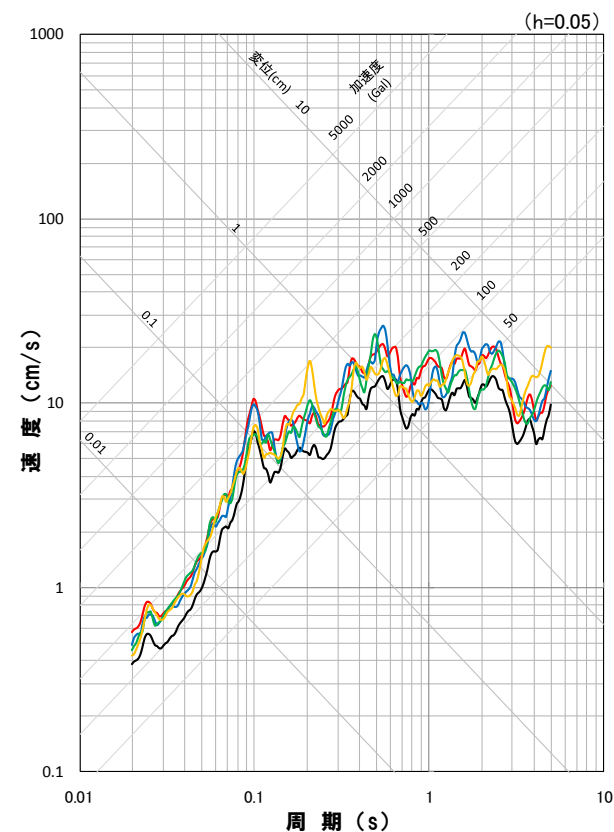
経験的グリーン関数法を用いた地震動評価結果(不確かさ考慮モデル(応力降下量))



応答スペクトル図(NS方向)



応答スペクトル図(EW方向)



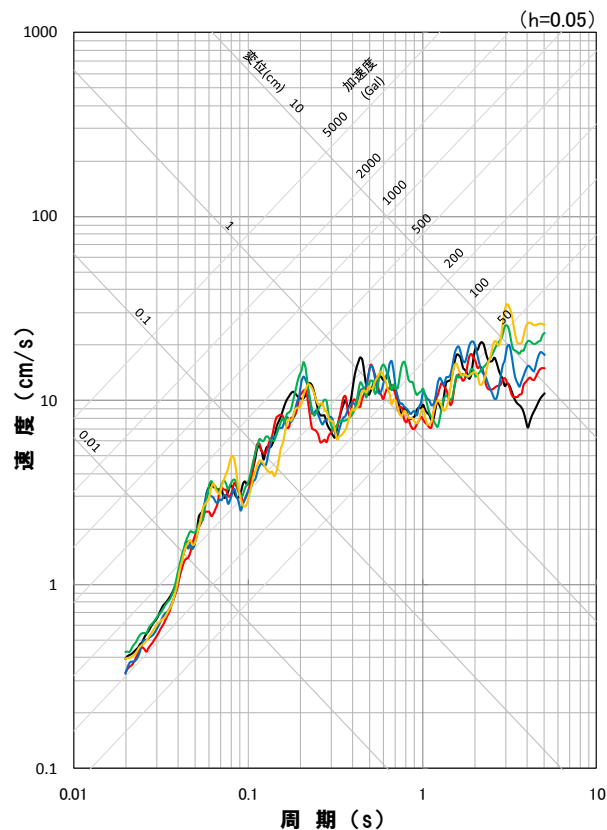
応答スペクトル図(UD方向)

地震動評価結果

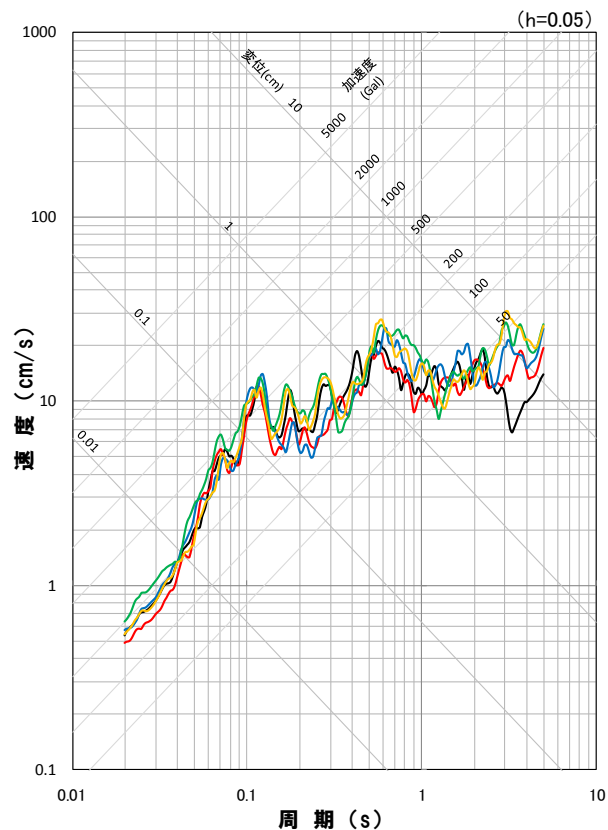
- 基本震源モデル,破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点1
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点3
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点2
- 不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点4

4.3 検討用地震の地震動評価

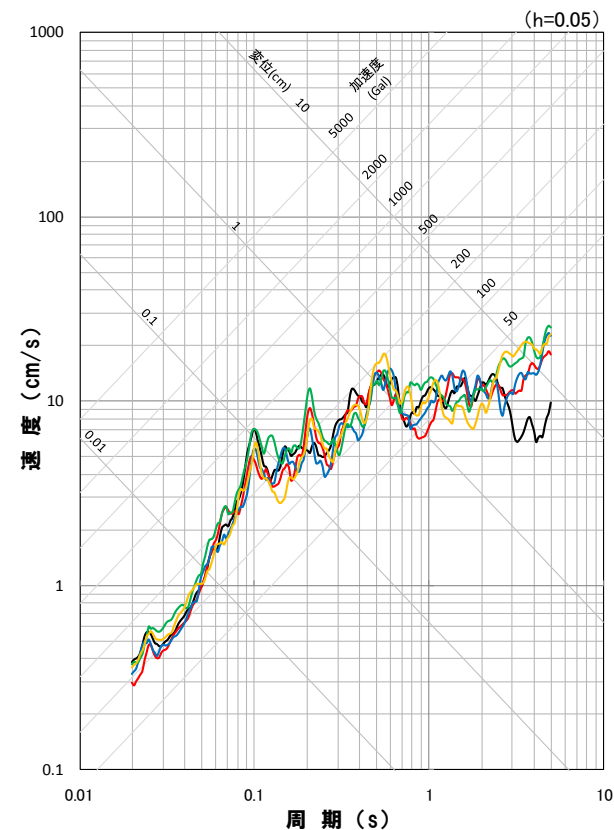
経験的グリーン関数法を用いた地震動評価結果(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度))



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(破壊伝播速度),破壊開始点1

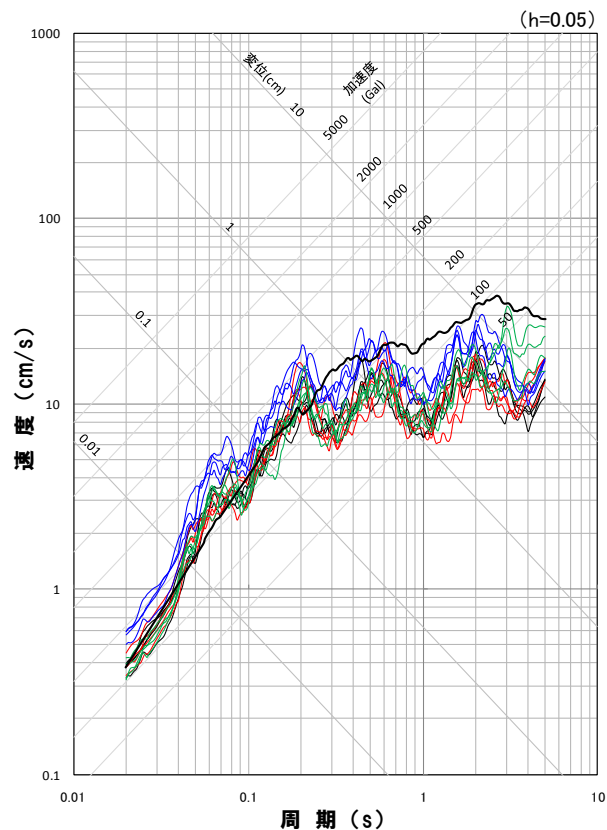
— 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点3

— 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点2

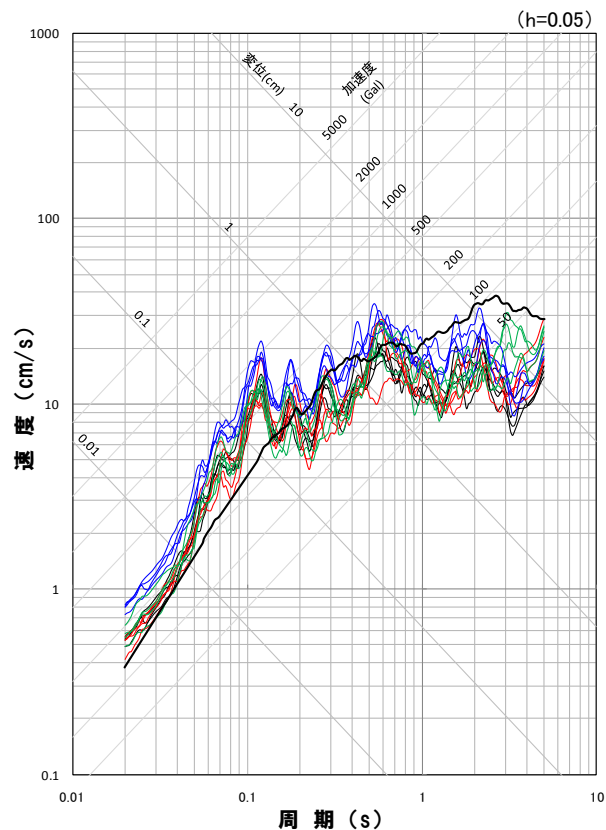
— 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点4

4.3 検討用地震の地震動評価

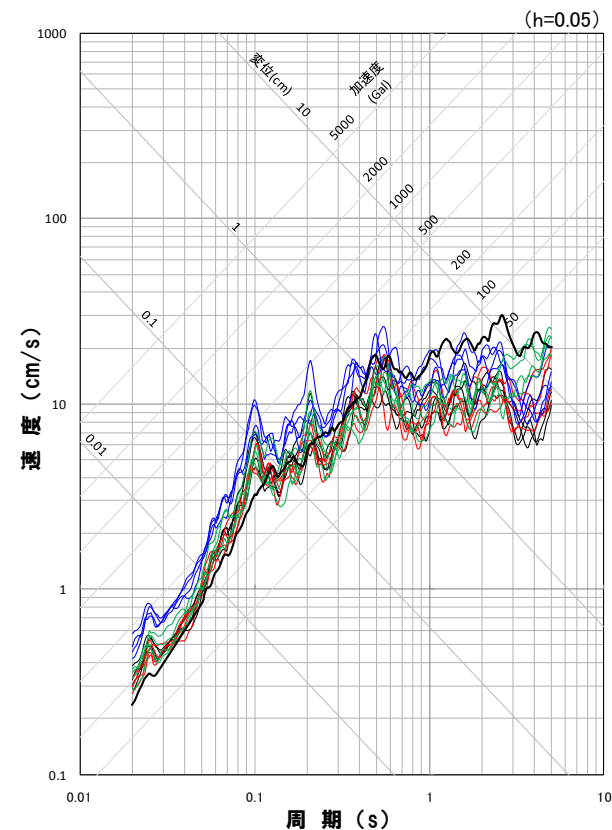
経験的グリーン関数法を用いた地震動評価結果



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)

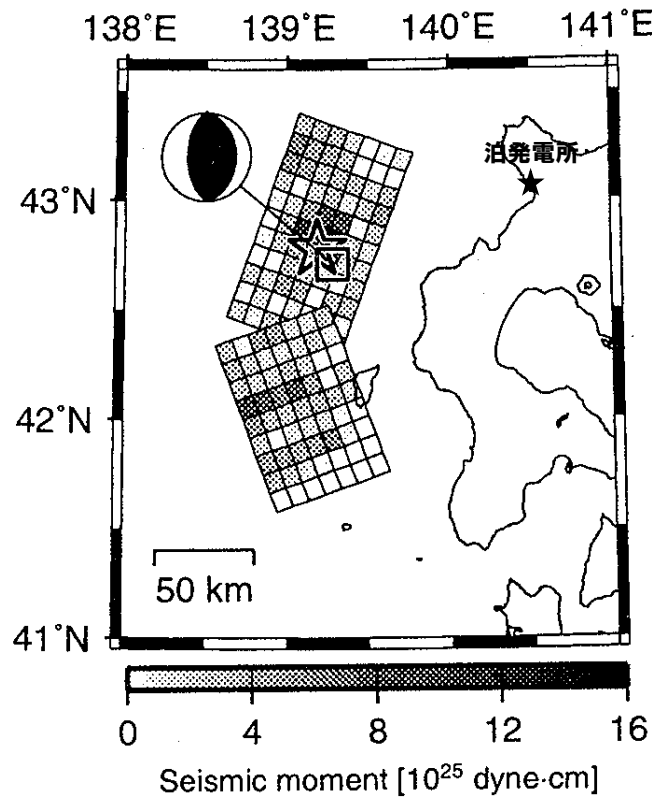
地震動評価結果

- 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)
- 不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度)

【参考】 1993年北海道南西沖地震のシミュレーション

1993年北海道南西沖地震のシミュレーション

- 壇ほか(2002)による1993年北海道南西沖地震の断層モデル及び断層パラメータを用いて、経験的グリーン関数法による地震動評価により泊発電所で得られた本震の地震観測記録の再現を実施。
- なお、地震動評価にあたっては、「F_B-2断層による地震」の地震動評価で用いた要素地震で評価を実施する。



(a) 地震モーメント

震央: ☆=気象庁, □=ハーバード大学

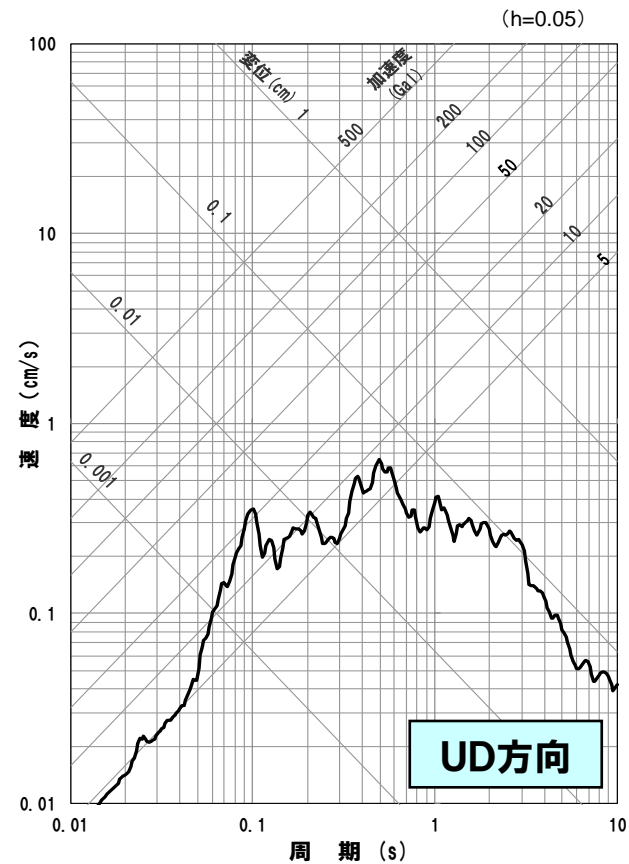
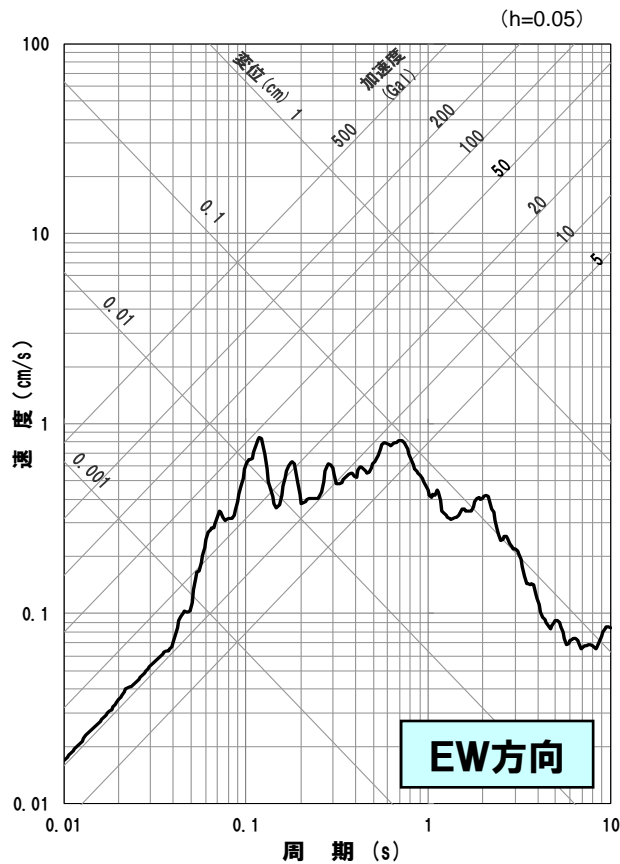
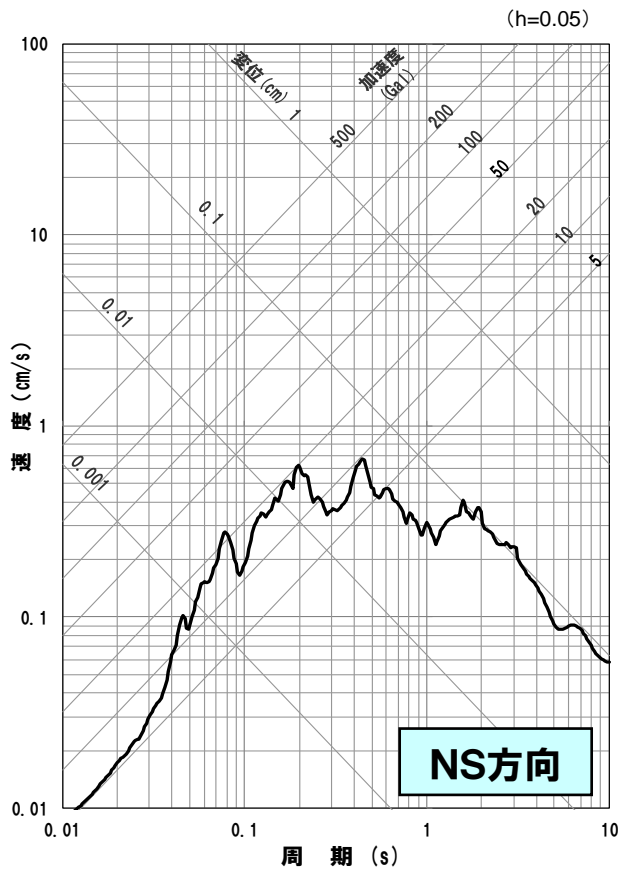
主要な断層パラメータ

主要な震源パラメータ	北断層	南断層
断層長さ[km]	110	90
断層幅[km]	70	70
傾斜角[°]	30	30
地震モーメント M_0 [N·m]	2.04×10^{20}	1.36×10^{20}
短周期レベル A [N·m/s ²]	1.56×10^{19}	1.46×10^{19}

【参考】1993年北海道南西沖地震のシミュレーション

1993年北海道南西沖地震のシミュレーション(要素地震の応答スペクトル)

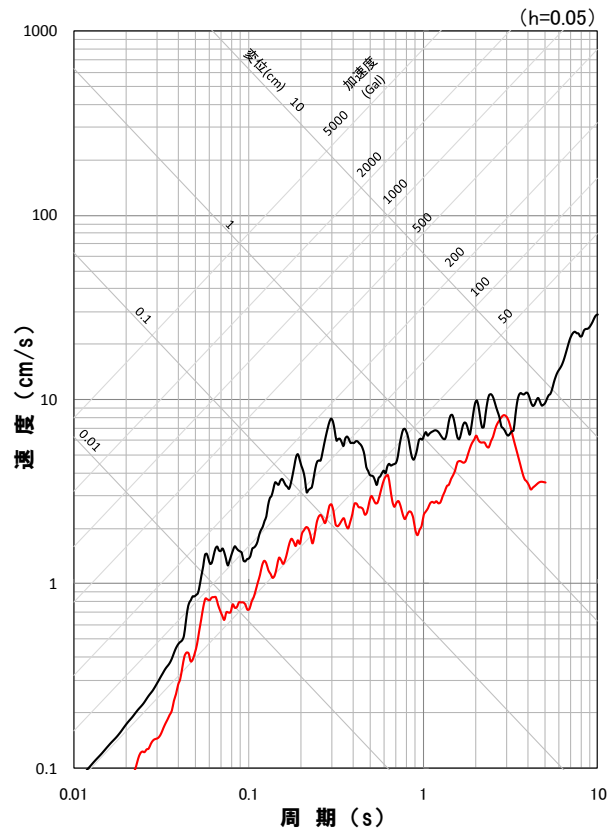
●1993年北海道南西沖地震の余震(M5.4, $\Delta = 86\text{km}$)の地震観測記録のはざとり波(標高 $\pm 0\text{m}$ より上部の地盤の影響を取り除いた波)を要素地震とする。



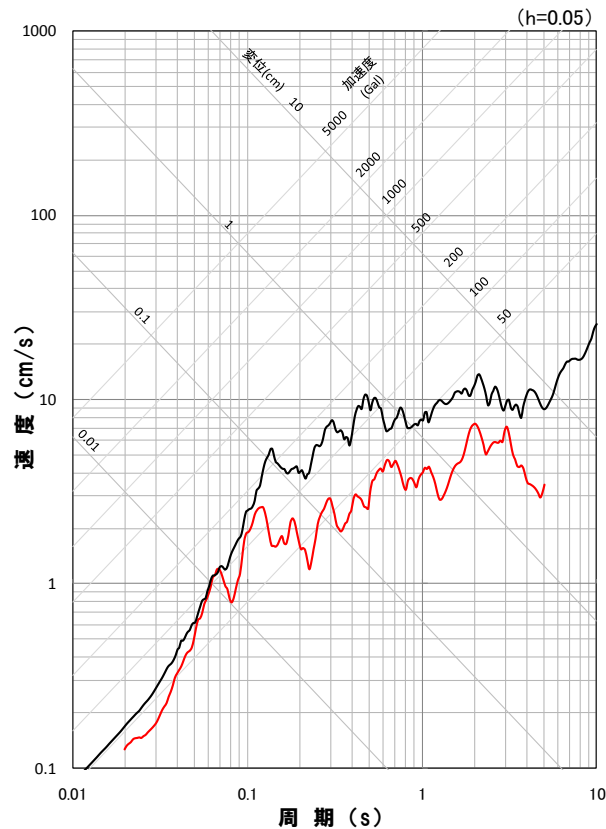
※1 標高 $\pm 0\text{m}$ より上部の地盤の影響を取り除いた応答スペクトル

【参考】1993年北海道南西沖地震のシミュレーション

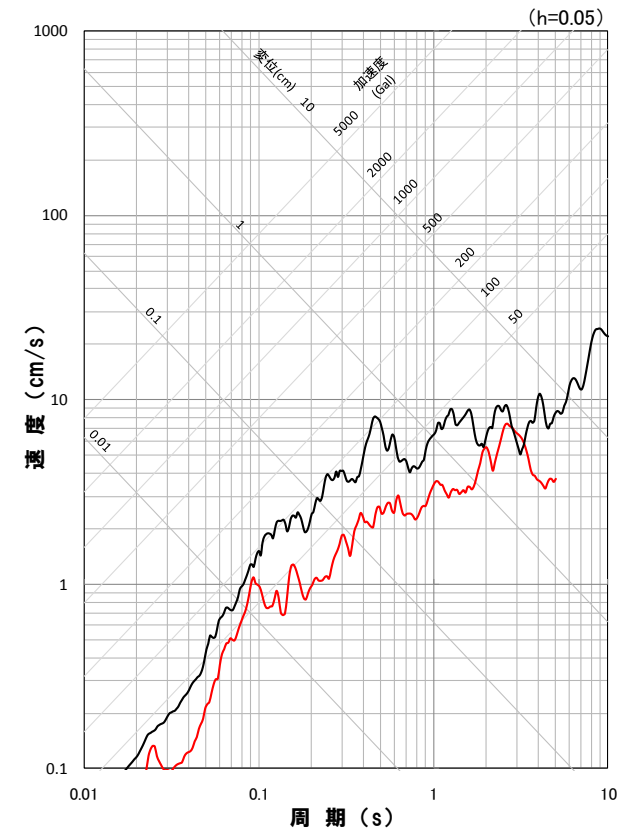
1993年北海道南西沖地震のシミュレーション(応答スペクトル)



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

- 観測記録
- シミュレーション結果

●シミュレーション結果は、泊発電所における1993年北海道南西沖地震の観測記録を再現できていない。

●以上より、1993年北海道南西沖地震余震については、断層モデルを用いた手法による地震動評価で要素地震として用いることができる適切な観測記録ではないと考えられる。

参考文献

- 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
- 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
- 宇津徳治・嶋悦三・吉井敏尅・山科健一郎編(2001):地震の事典 [第2版], 朝倉書店
- 気象庁:地震年報(1923~2011)
- 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号, 168-176
- 勝又譲・徳永規一(1971):震度IVの範囲と地震の規模及び震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻, 第3, 4号, 1-8
- 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
- 物理探査ハンドブック(1999):公益社団法人物理探査学会
- 太田外気晴・丹羽正徳・高橋克也・八幡夏恵子(1985):物理探査と室内試験から評価されるVp, Vs及びポアソン比の関係, 日本地震学会講演予稿集, 1985年春季大会, B12, 108
- 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
- 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明(1994):表層地盤の影響を取り除いた工学的基礎波の統計的スペクトル特性, 日本建築学会構造系論文集, 462, 79-89
- Mendoza,C.,and E.Fukuyama(1996):The July 12,1993,Hokkaido- Nansei-Oki,Japan,earthquake : coseismic slip pattern from strong- motion and teleseismic recordings, Journal of Geophysical Research,Vol.101, No.B1,pp.791-801,1996
- 気象庁, 消防庁(2009):震度に関する検討会報告書
- 活断層研究会編(1991):日本の活断層, 東京大学出版会
- 中田高・今泉俊文編(2002):活断層デジタルマップ, 東京大学出版会
- 横山光・八幡正弘・岡村聡・西戸裕嗣(2003):西南北海道, 赤井川カルデラの火山層序とカルデラ形成史, 岩石鉱物科学, 第32巻, 80-95
- 八幡正弘(2002):北海道における後期新生代の鉱化作用および熱水活動の時空変遷, 北海道立地質研究所報告書(73), 151-194
- 杉山雄一・内田康人・村上文敏・津久井朗太(2011):黒松内低地断層帯南方延長部(内浦湾)の地質構造と活動性, 活断層・古地震研究報告, 11, 21-53
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013):日本重力データベースDVD版
- 地震調査委員会(2009):「全国地震動予測地図」技術報告書, 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

参考文献

- ・ 壇一男・佐藤俊明(1998):断層の非一様滑り破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 509, 49-60
- ・ 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
- ・ 吾妻崇・後藤秀昭・下川浩一・奥村晃史・寒川旭・杉山雄一・町田洋・黒澤英樹・信岡大・三輪敦志(2004):黒松内低地断層帯の最新活動時期と地下地質構造, 活断層・古地震研究報告, No.4, 45-64
- ・ 北海道鉱業振興委員会(1990):北海道の石油・天然ガス資源—その探査と開発(昭和52年~63年)
- ・ 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編(2002):第四期逆断層アトラス
- ・ Geller, R.J.(1976):Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes,Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 1501-1523
- ・ Starr,A.T.(1928):Slip in a crystal and rupture in a solid due to shear, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol.24, 489-501
- ・ Paul Somerville, Kojiro Irikura, Robert Graves, Sumio Sawada, David Wald, Norman Abrahamson, Yoshinori Iwasaki, Takao Kagawa, Nancy Smith, and Akira Kowada(1999):Characterizing Crustal Earthquake Slip Model for the Prediction of Strong Ground Motion. Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, pp.59-80
- ・ 壇一男・入江紀嘉・具典淑・島津奈緒未・鳥田晴彦(2015):長大な逆断層による内陸地震の断層パラメータの設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 707, 47-57
- ・ 宮腰研・PETUKHIN Anatoly(2003):すべりの時空間的不均質性のモデル化, 科学技術振興調整費報告書「地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究」
- ・ Satake,K(1986):Re-examination of the 1940 Shakotan-Oki earthquake and the fault parameters of the earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, Phys. Earth Planet. Inter., 43, 137-147
- ・ Eshelby,J.D.(1957):The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proceedings of the Royal Society,A241,376-396
- ・ 佐藤智美(2004):群遅延時間のインバージョンと散乱理論に基づく地震動の経時特性モデルに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 586, 71-78
- ・ Fukao,Y. and M.Furumoto(1975):MECHANISM OF LARGE EARTHQUAKES ALONG THE EASTERN MARGIN OF THE JAPAN SEA. Tectonophysics,25,247-266

- Yasumaro Kakehi and Kojiro Irikura(1997):High-Frequency Radiation Process during Earthquake Faulting — Envelope Inversion of Acceleration Seismograms from the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki, Japan, Earthquake. Bulletin of Seismological Society of America, Vol.87, No.4, pp.904-917
- 岩田知孝・釜江克宏・入倉孝次郎(1994):近地強震記録を用いた1993年北海道南西沖地震最大余震(1993/8/8 M_{JMA} 6.3)の震源過程, 月刊海洋, 号外No.7, 80-87
- 壇一男・宮腰淳一・八代和彦(2002):経験的グリーン関数法による1993年北海道南西沖地震の札幌および秋田における地震記録の再現—強震動予測のための震源モデルの特性化手法の検証—, 日本建築学会構造系論文集, 554, 53-62