

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA150-R00
提出年月日	2021年6月17日

大間原子力発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について

(海洋プレート内地震)

2021年6月

電源開発株式会社

大間原子力発電所
敷地ごとに震源を特定して策定する
地震動について
(海洋プレート内地震)

2021年6月17日
電源開発株式会社

○ 「第615回審査会合」及び「第646回審査会合」での資料の誤りに関わる対応を踏まえ、本資料にて過去の審査会合資料を引用する際の注記を下記のとおりとする。

・ 右上の注記

再掲：過去の審査会合資料を、そのまま引用する場合

一部修正：過去の審査会合資料の内容を、一部修正する場合

誤りを修正：過去の審査会合資料の誤りを、正しい記載とする場合

・ 左下の注記

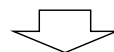
修正した誤りの内容を記載（誤りの修正がある場合）

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち本資料の説明範囲

- 本資料では、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち、海洋プレート内地震について説明する。

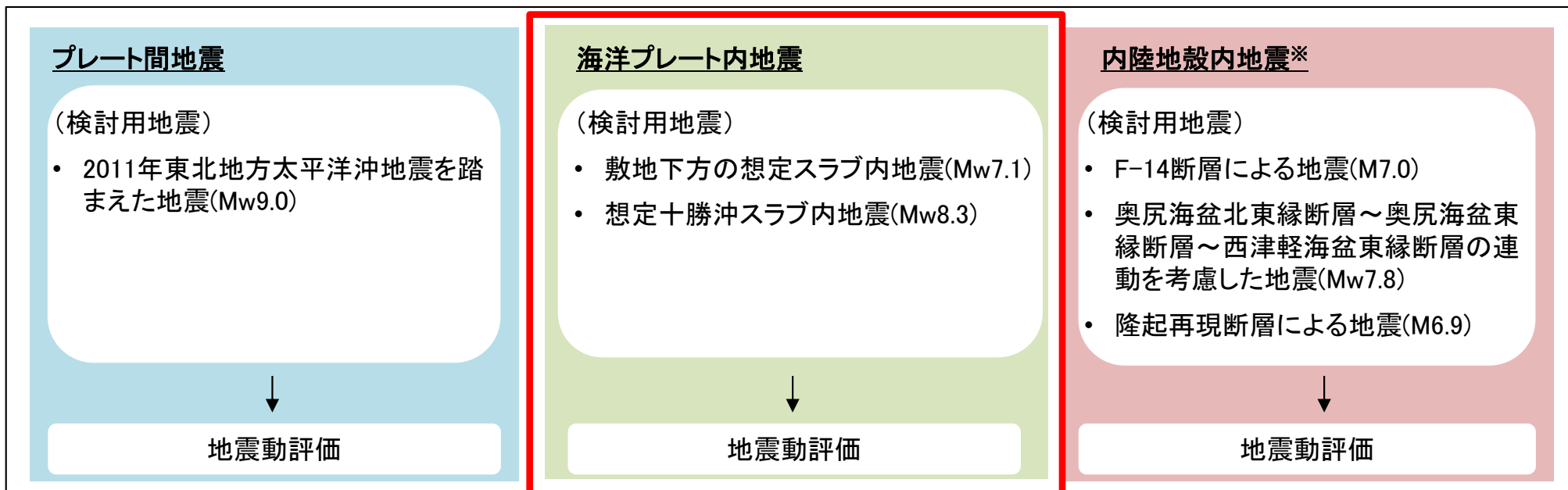
敷地周辺の地震発生状況

- 敷地周辺のプレートテクトニクス
- 敷地周辺の地震活動
- 敷地周辺における主な被害地震
- 敷地における揺れが震度5弱程度以上であると推定される地震

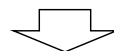


敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

本資料の説明範囲



※日本海東縁部の地震は、内陸地殻内地震として検討を実施する。



まとめ

- 検討用地震の地震動評価結果一覧



平成26年12月設置変更許可申請時点からの主な変更点

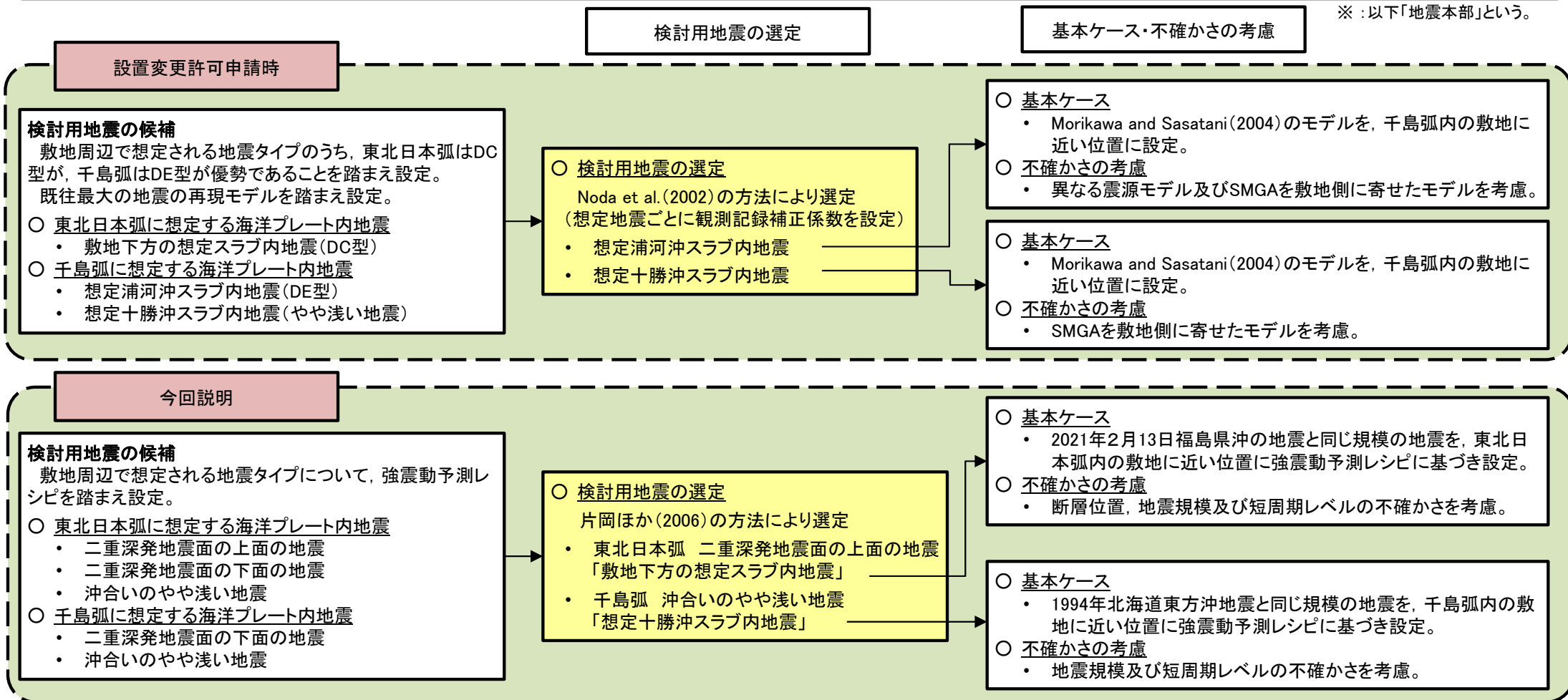
【申請時】

- 検討用地震の選定にあたり、各想定地震の断層パラメータは、過去に発生した比較的規模の大きな地震の断層パラメータを評価した論文に基づき設定。
- 検討用地震は、想定地震ごとに観測記録に基づく補正係数を設定した上で、Noda et al.(2002)の方法による比較により想定十勝沖スラブ内地震(M8.2)、及び想定浦河沖スラブ内地震(M7.5)を設定。

【今回】

- 検討用地震の選定にあたり、各想定地震の断層パラメータは、2016年に地震調査研究推進本部※(2016)よりスラブ内地震の標準的な地震動評価手法(以下「強震動予測レシピ」という。)が策定されたことから、強震動予測レシピを踏まえ設定。
- 検討用地震は、強震動予測レシピに基づく断層モデルの評価と類似の傾向を示す片岡ほか(2006)の方法による比較により、想定十勝沖スラブ内地震(Mw8.3, M8.2)、及び敷地下方の想定スラブ内地震(Mw7.1, M7.3)を設定。

※ :以下「地震本部」という。



1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
2. 海洋プレート内地震の知見の整理
 - 2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.2 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴
 - 2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況
 - 2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ
3. 検討用地震の選定
 - 3.1 検討用地震の選定方針
 - 3.2 東北日本弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.2.1 二重深発地震面の上面の地震
 - 3.2.2 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.2.3 沖合いのやや浅い地震
 - 3.3 千島弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.3.1 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.3.2 沖合いのやや浅い地震
 - 3.4 検討用地震の選定
4. 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - 4.1 震源モデルの設定
 - 4.2 地震動評価手法
 - 4.3 地震動評価結果
5. 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 5.1 震源モデルの設定
 - 5.2 地震動評価手法
 - 5.3 地震動評価結果

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
2. 海洋プレート内地震の知見の整理
 - 2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.2 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴
 - 2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況
 - 2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ
3. 検討用地震の選定
 - 3.1 検討用地震の選定方針
 - 3.2 東北日本弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.2.1 二重深発地震面の上面の地震
 - 3.2.2 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.2.3 沖合いのやや浅い地震
 - 3.3 千島弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.3.1 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.3.2 沖合いのやや浅い地震
 - 3.4 検討用地震の選定
4. 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - 4.1 震源モデルの設定
 - 4.2 地震動評価手法
 - 4.3 地震動評価結果
5. 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 5.1 震源モデルの設定
 - 5.2 地震動評価手法
 - 5.3 地震動評価結果

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

・ 海洋プレート内地震の地震動評価フローを示す。

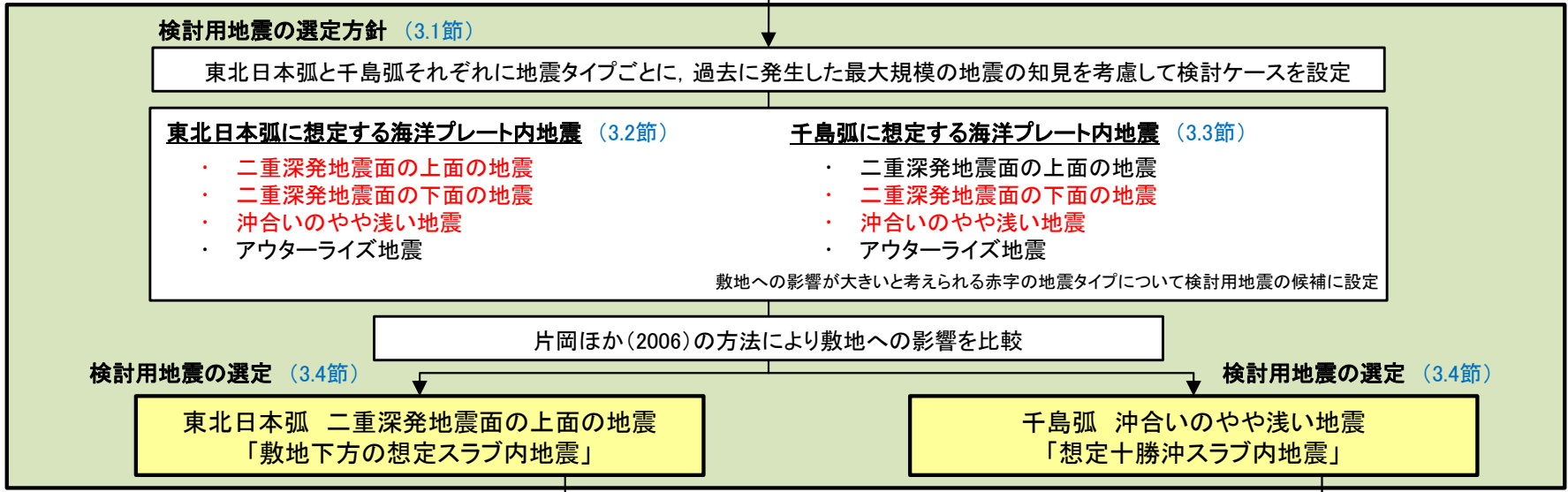
海洋プレート内地震の知見の整理(2章)

各種調査

- ・ 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理 (2.1節)
- ・ 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理 (2.2節)
- ・ 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴 (2.3節)
- ・ 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況 (2.4節)

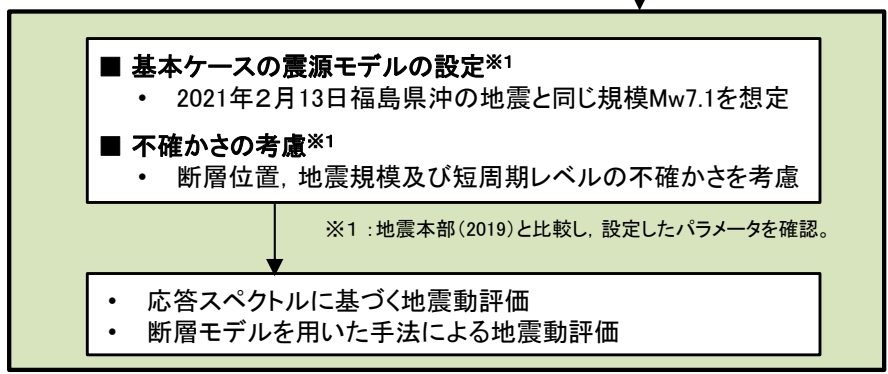
検討用地震の選定(3章)

検討用地震の選定

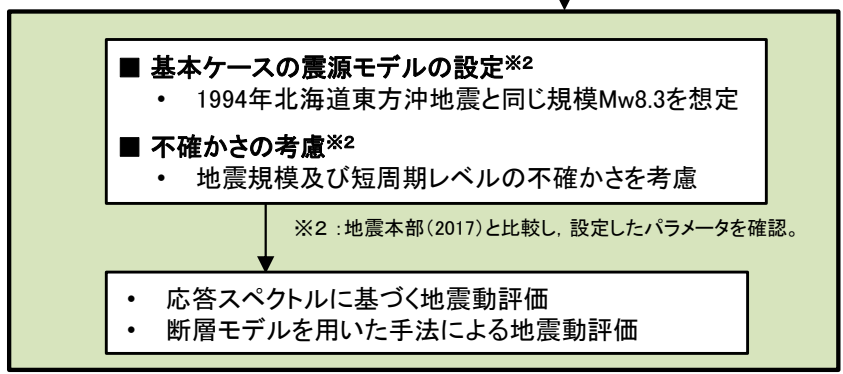


敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価(4章)

震源モデルの設定
不確かさの考慮
地震動評価



想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価(5章)



1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
2. 海洋プレート内地震の知見の整理
 - 2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.2 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴
 - 2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況
 - 2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ
3. 検討用地震の選定
 - 3.1 検討用地震の選定方針
 - 3.2 東北日本弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.2.1 二重深発地震面の上面の地震
 - 3.2.2 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.2.3 沖合いのやや浅い地震
 - 3.3 千島弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.3.1 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.3.2 沖合いのやや浅い地震
 - 3.4 検討用地震の選定
4. 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - 4.1 震源モデルの設定
 - 4.2 地震動評価手法
 - 4.3 地震動評価結果
5. 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 5.1 震源モデルの設定
 - 5.2 地震動評価手法
 - 5.3 地震動評価結果

2. 海洋プレート内地震の知見の整理

海洋プレート内地震の知見の整理の方針

海洋プレート内地震の選定に係り、海洋プレート内地震の知見について下記の方針に基づき検討・整理する。

世界の海洋プレート内地震の特徴の整理 (2.1節)

- 世界の海洋プレート内地震の規模及び応力の関係を整理し、それを踏まえた東北日本弧及び千島弧の特徴を示す。

東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理 (2.2節)

- 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震のうち、二重深発地震面の上面の地震と下面の地震について、地震活動やテクトニクス的な特徴・違いについて整理する。

海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴 (2.3節)

- 上記の科学的知見を踏まえて、東北日本弧及び千島弧で発生する海洋プレート内地震の特徴を整理する。

東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況 (2.4節)

- 敷地に影響を及ぼす可能性のある海洋プレート内地震について、発生位置や地震規模を整理する。

2. 海洋プレート内地震の知見の整理

2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理 (1/4)

世界の海洋プレート内地震の規模(1/2)

- Seno and Yoshida(2004)では、世界で発生した海洋プレート内地震のうちMw7.0程度以上、深さ20km~60kmの浅い地震を抽出し、プレートの応力状態と地震の規模の関係が整理されている。
- 抽出された地震のうち、世界で発生した浅い海洋プレート内地震の最大規模は、1994年北海道東方沖地震のMw8.3である。



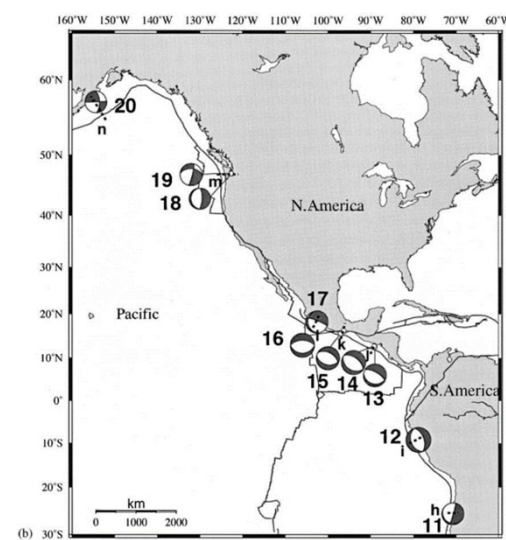
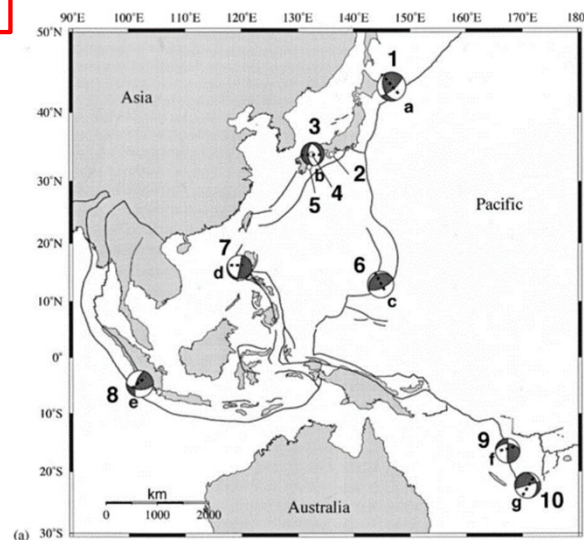
• 抽出された地震のうち、最大規模の地震は千島弧で発生した1994年北海道東方沖地震(Mw8.3)である。

Seno and Yoshida(2004)により抽出された地震

Region event	Date	Epicenter		M _w	Depth (km)	Strike/dip/rake			Age (Ma)	Upper plate stress
		°N	°E			(°)	(°)	(°)		
E. Hokkaido										
1 Hokkaido-toho-oki	4 October 1994	43.42	146.81	8.3	33	158	41	24	123	
Kyushu-SW. Japan										
2 Kii-Yamato ^a	7 March 1899	34.1	136.1	7.0	45				15-30	G
3 Geiyo	24 March 2001	34.13	132.71	6.8	47	181	57	-67		
4 Geiyo ^a	2 June 1905	34.1	132.5	7.2	50					
5 Hyuganda ^a	2 November 1931	32.2	132.1	7.1	40					
S. Mariana										
6 Guam	8 August 1993	12.98	144.80	7.7	45	238	24	82	164	G
Manila										
7 Manila	11 December 1999	15.87	119.64	7.2	35	112	13	-169	22	
Sumatra										
8 Sumatra	4 June 2000	-4.73	101.94	7.8	44	92	55	152	66	
Vanuatu										
9 Vanuatu	13 July 1994	-16.50	167.35	7.1	25	272	42	2	35-52	G
10 Vanuatu	6 July 1981	-22.31	170.90	7.5	58	345	30	-179		
N. Chile										
11 Taltal	23 February 1965	-25.67	-70.79	7.0	60	16	86	-78	48	G
C. Peru										
12 Peru	31 May 1970	-9.18	-78.82	7.9	43	160	37	-90	44	G
El Salvador										
13 El Salvador	19 June 1982	12.65	-88.97	7.3	52	102	25	-106	>37	G
14 El Salvador	13 January 2001	12.97	-89.13	7.7	56	121	35	-95		
Mexico										
15 Oaxaca	30 September 1999	15.70	-96.96	7.4	47	102	42	-103	10-17	G
16 Oaxaca	15 January 1931	16.4	-96.3	7.7	40	90	34	-90		
17 Michoacan	11 January 1997	18.34	-102.58	7.1	40	175	18	-28		
N. Cascadia										
18 Nisqually	28 February 2001	47.14	-122.53	6.8	47	176	17	-96	10	G
19 Olympia ^b	13 April 1949	47.17	-122.62	7.1	54	14	82	-135		
Alaska										
20 Kodiak Island	6 December 1999	57.35	-154.35	7.0	36	357	63	-180	55	G

G abbreviates gradient in the upper plate stresses.

Seno and Yoshida(2004)に加筆



Seno and Yoshida(2004)により抽出された地震の震央位置

世界の海洋プレート内地震の規模(2/2)

- Global CMT Catalogに取りまとめられている地震のうち, Seno and Yoshida(2004)以降に発生した深さ20km~60kmの地震について, 海洋プレート内で発生したと考えられるMw8.0程度の規模の地震を以下に示す。
- 抽出された地震の最大規模は, 2017年9月8日にメキシコで発生したMw8.2であり, 1994年北海道東方沖地震の規模Mw8.3を超える地震は発生していない。



- Seno and Yoshida(2004)以降に発生した地震についても, Mw8.3を超える規模の浅い海洋プレート内地震は発生していない。

Seno and Yoshida(2004)以降に発生したMw8.0程度の主な海洋プレート内地震
(アウターライズ地震と考えられる地震は除く。地震諸元はGlobal CMT Catalog, 震央地名は気象庁による)

Seno and Yoshida(2004) と対応する領域	震央地名	発震日 (GMT)	緯度 (° N)	経度 (° E)	Mw	深さ (km)
— (Vanuatuより南)	マックオリー島北部	2004.12.23	-49.91	161.25	8.1	28
— (南米大陸の南)	スコシア海	2013.11.17	-60.49	-45.32	7.8	24
— (カムチャッカ半島東方)	コマンドル諸島付近	2017.07.17	54.13	169.78	7.8	23
Mexico	メキシコ, チアパス州沿岸	2017.09.08	15.38	-94.66	8.2	45

世界の浅い海洋プレート内地震の規模と海洋プレートの応力の関係

Seno and Yoshida(2004)では、世界の浅い海洋プレート内地震の規模と海洋プレートの応力の関係について、以下のことが指摘されている。

- 世界の主な沈み込み帯について、海洋プレートと島弧に働く応力関係は下図に示す4つに分類される。
- 4つの分類のうち(a)及び(b)の地域では、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震が発生する傾向があり、海洋プレートに働く応力は引張(Tension)である。
- 一方、(c)及び(d)の地域では、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震は知られておらず、海洋プレートに働く応力は圧縮(Compression)あるいは中立(Neutral)である。
- 4つの分類のうち、東北日本(N.Honshu)は(d)の地域に、北海道東部(E.Hokkaido)は(b)の地域に分類される。

- ➡
- 東北日本弧は、世界の主な沈み込み帯のうち、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震が知られていない地域に分類される。
 - 千島弧は、世界の主な沈み込み帯のうち、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震が発生している地域に分類される。

規模の大きな海洋プレート内地震が発生する地域

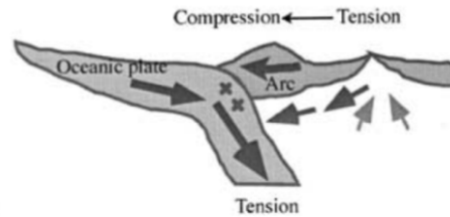
(a): 海洋プレートに引張の応力が働いており、島弧応力(Upper plate stress)に応力勾配が認められる地域。

(b): 海洋プレートに引張の応力が働いている地域。

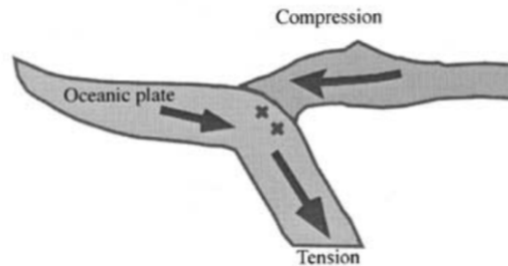
⇒文献中に『This case is seen in Sumatra, Manila, and E.Hokkaido.』の記載がある。

「E.Hokkaido」は、(b)に分類される。

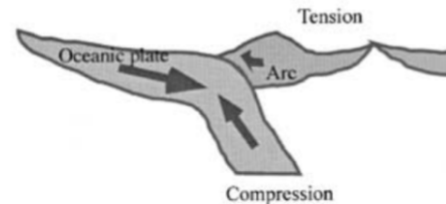
(a) Kyushu, Cascadia



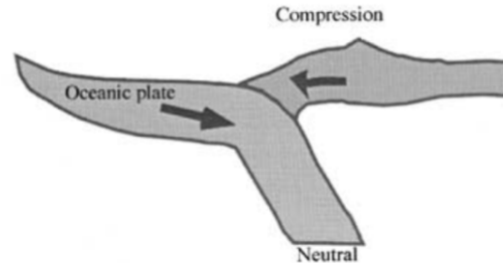
(b) Sumatra, Manila



(c) Bonin, Tonga



(d) N. Honshu, Kamchatka



(c): 海洋プレートに圧縮の応力が働いている地域。

(d): 海洋プレートに働く応力がNeutralとなっている地域。

「N.Honshu」は、(d)に分類される。

Fig. 12. Relationships between the slab and arc stresses. The ridge push, slab pull and the fore-arc collision force are balanced (Seno and Yamanaka, 1998). (a) The slab is down-dip tensional and the arc is tensional in the back-arc and compressional in the fore-arc. (b) The slab is down-dip tensional and the arc is compressional. (c) The slab is down-dip compressional and the arc is tensional. (d) The slab is neutral in the stress state and the arc is compressional. In regimes (a) and (b), large shallow intraslab earthquakes tend to occur.

Seno and Yoshida(2004)に加筆

世界の海洋プレート内地震の特徴の整理のまとめ

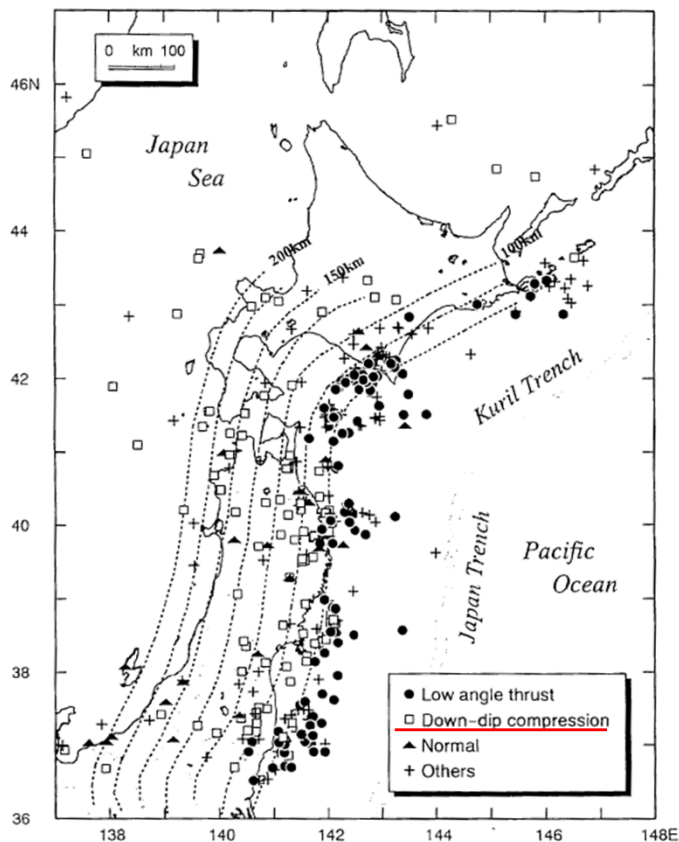
- 東北日本弧は、世界の主な沈み込み帯のうち、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震が知られていない地域に分類される。
- 一方、千島弧は、世界の主な沈み込み帯のうち、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震が発生している地域に分類される。世界の沈み込んだ海洋プレート内の浅い地震のうち最大規模の地震は、千島弧で発生した1994年北海道東方沖地震(Mw8.3)である。

海洋プレート内地震の発生状況(1/2)

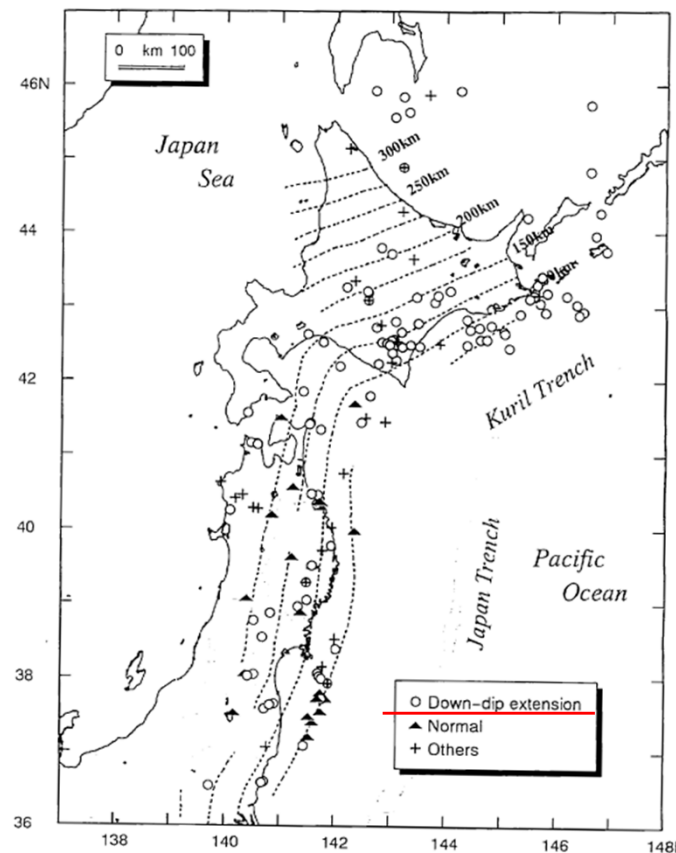
- Kosuga et al.(1996)では、東北日本弧から千島弧にかけて発生した地震について、P波初動解により求めたメカニズムが整理されている。
- 文献では、東北日本弧では二重深発地震面の上面で発生する地震(Down-dip compression, DC型)が優勢である一方、千島弧では二重深発地震面の下面で発生する地震(Down-dip extension, DE型)が優勢であることが指摘されている。



• 東北日本弧ではDC型の地震が、千島弧ではDE型の地震が優勢であり、地震の発生状況が異なると考えられる。



二重深発地震面の上面の地震の発生分布



二重深発地震面の下面の地震の発生分布

Kosuga et al.(1996)に加筆

海洋プレート内地震の発生状況(2/2)

Kita et al.(2010)では、海洋プレート内地震の発生状況について、以下のことが指摘されている。

- 発生分布の整理にあたり、東北から北海道東部にかけて「東北」「北海道中部」「北海道東部」の領域に区分している。
- プレート上面(Upper plane)の地震は、深さ70km~90kmの海洋プレートの沈み込み等深線に沿って、東北から北海道東部にかけて一様に分布している。
- プレート面間(Interplane)の地震は、北海道東部や東北の南部で局所的に分布する傾向があり、東北の北部(40-41° N)ではあまり見られない。
- プレート下面(Lower plane)の地震は、プレート面間の地震と同領域で局所的に分布する傾向があり、北海道東部、東北の南部及び中部で主に見られる。東北日本弧と千島弧の会合部付近では活動性は低い。



- 敷地は東北日本弧(文献中「Tohoku」)の領域に位置している。
- プレート上面の地震は東北日本弧から千島弧にかけて一様に分布しているが、プレート面間及びプレート下面の地震は局所的に分布する傾向があり、敷地の周辺における活動性は低い(地震分布の密度が低い)。

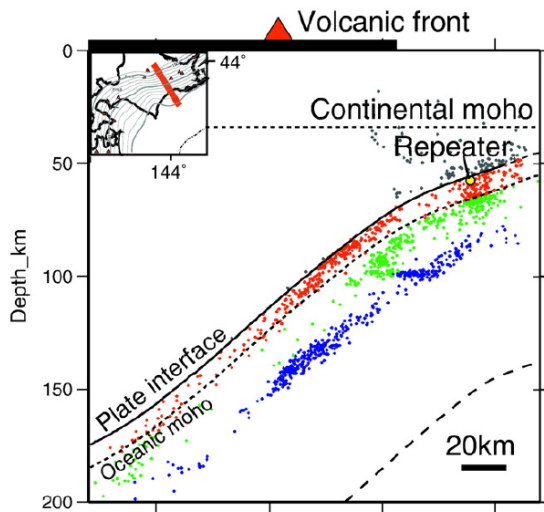
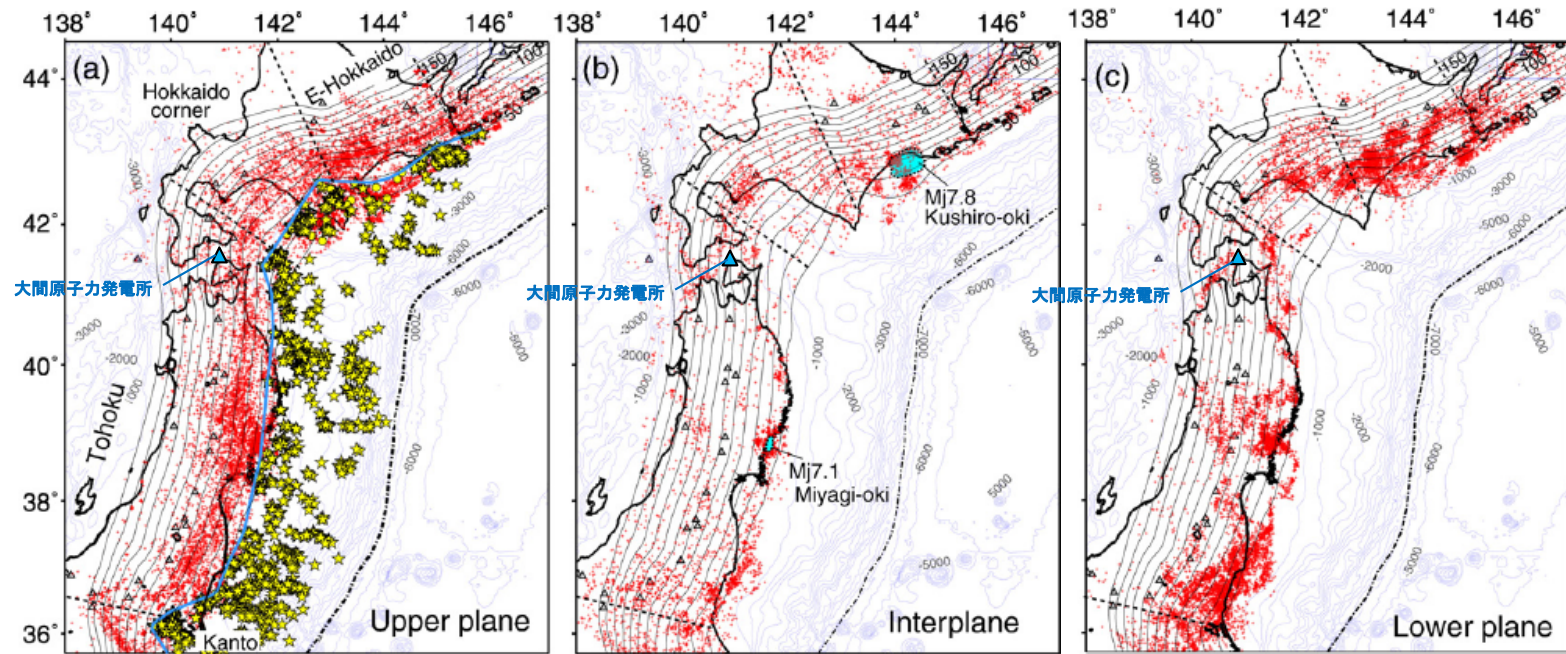


Fig. 3. Close up of the vertical cross-section of earthquakes along line C in Fig. 2. Red, blue and green dots show events on the upper plane, lower plane and between the two planes (interplane), respectively. Shallower horizontal dashed line and deeper inclined dashed line show the possible location of the continental moho (at depths of 35 km) and that of the oceanic moho (7 km deeper than the plate interface), respectively. Long dashed line shows the possible location of the lower interface of the oceanic plate, which was estimated from a seismic tomography work (Zhao and Hasegawa, 1993).



プレート上面・圧縮応力場

プレート面間
応力中立面付近の応力が相対的に小さい領域

プレート下面・引張応力場

Kita et al.(2010)における地震の分布図

(赤色:プレート上面, 緑色:プレート面間, 青色:プレート下面)

●: 海洋プレート内地震 ☆: 小規模な繰り返し地震(プレート間地震と考えられる) ○: 低角逆断層の地震 △: 活火山

東北日本弧及び千島弧の海洋プレート内地震の発生状況

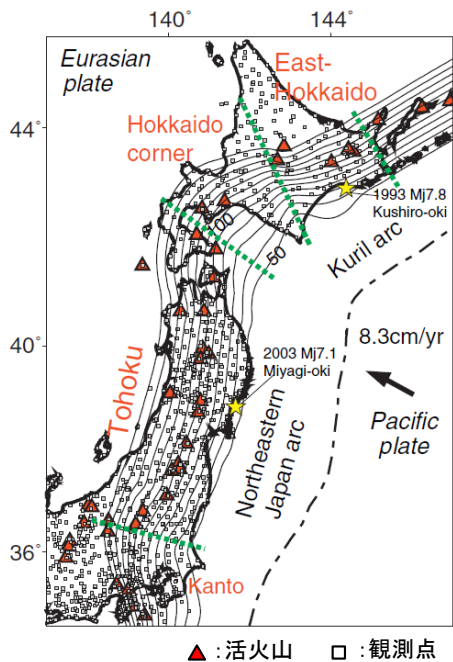
海洋プレート内地震のメカニズムの特徴

Kita et al.(2010)では、海洋プレート内地震のメカニズムについて、以下のことが指摘されている。

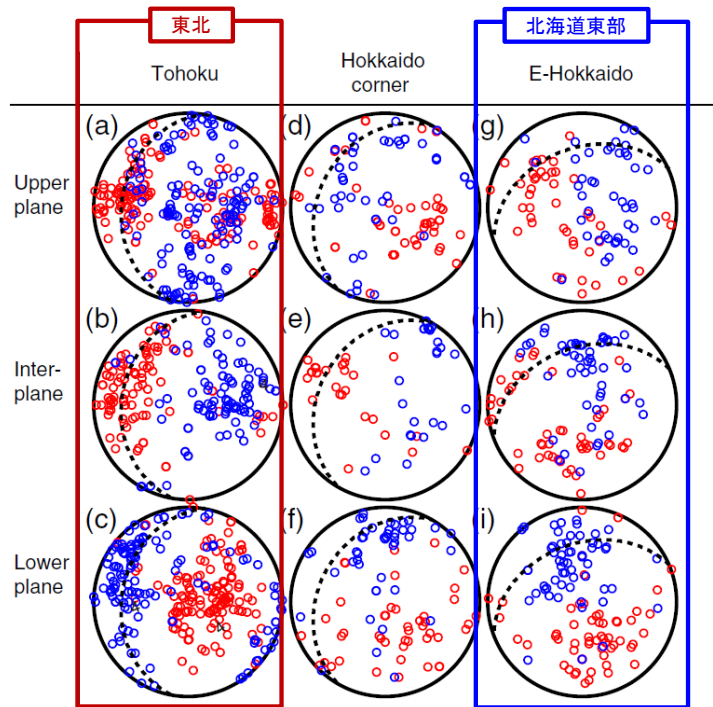
- 東北の領域では、プレート上面及びプレート面間の地震について、多くのP軸がスラブの沈み込み方向に平行に、T軸がその直交の向きに分布しており、DC型のメカニズムの特徴を有している。一方、プレート下面の地震は、T軸がスラブの沈み込み方向に平行に、P軸がその直交の向きに分布しており、DE型のメカニズムの特徴を有している。
- 北海道東部の領域では、プレート上面の地震について、いくつかのP軸がスラブの沈み込み方向に平行に、T軸がその直交の向きに分布しており、DC型のメカニズムの特徴を有している。一方、プレート面間及びプレート下面の地震は、T軸がスラブの沈み込み方向に平行に、P軸がその直交の向きに分布しており、DE型のメカニズムの特徴を有している。



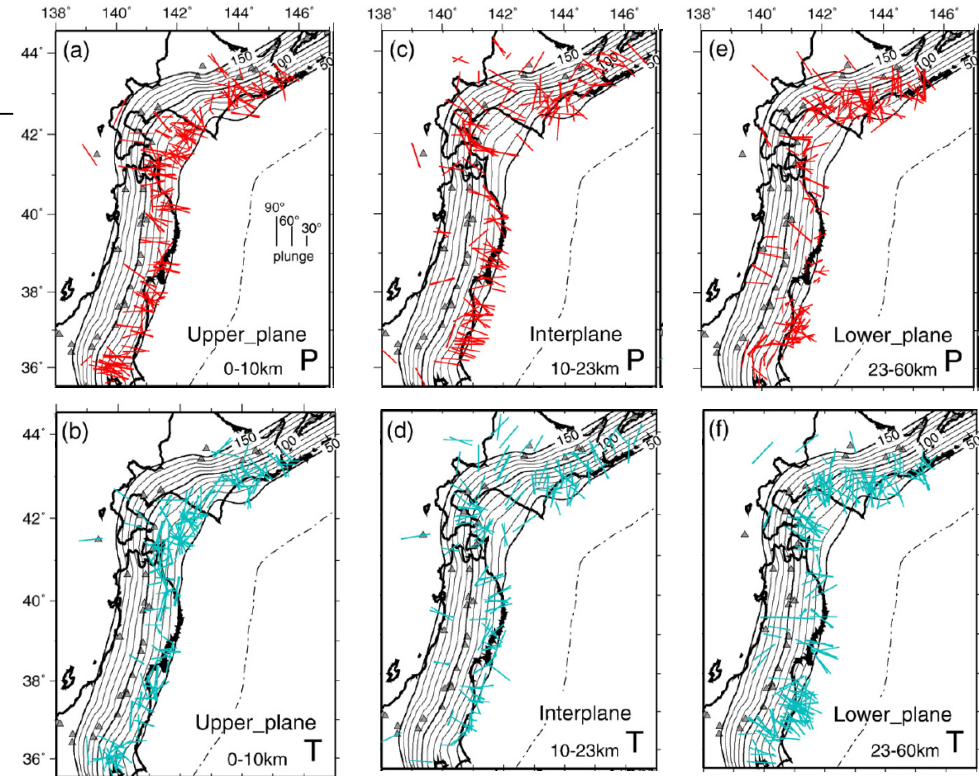
- 東北日本弧及び千島弧ともに、プレート上面の地震はDC型の地震が、プレート下面の地震はDE型の地震が卓越している。
- プレート面間の地震は、東北日本弧と千島弧でメカニズムの特徴が異なる。東北日本弧ではプレート上面の地震と同じDC型の傾向を、千島弧ではプレート下面の地震と同じDE型の傾向を有している。



東北日本弧から千島弧の領域区分



各領域の地震ごとのP軸(赤色)とT軸(青色)の分布
(点線はプレート境界)



東北日本弧及び千島弧の海洋プレート内地震のP軸T軸分布

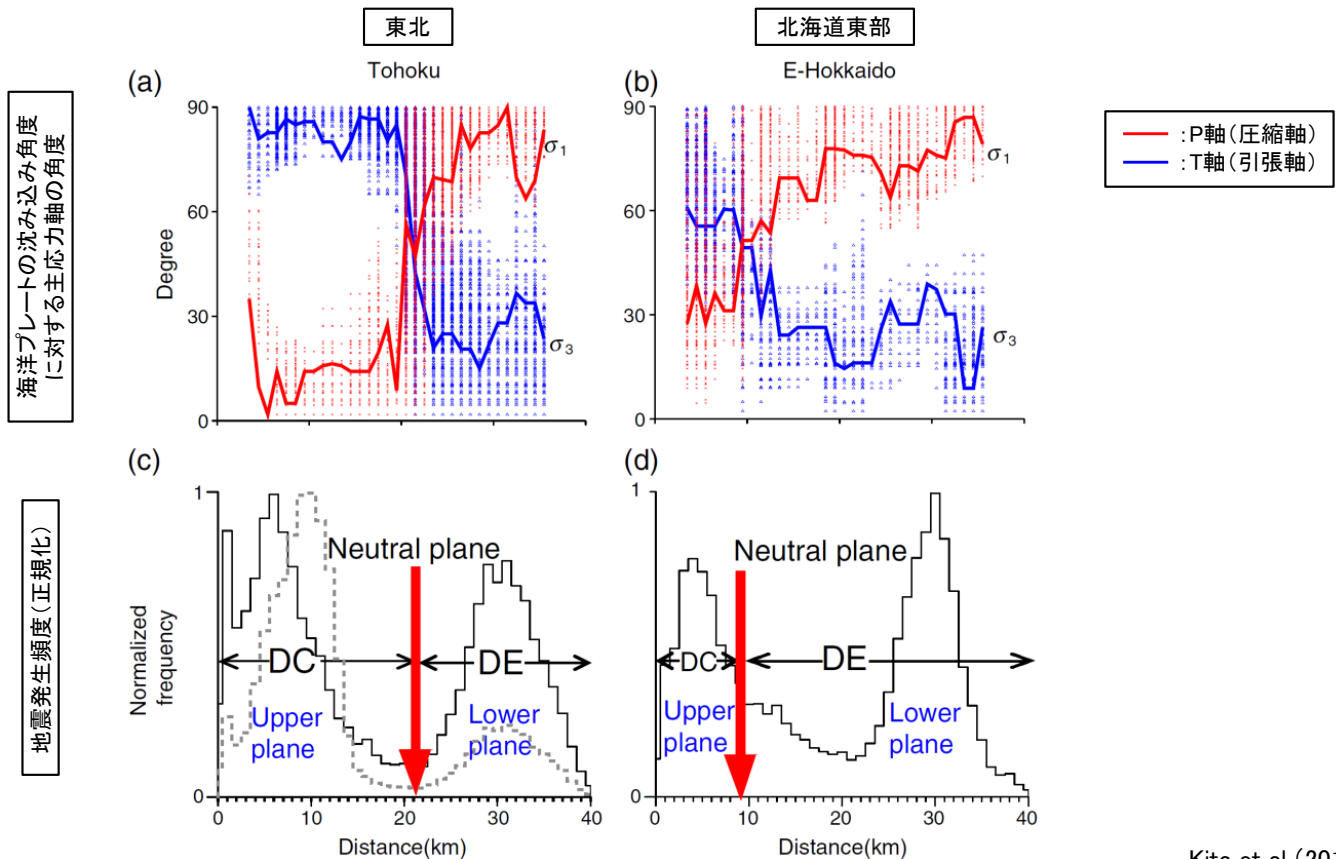
応力中立面の位置

Kita et al. (2010)では、海洋プレート内の応力中立面の位置について、以下のことが指摘されている。

- 東北は、応力中立面が海洋プレート上面から約21kmの深さに位置している。(二重地震面の中央付近に位置)
- 北海道東部は、応力中立面が海洋プレート上面から約9kmの深さに位置している。
- 海洋プレート内の地震発生頻度から、東北ではプレート上面のDC型の地震が優勢であり、北海道東部ではプレート下面のDE型の地震が優勢である。



- 海洋プレート内の応力中立面は、東北日本弧では海洋プレート上面から約21kmの深さの二重深発地震面の中央付近に位置する一方、千島弧では海洋プレート上面から約9kmの深さに位置しており、千島弧のプレート上面のDC型の地震が発生する領域は薄い。



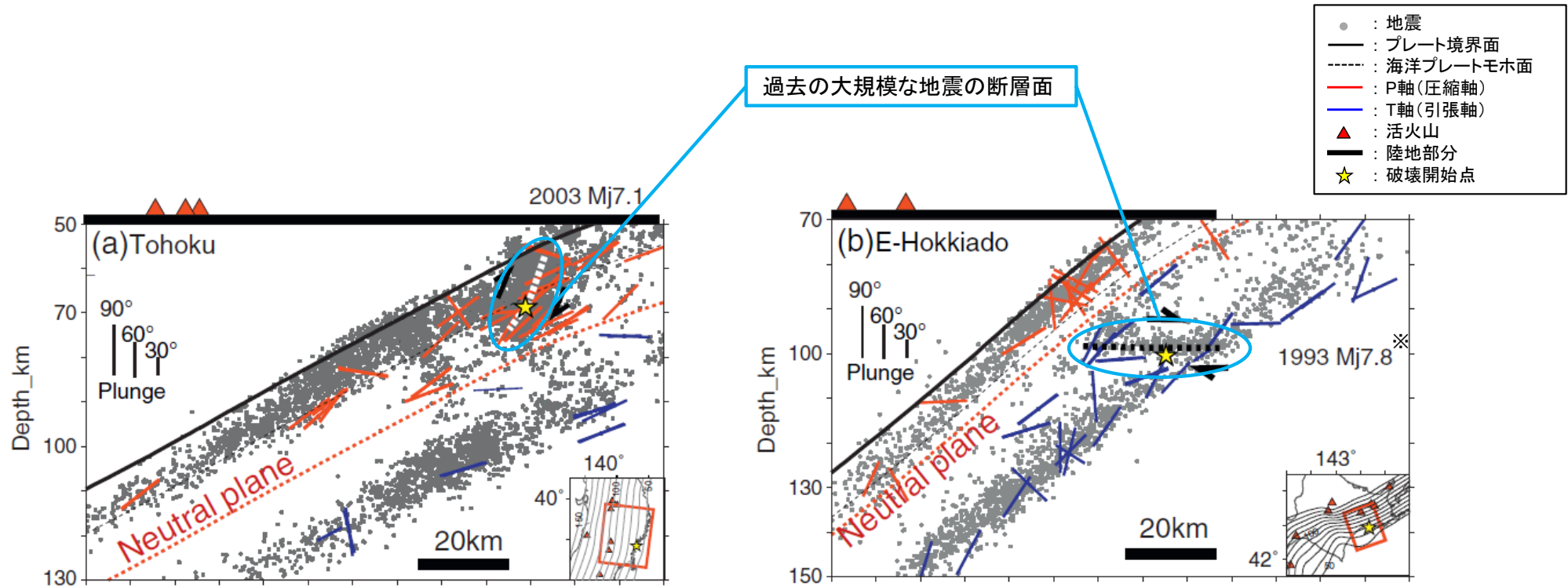
海洋プレート内の応力中立軸に係る検討

応力中立面の位置と大地震の断層面の関係

Kita et al. (2010)では、応力中立面の位置と大地震の断層面の関係について、以下のことが指摘されている。

- 過去の大規模な海洋プレート内地震の断層面のうち、DC型の地震(2003年宮城県沖の地震, M7.1)は、応力中立面(Neutral plane)の上部の圧縮応力場の領域に震源域が留まっており、DE型の地震(1993年釧路沖地震, M7.5)は、応力中立面の下部の引張応力場の領域に震源域が留まっている。

- ➡
- 二重深発地震面で発生した規模の大きな地震の断層面は応力中立面を超えておらず、東北日本弧と千島弧の応力中立面の位置の違いも踏まえると、千島弧の方が東北日本弧と比べてDE型の地震の発生領域が厚く、規模の大きな地震が発生する可能性が考えられる。



※ : 気象庁の確定値はM7.5

DC型の地震(2003年宮城県沖の地震, 断層面は白太点線)

DE型の地震(1993年釧路沖地震, 断層面は黒太点線)

Kita et al. (2010)に加筆

応力中立面の位置の違いの要因

Kita et al.(2010)では、応力中立面の位置の違いの要因について、以下のことが指摘されている。

- 東北と北海道東部における応力中立面の違いについて、Unbendingによる応力と浮力による応力場の組み合わせにより説明できる。
- Unbendingによる応力は、沈み込んだ海洋プレートを真直ぐに曲げ戻す力による応力であり、東北と北海道東部で差はない。(下図(i)の解釈)
- 浮力による応力場は、準安定オリビン相(The metastable olivine wedge)の浮力※1によって生じる応力であり、東北と北海道東部で異なる。北海道東部では海溝軸に対して太平洋プレートが斜めに沈み込むことでプレート沈み込み速度が遅くなる結果、北海道東部の温度パラメータ※2が小さくなり、準安定オリビン相の発展を阻害している。(下図(ii)の解釈)



- 東北日本弧と千島弧の応力中立面の位置の違いは、千島弧では海溝軸に対して太平洋プレートが斜めに沈み込むことで沈み込み速度が遅くなる結果、海洋プレート内に働く浮力による応力に違いが生じることが原因であると考えられる。

※1 : 準安定オリビン相が410km不連続面を超えて深くまで沈み込むと、周囲のマントルより密度が小さいことにより浮力が生じる。

※2 : プレートの年齢と鉛直方向のプレート沈み込み速度の積で表される。これが小さいほど、沈み込んだ海洋プレートの中心部の温度が高いと考えられる。

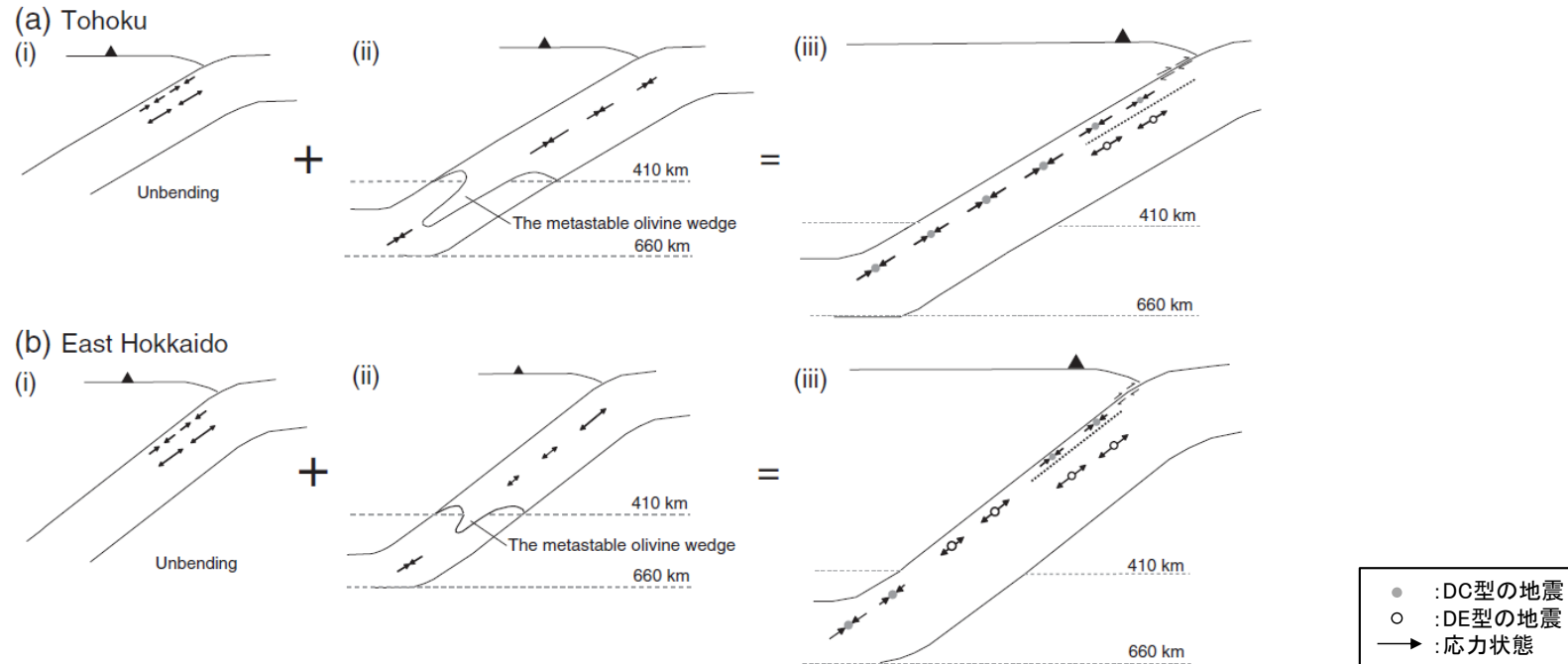


Fig. 13. Schematic illustrations of the stress regime within the descending slab beneath (a) Tohoku and (b) eastern Hokkaido. Arrows show the stress regime. Gray and open dots show DC type and DE type events, respectively. See text for details.

海洋性マントルで発生する地震の応力降下量

Kita and Katsumata(2015)では、千島弧の海洋性マントルで発生した地震の応力降下量について、以下の検討がされている。

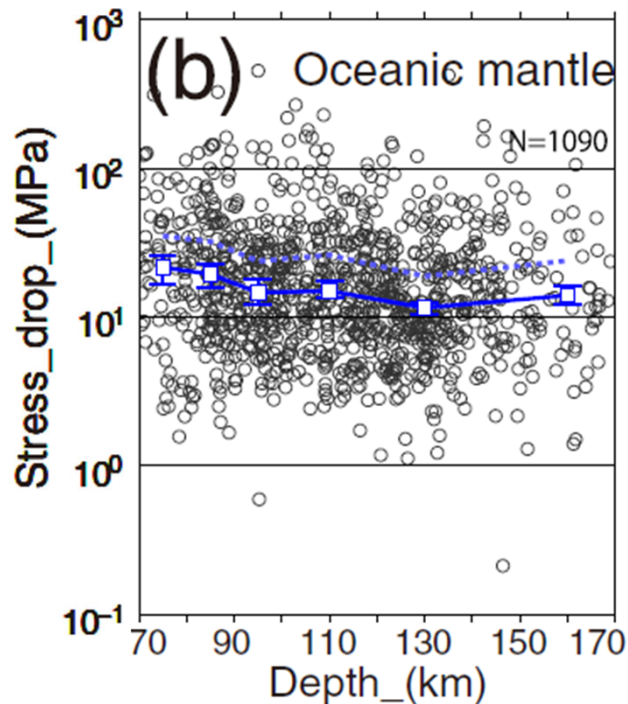
- 千島弧において70km~300kmの深さで発生した地震について、震源位置を再決定し、コーナー周波数の推定により応力降下量を算定している。
- 検討の結果、70km~170kmの深さで発生した海洋性マントル内の地震の応力降下量について、11MPa~21MPaと推定している。

北(2016)の知見では、東北日本弧の海洋性マントルで発生した地震の応力降下量について以下の検討がされている。

- 東北日本弧において70km~200kmの深さで発生した地震について、震源位置を再決定し、コーナー周波数の推定により応力降下量を算定している。
- 検討の結果、70km~170kmの深さで発生した海洋性マントル内の地震の応力降下量について、7.2MPa~13MPaと推定している。

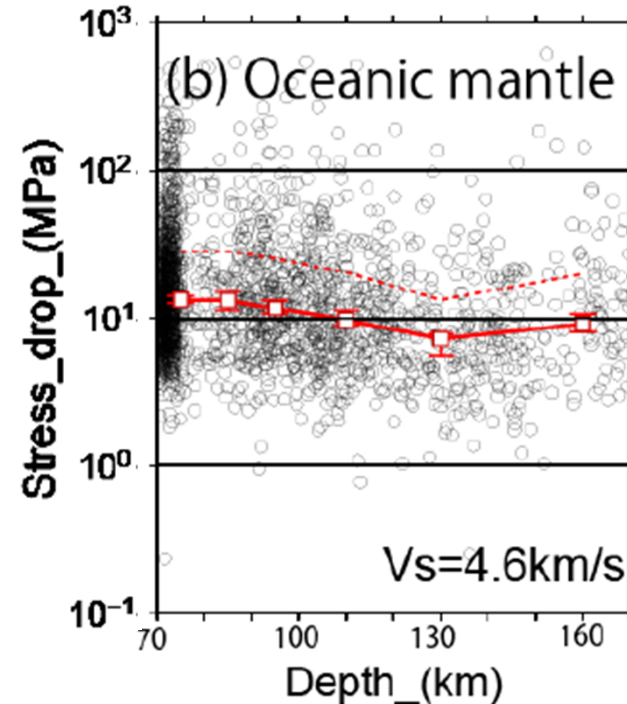


- 海洋性マントル内で発生した地震の応力降下量の中央値は、東北日本弧より千島弧の方が大きい傾向となっており、海洋性マントル内の応力状態が東北日本弧と千島弧で異なると考えられる。



Kita and Katsumata(2015)

千島弧の海洋プレート内地震の応力降下量



北(2016)

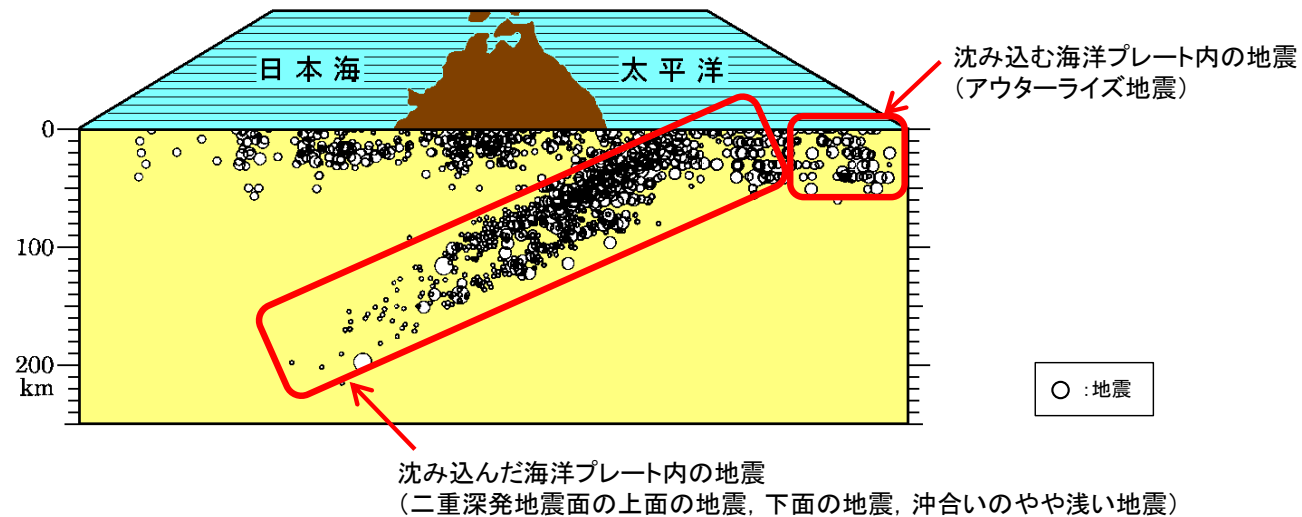
東北日本弧の海洋プレート内地震の応力降下量

東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理のまとめ

- 東北日本弧と千島弧では、以下に示すように海洋プレート内地震の地震活動の特徴に違いがある。
 - 東北日本弧では、二重深発地震面の上面で発生するDC型の地震が優勢であり、千島弧では、二重深発地震面の下面で発生するDE型の地震が優勢である。
- 東北日本弧と千島弧では、以下に示すように海洋プレートのテクトニクス的な特徴に違いがある。
 - 東北日本弧と千島弧では応力中立面の位置が異なり、東北日本弧に対して千島弧の方が応力中立面が浅い。これは、千島弧では海溝軸に対して太平洋プレートが斜めに沈み込むことで沈み込み速度が遅くなる結果、海洋プレート内に働く浮力による応力に違いが生じることが原因であると考えられる。
 - 二重深発地震面で発生した規模の大きな地震の断層面は応力中立面を超えておらず、東北日本弧と千島弧の応力中立面の位置の違いも踏まえると、千島弧の方が東北日本弧と比べてDE型の地震の発生領域が厚く、規模の大きな地震が発生する可能性が考えられる。
 - 海洋性マントル内で発生する地震の応力降下量について、千島弧の方が東北日本弧よりも大きい傾向がある。

海洋プレート内で発生する地震のタイプ

- 海洋プレート内地震である、沈み込む海洋プレート内で発生する地震(アウターライズ地震)と、沈み込んだ海洋プレート内で発生する地震(二重深発地震面の上面の地震, 下面の地震及び沖合いのやや浅い地震)の4つの地震タイプについて、特徴を整理する。

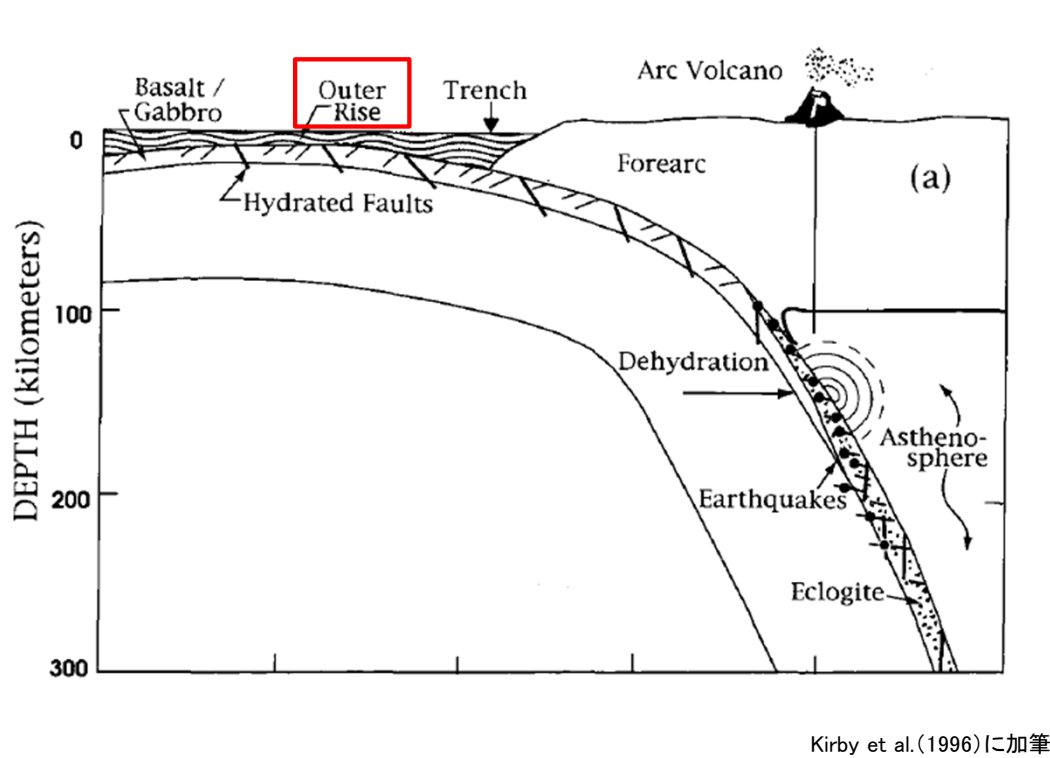


防災科学技術研究所 Hi-net高感度地震観測網HP 「地震の基礎知識とその観測」に加筆

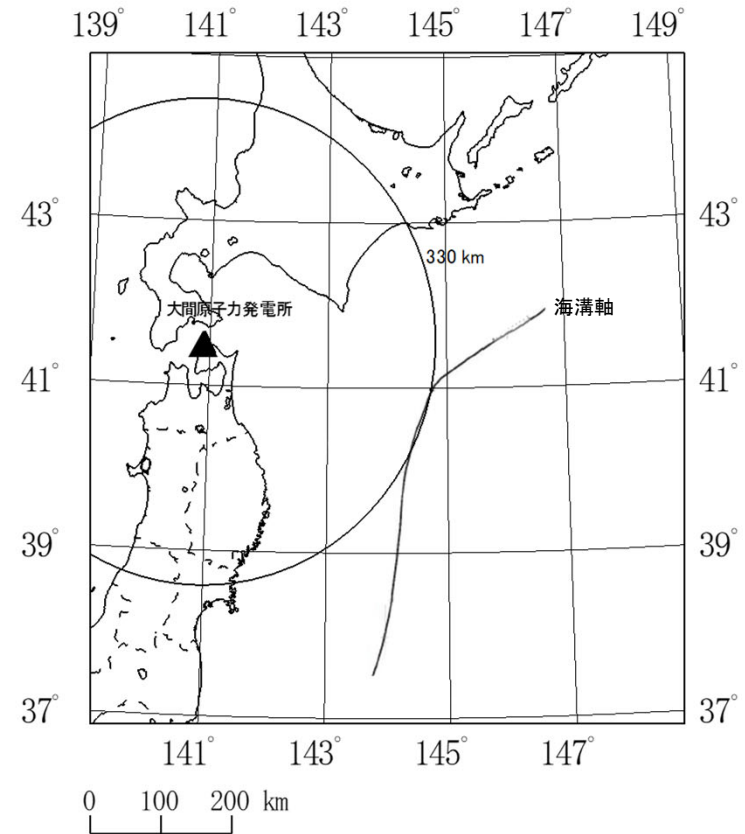
海洋プレート内地震の地震タイプ別発生位置

沈み込む海洋プレート内地震(アウターライズ地震)の特徴

- ・ 沈み込む海洋プレート内で発生する地震であるアウターライズ地震は、海溝軸付近から沖合いの領域で発生する地震である。海洋プレートが海溝で沈み込む際に下方に曲げられることに伴い生じる、正断層型の地震である。
- ・ 断層面の傾斜角は、海洋プレート上面に対して60°程度(Nakajima et al.(2011)では45°～70°との記載がある。)である。
- ・ 敷地から海溝軸までの距離は約330kmであり、アウターライズ地震が想定される領域は敷地から非常に遠い。



アウターライズで発生する地震の模式図



海溝軸は地震本部(2019)による

敷地と海溝軸の位置関係

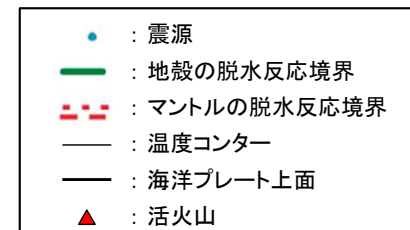
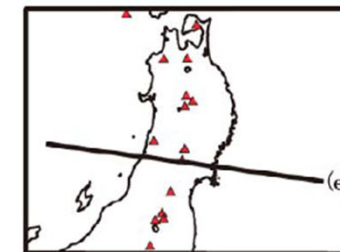
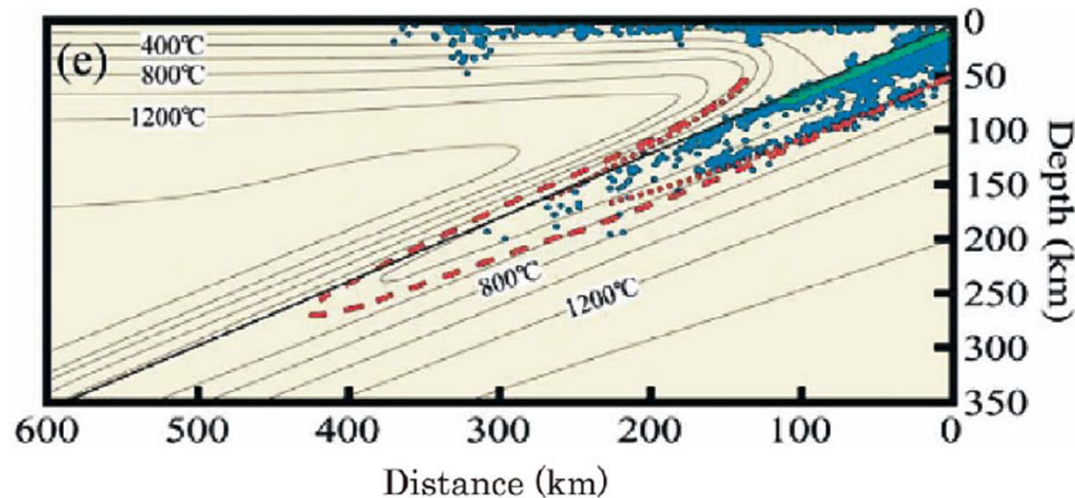
沈み込んだ海洋プレート内地震の二重深発地震面の形成要因

長谷川ほか(2012)では、沈み込んだ海洋プレート内地震の二重深発地震面の形成要因について、以下のことが指摘されている。

- 東北日本下の海洋プレート内地震は、深さ約70km~150kmの範囲で二重深発地震面を形成している。
- 海洋プレートの沈み込みに伴い温度及び圧力が上昇すると、含水鉱物が脱水分解する。脱水により生じた水が、過剰間隙流体圧の状態(間隙流体圧が静水圧を超えた状態)をつくり有効法線応力を低下させることで、深い位置でも脆性破壊が生じ海洋プレート内地震が発生すると考えられる。
- この脱水脆性化が海洋プレート内地震の発生原因であれば、含水量の変化する(脱水反応を伴う相変化をする)相境界と海洋プレート内地震の発生領域が対応すると考えられる。
- Yamasaki and Seno(2003)では、海洋プレート内地震の分布と脱水反応境界の対応について調べており、推定された脱水反応境界と二重深発地震面の上面と下面の位置がほぼ対応している。



- 二重深発地震面は、主に約70km~150kmの深さで見られる。
- 沈み込んだ海洋プレート内地震のうち二重深発地震面の上面の地震及び下面の地震は、含水鉱物の脱水に伴い生じた水の寄与により発生すると考えられる。



長谷川ほか(2012)

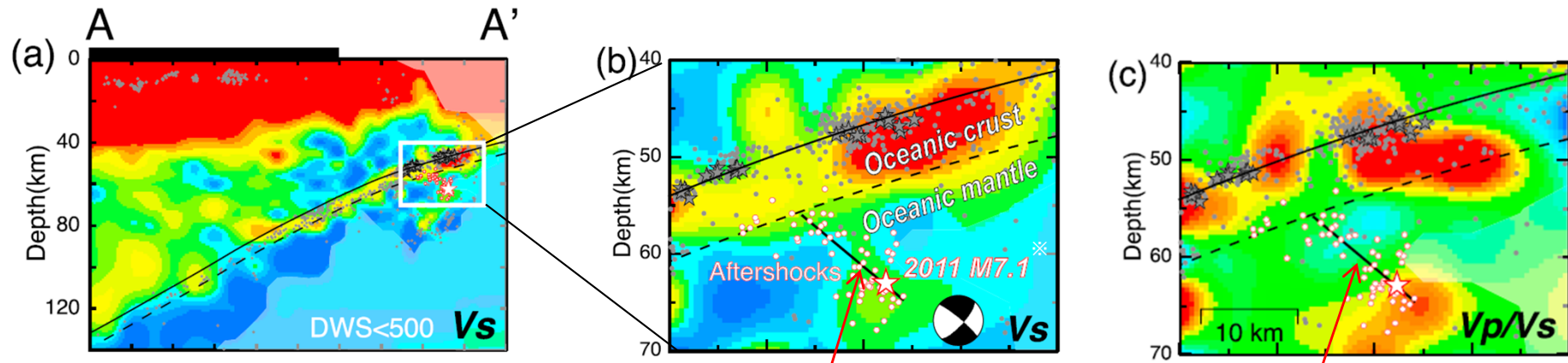
Yamasaki and Seno(2003)による海洋プレート内地震の分布と脱水反応境界の対応

沈み込んだ海洋プレート内地震のうち二重深発地震面の上面の地震の特徴

Nakajima et al.(2011)では、二重深発地震面の上面で発生した2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)について、以下のことが指摘されている。

- 2011年4月7日宮城県沖の地震の余震分布は、海洋プレートの低速度域と対応している。これらの低速度域は、含水鉱物の脱水により生じた流体の寄与により生じている。
- 当該地震の余震分布と海洋プレート上面との角度は約60°であり、これはアウターライズで生じた断層の再活動(傾斜角が45°~70°程度)と対応している。
- これらの事実は、2011年4月7日宮城県沖の地震が、アウターライズで生じた断層が含水鉱物の脱水に伴い再活動することで生じたことを示唆している。

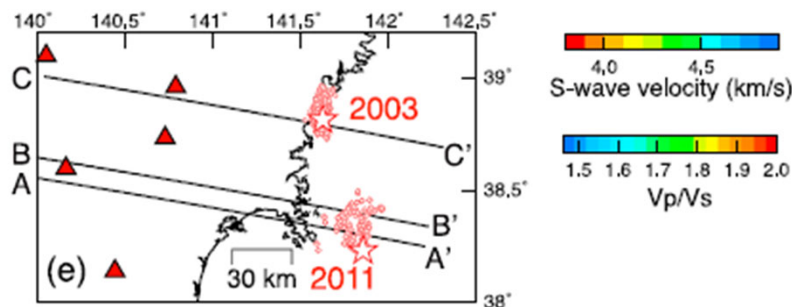
⇒ 二重深発地震面の上面の地震は、アウターライズで生じた断層が含水鉱物の脱水に伴い再活動することで生じると考えられる。



2011年4月7日宮城県沖の地震の推定断層面

2011年4月7日宮城県沖の地震の推定断層面

※ : 気象庁の確定値はM7.2



2011年4月7日宮城県沖の地震の震源周辺の海洋プレートの速度構造図

- : 再決定した余震
- : 陸地部分
- : 2011年4月7日宮城県沖の地震の推定断層面
- : 海洋プレート上面
- - - : 海洋プレートモホ面
- : 地震
- ▲ : 活火山
- ☆ : 本震の震源位置

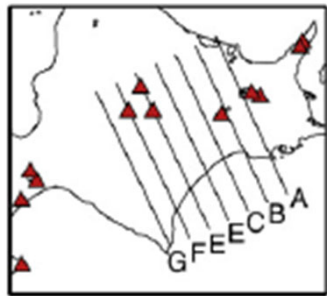
Nakajima et al.(2011)に加筆

沈み込んだ海洋プレート内地震のうち二重深発地震面の下面の地震の特徴

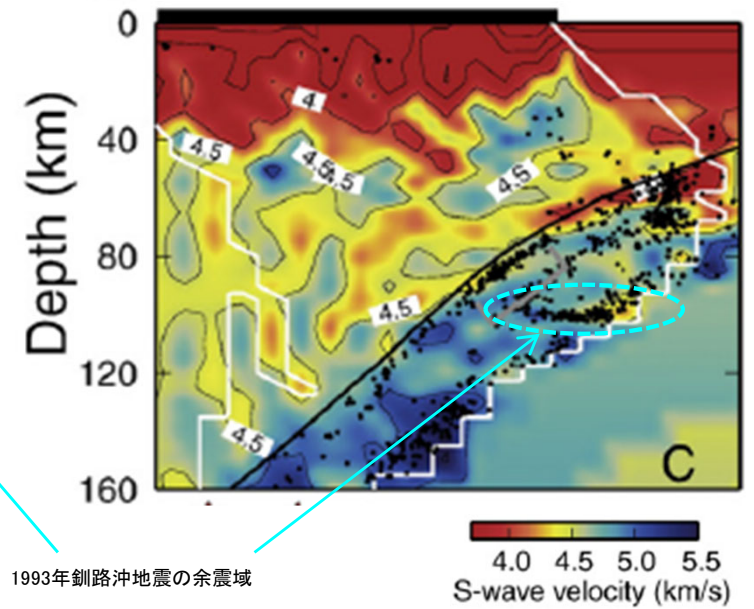
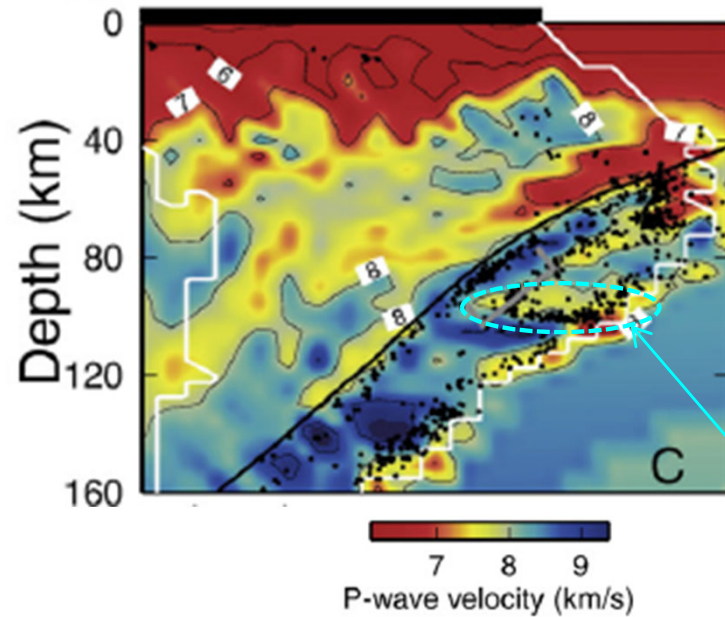
Nakajima et al.(2009)では、以下のことが指摘されている。

- 1993年釧路沖地震の余震分布は、水平方向に広がる低速度域と対応している。この低速度域は、マントルが含水化していることを示唆している。
- マントルの含水化については、海洋プレートが沈み込む前に、アウターライズ地震にて正断層が生じた際に生じたと考えられる。
- 1993年釧路沖地震は、アウターライズで生じた断層が含水鉱物の脱水に伴い再活動することで発生した地震であると考えられる。

➡ • 二重深発地震面の下面の地震は、アウターライズで生じた断層が含水鉱物の脱水に伴い再活動することで生じると考えられる。



- : 再決定した震源
- : 海洋プレート上面
- : 陸地部分
- 白線 : derivative weighted sum = 500の線
(チェッカーボードテストでパターンが戻った領域)
- ▲ : 活火山



1993年釧路沖地震の余震域

Nakajima et al.(2009)に加筆

1993年釧路沖地震の震源周辺の海洋プレートの速度構造図

2. 海洋プレート内地震の知見の整理

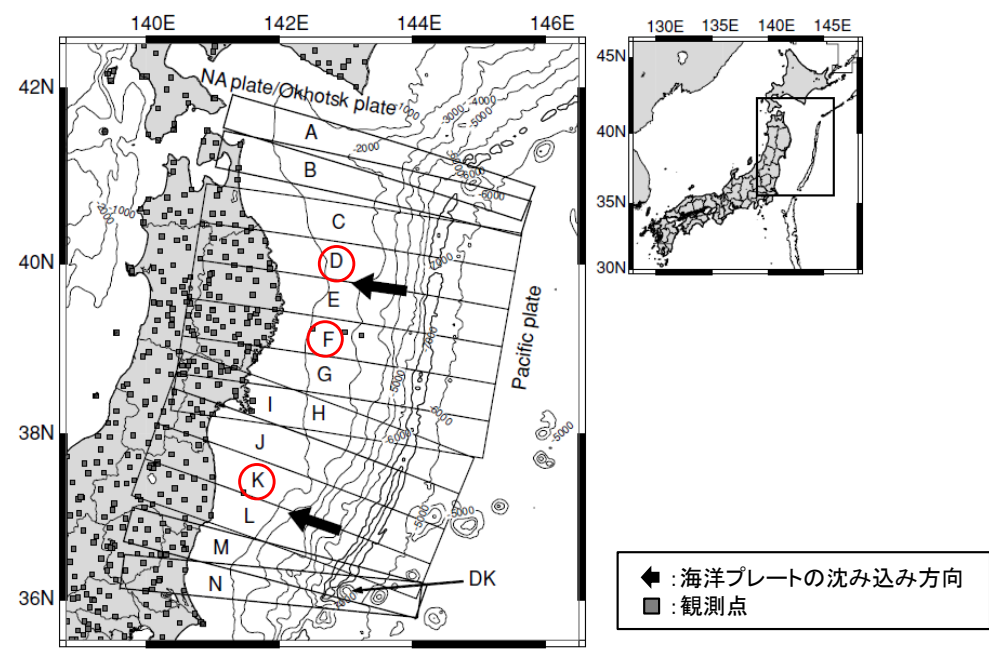
2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴 (6/8)

沈み込んだ海洋プレート内地震のうち沖合いのやや浅い地震の特徴(1/2)

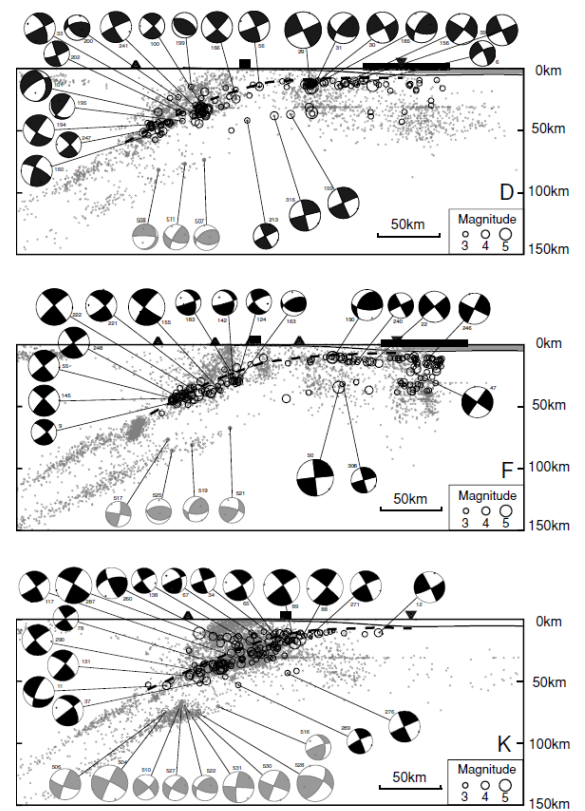
Gamage et al.(2009)では、沖合いのやや浅い領域で発生する地震について、以下のことが示されている。

- 海溝軸付近において、プレート上面の地震は正断層型が多く見られるのに対し、プレート下面の地震は逆断層型であり、二重深発地震面で見られる特徴(プレート上面の地震はDC型、プレート下面の地震はDE型のメカニズム)とは逆の傾向を示している。
- 地震のメカニズム(P軸及びT軸の分布)を踏まえると、海溝軸に近い領域では、応力の中立面は20km~25kmの深さの間に存在している可能性がある。
- 鉛直断面の東側と西側の間に、下面の地震の発生していない領域、あるいは上面の地震が減少して見られる領域がある。

⇒ 沖合いのやや浅い領域では、プレート上面で正断層型、プレート下面で逆断層型の地震が発生し、二重深発地震面の上面と下面の地震のメカニズムとは逆の傾向を示している。



検討領域と鉛直断面位置



鉛直断面における震源分布及びメカニズム解

- ▼ : 海溝軸
- : Gamage et al.(2009)が設定した領域境界
- : 東北大学による震源
- : 再決定した震源
- : 1933年昭和三陸地震の余震域

Gamage et al.(2009)に加筆

沈み込んだ海洋プレート内地震のうち沖合いのやや浅い地震の特徴(2/2)

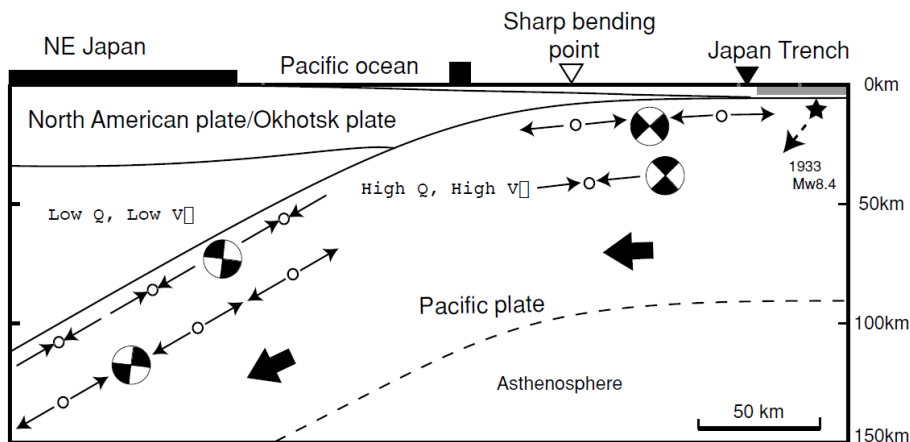
Gamage et al.(2009)では、沖合いのやや浅い領域で発生する地震について、以下のことが指摘されている。

- 深い領域だけでなく浅い領域にも二重地震面が存在し、浅い領域の二重地震面はアウターライズだけでなく、プレート境界の曲率が急激に増えることで知られる海溝軸から120km西の領域までの間で見られる。
- 浅い領域と深い領域の二重地震面の地震のメカニズムについて、それぞれ海洋プレートに働く曲げと曲げ戻しによる応力で説明できる。曲げによる応力は、アウターライズの領域から“sharp bending point(Fujie et al.(2006))”まで支配的である。

Fujie et al.(2006)では、“sharp bending point”について、以下のことが示されている。

- 青森県沖から岩手県沖にかけてのプレート境界の傾斜角が急激に変わる点“sharp bending point”を整理している。“sharp bending point”は、海洋プレート上面の深さが10km~20kmの間に位置している。

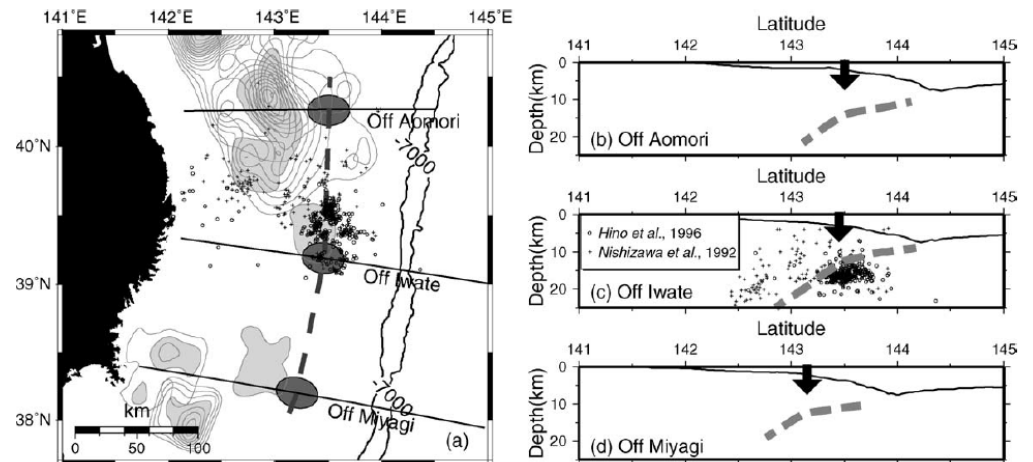
- ⇒
- 浅い領域と深い領域の二重地震面の地震のメカニズムについて、それぞれ海洋プレートに働く曲げと曲げ戻しによる応力で説明できる。
 - 沈み込んだ海洋プレート内地震のうち沖合いのやや浅い地震の発生域は、海溝軸から海洋プレート上面深さが約20kmまでの領域であると考えられる。



Gamage et al.(2009)

太平洋プレート内で発生する二重地震面の概要図

- : 地震
- : 地震を発生させる応力
- ← : 太平洋プレートの沈み込み
- ▬ : アウターライズの領域
- : Gamage et al.(2009)が設定した領域の境界



- : “Sharp bending point”
- : “Sharp bending point”を結んだ線 (Sharp bending line)

- ↓ : “Sharp bending point”
- : 海洋プレート上面

Fujie et al.(2006)

青森県沖から岩手県沖における“sharp bending point”

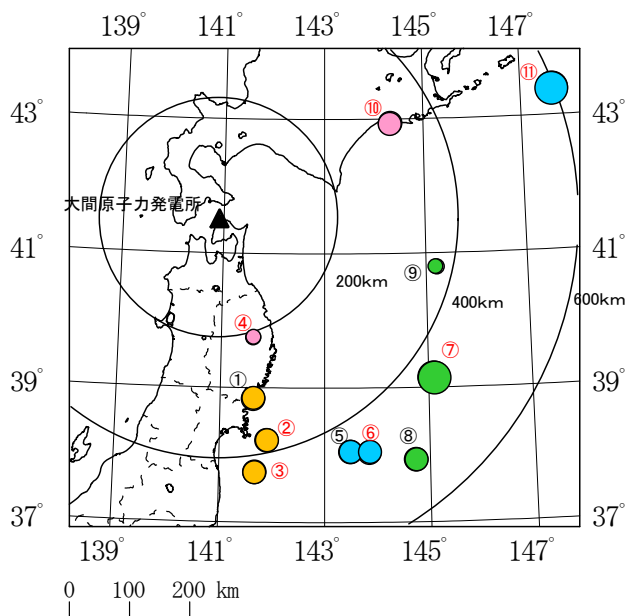
海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴のまとめ

- 海洋プレート内地震には、4つの地震タイプがある。東北日本弧及び千島弧における各地震タイプは、以下に示すような特徴がある。
 - 沈み込む海洋プレート内地震のアウトサイズ地震は、海洋プレートが沈み込む際に発生する正断層型の地震であり、海溝軸の外側で発生する地震である。敷地から海溝軸までの距離は約330kmと遠い。
 - 沈み込んだ海洋プレート内地震のうち二重深発地震面の上面の地震及び下面の地震は、主に約70km～150kmの深さで見られる地震であり、アウトサイズで生じた断層の再活動で生じる地震であると考えられる。
 - 沈み込んだ海洋プレート内地震のうち沖合いのやや浅い地震は、海溝軸から海洋プレート上面深さが約20kmまでの領域で発生する地震であると考えられる。



東北日本弧及び千島弧で発生した主な海洋プレート内地震

- 東北日本弧及び千島弧で発生した主な海洋プレート内地震を示す。
- 東北日本弧で発生した最大規模の地震は、2021年の福島県沖の地震(Mw7.1, M7.3, 二重深発地震面の上面の地震)及び同地震タイプでMwが同じ規模の地震として2011年の宮城県沖の地震(Mw7.1, M7.2, 二重深発地震面の上面の地震), 2008年の岩手県沿岸北部の地震(Mw6.8, M6.8, 二重深発地震面の下面の地震), 2012年の三陸沖の地震(Mw7.3, M7.3, 沖合いのやや浅い地震), 及び1933年の昭和三陸地震(Mw8.5, M8.1, アウターライズ地震)である。^{※1, 2}
- 千島弧で発生した最大規模の地震は、1993年釧路沖地震(Mw7.6, M7.5, 二重深発地震面の下面の地震)及び1994年北海道東方沖地震(Mw8.3, M8.2, 沖合いのやや浅い地震)である。
- 下表に示すとおり各タイプの地震の発生が認められるが、敷地に近い青森県の東方沖及び東北日本弧と千島弧の会合部付近では、M7以上の規模の大きな地震は発生していない。



- : 上面の地震
- : 下面の地震
- : 沖合いの浅い地震
- : アウターライズ地震

- 8.0 ≤ M
- 7.0 ≤ M < 8.0
- M < 7.0

東北日本弧及び千島弧で発生した主な海洋プレート内地震^{※3}

地震タイプ		東北日本弧	千島弧
海洋プレート内地震 沈み込んだ	二重深発地震面の上面の地震(DC型)	①2003年5月26日 宮城県沖の地震 (Mw7.0, M7.1) ②2011年4月7日 宮城県沖の地震 (Mw7.1, M7.2) ③2021年2月13日 福島県沖の地震 (Mw7.1, M7.3) ^{※2}	(規模の大きな地震は知られていない)
	二重深発地震面の下面の地震(DE型)	④2008年7月24日 岩手県沿岸北部の地震 (Mw6.8, M6.8)	⑩1993年釧路沖地震 (Mw7.6, M7.5)
	沖合いのやや浅い地震	⑤2011年7月10日 三陸沖の地震 (Mw7.0, M7.3) ⑥2012年12月7日 三陸沖の地震 (Mw7.3, M7.3)	⑪1994年北海道東方沖地震 (Mw8.3, M8.2)
沈み込む海洋プレート内地震 (アウターライズ地震)		⑦1933年3月3日 昭和三陸地震 (Mw8.5, M8.1) ⑧2011年3月11日 三陸沖の地震 (Mw7.6, M7.5) ⑨2012年3月14日 三陸沖の地震 (Mw7.0, M6.9)	(規模の大きな地震は知られていない)

赤字 : 各タイプのうち最も規模が大きな地震

※1 : 地震本部(2019)では、1968年十勝沖地震(Mw8.2, M7.9, プレート間地震)の最大余震(Mw7.9, M7.5)が海洋プレート内地震として挙げられているが、4つの地震タイプのいずれにも該当しない地震であると考えられる。詳細は、補足説明資料1章を参照。

※2 : 2021年2月13日に福島県沖で発生したMw7.1(M7.3)の地震の現時点での概要は、補足説明資料2章を参照。当該地震については、今後知見を収集していく。

※3 : Mは、気象庁による。Mwは、1976年~1996年の地震はGlobal CMT Catalogに、1997年以降はF-netによる。1933年昭和三陸地震のMwは、地震本部(2019)による。

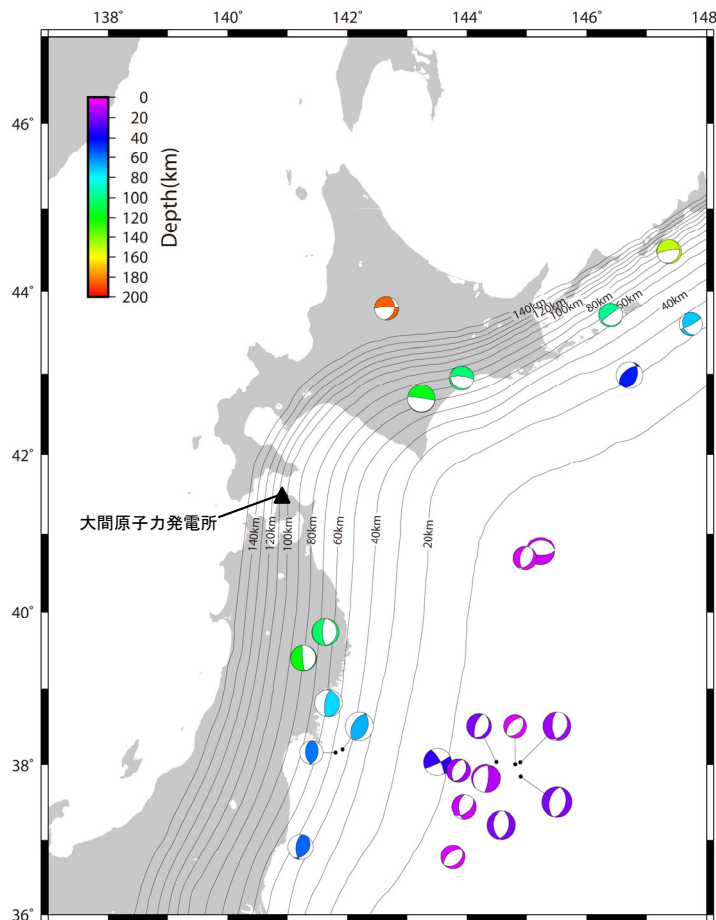
主な海洋プレート内地震の震央位置

2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況 (2/4)



青森県の東方沖及び会合部付近の海洋プレート内地震の発生状況

- 東北日本弧から千島弧にかけて発生した地震のうち、F-netによりメカニズムが判明しているM6.0以上の海洋プレート内地震について、発生状況を整理した。
- 敷地に近い青森県の東方沖及び東北日本弧と千島弧の会合部付近では、F-net公開(1997年1月)以降、M6.0以上の海洋プレート内地震は発生していない。



東北日本弧から千島弧にかけて発生した
M6.0以上の海洋プレート内地震
(1997年1月～2018年3月)

M6.0以上の海洋プレート内地震 (1997年1月～2018年3月)

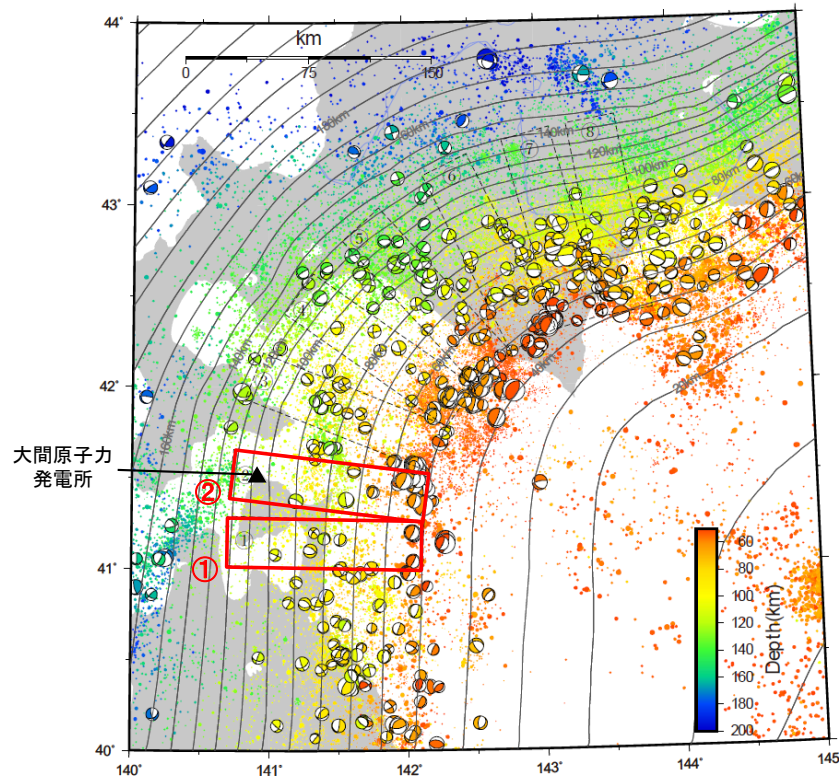
No	日付	時刻	緯度 (° N)	経度 (° E)	深さ (km)	M	Mw
1	1999/05/13	02:59:23	42.9442	143.9087	101	6.4	6.1
2	2000/01/28	23:21:08	42.9813	146.7150	44	6.8	6.7
3	2000/12/22	19:13:02	44.4795	147.3762	150	6.5	6.1
4	2001/12/02	22:01:55	39.3955	141.2667	119	6.4	6.5
5	2003/05/26	18:24:33	38.8057	141.6825	74	7.0	7.0
6	2003/10/29	06:48:23	43.6013	147.7367	71	6.0	5.8
7	2005/09/21	11:25:08	43.7097	146.3980	98	6.0	6.0
8	2005/11/15	06:38:52	38.0305	144.8895	14	7.1	7.0
9	2008/07/24	00:26:19	39.7320	141.6353	104	6.8	6.8
10	2011/03/11	15:25:44	37.8367	144.8940	20	7.5	7.6
11	2011/04/07	23:32:43	38.2028	141.9237	68	7.1	7.1
12	2011/07/10	09:57:07	38.0318	143.5067	32	7.3	7.0
13	2011/07/31	03:53:50	36.9032	141.2213	56	6.5	6.4
14	2011/08/17	20:44:08	36.7687	143.7637	5	6.2	6.1
15	2011/10/21	17:02:36	43.7935	142.6525	185	6.3	6.1
16	2012/03/14	18:08:33	40.7753	145.2275	8	6.9	7.0
17	2012/03/14	19:49:23	40.6812	144.9673	5	6.0	5.9
18	2012/12/07	17:18:20	37.8158	144.3153	11	7.4	7.3
19	2012/12/07	17:31:10	37.9198	143.8557	14	6.6	6.1
20	2013/02/02	23:17:35	42.6892	143.2362	116	6.5	6.9
21	2013/08/04	12:28:50	38.1627	141.8025	59	6.0	5.9
22	2013/10/26	02:10:18	37.1963	144.5687	20	7.1	7.1
23	2017/09/21	01:37:18	38.0360	144.4887	20	6.3	6.2
24	2017/10/06	16:59:32	37.4353	143.9483	8	6.3	6.1
25	2017/11/13	07:24:08	38.0062	144.8058	5	6.0	5.8

諸元はF-netによる。

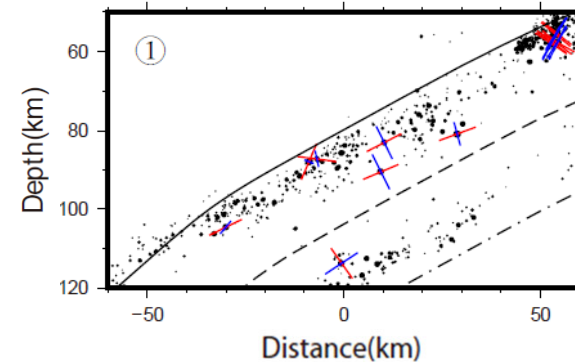
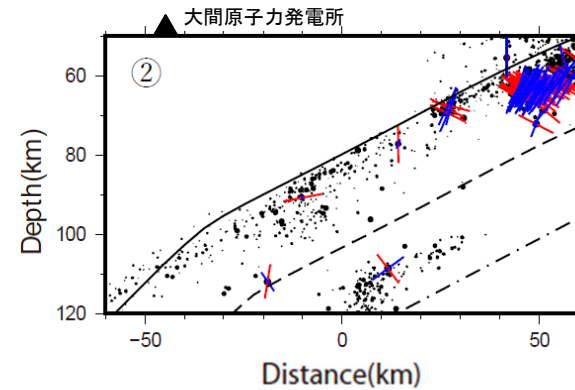
青森県の東方沖における応力中立面の位置の確認

- 青森県の東方沖で発生した地震について、震源分布及びメカニズムを確認した。
- 敷地東側の青森県の東方沖(断面図①, ②)では, Kita et al.(2010)における東北地方の応力中立面よりも上側でDC型, 下側でDE型の地震が発生している傾向があり, Kita et al.(2010)に示される東北地方の応力中心面の考え方は, 青森県の東方沖においても適用可能であると考えられる。
- 敷地東側の青森県の東方沖におけるDC型とDE型の地震の分布は, Kita et al.(2010)の示す東北日本弧の特徴に類似している。

敷地東側の青森県の東方沖におけるDC型とDE型の地震の分布は, Kita et al.(2010)の示す東北日本弧の特徴に類似している。



敷地周辺で発生した地震
(期間: 2001年1月~2017年4月)



— : P軸(圧縮軸) - - - : Kita et al.(2010)における応力中立面
 — : T軸(引張軸) - · - : 二重深発地震面の下面
 ● : 地震 — : 海洋プレート上面(J-SHISによる)

青森県の東方沖で発生した地震の震源位置 (鉛直断面図)

東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況のまとめ

- 敷地に近い青森県の東方沖及び東北日本弧と千島弧の会合部付近では、M6.0以上の海洋プレート内地震は発生していない。
- 敷地東側の青森県の東方沖におけるDC型とDE型の地震の分布は、Kita et al.(2010)の示す東北日本弧の特徴に類似している。

2. 海洋プレート内地震の知見の整理

2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ (1/2)

海洋プレート内地震に関する知見の整理

整理した海洋プレート内地震に関する知見について、以下に示す。

2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理

- 東北日本弧は、世界の主な沈み込み帯のうち、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震が知られていない地域に分類される。
- 一方、千島弧は、世界の主な沈み込み帯のうち、浅くて規模の大きな海洋プレート内地震が発生している地域に分類される。世界の沈み込んだ海洋プレート内の浅い地震のうち最大規模の地震は、千島弧で発生した1994年北海道東方沖地震(Mw8.3)である。

2.2 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理

- 東北日本弧と千島弧では、以下に示すように海洋プレート内地震の地震活動の特徴に違いがある。
 - 東北日本弧では、二重深発地震面の上面で発生するDC型の地震が優勢であり、千島弧では、二重深発地震面の下面で発生するDE型の地震が優勢である。
- 東北日本弧と千島弧では、以下に示すように海洋プレートのテクトニクス的な特徴に違いがある。
 - 東北日本弧と千島弧では応力中立面の位置が異なり、東北日本弧に対して千島弧の方が応力中立面が浅い。これは、千島弧では海溝軸に対して太平洋プレートが斜めに沈み込むことで沈み込み速度が遅くなる結果、海洋プレート内に働く浮力による応力に違いが生じることが原因であると考えられる。
 - 二重深発地震面で発生した規模の大きな地震の断層面は応力中立面を超えておらず、東北日本弧と千島弧の応力中立面の位置の違いも踏まえると、千島弧の方が東北日本弧と比べてDE型の地震の発生領域が厚く、規模の大きな地震が発生する可能性が考えられる。
 - 海洋性マントル内で発生する地震の応力降下量について、千島弧の方が東北日本弧よりも大きい傾向がある。

2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴

- 海洋プレート内地震には、4つの地震タイプがある。東北日本弧及び千島弧における各地震タイプは、以下に示すような特徴がある。
 - 沈み込む海洋プレート内地震のアウトサイズ地震は、海洋プレートが沈み込む際に発生する正断層型の地震であり、海溝軸の外側で発生する地震である。敷地から海溝軸までの距離は約330kmと遠い。
 - 沈み込んだ海洋プレート内地震のうち二重深発地震面の上面の地震及び下面の地震は、主に約70km～150kmの深さで見られる地震であり、アウトサイズで生じた断層の再活動で生じる地震であると考えられる。
 - 沈み込んだ海洋プレート内地震のうち沖合いのやや浅い地震は、海溝軸から海洋プレート上面深さが約20kmまでの領域で発生する地震であると考えられる。

2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況

- 敷地に近い青森県の東方沖及び東北日本弧と千島弧の会合部付近では、M6.0以上の海洋プレート内地震は発生していない。
- 敷地東側の青森県の東方沖におけるDC型とDE型の地震の分布は、Kita et al.(2010)の示す東北日本弧の特徴に類似している。

2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ (2/2)



東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の地震タイプごとの特徴の整理

- 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の地震タイプごとの特徴について、以下に示す。
- 海洋プレート内で発生する地震は、地震タイプごとに特徴が異なる。

東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の地震タイプごとの特徴

地震タイプ		東北日本弧		千島弧	
沈み込んだ海洋プレート内地震	—	テクトニクス (共通事項)	<ul style="list-style-type: none"> • 応力中立面の位置は海洋プレート上面から約21kmと深い。 • 海洋性マントル内の地震の応力降下量は千島弧より小さい傾向。 	<ul style="list-style-type: none"> • 応力中立面の位置は海洋プレート上面から約9kmと浅い。 • 海洋性マントル内の地震の応力降下量は東北日本弧より大きい傾向。 	
	二重深発地震面の上面の地震	最大規模の地震	<ul style="list-style-type: none"> • 2021年2月13日福島県沖の地震(Mw7.1, M7.3) • 同一のMwの地震として2011年4月7日宮城県沖の地震(Mw7.1, M7.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • 規模の大きな地震は知られていない。 	
		発生状況	<ul style="list-style-type: none"> • 二重深発地震面の下面の地震に比べて優勢である。 	<ul style="list-style-type: none"> • 東北日本弧より活動性は低い。 	
		テクトニクス	<ul style="list-style-type: none"> • DC(Down-dip compression)型の地震。 	<ul style="list-style-type: none"> • DC(Down-dip compression)型の地震。 	
	二重深発地震面の下面の地震	最大規模の地震	<ul style="list-style-type: none"> • 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(Mw6.8, M6.8) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1993年釧路沖地震(Mw7.6, M7.5) 	
		発生状況	<ul style="list-style-type: none"> • 二重深発地震面の上面の地震に比べて局所的な分布である。 	<ul style="list-style-type: none"> • 二重深発地震面の上面の地震に比べて優勢である。 • 会合部付近では活動性は低い。 	
		テクトニクス	<ul style="list-style-type: none"> • DE(Down-dip extension)型の地震。 	<ul style="list-style-type: none"> • DE(Down-dip extension)型の地震。 	
	沖合いのやや浅い地震	最大規模の地震	<ul style="list-style-type: none"> • 2012年12月7日三陸沖の地震(Mw7.3, M7.3) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1994年北海道東方沖地震(Mw8.3, M8.2) 	
		発生状況	<ul style="list-style-type: none"> • 海溝軸～海洋プレート上面深さが20kmの領域で発生 	<ul style="list-style-type: none"> • 海溝軸～海洋プレート上面深さが20kmの領域で発生 	
		テクトニクス	<ul style="list-style-type: none"> • 正断層型あるいは逆断層型 	<ul style="list-style-type: none"> • 正断層型あるいは逆断層型 	
沈み込む海洋プレート内地震 (アウターライズ地震)	最大規模の地震	<ul style="list-style-type: none"> • 1933年昭和三陸地震(Mw8.5, M8.1) 	<ul style="list-style-type: none"> • 規模の大きな地震は知られていない。 		
	発生状況	<ul style="list-style-type: none"> • 海溝軸より沖合い(敷地から約330km以上) 	<ul style="list-style-type: none"> • 海溝軸より沖合い(敷地から約330km以上) 		
	テクトニクス	<ul style="list-style-type: none"> • 正断層型 	<ul style="list-style-type: none"> • 正断層型 		

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
2. 海洋プレート内地震の知見の整理
 - 2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.2 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴
 - 2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況
 - 2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ
3. 検討用地震の選定
 - 3.1 検討用地震の選定方針
 - 3.2 東北日本弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.2.1 二重深発地震面の上面の地震
 - 3.2.2 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.2.3 沖合いのやや浅い地震
 - 3.3 千島弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.3.1 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.3.2 沖合いのやや浅い地震
 - 3.4 検討用地震の選定
4. 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - 4.1 震源モデルの設定
 - 4.2 地震動評価手法
 - 4.3 地震動評価結果
5. 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 5.1 震源モデルの設定
 - 5.2 地震動評価手法
 - 5.3 地震動評価結果

3.1 検討用地震の選定方針（1／3）



検討用地震の選定方針

- 2章「海洋プレート内地震の知見の整理」及び審査ガイドの要求を踏まえ、以下の方針により検討用地震を選定する。

審査ガイドの要求

- 審査ガイドでは、震源特性パラメータの設定について、以下のことが求められている。

プレート間地震及び海洋プレート内地震の規模の設定においては、敷地周辺において過去に発生した地震の規模、すべり量、震源領域の広がり等に関する地形・地質学的、地震学的及び測地学的な直接・間接的な情報が可能な限り活用されていることを確認する。国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ、地震の発生機構やテクトニクス的背景の類似性を考慮した上で震源領域が設定されていることを確認する。特に、スラブ内地震についてはアスペリティの応力降下量(短周期レベル)が適切に設定されていることを確認する。

検討用地震の選定方針

検討用地震の選定にあたっては、東北日本弧と千島弧それぞれについて、4つの地震タイプのうち敷地への影響が小さいと考えられる地震タイプ以外を検討用地震の候補とする。さらに、検討用地震の候補について基本ケース及び不確かさケースを設定し、全ケースについて敷地への影響を比較し検討用地震を選定する。

- 東北日本弧と千島弧それぞれについて検討用地震の候補を設定するにあたり、想定される地震の規模や震源の位置を踏まえ、敷地への影響が小さいと考えられる地震タイプは検討用地震の候補とはせず、それ以外の地震タイプについて検討用地震の候補とする。
- 検討用地震の候補は、審査ガイドの要求を踏まえ地震規模、断層位置、短周期レベル(応力降下量)に着目して検討ケースを設定する。強震動予測レシピを踏まえ基本ケースを設定し、地震動への影響が特に大きいと考えられる地震規模及び短周期レベルについて不確かさケースを設定する。設定にあたり、地震タイプごとに既往最大の規模の地震の特徴を踏まえ設定する。
- 検討用地震は、地震規模、断層位置及び短周期レベルを考慮できる方法として片岡ほか(2006)の方法を用いて、設定した全ケースについて敷地への影響を比較し選定する。

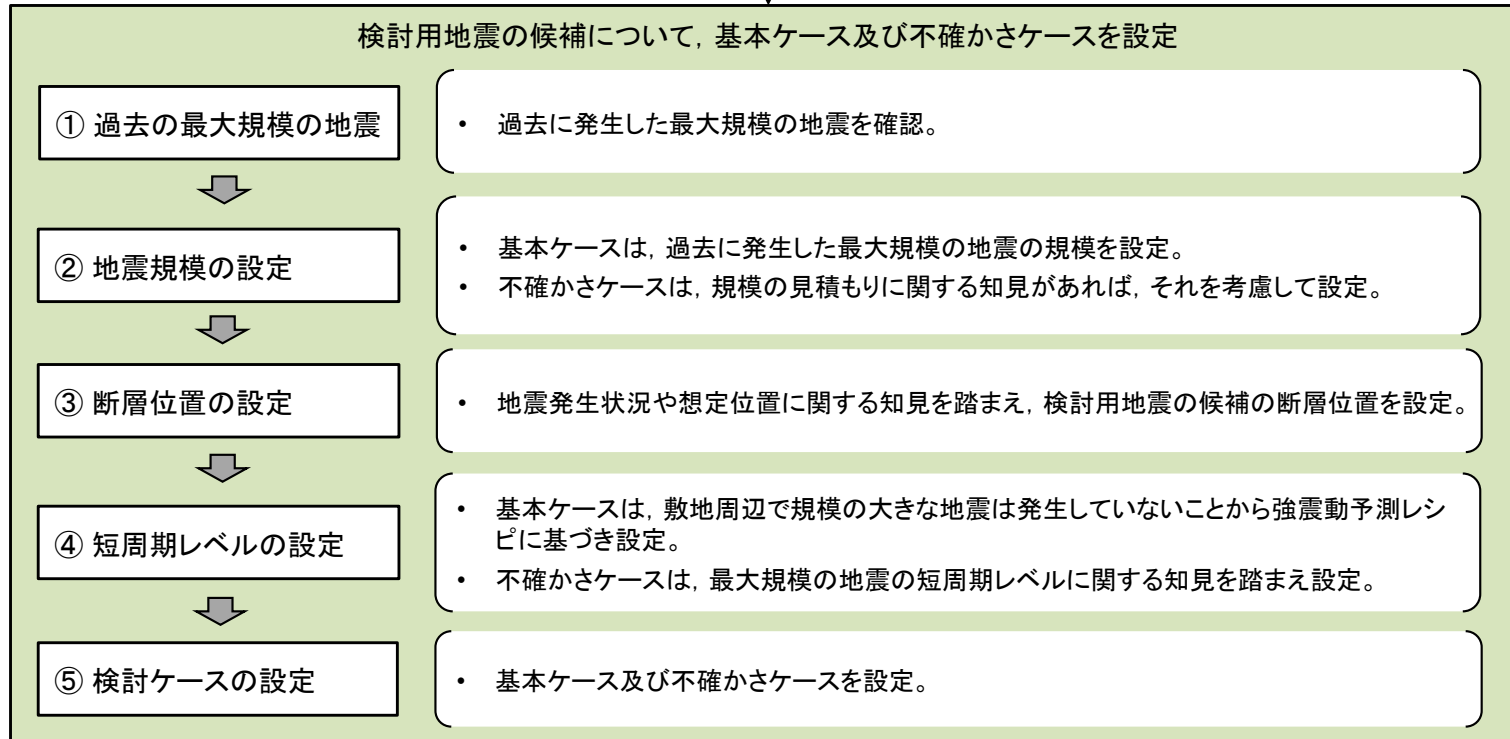
3.1 検討用地震の選定方針 (2/3)



検討用地震の選定フロー

- 検討用地震の選定フローを示す。
- 東北日本弧及び千島弧それぞれについて、検討用地震の候補を設定し、①～⑤に従い基本ケース及び不確かさケースを設定し、片岡ほか(2006)の方法により敷地への影響を比較し、検討用地震を選定する。

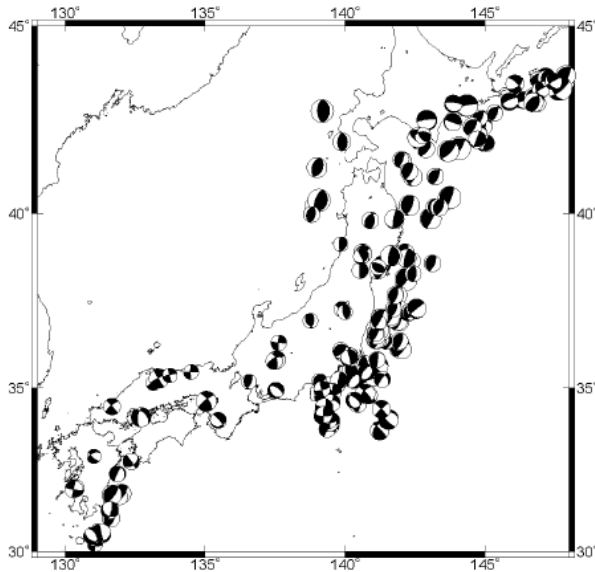
東北日本弧及び千島弧それぞれについて、検討用地震の候補を設定し、考慮する既往最大の規模の地震を設定する。



設定した検討ケースについて、片岡ほか(2006)の方法により敷地への影響を比較し、検討用地震を選定

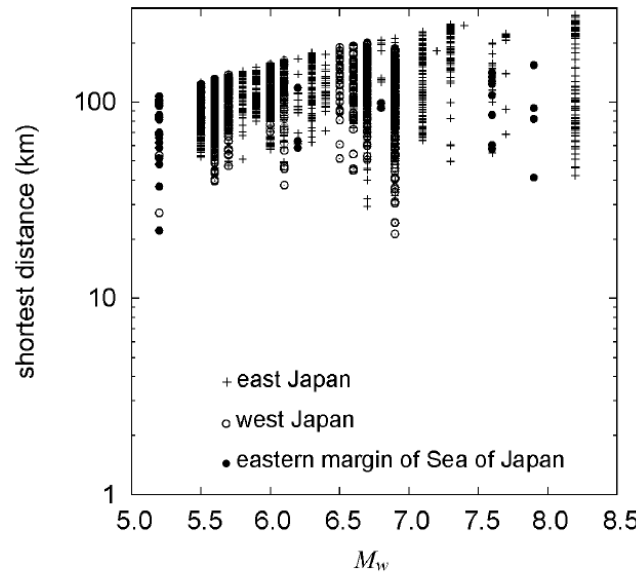
検討用地震の選定方法(片岡ほか(2006)の方法)

- 検討用地震の選定にあたり, 地震規模, 断層位置に加え, 短周期レベルを考慮して敷地への影響を比較する必要がある。
- 片岡ほか(2006)は, 日本で発生した地震を用いて海洋プレート内地震を対象とした地震規模 M_w , 断層最短距離及び短周期レベルによる距離減衰式を提案しており, 上記パラメータを考慮した影響検討が可能である。
- 以上を踏まえ, 片岡ほか(2006)の方法を用いて, 敷地への影響を比較する。



	内陸地震	海溝性地震
地震数	47	136
観測点数	961	1050
波形数	5160	5882

片岡ほか(2006)の検討で用いられた地震



海溝性地震

片岡ほか(2006)の検討で用いられた地震規模 M_w と断層最短距離の関係

$$\log_{10} Y_{ij} = a_1 M_w + a_2 \log_{10} A - bX + c_0 - \log_{10}(X + d \cdot 10^{0.5M_w}) + c_j \pm e$$

- Y_{ij} : 加速度応答スペクトル
- M_w : モーメントマグニチュード
- A : 短周期レベル
- X : 断層最短距離
- c_j : サイト係数
- $a \sim d$: 回帰係数
- e : 標準偏差

片岡ほか(2006)における距離減衰式

検討用地震の候補と考慮する最大規模の地震の設定

- アウターライズ地震は、海溝軸よりも外側の領域で発生する地震であり、敷地から海溝軸までは約330km以上と遠く、地震動による敷地への影響は小さいと考えられることから、検討用地震の候補から除いた※。
- 海洋プレート内で発生する4つの地震タイプのうち、二重深発地震面の上面の地震、二重深発地震面の下面の地震、及び沖合いのやや浅い地震について、検討用地震の候補とした。
- 各検討用地震の候補について、検討ケースの設定にあたり考慮する最大規模の地震を下表に示す。

※ :アウターライズ地震の影響検討は、補足説明資料3章を参照。

検討ケースの設定にあたり考慮する最大規模の地震

地震タイプ		最大規模の地震
海洋 プレート 沈み込 みだ 内地 震	二重深発地震面の 上面の地震(DC型)	2011年4月7日 宮城県沖の地震 (Mw7.1, M7.2) 2021年2月13日 福島県沖の地震 (Mw7.1, M7.3)
	二重深発地震面の 下面の地震(DE型)	2008年7月24日 岩手県沿岸北部の地震 (Mw6.8, M6.8)
	沖合いのやや浅い地震	2012年12月7日 三陸沖の地震 (Mw7.3, M7.3)
沈み込む海洋プレート内地震 (アウターライズ地震)		— (選定の対象外とした)

3.2.1 二重深発地震面の上面の地震 (1/7)

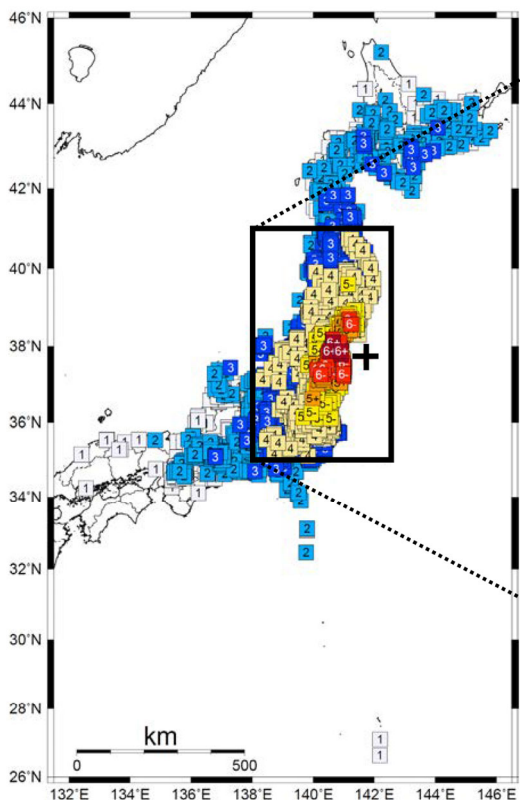


① 過去の最大規模の地震(1/2)

- 二重深発地震面の上面で発生した最大規模の地震は、2021年2月13日福島県沖の地震(Mw7.1, M7.3)である。

2021年2月13日福島県沖の地震の概要

- 【 気象庁(2021.2):地震・火山月報(防災編)】
『この地震は、発震機構(CMT解)が西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレート内部で発生した。』
- 【 防災科学技術研究所(2021)による断層面】
当該地震について強震波形記録を用いて断層面(暫定)が推定されており、傾斜角はF-netを踏まえ33°とされている。



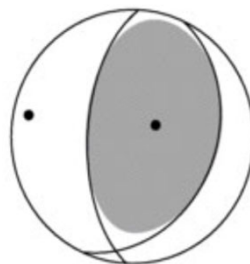
気象庁(2021.2)

震度分布図

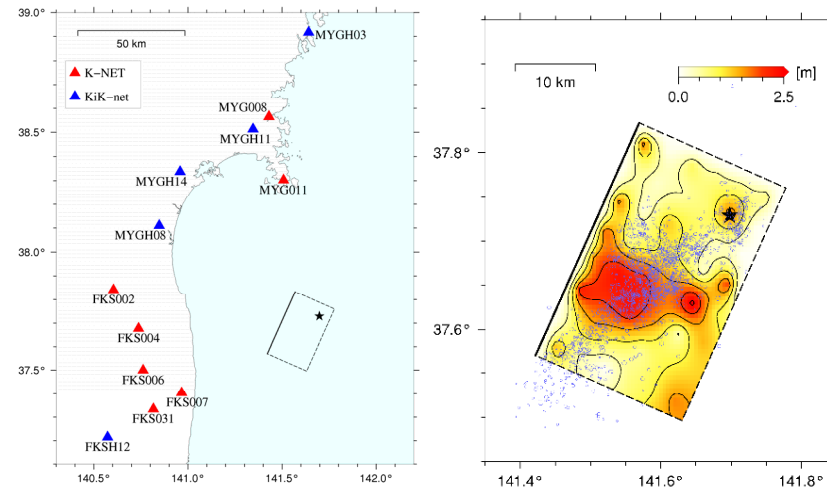
地震諸元 (気象庁)

発震日時	2021年02月13日 23時07分
震央地名	福島県沖
地震規模※	Mw7.1 (M7.3)
震央位置	北緯 37° 43.7' 東経 141° 41.9'
震源深さ	55 km

※: MwはF-netによる。



発震機構 CMT解 (F-net)



防災科学技術研究所(2021)

強震波形記録を用いた2021年2月13日福島県沖の地震の震源断層面図

3.2.1 二重深発地震面の上面の地震 (2/7)

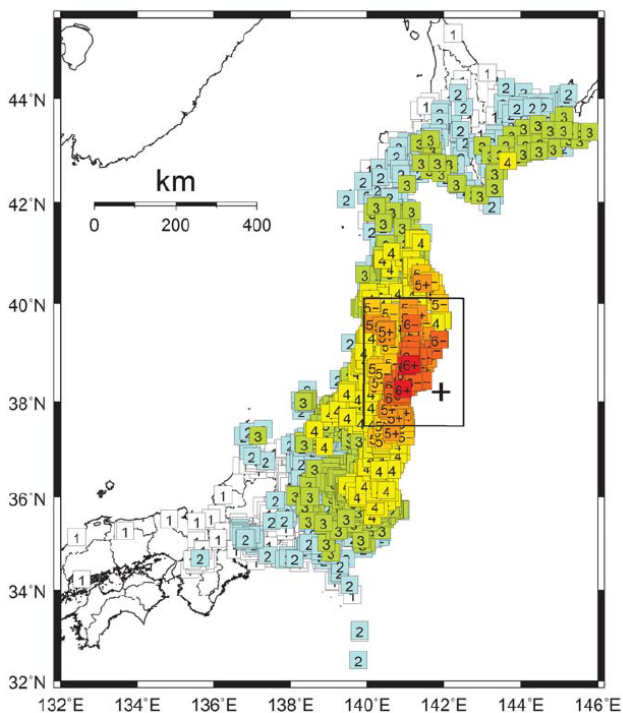


① 過去の最大規模の地震(2/2)

- 2021年2月13日福島県沖の地震(Mw7.1, M7.3)と同じMw7.1の規模で知見がより得られている地震として、2011年4月7日宮城県沖の地震(Mw7.1, M7.2)がある。

2011年4月7日宮城県沖の地震の概要

- 【気象庁(2011.4):地震・火山月報(防災編)】
『この地震の発震機構(CMT解)は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレート内部で発生した地震である。』
- 【Ohta et al.(2011)による断層面】
当該地震についてGPSデータを用いて断層面が推定されており、傾斜角は 35.3° (海洋プレート上面に対して約 60°)とされている。



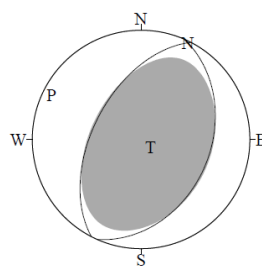
気象庁(2011.4)

震度分布図

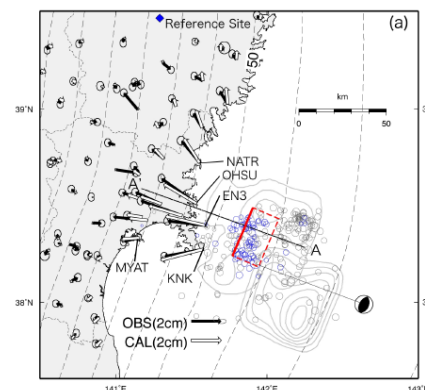
地震諸元 (気象庁)

発震日時	2011年04月07日 23時32分
震央地名	宮城県東方沖
地震規模 ^{※1}	Mw7.1 (M7.2)
震央位置	北緯 38° 12.25' 東経 141° 55.21'
震源深さ	66 km

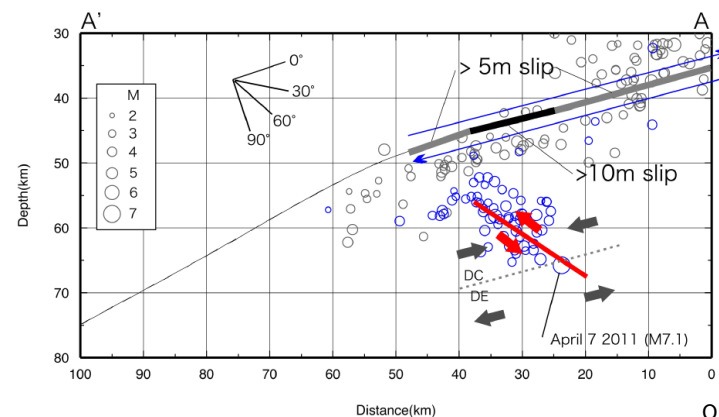
※1 : MwはF-netによる。



発震機構 CMT解 (気象庁)



- : 本震及び余震
- (赤) : 推定した断層面(赤矢印はすべり方向)
- (青) : 東北地方太平洋沖地震のすべり方向
- (黒) : 応力状態
- : Kita et al.(2010)による応力中立面
- (黒) : 海洋プレート上面



Ohta et al. (2011)

GPSデータに基づく2011年4月7日宮城県沖の地震の震源断層面図

3.2.1 二重深発地震面の上面の地震 (3/7)



② 地震規模の設定

設定にあたり考慮する知見

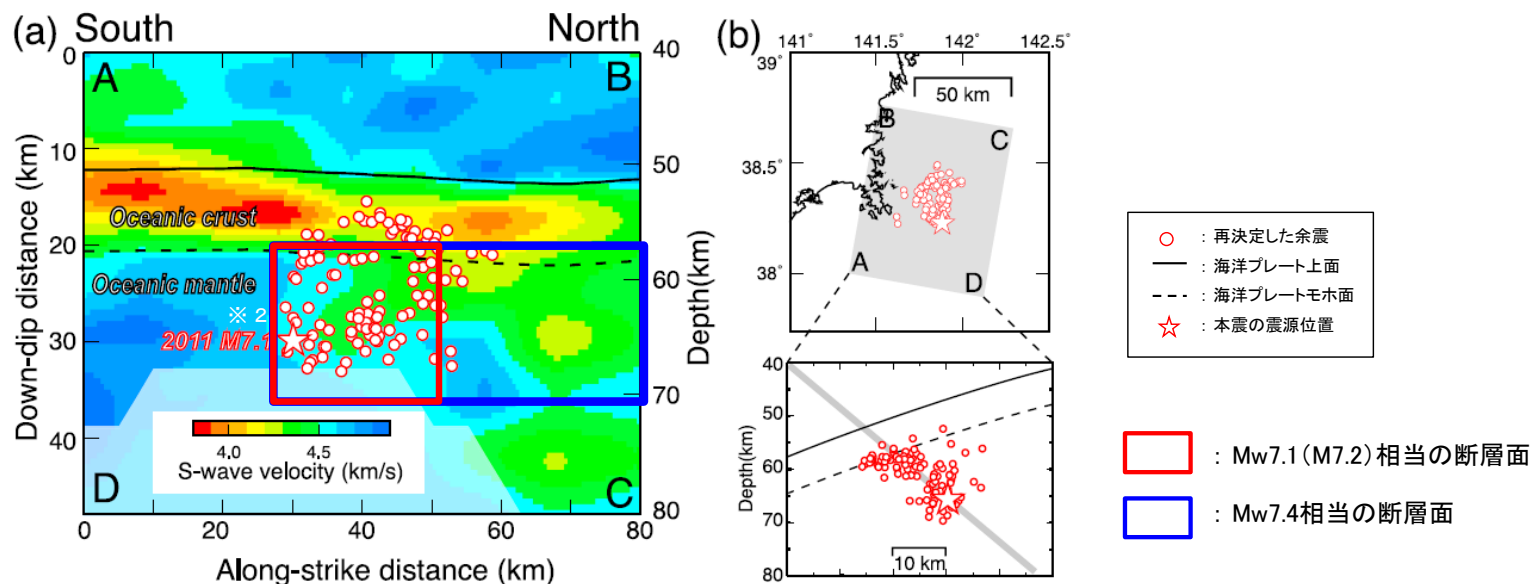
- 東北日本弧で発生した二重深発地震面の上面の地震(DC型)のうち、最大規模はMw7.1(2021年2月13日福島県沖の地震(M7.3), 2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2))である。
- Nakajima et al.(2011)では、2011年4月7日宮城県沖の地震は海洋性マントル内の低速度域で発生した地震である、とされている。
- Nakajima et al.(2011)では、上記地震の震源域の北側の海洋性マントル内にも低速度域があったことが指摘されている。



基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの地震規模Mwは、同一テクトニクス内である東北日本弧で発生した二重深発地震面の上面の地震の既往最大である、2021年2月13日福島県沖の地震及び2011年4月7日宮城県沖の地震の規模のMw7.1に設定する。
- Nakajima et al.(2011)の知見を踏まえ、2011年4月7日宮城県沖の地震の余震域のさらに北側の低速度域を含み、長さ方向に2倍以上となるような断層面を設定すると、Mw7.4※1の地震規模となる。この規模の地震が青森県の東方沖でも発生するものと考え、不確かさとしてMw7.4の規模を考慮する。

※1 : 2011年4月7日宮城県沖の地震のMとMw関係を踏まえると、M7.5に相当する。



※2 : 気象庁の確定値はM7.2

Nakajima et al.(2011)に加筆

3.2.1 二重深発地震面の上面の地震 (4/7)

③ 断層位置の設定 (1/2)

二重深発地震面の上面で発生した規模の大きな地震の震源位置について、以下に示す特徴がある。

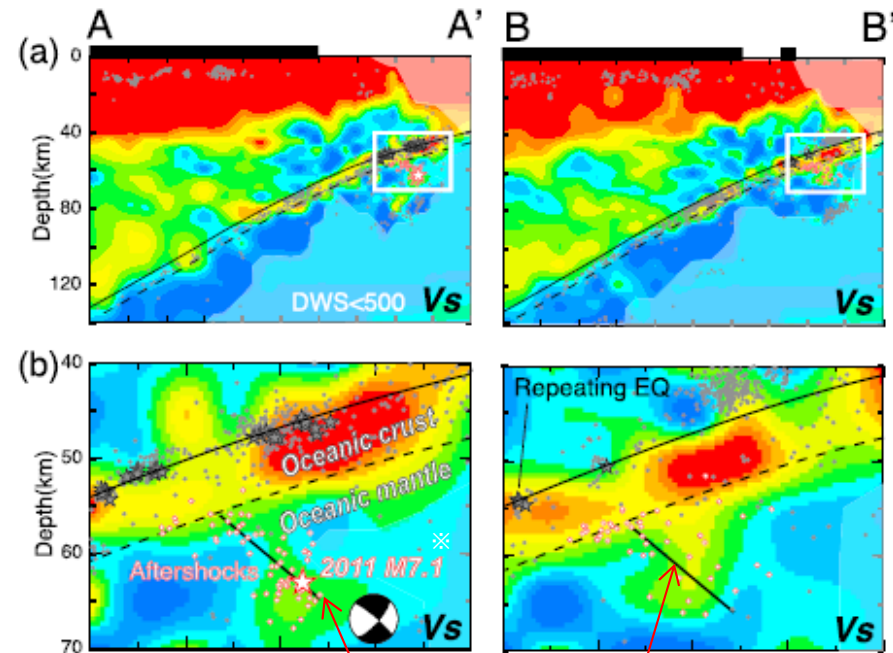
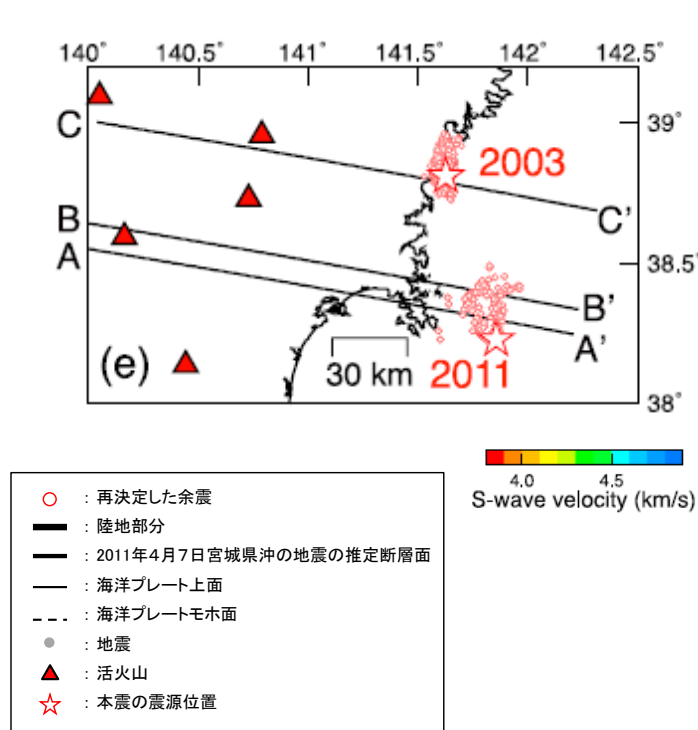
2011年4月7日 宮城県沖の地震(Mw7.1, M7.2)

- Nakajima et al.(2011)では、2011年4月7日宮城県沖の地震の震源は海洋プレートモホ面より10km深い位置であったことが指摘されている。
- 文献では、当該地震の破壊は海洋プレートモホ面を超えて海洋性地殻には到達していないことが指摘されている。
- 以上を踏まえると、当該地震は海洋性マントルで破壊した地震であると考えられる。

2021年2月13日 福島県沖の地震(Mw7.1, M7.3)

- 震源位置の詳細に関する知見については、2011年4月7日宮城県沖の地震ほど詳細な知見はまだ得られていない。

⇒ 二重深発地震面の上面で発生した規模の大きな地震(2011年4月7日宮城県沖の地震)の特徴として、海洋性マントルで破壊していることが挙げられる。



2011年4月7日宮城県沖の地震の推定断層面

※ : 気象庁の確定値はM7.2

3.2.1 二重深発地震面の上面の地震 (5/7)

③ 断層位置の設定 (2/2)

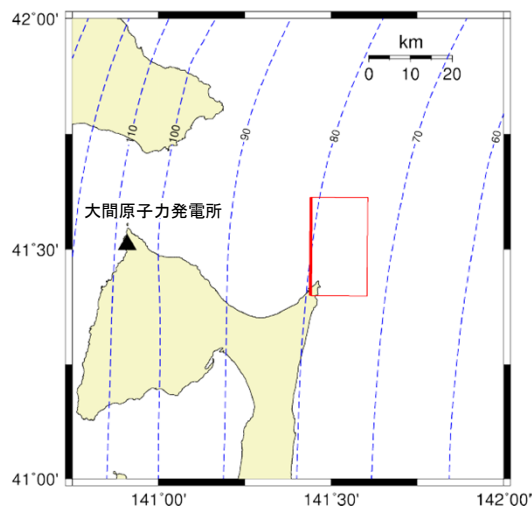
設定にあたり考慮する知見

- 敷地周辺では、規模の大きな二重深発地震面の上面の地震は発生していない。
- 東北日本弧の二重深発地震面の上面で発生した規模の大きな地震は、海洋性マントルで破壊が生じた地震であった。
- 海洋プレート内で発生する地震は、アウターライズで生じた正断層(海洋プレート上面に対して 60° 程度)の再活動が考えられる。
- 2011年4月7日宮城県沖の地震の傾斜角は、海洋プレート上面に対して約 60° の角度であった。

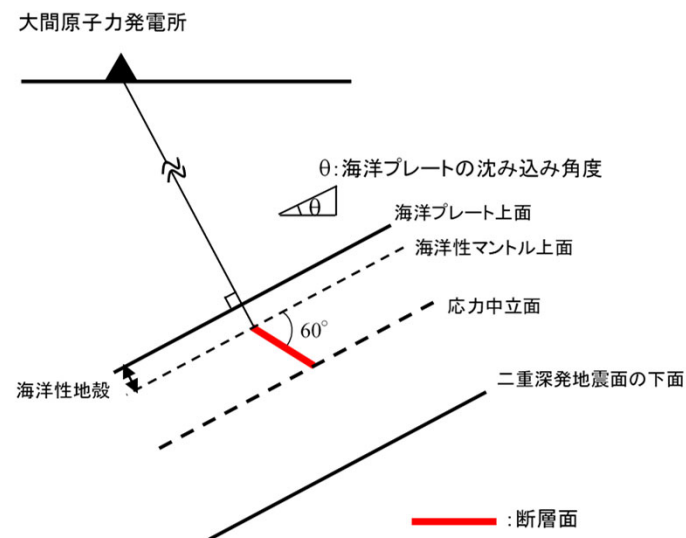


断層位置の設定

- 二重深発地震面の上面の地震の断層位置は保守的に、海洋性マントルから応力中立面までの領域で敷地に最も近い位置(敷地から海洋性マントルに垂線を引いた位置)に設定する。
- 断層面は、海洋プレート上面に対して 60° の傾斜角とする。



二重深発地震面の上面の地震の想定位置



断層面の設定の考え方

3.2.1 二重深発地震面の上面の地震 (6/7)

④ 短周期レベルの設定

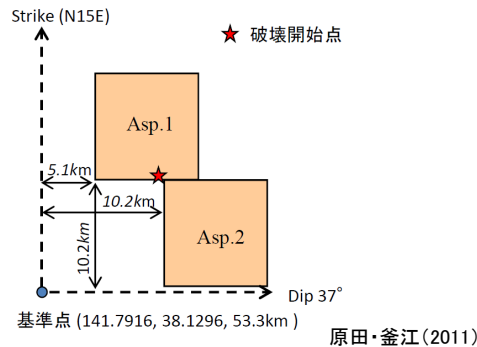
設定にあたり考慮する知見

- 敷地周辺では、規模の大きな二重深発地震面の上面の地震は発生しておらず、短周期レベルに関する知見は得られていない。
- 2011年4月7日宮城県沖の地震について、原田・釜江(2011)では、観測記録のシミュレーションによる震源モデルが提案されている。その震源モデルによると、当該地震の短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく標準的な値の約1.5倍に相当している。
- 2021年2月13日福島県沖の地震について、シミュレーション等による短周期レベルの知見は得られてないが、観測記録の分析により当該地震の短周期レベルは2011年4月7日宮城県沖の地震と同程度以下であると考えられる。^{※1}

※1 : 2021年2月13日福島県沖の地震の観測記録の分析については、補足説明資料2章を参照。

基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの短周期レベルは、強震動予測レシピによる標準的な値とする。
- 不確かさとして、2011年4月7日宮城県沖の地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの1.5倍を考慮する。



原田・釜江(2011)の震源モデル

原田・釜江(2011)の震源モデルのパラメータ^{※3}

	Asp1	Asp2
走行 (°)	15	15
傾斜角 (°)	37	37
面積 (km ²)	10.2 × 10.2	10.2 × 10.2
地震モーメント (N・m)	3.2 × 10 ¹⁹	3.2 × 10 ¹⁹
応力降下量 (MPa)	70.6	70.6
ライズタイム (s)	0.6	0.6
破壊開始時間 (s)	0.0	0.0
経験的グリーン関数として用いた地震	2008/06/08 00:58 M5.0	2008/06/08 00:58 M5.0

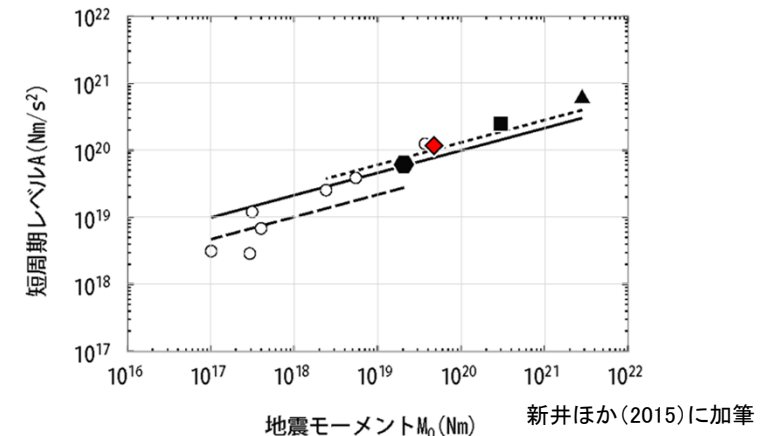
原田・釜江(2011)

- 強震動予測レシピに基づく短周期レベル^{※2}
 $A = 7.67E+19$ [N・m/s²]
- 原田・釜江(2011)の震源モデルによる短周期レベル
 $A = 1.16E+20$ [N・m/s²]

※2 : F-netによる地震モーメント(4.74E+19Nm)より算定

原田・釜江(2011)による震源モデルの短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく短周期レベルの約1.5倍である。

- ◆ : 原田・釜江(2011)の震源モデルによる2011年4月7日 宮城県沖の地震(加筆)
- 笹谷・他(2006)のスラブ内地震
- 1993年釧路沖地震
- ▲ 1994年北海道東方沖地震
- ◆ 2011年宮城県沖の地震
- 2001年芸予地震
- 笹谷・他(2006)
- - - 太平洋プレートのスラブ内地震
- - - フィリピン海プレートのスラブ内地震



原田・釜江(2011)の震源モデルのM₀-A関係

※3 : 短周期レベルは $A_1 = 4\pi r \Delta \sigma_1 V_s^2$, $A = \sqrt{\sum A_i^2}$ により算定 ($V_s = 4.0 \text{ km/s}$)

3.2.1 二重深発地震面の上面の地震 (7/7)



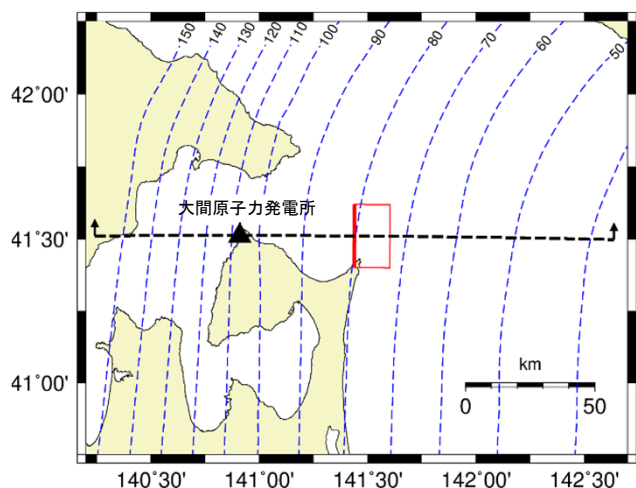
⑤ 検討ケースの設定

- 東北日本弧で考慮する二重深発地震面の上面の地震について、設定した検討ケースを示す。

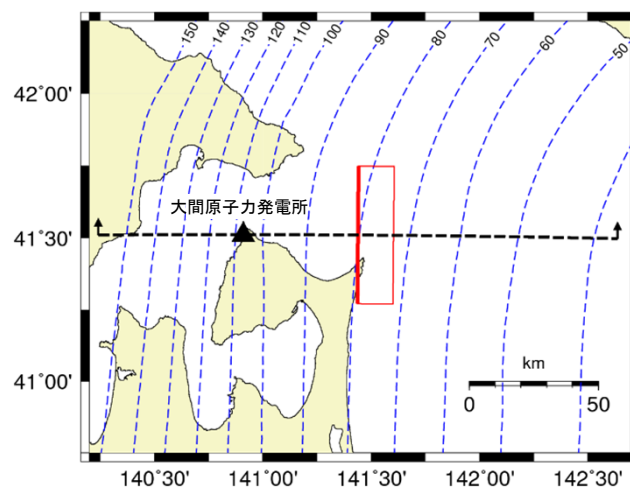
二重深発地震面の上面の地震 検討ケース

ケース	地震規模	断層位置	短周期レベル
基本ケース	Mw7.1	海洋性マントル内の敷地直近となる位置 (海洋性マントル上端～応力中立面)	強震動予測レシピア × 1.0
地震規模の不確かさケース	Mw7.4	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ
短周期レベルの不確かさケース	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	強震動予測レシピア × 1.5

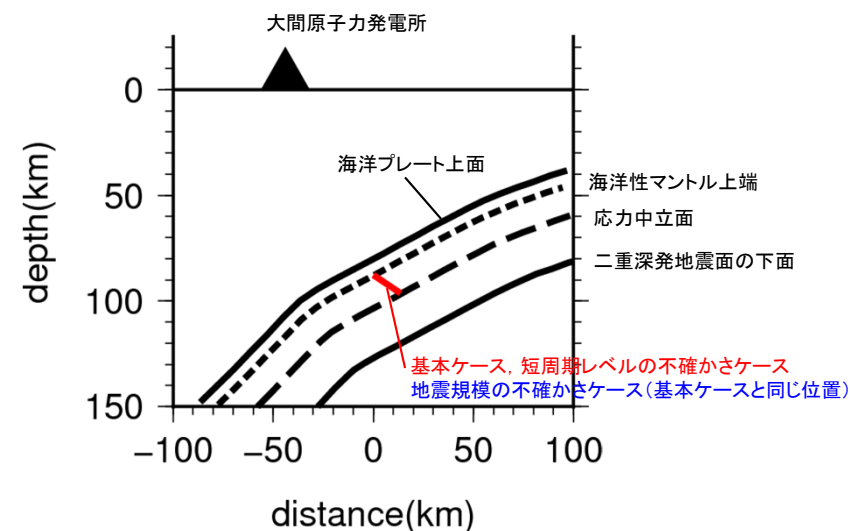
: 不確かさとして考慮するパラメータ



基本ケース
短周期レベルの不確かさケース



地震規模の不確かさケース



各ケースの断面位置

東北日本弧の二重深発地震面の上面の地震の断層位置

3.2.2 二重深発地震面の下面の地震 (1/5)

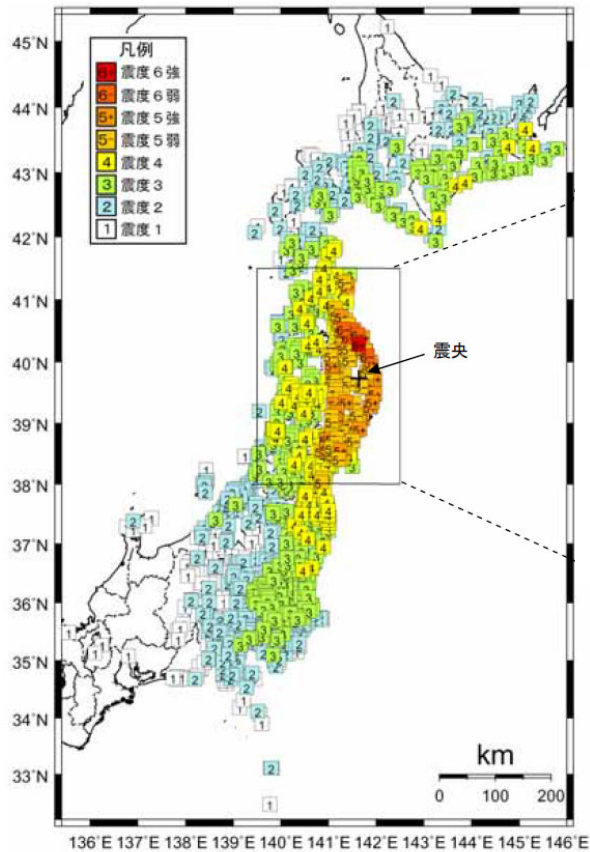


① 過去の最大規模の地震

- 二重深発地震面の下面で発生した最大規模の地震は、2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(Mw6.8, M6.8)である。

2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震の概要

- 【気象庁(2008.7):地震・火山月報(防災編)】
『本震の発震機構は、太平洋プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型で、太平洋プレート内部(二重地震面の下面)で発生した地震である。』



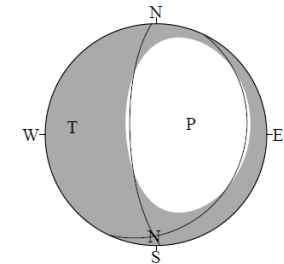
震度分布図

気象庁(2008.7)

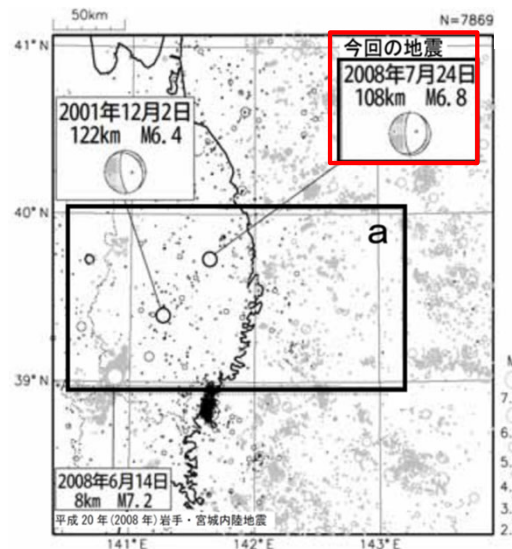
地震諸元 (気象庁)

発震日時	2008年07月24日 00時26分
震央地名	岩手県北部
地震規模※	Mw6.8 (M6.8)
震央位置	北緯 39° 43.92' 東経 141° 38.12'
震源深さ	108km

※ :MwはF-netによる。



発震機構 CMT解 (気象庁)



震央分布と断面図

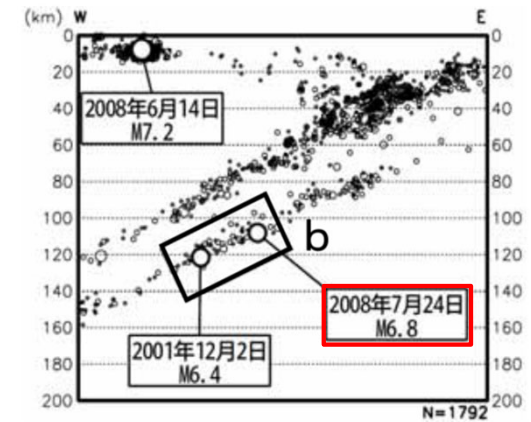


図 2-2 領域 a 内の断面図 (東西投影)

気象庁(2008.7)に加筆

3.2.2 二重深発地震面の下面の地震 (2/5)



② 地震規模の設定

設定にあたり考慮する知見

- 東北日本弧の二重深発地震面の下面で発生した地震(DE型)のうち、最大規模はMw6.8(2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(M6.8))である。
- 東北日本弧では応力中立面は二重深発地震面の上面と下面の中央付近に位置しており、両者の応力場はおおむね同じ厚さであると考えられる。
- 敷地周辺の地震発生状況より、敷地周辺の海洋プレートの応力中立面はKita et al.(2010)における東北日本弧の特徴と整合的である。



基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの地震規模Mwは、同一テクトニクス内である東北日本弧で発生した二重深発地震面の下面の地震の既往最大である2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震の規模のMw6.8に設定する。
- 不確かさとして、東北日本弧の二重深発地震面の上面と下面の応力場がおおむね同じ厚さであり、同じ規模の地震が発生しうると考えられることから、二重深発地震面の上面の地震と同規模のMw7.4を考慮する。

3.2.2 二重深発地震面の下面の地震 (3/5)



③ 断層位置の設定

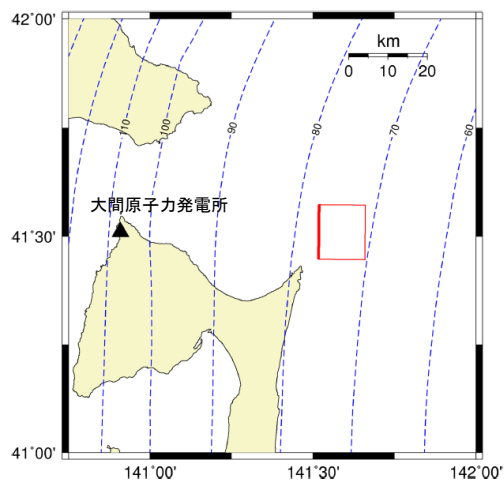
設定にあたり考慮する知見

- 敷地周辺では、規模の大きな二重深発地震面の下面の地震は発生していない。
- 海洋プレート内で発生する地震は、アウターライズ地震で生じた正断層(海洋プレート上面に対して 60° 程度)の再活動であると考えられる。

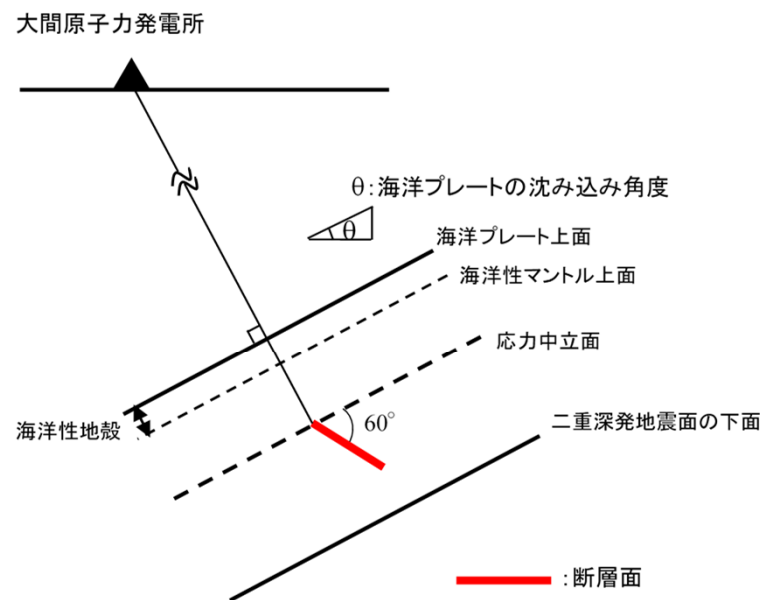


断層位置の設定

- 二重深発地震面の下面の地震の断層位置は保守的に、応力中立面より下部のうち敷地に最も近い位置に設定する。
- 断層面は、海洋プレート上面に対して 60° の傾斜角とする。



二重深発地震面の下面の地震の想定位置



断層面の設定の考え方

④ 短周期レベルの設定

設定にあたり考慮する知見

- 敷地周辺では、規模の大きな二重深発地震面の下面の地震は発生しておらず、短周期レベルに関する知見は得られていない。
- 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震について、佐藤(2013)において、スペクトルインバージョンにより短周期レベルが推定されている。当該地震の短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく標準的な値の約1.6倍に相当している。



基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの短周期レベルは、強震動予測レシピによる標準的な値とする。
- 不確かさとして、2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの1.6倍を考慮する。

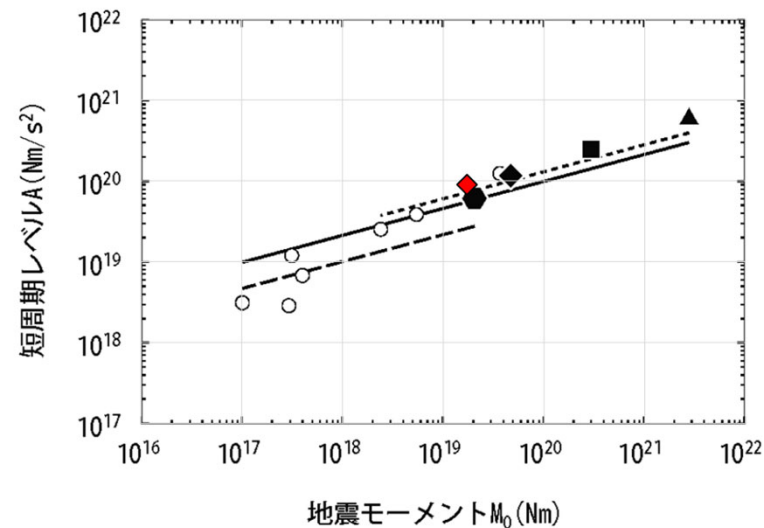
スペクトルインバージョンによる2008年岩手県沿岸北部の地震の短周期レベル

(d) 正断層(Down-dip Extension)のスラブ内地震

地震番号	発震時*			深さ** km	M_J^*	M_0^{**} dyne · cm	M_w^{**}	A dyne · cm/s ²	f_{max} Hz	n
	年	月日	時:分							
SVI	1998	4月9日	17:45	89	5.4	1.78E+24	5.4	1.34E+26	14.0	4.0
SN2	2001	4月3日	4:54	59	5.6	1.72E+24	5.4	8.76E+25	9.1	4.0
SN3	2001	12月2日	22:01	119	6.4	5.34E+25	6.4	4.21E+26	9.3	4.0
SN4	2008	7月24日	0:26	104	6.8	1.72E+26	6.8	8.96E+26	9.5	4.0
SN5	2010	3月13日	21:46	74	5.5	1.88E+24	5.4	1.56E+26	11.1	4.0

佐藤(2013)に加筆

- ◆ : 佐藤(2013)による2008年の岩手県沿岸北部の地震(加筆)
- 笹谷・他(2006)のスラブ内地震
- 1993年釧路沖地震
- ▲ 1994年北海道東方沖地震
- ◆ 2011年宮城県沖の地震
- 2001年芸予地震
- 笹谷・他(2006)
- - - 太平洋プレートのスラブ内地震
- - - フィリピン海プレートのスラブ内地震



新井ほか(2015)に加筆

佐藤(2013)の検討結果によるM₀-A関係

- 強震動予測レシピに基づく短周期レベル※
 $A=5.47E+19$ [N·m/s²]
- 佐藤(2013)による短周期レベル
 $A=8.96E+19$ [N·m/s²]



佐藤(2013)による短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく短周期レベルの約1.6倍である。

※ : F-netによる地震モーメント(1.72E+19Nm)より算定

3.2.2 二重深発地震面の下面の地震 (5/5)



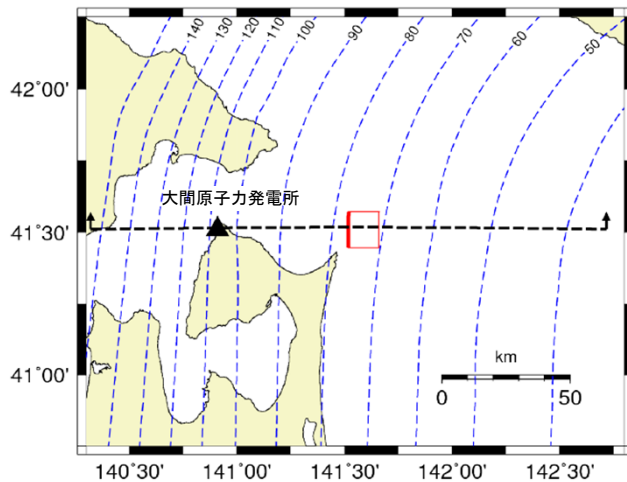
⑤ 検討ケースの設定

- 東北日本弧で考慮する二重深発地震面の下面の地震について、設定した検討ケースを示す。

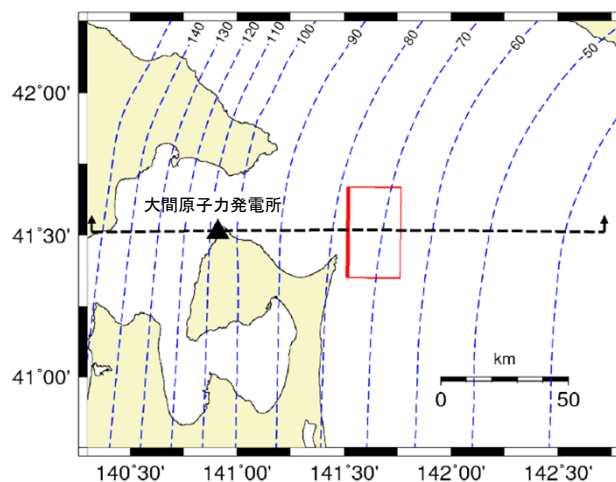
二重深発地震面の下面の地震 検討ケース

ケース	地震規模	断層位置	短周期レベル
基本ケース	Mw6.8	応力中立面より下部のうち敷地直近となる位置	強震動予測レシピア × 1.0
地震規模の不確かさケース	Mw7.4	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ
短周期レベルの不確かさケース	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	強震動予測レシピア × 1.6

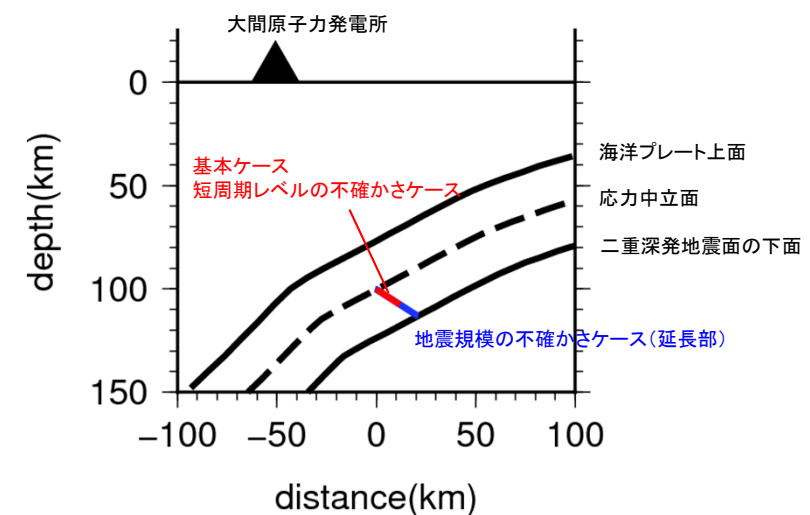
: 不確かさとして考慮するパラメータ



基本ケース
短周期レベルの不確かさケース



地震規模の不確かさケース



各ケースの断面位置

東北日本弧の二重深発地震面の下面の地震の断層位置

3.2.3 沖合いのやや浅い地震 (1/5)



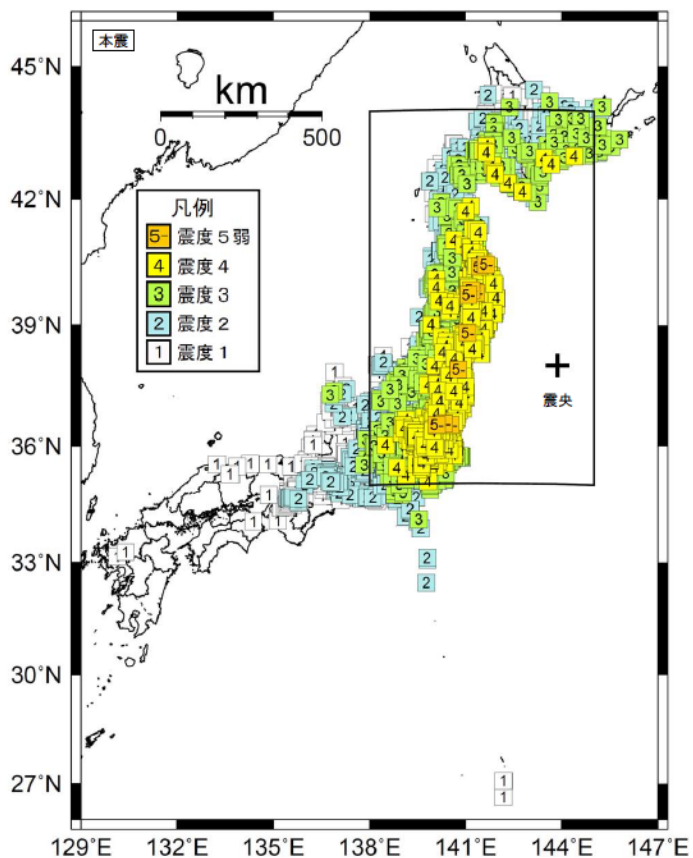
① 過去の最大規模の地震

- 沖合いのやや浅い領域で発生した最大規模の地震は、2012年12月7日三陸沖の地震(Mw7.3, M7.3)である。

2012年12月7日三陸沖の地震の概要

- 【気象庁(2012.12):地震・火山月報(防災編)】

『発震機構(CMT解)は西北西-東南東方向に張力軸を持つ正断層型である。…(中略)…日本海溝付近の太平洋プレート内部で発生した。』



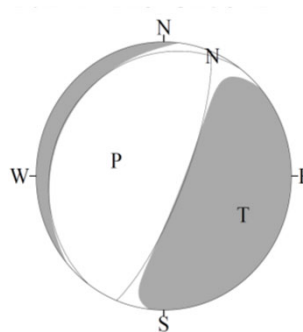
気象庁(2012.12)

震度分布図

地震諸元 (気象庁)

発震日時	2012年12月07日 17時18分
震央地名	三陸沖
地震規模※	Mw7.3 (M7.3)
震央位置	北緯 38° 01.19' 東経 143° 52.02'
震源深さ	49km

※ : MwはF-netによる。



発震機構 CMT解 (気象庁)

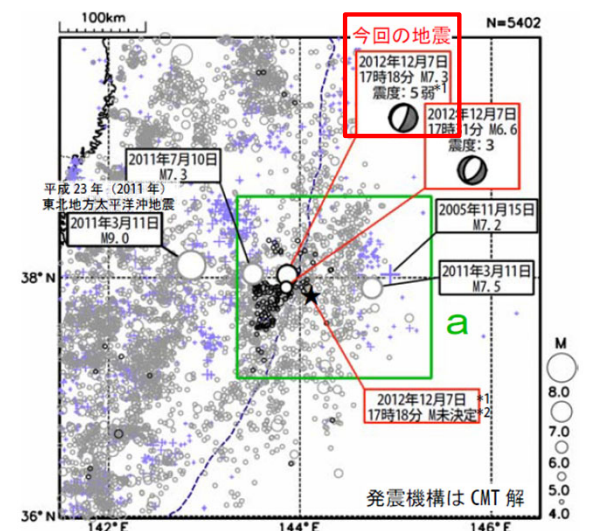


図2-1 震央分布図 (1997年10月1日~2012年12月31日、深さ0~100km、M \geq 4.0)

東北地方太平洋沖地震以前に発生した地震を+、東北地方太平洋沖地震以降に発生した地震を薄い○、2012年12月7日のM7.3の地震以降に発生した地震を濃い○で表示

気象庁(2012.12)に加筆

2012年三陸沖の地震の震央位置

3.2.3 沖合いのやや浅い地震 (2/5)



② 地震規模の設定

設定にあたり考慮する知見

- 東北日本弧で発生した沖合いのやや浅い地震のうち、最大規模はMw7.3(2012年12月7日三陸沖の地震(M7.3))である。
- 東北日本弧と千島弧の応力状態は異なると考えられるが、千島弧では沖合いのやや浅い地震として1994年北海道東方沖地震(Mw8.3, M8.2)が発生している。推定された断層面は幅60km、傾斜角75° であり※、浅い領域の二重地震面の応力中立面を超えて破壊したと考えられる。

※:推定された断層面については、3.3.2項参照。



基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの地震規模Mwは、同一テクトニクス内である東北日本弧で発生した沖合いのやや浅い地震の既往最大である2012年12月7日三陸沖の地震の規模のMw7.3に設定する。
- 不確かさとして、東北日本弧と千島弧で応力状態は異なると考えられるが保守的に、東北日本弧でも1994年北海道東方沖地震のように浅い領域で応力中立面を超えるような地震が発生しうるとして、1994年北海道東方沖地震と同規模のMw8.3の規模を考慮する。

③ 断層位置の設定

設定にあたり考慮する知見

- 敷地周辺では、規模の大きな沖合いのやや浅い地震は発生していない。
- 沖合いのやや浅い地震は、海溝軸から海洋プレート上面深さが約20kmまでの領域で発生する地震であると考えられる。
- 海洋プレート内で発生する地震は、アウターライズ地震で生じた正断層(海洋プレート上面に対して60°程度)の再活動であると考えられる。



断層位置の設定

- 沖合いのやや浅い地震の断層位置は保守的に、敷地に最も近い位置として断層上端が海洋プレート上面深さ20kmとおおむね対応する位置に設定する。
- 断層面は、海洋プレート上面に対して60°の傾斜角とする。
- なお、地震規模の不確かさケースの断層面は、1994年北海道東方沖地震の特徴を踏まえ、3.3.2項に示す地震本部(2009)と同じ傾斜角75°とする。

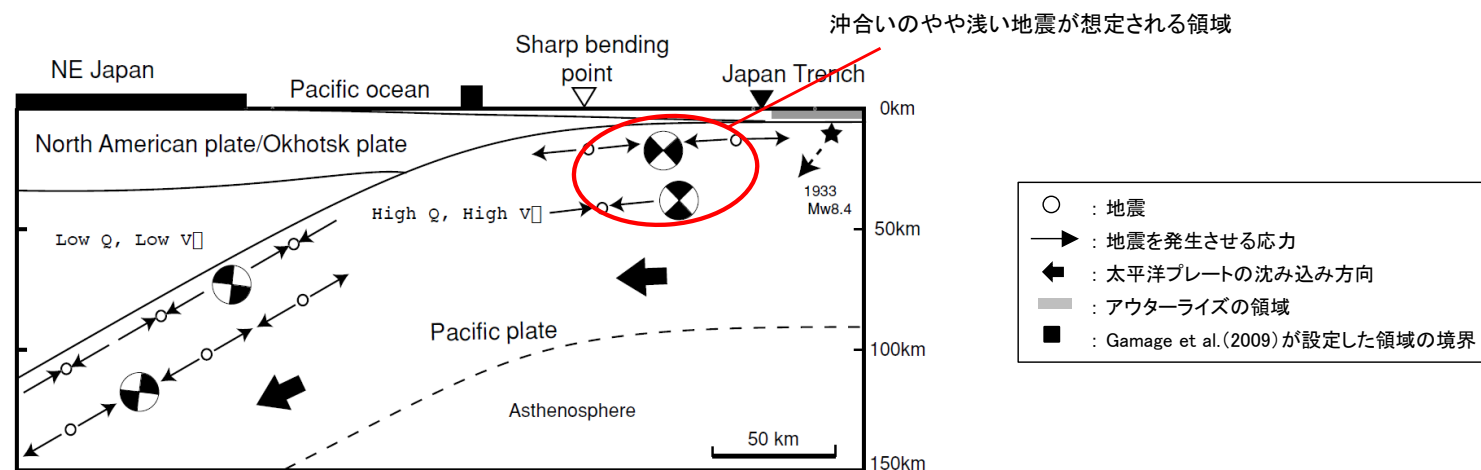


Figure 16. Schematic illustration of the bending–unbending model, showing earthquake-generating stresses within the Pacific plate. Typical focal mechanisms are projected on the wall-side focal hemisphere using an equal area projection. Small open circles and thin arrows show hypocentre and earthquake-generating stress, respectively. Thick arrows show the subduction motion of the Pacific plate. The location of outer rise region is shown by thick grey line. Open and solid reverse-triangles show the location of a sharp bending line of the Pacific plate (Fujie *et al.* 2006) and the Japan Trench, respectively. Solid curve shows the location of the boundary between regions E and W (see Fig. 6).

Gamage *et al.* (2009) に加筆

④ 短周期レベルの設定

設定にあたり考慮する知見

- 敷地周辺では、規模の大きな沖合いのやや浅い地震は発生しておらず、短周期レベルに関する知見は得られていない。
- 2012年12月7日三陸沖の地震について、短周期レベルに関する知見は得られていない。



基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの短周期レベルは、強震動予測レシピによる標準的な値とする。
- 不確かさとして、保守的に同じ東北日本弧に想定する二重深発地震面の上面の地震と同様に、強震動予測レシピの1.5倍を考慮する。

3.2.3 沖合いのやや浅い地震 (5/5)



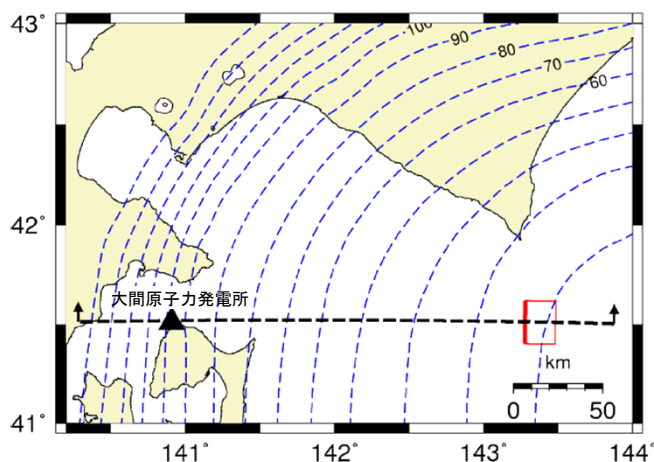
⑤ 検討ケースの設定

東北日本弧で考慮する沖合いのやや浅い地震について、設定した検討ケースを示す。

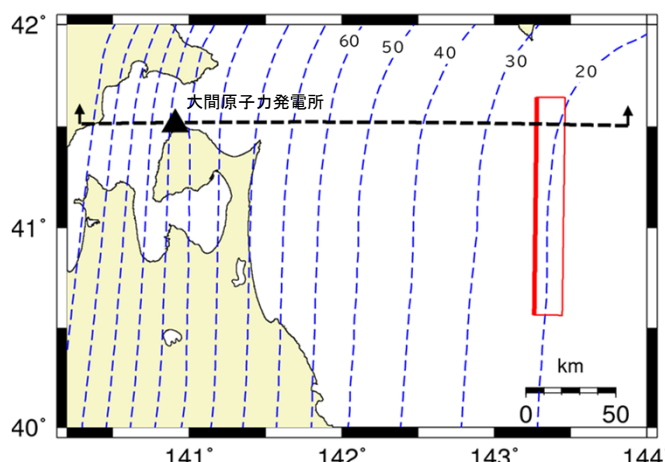
沖合いのやや浅い地震 検討ケース

ケース	地震規模	断層位置	短周期レベル(応力降下量)
基本ケース	Mw7.3	敷地東方の沖合いの海洋プレート上面深度20kmの等深線とおおむね対応する位置	強震動予測レシピア × 1.0
地震規模の不確かさケース	Mw8.3	敷地東方の沖合いの海洋プレート上面深度20kmの等深線とおおむね対応する位置に、1994年北海道東方沖地震と同じ断層面(傾斜角75°)を設定	基本ケースと同じ
短周期レベルの不確かさケース	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	強震動予測レシピア × 1.5

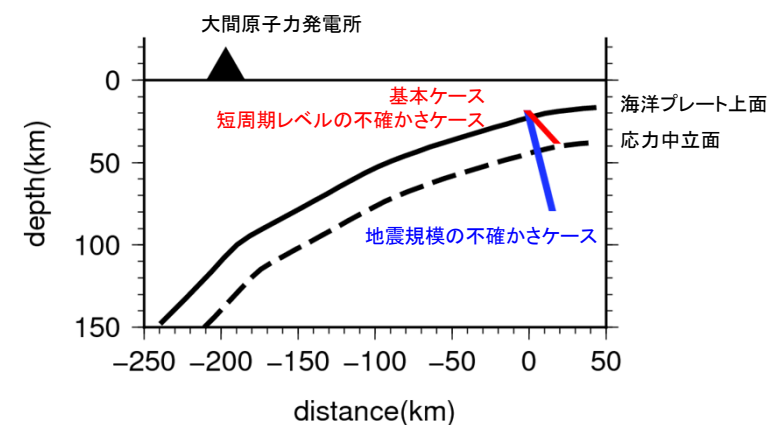
: 不確かさとして考慮するパラメータ



基本ケース
短周期レベルの不確かさケース



地震規模の不確かさケース



各ケースの断面位置

東北日本弧の沖合いのやや浅い地震の断層位置

(余白)

3.3 千島弧に想定する海洋プレート内地震



検討用地震の候補と考慮する最大規模の地震の設定

- 二重深発地震面の上面の地震(DC型)は、千島弧では応力中立面の位置が海洋プレート上面から約9kmと薄いことにより、規模の大きな海洋プレート内地震が発生する千島弧の二重深発地震面の下面の地震(DE型)と比べて発生しうる地震規模は小さく、地震動による敷地への影響はDE型の地震よりも小さいと考えられることから、検討用地震の候補から除いた※¹。
- アウターライズ地震は、海溝軸よりも外側の領域で発生する地震であり、敷地から海溝軸までは約330km以上と遠く、地震動による敷地への影響は小さいと考えられることから、検討用地震の候補から除いた※²。
- 海洋プレート内で発生する4つの地震タイプのうち、二重深発地震面の下面の地震、及び沖合いのやや浅い地震について、検討用地震の候補とした。
- 各検討用地震の候補について、検討ケースの設定にあたり考慮する最大規模の地震を下表に示す。

※¹ : 千島弧の応力中立面の位置に関する知見は、2.2節を参照。

※² : アウターライズ地震について、規模と距離の関係による影響検討は、補足説明資料3章を参照。

検討ケースの設定にあたり考慮する最大規模の地震

地震タイプ		最大規模の地震
海洋沈み込んだプレート内地震	二重深発地震面の上面の地震(DC型)	— (選定の対象外とした)
	二重深発地震面の下面の地震(DE型)	1993年釧路沖地震 (Mw7.6, M7.5)
	沖合いのやや浅い地震	1994年北海道東方沖地震 (Mw8.3, M8.2)
沈み込む海洋プレート内地震 (アウターライズ地震)		— (選定の対象外とした)

① 過去の最大規模の地震

- 二重深発地震面の下面で発生した最大規模の地震は、1993年釧路沖地震(Mw7.6, M7.5)である。

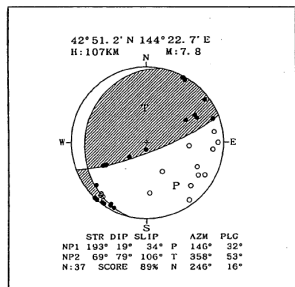
1993年釧路沖地震の概要

- 【札幌管区気象台(1993):平成5年(1993年)釧路沖地震】
『本震のメカニズム解は、ほぼ水平となる節面をもつdown-dip extensionタイプであり、震源の深さからも太平洋プレートの沈み込みに伴う二重深発面のうちの下面の地震とみられる。』
- 【Ide and Takeo(1996)による断層面】
余震分布を踏まえ、107kmの深さに断層幅40km、断層長さ60km、傾斜角0°の水平な断層面が推定されている。

地震諸元 (気象庁)

発震日時	1993年01月15日 20時06分
震央地名	十勝南東沖
地震規模※	Mw7.6 (M7.5)
震央位置	北緯 42° 55.2' 東経 144° 21.2'
震源深さ	101km

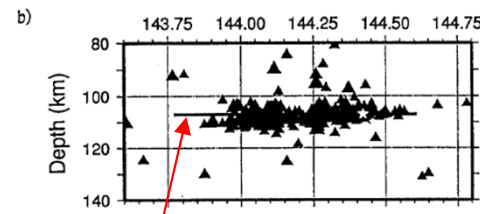
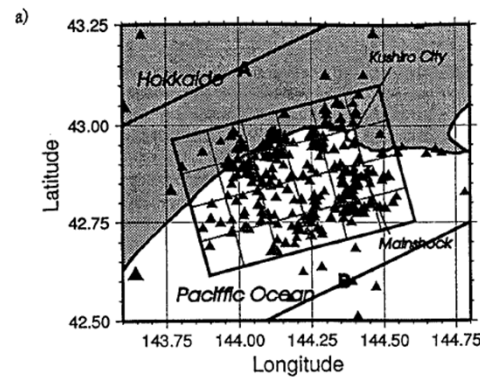
※: MwはGlobal CMT Catalogによる。



第2図 地震のメカニズム解(下半球投影)

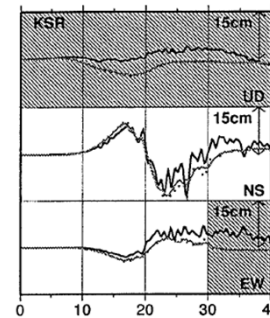
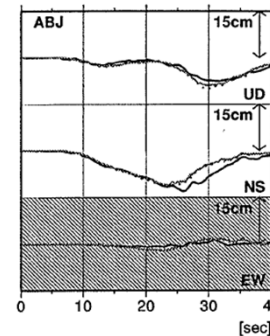
(●: 押し, ○: 引き)
メカニズム解

札幌管区気象台(1993)



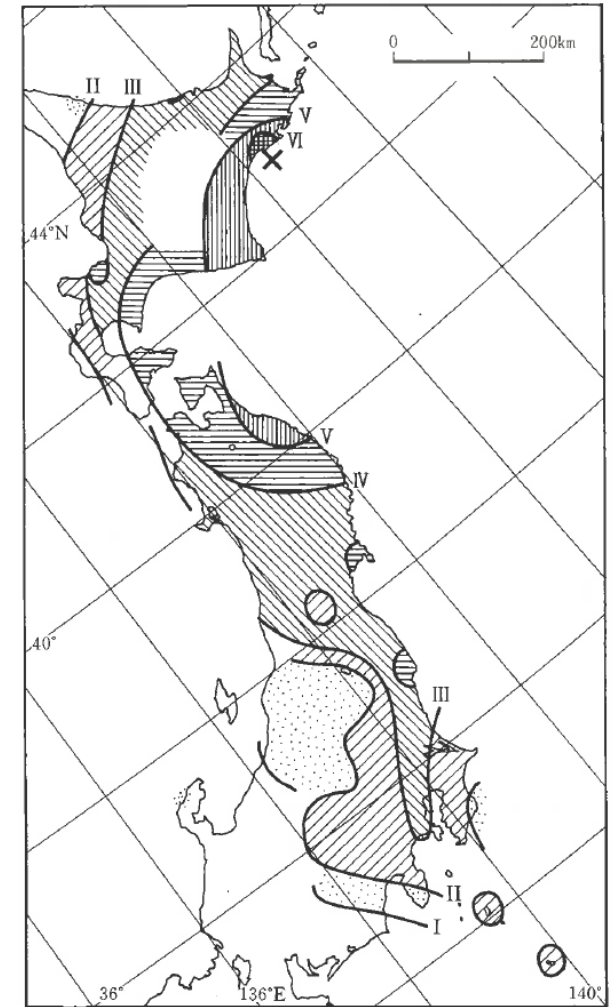
1993年釧路沖地震の断層面

☆ : 本震
▲ : 余震



— : 観測記録
- - : 再現波
■ : 解析に用いていない部分

Ide and Takeo(1996)に加筆



宇佐美ほか(2013)

震度分布図

推定された1993年釧路沖地震の断層面及び観測記録の再現性

3.3.1 二重深発地震面の下面の地震 (2/5)



② 地震規模の設定

設定にあたり考慮する知見

- 千島弧で発生した二重深発地震面の下面の地震(DE型)のうち、最大規模はMw7.6(1993年釧路沖地震(M7.5))である。
- 千島弧において、二重深発地震面の下面の地震(DE型)で上記を超える規模を示唆する知見は得られていない。



基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの地震規模Mwは、同一テクトニクス内である千島弧で発生した二重深発地震面の下面の地震の既往最大である1993年釧路沖地震の規模のMw7.6に設定する。
- 基本ケースを超える規模を示唆する知見は得られていないことから、規模の不確かさは考慮しない。

3.3.1 二重深発地震面の下面の地震 (3/5)

③ 断層位置の設定

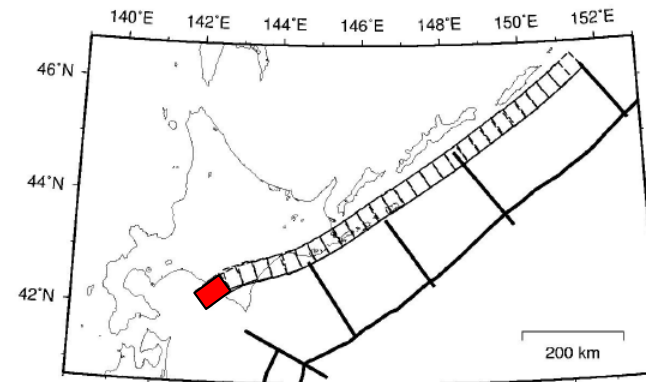
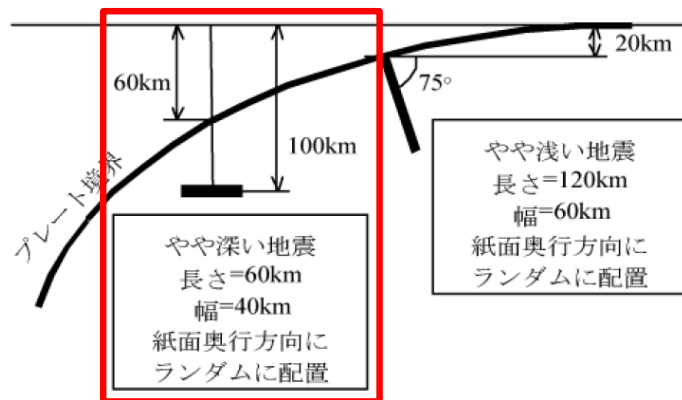
設定にあたり考慮する知見

- 敷地に近い領域では、規模の大きな二重深発地震面の下面の地震は発生していない。
- 地震本部(2009)では、十勝沖から択捉島沖の領域にかけて1993年釧路沖地震と同じ地震が発生するものとして、1993年釧路沖地震の知見を踏まえた断層面を設定して確率論的地震動評価を実施している。



断層位置の設定

- 二重深発地震面の下面の地震の断層位置は保守的に、1993年釧路沖地震に相当する地震が、千島弧西端の敷地に近い位置で発生する場合を考慮する。
- 断層面は、地震本部(2009)による断層面の設定の考え方を踏まえ、敷地に近い位置に地震本部(2009)と同じ傾斜角 0° とする。



■ : 設定する断層面

地震本部(2009)に加筆

断層面の設定位置

3.3.1 二重深発地震面の下面の地震 (4/5)

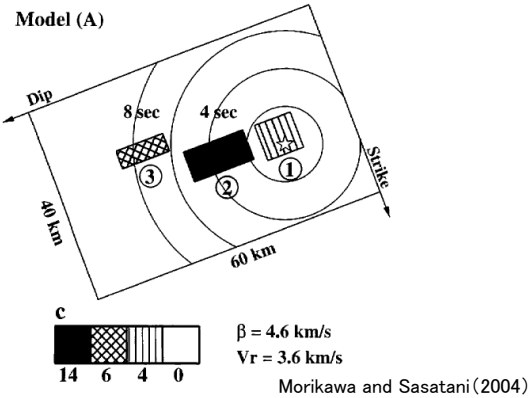
④ 短周期レベルの設定

設定にあたり考慮する知見

- 敷地に近い領域では、規模の大きな二重深発地震面の下面の地震は発生しておらず、短周期レベルに関する知見は得られていない。
- 1993年釧路沖地震について、Morikawa and Sasatani (2004)では、観測記録のシミュレーションによる震源モデルが提案されている。その震源モデルによる当該地震の短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく標準的な値の約2.1倍に相当している。

基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの短周期レベルは、強震動予測レシピによる標準的な値とする。
- 不確かさとして、1993年釧路沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの2.1倍を考慮する。



Morikawa and Sasatani (2004)の震源モデルのパラメータ※1

Asperity No.	Area (km ²)	Seismic Moment (N·m)	Stress Drop (MPa)	Rise Time (sec)
Model A				
1	51.8	1.7×10^{19}	109	0.5
2	72.0	9.8×10^{19}	381	0.6
3	34.6	1.4×10^{20}	163	0.45
Total	158.4	1.3×10^{20}		
Takeo*	800	3.3×10^{20}	42	—
Model B				
1	92.2	3.1×10^{19}	82	0.5
2	144.0	1.4×10^{20}	190	0.6
3	69.1	2.7×10^{19}	109	0.45
Total	305.3	2.0×10^{20}		
Takeo*	800	3.3×10^{20}	42	—

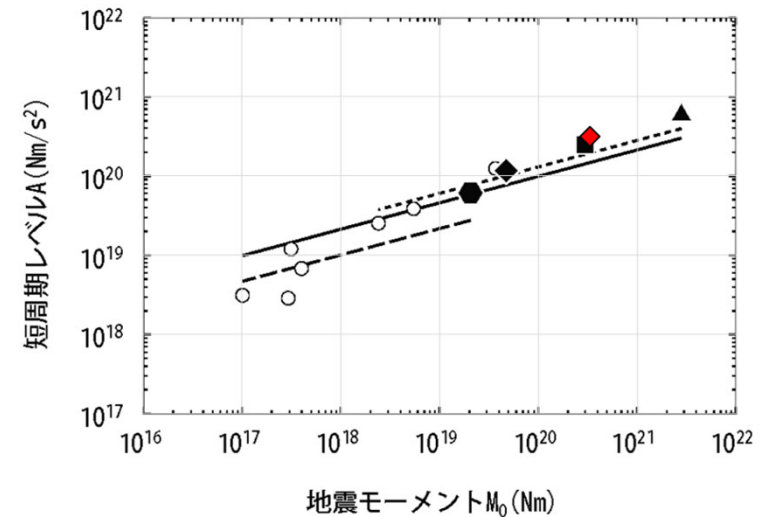
*Source parameters by Takeo *et al.* (1993). Morikawa and Sasatani (2004)に加筆

- 強震動予測レシピに基づく短周期レベル※2
 $A = 1.46E+20 \text{ [N·m/s}^2\text{]}$
- Morikawa and Sasatani (2004)の震源モデルによる短周期レベル
 $A = 3.12E+20 \text{ [N·m/s}^2\text{]}$

※2 : Takeo *et al.* (1993)による地震モーメント ($3.3E+20\text{Nm}$)より算定。

Morikawa and Sasatani (2004)による震源モデルの短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく短周期レベルの約2.1倍である。

- ◆ : Morikawa and Sasatani (2004)の震源モデルによる1993年釧路沖地震(加筆)
- 笹谷・他(2006)のスラブ内地震
- 1993年釧路沖地震
- ▲ 1994年北海道東方沖地震
- ◆ 2011年宮城県沖の地震
- 2001年芸予地震
- 笹谷・他(2006)
- - - 太平洋プレートのスラブ内地震
- - - フィリピン海プレートのスラブ内地震



新井ほか(2015)に加筆

Morikawa and Sasatani (2004)の震源モデルによるM₀-A関係

※1 : 短周期レベルは笹谷ほか(2006)を反映し、 $A_1 4\pi r_1 \Delta\sigma_1 V s^2$, $A_1 \sqrt{\sum A_i^2}$ により算定。

3.3.1 二重深発地震面の下面の地震 (5/5)



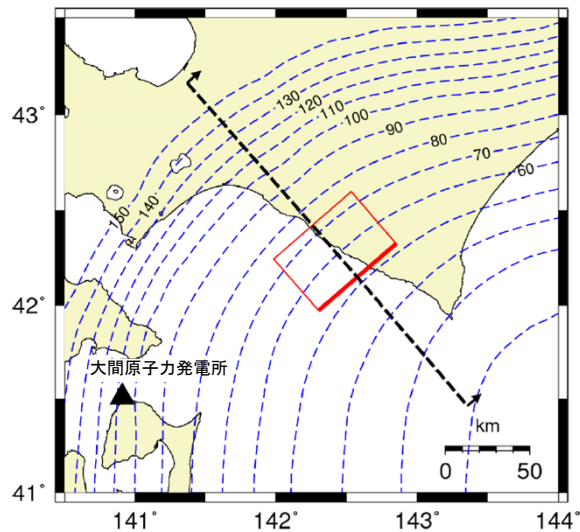
⑤ 検討ケースの設定

- 千島弧で考慮する二重深発地震面の下面の地震について、設定した検討ケースを示す。

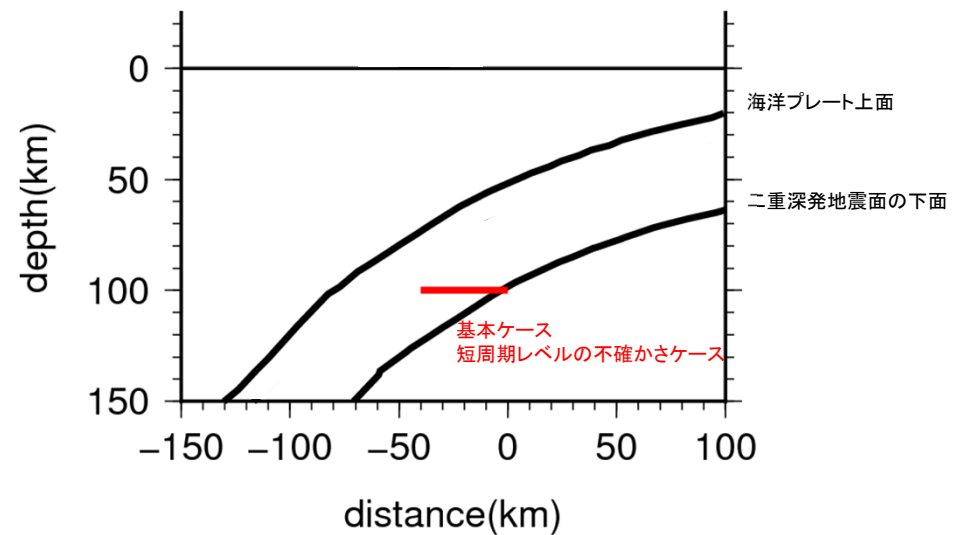
二重深発地震面の下面の地震 検討ケース

ケース	地震規模	断層位置	短周期レベル
基本ケース	Mw7.6	千島弧のうち敷地に近い位置	強震動予測レシピア × 1.0
短周期レベルの不確かさケース	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	強震動予測レシピア × 2.1

: 不確かさとして考慮するパラメータ



基本ケース
短周期レベルの不確かさケース



各ケースの断面位置

千島弧の二重深発地震面の下面の地震の断層位置

3.3.2 沖合いのやや浅い地震 (1/5)



① 過去の最大規模の地震

- ・ 沖合いのやや浅い領域で発生した最大規模の地震は、1994年北海道東方沖地震(Mw8.3, M8.2)である。

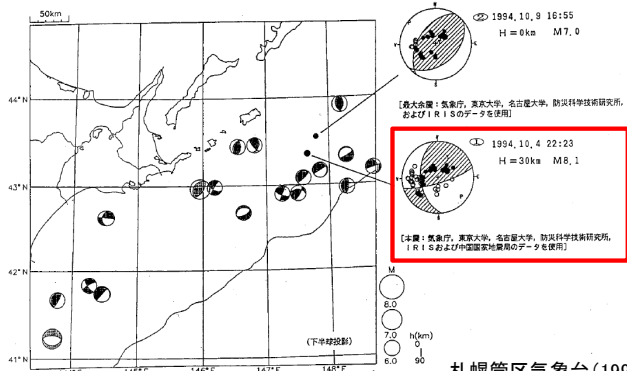
1994年北海道東方沖地震の概要

- ・ 【札幌管区気象台(1994):平成6年(1994年)北海道東方沖地震】
『本震のメカニズムとしては、1つは海溝軸に平行な高角の逆断層、もう1つはこれに直交する低角の逆断層が考えられるが、余震域等に関する詳細な検討が必要である。』
- ・ 【菊地・金森(1995)による断層面】
余震分布、観測記録の再現解析及び地殻変動のシミュレーション結果を踏まえると、北東-南西走向の急傾斜面であった可能性が高いとされている。検討の結果、断層幅60km、断層長さ120km、傾斜角75°の断層面が推定されている。

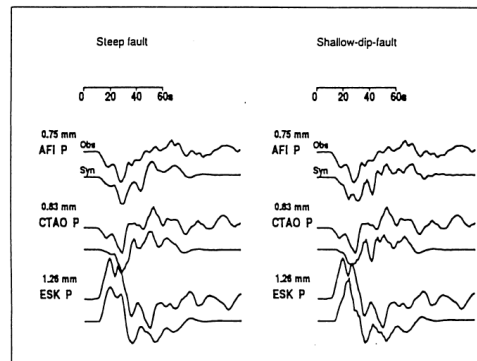
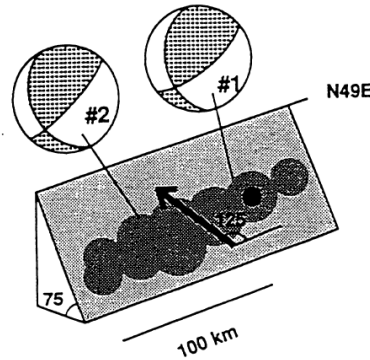
地震諸元 (気象庁)

発震日時	1994年10月04日 22時22分
震央地名	北海道東方沖
地震規模※	Mw8.3 (M8.2)
震央位置	北緯 43° 22.5' 東経 147° 40.4'
震源深さ	28km

※ : MwはGlobal CMT Catalogによる。

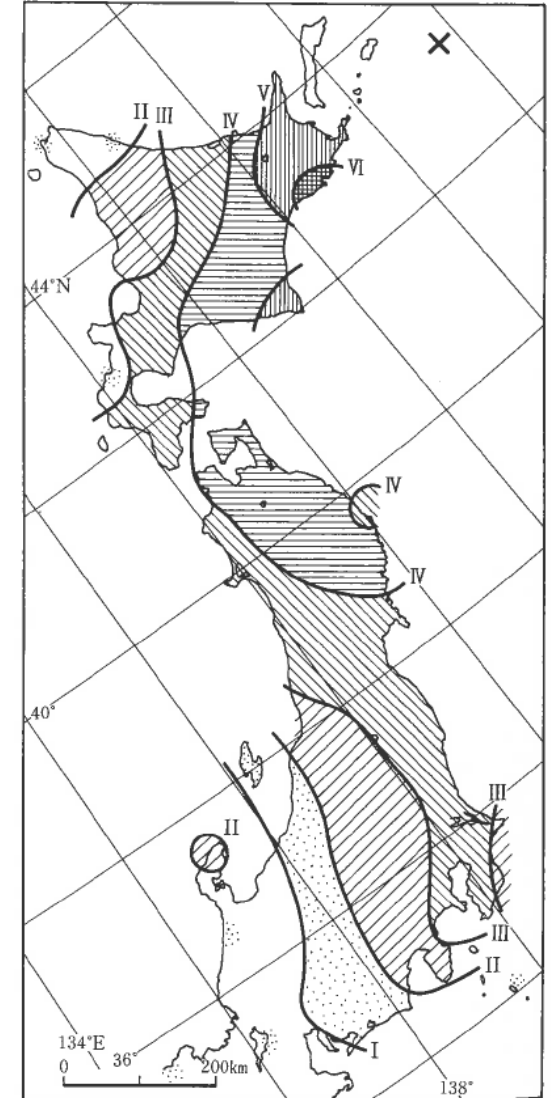


震央位置と発震機構



菊地・金森(1995)

推定された1994年北海道東方沖地震の断層面及び観測記録の再現性



宇佐美ほか(2013)

震度分布図

3.3.2 沖合いのやや浅い地震 (2/5)



② 地震規模の設定

設定にあたり考慮する知見

- 千島弧で発生した沖合いのやや浅い地震のうち、最大規模はMw8.3(1994年北海道東方沖地震(M8.2))である。
- 千島弧において、沖合いのやや浅い地震で上記を超える規模を示唆する知見は得られていない。



基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの地震規模Mwは、同一テクトニクスである千島弧で発生した沖合いのやや浅い地震の既往最大である1994年北海道東方沖地震の規模のMw8.3に設定する。
- 基本ケースを超える規模を示唆する知見は得られていないことから、規模の不確かさは考慮しない。

3.3.2 沖合いのやや浅い地震 (3/5)



③ 断層位置の設定

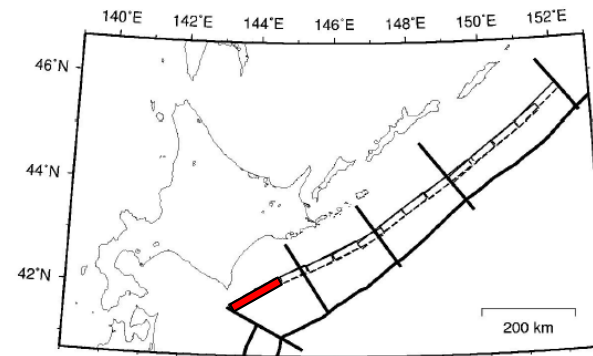
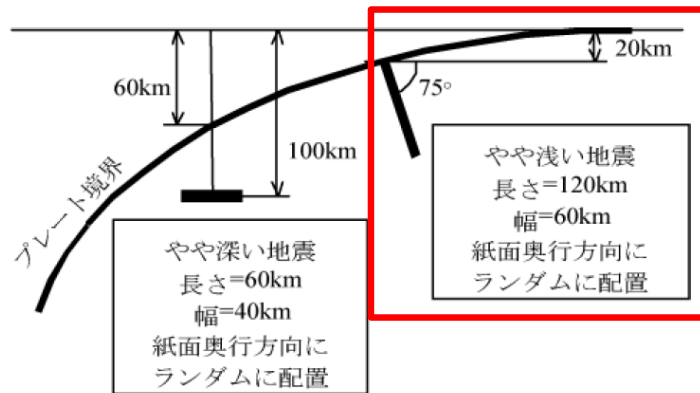
設定にあたり考慮する知見

- 敷地に近い領域では、規模の大きな沖合いのやや浅い地震は発生していない。
- 地震本部(2009)では、十勝沖から択捉島沖の領域にかけて1994年北海道東方沖地震と同じ地震が発生するものとして、1994年北海道東方沖地震の知見を踏まえた断層面を設定して確率論的地震動評価を実施している。



断層位置の設定

- 沖合いのやや浅い地震の断層位置は保守的に、1994年北海道東方沖地震に相当する地震が、千島弧西端の敷地に近い位置で発生する場合を考慮する。
- 断層面は、地震本部(2009)による断層面の設定の考え方を踏まえ、敷地に近い位置に地震本部(2009)と同じ傾斜角 75° とする。



■ : 設定する断層面

地震本部(2009)に加筆

断層面の設定位置

3.3.2 沖合いのやや浅い地震 (4/5)



④ 短周期レベルの設定

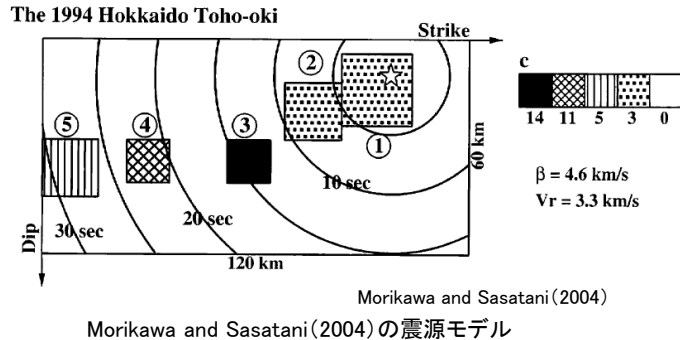
設定にあたり考慮する知見

- 敷地に近い領域では、規模の大きな沖合いのやや浅い地震は発生しておらず、短周期レベルに関する知見は得られていない。
- 1994年北海道東方沖地震について、Morikawa and Sasatani(2004)では観測記録のシミュレーションによる震源モデルが提案されている。その震源モデルによると、当該地震の短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく標準的な値の約2.0倍に相当している。



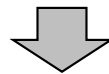
基本ケース及び不確かさケースの設定

- 以上を踏まえ、基本ケースの短周期レベルは、強震動予測レシピによる標準的な値とする。
- 不確かさとして、1994年北海道東方沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの2.0倍を考慮する。



- 強震動予測レシピに基づく短周期レベル※2
 $A = 2.92E+20$ [N·m/s²]
- Morikawa and Sasatani(2004)の震源モデルによる短周期レベル
 $A = 5.92E+20$ [N·m/s²]

※2 : Kikuchi and Kanamori(1995)による地震モーメント(2.6E+21Nm)より算定。



Morikawa and Sasatani(2004)による震源モデルの短周期レベルは、強震動予測レシピに基づく短周期レベルの約2.0倍である。

Morikawa and Sasatani(2004)の震源モデルのパラメータ※1

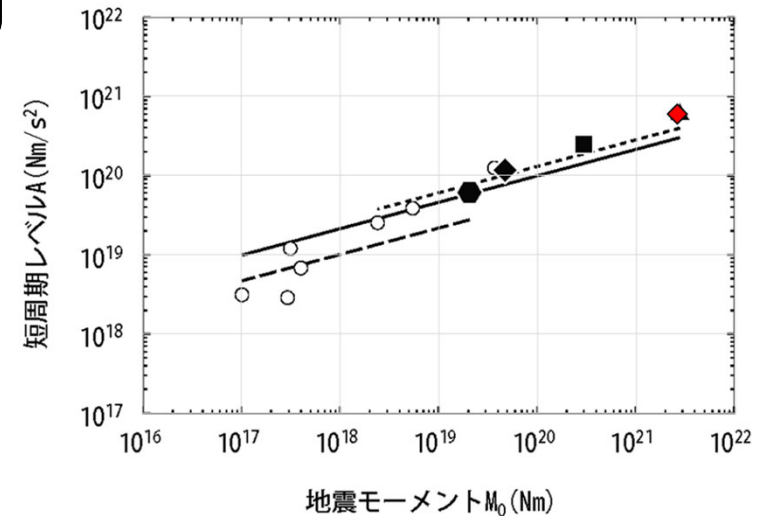
Asperity No.	Area (km ²)	Seismic Moment (N m)	Stress Drop (MPa)	Rise Time (sec)
1	400	3.0×10^{20}	82	1.8
2	256	1.5×10^{20}	82	1.4
3	144	3.0×10^{20}	382	1.1
4	144	2.4×10^{20}	300	1.1
5	256	2.6×10^{20}	137	1.4
Total	1200	1.3×10^{21}		
KK※	7200	2.6×10^{21}	11	—

*Source parameters by Kikuchi and Kanamori (1995).

Morikawa and Sasatani(2004)

※1 : 短周期レベルは笹谷ほか(2006)を反映し、 $A_1 = 4\pi r_1 \Delta \sigma_1 V_s^2$, $A = \sqrt{\sum A_1^2}$ により算定。

- ◆ : Morikawa and Sasatani(2004)の震源モデルによる1994年北海道東方沖地震(加筆)
- 笹谷・他(2006)のスラブ内地震
- 1993年釧路沖地震
- ▲ 1994年北海道東方沖地震
- ◆ 2011年宮城県沖の地震
- 2001年芸予地震
- 笹谷・他(2006)
- - - 太平洋プレートのスラブ内地震
- - - フィリピン海プレートのスラブ内地震



Morikawa and Sasatani(2004)の震源モデルによるM₀-A関係

3.3.2 沖合いのやや浅い地震 (5/5)



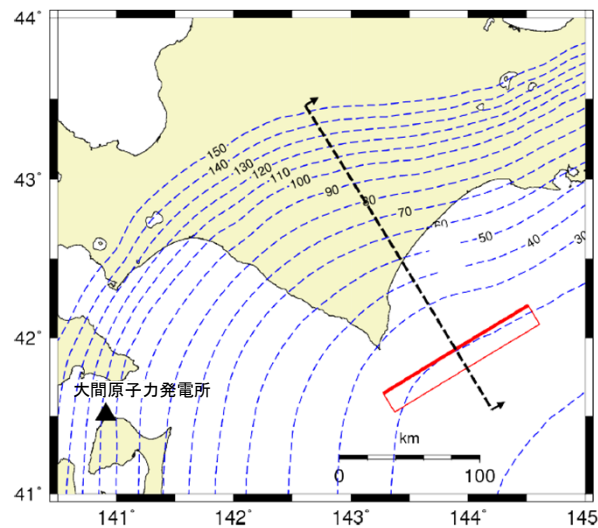
⑤ 検討ケースの設定

- 千島弧で考慮する沖合いのやや浅い地震について、設定した検討ケースを示す。

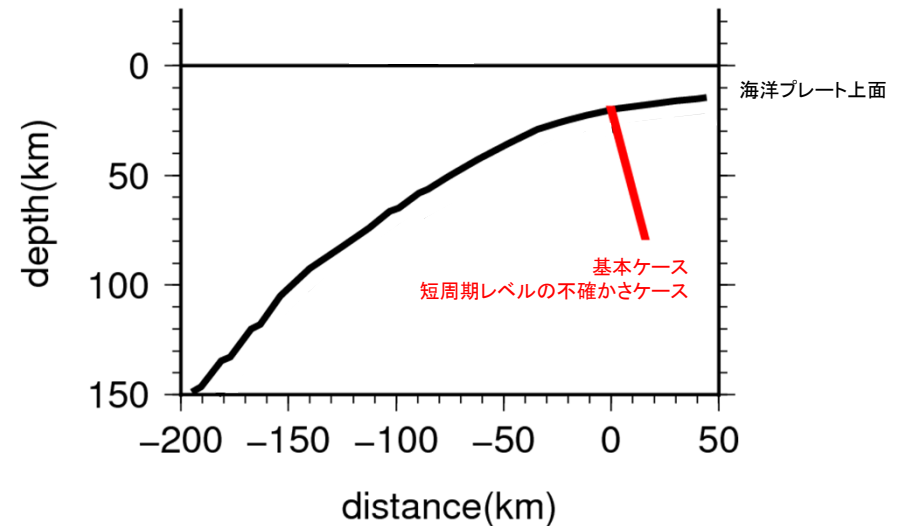
沖合いのやや浅い地震 検討ケース

ケース	地震規模	断層位置	短周期レベル
基本ケース	Mw8.3	千島弧のうち敷地に近い位置	強震動予測レシピア × 1.0
短周期レベルの不確かさケース	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	強震動予測レシピア × 2.0

: 不確かさとして考慮するパラメータ



基本ケース
短周期レベルの不確かさケース



各ケースの断面位置

千島弧の沖合いのやや浅い地震の断層位置


検討ケースの諸元

- 設定した検討用地震の候補の検討ケースの諸元を示す。

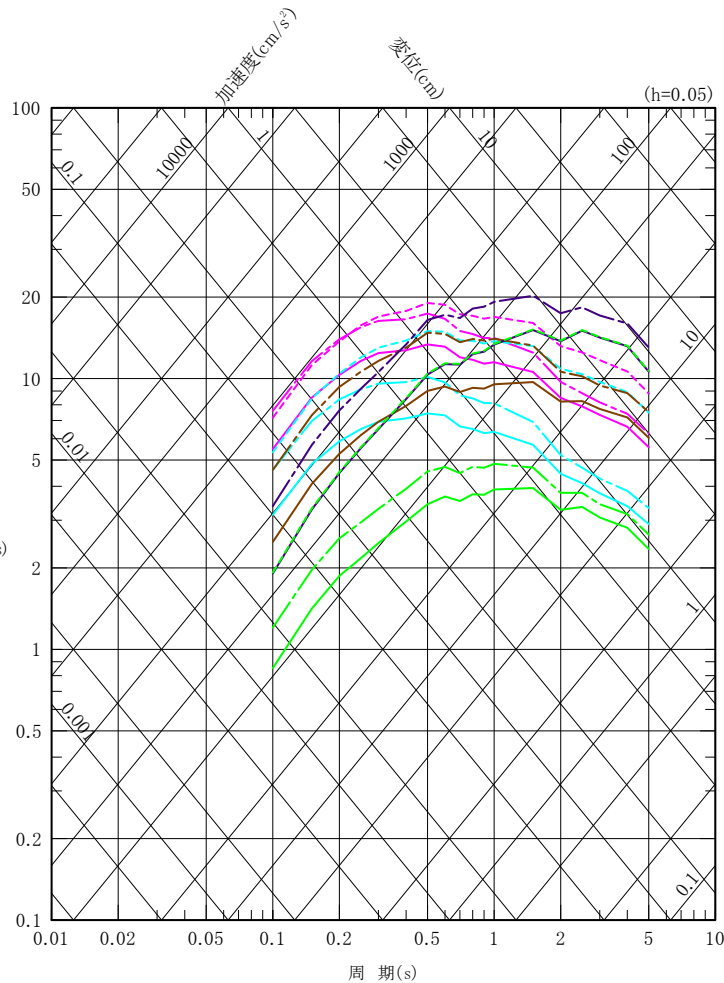
検討ケースの諸元

検討ケース		地震規模	地震モーメント M_0 [N·m]	断層最短距離 X [km]	短周期レベル A [N·m/s ²]	設定にあたり考慮した地震	
東北日本弧	二重深発地震面の 上面の地震	基本ケース	Mw7.1	4.9E+19	98	レシビ※ × 1.0 7.76E+19	2011年4月7日宮城県沖の地震(Mw7.1, M7.2) 2021年2月13日福島県沖の地震(Mw7.1, M7.3)
		地震規模の不確かさケース	Mw7.4	1.6E+20	98	レシビ × 1.0 1.15E+20	
		短周期レベルの不確かさケース	Mw7.1	4.9E+19	98	レシビ × 1.5 1.16E+20	
	二重深発地震面の 下面の地震	基本ケース	Mw6.8	1.7E+19	112	レシビ × 1.0 5.47E+19	2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(Mw6.8, M6.8)
		地震規模の不確かさケース	Mw7.4	1.6E+20	112	レシビ × 1.0 1.15E+20	
		短周期レベルの不確かさケース	Mw6.8	1.7E+19	112	レシビ × 1.6 8.76E+19	
	沖合いの やや浅い地震	基本ケース	Mw7.3	8.8E+19	199	レシビ × 1.0 9.41E+19	2012年12月7日三陸沖の地震(Mw7.3, M7.3)
		地震規模の不確かさケース	Mw8.3	3.0E+21	198	レシビ × 1.0 3.06E+20	
		短周期レベルの不確かさケース	Mw7.3	8.8E+19	199	レシビ × 1.5 1.41E+20	
千島弧	二重深発地震面の 下面の地震	基本ケース	Mw7.6	2.7E+20	157	レシビ × 1.0 1.37E+20	1993年釧路沖地震(Mw7.6, M7.5)
		短周期レベルの不確かさケース	Mw7.6	2.7E+20	157	レシビ × 2.1 2.88E+20	
	沖合いの やや浅い地震	基本ケース	Mw8.3	3.0E+21	199	レシビ × 1.0 3.06E+20	1994年北海道東方沖地震(Mw8.3, M8.2)
		短周期レベルの不確かさケース	Mw8.3	3.0E+21	199	レシビ × 2.0 6.12E+20	

※ : 強震動予測レシビ

 : 不確かさとして考慮するパラメータ

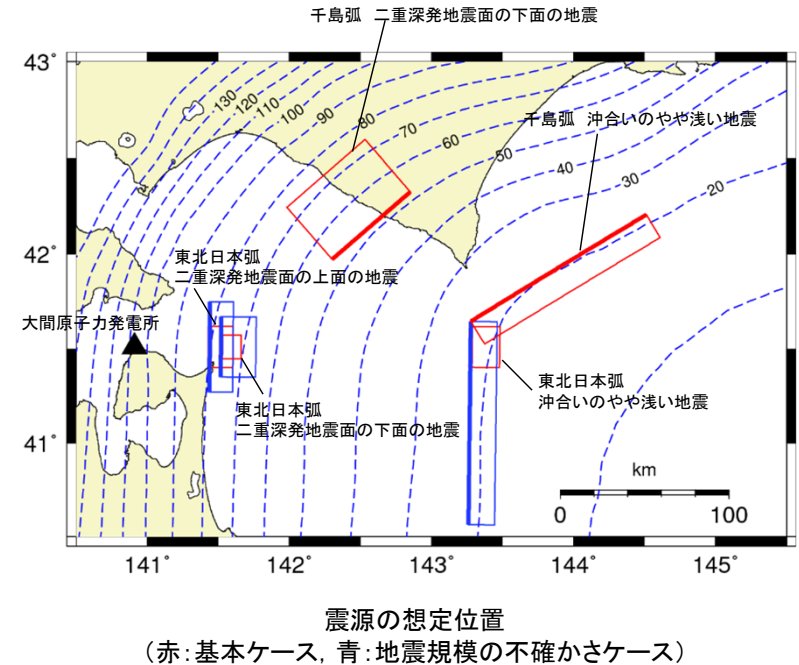
検討用地震の選定



片岡ほか(2006)の方法*による比較

* : 工学的基盤($V_s=700\text{m/s}$ 程度)に対する式。

- 【東北日本弧】 二重深発地震面の上面の地震
 - 【東北日本弧】 二重深発地震面の下面の地震
 - 【東北日本弧】 沖合いのやや浅い地震
 - 【千島弧】 二重深発地震面の下面の地震
 - 【千島弧】 沖合いのやや浅い地震
- 実線：基本ケース
 点線：地震規模の不確かさケース
 一点鎖線：短周期レベルの不確かさケース



- 東北日本弧及び千島弧の特徴を踏まえ設定した検討用地震の候補について、片岡ほか(2006)の方法により敷地への影響を比較した。
- 応答スペクトルによる比較により、周期約0.7秒より短周期側では東北日本弧の二重深発地震面の上面の地震が、周期約0.7秒より長周期側では千島弧の沖合いのやや浅い地震が、敷地への影響が大きい結果が得られた。



- 以上を踏まえ、東北日本弧の二重深発地震面の上面の地震及び千島弧の沖合いのやや浅い地震を、検討用地震として選定する。

検討用地震の選定のまとめ

- 東北日本弧及び千島弧の特徴を踏まえ設定した検討用地震の候補について、片岡ほか(2006)の方法により敷地への影響を比較した。
- その結果、以下の2地震を検討用地震に選定した。
 - 東北日本弧 二重深発地震面の上面の地震 (以下「敷地下方の想定スラブ内地震」とする。)
 - 千島弧 沖合いのやや浅い地震 (以下「想定十勝沖スラブ内地震」とする。)

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
2. 海洋プレート内地震の知見の整理
 - 2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.2 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴
 - 2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況
 - 2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ
3. 検討用地震の選定
 - 3.1 検討用地震の選定方針
 - 3.2 東北日本弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.2.1 二重深発地震面の上面の地震
 - 3.2.2 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.2.3 沖合いのやや浅い地震
 - 3.3 千島弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.3.1 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.3.2 沖合いのやや浅い地震
 - 3.4 検討用地震の選定
4. 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - 4.1 震源モデルの設定
 - 4.2 地震動評価手法
 - 4.3 地震動評価結果
5. 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 5.1 震源モデルの設定
 - 5.2 地震動評価手法
 - 5.3 地震動評価結果

4.1 震源モデルの設定 (1/7)



震源モデルの設定方針

- 強震動予測レシピにてパラメータ設定の考え方が示されていることを踏まえ、強震動予測レシピに基づき設定する。
- 東北日本弧の二重深発地震面の上面で発生した2021年2月13日福島県沖の地震及び2011年4月7日宮城県沖の地震の特徴を踏まえ、震源モデルを設定する。

基本ケースの震源モデルの設定

【地震規模】

- 地震規模は、2021年2月13日福島県沖の地震と同じ規模のMw7.1(M7.3)とする。

【断層位置】

- 敷地への影響が大きくなるように、海洋プレートの沈み込み形状を考慮し、海洋性マントル内のうち敷地に最も近くなる位置に基本ケースの震源モデルを設定する。
- 断層面は、2011年4月7日宮城県沖の地震の知見を踏まえ、海洋プレート上面に対して60°の傾斜角とし、海洋性マントル内のうち敷地に近い位置に設定する。

【SMGA位置】

- SMGAは、敷地に寄せた位置として断層面上端に設定する。

4.1 震源モデルの設定 (2/7)

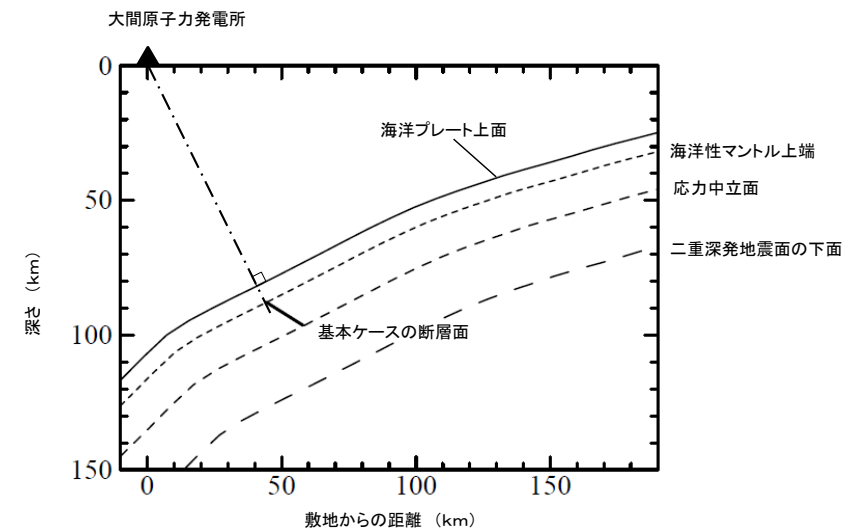
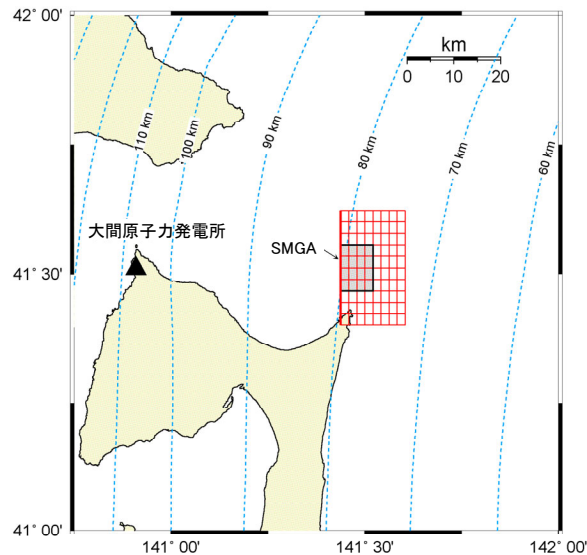
基本ケースの震源モデルの設定

- 基本ケースの震源モデルを下表に示す。

基本ケースの震源モデル

検討ケース	地震規模	断層位置	SMGA位置	短周期レベル	破壊開始点
基本ケース	Mw7.1 (M7.3)	<ul style="list-style-type: none"> 海洋プレート上面に対して60° 海洋性マントル上端～応力中立面 敷地直近となる深さに設定 	断層面上端に配置	敷地周辺で規模の大きな地震は発生しておらず、短周期レベルに関する知見が得られていないことから、強震動予測レシピに基づく標準的な値に設定。	複数設定

: 予め不確かさを取り込んで設定するパラメータ



基本ケースの震源モデルの断層位置図 (左: 平面図, 右: 断面図)

4.1 震源モデルの設定 (3/7)




考慮する不確かさの整理

- 敷地下方の想定スラブ内地震について、考慮する不確かさを示す。
- 基本ケースに対して、認識論的不確かさとして地震規模、断層位置及び短周期レベルの不確かさを考慮する。

不確かさの重畳について、考え方は以下のとおり。

- 「認識論的不確かさ」については、それぞれ独立で不確かさを考慮する。
- 「偶然的不確かさ」については、事前の把握が困難であるため、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。

不確かさの種類	パラメータ	基本ケースの震源モデルの考え方	不確かさの考慮	
認識論的不確かさ	地震規模	2021年2月13日福島県沖の地震と同じ規模の地震が起こるものと想定し、Mw7.1(M7.3)の規模を設定。	Nakajima et al.(2011)の知見を踏まえ、2021年2月13日福島県沖の地震と同規模である2011年4月7日宮城県沖の地震の余震域のさらに北側の低速度域を含み、長さ方向に2倍以上となるような断層面を設定すると、Mw7.4の地震規模となる。この規模の地震が青森県の東方沖でも発生するものと考え、不確かさとしてMw7.4の規模を考慮する。	
	断層位置	位置	東北日本弧の二重深発地震面の上面の位置で想定する海洋プレート内地震として、海洋性マントル内の敷地に近い位置に設定。	断層面が海洋性地殻に及ぶ可能性を考慮して、断層上端を海洋性地殻上端とした震源を考慮する。
		傾斜角	2011年4月7日宮城県沖の地震の断層面は、海洋プレート上面とのなす角が約60°であったことを踏まえ、海洋プレート上面とのなす角を60°に設定。	Nakajima et al.(2011)にて、二重深発地震面の上面の地震は、沈み込む前のアウターライズ地震で生成された正断層の再活動により発生する可能性が示唆されていることを踏まえ、海洋プレート上面とのなす角はおおむね60°程度になると判断し、不確かさとして考慮しない。
	短周期レベル(応力降下量)	敷地周辺で規模の大きな地震は発生しておらず、短周期レベルに関する知見が得られていないことから、強震動予測レシピに基づく標準的な値に設定。	原田・釜江(2011)による2011年4月7日宮城県沖の地震の震源モデルを踏まえ、基本ケースの1.5倍を考慮する。	
偶然的不確かさ	SMGA位置	敷地に近い断層面上端に設定。	同左	
	破壊開始点	破壊が敷地に向かうように、複数の破壊開始点を設定。	同左	

 : 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

検討ケース一覧

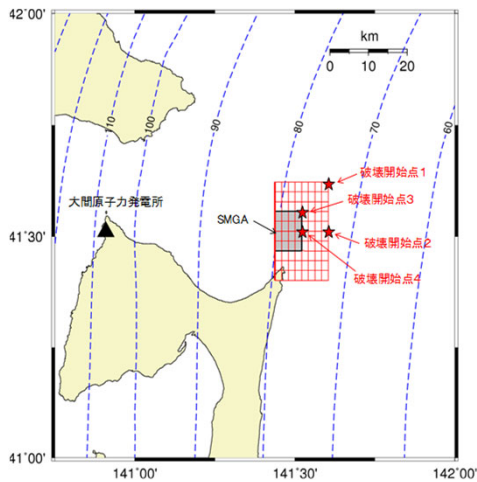
- 敷地下方の想定スラブ内地震の検討ケースを示す。

敷地下方の想定スラブ内地震 検討ケース一覧

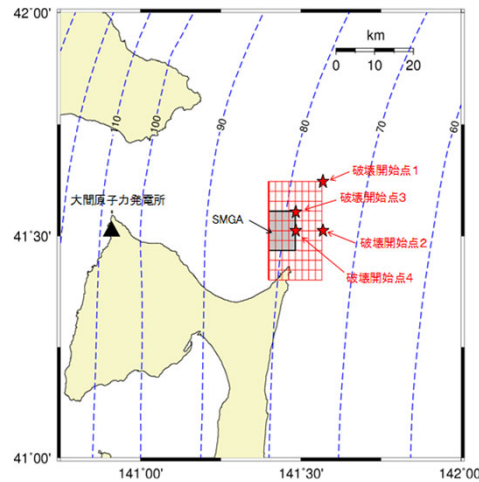
No.	検討ケース	地震規模	断層位置	短周期レベル	SMGA位置	破壊開始点
1	基本ケース	Mw7.1 (M7.3)	敷地直近となる位置 (海洋性マントル上端～応力中立面)	強震動予測レシピ に基づく値	断層面上端	複数設定
2	断層位置の不確かさケース	Mw7.1 (M7.3)	敷地直近となる位置 (海洋性地殻上端に配置)	強震動予測レシピ に基づく値	断層面上端	複数設定
3	地震規模の不確かさケース	Mw7.4 (M7.5)※	敷地直近となる位置 (海洋性マントル上端～応力中立面)	強震動予測レシピ に基づく値	断層面上端	複数設定
4	短周期レベルの不確かさケース	Mw7.1 (M7.3)	敷地直近となる位置 (海洋性マントル上端～応力中立面)	強震動予測レシピ に基づく値 × 1.5倍	断層面上端	複数設定

: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ
 : 偶然的な不確かさとして考慮するパラメータ

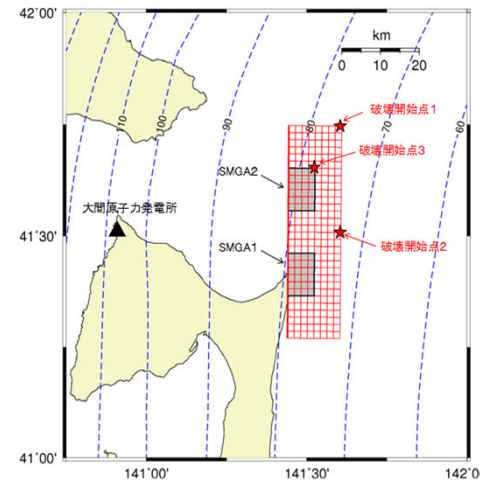
※ : P.41参照。



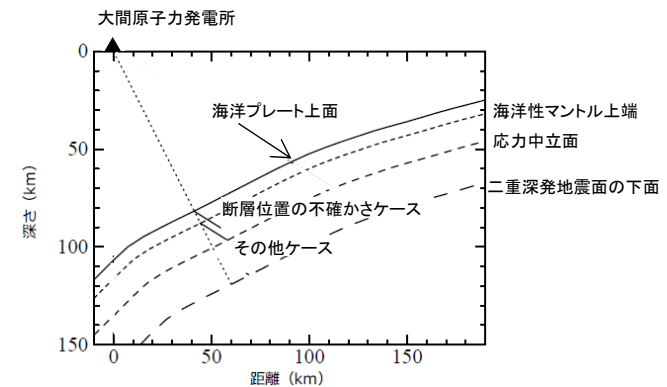
基本ケース
短周期レベルの不確かさケース



断層位置の不確かさケース



地震規模の不確かさケース

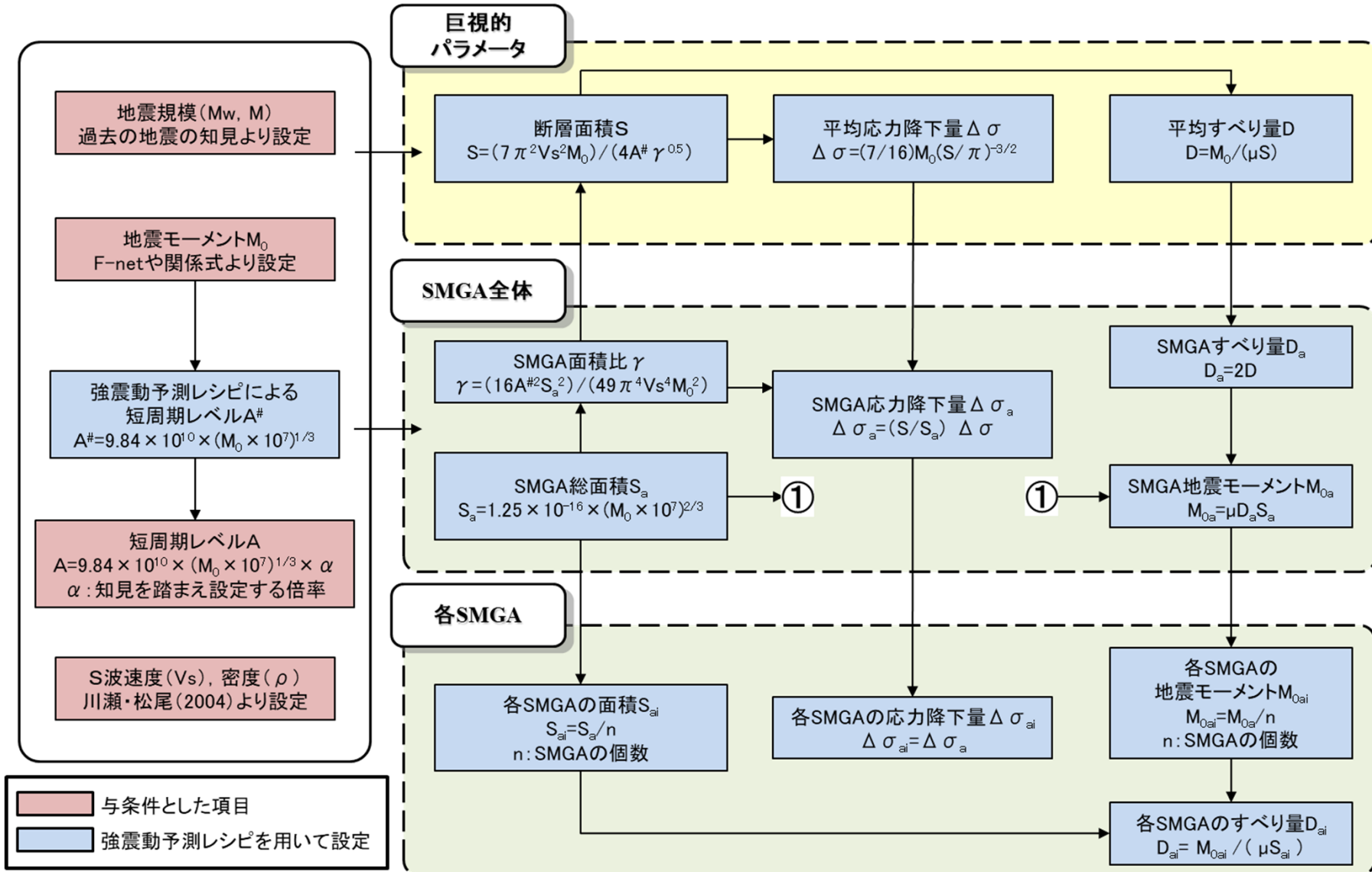


各ケースの断面位置

4.1 震源モデルの設定 (5/7)

断層パラメータ設定方法

- 断層パラメータは、強震動予測レシピに基づき設定する。



断層パラメータ設定フロー

4.1 震源モデルの設定 (6/7)



断層パラメータ

敷地下方の想定スラブ内地震 各ケースの断層パラメータ

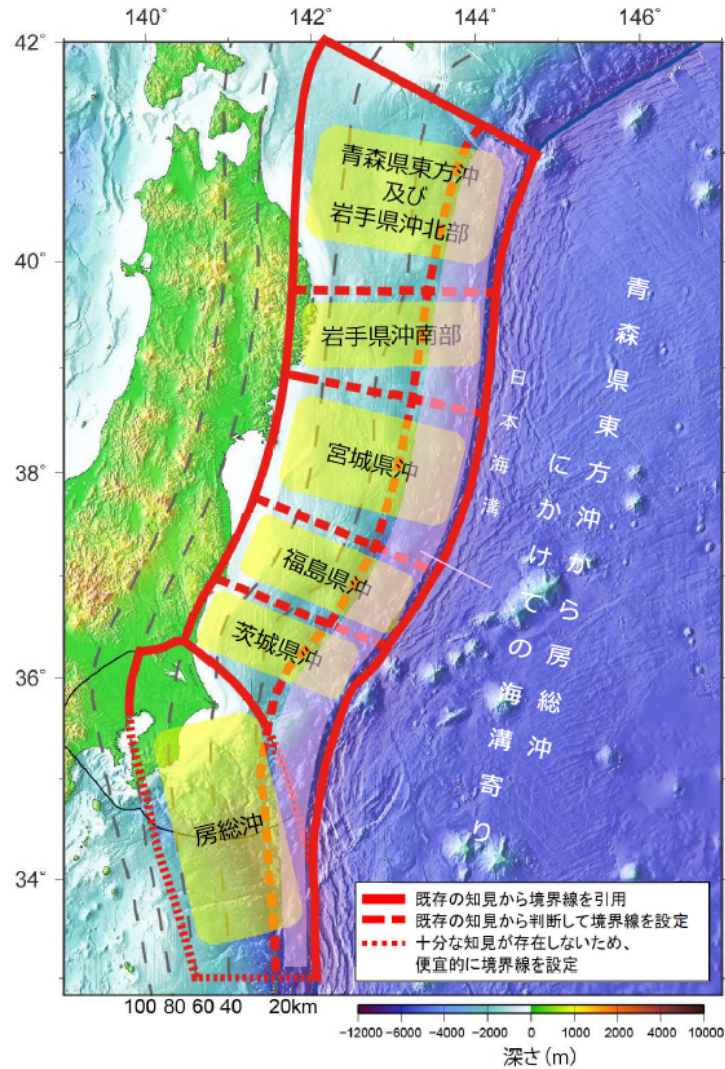
項目		記号(単位)	基本ケース	断層面位置の不確かさケース	短周期レベルの不確かさケース	地震規模の不確かさケース	設定根拠	
巨視的パラメータ	断層全体	走向	$\theta(^{\circ})$	0	←	←	←	海溝軸を踏まえ設定
		傾斜角	$\delta(^{\circ})$	32	←	←	←	海洋プレート上面に対して60°の傾斜角
		上端深さ	(km)	87.7	81.6	87.7	←	海洋プレートの沈み込みを考慮して設定
		下端深さ	(km)	96.3	90.2	96.3	←	上端深さ、断層幅、傾斜角より設定
		長さ	L(km)	24.3	←	←	53.0	断層面積より設定
		幅	W(km)	16.2	←	←	←	海洋性マントル上端～応力中立面を飽和する長さ
		断層面積	S(km ²)	392	←	←	858	$S=(49\pi^4Vs^4M_0^2)/(16A^2S_a)$
		モーメントマグニチュード	Mw	7.1	←	←	7.4	$Mw=(\log M_0-9.1)/1.5$
		地震モーメント	M ₀ (N・m)	4.9E+19	←	←	1.6E+20	F-net(2021年2月13日福島県沖の地震) 地震規模の不確かさケースはM ₀ =10 ^(1.5Mw+9.1)
		平均応力降下量	$\Delta\sigma$ (MPa)	15.4	←	←	←	$\Delta\sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		剛性率	μ (N/m ²)	4.80E+10	←	←	←	$\mu=\rho Vs^2, \rho=3.0g/cm^3$ (川瀬・松尾(2004))
		平均すべり量	D(m)	2.6	←	←	3.8	$D=M_0/(\mu S)$
		S波速度	V _s (km/s)	4.0	←	←	←	川瀬・松尾(2004)
		破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.9	←	←	←	$Vr=0.72Vs$
短周期レベル	A(Nm/s ²)	7.76E+19	←	1.16E+20	1.15E+20	$A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \times \alpha$ (短周期レベルの不確かさケースのみ $\alpha=1.5$, その他ケースは $\alpha=1$)		
微視的パラメータ	全 S M G A	面積	S _a (km ²)	78	←	←	170	$S_a=1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$
		地震モーメント	M _{0a} (N・m)	1.9E+19	←	←	6.3E+19	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
		応力降下量	$\Delta\sigma_a$ (MPa)	77.6	←	116	77.6	$\Delta\sigma_a=(S/S_a) \times \Delta\sigma \times \alpha$ (短周期レベルの不確かさケースのみ $\alpha=1.5$, その他ケースは $\alpha=1$)
		平均すべり量	D _a (m)	5.2	←	←	7.7	$D_a=2 \times D$
	各 S M G A	面積	S _{ai} (km ²)	-	-	-	85	$S_{ai}=S_a/2$
		地震モーメント	M _{0ai} (N・m)	-	-	-	3.1E+19	$M_{0ai}=M_{0a}/2$
		応力降下量	$\Delta\sigma_{ai}$ (MPa)	-	-	-	77.6	$\Delta\sigma_{ai}=\Delta\sigma_a$
		平均すべり量	D _{ai} (m)	-	-	-	7.7	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$
		短周期レベル	A _{ai} (Nm/s ²)	-	-	-	8.11E+19	$A_{ai}=4\pi r_{ai} \Delta\sigma_{ai} V_s^2, r_{ai}=(S_{ai}/\pi)^{1/2}$
	背景領域	面積	S _b (km ²)	314	←	←	688	$S_b=S-S_a$
		地震モーメント	M _{0b} (N・m)	3.0E+19	←	←	9.6E+19	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
		実効応力	σ_b (MPa)	14.6	←	21.9	16.7	$\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a) \Delta\sigma_a$ 地震規模の不確かさケースは $\sigma_b=(D_b/W_b)(\pi^{1/2}/D_a)r_a \Sigma(r_{ai}/r_a)^3 \Delta\sigma_a, r_a=(S_a/\pi)^{1/2}$
		平均すべり量	D _b (m)	2.0	←	←	2.9	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	高周波遮断振動数		fmax(Hz)	18	←	←	←	浅野ほか(2004)を参照
Q値		-	115f ^{0.77}	←	←	←	川瀬・松尾(2004)	

← : 同左を示す

4.1 震源モデルの設定 (7/7)



地震本部(2019)の長期評価における地震規模との比較



地震本部(2019)

- 地震本部(2019)では、日本海溝沿いの地震の長期評価を行っており、沈み込んだプレート内の地震としてM7.0～M7.5程度の規模が想定されている。
- 東北日本弧の検討用地震は、基本ケースでM7.3, 地震規模の不確かさケースでM7.5に相当する規模の地震を敷地に近い位置に想定しており、震源モデルの設定は適切であることを確認した。

想定している地震の規模の比較

想定震源	想定される領域	規模	発生確率
日本海溝沿いの沈み込んだプレート内地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部から茨城県沖にかけて	M7.0～M7.5程度	今後30年以内で60～70%
検討用地震(敷地下方の想定スラブ内地震)	青森県東方の敷地に近い位置	基本:M7.3 不確かさ:M7.5※	—

※ :P.41参照。

日本海溝沿いの地震活動の長期評価における評価対象領域
(海洋プレート内地震については、赤枠外の地震も評価)

地震動の評価方針

■ 応答スペクトルに基づく地震動評価手法

- 片岡ほか(2006)にて震源の広がりや地震規模に加え、短周期レベルを考慮して水平成分の地震動を評価可能な予測式が提案されていることから、片岡ほか(2006)の方法による地震動評価を行う。
- また、水平成分に加えて鉛直成分も評価できる予測式が提案されていることから、Noda et al.(2002)の方法による地震動評価も行う。評価にあたっては、敷地周辺で発生した海洋プレート内地震の観測記録に基づく補正を考慮する。

■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価手法

- 要素地震に適した地震※が発生していないことから、統計的グリーン関数法(釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997))により地震動評価を行う。

※：想定した断層面付近で発生した、規模の差がM2程度以内の、地震のタイプ・メカニズムが想定地震と類似している地震。

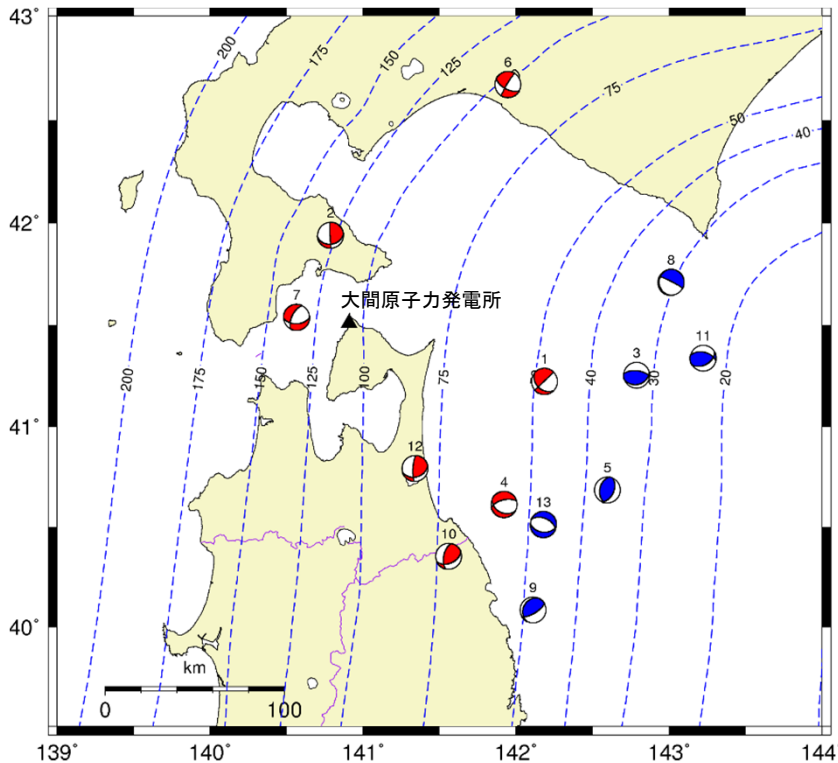
Noda et al.(2002)の方法における補正係数の算定

- 片岡ほか(2006)によると、海洋プレート内地震の短周期成分はプレート間地震や内陸地殻内地震よりも大きい傾向があるため、観測記録を踏まえ補正する。
- 基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m)における、観測記録のはぎとり波の応答スペクトルとNoda et al.(2002)による応答スペクトルとの比(残差)を算出する。残差の計算は、Noda et al.(2002)のデータ範囲(M5.5~M7.0, Xeq=28km~202km)の地震を用いた。
- 地震タイプで分けるほどの観測記録数はないことから、観測記録との残差を参考に、サイト補正係数は水平成分、鉛直成分ともに3倍とした。

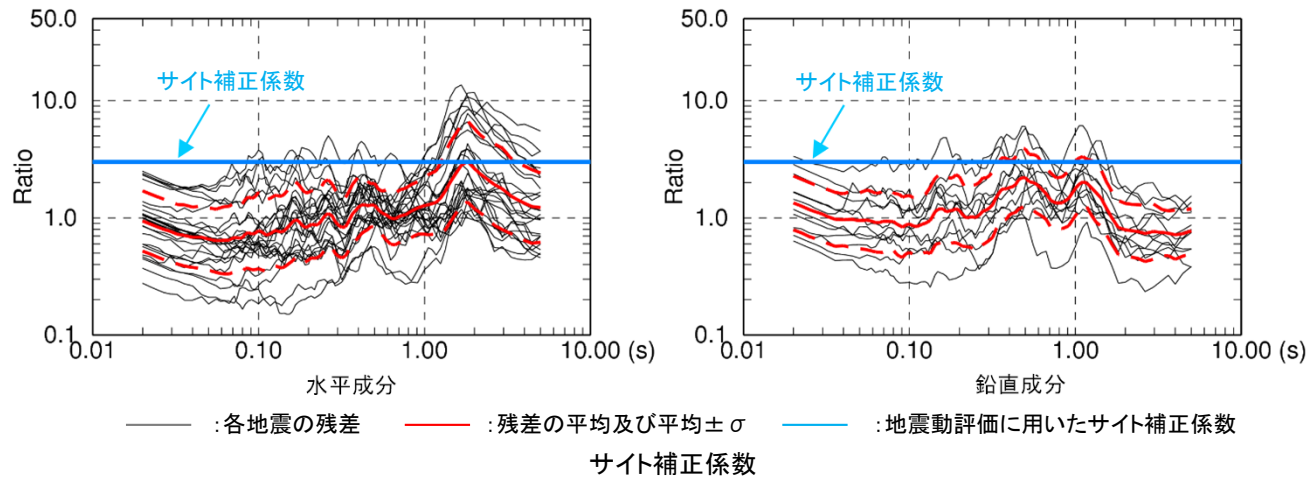
サイト補正係数の計算に用いた地震諸元

No.	発震時刻	緯度(°)	経度(°)	M	深さ(km)	震源距離(km)
1	1990/11/02 21:50	41.223	142.185	5.7	72	132
2	1992/08/24 15:59	41.940	140.787	6.1	121	130
3	1993/11/24 05:07	41.253	142.788	5.6	48	166
4	2001/04/03 04:54	40.613	141.921	5.6	63	145
5	2005/02/26 21:37	40.685	142.596	5.7	45	174
6	2007/04/19 00:07	42.671	141.947	5.6	126	199
7	2008/09/22 16:31	41.538	140.566	5.6	152	154
8	2011/08/01 02:35	41.710	143.013	5.5	37	180
9	2015/02/17 13:46	40.085	142.112	5.7	50	194
10	2015/07/10 03:32	40.354	141.560	5.7	88	164
11	2018/11/28 11:23	41.337	143.223	5.7	11	194
12	2019/08/15 14:32	40.792	141.339	5.5	93	127
13	2019/12/19 15:21	40.513	142.179	5.5	50	161

$$\text{残差} = \frac{\text{基盤の地震動を評価する位置(T.P.-230m, } V_s=860\text{m/s)でののはぎとり波}}{\text{Noda et al.(2002)による} V_s=860\text{m/sの基盤面での応答スペクトル}}$$



サイト補正係数の計算に用いた地震の震央位置
(青:震源深さ<60km, 赤:震源深さ≥60km)



— :各地震の残差 — :残差の平均及び平均±σ — :地震動評価に用いたサイト補正係数
サイト補正係数

4.2 地震動評価手法 (3/3)

統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル

- 統計的グリーン関数法による地震動評価に用いる地下構造モデルを示す。

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Qs	Vp (m/s)	Qp
▼ 基盤の地震動を 評価する位置※	1	-330	100	1.6	860	50	2070	60
	2	-820	490	2.3	1700	80	3500	60
	3	-1770	950	2.5	2200	290	4400	150
▼ 地震基盤	4	-2210	440	2.7	2700		5200	
	5	-	-	2.7	3200	550	5400	210

※：鉛直アレイ地震観測地点において解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定している。

4.3 地震動評価結果 (1/14)



応答スペクトルに基づく地震動評価結果

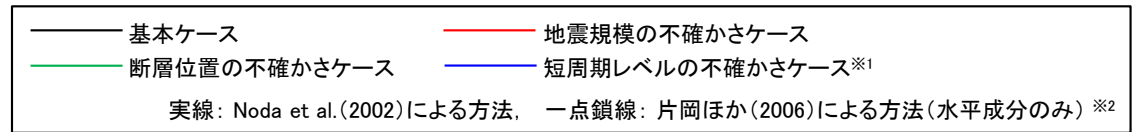
- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- サイト補正係数を考慮したNoda et al.(2002)による方法の地震動評価は、水平成分の短周期域について、片岡ほか(2006)による方法の地震動評価とよい対応を示している。

片岡ほか(2006)による方法のパラメータ

ケース	地震規模 Mw	断層最短距離 (km)	短周期レベル (N・m/s ²)
基本ケース	7.1	98	7.76E+19
断層位置の不確かさケース	7.1	91	7.76E+19
地震規模の不確かさケース	7.4	98	1.15E+20
短周期レベルの不確かさケース	7.1	98	1.16E+20

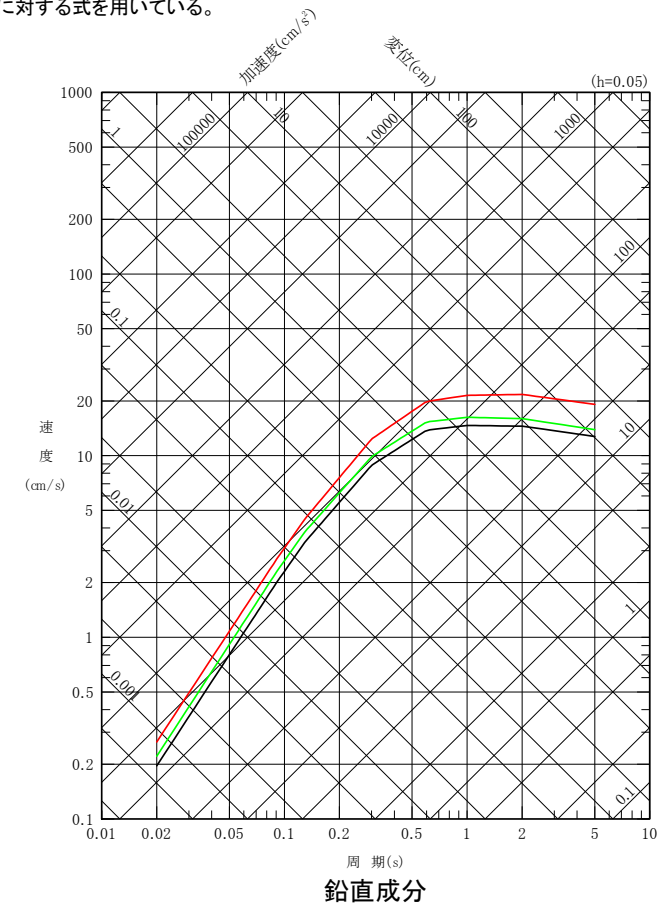
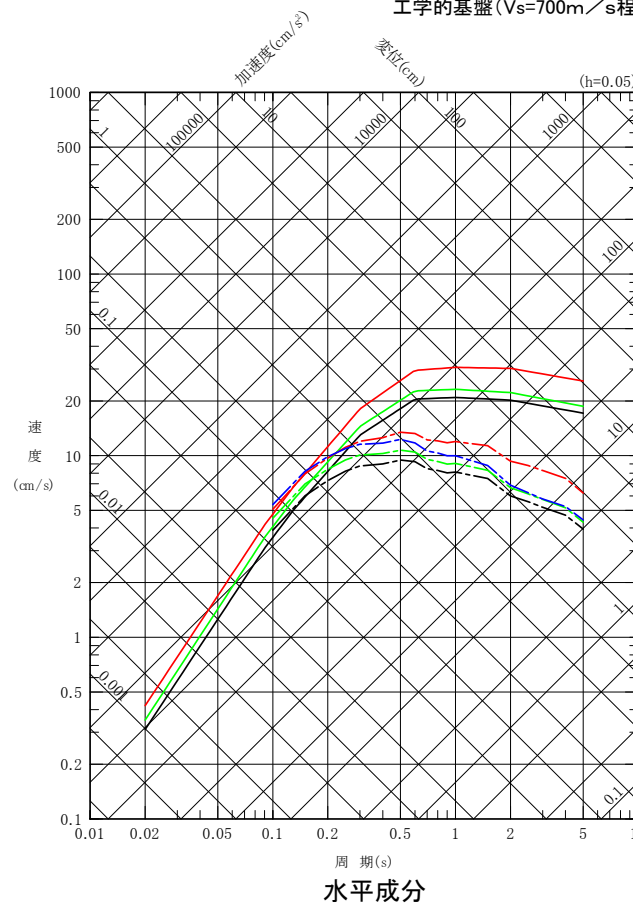
Noda et al.(2002)による方法のパラメータ

ケース	地震規模 M	等価震源距離 (km)
基本ケース	7.3	103
断層位置の不確かさケース	7.3	96
地震規模の不確かさケース	7.5	104



※1: 片岡ほか(2006)による方法のみ評価。

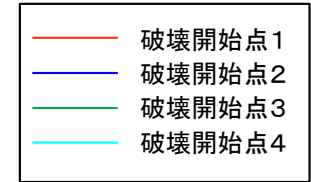
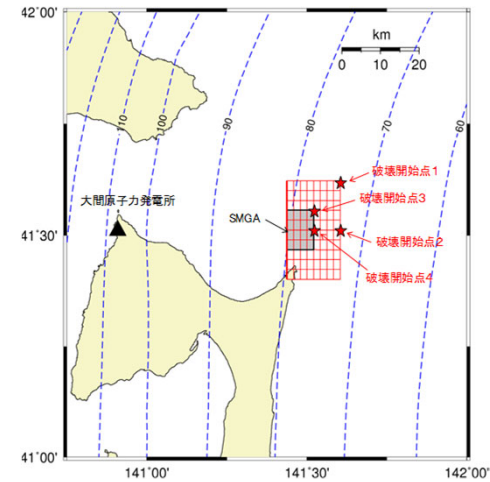
※2: 片岡ほか(2006)は水平2成分の合成値に対する評価式であるため、ここでは $\sqrt{2}$ で除して水平1成分としている。工学的基盤 ($V_s=700\text{m/s}$ 程度) に対する式を用いている。



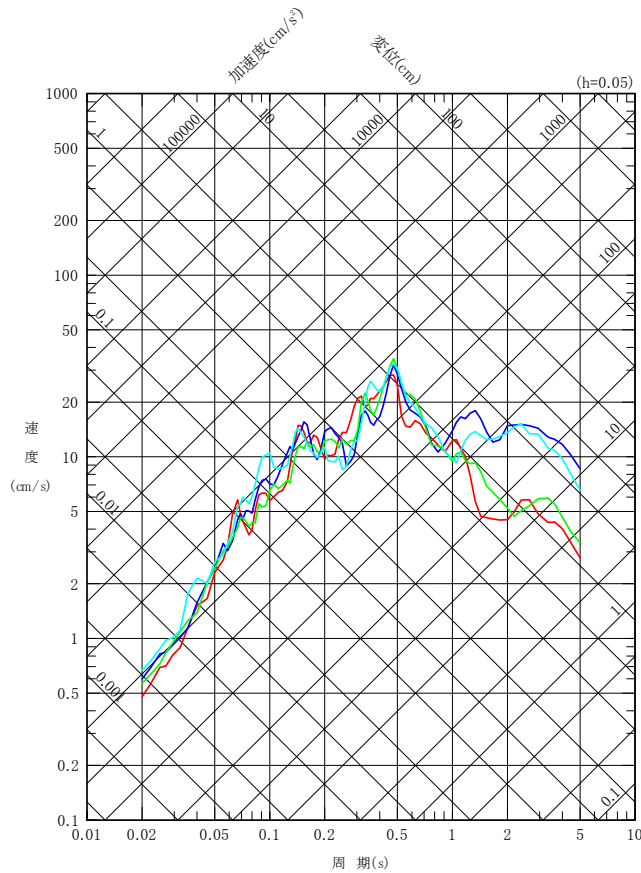
4.3 地震動評価結果 (2/14)



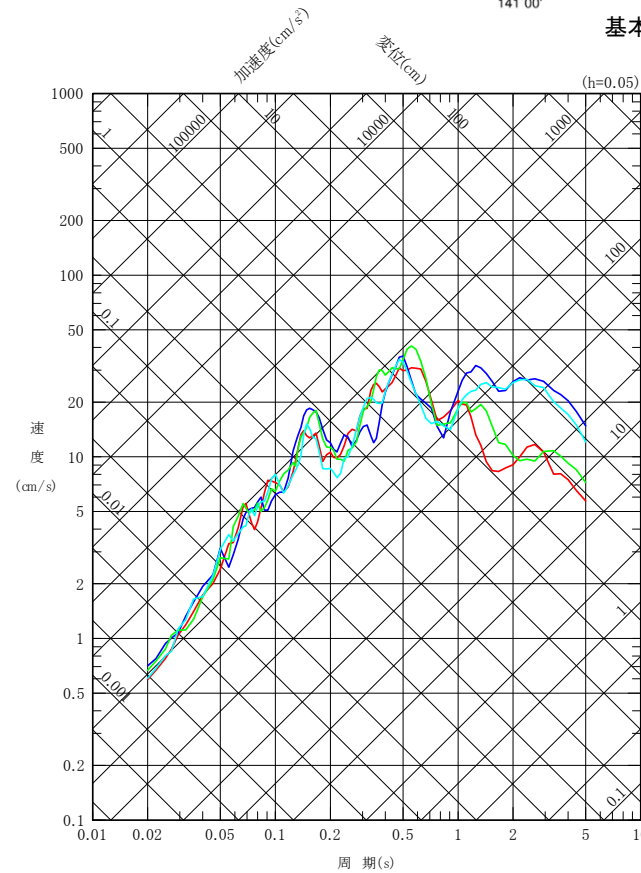
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 【基本ケース 応答スペクトル】



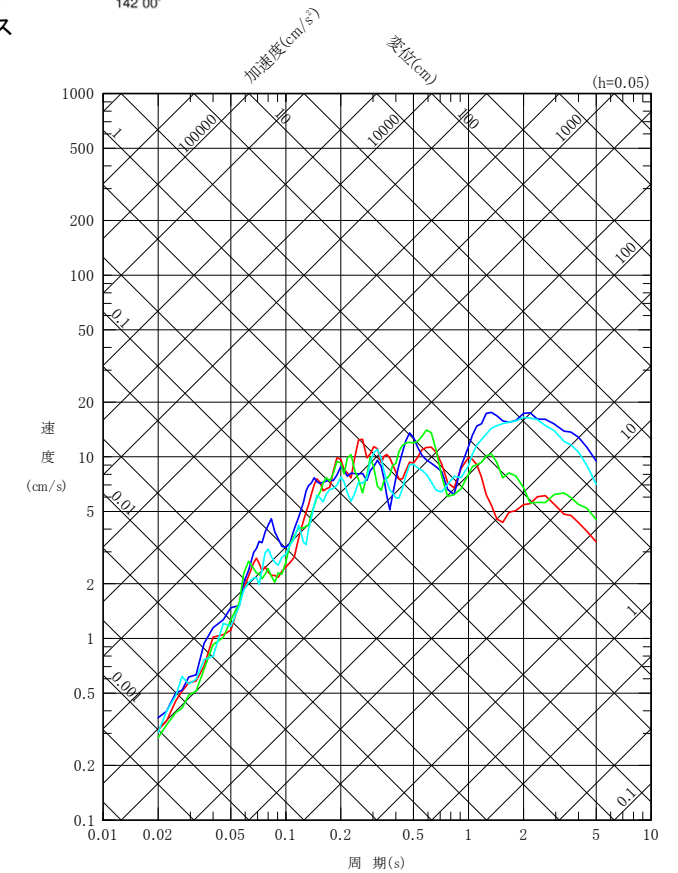
基本ケース



NS成分



EW成分



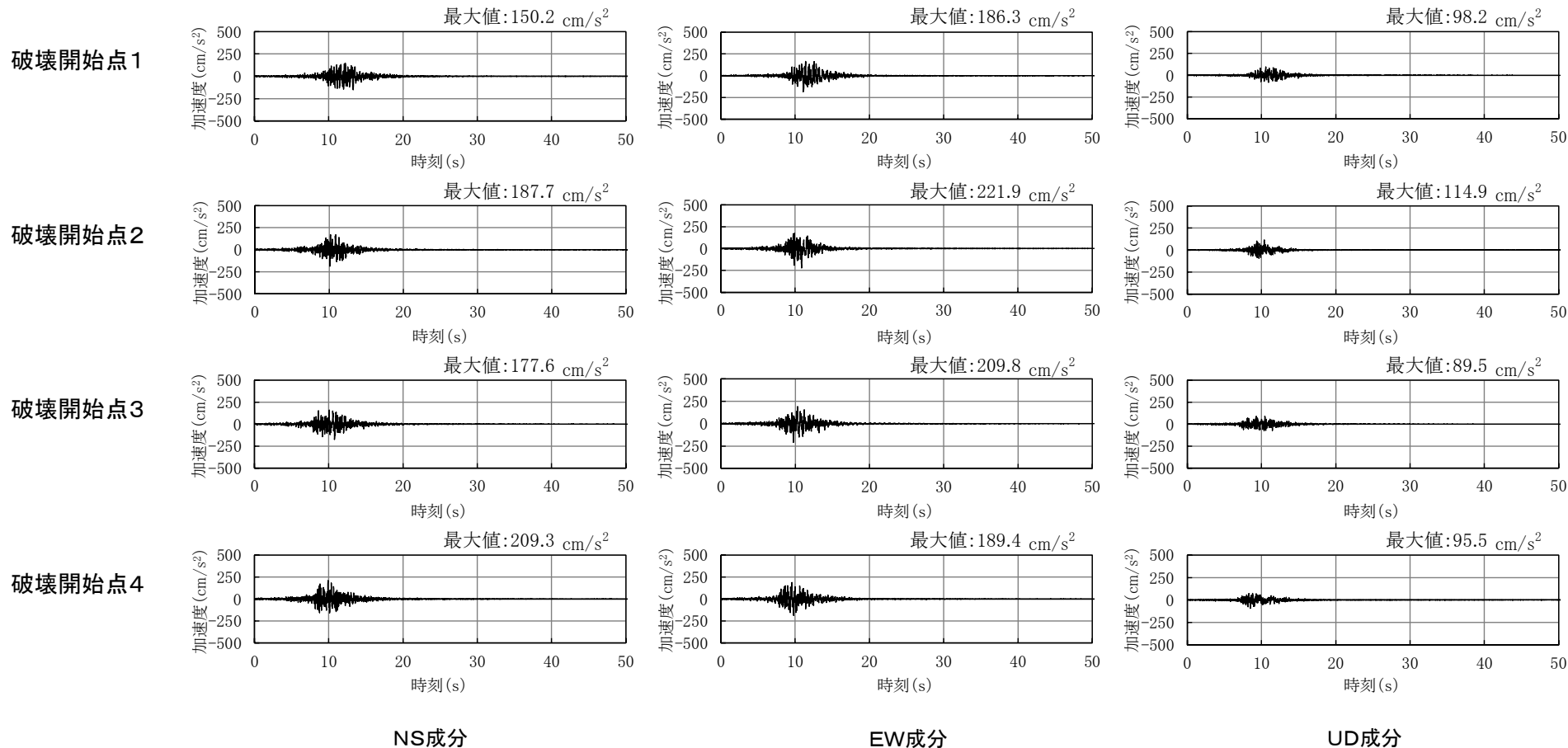
UD成分

4.3 地震動評価結果 (3/14)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 【基本ケース 時刻歴波形(1/2)】

加速度

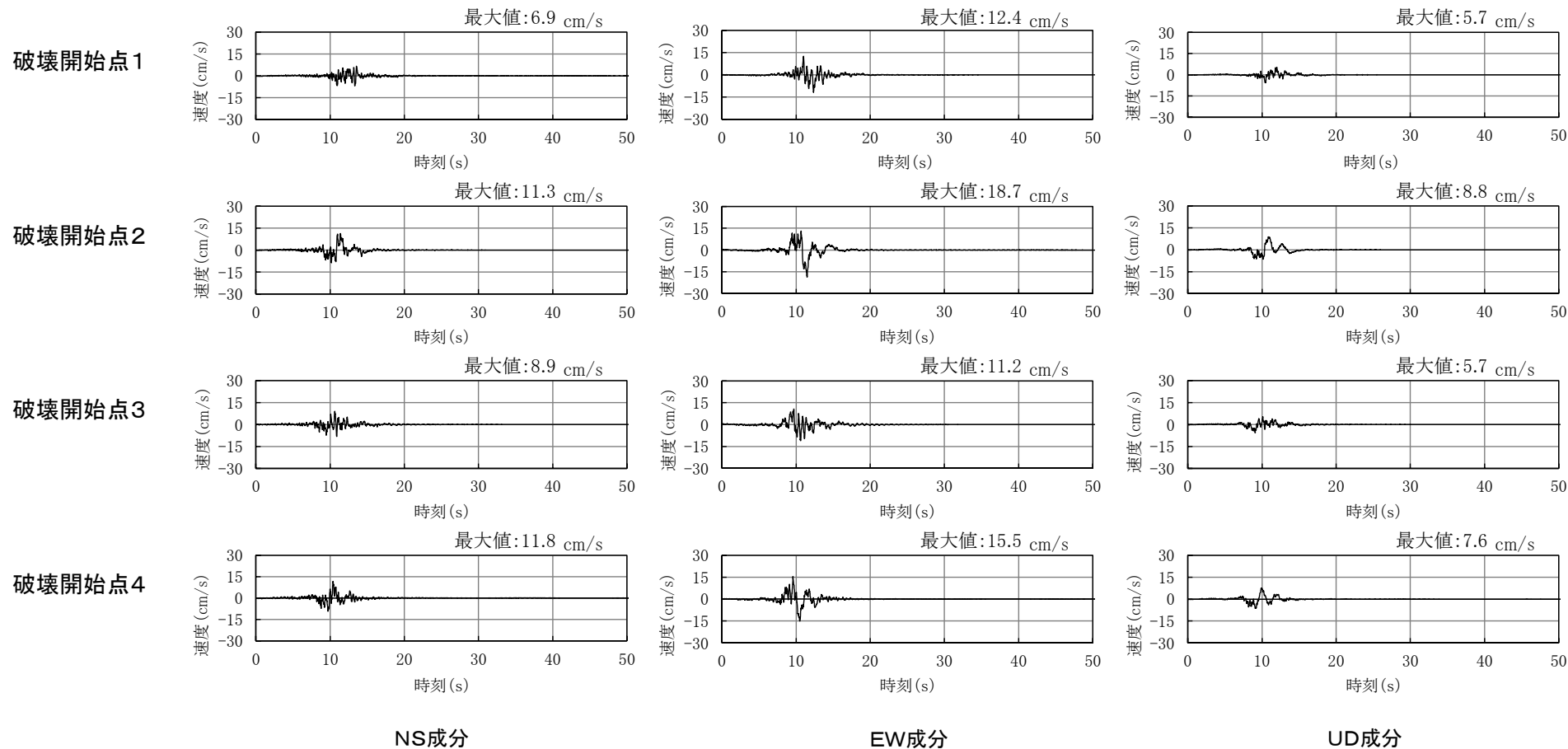


4.3 地震動評価結果 (4/14)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 【基本ケース 時刻歴波形(2/2)】

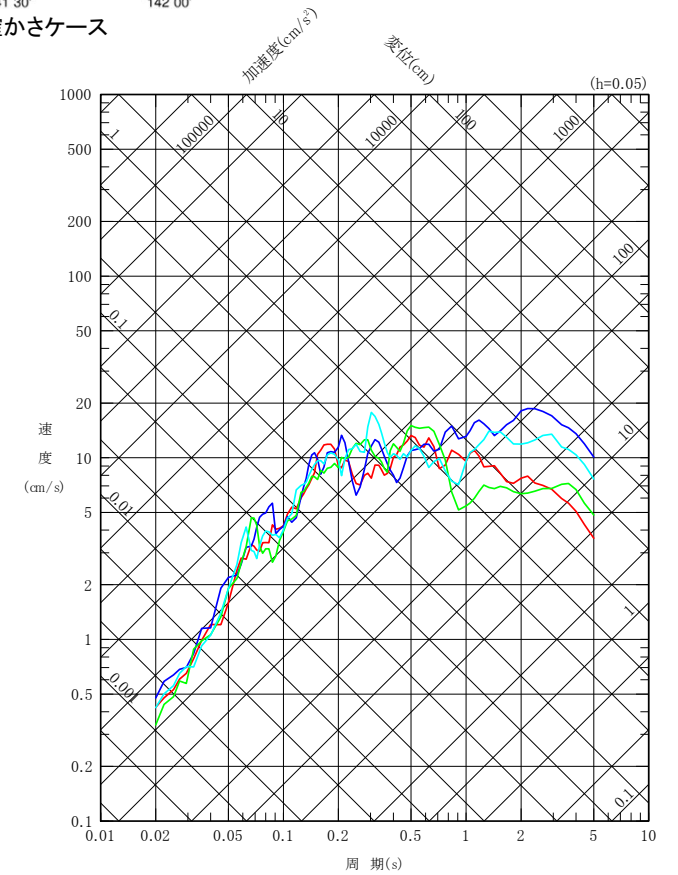
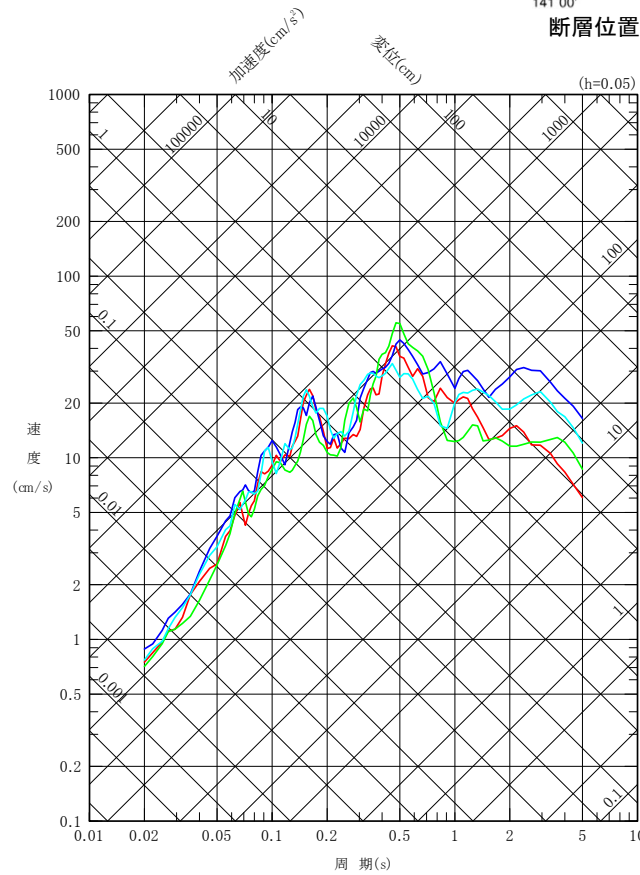
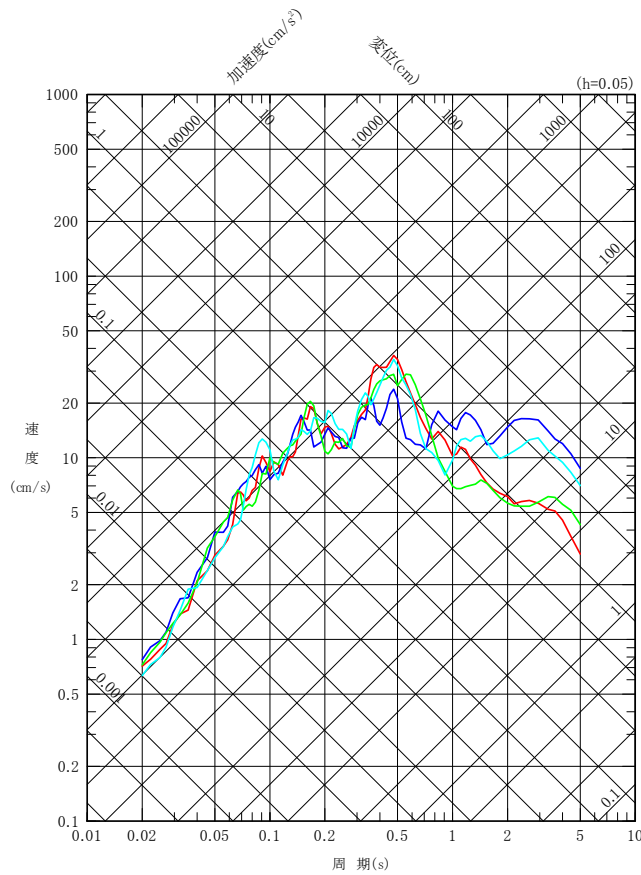
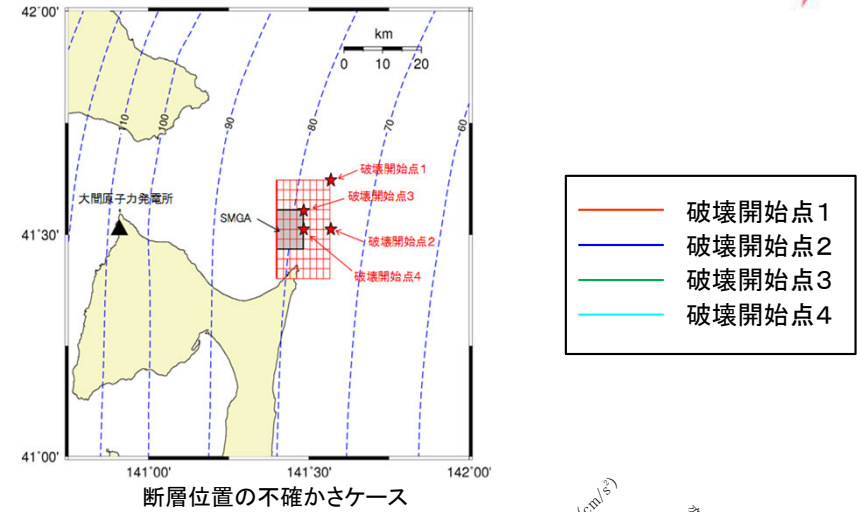
速度



4.3 地震動評価結果 (5/14)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 【断層位置の不確かさケース 応答スペクトル】



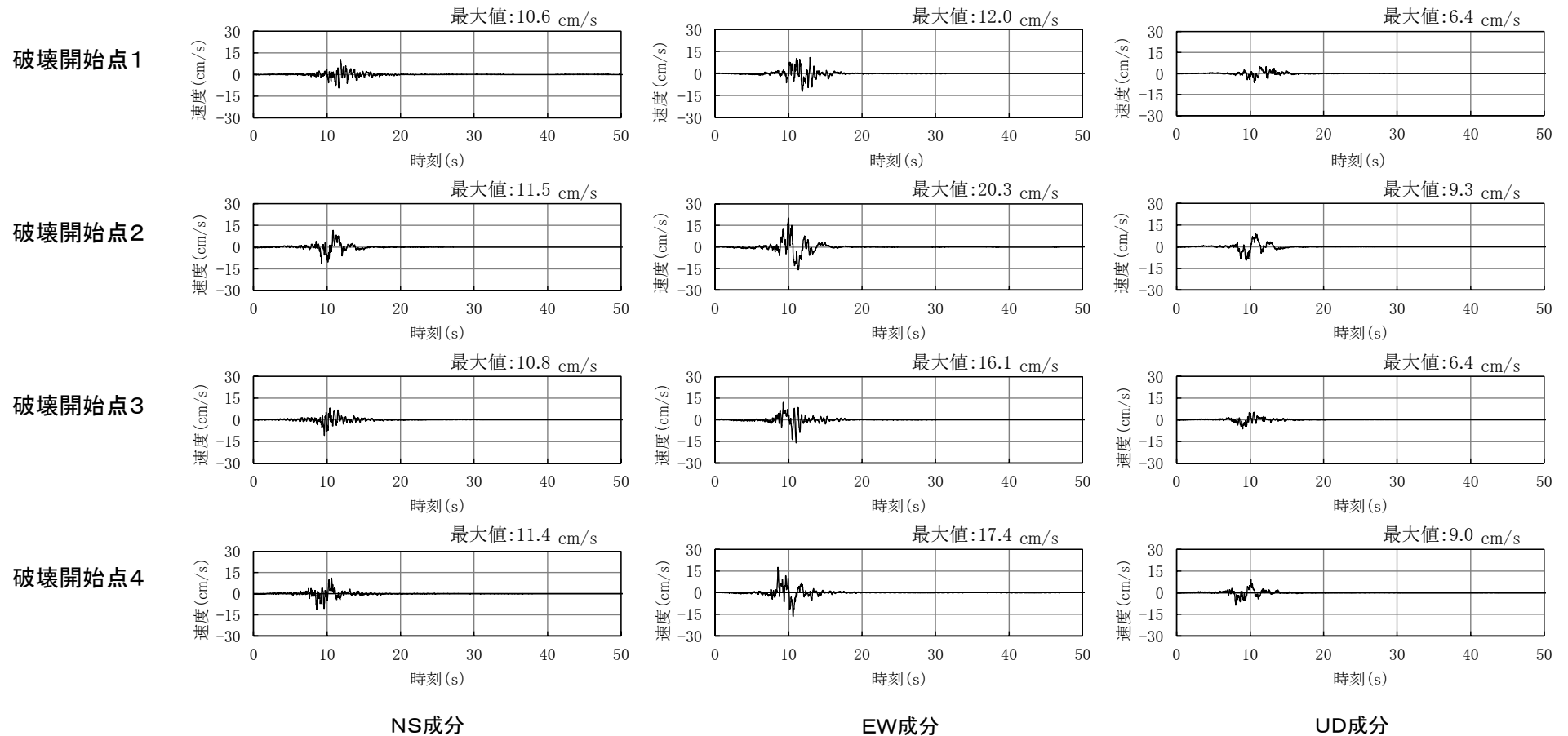
4.3 地震動評価結果 (7/14)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【断層位置の不確かさケース 時刻歴波形(2/2)】

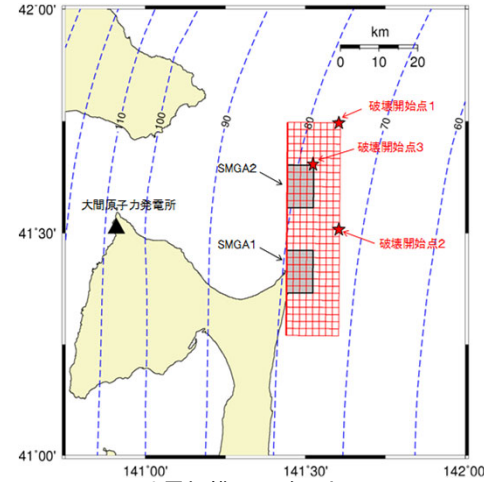
速度



4.3 地震動評価結果 (8/14)

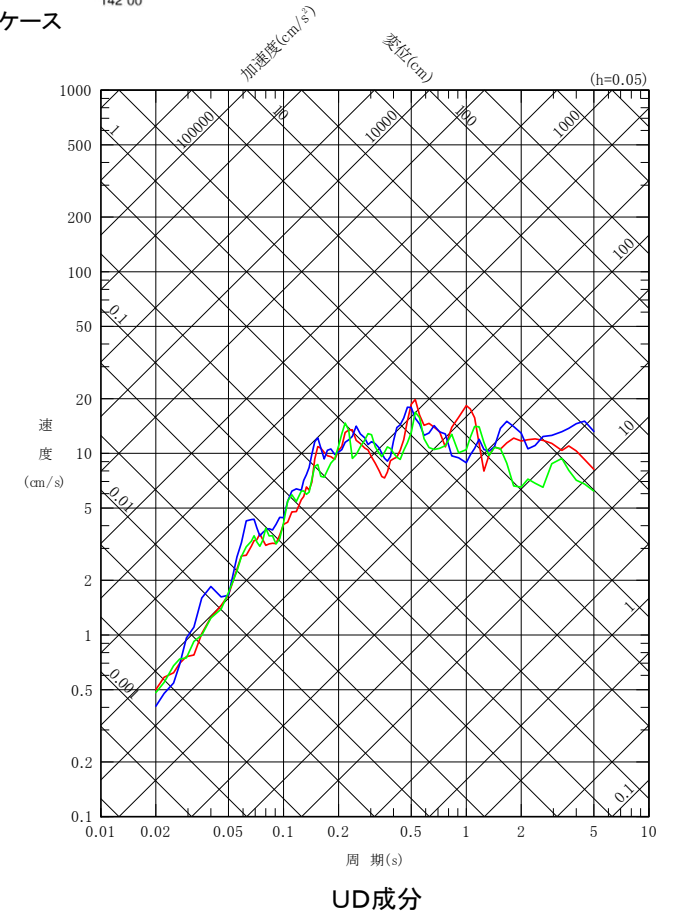
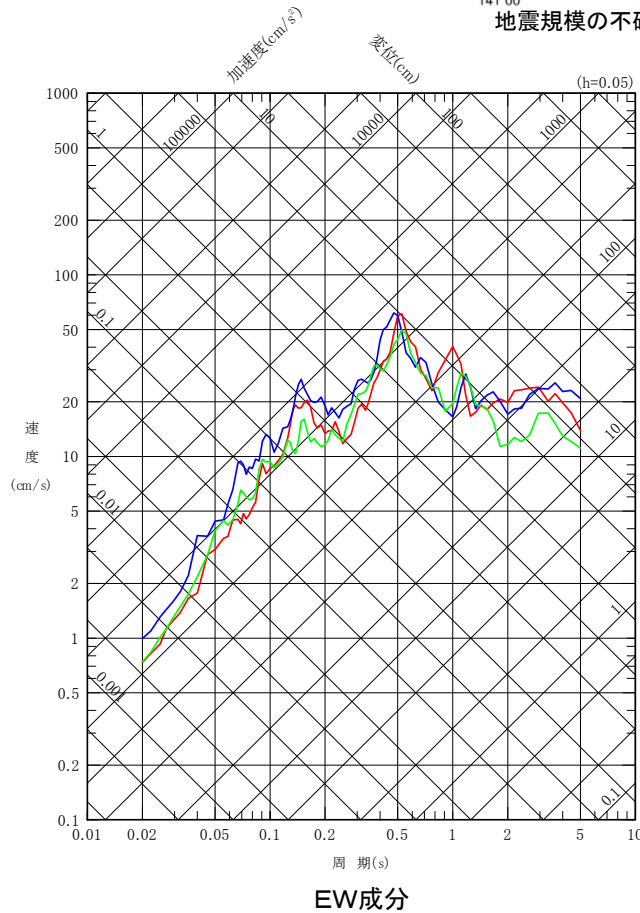
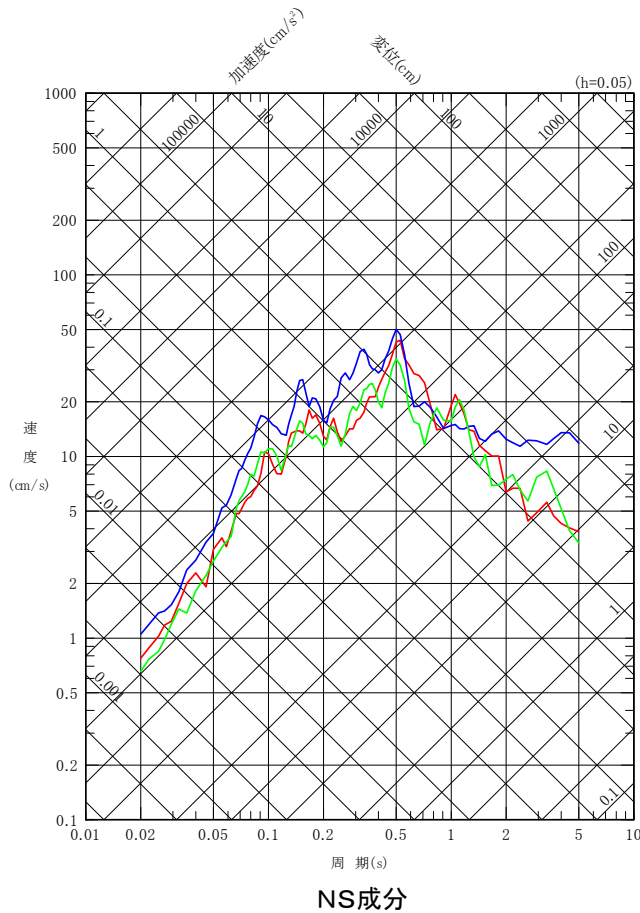


断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 【地震規模の不確かさケース 応答スペクトル】



- 破壊開始点1
- 破壊開始点2
- 破壊開始点3

地震規模の不確かさケース



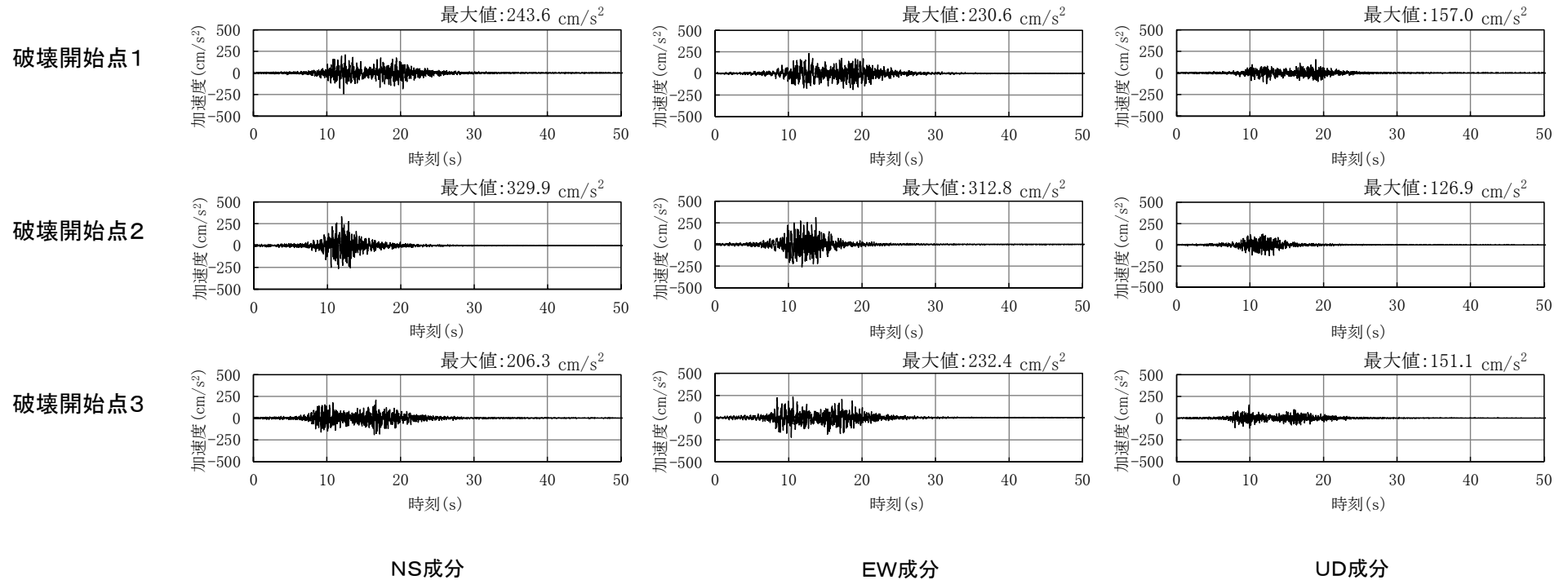
4.3 地震動評価結果 (9/14)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【地震規模の不確かさケース 時刻歴波形(1/2)】

加速度



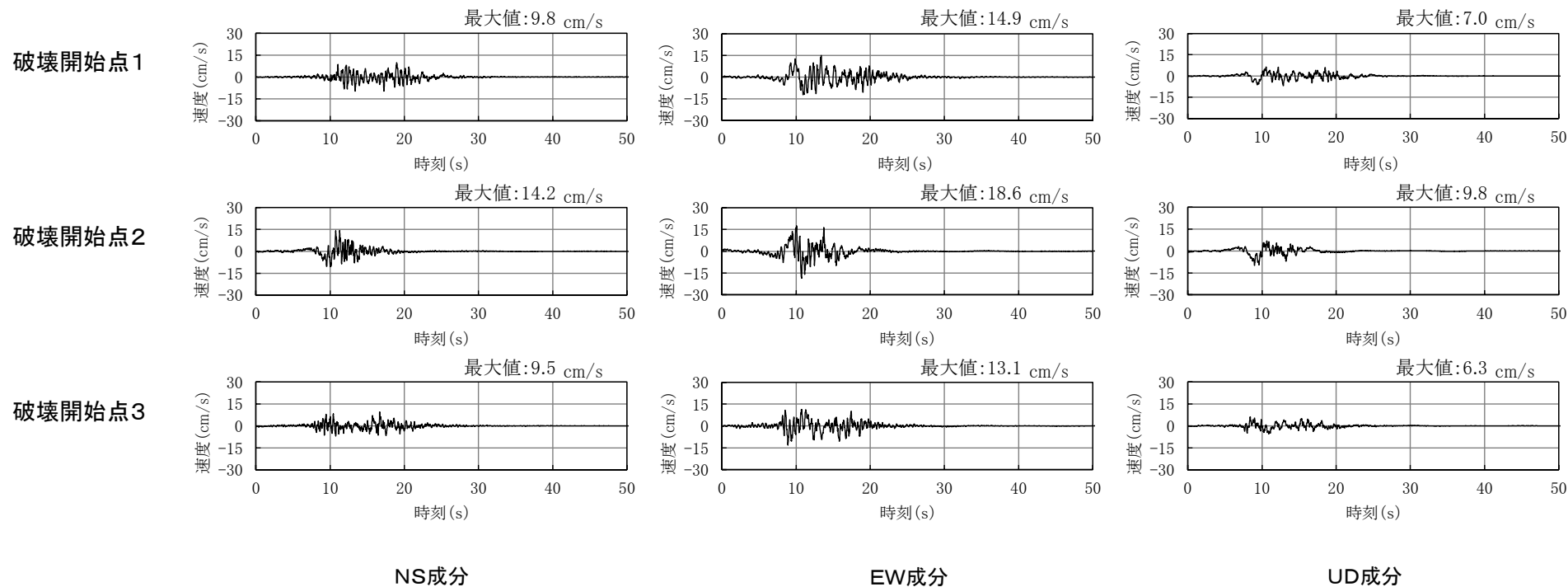
4.3 地震動評価結果 (10/14)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【地震規模の不確かさケース 時刻歴波形(2/2)】

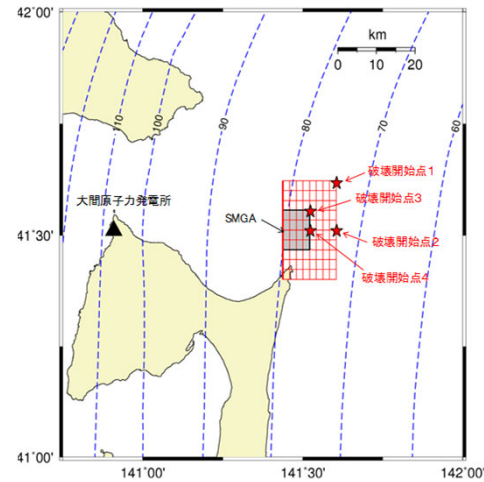
速度



4.3 地震動評価結果 (11/14)

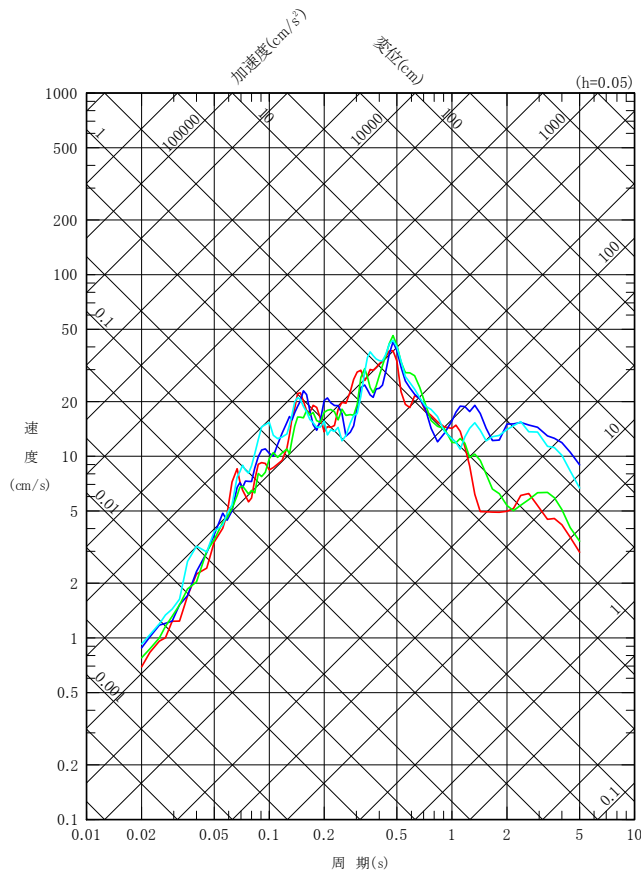


断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 【短周期レベルの不確かさケース 応答スペクトル】

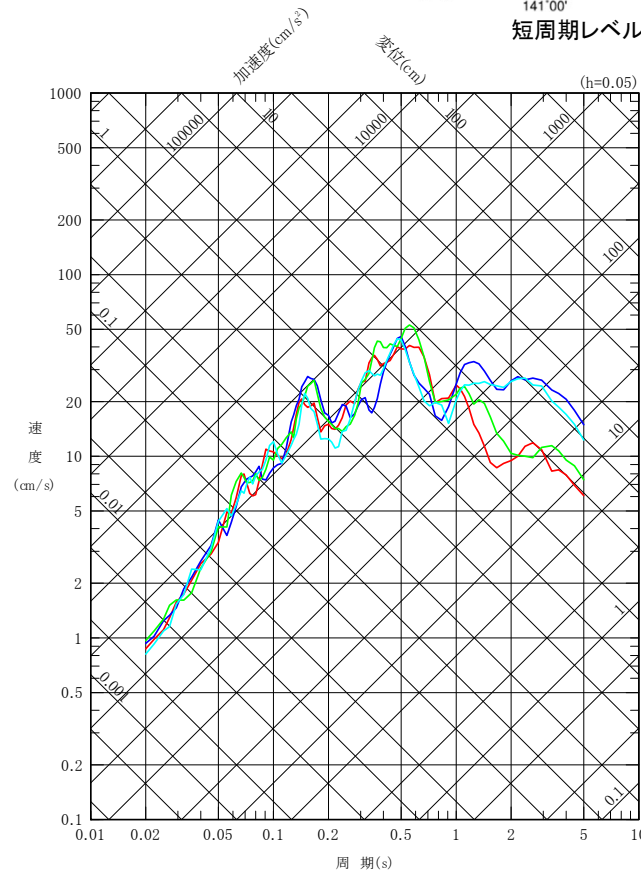


- 破壊開始点1
- 破壊開始点2
- 破壊開始点3
- 破壊開始点4

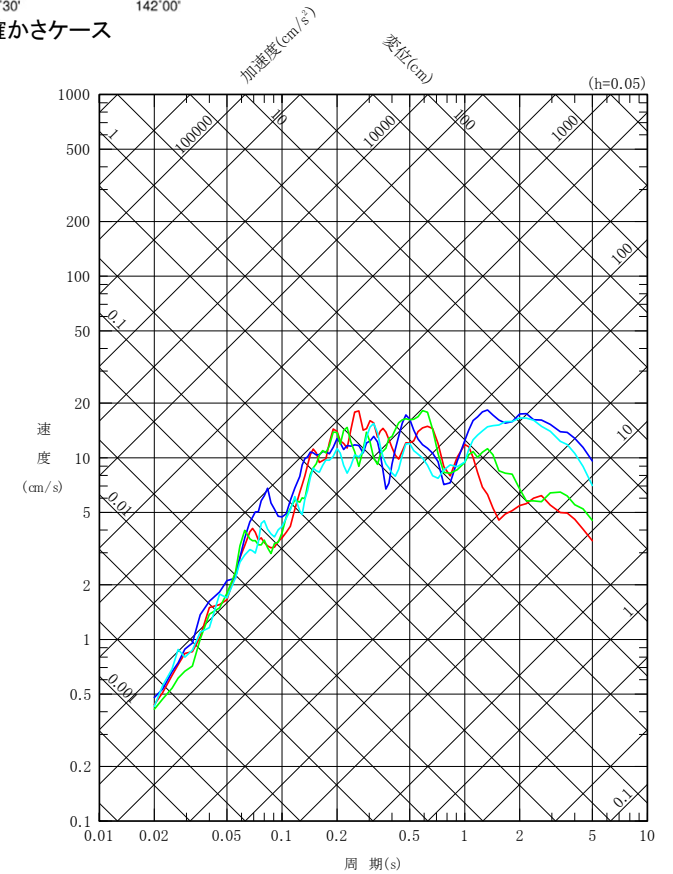
短周期レベルの不確かさケース



NS成分



EW成分



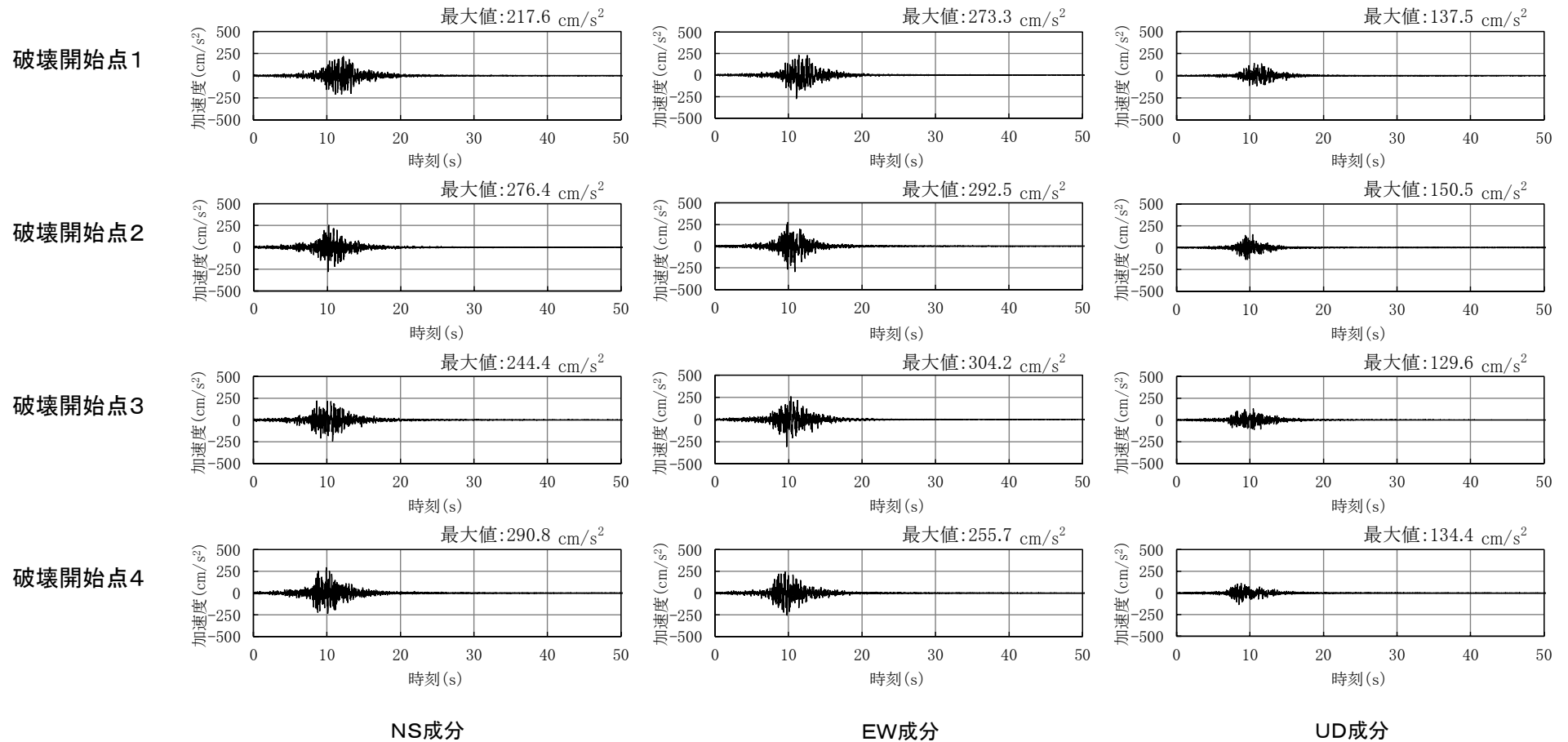
UD成分



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【短周期レベルの不確かさケース 時刻歴波形(1/2)】

加速度



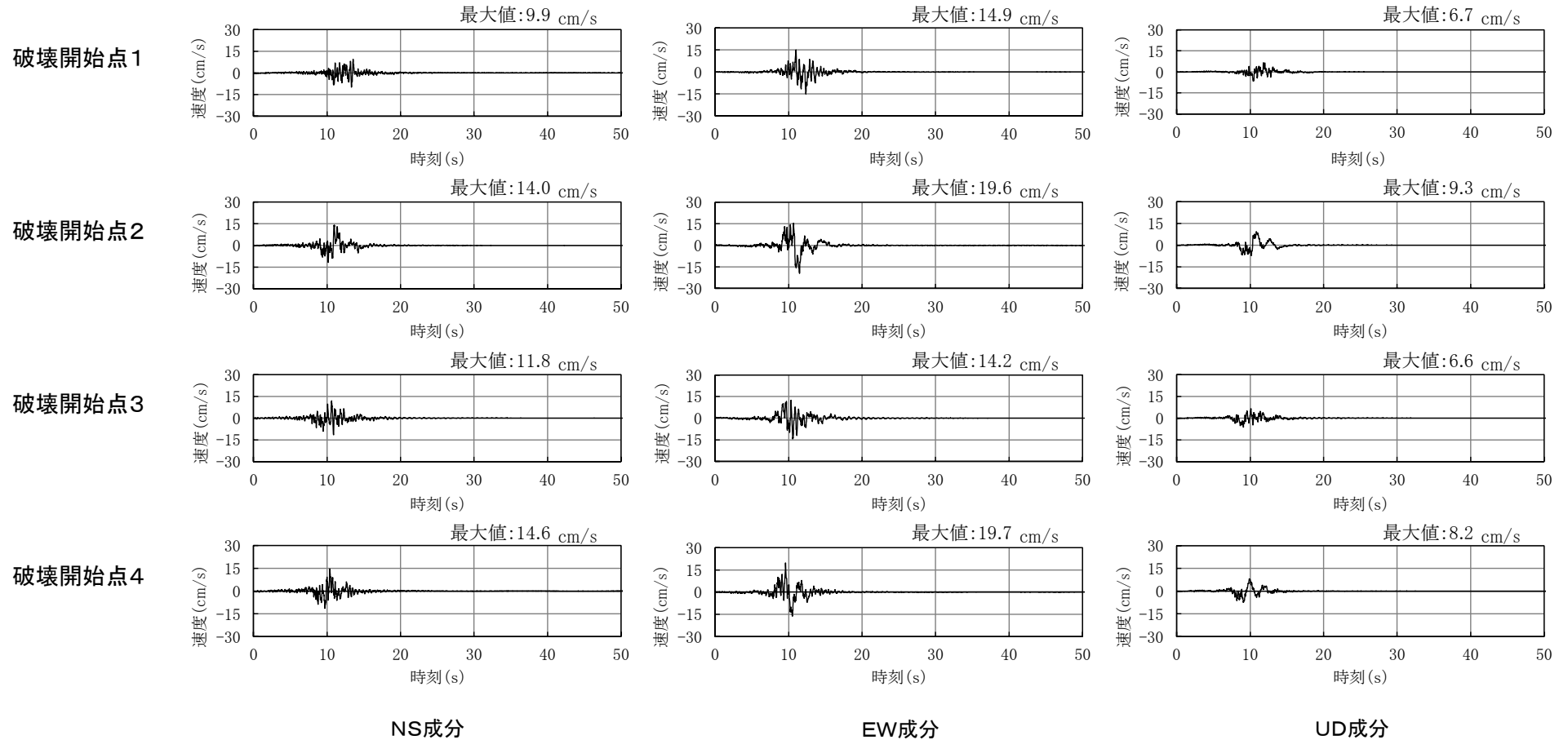
4.3 地震動評価結果 (13/14)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【短周期レベルの不確かさケース 時刻歴波形(2/2)】

速度



4.3 地震動評価結果 (14/14)

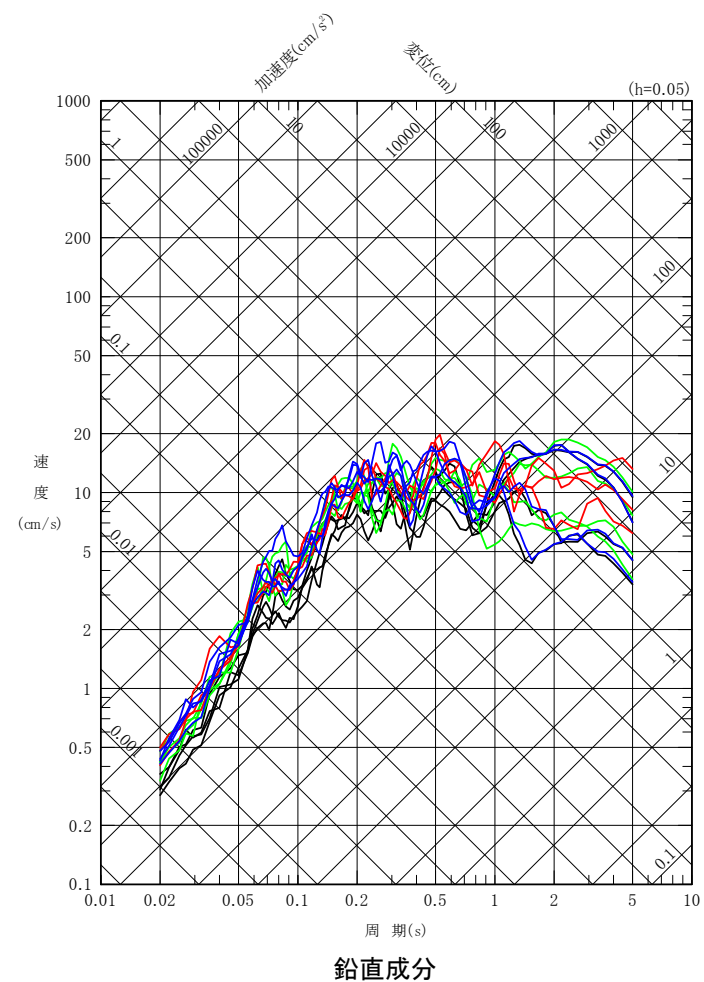
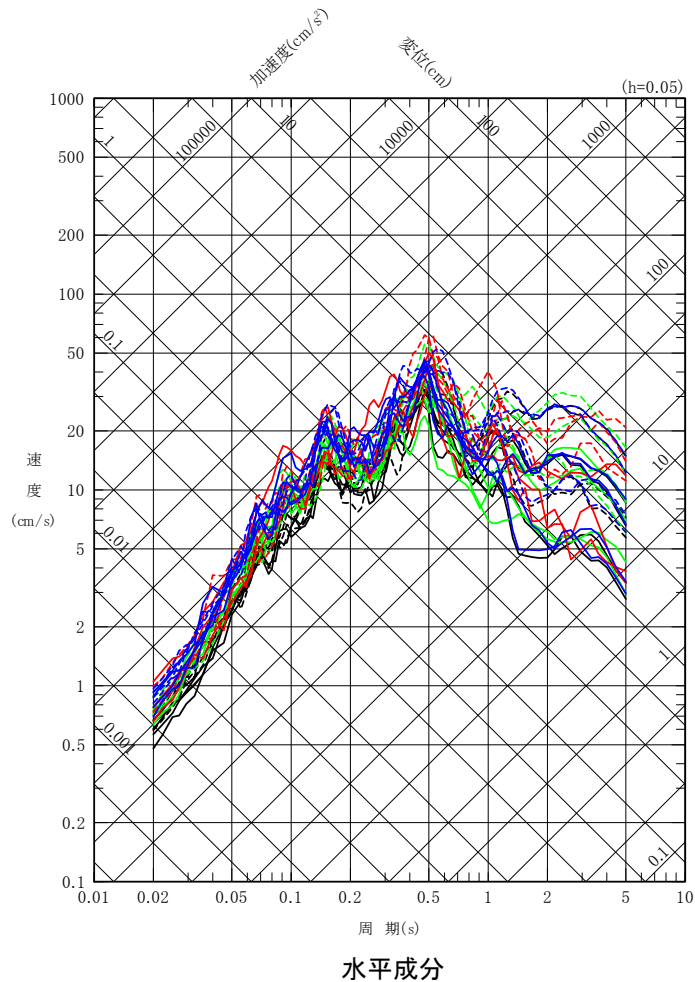


断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のまとめ

• 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を示す。

- 基本ケース (NS成分)
- - - 基本ケース (EW成分)
- 地震規模の不確かさケース (NS成分)
- - - 地震規模の不確かさケース (EW成分)
- 断層位置の不確かさケース (NS成分)
- - - 断層位置の不確かさケース (EW成分)
- 短周期レベルの不確かさケース (NS成分)
- - - 短周期レベルの不確かさケース (EW成分)

- 基本ケース (UD成分)
- 断層位置の不確かさケース (UD成分)
- 地震規模の不確かさケース (UD成分)
- 短周期レベルの不確かさケース (UD成分)



1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
2. 海洋プレート内地震の知見の整理
 - 2.1 世界の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.2 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の特徴の整理
 - 2.3 海洋プレート内で発生する地震のタイプと特徴
 - 2.4 東北日本弧と千島弧の海洋プレート内地震の発生状況
 - 2.5 海洋プレート内地震の知見の整理のまとめ
3. 検討用地震の選定
 - 3.1 検討用地震の選定方針
 - 3.2 東北日本弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.2.1 二重深発地震面の上面の地震
 - 3.2.2 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.2.3 沖合いのやや浅い地震
 - 3.3 千島弧に想定する海洋プレート内地震
 - 3.3.1 二重深発地震面の下面の地震
 - 3.3.2 沖合いのやや浅い地震
 - 3.4 検討用地震の選定
4. 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - 4.1 震源モデルの設定
 - 4.2 地震動評価手法
 - 4.3 地震動評価結果
5. 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 5.1 震源モデルの設定
 - 5.2 地震動評価手法
 - 5.3 地震動評価結果

5.1 震源モデルの設定 (1/7)

震源モデルの設定方針

- 強震動予測レシピにてパラメータ設定の考え方が示されていることを踏まえ、強震動予測レシピに基づき設定する。
- 千島弧の沖合いのやや浅い領域で発生した1994年北海道東方沖地震の特徴を踏まえ、震源モデルを設定する。

基本ケースの震源モデルの設定

【地震規模】

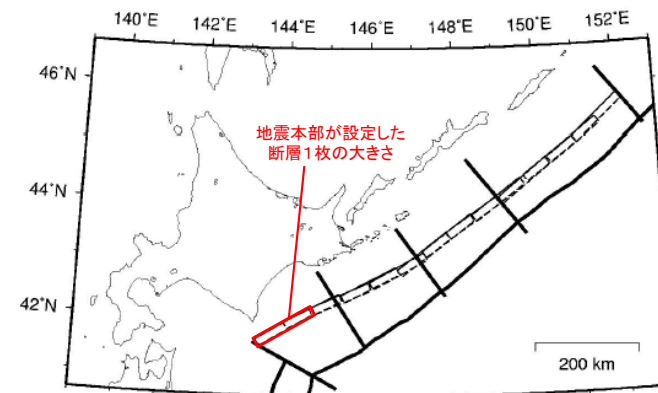
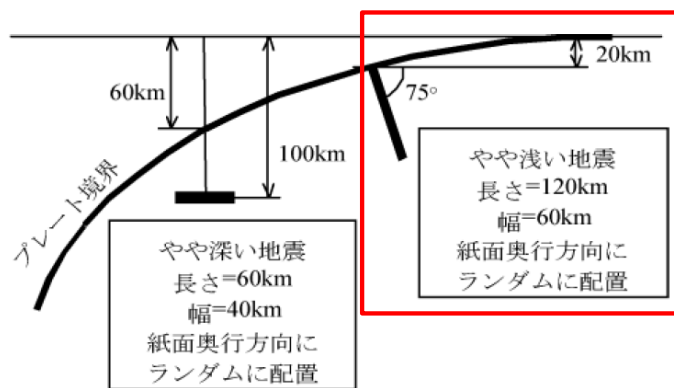
- 地震規模は、1994年北海道東方沖地震と同じ規模のMw8.3(M8.2)とする。

【断層位置】

- 1994年北海道東方沖地震と同じ地震が敷地の近くで発生すると考え、地震本部(2009)の「沈み込んだプレート内のやや浅い地震」の設定を参考に、断層上端深さ20km、傾斜角75°の断層面を設定する。断層面の西端は、千島弧と東北日本弧の境界部に対応する位置とし、千島弧の敷地に近い位置に設定する。

【断層位置】

- SMGAは、断層面中央に等間隔に配置したSMGAを、平行移動して敷地に寄せた位置に設定する。



地震本部(2009)に加筆

地震本部(2009)における「沈み込んだプレート内のやや浅い地震」の想定震源

5.1 震源モデルの設定 (2/7)

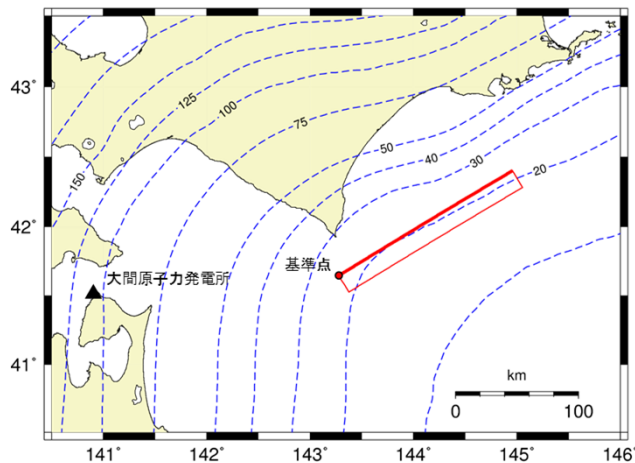
基本ケースの震源モデルの設定

• 基本ケースの震源モデルを下表に示す。

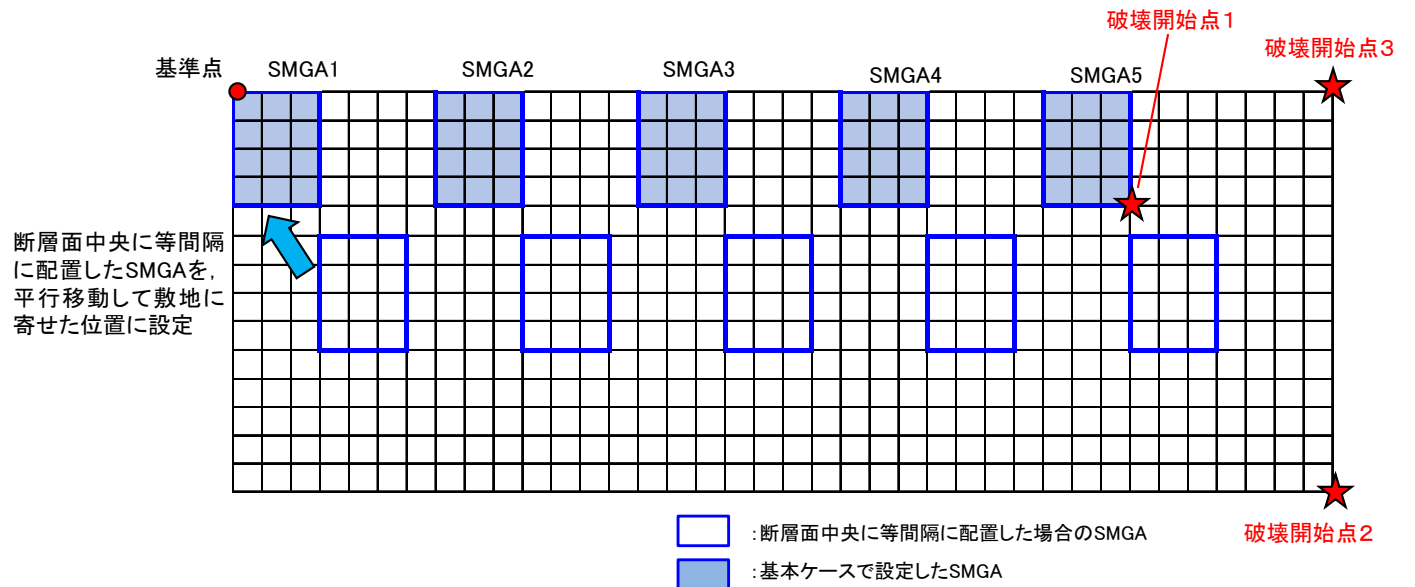
基本ケースの震源モデル

検討ケース	地震規模	断層位置	SMGA位置	短周期レベル	破壊開始点
基本ケース	Mw8.3 (M8.2)	<ul style="list-style-type: none"> 断層上端を海洋プレート上面深さ20kmの位置に設定 千島弧の敷地に近い位置に設定 	断層面中央に等間隔に配置したSMGAを、平行移動して敷地に寄せた位置に設定(下図)	震源を想定する位置周辺において、短周期レベルに関する知見が得られていないことから、強震動予測レシピに基づく標準的な値に設定。	複数設定

: 予め不確かさを取り込んで設定するパラメータ



基本ケースの震源モデル設定位置



: 断層面中央に等間隔に配置した場合のSMGA
 : 基本ケースで設定したSMGA
 破壊開始点1
 破壊開始点2
 破壊開始点3
 基本ケースの震源モデルのSMGA位置

5.1 震源モデルの設定 (3/7)




考慮する不確かさの整理

- 想定十勝沖スラブ内地震について、考慮する不確かさを示す。
- 基本ケースに対して、認識論的不確かさとして地震規模及び短周期レベルの不確かさを考慮する。

不確かさの重畳について、考え方は以下のとおり。

- 「認識論的不確かさ」については、それぞれ独立で不確かさを考慮する。
- 「偶然的な不確かさ」については、事前の把握が困難であるため、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。

不確かさの種類	パラメータ	基本ケースの考え方	不確かさの考慮
認識論的不確かさ	地震規模	1994年北海道東方沖地震と同じ規模の地震が起こるものと想定し、Mw8.3(M8.2)の規模を設定。	択捉島周辺で、1958年11月7日にMw8.4(M8.1)の地震が発生している。当該地震は択捉島周辺で発生した遠方の地震であるが保守的に敷地付近で発生するものとして、Mw8.4の規模を考慮する。なお、MIについては、地震本部(2017)の長期評価を参考に、M=MwとしてM8.4を考慮する。
	断層位置	位置	Gamage et al.(2009)は、“sharp bending point(東北日本弧において、海洋プレート上面深さ20kmとおおむね対応)”より沖側で浅部の二重浅発面が形成されるとしている。設定した断層面の先端は、海洋プレート上面深さ20kmの等深線と対応しており、Gamage et al.(2009)の知見と整合的であることから、不確かさは考慮しない。
		傾斜角	菊地・金森(1995)による1994年北海道東方沖地震の断層面を踏まえ、傾斜角を75°に設定。
	短周期レベル(応力降下量)	震源を想定する位置周辺において、短周期レベルに関する知見が得られていないことから、強震動予測レシピに基づく標準的な値に設定。	Morikawa and Sasatani(2004)による1994年北海道東方沖地震の震源モデルを踏まえ、レシピの2.0倍の短周期レベルを考慮する。
偶然的な不確かさ	SMGA位置	断層面中央に等間隔に配置したSMGAを、平行移動して敷地に寄せた位置に設定。	同左
	破壊開始点	破壊が敷地に向かうように、複数の破壊開始点を設定。	同左

 : 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

5.1 震源モデルの設定 (4/7)



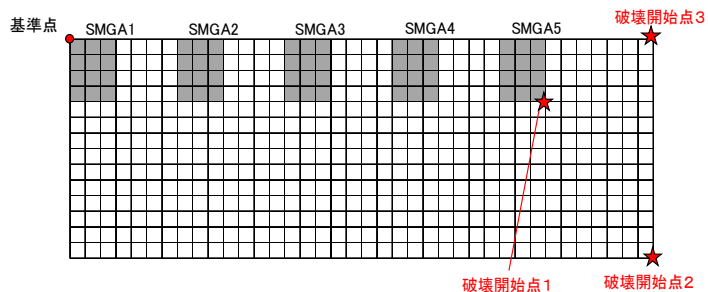
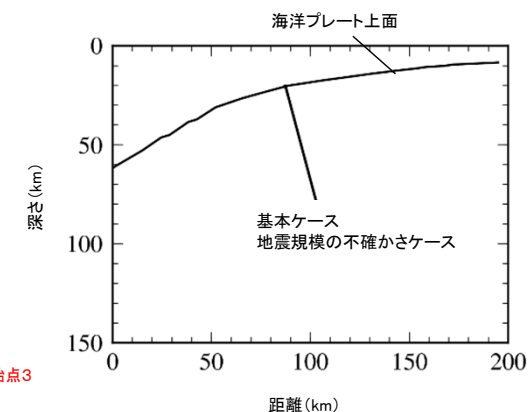
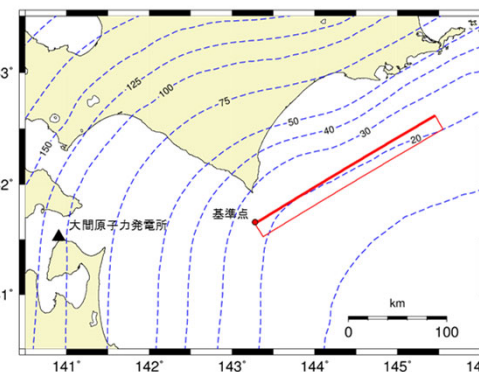
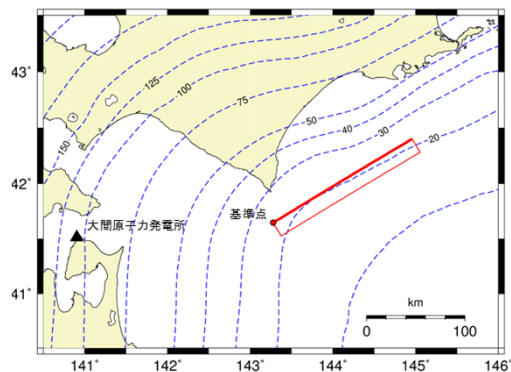
検討ケース一覧

- 想定十勝沖スラブ内地震の検討ケースを示す。

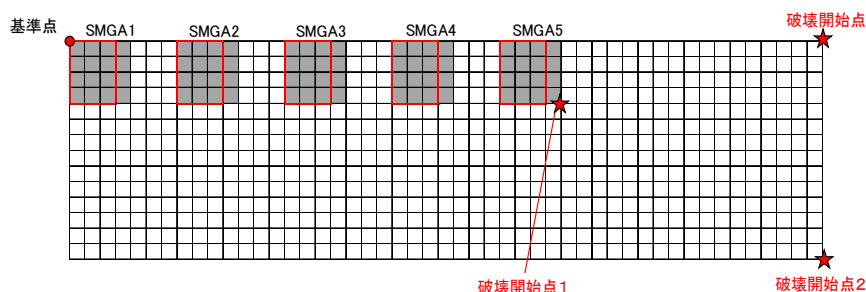
想定十勝沖スラブ内地震 検討ケース一覧

No.	検討ケース	地震規模	断層位置	短周期レベル	SMGA位置	破壊開始点
1	基本ケース	Mw8.3 (M8.2)	敷地に近づけた位置 (千島弧西端)	強震動予測レシポに基づく値	敷地寄りに5個	複数設定
2	地震規模の不確かさケース	Mw8.4 (M8.4)	敷地に近づけた位置 (千島弧西端)	強震動予測レシポに基づく値	敷地寄りに5個	複数設定
3	短周期レベルの不確かさケース	Mw8.3 (M8.2)	敷地に近づけた位置 (千島弧西端)	強震動予測レシポに基づく値 × 2.0倍	敷地寄りに5個	複数設定

: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ
 : 偶然的な不確かさとして考慮するパラメータ



基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース



地震規模の不確かさケース※

※ : SMGA位置は, 基本ケースのSMGA位置 (图中赤棒) と対応する位置に設定。

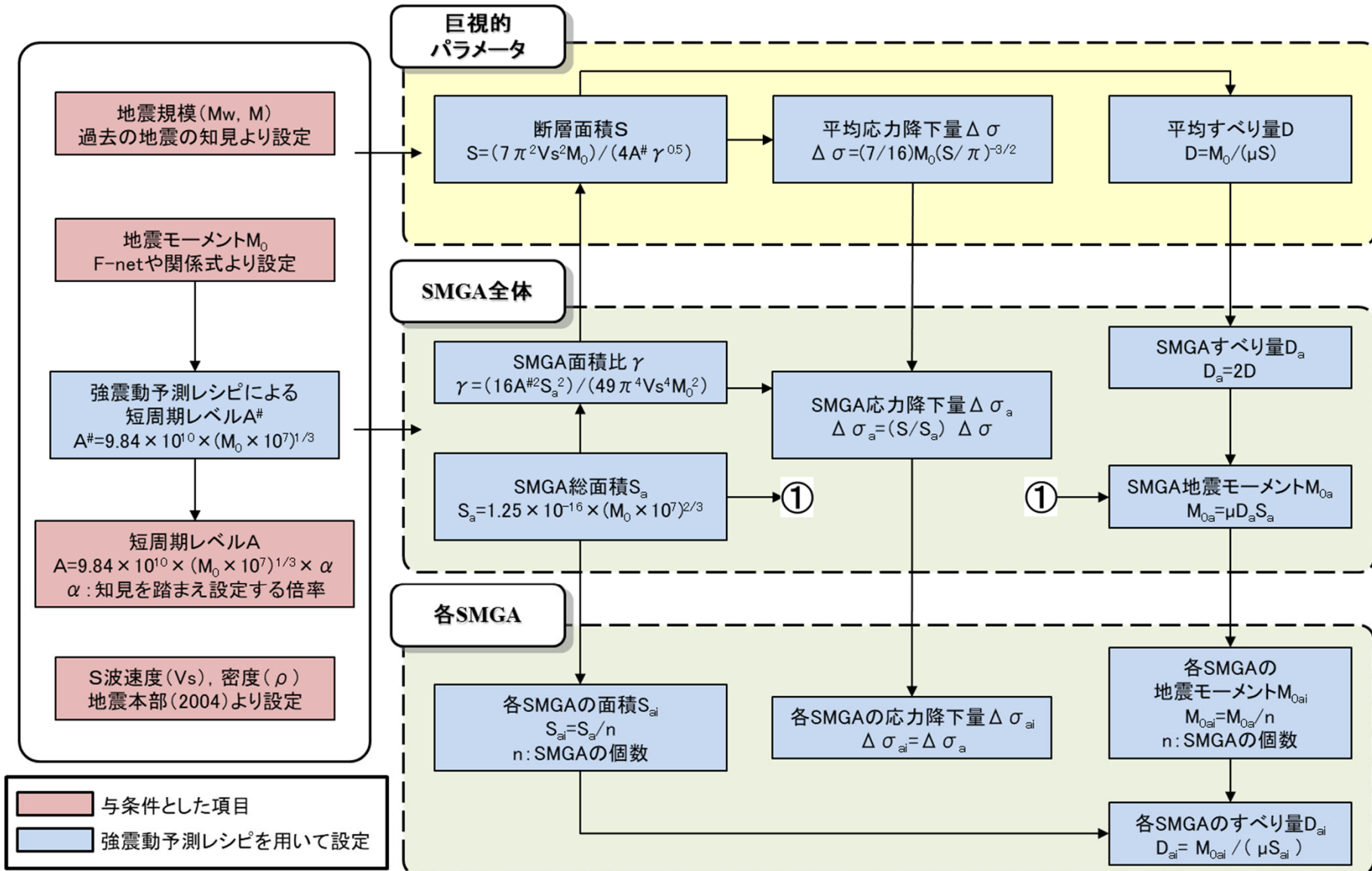
各ケースの断面位置

5.1 震源モデルの設定 (5/7)



断層パラメータ設定方法

- 断層パラメータは、強震動予測レシピに基づき設定する。



断層パラメータ設定フロー

5.1 震源モデルの設定 (6/7)



断層パラメータ

想定十勝沖スラブ内地震 各ケースの断層パラメータ

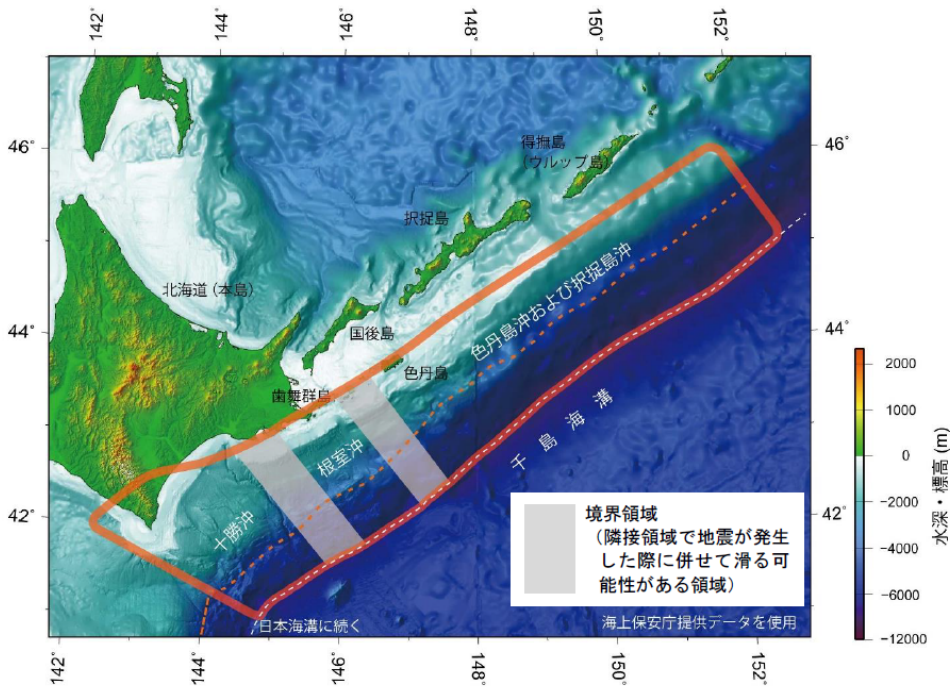
項目		記号(単位)	基本ケース	短周期レベルの不確かさケース	地震規模の不確かさケース	設定根拠	
巨視的パラメータ	断層全体	走向	$\theta(^{\circ})$	59	←	←	海溝軸を踏まえ設定
		傾斜角	$\delta(^{\circ})$	75	←	←	地震本部(2009)
		上端深さ	(km)	20.0	←	←	地震本部(2009)
		下端深さ	(km)	78.0	←	←	上端深さ, 断層幅, 傾斜角より設定
		長さ	L(km)	163	←	210	断層面積より設定
		幅	W(km)	60.0	←	←	地震本部(2009)
		断層面積	S(km ²)	9758	←	12597	$S=(49\pi^4 V_s^4 M_0^2)/(16A^2 S_a)$
		モーメントマグニチュード	Mw	8.3	←	8.4	$Mw=(\log M_0 - 9.1)/1.5$
		地震モーメント	M ₀ (N・m)	3.0E+21	←	4.4E+21	CMTカタログ(1994年北海道東方沖地震) 地震規模不確かさケースはISC-GEMカタログ(1958年11月6日の地震Mw8.4)
		平均応力降下量	$\Delta\sigma$ (MPa)	7.58	←	←	$\Delta\sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		剛性率	μ (N/m ²)	6.68E+10	←	←	$\mu=\rho V_s^2, \rho=3.3g/cm^3$ (地震本部(2004))
		平均すべり量	D(m)	4.6	←	5.2	$D=M_0/(\mu S)$
		S波速度	V _s (km/s)	4.5	←	←	地震本部(2004)
		破壊伝播速度	V _r (km/s)	3.2	←	←	$V_r=0.72V_s$
短周期レベル	A(Nm/s ²)	3.06E+20	6.12E+20	3.47E+20	$A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \times \alpha$ (短周期レベル不確かさケースのみ $\alpha=2.0$, その他のケースは $\alpha=1.0$)		
巨視的パラメータ	全SMGA	面積	S _a (km ²)	1207	←	1558	$S_a=1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$
		地震モーメント	M _{0a} (N・m)	7.4E+20	←	1.1E+21	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
		応力降下量	$\Delta\sigma_a$ (MPa)	61.3	123	61.3	$\Delta\sigma_a=(S/S_a) \times \Delta\sigma \times \alpha$ (短周期レベル不確かさケースのみ $\alpha=2.0$, その他のケースは $\alpha=1.0$)
		平均すべり量	D _a (m)	9.2	←	10.5	$D_a=2 \times D$
	各SMGA	面積	S _{ai} (km ²)	241	←	312	$S_{ai}=S_a/5$
		地震モーメント	M _{0ai} (N・m)	1.5E+20	←	2.2E+20	$M_{0ai}=M_{0a}/5$
		応力降下量	$\Delta\sigma_{ai}$ (MPa)	61.3	123	61.3	$\Delta\sigma_{ai}=\Delta\sigma_a$
		平均すべり量	D _{ai} (m)	9.2	←	10.5	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$
		短周期レベル	A _{ai} (Nm/s ²)	1.37E+20	2.73E+20	1.55E+20	$A_{ai}=4\pi r_{ai} \Delta\sigma_{ai} V_s^2, r_{ai}=(S_{ai}/\pi)^{1/2}$
	背景領域	面積	S _b (km ²)	8551	←	11039	$S_b=S-S_a$
		地震モーメント	M _{0b} (N・m)	2.3E+21	←	3.3E+21	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
		実効応力	σ_b (MPa)	6.8	13.6	7.7	$\sigma_b=(D_b/W_b)(\pi^{1/2}/D_a)r_a \sum (r_{ai}/r_a)^3 \Delta\sigma_a, r_b=(S_b/\pi)^{1/2}$
平均すべり量		D _b (m)	4.0	←	4.5	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	

5.1 震源モデルの設定 (7/7)



地震本部(2017)の長期評価における地震規模との比較

- 地震本部(2017)では、千島海溝沿いの地震の長期評価を行っており、沈み込んだプレート内のやや浅い地震としてM8.4前後の規模が想定されている。
- 千島弧の検討用地震は、基本ケースでM8.2、地震規模の不確かさケースでM8.4に相当する規模の地震を敷地に近い位置に想定しており、震源モデルの設定は適切であることを確認した。



地震本部(2017)

千島海溝沿いの地震活動の長期評価における評価対象領域
(海洋プレート内地震については、赤枠外の地震も評価)

想定している地震の規模の比較

想定震源	想定される領域	規模	発生確率
千島海溝沿いの沈み込んだプレート内のやや浅い地震	千島海溝沿いのやや浅い領域	M8.4前後	今後30年以内で30%程度
検討用地震 (想定十勝沖スラブ内地震)	千島弧の敷地に近い位置	基本:M8.2 不確かさ:M8.4	—

地震動の評価方針

■ 応答スペクトルに基づく地震動評価手法

- 敷地下方の想定スラブ内地震と同様に、片岡ほか(2006)の方法及びNoda et al.(2002)の方法による地震動評価を行う。

■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価手法

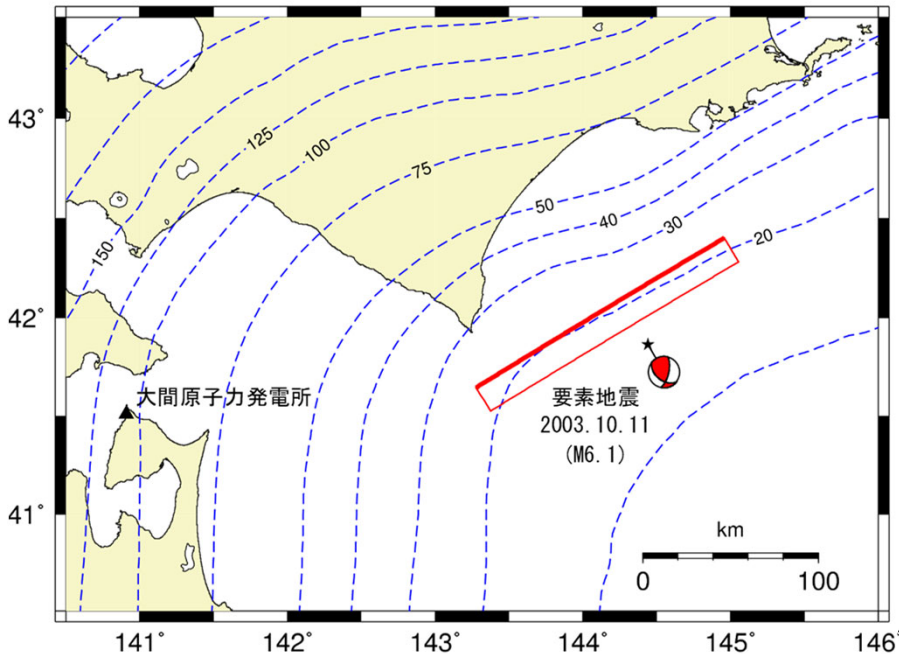
- 敷地において、要素地震として用いることができる適切な観測記録が得られていることから、経験的グリーン関数法(入倉ほか(1997))による地震動評価を行う。
- 要素地震は、想定した断層面付近で発生した海洋プレート内地震を選定する。

5.2 地震動評価手法 (2/3)



要素地震の諸元

- 経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、想定する断層面に近い位置で発生した地震を選定した。
- 震源パラメータに基づく ω^{-2} モデルによる理論震源スペクトルは、地震観測記録とよく整合するものとなっている。



選定した要素地震の位置

選定した要素地震の諸元^{※3}

発震日時	北緯 (°)		東経 (°)		メカニズム解
	41.8638		144.4398		
2003.10.11 09:08	M	震源距離 (km)	震源深さ (km)		
	6.1	297	28		
	走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)		
	13	66	131		

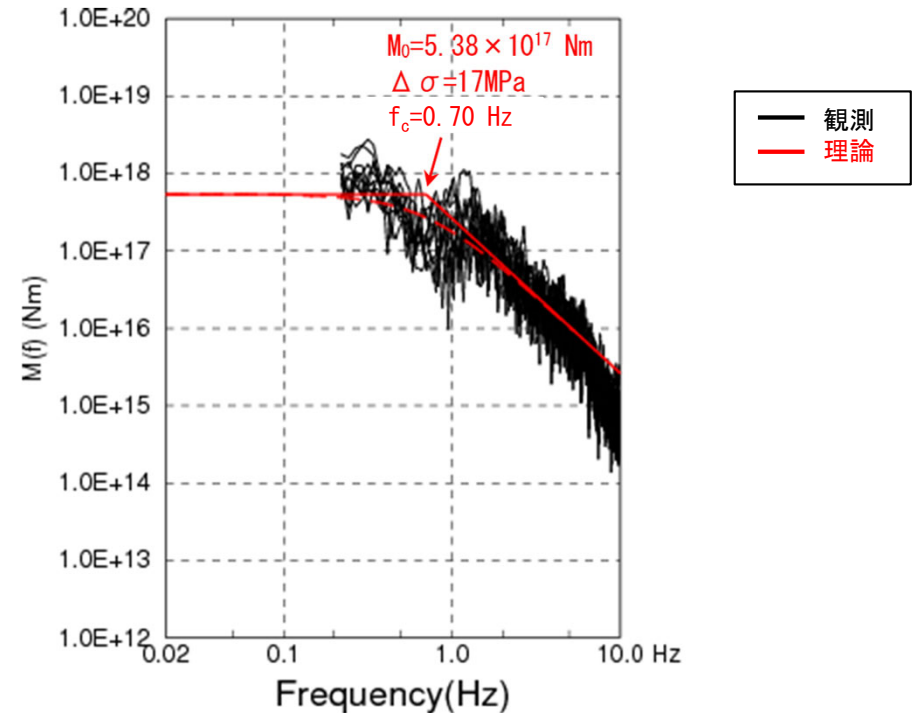
※3 : 震源メカニズムはF-net, その他諸元は気象庁による。

震源パラメータの評価結果

発震日時	震源パラメータ ^{※2}		
	地震モーメント ^{※1} (Nm)	コーナー周波数 (Hz)	応力降下量 (MPa)
2003.10.11 09:08	5.38E+17	0.70	17

※1 : F-netによる。

※2 : 要素地震のQ値補正には、川瀬・松尾(2004)を踏まえ $Q(f)=149f^{0.73}$ を用いる。

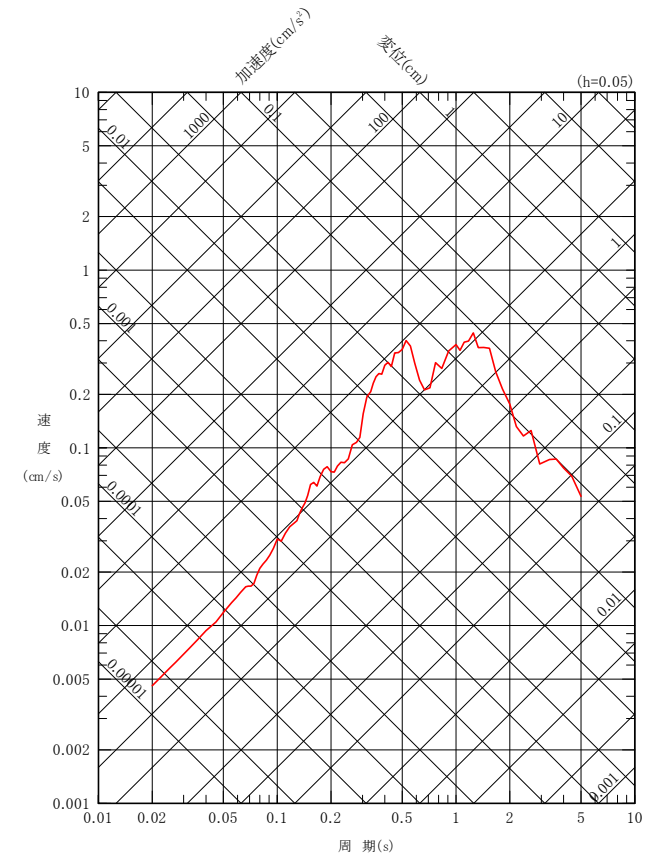
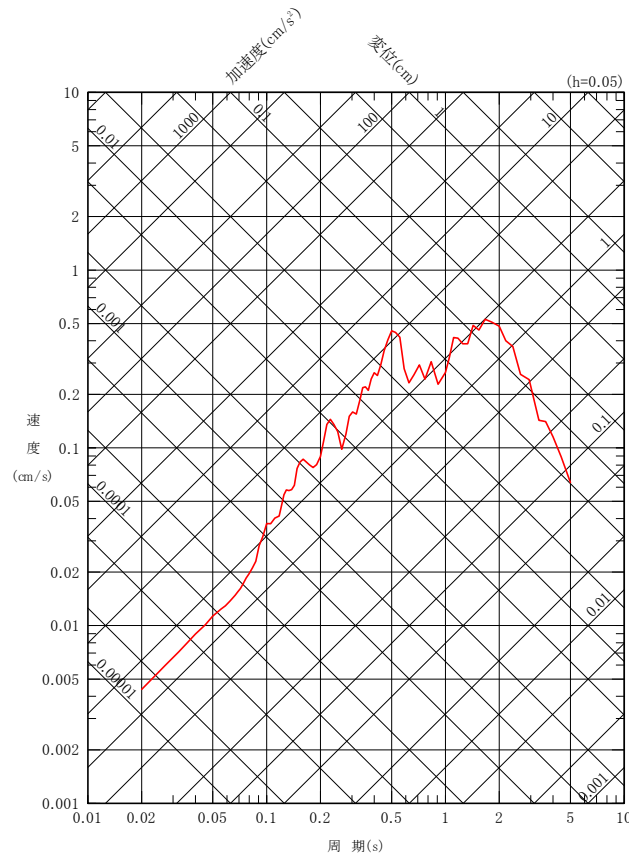
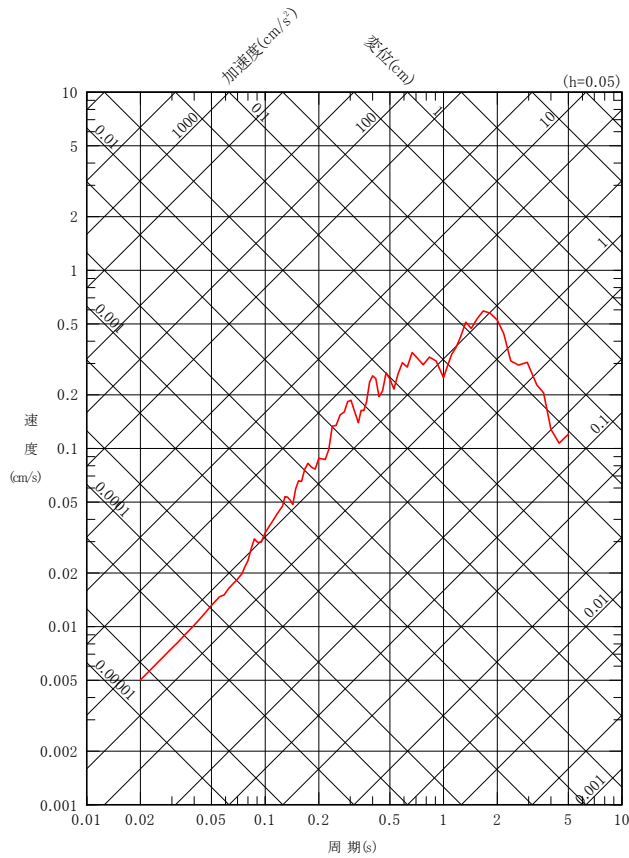
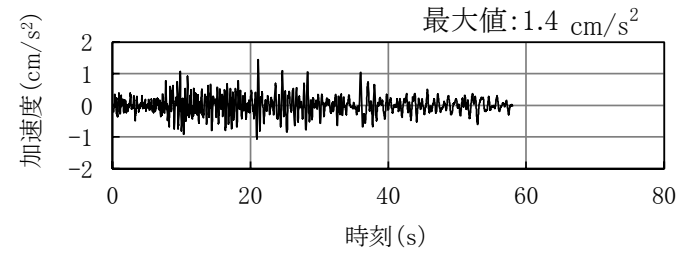
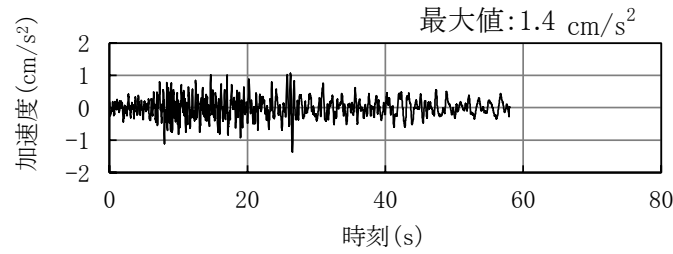
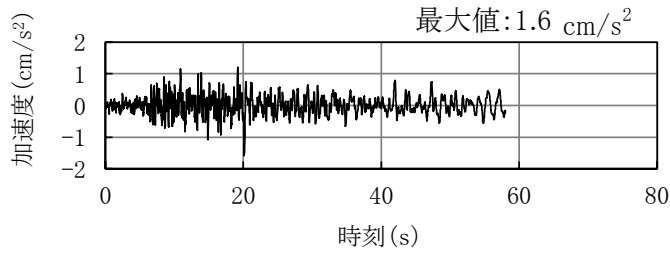


要素地震の理論震源スペクトルと観測記録の比較

5.2 地震動評価手法 (3/3)



要素地震の観測記録



想定十勝沖スラブ内地震の要素地震のはざとり波(T.P.-230m)の加速度時刻歴波形と応答スペクトル

5.3 地震動評価結果 (1/8)



応答スペクトルに基づく地震動評価結果

- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- サイト補正係数を考慮したNoda et al.(2002)による方法の地震動評価は、水平成分の短周期域について、片岡ほか(2006)による地震動評価よりも大きくなっている。

— 基本ケース
— 地震規模の不確かさケース
— 短周期レベルの不確かさケース※¹

— 実線: Noda et al.(2002)による方法
- - - 一点鎖線: 片岡ほか(2006)による方法(水平動のみ)※²

※¹: 片岡ほか(2006)による方法のみ評価。

※²: 片岡ほか(2006)は水平2成分の合成値に対する評価式であるため、ここでは $\sqrt{2}$ で除して水平1成分としている。

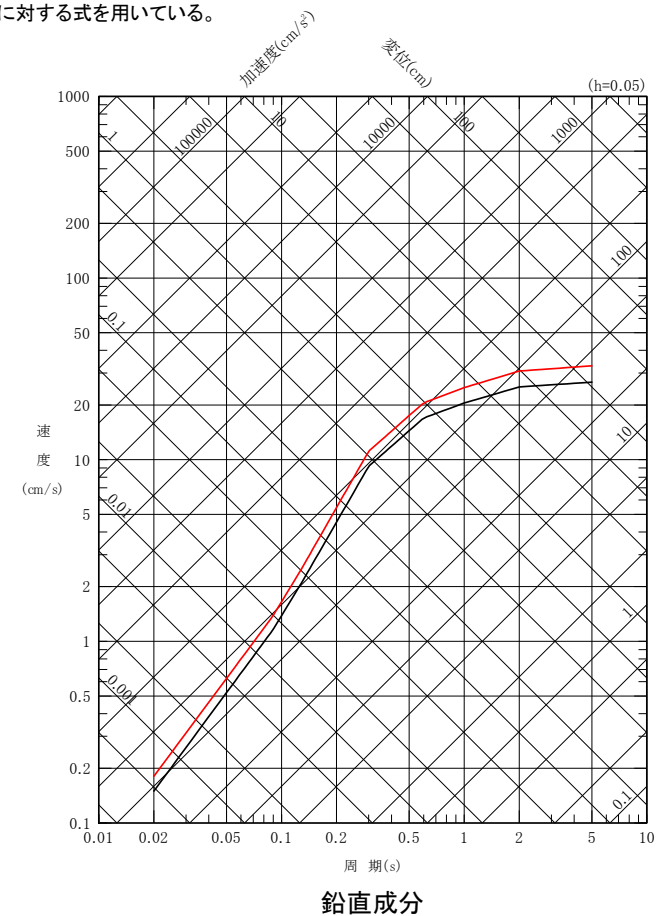
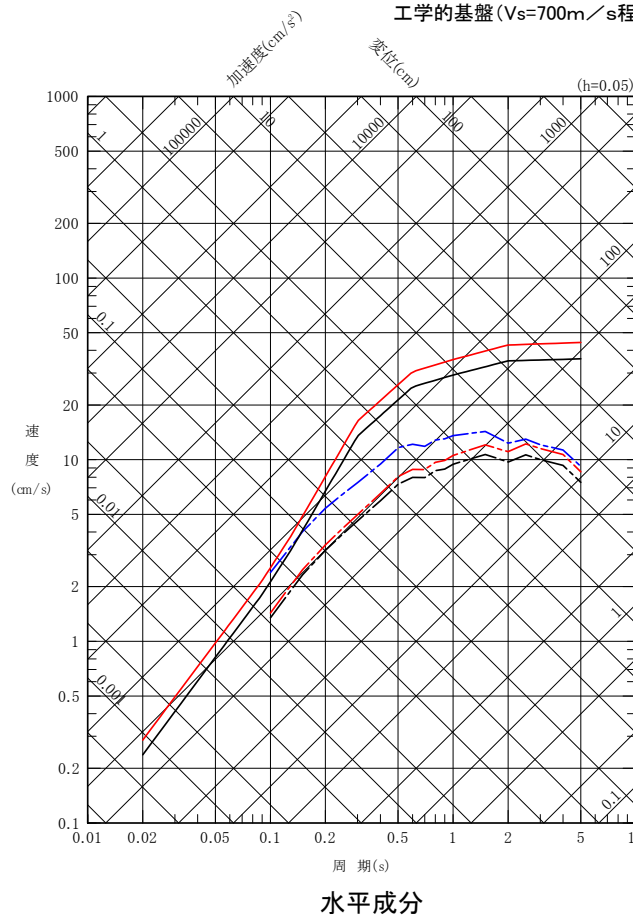
工学的基盤 ($V_s=700\text{m/s}$ 程度) に対する式を用いている。

片岡ほか(2006)による方法のパラメータ

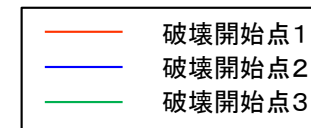
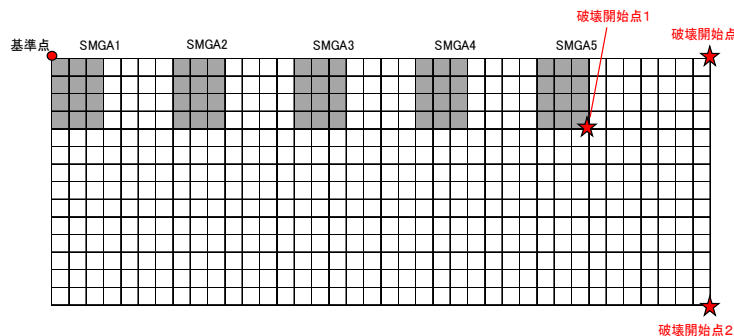
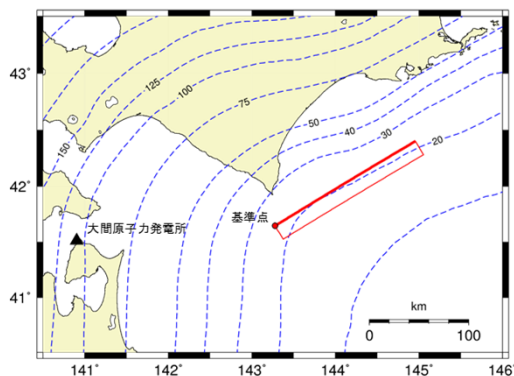
ケース	地震規模 Mw	断層最短距離 (km)	短周期レベル ($\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2$)
基本ケース	8.3	199	3.06E+20
地震規模の不確かさケース	8.4	199	3.47E+20
短周期レベルの不確かさケース	8.3	199	6.12E+20

Noda et al.(2002)による方法のパラメータ

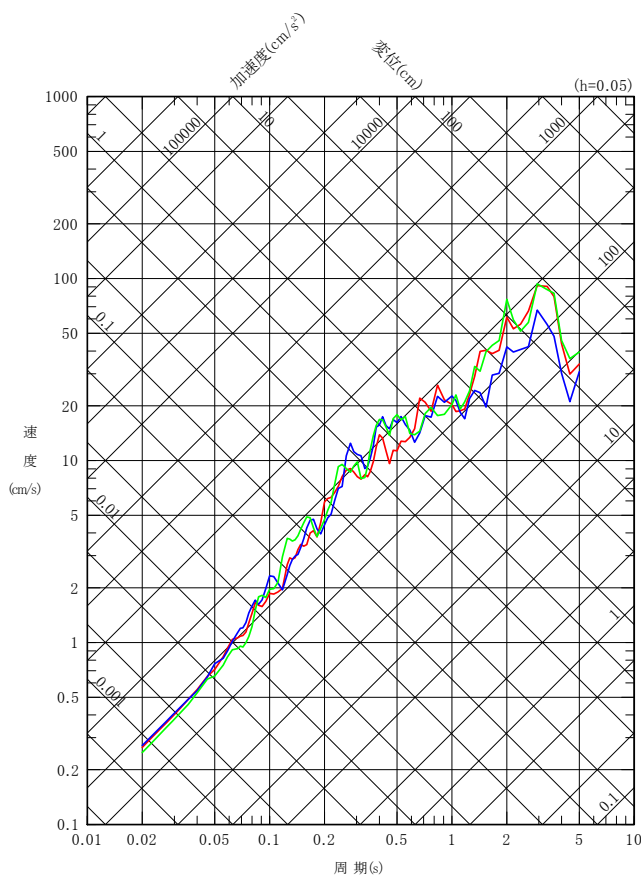
ケース	地震規模 M	等価震源距離 (km)
基本ケース	8.2	265
地震規模の不確かさケース	8.4	273



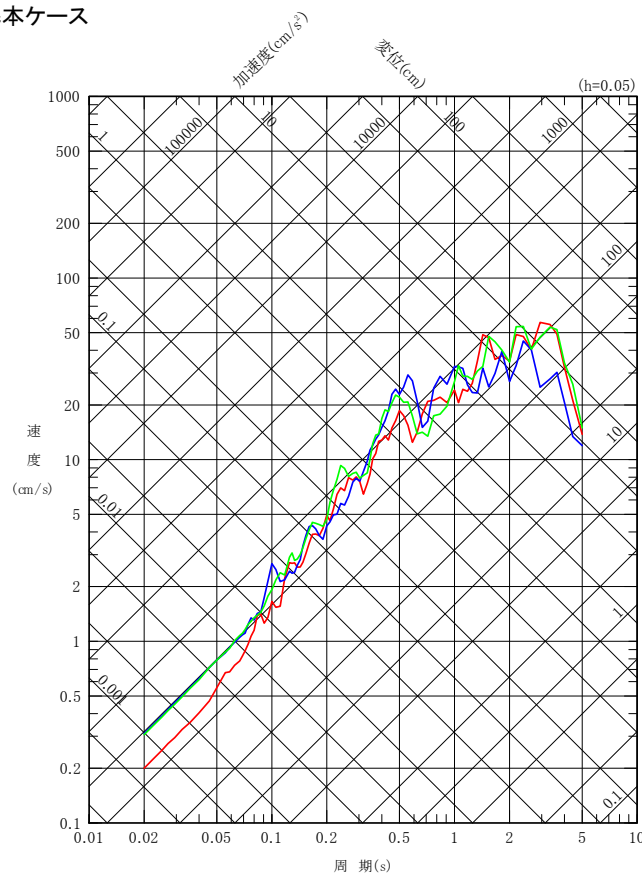
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【基本ケース 応答スペクトル】



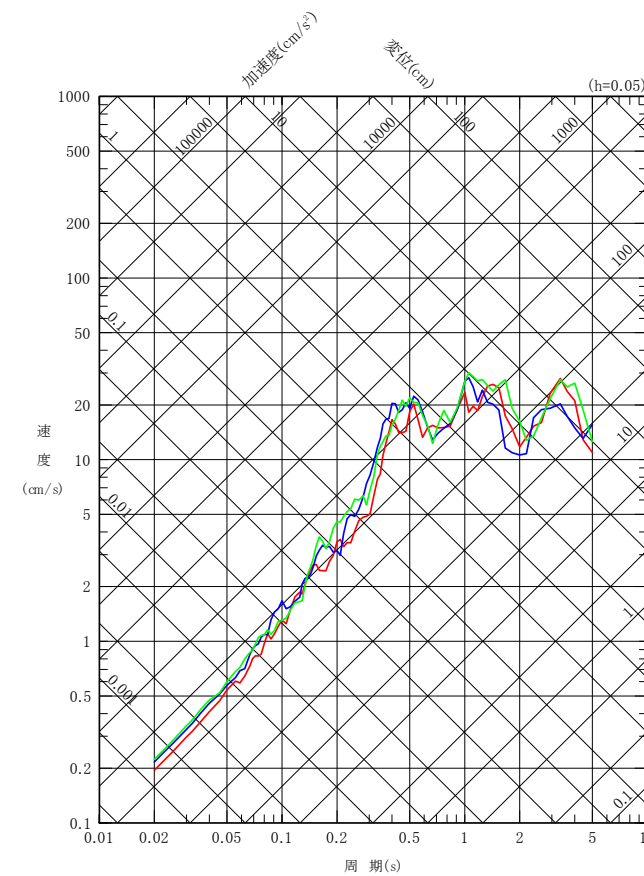
基本ケース



NS成分



EW成分



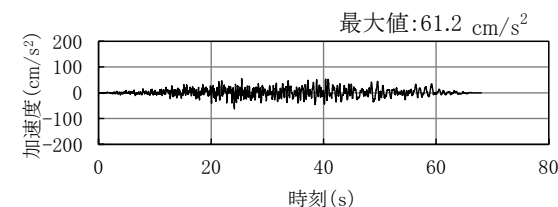
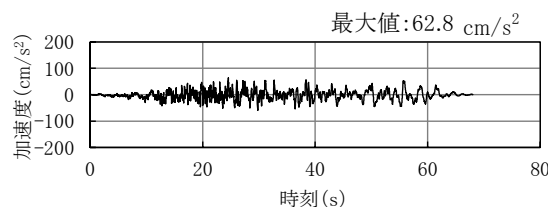
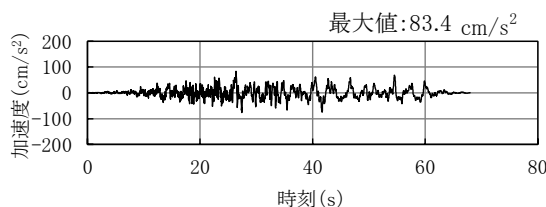
UD成分



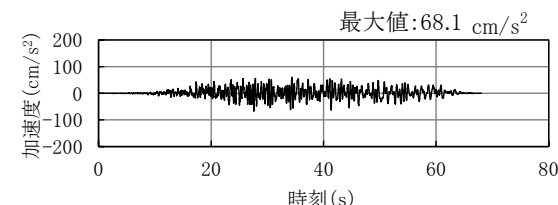
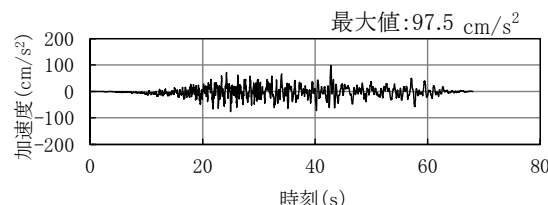
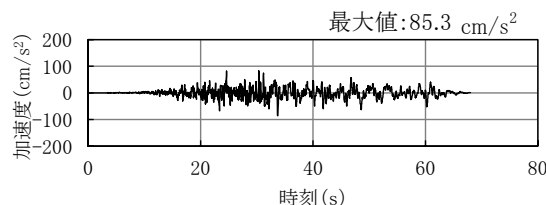
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【基本ケース 時刻歴波形】

加速度

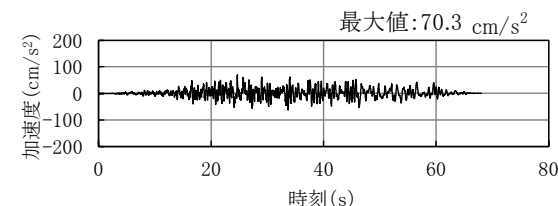
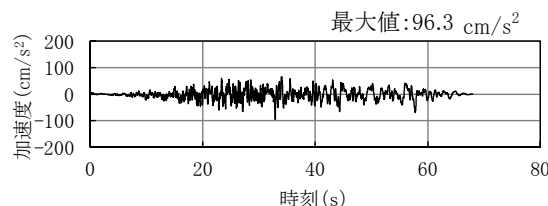
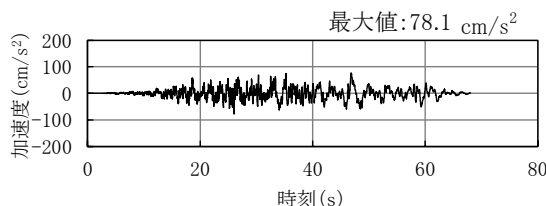
破壊開始点1



破壊開始点2

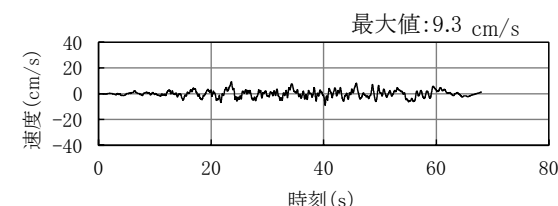
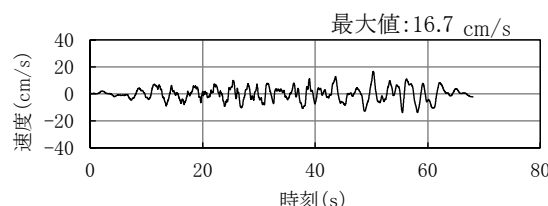
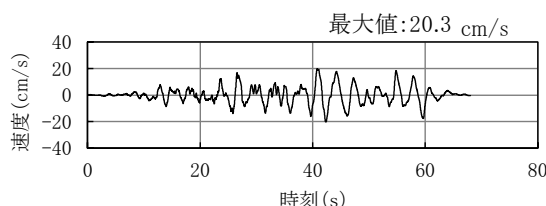


破壊開始点3

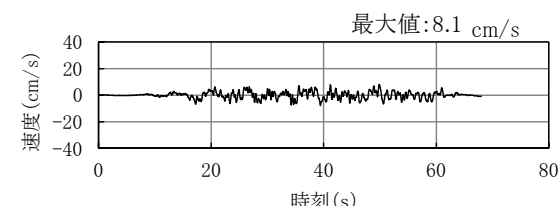
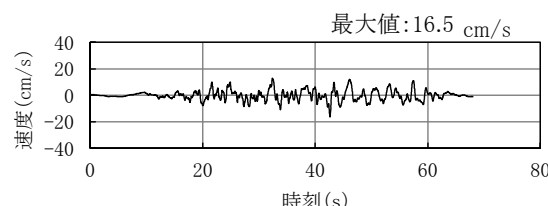
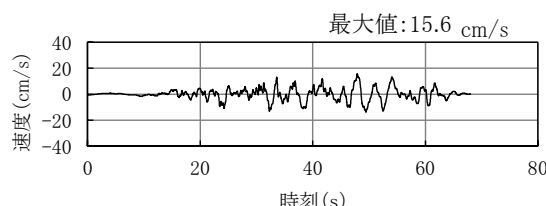


速度

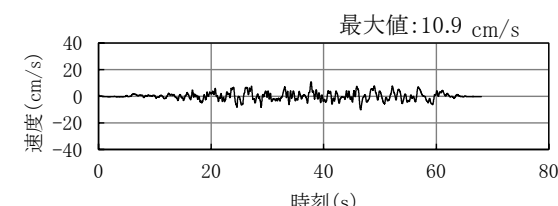
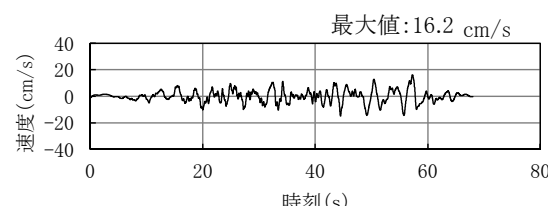
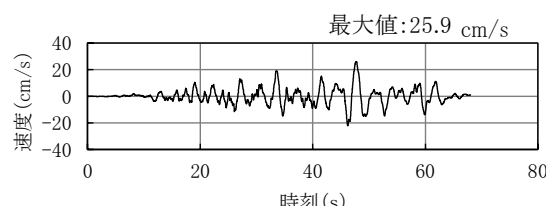
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3



NS成分

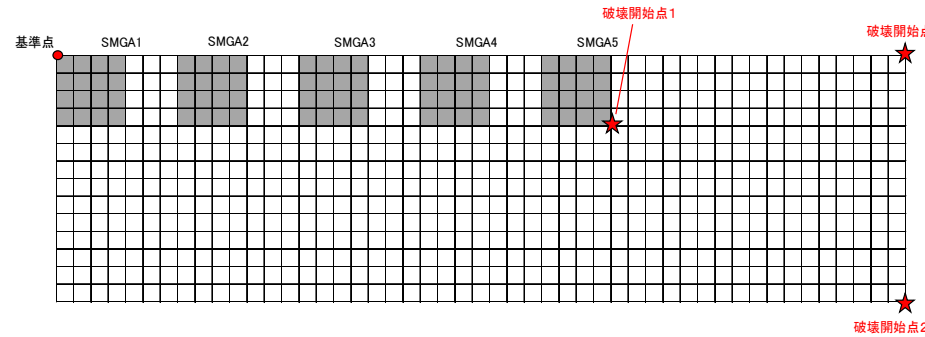
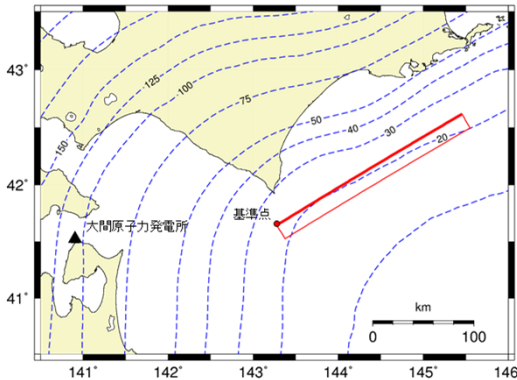
EW成分

UD成分

5.3 地震動評価結果 (4/8)

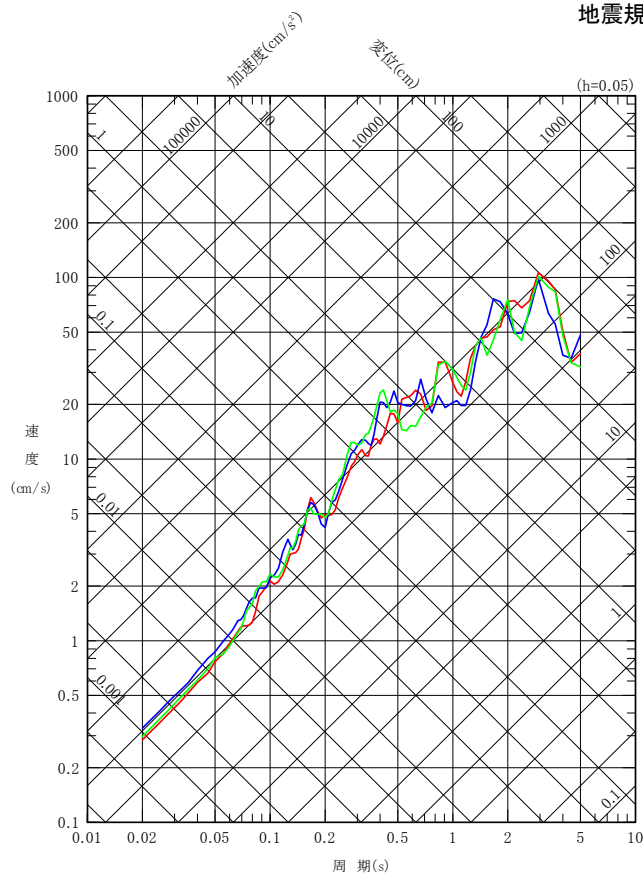


断層モデルを用いた手法による地震動評価 【地震規模の不確かさケース 応答スペクトル】

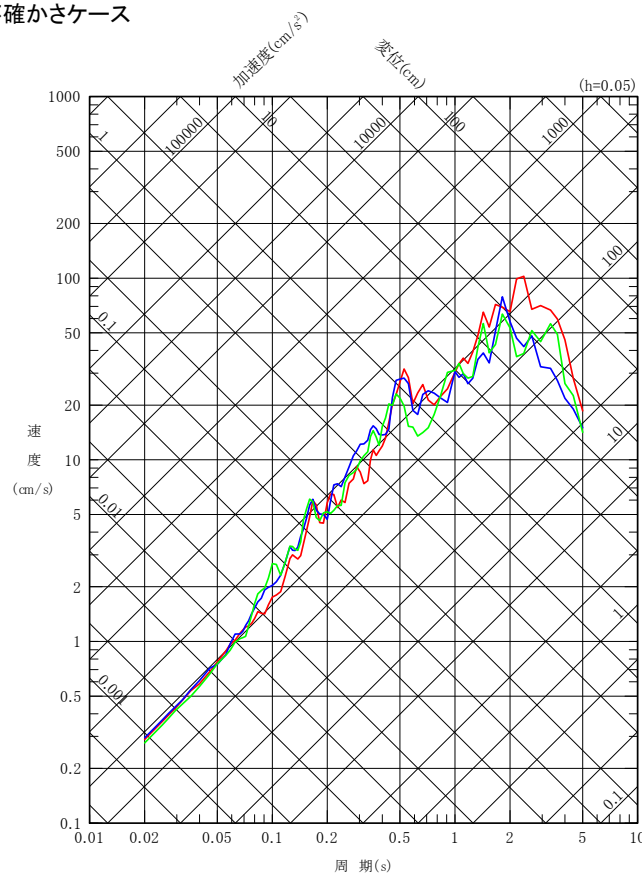


- 破壊開始点1
- 破壊開始点2
- 破壊開始点3

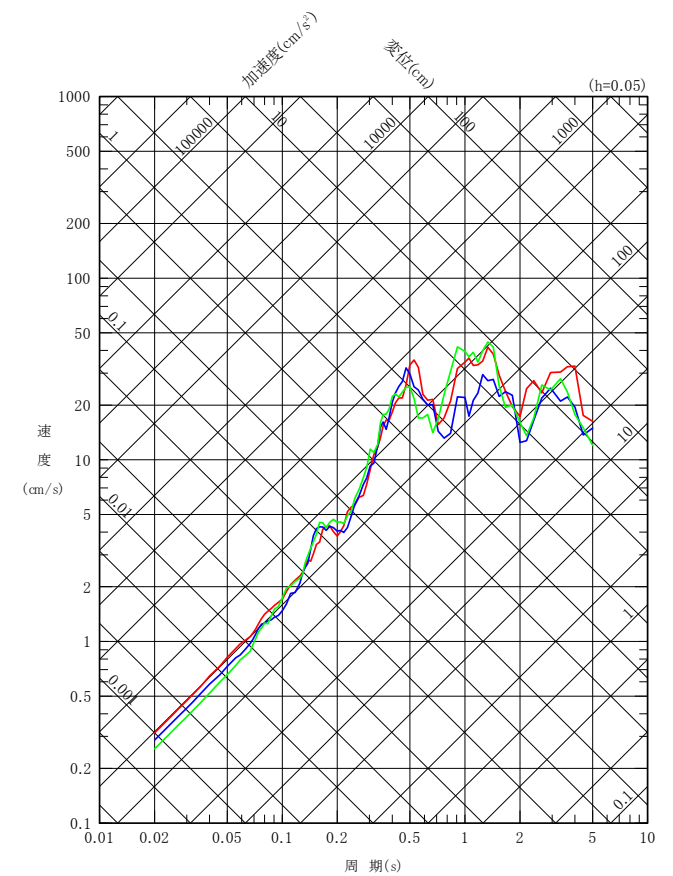
地震規模の不確かさケース



NS成分



EW成分



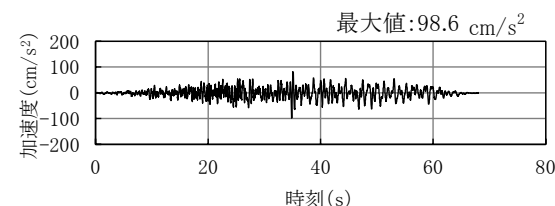
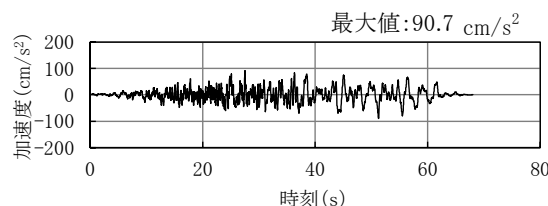
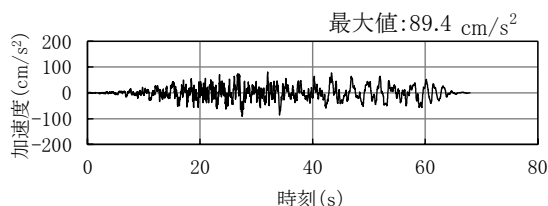
UD成分



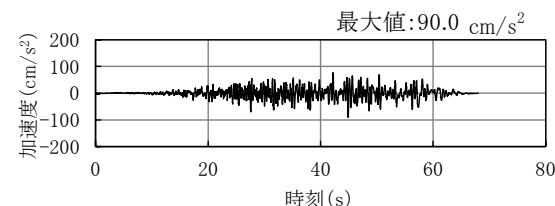
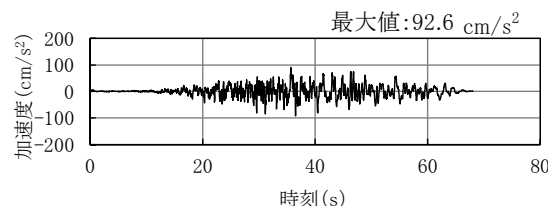
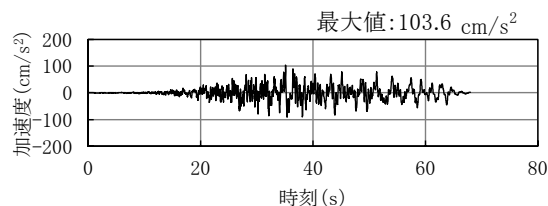
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【地震規模の不確かさケース 時刻歴波形】

加速度

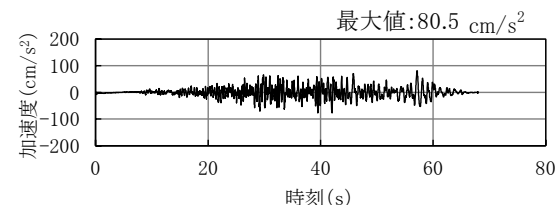
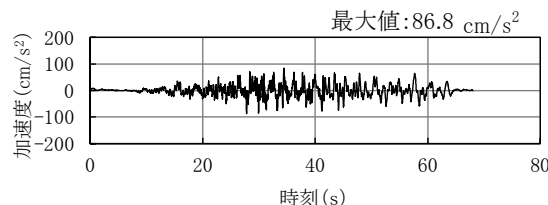
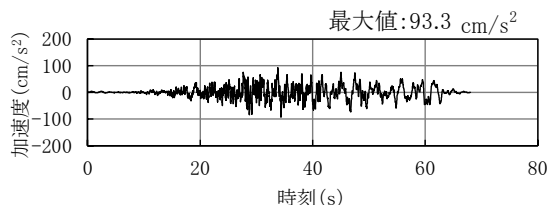
破壊開始点1



破壊開始点2

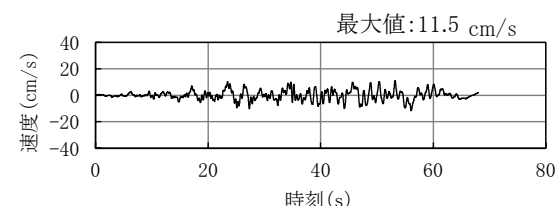
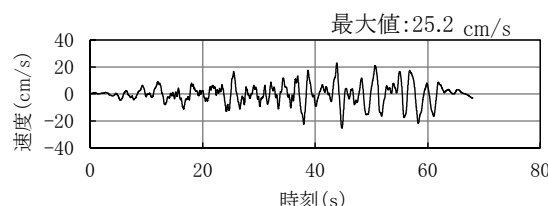
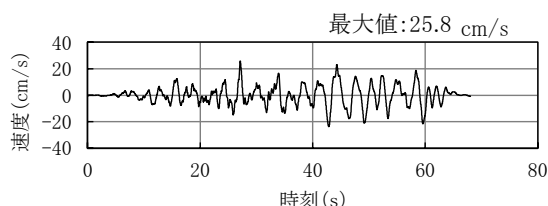


破壊開始点3

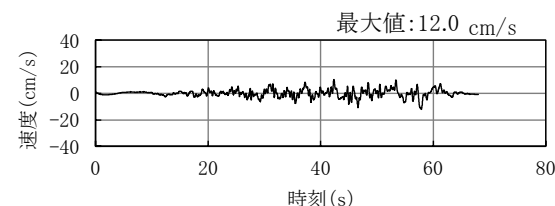
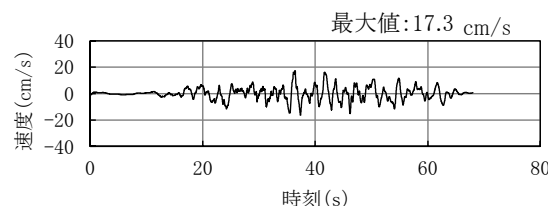
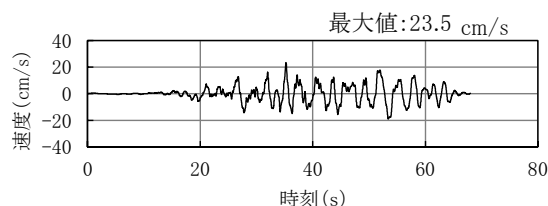


速度

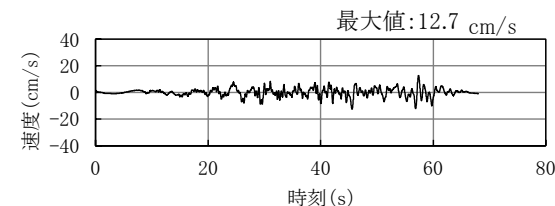
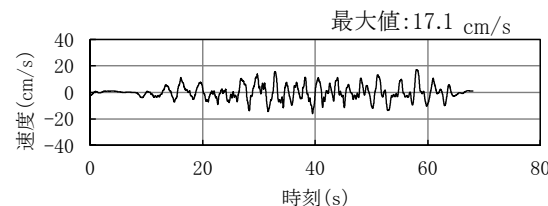
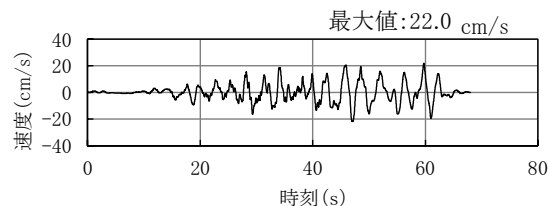
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3



NS成分

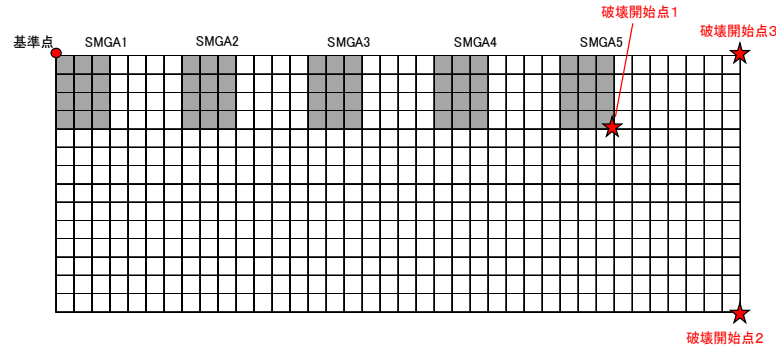
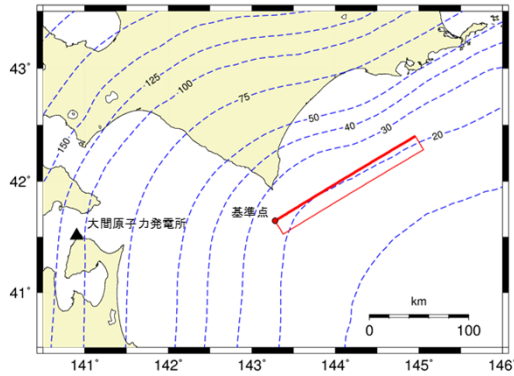
EW成分

UD成分

5.3 地震動評価結果 (6/8)

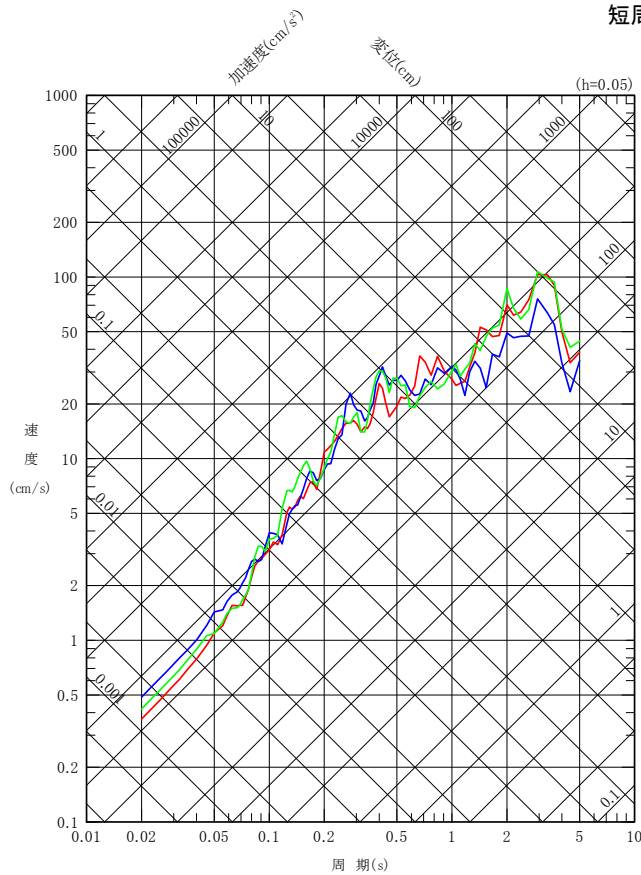


断層モデルを用いた手法による地震動評価 【短周期レベルの不確かさケース 応答スペクトル】

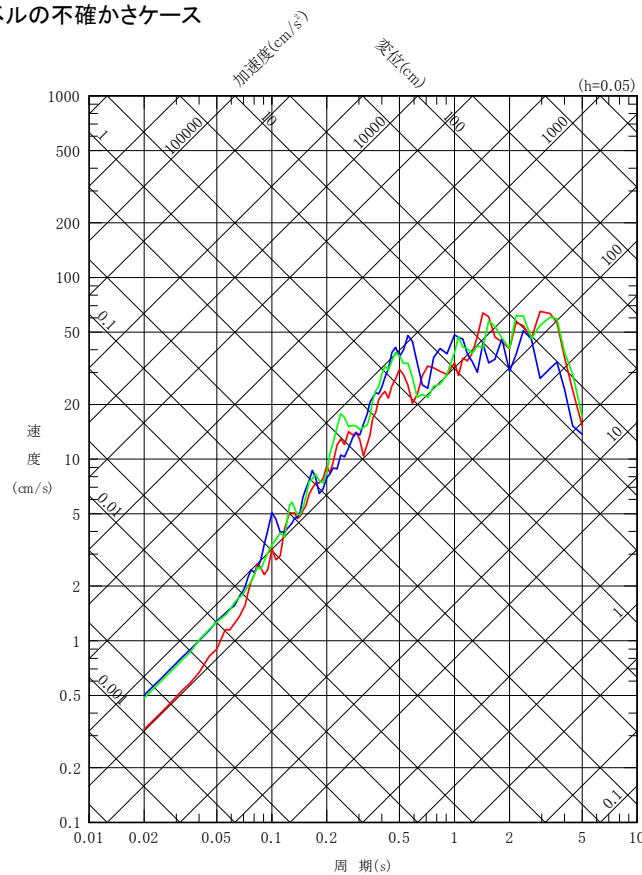


- 破壊開始点1
- 破壊開始点2
- 破壊開始点3

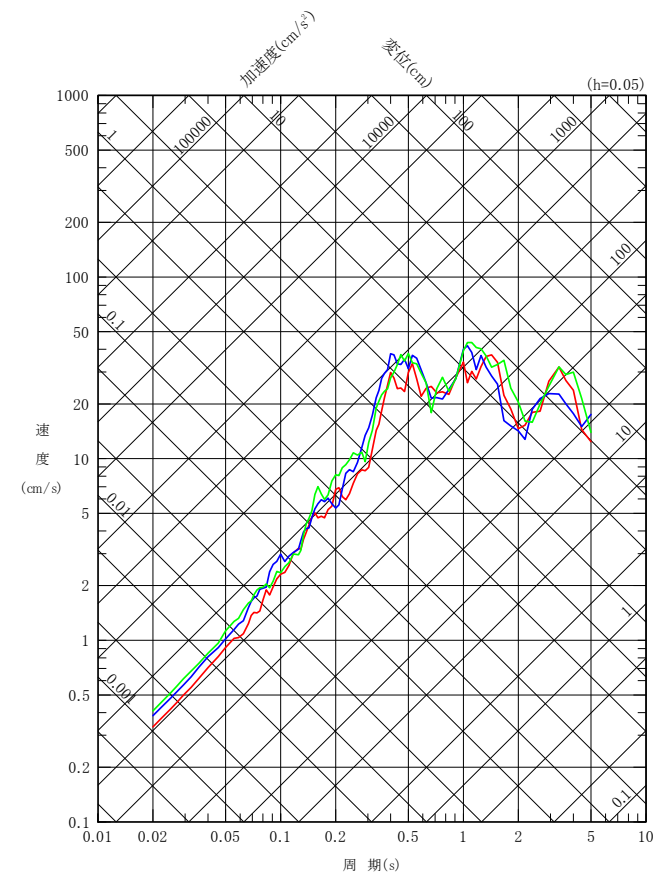
短周期レベルの不確かさケース



NS成分



EW成分



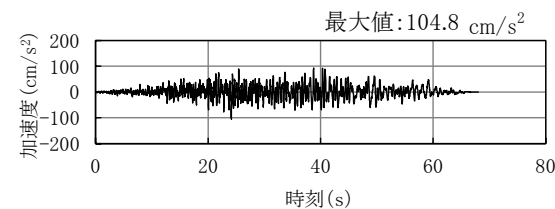
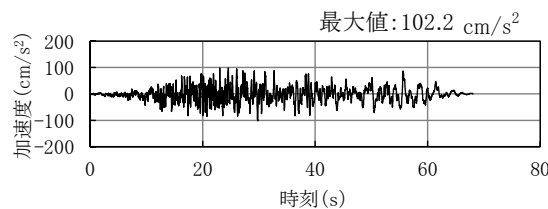
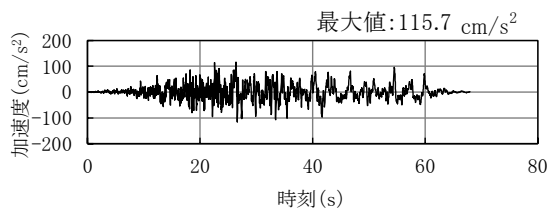
UD成分



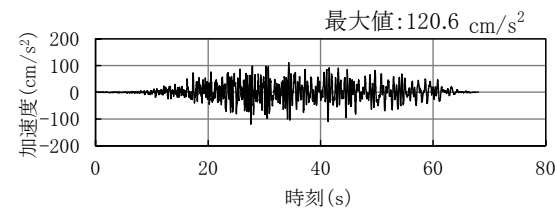
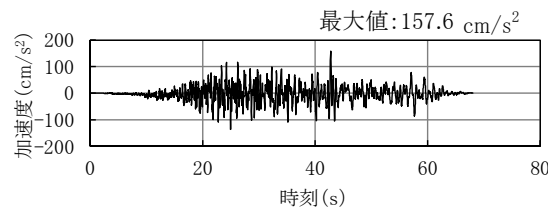
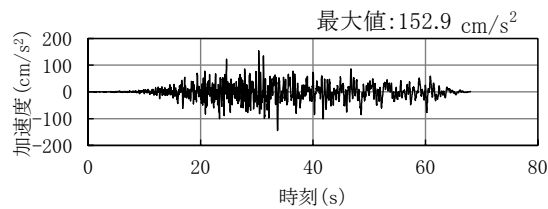
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【短周期レベルの不確かさケース 時刻歴波形】

加速度

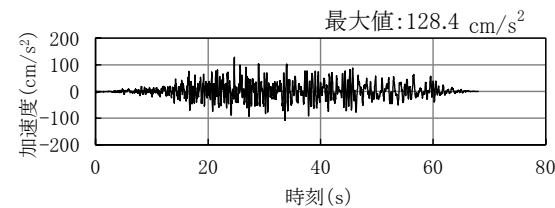
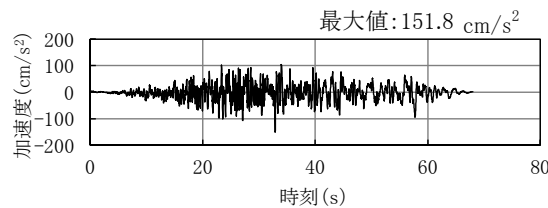
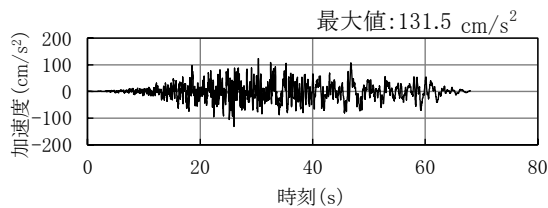
破壊開始点1



破壊開始点2

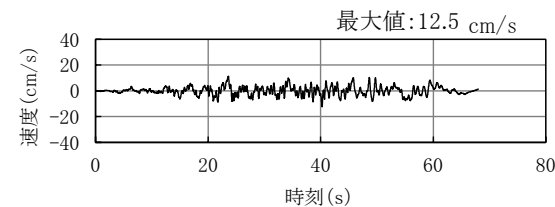
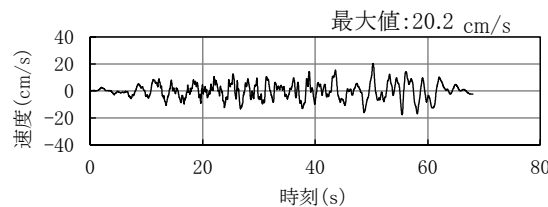
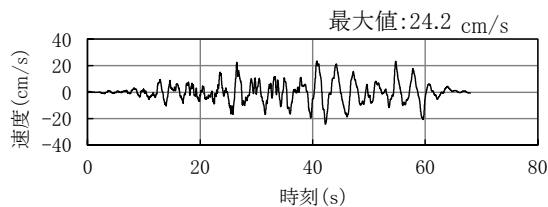


破壊開始点3

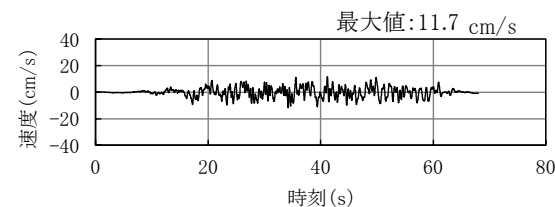
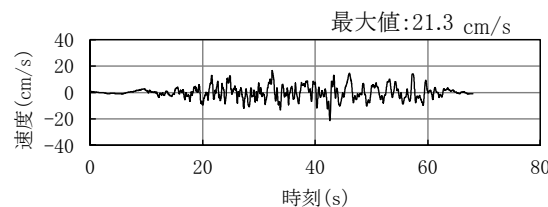
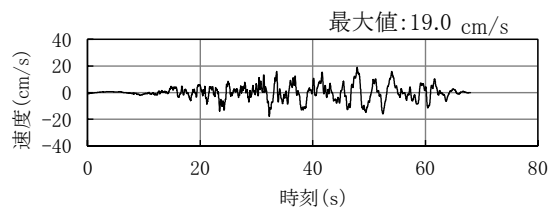


速度

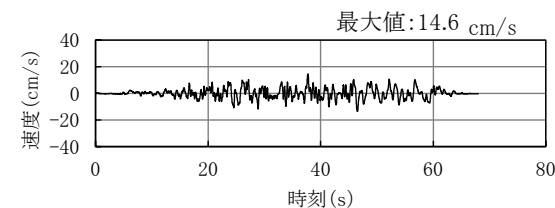
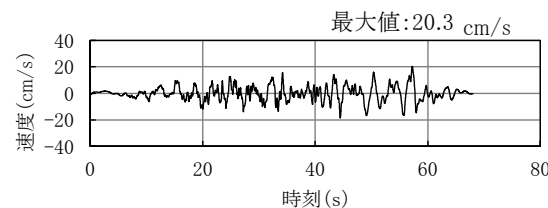
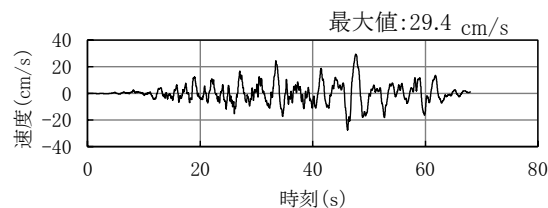
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3



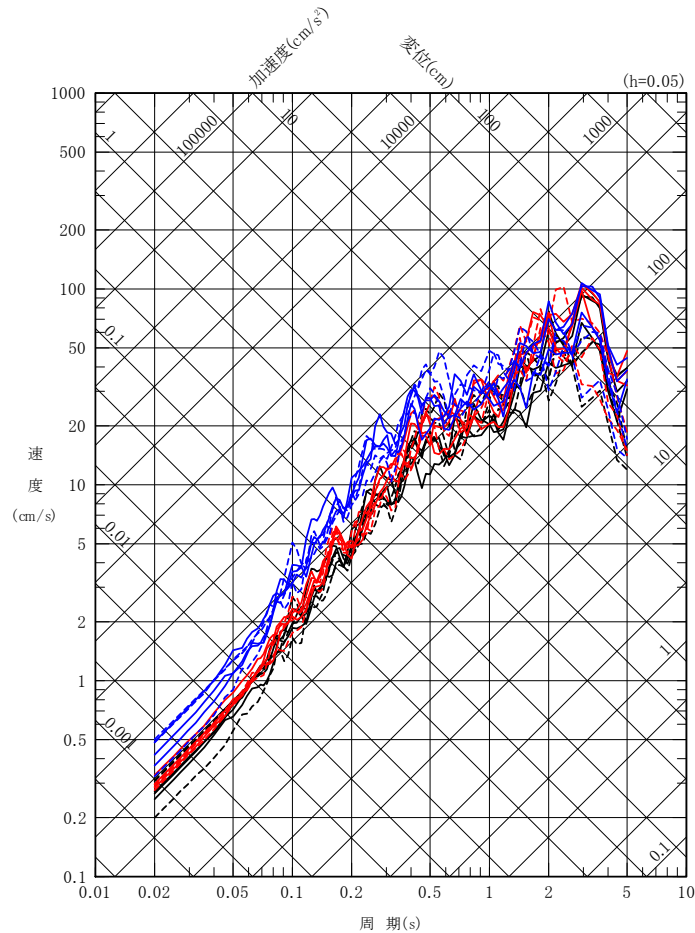
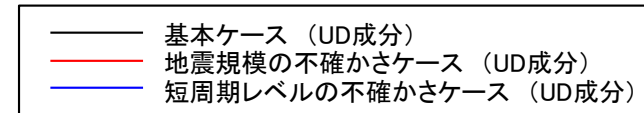
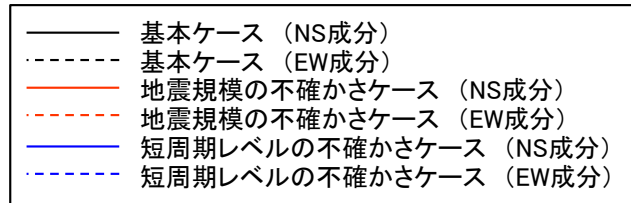
NS成分

EW成分

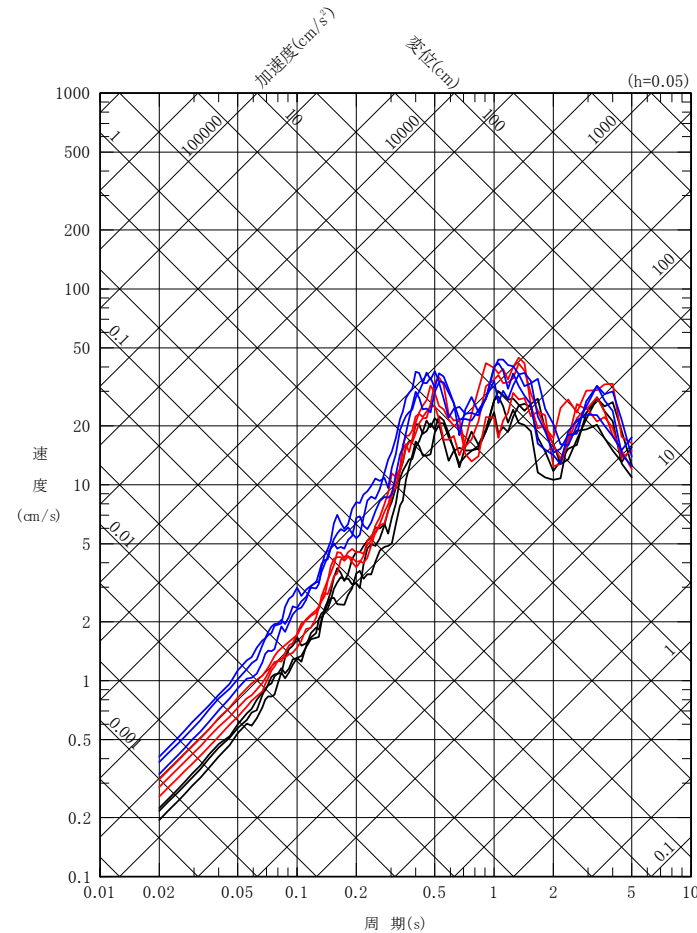
UD成分

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のまとめ

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を示す。



水平成分



鉛直成分

参考文献

はじめに

- Noda S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Istanbul, 16-18 October
- Morikawa N. and T. Sasatani (2004) : Source Models of Two Large Intraslab Earthquakes from Broadband Strong Ground Motions, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.94, No.3.
- 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明 (2006) : 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A Vol.62 No.4
- 地震調査研究推進本部 (2016) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 平成28年(2016年)6月(12月修正版), <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.pdf>
- 地震調査研究推進本部 (2020) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 令和2年(2020年)3月, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/17_yosokuchizu/recipe.pdf>

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

- 地震調査研究推進本部 (2017) : 千島海溝沿いの地震活動の長期評価 (第三版), <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/chishima3.pdf>
- 地震調査研究推進本部 (2019) : 日本海溝沿いの地震活動の長期評価, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/japan_trench.pdf>

2. 海洋プレート内地震の知見の整理

- Fujie G., A. Ito, S. Kodaira, N. Takahashi and Y. Kaneda (2006) : Confirming sharp bending of the Pacific plate in the northern Japan trench subduction zone by applying a travelttime mapping method, Physics of the Earth and Planetary Interiors 157
- Gamage S. S. N., N. Umino, A. Hasegawa and S. H. Kirby (2009) : Offshore double-planned shallow seismic zone in the NE Japan forearc region revealed by sP depth phases recorded by regional networks, Geophys. J. Int. 178
- Kirby S., E. R. Engdahl and R. Denlinger (1996) : Intermediate-Depth Intraslab Earthquakes and Arc Volcanism as Physical Expressions of Crustal and Uppermost Mantle Metamorphism in Subducting Slabs, Geophysical Monograph 96
- Kita S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima and T. Matsuzawa (2010) : Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, Tectonophysics 496
- Kita S., and K. Katsumata (2015) : Stress drops for intermediate-depth intraslab earthquakes beneath Hokkaido, northern Japan: Differences between the subducting oceanic crust and mantle events, Geochem. Geophys. Geosyst., 16
- Kosuga M., T. Sato, A. Hasegawa, T. Matsuzawa, S. Suzuki and Y. Motoya (1996) : Spatial distribution of intermediate-depth earthquakes with horizontal or vertical nodal planes beneath northeastern Japan, Physics of the Earth and Planetary Interiors 93
- Nakajima J., A. Hasegawa and S. Kita (2011) : Seismic evidence for reactivation of a buried hydrated fault in the Pacific slab by the 2011 M9.0 Tohoku earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 38, L00G06
- Nakajima J., Y. Tsuji, A. Hasegawa, S. Kita, T. Okada and T. Matsuzawa (2009) : Tomographic imaging of hydrated crust and mantle in the subducting Pacific slab beneath Hokkaido, Japan: Evidence for dehydration embrittlement as a cause of intraslab earthquakes, Gondwana Research 16
- Seno T., and M. Yoshida (2004) : Where and why do large shallow intraslab earthquakes occur?, Physics of the Earth and Planetary Interiors 141
- Yamasaki T., and T. Seno (2003) : Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO.B4, 2212
- 気象庁 : <<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>

参考文献

2. 海洋プレート内地震の知見の整理

- 北佐枝子(2016):東北日本下におけるスラブ内地震の応力降下量の深さ変化の特徴, 日本地震学会講演予稿集 2016年度 秋季大会, S08-28
- 地震ハザードステーションJ-SHIS:防災科学技術研究所, <<https://www.j-shis.bosai.go.jp/>>
- 長谷川昭・中島淳一・内田直希・梁田高広・岡田知己・趙大鵬・松澤暢・海野徳仁(2012):沈み込み帯の地震の発生機構—地殻流体に規定されて発生する沈み込み帯の地震—, 地学雑誌 Journal of Geography 121(1)
- 防災科学技術研究所:Hi-net高感度地震観測網HP「地震の基礎知識とその観測」, <https://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/>

3. 検討用地震の選定

- Ide S., and M. Takeo(1996):The dynamic rupture process of the 1993 Kushiro-oki earthquake, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 101, NO. B3
- Kikuchi M., and H. Kanamori(1995):The Shikotan earthquake of October 4, 1994 : Lithospheric earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 22, NO. 9
- Ohta Y., S. Miura, M. Ohzono, S. Kita, T. Iinuma, T. Demachi, K. Tachibana, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Suzuki, T. Sato, N. Uchida, A. Hasegawa and N. Umino (2011):Large intraslab earthquake(2011 April 7, M7.1)after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake(M9.0): Coseismic fault model based on the dense GPS network data, Earth Planets Space, 63
- Takeo M., S. Ide, Y. Yoshida(1993):THE 1993 KUSHIRO-OKI, JAPAN, EARTHQUAKE : A HIGH STRESS-DROP EVENT IN A SUBDUCTING SLAB, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.20, NO.23
- 新井健介・壇一男・石井透・花村正樹・藤原広行・森川信之(2015):強震動予測のためのスラブ内地震の断層パラメータ設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集 第80巻 第716号
- 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
- 菊地正幸・金森博雄(1995):広帯域地震記録による1994年北海道東方沖地震の震源メカニズム, 月刊 地球/Vol.17, No.5
- 気象庁(2008.7):平成20年7月 地震・火山月報(防災編), <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/200807/monthly200807.pdf>>
- 気象庁(2011.4):平成23年4月 地震・火山月報(防災編), <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201104/monthly201104.pdf>>
- 気象庁(2012.12):平成24年12月 地震・火山月報(防災編), <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201212/monthly201212.pdf>>
- 気象庁(2021.2):令和3年2月 地震・火山月報(防災編), <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/202102/202102monthly.pdf>>
- 笹谷努・森川信之・前田宜浩(2006):スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告 No.69
- 札幌管区気象台(1993):平成5年(1993年)釧路沖地震(1月15日 M7.8), 地震予知連絡会 会報 第50巻, <https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou50/01_02.pdf>
- 札幌管区気象台(1994):平成6年(1994年)北海道東方沖地震(10月4日, M8.1), 地震予知連絡会 会報 第53巻, <<https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou53/01-11.pdf>>
- 佐藤智美(2013):東北地方のアウトターライズ地震, スラブ内地震, プレート境界地震の短周期レベルと f_{max} 及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集 第78巻 第689号
- 地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図 ～地図を見て私の街の揺れを知る～ 技術報告書(2009), <https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2009/>
- 原田怜・釜江克宏(2011):2011年4月7日宮城県沖のスラブ内地震の震源のモデル化, <<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/>>
- 防災科学技術研究所(2021):近地強震記録を用いた2021年2月13日福島県沖で発生した地震の震源インバージョン解析, <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/FukushimakenOki_20210213/inversion/inv_index.html>

参考文献

4. 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価

- 浅野公之・岩田知孝・入倉孝次郎(2004):2003年5月26日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション, 地震 第2輯, 第57巻
- 川瀬博・松尾秀典(2004):K-NET, KiK-net, JMA震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第1号
- 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子(1997):経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, Vol.2, B25
- 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1991):地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測 統計的波形合成法による予測, 日本建築学会構造系論文報告集 第430号

5. 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価

- 地震調査研究推進本部(2004):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について, <<https://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20040521sanriku.pdf>>