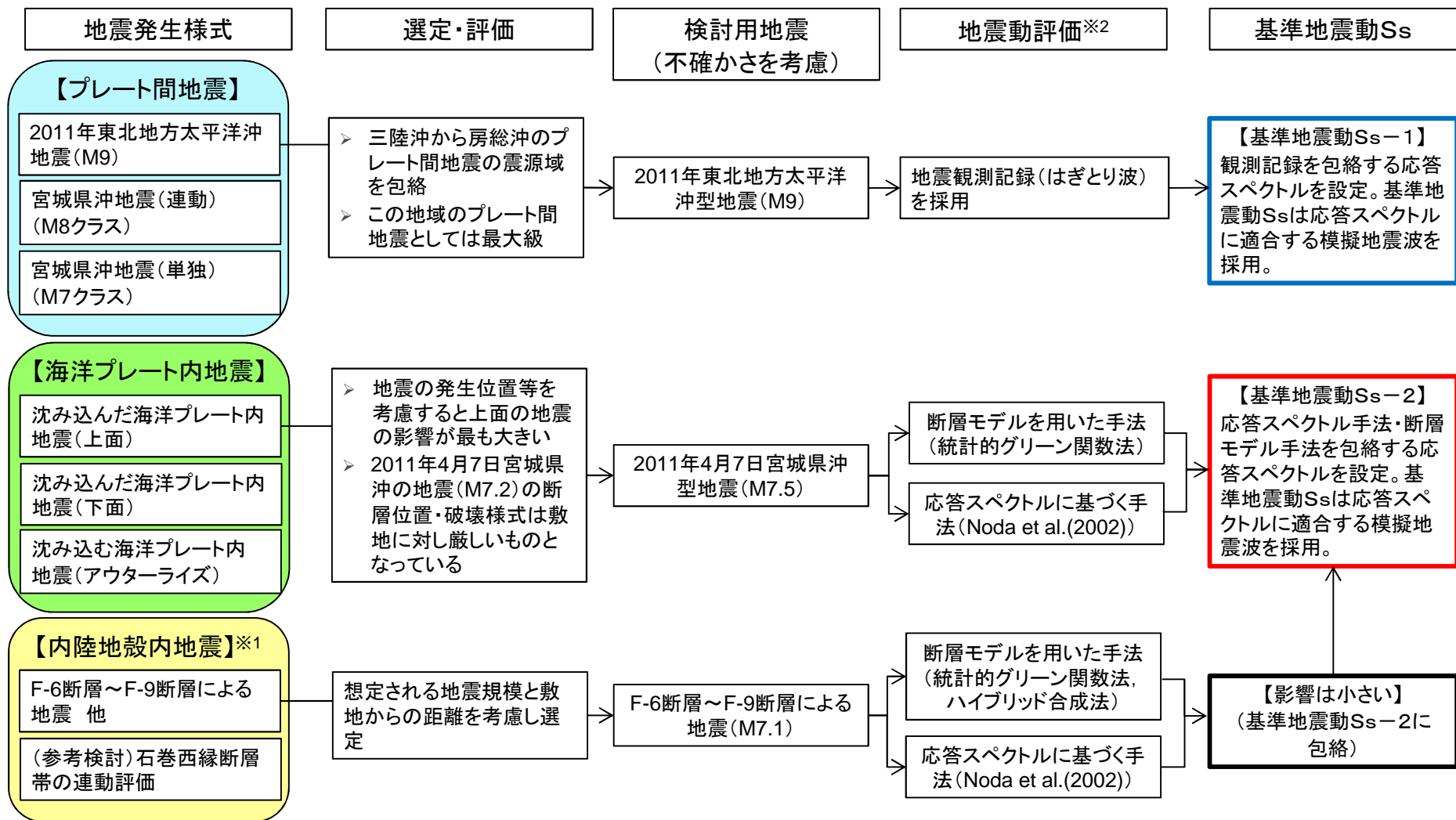


女川原子力発電所
基準地震動の策定について
(敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)

平成26年10月17日
東北電力株式会社

基準地震動S_s(敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)の策定フロー



※1:平成26年3月26日, 4月16日, 9月12日開催の審査会合におけるコメントを踏まえた検討結果を今後適切に反映する。

※2:地震動評価については、「敷地地盤の振動特性」の審査結果を踏まえ、適切に反映する。

目次

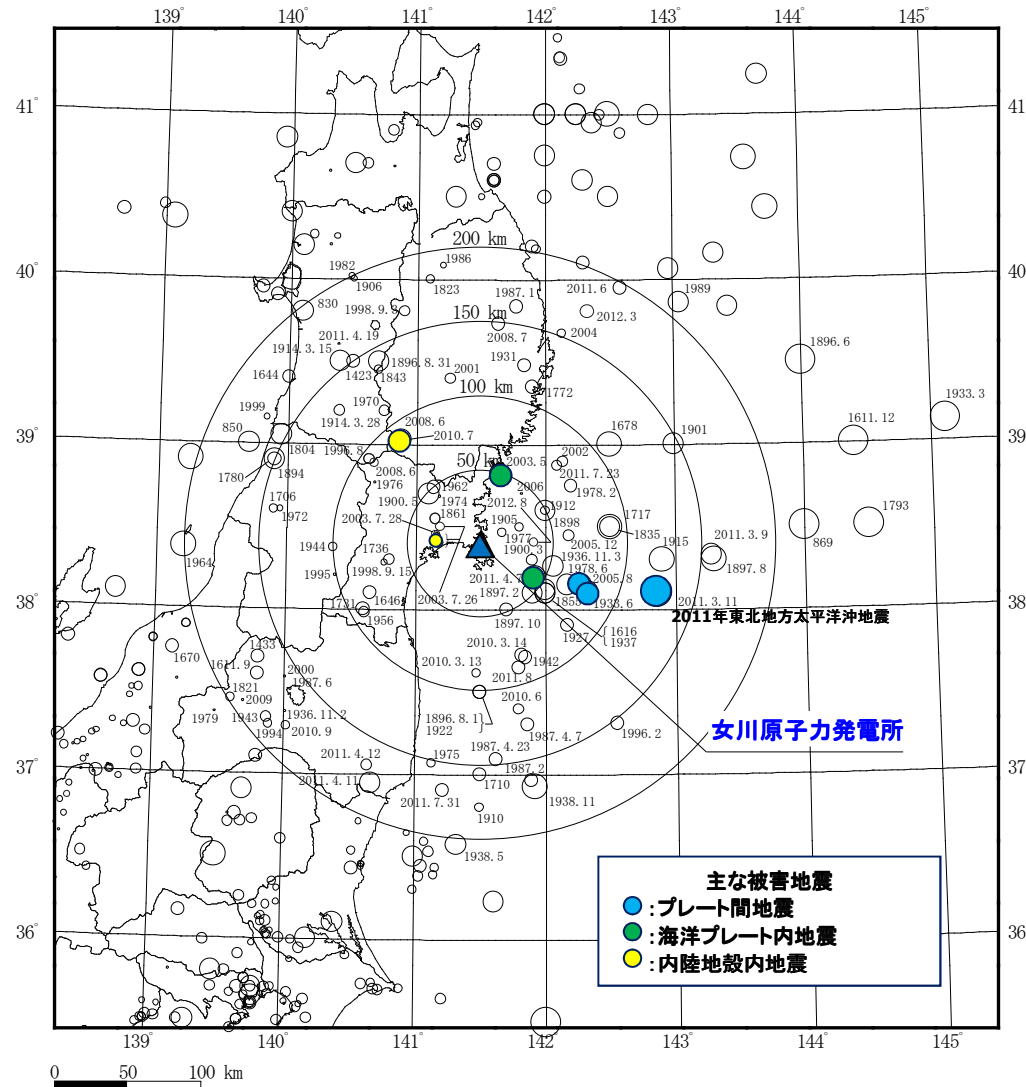
1. 敷地周辺の地震発生状況	3
2. 地震動評価に用いる地下構造モデル	15
3. プレート間地震の地震動評価	19
4. 海洋プレート内地震の地震動評価	26
5. 内陸地殻内地震の地震動評価	34
6. 基準地震動 S_s	42

目次

1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 地震動評価に用いる地下構造モデル
3. プレート間地震の地震動評価
4. 海洋プレート内地震の地震動評価
5. 内陸地殻内地震の地震動評価
6. 基準地震動 S_s

1. 敷地周辺の地震発生状況

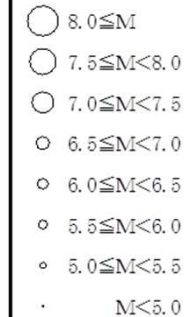
1.1 敷地周辺における主な被害地震の震央分布



・プレート間地震としては、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0, $\Delta=124\text{km}$)が発生。M7クラスの地震としては、1978年宮城県沖地震(M7.4, $\Delta=65\text{km}$), 2005年8月16日宮城県沖の地震(M7.2, $\Delta=73\text{km}$)等が発生。

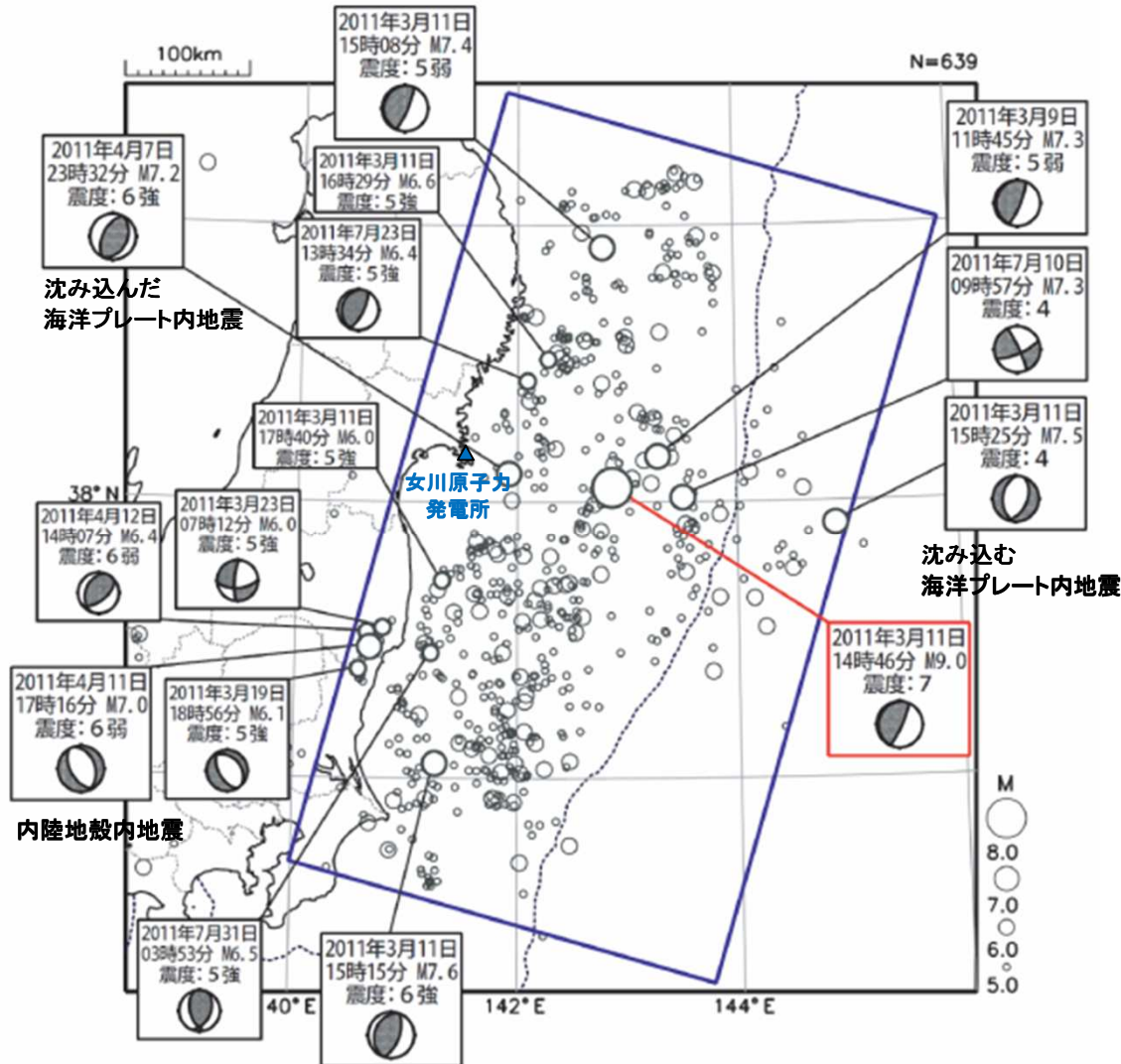
・海洋プレート内地震としては、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2, $\Delta=43\text{km}$), 2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1, $\Delta=48\text{km}$)が発生。

・内陸地殻内地震として、2003年宮城県中部の地震(M6.4, $\Delta=29\text{km}$), 2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2, $\Delta=88\text{km}$)が発生。



1. 敷地周辺の地震発生状況

1.2 2011年東北地方太平洋沖地震とその余震の分布



・2011年東北地方太平洋沖地震(3.11地震)は東日本を中心に北海道から九州にかけての広い範囲で揺れが観測された。

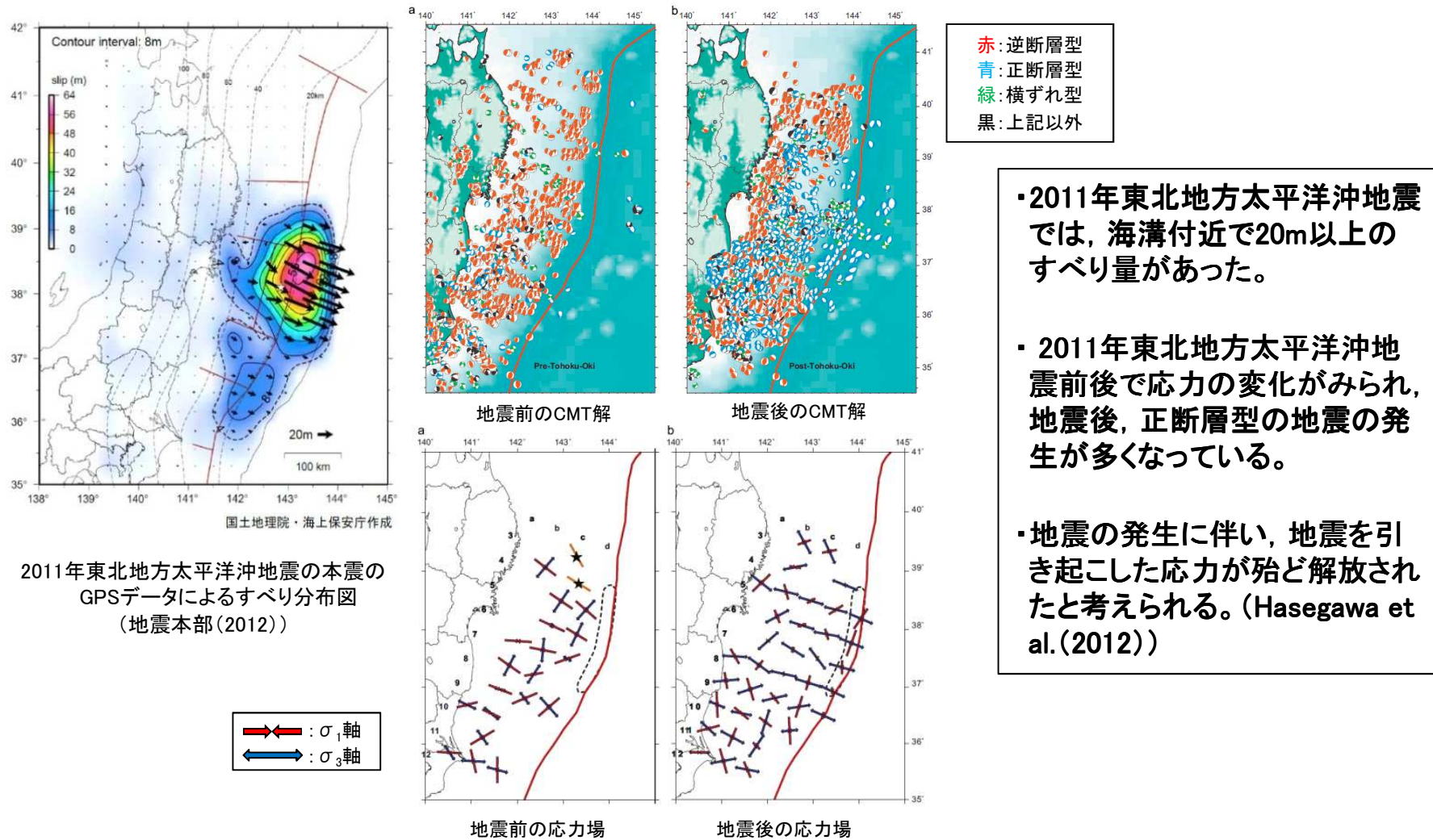
・余震は、岩手県沖から茨城県沖にかけて、長さ約500km、幅約200kmの範囲に密集しているほか、震源域に近い日本海溝の東側や陸域の浅い場所でも活動がみられる。

・主な余震としては、2011年3月11日15:25三陸沖の地震(M7.5, 沈み込む海洋プレート内地震), 2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2, 沈み込んだ海洋プレート内地震), 2011年4月11日福島県浜通りの地震(M7.0, 内陸地殻内地震)等がある。

2011年東北地方太平洋沖地震とその余震の分布(気象庁(2012)に一部加筆)

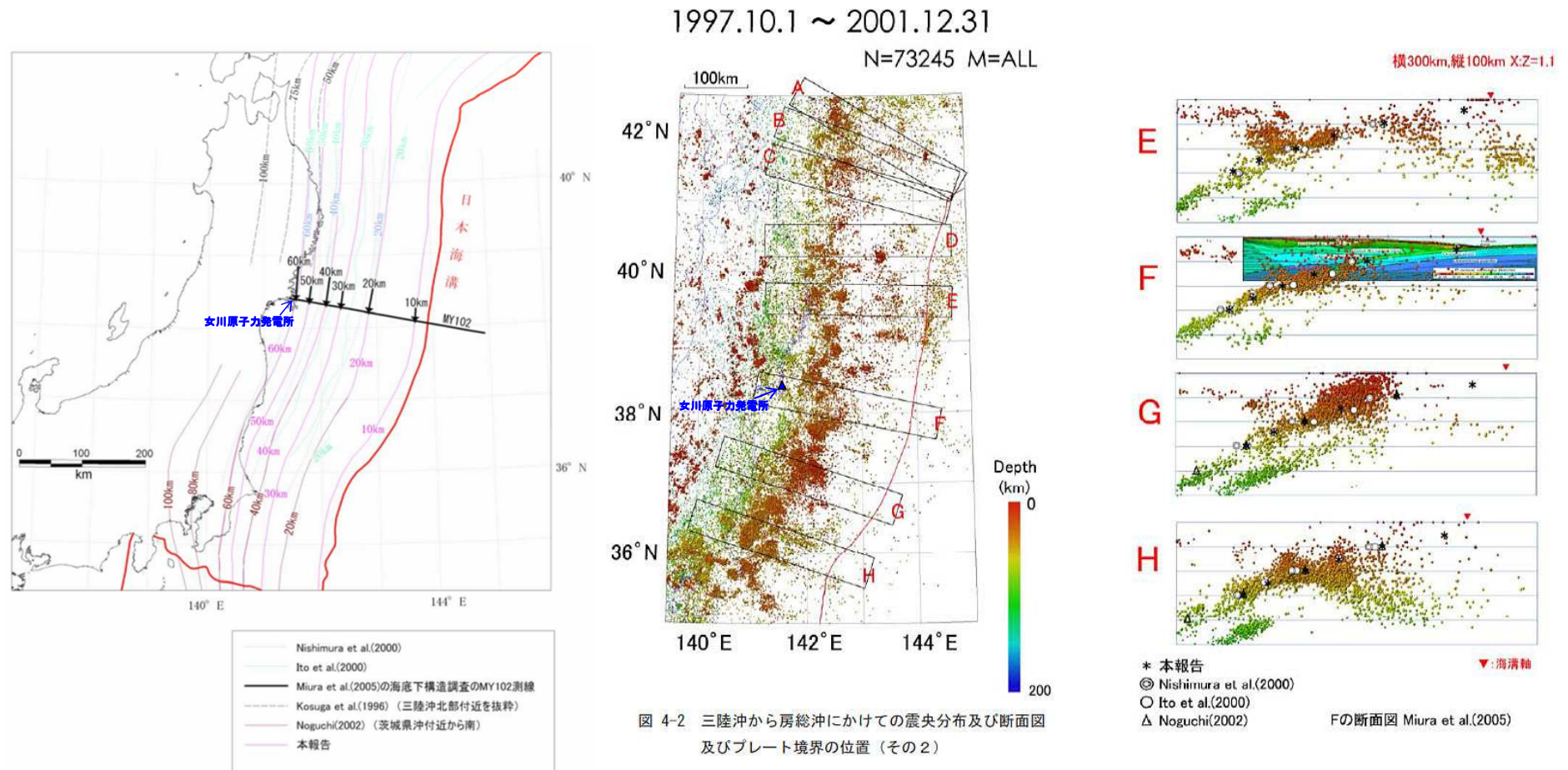
1. 敷地周辺の地震発生状況

1.3 2011年東北地方太平洋沖地震後の応力場の変化



1. 敷地周辺の地震発生状況

1.4 プレート境界面

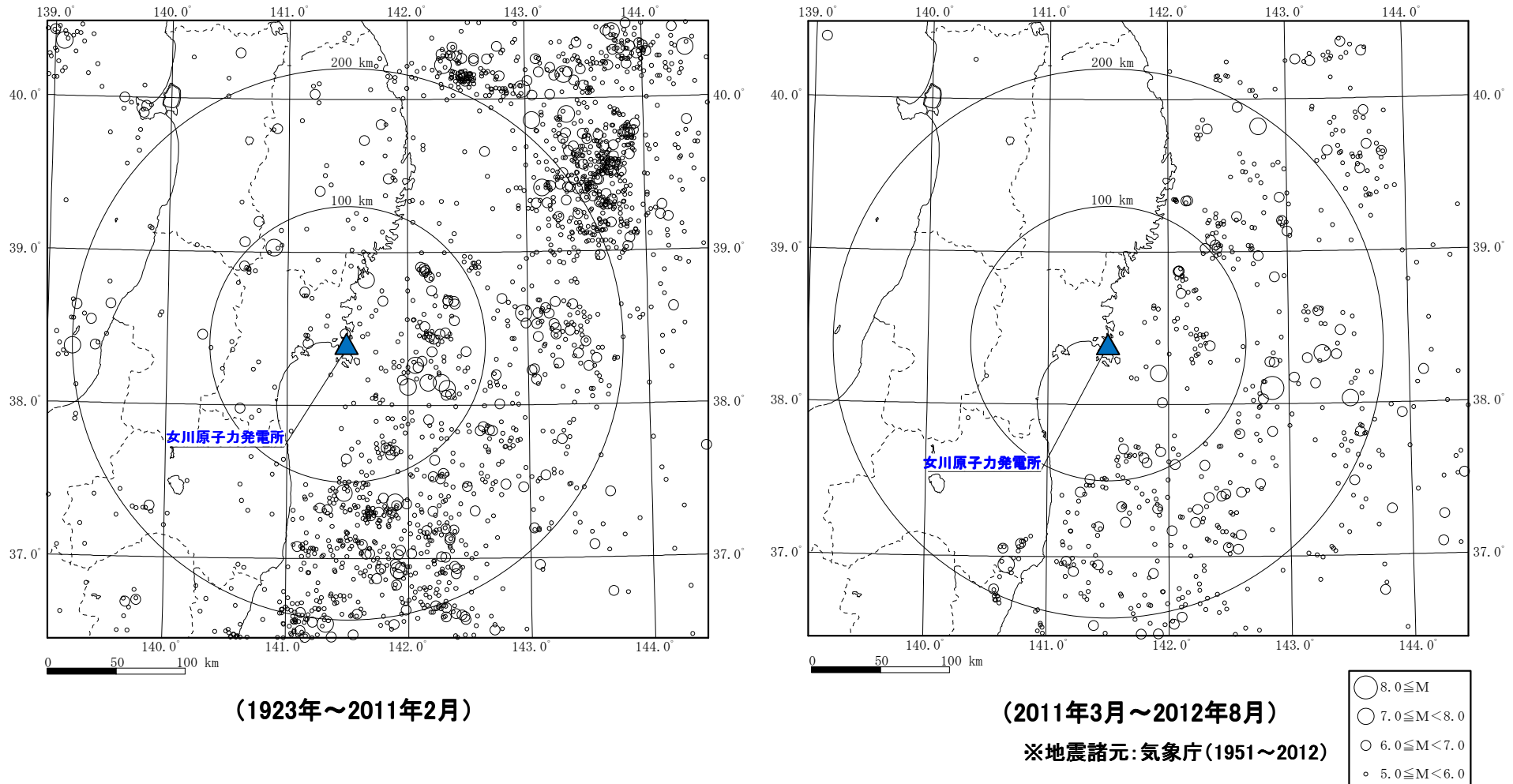


微小地震の震源分布等に基づくプレート境界面の推定等深線図(地震本部(2012)に一部加筆)

・敷地付近でのプレート境界面は深さ60km程度。

1. 敷地周辺の地震発生状況

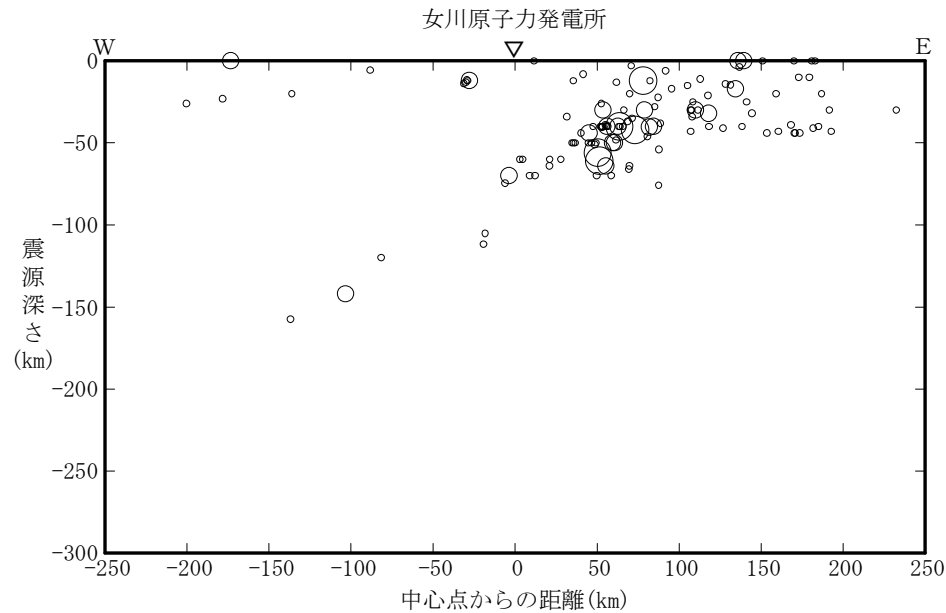
1.5 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の震央分布



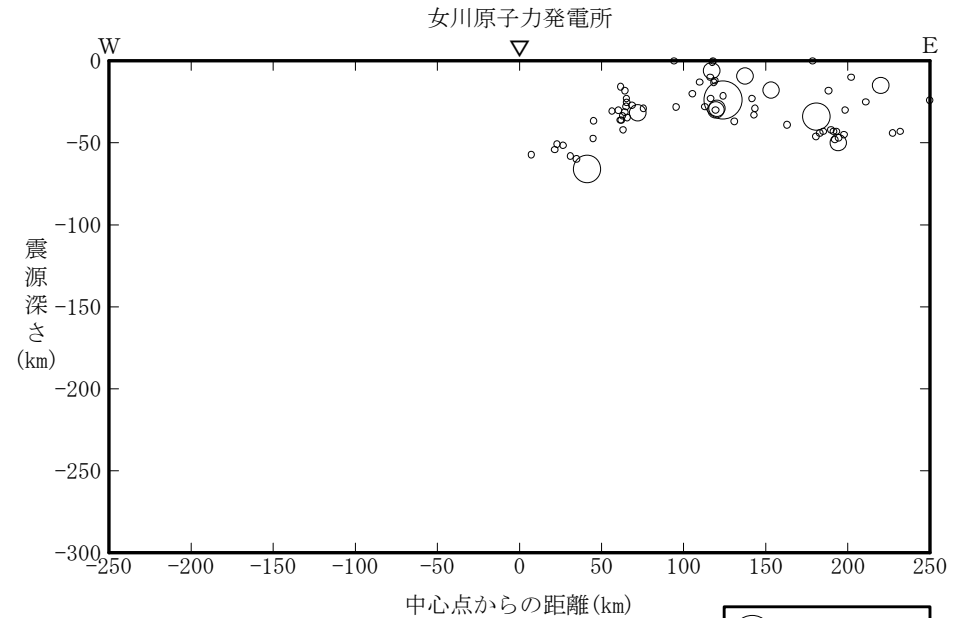
・太平洋側海域で発生頻度が高く、2011年東北地方太平洋沖地震や、その余震が数多く発生。

1. 敷地周辺の地震発生状況

1.6 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の鉛直分布

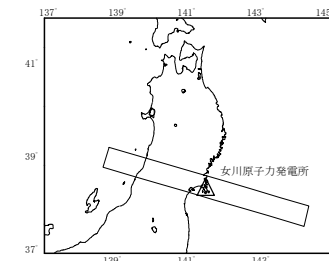
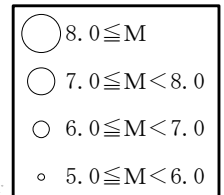


(1923年～2011年2月)



(2011年3月～2012年8月)

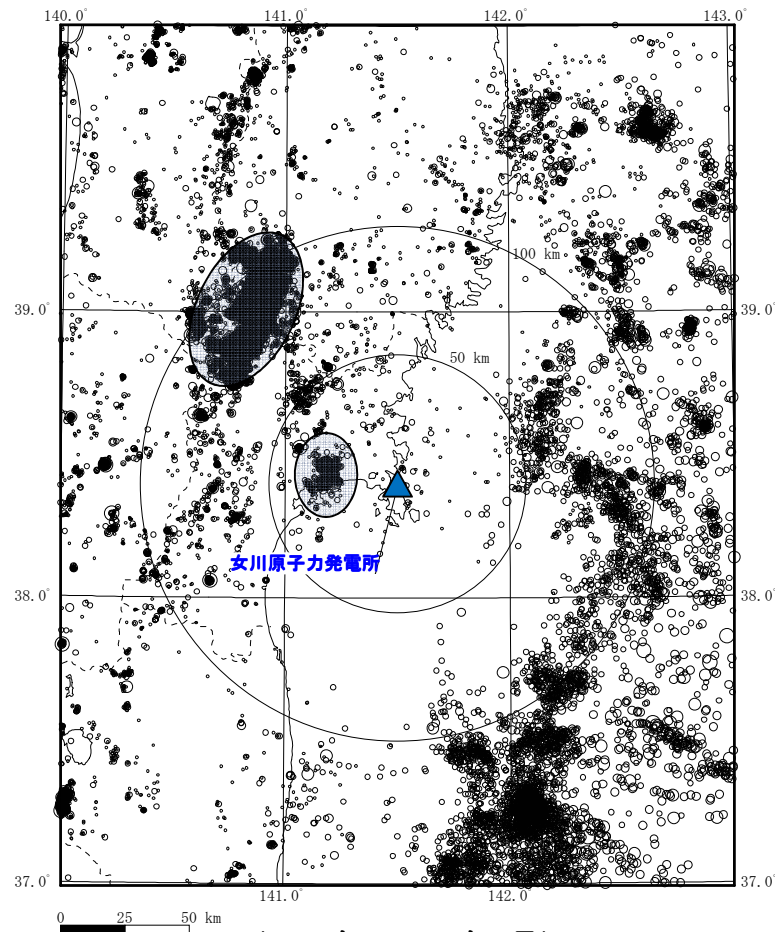
※地震諸元: 気象庁(1951～2012)



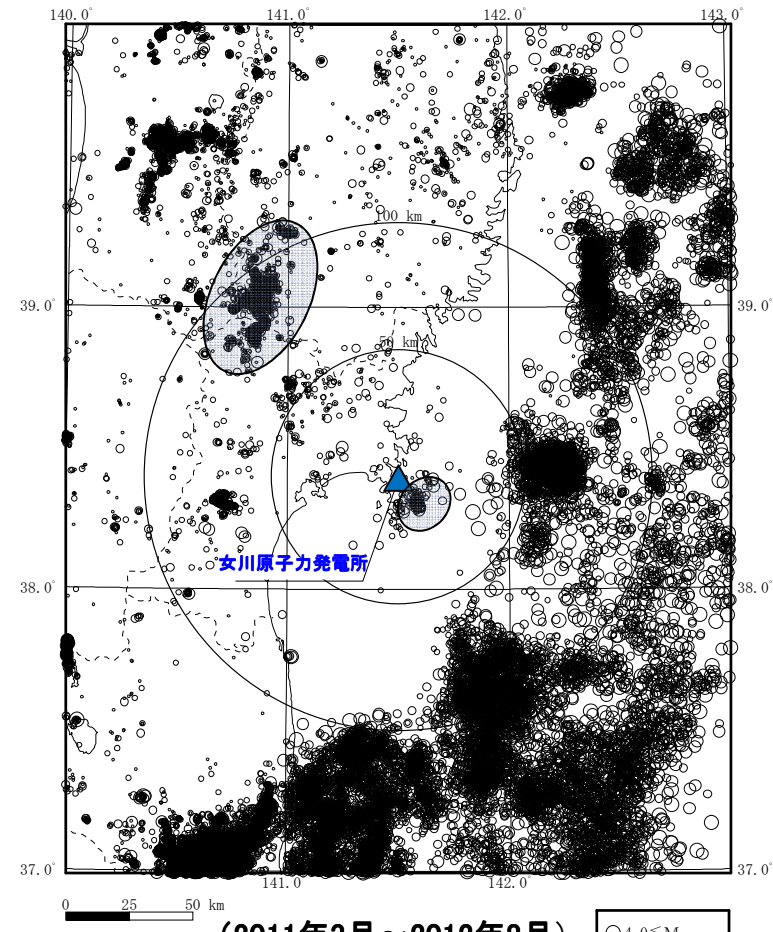
・太平洋プレートの沈み込みによる地震が多く、陸域に近づくに従ってその震源は深くなっている。

1. 敷地周辺の地震発生状況

1.7 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ0km~30km)

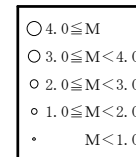


(2008年~2011年2月)



(2011年3月~2012年8月)

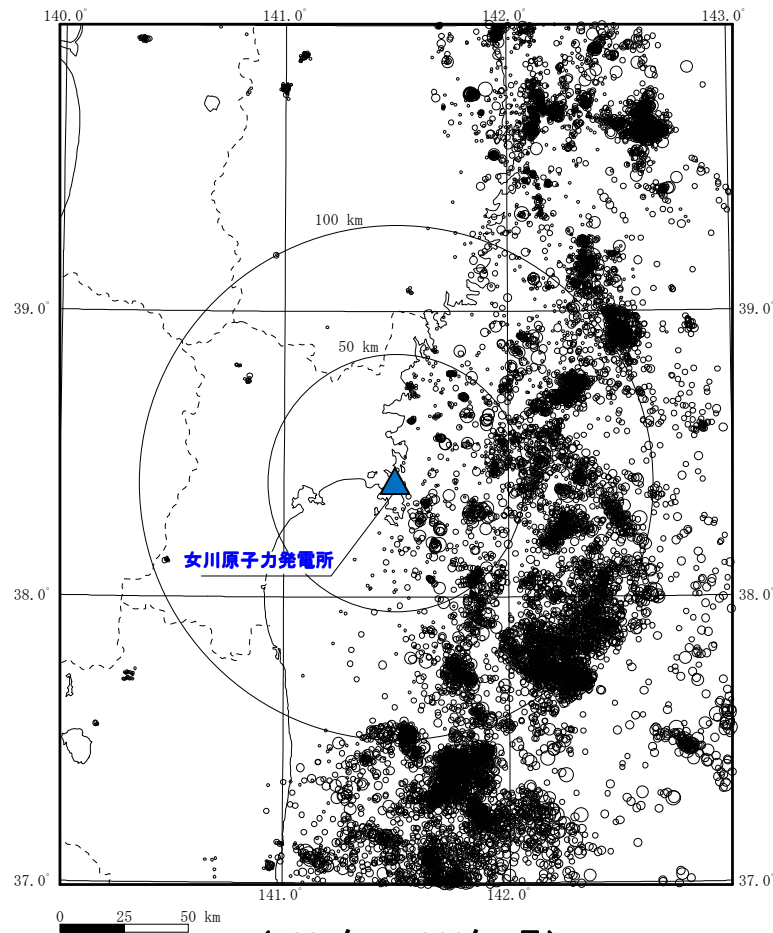
※地震諸元: 気象庁(1951~2012)



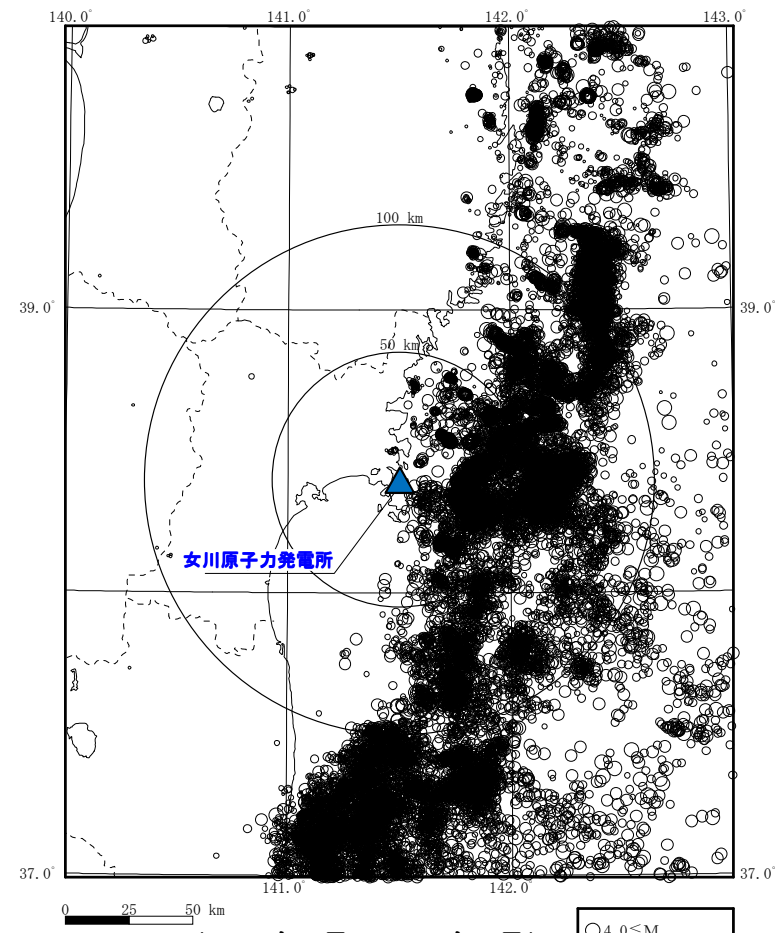
- ・太平洋側海域のプレート境界付近の地震が数多く発生。
- ・2003年宮城県中部の地震, 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域付近に余震が発生。
- ・金華山付近に, 2011年東北地方太平洋沖地震の余震と考えられる地震が発生。

1. 敷地周辺の地震発生状況

1.8 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ30km~60km)

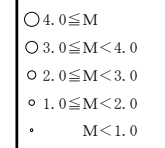


(2008年～2011年2月)



(2011年3月～2012年8月)

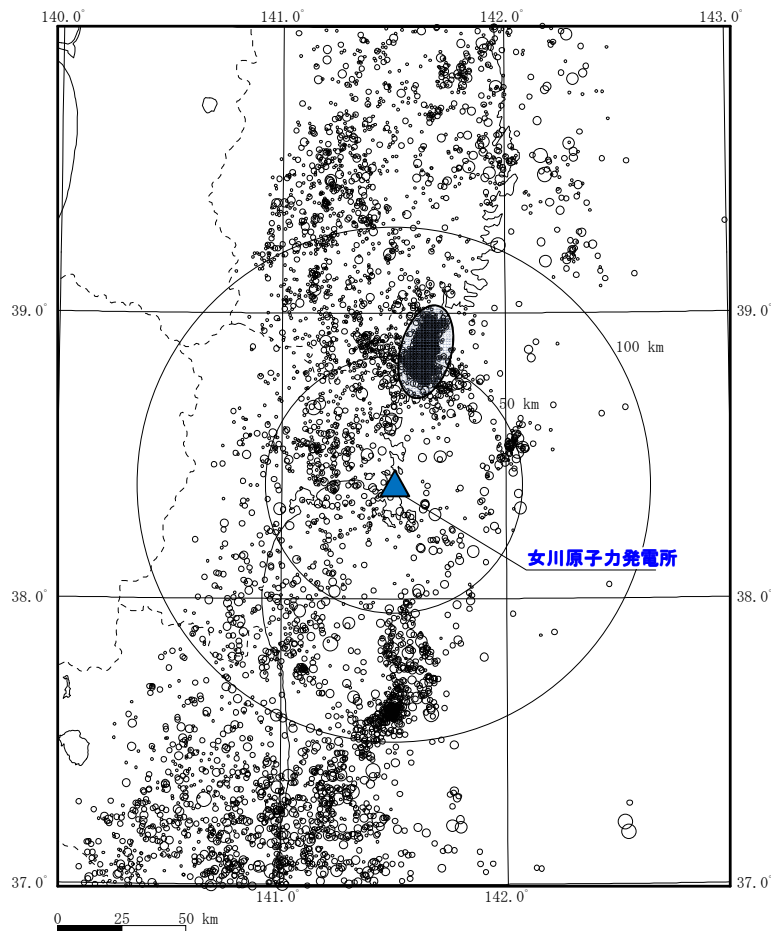
※地震諸元: 気象庁(1951～2012)



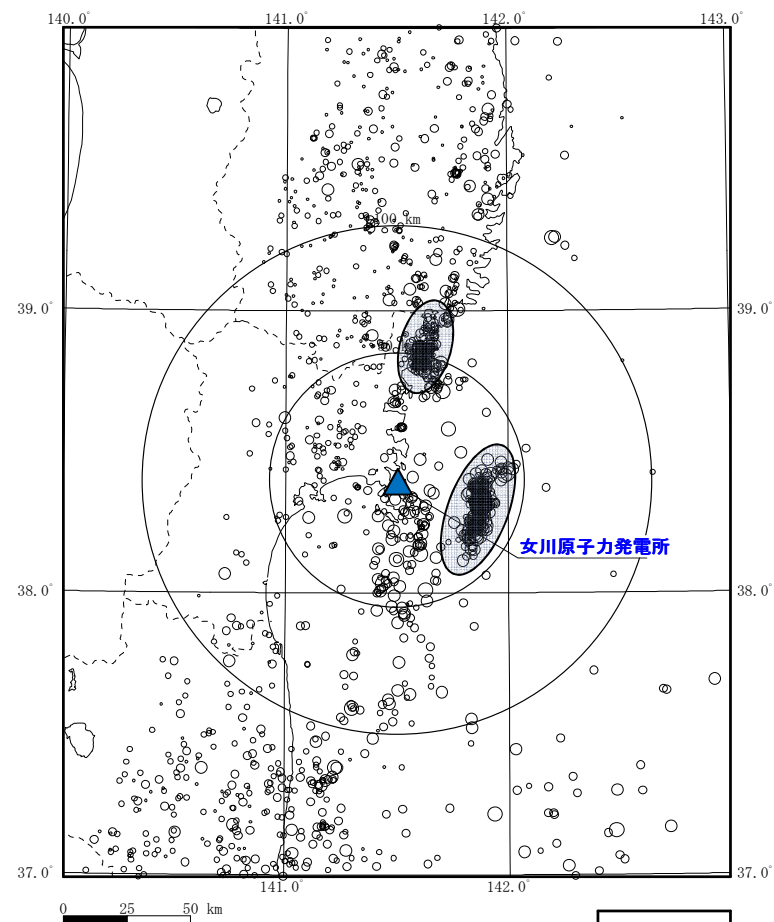
・太平洋側海域のプレート境界付近に多数の地震が発生。

1. 敷地周辺の地震発生状況

1.9 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ60km~100km)

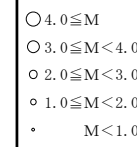


(2008年~2011年2月)



(2011年3月~2012年8月)

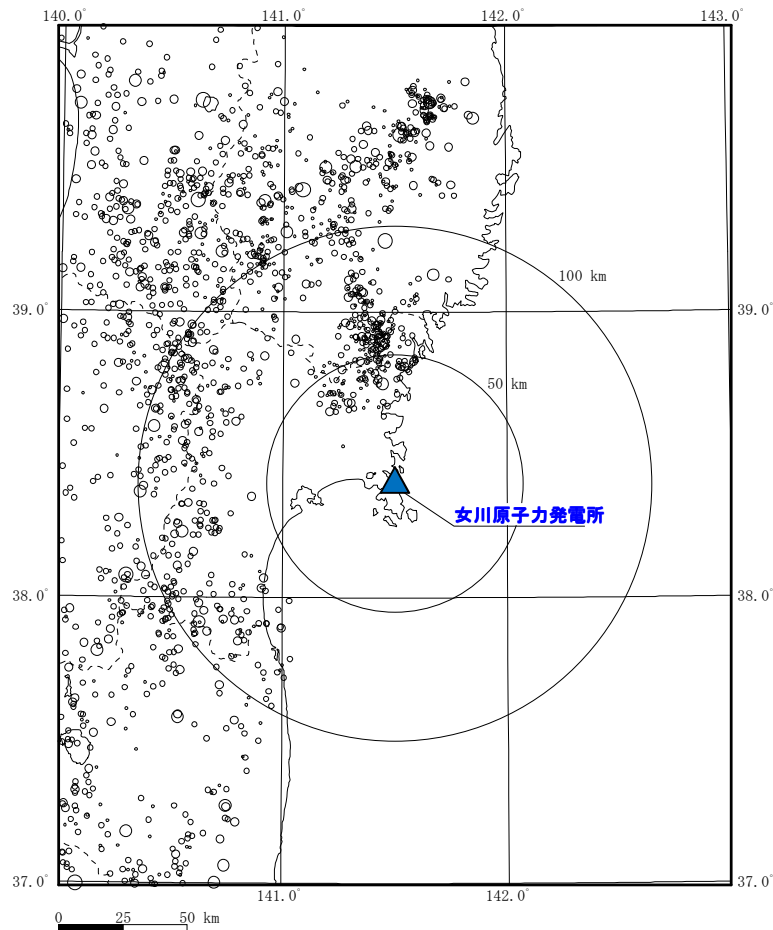
※地震諸元: 気象庁(1951~2012)



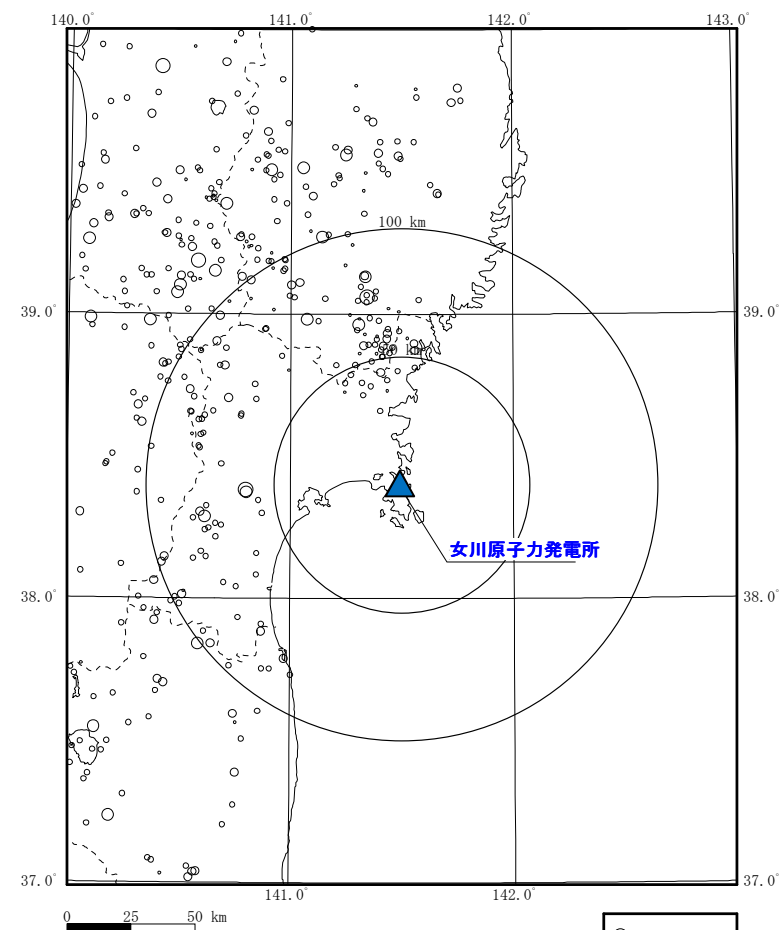
- ・太平洋プレートの沈み込みに沿って地震が発生。
- ・2003年宮城県沖の地震, 2011年4月7日宮城県沖の地震の震源域に余震が発生。

1. 敷地周辺の地震発生状況

1.10 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の震央分布(震源深さ100km以深)

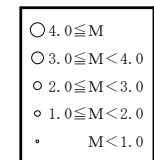


(2008年～2011年2月)



(2011年3月～2012年8月)

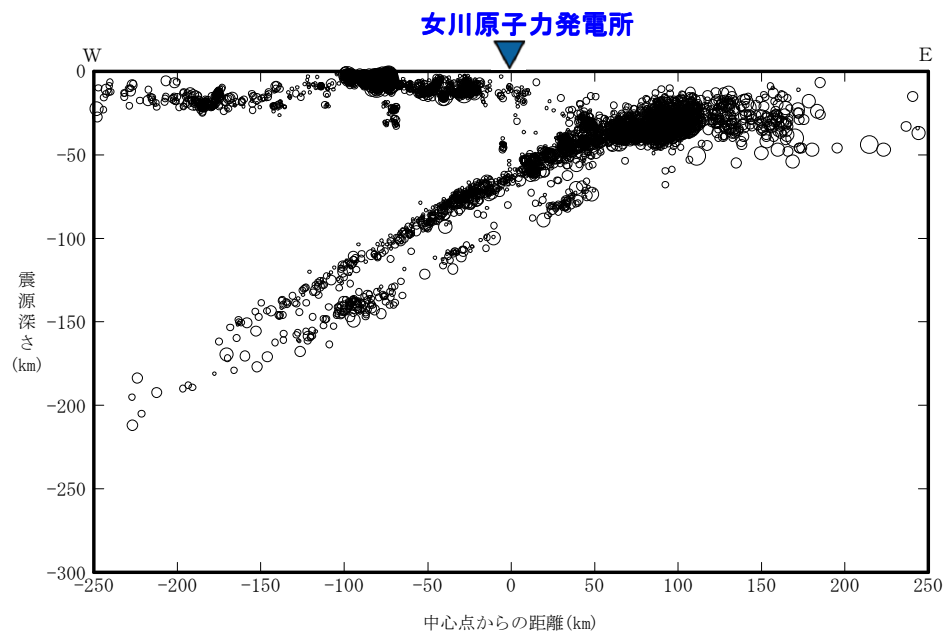
※地震諸元: 気象庁(1951～2012)



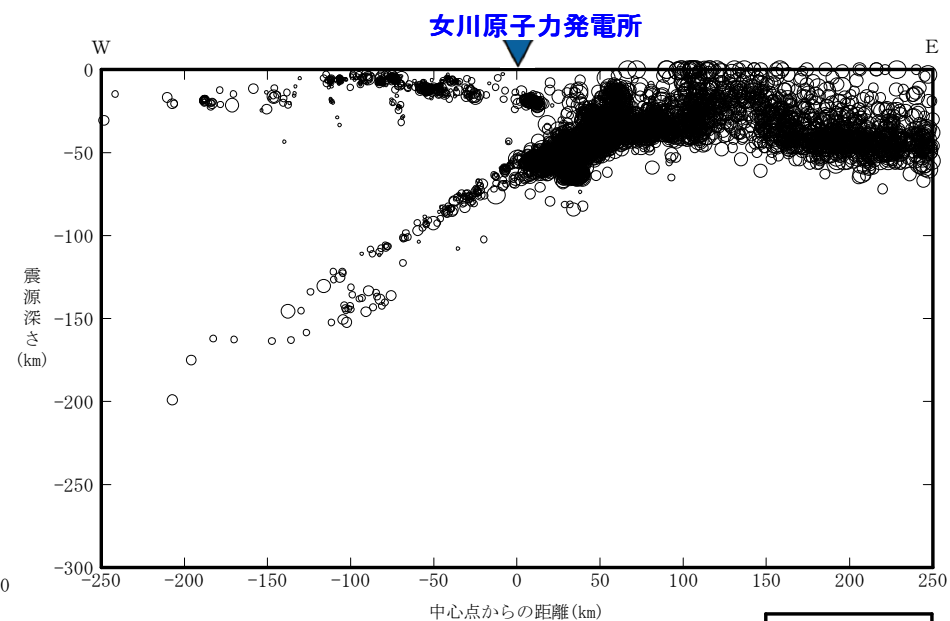
・太平洋プレートの沈み込みに沿って地震が発生。

1. 敷地周辺の地震発生状況

1. 11 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の鉛直分布

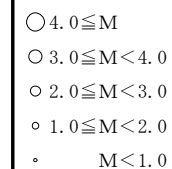


(2008年～2011年2月)

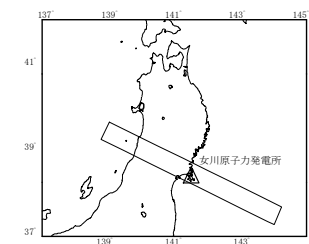


(2011年3月～2012年8月)

※地震諸元: 気象庁(1951～2012)



- ・太平洋プレートの沈み込みに沿って地震が発生しており、二重深発地震面がみられる。
- ・陸域に近づくに従ってその震源が深くなり、敷地周辺では深さ70km程度で発生。



目次

1. 敷地周辺の地震発生状況
- 2. 地震動評価に用いる地下構造モデル**
3. プレート間地震の地震動評価
4. 海洋プレート内地震の地震動評価
5. 内陸地殻内地震の地震動評価
6. 基準地震動 S_s

2. 地震動評価に用いる地下構造モデル

2.1 はぎとり解析に用いる地下構造モデル

- ・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, 2011年東北地方太平洋沖地震等での観測記録に基づき設定した地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	減衰定数 $h(f)=h_0f^{-\alpha}$			
G.L. (m)	O.P.※1 (m)					水平		鉛直	
						h ₀	α	h ₀	α
0	18.7								
-1.7	17.0	1.7	2.10	204 (112)※2	467	0.10 (0.44)※2	0.00 (0.38)※2	0.50	0.51
-5.0	13.7	3.3							
-21.6	-2.9	16.6							
-27.3	-8.6	5.7	2.55	1500	2882	0.20	1.00	0.50	0.51
-34.5	-15.8	7.2							
-61.5	-42.8	27.0							
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	0.77	1.00	1.00	0.61
-147.1	-128.4	65.3							
—	—	∞							
				2600	5300				

▽岩盤上部
(解放基盤表面相当)

▽地震基盤相当

※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 ()の数値は, 2011年東北地方太平洋沖地震の解析に使用。

2. 地震動評価に用いる地下構造モデル

2.2 統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル

- ・プレート間地震, 海洋プレート内地震, 内陸地殻内地震の地震動評価に用いる地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (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

※内陸地殻内地震

$$Q(f) = 110 \cdot f^{0.69} \quad (f \geq 1\text{Hz}), 110 (f < 1\text{Hz}) \quad (\text{地震本部(2005)})$$

海洋プレート内地震

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

2. 地震動評価に用いる地下構造モデル

2.3 ハイブリッド合成法のうち理論的手法に用いる地下構造モデル

・内陸地殻内地震の地震動評価に用いる地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	Q _S	Q _P
G.L.(m)	O.P.(m)						
-27.3	-8.6						
-34.5	-15.8	7.2	2.55	1500	2882	45	86
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101	60	123
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	66	135
-147.1	-128.4	65.3		2600	5300	78	159
-12017.1	-11998.4	11870.0	2.80	3470	6150	104	185
-32017.1	-31998.4	20000.0		3700	6400	300	600
—	—	∞	2.90	4200	7500	300	600

▽岩盤上部

(解放基盤表面相当)

▽地震基盤相当

※ O.P.-128.4m以深の密度およびV_Pは, Luding et al.(1970)による。また, Q_SはCervený and Psencik(1984), Q_PはVassiliou et al.(1982)を用いて設定した。

目次

1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 地震動評価に用いる地下構造モデル
- 3. プレート間地震の地震動評価※**
4. 海洋プレート内地震の地震動評価
5. 内陸地殻内地震の地震動評価
6. 基準地震動 S_s

※: 詳細については, 資料2-2により説明。

3. プレート間地震の地震動評価

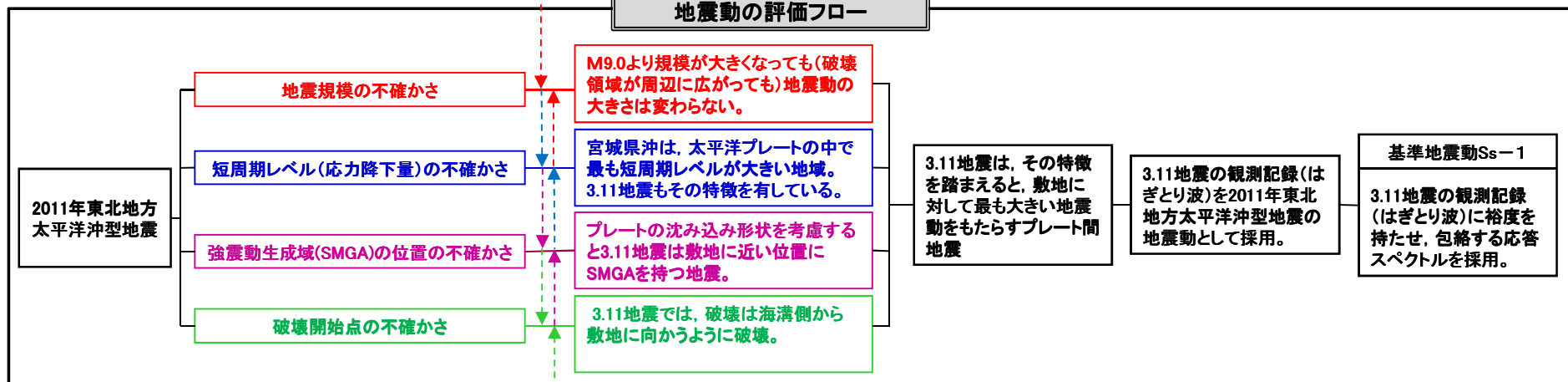
3.1 プレート間地震 地震動の評価フロー

3.11地震※1に関する既往知見

<p>【知見①:地震規模と強震動の関係】</p> <ul style="list-style-type: none"> 宮城県沖の領域は全て破壊したが、女川の記録は2つのウェーブパケットに分かれており、至近の強震動生成域の影響が大きい(背景領域や遠いSMGAの影響は小さい)。 震度インバージョンや距離減衰式の評価から、3.11地震の地震動はM8前半と同等、また連動型想定宮城県沖地震(M8.2)の地震動評価とも整合。 	<p>【知見②:短周期レベル(応力降下量)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既往の3.11地震シミュレーションモデルのSMGAの地震モーメントM_0-短周期レベルAの関係は、福島県沖、茨城県沖と比較して宮城県沖が最も大きく、また、1978年宮城県沖地震と整合。 過去に発生した太平洋プレートのプレート間地震のM_0-Aの整理でも、他の領域に比べ宮城県沖が最も大きい傾向。 	<p>【知見③:3.11地震のSMGAの位置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既往の3.11地震シミュレーションモデルのSMGAは敷地に近いプレート境界に設定されている。 プレートの沈み込み形状から、SMGAを平面的に敷地に近づけても深くなるため、距離は大きく変わらない。 	<p>【知見④:破壊開始点の影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既往の3.11地震シミュレーションモデルでは、破壊開始点は海溝側に設定されており、破壊が敷地に向かう位置となっている。
--	--	---	--

※1:2011年東北地方太平洋沖地震

地震動の評価フロー

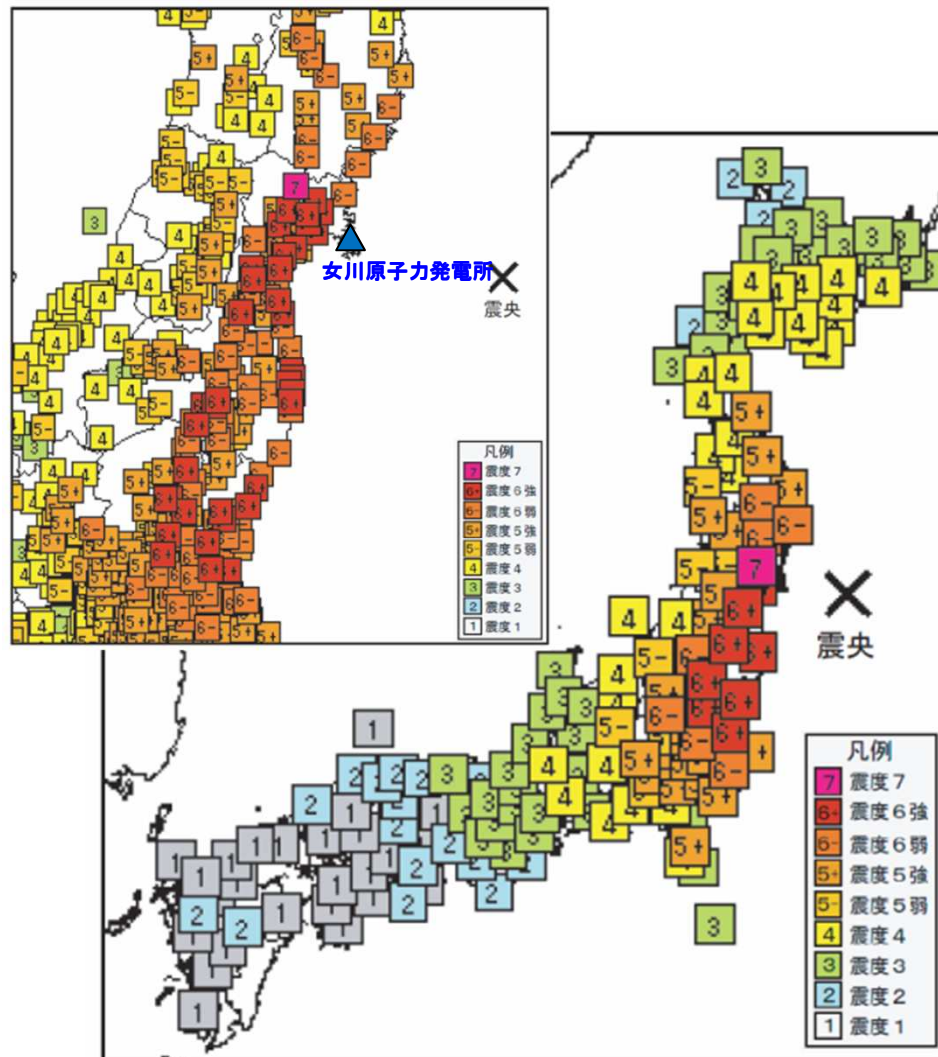


断層モデルを用いた検討

<p style="text-align: center;">諸井ほか(2013)</p> <p>【検討概要】</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.11地震について、先験的な情報を用いた地震動評価結果(SGF)と観測記録(女川、福島、東海)との整合性検討を実施。 <p>【検討結果から得られる知見】</p> <ol style="list-style-type: none"> 各サイトの前面の領域区分全てが破壊することを仮定し策定したモデルは、観測記録の傾向を良く捉えている。 女川についてはやや過小のため、1978年宮城県沖地震を参考にSMGAの短周期レベルをかさ上げ(1.4倍)することで再現性が高まった。 	<p style="text-align: center;">「諸井ほか(2013)」のモデルを用いた検討※2</p> <p>【検討1】SMGAの位置の不確かさ</p> <ul style="list-style-type: none"> SMGAの位置を平面的にサイトに近づけた場合の検討を実施し、地震動レベルが大きく変わらないことを確認。 <p>【検討2】破壊開始点の不確かさ</p> <ul style="list-style-type: none"> 破壊開始点はサイトに破壊が進行する位置に設定しているが、破壊開始点を変えた場合の検討を実施し、地震動レベルが大きく変わらないことを確認。 <p style="text-align: right;">※2 申請後に新たに検討した内容</p>
--	---

3. プレート間地震の地震動評価

3.2 2011年東北地方太平洋沖地震の概要



地震の諸元

発生日時	2011年3月11日14時46分
地震名	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
地震規模	Mw9.0
震央位置	東経 142° 51.66' 北緯 38° 6.21'
震源深さ	24km
女川原子力発電所との距離	震央距離 124km

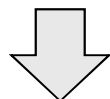
3. プレート間地震の地震動評価

3.3 プレート間地震の検討用地震の選定

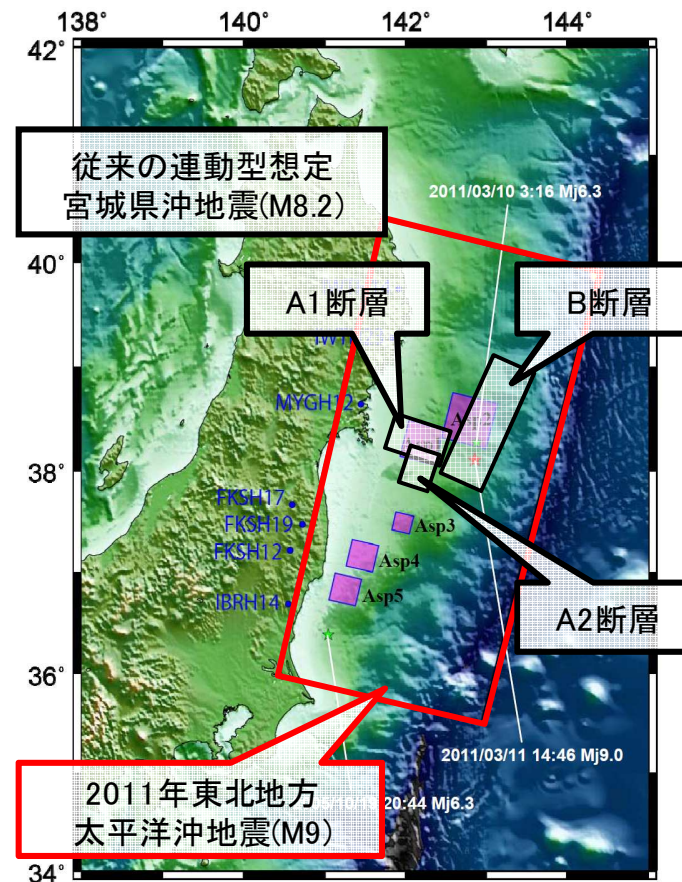
地震本部(2013)での評価モデル

領域	評価
東北地方太平洋沖型 (繰返し地震)	M8.4~M9.0
宮城県沖 (繰返し地震)	M7.4

2011年東北地方太平洋沖地震(3.11地震)は、
敷地に最も影響を及ぼした地震であった。



検討用地震として、
2011年東北地方太平洋沖型地震
を選定。



プレート間地震の断層モデル※
(連動型想定宮城県沖地震と3.11地震の比較)

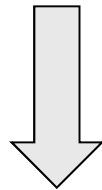
※川辺ほか(2011)に一部加筆

3. プレート間地震の地震動評価

3.4 プレート間地震の地震動評価に基づく基準地震動 S_s

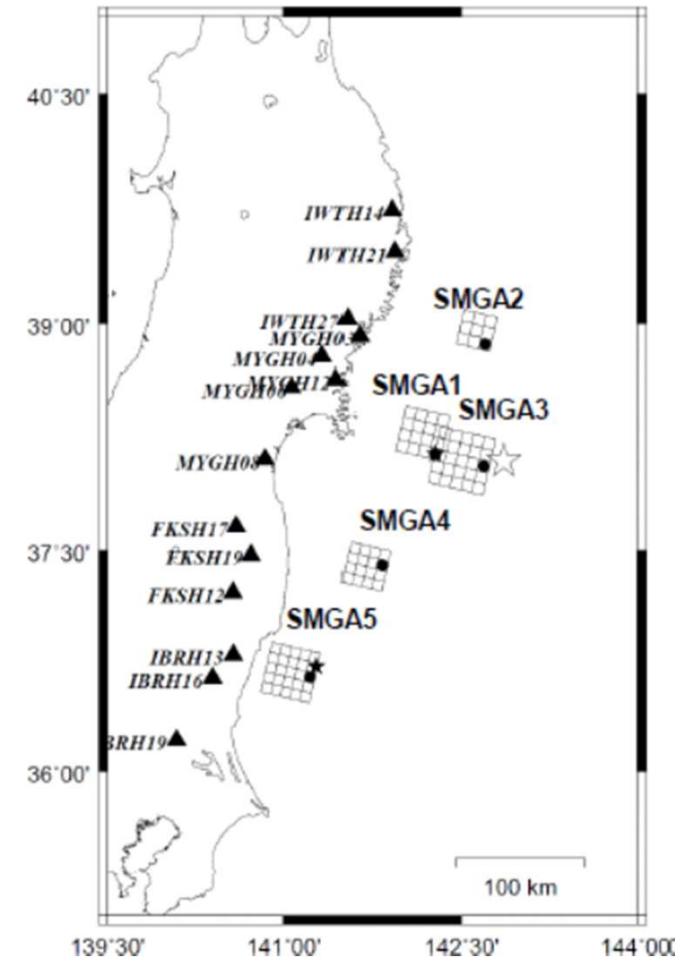
【2011年東北地方太平洋沖地震の特徴】

- ・2011年東北地方太平洋沖地震(3.11地震)では、宮城県沖の領域が全て破壊したが、敷地に近い強震動生成域の影響が大きい。
- ・強震動としてはM8前半程度の大きさで、連動型想定宮城県沖地震(M8.2)の地震動評価とも整合。
→M9.0より規模が大きくなっても(破壊領域が周辺に広がっても)地震動の大きさは変わらない。
- ・宮城県沖は、太平洋プレートの中で最も短周期レベルが大きい地域であり、3.11地震もその特徴を有している。
- ・プレートの沈み込み形状を考慮すると3.11地震は敷地に近い位置に強震動生成域を持つ地震。
- ・3.11地震では、破壊は海溝側から敷地に向かうように破壊。



3.11地震は敷地に対して最も影響の大きいプレート間地震であるが、更に裕度を考慮。

- ・2011年東北地方太平洋沖型地震の敷地における地震動は、3.11地震による敷地での岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について、表層の影響を除去したはざとり波を採用。
- ・基準地震動 S_s-1 は、2011年東北地方太平洋沖型地震の応答スペクトルを包絡するように設定。

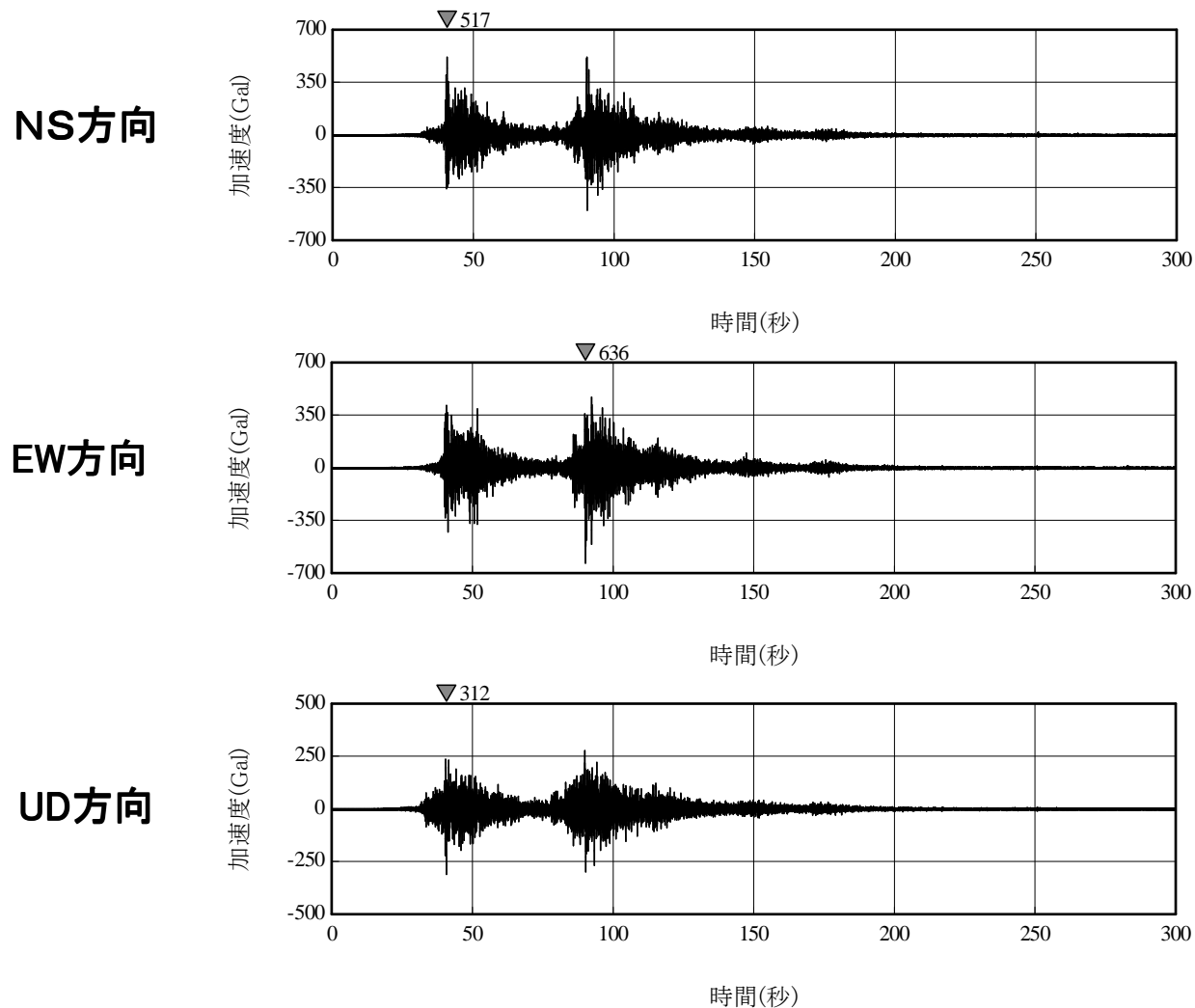


Kurahashi and Irikura(2013)

3. プレート間地震の地震動評価

3.5 2011年東北地方太平洋沖型地震の地震動評価(1)

・加速度時刻歴波形

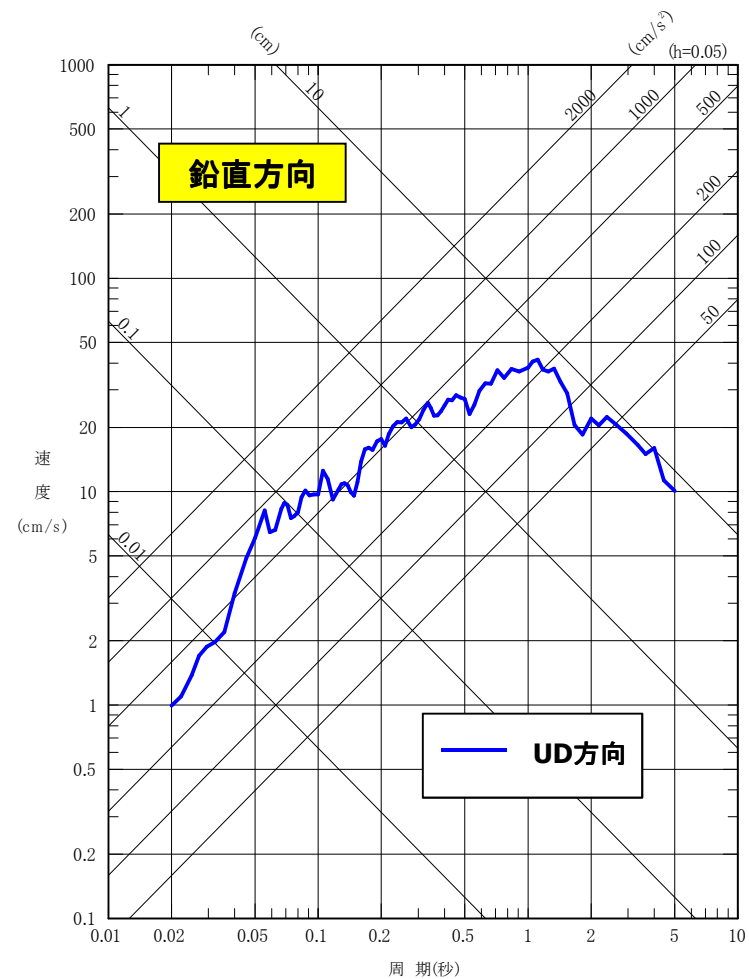
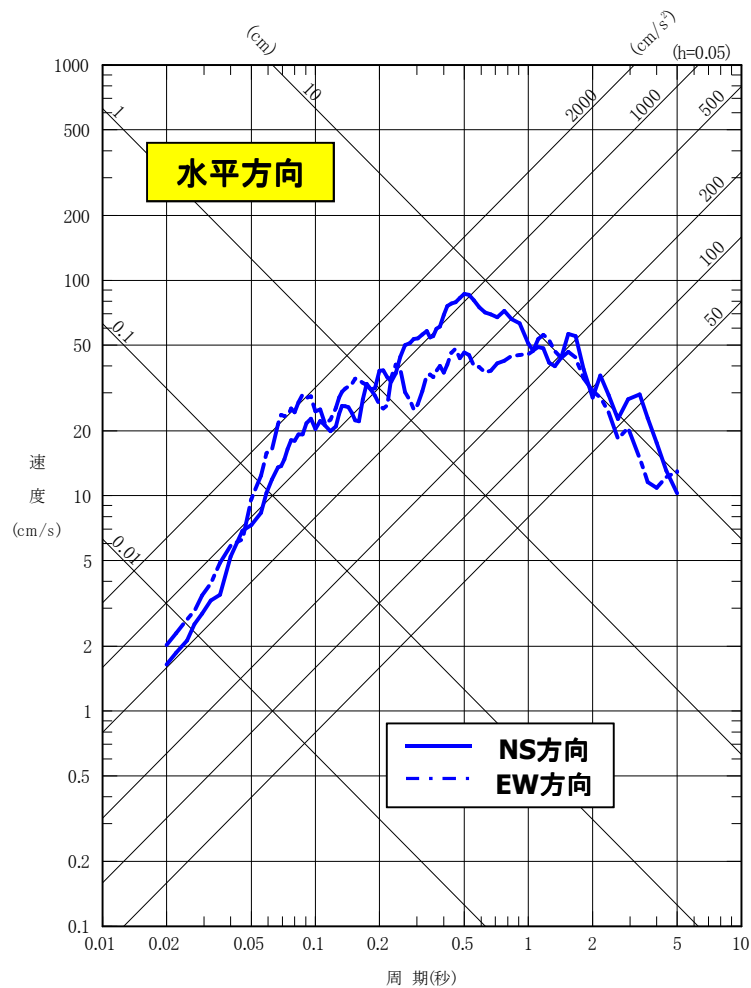


※NS,EWは、プラントノースを基準として記載している。プラントノースは真北に対し、反時計回りに 38.909° の方向。

3. プレート間地震の地震動評価

3.5 2011年東北地方太平洋沖型地震の地震動評価(2)

・応答スペクトル



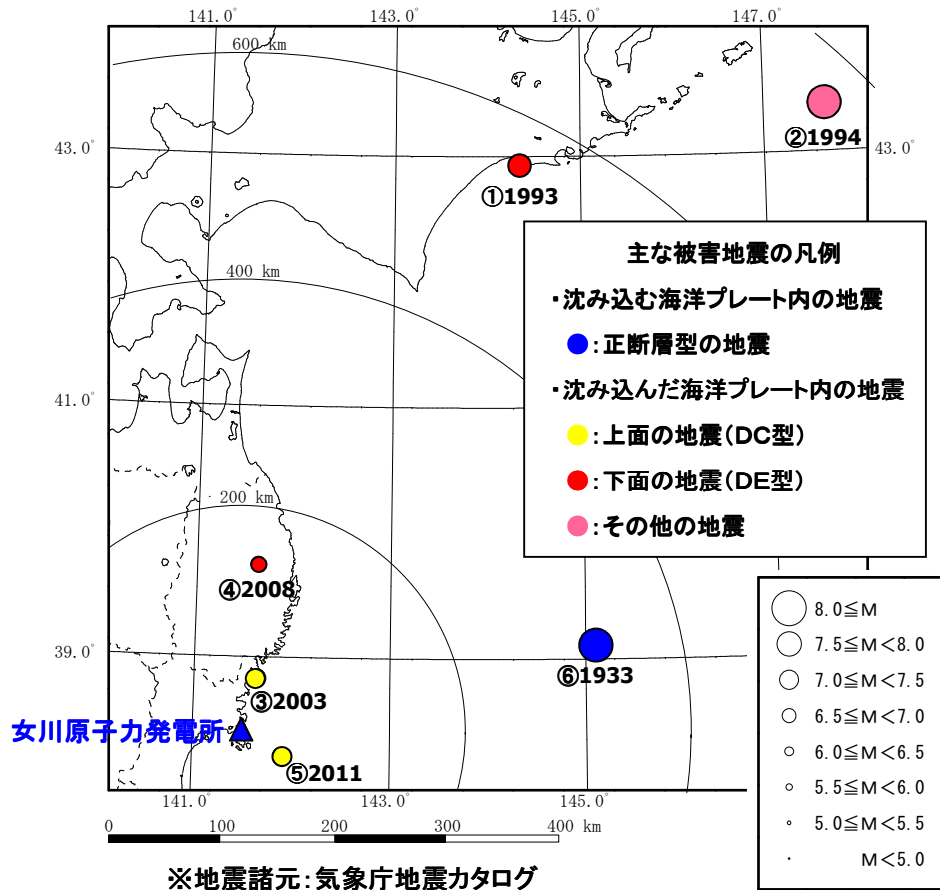
目次

1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 地震動評価に用いる地下構造モデル
3. プレート間地震の地震動評価
- 4. 海洋プレート内地震の地震動評価※**
5. 内陸地殻内地震の地震動評価
6. 基準地震動 S_s

※:詳細については、今後の審査会合において説明予定。

4. 海洋プレート内地震の地震動評価

4.1 海洋プレート内地震の主な被害地震



被害地震の震央分布

➤ 主な被害地震

【沈み込んだ海洋プレート内地震】

- ① 1993年釧路沖地震(M7.5)
- ② 1994年北海道東方沖地震(M8.2)
- ③ 2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)(上面)
- ④ 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震(M6.8)
- ⑤ 2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)(上面)



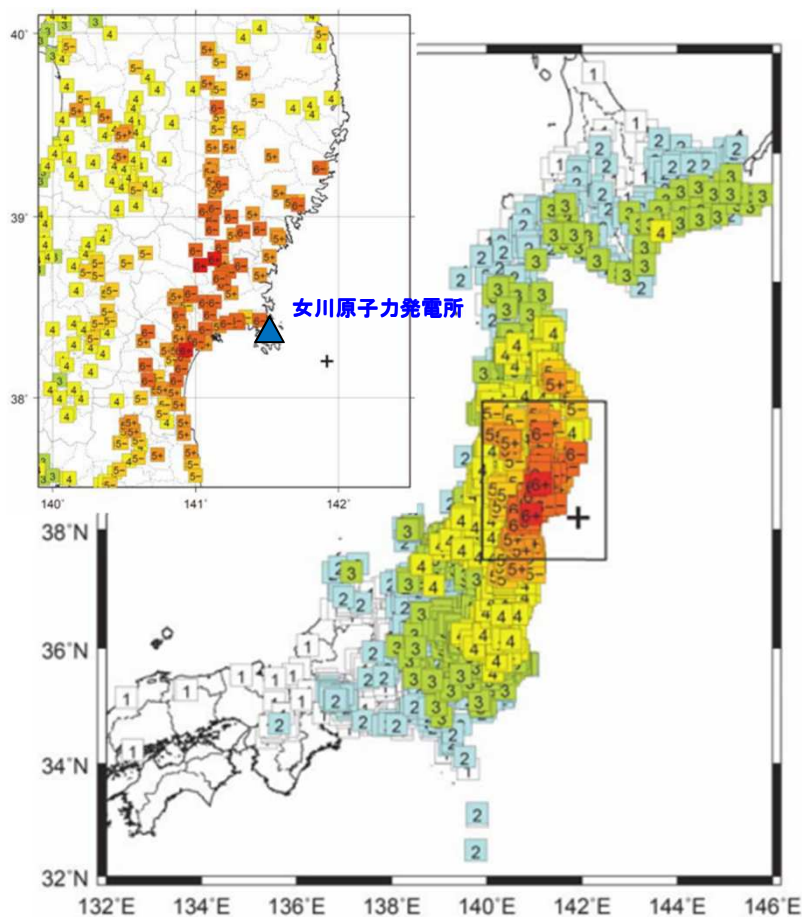
- ・上面の地震のうち、東北地方で発生した最大は、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)
- ・下面の地震については、東北地方ではM7クラスは知られていない。

【沈み込む海洋プレート内地震(アウターライズ)】

- ⑥ 1933年三陸沖の地震(M8.1)
- ・陸地までの距離が遠く地震動による被害は少ない。

4. 海洋プレート内地震の地震動評価

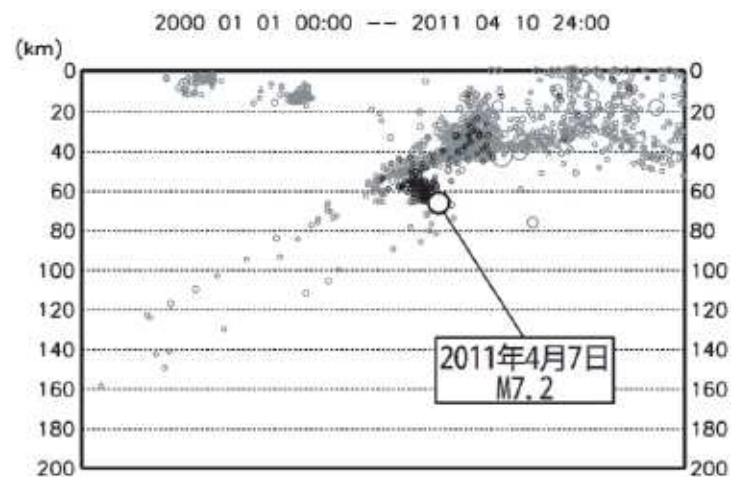
4.2 2011年4月7日宮城県沖の地震 二重深発地震面上面(DC型)



震度分布図(気象庁(2011))

地震諸元

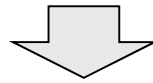
発生日時	2011年4月7日23時32分
震央地名	宮城県沖
地震規模	M7.2
震央位置	東経 141° 55.21' 北緯 38° 12.25'
震源深さ	66km
女川原子力発電所との距離	震央距離 43km

2011年4月7日宮城県沖の地震の地震活動
(2011年4月11日～4月10日の地震を濃く表示, 気象庁(2012))

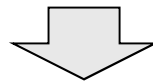
4. 海洋プレート内地震の地震動評価

4.3 海洋プレート内地震 検討用地震の選定

- 東北地方の海洋プレート内地震の特徴としてDC(Down Dip Compression)型の地震が二重深発地震面の上面に多くみられる。
- 過去のM7以上の海洋プレート内地震(沈み込んだ)としては、以下の地震が挙げられる。
 - ・2003年5月26日宮城県沖の地震(M7.1)
 - ・2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)
 - ・2011年7月10日三陸沖の地震(M7.3)



東北地方では、2011年4月7日宮城県沖の地震のような二重深発地震面の上面の地震の活動が卓越しており、2011年4月7日宮城県沖の地震は、その震源断層の位置からも敷地に最も影響を及ぼした地震であった。



検討用地震として、
「2011年4月7日宮城県沖型地震」を選定。

4. 海洋プレート内地震の地震動評価

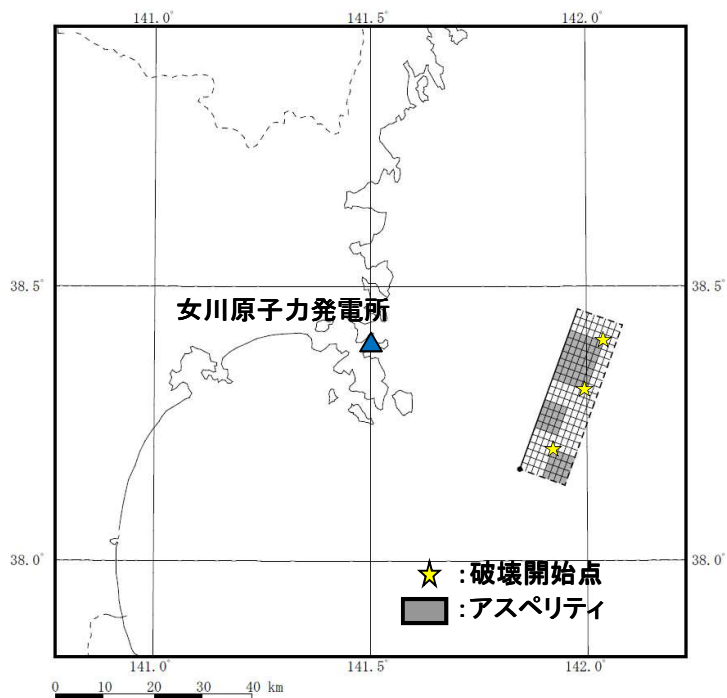
4.4 2011年4月7日宮城県沖型地震の断層モデルの概要

➤ 断層モデル

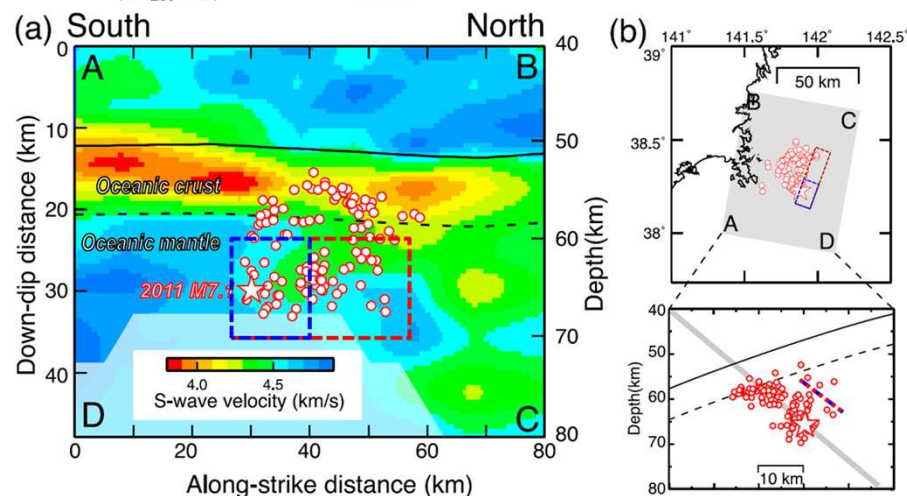
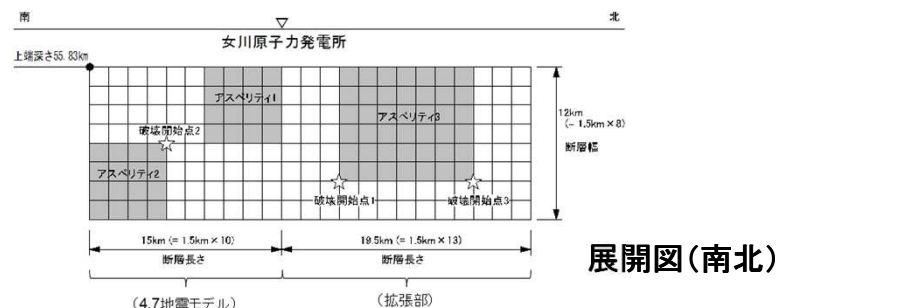
- ・2011年4月7日宮城県沖の地震(4.7地震)のシミュレーションに用いた断層モデル(M7.2)(4.7地震モデル)を北側に拡張し、2011年4月7日宮城県沖型地震の断層モデル(M7.5)を設定。
- ・断層パラメータは4.7地震のシミュレーションに基づき設定。アスペリティは、4.7地震モデルと同じとし、拡張部分に残りのアスペリティを集中して配置。破壊開始点は敷地に向う方向に複数点設定。

➤ 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。なお、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。

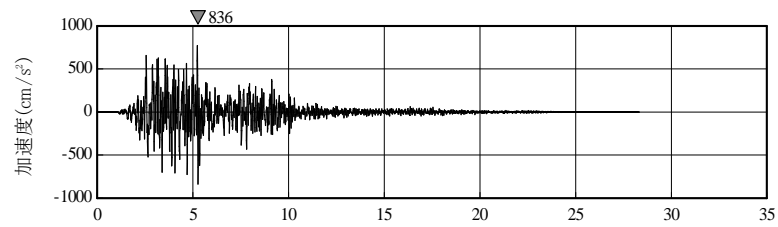


2011年4月7日宮城県沖型地震(M7.5)の平面図

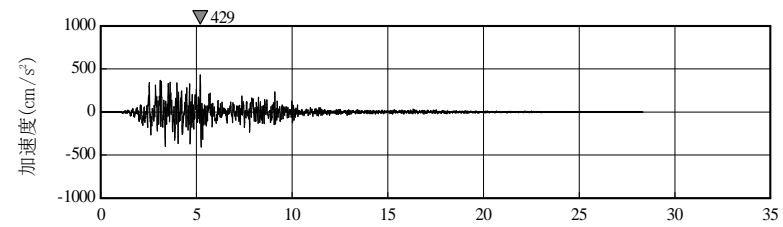


4. 海洋プレート内地震の地震動評価

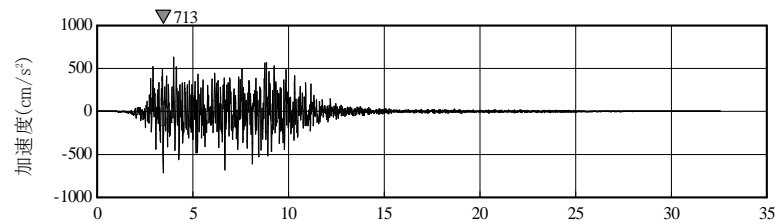
4.5 断層モデルを用いた地震動評価 統計的グリーン関数法(時刻歴波形)



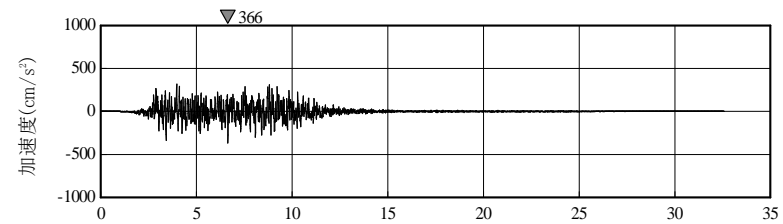
時間(秒)
水平方向(破壊開始点1)



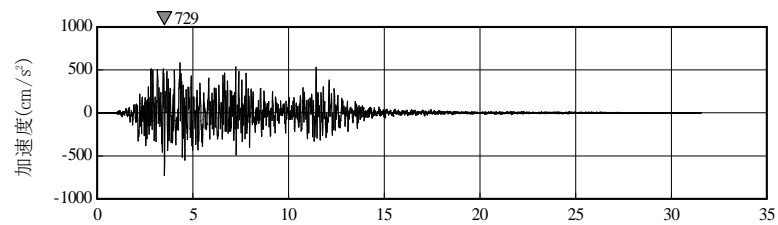
時間(秒)
鉛直方向(破壊開始点1)



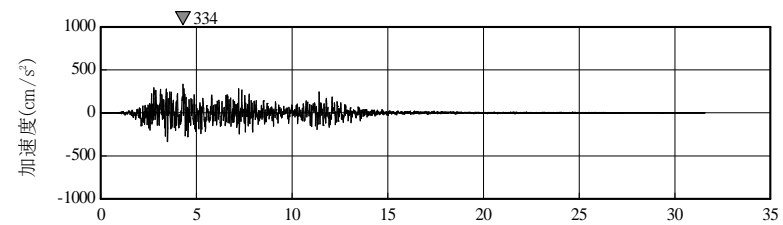
時間(秒)
水平方向(破壊開始点2)



時間(秒)
鉛直方向(破壊開始点2)



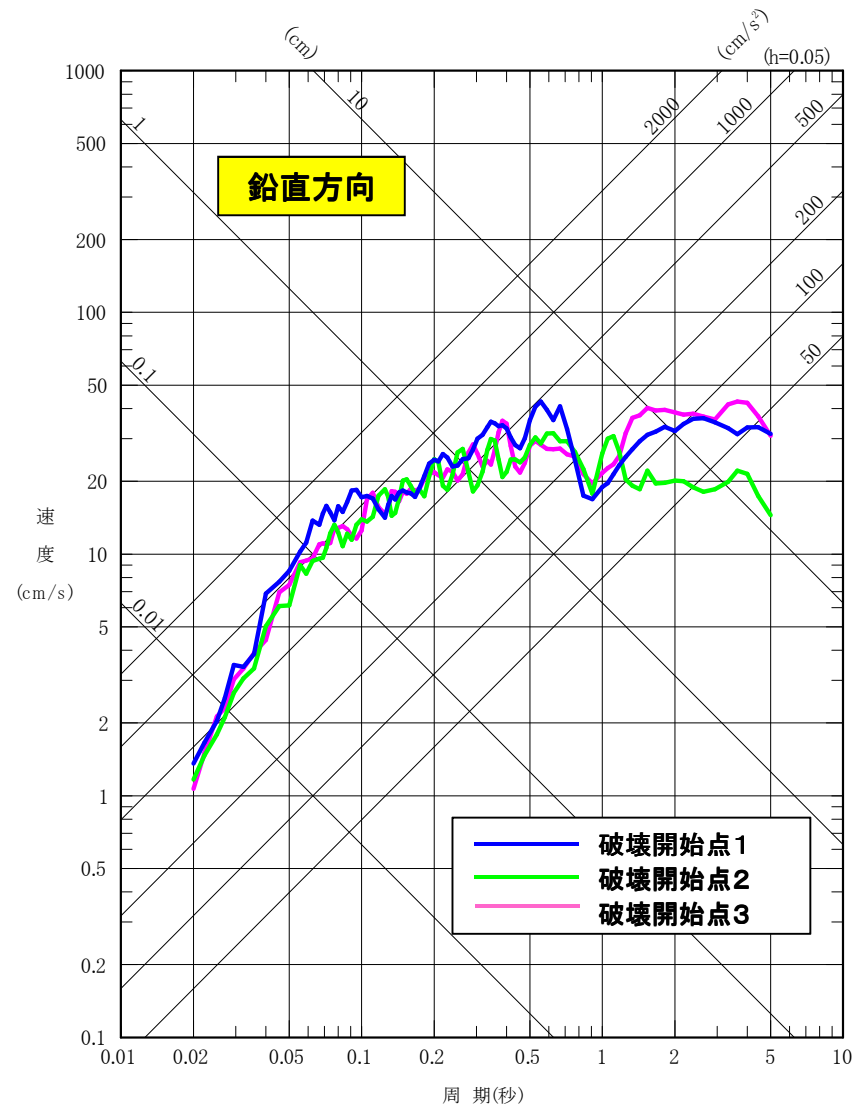
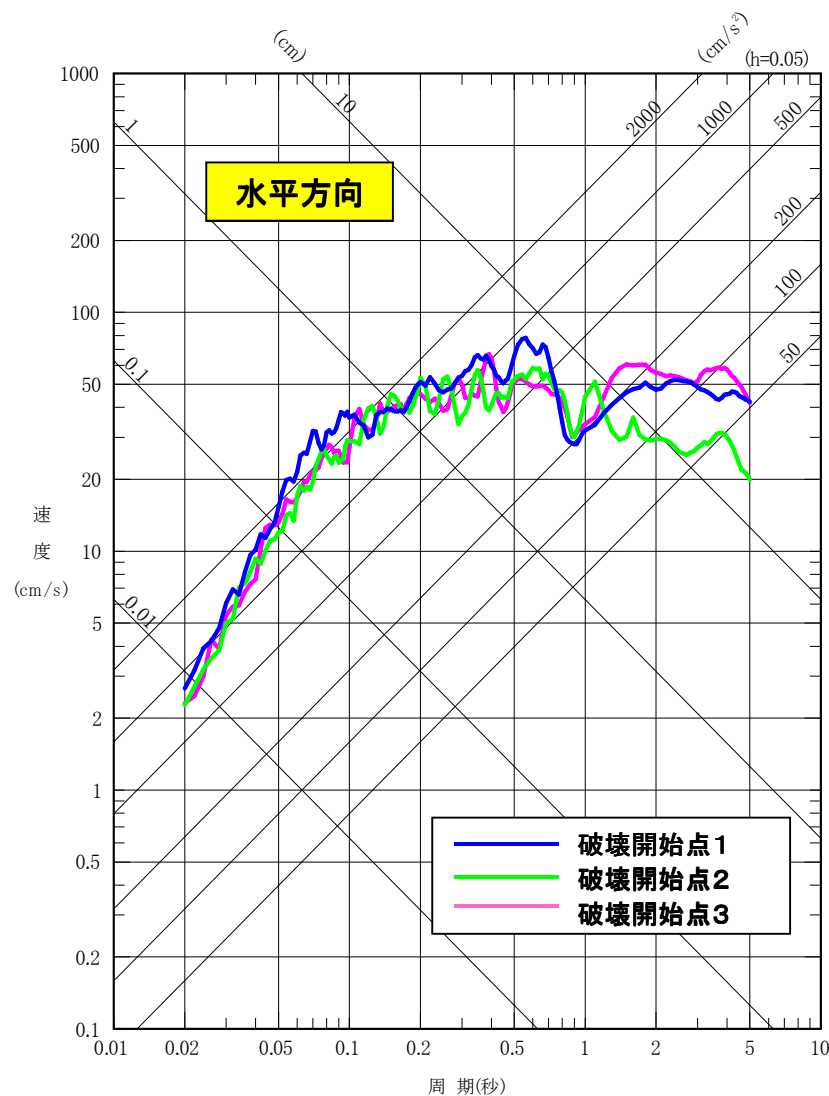
時間(秒)
水平方向(破壊開始点3)



時間(秒)
鉛直方向(破壊開始点3)

4. 海洋プレート内地震の地震動評価

4.6 断層モデルを用いた地震動評価 統計的グリーン関数法(応答スペクトル)

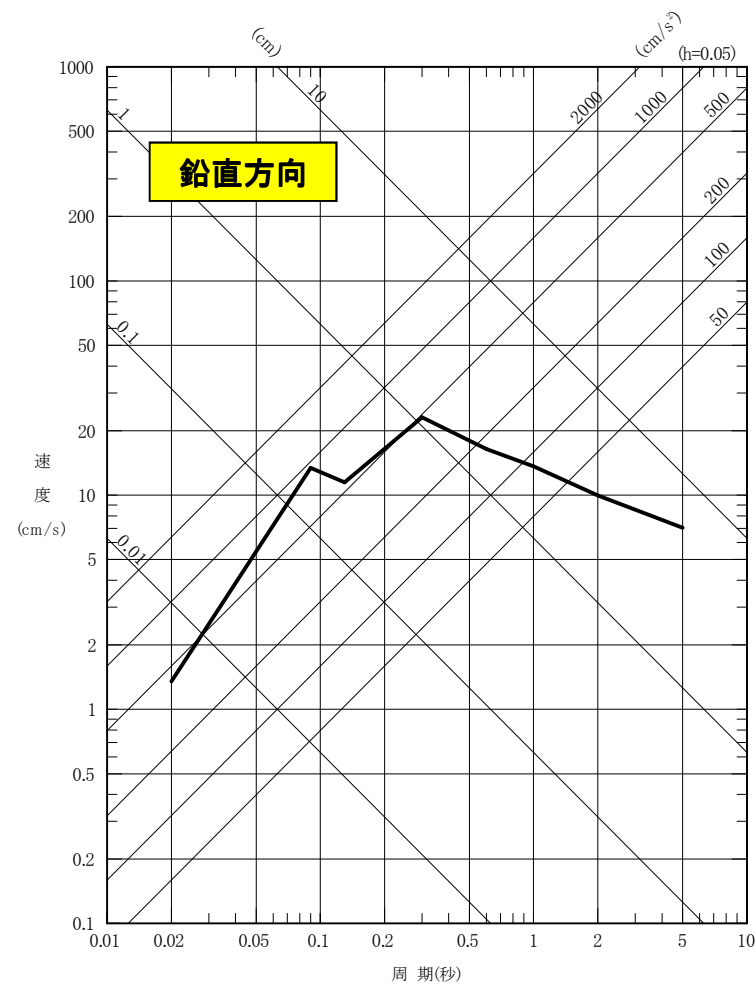
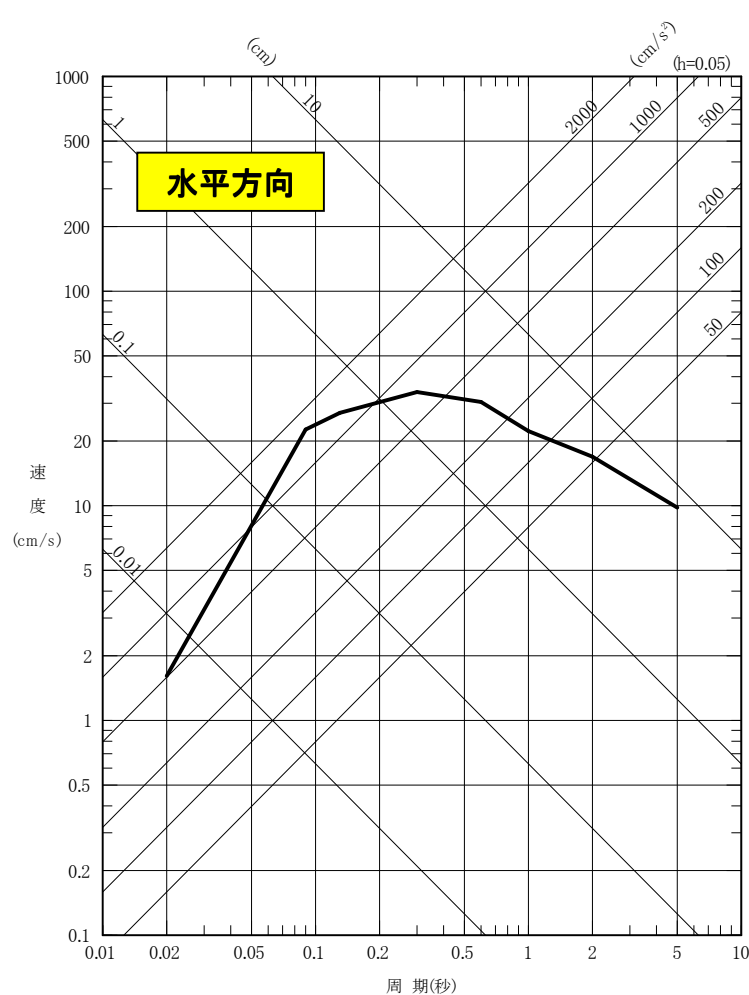


※放射特性係数は0.62

4. 海洋プレート内地震の地震動評価

4.7 応答スペクトルに基づく地震動評価

- ・Noda et al.(2002)の方法を用いて地震動評価を実施(M7.5, $X_{eq}=72\text{km}$)
- ・海洋プレート内地震(宮城県沖のM6以上, 5地震)の敷地で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をサイト補正係数として考慮。



目次

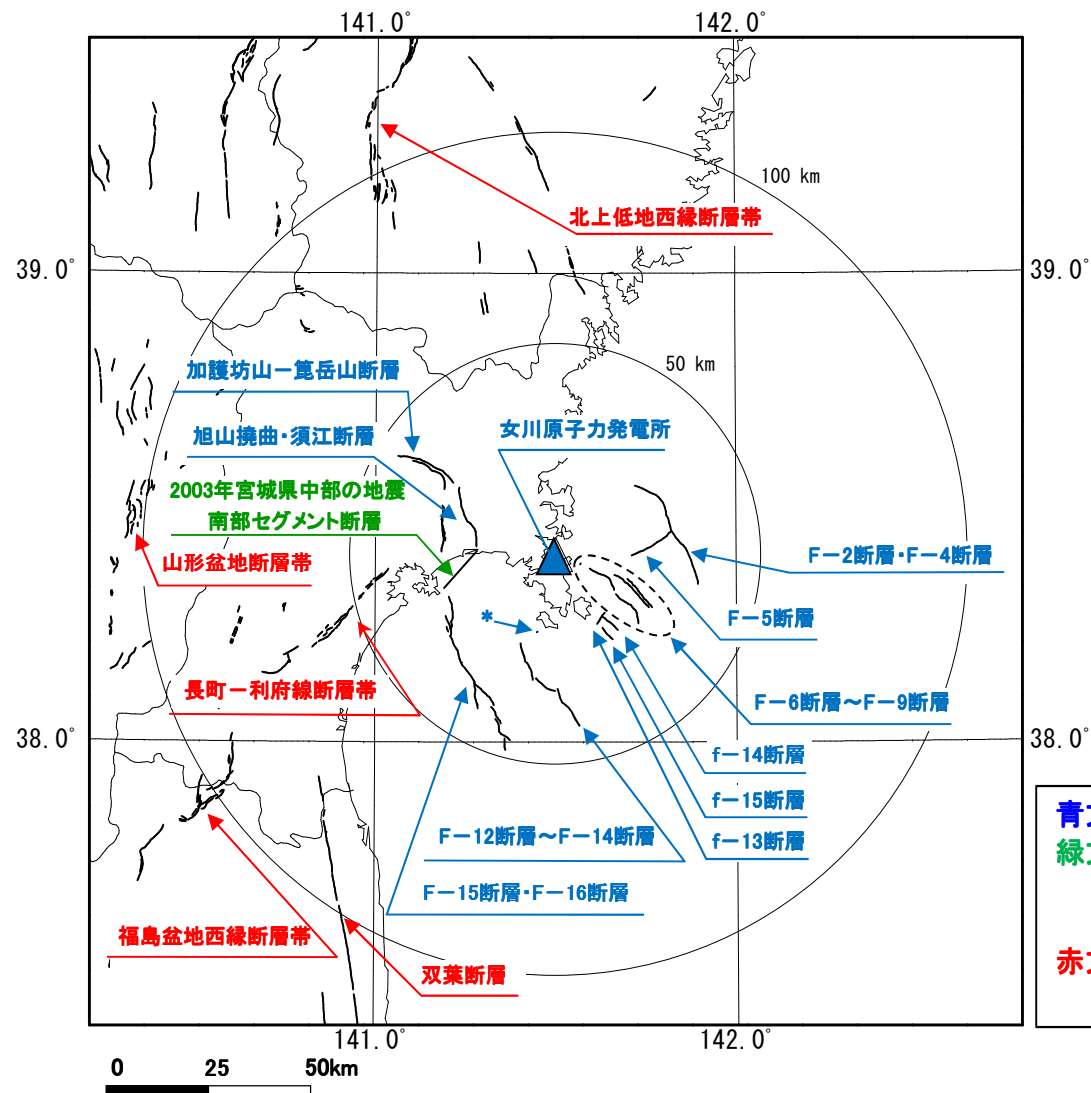
1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 地震動評価に用いる地下構造モデル
3. プレート間地震の地震動評価
4. 海洋プレート内地震の地震動評価
- 5. 内陸地殻内地震の地震動評価※**
6. 基準地震動 S_s

※:平成26年3月26日, 4月16日, 9月12日開催の審査会合におけるコメントを踏まえた検討結果を今後適切に反映する。

5. 内陸地殻内地震の地震動評価

5.1 敷地周辺における主な活断層分布

※:平成26年3月26日, 4月16日, 9月12日開催の審査会合におけるコメントを踏まえた検討結果を今後適切に反映する。



青文字:地質調査結果による活断層
緑文字:2003年宮城県中部の地震の
余震分布等から推定された震
源断層
赤文字:地震本部で評価された活断層
*:一測線のみで認められる断層

5. 内陸地殻内地震の地震動評価

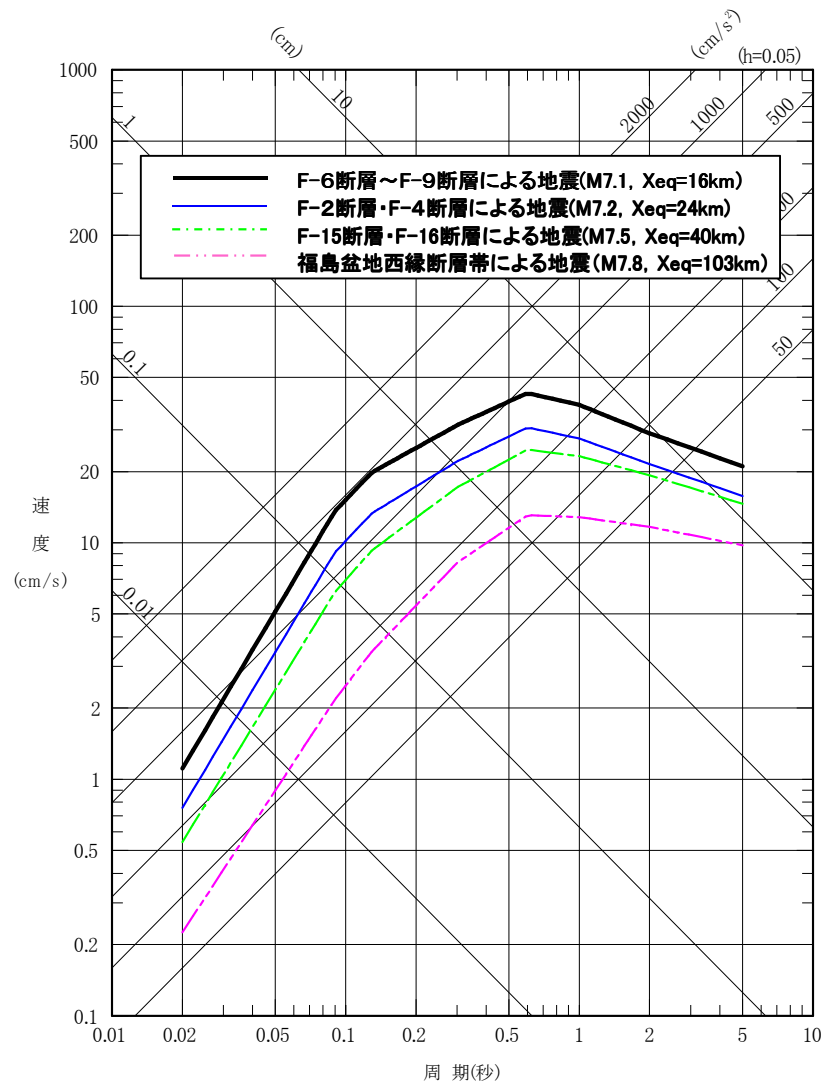
5.2 敷地周辺における主な活断層の諸元

No.	断層名	活断層長さ (km)	マグニチュード M	等価震源距離 (km)	備考
1	F-2断層・F-4断層	27.8	7.2	24	<p>等価震源距離とMの関係から応答スペクトルによる比較対象としたもの</p> <p>断層長さおよび断層位置は地質調査結果による。地震規模は松田(1975)による。</p>
2	F-5断層	11.2	6.7	23	
3	F-6断層～F-9断層	22	7.1	16	
4	F-12断層～F-14断層	24.2	7.1	35	
5	f-13断層	3.3	6.7	17	
6	f-14断層	5.1	6.7	23	
7	f-15断層	3.7	6.7	24	
8	F-15断層・F-16断層	38.7	7.5	40	
9	網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	—	6.7	21	
10	加護坊山-笥岳山断層	17	6.9	36	
11	旭山撓曲・須江断層	16	6.8	28	
12	2003年宮城県中部の地震南部セグメント断層	—	5.6	28	2003年7月26日宮城県中部の地震(0時13分の前震)
13	長町-利府線断層帯	40	7.5	61	<p>地震本部(2007), 地震本部(2009)に基づく。等価震源距離は、一様断層を仮定して算定。</p>
14	北上低地西縁断層帯	62	7.8	113	
15	山形盆地断層帯	60	7.8	118	
16	福島盆地西縁断層帯	57	7.8	103	
17	双葉断層	40	7.5	82	

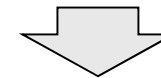
※孤立した短い断層については、震源断層が地震発生層の上限から下限まで広がっているとした場合を考慮し、断層幅と同等の断層長さを仮定した。また、断層の傾斜角については、地質調査から推定された場合はその値を用い、不明な場合はF-6断層～F-9断層と同じ60°を用いた。

5. 内陸地殻内地震の地震動評価

5.3 内陸地殻内地震の検討用地震の選定



F-6断層~F-9断層による
地震の影響が最も大きい。



検討用地震として

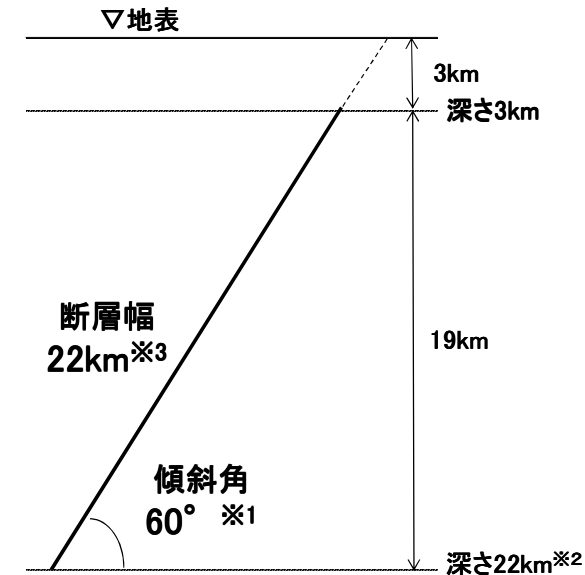
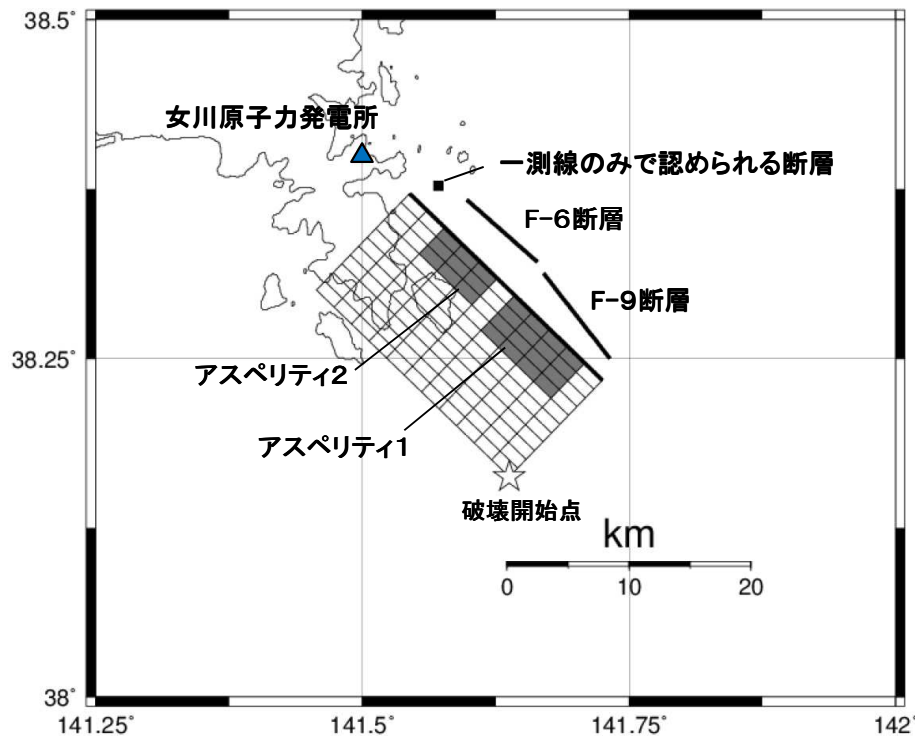
F-6断層~F-9断層による地震 を選定

敷地周辺の活断層に想定する地震の地震動評価
(Noda et al.(2002)による) 内陸補正なし

5. 内陸地殻内地震の地震動評価

5.4 F-6断層～F-9断層による地震 断層モデル

- 断層モデル
 - ・地質調査結果により評価した長さ(22km)を断層長さとし, 強震動予測レシピに基づき震源断層を設定。
- 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。内陸地殻内地震の観測記録が少ないことから内陸補正係数は考慮しない。
- 断層モデルを用いた地震動評価
 - ・統計的グリーン関数法, 長周期を理論的方法としたハイブリッド合成法(基本ケースのみ)により評価。
 - ・不確かさケースとして応力降下量の不確かさを考慮。



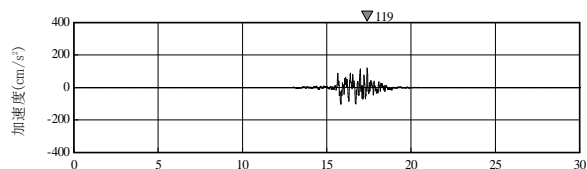
※1: 傾斜角: 地質調査結果では傾斜角は90° ないし高角の北東落ちであることから, 強震動レシピを参考に60° に設定。

※2: 地震発生層下端: 金華山付近の微小地震の発生深さを考慮し設定。

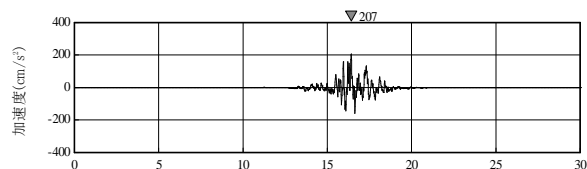
※3: 断層幅: 傾斜角, 地震発生層厚さから22kmに設定。

5. 内陸地殻内地震の地震動評価

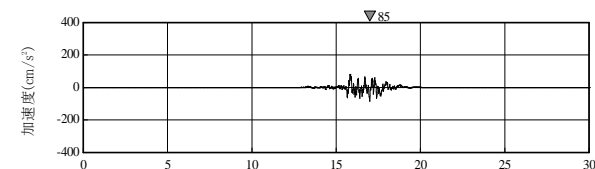
5.5 断層モデルを用いた地震動評価(時刻歴波形)



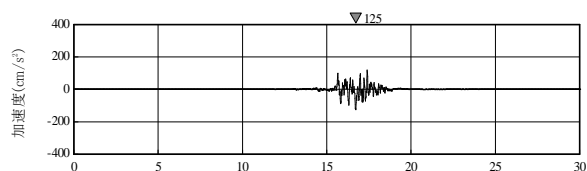
時間(秒)
NS方向
 (基本ケース, 統計的グリーン関数法)



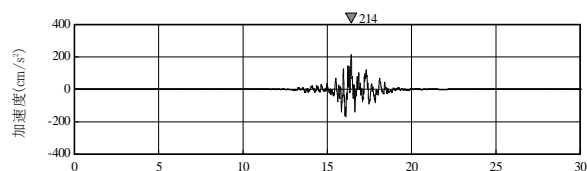
時間(秒)
EW方向
 (基本ケース, 統計的グリーン関数法)



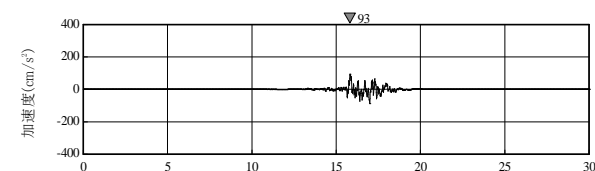
時間(秒)
UD方向
 (基本ケース, 統計的グリーン関数法)



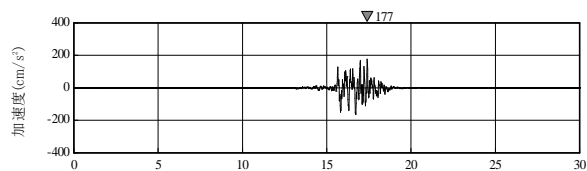
時間(秒)
NS方向
 (基本ケース, ハイブリッド法)



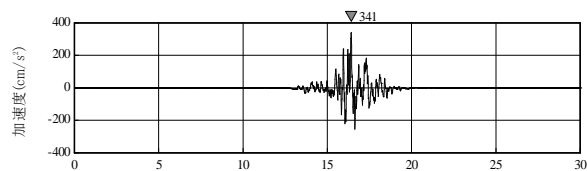
時間(秒)
EW方向
 (基本ケース, ハイブリッド法)



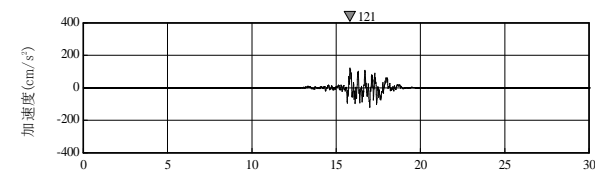
時間(秒)
UD方向
 (基本ケース, ハイブリッド法)



時間(秒)
NS方向
 (不確かさケース※, 統計的グリーン関数法)



時間(秒)
EW方向
 (不確かさケース※, 統計的グリーン関数法)

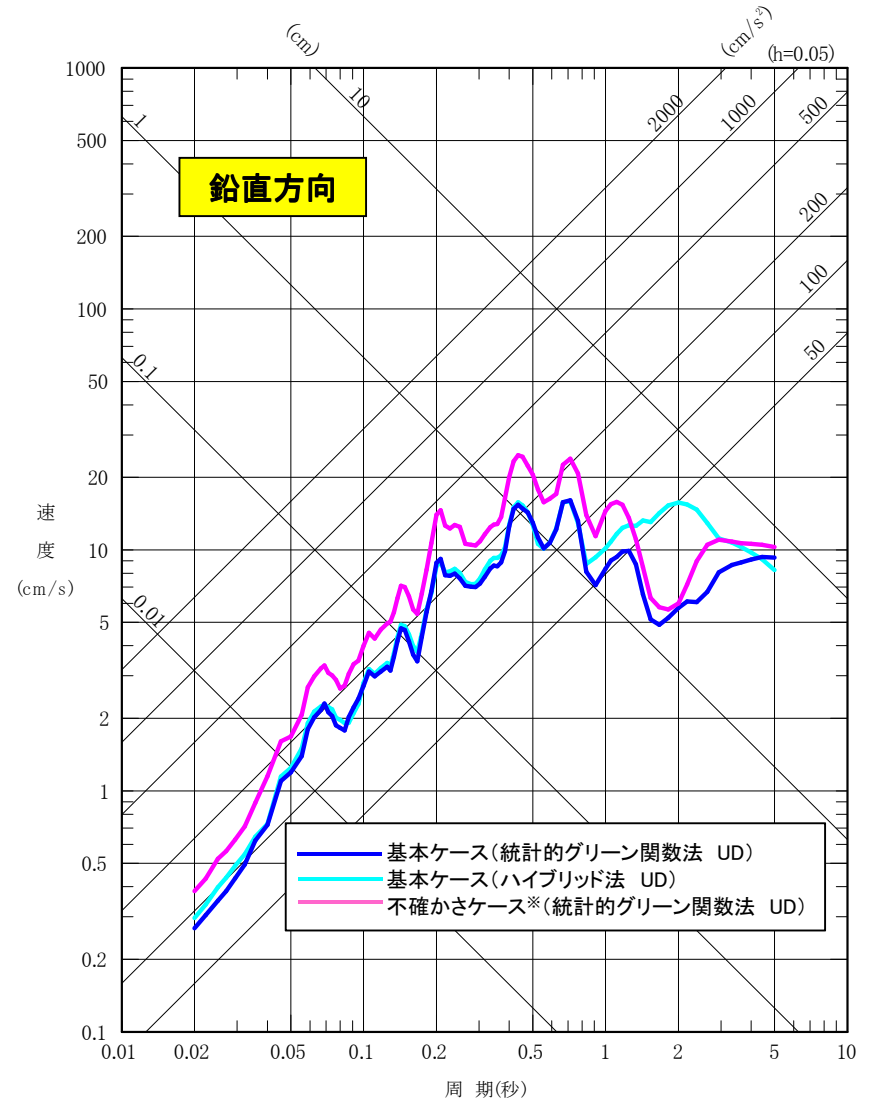
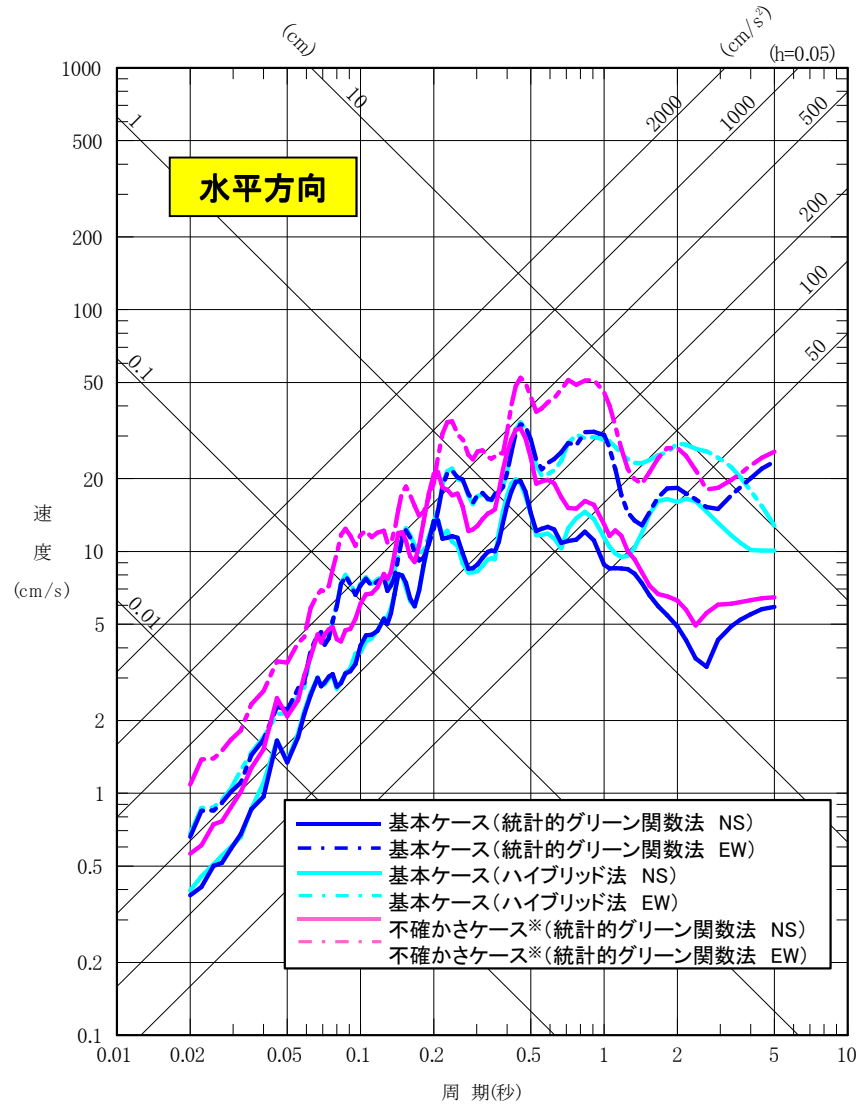


時間(秒)
UD方向
 (不確かさケース※, 統計的グリーン関数法)

※応力降下量の不確かさを考慮

5. 内陸地殻内地震の地震動評価

5.6 断層モデルを用いた地震動評価(応答スペクトル)

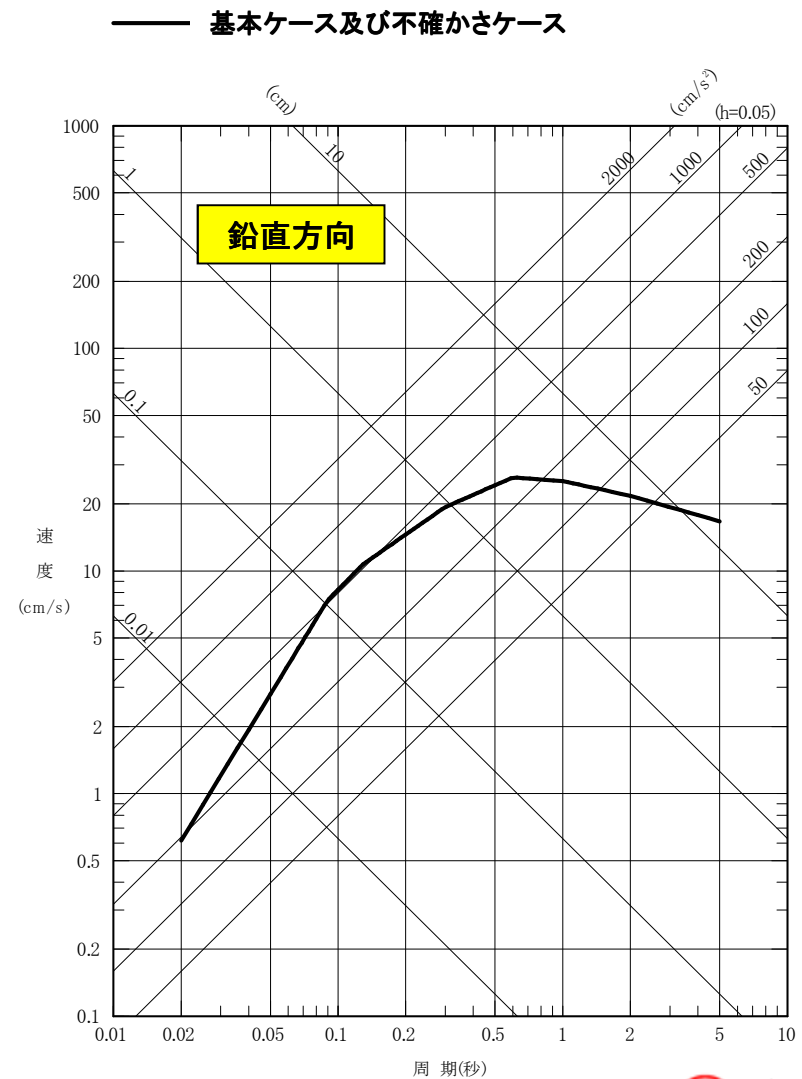
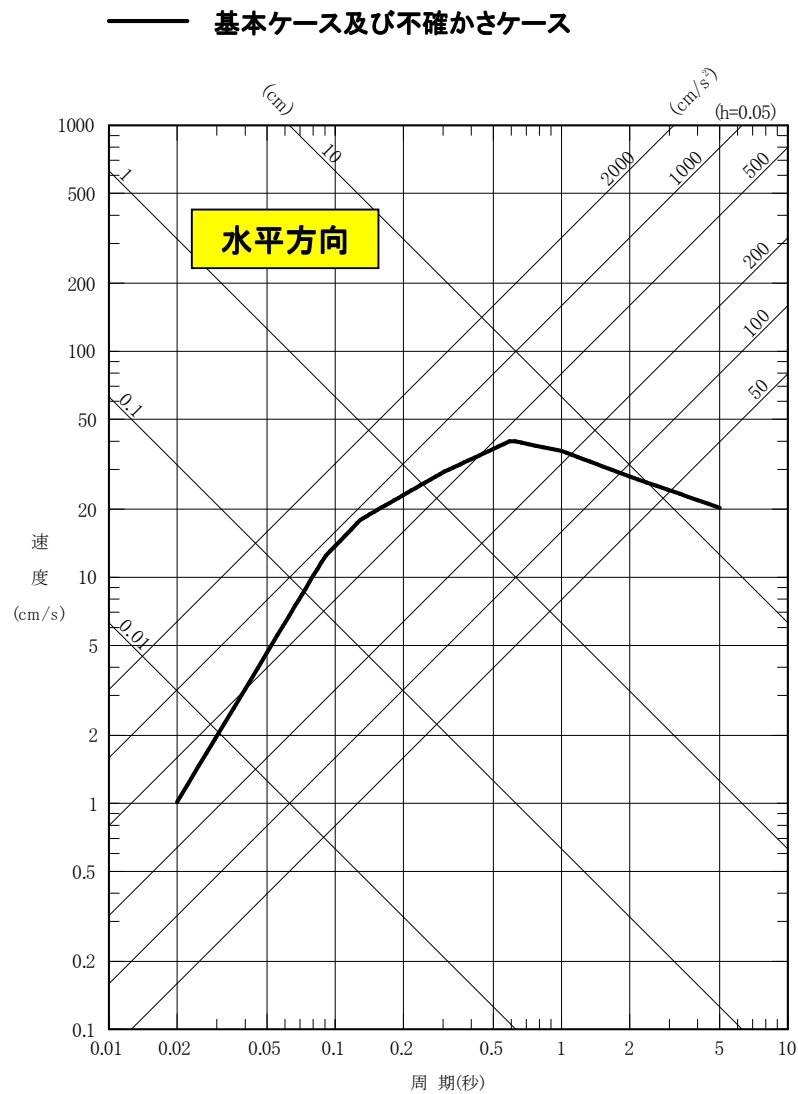


※応力降下量の不確かさを考慮

5. 内陸地殻内地震の地震動評価

5.7 応答スペクトルに基づく地震動評価(Noda et al.(2002)による評価)

➤ Noda et al.(2002)による評価(M7.2, $X_{eq}=18.5\text{km}$)



目次

1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 地震動評価に用いる地下構造モデル
3. プレート間地震の地震動評価
4. 海洋プレート内地震の地震動評価
5. 内陸地殻内地震の地震動評価
6. 基準地震動 S_s

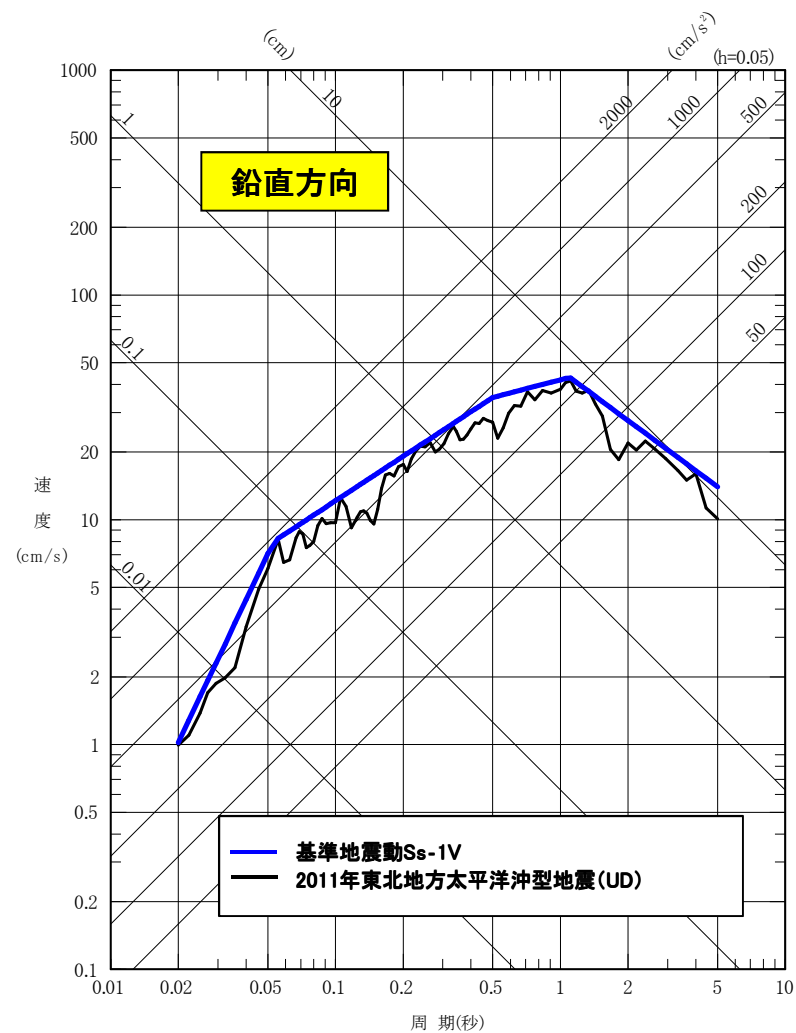
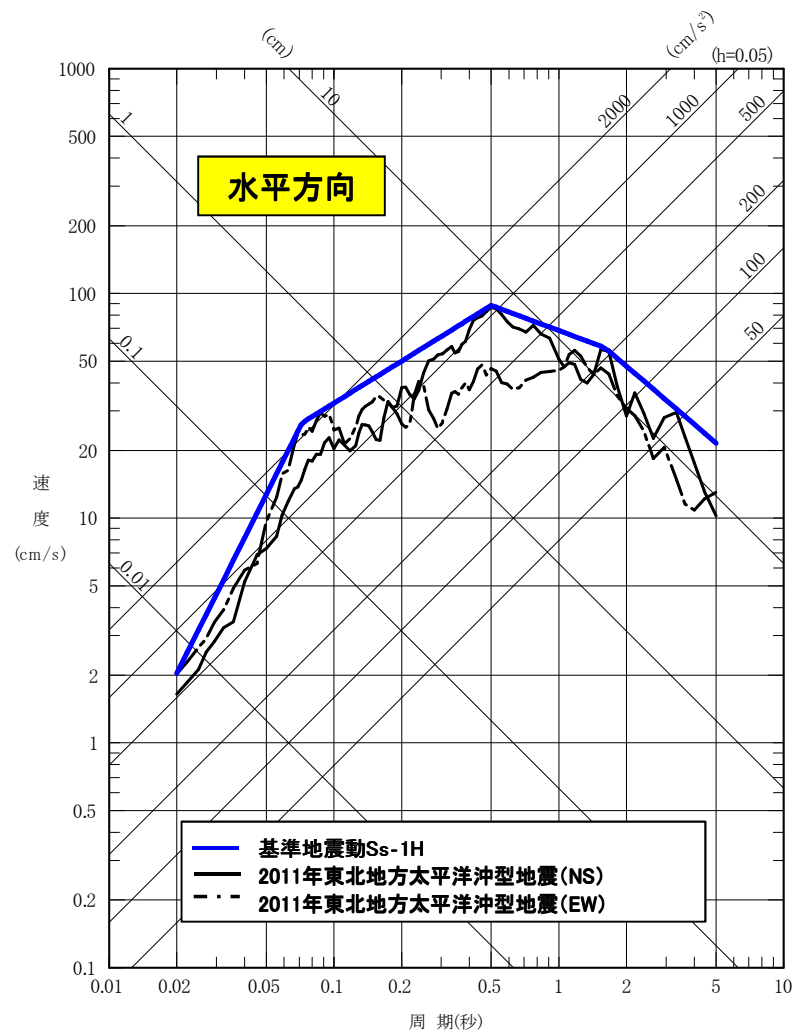
6.1 基準地震動Ssの設計用応答スペクトル

種別	基準地震動	設定の考え方
「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動Ss	基準地震動 Ss-1	<ul style="list-style-type: none"> ・2011年東北地方太平洋沖型地震の敷地における地震動を包絡するように応答スペクトルを設定。 ・2011年東北地方太平洋沖地震は、敷地に対して最も影響の大きいプレート間地震であるが、更に裕度を考慮。
	基準地震動 Ss-2	<ul style="list-style-type: none"> ・2011年4月7日宮城県沖型地震(M7.5)及びF-6断層～F-9断層による地震の敷地における応答スペクトルに基づく地震動評価、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を全て包絡するように設定。

6. 基準地震動Ss

6.2 基準地震動Ss-1 (1)

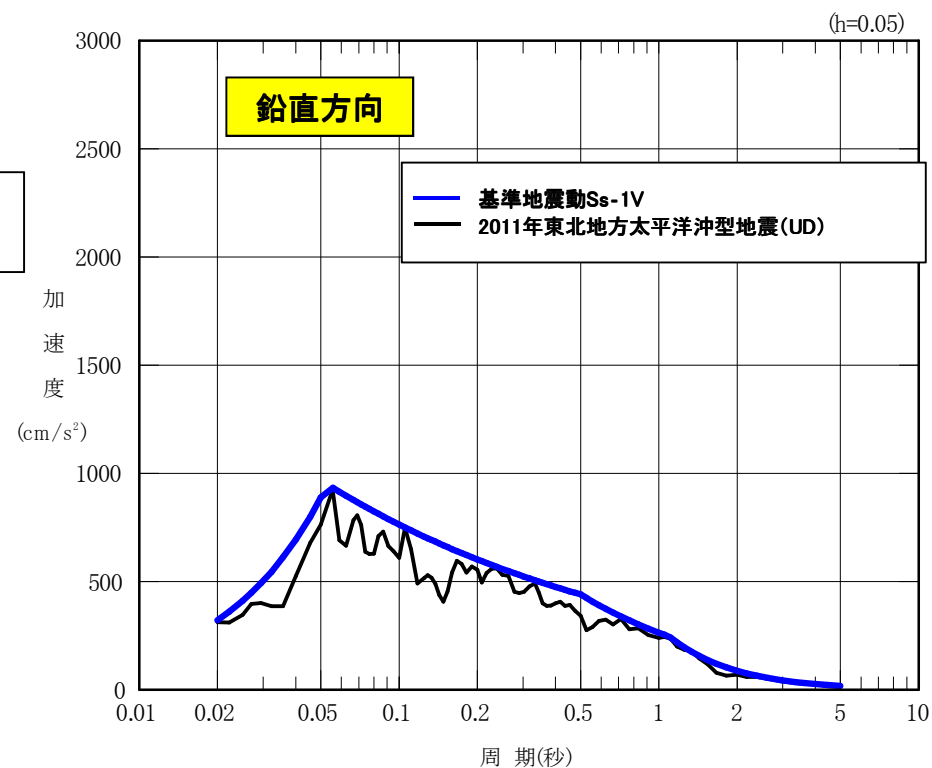
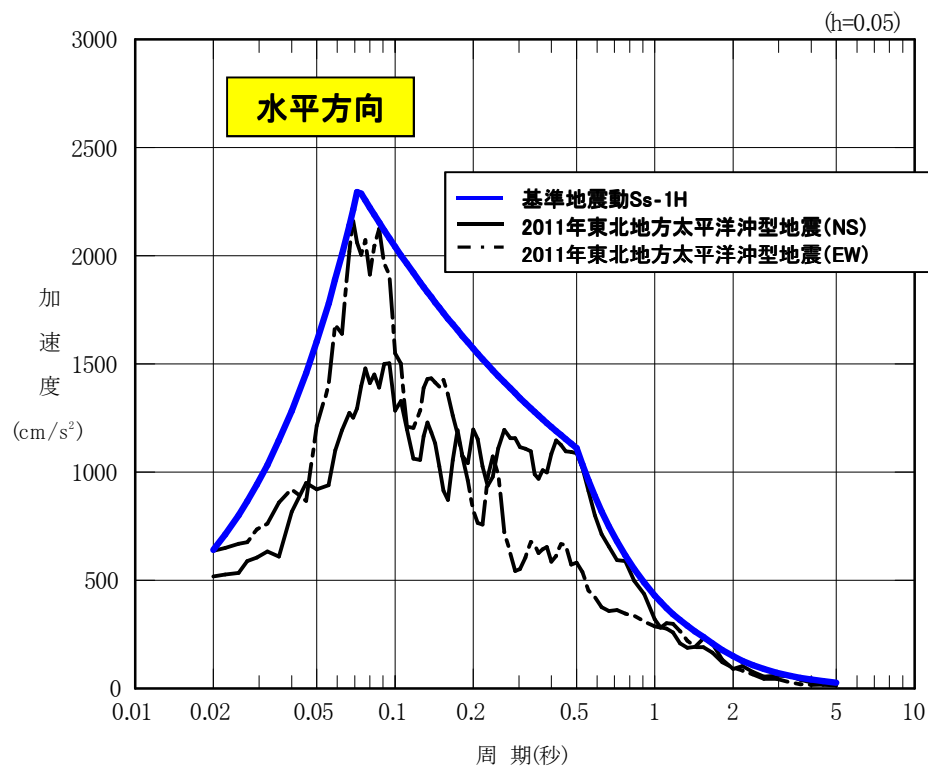
- ・2011年東北地方太平洋沖型地震の敷地における地震動を包絡するように応答スペクトルを設定。



6. 基準地震動Ss

6.2 基準地震動Ss-1 (2)

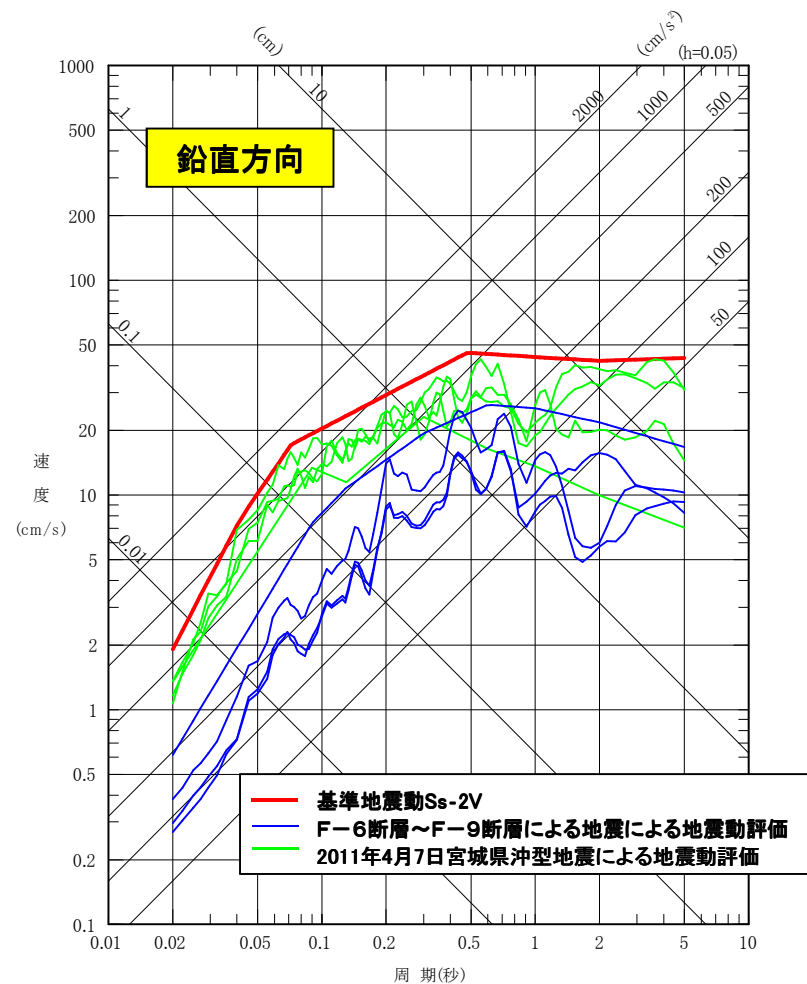
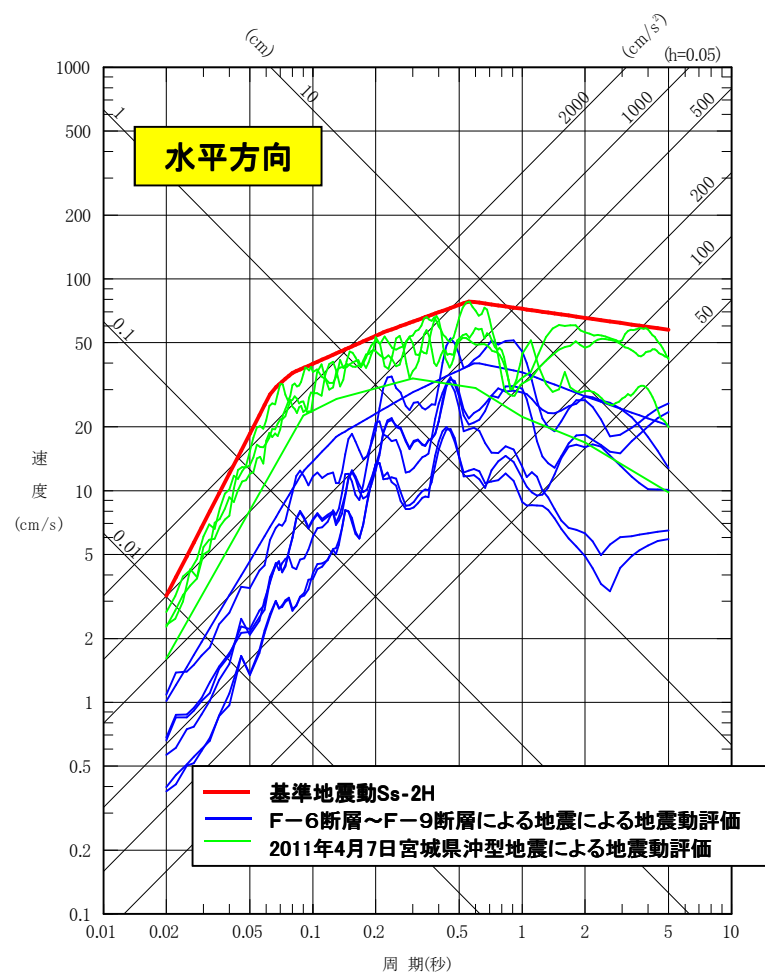
- ・2011年東北地方太平洋沖型地震の敷地における地震動を包絡するように応答スペクトルを設定。



6. 基準地震動Ss

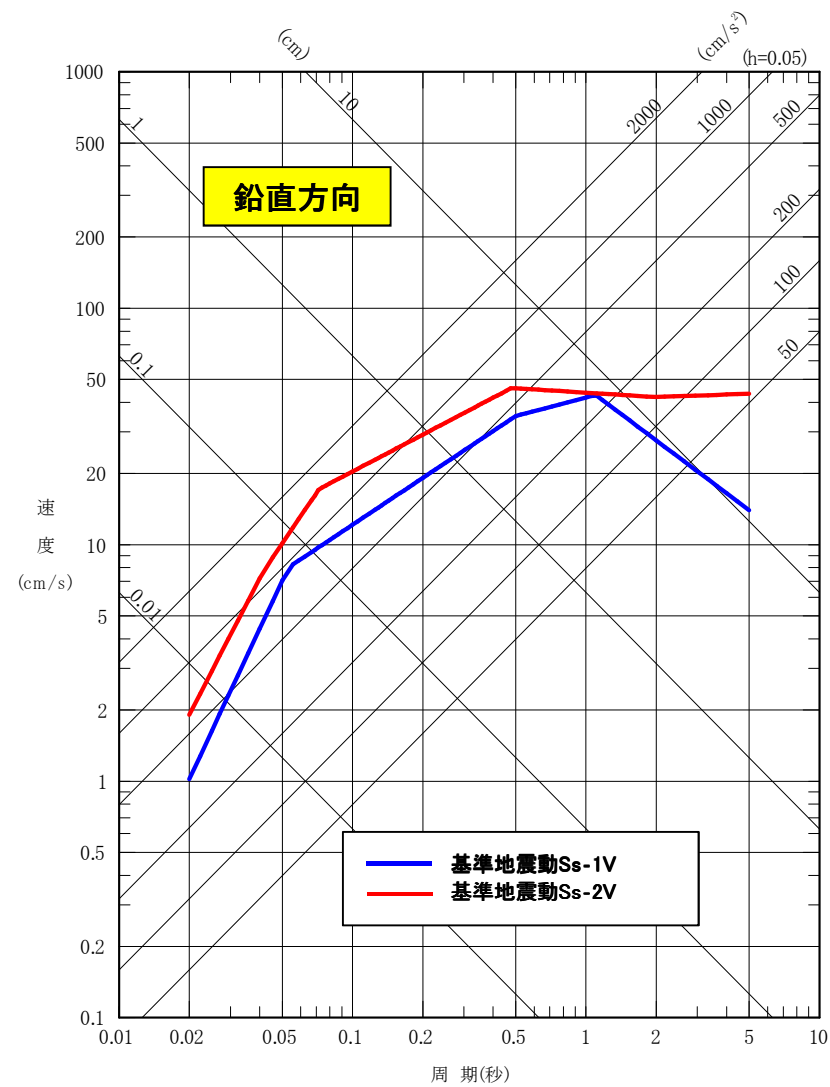
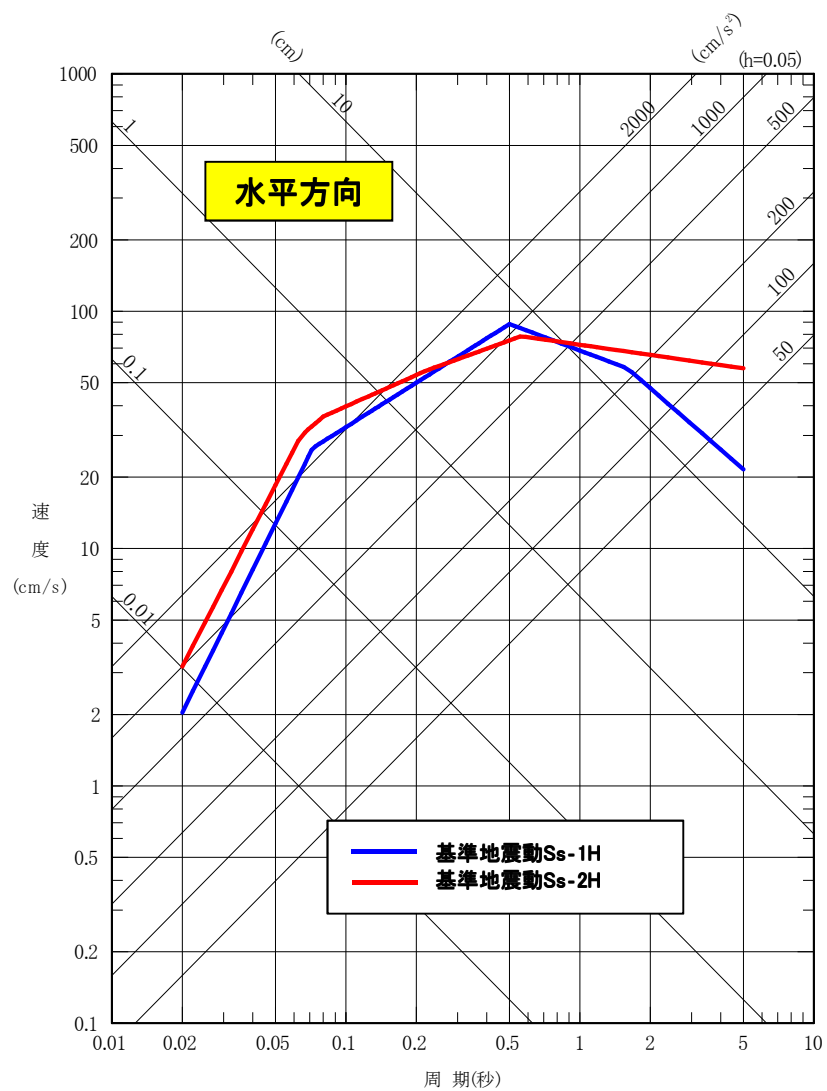
6.3 基準地震動Ss-2

- ・2011年4月7日宮城県沖型地震(M7.5)及びF-6断層～F-9断層による地震の敷地における応答スペクトルに基づく地震動評価, 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を全て包絡するように設定。



6. 基準地震動Ss

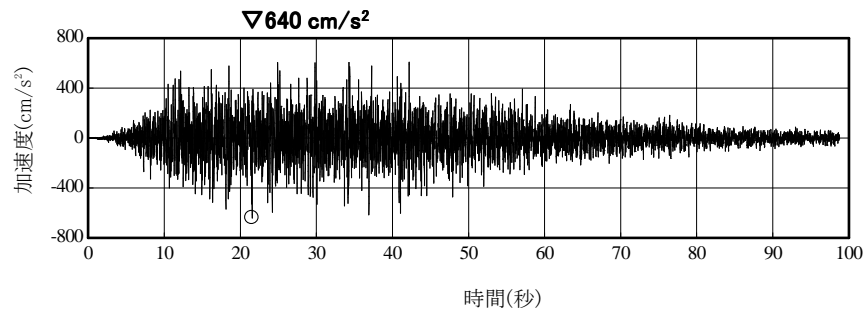
6.4 基準地震動Ssの設計用応答スペクトル



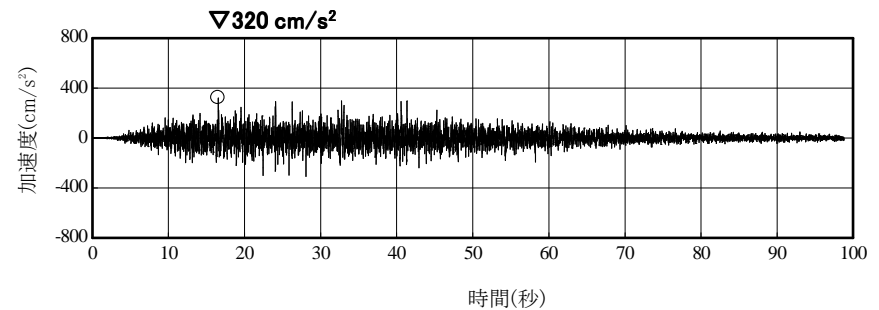
6. 基準地震動S_s

6.5 基準地震動S_sの模擬地震波(1) 加速度時刻歴波形

基準地震動S_s-1

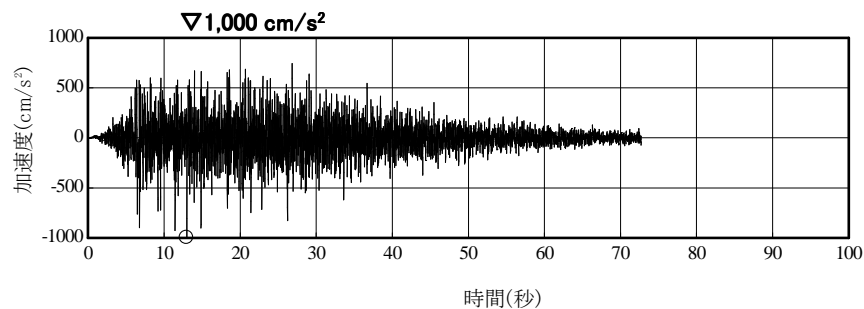


基準地震動S_s-1H(水平)の加速度波形

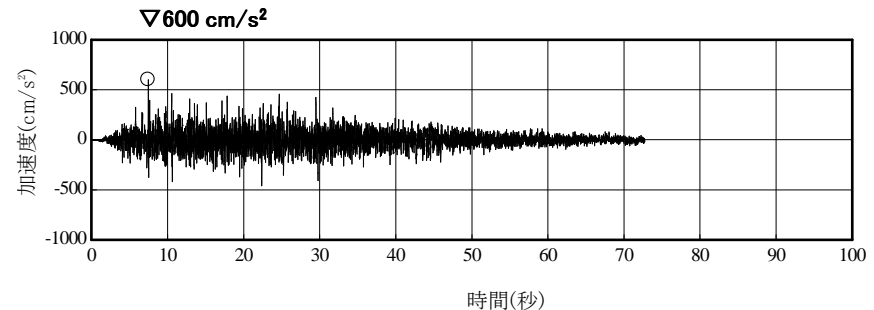


基準地震動S_s-1V(鉛直)の加速度波形

基準地震動S_s-2



基準地震動S_s-2H(水平)の加速度波形

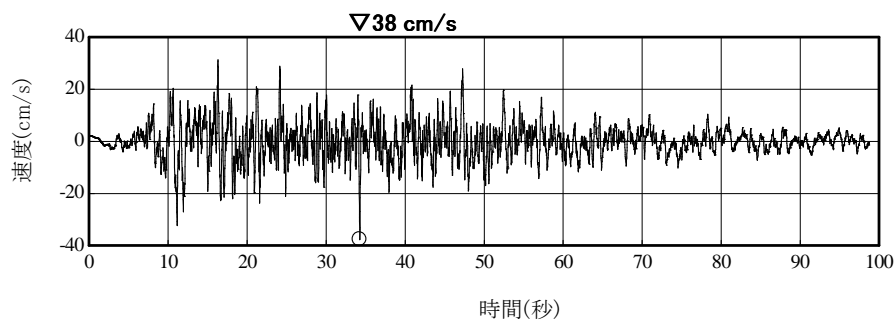


基準地震動S_s-2V(鉛直)の加速度波形

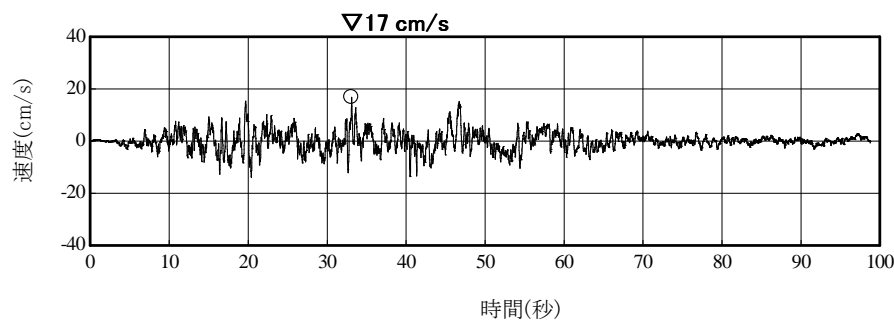
6. 基準地震動Ss

6.5 基準地震動Ssの模擬地震波(2) 速度時刻歴波形

基準地震動Ss-1

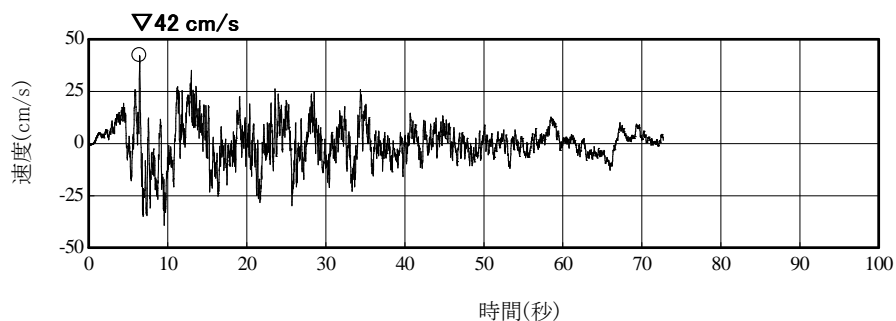


基準地震動Ss-1H(水平)の速度波形

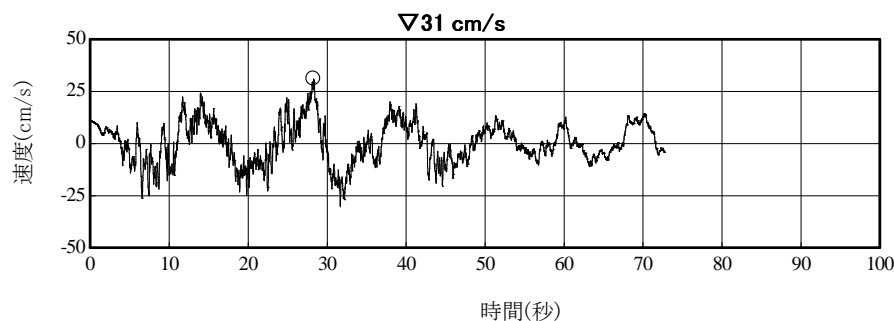


基準地震動Ss-1V(鉛直)の速度波形

基準地震動Ss-2



基準地震動Ss-2H(水平)の速度波形



基準地震動Ss-2V(鉛直)の速度波形

参考文献

1. 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
2. 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
3. Hasegawa, A., K. Yoshida, Y. Asano, T. Okada, T. Iinuma, and Y. Ito(2012): Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, Earth and Planetary Science Letters, 355-356, 231-243.
4. 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
5. 気象庁(1951~2012):地震月報ほか
6. 地震調査研究推進本部(2005):宮城県沖地震を想定した強震動評価(一部修正版)
7. 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, 2004年4月
8. Luding, W.J., E. Nafe, and Duke(1970): Seismic refraction, The Sea, 4-1
9. Cerveny, V., and Psencik, I. (1984): SEIS83 - Numerical modeling of seismic wave fields in 2D laterally varying structures by the ray method, Documentation of earthquake algorithms, Report SE-35, ed. E.R. Engdahl, 36-40.
10. Vassiliou, M., C. A. Salvado, and B. R. Tittmann (1982): Seismic attenuation, CRC Handbook of Physical Properties of Rocks, vol. III, R.S. Carmichael (Editor), CRC Press, Boca Raton, Florida.
11. 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅(2013):標準的な強震動予測レシピアに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集
12. 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~
13. 川辺秀憲, 釜江克宏, 上林宏(2011):2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の震源のモデル化, 日本地球惑星科学連合2011年大会
14. Kurahashi, S. and K. Irikura (2013): Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am, Vol.103, May 2013
15. 気象庁(2011):平成23年4月 地震・火山月報(防災編)
16. 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.
17. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯, 第28巻
18. 地震調査研究推進本部(2007):山形盆地断層帯の長期評価の一部改訂について
19. 地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図

女川原子力発電所 基準地震動の策定のうち プレート間地震について

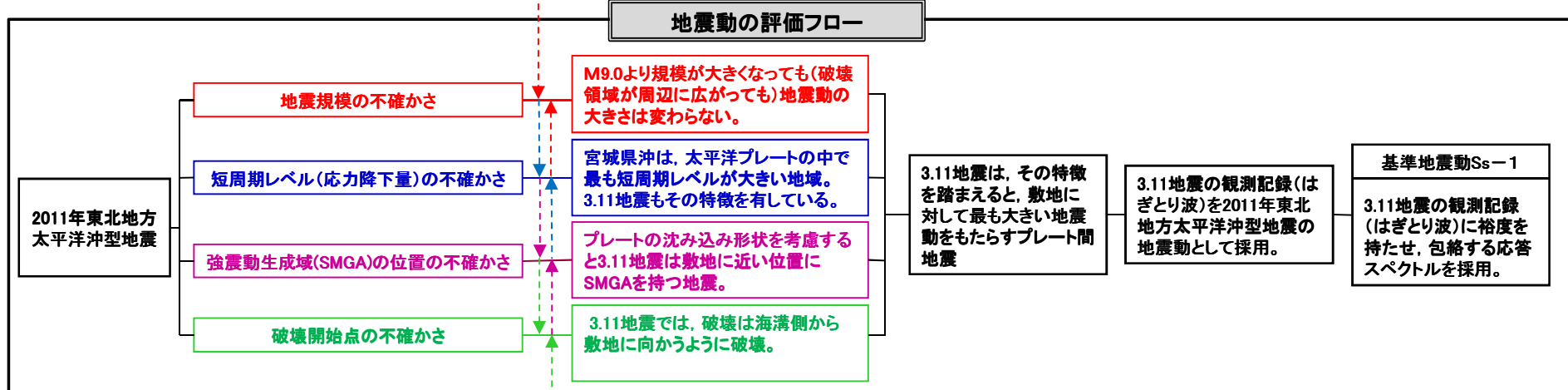
平成26年10月17日
東北電力株式会社

プレート間地震 2011年東北地方太平洋沖型地震 地震動評価フロー

3.11地震※1に関する既往知見

<p>【知見①:地震規模と強震動の関係】</p> <ul style="list-style-type: none"> 宮城県沖の領域は全て破壊したが、女川の記録は2つのウェーブパケットに分かれており、至近の強震動生成域の影響が大きい(背景領域や遠いSMGAの影響は小さい)。 震度インバージョンや距離減衰式の評価から、3.11地震の地震動はM8前半と同等、また連動型想定宮城県沖地震(M8.2)の地震動評価とも整合。 	<p>【知見②:短周期レベル(応力降下量)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既往の3.11地震シミュレーションモデルのSMGAの地震モーメントM_0-短周期レベルAの関係は、福島県沖、茨城県沖と比較して宮城県沖が最も大きく、また、1978年宮城県沖地震と整合。 過去に発生した太平洋プレートのプレート間地震のM_0-Aの整理でも、他の領域に比べ宮城県沖が最も大きい傾向。 	<p>【知見③:3.11地震のSMGAの位置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既往の3.11地震シミュレーションモデルのSMGAは敷地に近いプレート境界に設定されている。 プレートの沈み込み形状から、SMGAを平面的に敷地に近づけても深くなるため、距離は大きく変わらない。 	<p>【知見④:破壊開始点の影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 既往の3.11地震シミュレーションモデルでは、破壊開始点は海溝側に設定されており、破壊が敷地に向かう位置となっている。
--	--	---	--

※1:2011年東北地方太平洋沖地震



断層モデルを用いた検討

<p style="text-align: center;">諸井ほか(2013)</p> <p>【検討概要】</p> <ul style="list-style-type: none"> 3.11地震について、先験的な情報を用いた地震動評価結果(SGF)と観測記録(女川、福島、東海)との整合性検討を実施。 <p>【検討結果から得られる知見】</p> <ol style="list-style-type: none"> 各サイトの前面の領域区分全てが破壊することを仮定し策定したモデルは、観測記録の傾向を良く捉えている。 女川についてはやや過小のため、1978年宮城県沖地震を参考にSMGAの短周期レベルをかさ上げ(1.4倍)することで再現性が高まった。 	<p style="text-align: center;">「諸井ほか(2013)」のモデルを用いた検討※2</p> <p>【検討1】SMGAの位置の不確かさ</p> <ul style="list-style-type: none"> SMGAの位置を平面的にサイトに近づけた場合の検討を実施し、地震動レベルが大きく変わらないことを確認。 <p>【検討2】破壊開始点の不確かさ</p> <ul style="list-style-type: none"> 破壊開始点はサイトに破壊が進行する位置に設定しているが、破壊開始点を変えた場合の検討を実施し、地震動レベルが大きく変わらないことを確認。 <p style="text-align: right;">※2 申請後に新たに検討した内容</p>
--	---

目次

1. 世界のプレート間地震	.....	3
2. 2011年東北地方太平洋沖地震	.....	7
3. プレート間地震の地震動評価	.....	15
4. 断層モデルを用いた検討	.....	26
5. 基準地震動S _s	.....	64
6. まとめ	.....	68
 (補足説明資料)		
2011年東北地方太平洋沖地震のはざとり解析について	.....	70

目次

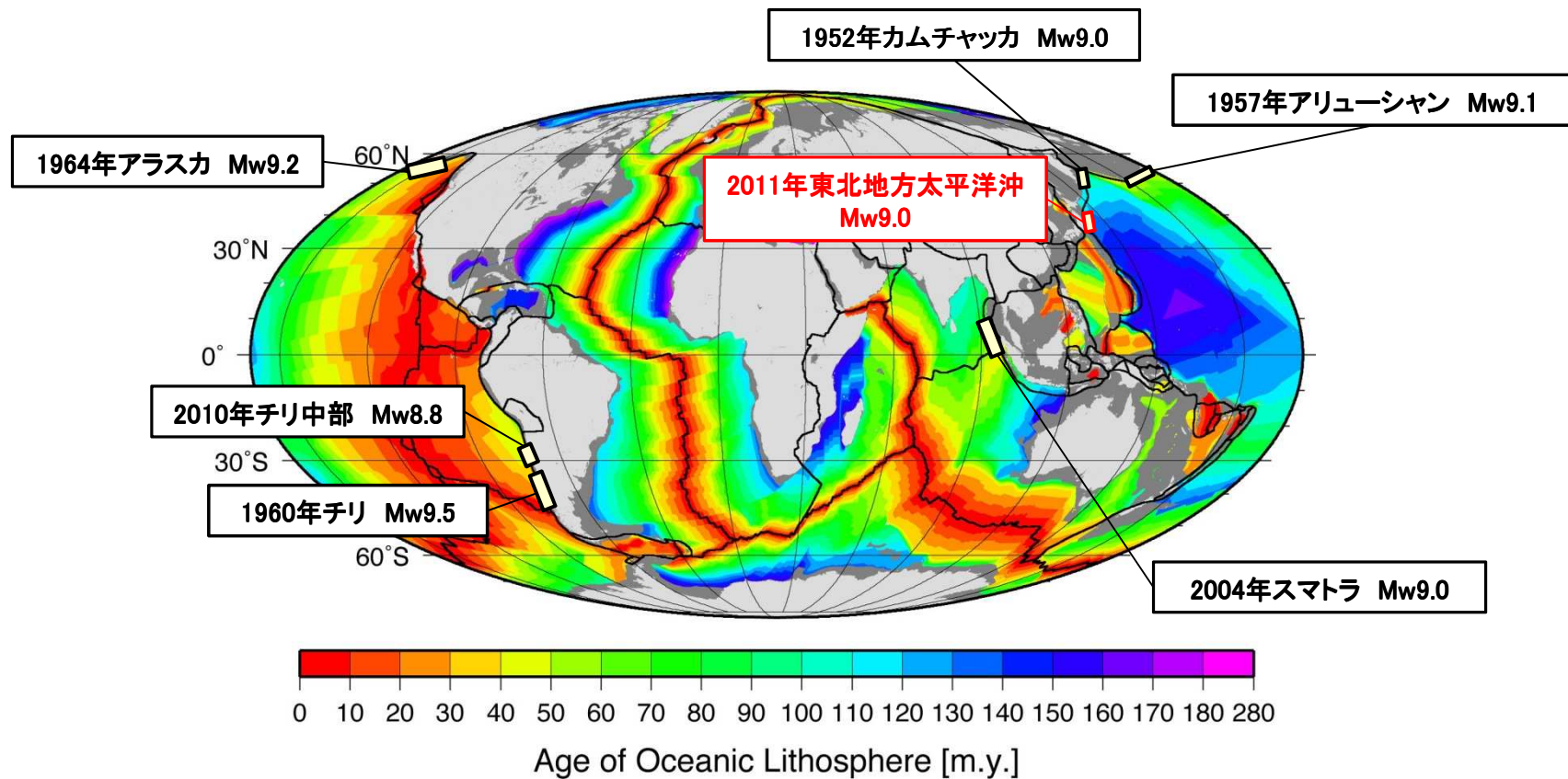
1. 世界のプレート間地震
2. 2011年東北地方太平洋沖地震
3. プレート間地震の地震動評価
4. 断層モデルを用いた検討
5. 基準地震動 S_s
6. まとめ

1. 世界のプレート間地震

1.1 世界のプレート間地震の特徴(1)

■ 沈み込むプレートの年齢

- ・2010年までのM9地震は、すべて1億年より若いプレートの上で発生。
- ・2011年東北地方太平洋沖地震が発生した東北地方南部沖は、1億3千万年という年齢が極めて古いプレートが沈み込んでいる。



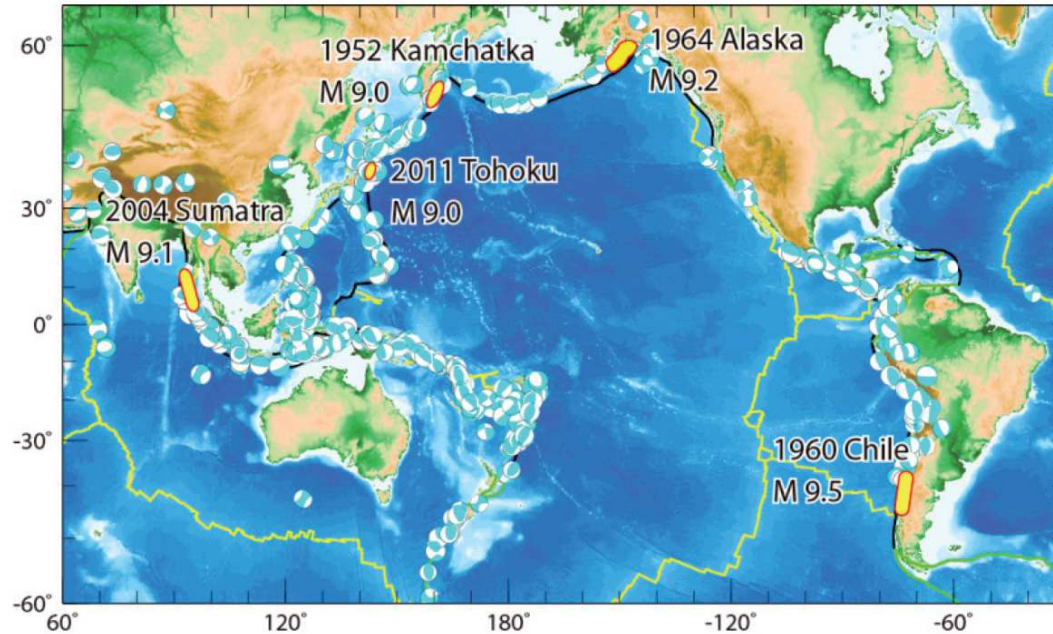
海洋性プレートの年齢と過去に起こったM8.8以上の地震 (Müller et al.(2008)に一部加筆)

※地震規模は、宇津(2004)による。

1. 世界のプレート間地震

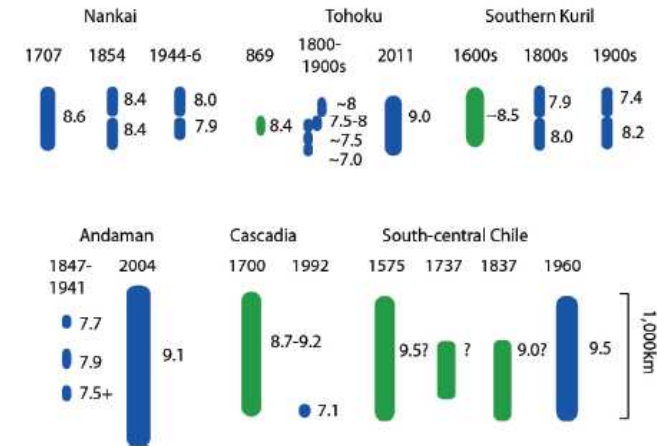
1.1 世界のプレート間地震の特徴(2)

■地震学的, 地質学的知見(佐竹(2013))



環太平洋における大地震の分布

水色のメカニズム解は, Global CMT によるM7 以上の地震(1976 年~2011 年)を示す。20 世紀以降に発生したM9 以上の地震については, 地震名・発生年とともに, 震源域を黄色で示す。プレート境界を黄色(発散境界)と黒色(収束境界)で示す。



世界の沈み込み帯における巨大地震の規模の多様性

それぞれの形は大まかな震源域の大きさを表す(数字はモーメントマグニチュード)。青色は地震の器械記録・歴史記録に基づき, 緑色は古地震データにも基づくもの。Satake and Atwater (2007)に東北地方太平洋沖地震を追加。

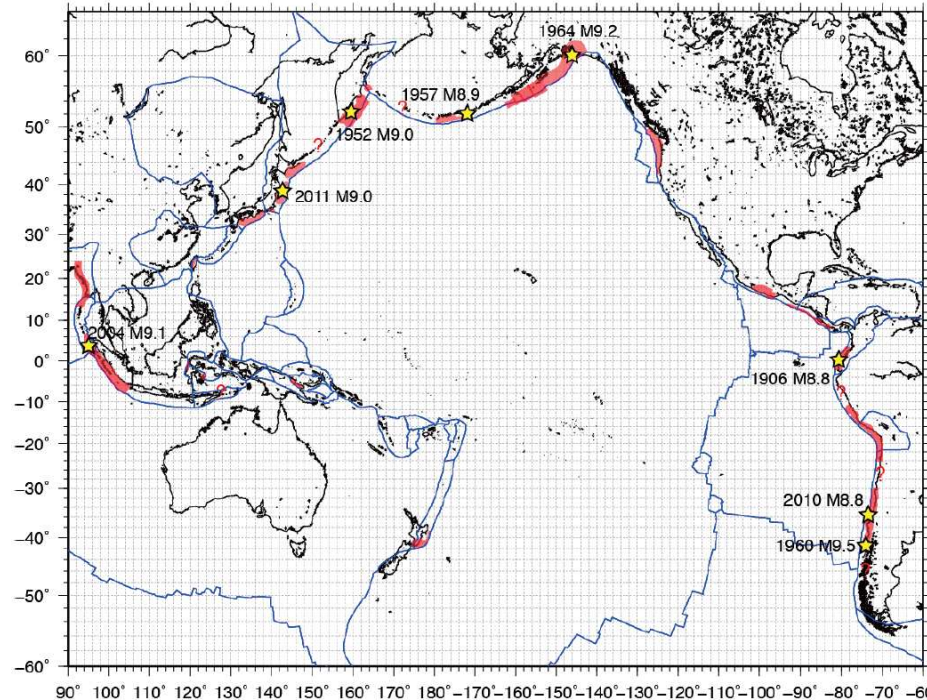
【第197回地震予知連絡会 重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要】

2011年東北地方太平洋沖地震は日本周辺で発生した初のM9超巨大地震であったが, 世界では20世紀以降でも数回の超巨大地震が発生している。日本も含めた世界各地でここ数年~数十年間に古地震調査が行われ, 過去に発生した超巨大地震の履歴が明らかになってきた。歴史記録が残っていない地域でもM9 クラスの地震が数百年の間隔で発生していることが明らかになってきたが, 同時に, これらの地震はすべて同じ規模で発生していないことも明らかになりつつある。(佐竹(2013))

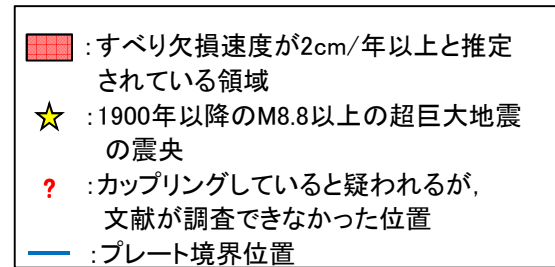
1. 世界のプレート間地震

1.1 世界のプレート間地震の特徴(3)

■環太平洋とその周辺におけるすべり欠損速度分布と巨大地震の関係(西村(2013))



環太平洋とその周辺における測地データから推定されたプレート間カップリング分布



■ カップリング係数※が大きく、1に近い沈み込み帯
 北米カスケード、チリ、スマトラ、南海トラフ

■ カップリング係数が中程度の地域
 カムチャッカ、アリューシャン、アラスカ、メキシコ、中米、
 コロンビア、ペルー、日本海溝、千島海溝

■ カップリング係数が小さいと考えられている地域
 ニュージーランド、トンガ、伊豆・小笠原、マリアナ、琉球、
 フィリピン等

※カップリング係数: すべり欠損速度をプレート相対運動速度で割ったもの

【第197回地震予知連絡会 測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング】

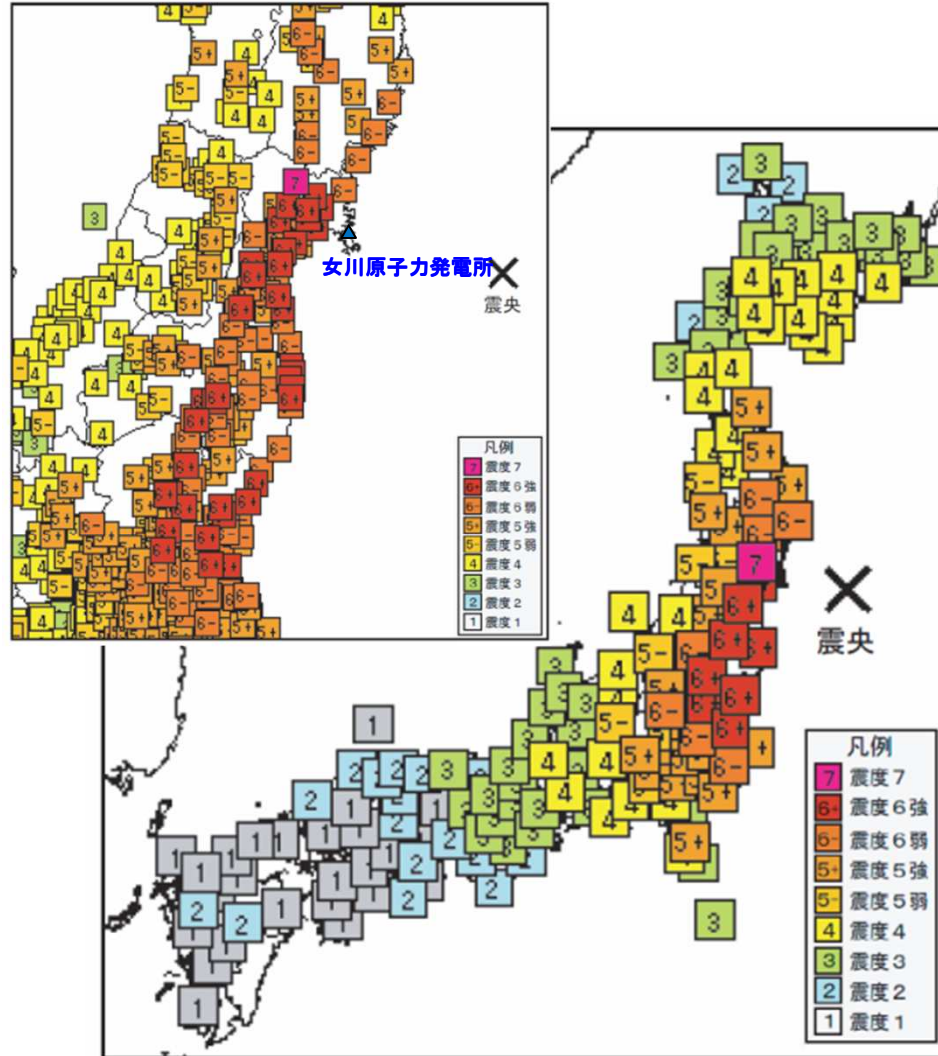
・測地的観測から推定される固着の強いプレート境界と20世紀以降の巨大地震の発生域の関係を整理し、M9クラスの巨大地震は、全てカップリング係数が中程度以上の地域で発生していることを示している。
 ・固着域の内部においても長さ方向、幅方向にカップリング分布の不均質があることが一般的で、M8クラス以下の大地震の震源域を規定しているように見える。超巨大地震発生時にはカップリングの弱い領域を含めて数百km以上に渡って滑りが生じている。また、カップリングの強弱をプレート間相対速度や沈み込むプレートの年代といった単一のパラメータで説明することは困難である。(西村(2013))

目次

1. 世界のプレート間地震
- 2. 2011年東北地方太平洋沖地震**
3. プレート間地震の地震動評価
4. 断層モデルを用いた検討
5. 基準地震動 S_s
6. まとめ

2. 2011年東北地方太平洋沖地震

2.1 2011年東北地方太平洋沖地震の概要



震度分布図(気象庁(2012)に一部加筆)

地震の諸元

発生日時	2011年3月11日14時46分
地震名	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
地震規模	Mw9.0
震央位置	東経 142° 51.66' 北緯 38° 6.21'
震源深さ	24km
女川原子力発電所との距離	震央距離 124km

宮城県栗原市で震度7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の4県37市町村で震度6強を観測したほか、東日本を中心に北海道から九州地方の広い範囲で揺れが観測された。

2. 2011年東北地方太平洋沖地震

2.2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴(1)

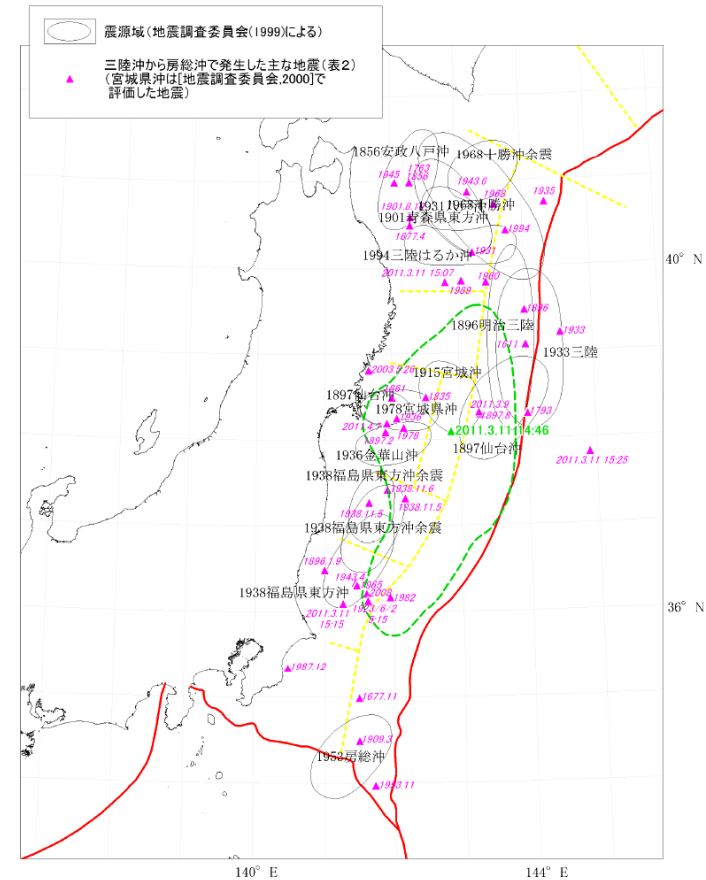
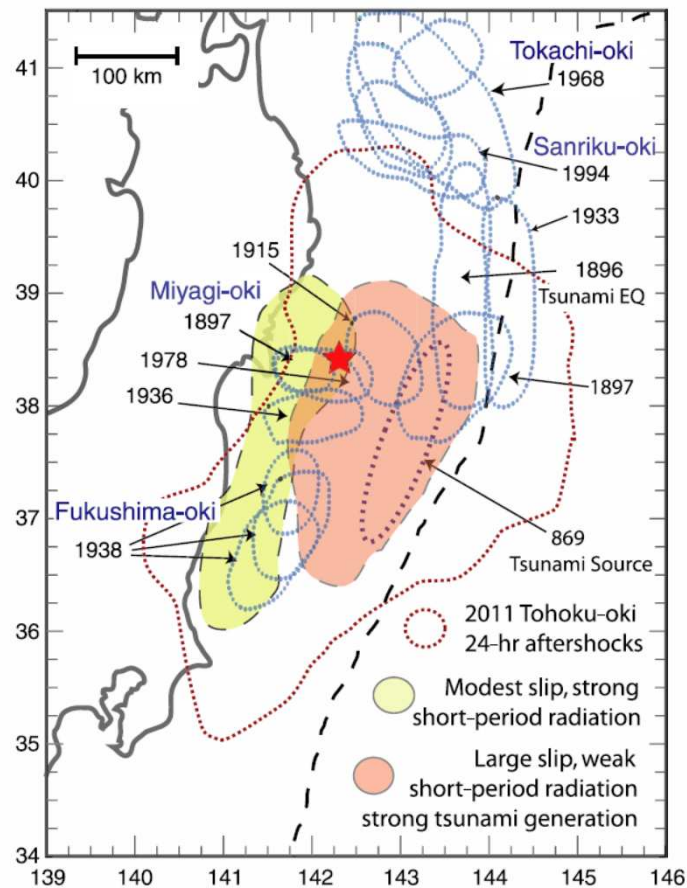


図5 三陸沖から房総沖にかけての主な地震と主な震源域(地震調査委員会, 1999)

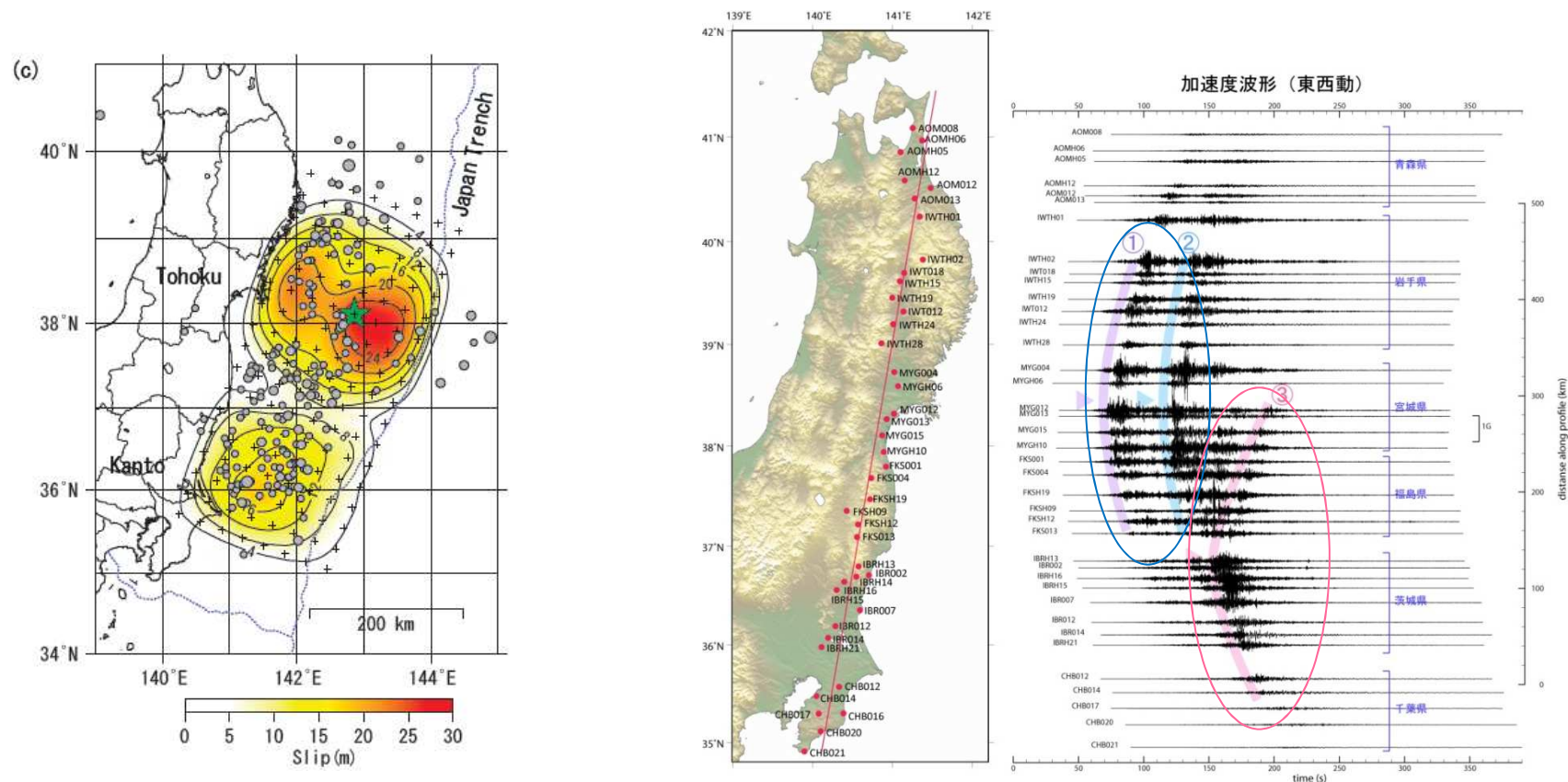
2011年東北地方太平洋沖地震の余震が発生(本震発生から1日の間)した領域と過去に発生した地震の震源域(Koper et al.(2011))

三陸沖から房総沖にかけての主な地震と主な震源域(地震本部(2012))

- ・2011年東北地方太平洋沖地震は、三陸沖から茨城県沖にかけてのプレート間地震の震源域を包含している。
- ・三陸沖から房総沖のプレート間地震としては最大級の地震。

2. 2011年東北地方太平洋沖地震

2.2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴(2)



遠地実体波による震源過程解析結果
(気象庁(2012))

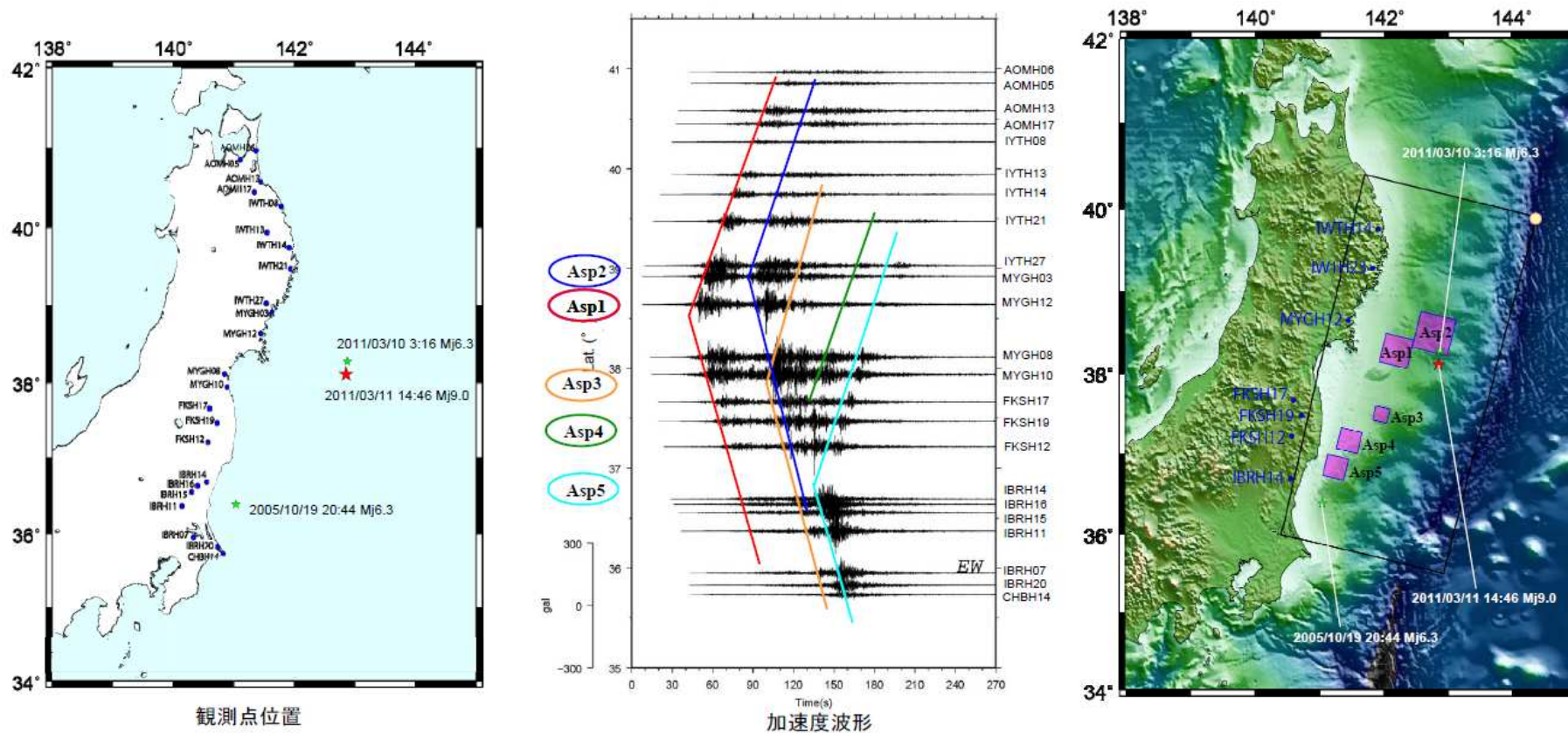
近地強震動波形(K-NET、KiK-net)の特徴
(東京大学地震研究所(2012))

- ・北部の観測点に対しては、断層南部からの地震波の寄与が非常に小さいと考えられる。
- ・それぞれの地点に対しては、至近の強震動生成域による影響が大きいと考えられる。

2. 2011年東北地方太平洋沖地震

2.2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴(3)

■短周期地震動からの震源破壊過程 川辺ほか(2011)の例



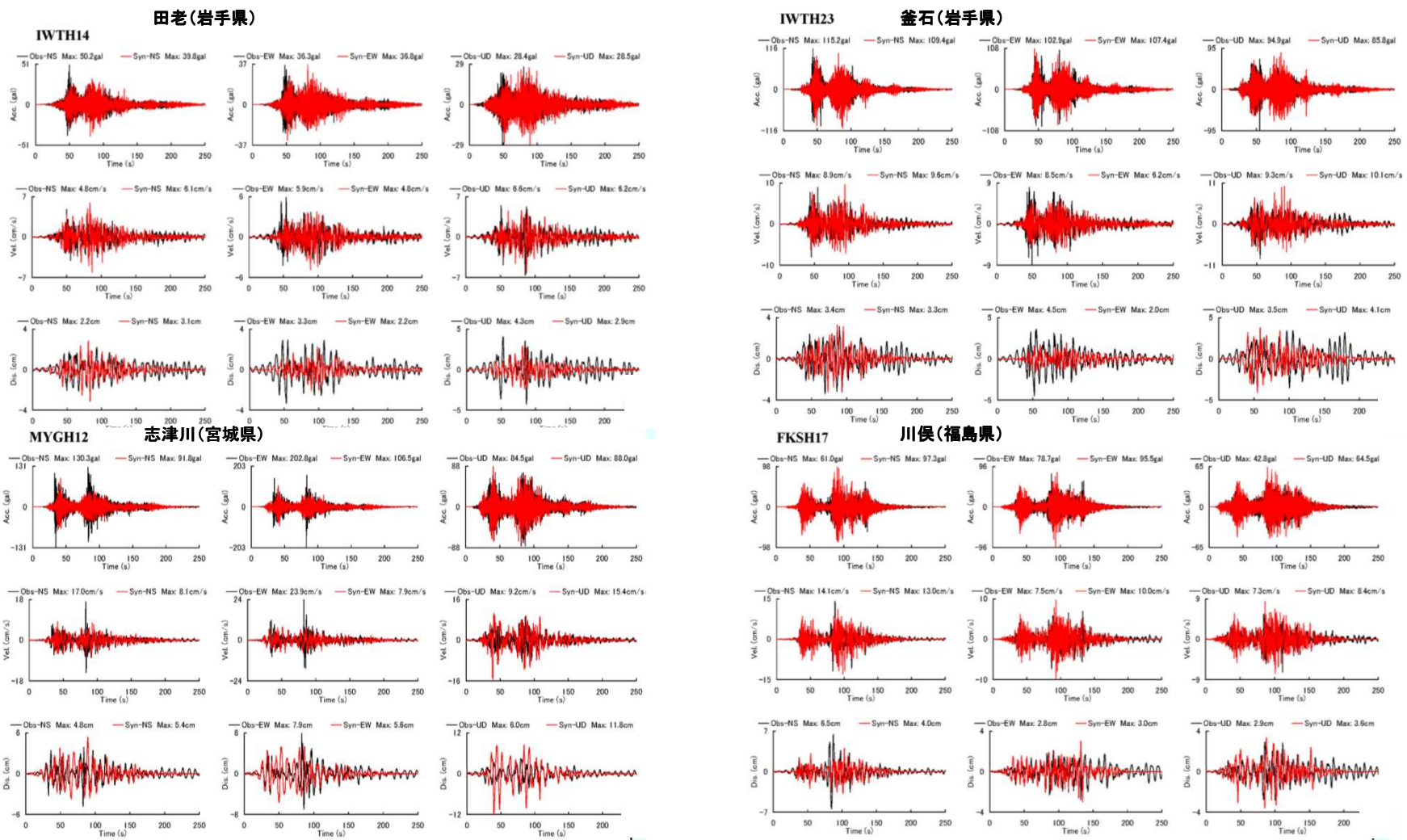
近地強震動波形(K-NET、KiK-net)の特徴(川辺ほか(2011))

震源モデル(川辺ほか(2011))

強震動生成域は、大きなすべりがあった海溝沿いではなく、主に震源(破壊開始点)の西側に位置している。

2. 2011年東北地方太平洋沖地震

2.2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴(4)



KiK-net観測点の観測波形(黒線)と強震動生成域によるシミュレーション結果(赤線)(川辺ほか(2011)より抜粋)

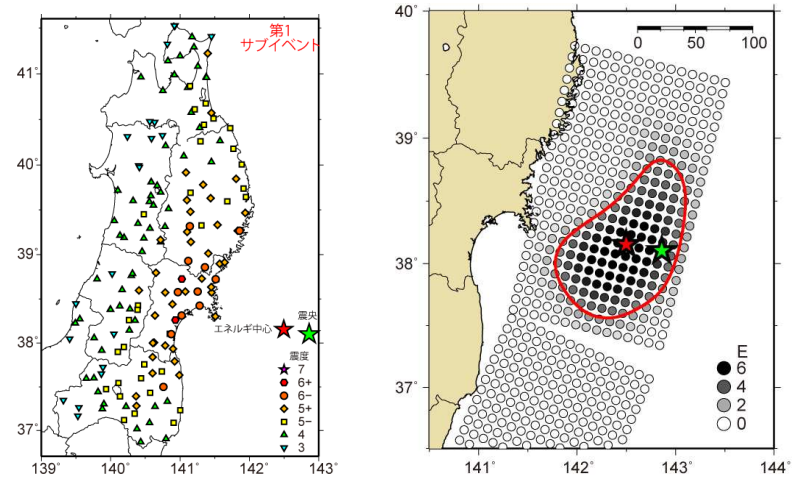
敷地への影響は、至近の強震動生成域の影響が大きいことが示唆される。



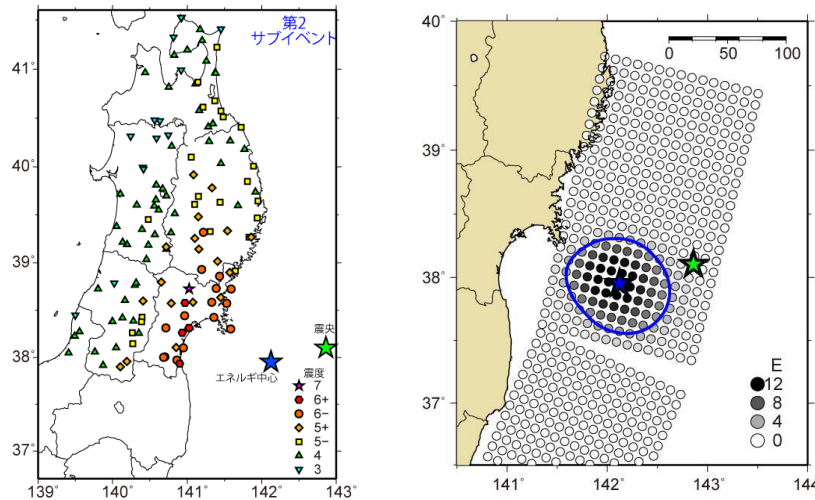
2. 2011年東北地方太平洋沖地震

2.2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴(5)

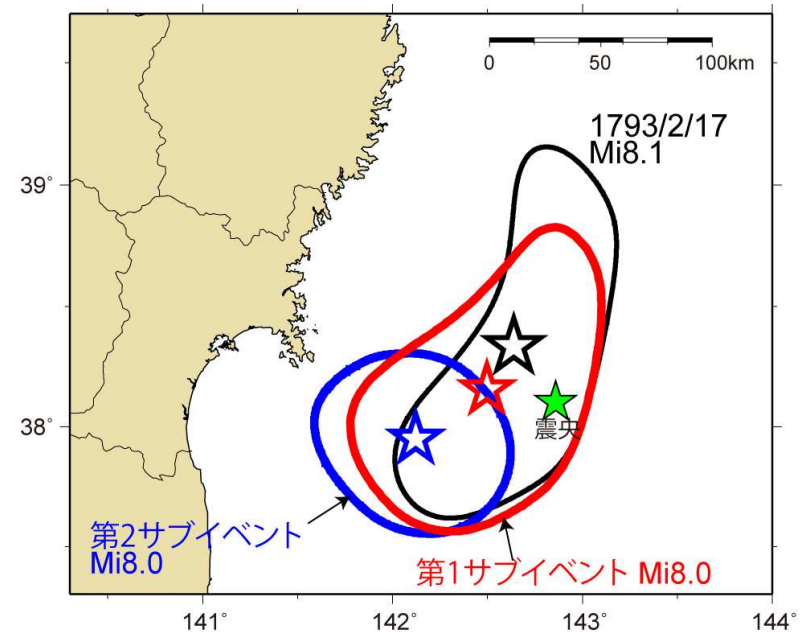
■ 2つの波群に分離して、それぞれの波群について震度インバージョンを実施(神田ほか(2012))



第1波群の震度分布と短周期エネルギー放出分布



第2波群の震度分布と短周期エネルギー放出分布

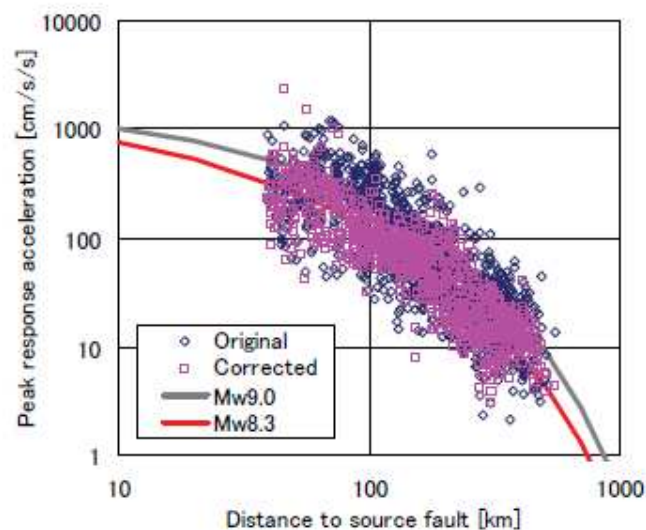


第1波群, 第2波群とも $M_l = 8.0$

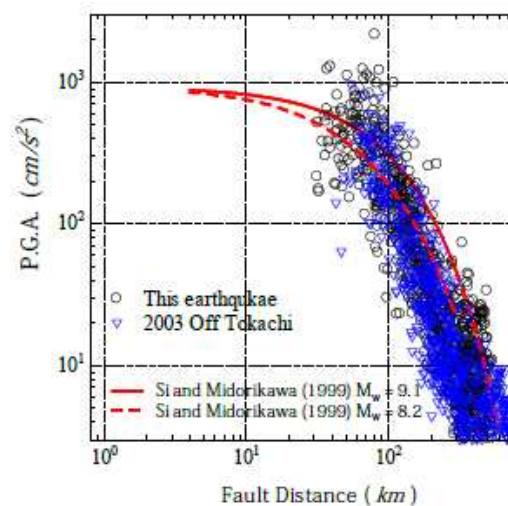
2. 2011年東北地方太平洋沖地震

2.2 2011年東北地方太平洋沖地震の特徴(6)

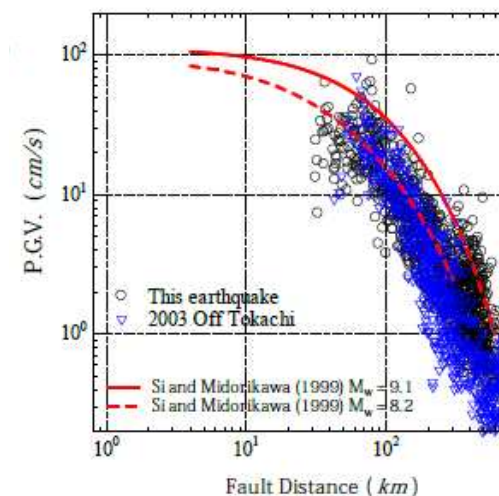
■ 距離減衰式との比較



2011年東北地方太平洋沖地震の観測及び補正された
加速度応答スペクトル
[$S_a(T=1s)$]の距離減衰(Kataoka and Kaneko(2012))



2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)と2003年十勝沖地震(Mw8.3)
のPGA, PGVの距離減衰の比較(司ほか(2011))



2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の観測記録(PGA,PGV)は, Mw8.3の距離減衰式とよく一致している。
通常, Mが大きくなれば地震動も強くなるが, 2011年東北地方太平洋沖地震ではそのような傾向ではなかった。



M9程度の巨大地震だが, 地震動としては, M8前半で頭打ちの可能性が示唆される。

目次

1. 世界のプレート間地震
2. 2011年東北地方太平洋沖地震
- 3. プレート間地震の地震動評価**
4. 断層モデルを用いた検討
5. 基準地震動 S_s
6. まとめ

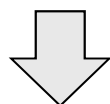
3. プレート間地震の地震動評価

3.1 プレート間地震の検討用地震の選定

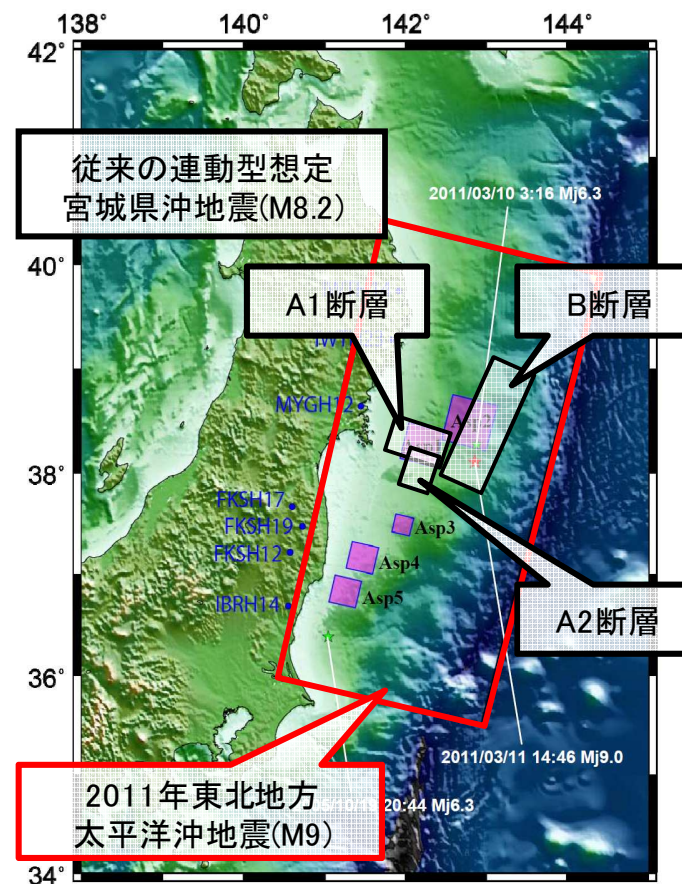
地震本部(2013)での評価モデル

領域	評価
東北地方太平洋沖型 (繰返し地震)	M8.4~M9.0
宮城県沖 (繰返し地震)	M7.4

2011年東北地方太平洋沖地震(3.11地震)は、
敷地に最も影響を及ぼした地震であった。



検討用地震として、
2011年東北地方太平洋沖型地震
を選定。



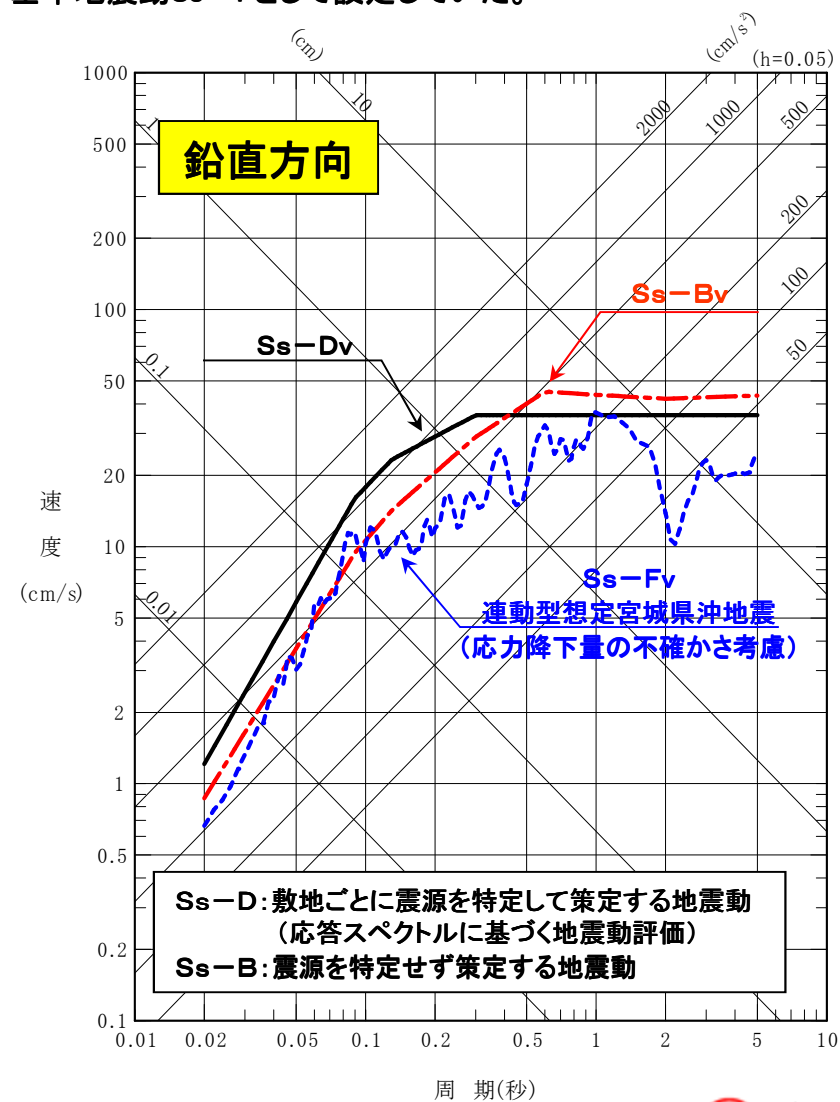
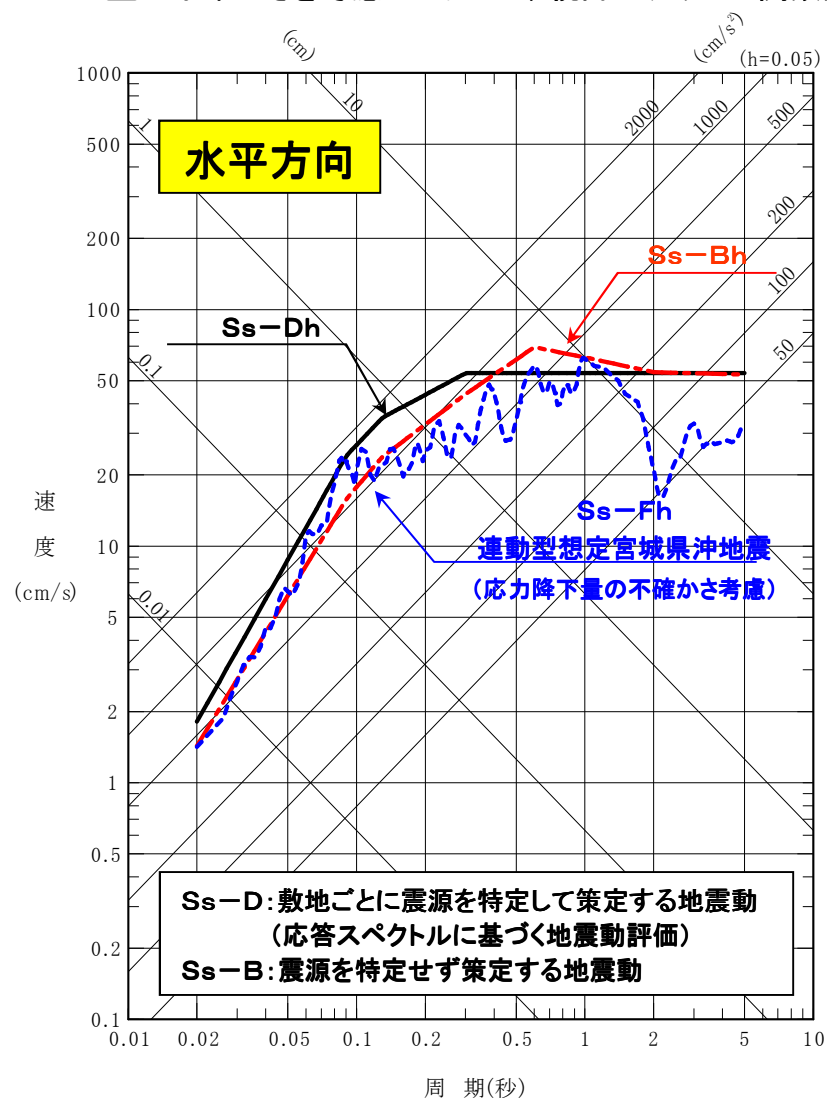
プレート間地震の断層モデル*
(連動型想定宮城県沖地震と3.11地震の比較)

*川辺ほか(2011)に一部加筆

3. プレート間地震の地震動評価

3.2 耐震安全性評価で考慮していた地震

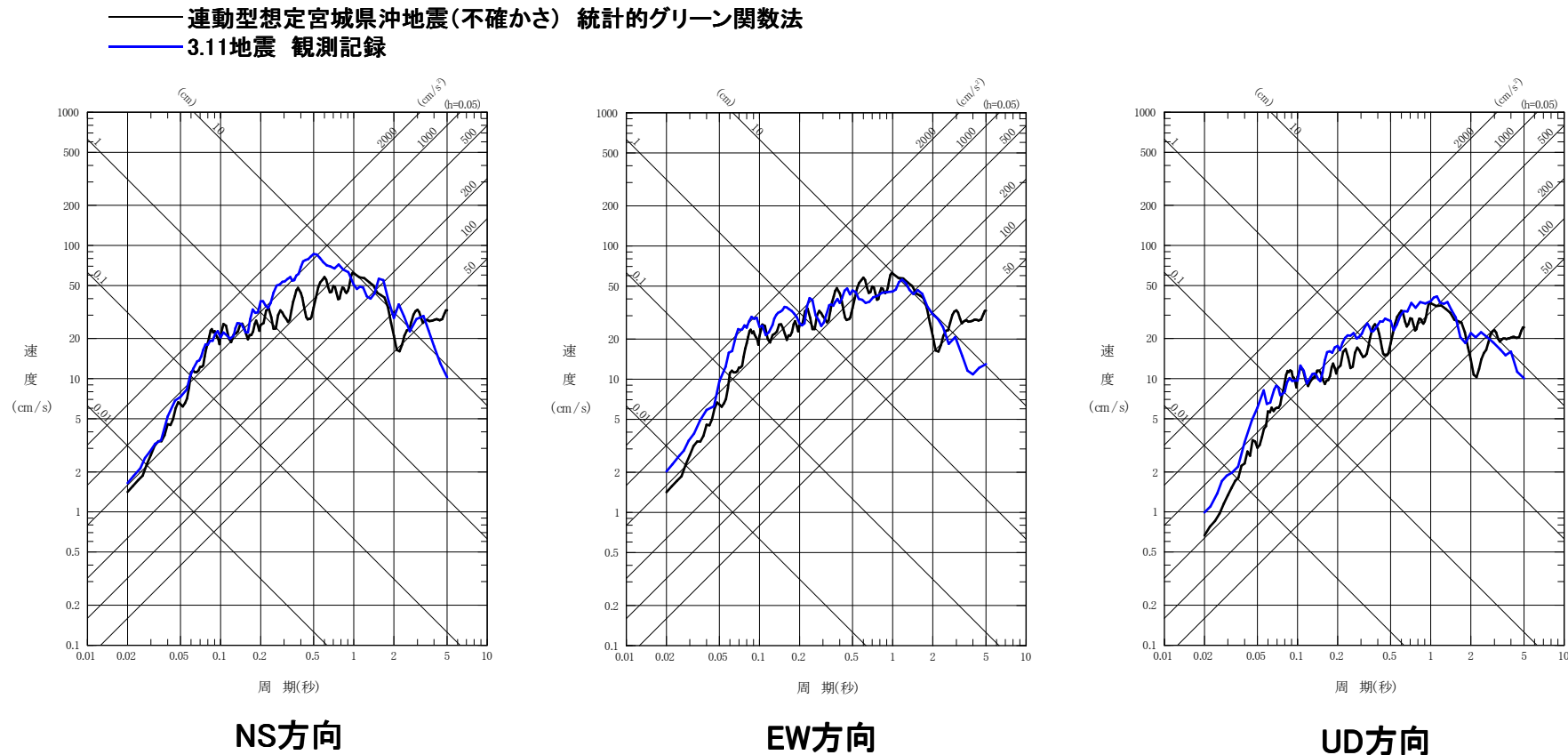
- 耐震安全性評価(平成20年3月, 平成21年12月一部補正)では, 連動型想定宮城県沖地震(M8.2)の断層モデルによる評価(応力降下量の不確かさを考慮したケース, 統計的グリーン関数法)を, 基準地震動 S_s-F として設定していた。



3. プレート間地震の地震動評価

3.3 連動型想定宮城県沖地震(M8.2)と2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の比較

- ・検討用地震として考慮していた連動型想定宮城県沖地震の断層モデルによる評価(統計的グリーン関数法)と2011年東北地方太平洋沖地震(3.11地震)の観測記録*は概ね整合したものとなっている。



連動型想定宮城県沖地震(M8.2)と3.11地震の観測記録との比較

※3.11地震による敷地での岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について表層の影響を除去したはざとり波

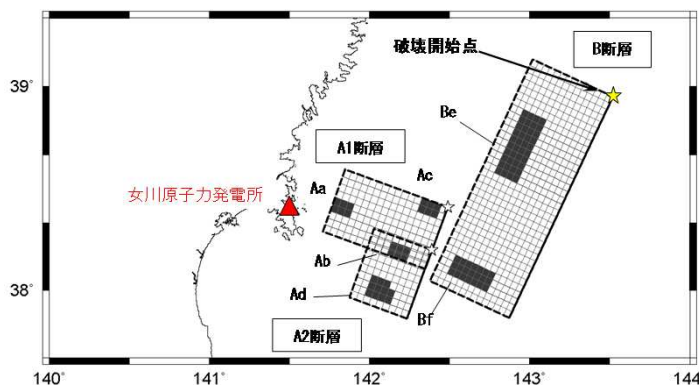
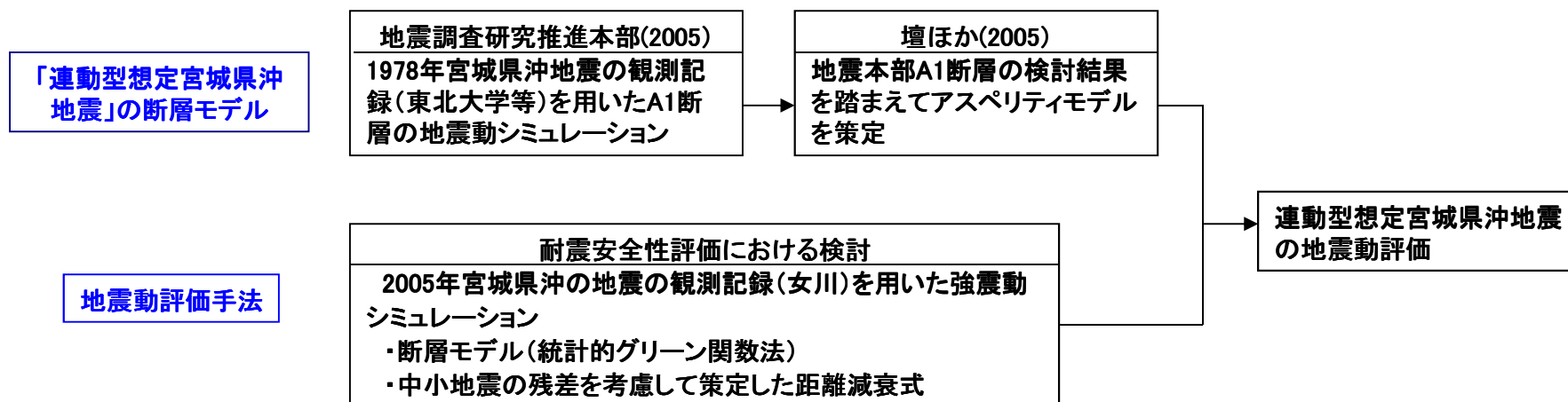
(O.P.は女川原子力発電所工事用基準面(Onagawa peil)であり, O.P.±0m = T.P.(東京湾平均海面)-0.74m。)

3. プレート間地震の地震動評価

3.4 連動型想定宮城県沖地震の断層モデルとその地震動評価

◇連動型想定宮城県沖地震の基本ケースは、地震本部(2005)等のA1断層の震源モデルを基に策定されている壇ほか(2005)の断層パラメータを用いている。地震本部のA1断層は、1978年宮城県沖地震の観測記録を踏まえて構築されている。

◇地震動評価は、2005年宮城県沖の地震の強震動シミュレーション解析を踏まえ実施している。



連動型想定宮城県沖地震の断層モデル(基本ケース)

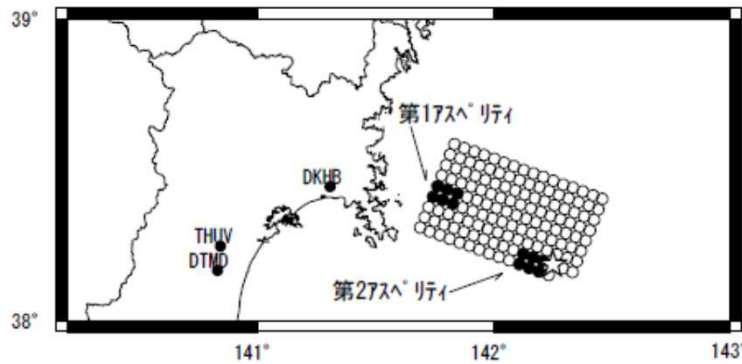
※: ■はアスペリティを, ☆は破壊開始点を示す。

3. プレート間地震の地震動評価

3.5 地震本部(2005)での想定宮城県沖地震の検討

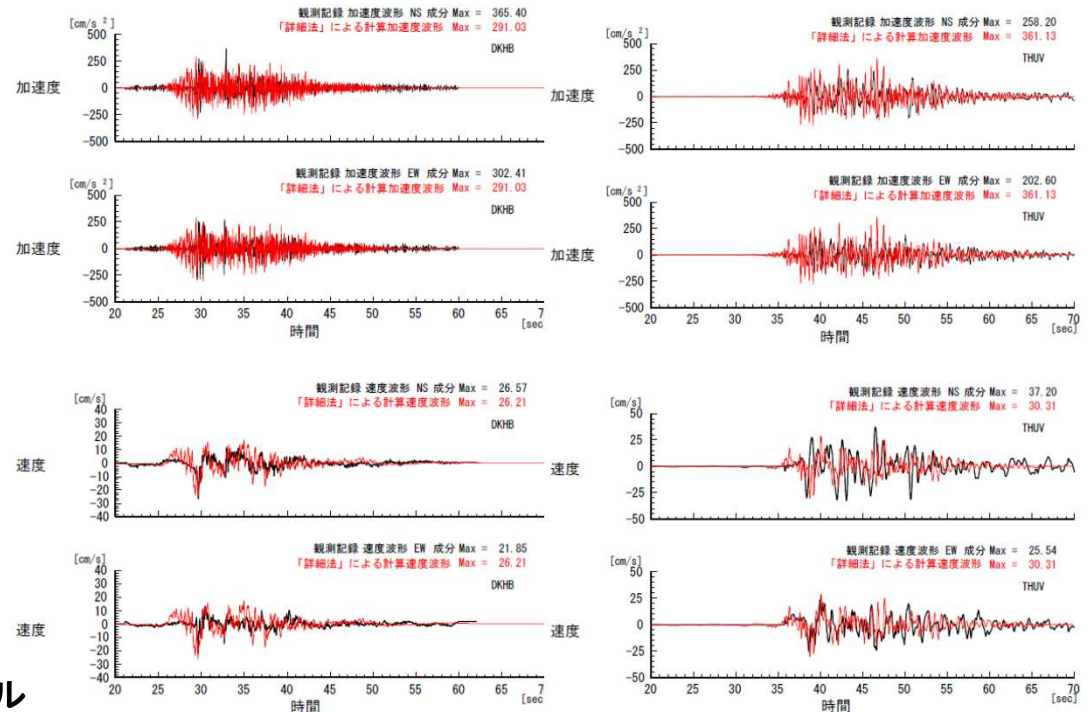
○地震本部(2005)は、1978年宮城県沖地震の観測記録を踏まえA1断層の断層モデルを想定している。

○具体的には、短周期レベルAは、1978年宮城県沖地震の東北大学の観測記録を用いて算出した値を用いている。また、アスペリティの数、位置、面積、応力降下量についても、1978年宮城県沖地震の強震動観測波形に合うように試行錯誤的に算定されている。



● : アスペリティ
☆ : 破壊開始点

1978年宮城県沖地震の
観測波形が得られた地点
DKHB : 開北橋
THUV : 東北大学
DTMD : 樽水ダム



地震本部(2005)が想定したA1断層の断層モデル

開北橋(DKHB)

東北大学(THUV)

凡例 ———— : 観測記録, ———— : 地震本部による評価
(地震本部(2005))

3. プレート間地震の地震動評価

3.6 IAEAへの日本政府報告書

国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について(第2報):2011年9月

第II章

II. 事故に関するその後の追加的状況

1. 東北地方太平洋沖地震とそれによる津波

(1) 地震・津波の発生に係る原因究明

○ 震源破壊過程に基づいた地震動解析

独立行政法人原子力安全基盤機構は、短期地震動の評価における断層モデルの設定方法を検討するため、東北地震(Mw9)の発生前に公開されていた文部科学省地震調査研究推進本部の想定宮城県沖地震(連動型、Mw8.2)を対象として、女川プラント近くの志津川観測点(MYGH12)を評価点として、断層モデルに基づく地震動解析を行った。

そして、解析結果と東北地震で得られた観測波形との比較を行った(図II-1-11)。その結果、女川プラント近傍の志津川観測点の評価結果は、今回の観測波形とほぼ同じレベルとなっていることが分かった。これらのことから、東北地震は、長周期地震動の観点からするとM9の超巨大地震であるものの、短周期地震動の観点からするとM8クラスの地震と同じ特徴を持っているといえる。

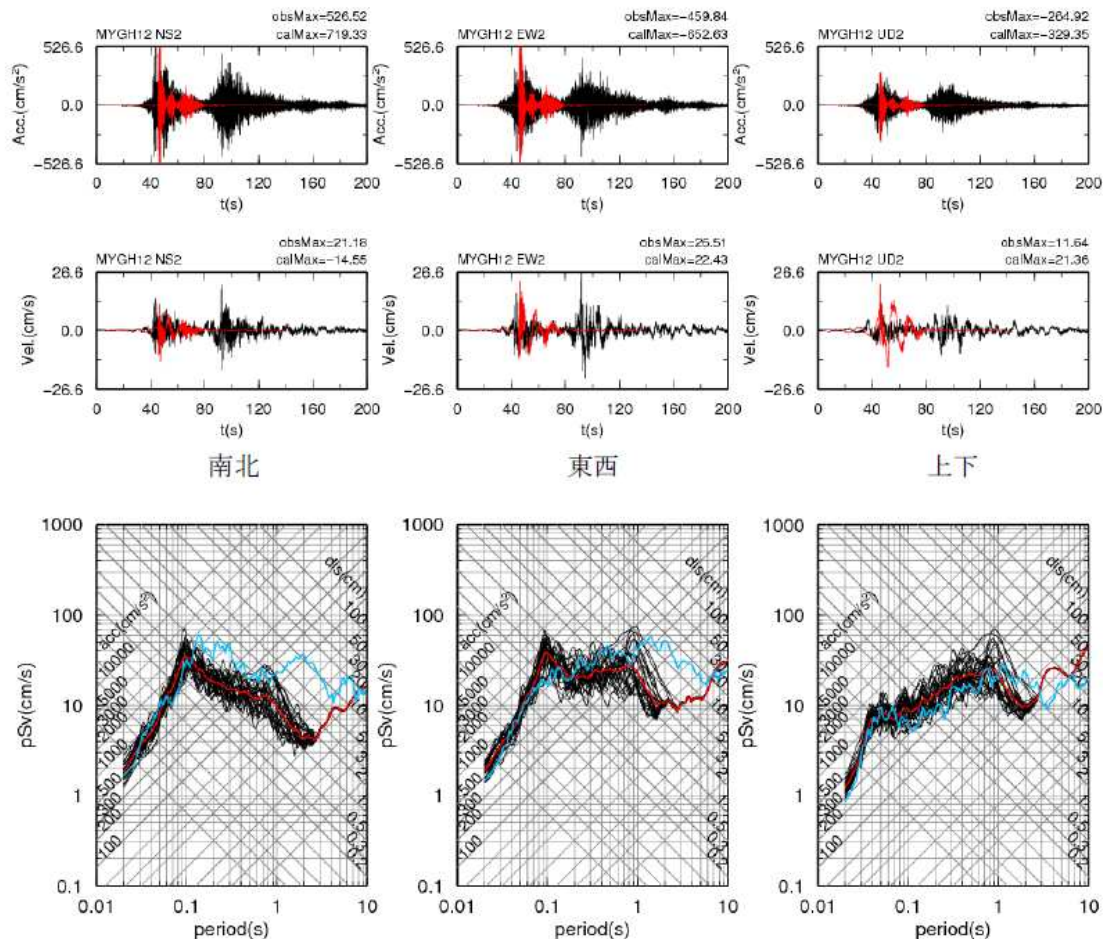
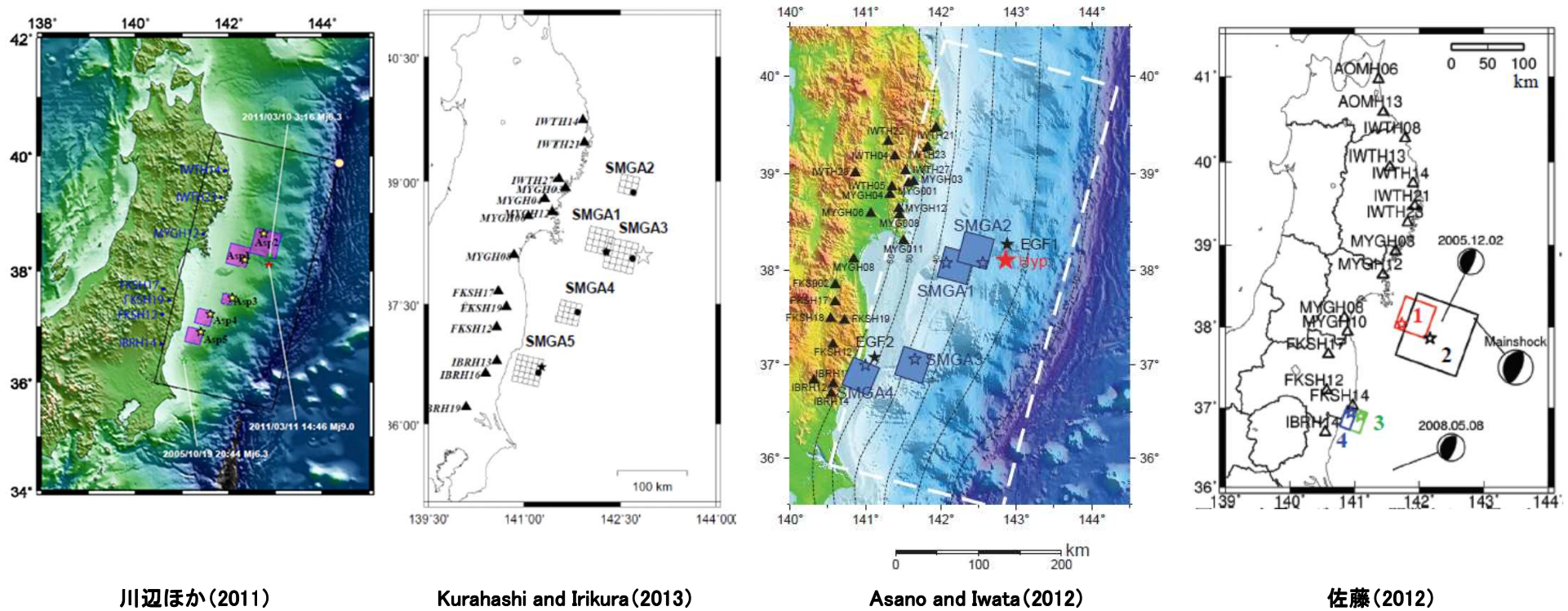


図 II-1-11 志津川観測点 (MYGH12) に対して、想定地震を対象とした地震動解析結果と今回の地震の観測波形との比較

上図：観測波形（黒線）と計算波形（一つの例、赤線）の比較、下図：観測（青線）の応答スペクトルと計算結果との比較

3. プレート間地震の地震動評価

3.7 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動波形解析による強震動生成域モデル

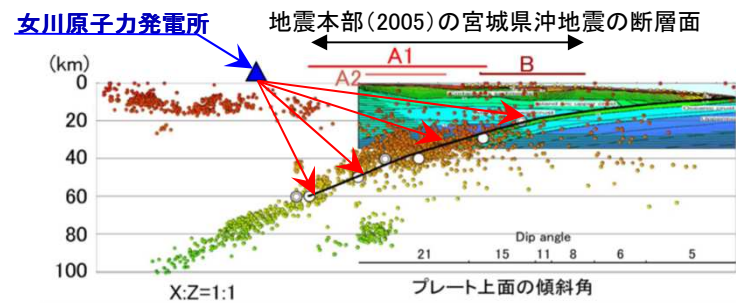


川辺ほか(2011)

Kurahashi and Irikura (2013)

Asano and Iwata (2012)

佐藤(2012)



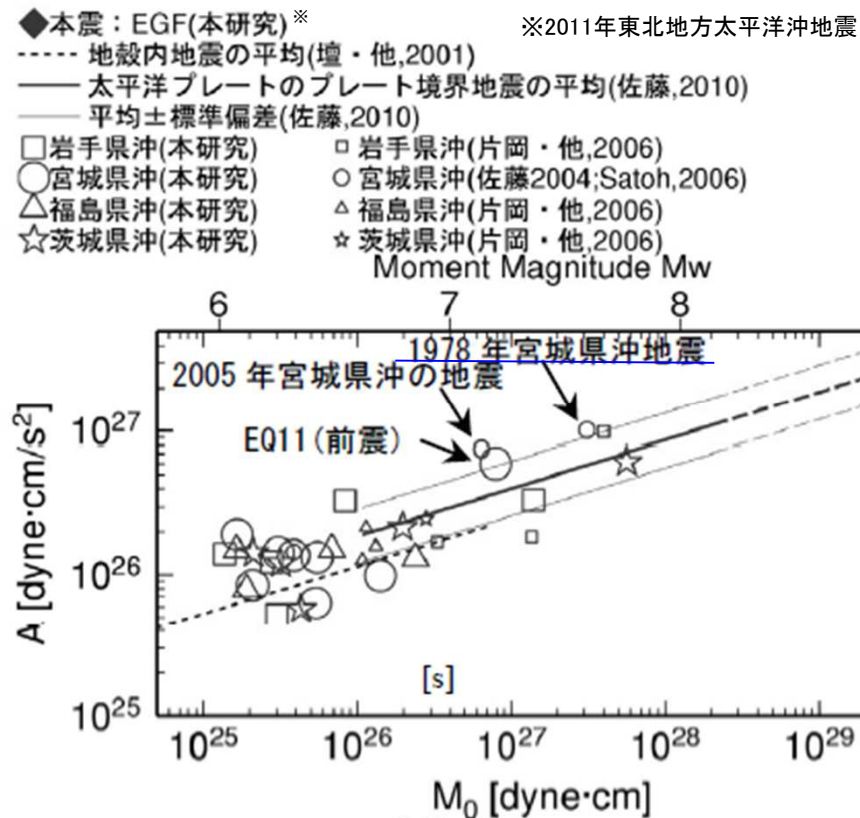
※敷地に近づくほどプレート境界面までの深さは大きくなる。

- ・敷地に近い宮城県沖に強震動生成域(SMGA)が設定されている。
- ・破壊開始点は海溝側から敷地に向かう位置に設定されている。

敷地と宮城県沖地震の断層面の位置関係(地震本部(2005)に一部加筆)

3. プレート間地震の地震動評価

3.8 過去の宮城県沖地震の短周期レベル

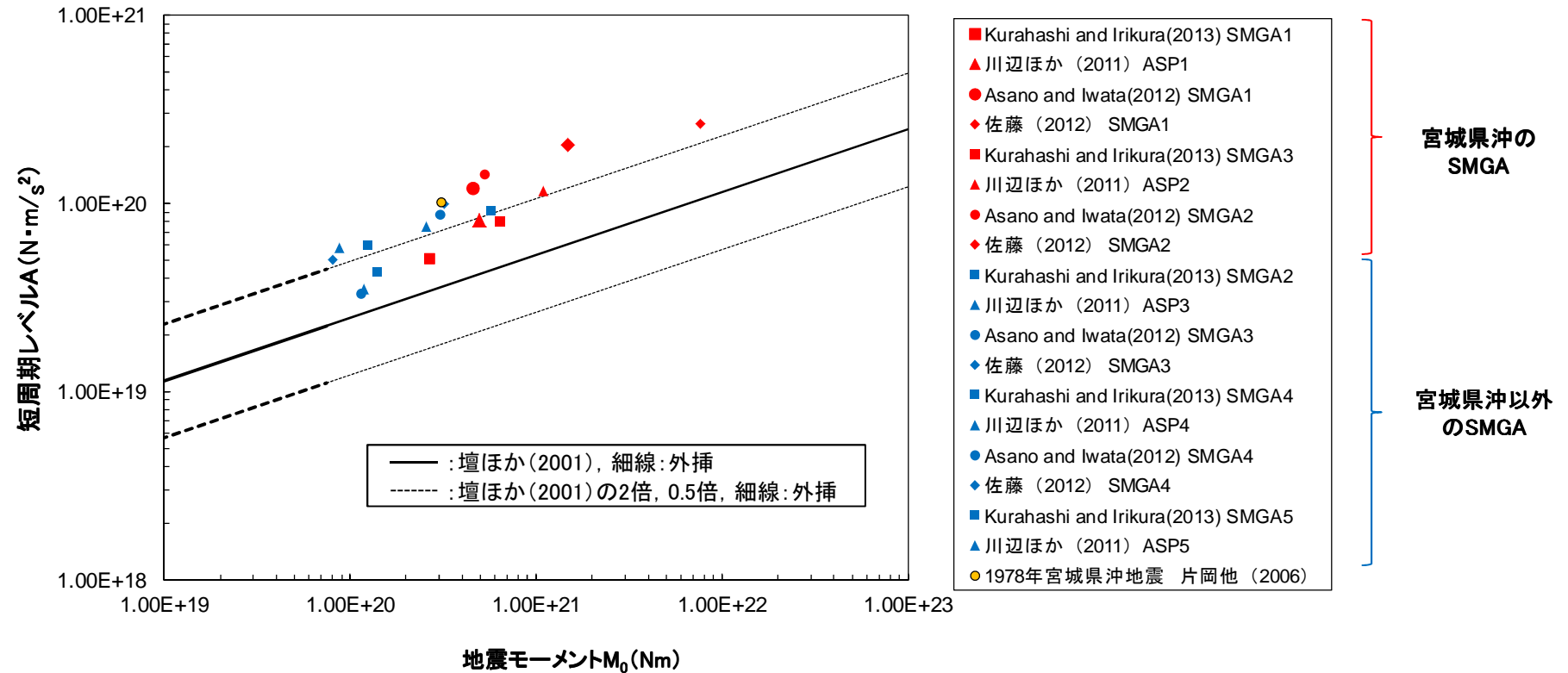


太平洋プレート境界地震の M_0 -A関係(佐藤(2012)に一部加筆)

宮城県沖では、1978年宮城県沖地震、2005年宮城県沖の地震の地震観測記録の分析から、地震モーメント M_0 と短周期レベルAの関係(M_0 -A関係)が、太平洋プレート境界地震の平均±標準偏差よりやや大きいレベルで、ほぼ同じスケーリング上にある。

3. プレート間地震の地震動評価

3.9 2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルの強震動生成域(SMGA)の短周期レベル



各震源モデルのSMGAの地震モーメントM₀-短周期レベルAの関係

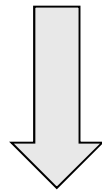
宮城県沖の強震動生成域の短周期レベルも、過去の宮城県沖地震と同様に、他の地域に比べて相対的に大きい傾向にある。

3. プレート間地震の地震動評価

3.10 プレート間地震の地震動評価に基づく基準地震動Ss

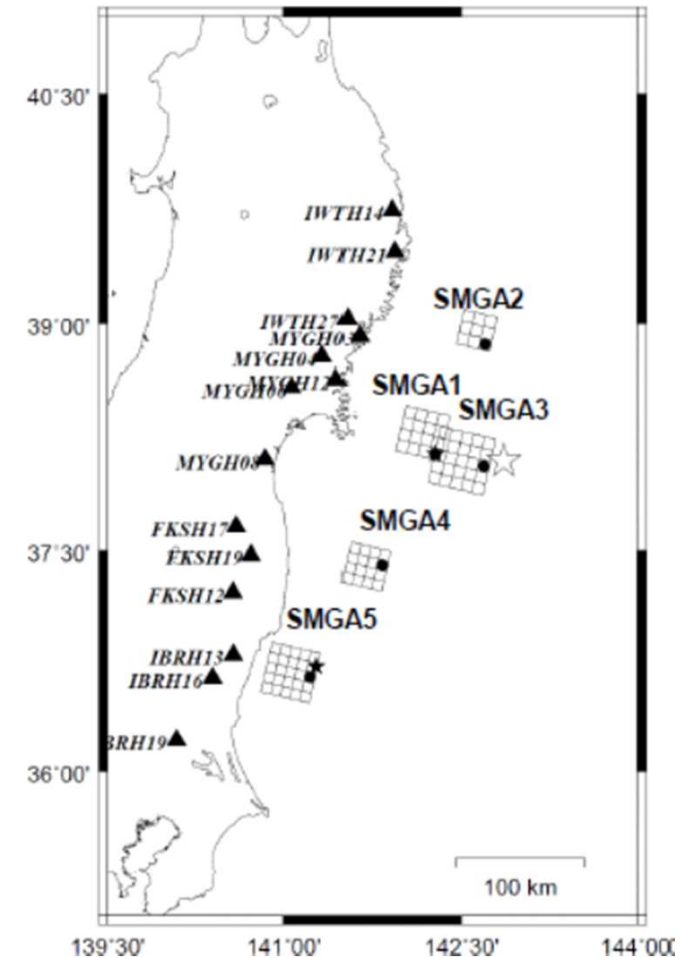
【2011年東北地方太平洋沖地震の特徴】

- ・2011年東北地方太平洋沖地震(3.11地震)では、宮城県沖の領域が全て破壊したが、敷地に近い強震動生成域の影響が大きい。
- ・強震動としてはM8前半程度の大きさで、連動型想定宮城県沖地震(M8.2)の地震動評価とも整合。
→M9.0より規模が大きくなっても(破壊領域が周辺に広がっても)地震動の大きさは変わらない。
- ・宮城県沖は、太平洋プレートの中で最も短周期レベルが大きい地域であり、3.11地震もその特徴を有している。
- ・プレートの沈み込み形状を考慮すると3.11地震は敷地に近い位置に強震動生成域を持つ地震。
- ・3.11地震では、破壊は海溝側から敷地に向かうように破壊。



3.11地震は敷地に対して最も影響の大きいプレート間地震であるが、更に裕度を考慮。

- ・2011年東北地方太平洋沖型地震の敷地における地震動は、3.11地震による敷地での岩盤上部(O.P. -8.6m)の観測記録について、表層の影響を除去したはざとり波を採用。
- ・基準地震動Ss-1は、2011年東北地方太平洋沖型地震の応答スペクトルを包絡するように設定。



Kurahashi and Irikura(2013)

目次

1. 世界のプレート間地震
2. 2011年東北地方太平洋沖地震
3. プレート間地震の地震動評価
- 4. 断層モデルを用いた検討**
5. 基準地震動 S_s
6. まとめ

4. 断層モデルを用いた検討

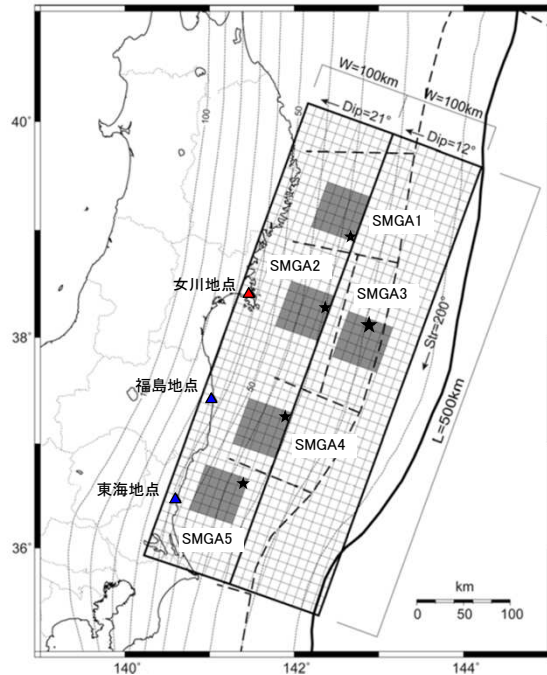
4.1 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動シミュレーション※: 諸井ほか(2013)

※ ポストディクション(地震発生前の先験情報による強震動予測。三宅・嶺嶺(2012)で定義)

- ・2011年東北地方太平洋沖地震と同規模を想定。
- ・地震発生前の先験情報に基づき、標準的な強震動レシポを用いて震源をモデル化。
- ・統計的グリーン関数法により強震動の再現を実施。
- ・女川については、1978年宮城県沖地震を参考に**短周期レベルの地域性の傾向を反映し、SMGA2の短周期レベルを1.4倍**することにより観測記録と整合。



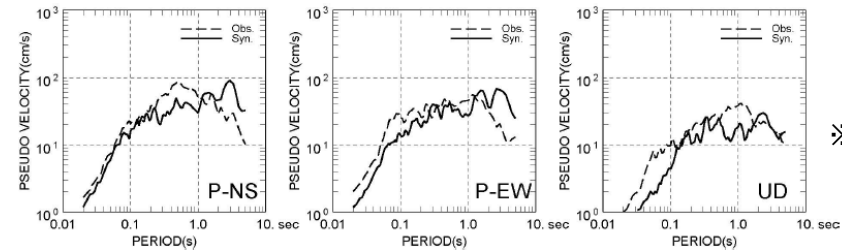
諸井ほか(2013)の震源モデルを用いて敷地における地震動の検討を行う。



震源モデル(諸井ほか(2013)に一部加筆)

■ : 強震動生成域(SMGA), ★ : 破壊開始点

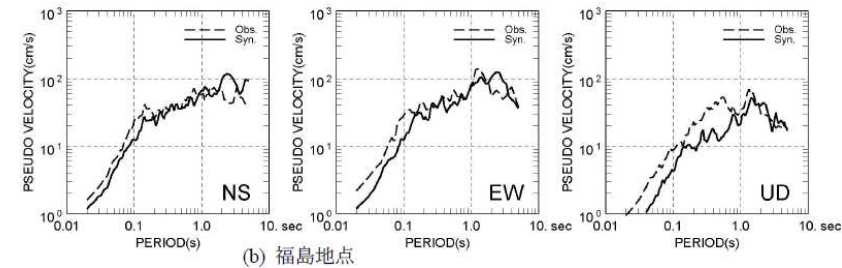
【女川地点】



※宮城県沖のSMGAのみで評価

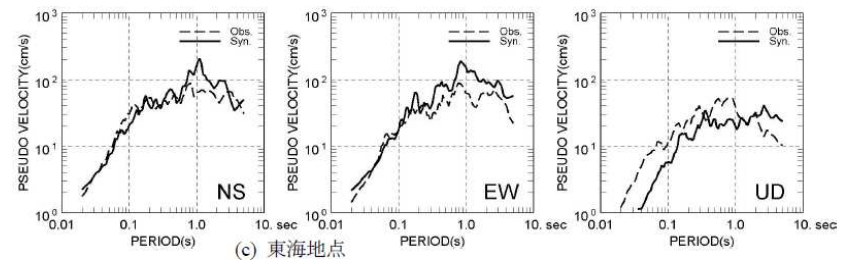
震源の地域性を考慮した女川地点の強震動(短周期レベルを1.4倍)

【福島地点】



(b) 福島地点

【東海地点】



(c) 東海地点

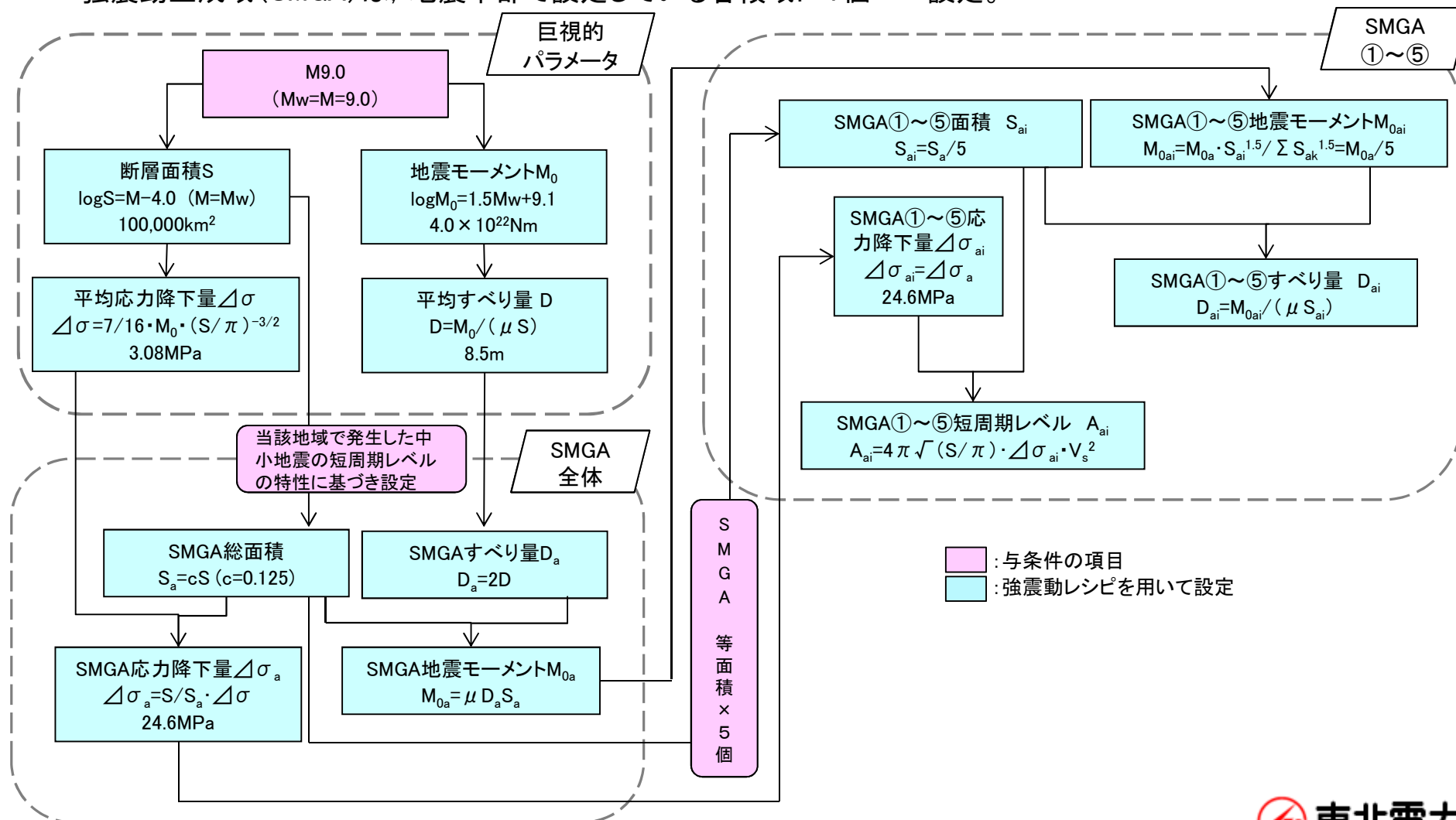
標準的強震動レシポに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動

4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(1)

■ 震源モデルの設定の基本的な考え方

- ・M9の地震規模を想定し、震源モデルは強震動レシピを用いて設定。
- ・強震動生成域(SMGA)は、地震本部で設定している各領域に1個ずつ設定。



4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(2)

■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	走向	$\theta(^{\circ})$	3.11地震のF-netのCMT解	200	
	傾斜角1(東側)	$\delta_1(^{\circ})$	壇ほか(2005)	12	
	傾斜角2(西側)	$\delta_2(^{\circ})$	壇ほか(2005)	21	
	すべり角	$\lambda(^{\circ})$	3.11地震のF-netのCMT解	88	
	長さ	L(km)	断層面積に基づき設定	500	
	幅	W(km)	断層面積に基づき設定	200	
	破壊開始点	基準点北緯	$N(^{\circ})$	本震の震源位置(気象庁(2012))	38.1035
		基準点東経	$E(^{\circ})$	本震の震源位置(気象庁(2012))	142.8610
		基準点深さ	H(km)	本震の震源位置(気象庁(2012))	23.7
		基準点～上端	W_1 (km)	—	55
		基準点～北縁	l_1 (km)	—	195
	上端深さ	h_u (km)	$h_u = H - W_1 \sin \delta_1$	12.3	
	下端深さ	h_l (km)	$h_l = H + (100 - W_1) \sin \delta_1 + 100 \sin \delta_2$	68.9	
	断層面積	S(km ²)	$\log S = M - 4.0$	100000	
	平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	$\Delta \sigma = 7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$	3.08	
	地震モーメント	M_0 (Nm)	$\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$	4.0×10^{22}	
	モーメントマグニチュード	Mw	与条件	9.0	
	平均すべり量	D(m)	$D = M_0 / (\mu S)$	8.5	
	剛性率	μ (N/m ²)	地震本部(2002),(2005)	4.68×10^{10}	
	S波速度	V_s (km/s)	地震本部(2002),(2005)	3.9	
破壊伝播速度	V_r (km/s)	地震本部(2002),(2005)	3.0		

断層パラメータ		設定方法	設定値	
強震動生成域全体	面積	S_a (km ²)	$S_a = cS, c=0.125$	12500
	地震モーメント	M_{0a} (Nm)	$M_{0a} = \mu D_a S_a$	1.0×10^{22}
	すべり量	D_a (m)	$D_a = 2 \times D$	17.1
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	$\Delta \sigma_a = S/S_a \cdot \Delta \sigma$	24.6
	短周期レベル	A_a (Nm/s ²)	$A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2}$	2.97×10^{20}
各強震動生成域(5個)	面積	S_{ai} (km ²)	$S_{ai} = S_a / 5$	2500
	地震モーメント	M_{0ai} (Nm)	$M_{0ai} = M_{0a} \cdot S_{ai}^{1.5} / \sum S_{ak}^{1.5} = M_{0a} / 5$	2.0×10^{21}
	すべり量	D_{ai} (m)	$D_{ai} = M_{0ai} / (\mu S_{ai})$	17.1
	応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$	24.6
	短周期レベル	A_{ai} (Nm/s ²)	$A_{ai} = 4\pi \sqrt{(S/\pi)} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot V_s^2$	1.33×10^{20}
ライズタイム	τ_{ai} (s)	$\tau_{ai} = 0.5W_{ai} / V_r, W_{ai}$: アスベリティ幅	8.33	
背景領域	面積	S_b (km ²)	$S_b = S - S_a$	87500
	地震モーメント	M_{0b} (Nm)	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	3.0×10^{22}
	すべり量	D_b (m)	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	7.3
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	$\Delta \sigma_b = 0.2 \cdot \Delta \sigma_a$	4.9
	ライズタイム	τ_b (s)	$\tau_b = 0.5W / V_r, W$: 断層幅	33.33
Q値	Q	佐藤ほか(1994)	$110f^{0.69}$	
高域遮断周波数	fmax(Hz)	地震本部(2005)	13.5	

4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(3)

■断層パラメータの設定根拠

震源パラメータ	パラメータの設定根拠	備考
断層面積	地震規模M9 ($M=M_w$)と基本条件とし、佐藤(1989)の式より、 $S=100,000\text{km}^2$ と設定。3.11地震の震源域の長さ約500km×幅約200km=100,000km ² と整合。また、内閣府(2012)での2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルの整理では72,000~107,100km ² となっており整合している。	
断層長さ	断層面積/断層幅=断層長さ500km。三陸沖中部から茨城県沖の領域に対応。	
断層幅	海溝軸から陸までのプレート境界地震の発生域の幅に対応する幅200kmに設定。	
断層傾斜角	太平洋プレートの形状を考慮して設定している壇ほか(2005)による。	壇ほか(2005)は、地震本部(2005)に基づき設定されている。
断層の走向, すべり角, 破壊開始点	断層の走向とすべり角は、防災科学技術研究所によるF-netの2011年東北地方太平洋沖地震のCMT解。断層の基準点は破壊開始点として、気象庁の震源情報を参照し設定。	
剛性率	地震本部(2002),(2005)による。 1978年宮城県沖地震の観測記録を踏まえて断層パラメータが設定されている。	地震本部(2002)は、地震本部(2005)に改訂されている。
S波速度	地震本部(2002),(2005)による。 1978年宮城県沖地震の観測記録を踏まえて断層パラメータが設定されている。	
破壊伝播速度	地震本部(2002),(2005)による。 1978年宮城県沖地震の観測記録を踏まえて断層パラメータが設定されている。	
高域遮断周波数	地震本部(2005)による。 佐藤ほか(1994)による主に東北地方太平洋岸の海溝型地震の推定値を用いている。	

4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(4)

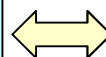
■ 震源モデルの考え方 巨視的パラメータ

○地震規模
基本条件としてM9.0とする。(M=Mw)



○断層面積

- ・佐藤(1989)から
 $\log S = M - 4.0$
 $S = \underline{100,000 \text{ km}^2}$
(M=Mwとする。)
- ・太平洋プレート形状を考慮し断層長さ500km,
断層幅200kmとする。



整合

内閣府(2012)南海トラフの巨大地震モデル検討会における2011年東北地方太平洋地震の断層面積(9例)では72,000~107,100km²となっている。



○平均応力降下量

- ・円形クラック式より
 $\Delta\sigma = 7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2} = \underline{3.08 \text{ MPa}}$



整合

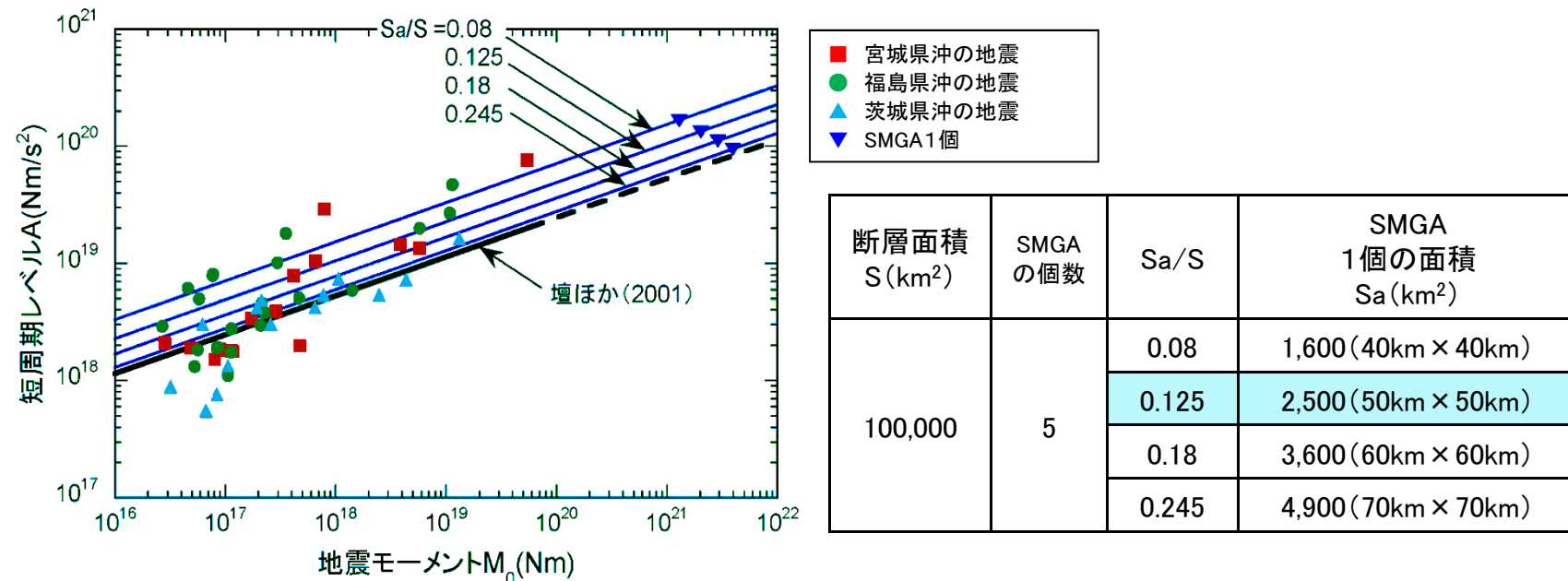
内閣府(2012)南海トラフの巨大地震モデル検討会におけるプレート間巨大地震(2004年スマトラ地震, 2010年チリ地震, 東北地方太平洋沖地震等の8地震)の平均応力降下量の平均+標準偏差は3.1MPaとされている。

4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(5)

■ 強震動生成域(SMGA)の面積 S_a

宮城県沖，福島県沖，茨城県沖の過去の中小地震における短周期レベルAの励起特性を有するように，M9プレート間地震の震源モデルの断層面積とSMGAの面積の比(S_a/S)の検討を行い，中小地震のほぼ中間的な傾向にある $S_a/S=0.125$ とした。



震源モデルにおけるSMGAの短周期レベルと中小地震の短周期レベル比較

5個のアスペリティを考慮し，アスペリティ総面積比 S_a/S を0.08, 0.125, 0.18, 0.245とした時の M_0-A 関係を青線で比較。中小地震の M_0 と A は断層全体の値であるのに対し，M9プレート間地震の震源モデルではSMGAごとの値を示している。黒太線は壇ほか(2001)による平均値，破線は外挿を表す。中小地震の M_0-A は，佐藤(2003)，佐藤(2004)，Sato(2006)等による。

4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(6)

■震源モデルのSMGAの短周期レベルと中小地震の短周期レベル比較に用いた地震

領域	年月日	M	地震モーメント M ₀ (Nm)	短周期レベル A(Nm/s ²)	出典	
宮城県沖	1983.05.24	5.8	1.74E+17	3.37E+18	東北電力(2008)※	
	1984.10.27	5.4	1.16E+17	1.77E+18	東北電力(2008)※	
	1985.08.12	6.4	5.75E+18	1.35E+19	東北電力(2008)※	
	1986.03.02	6.0	6.56E+17	1.05E+19	東北電力(2008)※	
	1994.08.14	6.0	7.91E+17	2.91E+19	東北電力(2008)※	
	1997.10.11	6.2	8.05E+16	1.51E+18	佐藤(2003)	
	1998.06.01	5.3	4.91E+16	1.89E+18	佐藤(2003)	
	1999.01.22	5.7	4.77E+17	1.98E+18	佐藤(2003)	
	1999.11.15	5.7	2.89E+17	3.89E+18	Sato(2006)	
	2002.05.06	5.0	2.82E+16	2.09E+18	Sato(2006)	
	2002.11.03	6.3	3.87E+18	1.45E+19	Sato(2006)	
	2002.12.05	5.3	8.89E+16	1.83E+18	Sato(2006)	
	2003.03.03	5.9	4.17E+17	7.89E+18	東北電力(2008)※	
	2005.08.16	7.2	5.43E+19	7.55E+19	Sato(2006)	
	福島県沖	1983.11.16	5.3	1.14E+17	2.76E+18	佐藤(2004)
1984.03.26		5.3	5.80E+16	4.97E+18	佐藤(2004)	
1984.05.01		5.3	4.59E+16	6.14E+18	佐藤(2004)	
1984.12.19		5.5	7.71E+16	7.91E+18	佐藤(2004)	
1985.05.11		5.5	7.76E+16	8.11E+18	佐藤(2004)	
1985.08.12		6.4	5.75E+18	2.00E+19	佐藤(2004)	
1986.10.14		5.7	2.98E+17	1.02E+19	佐藤(2004)	
1987.04.07		6.6	1.14E+19	4.70E+19	佐藤(2004)	
1987.04.17		6.1	1.42E+18	5.89E+18	佐藤(2004)	
1987.04.23		6.5	1.08E+19	2.68E+19	佐藤(2004)	
1987.10.04		5.8	3.55E+17	1.80E+19	佐藤(2004)	
1988.01.26		5.6	2.14E+17	4.56E+18	佐藤(2004)	
1997.05.12		5.7	2.28E+17	3.79E+18	佐藤(2003)	
1998.03.12		5.1	2.70E+16	2.89E+18	佐藤(2003)	
福島県沖		1998.08.16	5.3	8.38E+16	1.89E+18	佐藤(2003)
		1999.02.01	5.3	8.58E+16	1.90E+18	佐藤(2003)
		2000.01.09	5.1	5.66E+16	1.82E+18	佐藤(2003)
	2000.07.01	5.2	1.06E+17	1.10E+18	佐藤(2003)	
	2001.02.25	5.9	4.67E+17	5.08E+18	佐藤(2003)	
	2001.02.26	5.5	1.13E+17	1.74E+18	佐藤(2003)	
	2001.04.12	5.1	5.31E+16	1.32E+18	佐藤(2003)	
	2001.10.02	5.5	2.10E+17	2.95E+18	佐藤(2003)	
	茨城県沖	1984.01.17	5.6	2.59E+17	3.01E+18	佐藤(2004)
		1986.02.12	6.1	2.48E+18	5.36E+18	佐藤(2004)
		1986.11.29	5.8	6.53E+17	4.17E+18	佐藤(2004)
		1987.02.06(21:23)	6.4	4.36E+18	7.26E+18	佐藤(2004)
		1987.02.06(22:16)	6.7	1.32E+19	1.64E+19	佐藤(2004)
		1987.09.24	5.8	7.78E+17	5.35E+18	佐藤(2004)
		1996.12.21	5.6	2.13E+17	4.82E+18	佐藤(2003)
1999.01.02		5.1	6.69E+16	5.49E+17	佐藤(2003)	
1999.04.25		5.2	6.24E+16	3.00E+18	佐藤(2003)	
1999.10.16		5.2	3.20E+16	8.83E+17	佐藤(2003)	
2000.07.21		6.4	1.07E+18	7.37E+18	佐藤(2003)	
2000.08.19		5.5	1.06E+17	1.33E+18	佐藤(2003)	
2002.02.12	5.7	1.94E+17	4.15E+18	佐藤(2003)		
2002.06.19	5.4	8.42E+16	7.58E+17	佐藤(2003)		

※ 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会
耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同WG(第9回)Bサブグループ会合

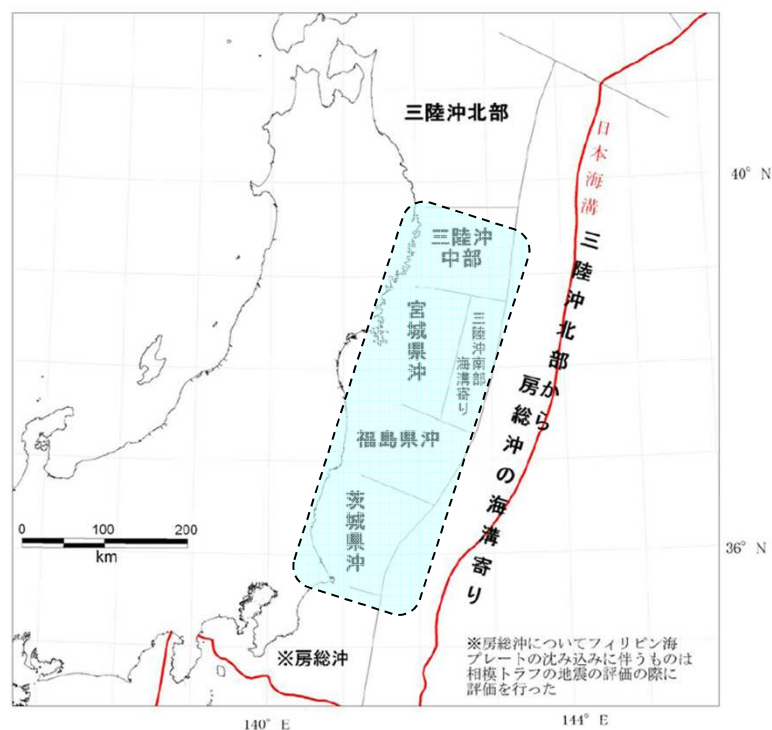
4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(7)

■強震動生成域(SMGA)の個数と位置

○SMGAの個数

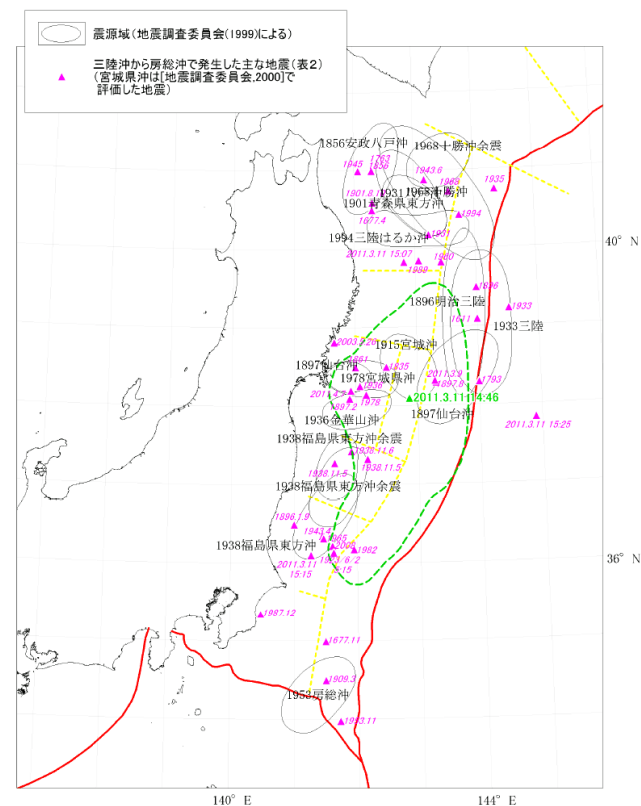
- ・地震本部(2012)の領域区分を基に、三陸沖中部から茨城県沖の各領域に1個設定。



三陸沖から房総沖にかけての領域区分
(地震本部(2012)に一部加筆)

○SMGAの位置

- ・入倉(2012)等にならない、過去に発生したM7~8の地震の震源域相当の場所に配置。



三陸沖から房総沖にかけての主な地震と主な震源域
(地震本部(2012))

4. 断層モデルを用いた検討

4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(8)

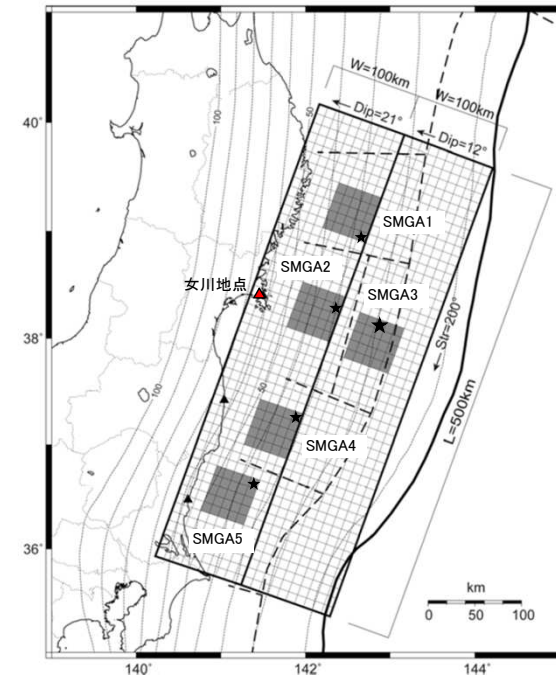
■ 震源モデル

M=9.0
 $S=100,000\text{km}^2$
 平均応力降下量 $\Delta\sigma=3.08\text{MPa}$
 $S_a/S=0.125$

【強震動生成域(SMGA)の位置】
 過去に発生したM7~8の震源域を考慮し
 地震本部の発生領域区分に基づき、各領域
 にM8相当のSMGAを1個ずつ配置(計5個)。

SMGAのすべり量、地震
 モーメント、応力降下量等
 は標準的な強震動レシピに
 より設定。

	面積 S(km ²)	地震モーメント M ₀ (Nm)	平均すべり量 D(m)	応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	短周期レベル A(Nm/s ²)
断層全体	100,000	4.0E+22	8.5	3.08	—
SMGA 1個あたり	2,500	2.0E+21	17.1	24.6	1.33E+20 (全体:2.97E+20)
背景領域	87,500	3.0E+22	7.3	4.9	—



震源モデル(諸井ほか(2013)に一部加筆)

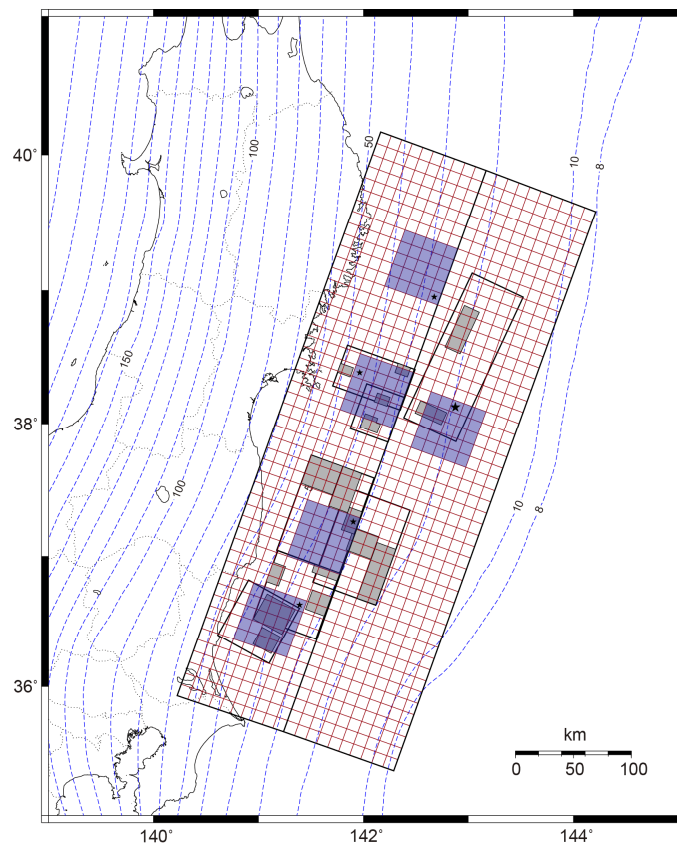
■ : 強震動生成域(SMGA), ★ : 破壊開始点

4. 断層モデルを用いた検討

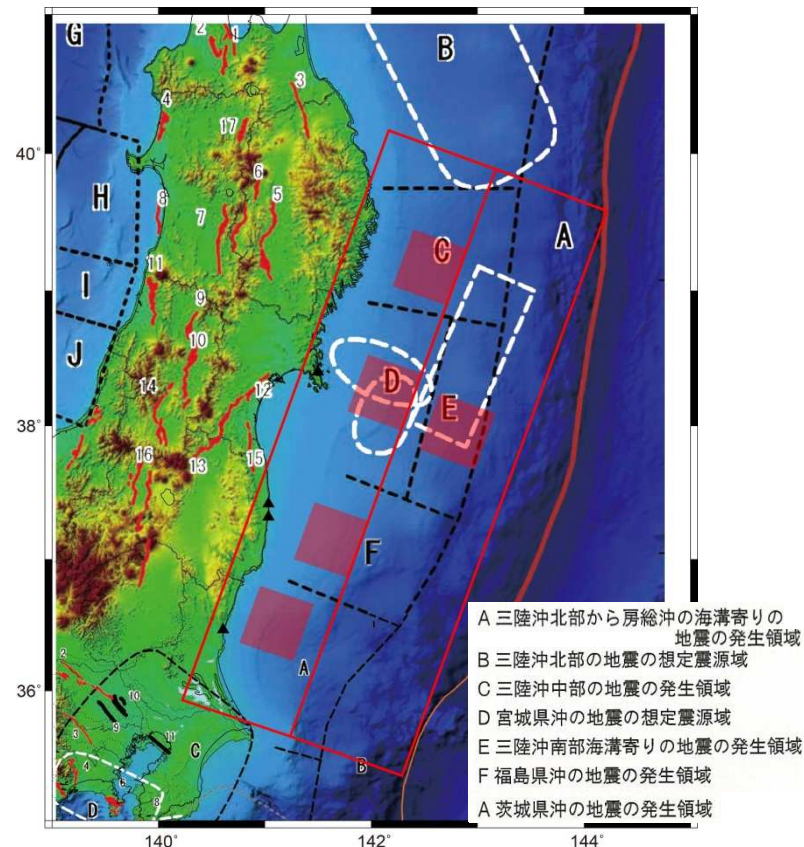
4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(9)

■これまでの震源モデルとの比較

- ・設定した強震動生成域は、耐震安全性評価時の各領域でのプレート間地震の検討用地震の震源域と対応している。
- ・地震本部(2012)の領域区分である三陸沖中部、宮城県沖、三陸沖南部海溝寄り、福島県沖、茨城県沖の合計5つの領域に1つずつ強震動生成域を考慮。



諸井ほか(2013)による震源モデルと
検討用地震の震源断層の位置関係



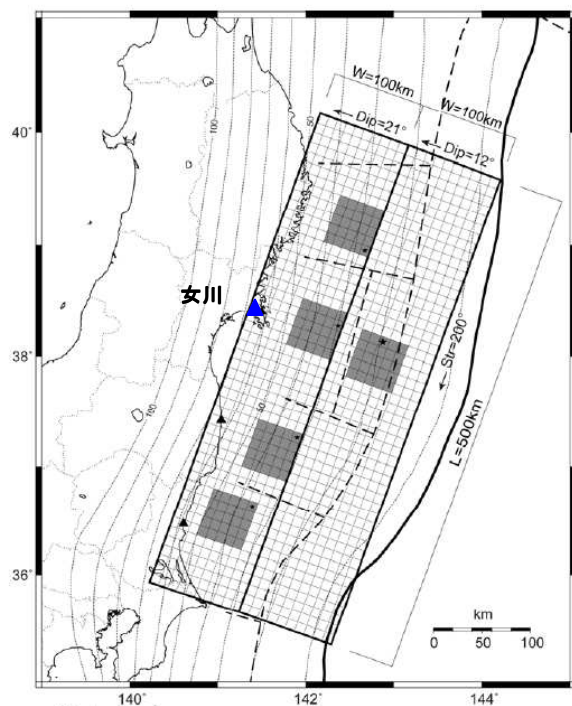
諸井ほか(2013)による震源モデルと
地震本部(2012)の領域区分

4. 断層モデルを用いた検討

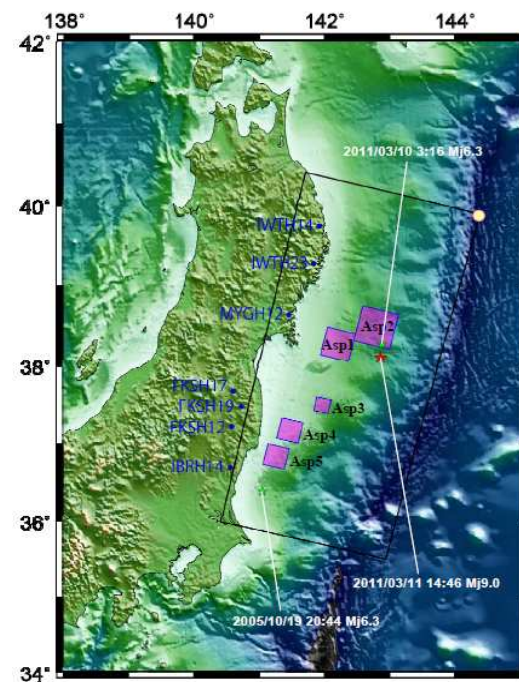
4.2 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデル(10)

■ 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動波形解析による震源モデルとの比較

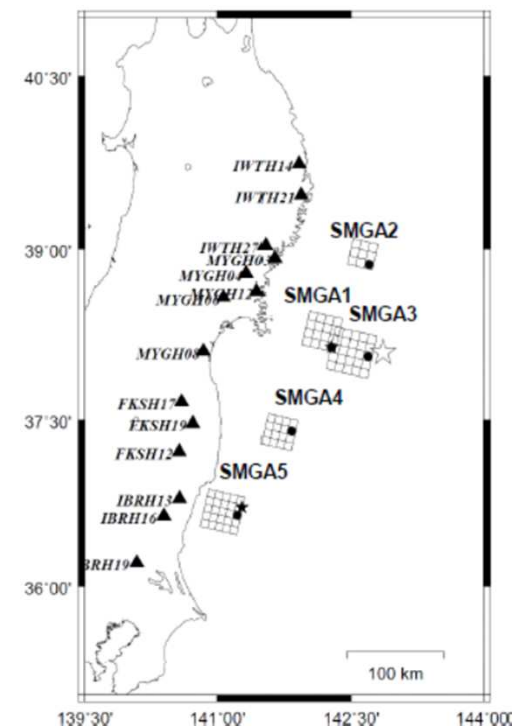
- ・ 諸井ほか(2013)による震源モデルの強震動生成域の位置は、強震動波形解析による震源モデル(川辺ほか(2011), Kurahashi and Irikura(2013))と概ね対応している。



諸井ほか(2013)による震源モデル



川辺ほか(2011)

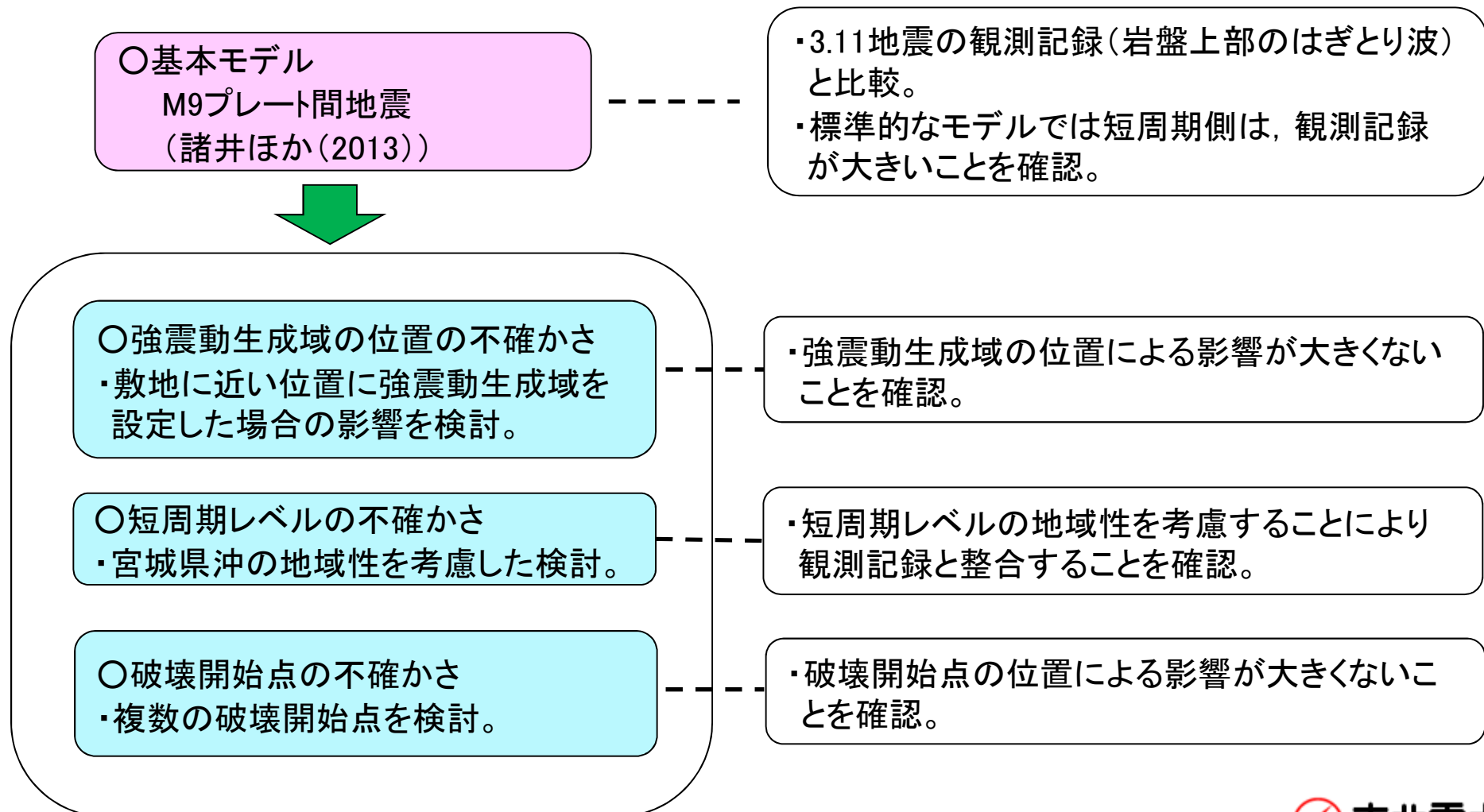


Kurahashi and Irikura(2013)

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 概要

- 諸井ほか(2013)によるM9プレート間地震の震源モデルを基本として、不確かさを考慮した場合の影響を確認する。



4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 不確かさ考慮の考え方

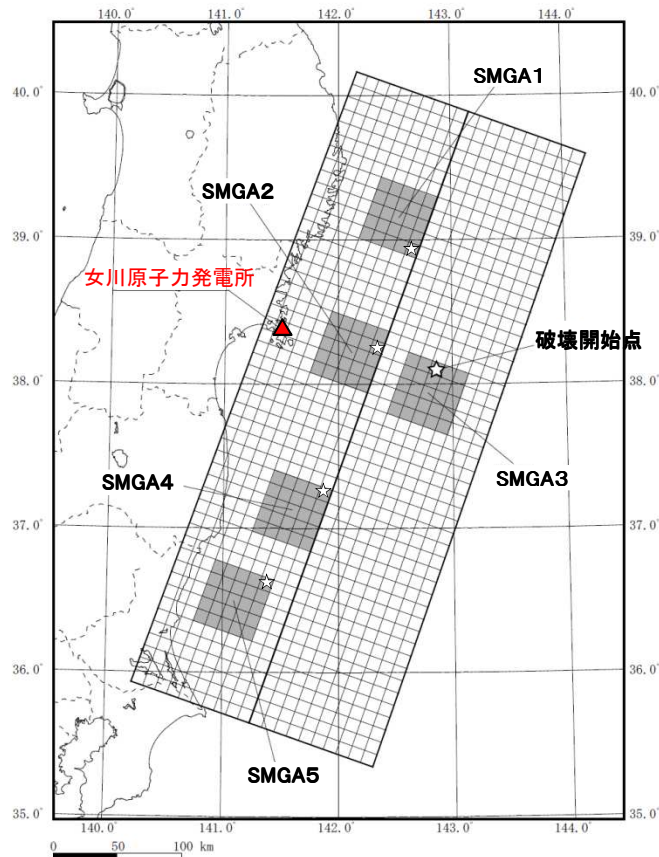
	検討ケース	断層長さ (km)	断層幅 (km)	傾斜角 海溝側, 陸側 (°)	地震規模 M	強震動生成域の位置	短周期レベル (応力降下量)	破壊開始点
1	基本モデル	500	200	12, 21	9.0	諸井ほか(2013) (M7~8の過去の地震の震源域)	強震動レシピ	諸井ほか(2013) (敷地に破壊が向かう位置)
2	強震動生成域の位置の不確かさ	500	200	12, 21	9.0	宮城県沖の強震動生成域を敷地に最も近づけた位置に配置	強震動レシピ	諸井ほか(2013) (敷地に破壊が向かう位置)
3	短周期レベルの不確かさ	500	200	12, 21	9.0	諸井ほか(2013) (M7~8の過去の地震の震源域)	宮城県沖の地域性を考慮	諸井ほか(2013) (敷地に破壊が向かう位置)
4	破壊開始点の不確かさ	500	200	12, 21	9.0	諸井ほか(2013) (M7~8の過去の地震の震源域)	強震動レシピ	敷地前面の強震動生成域について、破壊が敷地に向かう位置に複数設定

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 基本モデル(1)

■基本モデルの地震動評価

- ・諸井ほか(2013)による震源モデルを基本モデルとして統計的グリーン関数法により評価。



基本モデル

■ : 強震動生成領域 (SMGA), ☆ : 破壊開始点

※ SMGA3の大きい星印は破壊開始点の位置, 小さい星印は各SMGAの破壊開始点の位置。

統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル

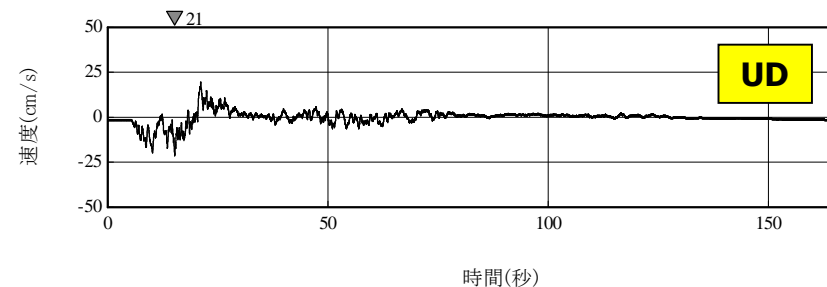
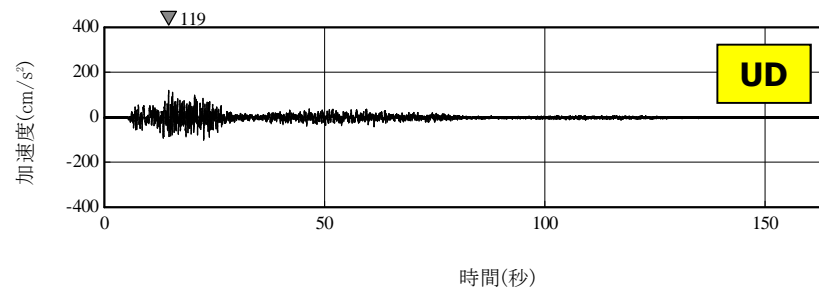
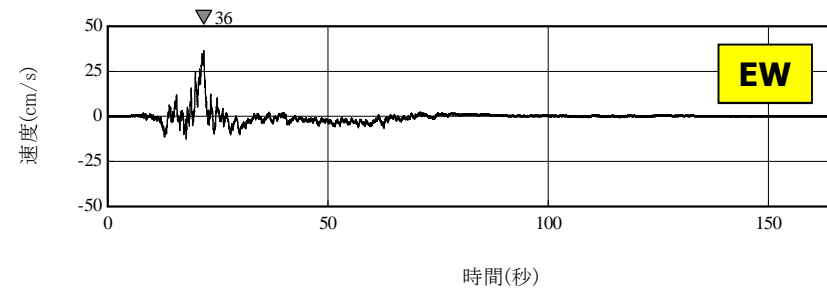
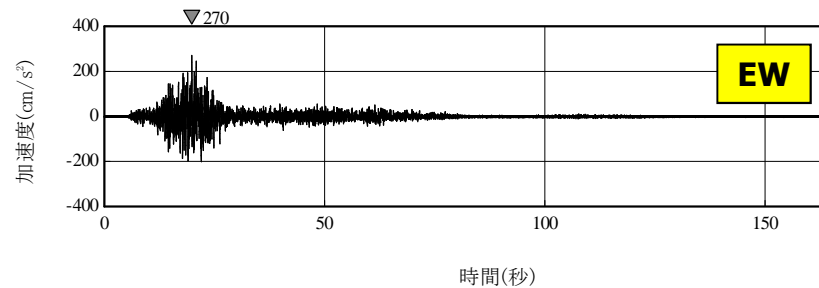
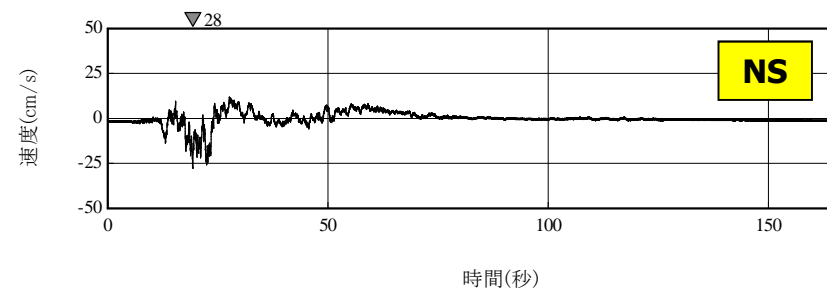
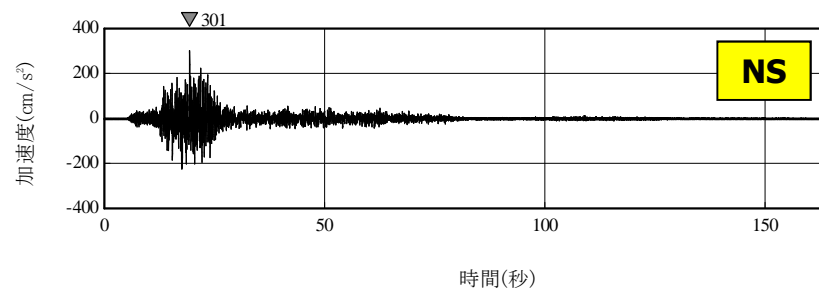
上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	減衰 (%)	
G.L.(m)	O.P.(m)						
-27.3	-8.6						▽岩盤上部 (解放基盤表面相当)
-34.5	-15.8	7.2	2.55	1500	2882	3.00	
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101		
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503		
-147.1	-128.4	65.3		2600	5300		▽地震基盤相当
—	—	∞	2.68	3000	—	※	

※ $Q(f) = 110 \cdot f^{0.69}$ (地震本部(2005))

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 基本モデル(2)

■基本モデルの地震動評価 加速度時刻歴波形, 速度時刻歴波形



加速度時刻歴波形

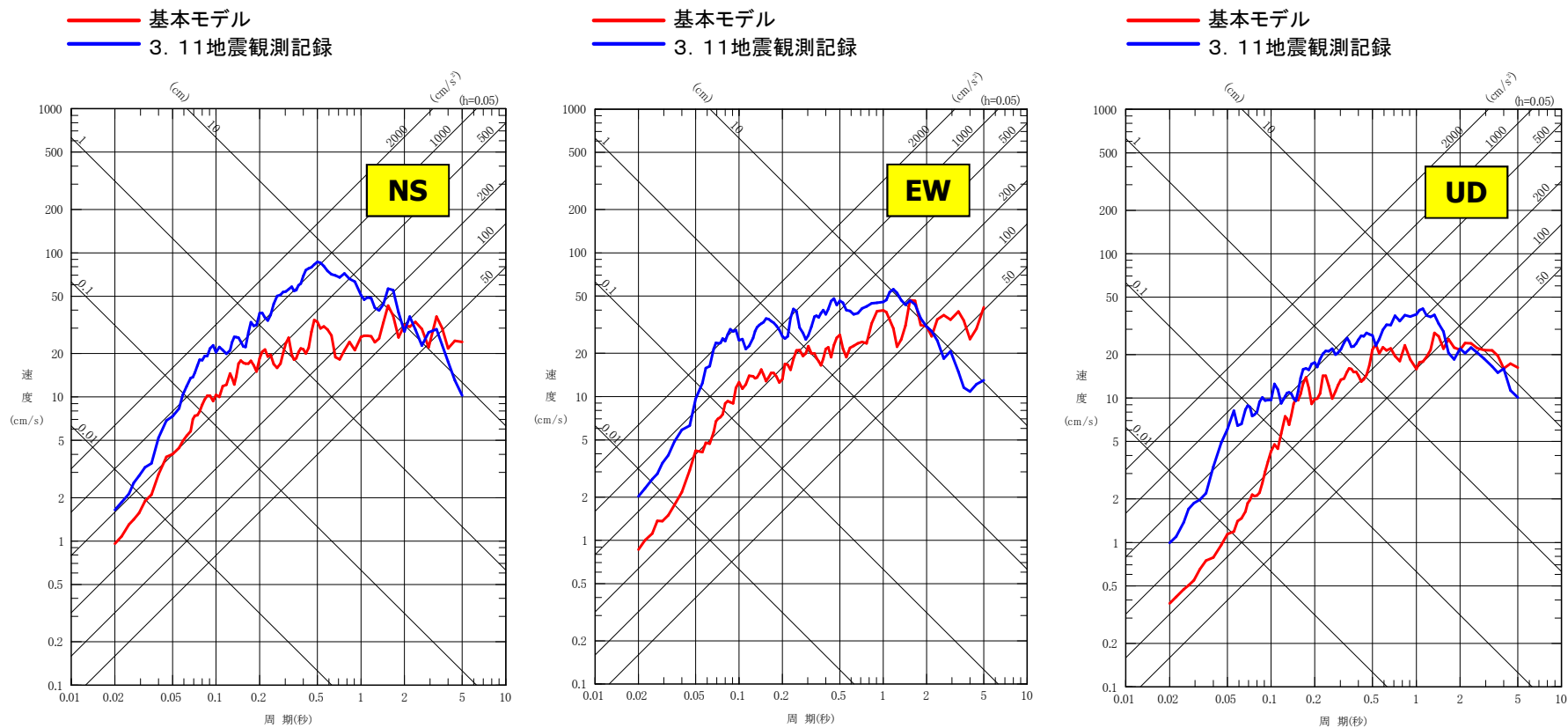
速度時刻歴波形

※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。

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 基本モデル(3)

■基本モデルの地震動評価 応答スペクトル



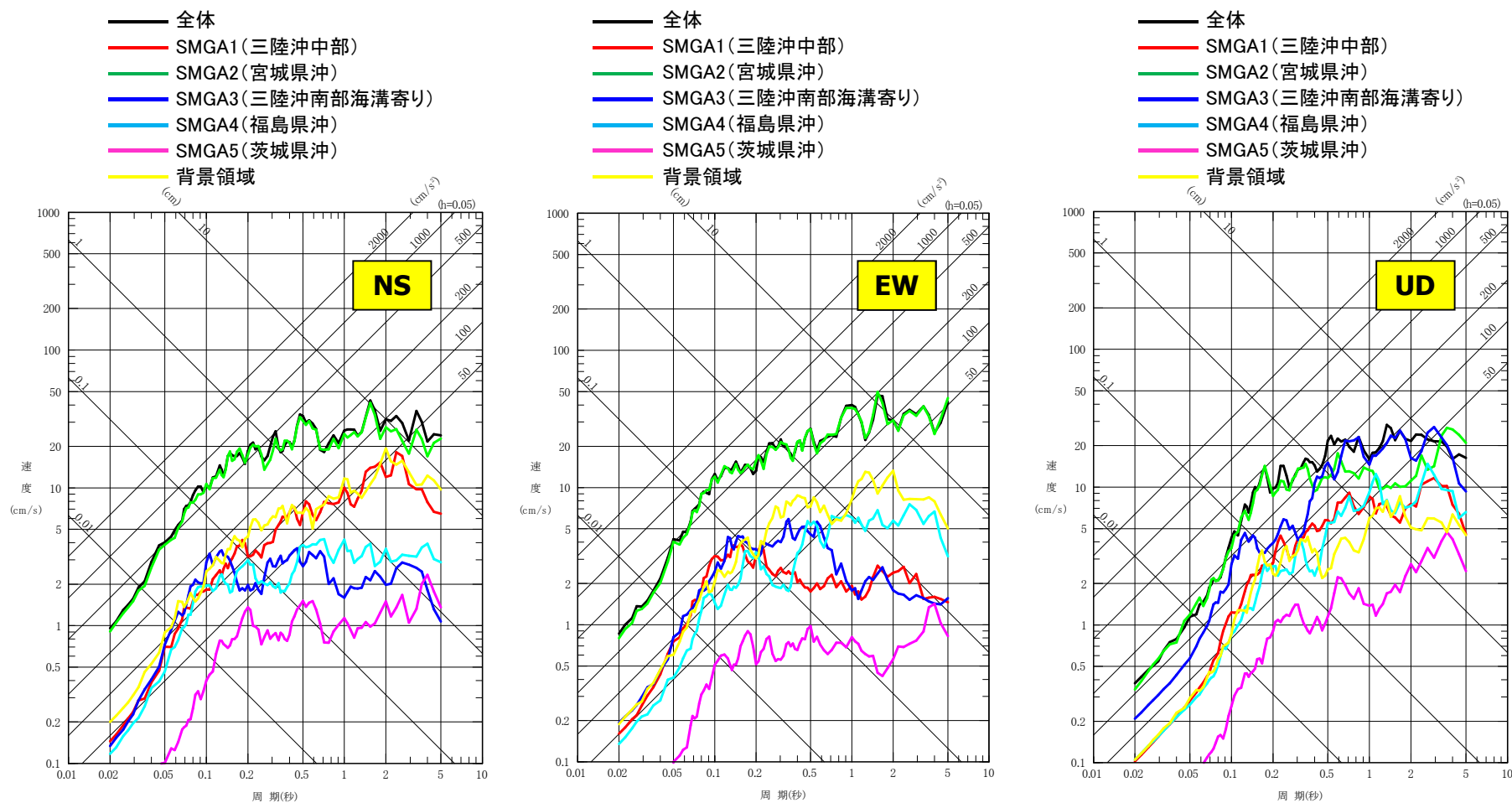
3.11地震の観測記録(岩盤上部のはざとり波)との比較

基本モデルによる評価結果は、3.11地震の観測記録(岩盤上部のはざとり波)と比較して特に短周期側で小さい。

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 基本モデル(4)

■基本モデルの地震動評価 各領域の寄与



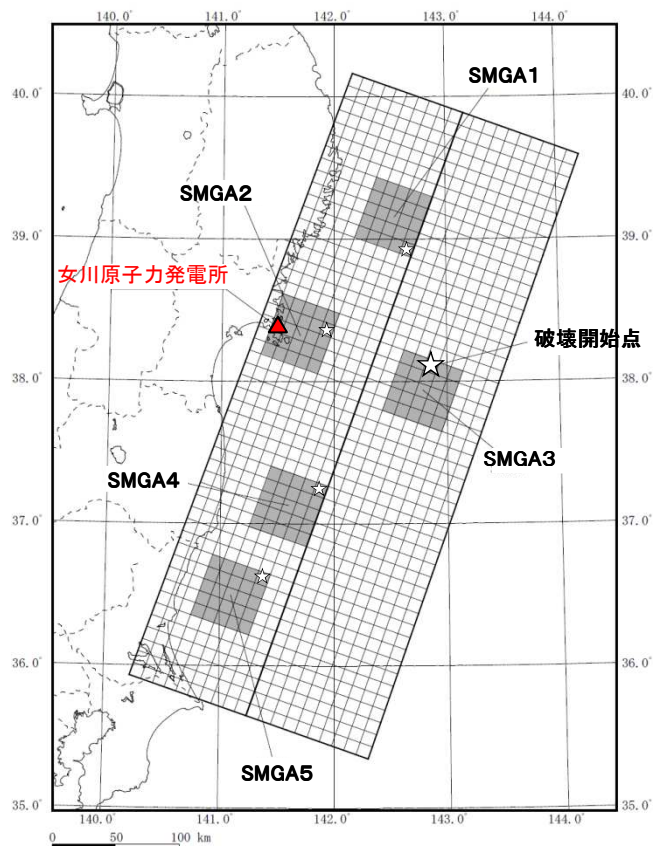
敷地前面の宮城県沖の強震動生成域(SMGA2)の影響が最も大きく、全体の地震動レベルをほぼ決めている。

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 強震動生成域の位置の不確かさ(1)

■強震動生成域の位置の不確かさモデルの地震動評価

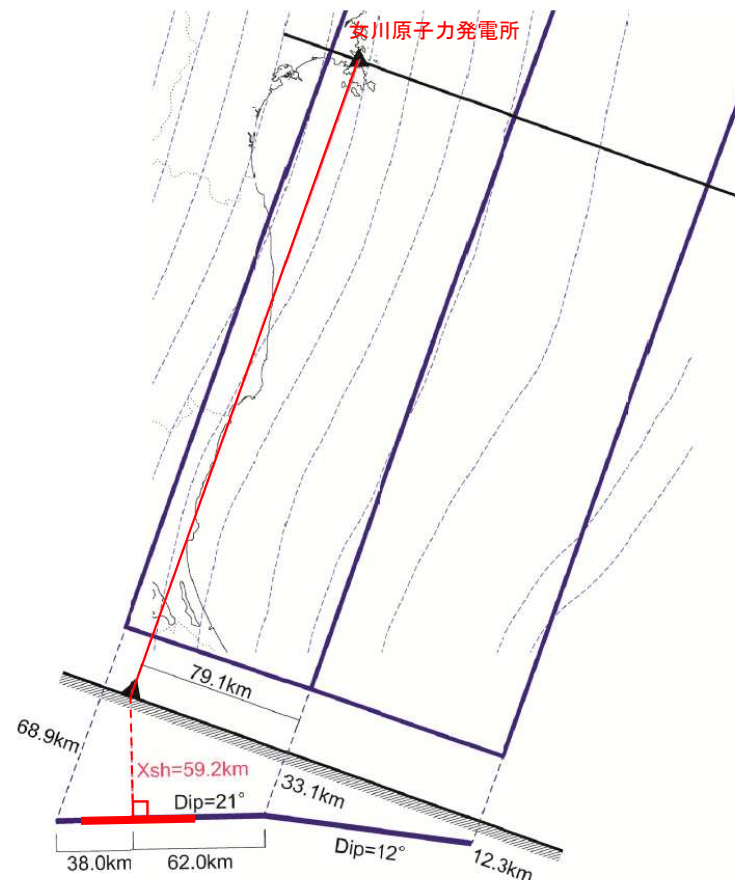
- ・敷地前面の宮城県沖の強震動生成域(SMGA2)を最もサイトに近づけた場合について、統計的グリーン関数法により評価。



強震動生成域の位置の不確かさモデル

■: 強震動生成領域(SMGA), ☆: 破壊開始点

※SMGA3の大きい星印は破壊開始点の位置, 小さい星印は各SMGAの破壊開始点の位置。



【SMGA2の位置】

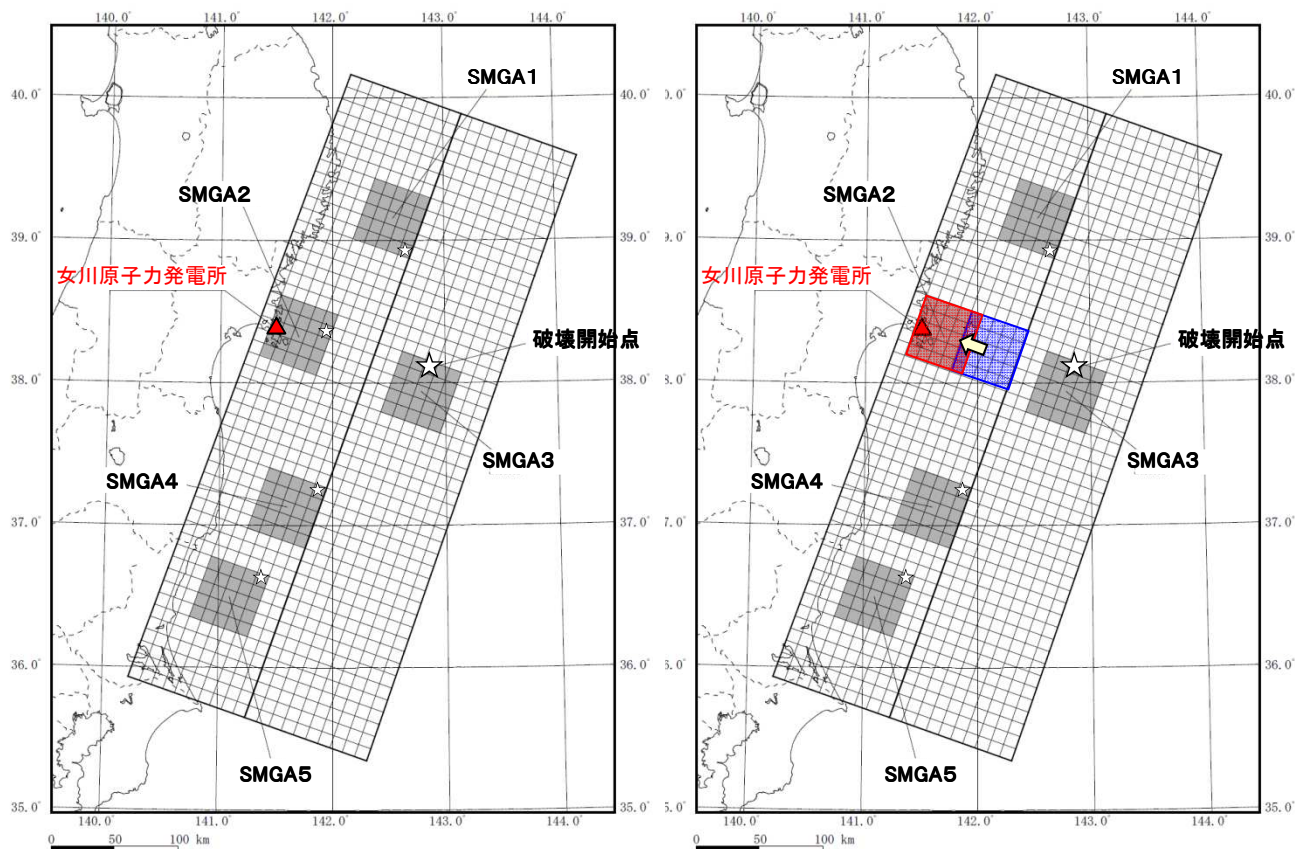
断層面上で敷地からの距離が最短となる点がSMGAの中心となるように配置。

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 強震動生成域の位置の不確かさ(2)

■強震動生成域の位置の不確かさモデルの地震動評価

- ・敷地前面の強震動生成域(SMGA2)を最も敷地に近づけた位置に設定すると、SMGA2の等価震源距離は、基本モデルと比較して約1割程度敷地に近づく。



SMGA2の等価震源距離の比較

ケース	SMGA2の等価震源距離
基本モデル	71.2km
強震動生成域の不確かさモデル	62.5km

強震動生成域の位置の不確かさモデル

- : 強震動生成領域 (SMGA), ☆ : 破壊開始点
- ※ SMGA3の大きい星印は破壊開始点の位置, 小さい星印は各SMGAの破壊開始点の位置。

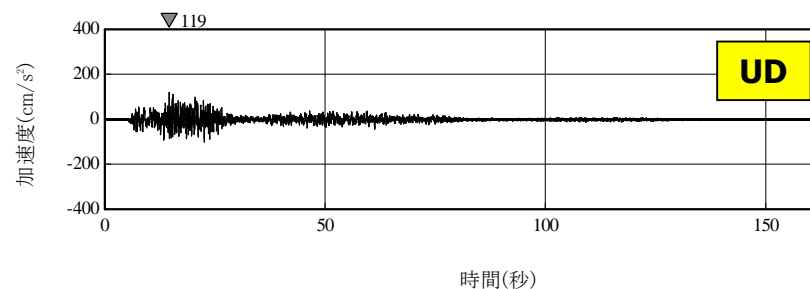
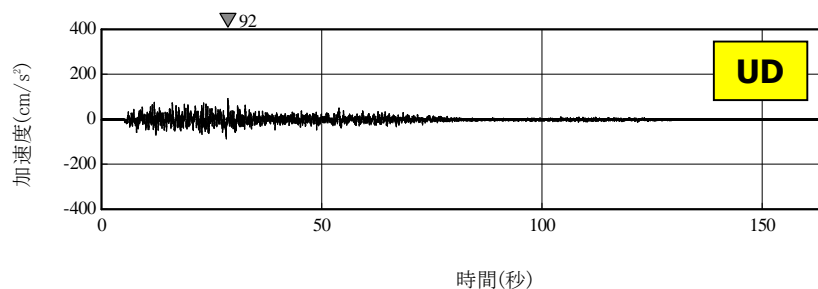
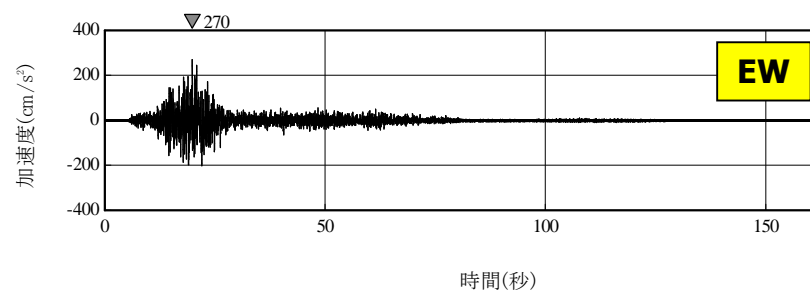
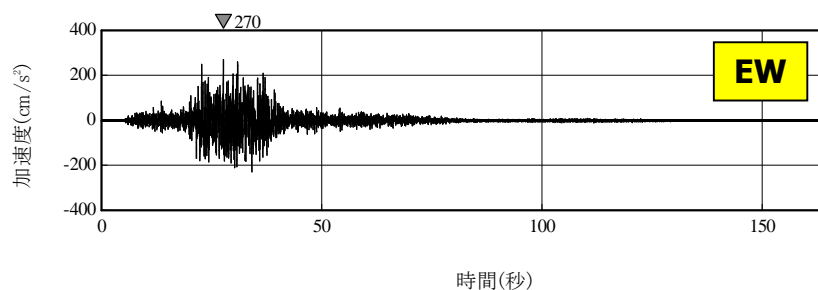
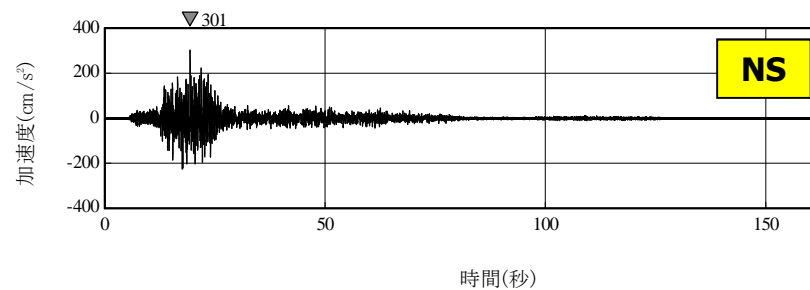
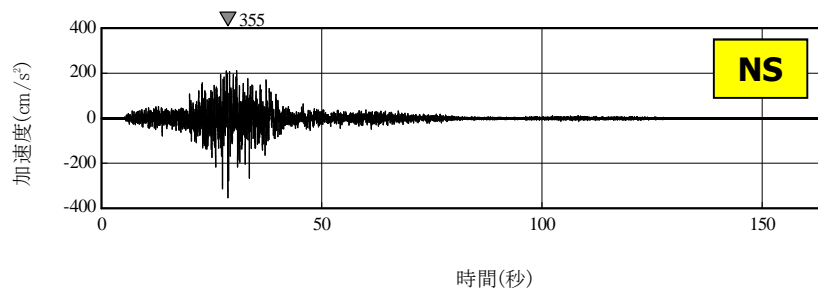
基本モデルとの比較

- : 強震動生成域の位置の不確かさモデルのSMGA2
- : 基本モデルのSMGA2

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 強震動生成域の位置の不確かさ(3)

■ 強震動生成域の位置の不確かさモデルの地震動評価 加速度時刻歴波形



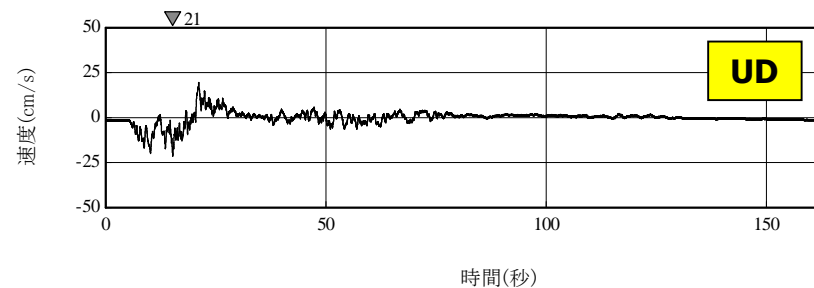
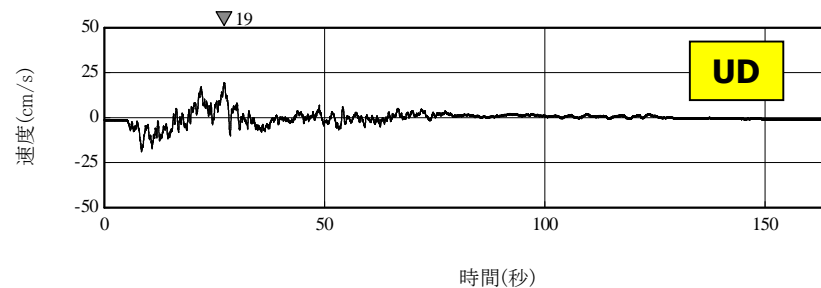
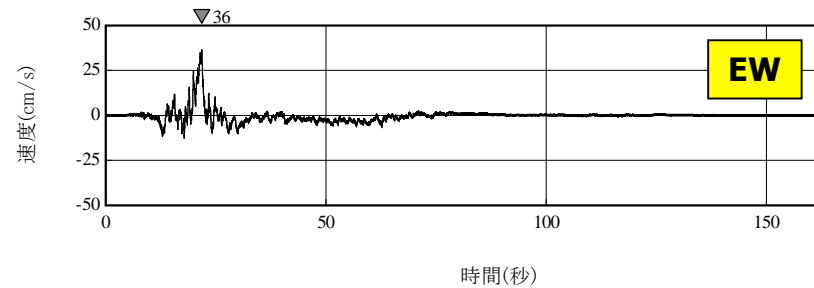
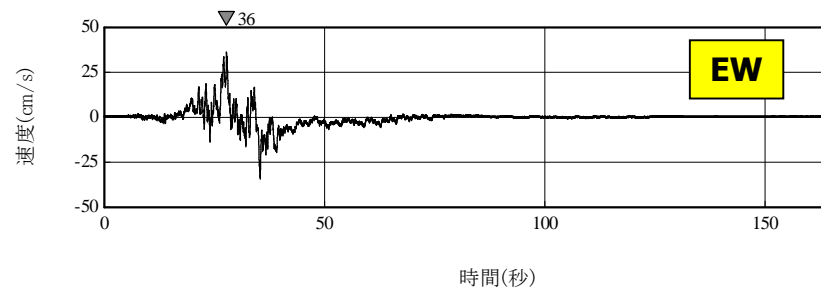
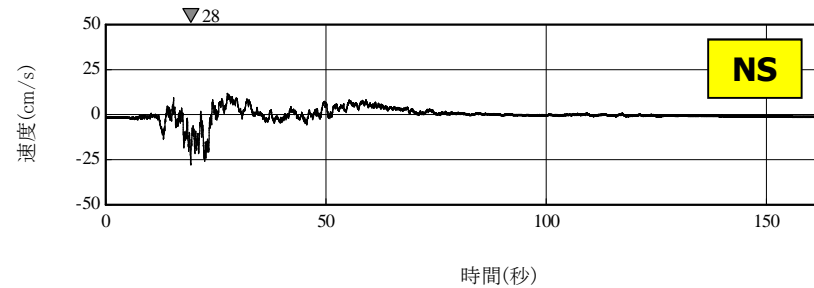
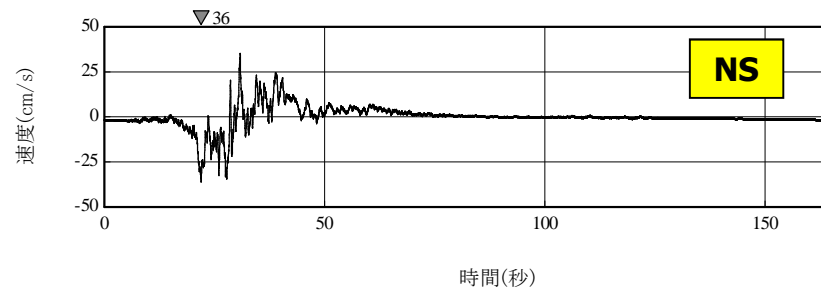
強震動生成域の位置の不確かさモデル

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 強震動生成域の位置の不確かさ(4)

■ 強震動生成域の位置の不確かさモデルの地震動評価 速度時刻歴波形



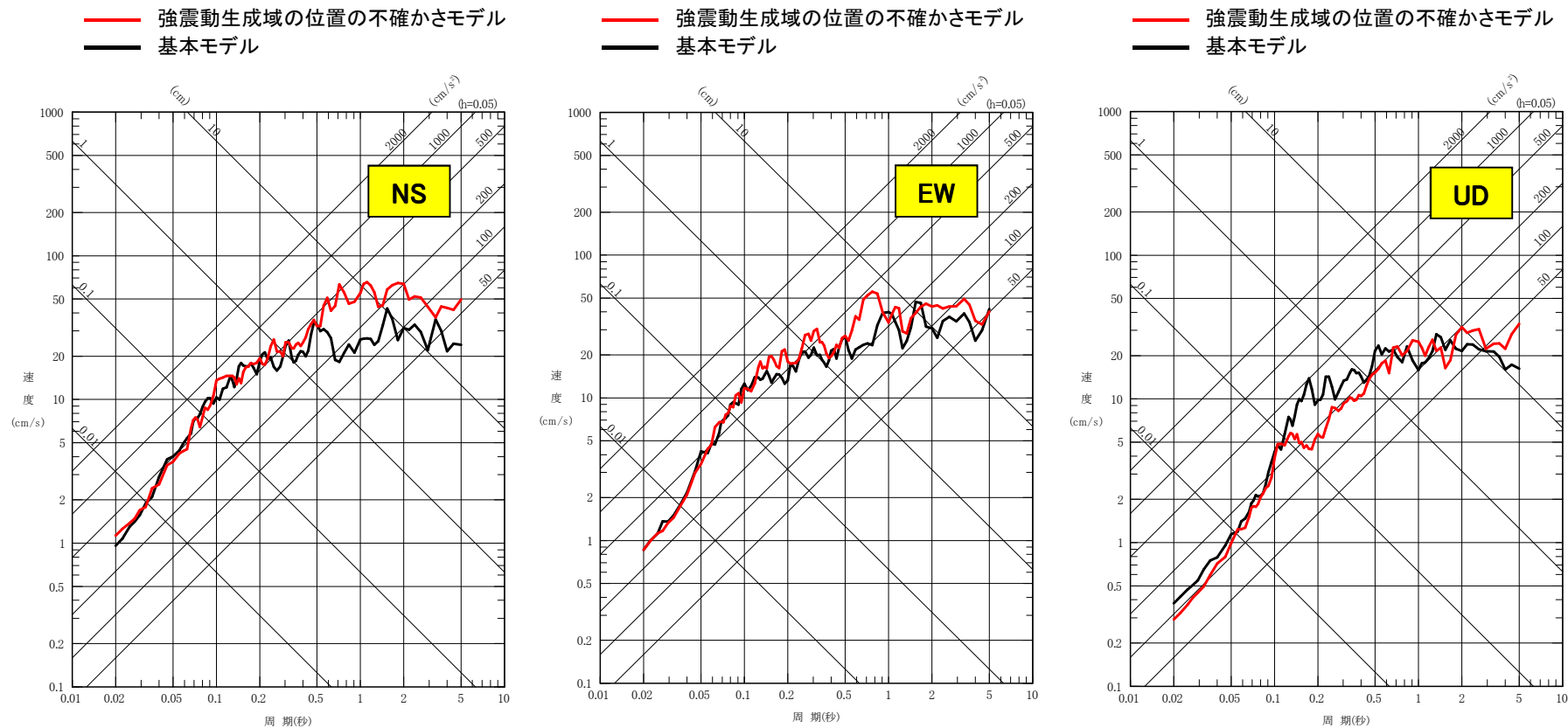
強震動生成域の位置の不確かさモデル

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 強震動生成域の位置の不確かさ(5)

■ 強震動生成域の位置の不確かさモデルの地震動評価 応答スペクトル



基本モデルとの比較

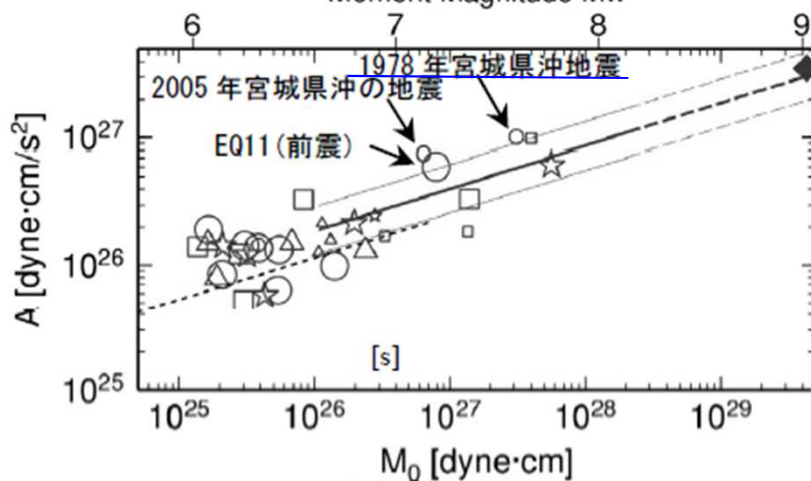
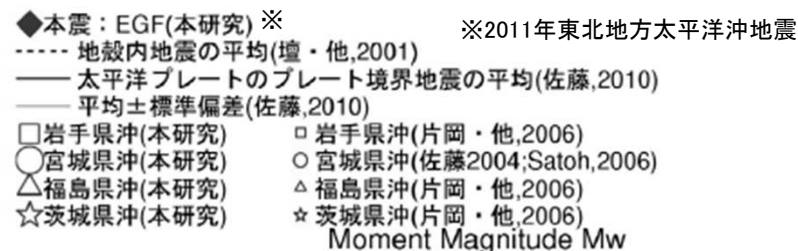
短周期側においては、基本モデルとの違いが小さく、強震動生成域の位置の違いによる影響は小さい。

4. 断層モデルを用いた検討

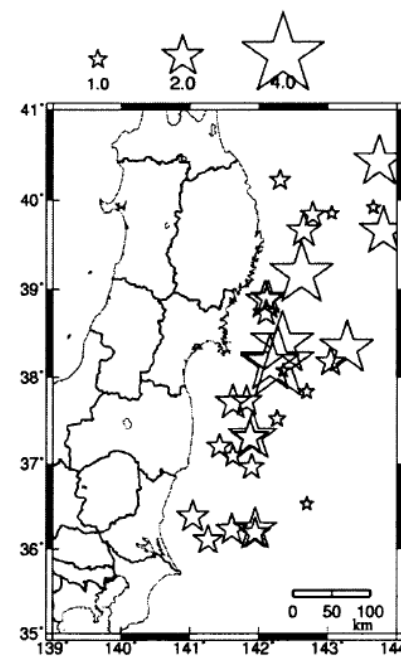
4.3 不確かさの影響の検討 短周期レベルの不確かさ(1)

■短周期レベルの不確かさモデルの地震動評価

- ・2011年東北地方太平洋沖地震の特徴や宮城県沖における地域性を踏まえ、短周期レベルの不確かさの検討を行う。



太平洋プレート境界地震の M_0 - A 関係(佐藤(2012))



壇ほか(2001)の M_0 - A 関係に基づく A に対する各プレート間地震の A の比(佐藤(2012))

宮城県沖では、1978年宮城県沖地震等の地震観測記録の分析から、短周期レベル A が大きい傾向にある。

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 短周期レベルの不確かさ(2)

■短周期レベルの不確かさモデルの地震動評価

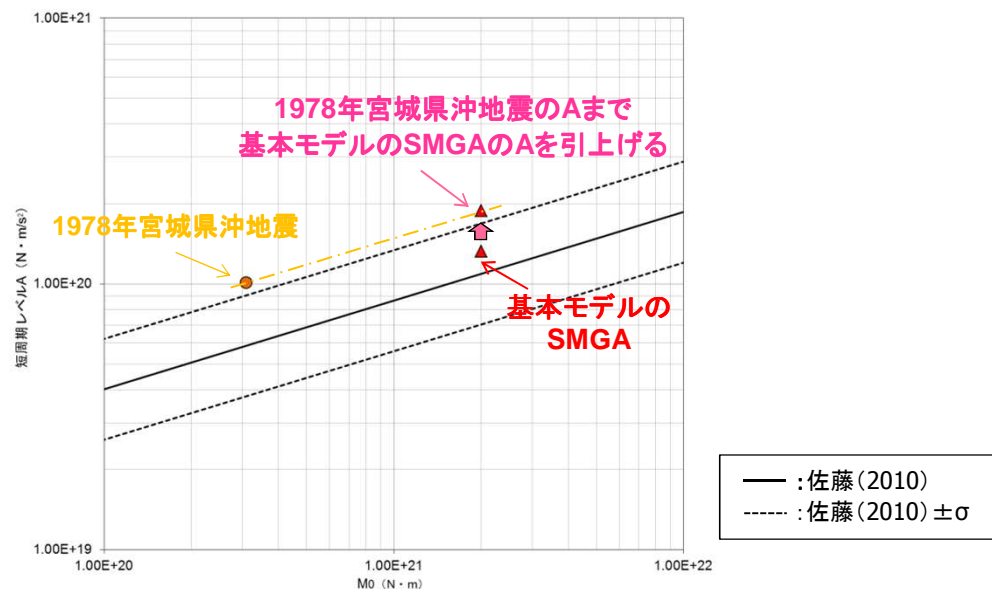
- 宮城県沖に発生する地震は短周期レベルが大きいという地域性を考慮し、1978年宮城県沖地震(M7.4)相当の短周期レベルを考慮。基本モデルの短周期レベルを**1.4倍**とする。

宮城県沖は、短周期レベルが大きいという地域性がある。

3.11地震は強震動としてはM8クラスの地震と同程度。

標準レシピに基づく強震動生成域はM8程度。

宮城県沖の前面海域の強震動生成域(SMGA)の短周期レベルを1978年宮城県沖地震の M_0 -Aの関係から基本モデルの短周期レベルの**1.4倍**を考慮。



地震モーメント M_0 -短周期レベルAの関係

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 短周期レベルの不確かさ(3)

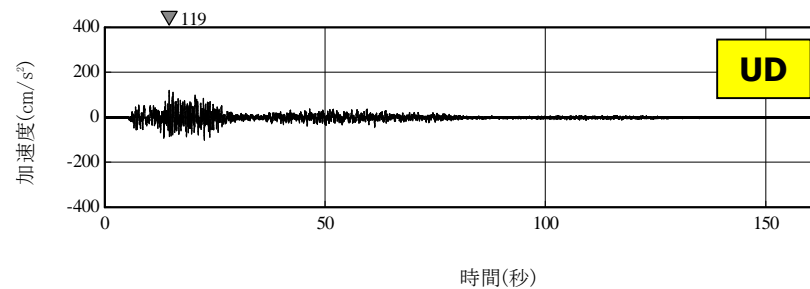
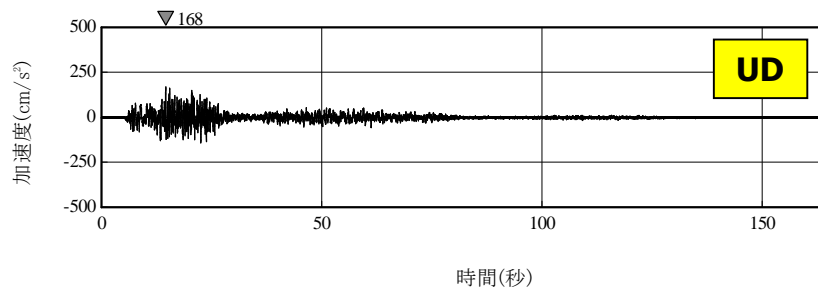
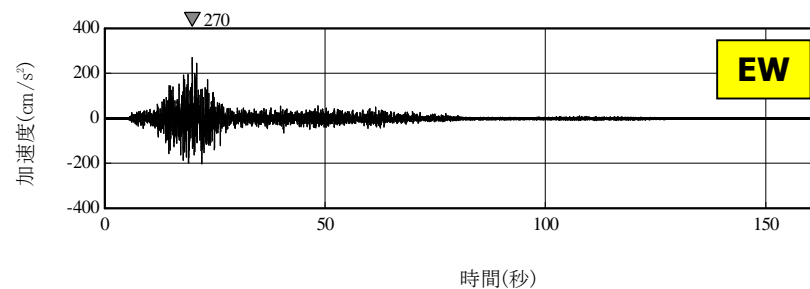
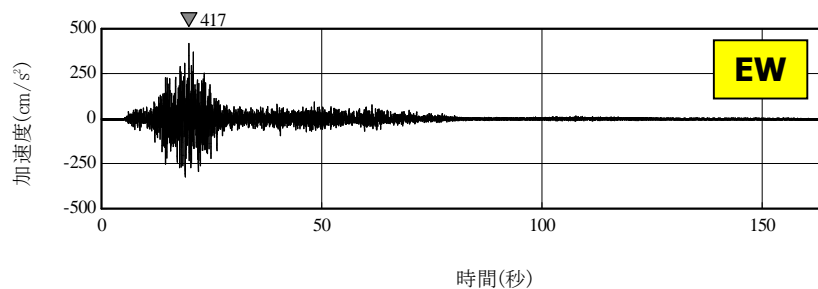
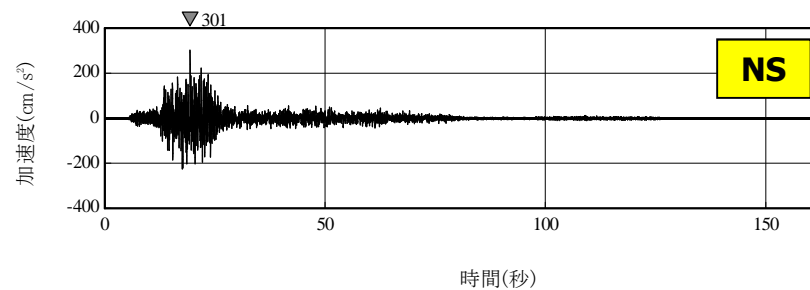
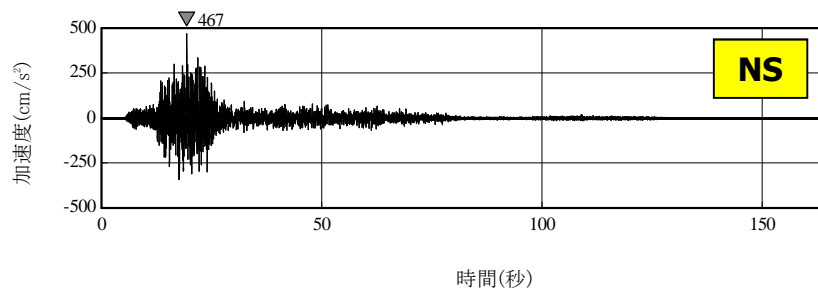
■短周期レベルの不確かさ 断層パラメータ

断層パラメータ		設定方法	設定値	強震動生成域全体	断層パラメータ		設定方法	設定値		
走向	$\theta(^{\circ})$	3.11地震のF-netのCMT解	200		各強震動生成域(5個)	面積	$S_a(\text{km}^2)$	$S_a=cS, c=0.125$	12500	
傾斜角1(東側)	$\delta_1(^{\circ})$	壇ほか(2005)	12	地震モーメント		$M_{0a}(\text{Nm})$	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	1.0×10^{22}	
傾斜角2(西側)	$\delta_2(^{\circ})$	壇ほか(2005)	21	すべり量		$D_a(\text{m})$	$D_a=2 \times D$	$D_a=2 \times D$	17.1	
すべり角	$\lambda(^{\circ})$	3.11地震のF-netのCMT解	88	応力降下量		$\Delta \sigma_a(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_a=S/S_a \cdot \Delta \sigma \times 1.4$	$\Delta \sigma_a=S/S_a \cdot \Delta \sigma \times 1.4$	34.5	
長さ	L(km)	断層面積に基づき設定	500	短周期レベル		$A_a(\text{Nm/S}^2)$	$A_a=(\sum A_{ai}^2)^{1/2}$	$A_a=(\sum A_{ai}^2)^{1/2}$	4.16×10^{20}	
幅	W(km)	断層面積に基づき設定	200	面積		$S_{ai}(\text{km}^2)$	$S_{ai}=S_a/5$	$S_{ai}=S_a/5$	2500	
破壊開始点	基準点北緯	$N(^{\circ})$	本震の震源位置(気象庁(2012))	38.1035		地震モーメント	$M_{0ai}(\text{Nm})$	$M_{0ai}=M_{0a} \cdot S_{ai}^{1.5} / \sum S_{ak}^{1.5} = M_{0a} / 5$	$M_{0ai}=M_{0a} \cdot S_{ai}^{1.5} / \sum S_{ak}^{1.5} = M_{0a} / 5$	2.0×10^{21}
	基準点東経	$E(^{\circ})$	本震の震源位置(気象庁(2012))	142.8610		すべり量	$D_{ai}(\text{m})$	$D_{ai}=M_{0ai} / (\mu S_{ai})$	$D_{ai}=M_{0ai} / (\mu S_{ai})$	17.1
	基準点深さ	H(km)	本震の震源位置(気象庁(2012))	23.7		応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_{ai}=\Delta \sigma_a$	$\Delta \sigma_{ai}=\Delta \sigma_a$	34.5
	基準点～上端	$W_1(\text{km})$	—	55		短周期レベル	$A_{ai}(\text{Nm/s}^2)$	$A_{ai}=4\pi \sqrt{(S/\pi)} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot V_s^2$	$A_{ai}=4\pi \sqrt{(S/\pi)} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot V_s^2$	1.86×10^{20}
	基準点～北縁	$l_1(\text{km})$	—	195	ライズタイム	$\tau_{ai}(\text{s})$	$\tau_{ai}=0.5W_{ai}/V_r, W_{ai}: \text{アスペリティ幅}$	$\tau_{ai}=0.5W_{ai}/V_r, W_{ai}: \text{アスペリティ幅}$	8.33	
上端深さ	$h_u(\text{km})$	$h_u=H-W_1 \sin \delta_1$	12.3	背景領域	面積	$S_b(\text{km}^2)$	$S_b=S-S_a$	87500		
下端深さ	$h_l(\text{km})$	$h_l=H+(100-W_1) \sin \delta_1 + 100 \sin \delta_2$	68.9		地震モーメント	$M_{0b}(\text{Nm})$	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	3.0×10^{22}	
断層面積	S(km ²)	$\log S=M-4.0$	100000		すべり量	$D_b(\text{m})$	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	7.3	
平均応力降下量	$\Delta \sigma(\text{MPa})$	$\Delta \sigma=7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$	3.08		応力降下量	$\Delta \sigma_b(\text{MPa})$	$\Delta \sigma_b=0.2 \cdot \Delta \sigma_a$	$\Delta \sigma_b=0.2 \cdot \Delta \sigma_a$	6.9	
地震モーメント	$M_0(\text{Nm})$	$\log M_0=1.5M_w+9.1$	4.0×10^{22}		ライズタイム	$\tau_b(\text{s})$	$\tau_b=0.5W/V_r, W: \text{断層幅}$	$\tau_b=0.5W/V_r, W: \text{断層幅}$	33.33	
モーメントマグニチュード	Mw	与条件	9.0		Q値	Q	佐藤ほか(1994)	佐藤ほか(1994)	$110f^{0.69}$	
平均すべり量	D(m)	$D=M_0/(\mu S)$	8.5		高域遮断周波数	fmax(Hz)	2005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上で設定。	2005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上で設定。	18.0	
剛性率	$\mu(\text{N/m}^2)$	地震本部(2002),(2005)	4.68×10^{10}							
S波速度	$V_s(\text{km/s})$	地震本部(2002),(2005)	3.9							
破壊伝播速度	$V_r(\text{km/s})$	地震本部(2002),(2005)	3.0							

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 短周期レベルの不確かさ(4)

■短周期レベルの不確かさモデル 加速度時刻歴波形



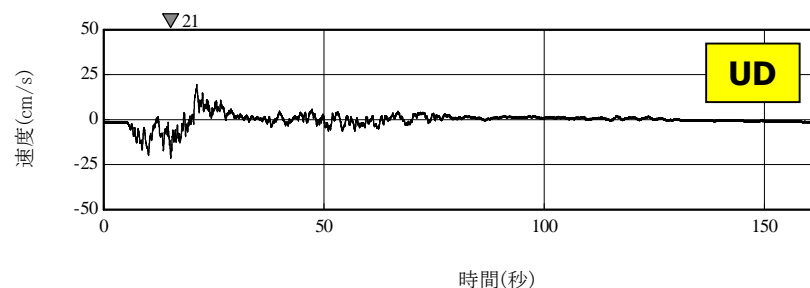
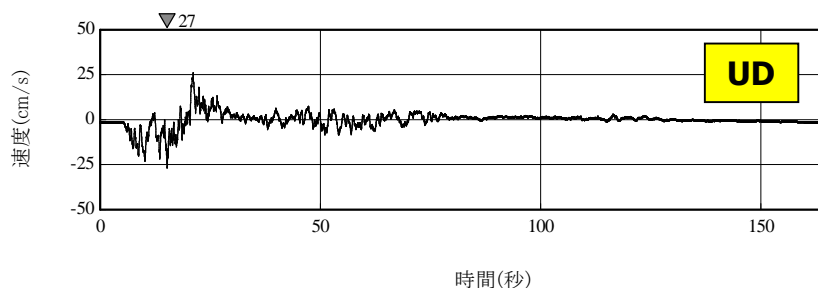
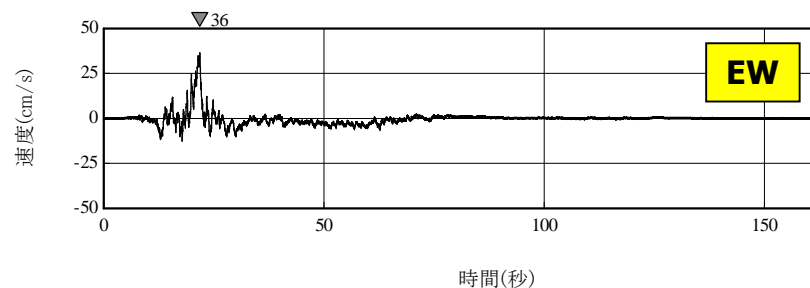
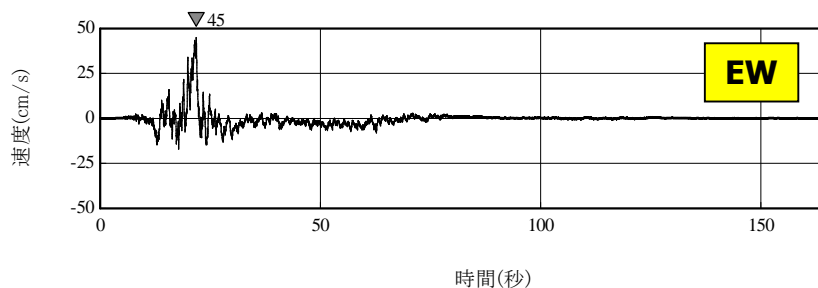
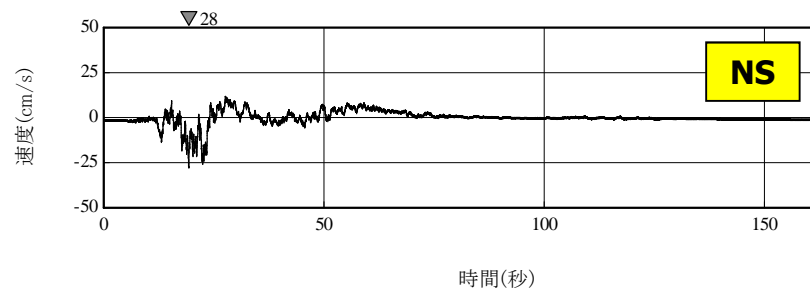
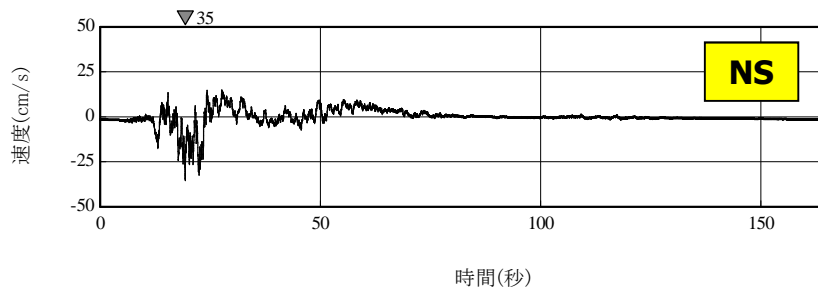
短周期レベルの不確かさモデル

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 短周期レベルの不確かさ(5)

■短周期レベルの不確かさモデル 速度時刻歴波形



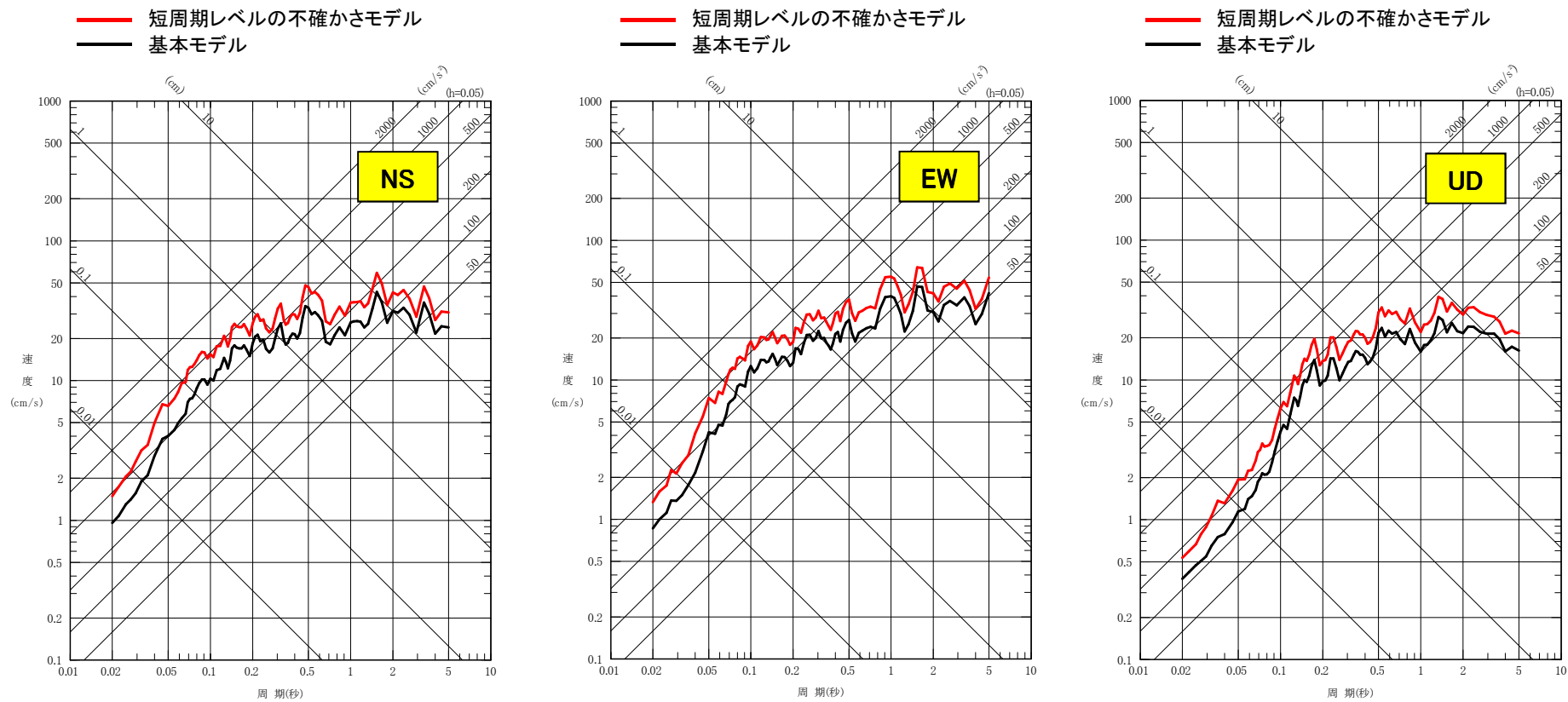
短周期レベルの不確かさモデル

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 短周期レベルの不確かさ(6)

■短周期レベルの不確かさモデル 応答スペクトル(1)

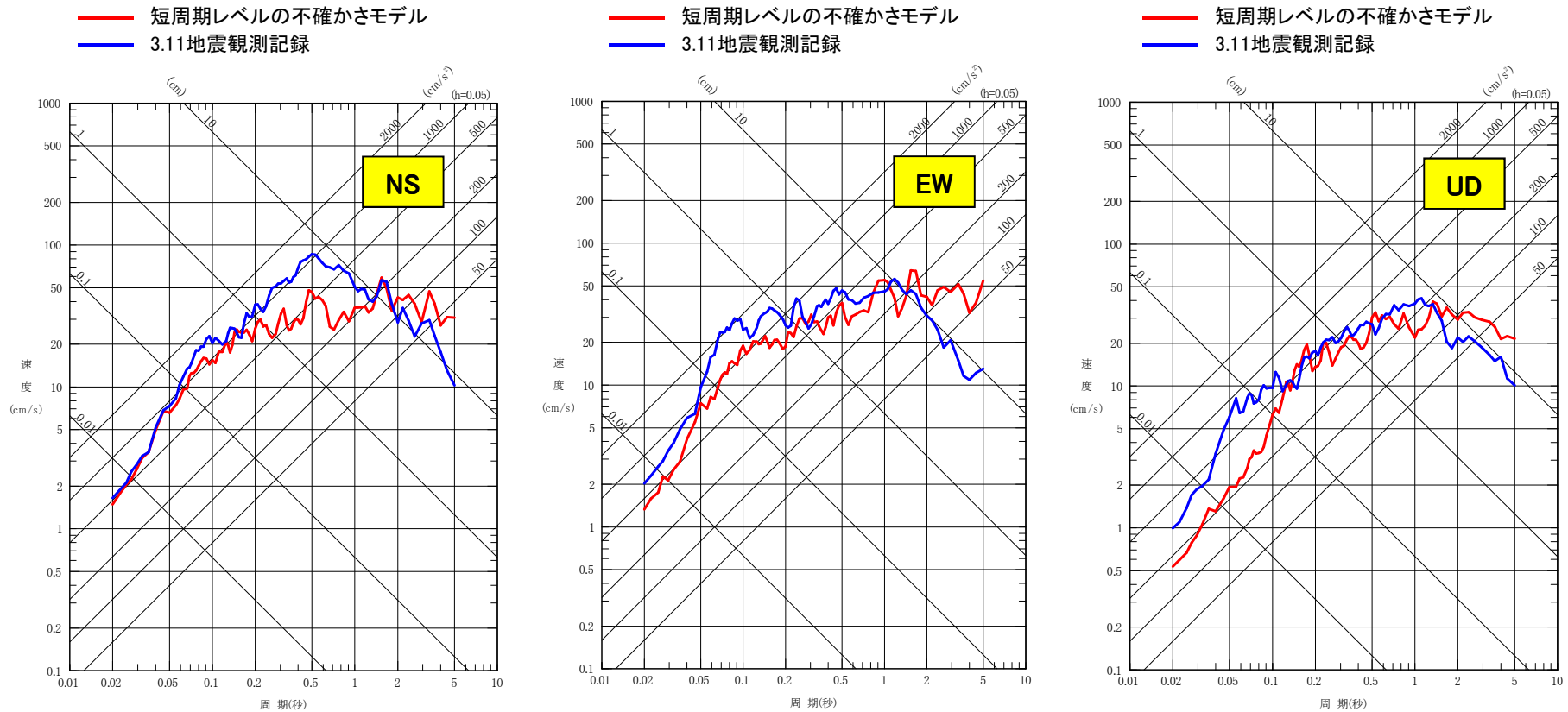


基本モデルとの比較

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 短周期レベルの不確かさ(7)

■短周期レベルの不確かさモデル 応答スペクトル(2)



3.11地震の観測記録(岩盤上部のはざとり波)との比較

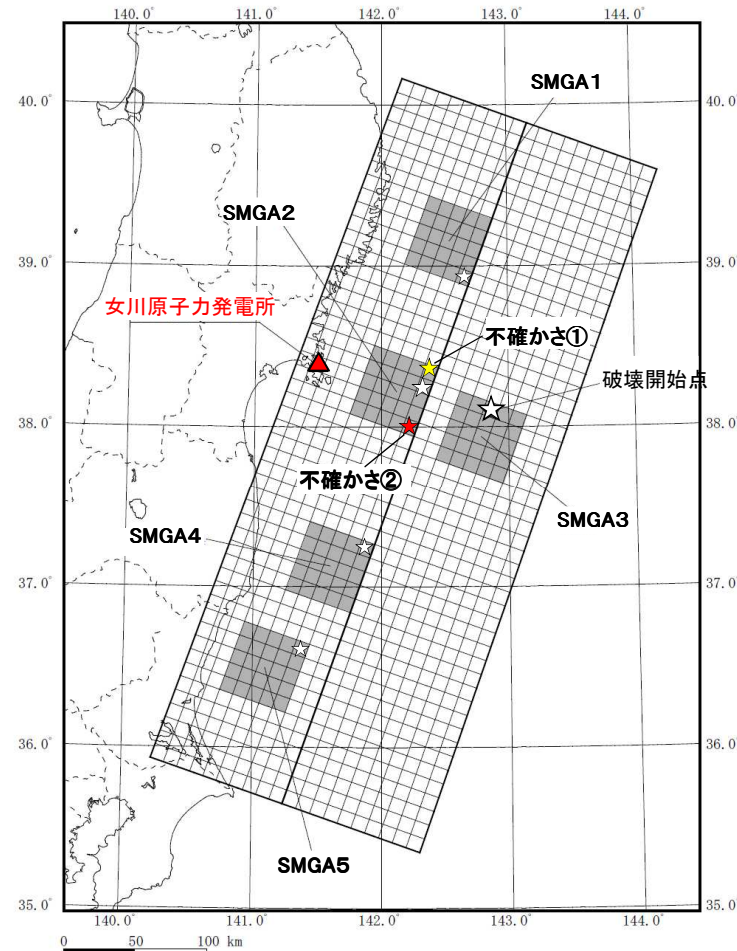
短周期レベルの不確かさモデルの地震動評価結果は、3.11地震の観測記録(岩盤上部のはざとり波)と整合する。

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 破壊開始点の不確かさ(1)

■破壊開始点の不確かさモデルの地震動評価

- ・敷地前面の強震動生成域(SMGA2)が、敷地への影響が最も大きいことから、SMGA2について、複数の破壊開始点を設定し、統計的グリーン関数法により評価を実施。
- ・破壊開始点の位置は、破壊が敷地に向かうように、SMGA2の北東端と南東端にそれぞれ設定。



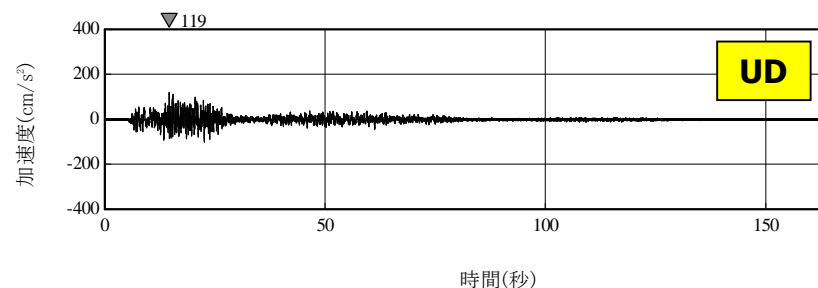
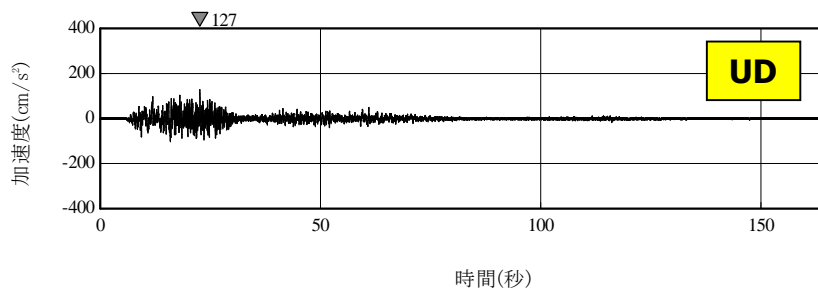
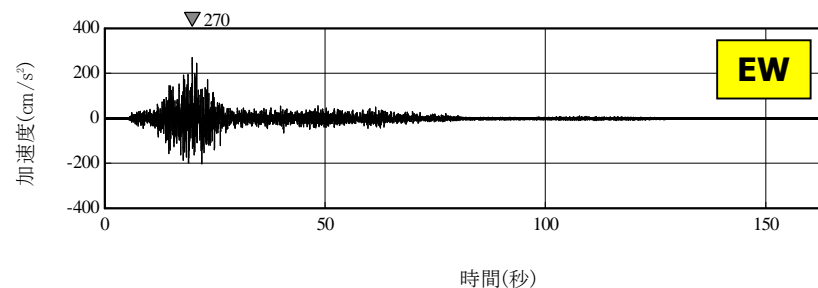
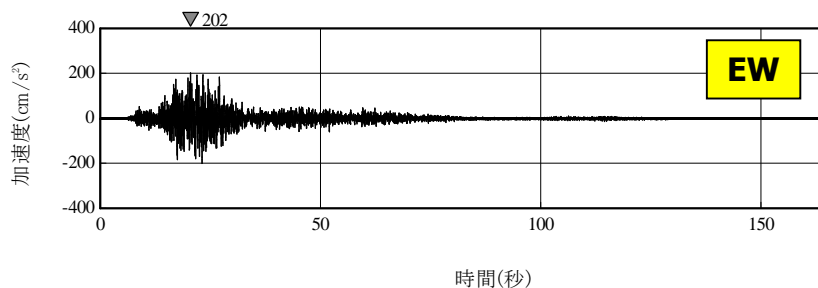
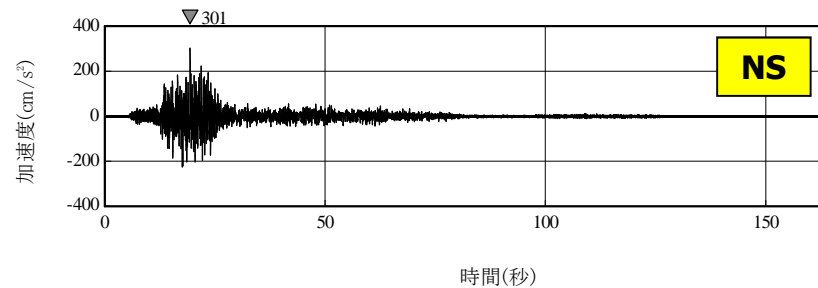
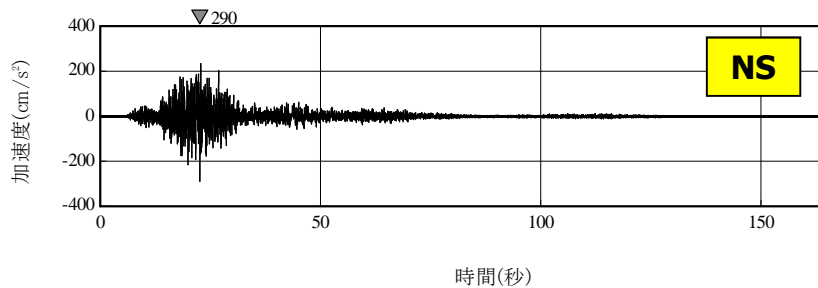
※☆は基本ケースの破壊開始点。
 ☆, ★はSMGA2の破壊開始点の不確かさを考慮した破壊開始点

破壊開始点の不確かさモデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 破壊開始点の不確かさ(2)

■破壊開始点の不確かさモデルの地震動評価 加速度時刻歴波形(不確かさ①)



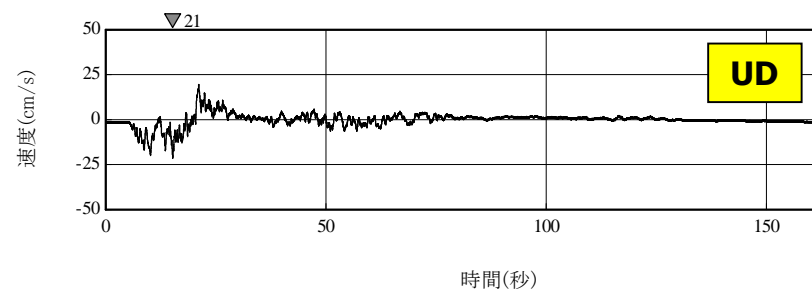
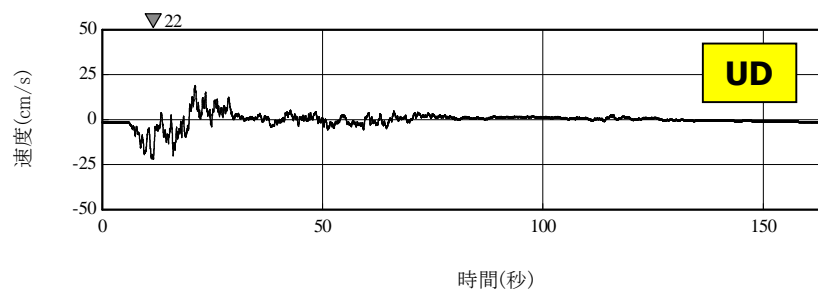
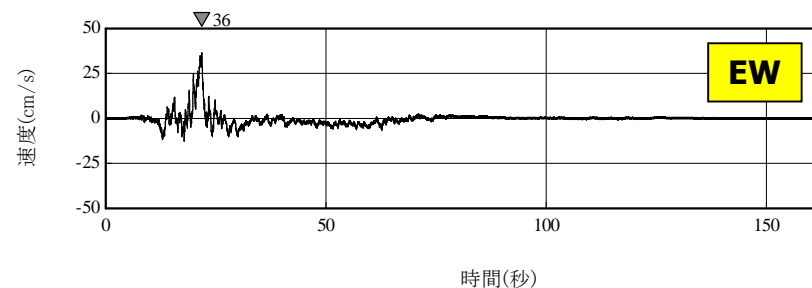
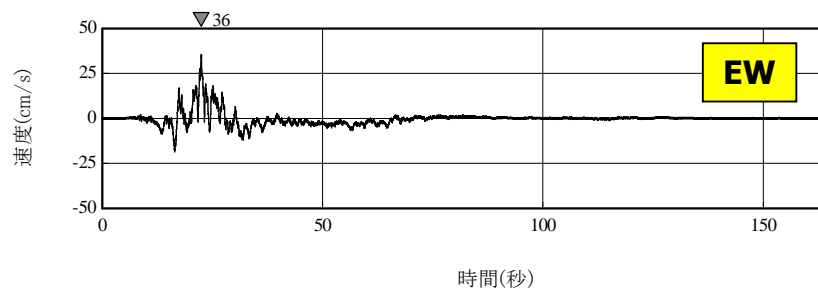
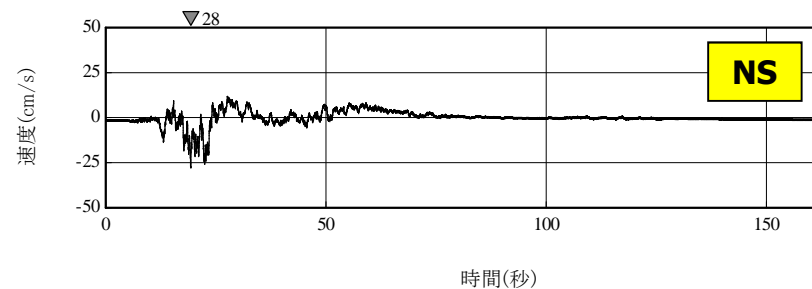
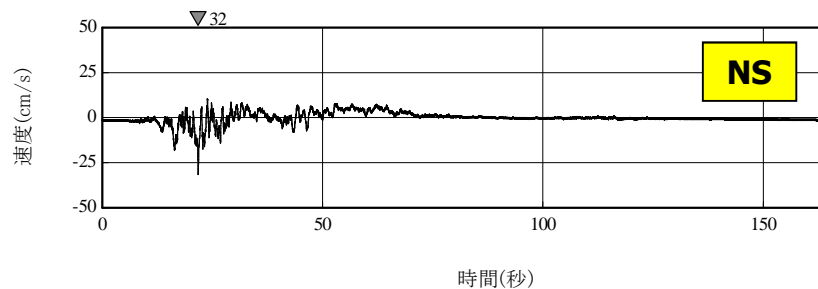
破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 破壊開始点の不確かさ(3)

■破壊開始点の不確かさモデルの地震動評価 速度時刻歴波形(不確かさ①)



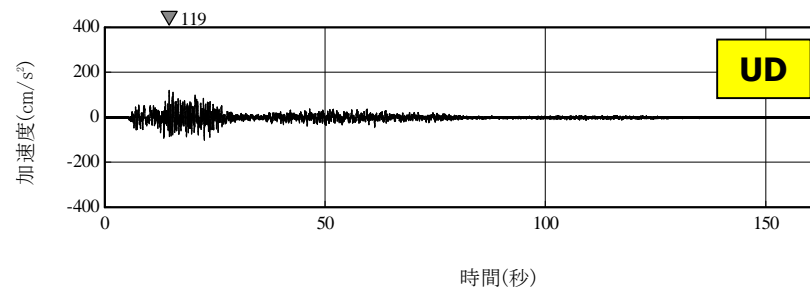
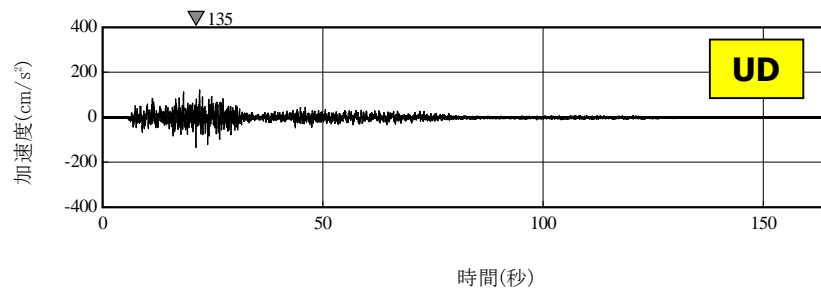
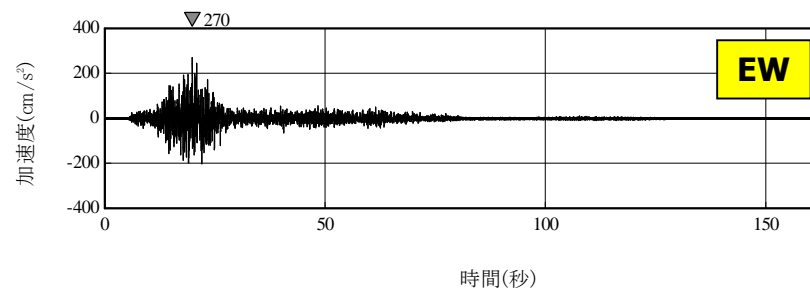
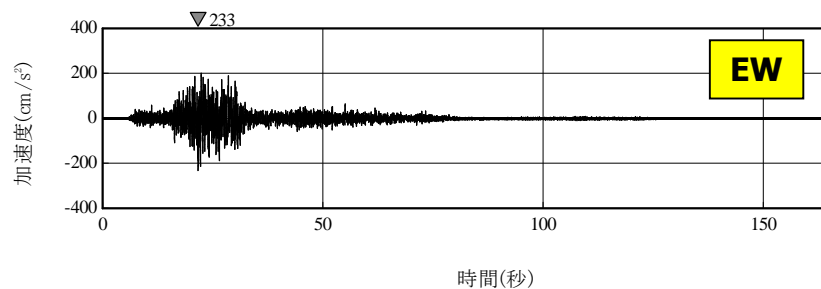
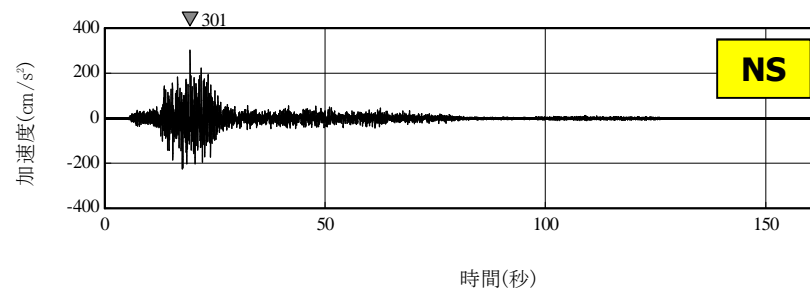
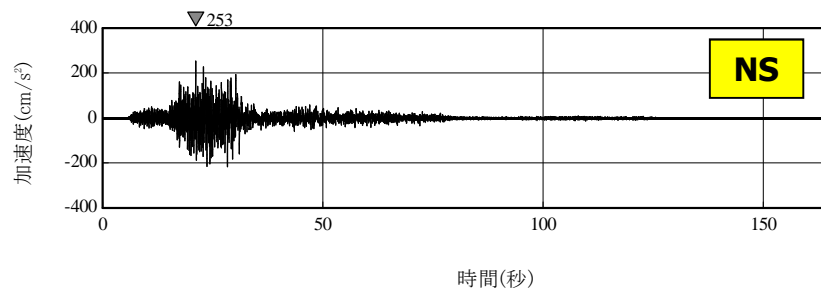
破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 破壊開始点の不確かさ(4)

■破壊開始点の不確かさモデルの地震動評価 加速度時刻歴波形(不確かさ②)



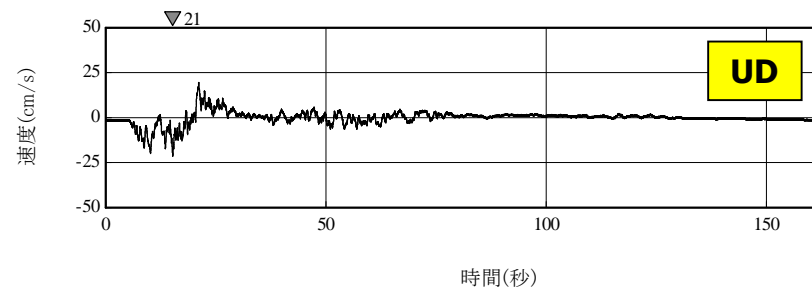
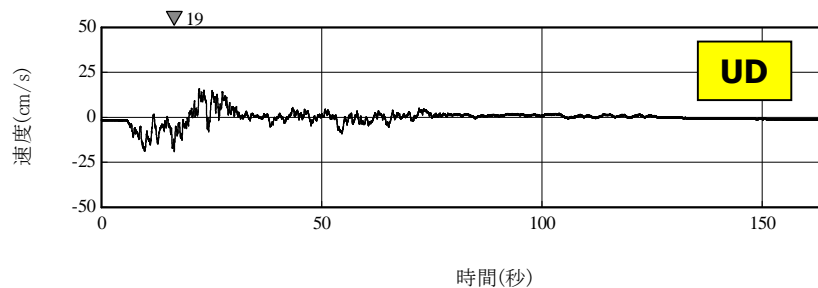
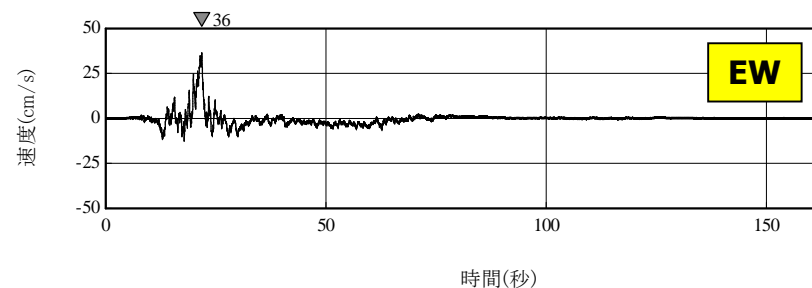
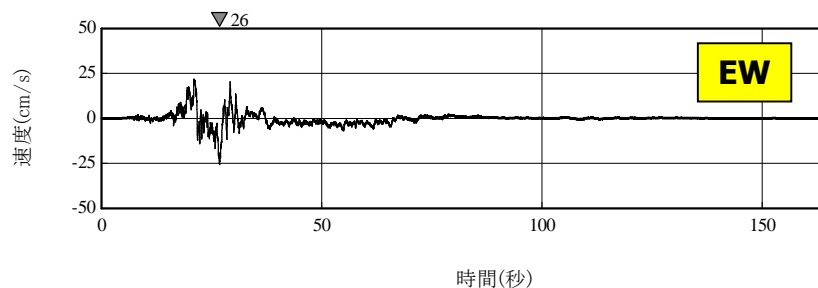
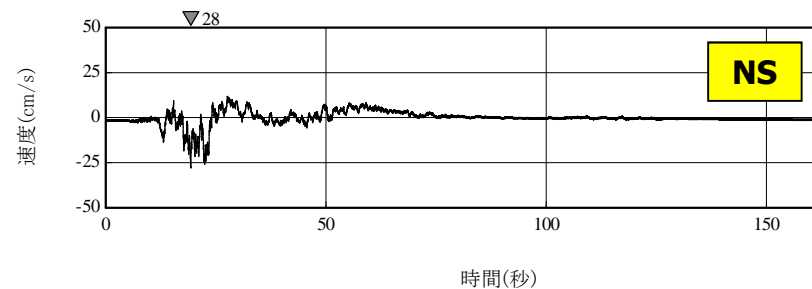
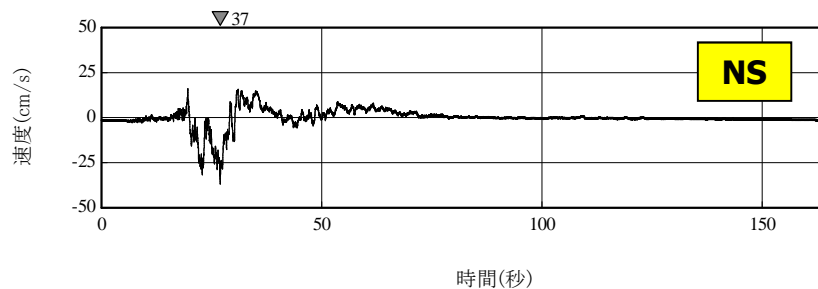
破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

4.3 不確かさの影響の検討 破壊開始点の不確かさ(5)

■破壊開始点の不確かさモデルの地震動評価 速度時刻歴波形(不確かさ②)



破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)

(参考)基本モデル

4. 断層モデルを用いた検討

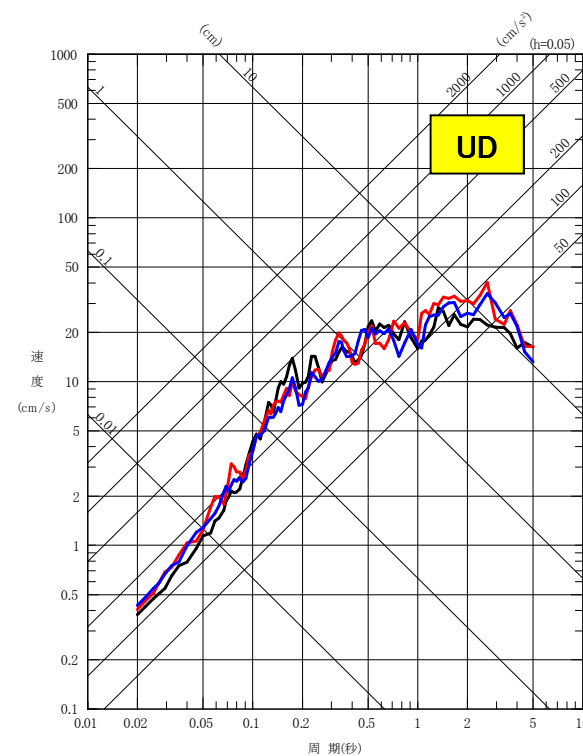
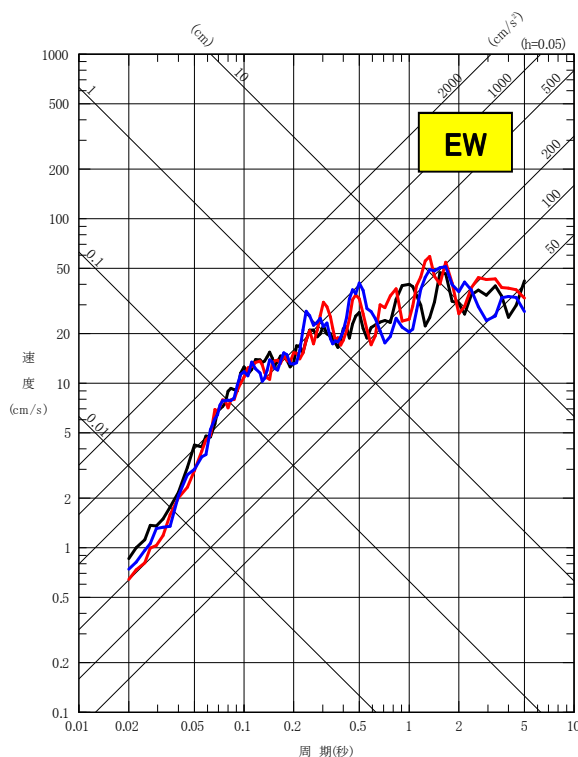
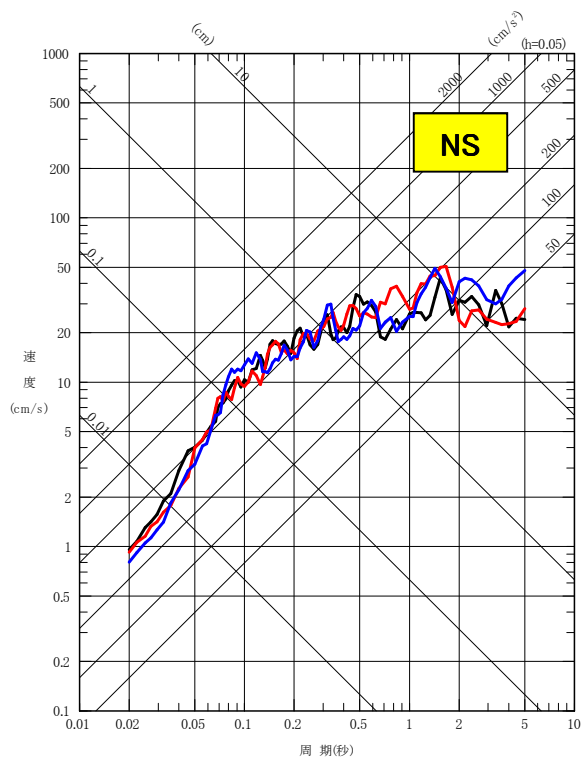
4.3 不確かさの影響の検討 破壊開始点の不確かさ(6)

■破壊開始点の不確かさモデルの地震動評価 応答スペクトル

— 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)
 — 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)
 — 基本モデル

— 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)
 — 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)
 — 基本モデル

— 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)
 — 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)
 — 基本モデル



基本モデルとの比較

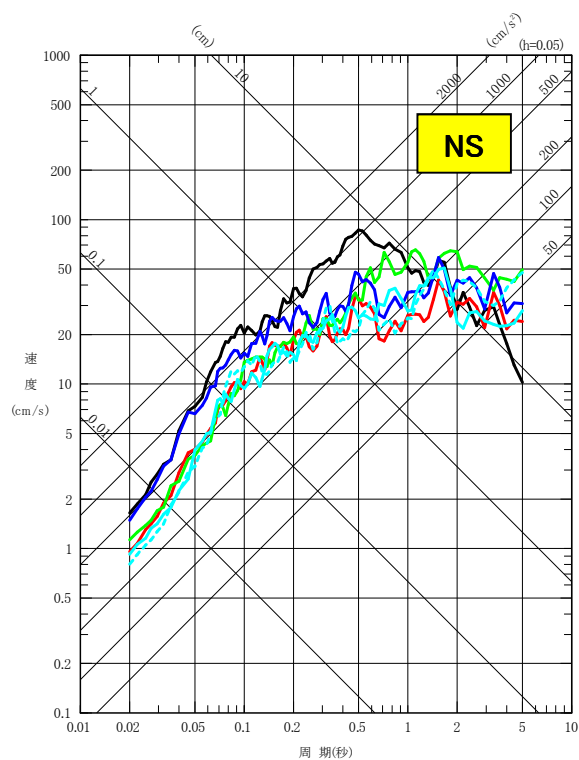
基本モデルとの違いは小さく、破壊開始点の位置の違いによる影響は小さい。

4. 断層モデルを用いた検討

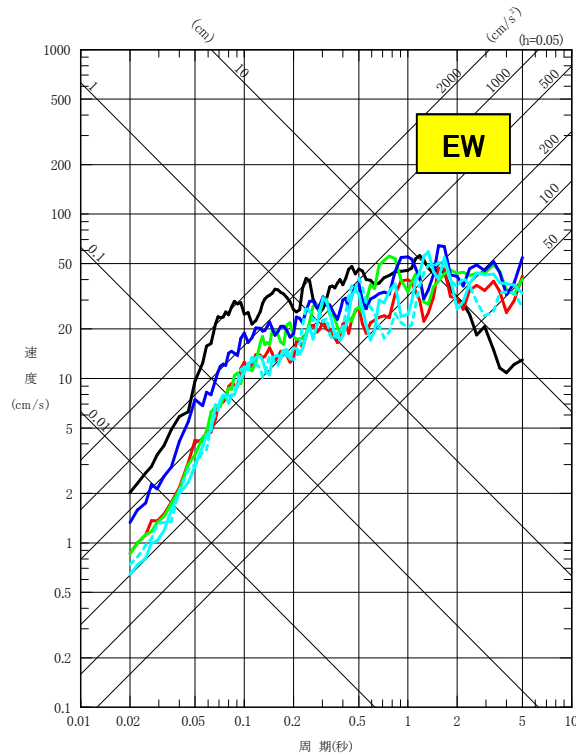
4.3 不確かさの影響の検討 各モデルの比較

■基本モデル, 各不確かさモデル(強震動生成域の位置, 短周期レベル, 破壊開始点), 3.11地震の観測記録(岩盤上部のはぎとり波)の比較

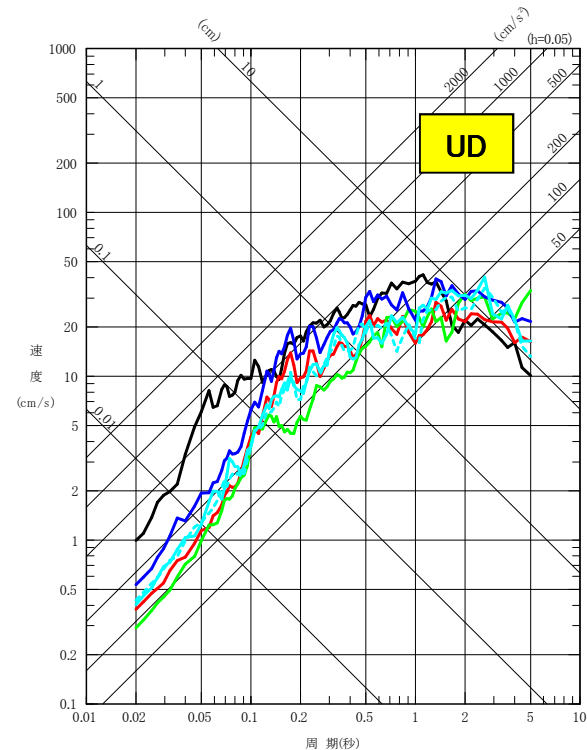
- 基本モデル
- 強震動生成域の位置の不確かさモデル
- 短周期レベル不確かさモデル
- 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)
- - - 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)
- 3.11地震の観測記録



- 基本モデル
- 強震動生成域の位置の不確かさモデル
- 短周期レベル不確かさモデル
- 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)
- - - 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)
- 3.11地震の観測記録



- 基本モデル
- 強震動生成域の位置の不確かさモデル
- 短周期レベル不確かさモデル
- 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ①)
- - - 破壊開始点の不確かさモデル(不確かさ②)
- 3.11地震の観測記録



4. 断層モデルを用いた検討

4.4 地震動評価結果のまとめ

【諸井ほか(2013)】

(検討概要)

3.11地震について、先験的な情報を用いた地震動評価(SGF)と観測記録(女川, 福島, 東海)との整合性検討を実施。

(検討結果から得られる知見)

- ①各サイトの前面の領域区分全てが破壊することを仮定し策定したモデルは、観測記録の傾向を良く捉えている。
- ②女川についてはやや過小のため、1978年宮城県沖地震を参考に強震動生成域の短周期レベルをかさ上げ(1.4倍)することで再現性が高まった。



【諸井ほか(2013)の断層モデルを用いた検討】

- ③強震動生成域の位置を敷地に近づけた場合の検討を実施した結果、基本的に地震動レベルが変わらないことを確認。
- ④破壊開始点は、破壊が敷地に向かう方向に進行する位置に設定しているが、参考に破壊開始点を変えた場合の検討を実施した結果、地震動レベルが変わらないことを確認。

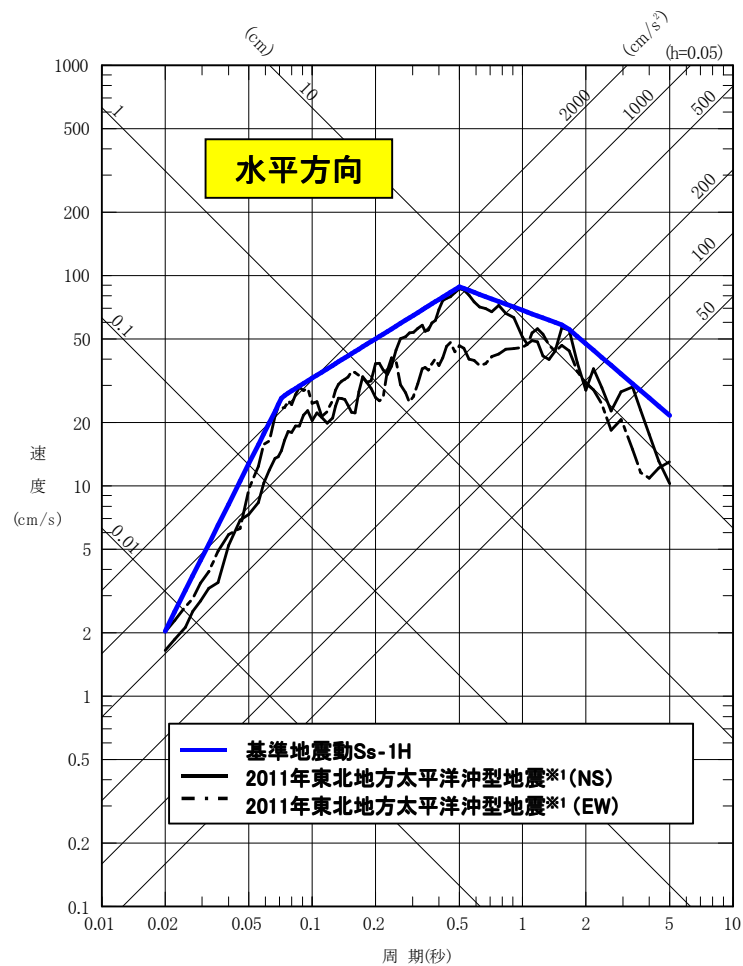
目次

1. 世界のプレート間地震
2. 2011年東北地方太平洋沖地震
3. プレート間地震の地震動評価
4. 断層モデルを用いた検討
- 5. 基準地震動 S_s**
6. まとめ

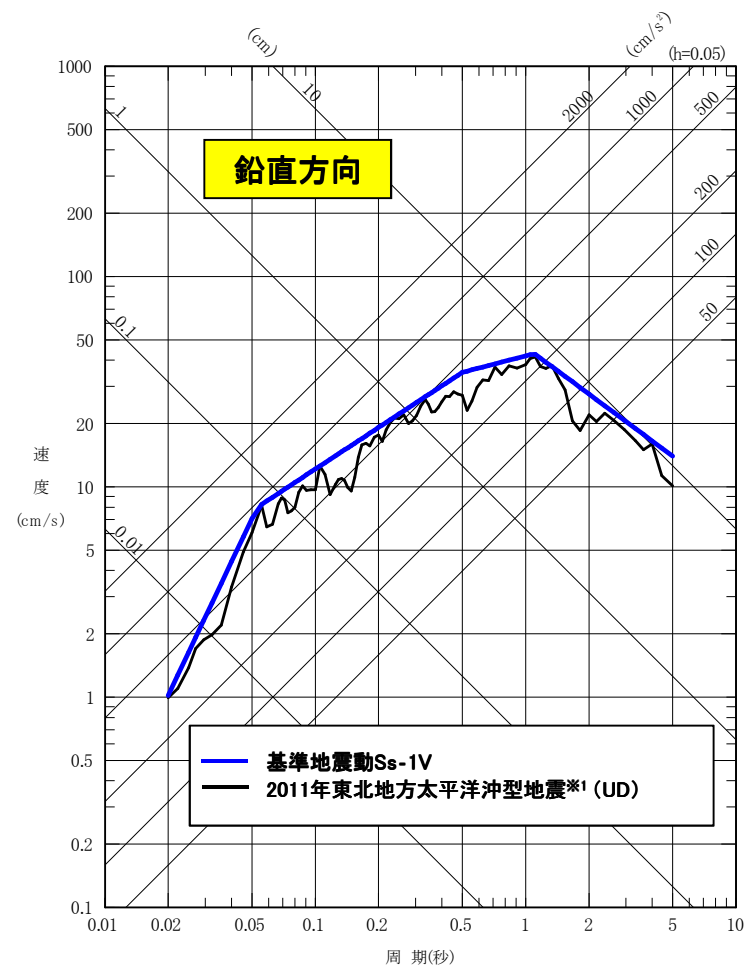
5. 基準地震動S_s

5.1 基準地震動S_s-1(1)

■ 2011年東北地方太平洋沖型地震の敷地における地震動を包絡するように応答スペクトルを設定。



SI比* (水平方向): 1.21



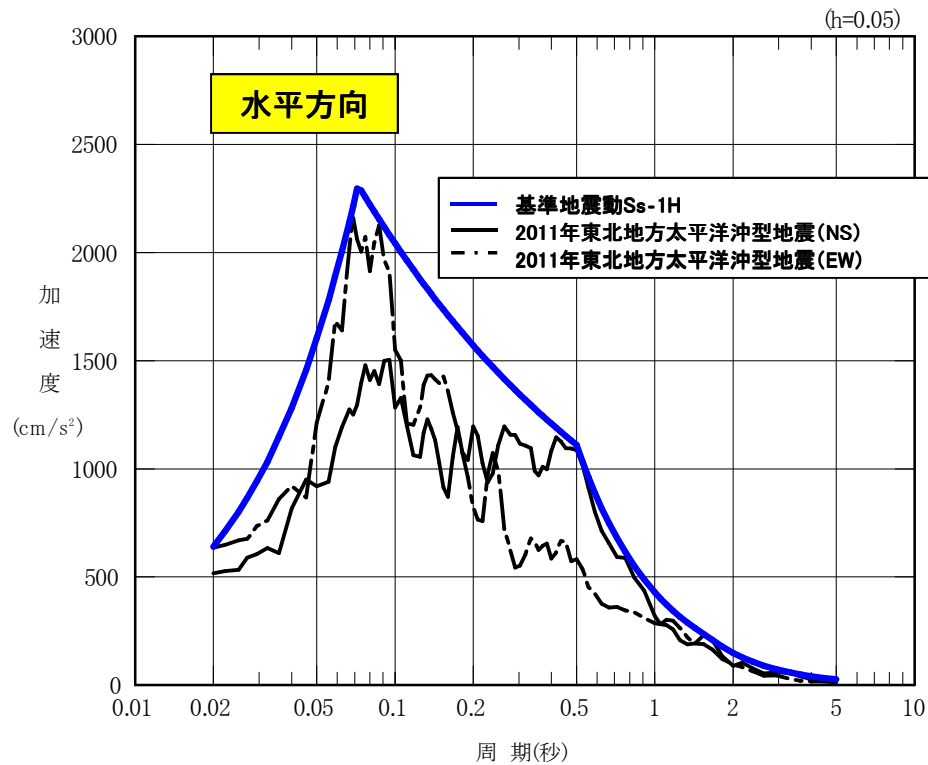
SI比* (鉛直方向): 1.17

※2011年東北地方太平洋沖型地震に対する基準地震動S_s-1のSI比(応答スペクトル強さの比), $0.02 \leq T \leq 5$, $h=0.05$

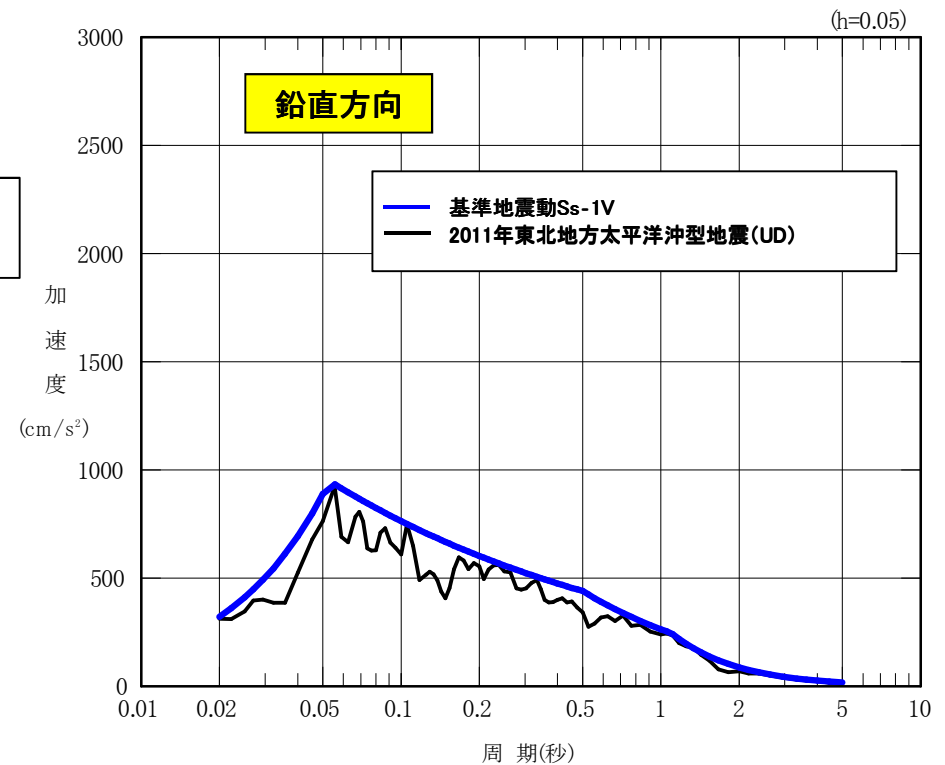
5. 基準地震動S_s

5.1 基準地震動S_s-1(2)

■ 2011年東北地方太平洋沖型地震の敷地における地震動を包絡するように対応スペクトルを設定。



SI比※(水平方向): 1.21



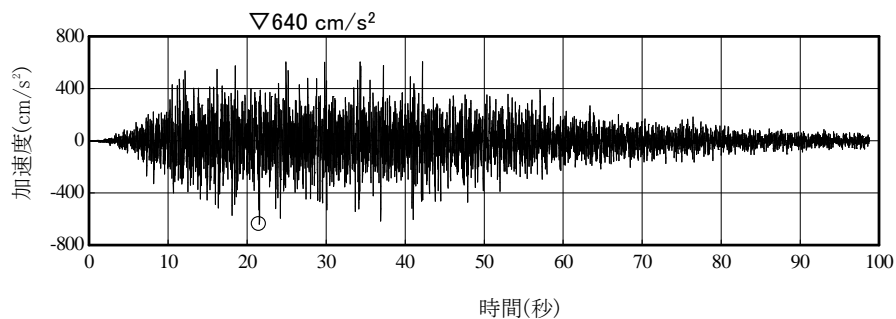
SI比※(鉛直方向): 1.17

※2011年東北地方太平洋沖型地震に対する基準地震動S_s-1のSI比(応答スペクトル強さの比), $0.02 \leq T \leq 5$, $h=0.05$

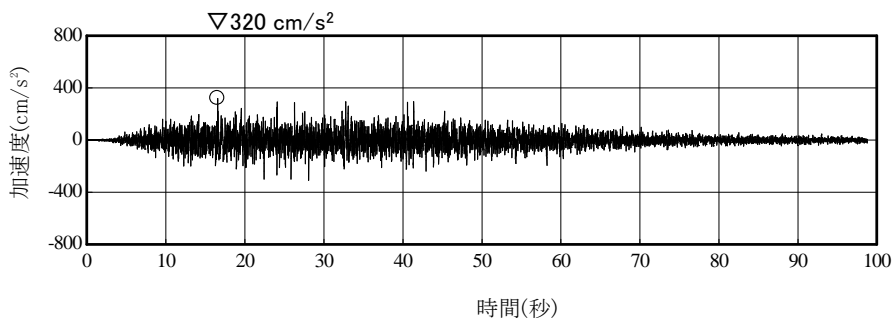
5. 基準地震動Ss

5.1 基準地震動Ss-1(3)

■ 加速度時刻歴波形, 速度時刻歴波形

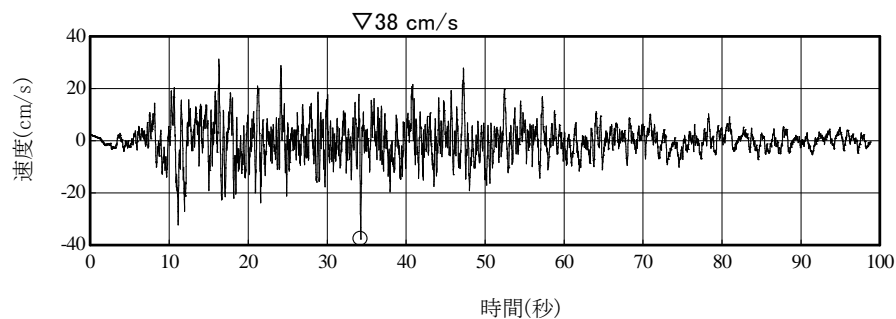


(水平方向)

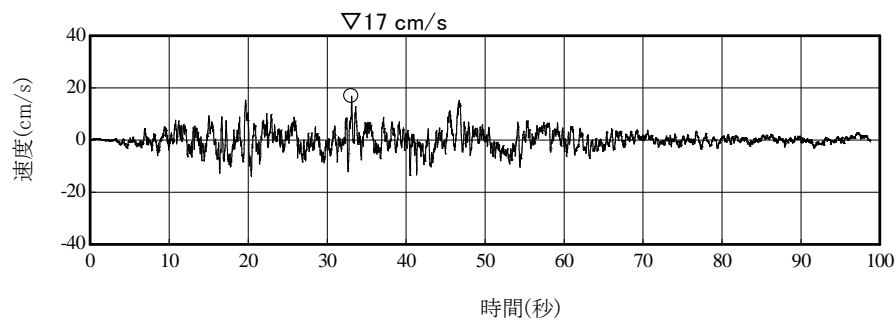


(鉛直方向)

加速度時刻歴波形



(水平方向)



(鉛直方向)

速度時刻歴波形

目次

1. 世界のプレート間地震
2. 2011年東北地方太平洋沖地震
3. プレート間地震の地震動評価
4. 断層モデルを用いた検討
5. 基準地震動 S_s
6. まとめ

6. まとめ

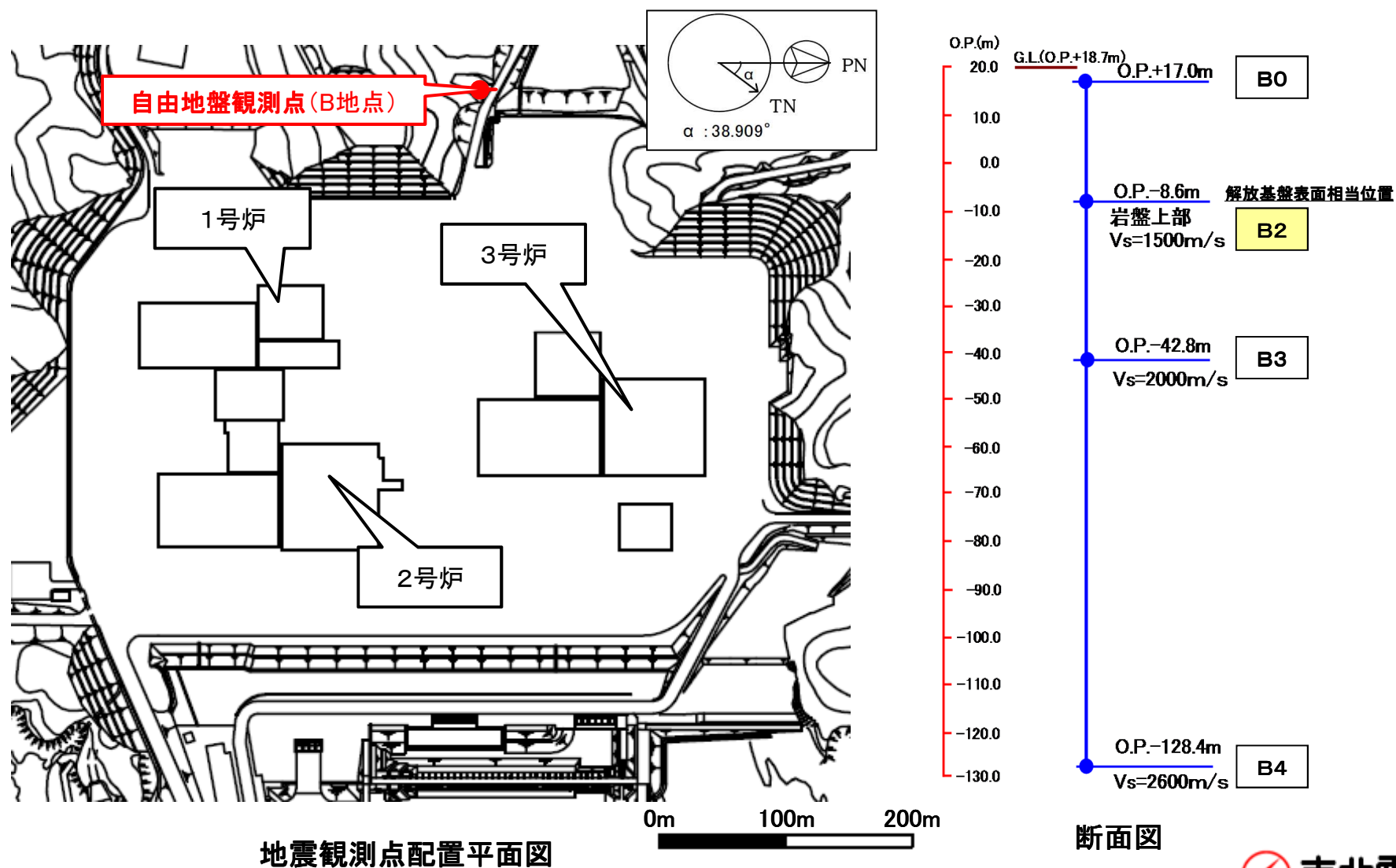
- 女川原子力発電所における2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録は、断層モデルでの検討から、敷地に近いプレート境界付近の強震動生成域が活動したもので、その短周期レベルの値からも、敷地に対して最も厳しい地震動と推定される。
- このことから、基準地震動 S_s の設定においては、地域性が反映された最も厳しい観測記録、即ち、2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録(岩盤上部でののはぎとり波)をベースに策定することとする。
- 2011年東北地方太平洋沖地震は、宮城県沖における最も厳しい地震動であった。また、強震動レシピによる断層モデルに基づいた地震動評価により、強震動生成域の位置等の不確かさの影響が小さいことを確認した。
- これらを踏まえ、検討用地震である2011年東北地方太平洋沖型地震の地震動として、2011年東北地方太平洋沖地震による敷地での岩盤上部(O.P. -8.6m)の観測記録について表層の影響を除去したはぎとり波を採用し、基準地震動 S_s-1 は、2011年東北地方太平洋沖型地震の応答スペクトルを包絡するように設定した。

(補足説明資料) 2011年東北地方太平洋沖地震の はぎとり解析について

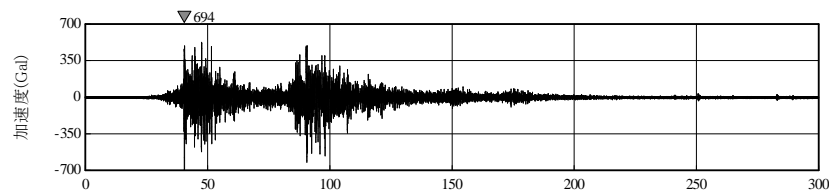
※第128回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料2-2
「女川原子力発電所 敷地の地質・地質構造及び地盤の振動特性について
(補足説明資料)」を一部加筆

(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について 敷地における地震観測点

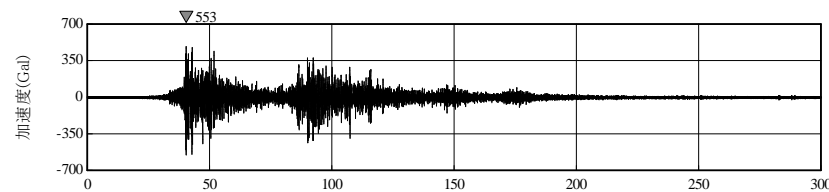
➤ 敷地においては、図の位置で自由地盤の地震観測を行っている。



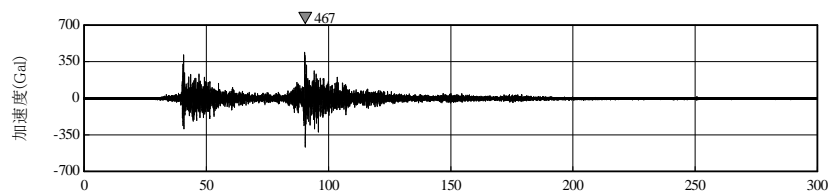
(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について 敷地地盤における観測記録(水平方向)



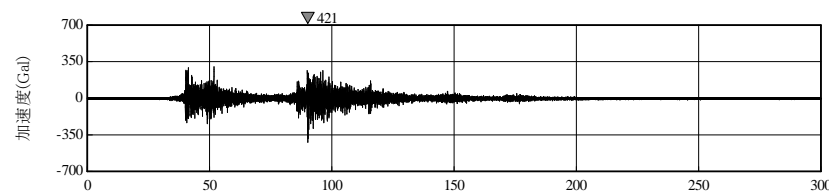
時間(秒)
O.P.+17.0mの加速度波形 Amax=694Gal



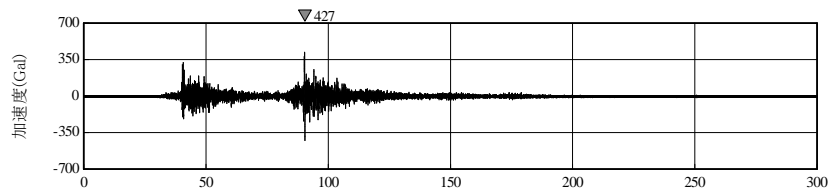
時間(秒)
O.P.+17.0mの加速度波形 Amax =553Gal



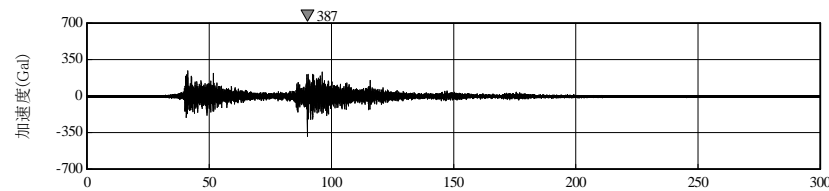
時間(秒)
O.P.-8.6m(岩盤上部)※の加速度波形 Amax =467Gal



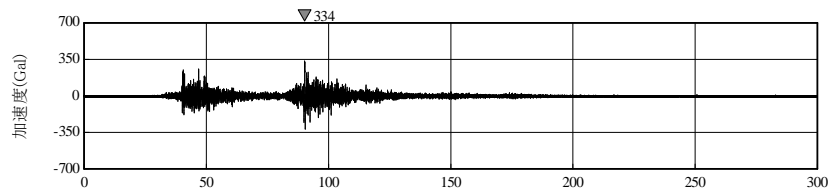
時間(秒)
O.P.-8.6m(岩盤上部)※の加速度波形 Amax =421Gal



時間(秒)
O.P.-42.8mの加速度波形 Amax =427Gal

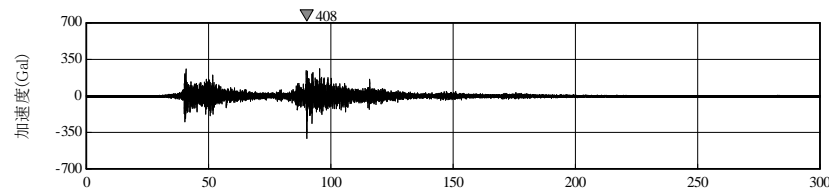


時間(秒)
O.P.-42.8mの加速度波形 Amax =387Gal



時間(秒)
O.P.-128.4mの加速度波形 Amax =334Gal

NS方向

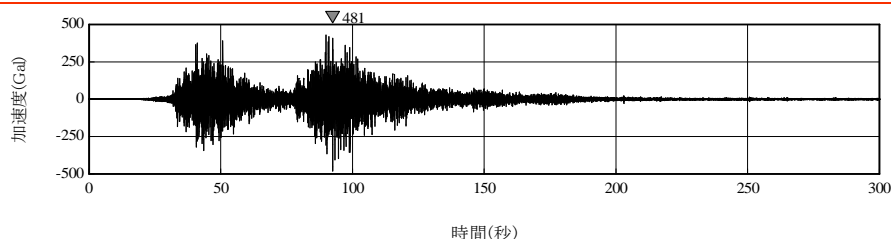


時間(秒)
O.P.-128.4mの加速度波形 Amax =408Gal

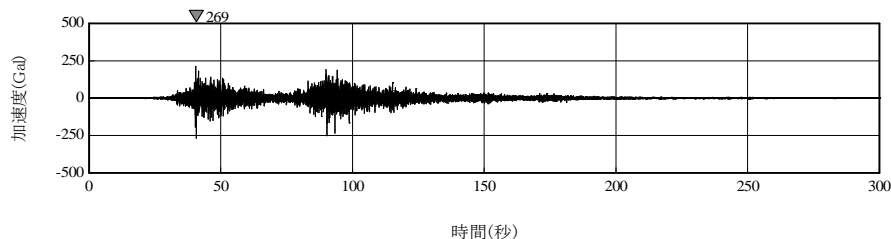
EW方向

※解放基盤表面相当

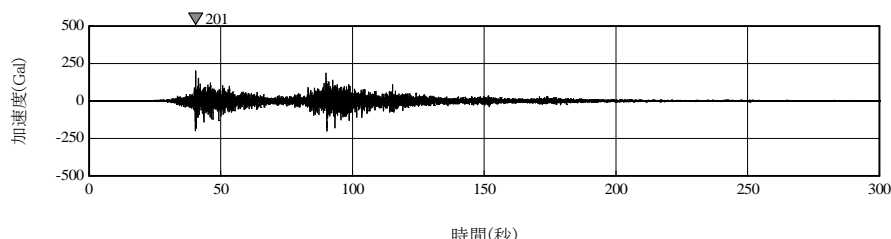
(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について 敷地地盤における観測記録(鉛直方向)



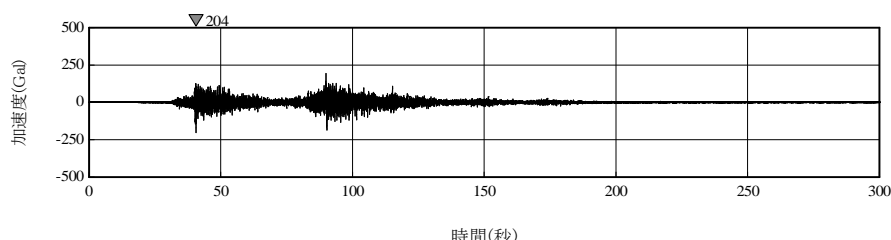
O.P.+17.0mの加速度波形 $A_{max}=481\text{Gal}$



O.P.-8.6m(岩盤上部)*の加速度波形 $A_{max}=269\text{Gal}$



O.P.-42.8mの加速度波形 $A_{max}=201\text{Gal}$



O.P.-128.4mの加速度波形 $A_{max}=204\text{Gal}$

UD方向

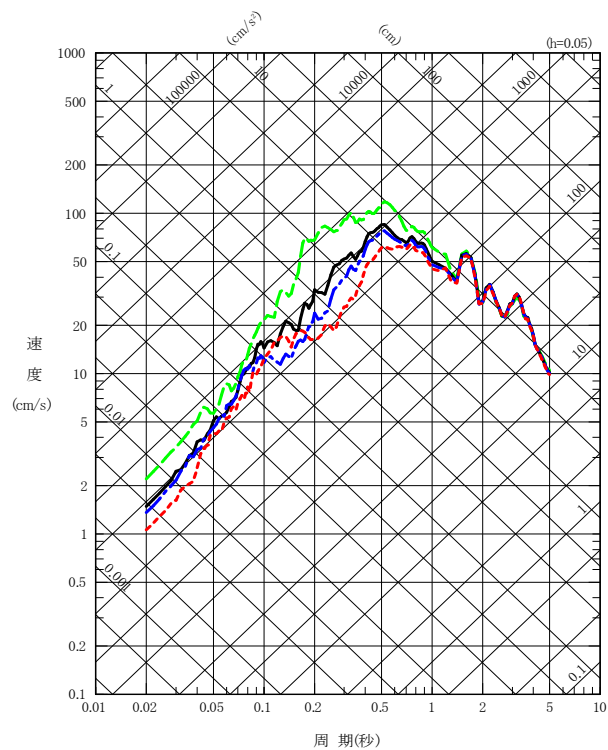
※解放基盤表面相当



(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について

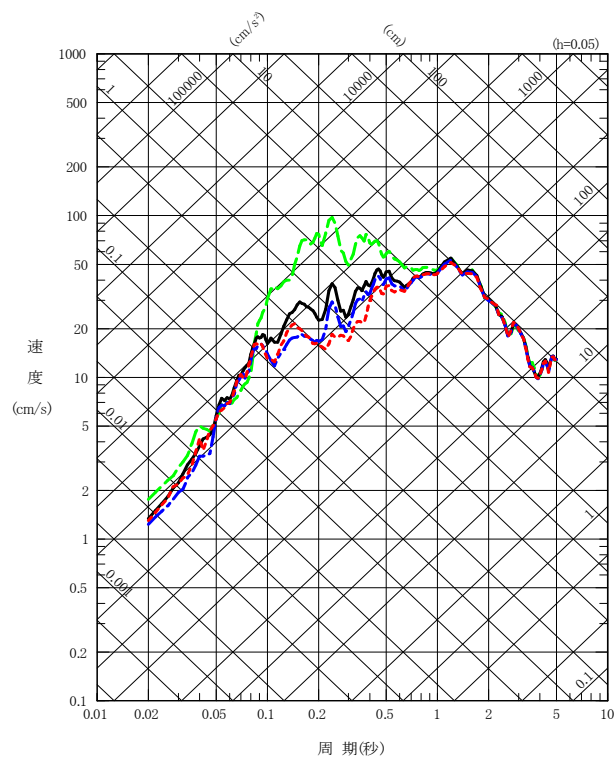
地盤における観測記録 深度別応答スペクトル

--- 0. P. + 17.0mの観測記録 (NS方向)
 --- 0. P. - 8.6mの観測記録 (NS方向)
 --- 0. P. - 42.8mの観測記録 (NS方向)
 --- 0. P. -128.4mの観測記録 (NS方向)



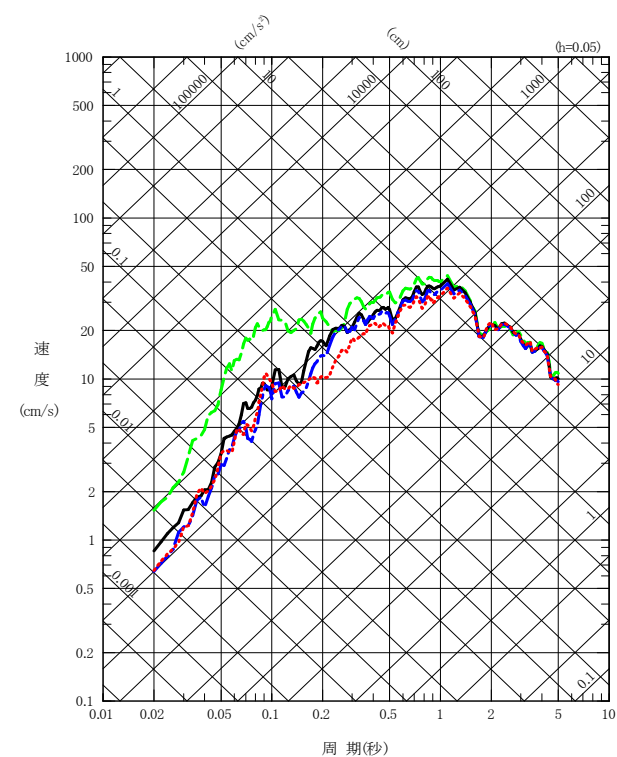
NS方向

--- 0. P. + 17.0mの観測記録 (EW方向)
 --- 0. P. - 8.6mの観測記録 (EW方向)
 --- 0. P. - 42.8mの観測記録 (EW方向)
 --- 0. P. -128.4mの観測記録 (EW方向)



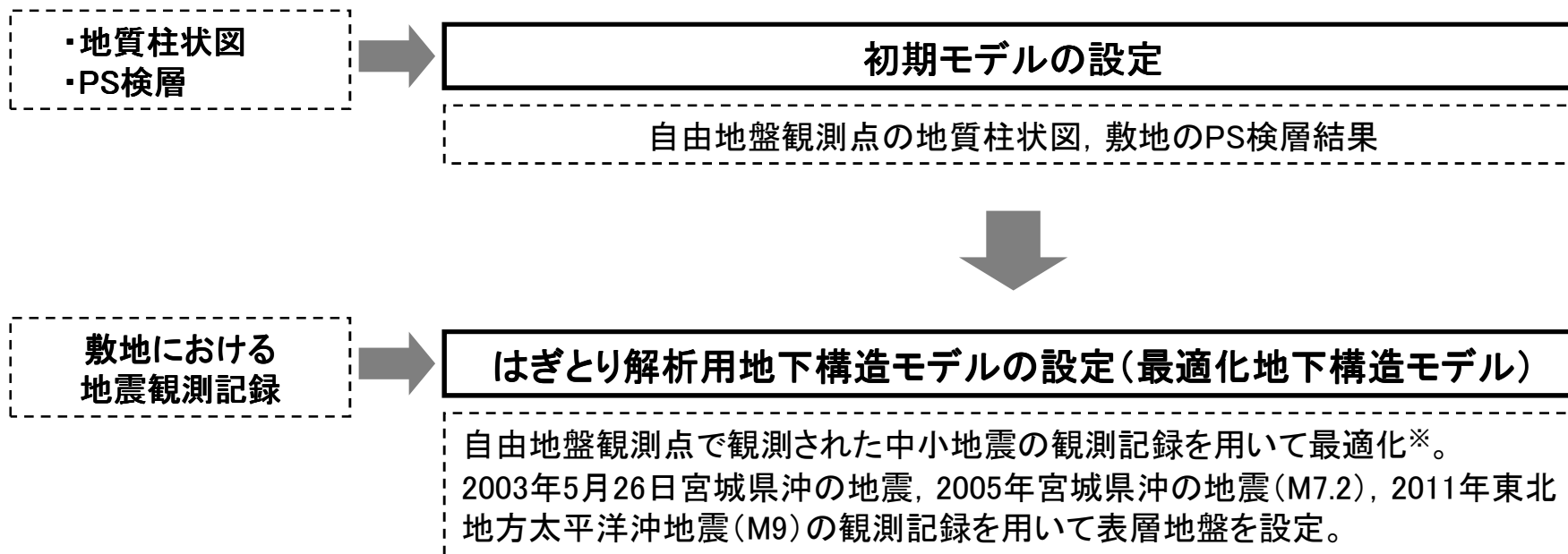
EW方向

--- 0. P. + 17.0mの観測記録 (UD方向)
 --- 0. P. - 8.6mの観測記録 (UD方向)
 --- 0. P. - 42.8mの観測記録 (UD方向)
 --- 0. P. -128.4mの観測記録 (UD方向)



UD方向

➤ 自由地盤地下構造モデルの設定の流れ



※ 遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて各層の層厚および減衰, 表層の速度を最適化。

(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について 自由地盤地下構造モデル(はぎとり解析用)

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,
2011年東北地方太平洋沖地震での観測記録に基づき設定した地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	減衰定数 $h(f)=h_0f^{-\alpha}$			
G.L.(m)	O.P.(m)					水平		鉛直	
						h ₀	α	h ₀	α
0	18.7								
-1.7	17.0	1.7	2.10	204 (112)*	467	0.10 (0.44*)	0.00 (0.38)*	0.50	0.51
-5.0	13.7	3.3							
-21.6	-2.9	16.6							
-27.3	-8.6	5.7	2.55	1500	2882	0.20	1.00	1.00	0.62
-34.5	-15.8	7.2							
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101	1.00	0.87		
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	0.77	1.00	1.00	0.61
-147.1	-128.4	65.3							
—	—	∞							

▽岩盤上部
(解放基盤表面相当)

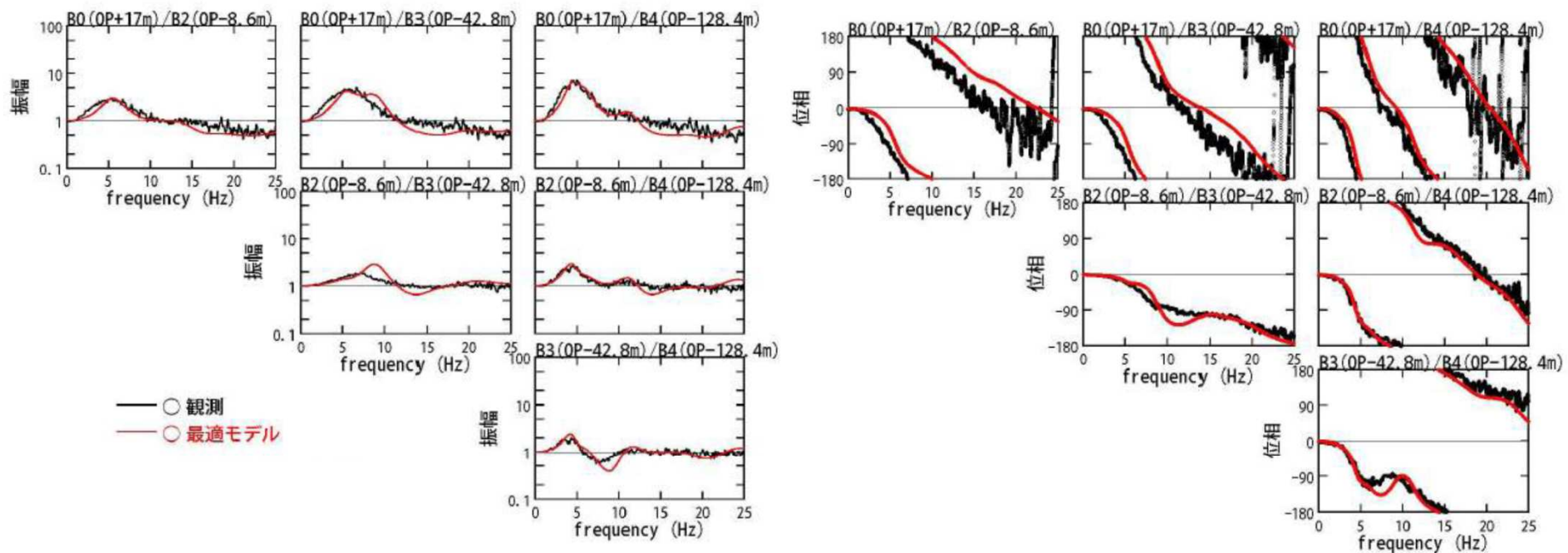
▽地震基盤相当

※()の数値は, 2011年東北地方太平洋沖地震の解析に使用。

(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について 自由地盤地下構造モデル(はぎとり解析用)の理論伝達関数と3.11地震 観測記録の伝達関数の比較

地盤モデルの最適化の検討

最適化地盤モデルの地盤伝達関数と3.11地震の伝達関数との比較



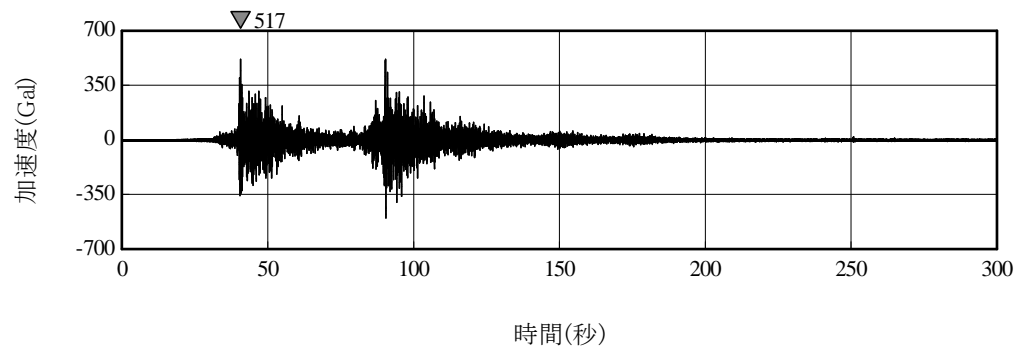
水平方向

最適化地盤モデルの地盤伝達関数と3.11地震の地盤伝達関数との比較

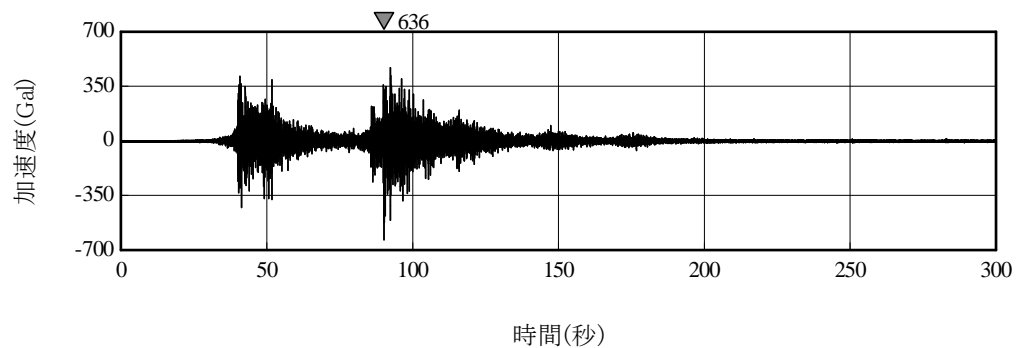
(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について はぎとり解析結果※(加速度時刻歴波形)

※解放基盤表面相当(O.P.-8.6m)の観測記録のはぎとり解析結果

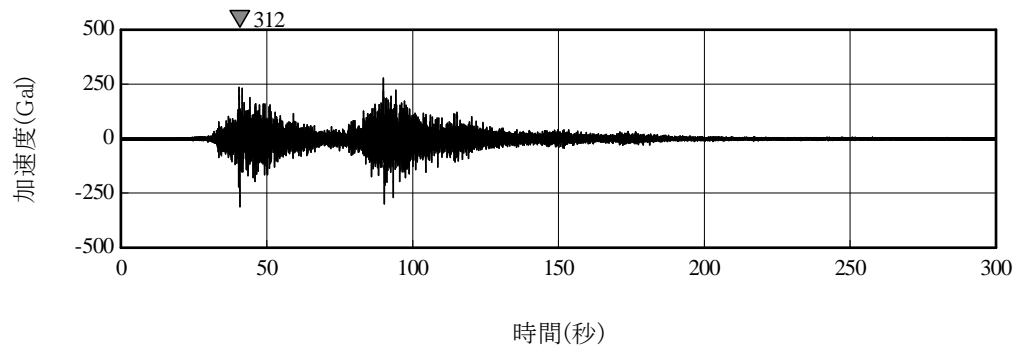
NS方向



EW方向

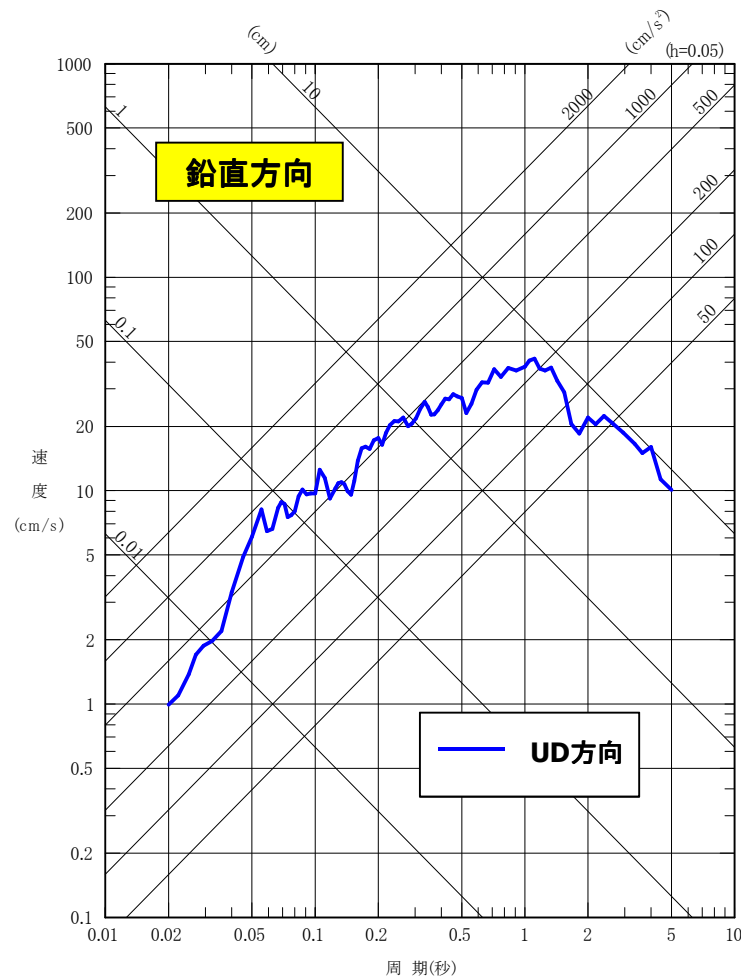
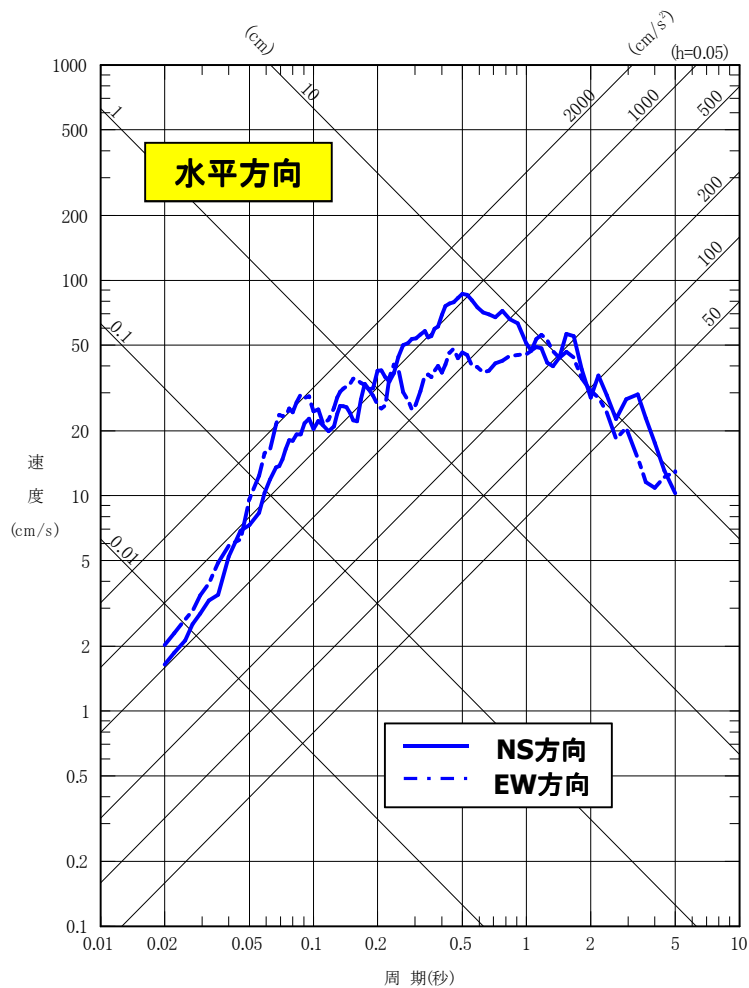


UD方向



(補足)2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり解析について はぎとり解析結果※(応答スペクトル)

※解放基盤表面相当(O.P.-8.6m)の観測記録のはぎとり解析結果



参考文献

1. 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅(2013): 標準的な強震動予測レシピアに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集
2. Müller, R.D., M. Sdrolias, C. Gaina, and W.R.Roest(2008) : Age, spreading rates and spreading asymmetry of the world's ocean crust, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743.
3. 宇津徳治(2004) : 世界の被害地震の表, 電子ファイル最終版, 改定・更新版 : <http://iisee.kenken.go.jp/utsu/index.html>
4. 佐竹建治(2013) : 第197回地震予知連絡会 重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要, 地震予知連絡会 会報, 第89巻, 12-6
5. Satake, K. and B. F. Atwater(2007): Long-term perspectives on giant earthquakes and tsunamis at subduction zones, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2007. 35:349-74.
6. 西村卓也(2013) : 第197回地震予知連絡会 測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング, 地震予知連絡会 会報, 第89巻, 12-15
7. 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
8. Koper, K. D., A. R. Hutko, T. Lay, C. J. Ammon, and H.Kanamori (2011) : Frequency-dependent rupture process of the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake: Comparison of short-period P wave backprojection images and broadband seismic rupture models, *Earth Planets Space*, 63
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
10. 東京大学地震研究所(2012) : 広報アウトリーチ室 地震・火山情報 2011年3月東北地方太平洋沖地震, <http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/>
11. 川辺秀憲, 釜江克宏, 上林宏(2011) : 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の震源のモデル化, 日本地球惑星科学連合2011年大会
12. 神田克久, 武村雅之, 広谷浄, 石川和也(2012) : 震度分布に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の短周期地震波発生域, 地震 第2輯, 第65巻
13. Kataoka, S. and M. Kaneko (2012) : ESTIMATION OF STRONG MOTION DURING THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE BY A GROUND MOTION PREDICTION MODEL, *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan*
14. 司宏俊, 翠川三郎, 堤英明, 野田朱美, 正月俊行(2011) : 地震基盤における震源近傍まで適用できる応答スペクトル距離減衰式の整備に関する研究, 日本地球惑星科学連合大会2011年大会発表
15. 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～
16. 地震調査研究推進本部(2005) : 宮城県沖地震を想定した強震動評価(一部修正版)

参考文献

17. 壇一男, 畑奈緒未, 武藤尊彦, 宮腰淳一, 神田順(2005):シナリオ地震の生起確率を考慮した基準地震動策定に関する研究(その3)宮城県沖で発生するプレート境界大地震の断層破壊シナリオとそれに基づく強震動の計算, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), B-1, 構造 I, 200
18. 原子力災害対策本部(2011): 国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について-(第2報)
19. Kurahashi, S. and K. Irikura (2013): Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am, Vol.103, May 2013
20. Asano, K. and T. Iwata(2012): Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10Hz during the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planets Space, Vol. 64(No. 12), pp. 1111-1123, 2012
21. 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, 675, 695-704
22. 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明(2006): 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, Vol.62, 2006.10
23. 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
24. 三宅弘恵, 瀬戸一起(2012): 2011年東北地方太平洋沖地震のポストディクション, 日本地球惑星科学連合2012年大会
25. 地震調査研究推進本部(2002): 宮城県沖地震を想定した強震動評価手法について(中間報告)
26. 佐藤智美, 川瀬博, 佐藤俊明(1994): ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性, 日本建築学会構造系論文集, 第461号
27. 佐藤良輔(1989): 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会
28. 内閣府(2012): 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)強震断層モデル編-強震断層モデルと震度分布について-
29. 佐藤智美(2003): 中小地震の応力降下量の断層タイプ・震源深さ依存性及び地域性に関する研究, 土木学会地震工学論文集
30. 佐藤智美(2004): 宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の短周期レベルの推定, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第1号
31. Sato, T. (2006): High-stress drop interplate and intraplate earthquakes occurred off shore of Miyagi prefecture, Japan, Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, 30 August-1 September, pp.689-698
32. 東北電力(2008): 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同WG(第9回) Bサブグループ会合, 合同B9-2-2
33. 入倉孝次郎(2012): 海溝型巨大地震の強震動予測のための震源モデルの構築, 第40回地盤震動シンポジウム
34. 佐藤智美(2010): 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則, 日本建築学会構造系論文集, 651, 923-932