

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA208-R00
提出年月日	2023年11月2日

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のうち内陸地殻内地震について

(コメント回答 その3)

(大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の地震動評価方針)

2023年11月

電源開発株式会社

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のうち

内陸地殻内地震について

(コメント回答その3)

(大間付近の隆起域を考慮した

仮想的な断層による地震の地震動評価方針)

2023年11月2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）

○「大間原子力発電所 設置変更許可申請書添付書類六「5. 地震」における記載の誤りの原因と再発防止対策について（第983回審査会合 資料2-1）」にて説明した誤りに該当する記載がある場合、該当ページの左下に、該当する誤りの項目①～⑤を注記する。

(余白)

指摘事項

- 本資料では、内陸地殻内地震のうち、大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の評価に係る下表の指摘事項について回答する。

 本資料でご説明

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所	
				概要	本編・補足
S4-9	大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の隆起域再現性評価の地殻変動計算に、Okada(1992)の方法を用いているが、Mansinha and Smylie等の知見を用いた事例もある。手法の違いによる地殻変動量の差異の有無、及び地震に伴う地殻変動を説明するために行われた数値シミュレーションの事例を説明すること。	地震動評価方針の変更により回答対象外	
S4-10	大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の震源モデルの設定について、地質的に設定した地表トレース3条、補間的に設定した地表トレース2条に対して、例えば断層位置、傾斜角、アスペリティ位置といったパラメータが隆起再現性に及ぼす影響度や傾向を分析して図示するなど、隆起が説明できる領域について、代表性・網羅性の観点から妥当性を説明すること。	P.(2)~P.(4), P.(7)~P.(9)	本編資料 P.8, P.11~P.16
S4-11	大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の隆起域再現性の評価基準に関して、「規模・配置の再現性」の評価基準1と、「隆起速度分布の再現性」の評価基準2に対する重み付けの考え方、評価基準の閾値の考え方を説明すること。	地震動評価方針の変更により回答対象外	
S4-12	大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	今回提示された隆起再現断層の地震動評価結果に関して、西部断層のアスペリティと東部断層のアスペリティの敷地における地震動評価に対する寄与率を提示すること。	次回以降ご説明	



I. 第1013回審査会合からの主な変更点(1/3)

大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震に係る主な変更点(1/3)

【地震動評価の実施手順の変更】

・ 第1013回審査会合(2021.11.5)の地震動評価の実施手順	・ 今回ご説明の地震動評価の実施手順
<p>〈本編〉</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.1 隆起再現断層の想定領域の設定</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.2 地震発生層の設定</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.3 地形発達過程の再現性に基づく隆起再現断層の選定</div> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基本となる地表トレースの設定 ・ 補間的な地表トレースの設定 ・ 断層諸元の設定 ・ 隆起シミュレーションによる「大間付近の隆起域」の再現性の評価 ・ 隆起再現断層の選定 <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.4 地震動評価の震源モデルの設定</div> <ul style="list-style-type: none"> ・ 敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定 ・ 基本ケースの震源モデルの設定 ・ 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定 ・ 断層パラメータの設定 <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.5 地震動評価手法</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">5.6 地震動評価結果</div>	<p>〈本編〉</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.1 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.2 地震発生層の設定</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.3 震源モデルの設定</div> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基本ケースの震源モデルの考え方 ・ 基本ケースの震源モデルの設定 ・ 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定 ・ 断層パラメータの設定 (次回以降ご説明) <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">(次回以降ご説明)</div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5.4 地震動評価手法</div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;">5.5 地震動評価結果</div>

第1013回審査会合と今回ご説明の地震動評価の実施手順の比較

I. 第1013回審査会合からの主な変更点(2/3)

大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震に係る主な変更点(2/3)

【地震動評価の実施手順の変更】 コメントNo.S4-10

○第1013回審査会合(2021年11月5日)

- 地震動評価の実施手順として、地形発達過程の再現性を判定した上で、基本ケースの震源モデルを選定した。
 - 審査ガイドに示される地形発達過程の検討として、「隆起再現断層の想定領域」に、その設定根拠とした後期更新世以降の活動が認められない地形・地質構造等(以下「古い地質構造」という。)を考慮した複数(基本トレース3条, 補間トレース2条)の震源モデル候補を想定し、地形発達過程の再現性を確保することを目的に、これらの震源モデル候補を対象に隆起シミュレーションを実施した。
 - 基本ケースの震源モデルは、隆起シミュレーション結果に基づき、想定した隆起域(大間付近の隆起域)における「地形発達過程の再現性あり」と評価する震源モデル候補から選定することとした。
 - 上記の震源モデル候補のうち、敷地の地震動レベルが最大となるものを選定し、「基本ケースの震源モデル」とした。
- 地形発達過程の再現性を重視していたことから、検討用地震の名称を「隆起再現断層による地震」とした。

○今回ご説明

- 地形発達過程の再現性に係る判定基準を明確に示すことは困難と判断し、以下の手順で基本ケースの震源モデルを設定する。
 - 基本ケースの震源モデルの地震規模は、「大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域」において想定しうる最大規模を考慮する。
 - 基本ケースの震源モデルは、敷地に及ぼす影響が大きくなるよう、上記地震規模の震源モデルを仮想的な断層の想定領域のうち敷地に最も近い位置に設定する。
- 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域を踏まえ、敷地に及ぼす影響の観点より震源モデルを検討していることから、検討用地震の名称を「大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震」とする。

I. 第1013回審査会合からの主な変更点(3/3)

大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震に係る主な変更点(3/3)

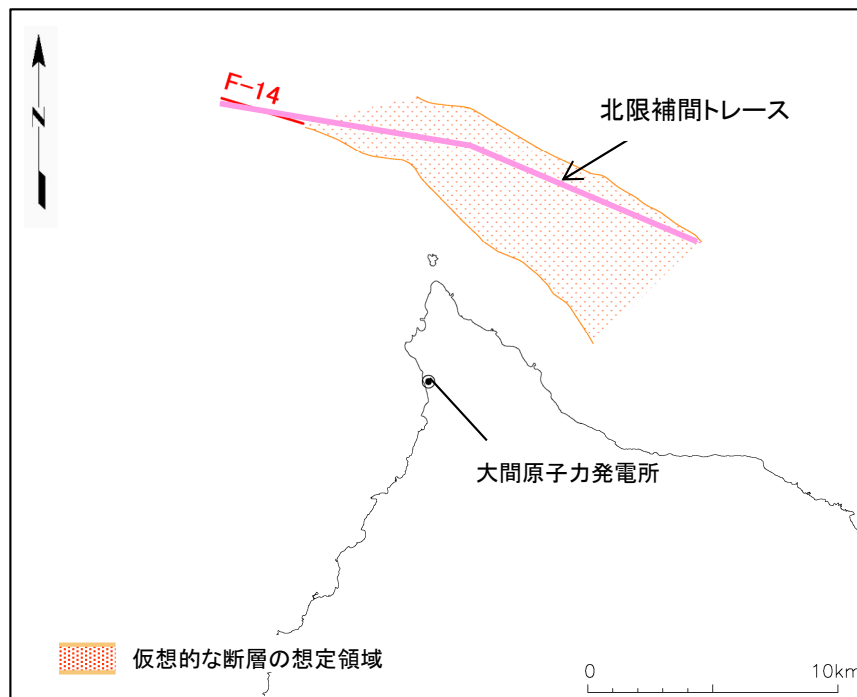
【基本ケースの地表トレースの変更】 コメントNo.S4-10

○第1013回審査会合(2021年11月5日)

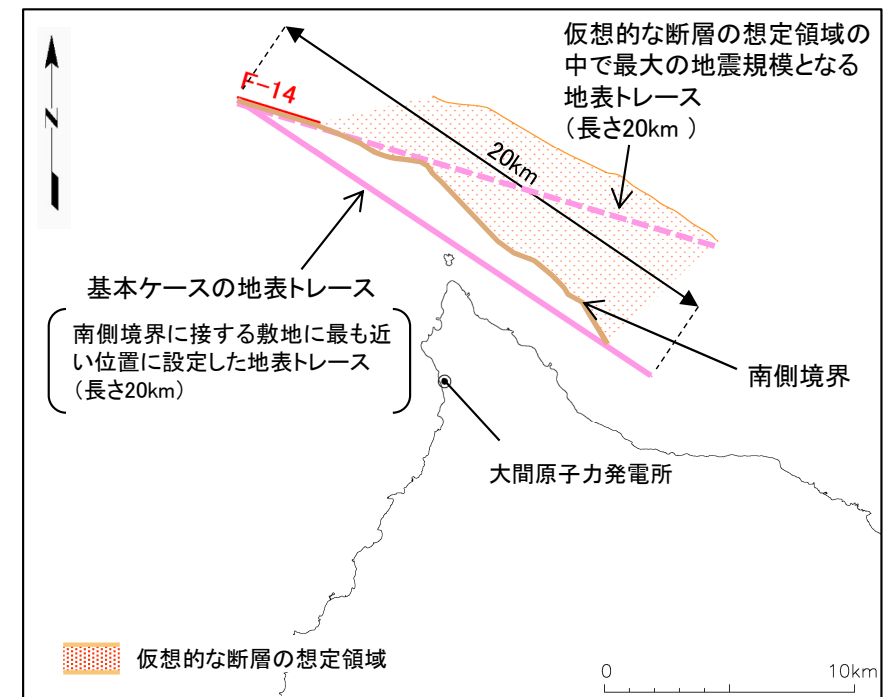
- 基本ケースの地表トレースは、隆起シミュレーション結果に基づき、地形発達過程の再現性があると評価された震源モデル候補のうち、敷地に及ぼす影響が最も大きいものとして、屈曲した北限補間トレースとした。

○今回ご説明

- 地表トレースの設定において、基本ケースの震源モデルは、仮想的な断層の想定領域の中で想定しうる最大の地震規模を有する直線状の地表トレース(M6.8, 断層長さ20km)を考慮する。
- 基本ケースの地表トレースは、敷地に及ぼす影響が大きくなるよう、仮想的な断層の想定領域の北西端を起点として、南側境界に接する敷地に最も近い位置に設定する。



基本ケースの地表トレース(第1013回審査会合)

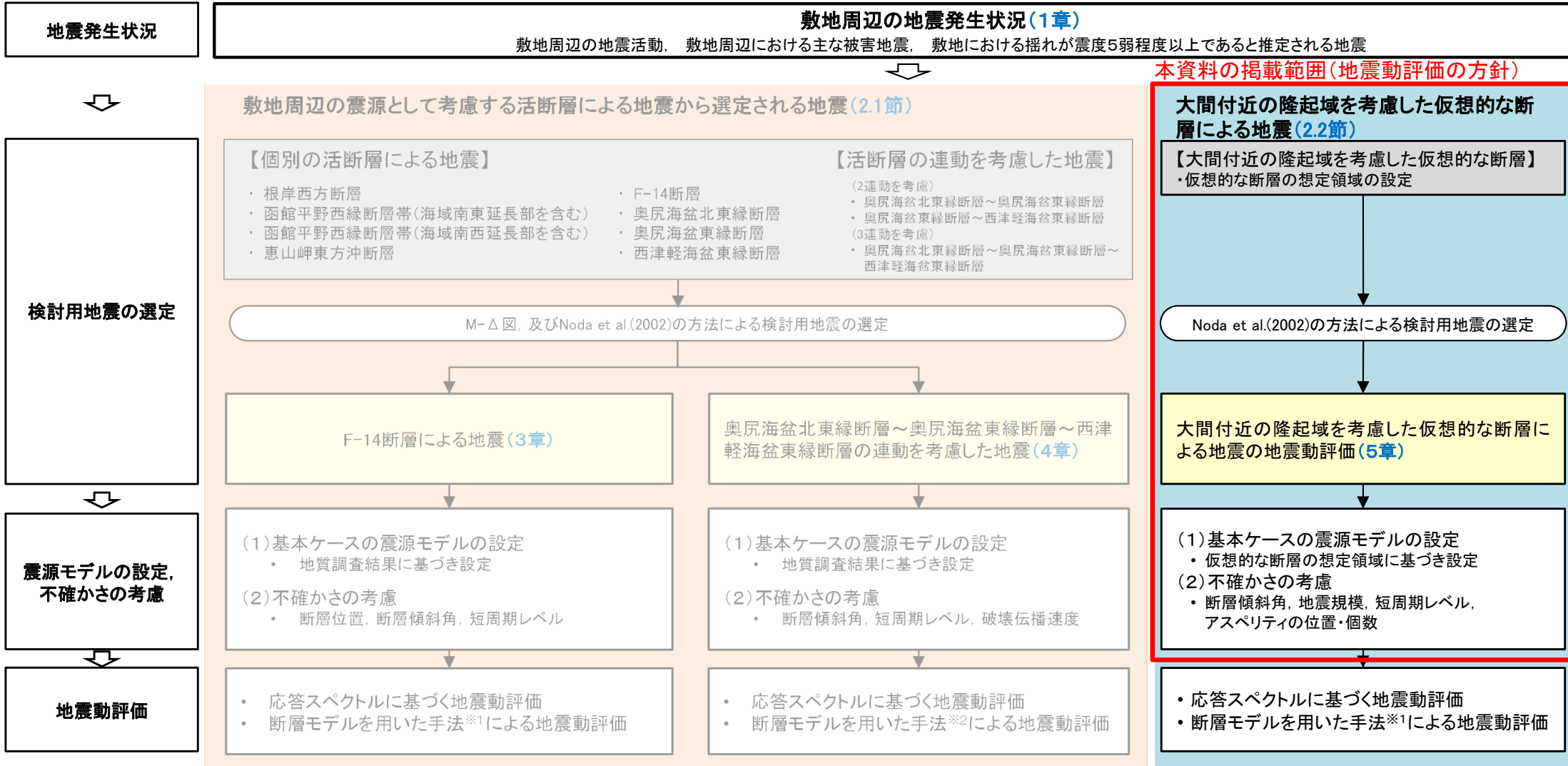


基本ケースの地表トレース(今回ご説明)

II. 検討概要(1/5)

検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

- 内陸地殻内地震の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、大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層(以下「仮想的な断層」という。)による地震を選定する。



※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。

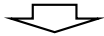
Ⅱ. 検討概要(2/5)

仮想的な断層による地震: 検討用地震の選定

- 検討用地震として、仮想的な断層による地震を選定する。

①大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の位置付け

- 大間付近の隆起域が敷地に近いため、この領域が仮想的な断層による地震によって生じているものと仮定し、検討用地震の候補とする。



②仮想的な断層による地震の地震規模と等価震源距離

- 検討用地震の選定にあたり、仮想的な断層による地震の地震規模と等価震源距離を確認する。
- 仮想的な断層の想定領域の中央に設定した地表トレースを有する地震の規模はM6.8※1、敷地との等価震源距離は11kmとなる※2。



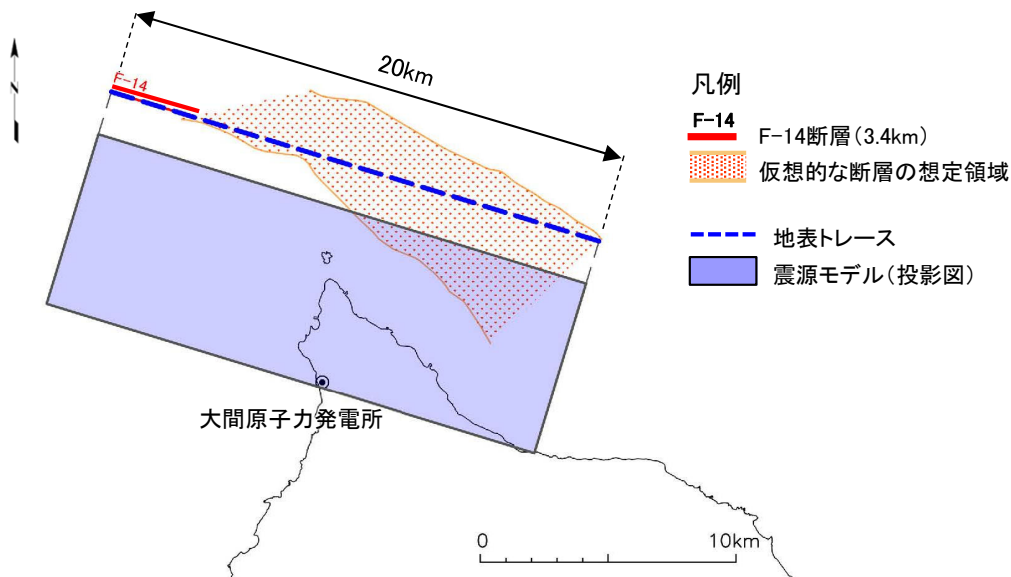
※1: 仮想的な断層の想定領域内で地震規模は最大となる。

※2: 震源モデルは、断層傾斜角60°、断層上端深さ3km、断層下端深さ15kmとして算定。

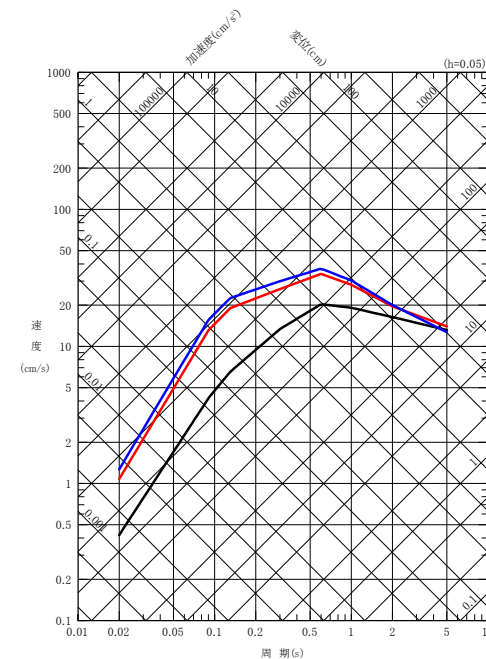
③検討用地震の選定

- 仮想的な断層による地震について、Noda et al.(2002)の方法により、応答スペクトルの評価を行った。
- 仮想的な断層による地震が敷地に及ぼす影響は、短周期側でF-14断層による地震※3を上回ることから、この地震も検討用地震として選定する。

※3: 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震において検討用地震として選定された地震。



仮想的な断層による地震の震源モデル



- 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
- 仮想的な断層による地震

応答スペクトルの比較

仮想的な断層による地震の震源モデルの設定(1/2)

- 基本ケースの震源モデルは、仮想的な断層の想定領域に想定しうる最大規模の地震を、敷地に及ぼす影響が大きくなるよう、仮想的な断層の想定領域の南側境界に接する敷地に最も近い位置に設定する。
- 仮想的な断層による地震の基本ケースの震源モデルのうち、巨視的パラメータの設定に関する考え方を以下に示す。

【地震規模】

- 仮想的な断層の想定領域に想定しうる最大規模の地震は、仮想的な断層の想定領域の北西端(F-14断層の西端)を起点として西北西-東南東の走向を有する断層長さ20kmの仮想的な断層による地震(右上図参照)であり、地震規模はM6.8(地震モーメント $M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)となる。
- 上記地震規模は、地表地震断層が生じない規模となる。これは、敷地周辺及び敷地近傍における海上音波探査や重力異常等の調査では、大間付近の隆起域をもたらすような活断層は認められないことと整合的である。
- 以上を踏まえ、基本ケースの震源モデルの地震規模は、仮想的な断層の想定領域において想定しうる最大規模の地震として、M6.8(地震モーメント $M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)を考慮する。

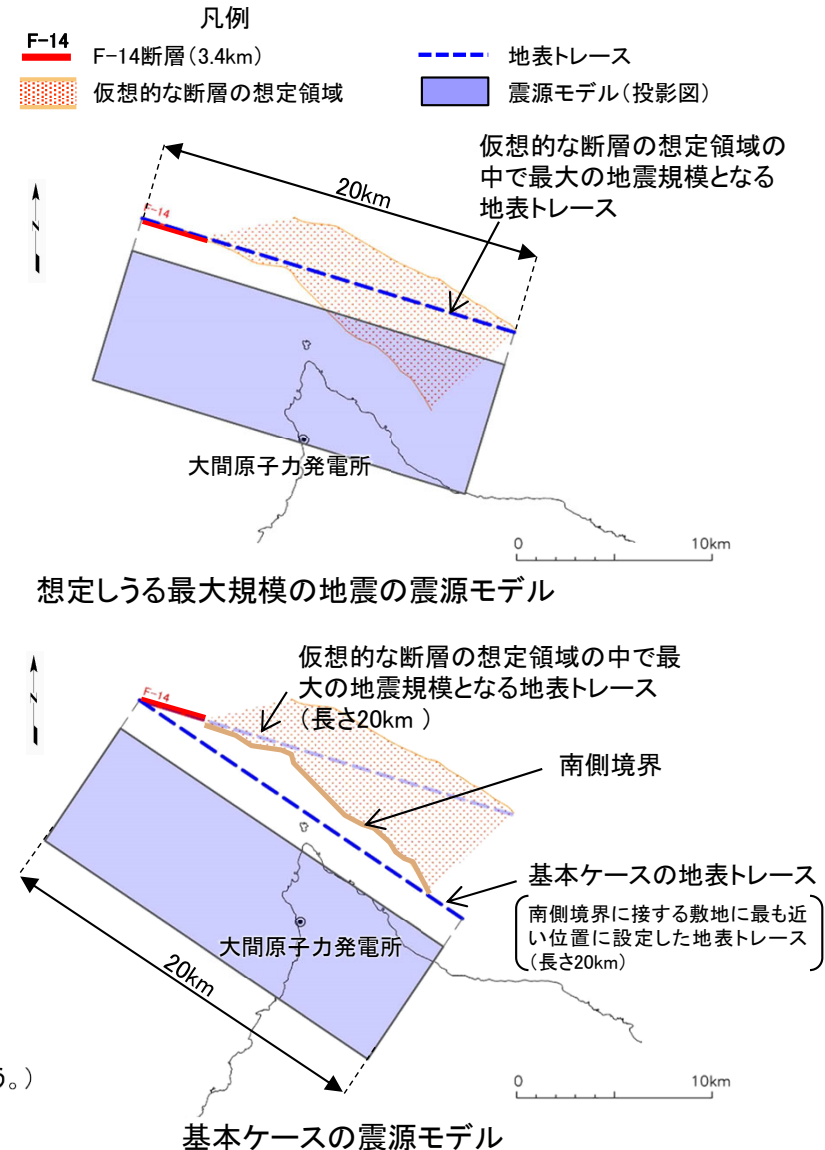
【断層位置】

- 断層位置は、敷地に及ぼす影響が大きくなるよう、上記最大規模の震源モデルを仮想的な断層の想定領域の北西端(F-14断層の西端)を起点として、南側境界に接する敷地に最も近い位置に設定する(右下図参照)。

【断層傾斜角】

- 大間付近の隆起域を考慮して、南傾斜の逆断層として扱う。
- 上記隆起域付近に分布する逆断層は、高角が卓越するため、高角な逆断層として設定する。
- 断層傾斜角は、強震動予測レシピ※では高角な逆断層の場合 60° 以上とされていることから、敷地に近づくように 60° として設定する。

※:地震調査研究推進本部(2020)による震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(以下「強震動予測レシピ」という。)



仮想的な断層による地震の震源モデルの設定(2/2)

• 仮想的な断層による地震の基本ケースの震源モデルのうち、微視的パラメータの設定に関する考え方を以下に示す。

【アスペリティの位置】

- アスペリティの位置は、アスペリティに関する下記知見を踏まえて設定する。
 - 杉山ほか(2002)及び強震動予測レシピによると、地表地震断層の変位量分布は、震源断層浅部のすべり量分布とよく対応しているとされている。
 - 中田(2008)によると、近年の大地震に伴って出現した地震断層でも、地表の断層沿いの変位量分布と、地震学的に推定される地下の活断層のアスペリティの分布が一致する例が数多く報告されており、活断層に沿った変位量分布を基に地震発生以前に地下のアスペリティの位置や大きさがある程度推定することが可能としている。
- 上記知見を踏まえ、すべり量の大きい領域として、仮想的な断層の想定領域内に唯一認められる活断層であるF-14断層の位置にアスペリティを設定する。
- 具体的には、長さ方向はF-14断層の西端を基準として敷地寄りの最浅部に設定する。

【アスペリティの個数】

- アスペリティの個数は、アスペリティに関する下記知見を踏まえて設定する。
 - 過去の内陸地殻内地震の震源インバージョン結果を整理したSomerville et al.(1999), 入倉・三宅(2001)及び糸井ほか(2009)のデータセットによると、地震モーメント $M_0=1 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ ($1 \times 10^{26} \text{dyne} \cdot \text{cm}$)よりも小さい地震規模ではアスペリティはおおむね1つである。
- 仮想的な断層による地震の地震規模は地震モーメント $M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$ ($4.4 \times 10^{25} \text{dyne} \cdot \text{cm}$)であり、地震モーメント $M_0=1 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ ($1 \times 10^{26} \text{dyne} \cdot \text{cm}$)よりも小さい。
- したがって、アスペリティの個数は、知見に基づき、1つに設定する。

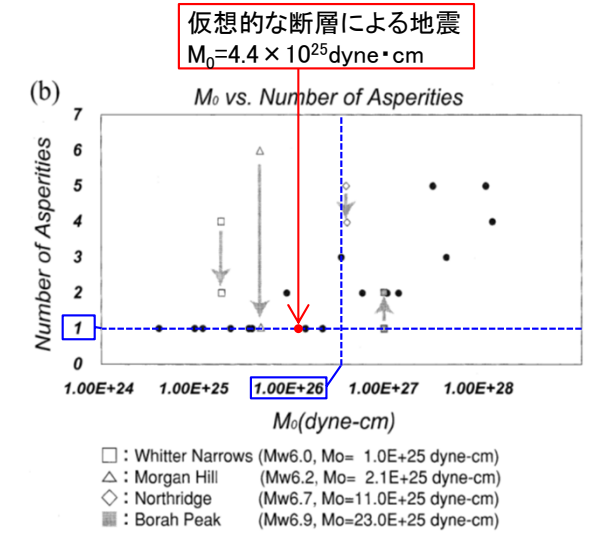
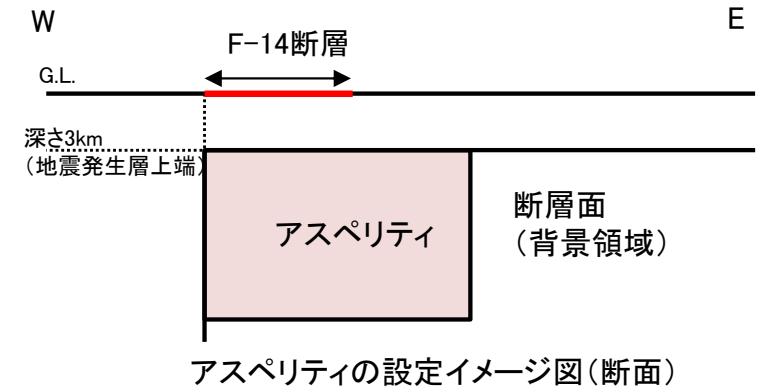
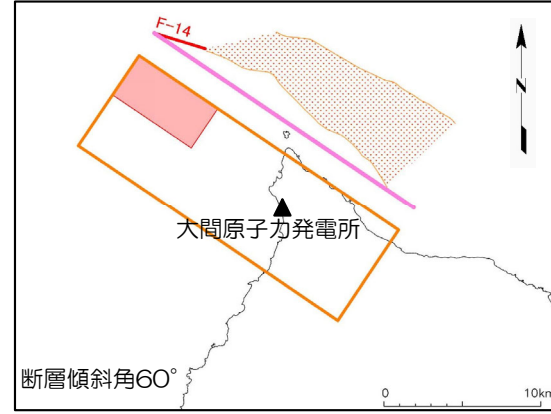


図 10 Somerville et al. (1999) によるアスペリティの抽出結果に基づき Kagawa and Miyakoshi (2000 私信) が整理した (a) アスペリティの個数と断層長さの関係と (b) アスペリティの個数と地震モーメントの関係。

II. 検討概要(5/5)

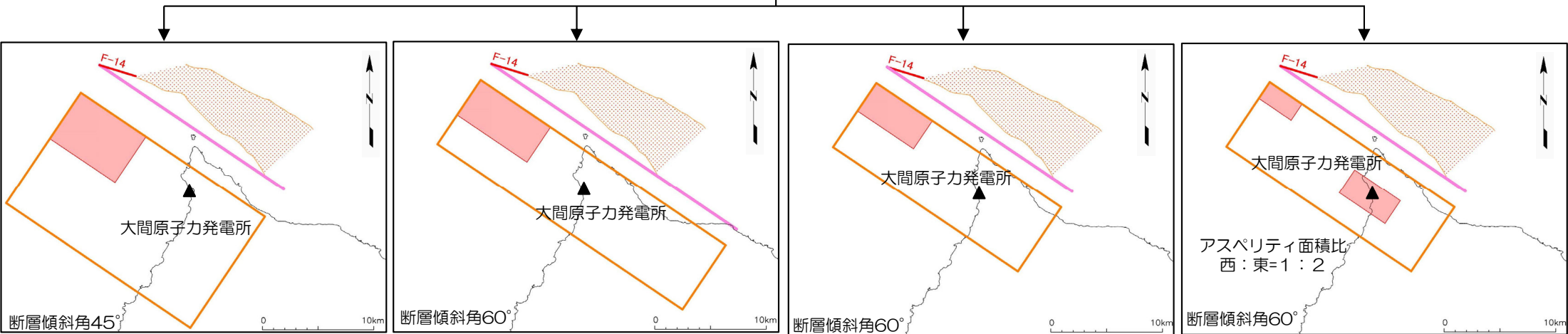
仮想的な断層による地震の震源モデル

- 仮想的な断層による地震の震源モデルの一覧を以下に示す。
- 設定した基本ケースに対して、断層傾斜角の不確かさケース(断層傾斜角 45°)、地震規模の不確かさケース(地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)、短周期レベルの不確かさケース(強震動予測レシピの1.5倍)及びアスペリティの位置・個数の不確かさケース(F-14断層位置に加え、敷地寄りにアスペリティを配置)を設定する。



— : 地表トレース
 : アスペリティ : 断層面

【基本ケース】



強震動予測レシピを踏まえ、より低角な断層傾斜角 45° を考慮する。

断層傾斜角の不確かさ

孤立した短い活断層の地震規模(地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)と同等の震源断層面を考慮する。

地震規模の不確かさ

強震動予測レシピの1.5倍を考慮する。

短周期レベルの不確かさ

F-14断層の位置に加え、敷地寄りのアスペリティ位置*を考慮する。

アスペリティの位置・個数の不確かさ

【不確かさケース】

※: 地表に痕跡が認められないことから、杉山ほか(2002)等の知見を踏まえ、10km以深にアスペリティを設定することが考えられるが、断層中段深さ(アスペリティ中心深さ9km)に設定。

1. 敷地周辺の地震発生状況	
2. 検討用地震の選定	
2.1 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	
2.2 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震	P.3
2.3 検討用地震の選定のまとめ	P.6
3. F-14断層による地震の地震動評価	
3.1 地震発生層の設定	
3.2 震源モデルの設定	
3.3 地震動評価手法	
3.4 地震動評価結果	
4. 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	
4.1 地震発生層の設定	
4.2 震源モデルの設定	
4.3 地震動評価手法	
4.4 地震動評価結果	
5. 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の地震動評価	P.7
5.1 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域	P.9
5.2 地震発生層の設定	P.10
5.3 震源モデルの設定	P.11
5.4 地震動評価手法	
5.5 地震動評価結果	
6. 地震動評価のまとめ	
<補足説明資料>	
[大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の地震動評価]	
(補足1) 地表トレースの形状が敷地に及ぼす影響について	P.22
(補足2) 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の傾斜について	P.24

1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 検討用地震の選定
 - 2.1 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
 - 2.2 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震
 - 2.3 検討用地震の選定のまとめ
3. F-14断層による地震の地震動評価
 - 3.1 地震発生層の設定
 - 3.2 震源モデルの設定
 - 3.3 地震動評価手法
 - 3.4 地震動評価結果
4. 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
 - 4.1 地震発生層の設定
 - 4.2 震源モデルの設定
 - 4.3 地震動評価手法
 - 4.4 地震動評価結果
5. 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の地震動評価
 - 5.1 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域
 - 5.2 地震発生層の設定
 - 5.3 震源モデルの設定
 - 5.4 地震動評価手法
 - 5.5 地震動評価結果
6. 地震動評価のまとめ

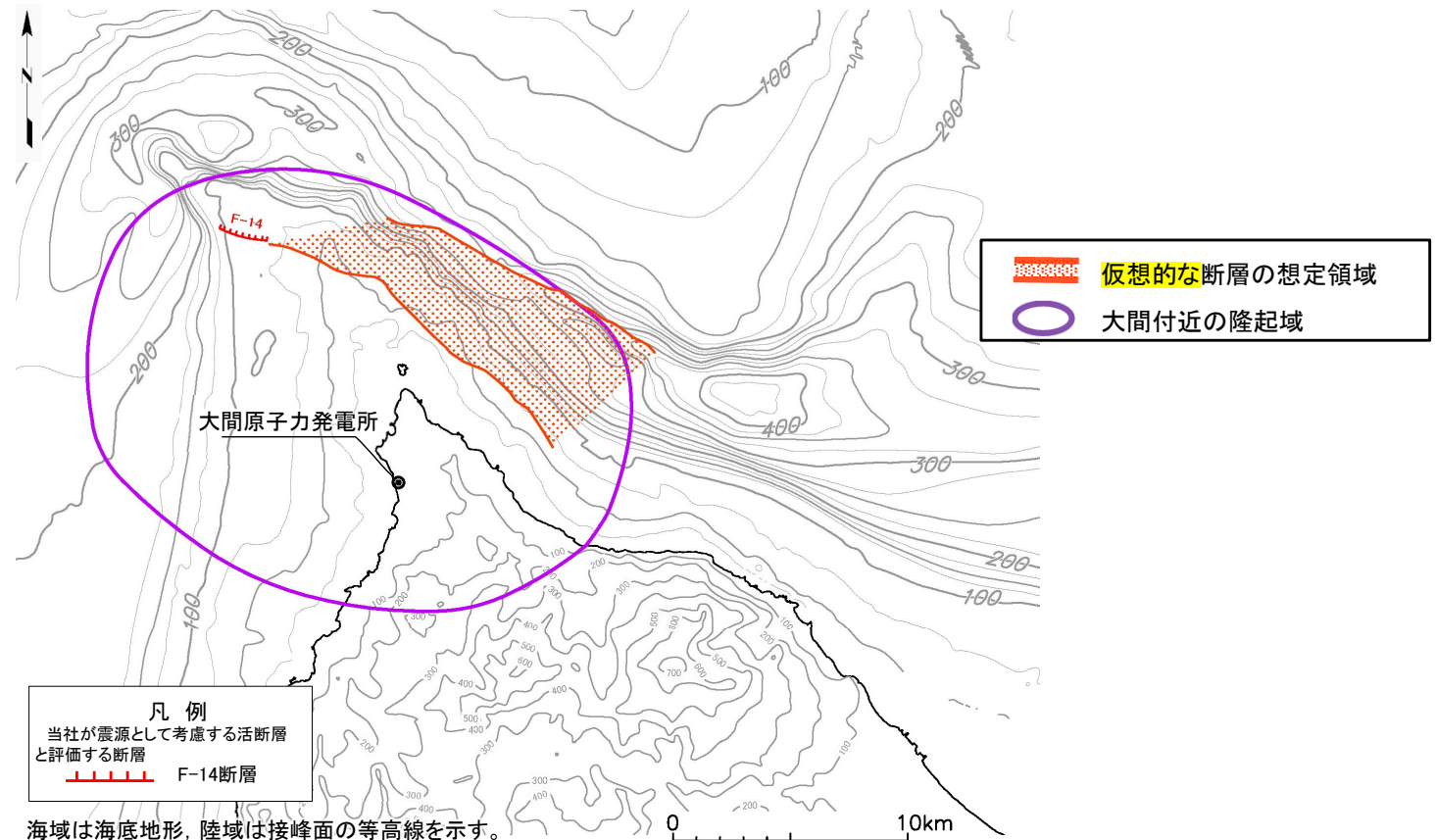
2.2 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震(1/3)

①大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の位置付け

- 敷地周辺及び敷地近傍における海上音波探査や重力異常等の調査では、大間崎付近における相対的に隆起速度の速い領域(以下「大間付近の隆起域」という。)*¹をもたらすような活断層は認められない。
- しかし、大間付近の隆起域が敷地に近いため、この領域が仮想的な断層による地震(F-14断層の西端を起点とした古い地質構造に基づく領域に想定する地震)*²によって生じているものと仮定し、検討用地震の候補とする。

※1:詳細は、第983回審査会合 資料2-4-1 P.8-23を参照。

※2:仮想的な断層の想定領域については、第983回審査会合 資料2-4-1 P.9-4を参照。



大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域
及び大間付近の隆起域
(第983回審査会合 資料2-4-1 P.9-4を参照。)

2.2 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震(2/3)

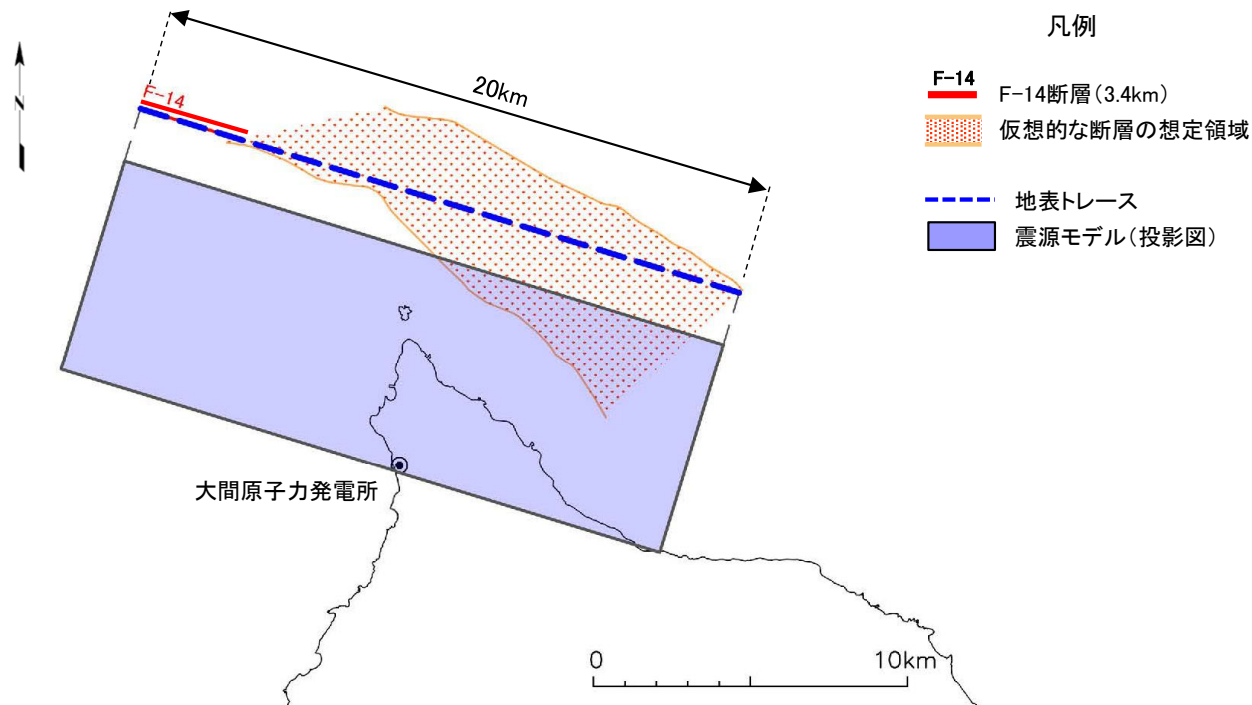


② 仮想的な断層による地震の地震規模と等価震源距離

- 検討用地震の選定にあたり、仮想的な断層による地震の地震規模と等価震源距離を確認する。
- 仮想的な断層の想定領域の中央に設定した地表トレースを有する地震の規模はM6.8※1、敷地との等価震源距離は11kmとなる※2。

※1:P.12, P.23に示すとおり、仮想的な断層の想定領域内で地震規模は最大となる。

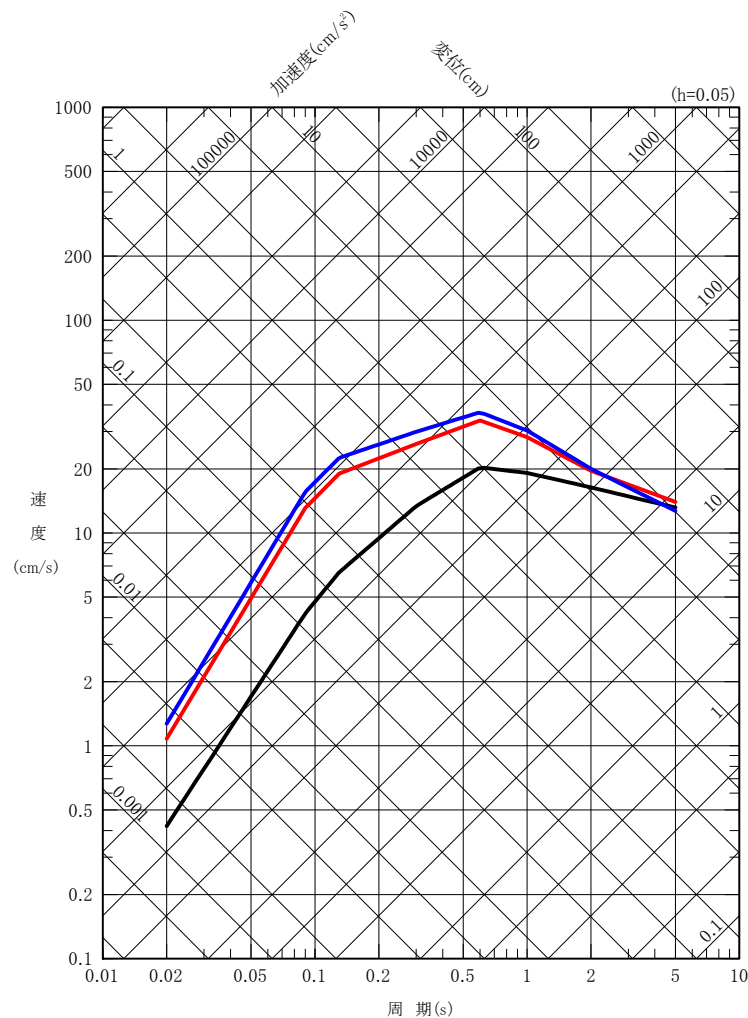
※2:震源モデルは、断層傾斜角 60° 、断層上端深さ3km、断層下端深さ15kmとして算定。



仮想的な断層による地震の震源モデル
(仮想的な断層の想定領域の中央に設定した地表トレース)

③検討用地震の選定

- 仮想的な断層による地震について、Noda et al.(2002)の方法により、応答スペクトルの評価を行った。
- 下図に示すとおり、仮想的な断層による地震が敷地に及ぼす影響は、短周期側でF-14断層による地震を上回ることから、この地震も検討用地震として選定する。



- 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
- 仮想的な断層による地震

選定対象となる地震の諸元

地震名	地震規模 M	等価震源距離 ^{※2} (km)
F-14断層による地震	7.0	15
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	8.1	84
仮想的な断層による地震 ^{※1}	6.8	11

※1: 震源モデルは、断層傾斜角60°、断層上端深さ3km、断層下端深さ15kmとして算定。

※2: 等価震源距離は、均質な一様断層を想定し算定。

2.3 検討用地震の選定のまとめ



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

- 敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる地震として、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

大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震

- 仮想的な断層による地震は、短周期側でF-14断層による地震を上回ることから、この地震も検討用地震として選定する。
 - 仮想的な断層による地震

1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 検討用地震の選定
 - 2.1 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
 - 2.2 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震
 - 2.3 検討用地震の選定のまとめ
3. F-14断層による地震の地震動評価
 - 3.1 地震発生層の設定
 - 3.2 震源モデルの設定
 - 3.3 地震動評価手法
 - 3.4 地震動評価結果
4. 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
 - 4.1 地震発生層の設定
 - 4.2 震源モデルの設定
 - 4.3 地震動評価手法
 - 4.4 地震動評価結果
5. 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の地震動評価
 - 5.1 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域
 - 5.2 地震発生層の設定
 - 5.3 震源モデルの設定
 - 5.4 地震動評価手法
 - 5.5 地震動評価結果
6. 地震動評価のまとめ

5. 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の地震動評価



仮想的な断層による地震の地震動評価の実施手順

- 以下の実施手順により、**仮想的な断層**による地震の地震動を評価する。

実施手順

5.1 大間付近の隆起域を考慮した
仮想的な断層の想定領域

5.2 地震発生層の設定

5.3 震源モデルの設定

次回以降ご説明

5.4 地震動評価手法
5.5 地震動評価結果

- 仮想的な断層の想定領域について整理する。（第983回審査会合 資料2-4-1 8章参照）

- 「3. F-14断層による地震の地震動評価」と同じ地震発生層を設定する。

①基本ケースの震源モデルの考え方

- 巨視的パラメータ
- 微視的パラメータ

- 巨視的パラメータ、微視的パラメータについて、それぞれ基本ケースの震源モデルの設定における考え方を整理する。

②基本ケースの震源モデルの設定

- 基本ケースの震源モデルを設定する。

③考慮する不確かさの整理に基づく
検討ケースの設定

- 基本ケースの設定の考え方を踏まえ、考慮する不確かさを整理し、検討ケースを設定する。

④断層パラメータの設定

- 次回以降ご説明

5.1 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の想定領域



仮想的な断層の想定領域

- 大間付近の隆起域と仮想的な断層の想定領域について下記のとおり整理する。

- 下北半島西部には、陸域から海域にわたる広域的な地殻変動が認められるが、その地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等は認められない。

- 下北半島西部の広域的な地殻変動のうち、大間付近の隆起域(相対的に隆起速度が速い領域)が敷地に近いため、この領域が仮想的な断層による地震によって生じているものと仮定し、「仮想的な断層の想定領域」を設定する。

【大間付近の隆起域】

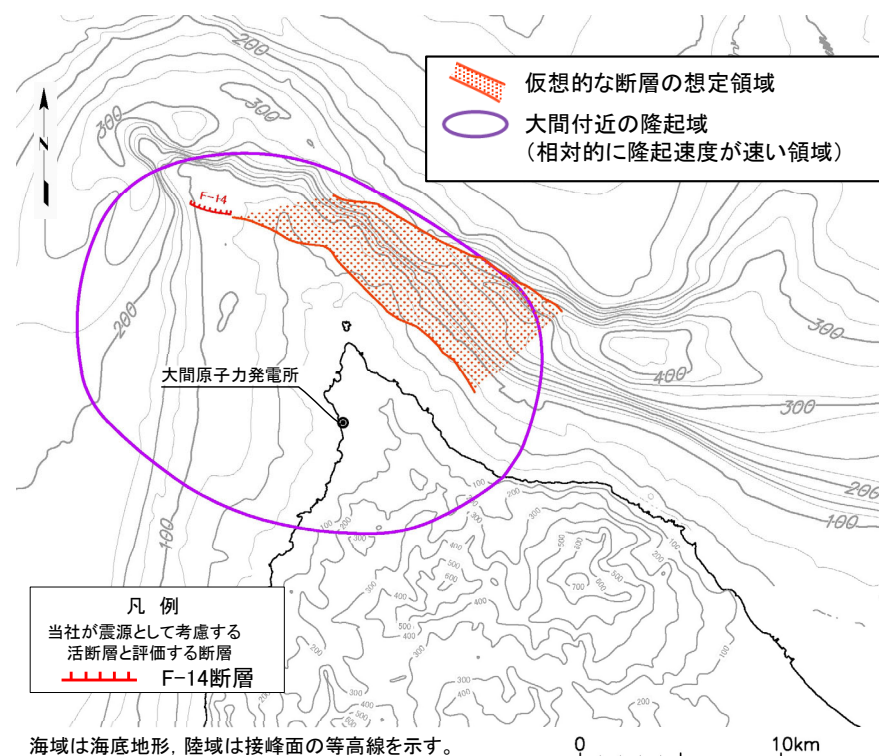
- 下北半島西部の広域的な地殻変動のうち、相対的に隆起速度が速い領域を「大間付近の隆起域」として設定する。
(第983回審査会合 資料2-4-1 P.8-23参照)



【仮想的な断層の想定領域】

- 「大間付近の隆起域」に分布する唯一の震源として考慮する活断層であるF-14断層の西端を起点とした領域を「仮想的な断層の想定領域」と設定し、その領域において仮想的な断層を想定する。
- 「仮想的な断層の想定領域」は下記を踏まえ、設定する。
 - 「大間付近の隆起域」に唯一分布するF-14断層の西端を起点とする。
 - 後期更新世以降の活動が認められない古い地形・地質構造及び重力異常に基づき領域を設定する。

(第983回審査会合 資料2-4-1 P.8-45参照)



(第983回審査会合 資料2-4-1 P.8-48参照)

5.2 地震発生層の設定



地震発生層の設定

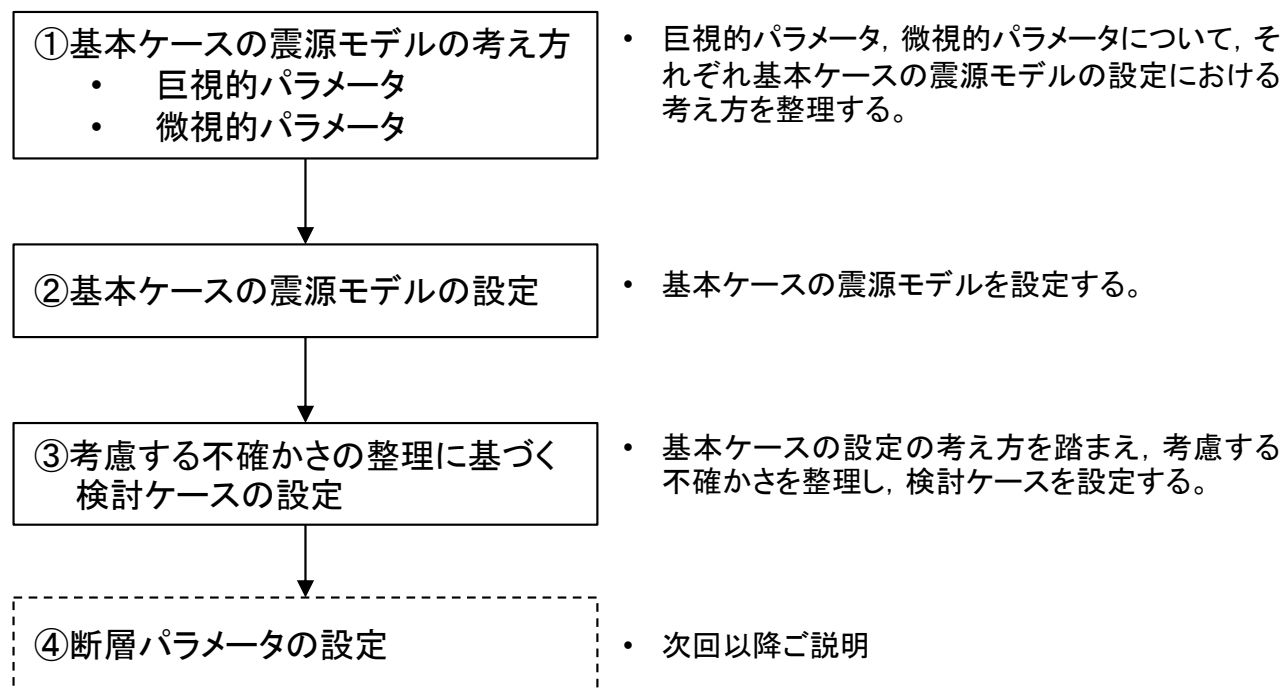
- 仮想的な断層による地震の地震発生層は、おおむね同位置に想定しているF-14断層による地震の地震発生層と同じく、上限深さを3km、下限深さを15kmに設定する。

5.3 震源モデルの設定 (1 / 10)



震源モデルの設定手順

- 仮想的な断層による地震の地震動評価にあたり、震源モデルの設定フローを示す。



震源モデルの設定フロー

5.3 震源モデルの設定(2/10)

①基本ケースの震源モデルの考え方(1/2):巨視的パラメータ

- 基本ケースの震源モデルは、仮想的な断層の想定領域に想定しうる最大規模の地震を、敷地に及ぼす影響が大きくなるよう、仮想的な断層の想定領域の南側境界に接する敷地に最も近い位置に設定する。
- 仮想的な断層による地震の基本ケースの震源モデルのうち、巨視的パラメータの設定に関する考え方を以下に示す。

【地震規模】

- 仮想的な断層の想定領域に想定しうる最大規模の地震^{※1}は、仮想的な断層の想定領域の北西端(F-14断層の西端)を起点として西北西-東南東の走向を有する断層長さ20kmの仮想的な断層による地震(右上図参照)であり、地震規模はM6.8(地震モーメント $M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)となる。
- 上記地震規模は、地表地震断層が生じない規模となる。これは、敷地周辺及び敷地近傍における海上音波探査や重力異常等の調査では、大間付近の隆起域をもたらすような活断層は認められないことと整合的である。
- 以上を踏まえ、基本ケースの震源モデルの地震規模は、仮想的な断層の想定領域において想定しうる最大規模の地震として、M6.8(地震モーメント $M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)を考慮する。

【断層位置】

- 断層位置は、敷地に及ぼす影響が大きくなるよう、上記最大規模の震源モデルを仮想的な断層の想定領域の北西端(F-14断層の西端)を起点として、南側境界に接する敷地に最も近い位置に設定する(右下図参照)。

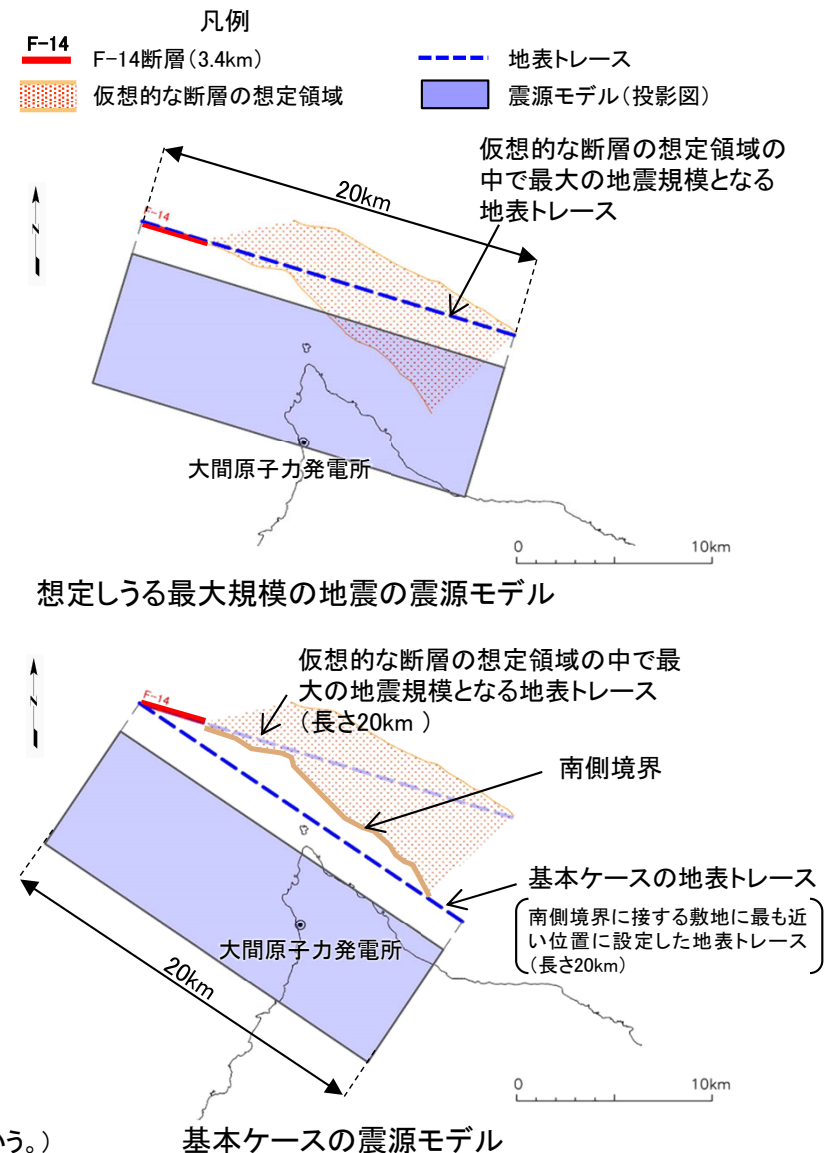
【断層傾斜角】

- 大間付近の隆起域を考慮して、南傾斜の逆断層として扱う。
- 上記隆起域付近に分布する逆断層は、高角が卓越する^{※2}ため、高角な逆断層として設定する。
- 断層傾斜角は、強震動予測レシピ^{※3}では高角な逆断層の場合 60° 以上とされていることから、敷地に近づくように 60° として設定する。

※1: 地表トレースの形状が敷地に及ぼす影響については、巻末の(補足1)を参照

※2: 仮想的な断層の想定領域付近に分布する逆断層センスの活断層の傾斜については、巻末の(補足2)を参照

※3: 地震調査研究推進本部(2020)による震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(以下「強震動予測レシピ」という。)



5.3 震源モデルの設定(3/10)



①基本ケースの震源モデルの考え方(2/2): 微視的パラメータ

- 仮想的な断層による地震の基本ケースの震源モデルのうち、微視的パラメータの設定に関する考え方を以下に示す。

【アスペリティの位置】

- アスペリティの位置は、アスペリティに関する下記知見を踏まえて設定する。
 - 杉山ほか(2002)及び強震動予測レシピによると、地表地震断層の変位量分布は、震源断層浅部のすべり量分布とよく対応しているとされている。
 - 中田(2008)によると、近年の大地震に伴って出現した地震断層でも、地表の断層沿いの変位量分布と、地震学的に推定される地下の活断層のアスペリティの分布が一致する例が数多く報告されており、活断層に沿った変位量分布を基に地震発生以前に地下のアスペリティの位置や大きさある程度推定することが可能としている。
- 上記知見を踏まえ、すべり量の大きい領域として、仮想的な断層の想定領域内に唯一認められる活断層であるF-14断層の位置にアスペリティを設定する。
- 具体的には、長さ方向はF-14断層の西端を基準として敷地寄りの最浅部に設定する。

【アスペリティの個数】

- アスペリティの個数は、アスペリティに関する下記知見を踏まえて設定する。
 - 過去の内陸地殻内地震の震源インバージョン結果を整理したSomerville et al.(1999), 入倉・三宅(2001)及び糸井ほか(2009)のデータセットによると、地震モーメント $M_0=1 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ ($1 \times 10^{26} \text{dyne} \cdot \text{cm}$)よりも小さい地震規模ではアスペリティはおおむね1つである。
- 仮想的な断層による地震の地震規模は地震モーメント $M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$ ($4.4 \times 10^{25} \text{dyne} \cdot \text{cm}$)であり、地震モーメント $M_0=1 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ ($1 \times 10^{26} \text{dyne} \cdot \text{cm}$)よりも小さい。
- したがって、アスペリティの個数は、知見に基づき、1つに設定する。

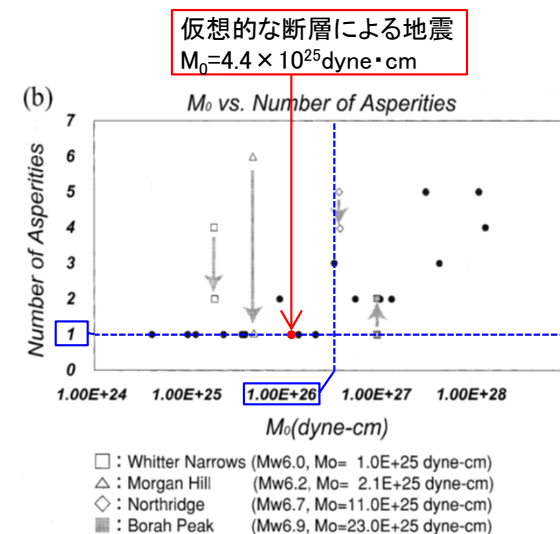
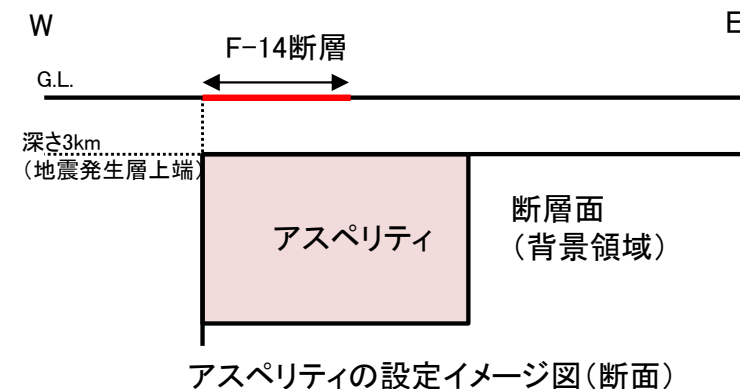


図 10 Somerville et al. (1999) によるアスペリティの抽出結果に基づき Kagawa and Miyakoshi (2000 私信) が整理した (a) アスペリティの個数と断層長さの関係と (b) アスペリティの個数と地震モーメントの関係。

アスペリティの個数と地震モーメントの関係

入倉・三宅(2001)に加筆

5.3 震源モデルの設定(4/10)



②基本ケースの震源モデルの設定(1/3):巨視的パラメータ

- 仮想的な断層による地震の基本ケースの震源モデルのうち、巨視的パラメータの設定に関する考え方を以下に示す。

基本ケースの震源モデルの巨視的パラメータの考え方

パラメータ	調査等に基づく震源パラメータの評価		基本ケースの震源モデルの設定	
	設定根拠	調査等に基づく評価		
巨視的 パラメータ	断層位置	地質調査結果	調査結果からは、活断層は認められない。	仮想的な断層の想定領域の南側境界に接する敷地に最も近い位置に設定する。
	断層傾斜角	地質調査結果	仮想的な断層の想定領域の南側に大間付近の隆起域が拡がっている。	大間付近で隆起が生じるように、南傾斜の逆断層を設定する。上記隆起域付近に分布する逆断層は、高角が卓越する(巻末の(補足2)を参照)ため、高角な逆断層として設定する。断層傾斜角は、強震動予測レシピでは高角な逆断層の場合60°以上とされていることから、敷地に近づくように60°として設定する。
	地震規模(断層長さ)	地質調査結果	調査結果からは、地震規模(断層長さ)は特定できない。	仮想的な断層の想定領域において想定しうる最大規模の地震としてM6.8(断層長さ20km)を設定する。
	断層上端深さ, 断層下端深さ	微小地震分布, 速度構造データ等	微小地震分布, 速度構造データ等に基づく地震発生層は、上限深さ3km, 下限深さ15kmである。	仮想的な断層による地震は、地表地震断層が生じない規模の地震であり、断層幅は地震発生層を飽和する断層幅未満に設定することが考えられるが、保守的に、断層傾斜角60°で地震発生層を飽和する断層幅13.9kmに設定する。(上端深さ3km, 下端深さ15km)

 :あらかじめ不確かさを考慮するパラメータ

5.3 震源モデルの設定(5/10)




②基本ケースの震源モデルの設定(2/3): 微視的パラメータ等

- 仮想的な断層による地震の基本ケースの震源モデルについて、微視的パラメータ等の設定に関する考え方を以下に示す。

基本ケースの震源モデルの微視的パラメータ等の考え方

パラメータ		調査等に基づく震源パラメータの評価		基本ケースの震源モデルの設定
		設定根拠	調査等に基づく評価	
微視的パラメータ	アスペリティ	位置・個数	地質調査結果 すべり量の大きい領域として、仮想的な断層の想定領域内に、F-14断層が唯一認められる。	杉山ほか(2002)は、地表地震断層の変位量分布は、震源断層浅部のすべり量分布とおおむね良い相関を示すとされている。仮想的な断層の想定領域には、すべり量の大きい領域としてF-14断層が唯一認められるため、杉山ほか(2002)等の知見を踏まえ、F-14断層位置にアスペリティを1つ配置する。深さ方向は浅部、すなわち敷地に最も近くように断層上端に配置する。
		短周期レベル(応力降下量)	—	敷地周辺の内陸地殻内地震の短周期レベル(応力降下量)に関する知見は得られていない。 強震動予測レシピに基づき設定する。
その他のパラメータ		破壊開始点	—	敷地周辺の内陸地殻内地震の破壊開始点に関する知見は得られていない。 敷地に及ぼす影響が大きくなるように、敷地に破壊が向かう破壊開始点を複数設定する。

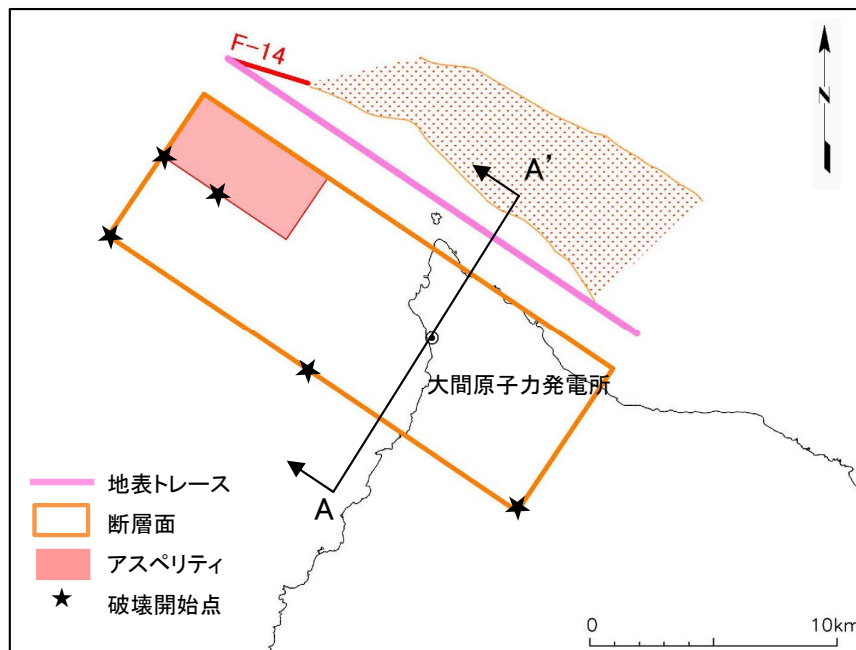
 :あらかじめ不確かさを考慮するパラメータ



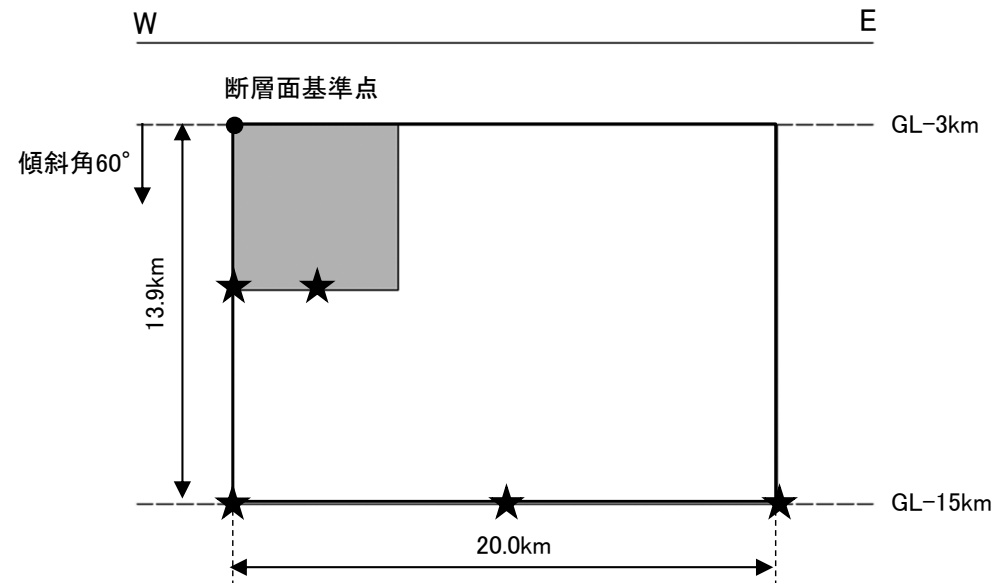
5.3 震源モデルの設定(6/10)

②基本ケースの震源モデルの設定(3/3)

・ 仮想的な断層による地震の基本ケースの震源モデルを以下に示す。



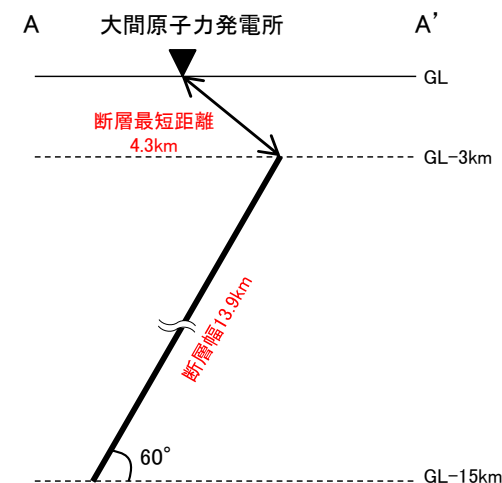
(a) 地表面投影図



(b) 展開図

地震規模	等価震源距離	断層最短距離	アスペリティの中心から敷地までの距離	アスペリティまでの最短距離
M6.8	10.1km	4.3km	11.7km	8.3km

震源モデル(基本ケース)



(c) A-A' 断面模式図

5.3 震源モデルの設定(7/10)

③考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(1/4)

地震動評価における不確かさの考慮について、基本的な考え方を以下に示す。

- 不確かさについて、「**認識論的不確かさ**」と「**偶然的不確かさ**」に分類する。
- 事前の調査や経験則等から設定できる「**認識論的不確かさ**」について、それぞれ独立して不確かさを考慮する。
- 事前の調査や経験則等から設定が困難な「**偶然的不確かさ**」は、「**認識論的不確かさ**」とともに考慮する。

不確かさを考慮するパラメータ

- ①断層傾斜角
- ②地震規模(断層長さ)
- ③短周期レベル
- ④アスペリティの位置・個数※

認識論的不確かさに分類されるもの
(事前の調査や経験則等から設定できるもの)

※:アスペリティは、仮想的な断層の想定領域のうちすべり量の大きい領域であるF-14断層位置に設定することから、ここでは認識論的不確かさとして整理する。

- ⑤破壊開始点

偶然的不確かさに分類されるもの
(事前の調査や経験則等から設定が困難なもの)

5.3 震源モデルの設定(8/10)



③考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(2/4): 不確かさケースの整理

- ・ 仮想的な断層による地震の地震動評価にあたり、基本ケースの震源モデル及び不確かさの考慮について、下表のとおり整理する。
- ・ 基本ケースに対する不確かさとして、断層傾斜角、地震規模、短周期レベル及びアスペリティの位置・個数を考慮する。

震源モデルの設定の考え方と不確かさの整理

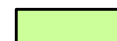
不確かさの種類	パラメータ	基本ケースの震源モデルの設定	不確かさの考慮
認識論的不確かさ	断層位置	仮想的な断層の想定領域の南側境界に接する敷地に最も近い位置に設定する。	基本ケースで敷地に最も近い位置をあらかじめ考慮している。
	断層傾斜角	大間付近で隆起域が生じるように、南傾斜の高角な逆断層として設定する。断層傾斜角は、強震動予測レシピでは高角な逆断層の場合60°以上とされていることから、敷地に近づくように60°として設定する。	強震動予測レシピを踏まえ、より低角な断層傾斜角45°を考慮する。
	地震規模(断層長さ)	仮想的な断層の想定領域において想定しうる最大規模の地震としてM6.8(断層長さ20km)を設定する。	敷地に及ぼす影響が大きくなるように、孤立した短い活断層の地震規模(地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)と同等の震源断層面を考慮する。
	アスペリティの短周期レベル(応力降下量)	強震動予測レシピに基づき設定する。	新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの1.5倍を考慮する。
	アスペリティの位置・個数	仮想的な断層の想定領域には、すべり量の大きい領域としてF-14断層が唯一認められるため、杉山ほか(2002)等の知見を踏まえ、F-14断層位置にアスペリティを1つ配置する。深さ方向は浅部、すなわち敷地に最も近づくように断層上端に配置する。	調査により仮想的な断層の想定領域内にはF-14断層以外の活断層は認められないものの、想定領域はF-14断層の西端を起点に東側に広がっていることから、敷地に及ぼす影響が大きくなるようにアスペリティを配置する。 アスペリティは、F-14断層位置に加えて仮想断層の想定領域内の敷地寄りにも配置し、アスペリティを2つとする ^{※1} 。 敷地寄りのアスペリティの深さ方向の配置は、地表に痕跡が認められないことから、杉山ほか(2002) ^{※2} の知見を踏まえ、10km以深にアスペリティを設定することが考えられるものの、敷地に及ぼす影響が大きくなるよう断層中段深さ(アスペリティ中心深さ9km)に設定する。
偶然的 不確かさ	破壊開始点	敷地に及ぼす影響が大きくなるように、敷地に破壊が向かう破壊開始点を複数設定する。	基本ケースの震源モデルの段階で、複数の破壊開始点をあらかじめ考慮している。

※1: アスペリティ面積比は、強震動予測レシピに基づき2:1とし、敷地に近くなる東側のアスペリティの面積を大きく設定する。

※2: 杉山ほか(2002)によれば、地表地震断層の変位量分布は、震源断層の深部にいくにつれて、すべり量分布と地表における変位量分布との相関は低下し、およそ10km以深では相関があるとはいえなくなるとされている。



: 基本ケースの震源モデルにあらかじめ不確かさを考慮するパラメータ



: 基本ケースの震源モデルに対して不確かさを考慮するパラメータ

5.3 震源モデルの設定(9/10)



③考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(3/4): 検討ケースの設定(1/2)

- 仮想的な断層による地震の地震動評価における検討ケースを以下に示す。

仮想的な断層による地震の検討ケース一覧

検討ケース	地震規模	断層傾斜角	アスペリティの短周期レベル(応力降下量)	アスペリティの位置	アスペリティの個数	破壊開始点
基本ケース	M6.8 ($M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}^{**}$)	60°	強震動予測レシピ	長さ(走向)方向 : F-14断層位置 深さ(断層幅)方向: 断層上端	1個	複数設定
断層傾斜角の不確かさ	M6.9 ($M_0=6.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}^{**}$)	45°	強震動予測レシピ	長さ(走向)方向 : F-14断層位置 深さ(断層幅)方向: 断層上端	1個	
地震規模の不確かさ	M7.0 ($M_0=7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)	60°	強震動予測レシピ	長さ(走向)方向 : F-14断層位置 深さ(断層幅)方向: 断層上端	1個	
短周期レベルの不確かさ	M6.8 ($M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}^{**}$)	60°	強震動予測レシピ × 1.5倍	長さ(走向)方向 : F-14断層位置 深さ(断層幅)方向: 断層上端	1個	
アスペリティの位置・個数の不確かさ	M6.8 ($M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}^{**}$)	60°	強震動予測レシピ	(西側) 長さ(走向)方向 : F-14断層位置 深さ(断層幅)方向: 断層上端 (東側) 長さ(走向)方向 : 敷地に近い位置 深さ(断層幅)方向: 断層中段	2個	

※:地震モーメント M_0 は、地震発生層を飽和する断層幅に設定していることから、強震動予測レシピに準じ、入倉・三宅(2001)に基づき算定することが考えられるが、地震動評価上の保守性の観点から入倉・三宅(2001)とSomerville et al.(1999)に基づき算定した値を比較し、大きい値とする。

- : 基本ケースの震源モデルにあらかじめ不確かさを考慮するパラメータ
- : 基本ケースの震源モデルに対して不確かさを考慮するパラメータ

5.3 震源モデルの設定(10/10)



③考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(4/4): 検討ケースの設定(2/2)

- 仮想的な断層による地震の不確かさケースについて、震源モデルを以下に示す。
- 短周期レベルの不確かさケースの震源モデルの形状・配置はP.16に示す基本ケースと同一である。

震源モデル一覧

■ : アスペリティ □ : 断層面 〓 : 地表トレース

検討ケース	断層傾斜角の不確かさケース	地震規模の不確かさ	アスペリティの位置・個数の不確かさ
震源モデル図	<p>断層面基準点 大間原子力発電所 断層傾斜角45°</p>	<p>断層面基準点 大間原子力発電所 断層傾斜角60°</p>	<p>断層面基準点 大間原子力発電所 アスペリティ面積比 西:東=1:2 断層傾斜角60°</p>
A-A' 断面模式図	<p>A 大間原子力発電所 A' 断層最短距離 9.9km 断層幅 17.0km 45° GL GL-3km GL-15km</p>	<p>A 大間原子力発電所 A' 断層最短距離 10.5km 断層幅 13.9km 60° GL GL-3km GL-15km</p>	<p>A 大間原子力発電所 A' 断層最短距離 9.4km 断層幅 13.9km 60° GL GL-3km GL-15km</p>
地震規模	M6.9	M7.0	M6.8
等価震源距離	9.9km	10.5km	9.4km
アスペリティの中心から敷地までの距離	11.1km	11.4km	(西)12.5km, (東)9.0km
アスペリティまでの最短距離	7.1km	7.1km	(西)10.6km, (東)6.9km

<補足説明資料>

[大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層による地震の地震動評価]

(補足1) 地表トレースの形状が敷地に及ぼす影響について

(補足2) 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の傾斜について

地表トレースの形状が敷地に及ぼす影響について
〔5.3節の補足説明資料〕

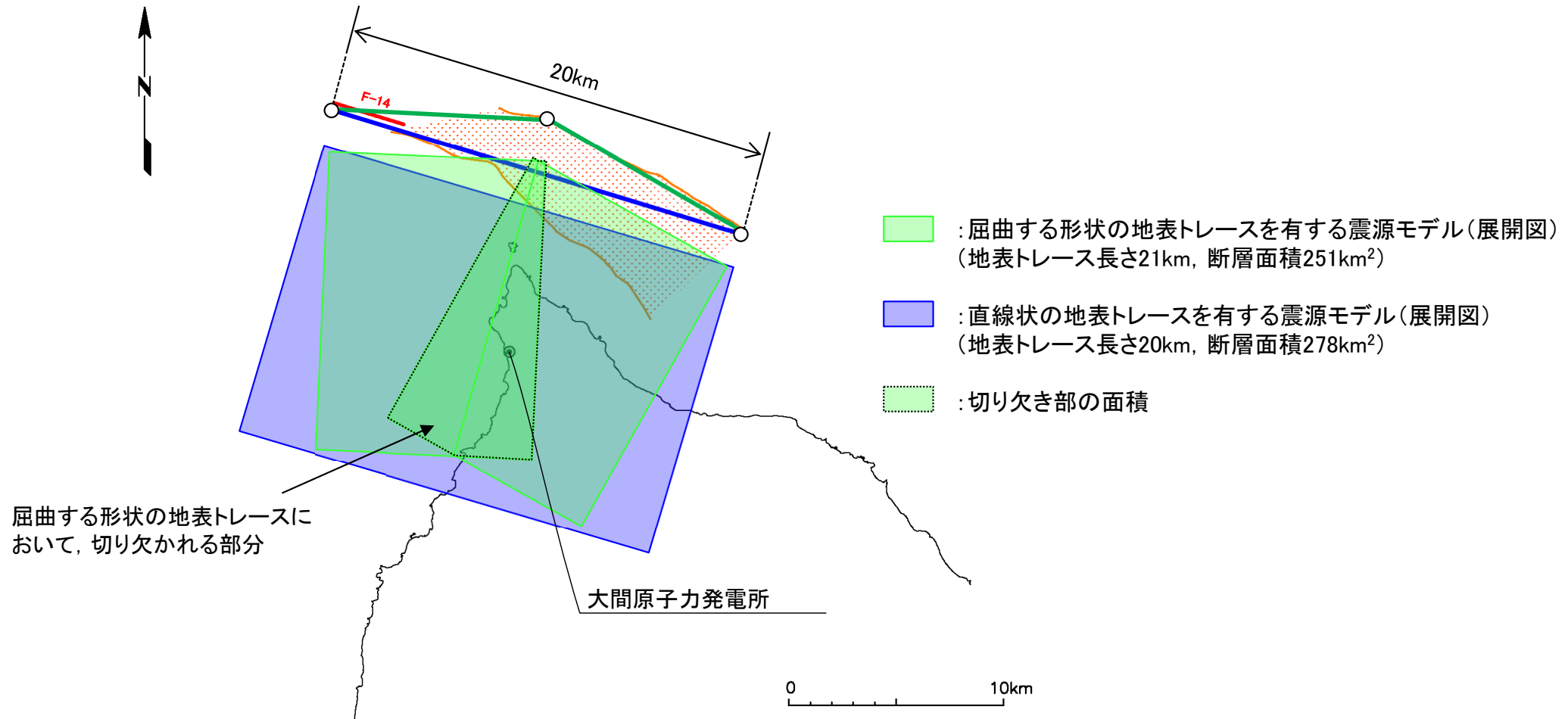
- 同位置に両端点を持つ、屈曲する形状・直線状の地表トレースを比較し、地表トレースの形状が敷地に及ぼす影響を確認する。

(補足1) 地表トレースの形状が敷地に及ぼす影響について(2/2)

- 屈曲する形状の地表トレースは、同位置に両端点を持つ直線状の地表トレースよりも、地表トレース長さは長くなる。
- 一方で、ある程度断層が傾斜する場合、屈曲する形状の地表トレースは、屈曲部の断層面が切欠かれるため、同位置に両端点を持つ直線状の地表トレースよりも想定される断層面積は小さくなる。
- 以上より、同位置に両端点を持つ屈曲する形状と直線状の地表トレースを比較すると、直線状の地表トレースは断層面積が大きく、屈曲する形状よりも地震規模が大きくなる。



敷地に及ぼす影響が大きい地表トレースの形状は、地表トレースの始点と終点を直線状に結んだ形状となる。



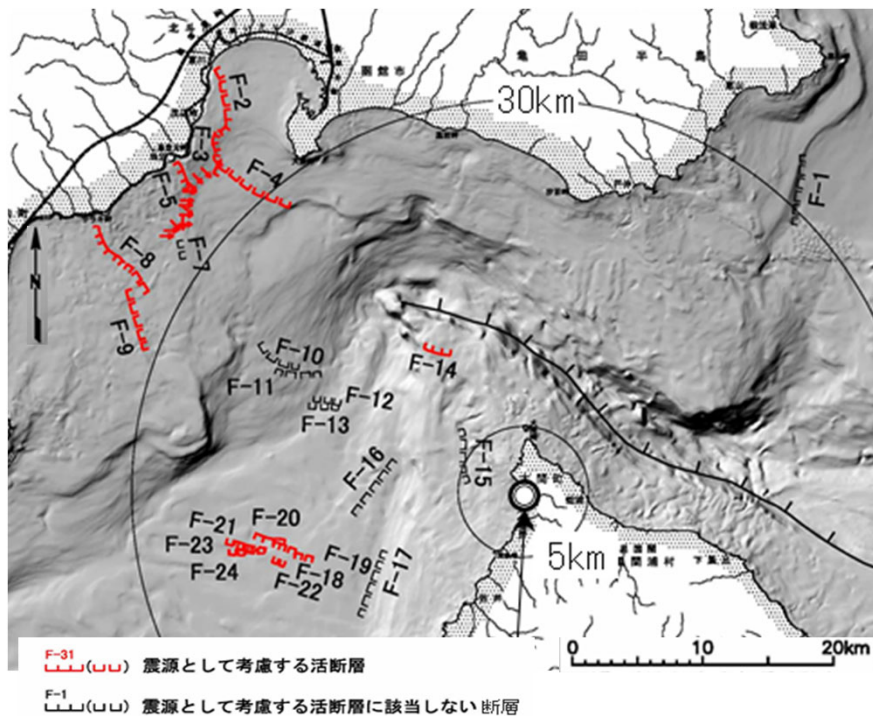
大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の傾斜について
〔5.3節の補足説明資料〕

- 仮想的な断層の傾斜を考慮するにあたり、仮想的な断層の想定領域付近に分布する逆断層センスの活断層の傾斜を参照する。

(補足2) 大間付近の隆起域を考慮した仮想的な断層の傾斜について(2/2)

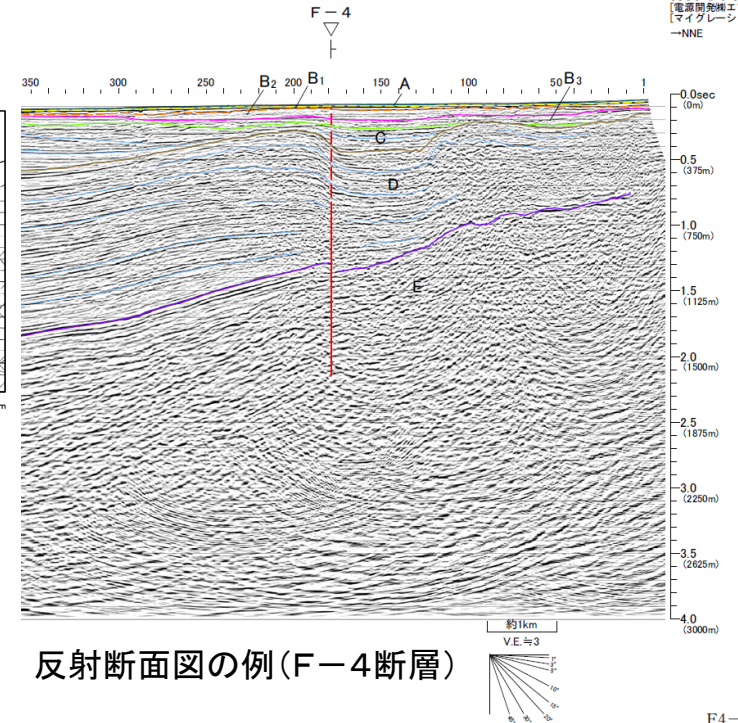
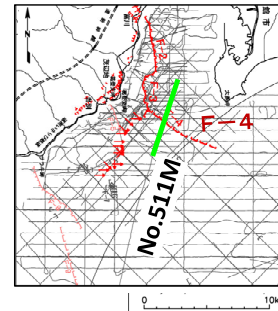
- 仮想的な断層の想定領域の根拠とする地形・地質構造からは震源断層の傾斜を設定することができないため、付近に分布する逆断層の傾斜を参照することとする。
 - 上記想定領域でE-W走向成分を持つ活断層のうち、逆断層としてF-4断層が分布しており、反射断面図から高角と判断される。なお、逆断層とは評価されないが、E-W走向成分を持つF-5断層、F-8断層、F-9断層及びF-14断層も高角を示す。
 - そこで、仮想的な断層の想定領域付近に分布する逆断層は高角が卓越するものとして、仮想的な断層の傾斜を検討することとする。
- ✓ 仮想的な断層の想定領域は、大間付近に分布する唯一の活断層であるF-14断層を起点として、後期更新世以降の活動が認められない古い地形・地質構造及び重力構造によって領域を設定している※1。これら古い地形・地質構造は、白亜紀に形成された構造線(黒松内-釜石沖構造線※2)及び中新世から鮮新世にかけて形成された大間付近の褶曲帯※3の痕跡や組織地形と判断される。
 - ✓ F-14断層、黒松内-釜石沖構造線、大間付近の褶曲帯は、いずれも逆断層として想定されない。そこで、仮想的な断層の想定領域付近に分布する逆断層の傾斜を参照することとする。
 - ✓ なお、東北日本の地質構造発達史及び現在のE-W圧縮応力場とを考慮すると、E-W走向～NW-SE走向の活断層は、初生的には横ずれ断層(一般に高角)として発生していると判断される。そのため、E-W走向成分を持つ逆断層は、初生的な横ずれ断層が逆断層として活動しているものと解釈することとする。

※1: 第983回審査会合資料2-4-1「8.3隆起再現断層の想定領域の評価」を参照。
 ※2: 第983回審査会合資料2-4-2「1.4文献による黒松内-釜石沖構造線」を参照。
 ※3: 第983回審査会合資料2-4-2「1.8海域の背斜状・向斜状構造」を参照。



東西走向成分を持つ活断層の変位センス

逆断層: F-3, F-4
 正断層: F-9
 横ずれ断層: F-14
 不明: F-5, F-8



No. 511M-1
 [電源開発エアガン]
 [マイクレーション]
 -NNE

参考文献

検討概要

- 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
- 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
- Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999), Characterizing Crustal Earthquake slip Models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, Volume 70
- 糸井達哉・翠川三郎・鬼頭順三・三浦弘之・内山泰生・坂本成弘(2009) : 統計的グリーン関数法で評価した地殻内地震の応答スペクトルのバラツキ, 日本地震工学会論文集 第9巻, 第1号
- 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
- 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001) : シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110
- 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>
- 杉山雄一・関口春子・栗田泰夫・伏島祐一郎・下川浩一(2002) : 活断層情報と不均質震源特性との関係, 平成13年度科学振興調整費「地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究」研究成果報告書
- 中田高(2008) : 活断層研究の将来について, 活断層研究 28号