

女川原子力発電所  
基準地震動の策定のうち  
海洋プレート内地震について  
(コメント回答)

---

平成27年12月16日  
東北電力株式会社

## 審査会合におけるコメント

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S42	1月9日 第180回審査会合	北海道で発生するようなプレート内の二重深発地震面下面の大地震を検討用地震として考慮する必要があるかどうかも含め影響について検討すること。	本日説明
S43	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルを用いた地震動評価は統計的グリーン関数法だけではなく、4.7地震の余震等の記録を用いた経験的グリーン関数法による検討を行うこと。	本日説明
S44	1月9日 第180回審査会合	プレート内の断層モデルを用いた地震動評価のうち統計的グリーン関数法の放射特性について整理し説明すること。	本日説明
S45	1月9日 第180回審査会合	世界で発生したプレート内地震について、最新の知見も踏まえ整理すること。	本日説明
S46	1月9日 第180回審査会合	世界で発生したアウターライズのプレート内地震を整理したうえで、アウターライズ地震の影響について検討すること。	本日説明
S47	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルの巨視的パラメータの設定において、断層モデルの位置、傾斜角の考え方について整理すること。また、パラメータの違いによる影響について断層モデルを用いた検討を行うこと。	本日説明
S48	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルのアスペリティの設定の考え方について整理すること。また、アスペリティの面積比(Sa/S)等の違いによる影響について断層モデルを用いた検討を行うこと。	本日説明
S49	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の短周期レベルについて、最新の知見等を整理すること。	本日説明
S50	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルの設定において、笹谷ほか(2006)により設定した場合の影響について検討すること。	本日説明
S51	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の応答スペクトルによる方法について、用いている耐専スペクトルの補正係数について詳しく説明すること。	本日説明
S52	1月9日 第180回審査会合	長周期が卓越する免震構造の建屋を念頭に、長周期地震動についても今後説明すること。	今後説明

※黒文字が本資料での説明箇所

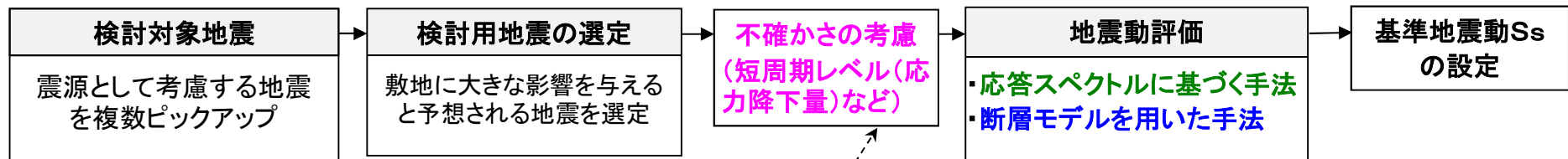
# 目次

I . 資料の概要	3
II . 世界の海洋プレート内地震	5
III . 海洋プレート内地震の地震動評価	19
1 . 海洋プレート内地震の検討方針と不確かさの考え方について	19
2 . 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース	25
2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震	26
2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震	70
2.3 二重深発地震 下面の地震	85
2.4 沖合いのやや浅い地震	106
3 . 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース	126
3.1 アウターライズ地震	126
4 . 海洋プレート内地震のその他の検討ケース	137
4.1 敷地下方に想定する海洋プレート内地震	137
5 . 検討用地震の選定	141
IV . 検討用地震の地震動評価	143
V . 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討	149

# I. 資料の概要 ～地震動評価フロー～

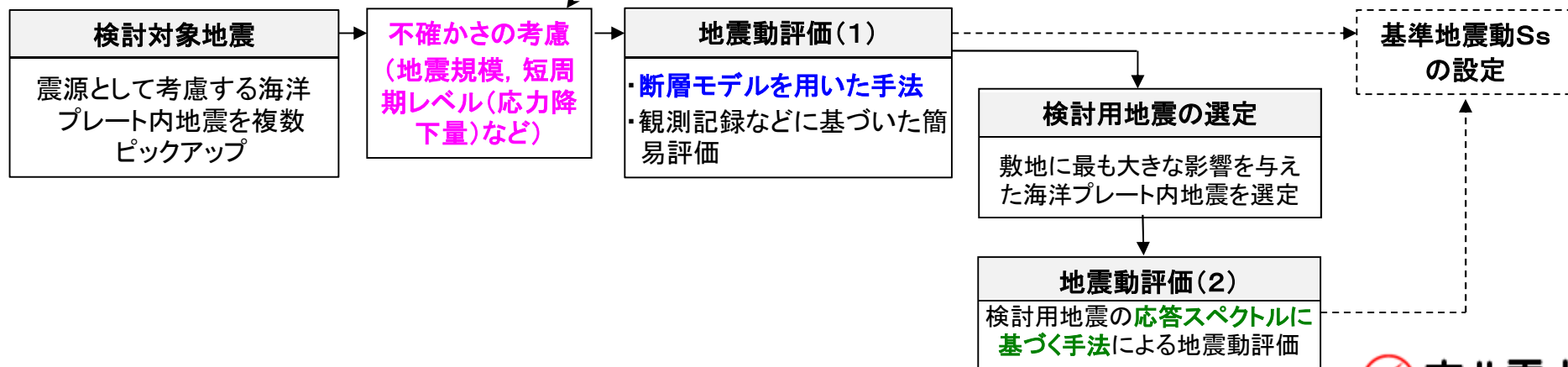
- 申請(平成27年1月9日審査会合で説明)では、**2011年4月7日宮城県沖型地震(M7.5)**を検討用地震として選定、その地震動評価に基づき基準地震動S<sub>s</sub>-2を設定している。
- 内陸地殻内地震などの評価では、基本ケースの巨視的パラメータ(地震規模や震源位置など)をベースに応答スペクトルに基づく手法等に基づいて敷地への影響評価を行い検討用地震の選定を行うことが一般的だが、海洋プレート内地震の場合、例えば考慮する地震の不確かさケースとして巨視的パラメータである地震規模を基本ケースより大きなものとして考慮することが適切な場合もあるため、本検討では全ての検討対象地震に対して不確かさを考慮した地震動評価を行うこととした。

## 【内陸地殻内地震等での評価のフロー】



今回の評価では、例えば巨視的パラメータ(地震規模など)も不確かさとして考慮するため、全てのケースについて地震動評価を実施

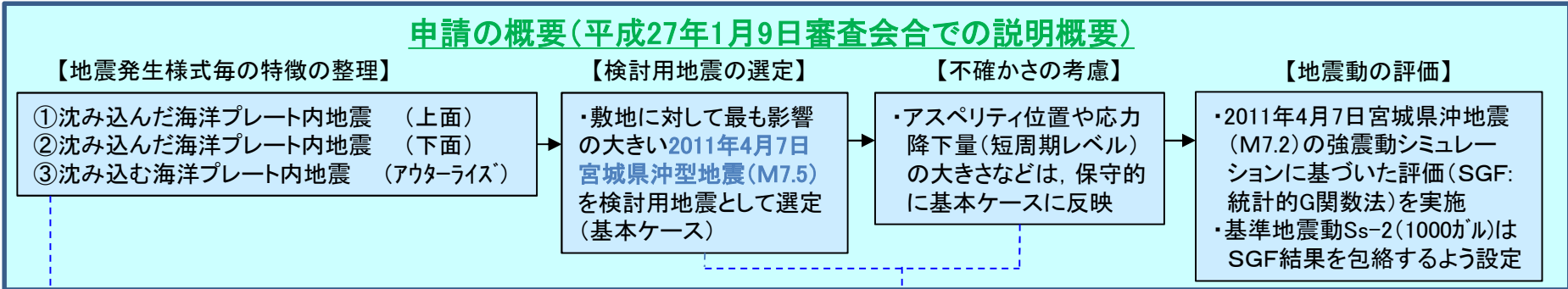
## 【本資料における地震動評価のフロー】



注:フロー図の破線部分は、本説明資料の範囲外箇所。

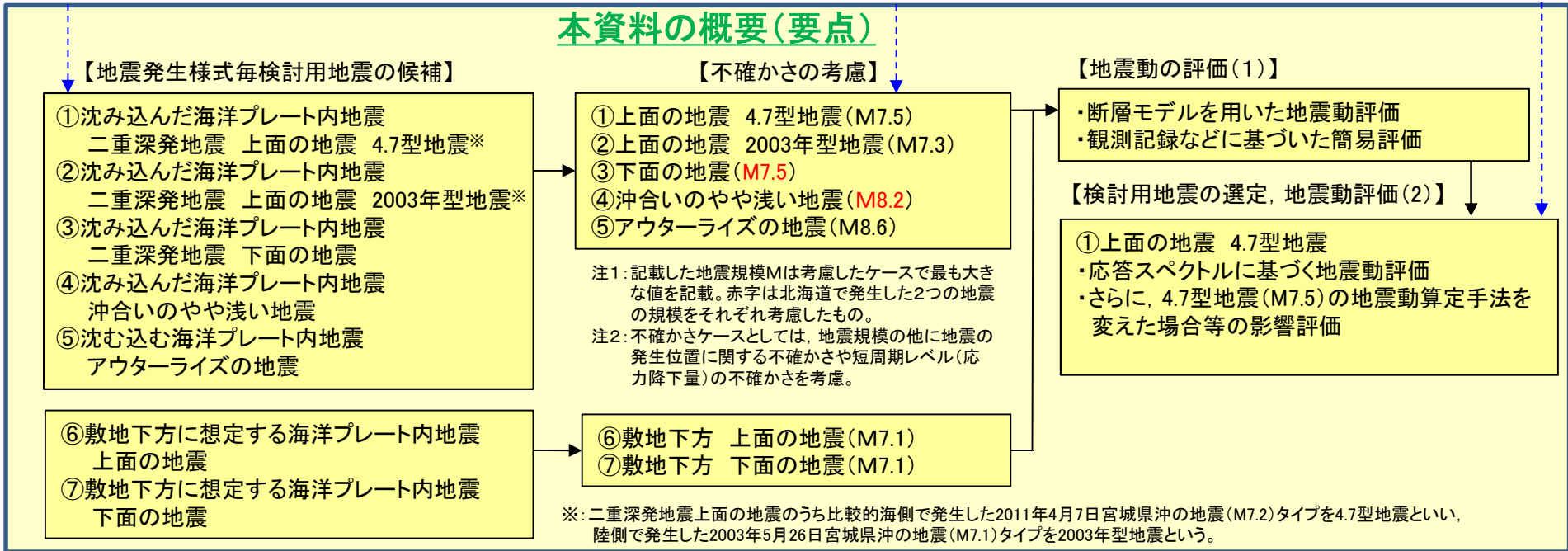
# I. 資料の概要 ～地震動評価に関する概要(申請内容との比較)～

## 申請の概要(平成27年1月9日審査会合での説明概要)



- a. 全てのタイプの地震に対して地震動評価を行うことに見直し。
- b. また、「震源を特定せず策定する地震動」と同様の主旨で、敷地下方(直下)にも地震を想定。
- c. 全ての検討対象地震に対して不確かさケースを設定。また影響評価ケースとして、北海道で発生した地震(1994年北海道東方沖地震(M8.2)等)について、同じ規模の地震を東北地方の類似位置に想定。
- d. 影響の大きい4.7型地震については、基本ケースと不確かさケースの考え方の再整理を行うとともに不確かさケースを追加。
- e. 影響の大きい4.7型地震の地震動評価に関し、EGF(経験的G関数法)による強震動シミュレーション(M7.2)と地震動評価(M7.5)を実施。
- f. 4.7型地震(M7.5)に対し、笹谷ほか(2006)を用いた場合の地震動評価を実施。また、その結果から、さらに地震規模が大きくなった場合の敷地に与える影響についても考察。

## 本資料の概要(要点)



※: 二重深発地震上面の地震のうち比較的海側で発生した2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)タイプを4.7型地震といい、陸側で発生した2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)タイプを2003年型地震という。

## Ⅱ. 世界の海洋プレート内地震

---

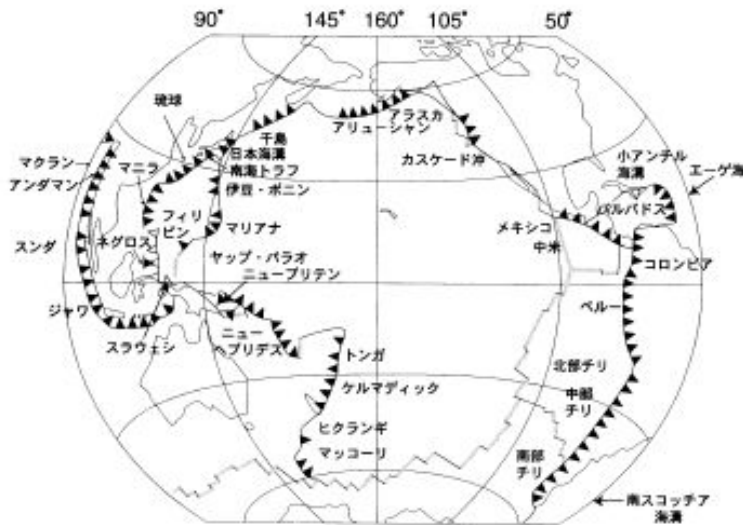
No.	コメント時期	コメント内容
S45	1月9日 第180回審査会合	世界で発生したプレート内地震について、最新の知見も踏まえ整理すること。
S46	1月9日 第180回審査会合	世界で発生したアウターライズのプレート内地震を整理したうえで、アウターライズ地震の影響について検討すること。

## II. 世界の海洋プレート内地震

### 1. 世界の海洋プレート内地震の特徴(1)

#### ■世界のプレート沈み込み帯と地震: 宇津(1999)

- ・海洋性プレートの沈み込む角度( $\delta$ ), 地震発生の深さの最大( $h_{max}$ ), 収束速度( $V_c$ )等は, 沈み込み帯により異なり多様である。
- ・サイトが位置する「東北日本」は, 同じ太平洋プレートの「千島-Kamchatka」と地震発生の深さの最大等が比較的類似している。



世界のプレート沈み込み帯(木村(2002))

$\delta$ : 地震面の傾角(本文参照),  $h_{max}$ : 震源の深さの最大, +dつきは深さ600 km前後にも分離した活動がある,  $V_c$ : 収束速度,  $\chi$ : 5.5.1項の諸論文から判定したカップリングでF(強: 70~100%), M(中: 10~70%), W(弱: 0~10%), 最大地震(今世紀中1997年末までの最大地震のマグニチュードと発生年), 注:#は背弧海盆の拡大あり。

このほかに Carabria または Tyrrhenian (イタリア, たとえば Selvaggi・Chiarabba, 1995, *GJ* 121, 818), Cascadia (Washington州・Oregon州, たとえば Atwater, 1970, *GSAB* 81, 3513), Makran (パキスタン・イラン, たとえば Byrne・Sykes, 1992, *JGR* 97, 449) などのサブダクション帯がある。

GPS観測によると Tonga-Kermadec 弧の収束速度はもっと大きいという (Bevis ほか, 1995, *NAT* 374, 249). New Hebrides では南部 (11 cm/y 前後) と北部 (3.6 cm/y) で大きく違う (Calmant ほか, 1995, *GRL* 22, 2573).

表 5.6 主なサブダクション帯

サブダクション帯	$\delta$ ( $^{\circ}$ )	$h_{max}$ (km)	$V_c$ (cm/y)	$\chi$	最大地震	注
千島-Kamchatka	45~55	620	8~9	F-M	$M_w$ 9.0 (1952)	
東北日本 (日本海溝)	25~30	600	10	M-W	$M_w$ 8.5 (1933)	
伊豆-小笠原	45~65	560	6~7	W	$M_s$ 7.6 (1909)	#
Marianas (主に米領)	70~90	650	4~5	W	$M_w$ 7.8 (1993)	#
					$m_B$ 7.9 (1914, やや深発)	
西南日本 (南海トラフ)		70	3~5	F	$M_s$ 8.2 (1946)	
琉球	45~50	250	5~7	M-W	$m_B$ 8.1 (1911)	#
Aleutian	40~65	280	7~8	F-M	$M_w$ 9.1 (1957)	
Alaska	20~45	200	5~6	F	$M_w$ 9.2 (1964)	
メキシコ	25~50	210	5~7	M	$M_s$ 8.2 (1932)	
中米	30~70	280	7~9	M-W	$M_s$ 7.9 (1942)	
Caribbean (カリブ諸国)	50~75	250	0.2~2		$M_s$ 8.1 (1946)	
コロンビア-エクアドル	30~40	210	7~8	M-F	$M_s$ 8.5 (1906)	
ペルー	25~30	200+d	7~10	M-W	$M_s$ 7.8 (1913)	
					$M_w$ 8.2 (1994, 深発)	
チリ北部	10~30	300+d	8	M	$M_s$ 8.5 (1922)	
チリ南部	25~35	170	11	F	$M_w$ 9.5 (1960)	
南 Sandwich (Scotia) (英領)	70	250	5~7	W	$M_s$ 7.7 (1929)	#
ニュージーランド	50~60	270+d	5~8		$M_s$ 7.8 (1931)	
Kermadec (ニュージーランド領)	60~70	600	6~7*	M-W	$M_s$ 7.9 (1917, 76)	#
Tonga (トンガ/フィジー)	50~60	660	5~9*	M	$M_s$ 8.4 (1917)	#
New Hebrides (バヌアツ)	65~70	300+d	8~10*	M-W	$M_s$ 8.1 (1940)	#?
Solomon (ソロモン)	50~85	520	10	M-W	$M_s$ 8.0 (1939)	
New Ireland (パプアニューギニア)	75	550	10		$M_s$ 7.9 (1919)	
New Britten (同上)	40~60	290+d		M-W	$M_s$ 7.7 (1945)	#
New Guinea (同上/インドネシア)	55	200	3~4		$M_w$ 8.2 (1996)	
Sunda (Sumatra) (インドネシア)	30~50	180	7	W	$M_s$ 7.7 (1935)	
Sunda (Java-Banda 海) (同上)	50~70	690	7~8	W	$M_w$ 8.5 (1938)	
Andaman (インド領)	20	140	2	W	$M_s$ 7.7 (1941)	#
フィリピン	40~60	660	7~8		$M_s$ 8.3 (1924)	
北 Sulawesi-Sangihe (インドネシア)	55	670			$M_s$ 8.0 (1932)	
インド-Hindu Kush (アフガニスタン)		300	6		$M_w$ 8.6 (1950)	
Aegean (Hellenic) (ギリシア)	30~45	260			$M_s$ 7.7 (1956)	#
					$m_B$ 7.7 (1926, やや深発)	

## II. 世界の海洋プレート内地震

### 1. 世界の海洋プレート内地震の特徴(2)

第180回審査会合  
資料1-1(P.3)の再掲

#### ■ 沈み込んだ海洋プレート内地震

○ Seno and Yoshida(2004)による海洋プレート内地震

- ・1977~2001年の地震についてハーバードCMTカタログなどから、Mw7.0以上、深さ20~60kmのスラブ内地震を抽出し整理している。
- ・規模は、最大でMw8.3となっている。

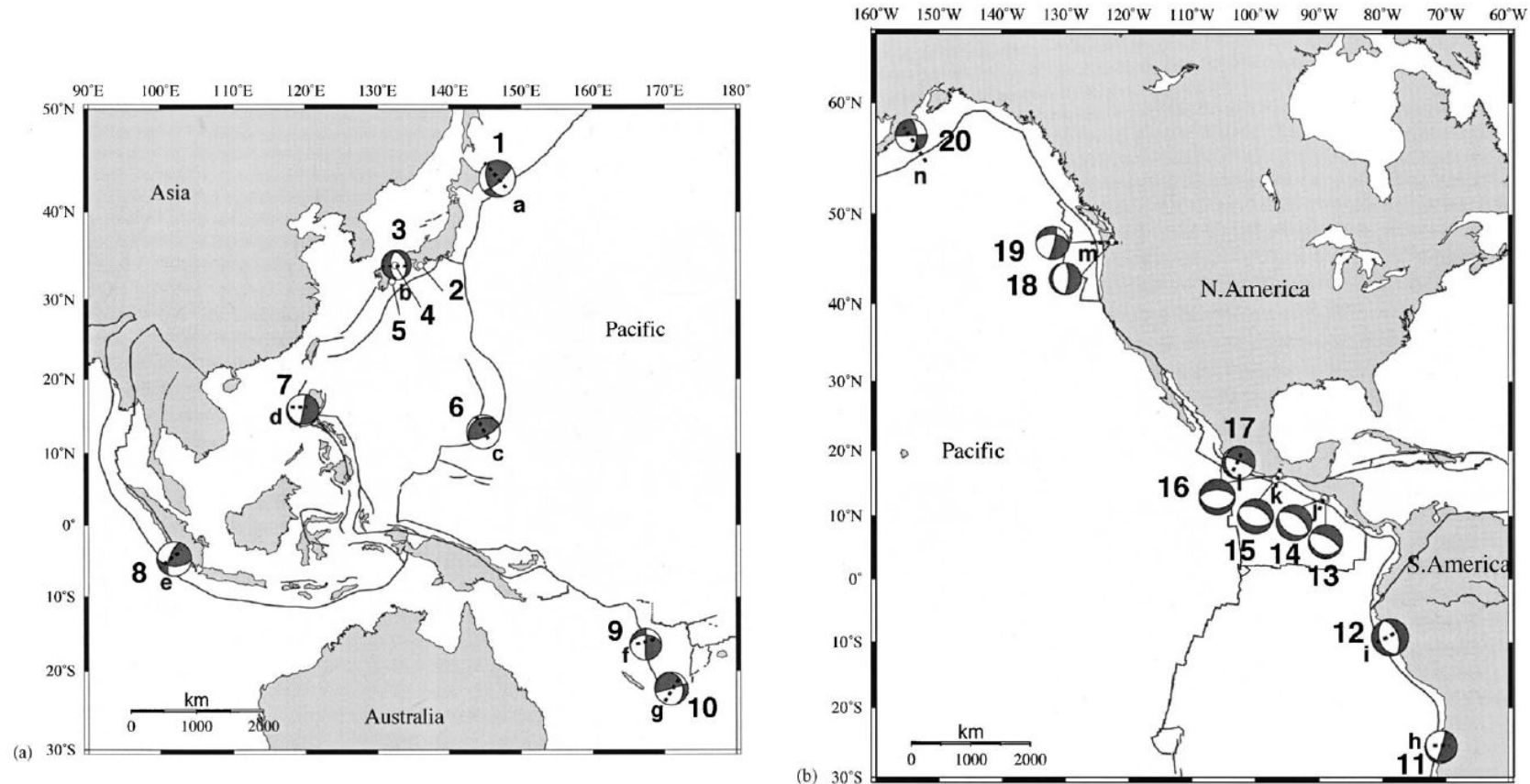


Fig. 1. Focal mechanisms of large shallow intraslab earthquakes listed in Table 1 are plotted with event numbers (lower hemispheres in an equal area projection). For Events 2, 4, and 5, only the epicenters are shown because no reliable mechanism solutions are available for these events. The dotted lines labeled with letters show sections along which *P*- and *T*-axes of nearby smaller events from the Harvard centroid moment tensor catalogue are plotted in Fig. 3. (a) Western and South Pacific regions (b) North and South American regions.



## II. 世界の海洋プレート内地震

### 1. 世界の海洋プレート内地震の特徴(3)

#### ■ Seno and Yoshida(2004)

- ・1994年北海道東方沖地震が最大規模の地震である。

Table 1  
List of large shallow intraslab earthquakes

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 <sup>a</sup>	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 <sup>a</sup>	2 June 1905	34.1	132.5	7.2	50					
5 Hyuganda <sup>a</sup>	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 <sup>b</sup>	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

<sup>a</sup> Hypocenters and magnitudes are from Utsu (1982), except for the depths of the 1899 and 1905 events which are estimated in this study. Magnitudes are referring to the Japan Meteorological Agency (JMA) magnitude.

<sup>b</sup> Hypocenters and magnitudes are from Baker and Langston (1987).

Hypocenters for other events are from the Harvard University centroid moment tensor catalogue (HCMT), except for the depths by individual studies mentioned in the text. Strike, dip and rake are from HCMT except for the 1993 Guam event: Tanioka et al. (1995), 1965 Taltal event: Malgrange and Madariaga (1983), 1970 Peru event: Abe (1972), 1931 Oaxaca event: Singh et al. (1985), and 1949 Olympia event: Baker and Langston (1987). G abbreviates gradient in the upper plate stresses.

## II. 世界の海洋プレート内地震

### 1. 世界の海洋プレート内地震の特徴(4)

#### ■ Seno and Yamanaka(1998) による海洋プレート内地震

- ・世界の海洋プレートと島弧に働く応力の状況, プレートの年代がまとめられている。
- ・東北地方(N.Honshu)は, 海洋プレート内応力が中立(Neutral), 背弧応力が圧縮(Compression)となっており, カムチャッカ(Kamchatka), 千島(Kuril)と同様となっている。また, プレートの年代も千島(Kuril)と比較して古い年代となっている。

Table 1. Slab Stresses and Back-arc Stresses

Arc	Slab Stress	Back-arc Stress	Slab Age (Ma)	Ref. (slab)	Ref. (arc)
S. Ryukyu	C	T	45	(1)	(2)
Izu-Bonin	C	T	150	(3)	(4)
Tonga	C	T	100	(3)	(5)
Kermadec	C	T	90	(3)	(5)
Kamchatka	N	C	90	(6)	(7)
Kuril	N	C	110	(8)	(9)
N. Honshu	N	C	130	(10)	(11)
E. Aleutians	N	T	53	(12)	(11)
S. Honshu	N	T	20	(13)	(9)
New Britain	N	T	30	(14)	(15)
Philippines	T	C	40	(16)	(16)
Sumatra	T	C	50	(3)	(17)
Peru	T	C	30	(18)	(19)
Chile	T	C	40	(18)	(19)
Mariana	T	T	165	(3)	(20)
Kyushu	T	T	26	(1)	(21)
Aegean	T	T	110	(22)	(23)

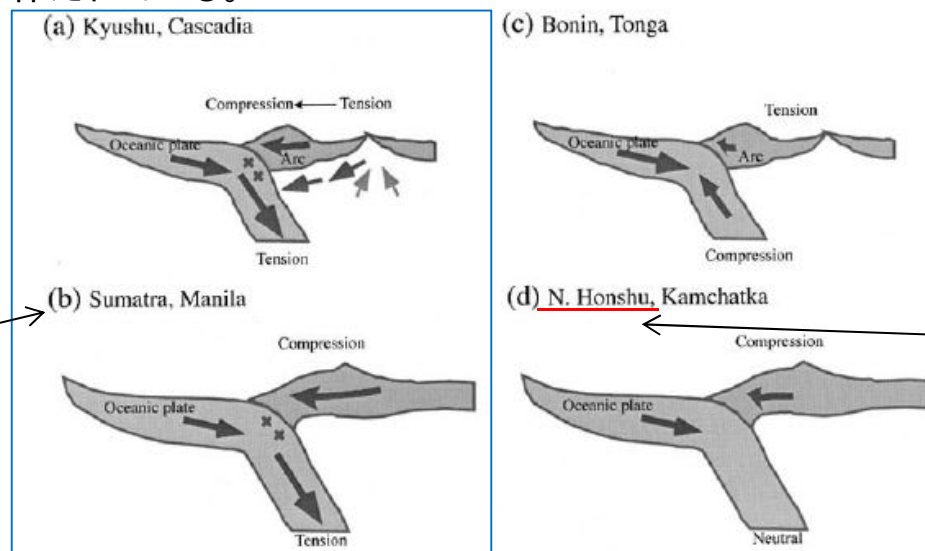
T, C and N for the slab stress indicate down-dip tension, compression, and neutral, respectively. References are (1): *Shiono et al.* [1980], (2): *Kimura*, [1985], (3): Harvard centroid moment tensor solutions and *Astiz et al.* [1986] and *Lay et al.* [1987], (4): *Honza and Tamaki* [1985], (5): *Hamburger and Isacks* [1988], (6): *Gorbatov et al.* [1994], (7): *Newberry et al.* [1986], (8): *Kao and Chen* [1994], (9): *Seno and Eguchi* [1983], (10): *Hasegawa et al.* [1978], (11): *Nakamura and Uyeda* [1980], (12): *Reyners and Coles* [1982], (13): *Ukawa* [1982], (14): *McGuire and Wiens* [1995], (15): *Taylor* [1979], (16): *Cardwell et al.* [1980], (17): *Zoback* [1992], (18): *Astiz et al.* [1986], (19): *Assumpcao* [1992], (20): *Hussong and Uyeda* [1980], (21): *Seno* [1998], (22): *McKenzie* [1978], (23): *Mercier* [1981]. Slab ages are read from Plate-tectonic map in the circum-Pacific region [*Halbouty et al.*, 1981].

1. 世界の海洋プレート内地震の特徴(5)

■ Seno and Yoshida(2004)

- ・海洋プレートと島弧に働く応力の関係を4つに分類し、規模の大きい海洋プレート内地震が発生しているパターンは、スラブに引張りが作用し、かつ、島弧の応力状態が高いFig12(a),(b)のような地域であるとしている。(Fig12(a),(b)に該当する地域では、1994年北海道東方沖地震(Mw8.3), 1993年グアムの地震(Mw7.7), 2000年スマトラの地震(Mw7.8)等が発生している。)
- ・大きな海洋プレート内地震が発生していないパターンは、Fig12(c),(d)のように、海洋プレートに圧縮力が作用している場合か、あるいは、海洋プレート内に中立応力を持っている場合としている。これらの場合、島弧の圧縮の応力に対しバランスが保たれている。

北海道は(b)に分類されている。  
(文献中に、「This case is seen in Sumatra, Manila, and E.Hokkaido.」と記載がある。)



東北地方は(d)に分類されている

※Seno and Yoshida(2004)に一部加筆

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.

## II. 世界の海洋プレート内地震

### 2. 近年の海洋プレート内地震

#### ■ 近年のプレート内地震

- ・Seno and Yoshida(2004)で整理されている海洋プレート内地震(Mw7.0以上、深さ20~60km)以降に発生した海洋プレート内地震(日本周辺を除く)についてSeno and Yoshida(2004)と同等の条件で収集を行った。
- ・2009年9月30日インドネシアのスマトラ南部でMw7.5の地震が発生している。「スマトラ」は、Seno and Yoshida(2004)では、(b)の地域で大きな海洋プレート内地震が発生する地域に該当している。

#### 【気象庁 平成21年9月地震・火山月報(防災編)】

- ・2009年9月30日インドネシアのスマトラ南部でMw7.5(Mwは気象庁による)の地震が発生した。
- ・この地震は、スマトラ島の下に沈み込むインド・オーストラリアプレートの内部で発生した地震で、発震機構(気象庁CMT解)は北西-南東方向に圧力軸を持つ型であった。
- ・この地震により、津波が発生し、震央周辺のパダン(インドネシア)では0.3m程度の津波を観測した。

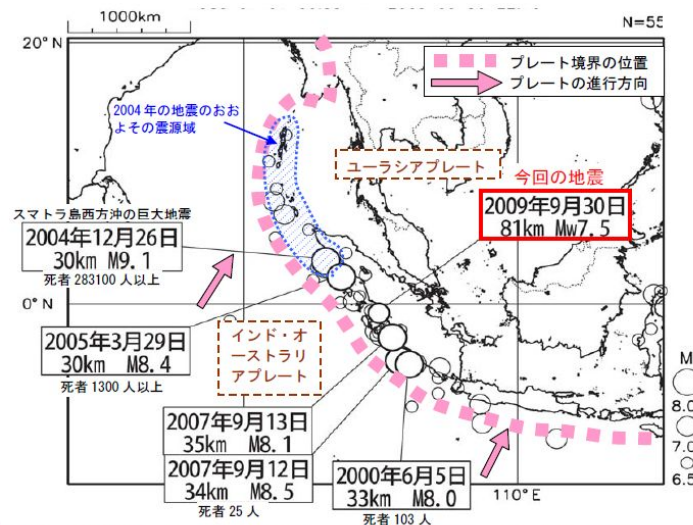
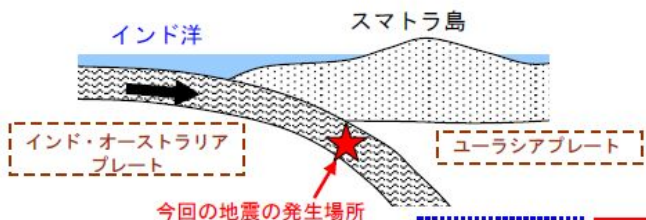


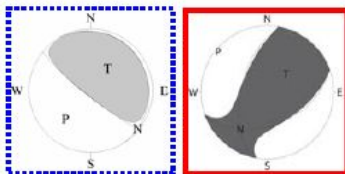
図1 1980年以降にスマトラ島周辺で発生した規模の大きな地震の震央分布  
1980年1月1日~2009年9月30日に発生した、深さ0~100km、M $\geq$ 6.5の地震を表示。  
震源要素、被害はUSGSによる。ただし、今回の地震のMwは気象庁による。

図2 スマトラ島周辺のテクトニクス

スマトラ島付近では、西側からインド・オーストラリアプレートが沈み込んでいる。今回の地震は、震源が81kmとやや深く、発震機構もプレート境界で発生する地震とは異なるものであったことから、沈み込むプレートの内部で発生した地震である。



プレート境界の地震の発震機構  
北東-南西方向に圧力軸を持つ逆断層型  
(2004年のスマトラ島西方沖の巨大地震の発震機構(Global CMT解))



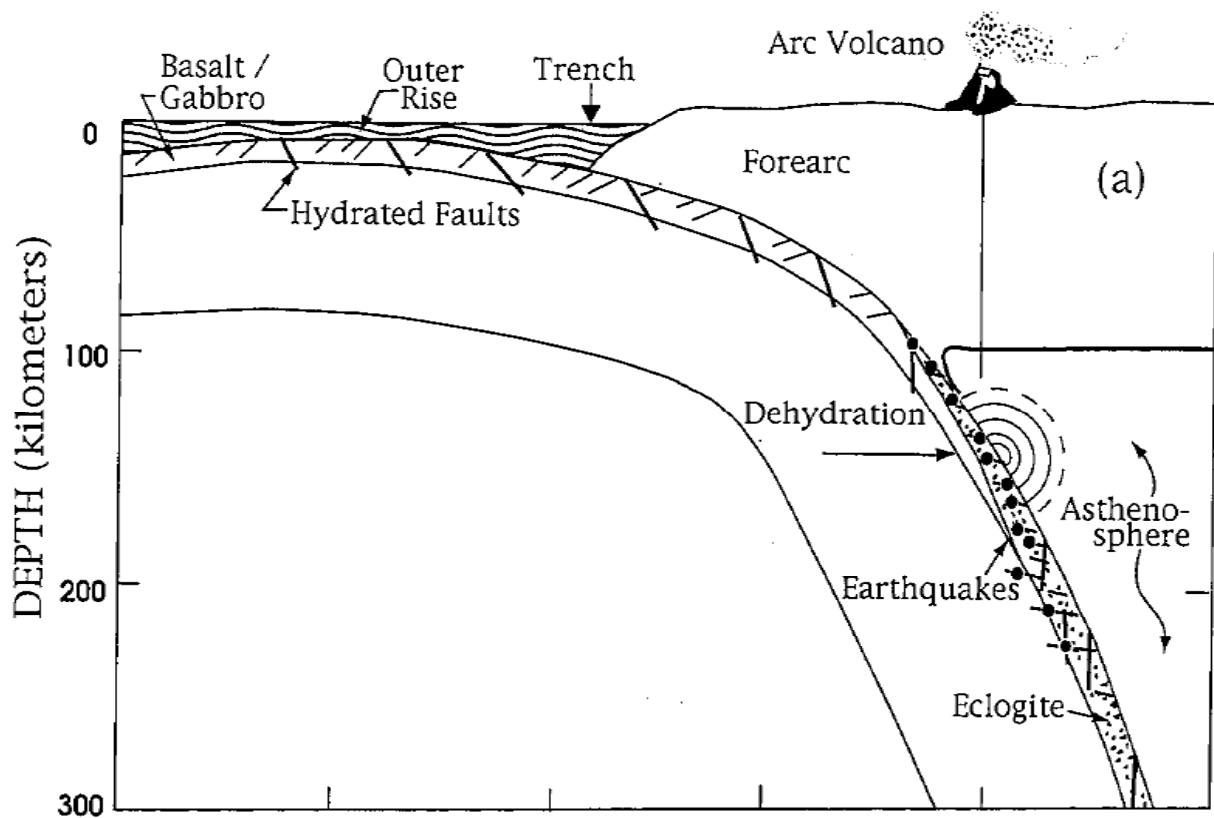
今回の地震の発震機構(気象庁CMT解)  
北西-南東方向に圧力軸を持つ型

## II. 世界の海洋プレート内地震

### 3. アウターライズ地震(1)

#### ■ 沈み込む海洋プレート内地震(アウターライズ地震)の発生メカニズム

- ・海洋プレートは、沈み込む際に下方に曲げられ、そのため海溝付近の海洋プレートの浅い部分で正断層型の地震が発生する。
- ・この正断層には、海側と陸側に傾斜した両方のタイプがあるが、どちらも傾斜角 $60^{\circ}$ 程度になる(海洋プレート表面となす角度が $60^{\circ}$ 程度)。



プレートのベンディングによる海溝 - アウターライズにおける正断層型地震の発生と海洋プレート内地震としての再活動(Kirby et al.(1996))

## II. 世界の海洋プレート内地震

### 3. アウターライズ地震(2)

#### ■ 沈み込む海洋プレート内地震(アウターライズ地震)

○Alvarez-Gomez et al.(2012)によるアウターライズ地震

- ・20世紀以降に大津波をもたらしたアウターライズ地震(6地震)を下表のように整理している。
- ・これによれば, 1933年三陸沖の地震が最大規模の地震である。

**Table 2**  
Rupture parameters of the compiled outer-rise great events.

Id.	Date dd/mm/yyyy	Place	$M_w$	Length km	Width km	Bottom km	Dip °	Slip m	Rigidity $\text{Nm}^{-2}$	Reference
a	03/02/1933	Sanriku	8.4	185	100	70	45	3.3	-	Kanamori (1971)
b	03/02/1933	Sanriku	8.4	220	35	25	45	8	$7.0 \times 10^{10}$	Kirby et al. (2008)
c	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	80	60	50	1.2	$7.0 \times 10^{10}$	Abe (1972)
d	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	40	30	50	6	$5.0 \times 10^{10}$	Beck and Christensen (1991)
e	19/08/1977	Sunda	8.2	200	70	40	45	3	$6.4 \times 10^{10}$	Gusman et al. (2009)
f	19/08/1977	Sunda	8.2	200	25	29	45	9	$4.0 \times 10^{10}$	Spence (1986), Lynnes and Lay (1988)
g	04/05/1990	Mariana	7.3	40	25	29	48	3.4	$4.0 \times 10^{10}$	Satake et al. (1992)
h	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	40	48	1.5	$4.0 \times 10^{10}$	Satake et al. (1992)
i	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	-	48	-	-	Yoshida et al. (1992)
j	04/09/2001	Juan Fernandez Ridge	6.7	70	26	30	51	1	$4.0 \times 10^{10}$	Fromm et al. (2006)
k	13/01/2007	Kuril	7.9	120	40	35	45	1.9	$5.0 \times 10^{10}$	Fujii and Satake (2008)
l	13/01/2007	Kuril	8.0	130	30	-	37	6.4	$4.0 \times 10^{10}$	Tanioka et al. (2008)

## Ⅱ. 世界の海洋プレート内地震

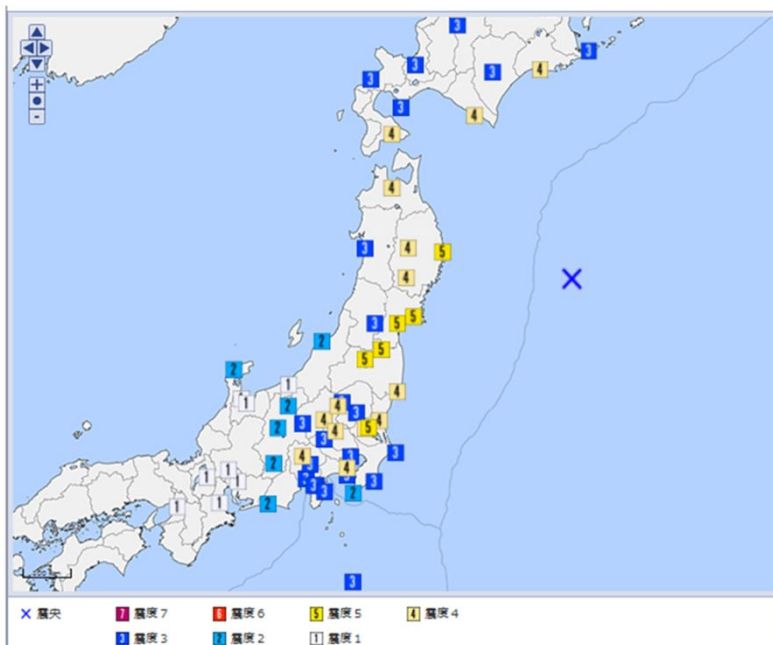
### 3. アウターライズ地震(3)

#### ■ 1933年三陸沖の地震(M8.1)

##### 【地震本部(2012)】

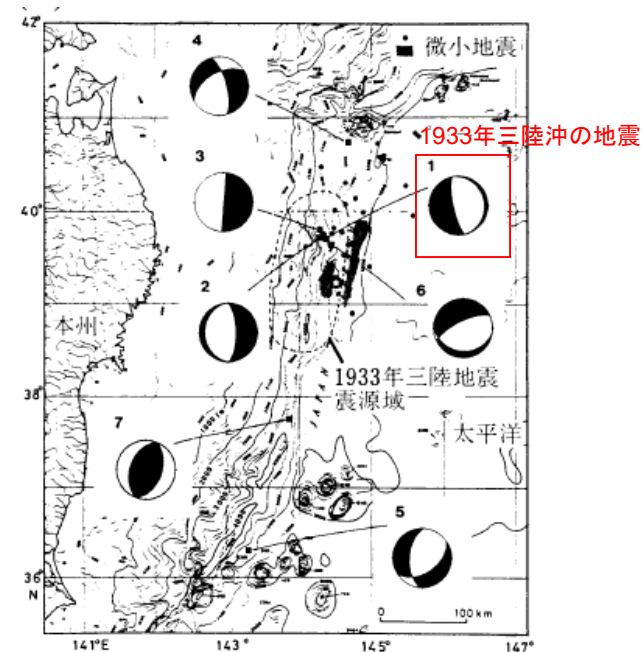
- ・三陸沖から房総沖にかけて過去にプレート内で発生した正断層型の地震は、1933年に発生した地震が知られている。瀬野(1995)によれば、このタイプの地震は沈み込もうとしているプレートが曲げを受ける部分で起きる浅い正断層型の地震と考えられる。
- ・地震による被害は少なく、三陸地方で壁の亀裂、崖崩れ、石垣・堤防の決壊があった程度。震後約30分～1時間の間に津波が北海道・三陸の沿岸を襲い大きな被害が出た。

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1933/03/03 02:30	三陸沖	39° 07.7' N	145° 07.0' E	0km	M8.1	5



1933年三陸沖の地震 震度分布  
(気象庁 震度検索データベース)

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>

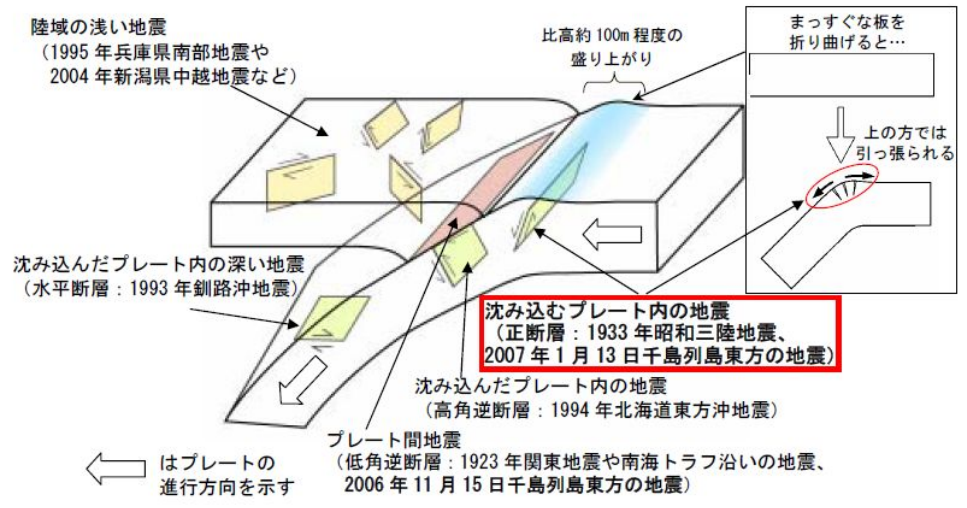
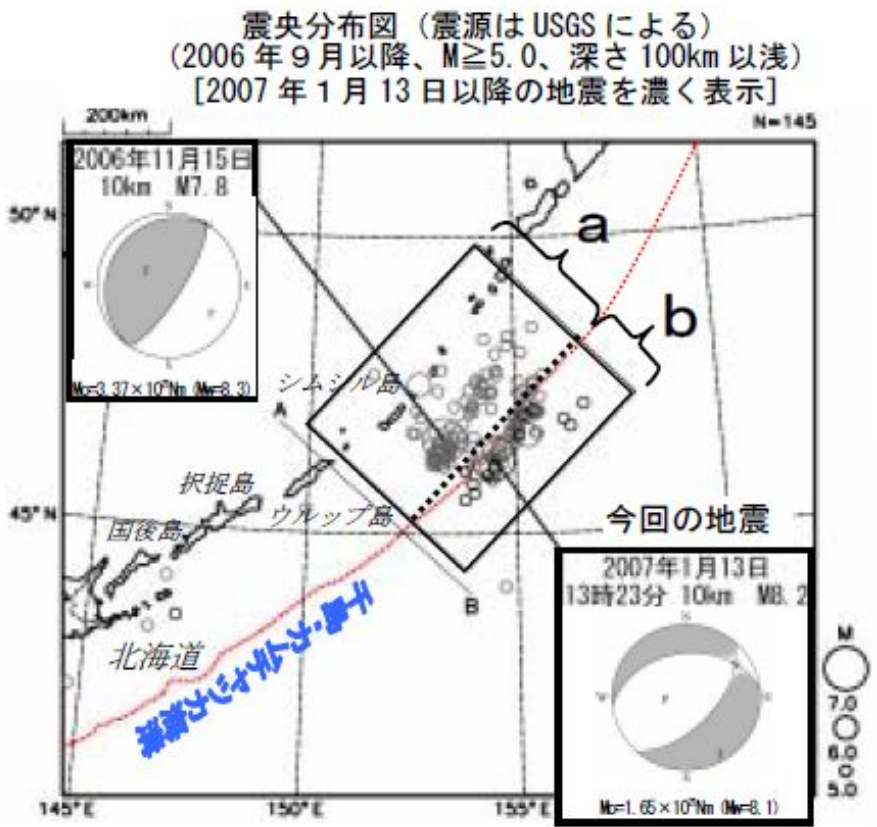


1933年三陸沖の地震 発震機構(瀬野(1995)に一部加筆)

# II. 世界の海洋プレート内地震 3. アウターライズ地震(4)

## ■2007年1月13日の千島列島東方(シムシル島東方沖)の地震

【気象庁 平成19年1月地震・火山月報(防災編)】  
 ・2007年1月13日13時23分頃(日本時間)、千島列島東方(シムシル島東方沖)でM8.2(USGSによる表面波マグニチュード。気象庁によるマグニチュードもM8.2, 深さ30km, 最大震度3)の地震が発生した。発震機構(ハーバード大学によるCMT解)は北北西-南南東方向に張力軸を持つ正断層型で、2006年11月15日の地震のようなプレート境界で発生した地震ではなく、千島・カムチャッカ海溝の外側の太平洋プレート内部で発生した浅い地震と考えられる。



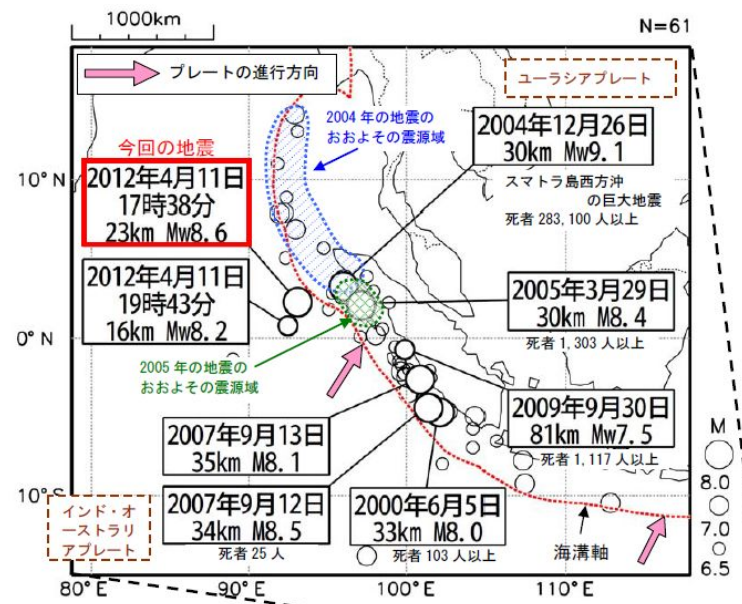


# II. 世界の海洋プレート内地震 3. アウターライズ地震(5)

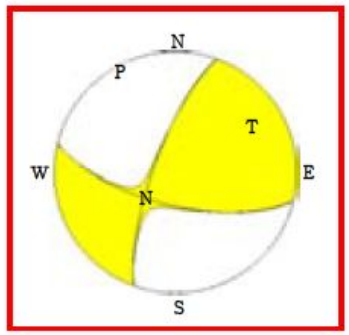
## ■2012年4月11日のインドネシア, スマトラ北部西方の地震(Mw8.6)

【気象庁 平成24年4月地震・火山月報(防災編)】

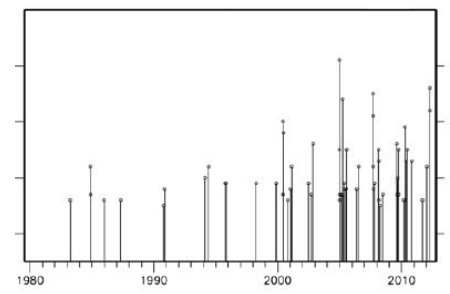
- ・2012年4月11日17時38分(日本時間)、インドネシアのスマトラ北部西方沖でMw8.6の地震が発生した。また、米国海洋大気圏局(NOAA)によると、インドネシアのムラボで1.08mの津波が観測されるなど、インド洋沿岸の広い地域で津波を観測した。
- ・今回の地震の発震機構(気象庁のCMT解)は東北東-西南西方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で、ユーラシアプレートの下に沈み込む前のインド・オーストラリアプレートの内部で発生した地震である。
- ・この地震は2004年12月26日の地震(Mw9.1)の震源域に近い海溝軸から南西方向に約100km離れた場所で発生した。



今回の地震の最大余震の発震機構 (USGSのCMT解)



※横ずれ断層型であることから、一般的なアウターライズ地震(正断層)とはメカニズムが異なる。地震本部(2015)では海溝軸の外側の領域(アウターライズの領域)で発生した地震としている。



※本資料中、2012年4月11日17時38分の地震と2009年9月30日の地震のMwは気象庁による。その他の震源要素は米国地質調査所(USGS)による。被害は米国地質調査所(USGS)の資料より引用。

図1 震央分布図(1980年1月1日~2012年4月30日、深さ0~100km、M≥6.5)とM-T図

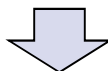
## Ⅱ. 世界の海洋プレート内地震

### 4. まとめ

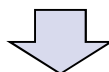
#### ■世界の海洋プレート内地震 まとめと地震動評価への反映

##### ○沈み込む海洋プレート内地震

・Seno and Yamanaka(1998)から、カムチャッカ、千島(クリル)と東北地方の太平洋プレートは島弧の応力パターン、プレートの年代が比較的似ている。



・Seno and Yoshida(2004)では、海洋プレートと島弧に働く応力の関係から、規模の大きな海洋プレート内地震が発生しているのは、スマトラ、マニラ、北海道等である。東北地方は大規模な地震が発生していない地域となっている。

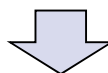


##### 【地震動評価への反映】

・東北地方では大規模な海洋プレート内地震は発生していないが、念のために、北海道で発生した2つの大地震(1993年釧路沖地震(M7.5), 1994年北海道東方沖地震(M8.2))と類似タイプの大地震を東北地方に想定した場合の地震動評価を行う。

##### ○沈み込んだ海洋プレート内地震(アウターライズ地震)

・海溝軸付近の海洋プレート浅部でM8クラスの正断層型の地震が発生。1933年三陸沖の地震が最大規模の地震。



##### 【地震動評価への反映】

・1933年三陸沖の地震に、さらに不確かさを考慮した場合の地震動評価を行う。

余白

### Ⅲ. 海洋プレート内地震の地震動評価

## 1. 海洋プレート内地震の検討方針と不確かさの考え方について

#### 海洋プレート内地震の地震動評価に関するこれまでの説明(平成27年1月9日)の概要

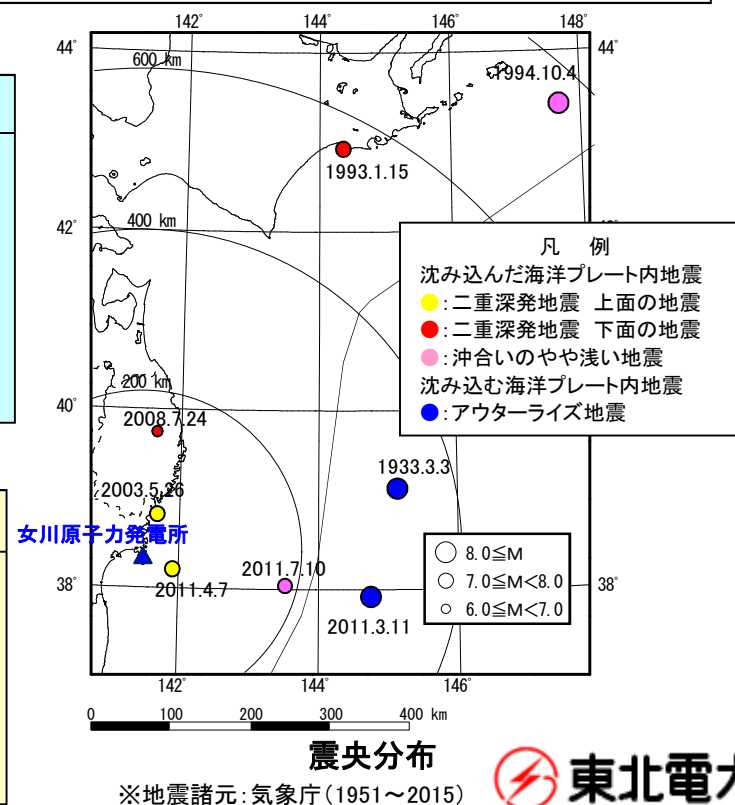
- ・検討用地震の選定にあたっては、太平洋プレートの沈み込み角度の違いから生じるテクトニクスの特徴の違いを踏まえ、敷地が位置する東北地方の領域と北海道の領域を区分して考慮。
- ・東北地方では、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2, 以下「4.7地震」と呼称)のような二重深発地震の上面の地震の活動が卓越しており、4.7地震は、その震源断層の位置からも敷地に最も影響が大きい地震であったため、**検討用地震として、2011年4月7日宮城県沖型地震(4.7型地震)を選定。**
- ・4.7地震は、宮城県沖の海洋性マンタルの低速度域で発生していること、また、低速度域は4.7地震の北側にも広がっていることから、**低速度域の拡がり等も考慮して4.7型地震の地震規模をM7.5として考慮。**
- ・4.7地震の強震動シミュレーション解析結果も踏まえ、4.7型地震(M7.5)の地震動を評価。基準地震動Ssは、この結果を包絡するように設定。

#### 地震の想定と不確かさの考慮に関するコメントの概要

- ①検討用地震として、過去の地震が敷地に与えた影響等から4.7型地震を選定しているが、例えば、その他の地震についても不確かさを考慮した場合、敷地に与える影響が大きい結果になることは無いのか。**検討用地震の選定方法の考え方について整理が必要。**
- ②特に北海道で発生している1993年釧路沖地震(M7.5, 二重深発面の下面の地震)や1994年北海道東方沖地震(M8.2, 沖合いのやや浅い位置で発生した地震)と同様の地震を東北地方で想定した場合の影響についても確認が必要。

#### 本資料の概要

- ①コメントを踏まえ、東北地方の全てのタイプの地震について、**不確かさを考慮した上で敷地への影響評価を行った。**その際の不確かさの考え方について、これまで評価している4.7型地震も含め**再整理**を行い、地震動評価を行った。
- ②また、北海道で発生した大地震(二重深発面の下面の地震, 沖合いのやや浅い位置で発生した地震)についても、**同様のタイプの地震の東北地方での想定について考え方を整理し、地震動評価を行った。**



# 1. 海洋プレート内地震の検討方針と不確かさの考え方について

## 海洋プレート内地震の不確かさの考え方 ～地震のタイプとその特徴の整理～ (1)

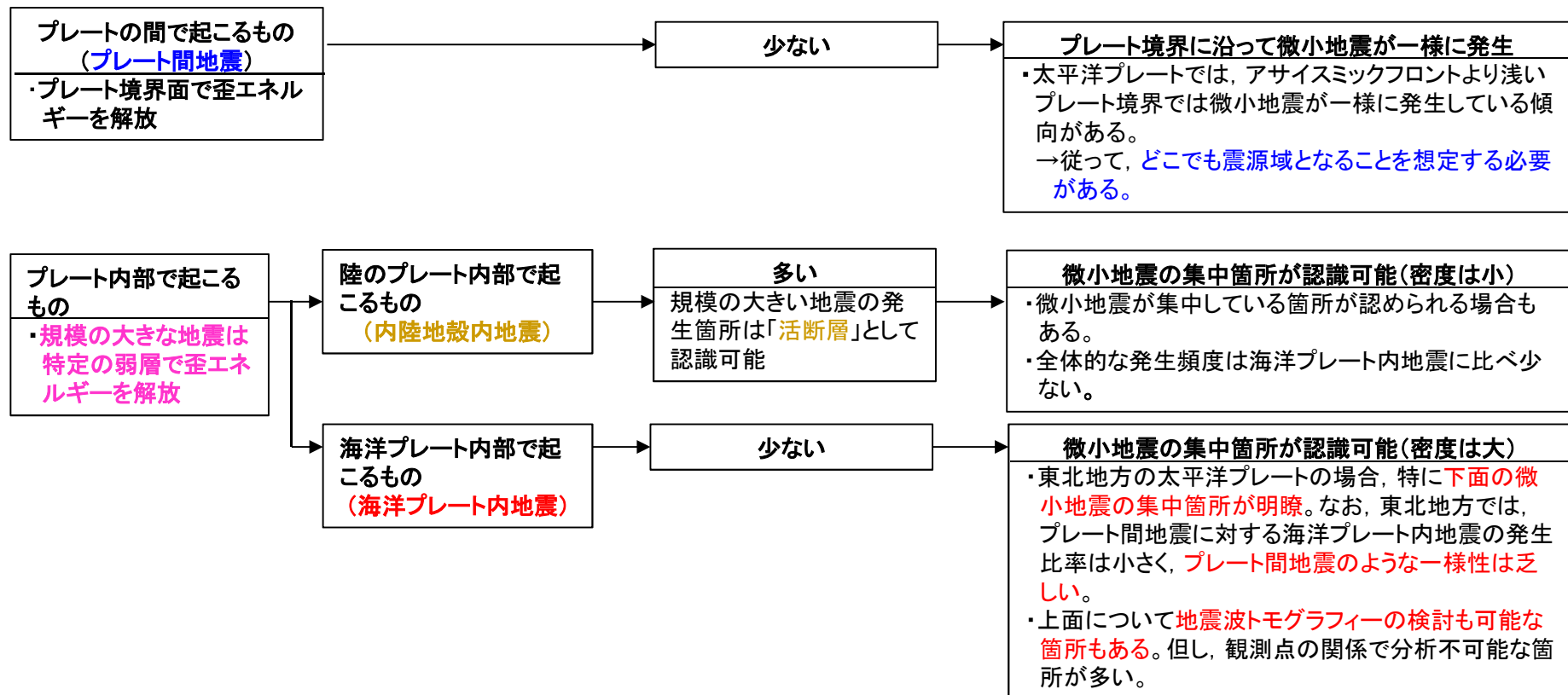
### 【海洋プレート内地震の特徴(プレート間地震, 内陸地殻内地震との比較)】

- ①海洋プレート内地震は内陸地殻内地震と同様にプレート内部の弱層で発生する地震であり, 東北地方では微小地震の分布はプレート間地震のように一様に分布している訳ではなく, **海洋プレート内地震の発生が集中する箇所**の識別が可能。従って, タイプによって想定位置の特定は可能。しかし, **沖合いなど観測の精度が落ちる箇所**もあり, 観測の精度に応じたより保守的な評価が必要。
- ②また, 内陸地殻内地震と比べ, 海洋プレート内地震の場合, **変動地形学・地質学的データ**による評価が難しいため, この点からもより保守的な評価が必要。例えば, 活断層からは地震規模の推定が可能であるが, 海洋プレート内地震の場合, **直接的な地震規模の推定は困難**なため, **保守的な評価が必要**。

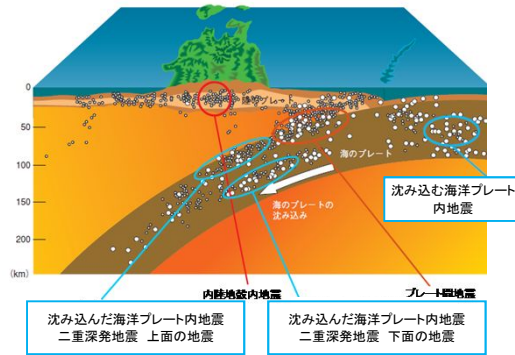
### 【地震のタイプとその特徴】

### 【変動地形学・地質学的データ】

### 【地球物理学的データ】 (特に微小地震による検討)

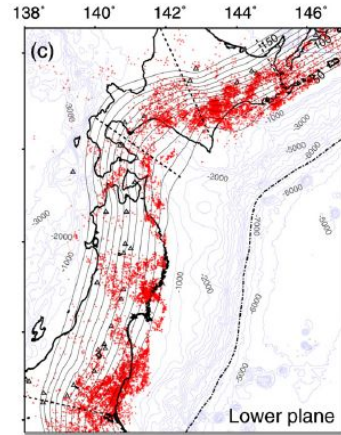


# 1. 海洋プレート内地震の検討方針と不確かさの考え方について 東北地方の海洋プレート内地震の微小地震分布の特徴



■地震発生モード図

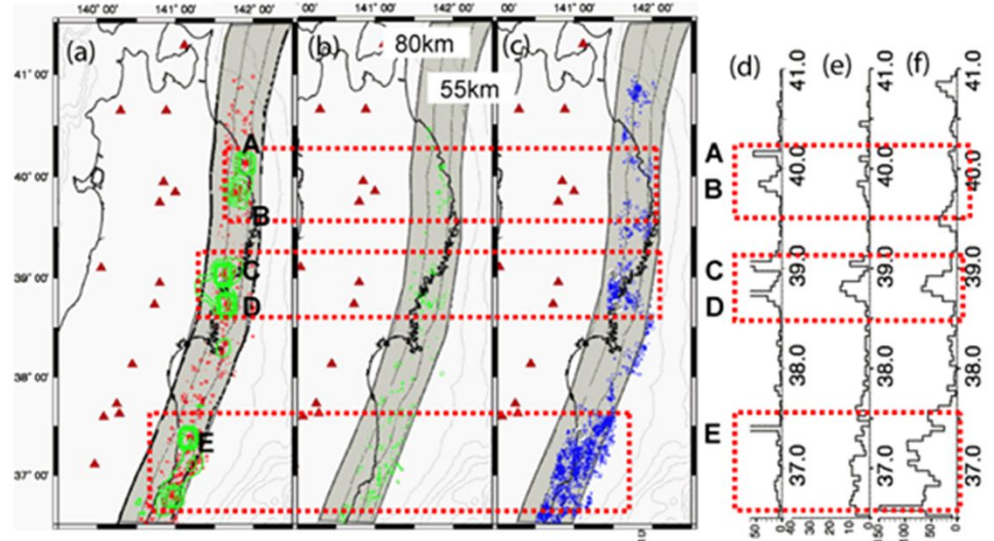
(地震本部(2014a)に一部加筆。)



■下面の地震の震央分布例

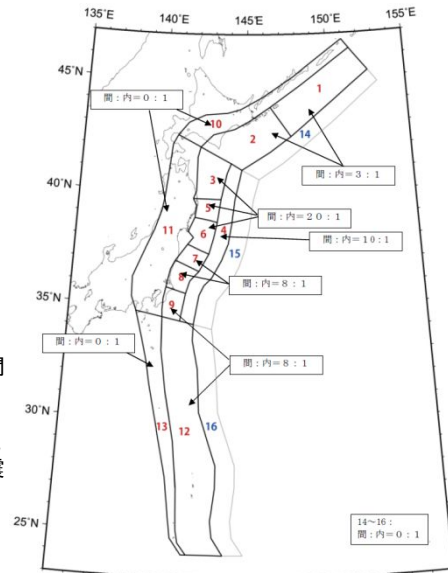
(Kita et al. (2010))

東北地方では、下面の地震は空間的に非一様に分布する。

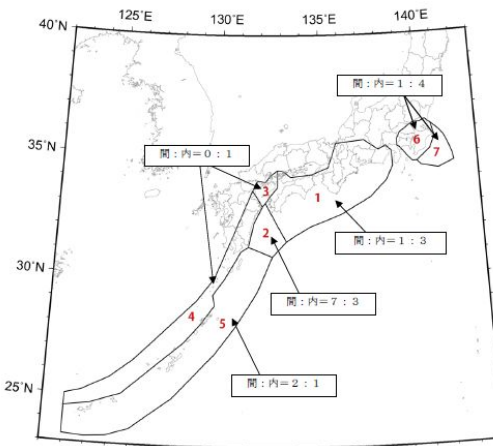


■(a) 上面下部, (b) 面間 及び (c) 下面の地震の震央分布  
(Kita et al.(2007))

東北地方では、上面下部・面間・下面の地震の分布が空間的に互いによく対応している箇所があり、2003年宮城県沖の地震の余震域は、上面下部・面間・下面に渡って活動が見られる領域と対応している。



太平洋プレートで発生する地震



(参考) フィリピン海プレートで発生する地震

■領域ごとのプレート間地震と海洋プレート内地震の発生頻度の比 (地震本部(2014b))

地震本部の長期評価では、プレート間地震と海洋プレート内地震の「震源を予め特定しにくい地震」の発生頻度を過去の地震からもとめているが、東北地方は北海道と比較しプレート間地震に対する海洋プレート内地震の発生比率は小さい(1/20~1/10)ものになっている。

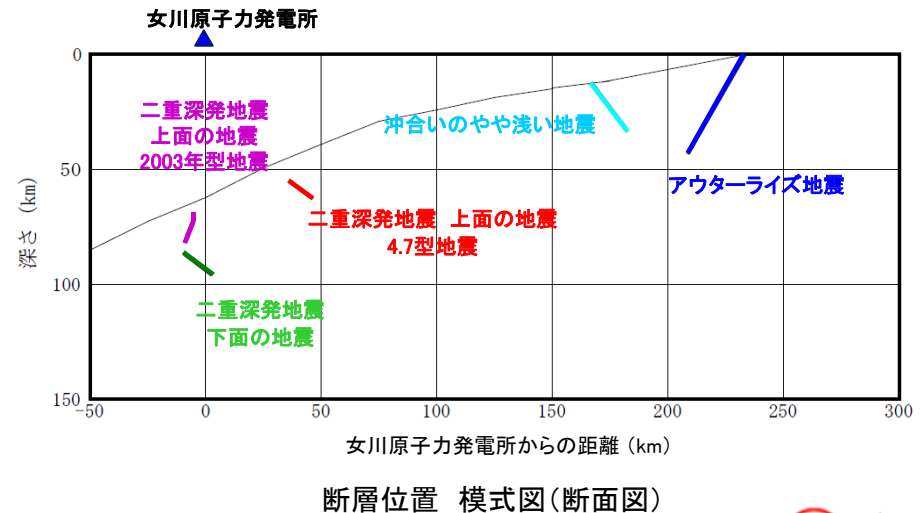
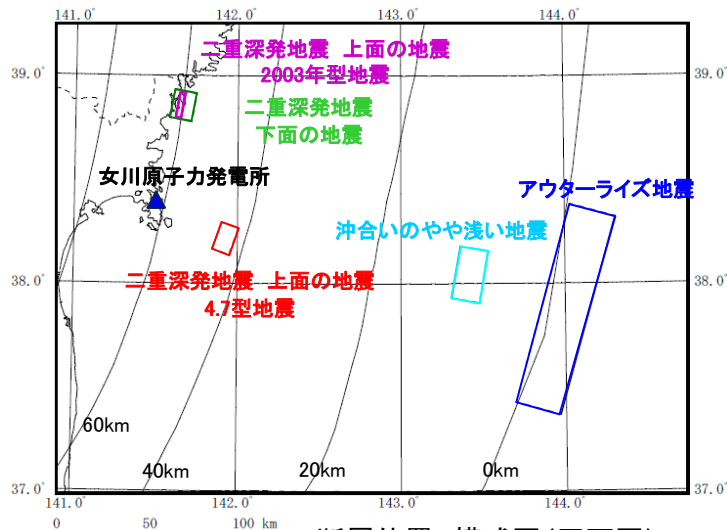
# 1. 海洋プレート内地震の検討方針と不確かさの考え方について

## 検討を行う海洋プレート内地震のタイプ

### ■ 海洋プレート内地震のタイプの整理

- ・東北地方の沈み込んだ海洋プレート内で発生した地震を元に、海洋プレート内地震を4つのタイプに分類した。
- ・このうち、二重深発地震の上面の地震については、東北地方では2つのM7クラスの地震(2003年5月26日宮城県沖の地震, 2011年4月7日宮城県沖の地震)が発生しているが、発生位置に関する知見の違いも考慮し、それぞれについて評価することとした。
- ・海洋プレート内地震としては、沈み込む海洋プレート内地震のアウトサイズ地震もあることから、合わせて考え方を整理した。

No.	タイプ名	東北地方で発生した主な地震	北海道で発生した主な地震
1	沈み込んだ海洋プレート内の地震	二重深発地震 上面の地震 4.7型地震	
2		二重深発地震 上面の地震 2003年型地震	
3		二重深発地震 下面の地震	1993年釧路沖地震(M7.5)
4		沖合いのやや浅い地震	1994年北海道東方沖地震(M8.2)
5	沈み込む海洋プレート内の地震 アウトサイズの地震	1933年三陸沖の地震(M8.1) 2011年3月11日三陸沖の地震(M7.5)	



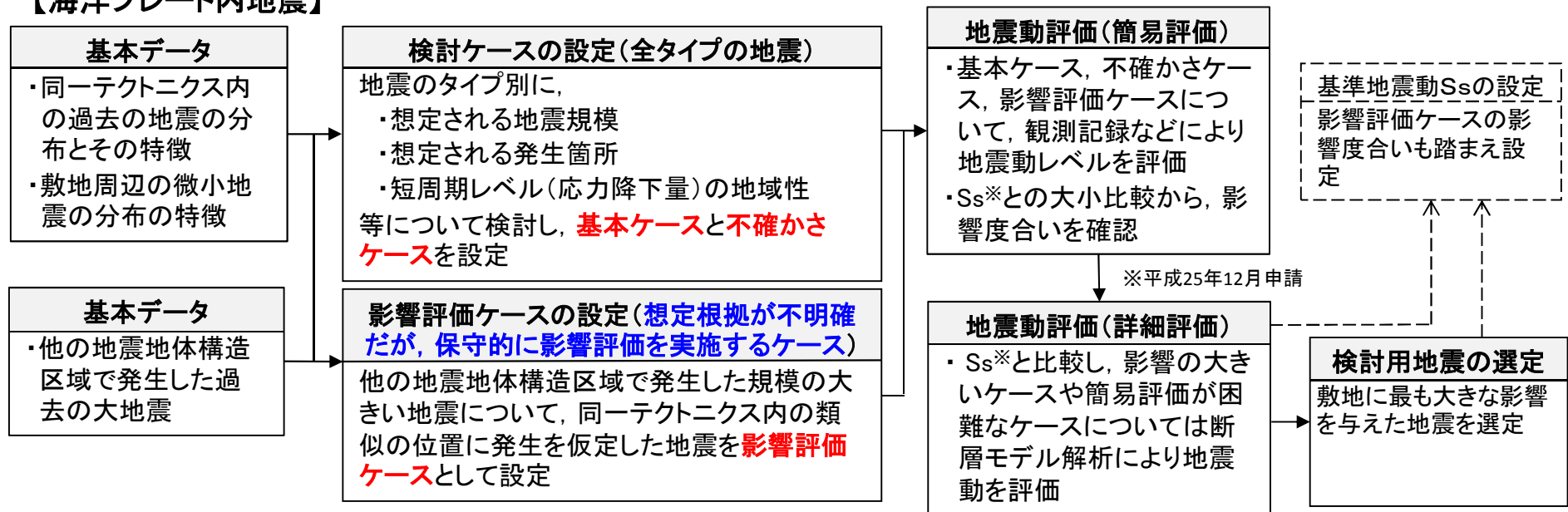
影響評価を行う海洋プレート内地震のタイプ

# 1. 海洋プレート内地震の検討方針と不確かさの考え方について

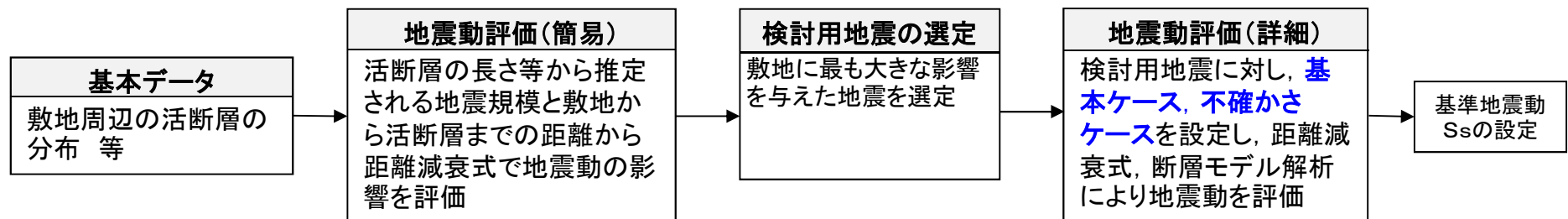
## 海洋プレート内地震の不確かさの考え方 ～地震のタイプとその特徴の整理～ (2)

- 海洋プレート内地震の場合、想定される地震規模や想定される場所については、内陸地殻内地震と比較しより保守的な評価が必要であることを踏まえ、それぞれのタイプ別に基本ケース、不確かさケースを設定し、影響評価を行う。
- また、北海道と東北地方ではテクトニクスに違いが指摘されているものの、北海道で発生した2つの大地震(1993年釧路沖地震(M7.5, 二重深発地震の下面の地震), 1994年北海道東方沖地震(M8.2, 沖合いのやや浅い位置で発生した地震))を東北地方の類似の位置に想定した場合の地震を影響評価ケースとして設定し、影響評価を行う。

### 【海洋プレート内地震】



### 【(参考)内陸地殻内地震】

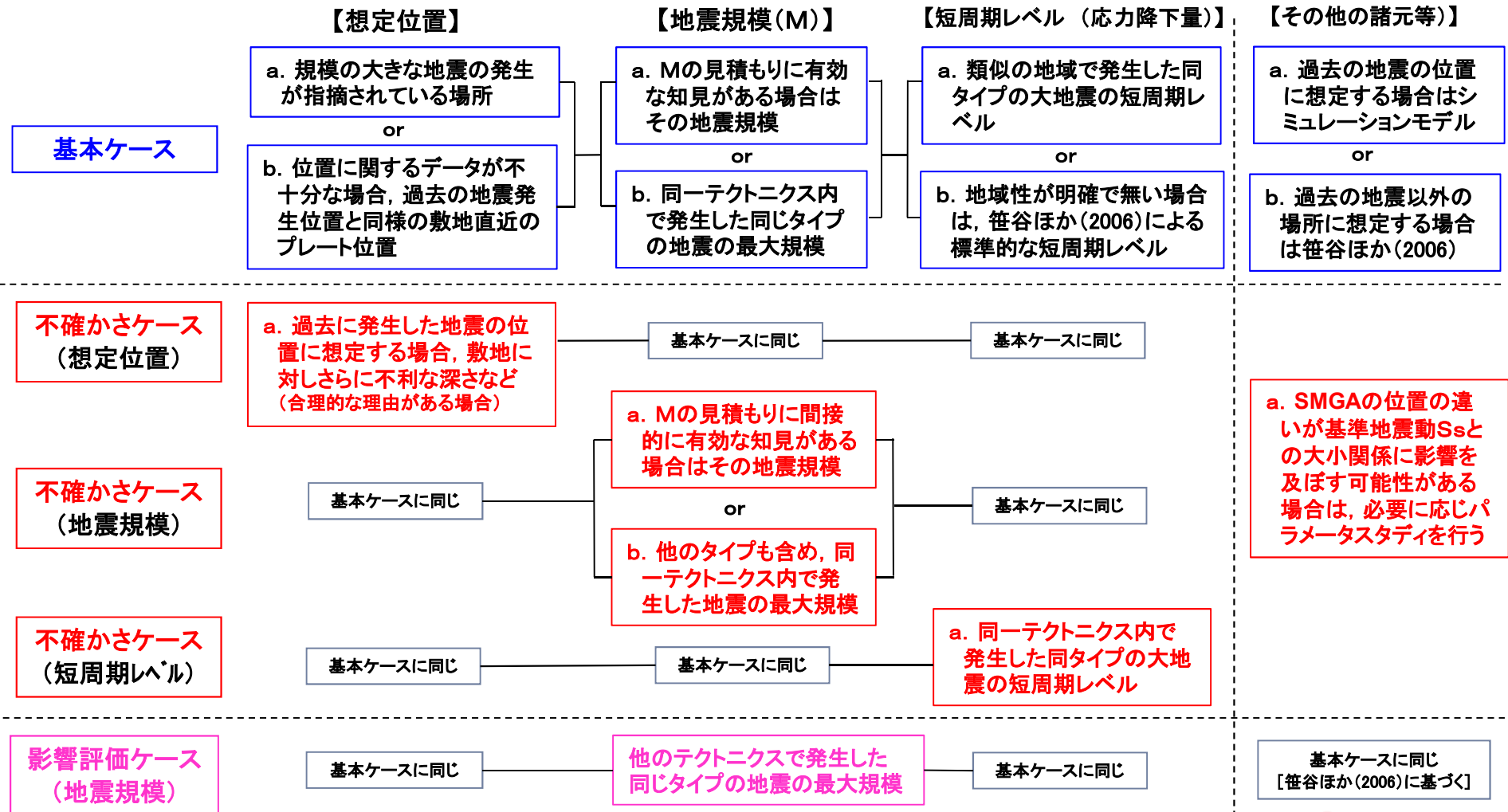




# 1. 海洋プレート内地震の検討方針と不確かさの考え方について

## 海洋プレート内地震の不確かさの考え方 ～主要パラメータの組合わせ～

○海洋プレート内地震の地震動評価では、想定位置と地震規模に加え、短周期レベル(応力降下量)の不確かさによる影響が大きい。パラメータの設定は、それぞれのパラメータの設定根拠の有無や信頼性を勘案して、基本ケースや不確かさケースを設定する。  
○また、想定位置や地震規模などについて明確な設定根拠が無い場合でも、影響評価ケースとして地震動評価を行う。



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

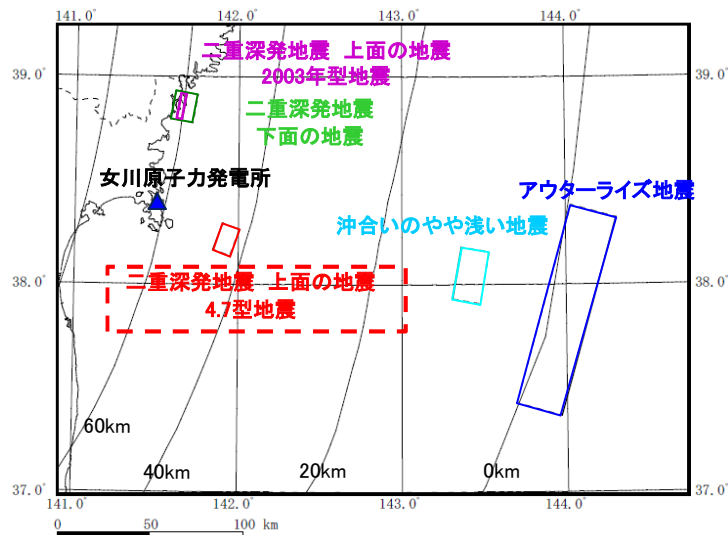
No.	コメント時期	コメント内容
S42	1月9日 第180回審査会合	北海道で発生するようなプレート内の二重深発地震面下面の大地震を検討用地震として考慮する必要があるかどうかも含め影響について検討すること。
S47	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルの巨視的パラメータの設定において、断層モデルの位置、傾斜角の考え方について整理すること。また、パラメータの違いによる影響について断層モデルを用いた検討を行うこと。
S49	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の短周期レベルについて、最新の知見等を整理すること。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

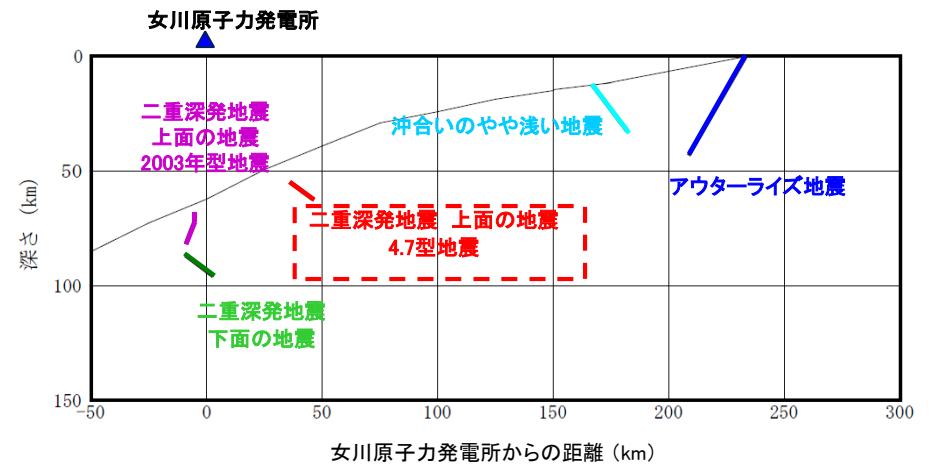
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■二重深発地震 上面の地震 4.7地震の特徴

項目	想定位置	地震規模	短周期レベル (応力降下量)	備考
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震波トモグラフィから、4.7地震の発生位置は太平洋プレート内の海洋性マンタルの低速域と対応している。</li> <li>余震分布から、破壊は海洋プレート内の応力中立面付近からはじまり海洋性マンタル内で発生。</li> <li>4.7地震は相対的に敷地に対して最も厳しい位置で発生した地震。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.7地震の地震規模はM7.2。</li> <li>余震域の北側の海洋性マンタルに低速域が広がっている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.7地震の短周期レベルは、東北地方で発生した規模の大きい海洋プレート内地震としては最大レベル(笹谷ほか(2006)の約1.5倍)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.7地震については敷地での観測記録に基づいた強震動シミュレーション解析を実施。</li> </ul>



断層位置 模式図(平面図)



断層位置 模式図(断面図)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

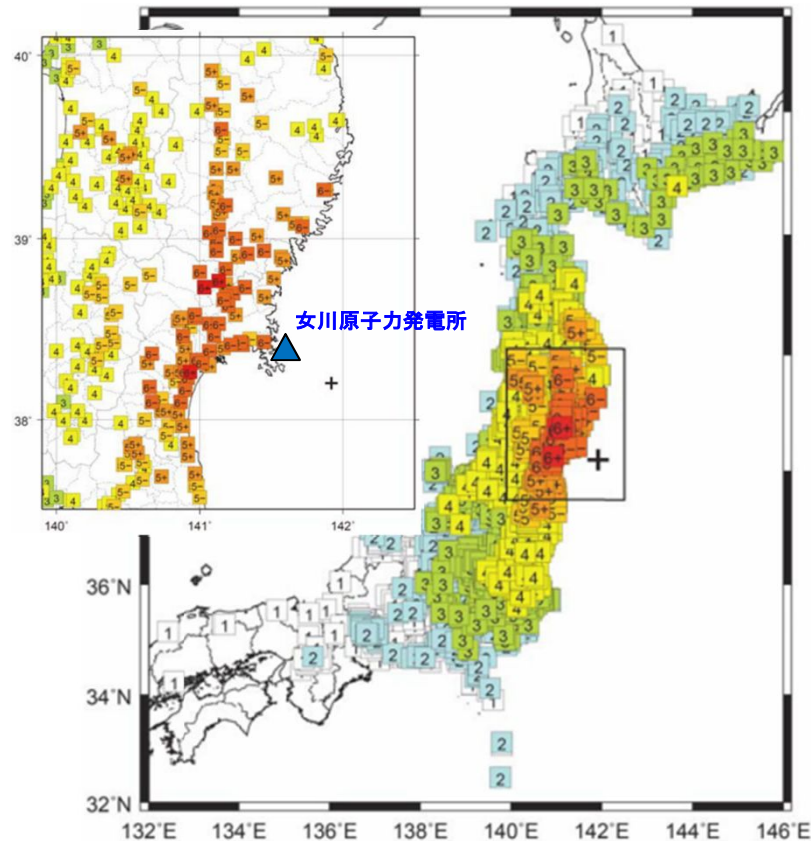
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■4.7地震

【気象庁(2011a):平成23年4月地震・火山月報(防災編)】

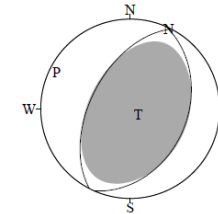
この地震の発震機構(CMT解)は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレート内部で発生した地震である。

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
2011/04/07 23:32:43.4	宮城県沖	38° 12.2' N	141° 55.2' E	66km	M7.2	6強

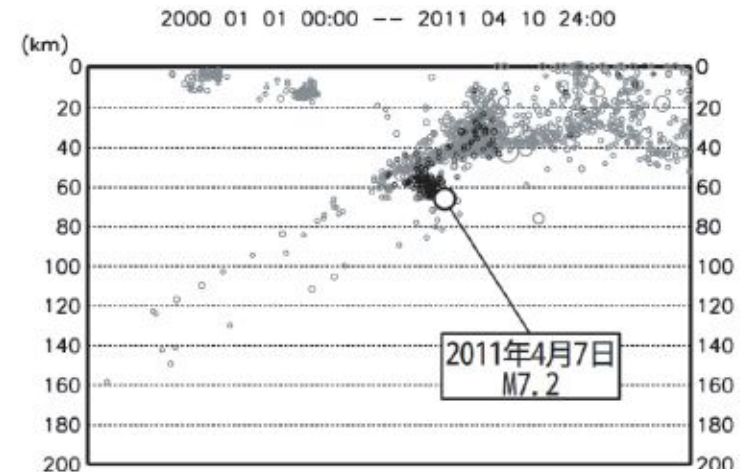


震度分布図(気象庁(2011a)に一部加筆)

2011/04/07 23:32:43.4  
E OFF MIYAGI PREF  
Hypo.: 38°12.2'N 141°55.2'E 66km



発震機構 CMT解(気象庁(2015))

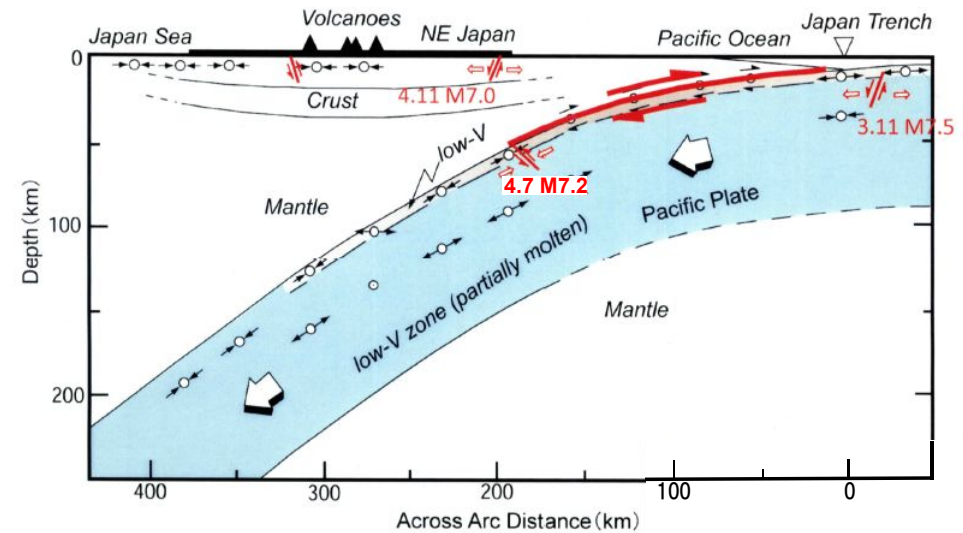
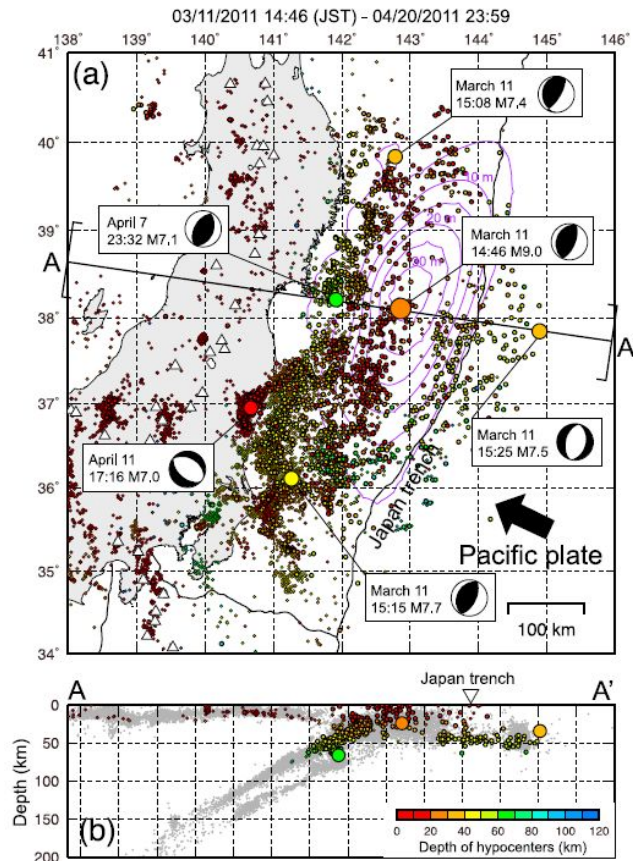


2011年4月7日宮城県沖の地震の地震活動  
(2011年4月7日~4月10日の地震を濃く表示, 気象庁(2012))

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

## 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

## ■ Nakajima et al.(2011)による知見



東北地方の島弧横断鉛直断面模式図 (Hasegawa et al.(1994)に一部加筆。)  
(3.11地震本震, 余震, 誘発地震の断面図を赤線で示す。)

2011年東北地方太平洋沖地震による大きなすべりに伴い太平洋プレート  
上面の応力が増加

## 2011年東北地方太平洋沖地震の本震・余震・誘発地震の震源分布 (Nakajima et al.(2011))

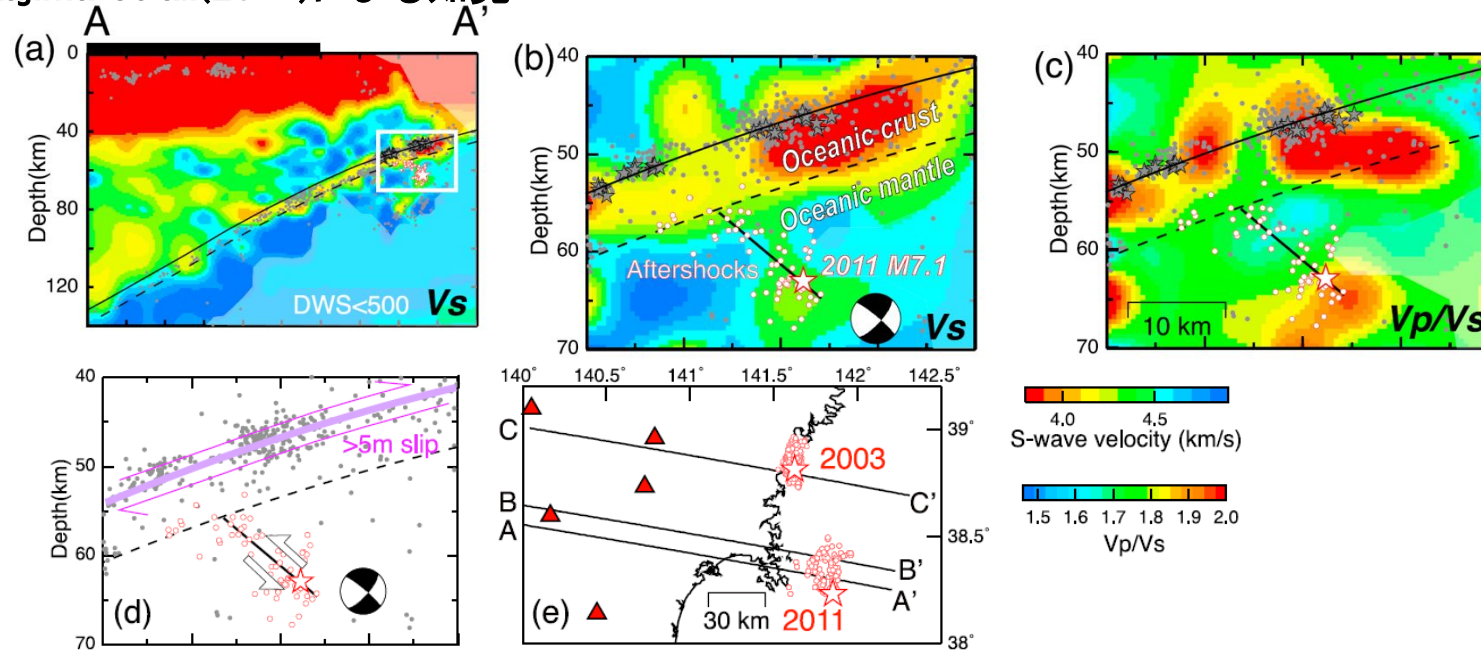
- 2011年4月7日に発生したM7.1※の宮城県沖地震(左図中の緑丸)は、メカニズム解と余震分布から、太平洋プレート内の二重深発地震面の上面から面間にかけて広がる海側に傾斜した断層面を持つ海洋プレート内地震である。
- 上面の地震に特徴的なP軸が、プレートの傾斜方向に向くDown-dip compression型のメカニズム解を持つ。
- プレート境界に沿う本震の大きなすべりに伴ってせん断応力が増加したために誘発されて発生したと推定される。

※4.7地震の気象庁暫定値

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

## 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

## ■ Nakajima et al.(2011)による知見



4.7地震の震源域周辺のS波速度構造等の鉛直分布図(Nakajima et al.(2011))

白丸は再決定した余震。黒の太線はメカニズム解から推定した断層面。黒実線はプレート境界。破線は海洋プレートモホ面。

## 【Nakajima et al.(2011)】

- ・M7.1※の地震の震源域の詳細な速度構造を推定したところ、海洋性マントルが低速度になっている領域で余震が発生している。M7.1の地震は海洋性マントル最上部の低速度域内で発生したことを示している。
- ・余震の並びとプレート境界とのなす角は約60度であり、アウターライズで生成された含水化した正断層が再活動して、M7.1の地震を発生させたことが示唆される。

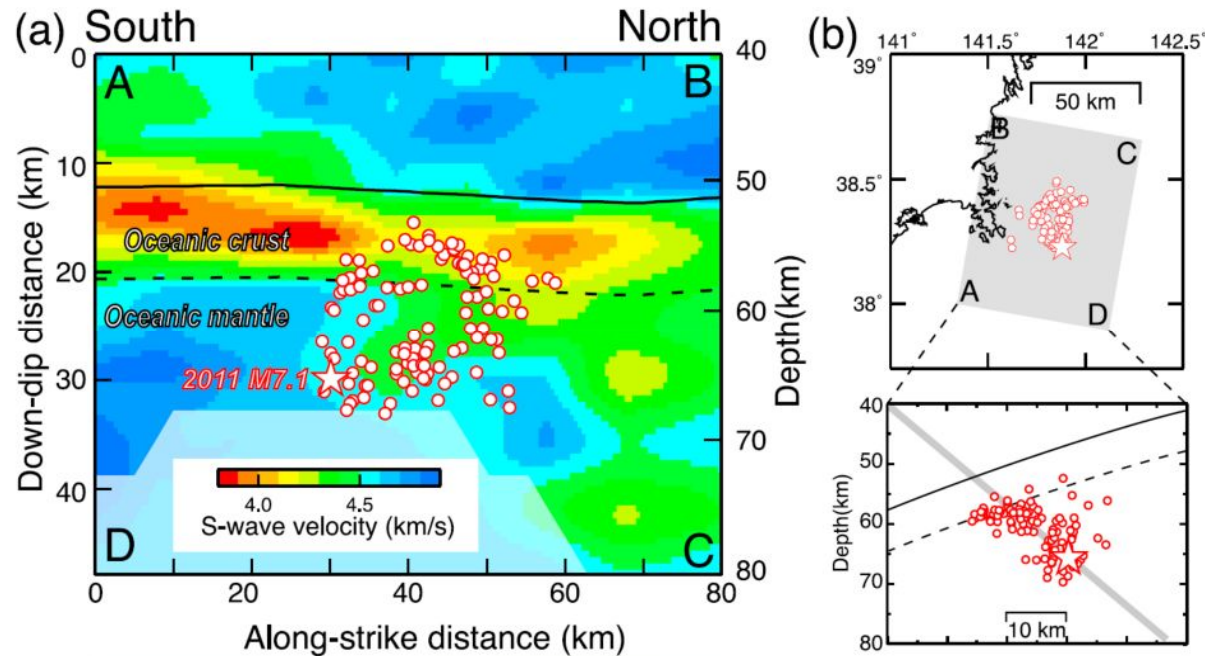
※4.7地震の気象庁暫定値

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

第180回審査会合 資料1-1(P.22)を  
本資料の構成に合わせて一部修正

#### ■ Nakajima et al.(2011)による知見



4.7地震の断層面に沿ったS波速度構造分布図(Nakajima et al.(2011))

白丸は再決定した余震。黒実線はプレート境界。破線は海洋プレートモホ面。

4.7地震の断層面に沿ったS波速度分布から、余震分布から推定される断層面は、海洋性マントル内の低速度域に対応している。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■ Ohta et al.(2011)による知見

- ・GPSデータに基づき4.7地震の断層モデルの推定を行っている。
- ・4.7地震の震源(破壊開始点)は、DCとDEの中立面付近(Kita et al.(2010))にある。



- ・4.7地震の破壊は、海洋プレート内の応力中立面を大きく超えて拡大したものではない。

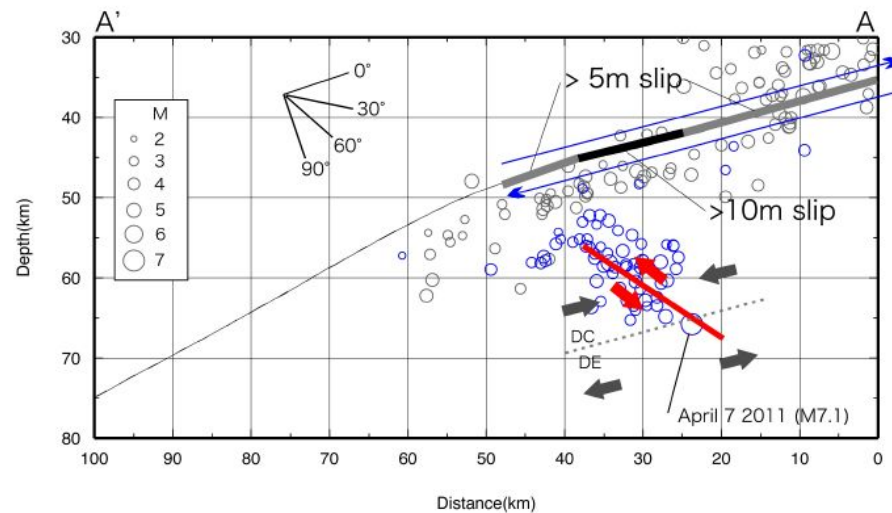


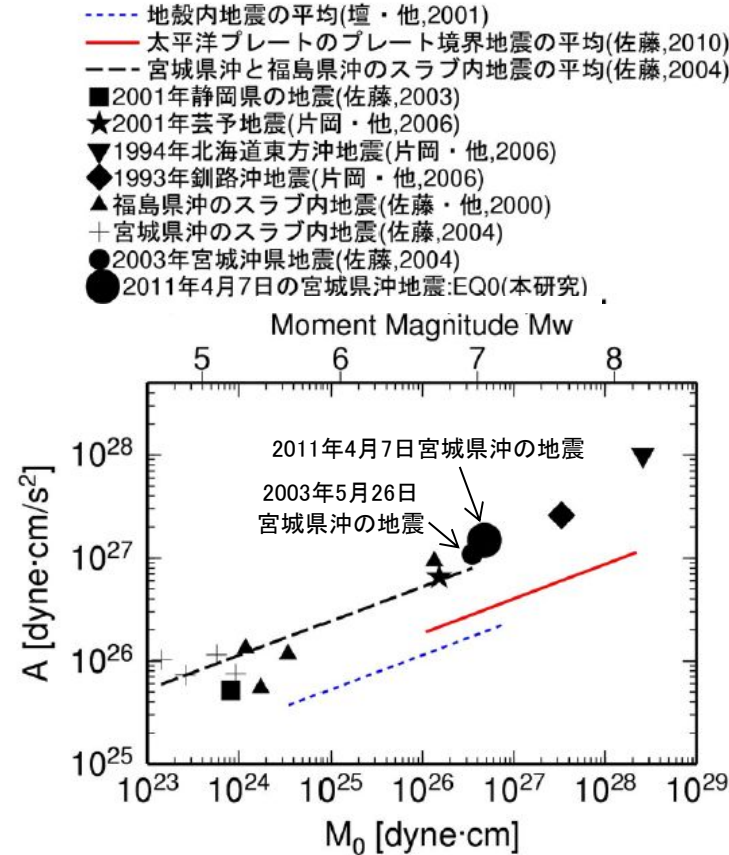
Fig. 4. Location of the estimated fault plane and aftershocks of the  $M 9.0$  and  $M 7.1$  earthquakes. Along the cross-section is shown by line A-A' in Fig. 3 (a). Small black circles and blue circles represent the aftershocks determined by the JMA between 11 March and 10 April, 2011, and between the 7 April earthquake and 10 April, 2011, respectively. The red thick line denotes the location of the estimated fault plane of the  $M 7.1$  event. The black and gray thick lines along the Pacific plate surface denote portions of the fault plane having 10-m- and 5-m-fault slips (Inuma *et al.*, 2011), respectively. The blue and red arrows denote the slip directions of the  $M 9$  earthquake and the  $M 7.1$ , April 7, event, respectively. The gray arrows illustrate the background stress field in the subducting plate. The gray dashed line indicates the neutral stress plane by Kita *et al.* (2010). The protractor indicates the angle from the subducting plate interface.



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■短周期レベル(応力降下量)



海洋プレート内地震の地震モーメントと短周期レベルの関係(佐藤(2012)に一部加筆)

4.7地震の短周期レベルAは、同じ太平洋プレート上面(DC型)で発生した2003年5月26日宮城県沖の地震と比較して大きい※。

※4.7地震の短周期レベルAは、2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)の短周期レベルAの約1.4倍。

なお、規模の差を差し引いて求めた短周期レベルA(短周期レベルAが $M_0^{1/3}$ に比例すると仮定して算定)の差は約1.2倍となる。

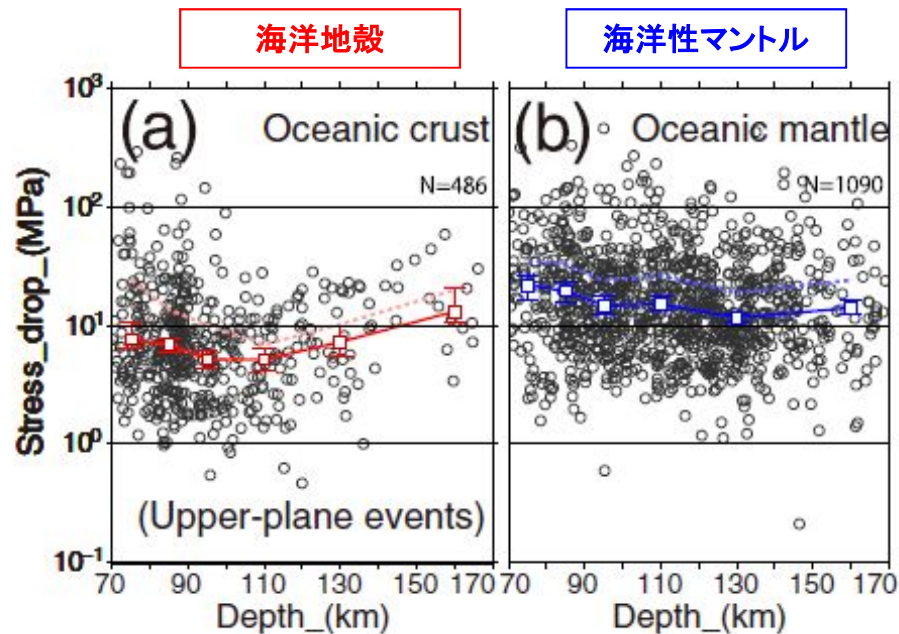
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

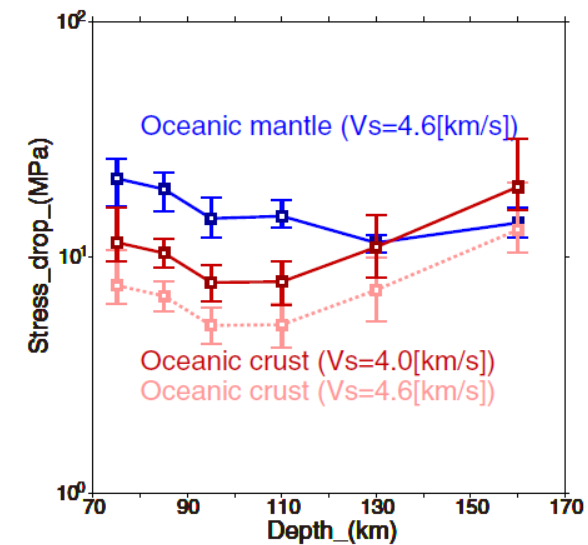
#### ■短周期レベル(応力降下量)

##### Kita and Katsumata(2015)の海洋地殻とマントルでの応力降下量の検討

- ・北海道下の海洋プレート内地震を分析すると、海洋地殻で発生する地震の応力降下量は、海洋性マントル内で発生する地震の応力降下量よりも小さい傾向がある。
- ・この応力降下量の違いは、両領域で、剛性率や強度、地震発生過程等が異なるためと考えられる。



海洋地殻、海洋性マントルともVsを4.6km/sとした場合、海洋性マントルの応力降下量は、海洋地殻の約2.8倍程度(70~120km)。



海洋地殻のVsを4.0km/s、海洋性マントルのVsを4.6km/sとした場合、海洋性マントルの応力降下量は海洋地殻の約1.9倍程度(70~120km)。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

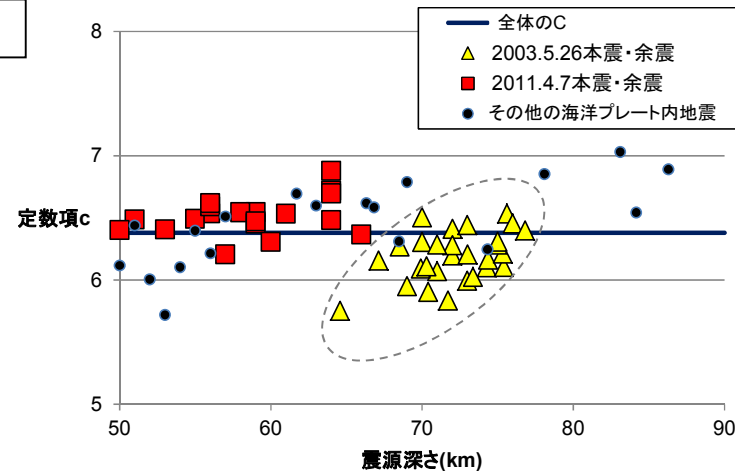
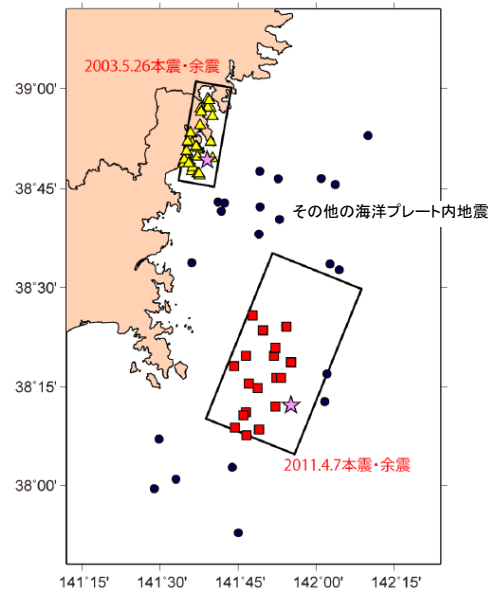
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■短周期レベル(応力降下量)

##### 神田ほか(2013)での宮城県沖の海洋プレート内地震の短周期励起特性の検討

- ・神田ほか(2013)では、宮城県沖で発生して海洋プレート内地震について、震度の距離減衰式と定数項cを算出し、この定数項cは、震源距離や地震規模の影響を除いた短周期地震動の励起特性を示している。
- ・4.7地震のc項は深さ依存性が認め難いのに対し、2003年の地震は深さ依存性が認められる。これは4.7地震はマントル内で発生した地震なのに対し、2003年はマントルと地殻の両方で発生した地震であることと整合している。

Kita and Katsumata(2015)の知見と整合している。

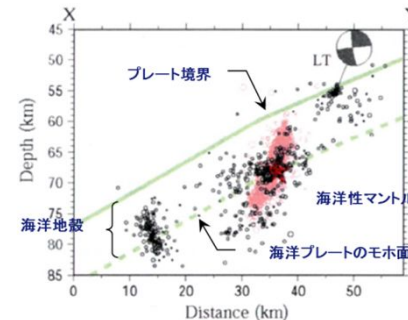


宮城県沖の海洋プレート内地震 震源深さと定数項c値(神田ほか(2013)に一部に加筆)

$$I = -a \log X + \frac{bM_j}{c} + c + Ir$$

震度 震源距離 マグニチュード 相対震度

**C:**震源距離やマグニチュードの影響を除いた残差  
=短周期地震動の励起の大小を示す(短周期レベルに相当)



2003年宮城県沖の地震の余震分布

迫田ほか(2004)に一部加筆

【凡例】

- : 2003年地震の余震分布
- : 1997年から2003年地震直前までの震央分布

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■4.7型地震の検討ケース

- ・4.7地震(M7.2)の発生を踏まえ、二重深発地震の上面の地震として4.7型地震を考慮。基本ケースは、過去の地震(4.7地震)とする。
- ・また、Nakajima et al.(2011)の地震波トモグラフィでは、4.7地震震源域の北方に低速度域が拡がっており、低速度域の拡がり地震規模(M)の見積もりに関する間接的データとみなし、M7.5を不確かさケース1として考慮。なお、M7.5は東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内で発生した地震の最大規模M7.3を上回る規模となっている。
- ・4.7地震はその破壊領域は海洋性マントル内にとどまり、海洋地殻まで至らなかったが、海洋地殻内に強震動生成域を持つモデルを不確かさケース2として考慮。なお、海洋地殻と海洋性マントルの応力降下量の違い(Kita and Katsumata(2015)等)も考慮し、短周期レベルも含めモデルは笹谷ほか(2006)の方法で構築する。

検討ケース	断層モデルの設定条件						評価方法	備考
	地震規模M	断層の位置	破壊開始点	アスペリティの位置	短周期レベル(応力降下量)	傾斜角		
基本ケース	M7.2	地震発生箇所	—	—	4.7地震の短周期レベル	—	簡易評価(観測記録)	4.7地震の敷地での観測記録(はぎとり波)で代表
不確かさケース1 地震規模	M7.5	地震波トモグラフィ低速度域	複数	拡張側は断層上端	4.7地震の短周期レベル	37°	詳細評価	地震規模(M)の設定に間接的な知見を反映
不確かさケース2 想定位置	M7.5	海洋地殻上端に配置	複数	断層上端	笹谷ほか(2006)の短周期レベル	37°	詳細評価	モデルの設定は笹谷ほか(2006)による

- : 予めモデルに織り込む不確かさ  
 : 考慮する不確かさ

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■各検討ケースの主な断層パラメータ

検討ケース	地震規模M (Mw)	M <sub>0</sub> (Nm)	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	断層面積 (km <sup>2</sup> )	傾斜角 (°)	短周期レベル (Nm/s <sup>2</sup> )	アスペリティ面積 (km <sup>2</sup> )	アスペリティ応力降下量 Δσ (MPa)	評価方法
基本ケース	M7.2 (7.1 <sup>※2</sup> )	4.74E+19 <sup>※1</sup>	—	—	—	—	1.16E+20 <sup>※3</sup>	—	—	簡易評価 (観測記録で代表)
不確かさケース1 地震規模	M7.5 (7.4 <sup>※4</sup> )	1.58E+20 <sup>※2</sup>	34	12	402	37	1.72E+20 <sup>※5</sup>	161	119.6	詳細評価
不確かさケース2 想定位置	M7.5 (7.4 <sup>※4</sup> )	1.58E+20 <sup>※2</sup>	35	25	858	37	1.15E+20 <sup>※6</sup>	170	77.6	詳細評価

※1: 4.7地震のF-netの値, ※2:  $M_0=10^{(1.5M_w+9.1)}$ , ※3: 原田・釜江(2011)での短周期レベル

※4: 4.7地震のMとMwの関係を基に設定

※5: 笹谷ほか(2006)での短周期レベル  $A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$  の1.5倍

※6: 笹谷ほか(2006)での短周期レベル  $A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$

#### ■詳細評価方法

##### ○断層モデルを用いた手法による地震動評価

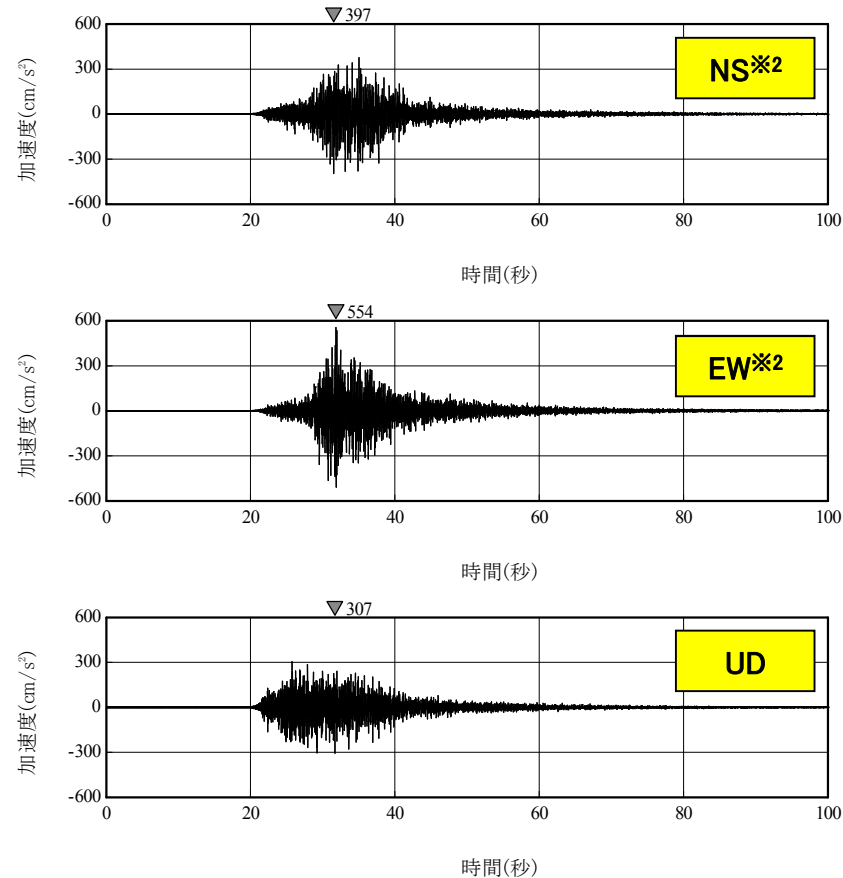
- ・4.7地震の敷地での観測記録のシミュレーション解析を統計的グリーン関数法により行い、観測記録との整合性を確認していることから、統計的グリーン関数法により地震動評価を行う。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■ 基本ケース(M7.2)の評価結果 <加速度時刻歴波形>

・簡易評価: 4.7地震(M7.2)のはぎとり波(敷地岩盤上部(O.P. ※1-8.6m))



#### 4.7地震の解放基盤相当(O.P.-8.6m)における観測記録のはぎとり波

※1: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面(Onagawa peil)であり, O.P.±0m = T.P.(東京湾平均海面)-0.74m。

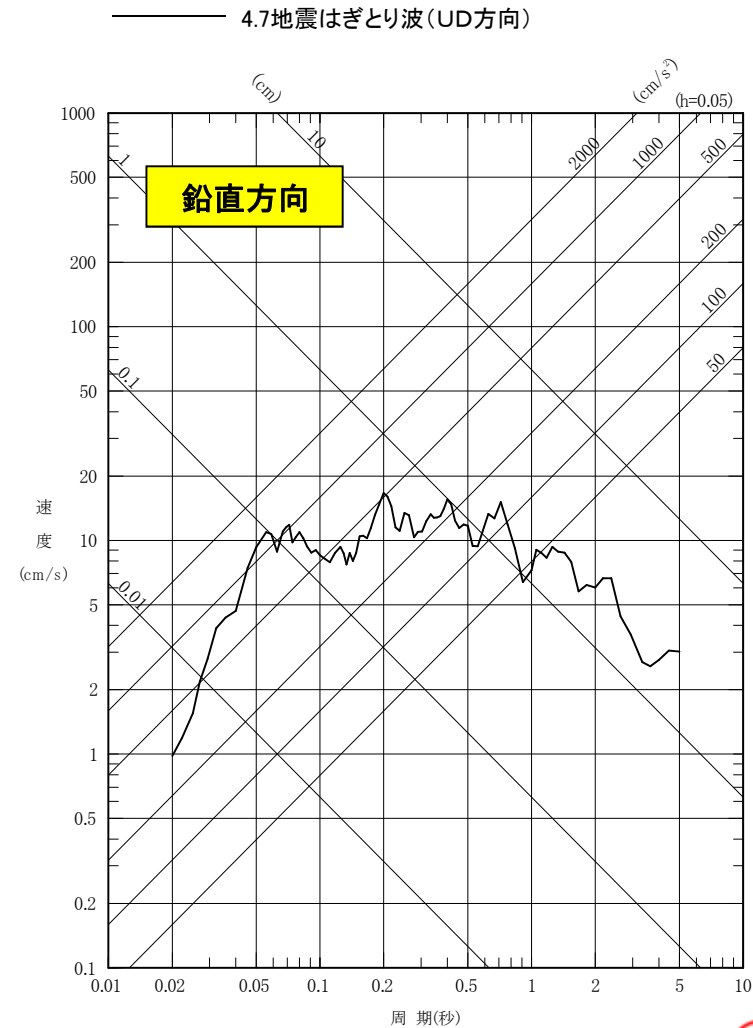
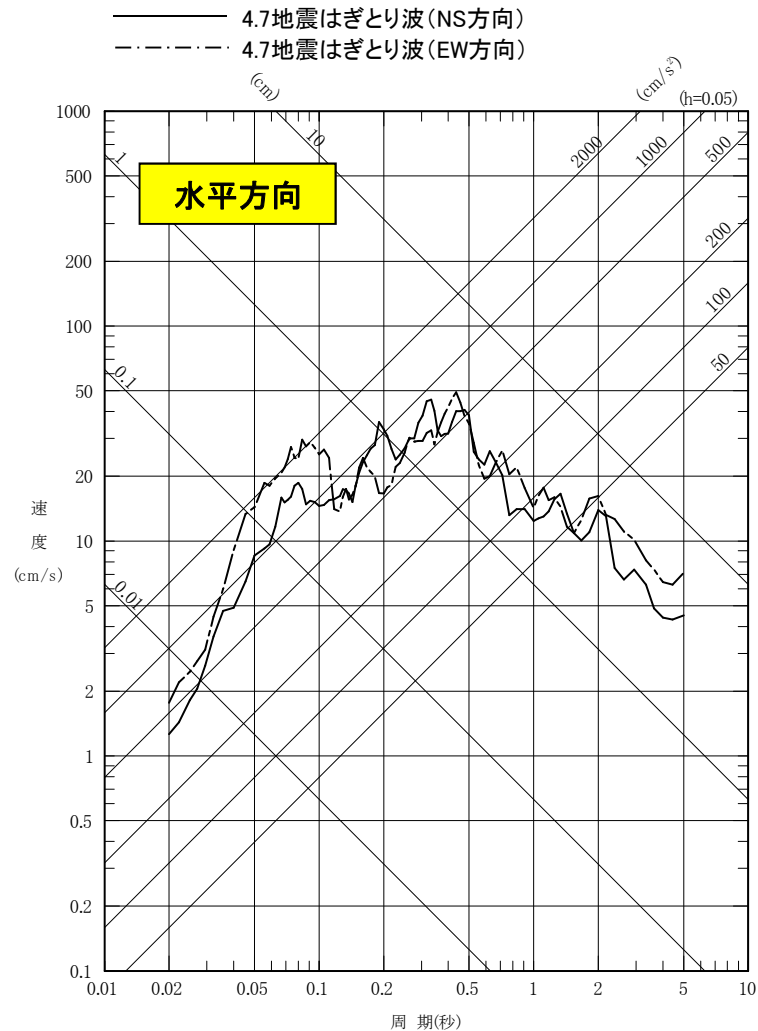
※2: NS,EWは, プラントノースを基準として記載している。プラントノースは真北に対し, 反時計回りに38.909° の方向。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■ 基本ケース(M7.2)の評価結果 <応答スペクトル>

・簡易評価:4.7地震(M7.2)のはぎとり波(敷地岩盤上部(O.P.-8.6m))

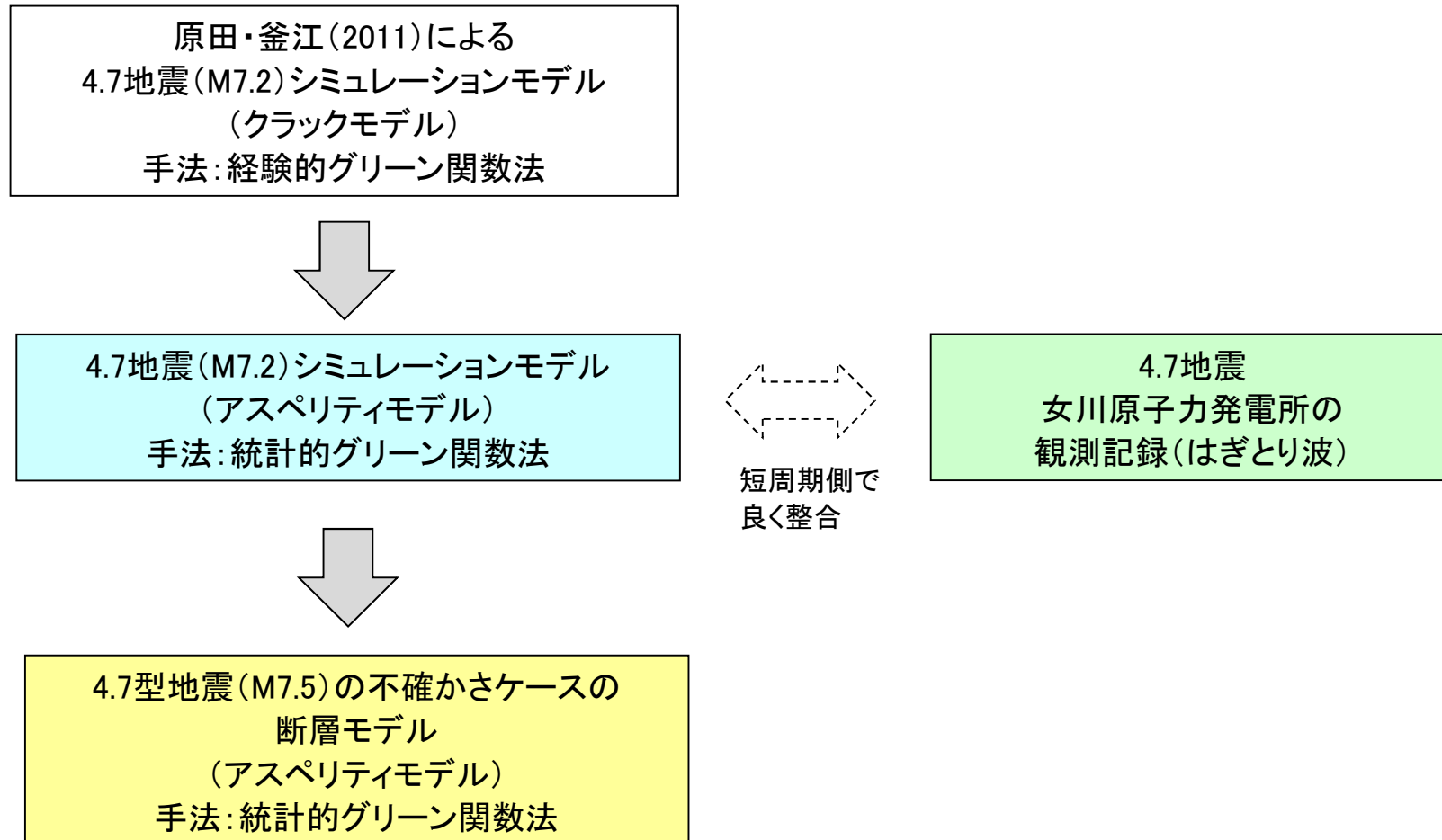


## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■4.7地震(M7.2)のシミュレーションモデルの検討

- ・4.7型地震の不確かさの検討に用いるため、4.7地震(2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2))の敷地での観測記録(はぎとり波)と適合性がよいシミュレーションモデル(断層モデル)の検討を行った。





## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合 資料1-1(P.34)を  
本資料の構成に合わせて一部修正

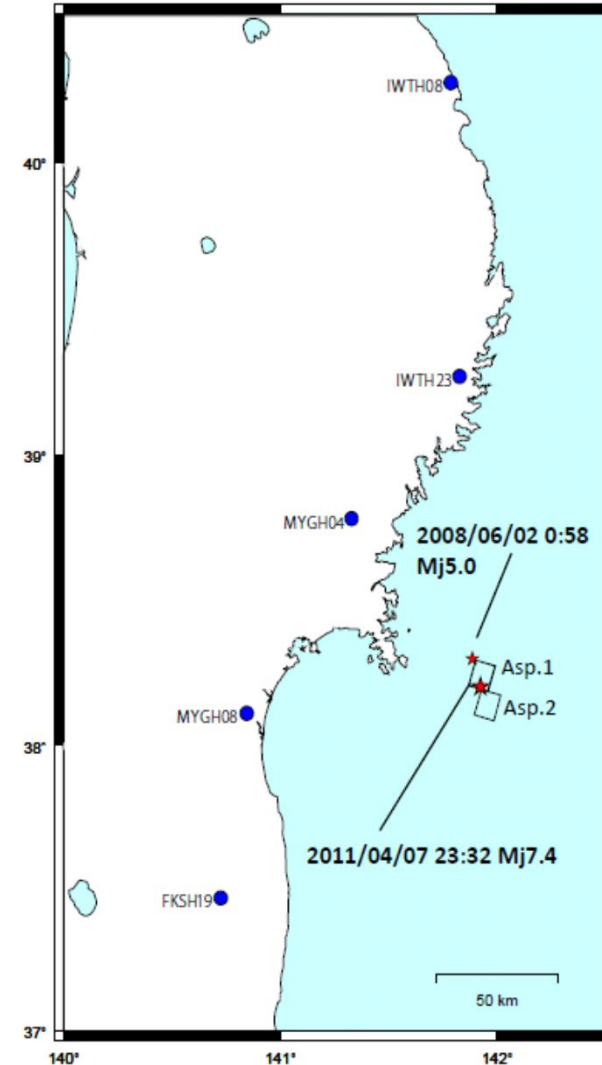
#### ■原田・釜江(2011)の概要

- ・KiK-net観測点の記録を使用し、経験的グリーン関数法によるアスペリティのみでのモデル化(クラックモデル)を行っている。
- ・震源モデルは、北側と南側にアスペリティを設定し、バイラテラルな破壊過程を考えることにより、震源の北側の観測点(IWTH23やMYGH04)で見られる指向性パルスや継続時間が再現されているとしている。
- ・ただし、合成が過大となる観測点もあり、詳細な検討が必要であるとしている。

要素地震の諸元

Origin Time*	(JST)	2008/6/2 0:58
Latitude*	(deg.)	38.300
Longitude*	(deg.)	141.883
Depth*	(km)	50.0
Mj*		5.0
Mo**	(N・m)	$1.46 \times 10^{16}$
$\Delta\sigma$	(MPa)	7.1
$f_c$	(Hz)	1.5
Strike/dip/rake**	(deg.)	20/75/87 212/16/101

\*気象庁, \*\*F-net



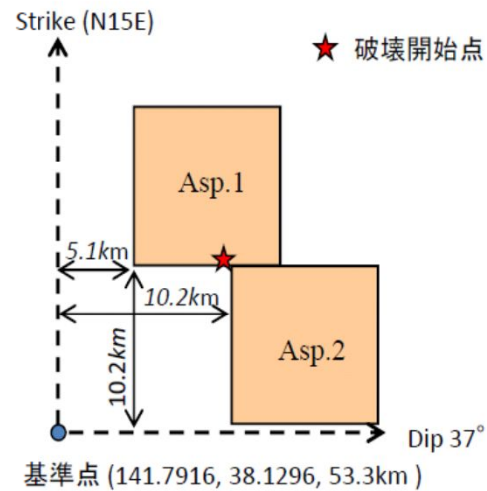
本震及び要素地震の震央位置及び  
アスペリティの位置

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

## 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

## ■原田・釜江(2011)の震源パラメータ

原田・釜江モデルの震源パラメータ



アスペリティが2つからなる震源モデル

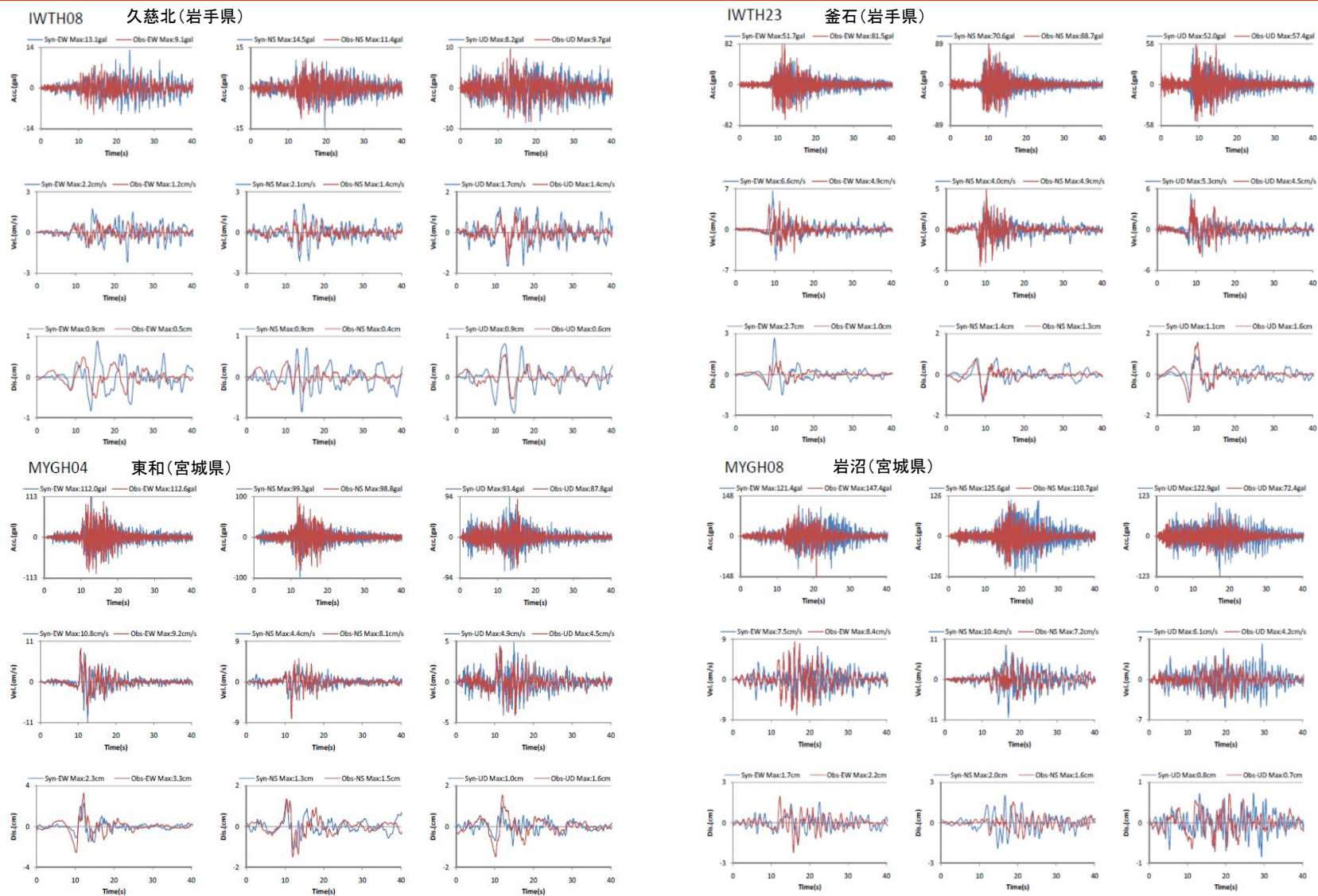
		Asp1	Asp2
走向	(°)	15	15
傾斜角	(°)	37	37
面積	(km <sup>2</sup> )	10.2 × 10.2	10.2 × 10.2
地震モーメント	(N・m)	3.2 × 10 <sup>19</sup>	3.2 × 10 <sup>19</sup>
応力降下量	(MPa)	70.6	70.6
ライズタイム	(s)	0.6	0.6
破壊開始時間	(s)	0.0	0.0
経験的グリーン関数 として用いた地震		2008/06/02 00:58 M5.0	2008/06/02 00:58 M5.0

(原田・釜江(2011)を一部修正)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合  
資料1-1(P.36)の再掲



KiK-net観測点の観測波形(赤線)とシミュレーション結果(青線) (原田・釜江(2011)に一部加筆)

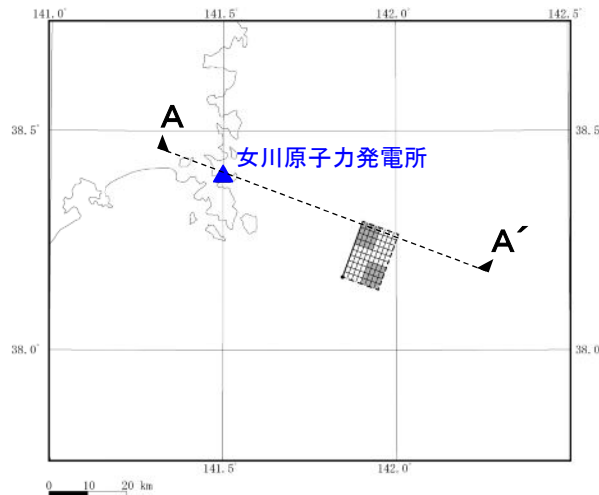
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

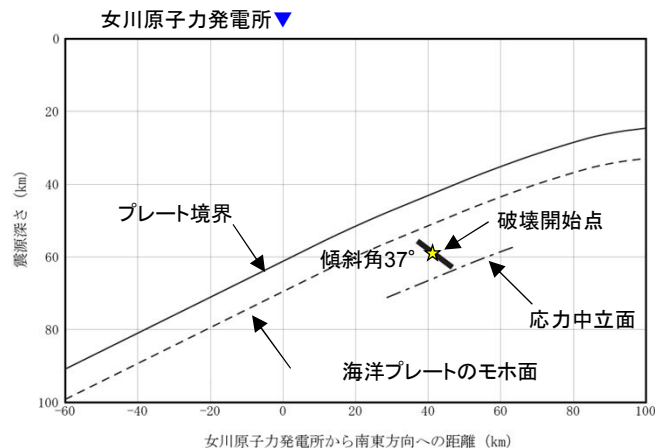
第180回審査会合  
資料1-1(P.39)に一部加筆

#### ■4.7地震シミュレーションモデルの断層モデルの設定

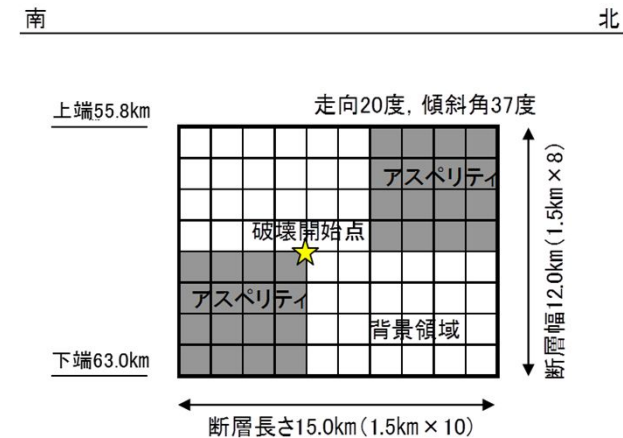
・原田・釜江(2011)のクラックモデルを参考に、アスペリティと背景領域を持つアスペリティモデルを新たに設定。



断層モデル平面図



A-A'断面図



展開図

#### 断層位置の設定の考え方

- ①4.7地震シミュレーションモデルの基準となる位置を原田・釜江(2011)の破壊開始点とする。
- ②アスペリティの個数, 配置を原田・釜江(2011)を参考に設定。
- ③断層モデルの傾斜角は原田・釜江(2011)と同様に設定し, 断層の上端は, 海洋プレートモホ面付近とし, 下端はプレートの応力中立面付近に設定。

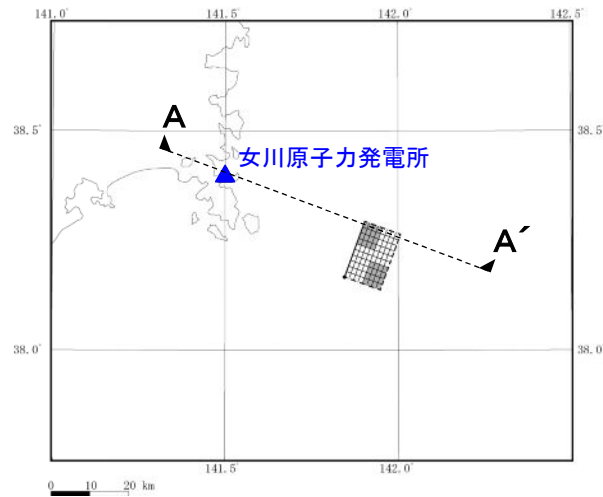
※断層付近のプレート傾斜角(J-SHIS(2014))は23°程度であり, プレートに対する断層の傾斜角は37° + 23° = 60°となる。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

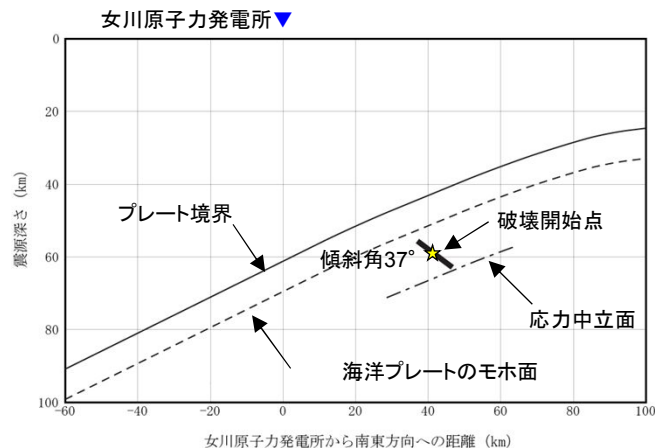
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

#### ■4.7地震のシミュレーションモデル

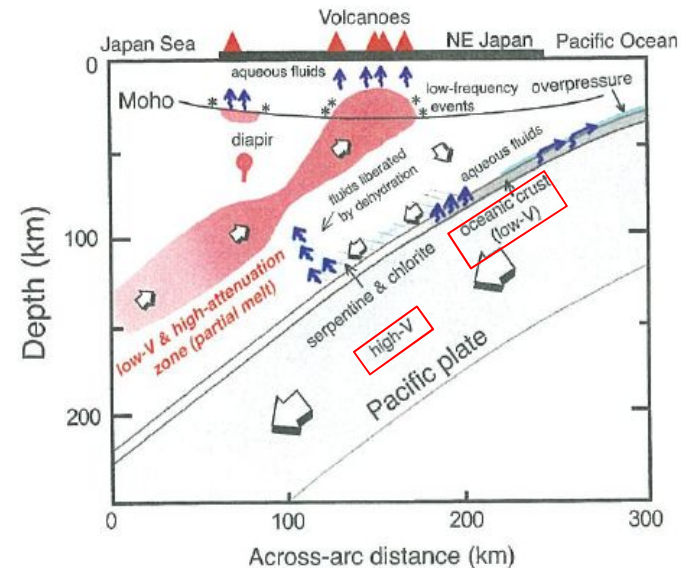
・4.7地震のシミュレーションモデルは、サイトに対しディレクティビティ効果が厳しい位置となっている。



断層モデル平面図



A-A'断面図



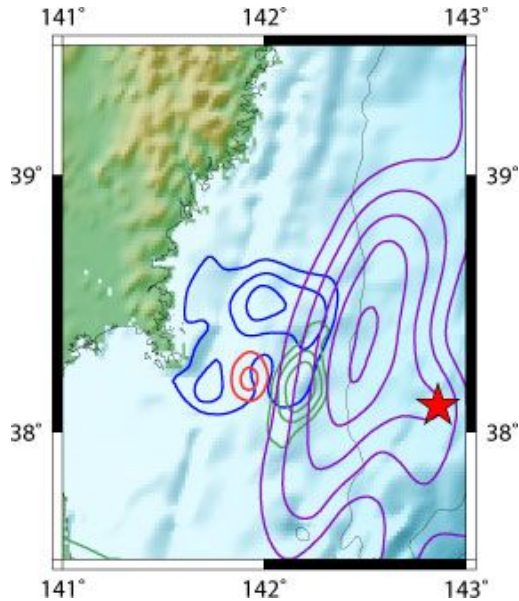
(参考)プレート内の模式図(Nakajima et al.(2013))

- ・海洋プレートの地殻とマントルでは、S波速度(海洋性地殻:low-V,マントル:high-V)等の構造の違いがある。
- ・例えば、北(2014)では、応力降下量は海洋性地殻より海洋性マントルが大きい傾向にあり、これは、海洋プレート内の剛性率の違いによること等を指摘している。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

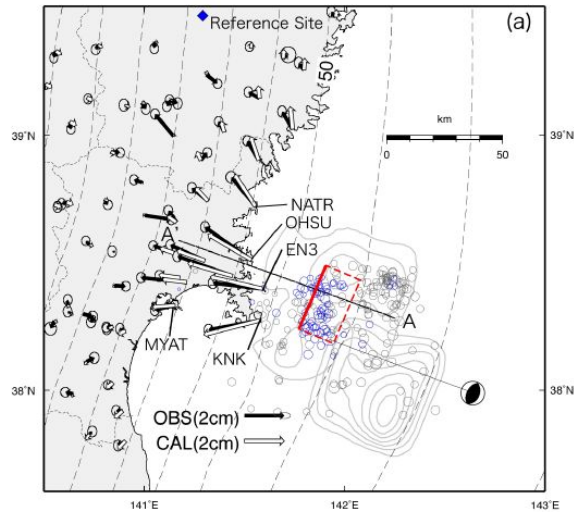
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

#### ■他の4.7地震の断層モデルとの比較

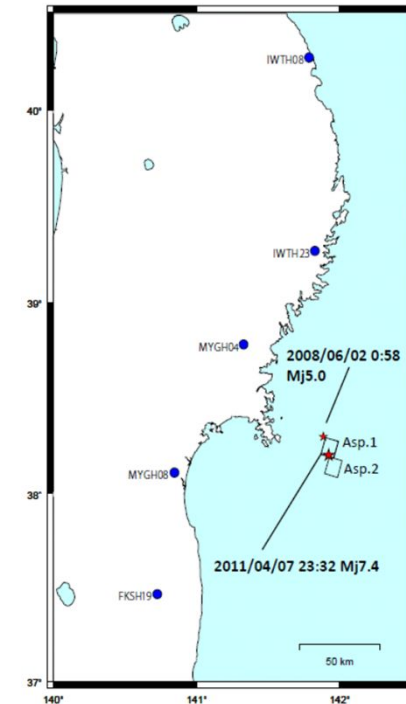


遠地実体波を使ったすべり分布 山中(2011)

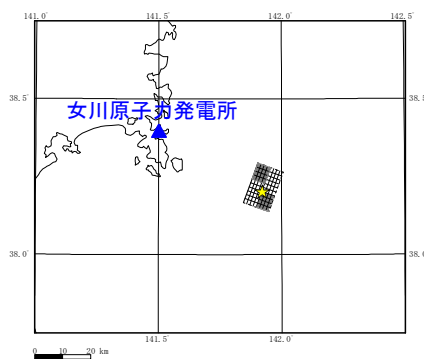
赤いコンターが4.7地震



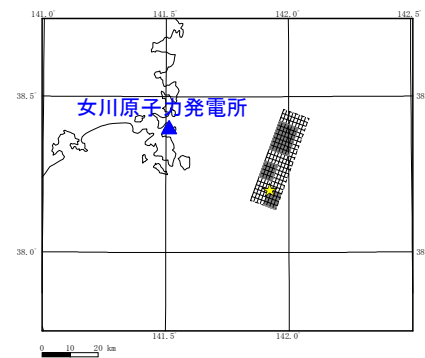
GPSデータに基づき推定された断層モデル  
Ohta et al.(2011)



強震記録を用いたフォワードモデルによる  
断層モデル 原田・釜江(2011)



女川地点 4.7地震(M7.2)  
シミュレーションモデル



女川地点 4.7型地震不確かさケース1  
(M7.5)断層モデル

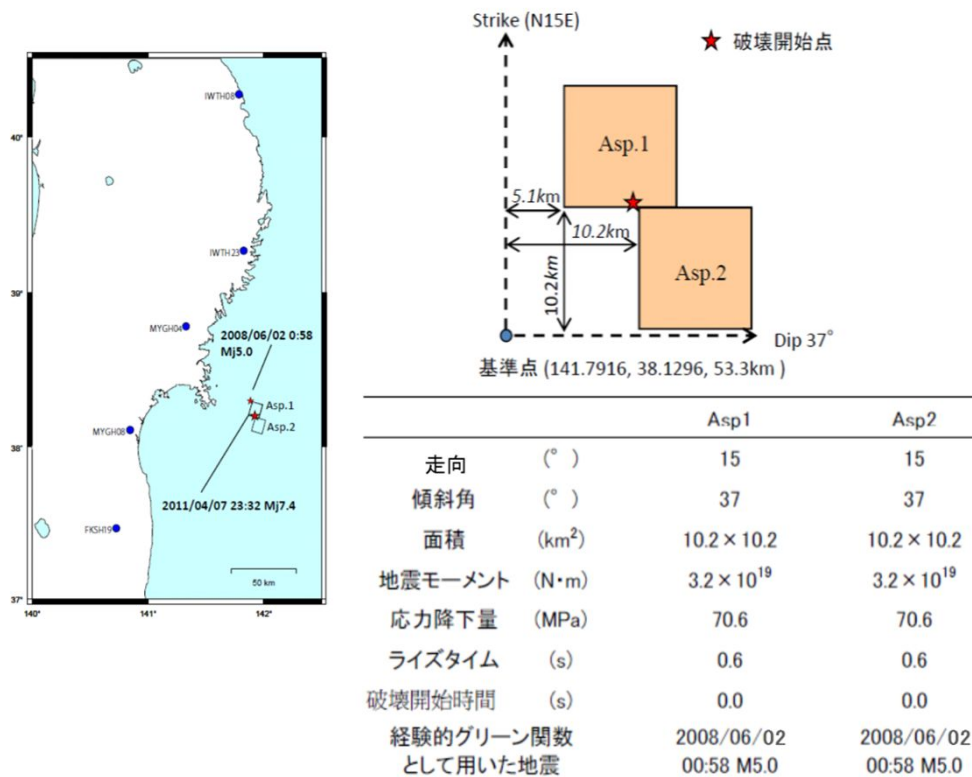
- ・4.7地震シミュレーションモデルは、Ohta et al.(2011)の測地データに基づく断層モデル等と比較し、4.7地震の震央付近にアスペリティを集約したモデルとなっている。(参考)
- ・不確かさケース1(P.54)の断層モデルの巨視的面がOhta et al.(2011)と同等の大きさとなっている。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

#### ■シミュレーションモデルの短周期レベル

- ・4.7地震シミュレーションモデルの短周期レベルは、原田・釜江(2011)の短周期レベルを参考に設定。
- ・原田・釜江(2011)の短周期レベルは、笹谷ほか(2006)による海洋プレート内地震の $M_0$ -短周期レベルAの関係と比較して約1.5倍大きい。



原田・釜江(2011)の4.7地震の震源モデル

#### 4.7地震 短周期レベルA

モデル	断層パラメータ	地震モーメント $M_0$ (N·m)	短周期レベルA (N·m/s <sup>2</sup> )
4.7地震 シミュレーションモデル (原田・釜江(2011))		$4.74 \times 10^{19}$	$1.16 \times 10^{20}$
(参考) 笹谷ほか(2006)を用いた場合の短周期レベルA		$4.74 \times 10^{19}$	$7.67 \times 10^{19}$

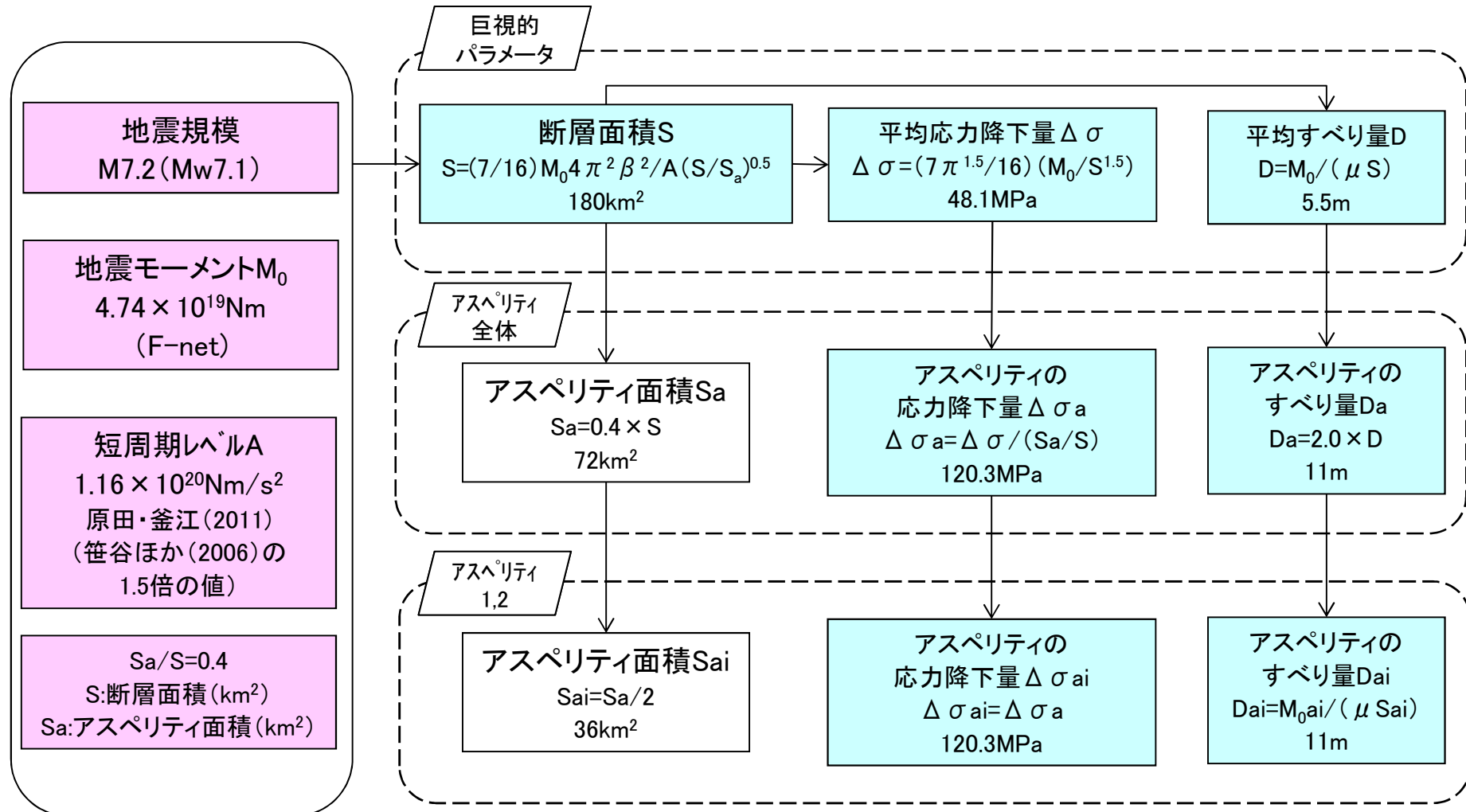
約1.5倍

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合 資料1-1(P.41)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

#### ■4.7地震シミュレーションモデルの断層パラメータの設定フロー



: 与条件の項目  
 : 標準的なレシピに基づき与条件から設定



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

## 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合 資料1-1(P.42)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

## ■4.7地震シミュレーションモデルの断層パラメータ(その1)

断層パラメータ		設定方法	設定値	
断 層 面 全 体	基準点 E(° ' ") N(° ' ")	東北大学(2011)等を参考に設定	経度141° 54' 13" 緯度 38° 17' 39"	
	走向	$\theta$ (°)	東北大学(2011)等を参考に設定	20
	傾斜角	$\delta$ (°)	原田・釜江(2011)を参考に設定	37
	断層長さ	L(km)	$L=S/W$	15
	断層幅	W(km)	東北大学(2011)等を参考に設定	12
	断層面積	S(km <sup>2</sup> )	$S=(7/16)M_0^2 \pi^2 \beta^2 / A(S/S_a)^{0.5}$ , $S_a/S=0.4$ ( $S_a/S=0.4$ は事前検討結果を踏まえ設定)	180
	断層上端深さ	h(km)	東北大学(2011)等を参考に設定	55.8
	地震モーメント	$M_0$ (Nm)	4.7地震のF-netによる値	$4.74 \times 10^{19}$
	気象庁マグニチュード	$M_J$	気象庁による	7.2
	モーメントマグニチュード	$M_w$	$M_w=(\log M_0 - 9.1)/1.5$	7.1
	剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	$\mu = \rho \beta^2$ , $\rho = 3.0\text{g/cm}^3$ , $\beta = 4.0\text{km/s}$	$4.80 \times 10^{10}$
	平均すべり量	D(cm)	$D=M_0/(\mu S)$	551
	平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	$\Delta \sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	48.1
	短周期レベル	A(Nm/s <sup>2</sup> )	原田・釜江(2011)を参考に設定	$1.16 \times 10^{20}$
	破壊伝播形式	-	-	放射状
破壊伝播速度	$V_r$ (km/s)	$V_r=0.72 \beta$	2.88	
立ち上がり時間	$\tau$ (s)	原田・釜江(2011)を参考に設定	0.6	

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

## 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合 資料1-1(P.43)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

## ■4.7地震シミュレーションモデルの断層パラメータ(その2)

	断層パラメータ		設定方法	設定値
アスペリティ全体	地震モーメント	$M_{0a}$ (Nm)	$M_{0a} = \mu S_a D_a$	$3.79 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_a$ (km <sup>2</sup> )	$S_a/S = 0.4$	72
	平均すべり量	$D_a$ (cm)	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.0$	1101.6
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma / (S_a/S), (S_a/S) = 0.4$	120.3
アスペリティ1	地震モーメント	$M_{0a1}$ (Nm)	$M_{0a1} = M_{0a}/2$	$1.90 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_{a1}$ (km <sup>2</sup> )	$S_{a1} = S_a/2$	36
	平均すべり量	$D_{a1}$ (cm)	$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$	1101.6
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}$ (MPa)	$\Delta \sigma_{a1} = \Delta \sigma_a$	120.3
アスペリティ2	地震モーメント	$M_{0a2}$ (Nm)	$M_{0a2} = M_{0a}/2$	$1.90 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_{a2}$ (km <sup>2</sup> )	$S_{a2} = S_a/2$	36
	平均すべり量	$D_{a2}$ (cm)	$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$	1101.6
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a2}$ (MPa)	$\Delta \sigma_{a2} = \Delta \sigma_a$	120.3
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}$ (Nm)	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	$9.48 \times 10^{18}$
	断層面積	$S_b$ (km <sup>2</sup> )	$S_b = S - S_a$	108
	平均すべり量	$D_b$ (cm)	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	183.6
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	$\Delta \sigma_b = (D_b/W_b)(\pi^{0.5}/D_a)r \cdot \sum (r_i/r)^3 \Delta \sigma_a, r = (S_a/\pi)^{0.5}$	12.7
Q値		Q	佐藤・巽(2002)	$114f^{0.92}$
高域遮断周波数		fmax(Hz)	浅野ほか(2004)による2003年宮城県沖の地震のシミュレーション解析結果と敷地の観測記録の適合を確認した値を設定	18

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合 資料1-1(P.44)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

#### ■4.7地震シミュレーションモデルの断層パラメータの設定根拠

断層パラメータ	パラメータの設定根拠
断層面積	事前検討からアスペリティの面積比( $S_a/S$ )=0.4を採用し、理論式より設定。 なお、笹谷ほか(2006)により設定した場合のアスペリティ面積と同程度となる。
断層長さ	断層面積／断層幅＝断層長さ
断層幅	4.7地震震源位置(原田・釜江(2011)の破壊開始点)から上端と下端に均等に配置し、上端を海洋プレートモホ面付近、下端はプレートの応力中立面付近に設定。
断層傾斜角	原田・釜江(2011)による。東北大学(2011)の断層モデルの傾斜角と対応する。
断層の走向	東北大学(2011)、防災科学技術研究所F-netの値を参考に設定。
剛性率	$\mu = \rho \beta^2$ 、密度とS波速度は佐藤・巽(2002)による。 佐藤・巽(2002)では、この値を用いて東日本の海洋性地震(プレート境界地震、海洋プレート内地震)のスペクトルインバージョンが行われている。
高域遮断周波数	浅野ほか(2004)による2003年宮城県沖の地震のシミュレーション解析結果と敷地の観測記録の適合性を確認した値を設定。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合 資料1-1(P.47)を  
本資料の構成に合わせて一部修正

#### ■断層モデルを用いた手法による地震動評価

- ・地震動評価は、統計的グリーン関数法によって行う。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。
- ・統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデルは、2003年5月26日宮城県沖の地震、2005年8月16日宮城県沖の地震等のシミュレーション解析に用いた地下構造モデルと同様。

統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> (m/s)	減衰 (%)
G.L.(m)	O.P.(m)					
-27.3	-8.6					
-34.5	-15.8	7.2	2.55	1500	2882	3.00
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101	
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	
-147.1	-128.4	65.3		2600	5300	
—	—	∞	2.68	3000	—	※

▽岩盤上部  
(解放基盤表面相当)

▽地震基盤相当

※  $Q(f) = 114 \cdot f^{0.92}$  (佐藤(2004))

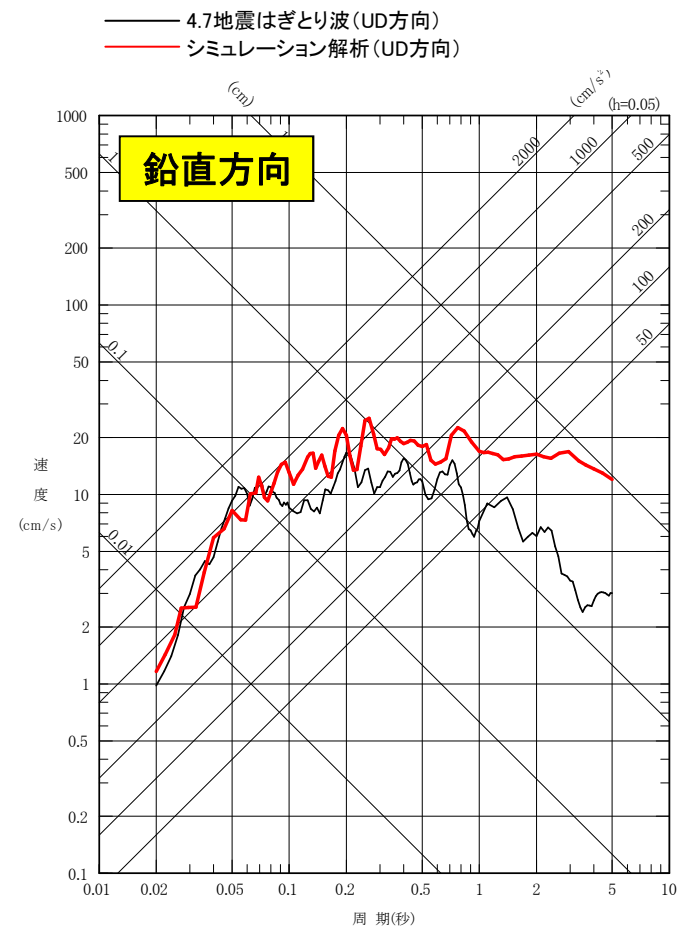
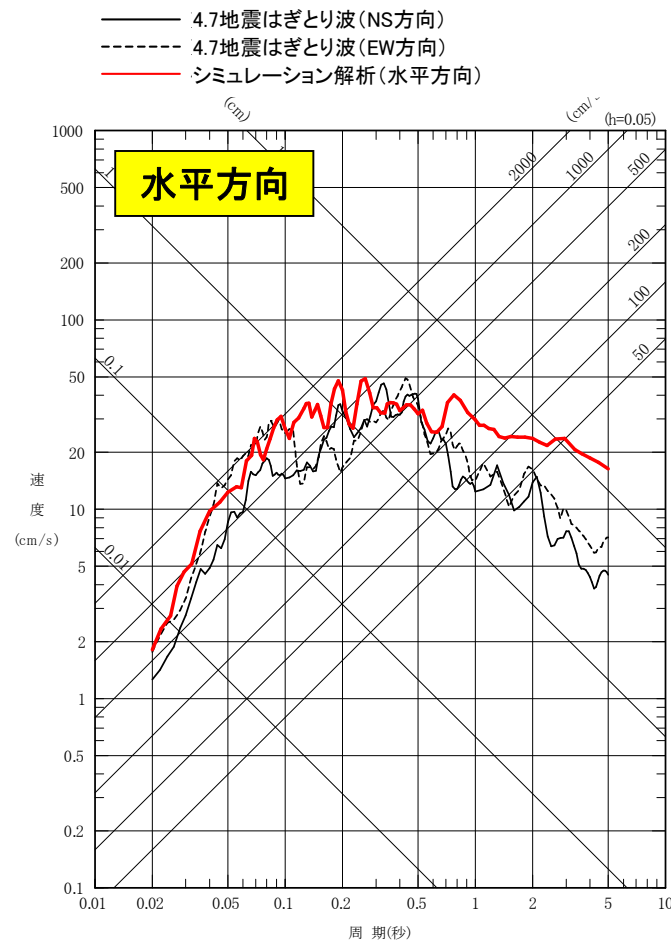
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(シミュレーション)

第180回審査会合 資料1-1(P.50)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

#### ■4.7地震のシミュレーション結果<応答スペクトル>

- ・応答スペクトルの比較では、周期0.1秒より短周期側では解析結果と観測記録(はぎとり波)は、良く整合している。長周期側では解析結果が大きめの結果となった。
- ・地震動シミュレーション結果は長周期が大きい等の課題は残るものの、原子力発電所において特に問題となる短周期における適合性が良いことから、施設に与える影響検討という観点からは、良好な評価と考えられる。

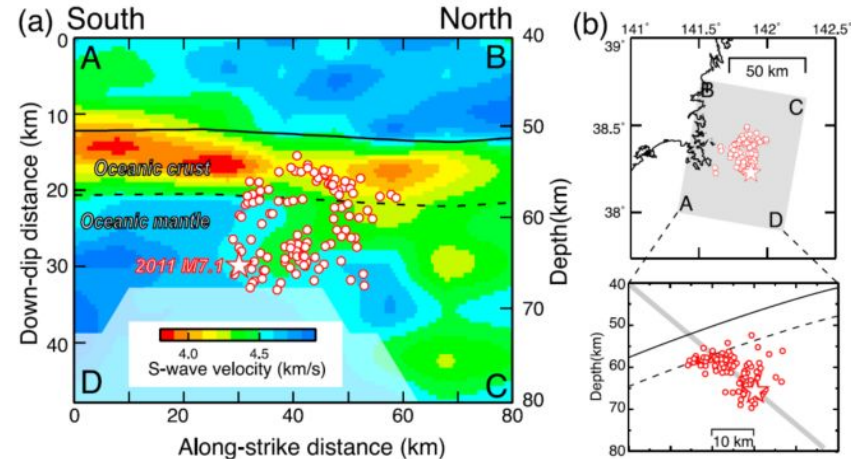


※放射特性係数は0.62

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■不確かさケース1(地震規模)の不確かさの間接的な知見



4.7地震の震源域周辺のS波速度構造の南北鉛直分布図(Nakajima et al.(2011))

白丸は再決定した余震。黒実線はプレート境界。破線は海洋プレートモホ面。

#### 【Nakajima et al.(2011)】からの整理

- ・4.7地震の断層面に沿ったS波速度分布から、余震分布から推定される断層面は、海洋性マントル内の低速度域に対応している。
- ・4.7地震の震源から南側の海洋性マントル内は高速度域となっており、余震の分布はない。
- ・一方、北側の海洋性マントル内の低速度域は余震分布のさらに北側にも広がっている。

#### 東北地方の過去の海洋プレート内地震(M7以上)

- ・2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1,H=72km): DC型 上面
- ・4.7地震(M7.2,H=66km): DC型 上面
- ・2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(M6.8,H=108km): DE型 下面
- ・2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3,H=34km): やや浅い地震, 津波が発生

規模を参照

- ・規模の不確かさとして、安全側にM7.5を考慮。
- ・断層モデルは、低速度域の拡がりから、4.7地震モデルの北側に拡張する。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

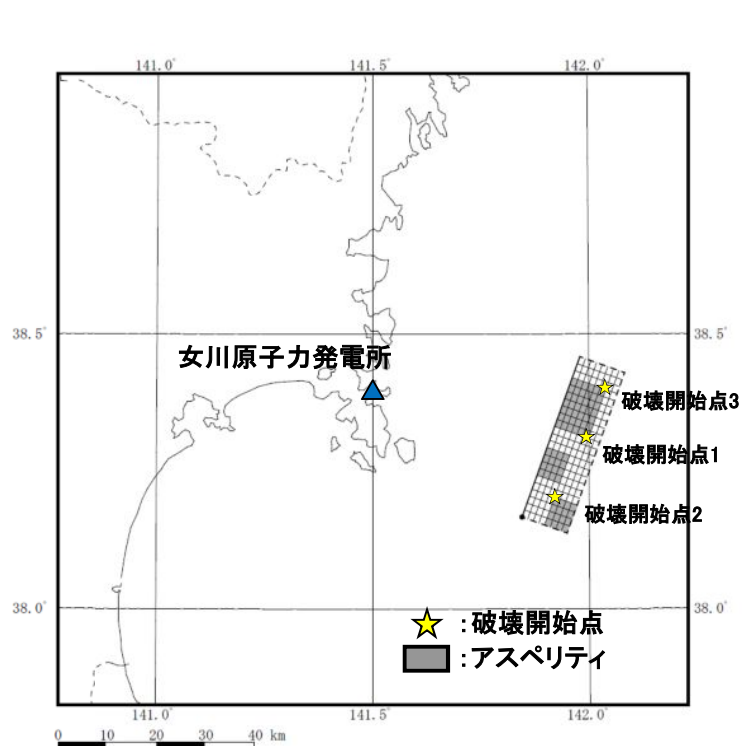
#### ■不確かさケース1(地震規模)の断層モデル

##### ○断層モデル

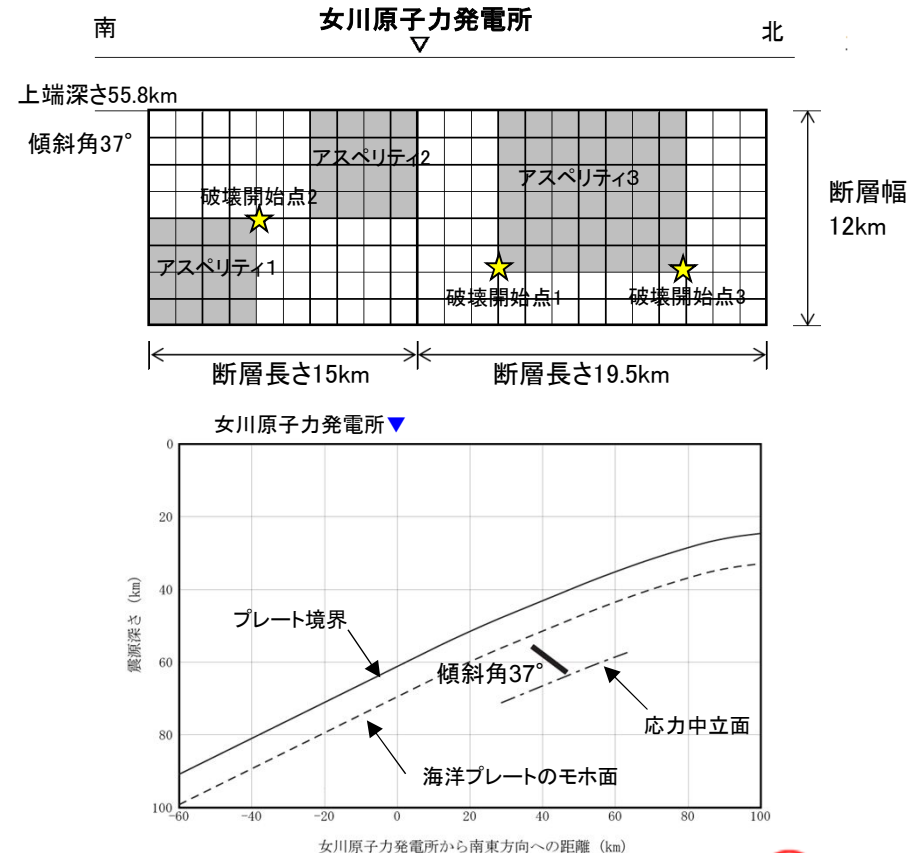
- ・規模の不確かさケース(M7.5)は、基本モデル(M7.2)を北側に拡張したものとして設定。
- ・断層パラメータは、4.7地震のシミュレーションに基づき設定。アスペリティは、基本モデルに加え、拡張部分に残りのアスペリティを集中して配置。破壊開始点は敷地に向う方向に複数点設定。

##### ○断層モデルを用いた地震動評価

- ・統計的グリーン関数法により評価。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。



不確かさケース1の断層モデル(平面図)

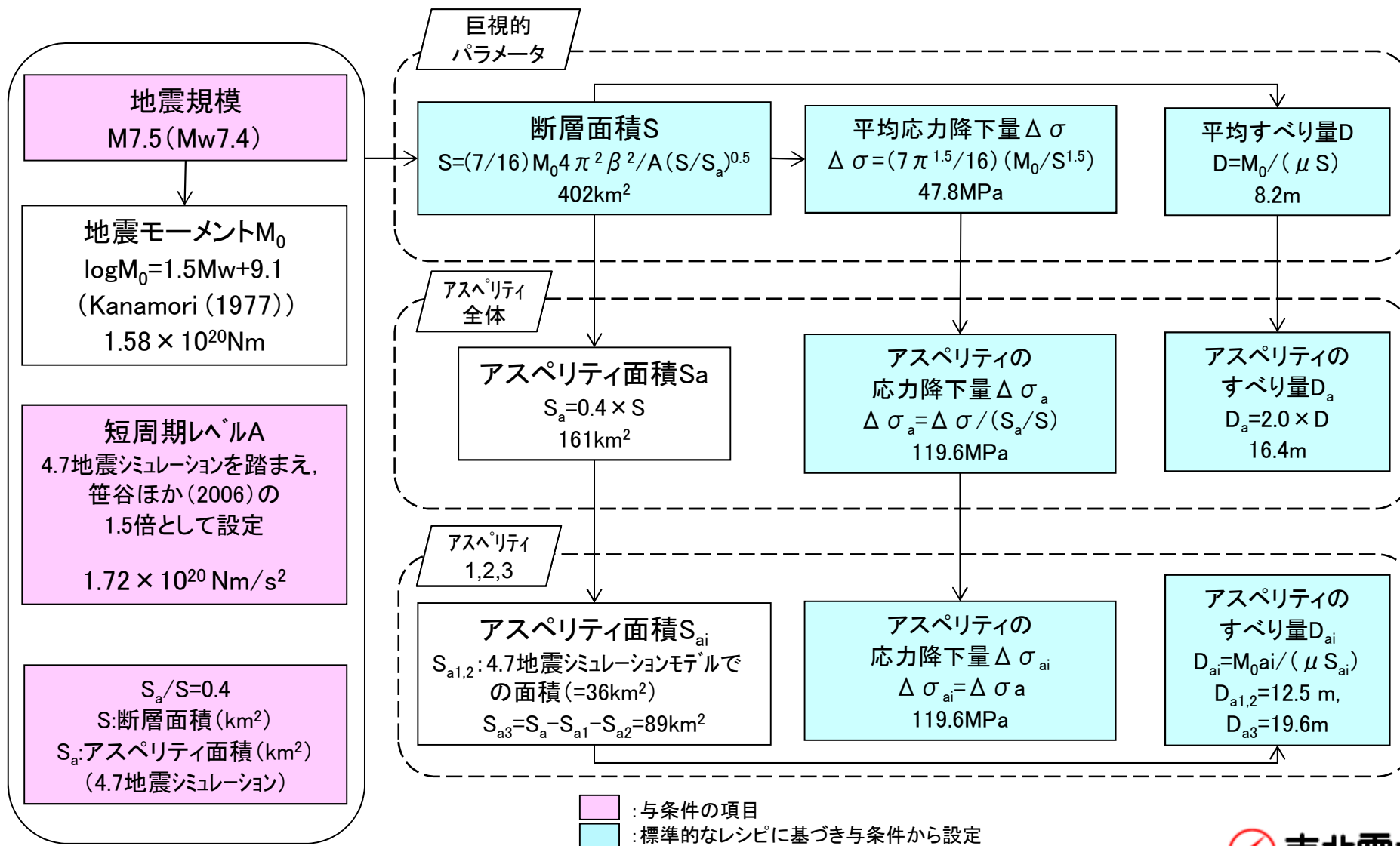


## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

第180回審査会合 資料1-1(P.59)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

#### ■不確かさケース1(地震規模)の断層パラメータ設定フロー





## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

## 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

第180回審査会合 資料1-1(P.60)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

## ■不確かさケース1(地震規模)の断層パラメータ

断層パラメータ		設定方法	設定値	
断層 面 全 体	気象庁 マグニチュード	$M_J$	設定条件	7.5
	モーメント マグニチュード	$M_w$	4.7地震の $M_J$ と $M_w$ の関係を基 に設定	7.4
	走向	$\theta (^{\circ})$	Nakajima et al.(2011)を参考 に設定	20
	傾斜角	$\delta (^{\circ})$	原田・釜江(2011)	37
	断層長さ	$L(\text{km})$	$L=S/W$	33.5
	断層幅	$W(\text{km})$	東北大学(2011)等を参考に 設定	12
	断層面積	$S(\text{km}^2)$	$S=(7/16)M_0^4 \pi^2 \beta^2 / A$ ( $S/S_a$ ) <sup>0.5</sup> , $S_a/S=0.4$	402
	断層上端深さ	$h(\text{km})$	東北大学(2011)等を参考に 設定	55.8
	地震モーメント	$M_0(\text{Nm})$	$M_w=(\log M_0 - 9.1)/1.5$	$1.58 \times 10^{20}$
	剛性率	$\mu (\text{N/m}^2)$	$\mu = \rho \beta^2$ , $\rho = 3.0\text{g/cm}^3$ , $\beta = 4.0\text{km/s}$	$4.80 \times 10^{10}$
	平均すべり量	$D(\text{cm})$	$D=M_0/(\mu S)$	821
	平均応力降下量	$\Delta \sigma (\text{MPa})$	$\Delta \sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	47.8
	短周期レベル	$A(\text{Nm/s}^2)$	$A=a \times 9.84 \times 10^{10} \times$ ( $M_0 \times 10^7$ ) <sup>1/3</sup> , $a=1.5$	$1.72 \times 10^{20}$
	破壊伝播形式	-	-	放射状
	破壊伝播速度	$V_r(\text{km/s})$	$V_r=0.72 \beta$	2.88
	高域遮断周波数	$f_{\text{max}}(\text{Hz})$	2003年宮城県沖の地震のシ ミュレーション結果	18

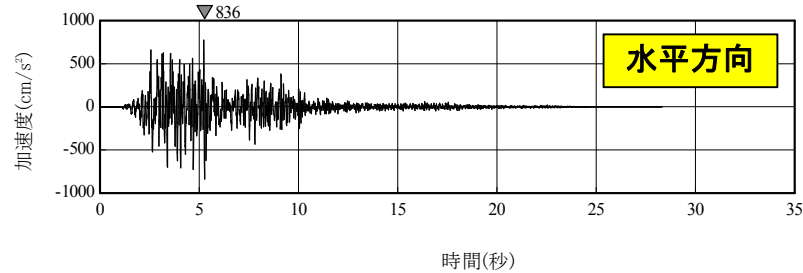
断層パラメータ		設定方法	設定値	
アスペリティ全体	地震モーメント	$M_{0a}(\text{Nm})$	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	$1.27 \times 10^{20}$
	断層面積	$S_a(\text{km}^2)$	$S_a=(S_a/S) \times S$ , ( $S_a/S$ )=0.4	161
	平均すべり量	$D_a(\text{cm})$	$D_a=\gamma_D D$ , $\gamma_D=2.0$	1641
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma / (S_a/S)$ , ( $S_a/S$ )=0.4	119.6
アスペリティ1, 2	地震モーメント	$M_{0a1,2}(\text{Nm})$	$M_{0a1,2}$ (面積の1.5乗の重みで配分)	$2.15 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_{a1,2}(\text{km}^2)$	$S_{a1,2}$ (4.7地震シミュレーションモデル)	36
	平均すべり量	$D_{a1,2}(\text{cm})$	$D_{a1,2}=M_{0a1,2}/(\mu S_{a1,2})$	1247
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1,2}$ (MPa)	$\Delta \sigma_{a1,2}=\Delta \sigma_a$	119.6
アスペリティ3	地震モーメント	$M_{0a3}(\text{Nm})$	$M_{0a3}$ (面積の1.5乗の重みで配分)	$8.37 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_{a3}(\text{km}^2)$	$S_{a3}=S_a - S_{a1} - S_{a2}$	89
	平均すべり量	$D_{a3}(\text{cm})$	$D_{a3}=M_{0a3}/(\mu S_{a3})$	1960
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a3}$ (MPa)	$\Delta \sigma_{a3}=\Delta \sigma_a$	119.6
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}(\text{Nm})$	$M_{0b}=M_0 - M_{0a}$	$3.17 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_b(\text{km}^2)$	$S_b=S - S_a$	241
	平均すべり量	$D_b(\text{cm})$	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	274
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	$\Delta \sigma_b=(D_b/W_b)(\pi^{0.5}/D_a)r \cdot \Sigma$ ( $r/r$ ) <sup>3</sup> $\Delta \sigma_a$ , $r=(S_a/\pi)^{0.5}$	13.1

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

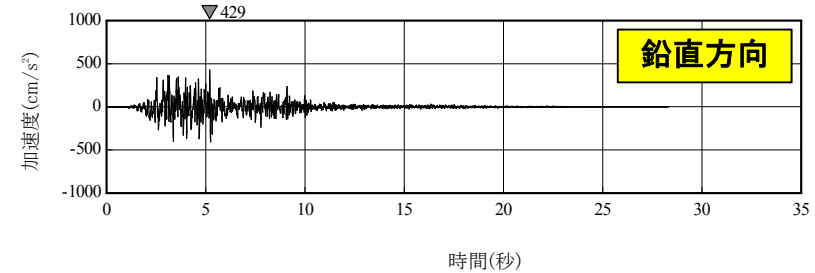
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

第180回審査会合 資料1-1(P.65)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

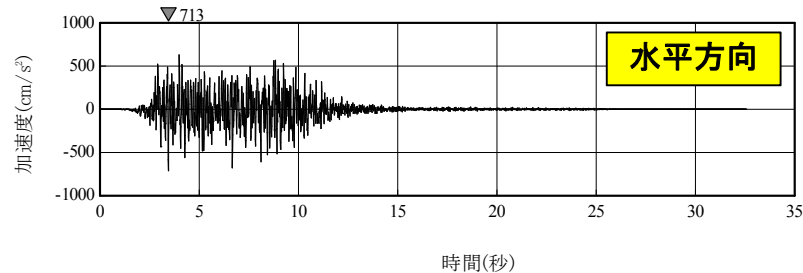
#### ■不確かさケース1(地震規模)の評価結果<加速度時刻歴波形>



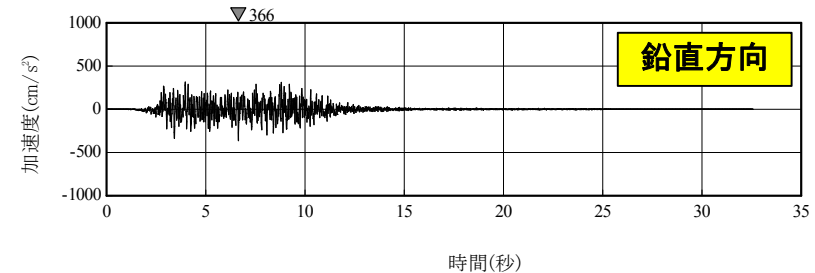
破壊開始点1



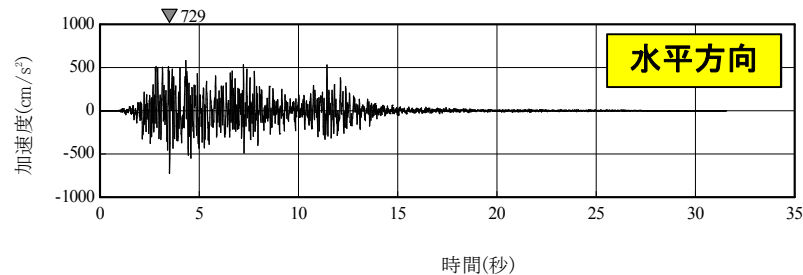
破壊開始点1



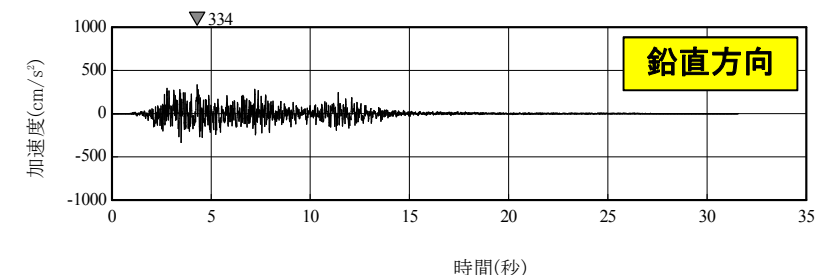
破壊開始点2



破壊開始点2



破壊開始点3



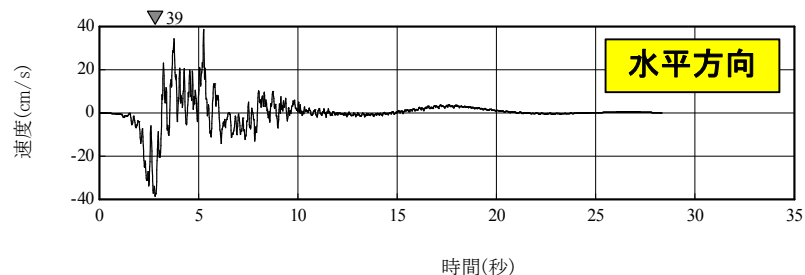
破壊開始点3

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

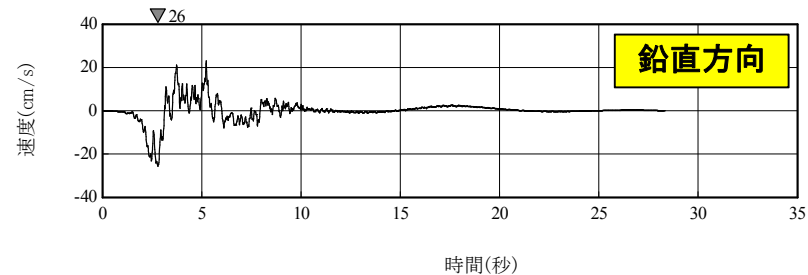
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

第180回審査会合 資料1-1(P.66)を  
本資料の構成に合わせて一部修正

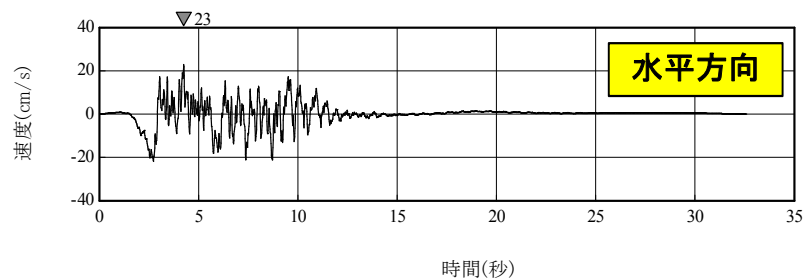
#### ■不確かさケース1(地震規模)の評価結果<速度時刻歴波形>



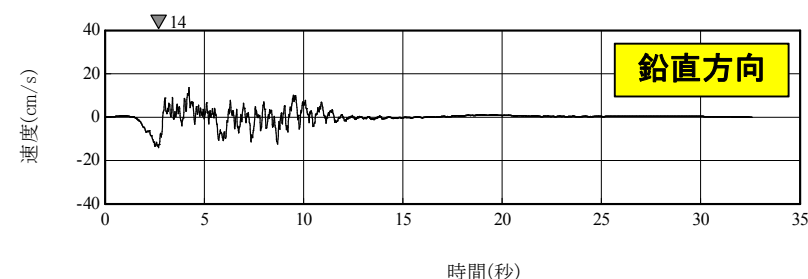
破壊開始点1



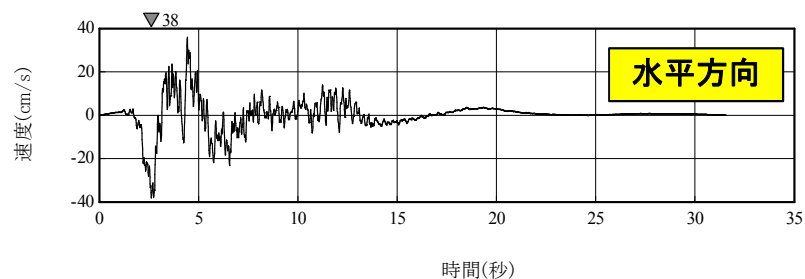
破壊開始点1



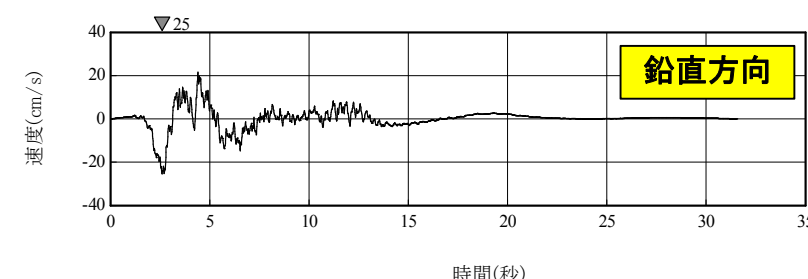
破壊開始点2



破壊開始点2



破壊開始点3



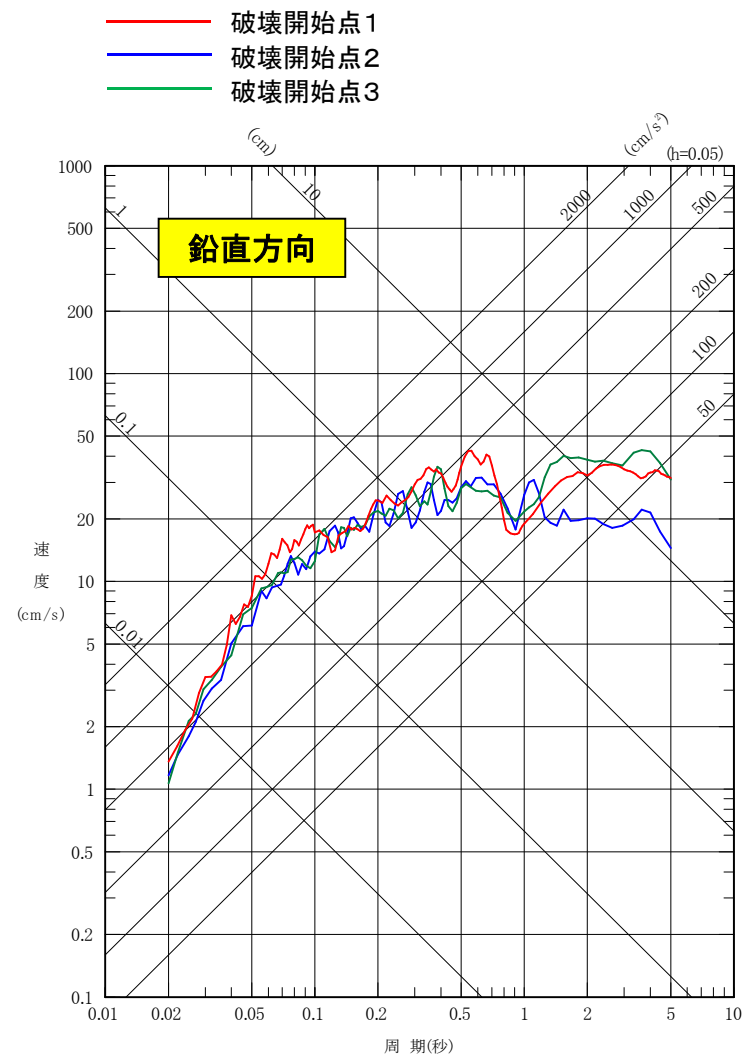
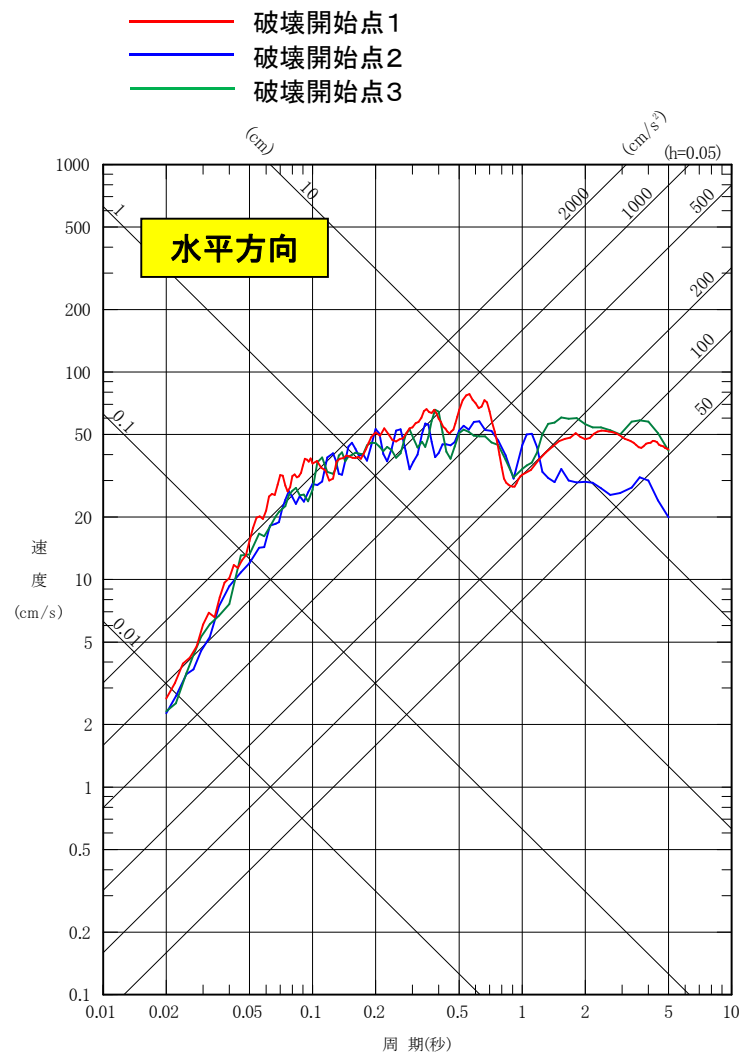
破壊開始点3

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

第180回審査会合 資料1-1(P.70)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

#### ■不確かさケース1(地震規模)の評価結果<応答スペクトル>



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

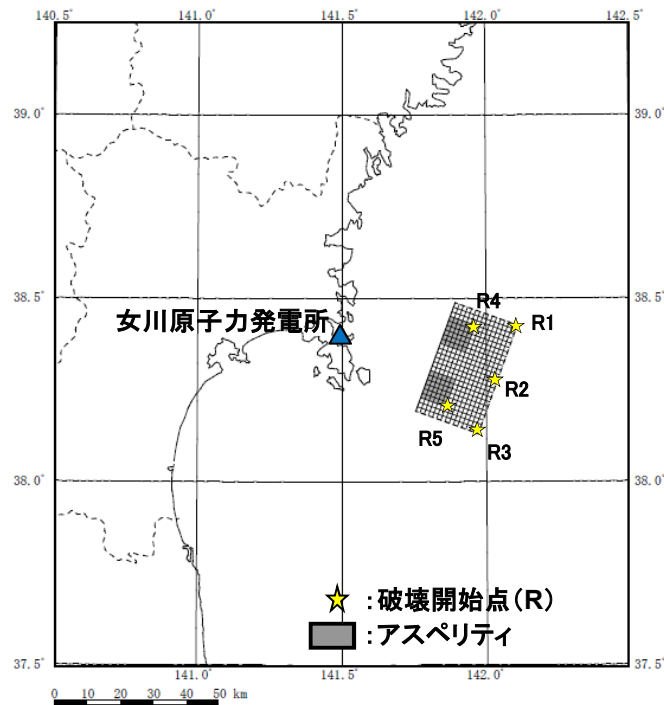
#### ■不確かさケース2(想定位置)の断層モデル

##### ○断層モデル

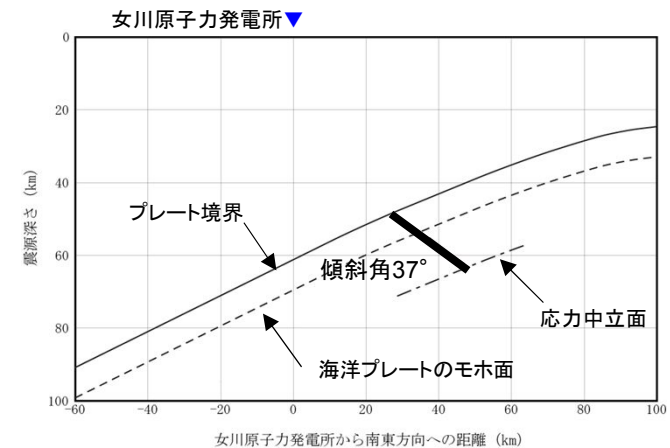
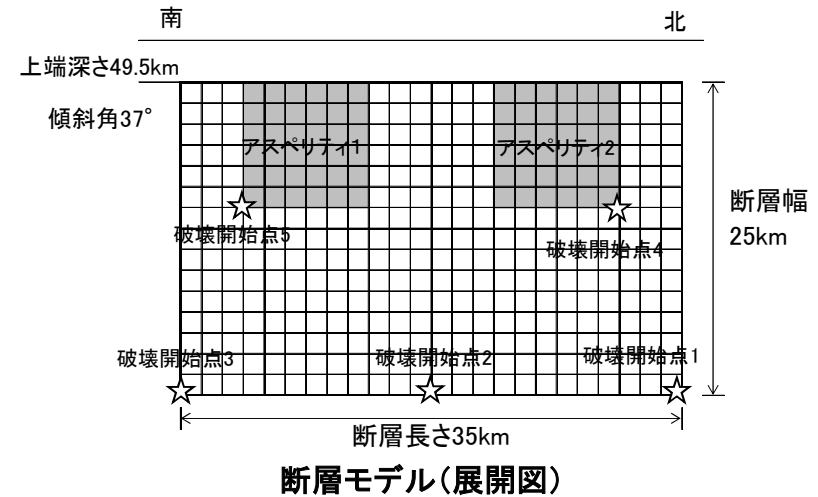
- ・4.7地震の破壊領域は海洋性マントル内にとどまり、海洋地殻まで至らなかったが、断層位置の不確かさとして海洋地殻内に強震動生成域を持つモデルを設定。断層の位置は、南端は4.7地震モデルに固定し、断層面を北側に拡張。

##### ○断層モデルを用いた地震動評価

- ・統計的グリーン関数法により評価。  
波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。



不確かさケース2(想定位置)の  
断層モデル(平面図)

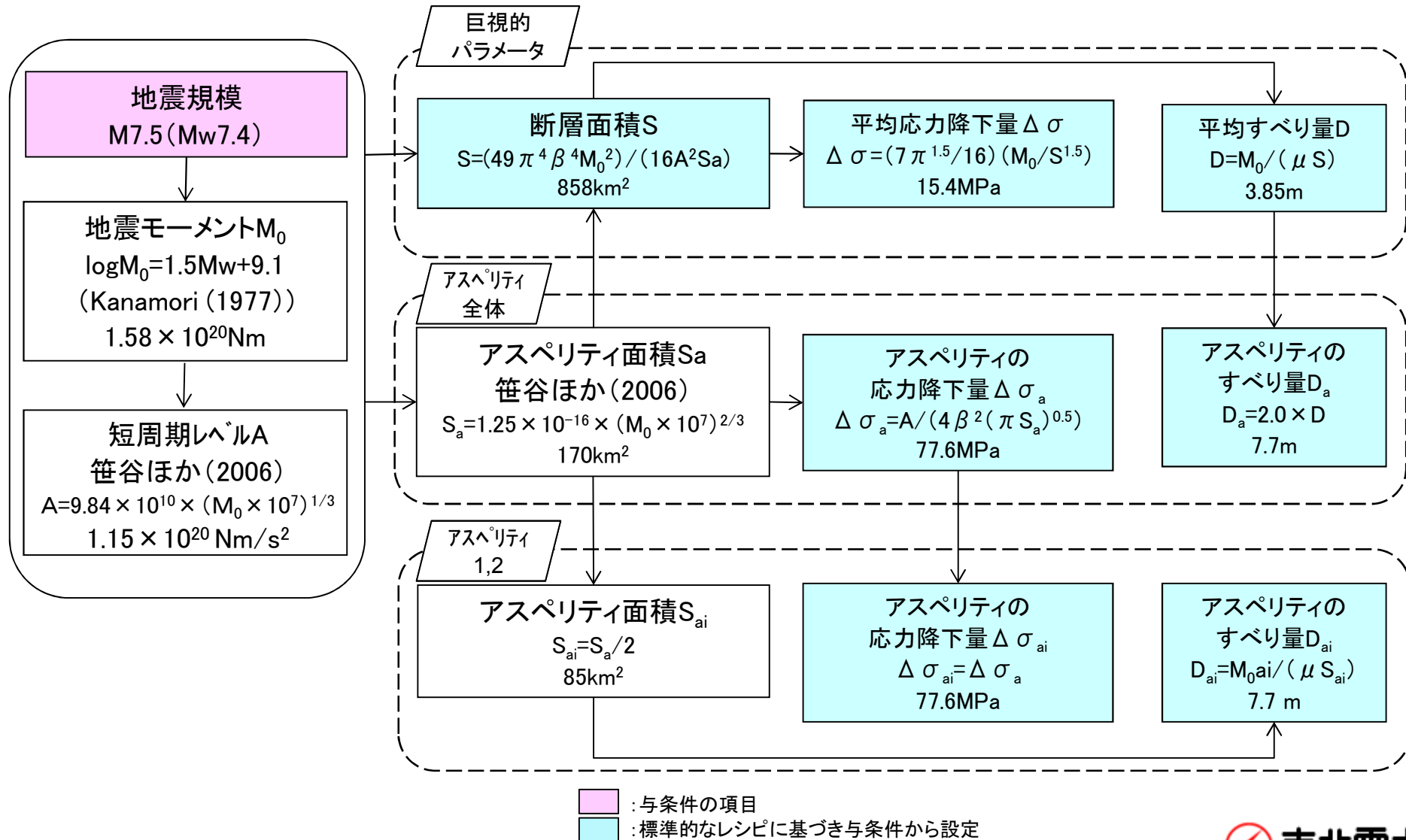


断面図

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■不確かさケース2(想定位置)の断層パラメータ設定フロー



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■不確かさケース2(想定位置)の断層パラメータ

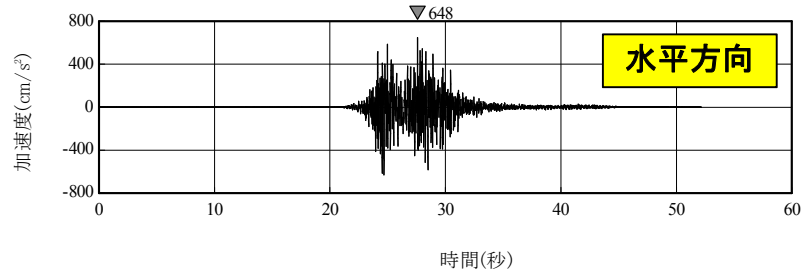
断層パラメータ		設定方法	設定値	
断層面全体	気象庁 マグニチュード	$M_J$	設定条件	7.5
	モーメント マグニチュード	$M_w$	4.7地震の $M_J$ と $M_w$ の関係を基に設定	7.4
	走向	$\theta (^{\circ})$	Nakajima et al.(2011)を参考に設定	20
	傾斜角	$\delta (^{\circ})$	原田・釜江(2011)	37
	断層長さ	$L(\text{km})$	$L=S/W$	35
	断層幅	$W(\text{km})$	プレート境界から応力中立面を地震発生層として考慮し設定	25
	断層面積	$S(\text{km}^2)$	$S=(49\pi^4\beta^4M_0^2)/(16A^2S_a)$	858
	断層上端深さ	$h(\text{km})$	J-SHIS(2014)のプレート形状を考慮し設定	49.5
	地震モーメント	$M_0(\text{Nm})$	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	$1.58 \times 10^{20}$
	剛性率	$\mu(\text{N/m}^2)$	$\mu=\rho\beta^2, \rho=3.0\text{g/cm}^3, \beta=4.0\text{km/s}$	$4.80 \times 10^{10}$
	平均すべり量	$D(\text{cm})$	$D=M_0/(\mu S)$	385
	平均応力降下量	$\Delta\sigma(\text{MPa})$	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	15.4
	短周期レベル	$A(\text{Nm/s}^2)$	$A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ , 笹谷ほか(2006)	$1.15 \times 10^{20}$
	破壊伝播形式	-	-	放射状
	破壊伝播速度	$V_r(\text{km/s})$	$V_r=0.72\beta$	2.88
	高域遮断周波数	$f_{\text{max}}(\text{Hz})$	2003年宮城県沖の地震のシミュレーション結果	18

断層パラメータ		設定方法	設定値	
アスペリティ全体	地震モーメント	$M_{0a}(\text{Nm})$	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	$6.28 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_a(\text{km}^2)$	$S_a=1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$	170
	平均すべり量	$D_a(\text{cm})$	$D_a=\gamma_D D, \gamma_D=2.0$	770
	応力降下量	$\Delta\sigma_a(\text{MPa})$	$\Delta\sigma_a=A/(4\beta^2(\pi S_a)^{0.5})$	77.6
アスペリティ1, 2	地震モーメント	$M_{0ai}(\text{Nm})$	$M_{0ai}=M_{0a}/2$	$3.14 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$	$S_{ai}=S_a/2$	85
	平均すべり量	$D_{ai}(\text{cm})$	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$	770
	応力降下量	$\Delta\sigma_{ai}(\text{MPa})$	$\Delta\sigma_{ai}=\Delta\sigma_a$	77.6
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}(\text{Nm})$	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	$9.57 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_b(\text{km}^2)$	$S_b=S-S_a$	688
	平均すべり量	$D_b(\text{cm})$	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	290
	応力降下量	$\Delta\sigma_b(\text{MPa})$	$\Delta\sigma_b=(D_b/W_b)(D_a/W_a) \cdot \Delta\sigma_a$	11.7

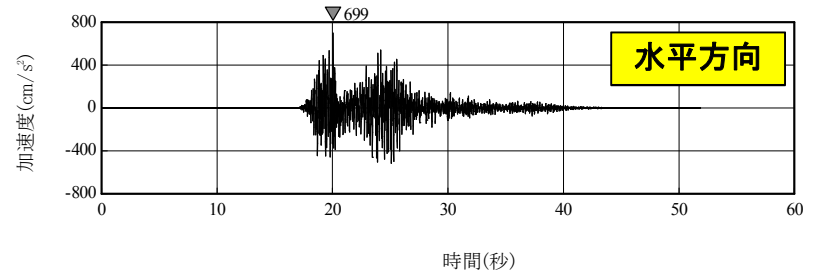
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

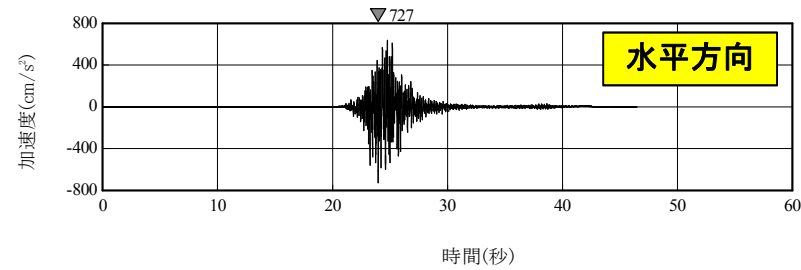
#### ■不確かさケース2(想定位置)の評価結果<加速度時刻歴波形>



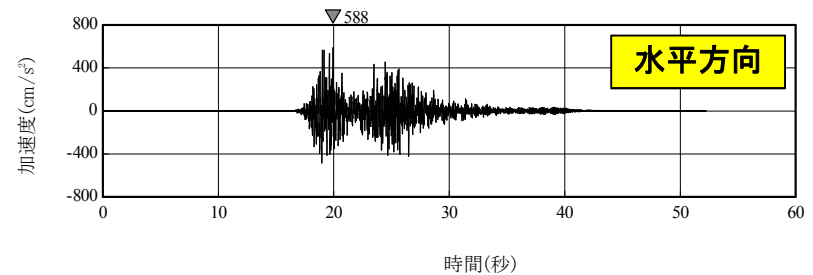
破壊開始点1



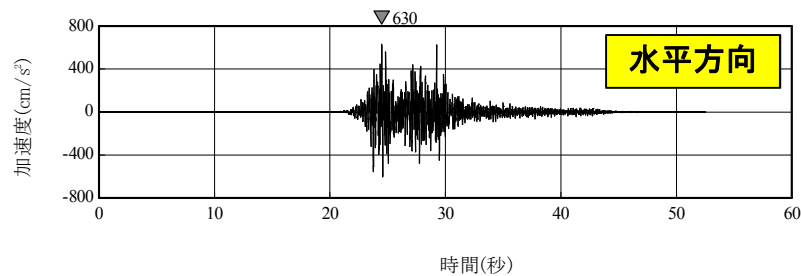
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5



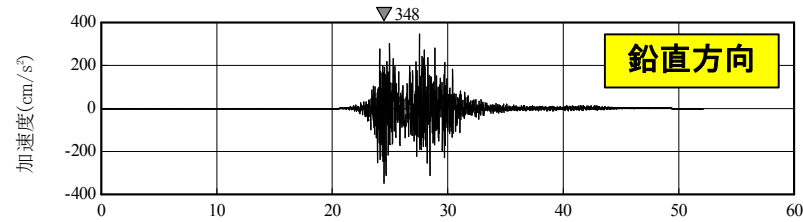
破壊開始点3



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

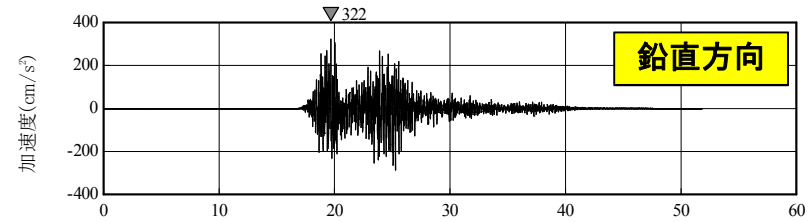
### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■不確かさケース2(想定位置)の評価結果<加速度時刻歴波形>



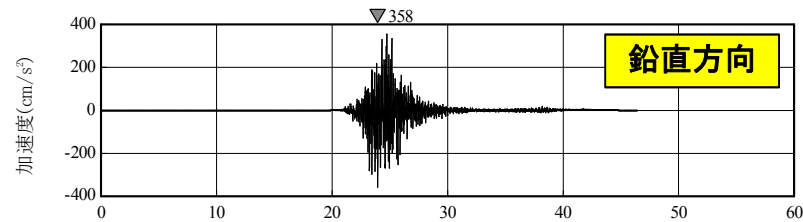
時間(秒)

破壊開始点1



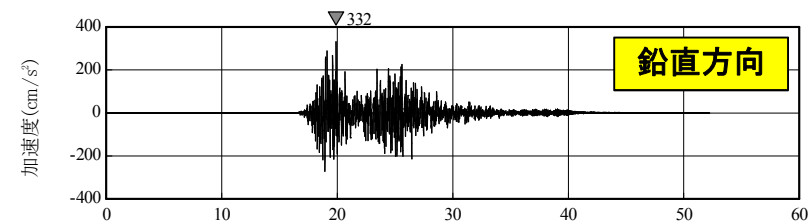
時間(秒)

破壊開始点4



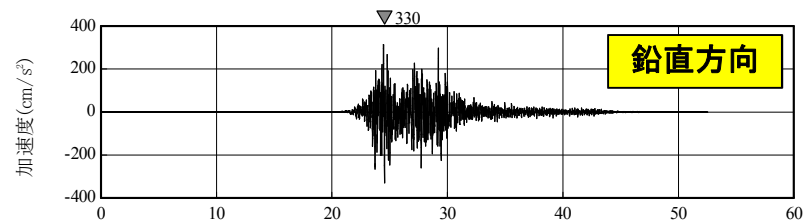
時間(秒)

破壊開始点2



時間(秒)

破壊開始点5



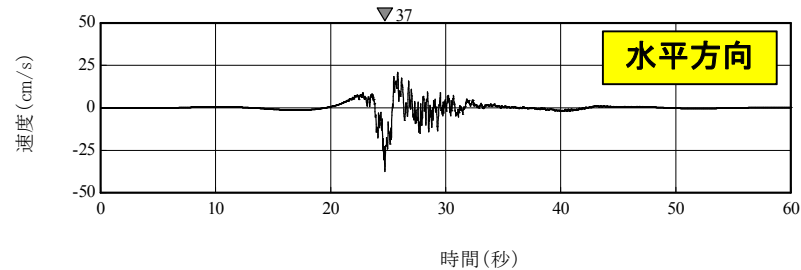
時間(秒)

破壊開始点3

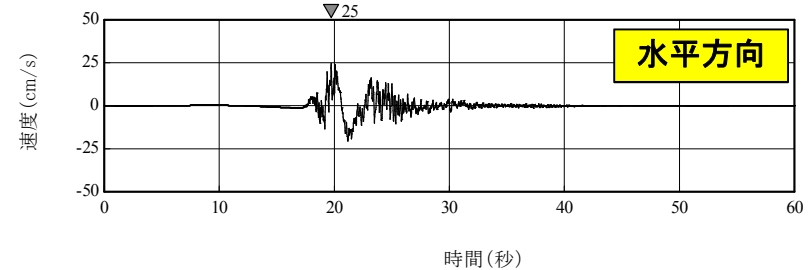
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

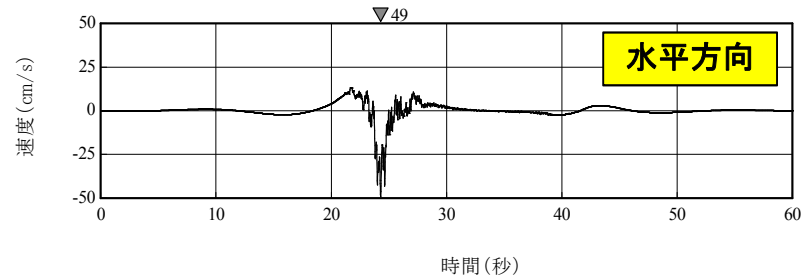
#### ■不確かさケース2(想定位置)の評価結果<速度時刻歴波形>



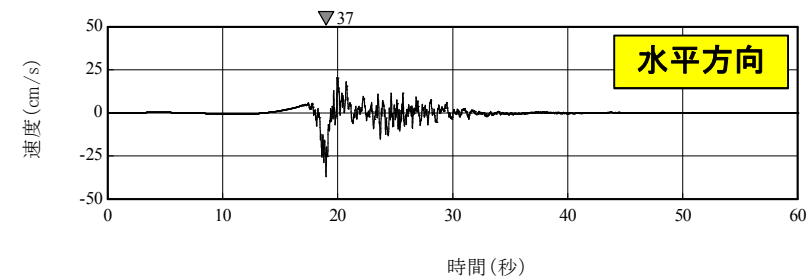
破壊開始点1



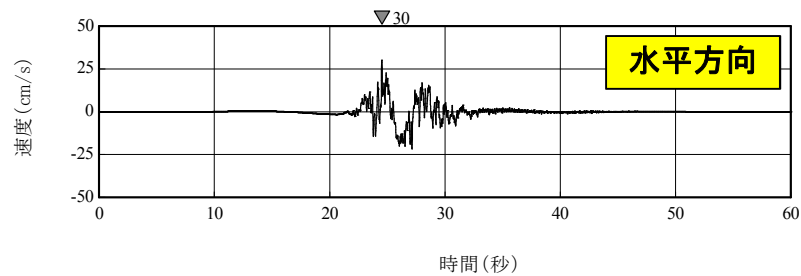
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

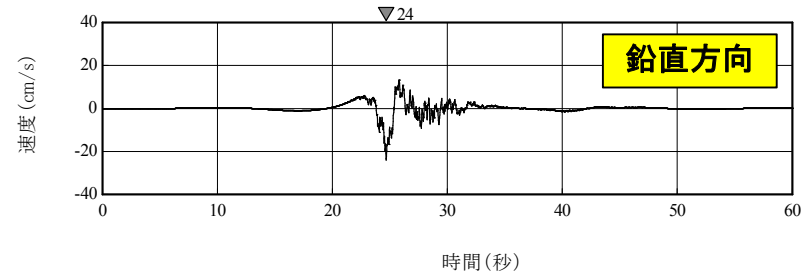


破壊開始点3

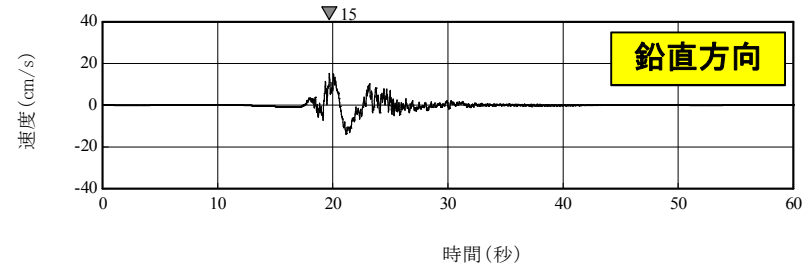
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

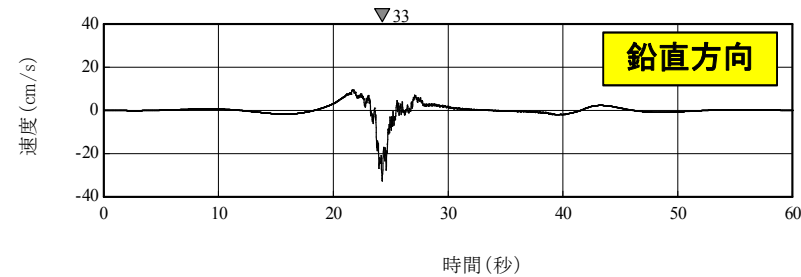
#### ■不確かさケース2(想定位置)の評価結果<速度時刻歴波形>



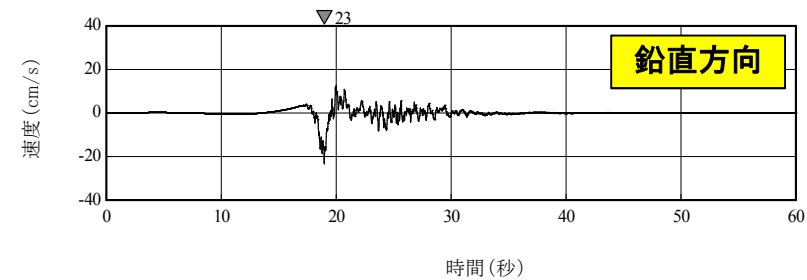
破壊開始点1



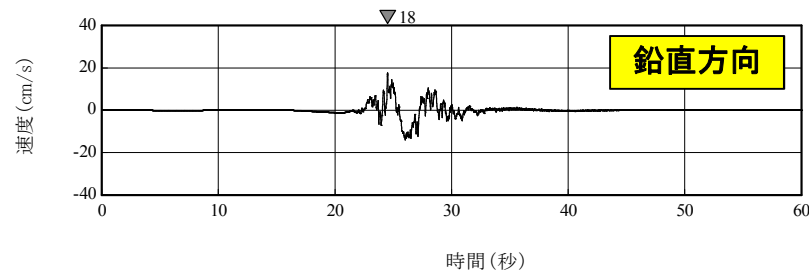
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

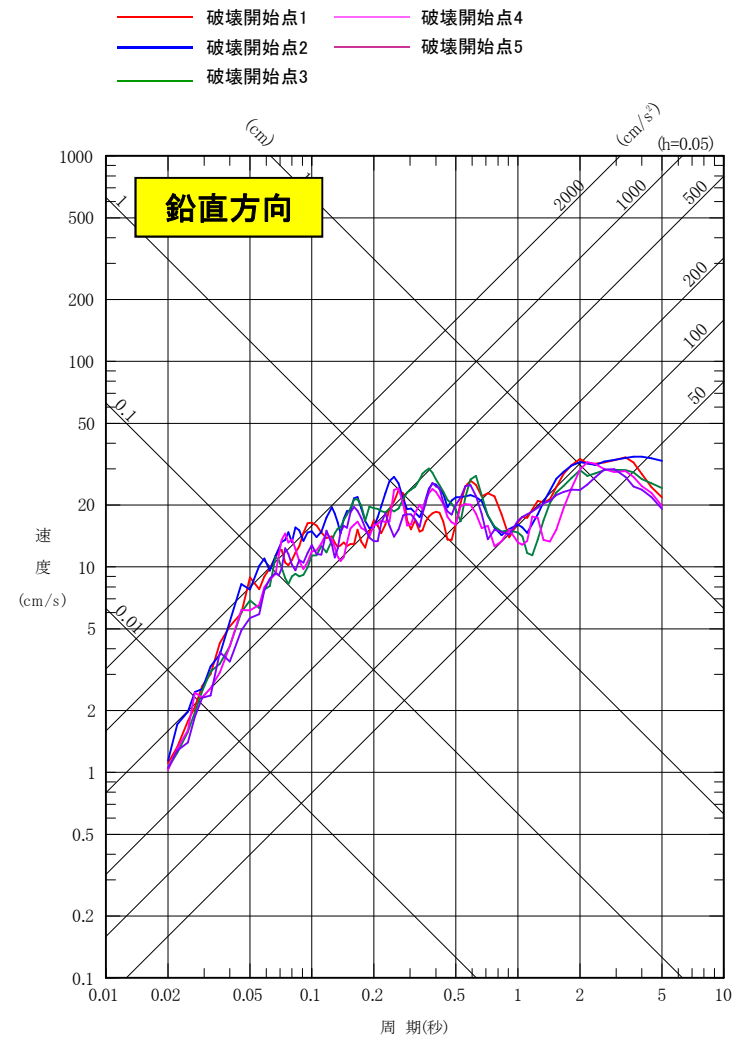
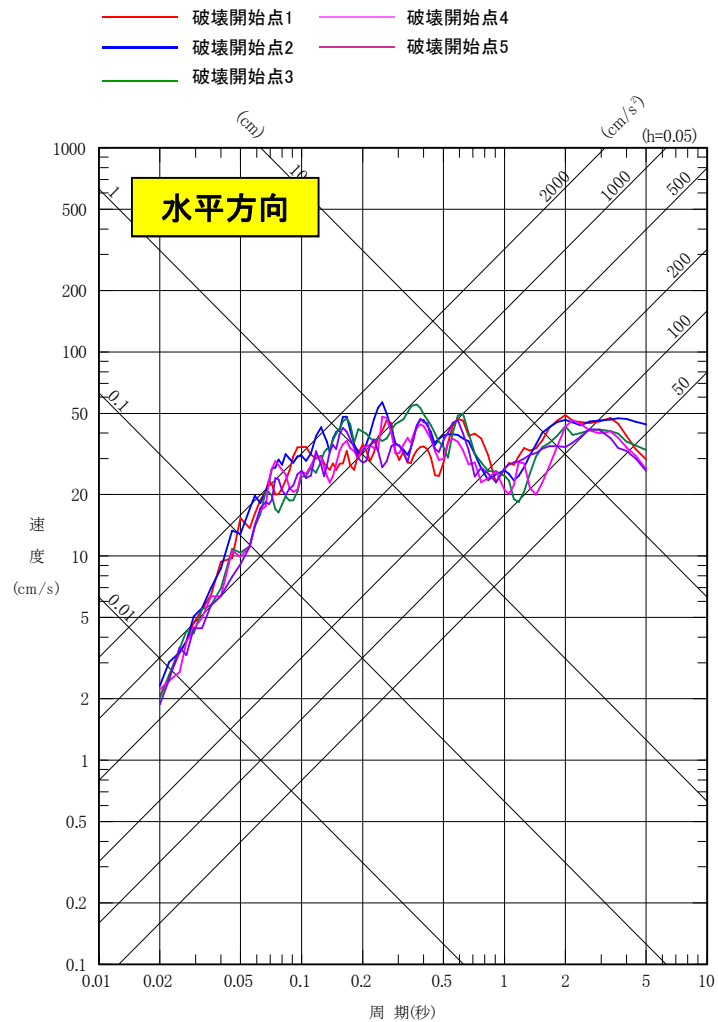


破壊開始点3

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

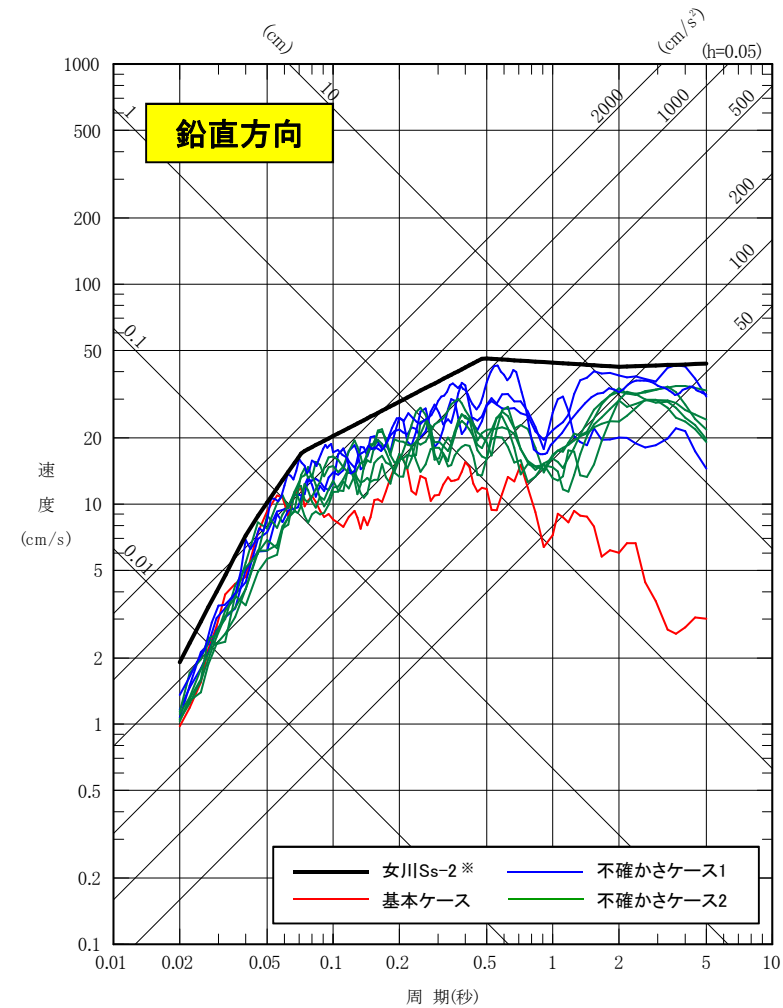
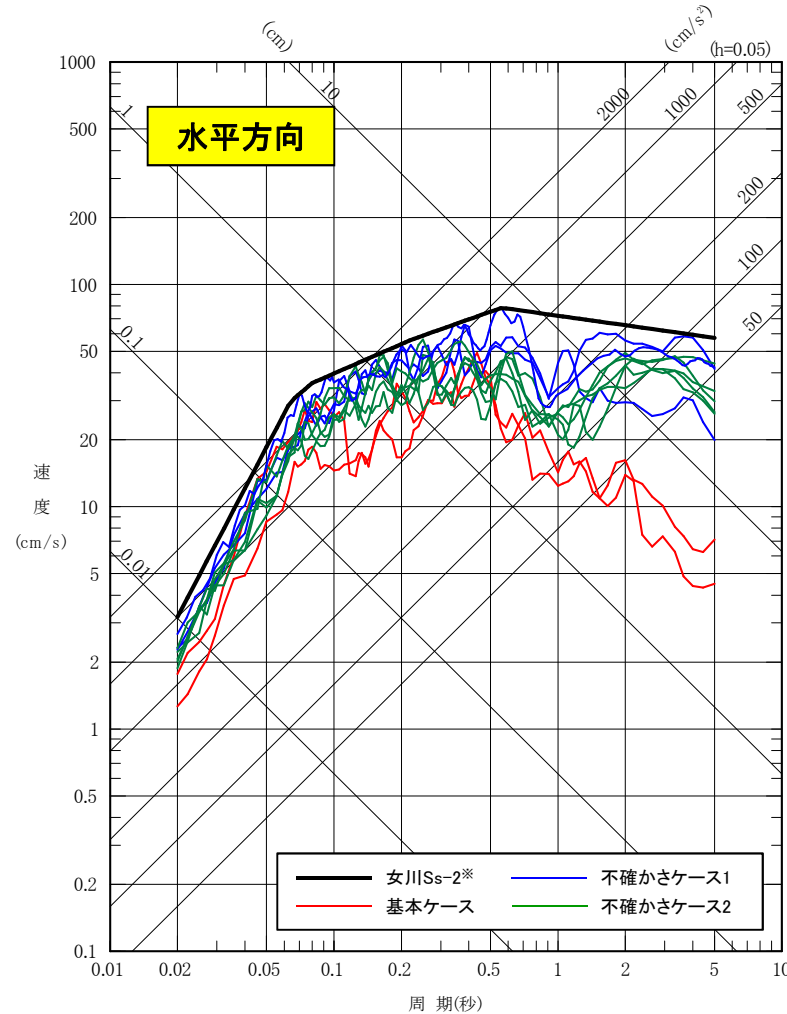
#### ■不確かさケース2(想定位置)の評価結果<応答スペクトル>



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■ 4.7型地震の基本ケース及び不確かさケースの地震動評価結果



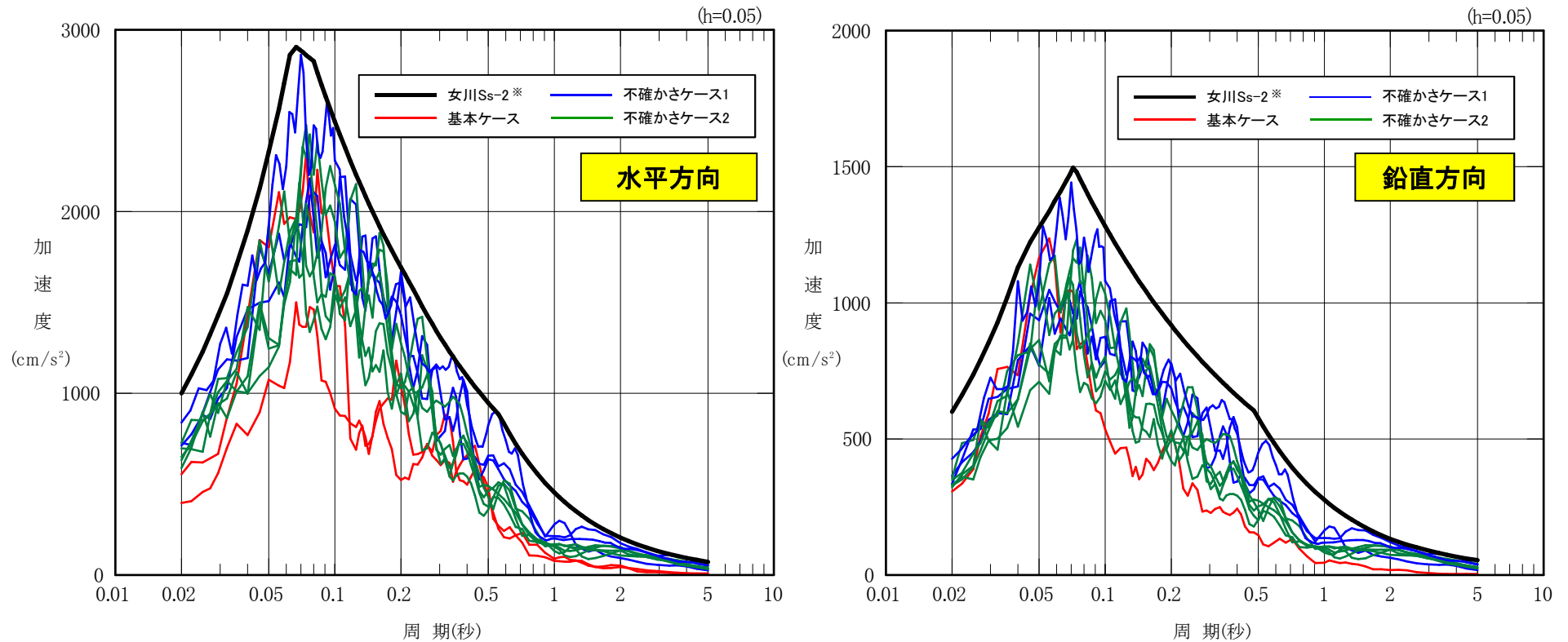
評価結果は、基準地震動Ss-2\*に包絡される。

※平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.1 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震

#### ■ 4.7型地震の基本ケース及び不確かさケースの地震動評価結果



評価結果は基準地震動Ss-2\*に包絡される。

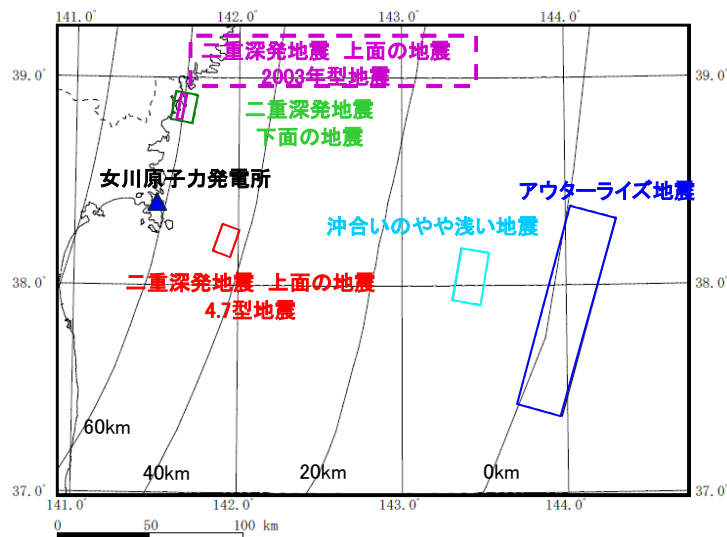
※平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

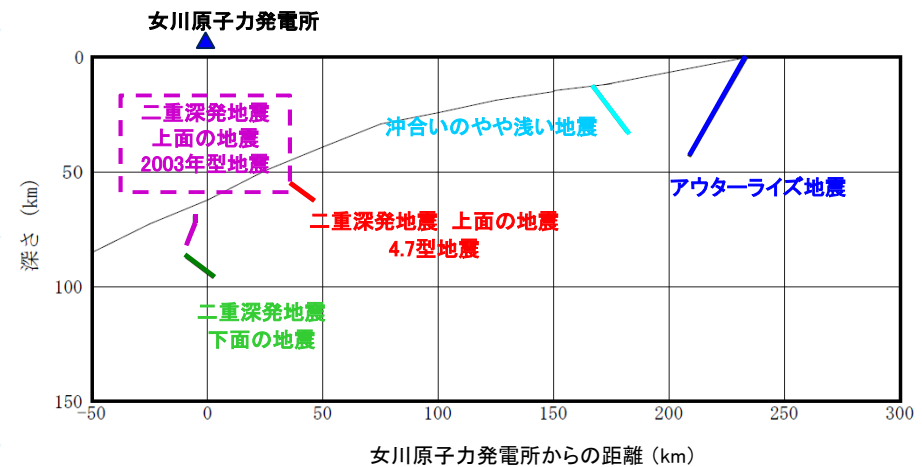
### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■二重深発地震 上面の地震 2003年型地震の特徴

項目	想定位置	地震規模	短周期レベル (応力降下量)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2003年宮城県沖の地震は、上面・面間・下面に微小地震が集中している箇所が発生。</li> <li>・同様の特徴を有する箇所は東北地方では複数存在するが、敷地に最も近い場所は2003年宮城県沖の地震が発生した場所。</li> <li>・地震波トモグラフィから、2003年宮城県沖の地震は太平洋プレート内の海洋性マントルの低速度域と対応している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2003年宮城県沖の地震の地震規模はM7.1。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2003年宮城県沖の地震の短周期レベルは、笹谷ほか(2006)の約1.3倍。</li> </ul>



断層位置 模式図(平面図)



断層位置 模式図(断面図)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

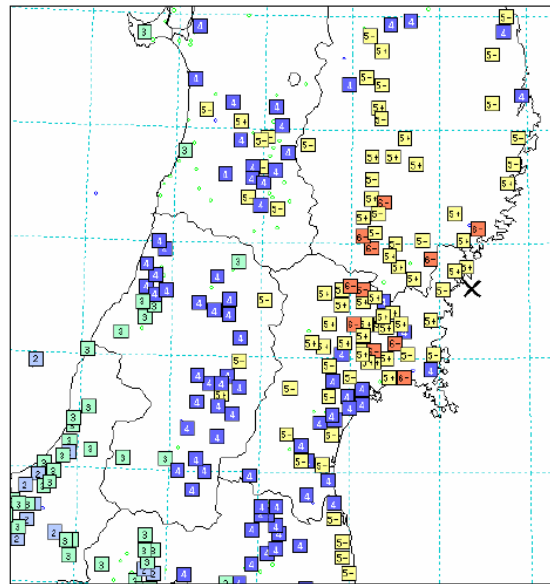
### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■2003年宮城県沖の地震

【気象庁(2003):平成15年5月 地震・火山月報(防災編)】

- ・2003年5月26日18時24分に発生した宮城県沖の地震は、太平洋プレート内部で発生した地震と考えられる。最近の震央分布図と矩形内断面図を示す。断面図に2重地震面に沿った地震と今回の一連の地震活動を見ることができる。
- ・今回の地震の発震機構は、太平洋プレートの沈み込む方向に圧力軸を持つ型で、断層面は垂直に近い面と水平に近いもののいずれかであるが、余震分布から、垂直に近い面が今回の地震の断層面であると考えられる。

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
2003/05/26 18:24:33.4	宮城県沖	38° 49.2' N	141° 39.0' E	72km	M7.1	6弱



震度分布図(気象庁(2003))

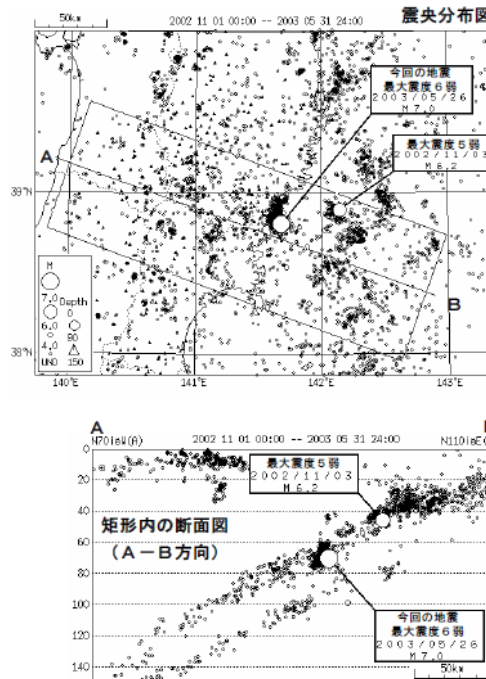
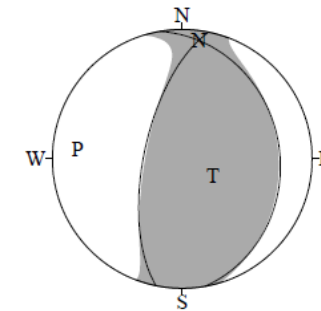


図2-1 震央分布図、断面図

震央分布図, 断面図(気象庁(2003))

2003/05/26 18:24:33.4  
NORTHERN MIYAGI PREF  
Hypo.: 38°49.2'N 141°39.0'E 72km



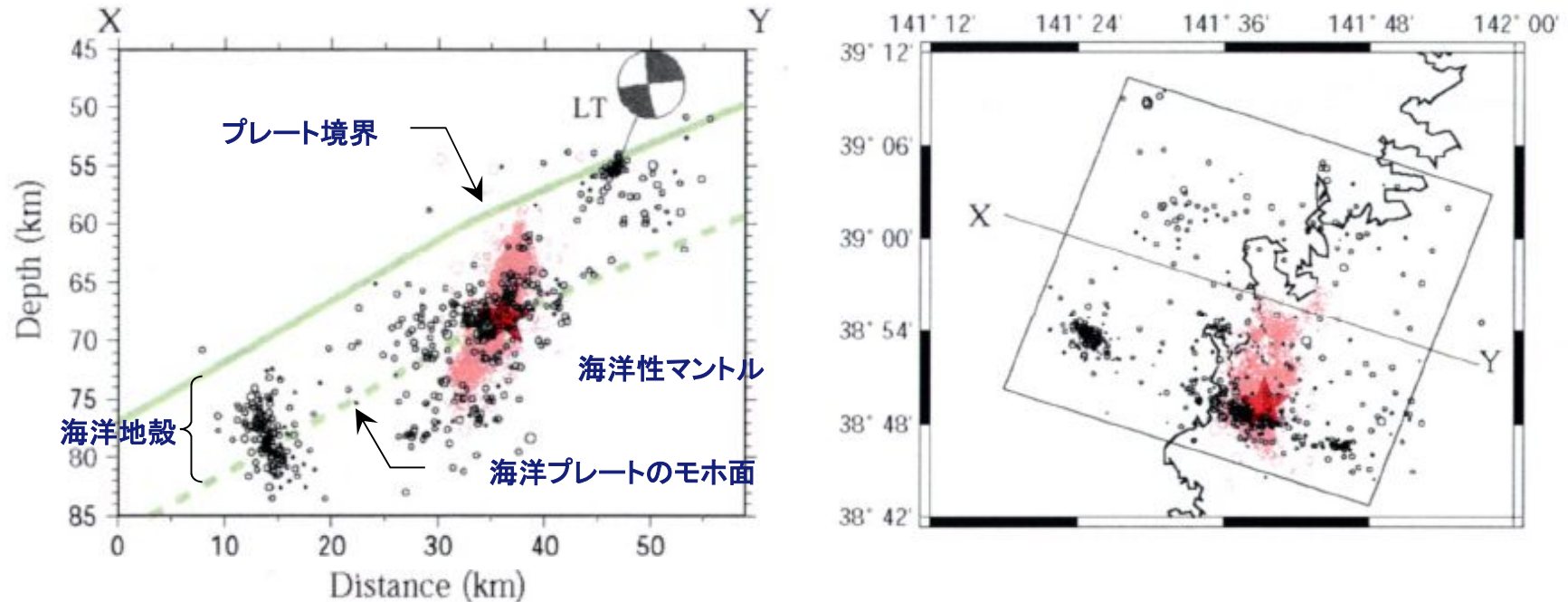
発震機構 CMT解(気象庁(2015))



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■ 迫田ほか(2004)による知見



(迫田ほか(2004)に一部加筆)

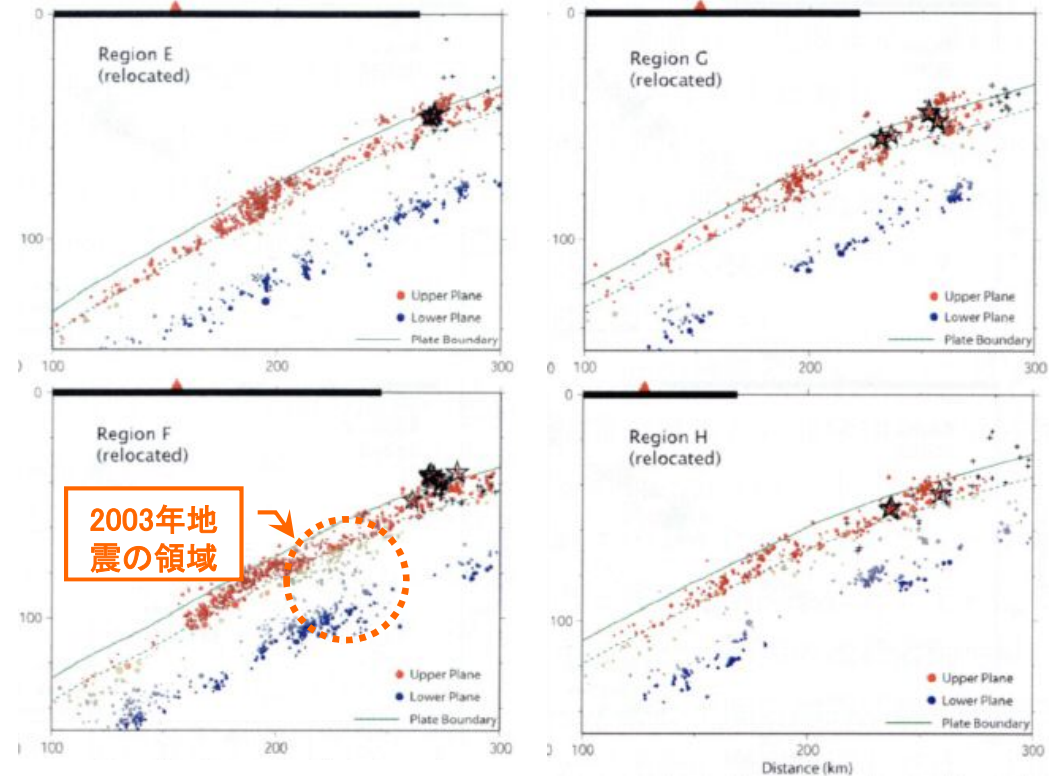
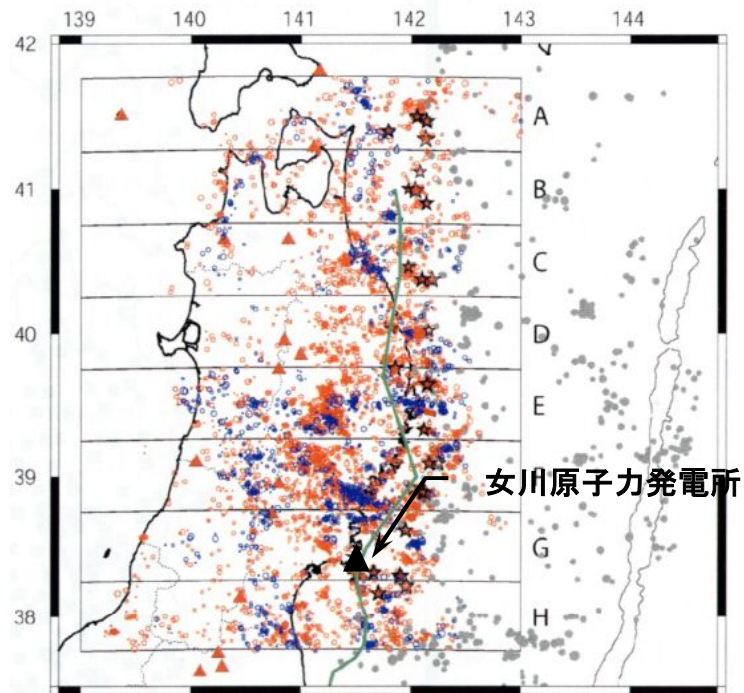
【凡例】○:2003年地震の余震分布 ○:1997年から2003年地震直前までの震央分布

- ・2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)は、上面の地震としては東北地方で発生した最大規模の地震。
- ・上面でM7クラスの地震が発生する場合、破壊領域はマントルにまで到達することが予想される。
- ・2003年宮城県沖の地震の本震震源付近では、本震発生前からマントル内で高い地震活動が見られ、この地震は他の領域とは異なった「特異な領域」で発生したと推測される。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■ 菅ノ又ほか(2006)による知見



【凡例】●:上面の地震, ●:下面の地震, ●:その他の地震, ▲:火山, ☆:繰り返し地震 (菅ノ又ほか(2006)に一部加筆)

- ・二重深発地震面の下面の地震だけではなく、上面の地震も空間的に非一様な分布をしている。
- ・上面と下面のクラスター状の地震活動の空間的な対応関係は、2003年宮城県沖の地震の震源域周辺で顕著であるが、青森県の南東部沿岸及び岩手県の中央部などの領域でもこれと同様な「特異な領域」の存在が示唆される。

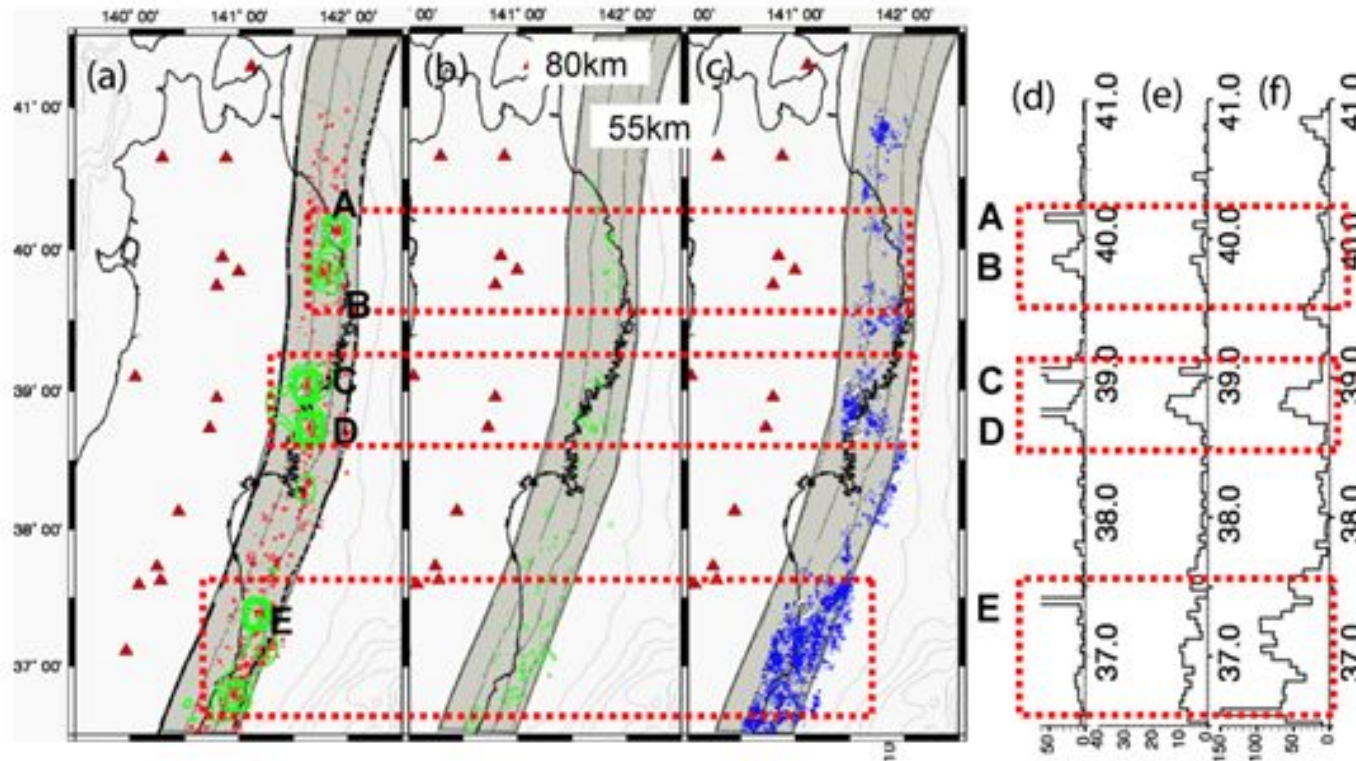
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

第180回審査会合  
資料1-1(P.25)に一部加筆

#### ■2003年宮城県沖の地震のテクトニクス的背景

- ・二重深発地震面上面の深さ60~90キロメートルに見られる上面地震帯及びその周辺の詳細な震源分布から、上面地震帯は震源が空間的に一様に分布する上部(上部地殻に対応する領域)と、非一様にクラスター状に分布する下部(下部地殻からマントル最上部)とに分かれること、さらに二重深発地震面の上面及び下面の間に発生する地震(面間地震)が存在すること、これらの上面下部・面間・下面の震央分布を比較すると、図に示すように空間的にお互いによく対応している。(Kita et al.(2007))
- ・2003年宮城県沖の地震の余震域は、上面下部・面間・下面の分布領域と対応している。



2003年宮城県沖の地震の震源域は、本震発生前から二重深発地震面の上面を超えてマントル内(面間)でも地震活動が活発な「特異な領域」であった(迫田ほか(2004))。

(a)上面下部, (b)面間 及び(c)下面の地震の震央分布

A~Eは上面下部に見られる顕著な地震クラスターを示す。(d)上面下部、(e)面間 及び(f)下面の地震の緯度別頻度分布。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

第180回審査会合 資料1-1(P.13)を  
本資料の構成に合わせて一部修正

#### ■Kita et al.(2010)による知見

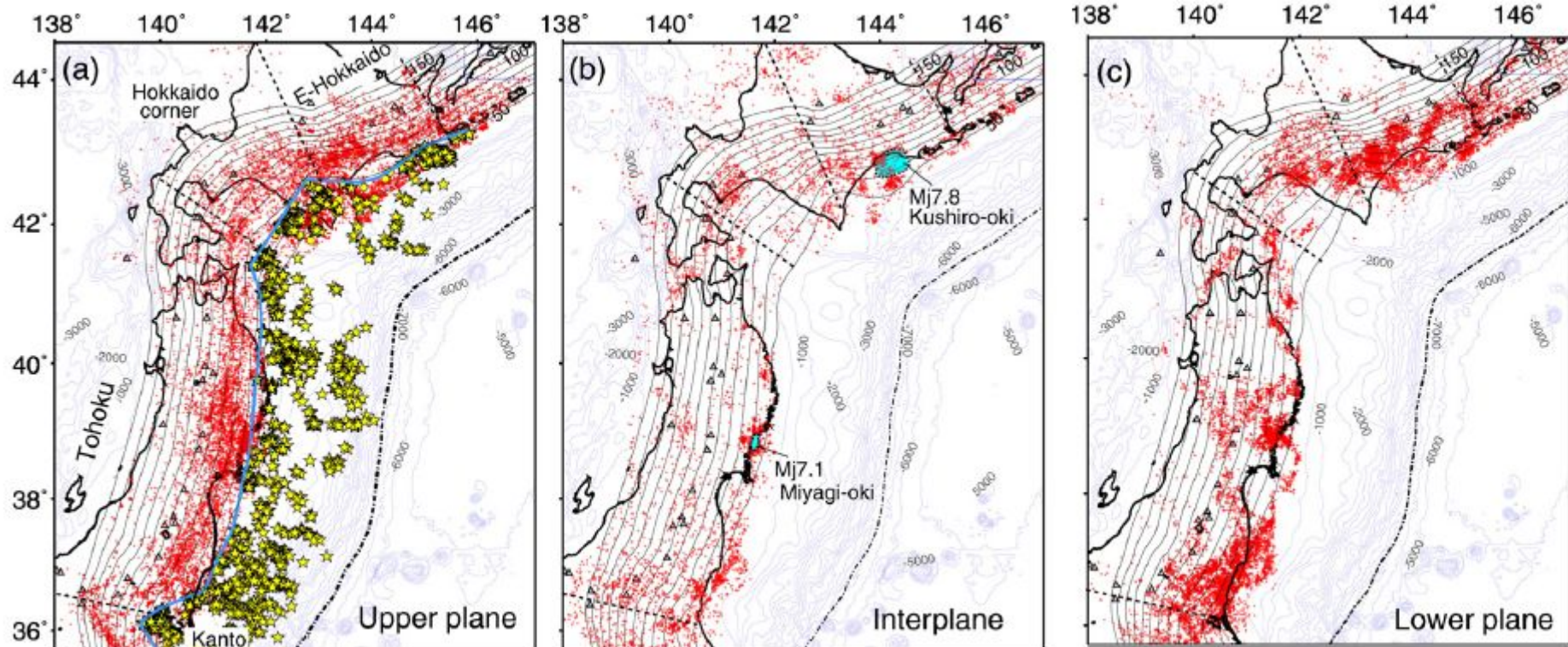


Fig. 4. Epicenter distributions of earthquakes (a) in the upper plane, (b) in the interplane, and (c) in the lower plane. Red dots show earthquakes. Gray triangles and black contours respectively show active volcanoes and the depth of the plate interface. A thick blue line shows the downdip limit of interplate earthquakes. Blue thin lines show contours of the bathymetry every 500 m. Yellow stars and yellow circles show the epicenters of small repeating earthquakes and low-angle thrust type events, respectively. Aftershock area of the 1993 Mj 7.8 Kushiro-oki earthquake (Suzuki and Kasahara, 1996) and that of the 2003 Mj 7.1 Miyagi-oki earthquake (Okada and Hasegawa, 2003) are shown in Fig. 4(b) by shaded areas with blue color.

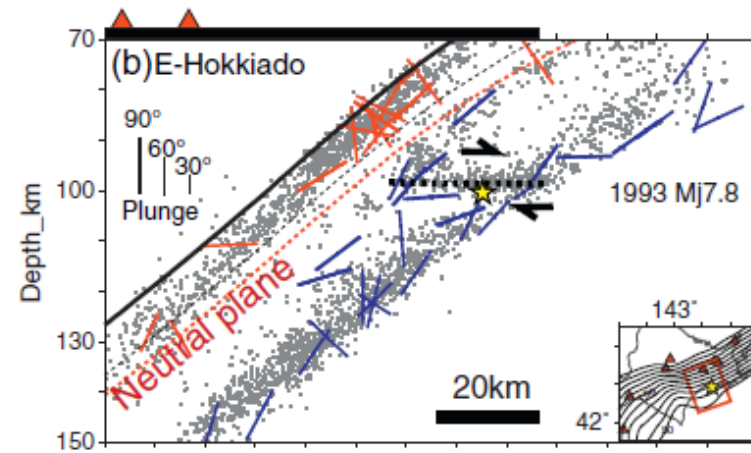
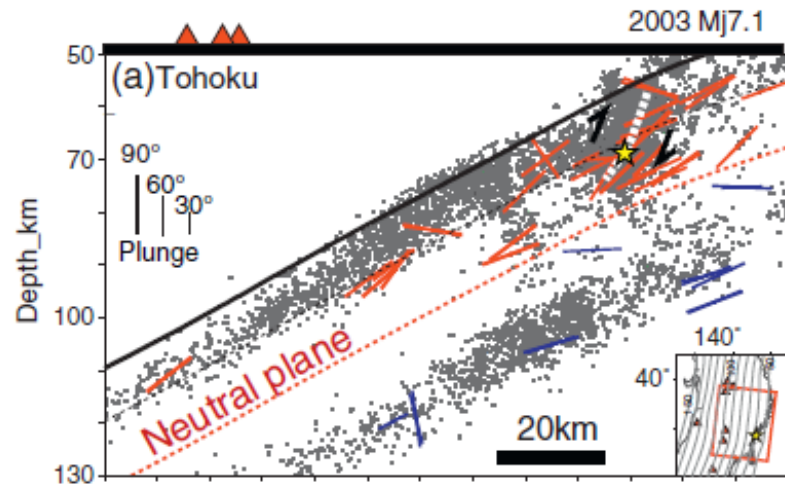
#### (a)上面, (b)面間, (c)下面の地震の震央分布

- ・上面の地震は、前弧側にやや多いものの、全域にわたって空間的にほぼ一様に分布。
- ・それに対し下面の地震は、空間的に非一様に分布する。
- ・面間の地震は、空間的に非一様な分布をし、北海道東部や東北地方南部、東北地方中央部の前弧側に集中し、そこでは下面の地震も集中している。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■ Kita et al.(2010)による知見



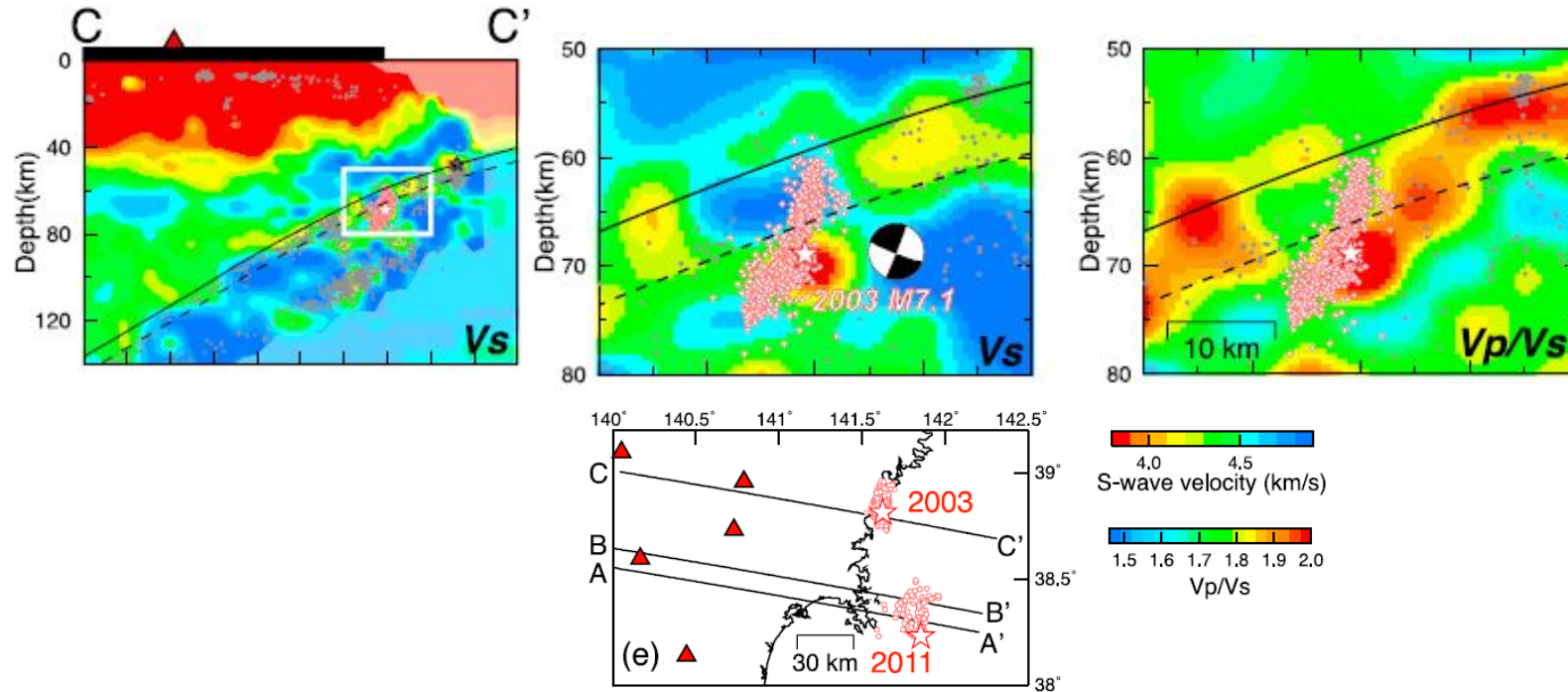
注：1993 M7.8: 気象庁暫定値

・2003年宮城県沖の地震(M7.1), 1993年釧路沖地震(M7.5)のどちらも, その破壊は中立面付近にまで達するものの, それを超えては広がっていない。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■ Nakajima et al.(2011)による知見



2003年地震の震源域周辺におけるS波速度構造等の鉛直分布図(Nakajima et al.(2011))

白丸は再決定した余震。黒の太線はメカニズム解から推定した断層面。黒実線はプレート境界。破線は海洋プレートモホ面。

#### 【Nakajima et al.(2011)】

- ・2003年宮城県沖の地震も、その余震分布から推定される断層面が低速度域に位置している。
- ・余震の並びとプレート境界とのなす角は約60度である。

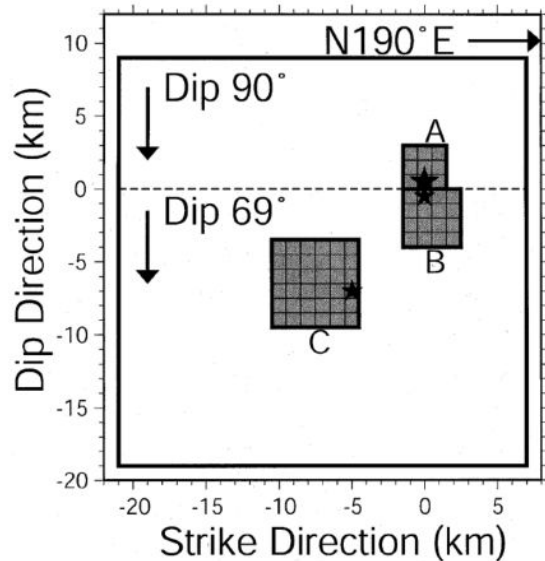
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

### ■断層パラメータ 短周期レベル

・2003年宮城県沖の地震のシミュレーションモデルは浅野ほか(2004)があるが、同モデルの短周期レベルは、笹谷ほか(2006)による海洋プレート内地震の $M_0$ —短周期レベルAの関係と比較して約1.3倍大きい。

Table 2. Model parameters of the source model obtained in this study.

	Length (km)	Width (km)	Area (km <sup>2</sup> )	Rise time (s)	$M_0$ (Nm)	Stress drop (MPa)	Rupture time (s)
A	3.0	3.0	9.0	0.18	$1.16 \times 10^{18}$	105	0.00
B	4.0	4.0	16.0	0.24	$2.75 \times 10^{18}$	105	0.36
C	6.0	6.0	36.0	0.36	$9.27 \times 10^{18}$	105	3.28
Total			61.0		$1.32 \times 10^{19}$		



浅野ほか(2004)の2003年宮城県沖の地震の震源モデル

### 2003年宮城県沖の地震 短周期レベルA

モデル	断層パラメータ	地震モーメント $M_0$ (N·m)	短周期レベルA (N·m/s <sup>2</sup> )
2003年宮城県沖の地震シミュレーションモデル (浅野ほか(2004))		$3.49 \times 10^{19}$	$9.30 \times 10^{19}$
(参考) 笹谷ほか(2006)を用いた場合の短周期レベルA		$3.49 \times 10^{19}$	$6.93 \times 10^{19}$

約1.3倍

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■ 検討ケース

- ・2003年宮城県沖の地震の発生位置の特徴を踏まえ、二重深発地震の上面の地震として2003年型地震を考慮。基本ケースの地震規模は、2003年宮城県沖の地震と同規模のM7.1を、想定位置は、上面・面間・下面の微小地震が集中している箇所、敷地に最も近い宮城県沖(2003年の地震の発生箇所付近)に考慮。基本ケースの短周期レベルも同地震の値(笹谷ほか(2006)の約1.3倍)を考慮。
- ・地震規模の不確かさとしては、東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内で発生した地震の最大規模M7.3を考慮。
- ・短周期レベル(応力降下量)の不確かさとしては、4.7地震の短周期レベル(笹谷ほか(2006)の約1.5倍)を考慮。
- ・なお、敷地極く近傍には、上面・面間・下面の微小地震の集中箇所は認められない。

検討ケース	断層モデルの設定条件						評価方法	備考
	地震規模	断層の位置	破壊開始点	アスペリティの位置	短周期レベル(応力降下量)	傾斜角		
基本ケース	M7.1	上面・面間・下面の地震が分布(2003年地震付近)	—	—	2003年地震の短周期レベル	—	簡易評価(観測記録で代表)	
不確かさケース1 地震規模	M7.3	上面・面間・下面の地震が分布(2003年地震付近)	—	—	2003年地震の短周期レベル	—	簡易評価※1(記録ベース)	海洋プレート内地震の地域最大規模を考慮
不確かさケース2 短周期レベル(応力降下量)	M7.1	上面・面間・下面の地震が分布(2003年地震付近)	—	—	4.7地震の短周期レベル	—	簡易評価※2(記録ベース)	

: 考慮する不確かさ

※1: 地震規模の違いについて、応答スペクトルの差(比率)を既往の距離減衰式で算定し、観測記録に乗じて評価。

※2: 短周期レベルの違いについて、保守的に短周期レベルの比を観測記録に乗じて評価。



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■各検討ケースの主な断層パラメータ

検討ケース	地震規模M (Mw)	$M_0$ (Nm)	断層長さ L(km)	断層幅 W(km)	断層面積 (km <sup>2</sup> )	傾斜角 (°)	短周期レベル (Nm/s <sup>2</sup> )	アスペリティ面積 (km <sup>2</sup> )	アスペリティ応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	評価方法
基本ケース	M7.1 (7.0 <sup>※2</sup> )	3.49E+19 <sup>※1</sup>	-	-	-	-	9.3E+19 <sup>※3</sup>	-	-	簡易評価 (観測記録で代表)
不確かさケース1 地震規模	M7.3 (7.2 <sup>※4</sup> )	7.94E+19 <sup>※2</sup>	-	-	-	-	1.18E+20 <sup>※5</sup>	-	-	簡易評価 (記録ベース)
不確かさケース2 短周期レベル (応力降下量)	M7.1 (7.0 <sup>※2</sup> )	3.49E+19 <sup>※1</sup>	-	-	-	-	1.12E+20 <sup>※6</sup>	-	-	簡易評価 (記録ベース)

※1: 2003年5月26日宮城県沖の地震のF-netの値

※2:  $M_0=10^{(1.5M_w+9.1)}$

※3: 浅野ほか(2004)での短周期レベル

※4: 2003年5月26日宮城県沖の地震のMとMwの関係を基に設定

※5: 笹谷ほか(2006)での短周期レベル $A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ の1.3倍

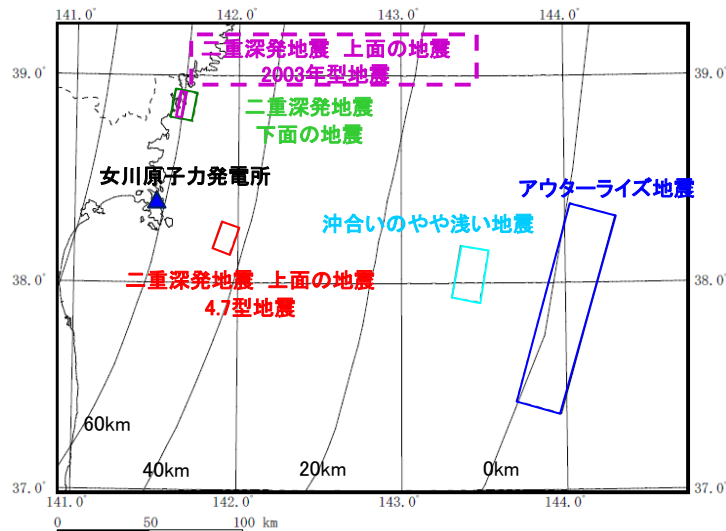
※6: 2011年4月7日宮城県沖の地震の短周期レベルAと2003年5月26日宮城県沖の地震の短周期レベルの比を考慮。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

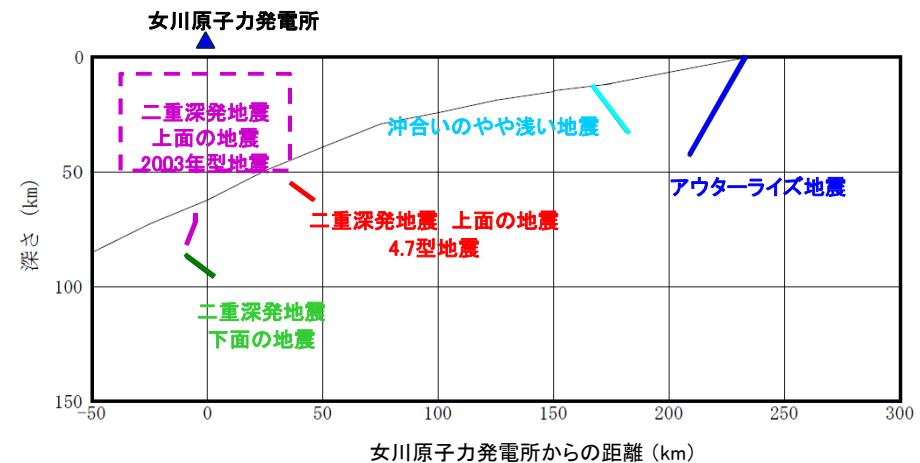
### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■各検討ケースの評価方法

検討ケース	M	断層位置	短周期レベル (応力降下量)	評価方法
基本ケース 2003年5月26日 宮城県沖の地震	M7.1	上面・面間・下面の 地震が分布 (2003年地震付近)	2003年の地震	<簡易評価> 2003年5月26日宮城県沖地震のはざとり解析結果(はざとり波)。
↓ 基本ケースの結果を基に評価				
不確かさケース1 地震規模	M7.3	上面・面間・下面の 地震が分布 (2003年地震付近)	2003年の地震	<簡易評価> 基本ケースの簡易評価結果をNoda et al.(2002)を用いて規模補正 (M7.3/M7.1)。
不確かさケース2 短周期レベル (応力降下量)	M7.1	上面・面間・下面の 地震が分布 (2003年地震付近)	4.7地震	<簡易評価> 基本ケースの簡易評価結果に4.7地震と2003年宮城県沖の地震の 短周期レベルの比(4.7地震のA/2003年宮城県沖地震のA=1.2)を 全周期に乗じることにより評価。



断層位置 模式図(平面図)



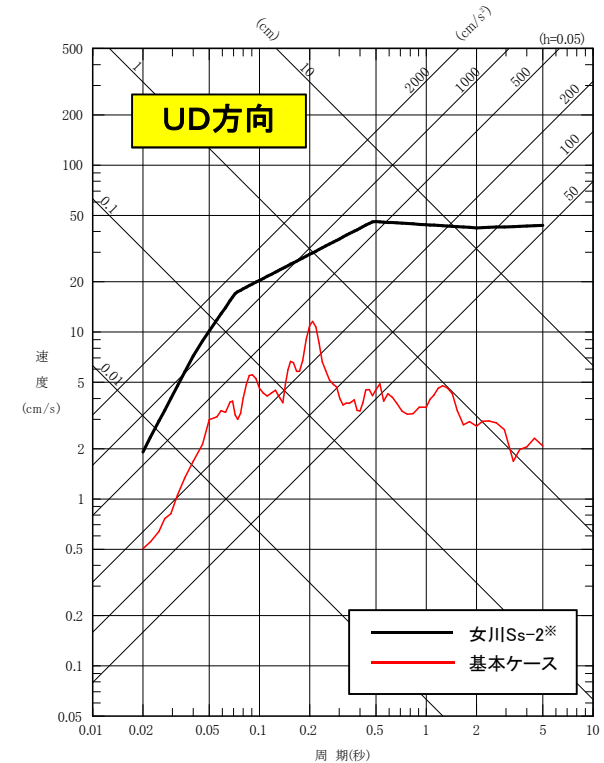
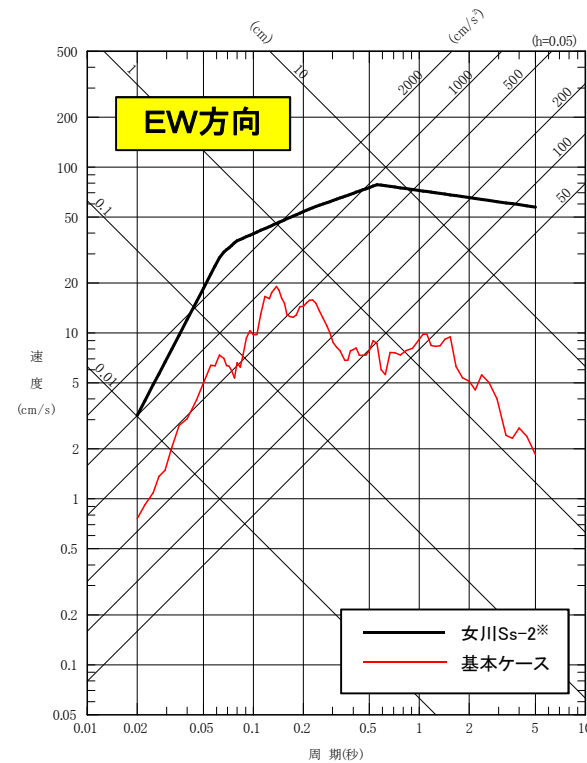
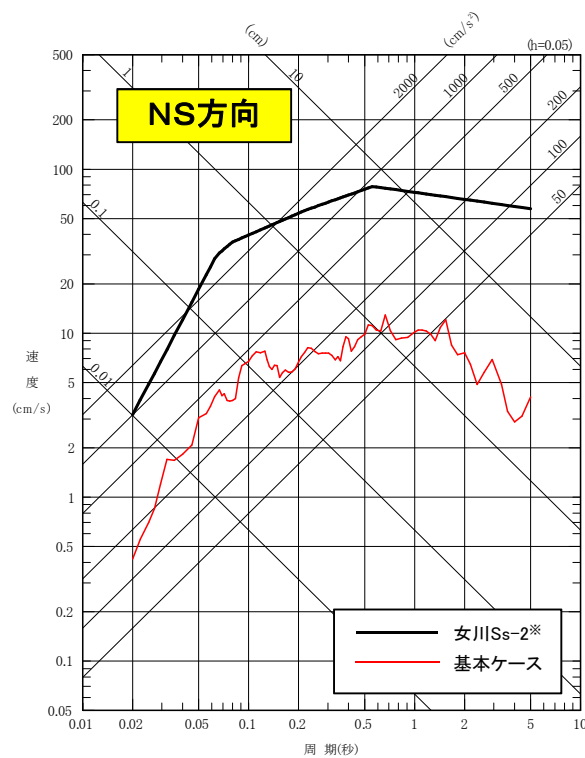
断層位置 模式図(断面図)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■ 基本ケース(M7.1)の評価結果 <応答スペクトル>

・簡易評価: 2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)のはぎとり波(敷地岩盤上部(O.P.-8.6m))



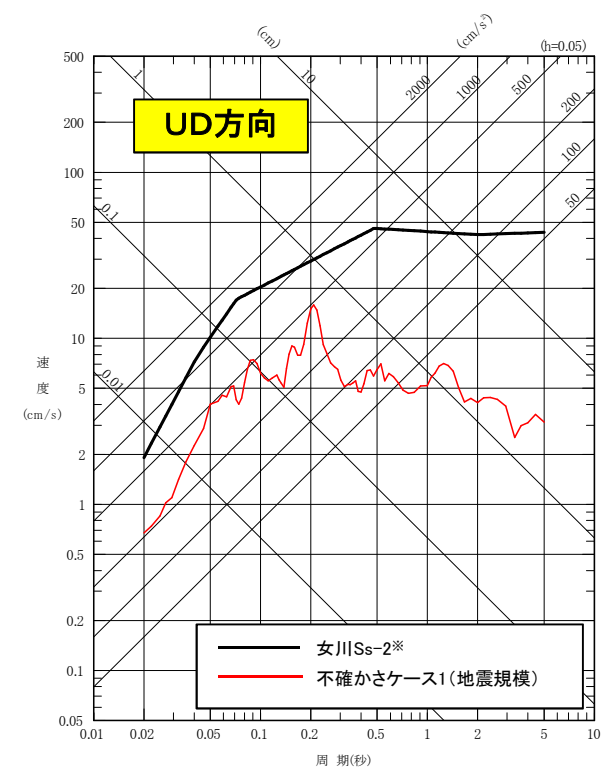
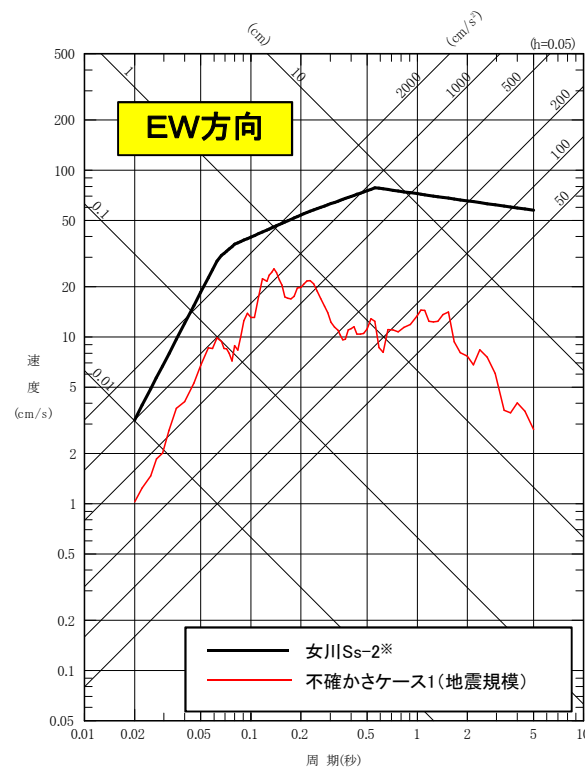
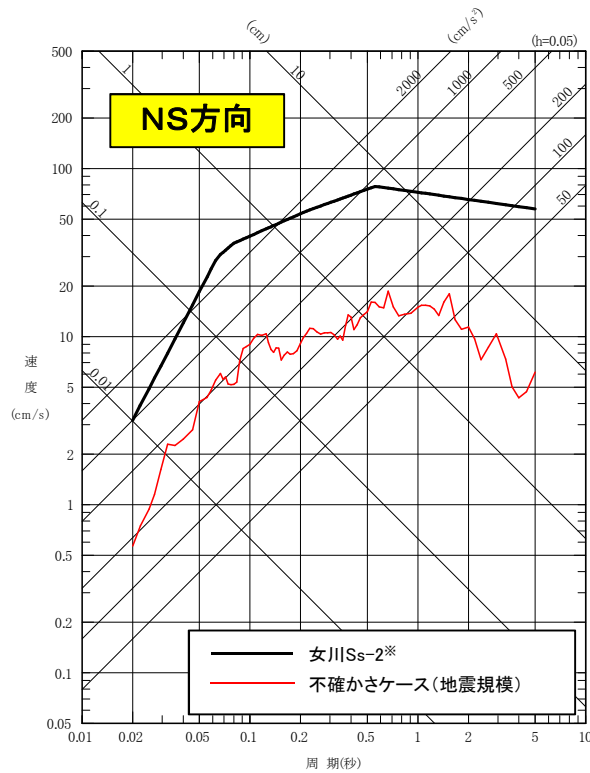
※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■不確かさケース1(地震規模)の評価結果 <応答スペクトル>

- ・簡易評価: 基本ケースの簡易評価結果(2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)のはぎとり波)をNoda et al.(2002)を用いて規模補正(M7.3/M7.1)を行い評価。



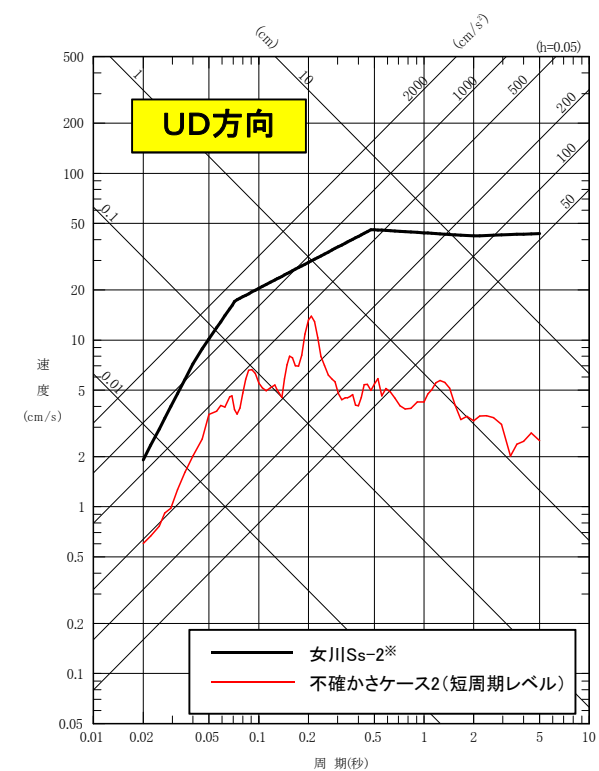
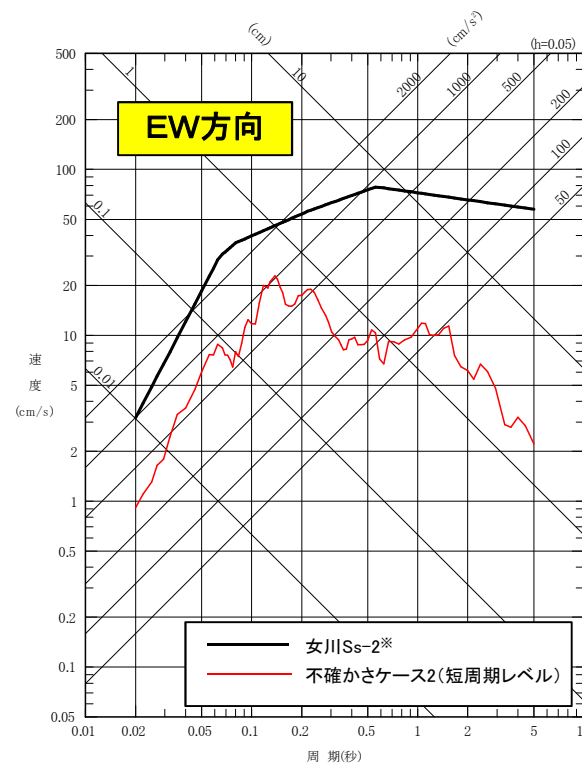
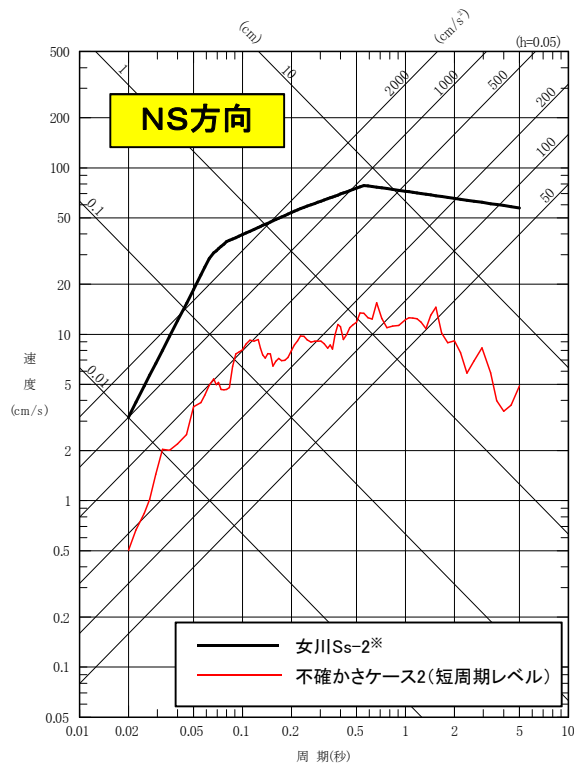
※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.2 二重深発地震 上面の地震 2003年型地震

#### ■不確かさケース2(短周期レベル)の評価結果 <応答スペクトル>

- ・簡易評価: 基本ケースの簡易評価結果(2003年5月26日宮城県沖の地震のはざとり波)に4.7地震と2003年宮城県沖の地震の短周期レベルの比(4.7地震のA/2003年宮城県沖地震のA=1.2)を全周期に乗じることにより評価。



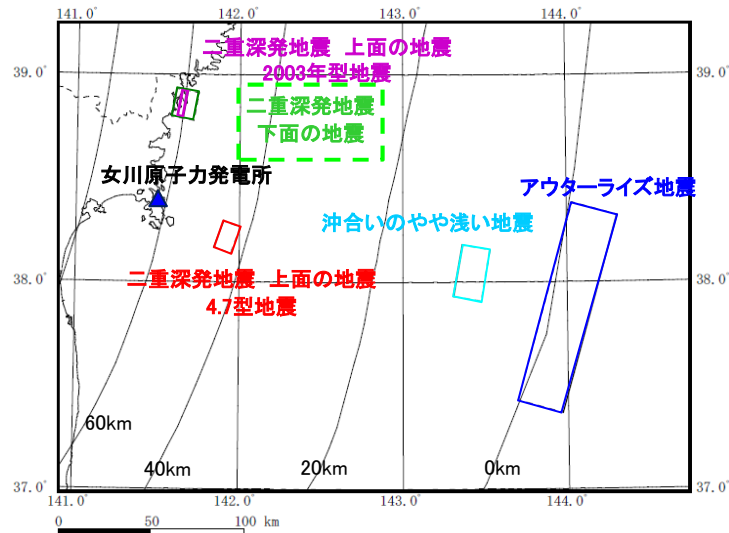
※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

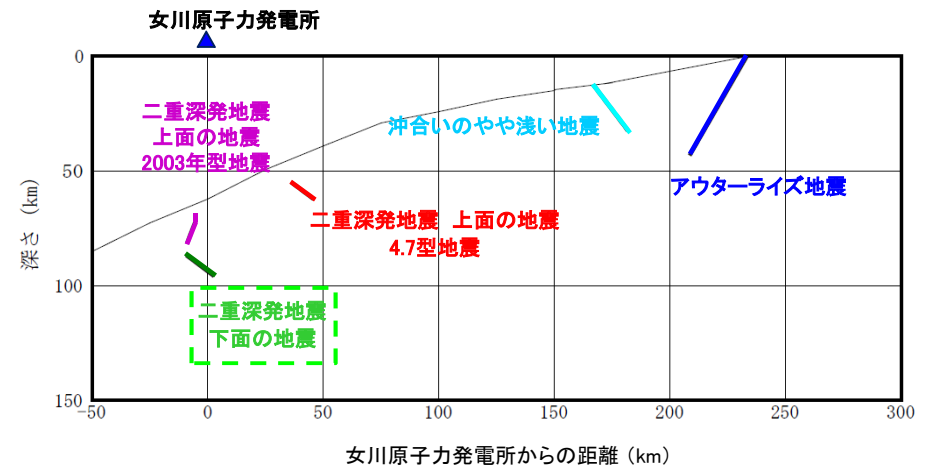
### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■二重深発地震 下面の地震の特徴

項目	想定位置	地震規模	短周期レベル (応力降下量)	備考
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>東北地方で最も規模の大きい下面の地震としては、2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(M6.8)があるが、同地震は、上面・面間・下面に微小地震が集中している箇所が発生。</li> <li>同様の特徴を有する箇所は東北地方では複数存在するが、敷地に最も近い場所は2003年宮城県沖の地震が発生した場所。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>東北地方で最も規模の大きい下面の地震は、2008年岩手県沿岸北部の地震(M6.8)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>想定位置付近(2003年宮城県沖の地震の発生箇所付近)では、下面で規模の大きい地震は発生していない。</li> <li>想定位置から遠いが2008年岩手県沿岸北部の地震の短周期レベルは笹谷ほか(2006)の約1.6倍。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>北海道では1993年釧路沖地震(M7.5)が発生。</li> </ul>



断層位置 模式図(平面図)



断層位置 模式図(断面図)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

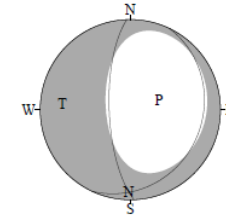
#### ■2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震

【気象庁(2008):平成 20 年7月 地震・火山月報(防災編)】

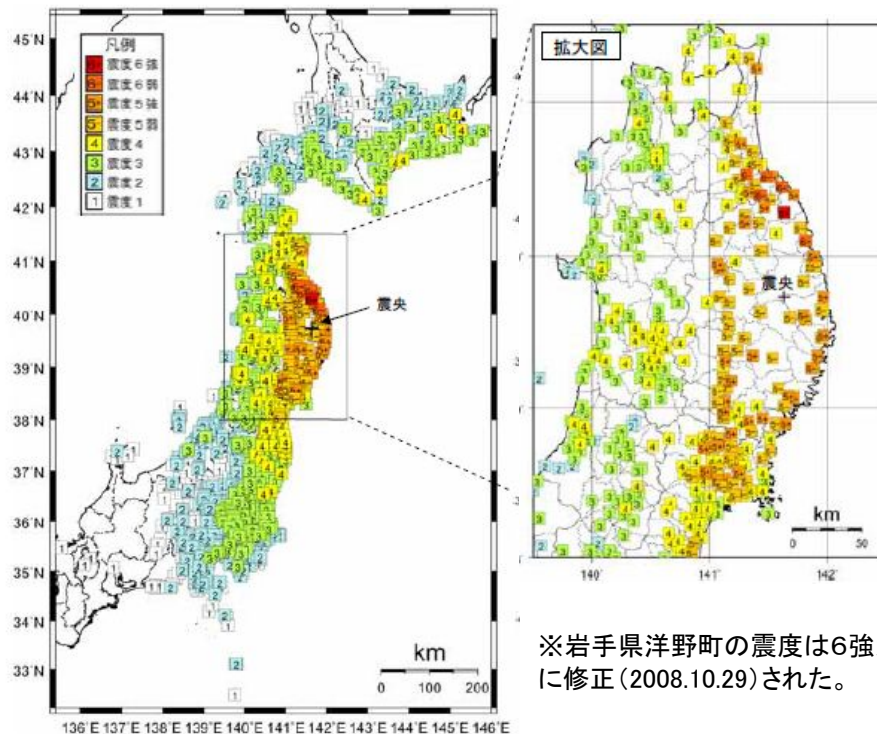
2008年7月24日00時26分に岩手県沿岸北部の深さ108kmでM6.8(最大震度6強)※の地震が発生した。この地震の発震機構(CMT解)は、太平洋プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型で、太平洋プレート内部(二重地震面の下面)で発生した地震である。

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
2008/07/24 00:26:19.6	岩手県沿岸北部	39° 43.9'N	141° 38.1'E	108km	M6.8	6弱

2008/07/24 00:26:19.6  
NORTHERN IWATE PREF  
Hypo.:39°43.9'N 141°38.1'E 108km



発震機構 CMT解(気象庁(2015))



※岩手県洋野町の震度は6強から6弱に修正(2008.10.29)された。

震度分布図(気象庁(2008))

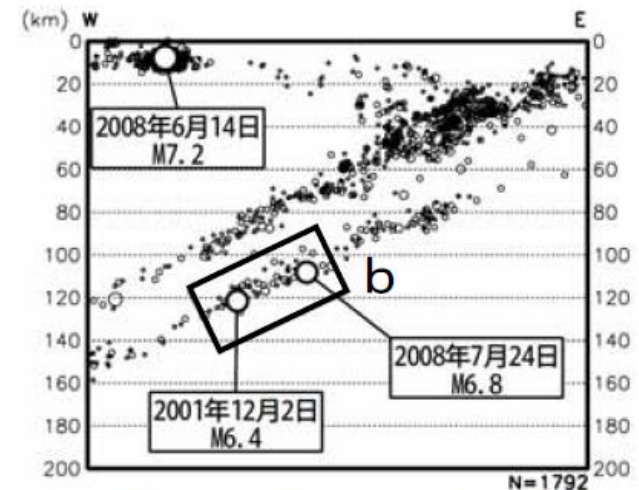


図2-2 領域a内の断面図(東西投影)

断面図(気象庁(2008))

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■ 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震

【東北大学(2008):2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震】

- ・2008年7月24日の地震は、沈み込む海洋性プレート(太平洋プレート)内部に発達する二重深発地震面・下面の部分で発生した地震。今回の地震は、過去に定常的な下面地震の地震活動があった地域に発生している。
- ・また、過去の当センターによる研究により、東北地方下の太平洋プレート内における二重深発地震面・上面地震の活動と、二重深発地震面・上面下面間(=面間)の活動と、下面の地震活動の空間分布は、対応関係があることが指摘されていた。今回の地震の場所は、まさにその対応関係が見られる場所で発生した。

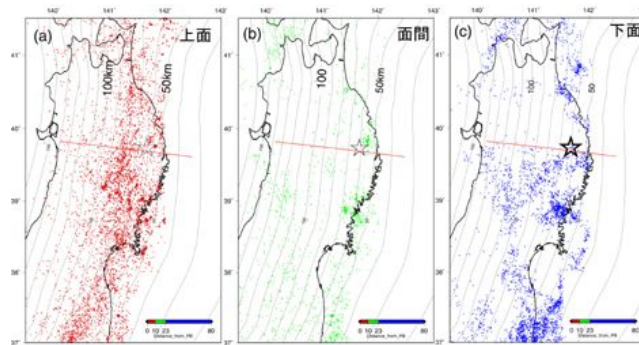


図1 スラブ内地震の空間分布

(a) 二重深発地震面上面, (b) 二重深発地震面上面・下面間, (c) 下面の地震のもの。

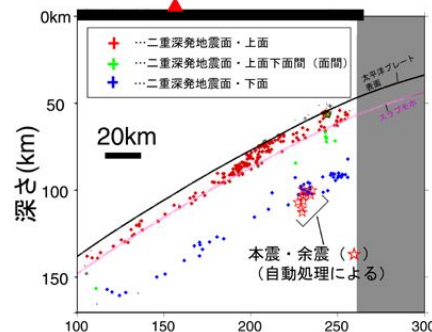


図2 図1中の赤線下の断面(幅20km断面)

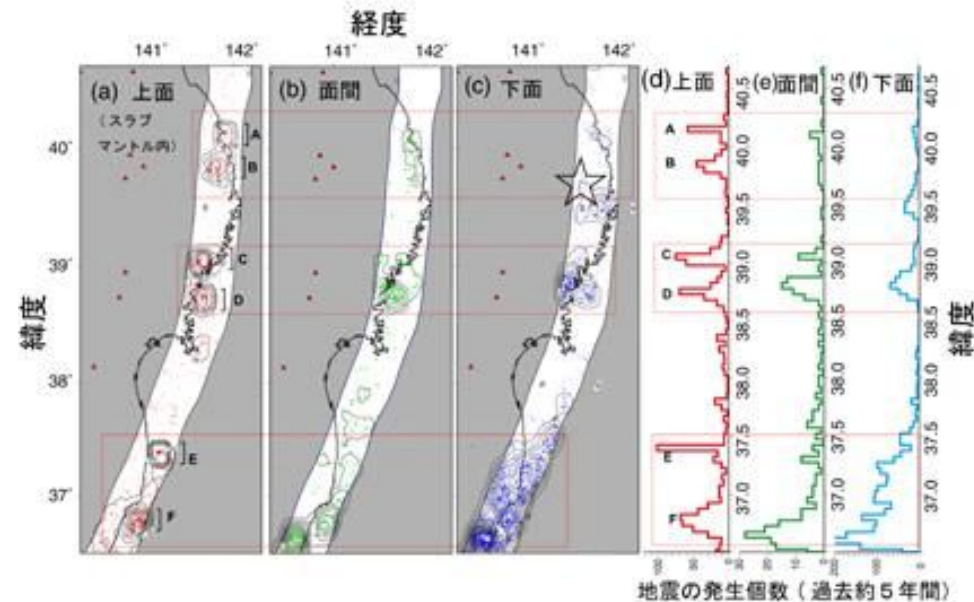


図3 今回の地震(図中☆)周辺域の太平洋プレート内部で発生したスラブ内地震活動の空間分布と、その発生個数の空間分布をグラフにしたもの。

上面地震(うちスラブマントル内のみ)の空間分布(a)と地震発生個数の頻度分布(d), 面間地震の空間分布(b)と地震発生個数の頻度分布(e), 下面地震の空間分布(c)と地震発生個数の頻度分布(f)。

太平洋プレート表面深さ45-65kmの領域下に過去5年間に発生した, M0以上のスラブ内地震を解析対象。

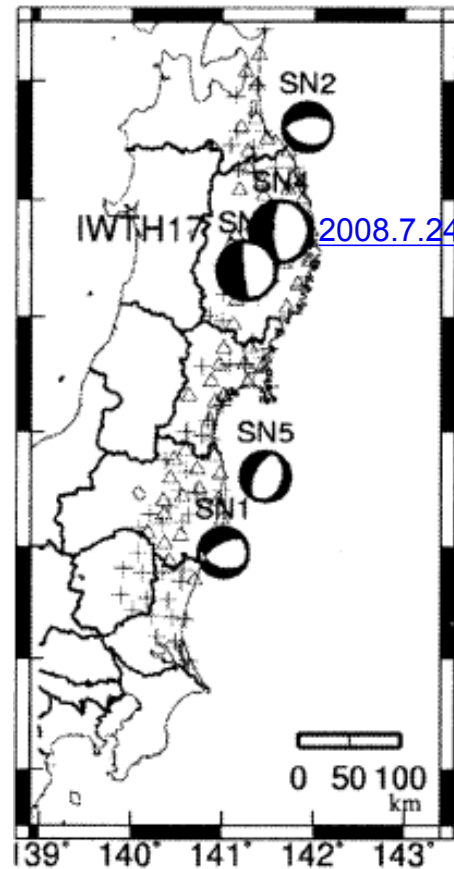


## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

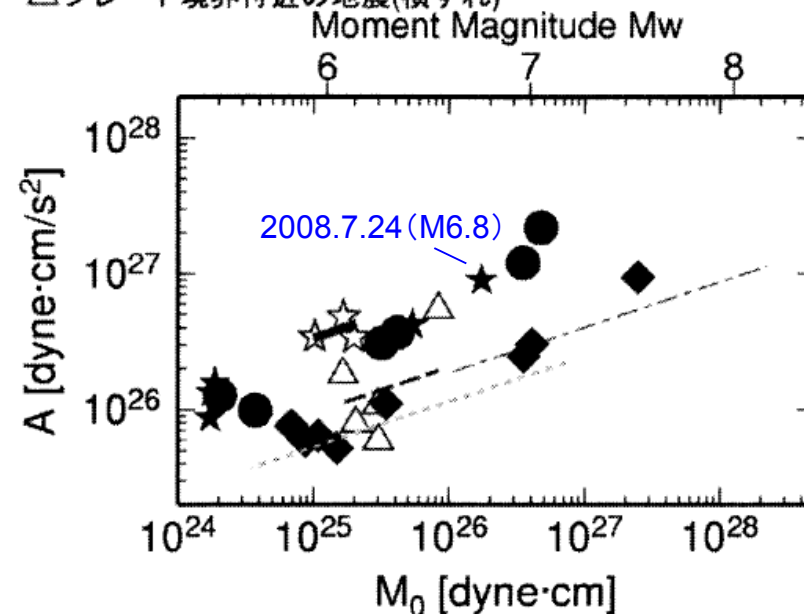
#### ■2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震 短周期レベル

- ・東北地方の二重深発下面の地震(海洋プレート内地震 正断層 DE)の短周期レベルについて佐藤(2013)において分析が行われている。
- ・2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震は他の下面の地震と比較し短周期レベルが大きくなっている。



(d) 正断層の  
スラブ内地震

- ..... 地殻内地震の平均(壇・他,2001)
- 太平洋プレートのプレート境界地震の平均(佐藤,2010)
- プレート境界付近の地震(正断層): 18式
- プレート境界付近の地震(横ずれ): 17式
- ◆ アウターライズ地震(正断層)
- ★ スラブ内地震(正断層: Down-dip Extension)
- スラブ内地震(逆断層: Down-dip Compression)
- ☆ プレート境界付近の地震(正断層)
- △ プレート境界付近の地震(横ずれ)



地震モーメントと短周期レベルの関係  
(佐藤(2013)に一部加筆)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

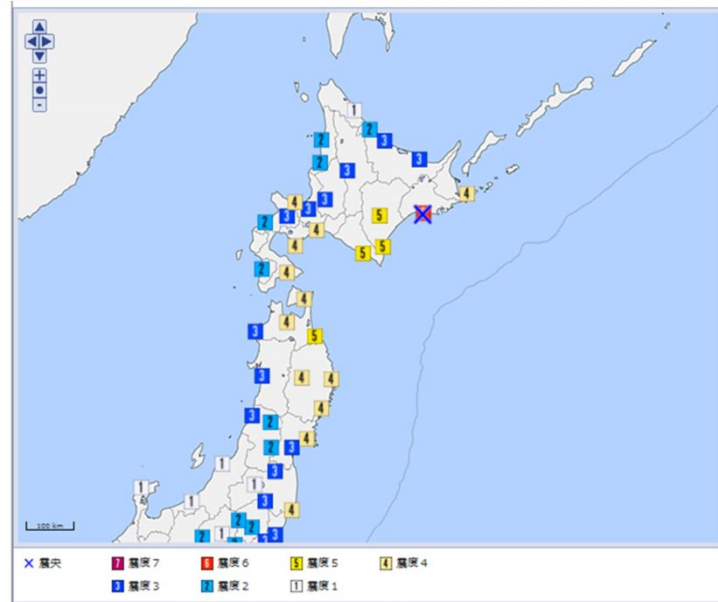
### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■1993年釧路沖地震(M7.5)

【中村ほか(1994): 験震時報第58巻】

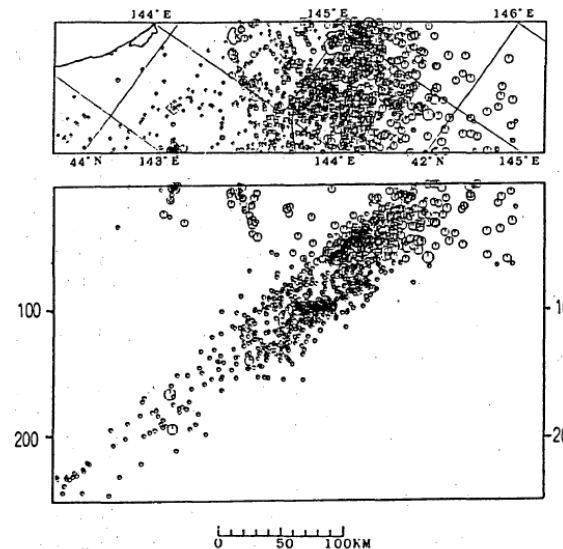
- ・断層面は、もぐり込んでいる太平洋プレートの二重深発面の上面と下面の間にあり、上面にはほとんどないように思われる。
- ・二重深発地震の下面においては、down-dip extension型の地震が発生する傾向が知られているが、この地震は二重深発面の下面の地震としては、典型的な発震機構をもつ地震であると言える。

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1993/01/15 20:06:07.2	釧路沖	42° 55.2' N	144° 21.2' E	101km	M7.5	6



1993年釧路沖地震 震度分布  
(気象庁 震度検索データベース)

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>



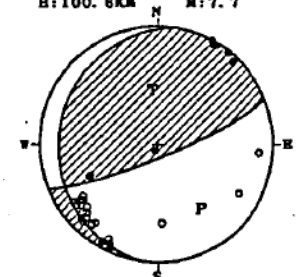
1985/1/1 0:0-->1993/1/31 24:0

MAGNITUDE

- UND
- 1.0
- 2.0
- 3.0
- 4.0
- 5.0
- 6.0
- 7.0
- 8.0

DEPTH  
 ○ 30.0  
 ○ 60.0  
 □ 100.0  
 ◇ 250.0

15 JAN. 1993 20:06:07.2  
 SE OFF TOKACHI  
 42°55.0'N 144°21.4'E  
 H:100.6KM M:7.7



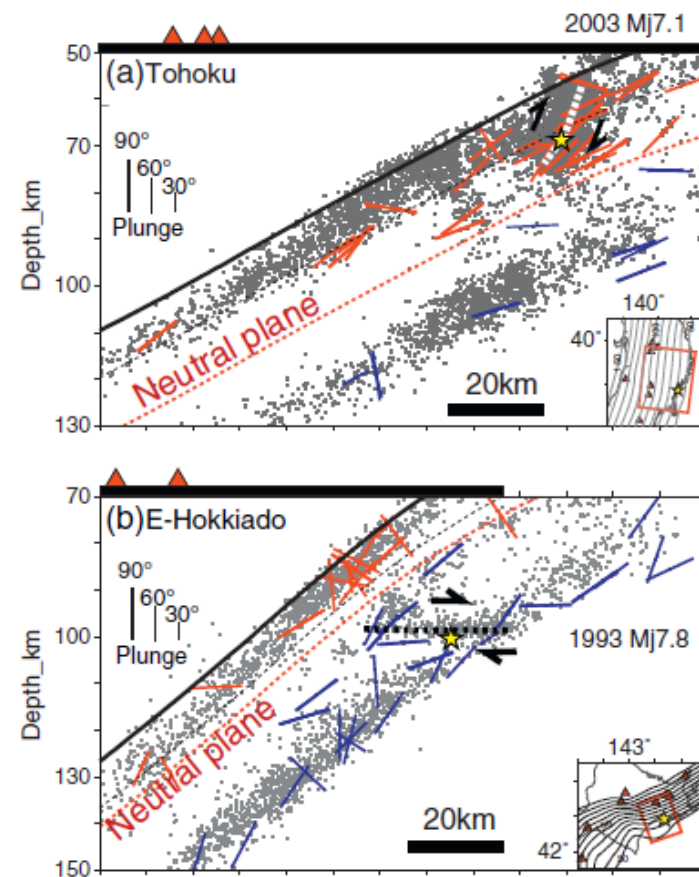
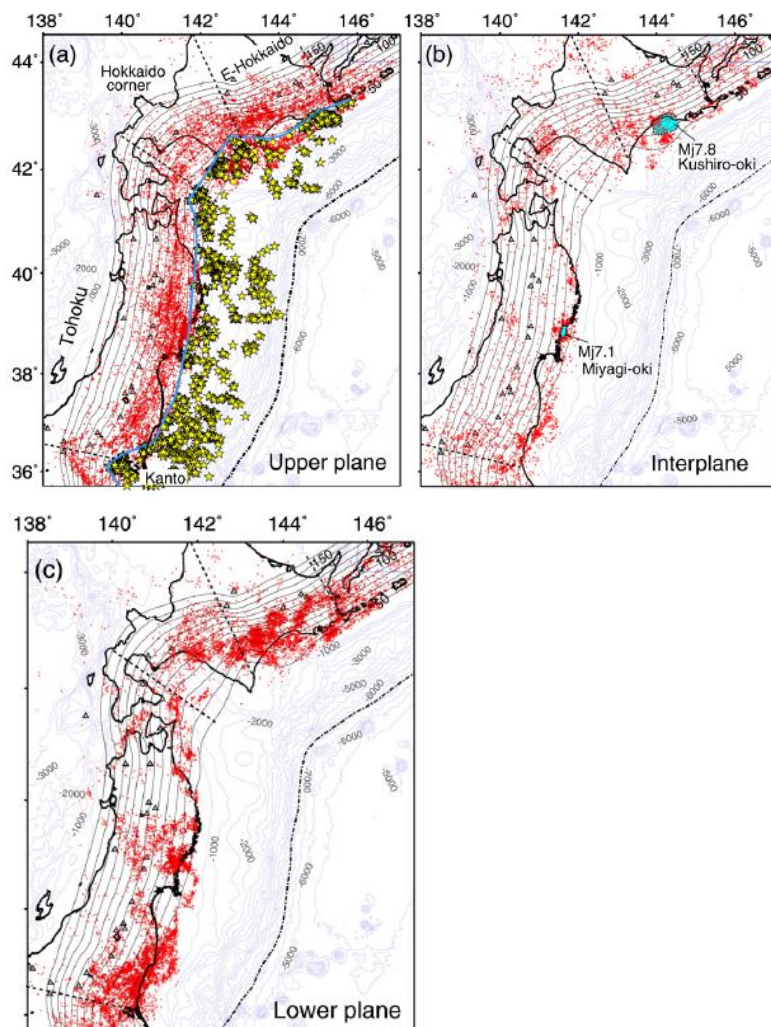
STR DIP SLIP AZM PLG  
 NP1 180° 18° 32° P 145° 34°  
 NP2 68° 81° 105° T 355° 82°  
 N132 SCORE 94% N 245° 15°

中村ほか(1994)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■ Kita et al.(2010)による知見



注: 1993 M7.8: 気象庁暫定値

・1993年釧路沖地震(M7.5)は、その破壊は中立面付近にまで達するものの、それを超えては広がっていない。

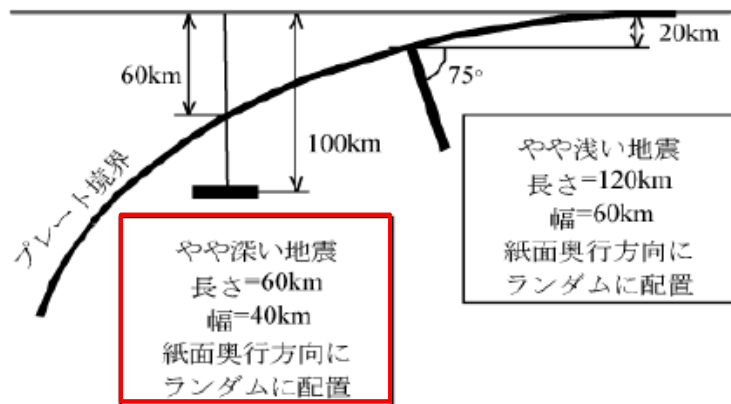
(a)上面, (b)面間, (c)下面の地震の震央分布

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

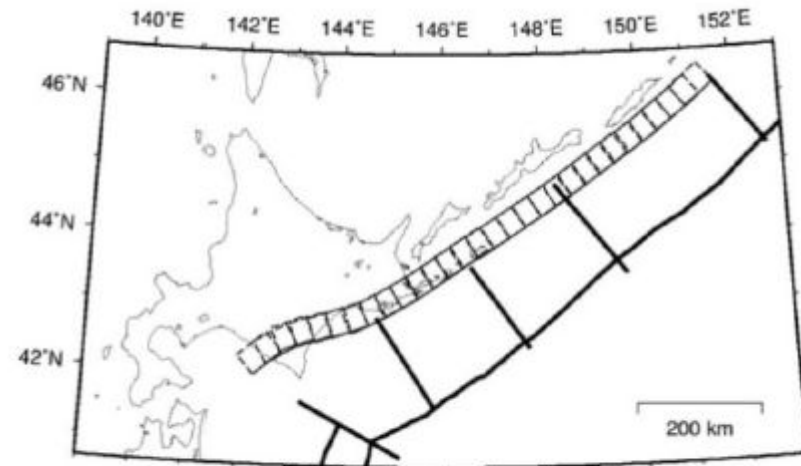
#### ■地震本部(2013): 今後の地震ハザード評価に関する検討～2013年における検討結果～

- ・地震本部(2013)の確率論的評価では、千島海溝沿いの地震として「沈み込んだプレート内のやや深い地震(深さ100km程度, M7.5程度)」を十勝沖から択捉島沖までの領域でどこでも発生する可能性があるとして考慮しているが、東北地方には考慮していない。



海洋プレート内地震の断層面の配置図の模式図  
(地震本部(2009))

※地震本部(2013)は、地震本部(2009)を踏まえ検討が行われている。



プレート内のやや深い地震

太平洋プレートで発生する長期評価された地震のうち  
震源が特定されていない地震の断層面  
(地震本部(2013))

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

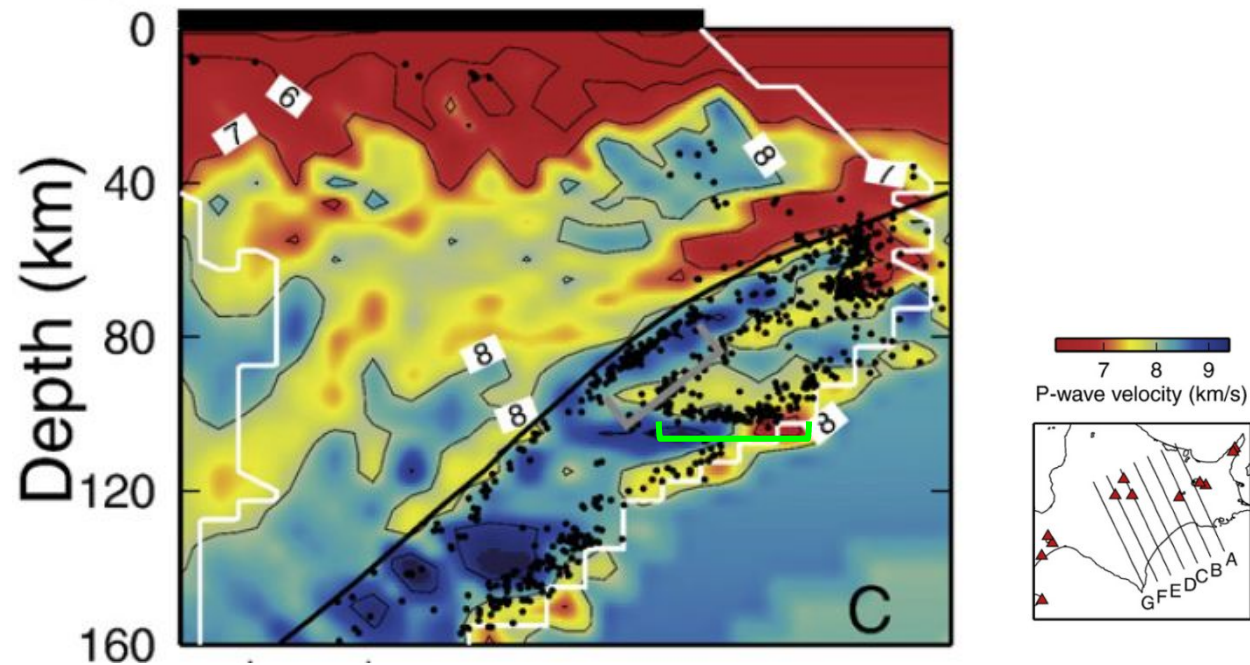
### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■ Nakajima et al.(2009) 1993年釧路沖地震の地震波トモグラフィ

【Nakajima et al.(2009)】

- Double-difference tomography 法を用い、北海道東部の太平洋スラブ内の詳細な速度構造を推定した。
- その結果、二重深発地震面下面に沿って低速度域が分布すること、地震活動があまり活発でない上面と下面の間(面間)は高速度であることが明らかになった。ただし、1993年釧路沖地震(M7.8)\*の余震域は下面から面間に向かってほぼ水平に伸びているが、そこでは面間であっても低速度を示すという特徴がある(図)。この地震は、アウターライズで形成された正断層の再活動によって生じたことが示唆される。

※暫定値



P波速度構造の鉛直断面(C測線)(Nakajima et al.(2009)に一部加筆)  
 黒線は太平洋スラブの上部境界、黒丸は微小地震。緑は1993年釧路沖地震(M7.8)\*の余震域。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■ 検討ケース

- ・2008年岩手県沿岸北部の地震を踏まえ、二重深発地震の下面の地震を考慮。基本ケースの地震規模は同地震のM6.8を、また想定位置は上面・面間・下面の微小地震が集中している箇所、敷地に最も近い宮城県沖(2003年宮城県沖地震の発生箇所付近)に考慮。
- ・基本ケースの短周期レベル(応力降下量)は、宮城県沖には規模の大きい下面の地震が発生していないため、笹谷ほか(2006)による標準的な値を採用することが考えられるが、その値は上面の地震である2003年宮城県沖の地震より小さい。一方、2008年岩手県沿岸北部の地震は地震規模はM6.8とやや小さく、さらに想定位置からもやや遠い位置に位置しているが、短周期レベルは2003年地震より大きく笹谷ほか(2006)による標準的な値の約1.6倍となっていることを考慮し、保守的にこれを基本ケースに採用する。
- ・地震規模の不確かさとしては、東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内で発生した地震の最大規模M7.3を考慮。さらに、影響評価ケースとして、地震テクトニクス的に違いがあるが、北海道で発生した1993年釧路沖地震(M7.5)と同規模のM7.5を考慮する。
- ・なお、敷地極く近傍には、上面・面間・下面の微小地震の集中箇所は認められない。

検討ケース	断層モデルの設定条件						評価方法	備考
	地震規模	断層の位置	破壊開始点	アスペリティの位置	短周期レベル(応力降下量)	傾斜角		
基本ケース	M6.8	上面・面間・下面の地震が分布(2003年地震付近)	—	—	2008.7.24の地震の短周期レベル	—	簡易評価※(影響評価ケースから逆算)	短周期レベルは笹谷ほか(2006)の約1.6倍
不確かさケース 地震規模	M7.3	上面・面間・下面の地震が分布(2003年地震付近)	—	—	2008.7.24の地震の短周期レベル	—	簡易評価※(影響評価ケースから逆算)	
影響評価ケース 地震規模	M7.5	上面・面間・下面の地震が分布(2003年地震付近)	複数	断層中央	2008.7.24の地震の短周期レベル	37°	詳細評価	1993年釧路沖地震(M7.5)の規模を考慮

: 予めモデルに織り込む不確かさ

: 不確かさを考慮するパラメータ

※基本ケース、不確かさケース、影響評価ケースは想定位置と短周期レベルは同じで地震規模のみ相違することから、規模の違いによる応答スペクトルの差(比率)を既往の距離減衰式で算定し、それを影響評価ケースの算定結果に乗じて評価する。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■各検討ケースの主な断層パラメータ

検討ケース	地震規模M (Mw)	M <sub>0</sub> (Nm)	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	断層面積 (km <sup>2</sup> )	傾斜角 (°)	短周期レベル (Nm/s <sup>2</sup> )	アスペリティ面積 (km <sup>2</sup> )	アスペリティ応力降下量 Δσ (MPa)	評価方法
基本ケース	M6.8 (6.8 <sup>※2</sup> )	1.72E+19 <sup>※1</sup>	-	-	-	-	8.96E+19 <sup>※3</sup>	-	-	簡易評価 (影響評価ケースから逆算)
不確かさケース 地震規模	M7.3 (7.3 <sup>※4</sup> )	1.12E+20 <sup>※2</sup>	-	-	-	-	1.64E+20 <sup>※5</sup>	-	-	簡易評価 (影響評価ケースから逆算)
影響評価ケース 地震規模	M7.5 (7.5 <sup>※4</sup> )	2.24E+20 <sup>※2</sup>	43	25	1080	37	2.06E+20 <sup>※5</sup>	214	124.1	詳細評価

※1: 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震のF-netの値

※2:  $M_0 = 10^{(1.5M_w + 9.1)}$

※3: 佐藤(2013)での短周期レベル

※4:  $M = M_w$

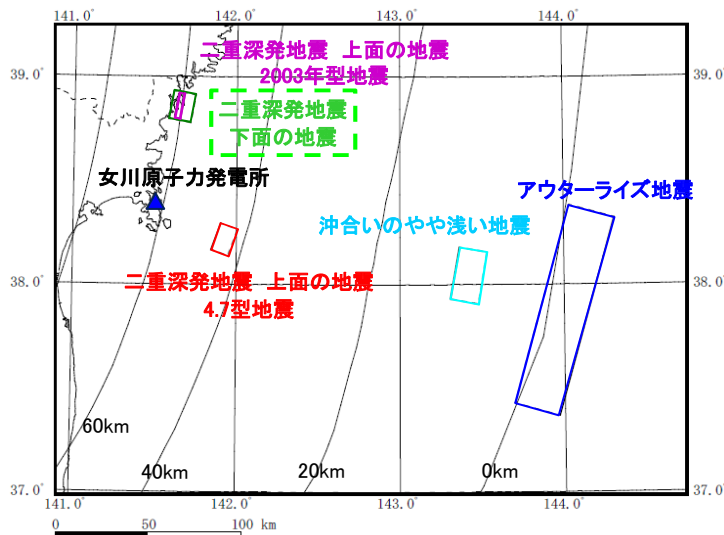
※5: 笹谷ほか(2006)での短周期レベル  $A = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$  の1.6倍

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

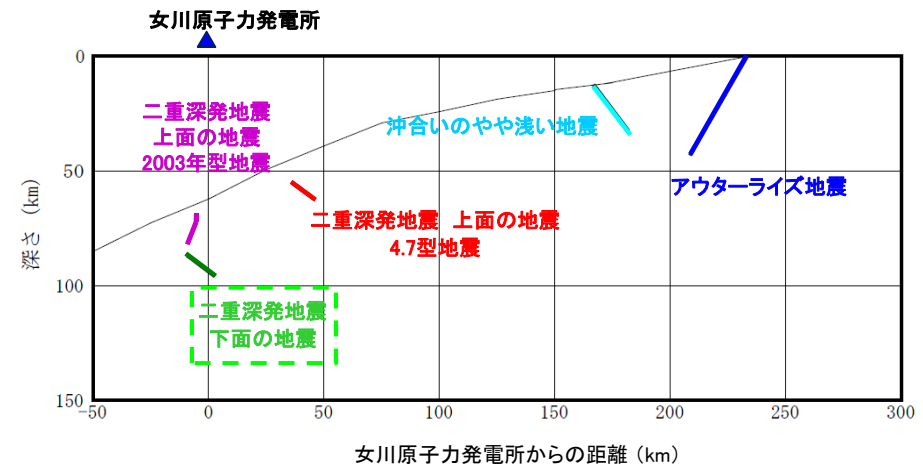
### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■各検討ケースの評価方法

ケース	M	断層位置	短周期レベル (応力降下量)	評価方法
基本ケース	M6.8	上面・面間・下面の地震が分布 (2003年地震付近)	2008.7.24の地震の短周期レベル	<簡易評価> 影響評価ケース(詳細評価)の結果をNoda et al.(2002)を用いて規模補正(M6.8/M7.5)。
不確かさケース 地震規模	M7.3	上面・面間・下面の地震が分布 (2003年地震付近)	2008.7.24の地震の短周期レベル	<簡易評価> 影響評価ケース(詳細評価)の結果をNoda et al.(2002)を用いて規模補正(M7.3/M7.5)。
↑ 影響評価ケースの結果を基に評価				
影響評価ケース 地震規模	M7.5	上面・面間・下面の地震が分布 (2003年地震付近)	2008.7.24の地震の短周期レベル	<詳細評価> 統計的グリーン関数法による評価



断層位置 模式図(平面図)



断層位置 模式図(断面図)



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■影響評価ケースの断層モデル

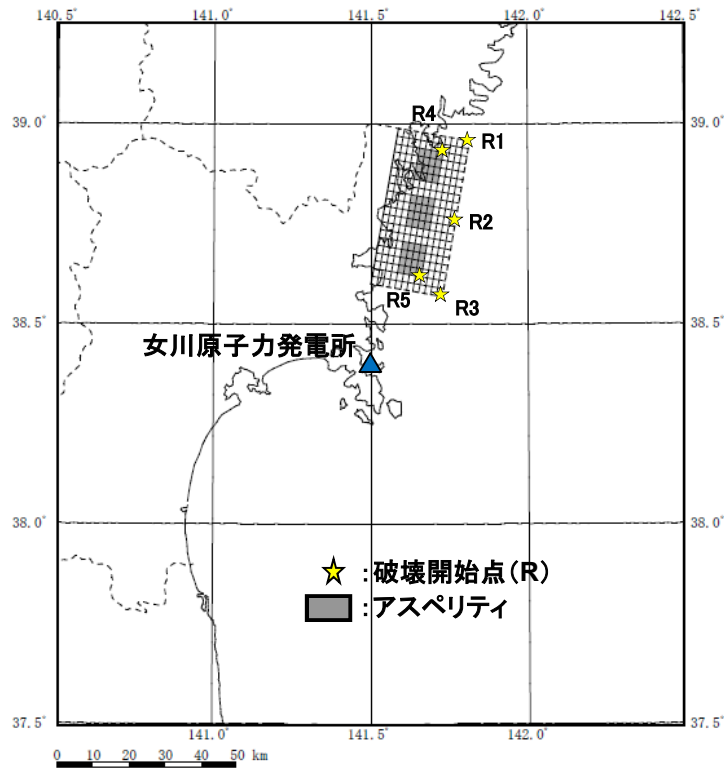
##### ○断層モデル

・海洋プレート内の上面・面間・下面の微小地震が集中している, 2003年宮城県沖の地震付近に想定地震を考慮。地震テクニクスの違いがあるが, 北海道で発生した1993年釧路沖地震(M7.5)と同規模を考慮する。断層パラメータは笹谷(2006)を基に設定。

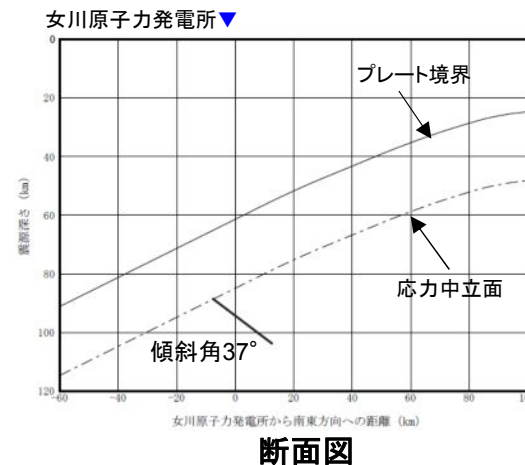
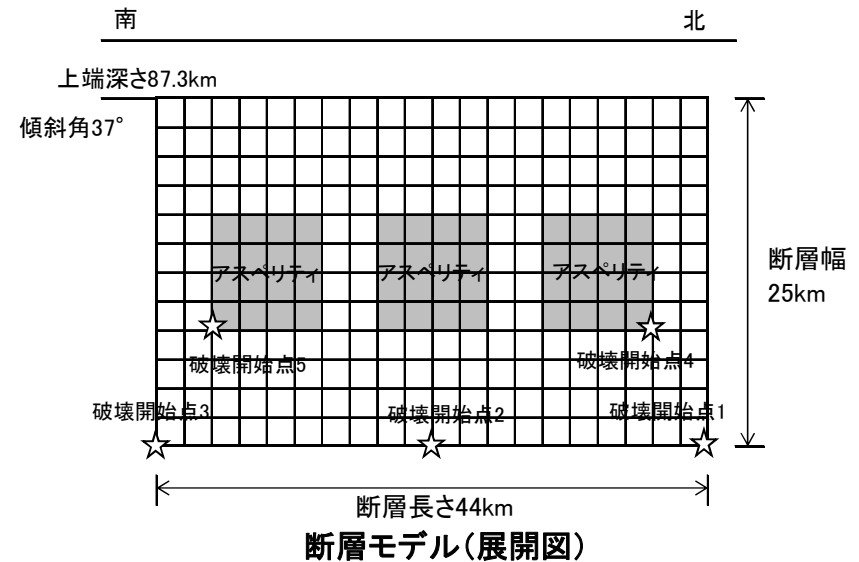
##### ○断層モデルを用いた地震動評価

・統計的グリーン関数法により評価。

波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。



影響評価ケースの断層モデル(平面図)

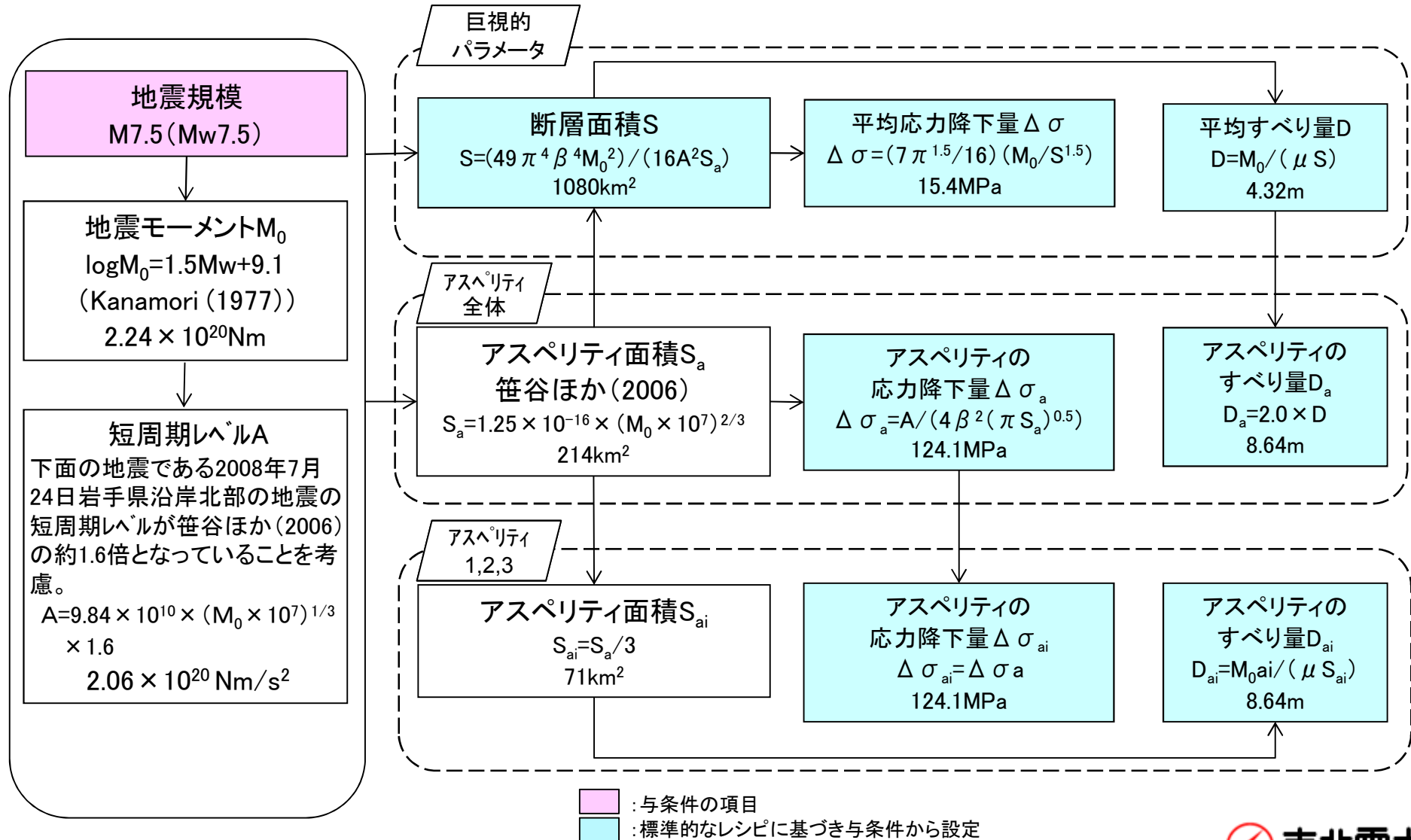


※傾斜角は、プレートに対し断層の傾斜が $60^\circ$ となるようにプレートの傾斜( $23^\circ$ )を考慮し $37^\circ$ に設定。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■ 影響評価ケースの断層パラメータ設定フロー



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■影響評価ケースの断層パラメータ

断層パラメータ		設定方法	設定値	
断層 面 全 体	気象庁 マグニチュード	$M_J$	設定条件 7.5	
	モーメント マグニチュード	$M_w$	設定条件 7.5	
	走向	$\theta (^{\circ})$	Nakajima et al.(2011)を参考に設定 20	
	傾斜角	$\delta (^{\circ})$	プレート境界とのなす角が 60° となるように設定 37	
	断層長さ	$L(\text{km})$	$L=S/W$ 44	
	断層幅	$W(\text{km})$	応力中立面から下面の地震までを地震発生層として考慮し設定 25	
	断層面積	$S(\text{km}^2)$	$S=(49\pi^4\beta^4M_0^2)/(16A^2S_a)$ 1080	
	断層上端深さ	$h(\text{km})$	J-SHIS(2014)のプレート形状を考慮し設定 87.3	
	地震モーメント	$M_0(\text{Nm})$	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$ $2.24 \times 10^{20}$	
	剛性率	$\mu (\text{N/m}^2)$	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 3.0\text{g/cm}^3,$ $\beta = 4.0\text{km/s}$ $4.8 \times 10^{10}$	
	平均すべり量	$D(\text{cm})$	$D=M_0/(\mu S)$ 432	
	平均応力降下量	$\Delta \sigma (\text{MPa})$	$\Delta \sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$ 15.4	
	短周期レベル	$A(\text{Nm/s}^2)$	$A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \times 1.6$ $2.06 \times 10^{20}$	
	破壊伝播形式	-	-	放射状
	破壊伝播速度	$V_r(\text{km/s})$	$V_r=0.72\beta$ 2.88	

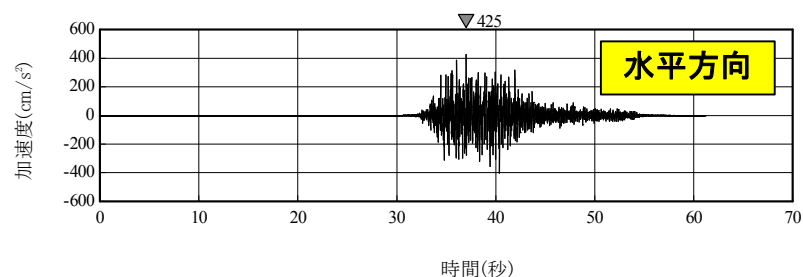
  

断層パラメータ		設定方法	設定値
アスペリティ全体	地震モーメント	$M_{0a}(\text{Nm})$	$M_{0a}=\mu S_a D_a$ $8.87 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_a(\text{km}^2)$	$S_a=1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$ 214
	平均すべり量	$D_a(\text{cm})$	$D_a=\gamma_D D, \gamma_D=2.0$ 864
	応力降下量	$\Delta \sigma_a(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_a=A/(4\beta^2(\pi S_a)^{0.5})$ 124.1
アスペリティ1, 2, 3	地震モーメント	$M_{0ai}(\text{Nm})$	$M_{0ai}=M_{0a}/3$ $2.96 \times 10^{19}$
	断層面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$	$S_{ai}=S_a/3$ 71
	平均すべり量	$D_{ai}(\text{cm})$	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$ 864
	応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_{ai}=\Delta \sigma_a$ 124.1
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}(\text{Nm})$	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$ $1.35 \times 10^{20}$
	断層面積	$S_b(\text{km}^2)$	$S_b=S-S_a$ 866
	平均すべり量	$D_b(\text{cm})$	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$ 325
	応力降下量	$\Delta \sigma_b(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_b=(D_b/W_b)(D_a/W_b)r \cdot \Delta \sigma_a$ 15.6
高域遮断周波数	$f_{\text{max}}(\text{Hz})$	2003年宮城県沖の地震のシミュレーション結果 18	

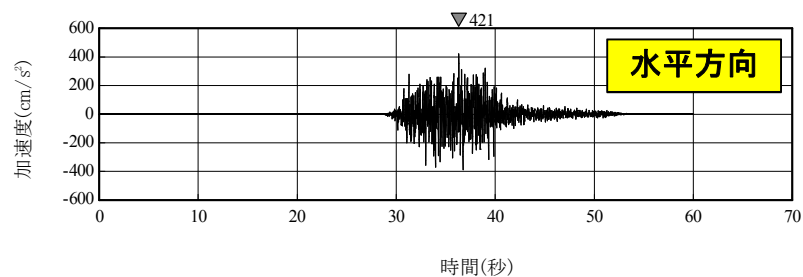
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

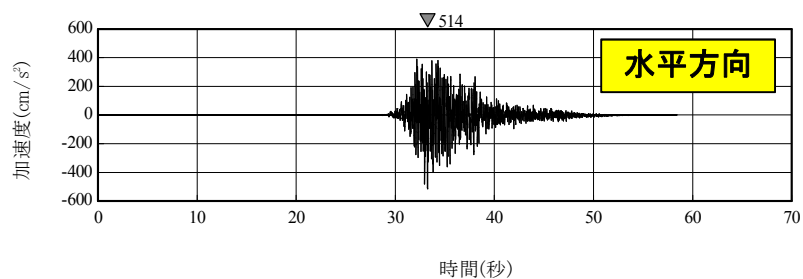
#### ■影響評価ケースの評価結果 <加速度時刻歴波形>



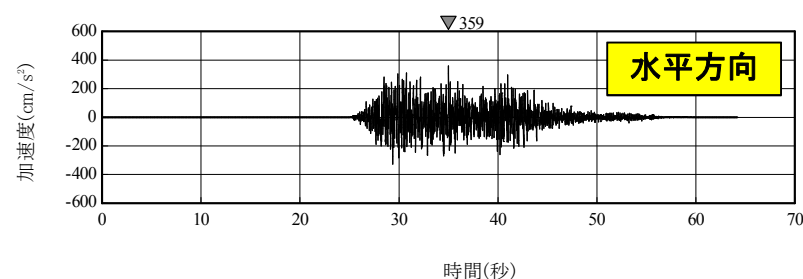
破壊開始点1



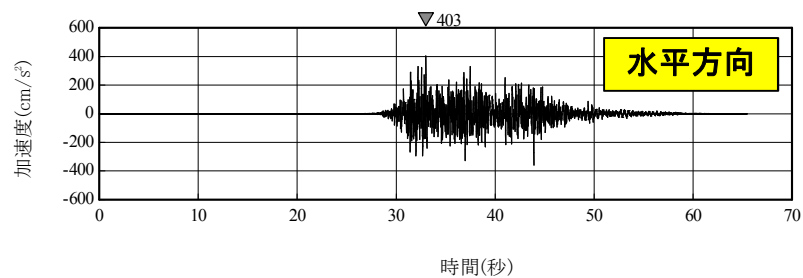
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

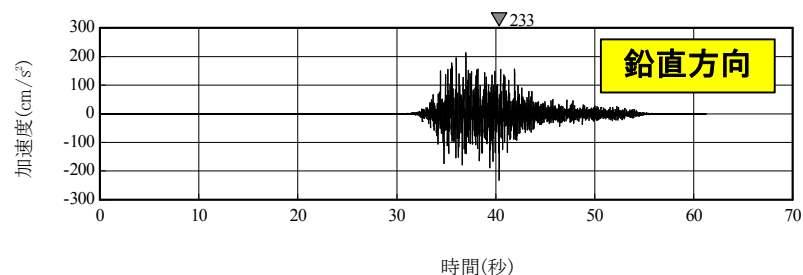


破壊開始点3

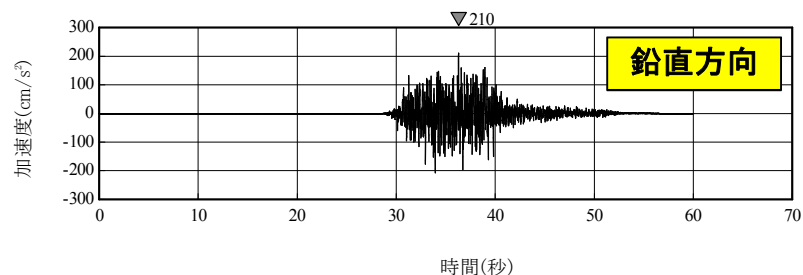
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

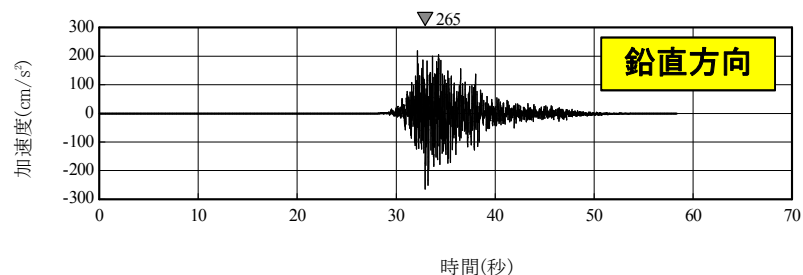
#### ■影響評価ケースの評価結果 <加速度時刻歴波形>



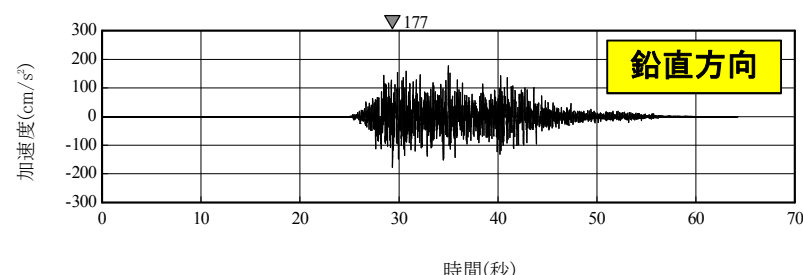
破壊開始点1



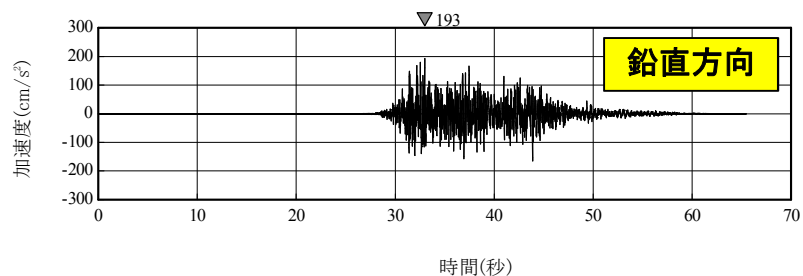
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

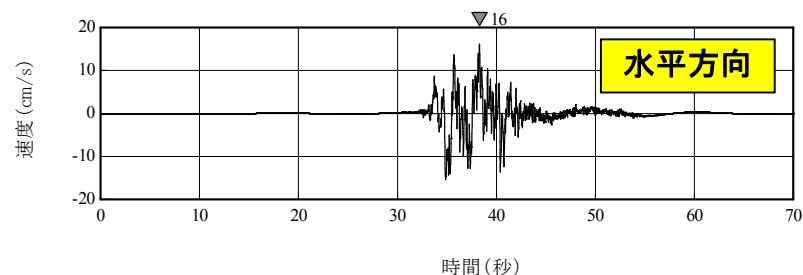


破壊開始点3

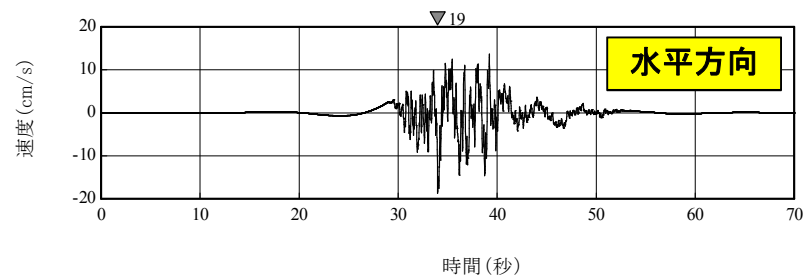
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

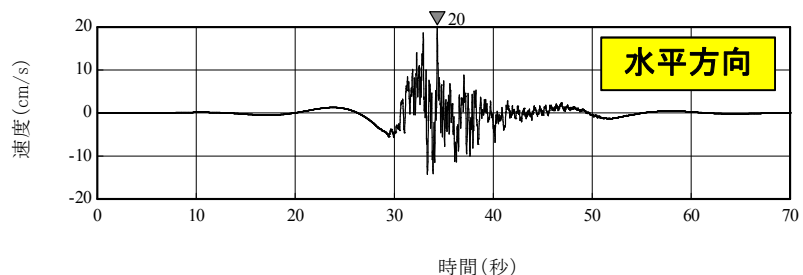
#### ■影響評価ケースの評価結果 <速度時刻歴波形>



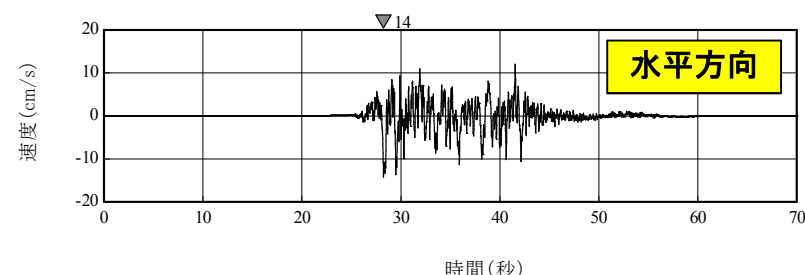
破壊開始点1



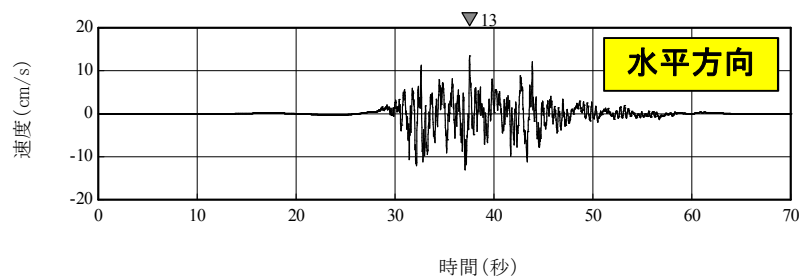
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

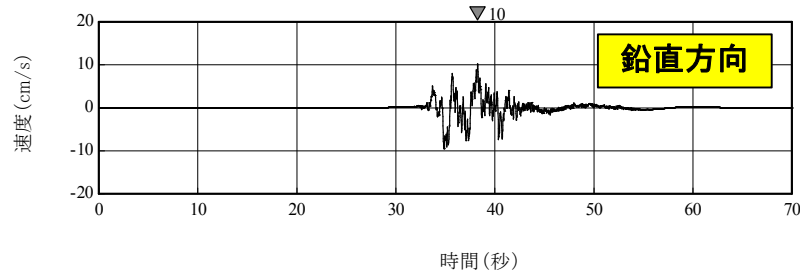


破壊開始点3

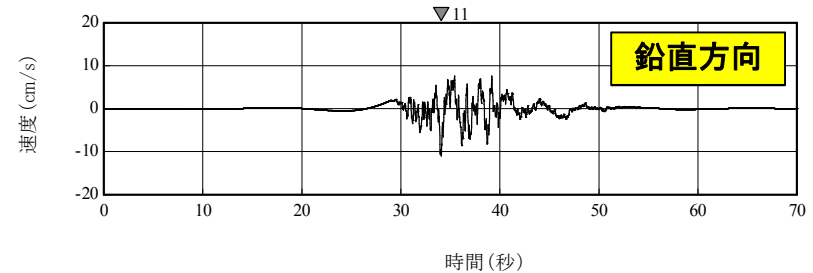
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

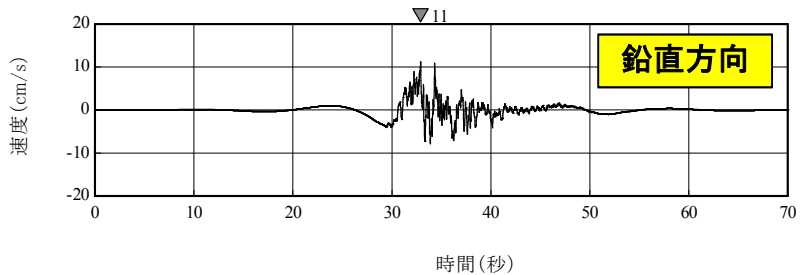
#### ■影響評価ケースの評価結果 <速度時刻歴波形>



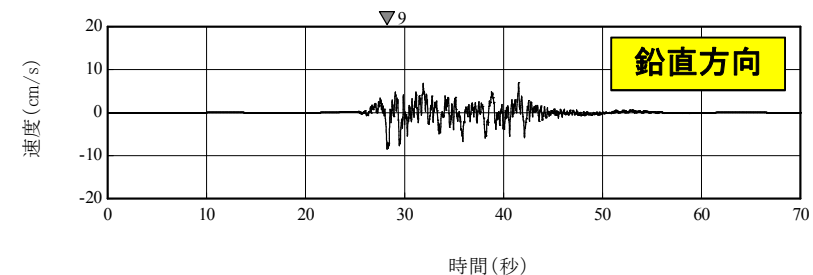
破壊開始点1



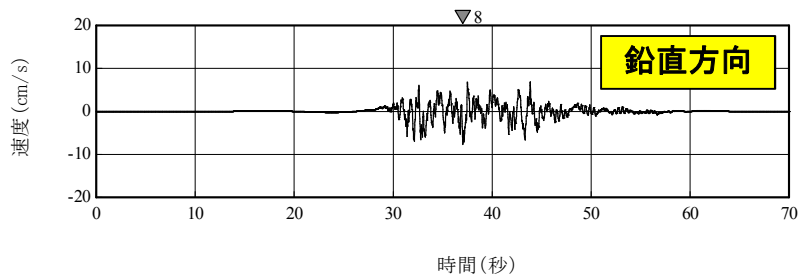
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

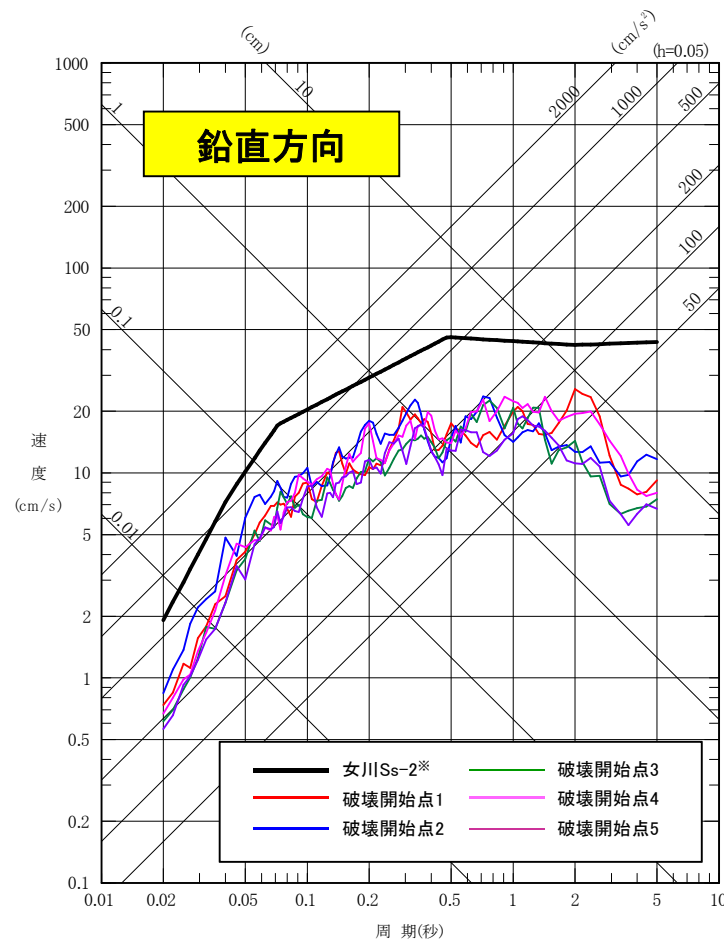
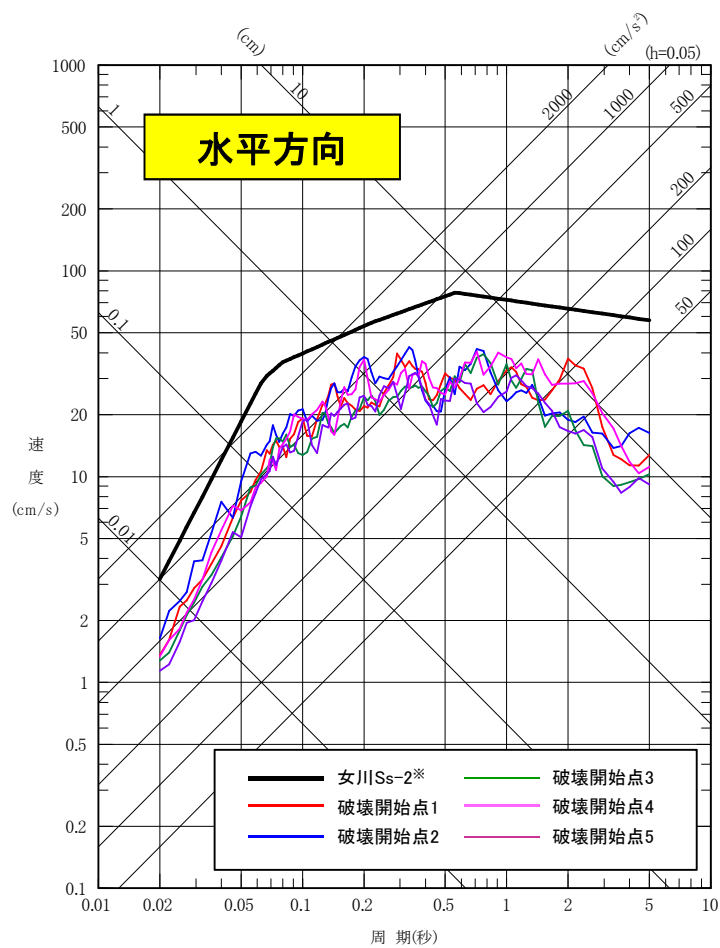


破壊開始点3

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■影響評価ケースの評価結果 <応答スペクトル>



※女川Ss-2:平成25年12月申請

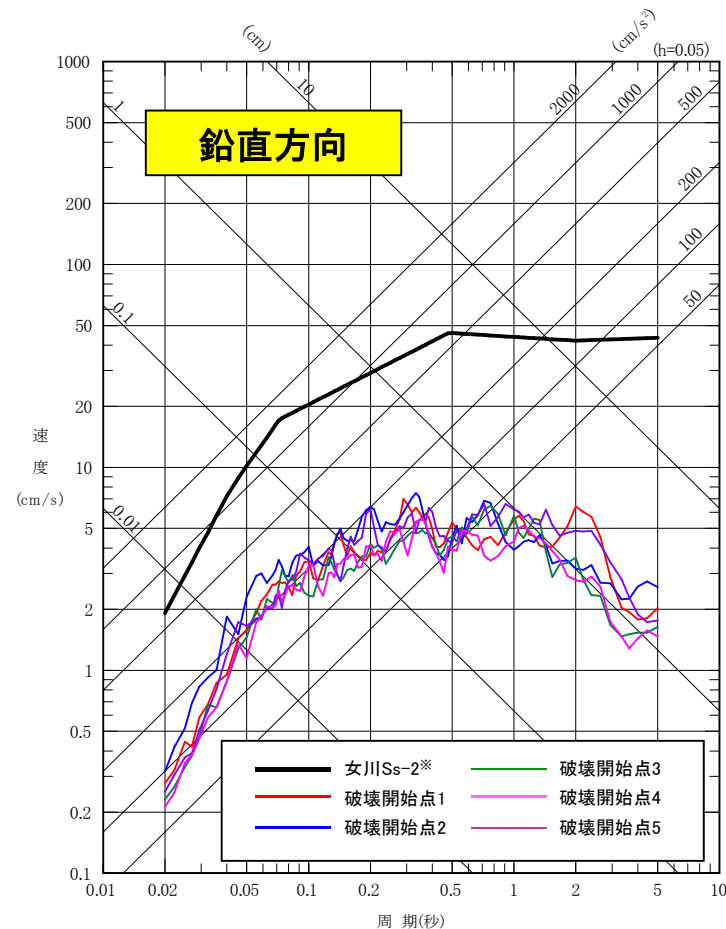
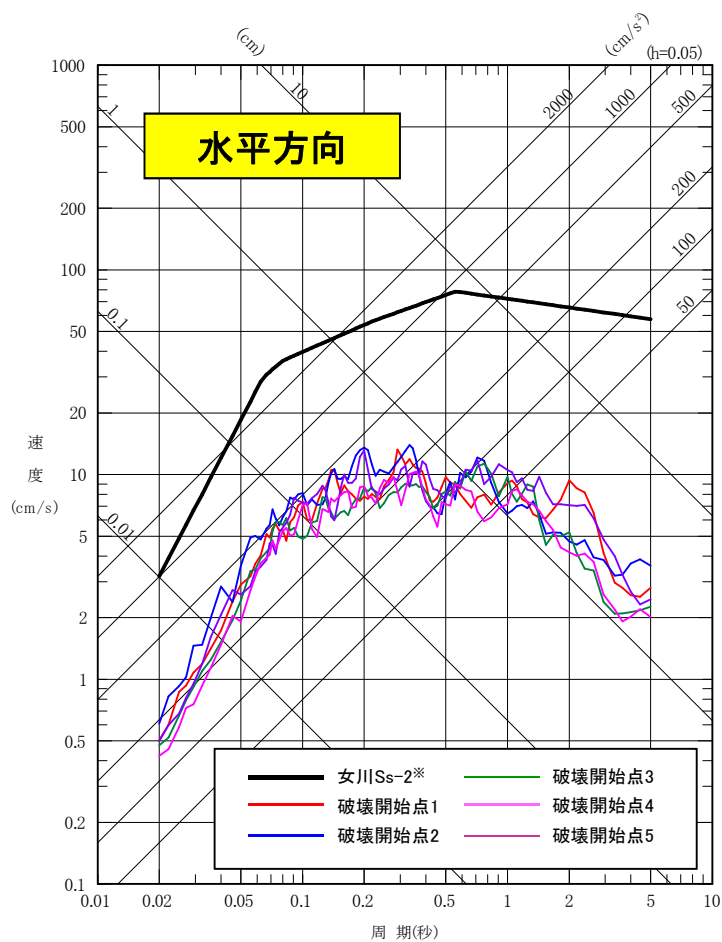


## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■基本ケースの評価結果 <応答スペクトル>

簡易評価: 影響評価ケースの断層モデル解析結果をNoda et al.(2002)を用いて規模補正(M6.8/M7.5)



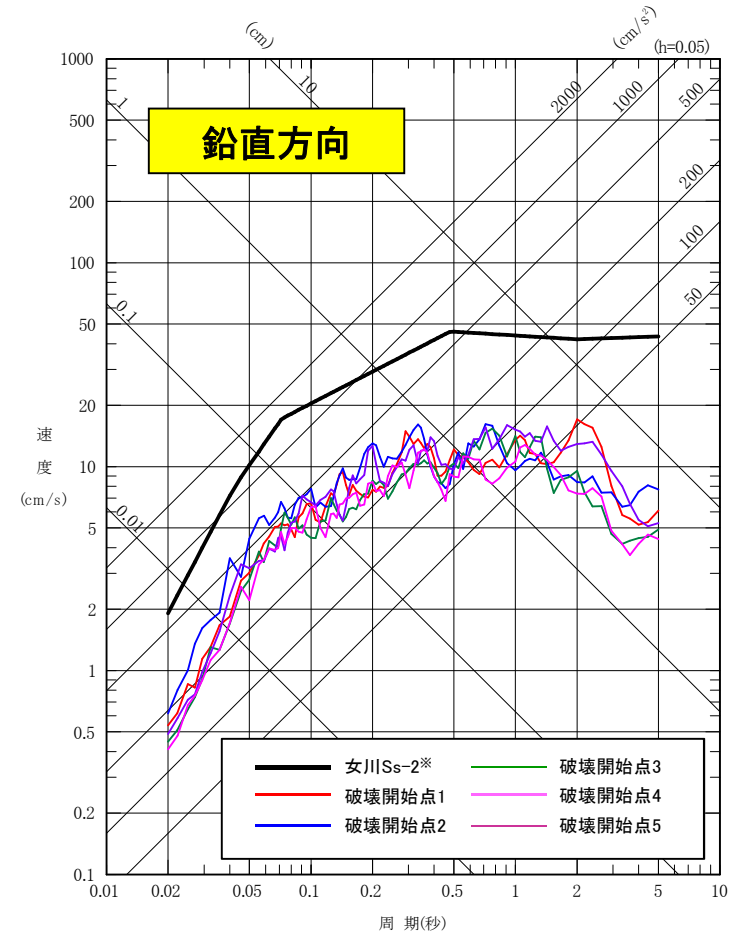
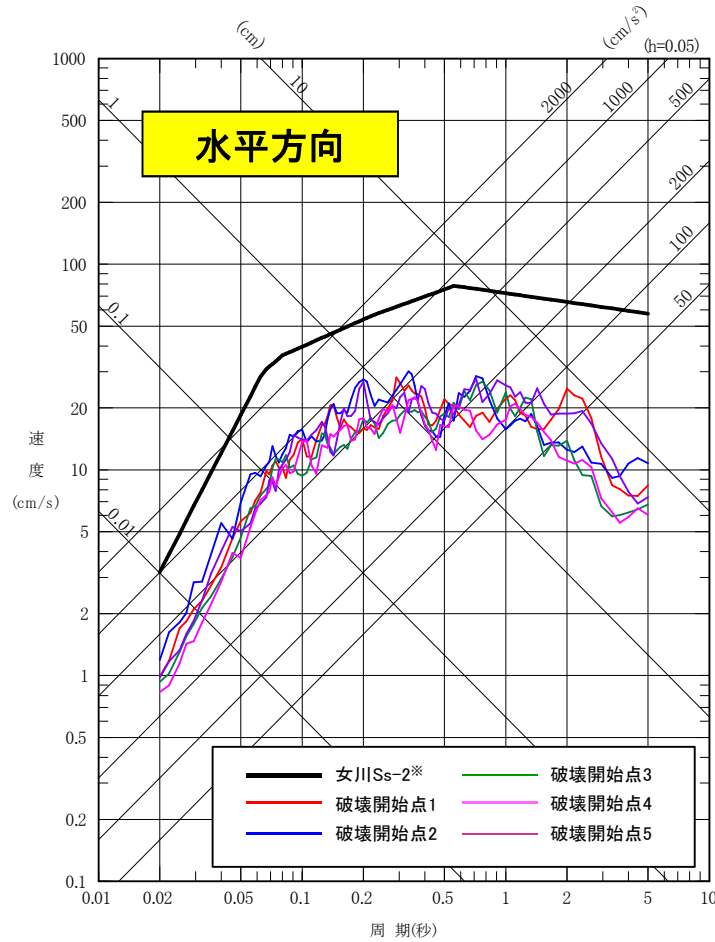
※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.3 二重深発地震 下面の地震

#### ■不確かさケース(地震規模)の評価結果 <応答スペクトル>

簡易評価: 影響評価ケースの断層モデル解析結果をNoda et al.(2002)を用いて規模補正(M7.3/M7.5)



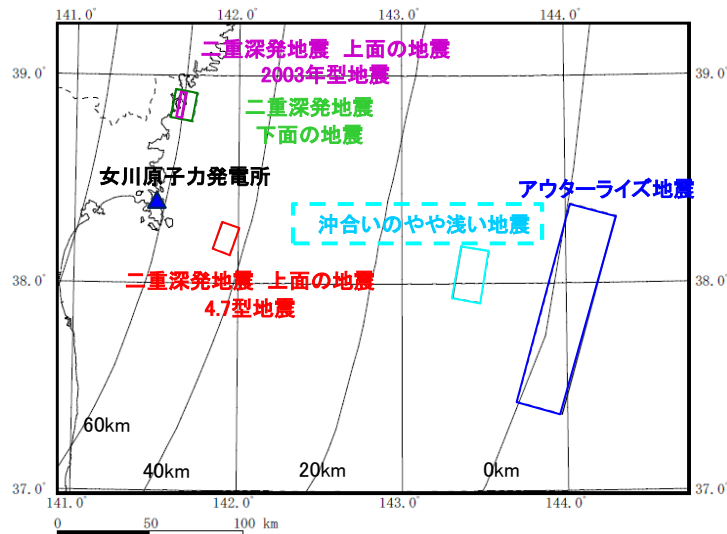
※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

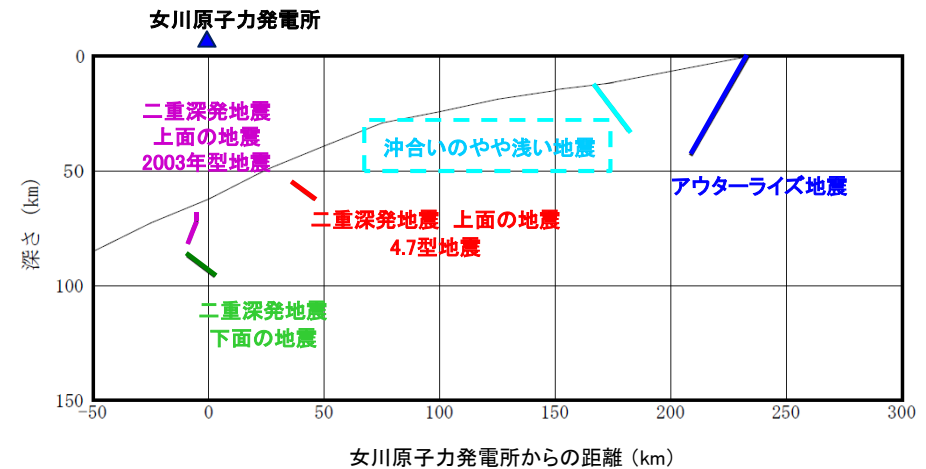
### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■ 沖合いのやや浅い地震の特徴

項目	想定位置	地震規模	短周期レベル (応力降下量)	備考
特徴	・東北地方において、太平洋プレート内の日本海溝付近のやや浅い場所で発生した地震として2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)がある。	・2011年7月10日三陸沖の地震の地震規模M7.3は沈み込んだプレート内地震としては東北地方で最大規模。	・2011年7月10日三陸沖の地震の短周期レベルは笹谷ほか(2006)の0.6倍。壇ほか(2001)の2.2倍。	・北海道では1994年北海道東方沖地震(M8.2)が発生。



断層位置 模式図(平面図)



断層位置 模式図(断面図)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■2011年7月10日三陸沖の地震

- ・2011年7月10日に太平洋プレート内の日本海溝付近のやや浅い場所で地震が発生(M7.3, 震源深さ34km)している。
- ・この地震の発震機構(CMT解)は西北西-東南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で、太平洋プレート内部で発生した地震。
- ・地震規模としては、東北地方の沈み込んだ海洋プレート内地震としては最大規模であった。

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
2011/07/10 09:57:07.3	三陸沖	38° 01.9'N	143° 30.4'E	34km	M7.3	4

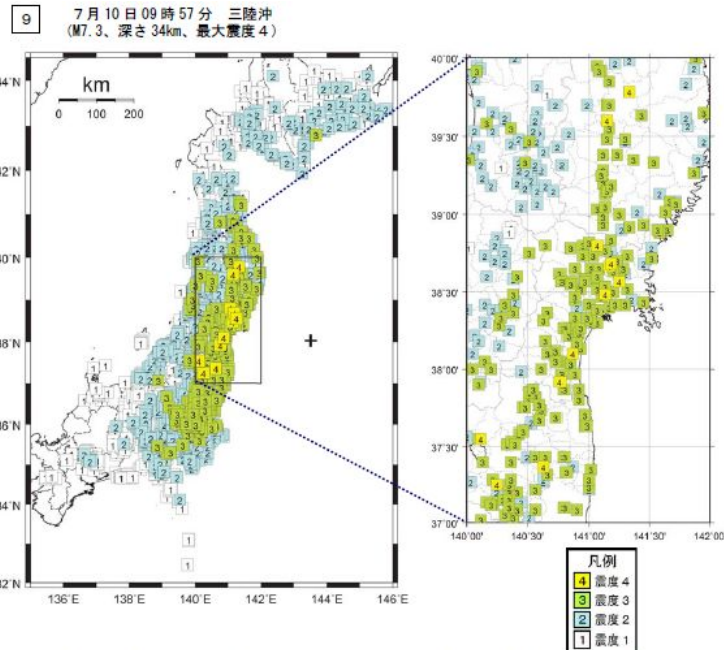
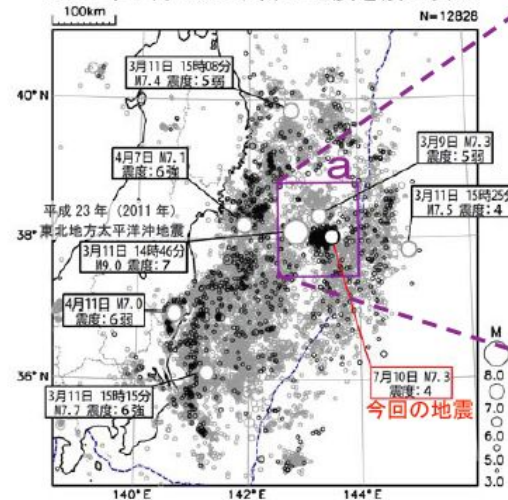


図3-3 震度分布図 (各図の左上の数字は表1、図2の番号に対応する。+印は震央を示す)

震度分布図(気象庁(2011b))

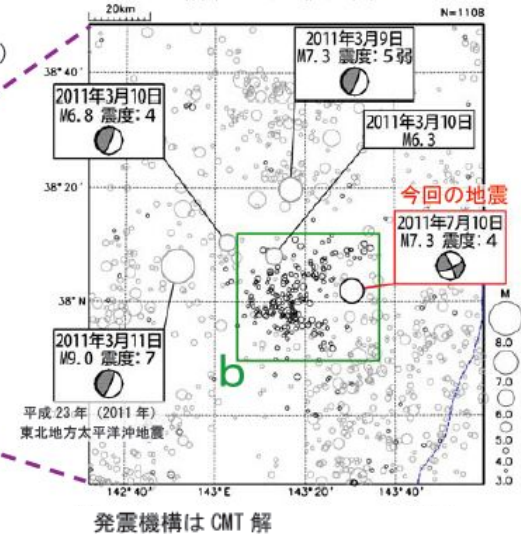
震央分布図※  
(2011年3月1日~7月31日、深さ0~90km、M $\geq$ 3.0)  
2011年7月10日以降の地震を濃く表示



震央分布図  
(1923年8月1日~2011年7月31日、  
深さ0~200km、M $\geq$ 6.0)  
2010年以前の地震を濃く表示

震央分布図(気象庁(2011b))

領域a内の拡大図※

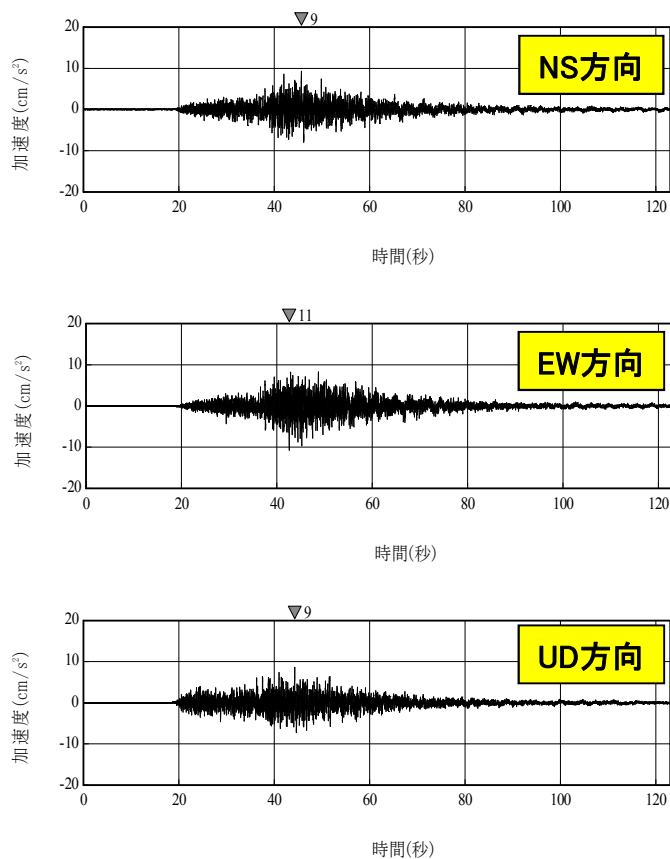


## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

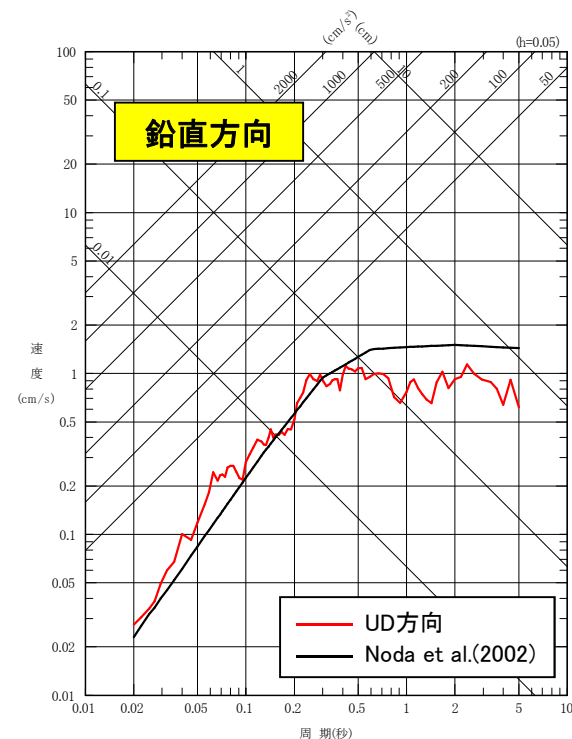
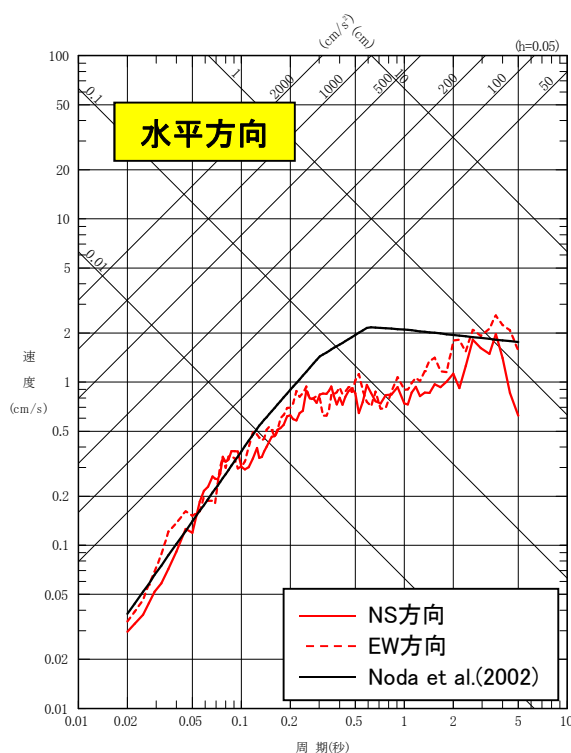
### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)の敷地での観測記録

・2011年7月10日三陸沖の地震(震央距離180km, 震源距離183km)の敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)での観測記録の最大加速度は、 $11\text{cm/s}^2$ であり、この地震による影響は小さい。



加速度時刻歴波形



応答スペクトル

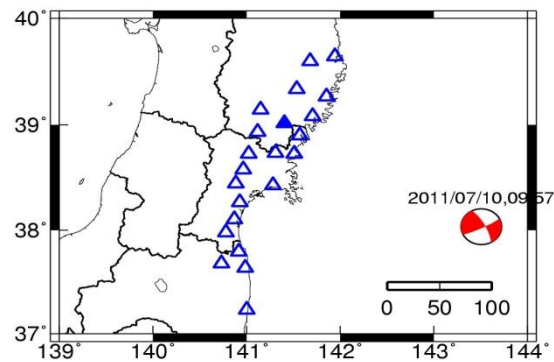
敷地岩盤上部での観測記録

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

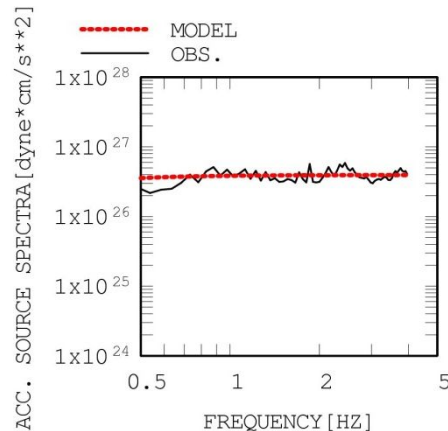
### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)の短周期レベル

・佐藤・巽(2002)が東日本の震源深さ60km以下の海溝型地震の観測記録からスペクトルインバージョンにより推定しているQ値、経験的地盤増幅率および2011年7月10日三陸沖の地震のK-NET強震記録を用いて震源スペクトルを算出し、短周期レベルを推定した。

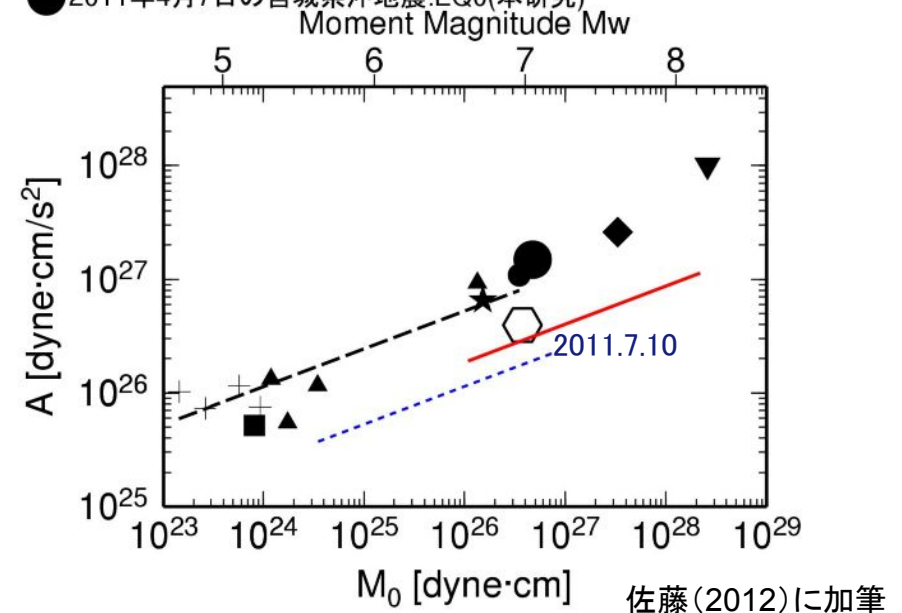


検討に用いたK-NET観測点



7月10日の地震の観測加速度スペクトルと $\omega^2$ モデルの比較  
(短周期レベルの推定には4Hz以下を用いた)

- 2011年7月10日の地震
- 地殻内地震の平均(壇・他,2001)
- 太平洋プレートのプレート境界地震の平均(佐藤,2010)
- 宮城県沖と福島県沖のスラブ内地震の平均(佐藤,2004)
- 2001年静岡県の地震(佐藤,2003)
- ★ 2001年芸予地震(片岡・他,2006)
- ▼ 1994年北海道東方沖地震(片岡・他,2006)
- ◆ 1993年釧路沖地震(片岡・他,2006)
- ▲ 福島県沖のスラブ内地震(佐藤・他,2000)
- + 宮城県沖のスラブ内地震(佐藤,2004)
- 2003年宮城県沖地震(佐藤,2004)
- 2011年4月7日の宮城県沖地震:EQ0(本研究)



2011年7月10日三陸沖の地震の短周期レベルAは、同規模のプレート内地震として比較して小さい。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

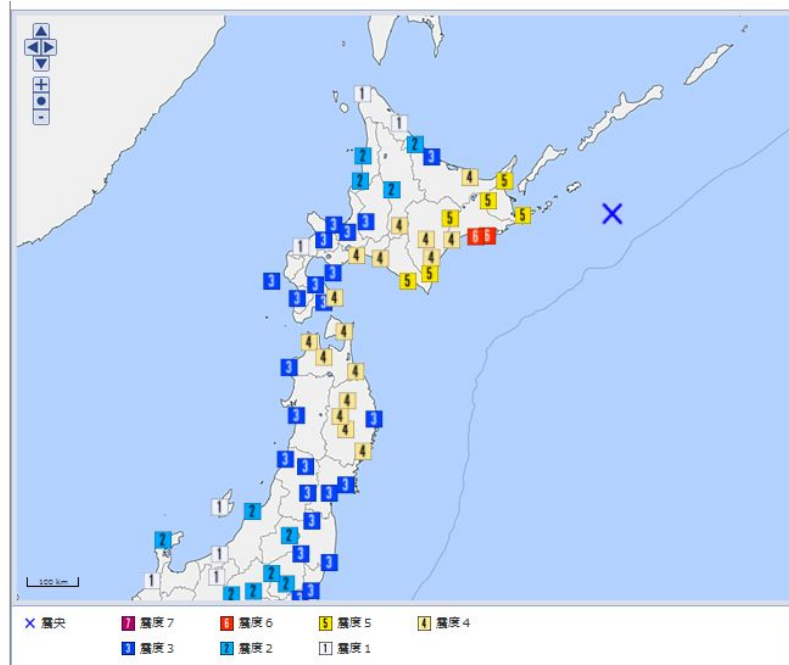
### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■1994年北海道東方沖地震(M8.2)

##### 【地震本部(2000)】

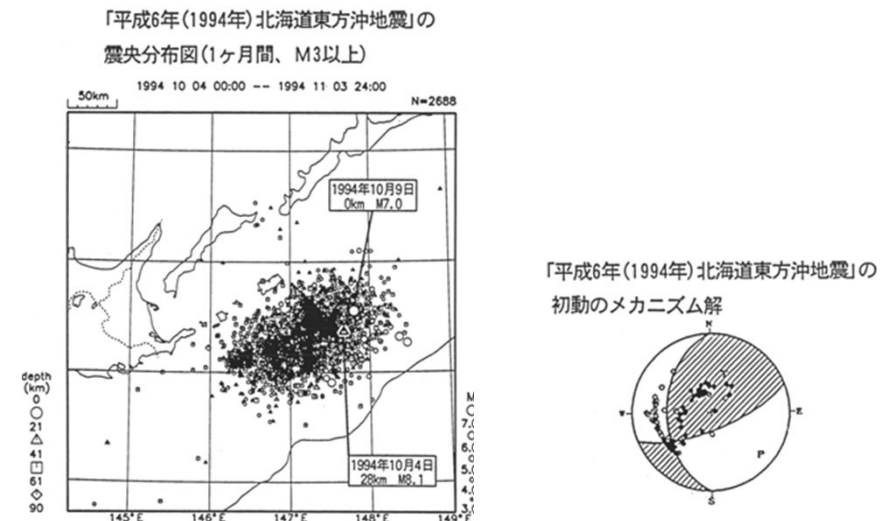
- ・1994年の地震は沈み込む太平洋プレートの内部で発生したもの(プレート内地震)である。概ね、西北西-東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型の地震。

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1994/10/04 22:22:56	北海道東方沖	43° 22.5' N	147° 40.4' E	28km	M8.2	6



1994年北海道東方沖地震 震度分布  
(気象庁 震度検索データベース)

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>



1994年北海道東方沖地震の震央分布と初動のメカニズム解  
(地震本部(2000) 2000年1月の地震活動について  
<http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00feb/index.htm#2-1>)

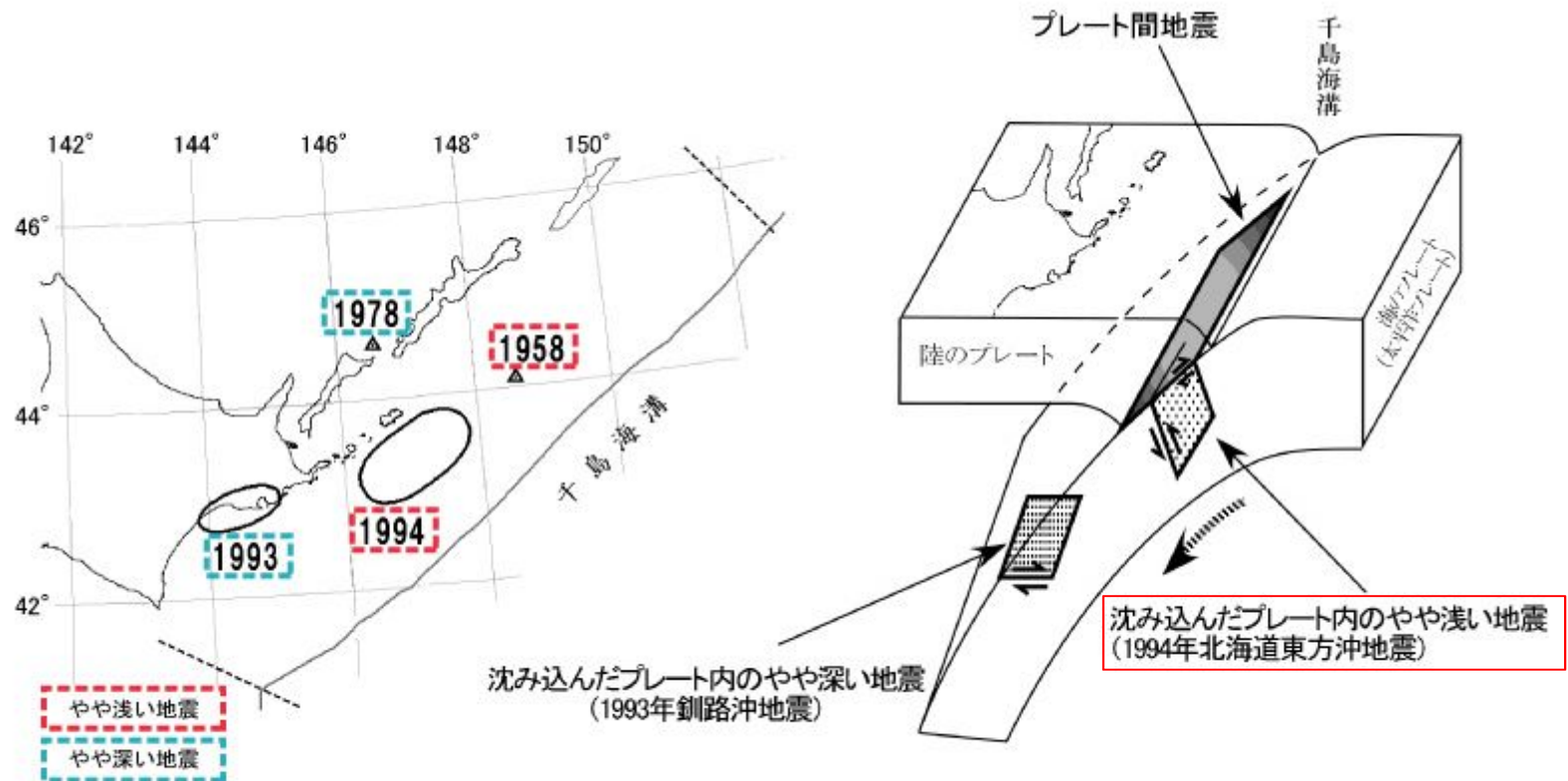
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■1994年北海道東方沖地震(M8.2)

【地震本部(2004):千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)】

・沈み込んだプレート内のやや浅い地震(深さ50km程度, M8程度)については, 1839年より後では, 十勝沖から択捉島沖にかけて, 1958年と1994年の2回発生したと考え長期評価を行っている。



千島海溝沿いで発生した沈み込んだプレート内地震の震源(域) [左]と震源位置の概念図 [右]  
 [地震調査委員会(1999)を編集]



## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■地震本部(2013): 今後の地震ハザード評価に関する検討～2013年における検討結果～

- ・地震本部(2013)の確率論的評価では、千島海溝沿いの地震として、「沈み込んだプレート内のやや浅い地震(深さ50km程度, M8程度)」を十勝沖から択捉島沖までの領域でどこでも発生する可能性があるとして考慮している。なお、東北地方には考慮していない。

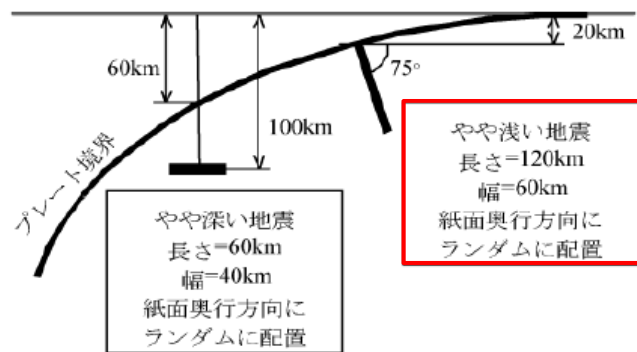
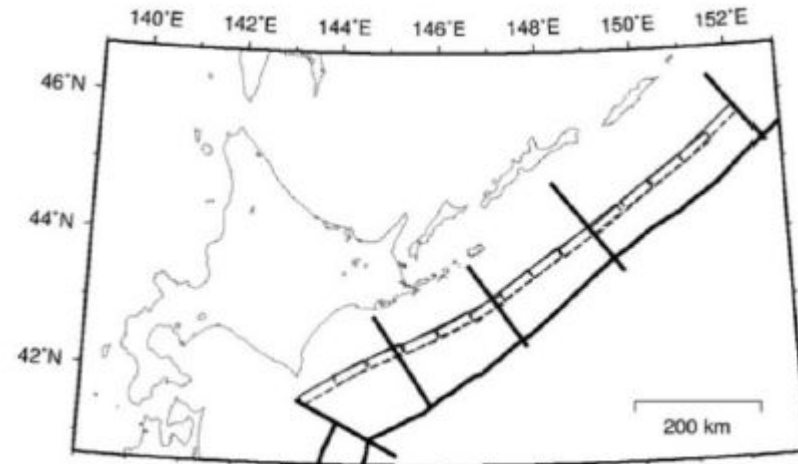


図 3.3.2-18 プレート内地震 (M8 クラス) の断層面の配置の模式図。

海洋プレート内地震の断層面の配置図の模式図  
(地震本部(2009))

※地震本部(2013)は、地震本部(2009)を踏まえ検討が行われている。



プレート内のやや浅い地震

太平洋プレートで発生する長期評価された地震のうち震源が特定されていない地震の断層面  
(地震本部(2013))

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■沖合いのやや浅い地震の検討ケース

- ・2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)を踏まえ、沖合いのやや浅い位置で発生する地震を考慮。基本ケースの地震規模は、2011年7月10日三陸沖の地震と同規模のM7.3を考慮、想定位置、短周期レベル(応力降下量)も同地震のものを採用。
- ・不確かさとしては、地震規模については、同地震が東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内で発生した地震の最大規模M7.3であることから、不確かさケースは考慮しない。また、想定位置についても、同地震の敷地からの距離と観測記録の大きさを考慮すると、多少の距離の差異の影響は大きくはないため検討しない。
- ・短周期レベル(応力降下量)の不確かさについて、やや浅い地震の短周期レベルは深い地震と比較し小さい傾向にあることが指摘されているが、保守的評価として4.7地震の短周期レベルを考慮する。
- ・影響評価ケースとして、地震テクトニクス的に違いがあるが、北海道で発生した1994年北海道東方沖地震と同規模のM8.2を考慮する。

検討ケース	断層モデルの設定条件						評価方法	備考
	地震規模	断層の位置	破壊開始点	アスペリティの位置	短周期レベル(応力降下量)	傾斜角		
基本ケース	M7.3	2011.7.10地震の付近	—	—	2011.7.10の地震の短周期レベル	—	簡易評価 (観測記録で代表)	
不確かさケース 短周期レベル (応力降下量)	M7.3	2011.7.10地震の付近	—	—	4.7地震の短周期レベル	—	簡易評価※1 (記録ベース)	短周期レベルは、 笹谷ほか(2006) の約1.5倍
影響評価ケース 地震規模	M8.2	2011.7.10地震の付近	複数	断層中央	2011.7.10の地震の短周期レベル※2	53°	詳細評価	1994年北海道東方沖地震の規模(M8.2)を考慮

: 予めモデルに織り込む不確かさ  
 : 考慮する不確かさ

※1 簡易評価:短周期レベルの違いについて、保守的に短周期レベルの比(4.7地震の短周期レベル/2011.7.10の地震の短周期レベル)を観測記録に乗じて評価する。

※2 2011年7月10日三陸沖の地震の短周期レベルは笹谷ほか(2006)の短周期レベルより小さいことから、断層モデルの計算においては笹谷ほか(2006)の短周期レベルを用いる。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■各検討ケースの主な断層パラメータ

検討ケース	地震規模M (Mw)	M <sub>0</sub> (Nm)	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	断層面積 (km <sup>2</sup> )	傾斜角 (°)	短周期レベル (Nm/s <sup>2</sup> )	アスペリティ面積 (km <sup>2</sup> )	アスペリティ応力降下量 Δσ (MPa)	評価方法
基本ケース	M7.3 (7.0 <sup>※2</sup> )	3.75E+19 <sup>※1</sup>	-	-	-	-	3.95E+19 <sup>※3</sup>	-	-	簡易評価 (観測記録で代表)
不確かさケース 短周期レベル (応力降下量)	M7.3 (7.0 <sup>※2</sup> )	3.75E+19 <sup>※1</sup>	-	-	-	-	1.38E+20 <sup>※4</sup>	-	-	簡易評価 (記録ベース)
影響評価ケース 地震規模	M8.2 (8.2 <sup>※5</sup> )	2.51E+21 <sup>※2</sup>	110	50	5500	53	2.88E+20 <sup>※6</sup>	1072	77.6	詳細評価

※1: 2011年7月10日三陸沖の地震のF-netの値

※2:  $M_0 = 10^{(1.5M_w + 9.1)}$

※3: 2011年7月10日三陸沖の地震の短周期レベル

※4: 2011年4月7日宮城県沖地震の短周期レベルと2011年7月10日三陸沖の地震の短周期レベルの比(=3.5)を考慮

※5:  $M = M_w$

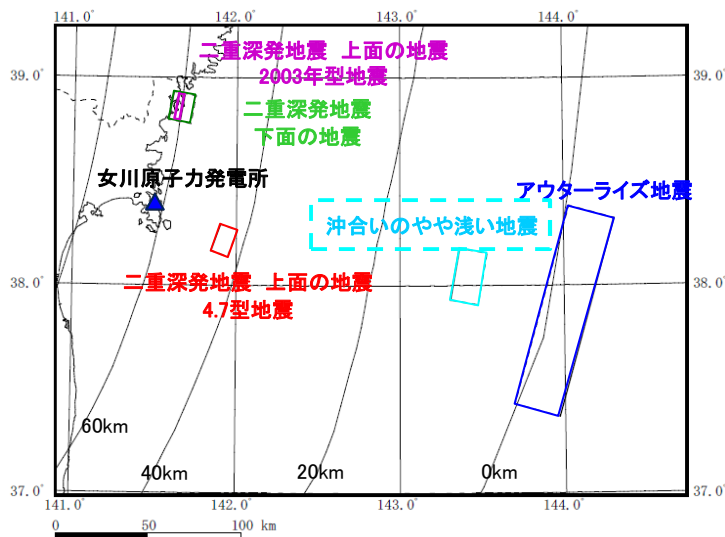
※6: 笹谷ほか(2006)での短周期レベル  $A = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

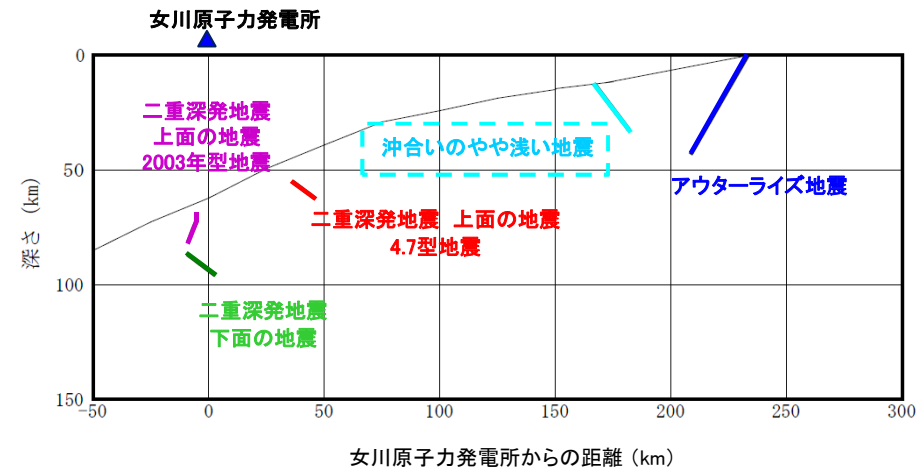
### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■ 基本ケース及び不確かさケースの評価方法

検討ケース	M	断層位置	短周期レベル (応力降下量)	評価方法
基本ケース	M7.3	2011.7.10地震の付近	2011.7.10の 地震の 短周期レベル	<簡易評価> 2011年7月10日三陸沖の地震のはぎとり解析結果(はぎとり波)。
↓ 基本ケースの結果を基に評価				
不確かさケース 短周期レベル (応力降下量)	M7.3	2011.7.10地震の付近	4.7地震の 短周期レベル	<簡易評価> 4.7地震の短周期レベルと2011年7月10日三陸沖の地震の短周期レベルの比(=3.5)を2011年7月10日三陸沖の地震のはぎとり波の応答スペクトルの全周期帯に乗じて評価。



断層位置 模式図(平面図)



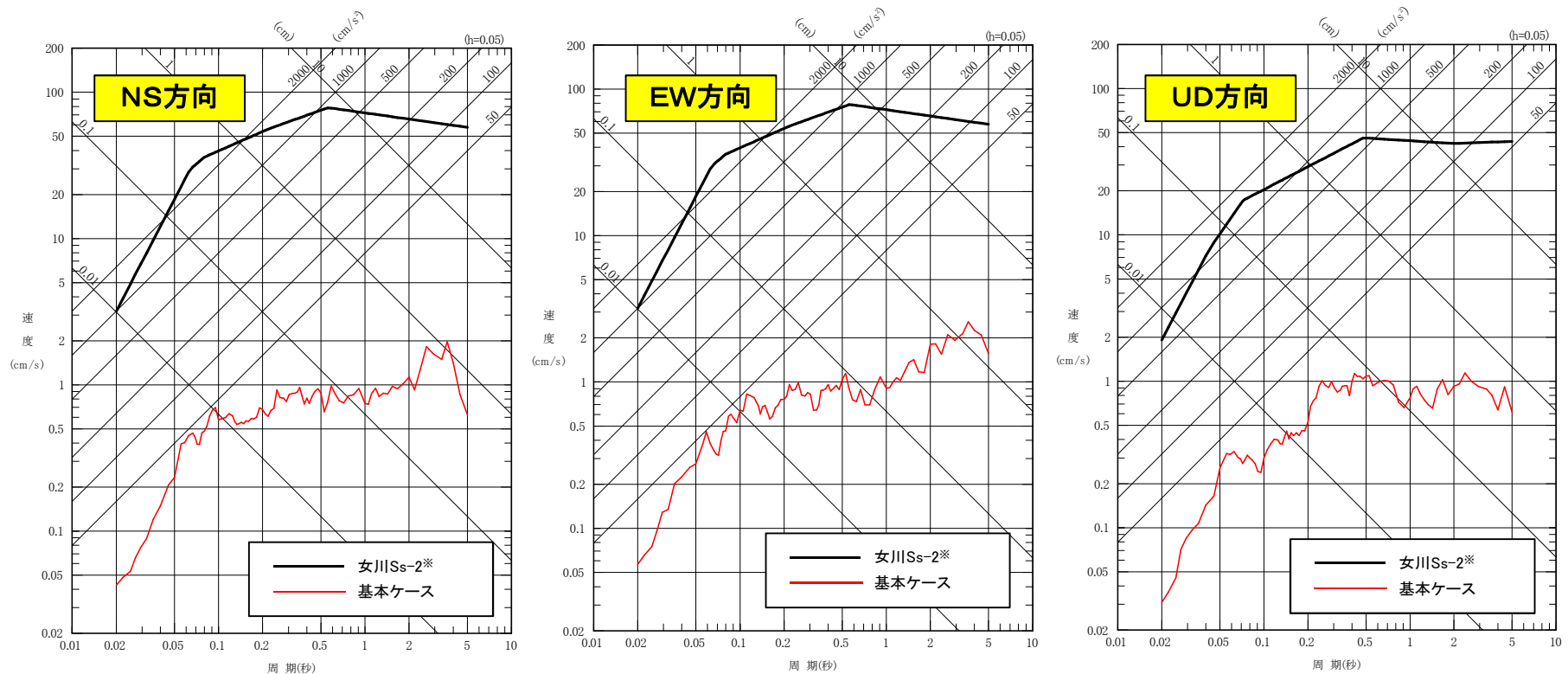
断層位置 模式図(断面図)

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■ 基本ケースの評価結果 <応答スペクトル>

・簡易評価：2011年7月10日 三陸沖の地震(M7.3)のはぎとり波(敷地岩盤上部(O.P.-8.6m))



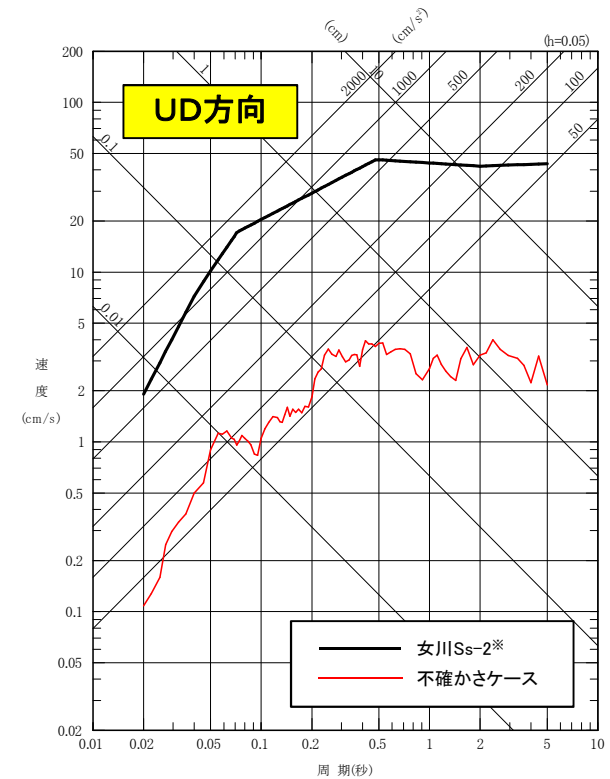
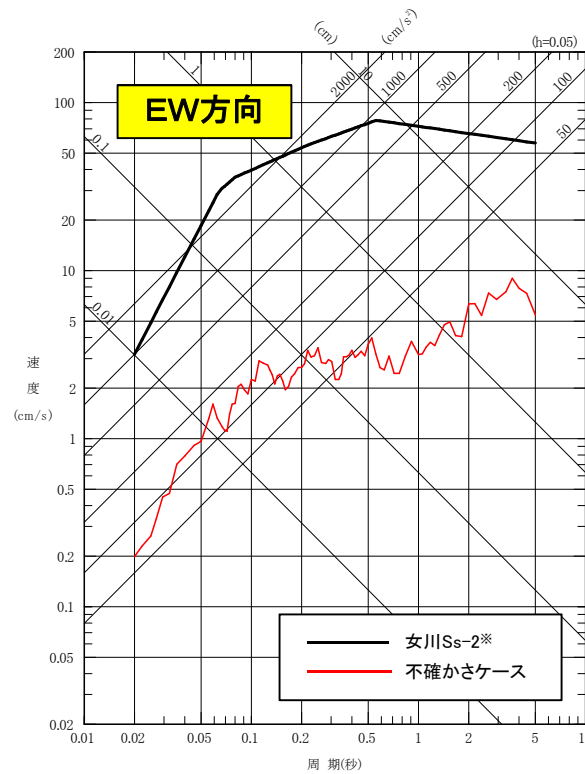
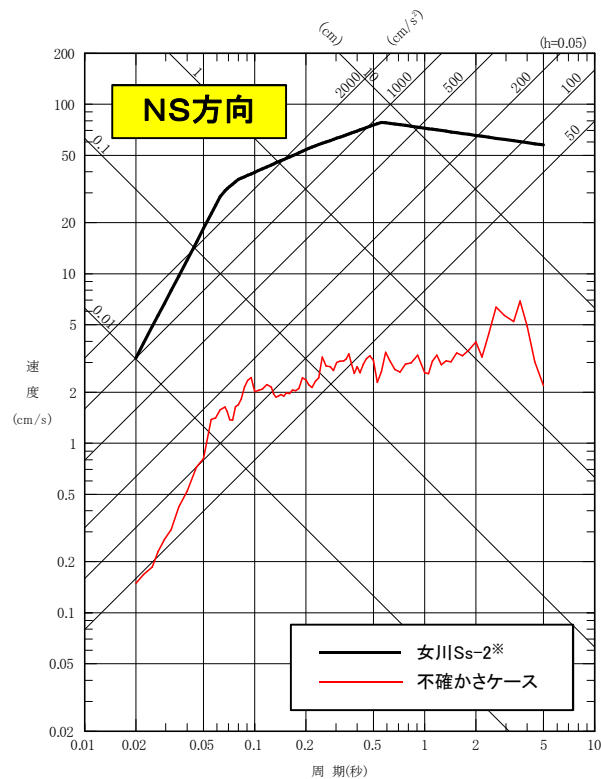
※女川Ss-2:平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■不確かさケースの評価結果 <応答スペクトル>

- ・簡易評価:基本ケースの簡易評価結果(2011年7月10日三陸沖の地震のはぎとり波)に4.7地震と2011年7月10日三陸沖の地震の短周期レベルの比(4.7地震の短周期レベル/2011年7月10日三陸沖の地震短周期レベル=3.5)を全周期に乗じることにより評価。



※女川Ss-2:平成25年12月申請

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

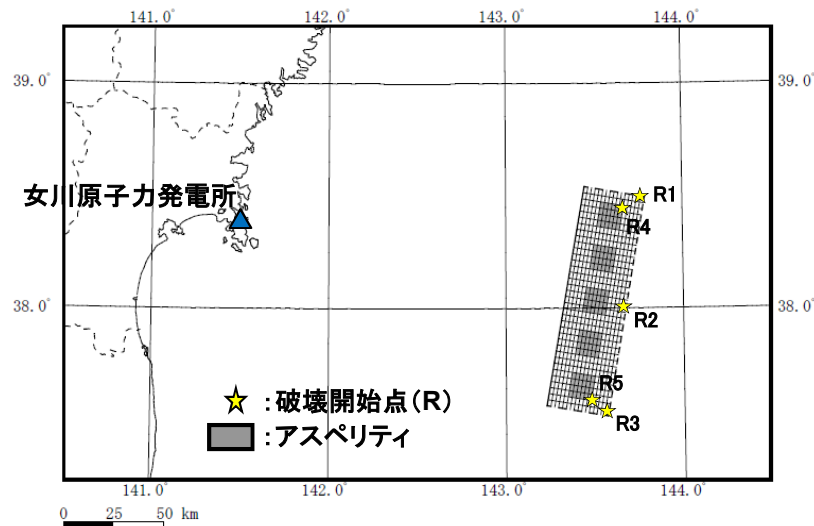
#### ■影響評価ケースの評価方法

##### ○断層モデル

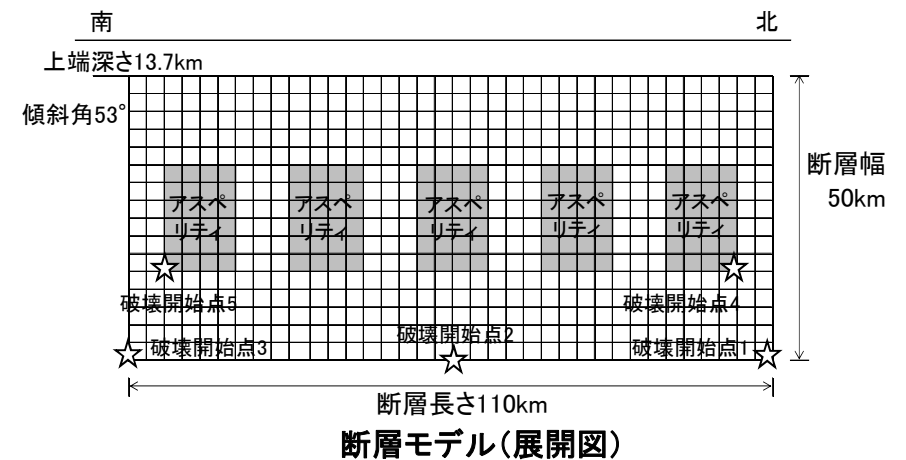
- ・敷地の東方の海溝軸の西側のやや浅い海洋プレート内で発生した2011年7月10日三陸沖の地震の位置に想定。地震規模は1994年北海道東方沖地震と同規模のM8.2とする。

##### ○断層モデルを用いた地震動評価

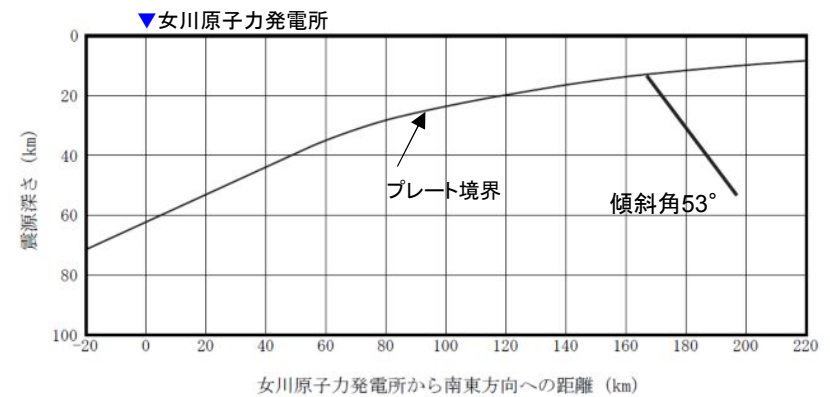
- ・統計的グリーン関数法により評価。  
波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。



影響評価ケースの断層モデル(平面図)



断層モデル(展開図)



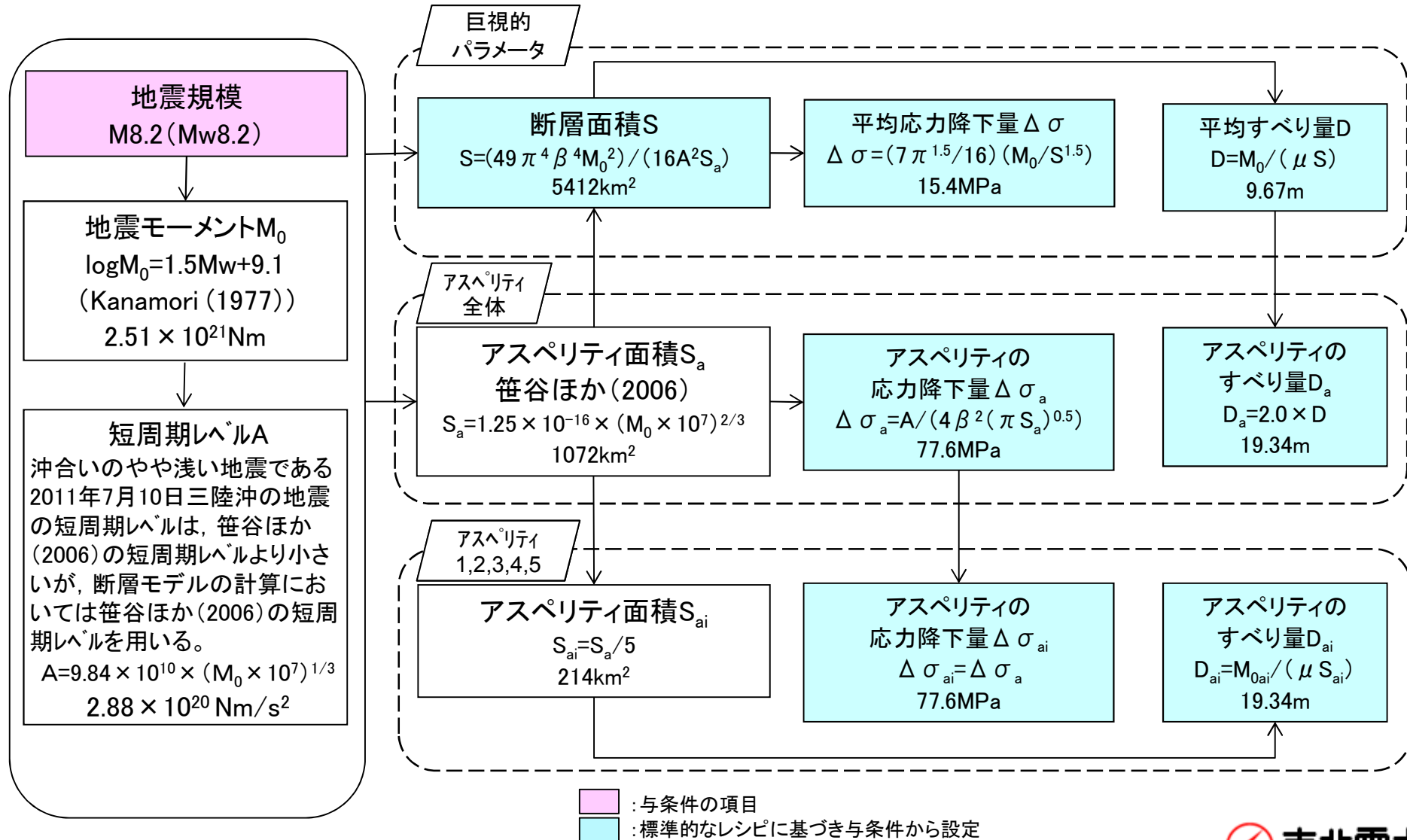
断面図

※傾斜角は、プレートに対し断層の傾斜が $60^\circ$ となるように断層付近のプレートの傾斜( $7^\circ$ )を考慮し $53^\circ$ に設定。

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■ 影響評価ケースの断層パラメータ設定フロー





## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■影響評価ケースの断層パラメータ

断層パラメータ		設定方法	設定値	
断層面全体	気象庁マグニチュード	$M_J$	設定条件	8.2
	モーメントマグニチュード	$M_w$	設定条件	8.2
	走向	$\theta (^{\circ})$	J-SHIS(2014)のプレート形状を考慮し設定	10
	傾斜角	$\delta (^{\circ})$	プレート境界とのなす角が $60^{\circ}$ となるように設定	53
	断層長さ	$L(\text{km})$	$L=S/W$	110
	断層幅	$W(\text{km})$	プレート境界から下面の地震までを地震発生層として考慮して設定	50
	断層面積	$S(\text{km}^2)$	$S=(49\pi^4\beta^4M_0^2)/(16A^2S_a)$	5412
	断層上端深さ	$h(\text{km})$	J-SHIS(2014)のプレート形状を考慮し設定	13.7
	地震モーメント	$M_0(\text{Nm})$	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	$2.51 \times 10^{21}$
	剛性率	$\mu(\text{N/m}^2)$	$\mu=\rho\beta^2, \rho=3.0\text{g/cm}^3, \beta=4.0\text{km/s}$	$4.8 \times 10^{10}$
	平均すべり量	$D(\text{cm})$	$D=M_0/(\mu S)$	967
	平均応力降下量	$\Delta\sigma(\text{MPa})$	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	15.4
	短周期レベル	$A(\text{Nm/s}^2)$	$A=9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	$2.88 \times 10^{20}$
	破壊伝播形式	-	-	放射状
	破壊伝播速度	$V_r(\text{km/s})$	$V_r=0.72\beta$	2.88

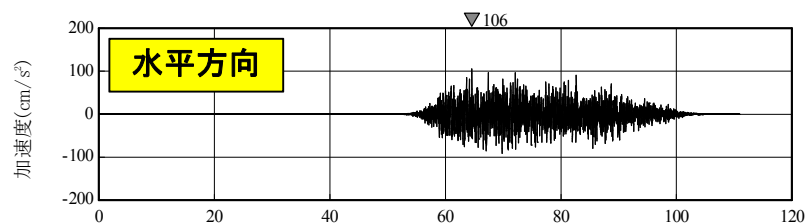
  

断層パラメータ		設定方法	設定値	
アスペリティ全体	地震モーメント	$M_{0a}(\text{Nm})$	$M_{0a}=\mu S_a D_a$	$9.95 \times 10^{20}$
	断層面積	$S_a(\text{km}^2)$	$S_a=1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$	1072
	平均すべり量	$D_a(\text{cm})$	$D_a=\gamma_D D, \gamma_D=2.0$	1934
	応力降下量	$\Delta\sigma_a(\text{MPa})$	$\Delta\sigma_a=A/(4\beta^2(\pi S_a)^{0.5})$	77.6
アスペリティあたり	地震モーメント	$M_{0ai}(\text{Nm})$	$M_{0ai}=M_{0a}/5$	$1.99 \times 10^{20}$
	断層面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$	$S_{ai}=S_a/5$	214
	平均すべり量	$D_{ai}(\text{cm})$	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$	1934
	応力降下量	$\Delta\sigma_{ai}(\text{MPa})$	$\Delta\sigma_{ai}=\Delta\sigma_a$	77.6
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}(\text{Nm})$	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	$1.52 \times 10^{21}$
	断層面積	$S_b(\text{km}^2)$	$S_b=S-S_a$	4340
	平均すべり量	$D_b(\text{cm})$	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	728
	応力降下量	$\Delta\sigma_b(\text{MPa})$	$\Delta\sigma_b=(D_b/W_b)(D_a/W_a)r \cdot \Delta\sigma_a$	11.0
高域遮断周波数	$f_{\text{max}}(\text{Hz})$	2003年宮城県沖の地震のシミュレーション結果	18	

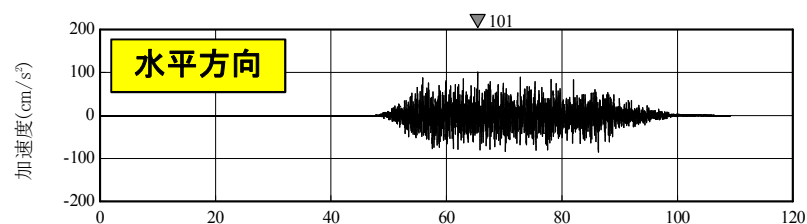
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

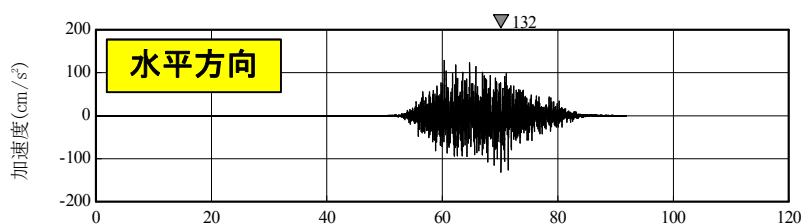
#### ■ 影響評価ケースの評価結果 <加速度時刻歴波形>



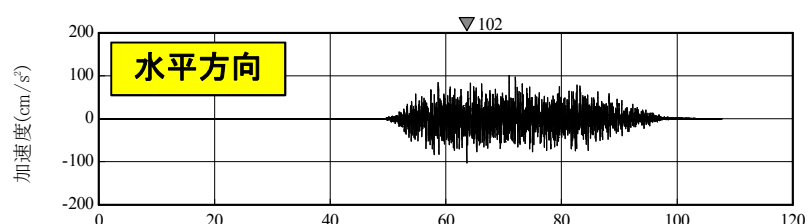
時間(秒)  
破壊開始点1



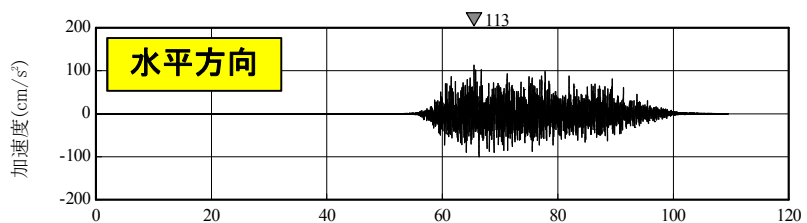
時間(秒)  
破壊開始点4



時間(秒)  
破壊開始点2



時間(秒)  
破壊開始点5

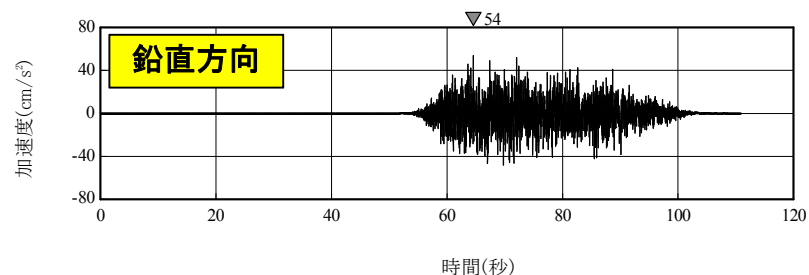


時間(秒)  
破壊開始点3

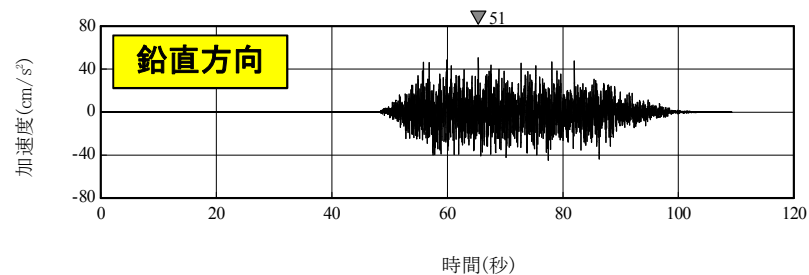
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

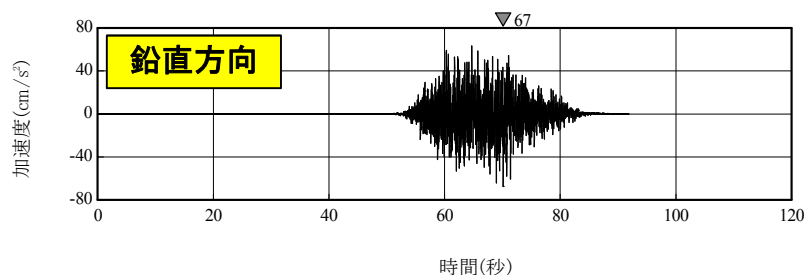
#### ■ 影響評価ケースの評価結果 <加速度時刻歴波形>



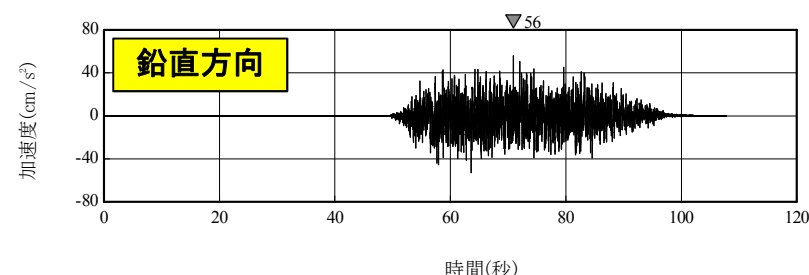
破壊開始点1



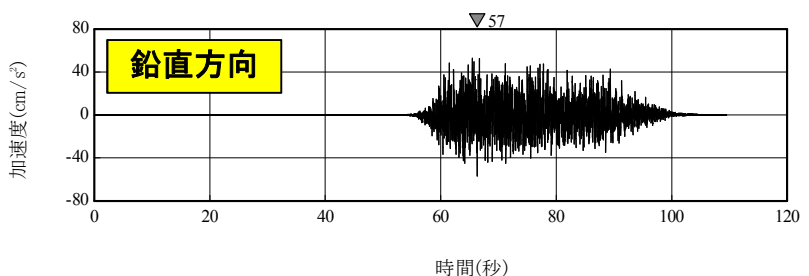
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

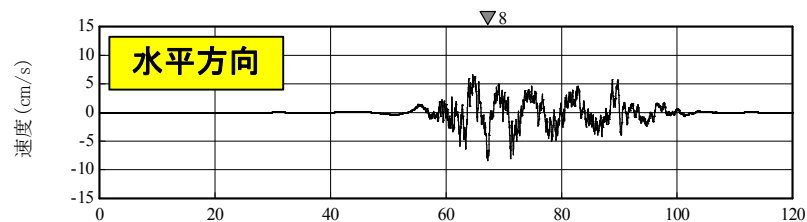


破壊開始点3

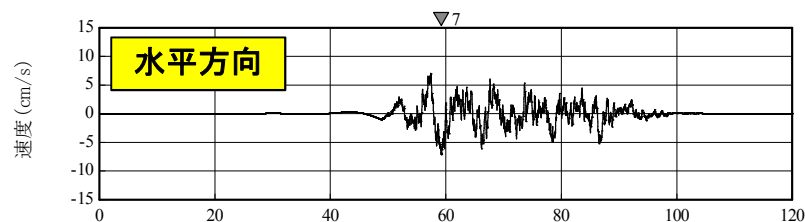
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

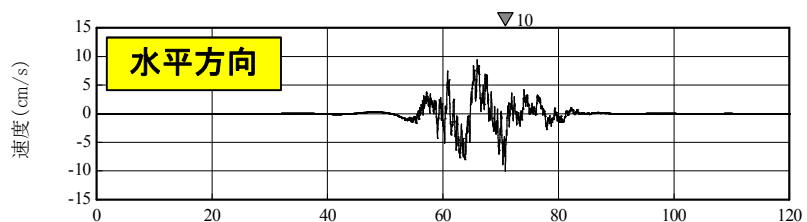
#### ■ 影響評価ケースの評価結果 <速度時刻歴波形>



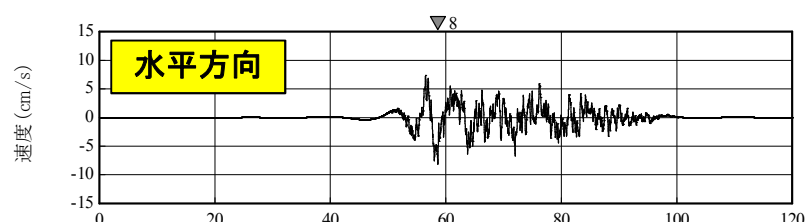
時間 (秒)  
破壊開始点1



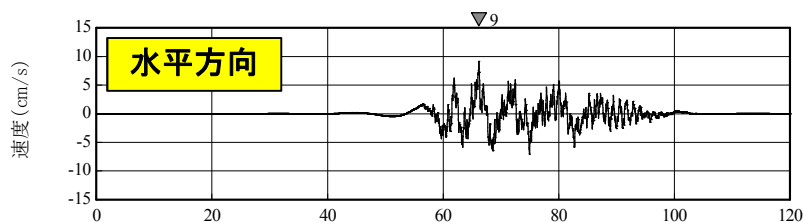
時間 (秒)  
破壊開始点4



時間 (秒)  
破壊開始点2



時間 (秒)  
破壊開始点5

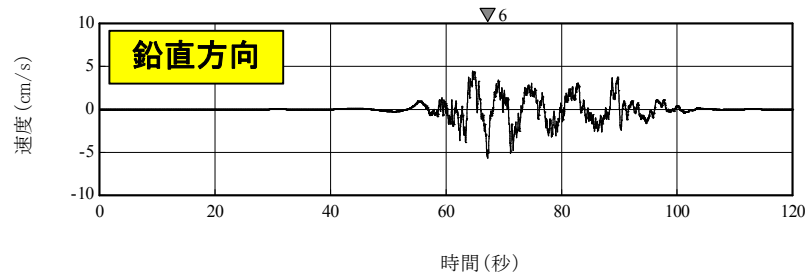


時間 (秒)  
破壊開始点3

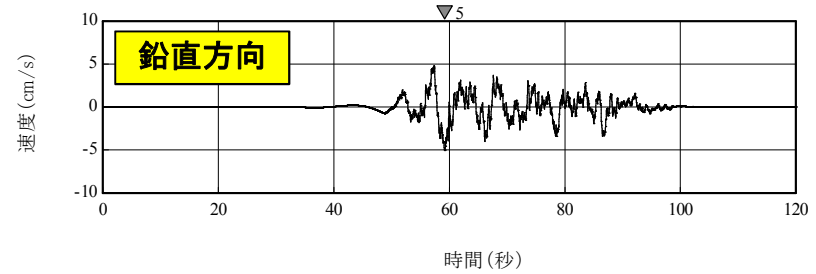
## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

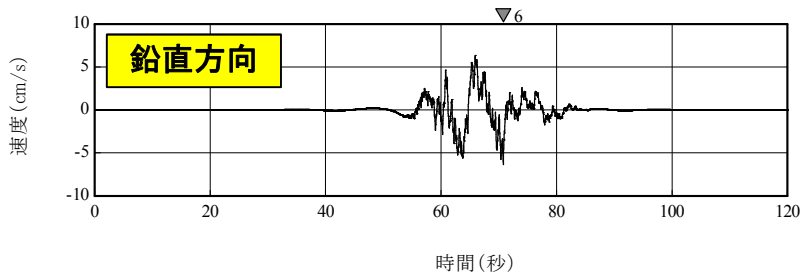
#### ■ 影響評価ケースの評価結果 <速度時刻歴波形>



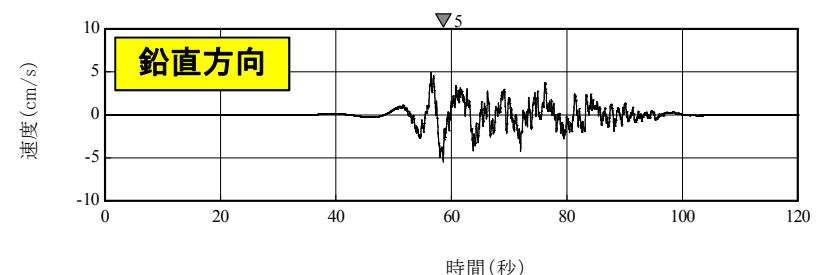
破壊開始点1



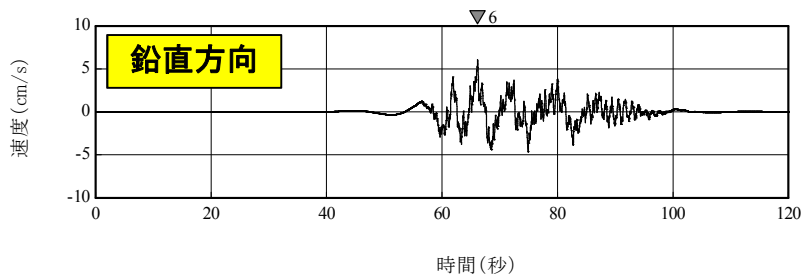
破壊開始点4



破壊開始点2



破壊開始点5

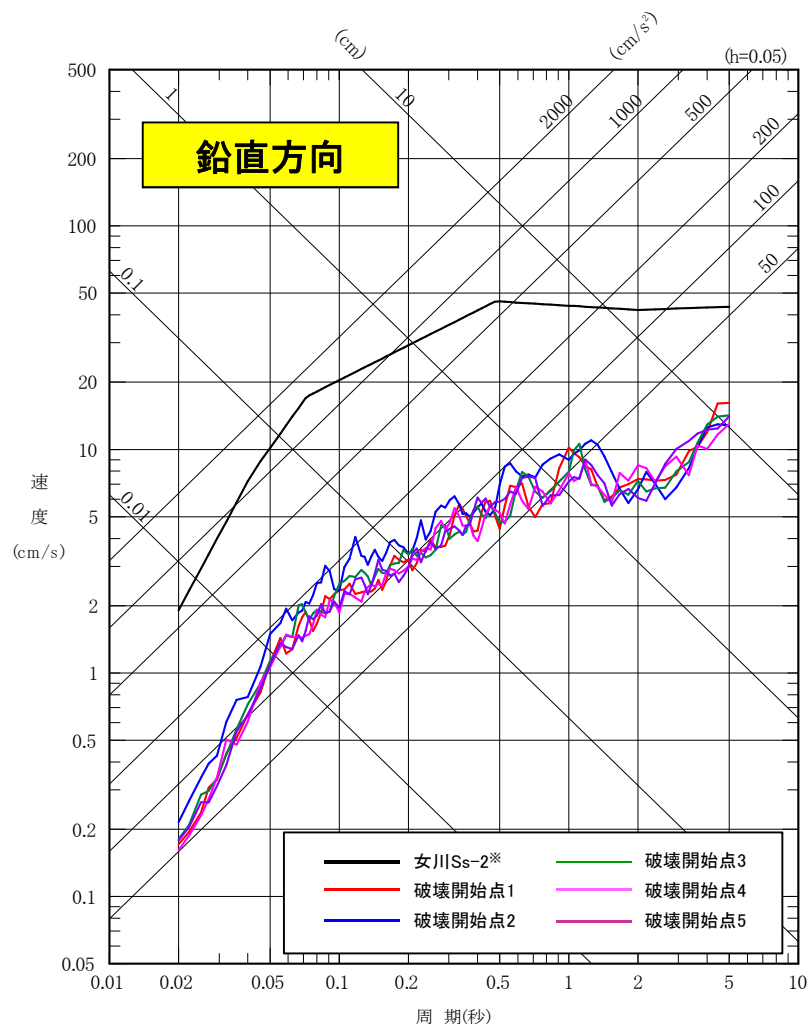
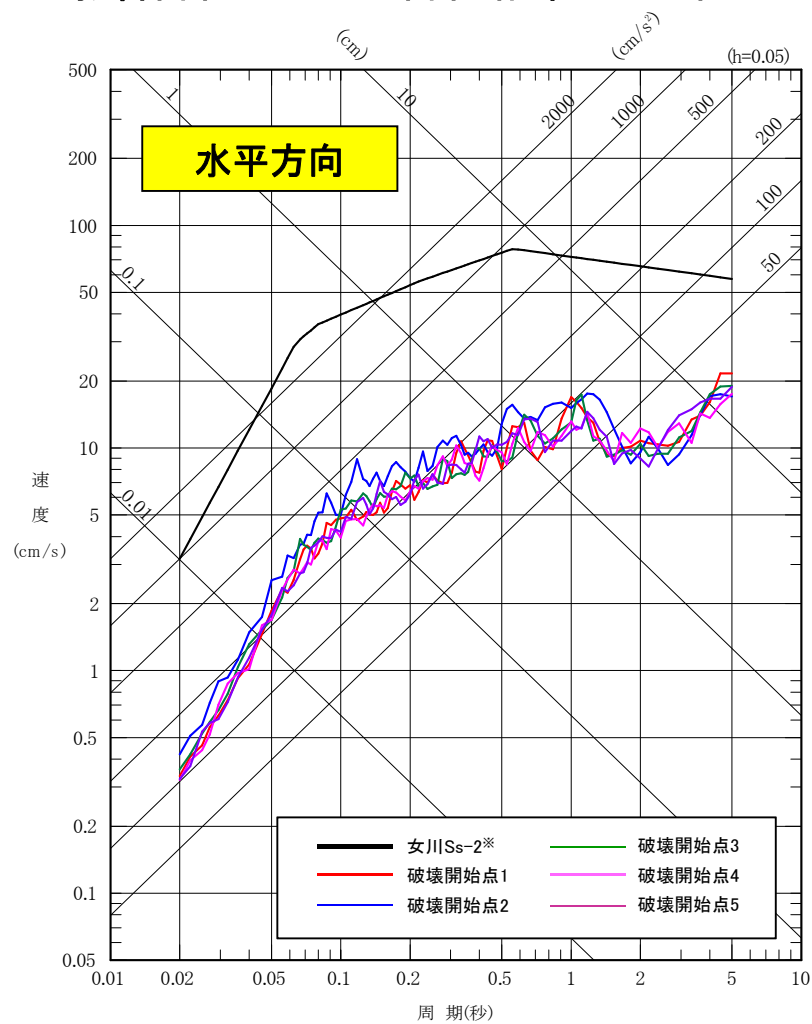


破壊開始点3

## 2. 沈み込んだ海洋プレート内地震の検討ケース

### 2.4 沖合いのやや浅い地震

#### ■影響評価ケースの評価結果 <応答スペクトル>



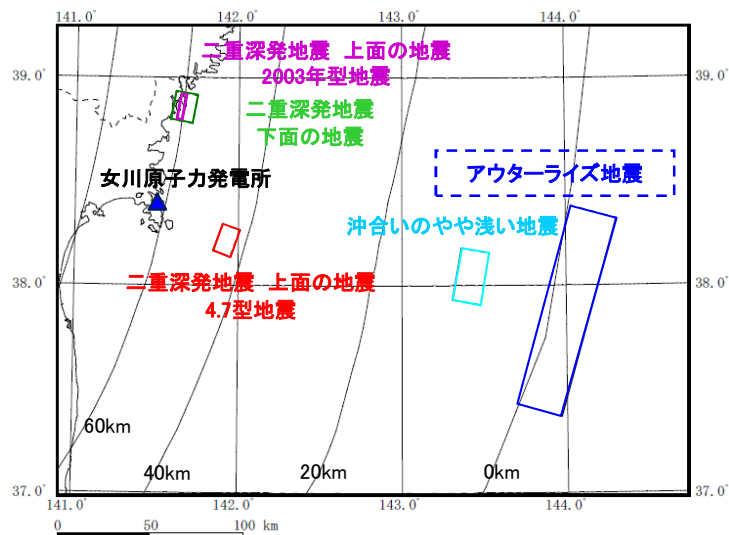
※女川Ss-2: 平成25年12月申請

### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

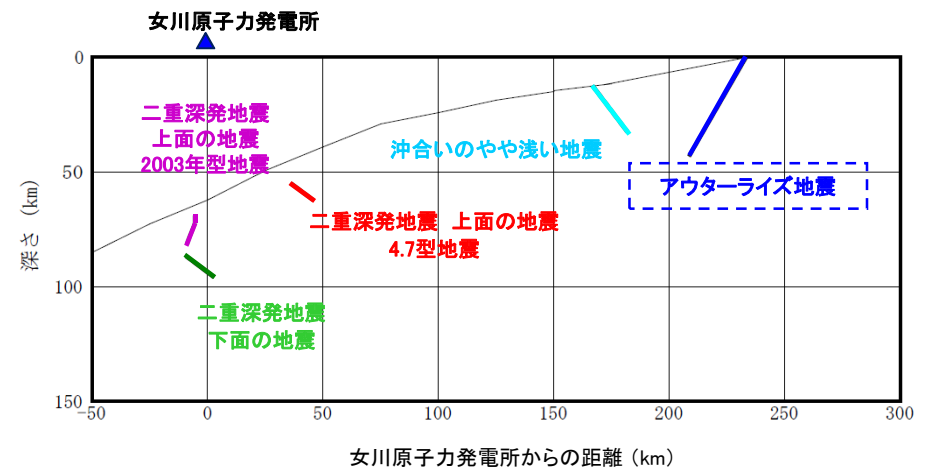
#### 3.1 アウターライズ地震

##### ■アウターライズ地震の特徴

項目	想定位置	地震規模	短周期レベル (応力降下量)	備考
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震本部(2013)の長期評価において、東北地方の日本海溝付近に想定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>歴史地震としては1933年三陸沖の地震(M8.1)が最大規模。</li> <li>地震本部(2013)ではM8.2の規模の地震を想定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2011年3月11日(15時25分)の地震(M7.5)は、海溝軸より沖合で発生した正断層型の地震で、典型的なアウターライズ地震と考えられる。</li> <li>2011年3月11日(15時25分)の地震の短周期レベルは笹谷ほか(2006)の0.7倍。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波評価において、1611年慶長の地震はアウターライズ地震の可能性があるととして、M8.6規模の地震を評価している。</li> </ul>



断層位置 模式図(平面図)



断層位置 模式図(断面図)

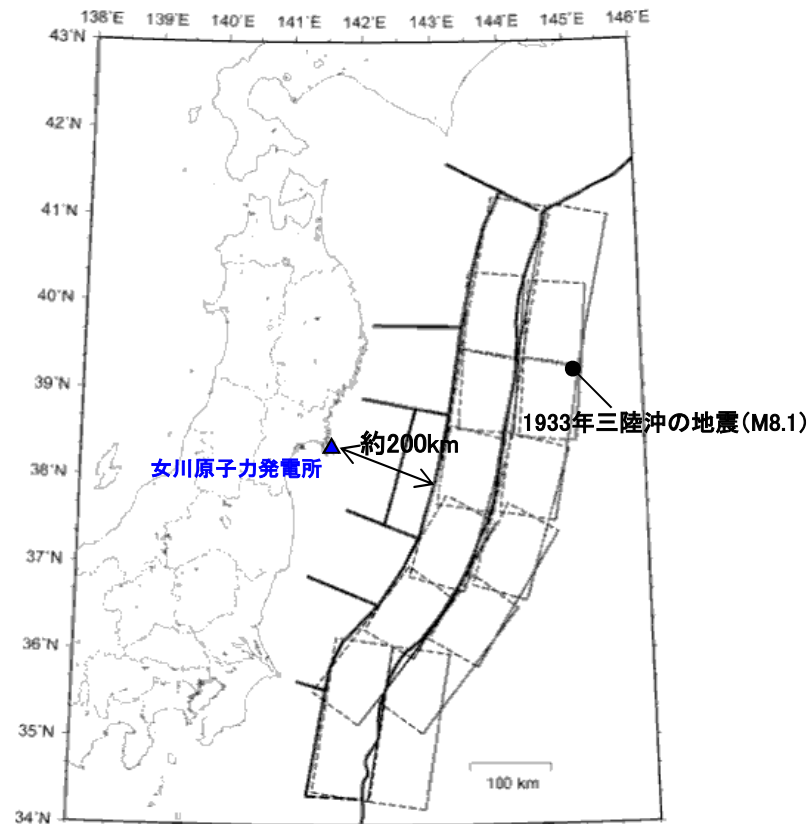
### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

##### ■ 沈み込む海洋プレート内地震 アウターライズ地震

###### 【地震本部(2013)】

・地震本部(2013)の確率論的評価では、地震本部(2012)の長期評価において評価※<sup>1</sup>されている海洋プレート内正断層型の地震(M8.2)について、震源を海溝軸の東側と西側に想定。



###### 海溝寄り (正断層)

太平洋プレートで発生する長期評価された地震のうち震源が特定されていない地震の断層面(地震本部(2013)に一部加筆)

※1

地震本部(2012)では、海洋プレート内の正断層型の地震については、過去400年間に1933年三陸沖の地震の1例しかないことを踏まえ、次の地震の規模は、過去に発生した地震を参考にして、M8.2前後と推定。

※2

海溝軸の西側の地震は、厳密にはアウターライズ地震に分類されるものではないが、ここでは合わせて評価を実施。



### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

第210回審査会合 資料2-1(P.39)を  
本資料の構成に合わせ一部修正

#### ■津波評価でのアウターライズ地震

- ・津波評価では、アウターライズ地震の基準断層モデルとして地震本部(2012), 土木学会(2002)等を考慮し地震規模としてMw8.6を考慮している。

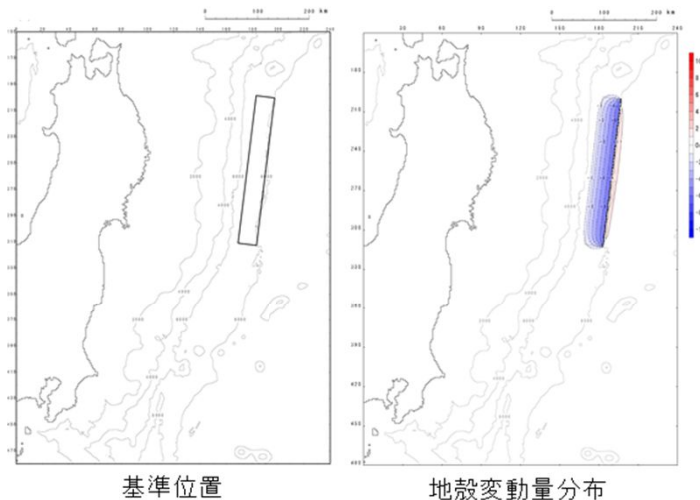
##### 再現モデル

- ・地震調査研究推進本部(2012)では、次の地震規模を1933年昭和三陸地震津波と評価している。
- ・同地震は、国内外における海溝外縁隆起帯で発生した最大規模の海洋プレート内地震である。
- ・以上を踏まえ、海洋プレート内地震の基準断層モデルの設定にあたっては1933年昭和三陸地震津波を基本とする。

基本とする既往津波	Mw
1933年昭和三陸地震津波	8.35

##### 基準断層モデル

- ・再現モデルを上回る規模の地震を設定。



##### 諸元

断層パラメータ		設定方法	設定値
モーメントマグニチュード	Mw	土木学会(2002)	8.6
長さ	L(km)	既往津波の痕跡高を再現できる断層モデルに、Mwに関連する断層パラメータのスケールリング則(幅に限界あり)を適用して設定。	283
幅	W(km)		50
すべり量	D(m)		10.1
剛性率	$\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	既往津波再現モデルに基づき設定。	$7.0 \times 10^{10}$
地震モーメント	Mo (Nm)	$\mu$ LWD	$1.00 \times 10^{22}$
走向	$\theta$ (°)	日本海溝の形状に合わせて設定。	190
断層上縁深さ	d(km)	既往津波再現モデルに基づき設定。	1
傾斜角	$\delta$ (°)		45
すべり角	$\lambda$ (°)		270
ライズタイム	$\tau$ (s)		60

### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

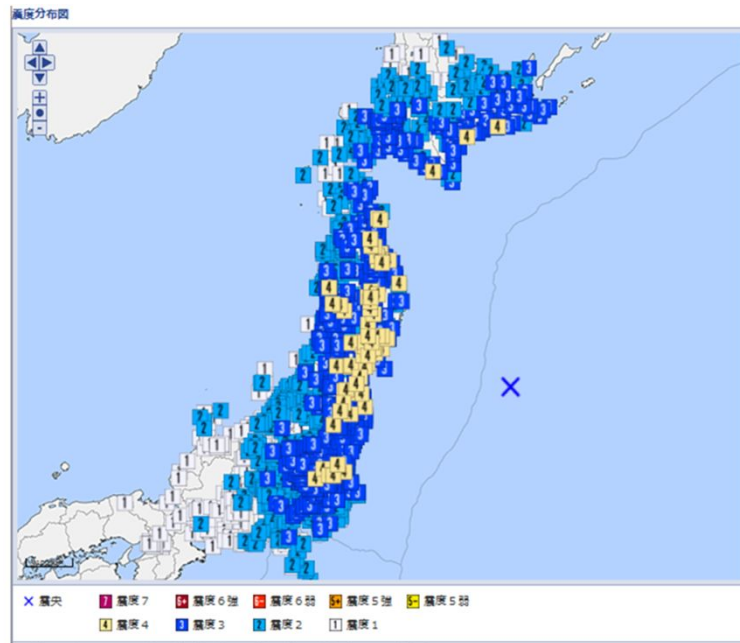
#### 3.1 アウターライズ地震

##### ■2011年3月11日15:25 三陸沖の地震(M7.5)

【武藤ほか(2014): 験震時報第78巻】

・2011年3月11日14時46分に発生した本震直後から規模の大きな余震が多発し、40分間のあいだにMw7.4-7.7の地震が3回発生した。余震の発生メカニズムは様々である。3月11日15時25分の地震(Mw7.5)は、海溝軸より沖合で発生した正断層型の地震で、典型的なアウターライズ地震と考えられる。

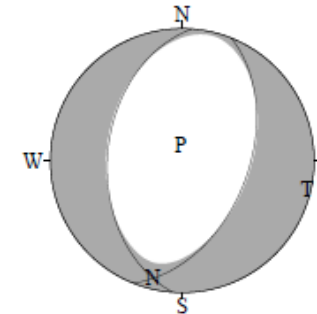
地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
2011/03/11 15:25	三陸沖	37° 54.8' N	144° 45.0' E	11km	M7.5	4



2011年3月11日15:25 三陸沖の地震 震度分布  
(気象庁 震度検索データベース)

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>

2011/03/11 15:25:44.3  
FAR E OFF NORTH HONSHU  
Hypo.: 37°54.8'N 144°45.0'E 11km



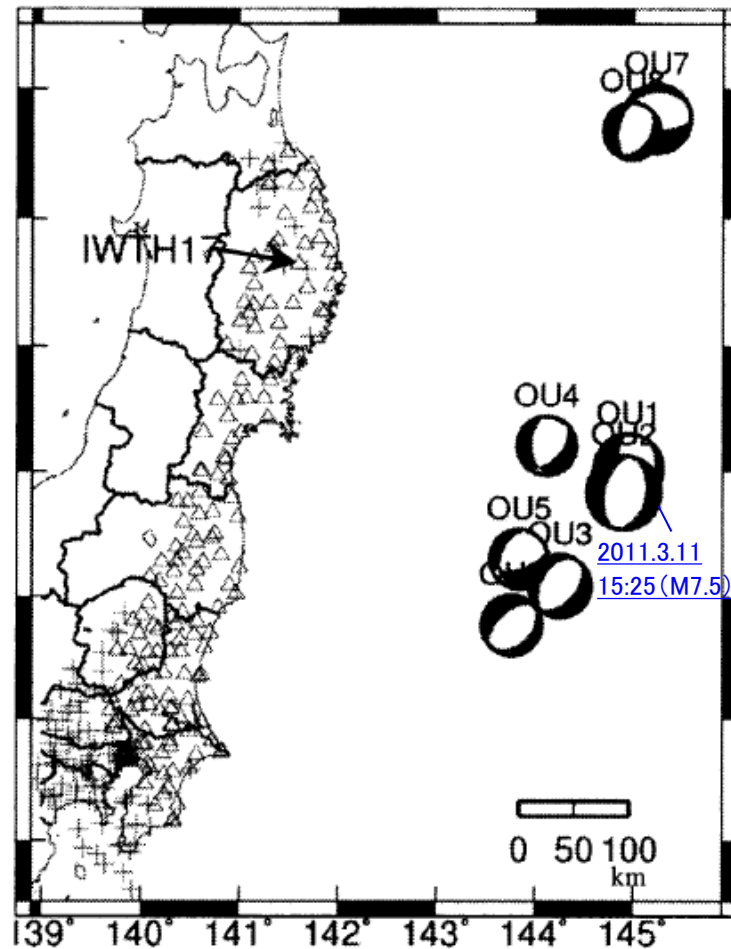
2011年3月11日15:25 三陸沖の地震 発震機構解(CMT解)  
[気象庁(2015)]

### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

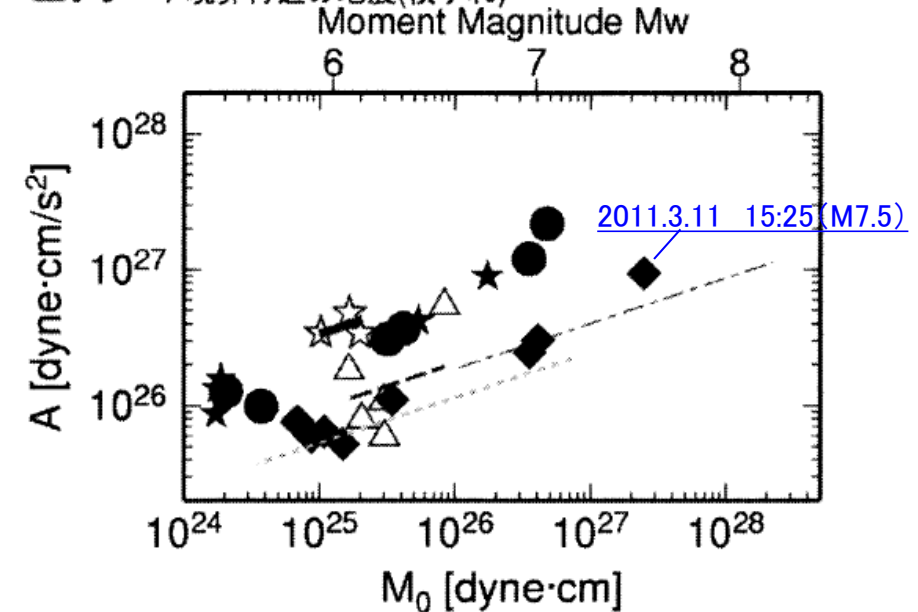
##### ■2011年3月11日15:25 三陸沖の地震(M7.5)の短周期レベル

- ・東北地方のアウターライズ地震(正断層)の短周期レベルについて佐藤(2013)において分析が行われている。
- ・2011年3月11日15:25 三陸沖の地震は他のアウターライズ地震と比較し短周期レベルが大きくなっている。



(e) アウターライズ地震

- ..... 地殻内地震の平均(壇・他,2001)
- 太平洋プレートのプレート境界地震の平均(佐藤,2010)
- プレート境界付近の地震(正断層): 18式
- プレート境界付近の地震(横ずれ): 17式
- ◆ アウターライズ地震(正断層)
- ★ スラブ内地震(正断層:Down-dip Extension)
- スラブ内地震(逆断層:Down-dip Compression)
- ☆ プレート境界付近の地震(正断層)
- △ プレート境界付近の地震(横ずれ)



地震モーメントと短周期レベルの関係(佐藤(2013)に一部加筆)

### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

##### ■ 検討ケース

- ・1933年三陸沖の地震(M8.1), 2011年3月11日15:25三陸沖の地震(M7.5)を踏まえ, 沈み込む海洋プレート内地震として海溝外縁隆起帯(アウターライズ)で発生する地震を考慮。基本ケースの地震規模は, 地震本部(2013)で考慮されている地震規模M8.2を, 想定位置は地震本部(2013)の想定位置の中で敷地に対し最も近い真東側に考慮する。
- ・想定位置の不確かさとして, 地震本部(2013)が想定している日本海溝西側の位置で, 敷地に最も近い真東側に考慮する。
- ・地震規模の不確かさとして, 津波評価で考慮した地震規模を考慮する。
- ・なお, 短周期レベルについては, 2011年3月11日15:25三陸沖の地震(M7.5)の値を採用する。

検討ケース	断層モデルの設定条件						評価方法	備考
	地震規模	断層の位置	破壊開始点	アスペリティの位置	短周期レベル (応力低下量)	傾斜角		
基本ケース	M8.2	海溝軸より東側 付近	—	—	2011.3.11三陸沖の 地震の短周期レベル	—	簡易評価※ (記録ベース)	地震本部(2013)のプ レート内地震正断層型の 位置を踏まえ設定
不確かさケース1 想定位置	M8.2	海溝軸より西側 付近	—	—	2011.3.11三陸沖の 地震の短周期レベル	—	簡易評価※ (記録ベース)	地震本部(2013)のプ レート内地震正断層型の 位置を踏まえ設定
不確かさケース2 地震規模	M8.6	海溝軸より東側 付近	—	—	2011.3.11三陸沖の 地震の短周期レベル	—	簡易評価※ (記録ベース)	地震規模M8.6は津波評 価で考慮している規模

: 考慮する不確かさ

※簡易評価: 地震規模の違い及び想定位置の違い(震源距離の違い)については, 応答スペクトルの差(比率)を既往の距離減衰式で算定し, 観測記録(2011.3.三陸沖の地震(M7.5))に乗ることによって評価する。

### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

##### ■各検討ケースの主な断層パラメータ

検討ケース	地震規模M (Mw)	M <sub>0</sub> (Nm)	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	断層面積 (km <sup>2</sup> )	傾斜角 (°)	短周期レベル (Nm/s <sup>2</sup> )	アスペリティ面積 (km <sup>2</sup> )	アスペリティ応力降下量 Δσ (MPa)	評価方法
基本ケース	M8.2 (8.2 <sup>※1</sup> )	2.51E+21 <sup>※2</sup>	-	-	-	-	2.02E+20 <sup>※3</sup>	-	-	簡易評価 (記録ベース)
不確かさケース1 想定位置	M8.2 (8.2 <sup>※1</sup> )	2.51E+21 <sup>※2</sup>	-	-	-	-	2.02E+20 <sup>※3</sup>	-	-	簡易評価 (記録ベース)
不確かさケース2 地震規模	M8.6 (8.6 <sup>※1</sup> )	1.00E+22 <sup>※2</sup>	-	-	-	-	3.20E+20 <sup>※3</sup>	-	-	簡易評価 (記録ベース)

※1: M=M<sub>w</sub>

※2: M<sub>0</sub>=10<sup>(1.5M<sub>w</sub>+9.1)</sup>

※3: 笹谷ほか(2006)での短周期レベルA=9.84 × 10<sup>10</sup> × (M<sub>0</sub> × 10<sup>7</sup>)<sup>1/3</sup> の0.7倍

(佐藤(2013)の2011年3月11日15:25(M7.5)三陸沖の地震の短周期レベルと笹谷ほか(2006)の関係を考慮)

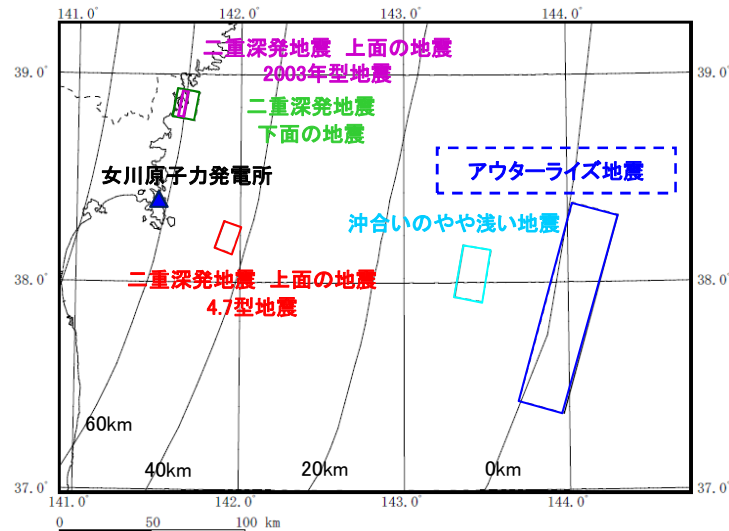
### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

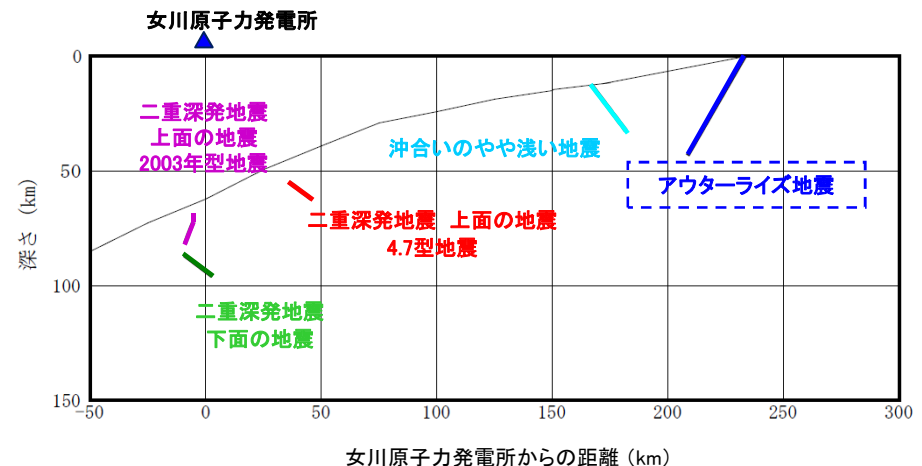
##### ■各検討ケースの評価方法

ケース	M	断層位置	短周期レベル (応力降下量)	評価方法
基本ケース	M8.2	海溝軸より東側 地震本部位置 アウターライズ側	2011.3.11の 三陸沖の地震の 短周期レベル	<簡易評価> アウターライズ地震の2011年3月11日15:25三陸沖の地震(M7.5)のはぎとり波を用いた評価を行う。具体的には、2011年3月11日15:25三陸沖の地震のはぎとり波をM8.2にNoda et al.(2002)を用いて規模補正(M8.2/M7.5)。さらに、想定位置まで距離補正を行い評価。
↓ 基本ケースの結果を基に評価				
不確かさケース1 想定位置	M8.2	海溝軸より西側 地震本部の陸寄り側	2011.3.11の 三陸沖の地震の 短周期レベル	<簡易評価> 基本ケースの評価結果をNoda et al.(2002)で距離補正 (Xeq253km/Xeq190km)を行い評価。
不確かさケース2 地震規模	M8.6	海溝軸より東側 地震本部位置 アウターライズ側	2011.3.11の 三陸沖の地震の 短周期レベル	<簡易評価> 基本ケースの評価結果をNoda et al.(2002)で規模補正 (M8.6/M8.2)を行い評価。

※想定する位置、規模はNoda et al.(2002)の適用範囲外。



断層位置 模式図(平面図)



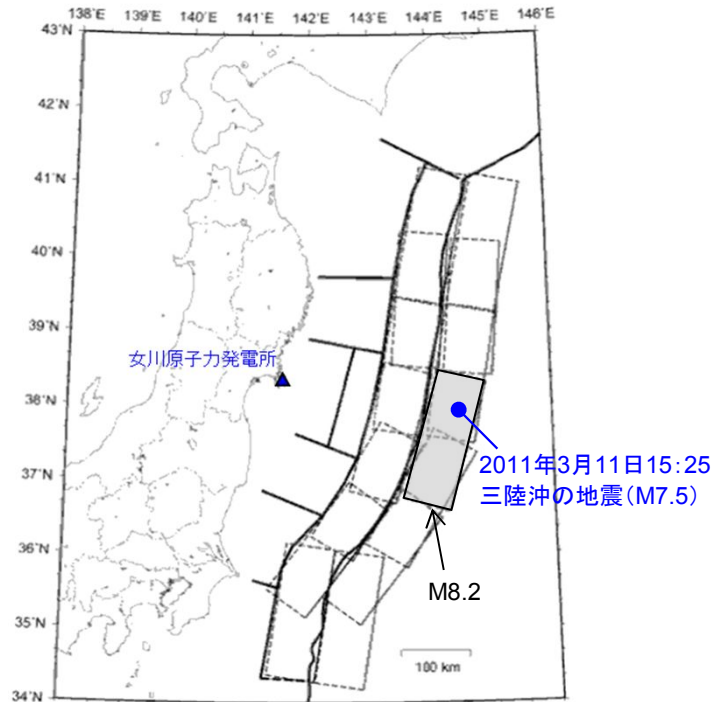
断層位置 模式図(断面図)

### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

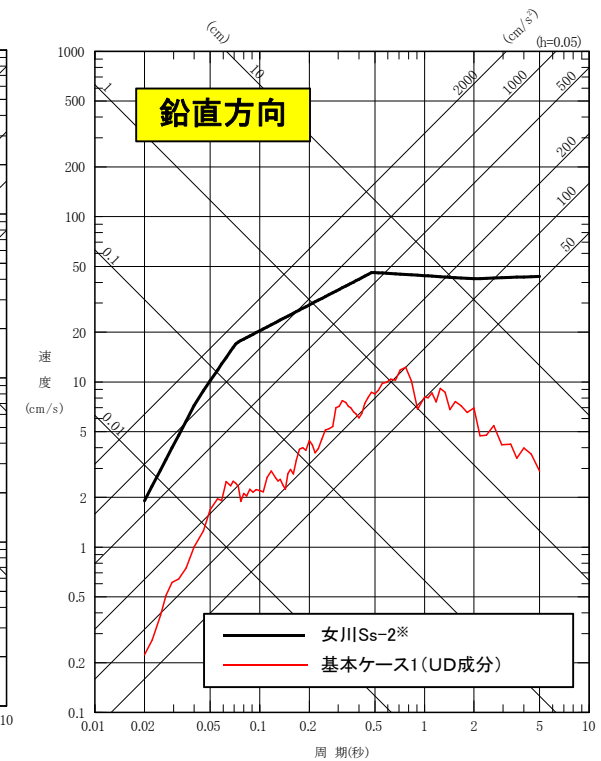
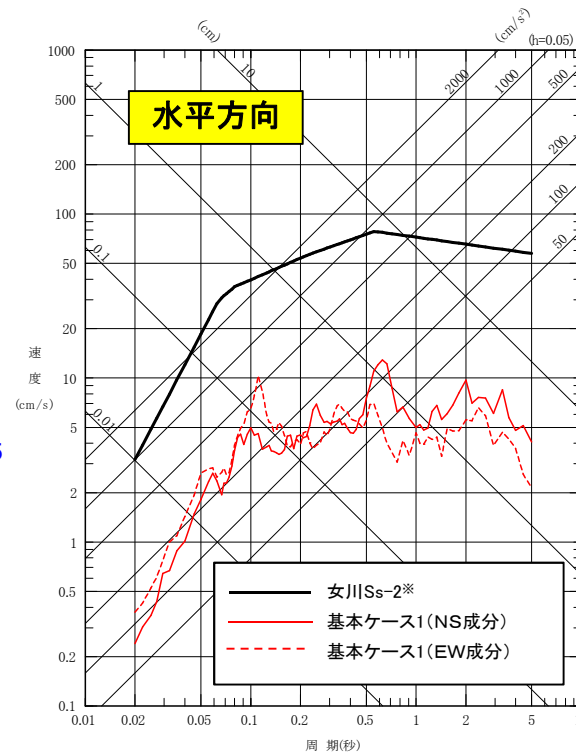
##### ■ 基本ケースの評価結果(応答スペクトル)

- ・簡易評価:2011年3月11日三陸沖の地震(M7.5)の観測記録(はぎとり波)を, Noda et al.(2002) を用いてM8.2に規模を補正(M8.2/M7.5)。さらに, 想定位置まで距離補正( $X_{eq}=290\text{km} \rightarrow X_{eq}=253\text{km}$ )を行い評価。



海溝寄り (正断層)

太平洋プレートで発生する長期評価された地震のうち  
震源が特定されていない地震の断層面  
(地震本部(2013)に一部加筆)



※女川Ss-2:平成25年12月申請

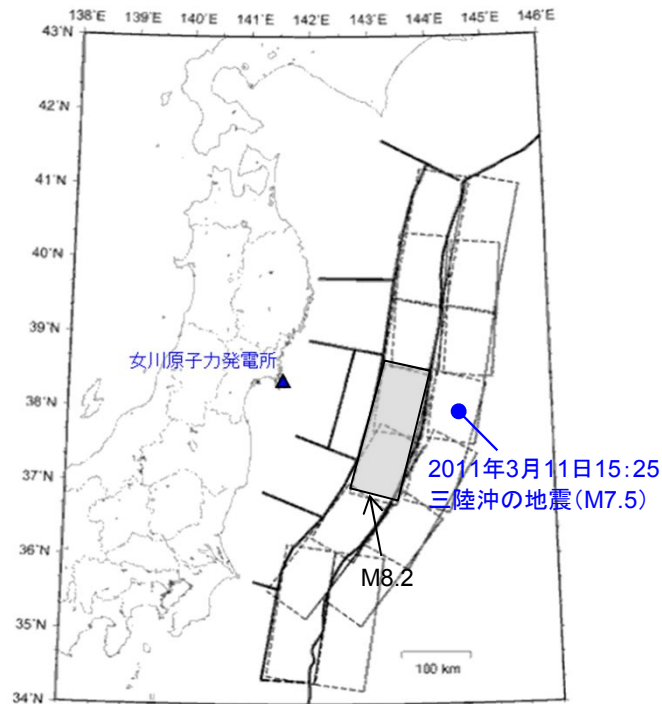
### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

#### 3.1 アウターライズ地震

##### ■不確かさケース1(想定位置)の評価結果(応答スペクトル)

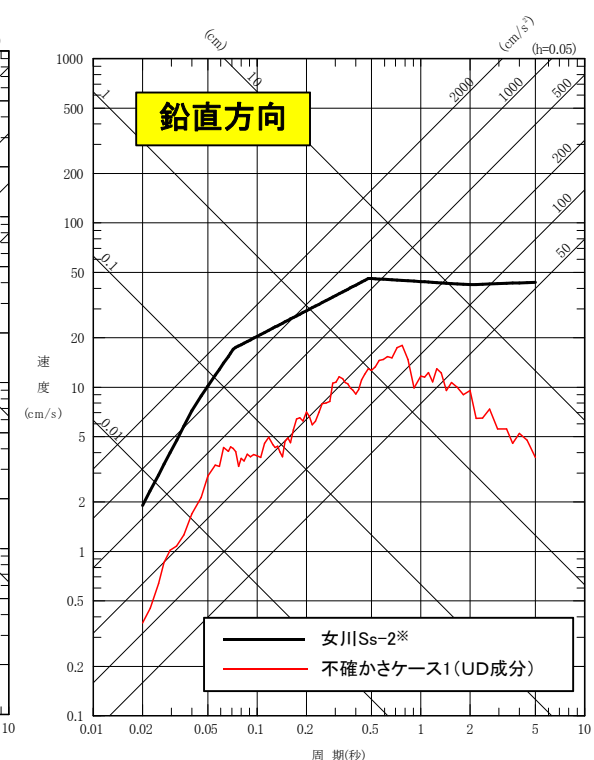
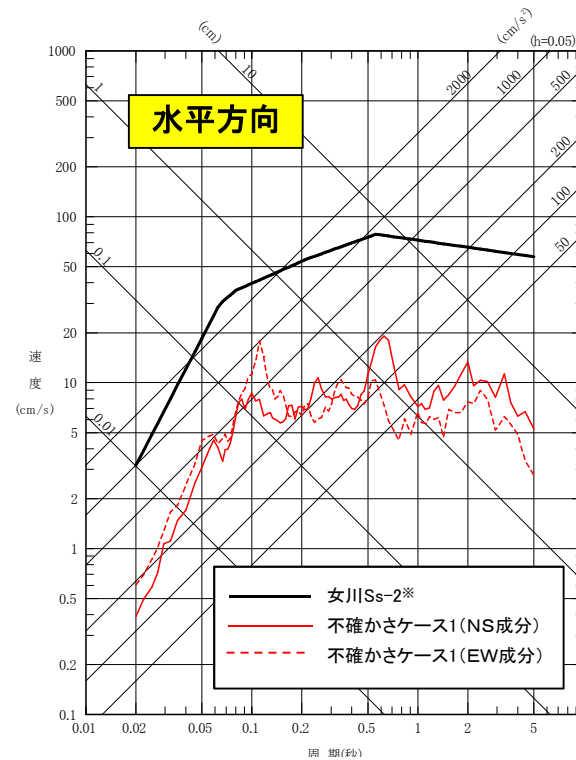
・簡易評価:地震本部(2013)の断層面を海溝軸より陸側(西側)に移動

⇒基本ケースの簡易評価結果をNoda et al.(2002)で距離補正( $X_{eq}=253\text{km}\rightarrow X_{eq}=190\text{km}$ )を行い評価。



海溝寄り (正断層)

太平洋プレートで発生する長期評価された地震のうち  
震源が特定されていない地震の断層面  
(地震本部(2013)に一部加筆)



※女川Ss-2:平成25年12月申請

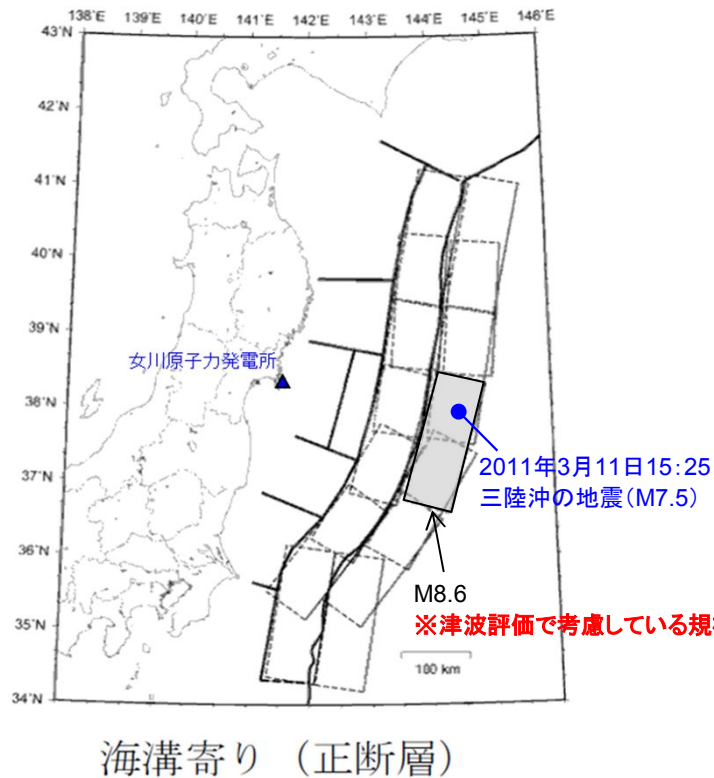


### 3. 沈み込む海洋プレート内地震の検討ケース

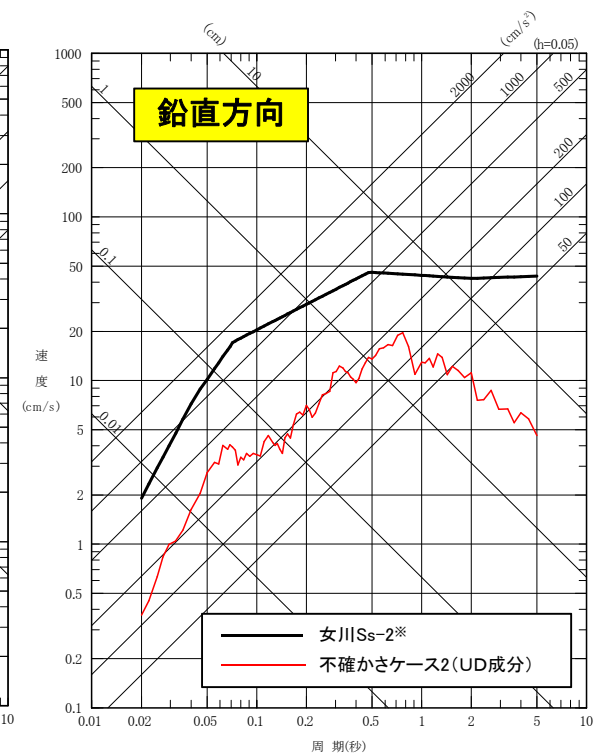
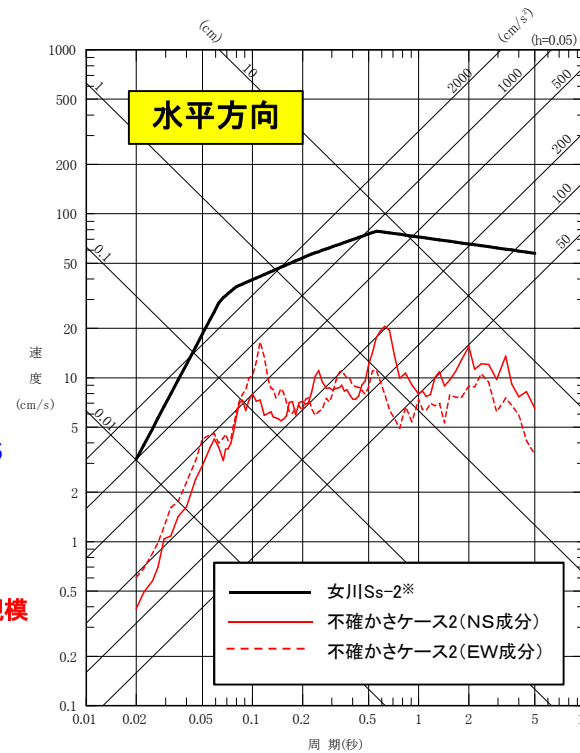
#### 3.1 アウターライズ地震

##### ■不確かさケース2(地震規模)の評価結果(応答スペクトル)

・簡易評価:基本ケースの簡易評価結果をNoda et al.(2002)で規模補正(M8.6/M8.2)を行い評価。



太平洋プレートで発生する長期評価された地震のうち  
震源が特定されていない地震の断層面  
(地震本部(2013)に一部加筆)



※女川Ss-2:平成25年12月申請

## 4. 海洋プレート内地震のその他の検討ケース

### 4.1 敷地下方に想定する海洋プレート内地震

#### ■ 敷地下方に想定する海洋プレート内地震

・内陸地殻内地震に対しては、「震源を特定せず策定する地震動」を考慮している。  
これは、“敷地周辺の状態等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお、敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れない”ことから考慮しているもの。

・検討用地震として考慮した4.7型地震は敷地に対して最も厳しい位置で発生した地震であるが、その他にも規模の小さい地震については敷地下方で発生する可能性も否定出来ないことから、**敷地下方に一定の規模の地震の発生を考慮した検討を行う。**  
・具体的には、女川原子力発電所の下方で発生するタイプの地震としては、海洋プレートとの位置関係から、『二重深発地震 上面の地震 2003年型地震』と『二重深発地震 下面の地震』について検討する。



#### 【地震規模】

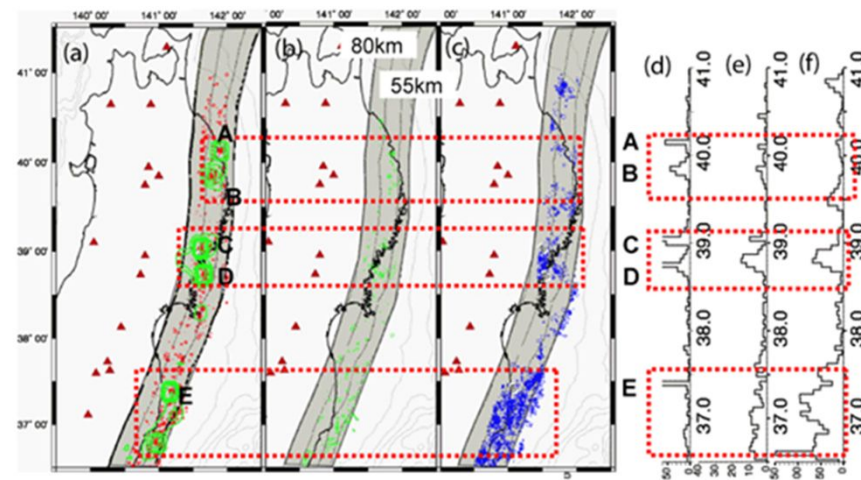
・敷地極く近傍は、規模の大きい上面、下面の地震の発生が指摘されている箇所（「上面・面間・下面の微小地震の集中箇所」）では無いため、考慮すべき地震としては集中箇所で発生した地震（2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)や2008年岩手県沿岸北部の地震(M6.8))より小さい規模の地震の想定が考えられるが、ここでは保守的な評価として上・下面ともM7.1の規模の地震を想定。



#### 【評価方法】

##### ・簡易評価

- ①上面の地震: 2003年5月26日宮城県沖の地震のはざとり波を敷地直下まで距離減衰式により補正。
- ②下面の地震: 断層モデル(M7.5)結果を規模と距離を距離減衰式により補正。



■ (a) 上面下部, (b) 面間 及び(c) 下面の地震の震央分布 (Kita et al.(2007))

## 4. 海洋プレート内地震のその他の検討ケース

### 4.1 敷地下方に想定する海洋プレート内地震

#### ■敷地下方に想定する海洋プレート内地震の簡易評価方法

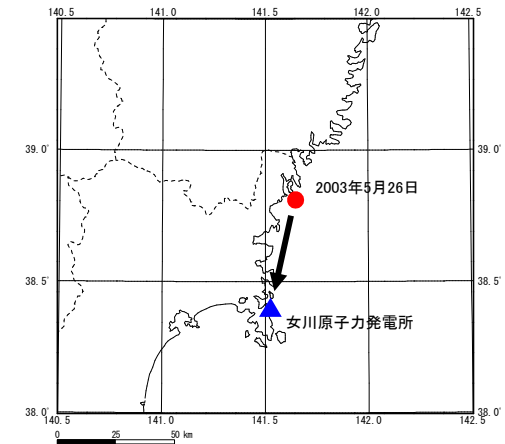
司・翠川(1999)の海洋プレート内地震の距離減衰式に基づき評価 ( $M_j = M_w$ として検討)

$$\log PGA = 0.50 M_w + 0.0043 D + 0.83 - \log(X_{sh} + 0.0055 \times 10^{0.5 M_w}) - 0.003 X_{sh}$$

#### <敷地下方に想定する上面の地震>

- ・2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)を敷地直下に想定する。
- ・同地震のはぎとり波を、距離減衰式による評価結果に基づき補正(×1.29倍)。

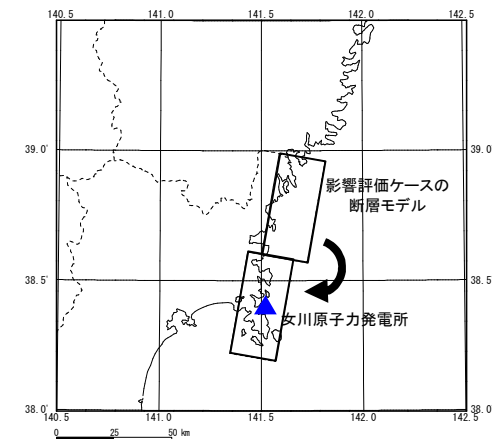
位置	M <sub>w</sub>	X <sub>sh</sub> : 断層最短距離 (km)	D: 震源深さ (km)	最大加速度 (gal)
本震位置	7.1	87	72	252
敷地直下	7.1	72	72	325



#### <敷地下方に想定する下面の地震>

- ・二重深発地震下面の地震[影響評価ケース(M7.5)]の評価結果を、距離減衰式による評価結果に基づき敷地直下のM7.1に補正(×0.71倍)。

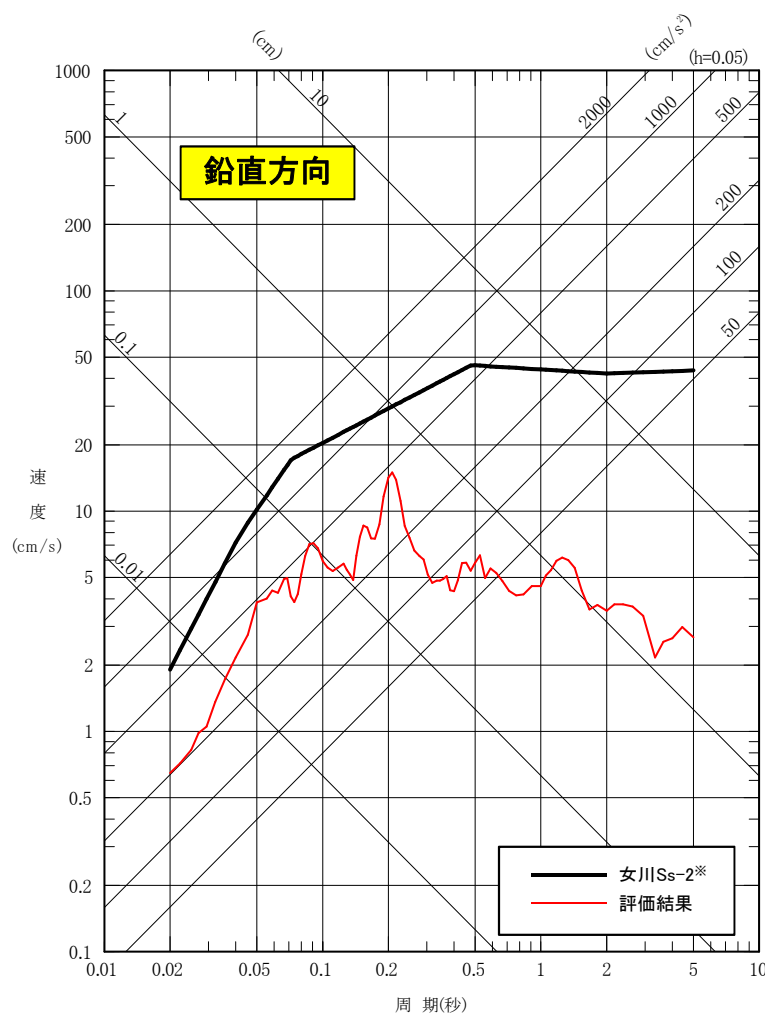
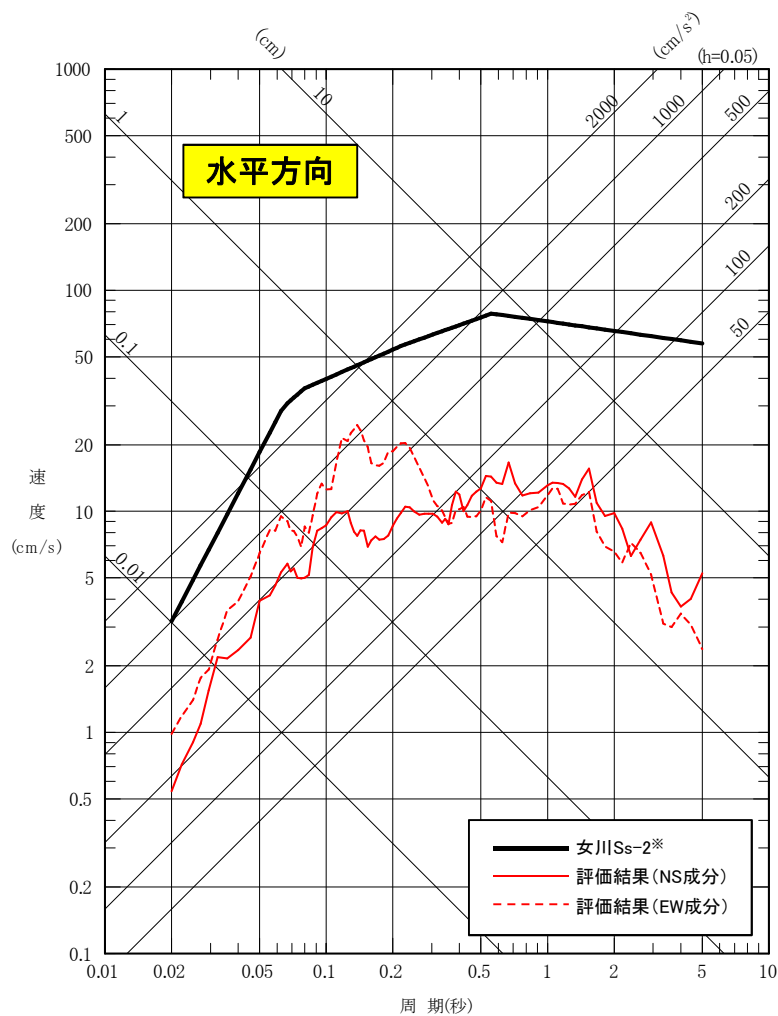
位置	M <sub>w</sub>	X <sub>sh</sub> : 断層最短距離 (km)	D: 震源深さ (km)	最大加速度 (gal)
影響評価 ケース	7.5	90	94.8	432
敷地直下	7.1	90	97.2	308



## 4. 海洋プレート内地震のその他の検討ケース

### 4.1 敷地下方に想定する海洋プレート内地震

#### ■敷地下方に想定する海洋プレート内地震 上面の地震 評価結果 <応答スペクトル>

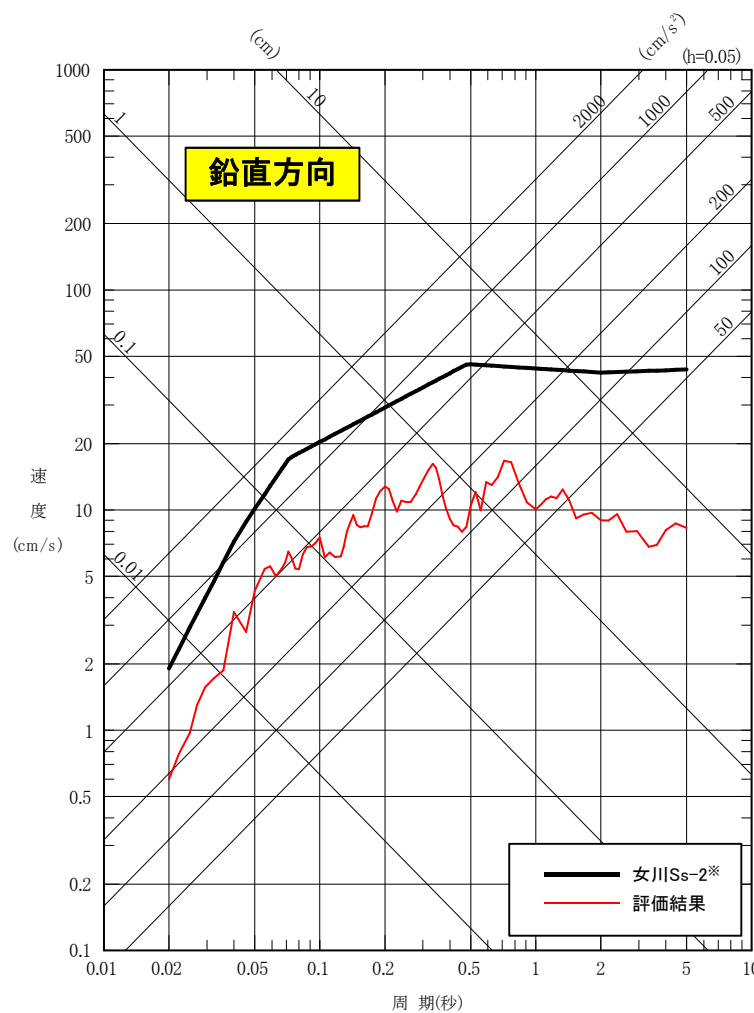
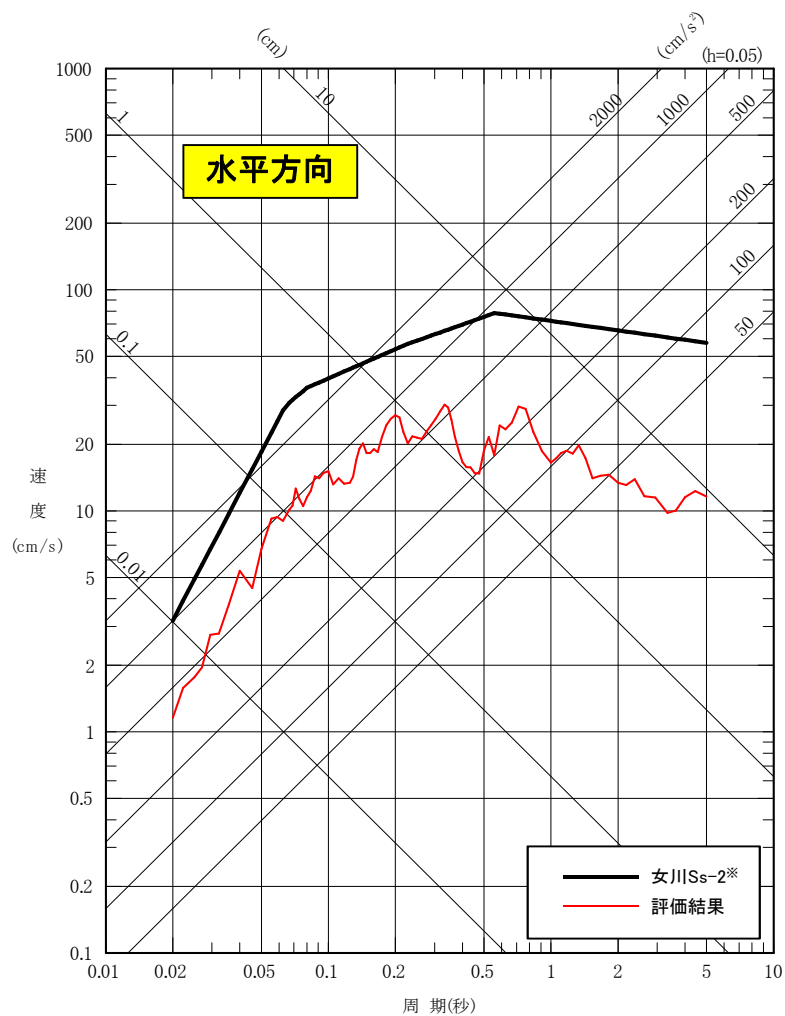


※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## 4. 海洋プレート内地震のその他の検討ケース

### 4.1 敷地下方に想定する海洋プレート内地震

#### ■敷地下方に想定する海洋プレート内地震 下面の地震 評価結果 <応答スペクトル>



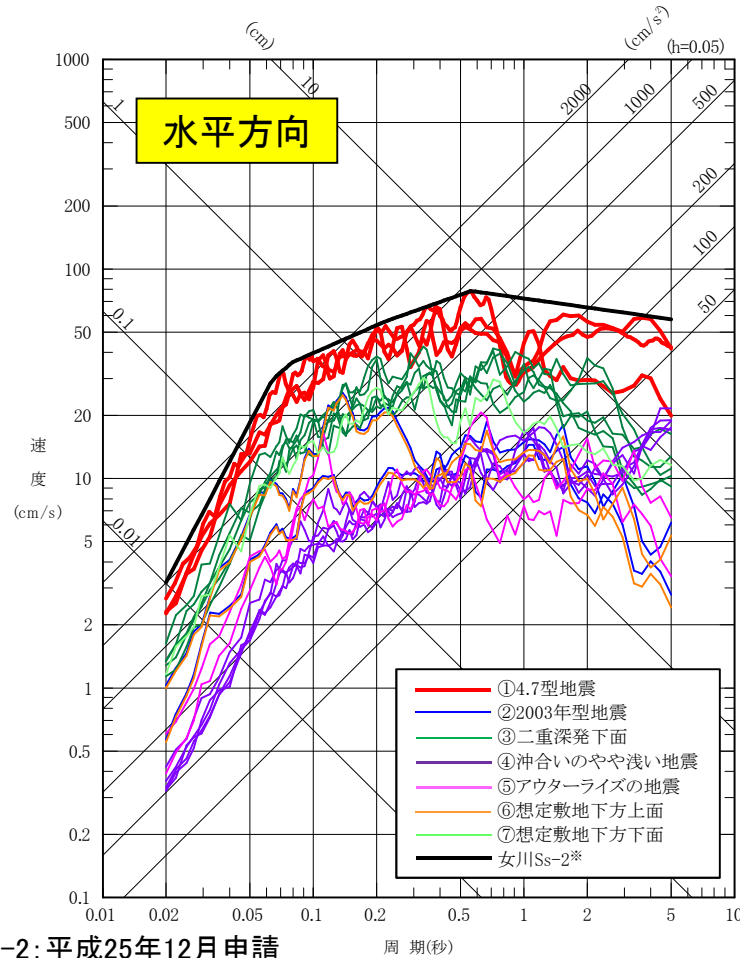
※女川Ss-2:平成25年12月申請

### Ⅲ. 海洋プレート内地震の地震動評価

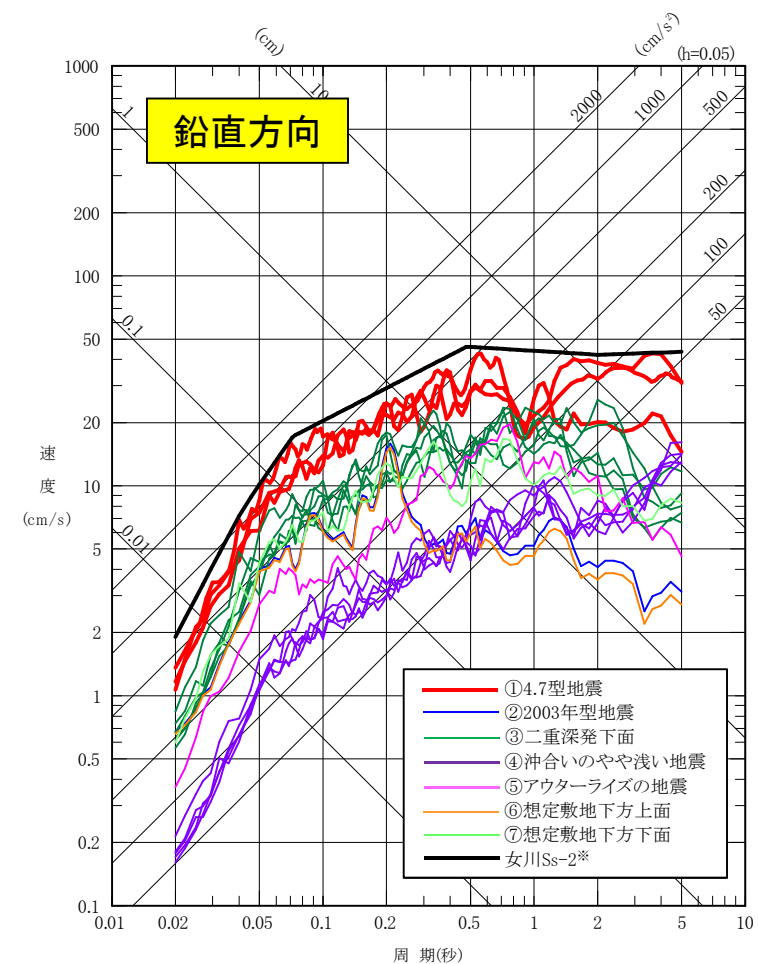
#### 5. 検討用地震の選定

##### ■ 地震動評価の比較

- ・地震発生様式毎に敷地に影響の大きいケース(影響評価ケースも含む)について比較。



※女川Ss-2: 平成25年12月申請



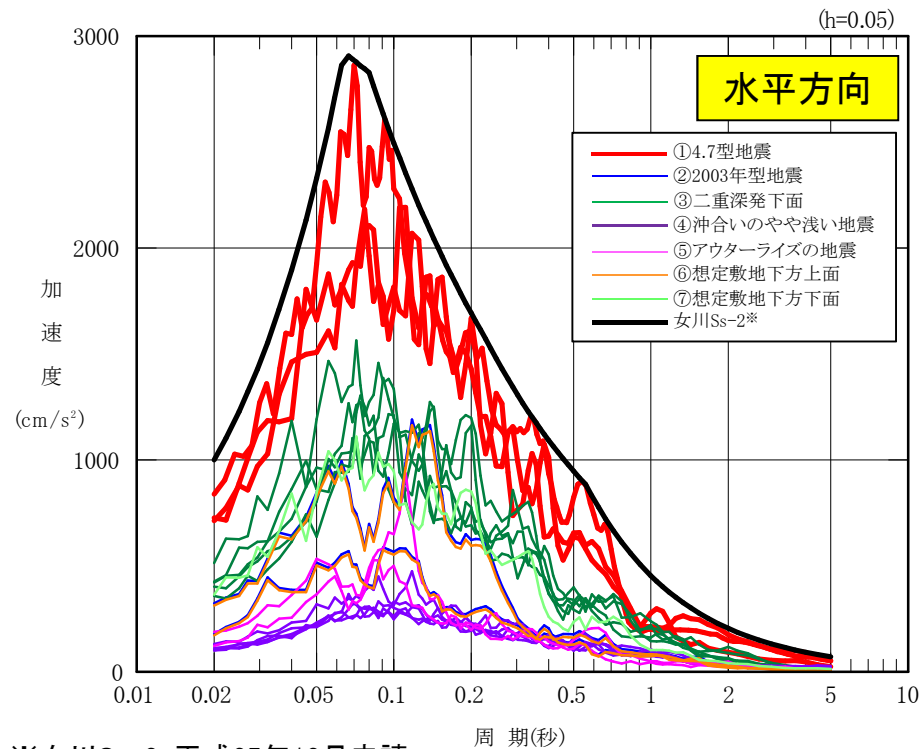
敷地への影響が最も大きい二重深発地震上面の地震の「4.7型地震(2011年4月7日宮城県沖型地震)」を検討用地震として選定する。

### Ⅲ. 海洋プレート内地震の地震動評価

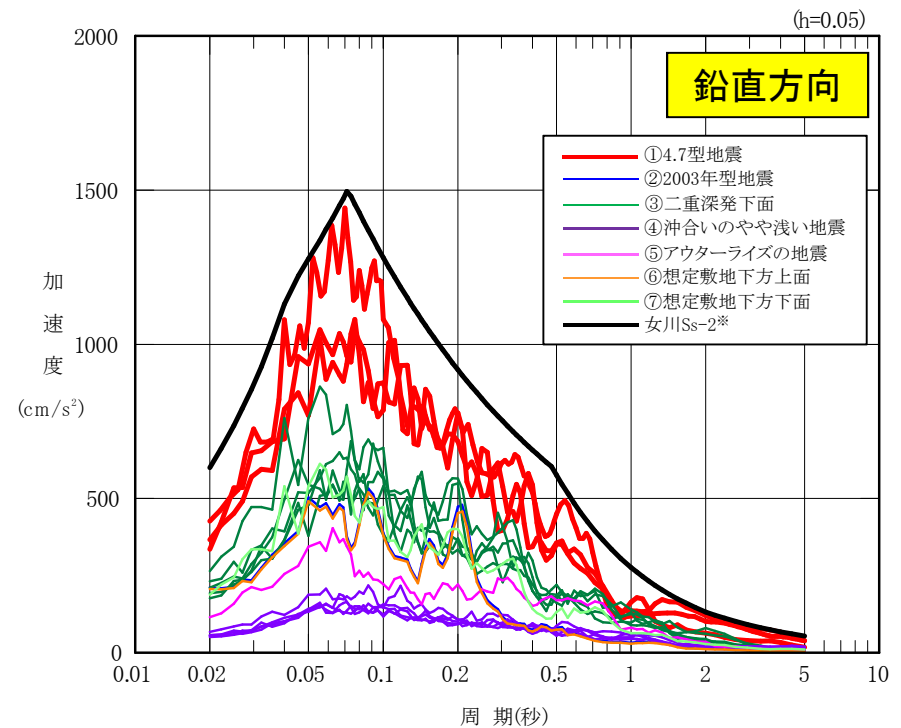
#### 5. 検討用地震の選定

##### ■ 地震動評価の比較

- ・地震発生様式毎に敷地に影響の大きいケース(影響評価ケースも含む)について比較。



※女川Ss-2: 平成25年12月申請



敷地への影響が最も大きい二重深発地震上面の地震の  
「4.7型地震(2011年4月7日宮城県沖型地震)」を検討用地震として選定する。

## IV. 検討用地震の地震動評価

---

No.	コメント時期	コメント内容
S51	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の応答スペクトルによる方法について、用いている耐専スペクトルの補正係数について詳しく説明すること。



## IV. 検討用地震の地震動評価

### 1. 検討用地震の地震動評価 概要

#### ■ 検討用地震の地震動評価

- 検討用地震の「4.7型地震(2011年4月7日宮城県沖型地震)」について以下の地震動評価を行う。

#### ○ 応答スペクトルに基づく地震動評価

- ・Noda et al.(2002)の方法を用いた地震動評価を行う。
- ・なお、敷地での海洋プレート内地震の観測記録によるサイト補正係数を考慮する。

#### ○ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- ・評価結果は前述のP.39～P.69による。

#### ■ 検討ケース(P.35の再掲)

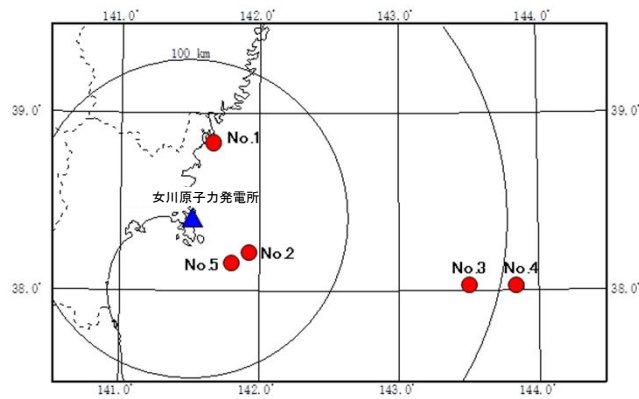
検討ケース	断層モデルの設定条件						評価方法	備考
	地震規模M	断層の位置	破壊開始点	アスペリティの位置	短周期レベル(応力降下量)	傾斜角		
基本ケース	M7.2	地震発生箇所	—	—	4.7地震の短周期レベル	—	簡易評価(観測記録)	4.7地震の敷地での観測記録(はざとり波)で代表
不確かさケース1 地震規模	M7.5	地震波トモグラフィ低速度域	複数	拡張側は断層上端	4.7地震の短周期レベル	37°	詳細評価	地震規模(M)の設定に間接的な知見を反映
不確かさケース2 想定位置	M7.5	海洋地殻上端に配置	複数	断層上端	笹谷ほか(2006)の短周期レベル	37°	詳細評価	モデルの設定は笹谷ほか(2006)による

- : 予めモデルに織り込む不確かさ  
 : 考慮する不確かさ

## IV. 検討用地震の地震動評価 2. 応答スペクトルに基づく地震動評価

### ■補正係数の算定方法

- ・敷地で観測された海洋プレート内地震はプレート間地震と比較して少なく、Noda et al.(2002)のデータの範囲(M=5.5~7.0, Xeq=28~202km, 評価式を確認したデータセットM=5.4~8.1, Xeq=14~218km)に対応する海洋プレート内地震の数は限られている。
- ・地震数は少ないが、敷地から約200kmの範囲内で発生したM6以上の海洋プレート内地震5地震を対象とし、これらの観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)に基づく応答スペクトルの比の平均値をサイト補正係数として考慮する。
- ・サイト補正係数のコントロールポイントは、Noda et al.(2002)によるコントロールポイントの周期(8点)の値とする。



サイト補正係数算定に用いた地震の震央分布

サイト補正係数算定に用いた地震の諸元

No.	発生日時	M	震央距離 (km)	震源深さ (km)
1	2003年5月26日	7.1	48	72
2	2011年4月7日	7.2	43	66
3	2011年7月10日	7.3	180	34
4	2012年12月7日	7.3	211	49
5	2013年8月4日	6.0	37	58

※地震諸元: 気象庁地震カタログ

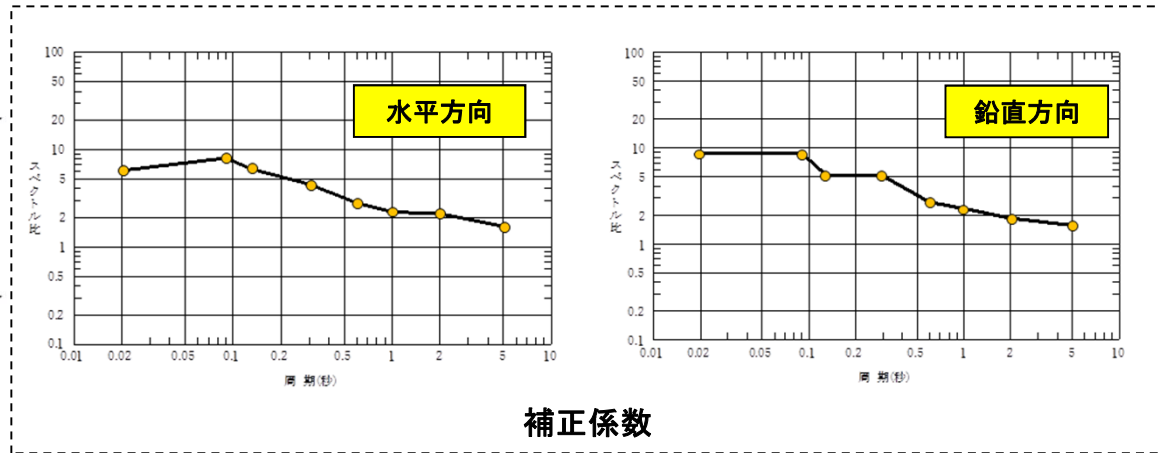


Table 1. Control Points of Horizontal Earthquake Motion on Seismic Bedrock

Field	M	Xeq (km)	Coordinates of Control Points pSv (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			TA(s)	TB(s)	TC(s)	TD(s)	TE(s)	TF(s)	TG(s)	TH(s)
			0.02	0.09	0.13	0.3	0.6	1	2	5
Very Near	8.5	40	1.82	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
Near	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.85	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
Inter mediate	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	18.04	14.98	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
Far	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05

The value of pSv is pseudo-velocity response spectrum with a damping factor of 5%.

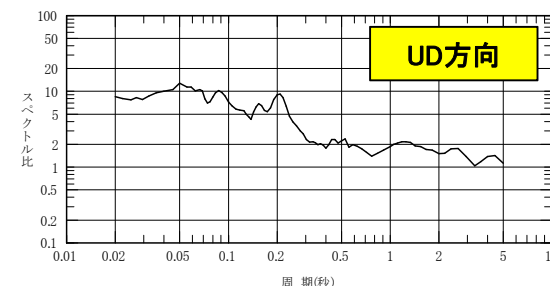
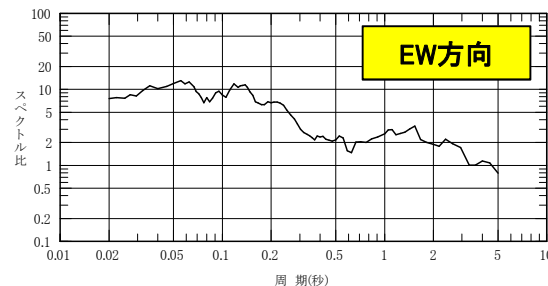
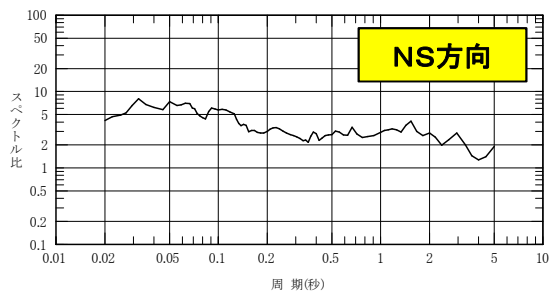
Noda et al.(2002)のコントロールポイント



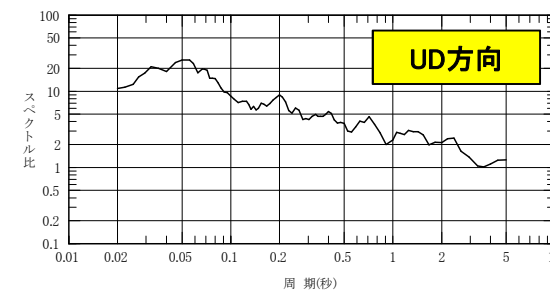
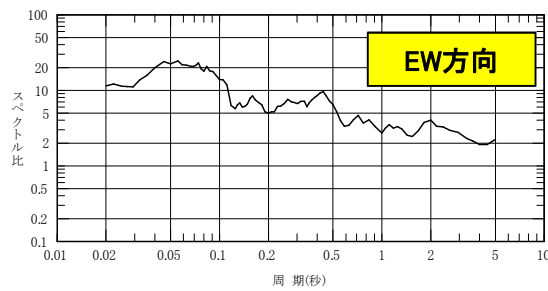
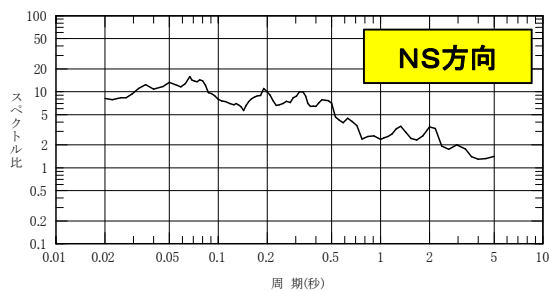
# IV. 検討用地震の地震動評価

## 2. 応答スペクトルに基づく地震動評価

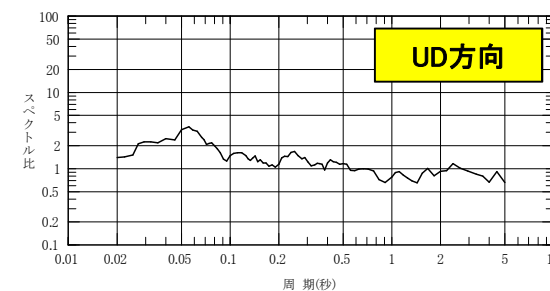
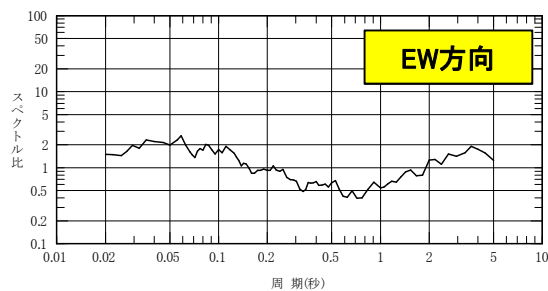
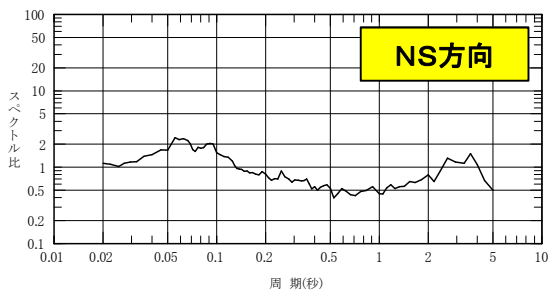
### ■ 観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)に基づく応答スペクトルの比



No.1 2003年5月26日の地震(M7.1)



No.2 2011年4月7日の地震(M7.2)

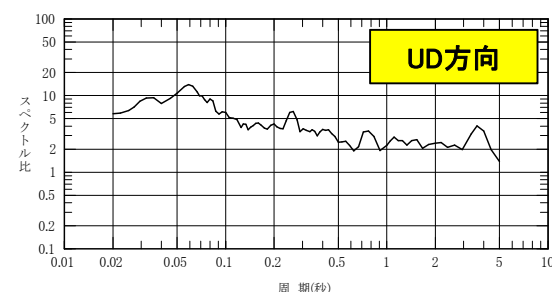
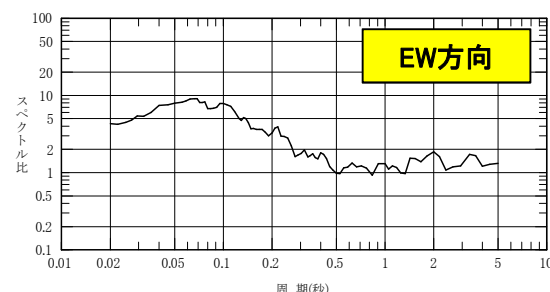
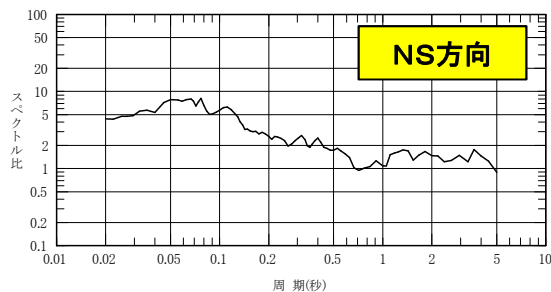


No.3 2011年7月10日の地震(M7.3)

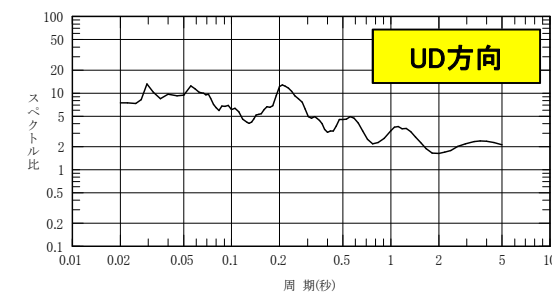
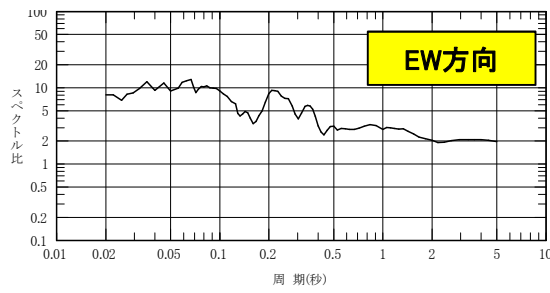
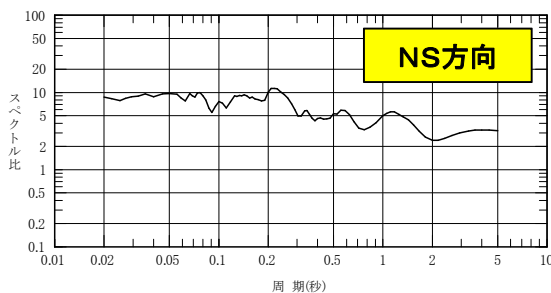
# IV. 検討用地震の地震動評価

## 2. 応答スペクトルに基づく地震動評価

### ■ 観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)に基づく応答スペクトルの比



No.4 2012年12月7日の地震(M7.3)

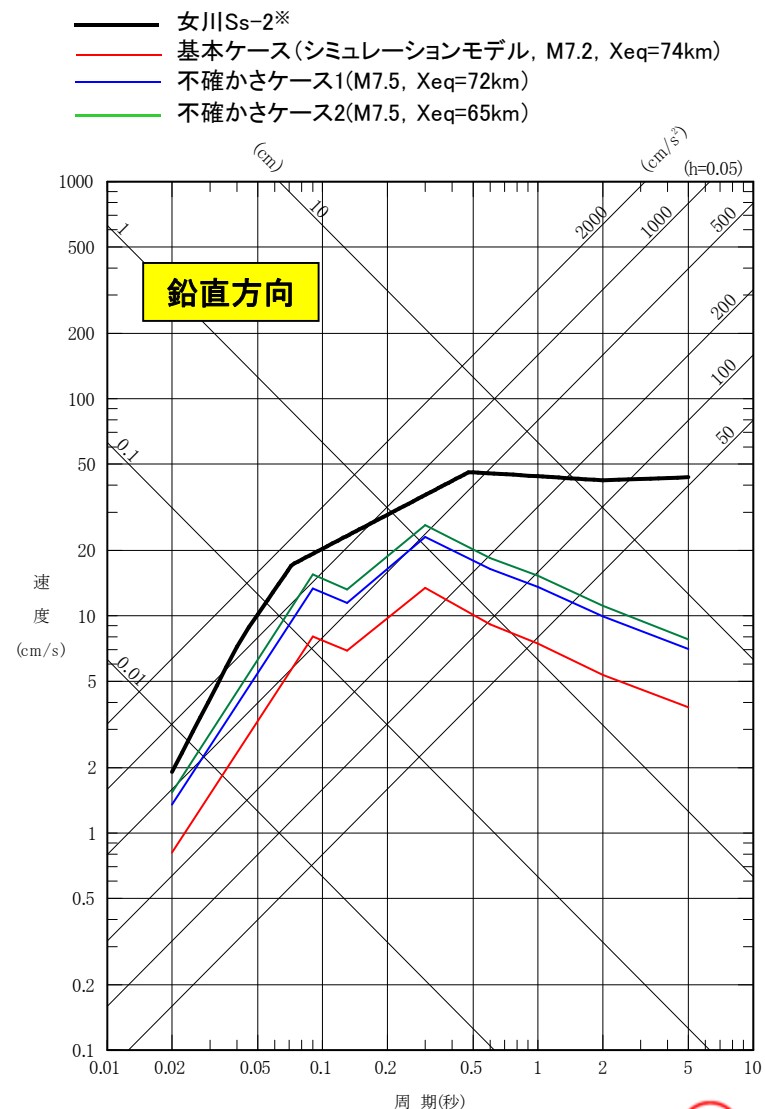
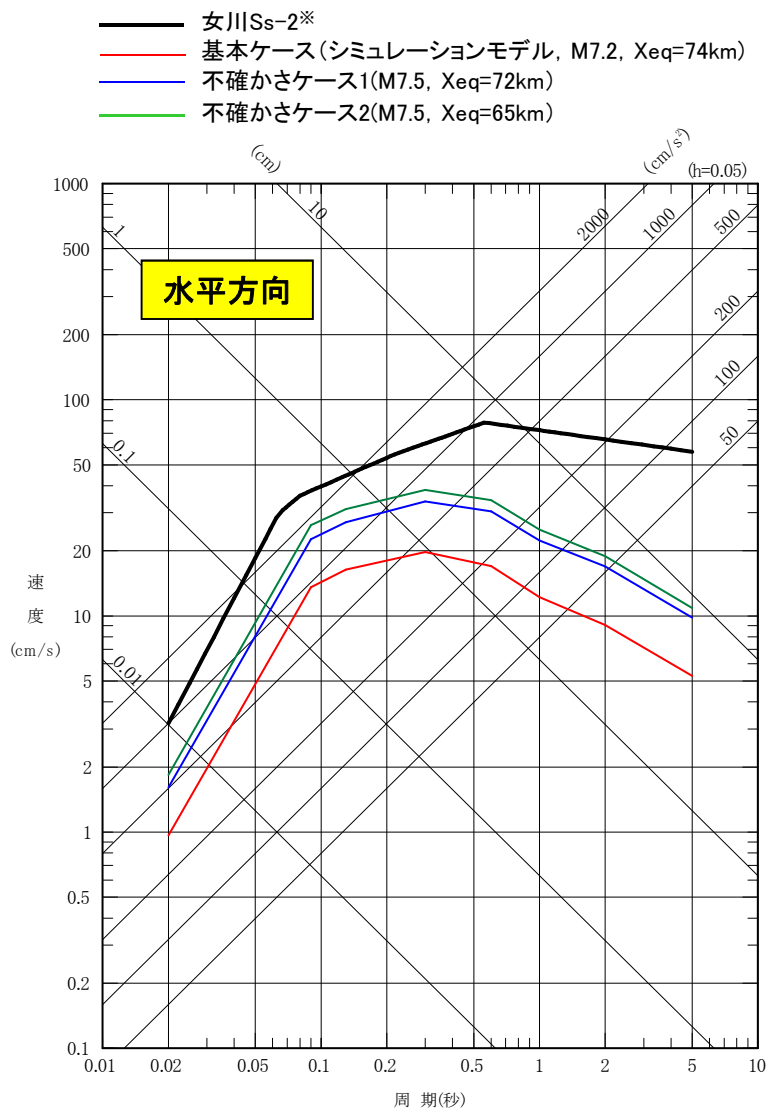


No.5 2013年8月4日の地震(M6.0)

# IV. 検討用地震の地震動評価

## 2. 応答スペクトルに基づく地震動評価

### ■ 応答スペクトルに基づく評価



※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

No.	コメント時期	コメント内容
S43	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルを用いた地震動評価は統計的グリーン関数法だけではなく、4.7地震の余震等の記録を用いた経験的グリーン関数法による検討を行うこと。
S44	1月9日 第180回審査会合	プレート内の断層モデルを用いた地震動評価のうち統計的グリーン関数法の放射特性について整理し説明すること。
S48	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルのアスペリティの設定の考え方について整理すること。また、アスペリティの面積比( $S_a/S$ )等の違いによる影響について断層モデルを用いた検討を行うこと。
S50	1月9日 第180回審査会合	プレート内地震の断層モデルの設定において、笹谷ほか(2006)により設定した場合の影響について検討すること。

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

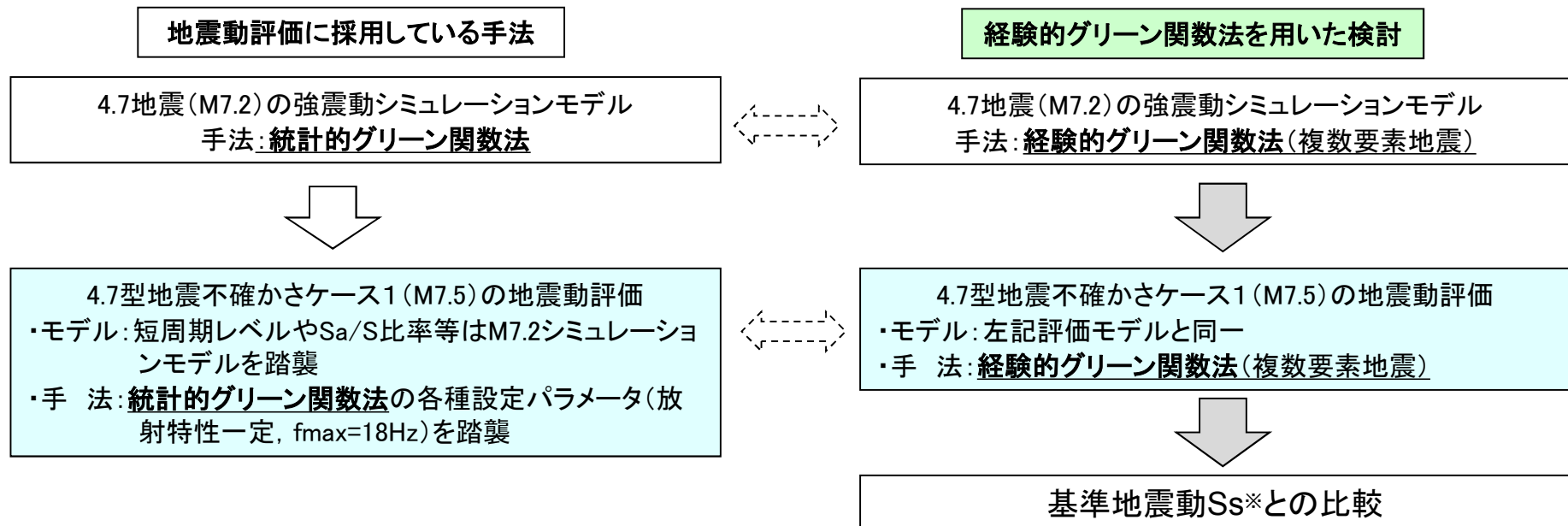
### 1. 経験的グリーン関数法による検討

#### ■二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の経験的グリーン関数法による検討

- ・4.7型地震の不確かさケース1 (M7.5)の地震動評価は、4.7地震(2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2))の敷地での観測記録との整合性を統計的グリーン関数法により確認したシミュレーションモデルを踏襲している。従って、本評価方法は審査ガイドに記載されている「手法の妥当性」を示した手法の採用に該当すると考えている。
- ・一方、審査ガイドでは、要素地震としての観測記録がある場合は、経験的グリーン関数法を用いた地震動評価についての確認を行う旨の記載があるため、経験的グリーン関数法を用いた4.7地震のシミュレーション解析と4.7型地震の不確かさケース1 (M7.5)の地震動評価を実施した。
- ・評価に当たっては、4.7地震の周辺では4.7地震の余震等が多数発生していることから、これらの地震(複数要素地震)を用いた経験的グリーン関数法により地震動評価を行った。

#### 【複数の要素地震を用いる優位性】

- ・震源、伝播、サイト特性の各特徴について、複数の記録に共通した特徴をより反映することが可能。
- ・中小地震の特性によって生じている固有の特徴については、排除(平均化)することが可能。



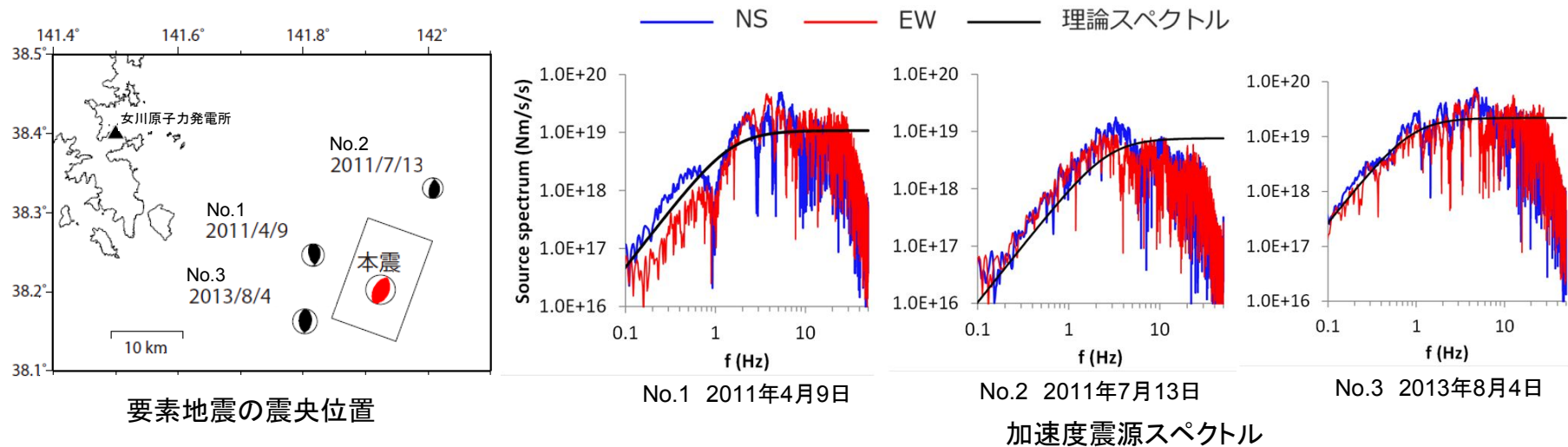
## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 1. 経験的グリーン関数法による検討(シミュレーションモデル)

#### ■シミュレーションモデルでの経験的グリーン関数法による評価

#### ○経験的グリーン関数法に用いる要素地震の選定

- ・本震と震源位置が近く、震源メカニズムが4.7地震と同様の逆断層型の地震であり、周期10秒までSN比が明瞭な3地震を要素地震として選定した。
- ・選定した複数の地震(3地震)を各要素にランダムに配置し波形合成を行った(小穴ほか(2015))。



要素地震の諸元

No.	発震の発生日時	震央位置 (経度, 緯度)	地震規模	震源深さ (km)	地震モーメント $M_0$ (Nm)	臨界振動数 $f_c$ (Hz)	応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)
1	2011年4月 9日 18:42	141.82° , 38.25°	M5.4	58	1.21E+17	1.50	53.7
2	2011年7月13日 0:37	142.01° , 38.33°	M5.1	47	2.64E+16	2.70	68.4
3	2013年8月 4日 12:28	141.80° , 38.16°	M6.0	58	6.86E+17	0.90	65.8

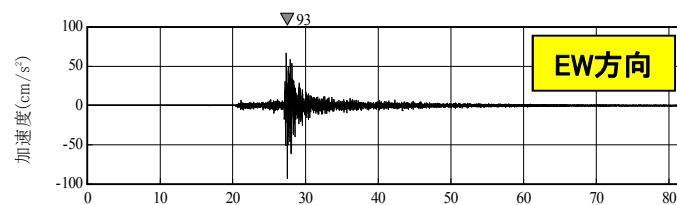
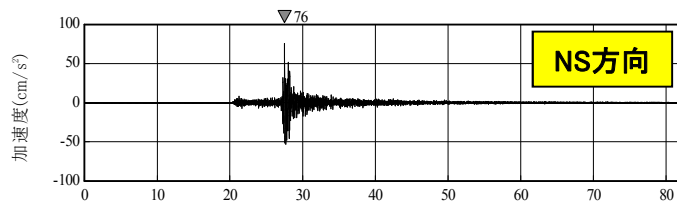
※地震諸元は、気象庁による。地震モーメント $M_0$ は、F-netによる。 $f_c$ は、震源スペクトルより設定。



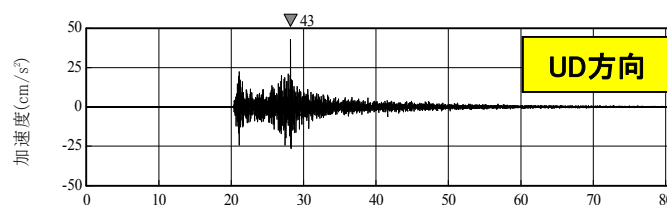
# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 1. 経験的グリーン関数法による検討(シミュレーションモデル)

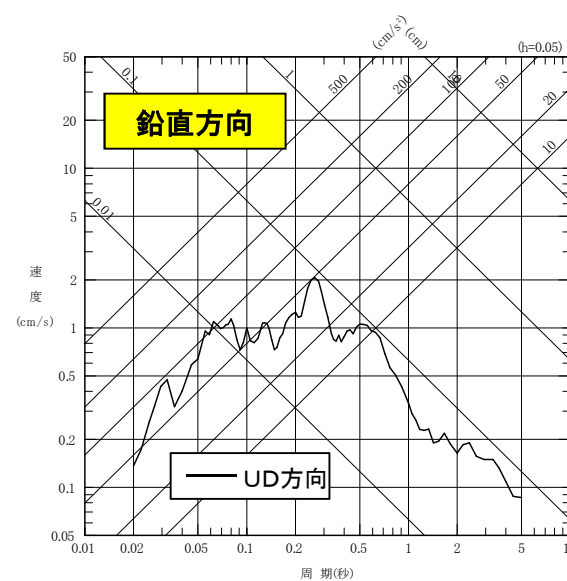
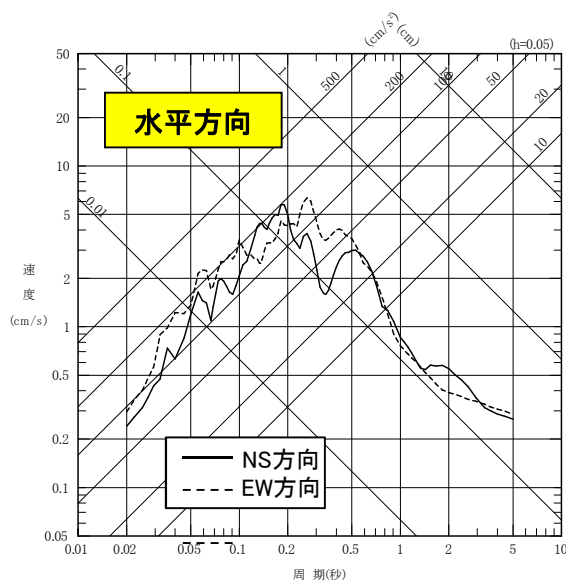
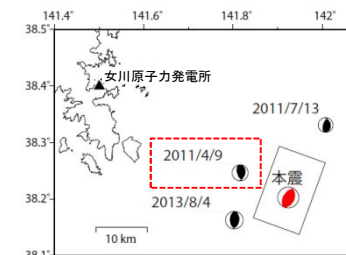
### ■要素地震の観測記録(1) [解放基盤相当(O.P.-8.6m)でののはざとり波]



時間(秒)



時間(秒)

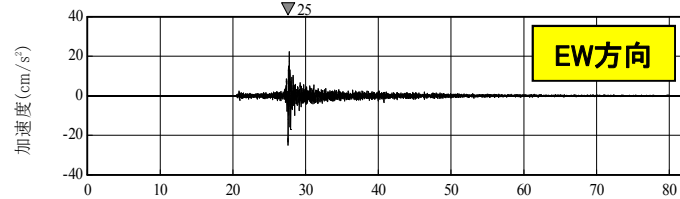
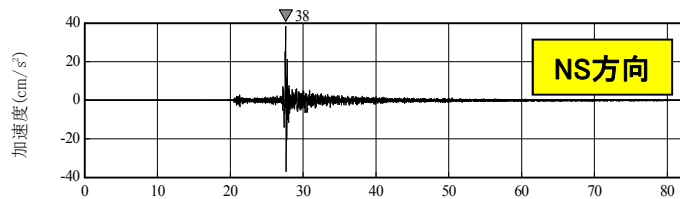


No.1 2011年4月9日(18:42)の地震

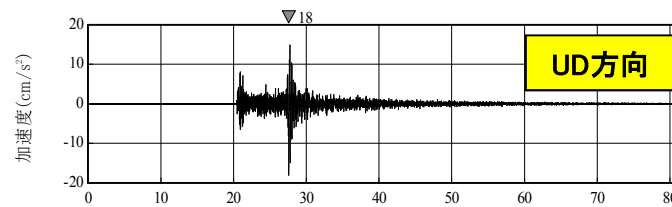
# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 1. 経験的グリーン関数法による検討(シミュレーションモデル)

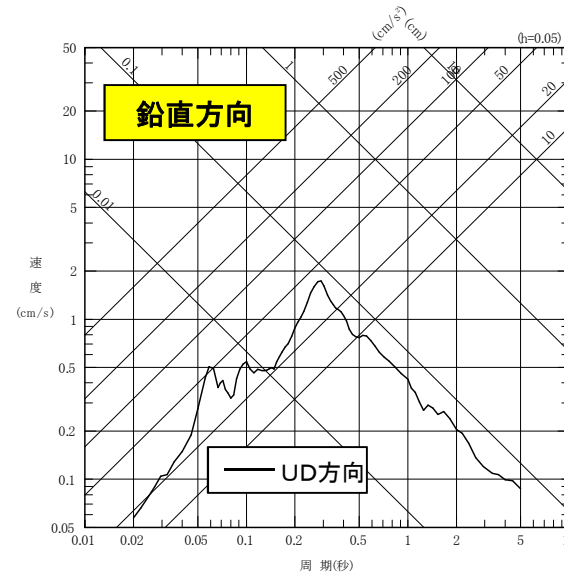
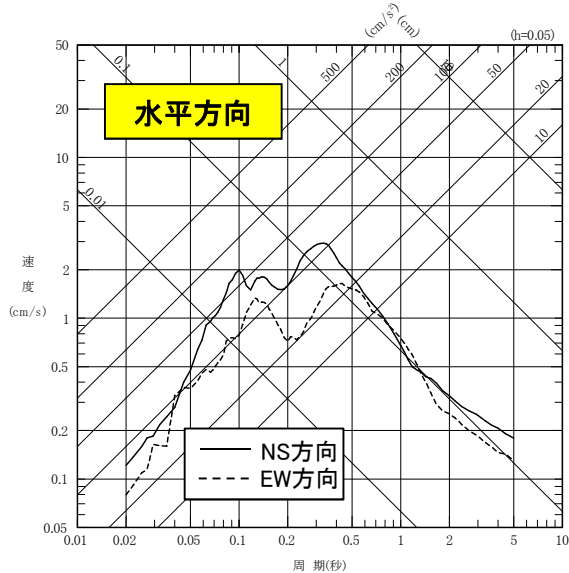
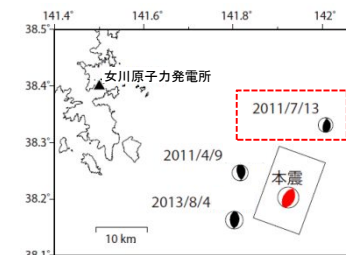
### ■要素地震の観測記録(2) [解放基盤相当(O.P.-8.6m)でののはざとり波]



時間(秒)



時間(秒)

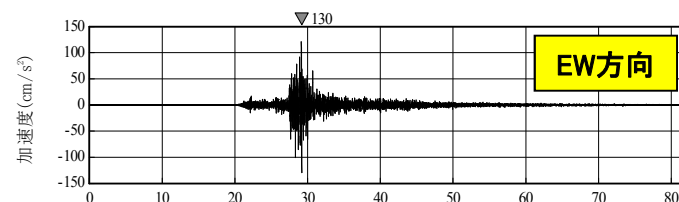
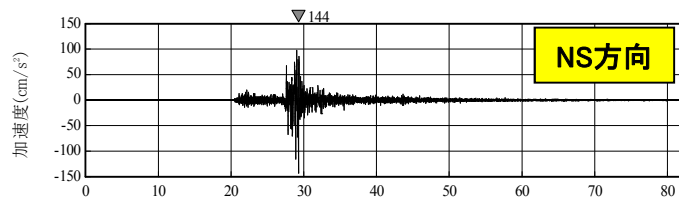


No.2 2011年7月13日(0:37)の地震

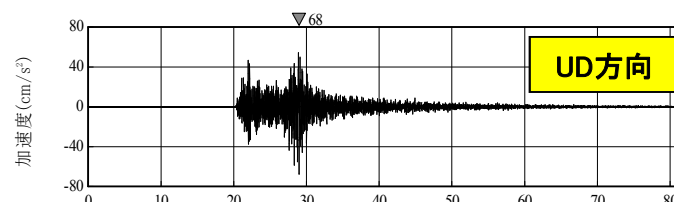
# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 1. 経験的グリーン関数法による検討(シミュレーションモデル)

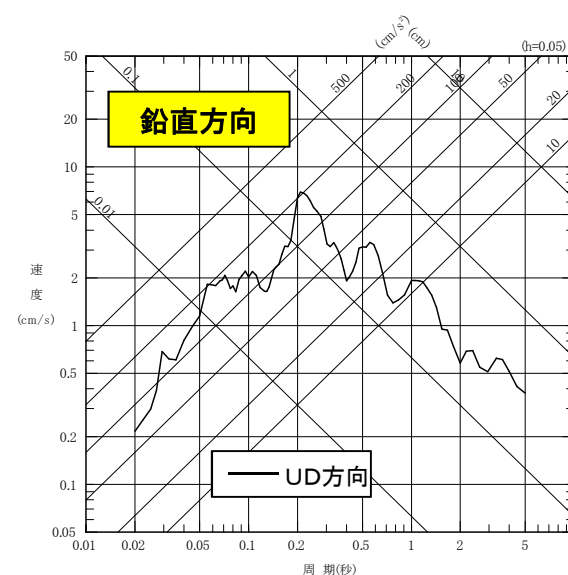
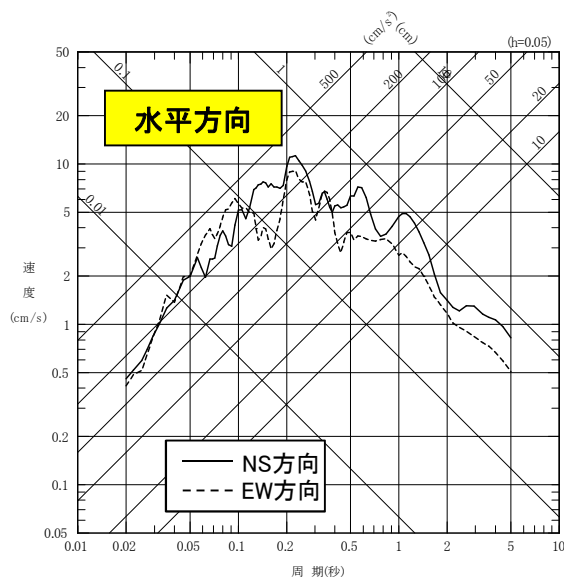
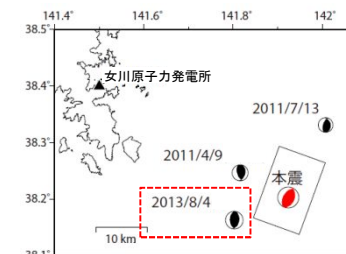
### ■要素地震の観測記録(3) [解放基盤相当(O.P.-8.6m)でののはざとり波]



時間(秒)



時間(秒)



No.3 2013年8月4日(12:28)の地震

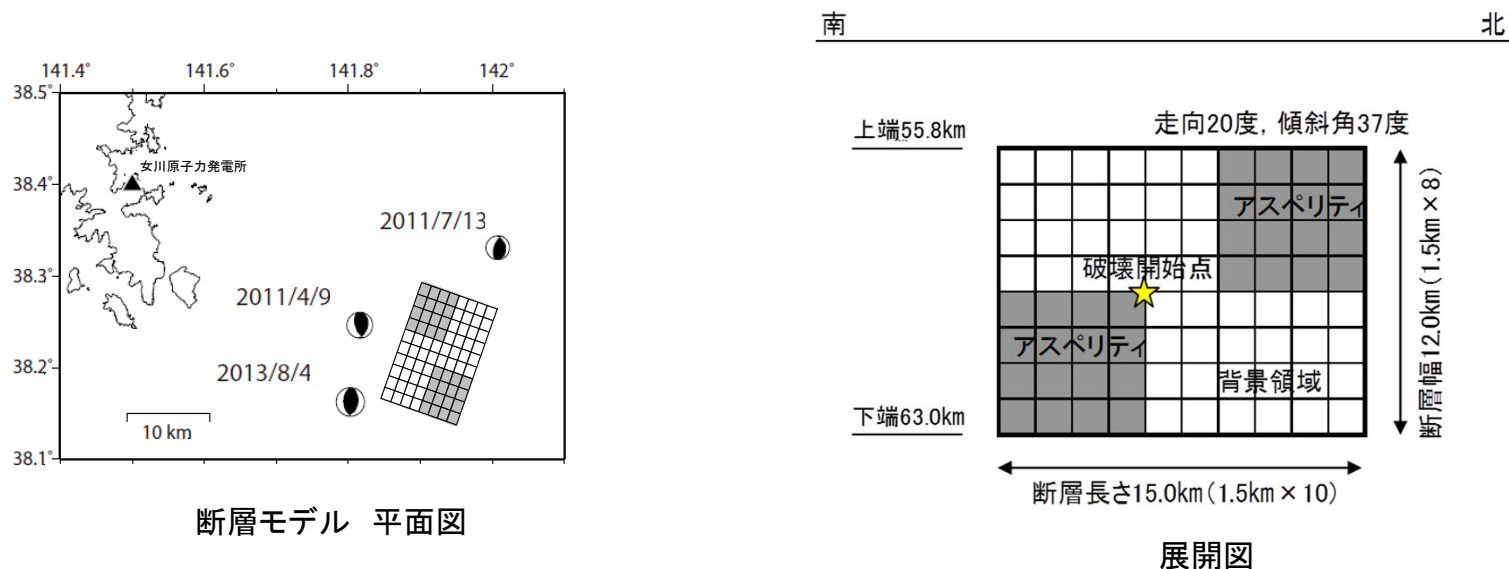
# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 1. 経験的グリーン関数法による検討(シミュレーションモデル)

### ■シミュレーションモデルでの経験的グリーン関数法による評価

#### ○断層モデル

・原田・釜江(2011)を参考に設定した, 4.7地震(M7.2)シミュレーションモデルを用いて経験的グリーン関数法による検討を行う。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。



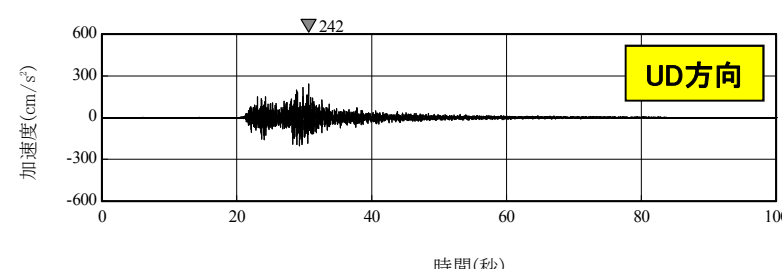
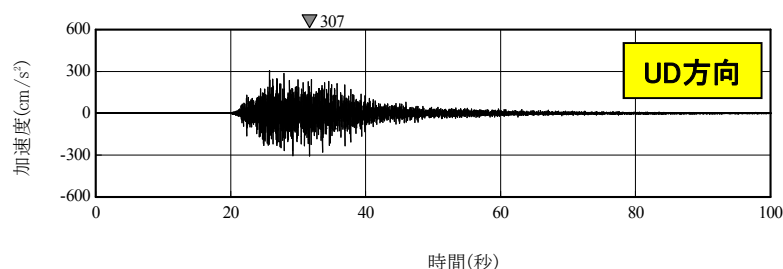
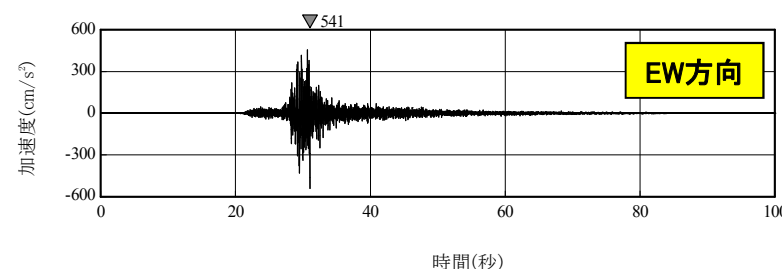
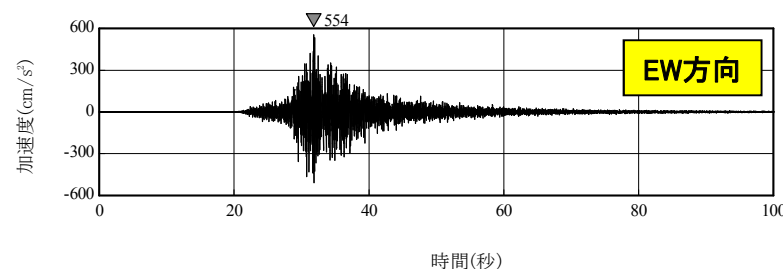
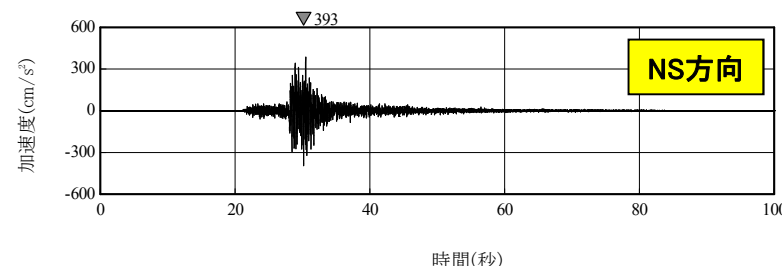
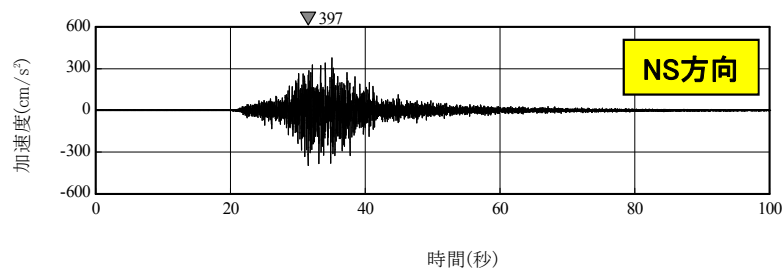
主な断層パラメータ

断層面積 S (km <sup>2</sup> )	地震モーメント M <sub>0</sub> (N·m)	短周期 レベルA (N·m/s <sup>2</sup> )	アスペリティ 面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	アスペリティ 応力降下量 Δσ (MPa)
180	4.74 × 10 <sup>19</sup>	1.16 × 10 <sup>20</sup>	72	120.3

# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 1. 経験的グリーン関数法による検討(シミュレーションモデル)

### ■ 経験的グリーン関数法による地震動評価結果 加速度時刻歴波形



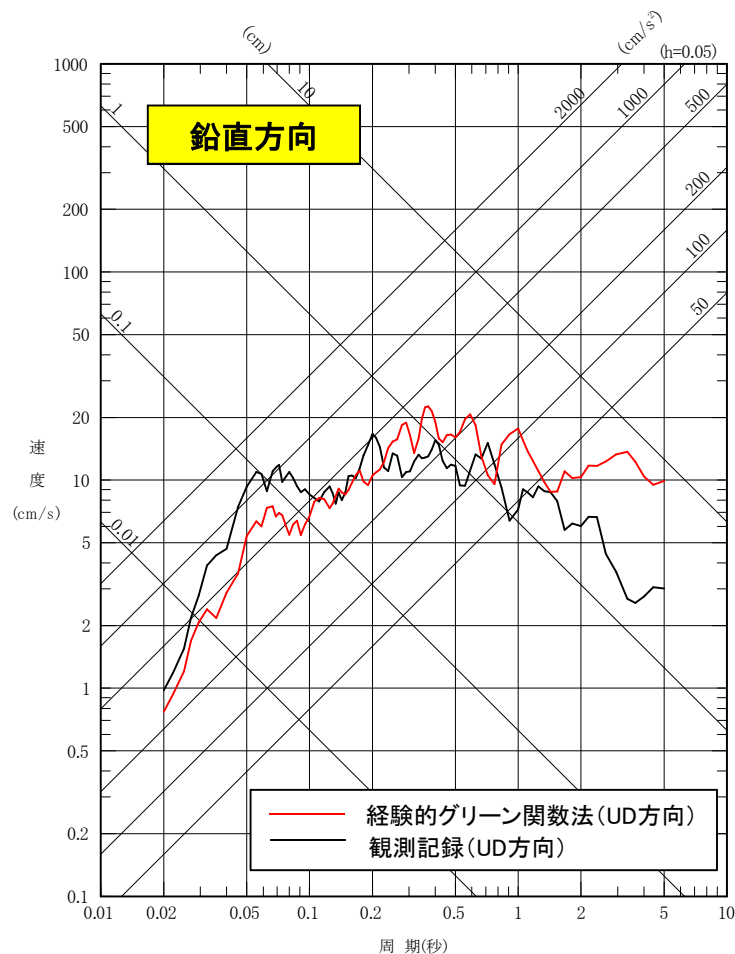
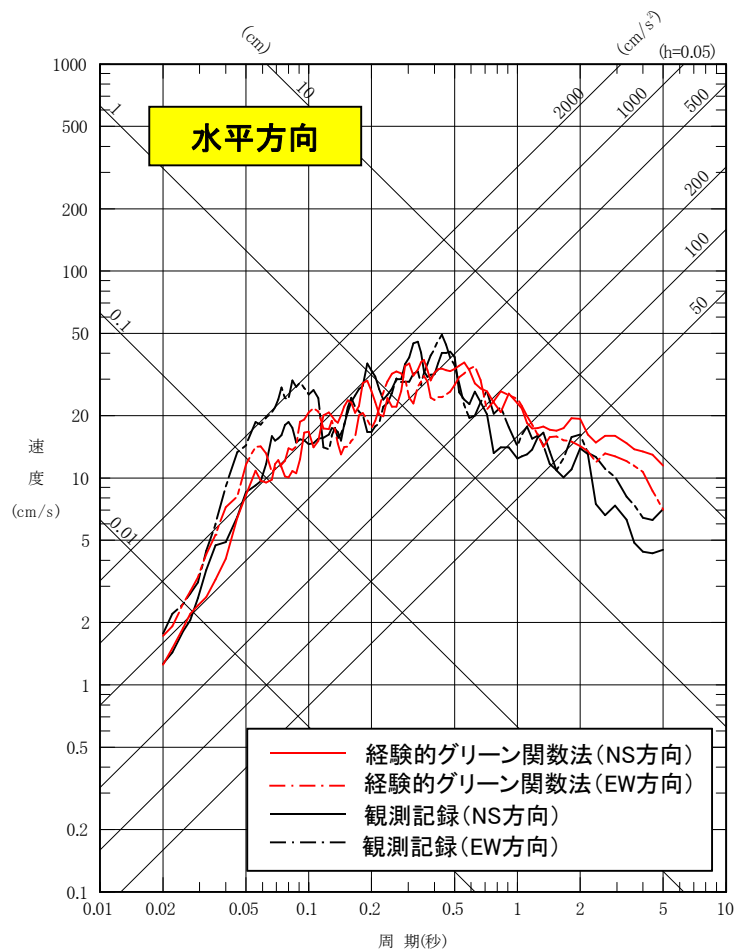
4.7地震の観測記録  
[解放基盤相当(O.P.-8.6m)でののはざとり波]

4.7地震の経験的グリーン関数法による評価

# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 1. 経験的グリーン関数法による検討(シミュレーションモデル)

### ■ 経験的グリーン関数法による地震動評価結果 応答スペクトル



評価結果は、観測記録(はぎとり波)の応答スペクトルと比較し、短周期から長周期でその傾向を捉えており、概ね整合したものとなっている。

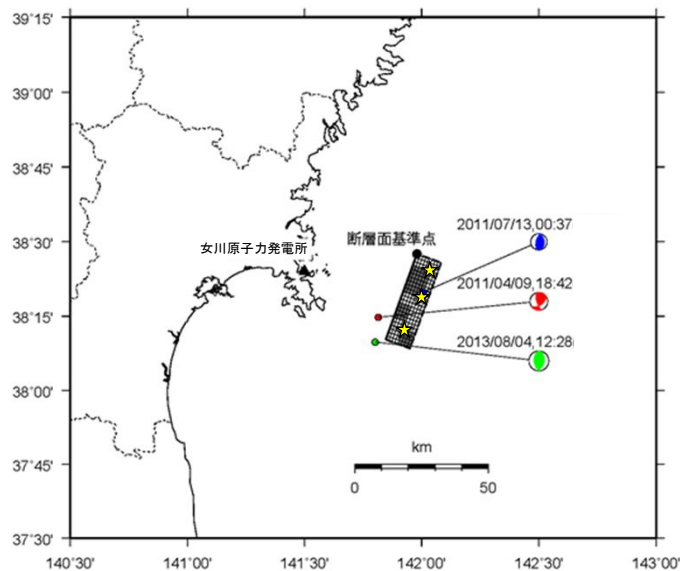
※観測記録は解放基盤相当(O.P.-8.6m)でのはぎとり波

# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

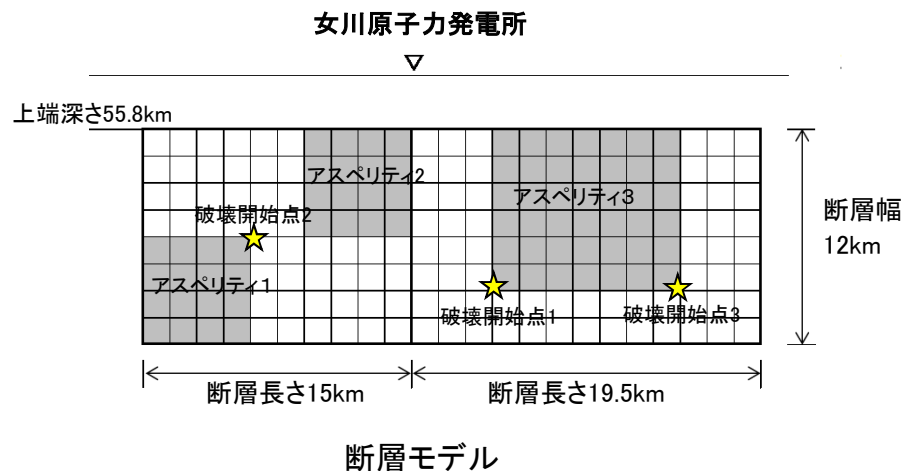
## 1. 経験的グリーン関数法による検討(不確かさケース)

### ■不確かさケース1 (M7.5)での経験的グリーン関数法による評価

- ・不確かさケース1 (M7.5)についても敷地への影響を確認するため、参考に経験的グリーン関数による評価を行う。
- ・基本ケースと同じく複数の要素地震(3地震)を用いて波形合成を行う。要素地震は各要素ごとにランダムに配置する。



要素地震の震央位置



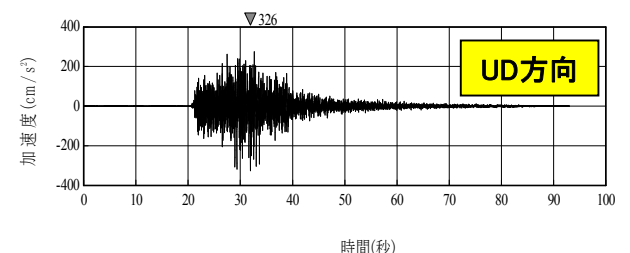
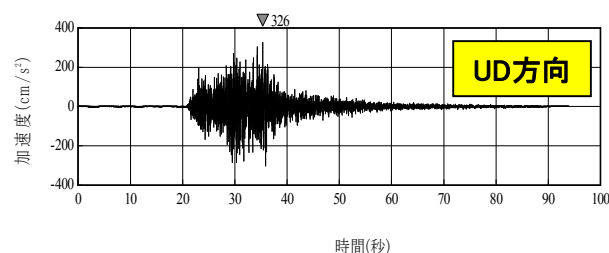
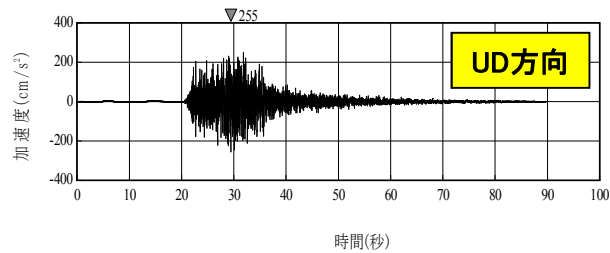
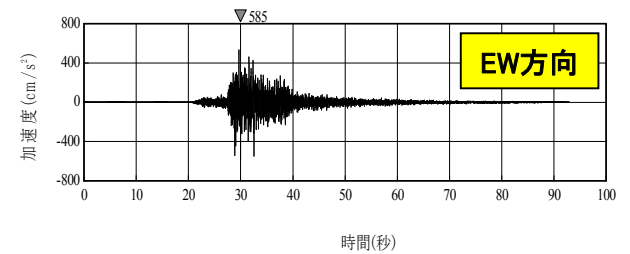
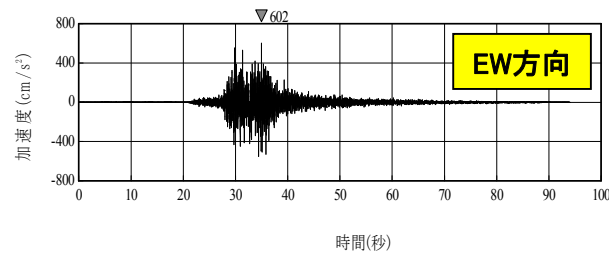
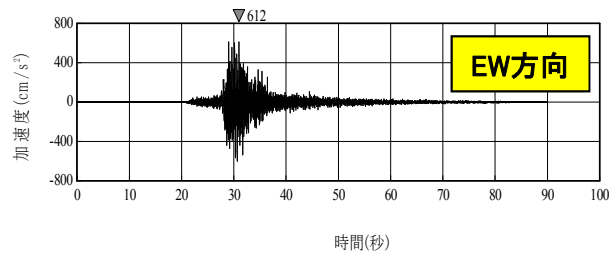
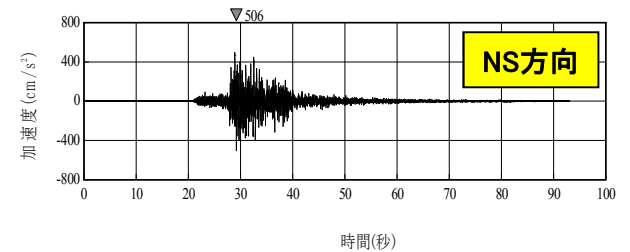
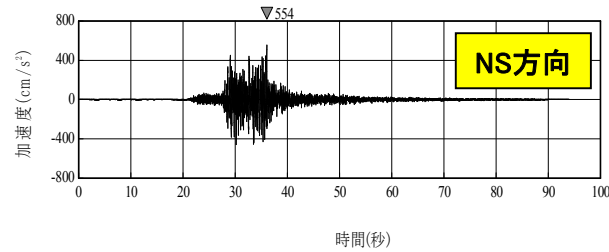
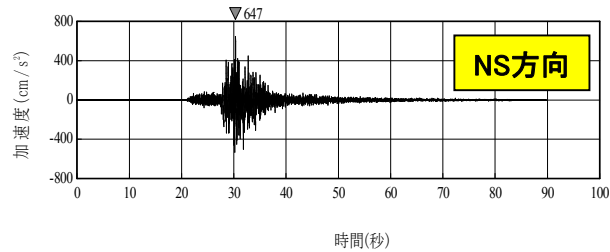
主な断層パラメータ

断層面積 S (km <sup>2</sup> )	地震モーメント M <sub>0</sub> (N・m)	短周期 レベルA (N・m/s <sup>2</sup> )	アスペリティ 面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	アスペリティ 応力降下量 Δσ (MPa)
402	1.58 × 10 <sup>20</sup>	1.72 × 10 <sup>20</sup>	161	119.6

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 1. 経験的グリーン関数法による検討(不確かさケース)

#### ■ 経験的グリーン関数法による地震動評価結果 加速度時刻歴波形



破壊開始点1

破壊開始点2

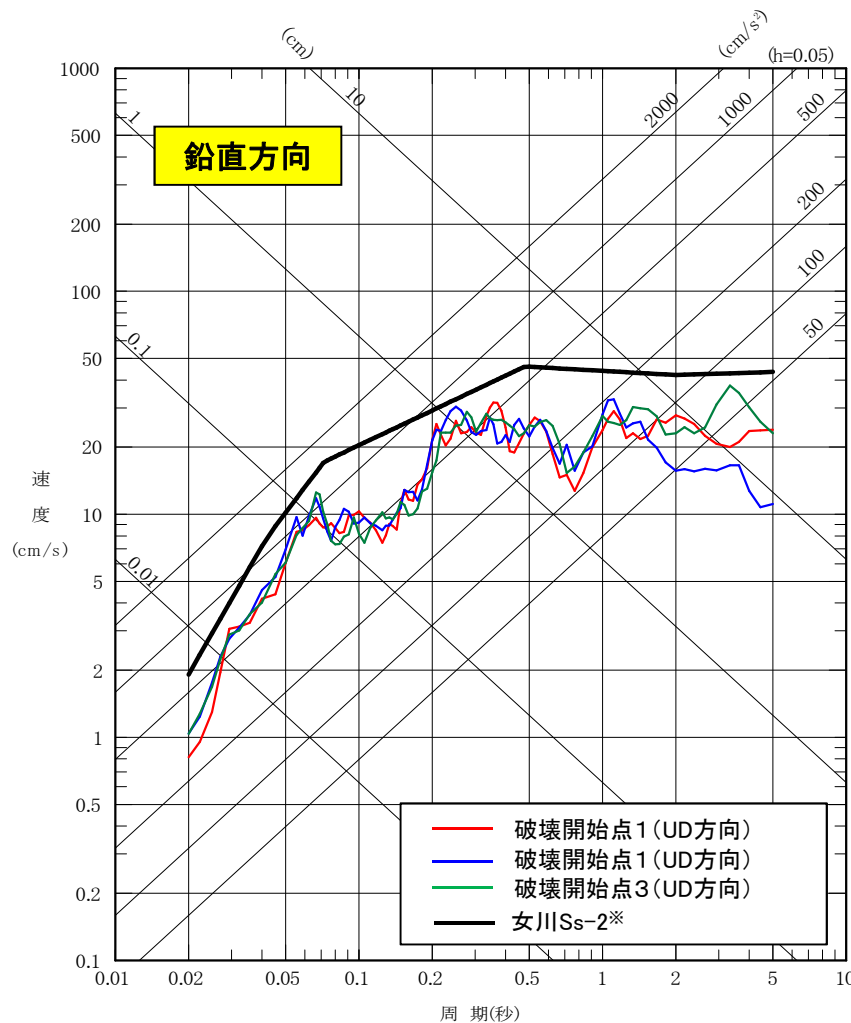
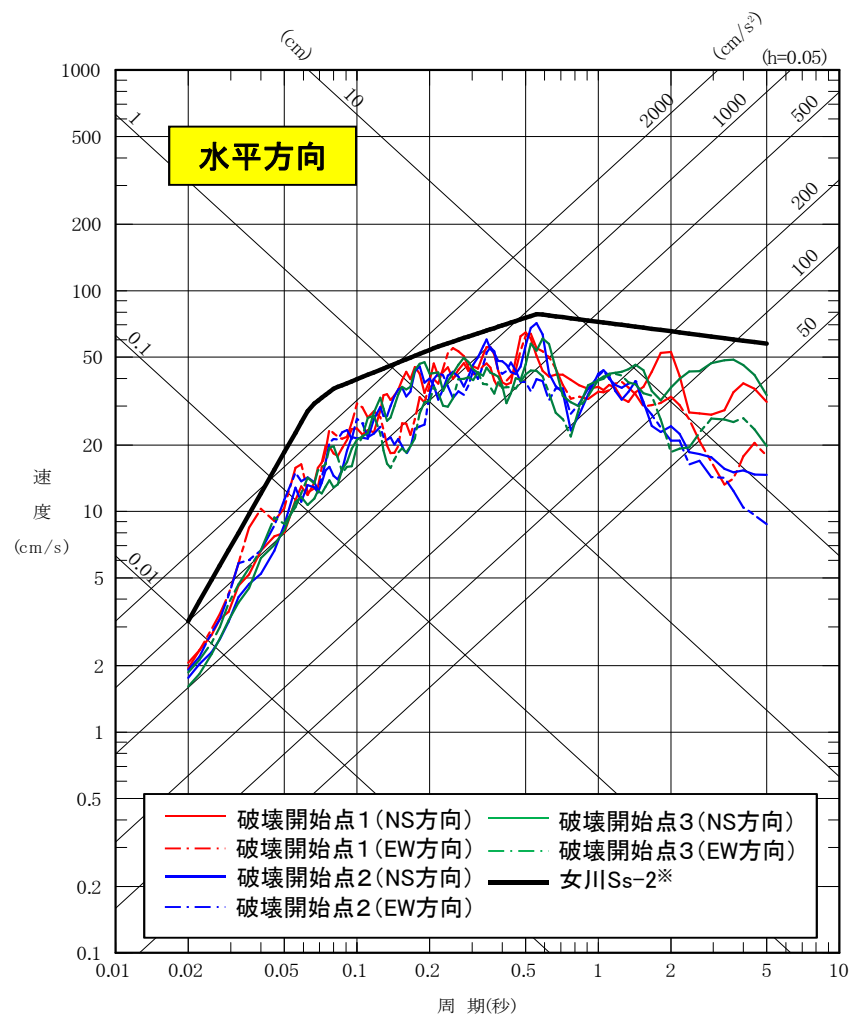
破壊開始点3



# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 1. 経験的グリーン関数法による検討(不確かさケース)

### ■ 経験的グリーン関数法の評価結果



経験的グリーン関数法による地震動評価結果は基準地震動Ss-2\*に包絡される。

※女川Ss-2: 平成25年12月申請

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

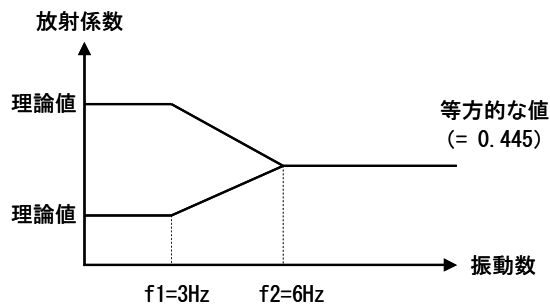
### 2. 4.7地震 統計的グリーン関数法の放射特性の検討

#### ■ 4.7地震(M7.2)の統計的グリーン関数法を用いたシミュレーション解析

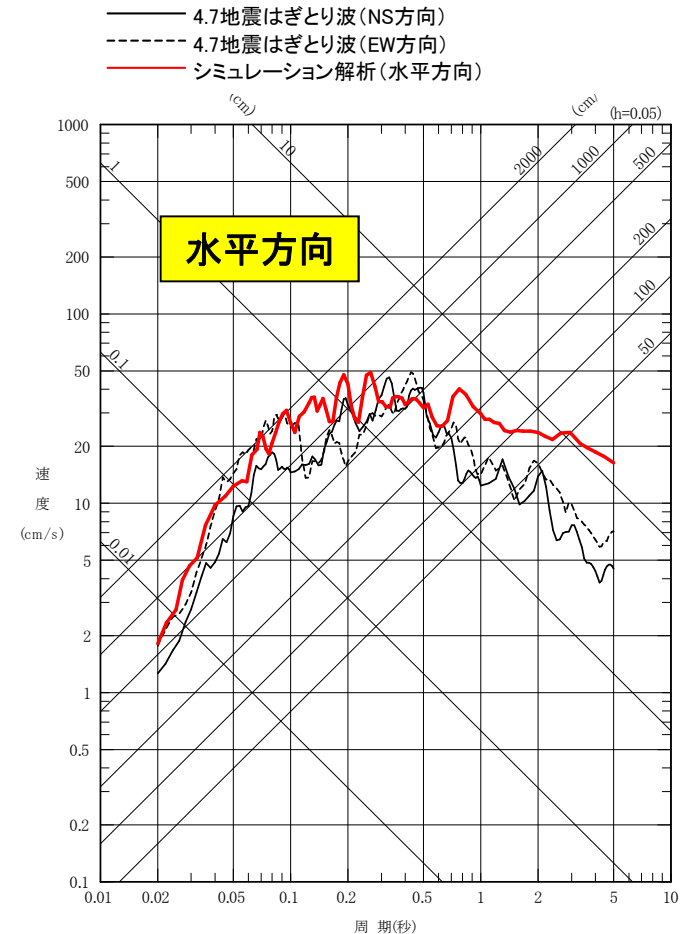
- 4.7地震(M7.2)の震源モデルは、原田・釜江(2011)を参考にアスペリティモデルを作成し、この断層モデルを基に統計的グリーン関数法により地震動評価を行っている。
- 統計的グリーン関数法の計算において、放射特性を一定(全周期帯で0.62)として水平1方向で評価している。
- 評価結果は、応答スペクトルの比較で、周期0.1秒より短周期側では解析結果と観測記録(はぎとり波)は、良く整合している。長周期側では解析結果が大きめの結果となった。
- 地震動シミュレーション結果は長周期が大きい等の課題は残るものの、原子力発電所において特に問題となる短周期における適合性が良いことから、施設に与える影響検討という観点からは、良好な評価と考えられる。



- 水平2方向(NS,EW)で評価した場合の影響を確認するため、放射特性を考慮した計算を行った。



考慮する放射特性



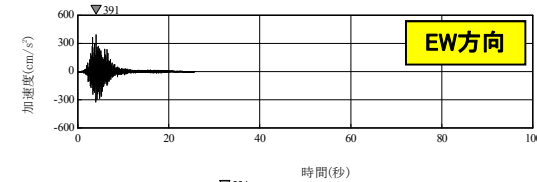
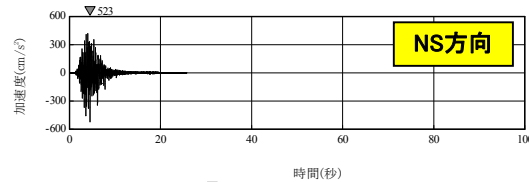
※放射特性係数は0.62

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

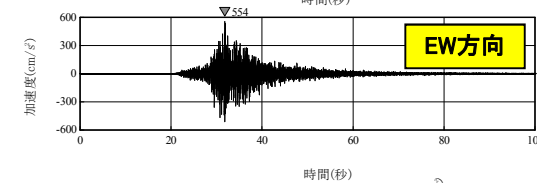
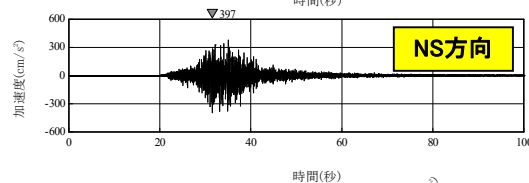
### 2. 4.7地震 統計的グリーン関数法の放射特性の検討

#### ■ 統計的グリーン関数法で放射特性を考慮した場合

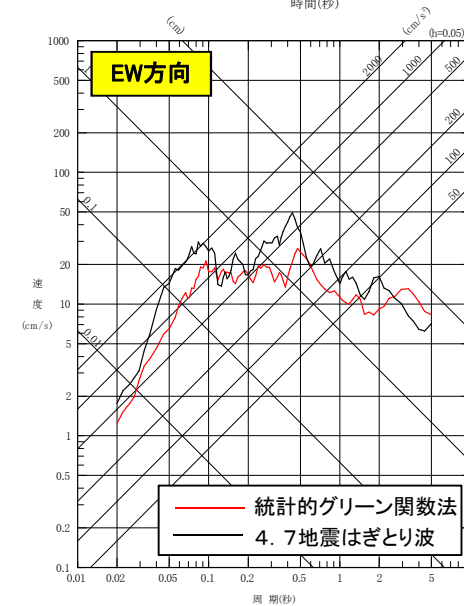
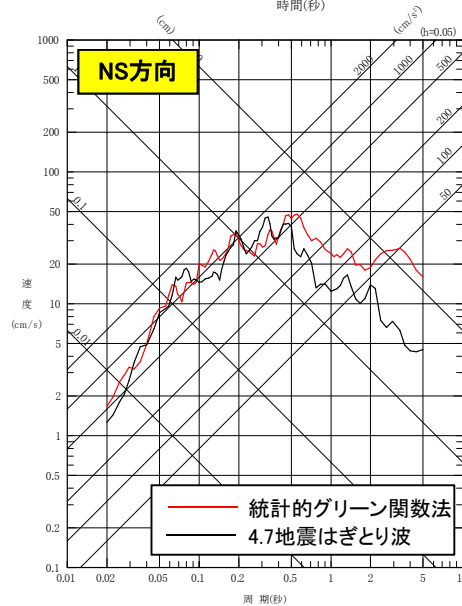
統計的グリーン関数法



4.7地震はぎとり波



地震動評価結果



長周期側が水平1方向評価よりも観測記録と傾向が合っているが、特にEW方向の周期0.1秒より短周期側で過小評価になっている。

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 3. 4.7地震の断層モデルの $S_a/S$ の感度解析

#### ■断層パラメータ及びアスペリティの面積比( $S_a/S$ )

- ・4.7地震(M7.2)の断層モデルは、原田・釜江(2011)等を参考に断層パラメータを設定しており、 $S_a/S=0.4$ としている。
- ・笹谷ほか(2006)の方法(地震モーメント $M_0 \rightarrow$ アスペリティの面積 $S_a$ 、短周期レベル $A \rightarrow$ 断層面積 $S$ )で、4.7地震(M7.2)の断層モデルのパラメータを設定した場合は $S_a/S=0.2$ となるが、この際、短周期レベルを原田・釜江(2011)で設定すると $S_a/S=0.45$ となり、4.7地震シミュレーションモデルと同等の値となる。

断層パラメータ	4.7地震(M7.2) シミュレーションモデル $S_a/S=0.4$	笹谷ほか(2006)の 方法で設定 した場合	笹谷ほか(2006)の 方法で短周期レベ ルを原田・釜江 (2011)で設定した 場合
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$4.74 \times 10^{19}$	$4.74 \times 10^{19}$	$4.74 \times 10^{19}$
短周期レベル $A$ ( $N \cdot m/s^2$ )	$1.16 \times 10^{20}$	$7.67 \times 10^{19}$	$1.16 \times 10^{20}$
アスペリティ面積 $S_a$ ( $km^2$ )	72	76	76
断層面積 $S$ ( $km^2$ )	180	384	168
アスペリティ面積比 $S_a/S$	<b>0.40</b>	0.20	0.45

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

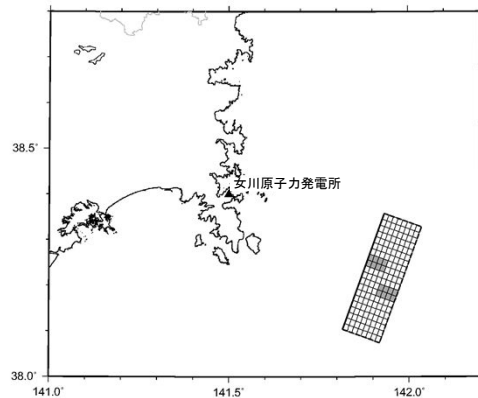
### 3. 4.7地震の断層モデルのSa/Sの感度解析

#### ■断層パラメータ及びアスペリティの面積比(Sa/S)

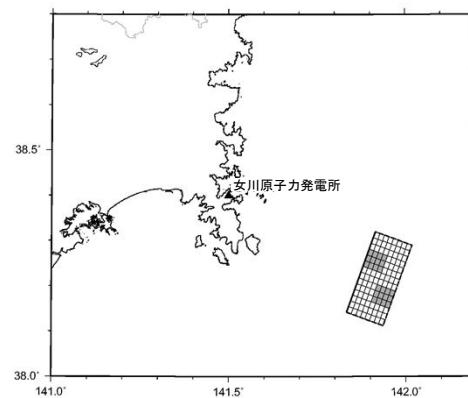
- ・Sa/Sを0.1,0.2とした場合について感度解析を行い、4.7地震モデルで採用したSa/S=0.4との比較を行った。

断層パラメータ	ケース1 Sa/S=0.1	ケース2 Sa/S=0.2	ケース3 (シミュレーションモデル) Sa/S=0.4
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$4.74 \times 10^{19}$	$4.74 \times 10^{19}$	$4.74 \times 10^{19}$
短周期レベルA( $N \cdot m/s^2$ )	$1.16 \times 10^{20}$	$1.16 \times 10^{20}$	$1.16 \times 10^{20}$
アスペリティ面積比Sa/S	0.1	0.2	0.4
断層面積S( $km^2$ )	360	254	180
アスペリティ面積Sa( $km^2$ )	36	51	72
アスペリティの応力低下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	170	143	120

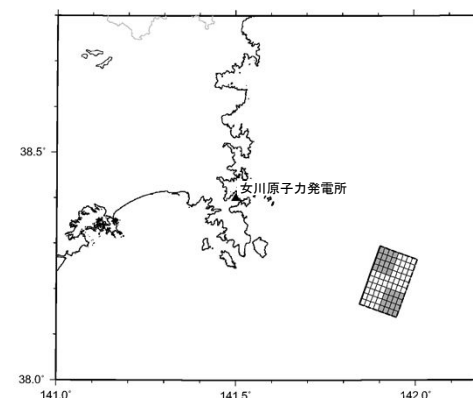
※理論式に基づき断層面積、応力低下量を算定。



Sa/S=0.1



Sa/S=0.2



Sa/S=0.4

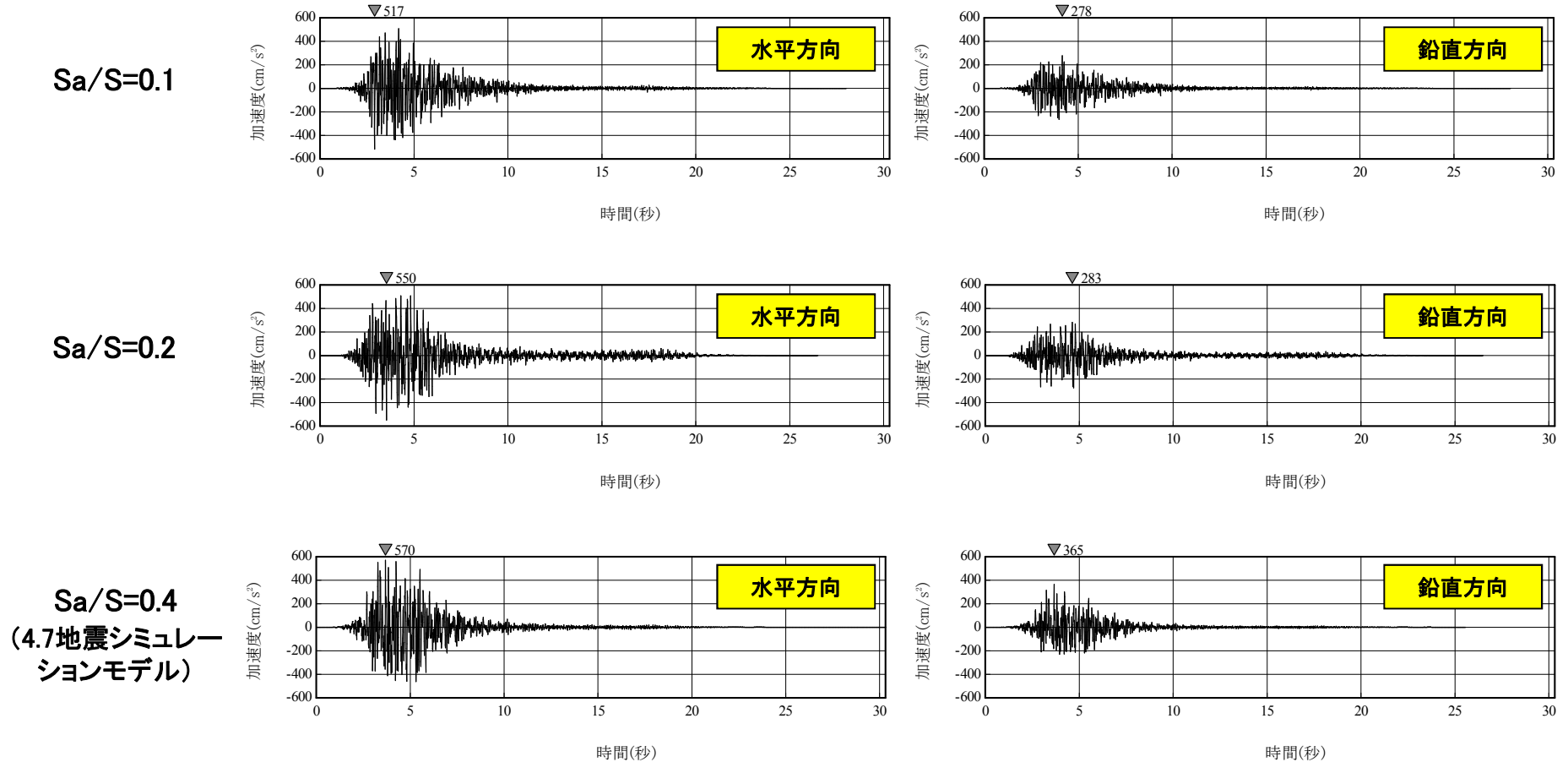
※断層幅を12kmに固定し、各ケースの断層モデルを設定。

(4.7地震シミュレーションモデル)

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 3. 4.7地震の断層モデルの $S_a/S$ の感度解析

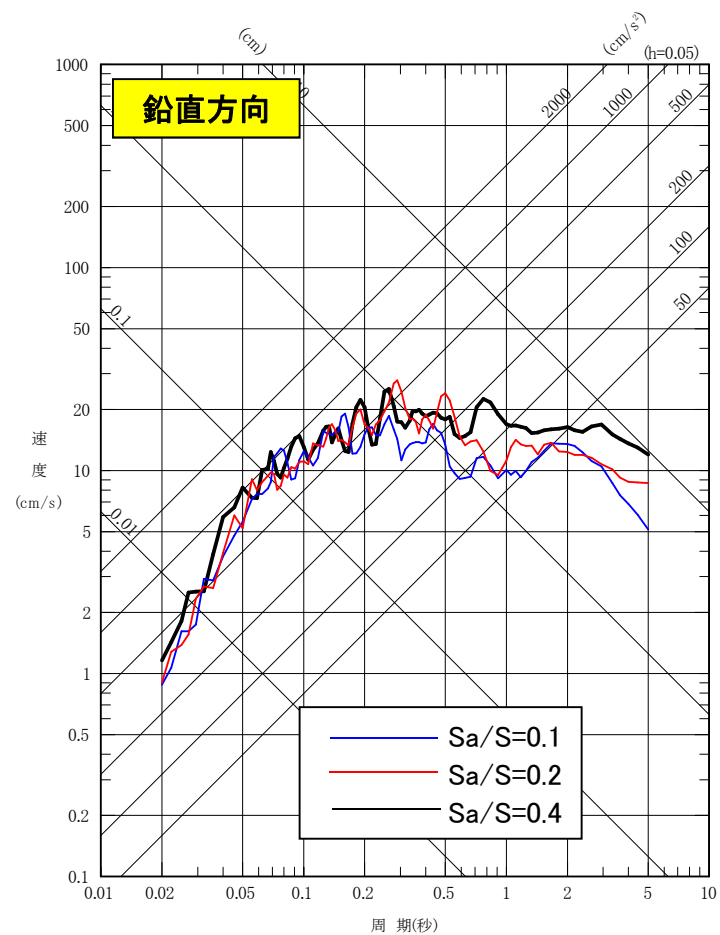
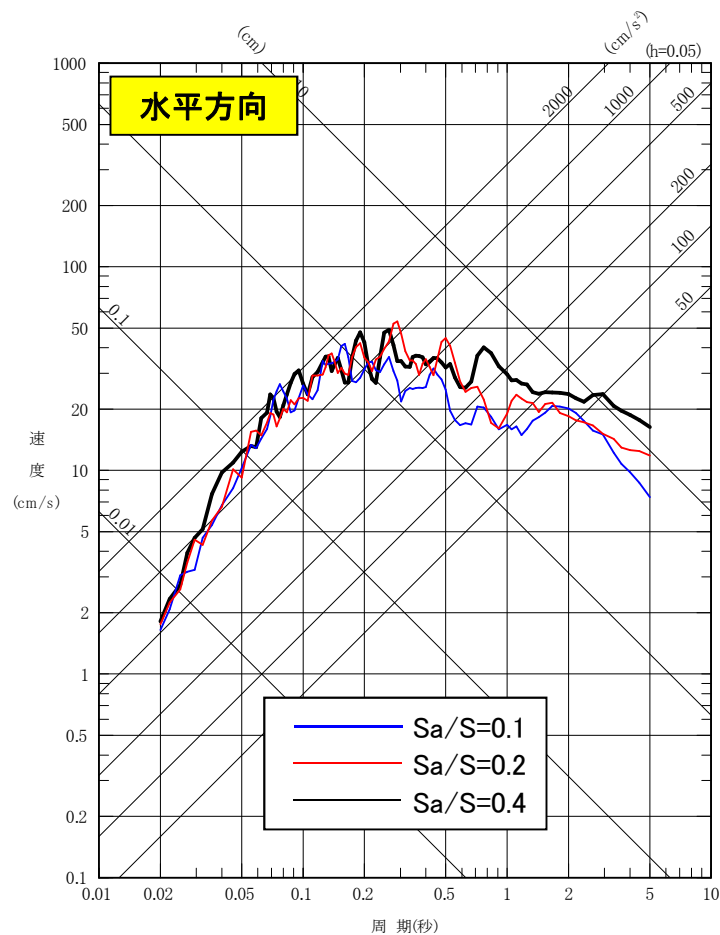
#### ■アスペリティの面積比( $S_a/S$ )ごとの評価結果の比較(加速度時刻歴波形)



# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 3. 4.7地震の断層モデルのSa/Sの感度解析

### ■アスペリティの面積比(Sa/S)ごとの評価結果の比較(応答スペクトル)



Sa/S=0.1, 0.2, 0.4の3ケースとも短周期レベルAは同じであることから、応答スペクトルのレベルは概ね同程度となっているが、周期約0.05秒以下の極短周期や周期約0.7秒より長周期では、Sa/S=0.4(採用ケース)が大きくなっている。

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

- 参考 笹谷ほか(2006)による検討:二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の不確かさケース1 (M7.5)
- ・二重深発地震 上面の地震 4.7型地震(M7.5)の断層モデルについては, 4.7地震(M7.2)のシミュレーション解析等を踏まえ, 断層パラメータを設定しているが, 参考に笹谷ほか(2006)により断層モデルを設定し地震動評価を行う。
  - ・笹谷ほか(2006)により断層パラメータを算定( $M_0 \rightarrow$ アスペリティの面積 $S_a$ ,  $M_0 \rightarrow$ 短周期レベルA)すると, 断層面積は4.7型地震(M7.5)の2倍程度になるが, アスペリティ面積は4.7型地震と同程度となる。
  - ・短周期レベルは, 4.7型地震の断層モデルの方が約1.5倍大きくなる。

断層パラメータ	4.7型地震 不確かさケース1 (M7.5) ①	笹谷ほか(2006)に より設定した場合 ②	①/②
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$1.58 \times 10^{20}$	$1.58 \times 10^{20}$	
短周期レベルA( $N \cdot m/s^2$ )	$1.72 \times 10^{20}$	$1.15 \times 10^{20}$	1.50
アスペリティ面積比 $S_a/S$	0.4	0.2	—
断層面積S( $km^2$ )	402	858	0.47
アスペリティ面積 $S_a$ ( $km^2$ )	161	170	0.95
アスペリティの応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	119.6	77.6	1.54

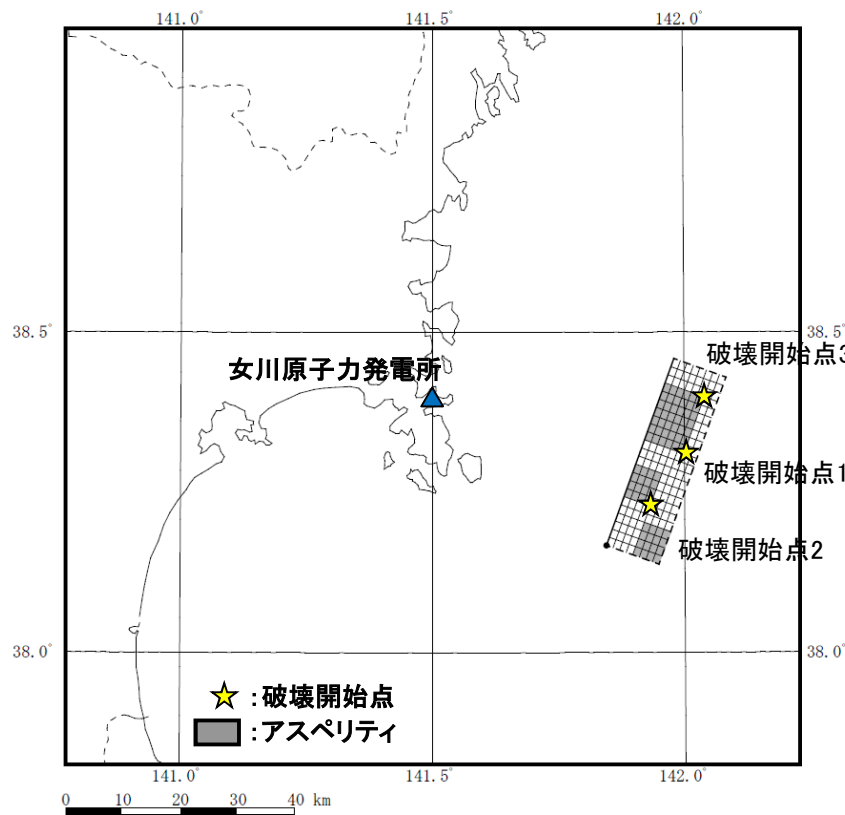


## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

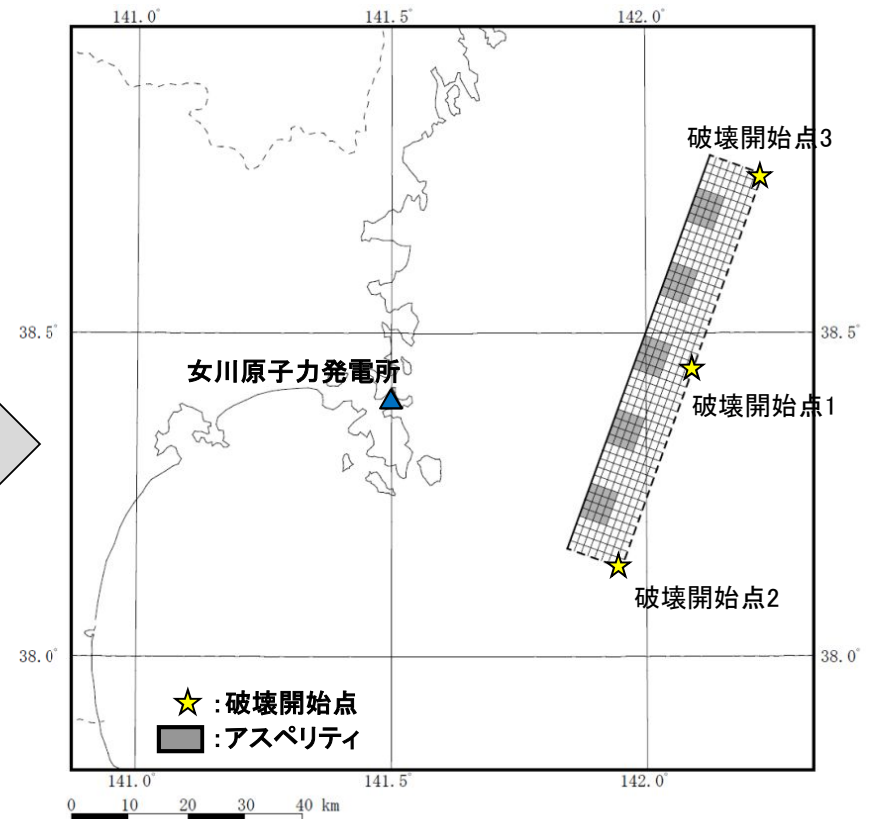
### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による断層モデルの設定

- 断層モデルの巨視的面は断層幅を不確かさケース1と同様の幅(海洋性マントル内)とし、断層面を南北均等に拡幅することも考えられるが、本検討では、Nakajima et al.(2011)の4.7地震の震源域の地震波トモグラフィーによるS波速度構造を参考にした上で南端(4.7地震の震源より南側には低速度域はない)を固定し、北側に拡張した。
- アスペリティは断層面に対しバランスを考慮し、均等に5個配置した。



4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の断層モデル(平面図)



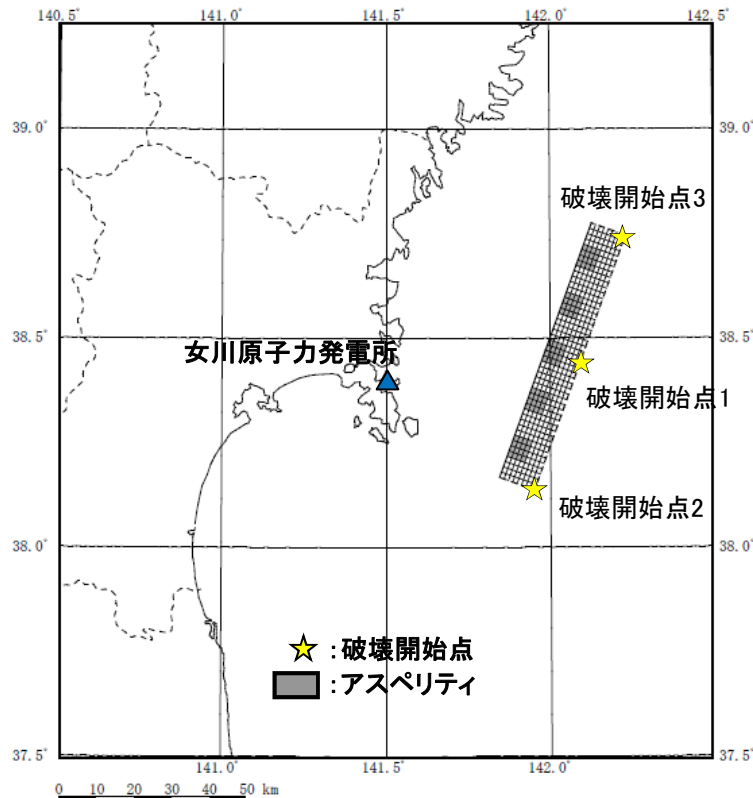
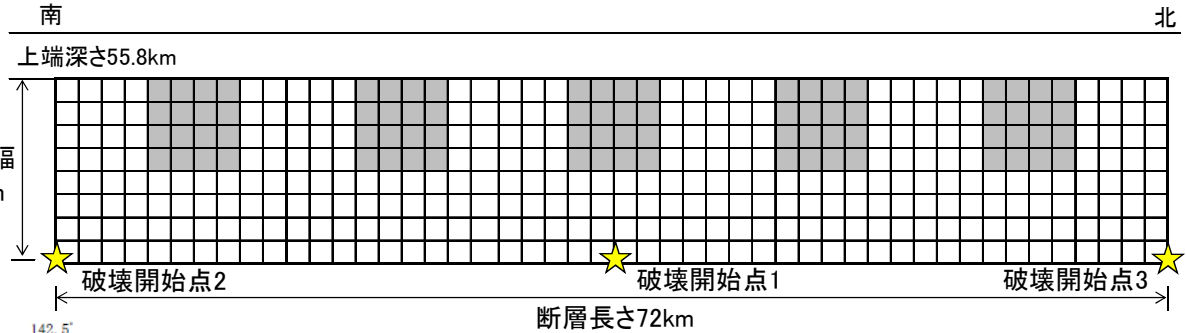
4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による断層モデル(平面図)

# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 4. 笹谷ほか(2006)による検討

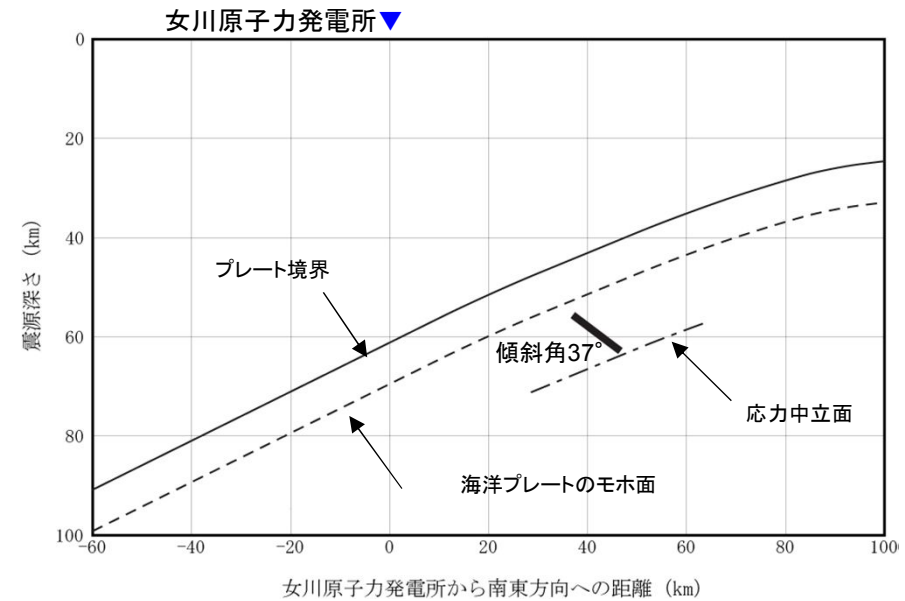
### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による断層モデル

- 断層モデルを用いた地震動評価
  - ・統計的グリーン関数法により評価。
  - ・波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。



断層モデル(平面図)

断層モデル(展開図)



断面図

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

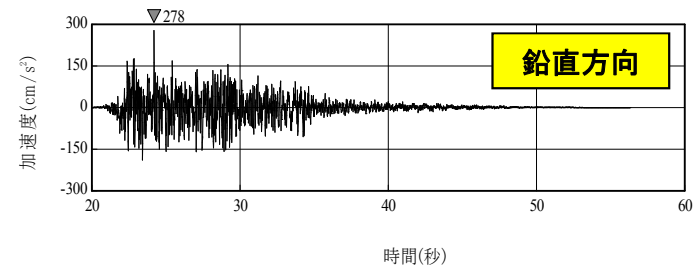
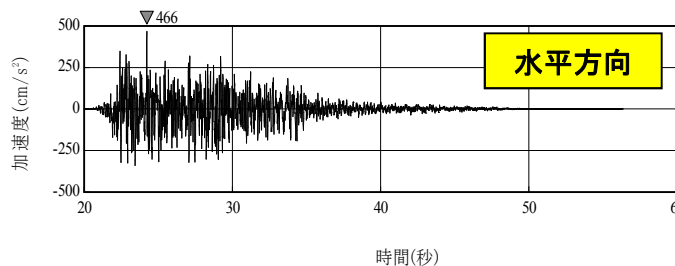
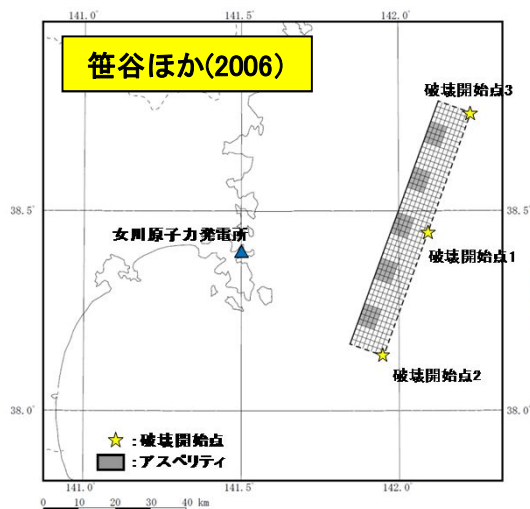
#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による断層パラメータ

断層パラメータ		設定方法	設定値	断層パラメータ		設定方法	設定値			
断層面全体	気象庁マグニチュード	$M_J$	設定条件	7.5	アスペリティ全体	地震モーメント	$M_{0a}(\text{Nm})$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$	$6.28 \times 10^{19}$	
	モーメントマグニチュード	$M_w$	4.7地震の $M_J$ と $M_w$ の関係を基に設定	7.4		断層面積	$S_a(\text{km}^2)$	$S_a = 1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3}$	170	
	走向	$\theta(^{\circ})$	Nakajima et al.(2011)を参考に設定	20		平均すべり量	$D_a(\text{cm})$	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.0$	770	
	傾斜角	$\delta(^{\circ})$	原田・釜江(2011)	37		応力降下量	$\Delta \sigma_a(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_a = A / (4 \beta^2 (\pi S_a)^{0.5})$	77.6	
	断層長さ	$L(\text{km})$	$L = S/W$	72	アスペリティ1つあたり	地震モーメント	$M_{0ai}(\text{Nm})$	$M_{0ai} = M_{0a} / 5$	$1.26 \times 10^{19}$	
	断層幅	$W(\text{km})$	東北大学(2011)等を参考に設定	12		断層面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$	$S_{ai} = S_a / 5$	34	
	断層面積	$S(\text{km}^2)$	$S = (49 \pi^4 \beta^4 M_0^2) / (16 A^2 S_a)$	858		平均すべり量	$D_{ai}(\text{cm})$	$D_{ai} = M_{0ai} / (\mu S_{ai})$	770	
	断層上端深さ	$h(\text{km})$	東北大学(2011)等を参考に設定	55.8		応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$	77.6	
	断層面全体	地震モーメント	$M_0(\text{Nm})$	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	$1.58 \times 10^{20}$	背景領域	地震モーメント	$M_{0b}(\text{Nm})$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	$9.57 \times 10^{19}$
		剛性率	$\mu(\text{N/m}^2)$	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 3.0\text{g/cm}^3, \beta = 4.0\text{km/s}$	$4.80 \times 10^{10}$		断層面積	$S_b(\text{km}^2)$	$S_b = S - S_a$	688
		平均すべり量	$D(\text{cm})$	$D = M_0 / (\mu S)$	385		平均すべり量	$D_b(\text{cm})$	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	290
		平均応力降下量	$\Delta \sigma(\text{MPa})$	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5} / 16) (M_0 / S^{1.5})$	15.4		応力降下量	$\Delta \sigma_b(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_b = (D_b / W_b) (D_a / W_b) r \cdot \Delta \sigma_a$	14.6
		短周期レベル	$A(\text{Nm/s}^2)$	$A = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ , 笹谷ほか(2006)	$1.15 \times 10^{20}$	高域遮断周波数	$f_{\text{max}}(\text{Hz})$	2003年宮城県沖の地震のシミュレーション結果	18	
		破壊伝播形式	-	-	放射状					
破壊伝播速度		$V_r(\text{km/s})$	$V_r = 0.72 \beta$	2.88						

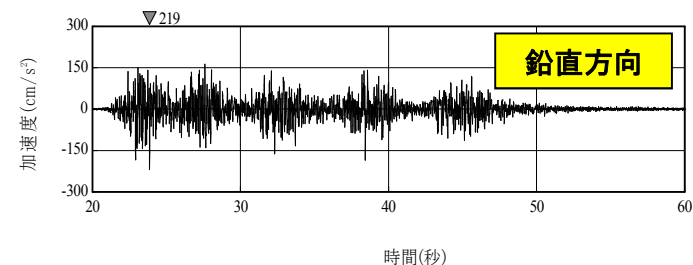
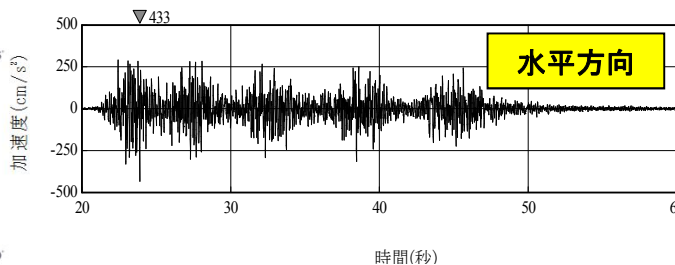
# V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

## 4. 笹谷ほか(2006)による検討

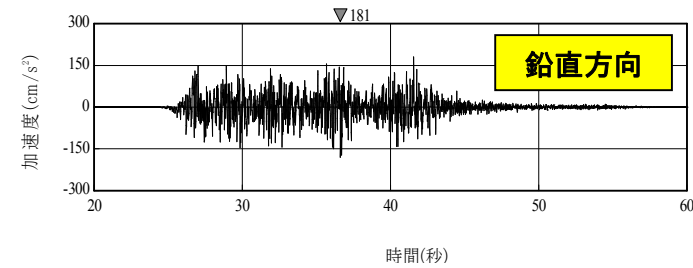
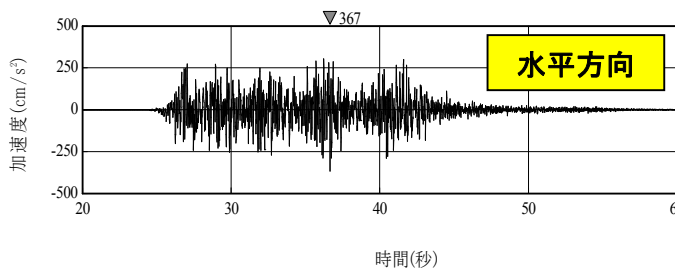
### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による地震動評価結果 加速度時刻歴波形



破壊開始点1



破壊開始点2

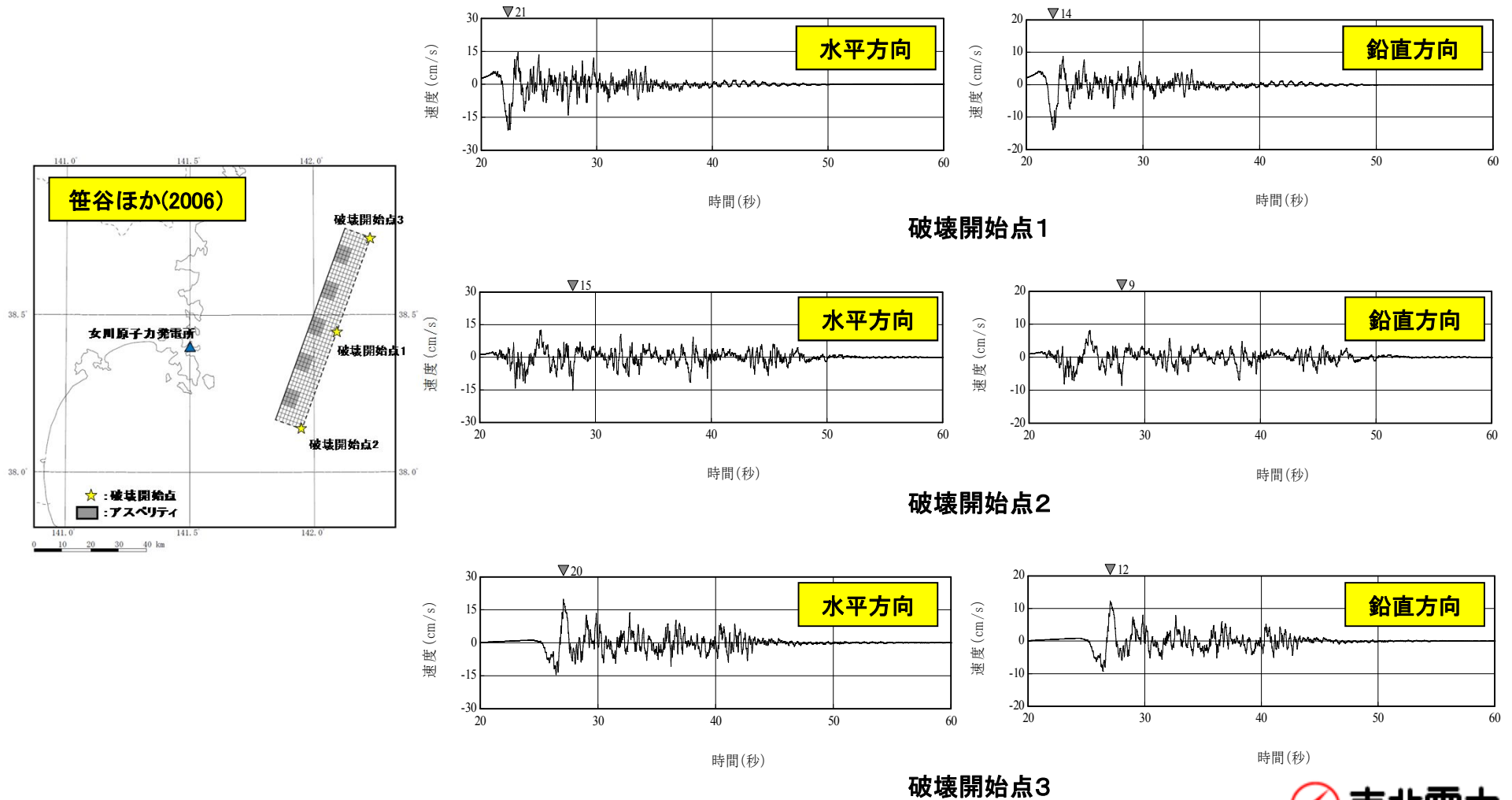


破壊開始点3

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

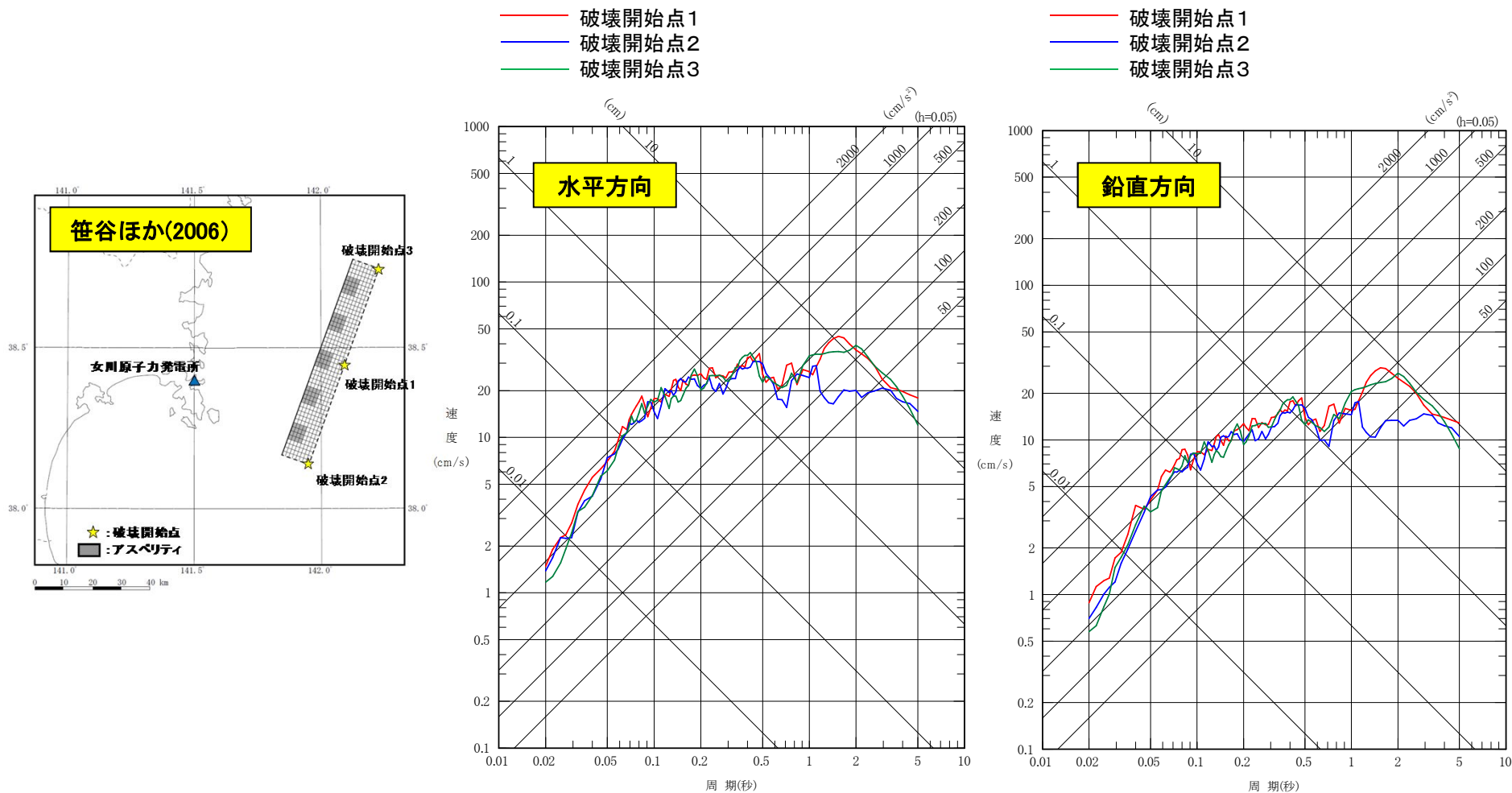
#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による地震動評価結果 速度時刻歴波形



## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

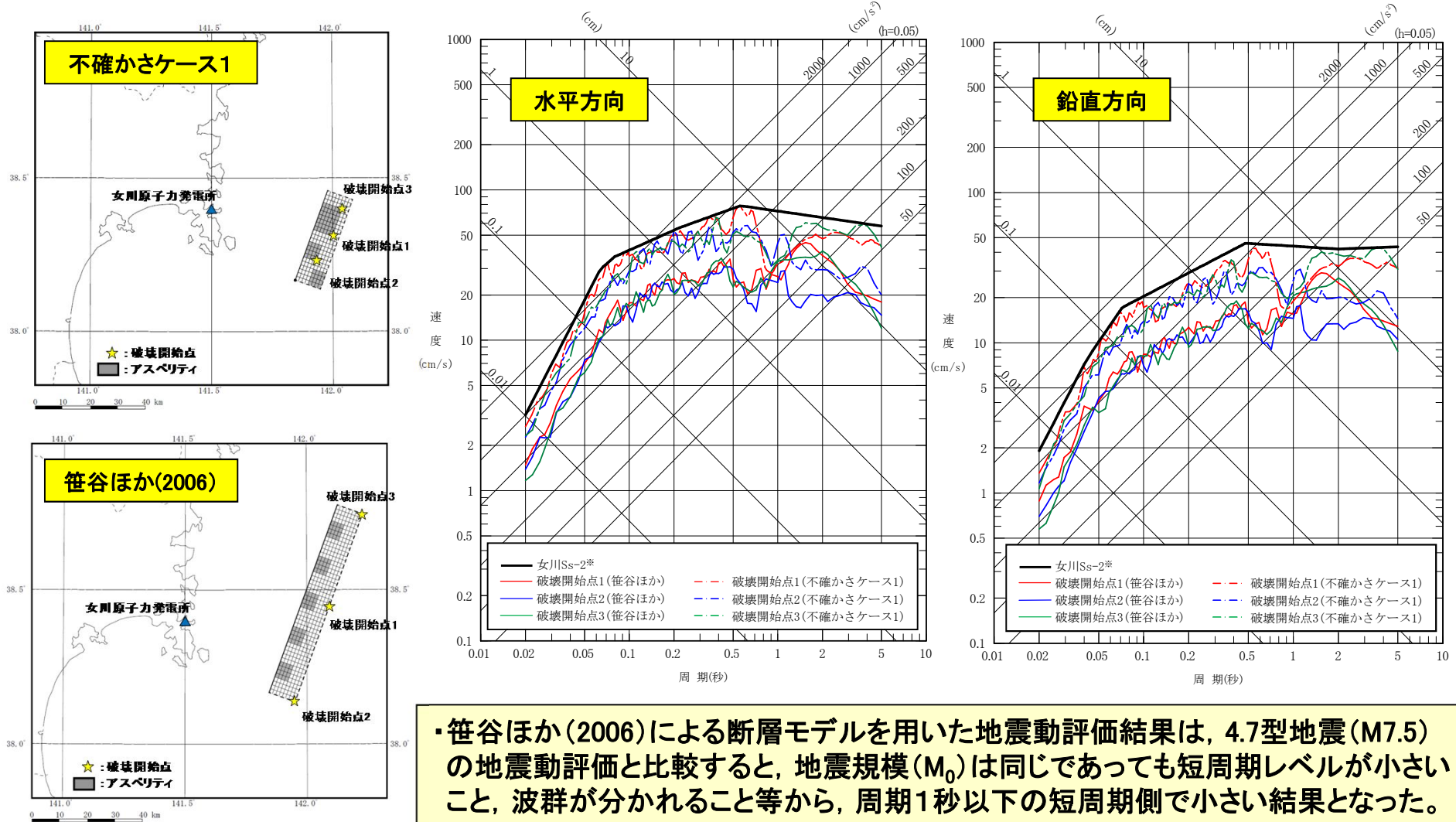
#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による地震動評価結果 応答スペクトル



## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1 (M7.5) の地震動評価と笹谷ほか(2006)による地震動評価結果の比較



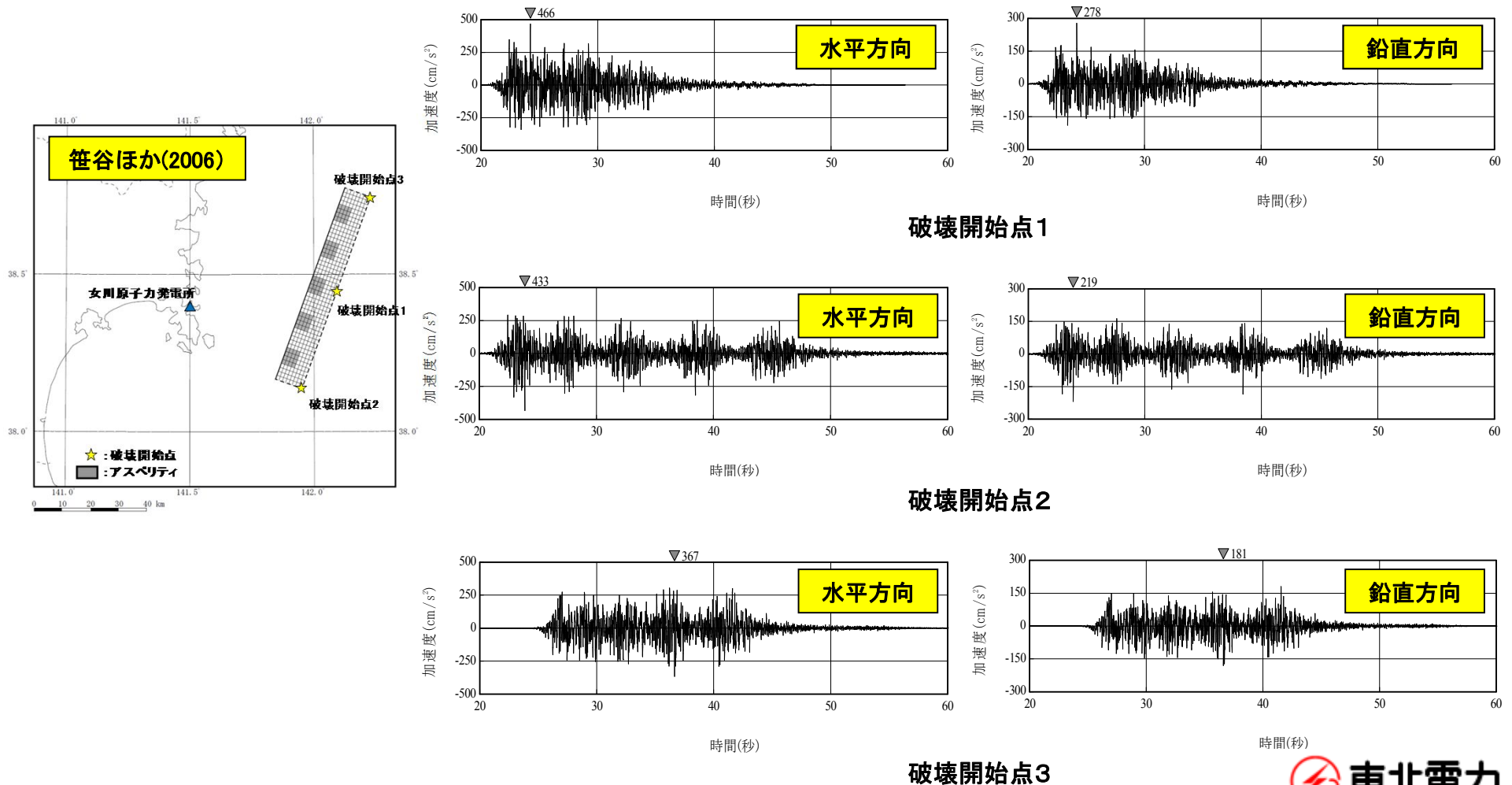
※女川Ss-2:平成25年12月申請

## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による地震動評価結果 加速度時刻歴波形からの考察

敷地の時刻歴波形には、破壊開始点が遠い場合(破壊開始点2, 3), 各アスペリティからの地震動が波群として表れてくる傾向が明瞭。破壊開始点が敷地に近い場合(破壊開始点1)は、敷地近傍の3個程度のアスペリティの影響が重合されるものの、波形後半の遠いアスペリティからの影響は相対的に小さいものになっている。



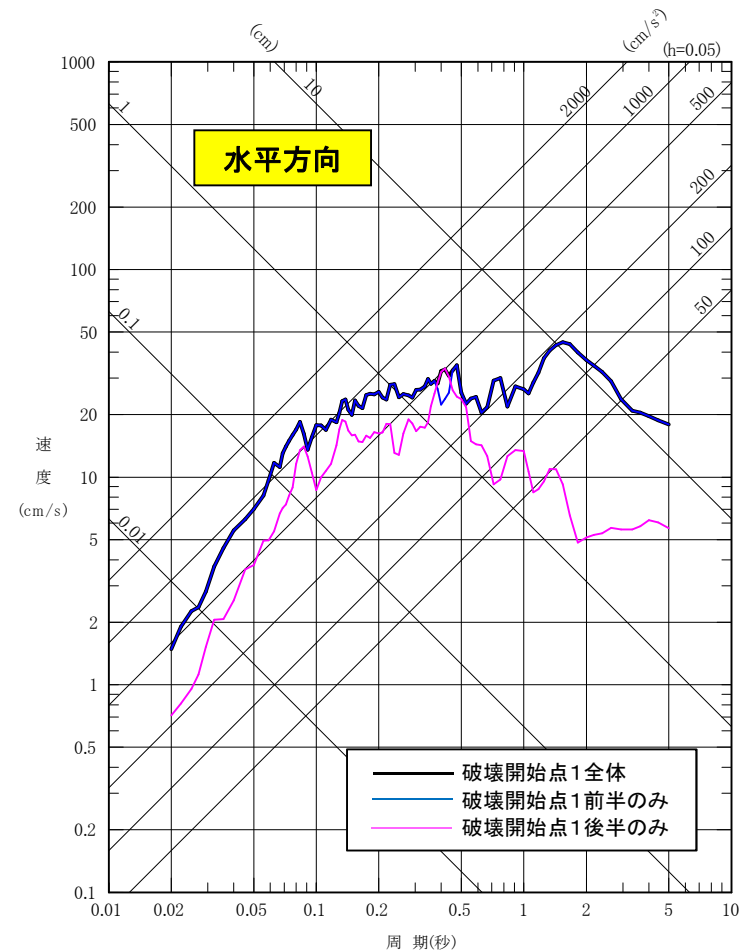
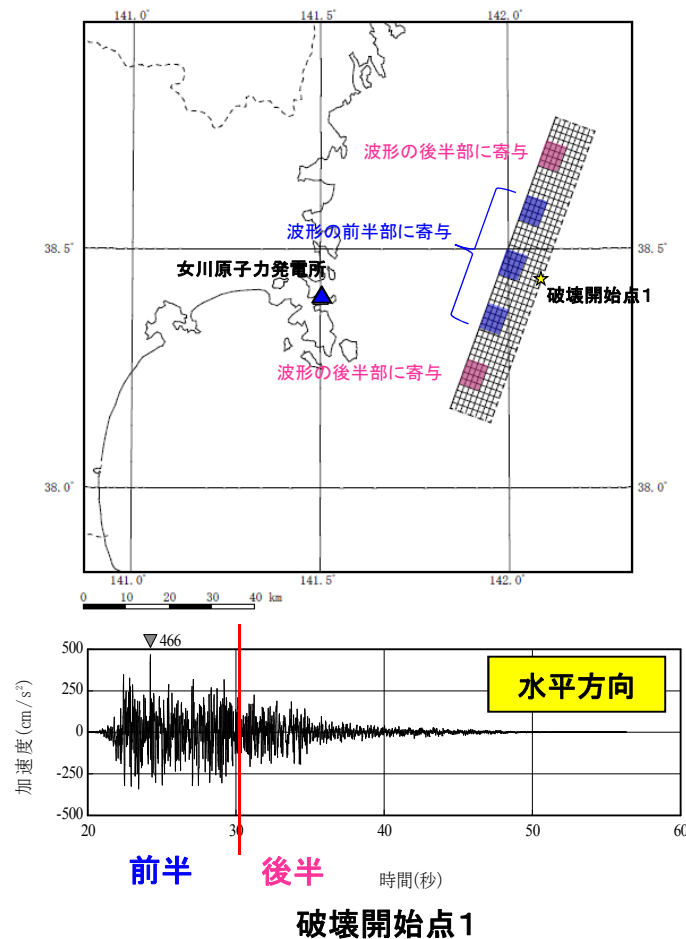


## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による地震動評価結果に関する考察

・破壊開始点1について、波形の前半と後半部の応答スペクトルを比較すると、特に短周期は近いアスペリティの影響が支配的。

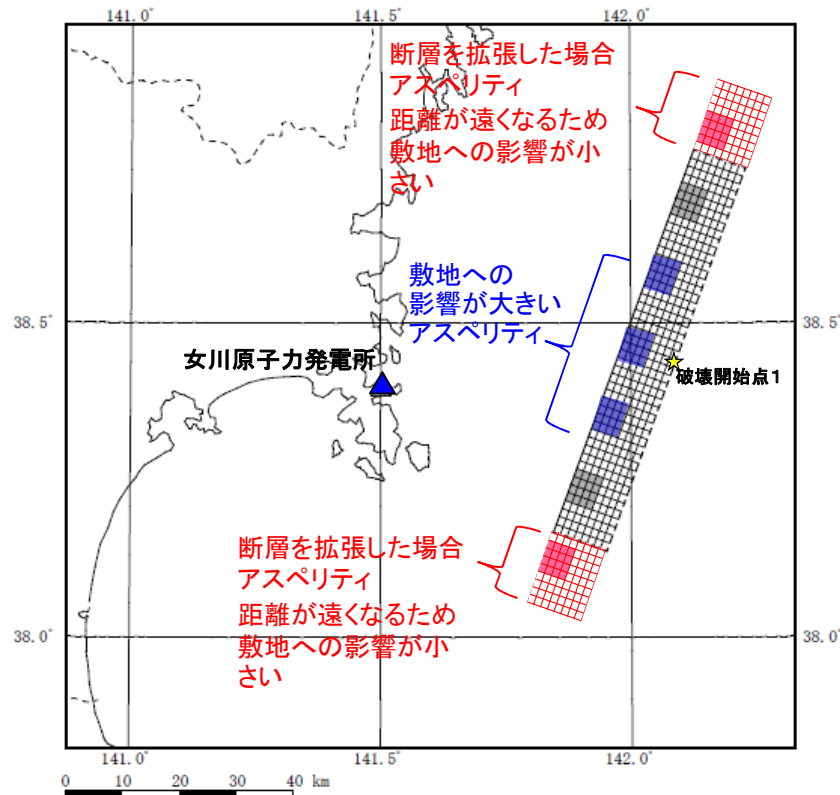


## V. 二重深発地震 上面の地震 4.7型地震の詳細検討

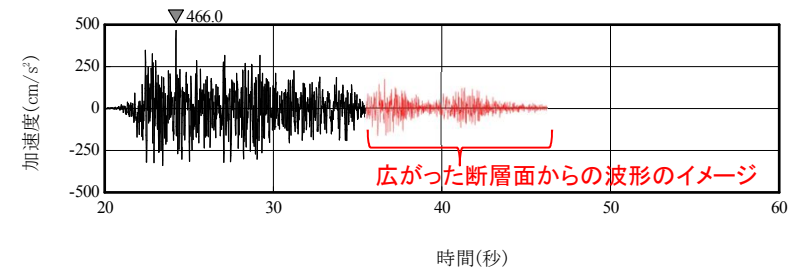
### 4. 笹谷ほか(2006)による検討

#### ■ 4.7型地震 不確かさケース1(M7.5)の笹谷ほか(2006)による地震動評価結果に関する考察

二重深発面のさらなる大地震を考えた場合、中立軸を超えて断層破壊面が拡大するよりも、同じ応力状態の南北方向に広がる方が自然と考えられるため、敷地への影響という観点では、アスペリティと敷地の関係から影響が特に大きいものとはならない。



・仮に断層が拡張した場合でも、敷地への影響は、至近のアスペリティの影響が大きく、広がった断層面のアスペリティの影響は小さいものと考えられる。



規模を大きくした場合の波形のイメージ

規模を大きくした場合のイメージ図

## 参考文献

1. 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
2. 宇津徳治 (1999): 地震活動総説, 東京大学出版会, 1999
3. 木村学 (2002): プレート収束帯のテクトニクス学, 東京大学出版会, 2002
4. Seno, T and M. Yoshida (2004): Where and why do large shallow intraslab earthquakes occur?, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 141, 183–206.
5. Seno, T and Y. Yamanaka (1998): Arc stresses determined by slabs: Implications for mechanisms of back-arc spreading, *Geophysical Research Letters*, Vol.25, No.17, Pages 3227–3230, September 1, 1998
6. 気象庁, 平成21年9月地震・火山月報(防災編)
7. Kirby, S.H., Engdahl, E.R. and Denlinger, R. (1996): Intermediate-Depth Intraslab earthquakes and arc volcanism as physical expressions of crustal and uppermost mantle metamorphism in subducting slabs, in *Subduction: Top to Bottom* edited by Bebout, G.E., Scholl, D., Kirby, S. and Platt, J.P., *Geophysical Monograph Series*, 96, AGU, Washington, D.C., 347–355, 1996.
8. Jose A. Alvarez-Gomez, Omar Q. Gutierrez Gutierrez, Inigo Aniel-Quiroga, M. Gonzalez (2012): Tsunamigenic potential of outer-rise normal faults at the Middle America trench in Central America, *Tectonophysics* 574–575, 133–143
9. 地震調査研究推進本部 (2012): 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について, [〈http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11nov\\_sanriku/index.htm〉](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11nov_sanriku/index.htm)
10. 気象庁 震度検索データベース: [〈http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php〉](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php)
11. 瀬野徹三 (1995): プレートテクトニクスの基礎, 朝倉書店, 190pp, 1995
12. 気象庁, 平成19年1月地震・火山月報(防災編)
13. 気象庁, 平成24年4月地震・火山月報(防災編)
14. 地震調査研究推進本部 (2015): 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」以降の地震活動の評価, [〈http://jishin.go.jp/main/chousa/14tohoku/index.htm〉](http://jishin.go.jp/main/chousa/14tohoku/index.htm)
15. 気象庁 (1951~2015): 地震月報ほか
16. 地震調査研究推進本部 (2014a): 地震がわかる!, [〈http://www.jishin.go.jp/main/pamphlet/wakaru\\_shiryo2/index.htm〉](http://www.jishin.go.jp/main/pamphlet/wakaru_shiryo2/index.htm)
17. 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.
18. Kita, S., T. Okada, J. Nakajima, T. Matsuzawa, N. Uchida, A. Hasegawa (2007): Precise hypocenter distribution and earthquake generating and stress in and around the upper-plane seismic belt in the subducting Pacific slab beneath NE Japan, *Eos Trans. AGU*, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract DI51A-0290, 2007.

## 参考文献

- 19.地震調査研究推進本部(2014b):全国地震動予測地図2014年版～全国の地震動ハザードを概観して～,  
〈[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14_yosokuchizu/index.htm)〉
- 20.気象庁(2011a):平成23年4月 地震・火山月報(防災編), 〈<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/>〉
- 21.気象庁(2015):気象庁 地震月報(カタログ編), 〈<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/eqdoc.html#table6>〉
- 22.気象庁(2012):気象庁技術報告 第133号 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査報告,  
〈[http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/gizyutu\\_133.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/gizyutu/133/gizyutu_133.html)〉
23. 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, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G06, doi:10.1029/2011GL048432, 2011.
24. Hasegawa, A., S. Horiuchi, and N. Umino(1994) : Seismic structure of the northeastern Japan convergent margin : A synthesis, *J. Geophys. Res.*, 99, 22295–22311, 1994.
25. Ohta Y., S. Miura, M. Ohzono, S. Kita, T. Iinuma, T. Demachi, K. Tachibana, T. Nakayama, S. Hirahara, and 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(12), 1207–1211, 2011.
26. 佐藤智美(2012): 経験的グリーン関数法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル—プレート境界地震の短周期レベルに着目して—, 日本建築学会構造系論文集, 第77号, 2012年5月
27. Saeko Kita and Kei Katsumata(2015) : Stress drops for intermediate-depth intraslab earthquakes beneath Hokkaido, northern Japan: Differences between the subducting oceanic crust and mantle events, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G-Cubed)*, 16, 552–562, 2015.
28. 神田克久, 広谷浄, 石川和也(2013): 震度分布に基づく太平洋プレート内のスラブ内地震の短周期励起特性, 日本地球惑星科学連合2013年大会
29. 迫田浩司, 岡田知己, 菅ノ又淳一, 長谷川昭(2004): 2003年5月26日宮城県沖地震(M7.1)と二重深発地震面上面の地震活動—スラブ内大地震震源域における地震活動の特徴抽出—, 地震 第2輯, 第57巻
30. 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/>〉
31. 地震ハザードステーション(2014): 独立行政法人防災科学技術研究所, 地震ハザードステーション(Japan Seismic Hazard Information Station, 略称: J-SHIS)(オンライン), 〈<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>〉
32. Nakajima, J., S. Hada, E. Hayami, N. Uchida, A. Hasegawa, S. Yoshioka, T. Matsuzawa and N. Umino(2013): Seismic attenuation beneath northeastern Japan: Constraints on mantle dynamics and arc magmatism , *J. Geophys. Res.*, 118, 5838–5855, 2013.
33. 北佐枝子(2014): 北海道下におけるスラブ内地震の応力降下量の空間変化の特徴, 日本地震学会講演予稿集2014年度秋季大会

## 参考文献

34. 山中佳子(2011):リアルタイム地震学(NGY地震学ノート), 名古屋大学地震火山・防災研究センター, [http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/2011/NGY37.html](http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2011/NGY37.html)
35. 東北大学(2011):東北大学大学院理学研究科 第190回 地震予知連絡会, <<http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/project/yoti/y-zisin/ccep/>>
36. 佐藤智美, 巽誉樹(2002):全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集, 第556号
37. 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
38. 入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子(1997):経験的グリーン関数法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, No.2, B25
39. 佐藤智美(2004):強震記録に基づく2003年宮城県沖の地震の大加速度の成因に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第581号
40. Kanamori, H.(1977):The Energy Release in Great Earthquakes, J. Geophys. Vol. 82
41. 気象庁(2003):気象庁 平成15年5月地震・火山月報(防災編), <<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/>>
42. 菅ノ又淳一, 岡田知己, 長谷川昭, 迫田浩司, Stephen H.Kirby (2006):Double-Difference Location法による東北日本弧下の稍深発地震の震源再決定, 地震 第2輯, 第59巻
43. 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 Analysis. Oct. 16-18, Istanbul.
44. 気象庁(2008):平成20年7月地震・火山月報(防災編), <<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/>>
45. 東北大学(2008):東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター 地震特集 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震, <<http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/info/topics/topics-080724/>>
46. 佐藤智美(2013):東北地方のアウトーライズ地震, スラブ内地震, プレート境界地震の短周期レベルとfmax及び距離減衰特性, 日本建築学会構造系論文集, 689, 1227-1236
47. 中村雅基, 勝間田明男, 桑山辰夫, 白井恒雄, 草野富二雄, 永岡修, 橋田俊彦, 橋本勲(1994):平成5年(1993年)釧路沖地震の地震活動について, 験震時報第58巻
48. 地震調査研究推進本部(2013):今後の地震動ハザード評価に関する検討～2013年における検討結果～, [http://jishin.go.jp/main/chousa/13\\_yosokuchizu/index.htm](http://jishin.go.jp/main/chousa/13_yosokuchizu/index.htm)
49. 地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図, <[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/index.htm)>

## 参考文献

50. Nakajima, J., Tsuji, Y., Hasegawa, A., Kita, S., Okada, T. and Matsuzawa, T. (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, 470–481, 2009.
51. 壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透 (2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, *日本建築学会構造系論文集*, 545, 51–62
52. 気象庁 (2011b): 平成23年7月 地震・火山月報(防災編), <<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/>>
53. 地震調査研究推進本部 (2000): 2000年1月の地震活動について, <<http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00feb/index.htm#2-1>>
54. 地震調査研究推進本部 (2004): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版), <[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04dec\\_chishima2/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04dec_chishima2/index.htm)>
55. 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会 (2002): 原子力発電所の津波評価技術
56. 武藤大介, 上野寛, 川添安之, 岩切一宏 (2014): 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の前後に発生した地震の震源過程の解析, *験震時報*第78巻
57. 司宏俊・翠川三郎 (1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, *日本建築学会構造系論文集*, 第583号
58. 小穴温子, 壇一男, 宮腰淳一, 石川和也, 福士知司 (2015): 2011年4月7日の宮城県沖スラブ内地震の女川地点における複数の要素地震を用いた経験的グリーン関数法による地震動評価, *日本地震学会講演予稿集2015年度秋季大会*