

2.2 想定波源域の設定

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	7
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	11
2.1 日本海東縁部の特性整理	16
2.1.1 文献レビュー	18
2.1.2 当社の調査結果	27
2.1.3 想定される日本海東縁部の範囲	31
2.2 想定波源域の設定	32
2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定	34
2.2.2 想定波源域(東西方向)の設定	41
2.2.3 想定波源域(深度方向)の設定	51
2.3 基準波源モデルの設定	57
2.4 パラメータスタディ	80
2.4.1 パラメータスタディの検討方針	82
2.4.2 計算条件	93
2.4.3 健全地形モデルの解析結果	104
2.4.4 防波堤の損傷を考慮した地形モデル①の解析結果	152
2.4.5 防波堤の損傷を考慮した地形モデル②の解析結果	200
2.4.6 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③の解析結果	248
2.5 「評価用の想定津波」の設定	296
2.6 補足説明	304
2.6.1 パラメータスタディ評価因子影響分析	305
2.6.2 貯留堰を下回る時間の確認	369
2.6.3 断層パターン5東端の検討	379
2.6.4 アスペリティモデルの保守性確認	398
参考文献	417
参考資料	421

2.2 想定波源域の設定

整理方針

- 南北方向については、敷地前面海域の断層評価等に基づき、想定波源域の主部、連動を考慮した想定波源域の南端及び北端の設定根拠を再整理する。
- 東西方向については、海底地形、余震分布、走向等に基づき、設定根拠を再整理する。
- 深度方向については、地震発生層厚さ、地殻構造及び余震分布に基づき、設定根拠を再整理する。
- 以上から、想定波源域を設定する。

2.2 想定波源域の設定

【南北方向の設定】

《想定波源域の主部の設定》

- ・敷地前面海域の断層評価 (P34)
- ・余震分布 (P35)
- ・海底地形 (P35)
- ・震源分布 (P36)

《想定波源域の南端の設定》

- ・断層モデル (P38)

《想定波源域の北端の設定》

- ・基盤構造 (P39)

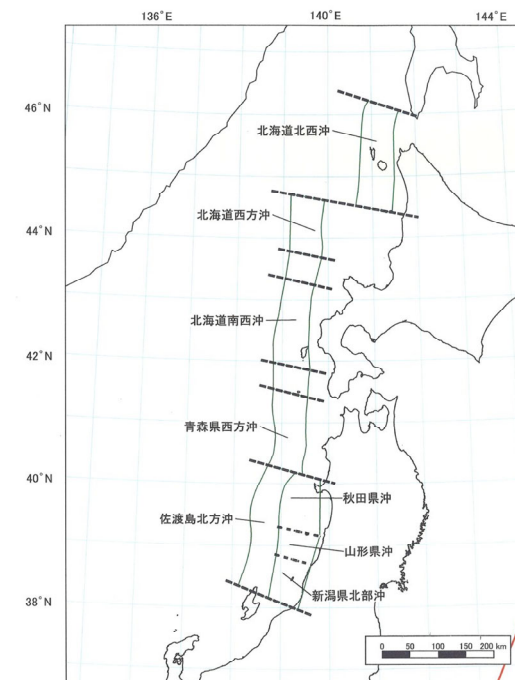
【東西方向の設定】

- ・海底地形 (P41)
- ・地震本部 (2003) (P41)
- ・余震分布 (P42)
- ・走向 (P42)
- ・当社の調査結果 (P44～49)

【深度方向の設定】

- ・地震発生層厚さ (P51)
- ・地殻構造 (P52)
- ・余震分布 (P53)

想定波源域の設定



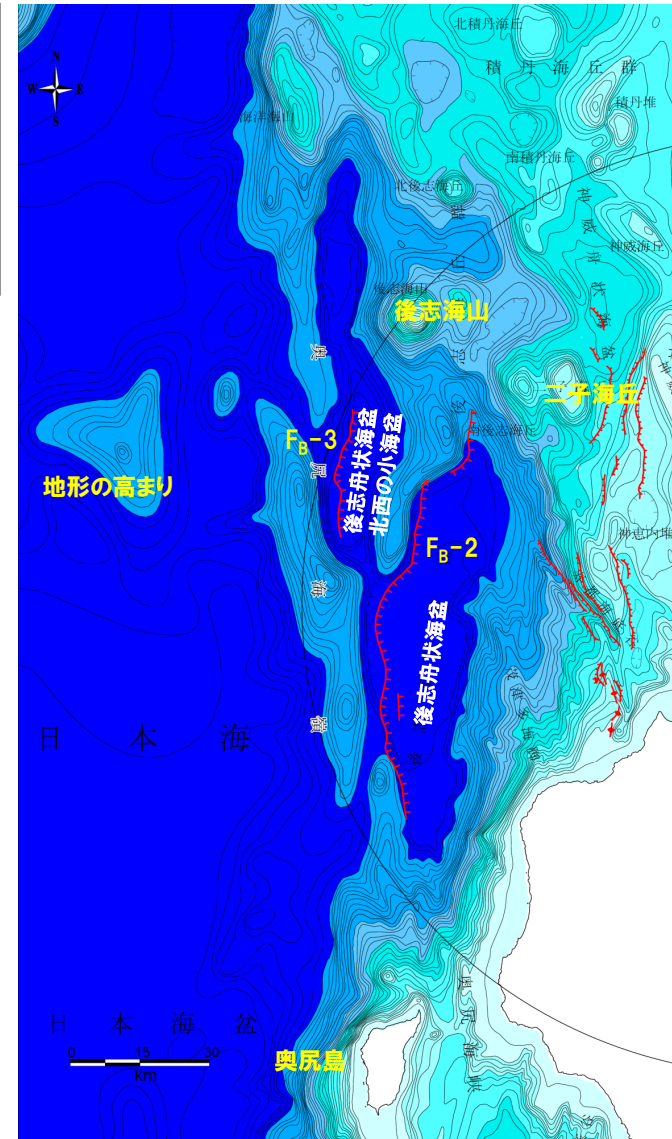
日本海東縁部の評価対象領域
(地震本部 (2003) より引用)

2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定

想定波源域の主部の設定(1/4) 敷地前面海域の断層評価

一部加筆(H25/10/16審査会合)

- 敷地前面海域では、後志舟状海盆西縁に F_B-2 断層(約101km)、後志舟状海盆北西の小海盆の西縁に F_B-3 断層(約45km)を震源として考慮する断層として評価している。
- F_B-2 断層及び F_B-3 断層は、共に西傾斜の逆断層であり、これらの断層の隆起側には、南北方向に断続的に高まりが認められる。この高まりは、後志舟状海盆西側で2列に分かれる。



F_B-2 断層及び F_B-3 断層

2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定

想定波源域の主部の設定(2/4) 余震分布及び海底地形

【余震分布】

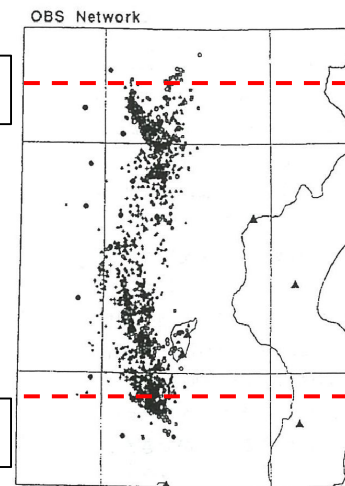
- 日野ほか(1994)では、北海道南西沖地震の余震分布を下図のとおり示している。
- 岡村ほか(1998)では、日野ほか(1994)の研究結果より、1993年北海道南西沖地震の余震域は、後志トラフ(舟状海盆)西方から奥尻島南方の松前海台まで達するとされている。

【海底地形】

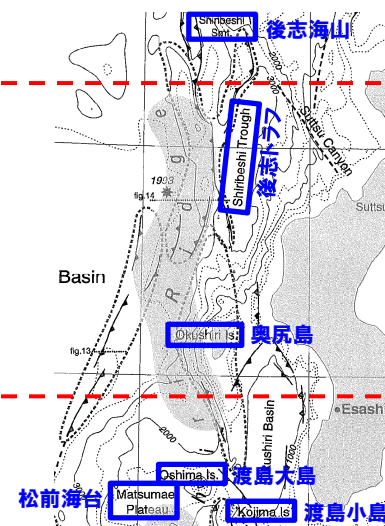
- 海上保安庁水路部(2001)では、1940年積丹半島沖地震、1993年北海道南西沖地震及び1983年日本海中部地震について、震源域の間に、後志海山、渡島大島、渡島小島等の火山体や日本海拡大時のホルストである松前海台が分布することから、震源域は、このような周辺とは地殻構造が異なると予測される海底で区分されるとされている。
- 岡村・倉本(1999)では、1993年北海道南西沖地震について、以下のとおりとされている。
 - 北海道南西沖地震の破壊域と積丹半島沖地震の破壊域の間には、後志海山が分布する。
 - 北海道南西沖地震の破壊域と日本海中部地震の破壊域の間には、渡島大島・渡島小島などの活火山が分布している。
 - これらの火山周辺では活断層の規模が小さくなっており、火山の存在が断層破壊領域を規制している可能性がある。

後志海山を超えて
北側に余震活動が連続して分布しない。

渡島大島、渡島小島及び松前海台を超えて
南側に余震活動が連続して分布しない。



93. 7.21 12:00 - 93. 8.16 23:59
1993年北海道南西沖地震の余震分布
(日野ほか(1994)に一部加筆)

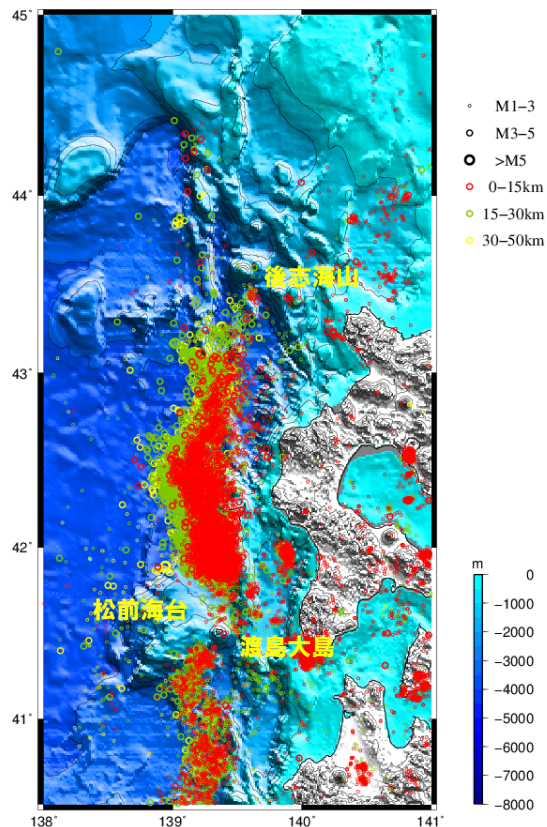


北海道南西沖の活構造
(岡村ほか(1998)に一部加筆)

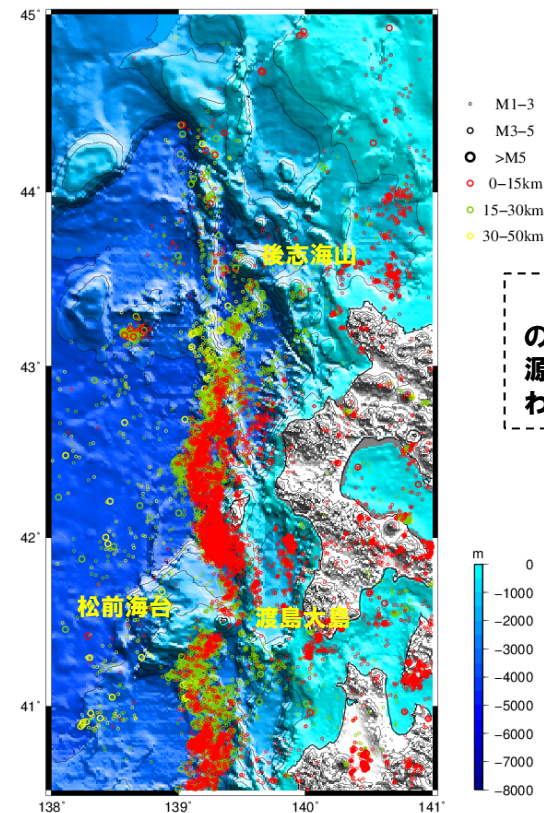
2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定

想定波源域の主部の設定(3/4) 震源分布

- 北海道南西沖地震直前の1993年6月から10年間の50km以浅の震源分布を下図に示す。
- 震源分布は、奥尻島付近や後志舟状海盆西縁(F_B-2断層)沿いに帯状に分布し、北部は後志海山、南部は松前海台及び渡島大島を越えて連続しない。



日本海東縁中部の震源分布
期間1993/6/1~2003/5/31; 深さ0~50km, $M \geq 1$



日本海東縁中部の震源分布
期間2003/6/1~2011/12/31; 深さ0~50km, $M \geq 1$

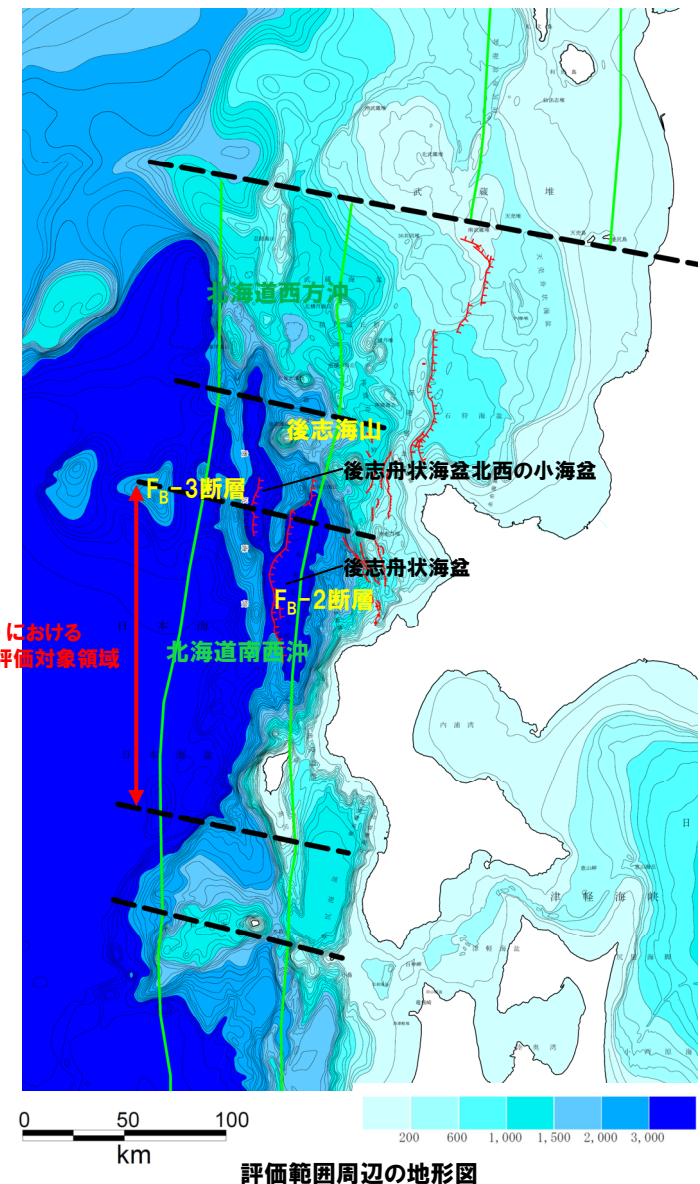
2003年以降においても、震源の数が少なくなるが、大局的な震源の分布方向、範囲の傾向は変わらない。

2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定

想定波源域の主部の設定(4/4)まとめ

○想定波源域の主部については、敷地前面海域の断層評価、余震分布、海底地形、震源分布を踏まえたうえで、地震本部(2003)における北海道南西沖の評価対象領域と同様の範囲とした。

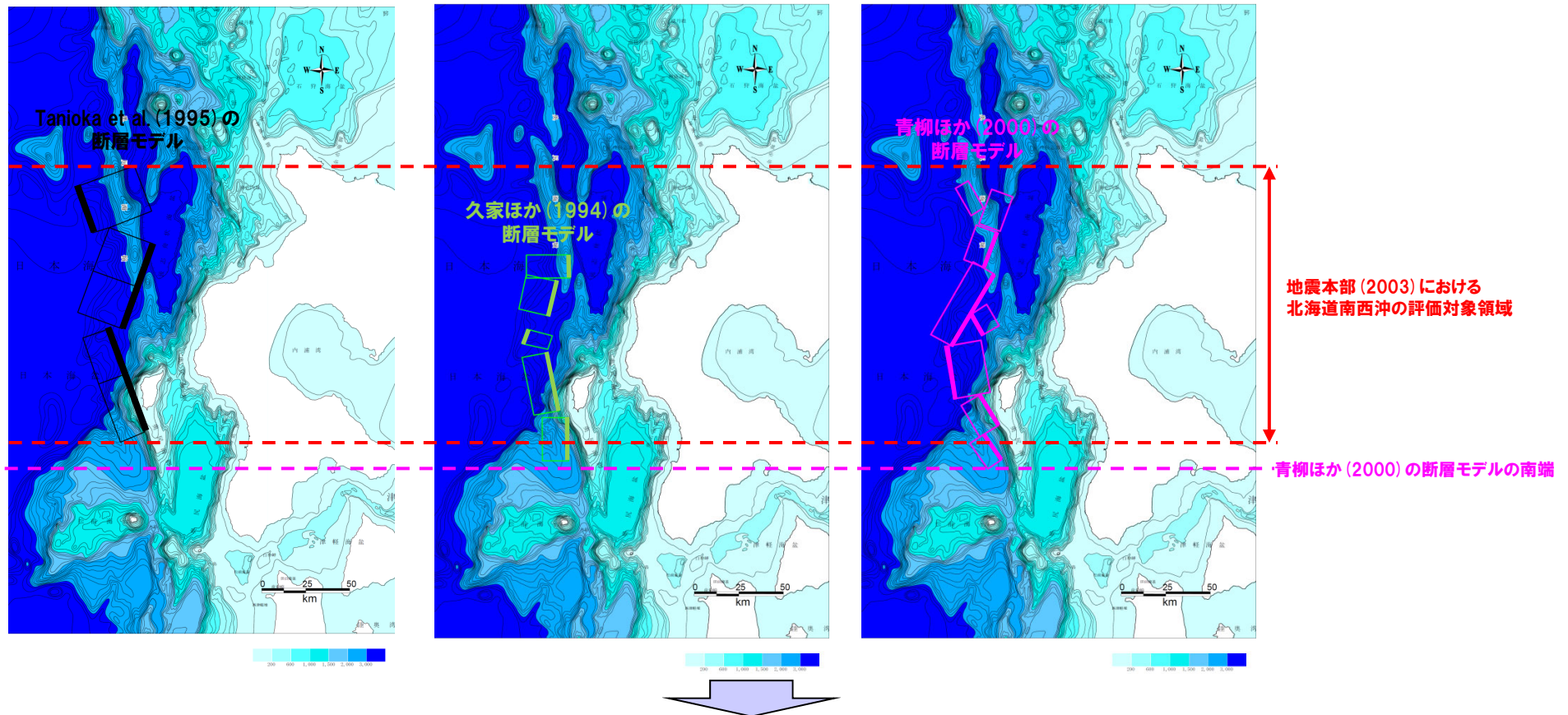
地震本部(2003)における
北海道南西沖の評価対象領域



2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定

想定波源域の南端の設定 (断層モデル)

○北海道南西沖地震の断層モデルとしては、Tanioka et al. (1995), 久家ほか (1994), 青柳ほか (2000) 等の断層モデルがこれまで示されている。

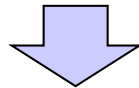


- 北海道南西沖地震の断層モデルは、震源推定の方法や、断層面の設定方法に違いがあるものの、ともに地震本部 (2003) における北海道南西沖の評価対象領域付近に震源位置を設定しており、断層モデル位置に差は認められない。
- 上記断層モデルのうち青柳ほか (2000) の断層モデルの南端が最も南側に位置し、その位置は地震本部 (2003) における北海道南西沖の評価対象領域の南側となる。
- 以上から、**想定波源域(南北方向)の南端は、青柳ほか (2000) の断層モデルの南端に設定した。**

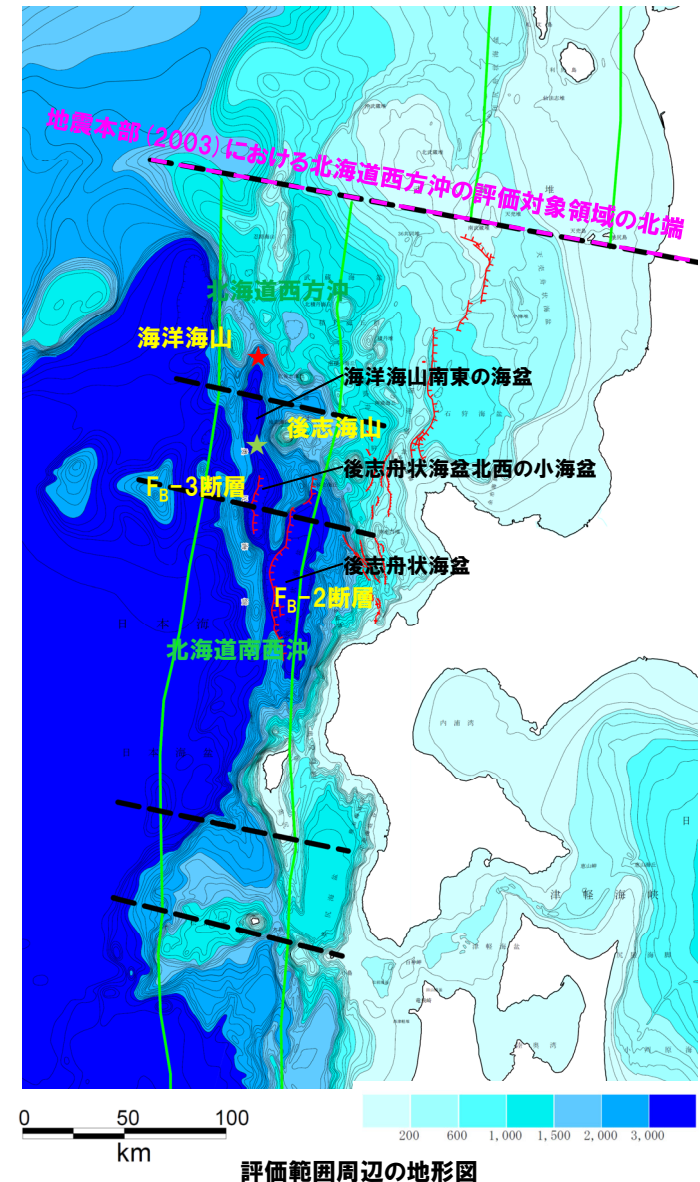
2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定

想定波源域の北端の設定(基盤構造)

- 後志舟状海盆西側に認められ、後志海山に規制される断層(F_B -2断層及び F_B -3断層)のうち、相対的に北側に位置する F_B -3断層が分布する後志舟状海盆北西の小海盆の北端(図中★)が基盤構造としての北端と考えられる。
- 一方、後志舟状海盆北西の小海盆の北端(図中★)の北方に、海洋海山南東の海盆が分布し、この2つの海盆西側のN-S方向の高まりは、約300万年前以降の東西圧縮応力場で成長した短縮変形の一部と考えられる。
- これらの海盆は、構造的に類似していることを踏まえ、基盤構造としての北端は、海洋海山南東の海盆の北端(図中★)まで考慮する。
- 海洋海山南東の海盆の北端(図中★)は、地震本部(2003)における北海道西方沖の評価対象領域と一部重複する。



- 以上から、想定波源域(南北方向)の北端は、地震本部(2003)における北海道西方沖の評価対象領域の北端に設定した。



余白

2.2.2 想定波源域(東西方向)の設定

海底地形及び地震本部(2003)

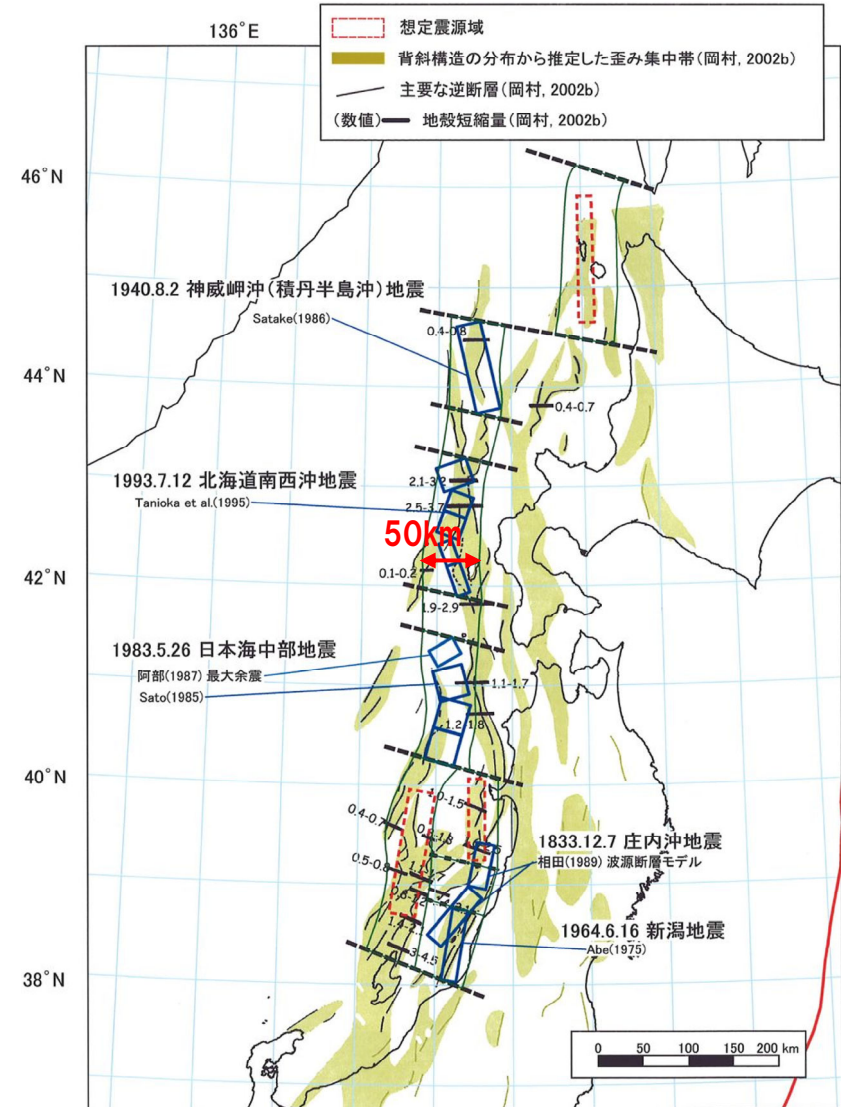
【海底地形】

○大竹ほか編(2002)では、日本海東縁部の変形帯について、以下のとおりとされている。

- 日本海東縁で起こった大地震のうち、最大級のものは海洋性地殻を有する日本海盆底(ほぼ3,000m以深の水深に相当する)と東北日本島弧縁部が接するところで起こっている。
- 海底探査記録から、日本海盆の縁辺に東方に傾斜した逆断層からなる変形フロントが認められ、その変形帯は東西幅で50km程度の範囲を占める。

【地震本部(2003)】

- 地震本部(2003)の評価対象領域は、様々な既存研究(地震観測記録、歴史地震の記録、津波の記録、深度分布、地震性堆積物・津波堆積物)、過去の大地震の震源モデル、余震域及びひずみ集中帯の空間的な分布を参照して推定されたものである。
- また、評価対象領域の幅は概ね50km程度で示されている。



過去の地震の震源モデル・想定震源域及びひずみ集中帯の分布
(地震本部(2003)に一部加筆)

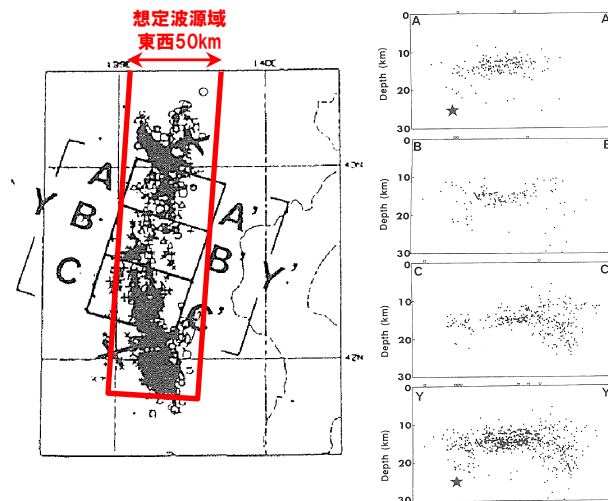
余震分布及び走向

【余震分布】

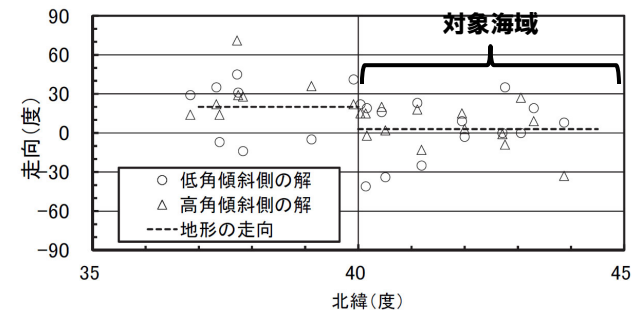
○日野ほか(1994)では、1993年北海道南西沖地震の余震の震源が集中しているそれぞれの面は、本震を構成するいくつかのサブイベントの破壊面に対応するものであり、得られた余震分布はこうした破壊群の詳細な空間分布を示すものである可能性が高いとされている。

【走向】

○土木学会(2016)では、ハーバードCMT解より得た走向をプロットしており、発震機構解は「地形の走向(活断層の走向を併せて考慮した等水深線の向きの近似的値)」を中心に分布しており、対象海域における「地形の走向」は、東傾斜の場合: 3° 、西傾斜の場合: 183° 程度である。



1993年北海道南西沖地震の余震分布
(日野ほか(1994)に一部加筆)

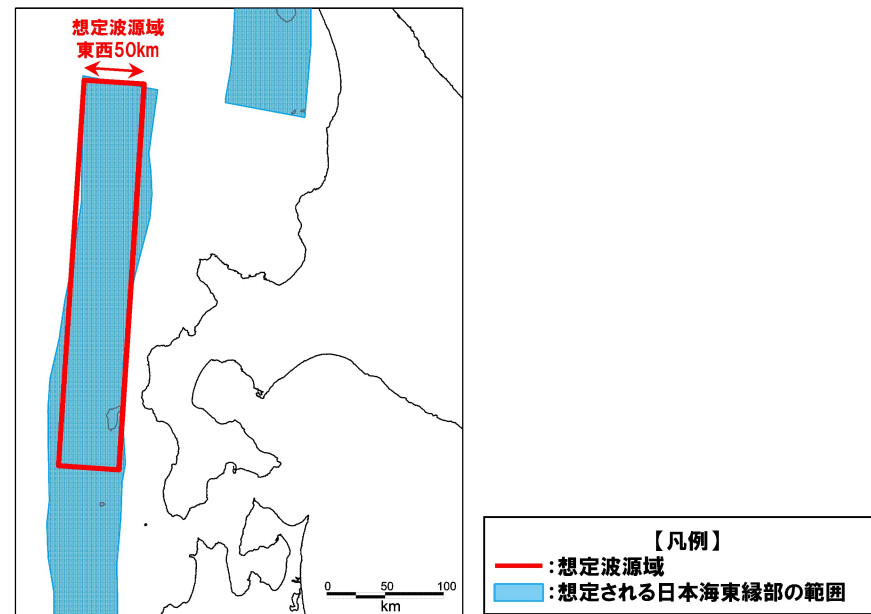


ハーバードCMT解による断層走向と地形走向
(土木学会(2016)に一部加筆)

2.2.2 想定波源域(東西方向)の設定

東西方向の設定方法

- 海底地形, 地震本部(2003), 余震分布及び走向に関する既往の知見から, 想定波源域の東西幅を50km, 走向を東傾斜の場合: 3° , 西傾斜の場合: 183° と設定し, 東西方向位置は概ね想定される日本海東縁部の範囲内となるよう設定した。
- なお, 1993年北海道南西沖地震の余震分布域(深さ方向も含む3次元的分布域)は, 概ね想定波源域の範囲に包含される。

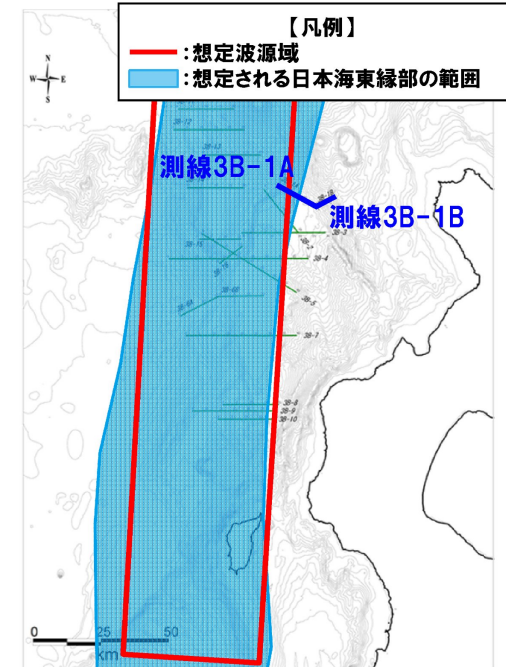


想定波源域(東西方向)の設定

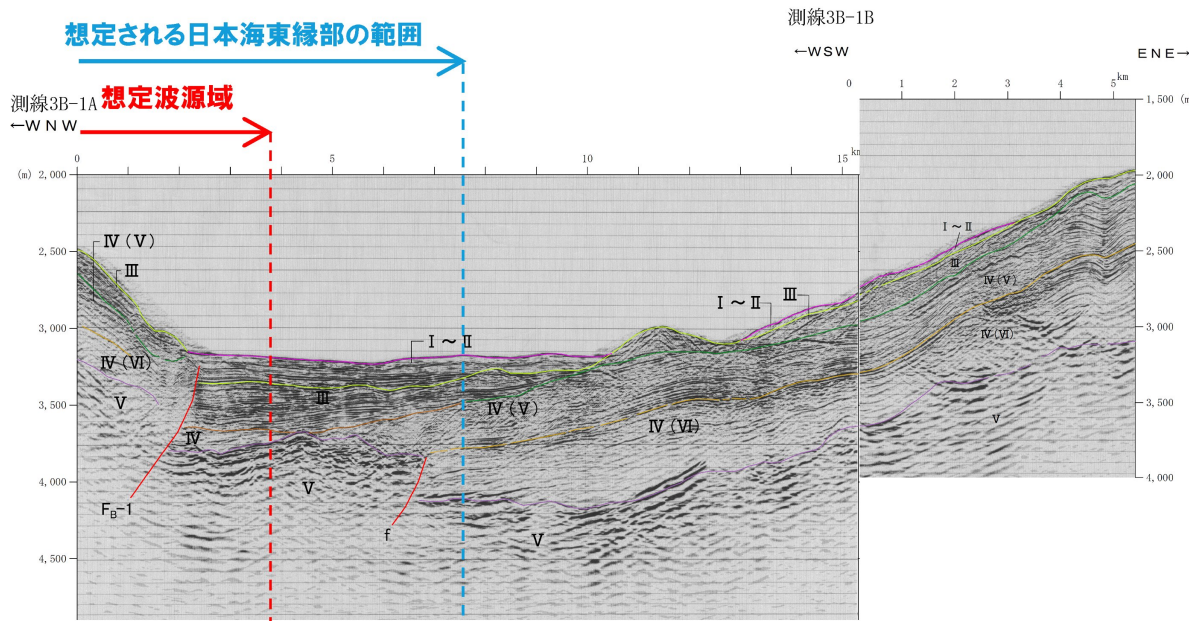
想定波源域と当社の調査結果 (測線3B-1A, 測線3B-1B) との比較

【測線3B-1A, 測線3B-1B】

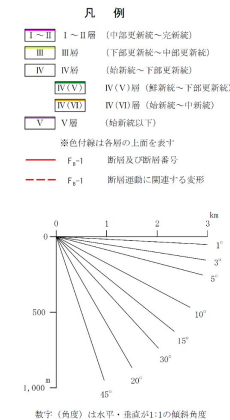
○想定波源域付近において, 東側には震源として考慮する断層は認められない。



測線位置図 (測線3B-1A, 測線3B-1B)



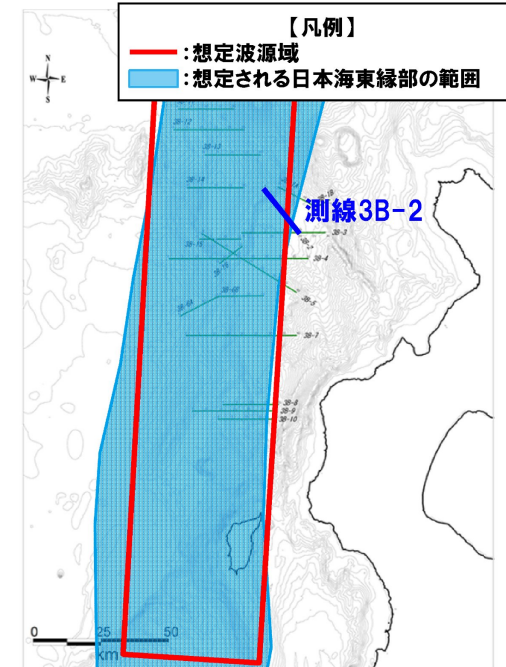
音波探査記録と解析図 (測線3B-1A, 測線3B-1B)



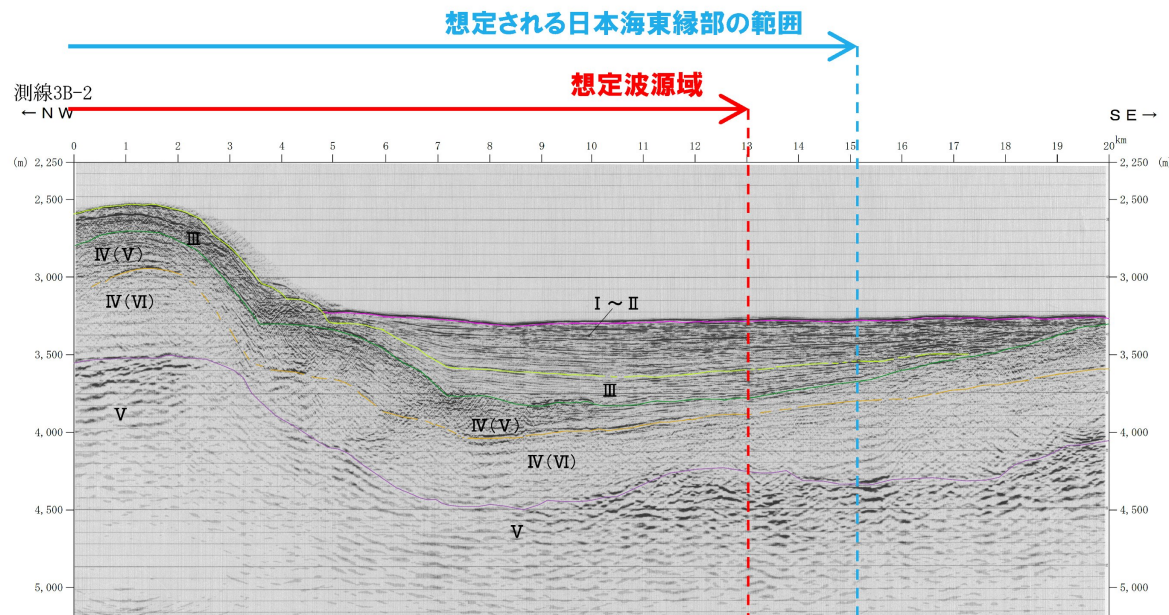
想定波源域と当社の調査結果（測線3B-2）との比較

【測線3B-2】

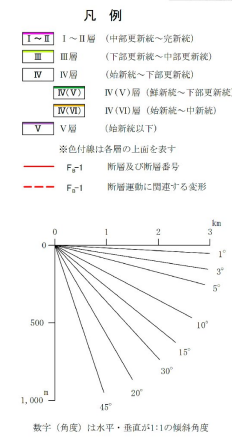
○想定波源域付近において、東側には震源として考慮する断層は認められない。



測線位置図（測線3B-2）



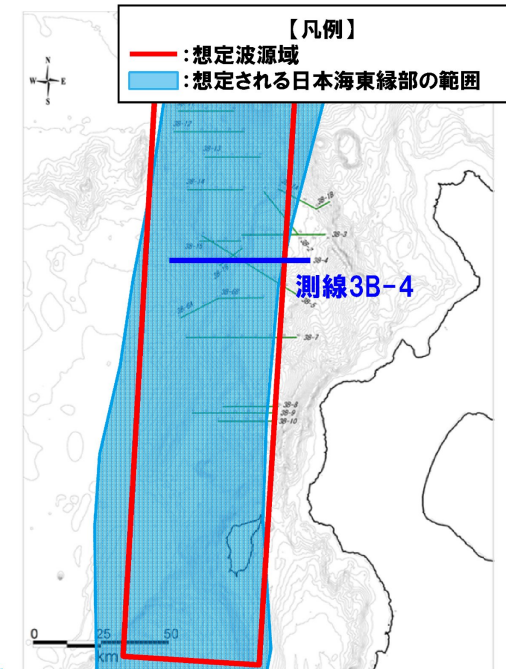
音波探査記録と解析図（測線3B-2）



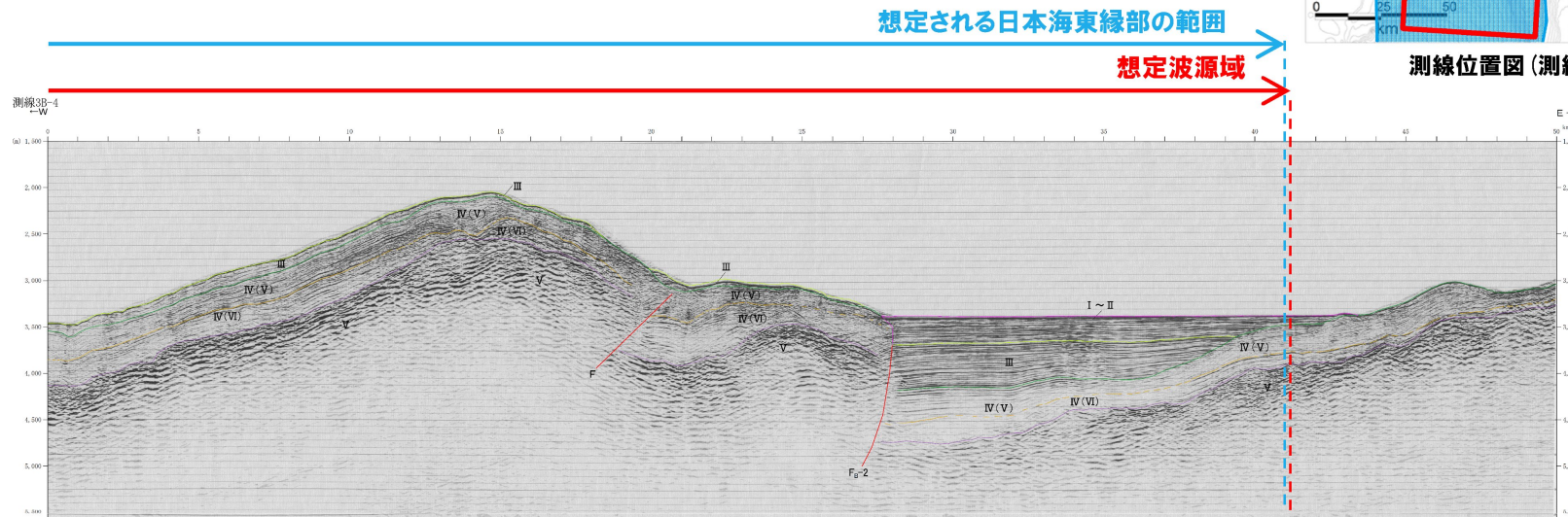
想定波源域と当社の調査結果（測線3B-4）との比較

【測線3B-4】

○想定波源域付近において、東側には震源として考慮する断層は認められない。



測線位置図（測線3B-4）

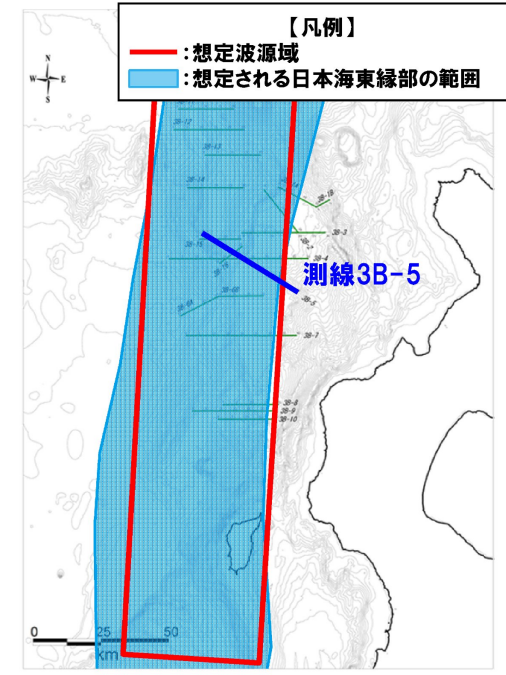


音波探査記録と解析図（測線3B-4）

想定波源域と当社の調査結果（測線3B-5）との比較

【測線3B-5】

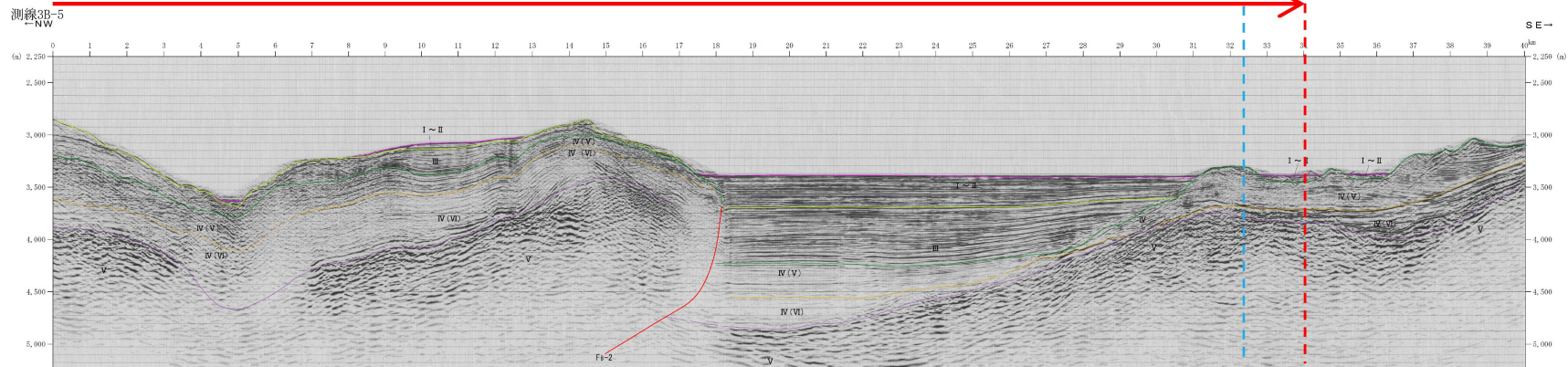
○想定波源域付近において、東側には震源として考慮する断層は認められない。



測線位置図(測線3B-5)

想定される日本海東縁部の範囲

想定波源域

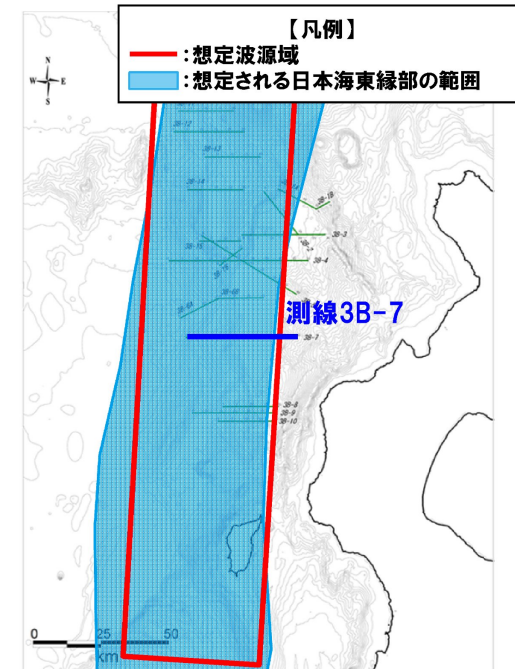


音波探査記録と解析図(測線3B-5)

想定波源域と当社の調査結果（測線3B-7）との比較

【測線3B-7】

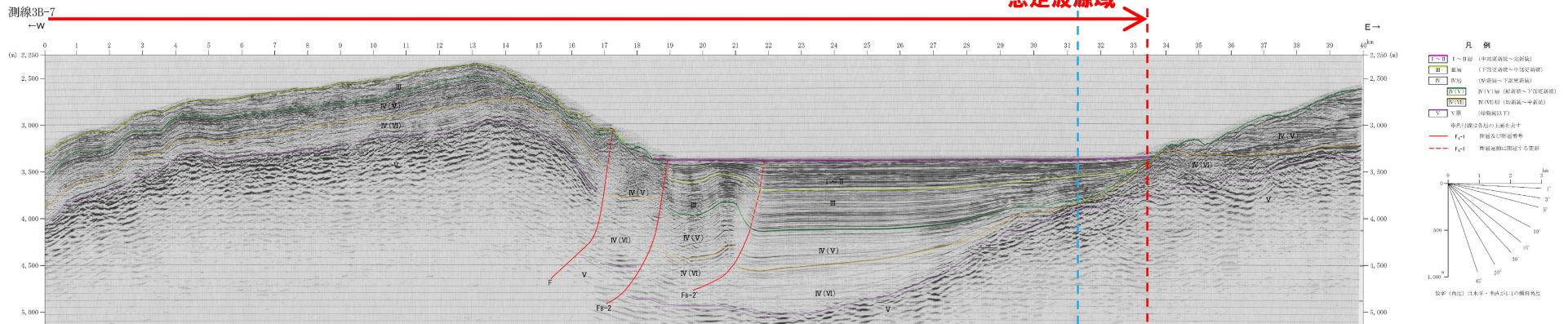
○想定波源域付近において、東側には震源として考慮する断層は認められない。



測線位置図(測線3B-7)

想定される日本海東縁部の範囲

想定波源域

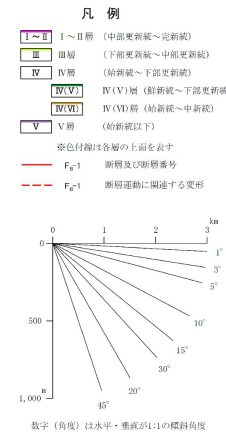
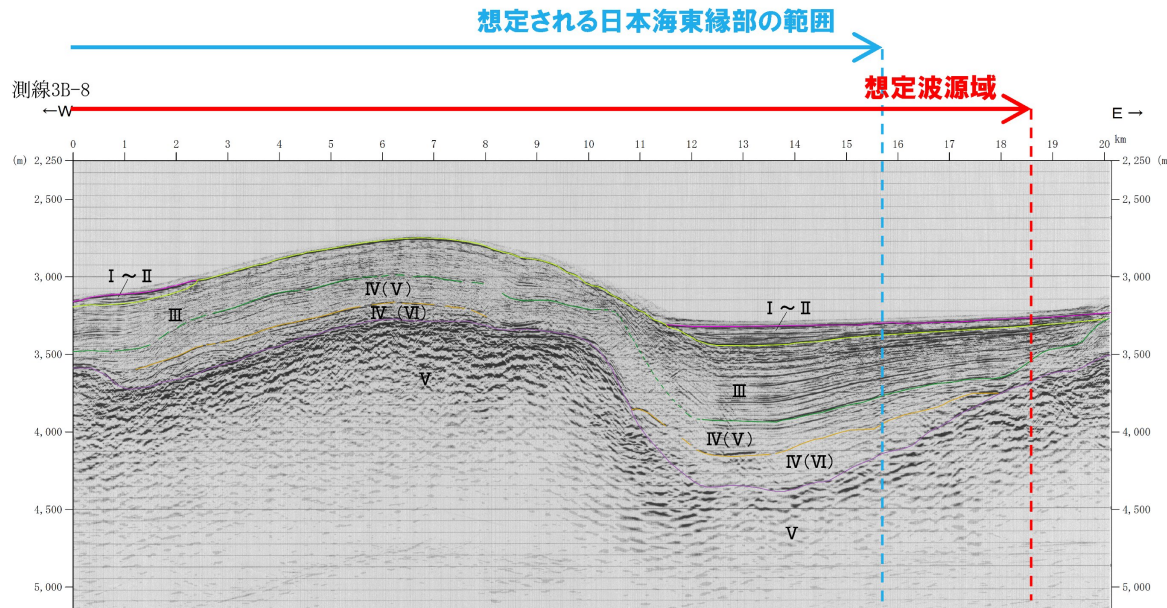
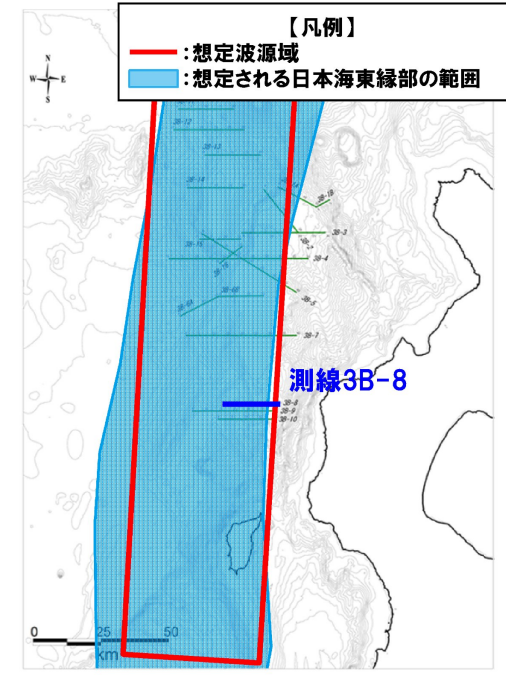


音波探査記録と解析図(測線3B-7)

想定波源域と当社の調査結果（測線3B-8）との比較

【測線3B-8】

○想定波源域付近において、東側には震源として考慮する断層は認められない。



測線位置図(測線3B-8)

音波探査記録と解析図(測線3B-8)

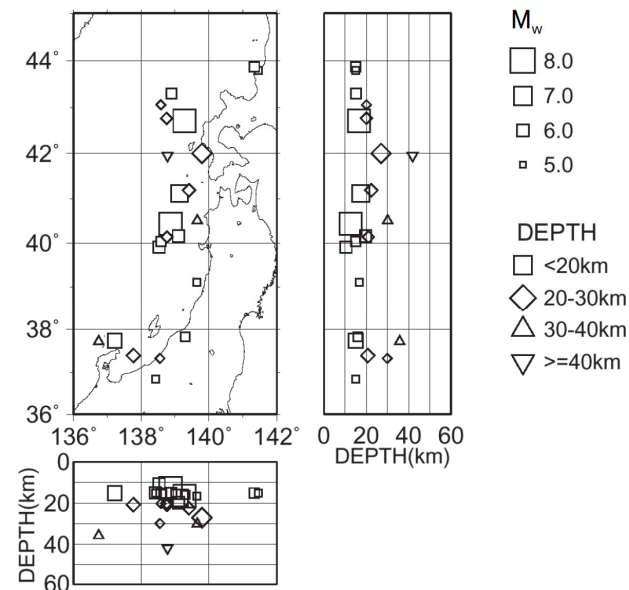
余白

2. 2. 3 想定波源域 (深度方向) の設定

地震発生層厚さ

○土木学会 (2016) では、地震発生層厚さについて、以下のとおりとされている。

- ハーバードCMT解より、1976年1月～2000年1月に発生したMw5.0以上、深さ60km以下の地震を抽出し、深さをプロットすると下図のようになる。
- これらは、概ね15～20kmの浅い位置に集中しており、地震発生層の厚さに上限があるとみられる。
- また、既往津波の痕跡高を説明できる波源モデルに示しているように、断層幅が30km以下のモデルで既往津波を説明できることから、地震発生層厚さは15～20km程度と考えられる。

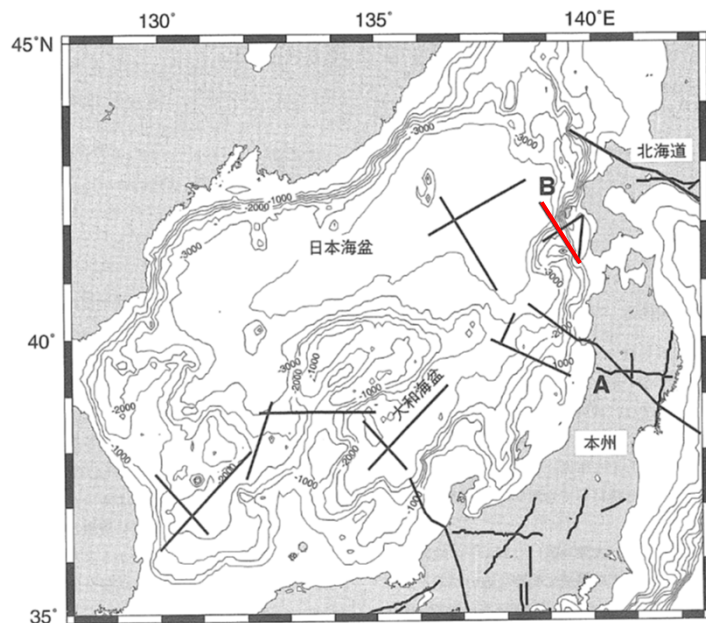


ハーバードCMT解の深さ分布
(土木学会 (2016) より引用)

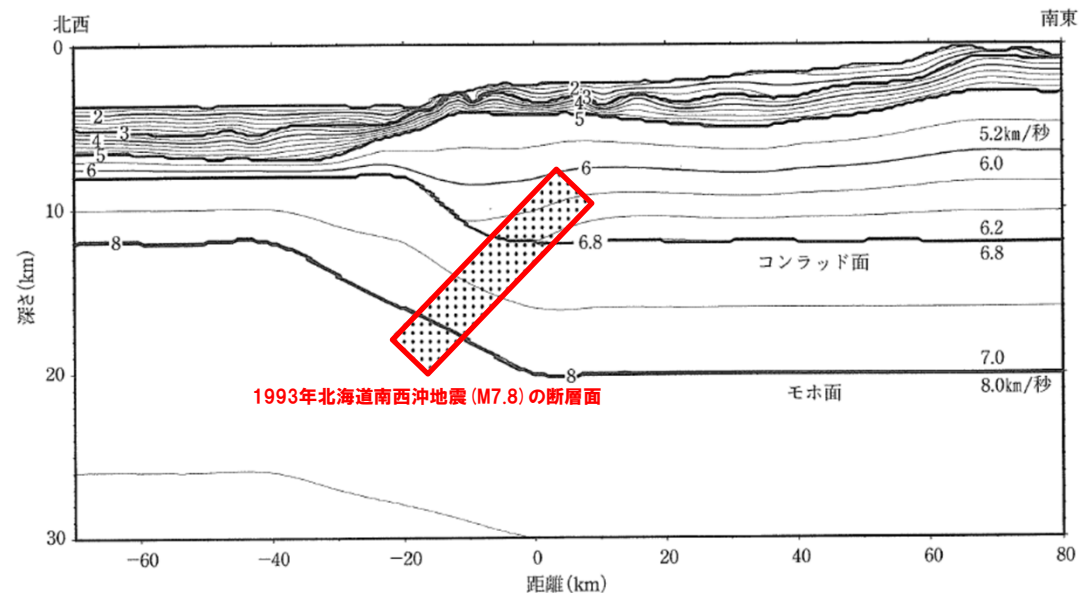
2.2.3 想定波源域(深度方向)の設定

地殻構造

- 大竹ほか編(2002)では、日本海東縁部の地殻構造が示されている。
- 地震本部(2003)では、大竹ほか編(2002)の研究成果から、1993年北海道南西沖地震が海洋性地殻から大陸性地殻へと地殻の厚さが急変する場所を破壊するように発生しており、断層面の深さは20km程度以浅に位置するとされている。



これまでに実施された地殻構造探査の測線位置
(大竹ほか編(2002)に一部加筆)



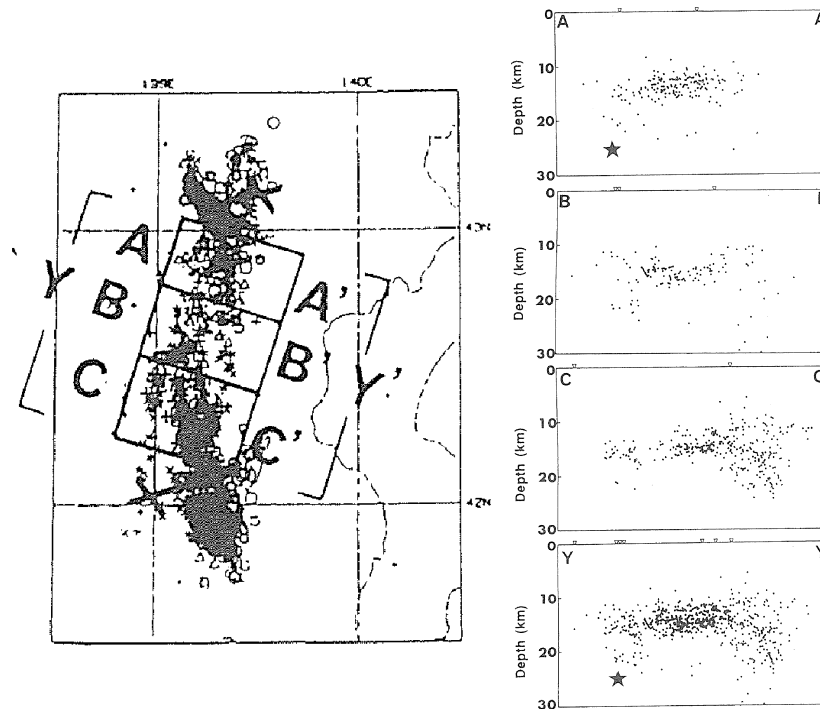
P波速度を0.1km/秒ごとのコンターで示す。ハッチは1993年北海道南西沖地震(M7.8)の断層面

測線Bに沿った地殻構造
(大竹ほか編(2002)に一部加筆)

2. 2. 3 想定波源域 (深度方向) の設定

余震分布

- 日野ほか (1994) では、北海道南西沖地震の余震分布を下図のとおり示している。
- 地震本部 (2003) では、日野ほか (1994) の1993年北海道南西沖地震の余震分布を見ると、一部の断層セグメントでは深い余震活動がみられるものの、ほとんどの余震は20km以浅の領域で発生しているとされている。

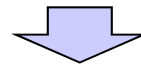


海底地震観測網により決定された
1993年北海道南西沖地震の余震分布
(日野ほか (1994) より引用)

2. 2. 3 想定波源域 (深度方向) の設定

深度方向の設定方法

- 土木学会 (2016) によると, ハーバードCMT解より得られた震源深さは概ね15~20kmに集中し, 地震発生層厚さに上限があると考えられる。
- また, 既往津波の痕跡高を説明できる波源モデルより, 地震発生層厚さは15~20km程度と考えられる。
- 大竹ほか編 (2002) の研究成果から, 1993年北海道南西沖地震の断層面の深さは20km程度以浅に位置すると考えられる。
- 日野ほか (1994) の1993年北海道南西沖地震の余震分布を見ると, ほとんどの余震は20km以浅の領域で発生していると考えられる。



- 以上から, 想定波源域 (深度方向) は, 海底面から20kmまでの範囲に設定した。

余白

2.2 想定波源域の設定

想定波源域の設定

○既往の知見を踏まえて、想定波源域について、南北方向、東西方向及び深度方向の設定根拠を再整理した。

【南北方向】

○想定波源域(南北方向)は、以下の端部間距離(約313km)を包絡するよう320kmに設定した。

- 地震本部(2003)における北海道西方沖の評価対象領域の北端
- 青柳ほか(2000)における北海道南西沖地震の断層モデルの南端

【東西方向】

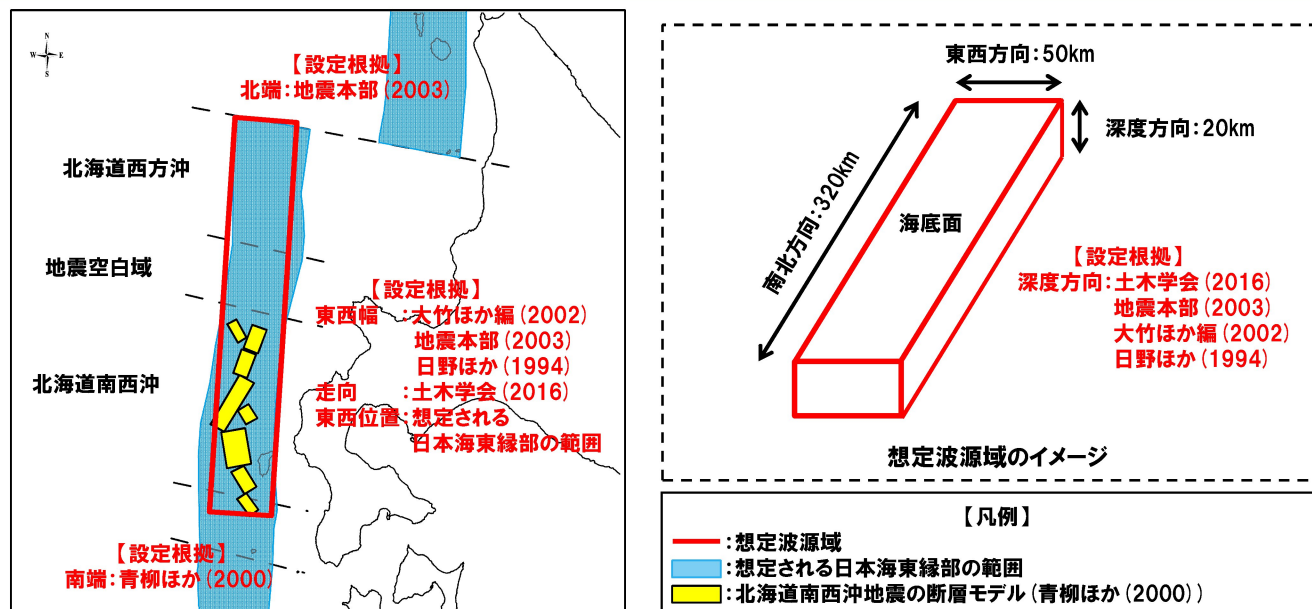
○想定波源域の東西幅は、大竹ほか編(2002)、地震本部(2003)及び日野ほか(1994)より、50kmに設定した。

○想定波源域の走向は、土木学会(2016)より、東傾斜の場合:3°、西傾斜の場合:183°と設定した。

○想定波源域(東西方向)の位置は、概ね想定される日本海東縁部の範囲内となるよう設定した。

【深度方向】

○想定波源域(深度方向)は、土木学会(2016)、地震本部(2003)、大竹ほか編(2002)及び日野ほか(1994)より、海底面から20kmまでの範囲に設定した。



想定波源域

2.3 基準波源モデルの設定

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	7
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	11
2.1 日本海東縁部の特性整理	16
2.1.1 文献レビュー	18
2.1.2 当社の調査結果	27
2.1.3 想定される日本海東縁部の範囲	31
2.2 想定波源域の設定	32
2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定	34
2.2.2 想定波源域(東西方向)の設定	41
2.2.3 想定波源域(深度方向)の設定	51
2.3 基準波源モデルの設定	57
2.4 パラメータスタディ	80
2.4.1 パラメータスタディの検討方針	82
2.4.2 計算条件	93
2.4.3 健全地形モデルの解析結果	104
2.4.4 防波堤の損傷を考慮した地形モデル①の解析結果	152
2.4.5 防波堤の損傷を考慮した地形モデル②の解析結果	200
2.4.6 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③の解析結果	248
2.5 「評価用の想定津波」の設定	296
2.6 補足説明	304
2.6.1 パラメータスタディ評価因子影響分析	305
2.6.2 貯留堰を下回る時間の確認	369
2.6.3 断層パターン5東端の検討	379
2.6.4 アスペリティモデルの保守性確認	398
参考文献	417
参考資料	421

2.3 基準波源モデルの設定

整理方針

- 基準波源モデルの設定においては、日本海東縁部における既往の知見を検討のうえ、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえたすべりの不均質性を考慮したアスペリティモデルを用いる。
- 基準波源モデルの断層パラメータについては、既往津波の波源モデル、国交省ほか(2014)のスケーリング則等の既往の知見を検討のうえ、主に以下に基づき設定する。
 - 日本海東縁部にはプレート間のように明瞭なプレート境界が存在せず、一意的に断層面が想定できないことから、ひずみ集中帯という日本海東縁部の特性を踏まえ、想定波源域の中に逆断層タイプの東傾斜及び西傾斜の双方が存在することを考慮する。
 - すべり量の設定については、活断層などの内陸地震の断層面積と地震モーメントの経験的關係式によると、地震規模が一定以上の場合平均すべり量は一定値になることを参照し、最大すべり量に関する知見を整理のうえ、保守的に設定した最大すべり量を基準波源モデルに適用する。
 - すべりの不均質性については、日本海東縁部の既往津波に対して、すべりの不均質性を考慮し、既往津波の再現性が概ね確認されている根本ほか(2009)の知見を対象とし、その内容及び妥当性について確認のうえ適用する。

2.3 基準波源モデルの設定

①断層長さ、地震発生層厚さの設定 (P59)

②傾斜角、傾斜方向の設定 (P60)

③断層幅の設定 (P61)

④走向の設定 (P62)

⑤すべり角の設定 (P63)

⑥断層面上縁深さの設定 (P64)

⑦最大すべり量の設定 (P65~73)

⑧すべりの不均質性設定 (P74~76)

⑨剛性率の設定 (P77)

⑩ライズタイムの設定 (P78)

2.3 基準波源モデルの設定

①断層長さ, 地震発生層厚さの設定

【断層長さ】

- 想定波源域(南北方向)は, 以下の端部間距離(約313km)を包絡するよう320kmに設定した。
 - 地震本部(2003)における北海道西方沖の評価対象領域の北端
 - 青柳ほか(2000)における北海道南西沖地震の断層モデルの南端
- 断層長さは, 想定波源域(南北方向)より, 320kmに設定した。

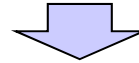
【地震発生層厚さ】

- 想定波源域(深度方向)は, 土木学会(2016), 地震本部(2003), 大竹ほか編(2002)及び日野ほか(1994)より, 海底面から20kmまでの範囲に設定した。
- 地震発生層厚さは, 想定波源域(深度方向)より, 20kmに設定した。

2.3 基準波源モデルの設定

②傾斜角, 傾斜方向の設定

- 土木学会 (2016) では, 傾斜角及び傾斜方向について, 以下のとおりとされている。
 - 既往津波の波源モデルの傾斜角は, 概ね 30° ~ 60° の範囲で痕跡高を説明することができる。
 - 日本海東縁部では, 既往地震の断層傾斜方向が一定でなく, 西傾斜・東傾斜の双方が発生している。
- 既往津波の再現が確認されている波源モデルでは, 発震機構解や余震分布, 海底地形から傾斜角及び傾斜方向を推定している。



- 以上から, 傾斜角は, 既往津波の波源モデルより概ね 30° ~ 60° の範囲であると考えられるが, 以下の考えに基づき, 30° 及び 60° に設定した。
 - 初期水位 (鉛直地盤変動量) が最も高くなるのは, 高角ケース (60°) である。
 - 地殻変動により移動する水の量が最も多くなるのは, 低角ケース (30°) である。
- 傾斜方向は, 東傾斜及び西傾斜に設定した。

2.3 基準波源モデルの設定

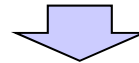
③断層幅の設定

- 断層幅は、地震発生層厚さ(20km)を考慮し、傾斜角に応じて以下のとおり設定した。
 - 傾斜角 30° の場合:40km
 - 傾斜角 60° の場合:23.1km

2.3 基準波源モデルの設定

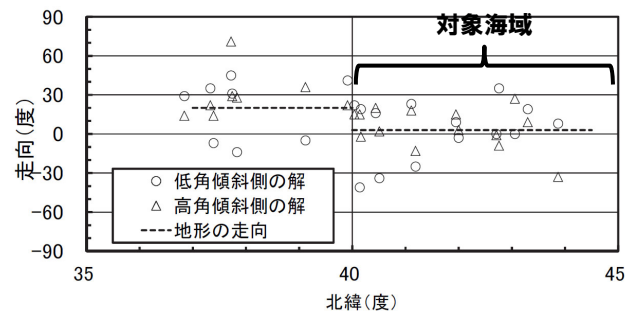
④ 走向の設定

○土木学会(2016)では、ハーバードCMT解より得た走向をプロットしており、発震機構解は「地形の走向(活断層の走向を併せて考慮した等水深線の向きの近似的値)」を中心に分布しており、対象海域における「地形の走向」は、東傾斜の場合: 3° 、西傾斜の場合: 183° 程度である。



○以上から、走向は、既往地震のハーバードCMT解及び対象海域における「地形の走向」より、以下のとおり設定した。

- 東傾斜の場合: 3°
- 西傾斜の場合: 183°

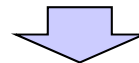
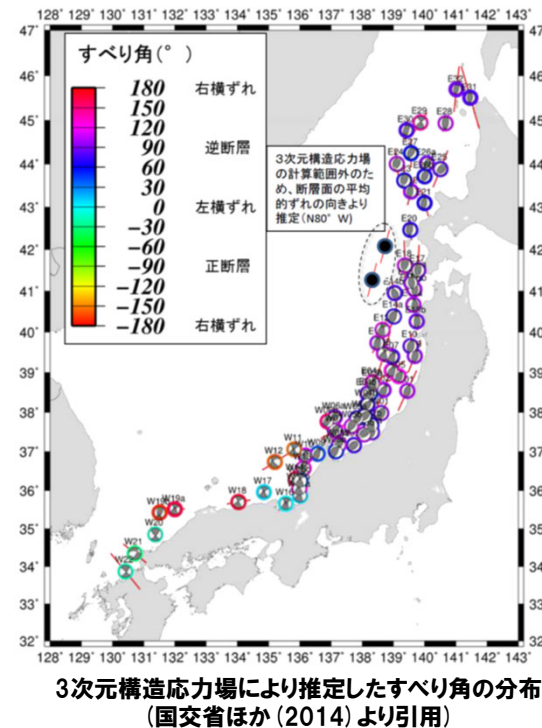
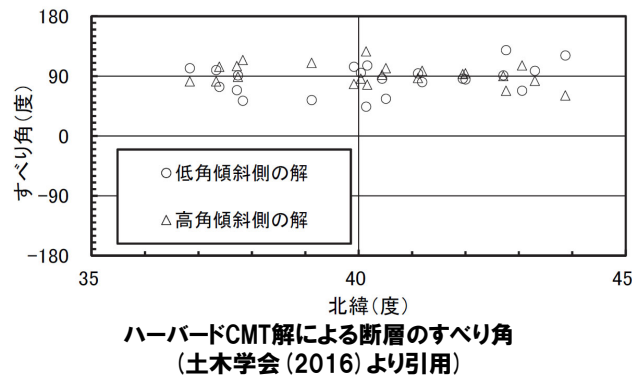


ハーバードCMT解による断層走向と地形走向
(土木学会(2016)に一部加筆)

2.3 基準波源モデルの設定

⑤すべり角の設定

- 土木学会 (2016) では、ハーバードCMT解より得たすべり角をプロットしており、既往津波の波源モデルのすべり角はいずれも 90° に近く、発震機構解のすべり角データもこれを裏付けているとされている。
- 国交省ほか (2014) では、東北地方から北海道地方の沿岸にかけては、 90° に近い断層すべり角となったとされている。

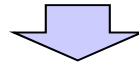


- 以上から、すべり角は、既往地震のハーバードCMT解及び東北地方から北海道地方の沿岸におけるすべり角の分布より 90° に設定した。

2.3 基準波源モデルの設定

⑥断層面上縁深さの設定

○根本ほか(2009)では、日本海東縁部の既往地震のアスペリティモデルについて、断層面上縁深さは日本海東縁部の地震発生層の上限深度を考慮して海底面より深さ1kmに設定したとされている。



○以上から、断層面上縁深さは海底面より、深さ1kmに設定した。

2.3 基準波源モデルの設定

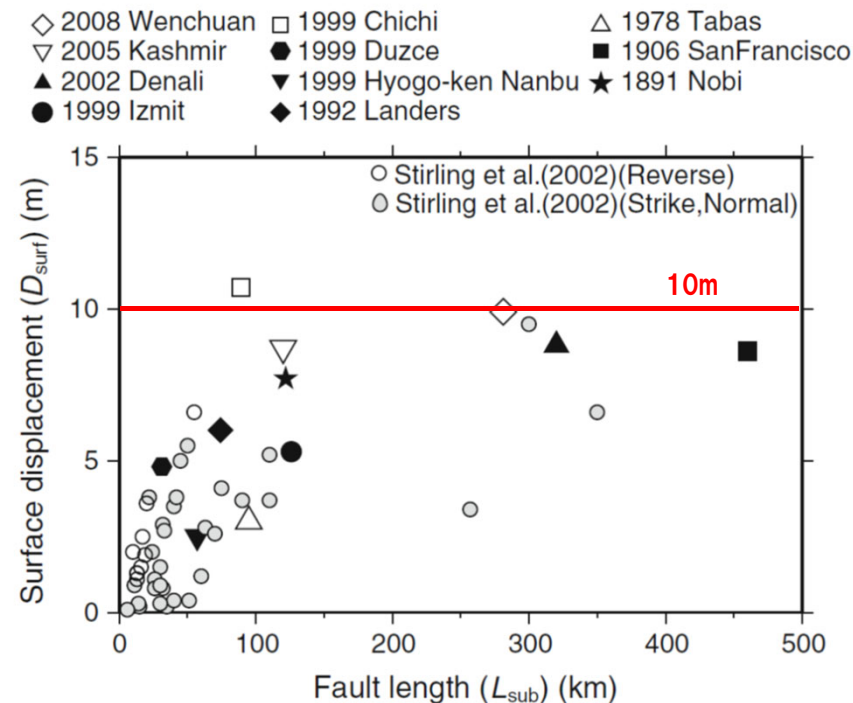
⑦最大すべり量の設定(1/9) 基本方針

- 最大すべり量は、以下に示す知見を踏まえ設定する。
 - 世界の内陸で発生した地震の最大地表変位量
 - スケーリング則における最大すべり量
 - 既往津波の再現性が確認されている断層モデルにおける最大すべり量

2.3 基準波源モデルの設定

⑦最大すべり量の設定 (2/9) 世界の内陸で発生した地震の最大地表変位量

○Murotani et al. (2015) では、世界の内陸で発生した地震を分析した結果、地表で観測された最大変位量は震源断層での最大すべり量と1:1の比例関係にあり、震源断層長さが約100km以上の場合、地表最大変位量は10m程度で飽和するとされている。



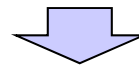
断層長さと最大地表変位量との比較
(Murotani et al. (2015) に一部加筆)

2.3 基準波源モデルの設定

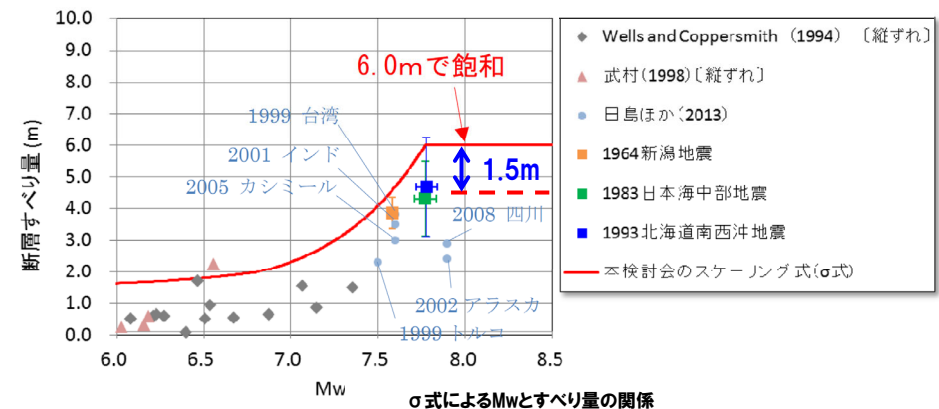
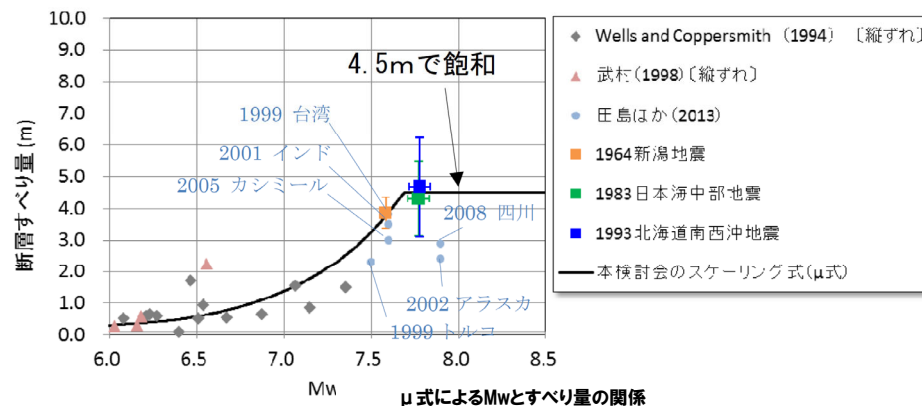
⑦最大すべり量の設定 (3/9) スケーリング則における最大すべり量 (国交省ほか (2014))

○国交省ほか (2014) では、すべり量の設定について、以下のとおりとされている。

- 日本海東縁部で発生した1964年新潟地震、1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震の既存の解析結果による平均すべり量が4.5m程度となったため、内陸地震の関係式を同様に地震規模が大きくなると断層すべり量が飽和するとして、日本海東縁部で発生した既往地震の平均すべり量4.5mで頭打ちとなる関係式 (μ 式) を設定した。
- 既往研究による過去の地震の平均すべり量にはばらつきがみられ、防災上の観点からは、より大きなすべり量の波源モデルを想定対象とすることが重要であるため、日本海側で解析結果のある最大規模の地震 (1983年日本海中部地震、1993年北海道南西沖地震) の既往波源モデルのすべり量のばらつきを考慮し、平均すべり量 (D_μ) にばらつきの標準偏差 (σ) 1.5mを加えたモデルも検討した。
- 大すべり域のすべり量は平均すべり量の2倍とする。



○以上から、 σ 式における平均すべり量は6mで飽和するため、大すべり域のすべり量は最大12mとなる。



地震規模とすべり量の関係
(国交省ほか (2014) に一部加筆)

2.3 基準波源モデルの設定

⑦最大すべり量の設定 (4/9) スケーリング則における最大すべり量 (地震本部 (2016))

- 地震本部 (2016) では、活断層で発生する地震の地震規模 (地震モーメント M_0 (N・m)) を震源断層の面積 S (km²) との経験的關係より算出するとし、地震の規模に応じて3段階で $S-M_0$ 關係式を使い分けるとされている。
- 日本海東縁部に想定した基準波源モデルは $M_w=8.22, 8.06$ であり、地震規模 ($7.4 < M_w$) の關係式が適用される。
- この關係式から算出される平均すべり量は 2.86m となる。
- また、アスペリティのすべり量は、震源断層全体の平均すべり量の2倍とされており 5.72m となる。

【地震本部 (2016) の $S-M_0$ 關係式】

$M_0 = (S/2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7}$	($M_w < 6.5$)	Somerville et al. (1999) の式
$M_0 = (S/4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	($6.5 \leq M_w \leq 7.4$)	入倉・三宅 (2001) の式
$M_0 = S \times 10^{17}$	($7.4 < M_w$)	Murotani et al. (2015) の式

M_0 : 地震モーメント (N・m)
 S : 断層面積 (km²)
 M_w : モーメントマグニチュード

→ 上記 $S-M_0$ 關係式に以下を代入して算出した平均すべり量 D は、 2.86m (面積によらず一定) となる。

- ・平均すべり量: $D = M_0 / \mu S$
- ・基準波源モデルの面積: $S = 12.8 \times 10^3 \text{km}^2, 7.392 \times 10^3 \text{km}^2$
- ・剛性率: $\mu = 3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ (土木学会 (2016))

【アスペリティのすべり量】
 $D_a = 5.72\text{m}$ (平均すべり量の2倍)

2.3 基準波源モデルの設定

⑦最大すべり量の設定 (5/9) スケーリング則における最大すべり量 (土木学会 (2016))

- 土木学会 (2016) では、国交省ほか (2014) を参照して、日本海東縁部の地震規模 (地震モーメント M_o (N・m)) を震源断層の面積 S (km²) との経験的關係より算出するとし、地震の規模に応じて3段階で S - M_o 關係式を使い分ける検討例が示されている。
- 日本海東縁部に想定した基準波源モデルは $M_w=8.22$, 8.06 であり、地震規模 ($7.7 < M_w$) の關係式が適用される。
- この關係式から算出される平均すべり量は 4.5m となる。
- また、アスペリティのすべり量は、震源断層全体の平均すべり量の2倍とされており 9.0m となる。

【土木学会 (2016) の S - M_o 關係式】

$$M_o = (S / 2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7} \quad (M_w < 6.5)$$

(Mw < 6.5)

Somerville et al. (1999) の式

$$M_o = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad (6.5 \leq M_w \leq 7.7)$$

(6.5 ≤ Mw ≤ 7.7)

入倉・三宅 (2001) の式

$$M_o = 1.575 \times S \times 10^{17} \quad (7.7 < M_w^*)$$

(7.7 < Mw*)

日本海東縁部の既往地震の平均すべり量 4.5m で飽和する關係式 (剛性率 $\mu: 3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$) M_o : 地震モーメント (N・m) S : 断層面積 (km²) M_w : モーメントマグニチュード

※世界の地殻内地震の地震規模と地殻厚さを検討した結果、地殻厚さが 40km 未満の領域では $M_w 8.0$ を超える地震が発生していないことを踏まえ、 M_w の上限は 8.0 とされている。

上記 S - M_o 關係式に以下を代入して算出した平均すべり量 D は、 4.5m (面積によらず一定) となる。

- 平均すべり量: $D = M_o / \mu S$

- 基準波源モデルの面積: $S = 12.8 \times 10^3 \text{ km}^2$, $7.392 \times 10^3 \text{ km}^2$

- 剛性率: $\mu = 3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ (土木学会 (2016))

【アスペリティのすべり量】

$D_a = 9.0\text{m}$ (平均すべり量の2倍)

2.3 基準波源モデルの設定

⑦最大すべり量の設定 (6/9) スケーリング則における最大すべり量 (まとめ)

○国交省ほか (2014), 地震本部 (2016) 及び土木学会 (2016) のそれぞれのスケーリング則における最大すべり量は下表のとおりであり, その最大値は12mである。

スケーリング則における最大すべり量

	国交省ほか (2014)	地震本部 (2016)	土木学会 (2016)
最大すべり量	12.0m	5.72m	9.0m

2.3 基準波源モデルの設定

⑦最大すべり量の設定 (7/9) 既往津波の再現性が確認されている断層モデルにおける最大すべり量

○土木学会 (2016) の既往津波の再現性が確認されている断層モデルのうち、すべり量の最大値は、1993年北海道南西沖地震津波の再現モデル (高橋ほか (1995) のDCRC-26モデル) の12mである。

既往津波の再現性が確認されている断層モデル

対象津波	モデル M_w	面積 (km^2)	L (km)	W (km)	D (m)	d (km)	θ (度)	δ (度)	λ (度)	データ 数	K	κ	備考
1833年天保山形沖 (A)	7.82	1250	50	25	6.4	0	10	60	90	27	1.04	1.42	土木学会(2002) (相田(1989)を修正;陸岸近く)
		1750	70	25	6.4	0	40	60	120				
1833年天保山形沖 (B)	7.76	3960	132	30	4.0	0	208	45	90	27	1.17	1.28	土木学会(2002)(沖合)
1940年積丹沖	7.70	4050	135	30	3.2	0	347	40	90	20	1.02	1.42	土木学会(2002) (Satake(1986)を修正)
1964年新潟	7.35	900	45	20	3.3	1	202	60	90	検潮	—	—	Noguera and Ku,Abe(1992)
		300	20	15	3.0	1	189	60	90				
同上	7.51	813	32.5	25	5.3	0	200	60	52	検潮	—	—	加藤・安藤(1995)
		813	32.5	25	2.9	0	200	60	90				
1983年日本海中部	7.74	1200	40	30	7.6	2	22	40	90	218	1.12	1.46	相田(1984) Model-10
		1800	60	30	3.05	3	355	25	80				
1993年北海道南西沖	7.84	2250	90	25	5.71	10	188	35	80	249	0.96	1.51	高橋武之ら(1995) DCRC-26モデル
		650	26	25	4.00	5	175	60	105				
		458	30.5	15	12	5	150	60	105				

(土木学会 (2016) に一部加筆)

2.3 基準波源モデルの設定

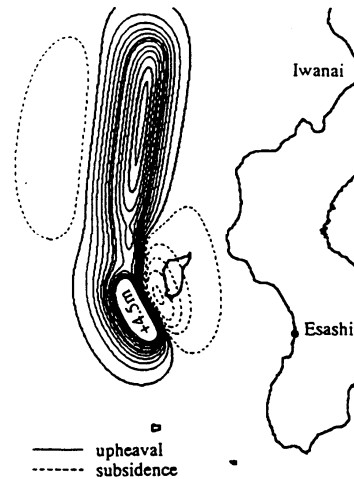
⑦最大すべり量の設定 (8/9) DCRC-26モデルにおける最大すべり量

- 高橋ほか (1994) では、DCRC-17aモデル (最大すべり量12m) の構築で重視した考え方について、奥尻島初松前での20mにも達する高い打ち上げ高を再現できなくてはならないとされている。
※DCRC-17aモデルは、高橋ほか (1995) のDCRC-26モデルの先行モデルであり、どちらも最大すべり量を12mに設定している。
- 高橋ほか (1995) によると、DCRC-26モデルによる北海道南西岸の津波打ち上げ高分布における江差以南では、津波痕跡高に比べて計算津波高さが高い (右図)。

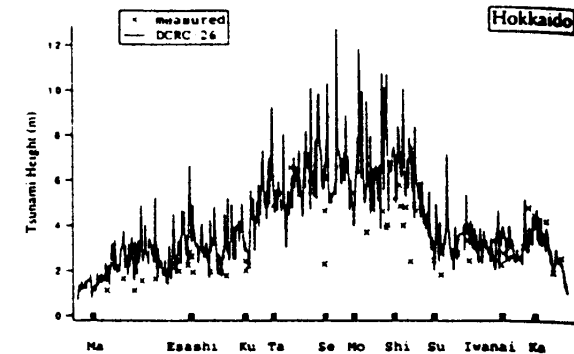
DCRC-26モデルの断層パラメータ

Fault	north	central	south
Width (km)	25.0	25.0	15.0
Length (km)	90.0	26.0	30.5
Strike (°)	188	175	150
Dip Angle (°)	35	60	60
Slip Angle (°)	80	105	105
Depth (km)	10	5	5
Dislocation (m)	5.71	4.00	12.00
M_0 ($\times 10^{27}$ dyne \cdot cm)	3.85	0.78	1.65

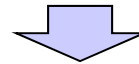
(高橋ほか (1995) に一部加筆)



DCRC-26モデルにおける地盤変位
(高橋ほか (1995) より引用)



DCRC-26モデルにおける津波打ち上げ高分布
(高橋ほか (1995) より引用)

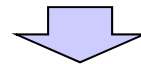


- 以上から、DCRC-26モデルの最大すべり量12mは、奥尻島の特定地点で観測された津波の高い打ち上げ高さの再現を目的として設定された値であると考えられる。
- また、北海道本島に対して計算津波高さが大きくなる傾向であることから、泊発電所の津波評価に対しては適切な設定であると考えられる。

2.3 基準波源モデルの設定

⑦最大すべり量の設定 (9/9) まとめ

- Murotani et al. (2015) によると、世界の内陸で発生した地震の最大地表変位量は、約10mで飽和する。
- 国交省ほか (2014), 地震本部 (2016) 及び土木学会 (2016) のそれぞれのスケーリング則における最大すべり量を比較した結果、その最大値は12mである。
- 土木学会 (2016) の既往津波の再現性が確認されている断層モデルにおける最大すべり量の最大値は12mであり、北海道南西沖地震津波の局所的に大きな津波を再現するように設定された値であると考えられる。



- 以上から、最大すべり量は、12mに設定した。

2.3 基準波源モデルの設定

⑧すべりの不均質性の設定 (1/2)

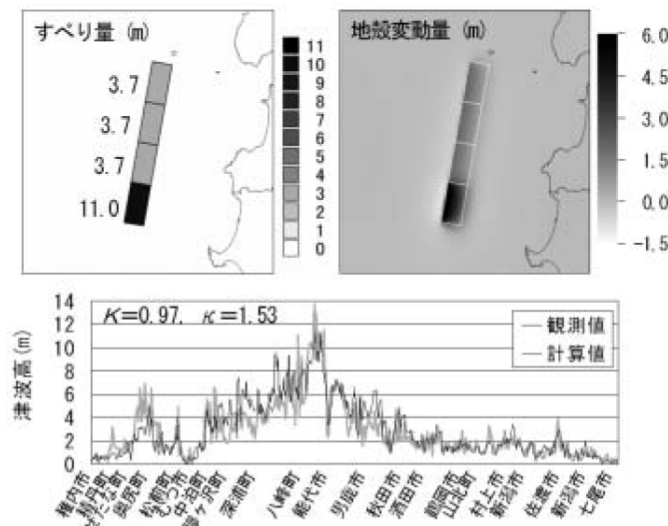
- 2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえて、泊発電所に対して保守的な津波評価となるようにすべりの不均質性を考慮したアスペリティモデルを用いる。
- アスペリティモデルとして以下の理由から、根本ほか(2009)を参照する。
 - 日本海東縁部の既往津波の再現モデルとしてアスペリティモデルを構築している。
 - アスペリティモデルについて既往津波の再現性を確認し、適用性を確認している。

※アスペリティモデルと一様すべりモデルの数値シミュレーションを実施し、アスペリティモデルの方が泊発電所に対して保守的な津波評価となることを確認した。(「2.6.4 アスペリティモデルの保守性確認」参照)

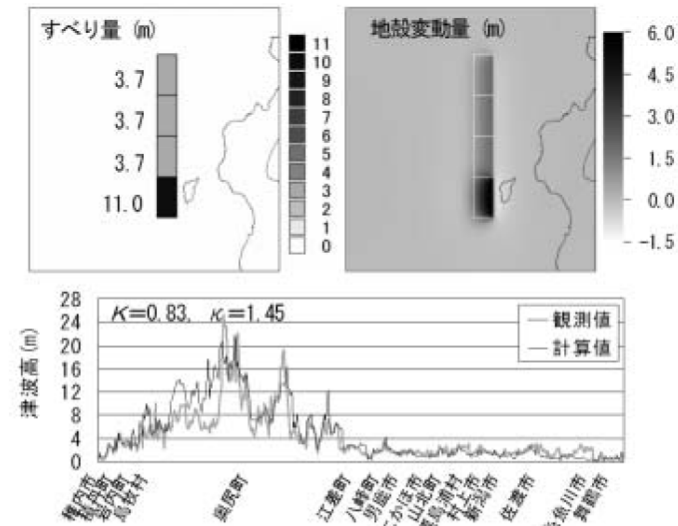
2.3 基準波源モデルの設定

⑧すべりの不均質性の設定 (2/2)

- 根本ほか(2009)では、日本海東縁部のアスペリティモデルのすべり量の設定方法について、以下のとおりとされている。
- アスペリティモデルでは4つのセグメントのいずれかがアスペリティに相当するセグメントと考えるので、アスペリティの位置が想定できない場合でも4ケースの計算を行えば良い。
 - 最終的な予測値は、その4ケースの最大値を採用することが防災上の見地から適当と考えられる。
 - 断層面を4セグメントに分割して、そのうち1セグメントをアスペリティ領域、残りの3セグメントを背景領域とみなして、次のようにすべり量を与えている。
 - ・ $D_a = 2 \times D$
 - ・ $D_b = 2/3 \times D$
 - ここで、 D :平均すべり量, D_a :アスペリティ領域のすべり量(最大すべり量), D_b :背景領域のすべり量
- 背景領域のすべり量は、最大すべり量(12m)を基に日本海東縁部のアスペリティモデルのすべり量の設定方法より4mに設定した。



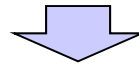
アスペリティモデルの波源モデルと計算津波高
【1983年日本海中部地震】
(根本ほか(2009)より引用)



アスペリティモデルの波源モデルと計算津波高
【1993年北海道南西沖地震】
(根本ほか(2009)より引用)

すべりの不均質性の設定

- 根本ほか(2009)のアスペリティモデルのスケーリング則の妥当性を確認するため、大すべり域の面積比及びすべり量比について、根本ほか(2009)、土木学会(2016)及び国交省ほか(2014)を比較した。
- その結果、根本ほか(2009)、土木学会(2016)及び国交省ほか(2014)のスケーリング則は概ね整合的であることが確認できた。



- 以上から、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波源モデルの設定に根本ほか(2009)のスケーリング則を適用することは妥当と考えられる。

根本ほか(2009)、土木学会(2016)及び国交省ほか(2014)のスケーリング則の比較

文献	大すべり面積/全体面積	大すべり量/平均すべり量	備考
根本ほか(2009)	0.25	2.0	-
土木学会(2016)	0.25	2.0	-
国交省ほか(2014)	0.20	2.0	中央防災会議(2006)による設定

2.3 基準波源モデルの設定

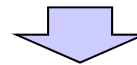
⑨剛性率の設定

○土木学会 (2016) では、地震波速度や密度に関する既往研究に基づき、海域毎に剛性率が示されている。

震源付近の媒質の剛性率

海 域	根 拠	剛性率
<ul style="list-style-type: none"> ・ 西南日本陸側プレート内 ・ 日本海東縁部 ・ プレート境界浅部 (断層面全体が深さ 20km 以浅に存在する場合) 	$V_p=6.0\text{km/s}$ $V_p/V_s=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8\text{g/cm}^3$ とすれば、 $\mu=3.36\times 10^{10}\sim 3.94\times 10^{10}\text{N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$3.5\times 10^{10}\text{N/m}^2$ $(3.5\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> ・ 海洋プレート内 ・ プレート境界深部 (断層面全体が深さ 20km 以深に存在する場合) 	$V_p=8.0\sim 8.1\text{km/s}$ $V_p/V_s=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5\text{g/cm}^3$ とすれば、 $\mu=6.31\times 10^{10}\sim 7.50\times 10^{10}\text{N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$7.0\times 10^{10}\text{N/m}^2$ $(7.0\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> ・ プレート境界中央部 (断層面が深さ 20km 以浅と以深にまたがって存在する場合) 	浅部と深部の中間的値とする。	$5.0\times 10^{10}\text{N/m}^2$ $(5.0\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2)$

(土木学会 (2016) に一部加筆)



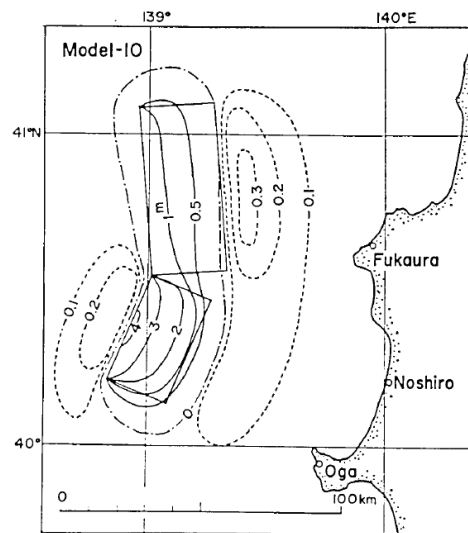
○以上から、剛性率は、日本海東縁部における震源付近の媒質の剛性率より、 $3.5\times 10^{10}\text{N/m}^2$ に設定した。

2.3 基準波源モデルの設定

⑩ライズタイムの設定

○土木学会(2016)では、1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震の津波痕跡高を説明できる波源モデルとして、それぞれ、相田(1984)、高橋ほか(1995)が示されており、これらのモデルでは、波源モデルから計算された地盤変位を初期条件としていることからライズタイムは考慮していない(0s)と推定される。

また波源としては断層モデルを仮定し、そのパラメータから MANSINHA and SMYLIE (1971) の方法によって海底の鉛直変位を計算し、それを水位の初期条件として与えた。



1983年日本海中部地震津波波源モデル
(相田(1984)に一部加筆)

DCRC-26 による地盤変位を図1に示す。この初期波形は奥尻島での沈降水量(例えば、熊木ら,1993)を満足している。

この地盤変位を初期条件とし、線形長波理論により計算を行った。ただし、陸側境界としては最低水深 10m の完全反射条件を用いた。また、空間格子間隔は 450m、時間間隔は 1 秒とした。

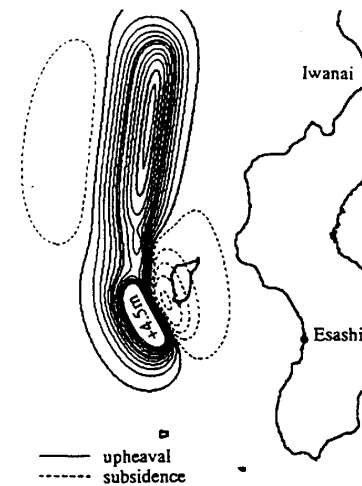
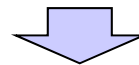


図1 地盤変位

1993年北海道南西沖地震津波波源モデル
(高橋ほか(1995)に一部加筆)



○以上から、ライズタイムは、1983年日本海中部地震津波及び1993年北海道南西沖地震津波の再現性が高いモデルより0sに設定した。

2.3 基準波源モデルの設定

まとめ

○既往の知見を踏まえて、基準波源モデルの断層パラメータの設定根拠について、再整理した。

基準波源モデルの断層パラメータと設定根拠

断層パラメータ	日本海東縁部 (L=320km)		設定根拠
モーメント マグニチュード [*] Mw	8.22	8.06	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$
断層長さ L	320km		想定波源域(南北方向)より設定
断層幅 W	40km	23.1km	地震発生層厚さ(20km) [*] を考慮し傾斜角に応じて設定 [*] 地震発生層厚さは想定波源域(深度方向)より設定
すべり量 D	アスぺリティ領域 $D_a = 12\text{m}$ 背景領域 $D_b = 4\text{m}$		D_a :以下の知見より設定 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 世界の内陸で発生した地震の最大地表変位量 (Murotani et al. (2015)) ➢ スケーリング則における最大すべり量 (国交省ほか (2014), 地震本部 (2016), 土木学会 (2016)) ➢ 既往津波の再現性が確認されている断層モデルにおける最大すべり量の最大値 (土木学会 (2016)) D_b :日本海東縁部のアスぺリティモデルのすべり量の設定方法より設定 (根本ほか (2009))
剛性率 μ	$3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$		日本海東縁部における震源付近の媒質の剛性率より設定 (土木学会 (2016))
地震モーメント M_0	$2.69 \times 10^{21} \text{N}\cdot\text{m}$	$1.55 \times 10^{21} \text{N}\cdot\text{m}$	$M_0 = \mu LWD$
断層面 上縁深さ d	1km		日本海東縁部のアスぺリティモデルより設定 (根本ほか (2009))
走向 θ	東傾斜: 3° 西傾斜: 183°		既往地震のハーバードCMT解及び対象海域における「地形の走向」より設定 (土木学会 (2016))
傾斜角 δ	30°	60°	既往津波の波源モデルより設定 (土木学会 (2016))
すべり角 λ	90°		既往地震のハーバードCMT解及び東北地方から北海道地方の沿岸におけるすべり角の分布より設定 (土木学会 (2016), 国交省ほか (2014))
ライズタイム τ	0s		1983年日本海中部地震津波及び1993年北海道南西沖地震津波の再現性が高いモデルより設定 (相田 (1984), 高橋ほか (1995))

2.4 パラメータスタディ

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	7
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	11
2.1 日本海東縁部の特性整理	16
2.1.1 文献レビュー	18
2.1.2 当社の調査結果	27
2.1.3 想定される日本海東縁部の範囲	31
2.2 想定波源域の設定	32
2.2.1 想定波源域(南北方向)の設定	34
2.2.2 想定波源域(東西方向)の設定	41
2.2.3 想定波源域(深度方向)の設定	51
2.3 基準波源モデルの設定	57
2.4 パラメータスタディ	80
2.4.1 パラメータスタディの検討方針	82
2.4.2 計算条件	93
2.4.3 健全地形モデルの解析結果	104
2.4.4 防波堤の損傷を考慮した地形モデル①の解析結果	152
2.4.5 防波堤の損傷を考慮した地形モデル②の解析結果	200
2.4.6 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③の解析結果	248
2.5 「評価用の想定津波」の設定	296
2.6 補足説明	304
2.6.1 パラメータスタディ評価因子影響分析	305
2.6.2 貯留堰を下回る時間の確認	369
2.6.3 断層パターン5東端の検討	379
2.6.4 アスペリティモデルの保守性確認	398
参考文献	417
参考資料	421

2.4 パラメータスタディ

整理方針

- パラメータスタディの検討方針及び計算条件について、再整理したうえで、パラメータスタディを実施する。
- パラメータスタディの実施に当たっては、以下の複数の地形モデルを用いる※。
 - 健全地形モデル（北防波堤あり-南防波堤あり）
 - 防波堤の損傷を考慮した地形モデル①（北防波堤なし-南防波堤なし）
 - 防波堤の損傷を考慮した地形モデル②（北防波堤あり-南防波堤なし）
 - 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③（北防波堤なし-南防波堤あり）

※敷地北側防潮堤の損傷の組合せが津波評価へ有意な影響がないことを確認する。

2.4 パラメータスタディ

【パラメータスタディの検討方針】

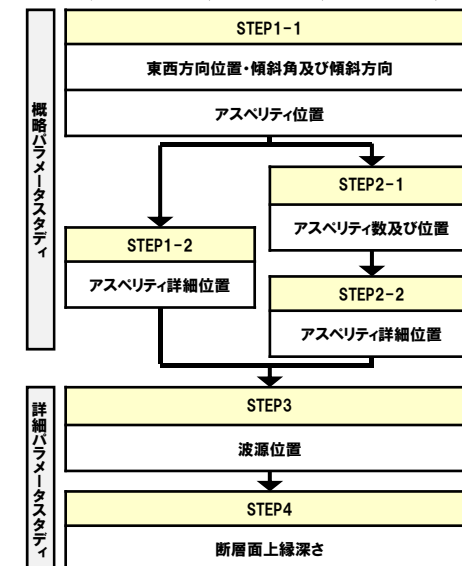
- ・パラメータスタディ実施の要否 (P82～83)
- ・パラメータスタディフロー (P84)
- ・パラメータスタディの変動幅 (P85～92)

【計算条件】

- ・計算手法 (P93)
- ・地形モデル (P94～101)
- ・評価地点 (P102)

【各地形モデルの解析結果】

- ・パラメータスタディ
(P104～137, 152～185, 200～233, 248～281)
- ・敷地北側防潮堤の損傷による影響確認
(P139～151, 187～199, 235～247, 283～295)



敷地北側防潮堤の
損傷による影響確認

2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディ実施の要否 (1/2)

- 土木学会(2016)では、不確かさを考慮する方法の一つとして、基本断層モデルに対するパラメータスタディが考えられ、パラメータスタディを実施する因子を適切に選定するとともに、その範囲を合理的に定めることが重要であるとされている。
- 既往の知見を踏まえて、パラメータスタディ実施の要否と変動幅の設定根拠を再整理した。
- パラメータスタディを実施する因子として、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向、アスペリティ位置、断層面上縁深さ、走向を選定する。

項目	基準波源モデル		パラメータスタディ	
	諸元ほか		パラメータスタディを実施する因子の選定	変動幅の根拠 or パラメータスタディを実施しない根拠
	低角断層	高角断層		
モーメント マグニチュード Mw	8.22	8.06	-	他諸元からの算定値
断層長さ L	320km		-	想定波源域の上限を考慮
断層幅 W	40km	23.1km	-	想定波源域の上限を考慮
すべり量 D	アスペリティ領域: $D_a=12\text{m}$ 背景領域: $D_b=4\text{m}$		-	既往の知見に照らしてすべり量の上限を考慮
剛性率 μ	$3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$		-	すべり量を最大で固定しているため、剛性率の値が津波評価に影響しない
地震モーメント M_0	$2.69 \times 10^{21} \text{N}\cdot\text{m}$	$1.55 \times 10^{21} \text{N}\cdot\text{m}$	-	他諸元からの算定値
断層面 上縁深さ d	1km		詳細パラメータスタディとして実施 変動幅: 0~5km	既往津波の波源モデルの変動幅(土木学会(2016))
波源位置(走向 θ)	東傾斜: 3° 西傾斜: 183°		詳細パラメータスタディとして実施 変動幅: $\pm 10^\circ$	既存断層パラメータの走向の標準偏差(土木学会(2002))
傾斜角 δ	30°	60°	概略パラメータスタディとして実施 変動幅: $30^\circ, 60^\circ$	既往津波の波源モデルの変動幅(土木学会(2016))
すべり角 λ	90°		-	初期水位が最大となる設定
ライスタイム τ	0s		-	既往津波を再現する設定かつ津波高さが大きくなる設定
アスペリティ位置	-		概略パラメータスタディとして実施 変動幅: 40km, 10kmピッチ	網羅的に検討
傾斜方向	-		概略パラメータスタディとして実施 変動幅: 東傾斜, 西傾斜	網羅的に検討(土木学会(2016))
東西方向位置	-		概略パラメータスタディとして実施 変動幅: 西端, 中央, 東端	想定波源域を網羅する範囲(土木学会(2016))

2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディ実施の要否 (2/2)

○パラメータスタディを実施する因子は、土木学会(2016)におけるパラメータスタディを原則実施する因子とも整合する。

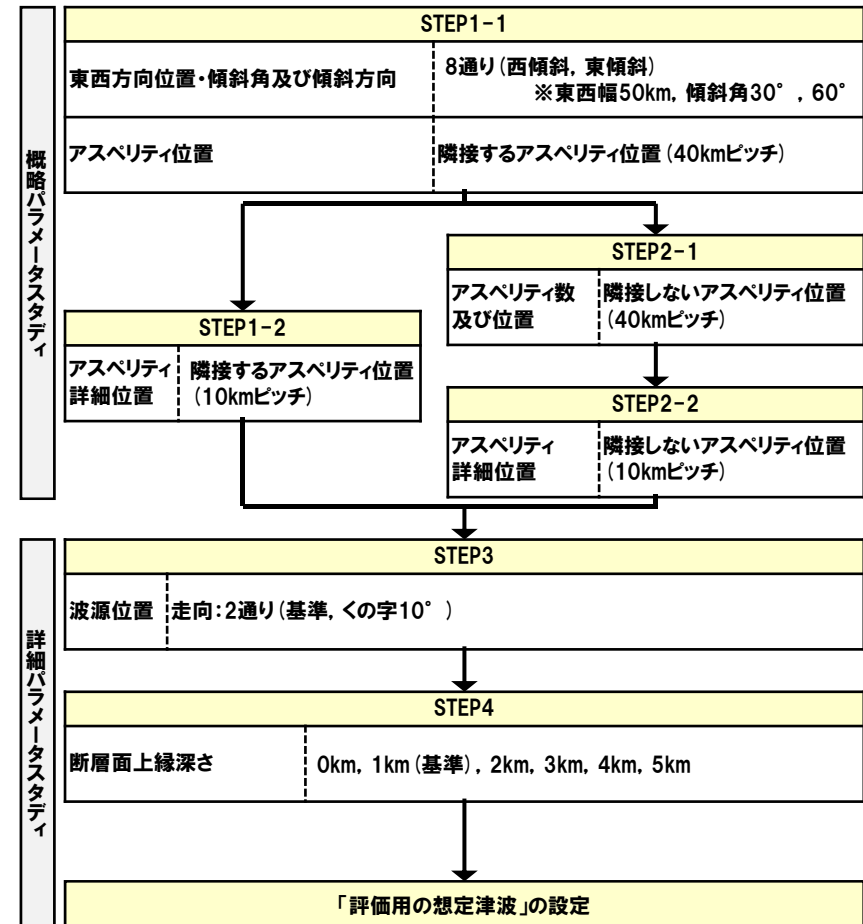
海域または地震のタイプ	静的パラメータ							動的パラメータ		
	位置	大すべり 領域位置	走向	傾斜角	傾斜方向	すべり角	上縁深さ	破壊開始点	破壊伝播 速度	ライズ タイム
プレート間逆断層地震と 津波地震の連動 プレート間逆断層地震 (不均質モデルの場合)	○※1	○	-	-	-	○※2	-	○	○	○
プレート間逆断層地震 (均質モデルの場合)	○※1	-	○	○	-	○※2	○	-	-	-
日本海溝沿い (プレート内正断層)	○	-	○	○	-	- (270度固定)	○	-	-	-
日本海溝沿い(津波地震) (均質モデルの場合)	○	-	○	○	-	○※2	○	-	-	-
日本海東縁部 (地殻内地震)	○	○	○	○	○※1	- (90度固定)	○	-	-	-
海域活断層 (上部地殻内地震)	-	○※5	-	○※5	○※6	○※3	○	-	-	-

パラメータスタディの因子
 (○:パラメータスタディを原則実施する因子)
 (土木学会(2016)に一部加筆)

2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディフロー

- パラメータスタディフロー※を右図に示す。
 - 過去に実施した波源位置のパラメータスタディについては、以下の理由から、今回のパラメータスタディでは実施しないこととする。
- 【波源位置（複数枚モデル，走向一律 $\pm 2.5^\circ$ ， $\pm 5^\circ$ 変動）】**
- 過去に実施している発電所を波源とした場合の評価（逆伝播解析）では、同心円状に津波が伝播し、これらの伝播経路上に波源モデルを配置した場合に津波水位が大きくなることが想定されるため、くの字（北側断層を+方向，南側断層を-方向）に折り曲げたモデルによる検討を実施している（STEP3）。
 - 以上から、複数枚モデル，走向一律 $\pm 2.5^\circ$ ， $\pm 5^\circ$ 変動の検討と比較して、くの字に折り曲げたモデルの方が泊発電所に対して保守的な津波評価になると考えられる。
- 【波源位置（南北へ5km移動）】**
- アスペリティ位置を南北方向へ移動させた検討を実施し、アスペリティ位置を泊発電所に正対する位置に配置することで、泊発電所に伝播する津波が卓越することを確認している（STEP1-1，STEP1-2，STEP2-1，STEP2-2）。
 - 以上から、波源位置（南北へ5km移動）と比較して、波源位置を移動させないモデルの方が泊発電所に対して保守的な津波評価になると考えられる。
- 【波源位置（東西へ5km移動）】**
- 日本海東縁部の特性整理を踏まえて、想定される日本海東縁部の範囲を設定し、概ねその範囲内となるように想定波源域（東西方向）の位置を設定している。
 - 当社の調査結果より、想定波源域付近において、東側には震源として考慮する断層は認められない。
 - 以上から、想定波源域内に断層を配置することを基本として、東西方向位置の検討を実施している（STEP1-1）ことから、波源位置（東西へ5km移動）の検討は実施しないこととする。



※パラメータスタディ評価因子の分析において、パラメータスタディフローの妥当性を確認した（「2.6.1 パラメータスタディ評価因子影響分析」参照）。

2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディの変動幅 STEP1-1 アスペリティ位置・東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向 (1/2)

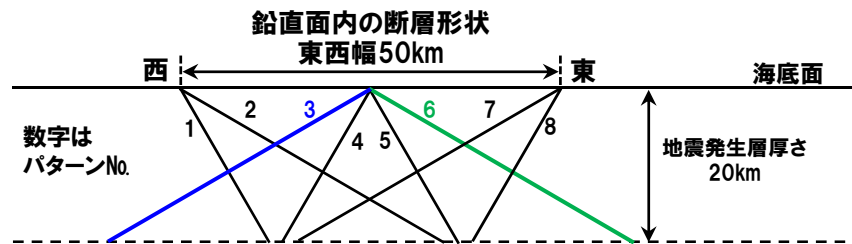
- 概略パラメータスタディのSTEP1-1では、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向とアスペリティ位置の不確かさを考慮する。
- 基準波源モデルを対象に、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向と隣接するアスペリティ位置 (40kmピッチ) を組合せたパラメータスタディを実施する。

【東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向の変動幅】

- 土木学会 (2016) に基づく断層パターンを用いて検討する。

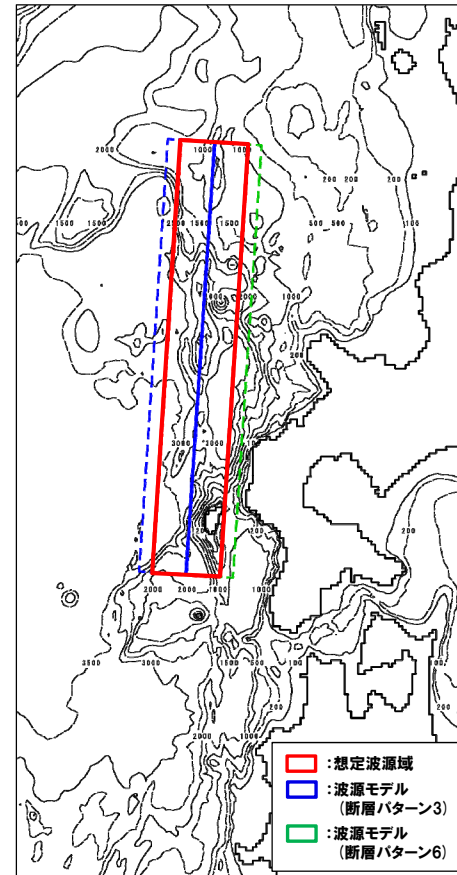
【アスペリティ位置の変動幅】

- 波源モデルを長さ方向に8分割し、隣接する2つのセグメントにアスペリティを配置する。



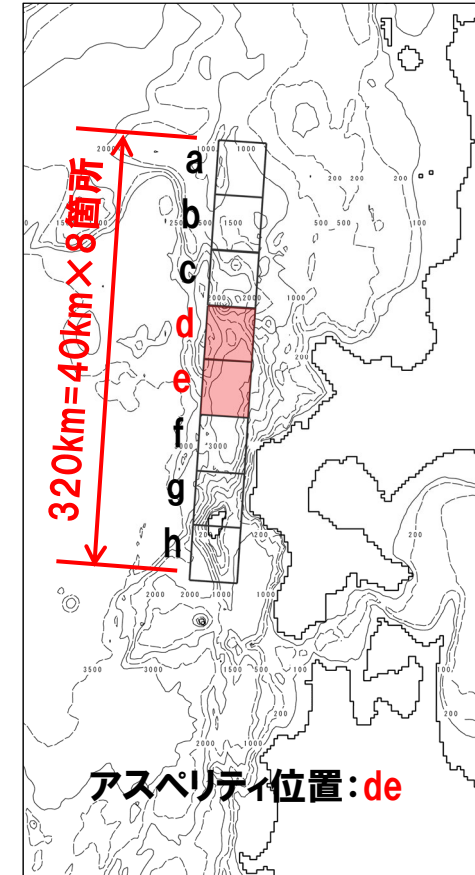
土木学会 (2016) に基づく断層パターン

【東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向】



代表として断層パターン3, 6を示す

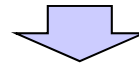
【アスペリティ位置】



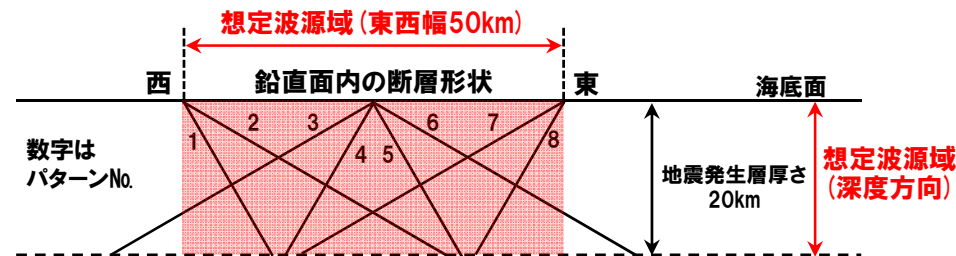
2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディの変動幅 STEP1-1 アスペリティ位置・東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向 (2/2)

- 日本海東縁部の特性は、以下のとおり整理している(「2.1 日本海東縁部の特性整理」参照)。
 - アムールプレートとオホーツクプレートの間には、明瞭なプレート境界が存在せず、東西方向に数十km程度の幅をもち南北方向に伸びるひずみ集中帯でマグニチュード7クラスの地震が発生している。
 - 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を伴う。
 - 断層面の傾斜は東傾斜と西傾斜が交互に現れる。
 - 地殻のひずみは断層、褶曲帯に集中してきたことを示している。
- 土木学会(2016)では、日本海東縁部の東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向のパラメータスタディについて、以下のとおりとされている。
 - 明確なプレート境界面が形成されていないことによる東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向の不確かさを反映する方法として、鉛直面内の断層位置(断層パターン)を複数想定する方法が考えられる。
 - ただし、断層下端部が領域範囲外となることは許容した。



- 土木学会(2016)に基づく断層パターンは、東西方向に数十km程度の幅をもって分布する背斜構造の基部に、背斜構造側に伸びる逆断層として、空間的な想定波源域内に複数の断層パターンを設定しているものと考えられることから、これに準じて検討を行う。
 - 想定波源域内に断層を配置することを基本とし、断層パターン3及び断層パターン6の断層下端部が想定波源域外となることは許容する。
- ※断層パターン1～8と断層パターン5東端の数値シミュレーションを実施し、断層パターン1～8の方が泊発電所に対して保守的な津波評価となることを確認した。(「2.6.3 断層パターン5東端の検討」参照)

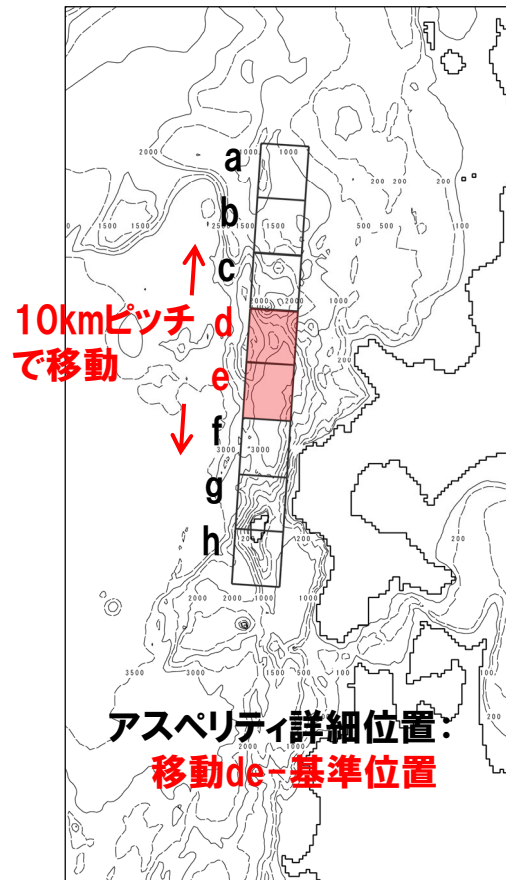


土木学会(2016)に基づく断層パターン及び想定波源域

2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディの変動幅 STEP1-2 アスペリティ詳細位置

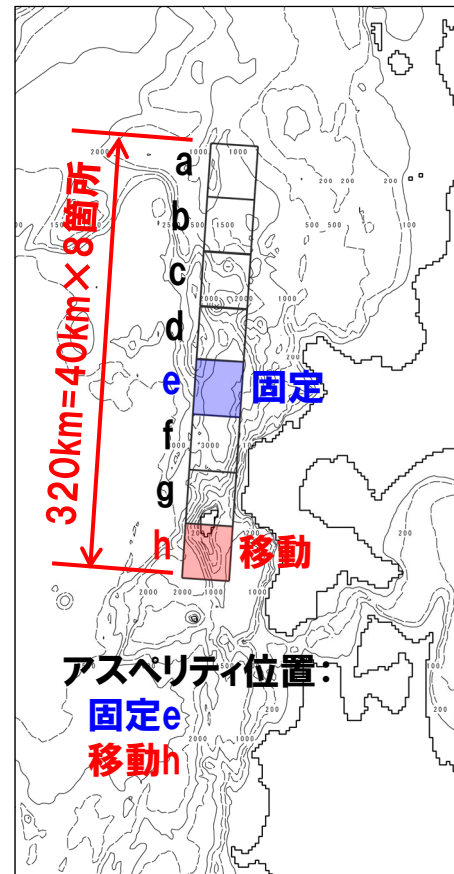
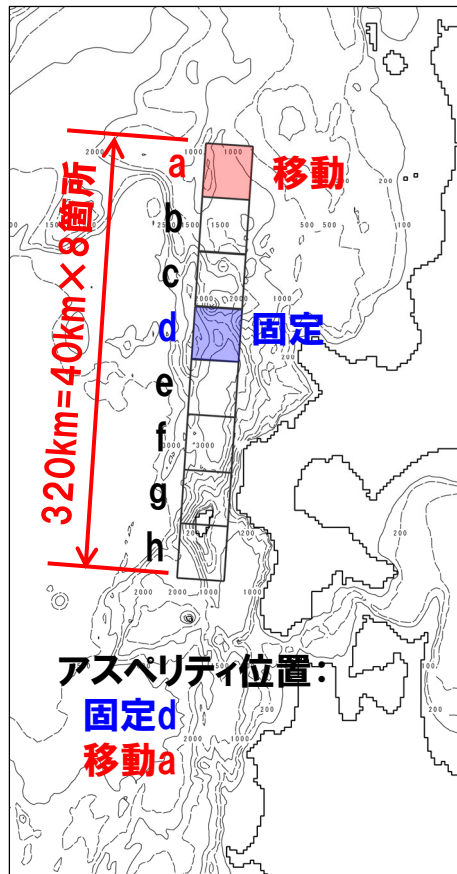
- 概略パラメータスタディのSTEP1-2ではアスペリティ詳細位置の不確かさを考慮する。
- STEP1-1における最大ケースの波源モデルを対象に、アスペリティ位置を北方及び南方へ10～30km (10kmピッチ:隣接セグメントをさらに4分割した距離) 移動させたパラメータスタディを実施する。



2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディの変動幅 STEP2-1 アスペリティ数及び位置

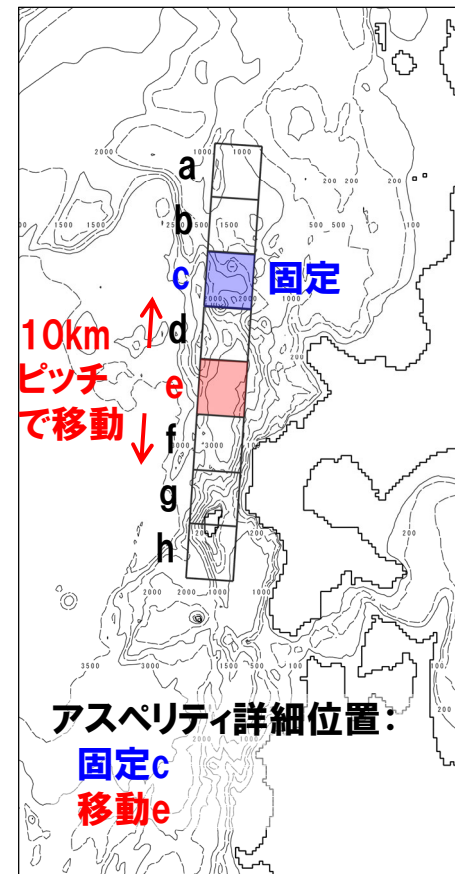
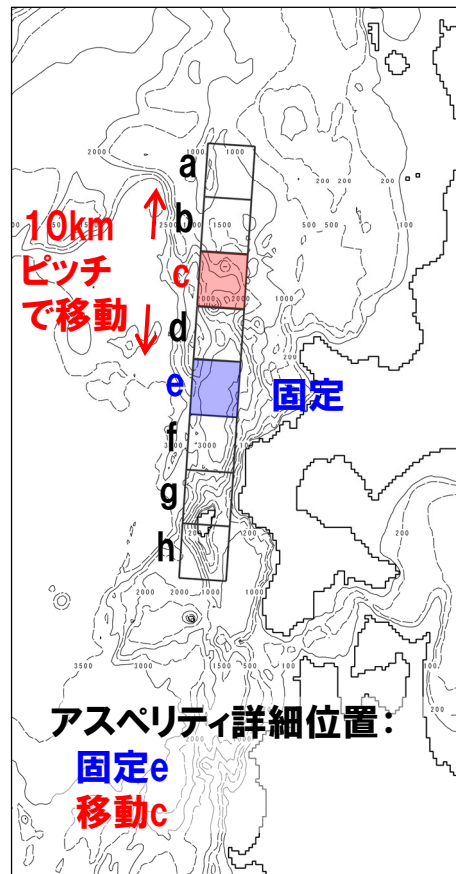
- 概略パラメータスタディのSTEP2-1では、アスペリティ数及び位置の不確かさを考慮する。
- STEP1-1における最大ケースの波源モデルを対象に、アスペリティを南北に2分割したうえで、片方のアスペリティ位置を固定し、もう片方を40kmピッチで移動させたパラメータスタディを実施する。



2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディの変動幅 STEP2-2 アスペリティ詳細位置

- 概略パラメータスタディのSTEP2-2では、アスペリティ詳細位置の不確かさを考慮する。
- STEP2-1における最大ケースの波源モデルを対象に、アスペリティを南北に2分割したうえで、片方のアスペリティ位置を固定し、もう片方を北方及び南方へ10～30km (10kmピッチ:隣接セグメントをさらに4分割した距離) 移動させたパラメータスタディを実施する。



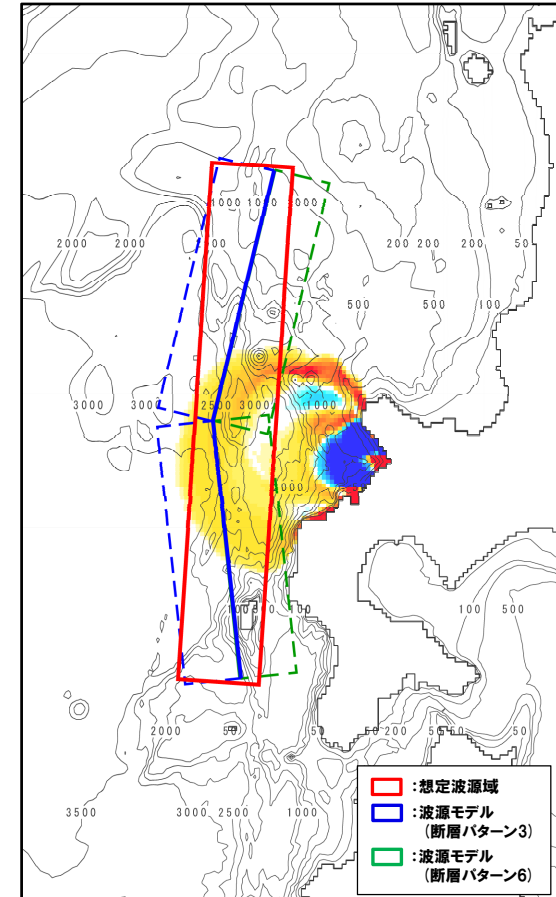
2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディの変動幅 STEP3 波源位置 (走向)

- 詳細パラメータスタディのSTEP3では、波源位置 (走向) の不確かさを考慮する。
- STEP1-2及びSTEP2-2のうち最大ケースの波源モデルを対象に、走向を $\pm 10^\circ$ に変動させたパラメータスタディを実施する。

【走向の変動幅】

- 走向の変動幅は、土木学会 (2002) の既往の波源モデルにおける走向のばらつきに関する標準偏差に基づき、 $\pm 10^\circ$ とした。
- 断層長さが320kmと長大であり、既往地震においても走向は必ずしも一定ではないことを考慮して、北海道南西沖地震の震源域北端付近で南北に2分割 ($L=160\text{km} \times 2$) し、分割した断層がそれぞれ異なる走向を有しながら連動することを想定した。
- なお、過去に実施している発電所を波源とした場合の評価 (逆伝播解析) では、同心円状に津波が伝播し、これらの伝播経路上に波源モデルを配置した場合に津波水位が大きくなることが想定されるため、くの字 (北側断層を+方向, 南側断層を-方向) に折り曲げたモデルによる検討を実施する。
- なお、上記モデルは概ね想定波源域内に配置される。

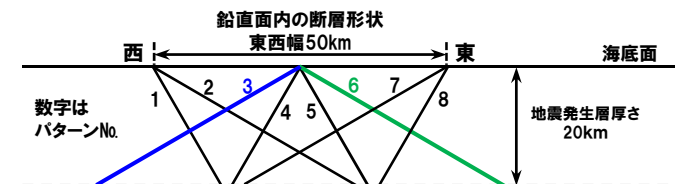


逆伝播解析結果, 想定波源域, 波源モデル位置 (代表として断層パターン3, 6を示す)

既存断層パラメータのばらつきの評価結果

海域大区分	海域小区分	緯度	秋原マップで対応する海域区分	解析対象データ	データ数	走向(°)		すべり方向(°)		すべり角(°)		傾斜角(°)	
						平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
日本海溝千島海溝(南部)	千島海溝南部	41°N以北	G1	プレート間逆断層地震のハーバード解	43	222.3	14.1	304.3	10.8			21.7	6.4
	日本海溝北部	38~41°N	G2		29	185.4	12.1	295.0	7.7			16.0	5.7
	日本海溝南部	35.3~38°N	G3		14	204.2	13.5	292.3	12.2			21.1	5.1
日本海東縁部	北部	40°N以北	F	断層モデル	6(3)	-2.7	9.6			91.7	11.3	43.3	14.0
	南部	40°N以南 138°E以东			5(3)	25.2	6.3			96.0	13.4	57.0	6.7

(土木学会 (2002) に一部加筆)



2.4.1 パラメータスタディの検討方針

パラメータスタディの変動幅 STEP4 断層面上縁深さ

- 詳細パラメータスタディのSTEP4では、断層面上縁深さの不確かさを考慮する。
- STEP3における最大ケースの波源モデルを対象に、断層面上縁深さ0km, 1km, 2km, 3km, 4km, 5kmに変動させたパラメータスタディを実施する。

【断層面上縁深さの変動幅】

- 地震発生層厚さは、想定波源域（深度方向）より、20kmに設定した。
- そのため、断層下端を20km以深に設定する必要はないと考えられるが、断層面上縁深さを変動させるパラメータスタディを実施した。
- 断層面上縁深さの変動幅は、土木学会（2016）の既往津波の再現性が確認されている断層モデルの断層面上縁深さが概ね0～5kmと設定されていることを踏まえて設定した。
- なお、1993年北海道南西沖の波源モデル（DCRC-26モデル）の北断層の断層面上縁深さが10kmと設定されているが、別途、泊発電所の深度方向に係る検討内容が妥当であることを確認している（P92参照）ことから考慮しない。

既往津波の再現性が確認されている断層モデル

対象津波	モデル M_w	面積 (km^2)	L (km)	W (km)	D (m)	d (km)	θ (度)	δ (度)	ϵ (度)	データ 数	K	κ	備考
1833年天保山形沖(A)	7.82	1250	50	25	6.4	0	10	60	90	27	1.04	1.42	土木学会(2002) (相田(1989)を修正;陸岸近く)
		1750	70	25	6.4	0	40	60	120				
1833年天保山形沖(B)	7.76	3960	132	30	4.0	0	208	45	90	27	1.17	1.28	土木学会(2002)(沖合)
1940年積丹沖	7.70	4050	135	30	3.2	0	347	40	90	20	1.02	1.42	土木学会(2002) (Satake(1986)を修正)
1964年新潟	7.35	900	45	20	3.3	1	202	60	90	検潮	—	—	Noguera and Ku.Abe(1992)
		300	20	15	3.0	1	189	60	90				
同上	7.51	813	32.5	25	5.3	0	200	60	52	検潮	—	—	加藤・安藤(1995)
		813	32.5	25	2.9	0	200	60	90				
1983年日本海中部	7.74	1200	40	30	7.6	2	22	40	90	218	1.12	1.46	相田(1984) Model-10
		1800	60	30	3.05	3	355	25	80				
1993年北海道南西沖	7.84	2250	90	25	5.71	10	188	35	80	249	0.96	1.51	高橋武之ら(1995) DCRC-26モデル
		650	26	25	4.00	5	175	60	105				
		458	30.5	15	12	5	150	60	105				

(土木学会(2016)に一部加筆)

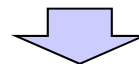
高橋ほか(1995)の断層面上縁深さについて

- 土木学会(2016)の既往津波の再現性が確認されている断層モデルのうち、高橋ほか(1995)のDCRC-26モデル(北断層)では、断層面上縁深さを10kmに設定している。
- 断層面上縁深さの検討内容の妥当性を確認するため、上記モデルとの比較を行った。

	泊発電所の検討内容	高橋ほか(1995) DCRC-26モデル(北断層)
断層面上縁深さ	断層下端を20km以深に設定する必要はないと考えられるが、パラメータスタディとして0km, 1km, 2km, 3km, 4km, 5kmの変動を考慮	10kmに設定
地震発生層厚さ	想定波源域(深度方向)より、20kmに設定	14.34km※に設定 ※断層幅と傾斜角から算定
鉛直面内の断層概要図		

Fault	north
<u>Width (km)</u>	<u>25.0</u>
Length (km)	90.0
Strike (°)	188
<u>Dip Angle (°)</u>	<u>35</u>
Slip Angle (°)	80
<u>Depth (km)</u>	<u>10</u>
Dislocation (m)	5.71
$M_0 (\times 10^{27} \text{ dyne} \cdot \text{cm})$	3.85

DCRC-26の断層パラメータ(北断層)
(高橋ほか(1995)に一部加筆)



- 泊発電所の検討内容は、高橋ほか(1995) DCRC-26モデル(北断層)の断層下端深さと同等であることを確認した。
- 以上から、断層面上縁深さの検討内容は、妥当であると考えられる。

2.4.2 計算条件

計算手法

一部加筆 (H26/12/5審査会合)

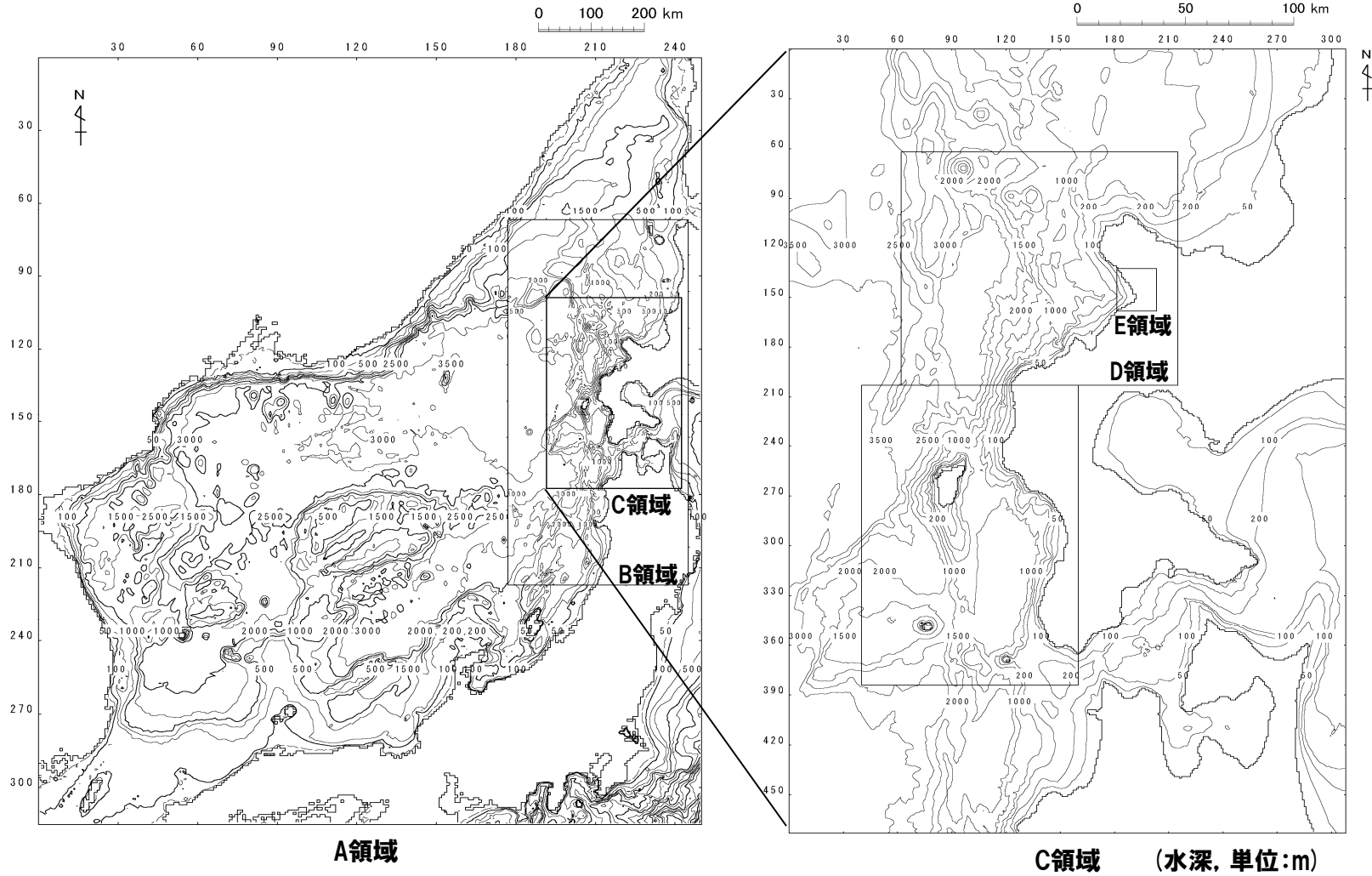
○計算は、後藤・小川(1982)に基づき非線形長波の連続式及び運動方程式を基礎方程式とし、計算格子間隔を5kmから5mとした。

項目 \ 領域	A領域	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域	H領域
計算領域	日本海全域 (南北約1,500km, 東西約1,200km)							
計算格子間隔 Δs	5km	2.5km	833m (2500/3)	278m (2500/9)	93m (2500/27)	31m (2500/81)	10m (2500/243)	5m (2500/486)
計算時間間隔 Δt	0.1秒 (計算安定条件により設定)							
基礎方程式	線形長波	非線形長波						
沖合境界条件	自由透過	外側の大格子領域と、水位・流量を接続。						
陸側境界条件	完全反射				小谷ほか(1998)の 遡上境界条件			
初期条件	地震断層モデルを用いてMansinha and Smylie (1971)の方法により計算される海底地殻変位を初期水位として海面上に与える。							
海底摩擦	考慮 しない	マンニングの粗度係数 $n=0.03\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ (土木学会(2016))						
水平渦動粘性	考慮 しない	係数 $K_h=1.0\times 10^5\text{cm}^2/\text{s}$ (土木学会(2016))						
計算潮位	検証計算:T.P. \pm 0.0m 予測計算:M.S.L.=T.P.+0.21m							
計算時間	地震発生後3時間							

2.4.2 計算条件

地形モデル (1/4)

再掲 (H26/12/5審査会合)

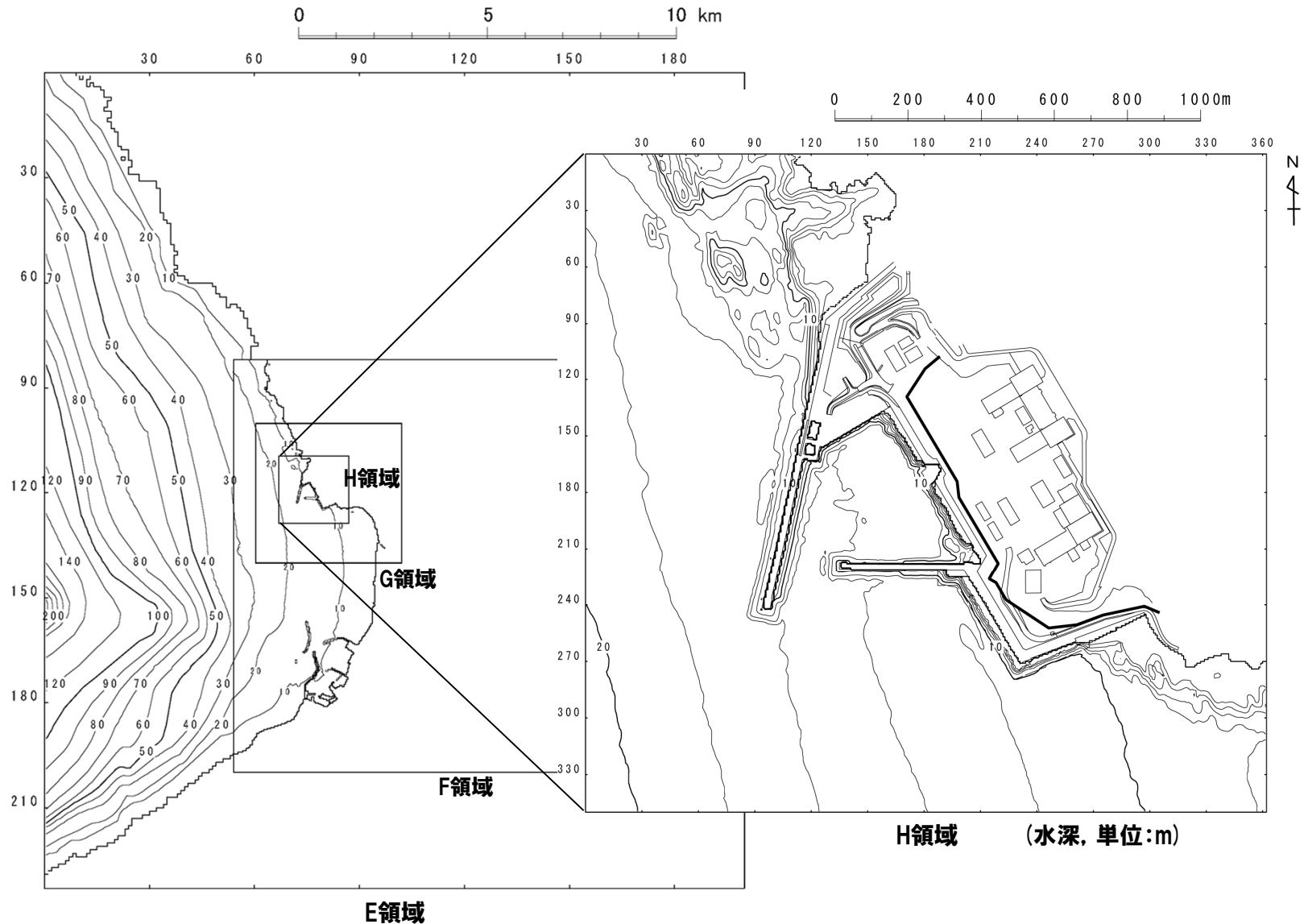


計算領域と水深

2.4.2 計算条件

地形モデル (2/4)

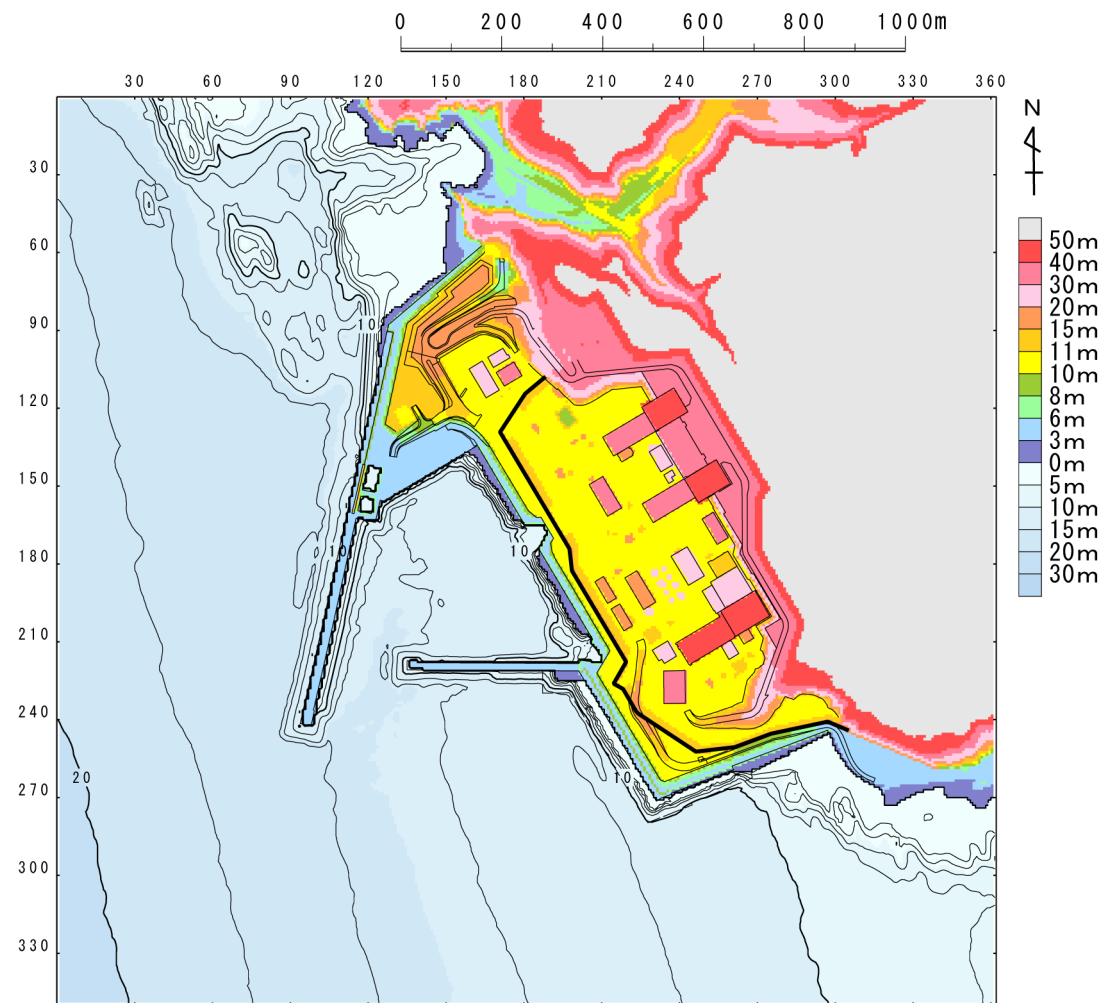
一部加筆 (H26/12/5審査会合)



計算領域と水深

2.4.2 計算条件

地形モデル (3/4)



余白

津波防護施設ほか 位置図 (1/2)

一部加筆 (R1/9/27審査会合)

○津波防護対象施設はT.P.+10.0m以上の敷地に設置されており、敷地高さT.P.+10.0mを超える津波に対しては天端高さT.P.+16.5mの防潮堤等により津波から防護する。

【津波防護施設】

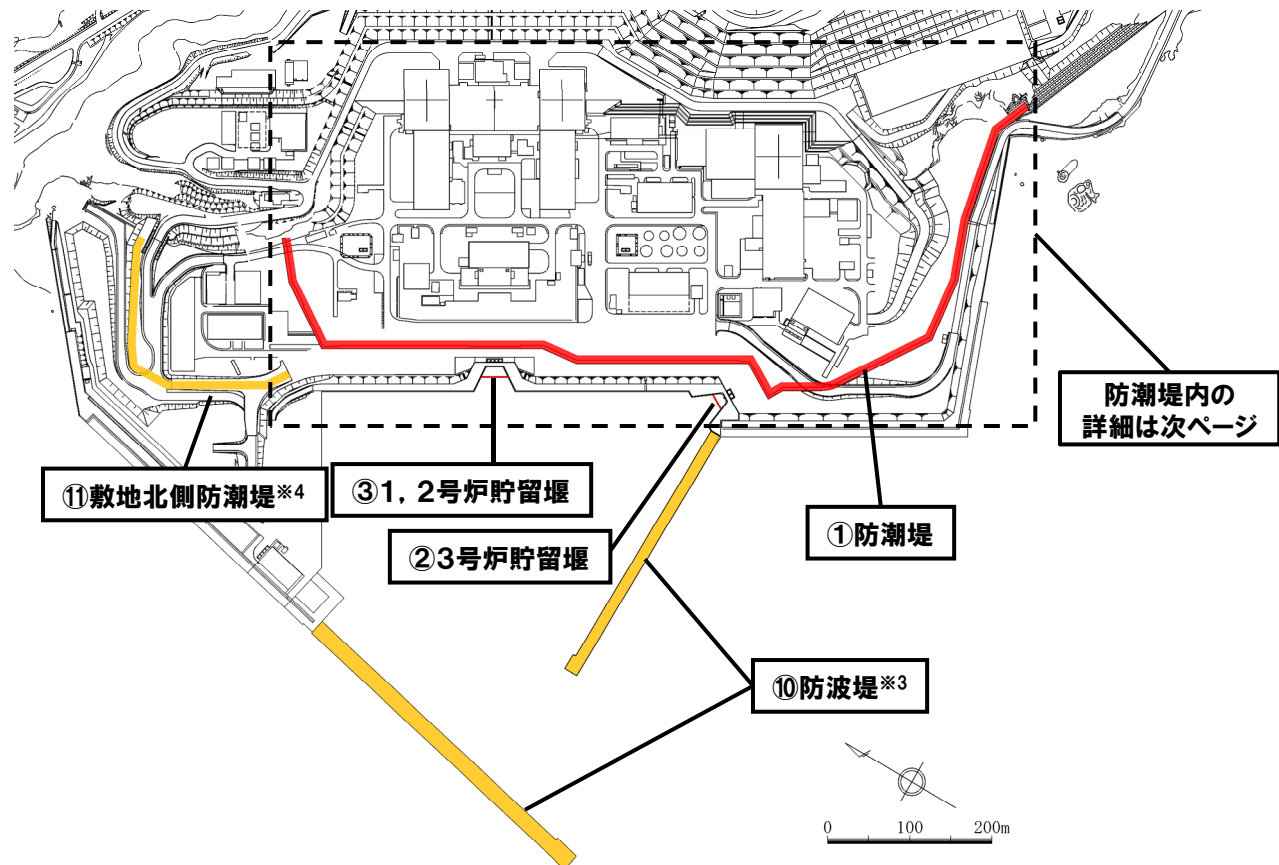
- ①防潮堤
 - ②3号炉貯留堰
 - ③1, 2号炉貯留堰
 - ④屋外排水路逆流防止設備※1
- ※1: 設置位置, 構造検討中

【津波防護施設 (防潮堤内)】

- ⑤3号炉取水ピットスクリーン室溢水防止壁
 - ⑥1, 2号炉取水ピットスクリーン室溢水防止壁
 - ⑦1号炉放水ピット溢水防止壁
 - ⑧2号炉放水ピット溢水防止壁
 - ⑨3号炉1次系放水ピット浸水防止対策設備※2
- ※2: 構造検討中

【自主設備】

- ⑩防波堤※3
- ※3: 地震により損傷する可能性は否定できないことから、津波影響軽減施設とせず、自主設備とする。
- ⑪敷地北側防潮堤※4
- ※4: 地震により損傷する可能性は否定できないことから、津波防護施設とせず、自主設備とする。



津波防護施設ほか 位置図

※津波防護施設ほかの構造は現時点での構造であり、今後変更となる可能性がある。

津波防護施設ほか 位置図 (2/2)

一部加筆 (R1/9/27審査会合)

○津波防護対象施設はT.P.+10.0m以上の敷地に設置されており、敷地高さT.P.+10.0mを超える津波に対しては天端高さT.P.+16.5mの防潮堤等により津波から防護する。

【津波防護施設】

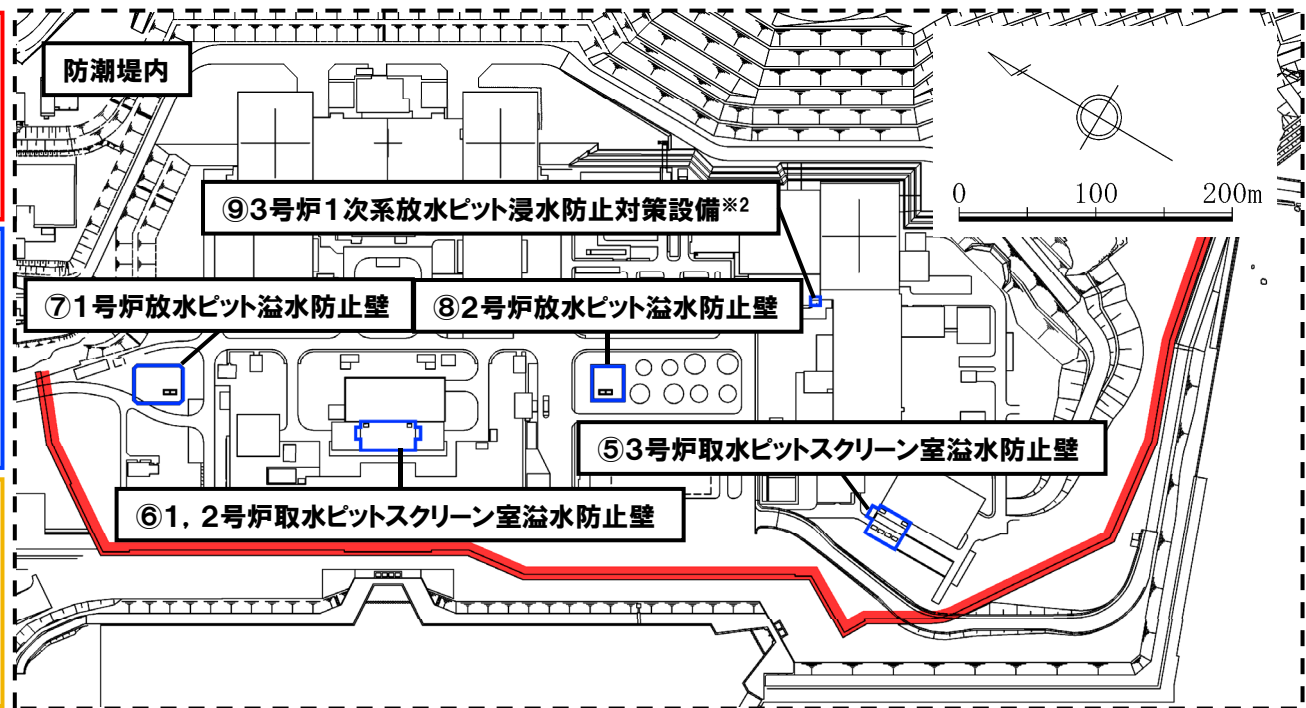
- ①防潮堤
 - ②3号炉貯留堰
 - ③1, 2号炉貯留堰
 - ④屋外排水路逆流防止設備※1
- ※1: 設置位置, 構造検討中

【津波防護施設 (防潮堤内)】

- ⑤3号炉取水ピットスクリーン室溢水防止壁
 - ⑥1, 2号炉取水ピットスクリーン室溢水防止壁
 - ⑦1号炉放水ピット溢水防止壁
 - ⑧2号炉放水ピット溢水防止壁
 - ⑨3号炉1次系放水ピット浸水防止対策設備※2
- ※2: 構造検討中

【自主設備】

- ⑩防波堤※3
- ※3: 地震により損傷する可能性は否定できないことから、津波影響軽減施設とせず、自主設備とする。
- ⑪敷地北側防潮堤※4
- ※4: 地震により損傷する可能性は否定できないことから、津波防護施設とせず、自主設備とする。



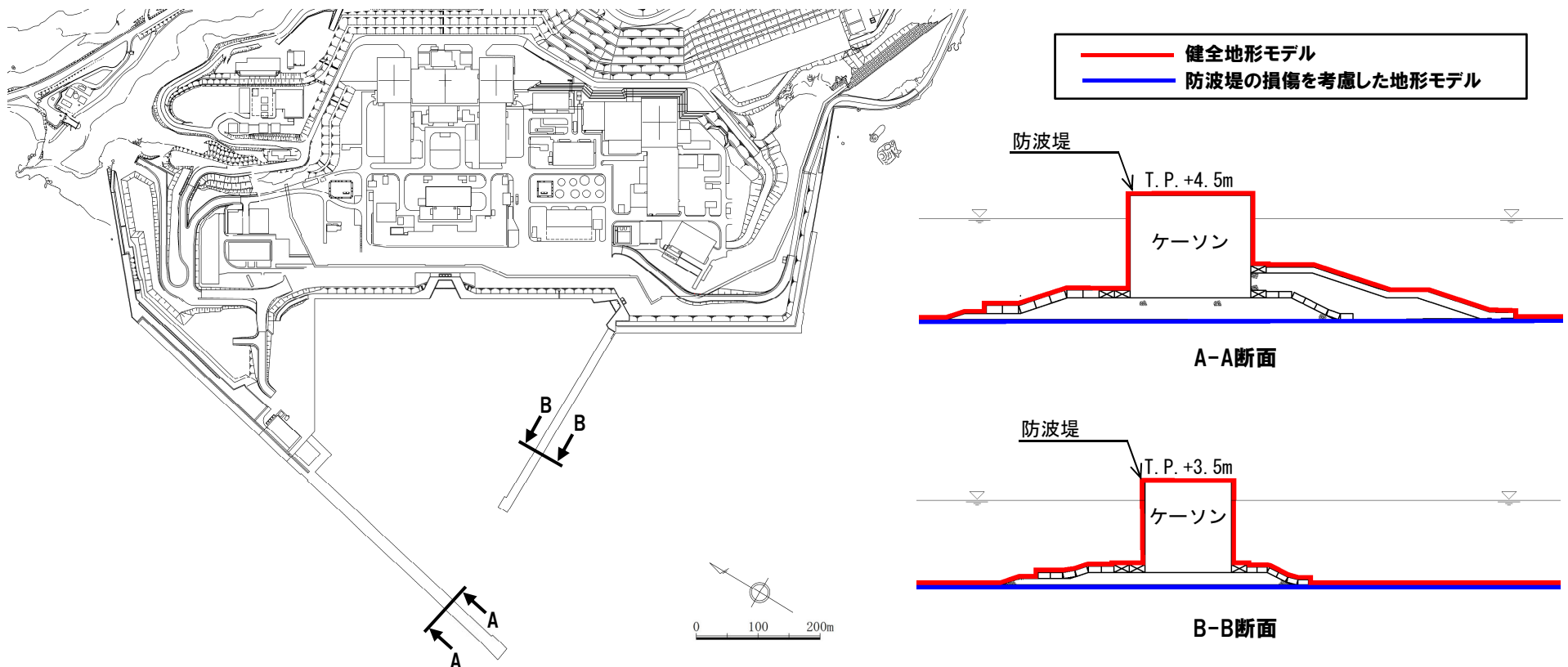
津波防護施設ほか 位置図

※津波防護施設ほかの構造は現時点での構造であり、今後変更となる可能性がある。

地形モデル (4/4)

一部加筆 (R1/9/27審査会合)

- 防波堤を津波影響軽減施設としないことから、これらの損傷を考慮する。
- パラメータスタディの実施に当たっては、以下の複数の地形モデルを用いる。
 - 健全地形モデル (北防波堤あり-南防波堤あり)
 - 防波堤の損傷を考慮した地形モデル① (北防波堤なし-南防波堤なし)
 - 防波堤の損傷を考慮した地形モデル② (北防波堤あり-南防波堤なし)
 - 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③ (北防波堤なし-南防波堤あり)

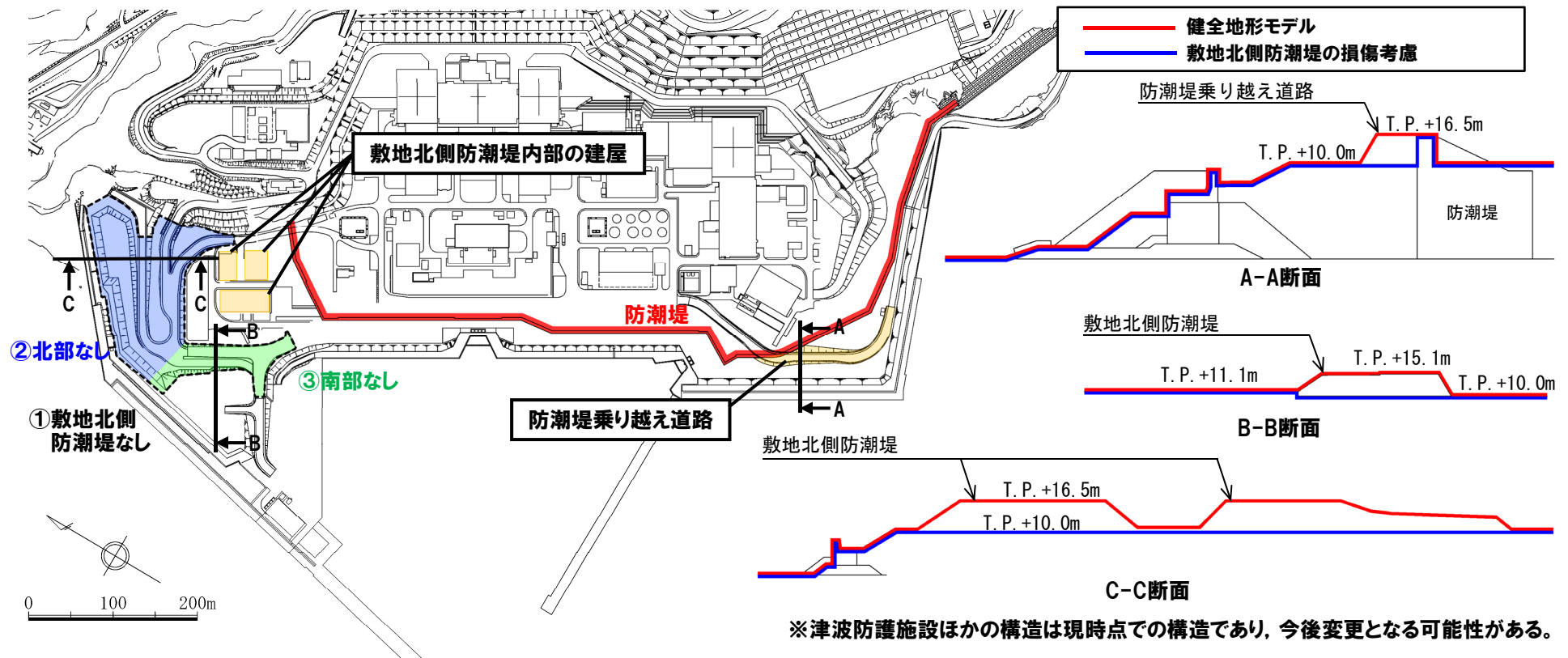


※津波防護施設ほかの構造は現時点での構造であり、今後変更となる可能性がある。

敷地北側防潮堤の損傷による影響確認における地形モデル

一部加筆 (R1/9/27審査会合)




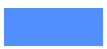


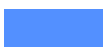

- 敷地北側防潮堤, 内部の建屋及び防潮堤乗り越え道路を津波防護施設としないことから, これらの損傷を考慮する。
- 敷地北側防潮堤の損傷による影響確認の実施に当たっては, 以下の複数の損傷状態を考慮する。
 - 敷地北側防潮堤の損傷状態① (敷地北側防潮堤なし)
 - 敷地北側防潮堤の損傷状態② (北部なし)
 - 敷地北側防潮堤の損傷状態③ (南部なし)
- また, 防波堤の損傷と敷地北側防潮堤の損傷の組合せを考慮する (P139,187,235,283参照)。

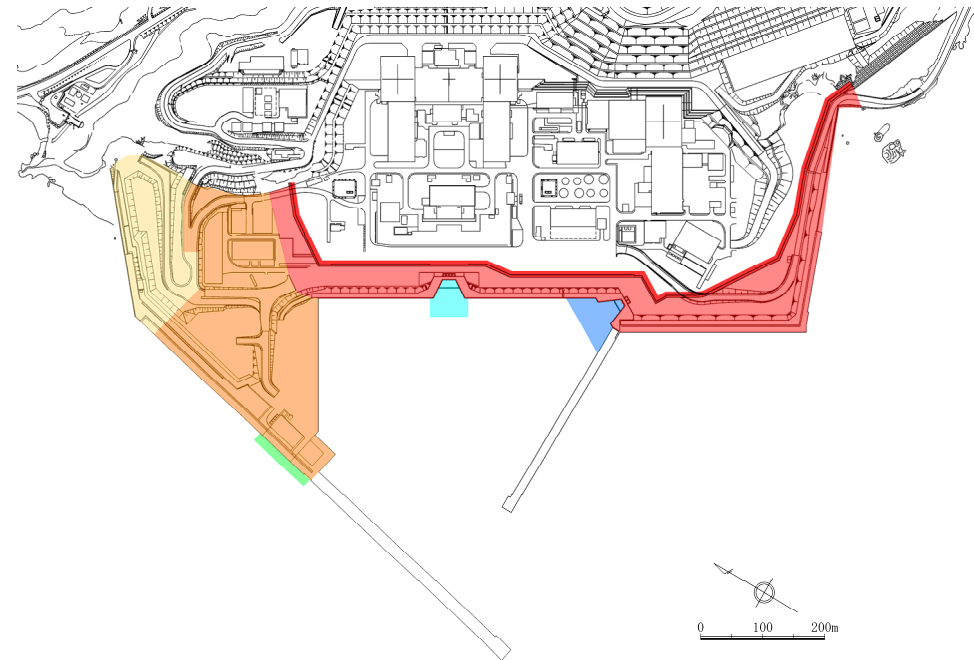


2.4.2 計算条件

評価地点

- 評価地点は、防潮堤前面（上昇側）、敷地北側A（上昇側）、敷地北側B（上昇側）、3号炉取水口（上昇側）、1、2号炉取水口（上昇側）、放水口（上昇側）、3号炉取水口（下降側）及び1、2号炉取水口（下降側）のとおり設定した。
- 各評価地点における評価目的は、下表に示すとおりである。

凡例	評価地点		評価目的
	防潮堤前面	（上昇側）	・地上部から津波が流入する可能性の高い波源の選定
	敷地北側A	（上昇側）	・敷地北側防潮堤（南部）が損傷した場合に、防潮堤前面に到達する可能性の高い波源の選定
	敷地北側B	（上昇側）	・敷地北側防潮堤（北部）が損傷した場合に、防潮堤前面に到達する可能性の高い波源の選定
	3号炉取水口	（上昇側）	・経路から津波が流入する可能性の高い波源の選定
	1、2号炉取水口	（上昇側）	
	放水口	（上昇側）	
	3号炉取水口	（下降側）	・原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能水位を下回る可能性の高い波源の選定
	1、2号炉取水口	（下降側）	



※津波防護施設ほかの構造は現時点での構造であり、今後変更となる可能性がある。