

東通原子力発電所 基準地震動の策定のうち プレート間地震の地震動評価について

2020年10月2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	今回ご説明資料の掲載箇所
S6	2014年7月4日 第122回審査会合	プレート間地震について、地震規模、震源領域等の設定に関わる検討内容を示すこと。	本資料 p.28～43

基準地震動の策定全体フローと本資料の説明範囲

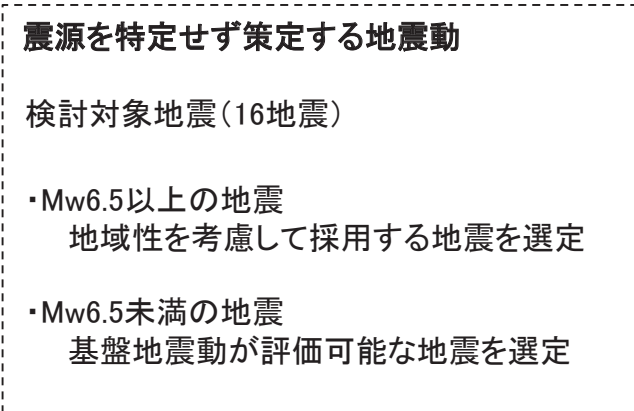
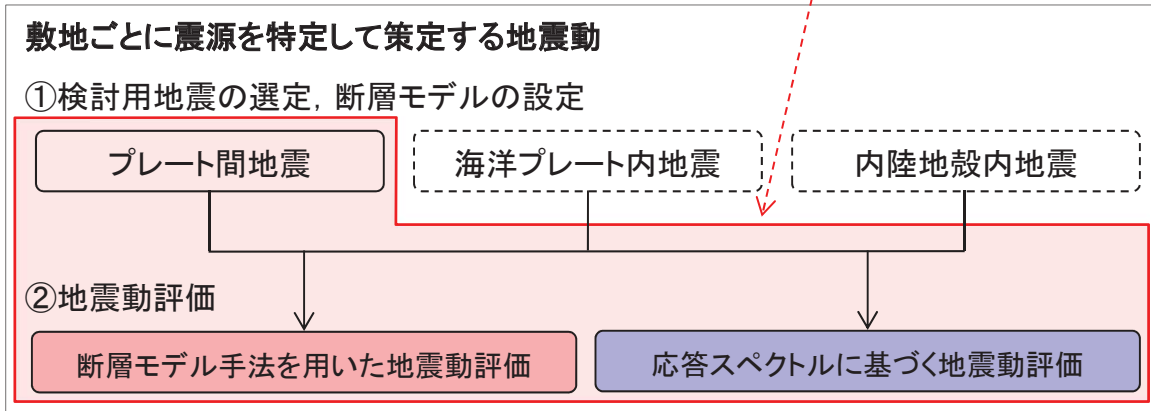
敷地周辺の地震発生状況

- 被害地震
- 敷地周辺で発生したM5.0以上の地震
- 敷地周辺で発生したM5.0以下の地震

**本資料の
説明範囲**

敷地地盤の振動特性及び地盤モデルの策定

- 地質調査, 観測記録等による敷地地盤の振動特性の検討
- 経験的グリーン関数法に用いる地盤モデル(はぎとり地盤モデル)の設定
- 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルの設定
- 理論的手法に用いる地盤モデルの設定



基準地震動の策定

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果を踏まえて策定

基準地震動の超過確率の参照

特定震源モデル及び領域震源モデルに基づき地震ハザード評価を実施

※ : 説明済の箇所 : 本資料対象範囲外

申請時(2014年6月)からの主な変更点

プレート間地震の地震動評価における申請時(2014年6月)からの主な変更点

		申請時(2014年6月)	本資料
検討用地震の選定	考慮した事項	東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0) <ul style="list-style-type: none"> 地震調査研究推進本部(2004)及び中央防災会議(2005)がシナリオ地震としている三陸沖北部の地震(Mw8.3)の特徴を考慮 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の特徴を考慮 	同左 <ul style="list-style-type: none"> 左記の検討に加え、内閣府(2020)の日本海溝モデル(M9プレート間地震)も参照 なお、内閣府(2020)の日本海溝モデル(M9プレート間地震)と検討用地震の強震動生成域との関係についても検討
	想定する領域	三陸沖北部～宮城県沖(Mw9.0)	同左
検討用地震の設定	主な断層パラメータ	基本 <ul style="list-style-type: none"> 諸井ほか(2013)に基づき設定 短周期レベルは、諸井ほか(2013)により設定 不確かさ <ul style="list-style-type: none"> 三陸沖北部のSMGA1の短周期レベルを宮城県沖の知見を踏まえ1.4倍したものを不確かさケースに設定 	<ul style="list-style-type: none"> 諸井ほか(2013)に基づき設定 三陸沖北部のSMGA1の短周期レベルを宮城県沖の知見を踏まえ1.4倍したものを基本ケースに設定 <ul style="list-style-type: none"> 三陸沖北部のSMGA1の位置を、さらに敷地に寄せたものを不確かさケースに設定
	地震動評価	応答スペクトルに基づく評価 <ul style="list-style-type: none"> 適用範囲外 断層モデル手法を用いた評価 <ul style="list-style-type: none"> 統計的グリーン関数法 	同左 <ul style="list-style-type: none"> 経験的グリーン関数法 レベル確認として、参考的に統計的グリーン関数法を実施(補足説明資料3章参照)

赤文字: 申請からの変更点を示す。

目次

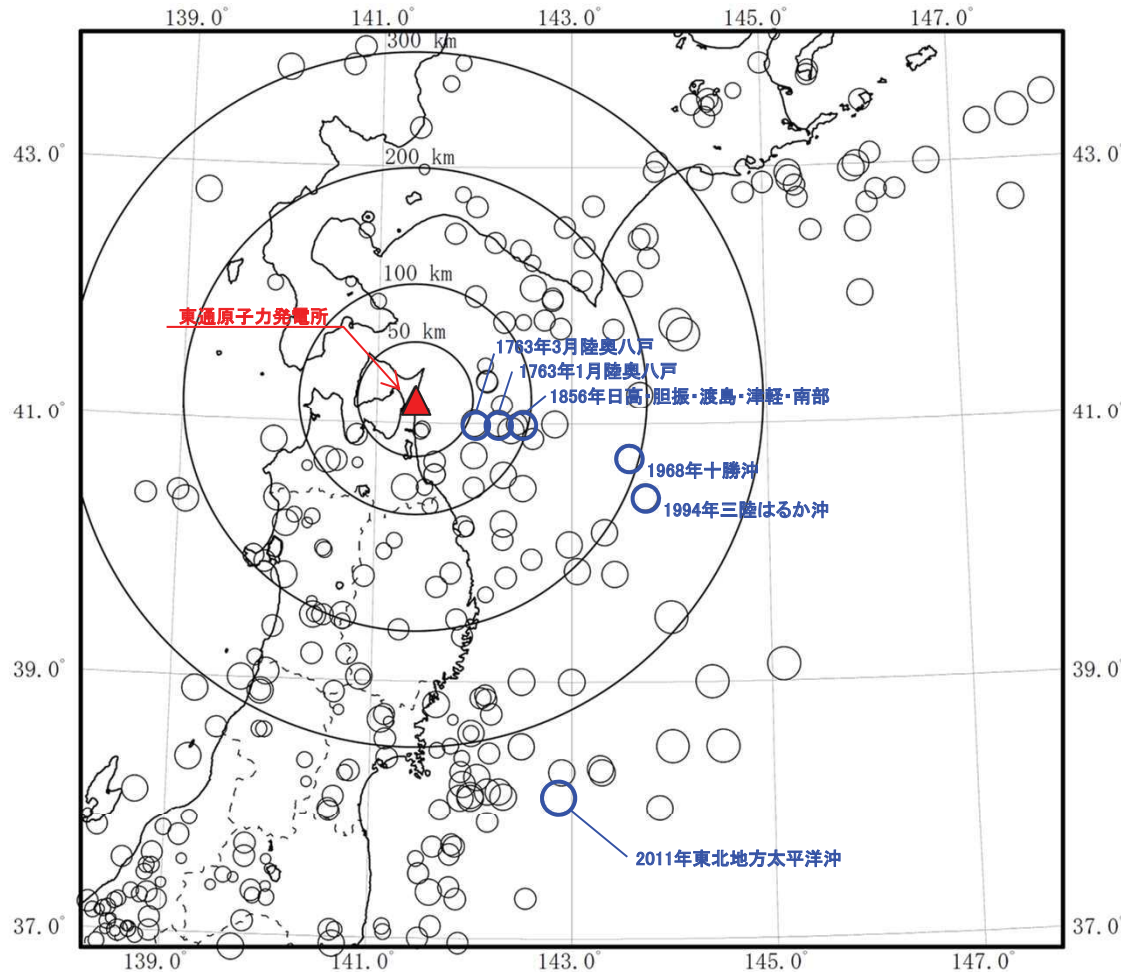
1. 敷地周辺の地震発生状況	5
1.1 主な被害地震	6
1.2 地震発生状況	8
1.3 太平洋プレートの沈み込み	9
1.4 敷地周辺の地震発生状況 まとめ	10
2. 敷地における地震観測及び検討に用いる地盤モデル	11
2.1 敷地における地震観測	12
2.2 検討に用いる地盤モデル	13
3. プレート間地震の発生状況と特徴, 検討用地震の選定	14
3.1 プレート間地震の地震動評価フロー	15
3.2 世界の主なプレート間地震	16
3.3 敷地周辺のプレート間地震の特徴	20
3.4 検討用地震の選定 まとめ	26
4. プレート間地震(検討用地震)の地震動評価	27
4.1 プレート間地震の検討用地震	28
4.2 検討用地震の地震動評価	44
4.3 プレート間地震の地震動評価 まとめ	55
参考文献	56

1. 敷地周辺の地震発生状況

- 1. 1 主な被害地震
- 1. 2 地震発生状況
- 1. 3 太平洋プレートの沈み込み
- 1. 4 敷地周辺の地震発生状況 まとめ

1.1 主な被害地震

(1) 敷地周辺における主な被害地震の震央分布



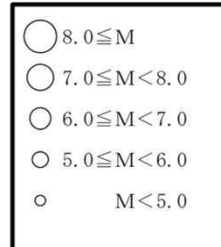
敷地周辺の主な被害地震の分布
(599年～2020年8月)

[1918年以前は宇佐美ほか(2013), 1919年以降は気象庁(2020)による。]

【主なプレート間地震】

- 敷地周辺では、以下の地震等が発生している。
 - ① 1763年1月陸奥八戸の地震(M7.4)
 - ② 1763年3月陸奥八戸の地震(M7 1/4)
 - ③ 1856年日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震(M7.5)
 - ④ 1968年十勝沖地震(M7.9)
 - ⑤ 1994年三陸はるか沖地震(M7.6)

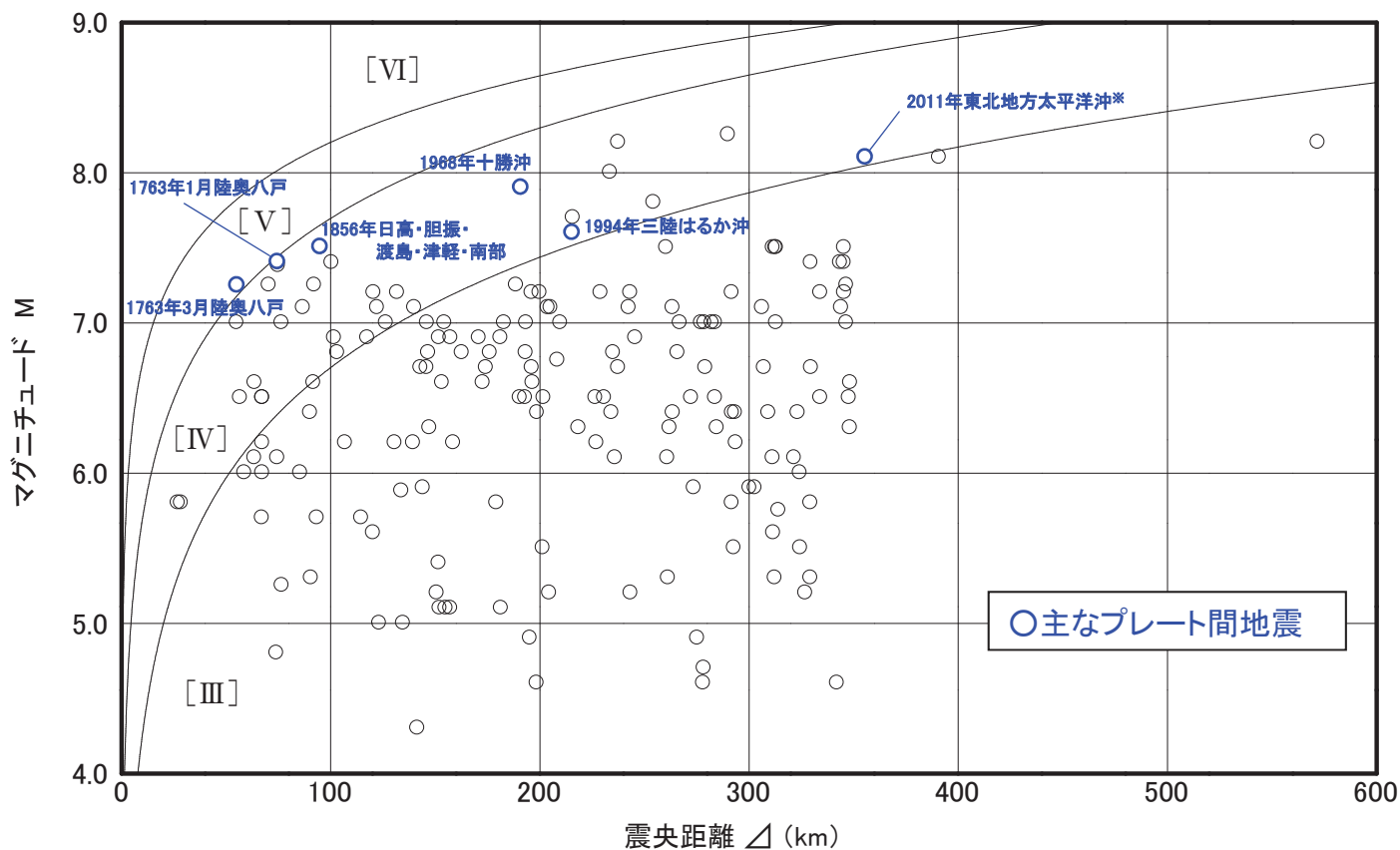
- また、東北地方では岩手県沖から茨城県沖にかけての震源域が活動した2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)が発生。



1.1 主な被害地震

(2) 敷地周辺の主な被害地震のM-Δ図

- 敷地周辺の主な被害地震による敷地への影響を検討するため、敷地周辺で発生した主な被害地震のマグニチュード(M)-震央距離(Δ)図を示す。(なお、遠方ではあるものの地震規模が大きい2011年東北地方太平洋沖地震等についても示す。)
- 村松(1969), 勝又・徳永(1971)の震度(気象庁旧震度階級)の区分によると、敷地の震度は最大で[V]であるが、大半の地震は震度[IV]以下である。



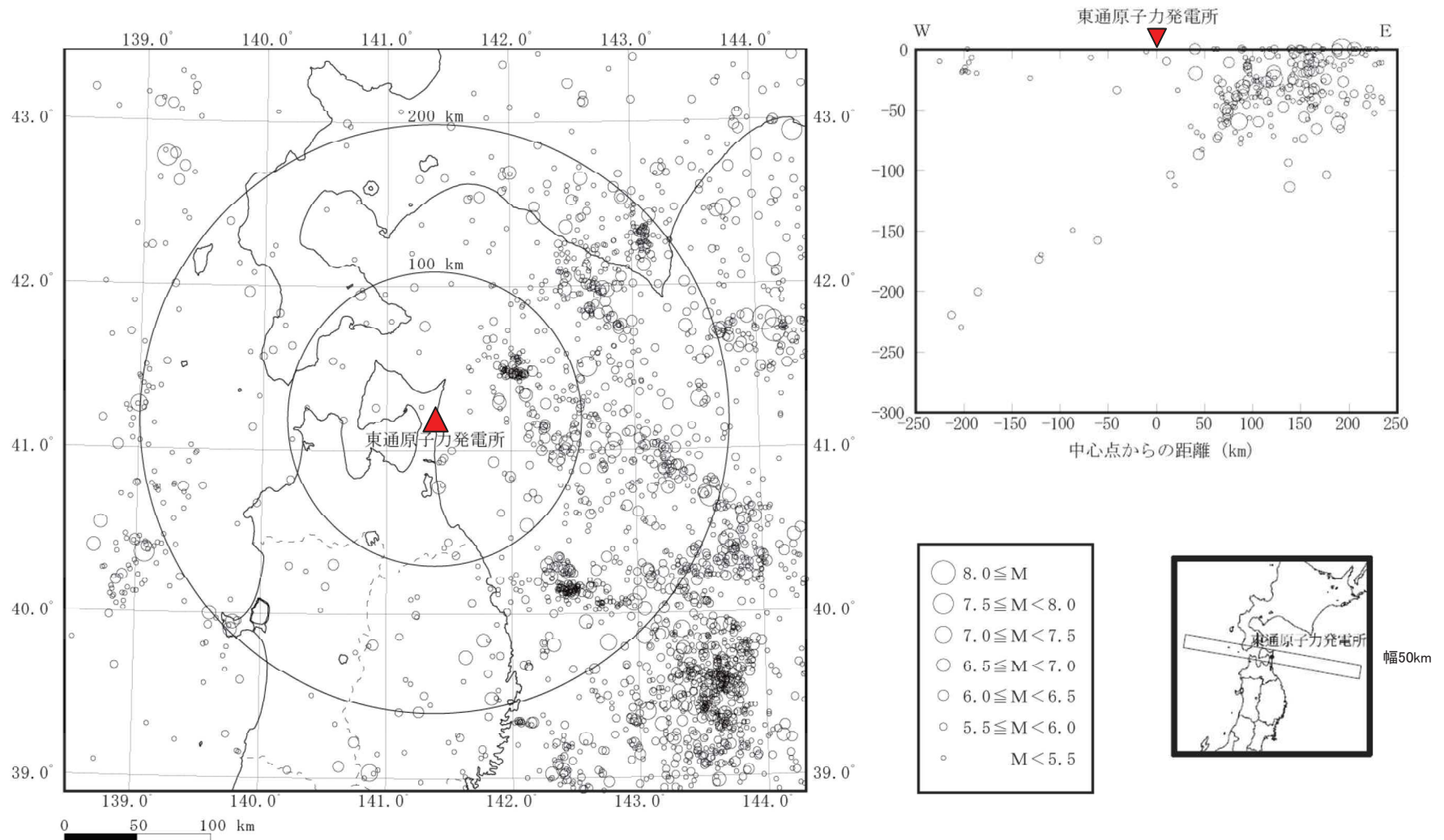
[VI],[V],[IV]は気象庁旧震度階級で、震度の境界線は村松(1969), 勝又・徳永(1971)による。

※:2011年東北地方太平洋沖地震のMとΔは、神田ほか(2012)による震度インバージョンによる値(M8.1, Δ=356km)を用いた。

1.2 地震発生状況 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の発生状況

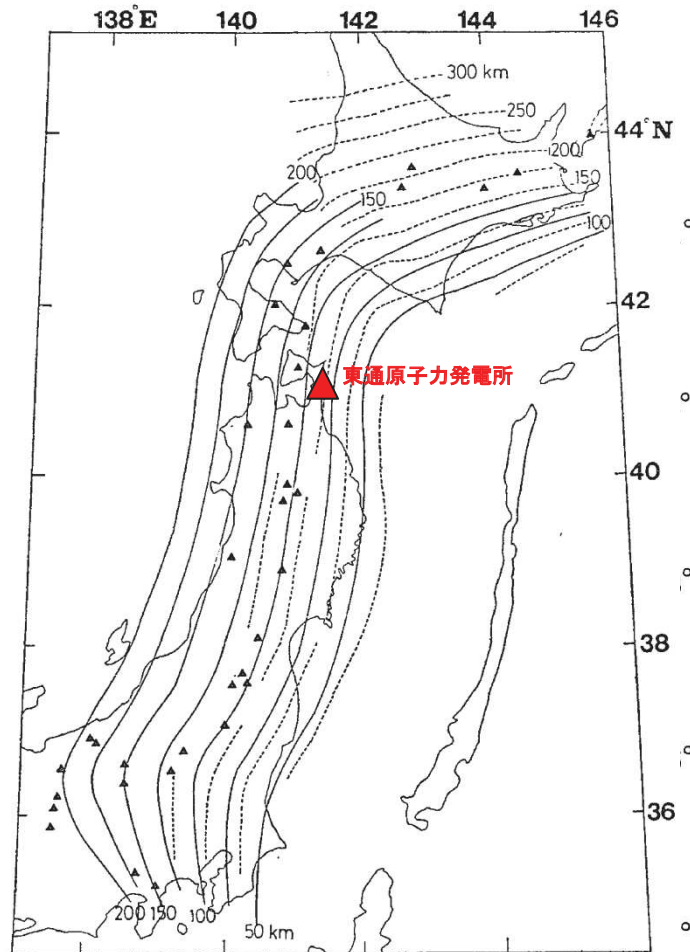
- 太平洋側海域で発生頻度が高い。
- 1919年以降では、敷地から100km以内ではM7を超える地震は発生していない。

※: M5.0以下の地震については、補足説明資料1章参照



[1919年1月～2018年12月:気象庁(2020)]

1.3 太平洋プレートの沈み込み プレート境界面の等深線



- 上面の等深線
- - - 下面の等深線
- ▲ 活火山及び第四紀の火山の位置

特徴

- 敷地が位置する東北地方では、日本海溝で陸側のプレートの下に海洋プレートである太平洋プレートが沈み込んでいる。
- 沈み込んだ太平洋プレートは、陸側に近づくにしたがって深くなっており、敷地は深発地震上面の等深線75kmと100kmの間に位置する。

深発地震の震源の等深線〔長谷川ほか(1983)に一部加筆〕

1.4 敷地周辺の地震発生状況 まとめ

【主な被害地震】

➤ 敷地周辺では、以下の地震等が発生している。

- ① 1763年1月陸奥八戸の地震(M7.4)
- ② 1763年3月陸奥八戸の地震(M7 1/4)
- ③ 1856年日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震(M7.5)
- ④ 1968年十勝沖地震(M7.9)
- ⑤ 1994年三陸はるか沖地震(M7.6)

➤ 岩手県沖から茨城県沖にかけては、複数の震源域が活動した2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)が発生している。

➤ 敷地周辺の最大震度は〔V〕(気象庁旧震度階級)。

【敷地周辺で発生したM5.0以上の地震】

➤ 1919年以降では敷地から100km以内ではM7を超える地震は発生していない。

【プレート境界の等深線】

➤ 沈み込んだ太平洋プレートは、陸側に近づくにしたがって深くなっており、敷地は深発地震上面の等深線75kmと100kmの間に位置する。



敷地から50km以内には規模の大きな被害地震が発生していないこと、また、敷地はプレート境界までの距離が比較的遠い場所に位置していることから、プレート間地震による大きな影響は受けていない。

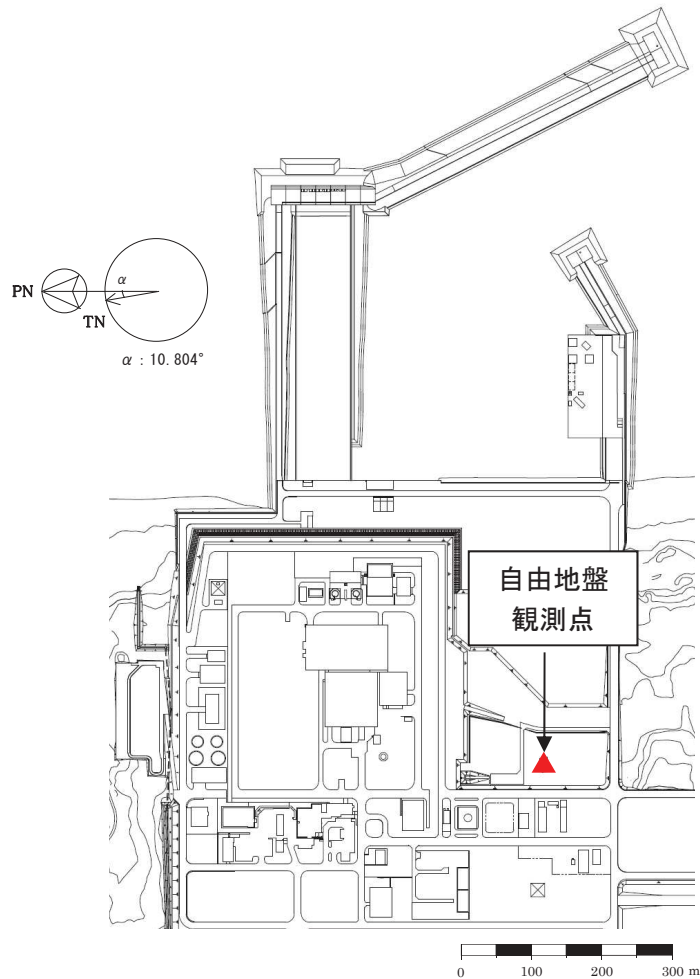
2. 敷地における地震観測及び検討に用いる地盤モデル

- 2. 1 敷地における地震観測
- 2. 2 検討に用いる地盤モデル

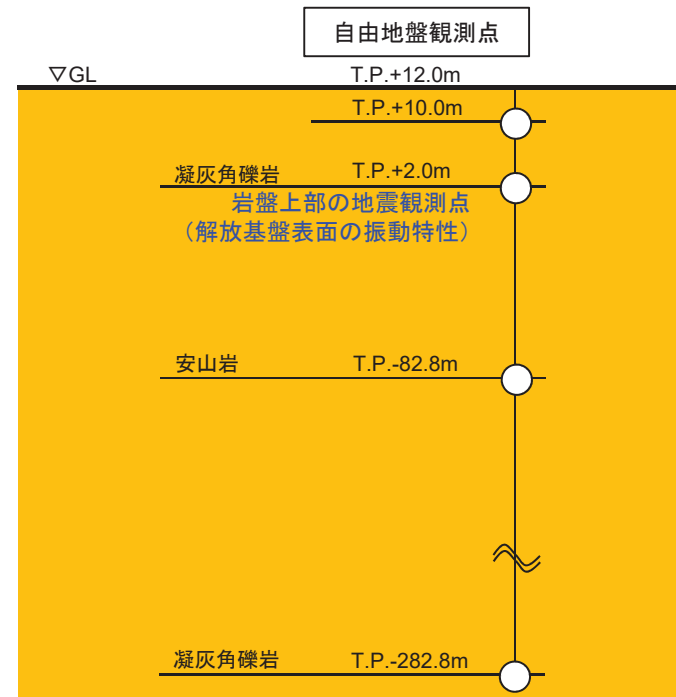
2.1 敷地における地震観測

- ▶ 敷地における自由地盤観測点では、原子炉建屋設置位置付近と同じ岩盤に地震計を設置し1994年4月から観測を行っている。(敷地で観測された主な地震については、補足説明資料2章参照)

※: 2008年7月までのT.P.+2.0m観測点におけるUD成分については、地震計の設置方法に起因する特性の補正を行っている。



平面配置図



凡例 ○ : 地震観測点

地震計鉛直断面位置図

2.2 検討に用いる地盤モデル

経験的グリーン関数法に用いる地盤モデル(はぎとり地盤モデル)

- ▶ プレート間地震の検討用地震の地震動評価には経験的グリーン関数法を使用している。要素地震のはぎとり波算定に用いる地盤モデルを以下に示す。

T.P. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	Q _s	Q _p
+12.0	—	—	—	—	—	—
+11.5	0.5	1.90	58	130	0.52f ^{0.53}	1.00f ^{0.50}
+11.0	0.5	1.90	60	190	0.52f ^{0.53}	1.00f ^{0.50}
+10.0	1	1.90	280	420	9.94f ^{1.00}	1.00f ^{0.50}
+8.0	2	1.90	280	420	9.94f ^{1.00}	1.00f ^{0.50}
+6.0	2	1.90	380	570	9.97f ^{1.00}	4.16f ^{0.88}
+3.0	3	1.90	920	1380	9.97f ^{1.00}	4.16f ^{0.88}
+2.0	1	2.24	1300	2250	1.02f ^{0.83}	2.36f ^{0.52}
-7.0	9.0	2.24	1300	2250	1.02f ^{0.83}	2.36f ^{0.52}
-62.0	55.0	2.24	1790	3060	1.02f ^{0.83}	2.36f ^{0.52}
-82.8	20.8	2.72	1800	3340	1.02f ^{0.83}	2.36f ^{0.52}
-106.0	23.2	2.72	1800	3340	1.02f ^{0.83}	2.36f ^{0.52}
-166.0	60.0	2.30	1910	3350	1.57f ^{0.88}	1.53f ^{0.89}
-190.0	24.0	2.30	2030	3360	1.57f ^{0.88}	1.53f ^{0.89}
-252.0	62.0	2.30	2100	3390	1.57f ^{0.88}	1.53f ^{0.89}
-282.8	30.8	2.33	2090	3690	1.57f ^{0.88}	1.53f ^{0.89}
	∞	2.33	2090	3690	1.57f ^{0.88}	1.53f ^{0.89}

▽岩盤上部の地震観測点
(解放基盤表面の振動特性)

【青文字】地震観測点位置を示す。

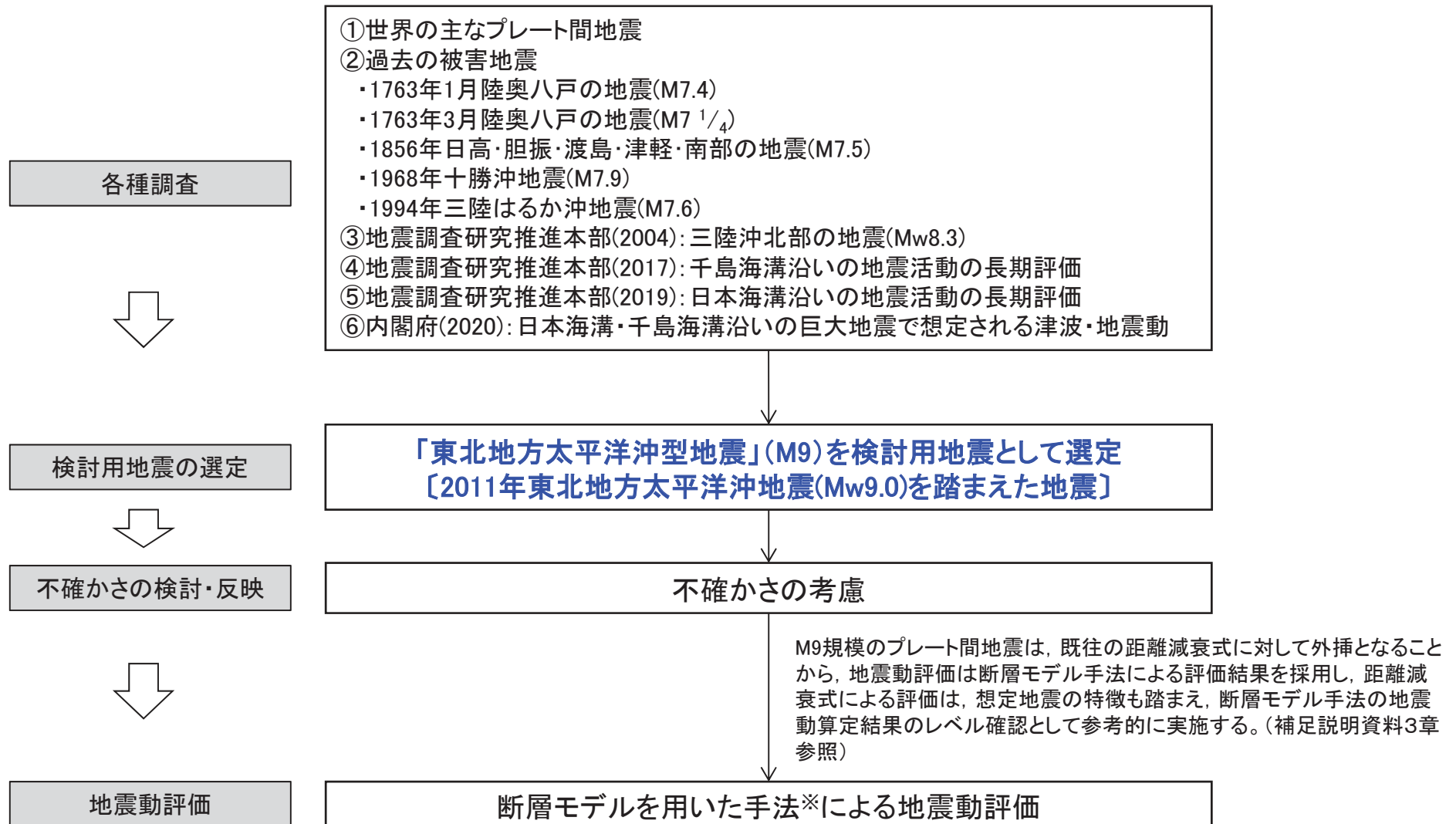
※: 解放基盤表面の地震動評価として採用する観測点はT.P.+2.0m, 地盤のせん断波速度はV_s=1300m/s。

3. プレート間地震の発生状況と特徴, 検討用地震の選定

- 3. 1 プレート間地震の地震動評価フロー
- 3. 2 世界の主なプレート間地震
- 3. 3 敷地周辺のプレート間地震の特徴
- 3. 4 検討用地震の選定 まとめ

3.1 プレート間地震の地震動評価フロー

➤ プレート間地震の評価フローを以下に示す。

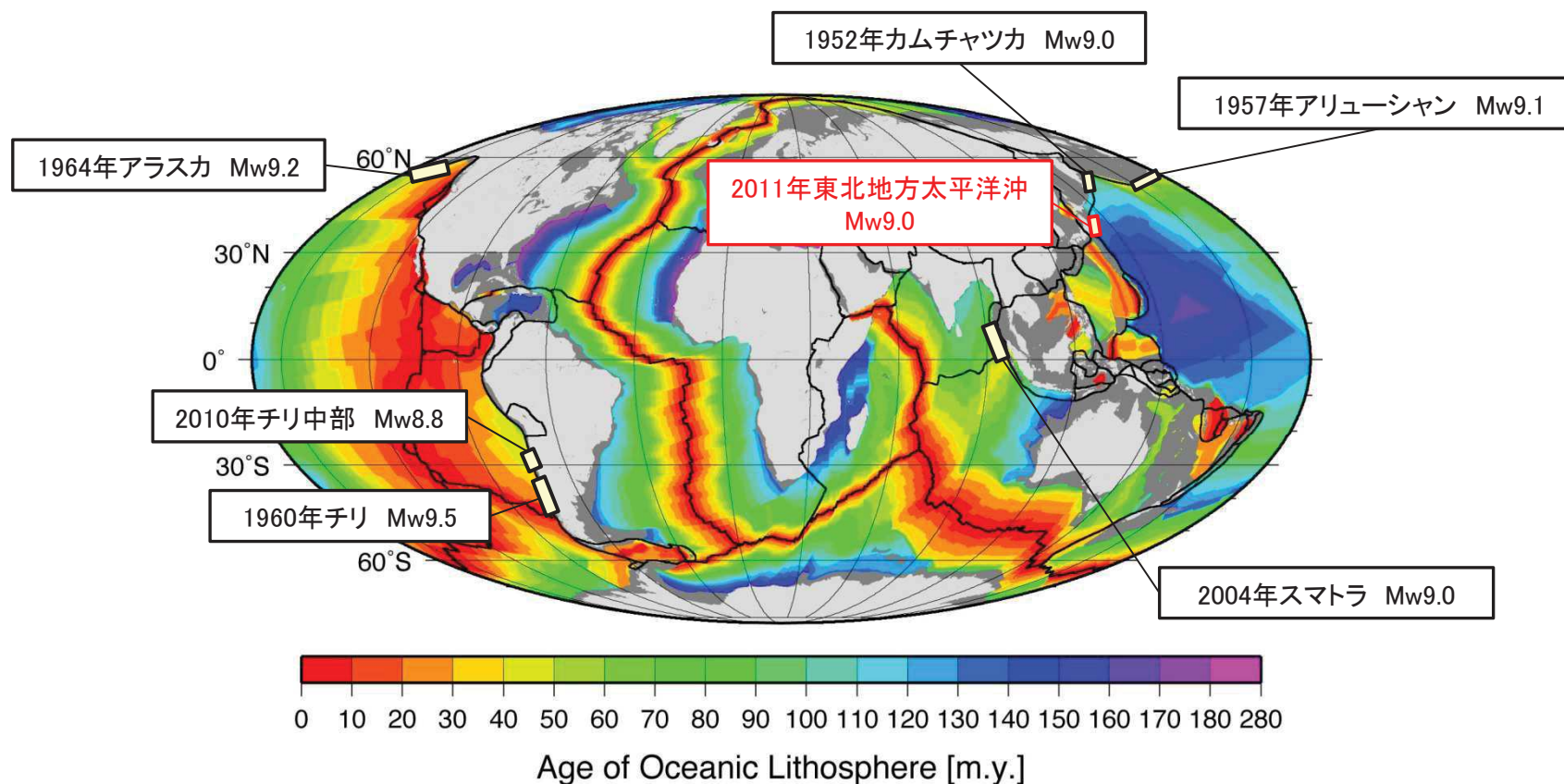


※: 経験的グリーン関数法[釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)]を用いる。

3. 2 世界の主なプレート間地震

(1) 沈み込むプレートの年齢

- 2010年までのM9クラスの地震は、すべて1億年より若い海洋プレートで発生。
- 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、年齢が1億3千万年である極めて古い海洋プレートが沈み込んでいる。



海洋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)

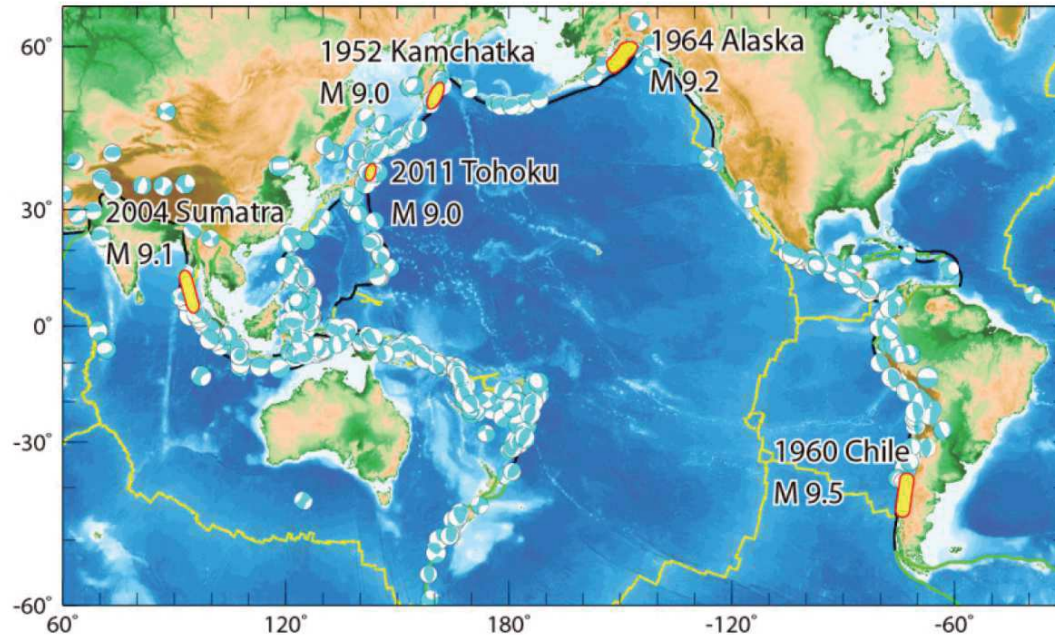
※:地震規模は、宇津(2004)による。

3. 2 世界の主なプレート間地震

(2) 過去に発生したM9クラスの巨大地震

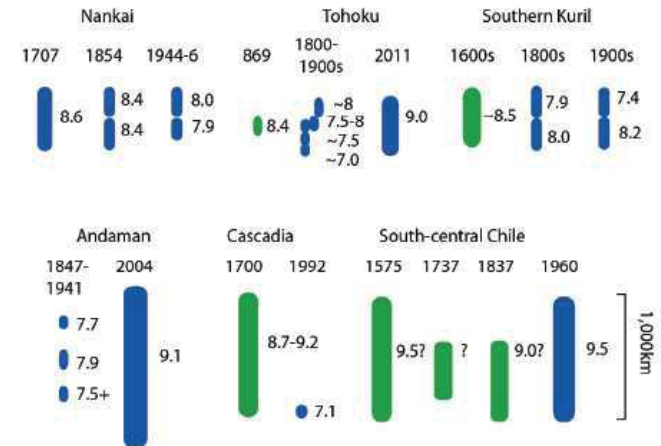
【佐竹(2013)】《第197回地震予知連絡会 重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要》

- 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。



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

それぞれの形は大きき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。

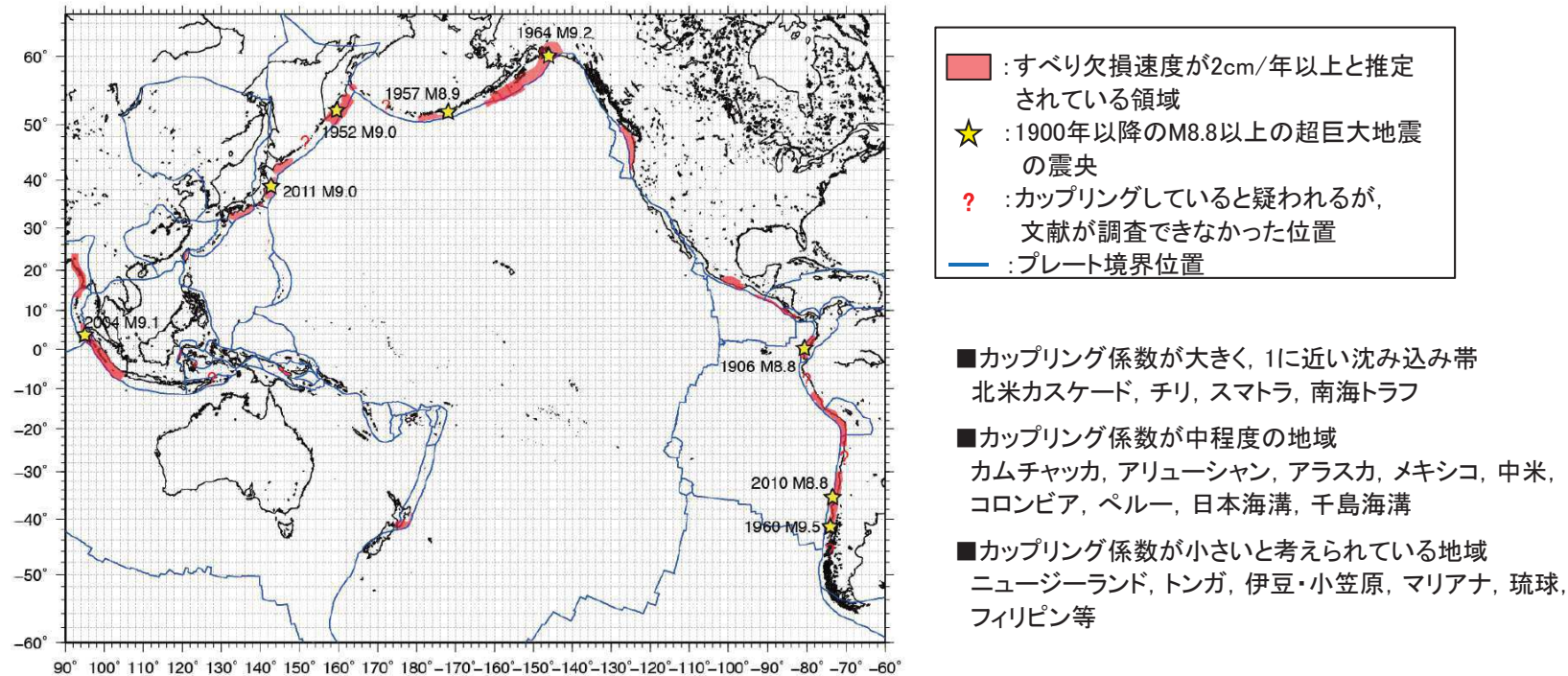
3.2 世界の主なプレート間地震

(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)】《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。

※: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除した値



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

3. 2 世界の主なプレート間地震

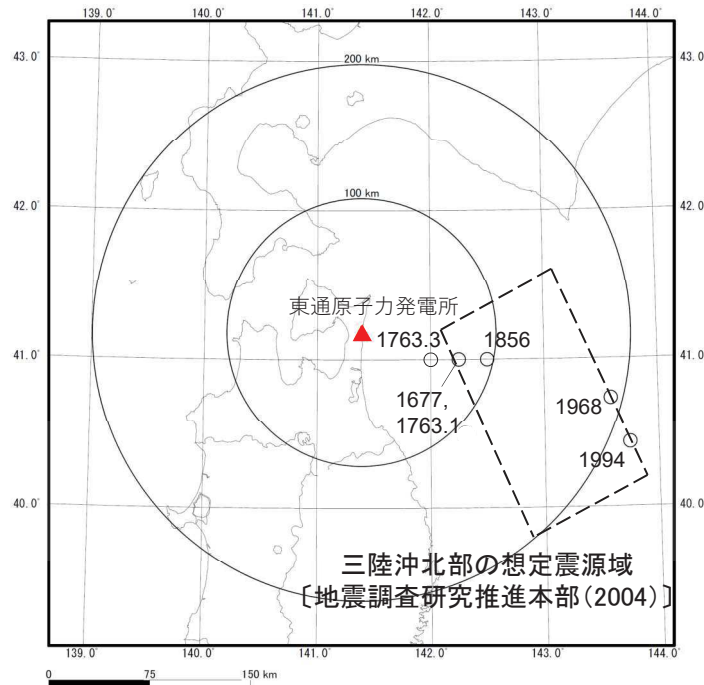
(4) まとめ

- 2011年東北地方太平洋沖地震は、世界的に見ても最大級(M9クラス)の地震である。
- プレートの年齢からみた場合、2011年東北地方太平洋沖地震は世界で発生した他のM9クラスの地震と異なり、極めて古いプレートで発生した地震である。また、世界最大の1960年チリ地震(Mw9.5)とは、プレートのカップリング係数に違いがみられる。なお、M9クラスの巨大地震は、その規模で繰り返し発生していない可能性も考えられる。

3.3 敷地周辺のプレート間地震の特徴

(1) 三陸沖北部の地震

- 地震調査研究推進本部(2004)
 - ・三陸沖北部の領域において発生する可能性が高いとされる地震として、1968年十勝沖地震を踏まえた「三陸沖北部の地震(Mw8.3)」が取り上げられている。
- 三陸沖北部で発生した主な被害地震
 - ・宇佐美ほか(2013)に記載されている震度分布図等により、敷地で震度5弱(1996年以前は 震度V)程度以上の揺れであったと推定されるプレート間地震として、1968年十勝沖地震等の5地震がある。
 - ・なお、後述するが、地震調査研究推進本部(2019)では、青森県東方沖及び岩手県沖北部のプレート間巨大地震として、1677年陸中の地震(M7.4)を含む4地震(1677年, 1763年1月, 1856年, 1968年)が取り上げられている。
- 以上の地震について、震央分布図と諸元を下記に整理する。



三陸沖北部の想定震源域と被害地震の震央分布図

[1918年以前は宇佐美ほか(2013), 1919年以降は気象庁(2020)による。]

地震調査研究推進本部(2004)が三陸沖北部に想定する地震

地震名	マグニチュード
三陸沖北部の地震	Mw8.3

三陸沖北部で発生した主な被害地震

地震名	マグニチュード	震央距離(km)
1677年陸中の地震	M7.4	75
1763年1月陸奥・八戸の地震	M7.4	75
1763年3月陸奥・八戸の地震	M7 1/4	55
1856年日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震	M7.5	96
1968年十勝沖地震	M7.9	194
1994年三陸はるか沖地震	M7.6	216

3.3 敷地周辺のプレート間地震の特徴

(2) 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価〔地震調査研究推進本部(2004)〕

「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(地震調査研究推進本部(2002))」を踏まえて、「海溝型地震の強震動評価レシピ」に基づき、強震動評価を実施している。

- ▶ 三陸沖北部の地震は、陸側のプレートの下へ太平洋プレートが沈み込むことに伴って、これら2つのプレートの境界面で発生する地震である。「長期評価」によると、次の地震の規模は、過去に発生した地震の規模からM8.0前後と推定している。
- ▶ 想定する震源断層のパラメータの設定にあたっては、最新の活動である1968年十勝沖地震における断層パラメータ等の既往の研究成果を参照している。

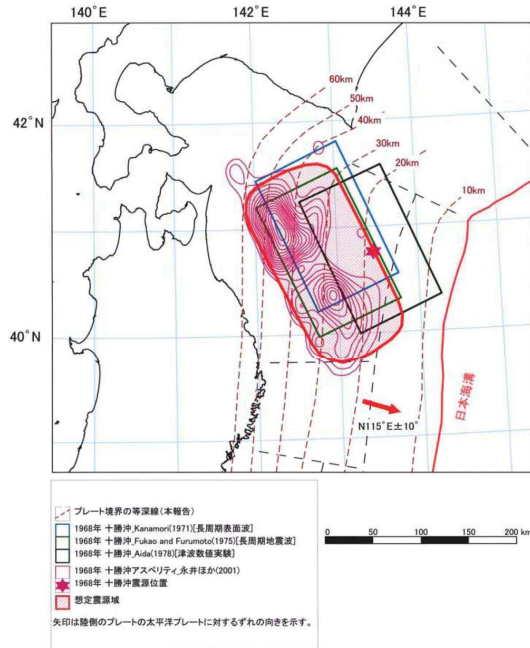


図1 三陸沖北部の地震の想定震源域 (地震調査委員会, 2002より抜粋)

三陸沖北部の地震の想定震源域

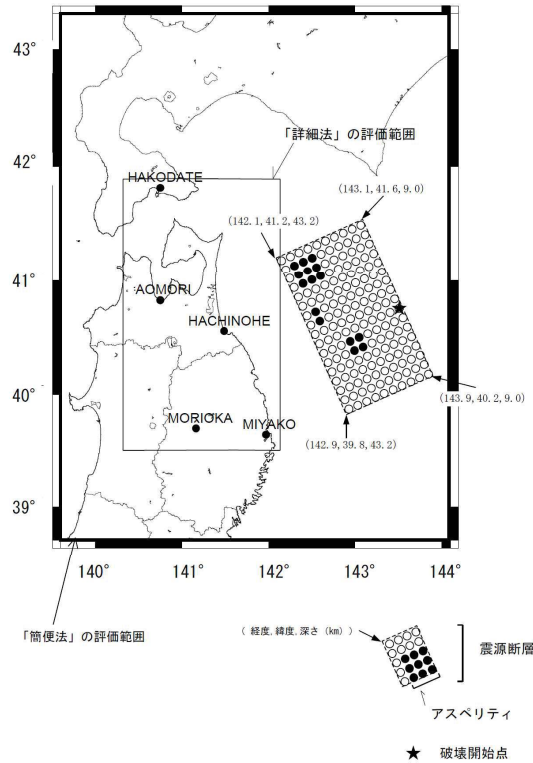


図2 想定した震源モデルと評価範囲

想定した震源モデル

表1 震源パラメータ

項目	三陸沖北部	
断層位置	図2参照	
走向	図2参照	
傾斜角	図2参照	
断層長さ	図2参照	
断層幅	図2参照	
断層面積	16844 km ²	
断層上端深さ	図2参照	
破壊開始点	過去の地震の破壊開始点	
破壊伝播形式	放射状	
静的応力降下量 (円形クラック)	3.9 Mpa	
地震モーメント	3.50E+21 N・m	
モーメントマグニチュード	8.3	
剛性率	4.68E+10 N/m ²	
平均すべり量	444 cm	
S波速度	3.9 km/s	
破壊伝播速度	2.5 km/s	
短周期レベル	1.88E+20 N・m/s ²	
全アスベリテイ	地震モーメント	6.23E+20 N・m
	面積	1500 km ²
	平均すべり量	888 cm
	静的応力降下量	44.3 MPa
第1アスベリテイ	面積	900 km ²
	平均すべり量	1056 cm
	地震モーメント	4.45E+20 N・m
	実効応力	34.0 MPa
第2アスベリテイ	面積	400 km ²
	平均すべり量	704 cm
	地震モーメント	1.32E+20 N・m
	実効応力	34.0 MPa
第3アスベリテイ	面積	200 km ²
	平均すべり量	498 cm
	地震モーメント	4.66E+19 N・m
	実効応力	85.0 MPa
背景領域	地震モーメント	2.88E+21 N・m
	面積	15344 km ²
	平均すべり量	4.01E+02 cm
	実効応力	5.0 MPa
短周期レベル	6.84E+19 N・m/s ²	

*アスベリテイとは、震源断層の中で強い地震波を生成する領域のこと。

3.3 敷地周辺のプレート間地震の特徴

(3) 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)〔地震調査研究推進本部(2017)〕

千島海溝沿いのうち、十勝沖・根室沖・色丹島沖及び択捉島沖を主な対象とし、長期的な観点で地震発生の可能性、震源域の形態等についての評価をとりまとめている。

- 千島海溝沿いでは、大きな津波をもたらした地震が17世紀に発生したことが知られており、北海道東部に巨大な津波をもたらすような地震を「超巨大地震(17世紀型)」と呼ぶ。
- 「超巨大地震(17世紀型)」について、北海道東部における津波堆積物調査結果から、17世紀に1952年の十勝沖地震をはるかに超える規模の津波が発生し、現在の海岸線から1~4km程度内陸まで浸水したと推定されている。この津波を発生させた地震は、十勝沖と根室沖の両領域が海溝寄りの領域を含んで破壊するため、2011年東北地方太平洋沖地震と同様の特徴を持ち、規模はMw8.8に達する地震であった可能性が指摘されている。
- 「超巨大地震(17世紀型)」の震源領域はさらに東側に延びる可能性があるとされている。

表3-4 超巨大地震(17世紀型)の発生領域、震源域の形態、発生間隔等

項目	特性	根拠
(1) 地震の発生領域の目安	図1。具体的な地域は特定できないが、 <u>根室沖を含む可能性が高い。</u>	当該地域の津波堆積物の空間分布を参考にして判断した。
(2) 震源域の形態	陸側のプレートと太平洋プレートの境界面。低角逆断層型。	
(3) 震源域	長さ 300km 以上。深さは、60km 程度以浅。海溝寄りの領域も連動する。	
(4) 震源断層面での平均的なずれの向き	約 N114° E (陸側のプレートの太平洋プレートに対する動きの向き)	根室沖と同じ値を使用した。
(5) 発生間隔等	発生頻度 約 340~380 年に 1 回 (過去の地震の推定発生間隔 約 100~800 年)	北海道東部(厚岸郡)において調査された津波堆積物のうち、巨大津波を発生させたと推定される津波堆積物の数や年代推定結果から推定した。

〔地震調査研究推進本部(2017)に下線加筆〕

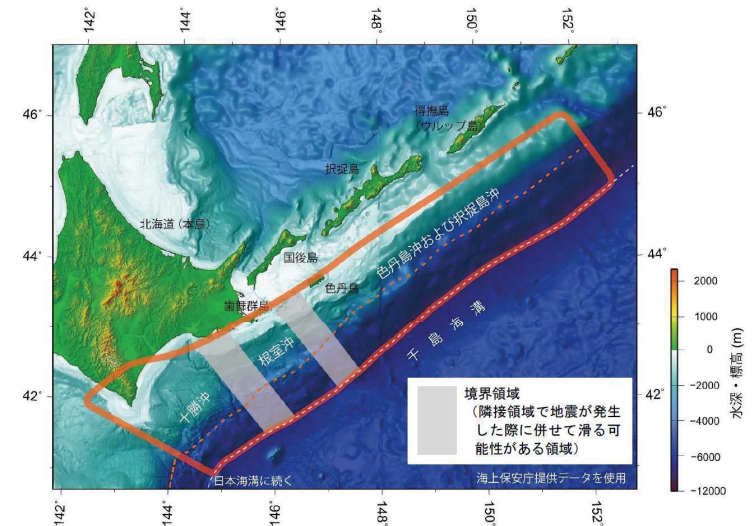


図1. 千島海溝沿いの評価対象領域。赤枠はプレート間地震に関する評価対象領域で、プレート内地震は赤枠外で発生した地震も評価する。赤い点線は、海溝寄りの領域を分ける線で、主に、十勝沖から択捉島沖の海溝寄りのプレート間地震(津波地震等)の評価に使用する。

千島海溝沿いの評価対象領域

3.3 敷地周辺のプレート間地震の特徴

(4) 日本海溝沿いの地震活動の長期評価〔地震調査研究推進本部(2019)〕①

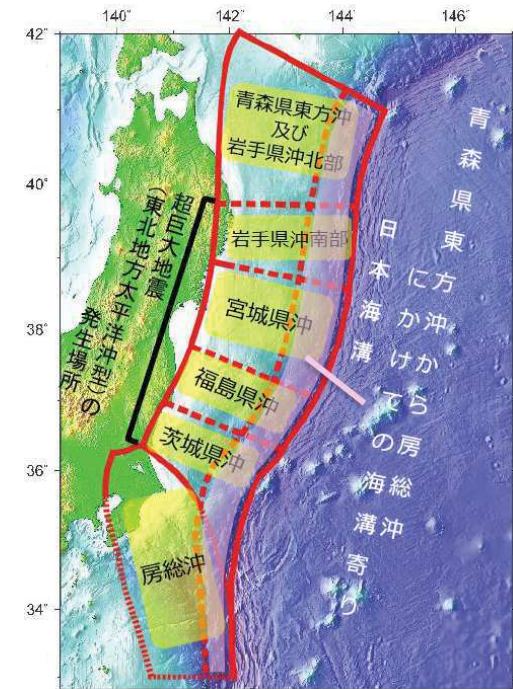
日本海溝沿いのうち青森県東方沖から房総沖までの領域を対象として、長期的な観点で地震発生の可能性、震源域の形態等について評価してとりまとめている。

東北地方太平洋沖地震から約8年が経過し、震源域や沿岸域における調査研究が大きく進展したことから、新たな長期評価手法の検討途上ではあるが、新たに得られた知見を取り入れたうえで公表された。

- 地震調査研究推進本部(2019)の評価のうち、東通原子力発電所の基準地震動の策定に影響を与える可能性があると考えられるプレート間地震について、発生領域、地震規模を整理した。
- 敷地前面海域となる青森県東方沖及び岩手県沖北部では、プレート間巨大地震としてM7.9程度を想定している。また、青森県東方沖及び岩手県沖北部を含まず、その南方に位置する岩手県沖南部～茨城県沖において、超巨大地震(東北地方太平洋沖型)として、M9.0程度を想定している。

地震調査研究推進本部(2019)が評価している地震

評価対象地震	発生領域	地震規模
①超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部～茨城県沖	M9.0程度
②プレート間巨大地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部	M7.9程度
③ひとまわり小さいプレート間地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部	M7.0～M7.5程度
④海溝寄りのプレート間地震 (津波地震等)	青森県東方沖から房総沖にかけての海溝寄り	Mt8.6～9.0



地震調査研究推進本部(2019)の領域区分

3.3 敷地周辺のプレート間地震の特徴

(4) 日本海溝沿いの地震活動の長期評価〔地震調査研究推進本部(2019)〕②

➤ 超巨大地震(東北地方太平洋沖型)

- ・津波堆積物調査によると、超巨大地震は過去3,000年間に5回発生している。新しい順に、2011年東北地方太平洋沖地震、1611年慶長三陸地震または1454年享徳地震、869年貞観地震、4～5世紀頃の地震、紀元前4～3世紀頃の地震に対応すると考えられる。
- ・東北地方太平洋沖地震の震源域は、岩手県沖南部から茨城県沖までに及んでおり、その長さは約400km以上、幅は約200kmと推定される。
- ・その他の超巨大地震のうち、869年貞観地震は、震源域は少なくとも宮城県沖から福島県沖にかけての領域を含み、地震規模はMw8.3～8.6もしくはそれ以上と推定される。宮城県から福島県にかけての太平洋沿岸では、東北地方太平洋沖地震を除くと、過去3,000年間で4回の巨大津波による津波堆積物が見つかり、このうち1回は869年貞観地震、1回は1611年慶長三陸地震(Mw8.4～8.7)または1454年享徳地震(Mw8.4以上)によるものと考えられ、他の2回(4～5世紀、紀元前4～3世紀)は津波堆積物の分布から同様の地震である可能性がある。

➤ 青森県東方沖及び岩手県沖北部のプレート間巨大地震

- ・青森県東方沖及び岩手県沖北部については、津波被害の記録が残るようなプレート間巨大地震が17世紀以降現在までに4回(1677年、1763年、1856年、1968年5月16日)発生したと考えられる。

➤ 青森県東方沖及び岩手県沖北部のひとまわり小さいプレート間地震

- ・上記4回の地震以外で、規模はひとまわり小さいが死傷者を伴った地震として、1923年～2011年3月11日の約88年間に、M7.0以上の地震は10回発生している。

表2 日本海溝沿いで発生した主な地震のマグニチュード等

対象地震及び発生領域	地震発生日時	地震の平均発生間隔等	地震規模 ^{注1}			死傷者数 ^{注2}		最大震度 ^{注3}	津波高さ ^{注4}
			M	Mt	Mw	死者・行方不明者	負傷者		
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	紀元前4～3世紀 4～5世紀 869/ 7/13	平均発生間隔は550年～600年程度 ^{注5}	8.3		8.6～ ^{注6}	1,000	—	—	10以上
	15～17世紀 ^{注7} 2011/ 3/11 14:46		9.0 ^{注8}	9.1～ 9.4 ^{注8}	9.0 ^{注8}	19,667 行方不明 2,566	6,231	7	40
青森県東方沖及び岩手県沖北部のプレート間巨大地震	1677/ 4/13	平均発生間隔は97.0年	7.9	7.7	—	—	—	—	—
	1763/ 1/29		(7.3/4～8.0) ^{注9}	—	—	—	—	—	—
	1856/ 8/23		7.4	7.9	—	4	—	—	—
	1968/ 5/16 09:48		(7.9) ^{注9}	—	—	37	多数	—	6
青森県東方沖及び岩手県沖北部のひとまわり小さいプレート間地震	1901/ 8/10 ^{注10}	1923年1月1日以降、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震発生までの約88年間に10回発生	7.4	7.8	7.5	18 ^{注11}	— ^{注11}	—	0.3
	1928/ 5/27		7.0	7.1	7.4	—	—	4	0.1
	1931/ 3/ 9		7.2	7.2	8.0	0	0	4	0.2
	1935/ 10/18		7.1	6.9	7.2	—	—	3	0.1
	1943/ 6/13		7.1	7.3	7.3	—	—	4	0.3
	1945/ 2/10		7.1	7.1	7.2	2	—	5	0.1
	1960/ 3/21		7.2	7.5	8.0	0	0	4	0.6
	1971/ 8/ 2		7.0	7.1	7.1	—	—	5	0.2
	1989/ 11/ 2		7.1	7.1	7.4	0	0	4	0.5
	1994/ 12/28		7.6	7.7	7.7	3	788	6	0.9
	1995/ 1/ 7		7.2	7.0	7.0	—	—	1	5
	2011/ 3/11 15:08 ^{注12}		7.4	—	—	—	—	5弱	—

〔地震調査研究推進本部(2019)より抜粋〕

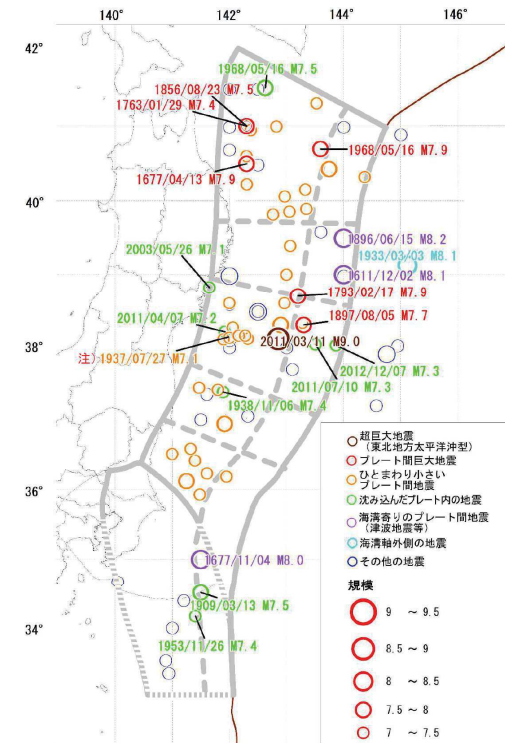


図3 日本海溝沿いで発生した地震の震央分布 (M7.0以上)
震央と規模については、1923年以前は宇津(1999)、宇津・他(2001)、1923年以降は気象庁震源カタログによる。ただし、1793年2月17日の宮城県沖の地震の震央はMatsu'ura(2017)、規模は松浦・他(2006)による。

日本海溝沿いで発生した地震の震央分布

3.3 敷地周辺のプレート間地震の特徴

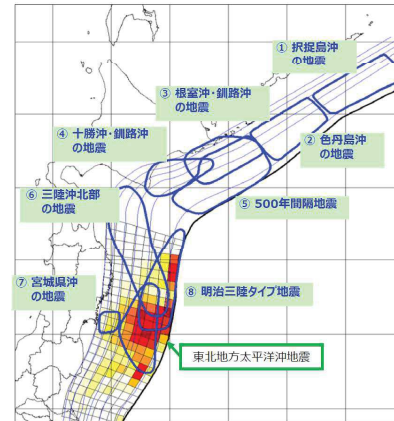
(5) 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震で想定される津波・地震動〔内閣府(2020)〕

「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」では東日本大震災の教訓を踏まえ、津波堆積物調査などの科学的な知見をベースに、あらゆる可能性を考慮した**最大クラスの地震**を、津波断層モデル、**強震断層モデル**としてそれぞれ設定している。

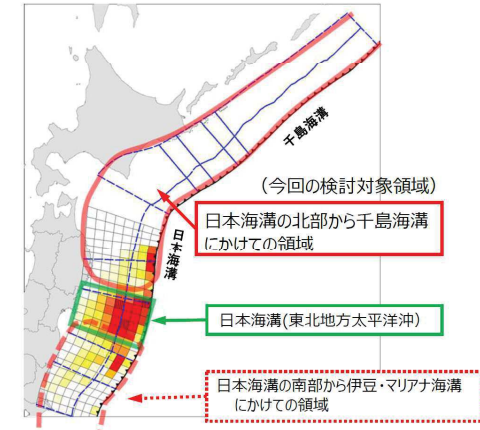
- 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」での検討では、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関して、繰り返し発生している大きな地震を近い将来発生する可能性が高いものとして、検討対象地震として8つの地震を選定。
- 「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」での検討対象領域は、日本海溝の北部から千島海溝にかけての領域としている。

○「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」での検討（平成18年1月公表）

過去に大きな地震が繰り返し発生しているものについては、近い将来発生する可能性が高いと考え、8つの地震を検討対象地震として選定（M8クラス）



○「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」での検討対象領域



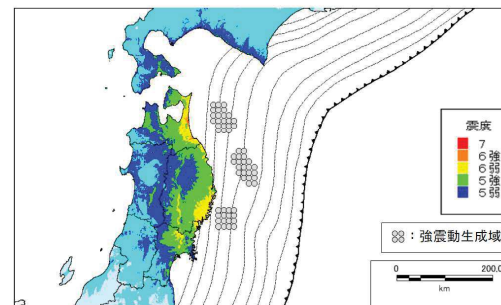
日本海溝・千島海溝沿いにおける最大クラスの地震の検討対象領域

- 強震断層モデルの強震動生成域分布は、以下のように設定。

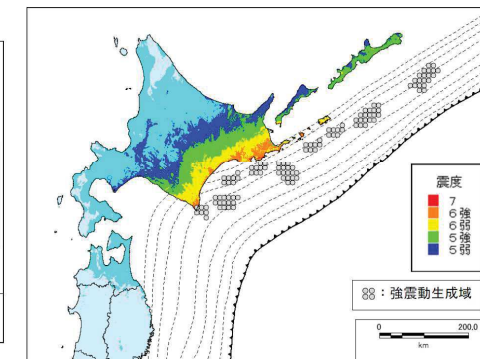
津波断層モデルの検討で得られた震源域において、過去の地震や地震活動の状況を参考に、強い揺れの発生源（強震動生成域）を配置している。

- ① 日本海溝(三陸・日高沖)モデル
青森県東方沖及び岩手県沖北部、岩手県沖南部に強震動生成域
- ② 千島海溝(十勝・根室沖)モデル
十勝沖、根室沖、色丹島沖及び択捉島沖に強震動生成域

【①日本海溝（三陸・日高沖）モデル】



【②千島海溝（十勝・根室沖）モデル】



強震断層モデルの強震動生成域の分布と震度分布

3. 4 検討用地震の選定 まとめ

【プレート間地震の各種調査の整理】

1. 世界の主なプレート間地震

2011年東北地方太平洋沖地震は、世界的に見ても最大級(M9クラス)の地震。

2. 過去の主な被害地震

敷地周辺で発生した主な地震(被害地震)は、約400年間で6地震(M7 1/4~7.9)が発生している。

3. 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価[地震調査研究推進本部(2004)]

三陸沖北部の地震を想定した強震動評価として、Mw8.3を検討している。

4. 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)[地震調査研究推進本部(2017)]

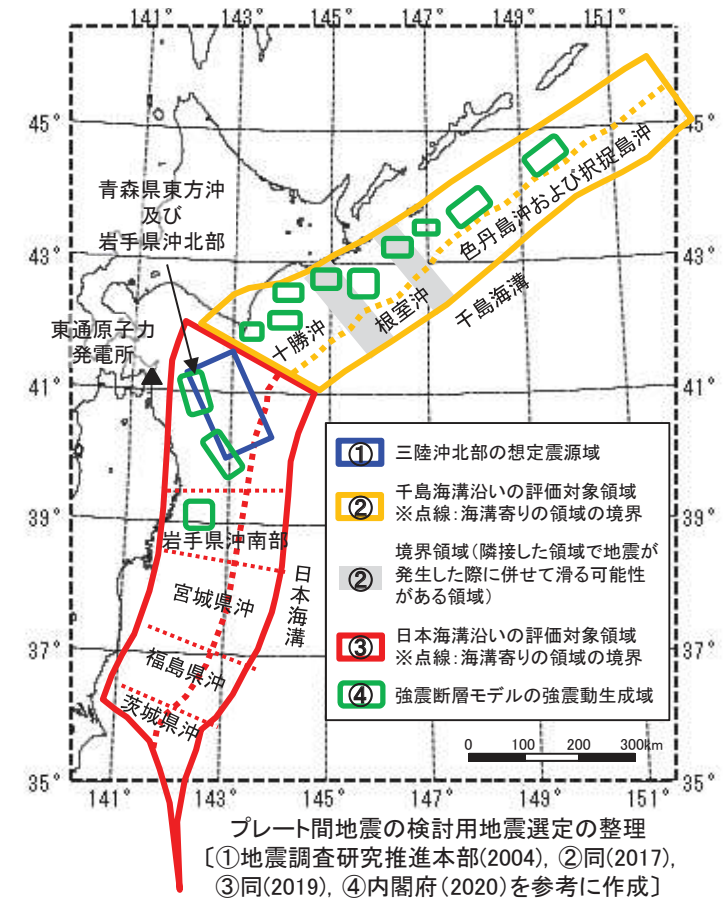
超巨大地震(17世紀型)は、十勝沖と根室沖の領域及び海溝寄りの領域を震源領域としたM8.8程度以上の超巨大地震とされており、震源領域はさらに東側に延びる可能性があると考えられている。

5. 日本海溝沿いの地震活動の長期評価[地震調査研究推進本部(2019)]

東北地方太平洋沖型については、宮城県沖を必ず含み、隣接する領域(岩手県沖南部または福島県沖)の少なくとも一方にまたがり、場合によっては茨城県沖まで破壊が及ぶ超巨大地震としている。また、青森県東方沖及び岩手県沖北部のプレート間地震としては、M7.9を想定している。

6. 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震で想定される津波・地震動[内閣府(2020)]

津波断層モデルで得られた震源域において、過去の地震と地震活動の状況を参考に、**強震断層モデル**として、敷地周辺の青森県東方沖等に①日本海溝(三陸・日高沖)モデル(敷地で震度5程度以上)を、十勝沖等に②千島海溝(十勝・根室沖)モデルを設定している。



【プレート間地震の検討用地震の選定】

- 日本海溝(三陸・日高沖)モデル[内閣府(2020)]では青森県東方沖・岩手県沖北部の海域を含んだ巨大地震を想定していること、また、特定地点の地震動は敷地に近い強震動生成域の影響を強く受けるが、広域的に破壊するプレート間地震では特に直近の強震動生成域の影響が支配的であること等を踏まえ、プレート間地震の検討用地震は、敷地に対し最も近い位置に強震動生成域を持つ地震として、青森県東方沖・岩手県沖北部(三陸沖北部)のM8程度の地震を包含する領域に「**東北地方太平洋沖型地震**」(M9)を設定する。
- 敷地近傍に設定する強震動生成域については、三陸沖北部の地震[地震調査研究推進本部(2004)]や日本海溝(三陸・日高沖)モデル[内閣府(2020)]の強震動生成域との関係についても確認する。

4. プレート間地震(検討用地震)の地震動評価

- 4. 1 プレート間地震の検討用地震
- 4. 2 検討用地震の地震動評価
- 4. 3 プレート間地震の地震動評価 まとめ

4.1 プレート間地震の検討用地震 (1) 震源モデルの設定方針

- 検討用地震(東北地方太平洋沖型地震)の地震規模は, 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)を踏まえM9とする。
- 断層面は, 青森県東方沖・岩手県沖北部(三陸沖北部)のM8程度の地震を包含し, 日本海溝に沿うように設定する。
- 諸井ほか(2013)の知見を踏まえ, 敷地の地域性を考慮したうえで, 検討用地震の震源モデルを設定する。

諸井ほか(2013):『標準的な強震動レシピーに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現』

- 地震前の先験情報に基づく標準的な強震動レシピーを用いた震源のモデル化及び各サイト敷地前面の地域性を考慮することにより, 女川, 福島第一, 東海第二の各発電所における観測記録と整合した結果を与え得るモデルとなっている。



【敷地への適用性】

- 同じ太平洋プレートの沈み込みに伴うプレート間地震の評価として, 同様の考えで敷地におけるプレート間地震のモデル設定に適用可能である。
- モデルの作成にあたっては, 敷地の地域性について考慮することが必要。



【検討用地震】

- 諸井ほか(2013)の知見を踏まえ, 敷地の地域性を考慮したうえで, 検討用地震の震源モデルを設定する。

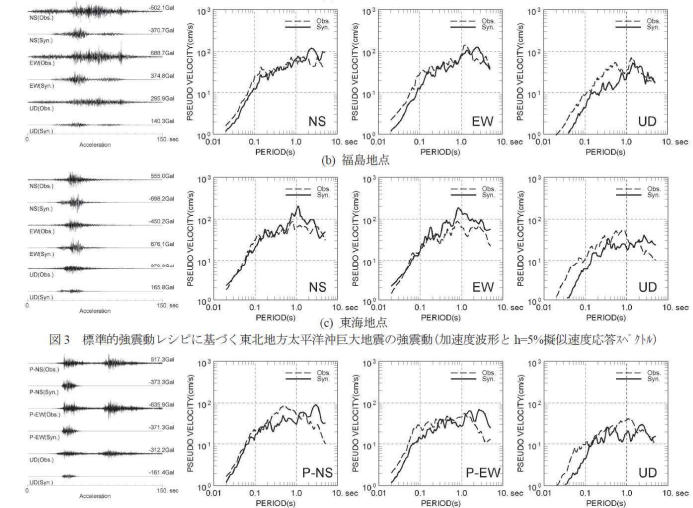
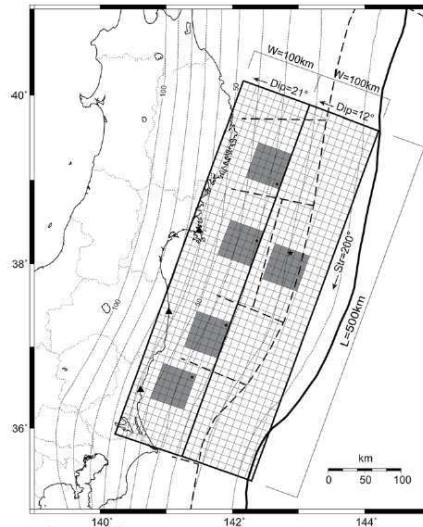


図3 標準的な強震動レシピーに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動(加速度波形とh=5%擬似速度応答スペクトル)

図4 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) ※宮城県沖 SMGA のみで評価

	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 Δσ(MPa)	短周期レベル A(Nm/s ²)
断層全体	100,000	4.0E+22	8.5	3.08	2.97E+20
SMGA1個あたり	2,500	2.0E+21	17.1	24.6	1.33E+20
背景領域	87,500	3.0E+22	7.3	4.9	—

『標準的な強震動レシピーに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現』
[諸井ほか(2013)]

4.1 プレート間地震の検討用地震 (2) 断層面積

- 断層面積, 断層幅は諸井ほか(2013)に基づき, 以下のように設定。
 - ・断層面積は, 宇津(2001)により $100,000\text{km}^2$ とする。(logS=M-4.0, M=9.0)
 - ・断層幅は, 田島ほか(2013)により200kmとする。(断層長さは合計500km。)

【田島ほか(2013)】

- ・収集したデータ($8.4 \leq M_w \leq 9.1$)から M_0 と断層幅(W)の関係を調べたところ, 文献によるばらつきも大きいですが, 断層幅(W)は, 平均的には200km弱(180~200km程度)で飽和することがわかった。

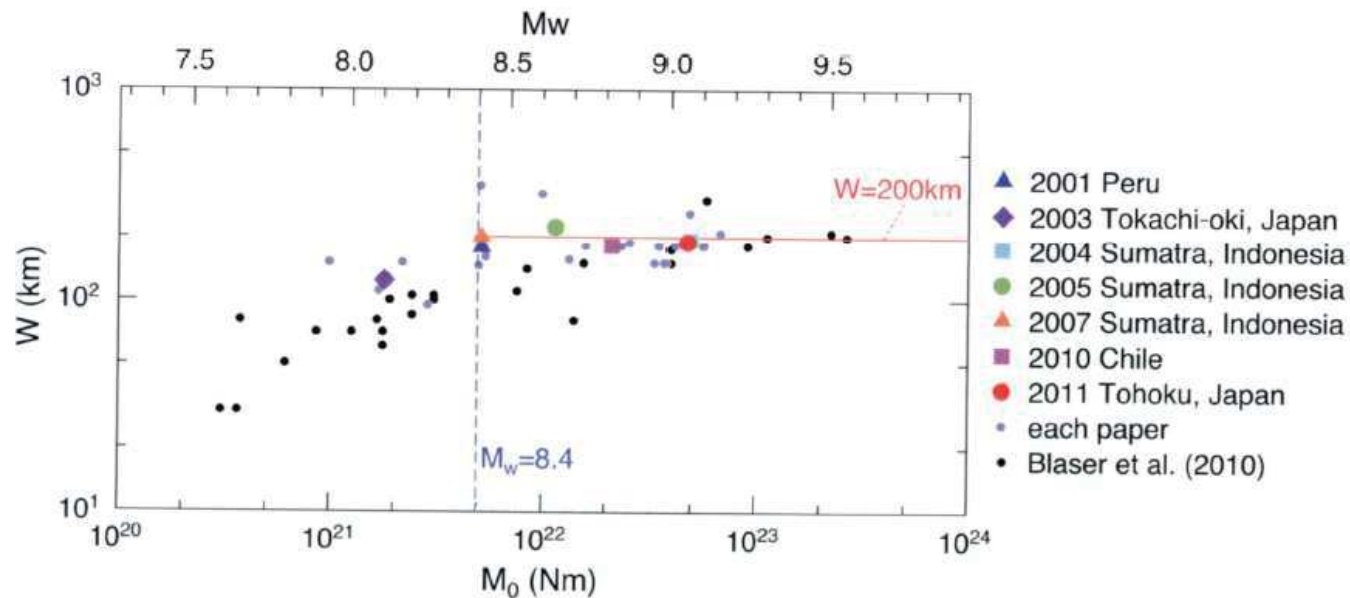
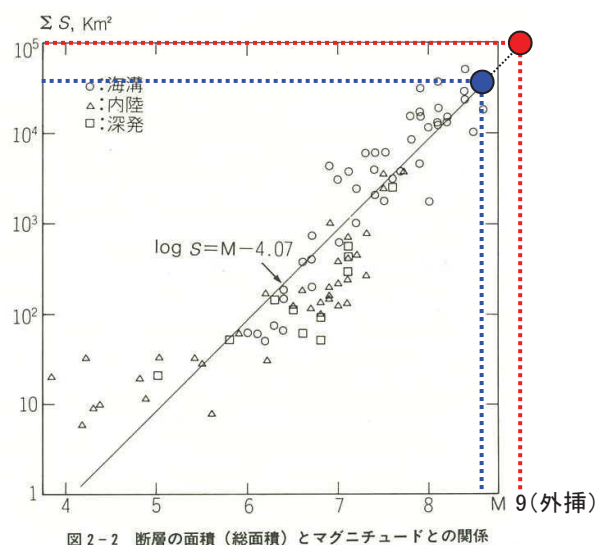


Fig. 4. Relationship between fault width W and M_0 for plate-boundary earthquakes shown in Table 1 and Blaser *et al.* (2010).

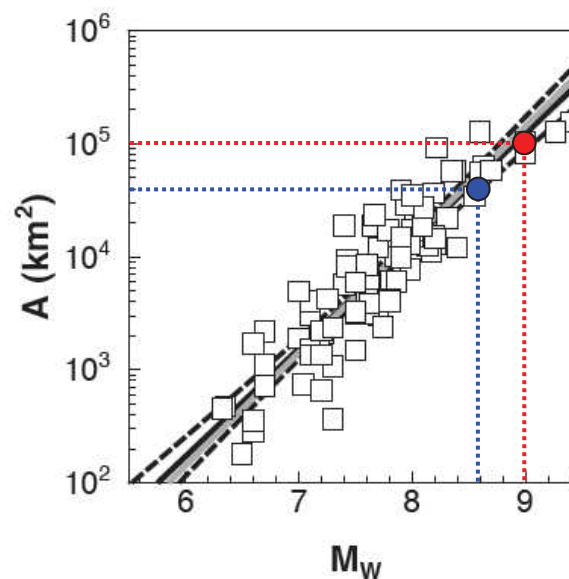
4.1 プレート間地震の検討用地震

(3) 断層面積の検討

- 総断層面積100,000km²及び三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)の領域の断層面積40,000km²(p.41で後述)と地震規模の関係は、佐藤(1989)やStrasser(2010)による断層面積と地震規模の関係に照らしても過小とはなっていない。



佐藤(1989)に基づくスケーリング則
佐藤(1989)に一部加筆



Strasser(2010)に基づくスケーリング則
Strasser(2010)に一部加筆

- : 断層面全体(M9.0)
- : 三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)の領域のみ (M8.6, logS=M-4.0)

4.1 プレート間地震の検討用地震 (4) 強震動生成域(SMGA)位置の設定方針

- 諸井ほか(2013)では, M9規模のプレート間地震の破壊領域は広域にわたるため, 強震動生成域(SMGA)は各領域区分毎に設定している。
- 本検討においても, 中央防災会議(2004)及び地震調査研究推進本部(2012)を参考とし, 三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部), 三陸沖中部(岩手県沖南部), 宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)の領域※に配置する。

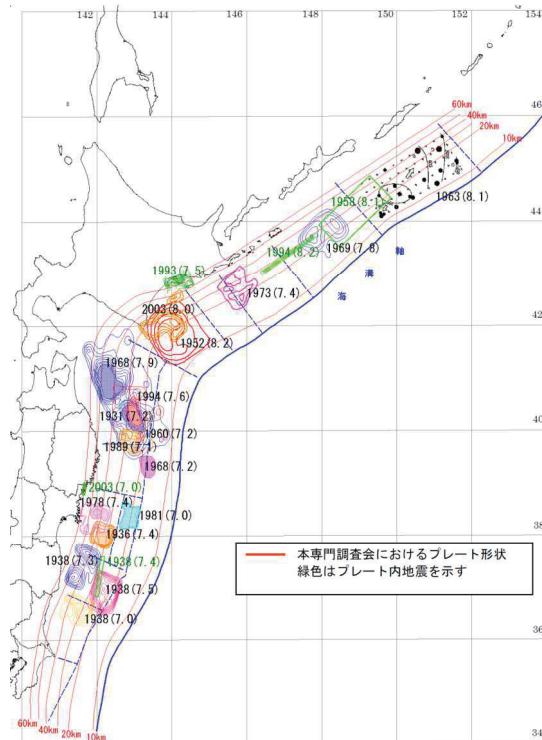


図2-1 日本海溝・千島海溝沿いのこれまでの研究によるアスペリティの分布

10

三陸沖から房総沖にかけての主な地震と
主な震源域〔中央防災会議(2004)〕

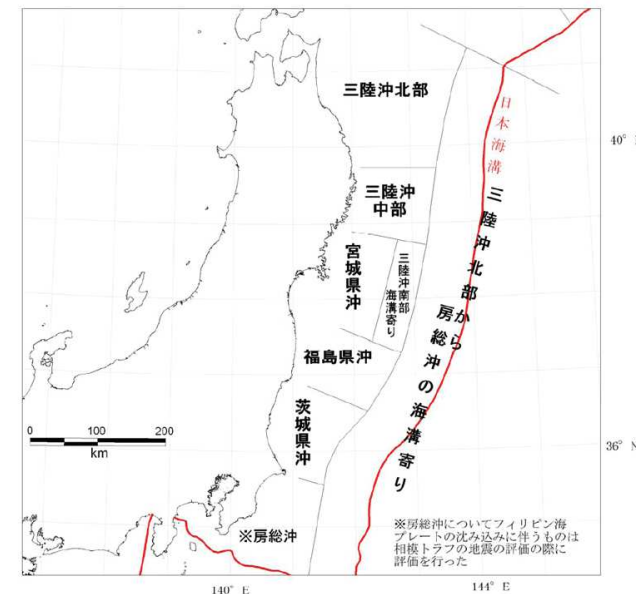


図1 三陸沖から房総沖にかけての評価対象領域の区分け

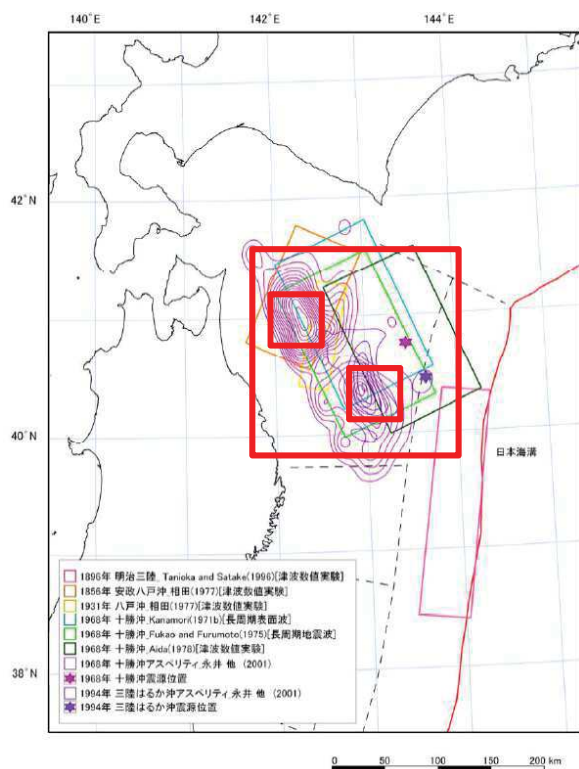
三陸沖から房総沖にかけての領域区分
〔地震調査研究推進本部(2012)〕

※:地震調査研究推進本部(2012)を踏まえた諸井ほか(2013)を参考として検討用地震を設定することから, 本頁以降は, 地震調査研究推進本部(2019)の評価対象領域の区分けではなく, 地震調査研究推進本部(2012)の評価対象領域の区分けを主として記載する。なお, 地震調査研究推進本部(2012)と(2019)の区分けは異なるが, 評価対象領域の範囲は同等である。

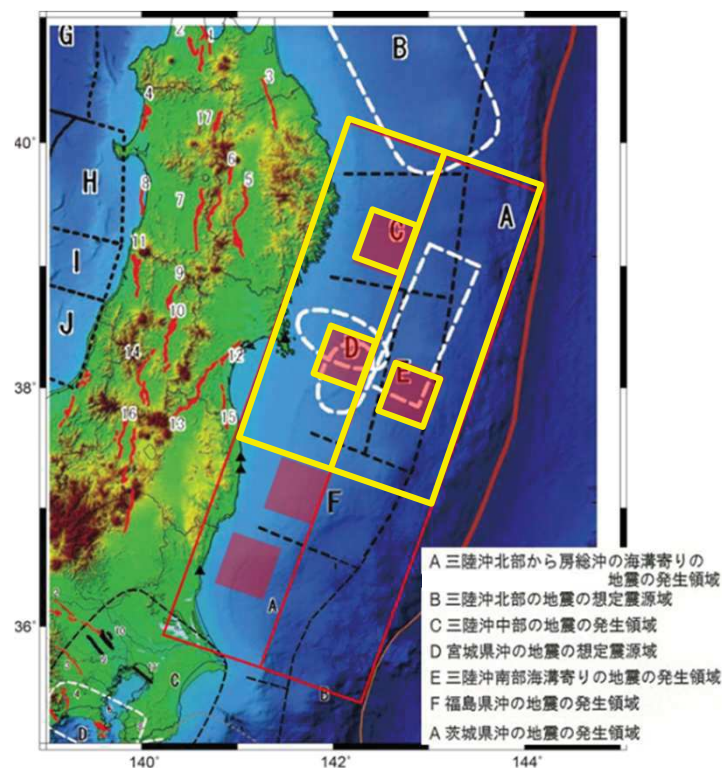
4.1 プレート間地震の検討用地震

(5) 断層面位置, SMGA位置(平面位置)

- 敷地に最も近い三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)の領域では, 永井ほか(2001)による1968年十勝沖地震の震源におけるすべり量分布等と対応する位置に断層面及びSMGAを設定する。
- 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)の領域については, 諸井ほか(2013)を参考に, 発生領域の区分けを包含するように断層面を設定し, 発生領域の区分けに基づき過去の地震の震源域相当の位置にSMGAを設定する。



三陸沖北部の領域の断層面及びSMGA位置(赤色線)
 [地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆
 : 図中「1968年十勝沖アスペリティ」のコンターが永井ほか(2001)]

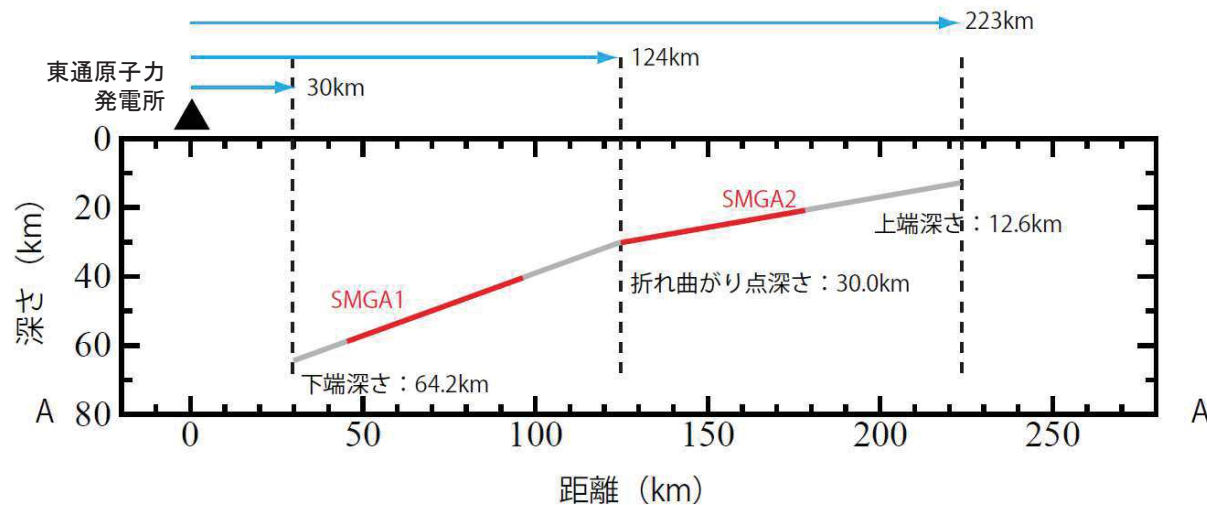


三陸沖中部～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄りの領域の
 断層面及びSMGA位置(黄色線)
 [背景の図は, 地震調査研究推進本部(2012)と諸井ほか(2013)を基に作成]

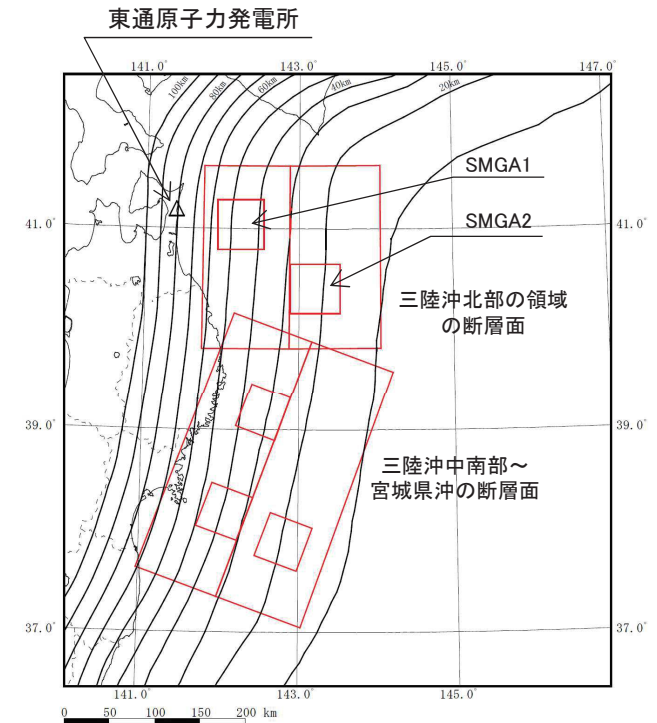
4.1 プレート間地震の検討用地震

(6) 断層面位置, SMGA位置(深さ方向)

- 三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)の領域では, 海洋プレートの上面深さ分布(防災科学技術研究所「J-SHIS」による。)に基づき, 沈み込み角度が変化する深さで断層面が折れ曲がるように, 傾斜角の異なる2面の断層面(長さ200km×幅100km)を設定する。
- 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)の領域も同様に, 傾斜角の異なる2面の断層面(長さ300km×幅100km)を設定する。
- 断層面の西端は, アサイスミックフロントに対応する海洋プレートの上面深さ50～60kmを目安に設定する。(次頁に詳細を示す。)



三陸沖北部の領域の東西断面図



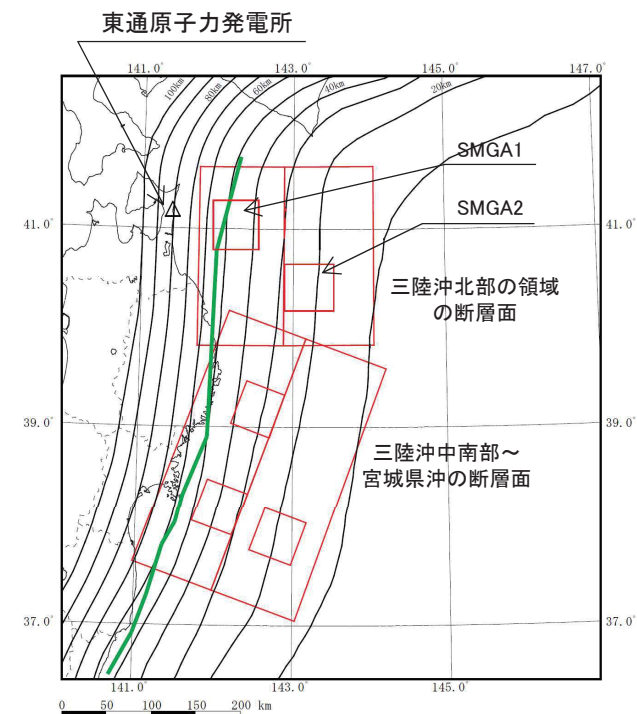
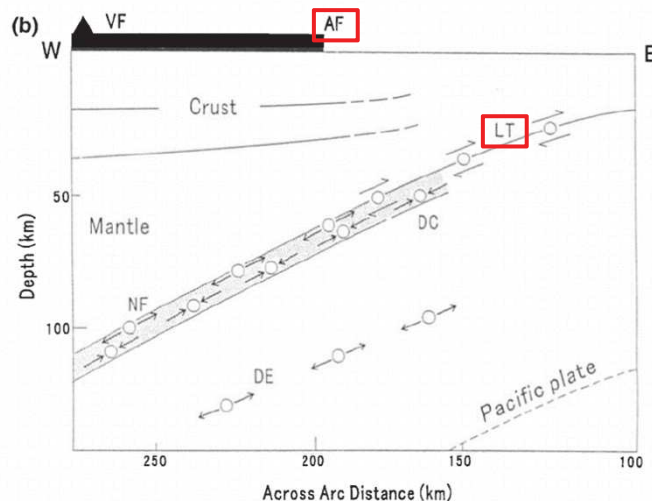
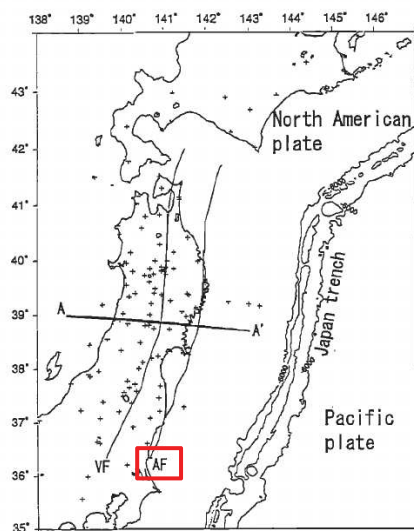
— 海洋プレート上面の等深線

断層面位置

4.1 プレート間地震の検討用地震

(7) 断層面位置, SMGA位置(深さ方向)の検討

- 敷地周辺では, アサイスミックフロントは海洋プレート上面深さ約50~60kmの位置と対応する。
- 断層面の下端の深さ位置は64.2kmであることから, アサイスミックフロントよりも西側までSMGA含む断層面が設定されている。即ち, より敷地に近い位置に断層面がある保守的な設定となっている。



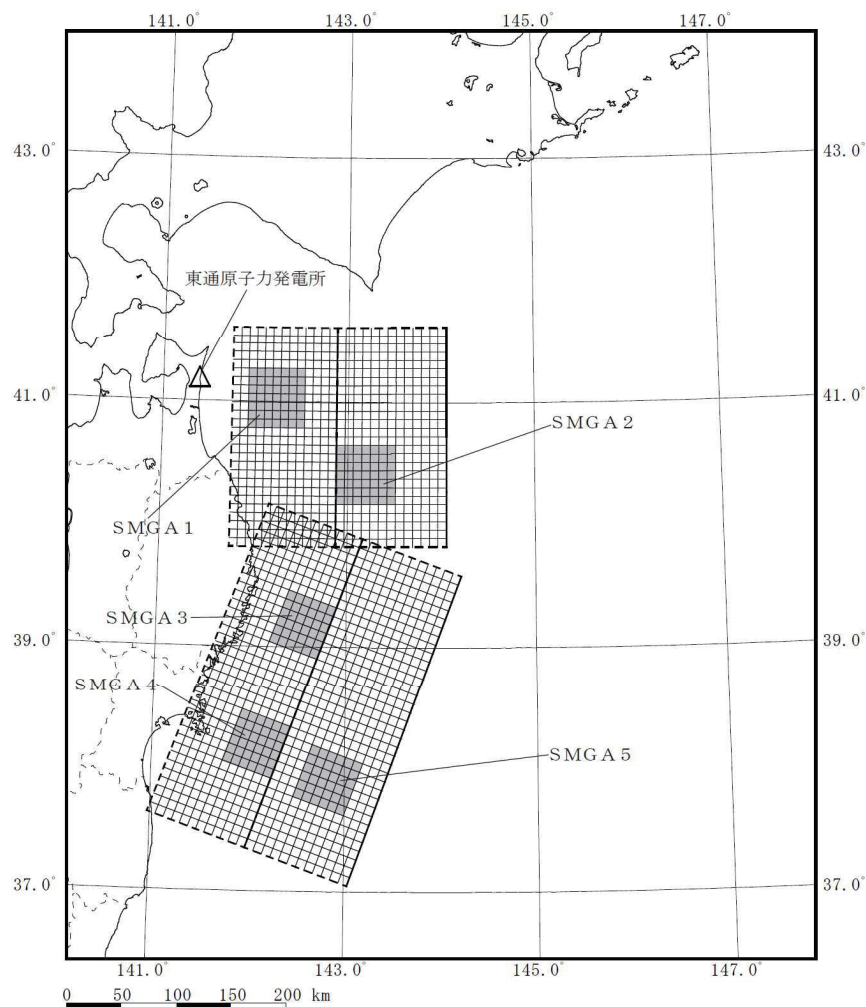
Igarashi et al.(2001)によるアサイスミックフロント位置(一部加筆)
(図中AF:アサイスミックフロント, LT:プレート間地震)

— : アサイスミックフロント
— : 海洋プレート上面の等深線

断層面位置

4.1 プレート間地震の検討用地震 (8) 基本震源モデル

- 以上により設定した検討用地震の基本震源モデルの断層面を示す。



検討用地震の基本震源モデル(東北地方太平洋沖型地震)

4.1 プレート間地震の検討用地震 (9)破壊開始点

➤破壊開始点は、地震波到来方向やディレクティビティ効果を考慮し、敷地へ影響が大きいと考えられる箇所に設定する。

【破壊開始点1】

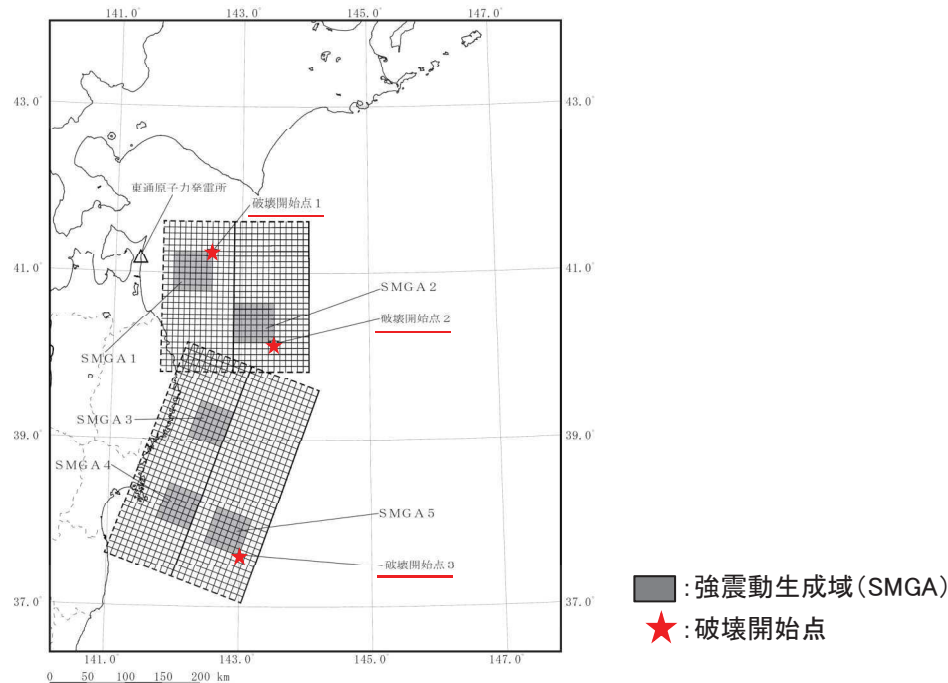
・敷地の東側から敷地に向かって破壊が伝播するケースとして、SMGA1の北東端に設定する。

【破壊開始点2】

・三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)の領域のSMGA1及び2の破壊の伝播方向が重なるケースとして、SMGA2の南東端に設定する。

【破壊開始点3】

・三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)の領域のSMGA3～5の破壊の伝播方向が重なるケースとして、SMGA5の南東端に設定する。



検討用地震の基本震源モデル

4.1 プレート間地震の検討用地震 (10) SMGAの短周期レベル

【敷地付近で発生した地震の短周期レベルと既往スケーリング則の比較】

- ▶ 佐藤(2003)による三陸沖北部で発生した中小のプレート間地震の地震モーメント(M_0)と短周期レベル(A)の関係(M_0 -A関係)は、諸井ほか(2013)に基づく全断層面積に対する強震動生成域(SMGA)の面積比12.5%の M_0 -A関係に比べて小さい傾向にある。
- ▶ 佐藤(2012)において、2011年東北地方太平洋沖地震の短周期レベルは、佐藤(2010)の太平洋プレートにおけるプレート間地震のスケーリング則とよく整合することが示されている。
- ▶ 一方、1994年三陸はるか沖地震(M7.6)の短周期レベルは、諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の M_0 -A関係の約1.3倍^{※1}である。

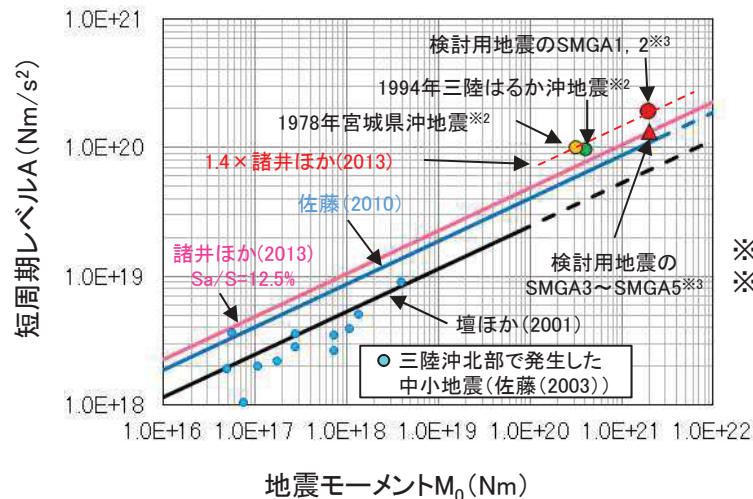
【三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)の領域のSMGAの短周期レベルの設定】

- ▶ 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベルの値に、1994年三陸はるか沖地震を踏まえた割増係数1.3を乗じることが考えられる。また、同じ東北地方に発生した過去のプレート間地震では、1978年宮城沖地震(M7.4)の短周期レベルが諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の M_0 -A関係の約1.4倍^{※1}となっている。瀬野(2020)によれば、1978年宮城県沖地震等の短周期地震動は断層面がスラブ地殻に及んだことにより生成されたものと考察している。青森県沖のプレート間地震に宮城県沖と同様の傾向があるかどうかは不明であるが、ここでは保守的に割増係数1.4を採用する。
- ▶ この割増係数1.4は、敷地に最も影響があるSMGA1(補足説明資料3章参照)に適用し、また、同じ領域にあるSMGA2にも適用する。

【三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)の領域のSMGAの短周期レベルの設定】

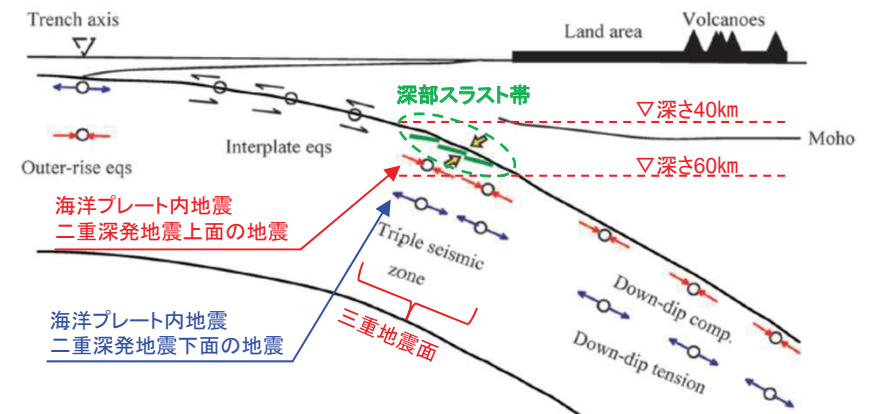
- ▶ 佐藤(2010)によるスケーリング則を上回っていること、敷地からの距離が遠く多少の短周期レベルの変動があっても敷地に与える影響は小さいと考えられることから、SMGA3～5については 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%の M_0 -A関係による短周期レベルの値を採用する。

※1: 規模の差を考慮した差(短周期レベルが $M_0^{1/3}$ に比例すると仮定して算定)



※2: 片岡ほか(2006)
※3: 一つのSMGAを一つの地震として表示

短周期レベルと既往スケーリング則の比較



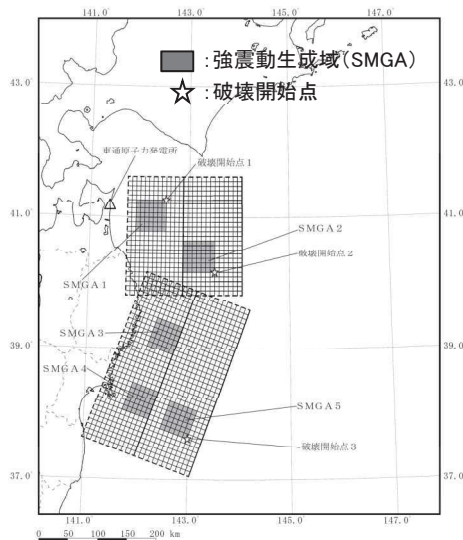
沈み込み様式模式図(宮城県沖)[瀬野(2020)に一部加筆]

4.1 プレート間地震の検討用地震 (11) 検討ケース

- 基本ケースにおいてアサシミックフロントの最西端を超える範囲に断層面を設定しているが、さらに保守的な評価として、敷地への影響が大きいSMGA1を敷地に寄せて設定した場合を不確かさケースとして考慮する。

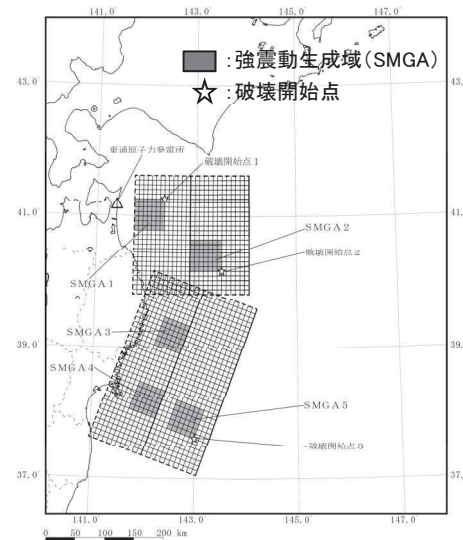
検討ケース	地震規模	SMGAの位置	応力降下量 (短周期レベル)	破壊開始点
①基本震源モデル (基本ケース)	M9.0 Mw9.0 ($M_0=4.0 \times 10^{22}\text{Nm}$)	M7~8の過去の地震の震源域との対応を考慮し設定	SMGA1~2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3~5: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル	複数
②SMGAの位置の不確かさを考慮したケース (不確かさケース)	M9.0 Mw9.0 ($M_0=4.0 \times 10^{22}\text{Nm}$)	SMGA1を敷地に寄せて設定	SMGA1~2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3~5: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル	複数

■ : 考慮する不確かさ □ : あらかじめモデルに織り込む不確かさ



①基本震源モデル

(敷地に対するSMGA1の $X_{eq}=89\text{km}$)



②SMGAの位置の不確かさを考慮したケース

(敷地に対するSMGA1の $X_{eq}=82\text{km}$)

4.1 プレート間地震の検討用地震

(12) 認識論的不確かさと偶然的不確かさの整理

- 主要なパラメータについて、プレート間地震に関する知見等を踏まえ、認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地に与える影響が大きいパラメータについて不確かさを考慮し、地震動評価を行う。

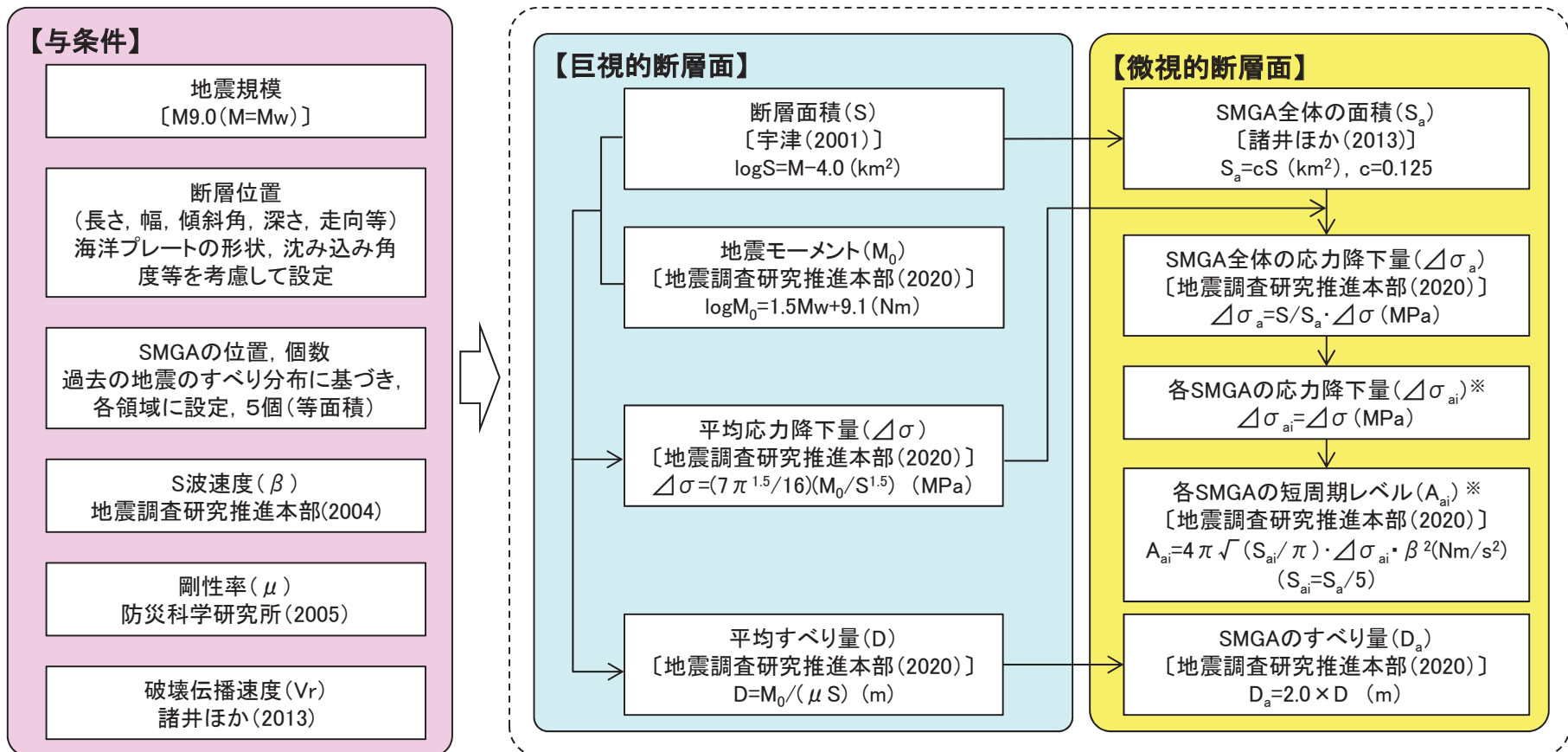
【認識論的な不確かさ】: 事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの。

【偶然的な不確かさ】 : 事前の詳細な調査や経験式などにに基づく特定が困難なもの。

不確かさの種類	パラメータ	基本ケースの設定	不確かさの考慮
認識論的不確かさ	断層設定位置	三陸沖北部から宮城県沖に設定	あらかじめ不確かさを考慮 <ul style="list-style-type: none"> 三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)ではM8級の地震が想定されるものの、国内観測史上最大の2011年東北地方太平洋沖地震が東北地方で発生したこと等も踏まえ、地震規模M9.0をあらかじめ考慮する。 なお、地震規模がM9.0より大きくなっても、巨視的断層面は敷地から遠ざかる方向に拡大していくため、仮にそこからの地震動が付加されたとしても敷地に及ぼす影響は小さい。
	地震規模	M9.0 (Mw9.0)	
	応力降下量 (短周期レベル)	地域性を考慮し設定	あらかじめ不確かさを考慮 <ul style="list-style-type: none"> 敷地付近で発生した地震の短周期レベルと既往スケーリング則の比較から、三陸沖北部の領域にあり敷地に最も影響のあるSMGA1及び同領域にあるSMGA2については、1978年宮城沖地震(M7.4)を踏まえた短周期レベル[諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%のM₀-A関係の1.4倍]をあらかじめ考慮する。
偶然的不確かさ	SMGA位置	過去の地震の震源域との対応を考慮し設定	不確かさケースとして考慮 <ul style="list-style-type: none"> 断層モデルのSMGA位置は、過去の地震の大すべり領域やSMGAを含む位置等に設定している。 保守的な評価として、敷地に最も影響のあるSMGA1を、さらに敷地に寄せて設定した場合を不確かさケースとして考慮する。
	破壊開始点	破壊の伝播方向が敷地に向かうように配置	あらかじめ不確かさを考慮 <ul style="list-style-type: none"> 敷地に対し最も影響の大きい破壊開始点位置(破壊が敷地に向かうように設定した位置)に複数考慮する。

4.1 プレート間地震の検討用地震 (13)断層パラメータ

- 検討用地震の断層パラメータ設定フローを示す。
- 地震規模はM9.0とし、設定にあたっては地震調査研究推進本部(2020)の強震動レシピ等の文献を用いる。



※: 地域性を考慮したSMGAの短周期レベルの考慮(SMGA1及び2は1.4倍)

4.1 プレート間地震の検討用地震

(14)断層パラメータ パラメータ表

断層パラメータ		三陸沖北部 (青森県東方沖・岩手県沖北部)	三陸沖中部(岩手県沖南部)～ 宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)	設定方法	
巨視的震源特性	走向	$\theta (^{\circ})$	180	200	プレートの沈み込み等深線を参考に設定
	傾斜角1(東側)	$\delta_1 (^{\circ})$	10	12	同上
	傾斜角2(西側)	$\delta_2 (^{\circ})$	20	21	同上
	長さ	L(km)	200	300	プレートの沈み込み等深線及び断層面積に基づき設定
	幅	W(km)	200	200	プレートの沈み込み等深線を参考に設定
	上端深さ	h_u (km)	12.6	12.3	同上
	下端深さ	h_l (km)	64.2	68.9	同上
	断層面積	S(km ²)	40000	60000	$S_i = L_i \times W_i$
	全体の断層面積	S(km ²)	100000		$\log S = M - 4.0$
	平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	3.08		$\Delta \sigma = 7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$
	地震モーメント	M_0 (Nm)	4.0×10^{22}		$\log M_0 = 1.5 M_w + 9.1$
	モーメントマグニチュード*	M_w	9.0		与条件
	平均すべり量	D(m)	8.5		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$
	剛性率	μ (N/m ²)	4.68×10^{10}		$\rho = 3.08 \text{ g/cm}^3, \mu = \rho \cdot \beta^2$
S波速度	β (km/s)	3.9		地震調査研究推進本部(2004)	
破壊伝播速度	V_r (km/s)	3.0		諸井ほか(2013)	
全 S M G A	面積	S_a (km ²)	12500		$S_a = S \times 0.125$ 諸井ほか(2013)
	地震モーメント	M_{0a} (Nm)	1.0×10^{22}		$M_{0a} = \mu \cdot S_a \cdot D_a$
	すべり量	D_a (m)	17.1		$D_a = 2D$
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	24.6		$\Delta \sigma_a = (S/S_a) \cdot \Delta \sigma$
	短周期レベル	A_a (Nm/s ²)	3.49×10^{20}		$A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2}$
各 S M G A	—	—	SMGA1～2	SMGA3～5	
	面積	S_{ai} (km ²)	2500	2500	$S_{ai} = S_a / 5$
	地震モーメント	M_{0ai} (Nm)	2.0×10^{21}	2.0×10^{21}	$M_{0ai} = \mu \cdot S_{ai} \cdot D_{ai}$
	すべり量	D_{ai} (m)	17.1	17.1	$D_{ai} = D_a \times \gamma_i / \sum (\gamma_i^3), \gamma = r_i / r = (S_{ai}/S_a)^{1/2}$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	34.5	24.6	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$, 三陸沖北部は1.4倍
短周期レベル	A_{ai} (Nm/s ²)	1.86×10^{20}	1.33×10^{20}	$A_{ai} = 4\pi (S_{ai}/\pi)^{1/2} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot V_s^2$	
背景 領域	面積	S_b (km ²)	87500		$S_b = S - S_a$
	各領域の面積	S_{bi} (km ²)	35000	52500	$S_{bi} = S_i - \sum S_{ai}$
	地震モーメント	M_{0b} (Nm)	3.0×10^{22}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	各領域の地震モーメント	M_{0bi} (Nm)	1.2×10^{22}	1.8×10^{22}	$M_{0bi} = \mu \cdot D_b \cdot S_{bi}$
	すべり量	D_b (m)	7.3		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$
実効応力	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.9		$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$	

4.1 プレート間地震の検討用地震

(15) 断層パラメータの妥当性検討① 2011年東北地方太平洋沖地震との比較

- 2011年東北地方太平洋沖地震の各断層モデルの値と比較し、検討用地震の断層パラメータ(SMGAの面積、短周期レベル、応力降下量)は過小な設定とはなっていない。
- また、諸井ほか(2013)では、2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録と整合するSMGA面積は全断層面積の12.5%とされているが、その他の面積比を用いた場合のSMGA1個あたりの短周期レベルと検討用地震を比較しても、過小な設定とはなっていない。

2011年東北地方太平洋沖地震の各断層モデルとの比較

断層モデル	SMGA面積 (km ²)	SMGA全体の短周期レベル (Nm/s ²)	【参考】SMGAの応力降下量 (MPa)	
Kurahashi and Irikura(2013)	5,628 ※ ¹	1.74×10^{20} ※ ¹	21.44 ※ ²	
Asano and Iwata(2012)	5,042 ※ ¹	1.67×10^{20} ※ ¹	18.95 ※ ²	
佐藤(2012)	11,475 ※ ¹	3.51×10^{20} ※ ¹	28.82 ※ ²	
川辺・釜江(2013)	6,300 ※ ¹	1.74×10^{20} ※ ¹	18.26 ※ ²	
平均値	6,730 ※ ¹	2.05×10^{20} ※ ¹	-	
検討用地震	12,500	3.49×10^{20}	SMGA1, 2	34.5 (地域性を考慮し1.4倍)
			SMGA3~5	24.6

※¹: 田島(2013), ※²: 文献に記載されている各SMGAの応力降下量を算術平均

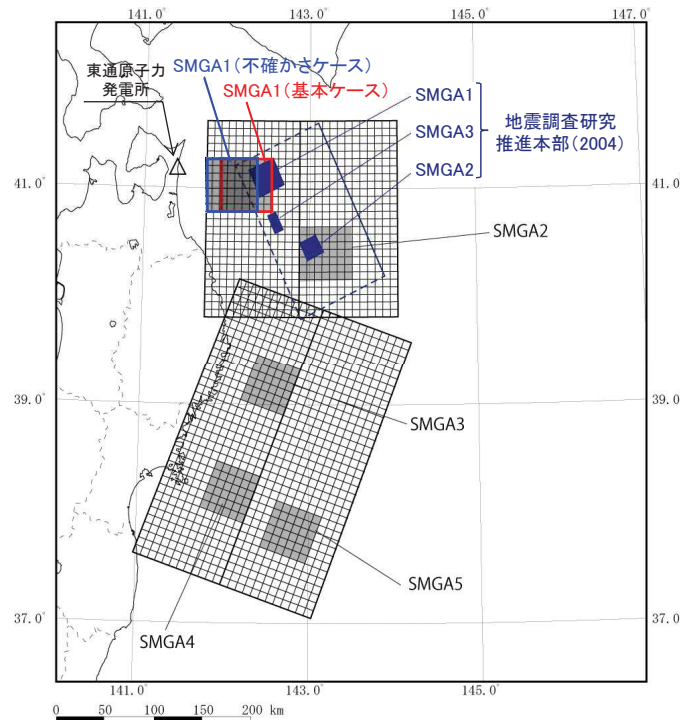
諸井ほか(2013)との比較

断層モデル	Sa/S	SMGA1個の面積 (km ²)	SMGA1個の短周期レベル (Nm/s ²)	
諸井ほか(2013)	0.08	1,600	1.66×10^{20}	
	0.125	2,500	1.33×10^{20}	
	0.18	3,600	1.11×10^{20}	
	0.245	4,900	9.49×10^{19}	
検討用地震	0.125	2,500	SMGA1, 2	1.86×10^{20} (地域性を考慮し1.4倍)
			SMGA3~5	1.33×10^{20}

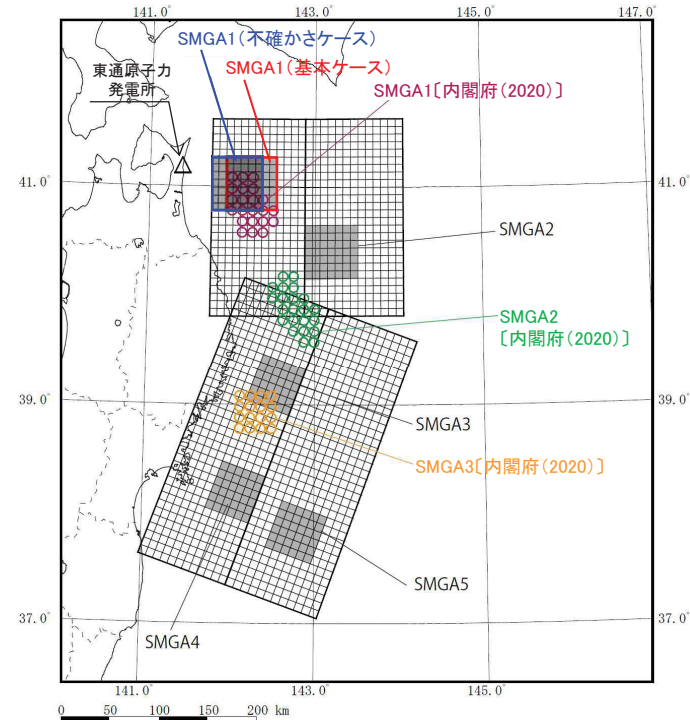
4.1 プレート間地震の検討用地震

(16) 断層パラメータの妥当性検討② 地震調査研究推進本部(2004), 内閣府(2020)との比較 **S6**

- 検討用地震の震源モデルについて、地震調査研究推進本部(2004)による三陸沖北部の地震の震源モデル及び内閣府(2020)による日本海溝(三陸・日高沖)モデルの強震動生成域と平面上での比較を示す。
- 検討用地震の震源モデルのうち敷地に最も影響のあるSMGA1は、他2つのモデルの敷地に最も近いSMGAよりもさらに近い位置にあり、また、その面積は同等またはそれ以上である。なお、検討用地震の基本震源モデルのSMGA1の短周期レベルは、短周期レベルが大きい1978年宮城県沖地震を踏まえた割増係数1.4を保守的に考慮している。



検討用地震の震源モデルと
地震調査研究推進本部(2004)の震源モデル

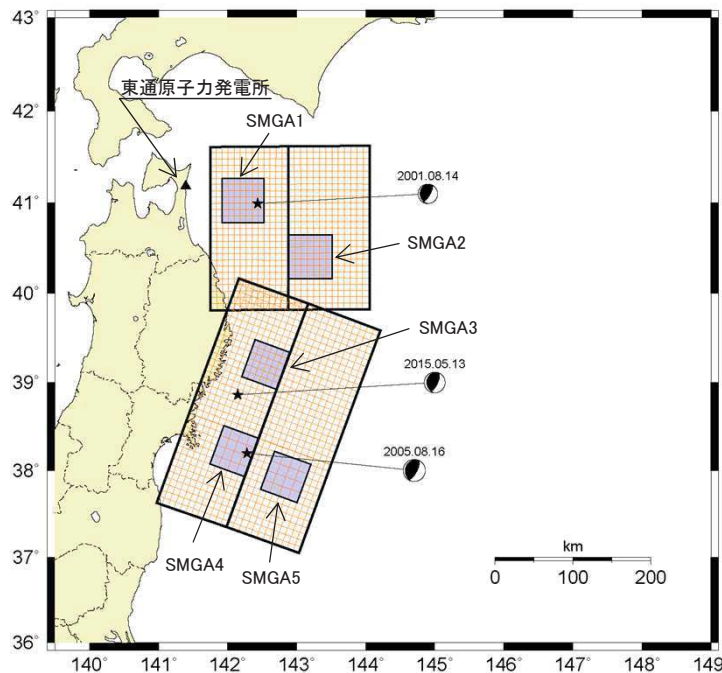


検討用地震の震源モデルと
内閣府(2020)の日本海溝(三陸・日高沖)モデル

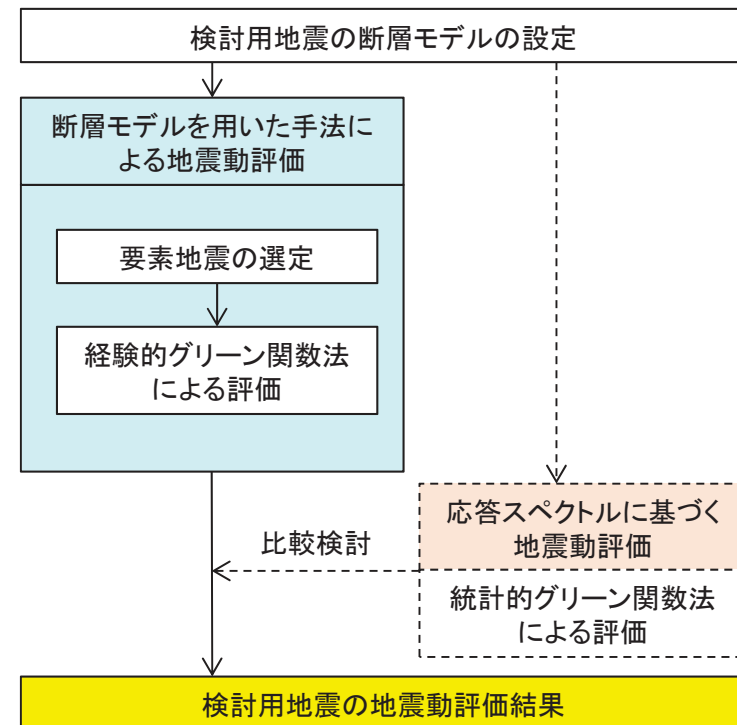
4.2 検討用地震の地震動評価

(1) 地震動評価方針

- M9規模のプレート間地震は、既往の距離減衰式に対して外挿となることから、地震動評価は断層モデル手法による評価結果を採用し、距離減衰式による評価は、検討用地震の特徴を踏まえ、断層モデル手法の地震動算定結果のレベル確認として参考的に実施する。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価としては、敷地においてプレート間地震の地震観測記録が得られていることから、経験的グリーン関数法[釜江ほか(1991)および入倉ほか(1997)]による地震動評価を実施する。また、経験的グリーン関数法による評価結果のレベル確認として、参考的に統計的グリーン関数法による評価を実施し、比較する。



検討用地震の基本震源モデル
及び要素地震の位置



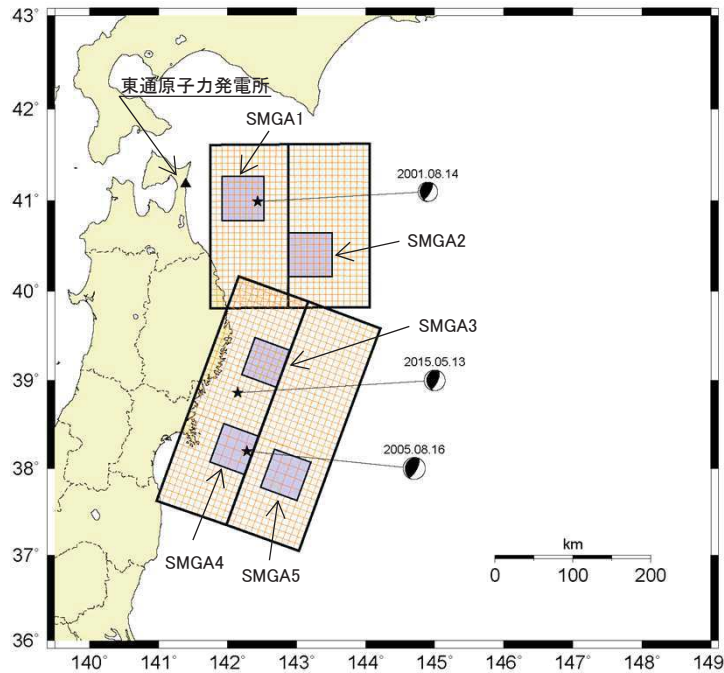
検討用地震の地震動評価フロー図

※: 破線部は補足説明資料3章に記載


4.2 検討用地震の地震動評価 (2) 要素地震の選定

➤ 経験的グリーン関数法に用いる要素地震については、各領域で発生した地震を選定する。

選定した要素地震の諸元



選定した要素地震の位置

対象領域	発震日時	M	震源距離 (km)	震源深さ (km)	メカニズム解
・SMGA1 ・SMGA2 ・三陸沖北部の 背景領域	2001.08.14 05:11	6.4	98	37.69	 品質: 92.15
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	
		30 ; 174	72 ; 22	103 ; 55	
・SMGA3 ・三陸沖中部～宮 城県沖及び三陸 沖南部海溝寄りの 背景領域	2015.05.13 06:12	6.8	270	46.24	 品質: 93.57
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	
		26 ; 178	68 ; 25	101 ; 64	
・SMGA4 ・SMGA5	2005.08.16 11:46	7.2	348	42.04	 品質: 90.66
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	
		29 ; 194	69 ; 22	96 ; 76	

※: M, 震源位置(震源距離), 震源深さは気象庁による。震源メカニズム解についてはF-netによる。

4.2 検討用地震の地震動評価

(2) 要素地震の選定 震源パラメータ及び震源スペクトル

- 各領域における要素地震について、震源パラメータ及び震源スペクトルを示す。敷地に最も近い領域の三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)と、宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)に適用する要素地震の理論震源スペクトルは文献に基づき設定している。三陸沖中部(岩手県沖南部)については、KiK-net観測記録に基づき推定した要素地震の震源スペクトルを採用している。

要素地震の震源パラメータ

対象領域	発震日時	震源パラメータ		
		地震モーメント※1 M_0 (Nm)	コーナー周波数 f_c (Hz)	応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)
三陸沖北部	2001.8.14 5:11	3.88×10^{18}	0.36※2	24.0※2
三陸沖中部	2015.5.13 6:12	1.71×10^{19}	0.29※3	38.8※3
宮城県沖・三陸沖南部	2005.8.16 11:46	5.43×10^{19}	0.152※4	25.2※4

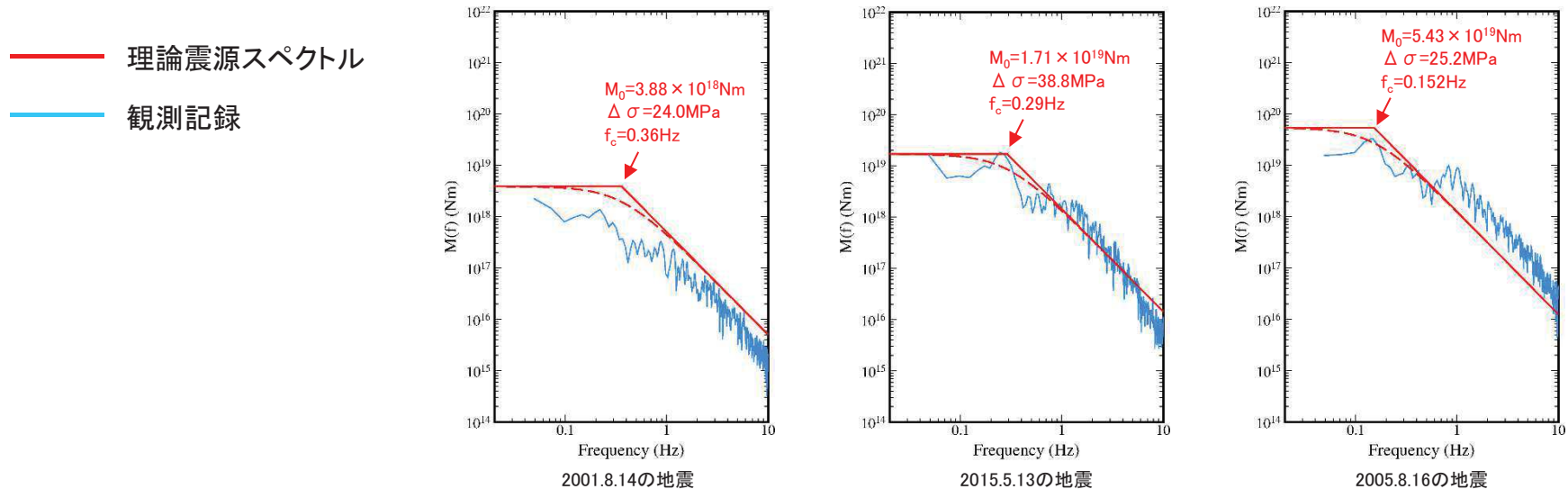
※1: F-net

※2: 川瀬・松尾(2004)

※3: 東北電力株式会社推定値

※4: Kamae(2006)

要素地震のQ値補正には、 $Q(f)=93f^{0.89}$ [川瀬・松尾(2004)]を用いる。



要素地震の ω^{-2} モデルによる理論震源スペクトルと観測記録から評価した震源スペクトルの比較

4. 2 検討用地震の地震動評価

(2) 要素地震の選定 2015年5月13日の地震(M6.8)の震源パラメータ($\Delta\sigma$, f_c)の評価

- 三陸沖中部(岩手県沖南部)に適用する要素地震[2015年5月13日の地震(M6.8)]の震源スペクトルは、2地震の観測記録のフーリエスペクトル比に基づいた手法[泉谷(2005), 池田(2010)]を用いて要素地震のコーナー周波数を評価し、応力降下量 $\Delta\sigma$ を求めた。

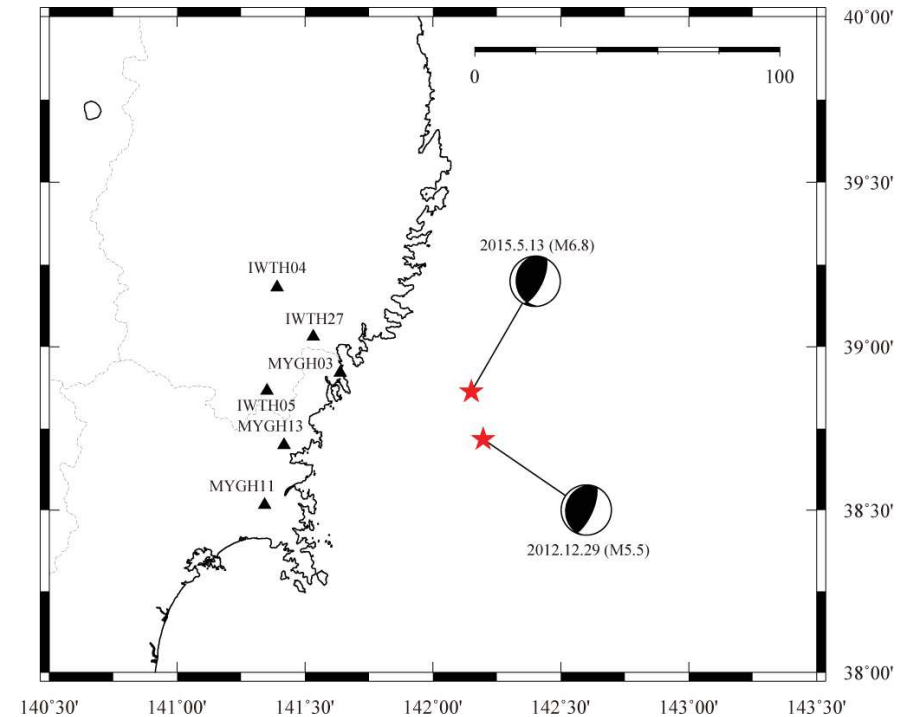
フーリエスペクトル比の相手となる地震を2012年12月29日の地震[M5.5, $M_0=1.76 \times 10^{17}$ (Nm)]として、式(1)を用いたグリッドサーチによりコーナー周波数を推定し、応力降下量は加藤(1998)による式(2)により求めた。

$$\frac{M_1(f)}{M_2(f)} = \frac{M_{01}}{M_{02}} \cdot \frac{1 + (f/f_{c2})^2}{1 + (f/f_{c1})^2} = \frac{M_{01}}{M_{02}} \cdot \frac{1/f^2 + 1/f_{c2}^2}{1/f^2 + 1/f_{c1}^2} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $M_1(f)$, $M_2(f)$ は震源スペクトルを、 M_{01} , M_{02} は地震モーメントを、 f_{c1} , f_{c2} はコーナー振動数を表し、各記号の下付きの1は要素地震を、2はフーリエスペクトル比の相手となる地震を表す。

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \cdot \left(\frac{2\pi \cdot f_c}{2.34 \cdot V_s} \right)^3 \cdot M_0 \quad \text{式(2)}$$

ここで、 V_s は各地震の震源深さを考慮し、福山ほか(1998)の地盤モデルを参考として4.5km/sとする。



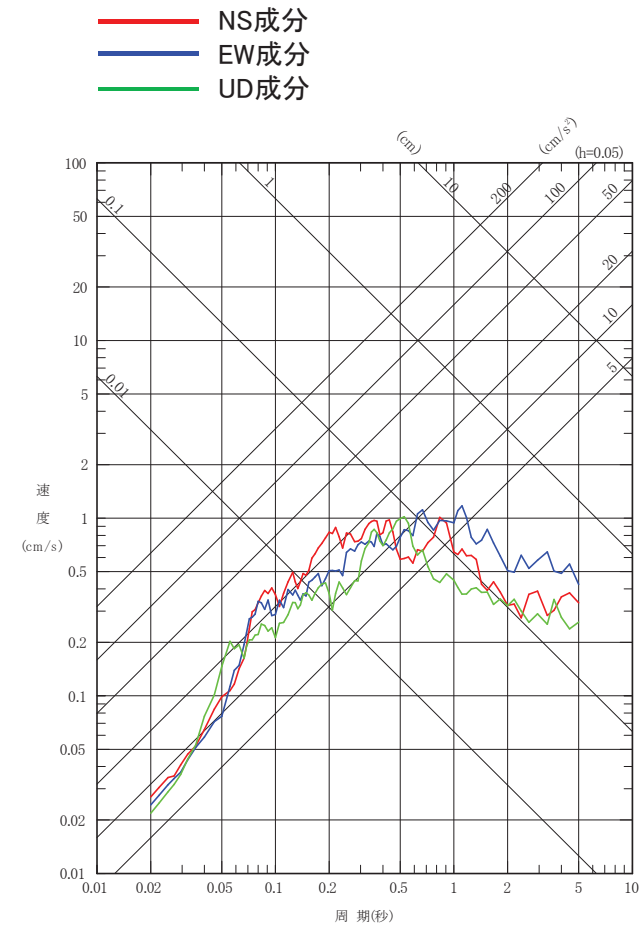
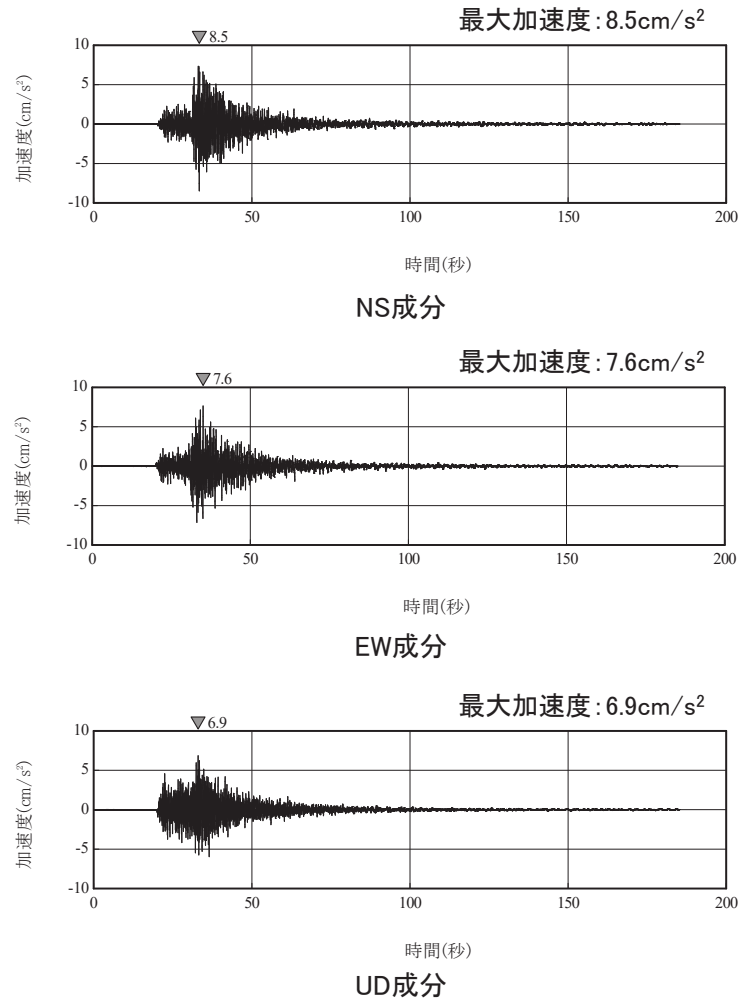
要素地震の震央と評価に用いたKiK-net観測点

4.2 検討用地震の地震動評価

(2) 要素地震の選定 2001年8月14日の地震(M6.4)のはぎとり波(PN基準)

- 選定した要素地震の岩盤上部の地震観測点※(T.P.+2.0m)におけるはぎとり波について、時刻歴波形(加速度)及び応答スペクトルを示す。

※: 解放基盤表面の振動特性を表す自由地盤岩盤上部の地震観測点



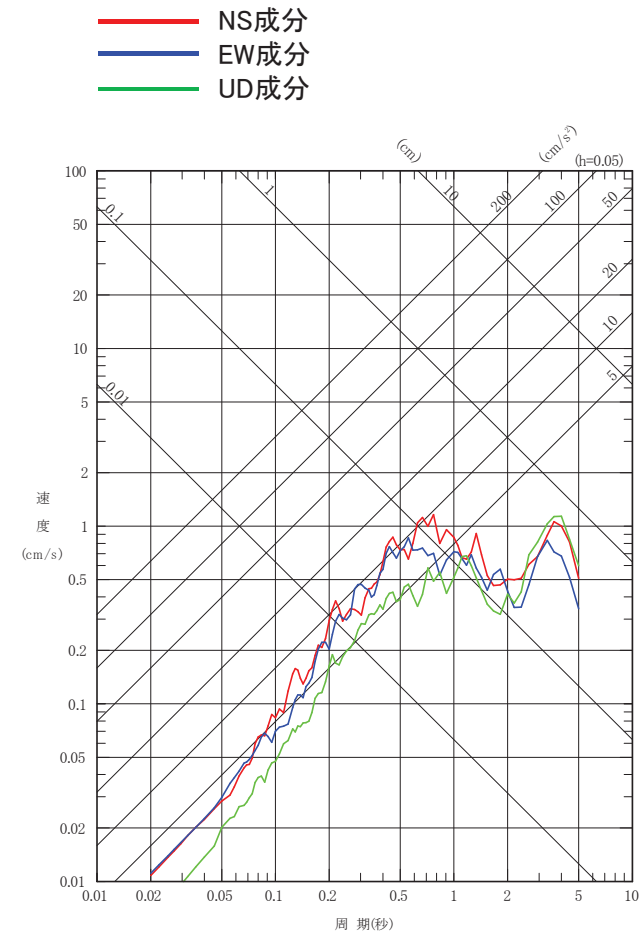
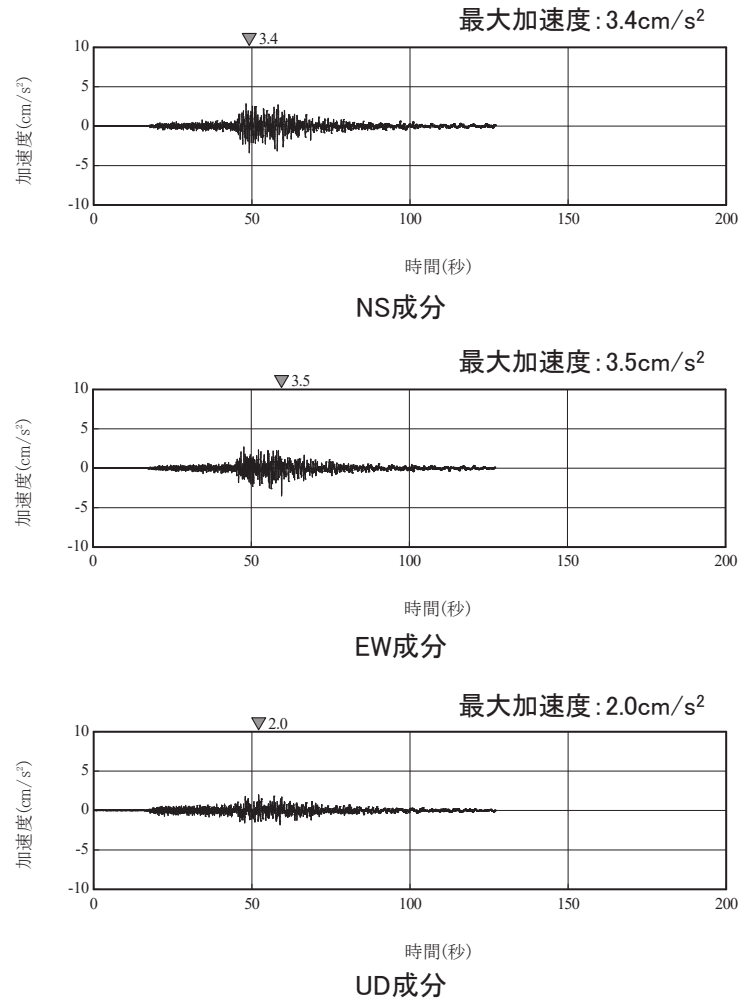
2001年8月14日の地震(M6.4)
H=38km, Δ =90km, X=98km

4.2 検討用地震の地震動評価

(2) 要素地震の選定 2015年5月13日の地震(M6.8)のはぎとり波(PN基準)

- 選定した要素地震の岩盤上部の地震観測点※(T.P.+2.0m)におけるはぎとり波について、時刻歴波形(加速度)及び応答スペクトルを示す。

※: 解放基盤表面の振動特性を表す自由地盤岩盤上部の地震観測点



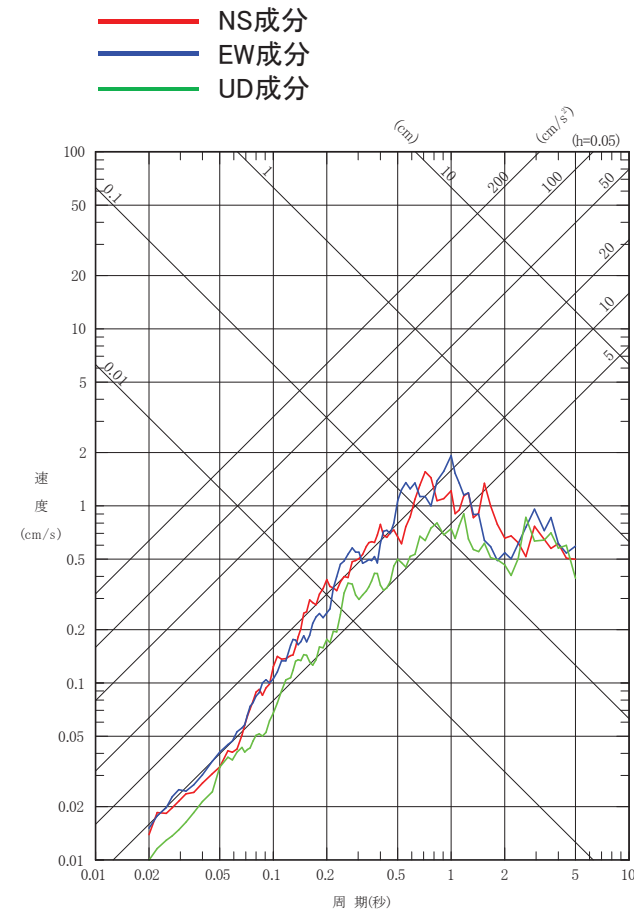
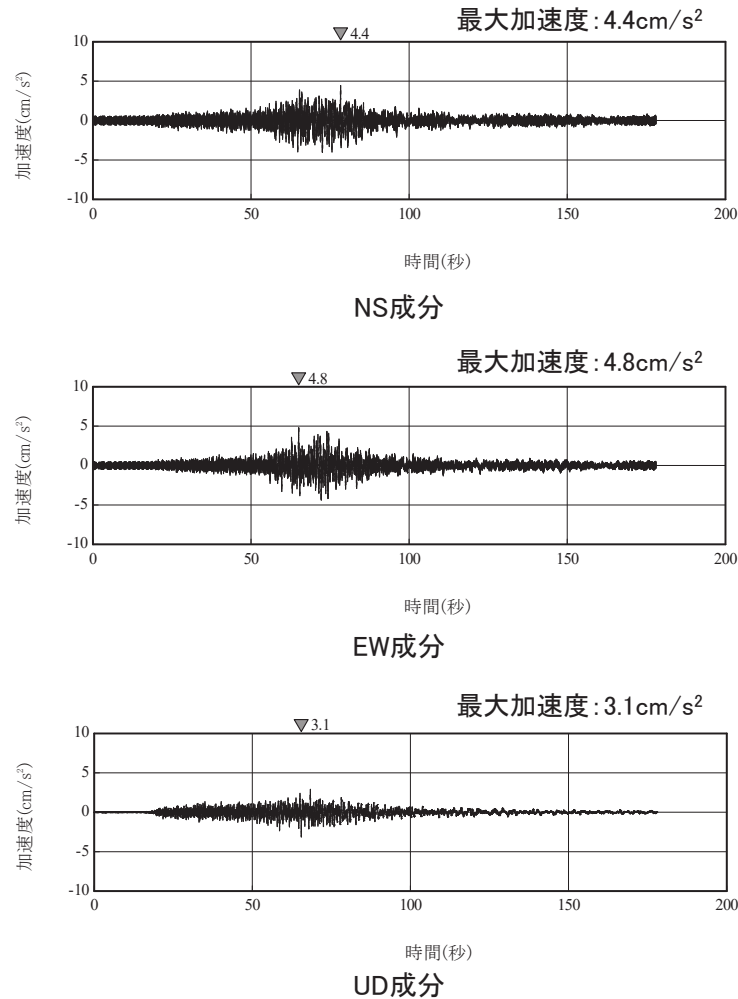
2015年5月13日の地震(M6.8)
H=46km, Δ =266km, X=270km

4.2 検討用地震の地震動評価

(2) 要素地震の選定 2005年8月16日の地震(M7.2)のはぎとり波(PN基準)

- 選定した要素地震の岩盤上部の地震観測点※(T.P.+2.0m)におけるはぎとり波について、時刻歴波形(加速度)及び応答スペクトルを示す。

※: 解放基盤表面の振動特性を表す自由地盤岩盤上部の地震観測点

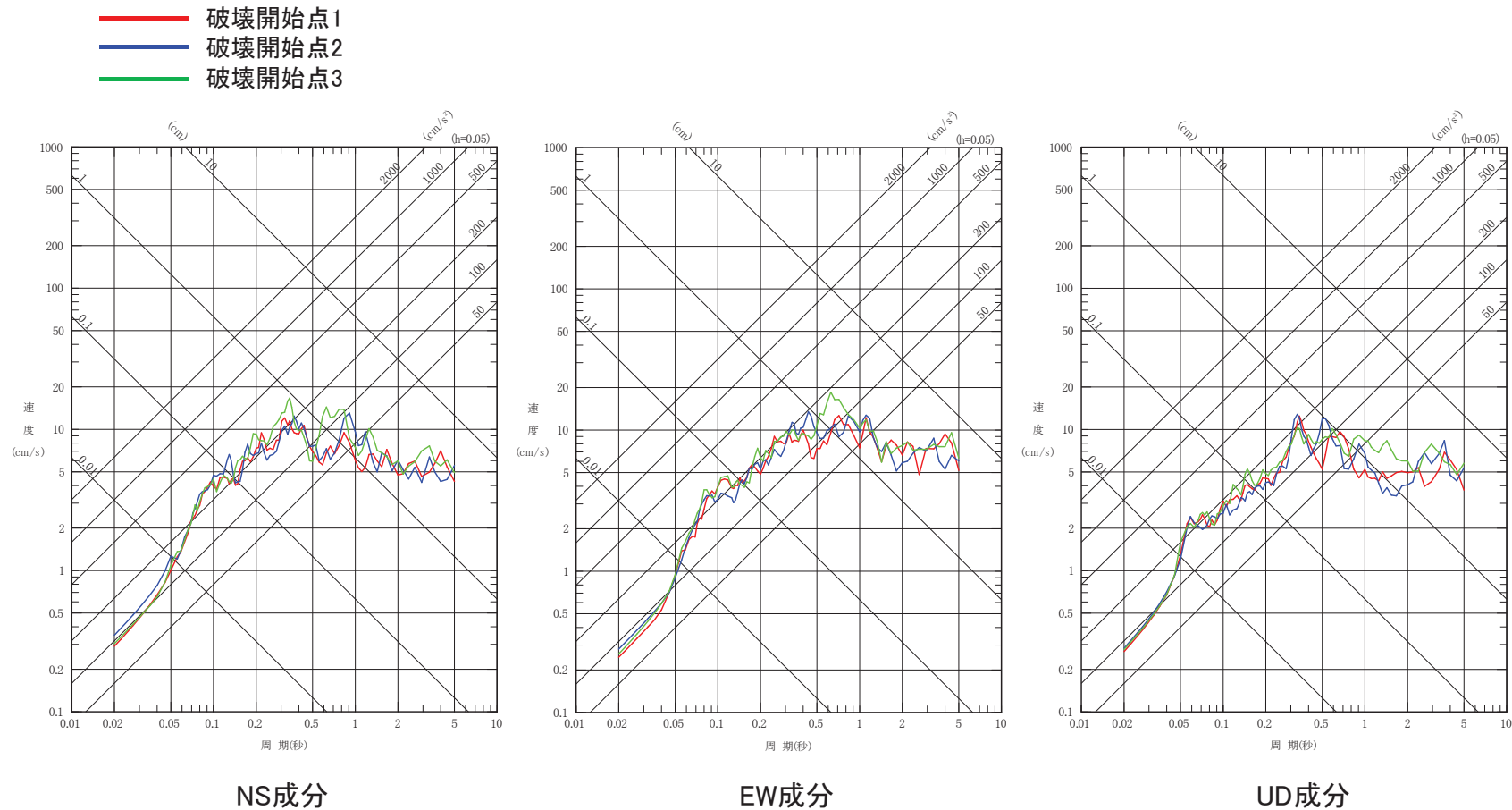


2005年8月16日の地震(M7.2)
H=42km, Δ =346km, X=348km

4. 2 検討用地震の地震動評価

(3) 地震動評価結果① 基本ケース, 経験的グリーン関数法 応答スペクトル

- 基本ケースについて, 断層モデルによる手法を用いた地震動評価結果を示す。なお, 敷地前面の三陸沖北部(青森県東方沖・岩手県沖北部)のSMGA1の影響が最も大きい(補足説明資料3章参照)。

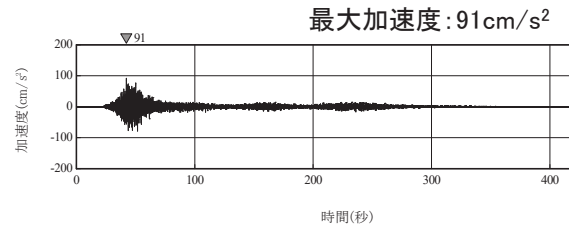


基本ケースの応答スペクトル(PN基準)

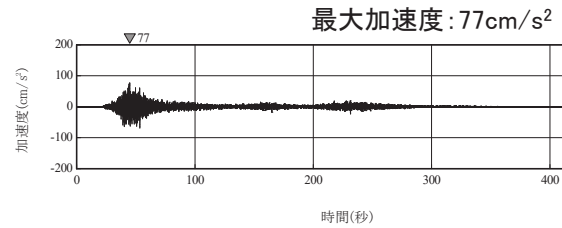
4. 2 検討用地震の地震動評価

(3) 地震動評価結果① 基本ケース, 経験的グリーン関数法 時刻歴波形

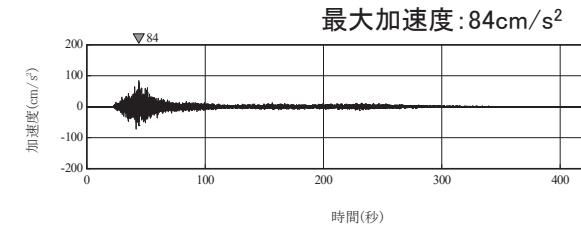
➤ 基本ケースについて, 時刻歴波形を示す。



NS成分

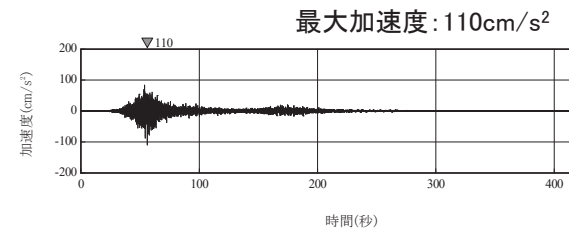


EW成分

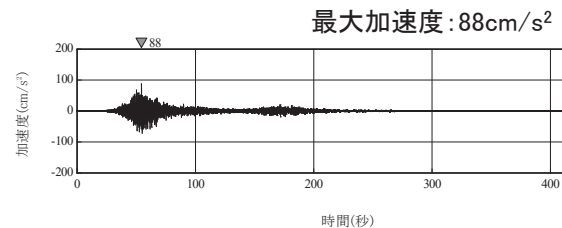


UD成分

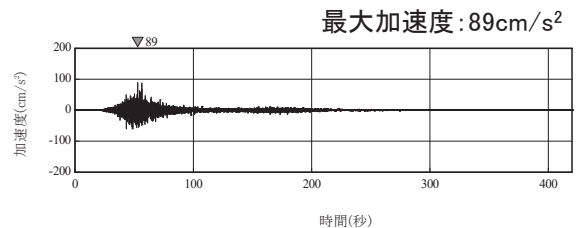
破壊開始点1



NS成分

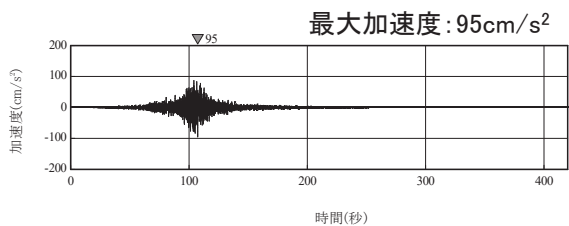


EW成分

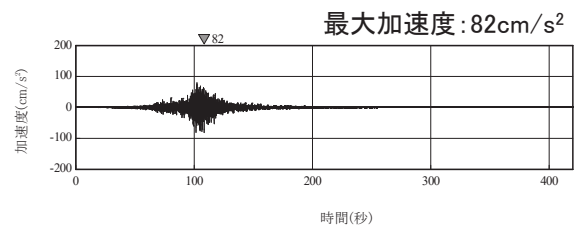


UD成分

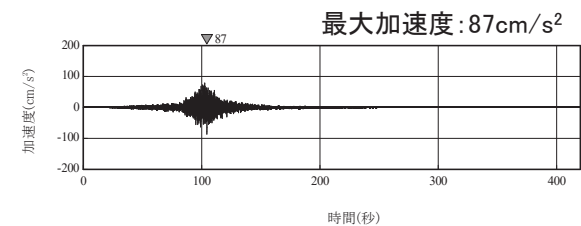
破壊開始点2



NS成分



EW成分



UD成分

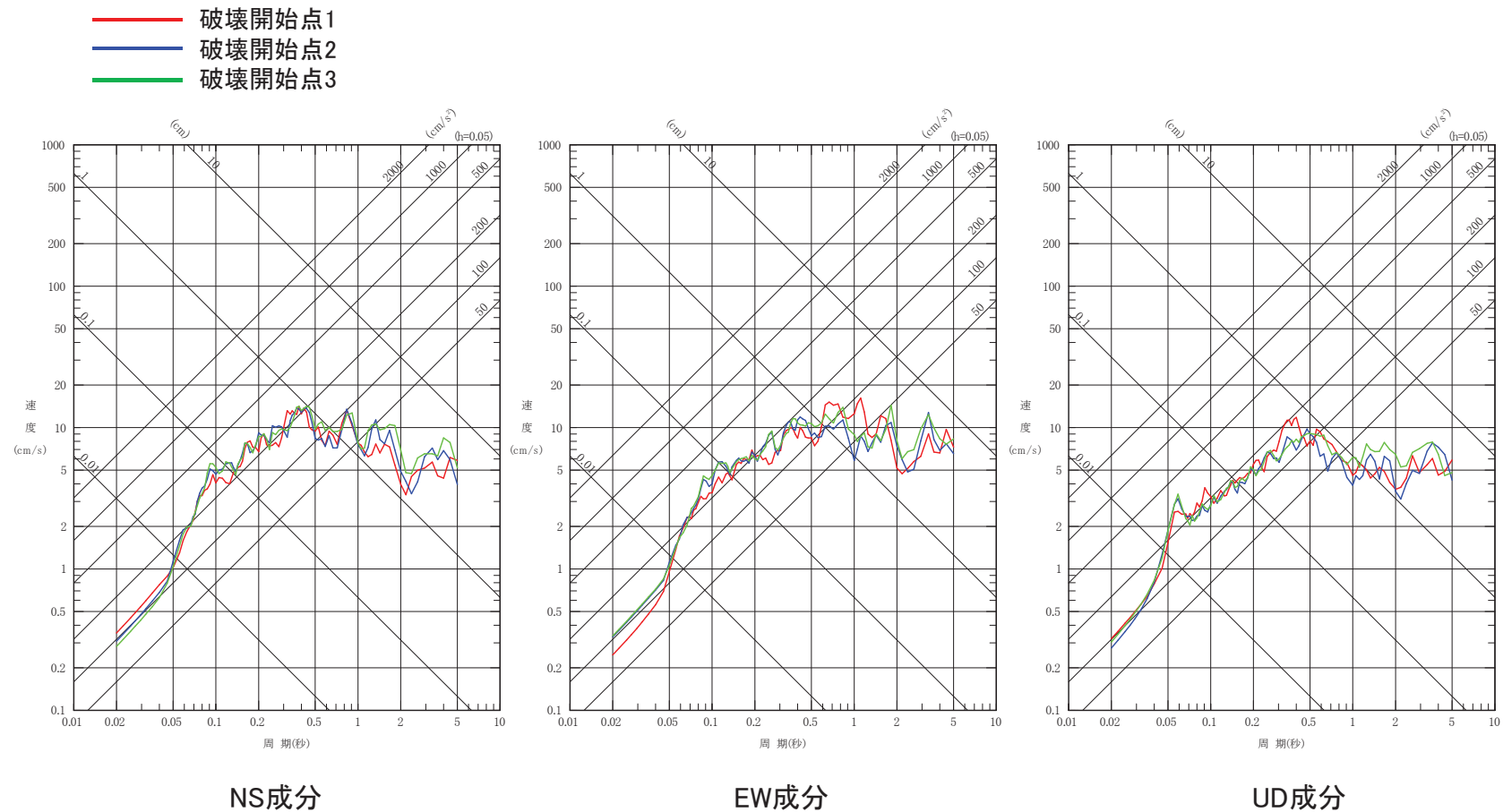
破壊開始点3

基本ケースの時刻歴波形 (PN基準)

4. 2 検討用地震の地震動評価

(3)地震動評価結果② 不確かさケース, 経験的グリーン関数法 応答スペクトル

- 不確かさケース(SMGAの位置の不確かさを考慮したケース)について, 断層モデルによる手法を用いた地震動評価結果を示す。

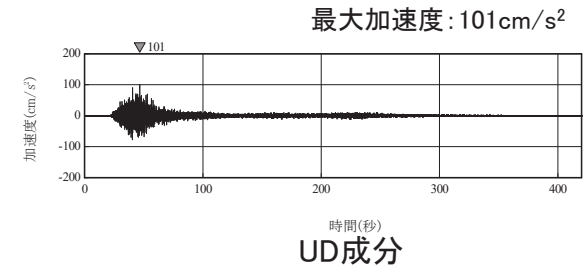
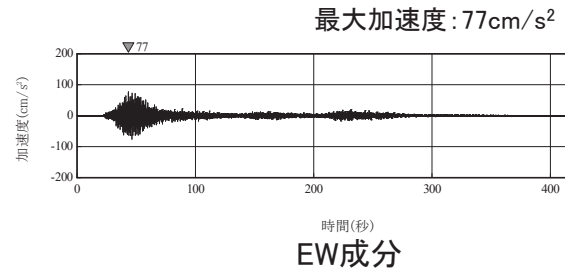
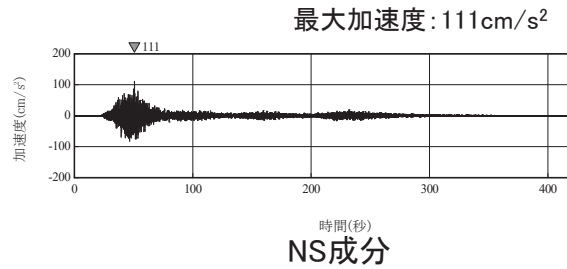


不確かさケースの応答スペクトル(PN基準)

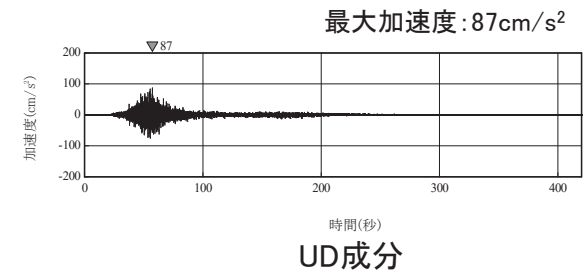
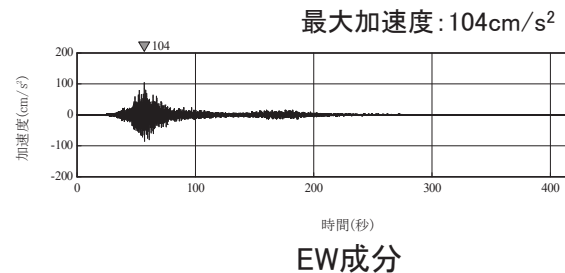
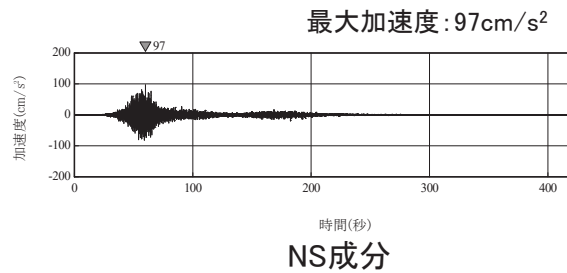
4. 2 検討用地震の地震動評価

(3)地震動評価結果② 不確かさケース, 経験的グリーン関数法 時刻歴波形

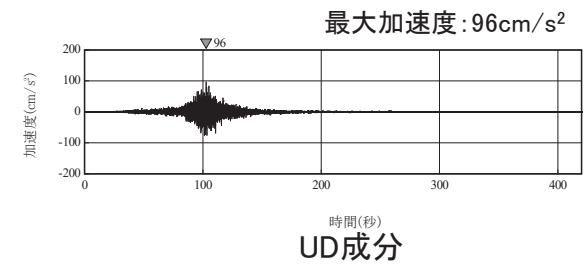
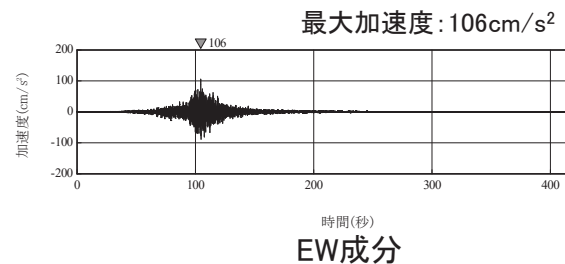
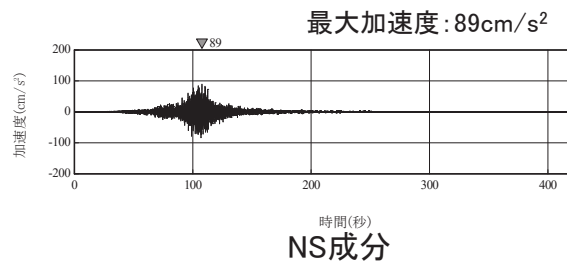
- 不確かさケース(SMGAの位置の不確かさを考慮したケース)について, 時刻歴波形を示す。



破壊開始点1



破壊開始点2

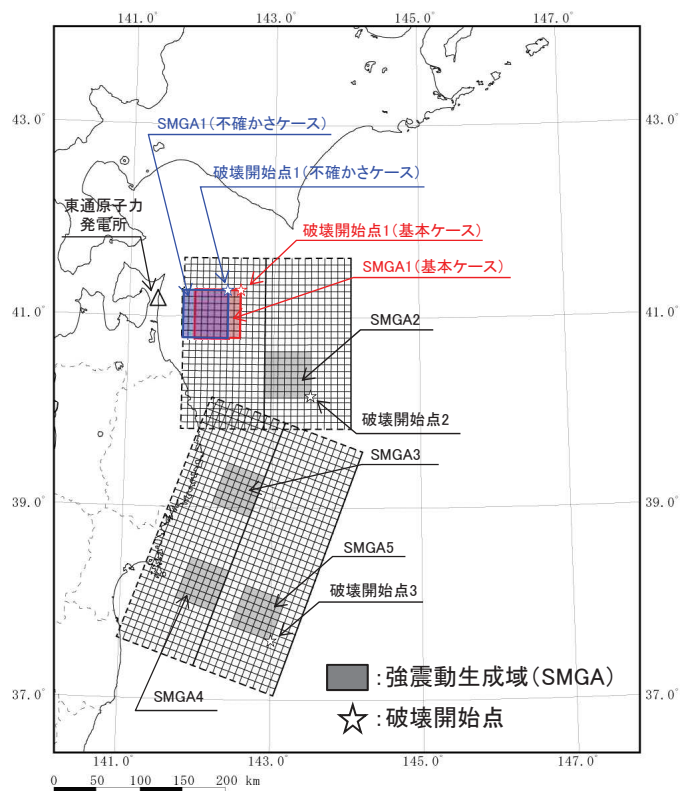


破壊開始点3

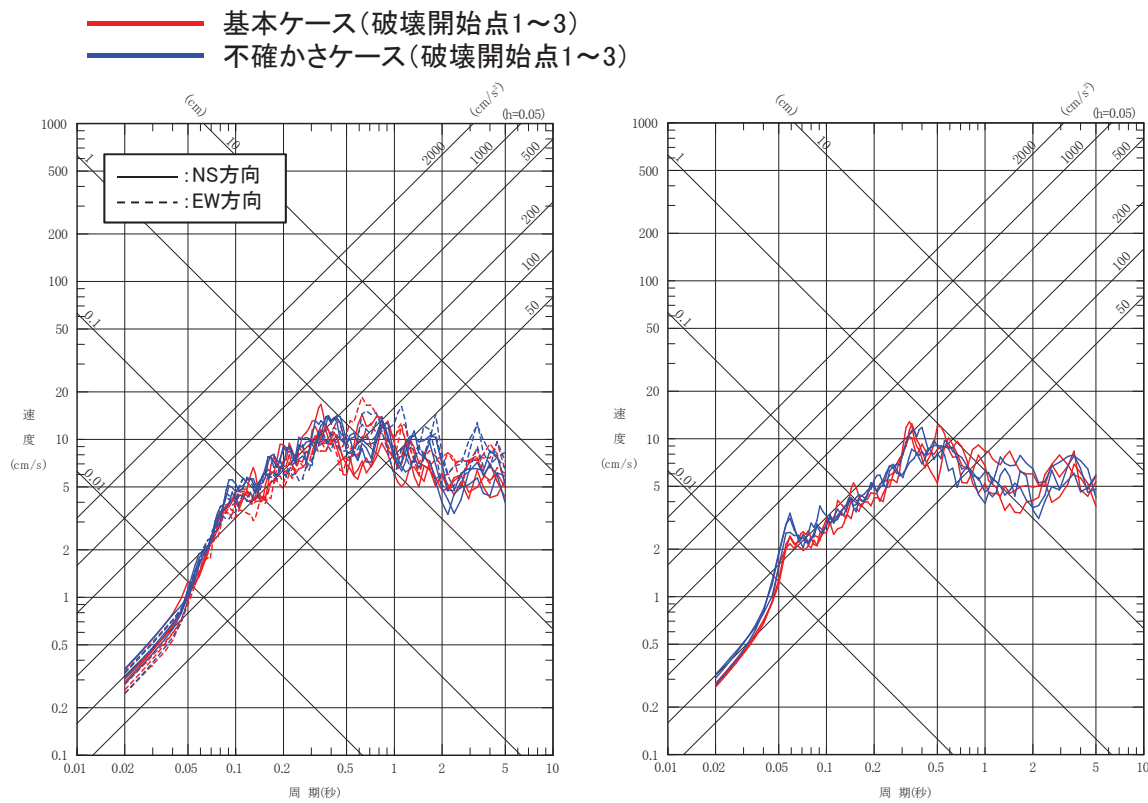
不確かさケースの時刻歴波形(PN基準)

4.3 プレート間地震の地震動評価 まとめ

- 敷地周辺で発生するプレート間地震の特徴を整理し、敷地に対して最も影響の大きい地震として、三陸沖北部（青森県東方沖・岩手県沖北部）のM8程度の地震を包含する領域に「**東北地方太平洋沖型地震(M9)**」を選定した(検討対象地震の選定)。
- 東北地方太平洋沖型地震について、不確かさを考慮した設定(SMGAの位置の不確かさを考慮したケース)を行い、断層モデルを用いた手法(経験的グリーン関数法)による地震動評価を行った(検討用地震の地震動評価)。



検討用地震の震源モデル



水平成分

鉛直成分

地震動評価結果 応答スペクトル(PN基準)

参考文献(1)

1. 敷地周辺の地震発生状況

1. 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子(2013): 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
2. 気象庁(2020): 地震月報ほか
3. 村松郁栄(1969): 震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻
4. 勝又謙, 徳永規一(1971): 震度Ⅳの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻
5. 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
6. 長谷川昭, 海野徳仁, 高木章雄, 鈴木貞臣, 本谷義信, 亀谷悟, 田中和夫, 澤田義博(1983): 北海道および東北地方における微小地震の震源分布—広域の験震データの併合処理—, 地震, 第2輯, 第36巻.

3. プレート間地震の発生状況と特徴, 検討用地震の選定

1. 地震調査研究推進本部(2004): 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について
2. 地震調査研究推進本部(2017): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)
3. 地震調査研究推進本部(2019): 日本海溝沿いの地震活動の長期評価
4. 内閣府(2020): 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について(概要報告), 内閣府(防災担当)
5. 釜江克宏, 入倉孝次郎, 福知保長(1991): 地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測: 統計的波形合成法による予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第430号, .1-9
6. 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
7. 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
8. 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>
9. 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
10. 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
11. 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
12. 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子(2013): 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
13. 気象庁(1951~2020): 地震月報ほか
14. 地震調査研究推進本部(2002): 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について

参考文献(2)

4. プレート間地震(検討用地震)の地震動評価

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): 標準的な強震動レシピ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回年次大会概要集
2. 宇津徳治(2001): 地震学(第3版), 共立出版, 2001
3. 田島礼子, 松元康広, 司宏俊, 入倉孝次郎(2013): 内陸地殻内および沈み込みプレート境界で発生する巨大地震の震源パラメータに関するスケーリング則の比較研究, 地震 第2輯, 第66巻
4. 佐藤良輔(1989): 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会
5. Strasser, F. O., M. C. Arango, and J. J. Bommer(2010): Scaling of the Source Dimensions of Interface and Intraslab Subduction-zone Earthquakes with Moment Magnitude, Seismological Research Letters, Vol.81, No. 6, 941-950.
6. 中央防災会議(2004): 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(第5回) 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会
7. 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
8. 地震調査研究推進本部(2019): 日本海溝沿いの地震活動の長期評価
9. 永井理子, 菊地正幸, 山中佳子(2001): 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究—1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の比較—, 地震 第2輯, 第54巻
10. 独立行政法人防災科学技術研究所地震J-SHIS: 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/>>
11. Igarashi, T., Matsuzawa, T., Umino, N. and Hasegawa, A. (2001): Spatial distribution of focal mechanisms for interplate and intraplate earthquakes associated with the subducting Pacific plate beneath the northeastern Japan arc: A triple-planed deep seismic zone. J. Geophys. Res., 106, 2177-2191
12. 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
13. 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巻, 第675号, 695-704
14. 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, 第75巻, 第651号, 923-932
15. 瀬野徹三(2020): 三重地震面再訪—プレート収束の新しい描像としての“超沈み込み”—, 地震 第2輯, 第73巻
16. 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.
17. 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明(2006): 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, Vol. 62, No. 4, 740-757.
18. 地震調査研究推進本部(2020): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
19. 地震調査研究推進本部(2004): 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について
20. 防災科学技術研究所(2005): 三陸沖北部の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討 防災科学技術研究所研究資料, 第279号

参考文献(3)

4. プレート間地震(検討用地震)の地震動評価

21. Kurahashi, S. and Irikura, K. (2013): Short-period source model of the 2011 Mw9.0 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake. Bulletin of Seismological Society of America, 103 (2B), 1373-1393.
22. Asano, K. and T. Iwata (2012): Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planets Space, 64, 1111-1123.
23. 川辺秀憲, 釜江克宏(2013): 2011年東北地方太平洋沖地震の特性化震源モデルの構築, 日本地震学会秋季大会予稿集, B22-04.
24. 内閣府(2020): 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデルの検討について(概要報告)
25. 釜江克宏, 入倉孝次郎, 福知保長(1991): 地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測: 統計的波形合成法による予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第430号, .1-9
26. 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
27. 防災科学技術研究所 広帯域地震観測網 F-net, <http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=ja>
28. 川瀬博, 松尾秀典(2004): K-NET, KiK-net, JMA震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第1号, 1-20
29. Kamae, K. (2006): Source modeling of the 2005 off-shore Miyagi prefecture, Japan, earthquake (MJMA=7.2) using the empirical Green's function method, Earth Planets Space, 58, 1561-1566.
30. 泉谷恭男(2005): 日本内陸で発生する浅い地震に関する震源スペクトルの相似性についての考察, 土木学会論文集, No.780/I-70, pp.241-246.
31. 池田孝(2010): 2009年8月に駿河湾で発生したスラブ内地震の高振動数成分の励起特性, 第13回日本地震工学シンポジウム, CD-ROM
32. 加藤研一, 武村雅之, 八代和彦(1998): 強震記録から評価した短周期震源スペクトルの地域性, 地震 第2輯, 第51巻
33. 福山英一, 石田瑞穂, D. S. Dreger, 川井啓廉(1998): オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震 第2輯, 第51巻