

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(概要)

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」での誤記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の概要を説明する。

はじめに(2/3)

設置変更許可申請(2014年12月)からの主な変更点(1/2)

プレート間地震の主な変更点

【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、地震調査研究推進本部(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。

海洋プレート内地震の主な変更点

【申請時】

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

【今回】

- 検討用地震の選定にあたり、各想定地震の断層パラメータは、2016年に地震調査研究推進本部(2016)よりスラブ内地震の標準的な地震動評価手法(以下「強震動予測レシピ」という。)が策定されたことから、強震動予測レシピに基づき設定。
- 検討用地震は、強震動予測レシピに基づく断層モデルの評価と類似の傾向を示す片岡ほか(2006)の方法による比較により、想定十勝沖スラブ内地震(Mw8.3, M8.2)、及び敷地下方の想定スラブ内地震(Mw7.1, M7.2)を設定。(これに伴い、想定浦河沖スラブ内地震(M7.5)は相対的に影響が小さくなり、検討用地震から除外。)

設置変更許可申請と今回説明の検討用地震の比較(プレート間地震, 海洋プレート内地震)

	設置変更許可申請(2014年12月)	今回説明(2021年6月)
プレート間地震	<ul style="list-style-type: none"> 想定三陸沖北部の地震(Mw8.3) 	<ul style="list-style-type: none"> 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(Mw9.0)
海洋プレート内地震	<ul style="list-style-type: none"> 想定十勝沖スラブ内地震(M8.2) 想定浦河沖スラブ内地震(M7.5) 	<ul style="list-style-type: none"> 想定十勝沖スラブ内地震(Mw8.3, M8.2) 敷地下方の想定スラブ内地震(Mw7.1, M7.2)

注) 変更点を赤字で示す。

はじめに(3/3)

設置変更許可申請(2014年12月)からの主な変更点(2/2)

内陸地殻内地震の主な変更点

【申請時】

➤ 検討用地震

①F-14断層による地震(M6.7)

- 孤立した短い活断層として評価したF-14断層による地震は、断層長さは3.4kmと短いものの、Stirling et al.(2002)の論文を踏まえ、断層長さ20kmとし、地震規模M6.7を検討用地震として設定。また、強震動予測レシピの第2ステージ(地震発生層を飽和する規模)に相当する地震規模(M7.0、地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}$ Nm)の不確かさ、短周期レベルの不確かさ、及び断層傾斜角の不確かさとして南傾斜を考慮。

②根岸西方断層による地震(M7.5)

- 根岸西方断層による地震は、ごく長周期でF-14断層による地震の影響を上回ることから検討用地震として設定。

➤ 地震発生層

- 地震発生層の評価範囲は、検討用地震であるF-14断層及び根岸西方断層を含む領域において評価。
- 地震発生層は、気象庁一元化震源データによる微小地震の震源深さ分布に保守性を加味して4km~17kmと評価。

【今回】

➤ 検討用地震

①F-14断層による地震(M7.0)

- 孤立した短い活断層として評価したF-14断層による地震は、先行審査の知見を踏まえ強震動予測レシピの第2ステージに相当する地震規模(M7.0、地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}$ Nm)を検討用地震として設定(これに伴い、根岸西方断層による地震は相対的に影響が小さくなり、検討用地震から除外)。また、短周期レベルの不確かさを考慮。
- なお、申請時に断層傾斜角の不確かさとして考慮していた南傾斜は、より敷地への影響の大きい隆起再現断層を別途考慮したことを踏まえ、考慮しない。

②奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震(Mw7.8)

- 敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造の審査の結果を踏まえ、3つの断層の同時破壊は否定できないものとしてMw7.8の地震を検討用地震として設定。

③隆起再現断層による地震(M6.9)

- 敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造の調査により評価した大間付近の隆起域付近には、海上音波探査や重力異常等の調査では陸域の隆起をもたらすような活断層は認められないが、耐震設計上の保守性の観点から、大間付近の隆起を説明しうる仮想的な震源を検討用地震として設定。

➤ 地震発生層

- 地震発生層の評価範囲は、検討用地震となるF-14断層周辺と奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層周辺に分けて評価。
- F-14断層周辺の地震発生層は、2014年から地震予知総合研究振興会にて実施した下北半島における高密度地震観測網(As-net)による震源データを踏まえると、気象庁一元化震源データによる評価よりも浅くなる傾向が見られたことから、保守性の観点から地震発生層上端を3kmと評価。併せて、地下構造モデルの設定に係るデータの拡充を目的とした追加調査により得られた速度構造も考慮。
- 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層周辺の地震発生層は、その周辺の地震発生状況、速度構造等を踏まえ2km~20kmと評価。

設置変更許可申請と今回説明の検討用地震の比較(内陸地殻内地震)

	設置変更許可申請(2014年12月)	今回説明(2021年6月)
内陸地殻内地震	<ul style="list-style-type: none"> F-14断層による地震(M6.7) 根岸西方断層による地震(M7.5) 	<ul style="list-style-type: none"> F-14断層による地震(M7.0) 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震(Mw7.8) 隆起再現断層による地震(M6.9)

注) 変更点を赤字で示す。

目次

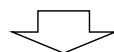
1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の流れ
2. 敷地周辺の地震発生状況
 - (1) 敷地周辺のプレートテクトニクス
 - (2) 敷地周辺の地震活動
 - (3) 敷地周辺における主な被害地震
 - (4) 敷地における揺れが震度5弱程度以上であると推定される地震
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - 3.1 プレート間地震
 - (1) プレート間地震の地震動評価フロー
 - (2) 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の地震動評価
 - 3.2 海洋プレート内地震
 - (1) 海洋プレート内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - (3) 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 3.3 内陸地殻内地震
 - (1) 内陸地殻内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - (3) 隆起再現断層による地震
 - (4) 検討用地震の選定
 - (5) F-14断層による地震の地震動評価
 - (6) 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - (7) 隆起再現断層による地震の地震動評価
4. まとめ

1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の流れ

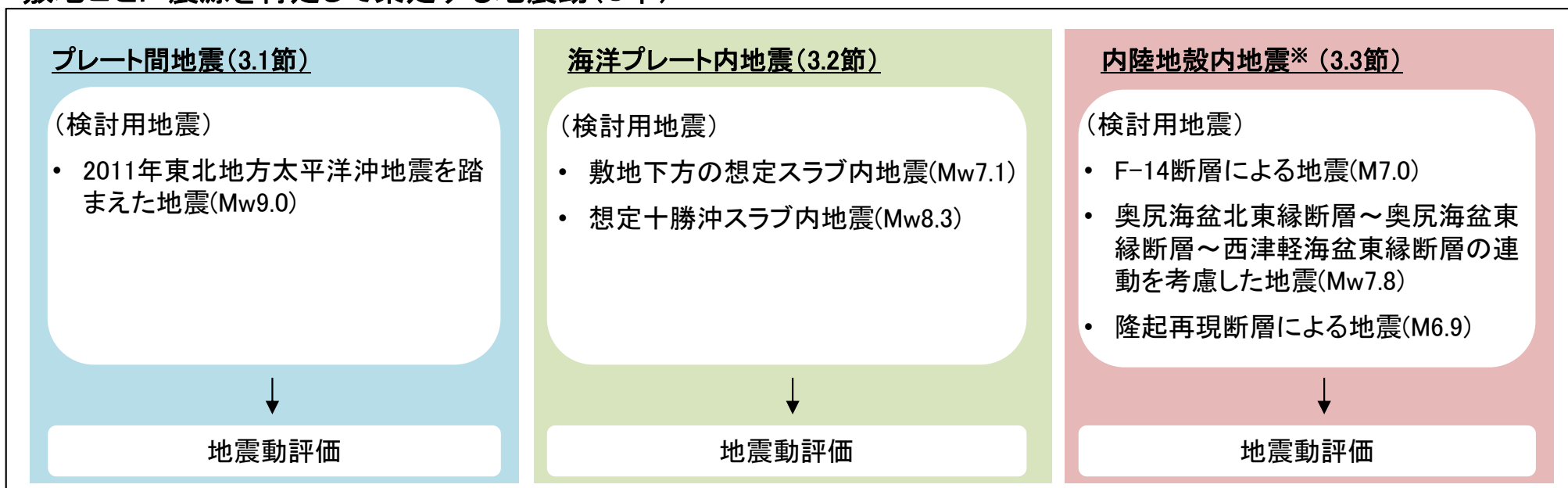
- 本資料では、大間原子力発電所における震源を特定して策定する地震動の評価の概要を示す。
- 震源を特定して策定する地震動の評価にあたり、プレート間地震、海洋プレート内地震、及び内陸地殻内地震について、敷地に影響が大きい地震を検討用地震として選定し、地震動評価を実施する。

敷地周辺の地震発生状況(2章)

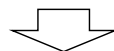
- (1) 敷地周辺のプレートテクトニクス
- (2) 敷地周辺の地震活動
- (3) 敷地周辺における主な被害地震
- (4) 敷地における揺れが震度5弱程度以上であると推定される地震



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(3章)



※ 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(4章)

- 検討用地震の地震動評価結果一覧

(余白)

1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の流れ
2. 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
 - (2) 敷地周辺の地震活動
 - (3) 敷地周辺における主な被害地震
 - (4) 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
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - 3.1 プレート間地震
 - (1) プレート間地震の地震動評価フロー
 - (2) 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の地震動評価
 - 3.2 海洋プレート内地震
 - (1) 海洋プレート内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - (3) 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 3.3 内陸地殻内地震
 - (1) 内陸地殻内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - (3) 隆起再現断層による地震
 - (4) 検討用地震の選定
 - (5) F-14断層による地震の地震動評価
 - (6) 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - (7) 隆起再現断層による地震の地震動評価
4. まとめ

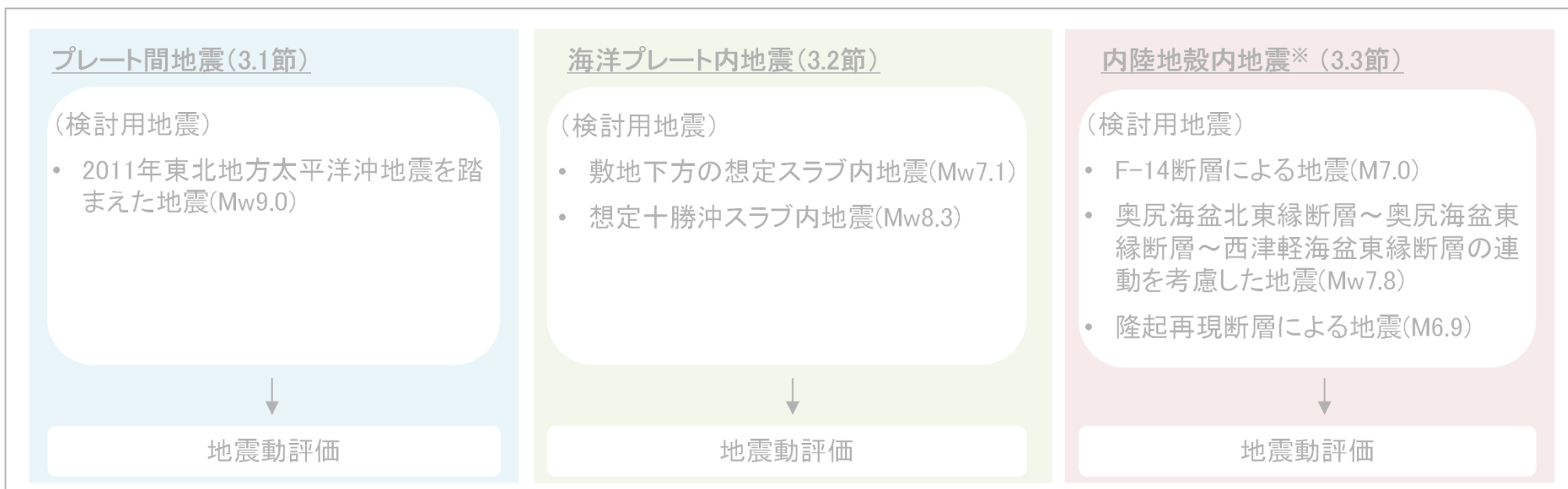
2. 敷地周辺の地震発生状況

本章における説明箇所

敷地周辺の地震発生状況(2章)

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

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(3章)



※ 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。



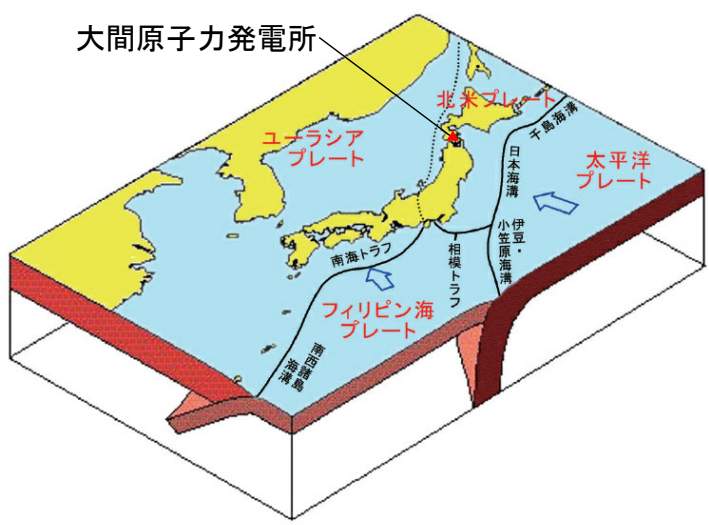
まとめ(4章)

- 検討用地震の地震動評価結果一覧

2. 敷地周辺の地震発生状況

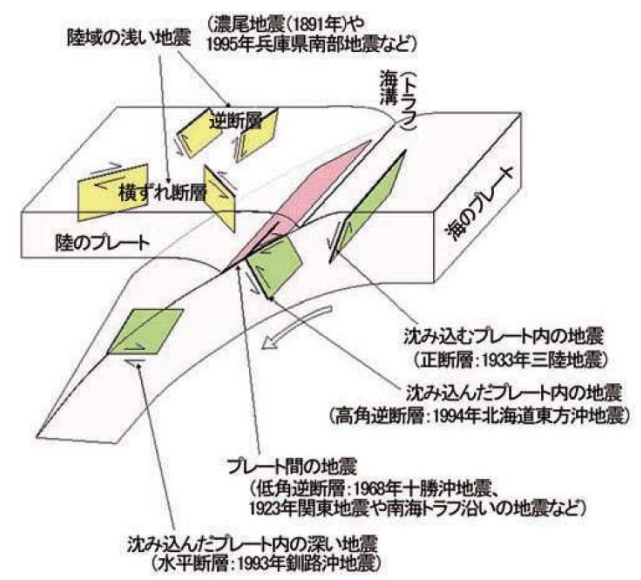
(1) 敷地周辺のプレートテクトニクス

- 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。

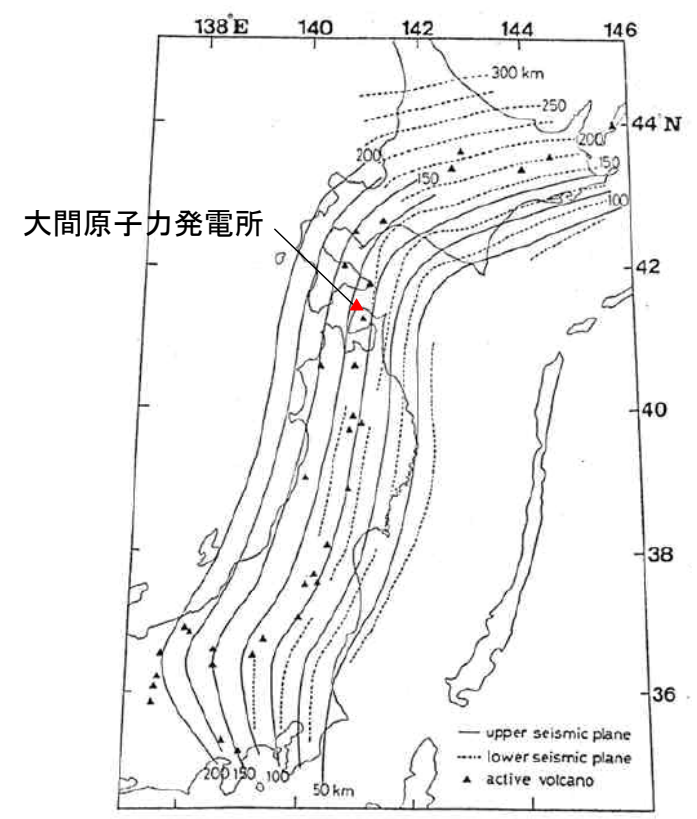


地震調査研究推進本部(2009)に一部加筆

日本列島とその周辺のプレート



日本列島とその周辺で発生する地震のタイプ

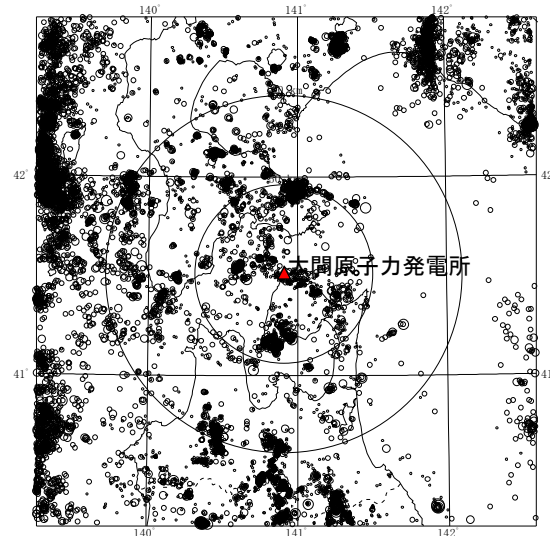


長谷川ほか(1983)に一部加筆

深発地震の震源の等深線

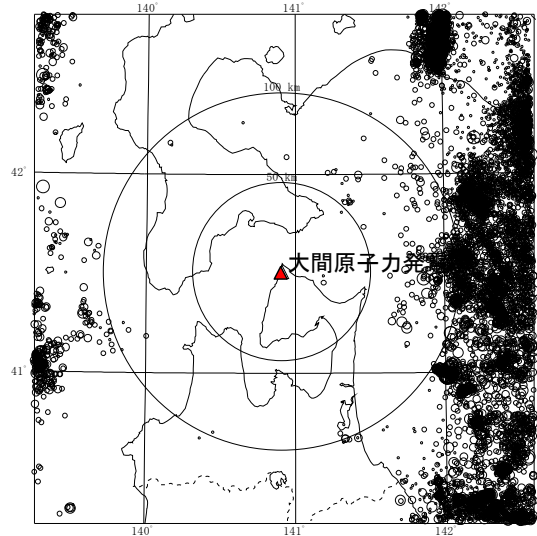
(2) 敷地周辺の地震活動(1/3)

① 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況(1/2)



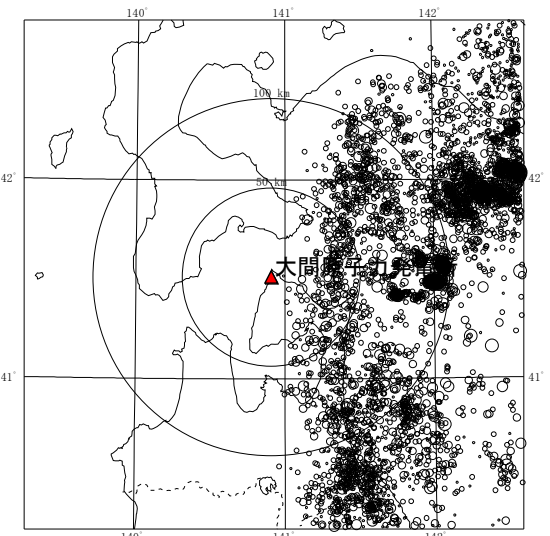
震央分布

震源深さ0~20km



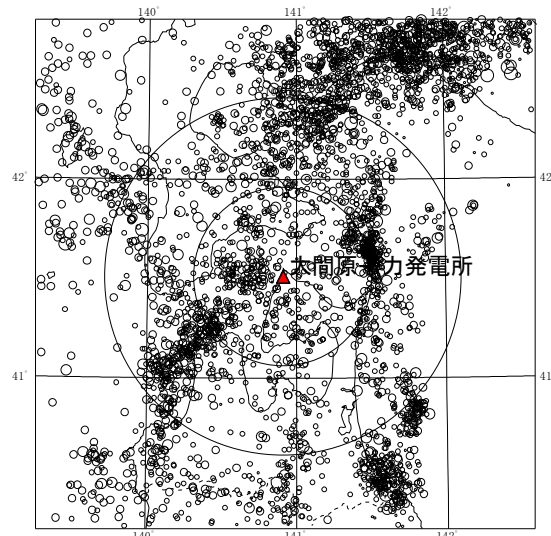
震央分布

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

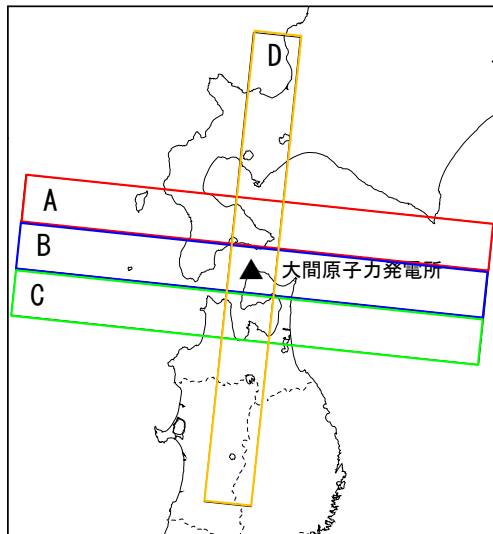
• 2011年3月~2019年2月までの敷地周辺で発生したM5.0以下の地震を整理した。

- 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

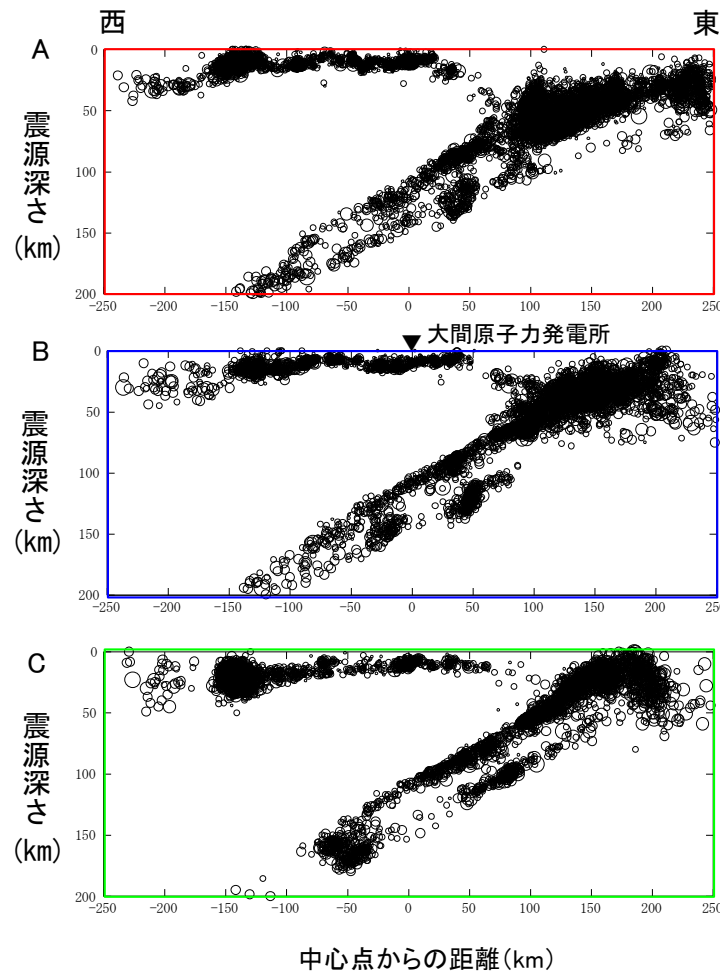
(2) 敷地周辺の地震活動(2/3)

①敷地周辺におけるM5.0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程度においては、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, $M \leq 5.0$, 低周波地震を除く: 気象庁地震カタログ)

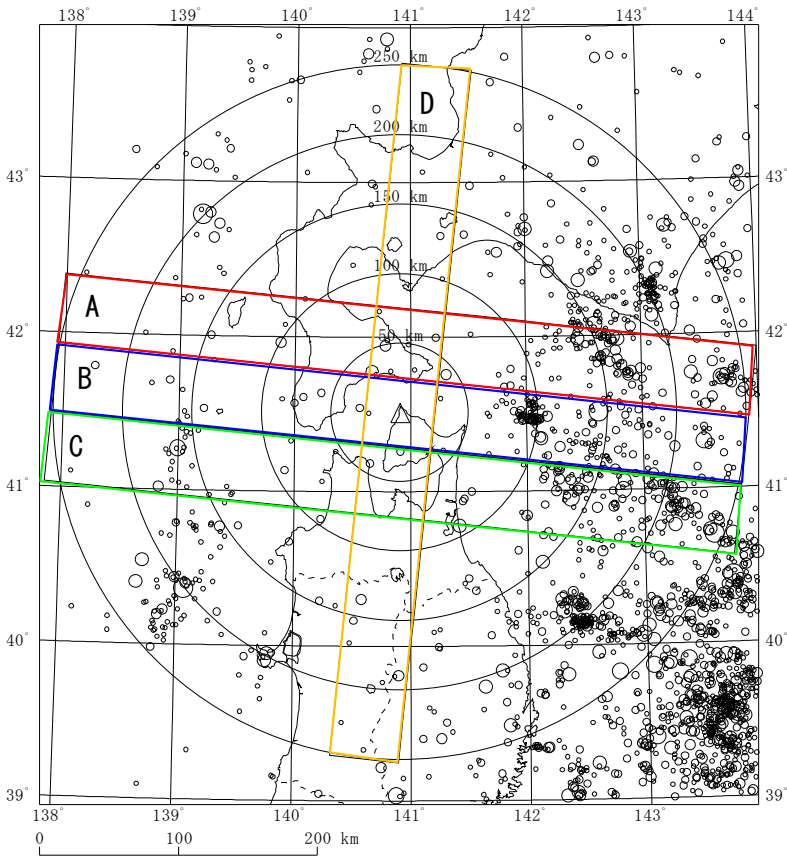
凡例	
○	$4.0 \leq M \leq 5.0$
○	$3.0 \leq M < 4.0$
○	$2.0 \leq M < 3.0$
○	$1.0 \leq M < 2.0$
•	$M < 1.0$

2. 敷地周辺の地震発生状況

(2) 敷地周辺の地震活動(3/3)

② 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の発生状況

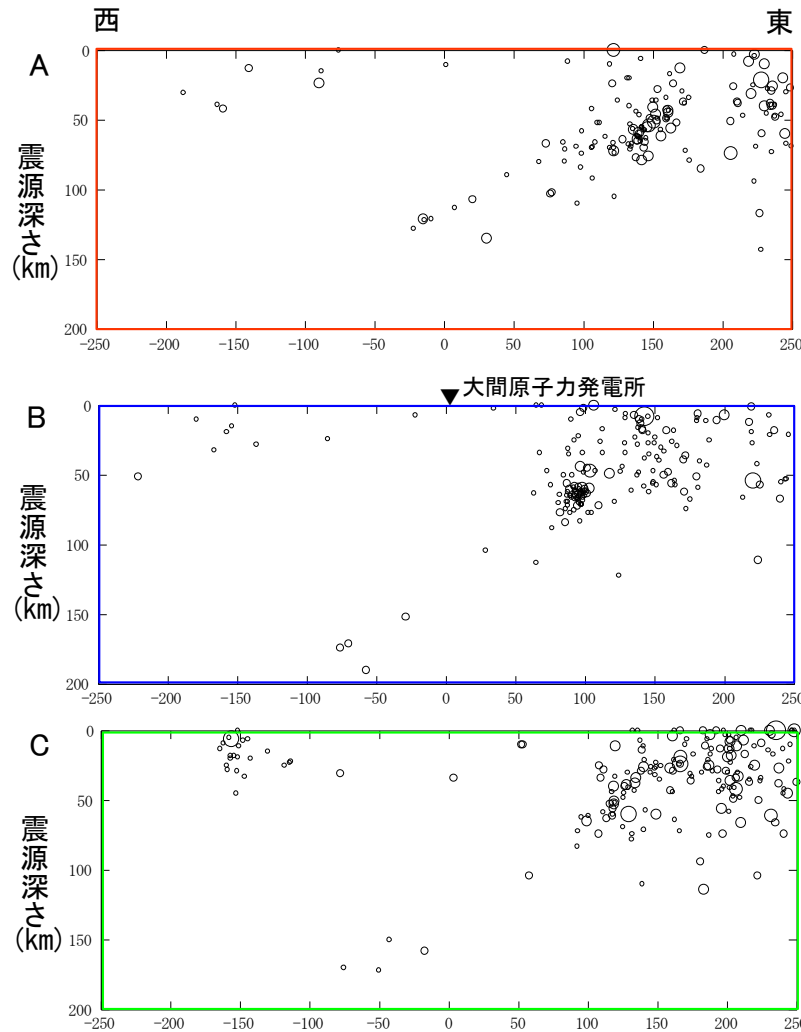
- 1919年1月～2019年2月までの敷地周辺で発生しているM5.0以上の地震を整理した。
- 敷地周辺においては、M5.0以上の地震は、主として太平洋側海域で発生している。
- 敷地から50km以内では、M6.5以上の地震は発生していない。



△：大間原子力発電所

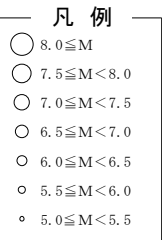
震央分布

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

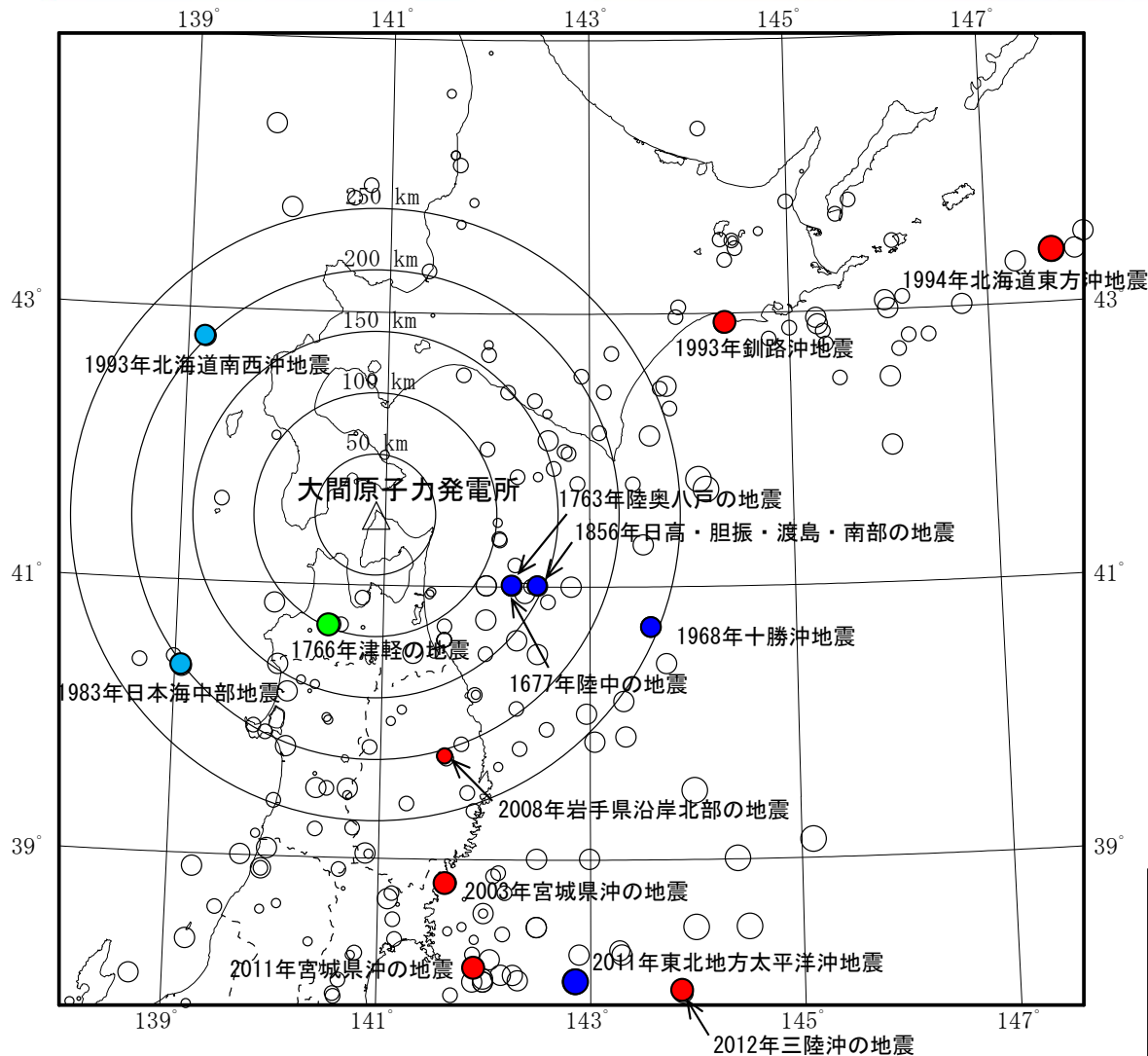


中心点からの距離(km)

震源鉛直分布



(3) 敷地周辺における主な被害地震



- 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(M7 1/4)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

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)

(4) 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(1/2)



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】

- ① 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。
- ② 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、構造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。

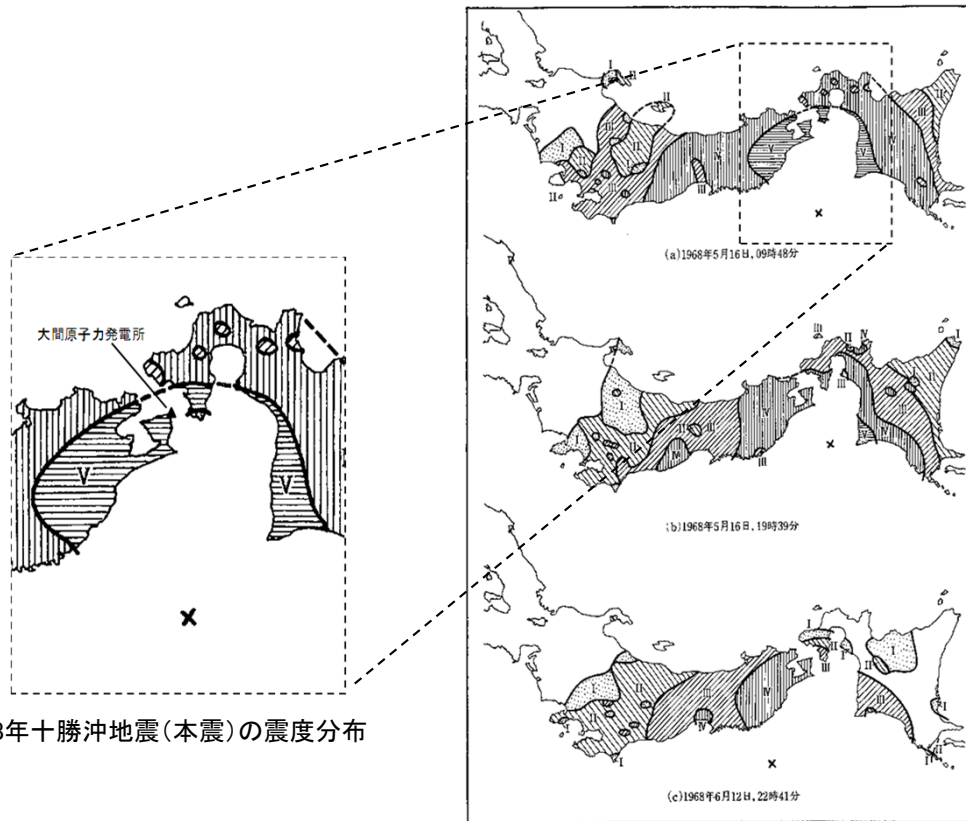
(注2) 鉄筋コンクリート造建物は、建物の主体構造に影響を受けていない場合でも、軽微なひび割れがみられることがある。

気象庁、消防庁(2009)より抜粋

(4) 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(2/2)

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)に一部加筆

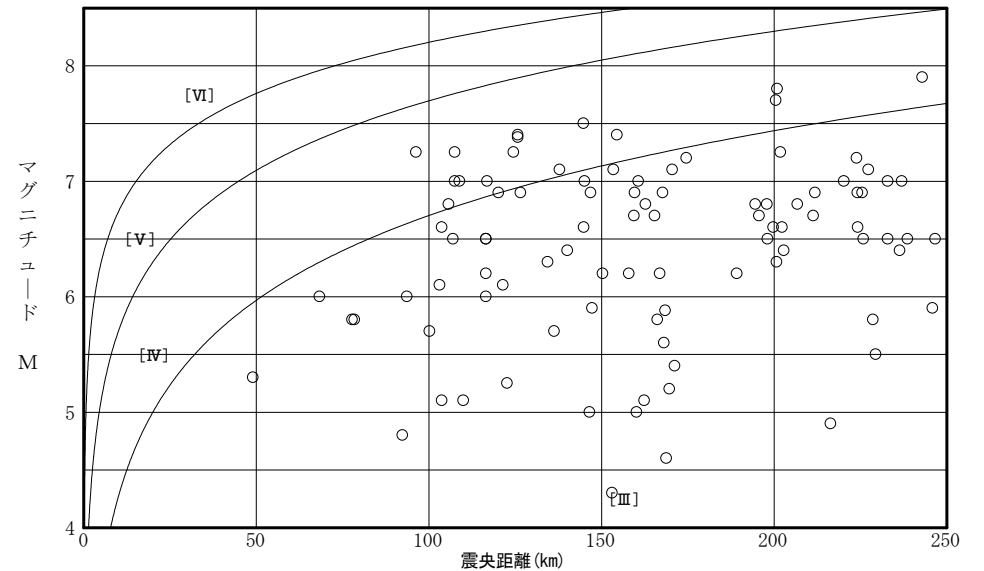
1968年十勝沖地震の本震及び余震の震度分布

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。

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。敷地からの震央距離が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。

(余白)

1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の流れ
2. 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
 - (2) 敷地周辺の地震活動
 - (3) 敷地周辺における主な被害地震
 - (4) 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
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - 3.1 プレート間地震
 - (1) プレート間地震の地震動評価フロー
 - (2) 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の地震動評価
 - 3.2 海洋プレート内地震
 - (1) 海洋プレート内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - (3) 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 3.3 内陸地殻内地震
 - (1) 内陸地殻内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - (3) 隆起再現断層による地震
 - (4) 検討用地震の選定
 - (5) F-14断層による地震の地震動評価
 - (6) 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - (7) 隆起再現断層による地震の地震動評価
4. まとめ

3.1 プレート間地震

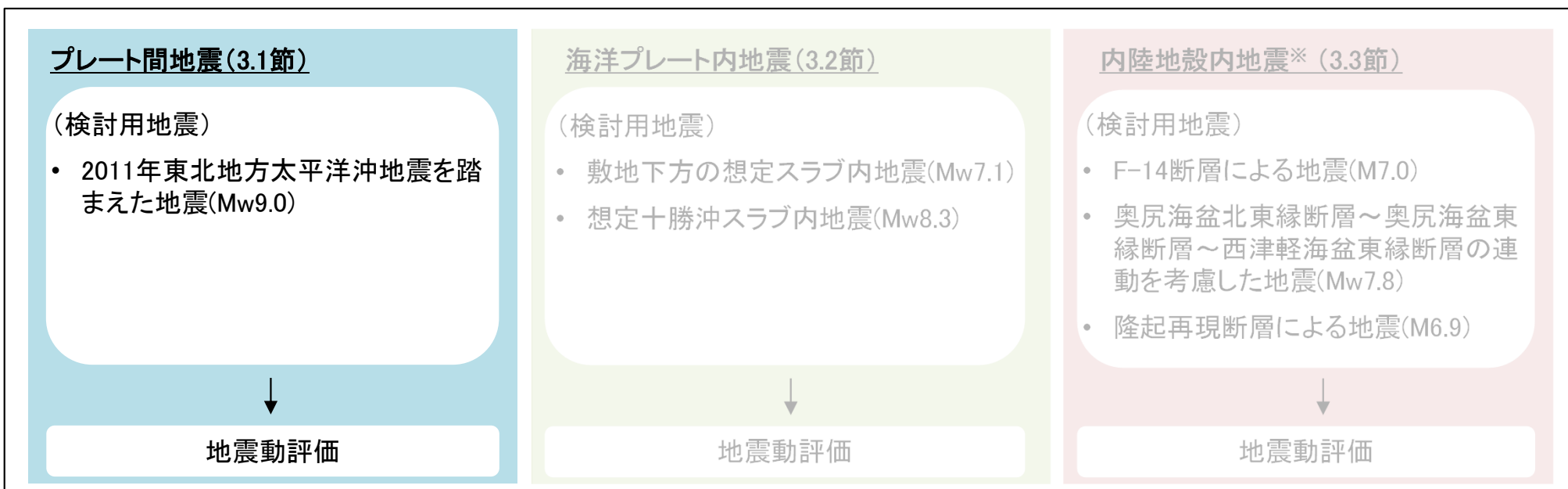
本節における説明箇所

敷地周辺の地震発生状況(2章)

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



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(3章)



※ 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。

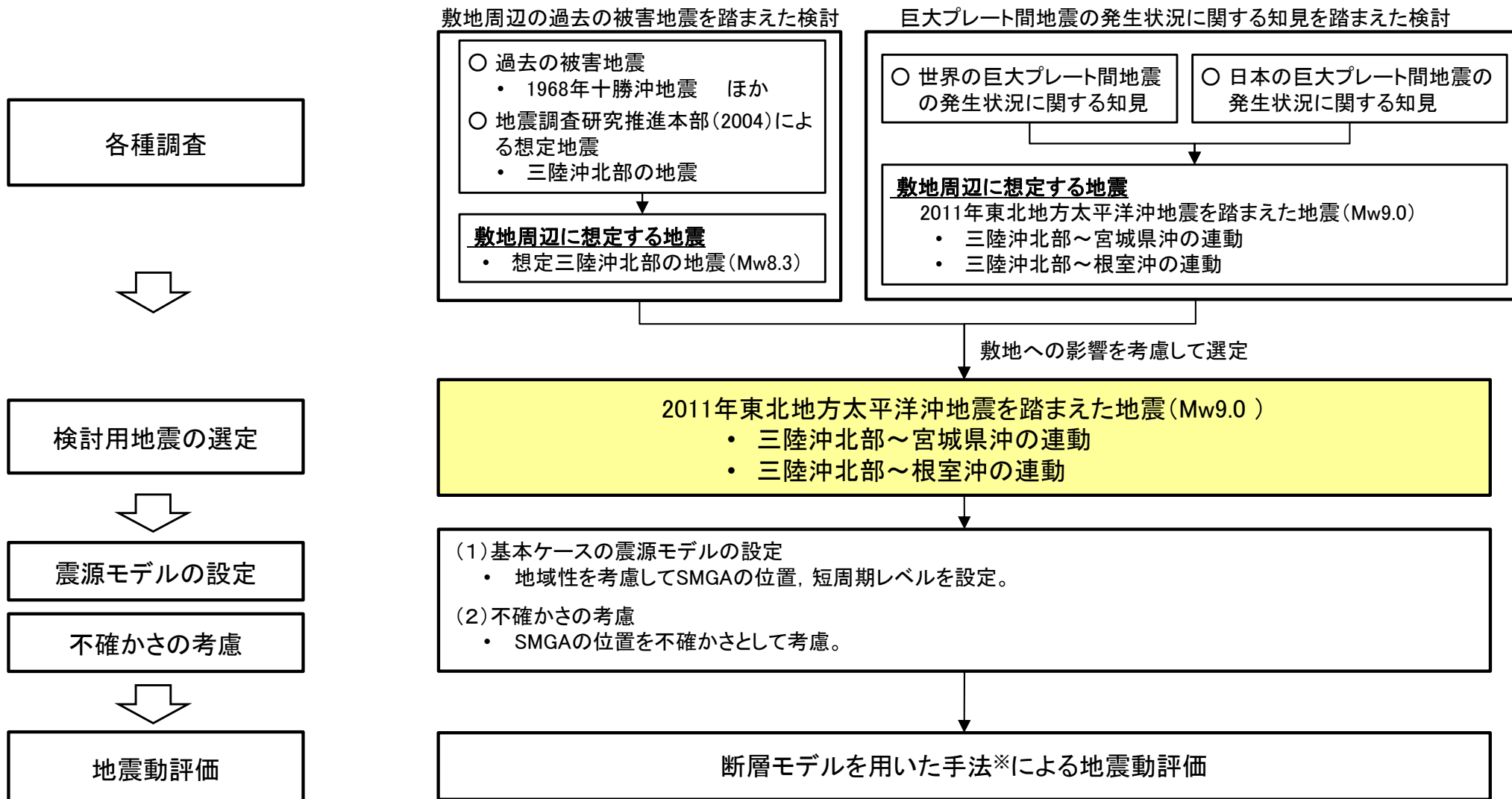


まとめ(4章)

- 検討用地震の地震動評価結果一覧

(1) プレート間地震の地震動評価フロー

- プレート間地震を対象とした地震動評価のフローを示す。
- 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)を選定する。



※ 経験的グリーン関数法による。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。

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。

検討用地震の地震動評価(基本ケース)

- 2011年東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえ、震源モデルを設定する。

■ 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、 $M_w9.0$ を想定する。

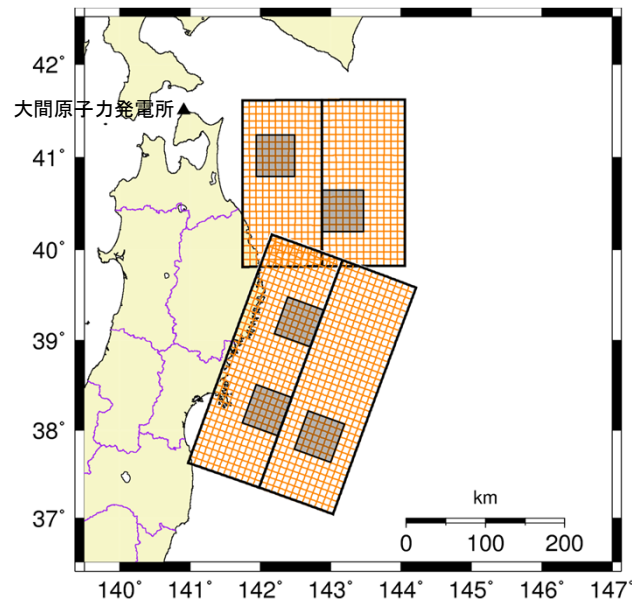
■ 断層面の設定

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。

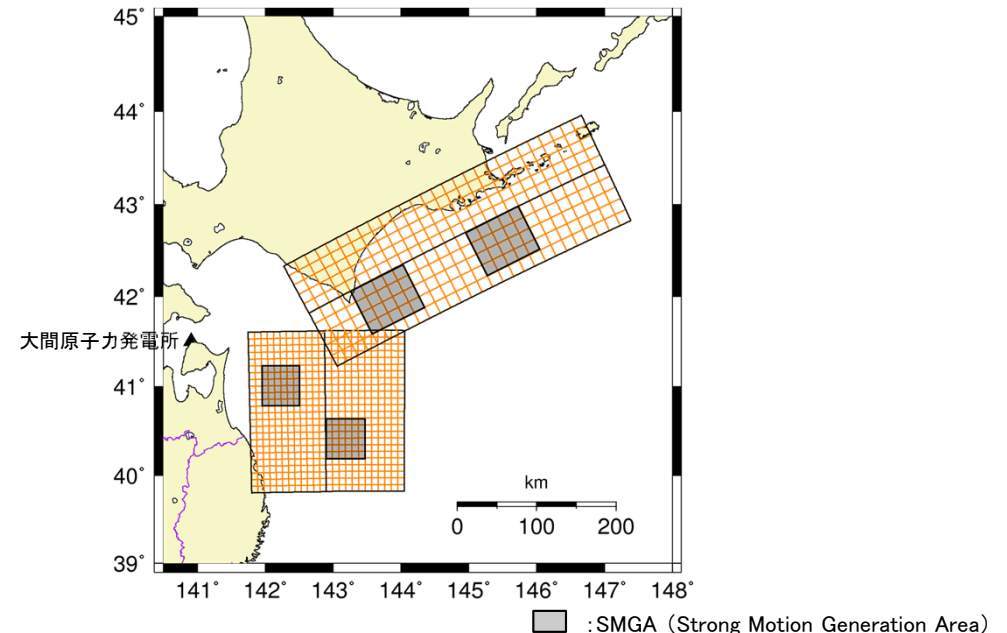
- 三陸沖北部～宮城県沖の連動
- 三陸沖北部～根室沖の連動

■ 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。



三陸沖北部～宮城県沖の連動



三陸沖北部～根室沖の連動

検討用地震の基本ケースの震源モデル

検討用地震の地震動評価(不確かさケース)

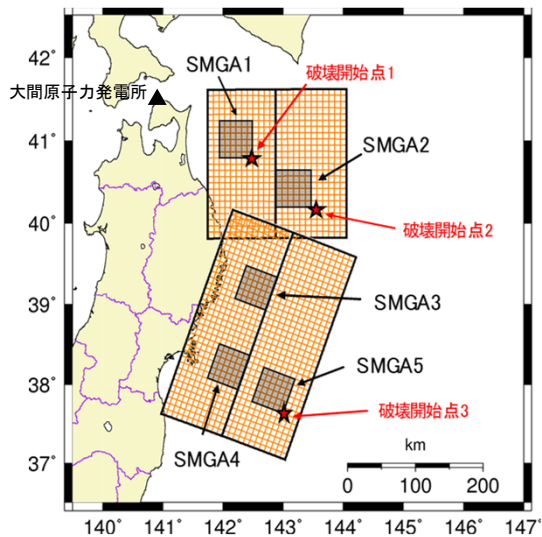
- 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の検討ケースを示す。

検討ケース一覧

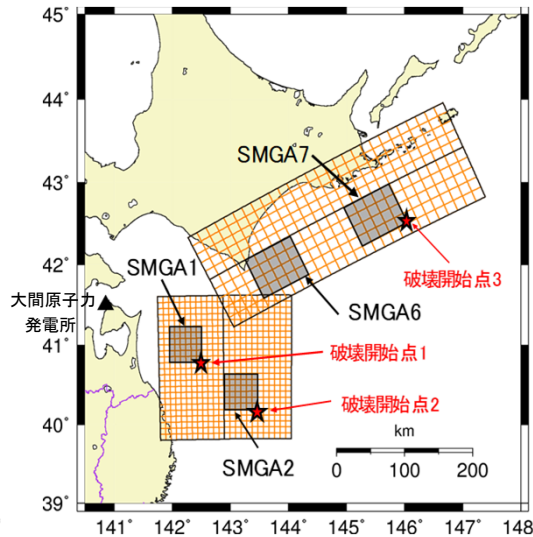
検討ケース	地震規模	領域の運動	短周期レベル (応力降下量)	SMGA位置	破壊開始点
基本ケース	Mw9.0	三陸沖北部 ～宮城県沖	SMGA1, 2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3～7: 諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル	過去の地震のアスペリティ との対応を考慮し設定(図a)	複数設定
	Mw9.0	三陸沖北部 ～根室沖		過去の地震のアスペリティ との対応を考慮し設定(図b)	
SMGA位置の 不確かさケース	Mw9.0	三陸沖北部 ～宮城県沖	SMGA1, 2: 1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル SMGA3～7: 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

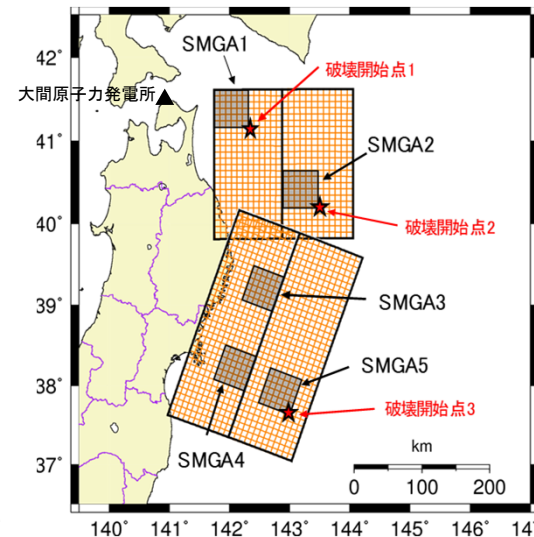
: 偶然的不確かさとして考慮するパラメータ



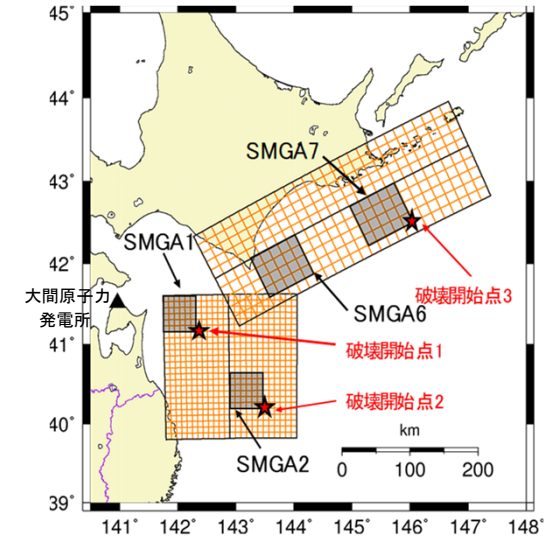
a) 三陸沖北部～宮城県沖の運動
基本ケース



b) 三陸沖北部～根室沖の運動
基本ケース



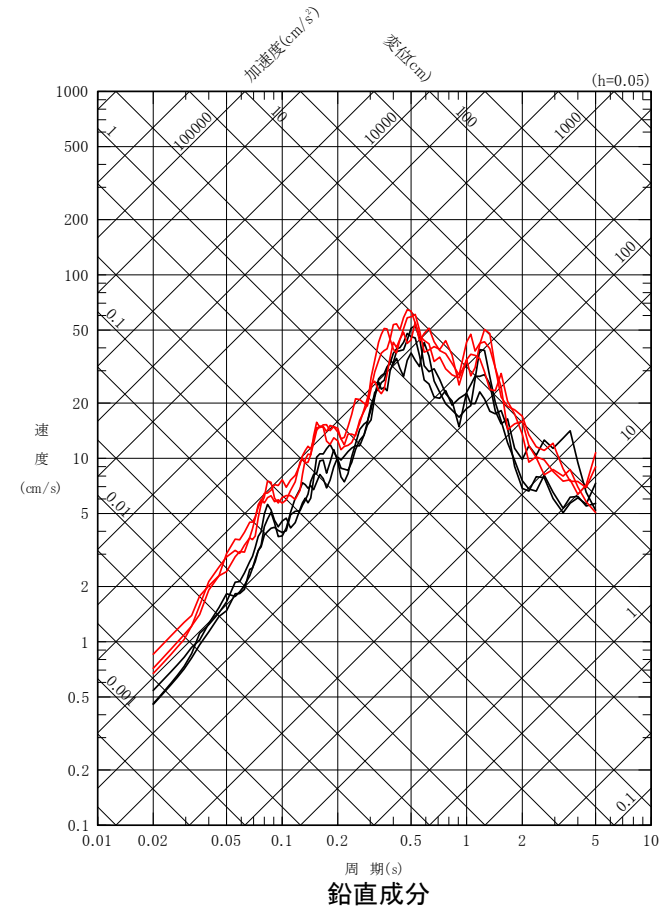
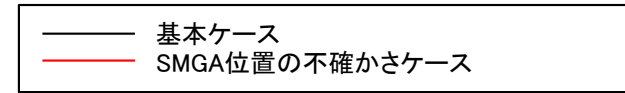
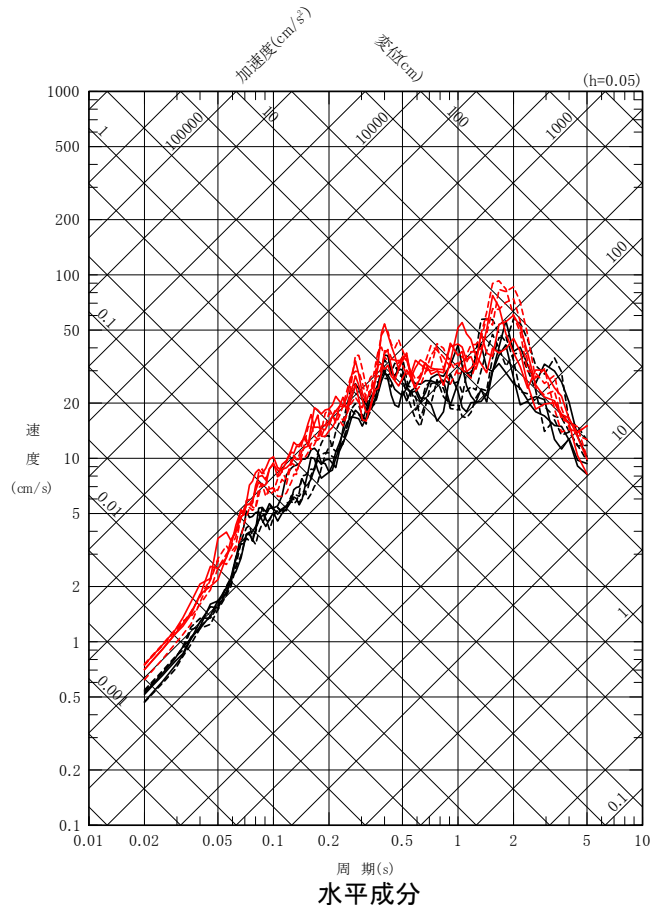
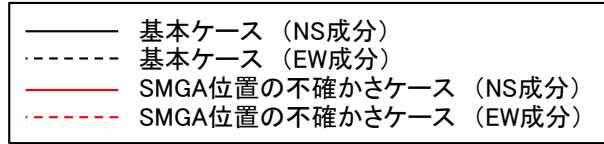
c) 三陸沖北部～宮城県沖の運動
SMGA位置の不確かさケース



d) 三陸沖北部～根室沖の運動
SMGA位置の不確かさケース

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：三陸沖北部～宮城県沖の連動

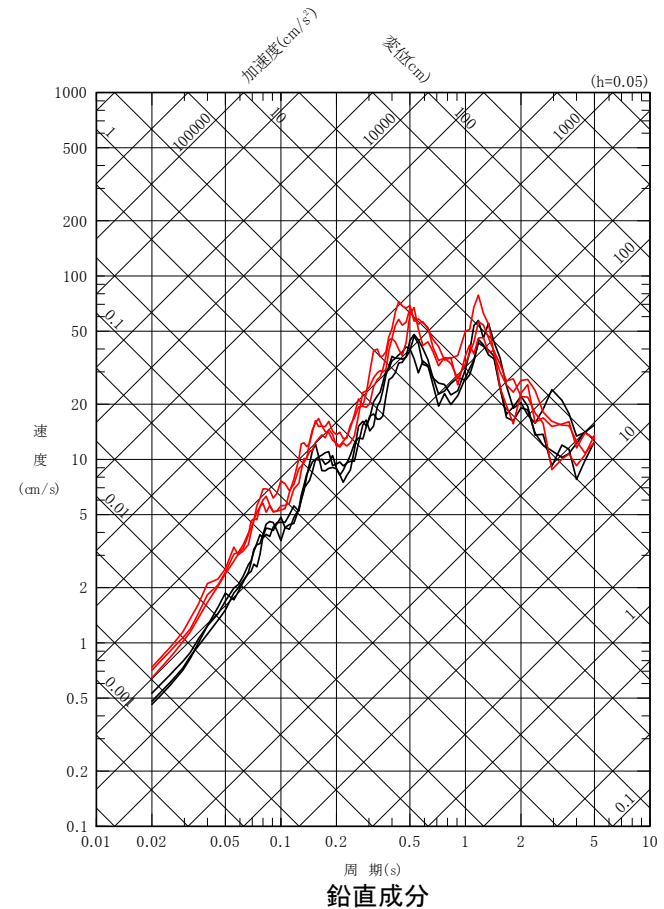
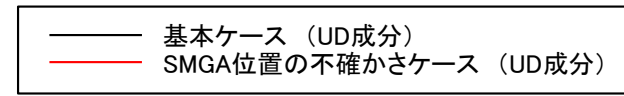
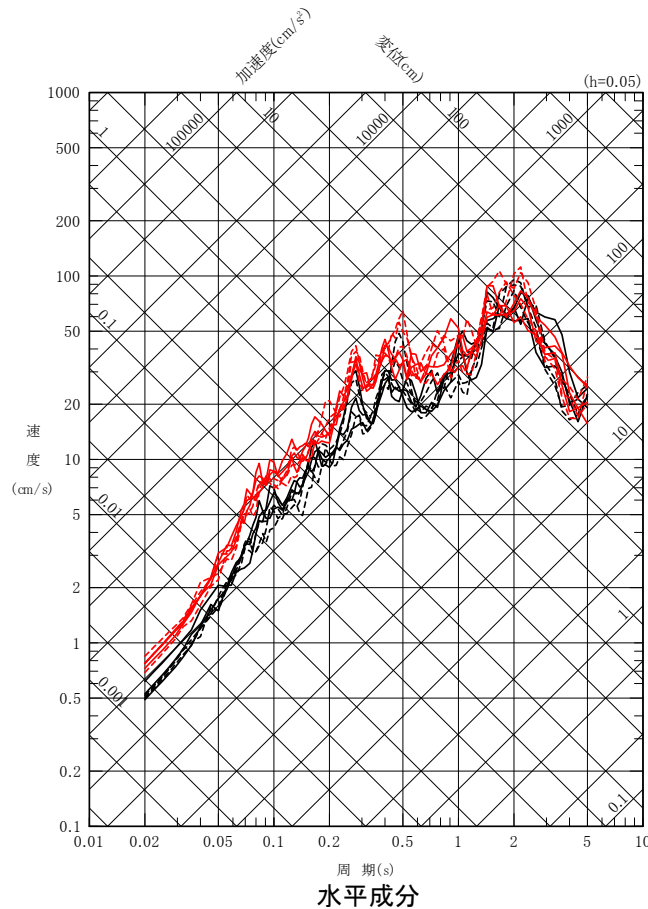
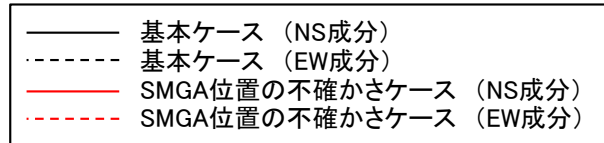
- 経験的グリーン関数法による地震動評価結果を示す。



2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(三陸沖北部～宮城県沖の連動)の地震動評価結果

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：三陸沖北部～根室沖の連動

- 経験的グリーン関数法による地震動評価結果を示す。



2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震(三陸沖北部～根室沖の連動)の地震動評価結果

(余白)

目次

1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の流れ
2. 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
 - (2) 敷地周辺の地震活動
 - (3) 敷地周辺における主な被害地震
 - (4) 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
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - 3.1 プレート間地震
 - (1) プレート間地震の地震動評価フロー
 - (2) 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の地震動評価
 - 3.2 海洋プレート内地震
 - (1) 海洋プレート内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - (3) 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 3.3 内陸地殻内地震
 - (1) 内陸地殻内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - (3) 隆起再現断層による地震
 - (4) 検討用地震の選定
 - (5) F-14断層による地震の地震動評価
 - (6) 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - (7) 隆起再現断層による地震の地震動評価
4. まとめ

3.2 海洋プレート内地震

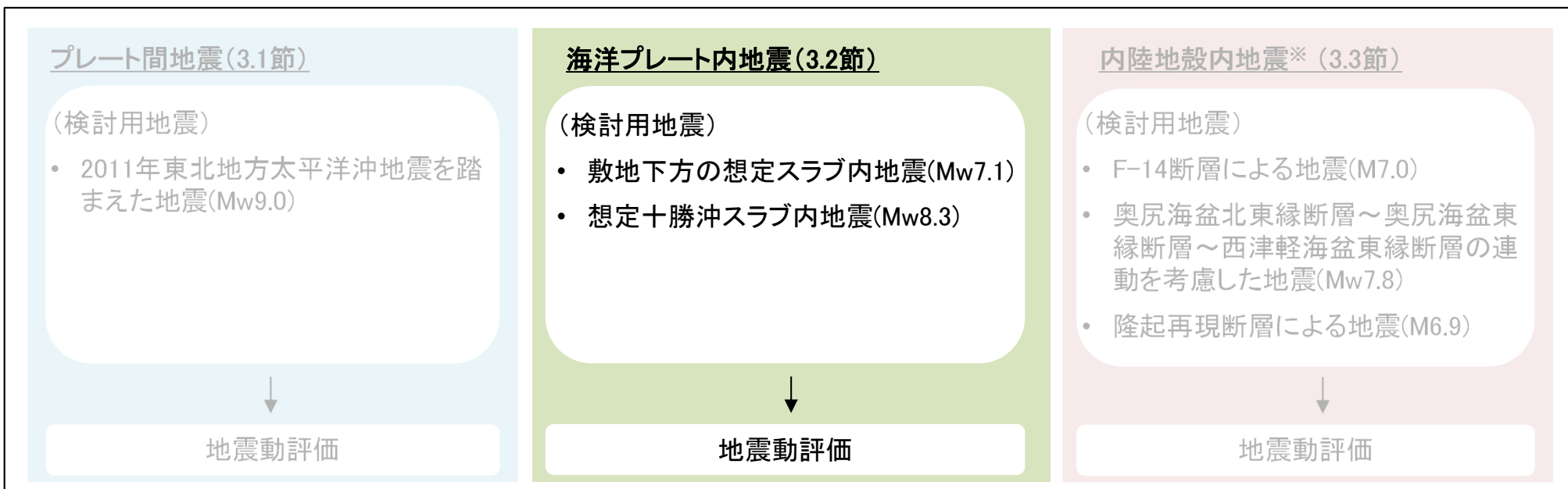
本節における説明箇所

敷地周辺の地震発生状況(2章)

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



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(3章)



※ 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。

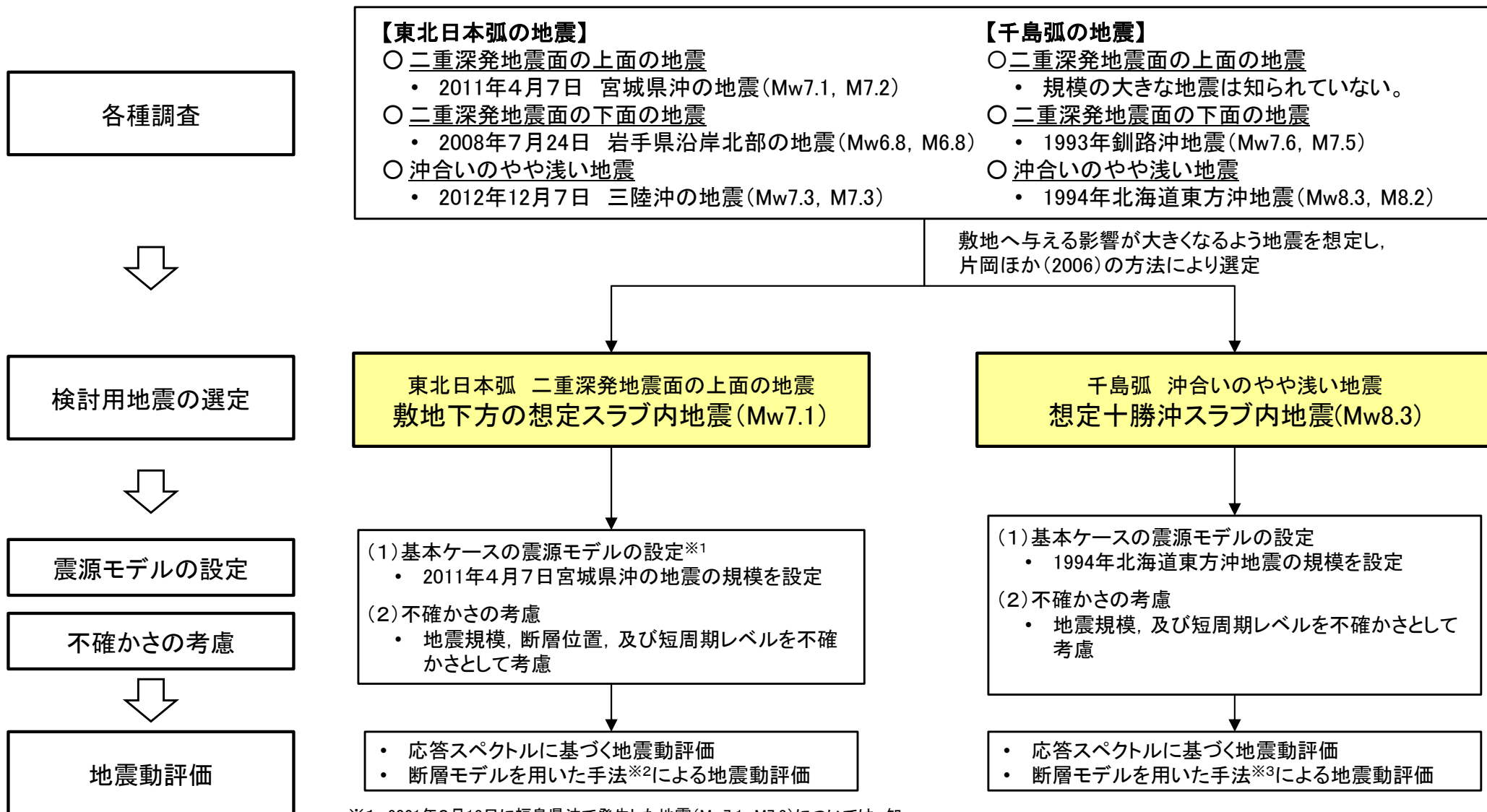


まとめ(4章)

- 検討用地震の地震動評価結果一覧

(1) 海洋プレート内地震の地震動評価フロー

- 海洋プレート内地震を対象とした地震動評価のフローを示す。
- 検討用地震として、「敷地下方の想定スラブ内地震」(Mw7.1)及び「想定十勝沖スラブ内地震」(Mw8.3)を選定する。



※1: 2021年2月13日に福島県沖で発生した地震(Mw7.1, M7.3)については、知見を整理中であり、今後の海洋プレート内地震の審査会合にて説明予定。
 ※2: 統計的グリーン関数法による。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。

※3: 経験的グリーン関数法による。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。

(2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価(1/4)

検討用地震の地震動評価(基本ケース)

- 東北日本弧の二重深発地震面の上面で発生した既往最大の地震を踏まえ、震源モデルを設定する。

■ 地震規模の設定※

東北日本弧の二重深発地震面上で発生した2011年4月7日宮城県沖の地震と同様のMw7.1(M7.2)を想定する。

■ 断層面の設定

2011年4月7日宮城県沖の地震を踏まえプレート上面との傾斜角が 60° の断層面を、海洋性マントル最上部に設定する。断層上端位置は、沈み込む海洋プレートに対して、敷地に最も近くなる位置(海洋性マントル上面に垂線を引いた位置)とする。

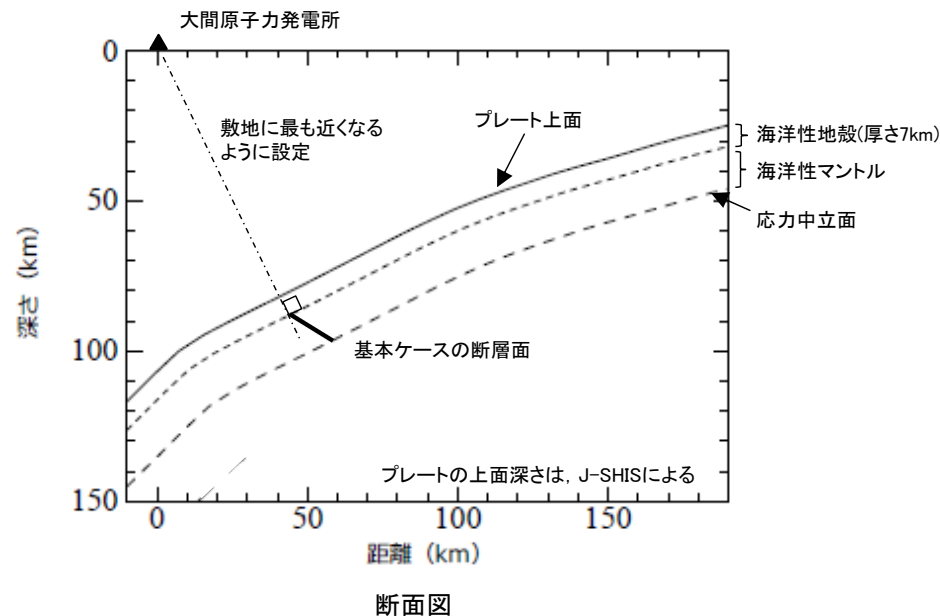
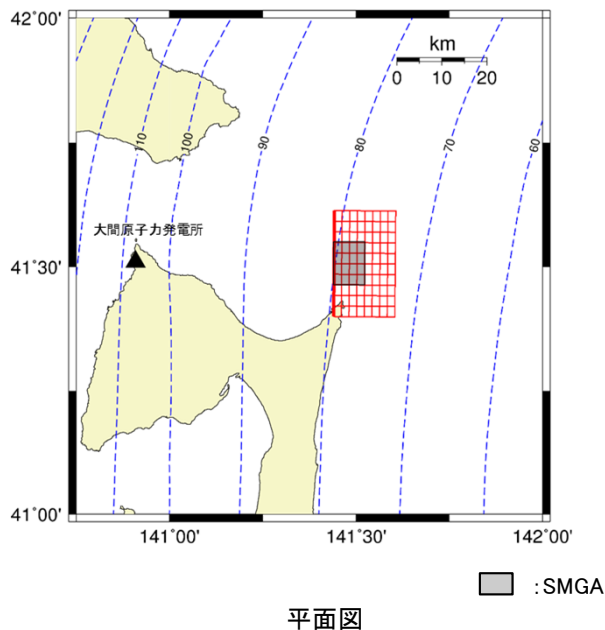
■ SMGA位置の設定

敷地に近づくように断層面上端の中央に設定。

■ 震源断層の各種諸元

強震動予測レシピに基づき設定。

※: 2021年2月13日に福島県沖で発生した地震(Mw7.1, M7.3)については、知見を整理中であり、今後の海洋プレート内地震の審査会合にて説明予定。



検討用地震の基本ケースの震源モデル

(2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価(2/4)



検討用地震の地震動評価(不確かさケース)

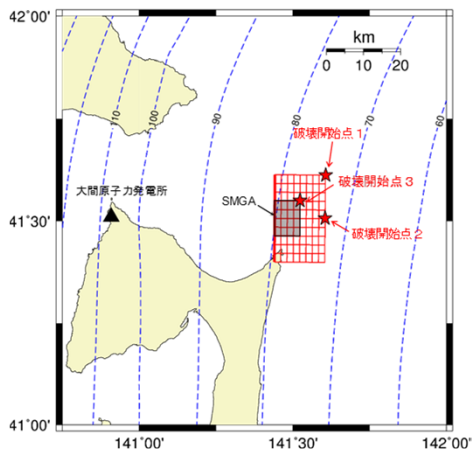
- 敷地下方の想定スラブ内地震の検討ケースを示す。

検討ケース一覧

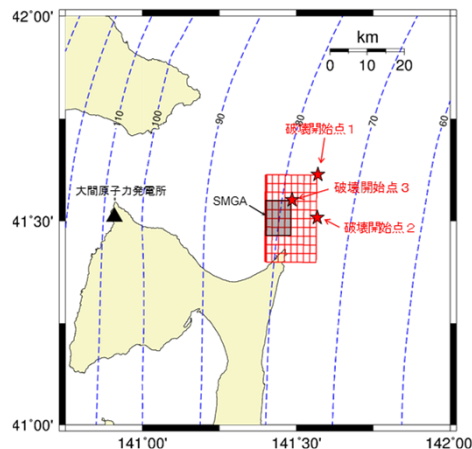
検討ケース	地震規模	断層面位置	短周期レベル(応力降下量)	SMGA位置	破壊開始点
基本ケース	Mw7.1 (M7.2)	断層面:敷地直近となる位置 (マントル上端~応力中立面)	強震動予測レシピ	敷地寄りに1個	複数設定
断層位置の不確かさケース	Mw7.1 (M7.2)	断層面:敷地直近となる位置 (海洋性地殻上端に配置)	強震動予測レシピ	敷地寄りに1個	複数設定
地震規模の不確かさケース	Mw7.4 (M7.5 ^{※1})	断層面:敷地直近となる位置 (マントル上端~応力中立面)	強震動予測レシピ	敷地寄りに2個	複数設定
短周期レベルの不確かさケース	Mw7.1 (M7.2)	断層面:敷地直近となる位置 (マントル上端~応力中立面)	強震動予測レシピ × 1.5倍 ^{※2}	敷地寄りに1個	複数設定

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

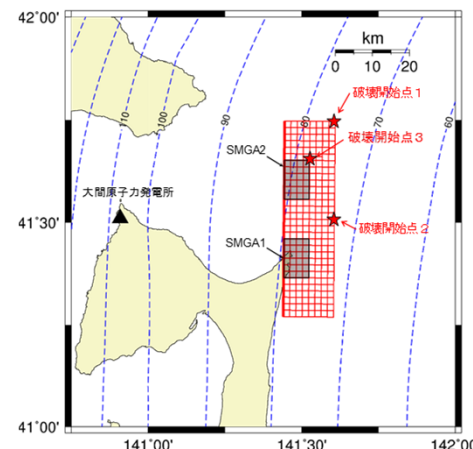
※1: 2011年4月7日宮城県沖の地震のM-Mw関係を踏まえ設定。
 ※2: 2011年4月7日宮城県沖の地震のMo-Aの関係から、強震動予測レシピの1.5倍とした。



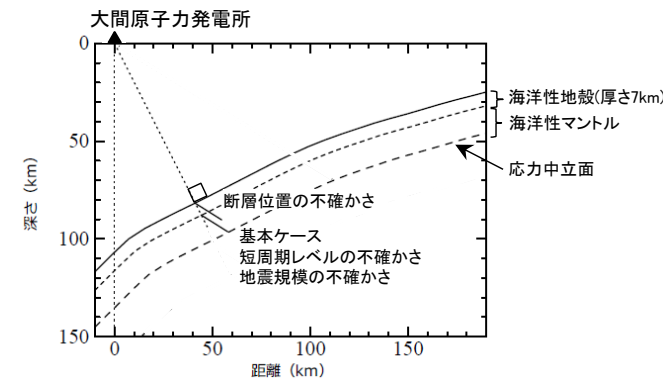
基本ケース
短周期レベルの不確かさケース



断層位置の不確かさケース



地震規模の不確かさケース



各ケースの断面図

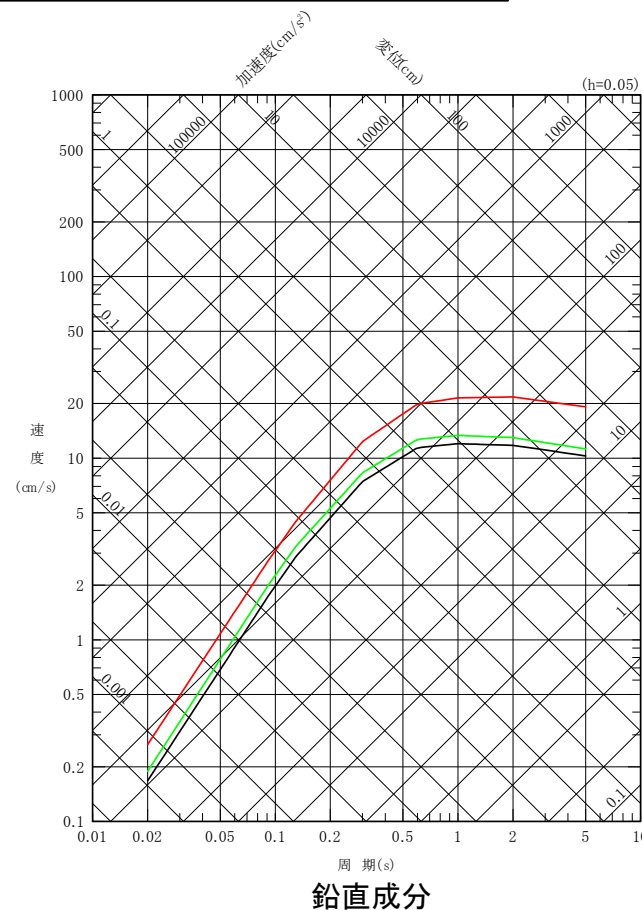
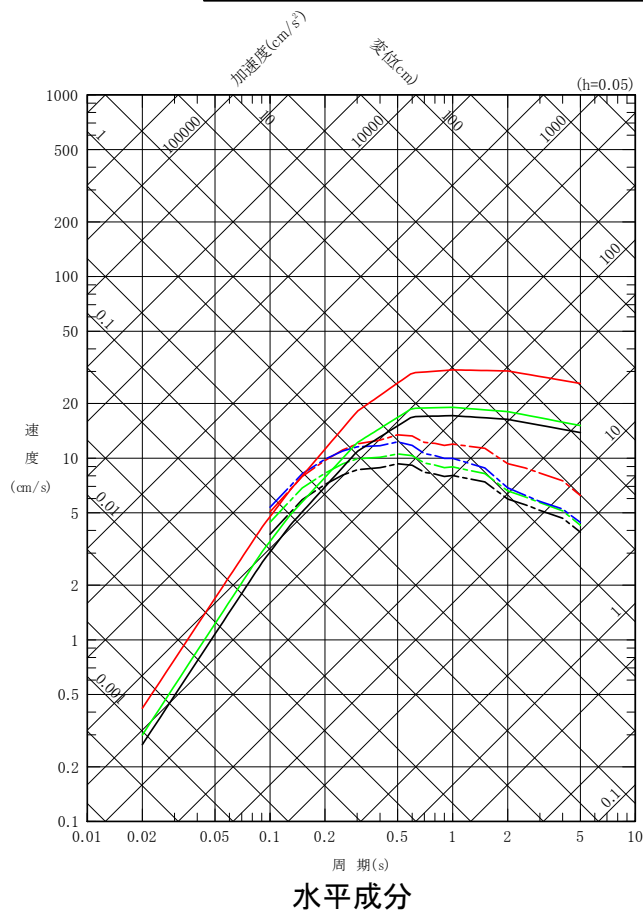
(2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価(3/4)



応答スペクトルに基づく地震動評価結果

- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価では、片岡ほか(2006)による方法、及びNoda et al.(2002)による方法により評価した。
- また、Noda et al.(2002)による方法では、敷地で得られた海洋プレート内地震の観測記録との残差を踏まえて評価した。

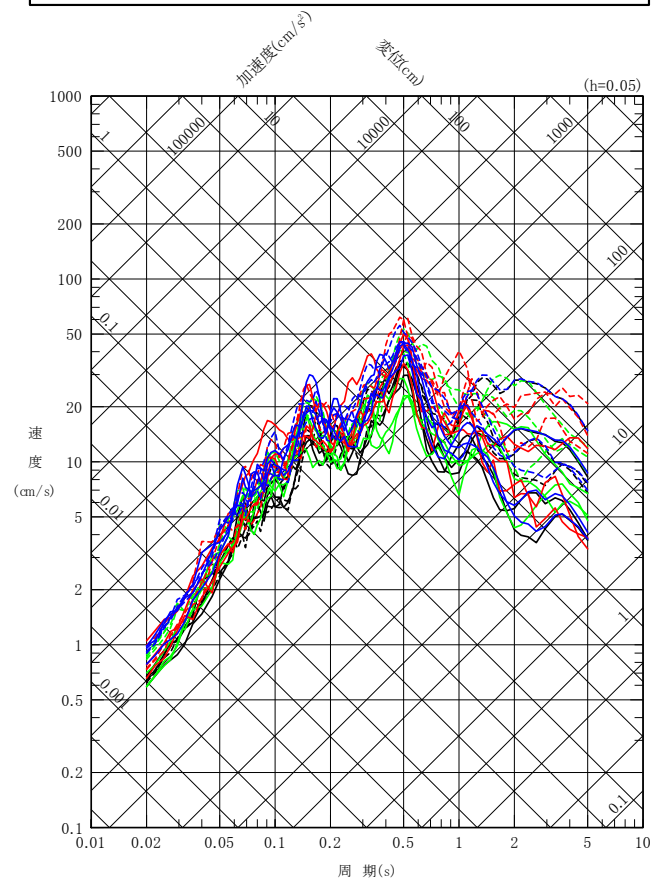
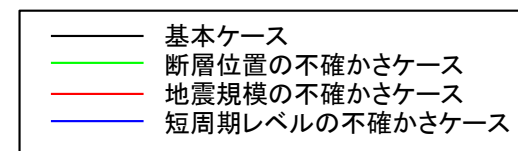
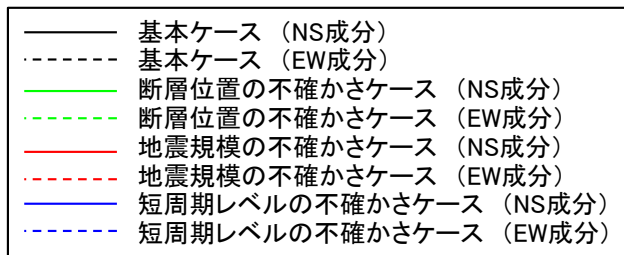
— 基本ケース(M7.2, Xeq=103km)	実線: Noda et al.(2002)による方法
— 断層位置の不確かさケース(M7.2, Xeq=96km)	一点鎖線: 片岡ほか(2006)による方法(水平成分のみ)
— 地震規模の不確かさケース(M7.5, Xeq=104km)	※: 片岡ほか(2006)のみ評価
— 短周期レベルの不確かさケース※	



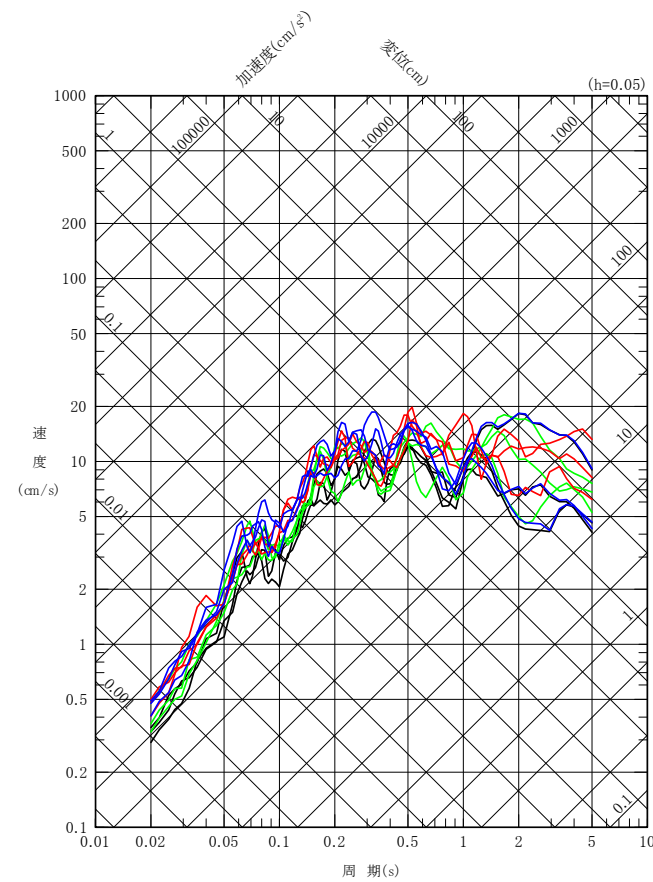
敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価結果

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

• 統計的グリーン関数法による地震動評価結果を示す。



水平成分



鉛直成分

敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価結果

検討用地震の地震動評価(基本ケース)

・ 千島弧の沖合のやや浅い領域で発生した既往最大の地震を踏まえ、震源モデルを設定する。

■ 地震規模の設定

千島弧の沖合のやや浅い領域で発生した1994年北海道東方沖地震と同様のMw8.3(M8.2)を想定する。

■ 断層面の設定

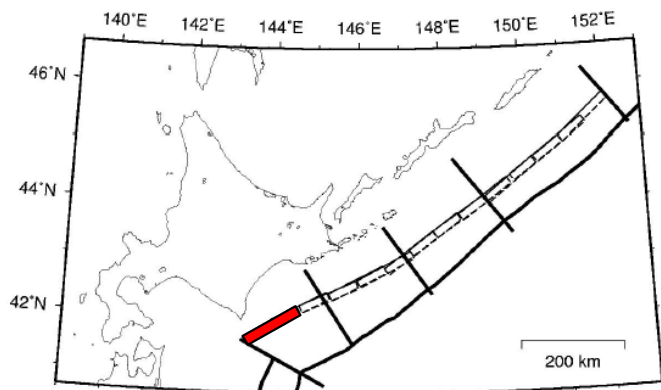
1994年北海道東方沖地震を踏まえ傾斜角75°で断層上端深さが20kmの断層面を設定する。断層位置は、地震調査研究推進本部(2009)の「沈み込んだ海洋プレート内のやや浅い地震」の設定を踏まえ、敷地に最も近い千島弧の西端位置とする。

■ SMGA位置の設定

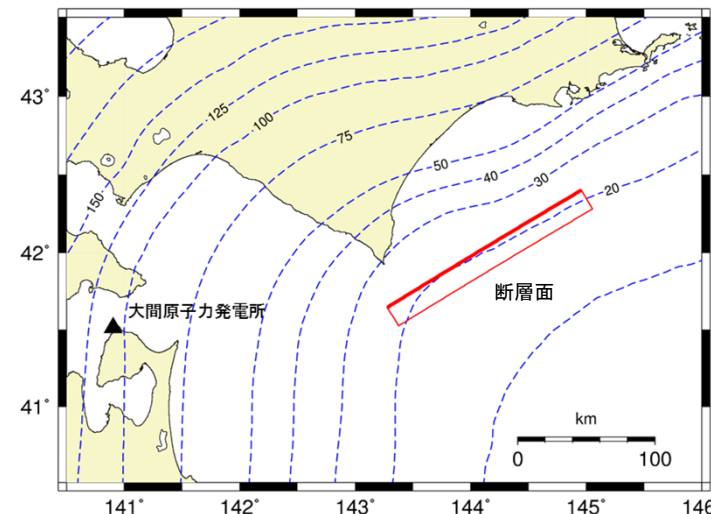
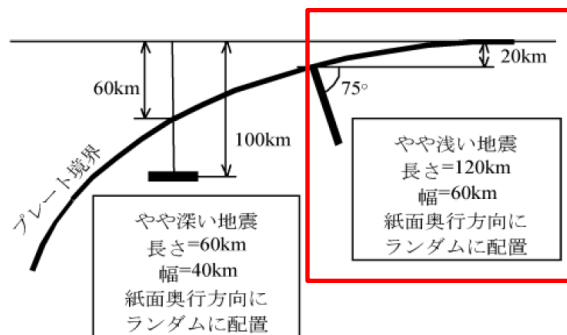
地震規模を踏まえSMGAは5個とし、これらを断層面内に均等に配置した上で、さらに敷地に近づくよう敷地寄りに移動した位置に設定する。

■ 震源断層の各種諸元

強震動予測レシピに基づき設定する。



■ : 地震調査研究推進本部(2009)における断層の西端位置



地震調査研究推進本部における千島弧の「沈み込んだ海洋プレート内のやや浅い地震」の想定震源域

(地震調査研究推進本部(2009)に一部加筆)

検討用地震の基本ケースの震源モデル

(3)想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価(2/4)



検討用地震の地震動評価(不確かさケース)

- 想定十勝沖スラブ内地震の検討ケースを示す。

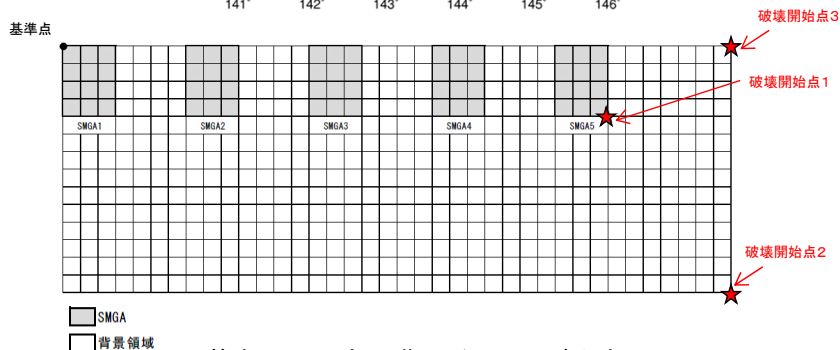
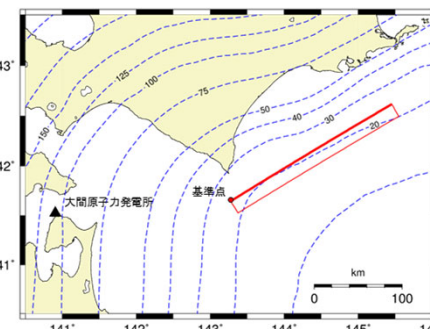
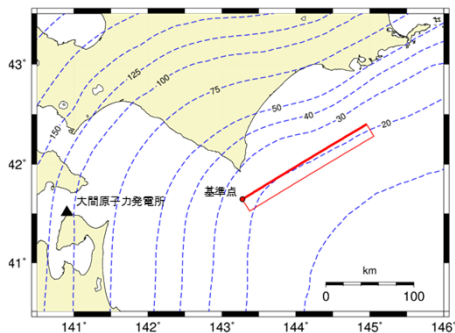
検討ケース一覧

検討ケース	地震規模	断層面位置	短周期レベル(応力降下量)	SMGA位置	破壊開始点
基本ケース	Mw8.3 (M8.2)	千島弧の西端位置	強震動予測レシビ ^o	敷地寄りに5個	複数設定
地震規模の不確かさケース	Mw8.4 (M8.4※1)	千島弧の西端位置	強震動予測レシビ ^o	敷地寄りに5個	複数設定
短周期レベルの不確かさケース	Mw8.3 (M8.2)	千島弧の西端位置	強震動予測レシビ ^o × 2.0倍※2	敷地寄りに5個	複数設定

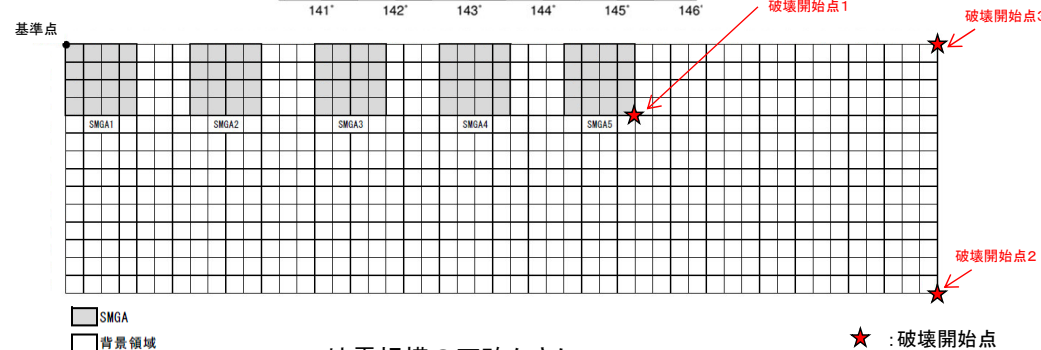
: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ
 : 偶然的な不確かさとして考慮するパラメータ

※1 : 地震調査研究推進本部(2017)のM=Mwの想定を踏まえ設定。

※2 : 1994年北海道東方沖地震のM₀-Aの関係から、強震動予測レシビの2.0倍とした。



基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース



地震規模の不確かさケース

★ : 破壊開始点

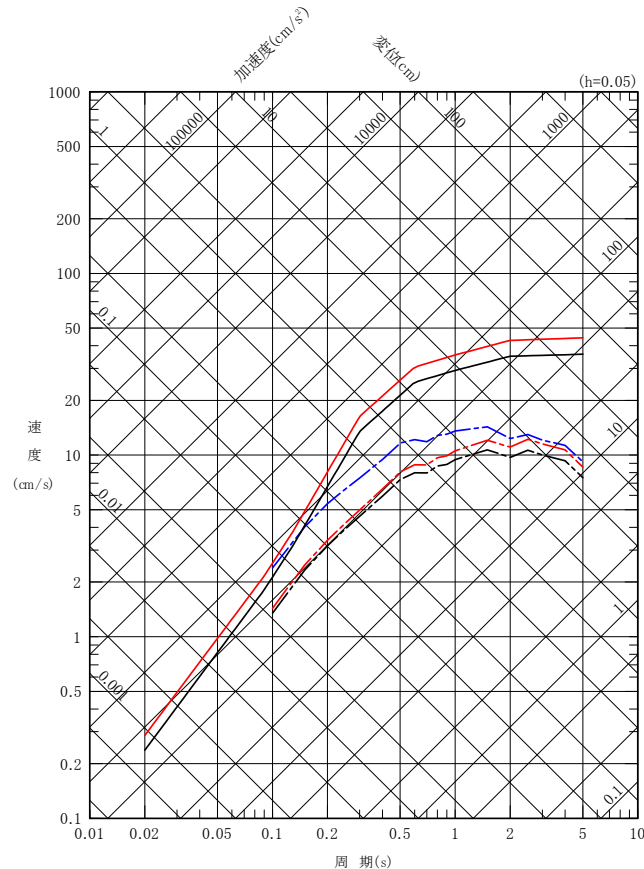
(3)想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価(3/4)

応答スペクトルに基づく地震動評価結果

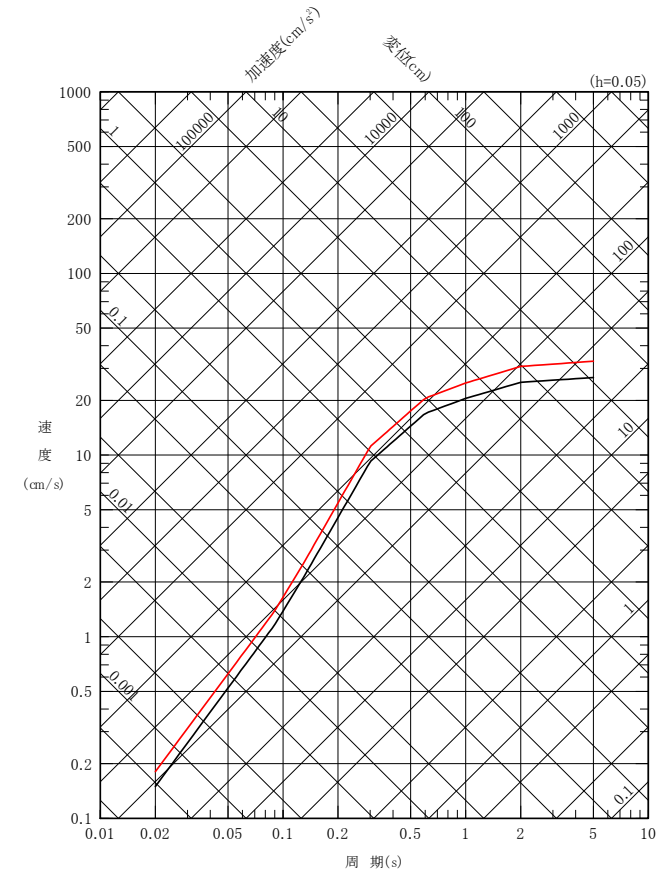
- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価では、片岡ほか(2006)による方法、及びNoda et al.(2002)による方法により評価した。
- また、Noda et al.(2002)による方法では、敷地で得られた海洋プレート内地震の観測記録との残差を踏まえて評価した。

— 基本ケース(M8.2, $X_{eq}=265\text{km}$)
 — 地震規模の不確かさケース(M8.4, $X_{eq}=273\text{km}$)
 — 短周期レベルの不確かさケース※

実線: Noda et al.(2002)による方法
 一点鎖線: 片岡ほか(2006)による方法(水平成分のみ)
 ※: 片岡ほか(2006)のみ評価



水平成分

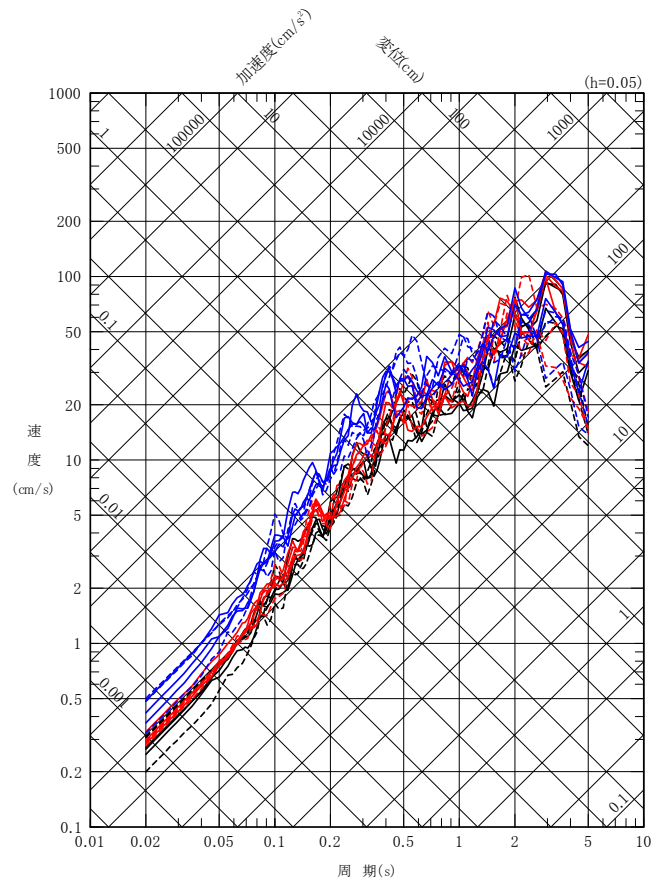
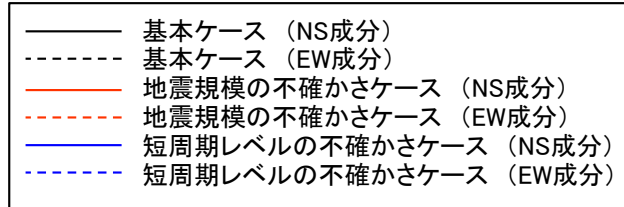


鉛直成分

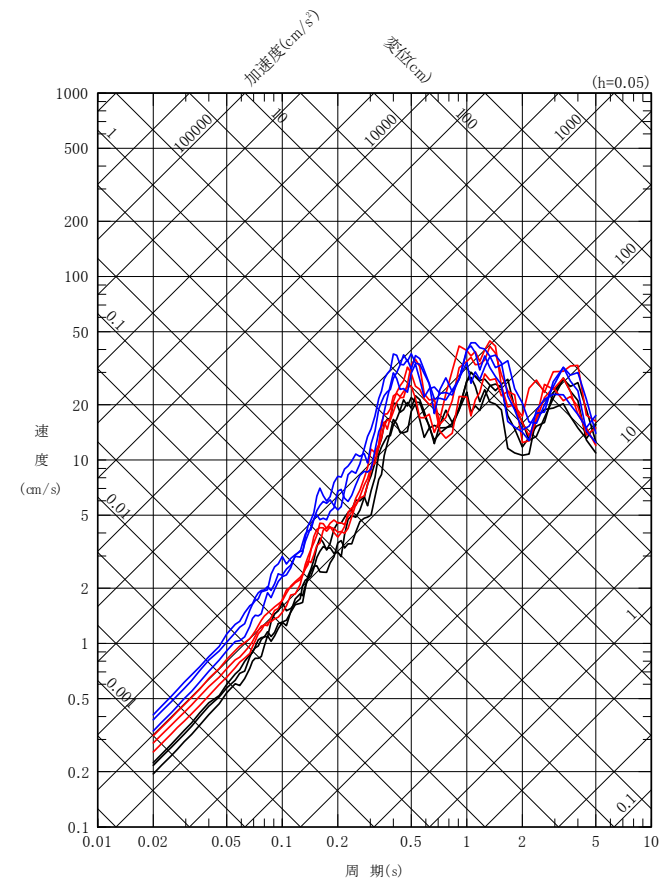
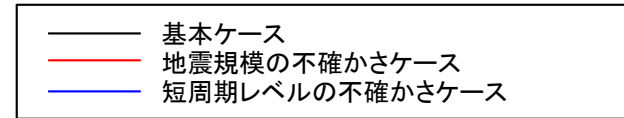
想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価結果

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

- 経験的グリーン関数法による地震動評価結果を示す。



水平成分



鉛直成分

(余白)

目次

1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の流れ
2. 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
 - (2) 敷地周辺の地震活動
 - (3) 敷地周辺における主な被害地震
 - (4) 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
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - 3.1 プレート間地震
 - (1) プレート間地震の地震動評価フロー
 - (2) 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の地震動評価
 - 3.2 海洋プレート内地震
 - (1) 海洋プレート内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - (3) 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 3.3 内陸地殻内地震
 - (1) 内陸地殻内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - (3) 隆起再現断層による地震
 - (4) 検討用地震の選定
 - (5) F-14断層による地震の地震動評価
 - (6) 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - (7) 隆起再現断層による地震の地震動評価
4. まとめ

3.3 内陸地殻内地震

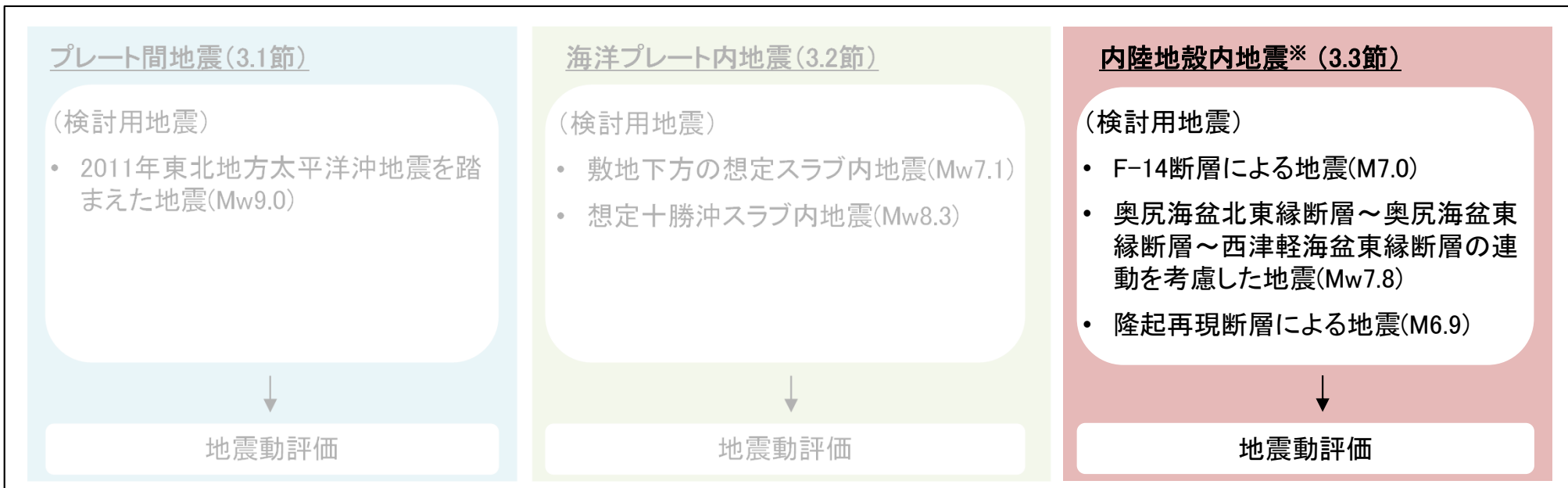
本節における説明箇所

敷地周辺の地震発生状況(2章)

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



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(3章)



※ 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。



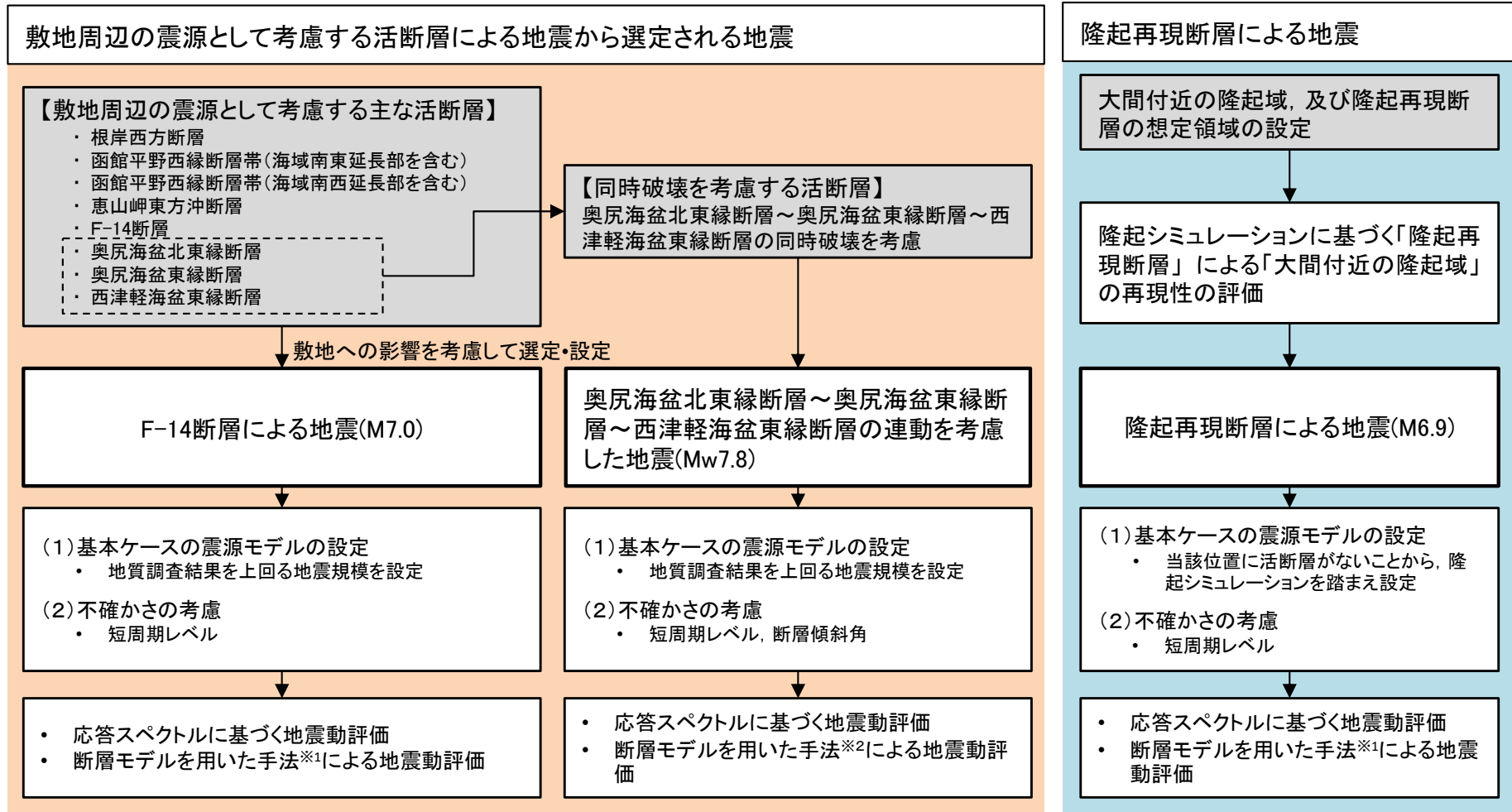
まとめ(4章)

- 検討用地震の地震動評価結果一覧



(1) 内陸地殻内地震の地震動評価フロー

- ・ 内陸地殻内地震を対象とした地震動評価フローを示す。
- ・ 検討用地震として、敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震に加え、隆起再現断層による地震を検討用地震に選定する。
- ・ なお、隆起再現断層による地震は、広域的な隆起のうち敷地に近い大間付近に仮想的な隆起域を設定し、その領域を説明する仮想的な活断層を、震源として考慮する活断層として想定し、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の対象として耐震設計上の保守性を考慮するものである。



※1: 統計的グリーン関数法と理論的手法のハイブリッド合成法による。統計的グリーン関数法の波形合成は、入倉ほか(1997)、理論的手法はHisada(1994)を用いる。
 ※2: 経験的グリーン関数法による。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。

第922回までの敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造に係る審査会合において審議済みであり、地震動の審査に引き継ぐ事項。

(2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震(1/4)

第922回審査会合
資料1-1P.9-3 一部修正



1) 敷地周辺の震源として考慮する活断層の分布

- 地質調査結果を踏まえ、敷地周辺の震源として考慮する活断層を以下に示す。
- 孤立した長さの短い活断層については、同じ地震規模(M7.0)を考慮するため、敷地に最も近い「F-14断層による地震」で代表させる。
- なお、奥尻海盆北東縁断層、奥尻海盆東縁断層、及び西津軽海盆東縁断層は、日本海東縁部に位置しているが、内陸地殻内地震と日本海東縁部の地震は、いずれも活断層・褶曲帯との関連性があり、震源深さが浅く、また、独立行政法人 防災科学技術研究所(現 国立研究開発法人 防災科学技術研究所)が中心となって行われたひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクトにおいて震源特性の類似性が指摘されていることから、ここでは、日本海東縁部の地震を内陸地殻内地震として取り扱う。

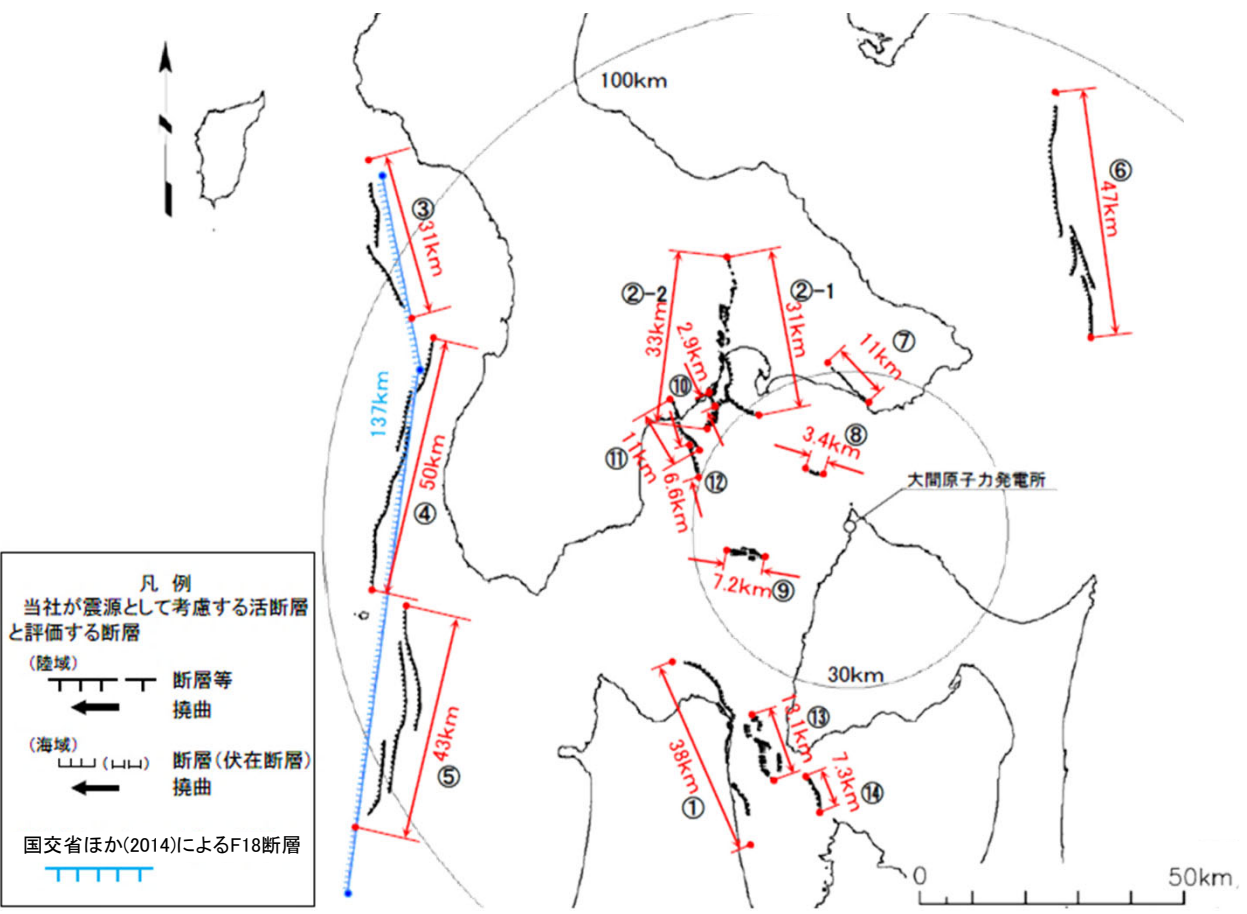


表 敷地周辺の震源として考慮する活断層の諸元

No.	断層名	評価長さ ^{※3} (km)	地震規模 M	震央距離 ^{※3} (km)	備考 ^{※3}
①	根岸西方断層	38	7.5 ^{※1}	50	
②-1	函館平野西縁断層帯(海域南東延長部を含む)	31	7.3 ^{※1}	42	
②-2	函館平野西縁断層帯(海域南西延長部を含む)	33	7.4 ^{※1}	43	
③	奥尻海盆北東縁断層	31	7.3 ^{※1}	103	同時破壊を否定できないものとし、国交省ほか(2014)によるF18断層の位置で評価する。
④	奥尻海盆東縁断層	50	7.7 ^{※1}	86	(評価長さ137km)(震央距離 92km)
⑤	西津軽海盆東縁断層	43	7.6 ^{※1}	96	
⑥	恵山岬東方冲断層	47	7.6 ^{※1}	73	
⑦	清水山南方断層	11	7.0 ^{※2}	28	
⑧	F-14断層	3.4	7.0 ^{※2}	12	
⑨	敷地西方冲断層	7.2	7.0 ^{※2}	20	
⑩	F-5断層	2.9	7.0 ^{※2}	35	
⑪	F-8断層	11	7.0 ^{※2}	37	
⑫	F-9断層	6.6	7.0 ^{※2}	32	
⑬	F-28断層~F-31断層	13.1	7.0 ^{※2}	44	
⑭	F-33断層	7.3	7.0 ^{※2}	50	

グレー部分は、孤立した短い活断層を示し、赤字は、検討用地震の選定候補の地震を示す。
 ※1 断層長さから松田(1975)により算定。
 ※2 地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ を設定し、武村(1990)により算定。
 ※3 諸元は、第922回審査会合 資料1-1P.9-3を参照。震央距離は、断層評価点の midpoint から敷地までの距離。

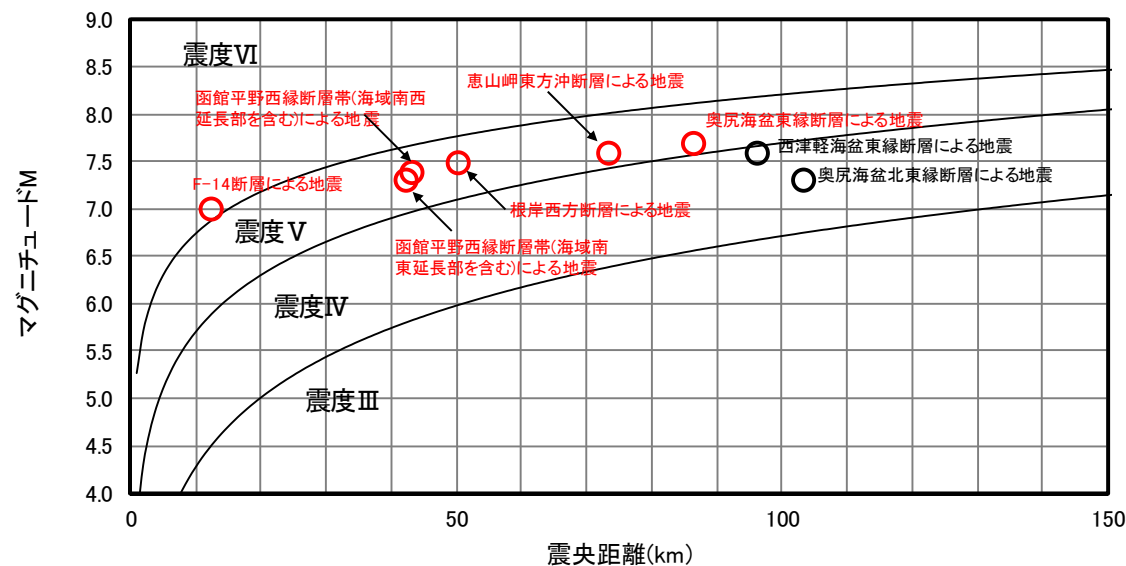
敷地周辺の震源として考慮する活断層の分布

(2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震(2/4)



2) 敷地に大きな影響を与えると考えられる活断層による地震の選定

- 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。
- 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)程度以上のものを選定。
- 以上より、敷地に大きな影響を与えると考えられる地震は、以下の6地震が挙げられる。
 - 根岸西方断層による地震
 - 函館平野西縁断層帯(海域南東延長部を含む)
 - 函館平野西縁断層帯(海域南西延長部を含む)
 - 奥尻海盆東縁断層による地震
 - 恵山岬東方沖断層による地震
 - F-14断層による地震



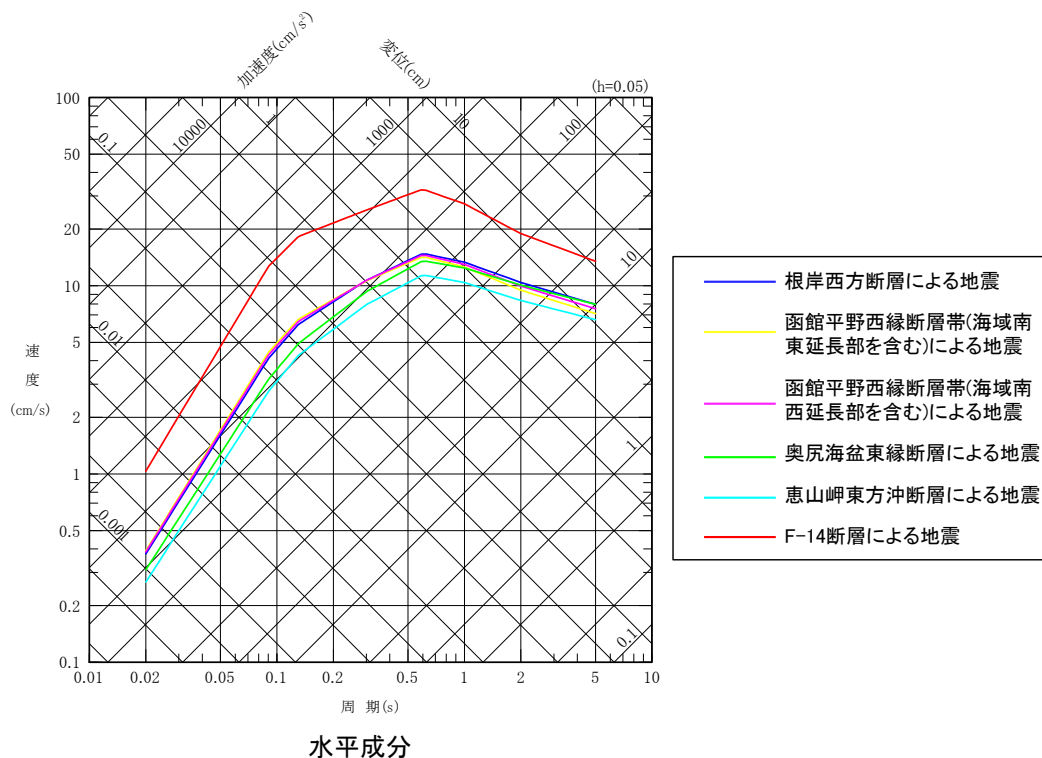
M-Δ図による評価

(赤は、敷地に大きな影響を与えると考えられる活断層による地震を表す)



3) Noda et al.(2002) の方法による検討用地震の選定

- 前頁に示した6地震について, Noda et al.(2002)の方法により, 応答スペクトルの比較を行った。
- 敷地に最も大きな影響を与えると考えられる活断層による地震としてF-14断層による地震を検討用地震に選定する。



検討用地震の選定に用いた活断層の諸元

断層名	地震規模 M	等価震源距離※ (km)
根岸西方断層	7.5	54
函館平野西縁断層帯(海域南東延長部を含む)	7.3	44
函館平野西縁断層帯(海域南西延長部を含む)	7.4	48
奥尻海盆東縁断層	7.7	77
恵山岬東方沖断層	7.6	78
F-14断層	7.0	16

※ 等価震源距離は, 一様な矩形断層を想定し算定。

Noda et al.(2002)による検討用地震の選定(地震基盤, 内陸補正なし)

(2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震(4/4)



4) 連動を考慮する活断層

- 第817回の敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造調査の審査会合(2019年12月20日実施)を踏まえ、奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震を検討用地震として選定する。

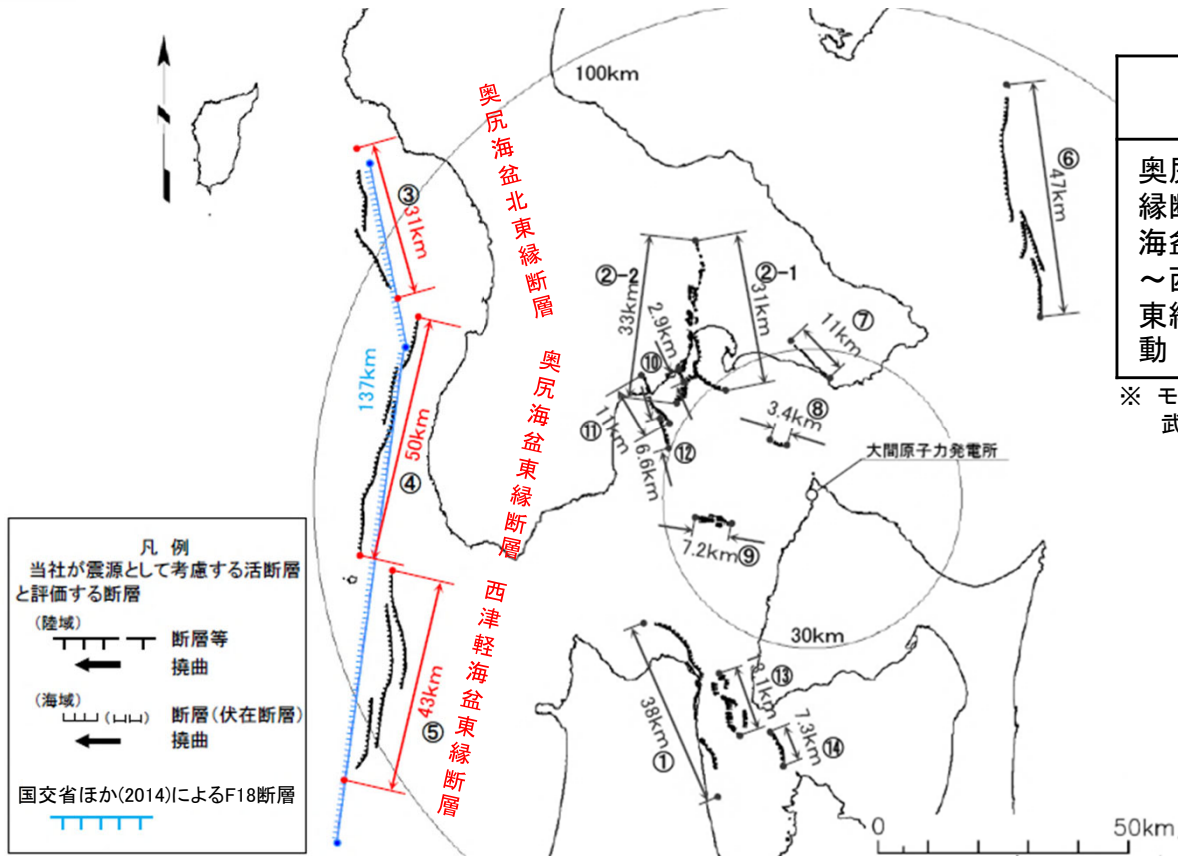


表 連動を考慮する活断層の諸元

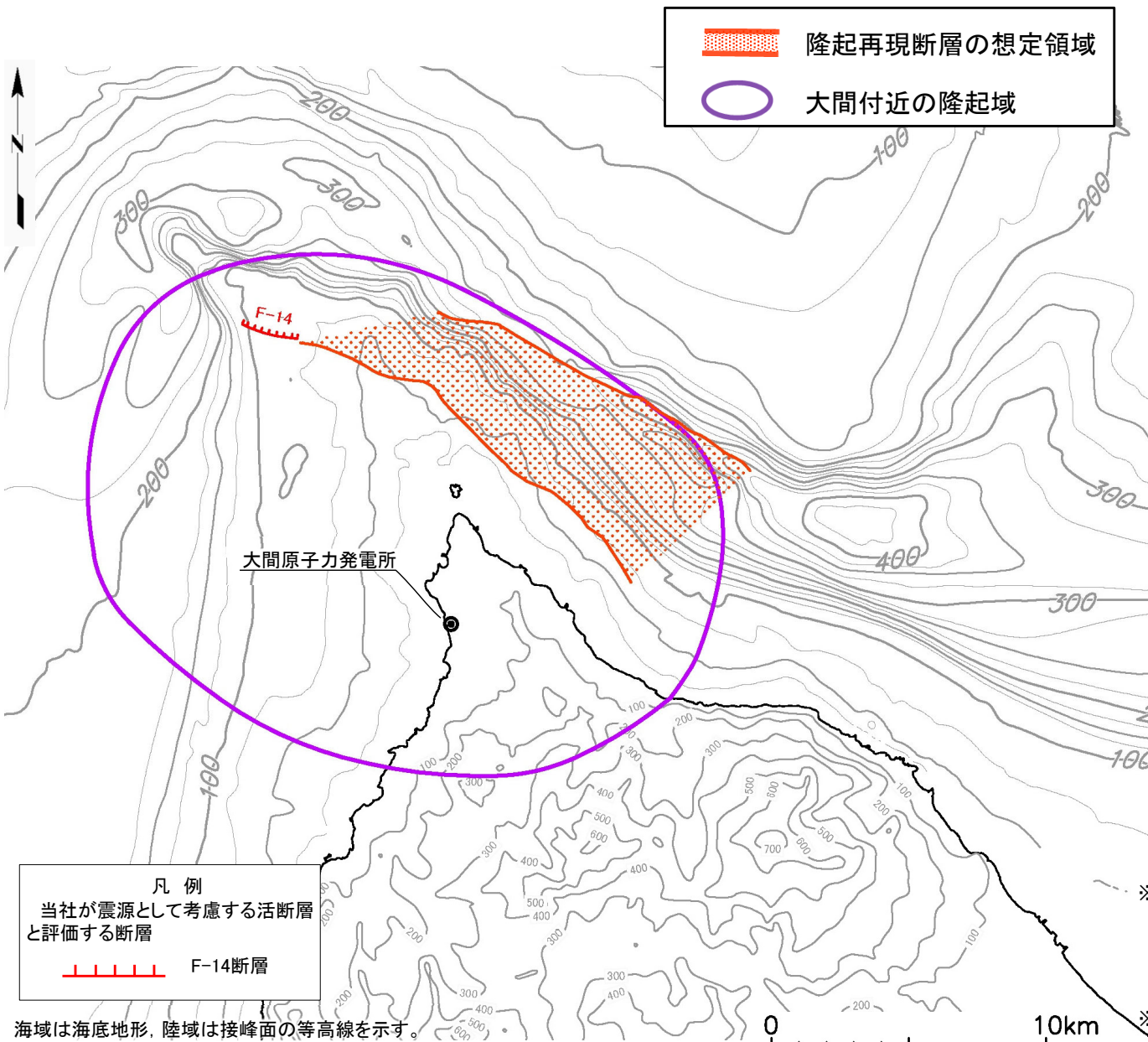
断層名	評価長さ (km)	地震規模	震央距離 (km)	備考
奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動	137	Mw7.8※	92	同時破壊を否定できないものとし、国交省ほか(2014)によるF18断層の位置で評価する。

※ モーメントマグニチュードMwは、断層長さ、及び断層幅を踏まえて評価。なお、当該断層は松田(1975)、武村(1990)の外挿となるため、適切にMを評価できない。

敷地周辺の震源として考慮する活断層のうち、連動を考慮する活断層の位置
(活断層の番号は、P.40の表を参照)

(3) 隆起再現断層による地震

大間付近の隆起域と隆起再現断層の想定領域



- ・ 下北半島西部の広域的な隆起のうち、敷地に近い大間付近に仮想的な隆起域(「大間付近の隆起域」)を設定し、その隆起域を説明する仮想的な活断層(隆起再現断層)を、隆起域の縁辺に分布するF-14断層を起点とした地表トレースを想定しうる領域(「隆起再現断層の想定領域」として評価する。
- ・ しかしながら、「大間付近の隆起域」は主に現在の地形発達過程に基づいて設定し、「隆起再現断層の想定領域」は主に後期更新世以降の活動が認められない地質構造に基づいて設定することになるため、「隆起再現断層の想定領域」に地表トレースを設定する隆起再現断層が、必ずしも「大間付近の隆起域」を再現できるとは限らない。
- ・ 「審査ガイド」では、“調査結果や地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価”※1、“累積的な変位を説明する適切な地殻変動を検討する必要”※2が要求されていることから、隆起再現断層による「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性を確認し、成立性が担保される条件によって震源モデルを設定することが不可欠である。
- ・ そこで、「隆起再現断層の想定領域」に地表トレースを設定する隆起再現断層の隆起シミュレーションにより、「大間付近の隆起域」の規模・配置及びその隆起域における海成段丘面の隆起速度分布の再現性により、隆起再現断層の地下の構造(傾斜、アスペリティ)が満たすべき条件と、その地表トレースが許容される領域(「地表出現領域」)を評価し、これを満たすものを、「隆起再現断層」として扱うこととする。

※1 「審査ガイド」2.2(2): “将来活動する可能性のある断層等が疑われる地表付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、個別の痕跡のみにとらわれず、その起因となる地下の震源断層を想定して調査が実施されていること...。それらの調査結果や地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価が行われていることを確認する。”

※2 「審査ガイド」2.2解説(5): “顕著な海岸隆起によって累積的な変位が認められる地域では、弾性波探査によって断層が確認されない場合でも、これをもって直ちに活断層の存在を否定せず、累積的な変位を説明する適切な地殻変動を検討する必要がある。”

(4) 検討用地震の選定



内陸地殻内地震の検討用地震として、以下の地震を選定する。

敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震

- 敷地に対して影響の大きい地震として以下の地震を選定する。
 - F-14断層による地震
 - 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震

隆起再現断層による地震

- 大間付近に仮想的な隆起域を設定し、その領域を説明する仮想的な活断層による地震を、耐震設計上の保守性を考慮する地震として、以下の地震を選定する。
 - 隆起再現断層による地震

(5) F-14断層による地震の地震動評価(1/4)

検討用地震の地震動評価(基本ケース)

■地質調査結果

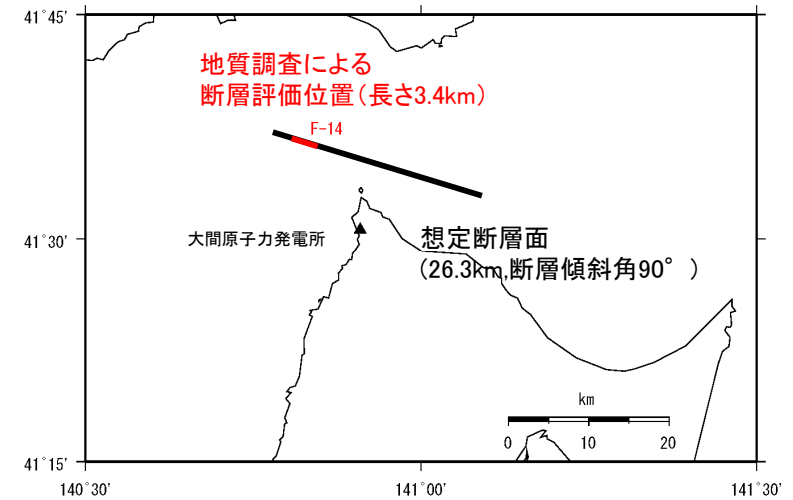
- F-14断層は、地質調査結果によると、長さ3.4kmの断層である。
- 走向は東南東-西北西、傾斜角は鉛直から高角北傾斜、現在の東西圧縮応力場において左横ずれ断層と想定される。

■断層面の設定

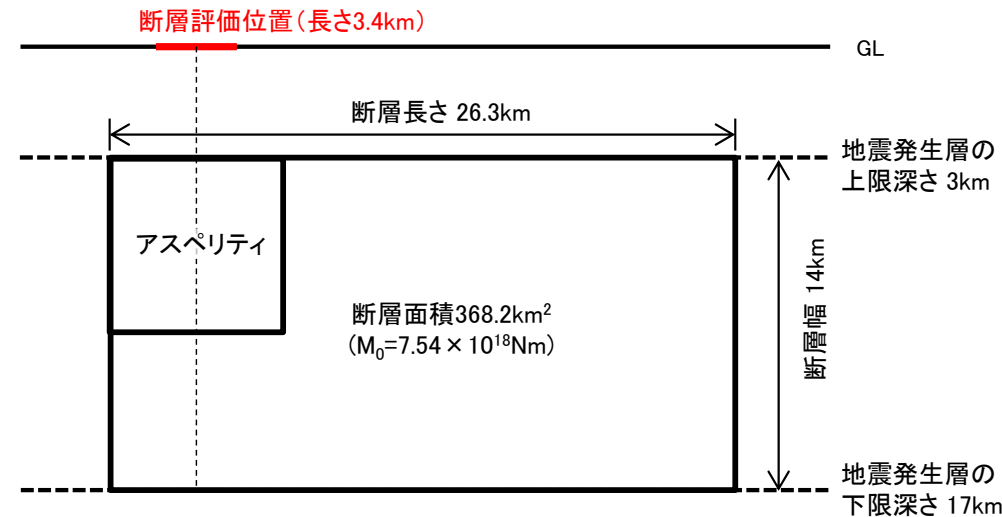
- 孤立した短い断層として、地震モーメント $7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ 相当の断層面積 368km^2 を上回る断層面を想定する。
- 断層傾斜角は、地質調査結果を踏まえ 90° とする。
- 断層幅は、敷地前面海域における地震発生層上限深さ3km、下限深さ17kmを傾斜角を考慮して飽和した値として、14kmとする。
- 断層長さは、上記断層傾斜角、断層面積、断層幅を踏まえ、26.3kmとする。

■アスペリティの配置

- 断層評価位置の中心とアスペリティの中心が一致するように1つ配置する。



平面図



断面図

基本震源モデルの設定

(5) F-14断層による地震の地震動評価(2/4)

検討用地震の地震動評価(不確かさケース)

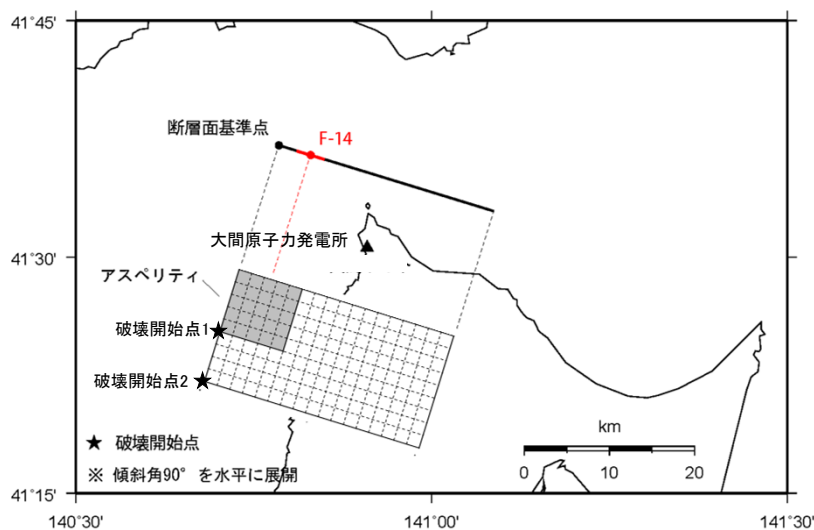
- F-14断層による地震の検討ケースを示す。

検討ケース一覧

検討ケース	地震規模	断層傾斜角(°)	短周期レベル(応力降下量)	アスペリティ位置	破壊開始点
基本ケース	M7.0	90	強震動予測レシピ	痕跡直下の断層上端位置	複数設定
短周期レベルの不確かさケース	M7.0	90	強震動予測レシピ × 1.5倍	痕跡直下の断層上端位置	複数設定

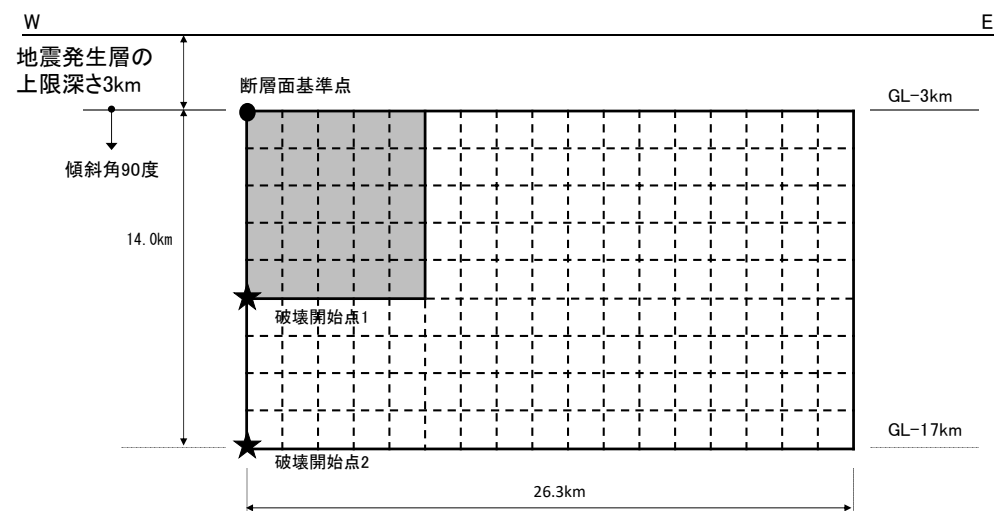
: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

: 偶然的不確かさとして考慮するパラメータ



平面図

基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース



展開図

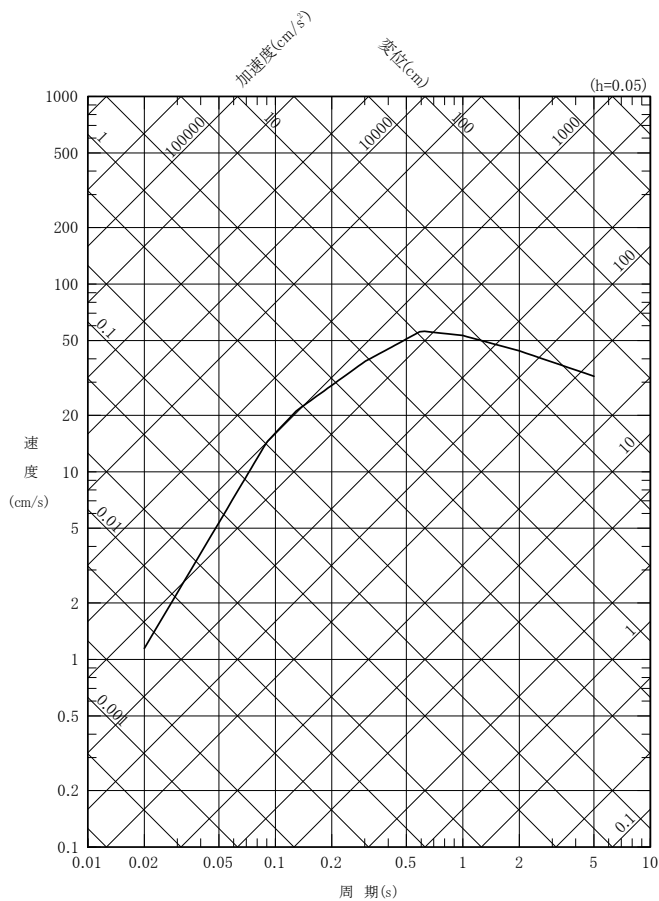
基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース

(5) F-14断層による地震の地震動評価(3/4)

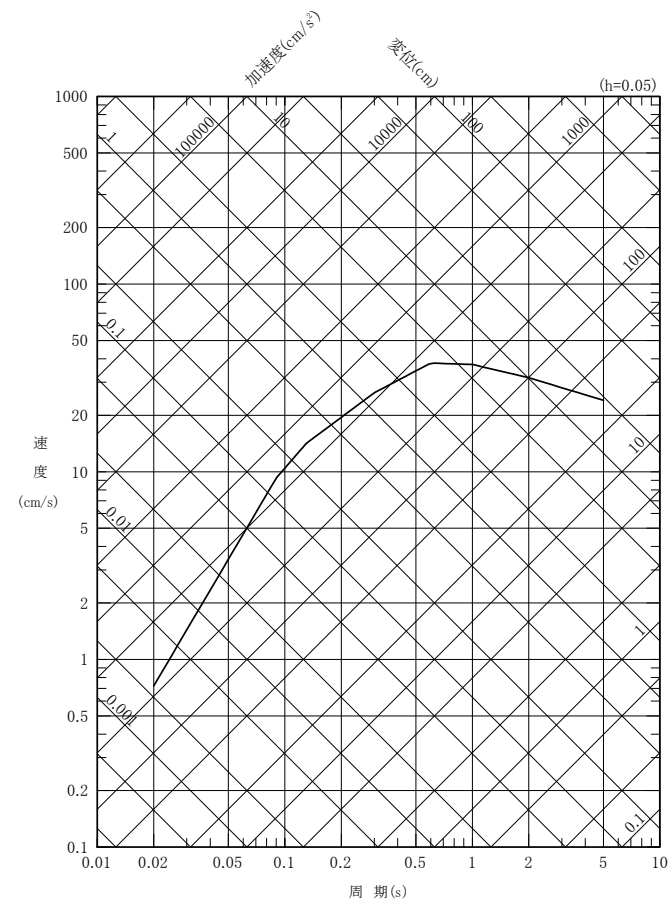
応答スペクトルに基づく地震動評価結果

- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- 応答スペクトルに基づく手法として, Noda et al.(2002)による方法(内陸補正なし)を示す。

—— 基本ケース (M7.0, Xeq=14.3km)



水平成分

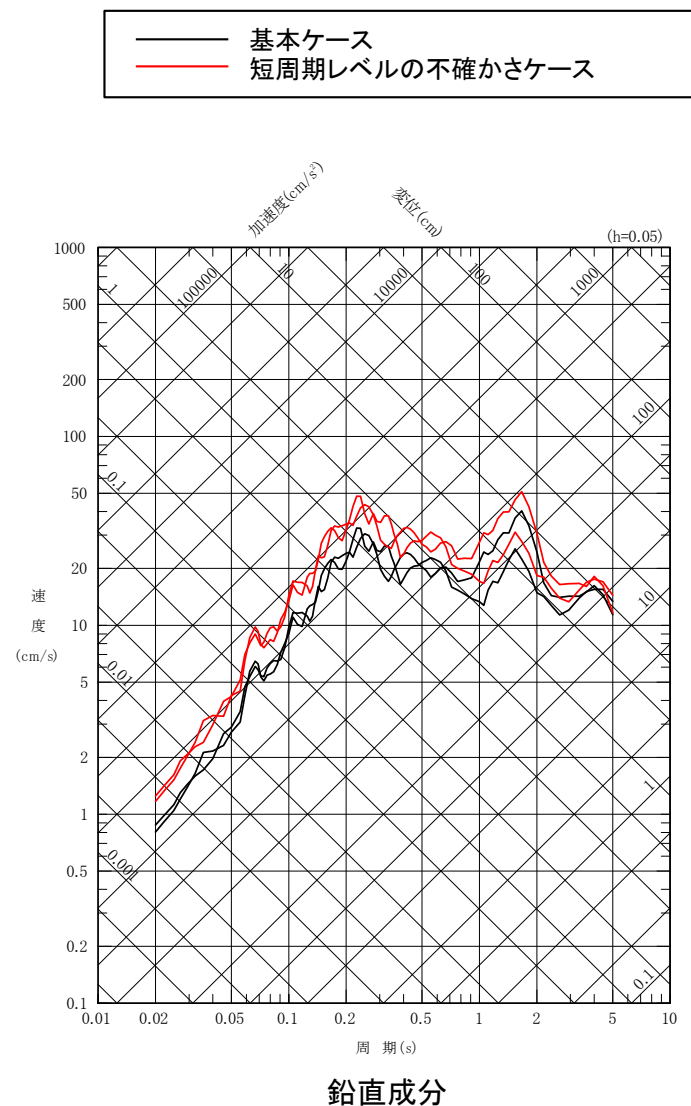
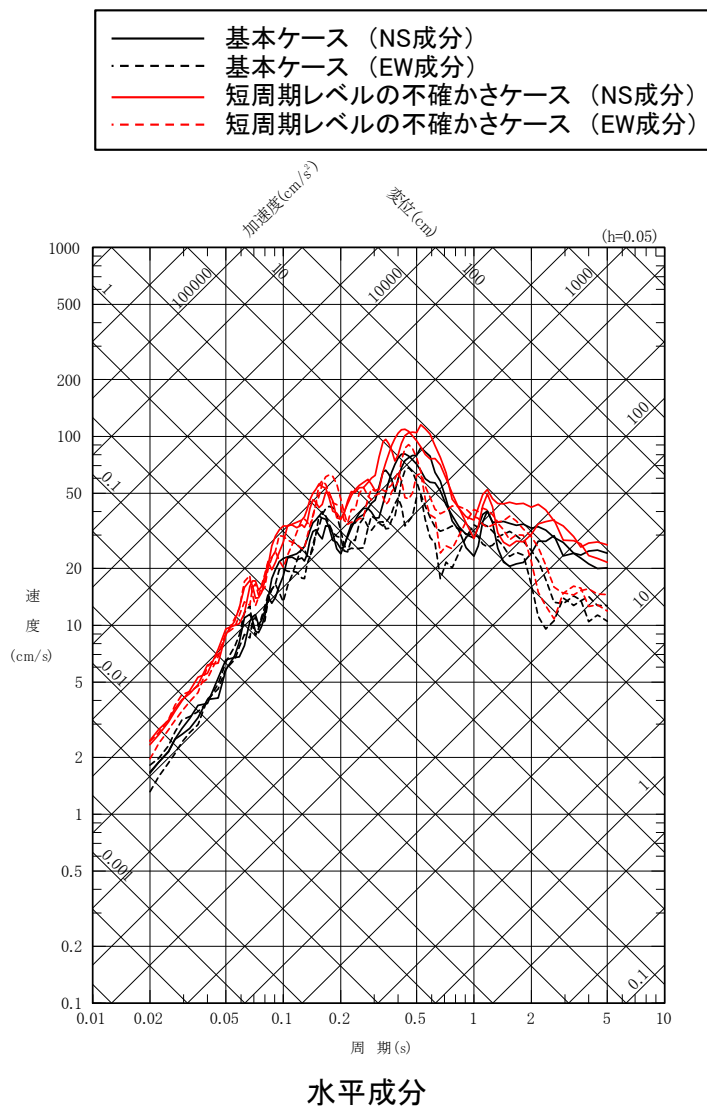


鉛直成分

(5) F-14断層による地震の地震動評価(4/4)

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

• 統計的グリーン関数法と理論的手法のハイブリッド合成法による地震動評価結果を示す。



F-14断層による地震の地震動評価結果

検討用地震の地震動評価(基本ケース)

■地質調査結果

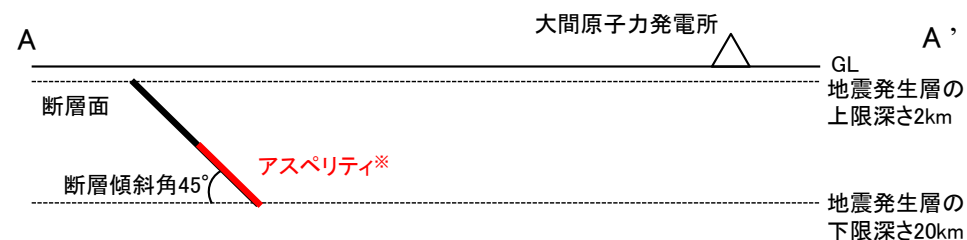
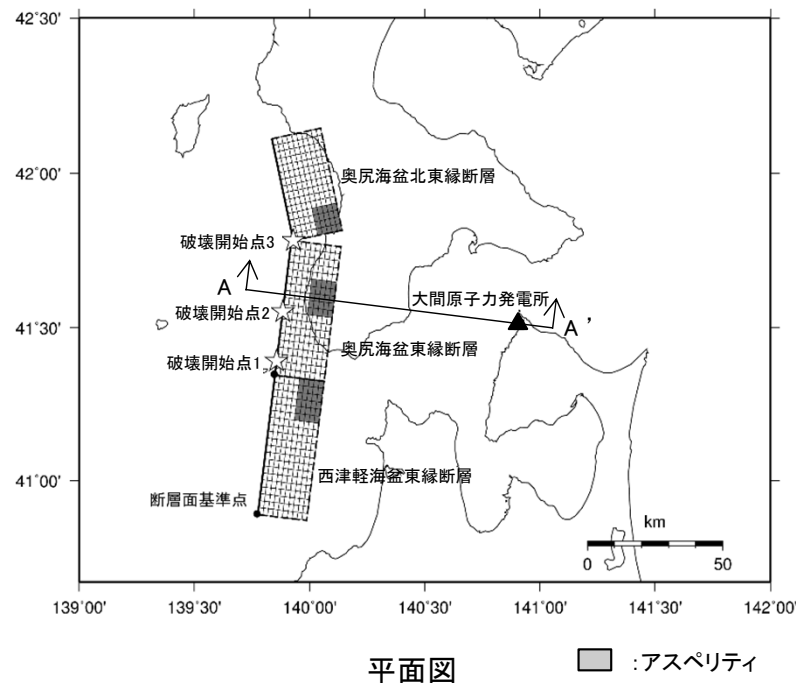
- 奥尻海盆北東縁断層, 奥尻海盆東縁断層, 西津軽海盆東縁断層の同時破壊は安全評価上, 否定できないため, 連動を考慮した137kmの断層を想定する。
- 各断層の断層傾斜角は, 日本海東縁部の東西圧縮の応力場と地質調査結果を踏まえ, 東傾斜45°の逆断層と考えられる。

■断層面の設定

- 断層長さは, 奥尻海盆北東縁断層, 奥尻海盆東縁断層, 西津軽海盆東縁断層の連動を考慮し, 137kmとする。
- 断層傾斜角は, 東傾斜45°とする。
- 断層幅は, 震源周辺の地震発生層上限深さ2km, 下限深さ20kmに傾斜角45°を考慮して, 25.5kmとする。

■アスペリティの配置

- 奥尻海盆北東縁断層, 奥尻海盆東縁断層, 西津軽海盆東縁断層にそれぞれ1つ配置する。
- 各アスペリティは, 敷地に最も近づくように断層下端に配置する。



※ アスペリティを断層下端に配置した場合, 敷地に最も近づく配置となる。

断面図 (A-A' 断面)

基本震源モデルの設定

検討用地震の地震動評価(不確かさケース)

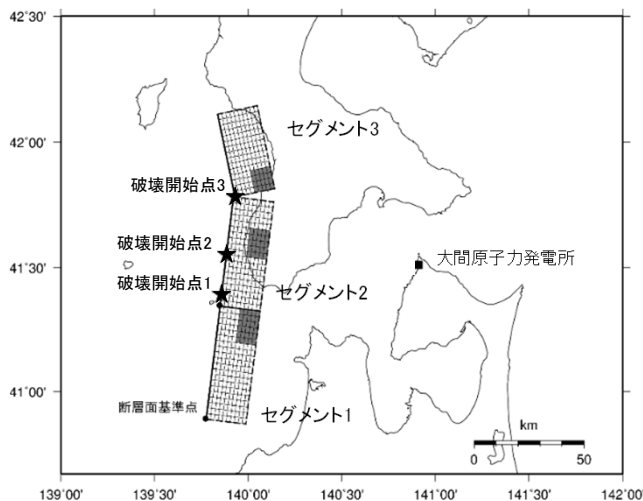
- 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の検討ケースを示す。

検討ケース一覧

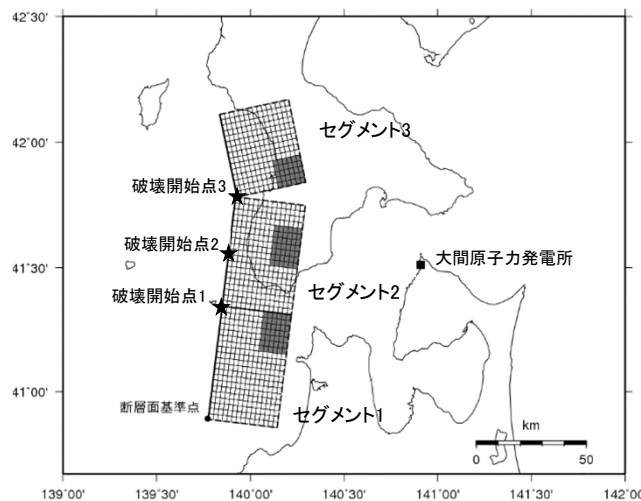
検討ケース	地震規模	断層傾斜角(°)	短周期レベル(応力降下量)	アスペリティ位置	破壊開始点
基本ケース	Mw7.8	45	強震動予測レシピ	敷地寄りに3個	複数設定
短周期レベルの不確かさケース	Mw7.8	45	強震動予測レシピ × 1.5倍	敷地寄りに3個	複数設定
断層傾斜角の不確かさケース	Mw7.9	30	強震動予測レシピ	敷地寄りに3個	複数設定

: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

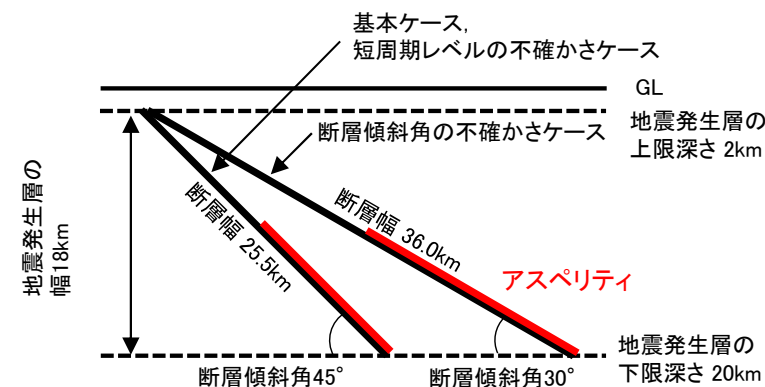
: 偶然的不確かさとして考慮するパラメータ



基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース



断層傾斜角の不確かさケース



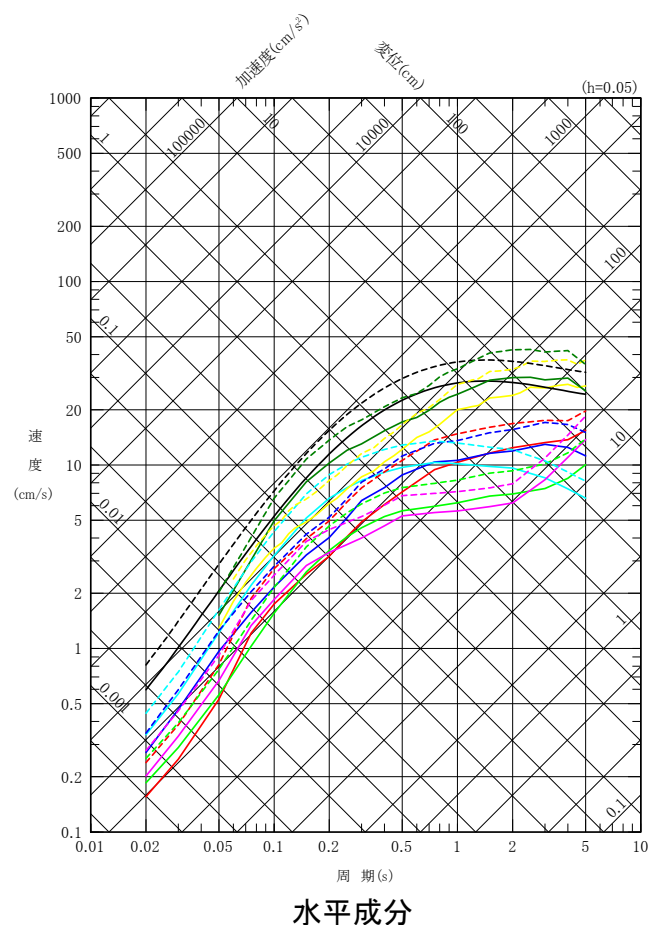
断面図

: アスペリティ

応答スペクトルに基づく地震動評価結果

- 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- 本連動を考慮した地震は松田(1975), 武村(1990)の外挿となり, 適切にMを評価出来ないため, Mwで評価可能な以下の手法により評価する。

Abrahamson et al.(2014), Boore et al.(2014), Campbell and Bozorgnia(2014), Chiou and Youngs(2014), Idriss(2014), 内山・翠川(2006), Zhao et al.(2006), Kanno et al.(2006)



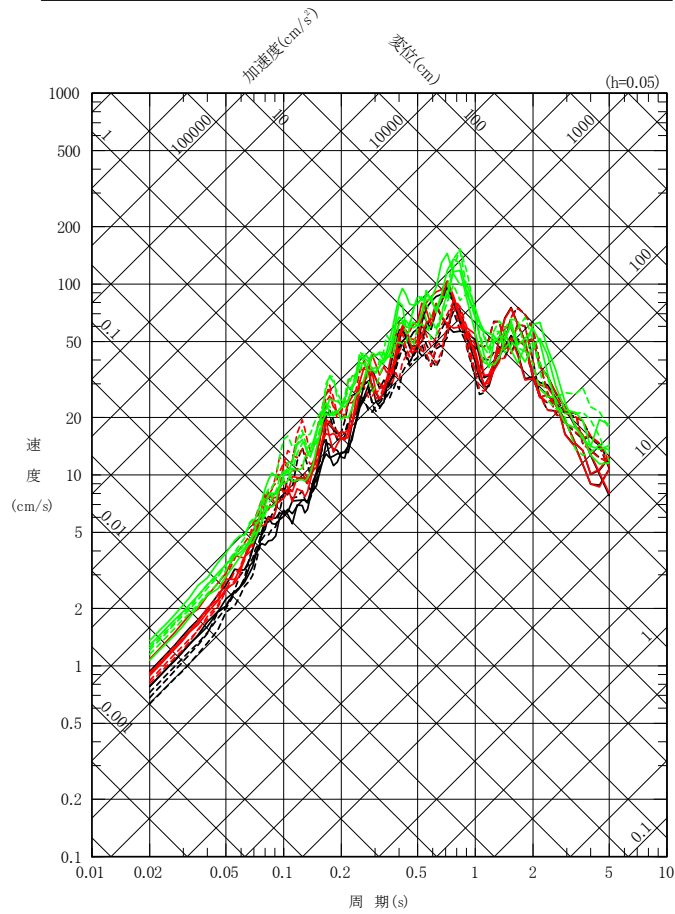
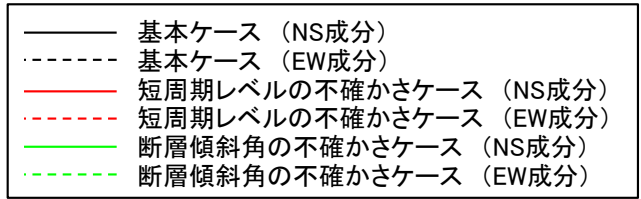
実線: 基本ケース(Mw7.8)
点線: 断層傾斜角の不確かさ(Mw7.9)

— Abrahamson et al.(2014)
— Boore et al.(2014)
— Campbell and Bozorgnia(2014)
— Chiou and Youngs(2014)
— Idriss(2014)
— 内山・翠川(2006)
— Zhao et al.(2006)
— Kanno et al.(2006)

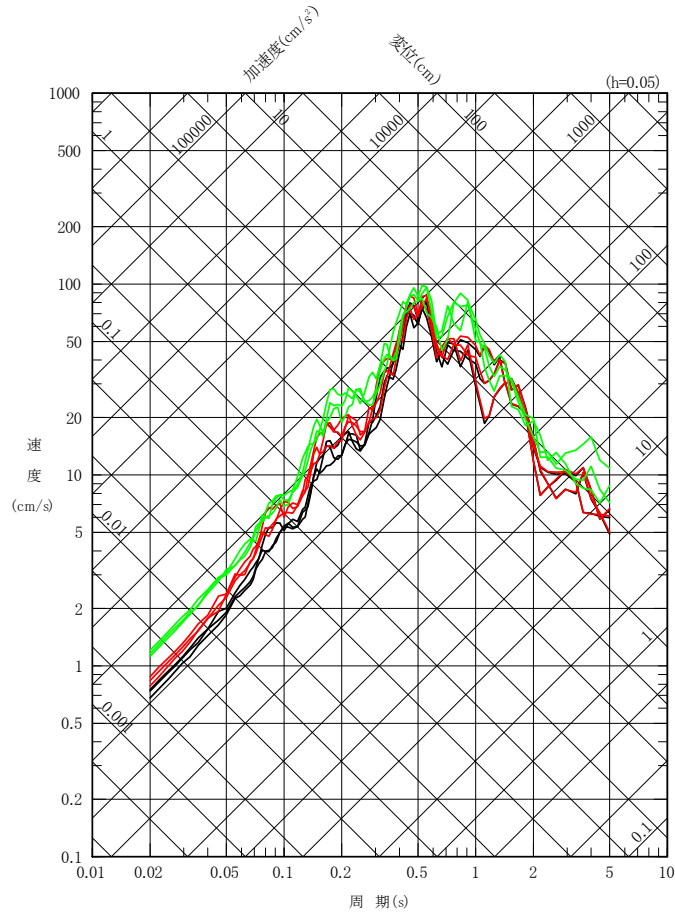
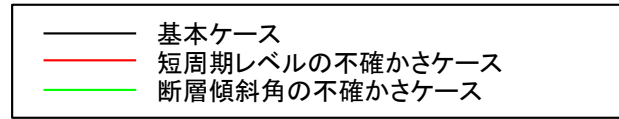
短周期レベルの不確かさ, 及び鉛直成分は上記の距離減衰式の適用対象外。

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

• 経験的グリーン関数法による地震動評価結果を示す。



水平成分



鉛直成分

(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(1/8)

隆起再現断層による地震の地震動評価の方針

大間付近の隆起域、及び隆起再現断層の想定領域の設定(P.44参照)

震源モデルの根拠の検討

隆起域:「大間付近の隆起域」※1

断層位置:「隆起再現断層の想定領域」※1

敷地周辺の地震発生層を踏まえ、断層上端深さ3km、下端深さ17kmに設定。※2

隆起シミュレーションに基づく「隆起再現断層」による「大間付近の隆起域」の再現性の評価

震源モデルの評価

「隆起再現断層の想定領域」に複数の地表トレースを設定し、隆起シミュレーションにより「大間付近の隆起域」の再現性のある震源モデルを検討する。

地震動評価の震源モデルの設定

基本ケースの震源モデルの選定

隆起シミュレーション結果を踏まえ、敷地への影響が大きいと考えられる震源モデルを基本ケースに設定。

不確かさの考慮

強震動予測レシピの1.5倍の短周期レベルを考慮。

地震動評価

応答スペクトルに基づく地震動評価

震源モデルを用いた地震動評価

隆起再現断層による地震の地震動評価フロー

隆起再現断層の震源モデルの設定方針

- 隆起再現断層は、地質調査において活断層が確認されない位置に耐震設計上の保守性の観点から仮想的に想定する断層である。
- したがって、実態のある活断層とは異なり、地質調査によって直接的に断層の形状等及び震源特性パラメータを設定することができない。
- そこで、隆起再現断層は、その地表トレースを「隆起再現断層の想定領域」※1に想定することを基本とし、震源モデル(断層の形状等/震源特性パラメータ)は、隆起シミュレーションにより「大間付近の隆起域」※1における地形発達過程の再現性が担保されることを必要条件として設定する。

審査ガイドの要求事項(震源モデル)

3.2.2 震源として想定する断層の形状等の評価

- (1) 内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、各種の調査及び観測等により震源として想定する断層の形状等の評価が適切に行われていることを確認する。

3.2.3 震源特性パラメータの設定

- (1) 内陸地殻内地震の起震断層、活動区間及びプレート間地震の震源領域に対応する震源特性パラメータに関して、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査の結果を踏まえ適切に設定されていることを確認する。

隆起再現断層の対応方針(震源モデル)

- 隆起再現断層の地表トレースは、「隆起再現断層の想定領域」※1に想定することを基本とし、震源モデル(断層の形状等/震源特性パラメータ)は、隆起シミュレーションにより「大間付近の隆起域」※1における地形発達過程の再現性が担保されることを必要条件とする。
- 隆起シミュレーションに用いる震源モデルと地震動評価に用いる震源モデルは同一のものを用いる。※2

※1 変動地形学的調査、地質・地質構造調査、地球物理学的調査の結果を基に、隆起再現断層による隆起域は、主に現在の地形発達過程に基づいて「大間付近の隆起域」を設定し、断層位置は、主に後期更新世以降の活動が認められない地質構造に基づいて「隆起再現断層の想定領域」を設定する。

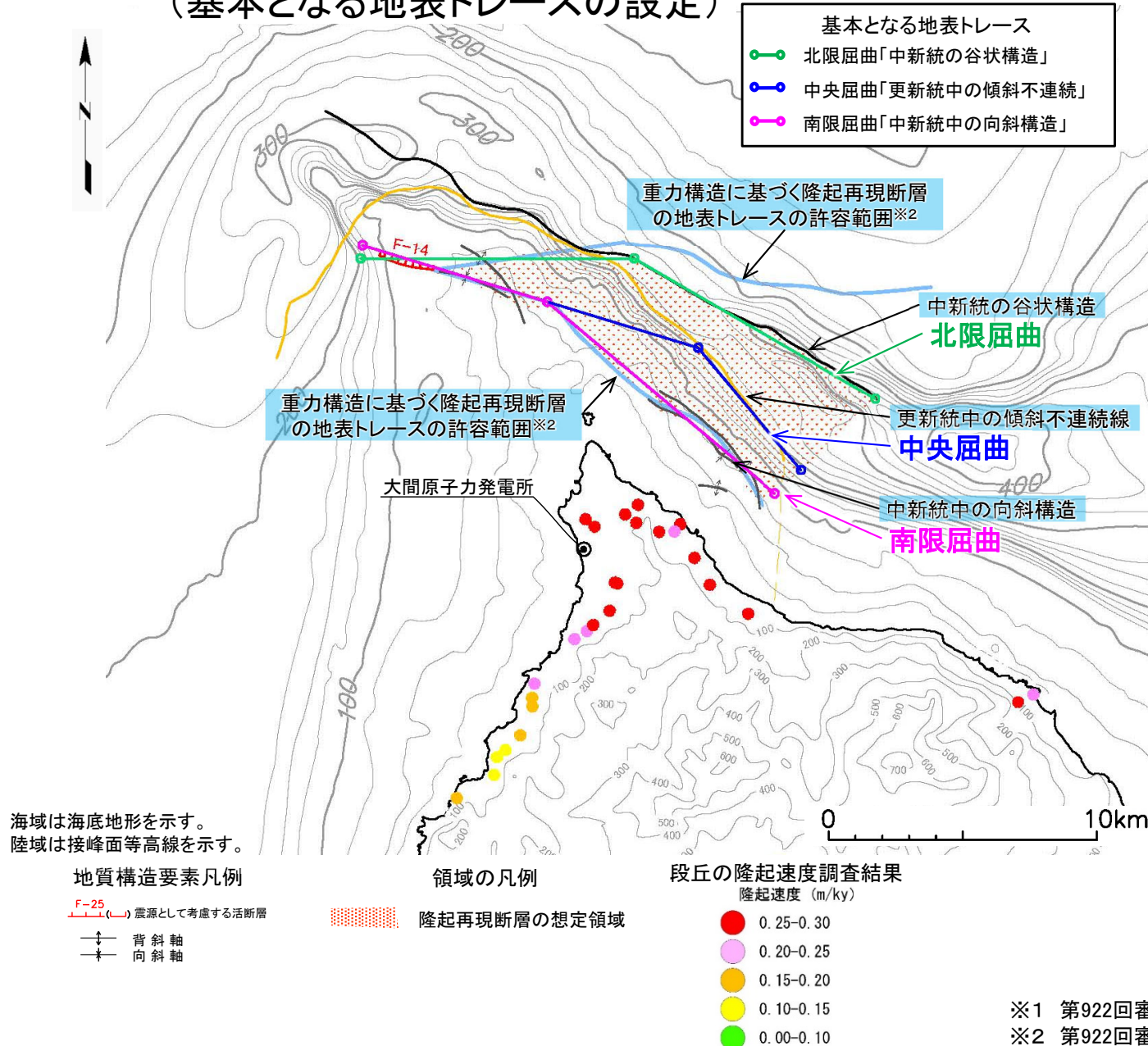
(第922回審査会合資料1-1「8.4 下北半島西部の隆起への耐震設計上の考慮まとめ」(P.8-46)を参照。)

※2 震源モデルは、地震発生層及び地震発生時の断層面における破壊様式等を考慮し、第922回審査会合資料1-1「巻末参考」に示すモデルを見直している。



(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(2/8)

隆起シミュレーションに基づく「隆起再現断層」による「大間付近の隆起域」の再現性の評価 (基本となる地表トレースの設定)



隆起再現断層は、「震源を特定して策定する地震動」の対象として考慮するため、その配置が地形・地質構造に基づいて設定される必要がある。
ここでは「隆起再現断層の想定領域」の設定に用いた地質構造※1に基づいて、以下の方針で基本となる地表トレース案を設定することとする。

- 隆起再現断層の地表痕跡として扱える地質構造がF-14断層のみであることから、特に西部においては、F-14断層で確認された諸元を優先して地表トレースを設定する。
- 東部においては、F-14断層とはやや異なる地質構造が分布することから、各々の地質構造に沿って地表トレースを設定する。
- 上記2つの方針で地表トレースが設定できない場合は、「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲※2」を参照して設定する。

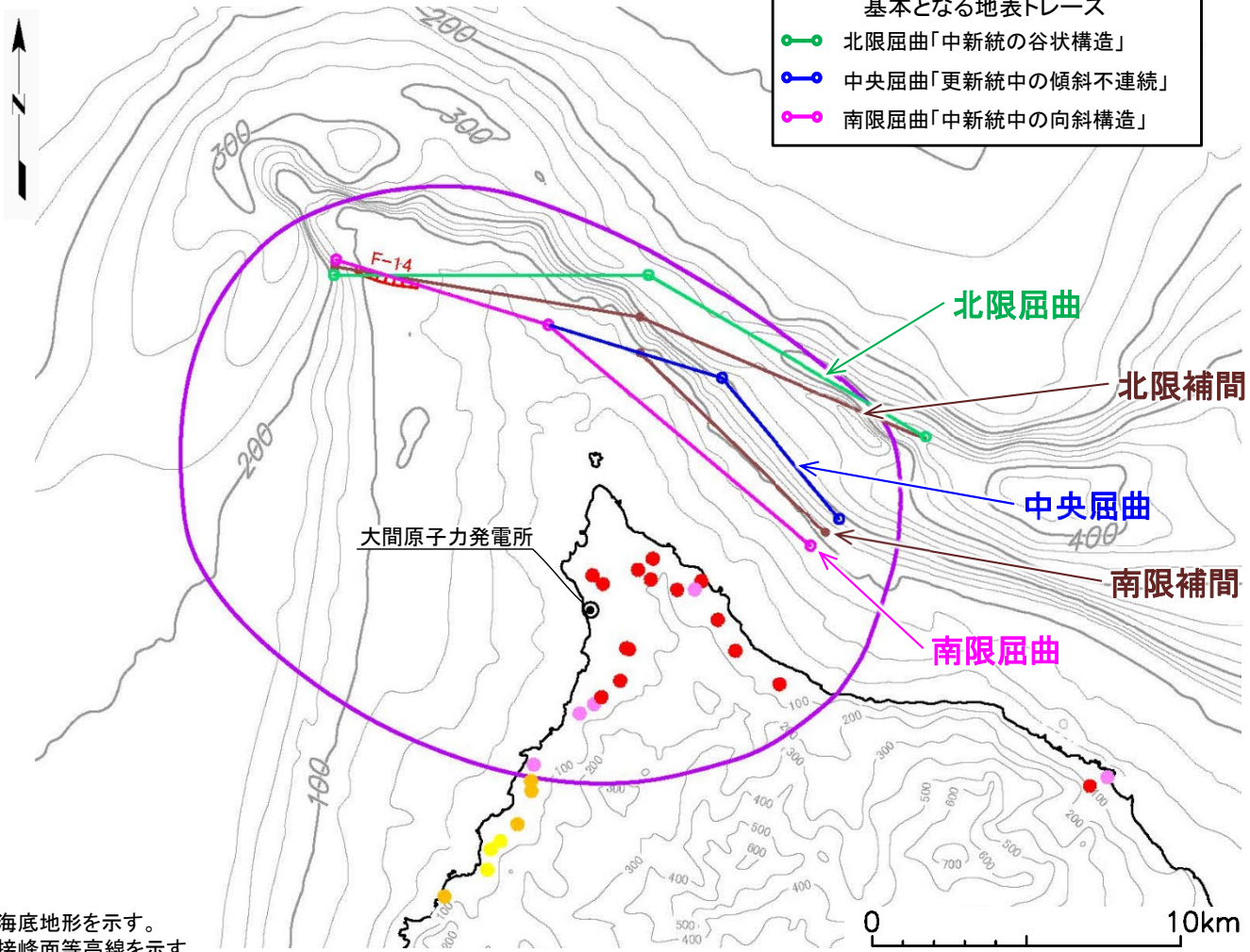
- **北限屈曲←「中新統の谷状構造」**
 - 西部はF-14断層を起点として、「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲※2」の北限に沿う直線とする。
 - 東部は「中新統の谷状構造に沿う直線」とする。
- **中央屈曲←「更新統中の傾斜不連続線」**
 - 西部はF-14断層を延長した直線とする。
 - 東部は「更新統中の傾斜不連続線」に沿う直線とする。
- **南限屈曲←「中新統中の向斜構造」**
 - 西部はF-14断層を延長した直線とする。
 - 東部は「中新統中の向斜構造」及び「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲※2」の南限に沿う直線とする。

※1 第922回審査会合資料1-1「8.3 隆起再現断層の想定領域の評価」(P.8-40)を参照。
※2 第922回審査会合資料1-1「8.3 隆起再現断層の想定領域の評価」(P.8-33)を参照。

(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(3/8)

隆起シミュレーションに基づく「隆起再現断層」による「大間付近の隆起域」の再現性の評価 (補間的な地表トレースの設定)

- 基本となる地表トレース
- 北限屈曲「中新統の谷状構造」
 - 中央屈曲「更新統中の傾斜不連続」
 - 南限屈曲「中新統中の向斜構造」



隆起再現断層の位置の不確かさを「大間付近の隆起域」の再現性が保たれる限り考慮するものとして、基本となる地表トレースの間に、以下の方針で補間的な地表トレースを設定することとする。

- ① 補間的な地表トレースは、基本となる地表トレースとの地質構造の整合性が保たれる配置に設定する。
- ② 基本トレースに挟まれた領域の平面的な均等性を優先して設定する。
- ③ 上記2つの方針に加え、「大間付近の隆起域」の再現性に有効な配置を設定する。

- **北限補間**
 - ・ 西部は平面的な均等性により位置を定める。
 - ・ 東部は「大間付近の隆起域」の再現性に有効な配置である、北寄りに位置を定める。
- **南限補間**
 - ・ 西部はF-14断層を延長した直線とする。
 - ・ 東部は平面的な均等性により位置を定める。

海域は海底地形を示す。
陸域は接峰面等高線を示す。

地質構造要素凡例
F-25 (●) 震源として考慮する活断層

領域の凡例
○ 大間付近の隆起域

段丘の隆起速度調査結果
隆起速度 (m/ky)

- 0.25-0.30
- 0.20-0.25
- 0.15-0.20
- 0.10-0.15
- 0.00-0.10

(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(4/8)

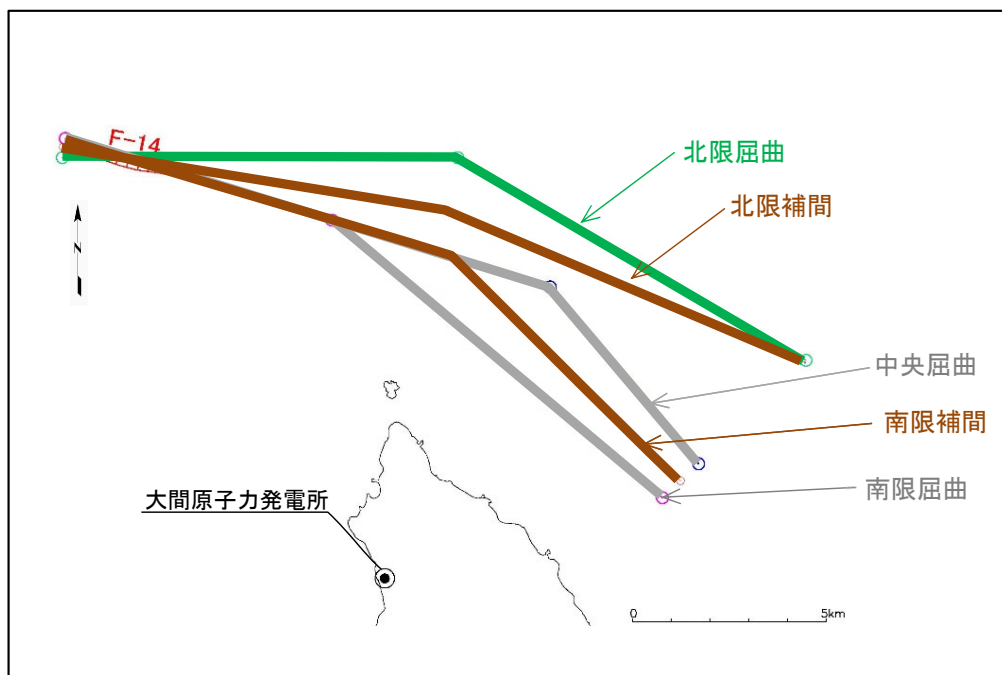
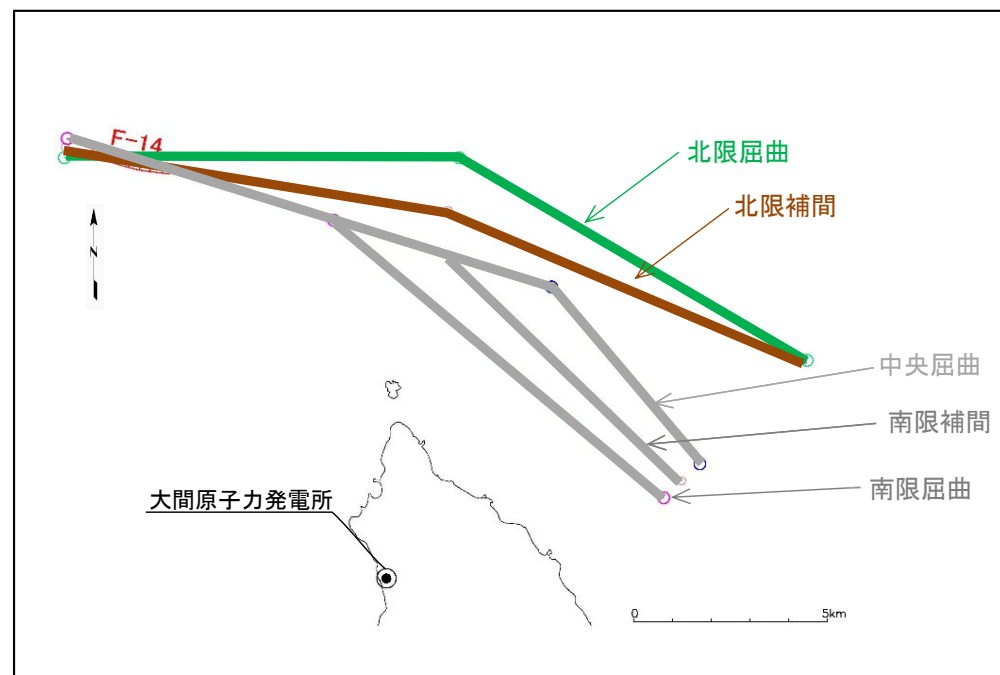


隆起シミュレーションに基づく「隆起再現断層」による「大間付近の隆起域」の再現性の評価 (地表トレースの評価結果)

隆起再現断層の地表トレース案として地質構造に基づく3案(北限屈曲, 中央屈曲, 南限屈曲)に加え, 間を補間する2案を加えた計5案について, 断層傾斜角やアスペリティ位置を変えた震源モデルを設定し, 「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性を評価した。

また, 隆起再現断層は, 東北地方に分布する逆断層の一般的な傾向に従い, 中新世の正断層のインバージョンと仮定する。断層傾斜角は, 正断層として形成されるため最小でも 45° , また逆断層として活動するため最大でも 60° とする。

- 断層傾斜角 60° の場合は, 北限屈曲, 北限補間, 南限補間の位置において再現性のある震源モデルの設定が可能。
- 断層傾斜角 45° の場合は, 北限屈曲, 北限補間の位置において再現性のある震源モデルの設定が可能。

断層傾斜角 60° の隆起再現断層断層傾斜角 45° の隆起再現断層

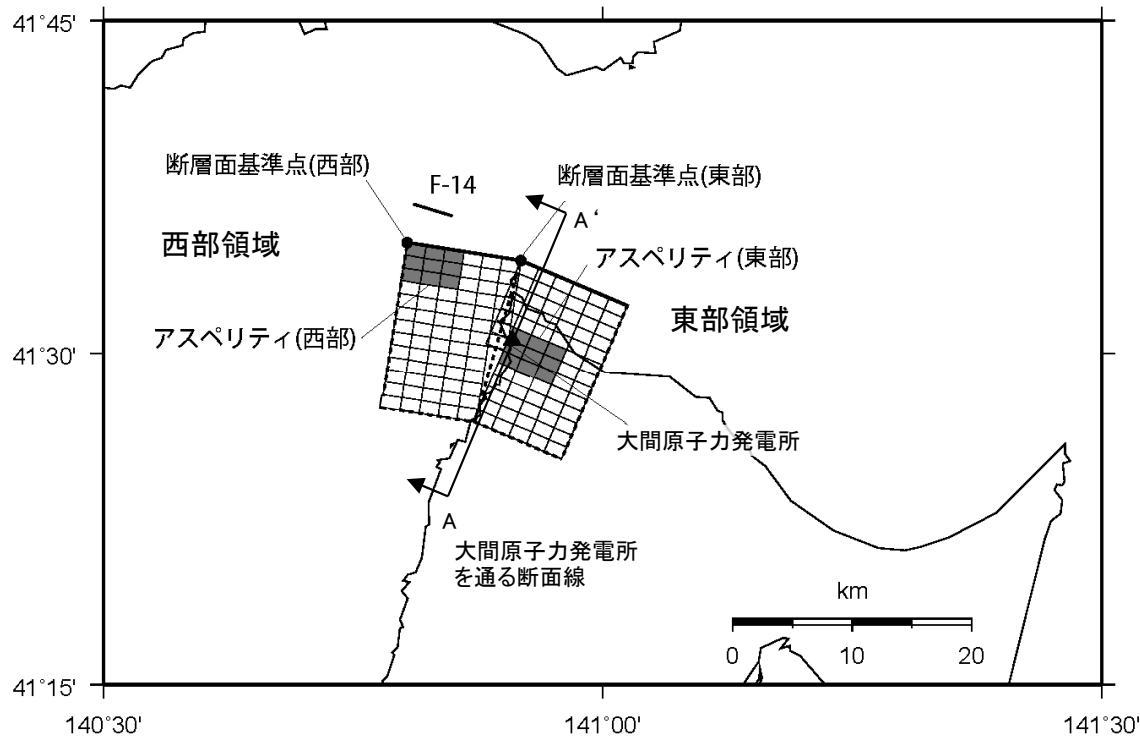
「大間付近の隆起域」の再現性がある震源モデルの設定が可能な地表トレース

「大間付近の隆起域」の再現性がある震源モデルの設定が不可能な地表トレース

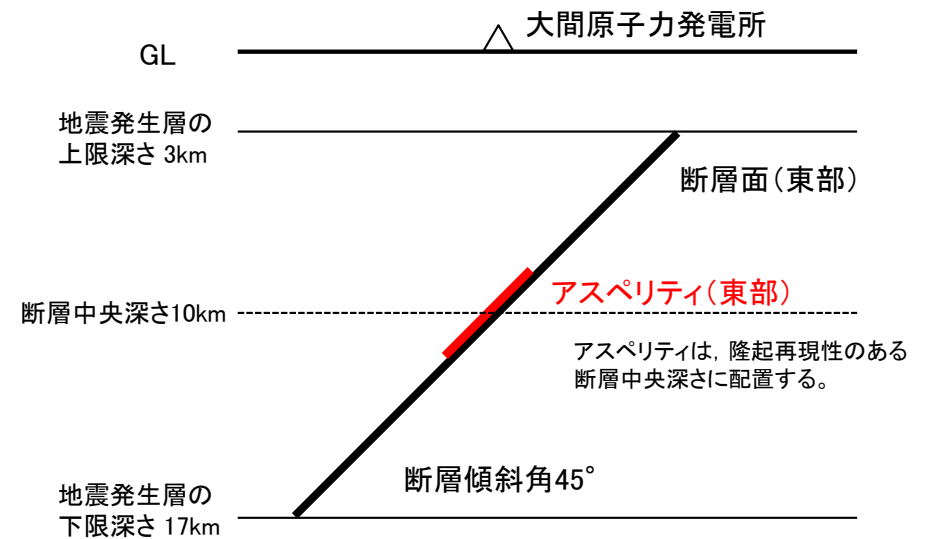
(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(5/8)

地震動評価の震源モデルの設定(基本ケースの選定)

- 地震動評価の基本ケースは、隆起再現性のある震源モデルのうち、敷地への影響が大きいと考えられる震源モデルを選定する。
- 西部領域は、F-14断層の痕跡に合わせてアスペリティを配置しているため、震源モデルによらずアスペリティの位置はおおむね同じである。一方、東部領域は、敷地に近く位置し、震源モデルによってアスペリティの位置が異なるため、敷地への影響が異なる。
- したがって、地震動評価の基本ケースは、東部領域のアスペリティの規模、及びその敷地からの距離を各々比較し、選定する。
- その結果、断層傾斜角 45° の震源モデルによる敷地への影響は、断層傾斜角 60° の震源モデルよりも大きいことを確認した。さらに、断層傾斜角 45° の震源モデルのうち、敷地に与える影響が最も大きい「断層傾斜角 45° 北限補間」を地震動評価の基本ケースとして、選定した。



平面図



東部領域のA-A'断面図

(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(6/8)

地震動評価の震源モデルの設定(不確かさの考慮)

- 隆起再現断層による地震の検討ケースを以下に示す。

検討ケース一覧

検討ケース	断層位置※	地震規模※	断層傾斜角※ (°)	短周期レベル (応力降下量)	アスペリティ位置※	破壊開始点
基本ケース	北限補間	M6.9	45	強震動予測レシピア	西部: F-14断層の痕跡直下の断層上端位置 東部: 断層中央深さに配置	複数設定
短周期レベルの不確かさケース	北限補間	M6.9	45	強震動予測レシピア × 1.5倍	西部: F-14断層の痕跡直下の断層上端位置 東部: 断層中央深さに配置	複数設定

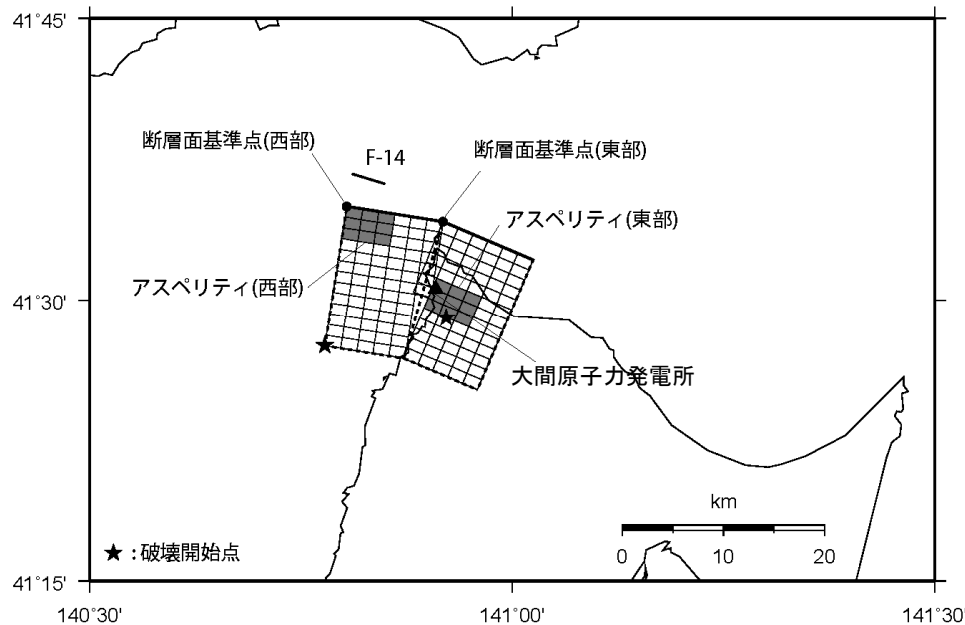
※ 隆起シミュレーションに基づき設定。



: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

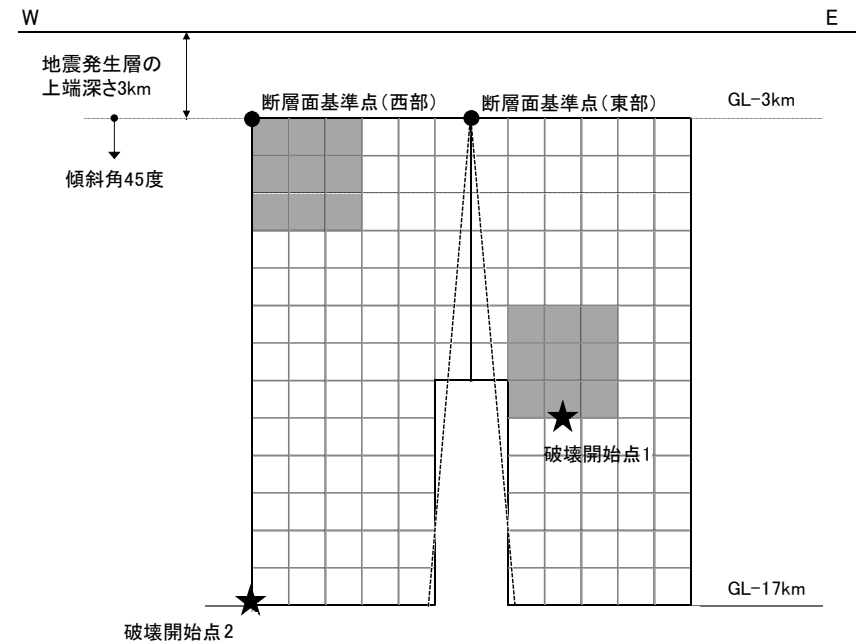


: 偶然的不確かさとして考慮するパラメータ



平面図

基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース



展開図

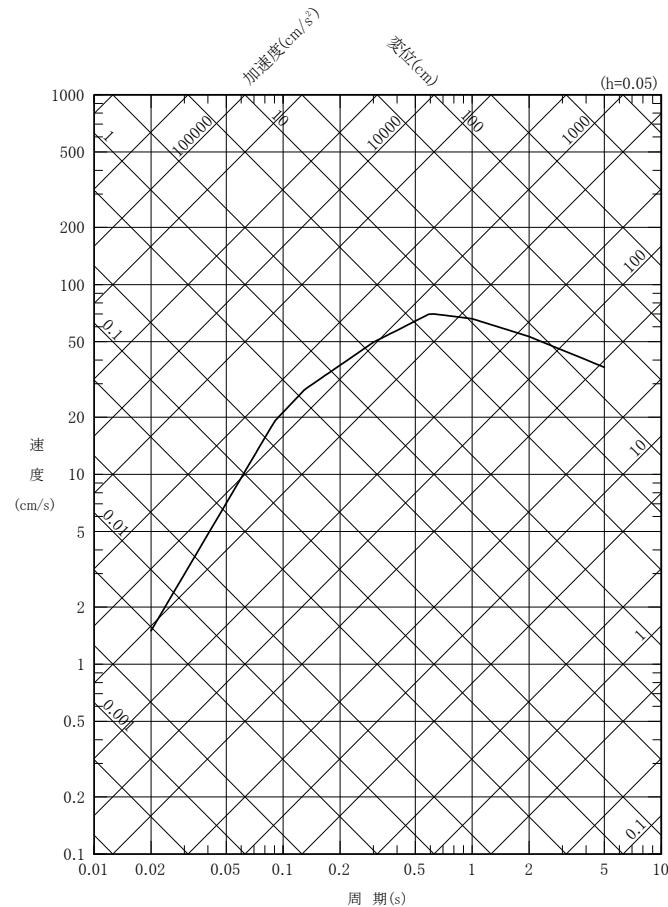
基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース

(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(7/8)

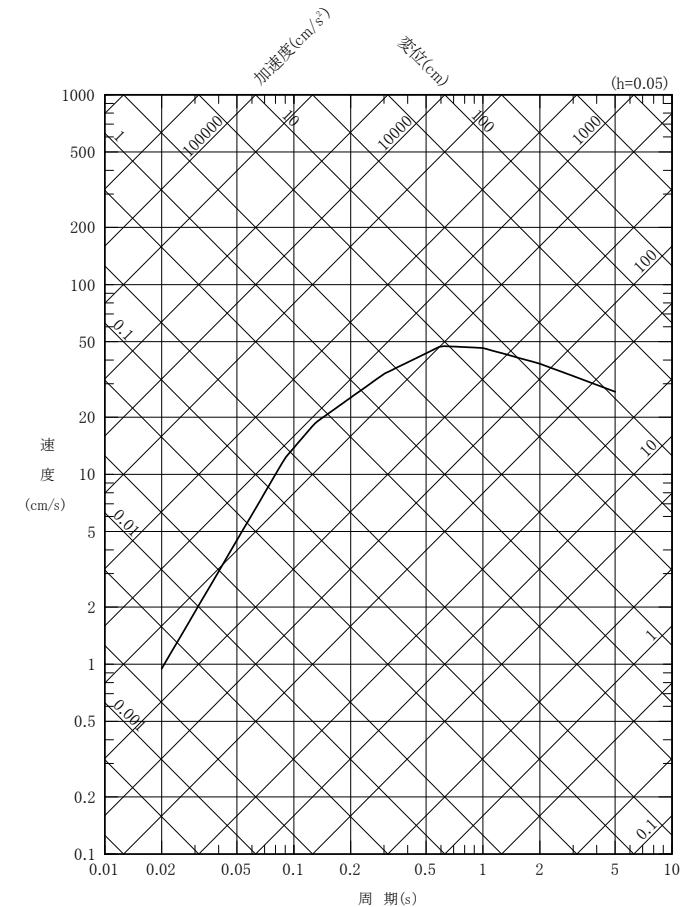
応答スペクトルに基づく地震動評価結果

- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- 応答スペクトルに基づく手法として, Noda et al.(2002)による方法(内陸補正なし)を示す。

—— 基本ケース(M6.9, Xeq=10.3km)



水平成分



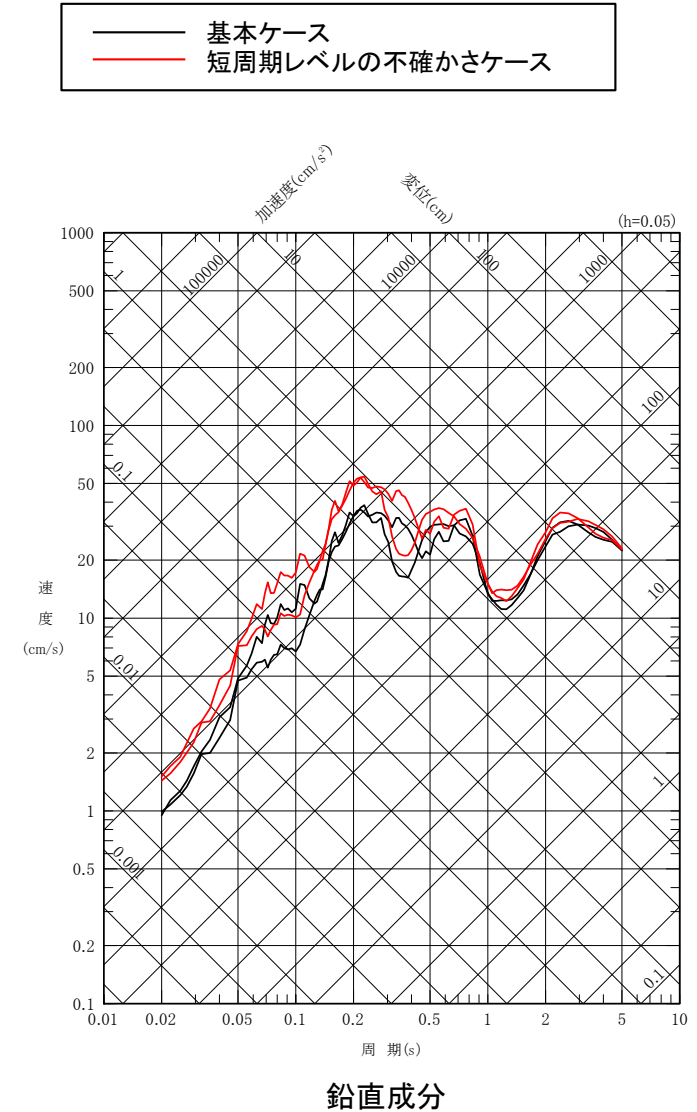
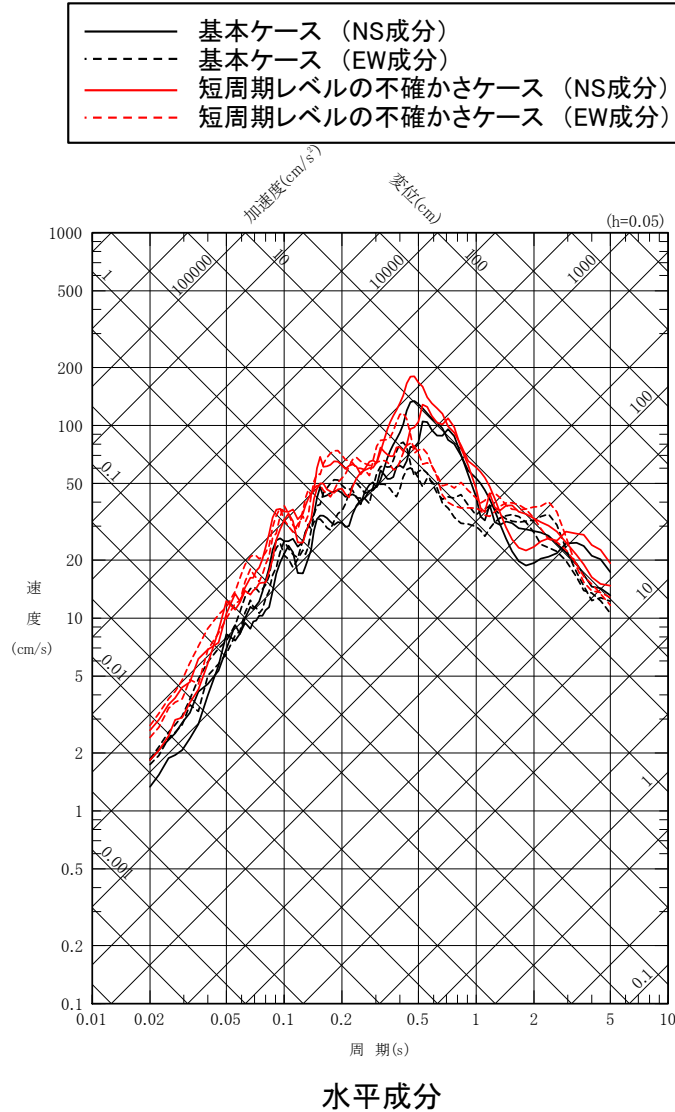
鉛直成分

隆起再現断層による地震の地震動評価結果

(7) 隆起再現断層による地震の地震動評価(8/8)

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

• 統計的グリーン関数法と理論的手法のハイブリッド合成法による地震動評価結果を示す。



隆起再現断層による地震の地震動評価結果

目次

1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の流れ
2. 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
 - (2) 敷地周辺の地震活動
 - (3) 敷地周辺における主な被害地震
 - (4) 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
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - 3.1 プレート間地震
 - (1) プレート間地震の地震動評価フロー
 - (2) 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震の地震動評価
 - 3.2 海洋プレート内地震
 - (1) 海洋プレート内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地下方の想定スラブ内地震の地震動評価
 - (3) 想定十勝沖スラブ内地震の地震動評価
 - 3.3 内陸地殻内地震
 - (1) 内陸地殻内地震の地震動評価フロー
 - (2) 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - (3) 隆起再現断層による地震
 - (4) 検討用地震の選定
 - (5) F-14断層による地震の地震動評価
 - (6) 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - (7) 隆起再現断層による地震の地震動評価
4. まとめ

4. まとめ

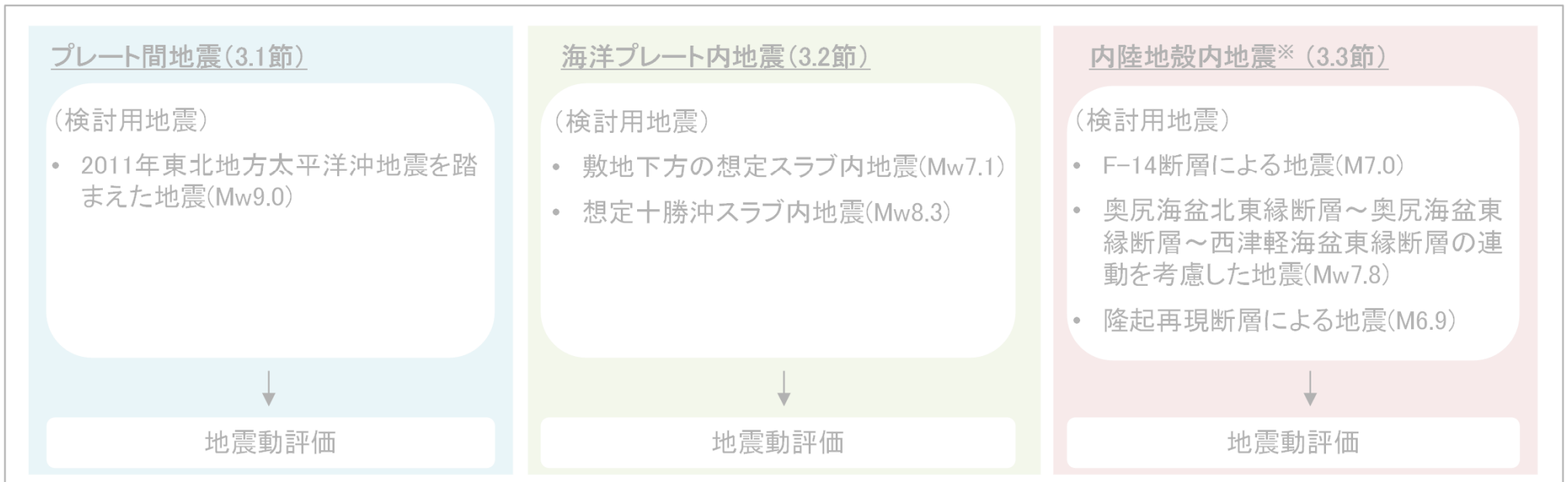
本章における説明箇所

敷地周辺の地震発生状況(2章)

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



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(3章)



※ 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。



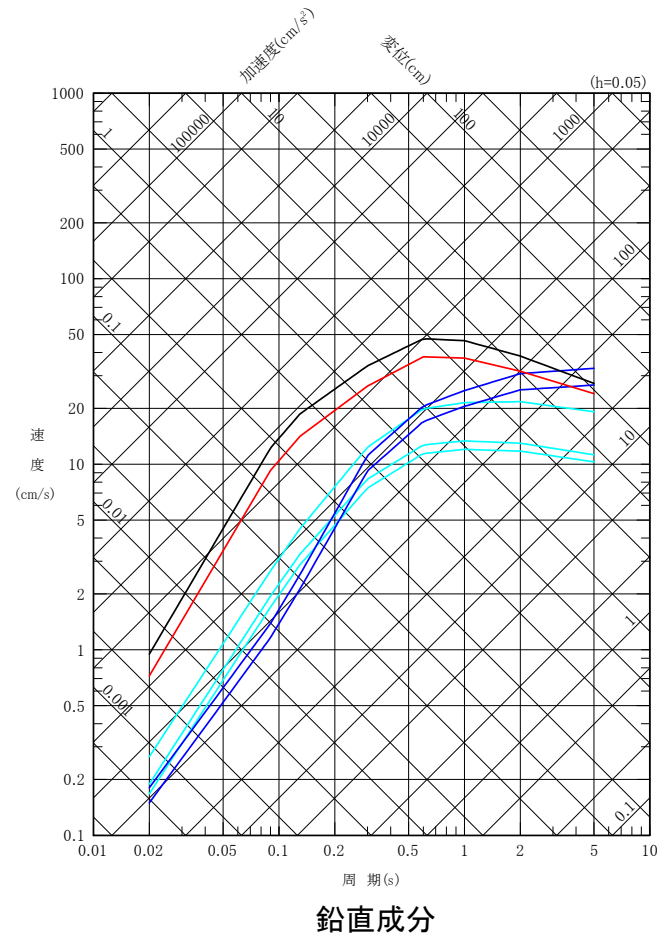
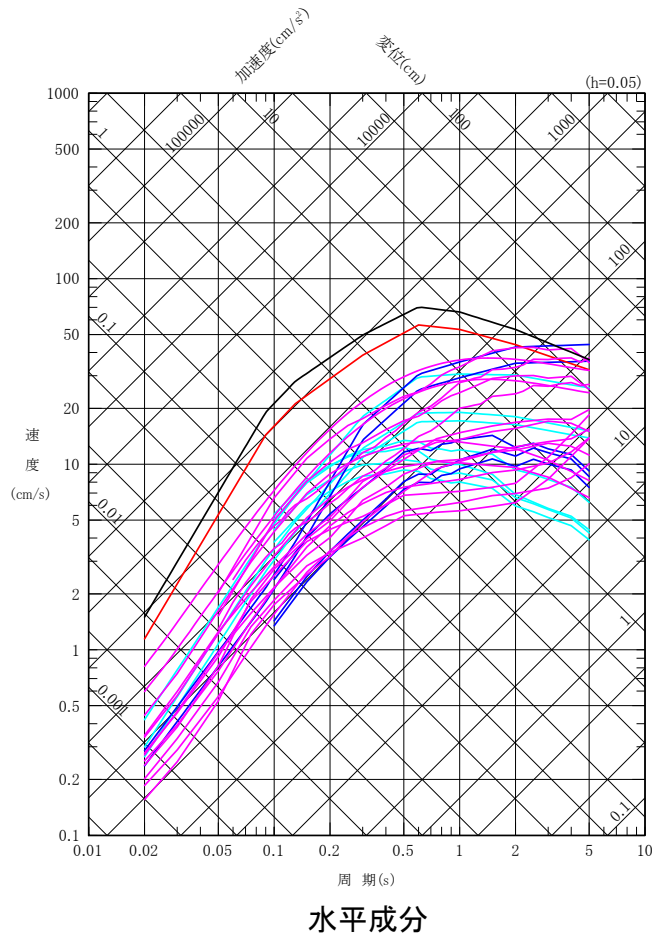
まとめ(4章)

- 検討用地震の地震動評価結果一覧

4. まとめ(1/2)

検討用地震の地震動評価結果一覧(応答スペクトルに基づく地震動評価)

- 検討用地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- 一部の長周期域を除き、隆起再現断層による地震が、敷地に与える影響が大きい結果となっている。



凡例

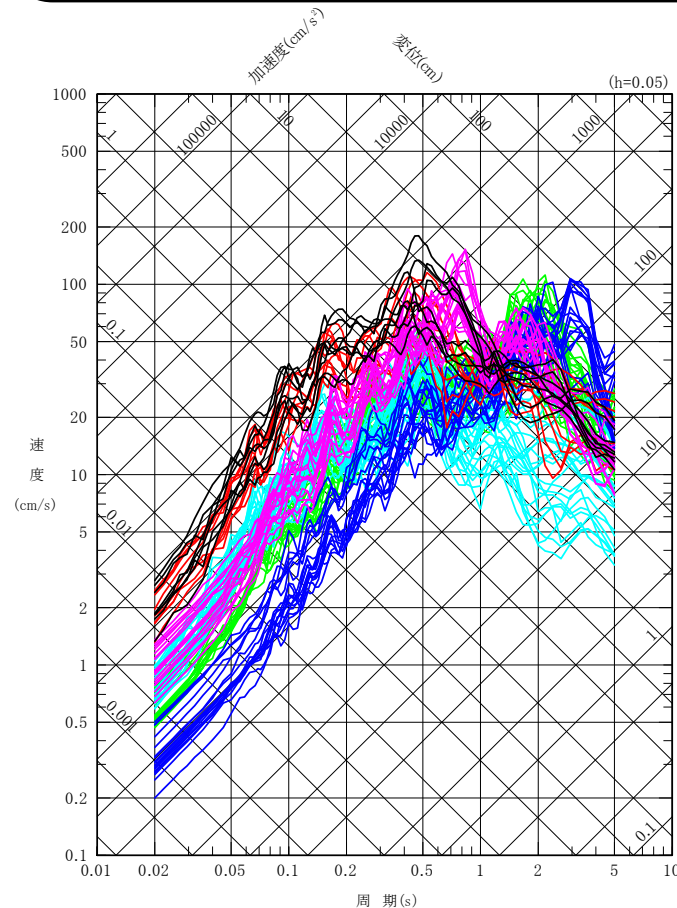
- 敷地下方スラブ内地震
- 想定十勝沖スラブ内地震
- F-14断層による地震
- 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震(水平成分のみ)
- 隆起再現断層による地震

検討用地震の地震動評価結果
(応答スペクトルに基づく地震動評価結果)

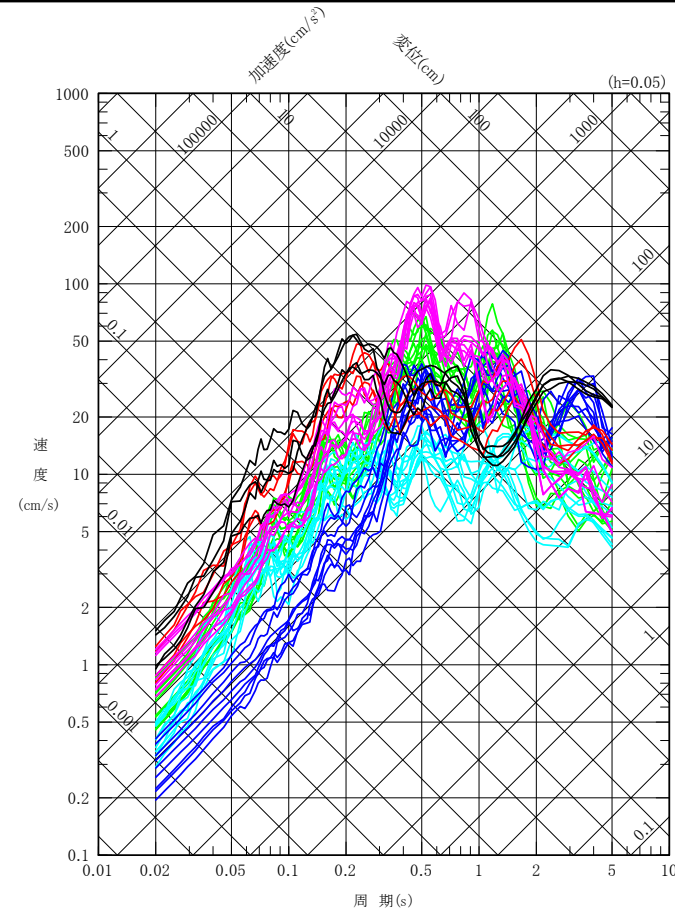
4. まとめ(2/2)

検討用地震の地震動評価結果一覧(断層モデルを用いた手法による地震動評価)

- 検討用地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を示す。
- 周期約1秒よりも短周期側では、隆起再現断層による地震, 及び奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震が、敷地に与える影響が大きい結果となっている。
- 周期約1秒よりも長周期側の水平成分では、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震, 及び想定十勝沖スラブ内地震が、敷地に与える影響が大きい結果となっている。また、鉛直成分では、主に2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震, F-14断層による地震及び隆起再現断層による地震が、敷地に与える影響が大きい結果となっている。



水平成分



鉛直成分

検討用地震の地震動評価結果
(断層モデルを用いた手法による地震動評価結果)

凡例

- 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震
- 敷地下方スラブ内地震
- 想定十勝沖スラブ内地震
- F-14断層による地震
- 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震
- 隆起再現断層による地震

参考文献

はじめに

- 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(2016):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 平成28年(2016年)6月, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.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>
- Stirling,M., D.Rhoades and K.Berryman(2002):Comparison of Earthquake Scaling Relations Derived from Data of the Instrumental and Preinstrumental Era, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.92, No.2,pp.812-830

2. 敷地周辺の地震発生状況

- 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
- 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: <<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>
- 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/>>
- 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>>
- 地震調査研究推進本部(2009):日本の地震活動一被害地震から見た地域別の特徴一<第2版>, <https://www.jishin.go.jp/resource/seismicity_japan/>
- 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一広域の験震データの併合処理一, 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

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

- 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
- 内山泰生・翠川三郎(2006):震源深さの影響を考慮した工学的基礎における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第606号, pp.81-88
- 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, pp.740-757
- 国交省ほか(2014):日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, <https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/>
- 地震調査研究推進本部(2004):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について, <https://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/04may_sanrikuoki/index.htm>
- 地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図, 平成21年7月, <https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2009/>
- 地震調査研究推進本部(2020):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 令和2年(2020年)3月, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/17_yosokuchizu/recipe.pdf>
- 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/>>
- 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震第2輯, 第43巻, pp.257-265
- 防災科学技術研究所(2013):ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究 総括成果報告書, <<https://www.hizumi.bosai.go.jp/reportMatome.html>>
- 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 第28巻, pp.269-283
- 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・大会一2013梗概集, pp.381-382

- Abrahamson, N. A, W. J. Silva and R. Kamai (2014): Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1025–1055
- Boore, D. M, J. P. Stewart, E. Seyhan and G. M. Atkinson (2014): NGA–West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1057–1085
- Campbell, K. W. and Y. Bozorgnia (2014): NGA–West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1087–1115
- Chiou, B. S.–J. and R. R. Youngs (2014): Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1117–1153
- Hisada, Y (1994): An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half–Space with Sources and Receivers at Close Depths, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.84, No.5, pp.1456–1472
- Idriss, I. M. (2014): An NGA–West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1155–1177
- Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima (2006): A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.879–897
- Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, OECD–NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16–18, Istanbul
- Zhao, J.X., J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H.K. Thio, P.G. Somerville, Y. Fukushima and Y. Fukushima (2006): Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.898–913