

大間原子力発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する

地震動について

(プレート間地震)

2021年6月11日

電源開発株式会社

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

・ 右上の注記

再掲：過去の審査会合資料を、そのまま引用する場合

一部修正：過去の審査会合資料の内容を、一部修正する場合

誤りを修正：過去の審査会合資料の誤りを、正しい記載とする場合

・ 左下の注記

修正した誤りの内容を記載（誤りの修正がある場合）

本資料で示す地震動評価の内容は、設置変更許可申請(2014年12月)から変更が生じているため、はじめに、これらの地震動評価に取り組む考え方を示す。

- 原子力事業者として安全の確保を最優先に、常に最新の科学技術的な知見等を踏まえ、安全性向上に取り組むことを基本姿勢としている。
- 設置変更許可申請時は、申請時点の地震調査研究推進本部の長期評価、学術論文等の知見を踏まえ、プレート間地震、海洋プレート内地震及び内陸地殻内地震の敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価を行った。
- その後も新たな科学技術的な知見や先行審査での知見も踏まえ、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価に反映すべきと判断した事項を取り込んで地震動評価を見直すこととしている。
- 上記の観点で見直した敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち、プレート間地震について説明する。

はじめに (2/3)

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち本資料の説明範囲

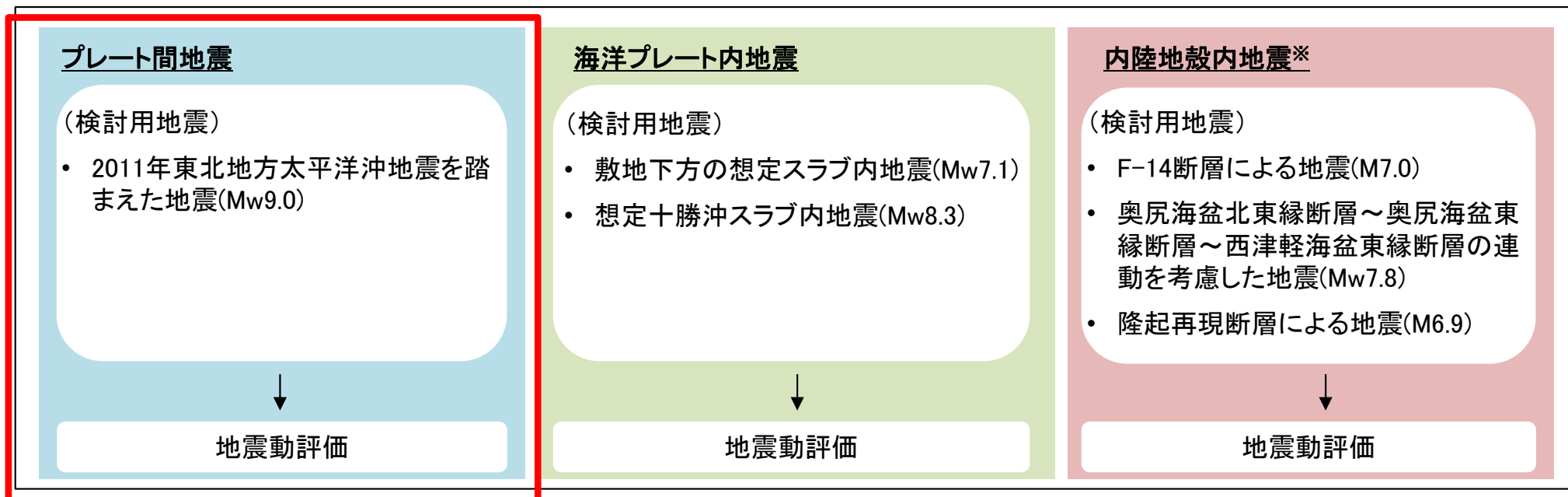
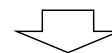
- 本資料では、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち、プレート間地震について説明する。

敷地周辺の地震発生状況

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

本資料の巻末補足に記載

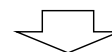
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動



本資料の説明範囲

※日本海東縁部の地震は、内陸地殻内地震として検討を実施する。

まとめ



- 検討用地震の地震動評価結果一覧

はじめに (3/3)

平成26年12月設置変更許可申請からの主な変更点

【申請時】

- 検討用地震は、地震調査研究推進本部※(2012)における三陸沖北部の長期評価を参照し、三陸沖北部の繰り返し発生するプレート間地震として想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)を設定。
- 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の地震規模は、検討用地震の不確かさとして考慮。連動する領域は、三陸沖北部より南側の領域については当該地震により固着が解放されたと考え、三陸沖北部から北側の十勝沖～根室沖の領域とした。

【今回】

- 検討用地震は、地震本部(2017, 2019)により示された超巨大地震の長期評価を参照するとともに先行審査の知見を踏まえ、三陸沖北部から北側の十勝沖～根室沖の領域への連動、及び三陸沖北部から南側の三陸沖中部～宮城県沖～三陸沖南部海溝寄りの領域への連動をそれぞれ想定した2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)を設定。

※：以下「地震本部」という。

検討用地震の選定

基本ケース・不確かさの考慮

平成26年12月設置変更許可申請時点

○ 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえ想定

- 1763年陸奥八戸の地震(M7 1/4)
- 1952年十勝沖地震(M8.2)
- 1968年十勝沖地震(M7.9)
- 2003年十勝沖地震(M8.0)
- 想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)

○ 検討用地震の選定

- Noda et al.(2002)の方法により選定。
- 想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)

○ 基本ケース

- 1968年十勝沖地震の知見を踏まえ、同地震の震源域にMw8.3の断層面を設定。

○ 不確かさの考慮

- 断層面を敷地に近づけたモデルを考慮。
- 2011年東北地方太平洋沖地震と同規模のMw9.0の震源を三陸沖北部～根室沖の領域に考慮。

今回ご説明

○ 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえ想定

- 想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)

○ 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえ想定

- 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)

○ 検討用地震の選定

- 震源パラメータの比較により敷地への影響がより大きい地震を選定。
- 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)

○ 基本ケース

- 敷地に近い三陸沖北部の領域を含むMw9.0の断層面を設定。
- 震源域として、三陸沖北部～宮城県沖の領域及び三陸沖北部～根室沖の領域を設定。

○ 不確かさの考慮

- SMGAを敷地に近づけたモデルを考慮。

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
 2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討
 - 2.2 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討
 - 2.3 検討用地震の選定
 3. 震源モデルの設定
 - 3.1 震源モデルの設定方針
 - 3.2 震源モデルの設定
 - (1) 断層面の設定
 - (2) SMGAの設定
 - (3) 検討ケースの設定
 - (4) 断層パラメータの設定
 - (5) 設定したパラメータの確認
 4. 地震動評価手法
 - 4.1 地震動評価の方針
 - 4.2 要素地震の選定
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の要素地震
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の要素地震
 5. 地震動評価結果
 - 5.1 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果
 - 5.2 地震動評価結果まとめ
- (補足) 敷地周辺の地震発生状況

(余白)

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
 2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討
 - 2.2 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討
 - 2.3 検討用地震の選定
 3. 震源モデルの設定
 - 3.1 震源モデルの設定方針
 - 3.2 震源モデルの設定
 - (1) 断層面の設定
 - (2) SMGAの設定
 - (3) 検討ケースの設定
 - (4) 断層パラメータの設定
 - (5) 設定したパラメータの確認
 4. 地震動評価手法
 - 4.1 地震動評価の方針
 - 4.2 要素地震の選定
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の要素地震
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の要素地震
 5. 地震動評価結果
 - 5.1 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果
 - 5.2 地震動評価結果まとめ
- (補足) 敷地周辺の地震発生状況

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

・ プレート間地震の地震動評価フローを示す。

各種調査



検討用地震の選定



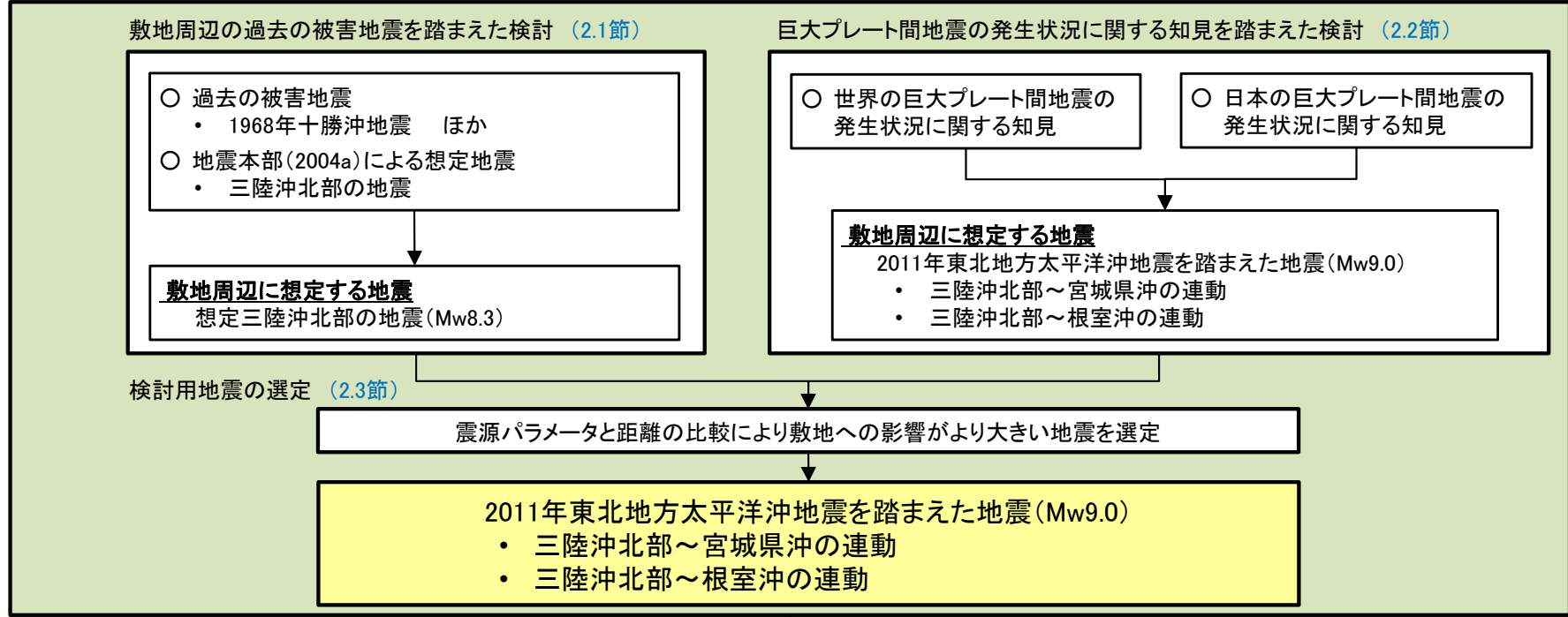
震源モデルの設定

不確かさの考慮

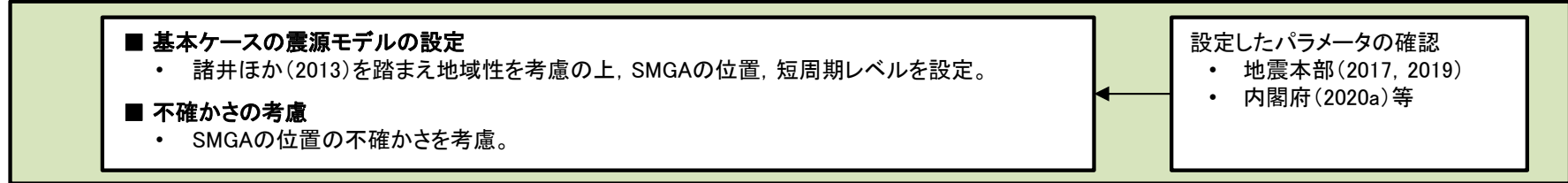


地震動評価

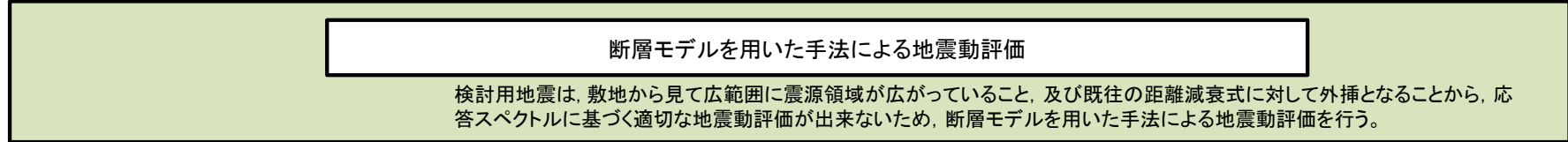
検討用地震の選定 (2章)



震源モデルの設定 (3章)

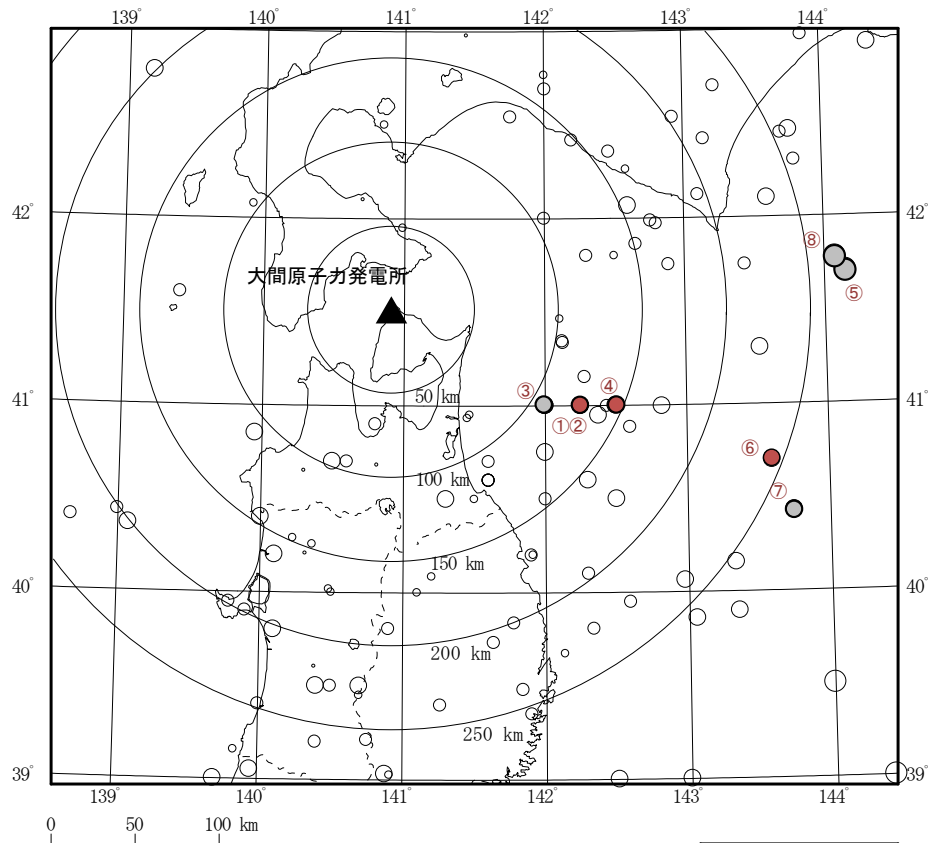


地震動評価手法 (4章) 及び地震動評価結果 (5章)



1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
 2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討
 - 2.2 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討
 - 2.3 検討用地震の選定
 3. 震源モデルの設定
 - 3.1 震源モデルの設定方針
 - 3.2 震源モデルの設定
 - (1) 断層面の設定
 - (2) SMGAの設定
 - (3) 検討ケースの設定
 - (4) 断層パラメータの設定
 - (5) 設定したパラメータの確認
 4. 地震動評価手法
 - 4.1 地震動評価の方針
 - 4.2 要素地震の選定
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の要素地震
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の要素地震
 5. 地震動評価結果
 - 5.1 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果
 - 5.2 地震動評価結果まとめ
- (補足) 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の過去の被害地震



- : 地震本部(2019)で繰り返し発生する地震とされている地震
- : 上記以外のプレート間地震と考えられる主な被害地震

- 青森県の東方沖の領域では、プレート間地震が過去に繰り返し発生している。震度5弱程度(震度V)以上の揺れを敷地に及ぼした1968年十勝沖地震(M7.9, Mw8.2)も、青森県の東方沖の領域で発生した地震である。
- 過去の被害地震の地震規模は、敷地からやや遠い十勝沖の領域で発生した地震(図中⑤及び⑧)まで考慮すると、Mw8.3以下であることが分かる。

プレート間地震と考えられる主な被害地震※

- ① 1677年 陸中の地震(M7.4, Mw不明)
- ② 1763年1月29日 陸奥八戸の地震(M7.4, Mw不明)
- ③ 1763年3月11日 陸奥八戸の地震(M7 1/4, Mw不明)
- ④ 1856年 日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震(M7.5, Mw不明)
- ⑤ 1952年 十勝沖地震(M8.2, Mw8.1)
- ⑥ 1968年 十勝沖地震(M7.9, Mw8.2)
- ⑦ 1994年 三陸はるか沖地震(M7.6, Mw7.7)
- ⑧ 2003年 十勝沖地震(M8.0, Mw8.3)

※ : 各地震の地震諸元は、1918年以前の地震については宇佐美ほか(2013)に、1919年以降の地震については気象庁による。Mwは地震本部(2017, 2019)による。

過去の被害地震の震央分布図※
(599年～2020年12月)

2. 検討用地震の選定

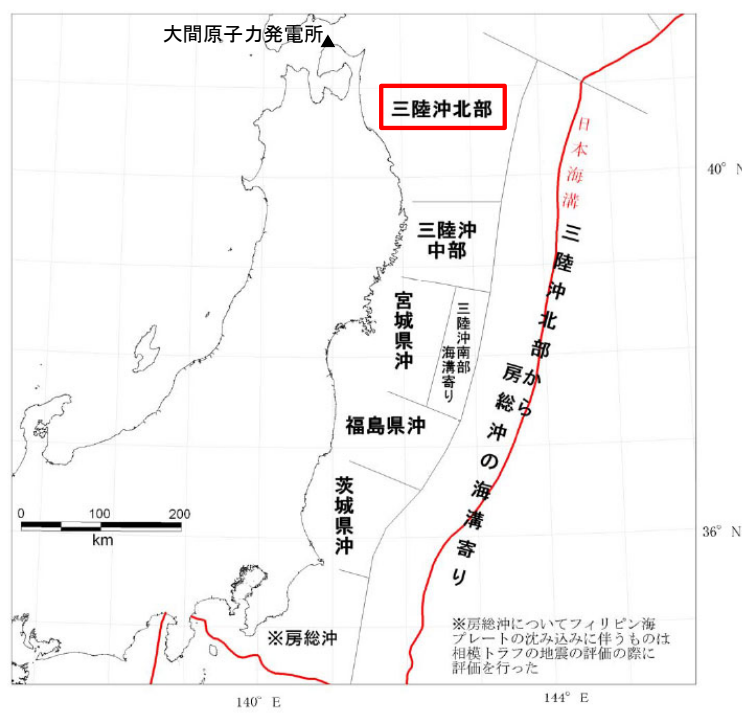
2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討 (2/3)

地震本部(2004a)による想定地震

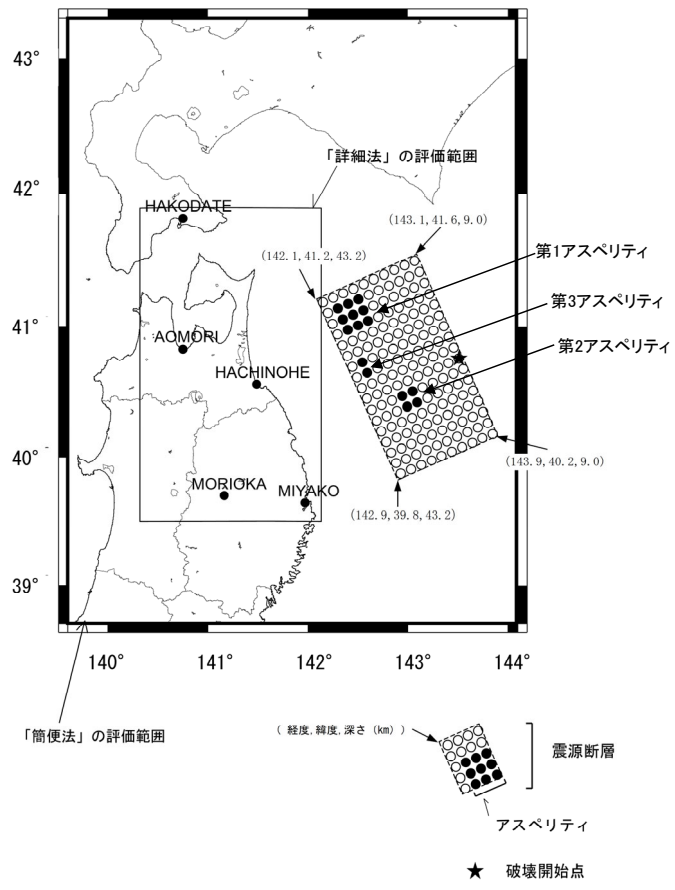
- 地震本部(2012)における地震活動の長期評価の領域区分によると、敷地に近い領域として、青森県東方に位置する三陸沖北部の領域が挙げられる。
- 地震本部(2004a)では、既往の研究成果に基づき、三陸沖北部の領域で繰り返し発生する地震として「三陸沖北部の地震(Mw8.3)」が想定されている。

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	
全アスペリティ	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アスペリティ	短周期レベル	1.88E+20 N・m/s ²
	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
第2アスペリティ	実効応力	34.0 MPa
	短周期レベル	1.12E+20 N・m/s ²
	面積	400 km ²
	平均すべり量	704 cm
第3アスペリティ	地震モーメント	1.32E+20 N・m
	実効応力	34.0 MPa
	短周期レベル	7.45E+19 N・m/s ²
	面積	200 km ²
背景領域	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
	短周期レベル	1.32E+20 N・m/s ²
	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	



地震本部(2012)に加筆



*アスペリティとは、震源断層の中で強い地震波を生成する領域のこと。

地震本部(2012)における三陸沖から房総沖にかけての領域区分※

※: 領域の名称は、地震本部(2012)による「三陸沖北部」を用いる。なお、地震本部(2012)における「三陸沖北部」の領域は、同(2019)では海溝軸寄りの領域も含めて「青森県東方沖及び岩手県沖北部」の領域と改称されている。

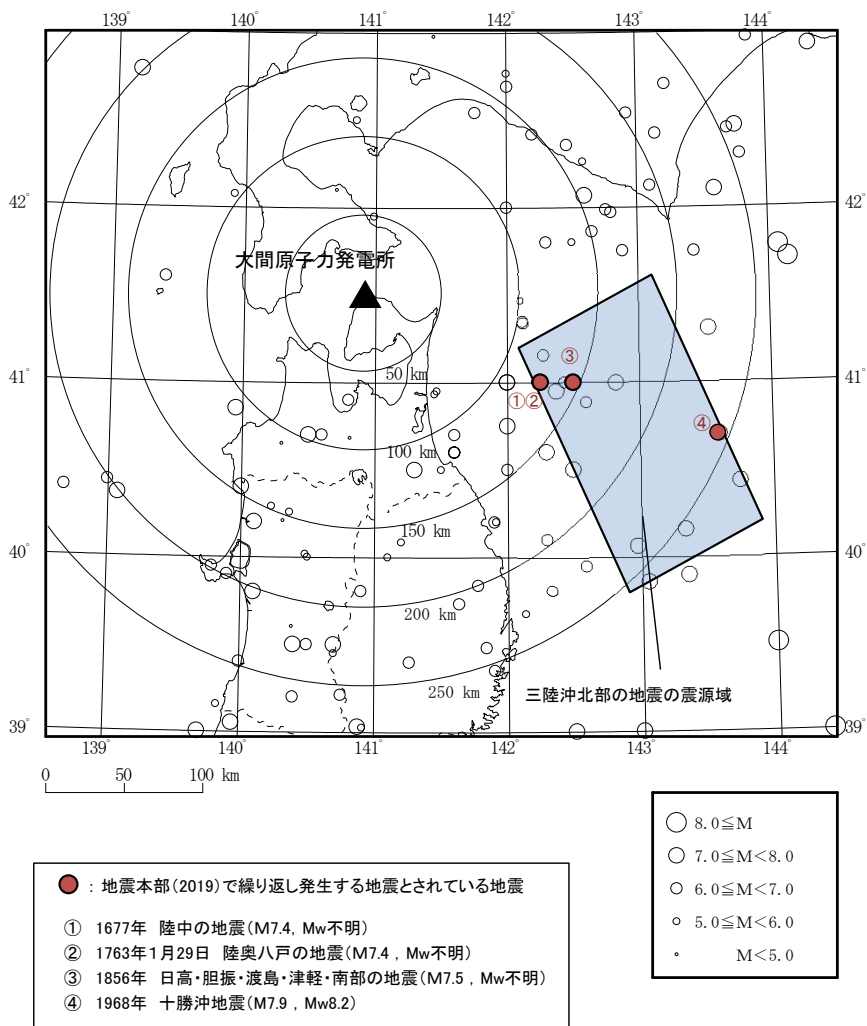
地震本部(2004a)に加筆

三陸沖北部の地震の震源モデル及びパラメータ(表中「図2」は左図を示している)

2. 検討用地震の選定

2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討 (3/3)

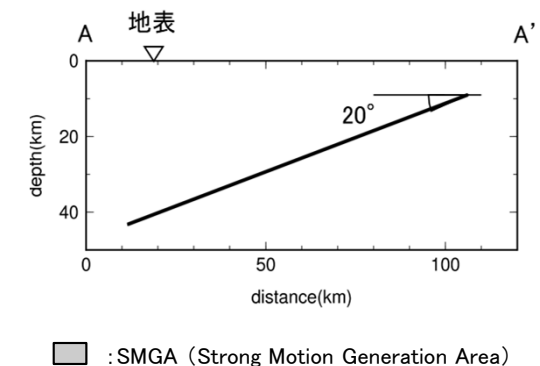
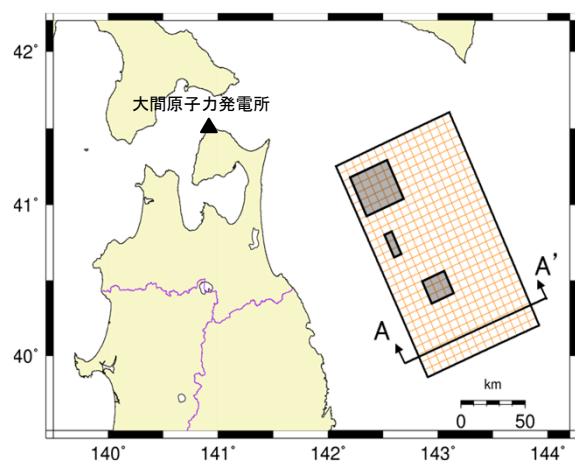
過去の被害地震及び地震本部(2004a)を踏まえた検討対象地震の設定



• 過去に発生した主な被害地震の規模は、地震本部(2004a)で想定されている規模 Mw8.3以下である。

• 三陸沖北部の地震の震源域は、1968年十勝沖地震(M7.9, Mw8.2)等繰り返し発生する地震とされている地震を含む領域となっていることが分かる。

• 過去の被害地震及び地震本部(2004a)を踏まえ、敷地周辺に想定する地震として、地震本部(2004a)を踏まえて「想定三陸沖北部の地震」(Mw8.3)を設定する。



三陸沖北部の地震の想定震源域と過去の被害地震の震央分布図 (599年~2020年12月)

想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)の震源モデル

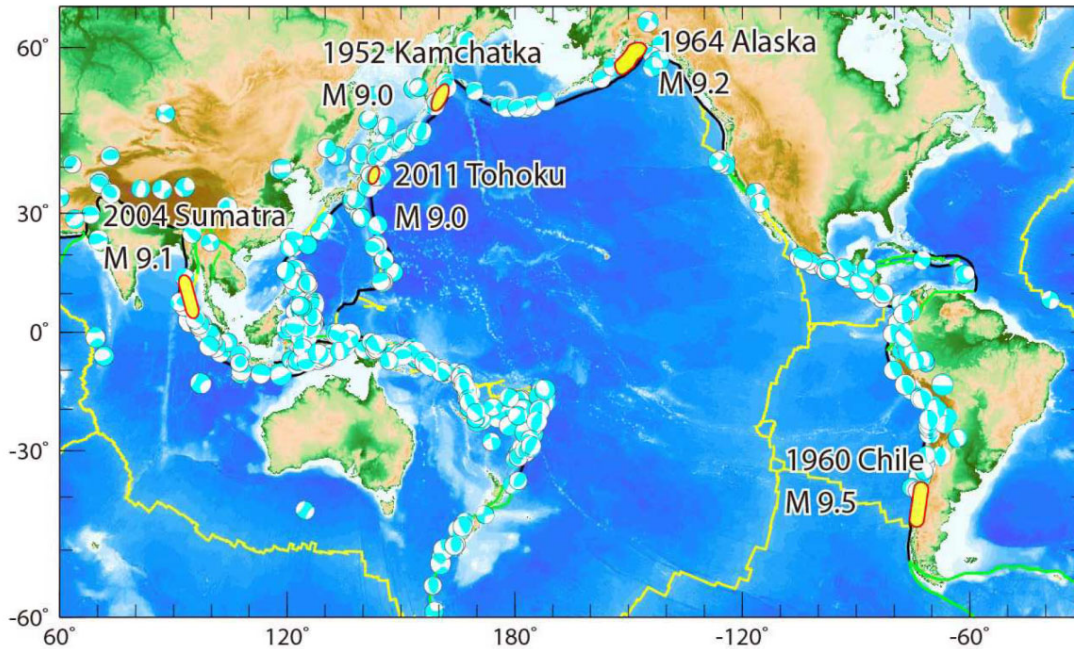


世界の巨大プレート間地震の発生状況に関する知見

第197回地震予知連絡会(2012年11月21日)における議題の一つである「世界の巨大地震・津波」に関する議論において、佐竹(2013)では以下のとおり取り纏められている。

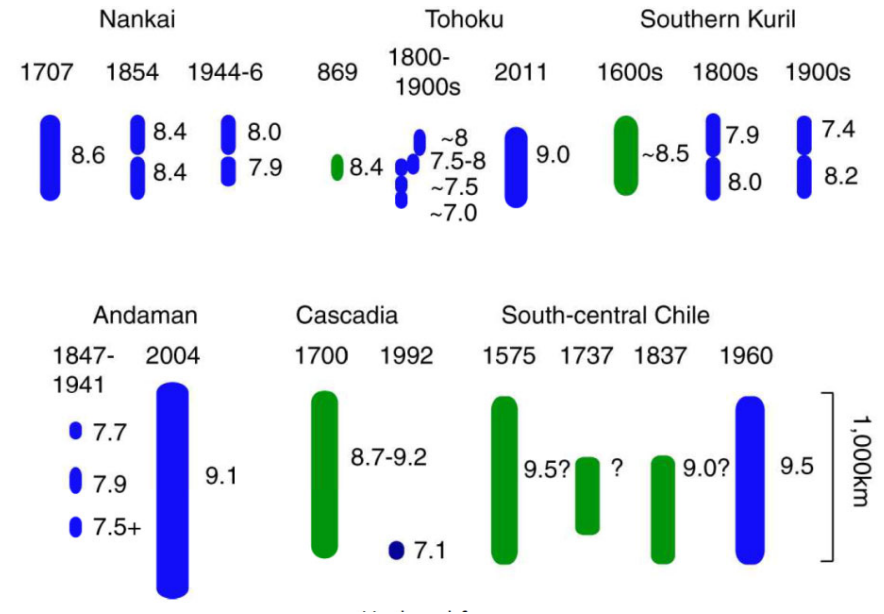
- 2011年東北地方太平洋沖地震は日本周辺で発生した初のM9超巨大地震であったが、世界では20世紀以降でも数回の超巨大地震が発生している。
- 日本も含めた世界各地でここ数年～数十年間に古地震調査※が行われ、過去に発生した超巨大地震の履歴が明らかになってきた。
- 歴史記録が残っていない地域でもM9クラスの地震が数百年の間隔で発生していることが明らかになってきた。

※：津波堆積物をはじめとした過去の地震や津波を探る調査のこと。



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。



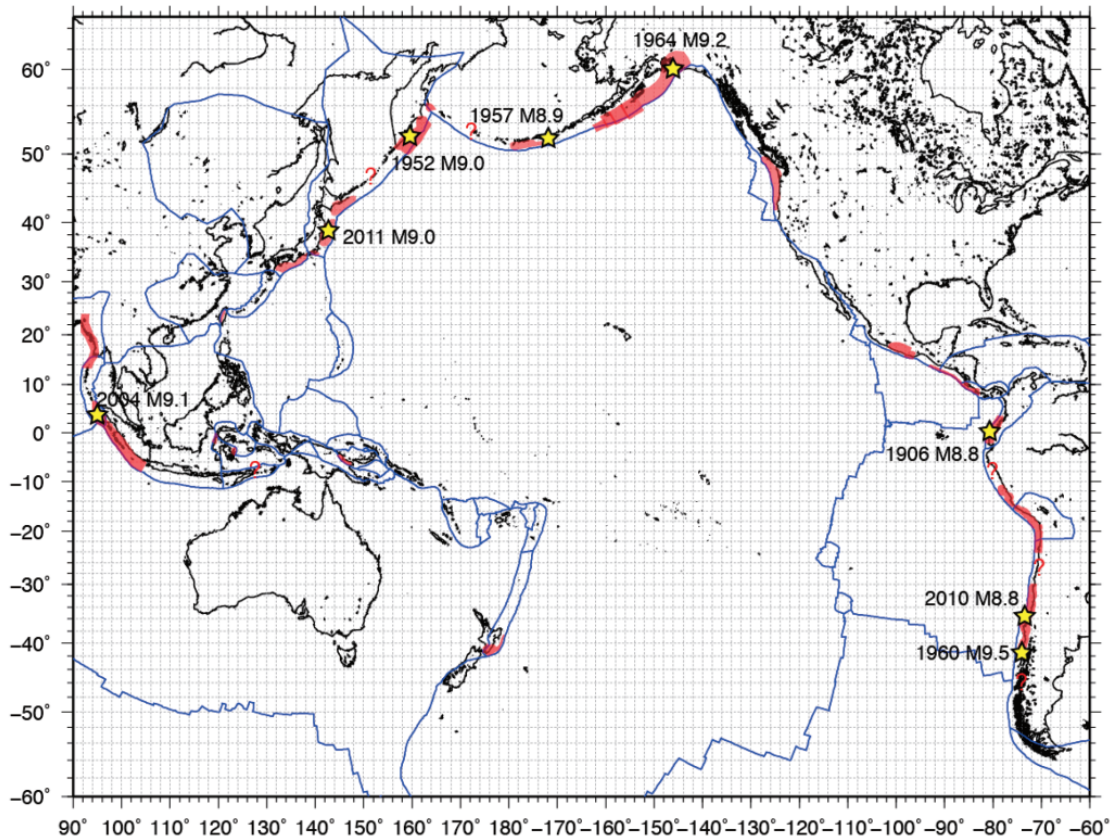
世界の沈み込み帯における巨大地震の規模の多様性

それぞれの形はだ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。

世界の巨大プレート間地震の発生位置とカップリングの関係に関する知見

- 西村(2013)では、測地データに基づくプレート間カップリング(固着)に関する既往の研究が整理されており、20世紀以降に発生したM9クラスの超巨大地震は、すべ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が指摘されている。なお、カップリング係数が中程度の地域として、東北日本(日本海溝, 千島海溝)が挙げられている。

※ : カップリング係数は、すべり欠損速度をプレート相対運動速度で割ったもの



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

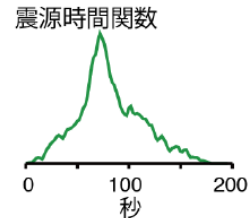
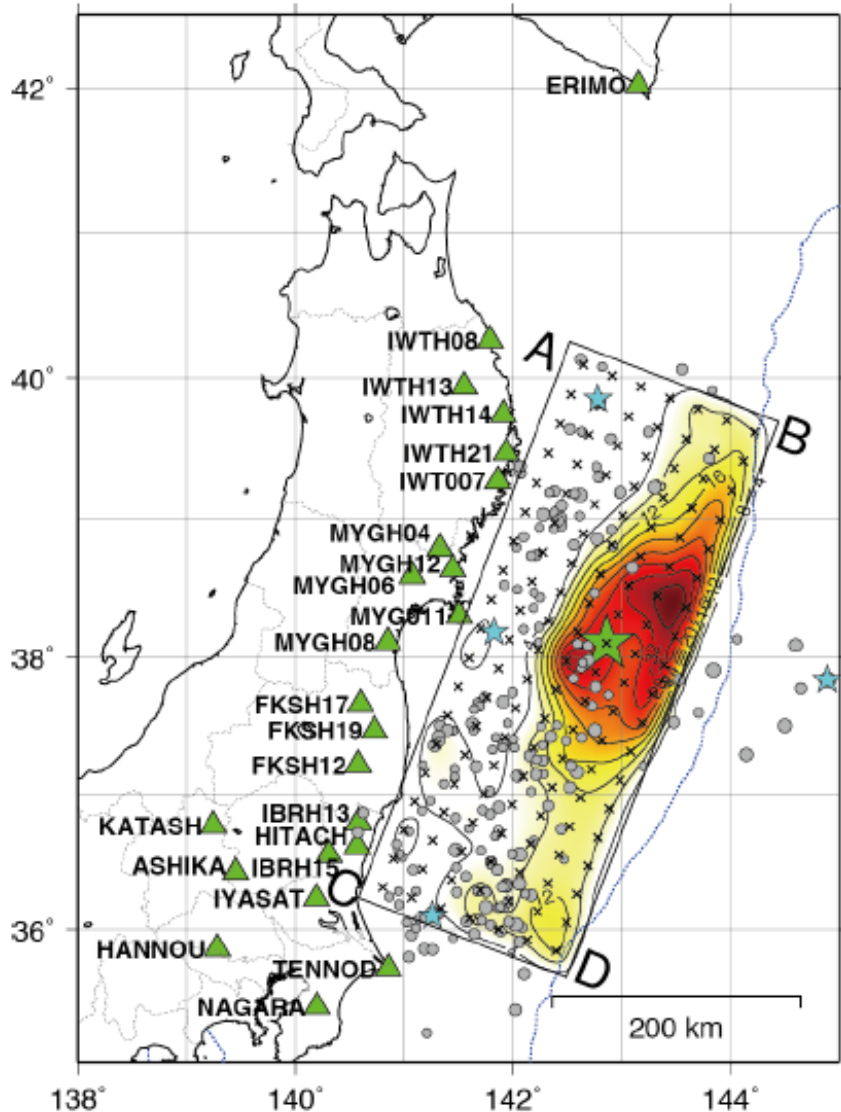
赤色の領域は、すべり欠損速度が2cm/年以上と推定されている領域。1900年以降のM8.8以上の超巨大地震の震央を星印で示す。クエスチョンマークは、カップリングしていると疑われるが、文献が調査できなかった地域を示す。青線はプレート境界位置を示す。

- **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, 西南日本(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, **東北日本(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



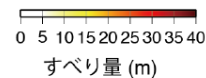
2011年東北地方太平洋沖地震に関する知見

- 2011年東北地方太平洋沖地震は、日本国内で発生した最大規模の地震であり、その規模は気象庁によるとMw9.0であった。
- 余震は岩手県沖から茨城県沖にかけて、震源域に対応する長さ約500km、幅約200kmの範囲で発生している。気象庁(2011)の震源過程解析結果を見ると、すべりの大きな領域は、破壊開始点の東から北東側(宮城県沖～岩手県沖にかけて)に分布しており、複数の領域が連動した地震であったことが分かる。
- 同地震による大間町での震度は4であった。



- ★ 本震の破壊開始点
- ★ 3月9日以降のM7以上の地震の震央
- 本震発生から1日間のM5以上の地震の震央
- × 各小断層の中心点
- ▲ 解析に用いた観測点

$M_0 = 3.4 \times 10^{22} \text{ Nm}$ ($M_w = 9.0$)



コンターの間隔は4m

地震諸元(気象庁)

地震発生時刻	平成23年3月11日 14時46分	
震源位置	緯度	北緯38度6.2分
	経度	東経142度51.6分
地震規模	Mw9.0	
震源深さ	24km	
大間町震度	4	

気象庁(2011)

震源過程解析結果と余震が発生した領域の広がり

地震本部による巨大プレート間地震の長期評価

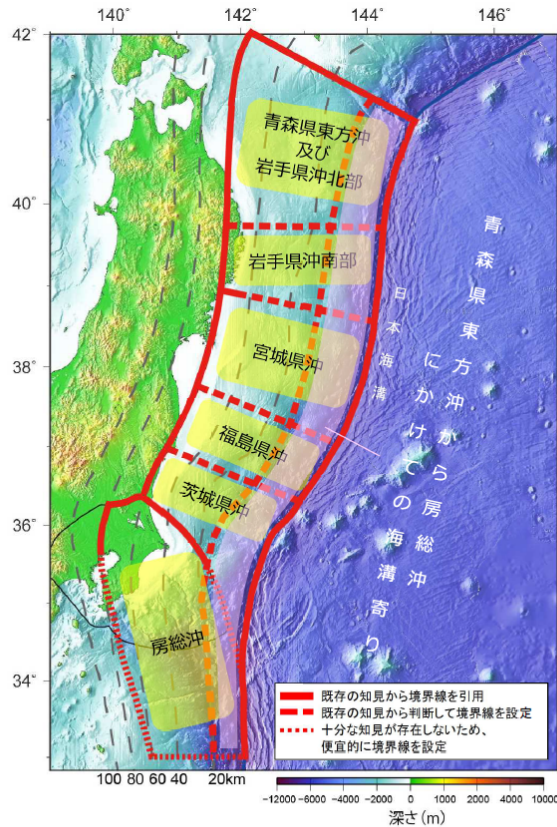


図1 プレート間地震の評価対象領域 (赤枠)

プレート内地震は赤枠外で発生した地震も評価する。黒色実線は「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版)」の評価対象領域。灰色破線は横田・他(2017)による太平洋プレート上面深さの等深線。

地震本部(2019)

日本海溝沿いの地震活動の長期評価における評価対象領域

• 地震本部(2017, 2019)では、それぞれ千島海溝沿い、日本海溝沿いの地震の長期評価を行っており、超巨大地震としてM8.8程度以上、M9.0程度の規模が想定されている。

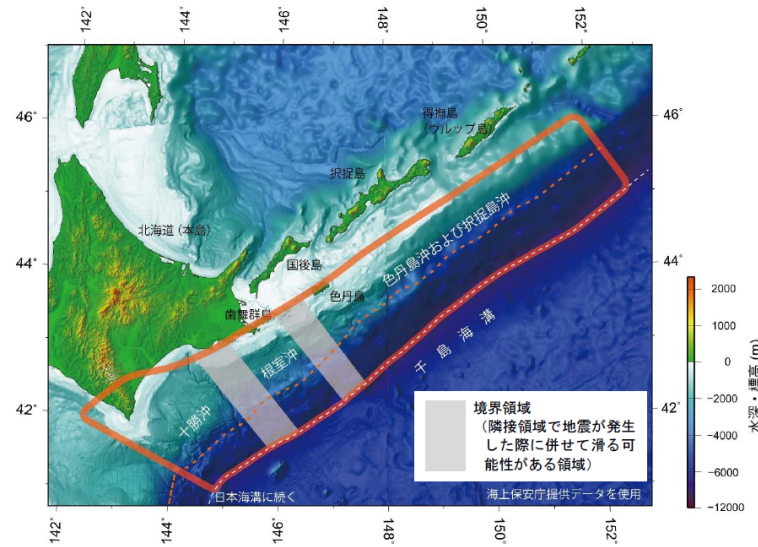


図1 千島海溝沿いの評価対象領域。赤枠はプレート間地震に関する評価対象領域で、プレート内地震は赤枠外で発生した地震も評価する。赤い点線は、海溝寄りの領域を分ける線で、主に、十勝沖から択捉島沖の海溝寄りのプレート間地震(津波地震等)の評価に使用する。

地震本部(2017)

千島海溝沿いの地震活動の長期評価における評価対象領域

想定されている地震の規模

想定震源		想定される領域	規模	発生確率※
千島海溝沿いの超巨大地震	(17世紀型)	具体的な地域は特定できないが、根室沖を含む可能性が高い	M8.8程度以上	7~40%
日本海溝沿いの超巨大地震	(東北地方太平洋沖型)	宮城県沖を必ず含み、隣接する領域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	M9.0程度	ほぼ0%

※ : 今後30年以内の発生確率。

巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討対象地震の設定

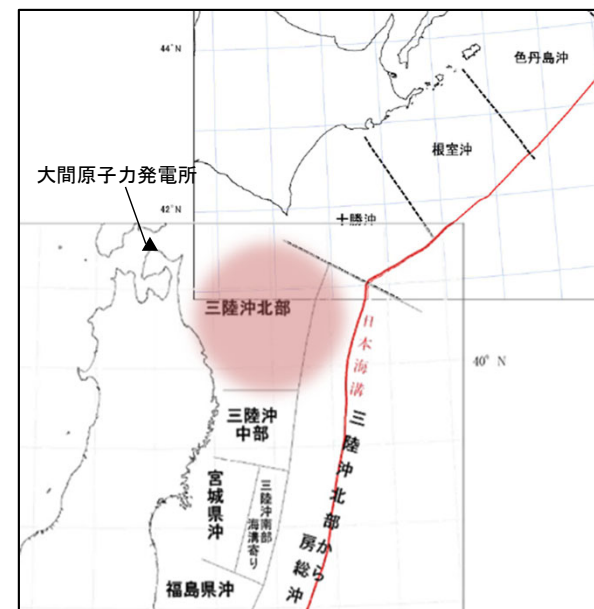
■ 世界の巨大プレート間地震の発生状況に関する知見

- 佐竹(2013)は、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としている。
- 西村(2013)は、20世紀以降に発生したM9クラスの超巨大地震は全て、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)が中程度以上の地域で発生したとしている。なお、カップリング係数が中程度の地域として、東北日本(日本海溝, 千島海溝)が挙げられている。

敷地周辺ではM9クラスの巨大地震の発生は確認されていないが、歴史記録が残っていない地域でも発生する可能性があり、また、すべり欠損速度から計算されるカップリング係数によると、東北日本は超巨大地震が起こりうる地域であると考えられる。

■ 日本の巨大プレート間地震の発生状況に関する知見

- 2011年東北地方太平洋沖地震は、日本国内で発生した最大規模の地震であり、その規模はMw9.0であった。また、複数の領域が連動した地震であった。
- 地震本部(2017, 2019)では、それぞれ千島海溝沿い、日本海溝沿いの地震の長期評価を行っており、超巨大地震としてM8.8程度以上、M9.0程度の規模が想定されている。



地震本部(2004b, 2012)に加筆
三陸沖北部とその周辺の領域

以上を踏まえ、敷地周辺に想定する地震として、敷地に近い三陸沖北部の領域を含み南側への連動及び北側への連動をそれぞれ想定した「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震」(Mw9.0)を設定する。

2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の震源モデル

- 2011年東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえ、震源モデルを設定※した。

■ 地震規模の設定

2011年東北地方太平洋沖地震と同等の規模である、Mw9.0を想定する。

■ 断層面の設定

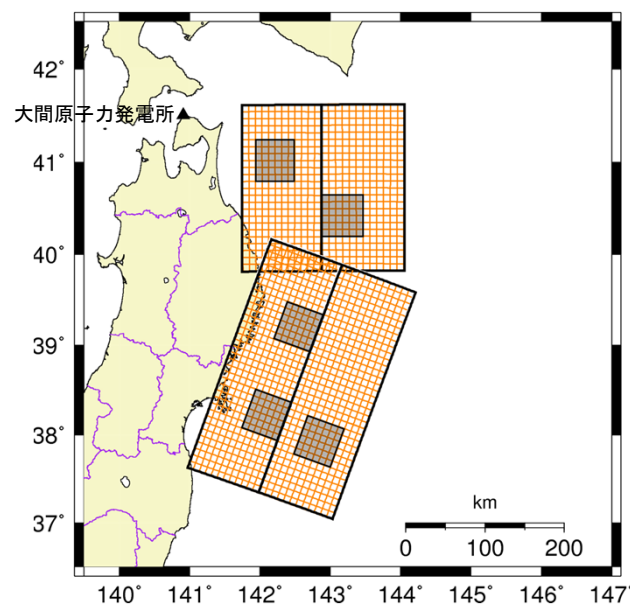
2011年東北地方太平洋沖地震は複数の領域が連動した地震であったことを踏まえ、敷地に近い三陸沖北部の領域から南側への連動及び北側への連動をそれぞれ考慮したプレート間地震として、以下の2ケースを想定する。モデルの諸元は、諸井ほか(2013)を踏まえ設定する。

- 三陸沖北部～宮城県沖の連動
- 三陸沖北部～根室沖の連動

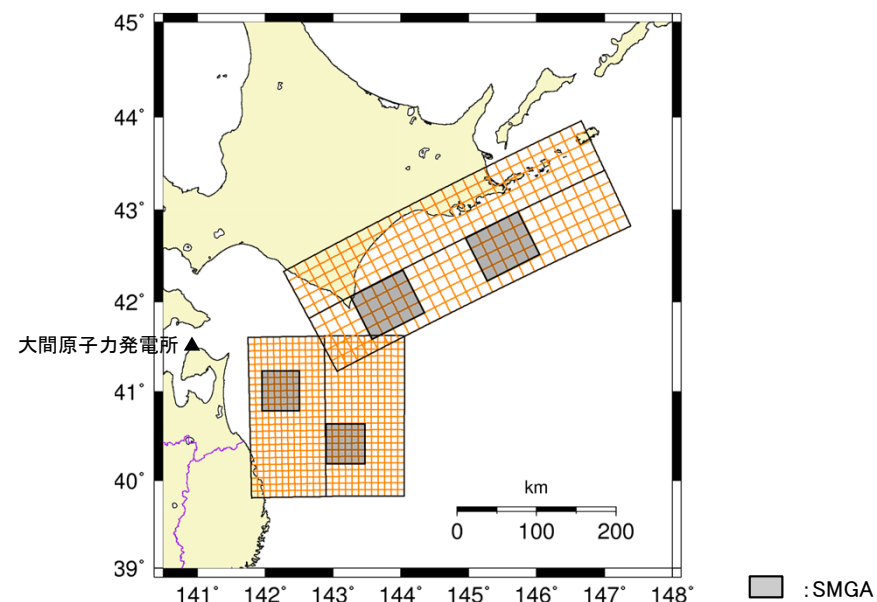
■ SMGAの短周期レベルについて

敷地に近い三陸沖北部の領域のSMGAの短周期レベルについては、1978年宮城県沖の地震の短周期レベルを踏まえて設定する。

※：震源モデルの設定の詳細については、3章を参照。



三陸沖北部～宮城県沖の連動



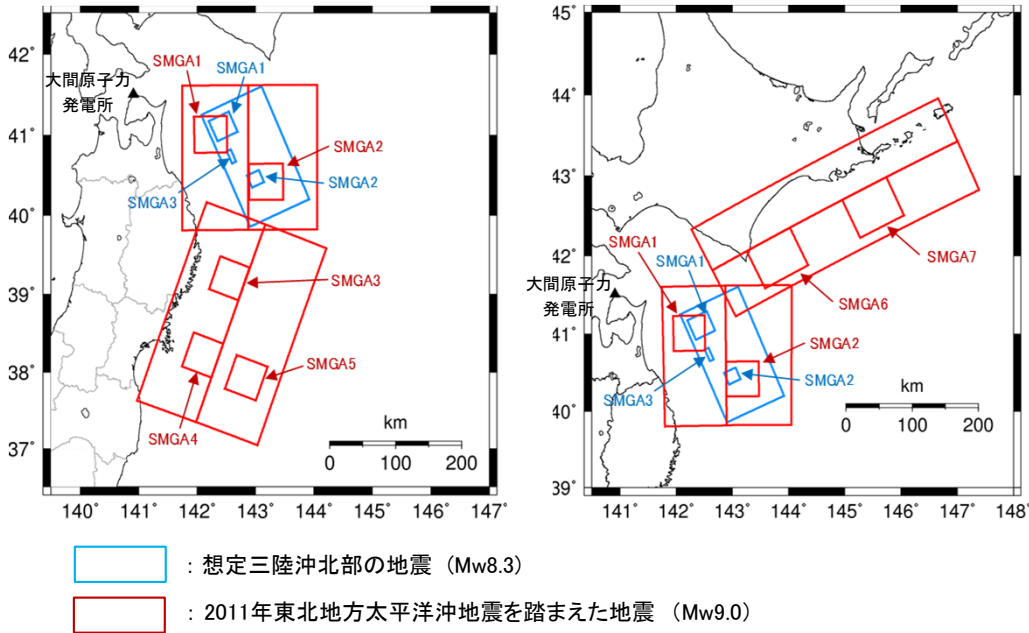
三陸沖北部～根室沖の連動

2. 検討用地震の選定

2.3 検討用地震の選定

検討用地震の選定

- 敷地への影響が大きい地震として、「**想定三陸沖北部の地震**」(Mw8.3)及び「**2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震**」(Mw9.0)を設定した。
- 上記の2地震について、震源パラメータと距離の比較により敷地への影響がより大きい地震を、検討用地震として選定する。



想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)および
2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)の断層面

断層パラメータ※の比較

	想定三陸沖北部の地震	2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震
地震規模	Mw8.3	Mw9.0
断層面積 (Km ²)	16844	100000
短周期レベル (Nm/s ²)	1.88 × 10 ²⁰	3.49 × 10 ²⁰
直近SMGAの短周期レベル(Nm/s ²)	1.12 × 10 ²⁰ (SMGA1) 1.32 × 10 ²⁰ (SMGA3)	1.73 × 10 ²⁰ (SMGA1&3) 1.86 × 10 ²⁰ (SMGA1)
敷地と直近SMGA中心との距離(Km)	140.3 (SMGA1)	131.9 (SMGA1)
	168.5 (SMGA3)	

※ : 想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)のパラメータは、地震本部(2004a)による。2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)のパラメータは、諸井ほか(2013)を踏まえ設定した値(3.2節参照)。

- 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の直近SMGAの短周期レベルは、想定三陸沖北部の地震のSMGA1と3を合わせた短周期レベルより大きい値となっている。
- さらに、敷地と直近SMGA中心との距離についても、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の方が近い。



- パラメータを比較した結果、敷地に対する影響は、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)の方が、想定三陸沖北部の地震(Mw8.3)を上回ると考えられることから、**検討用地震として「2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震」(Mw9.0)を選定した。**

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
 2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討
 - 2.2 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討
 - 2.3 検討用地震の選定
 3. 震源モデルの設定
 - 3.1 震源モデルの設定方針
 - 3.2 震源モデルの設定
 - (1) 断層面の設定
 - (2) SMGAの設定
 - (3) 検討ケースの設定
 - (4) 断層パラメータの設定
 - (5) 設定したパラメータの確認
 4. 地震動評価手法
 - 4.1 地震動評価の方針
 - 4.2 要素地震の選定
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の要素地震
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の要素地震
 5. 地震動評価結果
 - 5.1 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果
 - 5.2 地震動評価結果まとめ
- (補足) 敷地周辺の地震発生状況

震源モデルの設定方針(1)

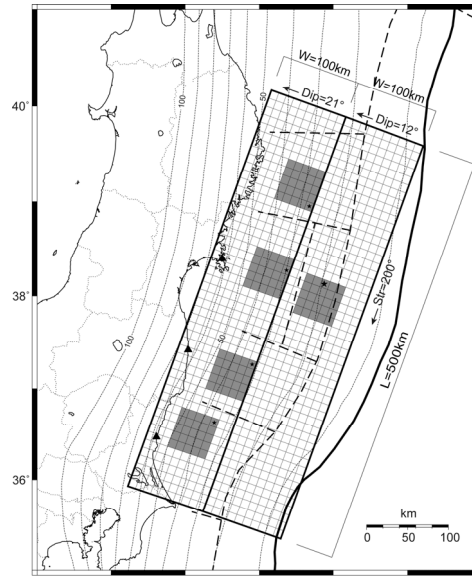
- プレート間地震の地震動評価にあたり、地震調査研究推進本部(2020)(以下「強震動予測レシピ」という。)にて、パラメータ設定の考え方が示されている。諸井ほか(2013)では、プレート間巨大地震に対して強震動予測レシピの適用性が確認されている。

諸井ほか(2013)の知見

- 地震前の先験情報に基づき、標準的な強震動予測レシピを用いた2011年東北地方太平洋沖地震の強震動の再現検討が行われている。
- 各サイトの敷地前面の地域性を考慮したモデルにより、女川、福島第一、東海第二の各地点で得られた観測記録と整合する結果が得られている。
- Mw9.0の規模のプレート間地震に対して、強震動予測レシピの有用性を十分に示す結果となっている。



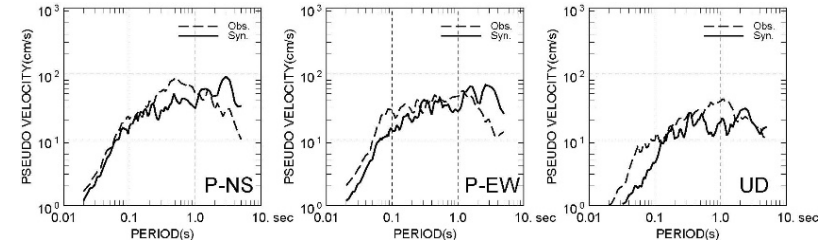
- 同じ太平洋プレートの沈み込みに伴うプレート間地震の評価として、強震動予測レシピを適用して震源モデルを設定する。
- モデルの作成にあたり、諸井ほか(2013)の知見を踏まえ、敷地に近い三陸沖北部の領域の地域性を考慮する。



震源モデル

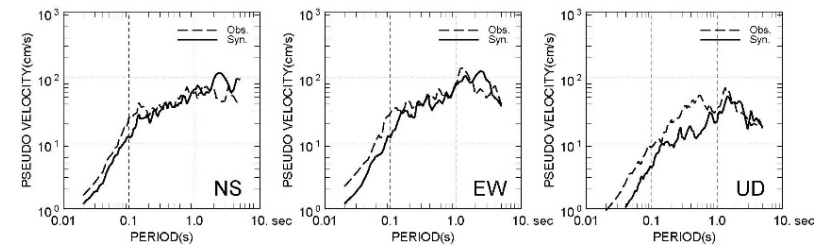
断層パラメータ

	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	—

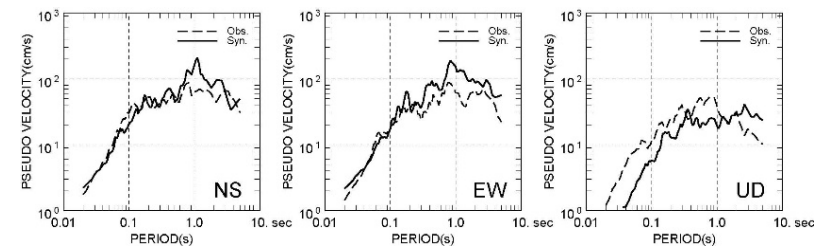


女川地点(震源の地域性を考慮し、短周期レベルを1.4倍)

※宮城県沖のSMGAのみで評価



福島第一地点



東海第二地点



震源モデルの設定方針(2)

基本ケースの震源モデルは、プレート間地震に関する各種知見を踏まえ設定する。三陸沖北部の領域の地域性は、強震動への影響が大きいと考えられるSMGAの設定にて考慮する。

1) 基本ケースの震源モデルの設定

(1) 断層面の設定

- ① 断層面積
- ② 断層幅
- ③ 断層位置(深さ方向)
- ④ 各領域の断層位置

(2) SMGAの設定

- ① SMGA面積比
- ② **SMGA位置**
- ③ **SMGAの短周期レベル**

各種知見を踏まえ設定

地域性に関する知見を踏まえ設定

■ 地域性を考慮したSMGAの位置について

- 検討用地震のSMGAの位置は、過去に発生したプレート間地震のアスペリティを踏まえ設定する。

■ 地域性を考慮したSMGAの短周期レベルについて

諸井ほか(2013)では、福島県沖、茨城県沖のSMGAについては、過去の中小地震の短周期レベルの関係を踏まえ、全断層面に対するSMGAの面積比を12.5%とした場合の短周期レベルを採用し、観測記録が再現されている。一方、宮城県沖については、過去の地震の特徴を踏まえ、さらにこれを1.4倍することにより、観測記録が再現されている。



- 検討用地震のSMGAの短周期レベルについては、過去に発生した地震の特徴を踏まえ地域性を考慮して設定する。

2) 不確かさの考慮

(3) 検討ケースの設定

- 考慮する不確かさの整理

(4) 断層パラメータの設定

(5) 設定したパラメータの確認

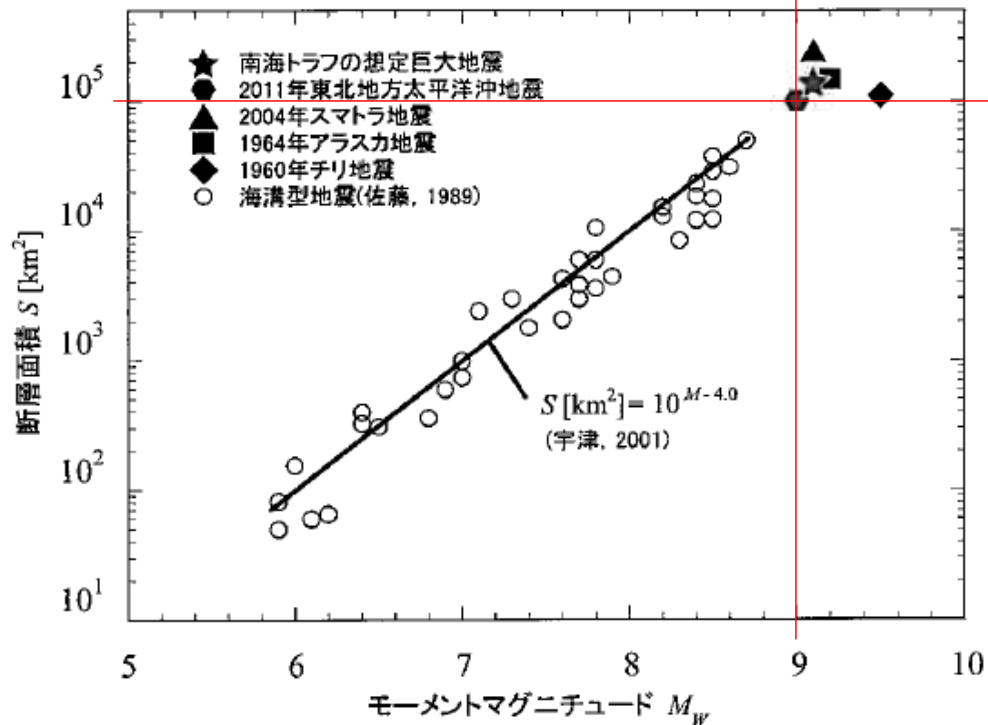
- 地震本部(2017, 2019)
- 内閣府(2020a)等

(1) 断層面の設定 (1/5)



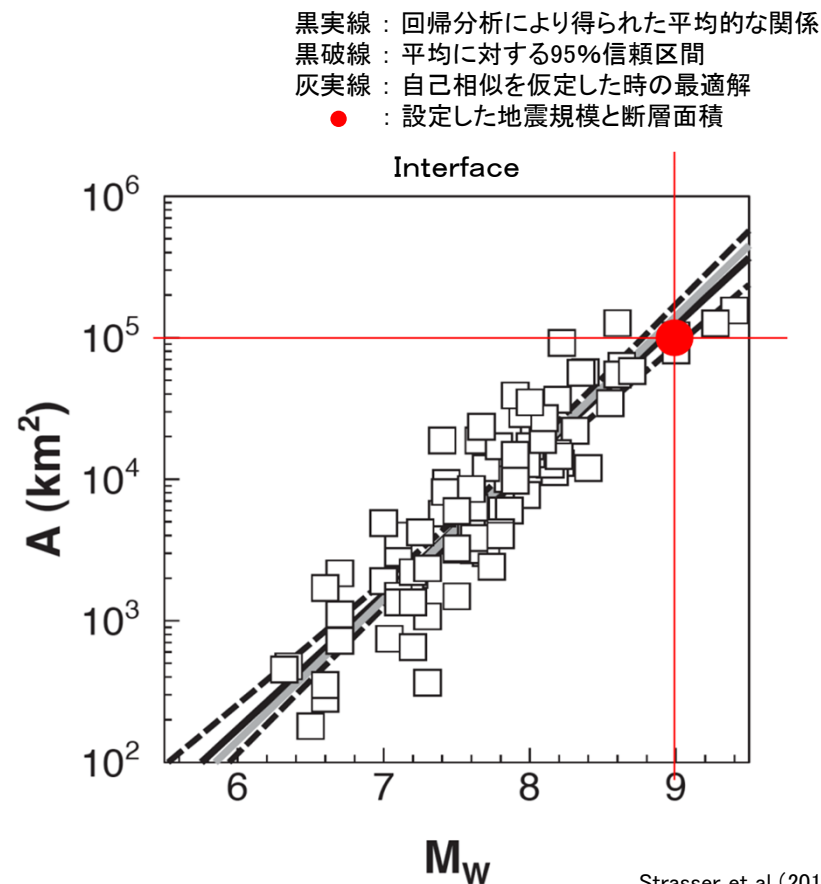
① 断層面積

- 壇ほか(2013)では、2011年東北地方太平洋沖地震のモーメントマグニチュード M_w と断層面積 S の関係(以下「 M_w - S 関係」という。)は、宇津(2001)による M - S 関係と整合していることが示されている。
- 壇ほか(2013)を踏まえ、断層面積 S は、地震規模 $M_w 9.0$ と $\log S = M - 4.0$ (宇津(2001))より $S = 100,000 \text{ km}^2$ とした。
- 上記の設定値は、Strasser et al.(2010)によるプレート間地震の M_w - S 関係とも調和的であり、適切な設定である。



壇ほか(2013)に加筆

断層面積 S とモーメントマグニチュード M_w の関係



黒実線 : 回帰分析により得られた平均的な関係
 黒破線 : 平均に対する95%信頼区間
 灰実線 : 自己相似を仮定した時の最適解
 ● : 設定した地震規模と断層面積

Strasser et al.(2010)に加筆

Strasser et al.(2010)に基づくスケールリング則

② 断層幅

- 田島ほか(2013)では, Mw8.4以上のプレート境界地震について震源断層モデルに関する文献を収集し, 震源パラメータが整理されている。
- その中で地震モーメントと断層幅の関係について整理しており, 文献によるばらつきはあるものの, プレート境界地震の断層幅は平均的にはおよそ200km弱で飽和するとされている。
- 以上を踏まえ, 検討用地震の断層幅は最大200kmとした。

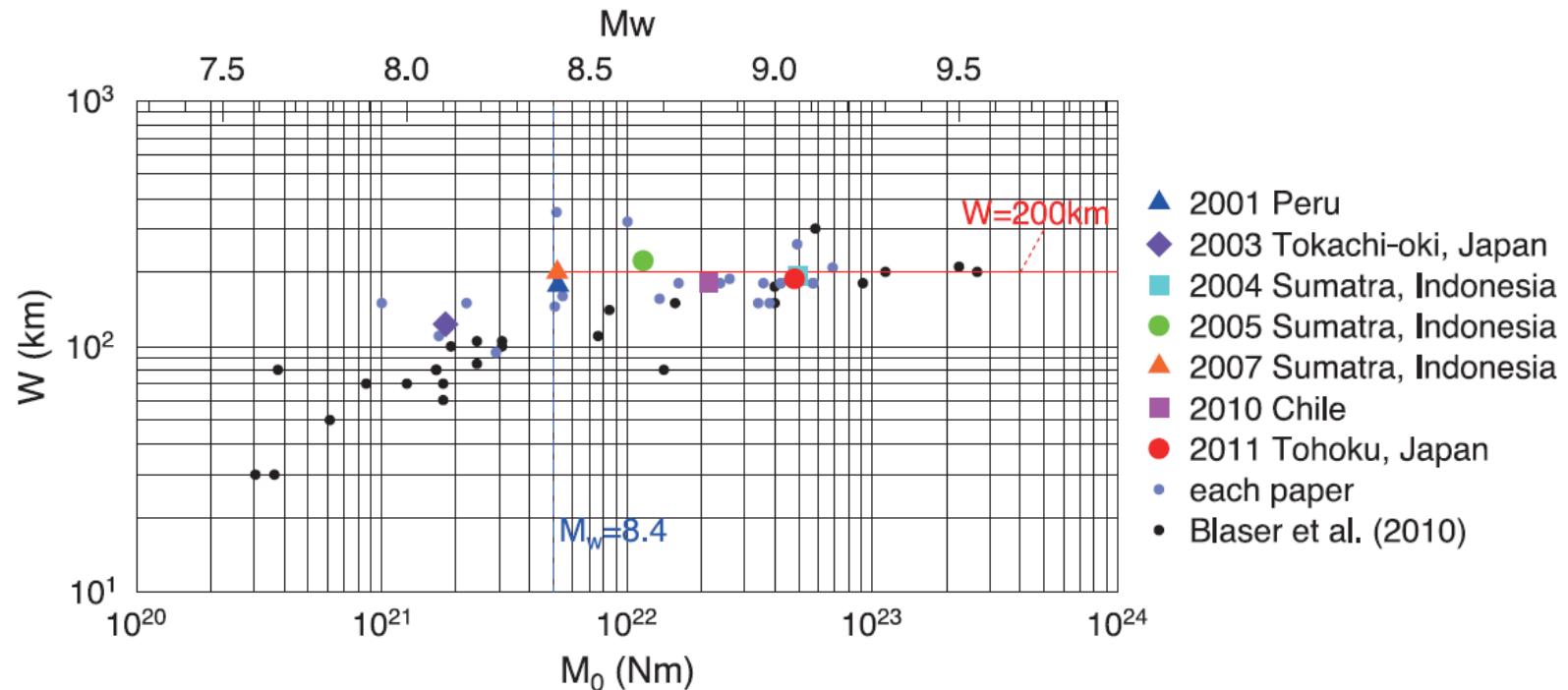


Fig. 4. Relationship between fault width W and M_0 for plate-boundary earthquakes shown in Table 1 and Blaser *et al.* (2010).

田島ほか(2013)

(1) 断層面の設定 (3/5)



③ 断層位置(深さ方向)

- 断層面は、深さ20km~60km程度の範囲に設定した。
- 長谷川ほか(2015)^{※1}及び片山ほか(2010)^{※2}の知見を踏まえると、設定した断層面の深さはプレート間の固着が生じ得るとされる約100°C~約300°Cとおおむね対応しており、プレート間地震の想定位置として適切である。

※1 :長谷川ほか(2015)によると、プレート間地震を発生させるプレート間の固着が生じる範囲は、第一義的にはプレート境界面の温度で決まる。温度が100°C~150°Cに達すると脱水分解により鉱物が変化し固着が始まり、350°Cを超えると固着せず安定すべりが卓越するとされている。

※2 :片山ほか(2010)では、東北日本弧における温度構造が示されている。これによると、プレート境界面の温度は深さ20km付近で100°Cとなり、深さ60km付近で300°Cとなっていることが分かる。300°Cと400°Cのコンター間隔は密になっていることが読み取れる。

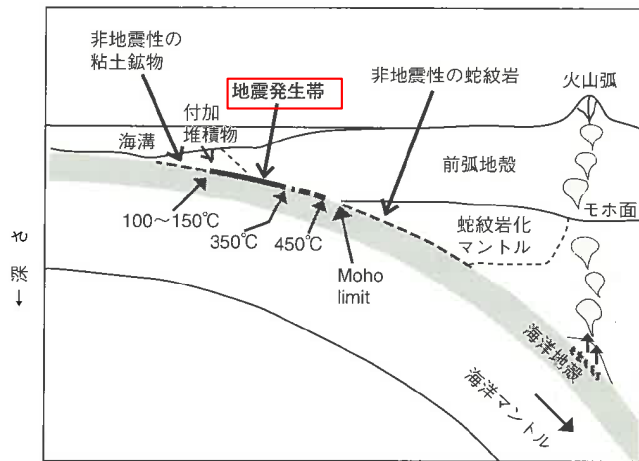


図 22.8 プレート境界地震の深さの上限および下限 (Oleskevich et al., 1999) 島弧横断鉛直断面に模式的に示す。プレート境界で地震が発生する範囲(地震発生帯(seis-mogenic zone))は、主として温度で決まると考えられる。

長谷川ほか(2015)に加筆

プレート間地震の深さの上限及び下限の概念図

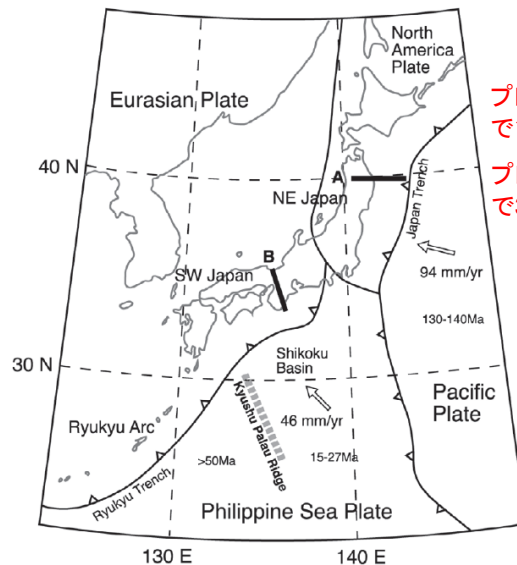


図 1 日本列島周辺のプレート配置図。東北日本には冷たい太平洋プレートが沈み込み、西南日本には比較的温かいフィリピン海プレートが沈み込む。図中のA,B線は地震波トモグラフィの断面図(図4, 図5)に対応する。プレート運動速度は瀬野(2005)を引用した。

プレート境界
で100°C

プレート境界
で300°C

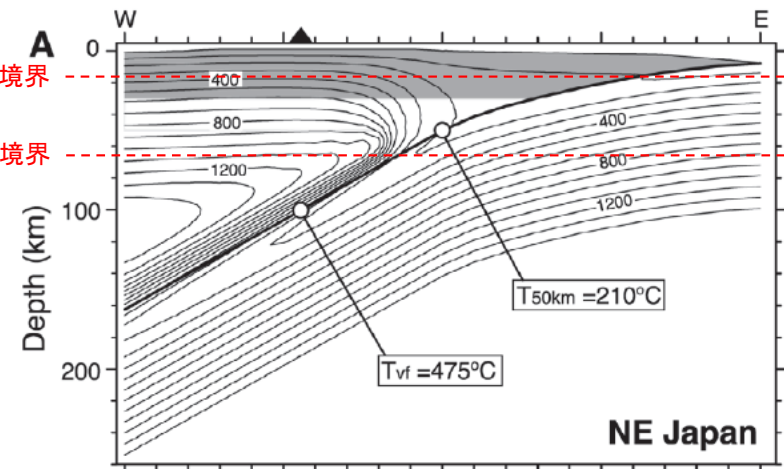


図 2 東北日本と西南日本の温度構造 (after Peacock and Wang, 1999). 100°C間隔の等温線を示す。太い実線はプレート境界。東北日本では深さ50 kmで約210°Cと非常に冷たいのに対し、西南日本では同深度で約510°Cに達する。

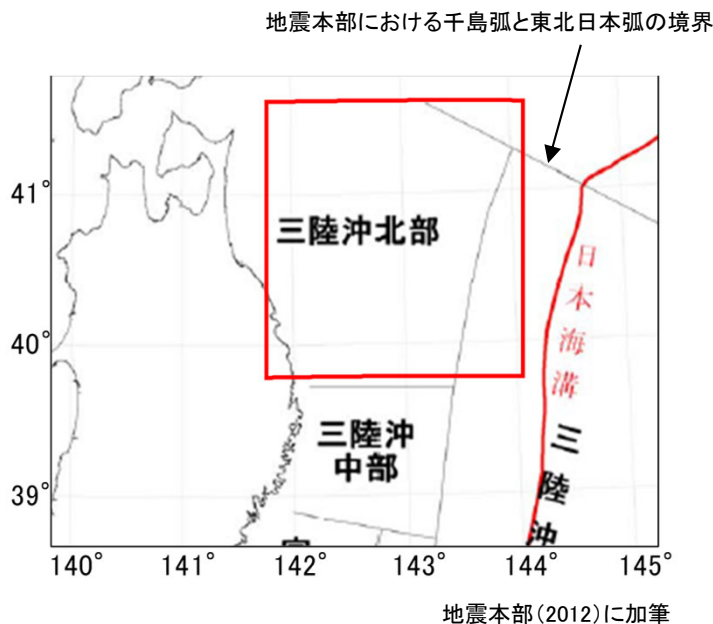
片山ほか(2010)に加筆

東北日本弧におけるプレートの温度構造

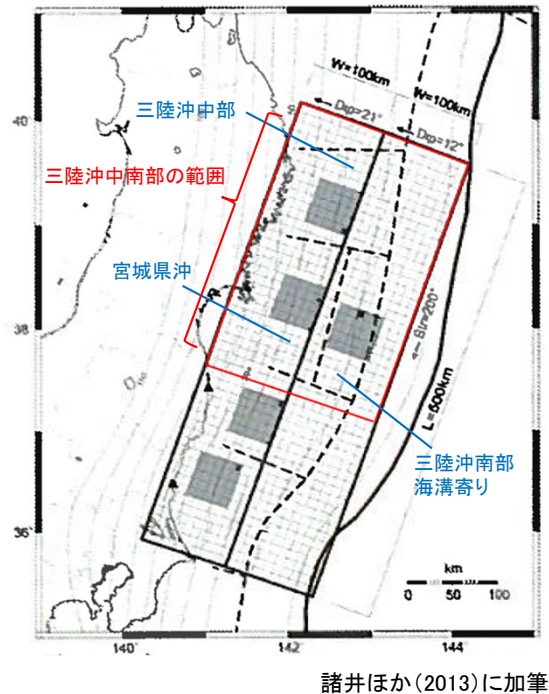
(1) 断層面の設定 (4/5)

④ 各領域の断層位置

- 地震本部(2012, 2017)による領域区分を参考に、三陸沖北部～宮城県沖の連動については、三陸沖北部の領域及び三陸沖中部・宮城県沖・三陸沖南部海溝寄り(以下「三陸沖中南部」という。)の領域に、三陸沖北部～根室沖の連動については、三陸沖北部の領域及び十勝沖・根室沖の領域にそれぞれ断層面を設定した。
- 敷地に近い三陸沖北部の領域について、地震本部(2012)による三陸沖北部の領域とおおむね重なり、断層面の北端が千島弧と東北日本弧の境界に対応する位置に断層面(40,000km²)を設定した。
- 三陸沖中南部の領域については、諸井ほか(2013)の震源モデルのうち残りの面積に相当する部分(60,000km²)をそのまま採用した。
- 十勝沖・根室沖の領域については、三陸沖中南部と同じ面積の断層面(60,000km²)を、地震本部(2017)による十勝沖・根室沖の領域を含むように設定した。

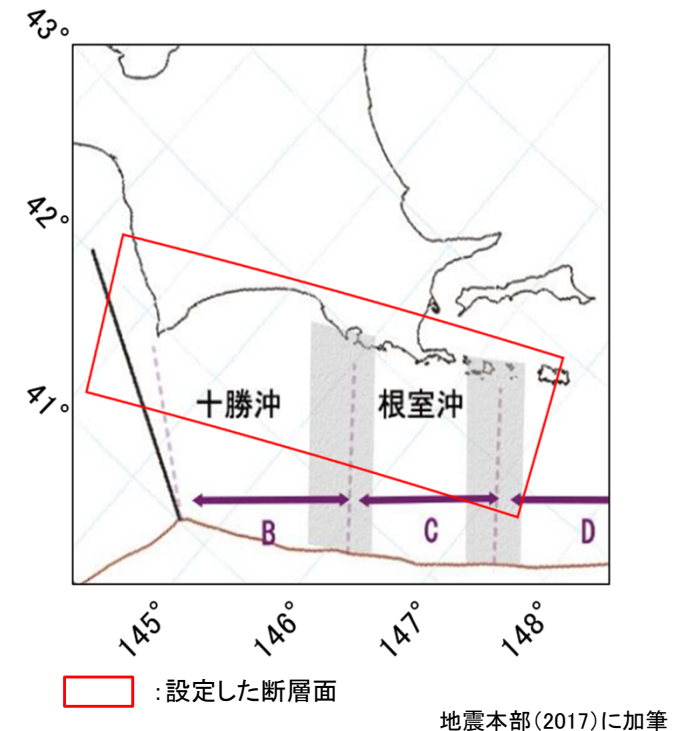


三陸沖北部



三陸沖中南部

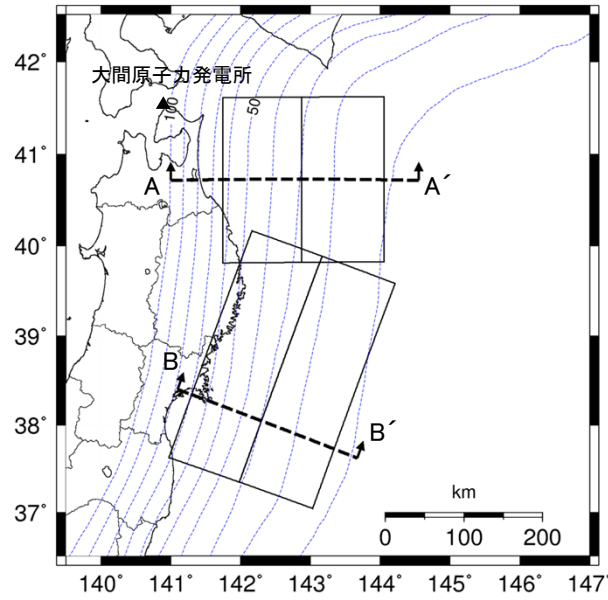
各領域の断層面位置



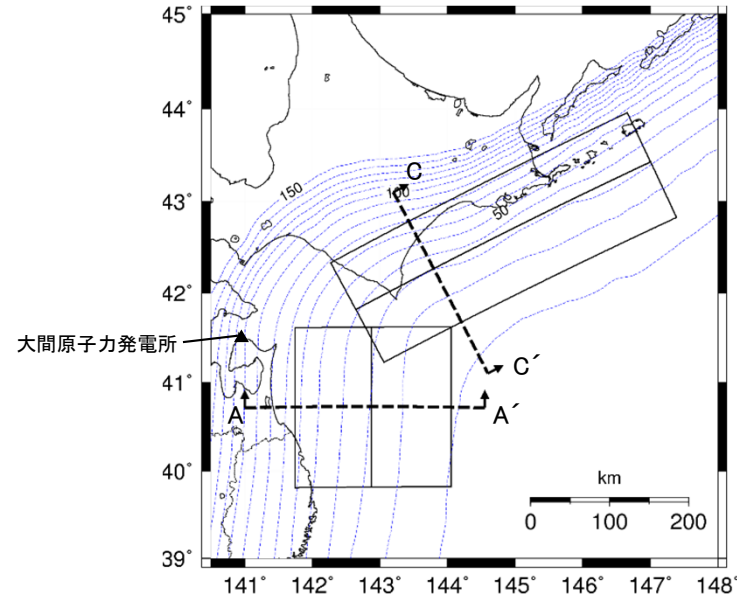
十勝沖・根室沖

設定した断層面

- 断層面は、太平洋プレートの沈み込みの形状を踏まえ、太平洋プレートの上面に設定した。

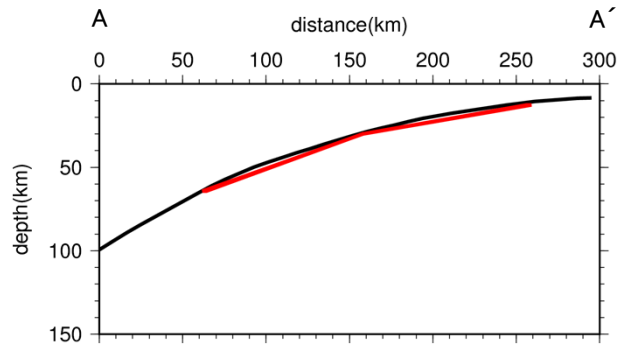


三陸沖北部～宮城県沖の連動

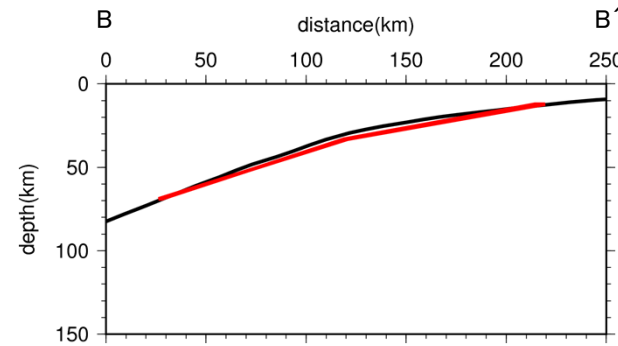


..... : 太平洋プレートの沈み込み形状 (J-SHISによる)

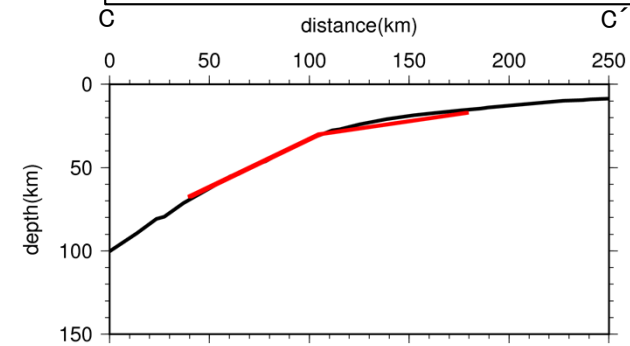
三陸沖北部～根室沖の連動



A-A' 断面



B-B' 断面



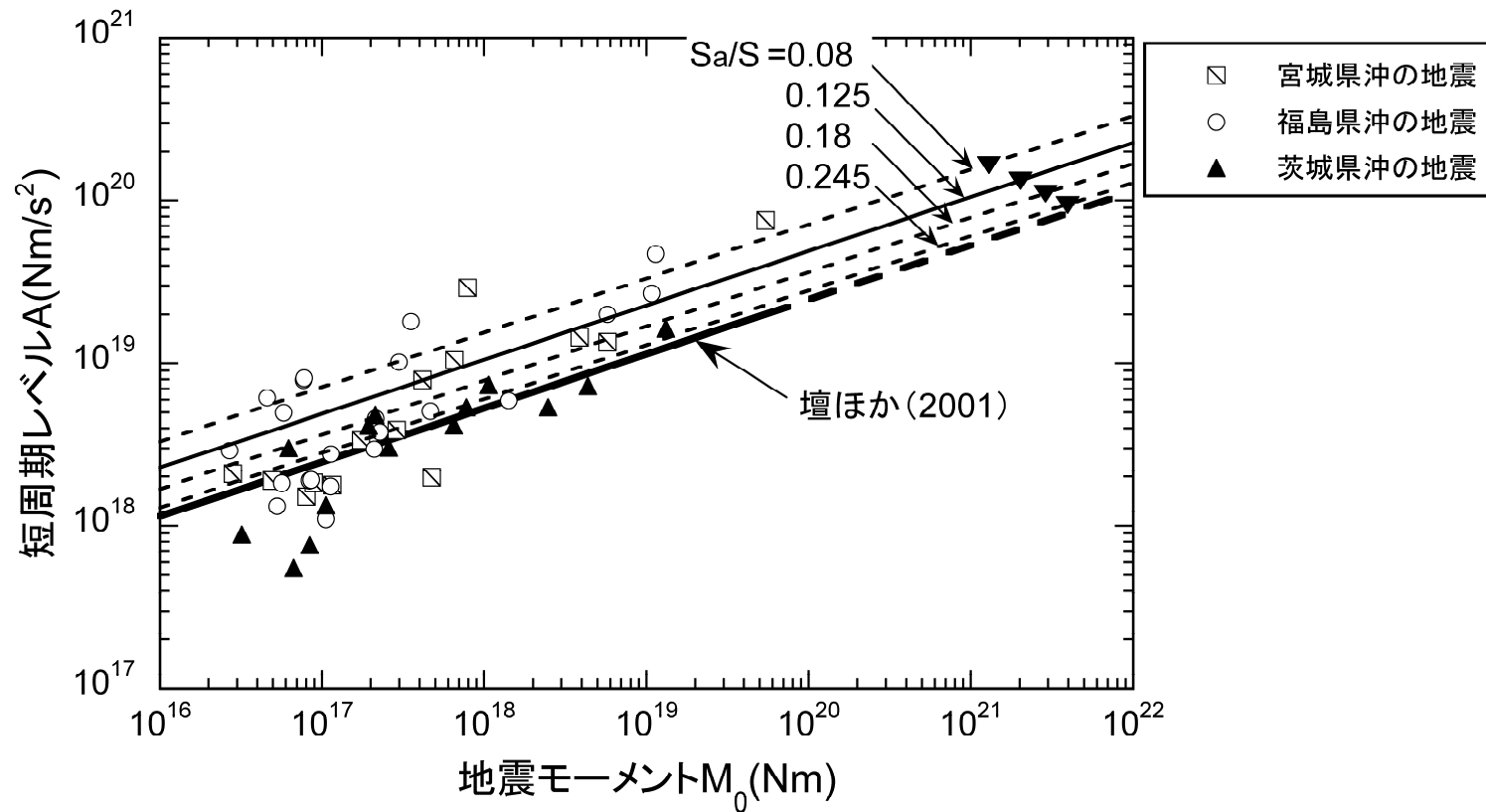
C-C' 断面

— : 設定した断層面
 — : 太平洋プレートの沈み込み形状 (J-SHISによる)

設定した断層面位置 (平面図, 断面図)

① SMGA面積比

- 諸井ほか(2013)では、断層面積とSMGA面積の比(S_a/S)について、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の領域の過去の中小地震における短周期レベルの励起特性を有するように12.5%とし、2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録が再現されている。
- 以上を参考に、検討用地震の断層総面積 S とSMGAの面積 S_a の比は、12.5%に設定した。



諸井ほか(2013)

各地域の中小地震とSMGAの M_0 - A 関係

② SMGA位置 【設定方針】

- プレート間地震のSMGA(アスペリティ)位置は, Yamanaka and Kikuchi(2004)^{※1}及びAsano and Iwata(2012)^{※2}の知見を踏まえ, 地域性として各領域における過去の地震のアスペリティと対応するように設定する。

※1 : Yamanaka and Kikuchi(2004)では, 東北日本で発生したM7.0以上の地震について震源過程が推定・整理されており, いくつかのアスペリティでは規模の大きな地震が繰り返し発生していることが指摘されている。

※2 : Asano and Iwata(2012)では, 経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションにより, 2011年東北地方太平洋沖地震のSMGA位置が推定されている。推定されたSMGAの位置は, 1930年代に発生したプレート間地震のアスペリティ位置と対応していることが指摘されている。

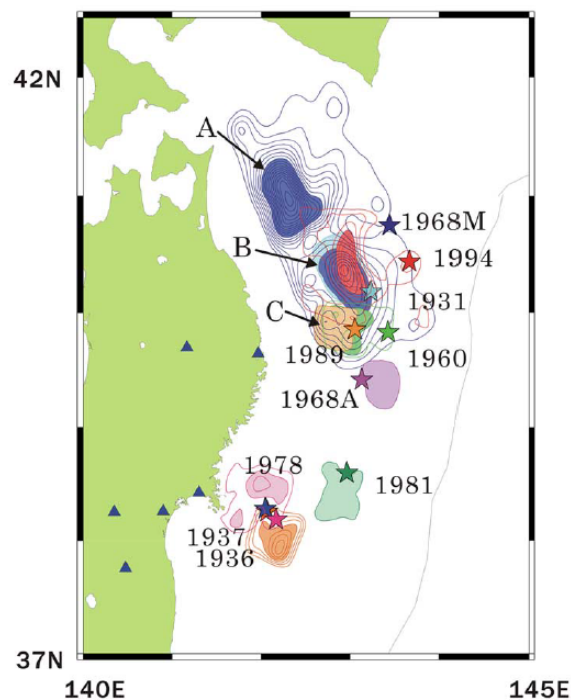


Figure 6. Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan. Stars show the main shock epicenters. Contour lines show the moment release distribution. The interval of the contour lines is 0.5 m. Each earthquake is distinguished by color. We painted the area within the value of half the maximum slip as an asperity.

Yamanaka and Kikuchi(2004)

東北日本の沈み込み帯におけるアスペリティマップ
(同色の星とコンターは同一地震の震源, すべり分布を表す)

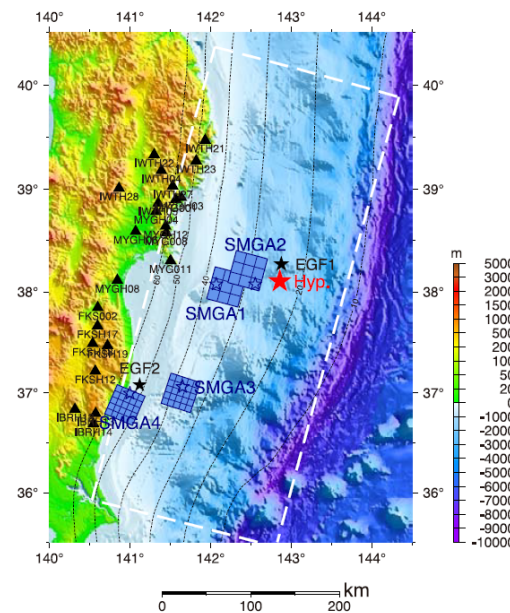
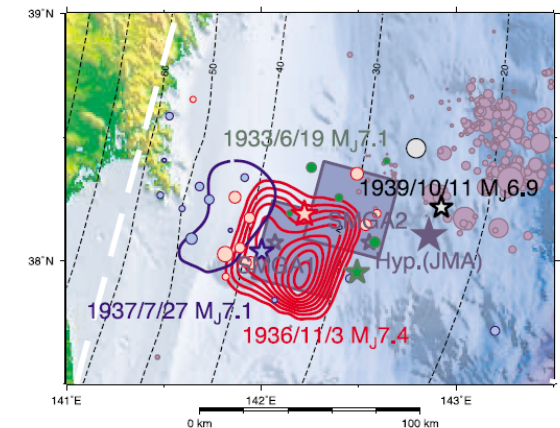


Fig. 6. The source model composed of four SMGAs shown in the map. The large and small solid stars indicate the epicenters of the main shock and EGF events, both determined by JMA, respectively. The blue open stars represent the rupture starting points of SMGAs. Solid triangles indicate the strong motion stations used in the grid search. The broken rectangle indicates the source fault plane of the 2011 Tohoku earthquake, from Suzuki *et al.* (2011). The broken contour lines represent the depth of plate interface from Nakajima and Hasegawa (2006) and Nakajima *et al.* (2009) with an interval of 10 km.



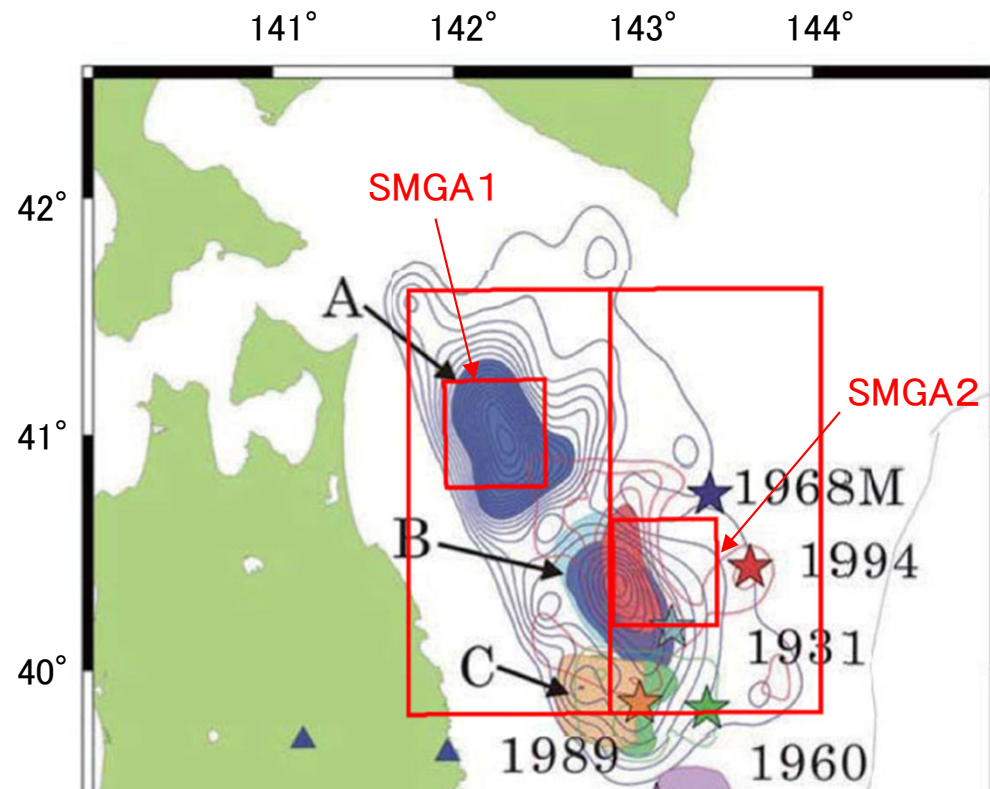
- ★ 1933 Hypocenter (Umino *et al.*, 2007)
- ★ 1936 Hypocenter (Umino *et al.*, 2007)
- ★ 1937 Hypocenter (Umino *et al.*, 2007)
- ★ 1939 Hypocenter (Umino *et al.*, 2007)
- ★ 2011 Hypocenter (JMA)
- 1933 Aftershocks (Umino *et al.*, 2007)
- 1936 Aftershocks (Umino *et al.*, 2007)
- 1937 Aftershocks (Umino *et al.*, 2007)
- 1939 Aftershocks (Umino *et al.*, 2007)
- 2011 Foreshocks (JMA)
- 1936 Slip (Yamanaka and Kikuchi, 2004)
- 1937 Slip (Yamanaka and Kikuchi, 2004)
- 2011 SMGA (This study)

Asano and Iwata(2012)

推定した2011年東北地方太平洋沖地震のモデルのSMGA位置と過去の地震の震源・すべり分布の比較

② SMGA位置 【三陸沖北部の領域】

- 三陸沖北部の領域のSMGA位置は、永井ほか(2001)による1968年十勝沖地震、1994年三陸はるか沖地震のアスペリティを踏まえて、2つのSMGAを設定した。



- : 1931年3月9日の地震 (M7.6) ※1, 2
- : 1960年3月21日の地震 (M7.2) ※1, 2
- : 1968年十勝沖地震 (M7.9) ※1, 2, 3, 4
- : 1989年11月2日の地震 (M7.1) ※1, 2
- : 1994年三陸はるか沖地震 (M7.5) ※1, 2, 3
- ☆ : 各地震の震源位置
- : 設定した断層面及びSMGA

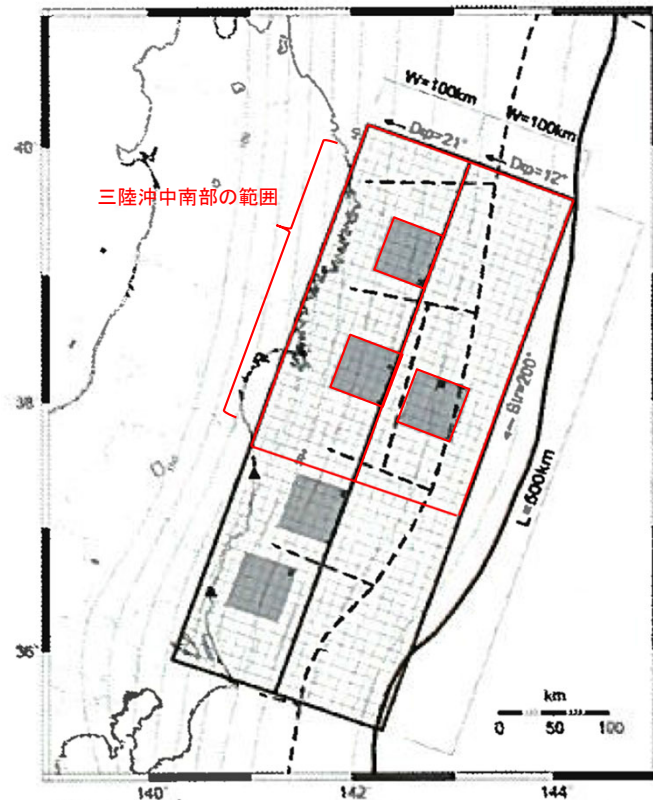
- ※1 : 地震規模はYamanaka and Kikuchi(2004)による。
- ※2 : コントアのうち着色部は、すべり量が最大値の半分以上の領域。
- ※3 : すべり量の推定は永井ほか(2001)による。
- ※4 : A, B, Cは1968年十勝沖地震のアスペリティを指す。

Yamanaka and Kikuchi(2004)に加筆

三陸沖北部の領域におけるSMGAの位置と過去の地震のアスペリティの比較

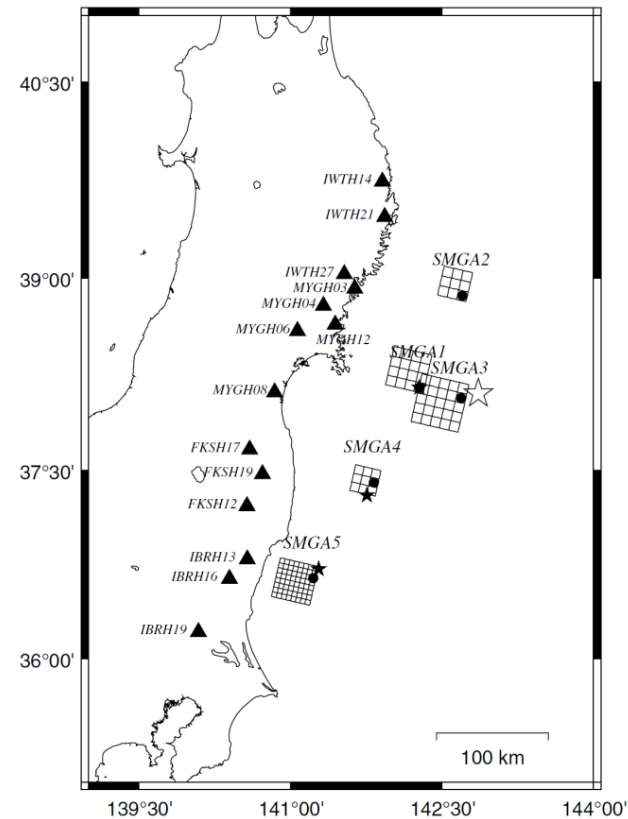
② SMGA位置 【三陸沖中南部の領域】

- 三陸沖中南部の領域のSMGA位置は、諸井ほか(2013)の震源モデルに基づき設定した。
- 諸井ほか(2013)の震源モデルのSMGA位置は、Kurahashi and Irikura(2013)にて、2011年東北地方太平洋沖地震について強震動波形解析により推定されたSMGA位置とおおむね対応しており、適切な設定となっている。



: 設定した断層面及びSMGA

諸井ほか(2103)に加筆

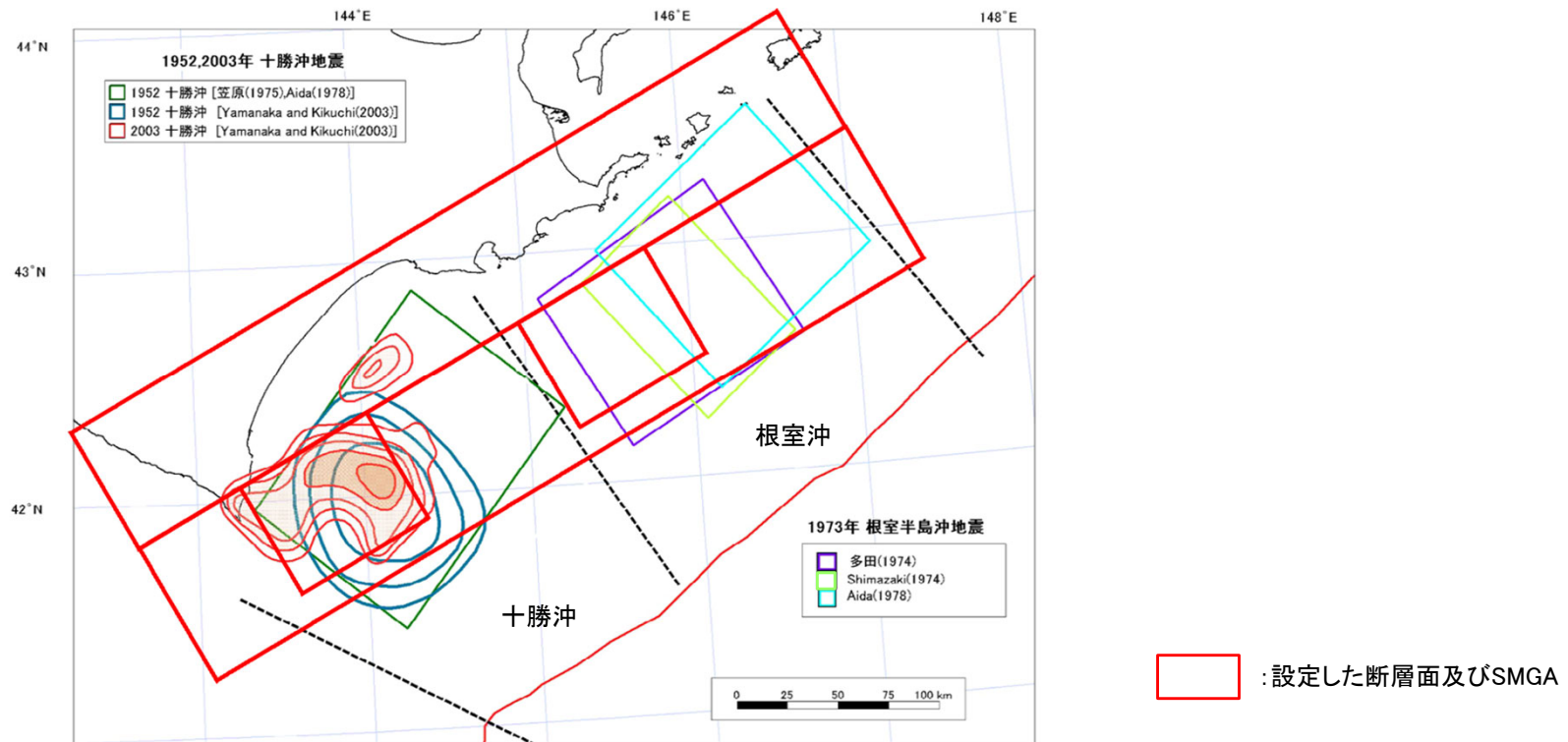


Kurahashi and Irikura(2013)

三陸沖中南部の領域におけるSMGAの位置と過去の地震のすべり領域との比較

② SMGA位置 【十勝沖・根室沖の領域】

- 十勝沖の領域のSMGA位置は、Yamanaka and Kikuchi(2003)による2003年十勝沖地震のアスペリティを踏まえて設定した。
- 根室沖の領域のSMGA位置は、1973年根室半島沖地震の震源域に対して敷地への影響が大きくなるように、根室沖の領域内の敷地に近い位置に設定した。

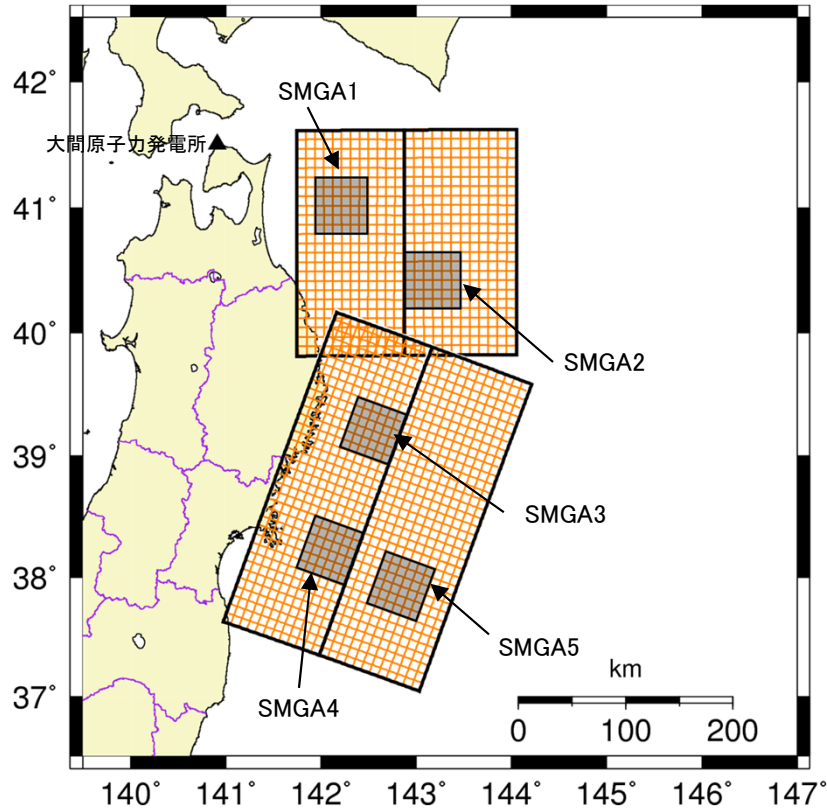


地震本部(2004b)に加筆

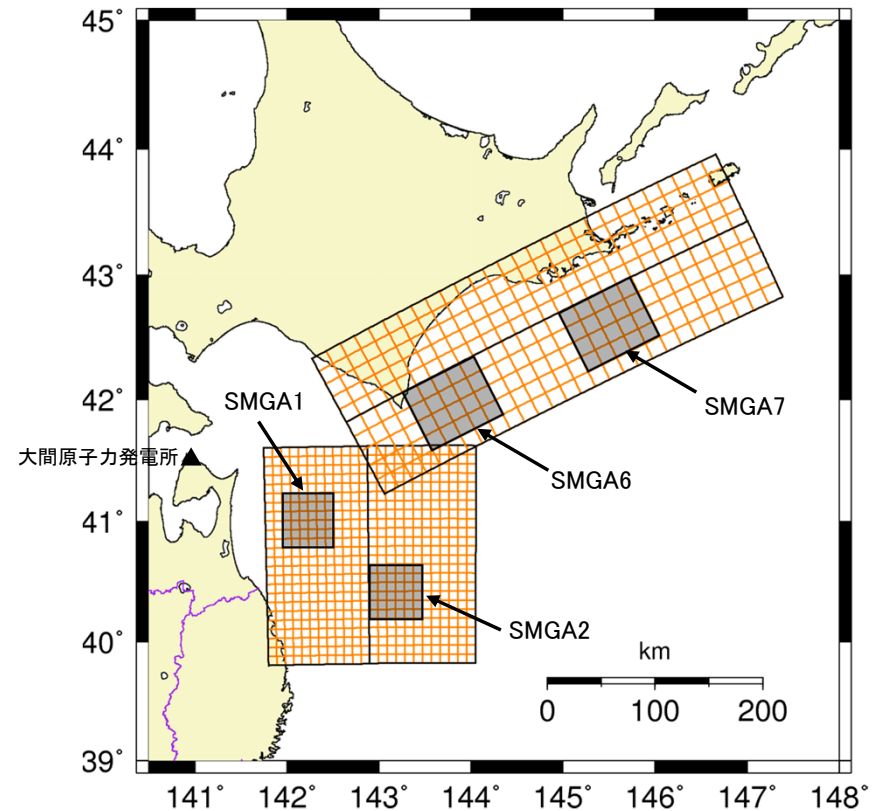
十勝沖及び根室沖の領域におけるSMGAの位置と過去の地震のアスペリティの比較

② SMGA位置 【まとめ】

- 設定したSMGAの位置を示す。



三陸沖北部~宮城県沖の運動



三陸沖北部~根室沖の運動

設定したSMGA位置

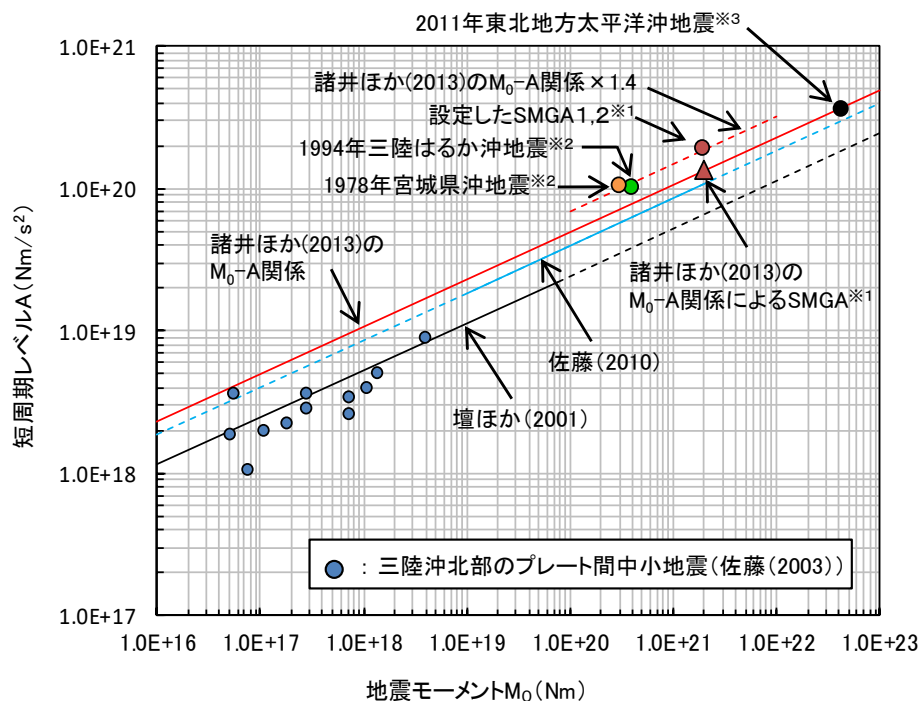
③ SMGAの短周期レベル 【三陸沖北部の領域】

三陸沖北部の領域の地域性

- 三陸沖北部の領域で発生した中小規模のプレート境界地震について、佐藤(2003)では地震モーメント(M_0)と短周期レベル(A)の関係が整理されており、諸井ほか(2013)に基づくSMGA面積比12.5%相当の M_0 -A関係と比べると、それらの M_0 -A関係は小さい傾向にあることが分かる。
- SMGA2付近では1994年三陸はるか沖地震(M7.6)が発生しており、その M_0 -A関係はSMGA面積比12.5%相当の M_0 -A関係より大きく、約1.3倍である。

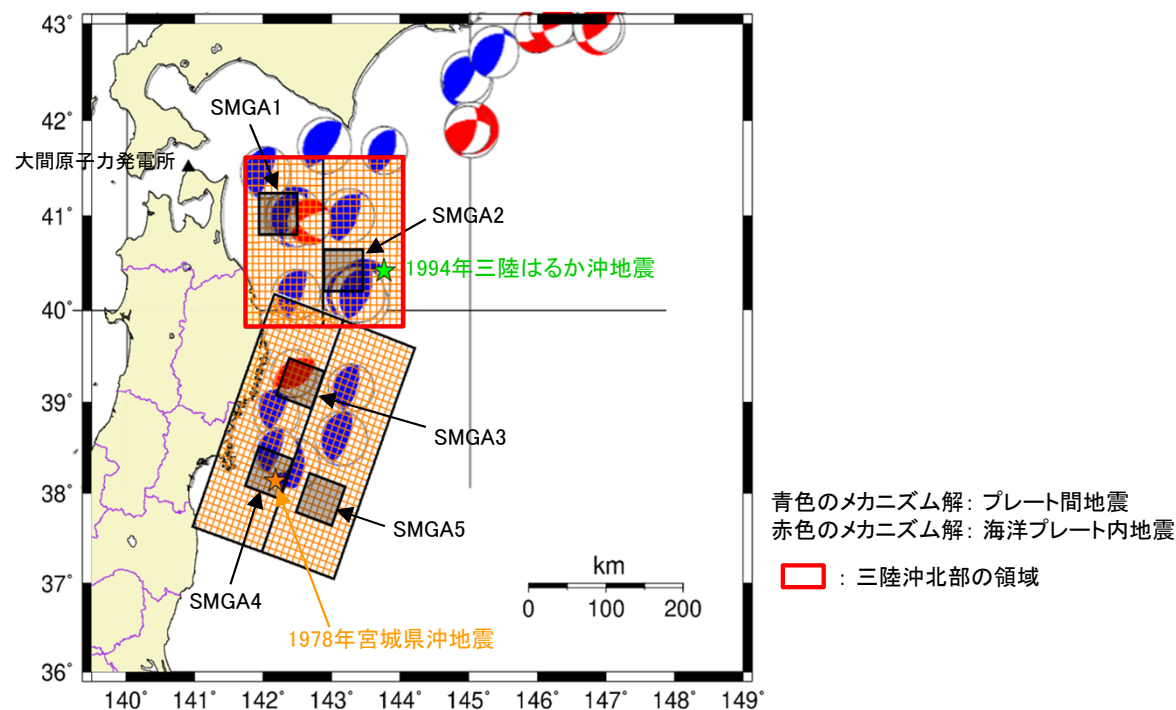
短周期レベルの設定

- 以上を踏まえると、三陸沖北部の領域のSMGAについては、地域性を考慮してSMGA面積比12.5%相当の M_0 -A関係の1.3倍の短周期レベルの設定が考えられる。
- 短周期レベルの設定にあたってはさらに保守性を考慮し、設定した断層面内である宮城県沖の領域で発生した1978年宮城県沖地震(M7.4)の M_0 -A関係がSMGA面積比12.5%相当の M_0 -A関係の1.4倍であることを踏まえ、三陸沖北部の領域のSMGA1及び2は**1978年宮城県沖地震の1.4倍を採用し設定した**。
- なお、佐藤(2012)において、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)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境界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。設定したSMGAの短周期レベルは佐藤(2010)によるスケーリング則を上回っており、適切な設定となっている。



※1 : SMGA1個をここでは1つの地震として表示。 ※2 : 片岡ほか(2006) ※3 : 佐藤(2012)

短周期レベルと既往のスケーリング則の比較



青色のメカニズム解：プレート間地震
 赤色のメカニズム解：海洋プレート内地震
 □：三陸沖北部の領域

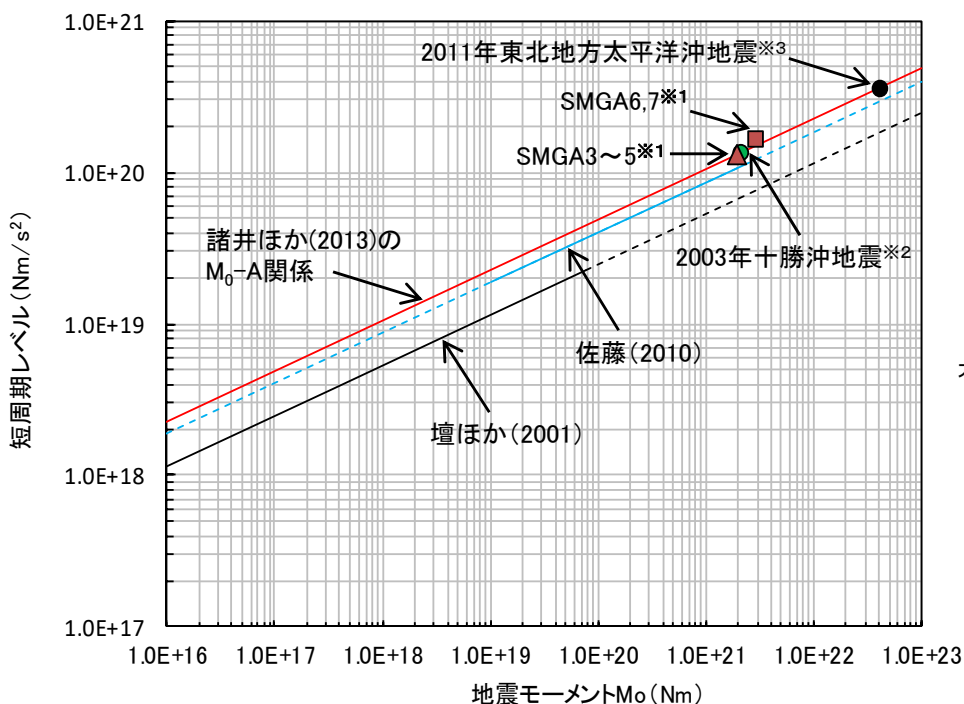
佐藤(2003)に加筆

三陸沖北部の領域と佐藤(2003)の中小地震 (図中青色)

③ SMGAの短周期レベル 【その他の領域】

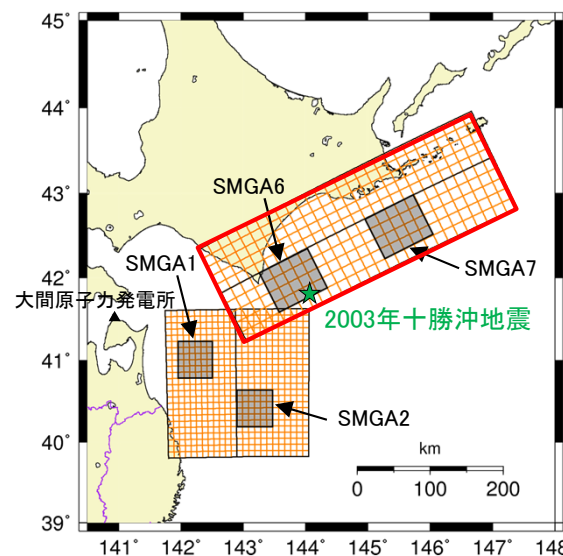
短周期レベルの設定

- 十勝沖の領域では2003年十勝沖地震(M8.0)が発生しており、この地震の M_0 -A関係は諸井ほか(2013)に基づくSMGA面積比12.5%相当の M_0 -A関係と比べて同等であることから、十勝沖の領域のSMGA6は、諸井ほか(2013)に基づく**SMGA面積比12.5%相当の短周期レベルそのままを採用し設定**した。
- その他のSMGA3~5, 7については、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、諸井ほか(2013)に基づく**SMGA面積比12.5%相当の短周期レベルそのままを採用し設定**した。
- なお、佐藤(2012)において、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)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境界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。設定したSMGAの短周期レベルは佐藤(2010)によるスケーリング則を上回っており、適切な設定となっている。

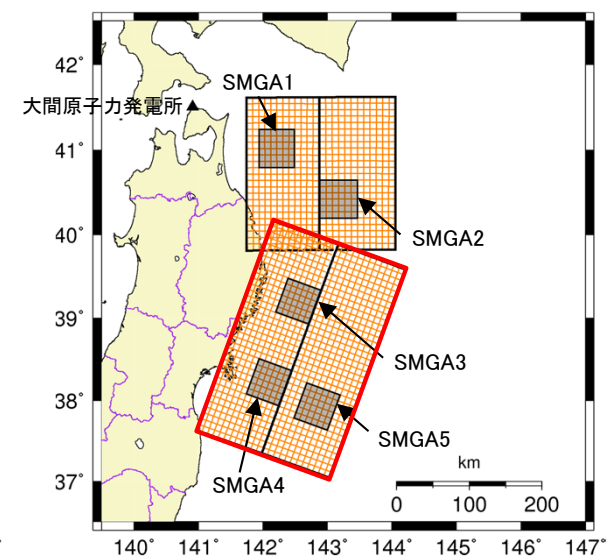


※1 : SMGA1個をここでは1つの地震として表示。 ※2 : 片岡ほか(2006) ※3 : 佐藤(2012)

短周期レベルと既往のスケーリング則の比較



SMGA6, 7と敷地の位置関係



SMGA3~5と敷地の位置関係

□ : 三陸沖北部以外の領域

(3) 検討ケースの設定 (1/2)


考慮する不確かさの整理

- 三陸沖北部～宮城県沖の連動及び三陸沖北部～根室沖の連動について、考慮する不確かさ※を示す。
- 基本ケースに対して、認識論的不確かさとしてSMGA位置の不確かさを考慮する。

※：不確かさの重畳について、考え方は以下のとおり。

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

不確かさの種類	パラメータ	基本ケースの考え方	不確かさの考慮	
認識論的不確かさ	地震規模	2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえ、Mw9.0に設定する。	基本ケースにて、敷地に近い三陸沖北部の領域から南側への連動及び北側への連動をそれぞれ考慮している。仮に規模を大きくした場合、敷地より遠方への領域付加となり、地震動への影響は小さいと考えられるため、不確かさは考慮しない。	
	断層位置	位置	沈み込む太平洋プレートの上面位置を踏まえ、深さ20km～60km程度の範囲に設定する。連動する領域は、三陸沖北部～宮城県沖、及び三陸沖北部～根室沖を考慮する。	断層面は、三陸沖北部をはじめとする各領域をおおむね包含しており、また断層面の上端と下端について、プレート間が固着するとされる温度分布と対応する設定となっているため、不確かさは考慮しない。
		傾斜角	太平洋プレートの沈み込み等深線を踏まえ設定する。	太平洋プレートの沈み込みに沿って断層面を設定しているため、不確かさは考慮しない。
	短周期レベル (応力降下量)	三陸沖北部の領域のSMGAは、1978年宮城県沖の地震のM ₀ -A関係を踏まえ、諸井ほか(2013)によるSMGA面積比12.5%相当のM ₀ -A関係の1.4倍を考慮する。 その他のSMGAは、SMGA面積比12.5%相当のM ₀ -A関係より設定する。	基本ケースにおいて地域性を考慮して、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を上回る設定としているため、不確かさは考慮しない。	
	SMGA位置	過去に発生した地震のアスペリティを踏まえ、地震本部(2012)及び地震本部(2017)の領域区分ごとに1～2個設定する。	敷地に近いSMGA1の位置について、さらに敷地に近づけた位置として、断層端部に設定した場合を考慮する。	
偶然的不確かさ	破壊開始点	破壊が敷地に向かうように、複数の破壊開始点を設定。	同左	

 : 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

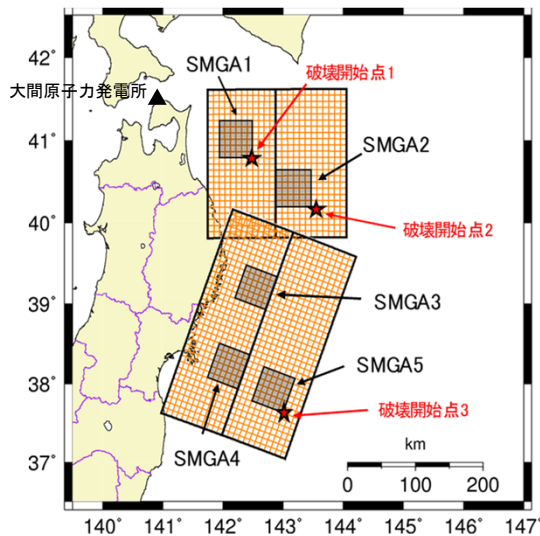
検討ケース一覧

・ 検討ケースを示す。

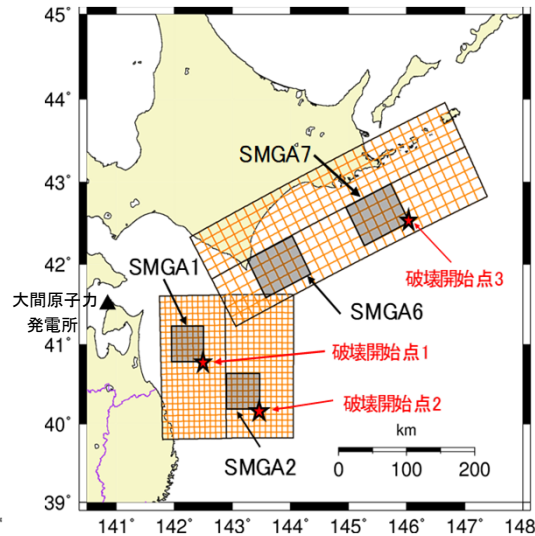
検討ケース一覧

検討ケース	地震規模	領域の運動	短周期レベル (応力降下量)	SMGA位置	破壊開始点
基本ケース	Mw9.0	三陸沖北部 ～宮城県沖	SMGA1, 2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3～7: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の 短周期レベル	図a	複数設定
	Mw9.0	三陸沖北部 ～根室沖		図b	
SMGA位置の 不確かさケース	Mw9.0	三陸沖北部 ～宮城県沖	SMGA1, 2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3～7: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の 短周期レベル	SMGA1を敷地に 近い位置に移動 図c, 図d	複数設定
	Mw9.0	三陸沖北部 ～根室沖			

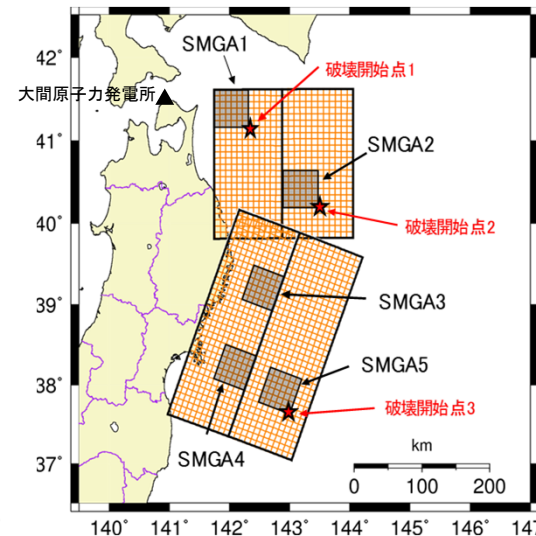
: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ : 偶然的不確かさとして考慮するパラメータ



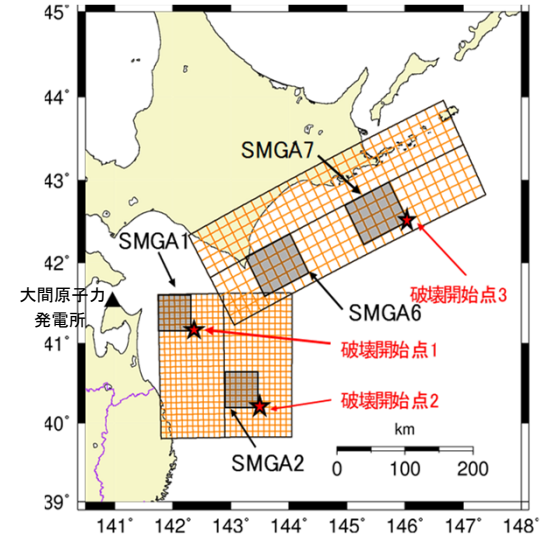
a) 三陸沖北部～宮城県沖の運動
基本ケース



b) 三陸沖北部～根室沖の運動
基本ケース



c) 三陸沖北部～宮城県沖の運動
SMGA位置の不確かさケース



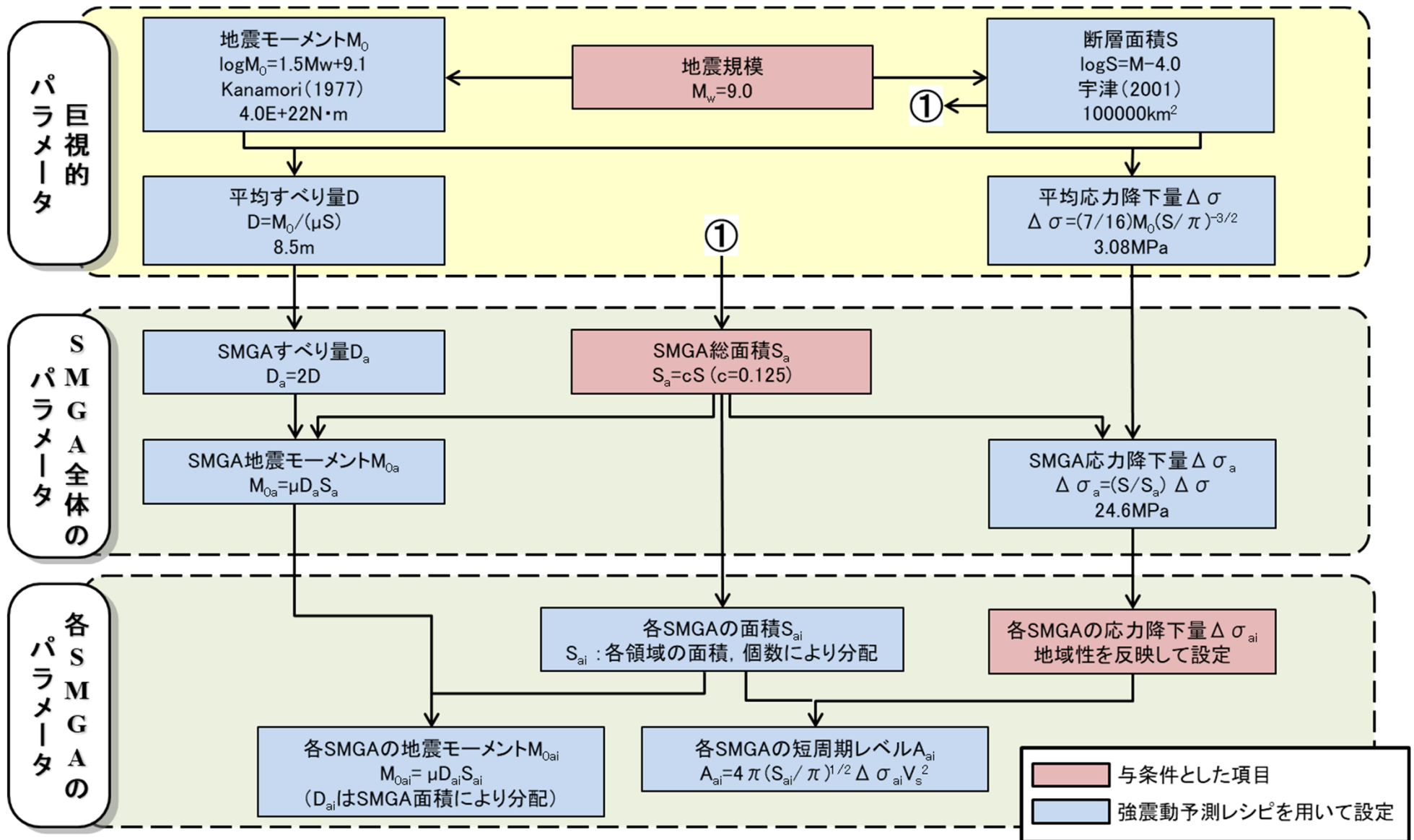
d) 三陸沖北部～根室沖の運動
SMGA位置の不確かさケース

(4) 断層パラメータの設定 (1/3)



断層パラメータの設定方法

- 断層パラメータは、強震動予測レシピに基づき設定する。



断層パラメータ設定フロー

(4) 断層パラメータの設定 (2/3)

断層パラメータ表 【三陸沖北部～宮城県沖の連動】

三陸沖北部～宮城県沖の連動の断層パラメータ

項目	記号(単位)	設定値		設定根拠		
		三陸沖北部	三陸沖中南部			
巨視的 断層全体 パラメータ	走向	$\theta(^{\circ})$	N180E	N200E	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	傾斜角(浅部)	$\delta_1(^{\circ})$	10	12	同上	
	傾斜角(深部)	$\delta_2(^{\circ})$	20	21	同上	
	上端深さ	(km)	12.6	12.3	同上	
	下端深さ	(km)	64.2	68.9	同上	
	長さ	$L_i(\text{km})$	200	300	$L_i = S_i/W_i$	
	幅	$W_i(\text{km})$	200	200	田島ほか(2013)を踏まえ各領域をおおむね包含するように設定	
	各領域の断層面積	$S_i(\text{km}^2)$	40000	60000	地震本部(2012)の領域区分及び諸井ほか(2013)を参考に設定	
	全体の断層総面積	$S(\text{km}^2)$	100000		$\log S = M - 4.0$	
	モーメントマグニチュード	M_w	9.0		2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえ設定	
	地震モーメント	$M_0(\text{N}\cdot\text{m})$	4.0E+22		$\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$	
	平均応力降下量	$\Delta\sigma(\text{MPa})$	3.08		$\Delta\sigma = 7/16 \times M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$	
	剛性率	$\mu(\text{N}/\text{m}^2)$	4.68E+10		地震本部(2004a)	
	平均すべり量	$D(\text{m})$	8.5		$D = M_0 / (\mu S)$	
S波速度	$V_s(\text{km}/\text{s})$	3.9		地震本部(2004a)		
破壊伝播速度	$V_r(\text{km}/\text{s})$	3.0		諸井ほか(2013)		
微視的 パラメータ	全 S M G A	面積	$S_a(\text{km}^2)$	12500	$S_a = 0.125 \times S$, 諸井ほか(2013)	
		地震モーメント	$M_{0a}(\text{N}\cdot\text{m})$	1.0E+22	$M_{0a} = \mu S_a D_a$	
		平均すべり量	$D_a(\text{m})$	17.1	$D_a = 2 \times D$	
		応力降下量	$\Delta\sigma_a(\text{MPa})$	24.6	$\Delta\sigma_a = S/S_a \times \Delta\sigma$	
	各 S M G A			SMGA1, 2	SMGA3~5	
		面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$	2500	2500	$S_{ai} = S_a/5$
		地震モーメント	$M_{0ai}(\text{N}\cdot\text{m})$	2.0E+21	2.0E+21	$M_{0ai} = \mu S_{ai} D_{ai}$
		応力降下量	$\Delta\sigma_{ai}(\text{MPa})$	34.5	24.6	$\Delta\sigma_{ai} = \Delta\sigma_a$, 三陸沖北部は1.4倍
		平均すべり量	$D_{ai}(\text{m})$	17.1	17.1	$D_{ai} = D_a \times \gamma_i / \sum(\gamma_i^3)$, $\gamma_i = (S_{ai}/S_a)^{1/2}$
	短周期レベル	$A_{ai}(\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$	1.86E+20	1.33E+20	$A_{ai} = 4\pi(S_{ai}/\pi)^{1/2} \Delta\sigma_{ai} V_s^2$	
背景 領域	面積	$S_b(\text{km}^2)$	87500		$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント	$M_{0b}(\text{N}\cdot\text{m})$	3.0E+22		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	実効応力	$\sigma_b(\text{MPa})$	4.9		$\sigma_b = 0.2 \times \Delta\sigma_a$, 諸井ほか(2013)	
	平均すべり量	$D_b(\text{m})$	7.3		$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	

(4) 断層パラメータの設定 (3/3)

断層パラメータ表 【三陸沖北部～根室沖の連動】

三陸沖北部～根室沖の連動の断層パラメータ

項目	記号(単位)	設定値		設定根拠			
		三陸沖北部	十勝沖・根室沖				
巨視的 断層 パラメータ	走向	$\theta(^{\circ})$	N180E	N245E	プレートの沈み込み等深線を参考に設定		
	傾斜角(浅部)	$\delta_1(^{\circ})$	10	10	同上		
	傾斜角(深部)	$\delta_2(^{\circ})$	20	30	同上		
	上端深さ	(km)	12.6	17.0	同上		
	下端深さ	(km)	64.2	67.5	同上		
	長さ	$L_i(\text{km})$	200	400	$L_i = S_i/W_i$		
	幅	$W_i(\text{km})$	200	150	田島ほか(2013)を踏まえ各領域をおおむね包含するように設定		
	各領域の断層面積	$S_i(\text{km}^2)$	40000	60000	地震本部(2012, 2017)の領域区分を参考に設定		
	全体の断層総面積	$S(\text{km}^2)$	100000		$\log S = M - 4.0$		
	モーメントマグニチュード	Mw	9.0		2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえ設定		
	地震モーメント	$M_0(\text{N}\cdot\text{m})$	4.0E+22		$\log M_0 = 1.5Mw + 9.1$		
	平均応力降下量	$\Delta\sigma(\text{MPa})$	3.08		$\Delta\sigma = 7/16 \times M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$		
	剛性率	$\mu(\text{N}/\text{m}^2)$	4.68E+10		地震本部(2004a)		
	平均すべり量	D(m)	8.5		$D = M_0 / (\mu S)$		
S波速度	$V_s(\text{km}/\text{s})$	3.9		地震本部(2004a)			
破壊伝播速度	$V_r(\text{km}/\text{s})$	3.0		諸井ほか(2013)			
微視的 断層 パラメータ	全 S M G A	面積	$S_a(\text{km}^2)$		12500	$S_a = 0.125 \times S$, 諸井ほか(2013)	
		地震モーメント	$M_{0a}(\text{N}\cdot\text{m})$		1.0E+22	$M_{0a} = \mu S_a D_a$	
		平均すべり量	$D_a(\text{m})$		17.1	$D_a = 2 \times D$	
		応力降下量	$\Delta\sigma_a(\text{MPa})$		24.6	$\Delta\sigma_a = S/S_a \times \Delta\sigma$	
	各 S M G A			SMGA1, 2	SMGA6, 7		
		面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$		2500	3750	$S_{a1} = S_{a2} = S_a \times (S_1/S)/2$, $S_{a6} = S_{a7} = S_a \times (S_2/S)/2$
		地震モーメント	$M_{0ai}(\text{N}\cdot\text{m})$		2.0E+21	3.0E+21	$M_{0a1} = M_{0a2} = \text{三陸沖北部} \sim \text{宮城県沖の連動と同じ値}$, $M_{0a6} = M_{0a7} = [M_{0a} - (M_{0a1} + M_{0a2})]/2$
		応力降下量	$\Delta\sigma_{ai}(\text{MPa})$		34.5	24.6	$\Delta\sigma_{ai} = \Delta\sigma_a$, 三陸沖北部は1.4倍
		平均すべり量	$D_{ai}(\text{m})$		17.1	17.1	$D_{a1} = D_{a2} = \text{三陸沖北部} \sim \text{宮城県沖の連動と同じ値}$, $D_{a6} = D_{a7} = M_{0a6} / (\mu \cdot S_{a6})$
	短周期レベル	$A_{ai}(\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$		1.86E+20	1.63E+20	$A_{ai} = 4\pi(S_{ai}/\pi)^{1/2} \Delta\sigma_{ai} V_s^2$	
背景 領域	面積	$S_b(\text{km}^2)$		87500		$S_b = S - S_a$	
	地震モーメント	$M_{0b}(\text{N}\cdot\text{m})$		3.0E+22		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	
	実効応力	$\sigma_b(\text{MPa})$		4.9		$\sigma_b = 0.2 \times \Delta\sigma_a$, 諸井ほか(2013)	
	平均すべり量	$D_b(\text{m})$		7.3		$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	

地震本部の長期評価における巨大プレート間地震との比較

- 地震本部(2017, 2019)では、それぞれ千島海溝沿い、日本海溝沿いの地震の長期評価を行っており、超巨大地震としてM8.8程度以上、M9.0程度の規模が想定されている。
- 検討用地震は、地震本部の長期評価と同等のMw9.0の規模の地震を敷地に近い三陸沖北部の領域を含む領域に設定しており、震源モデルの設定は適切であることを確認した。

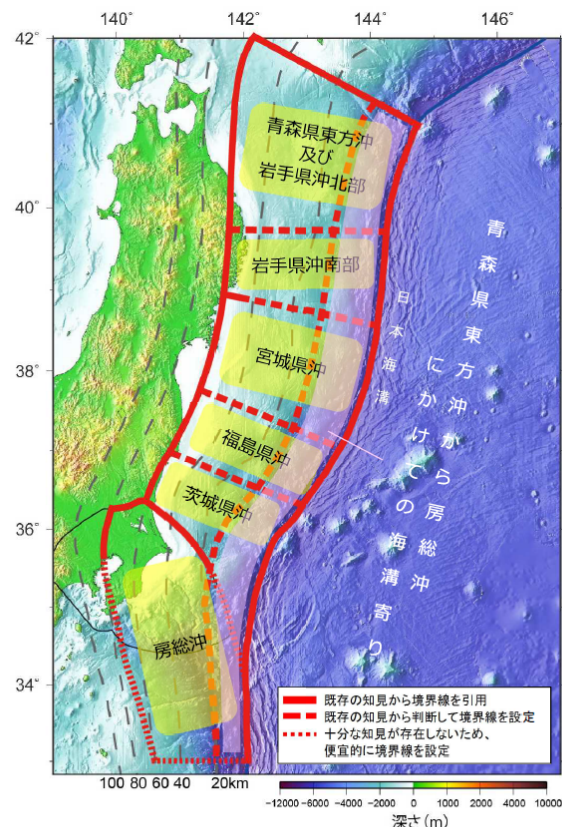


図1 プレート間地震の評価対象領域(赤枠)
プレート内地震は赤枠外で発生した地震も評価する。黒色実線は「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版)」の評価対象領域。灰色破線は横田・他(2017)による太平洋プレート上面深さの等深線。

地震本部(2019)

日本海溝沿いの地震活動の長期評価における評価対象領域

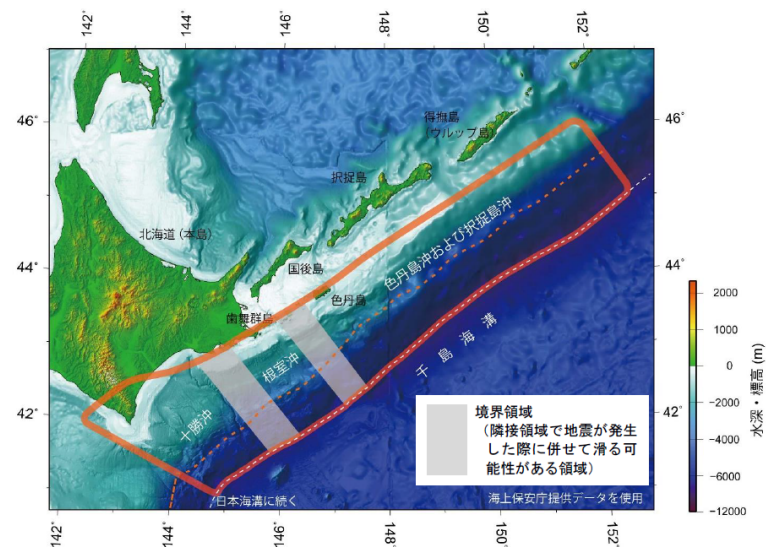


図1 千島海溝沿いの評価対象領域。赤枠はプレート間地震に関する評価対象領域で、プレート内地震は赤枠外で発生した地震も評価する。赤い点線は、海溝寄りの領域を分ける線で、主に、十勝沖から択捉島沖の海溝寄りのプレート間地震(津波地震等)の評価で使用する。

地震本部(2017)

千島海溝沿いの地震活動の長期評価における評価対象領域

想定されている地震の規模

想定震源	想定される領域	規模	発生確率※
千島海溝沿いの超巨大地震	(17世紀型)	具体的な地域は特定できないが、根室沖を含む可能性が高い	M8.8程度以上 7~40%
日本海溝沿いの超巨大地震	(東北地方太平洋沖型)	宮城県沖を必ず含み、隣接する領域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	M9.0程度 ほぼ0%
検討用地震	—	三陸沖北部を含む領域	Mw9.0 —

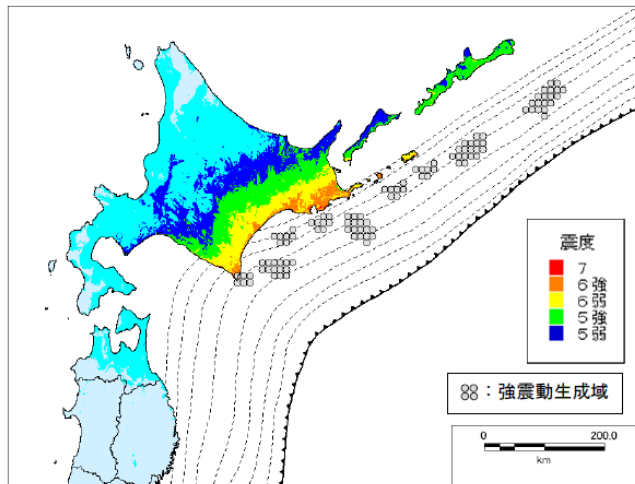
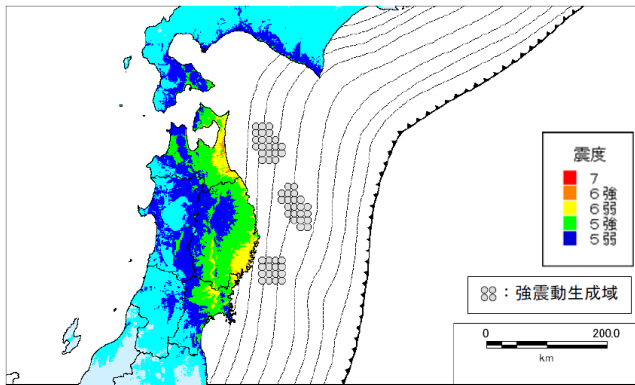
※ : 今後30年以内の発生確率

(5) 設定したパラメータの確認 (2/4)



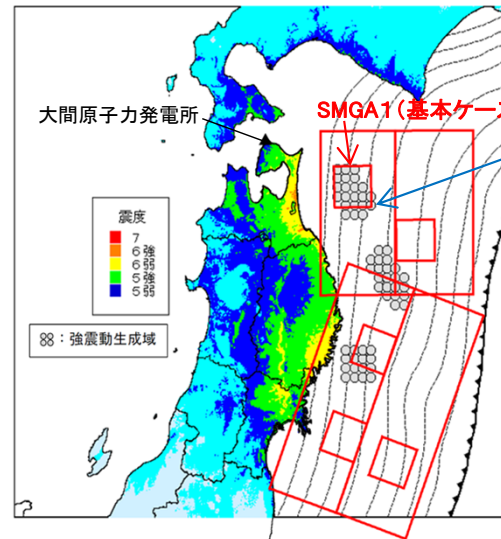
内閣府(2020a)における巨大プレート間地震との比較

- 内閣府(2020a)は、日本海溝沿い及び千島海溝沿いの巨大地震モデルについて検討しており、強震動を予測する震源モデルが提案されている。震度分布を比較すると、日本海溝モデルの方が敷地への影響が大きいことを踏まえ、日本海溝モデルと三陸沖北部～宮城県沖の連動のパラメータを比較した。
- 敷地に近く影響が大きいと考えられるSMGA1を日本海溝モデルのSMGA①と比較すると、基本ケースではおおむね同じ位置に、SMGA位置の不確かさケースではより敷地に近い位置に同程度の面積を想定している。応力降下量、短周期レベルとも基本ケースの方が大きな値であり、震源モデルの設定は適切であることを確認した。

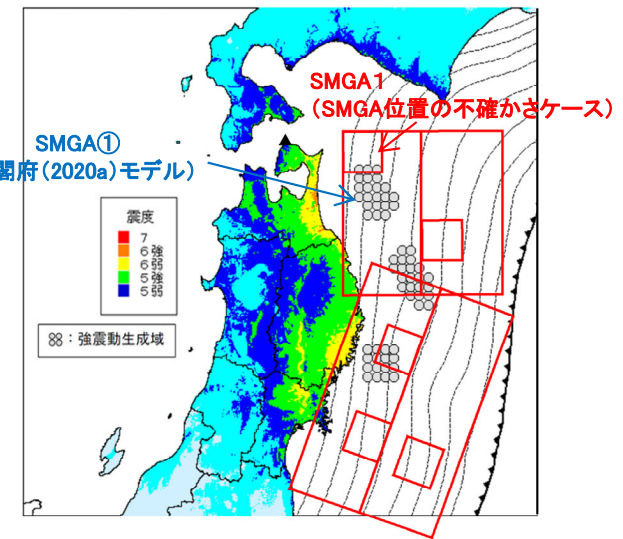


内閣府(2020a)

内閣府(2020a)の日本海溝モデル(上段)と千島海溝モデル(下段)の震度分布



基本ケースとの比較



SMGA位置の不確かさケースとの比較

内閣府(2020a)に加筆

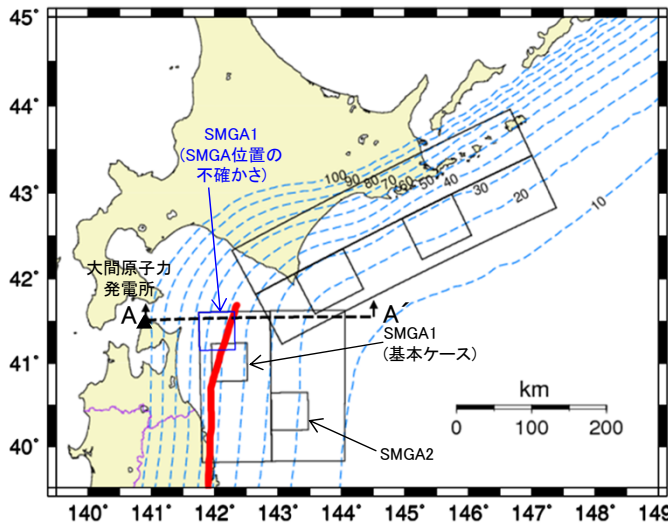
三陸沖北部～宮城県沖の連動と内閣府(2020a)の日本海溝モデルの震源モデルの比較

三陸沖北部～宮城県沖の連動と内閣府(2020a)の日本海溝モデルの断層パラメータの比較

敷地に近いSMGAの諸元		三陸沖北部～宮城県沖の連動 基本ケース SMGA1	内閣府(2020a)モデル SMGA①※1
地震モーメント	Nm	2.0E+21	1.8E+21
面積	km ²	2500	2746.6
応力降下量	MPa	34.5	30.0
短周期レベル※2	Nm/s ²	1.86E+20	1.70E+20

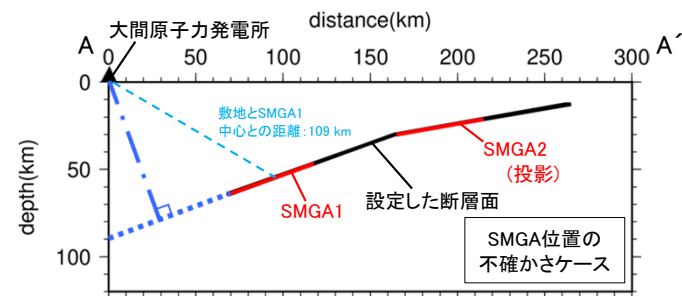
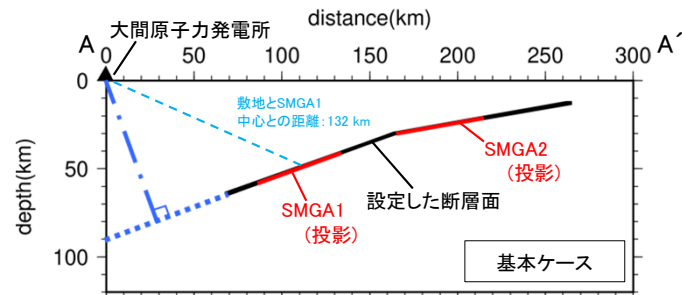
※1:内閣府(2020b)による。 ※2:短周期レベルは次式で計算 $A=4\pi(S_{ai}/\pi)^{1/2}\Delta\sigma_{ai}Vs^2$ ($Vs=3.9\text{km/s}$)

設定した震源モデルとアサイスミックフロントの比較

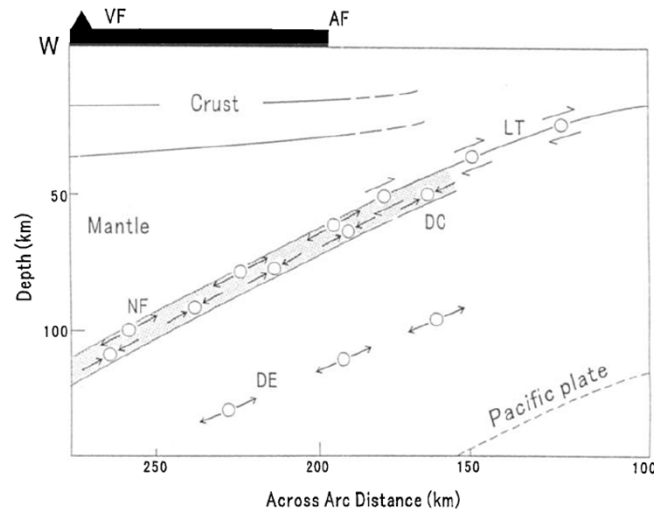


— : Igarashi et al.(2001)より転記したアサイスミックフロント
設定した断層面とアサイスミックフロントの位置関係

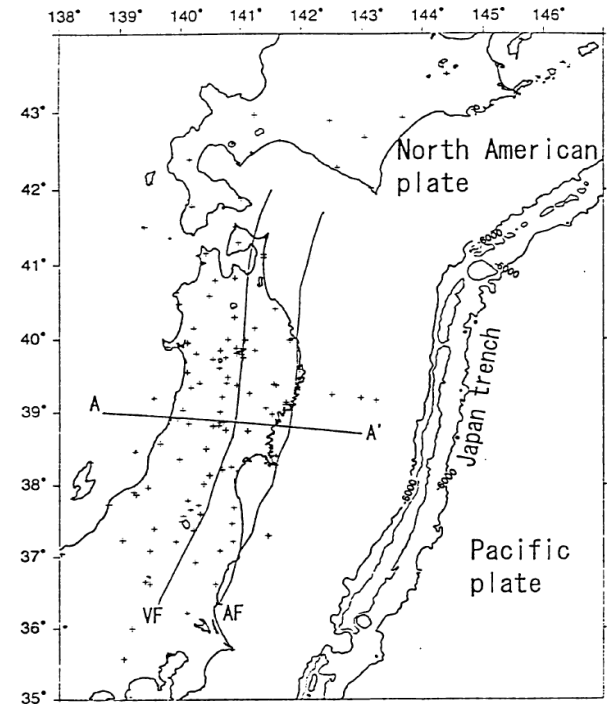
- 断層面の位置は、プレート上面の深度分布に基づき設定している。
- Igarashi et al.(2001)では、プレート間地震はアサイスミックフロントより東側で発生するとされている。文献中に示されたアサイスミックフロントは、三陸沖北部の領域において、プレート上面深度50km~60kmの位置と対応している。
- 三陸沖北部の領域の断層面について、断層下端が敷地に最も近くなっており、深さ約60kmの位置に設定している。断層下端及びSMGA1の位置は、アサイスミックフロントとおおむね対応した設定となっており、震源モデルの設定は適切であることを確認した。



三陸沖北部の領域の断層面(断面図)



アサイスミックフロントの位置
(図中AF:アサイスミックフロント, LT:プレート間地震)



Igarashi et al.(2001)

(5) 設定したパラメータの確認 (4/4)



2011年東北地方太平洋沖地震の断層パラメータとの比較

- 2011年東北地方太平洋沖地震については、様々な震源モデルが提案されている。田島ほか(2013)にて複数モデルが取りまとめられており、各文献における値を参照して検討用地震の断層パラメータと比較した結果、断層パラメータは適切な設定となっていることを確認した(表a)。
- SMGA面積比について、諸井ほか(2013)を踏まえ12.5%としているが、2003年十勝沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震はSMGA面積比が8%であったとする知見もある(田島ほか(2013), 表b)。そこで、SMGA面積比を変えた場合のSMGA1個あたりの短周期レベルを求め、敷地に近い三陸沖北部の領域のSMGA1, 2の短周期レベルと比較した。その結果、SMGA1, 2の短周期レベルはSMGA面積比を8%とした場合よりも大きく、断層パラメータは適切な設定となっていることを確認した(表c)。

田島ほか(2013)で取りまとめられたモデルと検討用地震の比較(表a)

	文献	SMGA面積 (km ²)※1	SMGA全体の短周期レベル (Nm/s ²)※1	各SMGAの応力降下量の平均 (MPa)※2	備考
田島ほか(2013)で取りまとめられたモデル	Kurahashi and Irikura (2013)	5628	1.74E+20	21.44	
	Asano and Iwata (2012)	5042	1.67E+20	18.95	
	佐藤(2012)	11475	3.51E+20	28.82	佐藤(2012)においてシミュレーション結果が過大評価であるとされている。
	川辺・釜江(2013)	6300	1.74E+20	18.26	
	平均値	6730	2.05E+20	—	
検討用地震	基本ケース	12500	3.49E+20	SMGA1, 2 : 34.5 SMGA3~5 : 24.6	佐藤(2012)と同程度の短周期レベルとなっている。

※1 : 田島ほか(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。

田島ほか(2013)における各種面積の比(表b)
(S:断層面積, S_{aL}:大きなすべりの領域の面積, S_{aS}:SMGA面積)

Earthquake	S _{aS} /S _{aL}	S _{aL} /S	S _{aS} /S
2003 Tokachi-oki, Japan	0.36	0.22	0.079
2011 Tohoku, Japan	0.35	0.23	0.079

田島ほか(2013)

SMGA面積比によるSMGA1個あたりの短周期レベルの比較(表c)

	SMGA面積比	SMGA1個の面積 (km ²)	SMGA1個の短周期レベル (Nm/s ²)※3
SMGA面積比によるパラメータスタディ	0.08	1,600 (40km × 40km)	1.66 × 10 ²⁰
	0.125	2,500 (50km × 50km)	1.33 × 10 ²⁰
	0.18	3,600 (60km × 60km)	1.11 × 10 ²⁰
	0.245	4,900 (70km × 70km)	9.49 × 10 ¹⁹
検討用地震の基本ケース (三陸沖北部のSMGA1, 2)	0.125	2500	1.86 × 10 ²⁰

※3 : 短周期レベルは次式で計算 $A=4\pi(S_{ai}/\pi)^{1/2}\Delta\sigma_{ai}Vs^2$ (Vs=3.9km/s)

(余白)

目次

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
 2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討
 - 2.2 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討
 - 2.3 検討用地震の選定
 3. 震源モデルの設定
 - 3.1 震源モデルの設定方針
 - 3.2 震源モデルの設定
 - (1) 断層面の設定
 - (2) SMGAの設定
 - (3) 検討ケースの設定
 - (4) 断層パラメータの設定
 - (5) 設定したパラメータの確認
 4. 地震動評価手法
 - 4.1 地震動評価の方針
 - 4.2 要素地震の選定
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の要素地震
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の要素地震
 5. 地震動評価結果
 - 5.1 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果
 - 5.2 地震動評価結果まとめ
- (補足) 敷地周辺の地震発生状況

地震動評価の方針

■ 応答スペクトルに基づく地震動評価手法

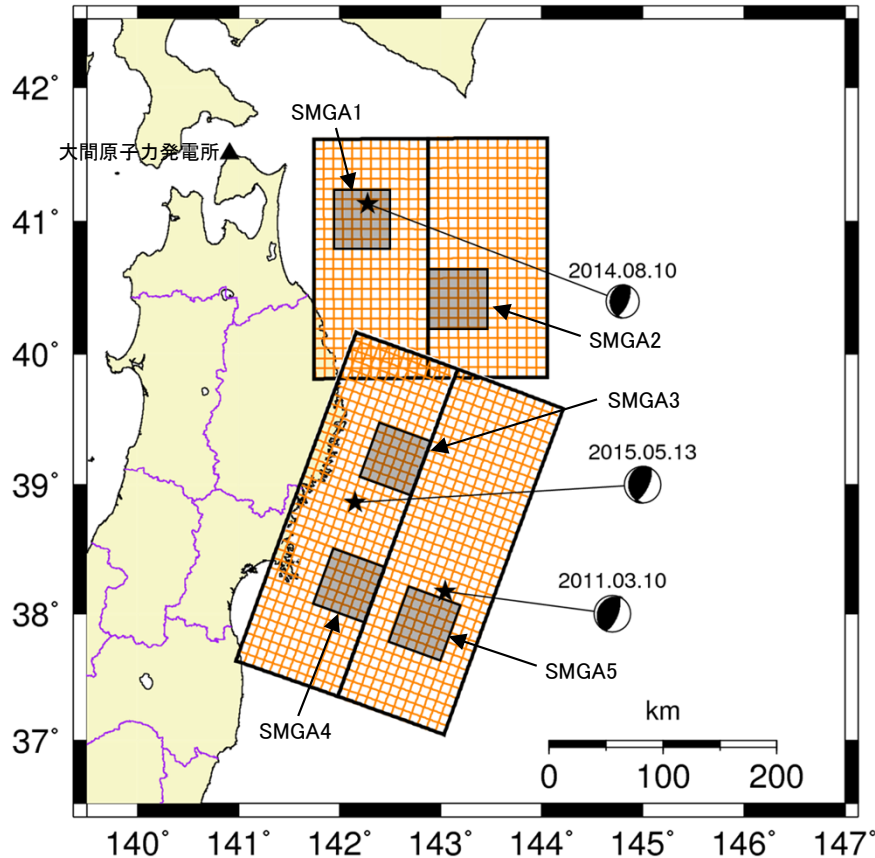
- 検討用地震は、敷地から見て広範囲に震源領域が広がっていること、及び既往の距離減衰式に対して外挿となることから、応答スペクトルに基づく適切な地震動評価が出来ないため、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う。

■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価手法

- 敷地において、要素地震として用いることができる適切な観測記録が得られていることから、経験的グリーン関数法(入倉ほか(1997))による地震動評価を行う。
- 要素地震は、設定した断層モデルと同じタイプの震源メカニズムを有する地震とし、震源断層が広域となることを踏まえ複数選定する。

要素地震の諸元

- 三陸沖北部～宮城県沖の連動について、経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、各領域で発生した地震を選定した。



選定した要素地震の位置

※1：震源メカニズムはGlobal CMT Catalog, その他諸元は気象庁地震カタログによる。

※2：震源メカニズムはF-net, その他諸元は気象庁地震カタログによる。

選定した要素地震の諸元

◆三陸沖北部の領域の要素地震※1

対象領域	発震日時	北緯 (°)	東経 (°)		メカニズム解	
三陸沖北部 (SMGA1, 2)	2014.08.10 12:43	41.1340		142.2790		
		M	震源距離 (km)	震源深さ (km)		
		6.1	132	51		
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)		
182	26	70				

◆三陸沖中南部の領域の要素地震※2

対象領域	発震日時	北緯 (°)	東経 (°)		メカニズム解	
三陸沖中南部 (SMGA3)	2015.05.13 06:12	38.8628		142.1502		
		M	震源距離 (km)	震源深さ (km)		
		6.8	315	46		
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)		
178	25	64				

対象領域	発震日時	北緯 (°)	東経 (°)		メカニズム解	
三陸沖中南部 (SMGA4, 5)	2011.03.10 06:23	38.1722		143.0448		
		M	震源距離 (km)	震源深さ (km)		
		6.8	413	9		
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)		
213	23	101				

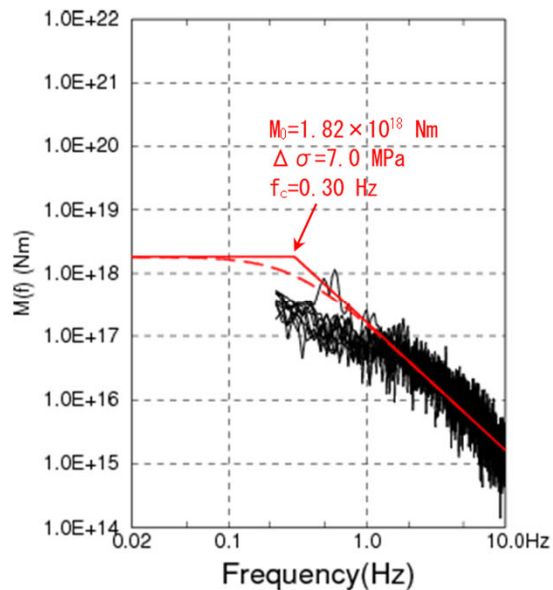
要素地震の震源パラメータ

- 各領域の要素地震について、震源パラメータ及び ω^{-2} モデルによる理論震源スペクトルと観測記録の比較を示す。
- 各震源パラメータに基づく ω^{-2} モデルによる理論震源スペクトルは、観測記録とよく整合するものとなっている。

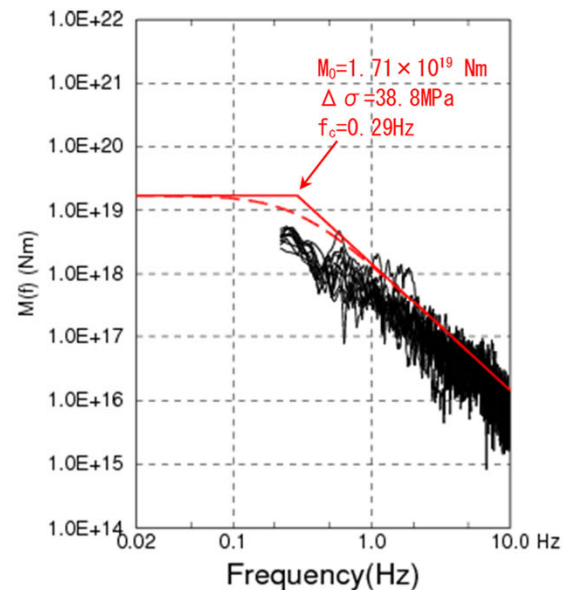
震源パラメータの評価結果

対象領域	発震日時	震源パラメータ※4		
		地震モーメント(Nm)	コーナー周波数(Hz)	応力降下量(MPa)
三陸沖北部 (SMGA1, 2)	2014.08.10 12:43	1.82E+18※1	0.30	7.0
三陸沖中南部 (SMGA3)	2015.05.13 06:12	1.71E+19※2	0.29	38.8
三陸沖中南部 (SMGA4, 5)	2011.03.10 06:23	5.51E+18※3	0.22※3	11.8※3

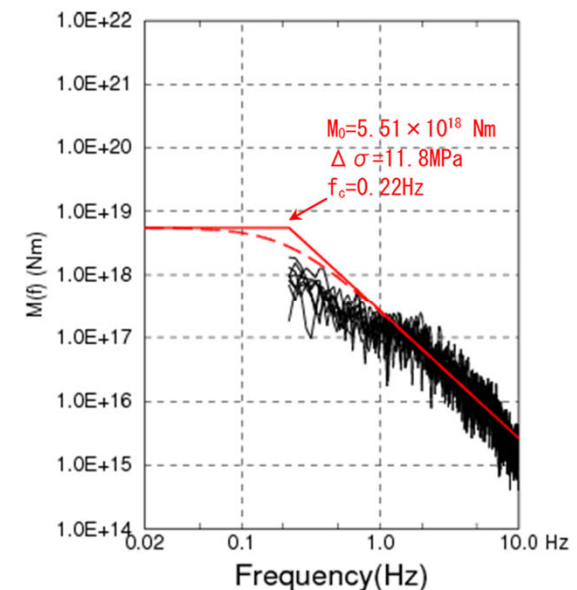
※1 : Global CMT Catalogによる。 ※2 : F-netによる。 ※3 : Kurahashi and Irikura (2011)による。 ※4 : 要素地震のQ値補正には、川瀬・松尾(2004)を踏まえ $Q(f)=93f^{0.89}$ を用いる。



三陸沖北部の領域 (SMGA1, 2) の要素地震



三陸沖中南部の領域 (SMGA3) の要素地震

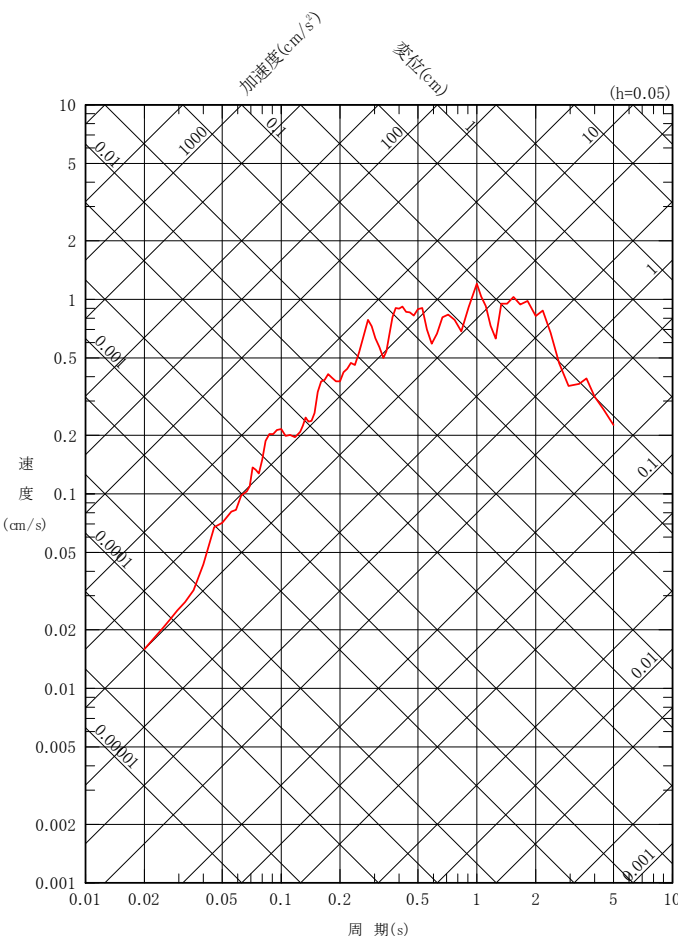
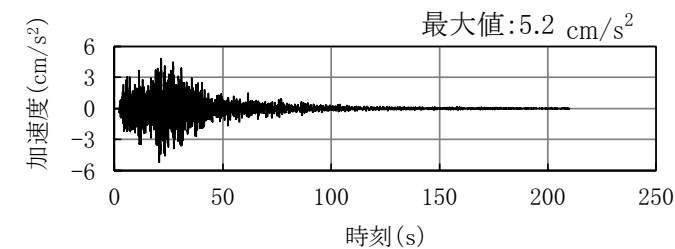
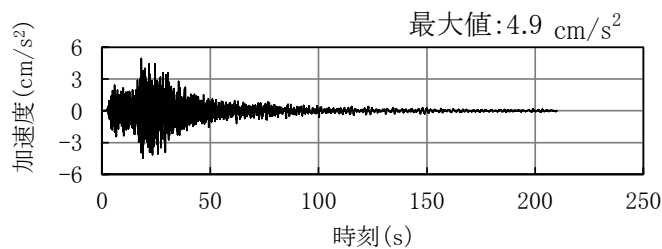
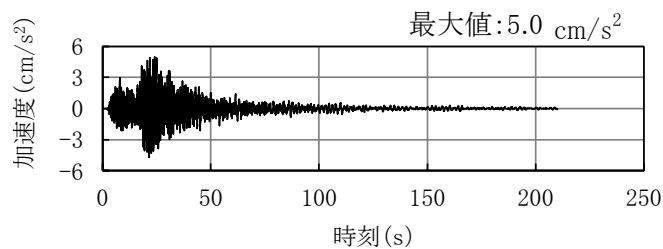


三陸沖中南部の領域 (SMGA4, 5) の要素地震

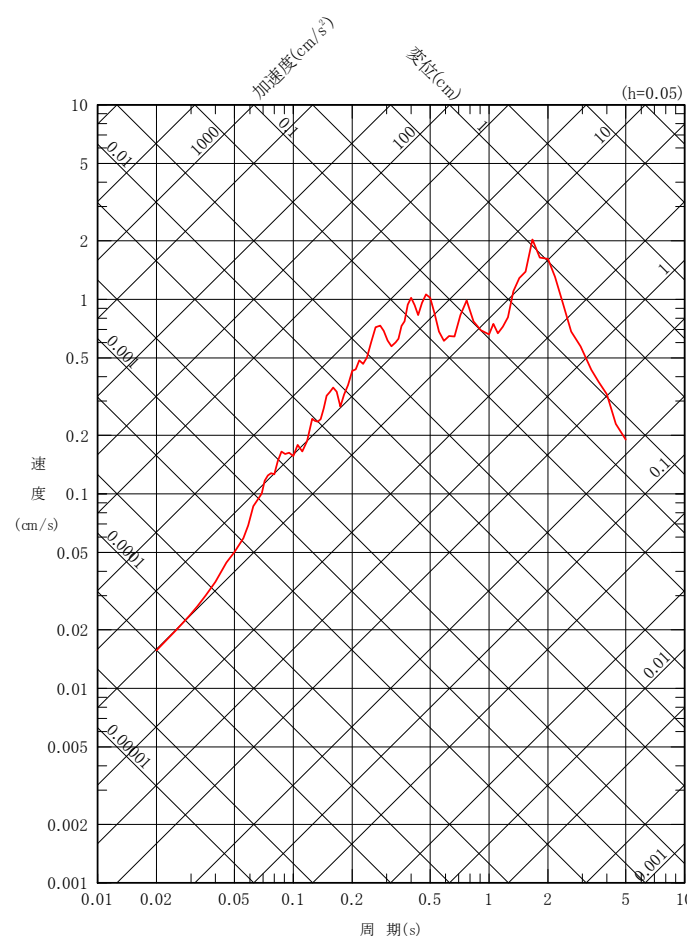
各要素地震の理論震源スペクトルと観測記録の比較



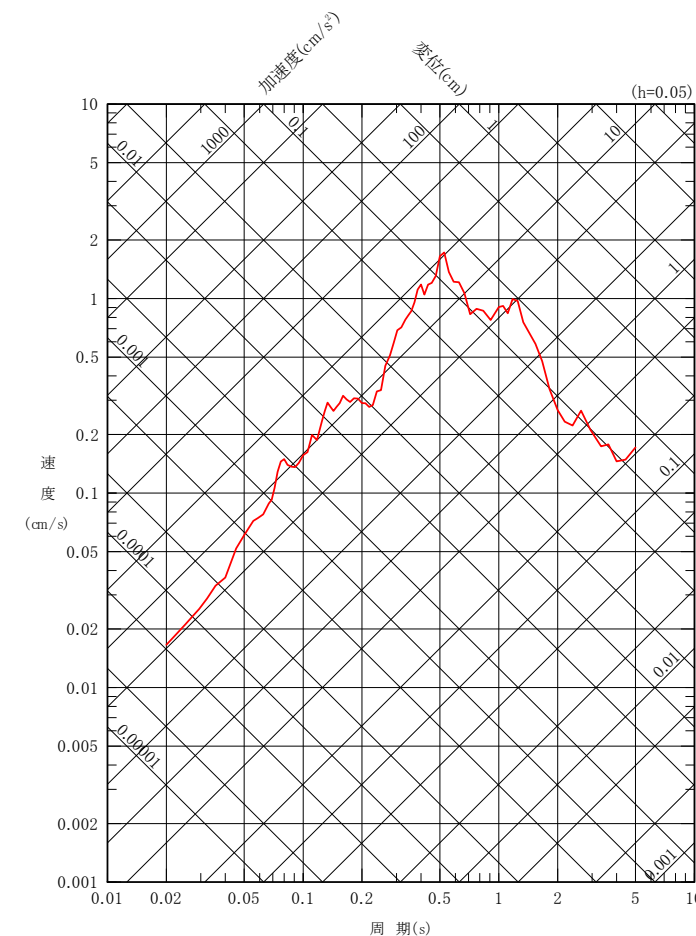
要素地震の観測記録 【三陸沖北部の領域(SMGA1, 2)】



NS成分



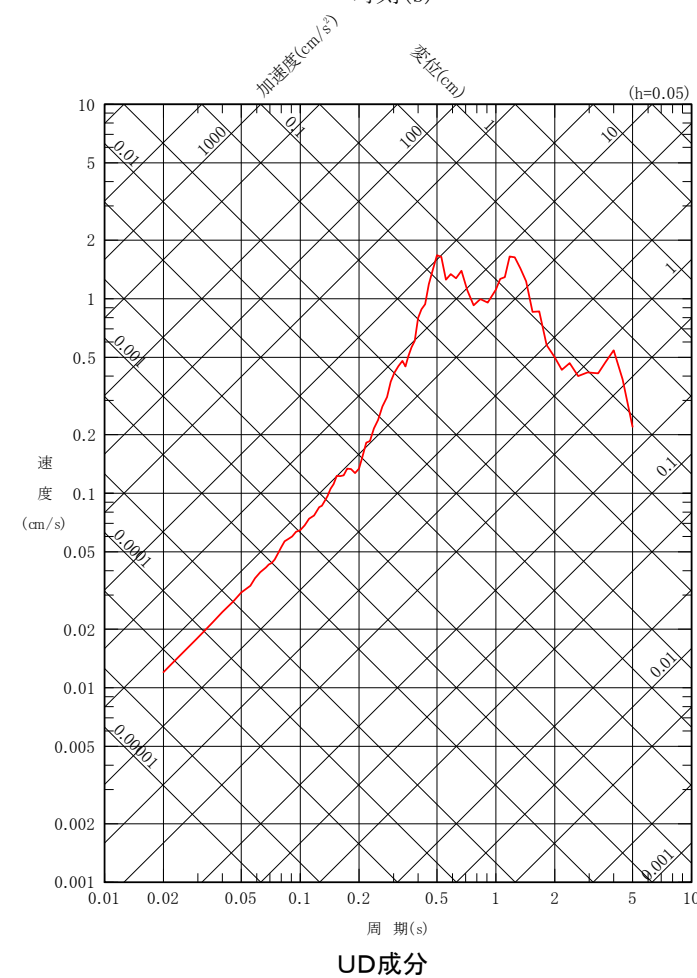
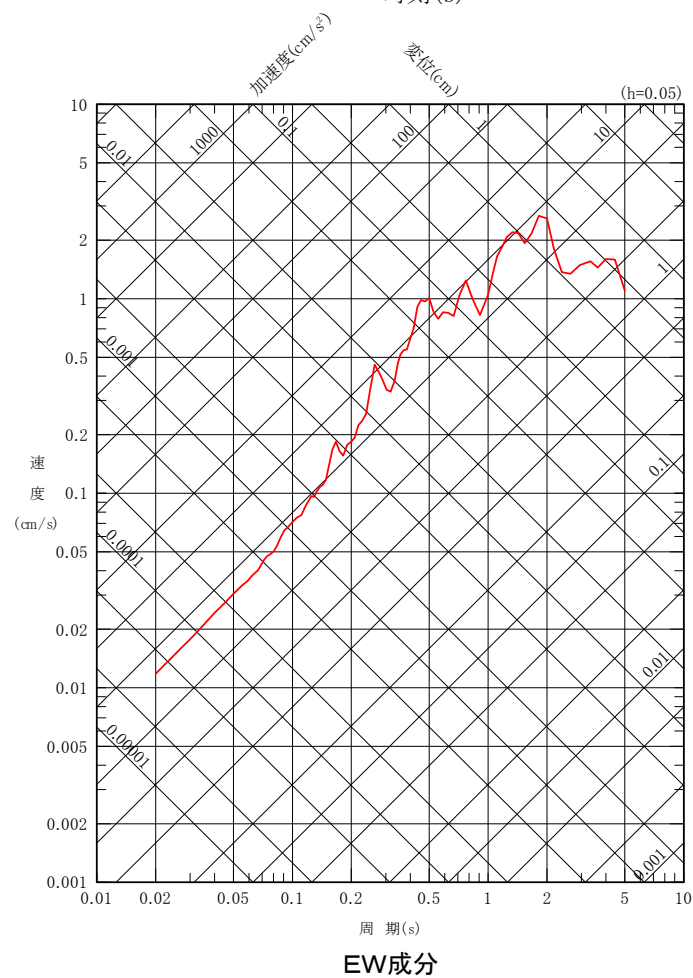
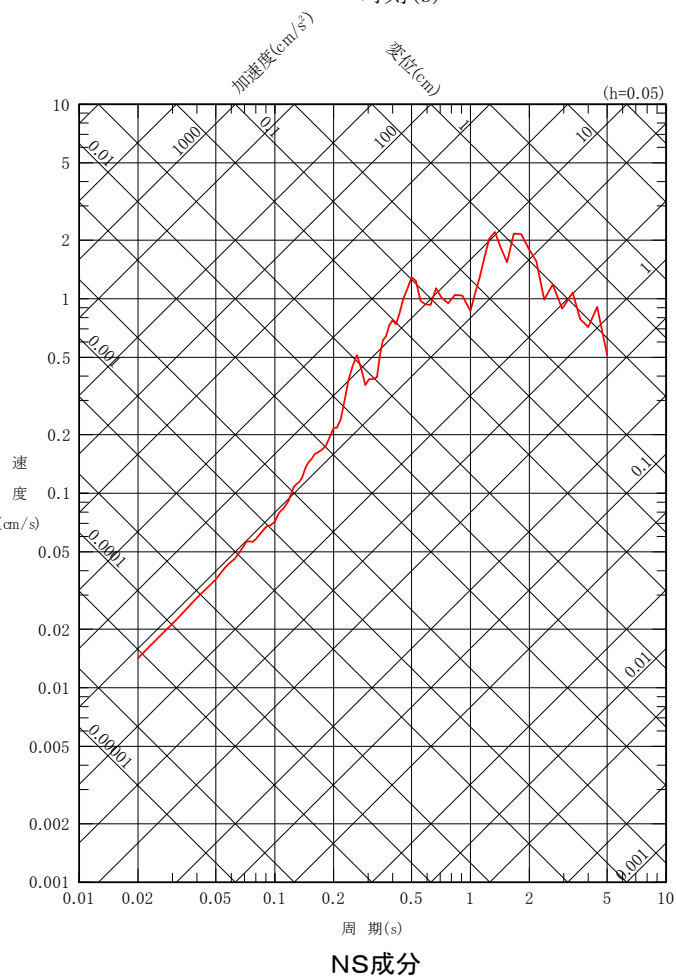
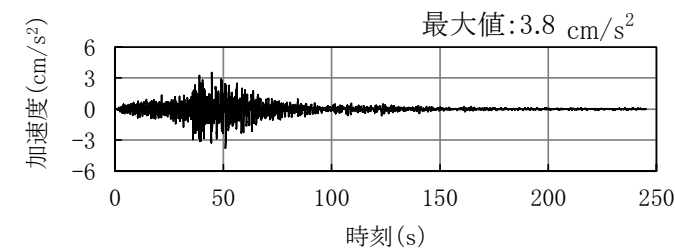
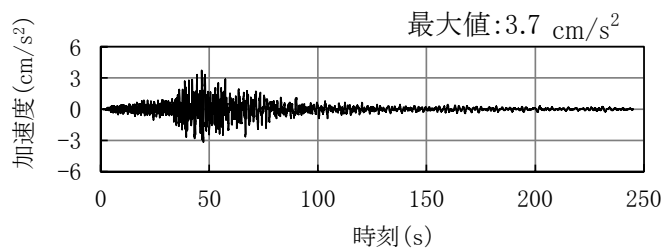
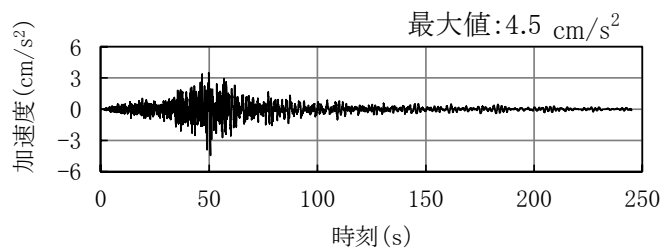
EW成分



UD成分



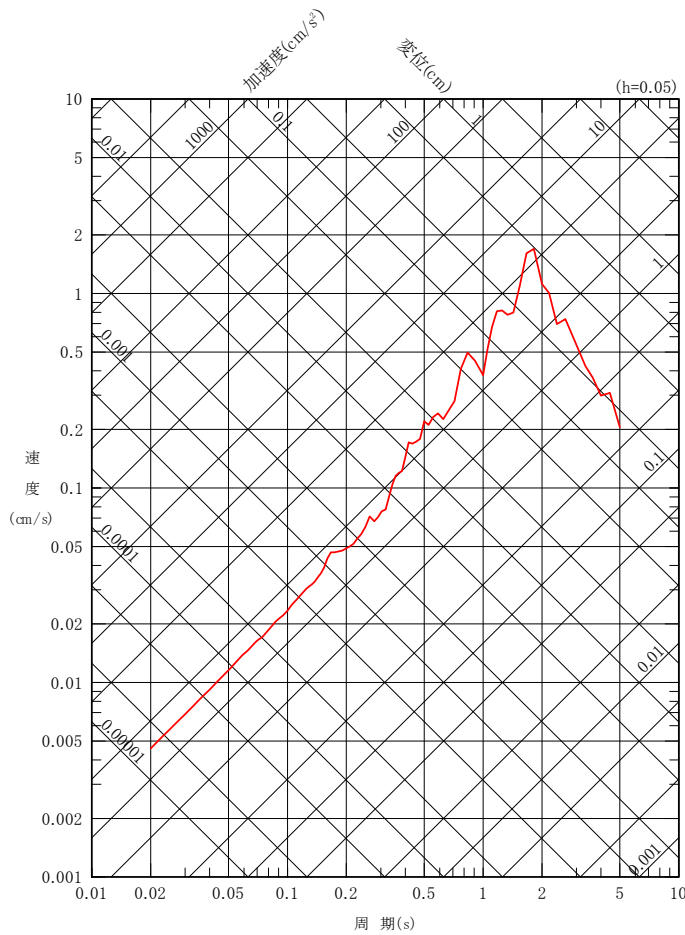
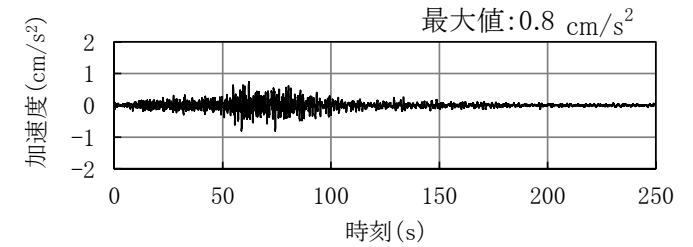
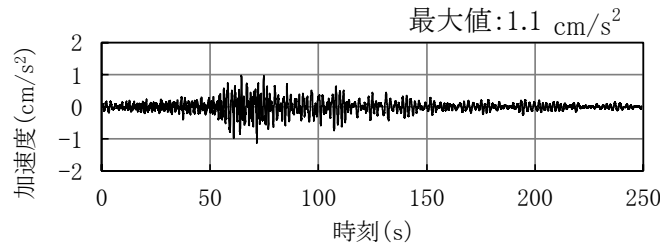
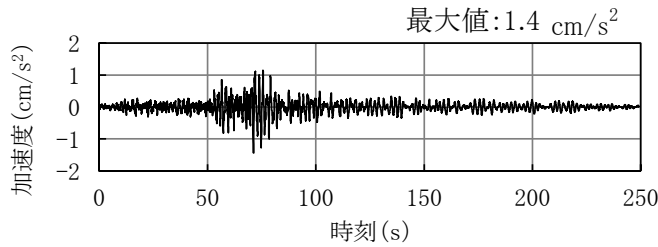
要素地震の観測記録 【三陸沖中南部の領域(SMGA3)】



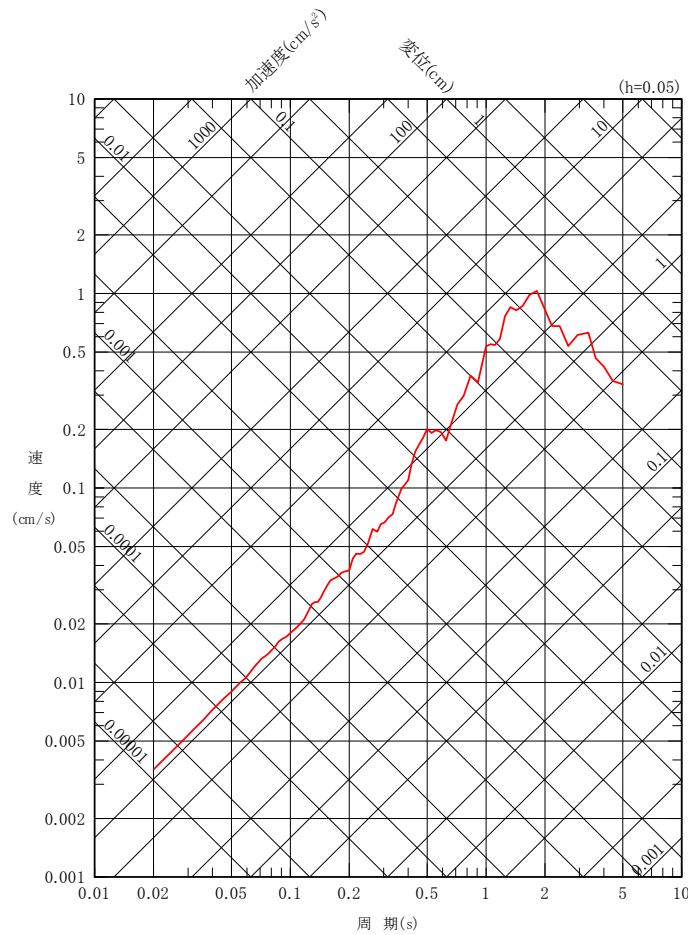
三陸沖中南部の領域(SMGA3)の要素地震のはぎとり波(T.P.-230m)の加速度時刻歴波形と応答スペクトル



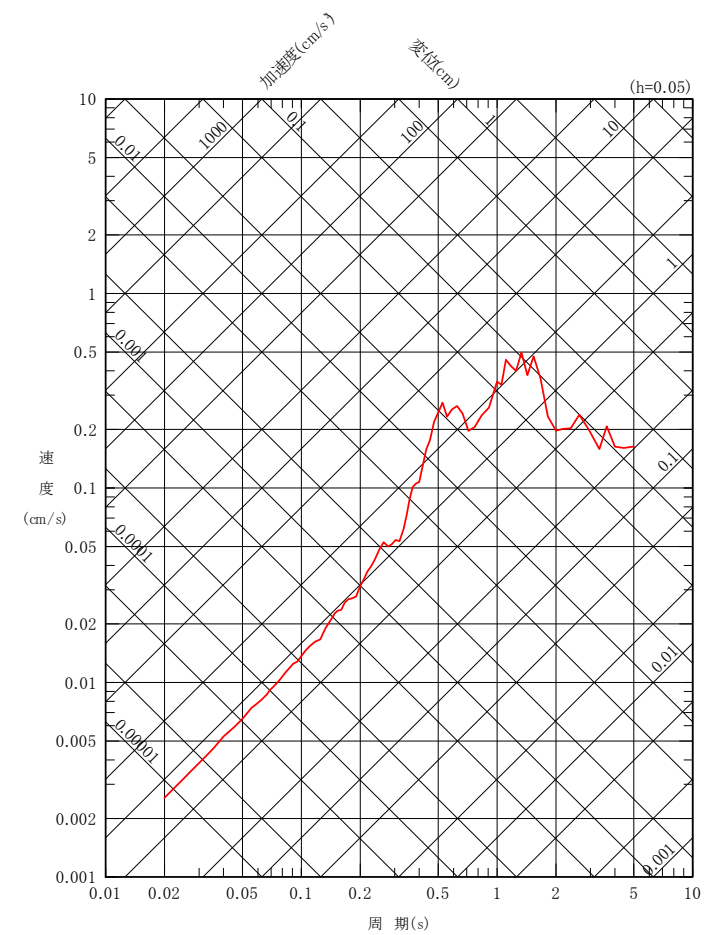
要素地震の観測記録 【三陸沖中南部の領域(SMGA4, 5)】



NS成分



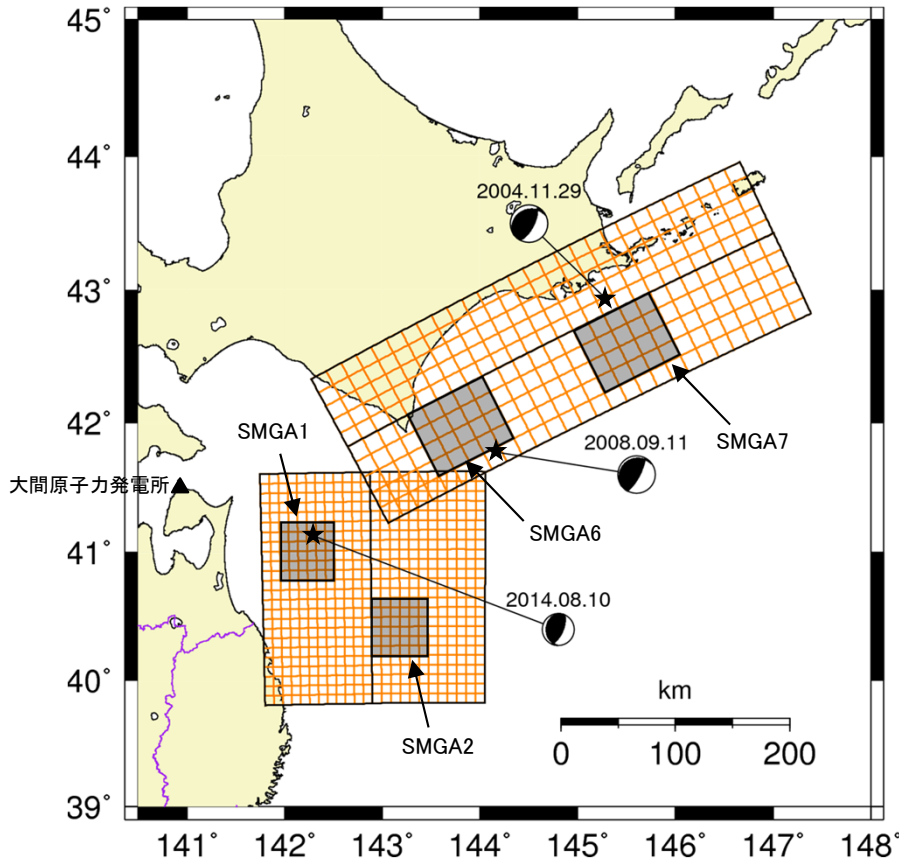
EW成分



UD成分

要素地震の諸元

・ 三陸沖北部～根室沖の連動について、経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、各領域で発生した地震を選定した。



選定した要素地震の位置

※ : 震源メカニズムはGlobal CMT Catalog, その他諸元は気象庁地震カタログによる。

選定した要素地震の諸元※

◆三陸沖北部の領域の要素地震

対象領域	発震日時	北緯 (°)	東経 (°)		メカニズム解
三陸沖北部 (SMGA1, 2)	2014.08.10 12:43	41.1340	142.2790		
		M	震源距離 (km)	震源深さ (km)	
		6.1	132	51	
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	
		182	26	70	

◆十勝沖の領域の要素地震

対象領域	発震日時	北緯 (°)	東経 (°)		メカニズム解
十勝沖 (SMGA6)	2008.09.11 09:20	41.7755	144.1515		
		M	震源距離 (km)	震源深さ (km)	
		7.1	273	31	
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	
		235	15	116	

◆根室沖の領域の要素地震

対象領域	発震日時	北緯 (°)	東経 (°)		メカニズム解
根室沖 (SMGA7)	2004.11.29 03:32	42.9460	145.2755		
		M	震源距離 (km)	震源深さ (km)	
		7.1	395	48	
		走向 (°)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	
		242	26	122	

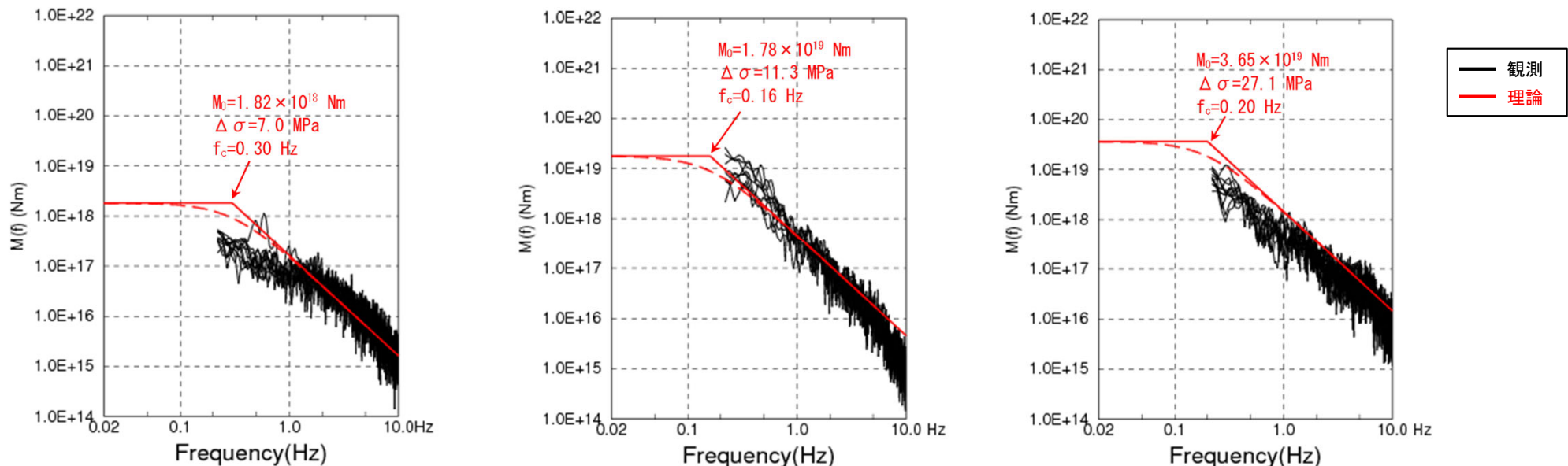
要素地震の震源パラメータ

- 各領域の要素地震について、震源パラメータ及び ω^{-2} モデルによる理論震源スペクトルと観測記録の比較を示す。
- 各震源パラメータに基づく ω^{-2} モデルによる理論震源スペクトルは、観測記録とよく整合するものとなっている。

震源パラメータの評価結果

対象領域	発震日時	震源パラメータ※2		
		地震モーメント(Nm)※1	コーナー周波数(Hz)	応力低下量(MPa)
三陸沖北部 (SMGA1, 2)	2014.08.10 12:43	1.82E+18	0.30	7.0
十勝沖 (SMGA6)	2008.09.11 09:20	1.78E+19	0.16	11.3
根室沖 (SMGA7)	2004.11.29 03:32	3.65E+19	0.20	27.1

※1 : Global CMT Catalogによる。 ※2 : 要素地震のQ値補正には、川瀬・松尾(2004)を踏まえ $Q(f)=93f^{0.89}$ (三陸沖北部の領域)、 $Q(f)=91f^{0.86}$ (十勝沖の領域、根室沖の領域)を用いる。



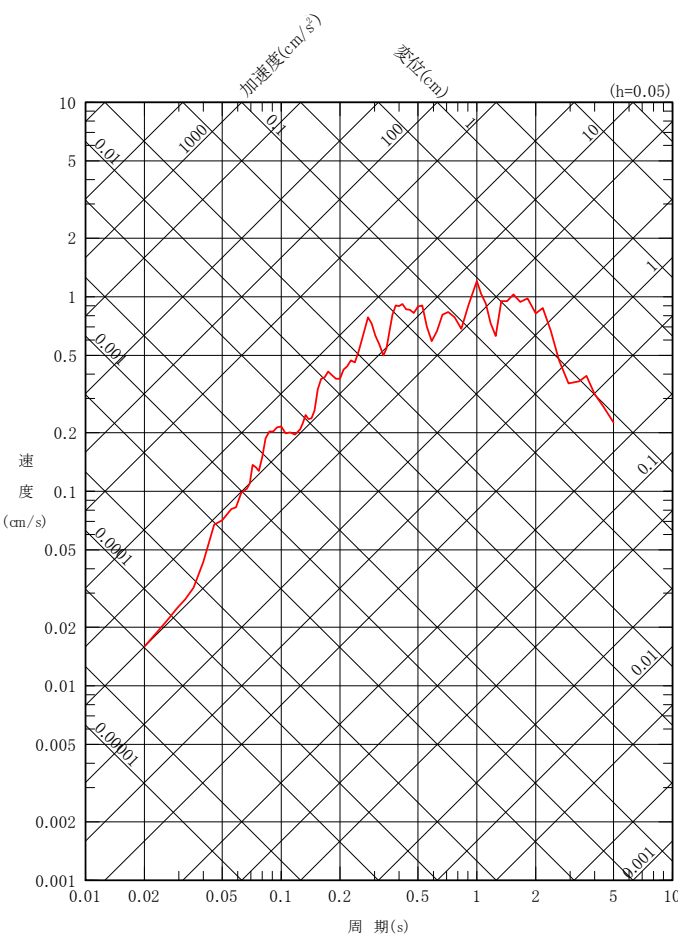
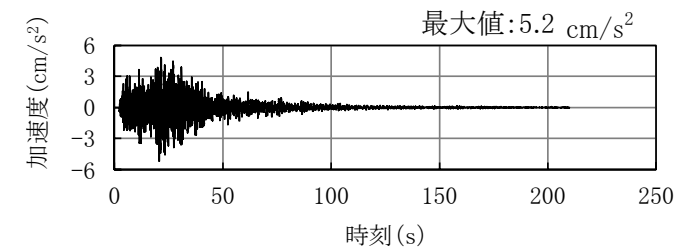
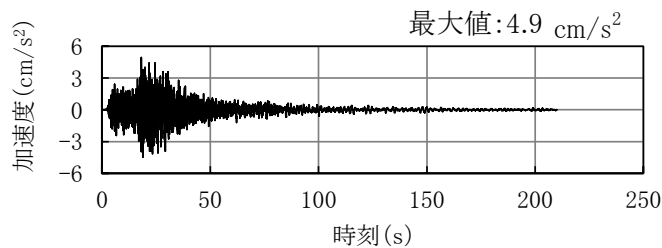
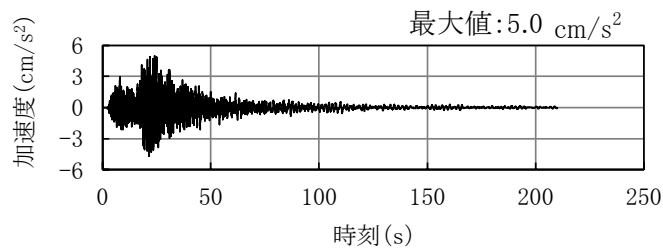
三陸沖北部の領域(SMGA1, 2)の要素地震

十勝沖の領域(SMGA6)の要素地震

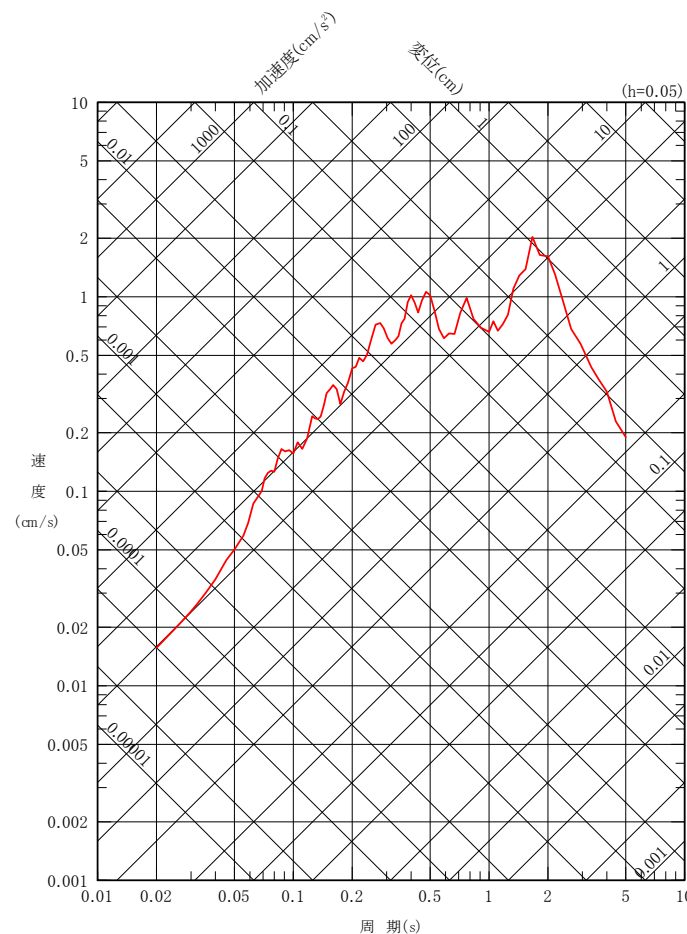
根室沖の領域(SMGA7)の要素地震



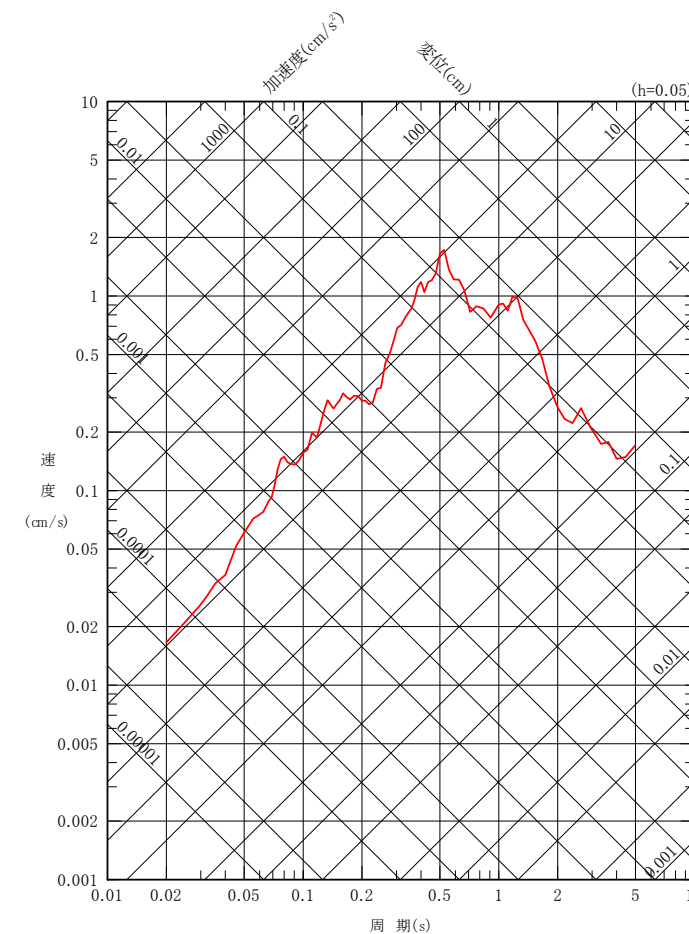
要素地震の観測記録 【三陸沖北部の領域(SMGA1, 2)】



NS成分



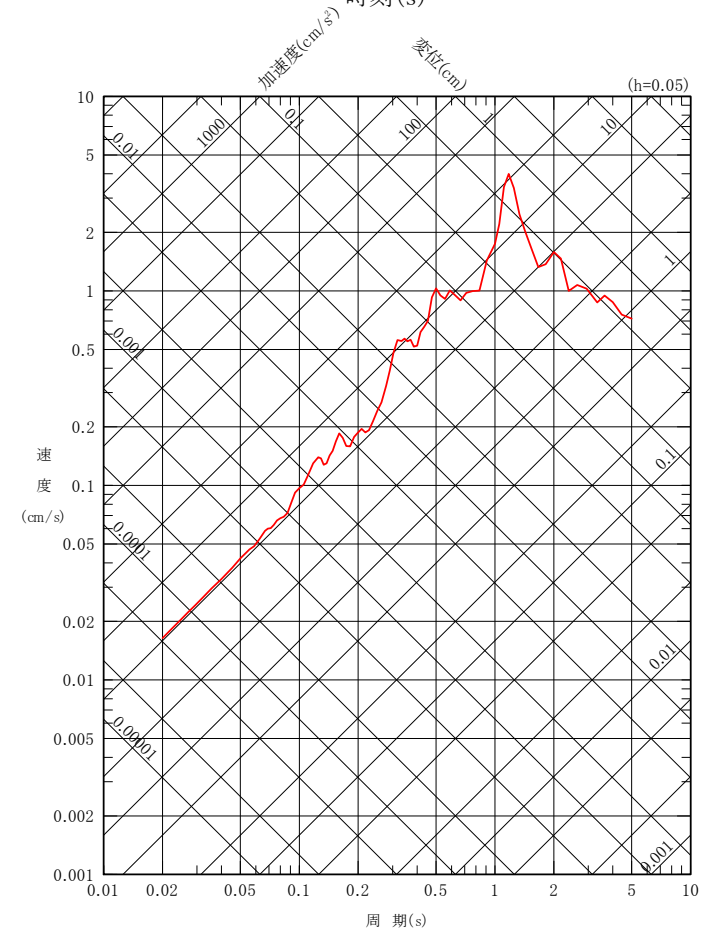
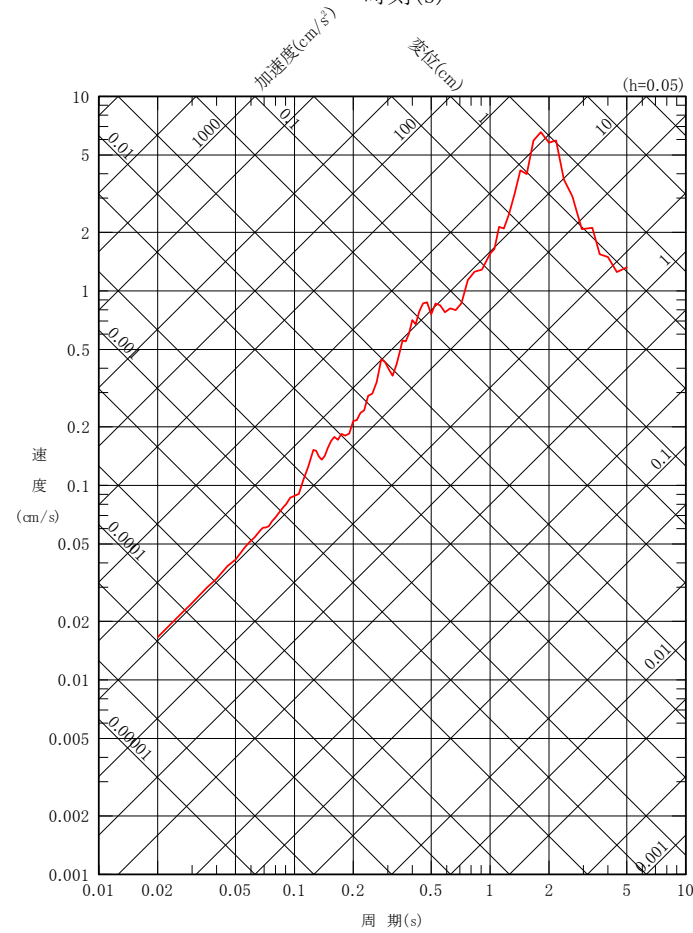
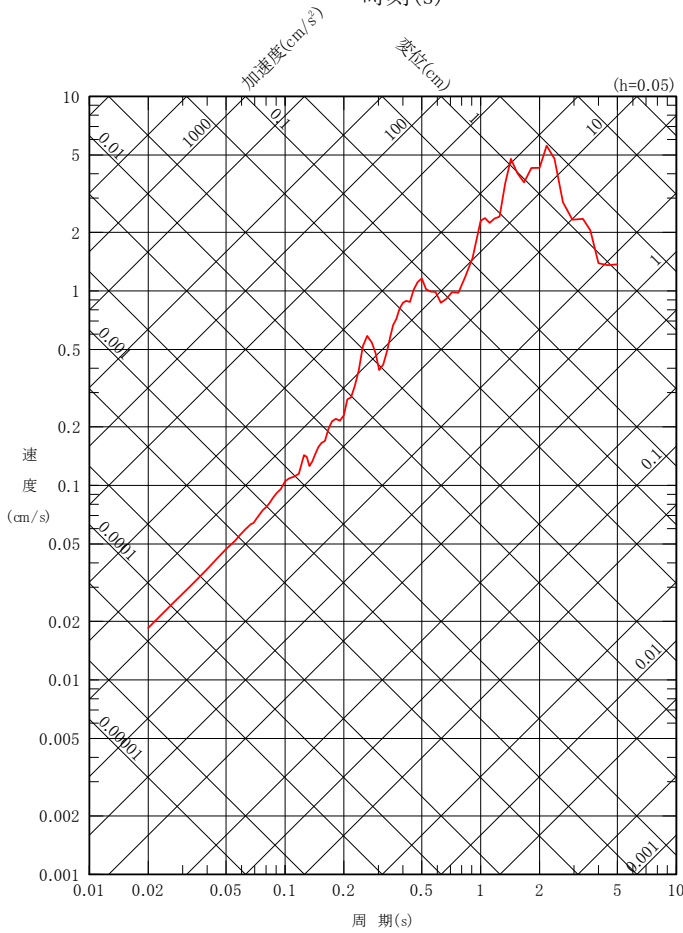
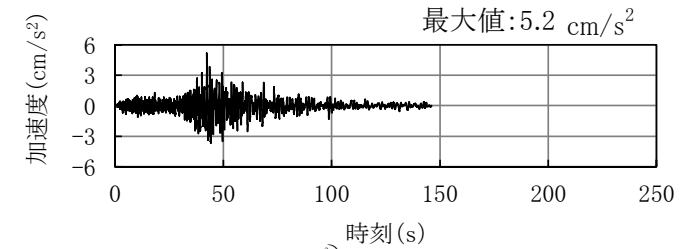
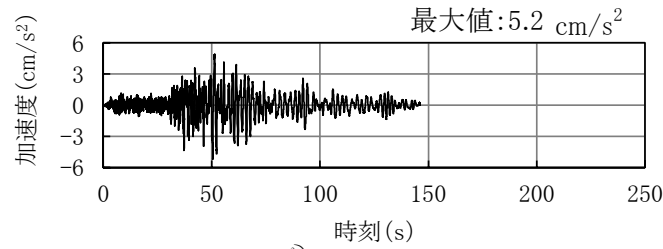
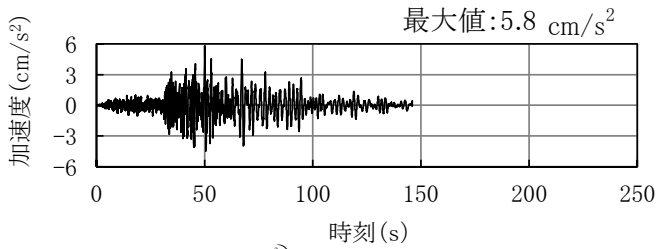
EW成分



UD成分



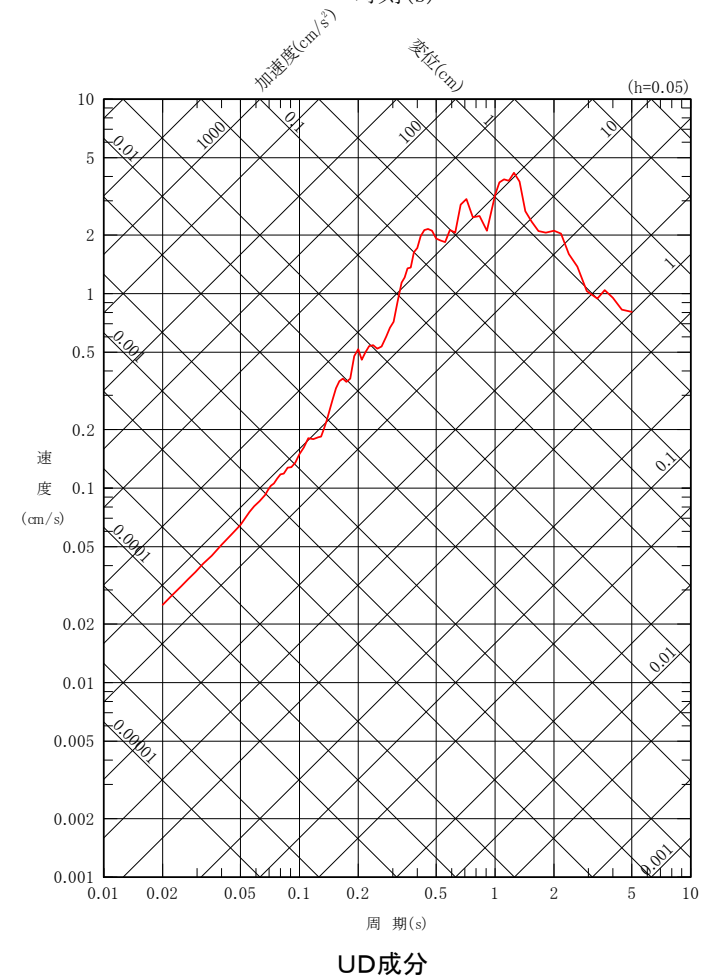
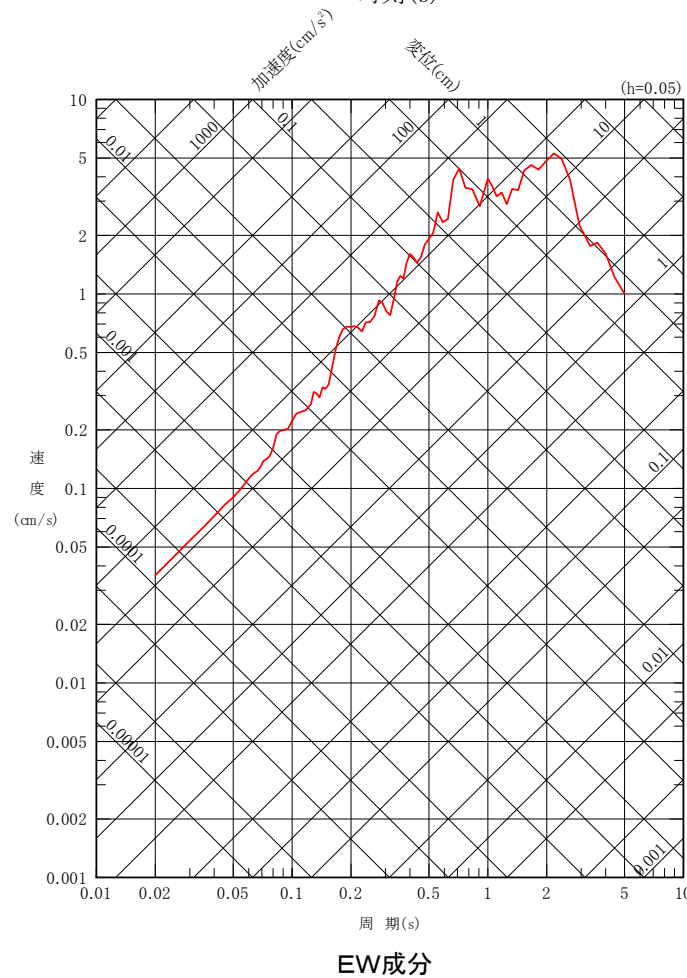
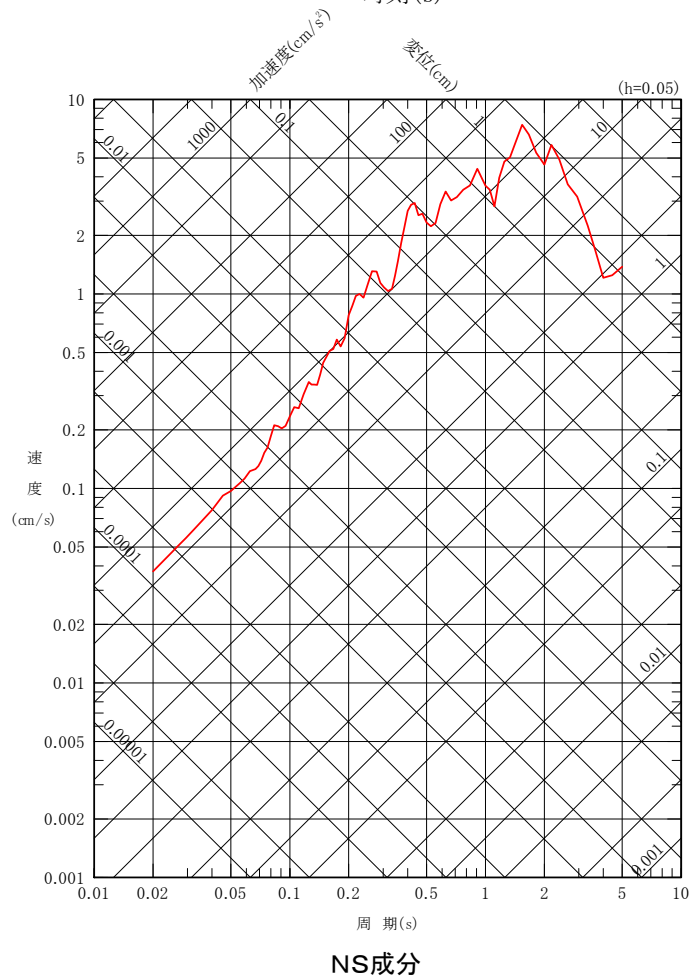
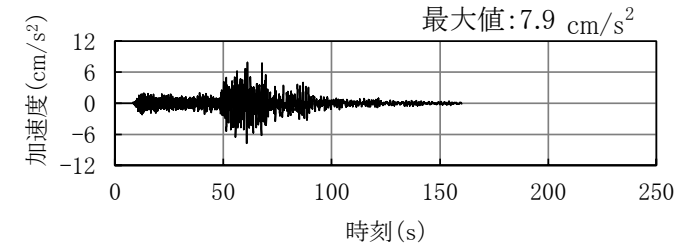
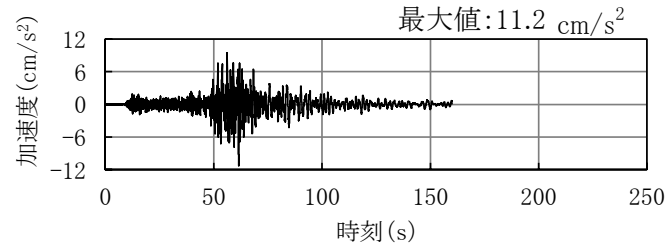
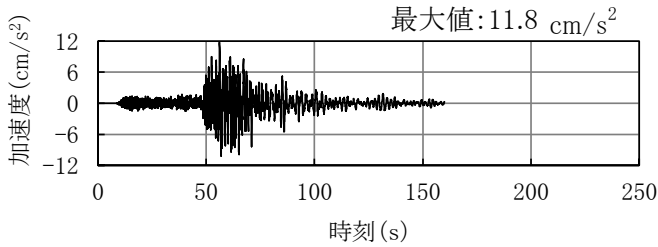
要素地震の観測記録 【十勝沖の領域(SMGA6)】



十勝沖の領域(SMGA6)の要素地震のはざとり波(T.P.-230m)の加速度時刻歴波形と応答スペクトル



要素地震の観測記録 【根室沖の領域(SMGA7)】

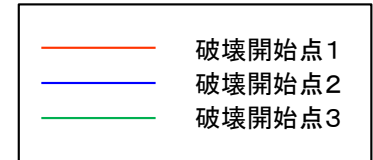
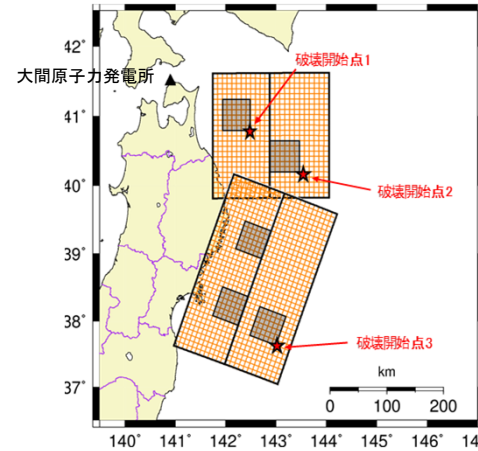


根室沖の領域(SMGA7)の要素地震のはざとり波(T.P.-230m)の加速度時刻歴波形と応答スペクトル

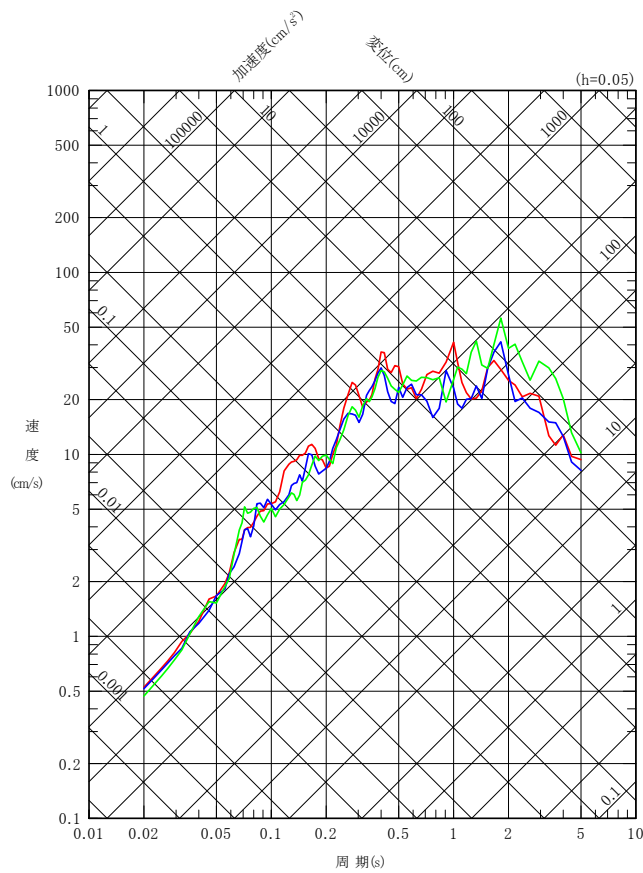
1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
 2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討
 - 2.2 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討
 - 2.3 検討用地震の選定
 3. 震源モデルの設定
 - 3.1 震源モデルの設定方針
 - 3.2 震源モデルの設定
 - (1) 断層面の設定
 - (2) SMGAの設定
 - (3) 検討ケースの設定
 - (4) 断層パラメータの設定
 - (5) 設定したパラメータの確認
 4. 地震動評価手法
 - 4.1 地震動評価の方針
 - 4.2 要素地震の選定
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の要素地震
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の要素地震
 5. 地震動評価結果
 - 5.1 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果
 - 5.2 地震動評価結果まとめ
- (補足) 敷地周辺の地震発生状況



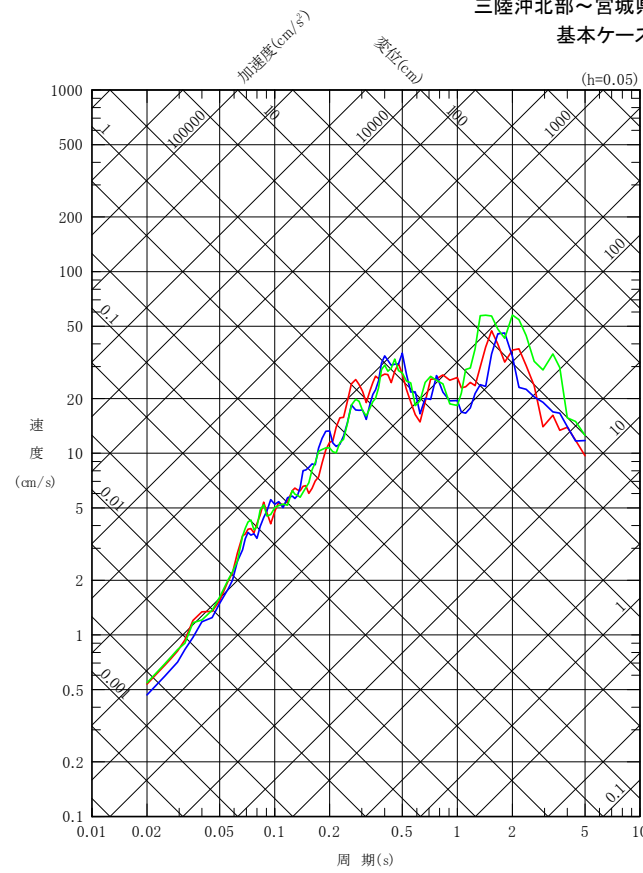
基本ケース 【応答スペクトル】



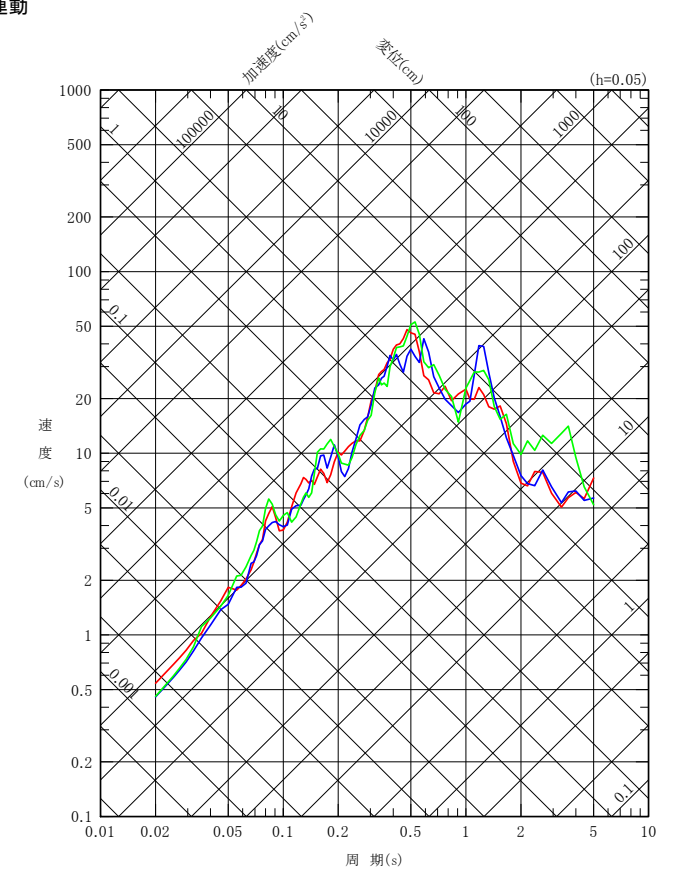
三陸沖北部～宮城県沖の連動
基本ケース



NS成分



EW成分



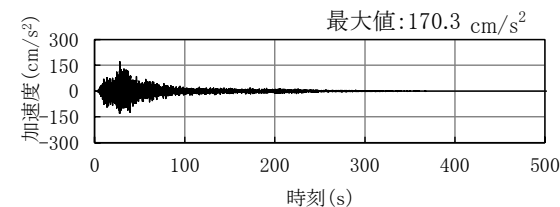
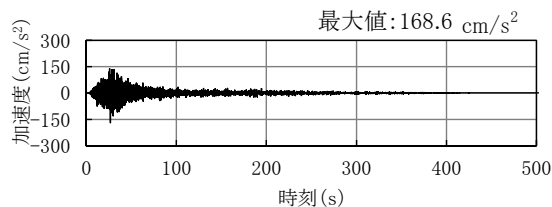
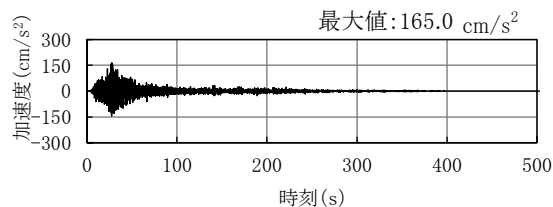
UD成分



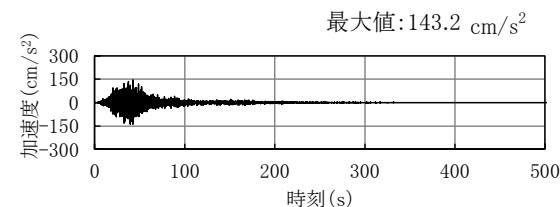
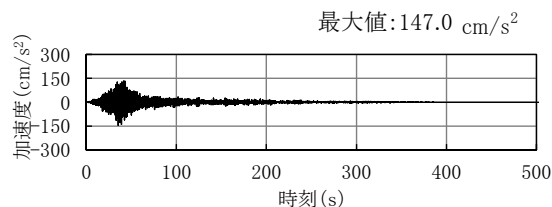
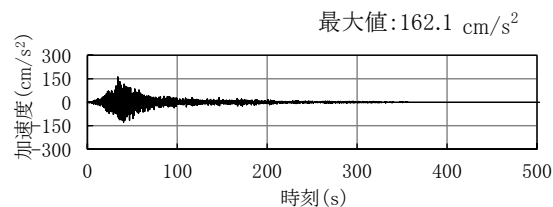
基本ケース 【時刻歴波形】

加速度

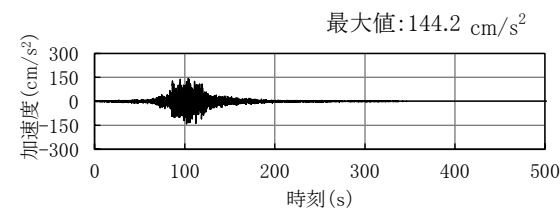
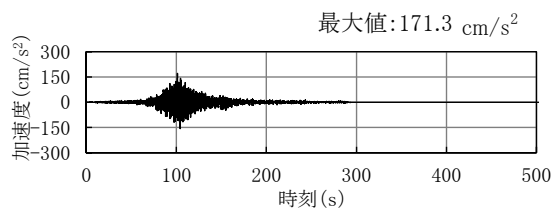
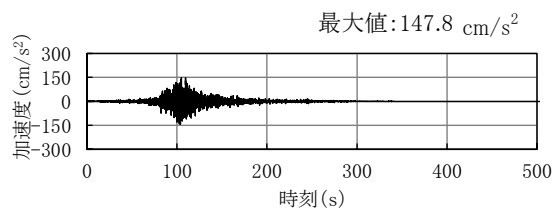
破壊開始点1



破壊開始点2

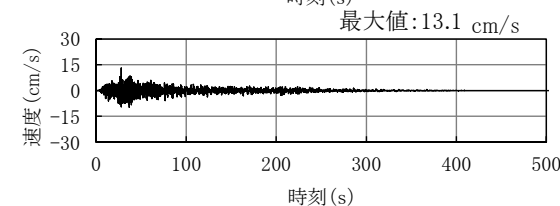
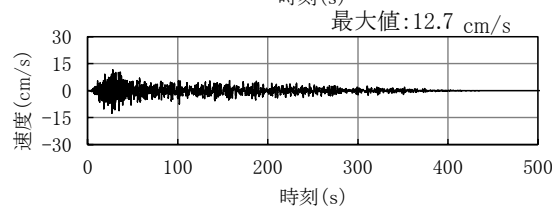
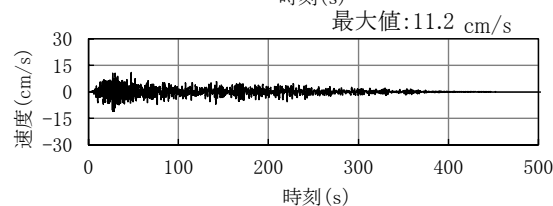


破壊開始点3

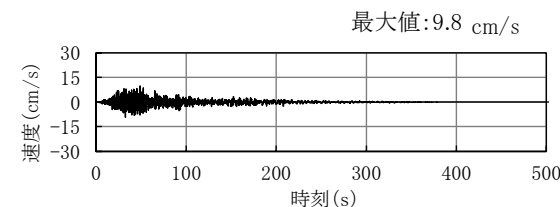
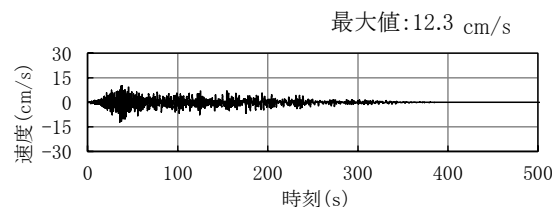
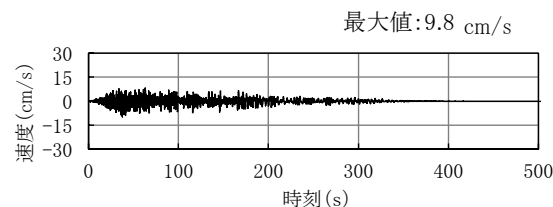


速度

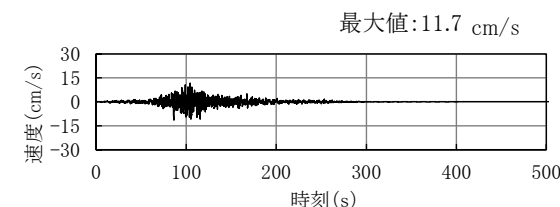
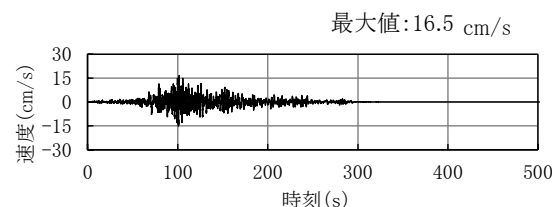
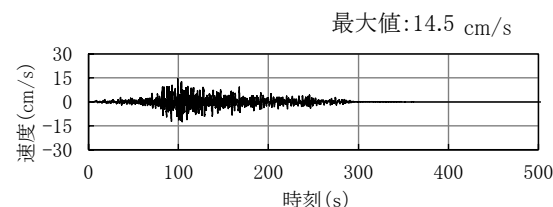
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3



NS成分

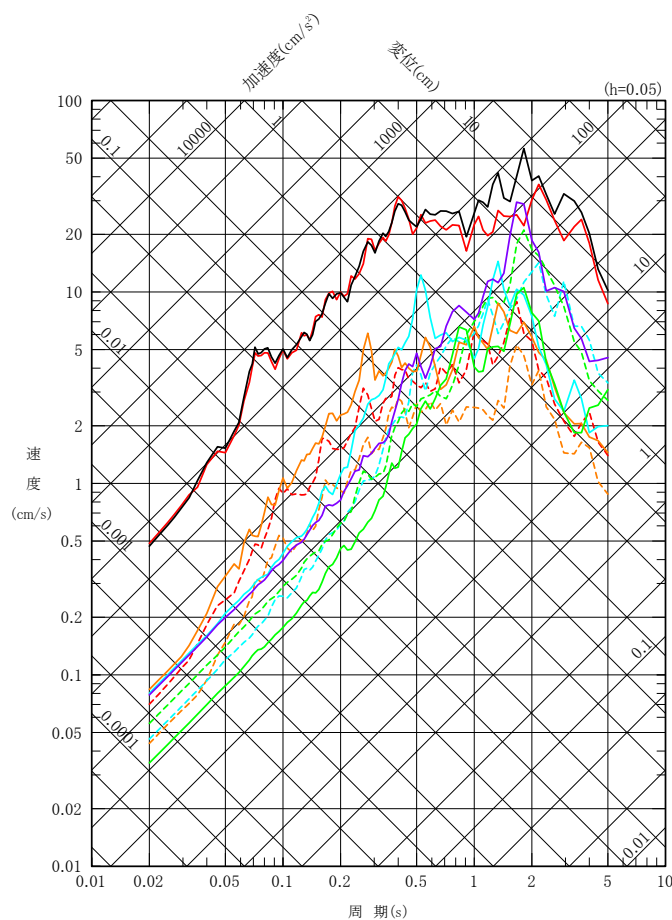
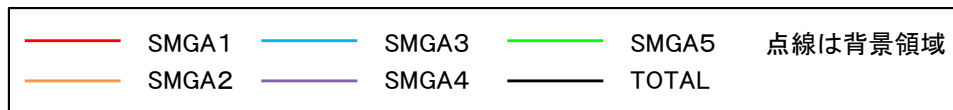
EW成分

UD成分

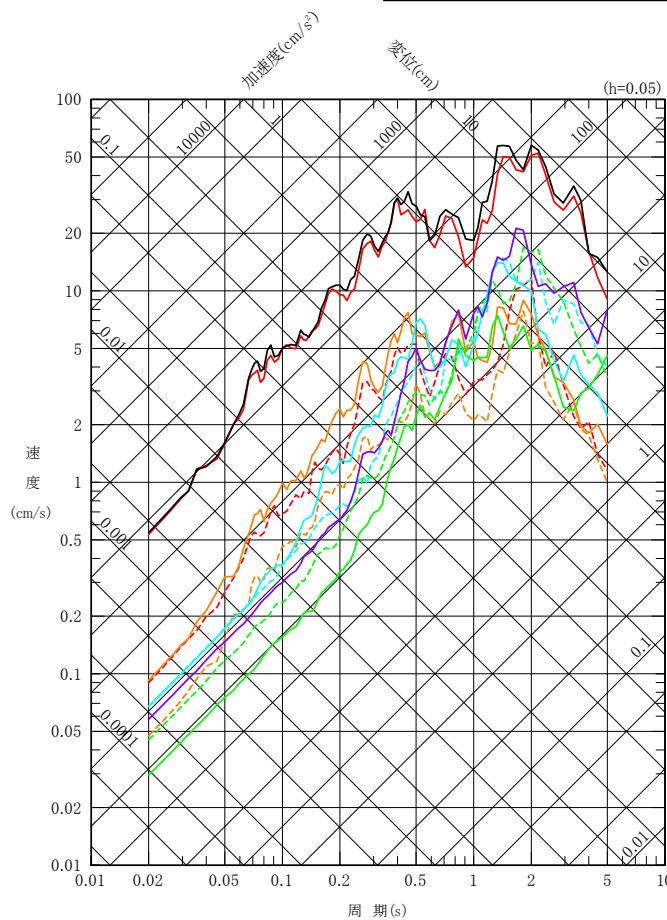


基本ケース 【SMGA寄与度(破壊開始点③)】

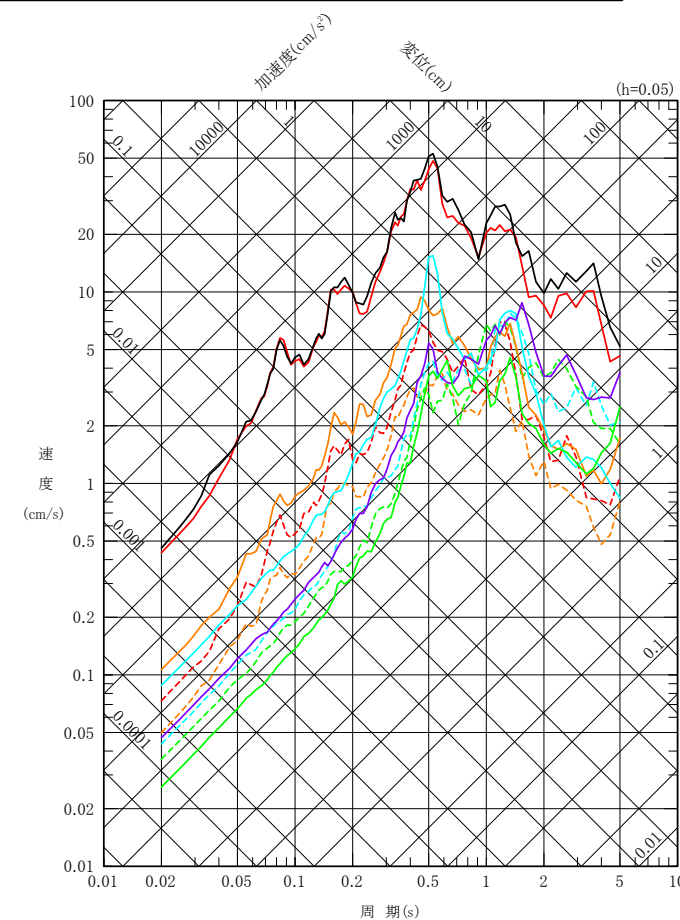
- 三陸沖北部～宮城県沖の連動の基本ケースにおける地震動評価結果のうち、各SMGAの時刻歴波形がおおむね重なって敷地に到達している破壊開始点③の各SMGAの寄与度を示す。
- 敷地への地震動評価結果については、SMGA1が支配的となっている。



NS成分



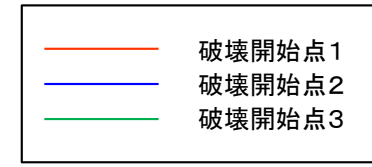
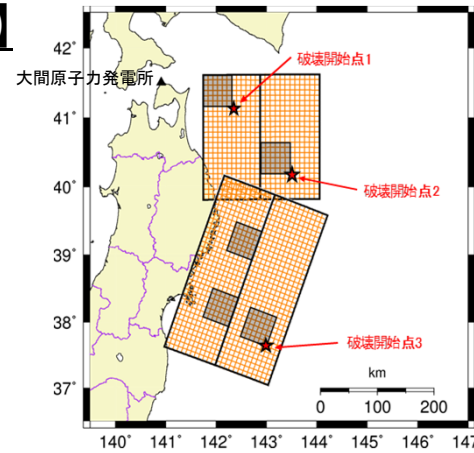
EW成分



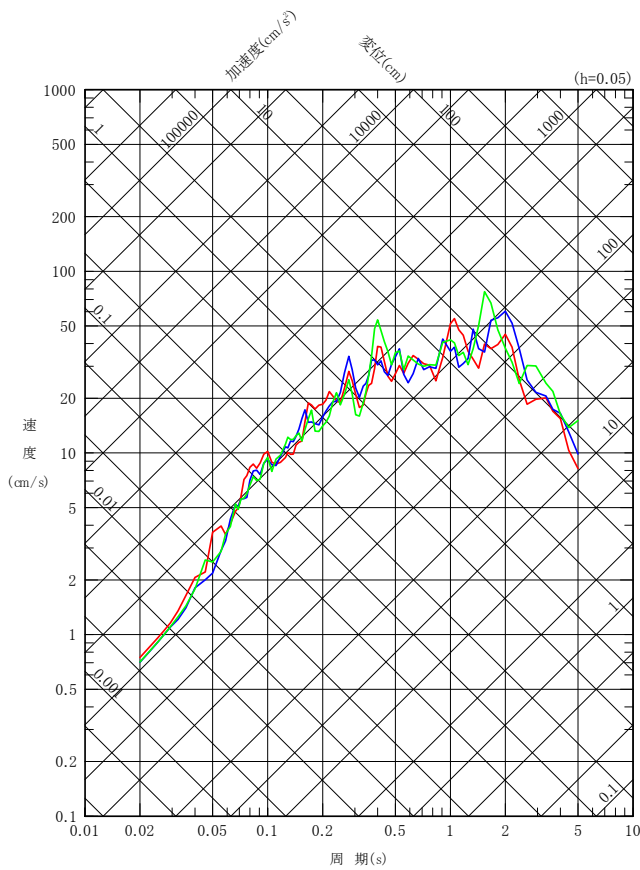
UD成分

(余白)

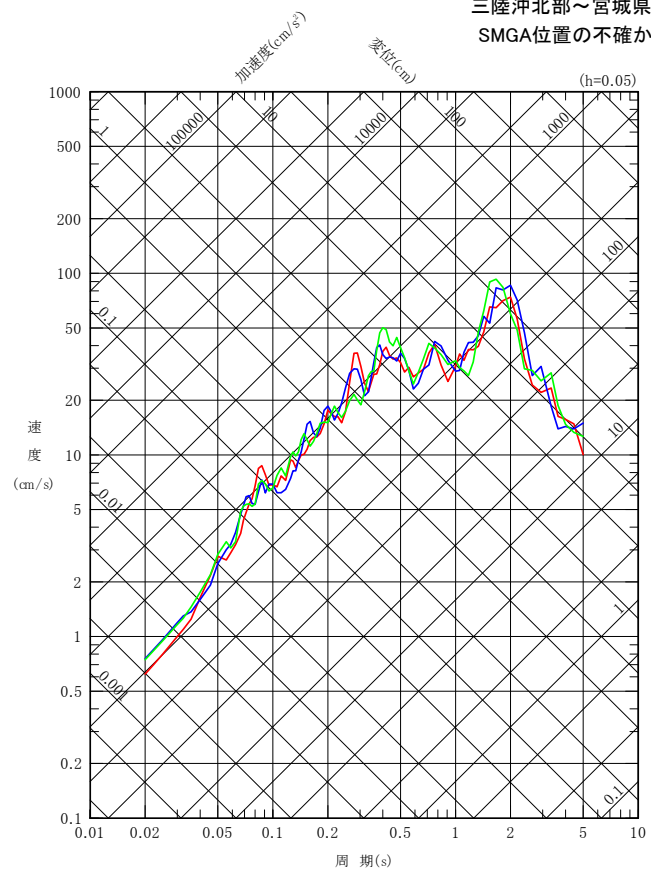
SMGA位置の不確かさケース 【応答スペクトル】



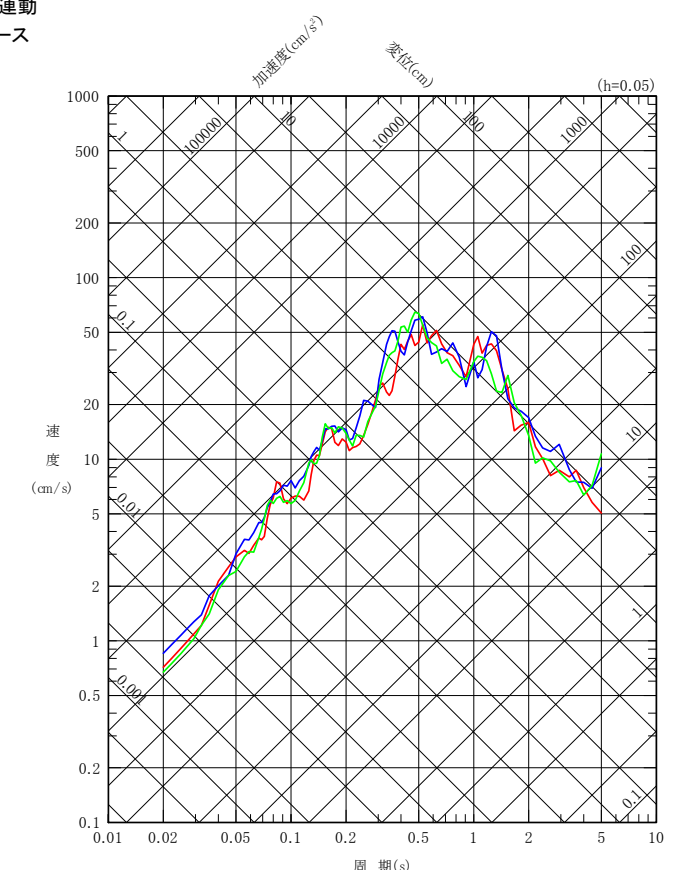
三陸沖北部～宮城県沖の連動
SMGA位置の不確かさケース



NS成分



EW成分



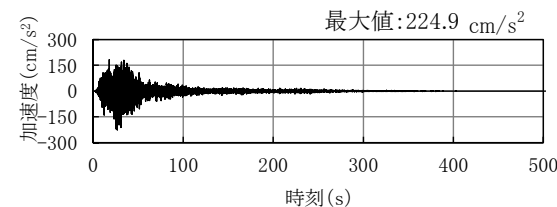
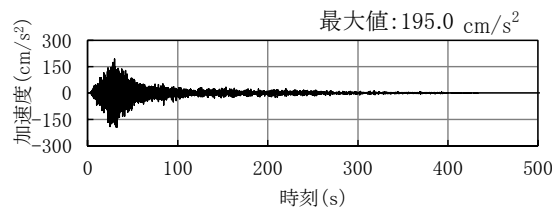
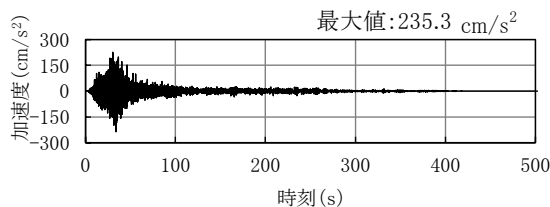
UD成分



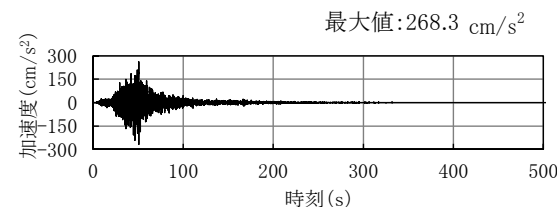
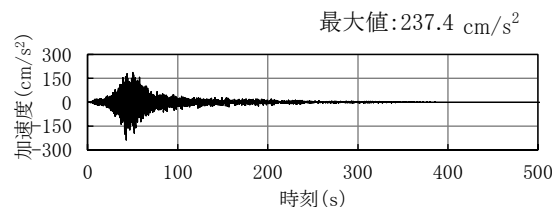
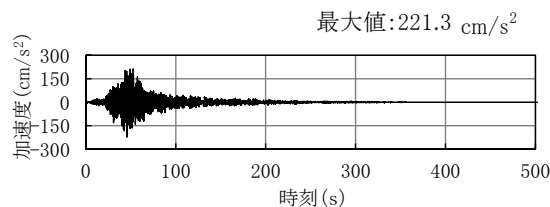
SMGA位置の不確かさケース 【時刻歴波形】

加速度

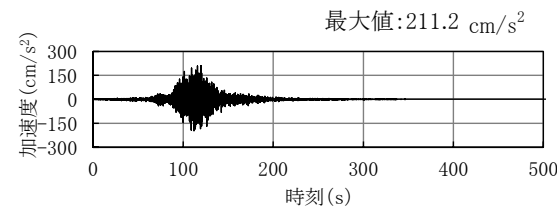
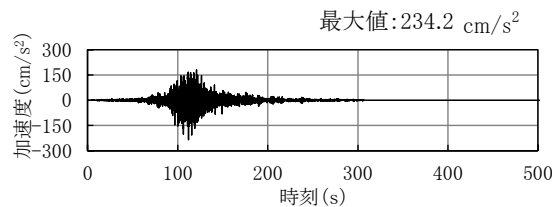
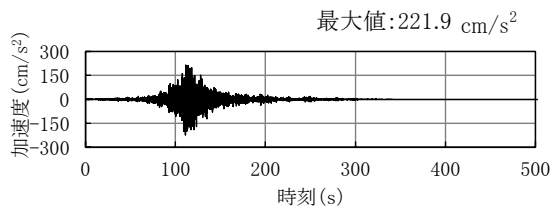
破壊開始点1



破壊開始点2

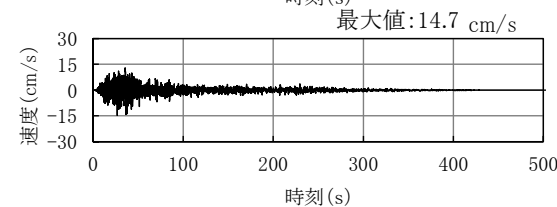
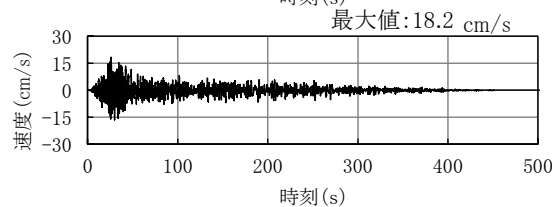
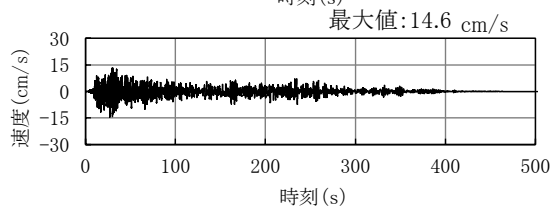


破壊開始点3

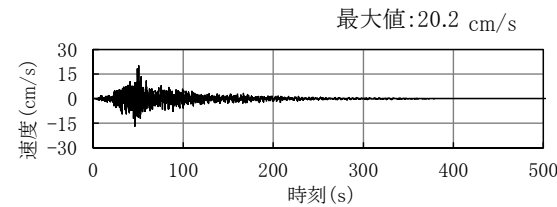
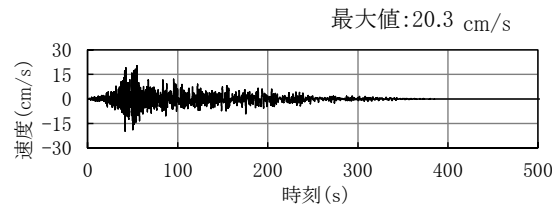
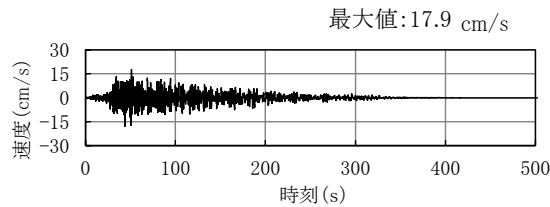


速度

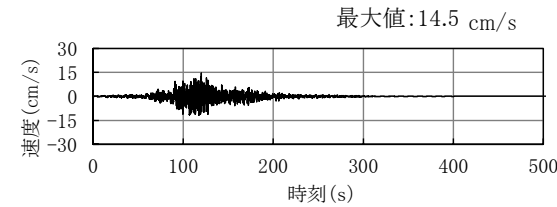
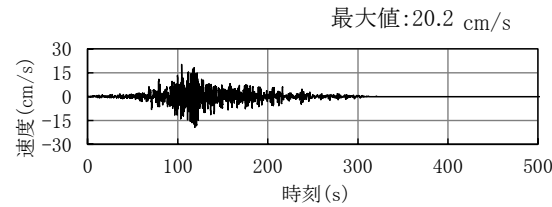
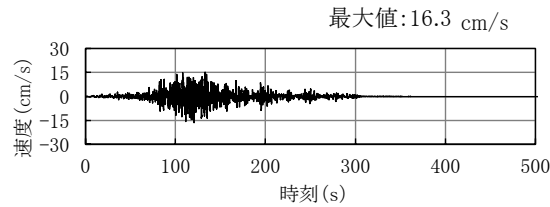
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3

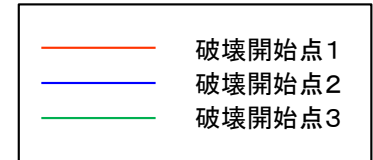
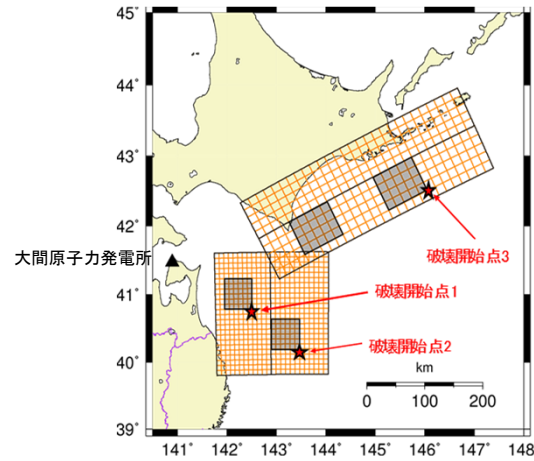


NS成分

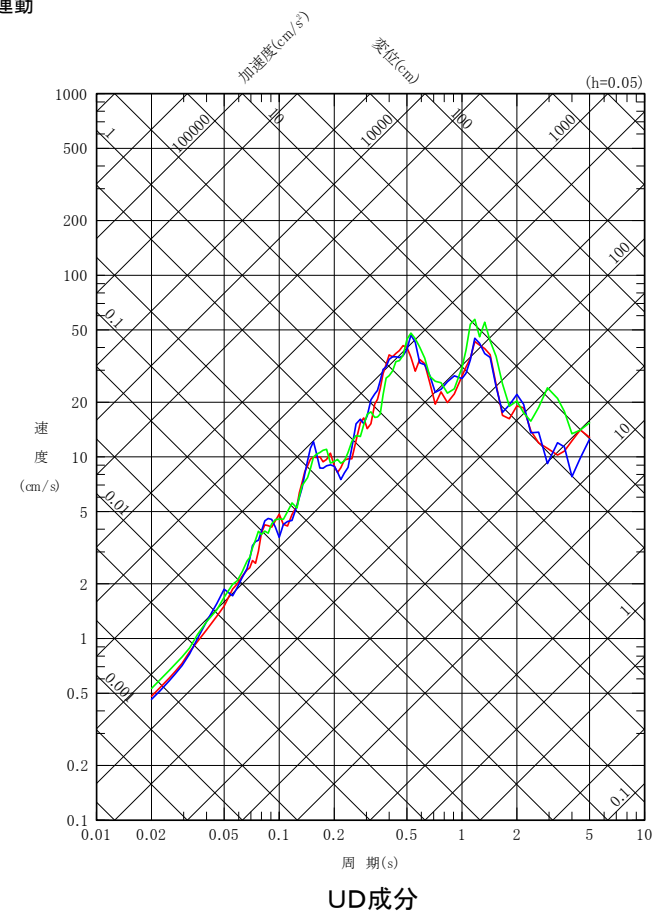
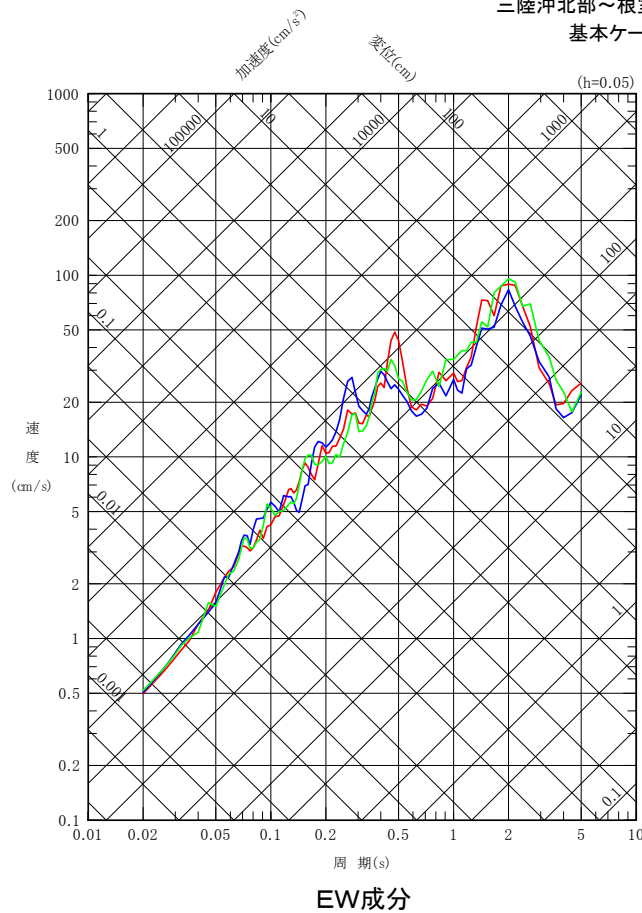
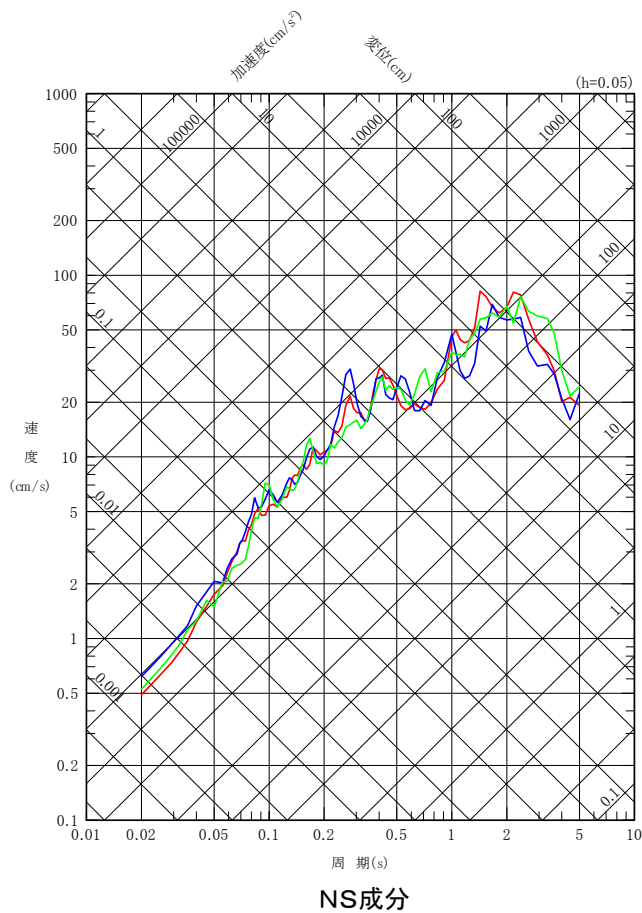
EW成分

UD成分

基本ケース 【応答スペクトル】



三陸沖北部～根室沖の連動
基本ケース

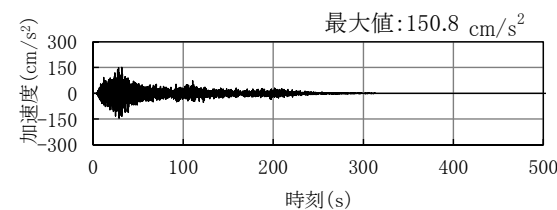
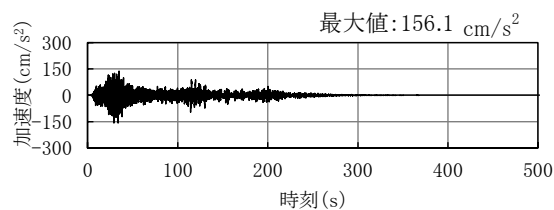
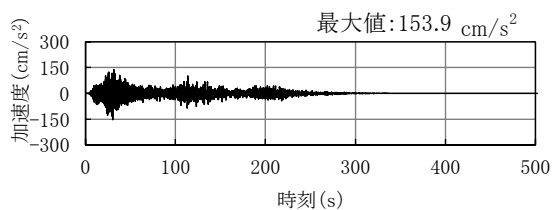




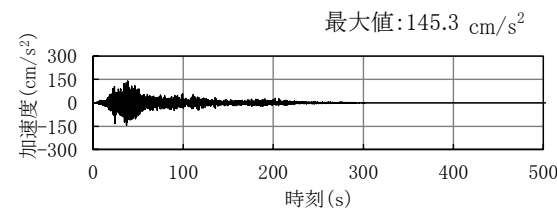
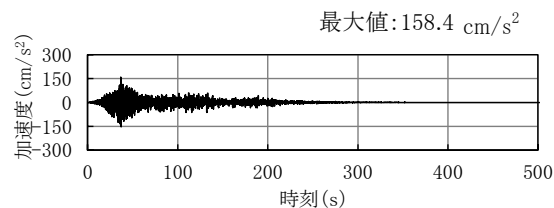
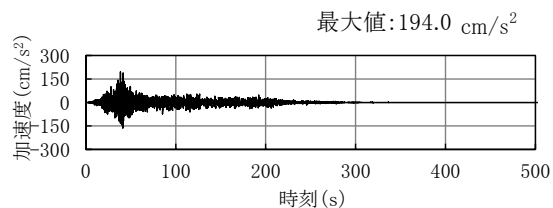
基本ケース 【時刻歴波形】

加速度

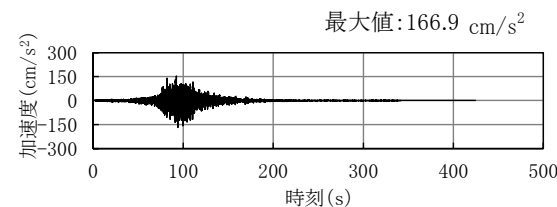
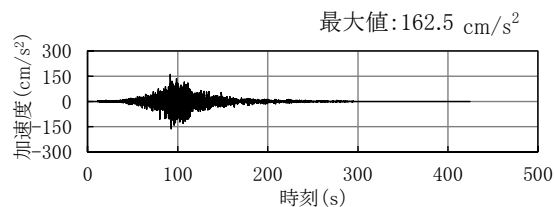
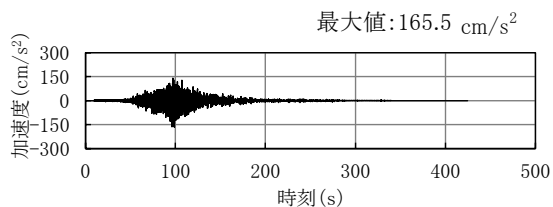
破壊開始点1



破壊開始点2

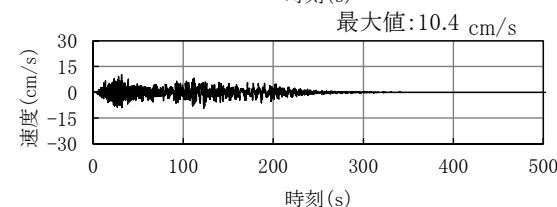
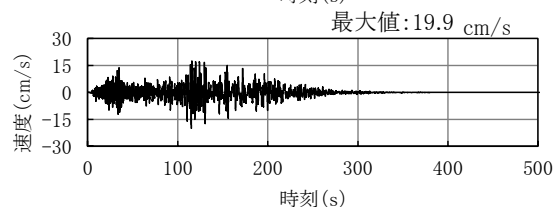
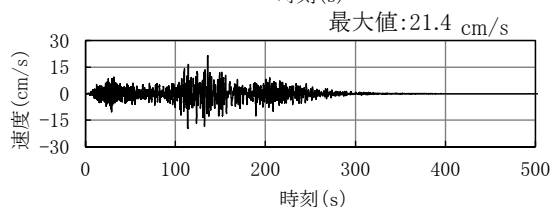


破壊開始点3

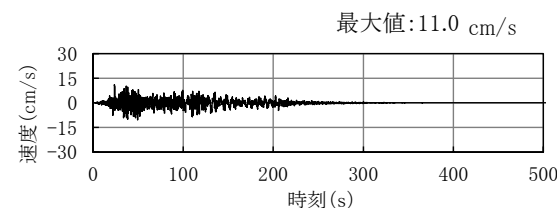
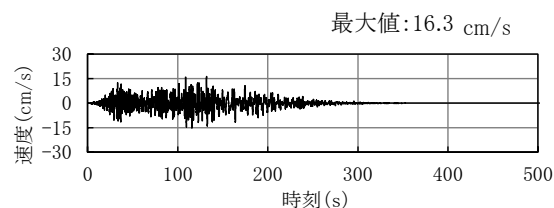
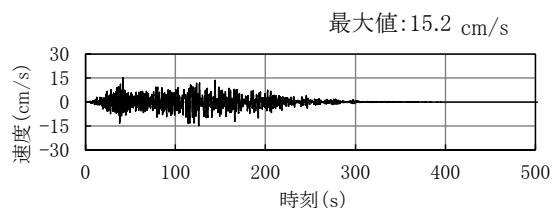


速度

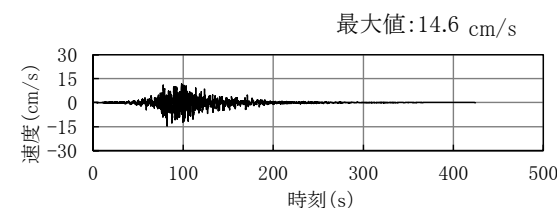
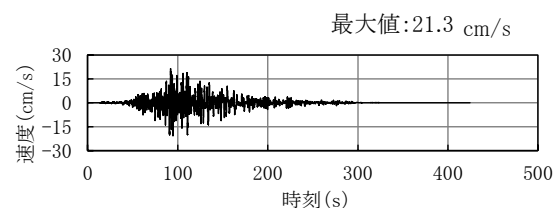
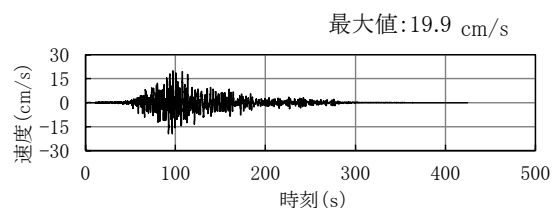
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3



NS成分

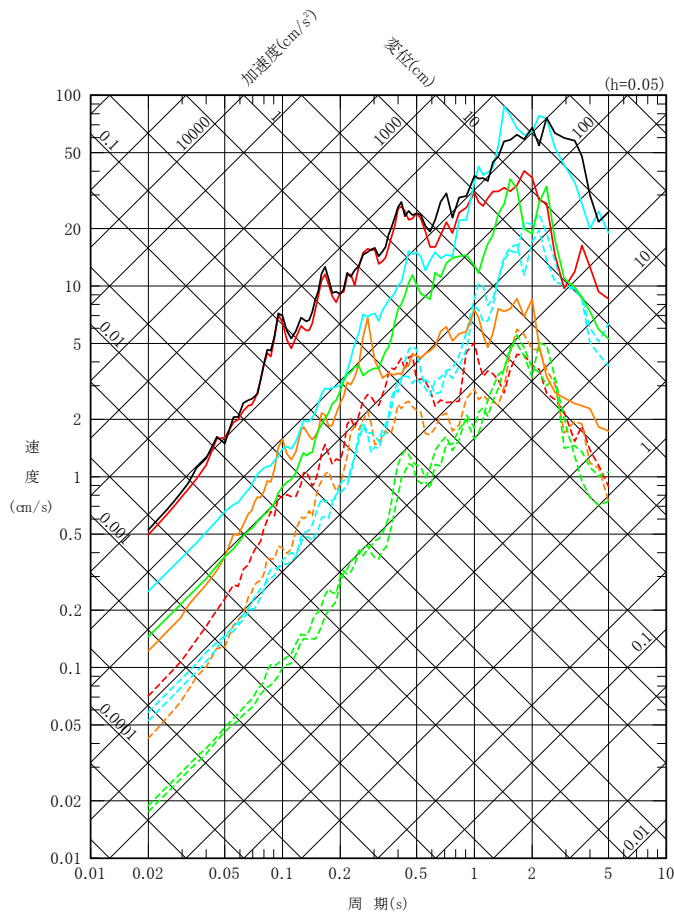
EW成分

UD成分

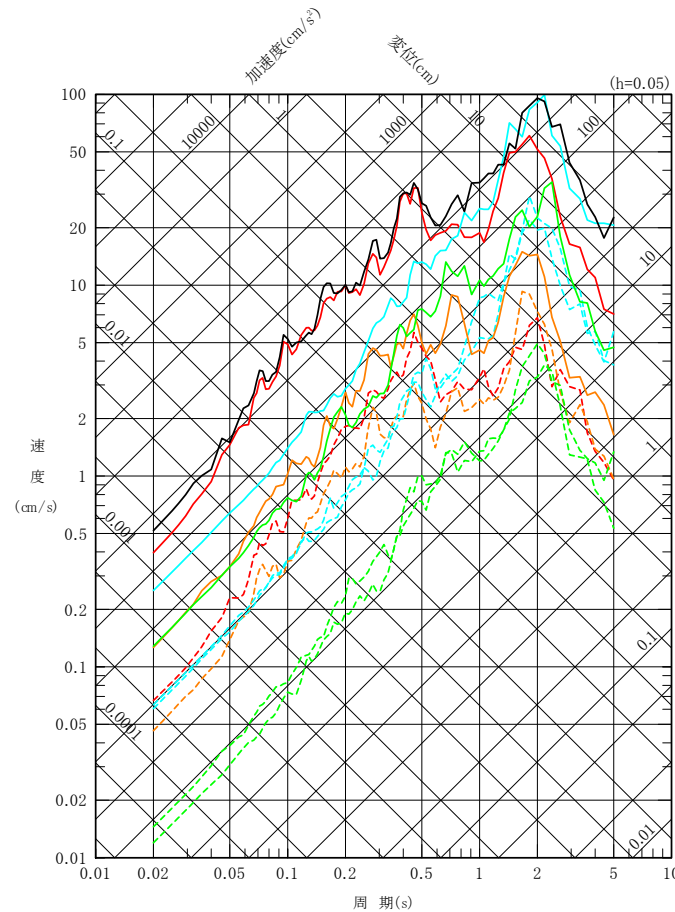


基本ケース 【SMGA寄与度(破壊開始点3)】

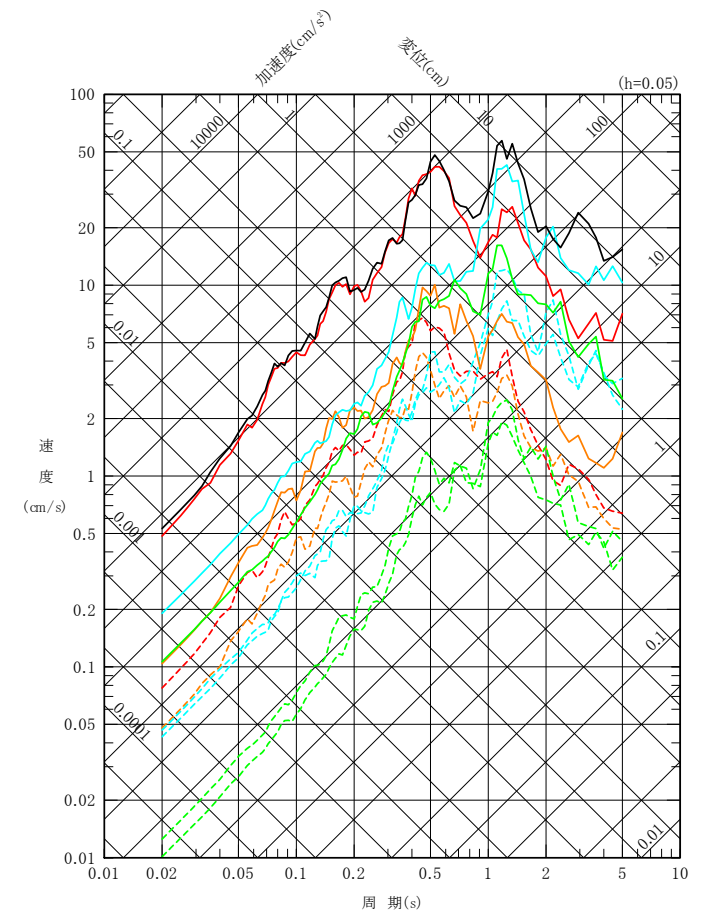
- 三陸沖北部～根室沖の連動の基本ケースにおける地震動評価結果のうち、各SMGAの時刻歴波形がおおむね重なって敷地に到達している破壊開始点3について、各SMGAの寄与度を示す。
- 敷地への地震動評価結果については、SMGA1が支配的となっている。



NS成分



EW成分

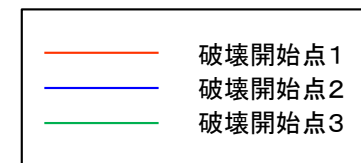
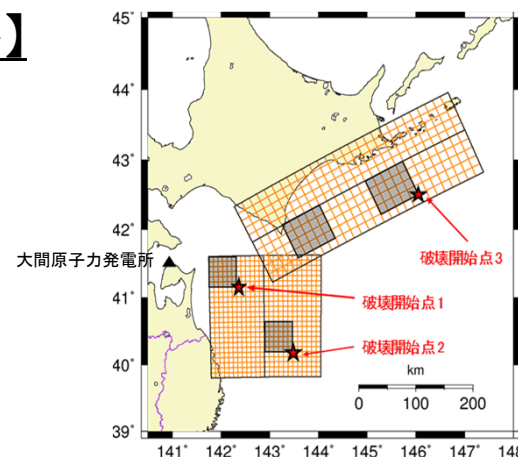


UD成分

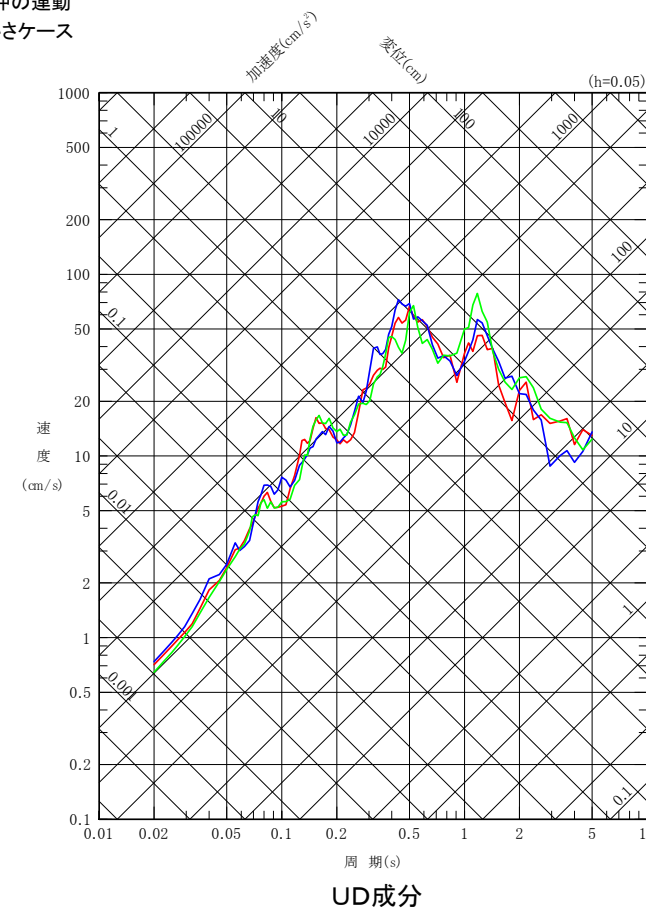
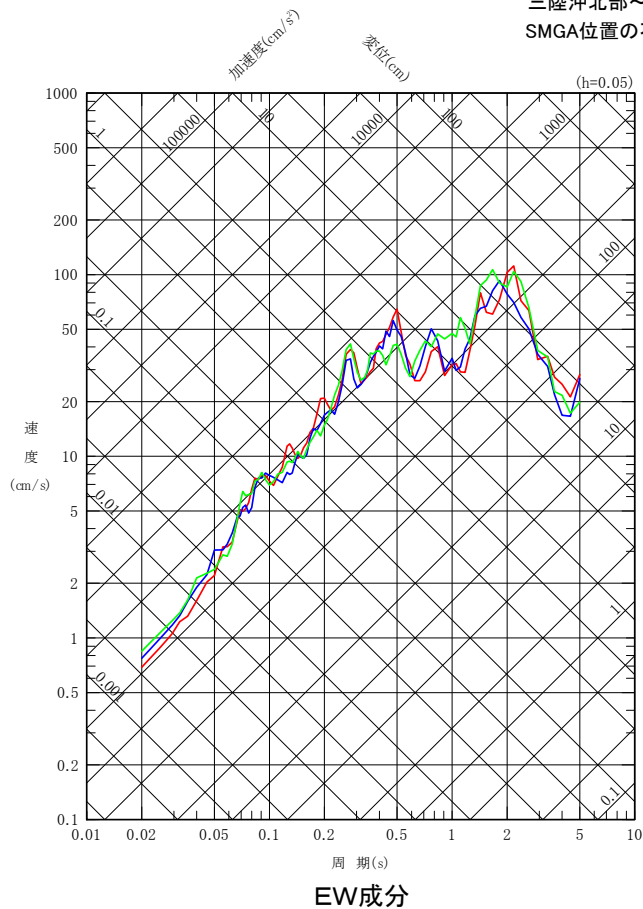
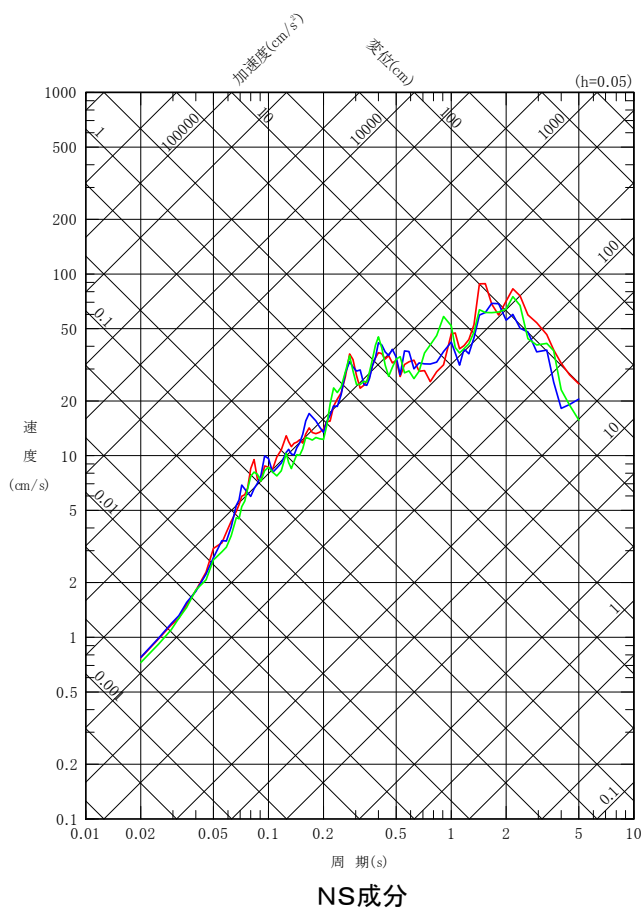
(余白)



SMGA位置の不確かさケース 【応答スペクトル】



三陸沖北部～根室沖の連動
SMGA位置の不確かさケース

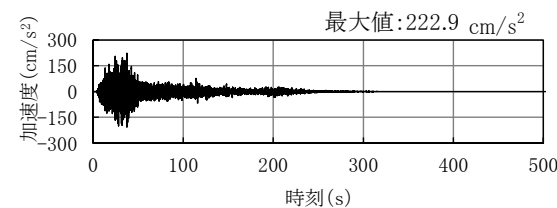
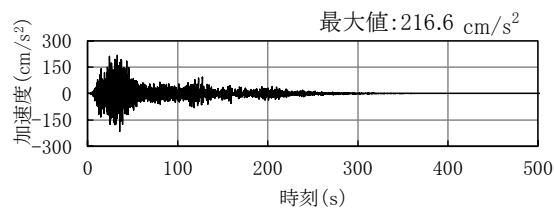
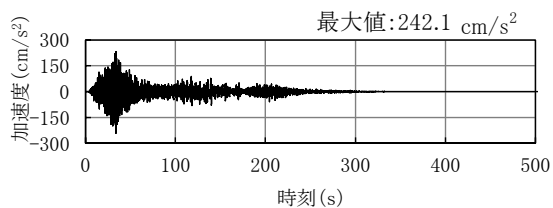




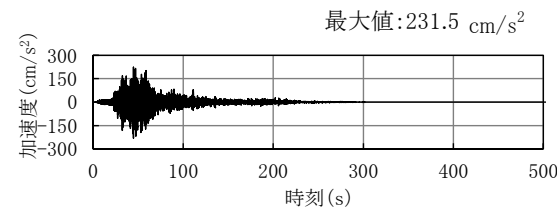
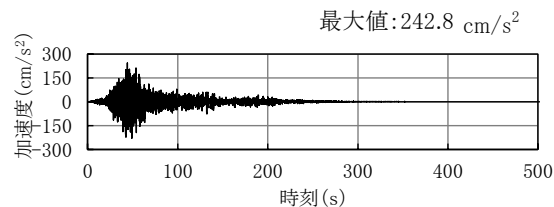
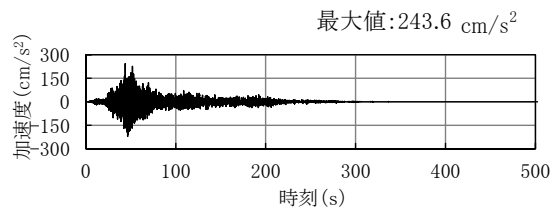
SMGA位置の不確かさケース 【時刻歴波形】

加速度

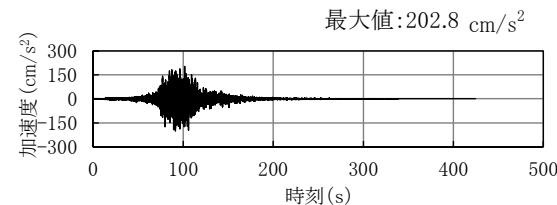
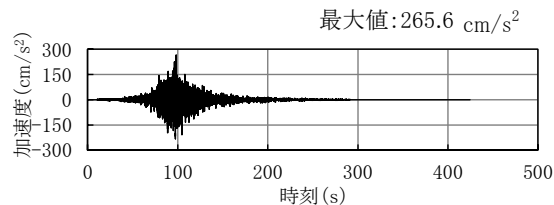
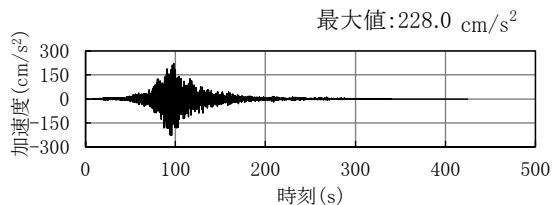
破壊開始点1



破壊開始点2

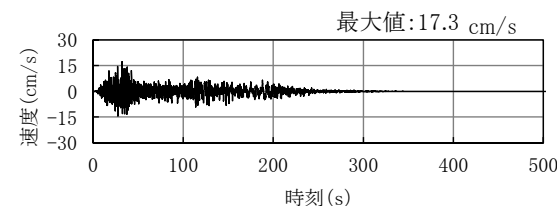
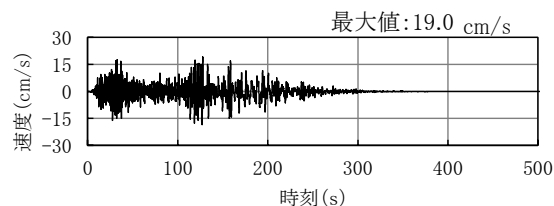
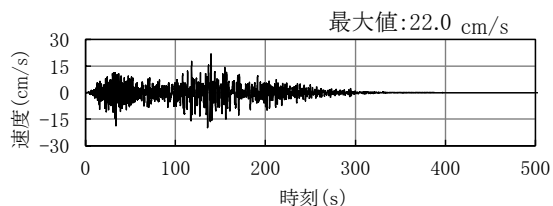


破壊開始点3

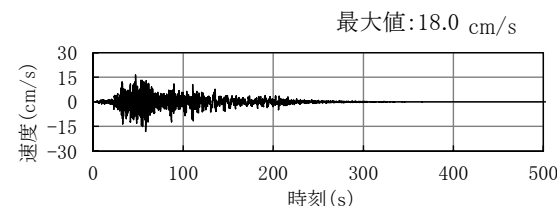
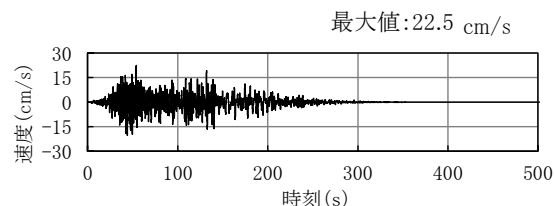
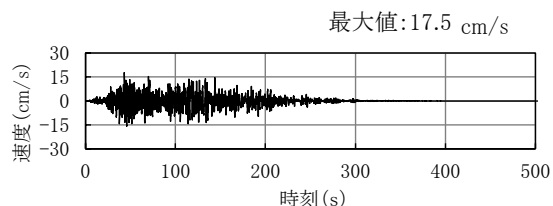


速度

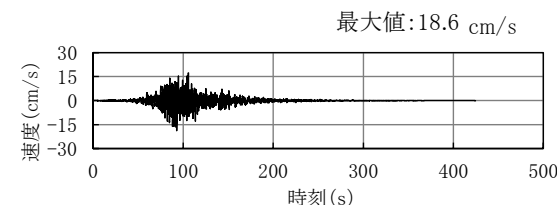
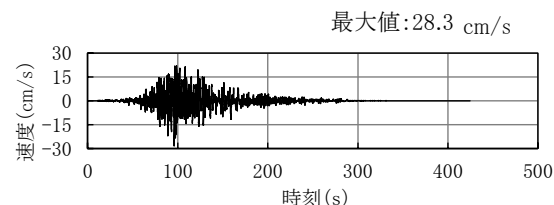
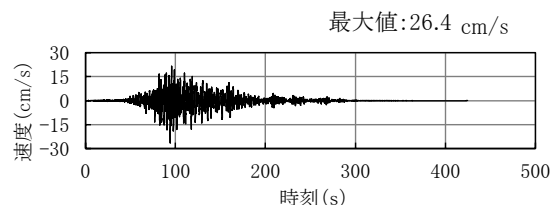
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3



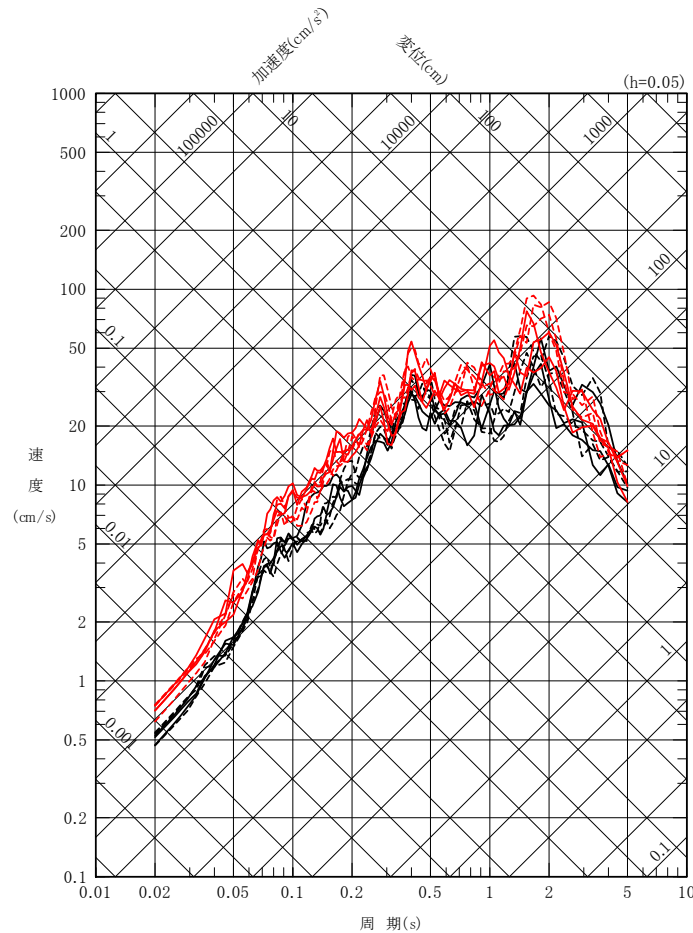
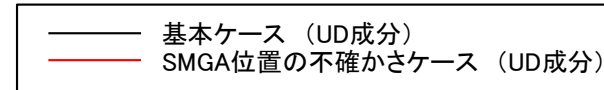
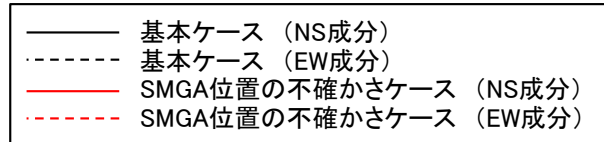
NS成分

EW成分

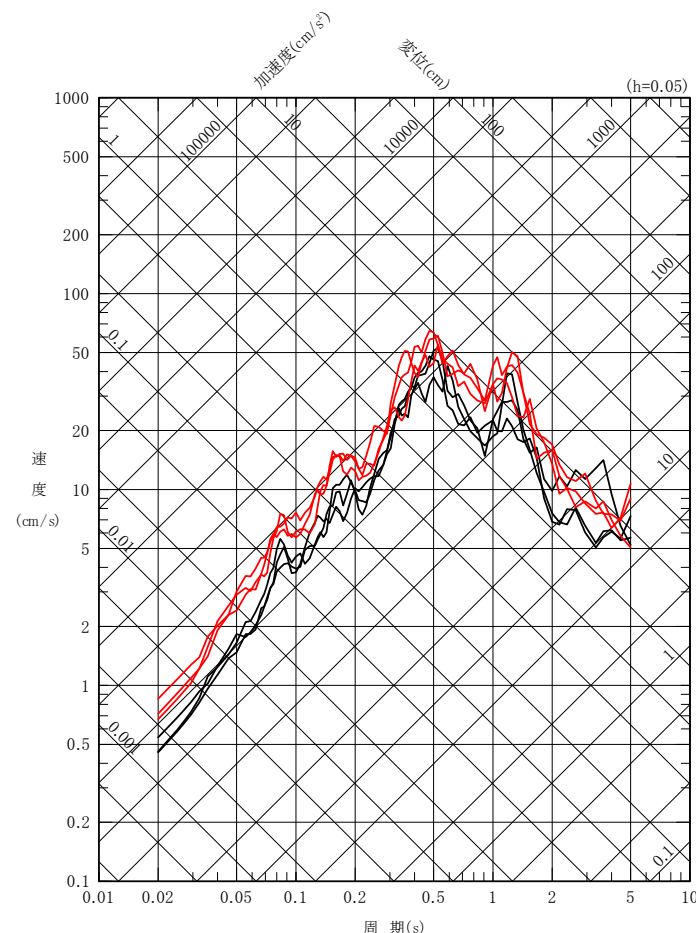
UD成分

三陸沖北部～宮城県沖の連動

- 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果を示す。



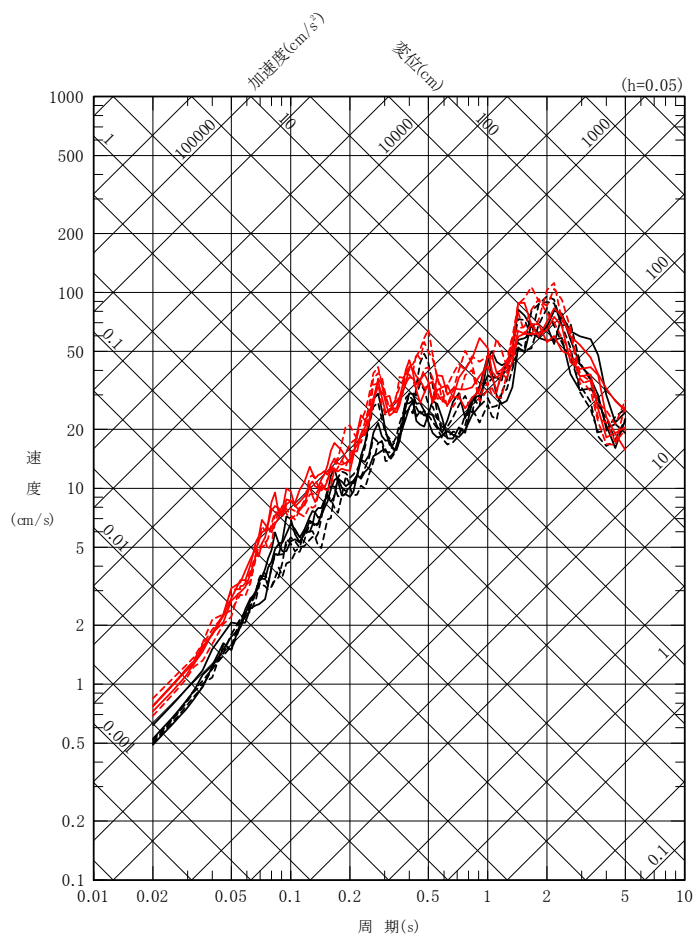
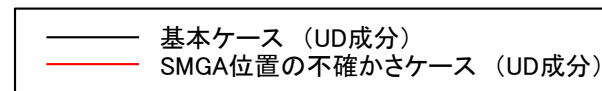
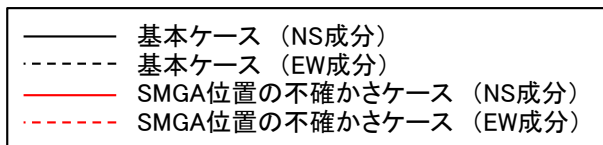
水平成分



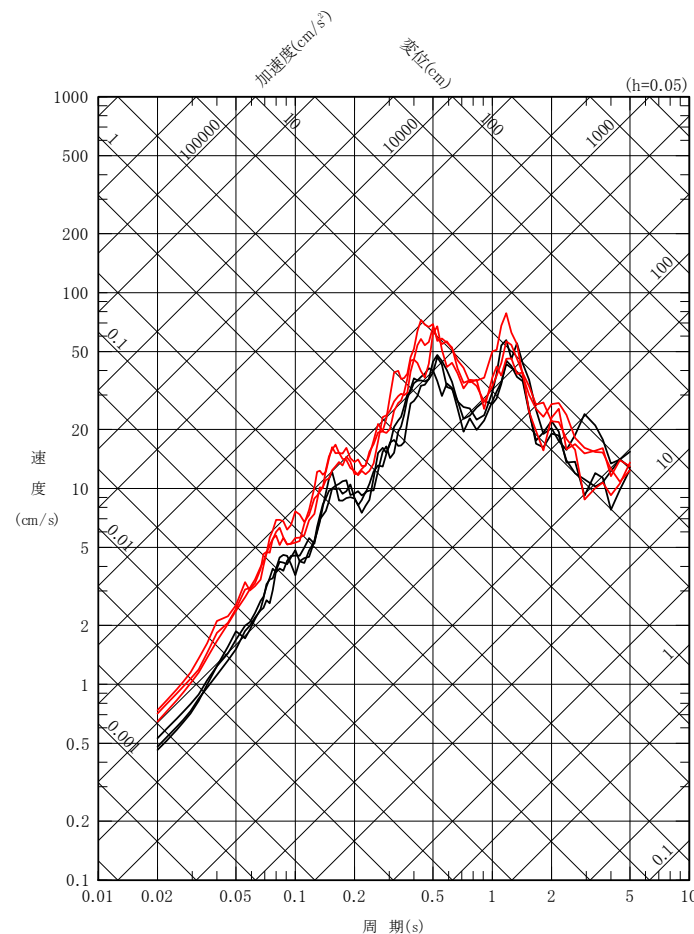
鉛直成分

三陸沖北部～根室沖の連動

- 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果を示す。



水平成分



鉛直成分

統計的グリーン関数法による計算条件

第932回審査会合
資料1-1 P.5-39 一部修正

- 検討用地震の地震動は、経験的グリーン関数法により評価している。ここでは、統計的グリーン関数法により地震動評価を行い、経験的グリーン関数法による地震動評価結果と比較を行った。
- なお、統計的グリーン関数法の計算にあたり、伝播経路のQ値は川瀬・松尾(2004)を踏まえ三陸沖北部、三陸沖中南部は $Q=93f^{0.89}$ 、十勝沖・根室沖は $Q=91f^{0.86}$ とし、高周波遮断周波数 f_{max} は強震動予測レシピより13.5Hzとした。

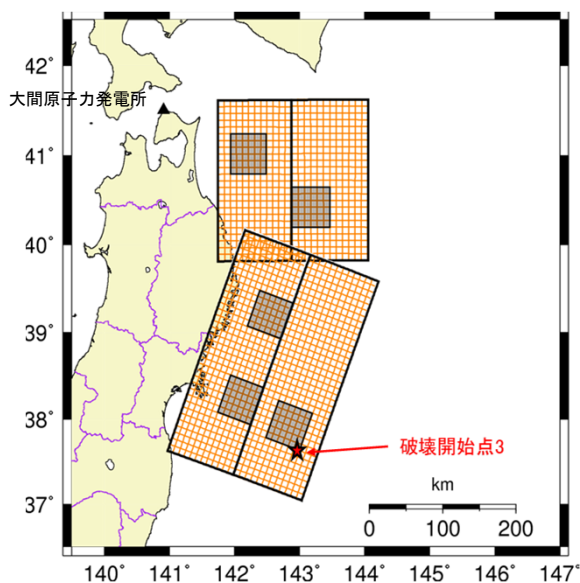
統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

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

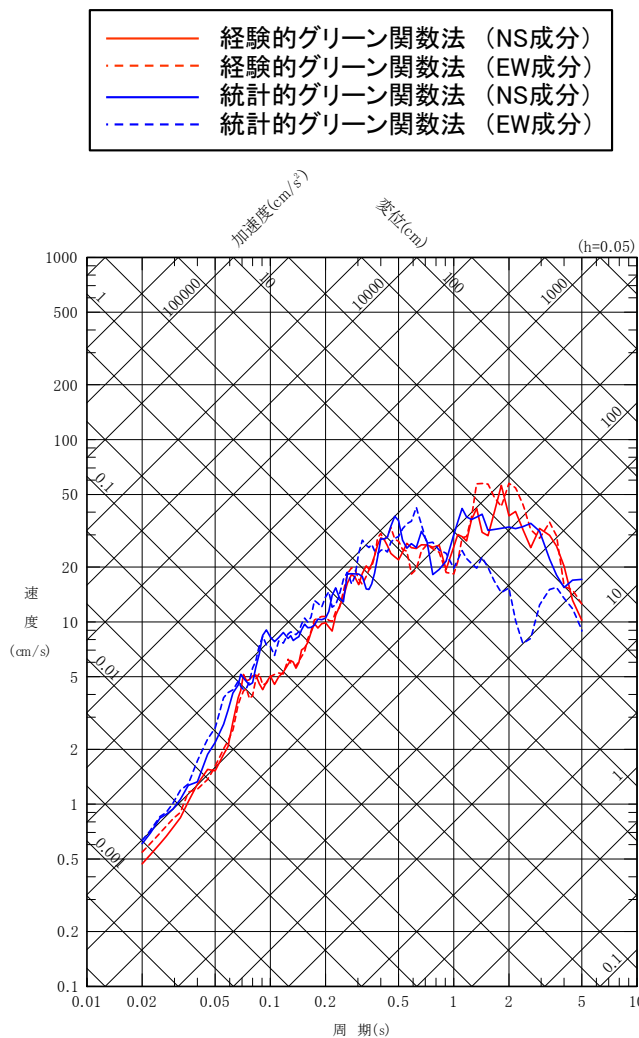
※：鉛直アレイ地震観測地点において解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定している。

三陸沖北部～宮城県沖の連動

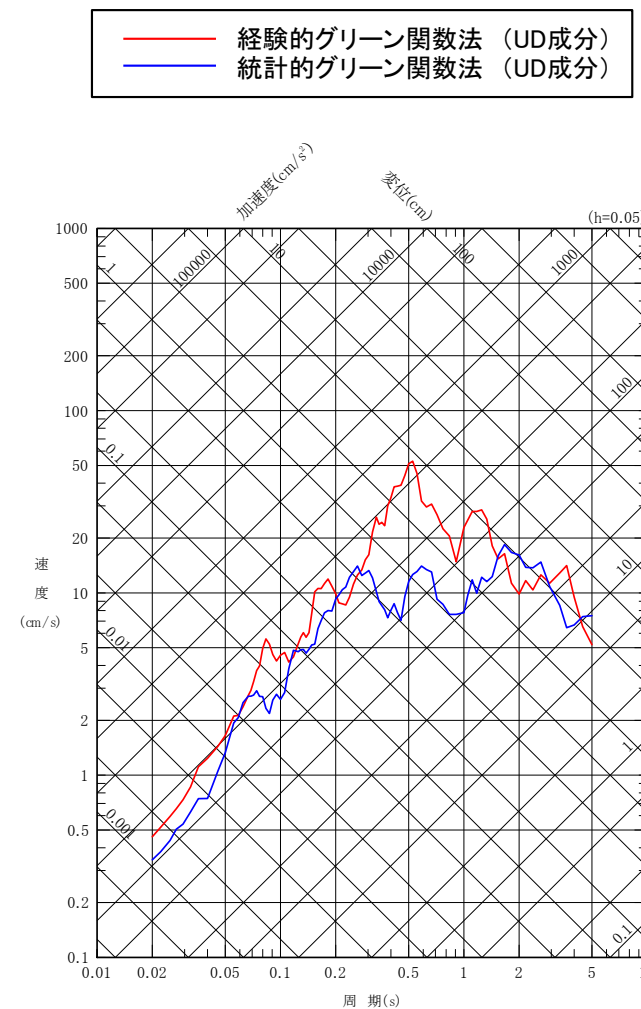
- 三陸沖北部～宮城県沖の連動の基本ケースについて、経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法による地震動評価結果を比較した。
- 経験的グリーン関数法による結果は、統計的グリーン関数法による結果と比べて水平成分ではおおむね同程度、鉛直成分では同程度以上となっている。



三陸沖北部～宮城県沖の連動
基本ケース (破壊開始点3)



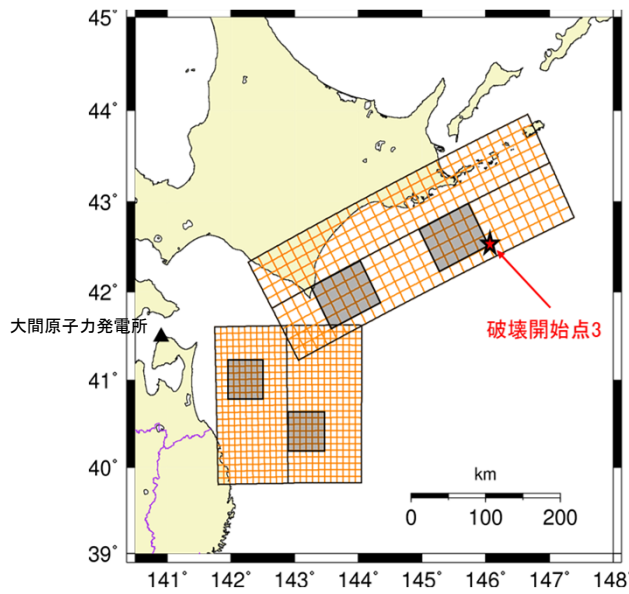
水平成分



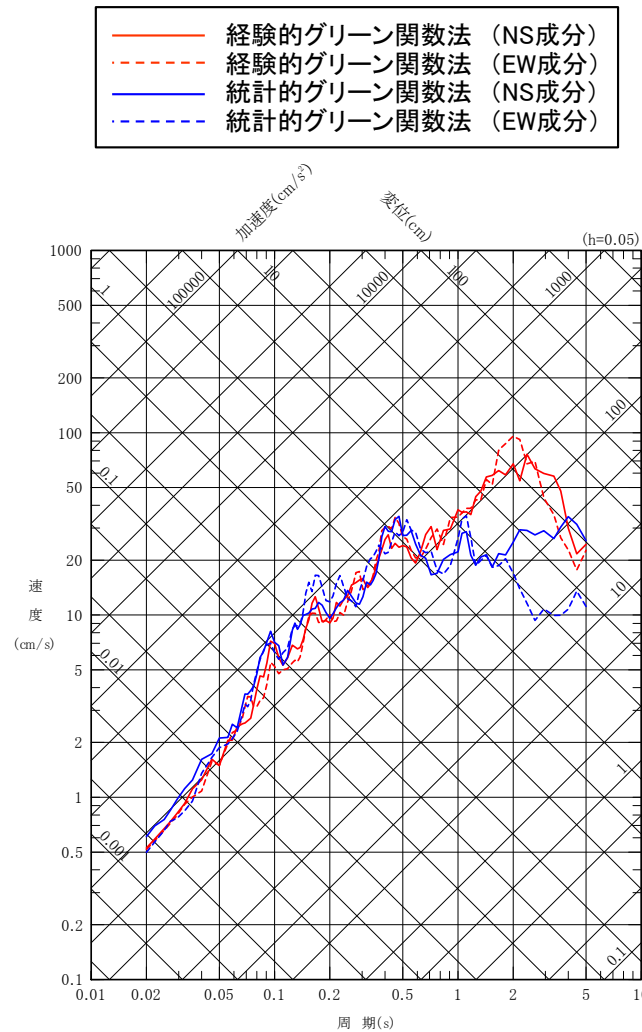
鉛直成分

三陸沖北部～根室沖の連動

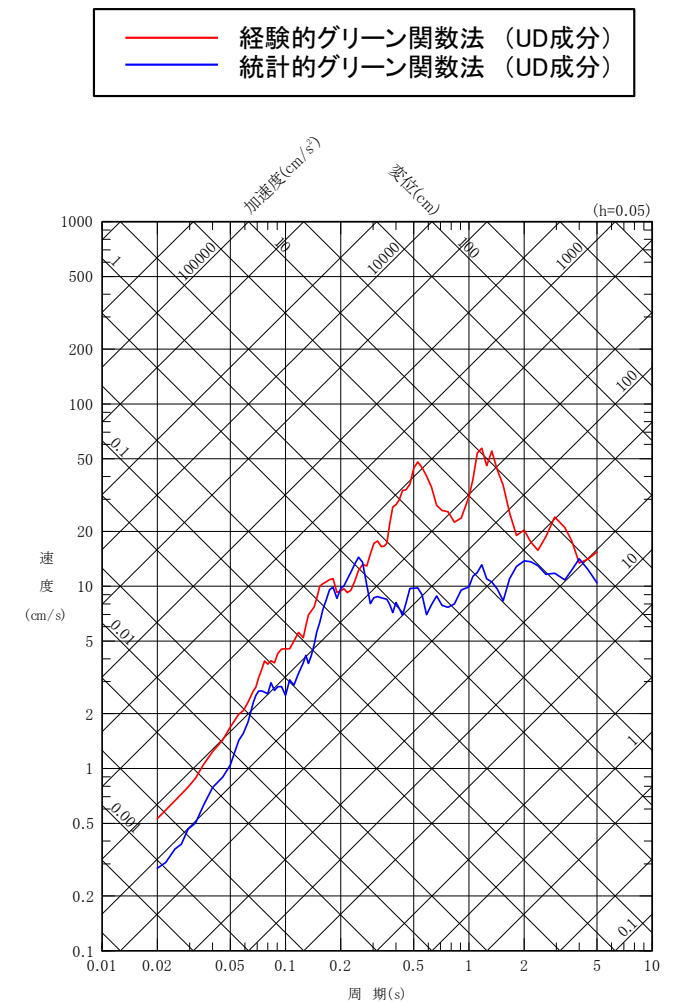
- 三陸沖北部～根室沖の連動の基本ケースについて、経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法による地震動評価結果を比較した。
- 経験的グリーン関数法による結果は、統計的グリーン関数法による結果と比べて水平成分及び鉛直成分ともに同程度以上となっている。



三陸沖北部～根室沖の連動
基本ケース (破壊開始点3)



水平成分



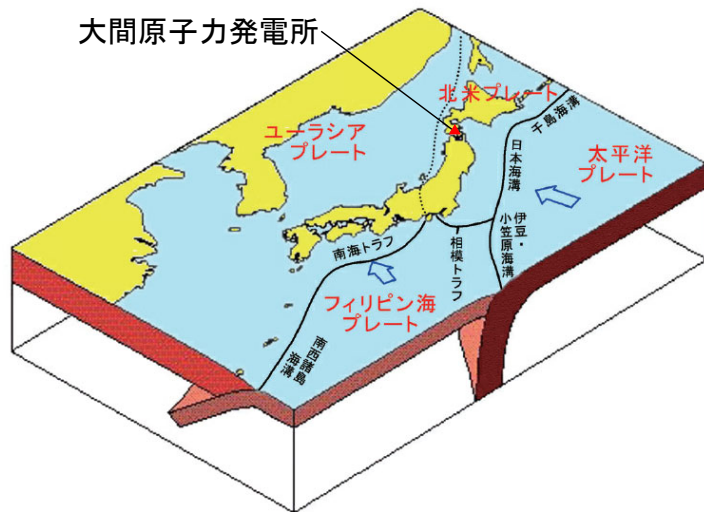
鉛直成分

(余白)

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ
 2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の過去の被害地震を踏まえた検討
 - 2.2 巨大プレート間地震の発生状況に関する知見を踏まえた検討
 - 2.3 検討用地震の選定
 3. 震源モデルの設定
 - 3.1 震源モデルの設定方針
 - 3.2 震源モデルの設定
 - (1) 断層面の設定
 - (2) SMGAの設定
 - (3) 検討ケースの設定
 - (4) 断層パラメータの設定
 - (5) 設定したパラメータの確認
 4. 地震動評価手法
 - 4.1 地震動評価の方針
 - 4.2 要素地震の選定
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の要素地震
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の要素地震
 5. 地震動評価結果
 - 5.1 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 - (1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動の地震動評価結果
 - (2) 三陸沖北部～根室沖の連動の地震動評価結果
 - 5.2 地震動評価結果まとめ
- (補足) 敷地周辺の地震発生状況

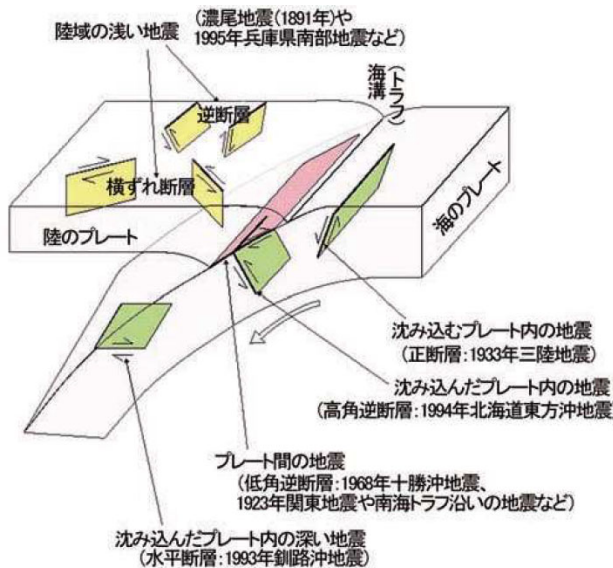
(1) 敷地周辺のプレートテクトニクス

- 大間原子力発電所の位置する東北地方北部で発生する地震は、海洋プレート(太平洋プレート)と陸のプレート(北米プレート)の境界で発生するプレート間地震、海洋プレート内で発生する地震、陸のプレートの浅いところで発生する内陸地殻内地震、及び北米プレートとユーラシアプレートの境界付近で発生する日本海東縁部で発生する地震がある。
- プレートの沈み込みに沿って発生する深発地震の震源の等深線は、沈み込んだ海洋プレート(太平洋プレート)の形状を表し、東北地方では西に、北海道では北西に向かって深くなる。



地震本部(2009)に一部加筆

日本列島とその周辺のプレート



地震本部(2009)

日本列島とその周辺で発生する地震のタイプ



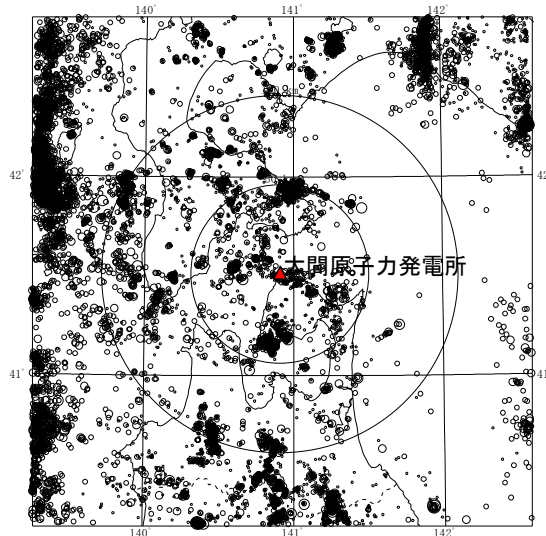
長谷川ほか(1983)に一部加筆

深発地震の震源の等深線

(補足) 敷地周辺の地震発生状況 (2/7)

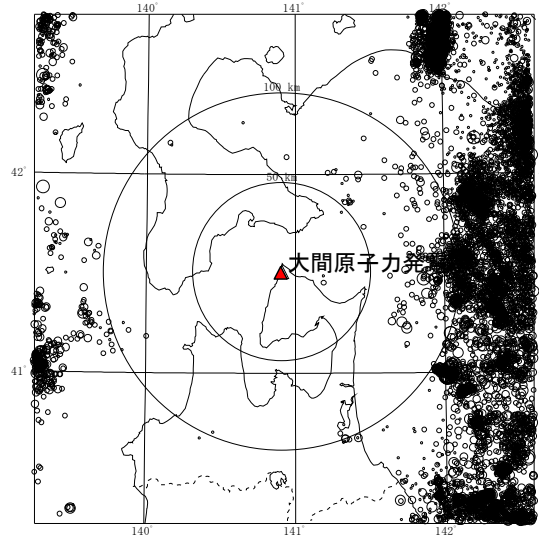
(2) 敷地周辺の地震活動 ①M5.0以下の地震の発生状況(1/2)

- 2011年3月～2019年2月までの敷地周辺で発生したM5.0以下の地震を整理した。



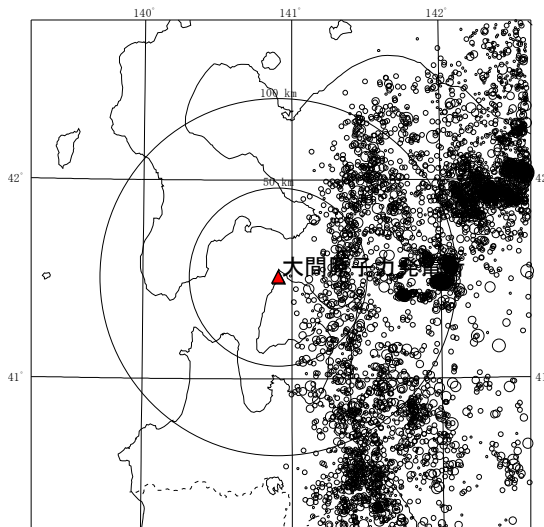
震央分布

震源深さ0～20km



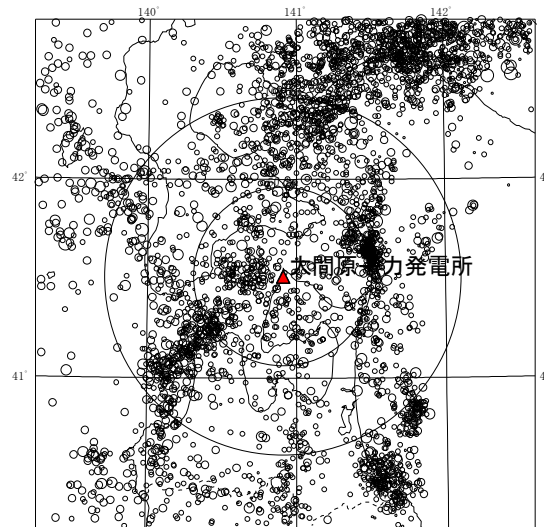
震央分布

震源深さ20～60km



震央分布

震源深さ60～100km



震央分布

震源深さ100km以深

凡例

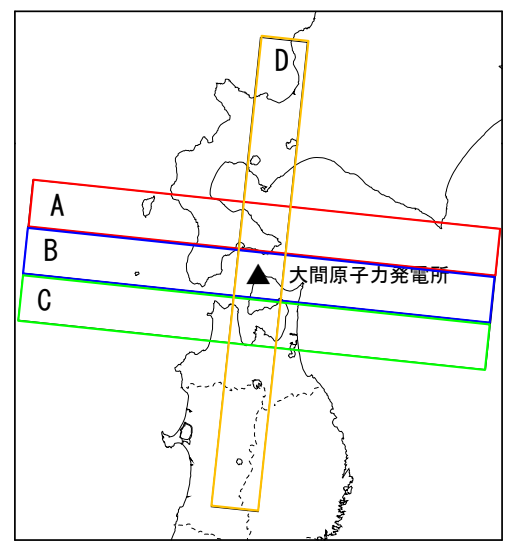
- 4.0 ≤ M ≤ 5.0
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

(2011年3月～2019年2月, M ≤ 5.0, 低周波地震を除く: 気象庁地震カタログ)

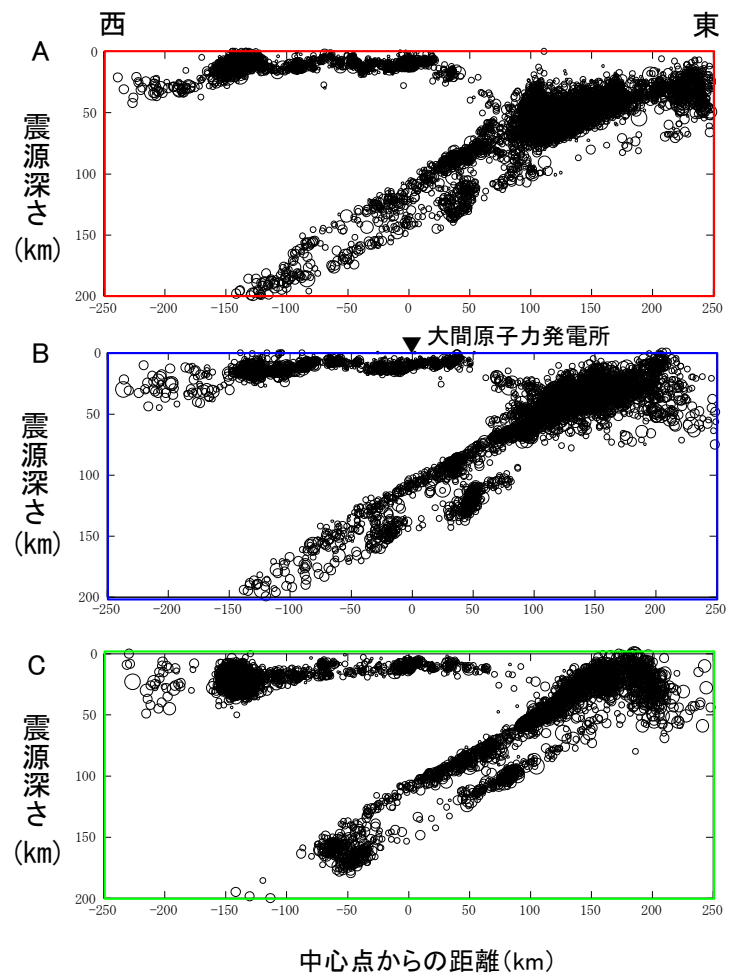
(補足) 敷地周辺の地震発生状況 (3/7)

(2) 敷地周辺の地震活動 ①M5.0以下の地震の発生状況(2/2)

- 太平洋プレートの沈み込みに沿った地震活動が見られる。
- 約60km以深では、太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。
- 陸域の深さ15km程度において内陸地殻内地震が発生している。
- 日本海東縁部においては、日本海の沖に向かうにしたがって震源が深くなっている。



断面位置図



震源鉛直分布

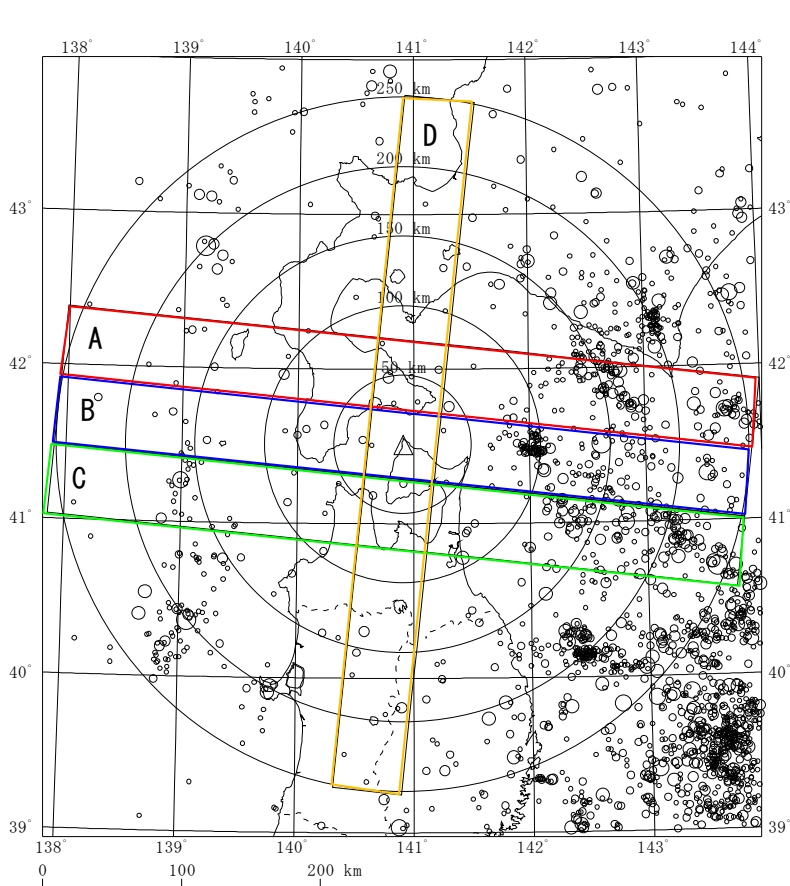
(2011年3月～2019年2月, M≤5.0, 低周波地震を除く: 気象庁地震カタログ)

凡例	
○	4.0 ≤ M ≤ 5.0
○	3.0 ≤ M < 4.0
○	2.0 ≤ M < 3.0
○	1.0 ≤ M < 2.0
•	M < 1.0

(補足) 敷地周辺の地震発生状況 (4/7)

(2) 敷地周辺の地震活動 ②M5.0以上の地震の発生状況

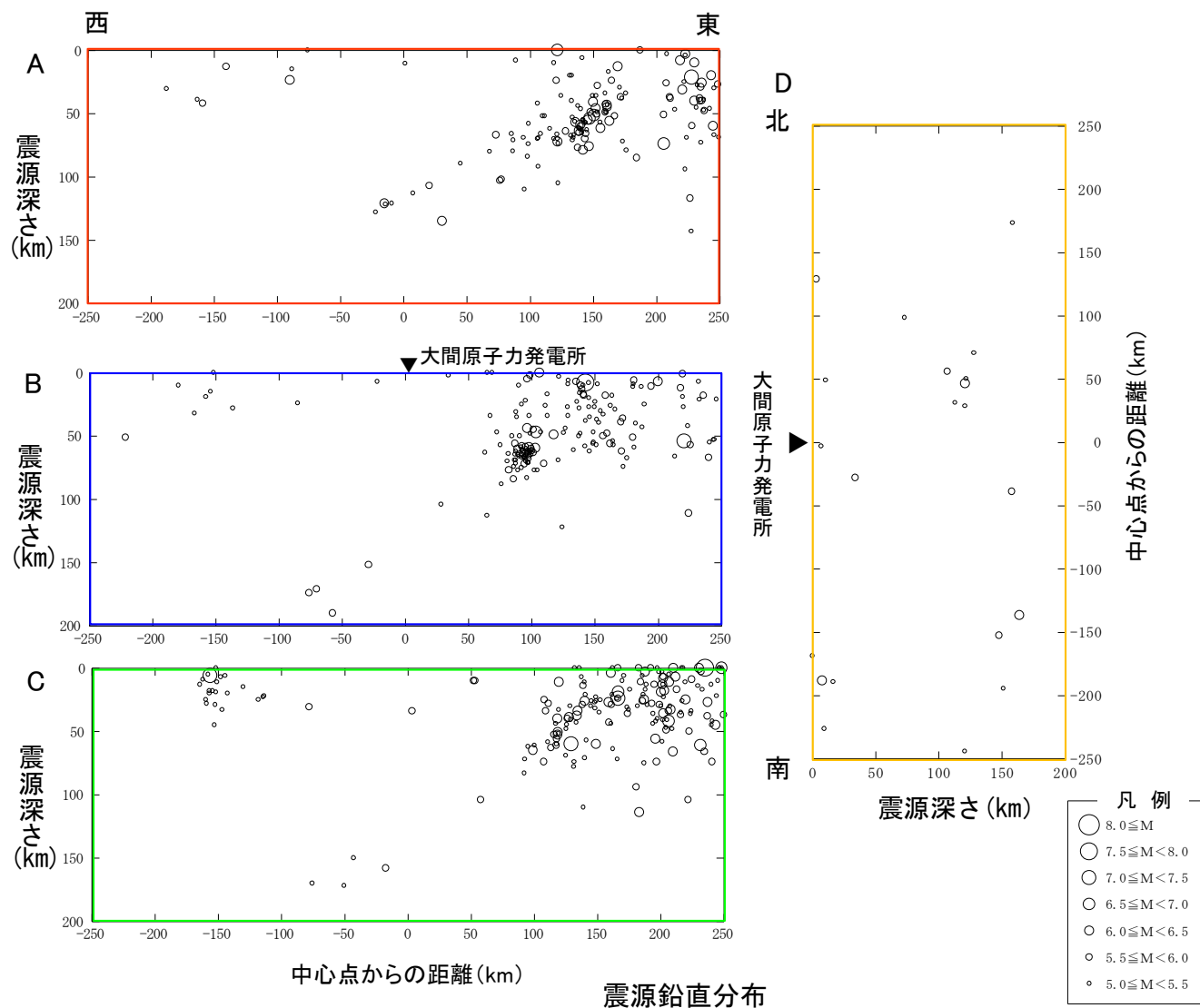
- 1919年1月～2019年2月までの敷地周辺で発生しているM5.0以上の地震を整理した。
- 敷地周辺においては、M5.0以上の地震は、主として太平洋側海域で発生している。
- 敷地から50km以内では、M6.5以上の地震は発生していない。



△ : 大間原子力発電所

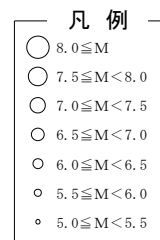
震央分布

(1919年1月～2019年2月, M \geq 5.0: 気象庁地震カタログ)



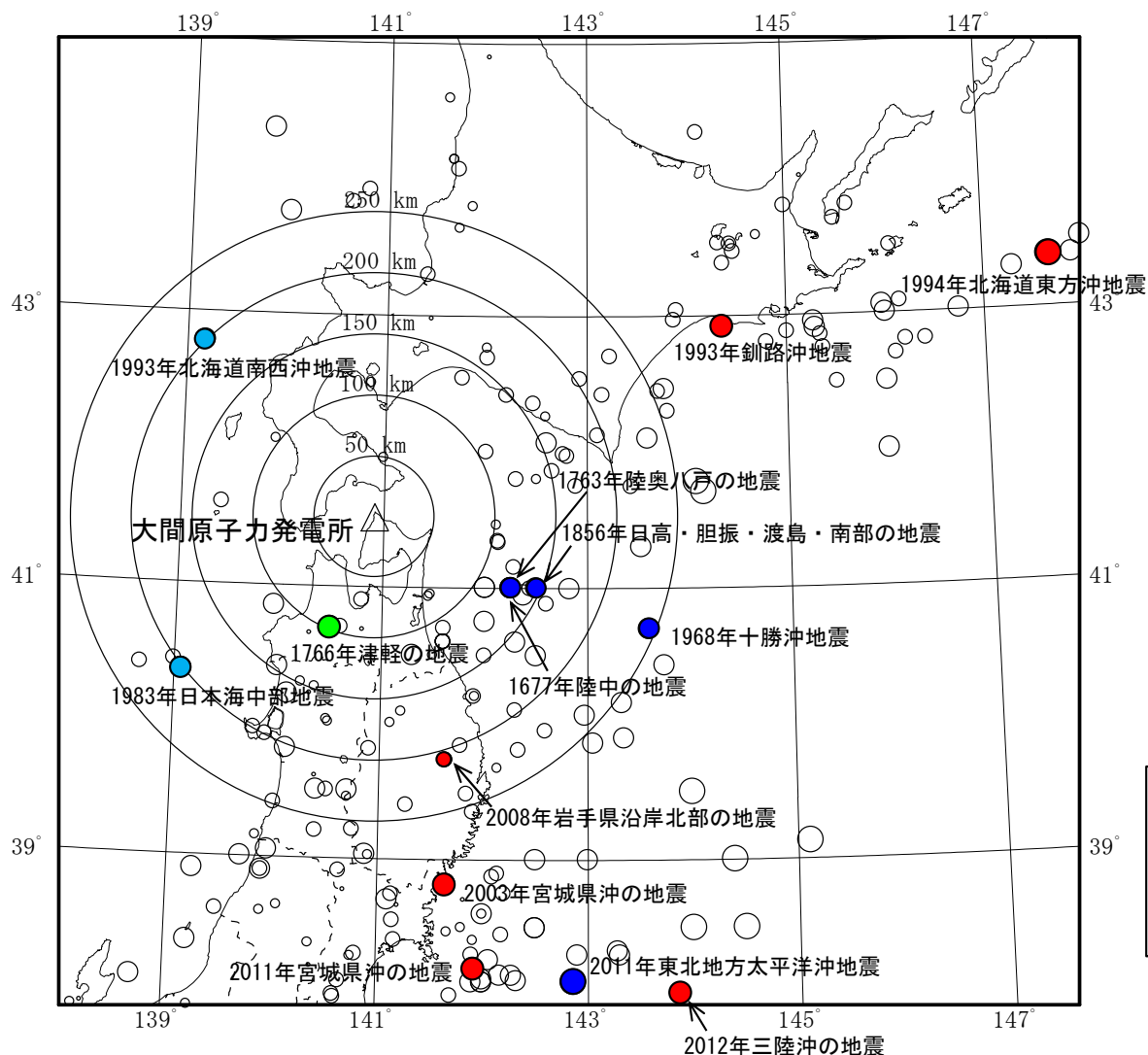
中心点からの距離 (km)

震源鉛直分布



(補足) 敷地周辺の地震発生状況 (5/7)

(3) 敷地周辺における主な被害地震



敷地周辺の主な被害地震の分布

期間：599年～2020年12月

(諸元は1918年以前は宇佐美ほか(2013), 1919年以降は気象庁による)

- プレート間地震については、青森県東方沖で1677年陸中の地震(M7.4), 1763年陸奥八戸の地震(M7.4), 1856年日高・胆振・渡島・南部の地震(M7.5), 1968年十勝沖地震(M7.9)等のM7クラスの地震が発生。また、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。
- 海洋プレート内地震については、1993年釧路沖地震(M7.5), 1994年北海道東方沖地震(M8.2), 2003年宮城県沖の地震(M7.1), 2008年岩手県沿岸北部の地震(M6.8), 2011年宮城県沖の地震(M7.2), 2012年三陸沖の地震(M7.3)等が発生。
- 内陸地殻内地震については、1766年津軽の地震(M7¼)等が発生。
- 日本海東縁部では、1983年日本海中部地震(M7.7), 1993年北海道南西沖地震(M7.8)等が発生。

主な被害地震

- : プレート間地震
- : 海洋プレート内地震
- : 内陸地殻内地震
- : 日本海東縁の地震

凡例

- 8.0 ≤ M
- 7.0 ≤ M < 8.0
- 6.0 ≤ M < 7.0
- 5.0 ≤ M < 6.0
- M < 5.0

(補足) 敷地周辺の地震発生状況 (6/7)

(4) 敷地周辺における揺れが震度5弱程度以上であると推定される地震 ①確認対象

- 気象庁震度階級関連解説表によると、地震により建物等に被害が生じるのは震度5弱(1996年以前は震度V)程度以上であることから、敷地に大きな影響を与える地震として、敷地における揺れが震度5弱(震度V)程度以上であると推定される地震を確認した。

【確認対象】

- 宇佐美ほか(2013)に記載のある被害地震の震度分布図で、敷地における揺れが震度5弱(震度V)程度以上であったと推定される地震。
- 敷地の震度並びに建物等の被害が明らかでない地震については、村松(1969)及び勝又・徳永(1971)による地震規模及び震央距離と震度の関係(M-Δ図)から敷地における震度を推定し、敷地における揺れが震度5弱(震度V)程度以上と推定される地震。

● 木造建物(住宅)の状況

震度階級	木造建物(住宅)	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5弱	—	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。
5強	—	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。
6弱	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。壁などに大きなひび割れ・亀裂が入ることがある。瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。
6強	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などに大きなひび割れ・亀裂が入るものが多くなる。傾くものや、倒れるものが多くなる。
7	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。まれに傾くことがある。	傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。

(注1) 木造建物(住宅)の耐震性により2つに区分した。耐震性は、建築年代の新しいものほど高い傾向があり、概ね昭和56年(1981年)以前は耐震性が低く、昭和57年(1982年)以降には耐震性が高い傾向がある。しかし、構法の違いや壁の配置などにより耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

(注2) この表における木造の壁のひび割れ、亀裂、損壊は、土壁(割り竹下地)、モルタル仕上壁(ラス、金網下地を含む)を想定している。下地の弱い壁は、建物の変形が少ない状況でも、モルタル等が剥離し、落下しやすくなる。

(注3) 木造建物の被害は、地震の際の地震動の周期や継続時間によって異なる。平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震のように、震度に比べ建物被害が少ない事例もある。

● 鉄筋コンクリート造建物の状況

震度階級	鉄筋コンクリート造建物	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5強	—	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。
6弱	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。
6強	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂がみられることがある。1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものがある。
7	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂がさらに多くなる。1階あるいは中間階が変形し、まれに傾くものがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂が多くなる。1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものが多くなる。

(注1) 鉄筋コンクリート造建物では、建築年代の新しいものほど耐震性が高い傾向があり、概ね昭和56年(1981年)以前は耐震性が低く、昭和57年(1982年)以降は耐震性が高い傾向がある。しかし、構造形式や平面的、立体的な耐震壁の配置により耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

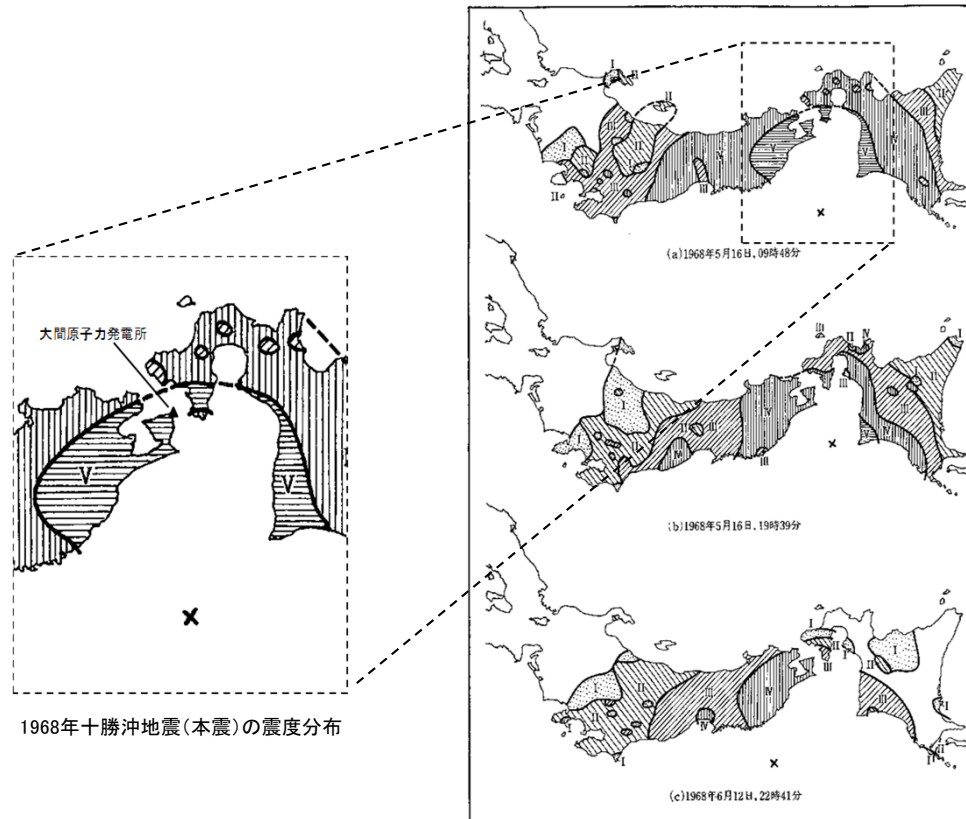
(注2) 鉄筋コンクリート造建物は、建物の主体構造に影響を受けていない場合でも、軽微なひび割れがみられることがある。

(補足) 敷地周辺の地震発生状況 (7/7)

(4) 敷地周辺における揺れが震度5弱程度以上であると推定される地震 ②確認結果

① 宇佐美ほか(2013)の震度分布より推定される地震

- 敷地における揺れが震度5弱(震度V)程度以上であったと推定される地震は、1968年十勝沖地震のみである。
- 1968年十勝沖地震は、プレート間地震に分類されている。



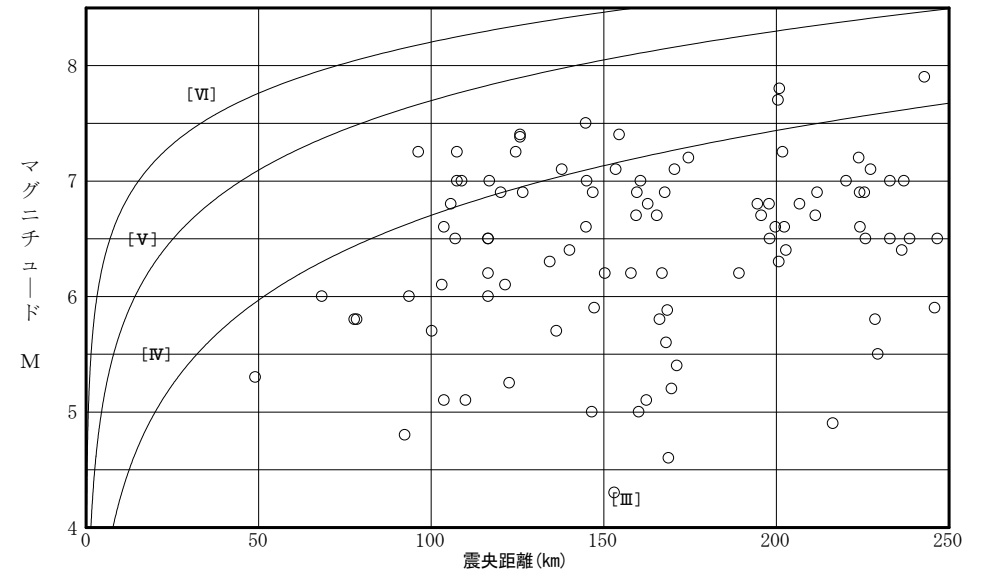
1968年十勝沖地震(本震)の震度分布

宇佐美ほか(2013)に加筆

1968年十勝沖地震の本震及び余震の震度分布

② M-Δ図により推定される地震

- 敷地周辺における主な被害地震の震度並びに建物等の被害が明らかでない地震については、村松(1969)及び勝又・徳永(1971)による地震規模及び震央距離と震度の関係(M-Δ図)から敷地における震度を推定。
- 敷地における揺れが震度5弱(震度V)程度以上と推定される地震は認められない。



敷地周辺における主な被害地震の震度並びに建物等の被害が明らかでない地震のM-Δ図※1. ※2

※1 : 地震諸元は、1918年以前は宇佐美ほか(2013)、1919年以降は気象庁による。敷地からの距離が250km以内の地震をプロット。期間は、599年~2020年12月。

※2 : [Ⅲ]~[Ⅵ]は、1996年以前の気象庁震度階級で、震度階級の境界線は、村松(1969)及び勝又・徳永(1971)による。

まとめ

- 敷地周辺における主な被害地震について、地震により建物等に被害が発生するとされている震度5弱(震度V)程度以上となる地震の有無を確認した。
- 敷地における揺れが震度5弱(震度V)程度以上であると推定される地震は、1968年十勝沖地震のみである。

参考文献

はじめに

- Noda S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Istanbul, 16–18 October
- 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, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sanriku_boso_4.pdf>
- 地震調査研究推進本部(2017) : 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版), <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/chishima3.pdf>
- 地震調査研究推進本部(2019) : 日本海溝沿いの地震活動の長期評価, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/japan_trench.pdf>

1. 検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

- 地震調査研究推進本部(2004a) : 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について, <<https://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20040521sanriku.pdf>>
- 内閣府(2020a) : 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(参考図表集), <http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/model/pdf/sankozuhyou.pdf>
- 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, pp.381–382

2. 検討用地震の選定

- 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
- 気象庁 : <<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>
- 気象庁(2011) : 平成23年3月 地震・火山月報(防災編), <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201103/monthly201103.pdf>>
- 気象庁地震カタログ : 地震月報(カタログ編)(1919~2019), 2020年11月13日時点, <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>>
- 佐竹健治(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, pp. 414–416
- 地震調査研究推進本部(2004b) : 千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版), <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/chishima2.pdf>
- 西村卓也(2013) : 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, pp.453–456

3. 震源モデルの設定

- 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, pp.1111–1123
- Igarashi T., T. Matsuzawa, N. Umino and A. Hasegawa(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, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 106, NO. B2, pp.2177–2191, FEBRUARY 10, 2001
- Kanamori H.(1977) : The Energy Release in Great Earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.82, No.20, pp.2981–2987
- Kurahashi S. and K. Irikura(2013) : Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, BSSA, Vol. 103, No. 2B, pp.1373–1393, May 2013
- 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 Volume 81, Number 6 November/December 2010, pp.941–950

参考文献

- Yamanaka Y. and M. Kikuchi(2003): Source process of the recurrent Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves, Earth Planets Space, 55, pp.e21-e24, 2003
- Yamanaka Y. and M. Kikuchi(2004): Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 109, B07307
- 宇津徳治(2001): 地震学(第3版), 共立出版株式会社
- 片岡正次郎・佐藤智美・松元俊輔・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, pp.740-757, 2006 10
- 片山郁夫・平内健一・中島淳一(2010): 日本列島下での沈み込みプロセスの多様性, 地学雑誌, 119(2), pp.205-223
- 川辺秀憲・釜江克宏(2013): 2011年東北地方太平洋沖地震の震源のモデル化, 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第2号(特集号), pp.75-87
- 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
- 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, pp.923-932, 2010年5月
- 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ー, 日本建築学会構造系論文集, 第77巻, 第675号, pp.695-704, 2012年5月
- 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」), <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf>
- 地震ハザードステーションJ-SHIS: 防災科学技術研究所, <<https://www.j-shis.bosai.go.jp/>>
- 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, pp.31-45
- 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, 第545号, pp.51-62, 2001年7月
- 壇一男・石井やよい・宮腰淳一・高橋広人・護雅史・福和伸夫(2013): マグニチュード9クラスのプレート境界地震による強震動予測のための断層モデルの設定方法ー南海トラフ巨大地震への適用と東海地方における強震動の試算例ー, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第692号, pp.1685-1694, 2013年10月
- 内閣府(2020b): G空間情報センターHP, 内閣府 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会/強震断層モデル(2)強震断層パラメータ(最終更新2020年12月23日), <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/1-02>
- 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ー1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の比較ー, 地震, 第2輯, 第54巻, pp.267-280
- 長谷川昭・佐藤春夫・西村太志(2015): 現代地球科学入門シリーズ6 地震学, 共立出版株式会社

4. 地震動評価手法

- Kurahashi S. and K. Irikura(2011): Source model for generating strong ground motions during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, pp.571-576, 2011
- 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子(1997): 経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B25

5. 地震動評価結果

- 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, pp.33-52

参考文献

(補足) 敷地周辺の地震発生状況

- 勝又護・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, 第3, 4号, pp.89-96
- 気象庁・消防庁(2009):震度に関する検討会報告書, 平成21年3月, <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/study-panel/shindo-kentokai/>>
- 地震調査研究推進本部(2009):日本の地震活動ー被害地震から見た地域別の特徴ー<第2版>, <https://www.jishin.go.jp/resource/seismicity_japan/>
- 長谷川昭・海野徳仁・高木草雄・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ー広域の験震データの併合処理ー, 地震, 第2輯, 第36巻, pp.129-150
- 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号, pp.168-176