

大間原子力発電所  
基準津波の策定について  
(コメント回答)

2020年6月19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）

(余白)

# 指摘事項(1/4)

 本資料でご説明

 次回以降ご説明


 ご説明済み



- ・本資料では、審査会合の指摘事項については、下表のとおり回答する。


No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S5-12	共通事項	第467回会合 (H29.5.12)	津波シミュレーションに用いる海底地形図について、平成8年の深浅測量結果を用いたと記載されているが、その後の地形変化の状況を確認し、最新の地形にするなど、適切に対応すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-1	共通事項	第446回会合 (H29.2.24)	敷地で評価すべきラインに対して最も影響のある波源パラメータを抽出する観点から、評価水位抽出位置をライン状に設定した津波の水位分布も示すこと。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-4	日本海東縁部	第446回会合 (H29.2.24)	日本海東縁部の波源モデルのパラメータスタディについて、アスペリティ位置については、更に細かく移動させたパラメータスタディを行い、最も影響がある位置となっているかを確認したうえで、敷地に最も影響があるパラメータを抽出していることを説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-3	日本海東縁部	第446回会合 (H29.2.24)	日本海東縁部の波源モデル設定において、すべり量を12mと設定した妥当性を確認するため、Moを先に設定してすべり量を算出する等の他の方法による波源モデル設定についても検討し、すべり量の妥当性を説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-27	日本海東縁部	第553回会合 (H30.3.2)	日本海東縁部に想定される地震に伴う津波に関して、説明性向上の観点から、日本海沿岸において、大間地点で最高水位及び最低水位となるケースの計算津波高と、津波痕跡高及び根本ほか(2009)の再現計算津波高とを比較すること。	平成30年9月21日第627回審査会合でご説明済み
S5-5	三陸沖から根室沖	第446回会合 (H29.2.24)	三陸沖から根室沖の波源モデルのパラメータスタディについて、敷地に最も影響があるパラメータを抽出しているかを確認すること。超大すべり域を南端とする等のパラメータスタディを行い、固有周期との関係も分析して、最も影響がある位置となっているかを説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-6	三陸沖から根室沖	第446回会合 (H29.2.24)	三陸沖から根室沖の波源モデルの妥当性について確認する必要がある。北東端については、納沙布断裂帯が破壊のバリアとの説明であるが、地震学的知見、測地学的知見等のデータを補強し、検討すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-7	三陸沖から根室沖	第446回会合 (H29.2.24)	三陸沖から根室沖の波源モデルのうち、大すべり域と超大すべり域のすべり量について、基本すべり量に対してそれぞれ2倍、4倍とした妥当性を説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-8	三陸沖から根室沖	第446回会合 (H29.2.24)	三陸沖から根室沖ではM9クラスの地震による津波の知見がないため、波源モデルの妥当性の確認がポイントとなる。ガイドに記載された検討事例や、杉野ほか(2014)のように広域的な津波の再現性が確認された知見を参照し、その妥当性を説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-9	三陸沖から根室沖	第446回会合 (H29.2.24)	三陸沖から根室沖の波源モデルについて、分岐断層をどのように反映しているのか説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-28	三陸沖から根室沖	第553回会合 (H30.3.2)	三陸沖北部から根室沖に想定されるプレート間地震に伴う津波に関して、事業者が独自に設定した基準波源モデルのパラメータが、東北地方太平洋沖地震の津波痕跡高を再現することを確認する等により、基準波源モデルの設定手順の妥当性を示すこと。	平成30年9月21日第627回審査会合でご説明済み



# 指摘事項(2/4)

 本資料でご説明

 次回以降ご説明

 ご説明済み


- ・本資料では、審査会合の指摘事項については、下表のとおり回答する。

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S5-29	三陸沖から根室沖	第553回会合 (H30.3.2)	基準波源モデルを“選定する妥当性”を説明すること。例えば、三陸沖北部から根室沖に想定されるプレート間地震に伴う津波の検討の際には、津軽海峡開口部付近の太平洋沿岸において、複数の基準波源モデルによる計算津波高と、過去の津波による痕跡高との比較等を示すこと。なお、その際、大すべり域、超大すべり域の位置関係等が分かるように、波源モデル図を重ねた図も提示すること。	平成30年9月21日第627回審査会合でご説明済み
S5-30	三陸沖から根室沖	第627回会合 (H30.9.21)	「三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波」の基準波源モデル策定の手順及び考え方のフロー図において、基準波源モデル①及び②の設定にあたり3.11地震による津波の再現性をどのように反映したのかを示し、基準波源モデル③～⑥との関連性を含め基準波源モデル①及び②の妥当性を説明すること。	次回以降ご説明
S5-31	三陸沖から根室沖	第627回会合 (H30.9.21)	基準波源モデル③、④の策定に関わり、「宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル」に対する、3.11地震による津波の再現性確認を、4地点の観測波形等で実施したとしているが、これらによりどのように再現性があると判断したのかを説明すること。	次回以降ご説明
S5-32	三陸沖から根室沖	第627回会合 (H30.9.21)	「三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波」に関して、津軽海峡開口部付近の沿岸における計算津波高について、基準波源モデル①及び②と、基準波源モデル⑥とを比較できるように提示し、基準波源モデル①及び②が大間独自のモデルとして設定されている位置付けを説明すること。	次回以降ご説明
S5-33	三陸沖から根室沖	第627回会合 (H30.9.21)	「三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波」の基準波源モデル⑥に関して、3.11地震の津波に対して広域の津波特性を考慮した特性化モデルでは1つとなっている大すべり域を、三陸沖から根室沖の波源を設定する際に2つに分割するとした考え方、妥当性について説明すること。また、合わせて面積比率の考え方も説明すること。	次回以降ご説明
S5-34	三陸沖から根室沖	第627回会合 (H30.9.21)	「三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波」の各基準波源モデルの設定のフローについて、以下のとおり記載の充実、修正等を行い説明すること。 ・基本すべり量と、平均すべり量との関係について、より記載を充実させること。 ・すべり量、すべり角の設定のうち、すべり量の補正に関する記載、及びすべり角に関する記載について、適切な記載に修正すること。	次回以降ご説明
S5-35	三陸沖から根室沖	第627回会合 (H30.9.21)	「三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波」の基準波源モデルの妥当性確認のため、計算津波高と既往津波高との比較に関して、本資料で着目すべき太平洋側の沿岸から津軽海峡入口の範囲とそれぞれの津波高を明示すること。また、基準波源モデル①～⑥による計算津波高が、津軽海峡に入る前にどのような傾向を示すのか、津軽海峡内に入り敷地においてどのような傾向を示すのかを示すこと。	次回以降ご説明
S5-10	三陸沖	第446回会合 (H29.2.24)	海洋プレート内地震による津波の方が、プレート間地震による津波よりも、敷地への影響が本当に小さいことを確認したいので、詳細パラスタを実施すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-11	チリ沖	第446回会合 (H29.2.24)	1960年チリ津波の再現モデルについて、K&Cモデルから断層幅とすべり量を修正しているのであれば、修正内容が分かるように追記すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-26	津波堆積物	第467回会合 (H29.5.12)	大間崎東側の後背湿地を、津波堆積物調査対象地点から除く根拠とした調査結果を説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-25	津波堆積物	第467回会合 (H29.5.12)	津波堆積物調査のうち、奥戸地点のイベント堆積物を津波堆積物として認定しなかった理由について、どのように層厚を認定したのか等、資料を整理し説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み

# 指摘事項(3/4)



本資料でご説明



次回以降ご説明



ご説明済み



- ・本資料では、審査会合の指摘事項については、下表のとおり回答する。

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S5-24	津波堆積物	第467回会合 (H29.5.12)	加瀬他(2016)が実施した奥尻島の津波堆積物調査の結果など、申請以降の最新文献についても、どのようなツールを用いて調査を行ったかのプロセスも含め説明すること。	平成30年3月2日第553回審査会合でご説明済み
S5-13	陸上の斜面崩壊	第467回会合 (H29.5.12)	佐井エリアの地すべりブロック⑥、⑦、⑧など、近接していても別々の地すべりと評価するのであれば、根拠を充実させる必要があると考えられる。一塊として評価するか否かも含め、再度検討し説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-15	陸上の斜面崩壊	第467回会合 (H29.5.12)	検討対象とする地すべり地形として佐井を選定しているが、敷地からの距離、概算体積だけでなく、地すべり地形の傾斜角、すべりの進行方向、水深なども影響すると考えられる。簡易予測式を用いた評価も実施し説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-14	陸上の斜面崩壊	第467回会合 (H29.5.12)	二層流モデルを陸上に適用する妥当性という観点から、Kawamata et al.(2005)における既往津波の再現性を説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-16	陸上の斜面崩壊	第467回会合 (H29.5.12)	二層流に用いた佐井の崩壊量が過小評価となっていないか確認したいので、崩壊地形の断面をいくつか提示し、地すべり形状が問題ないことを説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-17	海底地すべり	第467回会合 (H29.5.12)	P.38の「海底地すべりに起因する津波の検討フロー」において、海底地すべりを一塊として考慮するか否かを判断する際に、崩壊時期が区別できたとしても、必ずしも別々にすべるとは限らない。適切な記載を検討すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-20	海底地すべり	第467回会合 (H29.5.12)	津軽海峡内の海底地すべり抽出の際、地形の急傾斜部に地すべり地形は無かったことを確認したいので、海保のM7000シリーズ海底地形データ等の資料を整理のうえ説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-18	海底地すべり	第467回会合 (H29.5.12)	検討対象海底地すべり地形の選定について、「地すべり地形の比高・傾斜」、「水深」、「敷地からの距離」等も比較し整理したうえで、説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-19	海底地すべり	第467回会合 (H29.5.12)	Ms-2の崩壊量の算出方法について、どのようなプロセスですべり線を設定したのか、また、二層流モデルにおけるモデル化も含めて、より明確なフローを作成し説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-21	海底地すべり	第467回会合 (H29.5.12)	海底地すべりのすべり面の設定について、「乱れた地層の下限」、「B層下面」及び「地すべり移動体を確認し設定」するとしており、それぞれ設定の仕方が違っているが、どれが支配的で、どれが多かったのか、音波探査記録の反射面等を用いて説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-22	海底地すべり	第467回会合 (H29.5.12)	ハワイ付近の大規模な海底地すべりの影響について、説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み
S5-23	火山現象	第467回会合 (H29.5.12)	渡島大島山体崩壊に関し、kinematic landslideモデルのパラメータである水平移動速度Uと比高変位継続時間TIについて、二層流モデルの解析値を説明すること。	平成30年6月8日第585回審査会合でご説明済み

# 指摘事項(4/4)

  本資料でご説明

  次回以降ご説明

  ご説明済み



・本資料では、審査会合の指摘事項については、下表のとおり回答する。

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S5-36	波源の組合せ	第627回会合 (H30.9.21)	地震による津波と地震以外の要因による津波の組合せに関して、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と、佐井エリアの斜面崩壊に起因する津波とを組み合わせることの妥当性、取水口前面位置において、水位時刻歴波形を線形に足し合わせて算出している妥当性を説明すること。	本編資料 P.355, 356 補足説明資料 P.302～322, 325～330
S5-2	共通事項	第446回会合 (H29.2.24)	津軽海峡内での津波の伝播では、反射による増幅や山体崩壊による津波等の周期特性による影響を検討する必要がある。津軽海峡内の固有周期を含めて、津軽海峡内の津波の伝播について分析すること。	平成30年9月21日第627回 審査会合でご説明済み
S5-37	全般事項	第627回会合 (H30.9.21)	波源パラメータの設定の記載等において、原論文として引用した土木学会(2002)と、土木学会(2016)とが混在している。最新の文献である土木学会(2016)に統一するか、あるいは、土木学会(2002)を引用するのであればその理由を記載すること。	本編資料 P.35, 46, 58, 65, 66, 69, 71, 72, 75～79, 87, 93, 212, 214, 217～219, 221, 238, 244, 247, 260, 267 補足説明資料 P.335
S5-38	全般事項	第627回会合 (H30.9.21)	防波堤等の有無が津波に与える影響に関して、防波堤が有った方が津波が大きくなるという結論について、各ケースの検討結果をまとめたうえで説明すること。	本編資料 P.364～380

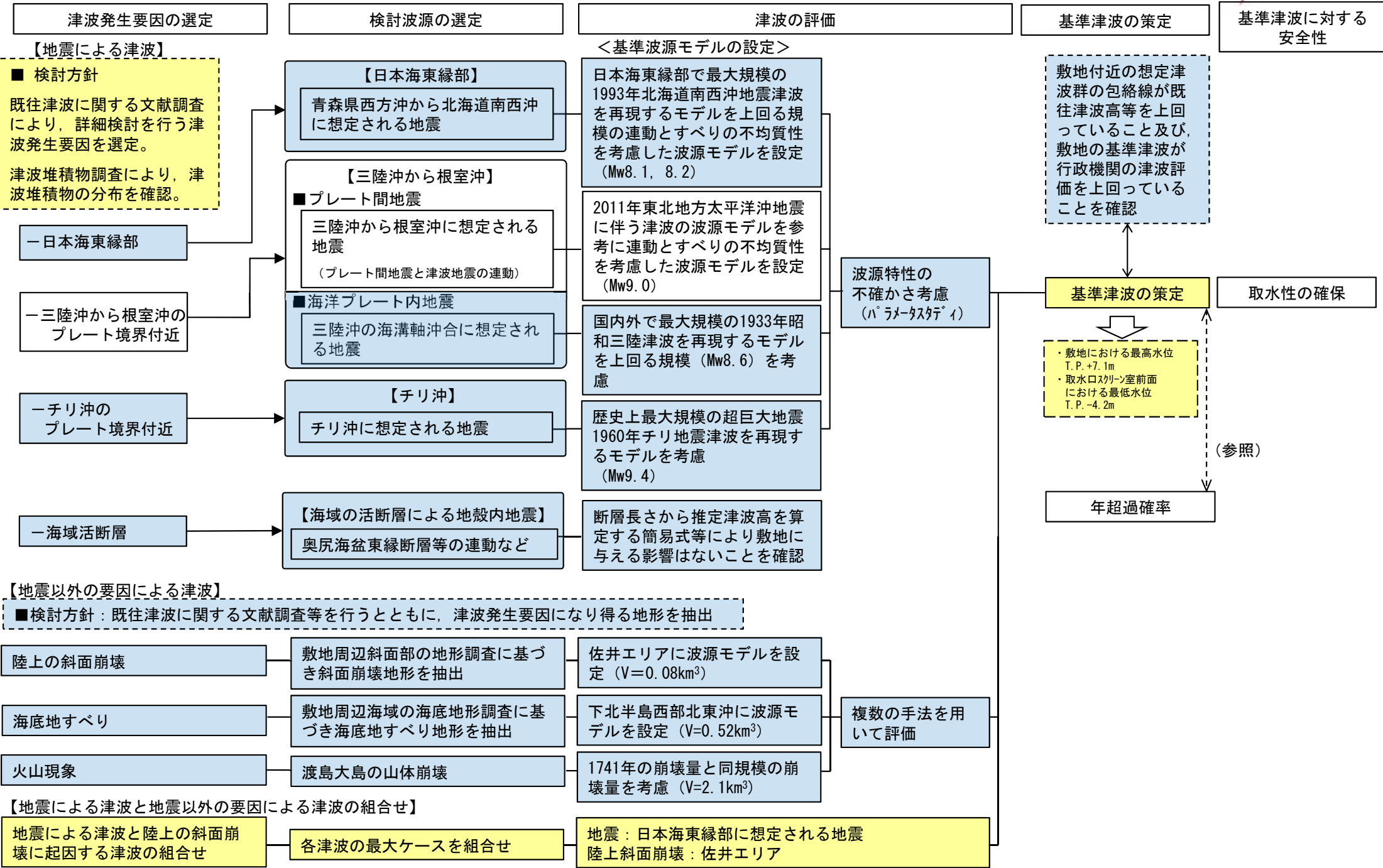
・本資料では、現地調査(平成30年11月15～16日)の指摘事項については、下表のとおり回答する。

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S5-39	津波堆積物	現地調査 (H30.11.15)	津波堆積物ボーリングコアに関して、OM-5のリカバリー孔の深度1.5m付近の砂状の堆積物について、堆積物中の礫の状況など再度確認し、イベント堆積物等であるか否か再度検討し説明すること。また、リカバリー孔についても審査会合資料として説明するとともに、補足説明資料等で該当データを提示すること。	補足説明資料 P.9, 19, 53～77 机上配布資料

# 評価の概要

本資料でのご説明範囲（コメント回答他）  
 次回以降のご説明範囲  ご説明済みの範囲

第627回審査会合  
 資料1-1 P.5一部修正



# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
  - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波





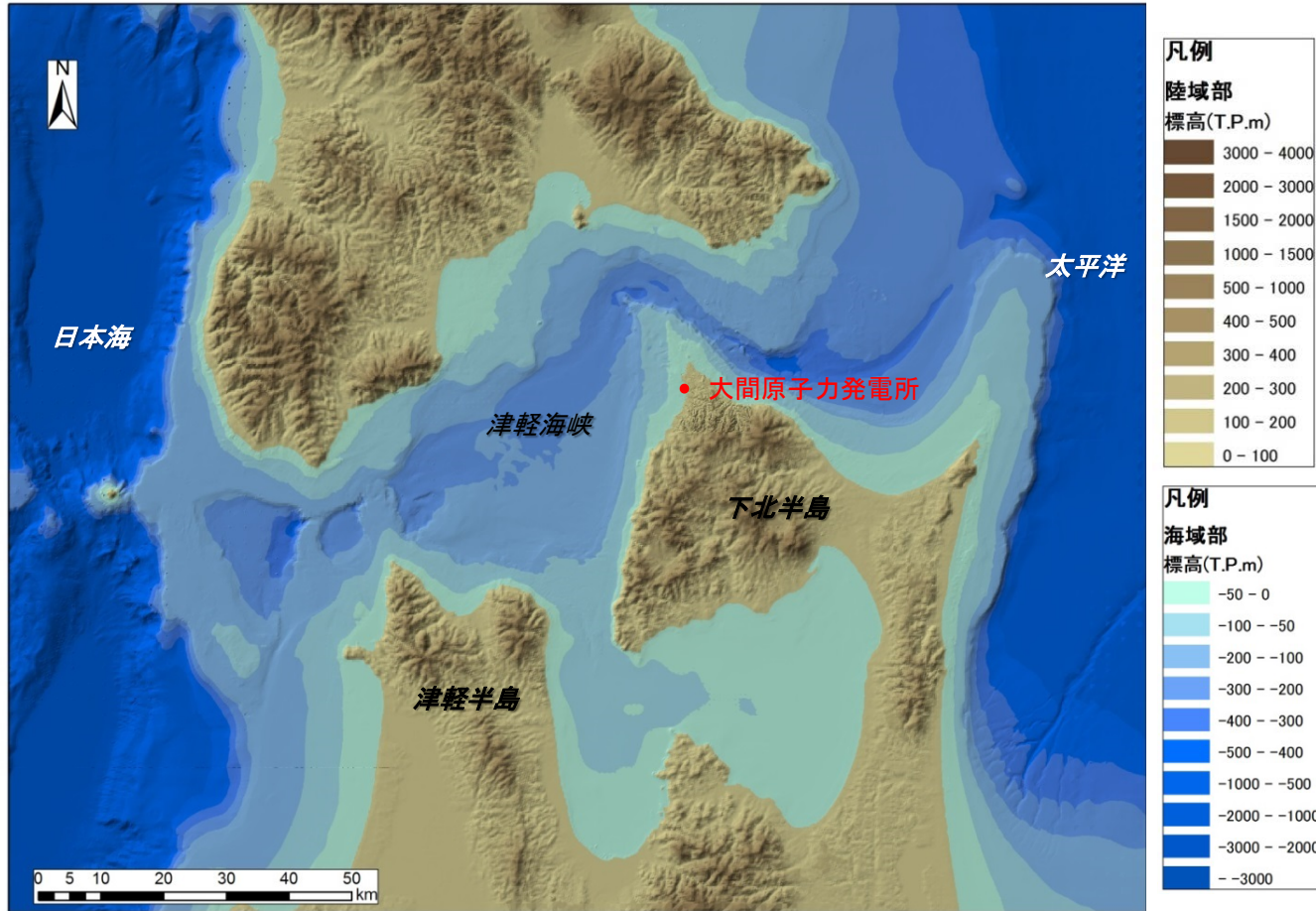
# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
    - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
    - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波





# 1-1. 既往津波の文献調査 (1 / 15)



大間原子力発電所 位置図

- 【対象とする津波】**
- ・ 日本海側近地津波
  - ・ 太平洋側近地津波
  - ・ 遠地津波

敷地が津軽海峡内に位置していることから、近地津波を日本海側と太平洋側とで発生海域別に区分するとともに、遠地津波も対象とし、津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波を各海域別に抽出した。



# 1-1. 既往津波の文献調査 (2 / 15)

## 日本海側の近地津波 (1 / 4)

東北地方の日本海側沿岸に影響を及ぼしたと考えられる津波規模 $m$ が2以上の近地津波を下表に示す。

発生年月日	発生場所 (緯度・経度)	地震規模 M	津波規模 m	地震・津波の概要	函館・松前等の 津波高さ (m)
701年(大宝元年) 5月12日	若狭湾	—	< 2 >	丹波：地震うこと3日。若狭湾内の凡海郷(おうしあま)が海に没したという「冠島伝説」があるが、疑わしい。	記録なし
850年(嘉祥3年) 一月一日	山形県沖 39.0° N, 139.7° E	≒7.0	2	出羽：地裂け、山崩れ、国府の城柵は傾倒し、圧死多数。最上川の岸崩れ、海水は国府から6里(3km)のところまで迫った。	記録なし
863年(貞観5年) 7月10日	新潟県沖	—	< 2 ? >	越中・越後：山崩れ、谷埋まり、水湧き、民家破壊し、圧死多数。直江津付近にあった数個の小島が壊滅したという。確実な史料に津波記事なし。	記録なし
887年(仁和3年) 8月2日	新潟県南部沖	—	< 2 >	越後で津波を伴い、溺死者数千という。京都有感。越後に関する史料の信憑性不十分。	記録なし
1092年(寛治6年) 9月13日	新潟県沖	—	< 2 ? >	越後：柏崎～岩船間の沿岸、海府浦・親不知大津波におそわる。「地震」とある古記あるも、地震の状況を記した古記録未発見。疑わしい。	記録なし
1341年(興国2年) 10月31日	青森県西方沖	—	< 3 ? >	津軽十三湖：『東日流(つがる)外三郡誌』によれば、地震とともに三丈(9m)余の津波が津軽半島十三湖を襲い、26,000人が溺死したとある。史料は偽書とされ、極めて疑わしい。	記録なし
1614年(慶長19年) 11月26日	越後高田	—	2	従来、越後高田の地震とされていたもの。大地震の割に史料が少なく、震源については検討すべきことが多い。京都で家屋・社寺などが倒壊し、死2、傷370という。京都付近の地震とする説がある。	記録なし
1741年(寛保元年) 8月28日	渡島大島火山 41.6° N, 139.4° E	6.9	3 < 3.5 >	渡島西岸・津軽・佐渡：渡島大島この月の上旬より活動、13日に噴火した。19日早朝に津波、北海道で死1467、流出家屋729、船1521破壊。津軽で田畑の損も多く、流失潰家約100、死37。佐渡・能登・若狭にも津波。	松前：5.8 函館：— 三厩：2.5～3.0

- 「発生場所(緯度・経度)及び地震規模 M」は、次の値を示している。  
1922年以前の地震：宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>  
1923年以降の地震：気象庁の発表による。
- 「津波規模 m」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>による。ただし、[ ]は羽鳥による値(宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>より引用)、< >は羽鳥(1984)<sup>(2)</sup>による値で、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>と異なる場合のみ示している。
- 「地震・津波の概要」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>及び国立天文台編(2013)<sup>(3)</sup>等を参照している。
- 「函館・松前等の津波高さ」は、渡辺(1998)<sup>(4)</sup>等の資料をもとに示している。

■ : 津波の規模、津波被害の大きさ等から、津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波





# 1-1. 既往津波の文献調査 (3 / 15)

## 日本海側の近地津波 (2 / 4)

東北地方の日本海側沿岸に影響を及ぼしたと考えられる津波規模 $m$ が2以上の近地津波を下表に示す。

発生日月	発生場所 (緯度・経度)	地震規模 $M$	津波規模 $m$	地震・津波の概要	函館・松前等の 津波高さ (m)
1792年(寛政4年) 6月13日	積丹半島沖 43 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> ° N, 140.0° E	≒7.1	2 < 1 >	後志：津波があった。忍路で港頭の岸壁が崩れ、海岸に引き上げていた夷船漂流、出漁中の夷人5人溺死。美国でも溺死若干。	記録なし
1833年(天保4年) 12月7日	山形県沖 38.9° N, 139.25° E	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ± <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2 < 2.5 >	羽前・羽後・越後・佐渡：庄内地方で特に被害が大きく、潰家475、死42。津波が本荘から新潟に至る海岸と佐渡を襲い、能登で大破流出家約345、死約100。	松前：1.2 函館：1~2
1940年(昭和15年) 8月2日	積丹半島沖 44° 21.5' N, 139° 49.0' E	7.5	2	「積丹半島沖地震」：震害はほとんどなく、津波による被害が大きかった。波高は、羽幌・天塩2m, 利尻3m, 金沢・宮津1m。天塩河口で溺死10。	松前：1.0 函館：-
1964年(昭和39年) 6月16日	新潟県沖 38° 22.2' N, 139° 12.7' E	7.5	2	「新潟地震」：新潟・秋田・山形の各県を中心に被害があり、死26、家屋全壊1960、半壊6640、浸水15297、その他船舶・道路の被害も多かった。津波が日本海沿岸一帯を襲い、波高は新潟県沿岸で4m以上に達した。粟島が約1m隆起した。	松前：- 函館：0.68
1983年(昭和58年) 5月26日	秋田・青森県沖 40° 21.6' N, 139° 04.4' E	7.7	2.5 [3]	「昭和58年日本海中部地震」：被害は秋田県で最も多く、青森・北海道がこれに次ぐ。日本全体で死104(うち津波によるもの100)、傷163(同104)、建物全壊934、半壊2115、流失52、一部破損3258、船沈没255、流失451、破損1187。津波は早い所では津波警報発令以前に沿岸に到達した。石川・京都・島根など遠方の府県にも津波による被害が発生した。	松前：1.88, 3.50 函館：0.69 大間：0.30 小泊：3.34~5.59
1993年(平成5年) 7月12日	北海道南西沖 42° 46.9' N, 139° 10.8' E	7.8	[3]	「平成5年北海道南西沖地震」：地震に加えて津波による被害が大きく、死202、不明28、傷323。特に地震後間もなく津波に襲われた奥尻島の被害は甚大で、島南端の青苗地区は火災もあって壊滅状態。夜10時すぎの闇のなかで多くの人命、家屋等が失われた。津波の高さは青苗の市街地で10mを越えたところがある。	松前：1.18 函館：0.40 大間：0.75 小泊：1.62

- 「発生場所(緯度・経度)及び地震規模 $M$ 」は、次の値を示している。  
1922年以前の地震：宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>  
1923年以降の地震：気象庁の発表による。
- 「津波規模 $m$ 」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>による。ただし、[ ]は羽島による値(宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>)より引用)、< >は羽島(1984)<sup>(2)</sup>による値で、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>と異なる場合のみ示している。
- 「地震・津波の概要」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>及び国立天文台編(2013)<sup>(3)</sup>等を参照している。
- 「函館・松前等の津波高さ」は、渡辺(1998)<sup>(4)</sup>等の資料をもとに示している。

□：津波の規模、津波被害の大きさ等から、津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波



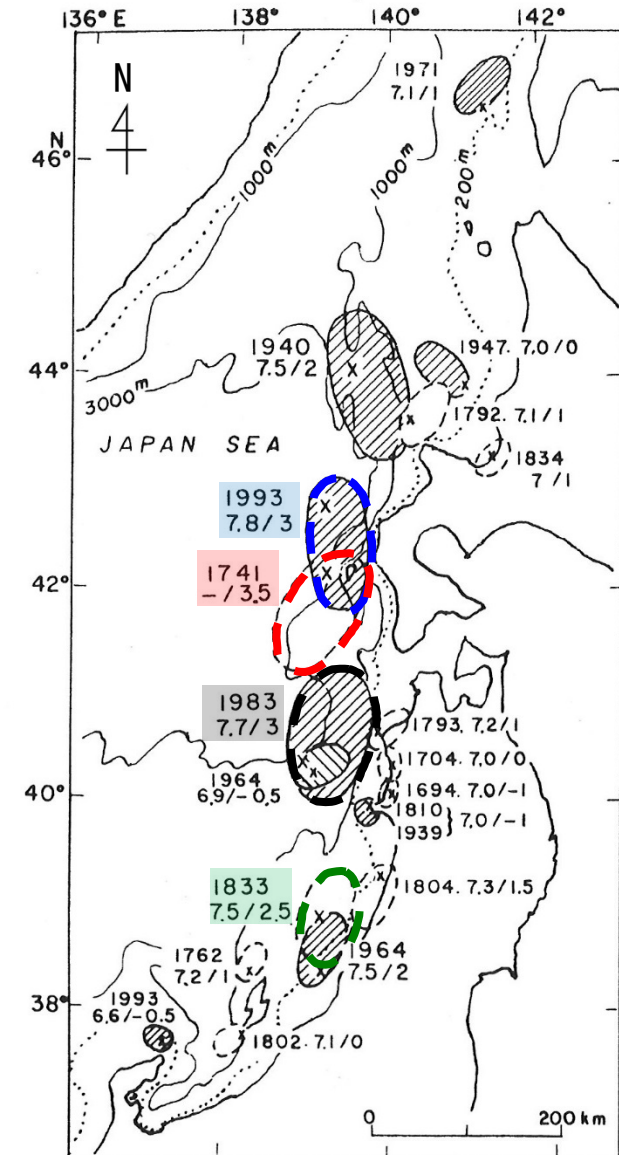
# 1-1. 既往津波の文献調査 (4 / 15)

## 日本海側の近地津波 (3 / 4)

津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波として、津波の規模、発生位置、既往津波高の分布及び津波による被害の大きさを考慮し、以下の津波を抽出した。

- ・ 1741年渡島大島火山津波
- ・ 1833年山形県沖津波
- ・ 1983年日本海中部地震津波
- ・ 1993年北海道南西沖地震津波

敷地近傍の大間においては、これらの津波のうち1983年日本海中部地震津波では0.30m、1993年北海道南西沖地震津波では0.75mの既往津波高が記録されている。



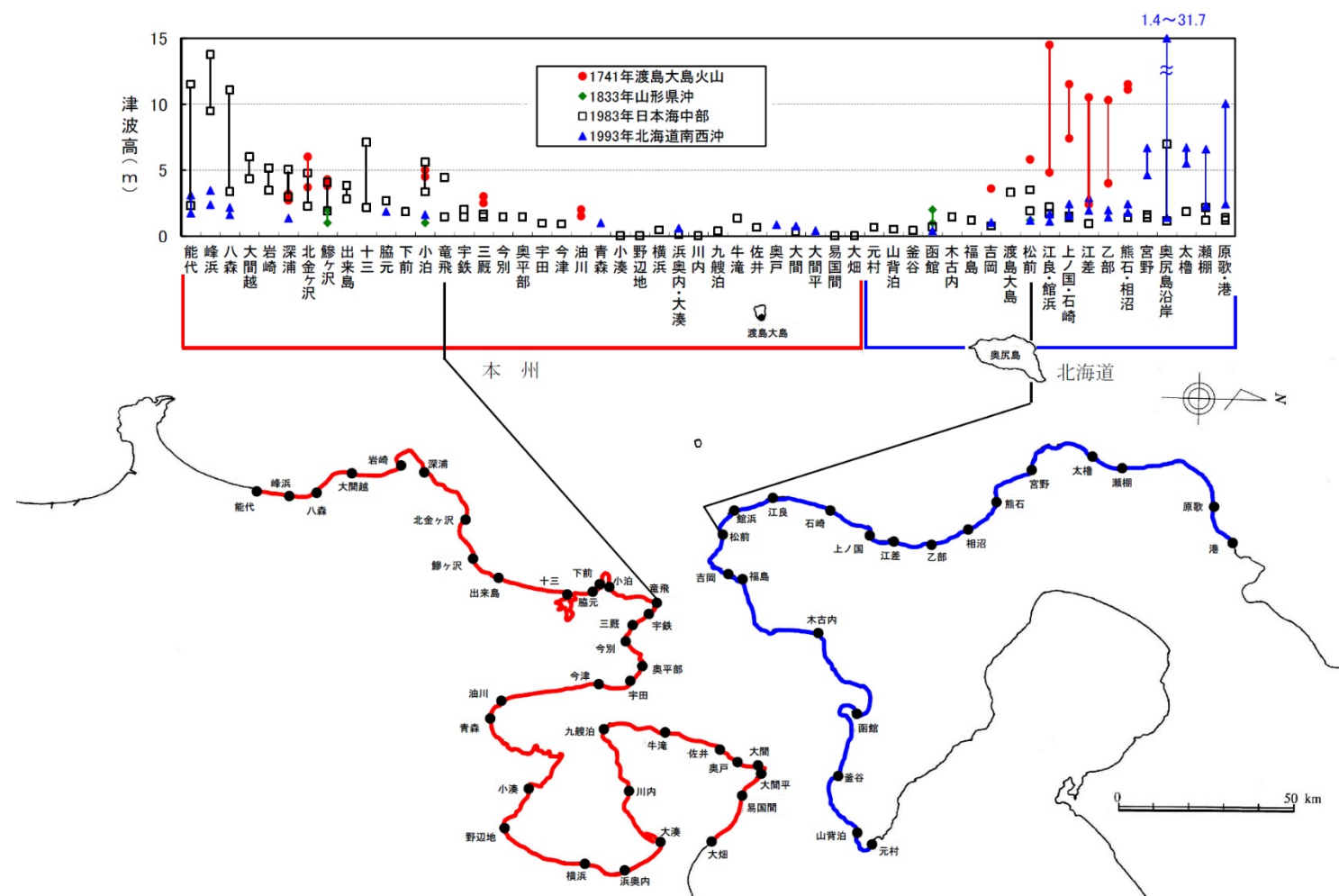
日本海東縁部で発生した津波の波源域

羽鳥(1994)<sup>(5)</sup>に一部加筆



# 1-1. 既往津波の文献調査 (5 / 15)

## 日本海側の近地津波 (4 / 4)



近地津波 (日本海側) 既往津波高の比較

- ・日本海側の近地津波の検討対象海域として日本海東縁部を選定した。
- ・また、同海域で発生した津波のうち津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる津波として、波源の位置、既往津波高の分布等を考慮し、1741年渡島大島火山津波を選定した。



# 1-1. 既往津波の文献調査 (6/15)

## 太平洋側の近地津波 (1/5)

東北地方の太平洋側沿岸に影響を及ぼしたと考えられる津波規模mが2以上の近地津波を下表に示す。

発生年月日	発生場所 (緯度・経度)	地震 規模 M	津波 規模 m	地震・津波の概要	函館・八戸等の 津波高さ (m)
869年(貞観11年) 7月13日	三陸沖 37.5~39.5° N 143~145° E	8.3 ±1/4	4	三陸沿岸：城郭・倉庫・門櫓・垣壁など崩れ落ち倒潰するもの無数。津波が多賀城下を襲い、溺死約1千。三陸沖の巨大地震とみられる。	記録なし
1611年(慶長16年) 12月2日	三陸沖 39.0° N, 144.4° E	≒8.1	4	三陸沿岸および北海道東岸：三陸地方で強震。震害は未発見、津波の被害が大きかった。伊達領内で死1783、南部・津軽で人馬の死3千余という。三陸沿岸で家屋の流出が多く、北海道東部でも溺死が多かった。津波の波源が1933年三陸沖津波とほぼ一致する。	記録なし
1640年(寛永17年) 7月31日	北海道噴火湾 42.1° N, 140.7° E	-	2 (1~2)	北海道噴火湾：駒ヶ岳噴火に伴い津波があり、死700余、昆布舟流出100余。	記録なし
1677年(延宝5年) 4月13日	青森県東方沖 41.0° N, 142 1/4° E	7 1/4~7 1/2	2	陸中：八戸に震害。1時間後に津波が来て、家屋流潰約70。余震が多かった。1968年十勝沖地震と似ている。	風間浦村下風呂：1~2 八戸：津波
1763年(宝暦12年) 1月29日	青森県東方沖 41.0° N, 142 1/4° E	7.4	1 (2)	陸奥八戸：11月初めより地震があり、この日大地震。寺院・民家が破損した。平館で家潰1、死3。函館でも強く感じた。津波があり、余震が多かった。1968年十勝沖地震と似ているので、もっと沖の大きな地震かもしれない。	函館：1~2? 八戸：4~5
1793年(寛政5年) 2月17日	三陸沖 38.5° N, 144.5° E	8.0~8.4	2 [2.5]	陸前・陸中・磐城：仙台封内で家屋損壊1千余、死12。沿岸に津波が来て、大槌・両石で流潰家71、死9。気仙沼で流出家300余。余震が多かった。宮城県沖の巨大地震と考えられる。	函館：- 八戸：1~2
1835年(天保6年) 7月20日	宮城県沖 38.5° N, 142.5° E	≒7.0	(1~2)	仙台：仙台城で石垣崩れ、藩内で被害。岩手県藤沢町で石垣崩れ、蔵の壁を損じた。	記録なし
1843年(天保14年) 4月25日	根室半島沖 42.0° N, 146.0° E	≒7.5	2	釧路・根室：厚岸国泰寺で被害があった。津波があり、全体で死46。家屋破壊76。八戸にも津波。松前・津軽で強く感じ、江戸でも有感。	函館：1 八戸：-
1856年(安政3年) 8月23日	青森県東方沖 41.0° N, 142 1/2° E	≒7.5	2 [2.5]	日高・胆振・渡島・津軽・南部：震害は少なかったが、津波が三陸及び北海道の南岸を襲った。南部藩で流失93、潰106、溺死26、八戸藩でも死3など。余震が多かった。1968年十勝沖地震に津波の様子がよく似ており、もう少し海溝寄りの地震かもしれない。	函館：3~3.9 八戸：3?
1894年(明治27年) 3月22日	根室半島沖 42 1/2° N, 146° E	7.9	2 [2.5]	根室南西沖：根室・厚岸で家屋・土蔵に被害。死1、家屋潰12、津波は宮古4m、大船渡1.5mなど。	函館：0.5 八戸：-
1896年(明治29年) 6月15日	三陸沖 39 1/2° N, 144° E	8 1/4	4 [3.5]	「明治三陸地震津波」：震害はない。津波が北海道より牡鹿半島にいたる海岸に襲来し、死者は青森343、宮城3452、北海道6、岩手18158、家屋流失全半壊1万以上、船の被害約7千、波高は吉浜24.4m、綾里38.2m、田老14.6mなど。津波はハワイやカリフォルニアに達した。Mは津波を考慮したもの。	函館：1.8 大畑：2.4 八戸：3.0
1897年(明治30年) 8月5日	宮城県沖 38.3° N, 143.3° E	7.7	1 [2] (1~2)	宮城県沖：津波により三陸沿岸に小被害。津波の高さは盛町で3m、釜石で1.2m。	記録なし

- 「発生場所(緯度・経度)及び地震規模M」は、次の値を示している。  
1922年以前の地震：宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>  
1923年以降の地震：気象庁の発表による。
- 「津波規模m」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>による。ただし、[ ]は羽島による値(宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>より引用)、( )は渡辺(1998)<sup>(4)</sup>による値で、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>と異なる場合のみ示している。なお、〈 〉は、国立天文台編(2013)<sup>(3)</sup>による値で宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>と異なる場合のみ示している。
- 「地震・津波の概要」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>及び国立天文台(2013)<sup>(3)</sup>等を参照している。
- 「函館・八戸等の津波高さ」は、次の値を示している。  
2003年以前の津波：渡辺(1998)<sup>(4)</sup>等  
2011年の津波：東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)<sup>(6)</sup>等  
なお、\*は検潮記録の全振幅を表わし、津波の高さとしてはこの値の1/2程度である。

□：津波の規模、津波被害の大きさ等から、津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波

審査資料の再チェックを行い、「既往津波の文献調査結果の一覧表中の一部記載の誤り」を修正(8<sub>1/2</sub>を8<sub>1/4</sub>に修正)した。





## 太平洋側の近地津波 (2/5)

東北地方の太平洋側沿岸に影響を及ぼしたと考えられる津波規模 $m$ が2以上の近地津波を下表に示す。

発生日月	発生場所 (緯度・経度)	地震 規模 M	津波 規模 m	地震・津波の概要	函館・八戸等の 津波高さ (m)
1933年(昭和8年) 3月3日	三陸沖 39° 07.7' N, 145° 07.0' E	8.1	3	「三陸地震津波」：震害は少なかった。津波が太平洋岸を襲い、三陸沿岸で被害は甚大。死・不明3064, 家屋流失4034, 倒壊1817, 浸水4018。波高は綾里湾で28.7mにも達した。日本海溝付近で発生した巨大な正断層型地震と考えられている。	函館：0.9 大間：1.3程度 八戸：1.5~4.7
1952年(昭和27年) 3月4日	十勝沖 41° 42.3' N, 144° 09.0' E	8.2	2 [2.5]	「十勝沖地震」：北海道南部・東北部に被害があり、津波が関東地方に及ぶ。波高は北海道で3m前後、三陸沿岸で1~2m。死28, 不明5, 家屋全壊815, 半壊1324, 流失91。	函館：0.32 八戸：2.0
1958年(昭和33年) 11月7日	エトロフ島沖 44° 18.0' N, 148° 30.0' E	8.1	1 [2] (2)	択捉島沖：釧路地方で電信線・鉄道・道路に小被害があった。太平洋岸各地に津波があり、小被害。	函館：0.26 八戸：0.51
1963年(昭和38年) 10月13日	エトロフ島沖 44° 02.9' N, 149° 49.5' E	8.1	2 [3]	択捉島沖：津波があり、三陸海岸で軽微な被害。花咲で1.2m, 八戸で1.3mなど。	函館：0.60 * 八戸：1.30 *
1963年(昭和38年) 10月20日	エトロフ島沖 44° 05.6' N, 150° 00.3' E	6.7	2	エトロフ島沖：ウルップ島で10~15m, エトロフ島で8m と震源付近で局地的に大きな津波で被害があった。	函館：— 八戸：0.50 *
1968年(昭和43年) 5月16日	青森県東方沖 40° 41.9' N, 143° 35.7' E	7.9	2 [2.5]	「1968年十勝沖地震」：青森県を中心に北海道南部・東北地方に被害。死52, 傷330, 建物全壊673, 半壊3004。青森県下で道路損壊が多かった。津波があり、三陸沿岸3~5m, えりも町 3m, 浸水529, 船舶流失沈没127。コンクリート造建築の被害が目だった。	函館：0.97 大間：0.2~1.1 八戸：1.54~4.82
1969年(昭和44年) 8月12日	北海道東方沖 43° 22.6' N, 147° 54.3' E	7.8	0 [2.5] (1)	北海道東方沖：津波により北海道東部に軽微な被害あり。検潮記録による津波の高さは花咲129cm, 釧路93cm, 八戸109cmなど。	函館：0.41* 八戸：1.08*
1973年(昭和48年) 6月17日	根室半島沖 43° 03.5' N, 145° 58.2' E	7.4	0 [2] (1)	「1973年6月17日根室半島沖地震」：根室・釧路地方に被害。全体で傷26, 家屋全壊2, 一部破損1。小津波があり、波高は花咲で2.8m, 浸水275, 船舶流失沈没10。また、6月24日の余震 (M 7.1, m = 0) で傷1, 家屋一部破損2。小津波があった。	函館：0.27 八戸：0.50
1994年(平成6年) 10月4日	北海道東方沖 43° 22.5' N, 147° 40.4' E	8.2	[3] (2)	「平成6年北海道東方沖地震」：北海道東部を中心に被害があり、傷437, 住宅全壊61, 半壊348。津波は花咲で173cm, 八戸で72cmなど。震源に近い択捉島では死・不明10など、地震と津波で大きな被害。	函館：0.50 八戸：0.72
2003年(平成15年) 9月26日	十勝沖 41° 46.7' N, 144° 04.7' E	8.0	[2.5] (2)	「平成15年十勝沖地震」：太平洋プレート上面の逆断層型プレート間地震で1952年とほぼ同じ場所。不明2, 傷849, 住宅全壊116, 半壊368。北海道及び本州の太平洋岸に最大4m程度の津波。	函館：0.8 大間：0.31* 八戸：1.0
2011年(平成23年) 3月11日	三陸沖 38° 06.2' N, 142° 51.6' E	9.0	4	「東北地方太平洋沖地震」：日本海溝付近から沿岸部近くまでの太平洋プレートと陸側プレートの境界面(東西幅200km)が震源。死者行方不明者18000余。貞観地震の再来かといわれる浸水域の広い、高い津波が東日本の太平洋岸の広域に襲来した。津波は姉吉で38.8mであり、明治三陸津波より高くなった。	函館：1.42~3.02 大間港：0.91 八戸：1.91~8.41

● 「発生場所(緯度・経度)及び地震規模 M」は、次の値を示している。

1922年以前の地震：宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>  
1923年以降の地震：気象庁の発表による。

● 「津波規模 m」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>による。ただし、[ ]は羽島による値(宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>より引用)、( )は渡辺(1998)<sup>(4)</sup>による値で、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>と異なる場合のみ示している。なお、〈 〉は、国立天文台編(2013)<sup>(3)</sup>による値で宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>と異なる場合のみ示している。

● 「地震・津波の概要」は、宇佐美ほか(2013)<sup>(1)</sup>及び国立天文台編(2013)<sup>(3)</sup>等を参照している。

● 「函館・八戸等の津波高さ」は、次の値を示している。

2003年以前の津波：渡辺(1998)<sup>(4)</sup>等

2011年の津波：東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012)<sup>(6)</sup>等

なお、\*は検潮記録の全振幅を表わし、津波の高さとしてはこの値の1/2程度である。

□：津波の規模、津波被害の大きさ等から、津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波





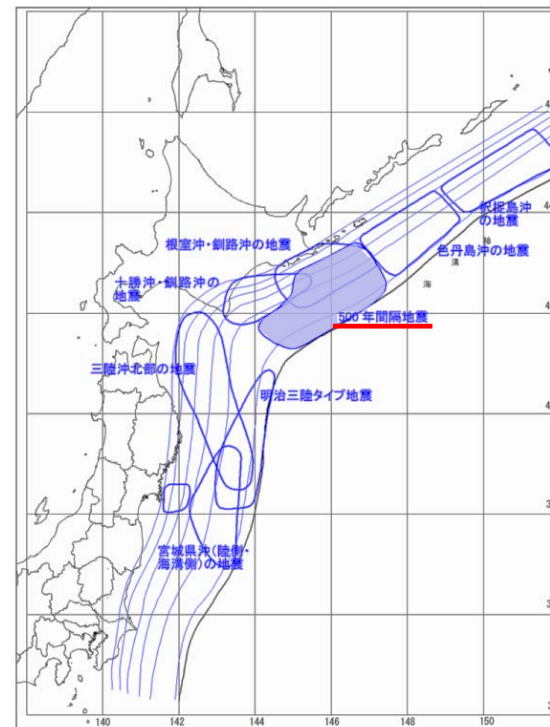
# 1-1. 既往津波の文献調査 (9/15)

## 太平洋側の近地津波 (4/5)

- 北海道東部地域に分布する津波堆積物を対象とした研究から、十勝沖・根室沖連動型地震に伴う津波が発生していることが知られている。
- 地震調査研究推進本部(2004)<sup>(8)</sup>では、それらの研究成果に基づき、十勝沖の地震と根室沖の地震が過去に400~500年程度の間隔で連動しているものとして評価されている。
- 中央防災会議(2006)<sup>(9)</sup>では、十勝沖・根室沖連動型地震を“500年間隔地震”とみなし、最後の活動が17世紀初頭であるとされている。

十勝地域の津波			根室地域の津波		
	発生時期 (cal.B.P.)	再来間隔 (年)		発生時期 (cal.B.P.)	
津波1	17世紀初頭	400~500	津波1		
津波2	12~13世紀		津波2		
津波3	9世紀	300~400	津波3		
津波4	1630-(4世紀?)		津波4		
津波5	AD/BC?	500	津波5	1430+	
津波6	2590-	(300+)	津波6	?	
津波7	2870~2920	(500+)	津波7, 8	1930+	
津波8	3220~3460	?	津波9	?	
津波9	3690~3720	2440+	津波10	2440+	
津波10	4200+	300+	津波11		
津波11	4580	400+	津波12	3340+	
津波12	4860+	400	津波13	3830+	
津波13	5000-	500+	津波14	4300+	
津波14	5640+	300~350	津波15	4700+	
津波15	6370-	300	津波16	4930+	
		100	津波17	4980+	
		>600	津波18	?	
		600			

津波堆積物に基づく十勝～根室地方の古津波の対比  
平川ほか(2005)<sup>(10)</sup>

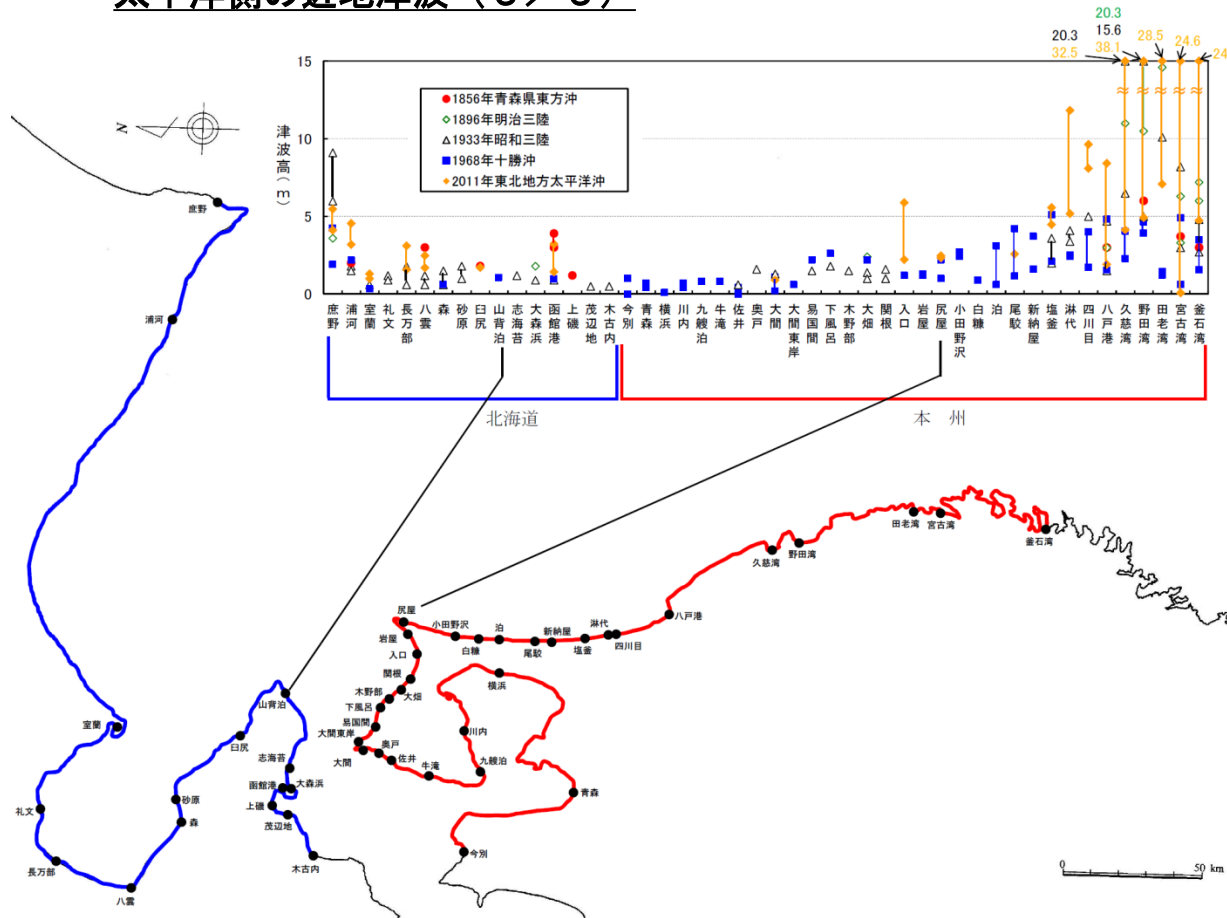


津波を発生させる断層領域の模式図  
中央防災会議(2006)<sup>(9)</sup>に一部加筆



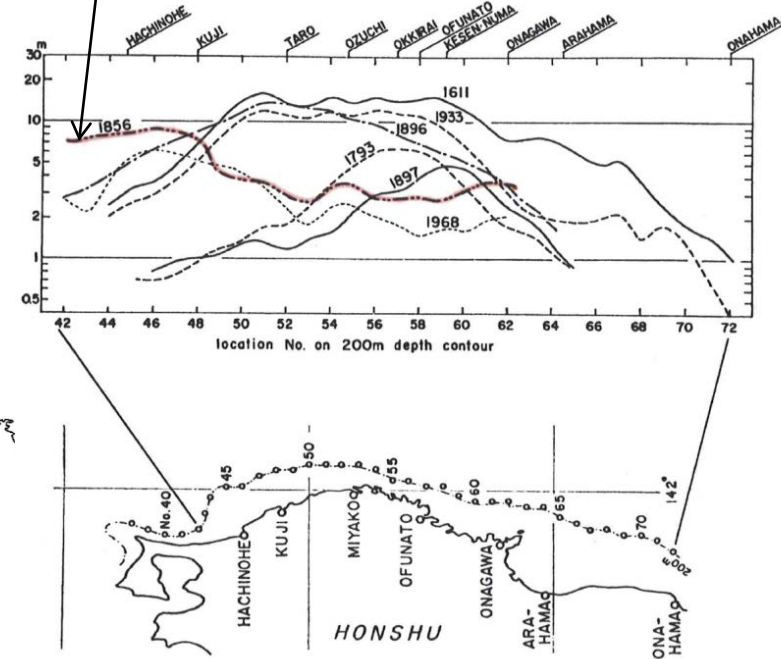
# 1-1. 既往津波の文献調査 (10/15)

## 太平洋側の近地津波 (5/5)



近地津波（太平洋側）の既往津波高の比較

相田(1977)<sup>(11)</sup>による既往津波再現計算によれば、八戸付近より北方においては、図中に示される全ての津波の中で1856年青森県東方沖津波が最大となっている。



近地津波（太平洋側）の計算津波高の分布

相田(1977)<sup>(11)</sup>に一部加筆

- 太平洋側の近地津波の検討対象海域として、津波堆積物を対象とした研究も踏まえ、三陸沖から根室沖を選定した。
- また、同海域で発生した津波のうち津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる津波として、波源の位置、既往津波高の分布、既往研究成果（相田（1977）<sup>(11)</sup>）等を考慮し、1856年青森県東方沖津波を選定した。



(余白)



# 1-1. 既往津波の文献調査 (11/15)

## 遠地津波 (1/4)

東北地方の沿岸に影響を及ぼしたと考えられる遠地津波を下表に示す。

発生年月日	発生場所 (緯度・経度)	地震 規模 M	津波 規模 m	地震・津波の概要	函館・八戸等の 津波高さ (m)
1586年(天正14年) 7月10日	ペルーのリマ沖 12.3° S, 77.7° W	7.7	4	津波の高さはリマで26m, 10km内陸まで浸入。三陸の陸前海岸で津波あり。	記録なし
1687年(貞享4年) 10月20日	ペルーのカヤオ沖 15.2° S, 75.9° W	7.6	3	カヤオ, チャシカイ, ピスコで津波があった。三陸沿岸の塩釜で高さ約50cm, 12~13回押し寄せた。沖縄でも3回津波が押し寄せた。	記録なし
1700年(元禄12年) 1月26日	北米北西部沖 (カスケード地帯)	9クラス [ 9? ]	3~4	米国やカナダ沿岸における津波の高さは5~7mと推定。日本沿岸各地の津波の高さは岩手県宮古3m, 同大槌と和歌山県田辺で2m, 茨城県那珂湊や静岡県清水(三保)で約2mと推定される。宮古と田辺では津波による被害があったという。	記録なし
1730年(享保15年) 7月8日	チリのバル パライソ沖 33.1° S, 71.6° W	8.7	4	バルパライソは浸水が激しく, 港は破壊された。コンセプションは全滅。津波は三陸の陸前沿岸に襲来, 牡鹿半島で田畑が浸水した。	記録なし
1751年(宝暦元年) 5月25日	チリの コンセプション沖 36.8° S, 71.6° W	8.5	3	古いコンセプションは全滅。津波は日本沿岸へ襲来, 三陸沿岸の大槌, 牡鹿および気仙沼で床まで浸水した。	記録なし
1780年(安永9年) 6月29日	千島列島 ウルップ島南東沖 46.0° N, 151.0° E	7.5	3	ウルップ島で津波の高さ10~12m。同島東岸に停泊中のロシア船が山上に打ち上げられた。津波は北海道東岸へ襲来した。	記録なし
1837年(天保8年) 11月7日	チリ南部沖 39.8° S, 73.2° W	8.0 [ 9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ]	3	コンセプション, バルデビアで大津波。津波によりハワイ諸島で大被害。三陸沿岸陸前の気仙沼湾, 本吉, 牡鹿及び宮城の3郡で潮あふれる。	記録なし
1868年(慶応4年) 8月13日	チリ北部アリカ沖 18.5° S, 70.4° W	8.5 [ 9.0 ]	4	「アリカ地震」 チリ北部で大津波となり太平洋に波及した。アリカで津波の高さ14m, 死者25,000人ともいわれる。ハワイ島で大被害。日本沿岸では函館で2m, 宮城県本吉郡, 伊豆下田, 沖縄那覇港でも観測。	函館: 2
1877年(明治10年) 5月10日	チリのイキケ沖 19.6° S, 70.2° W	8.3 [ 9.0 ]	4	「イキケ地震」 1868年以上の大地震。太平洋沿岸全域に波及。チリ沿岸では1.2~24m, ハワイ諸島で1.2~6.6m。日本沿岸では, 函館2.4m, 釜石3m, 東京湾0.7m。函館と三陸沿岸で被害。房総半島で死者を含む被害があった。	函館: 2.4
1918年(大正7年) 9月7日	千島列島 ウルップ島東方沖 45.5° N, 151.5° E	8.2 [ 8.5 ]	3	津波の高さはウルップ島東岸で12m。日本沿岸では, 根室1m, 函館0.5m, 三陸沿岸1m以下。父島では1.4mで家屋浸水12, 橋梁流失2の被害。	函館: 0.5
1922年(大正11年) 11月11日	チリのアタカマ沖 28.5° S, 70° W	8.3 [ 8.7 ]	3	「アタカマ地震」 チリ沿岸で大津波となり, 太平洋沿岸各地に波及した。ペルーのカヤオで24m。日本沿岸の津波の最大全振幅は, 花咲60cm, 鮎川65cmなど。大船渡で家屋30棟が波に洗われた(高さ1~2mか)。	函館: -

- 「発生場所(緯度・経度), 地震規模 M」は次の値を示している。  
1996年以前の地震: 渡辺(1998)<sup>(4)</sup>  
2010年の地震: 気象庁の発表による。  
ただし, 地震規模の [ ] は, Abe(1979)<sup>(12)</sup>による遠地津波のMt(渡辺(1998)<sup>(4)</sup>より引用)を示している。
- 「津波規模 m」は, 次の値を示している。  
1996年以前の津波: 渡辺(1998)<sup>(4)</sup>  
2010年の津波: 羽島(2011)<sup>(13)</sup>
- 「地震・津波の概要」は, 次の値を示している。  
1996年以前の津波: 渡辺(1998)<sup>(4)</sup>  
2010年の津波: 今村ほか(2010)<sup>(14)</sup>及び都司ほか(2010)<sup>(15)</sup>

- 「函館・八戸等の津波高さ」は, 次の値を示している。  
1996年以前の津波: 渡辺(1998)<sup>(4)</sup>等  
2010年の津波: 気象庁の発表による。  
なお, \*は検潮記録の全振幅で, 津波の高さとしてはこの値の1/2程度である。

■ : 津波の規模, 津波被害の大きさ等から, 津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波



# 1-1. 既往津波の文献調査 (12/15)

## 遠地津波 (2/4)

東北地方の沿岸に影響を及ぼしたと考えられる遠地津波を下表に示す。

発生日月	発生場所 (緯度・経度)	地震 規模 M	津波 規模 M	地震・津波の概要	函館・八戸等の 津波高さ (m)
1946年(昭和21年) 4月1日	アリューシャン 列島東部 52.8° N, 162.5° E	7.4 [ 9.3 ]	4	「アリューシャン津波」 アリューシャンのウニマク島で30.5m、ハワイ諸島で2~17mの高さとなるなど太平洋沿岸各地で被害をもたらした。日本沿岸の津波の最大全振幅は鮎川56cm、八戸20cmなど。	函館：－ 八戸：0.2 *
1952年(昭和27年) 11月4日	カムチャツカ 半島南東沖 52.3° N, 161.0° E	8.5 [ 9.0 ]	3	「カムチャツカ津波」 カムチャツカ半島で4~13mの津波。ハワイ諸島で10mに達するなど太平洋沿岸全域に影響した。日本沿岸における津波の高さは1~3m程度。北海道、三陸沿岸、下田、尾鷲など広範囲で家屋の浸水があり、三陸沿岸では漁業関係の被害があった。	函館：1.5 八戸：1.8
1960年(昭和35年) 5月22日	チリ南部沖 39.5° S, 74.5° W	8.5 [ 9.4 ]	4	「チリ地震津波」 チリ沿岸で9~25mの津波。太平洋沿岸各地に波及し、ハワイで10mに達する。24日2時頃から津波が日本各地に襲来、波高は三陸沿岸で0.8~6.1m、その他で0.9~4.1m。北海道南岸・三陸沿岸・志摩半島付近で被害が大きく、沖縄でも被害があった。日本全体で死・不明142(うち沖縄で3)、家屋全壊1500余、半壊2千余。	函館：2.2~2.9 八戸：1.8~5.3
1964年(昭和39年) 3月28日	アラスカ湾 61.1° N, 147.5° W	9.2 [ 9.1 ]	4	アラスカ湾沿岸で4.2~30mの津波。日本では三陸沿岸で漁業施設に若干の被害があった。	函館：0.38 八戸：0.60
1965年(昭和40年) 2月4日	アリューシャン列島 51.3° N, 178.6° E	8.7 [ 8.6 ]	3	アリューシャンで10mの津波。三陸沿岸で漁業施設にわずかの被害があった。	函館：0.17 八戸：0.48
1996年(平成8年) 2月17日	インドネシアのバジャウヤ沖 0.950° S, 137.016° E	8.1	3	インドネシアのバジャウヤ島で最大7.7m(津波到達時の潮位上)に達した。日本沿岸での津波の最大全振幅は、父島で1.95m、串本で1.70m。土佐清水では漁船20艘が転覆し、八丈島で漁船に被害があった。	函館：0.22 * 八戸：－
2010年(平成22年) 2月27日	チリ中部沿岸 36.1° S, 72.6° W	8.6	3.5	チリ沿岸部で平均5~9mの津波(遡上高さ)、最大は28mを超えた。日本沿岸での最大は気仙沼湾奥で3.0m(全振幅)。青森沿岸および津軽海峡内では津波高は1.0m以下である。	函館：0.53 八戸：0.84

- 「発生場所(緯度・経度)、地震規模 M」は次の値を示している。  
1996年以前の地震：渡辺(1998)<sup>(4)</sup>  
2010年の地震：気象庁の発表による。  
ただし、地震規模の [ ] は、Abe(1979)<sup>(12)</sup>による遠地津波のMt(渡辺(1998)<sup>(4)</sup>より引用)を示している。
- 「津波規模 m」は、次の値を示している。  
1996年以前の津波：渡辺(1998)<sup>(4)</sup>  
2010年の津波：羽鳥(2011)<sup>(13)</sup>
- 「地震・津波の概要」は、次の値を示している。  
1996年以前の津波：渡辺(1998)<sup>(4)</sup>  
2010年の津波：今村ほか(2010)<sup>(14)</sup>及び都司ほか(2010)<sup>(15)</sup>

- 「函館・八戸等の津波高さ」は、次の値を示している。  
1996年以前の津波：渡辺(1998)<sup>(4)</sup>等  
2010年の津波：気象庁の発表による。  
なお、\*は検潮記録の全振幅で、津波の高さとしてはこの値の1/2程度である。

■：津波の規模、津波被害の大きさ等から、津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波



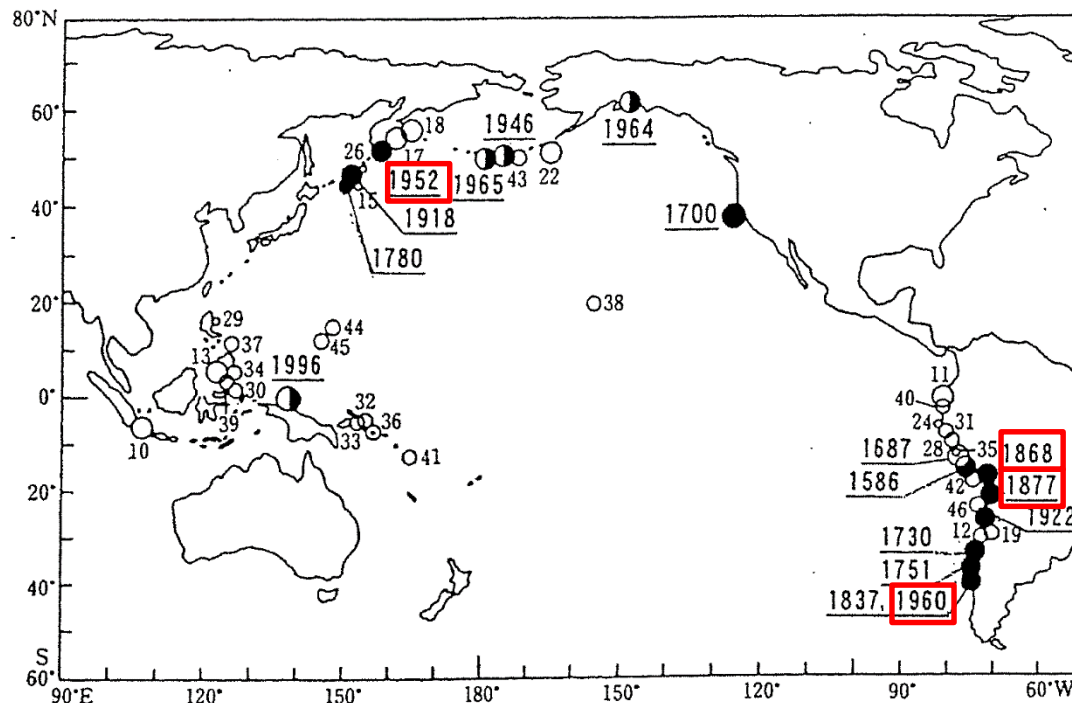
# 1-1. 既往津波の文献調査 (13 / 15)

## 遠地津波 (3 / 4)

津軽海峡沿岸及び敷地に影響を及ぼしたと考えられる津波として、函館における既往津波高が1m程度以上である以下の津波を抽出した。

- ・ 1868年チリ・アリカ地震津波
- ・ 1877年チリ・イキケ地震津波
- ・ 1952年カムチャツカ津波
- ・ 1960年チリ地震津波

敷地近傍の大間港においては、1960年チリ地震津波ではT.P. +2.0mの既往津波高が記録されている。



- : 日本に被害をもたらした津波
- : 日本ではわずかの被害
- : 日本で被害がなかったもの

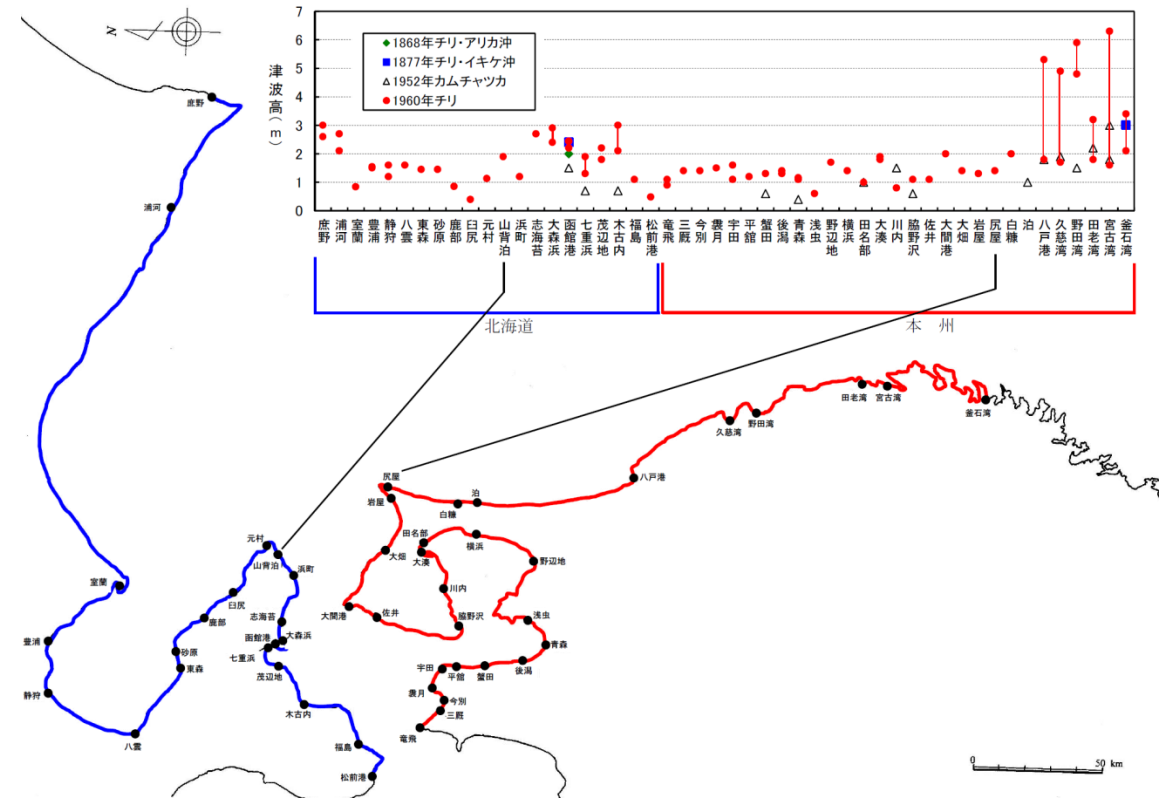
東北地方沿岸に影響を及ぼした遠地津波

渡辺 (1998) (4) に一部加筆



# 1-1. 既往津波の文献調査 (14 / 15)

## 遠地津波 (4 / 4)



遠地津波の既往津波高の比較

・ 遠地津波の検討対象海域としてチリ沖を選定した。  
 ・ また、同海域で発生した津波のうち津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる津波として、波源の位置、既往津波高の分布を考慮し、1960年チリ地震津波を選定した。

まとめ

既往津波の文献調査により選定された検討対象海域，並びに津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる津波は以下のとおり。

既往津波の文献調査結果

検討対象海域	津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる津波
日本海東縁部	1741年渡島大島火山津波
三陸沖から根室沖	1856年青森県東方沖津波
チリ沖	1960年チリ地震津波

(余白)

# 目次

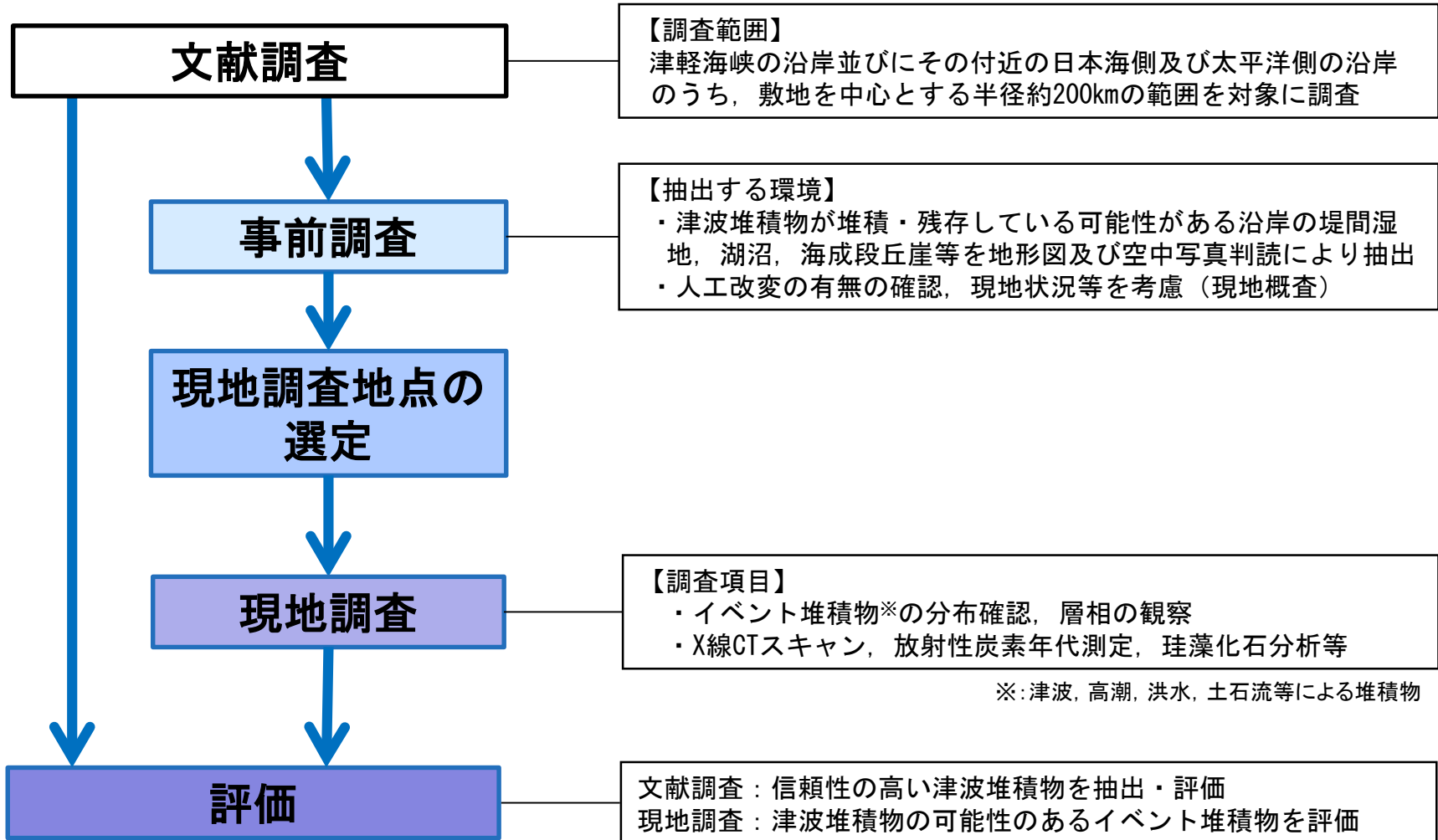
1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
  - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波





## 津波堆積物調査のフロー

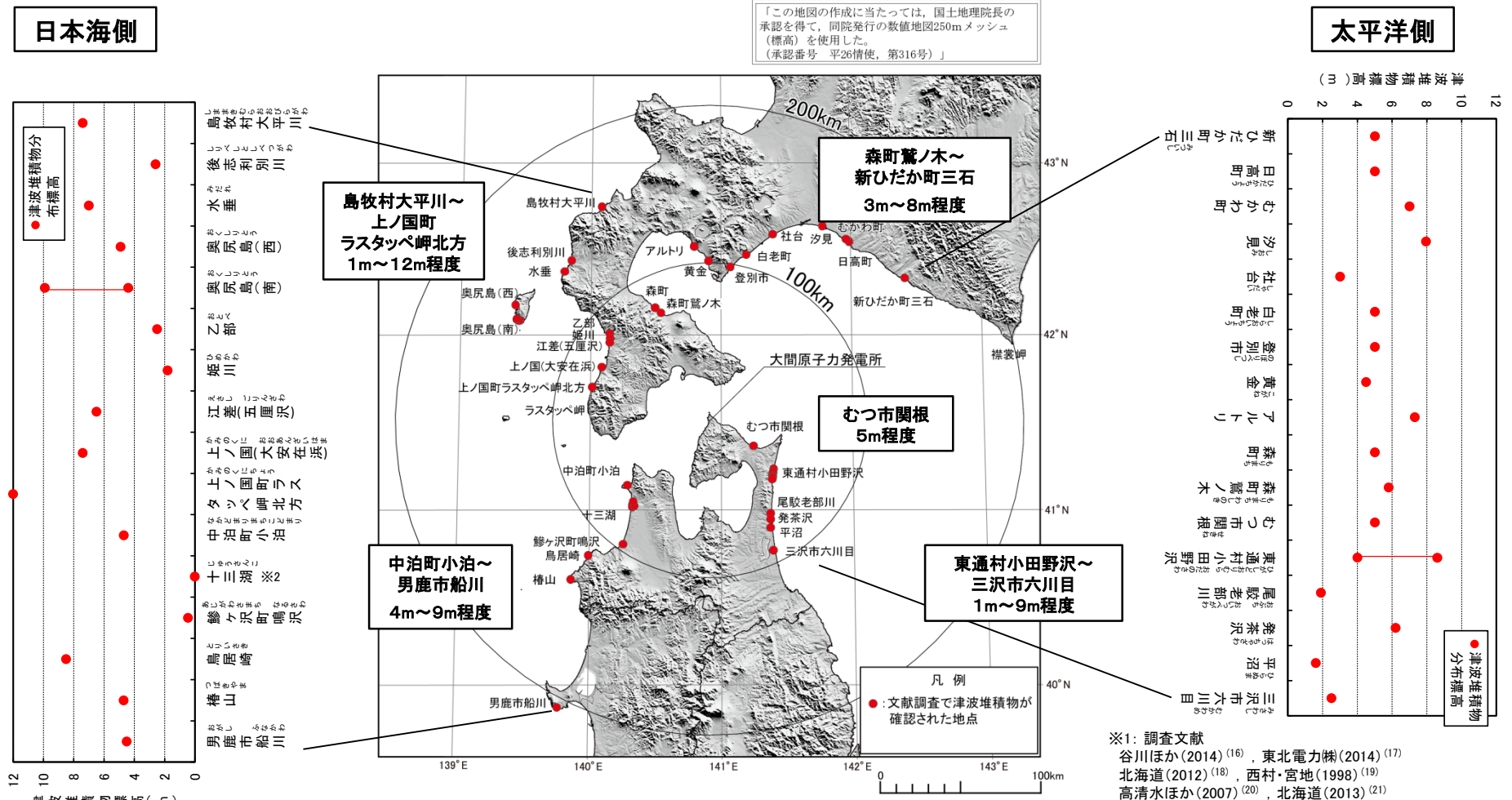
・津波堆積物については、以下のフローのとおり、文献調査と現地調査により評価した。





## 文献調査：まとめ

・文献調査結果※1によると、津波堆積物は太平洋側及び日本海側の各地点で確認されているが、大間周辺では確認されていない。



津波堆積物調査結果 (文献調査)

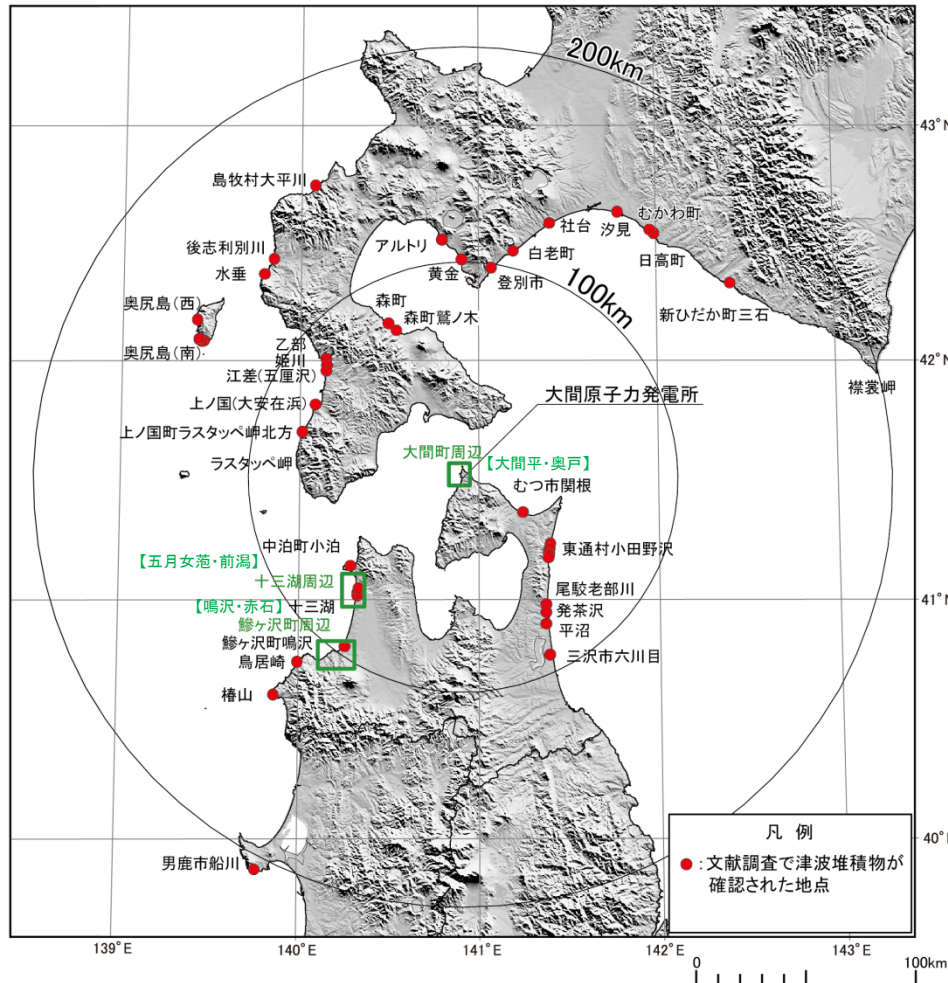
※2: 十三湖の津波堆積物は、湖底下に存在し標高0mより深い。



# 1-2. 津波堆積物調査 (3 / 6)

## 事前調査及び現地調査地点の選定

「この地図の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図250mメッシュ(標高)を使用した。  
(承認番号 平26情使, 第316号)」

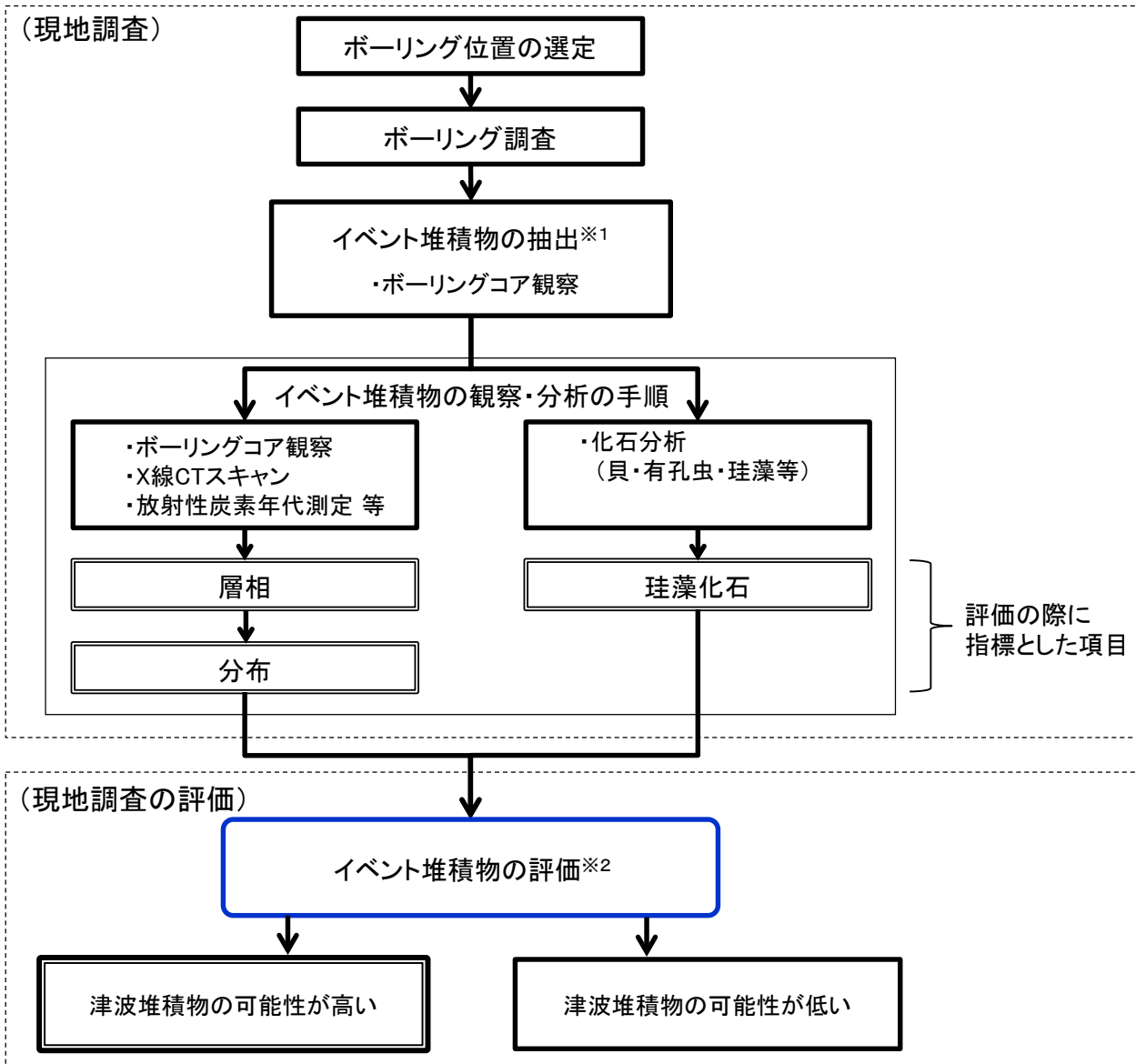


津波堆積物調査位置

- ・ 文献調査の結果、これまで津波堆積物が確認されていない敷地に近い大間周辺について、大間平（おおまだいら）及び奥戸（おこっぺ）周辺を現地調査地点に選定した。選定の際には、津波堆積物が堆積・残存している可能性がある沿岸の堤間湿地、湖沼、海成段丘崖等を地形図及び空中写真判読により抽出し、現地踏査により人工改変の有無を確認した。
- ・ さらに、敷地から遠方であるものの、日本海東縁部で発生する津波の敷地への影響を考慮して、既に歴史津波と対比される複数の津波堆積物が確認されている十三湖（五月女菴（そとめやち）・前潟（まえかた））及び、その周辺で地形図や空中写真判読により津波堆積物が堆積・残存している可能性がある判断された鱒ヶ沢町周辺（鳴沢（なるさわ）・赤石（あかいし））も、現地調査地点に選定した。



## 現地調査及び評価フロー



※1: イベント堆積物は、津波、高潮、高波、河川の洪水、土石流等、特殊な自然現象により運搬された砂や礫等が堆積した地層である。これらの堆積物は、静穏な環境で堆積したシルト等の細粒層中に堆積し、堆積環境の急変を示唆する。このため、細粒層中に挟在する、主として砂層もしくは礫を抽出した。

※2: イベント堆積物に対する津波堆積物の評価基準

指標とした項目	特徴
層相	明瞭な下面境界、級化構造・偽礫・葉理等が認められる。
分布	汀線方向及び内陸方向の良好な連続性、内陸に向かう薄層化・細粒化等が認められる。
珪藻化石	海成生物遺骸を含む、現在の海成堆積物と類似する等。

層相・分布・珪藻化石の各項目について評価し、津波堆積物の可能性について総合的に評価する。なお、化石分析の結果から、貝や有孔虫は評価に適するものが認められなかったため、化石については珪藻化石を指標とした。

(余白)



## 現地調査結果※1：まとめ

※1：現地調査の詳細は、補足説明資料「1. 津波堆積物調査（現地調査）」参照。

- 津軽半島西部の十三湖周辺の五月女范地点，前潟地点及び鱒ヶ沢町周辺の鳴沢地点，赤石地点で認められるイベント堆積物は，イベント堆積物に対する津波堆積物の評価基準に記載した津波堆積物の特徴を有するため，津波堆積物の可能性が高いと判断される。
- 敷地近傍の大間町周辺の大間平地点，奥戸地点で認められるイベント堆積物は，内陸に向かって連続しないこと，珪藻化石分析の結果から現世の海水～汽水生種がほとんど認められないこと等から，津波堆積物の可能性が低いと判断される。

津波堆積物調査結果

調査地点		イベント堆積物の調査結果		イベント堆積物の評価※2			
		有無	基底面標高 (T.P.)	層相	分布	珪藻化石	津波堆積物の可能性
大間町 周辺	大間平	有	約1m～約2m	○	×	△ 微量産出	×
	奥戸	有	約1m～約4m※3	○	×	△ 微量産出	×
十三湖 周辺	陸上 五月女范	有	約0m～約2m※3	○	○	△ 微量産出	○
	湖底 前潟	有	約-7m～約-1m※3	○	○	△ 微量産出	○
鱒ヶ沢町 周辺	鳴沢	有	約-1m～約3m※3	○	○	△ 微量産出	○
	赤石	有	約1m～約2m※3	○	△	△ 微量産出	○

### 凡例

- イベント堆積物の評価結果
  - ：評価基準を満足する
  - △：肯定も否定も可能
  - ×：評価基準を満足しない
- 津波堆積物の可能性の評価結果
  - ：津波堆積物の可能性が高い
  - ×：津波堆積物の可能性が低い

※2：イベント堆積物に対する津波堆積物の評価基準

指標とした項目	特徴
層相	明瞭な下面境界，級化構造・偽礫・葉理等が認められる。
分布	汀線方向及び内陸方向の良好な連続性，内陸に向かう薄層化・細粒化等が認められる。
珪藻化石	海成生物遺骸を含む，現在の海成堆積物と類似する等。

層相・分布・珪藻化石の各項目について評価し，津波堆積物の可能性を総合的に評価する。

※3：連続性のあるイベント堆積物の基底面標高





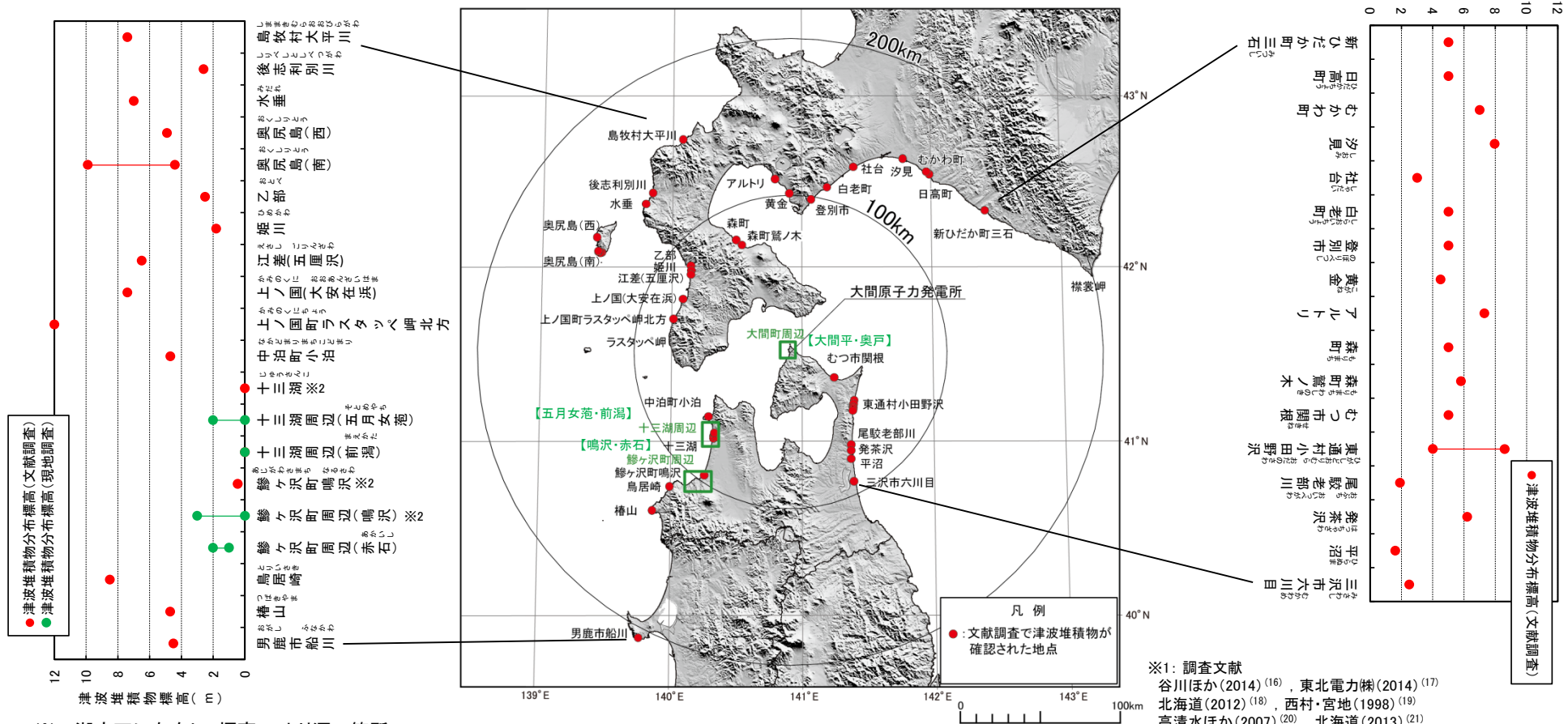
## 文献調査及び現地調査結果：まとめ

- ・文献調査※1および現地調査の結果，大間周辺では津波堆積物は確認されなかった。
- ・現地調査において十三湖周辺（五月女菟，前潟）及び鱒ヶ沢町周辺（鳴沢）で認められた津波堆積物の分布標高は，文献調査結果とも矛盾するものではないことを確認した。

### 日本海側

### 太平洋側

「この地図の作成に当たっては，国土地理院長の承認を得て，同院発行の数値地図250mメッシュ（標高）を使用した。（承認番号 平26情使，第316号）」



津波堆積物調査結果（文献調査及び現地調査）

※2: 湖底下に存在し，標高0mより深い箇所  
に位置する津波堆積物も含む。

※1: 調査文献  
 谷川ほか(2014)<sup>(16)</sup>，東北電力㈱(2014)<sup>(17)</sup>  
 北海道(2012)<sup>(18)</sup>，西村・宮地(1998)<sup>(19)</sup>  
 高清水ほか(2007)<sup>(20)</sup>，北海道(2013)<sup>(21)</sup>  
 国土交通省(2014)<sup>(22)</sup>，佐藤・箕浦(1987)<sup>(23)</sup>  
 箕浦・中谷(1990)<sup>(24)</sup>，箕浦(1990)<sup>(25)</sup>  
 小岩ほか(2013)<sup>(26)</sup>，熊谷ほか(2017)<sup>(27)</sup>  
 リサイクル燃料貯蔵㈱(2014)<sup>(28)</sup>，Tanigawa et al. (2014)<sup>(29)</sup>  
 Kawakami et al. (2017)<sup>(30)</sup>



## 津波堆積物に係る文献調査のプロセス

- ・大間原子力発電所の津波評価に係る新たな科学的・技術的知見のうち津波堆積物に関する文献の収集及び整理のプロセスは以下のとおり。

### 【ステップ1】

主に津軽海峡内、青森県及び北海道南部沿岸の津波堆積物に関する文献等について、津波に係るデータベース、学術論文及び国・自治体等の検討資料を収集

### 【ステップ2】

ステップ1で収集した知見のうち、原則として既往の津波堆積物分布標高の知見を上回るものを対象として大間原子力発電所の津波評価へ考慮する必要がある知見を年度毎を基本に抽出・反映

## 津波堆積物に係る主な情報ソース

- ①東北大学災害科学国際研究所 津波痕跡データベース
- ②産業技術総合研究所 (AIST) 津波堆積物データベース
- ③学術論文
  - ・日本地球惑星科学連合
  - ・日本第四紀学会
  - ・日本地震学会
  - ・日本地質学会
  - ・日本堆積学会
  - ・歴史地震研究会
  - ・津波工学研究報告
  - ・北海道立総合研究開発機構
  - ・産業技術総合研究所 (AIST)
  - ・その他
- ④国・自治体 (青森県・北海道) の検討会情報
- ⑤周辺原子力事業者調査結果



## 大間原子力発電所の津波評価に係る主な知見

### 【津軽海峡内】

- ・リサイクル燃料貯蔵(株) (2014) <sup>(28)</sup>

### 【日本海側】

#### (青森県沿岸)

- ・佐藤・箕浦 (1987) <sup>(23)</sup>, 箕浦・中谷 (1990) <sup>(24)</sup>, 箕浦 (1990) <sup>(25)</sup>, 小岩ほか (2013) <sup>(26)</sup>, 熊谷ほか (2017) <sup>(27)</sup>, 国土交通省 (2014) <sup>(22)</sup>

#### (北海道沿岸)

- ・北海道 (2013) <sup>(21)</sup>, 国土交通省 (2014) <sup>(22)</sup>, Kawakami et al. (2017) <sup>(30)</sup>

### 【太平洋側】

#### (青森県沿岸)

- ・谷川ほか (2014) <sup>(16)</sup>, 東北電力(株) (2014) <sup>(17)</sup>, 北海道 (2012) <sup>(18)</sup>

#### (北海道沿岸)

- ・西村・宮地 (1998) <sup>(19)</sup>, 高清水ほか (2007) <sup>(20)</sup>, Tanigawa et al. (2014) <sup>(29)</sup>



# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
  - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波



## 日本の近海域の津波シミュレーション方法

日本の近海域における数値シミュレーションの計算条件及び基礎方程式は以下のとおり。

日本近海域計算条件一覧

領域	A領域	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域	G領域
項目							
計算格子間隔Δs	2.5 km	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	0.2秒						
基礎方程式	線形長波	非線形長波式					
沖合境界条件	自由透過 遠地津波の場合は沖合の波形を境界条件として入射する。	外側の格子領域と水位・流量を接続					
陸側境界条件	完全反射条件			小谷ほか(1998) <sup>(31)</sup> の遡上境界条件			
外力条件	断層モデルを用いてMansinha and Smylie(1971) <sup>(32)</sup> の方法により計算される海底面変位を海面上に与える。						
海底摩擦	考慮しない	マニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (土木学会(2016) <sup>(33)</sup> より)					
水平渦動粘性係数	考慮しない						
潮位条件	T.P. ±0.0m						
計算時間	太平洋側近地津波：津波発生後8時間 日本海側近地津波：津波発生後6時間 遠地津波：沖合波形入射後16時間						

### 【基礎方程式：非線形長波[浅水理論]の連続式及び運動方程式】

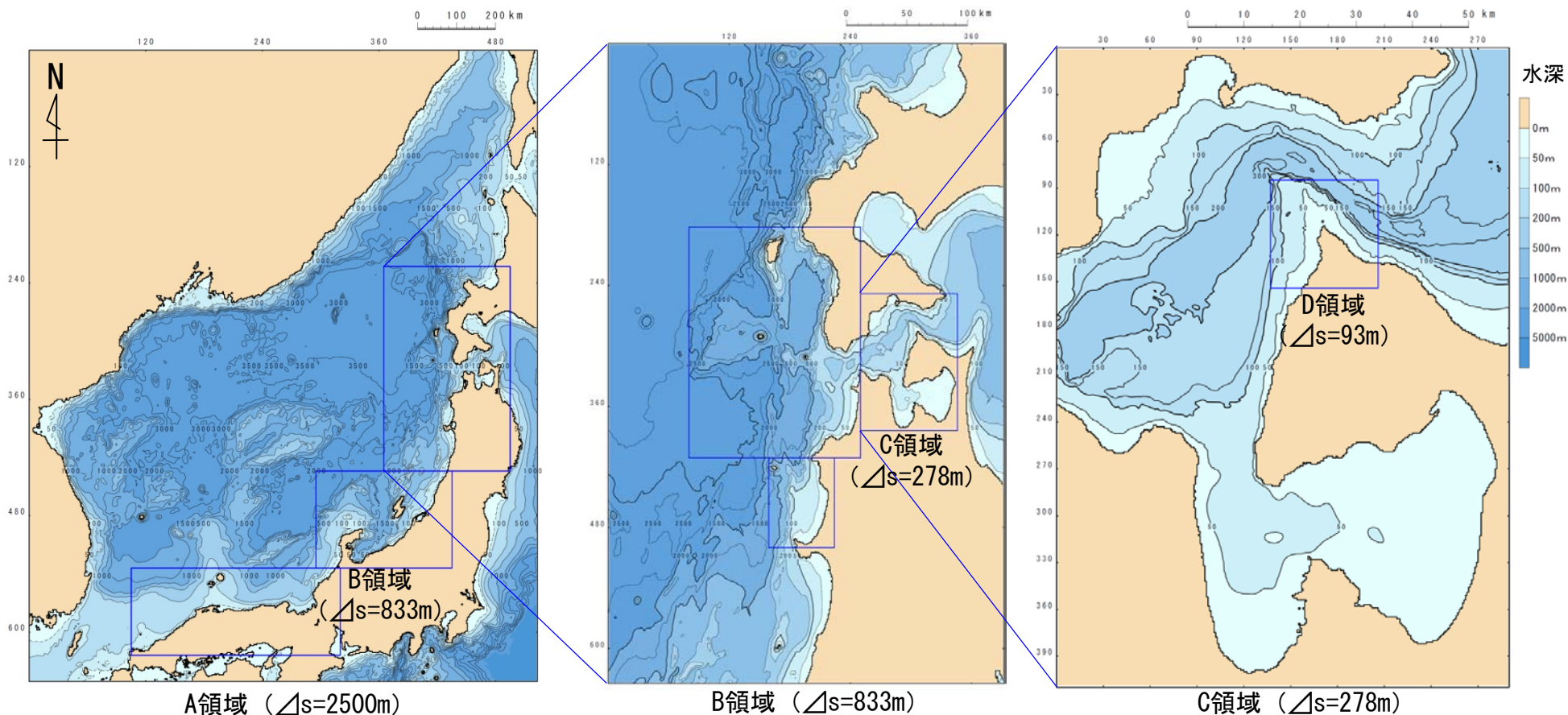
連続式：
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0$$

運動方程式：
$$\begin{cases} \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q_x^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q_x Q_y}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = 0 \\ \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q_x Q_y}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q_y^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = 0 \end{cases}$$

$x, y$  : 位置(水平直交座標)  
 $g$  : 重力加速度  
 $D$  : 全水深(=静水深+水位)  
 $\eta$  : 静水面からの水位  
 $n$  : Manningの粗度係数  
 $Q_x, Q_y$  :  $x, y$ 方向の単位幅当たりの流量(=流速×全水深)



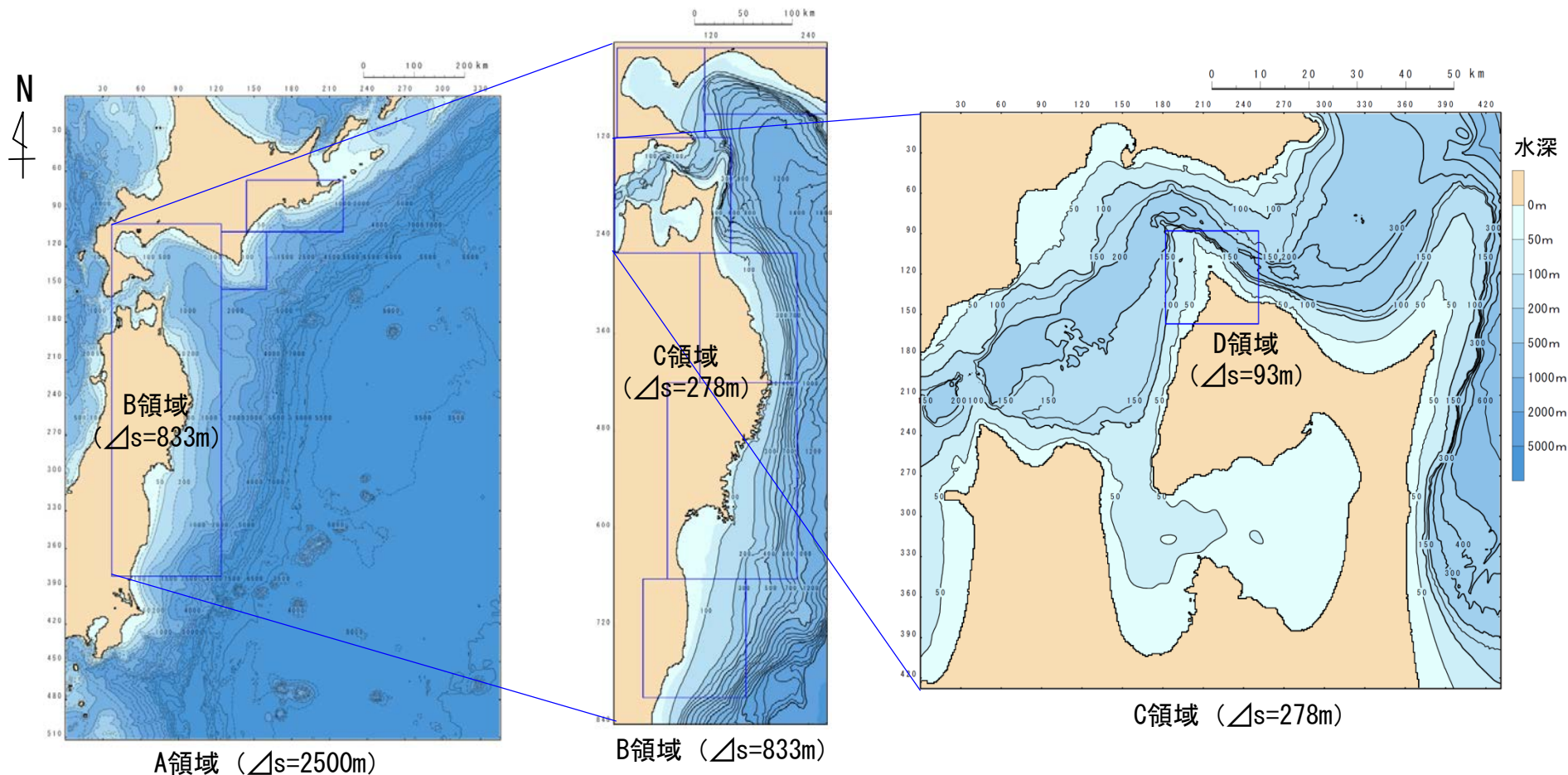
## 日本海側近地津波計算領域



各領域の地形モデルは、海域についてはM7000（日本水路協会）等<sup>(34)～(38)</sup>を、陸域については国土地理院50mメッシュ（標高）<sup>(39)</sup>等を用いて作成した。



## 太平洋側近地津波計算領域

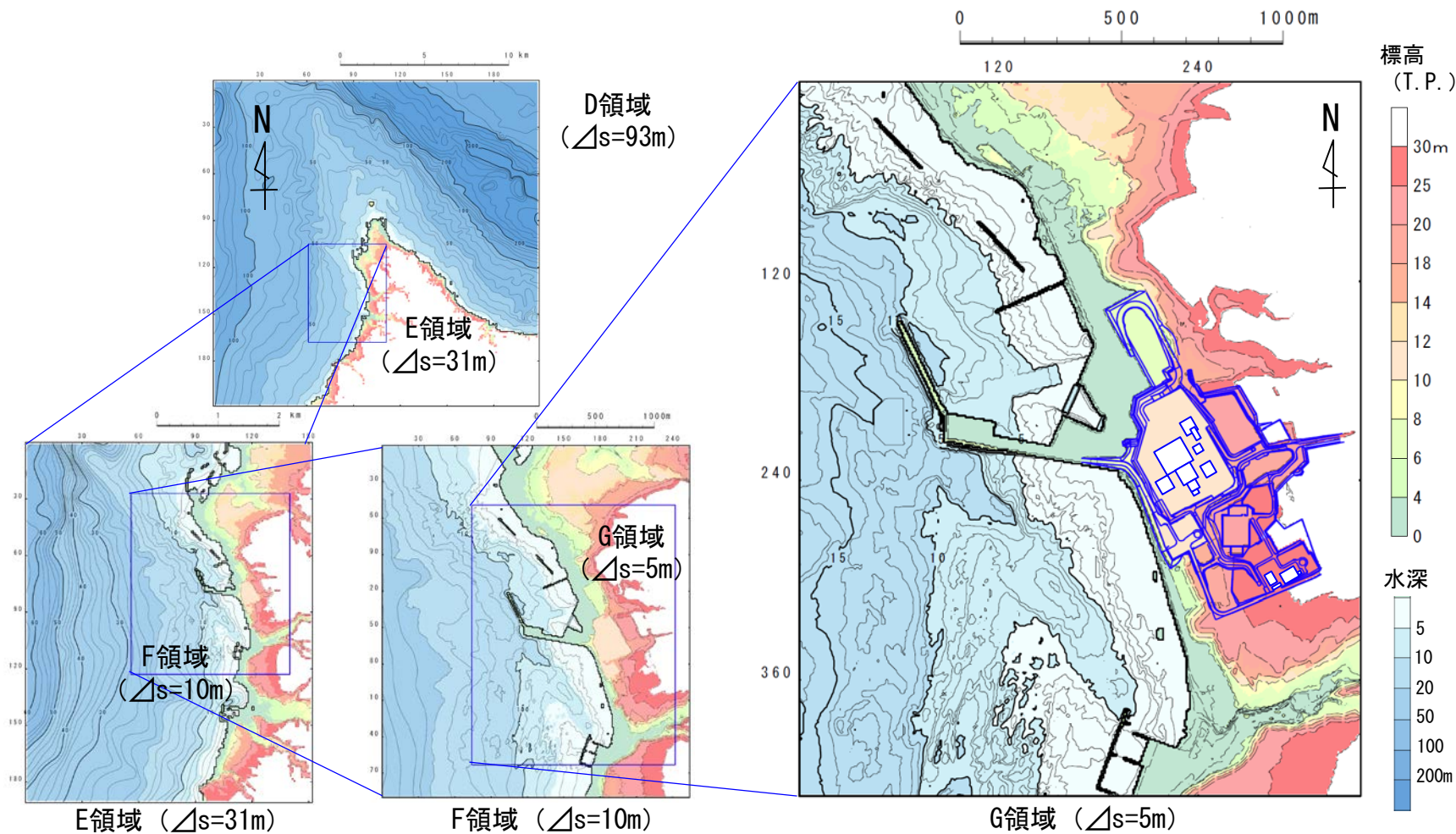


各領域の地形モデルは、海域についてはM7000（日本水路協会）等<sup>(34)</sup>、<sup>(35)</sup>、<sup>(36)</sup>、<sup>(38)</sup>を、陸域については国土地理院50mメッシュ（標高）<sup>(39)</sup>等を用いて作成した。





## 敷地周辺の計算領域



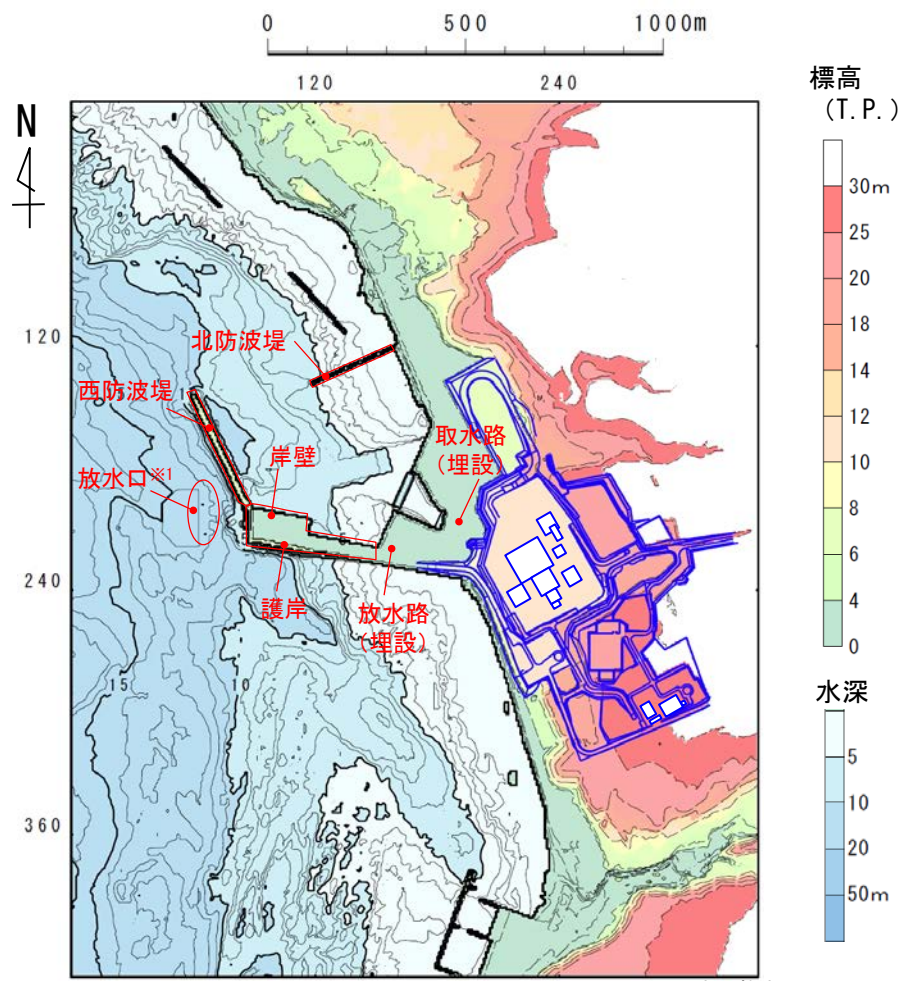
敷地周辺の地形モデルは、敷地前面の港湾施設の影響を考慮した予測計算を行うために、深浅測量による詳細な海底地形図等※(36)、(39)を用いて作成した。

※G領域の地形データ：海底地形データ：深浅測量データ（平成29年測量），陸域地形データ：航空レーザー測量による0.5mメッシュデータ（平成25年測量）



## 港湾の防波堤等の取扱い

・ 数値シミュレーションは、港湾の防波堤等が有る状態で実施する。



※1 : T.P. -11.6mから水中放水

港湾の防波堤等位置図

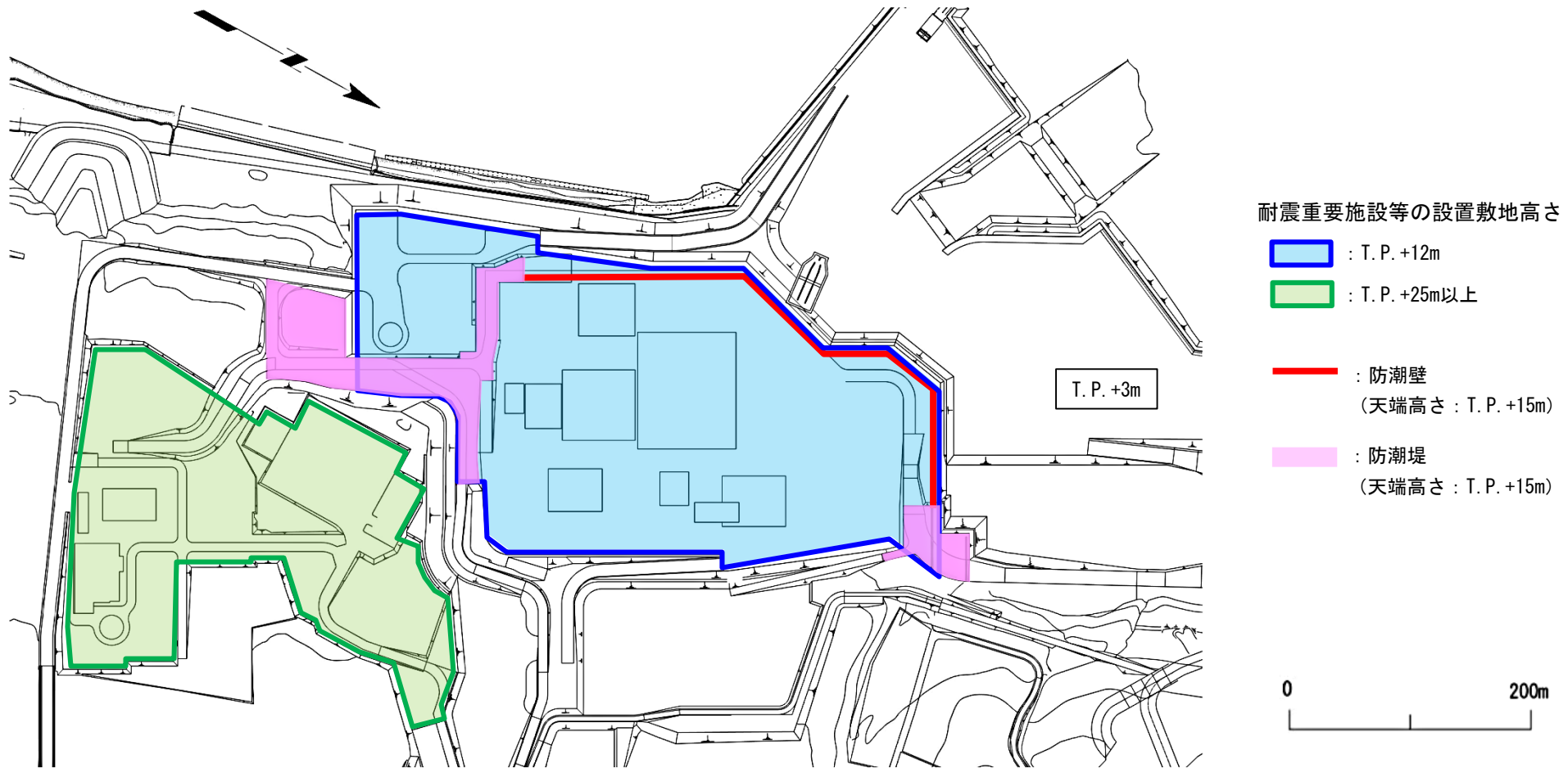
港湾の防波堤等が無い場合の影響については、「3-3. 防波堤等の影響検討」で確認している。



# 1-3. 地震による津波の計算条件 (6 / 10)

## 耐震重要施設等の設置箇所

- ・耐震重要施設等が設置されるのは、T. P. +12m及びT. P. +25m以上の敷地である。
- ・なお、耐震重要施設等が設置されるT. P. +12mの敷地には、自主対策として高さ3mの防潮壁または防潮堤を設置する。

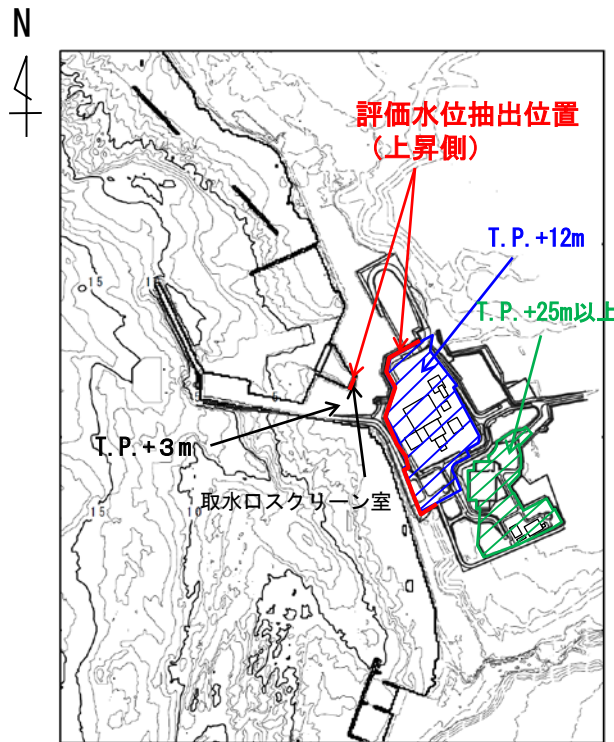




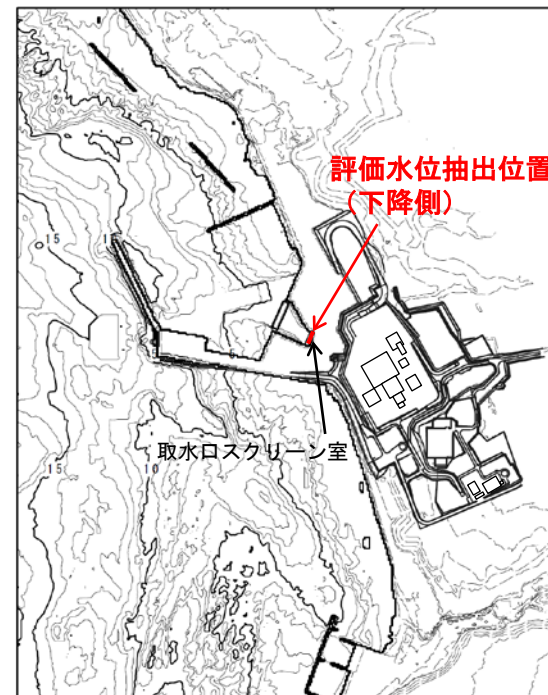
# 1-3. 地震による津波の計算条件 (7 / 10)

## 評価水位抽出位置

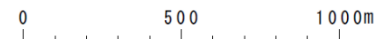
- ・津波水位を評価するため、以下のとおり最大水位上昇量および最大水位下降量の抽出位置を設定した。
  - 【評価水位抽出位置（上昇側）】：耐震重要施設等が設置される敷地（T.P. +12m及びT.P. +25m以上）の安全性に影響を与える可能性のある津波水位を抽出するため、T.P. +12mの敷地の前面及び取水口スクリーン室前面に位置を設定
  - 【評価水位抽出位置（下降側）】：取水路からの原子炉補機冷却水の取水確保を評価するために取水口スクリーン室前面に位置を設定



評価水位抽出位置（上昇側）



評価水位抽出位置（下降側）



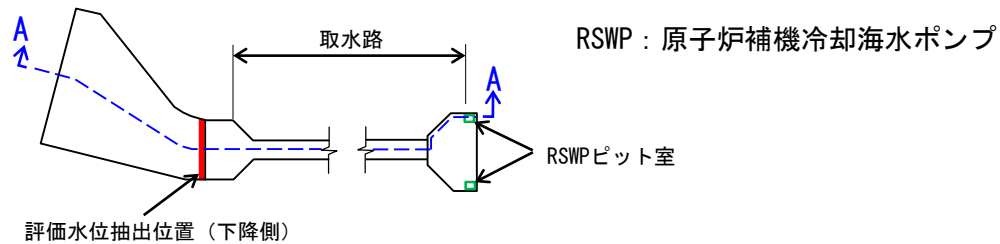


# 1-3. 地震による津波の計算条件 (8 / 10)

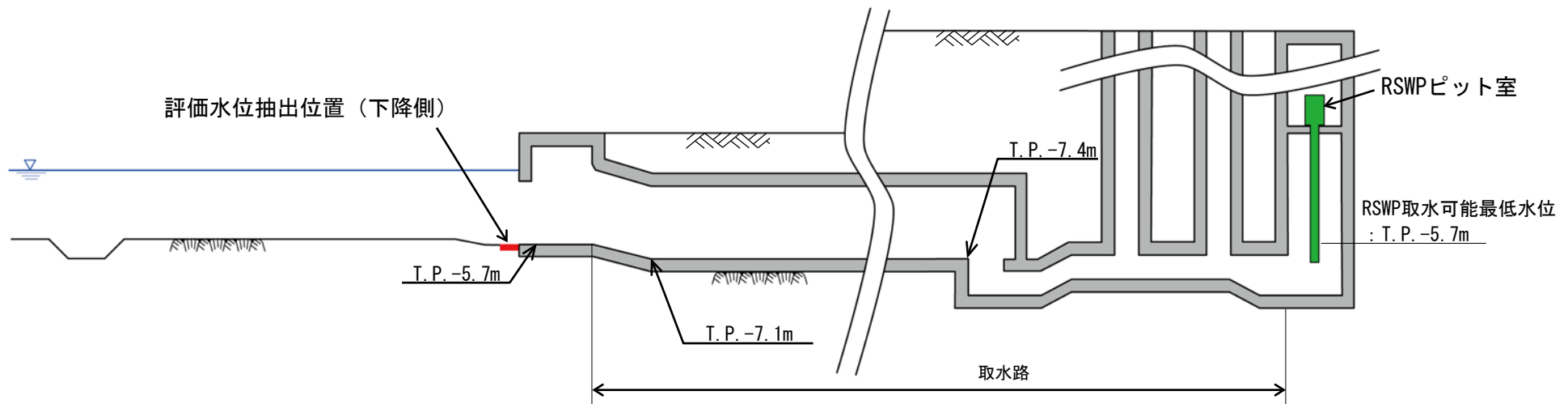
## 評価水位抽出位置 (下降側) と取水設備との関係

- ・ 取水路からの原子炉補機冷却水の取水確保を評価するために、取水口スクリーン室前面を評価水位抽出位置 (下降側) とする。
- ・ 原子炉補機冷却水の取水確保は、基準津波策定後に、取水路内の水理応答計算を行い評価する計画である。

平面 (概略図)



A-A断面 (概略図)



注：基準津波の最低水位に対し、原子炉補機冷却水を常時取水できるようにする。



# 1-3. 地震による津波の計算条件 (9 / 10)

## 遠地津波シミュレーション方法

遠地津波の太平洋伝播計算の計算条件及び基礎方程式を下表のとおり設定した。

太平洋伝播計算条件一覧

項目	計算条件
計算領域	太平洋全域
計算格子間隔Δs	緯度・経度方向共に10分（赤道で約18.5 km）
計算時間間隔Δt	20秒
基礎方程式	線形Boussinesqの式（地球座標系）
沖側境界条件	自由透過条件
陸上境界条件	陸上遡上は考慮せず完全反射条件
初期条件	Mansinha and Smylie (1971) <sup>(32)</sup> の方法によって計算される海底面変位を海面上に与える。
コリオリ力	考慮する
計算時間	地震発生後42時間

【基礎方程式：地球座標系で表された連続式及び線形分散波理論式】

連続式：
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \lambda} \left[ \frac{\partial (M \cos \lambda)}{\partial \lambda} + \frac{\partial N}{\partial \phi} \right] = 0$$

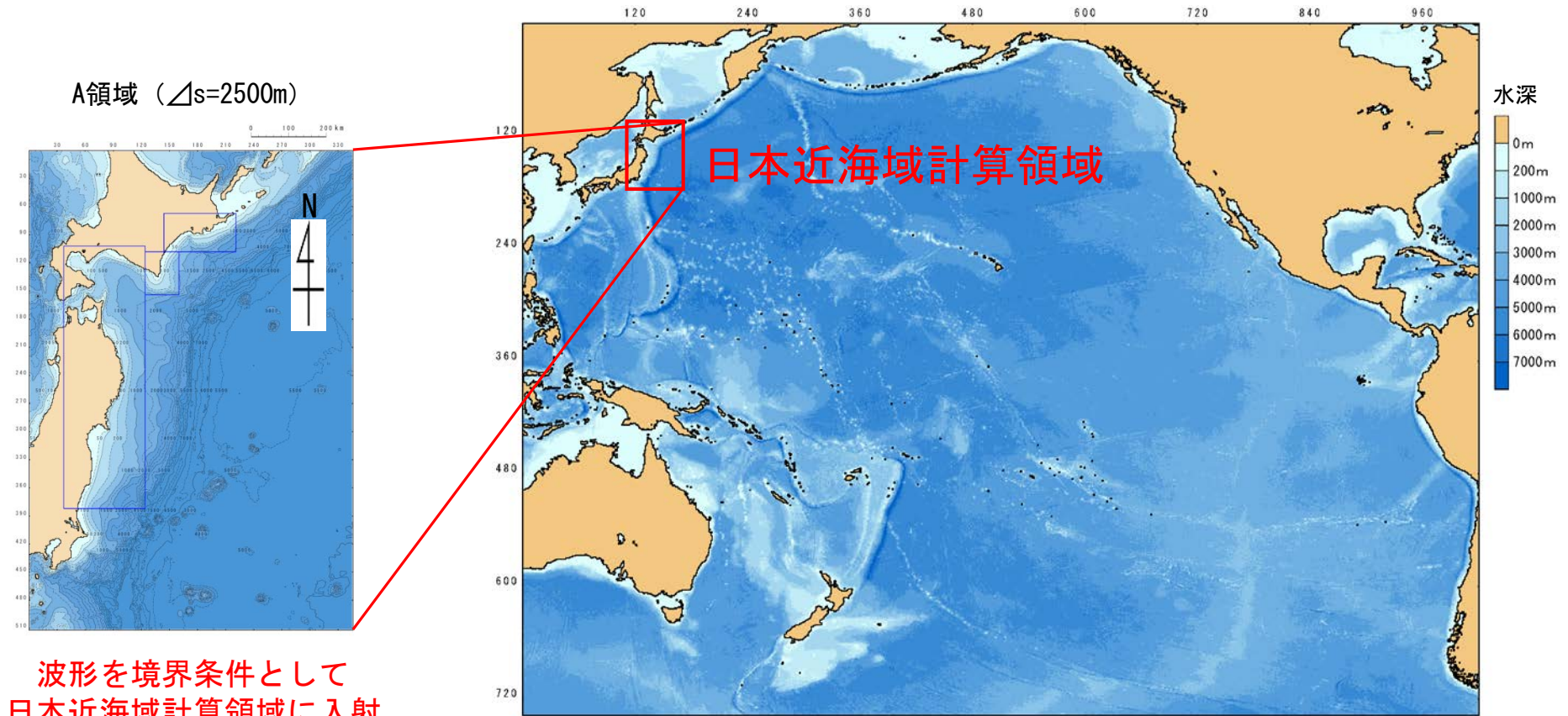
運動方程式：
$$\begin{cases} \text{(緯度方向)} & \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} + fN - \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[ \frac{h^3}{3} F_3 \right] = 0 \\ \text{(経度方向)} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \lambda} \frac{\partial \eta}{\partial \phi} - fM - \frac{1}{R \cos \lambda} \frac{\partial}{\partial \phi} \left[ \frac{h^3}{3} F_3 \right] = 0 \end{cases}$$

$$F_3 = \frac{1}{R \cos \lambda} \left[ \frac{\partial^2}{\partial t \partial \lambda} (u \cos \lambda) + \frac{\partial^2 v}{\partial t \partial \phi} \right]$$

$R$  : 地球の半径  
 $M \cdot N$  : 緯度・経度方向の線流量  
 $u, v$  : 緯度・経度方向の流速  
 $h$  : 水深  
 $\lambda, \phi$  : 緯度, 経度座標  
 $\eta$  : 水位  
 $f$  : コリオリ係数  
 $g$  : 重力加速度

# 1-3. 地震による津波の計算条件 (10/10)

## 太平洋伝播計算領域



波形を境界条件として  
日本近海域計算領域に入射

太平洋伝播計算領域 (Δs=10分)

■活用データ

National Oceanic and Atmospheric Administration (2010) <sup>(38)</sup> : Global Relief Model (ETOPO1).

- 太平洋伝播計算領域の地形モデルは、NOAA (2010) <sup>(38)</sup> による地形データを用いて作成した。
- 太平洋伝播計算で得られた日本列島沖合の波形を日本近海域計算の境界条件として入射することにより、太平洋側の近地津波の数値シミュレーションと同様の計算を実施した。

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
    - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
    - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波





# 1-4. 既往津波の再現計算 (1 / 9)

## 再現性評価の検討方針

- 基準津波の策定に係る数値シミュレーションを行う前提として、計算手法、地形モデル等の妥当性を確認するため、既往津波高と数値シミュレーションにより計算される津波高（以下「計算津波高」という。）との比較により、既往津波の再現性を確認した。
- 対象とする既往津波は、既往津波高の信頼性や文献調査で得られた津軽海峡沿岸及び敷地への影響を考慮して以下の津波を選定した。
  - 既往津波高の信頼性が高く敷地への影響が最大級である津波：①1993年北海道南西沖地震津波
  - 日本海側近地津波：②1741年渡島大島火山津波※1
  - 太平洋側近地津波：③1856年青森県東方沖地震津波※1
  - 遠地津波：④1960年チリ地震津波※1
- 再現性の評価の指標としては、相田（1977）<sup>(11)</sup>による、既往津波高と計算津波高との比から求める幾何平均値K及びバラツキをあらわす幾何標準偏差κを用いた。

※1：②～④は、文献調査の結果、津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる各海域の既往津波

### ■相田（1977）<sup>(11)</sup>による幾何平均値と幾何標準偏差

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i \quad \log \kappa = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right\}^{1/2} \quad K_i = \frac{R_i}{H_i}$$

ここで、

- $R_i$  : i番目の地点の観測値（既往津波高）
- $H_i$  : 計算値（計算津波高）
- $n$  : 既往津波高の個数

再現性の目安（土木学会(2016)<sup>(33)</sup>）

$0.95 < K < 1.05, \quad \kappa < 1.45$





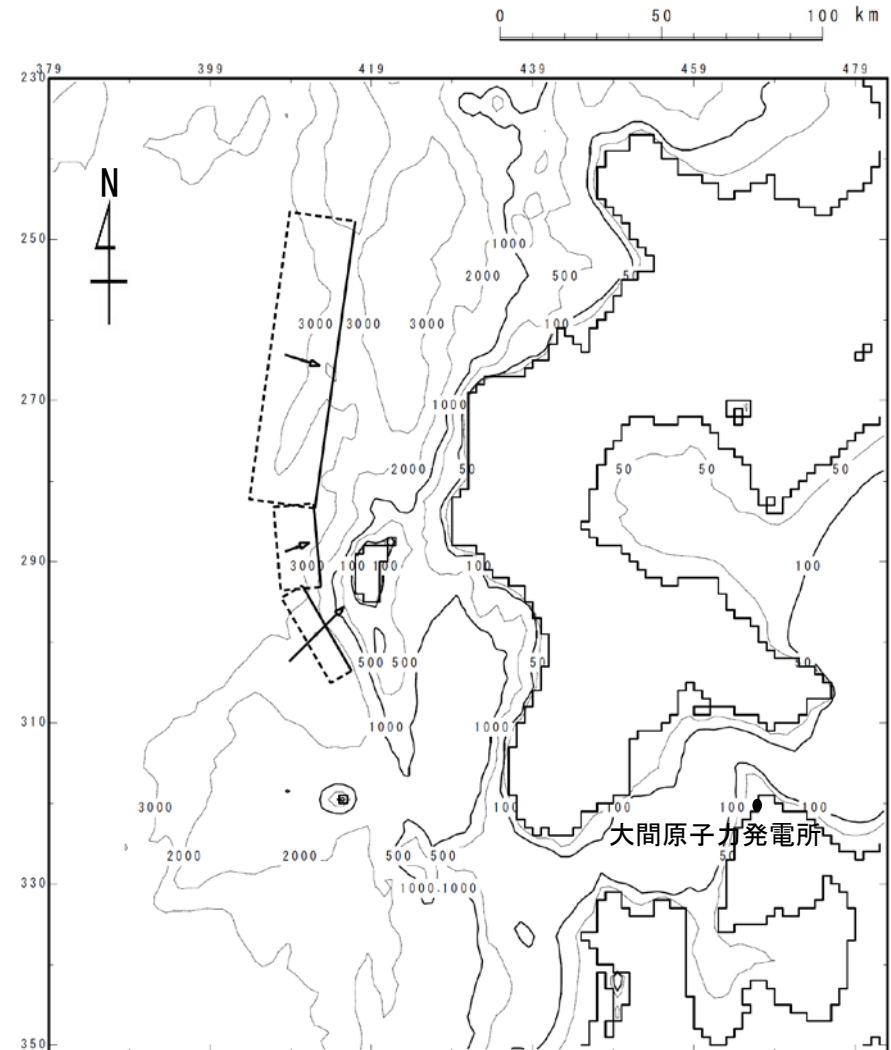
# 1-4. 既往津波の再現計算 (2 / 9)

## ①1993年北海道南西沖地震津波 (1 / 2) : 波源モデル

- 数値シミュレーションの計算手法, 地形モデル等の妥当性を確認するため, 既往津波高の信頼性が高く敷地への影響が最大級である1993年北海道南西沖地震津波を対象とし, 同津波高の再現性が良好とされる高橋ほか (1995) <sup>(40)</sup> DCRC-26モデルを用いた再現計算を実施した。

波源モデルのパラメータ

項目	諸元		
	北側	中央	南側
モーメントマグニチュード $M_w$	7.8		
長さ $L$ (km)	90	26	30.5
幅 $W$ (km)	25	25	15
すべり量 $D$ (m)	5.71	4.00	12.00
剛性率 $\mu$ ( $N/m^2$ )	$3.5 \times 10^{10}$		
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$7.33 \times 10^{20}$		
走向 $\theta$ ( $^\circ$ )	188	175	150
上縁深さ $d$ (km)	10	5	5
傾斜角 $\delta$ ( $^\circ$ )	35	60	60
すべり角 $\lambda$ ( $^\circ$ )	80	105	105
ライズタイム $\tau$ (s)	0		



1993年北海道南西沖地震津波波源モデル

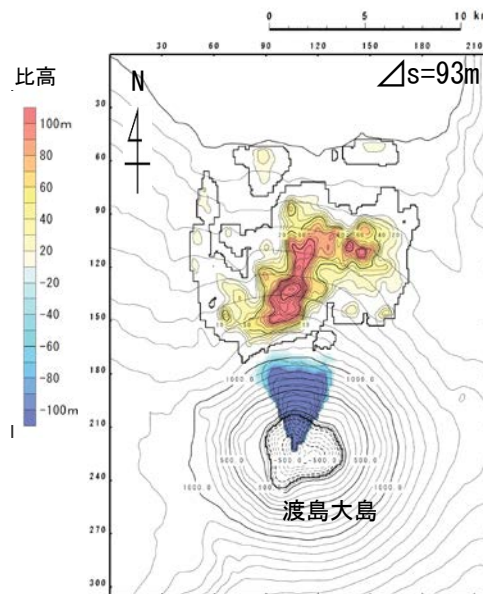




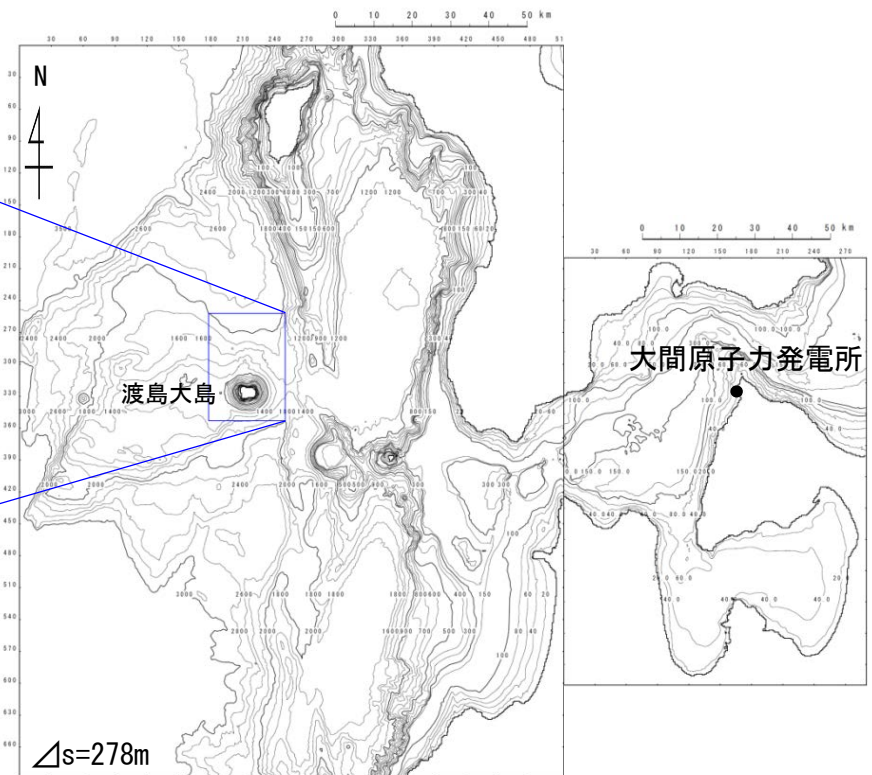
# 1-4. 既往津波の再現計算 (4 / 9)

## ②1741年渡島大島火山津波 (1 / 2) : 波源モデル

- 1741年渡島大島火山津波の波源モデルは, Satake (2007) <sup>(41)</sup> のkinematic landslideモデル (水平移動速度  $U : 40\text{m/s}$ , 比高変位継続時間  $T : 120\text{s}$ ) を採用した。



Satake (2007) <sup>(41)</sup> に基づく比高分布



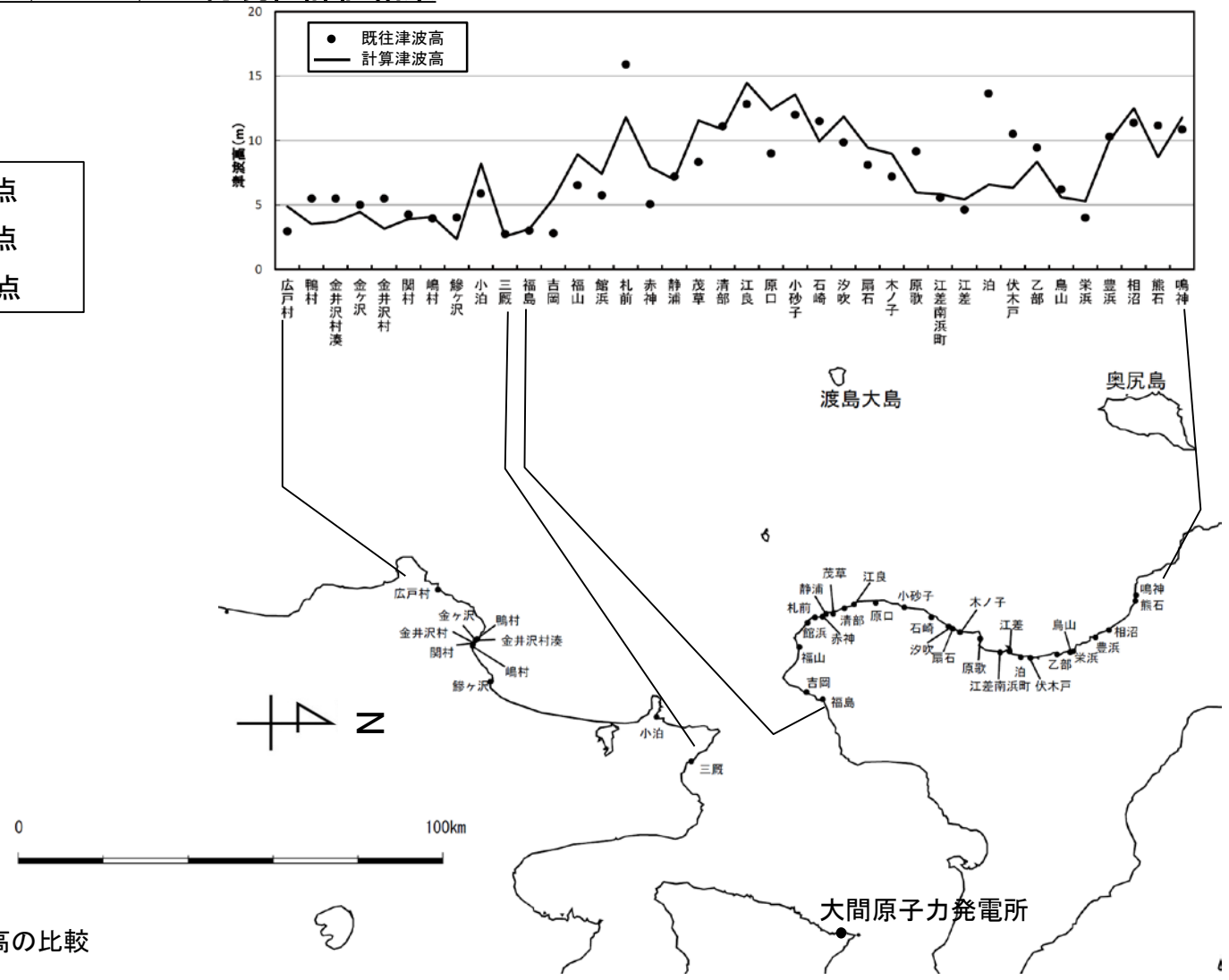
解析領域図



# 1-4. 既往津波の再現計算 (5 / 9)

## ②1741年渡島大島火山津波 (2 / 2) : 再現性評価結果

- 北海道南部沿岸 : 28地点
- 青森県沿岸 : 10地点
- 計 : 38地点



既往津波高と計算津波高の比較

数値シミュレーションによる検証結果は、 $K=1.00$ ,  $\kappa=1.37$  ( $n=38$ ) であり、既往津波の再現性は良好であると判断される。



# 1-4. 既往津波の再現計算 (6 / 9)

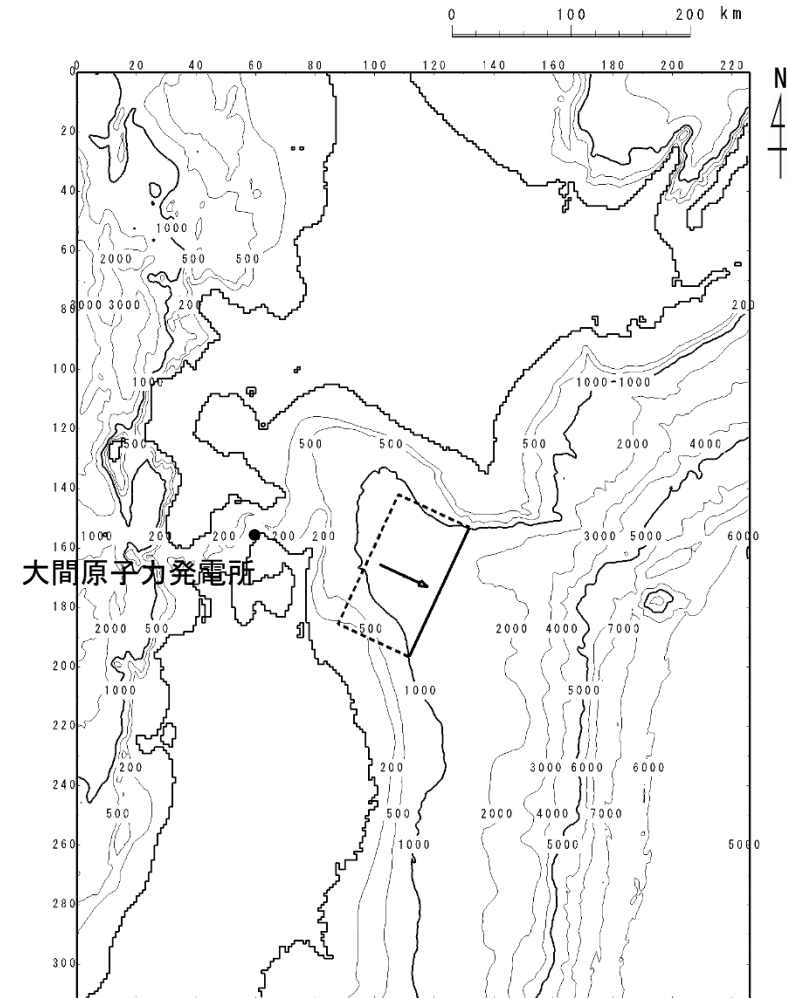
## ③1856年青森県東方沖地震津波 (1 / 2) : 波源モデル

- 1856年青森県東方沖地震津波の波源モデルは相田 (1977) <sup>(11)</sup> で最適とされるD-7モデルを基本とし、既往津波高を良好に再現するようすべり量を修正したモデル (以下「修正相田モデル」という。) を採用した。

波源モデルのパラメータ

項目	諸元
モーメントマグニチュード $M_w$	8.3
長さ $L$ (km)	120
幅 $W$ (km)	70
すべり量 $D^*$ (m)	8.9(8.1)
剛性率 $\mu$ ( $N/m^2$ )	$5.0 \times 10^{10}$
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$3.74 \times 10^{21}$
走向 $\theta$ ( $^\circ$ )	205
上縁深さ $d$ (km)	1
傾斜角 $\delta$ ( $^\circ$ )	20
すべり角 $\lambda$ ( $^\circ$ )	90
ライズタイム $\tau$ (s)	60

※相田 (1977) <sup>(11)</sup> のすべり量を修正して設定。  
( ): 修正前の値。



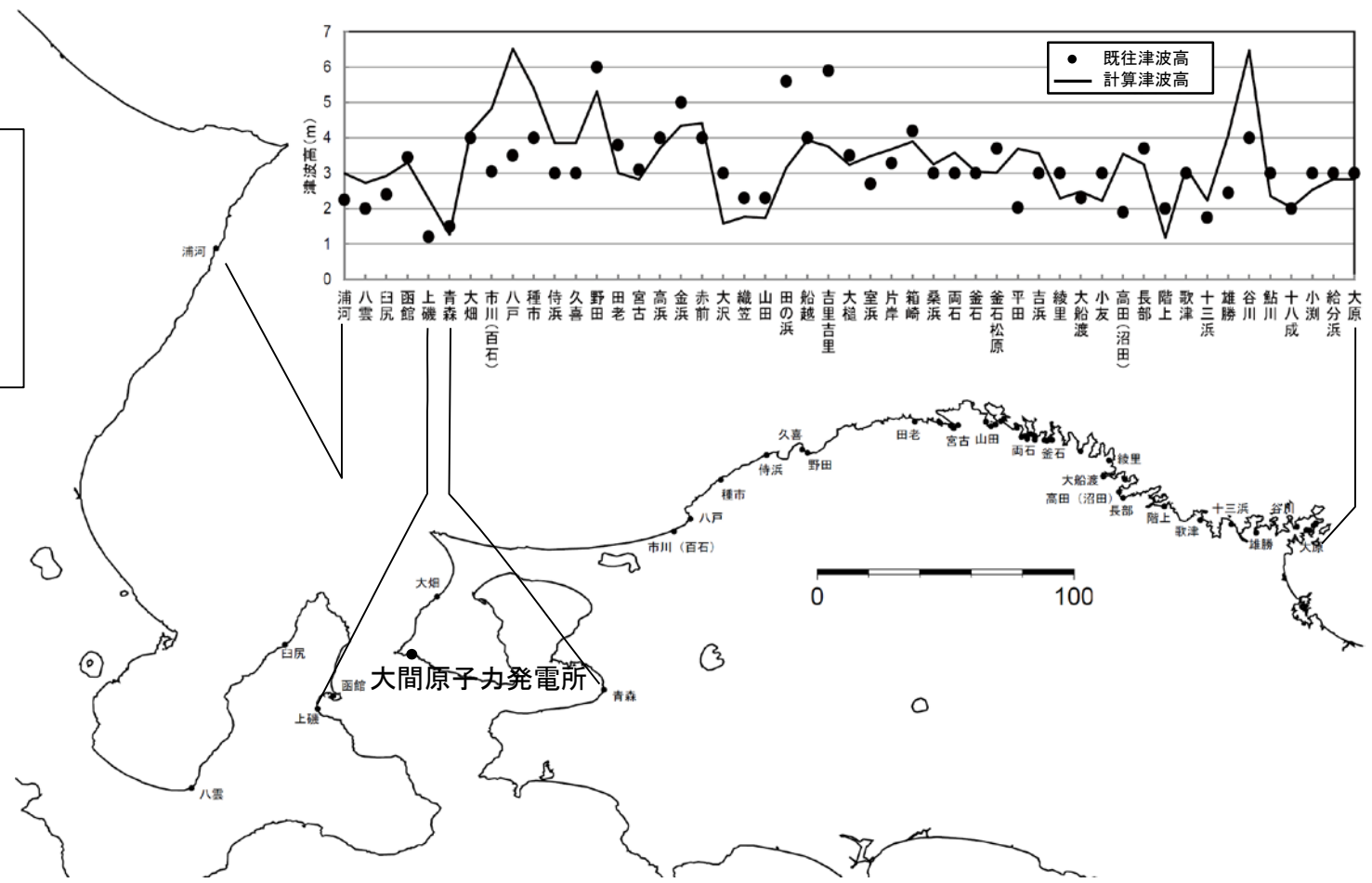
修正相田モデル



# 1-4. 既往津波の再現計算 (7 / 9)

## ③1856年青森県東方沖地震津波 (2 / 2) : 再現性評価結果

- 北海道南部沿岸 : 5地点
  - 青森県沿岸 : 4地点
  - 岩手県沿岸 : 27地点
  - 宮城県沿岸 : 13地点
- 計 : 49地点



既往津波高と計算津波高の比較

数値シミュレーションによる検証結果は、 $K=0.97$ ,  $\kappa=1.36$ , ( $n=49$ ) であり、既往津波の再現性は良好であると判断される。

# 1-4. 既往津波の再現計算 (8 / 9)

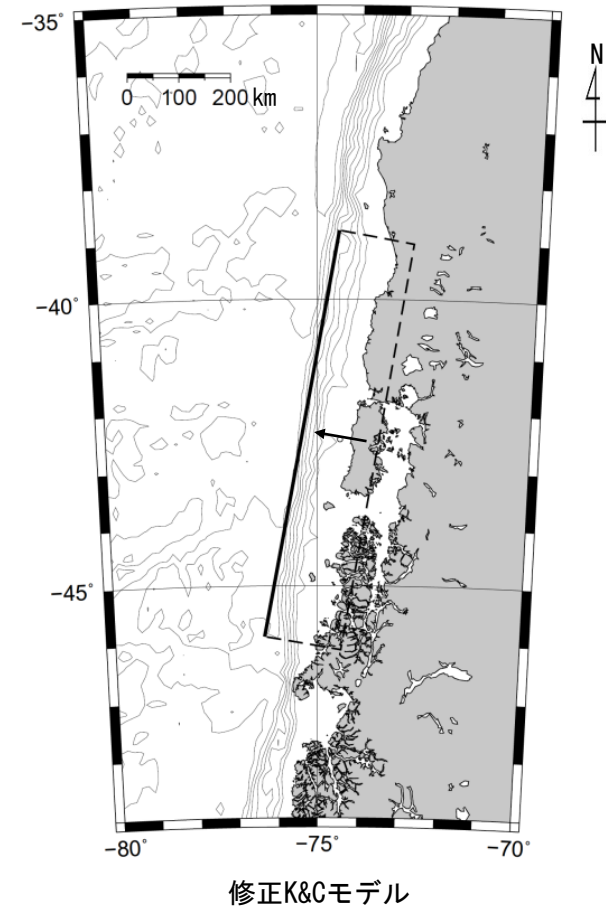
## ④1960年チリ地震津波 (1 / 2) : 波源モデル

- 1960年チリ地震津波の波源モデルはKanamori and Cipar (1974) <sup>(42)</sup> の波源モデルを基本とし、既往津波高を良好に再現するよう幅とすべり量を修正したモデル (以下「修正K&Cモデル」という。) を採用した。

波源モデルのパラメータ

項目	諸元
モーメントマグニチュード $M_w$	9.4
長さ $L$ (km)	800
幅 $W^*$ (km)	150(200)
すべり量 $D^*$ (m)	28.8(24.0)
剛性率 $\mu$ ( $N/m^2$ )	$5.0 \times 10^{10}$
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$1.73 \times 10^{23}$
走向 $\theta$ ( $^\circ$ )	10
上縁深さ $d$ (km)	1
傾斜角 $\delta$ ( $^\circ$ )	10
すべり角 $\lambda$ ( $^\circ$ )	90
ライズタイム $\tau$ (s)	0

※Kanamori and Cipar (1974) <sup>(42)</sup> の幅及びすべり量を修正して設定。  
( ): 修正前の値。



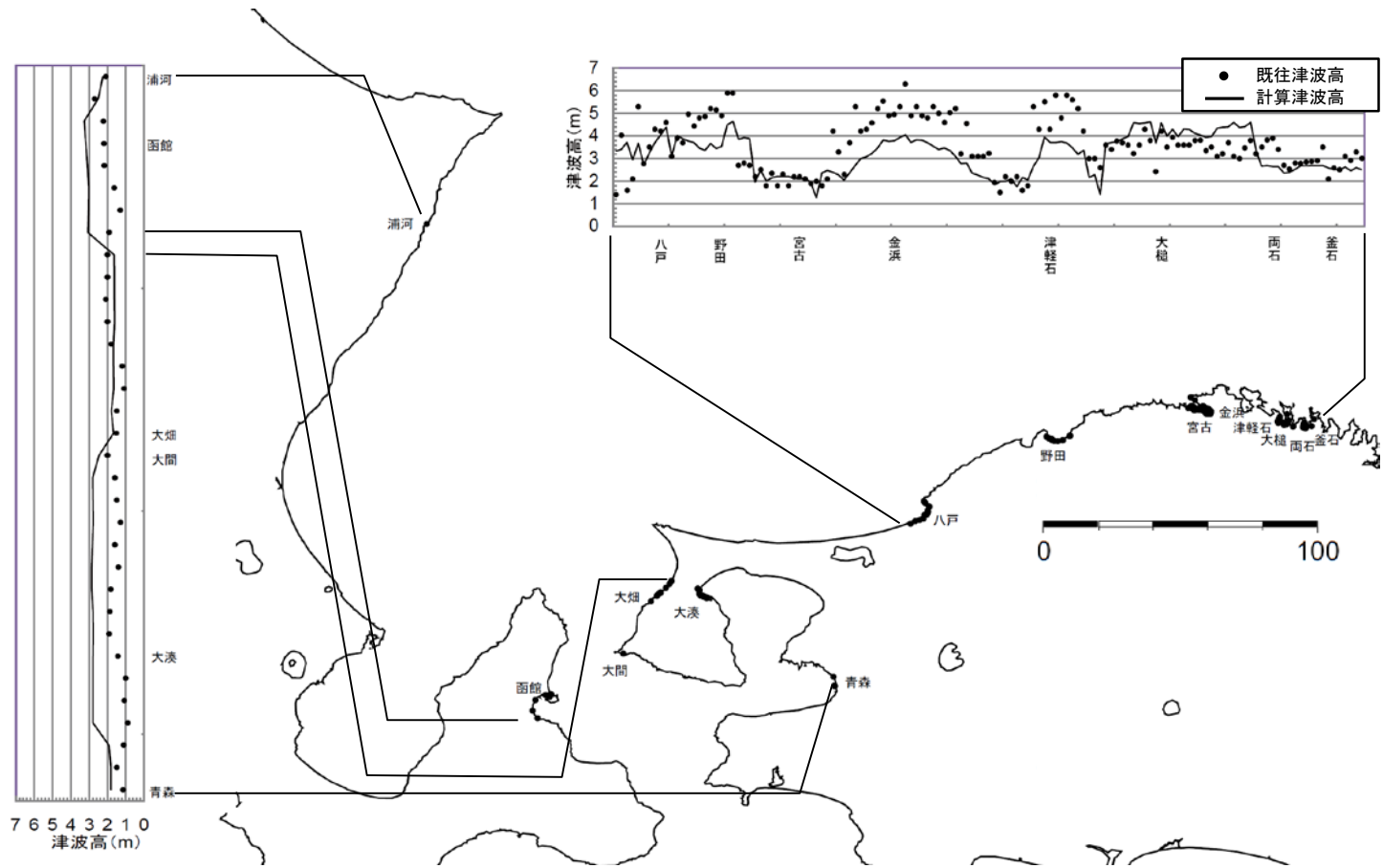




# 1-4. 既往津波の再現計算 (9 / 9)

## ④1960年チリ地震津波 (2 / 2) : 再現性評価結果

- 北海道南部沿岸 : 8地点
- 青森県沿岸 : 38地点
- 岩手県沿岸 : 122地点
- 計 : 168地点



既往津波高と計算津波高の比較

数値シミュレーションによる検証結果は、 $K=1.00$ ,  $\kappa=1.43$  ( $n=168$ ) であり、既往津波の再現性は良好であると判断される。

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
  - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波



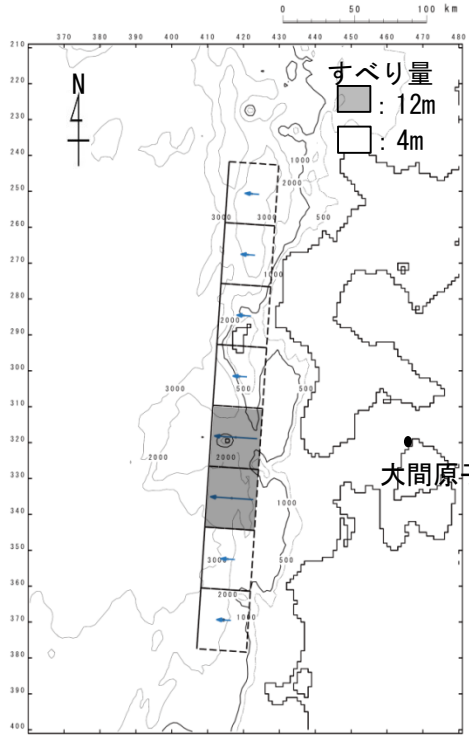


# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (1 / 36)

## 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討フロー

• 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波については、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえて、破壊領域の連動やすべりの不均質性を考慮の上、以下のフローで検討を実施した。

### 基準波源モデルの設定



### 概略パラメータスタディ

(ステップ1)

- | 変動パラメータ※1  |
|--|
| ・ 東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向                                     |
| ・ アスペリティ※2位置 (断層長さの約1/10を考慮して約40km <sup>2</sup> ヲチで移動) |

(ステップ2)

- | 変動パラメータ※1   |
|---|
| ・ アスペリティ※2位置 (ステップ1で影響が大きい位置を更に細かく約10km <sup>2</sup> ヲチで移動) |

### 詳細パラメータスタディ

- | 変動パラメータ※1     |
|---------------|
| ・ 走向          |
| ・ アスペリティ数及び位置 |
| ・ 上縁深さ        |

ステップ1において最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを、ステップ2の検討対象とする。

概略パラメータスタディにおいて最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを、詳細パラメータスタディの検討対象とする。

※1 : 変動幅は敷地への影響及び科学的知見を考慮し設定。

※2 : 「大すべり域」を以下「アスペリティ」という。

## 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（2／36）



### 基準波源モデルの設定（基本方針）

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討に当たっては、既往地震、地形、関連する断層パラメータ等に係わる知見※<sup>1</sup>を検討の上、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた破壊領域の連動やすべりの不均質性を考慮した「**特性化波源モデル**」※<sup>2</sup>を基準波源モデルとして設定する。

※1：補足説明資料「2. 日本海東縁部に設定された地方自治体による波源モデル」も参照。

※2：波源の特性を主要なパラメータで表したモデル

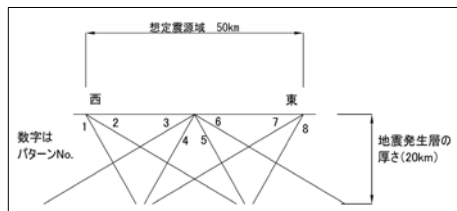
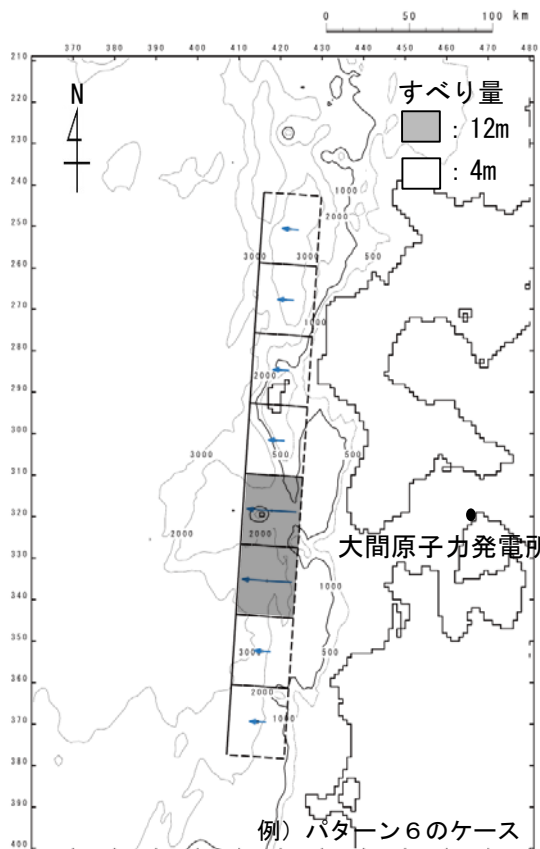


コメントNo.S5-37

# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (3 / 36)

## 基準波源モデルの設定 (設定方法)

以下のフロー及び設定根拠に基づき、基準波源モデルを設定した。

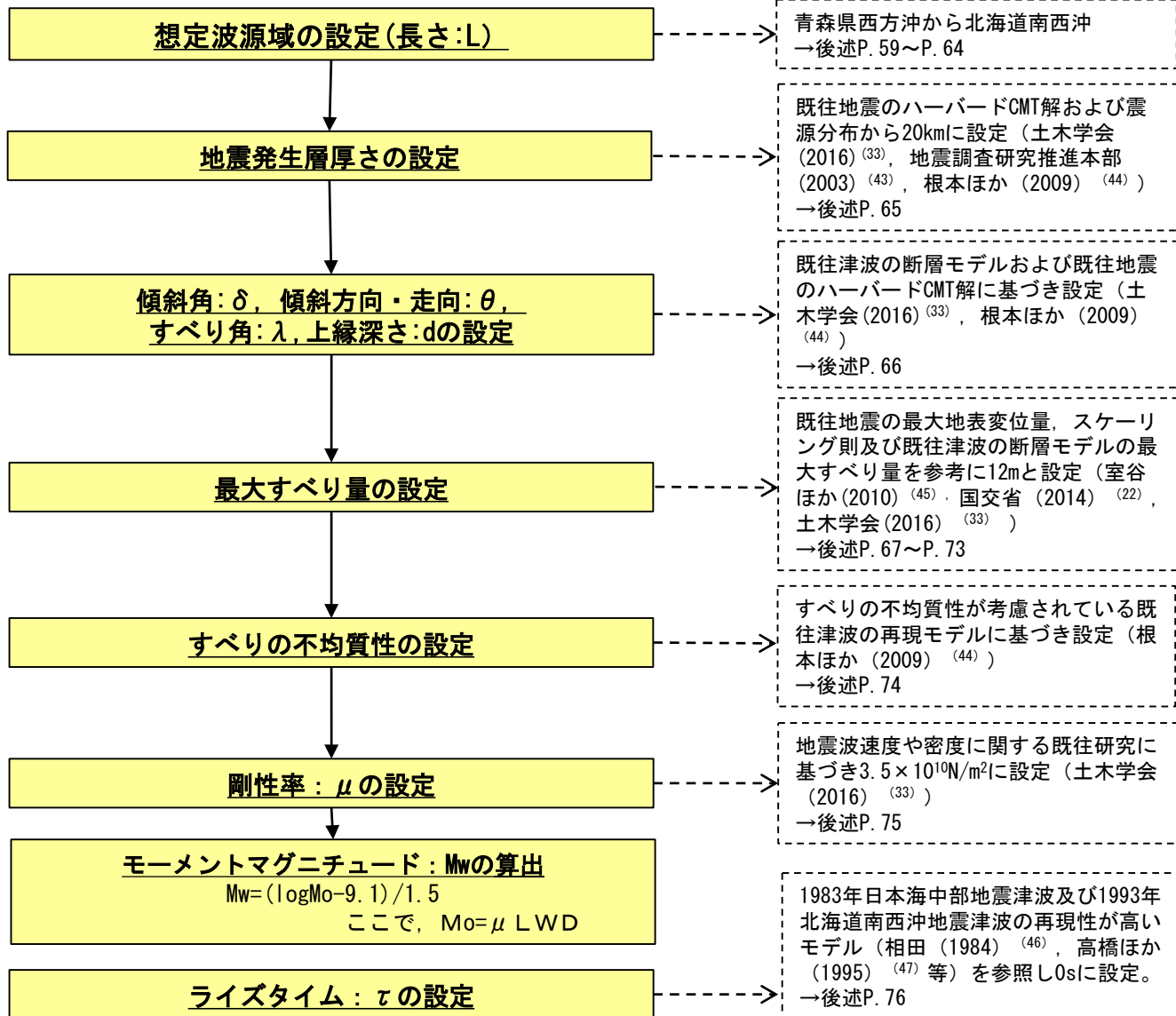


東西位置、傾斜角パターン  
土木学会 (2016) (33)

基準波源モデル

### 基準波源モデル設定フロー

### 設定根拠



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (4 / 36)



## 想定波源域の設定 (1 / 6) : 既往地震の発生履歴 (1 / 2)

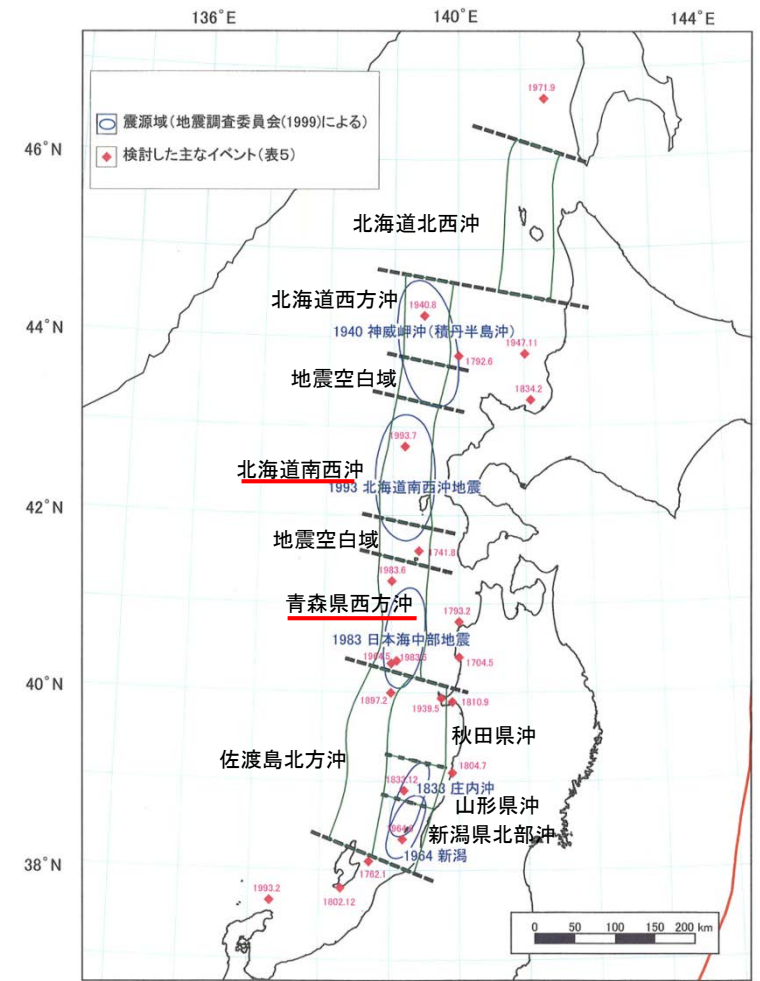
地震規模

日本海東縁部の大地震活動域の既往最大Mw

海域	発生年	既往最大Mw (=M <sub>max</sub> )	地震発生間隔
北海道北西沖	なし	—	3900年程度
北海道西方沖	1940	7.7	1400~3900年程度
<u>北海道南西沖</u>	1993	<u>7.8</u>	500~1400年程度
<u>青森県西方沖</u>	1983	<u>7.7</u>	500~1400年程度
秋田県沖	なし	—	1000年程度以上
山形県沖	1833	7.8	1000年程度以上
新潟県北部沖	1964	7.5	1000年程度以上
佐渡島北方沖	なし	—	500~1000年程度

土木学会 (2011) (48) より作成

• 日本海東縁部において敷地への津波の影響が大きいと考えられる北海道南西沖及び青森県西方沖で発生した既往地震津波のうち、最も地震規模が大きいものは1993年北海道南西沖地震津波 (Mw=7.8) である。  
地震調査研究推進本部 (2003) (43) による



日本海東縁部における主な地震の震源域と地震調査研究推進本部 (2003) (43) で検討対象としたイベント

地震調査研究推進本部 (2003) (43) に一部加筆





# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (5 / 3 6)

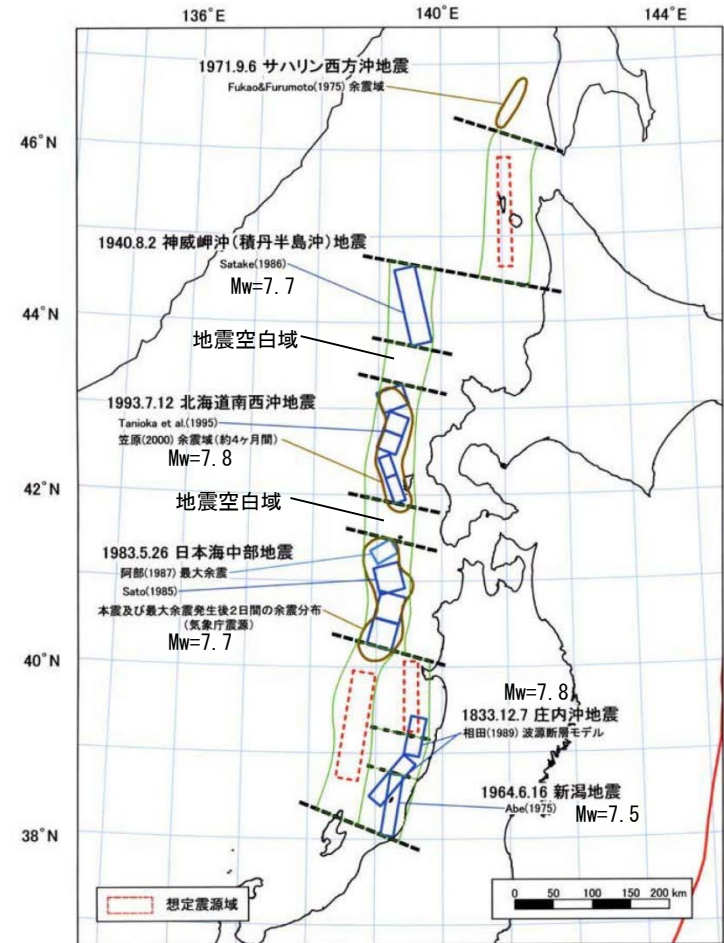
## 想定波源域の設定 (2 / 6) : 既往地震の発生履歴 (2 / 2)

### 波源域

- 日本海東縁部で発生する地震は、主としてプレート相対運動に伴う東西方向からの圧縮力を受けて発生する。明瞭なプレート境界が存在する太平洋側の海溝沿いとは異なり、日本海東縁部では、プレート境界が南北方向に分布する何条かの断層・褶曲帯（以下、「歪み集中帯」という。）より成り、幅をもった領域全体で圧縮力による歪を解消するものと考えられている。

地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> による

- 地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> は、その幅を持った「歪み集中帯」で東西方向から圧縮する力を受けて繰り返し地震が発生するものと考え、M7.5以上の地震の発生したことが地震観測および歴史記録から知られている領域別に想定震源域を区分している。
- 地震観測および歴史記録からはM7.5以上の大地震の発生が確認されていない残りの海域（「地震空白域」）が分布しているが、北海道西方沖・北海道南西沖・青森県西方沖の狭間にある空白域は、その大きさからM7.5以上の大地震は発生する可能性が低いと考えられており、地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> では検討対象とされていない。



過去の震源モデル・余震域、及び想定震源域

地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> に一部加筆

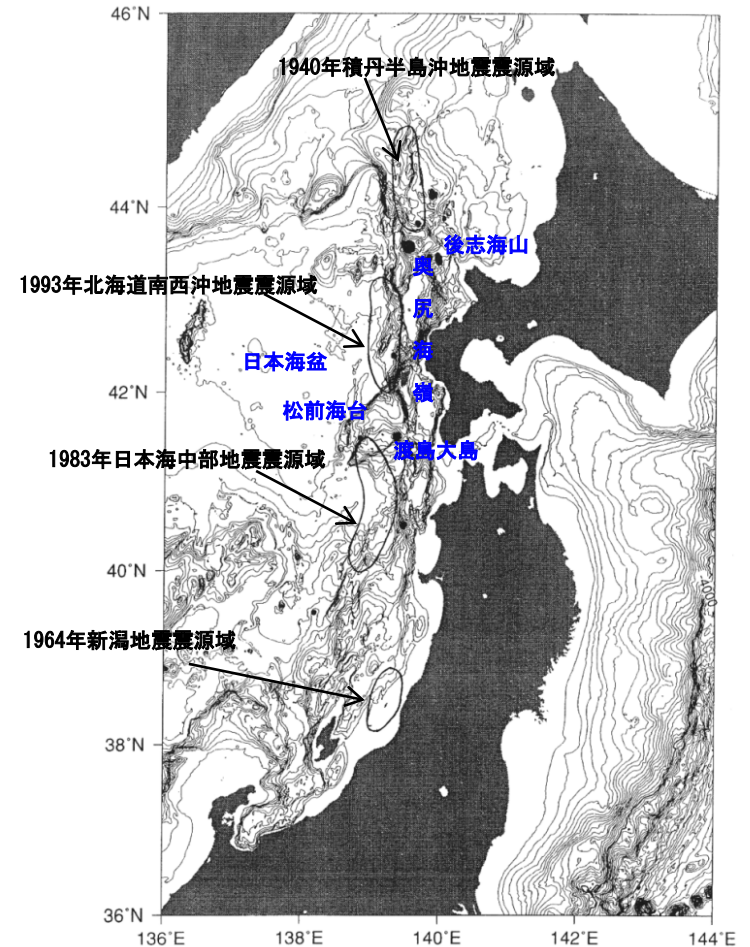


## 想定波源域の設定 (3 / 6) : 海底地形に関する知見 (北海道南西沖～青森県西方沖)

- 1940年積丹沖地震と1993年北海道南西沖地震の間のギャップ (空白域) には後志海山等の海底火山体が複数分布し, 両方の震源域を分けている。
- 1993年北海道南西沖地震と1983年日本海中部地震の間のギャップ (空白域) には渡島大島や渡島小島等の火山体および日本海拡大時に形成されたホルストである松前海台が存在し, 両方の震源域を分けている。

海上保安庁水路部 (2001) <sup>(49)</sup> による

- 以上から, 日本海東縁部 (北海道南西沖～青森県西方沖) で発生した過去の地震の震源域は海山・火山, 海台等により区分され, 震源域の間にはギャップ (空白域) が存在し, 南北に連続的に分布しないものと考えられる。



○ Focal areas of past large earthquakes (modified from Ohtake,1995)  
● Volcanos

震源域と海域火山体等の分布

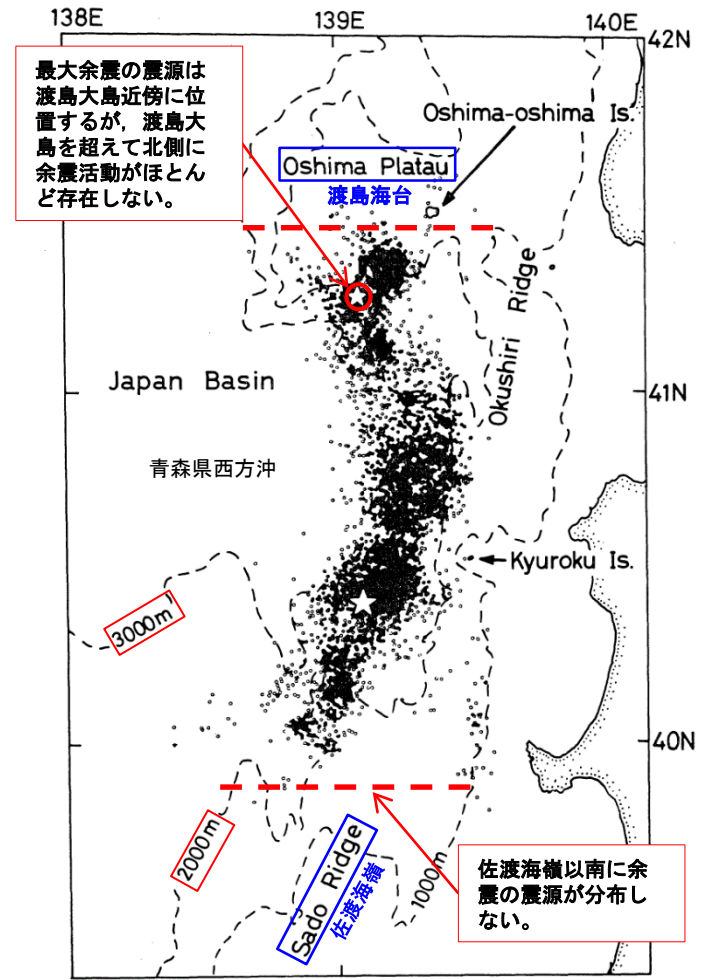
海上保安庁水路部 (2001) <sup>(49)</sup> に一部加筆

# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (7/36)



## 想定波源域の設定 (4/6) : 余震分布に関する知見 (青森県西方沖)

- 青森県西方沖で発生した1983年日本海中部地震の余震域は、海深2000mと3000mの等深線に沿ってほぼ南北に長くのびて、北端は渡島海台（松前海台）、南端は佐渡海嶺で区切られている。  
海野ほか (1985) (50) による
- 1983年6月21日に発生した最大余震（右図の赤○印）に伴う二次余震の余震域も、渡島大島の南西の領域までしか広がっていない。  
海野ほか (1985) (50) による
- 以上から、青森県西方沖で発生した1983年日本海中部地震の活動域は、余震の震源分布から海底地形と強い関連性を持ち、その結果、北端は渡島海台（松前海台）、南端は佐渡海嶺で区切られる範囲になったと考えられる。



最大余震の震源は渡島大島近傍に位置するが、渡島大島を超えて北側に余震活動がほとんど存在しない。

佐渡海嶺以南に余震の震源が分布しない。

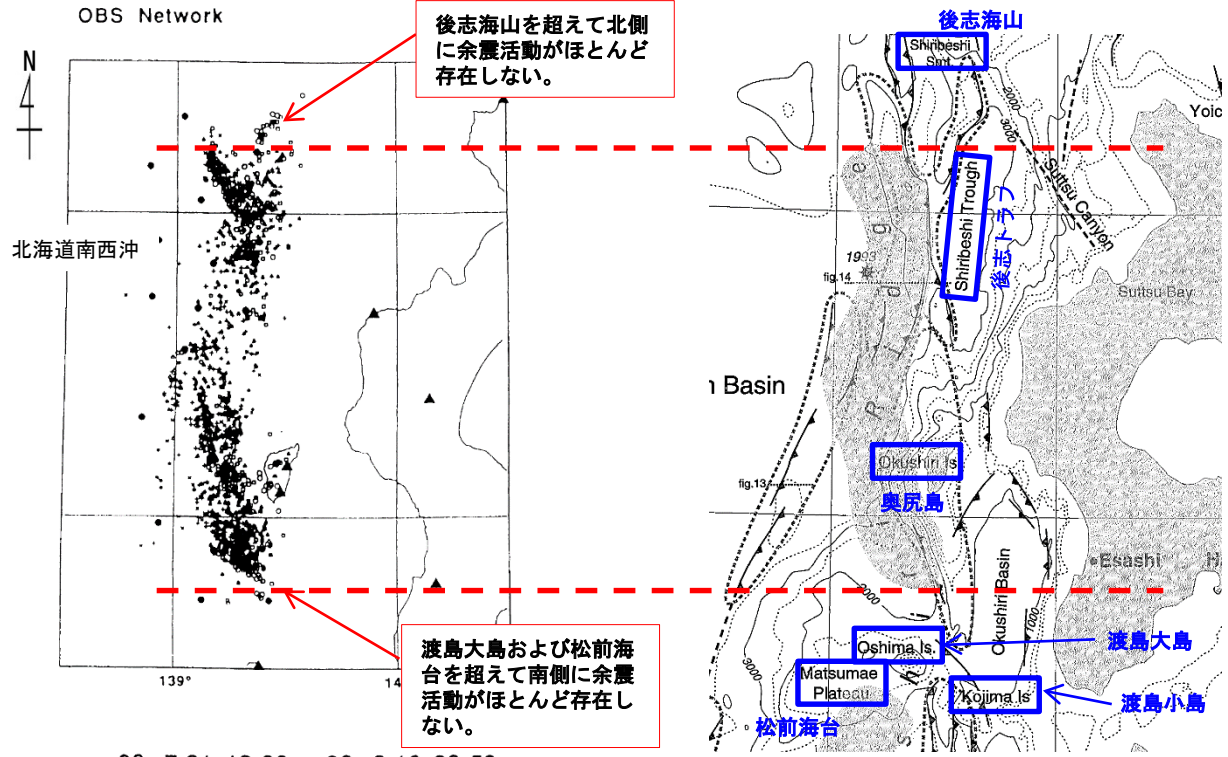
1983年日本海中部地震の余震分布

海野ほか (1985) (50) に一部加筆



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (8/36)

## 想定波源域の設定 (5/6) : 余震分布に関する知見 (北海道南西沖)



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) (51) に一部加筆

北海道南西沖の活構造

岡村ほか (1998) (52) に一部加筆

- 1993年北海道南西沖地震の余震域は、後志トラフ西方から奥尻島南方の松前海台北方で止まっている。  
日野ほか (1994) (51) の余震分布による
- 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。また、北海道南西沖地震の破壊域と積丹沖地震の破壊域との間には、後志海山が分布する。また、これらの火山周辺では活断層の規模が明らかに小さくなっている。そのことから、火山の存在が断層破壊領域を規制する可能性がある。  
岡村・倉本 (1999) (53) による
- 以上から、北海道南西沖で発生した1993年北海道南西沖地震の活動域は、余震の震源分布から火山等の分布域には到達せずに、北端は後志海山、南端は渡島大島および松前海台で区切られる範囲になったと考えられる。

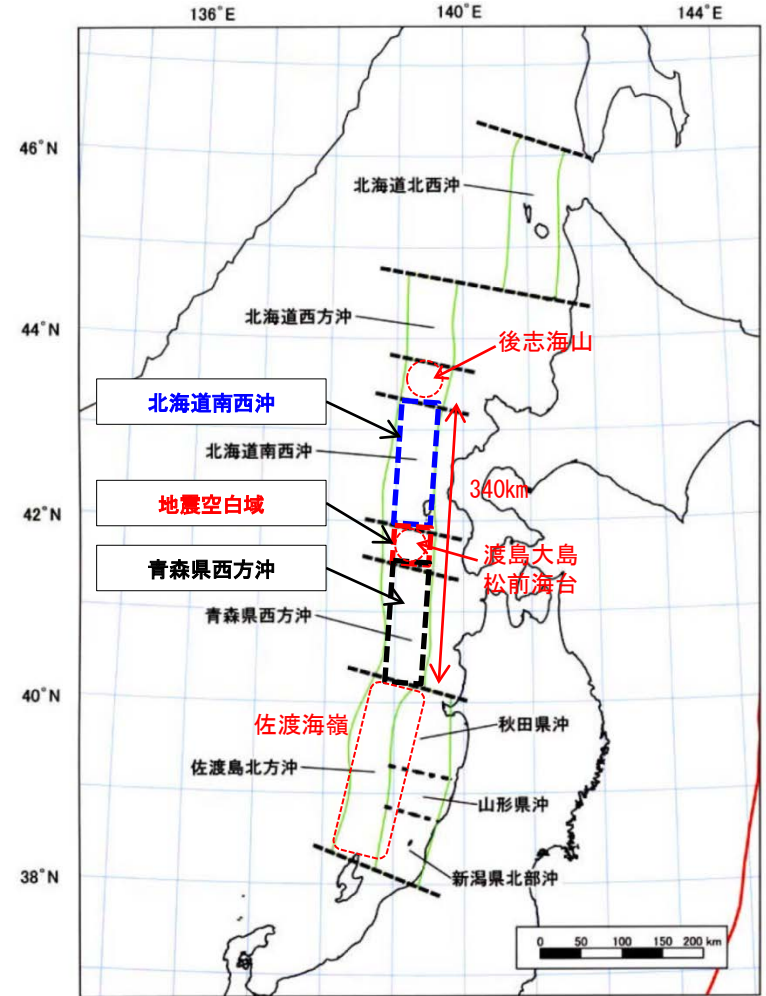




# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (9 / 3 6)

## 想定波源域の設定 (6 / 6) : 安全評価上の想定波源域の考え方

- 日本海東縁部で発生した既往地震津波のうち最も地震規模の大きいものは1993年北海道南西沖地震津波 (Mw=7.8)である。
- 「海底地形に関する知見」, 「余震分布に関する知見」から, 地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> の領域をまたぎ, 既往地震規模を上回る連動地震が発生する可能性は低いものと考えられる。
- しかし, 2011年東北地方太平洋沖地震では, 広い領域で地震が連動したことを踏まえ, 青森県西方沖とその北方に隣接する地震空白域及び北海道南西沖との連動の可能性は低いと考えられるが, 青森県西方沖から北海道南西沖が連動するものとして, 安全評価上, L=340kmの想定波源域を設定した。



日本海東縁部の想定波源域

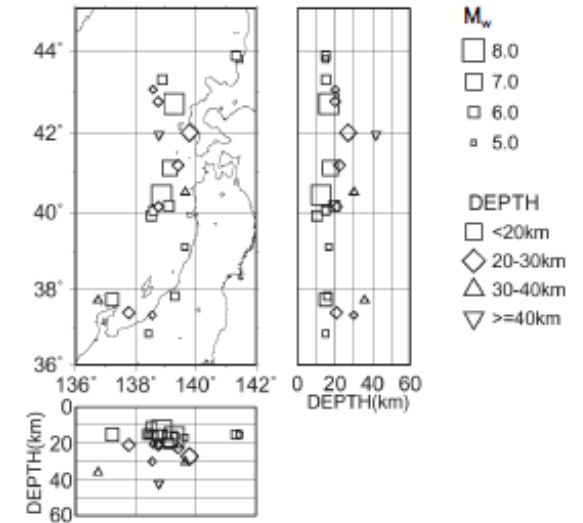
地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> に一部加筆



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (10/36)

## パラメータの設定 (1/12) : 地震発生層厚さの設定

- 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> 等の以下の知見を基に地震発生層厚さを20kmと設定した。
  - ✓ 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た結果, 震源深さは, おおむね15km~20kmに集中しており, 地震発生層の厚さに上限がある。土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> による
  - ✓ 地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> では, 日本海東縁部で発生した地震の余震分布等に関わる知見を基に評価対象地震の深さは20km程度以浅と設定されている。
  - ✓ 根本ほか (2009) <sup>(44)</sup> のアスペリティモデルは, 地震調査研究推進本部 (2003) <sup>(43)</sup> に従い地震発生層厚さを20kmと設定されている。



ハーバードCMT解の深さ分布

土木学会 (2016) <sup>(33)</sup>



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (11 / 36)

## パラメータの設定 (2 / 12) : 傾斜方向・傾斜角・走向・すべり角・上縁深さの設定

- 以下の知見を基に傾斜方向・傾斜角, 走向, すべり角及び上縁深さをそれぞれ設定した。

### [傾斜方向・傾斜角] 東西両方向・30° 及び60° と設定

- ✓ 既往津波の断層モデルの傾斜角・傾斜方向の分析結果から, 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おり, 傾斜角はおおむね30° ~60° の範囲で痕跡高を説明することができる。 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> による

### [走向] 海底地形の等水深線の走向に基づき3.8° 及び183.8° と設定

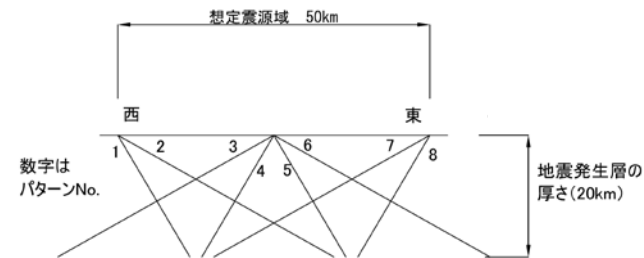
- ✓ ハーバードCMT解による走向と等水深線の走向の関係の分析結果から, 走向は等水深線に沿って南北に分布している。 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> による

### [すべり角] 90° に設定

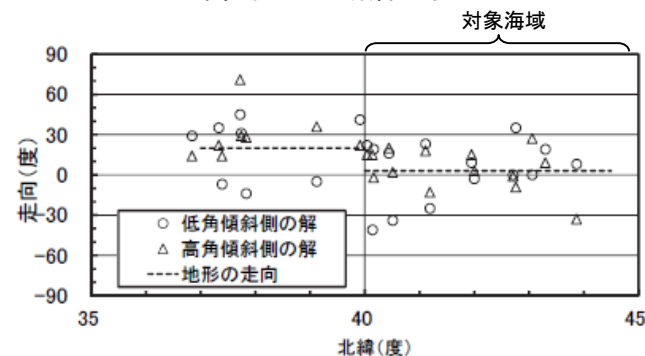
- ✓ ハーバードCMT解による日本海東縁部の断層のすべり角は, 90° 程度である。 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> による

### [上縁深さ] 1 kmに設定

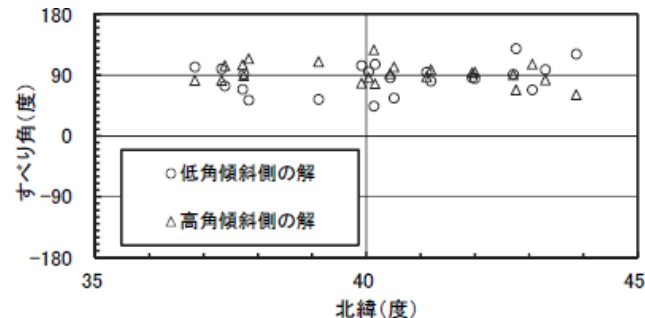
- ✓ 根本ほか (2009) <sup>(44)</sup> のアスペリティモデルは, 日本海東縁部の地震発生層の上限深度を考慮して海底面より深さ1 kmに上縁深さを設定されている。
- ✓ なお, 想定波源域付近の海底面には連続した地震の痕跡が認められない。



鉛直面内の断層形状



ハーバードCMT解による断層走向と地形走向  
土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> に一部加筆



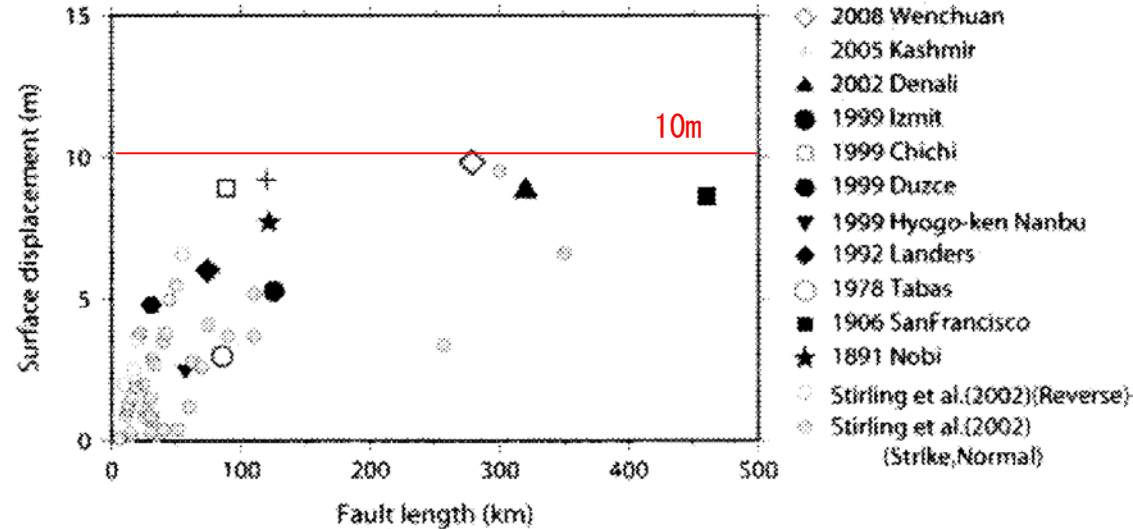
ハーバードCMT解による断層のすべり角



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (12/36)

パラメータの設定 (3/12) : 最大すべり量の設定 (1/3)

既往地震に関する検討



断層長さ と 最大地表変位量 と の 比較

室谷ほか (2010) <sup>(45)</sup> に一部加筆

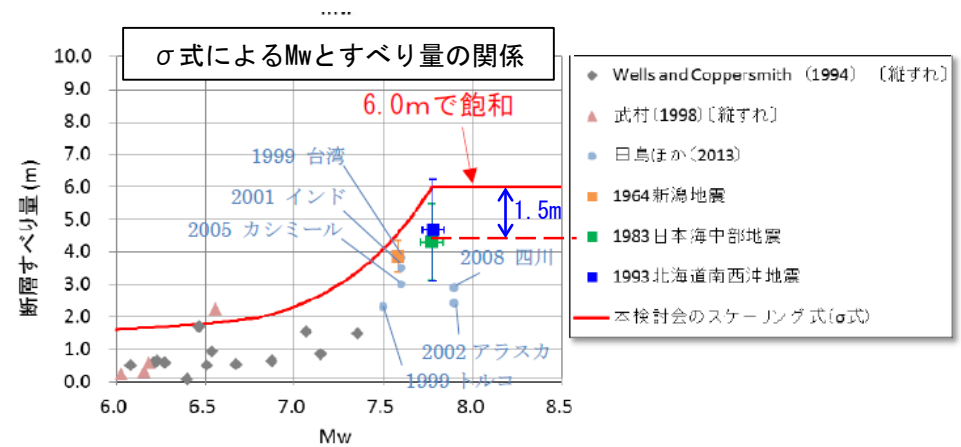
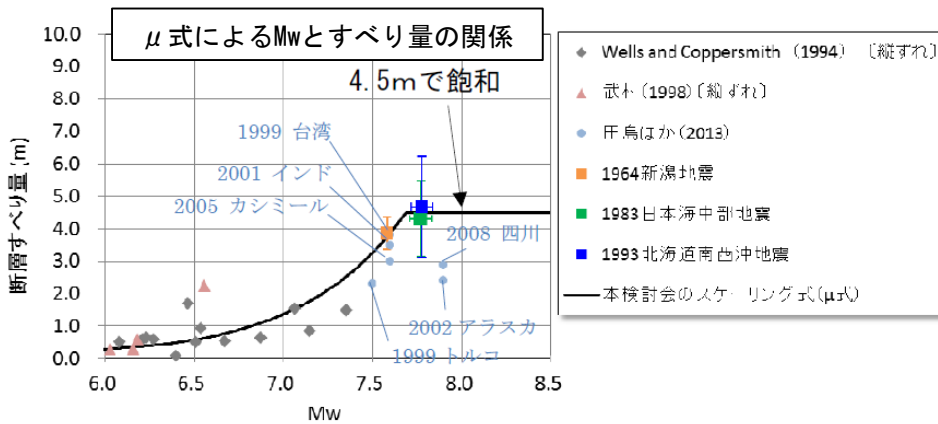
- 世界の内陸で発生した地震を分析した結果、地表で観測された最大変位量は、震源断層での最大すべり量と 1 : 1 の比例関係にあり、震源断層長さが約100km以上の場合、地表最大変位量は10m程度で飽和する。室谷ほか (2010) <sup>(45)</sup> による



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (13 / 36)

## パラメータの設定 (4 / 12) : 最大すべり量の設定 (2 / 3)

### 国の検討会による検討



地震規模とすべり量の関係 (日本海における大規模地震に関する調査検討会)

国交省 (2014) (22) に一部加筆

- 国交省 (2014) (22) では、スケールリング則として平均的なモデルであるμ式と、すべりのばらつきを考慮したσ式の2つを用いており、μ式の飽和平均すべり量 ( $D_\mu$ ) 4.5mに標準偏差 ( $\sigma$ ) 1.5mを加算して、σ式の飽和平均すべり量 ( $D_\sigma$ ) を6.0mと設定している。
- また、大すべり域のすべり量は、平均すべり量の2倍とされており、σ式における大すべり域のすべり量は最大12mとなる。



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (14 / 36)

## パラメータの設定 (5 / 12) : 最大すべり量の設定 (3 / 3)

既往津波の再現性が確認されている断層モデルの検討

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 ( $\text{km}^2$ )	$L$ (km)	$W$ (km)	$D$ (m)	$d$ (km)	$\theta$ (度)	$\delta$ (度)	$\lambda$ (度)	データ 数	$K$	$\kappa$	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)(神合)
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) <sup>(33)</sup> に一部加筆

- 日本海東縁部で発生した既往津波の波源モデルのうち、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の12mである。

- 波源モデルの最大すべり量として、室谷ほか(2010) <sup>(45)</sup> によると最大すべり量が約10mで飽和すること、国交省 (2014) <sup>(22)</sup> のすべりのばらつきを考慮した $\sigma$ 式における最大すべり量が12mであること、また、北海道南西沖地震津波を再現する波源モデルの最大すべり量が12mであることを考慮し、安全評価上12mと設定する。

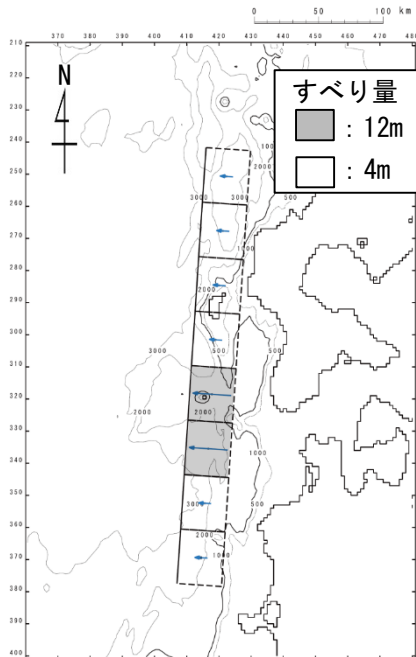
# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (15 / 36)



(参考) パラメータの設定 (6 / 12) : 最大すべり量の妥当性確認 (1 / 4)

室谷ほか (2010) (45), 国交省 (2014) (22) のスケーリング則及び既往津波の再現モデルを考慮し設定した基準波源モデルの最大すべり量12mの妥当性を確認するため, 基準波源モデルの最大すべり量と他の地震規模に係るスケーリング則を用いて設定される最大すべり量とを比較・検討する。

基準波源モデルの最大すべり量



基準波源モデル

基準波源モデルの最大すべり量は、下記1)~3)を考慮して12mと設定した。

- 1) 室谷ほか (2010) (45) による世界の内陸で発生した地震の分析結果
- 2) 国交省 (2014) (22) のスケーリング則で設定されるアスペリティのすべり量
- 3) 1993年北海道南西沖地震津波の再現モデル (DCRC-26) の最大すべり量



他の地震規模に係るスケーリング則を用いて設定される  
最大すべり量

下記の地震規模に係るスケーリング則を用いて設定される最大すべり量を検討する。

- 地震調査研究推進本部 (2016) (54) 『レシピ』の方法
- 土木学会 (2016) (33) の方法





# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (16 / 36)

(参考) パラメータの設定 (7 / 12) : 最大すべり量の妥当性確認 (2 / 4)

: 地震調査研究推進本部 (2016) <sup>(54)</sup> 『レシピ』の方法

- 地震調査研究推進本部 (2016) <sup>(54)</sup> 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  $S$  (km<sup>2</sup>) 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<sub>0</sub>關係式を使い分けることとしている。
- 日本海東縁部に想定した基準波源モデルは  $M_w=8.1, 8.2$  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。

【地震調査研究推進本部 (2016) <sup>(54)</sup> 『レシピ』のS-M<sub>0</sub>關係式】

$$M_0 = (S / 2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7} \quad (M_w < 6.5) \quad \text{Somervill et al. (1999) の式}$$

$$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad (6.5 \leq M_w \leq 7.4) \quad \text{入倉・三宅 (2001) の式}$$

$$M_0 = S \times 10^{17} \quad (7.4 < M_w) \quad \text{Murotani et al. (2015) の式}$$

$M_0$  : 地震モーメント (N・m)     $S$  : 断層面積 (km<sup>2</sup>)

$M_w$  : モーメントマグニチュード

上記S-M<sub>0</sub>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  $S = 7.9 \times 10^3 \text{ km}^2, 13.6 \times 10^3 \text{ km}^2$
- 剛性率 :  $\mu = 3.5 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$  (土木学会 (2016)) <sup>(33)</sup>

【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)



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (17 / 36)

(参考) パラメータの設定 (8 / 12) : 最大すべり量の妥当性確認 (3 / 4)

: 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> の方法

- 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> では、国交省 (2014) <sup>(22)</sup> を参照して、日本海東縁部の地震規模 (地震モーメント  $M_0$  (N・m)) を断層面積  $S$  (m<sup>2</sup>) との経験的關係式より算出するとし、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検討例を示している。
- 日本海東縁部に想定した基準波源モデルは  $M_w=8.1, 8.2$  であり、地震規模 ( $7.7 \leq M_w$ ) 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、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) <sup>(33)</sup> の  $S$ - $M_0$  關係式】

$$M_0 = (S/2.23 \times 10^9)^{3/2} \times 10^{-7} \quad (M_w < 6.5) \quad \text{Somervill et al.(1999)の式}$$

$$M_0 = (S/4.24 \times 10^5)^2 \times 10^{-7} \quad (6.5 \leq M_w < 7.7) \quad \text{入倉・三宅(2001)の式}$$

$$M_0 = 1.575 \times S \times 10^{11} \quad (7.7 \leq M_w^*) \quad \text{日本海東縁部の既往地震の平均すべり量4.5mで頭打ちとなる關係式(剛性率 } \mu : 3.5 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{))}$$

$M_0$  : 地震モーメント (N・m)     $S$  : 断層面積 (m<sup>2</sup>)

$M_w$  : 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  $S$ - $M_0$  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 :  $D = M_0 / \mu S$
- 基準波源モデルの面積  $S = 7.9 \times 10^3 \text{ km}^2, 13.6 \times 10^3 \text{ km}^2$
- 剛性率 :  $\mu = 3.5 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$  (土木学会 (2016) ) <sup>(33)</sup>

【アスペリティのすべり量】

$$D_a = 9.0 \text{ m (平均すべり量の2倍)}$$

# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（18／36）



（参考）パラメータの設定（9／12）：最大すべり量の妥当性確認（4／4）  
：すべり量の比較

基準波源モデルの最大すべり量は、他の地震規模に係るスケーリング則を用いて設定される最大すべり量を上回っており、妥当であることが確認された。

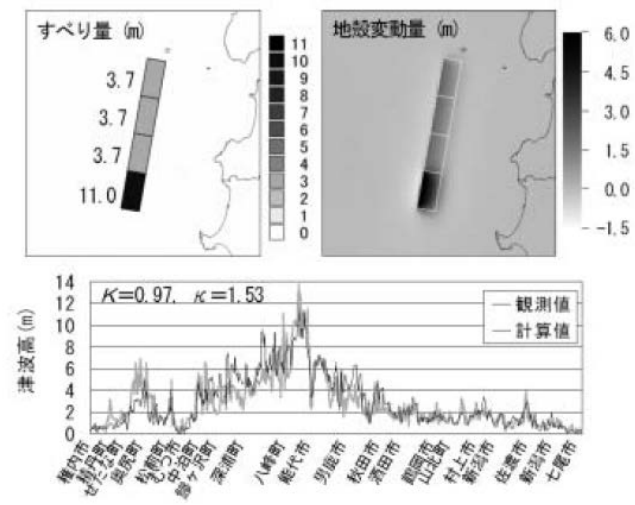
基準波源モデルの最大すべり量の妥当性確認結果

	基準波源モデルの 最大すべり量	他の地震規模に係るスケーリング則を用いて設定される 最大すべり量	
		地震調査研究推進本部 (2016) <sup>(54)</sup>	土木学会 (2016) <sup>(33)</sup>
アスペリティのすべり量	12.0m	5.72m	9.0m

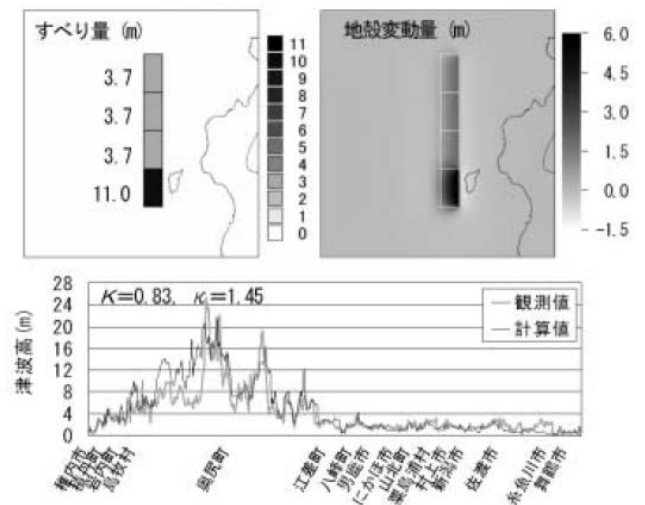


# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (19/36)

## パラメータの設定 (10/12) : すべりの不均質性の設定



アスペリティモデルの断層モデルと計算津波高  
【1983年日本海中部地震】



アスペリティモデルの断層モデルと計算津波高  
【1993年北海道南西沖地震】

日本海東縁部の代表的な既往地震を再現するアスペリティモデル 根本ほか (2009) (44)

• アスペリティモデルは、アスペリティ位置の推定が困難な地震空白域等に適用する場合に、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て、アスペリティ (平均すべり量の2倍のすべり量) 位置を変化させた4ケースの計算を行えば、4ケースの計算による最大値が観測値 (既往津波高) をほぼ包含することができる。  
根本ほか (2009) (44) による

- 2011年東北地方太平洋沖地震では、すべりの不均質性が明らかになったことを踏まえ、すべりの不均質性を考慮する。
- 日本海東縁部の地震に関するすべりの不均質性に係る知見として根本ほか (2009) (44) に基づき、以下のとおり設定する。
  - ✓ 根本ほか (2009) (44) のセグメント長さを考慮し、8つのセグメントに分割して、アスペリティ領域と背景領域の面積比を1 : 3とする。
  - ✓ アスペリティ領域のすべり量は平均すべり量の2倍とする。
  - ✓ 背景領域のすべり量は平均すべり量の2/3倍とする。

# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (20/36)

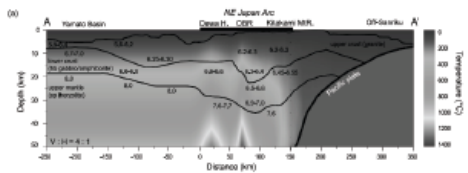


コメントNo.S5-37

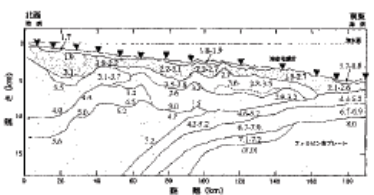
## パラメータの設定 (11/12) : 剛性率の設定



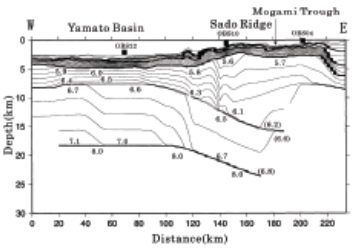
(a) 東北日本周辺 (吉井, 1977)



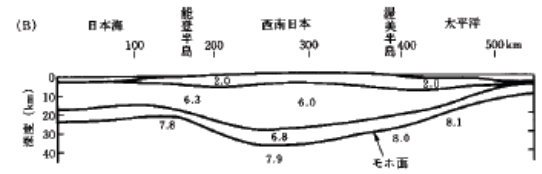
(b) 東北日本周辺 (武藤・大園, 2012) ©日本地質学会)



(c) 日向灘沖 (宮町・後藤, 1999)



(d) 秋田沖日本海東縁部 (西坂ほか, 2001)



(e) 西南日本周辺 (周藤・牛来, 1997)

P波速度構造に関する既往研究例 土木学会 (2016) (33)

- 土木学会 (2016) (33) では、地震波速度や密度に関する既往研究に基づき、海域毎に標準値が設定されている。
- 剛性率として、日本海東縁部における震源付近の媒質の剛性率の標準値とされている  $3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$  を採用した。

### Vp/Vs比に関する既往研究例

地域	上部地殻	下部地殻	上部マントル	文献・備考
近畿	1.67		1.78	Yoshiyama (1957)
西南日本	1.68		1.75~1.79	角田 (1968)
紀伊半島	1.716±0.021			渡辺・黒磯 (1967)
東北			1.77	宇津 (1969)
中国	1.70~1.71	1.73		Hashizume (1970)
東北	1.66	1.75	1.70~1.75 1.75~1.80	堀内ほか (1977) マントルの値は火山フロントの東西
近畿北部	1.70			黒磯・渡辺 (1977)
函館群発	(1.66)			高波ほか (1980) 表層の値
中部東海	1.68±0.02	1.75~1.81	1.77	Ukawa and Fukao (1981) 真の $V_p, V_s$ から求めた値
四国	(1.58~1.65) 1.731	1.75	1.73	岡野・木村 (1983) ( )内は表層の値
飛騨周辺 長野県 北関東 甲府周辺 富士箱根 甲府周辺	1.67±0.01 1.69±0.01 1.71±0.01 1.69±0.01 1.69~1.78 1.66~1.71			橋田・鶴川 (1995)
日航付近 長野県西部 兵庫県南部	1.682±0.016 1.700±0.053 1.680±0.023	1.686※ 1.686※ 1.76※	1.90	大東・伊藤 (1995) ※は真の $V_p, V_s$ から求めた値

土木学会 (2016) (33)

### 震源付近の媒質の剛性率の標準値

海域	根拠	剛性率
<ul style="list-style-type: none"> <li>西南日本陸側プレート内</li> <li>日本海東縁部</li> <li>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)</li> </ul>	$V_p=6.0 \text{ km/s}$ $V_p/V_s=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 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"> <li>海洋プレート内</li> <li>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)</li> </ul>	$V_p=8.0\sim 8.1 \text{ km/s}$ $V_p/V_s=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5 \text{ g/cm}^3$ 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"> <li>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)</li> </ul>	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) (33) に一部加筆

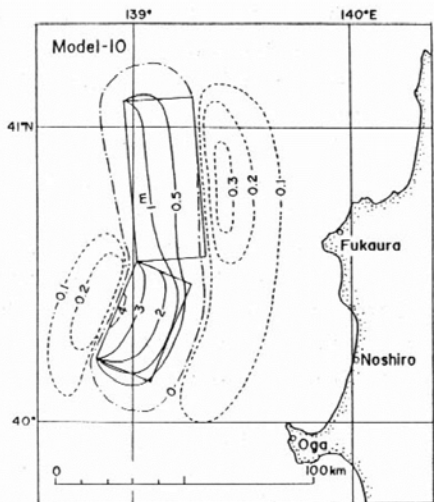


# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (21 / 36)

## パラメータの設定 (12 / 12) : ライズタイムの設定

- 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> には1983年日本海中部地震津波及び1993年北海道南西沖津波の痕跡高を説明できる断層モデルとして、それぞれ、相田 (1984) <sup>(46)</sup> のモデル、高橋ほか (1995) <sup>(47)</sup> のモデルが示されている。これらのモデルでは、断層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 (0秒) と推定される。
- 首藤 (1996) <sup>(55)</sup> は、1993年北海道南西沖地震津波に関し、検潮記録と解析波形の比較を行っており、波源域近傍の江差地点の解析波形は、計算開始 (0秒) から地殻変動を考慮し、海面に水位変動が与えられていることから、ライズタイムは考慮していない (0秒) と推定される。
- 以上を踏まえライズタイムは0秒とした。

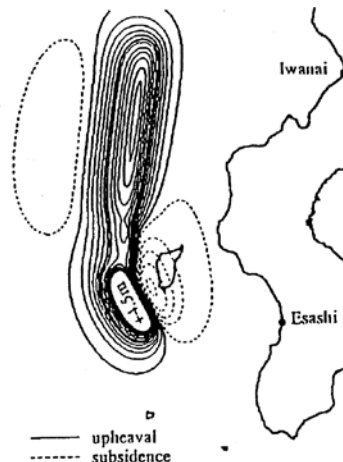
また波源としては断層モデルを仮定し、そのパラメータから MANSINHA and SMYLIE (1971) の方法によって海底の鉛直変位を計算し、それを水位の初期条件として与えた。



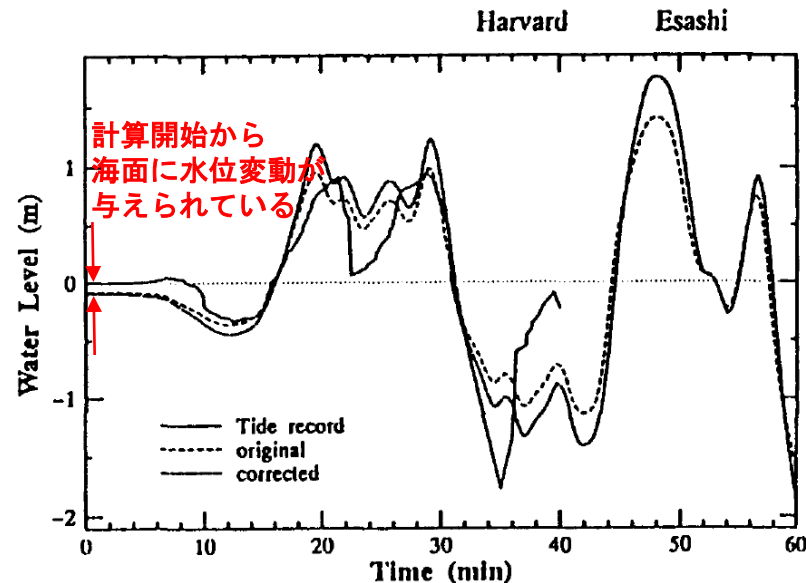
1983年日本海中部地震津波  
断層モデル  
相田 (1984) <sup>(46)</sup> に加筆

図 1に DCRC-26 モデルによる地盤変位を示す。奥尻島は沈降領域に入っており、表 2に示した沈降量も GPS による実測結果 <sup>3)</sup> 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、沖側境界としては自由透過、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。



1993年北海道南西沖地震津波  
断層モデル  
高橋ほか (1995) <sup>(47)</sup> に加筆



Tide record: 検潮記録  
original: 解析波形

1993年北海道南西沖地震津波  
江差地点の検潮記録と解析波形の比較  
首藤 (1996) <sup>(55)</sup> に加筆



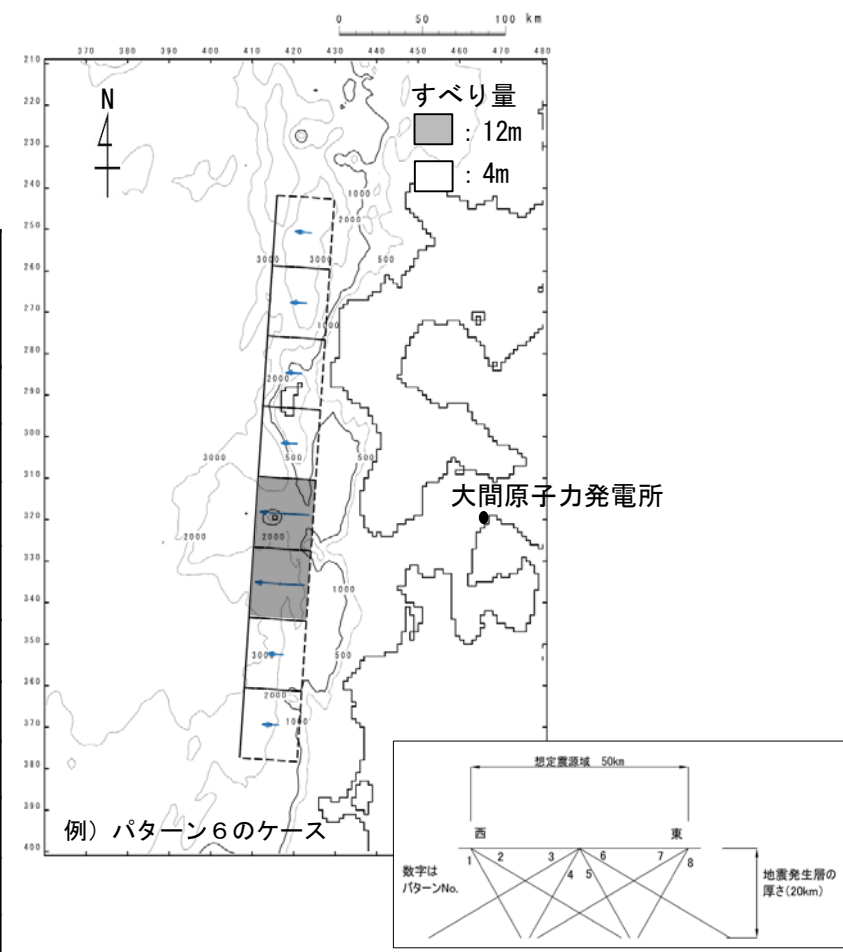
# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (22/36)

## 基準波源モデルの設定 (まとめ)

- 想定波源域は、安全評価上、青森県西方沖から北海道南西沖が連動するものとして、L=340kmの領域とした。
- すべりの不均質性を考慮し、アスペリティ領域と背景領域を設定した。

基準波源モデルのパラメータ

項目	諸元		主な設定根拠
	高角断層 (傾斜角60°)	低角断層 (傾斜角30°)	
モーメントマグニチュード Mw	8.1	8.2	$Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$
長さ L (km)	340		青森県西方沖から北海道南西沖
幅 W (km)	23.1	40.0	地震発生層厚さ, 傾斜角
すべり量 D (m)	12.0 (アスペリティ領域: 全面積の25%) 4.0 (背景領域: 全面積の75%)		既往地震の知見, 根本ほか (2009) (44) 等
剛性率 $\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	$3.5 \times 10^{10}$		土木学会 (2016) (33)
地震モーメント Mo (N・m)	$1.65 \times 10^{21}$	$2.86 \times 10^{21}$	$Mo = \mu L W D$
走向 $\theta$ (°)	東傾斜: 3.8, 西傾斜: 183.8		海底地形の等水深線の走向
上縁深さ d (km)	1		根本ほか (2009) (44) 等
傾斜角 $\delta$ (°)	60	30	土木学会 (2016) (33)
すべり角 $\lambda$ (°)	90		土木学会 (2016) (33)
ライズタイム $\tau$ (s)	0		1993年北海道南西沖地震津波の痕跡高の再現性が高いモデル等



基準波源モデル

東西位置, 傾斜角パターン  
土木学会 (2016) (33)



コメントNo.S5-37

# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (23 / 36)

## パラメータスタディ

- 概略パラメータスタディのステップ1として、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向、並びにアスペリティ位置を組合せた検討を実施した。
- 概略パラメータスタディのステップ2として、ステップ1における最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを対象に、アスペリティをさらに細かく移動させた検討を実施した。
- 概略パラメータスタディにおける最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを対象に、走向、アスペリティ数及び位置、並びに上縁深さを変化させる検討をそれぞれ実施した。

### 概略パラメータスタディ (ステップ1)

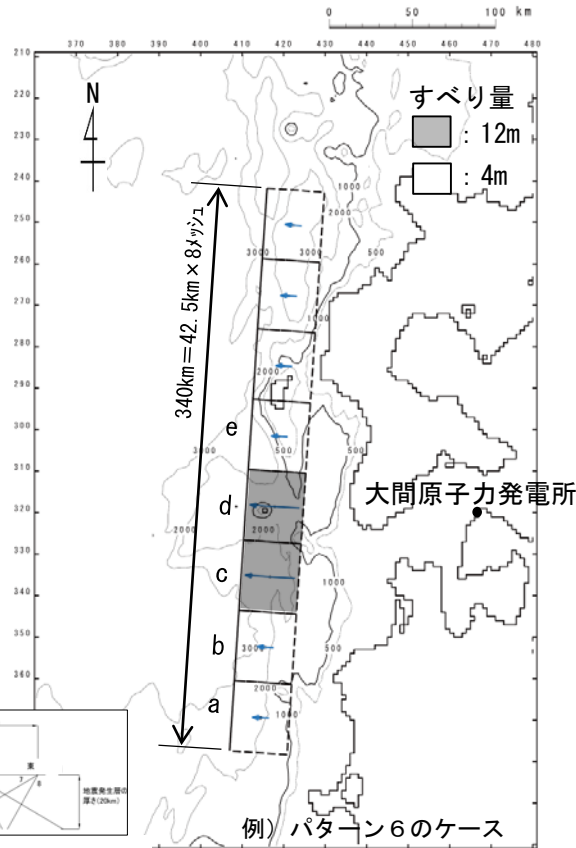
項目	変動範囲	ケース数	
東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向	東西幅50kmの中で8ケース	8	計 32
アスペリティ位置	ab, bc, cd, deの4ケース (約40km <sup>2</sup> ヲチで移動)	4	

### 概略パラメータスタディ (ステップ2)

項目	変動範囲	ケース数	
アスペリティ位置	cd(ステップ1), cdを北方及び南方へ約10km~30km (約10km <sup>2</sup> ヲチ) 移動	7	計 14

### 詳細パラメータスタディ

項目	変動範囲	ケース数	
走向	断層を南北に2分割し、分割した断層が独立し連動する 基準 (概略パラスタケース), 基準±10°	3	計 36
アスペリティ数及び位置	概略パラスタケース, アスペリティを南北に2分割し、片方を固定しもう片方を移動 (北方及び南方へ約10km~40km (約10km <sup>2</sup> ヲチ))	9	
上縁深さ	0 km, 1 km (基準: 概略パラスタケース), 2 km, 3 km, 4 km, 5 km	6	



東西位置、傾斜角パターン  
土木学会 (2016) (33)

基準波源モデル



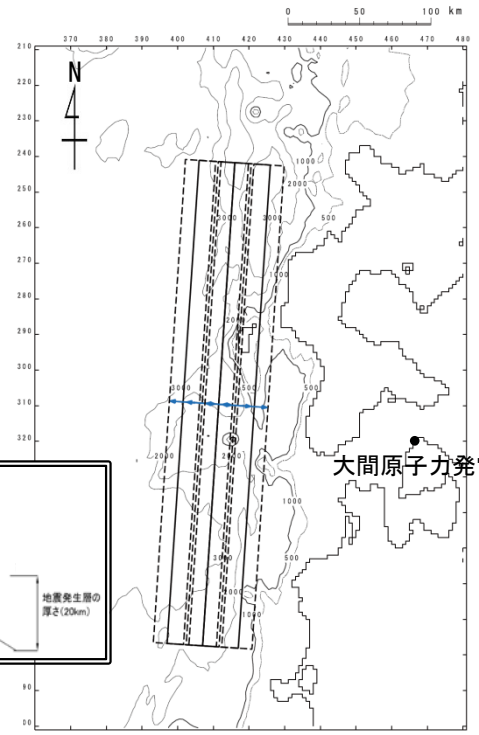
コメントNo.S5-37

# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (24 / 36)

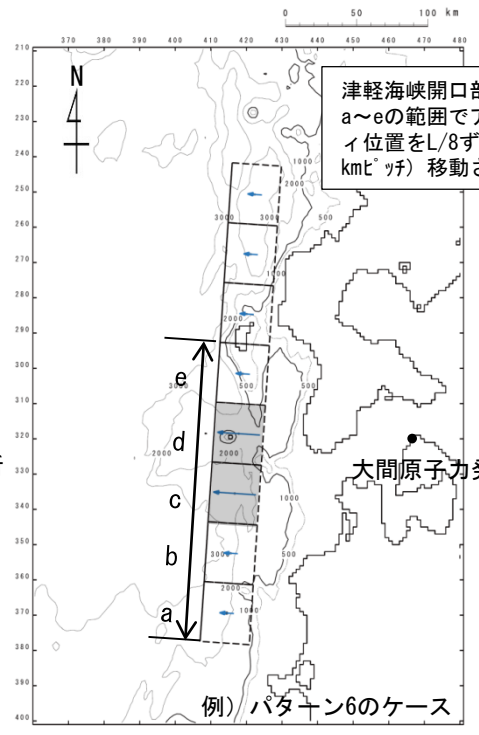
## 概略パラメータスタディ (1 / 4)

: 東西方向位置・傾斜角・傾斜方向, アスペリティ位置変化ケース

すべり量  
■ : 12m  
□ : 4m

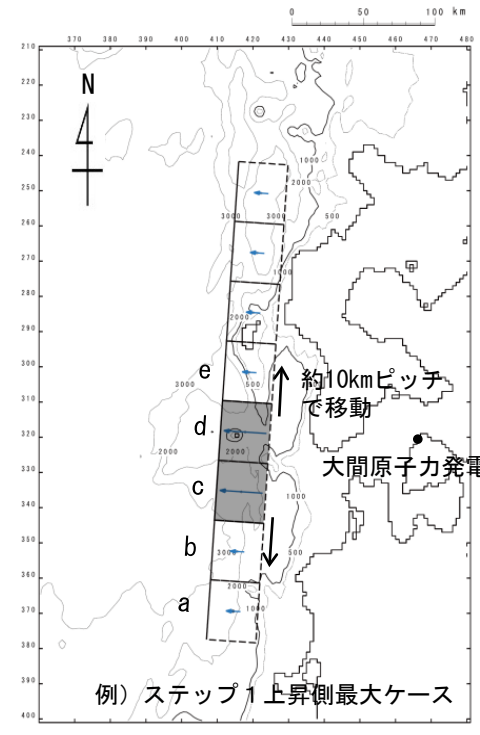


東西方向位置・傾斜角・傾斜方向変化ケース



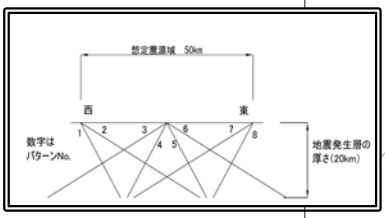
アスペリティ位置変化ケース (例)

(ステップ1)



アスペリティ位置変化ケース (例)

(ステップ2)



東西位置、傾斜角パターン  
土木学会 (2016) (33)

- ・概略パラメータスタディ (ステップ1) として、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向並びにアスペリティ位置を組合せた検討を実施した。
- ・概略パラメータスタディ (ステップ2) として、ステップ1における最大水位変動ケースの波源モデルを対象に、最大となったアスペリティ位置cdを北方及び南方へ約10km (隣接セグメントをさらに4分割した距離) ピッチで移動させた場合の検討を実施した。



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（25／36）

## 概略パラメータスタディ（2／4）：検討結果

概略パラメータスタディの結果は以下のとおりである。

概略パラメータスタディ（ステップ1）結果一覧

アスペリティ位置	東西位置、傾斜パターン	傾斜角	最大水位上昇量	最大水位下降量
de	1	60°	3.31m	-3.14m
	2	30°	4.07m	-3.62m
	3		4.02m	-3.66m
	4	60°	3.57m	-3.20m
	5		3.15m	-2.99m
	6	30°	3.78m	-3.52m
	7		3.98m	-3.60m
	8	60°	3.59m	-3.34m
cd	1	60°	3.71m	-3.36m
	2	30°	4.63m	-3.68m
	3		4.42m	-3.72m
	4	60°	3.54m	-3.46m
	5		4.00m	-3.53m
	6	30°	5.43m	-3.72m
	7		5.28m	-3.76m
	8	60°	4.32m	-3.59m
bc	1	60°	3.18m	-2.52m
	2	30°	3.93m	-3.33m
	3		3.84m	-3.50m
	4	60°	2.78m	-2.56m
	5		3.21m	-2.77m
	6	30°	3.88m	-3.44m
	7		3.86m	-3.62m
	8	60°	2.89m	-2.85m
ab	1	60°	1.99m	-1.85m
	2	30°	2.46m	-2.30m
	3		2.65m	-2.71m
	4	60°	1.80m	-1.79m
	5		1.78m	-1.69m
	6	30°	2.17m	-1.92m
	7		2.18m	-2.37m
	8	60°	1.76m	-1.86m

概略パラメータスタディ（ステップ2）結果一覧

概略パラスタ（ステップ1）	東西位置、傾斜パターン	傾斜角	アスペリティ位置	最大水位上昇量	最大水位下降量
上昇側	6	30°	北方へ30km	4.58m	-3.61m
			北方へ20km	5.21m	-3.70m
			北方へ10km	5.59m	-3.72m
			cd	5.43m	-3.72m
			南方へ10km	5.19m	-3.71m
			南方へ20km	4.73m	-3.68m
			南方へ30km	4.08m	-3.64m
			南方へ30km	4.08m	-3.64m
下降側	7	30°	北方へ30km	4.67m	-3.69m
			北方へ20km	5.32m	-3.72m
			北方へ10km	5.37m	-3.74m
			cd	5.28m	-3.76m
			南方へ10km	5.16m	-3.73m
			南方へ20km	4.73m	-3.71m
			南方へ30km	4.13m	-3.69m
			南方へ30km	4.13m	-3.69m

- : 概略パラスタ（ステップ1） 最大水位上昇／下降ケース
- : 概略パラスタ（ステップ2） 最大水位上昇ケース
- : 概略パラスタ（ステップ2） 最大水位下降ケース



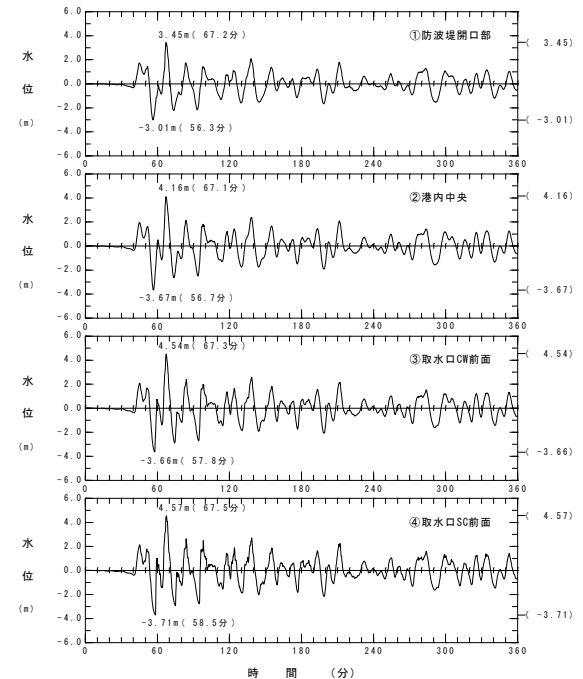
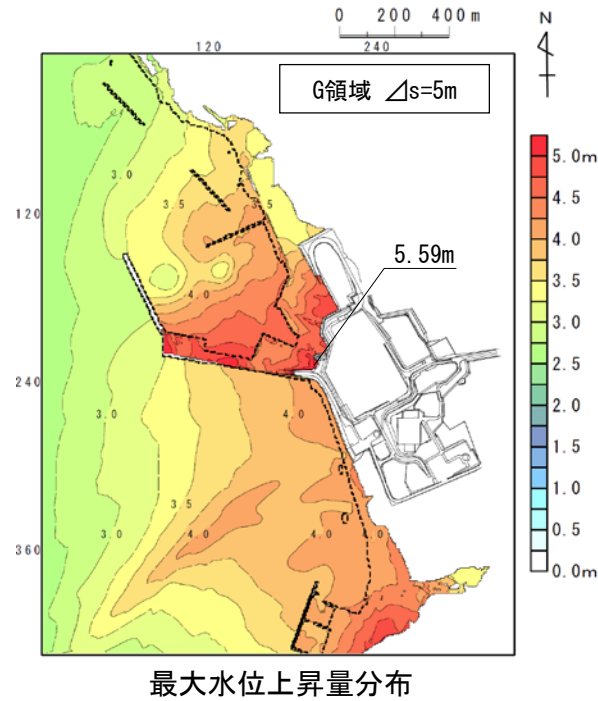
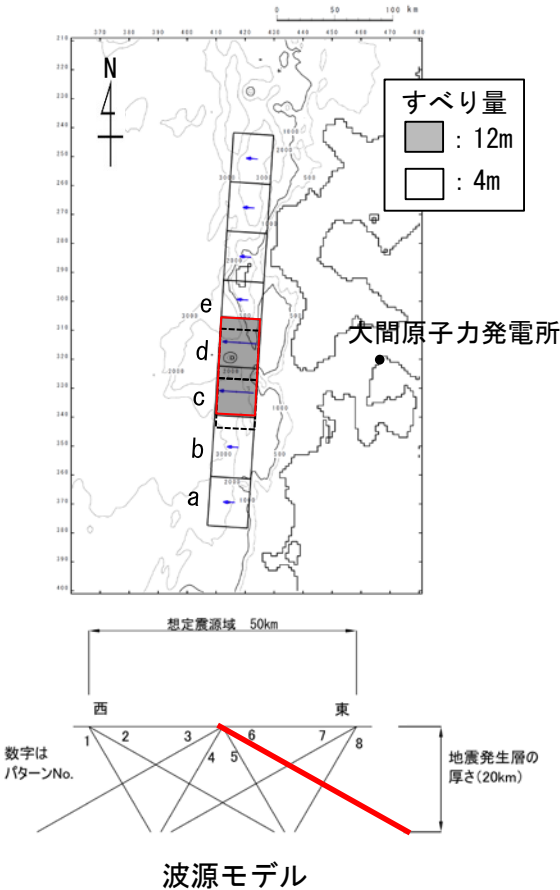
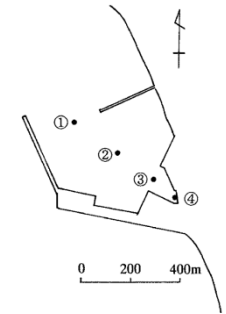


# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (26 / 36)

## 概略パラメータスタディ (3 / 4) : 最大水位上昇ケース検討結果

敷地における概略パラメータスタディの最大水位上昇ケース検討結果は以下のとおりである。

**最大水位上昇ケース**  
東西方向中央, 東傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置c+dを  
北方へ10km移動



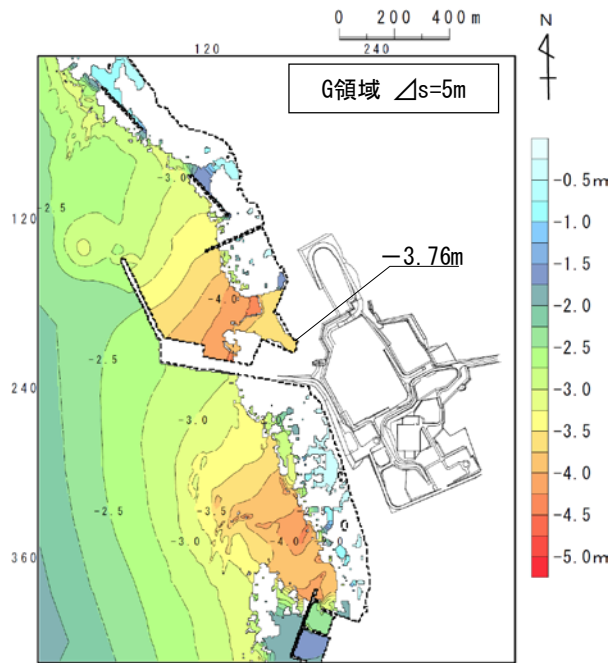
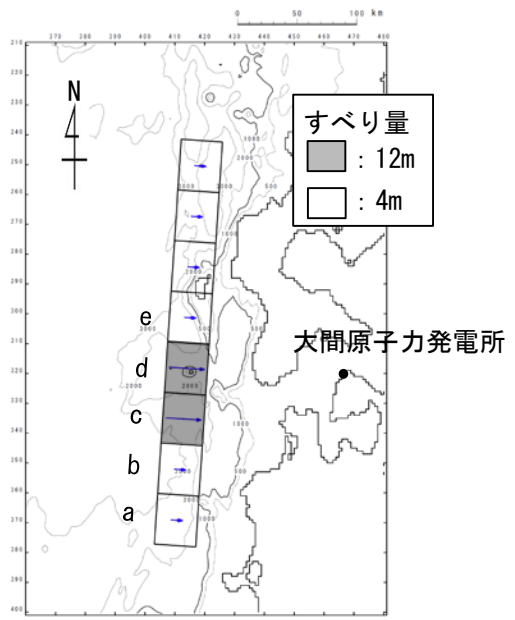
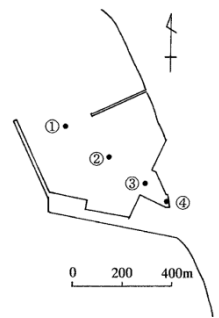


# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (27 / 36)

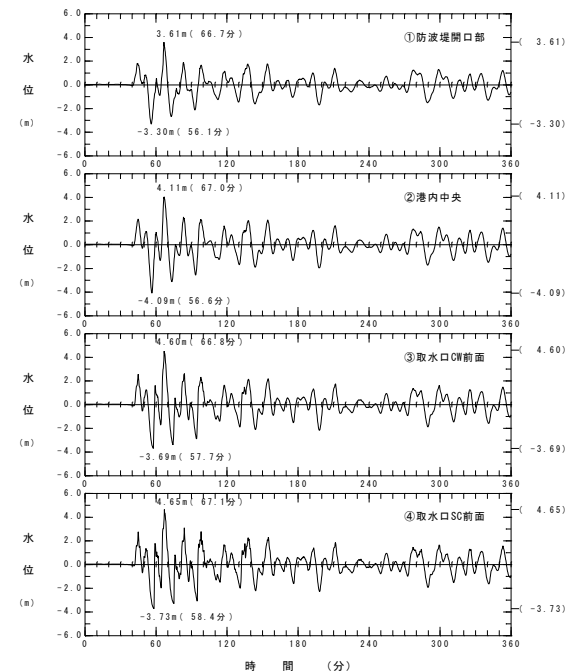
## 概略パラメータスタディ (4 / 4) : 最大水位下降ケース検討結果

取水口スクリーン室前面における概略パラメータスタディの最大水位下降ケース検討結果は以下のとおりである。

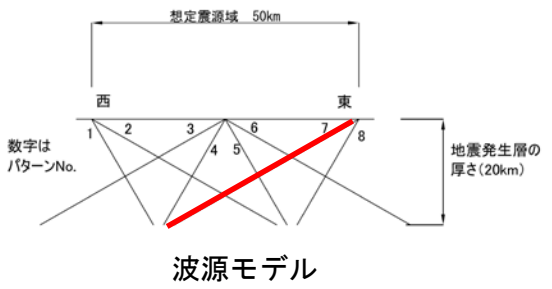
**最大水位下降ケース**  
東西方向東端, 西傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置c+d



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形



波源モデル



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (28/36)

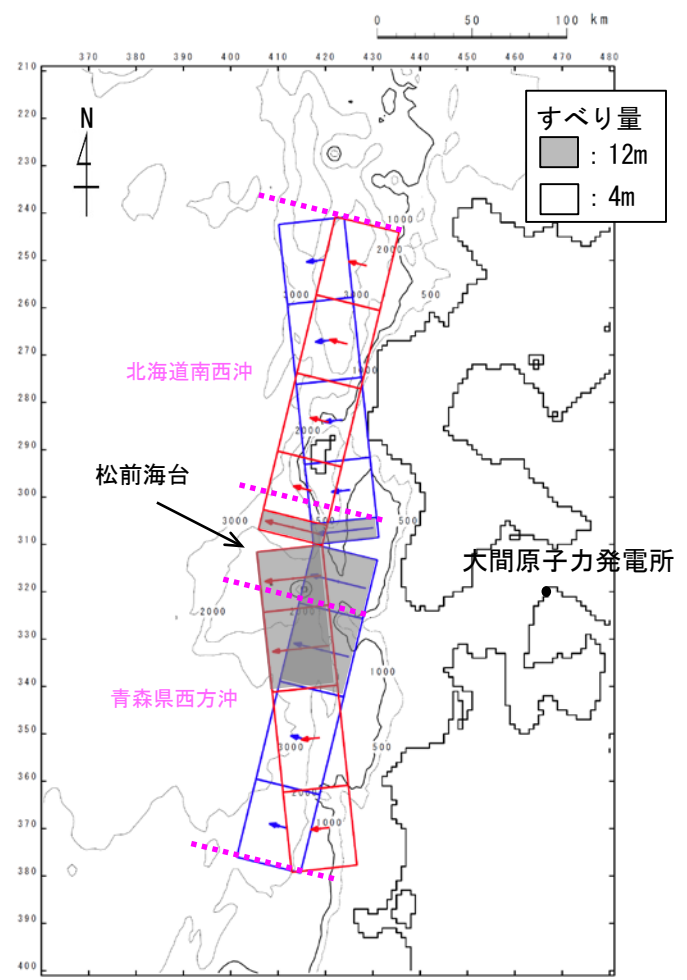
## 詳細パラメータスタディ (1/8) : 走向変化ケース

- 走向を変化させる検討を実施した。
- 走向の変動は、土木学会 (2002) (56) の既往の断層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。
- 断層長が340kmと超大であり、既往地震においても走向は必ずしも一定でないことを考慮して、既往地震の空白域である松前海台付近で南北に2分割 (L=170km $\times$ 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。

海域大区分	海域小区分		萩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 $(^\circ)$		すべり方向 $(^\circ)$		すべり角 $(^\circ)$		傾斜角 $(^\circ)$	
						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

(注)・日本海溝および千島海溝 (南部) 沿い海域では、ハーバード CMT による発震機構解 (1976年1月~2000年1月に発生した  $M_w 6.0$  以上、深さ 60km 以下の地震) を解析対象とした。  
 ・日本海東縁部では、発震機構解の節面の特定が困難であるため、津波の痕跡高を説明できる断層モデルのパラメータを用いてばらつきを評価した。  
 ・「すべり方向」は、スリップベクトルの水平投影が真北から時計回りになす角度である。  
 ・日本海東縁部のデータ数のうち括弧内の値は、走向に対して適用した 1 枚断層換算のモデル数である。  
 ・日本海東縁部 (南部) の新潟地震モデルには Noguera and Abe (1992) を採用している。天保山形沖地震 (1833) は沖合・沿岸近くの両モデルを採用している。  
 ・萩原マップは萩原尊禮編(1991)による。

土木学会 (2002) (56) に一部加筆



詳細パラメータスタディ  
走向変化ケース (例示)



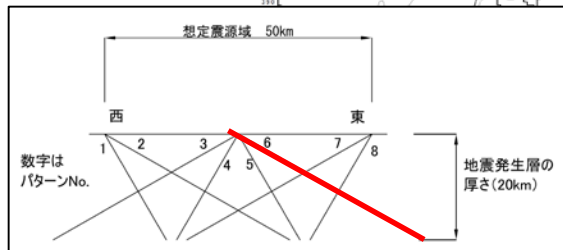
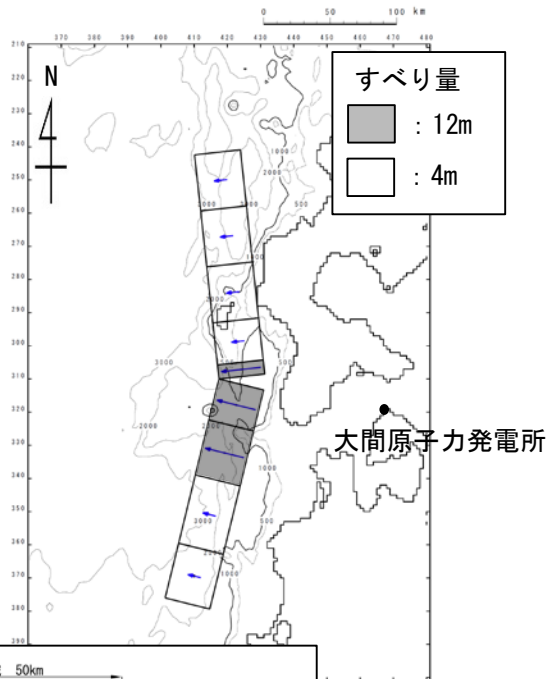
# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (29 / 36)

## 詳細パラメータスタディ (2 / 8) : 走向変化ケースの検討結果

詳細パラメータスタディの検討結果 (走向変化ケース) は以下のとおりである。

### 例示ケース

東西方向東端, 西傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置c+dを北方  
へ10km移動, 北 $-10^\circ$ , 南 $+10^\circ$



例示ケースの波源モデル

詳細パラメータスタディ結果一覧  
(走向変化ケース)

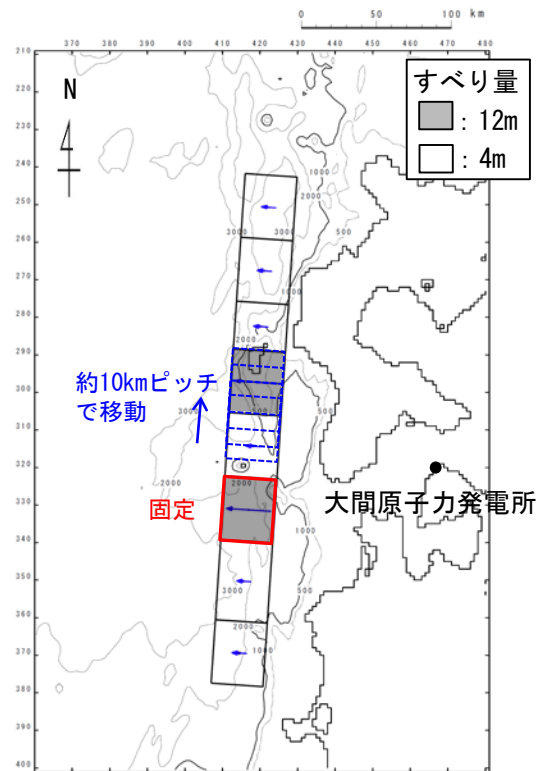
概略パラスタ	アスペリティ位置	東西位置, 傾斜パターン	傾斜角	走向	最大水位上昇量	最大水位下降量	備考
上昇側	cdを北方へ10km移動	6	30°	北+10° 南-10°	4.53m	-3.62m	
				北±0° 南±0°	5.59m	-3.72m	P. 81参照
				北-10° 南+10°	5.50m	-3.71m	例示ケース
下降側	cd	7	30°	北+10° 南-10°	4.52m	-3.70m	
				北±0° 南±0°	5.28m	-3.76m	P. 82参照
				北-10° 南+10°	5.29m	-3.72m	

# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（30／36）

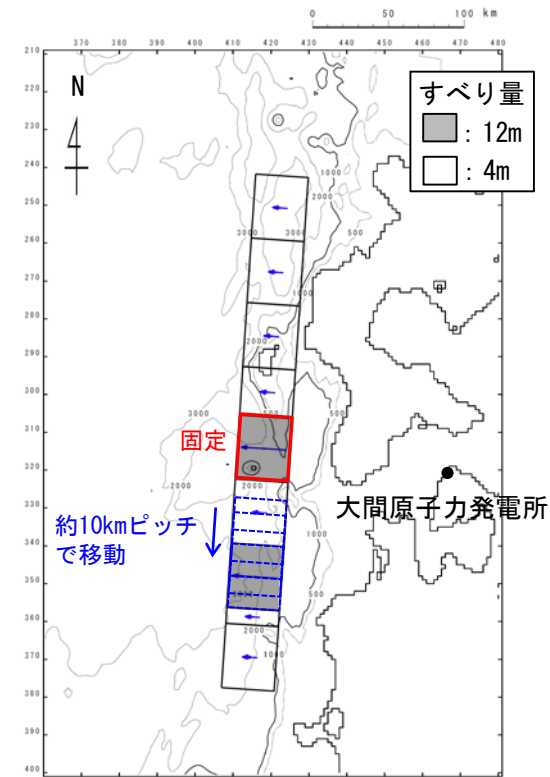


## 詳細パラメータスタディ（3／8）：アスペリティ数及び位置の変化ケース

- アスペリティの数及び位置に関する不確かさとして、アスペリティが2つのケースについて検討を実施した。
- アスペリティを南北に2分割し、片方のアスペリティ位置を固定して、もう片方を北方及び南方へ約10km～40km（約10kmピッチ）移動させた場合の検討を実施した。



詳細パラメータスタディ  
アスペリティ数及び位置の変化ケース  
(例:北側を北方へ移動)



詳細パラメータスタディ  
アスペリティ数及び位置の変化ケース  
(例:南側を南方へ移動)





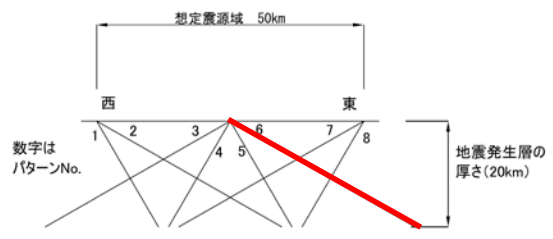
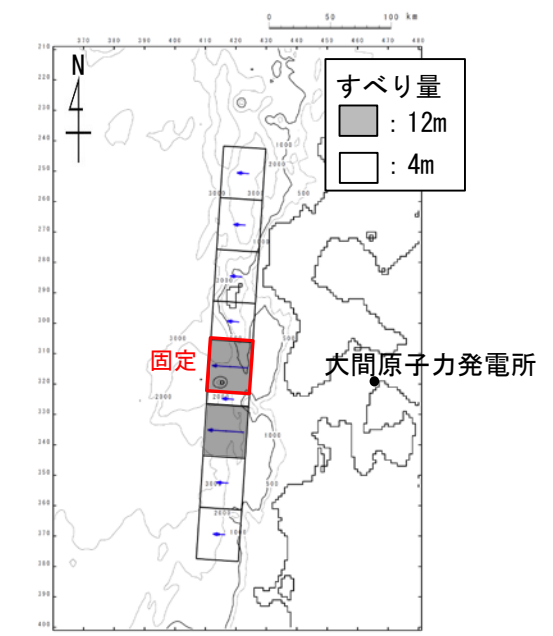
# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (31 / 36)

## 詳細パラメータスタディ (4 / 8) : アスペリティ数及び位置の変化ケース検討結果

詳細パラメータスタディの検討結果 (アスペリティ数及び位置の変化ケース) は以下のとおりである。

### 例示ケース

東西方向中央, 東傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置は基準 (c+dを  
北方へ10km移動) の南側を南方へ10km移動



例示ケースの波源モデル

詳細パラメータスタディ結果一覧  
(アスペリティ数及び位置の変化ケース)

概略パラスタ	東西位置, 傾斜パターン	傾斜角	アスペリティ位置		最大水位上昇量	最大水位下降量	備考	
			北側	南側				
上昇側	6	30°	北方へ40km	基準	3.83m	-3.00m		
			北方へ30km		3.94m	-3.03m		
			北方へ20km		4.46m	-3.30m		
			北方へ10km		5.12m	-3.66m		
				基準	南方へ10km	5.59m	-3.72m	P.81参照
			南方へ20km		5.28m	-3.70m	例示ケース	
			南方へ30km		5.03m	-3.69m		
			南方へ40km		4.73m	-3.67m		
下降側	7	30°	北方へ40km	基準	3.95m	-2.99m		
			北方へ30km		4.15m	-3.48m		
			北方へ20km		4.64m	-3.68m		
			北方へ10km		5.18m	-3.73m		
				基準	南方へ10km	5.28m	-3.76m	P.82参照
			南方へ20km		5.26m	-3.73m		
			南方へ30km		5.01m	-3.72m		
			南方へ40km		4.43m	-3.71m		
			南方へ40km	3.74m	-3.69m			



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (32/36)

## 詳細パラメータスタディ (5/8) : 上縁深さ変化ケース

- 基準波源モデルは、上縁深さとして1kmを考慮した。ここでは上縁深さを変化させる検討を実施した。
- 上縁深さは、土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> の再現性が確認されている断層モデルを参照し、0km~5km (1kmピッチ) を考慮した。

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 ( $\text{km}^2$ )	$L$ (km)	$W$ (km)	$D$ (m)	$d$ (km)	$\theta$ (度)	$\delta$ (度)	$\lambda$ (度)	データ 数	$K$	$\kappa$	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) <sup>(33)</sup> に一部加筆



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (33/36)

## 詳細パラメータスタディ (6/8) : 上縁深さ変化ケース検討結果

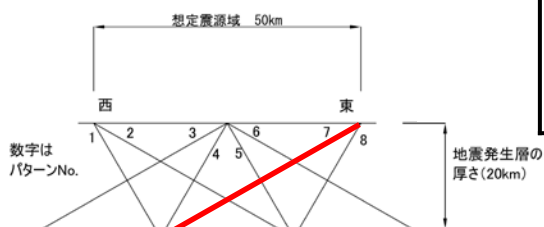
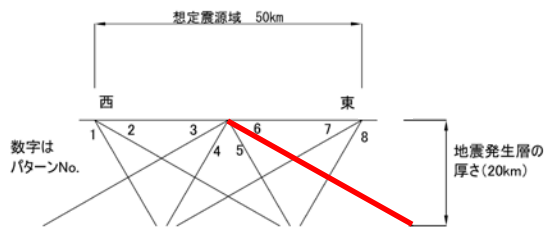
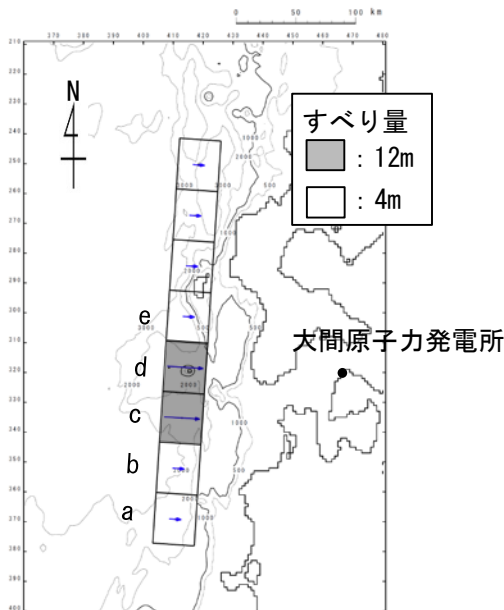
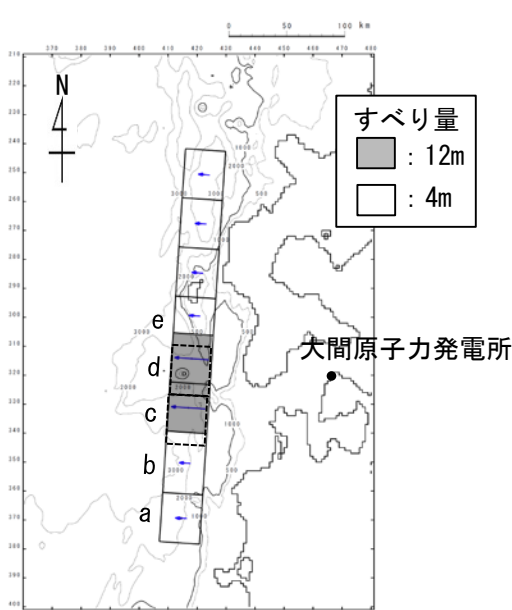
詳細パラメータスタディ結果 (上縁深さ変化ケース) は以下のとおりである。

### 最大水位上昇ケース

東西方向中央, 東傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置c+dを  
北方へ10km移動, 上縁深さ5 km

### 最大水位下降ケース

東西方向東端, 西傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置c+d  
上縁深さ4 km



最大ケースの波源モデル

詳細パラメータスタディ結果一覧  
(上縁深さ変化ケース)

概略 パラスタ	傾斜 パターン	傾斜角	上縁深さ	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	備考
上昇側	6	30°	0 km	5.32m	-3.71m	
			1 km	5.59m	-3.72m	P.81参照
			2 km	5.59m	-3.72m	
			3 km	5.69m	-3.73m	
			4 km	5.77m	-3.73m	
下降側	7	30°	5 km	5.85m	-3.73m	
			0 km	5.14m	-3.75m	
			1 km	5.28m	-3.76m	P.82参照
			2 km	5.48m	-3.78m	
			3 km	5.63m	-3.78m	
			4 km	5.74m	-3.78m <sup>※</sup>	
5 km	5.82m	-3.77m				

※小数第3位まで考慮すると、上縁深さ4 kmで最大。

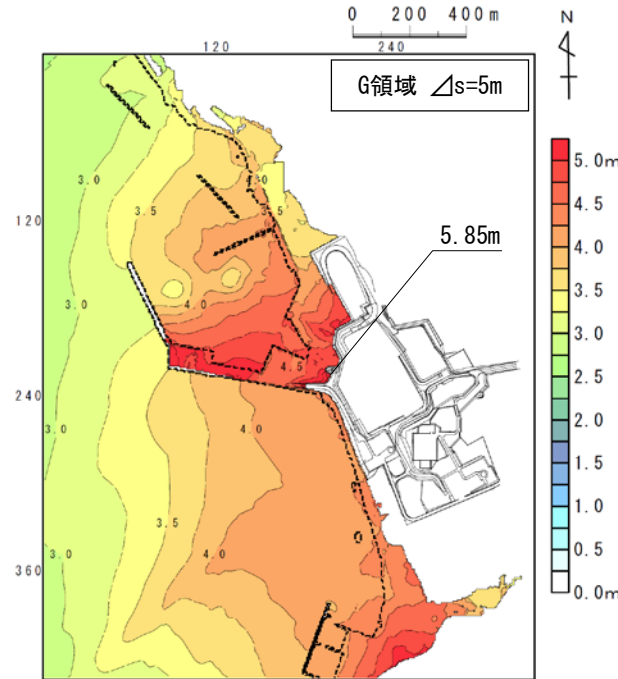
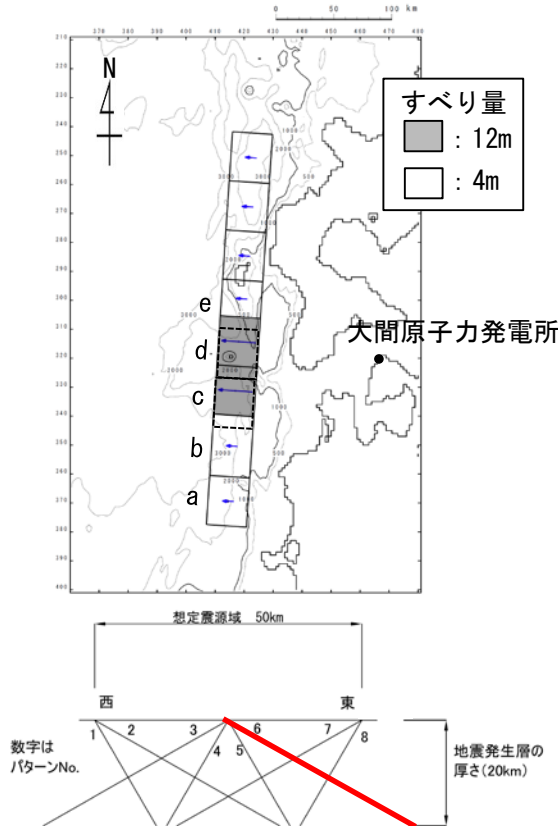
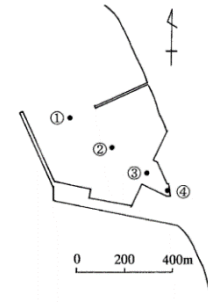


## 詳細パラメータスタディ (7 / 8) : 最大水位上昇ケース検討結果

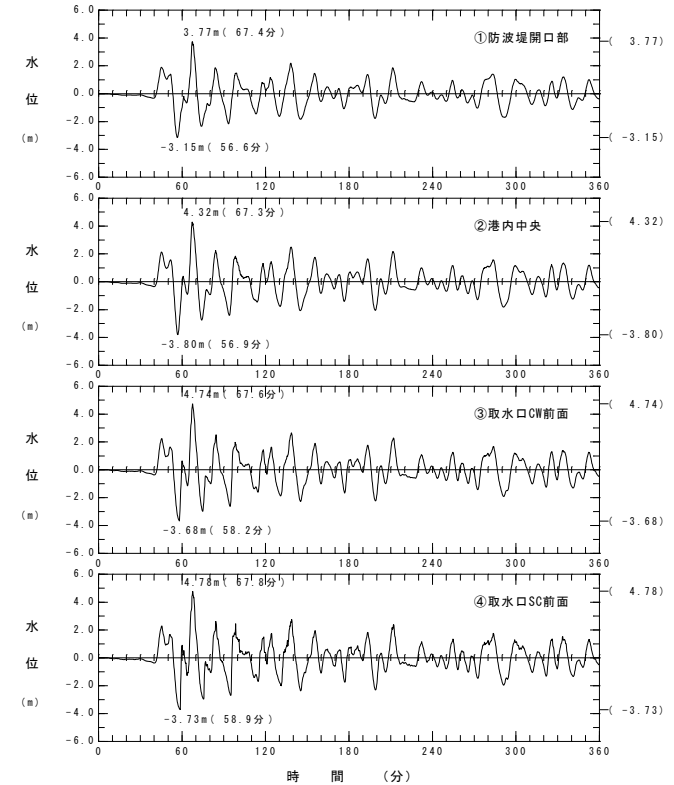
敷地における詳細パラメータスタディの最大水位上昇ケース検討結果は以下のとおりである。

### 最大水位上昇ケース

東西方向中央, 東傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置c+dを北方  
へ10km移動, 上縁深さ5km



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形

波源モデル



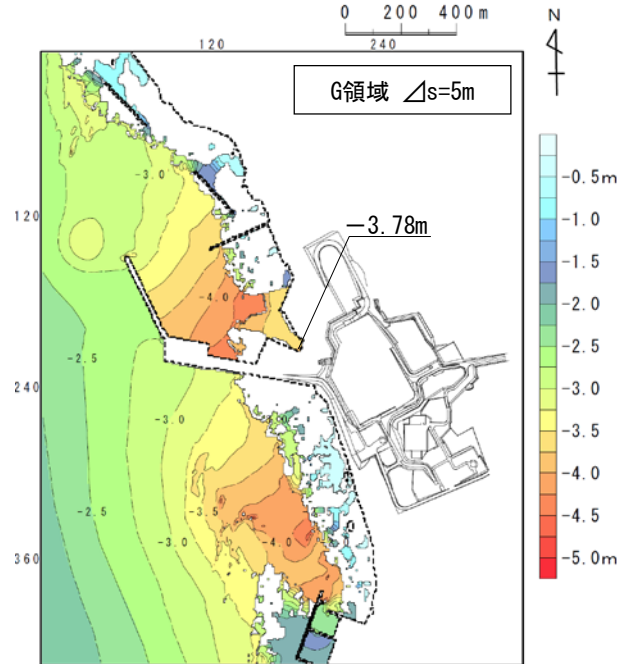
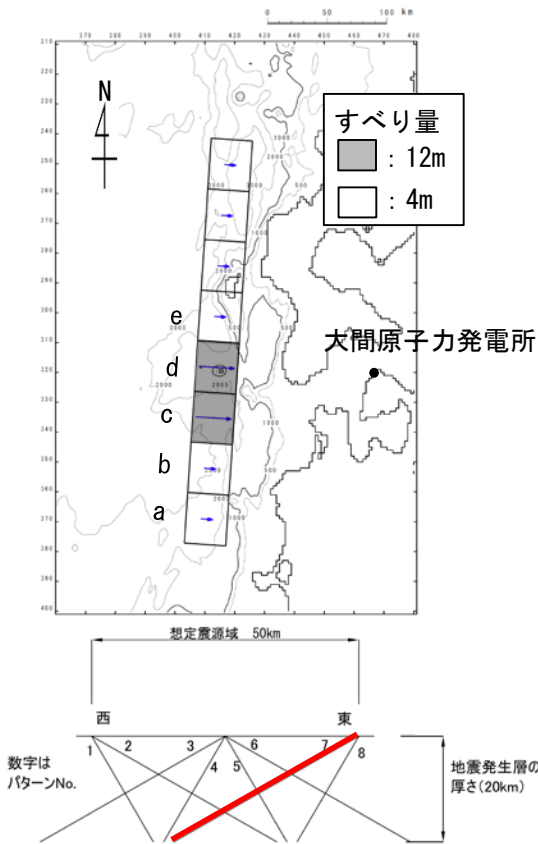
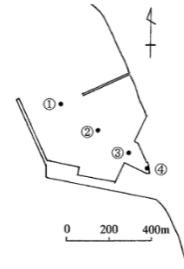
# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 (35 / 36)

## 詳細パラメータスタディ (8 / 8) : 最大水位下降ケース検討結果

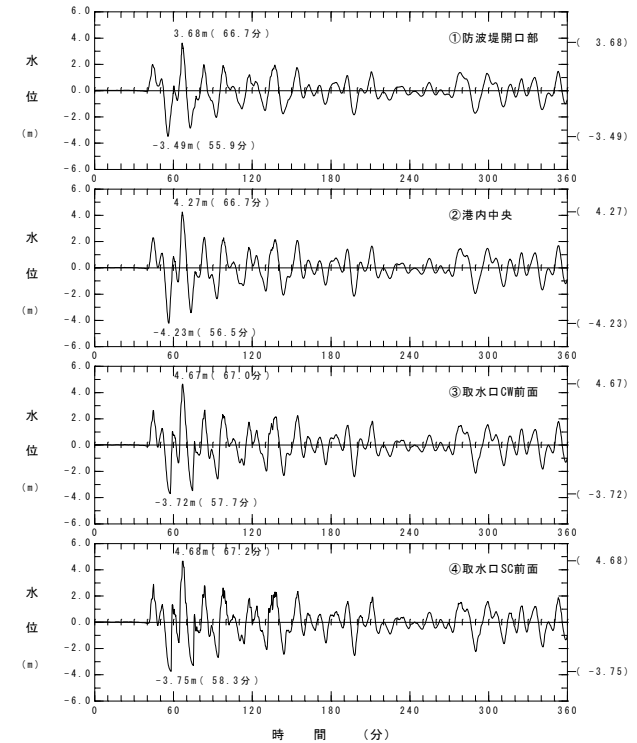
取水口スクリーン室前面における詳細パラメータスタディの最大水位下降ケース検討結果は以下のとおりである。

### 最大水位下降ケース

東西方向東端, 西傾斜 ( $\delta=30^\circ$ ) の  
W=40.0km, アスペリティ位置c+d  
上縁深さ4km



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形

波源モデル



# 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波（36／36）



## 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波検討結果

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討結果は下表のとおりである。

各パラメータスタディの最大ケース一覧表

	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面における 最大水位下降量
概略パラメータスタディ	5.59m	-3.76m
詳細パラメータスタディ (上縁深さ変化ケース)	5.85m	-3.78m

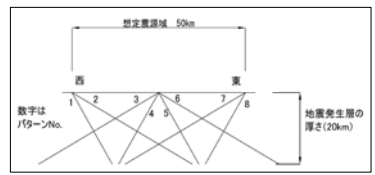
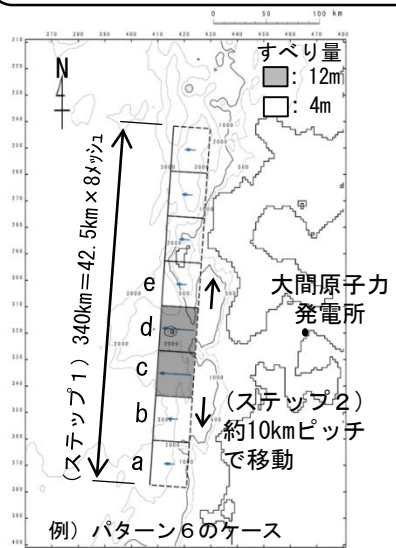
## 検討方針

第627回審査会合  
資料1-1 P.92再掲

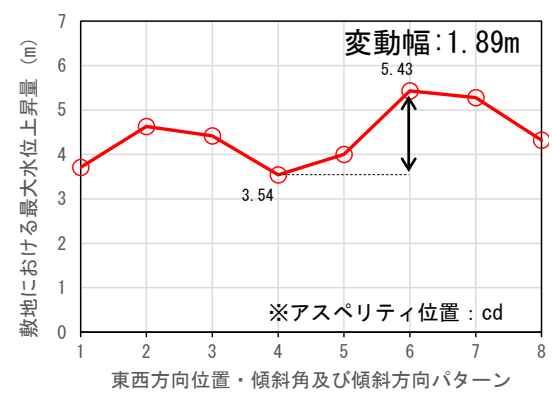
- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討で実施したパラメータスタディについて、敷地への影響が最も大きくなるケースを網羅的に検討していることを確認するため、概略パラメータスタディ評価因子及び詳細パラメータスタディ評価因子のそれぞれが津波水位に与える影響について分析する。
- 分析は、概略パラメータスタディが津波水位に対して支配的因子で行われていること、詳細パラメータスタディが津波水位に対して従属的因子で行われていることを確認することにより実施する。
- 更にその上で、津波水位に最も影響を与える因子の変動に対する津波伝播への影響についても比較検討を実施する。

### 概略パラメータスタディ評価因子の分析

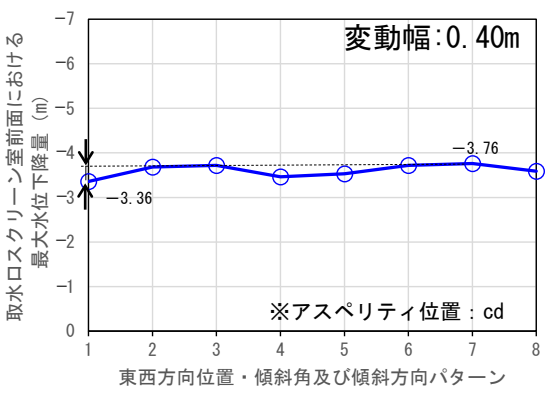
- 概略パラメータスタディ因子は、「東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向」、「アスペリティ位置」である。これらが津波水位に与える影響について分析した。
- 津波水位に与える影響は、最大水位変動量の変動幅によると上昇側、下降側共に、アスペリティ位置が大きい。
  - 東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向の変動幅（上昇側：1.89m，下降側：0.40m）
  - アスペリティの位置の変動幅（上昇側：3.42m，下降側1.39m）



東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向パターン  
土木学会 (2016) (33)

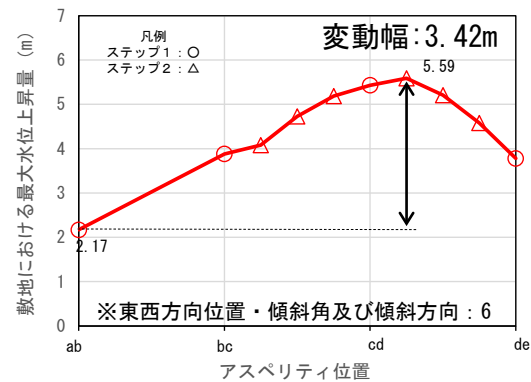


上昇側

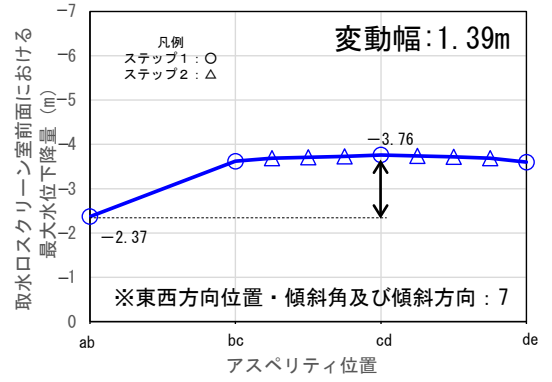


下降側

東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向の影響



上昇側



下降側

アスペリティ位置の影響

項目	変動範囲	ケース数	
東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向	東西幅50kmの中で8ケース	8	計 32
アスペリティ位置 (ステップ1)	ab, bc, cd, deの4ケース (約40km <sup>2</sup> ヲチで移動)	4	
アスペリティ位置 (ステップ2)	cd(ステップ1), cdを北方及び南方へ約10km~30km (約10 km <sup>2</sup> ヲチ) 移動	7	計 14

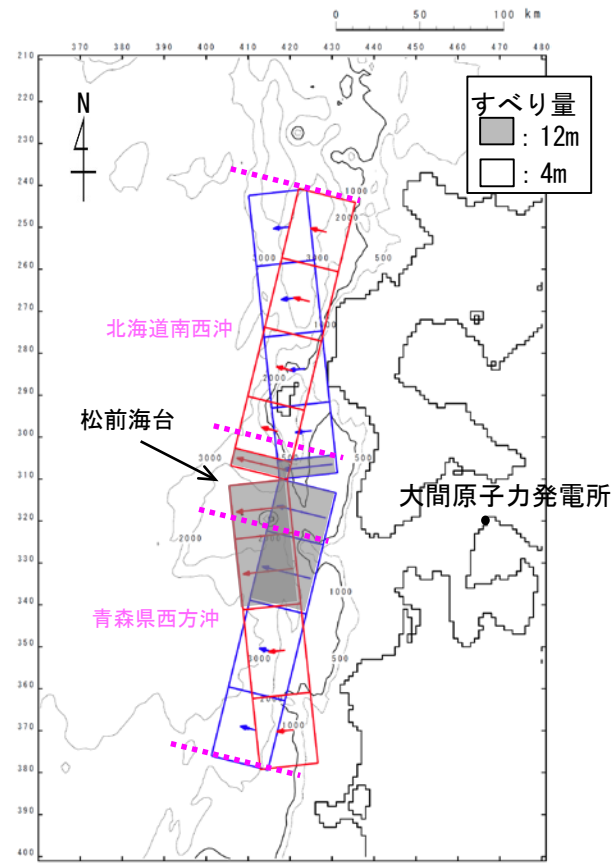
概略パラメータスタディ



第627回審査会合  
資料1-1 P.94再掲

詳細パラメータスタディ評価因子の分析 (1 / 3)

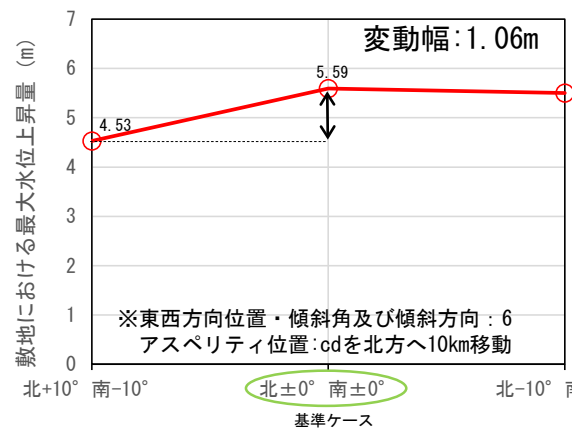
- 詳細パラメータスタディ因子 (走向) が津波水位に与える影響について分析した。
- 走向を変化させたケースは基準ケースに比べ敷地の最大水位変動量が小さくなる。また、その水位の変動幅 (上昇側 : 1.06m, 下降側 : 0.06m) は概略パラメータスタディの変動幅 (上昇側 : 3.42m, 下降側 : 1.39m) に比べて小さい。



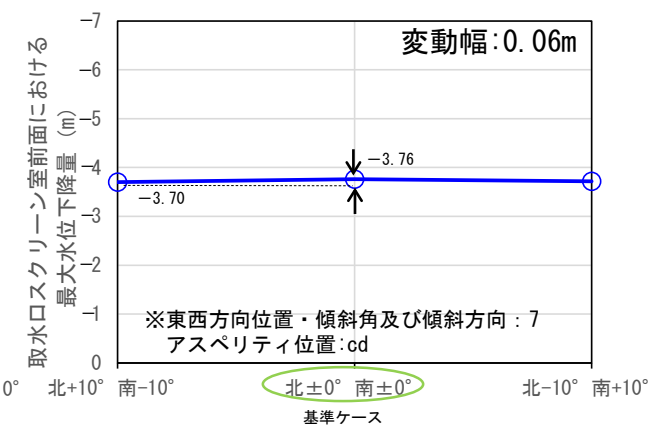
詳細パラメータスタディ  
走向変化ケース (例示)

詳細パラメータスタディ

項目	変動範囲	ケース数	計 36
走向	断層を南北に2分割し、分割した断層が独立し連動する 基準 (概略パラスタケース), 基準±10°	3	
アスペリティ数及び位置	概略パラスタケース, アスペリティを南北に2分割し、片方を固定してもう片方を移動 (北方及び南方へ約10km~40km (約10km <sup>2</sup> ヲツ))	9	
上縁深さ	0 km, 1 km (基準 : 概略パラスタケース), 2 km, 3 km, 4 km, 5 km	6	



基準ケース  
走向  
上昇側



基準ケース  
走向  
下降側

走向の影響



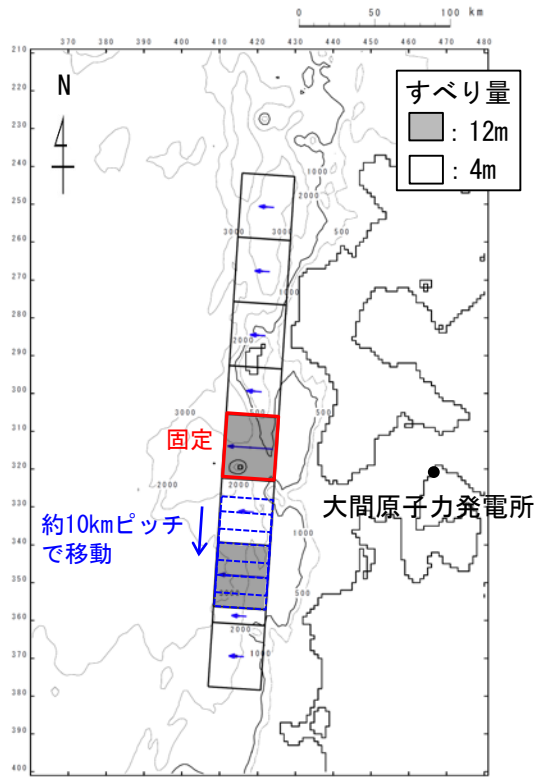
第627回審査会合  
資料1-1 P.95再掲

詳細パラメータスタディ評価因子の分析 (2 / 3)

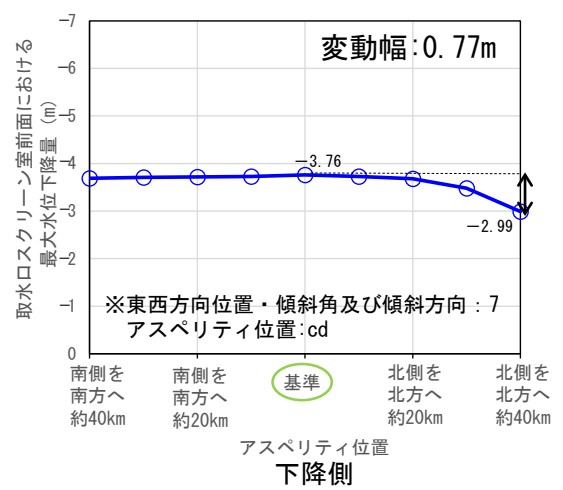
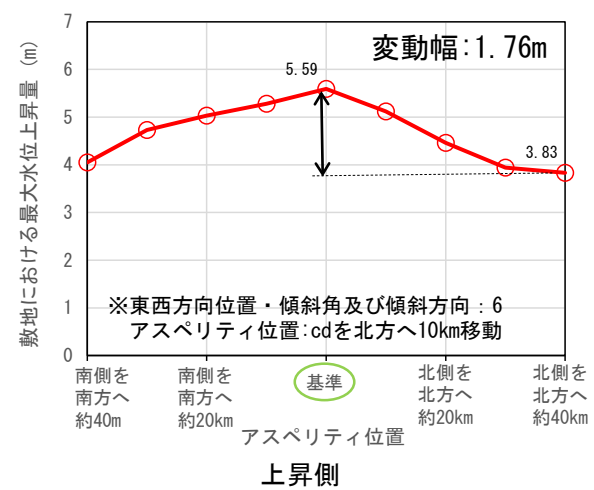
- 詳細パラメータスタディ因子（アスペリティ数及び位置）が津波水位に与える影響について分析した。
- アスペリティを2個としたケースは、アスペリティを1個に集中させた基準ケースに比べ敷地の水位変動量が小さくなる。また、その水位の変動幅（上昇側：1.76m，下降側：0.77m）は概略パラメータスタディの変動幅（上昇側：3.42m，下降側：1.39m）に比べて小さい。

詳細パラメータスタディ

項目	変動範囲	ケース数	
走向	断層を南北に2分割し、分割した断層が独立し連動する 基準（概略パラスタケース），基準±10°	3	計 36
アスペリティ数及び位置	概略パラスタケース，アスペリティを南北に2分割し、片方を固定してもう片方を移動（北方及び南方へ約10km～40km（約10kmピッチ））	9	
上縁深さ	0 km, 1 km（基準：概略パラスタケース），2 km, 3 km, 4 km, 5 km	6	



詳細パラメータスタディ  
アスペリティ数及び位置の変化ケース  
(例示: 南側を南方へ移動)



アスペリティ数と位置の影響





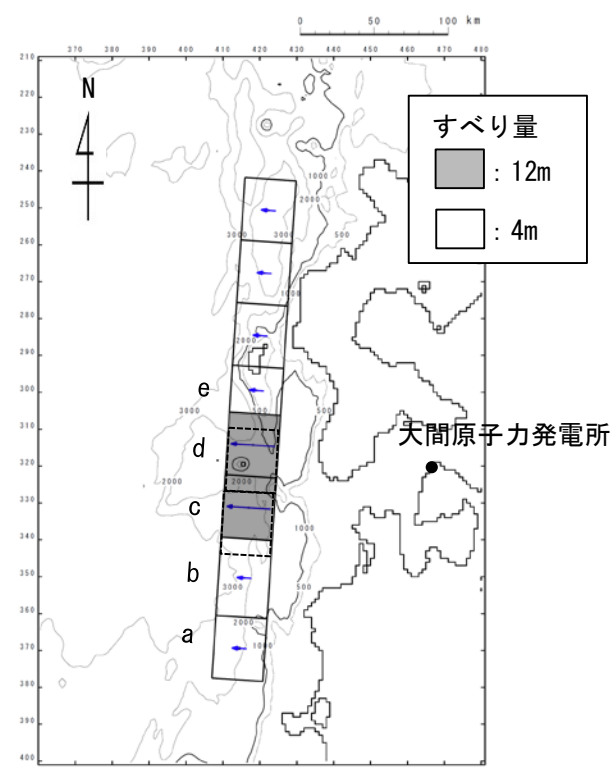
第627回審査会合  
資料1-1 P.96再掲

詳細パラメータスタディ評価因子の分析 (3 / 3)

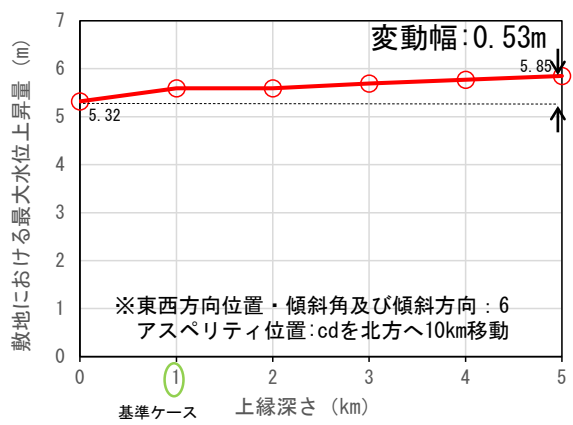
- 詳細パラメータスタディ因子 (上縁深さ) が津波水位に与える影響について分析した。
- 上縁深さを変化させたケースの水位の変動幅 (上昇側 : 0.53m, 下降側 : 0.03m) は他のパラメータスタディに比べて小さい。

詳細パラメータスタディ

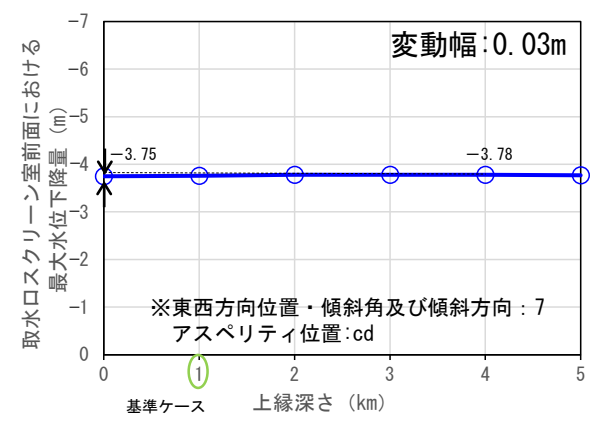
項目	変動範囲	ケース数
走向	断層を南北に2分割し、分割した断層が独立し運動する 基準 (概略パラスタケース), 基準±10°	3
アスペリティ数及び位置	概略パラスタケース, アスペリティを南北に2分割し、片方を固定してもう片方を移動 (北方及び南方へ約10km~40km (約10km <sup>2</sup> ツチ))	9
上縁深さ	0 km, 1 km (基準: 概略パラスタケース), 2 km, 3 km, 4 km, 5 km	6
		計 36



詳細パラメータスタディ  
上縁深さ変化ケース (例示)



上昇側



下降側

上縁深さの影響



パラメータスタディ評価因子の分析：まとめ

第627回審査会合  
資料1-1 P.97再掲

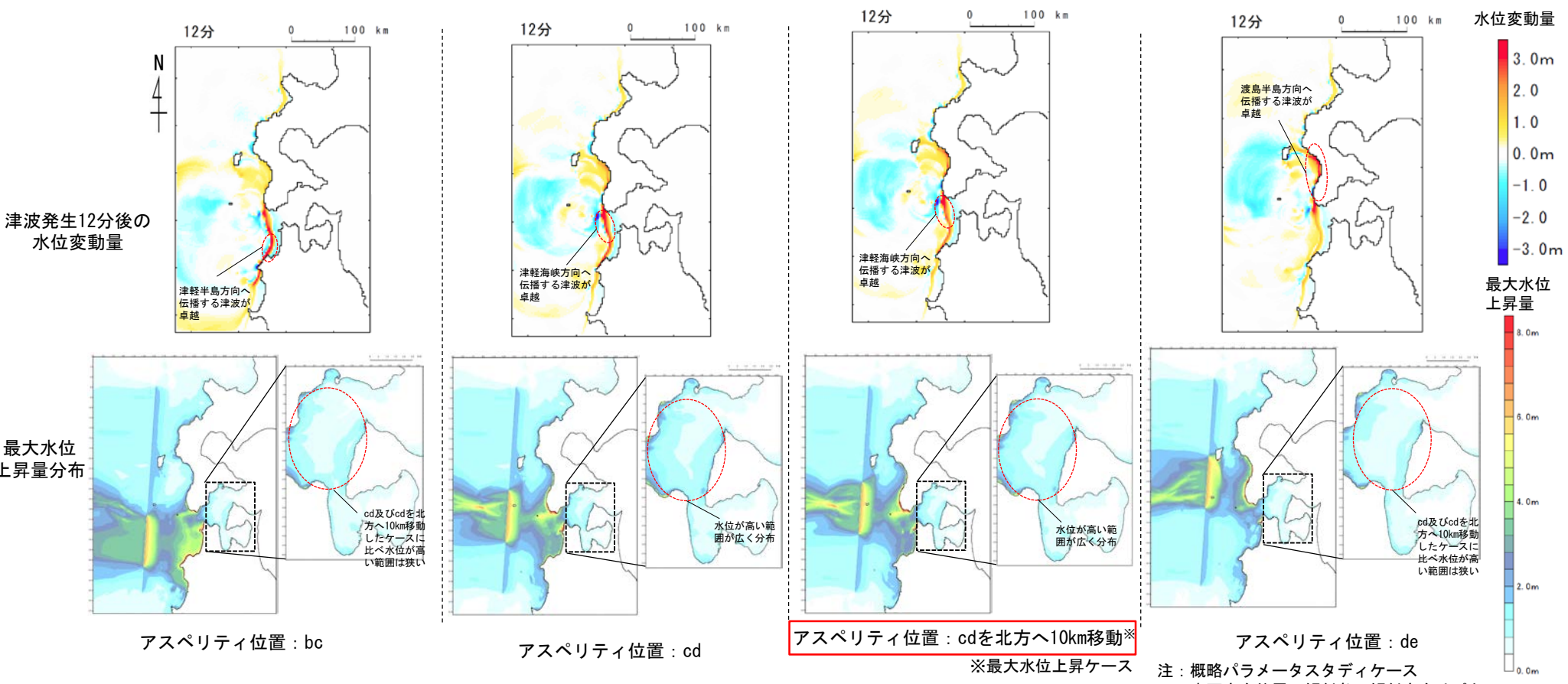
- 概略パラメータスタディ評価因子及び詳細パラメータスタディ評価因子のそれぞれが津波水位に与える影響について分析した結果は以下のとおり。
  - 概略パラメータスタディ因子である「アスペリティの位置」が、津波水位に与える影響が最も大きい。
  - 詳細パラメータスタディ因子である「走向」、 「アスペリティ数及び位置」 及び「上縁深さ」は、概略パラメータスタディ因子に比べて津波水位への影響は小さい。
- 概略パラメータスタディは津波水位に対して支配的因子で行われていること、 詳細パラメータスタディは従属的因子で行われていることが確認できた。

パラメータスタディ変動幅一覧

パラメータスタディ	評価因子	水位の変動幅 (m)		備考
		上昇側	下降側	
概略 パラメータスタディ	東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向パターン	1.89	0.40	—
	アスペリティ位置	<u>3.42</u>	<u>1.39</u>	—
詳細 パラメータスタディ	走向	1.06	0.06	基準ケース（概略パラスタケース）の水位変動量を上回るケースは無い
	アスペリティ数及び位置	1.76	0.77	基準ケース（概略パラスタケース）の水位変動量を上回るケースは無い
	上縁深さ	0.53	0.03	—

アスペリティ位置の影響分析：津波伝播状況の比較 (1/3)

- 津波水位に与える影響が最も大きい因子であるアスペリティ位置 (bc, cd, cdを北方へ10km移動及びde)について、津波の伝播状況を比較した。
- 津波発生12分後の水位変動量より、アスペリティをcdに配置したケース及びcdを北方へ10km移動したケースは、他ケースに比べ津軽海峡方向へ伝播する津波が卓越する。
- 最大水位上昇量分布の比較より、アスペリティをcdに配置したケース及びcdを北方へ10km移動したケースは、他ケースに比べ津軽海峡内で水位が高くなる範囲が広く分布する。

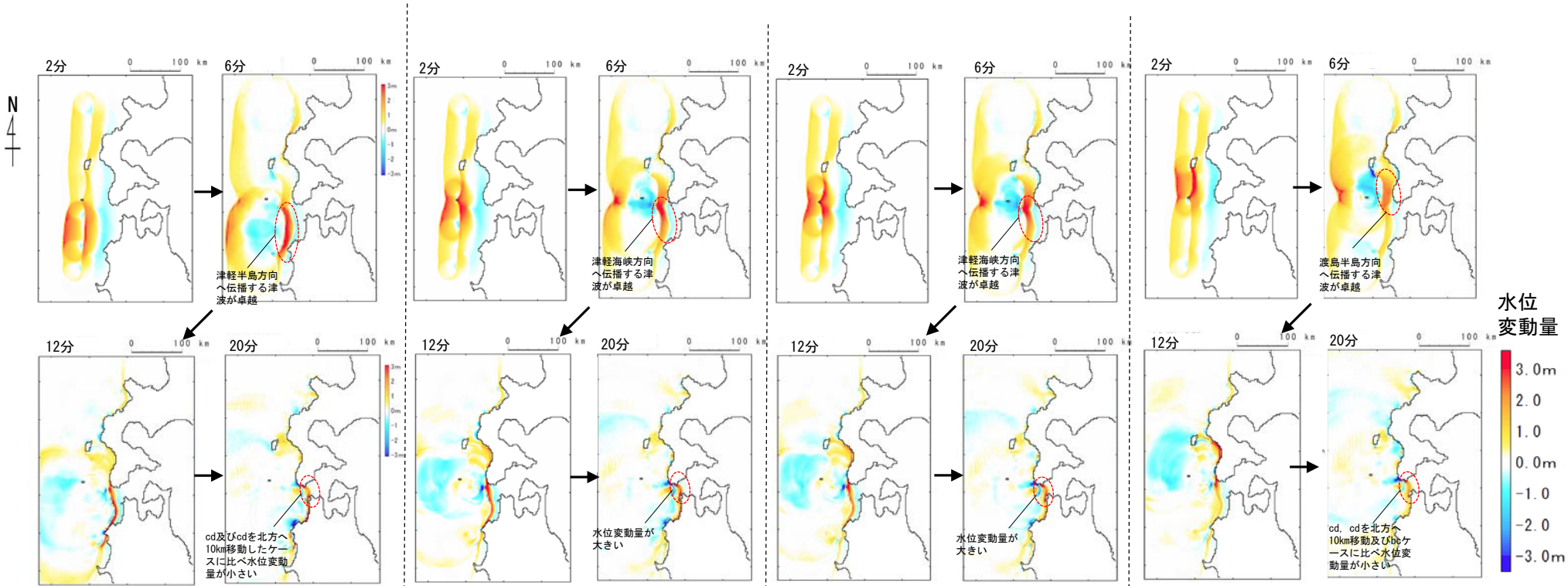




第627回審査会合  
資料1-1 P.99再掲

アスペリティ位置の影響分析：津波伝播状況の比較 (2/3)

- アスペリティ位置の違いに伴う、地震発生～20分後までの津波伝播の状況をスナップショットにより比較をした。
- アスペリティをcdに配置したケース及びcdを北方へ10km移動したケースは他ケースに比べ、津軽海峡方向へ伝播する津波が卓越する。



アスペリティ位置：bc

アスペリティ位置：cd

アスペリティ位置：cdを北方へ10km移動※

アスペリティ位置：de

※最大水位上昇ケース

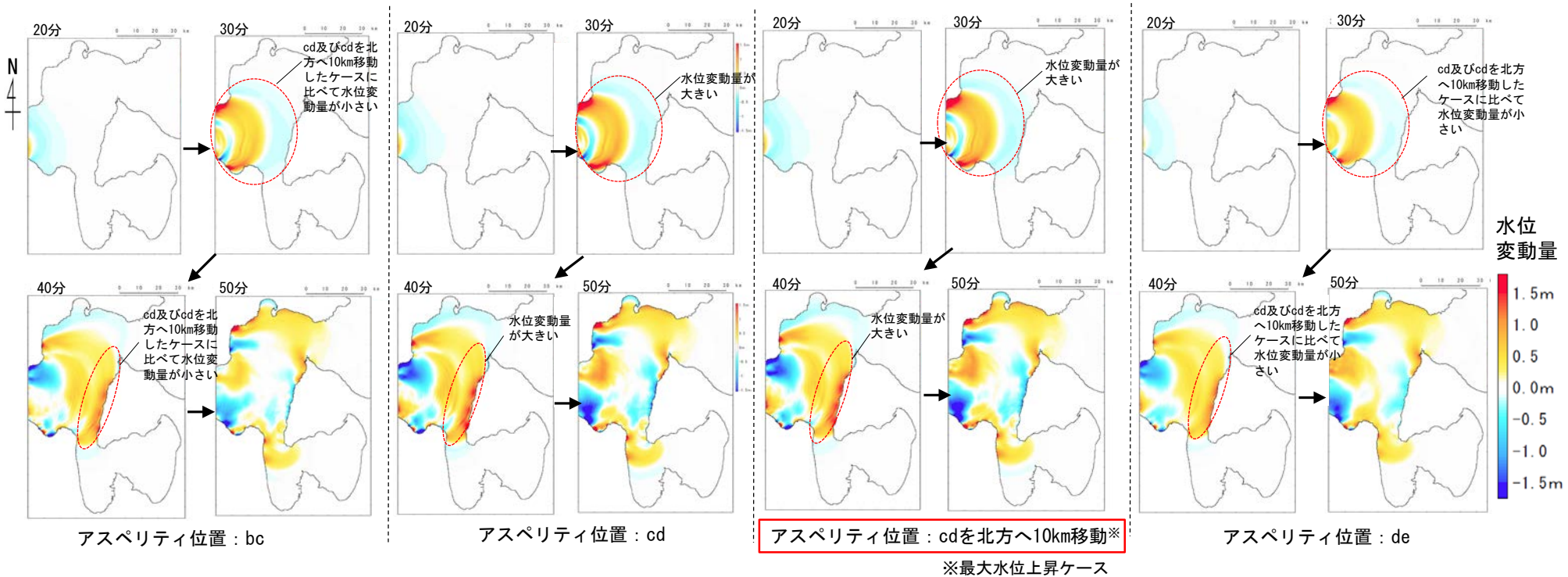
スナップショット Δs=2500m領域(地震発生～20分後)

注：概略パラメータスタディケース  
東西方向位置・傾斜角・傾斜方向はパターン6



アスペリティ位置の影響分析：津波伝播状況の比較 (3/3)

- アスペリティ位置の違いに伴う、地震発生20分後～50分後までの津波伝播の状況をスナップショットにより比較をした。
- アスペリティをcdに配置したケース及びcdを北方へ10km移動したケースは他ケースに比べ、津軽海峡内での水位変動量は大きい。



スナップショット  $\Delta s=278m$ 領域 (地震発生20分後～50分後)

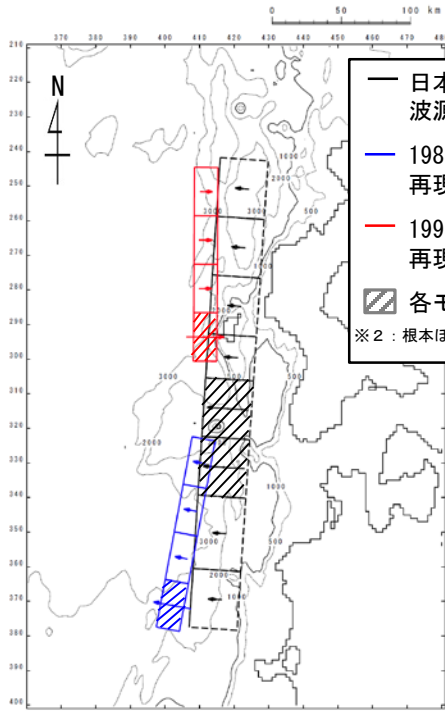
注：概略パラメータスタディケース  
東西方向位置・傾斜角・傾斜方向はパターン6



### 日本海東縁部の地震に伴う津波の妥当性確認

- 日本海東縁部の地震に伴う津波の妥当性を確認することを目的として、計算津波高※1（上昇側最大ケース）と既往津波高等※1との比較を実施した。
- その結果、大間原子力発電所が位置する津軽海峡内の沿岸では、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の計算津波高が既往津波高等を上回ることを確認した。

※1：計算津波高と既往津波高はP.102に示すとおり

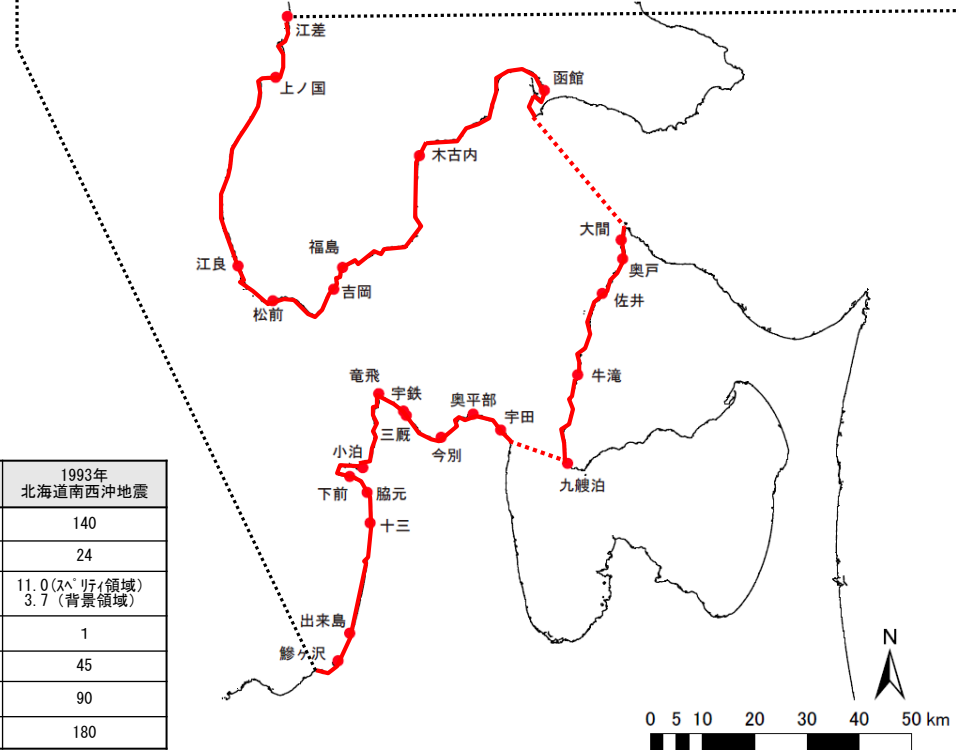
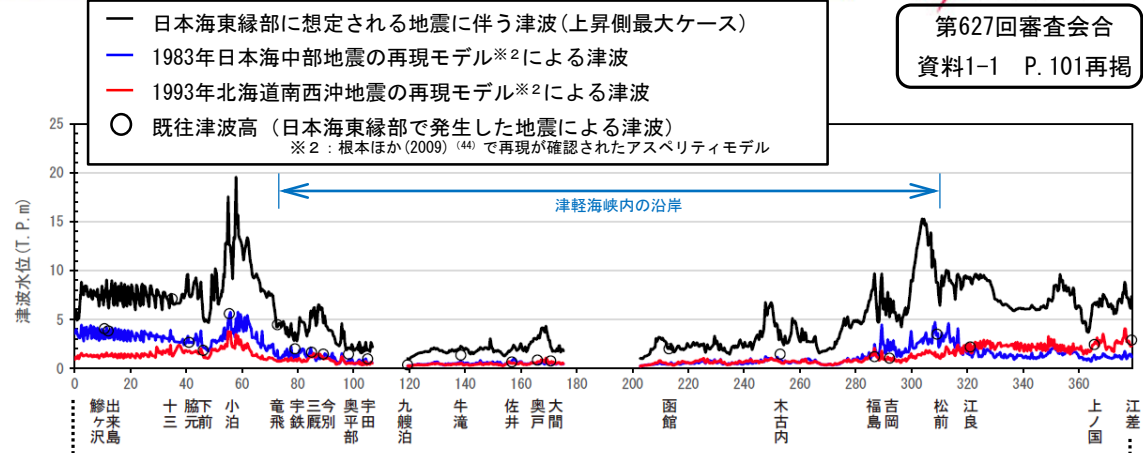


波源モデル

- 日本海東縁部に想定される地震の波源モデル(上昇側最大ケース)
  - 1983年日本海中部地震の再現モデル※2
  - 1993年北海道南西沖地震の再現モデル※2
  - ▨ 各モデルのアスペリティ領域
- ※2：根本ほか(2009) (44) で再現が確認されたアスペリティモデル

再現モデルのパラメータ

項目	1983年日本海中部地震	1993年北海道南西沖地震
長さ L (km)	140	140
幅 W (km)	24	24
すべり量 D (m)	11.0 (スベリティ領域) 3.7 (背景領域)	11.0 (スベリティ領域) 3.7 (背景領域)
上縁深さ d (km)	1	1
傾斜角 $\delta$ (°)	45	45
すべり角 $\lambda$ (°)	90	90
走向 $\theta$ (°)	10	180



日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の計算津波高と既往津波高等との比較

# (補足2) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の妥当性確認 (2/2)

## (参考) 日本海東縁部の地震に伴う津波の妥当性確認：既往津波高&計算津波高

第627回審査会合  
資料1-1 P.102誤りを修正

沿岸区分	地点	既往津波高等			計算津波高(m)	
		既往最大津波高※(m)	計算津波高(m)			
			1983年日本海中部地震の再現モデルによる津波	1993年北海道南西沖地震の再現モデルによる津波	日本海東縁部に想定される地震に伴う津波(上昇側最大ケース)	
北海道	津軽海峡外	江差	2.89	1.15	2.36	7.37
		上ノ国・石崎	2.43	1.37	2.47	6.64
		江良・館浜	2.19	1.89	2.53	9.32
	津軽海峡内	松前	3.50	3.56	1.21	8.81
		吉岡	1.03	1.76	0.87	5.23
		福島	1.20	2.46	2.04	9.69
		木古内	1.45	0.89	0.67	3.89
		函館	2.00	0.47	0.41	2.21
大間		0.75	0.52	0.63	2.18	
奥戸		0.85	0.53	0.66	3.04	
青森	津軽海峡内	佐井	0.65	0.77	0.50	1.95
		牛滝	1.35	0.76	0.55	2.26
		九艘泊	0.35	0.23	0.25	1.02
		宇田	0.96	0.60	0.51	1.89
		奥平部	1.45	0.82	0.52	2.09
		今別	1.45	1.08	0.95	4.64
		三厩・四枚橋	1.65	0.99	0.86	3.28
	津軽海峡外	宇鉄・鑓泊	2.00	1.44	0.80	3.66
		竜飛	4.45	1.86	0.68	4.21
		小泊	5.59	5.22	3.62	12.67
		下前	1.83	2.10	1.30	5.30
		脇元	2.66	2.61	1.77	7.57
		十三	7.10	3.08	1.30	7.08
		出来島	3.82	3.22	1.23	6.50
鱈ヶ沢	4.06	4.39	1.38	8.07		

※各地点における既往津波高の最大値

(余白)

「1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波（P. 104～P. 208）」は  
次回以降ご説明予定

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
    - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
    - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波







# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (1 / 2 4)

## 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波の検討フロー

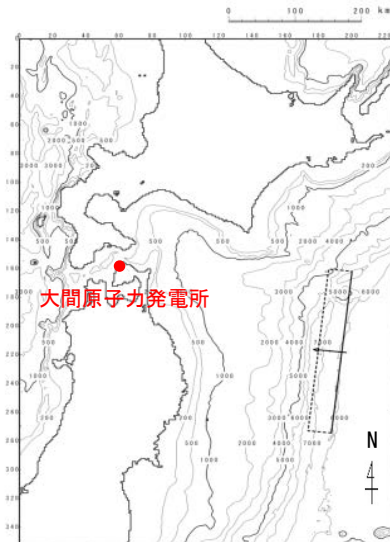
- 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波については、既往地震が海洋プレート内の正断層型であることを踏まえ、地震調査研究推進本部 (2019) <sup>(60)</sup> 等を参照の上、以下のフローで検討を実施した。

基準波源モデルの設定

概略パラメータスタディ

詳細パラメータスタディ

三陸沖の  
海洋プレート内地震



変動パラメータ※
・断層の位置
・走向
・傾斜方向



変動パラメータ※
・傾斜角
・上縁深さ

※変動幅は敷地への影響及び科学的知見を考慮し設定。

概略パラメータスタディにおいて最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを詳細パラメータスタディの検討対象とする。

## 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波（2 / 24）



### 基準波源モデルの設定（基本方針）

- 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波の検討に当たっては、既往地震及び関連する断層パラメータに係る知見を検討の上、既往最大の地震規模を考慮した基準波源モデルを設定する。

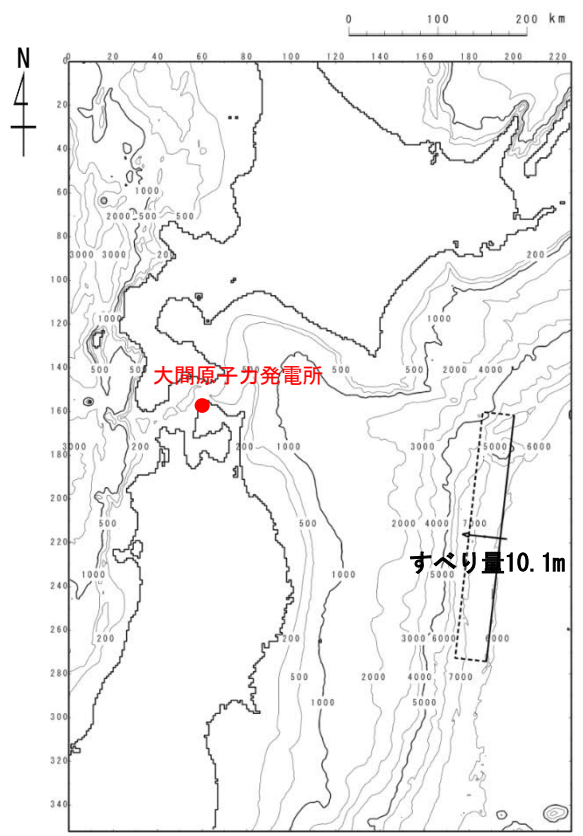


コメントNo.S5-37

# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (3 / 2 4)

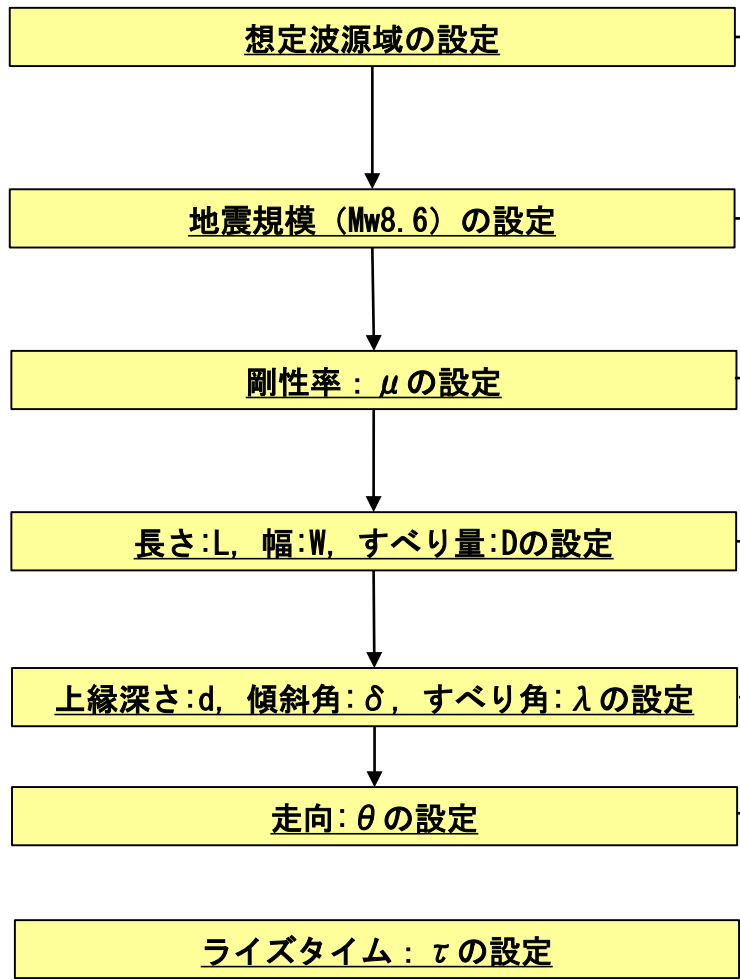
## 基準波源モデルの設定 (設定方法)

以下のフロー及び設定根拠に基づき、基準波源モデルを設定した。



基準波源モデル

### 基準波源モデル設定フロー



### 設定根拠

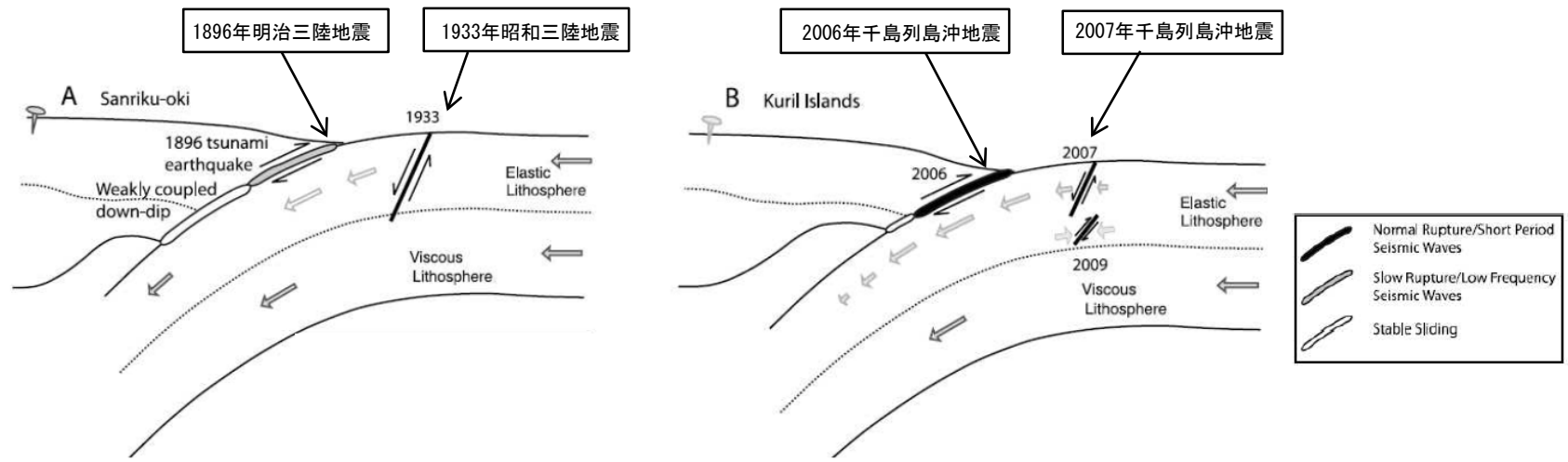
- 1933年昭和三陸地震発生位置を参考に設定 (土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> の領域4), 波源域北端は発電所の位置を考慮し, 日本海溝北端に設定  
→後述P. 213, P. 214
- 1611年慶長地震の津波が海洋プレート内地震である場合の地震規模Mw8.6を考慮 (相田 (1977) <sup>(11)</sup>, 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup>)  
→後述P. 215~P. 217
- 剛性率は地震波速度や密度に関する既往研究に基づき  $7.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$  に設定 (土木学会 (2016) <sup>(33)</sup>)  
→後述P. 218
- 1933年昭和三陸地震津波の波源パラメータを基本に, 土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> のスケーリング則に基づき設定  
→後述P. 219
- 1933年昭和三陸地震津波の波源パラメータに基づき設定 (土木学会 (2016) <sup>(33)</sup>)  
→後述P. 219
- 海溝軸の向きと一致するように設定  
→後述P. 219
- 1933年昭和三陸地震津波の再現性が高いモデル (相田 (1977) <sup>(11)</sup>) に基づき60sに設定。  
→後述P. 220



# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (4 / 24)

## 想定波源域の設定 (1 / 2) : 既往地震の発生様式

### 海洋プレート内地震の発生様式



A. 日本海溝沿い (三陸沖)

B. 千島海溝沿い

沈み込み帯模式図 Lay et al. (2011) (80)に一部加筆

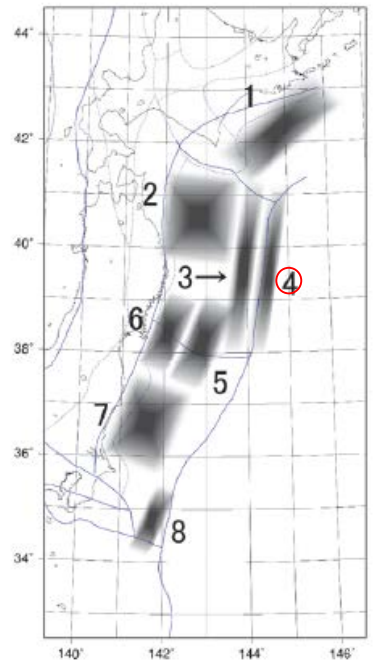
- 上図に示すとおり、日本海溝・千島海溝沿いではプレート間地震の発生後（歪み解放後）に、海溝軸沖合で正断層型の海洋プレート内地震が発生している。
- 文献調査によれば、敷地に影響を及ぼす可能性がある海洋プレート内地震は、三陸沖の日本海溝沿いで1933年に発生した『正断層型の海洋プレート内地震』と同様のタイプの地震であると考えられる。



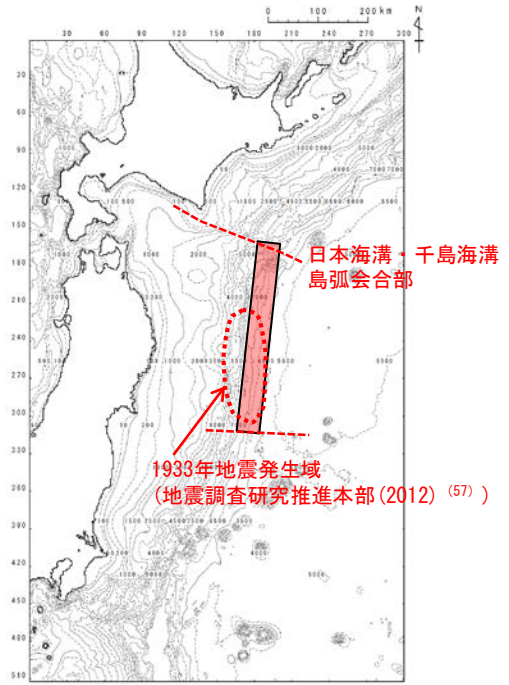
コメントNo.S5-37

# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (5 / 24)

## 想定波源域の設定 (2 / 2) : 安全評価上の想定波源域の考え方



海域の領域区分  
土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> に一部加筆



想定波源域

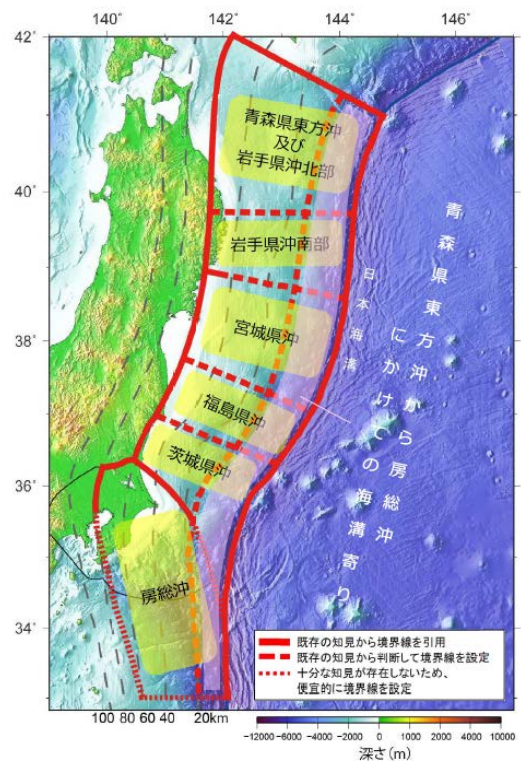
- 想定波源域は、1933年昭和三陸地震の発生域を含めることとし、その北端は津軽海峡内に位置する大間原子力発電所への影響を考慮して、日本海溝・千島海溝島弧会合部に接するよう『領域4』※の北端とした。

※：土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> において1933年昭和三陸地震の発生位置に基づき設定された三陸沖の海洋プレート内地震の海域の領域区分



# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (6 / 24)

## 地震規模の設定 (1 / 3) : 既往地震の発生履歴



次の海溝軸外側の地震の発生確率等

項目	将来の地震発生確率等 <sup>注2,3</sup>	備考
今後10年以内の発生確率 今後20年以内の発生確率 今後30年以内の発生確率 今後40年以内の発生確率 今後50年以内の発生確率	2% 5% 7% 9% 10%程度	1600年から2011年3月11日14時46分までの約411年間に <u>顕著な津波を伴った地震が海溝軸外側で1回発生</u> したと判断し、発生頻度を411.2年に1回とし、ポアソン過程を用いて海溝軸外側のどこかで発生する確率を算出した。 1896年の明治三陸地震後の1933年の昭和 <u>三陸地震</u> のようにプレート間地震の数十年後に発生することがあるため、東北地方太平洋沖地震後、長期間に渡って注意する必要がある。
次の地震の規模	<u>M8.2前後<sup>注4</sup></u>	<u>過去に発生した地震のM、Mtを参考にして判断した。</u>

地震調査研究推進本部 (2019) <sup>(60)</sup> に一部加筆

地震調査研究推進本部 (2019) <sup>(60)</sup> では、青森県東方沖及び岩手県沖北部から房総沖の海溝軸外側で発生した正断層型の海洋プレート内地震は1933年の1例しかなく、次の地震の規模を1933年の昭和三陸地震の規模とされている。





## 地震規模の設定 (2 / 3) : 既往地震の発生履歴

## 世界の海洋プレート内地震 (正断層型)

主な海溝寄りのプレート内地震 (正断層型) の緒元

Id.	Date dd/mm/yyyy	Place	$M_w$	Length km	Width km	Bottom km	Dip °	Slip m	Rigidity $\text{Nm}^{-2}$	Reference
a	03/02/1933	Sanriku	8.4	185	100	70	45	3.3	-	Kanamori (1971)
b	03/02/1933	Sanriku	8.4	220	35	25	45	8	$7.0 \times 10^{10}$	Kirby et al. (2008)
c	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	80	60	50	1.2	$7.0 \times 10^{10}$	Abe (1972)
d	30/03/1965	Rat Island	7.2	50	40	30	50	6	$5.0 \times 10^{10}$	Beck and Christensen (1991)
e	19/08/1977	Sunda	8.2	200	70	40	45	3	$6.4 \times 10^{10}$	Gusman et al. (2009)
f	19/08/1977	Sunda	8.2	200	25	29	45	9	$4.0 \times 10^{10}$	Spence (1986), Lynnes and Lay (1988)
g	04/05/1990	Mariana	7.3	40	25	29	48	3.4	$4.0 \times 10^{10}$	Satake et al. (1992)
h	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	40	48	1.5	$4.0 \times 10^{10}$	Satake et al. (1992)
i	04/05/1990	Mariana	7.3	70	40	-	48	-	-	Yoshida et al. (1992)
j	04/09/2001	Juan Fernandez Ridge	6.7	70	26	30	51	1	$4.0 \times 10^{10}$	Fromm et al. (2006)
k	13/01/2007	Kuril	7.9	120	40	35	45	1.9	$5.0 \times 10^{10}$	Fujii and Satake (2008)
l	13/01/2007	Kuril	8.0	130	30	-	37	6.4	$4.0 \times 10^{10}$	Tanioka et al. (2008)

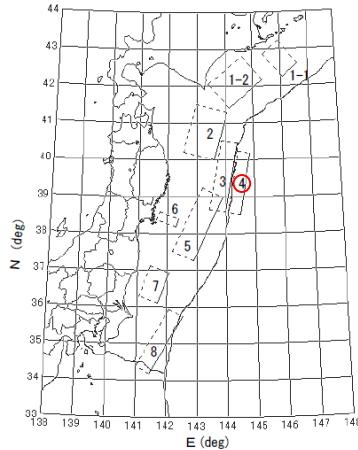
Álvarez-Gómez et al. (2012) <sup>(81)</sup> に一部加筆

1933年昭和三陸地震の規模 ( $M_w=8.4$ ) は、海溝軸沖合のプレート内地震 (正断層型) としては国内外においても最大級である。



## 地震規模の設定 (3 / 3) : 安全評価上の地震規模の考え方

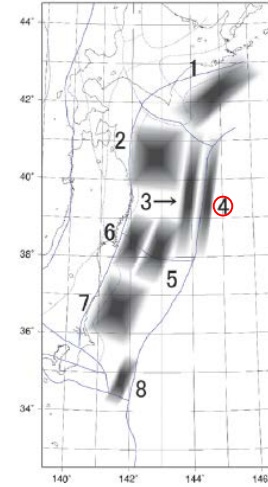
コメントNo.S5-37



番号	断層長 L (km)	断層幅 F (km)	すべり量 D (m)	傾斜角 θ (度)	すべり角 λ (度)	剛性率 μ ×10 <sup>10</sup>	M <sub>0</sub> ×10 <sup>24</sup>	M <sub>w</sub>	対応する 既往津波
1-1	60	100	2.2	27	115	5.0	6.6	7.81	1973年
1-2	130	100	3.5	20	115	5.0	22.8	8.17	1952年
2	150	100	6.0	20	80	5.0	45.0	8.37	1968年
3	210	50	9.7	20	75	3.5	35.6	8.30	1896年
4	185	50	6.6	45	270	7.0	42.7	8.354	1933年
5	210	70	4.0	15	85	5.0	29.4	8.246	1793年
6	26	65	2.0	20	85	7.0	2.4	7.52	1978年
7	100	60	2.3	10	85	5.0	6.9	7.83	1938年
8	200	50	6.5	20	95	3.5	22.8	8.17	1677年

剛性率 μ の単位はN/m<sup>2</sup>, 地震モーメント M<sub>0</sub> の単位はN・mである。

既往津波の痕跡高を説明できる断層モデルの位置と断層パラメータ  
土木学会 (2016) (33) に一部加筆



領域	既往最大 M <sub>w</sub>	対応する既往津波
1	8.2	1952年
2	8.4	1968年
3	8.3	1896年
4	8.6	1611年
5	8.2	1793年
6	7.7	1978年
7	7.9	1938年
8	8.2	1677年

海域の領域区分と既往最大モーメントマグニチュード  
土木学会 (2016) (33) に一部加筆

- 青森県東方沖及び岩手県沖北部から房総沖の海溝軸沖合で発生した正断層型の海洋プレート内地震は1933年の1例しかなく、当該海域における次の地震規模としても同程度が想定されている。(P. 215)
- 1933年昭和三陸地震の規模(M<sub>w</sub>=8.4)は、海溝軸沖合のプレート内地震(正断層型)としては国内外においても最大級である。(P. 216)
- しかし、相田(1977)<sup>(11)</sup>では、1611年慶長地震(M<sub>w</sub>=8.6)\*を海溝軸沖合で発生した正断層型地震と評価されていることを考慮し、土木学会(2016)<sup>(33)</sup>では『領域4』における既往最大モーメントM<sub>w</sub>を8.6とされているため、安全評価上の地震規模をM<sub>w</sub>=8.6とした。

\*: 津波地震であるという説もある。(地震調査研究推進本部(2019)<sup>(60)</sup>, 中央防災会議(2005)<sup>(66)</sup>等)

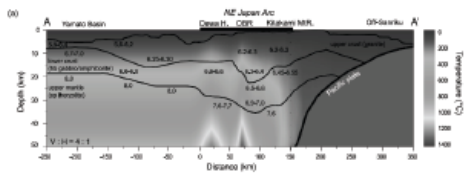


## パラメータの設定 (1/3) : 剛性率の設定

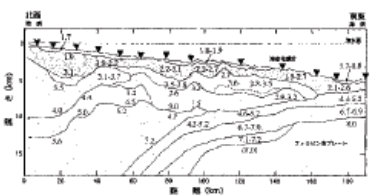
コメントNo.S5-37



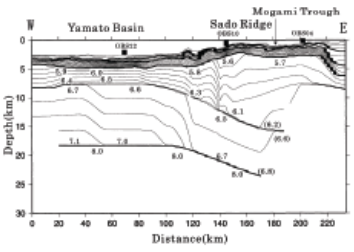
(a) 東北日本周辺 (吉井, 1977)



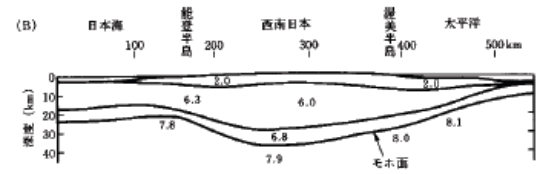
(b) 東北日本周辺 (武藤・大園, 2012) ©日本地質学会



(c) 日向灘沖 (宮町・後藤, 1999)



(d) 秋田沖日本海東縁部 (西坂ほか, 2001)



(e) 西南日本周辺 (周藤・牛来, 1997)

### Vp/Vs比に関する既往研究例

地域	上部地殻	下部地殻	上部マントル	文献・備考
近畿	1.67		1.78	Yoshiyama (1957)
西南日本	1.68		1.75~1.79	角田 (1968)
紀伊半島	1.716±0.021			渡辺・黒磯 (1967)
東北			1.77	宇津 (1969)
中国	1.70~1.71	1.73		Hashizume (1970)
東北	1.66	1.75	1.70~1.75 1.75~1.80	堀内ほか (1977) マントルの値は火山フロントの東西
近畿北部	1.70			黒磯・渡辺 (1977)
函館群発	(1.66)			高波ほか (1980) 表層の値
中部東海	1.68±0.02	1.75~1.81	1.77	Ukawa and Fukao (1981) 真の Vp, Vs から求めた値
四国	(1.58~1.65) 1.731	1.75	1.73	岡野・木村 (1983) ( )内は表層の値
飛騨周辺 長野県 北関東 甲府周辺 富士箱根 甲府周辺	1.67±0.01 1.69±0.01 1.71±0.01 1.69±0.01 1.69~1.78 1.66~1.71			橋田・鶴川 (1995)
日航付近 長野県西部 兵庫県南部	1.682±0.016 1.700±0.053 1.680±0.023	1.686※ 1.686※ 1.76※	1.90	大東・伊藤 (1995) ※は真の Vp, Vs から求めた値

土木学会 (2016) (33)

### P波速度構造に関する既往研究例 土木学会 (2016) (33)

- 土木学会 (2016) (33) では、地震波速度や密度に関する既往研究に基づき、海域毎に標準値が設定されている。
- 想定した波源域は海洋プレート内であることから、 $7.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ を採用した。

### 震源付近の媒質の剛性率の標準値

海域	振 幅	剛性率
・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)	$Vp=6.0 \text{ km/s}$ $Vp/Vs=1.6 \sim 1.7$ $\rho=2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 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。	$3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ( $3.5 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$ )
・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)	$Vp=8.0 \sim 8.1 \text{ km/s}$ $Vp/Vs=1.75 \sim 1.80$ $\rho=3.2 \sim 3.5 \text{ g/cm}^3$ 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。	$7.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ( $7.0 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$ )
・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) (33) に一部加筆

## 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波（10/24）

パラメータの設定（2/3）：長さ・幅・すべり量・上縁深さ・傾斜角・すべり角・走向の設定

第627回審査会合

資料1-1 P.205一部修正

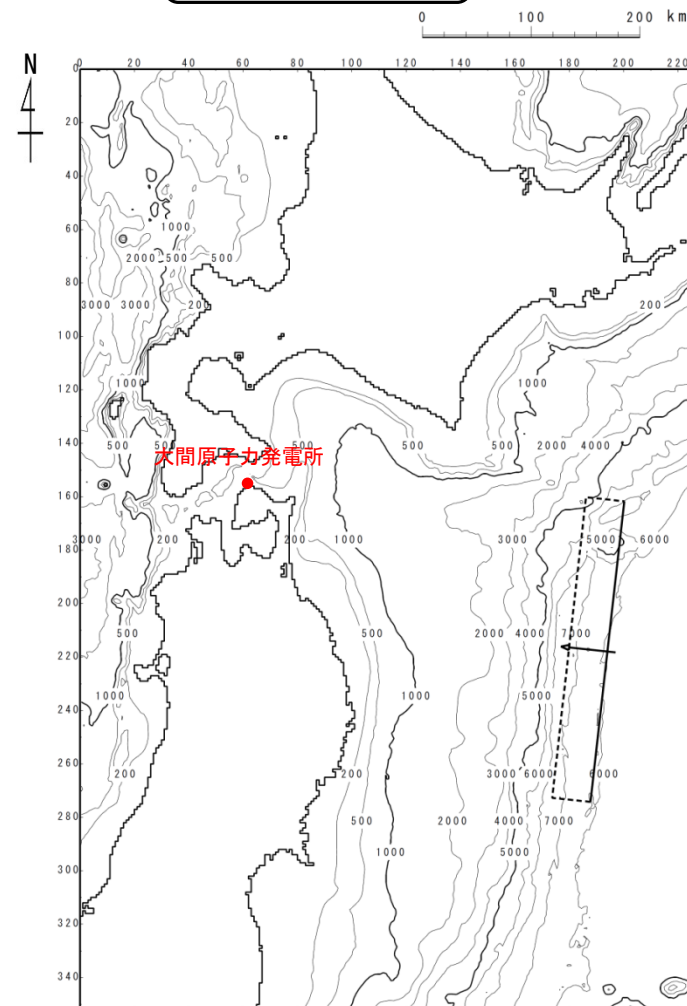
- 波源のパラメータの長さL, 幅W, すべり量Dは, 土木学会 (2016) (33) を参考に, 1933年昭和三陸地震津波の既往津波高の再現性が高いモデル (Mw8.35) を基本として, スケーリング則を用いてMw8.6となるよう設定した。
- 波源のパラメータの上縁深さd, 傾斜角 $\delta$ , すべり角 $\lambda$ は, 土木学会 (2016) (33) を参考に, 1933年昭和三陸地震津波の既往津波高の再現性が高いモデル (Mw8.35) のパラメータを採用した。
- 走向は海溝軸の向きと一致するように設定した。

設定パラメータ

項目	諸元	設定根拠
長さ L※ (km)	283 (185)	土木学会 (2016) (33) を参考に, 1933年昭和三陸地震津波の既往津波高の再現性が高いモデル (Mw8.35) を基本として, スケーリング則を用いてMw8.6となるよう設定
幅 W (km)	50	
すべり量 D※ (m)	10.1 (6.6)	
上縁深さ d (km)	1	土木学会 (2016) (33) を参考に, 1933年昭和三陸地震津波の既往津波高の再現性が高いモデル (Mw8.35) のパラメータを採用
傾斜角 $\delta$ (°)	45	
すべり角 $\lambda$ (°)	270	
走向 $\theta$ (°)	190	海溝軸の向き

※土木学会 (2016) (33) を参考に1933年昭和三陸地震モデルの長さ及びすべり量にスケーリング則を適用して設定。

( ): スケーリング則適用前の1933年昭和三陸地震モデルのパラメータ。



基準波源モデル



# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (11/24)

## パラメータの設定 (3/3) : ライズタイムの設定

- 基準波源モデルは土木学会 (2002) <sup>(56)</sup> を参考に、1933年の再現性が高いモデル (Mw8.35) を基本としてスケーリング則を用いて Mw8.6 となるよう設定し、発生位置を調整したモデルである。
- 土木学会 (2002) <sup>(56)</sup> に示される1933年昭和三陸地震津波の波源パラメータは相田 (1977) <sup>(11)</sup> による再現モデルを基にしている。
- 相田 (1977) <sup>(11)</sup> は、ライズタイムを60秒と設定している。
- 以上を踏まえライズタイムは60秒とした。

津波痕跡高との比較を実施している断層モデル

海域 小区分	対象津波	M <sub>w</sub> モデル	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	W (km)	D (m)	d (km)	θ (°)	δ (°)	ε (°)	μ (×10 <sup>16</sup> N/m <sup>2</sup> )	すべり方 向(°)	デー タ数	K	κ	備考	タイプ
千島 海溝沿い	1952年十勝沖	8.17	13000	130	100	3.5	1	220	20	76	5.0	144.86	25	1.236	1.462	(参考)七省庁, Aida(1978)モデル	プレート間逆断層地震
	1973年根室半島沖	7.81	6000	60	100	2.2	2.3	230	27	101	5.0	127.69	検潮	1.01	1.18	(参考)電力, 修正	プレート間逆断層地震
	1994年 北海道東方沖	8.41	12800	160	80	5.78	10	230	77	128	7.0	66.06	14	0.752	1.454	(参考)七省庁, 高橋智幸ら(1995)モデル	プレート内逆断層地震
	1611年慶長三陸沖 同上	8.58 8.32	12250 10500	245 210	50 50	10.7 10.3	1	180 190	45 20	270 75	7.0 3.5	270.00 115.92	11	1.003	1.368	修正相田(1977)	プレート内正断層地震
日本 海溝沿い	1677年房総沖	8.17	10000	200	50	6.5	1	210	20	90	3.5	120.00	15	1.00	1.41	電力, 独自モデル	プレート間津波地震
	1793年宮城県沖	8.246	14700	210	70	4.0	10	205	15	90	5.0	115.00	33	0.997	1.479	本体系化原案	プレート間逆断層地震
	1856年十勝沖	8.28	8400	120	70	7.8	26	205	20	90	5.0	115.00	20	1.001	1.362	本体系化原案	プレート間逆断層地震
	1896年明治三陸沖	8.30	10500	210	50	9.7	1	195	20	90	3.5	105.00	100	1.00	1.544	修正 Tanioka and Sotake(1996)	プレート間津波地震
	1933年昭和三陸沖	8.354	9250	185	50	6.6	1	180	45	270	7.0	270.00	571	0.95	1.39	電力, 相田(1977)モデル	プレート内正断層地震
	1968年十勝沖	5000	50	100	5.9	16	195	20	76	5.0	119.86	273	1.019	1.405	本体系化原案	プレート間逆断層地震	
		5000	50	100	5.9	8	195	20	76	5.0	119.86						
		5000	50	100	5.9	3	195	20	76	5.0	119.86						
	1897年三陸沖	7.80	3600	120	30	3.5	1	205	20	90	5.0	115.00	13:間接	-	1.6	(参考)相田(1977)	プレート間逆断層地震
	1931年青森県東方沖	7.39	3000	100	30	0.74	50	192	20	90	7.0	102.00	検潮	-	-	(参考)相田(1977)	プレート間逆断層地震
	1938年塩屋沖II	7.72	6000	100	60	1.6	30	200	10	95	5.0	284.92	検潮	0.84	1.32	(参考)電力, 修正 Abe(1977)	プレート間逆断層地震
	1938年塩屋沖IV	7.753	3825	85	45	2.0	20	190	80	270	7.0	280.00	検潮	0.62	1.95	(参考)電力, 修正 Abe(1977)	プレート内正断層地震
	1938年塩屋沖V	7.70	4275	95	45	1.5	20	190	80	270	7.0	280.00	1	0.419	-	(参考)七省庁, Abe(1977)モデル	プレート内正断層地震
	1968年岩手県沖	7.60	3500	70	50	1.8	1	151	30	31	5.0	123.51	検潮	0.99 0.82	1.48 1.66	(参考)Aida(1978)	プレート間逆断層地震
1978年宮城県沖	1690	26	65	2	23	190	20	85	7.0	105.32	検潮	-	-	-	-	(参考)相田(1978b)	プレート間逆断層地震
	1890	60	30	0.75	35.4	200	10	90	5.0	110.00							
	1350	30	45	0.63	27.1	200	10	90	5.0	110.00							
	1350	30	45	0.93	27.1	200	10	90	5.0	110.00							
	1350	30	45	0.73	19.1	200	10	90	5.0	110.00							
	1800	60	30	0.56	13.4	200	10	90	5.0	110.00							
1994年 三陸はるか沖	7.66											検潮	-	-	(参考) Tanioka et al.(1996) (7セグメント;負のすべり除外)	プレート間逆断層地震	

土木学会 (2002) <sup>(56)</sup> に一部加筆

この数値実験では、まず仮定された断層パラメータを与えて、MANSINHA and SMYLLIE (1971) の方法によって海底面の垂直変位を計算する。それを津波の波源として与えるが、変位は便宜上1分間で終了するように与えてある。しかし津波発生の効果は瞬間的な変位を与えた場合と異なる。

相田 (1977) <sup>(11)</sup> に一部加筆



## 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波（12/24）

## 基準波源モデルの設定（まとめ）

第627回審査会合  
資料1-1 P. 207一部修正

コメントNo.S5-37

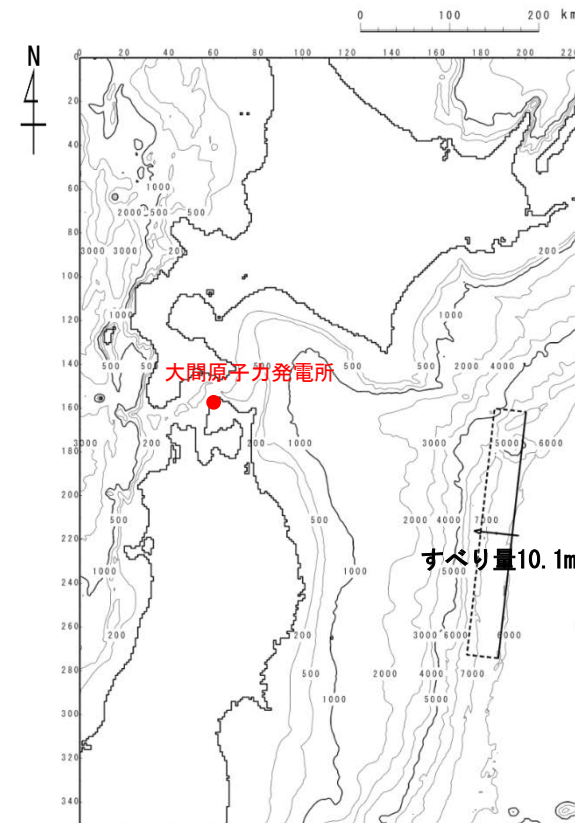
- 想定波源域は、大間原子力発電所への影響を考慮し、日本海溝と千島海溝の島弧会合部に接するように日本海溝北端部とした（P.214参照）。
- 地震規模は、1611年慶長地震の地震規模を参照し、 $M_w$ 8.6とした。

基準波源モデルのパラメータ

項目	諸元	主な設定根拠
モーメントマグニチュード $M_w$	8.6	土木学会（2016） <sup>(33)</sup>
長さ $L^*$ (km)	283 (185)	1933年昭和三陸地震津波の痕跡高の再現性が高い波源パラメータを基本に、土木学会（2016） <sup>(33)</sup> のスケーリング則に基づき設定
幅 $W$ (km)	50	
すべり量 $D^*$ (m)	10.1 (6.6)	
剛性率 $\mu$ ( $N/m^2$ )	$7.0 \times 10^{10}$	土木学会（2016） <sup>(33)</sup>
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$1.00 \times 10^{22}$	$M_0 = \mu L W D$
走向 $\theta$ ( $^\circ$ )	190.0	海溝軸の向き
上縁深さ $d$ (km)	1	1933年昭和三陸地震津波の痕跡高の再現性が高い波源モデル
傾斜角 $\delta$ ( $^\circ$ )	45	
すべり角 $\lambda$ ( $^\circ$ )	270	
ライズタイム $\tau$ (s)	60	

※土木学会（2016）<sup>(33)</sup>を参考に1933年昭和三陸地震モデルの長さ及びすべり量にスケーリング則を適用して設定。

( ) : スケーリング則適用前の1933年昭和三陸地震モデルのパラメータ。



基準波源モデル

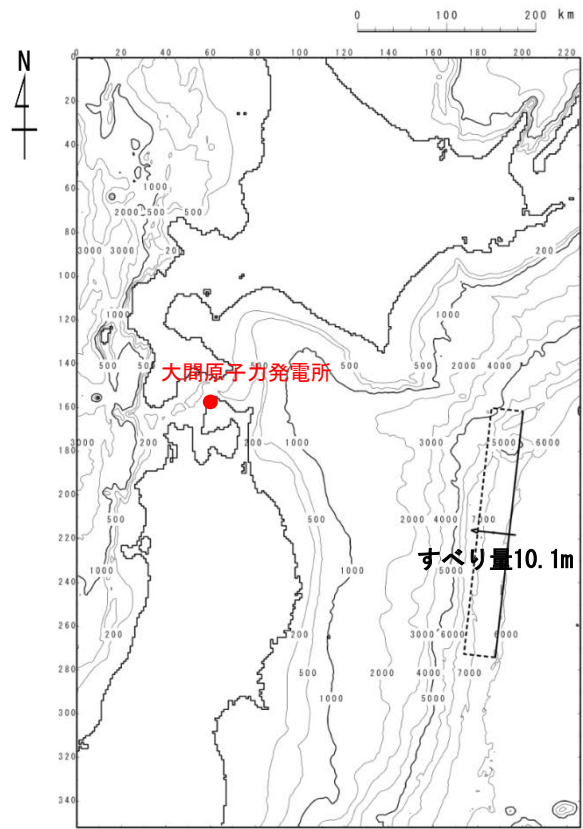




# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (13/24)

## パラメータスタディ

- ・概略パラメータスタディとして、断層の位置、走向及び傾斜方向を組合せた検討を実施した。
- ・概略パラメータスタディにおける最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを対象に、傾斜角及び上縁深さを組合せた検討を実施した。



基準波源モデル

概略パラメータスタディ

項目	変動範囲	ケース数	
断層の位置	【南北方向】 基準, 南方へ20km, 40km	3	計 72
	【東西方向】 基準, 東へ100kmまで50km単位で移動, 西へ50kmまで50km単位で移動	4	
走向	基準 (190°), ±10°	3	
傾斜方向	西傾斜 (基準), 東傾斜	2	

詳細パラメータスタディ

項目	変動範囲	ケース数	
傾斜角	基準 (45° : 概略パラスタケース), 基準±5°	3	計 9
上縁深さ	0km, 1km (基準 : 概略パラスタケー ス), 2km	3	



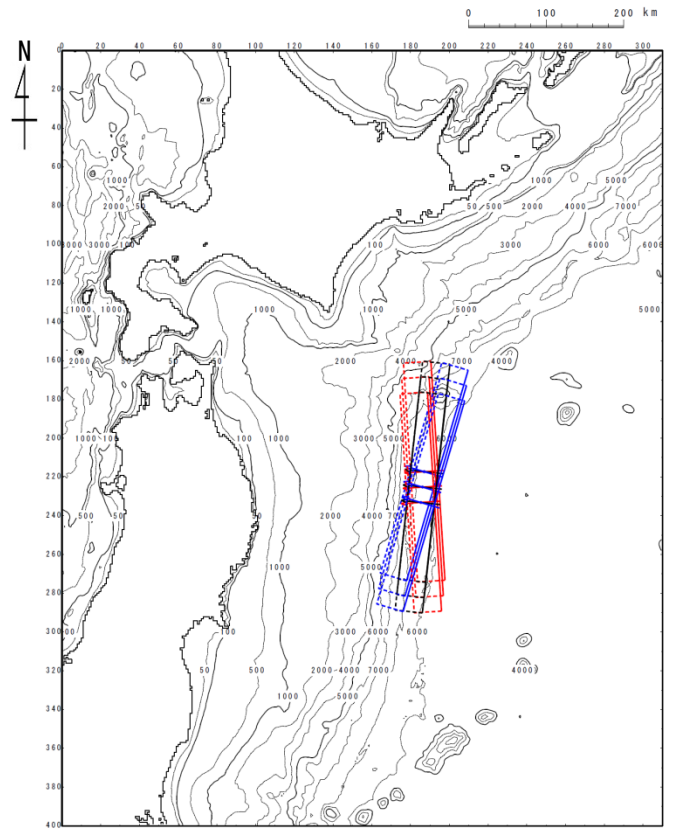
# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (14/24)

## 概略パラメータスタディ (1/6) : 断層の位置 (南北方向) ・ 走向変化ケース

・ 断層の南北方向位置と走向を変化させる検討を実施した。

概略パラメータスタディ (断層の位置 : 南北方向 ・ 走向)

項目	変動範囲	備考
位置	基準, 南方へ20km, 40km	南北方向の位置については波源長さの1/10程度を目安とした
走向	基準 (190°), 基準±10°	土木学会 (2002) (56) の走向の標準偏差相当



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	萩原マップ 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

- (注) ・ 日本海溝および千島海溝 (南部) 沿い海域では、ハーバード CMT による発震機構解 (1976 年 1 月 ~ 2000 年 1 月に発生した  $M_w 6.0$  以上、深さ 60km 以下の地震) を解析対象とした。  
 ・ 日本海東縁部では、発震機構解の節面の特定が困難であるため、津波の痕跡高を説明できる断層モデルのパラメータを用いてばらつきを評価した。  
 ・ 「すべり方向」は、スリップベクトルの水平投影が真北から時計回りになす角度である。  
 ・ 日本海東縁部のデータ数のうち括弧内の値は、走向に対して適用した 1 枚断層換算のモデル数である。  
 ・ 日本海東縁部 (南部) の新潟地震モデルには Noguera and Abe (1992) を採用している。天保山形沖地震 (1833) は沖合・沿岸近くの両モデルを採用している。  
 ・ 萩原マップは萩原尊禮編(1991)による。

土木学会 (2002) (56) に一部加筆

概略パラメータスタディ  
(南北方向位置 ・ 走向)



# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (15/24)

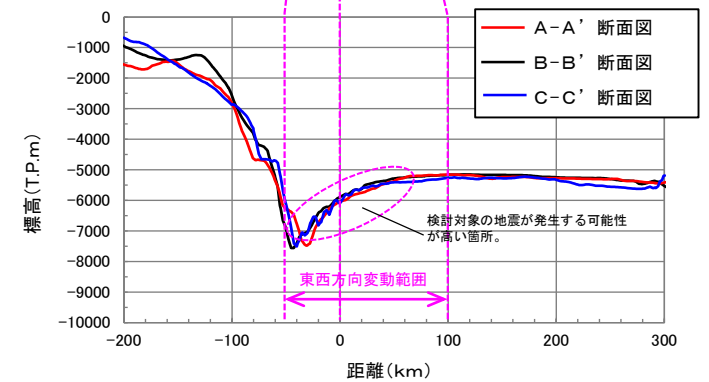
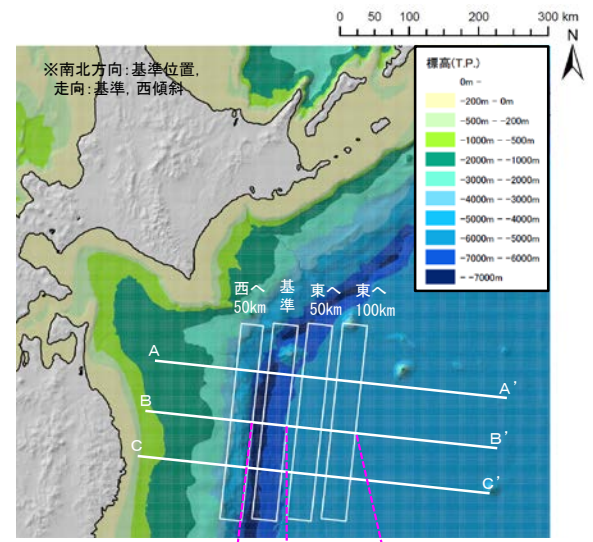
## 概略パラメータスタディ (2/6) : 断層の位置 (東西方向) 変化ケース

断層の東西方向位置を変化させる検討を実施した。

概略パラメータスタディ (断層の位置 : 東西方向)

項目	変動範囲	備考
位置 (東西方向)	基準, 東へ100kmまで50km単位で移動, 西へ50kmまで50km単位で移動	検討対象としている海洋プレート内地震の発生メカニズムと海底地形を考慮し設定した※。

※検討対象としての海洋プレート内地震は、海側のプレートが陸側プレートに沈み込みを開始する海溝軸沖合でプレートが下向きに曲げられることにより、伸張応力が作用して発生する正断層型の地震である。よって、基準位置から西に50km, 東に100kmの変動範囲は、同様の地震の発生領域を十分に包絡していると考えられる。



海底地形と断層配置の関係



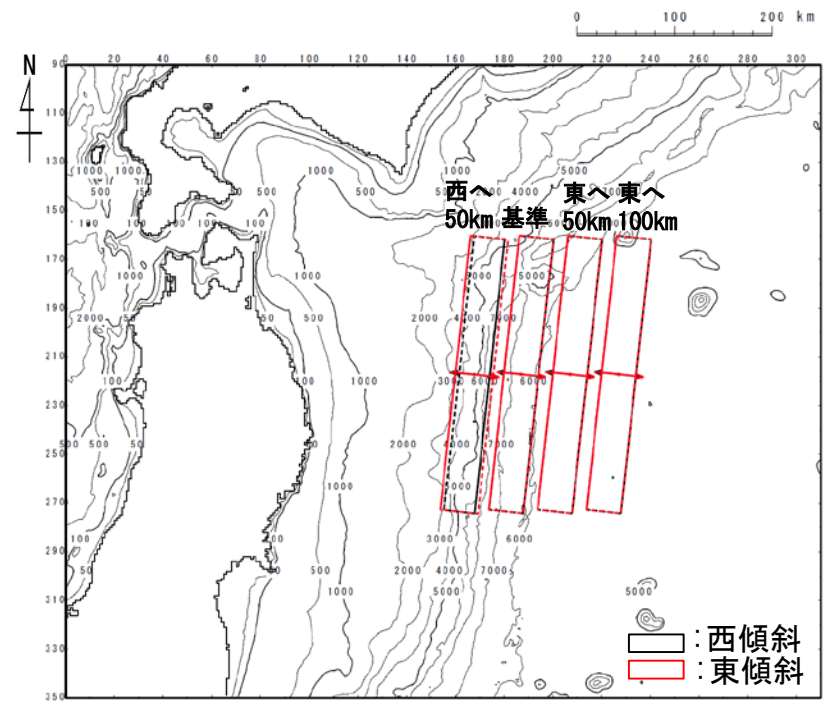
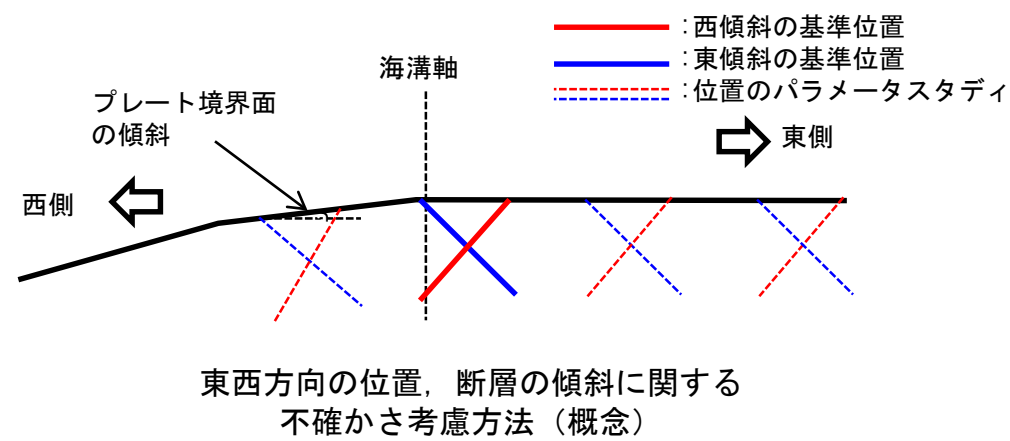
# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (16/24)

## 概略パラメータスタディ (3/6) : 傾斜角・傾斜方向変化ケース

- ・沈み込んだ海洋プレート内地震の断層モデルの傾斜角は、プレート境界面の傾斜を考慮する。
- ・また、既に考慮済みである1933年昭和三陸地震の傾斜角の西傾斜ケースに加え、起震応力が共通で共役な断層となることを踏まえた東傾斜ケースについても考慮する。

概略パラメータスタディ (傾斜角・傾斜方向)

項目	変動範囲	備考
傾斜方向	西傾斜 (基準), 東傾斜	共役断層の考慮



※南北方向:基準位置, 走向:基準のケース

概略パラメータスタディ  
(東西方向・傾斜角・傾斜方向)



# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (17/24)

## 概略パラメータスタディ (4/6) : 検討結果

・概略パラメータスタディの結果は以下のとおりである。

### 概略パラメータスタディ結果一覧

傾斜方向：西傾斜

傾斜方向：東傾斜

南北位置	東西位置	走向	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	南北位置	東西位置	走向	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	
基準	東へ 100km	-10°	1.30m	-1.09m	南方 へ 40km	東へ 100km	-10°	1.12m	-1.02m	
		基準	1.85m	-1.47m			基準	1.23m	-1.15m	
		+10°	2.71m	-1.61m			+10°	2.04m	-1.48m	
	東へ 50km	-10°	1.41m	-1.23m		東へ 50km	-10°	1.17m	-1.04m	
		基準	2.01m	-1.49m			基準	1.24m	-1.18m	
		+10°	2.63m	-1.70m			+10°	1.83m	-1.52m	
	基準	-10°	1.63m	-1.27m		基準	-10°	1.25m	-1.05m	
		基準	2.24m	-1.53m			基準	1.24m	-1.31m	
		+10°	2.57m	-1.74m			+10°	1.59m	-1.47m	
	西へ 50km	-10°	1.40m	-1.53m		西へ 50km	-10°	1.57m	-0.91m	
		基準	1.71m	-1.85m			基準	1.35m	-1.35m	
		+10°	1.99m	-1.65m			+10°	1.21m	-1.33m	
南方 へ 20km	東へ 100km	-10°	1.25m	-1.02m			-10°	1.25m	-1.02m	
		基準	1.54m	-1.33m			基準	1.54m	-1.33m	
		+10°	2.42m	-1.50m			+10°	2.42m	-1.50m	
	東へ 50km	-10°	1.25m	-1.08m				-10°	1.25m	-1.08m
		基準	1.63m	-1.31m				基準	1.63m	-1.31m
		+10°	2.29m	-1.55m				+10°	2.29m	-1.55m
	基準	-10°	1.13m	-1.07m				-10°	1.13m	-1.07m
		基準	1.69m	-1.37m				基準	1.69m	-1.37m
		+10°	2.14m	-1.57m				+10°	2.14m	-1.57m
	西へ 50km	-10°	1.32m	-1.09m				-10°	1.32m	-1.09m
		基準	1.46m	-1.64m				基準	1.46m	-1.64m
		+10°	1.48m	-1.46m				+10°	1.48m	-1.46m

南北位置	東西位置	走向	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	南北位置	東西位置	走向	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	
基準	東へ 100km	-10°	1.36m	-1.55m	南方 へ 40km	東へ 100km	-10°	1.27m	-1.20m	
		基準	1.50m	-2.05m			基準	1.22m	-1.62m	
		+10°	2.28m	-2.48m			+10°	1.96m	-2.16m	
	東へ 50km	-10°	1.54m	-1.76m		東へ 50km	-10°	1.28m	-1.27m	
		基準	1.65m	-2.15m			基準	1.29m	-1.64m	
		+10°	2.02m	-2.47m			+10°	1.90m	-2.05m	
	基準	-10°	1.46m	-1.79m		基準	-10°	1.38m	-1.17m	
		基準	1.79m	-2.17m			基準	1.32m	-1.54m	
		+10°	1.95m	-2.41m			+10°	1.76m	-1.88m	
	西へ 50km	-10°	1.51m	-1.45m		西へ 50km	-10°	1.68m	-1.24m	
		基準	1.64m	-1.92m			基準	1.66m	-1.62m	
		+10°	1.97m	-2.25m			+10°	1.41m	-1.54m	
南方 へ 20km	東へ 100km	-10°	1.37m	-1.38m			-10°	1.37m	-1.38m	
		基準	1.32m	-1.84m			基準	1.32m	-1.84m	
		+10°	2.05m	-2.35m			+10°	2.05m	-2.35m	
	東へ 50km	-10°	1.47m	-1.52m				-10°	1.47m	-1.52m
		基準	1.37m	-1.91m				基準	1.37m	-1.91m
		+10°	1.99m	-2.29m				+10°	1.99m	-2.29m
	基準	-10°	1.35m	-1.42m				-10°	1.35m	-1.42m
		基準	1.40m	-1.85m				基準	1.40m	-1.85m
		+10°	1.93m	-2.18m				+10°	1.93m	-2.18m
	西へ 50km	-10°	1.47m	-1.41m				-10°	1.47m	-1.41m
		基準	1.70m	-1.75m				基準	1.70m	-1.75m
		+10°	1.78m	-1.91m				+10°	1.78m	-1.91m



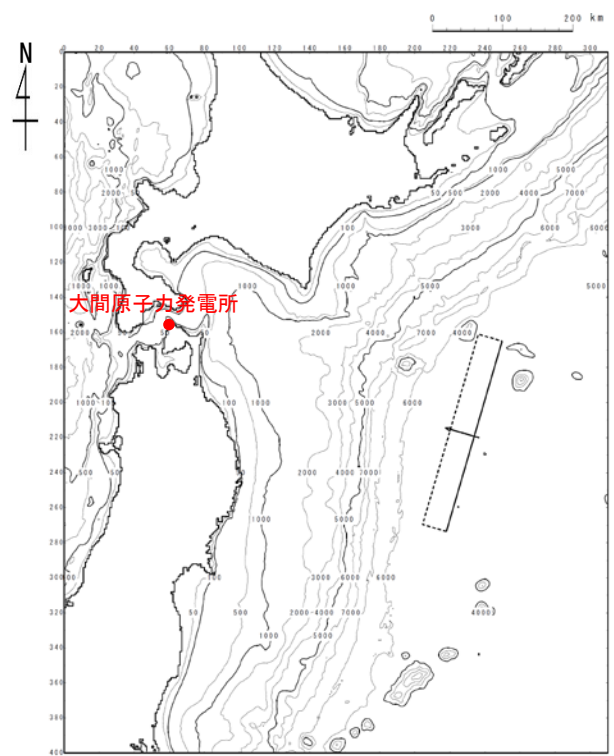
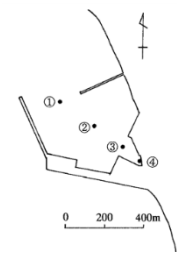


# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (18/24)

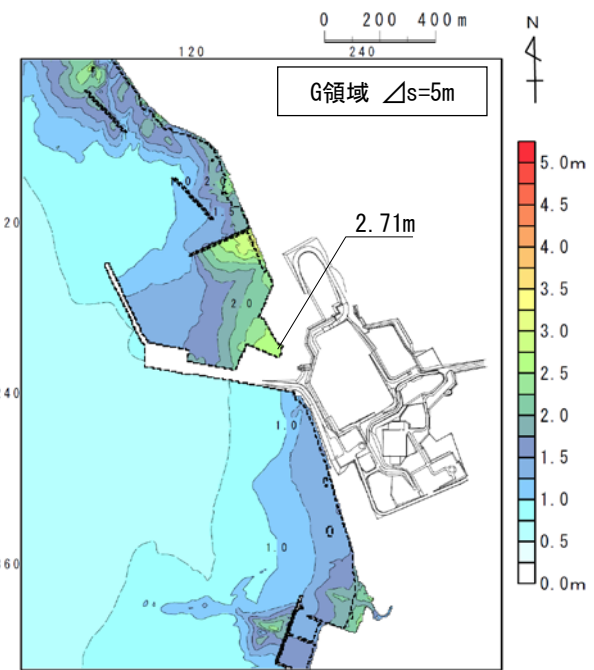
## 概略パラメータスタディ結果 (5/6) : 最大水位上昇ケース検討結果

敷地における概略パラメータスタディの最大水位上昇ケース検討結果は以下のとおりである。

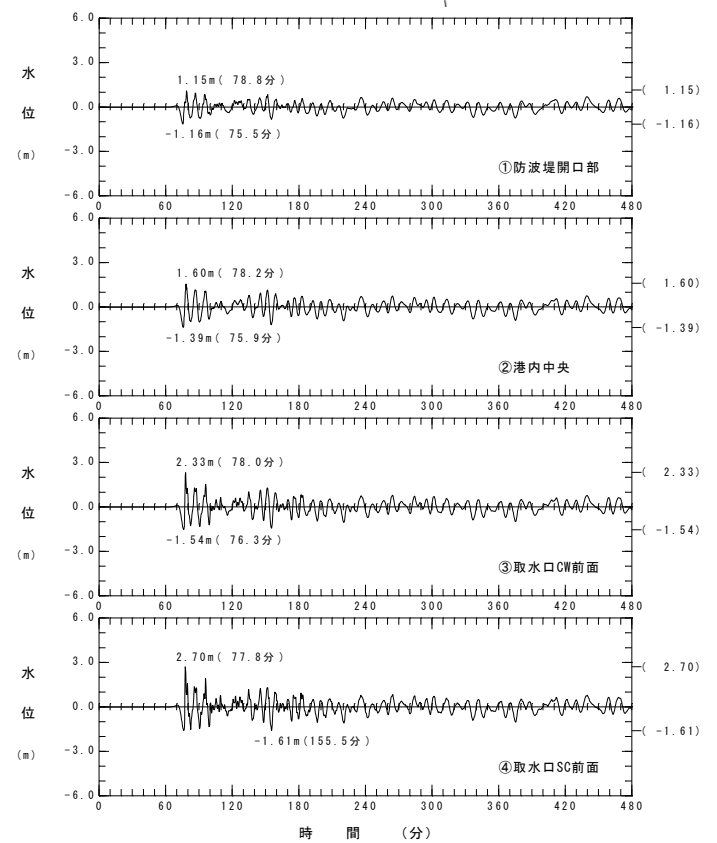
- 最大水位上昇ケース**
- ・ 波源の南北位置 : 基準
  - ・ 波源の東西位置 : 東へ100km
  - ・ 傾斜方向 : 西傾斜
  - ・ 走向 : 基準+10°



波源モデル



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形

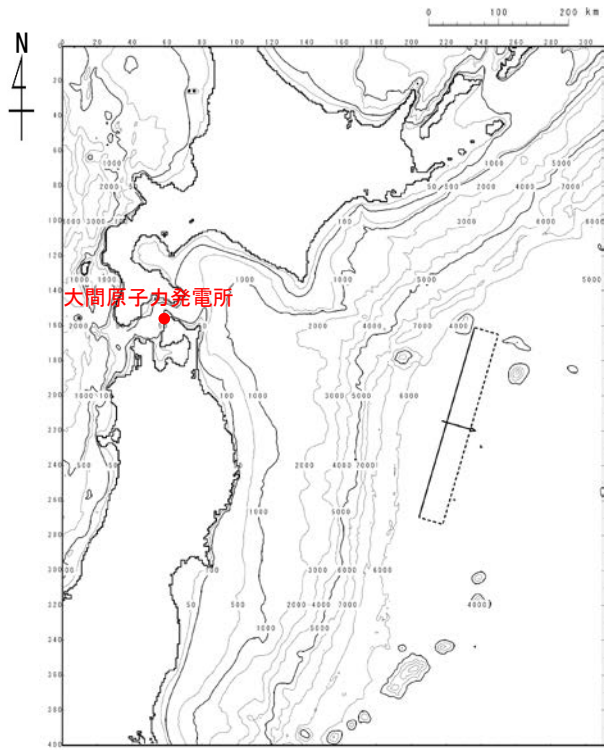
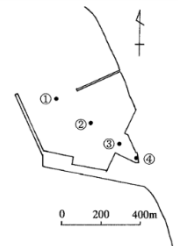


# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (19/24)

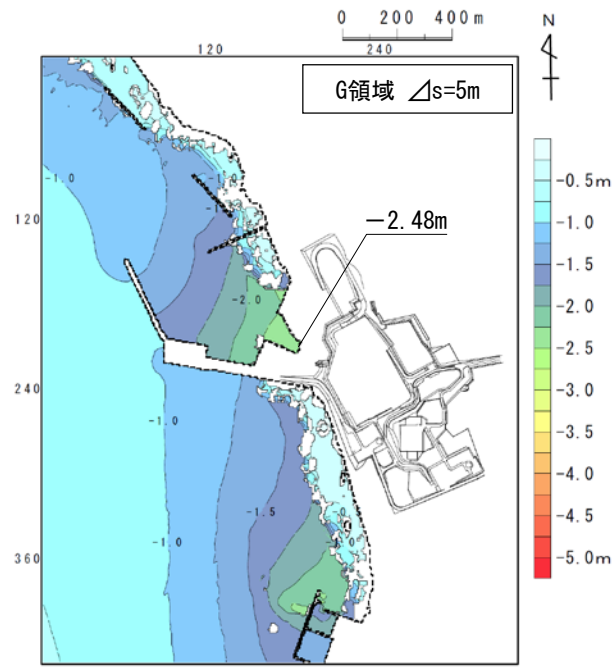
## 概略パラメータスタディ結果 (6/6) : 最大水位下降ケース検討結果

取水ロスクリーン室前面における概略パラメータスタディの最大水位下降ケース検討結果は以下のとおりである。

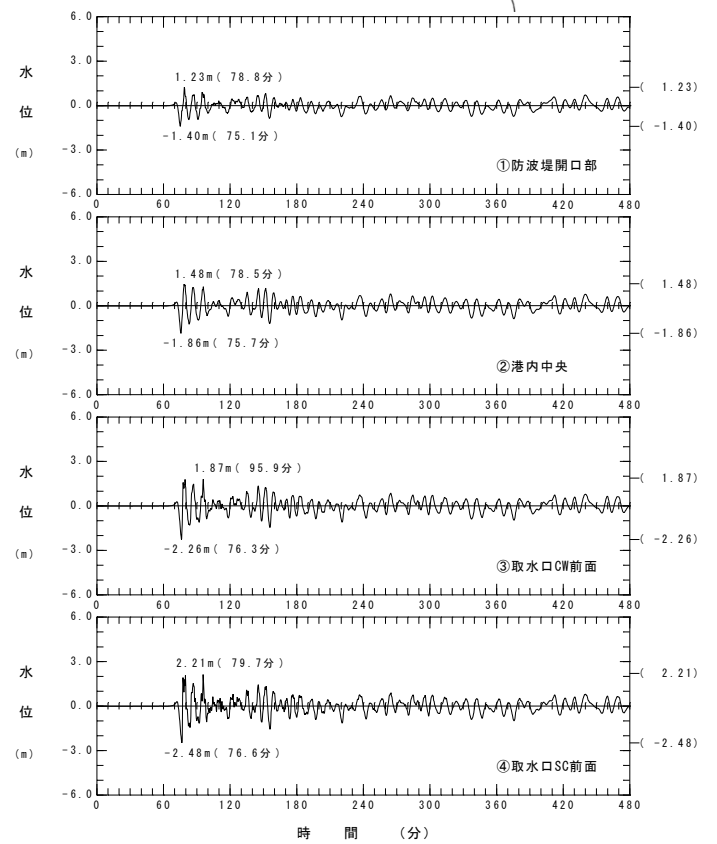
- 最大水位下降ケース**
- ・ 波源の南北位置 : 基準
  - ・ 波源の東西位置 : 東へ100km
  - ・ 傾斜方向 : 東傾斜
  - ・ 走向 : 基準+10°



波源モデル



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形



# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (20/24)

## 詳細パラメータスタディ (1/4) : 傾斜角・上縁深さ変化ケース

- ・ 傾斜角及び上縁深さを変化させる検討を実施した。
- ・ 各パラメータの変動は、土木学会 (2002) <sup>(56)</sup> の既存断層パラメータの傾斜角のばらつき評価結果 (約5°) 及び断層上縁深さの不確かさ検討状況 (0, 1, 2km) を参考に設定した。

詳細パラメータスタディ

項目		変動範囲	ケース数
傾斜角		基準 (45°), 基準±5°	土木学会 (2002) <sup>(56)</sup> の傾斜角の標準偏差相当
上縁深さ	海溝より東側の場合	0km, 1km (基準), 2km	土木学会 (2002) <sup>(56)</sup> の不確かさ検討例を参考に設定
	海溝より西側の場合	各波源位置のプレート境界面からの深さ 0km, 1km (基準), 2km	

### 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	萩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(°)		傾斜角(°)	
					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	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	6(3)	-2.7	9.6			91.7	11.3
	南部	40°N以南 138°E以东	F	5(3)	25.2	6.3			96.0	13.4

(注)・日本海溝および千島海溝(南部)沿い海域では、ハーバードCMTによる発震機構解(1976年1月~2000年1月に発生したM<sub>s</sub>6.0以上、深さ60km以下の地震)を解析対象とした。  
 ・日本海東縁部では、発震機構解の節面の特定が困難であるため、津波の痕跡高を説明できる断層モデルのパラメータを用いてばらつきを評価した。  
 ・「すべり方向」は、スリップベクトルの水平投影が真北から時計回りになす角度である。  
 ・日本海東縁部のデータ数のうち括弧内の値は、走向に対して適用した1枚断層換算のモデル数である。  
 ・日本海東縁部(南部)の新潟地震モデルにはNoguera and Abe (1992)を採用している。天保山形沖地震(1833)は沖合・沿岸近くの両モデルを採用している。  
 ・萩原マップは萩原尊禮編(1991)による。土木学会 (2002) <sup>(56)</sup> に一部加筆

### 3.2.3 詳細パラメータスタディの結果

3 領域で基準断層モデルを位置移動した概略パラメータスタディでの計算ケースのうち、以下の3波源を詳細パラメータスタディの基準断層モデルとした(図3.2.1-4参照)。

- (i)領域4の断層を最も南に配置したケース(岩手県南部~宮城県北部で最大水位上昇量)
- (ii)領域3の断層を最も北に配置したケース(北海道南部~岩手県北部で最大水位上昇量)
- (iii)領域3の断層を南から2番目に配置したケース(宮城県北部で最大水位上昇量)

上記基準断層モデルについて、同位置で以下のように断層パラメータを変化させた計算を実施した。

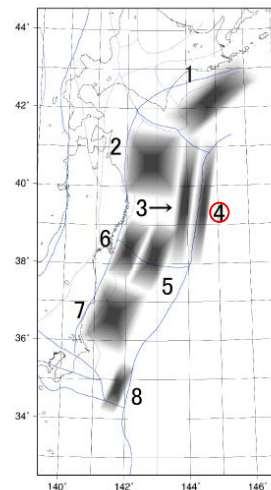
#### (1)領域4(プレート内正断層)

- ・断層上縁深さ : 0, 1, 2km
- ・傾斜角  $\delta$  : 基準, 基準±5°
- ・走向  $\theta$  : 基準, 基準±10°

#### (2)領域3(逆断層)

- ・傾斜角  $\delta$  : 基準, 基準±5°
- ・走向  $\theta$  : 基準, 基準±10°
- ・すべり方向 : 基準, 基準±10°

(すべり角はすべり方向を満足するよう変動する。)



海域の領域区分

### 断層上縁深さの不確かさ考慮方法



# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (21/24)

## 詳細パラメータスタディ (2/4) : 検討結果

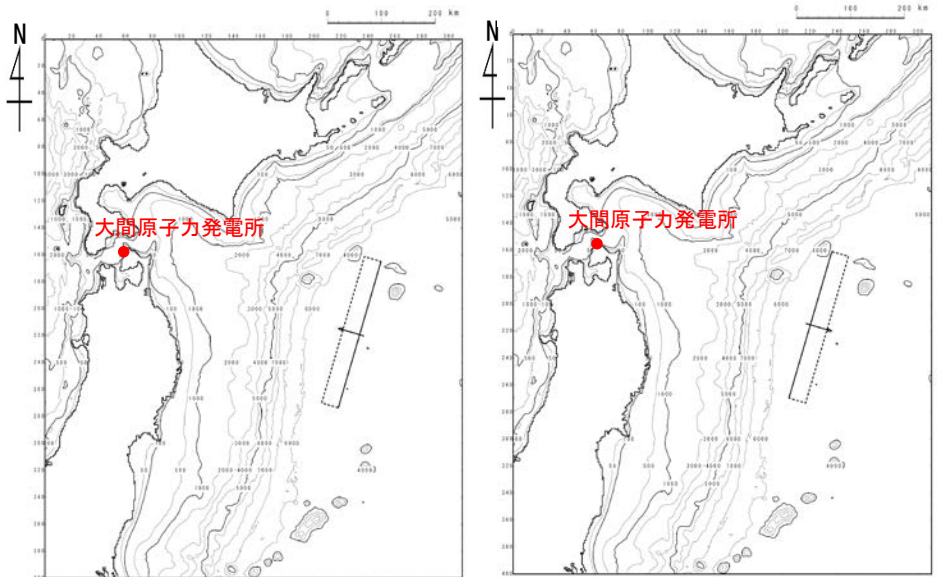
・ 詳細パラメータスタディの結果は以下のとおりである。

**最大水位上昇ケース**

- ・ 波源の南北位置：基準
- ・ 波源の東西位置：東へ100km
- ・ 傾斜方向：西傾斜
- ・ 走向：基準+10°
- ・ 傾斜角：基準+5°
- ・ 上縁深さ：基準

**最大水位下降ケース**

- ・ 波源の南北位置：基準
- ・ 波源の東西位置：東へ100km
- ・ 傾斜方向：東傾斜
- ・ 走向：基準+10°
- ・ 傾斜角：基準+5°
- ・ 上縁深さ：基準



最大ケースの波源モデル

### 詳細パラメータスタディ結果

概略パラスタ	傾斜方向	南北位置	東西位置	走向	傾斜角	上縁深さ	最大水位上昇量	最大水位下降量	
上昇側	西傾斜	基準	東へ100km	+10°	-5°	0km	2.55m	-1.68m	
						基準	2.54m	-1.65m	
						2km	2.52m	-1.63m	
					基準	0km	2.71m	-1.61m	
						基準	2.71m	-1.61m	
						2km	2.70m	-1.63m	
						+5°	0km	2.89m	-1.61m
							基準	2.90m	-1.62m
							2km	2.88m	-1.63m
下降側	東傾斜	基準	東へ100km	+10°	-5°	0km	2.22m	-2.35m	
						基準	2.25m	-2.37m	
						2km	2.27m	-2.37m	
					基準	0km	2.26m	-2.47m	
						基準	2.28m	-2.48m	
						2km	2.29m	-2.48m	
						+5°	0km	2.28m	-2.56m
							基準	2.29m	-2.57m <sup>※</sup>
							2km	2.30m	-2.57m

※: 小数第3位まで考慮すると、上縁深さ基準 (1km) で最大



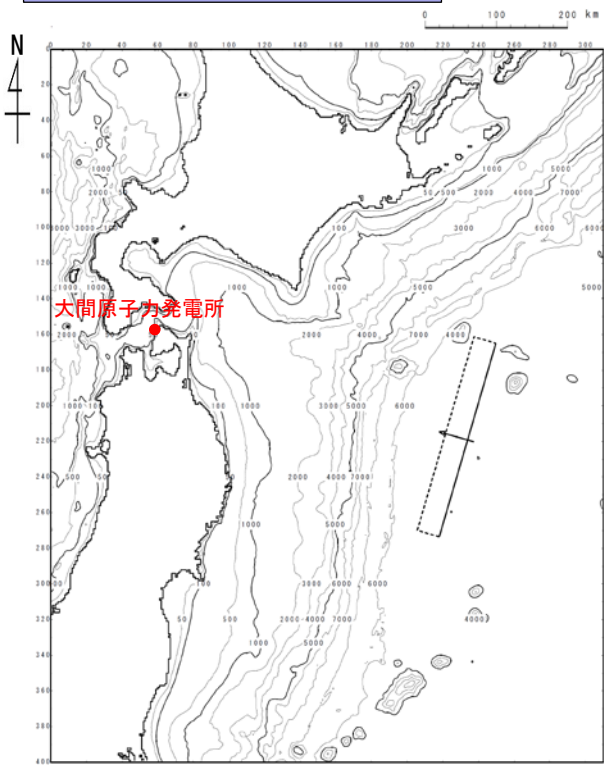
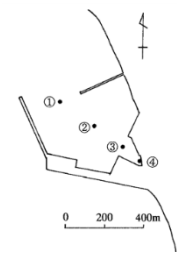


# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (22/24)

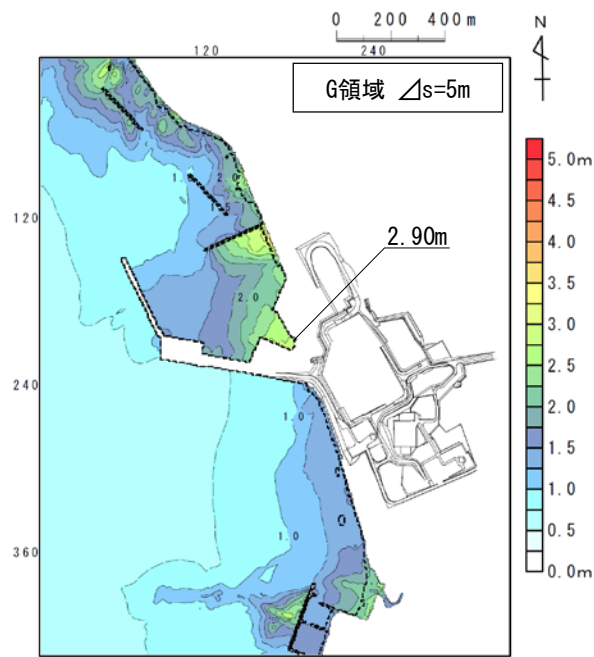
## 詳細パラメータスタディ結果 (3/4) : 最大水位上昇ケース検討結果

敷地における詳細パラメータスタディの最大水位上昇ケース検討結果は以下のとおりである。

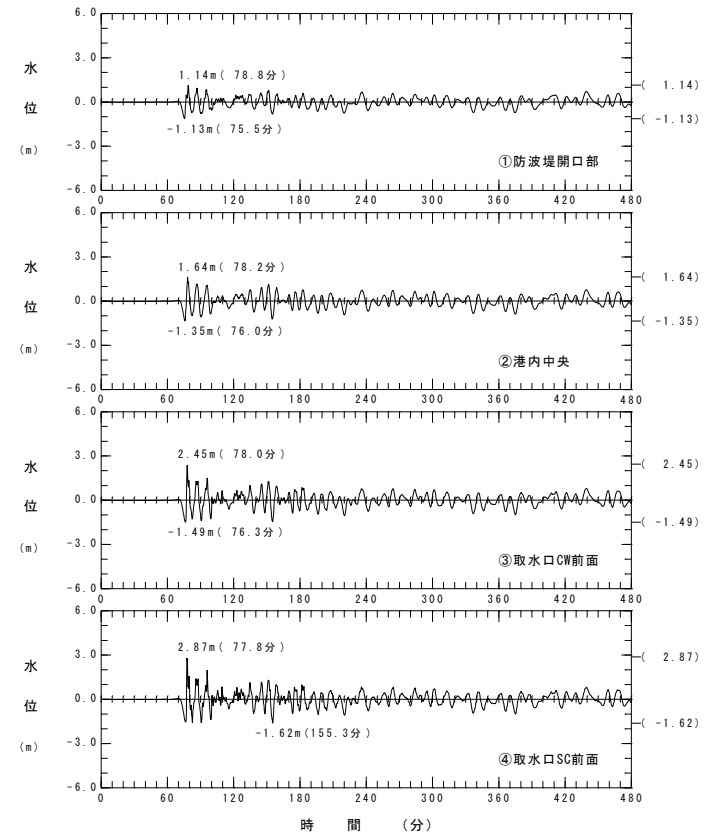
- 最大水位上昇ケース**
- ・ 波源の南北位置：基準
  - ・ 波源の東西位置：東へ100km
  - ・ 傾斜方向：西傾斜
  - ・ 走向：基準+10°
  - ・ 傾斜角：基準+5°
  - ・ 上縁深さ：基準



波源モデル



最大水位上昇量分布



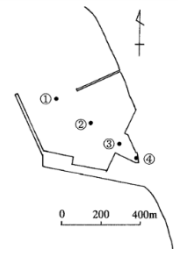
水位時刻歴波形



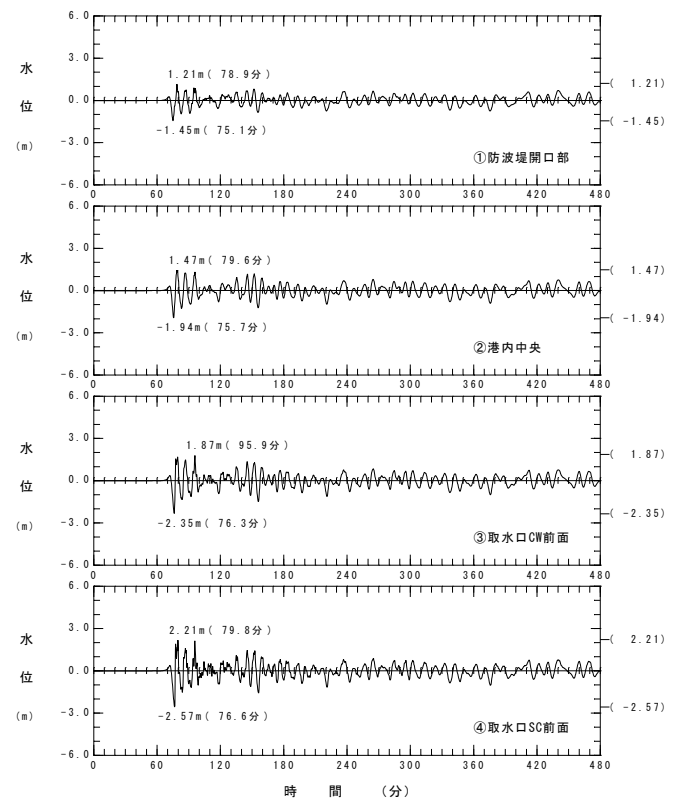
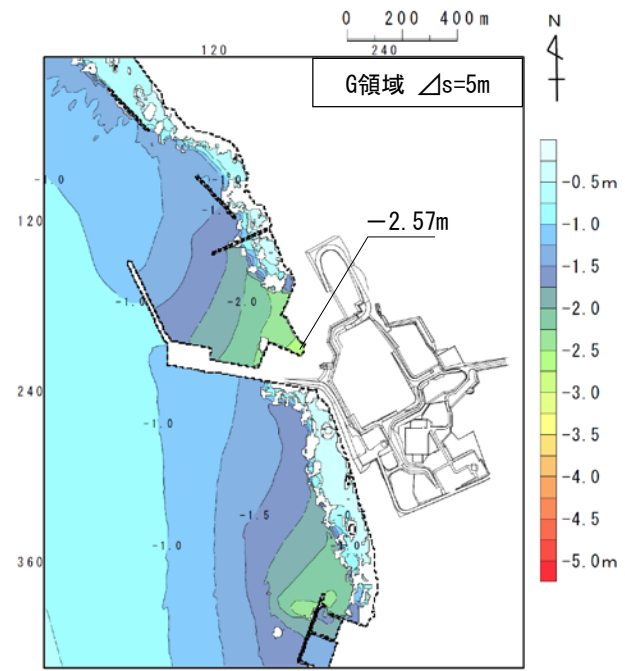
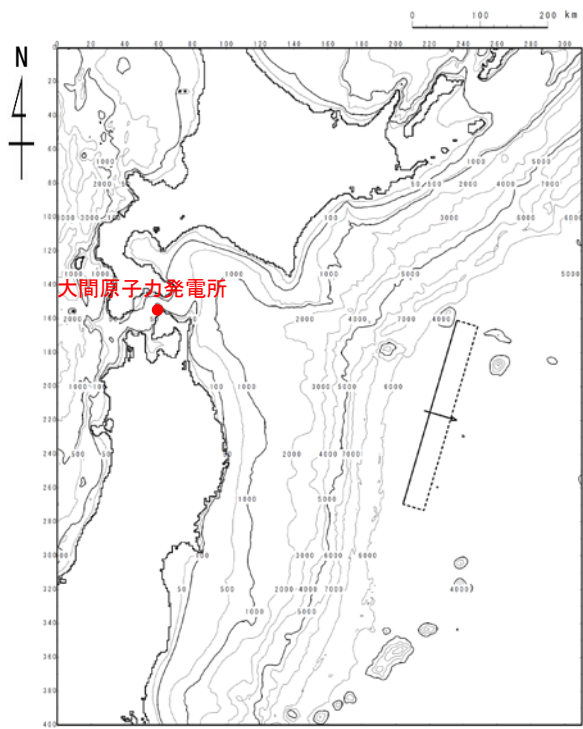
# 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波 (23/24)

## 詳細パラメータスタディ結果 (4/4) : 最大水位下降ケース検討結果

取水口スクリーン室前面における詳細パラメータスタディの最大水位下降ケース検討結果は以下のとおりである。



- 最大水位下降ケース**
- ・ 波源の南北位置：基準
  - ・ 波源の東西位置：東へ100km
  - ・ 傾斜方向：東傾斜
  - ・ 走向：基準+10°
  - ・ 傾斜角：基準+5°
  - ・ 上縁深さ：基準





## 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波（24 / 24）



## 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波検討結果

三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波の検討結果は下表のとおりである。

各パラメータスタディの最大ケース一覧表

	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面における 最大水位下降量
概略パラメータスタディ	2.71m	-2.48m
詳細パラメータスタディ	2.90m	-2.57m

(余白)

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
    - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
    - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波





# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波 (1 / 2 2)

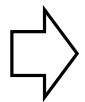
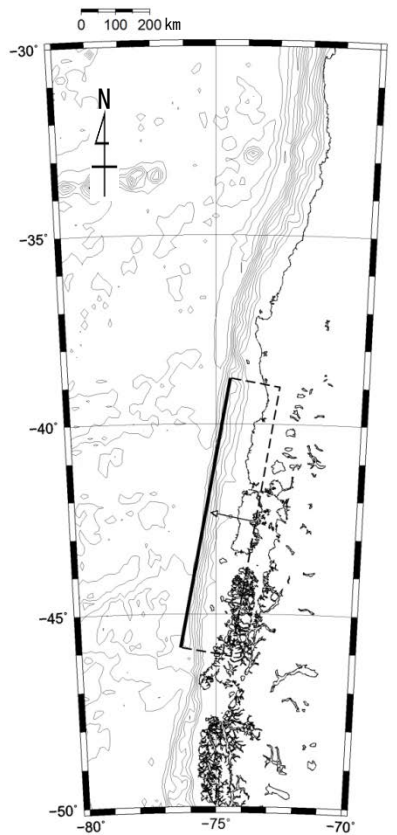
## チリ沖に想定される地震に伴う津波の検討フロー

• チリ沖に想定される地震に伴う津波については、1960年チリ地震津波が当該海域における最大規模の津波であることを踏まえ、既往津波高を再現する波源モデルを基本として、以下のフローで検討を実施した。

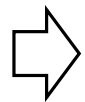
### 基準波源モデルの設定

### 概略パラメータスタディ

### 詳細パラメータスタディ



変動パラメータ※
・断層の位置
・走向



変動パラメータ※
・傾斜角
・上縁深さ

概略パラメータスタディにおいて最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを詳細パラメータスタディの検討対象とする。

※変動幅は敷地への影響及び科学的知見を考慮し設定。

## 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波（2 / 2 2）



### 基準波源モデルの設定（基本方針）

- チリ沖に想定される地震に伴う津波の検討に当たっては、1960年チリ地震津波が当該海域における最大規模の津波であること、及び当該海域で発生する津波の敷地への影響が大きいと考えられること※を踏まえ、1960年チリ地震津波の波源モデルを基準波源モデルとして設定する。

※：補足説明資料「5. チリ沖に想定される地震に伴う津波の影響検討」参照。





コメントNo.S5-37

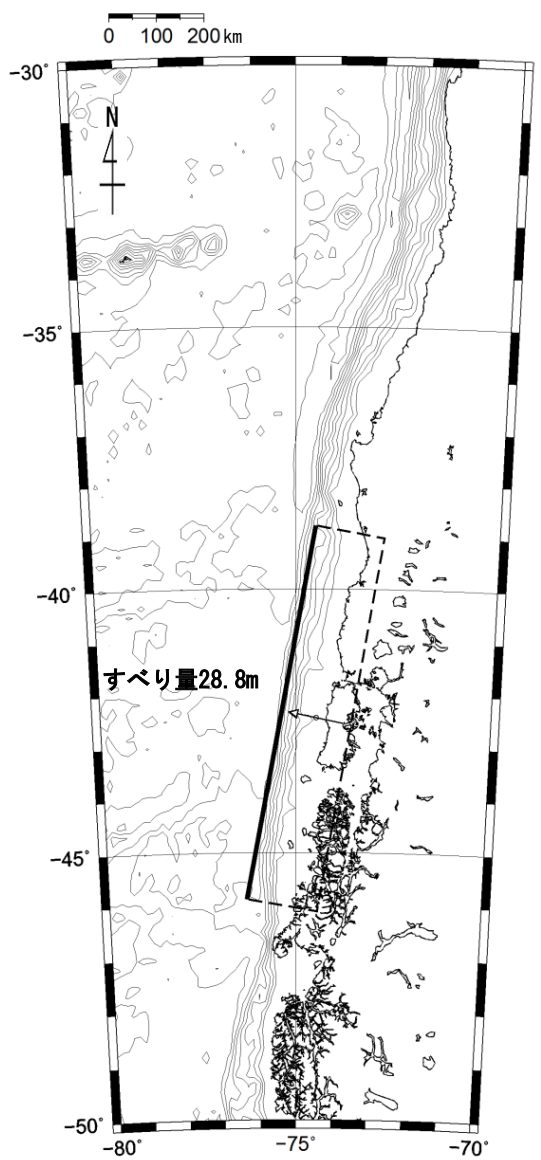
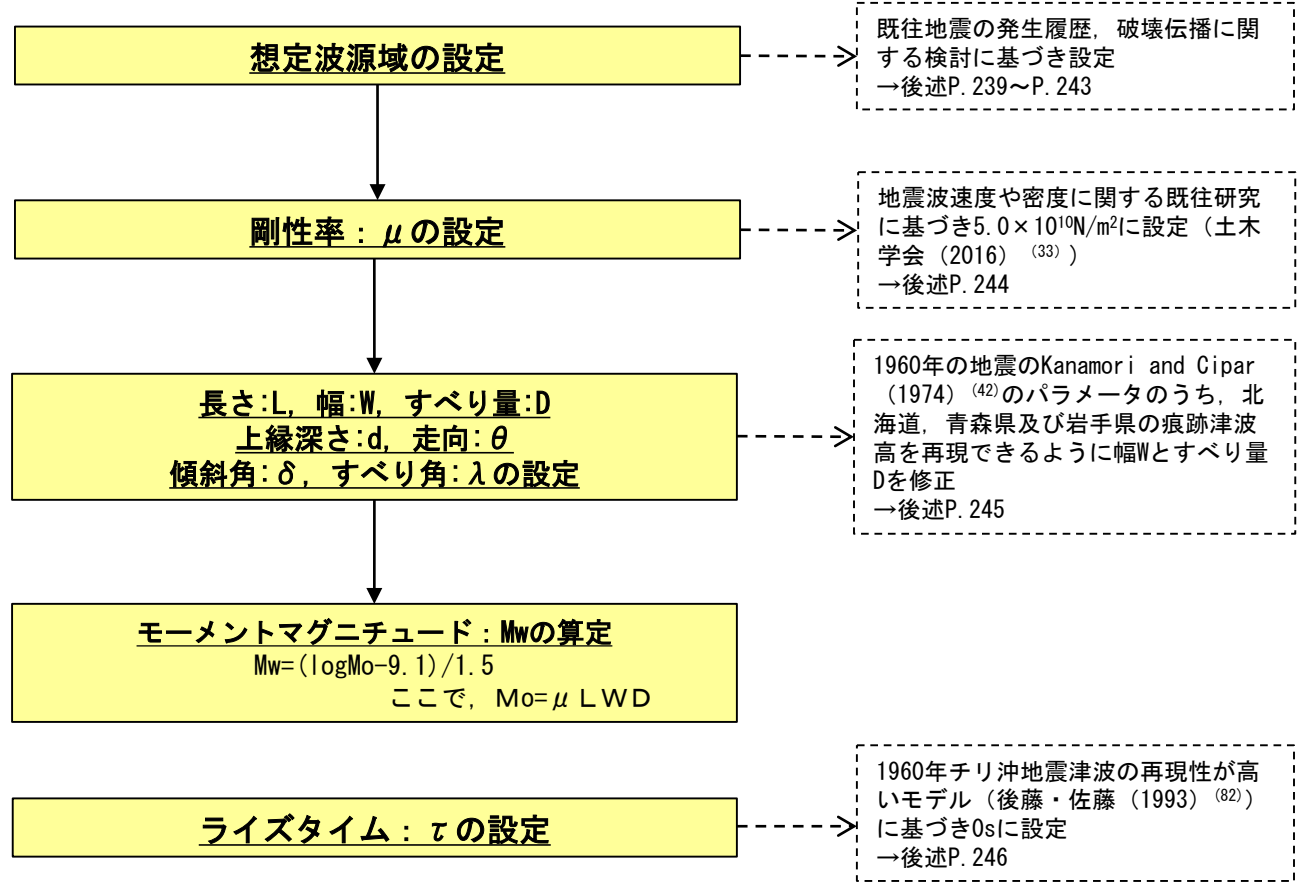
# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波 (3/22)

## 基準波源モデルの設定 (設定方法)

以下のフロー及び設定根拠に基づき、基準波源モデルを設定した。

### 基準波源モデル設定フロー

### 設定根拠

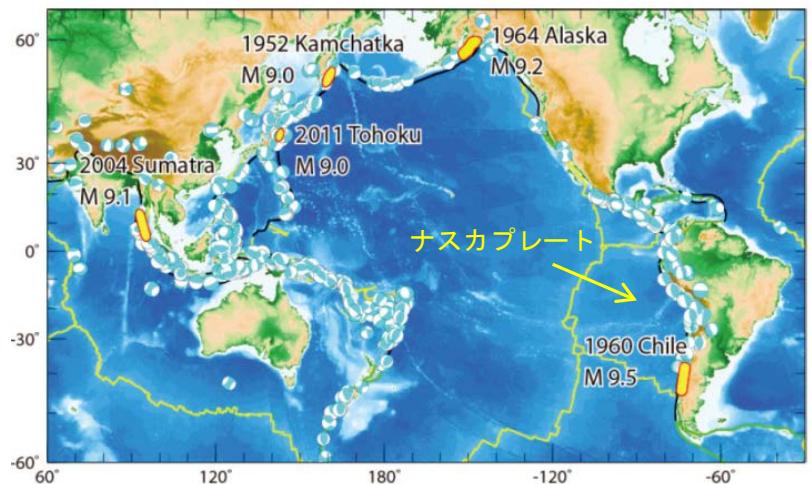


基準波源モデル (修正K&CモデルMw=9.4)



# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波 (4 / 22)

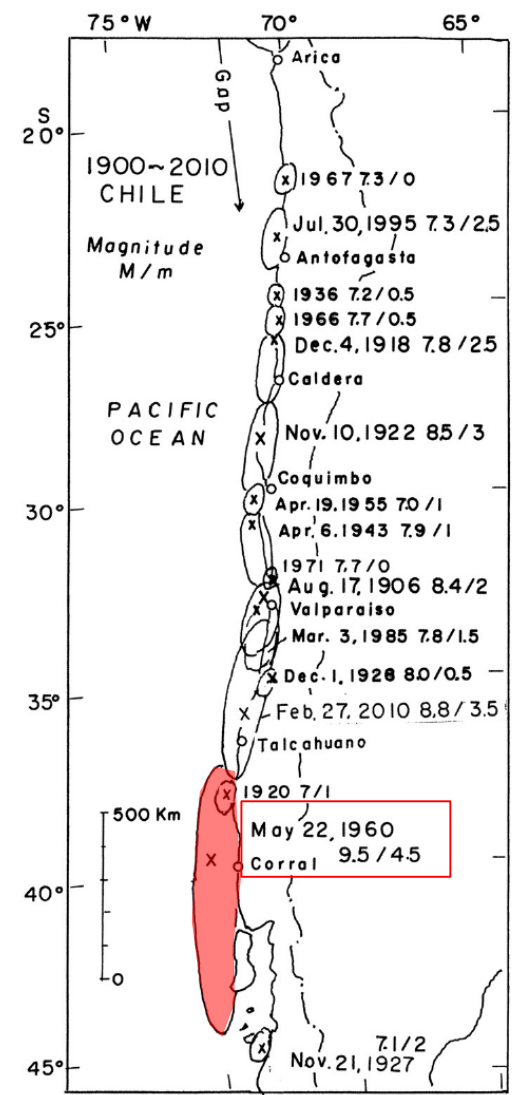
## 波源領域の設定 (1 / 5) : 既往地震の発生履歴



佐竹 (2013) (83) に一部加筆

環太平洋の大地震の分布

- 1960年チリ地震は、チリ沖合の海溝沿いにおけるナスカプレートの沈み込みによって発生したプレート間地震であり、歴史上最大の地震 (M9.5) である。
- 文献調査から、チリ沖の波源域で発生した津波のうち、津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる津波としても、1960年チリ地震津波を抽出している。



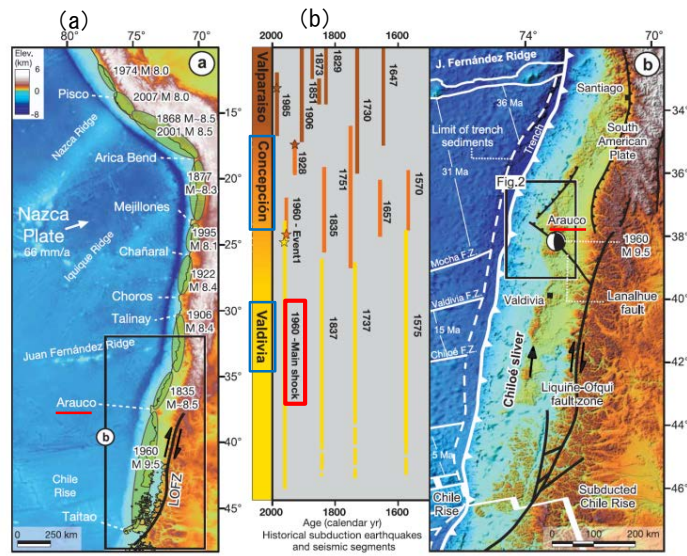
チリ沿岸の津波波源域分布 (1900-2010)

羽鳥 (2011) (13) に一部加筆



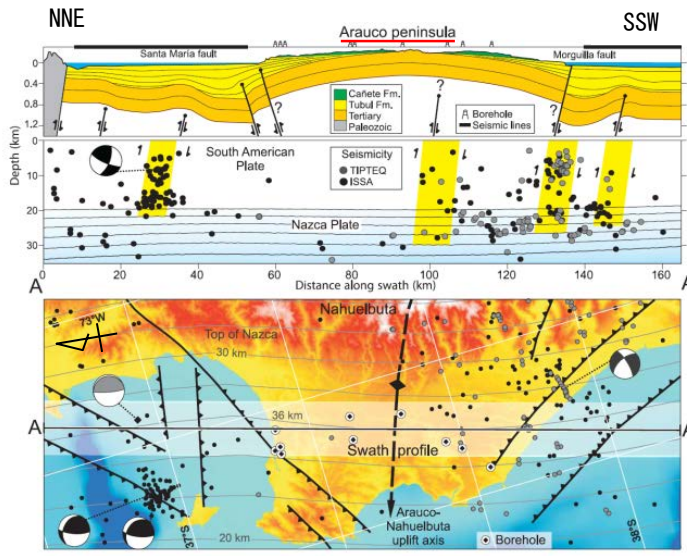
## 波源領域の設定 (2 / 5) : 破壊伝播の検討 (1 / 3)

チリ沖 (北端)



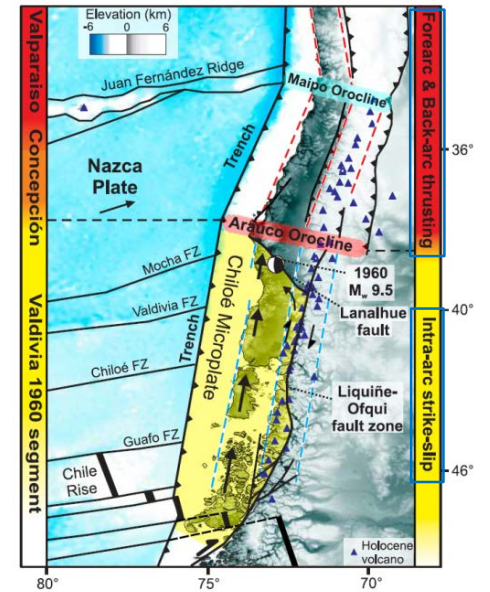
(a) 主要なM8以上の沈み込み地震のセグメント  
(b) Arauco半島の位置と主要な歴史地震の領域の関係

Valdivia沖に位置する1960年チリ地震の発生領域とConcepcion沖の既往地震発生領域とは別領域であり、これら領域の境界は、Arauco半島の沖合とほぼ一致する。



Arauco半島沿いの地殻構造の縦断面図

Arauco半島には東西方向に背斜軸が存在する。



地震構造モデル

Arauco半島以南の地震構造モデルを Intra-arc strike-slip, 以北の地震構造モデルをForearc & Back-arc thrustingに区分しており、Arauco半島を挟んで運動形態が異なる。

Melnick et al. (2009) (84)に一部加筆

チリ沖で約300年間隔で繰り返し発生させるM9クラスの巨大地震領域の北端は、Arauco半島の地下構造が不連続な位置と一致している。  
Melnick et al. (2009) (84)による



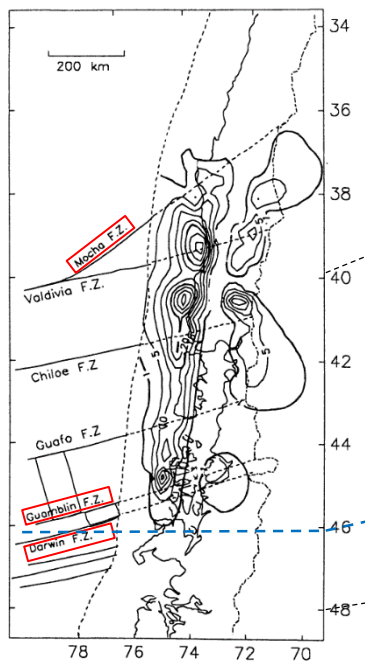


# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波 (6/22)

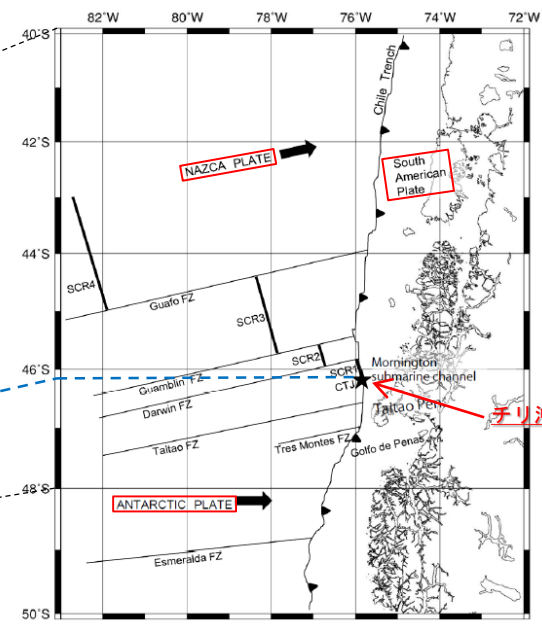
## 波源領域の設定 (3/5) : 破壊伝播の検討 (2/3)

チリ沖(南端)

1960年チリ地震の地殻変動データをもとに、インバージョン法によりすべり量分布を推定した結果、1960年チリ地震の北端はMocha断裂帯、南端はGuambini断裂帯とDarwin断裂帯の位置と一致している。



Barrientos and Ward (1990) (85)による1960年チリ地震のすべり量分布の南端の位置と「チリ沖三重会合点」はほぼ一致している。



南米チリ沖の46° 30' S付近はナスカプレート、南極プレート、南米プレートの境界である「チリ沖三重会合点」が存在する。

1960年チリ地震の地殻変動データを基にしたインバージョン解析により得られたすべり分布と主要な断裂帯の位置関係

Barrientos and Ward (1990) (85)に一部加筆

チリ沖三重会合点 (CTJ)

松本ほか (2010) (86)に一部加筆

- 1960年チリ地震の南端は、主要な断裂帯及びプレート境界が破壊伝播のバリアとなっている可能性があると考えられる。

## 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波（7 / 2 2）



### 波源領域の設定（4 / 5）：破壊伝播の検討（3 / 3）

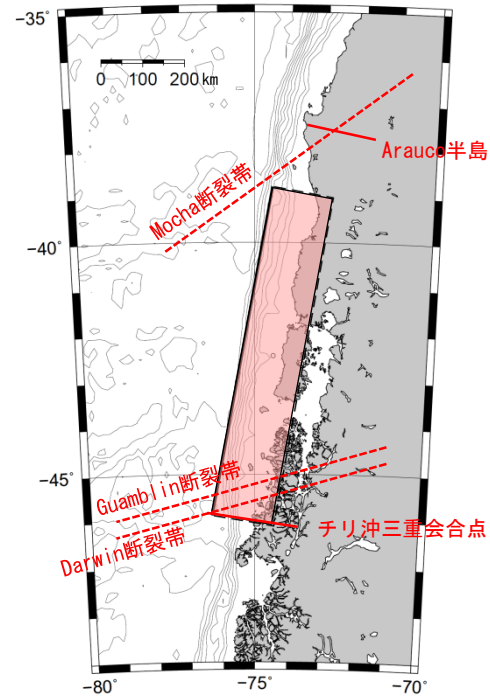
#### 破壊伝播の検討のまとめ

- ・ 1960年チリ地震の北端及び南端にはそれぞれ構造境界が存在すると考えられる。
- ・ 1960年チリ地震では、この構造境界のほぼ全域が破壊したと考えられる。



# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波 (8/22)

## 波源領域の設定 (5/5) : 安全評価上の想定波源域の考え方



修正K&CモデルMw=9.4

1960年チリ地震では構造境界のほぼ全域が破壊したと考えられることから、安全評価上の想定波源域として、1960年チリ地震津波を再現するモデルの範囲とした。







# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波 (10/22)

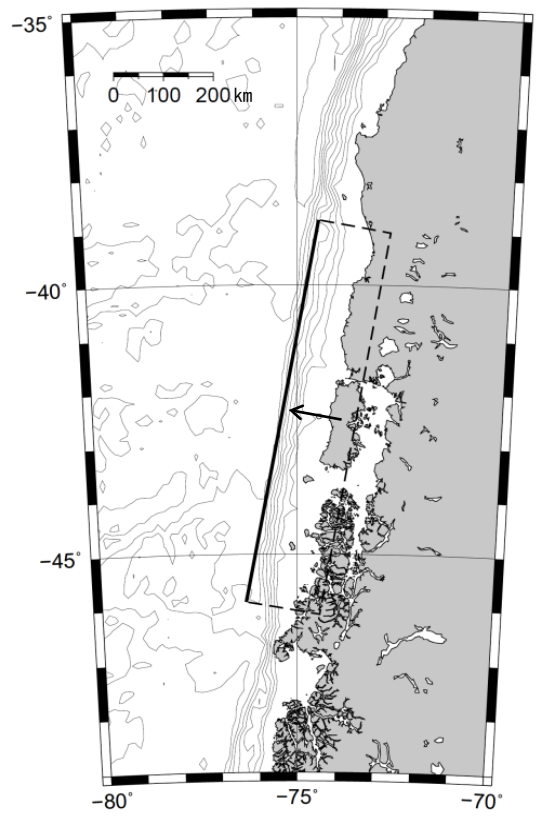
## パラメータの設定 (2/3) : 長さ・幅・すべり量・走向・上縁深さ・傾斜角・すべり角の設定

• 波源のパラメータの長さL, 幅W, すべり量D, 走向 $\theta$ , 上縁深さd, 傾斜角 $\delta$ 及びすべり角 $\lambda$ は, 1960年チリ地震津波の既往津波高の再現性が高いモデル\*のパラメータを採用した。

設定パラメータ

項目	諸元	設定根拠
長さ L (km)	800	1960年チリ地震津波の既往津波高の再現性が高いモデルのパラメータを採用 (P. 53, P. 54参照)
幅 W * (km)	150 (200)	
すべり量 D* (m)	28.8 (24.0)	
走向 $\theta$ (°)	10	
上縁深さ d (km)	1	
傾斜角 $\delta$ (°)	10	
すべり角 $\lambda$ (°)	90	

\*Kanamori and Cipar (1974) (42) の幅及びすべり量を修正して設定。  
( ) : 修正前の値。



修正K&Cモデル (Mw=9.4)



# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波（11／22）

## パラメータの設定（3／3）：ライズタイムの設定

- 後藤・佐藤（1993）<sup>(82)</sup>の1960年チリ地震津波の津波痕跡高さ再現モデルでは、海底の変位を海面上に与える際には、変動全体が瞬時に完了するものとしている。
- 以上を踏まえライズタイムは0秒（瞬時に変位完了）とした。

	明治29年	昭和8年	昭和43年	チリ津波	備考
モデル	相田(1977) MJ-6	相田(1977) ST-3	相田(1978) D2	Kanamori	
長さ (km)	210	185	150	800	
幅 (km)	50	50	100	200	
上端の深さ(km)	1	1	1	53	
傾斜角 (°)	20	45	20	10	
傾斜方向	S66° W	N90° W	S66° W	S80° E	
すべり量					
縦ずれ (m)	-10.6	6.6	-2.5	-24.0	+: 正断層
横ずれ (m)	-6.7	0.0	-3.2	0.0	+: 左ずれ
断層の 左上	緯度 40° 57' 経度 143° 18'	緯度 40° 10' 経度 144° 30'	緯度 41° 35' 経度 143° 35'	—	
断層の 左下	緯度 39° 14' 経度 144° 15'	緯度 38° 30' 経度 144° 30'	緯度 40° 19' 経度 144° 13'	—	

上記の断層パラメータが与えられると、断層近傍の海底面（地表面）での鉛直変位分布は弾性論を基礎とした Mansinha and Smylie<sup>10)</sup>の方法により計算で求めることができる。この鉛直変位を海面の水位として与えて、津波数値計算の初期条件とする。

海底の変位を海面上に与える際には、変動全体が瞬時に完了するものとしている。実際の地震断層運動においては、変動は瞬間的に生じるのではなく、数秒から100秒程度の継続時間を持つことが知られているが、津波の発生時の水位変動としては、瞬間的に海面上に変化が生じた場合と、1から2分の立ち上がり時間で完了させた場合とでは、ほとんど差がないことが確認されている<sup>11)</sup>。

後藤・佐藤(1993)<sup>(82)</sup>に一部加筆



コメントNo.S5-37

## 基準波源モデルの設定 (まとめ)

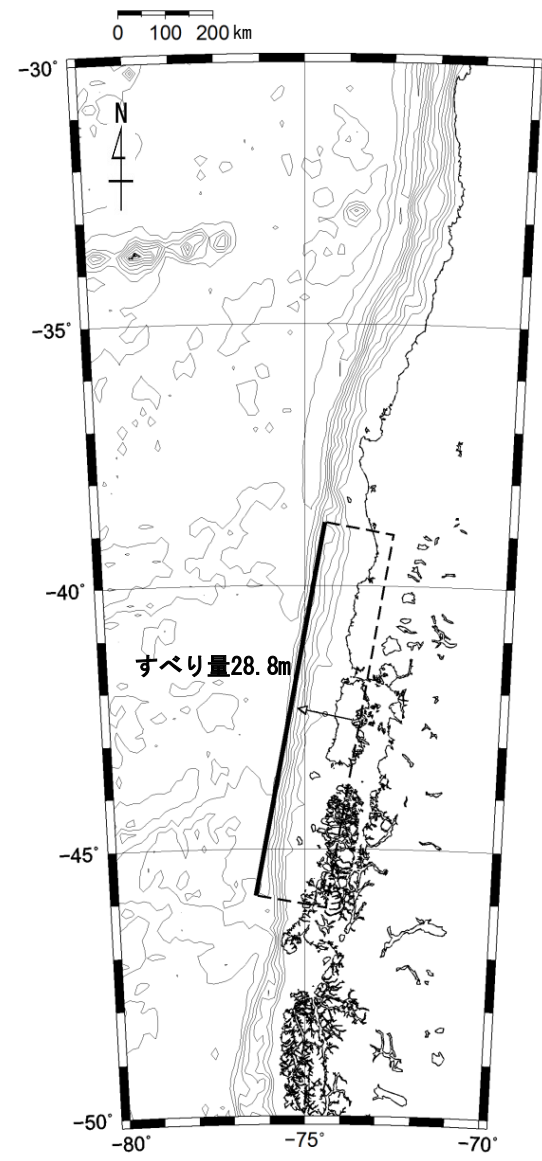
- 想定波源域及び地震規模は、1960年チリ地震津波の既往津波高を再現するモデル※を参照し設定した。

基準波源モデルのパラメータ

項目	諸元	主な設定根拠
モーメントマグニチュード $M_w$	9.4	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$
長さ $L$ (km)	800	1960年チリ地震津波の痕跡高の再現性が高いモデル
幅 $W^*$ (km)	150 (200)	1960年チリ地震津波の痕跡高の再現性が高いモデルを基本とし、再現性が確認できる量に修正
すべり量 $D^*$ (m)	28.8 (24.0)	
剛性率 $\mu$ ( $N/m^2$ )	$5.0 \times 10^{10}$	土木学会 (2016) <sup>(33)</sup>
地震モーメント $M_0$ ( $N \cdot m$ )	$1.73 \times 10^{23}$	$M_0 = \mu L W D$
走向 $\theta$ ( $^\circ$ )	10	1960年チリ地震津波の痕跡高の再現性が高いモデル
上縁深さ $d$ (km)	1	
傾斜角 $\delta$ ( $^\circ$ )	10	
すべり角 $\lambda$ ( $^\circ$ )	90	
ライズタイム $\tau$ (s)	0	

※Kanamori and Cipar (1974) <sup>(42)</sup> の幅及びすべり量を修正して設定。

( ): 修正前の値。



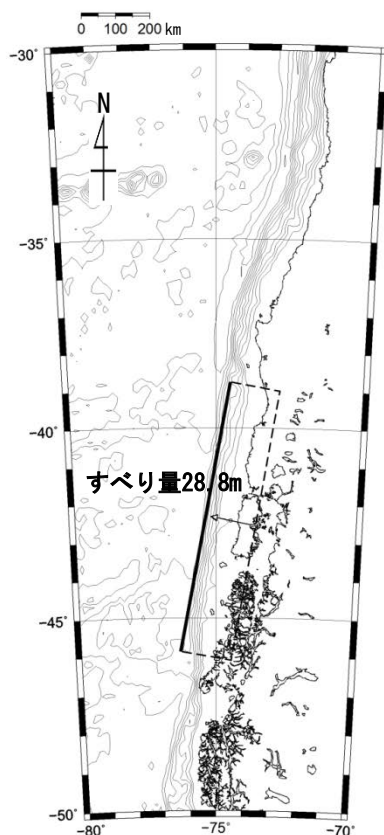
基準波源モデル



# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波（13／22）

## パラメータスタディ

- ・概略パラメータスタディとして、断層の位置、及び走向を組合せた検討を実施した。
- ・概略パラメータスタディにおける最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを対象に、傾斜角及び上縁深さを組合せた検討を実施した。



基準波源モデル

### 概略パラメータスタディ

項目	変動範囲	ケース数	
断層の位置	基準, 北方へ100km, 200km	3	計 9
走向	基準 (10°), 基準±5°	3	

### 詳細パラメータスタディ

項目	変動範囲	ケース数	
傾斜角	基準 (10° : 概略パラスタケース), 基準±5°	3	計 9
上縁深さ	0 km, 1 km (基準 : 概略パラスタケース), 2 km	3	

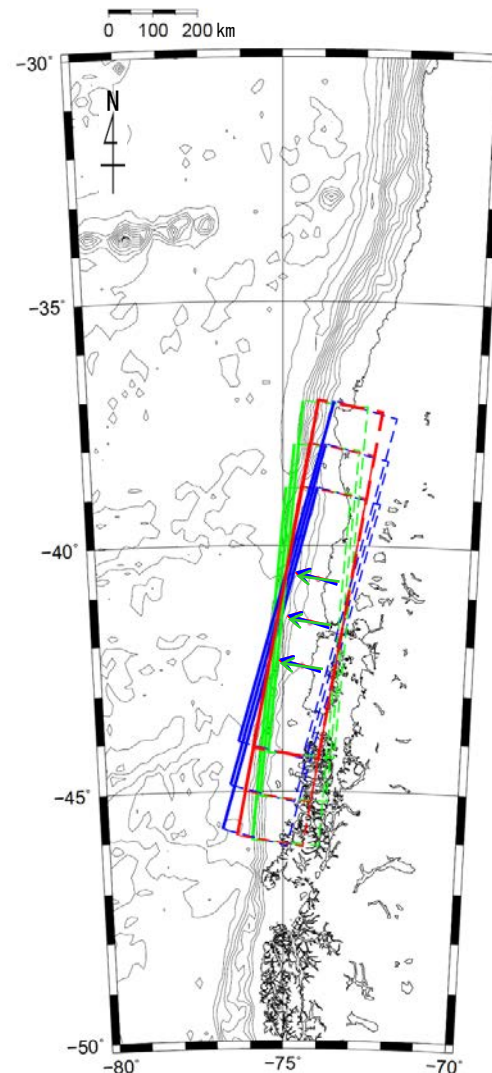


## 概略パラメータスタディ (1 / 4) : 断層の位置・走向変化ケース

・断層の位置と走向を変化させる検討を実施した。

概略パラメータスタディ

項目	値の範囲	備考
断層の位置	基準 北方へ100km 北方へ200km	プレート境界 (S46° 付近) や構造境界 (S37° 付近) を考慮して波源長さ (800km) の1/10程度を移動。
走向	基準 (10° ) 基準±5°	海溝軸から大きくはみ出さない範囲で設定。



□ : 走向+5°  
□ : 走向基準  
□ : 走向-5°

概略パラメータスタディ



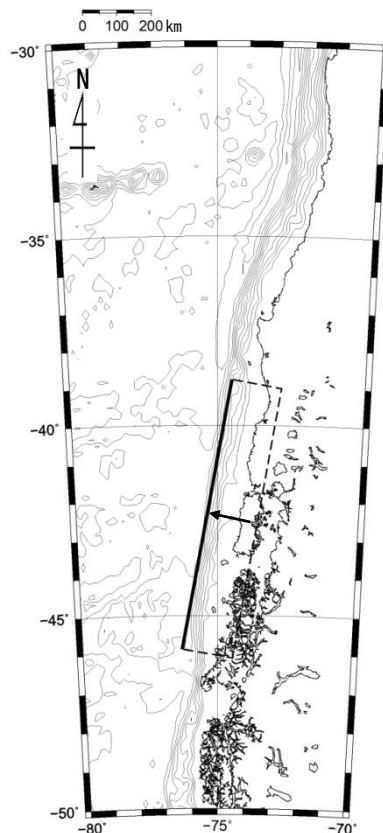


## 概略パラメータスタディ（2/4）：検討結果

概略パラメータスタディの結果は以下のとおりである。

### 最大水位上昇および最大水位下降ケース

- ・位置：基準
- ・走向：基準



最大ケースの波源モデル

### 概略パラメータスタディ結果一覧

南北位置	走向	最大水位上昇量	最大水位下降量
北方へ+200km	-5°	2.07m	-2.48m
	基準	1.99m	-2.39m
	+5°	1.87m	-2.00m
北方へ+100km	-5°	2.18m	-2.71m
	基準	2.14m	-2.69m
	+5°	2.00m	-2.11m
基準	-5°	2.34m	-2.68m
	基準	2.34m <sup>※</sup>	-2.79m
	+5°	1.95m	-2.34m

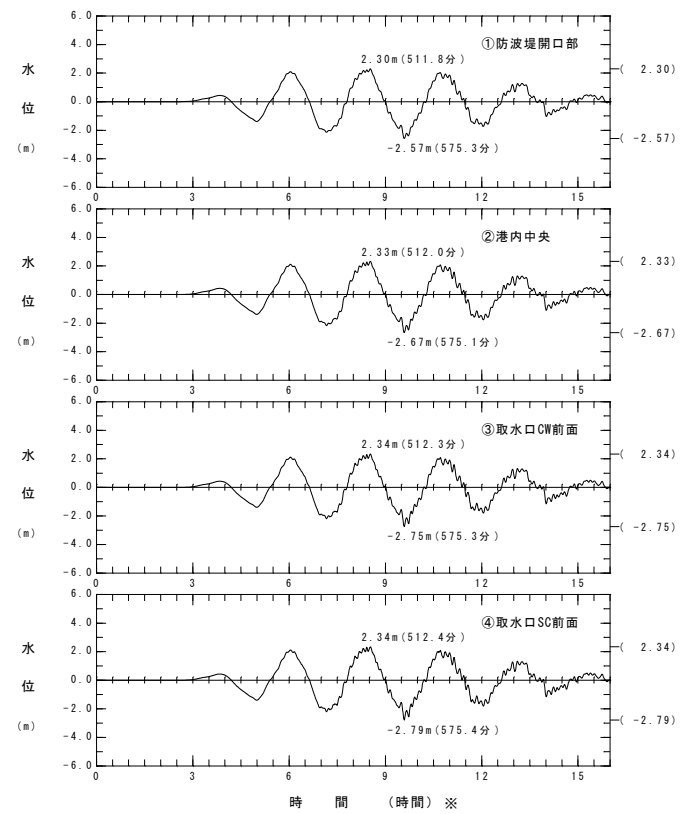
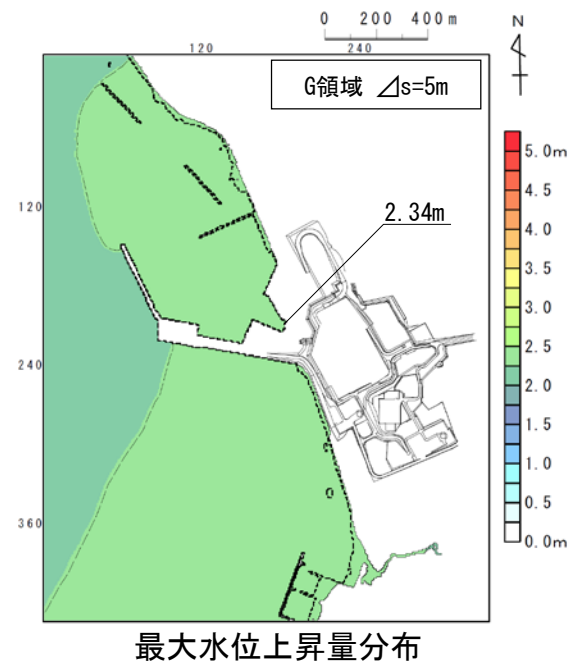
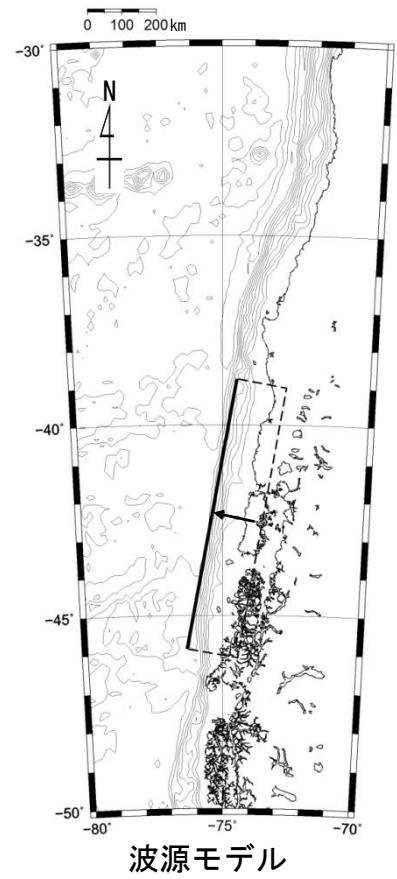
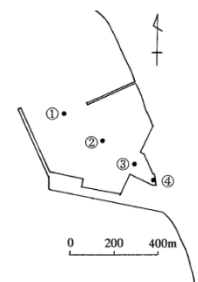
※:小数第3位まで考慮すると基準走向で最大。



## 概略パラメータスタディ（3/4）：最大水位上昇ケース検討結果

敷地における概略パラメータスタディの最大水位上昇ケース検討結果は以下のとおりである。

**最大水位上昇ケース**  
 ・位置：基準  
 ・走向：基準



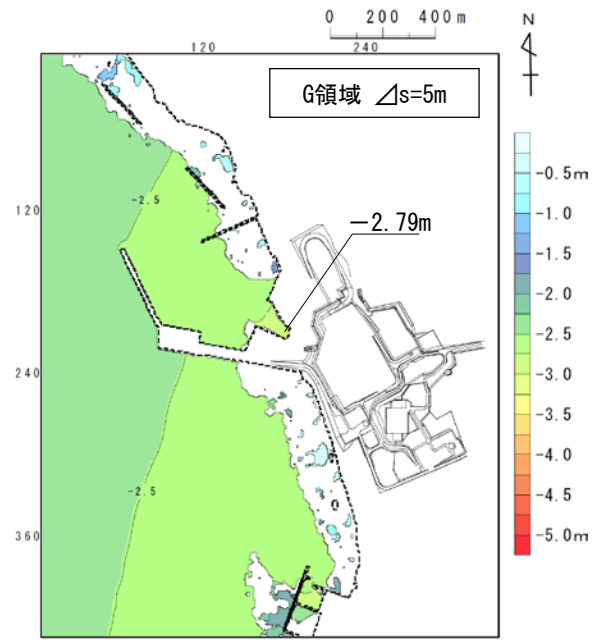
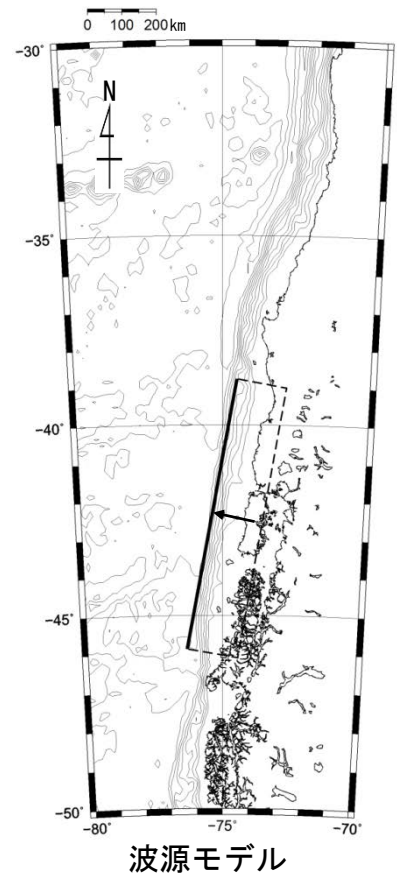
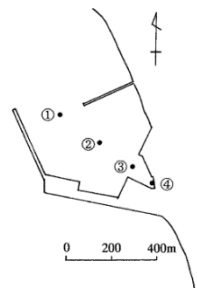
※地震発生20時間後を0時間としている。



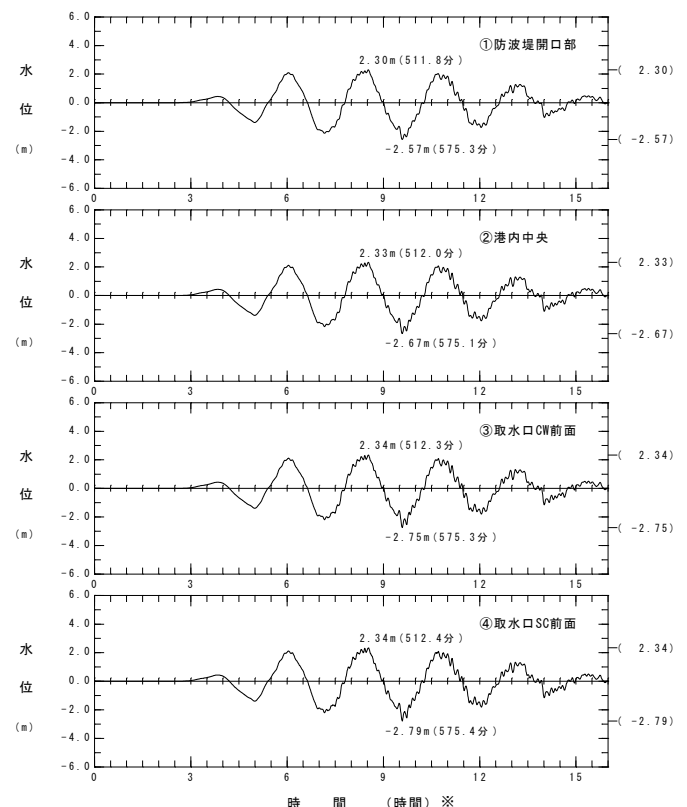
## 概略パラメータスタディ（4/4）：最大水位下降ケース検討結果

取水口スクリーン室前面における概略パラメータスタディの最大水位下降ケース検討結果は以下のとおりである。

**最大水位下降ケース**  
 ・位置：基準  
 ・走向：基準



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形

※地震発生20時間後を0時間としている。

# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波（18／22）



## 詳細パラメータスタディ（1／4）：傾斜角・上縁深さ変化ケース

- 傾斜角と上縁深さを変化させる検討を実施した。

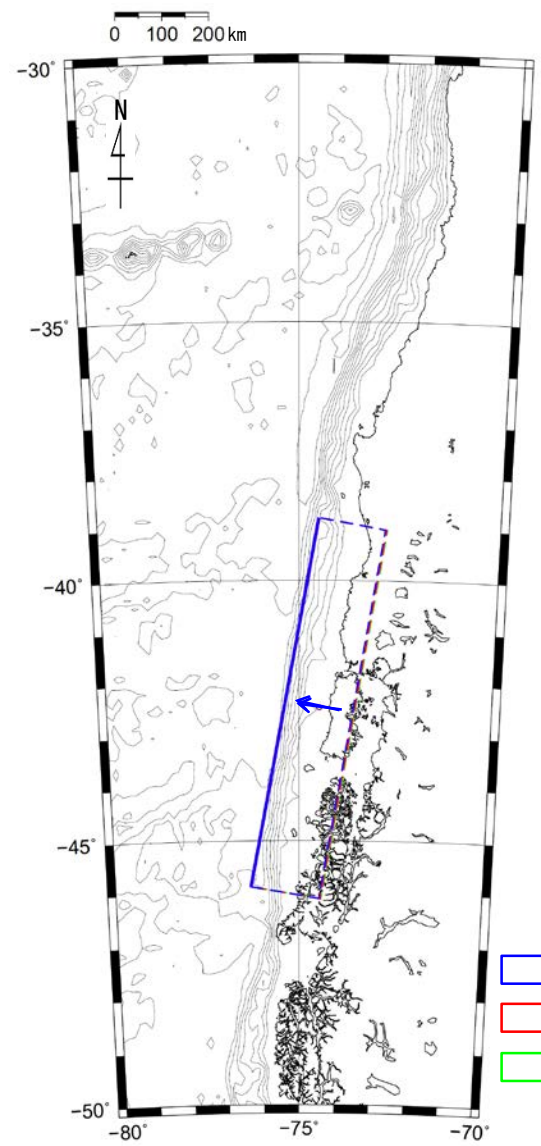
詳細パラメータスタディ

項目	値の範囲	備考
傾斜角	基準（10°） 基準±5°	土木学会（2002） <sup>(56)</sup> の日本海溝・千島海溝の標準偏差を参照した。
上縁深さ	基準（1km） 基準±1km	再現モデルが1kmであることから、ごく浅いと想定し、±1kmとした。

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	萩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	43	222.3	14.1	304.3	10.8		21.7	6.4	
	日本海溝北部	38~41°N	G2	逆断層地震のハーバード解	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

(注)・日本海溝および千島海溝(南部)沿い海域では、ハーバードCMTによる発震機構解(1976年1月~2000年1月に発生したM<sub>a</sub>6.0以上、深さ60km以下の地震)を解析対象とした。  
 ・日本海東縁部では、発震機構解の節面の特定が困難であるため、津波の痕跡高を説明できる断層モデルのパラメータを用いてばらつきを評価した。  
 ・「すべり方向」は、スリップベクトルの水平投影が真北から時計回りになす角度である。  
 ・日本海東縁部のデータ数のうち括弧内の値は、走向に対して適用した1枚断層換算のモデル数である。  
 ・日本海東縁部(南部)の新潟地震モデルにはNoguera and Abe(1992)を採用している。天保山形沖地震(1833)は沖合・沿岸近くの両モデルを採用している。  
 ・萩原マップは萩原尊禮編(1991)による。土木学会(2002)<sup>(56)</sup>に一部加筆



- 傾斜角+5°
- 傾斜角基準
- 傾斜角-5°

詳細パラメータスタディ



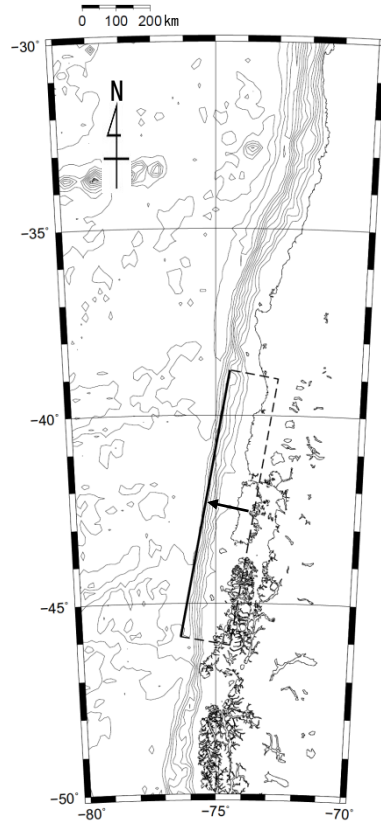
# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波（19/22）

## 詳細パラメータスタディ（2/4）：検討結果

詳細パラメータスタディの結果は以下のとおりである。

### 最大水位上昇および最大水位下降ケース

- ・位置：基準
- ・走向：基準
- ・傾斜角：+5°
- ・上縁深さ：2 km



最大ケースの波源モデル

### 詳細パラメータスタディ結果一覧

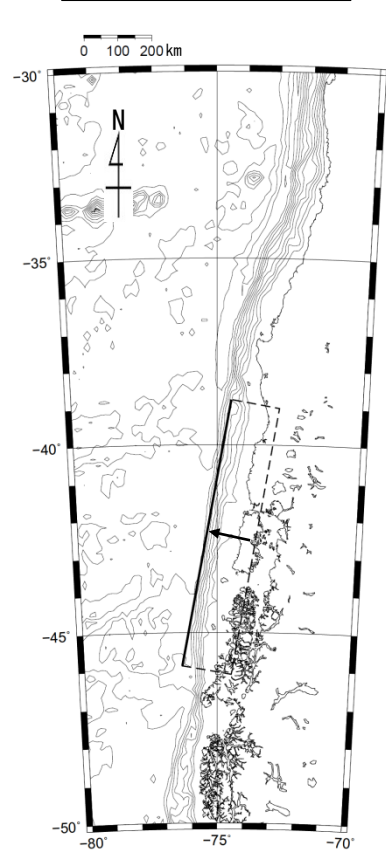
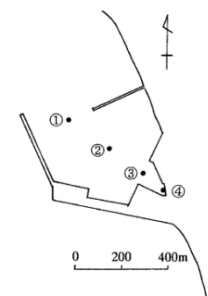
南北位置	走向	傾斜角	上縁深さ	最大水位上昇量	最大水位下降量
基準	基準	-5°	0 km	1.39m	-1.73m
			1 km	1.38m	-1.74m
			2 km	1.43m	-1.83m
		基準	0 km	2.35m	-2.79m
			1 km	2.34m	-2.79m
			2 km	2.37m	-2.86m
		+5°	0 km	3.04m	-3.43m
			1 km	3.02m	-3.43m
			2 km	3.06m	-3.48m



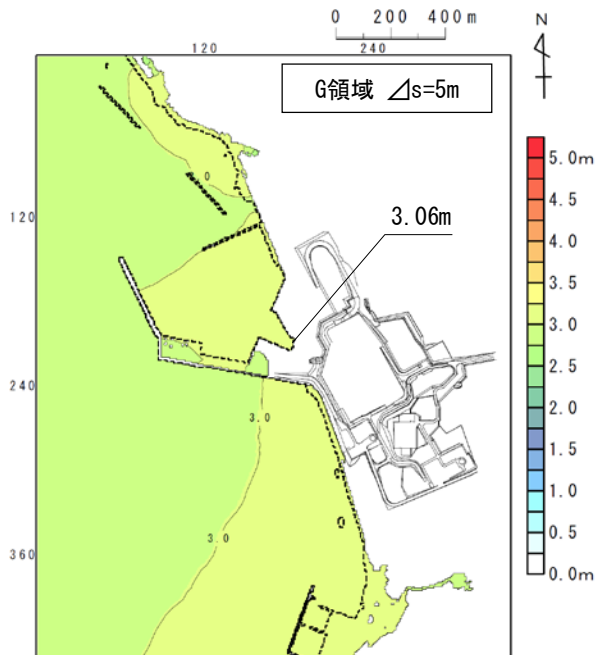
## 詳細パラメータスタディ (3/4) : 最大水位上昇ケース検討結果

敷地における詳細パラメータスタディの最大水位上昇ケース検討結果は以下のとおりである。

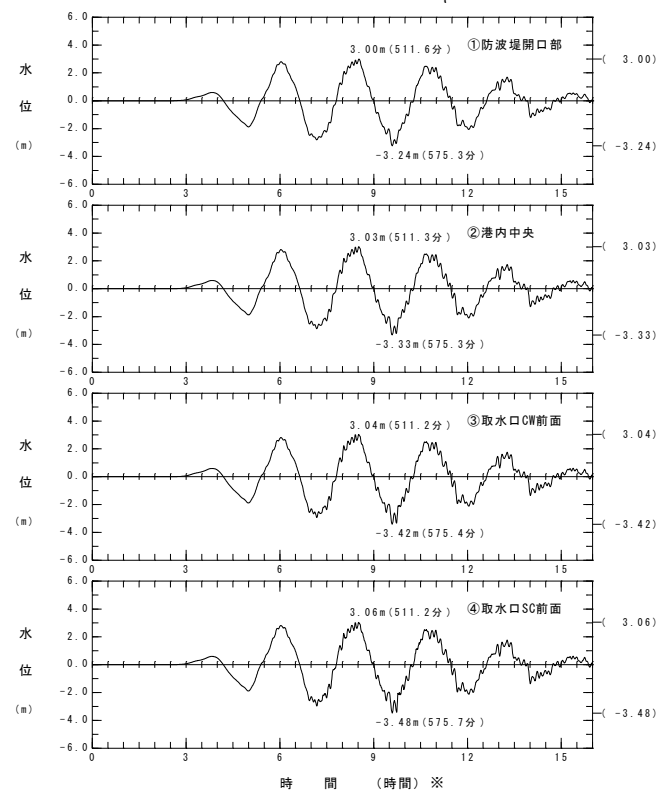
- 最大水位上昇ケース**
- ・位置：基準
  - ・走向：基準
  - ・傾斜角：+5°
  - ・上縁深さ：2 km



波源モデル



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形

※地震発生20時間後を0時間としている。

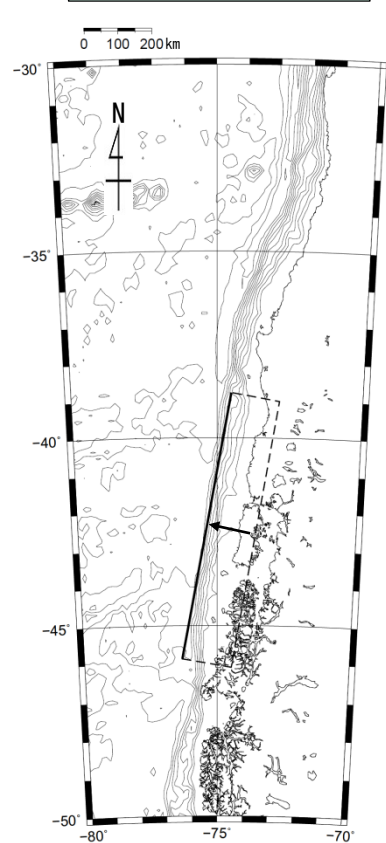
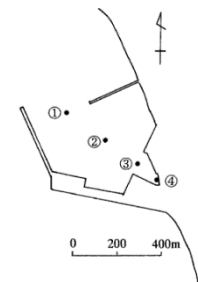




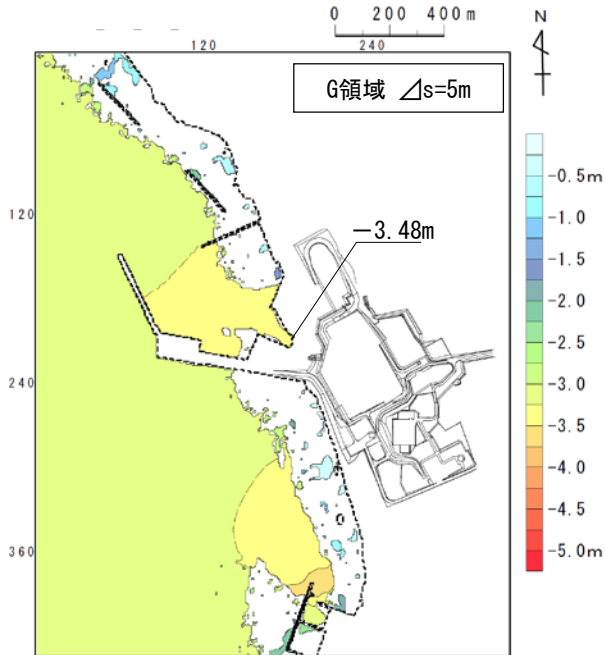
## 詳細パラメータスタディ (4 / 4) : 最大水位下降ケース検討結果

取水口スクリーン室前面における詳細パラメータスタディの最大水位下降ケース検討結果は以下のとおりである。

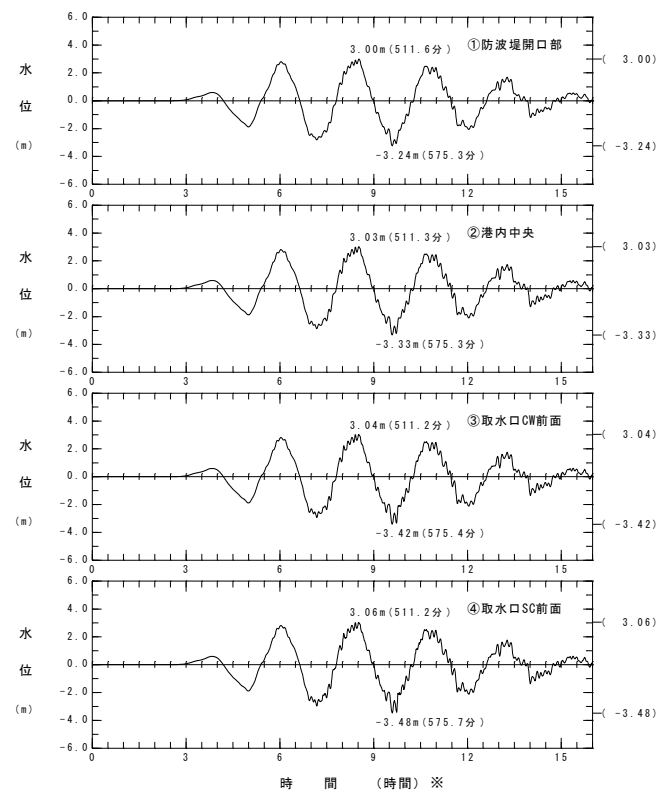
- 最大水位下降ケース**
- ・ 位置 : 基準
  - ・ 走向 : 基準
  - ・ 傾斜角 : +5°
  - ・ 上縁深さ : 2 km



波源モデル



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形

※地震発生20時間後を0時間としている。



# 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波（22/22）

## チリ沖に想定される地震に伴う津波検討結果

チリ沖に想定される地震に伴う津波の検討結果は下表のとおりである。

チリ沖に想定される地震に伴う津波検討結果

	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面における 最大水位下降量
概略パラメータスタディ	2.34m	-2.79m
詳細パラメータスタディ	3.06m	-3.48m

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
    - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
    - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波



# 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波 (1 / 4)

## 対象活断層及び評価方針

- 地震規模及び敷地との距離・位置関係を考慮し、津軽海峡周辺において活動が後期更新世以降に及んでいることを否定できない断層のうち主要なものを対象とした。
- 阿部 (1989) <sup>(87)</sup> の簡易予測式を用いた推定津波高を基に以下の通りスクリーニングを実施する。
  - ✓推定津波高さが $2.90\text{m}^{\ast 1}$ 未満の場合は推定津波高さを採用する。
  - ✓推定津波高さが $2.90\text{m}^{\ast 1}$ 以上の場合は、数値シミュレーションにより敷地への影響を確認する。

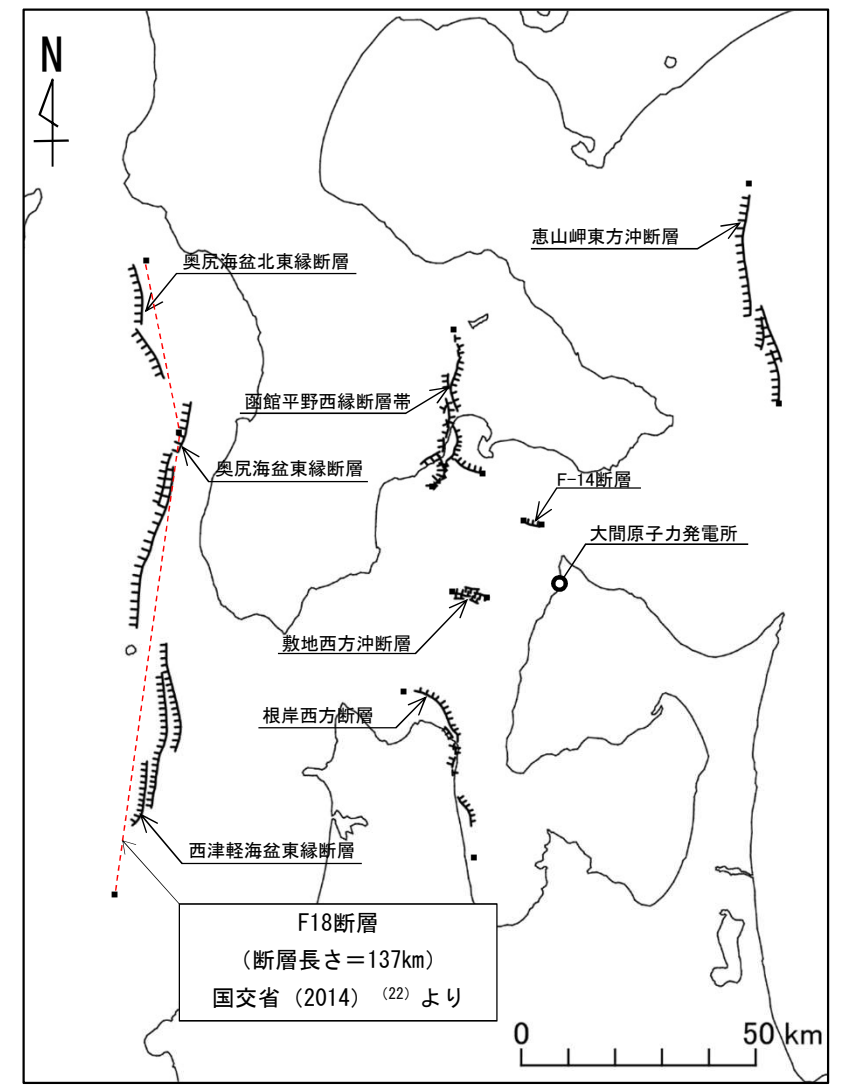
※1：各検討対象海域の津波による敷地における最大水位上昇量のうち最低値。  
(三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波の敷地における最大水位上昇量)

### 対象断層

場所	名称	断層長さ L (km)	津波の伝播 距離 △ (km)	
津軽海峡内	F-14断層	3.4	12	
	敷地西方冲断層	7.2	20	
	函館平野西縁断層帯	海域南西延長部を含む	33	36
		海域南東延長部を含む	31	33
	根岸西方断層	38	49	
太平洋側	恵山岬東方冲断層	47	74	
日本海側	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 <sup>※2</sup>	137	90	

※2：国交省 (2014) <sup>(22)</sup> のF18断層の位置で評価

注：現在、審議中である敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造に関する審議内容を反映して作成。今後、上記の断層長さ等が変更となった場合には、本資料に反映する。  
なお、下北半島西部の「相対的に隆起が速い領域」を説明しうる仮想的な断層については、仮想的な断層の評価が決まった段階で反映する。



### 凡例

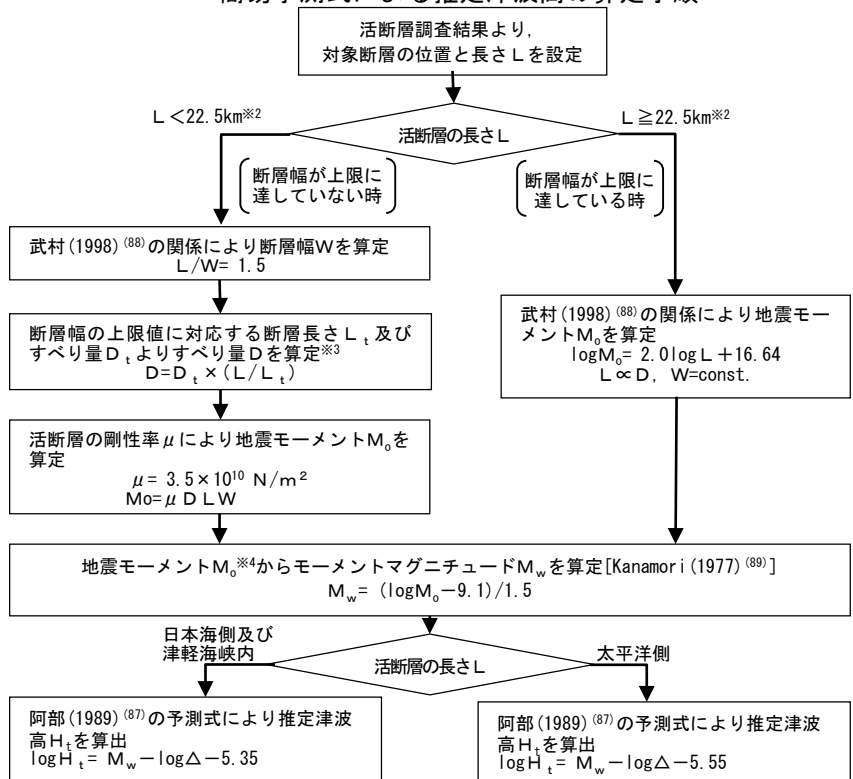
- (---) : 主な活断層 (撓曲)
- : 断層の端点
- (短線または矢印は落ちの方向を示す)

## 活断層分布

## 検討結果

- 海域活断層に想定される地震に伴う津波の推定津波高は、最大で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※1（以下「奥尻海盆東縁断層等の連動」という。）の3.9mである。
- 奥尻海盆東縁断層等の連動による推定津波高さが2.90mを上回ったため、奥尻海盆東縁断層等の連動による影響評価について数値シミュレーションによる詳細検討を実施する。（P.261, P.262参照）

### 簡易予測式による推定津波高の算定手順



### 簡易予測式による推定津波高の算定結果

場所	名称	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	地震モーメント Mo (N·m)	海域部の断層長さ L' (km)	海域部の地震モーメント Mo' (N·m)	津波の伝播距離 Δ (km)	海域部のモーメントマグニチュード Mw	推定津波高 Ht (m)	
津軽海峡内	F-14断層	3.4	2.3	0.28	7.66 × 10 <sup>16</sup>	3.4	7.66 × 10 <sup>16</sup>	12	5.2	0.1	
	敷地西方冲断層	7.2	4.8	0.60	7.26 × 10 <sup>17</sup>	7.2	7.26 × 10 <sup>17</sup>	20	5.8	0.1	
	函館平野 西縁断層帯	海域南西延長部を含む	33	15	2.74	4.75 × 10 <sup>19</sup>	15	2.16 × 10 <sup>19</sup>	36	6.8	0.8
		海域南東延長部を含む	31	15	2.58	4.19 × 10 <sup>19</sup>	14	1.89 × 10 <sup>19</sup>	33	6.8	0.9
		根岸西方断層	38	15	3.16	6.30 × 10 <sup>19</sup>	32	5.31 × 10 <sup>19</sup>	49	7.1	1.1
太平洋側	恵山岬東方冲断層	47	15	3.91	9.65 × 10 <sup>19</sup>	47	9.65 × 10 <sup>19</sup>	74	7.3	0.8	
日本海側	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※1	137	15	11.4	8.19 × 10 <sup>20</sup>	137	8.19 × 10 <sup>20</sup>	90	7.9	3.9	

※2：断層幅の上限W<sub>t</sub>は、地震発生層の厚さH<sub>0</sub>を15kmとし、傾斜角δを90°（45°～90°のうちM<sub>0</sub>が最大となる値）とした際には、 $W_t = H_0 / \sin \delta = 15 \text{ km}$ となる。また、断層幅の上限に対応する断層長さL<sub>t</sub>は、 $L_t = 1.5W_t = 22.5 \text{ km}$ となる。

※3：断層幅の上限に対応するすべり量D<sub>t</sub>は、モーメントマグニチュードをM<sub>0t</sub> = (log L<sub>t</sub> + 3.77) / 0.75 = 6.83、地震モーメントをM<sub>0t</sub> = 10<sup>(1.5M<sub>0t</sub> + 9.1)</sup> = 2.21 × 10<sup>19</sup> N・m、剛性率をμ = 3.5 × 10<sup>10</sup> N/m<sup>2</sup>とした際には、 $D_t = M_{0t} / (\mu L_t W_t) = 1.87 \text{ m}$ となる。

※4：対象となる活断層が海域と陸域に連続して分布する場合には、M<sub>0</sub>を海域部の断層長さL<sub>0</sub>と全体の断層長さLとの比で按分した値を用いている。

※1：国交省（2014）<sup>(22)</sup> のF18断層の位置で評価

注：現在、審議中である敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造に関する審議内容を反映して作成。今後、上記の断層長さ等が変更となった場合には、本資料に反映する。

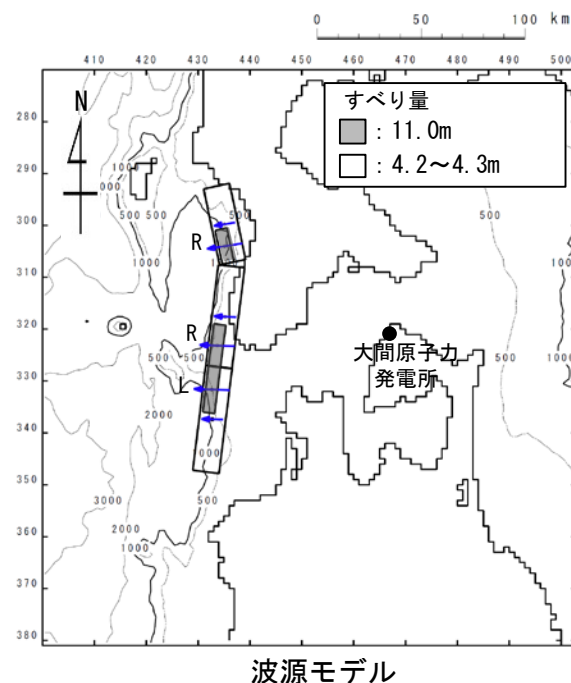
# 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波（3 / 4）

## 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による津波の敷地への影響について（1 / 2）

- ・奥尻海盆東縁断層等の連動は、国交省（2014）<sup>(22)</sup>（日本海における大規模地震に関する調査検討会）において検討されたF18断層の位置で評価した。
- ・したがって、F18断層の断層パラメータを用いて奥尻海盆東縁断層等の連動による津波の敷地への影響について検討する。

検討会公表パラメータ

津波断層モデル	Mw	上縁深さ (T.P.-km)	下縁深さ (T.P.-km)	走向 (°)	傾斜 (°)	すべり角 (°)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	平均すべり量 (m)
F18	7.71	2.2	15.0	348	45	87	37.4	18.1	5.52
				7	45	95	100.0	18.1	





# 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波（4 / 4）

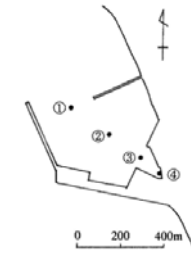
## 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動による津波の敷地への影響について（2 / 2）

- ・奥尻海盆東縁断層等の連動による津波の検討結果は以下のとおりである。

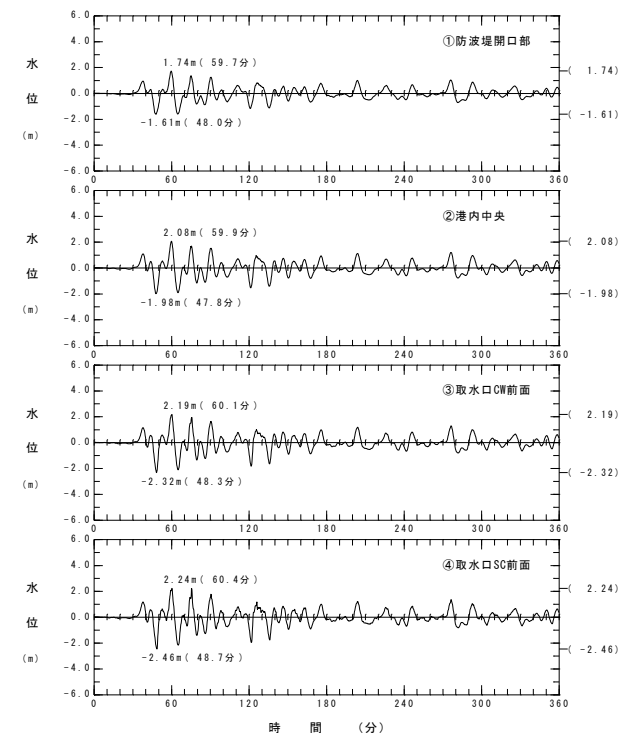
### 奥尻海盆東縁断層等の連動による津波検討結果

	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面における 最大水位下降量
奥尻海盆東縁断層等の 連動※による津波	2.25m	-2.46m

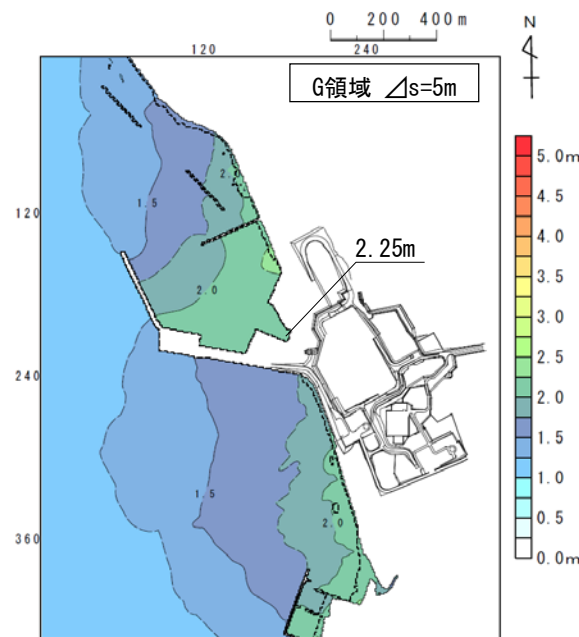
※：国交省（2014）<sup>(22)</sup> のF18断層の位置で評価



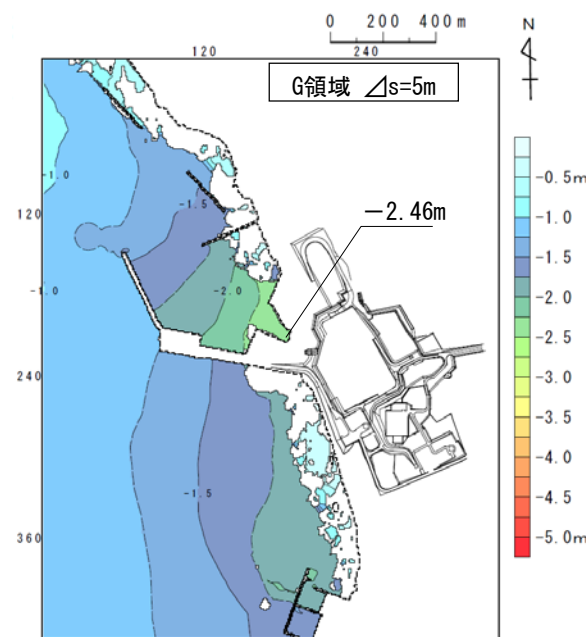
水位時刻歴波形出力点



水位時刻歴波形



最大水位上昇量分布



最大水位下降量分布

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
  - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波



# 1-9. 地震による津波のまとめ

地震による津波の検討結果によると、敷地においては日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の影響が最も大きい。

## 地震による津波の検討結果一覧

	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面における 最大水位下降量	申請時からの 変更要因※4
日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	5.85m (5.72m)	-3.78m (-3.75m)	①②③
三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波	3.69m (4.34m) (暫定)※3	-3.53m (-3.11m) (暫定)※3	①②③
三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波	2.90m (3.30m)	-2.57m (-1.71m)	①②④
チリ沖に想定される地震に伴う津波	3.06m (3.06m)	-3.48m (-3.50m)	①②
海域活断層に想定される地震に伴う津波 (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※1による地震)	2.25m (1.1m)※2	-2.46m ( - )	⑤

( ) : 平成26年12月16日原子炉設置変更許可申請時の検討結果

※1 : 国交省 (2014) (22) のF18断層の位置で評価

※2 : 根岸西方断層を対象とした簡易予測式による推定津波高。

※3 : 次回以降ご説明の対象

※4 : 申請時からの変更要因

- ①地形変更
- ②評価水位抽出位置変更
- ③アスペリティ位置詳細検討追加
- ④詳細パラメータスタディ追加
- ⑤敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造に関する審議内容を反映

(余白)

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
    - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
    - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波

# 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件 (1 / 7)



コメントNo.S5-37

## 伝播領域の津波シミュレーション方法

近海域における数値シミュレーションの計算条件及び基礎方程式は以下のとおり。

近海域計算条件一覧

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
計算格子間隔Δs	2.5 km	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	0.2秒, 0.25秒						
基礎方程式	線形長波式	非線形長波式					
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	完全反射条件			小谷ほか(1998) <sup>(31)</sup> の遡上境界条件			
外力条件	kinematic landslideモデルを用いて地盤変位を海面上に与える。または、二層流モデルで得られた波形を境界条件として与える。						
海底摩擦	考慮しない	マンニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (土木学会 (2016) <sup>(33)</sup> より)					
水平渦動粘性係数	考慮しない						
潮位条件	T. P. ±0.0m						
計算時間	陸上の斜面崩壊及び海底地すべりに起因する津波：津波発生後3時間 火山現象に起因する津波：津波発生後6時間						

### 【基礎方程式：非線形長波[浅水理論]の連続式及び運動方程式】

連続式：
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0$$

運動方程式：
$$\begin{cases} \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q_x^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q_x Q_y}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = 0 \\ \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q_x Q_y}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q_y^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = 0 \end{cases}$$

$x, y$  : 位置(水平直交座標)  
 $g$  : 重力加速度  
 $D$  : 全水深(=静水深+水位)  
 $\eta$  : 静水面からの水位  
 $n$  : Manningの粗度係数  
 $Q_x, Q_y$  :  $x, y$ 方向の単位幅当たりの流量(=流速×全水深)

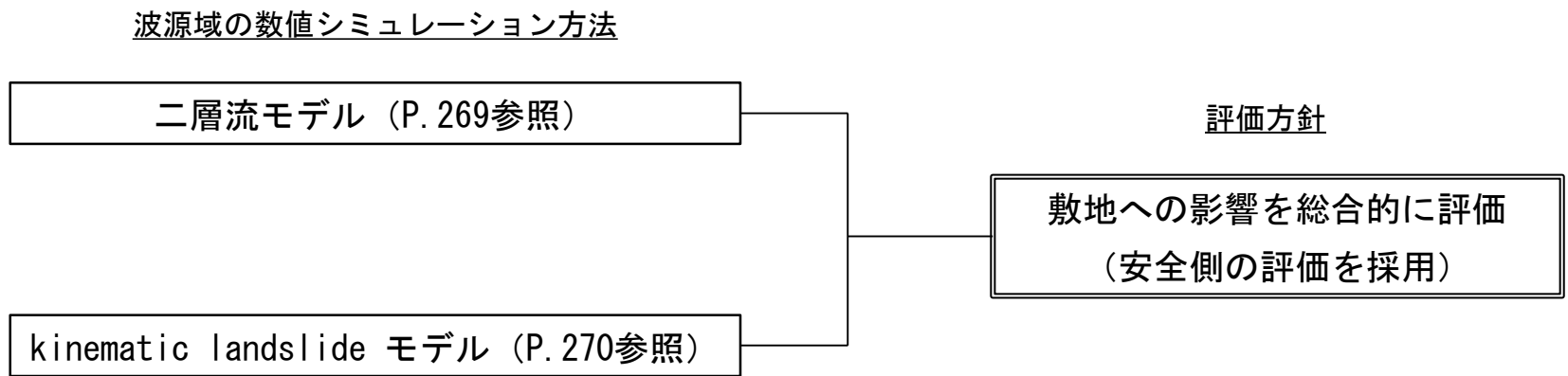




## 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件 (2 / 7)

### 波源域の数値シミュレーション方法 (1 / 3) : 評価方針

波源域の数値シミュレーション方法として、二層流モデルとkinematic landslide モデルの2つの手法を用いて敷地への影響を総合的に評価した。





# 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件 (3 / 7)

## 波源域の数値シミュレーション方法 (2 / 3) : 二層流モデル

波源域の数値シミュレーション方法の1つとして, Kawamata et al. (2005) <sup>(90)</sup>で1741年渡島大島火山津波の再現実績のある二層流モデルを採用した。

【基礎方程式：連続式及び運動方程式】

【上層】

$$\frac{\partial(\eta_1 - \eta_2)}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_1^2}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{M_1 N_1}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} - F D_x = 0$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_1 N_1}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N_1^2}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial y} - F D_y = 0$$

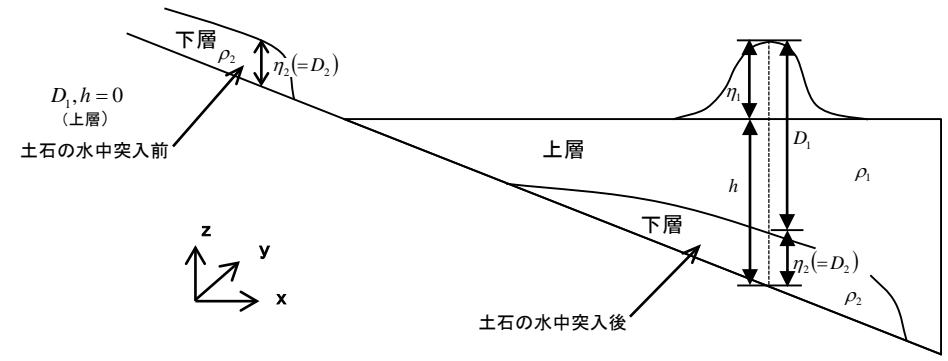
【下層】

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_2^2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{M_2 N_2}{D_2} \right) + g D_2 \left( \alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\tau_x}{\rho_2} + \alpha F D_x = DIFF_x$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M_2 N_2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N_2^2}{D_2} \right) + g D_2 \left( \alpha \frac{\partial D_1}{\partial y} + \frac{\partial \eta_2}{\partial y} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\tau_y}{\rho_2} + \alpha F D_y = DIFF_y$$

ここに、添え字の1, 2 : それぞれ上層, 下層を示す。  
 $\eta$  : 水位変動 ( $\eta_1$  : 静水面からの水位変化量,  $\eta_2$  : 土石の厚さ),  
 $h$  : 水深,  $D$  : 全水深,  $M, N$  :  $x, y$ 方向の線流量,  
 $g$  : 重力加速度,  $\rho$  : 密度 ( $\rho_1$  : 海水1.03g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_2$  : 土石2.0g/cm<sup>3</sup>)  
 $\alpha$  : 密度比 (=  $\rho_1 / \rho_2$ ),  
 $\tau_x / \rho, \tau_y / \rho$  :  $x, y$ 方向の底面摩擦力



二層流モデル中の変数の定義

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad \frac{\tau_y}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2}$$

$n$  : Manningの粗度係数  
 $F D_x, F D_y$  :  $x, y$ 方向の形状抵抗,  
 $F D_x = \frac{1}{2} C_D \rho_1 u \sqrt{u^2 + v^2} \delta_m \quad F D_y = \frac{1}{2} C_D \rho_1 v \sqrt{u^2 + v^2} \delta_m$

$C_D$  : 抗力係数,  
 $\delta_m$  : 土石先端部での最大高さ (投影面積に相当)  
 $u, v$  : 土石先端部の海水に対する相対速度  
 $DIFF_x, DIFF_y$  :  $x, y$ 方向の水平拡散項

$$DIFF_x = v \left( \frac{\partial^2 M_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial y^2} \right) \quad DIFF_y = v \left( \frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_2}{\partial y^2} \right)$$

$\nu$  : 水平拡散係数

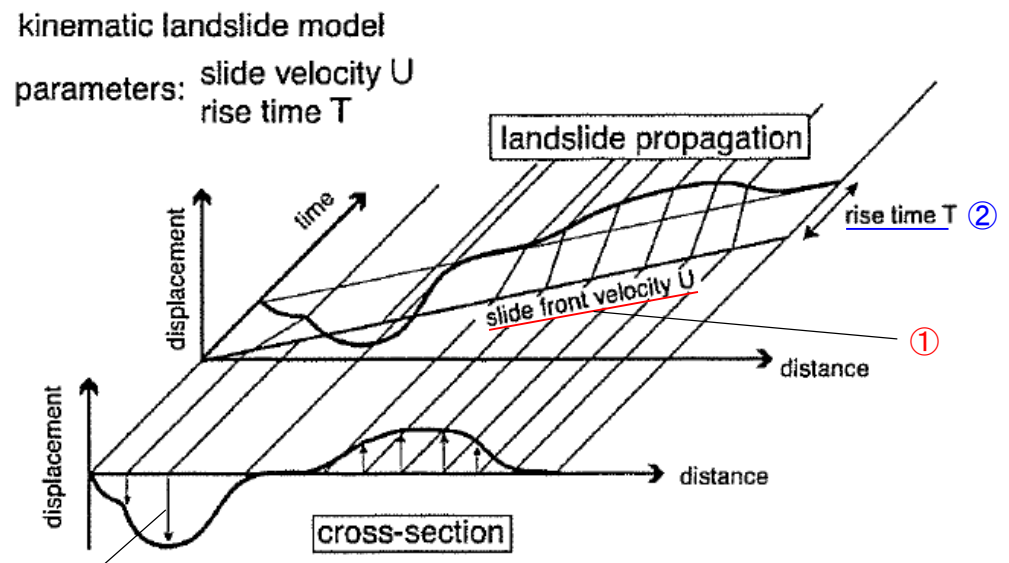


# 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件 (4 / 7)

## 波源域の数値シミュレーション方法 (3 / 3) : kinematic landslideモデル

波源域の数値シミュレーション方法の1つとして, Satake (2007) <sup>(41)</sup> で1741年渡島大島火山津波の再現実績のある kinematic landslide モデルを採用した。

kinematic landslide モデルを用いた解析の概要  
✓ 崩壊土砂が①水平移動速度Uで移動し, 堆積域の各地点における比高変化が②継続時間Tで終了すると仮定して, ③崩壊前後の地形変化量(比高変化)を海面上に与えて津波を発生させる。



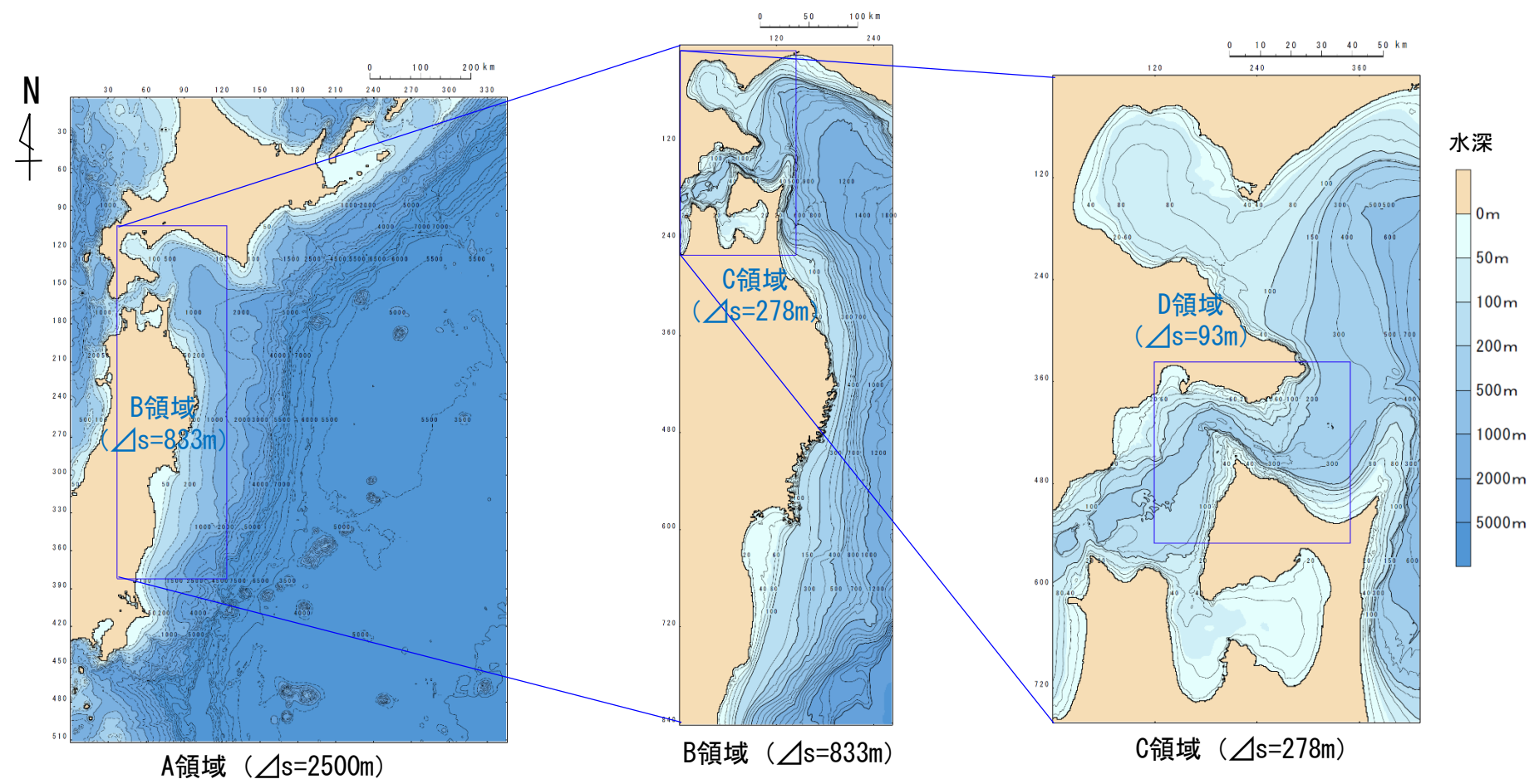
kinematic landslideモデル概念図

Satake (2007) <sup>(41)</sup>



# 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件 (5 / 7)

## 陸上の斜面崩壊及び海底地すべりに起因する津波の計算領域

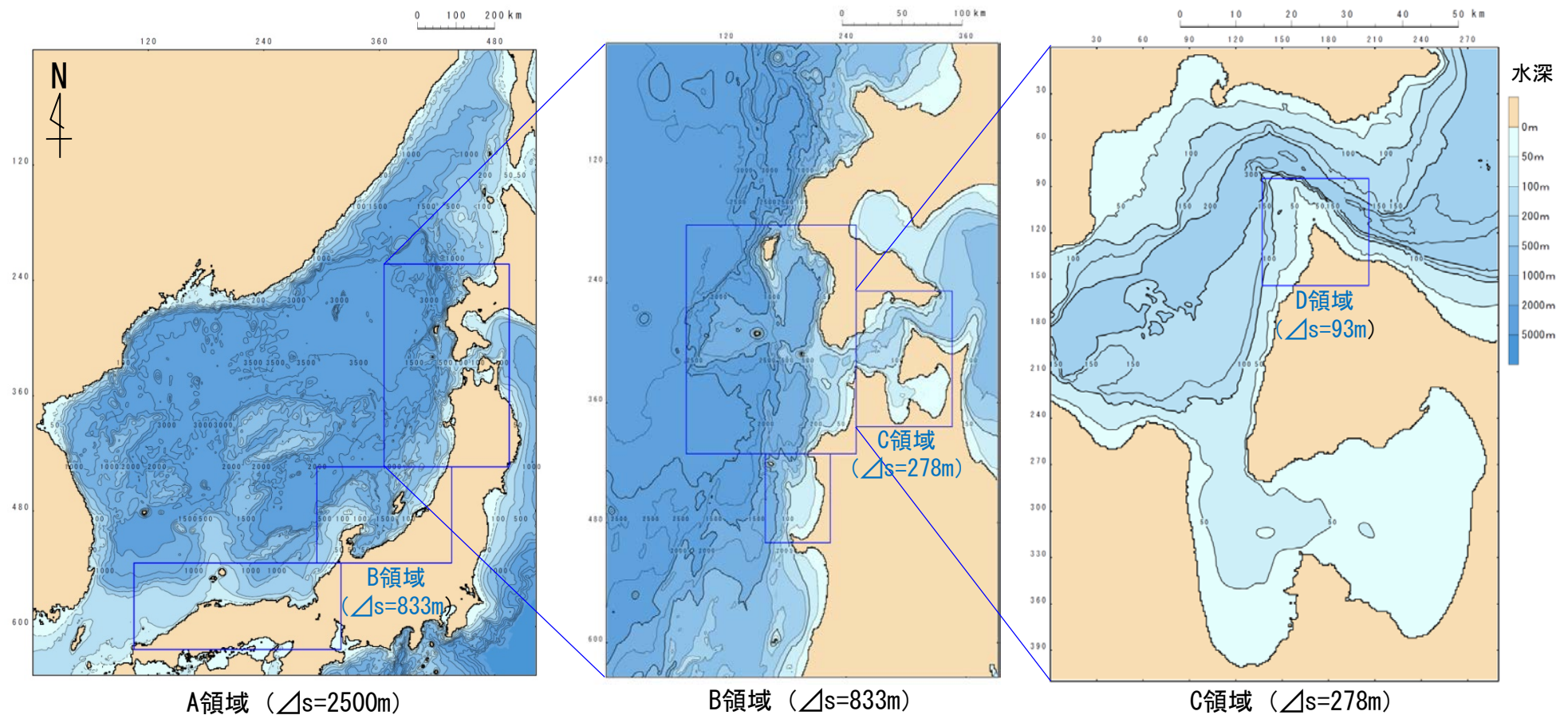


各領域の地形モデルは、海域についてはM7000（日本水路協会）等（34），（35），（36），（38）を、陸域については国土地理院50mメッシュ（標高）（39）等を用いて作成した。



# 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件 (6 / 7)

## 火山現象に起因する津波の計算領域



各領域の地形モデルは、海域についてはM7000（日本水路協会）等<sup>(34)～(38)</sup>を、陸域については国土地理院50mメッシュ（標高）<sup>(39)</sup>等を用いて作成した。

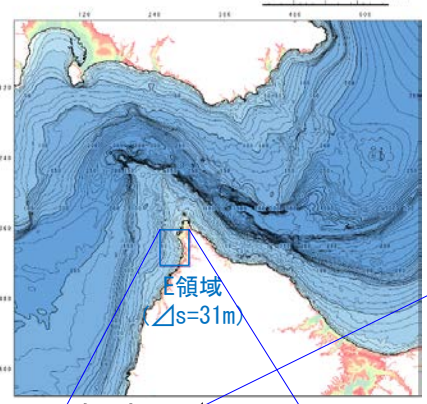




# 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件 (7 / 7)

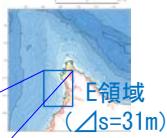
## 敷地周辺計算領域

陸上の斜面崩壊及び海底地すべりに起因する津波

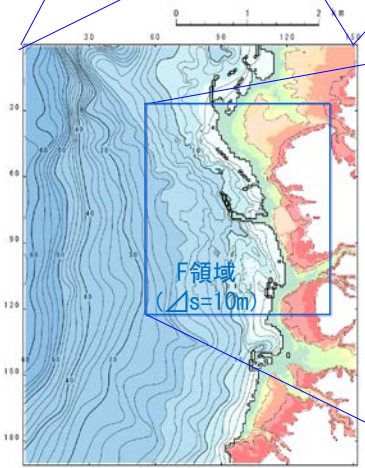


D領域 (Δs=93m)

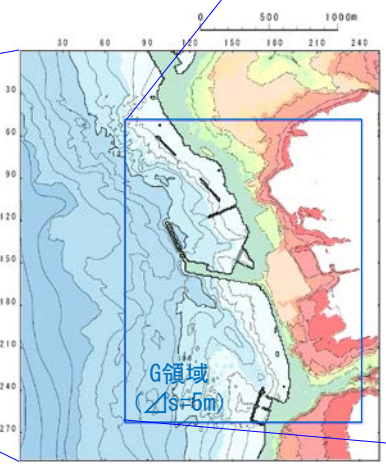
火山現象に起因する津波



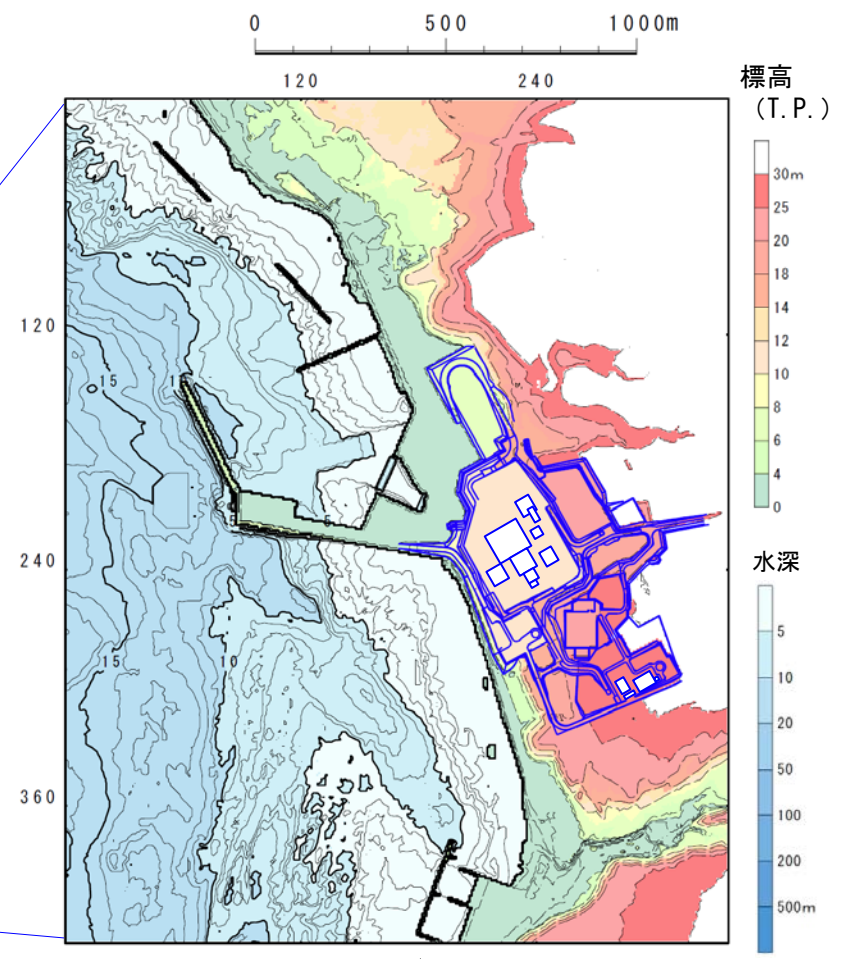
E領域 (Δs=31m)  
D領域 (Δs=93m)



E領域 (Δs=31m)



F領域 (Δs=10m)



G領域 (Δs=5m)

敷地周辺の地形モデルは、敷地前面の港湾施設の影響を考慮した予測計算を行うために、深浅測量による詳細な海底地形図等※(36)、(39)を用いて作成した。

※G領域の地形データ：海底地形データ：深浅測量データ（平成29年測量），陸域地形データ：航空レーザー測量による0.5mメッシュデータ（平成25年測量）



(余白)

# 目次

1. 地震による津波
  - 1-1. 既往津波の文献調査
  - 1-2. 津波堆積物調査
  - 1-3. 地震による津波の計算条件
  - 1-4. 既往津波の再現計算
  - 1-5. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
  - 1-6. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
    - 1-6-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
    - 1-6-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
  - 1-7. チリ沖に想定される地震に伴う津波
  - 1-8. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
  - 1-9. 地震による津波のまとめ
2. 地震以外の要因による津波
  - 2-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
  - 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
  - 2-3. 海底地すべりに起因する津波
  - 2-4. 火山現象に起因する津波
  - 2-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
3. 基準津波の策定
  - 3-1. 津波発生要因の組合せに関する検討
  - 3-2. 基準津波の選定
  - 3-3. 防波堤等の影響検討
  - 3-4. 行政機関の津波評価との比較
  - 3-5. 既往津波との比較
  - 3-6. 基準津波



# 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波 ( 1 / 2 7 )

## 陸上の斜面崩壊に起因する津波の検討フロー

陸上の斜面崩壊に起因する津波は、地震による津波に比べて短波長成分が卓越するため減衰傾向が大きくなること、及び津軽海峡の外で発生する陸上の斜面崩壊の崩壊方向を考慮すると津軽海峡内に入りにくいことより、陸上の斜面崩壊に起因する津波については、津軽海峡内を検討対象とし、以下のフローで検討を実施した。

### 検討フロー

【ステップ1】：津軽海峡内地すべり地形の抽出

防災科学技術研究所（以下「防災科研」という。）による地すべり地形分布図データベースに示されている地すべり地形のうち、津軽海峡内の地すべり地形を対象として抽出

【ステップ2】：発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出  
及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定

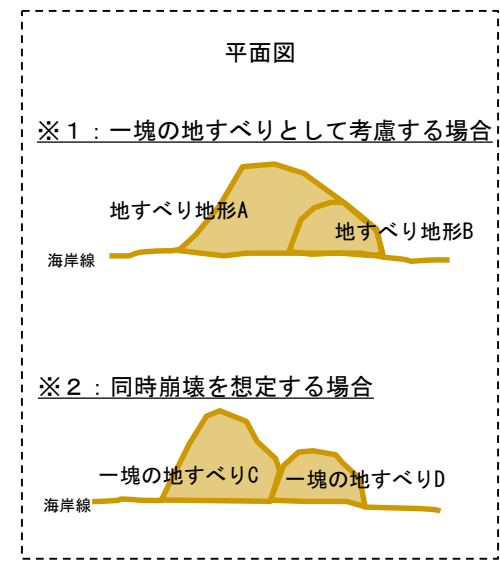
- ・ステップ1で抽出した地すべり地形のうち発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形を以下を基本方針として抽出し、エリア毎に検討対象地すべり地形を選定
    - 海沿いにあり、滑落した場合に海に突入する可能性がある。（小規模なものは除く。）
    - 隣接する地すべり群のうち、地すべり土塊頂部が接する、或いは頂部が重複するものは、保守側の設定として、一塊の地すべりとして考慮※1
- 
- なお、上記の一塊の地すべりが近接し、崩壊方向が同方向の場合、安全評価上、これらの同時崩壊（連動）を想定※2

【ステップ3】：検討対象地すべり地形の選定

ステップ2でエリア毎に抽出した地すべり地形から、崩壊規模、敷地との距離・位置関係等を考慮して敷地への影響が最も大きくなる地すべり地形を選定

【ステップ4】：数値シミュレーションの実施

数値シミュレーションにより敷地への影響を評価  
(二層流モデル及びkinematic landslideモデルを用いて総合的に評価)



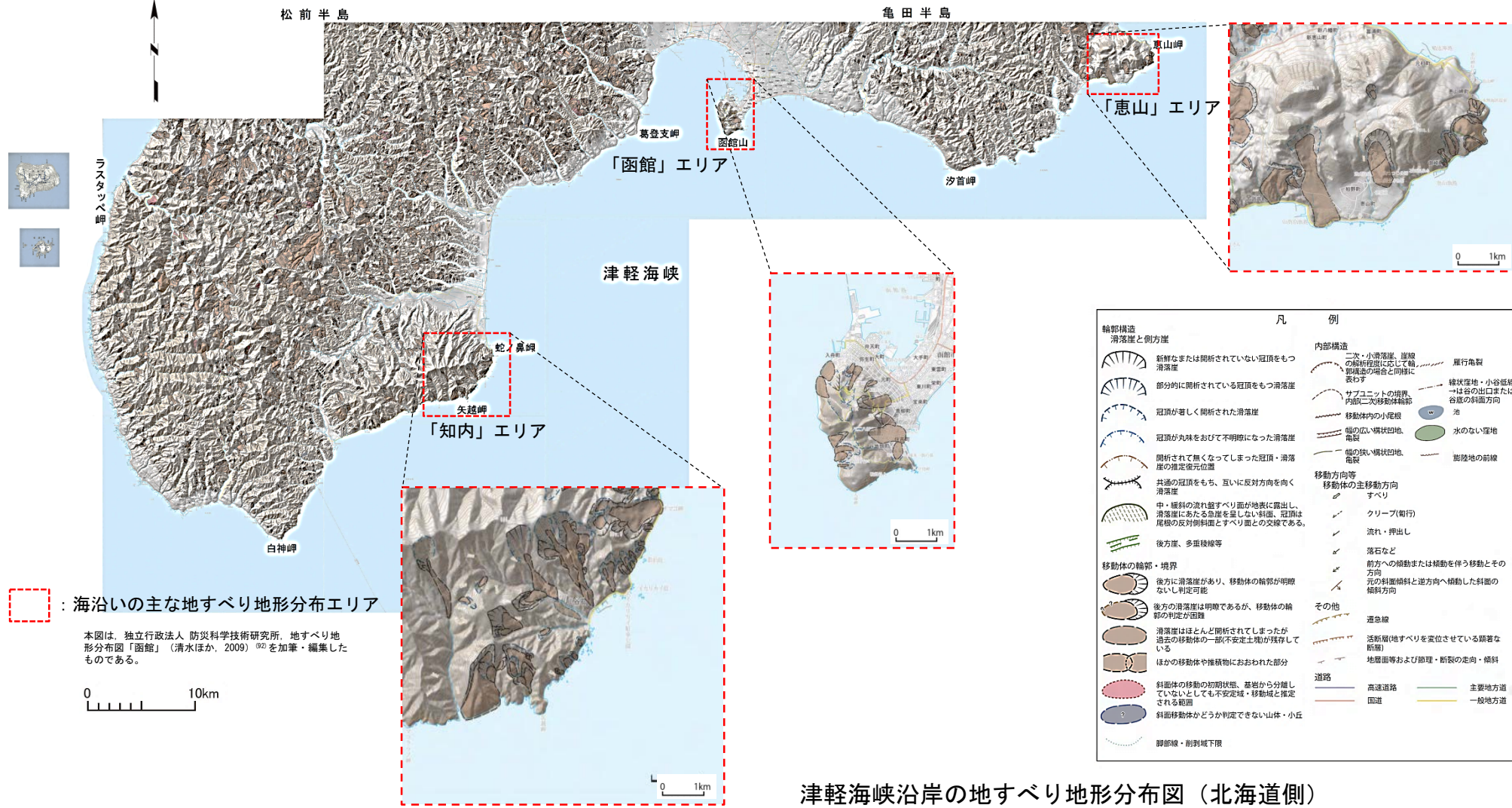
検討イメージ図



## 津軽海峡内地すべり地形の抽出【ステップ1】 (1 / 2) : 地すべり地形分布図 (北海道側)

防災科研による地すべり地形分布図データベースに示されている地すべり地形を確認した結果※, 「恵山」, 「函館」及び「知内」エリアの海沿いに比較的規模の大きな地すべり地形が認められた。

※詳細情報は「補足説明資料P. 181~P. 187」参照



津軽海峡沿岸の地すべり地形分布図 (北海道側)

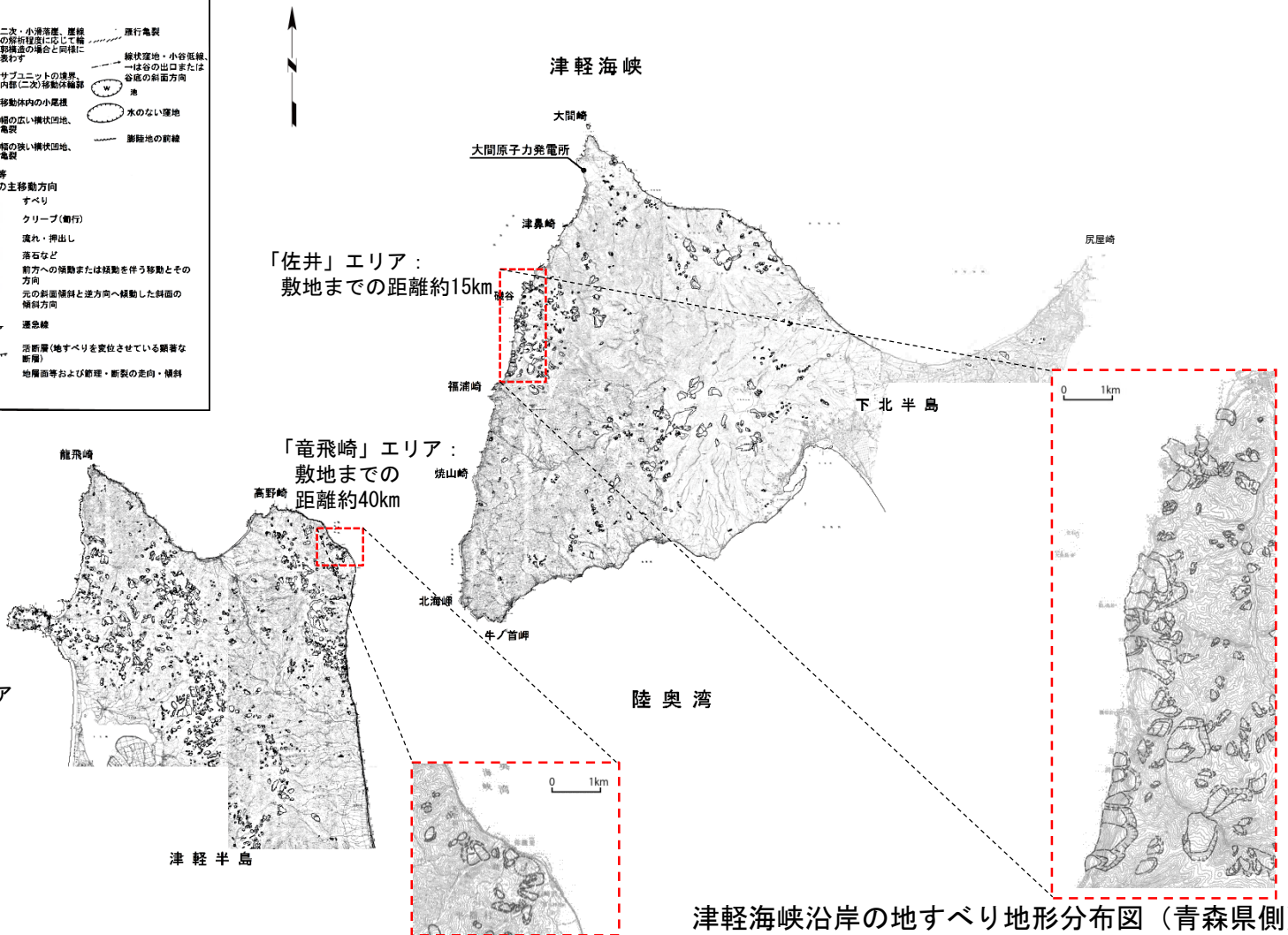
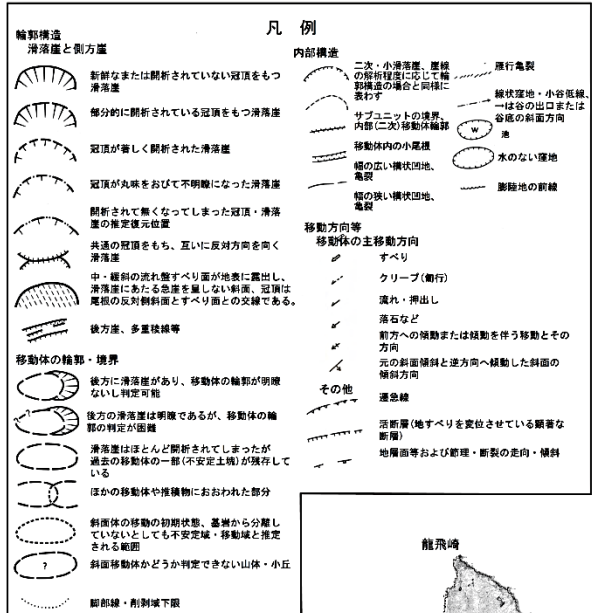




## 津軽海峡内地すべり地形の抽出【ステップ1】 (2 / 2) : 地すべり地形分布図 (青森県側)

防災科研による地すべり地形分布図データベースに示されている地すべり地形を確認した結果※, 「佐井」及び「竜飛崎」エリアの海沿いに比較的規模の大きな地すべり地形が認められた。

※詳細情報は「補足説明資料P. 188~P. 194」参照



津軽海峡沿岸の地すべり地形分布図 (青森県側)

海沿いの主な地すべり地形分布エリア

本図は、独立行政法人 防災科学技術研究所、地すべり地形分布図「野辺地・八戸」(清水ほか、2009)<sup>(3)</sup>及び「青森・仙台」(清水・大八木、1987)<sup>(4)</sup>を加筆・編集したものである。

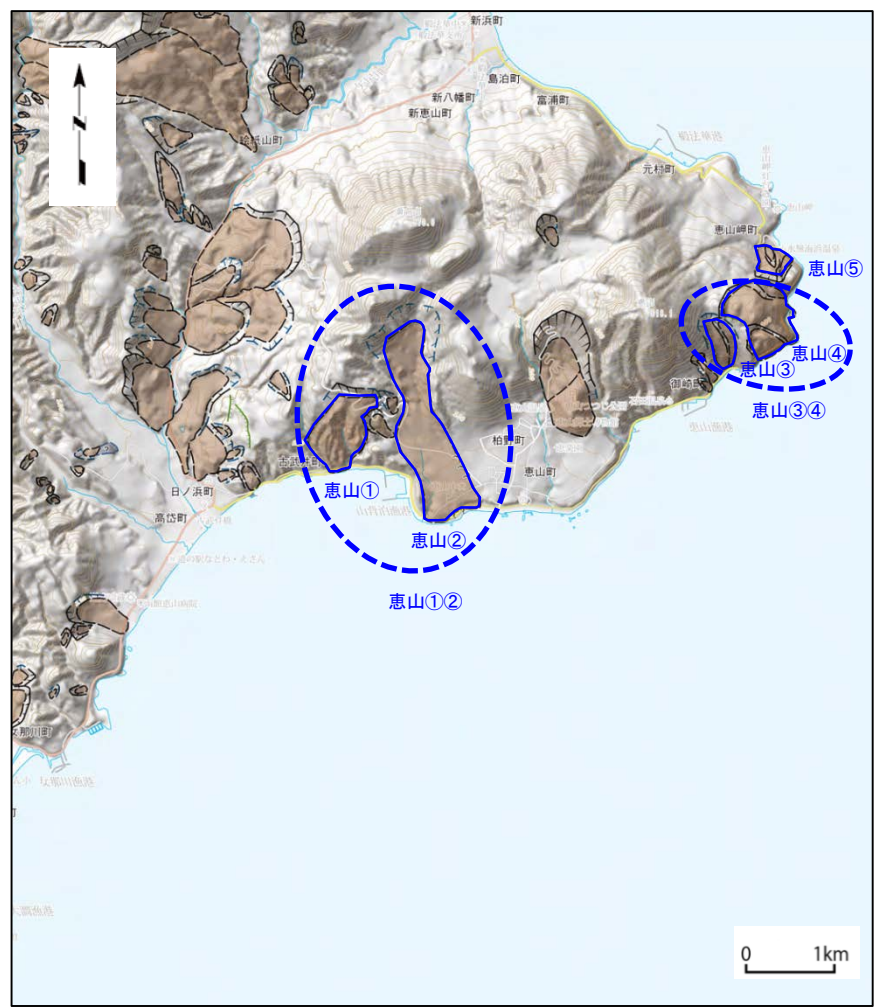
(余白)





## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（4 / 27）

### 発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出 及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定【ステップ2】（1 / 7）：（北海道側・恵山）



- ・ 恵山エリアの検討対象地すべり地形の抽出に係り、防災科研地すべり地形分布図に記載されている地すべり地形より、発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形として左記に示す3つのブロックを抽出した。
- ・ 恵山エリアの地すべりブロックを比較した結果、地すべりブロック「恵山①②」の概算体積が最も大きいことより、「恵山①②」を恵山エリアの検討対象地すべり地形に選定する。

地すべりブロックの概算体積の比較

一塊の地すべりとして考慮※1

同時崩壊（連動）を想定※2

ブロック	A 面積 (m <sup>2</sup> )	L 長さ (m)	W 平均幅 (m)	n <sup>※3</sup> 係数	D 厚さ (D=W×n) (m)	V (A×D) 概算体積 (一塊) (m <sup>3</sup> )	ブロック	V (A×D) 概算体積 (同時崩壊) (m <sup>3</sup> )
恵山①	423,892	852	674	1/10	67	2.84×10 <sup>7</sup>	恵山①②	8.41×10 <sup>7</sup>
恵山②	1,031,468	2,103	542	1/10	54	5.57×10 <sup>7</sup>		
恵山③	132,247	566	278	1/7	40	5.29×10 <sup>6</sup>	恵山③④	3.63×10 <sup>7</sup>
恵山④	449,789	902	691	1/10	69	3.10×10 <sup>7</sup>		
恵山⑤	96,771	310	364	1/10	36	3.48×10 <sup>6</sup>	—	—

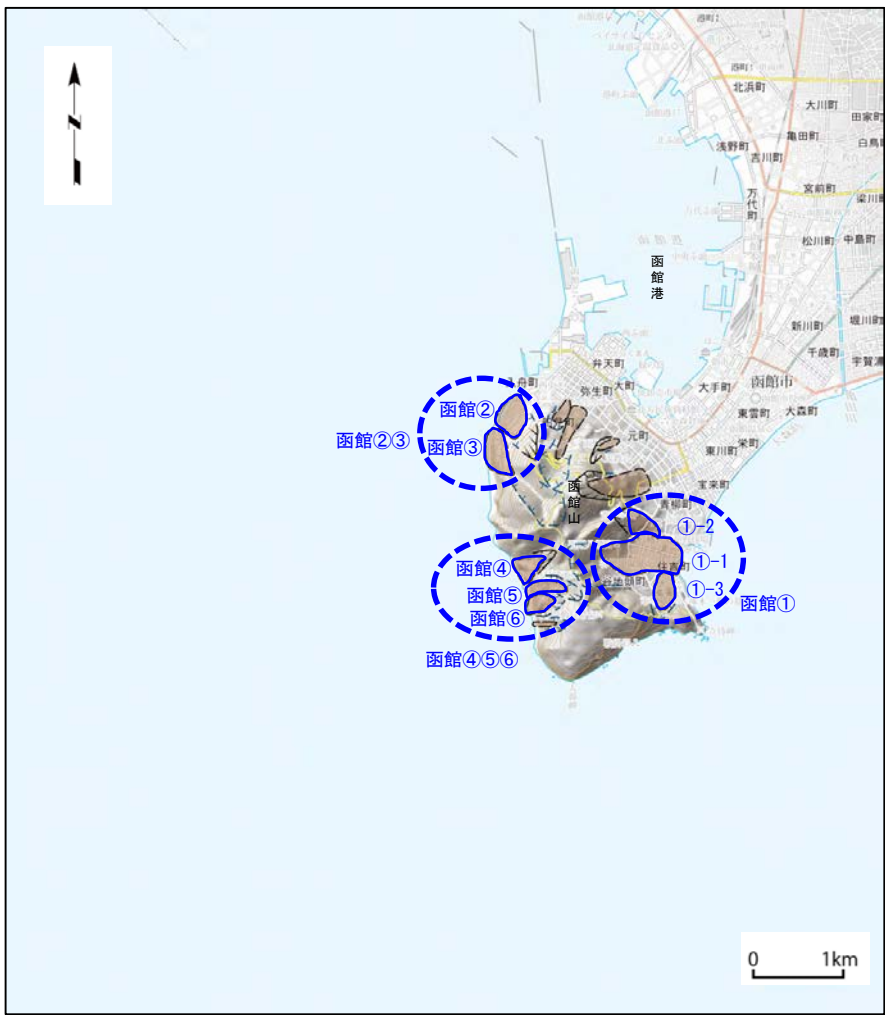
※1 隣接する地すべり群のうち、地すべり土塊頂部が接する、或いは頂部が重複するものは、一塊の地すべりとして考慮  
 ※2 一塊の地すべりが近接し、崩壊方向が同方向の場合、これらの同時崩壊（連動）を想定  
 ※3 地すべりの厚さの係数nは、高速道路調査会(1985)<sup>(91)</sup>に従い下記のとおりとした。

幅：W	係数：n
50～100m	幅の1/5～1/7
200m前後	幅の1/7～1/10
300m以上	幅の1/10～1/15



## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（5 / 27）

### 発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出 及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定【ステップ2】（2 / 7）：（北海道側・函館）



- ・函館エリアの検討対象地すべり地形の抽出に係り、防災科研地すべり地形分布図に記載されている地すべり地形より、発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形として左記に示す3つのブロックを抽出した。
- ・函館エリアの地すべりブロックを比較した結果、地すべりブロック「函館①」の概算体積が最も大きいことより、「函館①」を函館エリアの検討対象地すべり地形に選定する。

地すべりブロックの概算体積の比較

一塊の地すべりとして考慮※1

同時崩壊（連動）を想定※2

ブロック	A 面積 (m <sup>2</sup> )	L 長さ (m)	W 平均幅 (m)	n <sup>※3</sup> 係数	D 厚さ (D=W×n) (m)	V (A×D) 概算体積 (一塊) (m <sup>3</sup> )	ブロック	V (A×D) 概算体積 (同時崩壊) (m <sup>3</sup> )
函館①-1	315,591	911	380	1/10	38	1.20 × 10 <sup>7</sup>	函館①	1.74 × 10 <sup>7</sup>
函館①-2	71,384	344	263	1/7	38	2.71 × 10 <sup>6</sup>		
函館①-3	77,824	427	240	1/7	34	2.65 × 10 <sup>6</sup>		
函館②	118,669	343	406	1/10	41	4.87 × 10 <sup>6</sup>	函館②③	1.11 × 10 <sup>7</sup>
函館③	115,803	268	536	1/10	54	6.25 × 10 <sup>6</sup>		
函館④	70,433	363	285	1/7	41	2.89 × 10 <sup>6</sup>	函館④⑤⑥	5.59 × 10 <sup>6</sup>
函館⑤	55,520	449	146	1/7	21	1.17 × 10 <sup>6</sup>		
函館⑥	51,369	336	207	1/7	30	1.54 × 10 <sup>6</sup>		

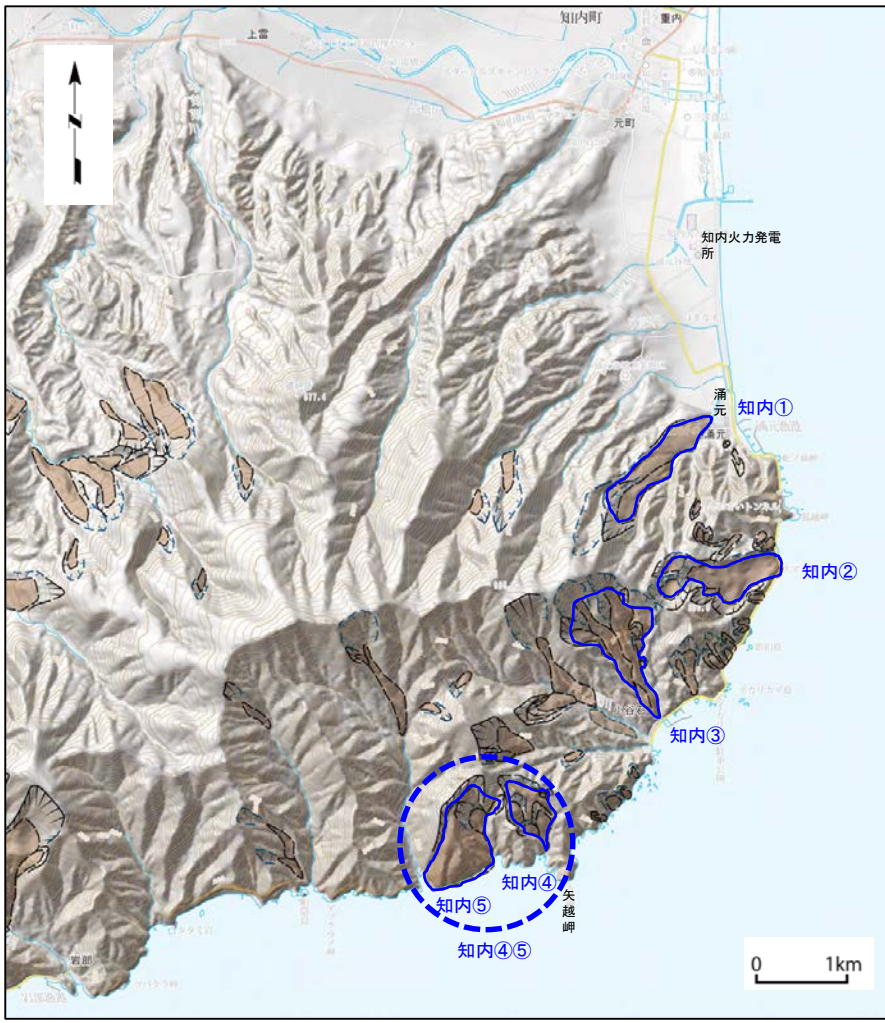
※1 隣接する地すべり群のうち、地すべり土塊頂部が接する、或いは頂部が重複するものは、一塊の地すべりとして考慮  
 ※2 一塊の地すべりが近接し、崩壊方向が同方向の場合、これらの同時崩壊（連動）を想定  
 ※3 地すべりの厚さの係数nは、高速道路調査会(1985)<sup>(91)</sup>に従い下記のとおりとした。

幅：W	係数：n
50～100m	幅の1/5～1/7
200m前後	幅の1/7～1/10
300m以上	幅の1/10～1/15



## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（6 / 27）

### 発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出 及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定【ステップ2】（3 / 7）：（北海道側・知内）



- ・ 知内エリアの検討対象地すべり地形の抽出に係り、防災科研地すべり地形分布図に記載されている地すべり地形より、発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形として左記に示す4つのブロックを抽出した。
- ・ 知内エリアの地すべりブロックを比較した結果、地すべりブロック「知内④⑤」の概算体積が最も大きいことより、「知内④⑤」を知内エリアの検討対象地すべり地形に選定する。

地すべりブロックの概算体積の比較

一塊の地すべりとして考慮※1

同時崩壊（連動）を想定※2

ブロック	A 面積 (m <sup>2</sup> )	L 長さ (m)	W 平均幅 (m)	n <sup>※3</sup> 係数	D 厚さ (D=W×n) (m)	V (A×D) 概算体積 (一塊) (m <sup>3</sup> )	ブロック	V (A×D) 概算体積 (同時崩壊) (m <sup>3</sup> )
知内①	430,006	1,533	341	1/10	34	1.46 × 10 <sup>7</sup>	—	—
知内②	451,699	1,350	465	1/10	47	2.12 × 10 <sup>7</sup>	—	—
知内③	647,199	1,557	445	1/10	45	2.91 × 10 <sup>7</sup>	—	—
知内④	244,337	792	447	1/10	45	1.10 × 10 <sup>7</sup>	知内④⑤	4.26 × 10 <sup>7</sup>
知内⑤	564,304	919	561	1/10	56	3.16 × 10 <sup>7</sup>		

※1 隣接する地すべり群のうち、地すべり土塊頂部が接する、或いは頂部が重複するものは、一塊の地すべりとして考慮  
 ※2 一塊の地すべりが近接し、崩壊方向が同方向の場合、これらの同時崩壊（連動）を想定  
 ※3 地すべりの厚さの係数nは、高速道路調査会(1985)<sup>(91)</sup>に従い下記のとおりとした。

幅：W	係数：n
50～100m	幅の1/5～1/7
200m前後	幅の1/7～1/10
300m以上	幅の1/10～1/15

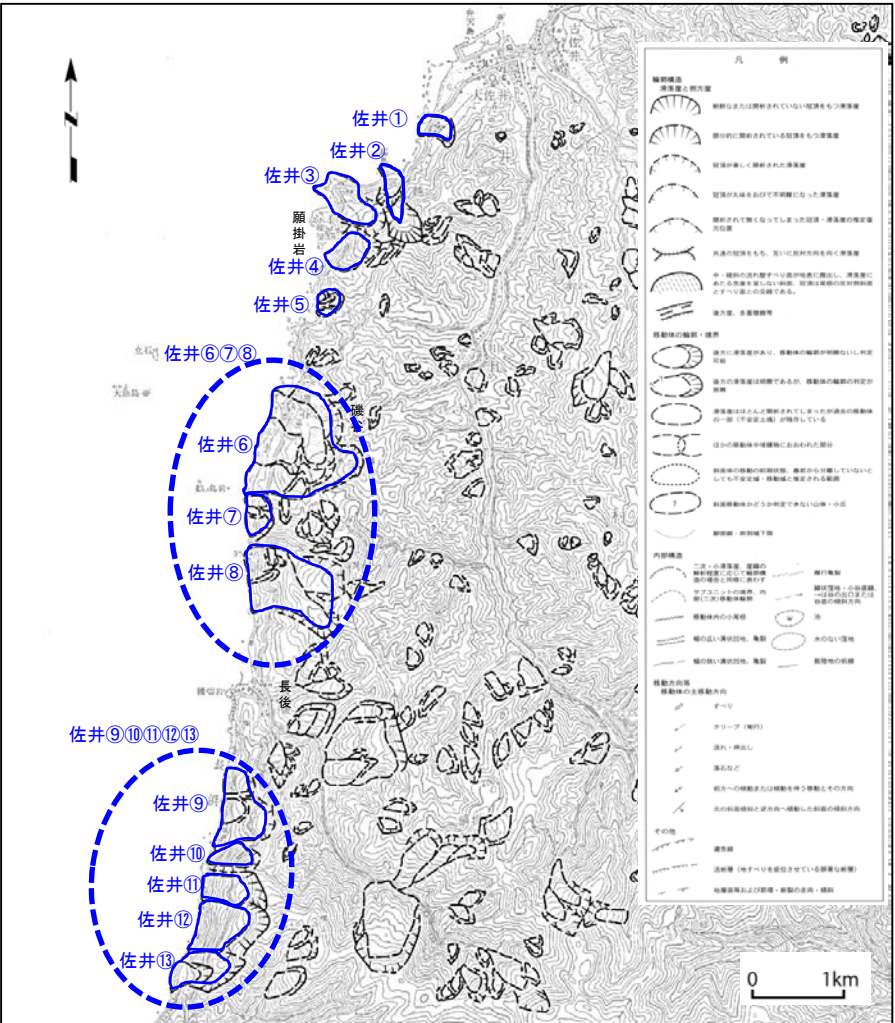




# 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波 (7/27)

## 発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出 及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定【ステップ2】 (4/7) : (青森県側・佐井)

- ・ 佐井エリアの検討対象地すべり地形の抽出に係り、防災科研地すべり地形分布図に記載されている地すべり地形より、発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形として左記に示す7つのブロックを抽出した。
- ・ 佐井エリアの地すべりブロックを比較した結果、地すべりブロック「佐井⑥⑦⑧」は概算体積が最も大きいこと及び、その量はより大間側に位置する地すべりブロック「佐井①～⑤」に比べ1オーダー以上大きいことより、「佐井⑥⑦⑧」を佐井エリアの検討対象地すべり地形に選定する。



地すべりブロックの概算体積の比較  
一塊の地すべりとして考慮※1

ブロック	A 面積 (m <sup>2</sup> )	L 長さ (m)	W 平均幅 (m)	n※3 係数	D 厚さ (D=W×n) (m)	V (A×D) 概算体積 (一塊) (m <sup>3</sup> )
佐井①	73,479	370	220	1/7	31	2.28 × 10 <sup>6</sup>
佐井②	105,395	640	200	1/7	29	3.06 × 10 <sup>6</sup>
佐井③	212,478	720	370	1/10	37	7.86 × 10 <sup>6</sup>
佐井④	134,744	500	360	1/10	36	4.85 × 10 <sup>6</sup>
佐井⑤	55,539	270	240	1/7	34	1.89 × 10 <sup>6</sup>
佐井⑥	1,045,718	1,220	1,150	1/10	115	1.20 × 10 <sup>8</sup>
佐井⑦	94,847	250	430	1/10	43	4.08 × 10 <sup>6</sup>
佐井⑧	602,174	960	710	1/10	71	4.28 × 10 <sup>7</sup>
佐井⑨	324,323	500	920	1/10	92	2.98 × 10 <sup>7</sup>
佐井⑩	91,810	450	240	1/7	34	3.12 × 10 <sup>6</sup>
佐井⑪	140,255	500	300	1/10	30	4.21 × 10 <sup>6</sup>
佐井⑫	263,699	540	550	1/10	55	1.45 × 10 <sup>7</sup>
佐井⑬	189,042	630	330	1/10	33	6.24 × 10 <sup>6</sup>

同時崩壊 (連動) を想定※2

ブロック	V (A×D) 概算体積 (同時崩壊) (m <sup>3</sup> )
—	—
—	—
—	—
—	—
—	—
—	—
佐井⑥⑦⑧	1.67 × 10 <sup>8</sup>
佐井⑨⑩⑪⑫⑬	5.79 × 10 <sup>7</sup>

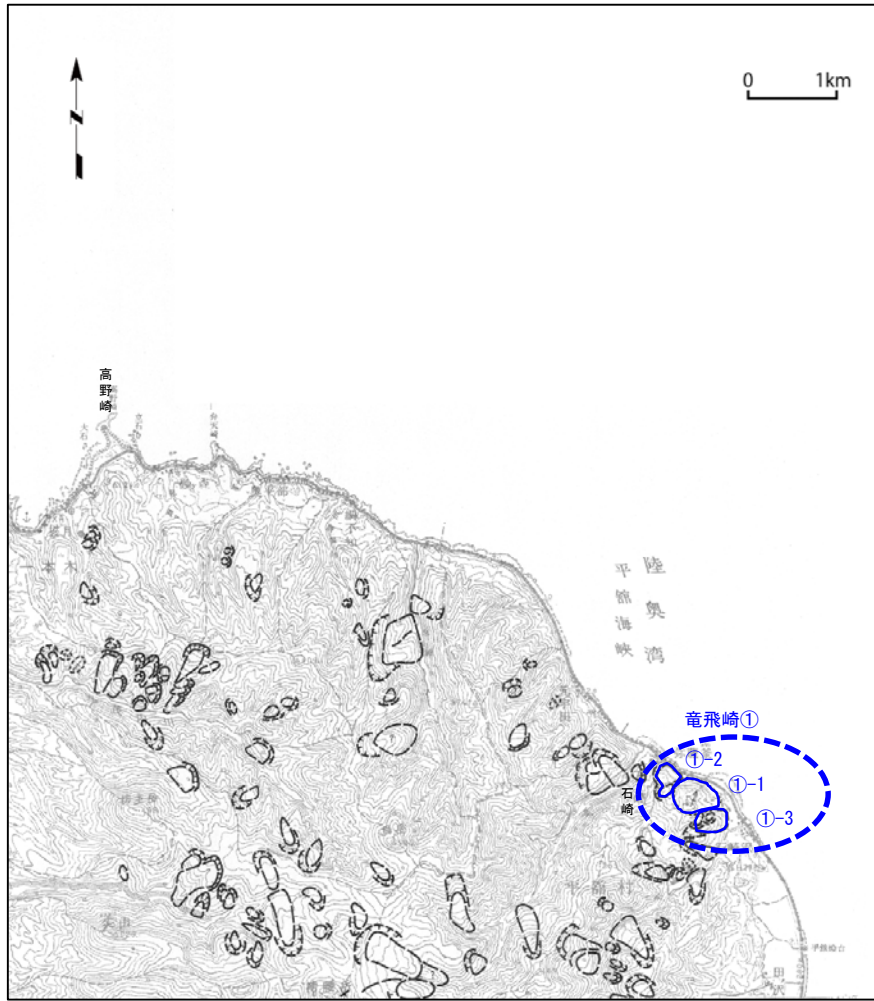
※1 隣接する地すべり群のうち、地すべり土塊頂部が接する、或いは頂部が重複するものは、一塊の地すべりとして考慮  
 ※2 一塊の地すべりが近接し、崩壊方向が同方向の場合、これらの同時崩壊 (連動) を想定  
 ※3 地すべりの厚さの係数 n は、高速道路調査会 (1985) (91) に従い下記のとおりとした。

幅 : W	係数 : n
50~100m	幅の1/5~1/7
200m前後	幅の1/7~1/10
300m以上	幅の1/10~1/15



## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（8 / 27）

### 発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出 及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定【ステップ2】（5 / 7）：（青森県側・竜飛崎）



・ 竜飛崎エリアの検討対象地すべり地形の抽出に係り、防災科研地すべり地形分布図に記載されている地すべり地形より、発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形として左記に示す1つのブロックを抽出した。

・ 「竜飛崎①」を竜飛崎エリアの検討対象地すべり地形に選定する。

地すべりブロックの概算体積の比較

ブロック	A 面積 (m <sup>2</sup> )	L 長さ (m)	W 平均幅 (m)	n <sup>※3</sup> 係数	D 厚さ (D=W × n) (m)	V (A × D) 概算体積 (一塊) (m <sup>3</sup> )	同時崩壊（連動）を想定 <sup>※2</sup>	
							ブロック	V (A × D) 概算体積 (同時崩壊) (m <sup>3</sup> )
竜飛崎①-1	162,650	400	513	1/10	51	8.30 × 10 <sup>6</sup>	竜飛崎①	1.37 × 10 <sup>7</sup>
竜飛崎①-2	63,701	363	273	1/7	39	2.48 × 10 <sup>6</sup>		
竜飛崎①-3	83,911	384	245	1/7	35	2.94 × 10 <sup>6</sup>		

※1 隣接する地すべり群のうち、地すべり土塊頂部が接する、或いは頂部が重複するものは、一塊の地すべりとして考慮  
 ※2 一塊の地すべりが近接し、崩壊方向が同方向の場合、これらの同時崩壊（連動）を想定  
 ※3 地すべりの厚さの係数nは、高速道路調査会(1985)<sup>(91)</sup>に従い下記のとおりとした。

幅：W	係数：n
50~100m	幅の1/5~1/7
200m前後	幅の1/7~1/10
300m以上	幅の1/10~1/15

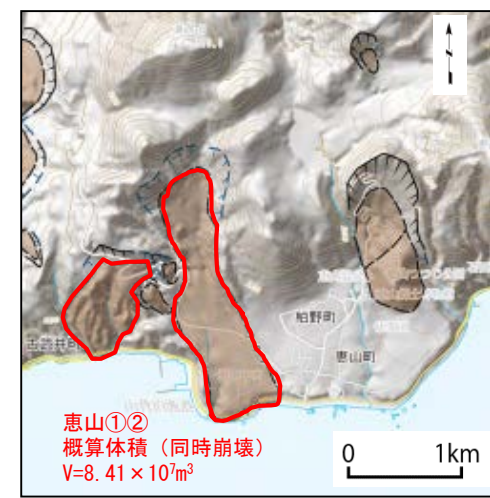
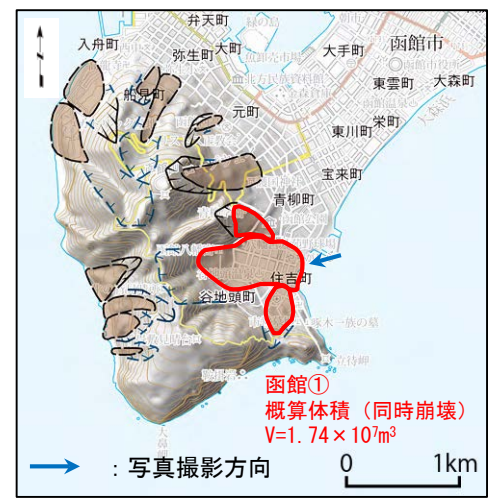
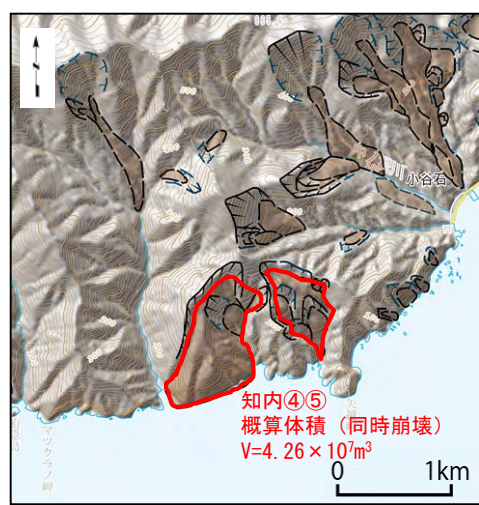




# 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（9 / 27）

発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出  
及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定【ステップ2】（6 / 7）：各エリアの検討対象地すべり地形の比較（1 / 2）

各エリア毎に選定した検討対象地すべり地形は以下のとおりである。



防災科学技術研究所（2009）<sup>(92)</sup>に一部加筆



「国土地理院の空中写真」

「知内」エリア



既に地すべり後の凹地形を呈している

「函館」エリア



「国土地理院の空中写真」



「国土地理院の空中写真」

「恵山」エリア

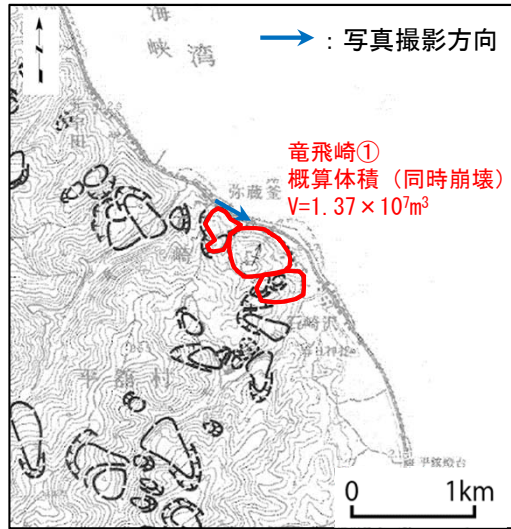


## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（10/27）

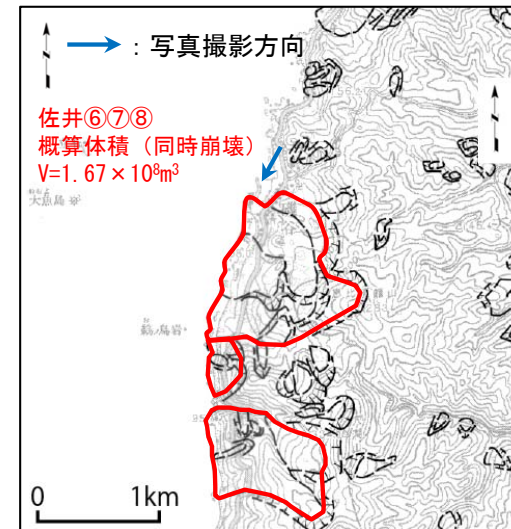


発電所に影響のある津波を発生させる可能性がある地すべり地形の抽出  
及びエリア毎の検討対象地すべり地形の選定【ステップ2】（7/7）：各エリアの検討対象地すべり地形の比較（2/2）

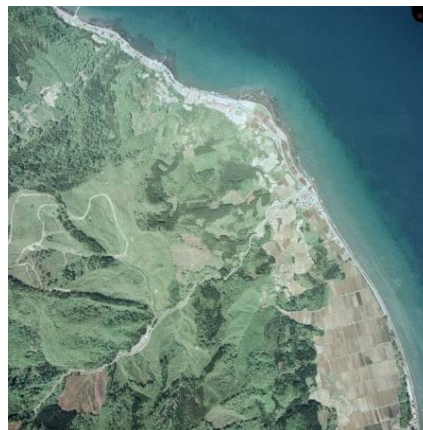
各エリア毎に選定した検討対象地すべり地形は以下のとおりである。



防災科学技術研究所（1987）<sup>(94)</sup>に一部加筆

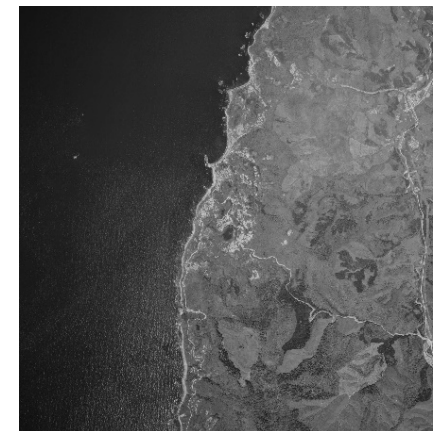


防災科学技術研究所（2009）<sup>(93)</sup>に一部加筆



「国土地理院の空中写真」

「竜飛崎」エリア

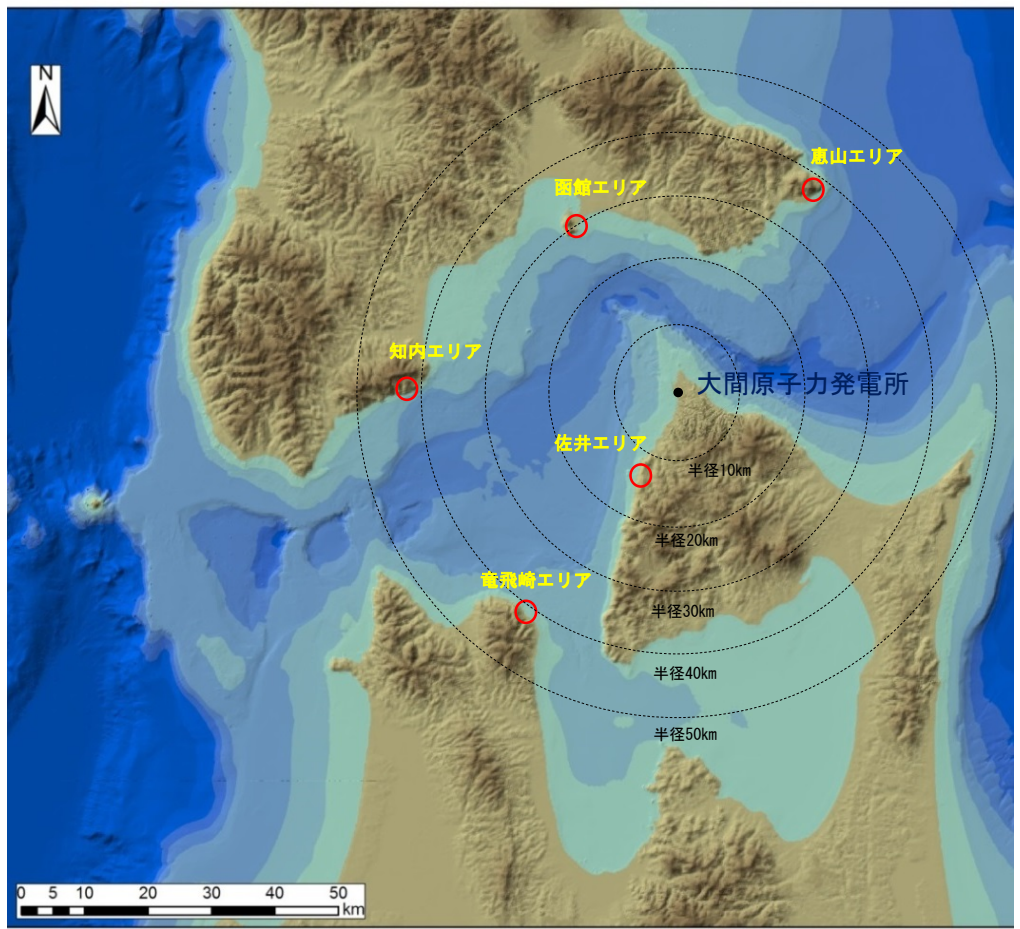


「国土地理院の空中写真」

「佐井」エリア



## 検討対象地すべり地形の選定【ステップ3】



各エリア検討対象地すべり地形 地すべり規模

エリア	概算体積	敷地までの距離
恵山	$8.41 \times 10^7 \text{m}^3$	約40km
函館	$1.74 \times 10^7 \text{m}^3$	約30km
知内	$4.26 \times 10^7 \text{m}^3$	約40km
佐井	$1.67 \times 10^8 \text{m}^3$	約15km
竜飛崎	$1.37 \times 10^7 \text{m}^3$	約40km

各エリア検討対象地すべり地形位置

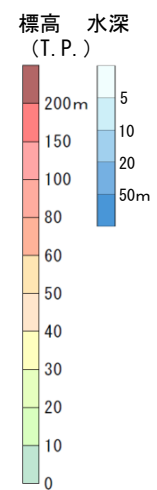
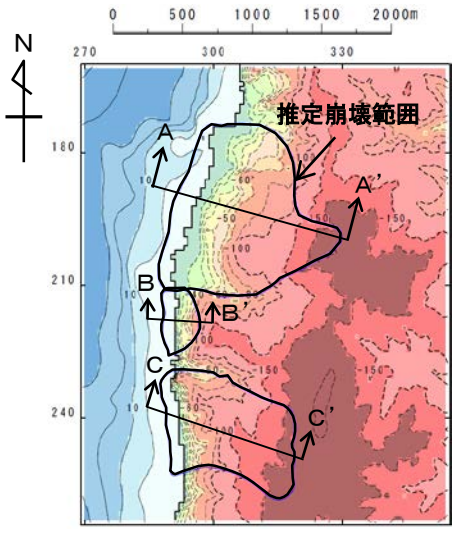
各エリアの検討対象地すべり地形のうち、佐井エリアの検討対象地すべり地形が、概算体積が最も大きいこと、敷地までの距離が最も近いこと、及び概略影響比較 (P. 301~P. 304参照) を踏まえ、佐井エリアの検討対象地すべり地形を全体の検討対象地すべり地形として選定した。





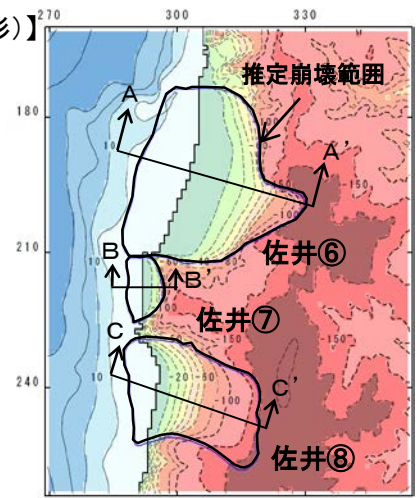
## 数値シミュレーション【ステップ4】 (1/11) : 解析モデル①<二層流モデル> (1/7)

### すべり面及び崩壊量の設定【佐井エリアの地すべり地形】



地形モデル

【現地地形(モデル上の崩壊前地形)】

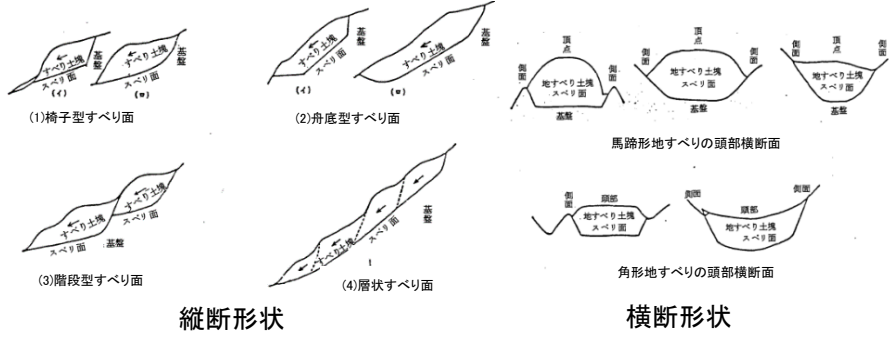


地形モデル(すべり面)

波源モデル

○解析モデル①として二層流モデルを採用した\*。  
○検討対象地すべり地形の推定すべり面は、高速道路調査会(1985)<sup>(91)</sup>等を参照し、以下の考えに基づき設定した(P.289~P.291参照)。

- ・推定された地すべり厚さDが地すべりブロック中央部付近の代表的な厚さとする。
- ・地すべりブロック縦断方向に対しては、ブロック中央部付近でおおむね一定勾配を呈し、ブロック頭部に向かって漸増的に急勾配化させる。ブロック端部では、頭部とは逆に中央部から末端部に向かって徐々に緩勾配化させる。
- ・横断方向に対しては、ブロック中央部付近では一定勾配を呈し、ブロック側方境界部に向かって漸増的に急勾配化させる。
- ・すべり面形状が地表面地形形状に滑らかな接続となるようにする。



すべり面形状例 高速道路調査会(1985)<sup>(91)</sup>に一部加筆

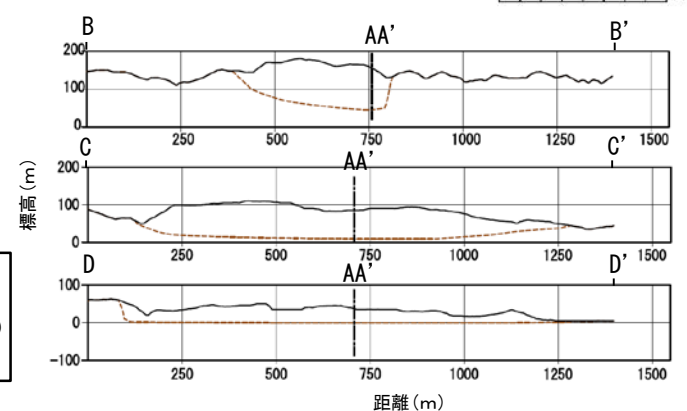
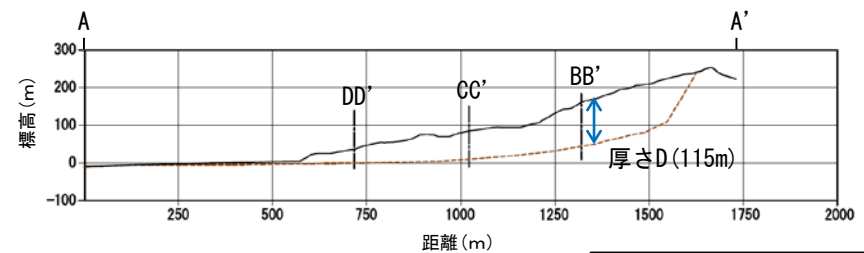
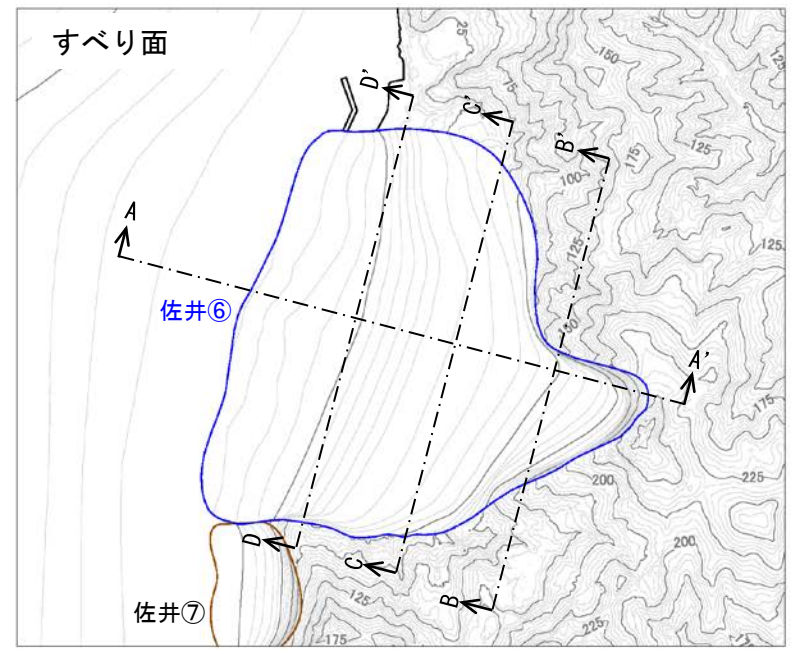
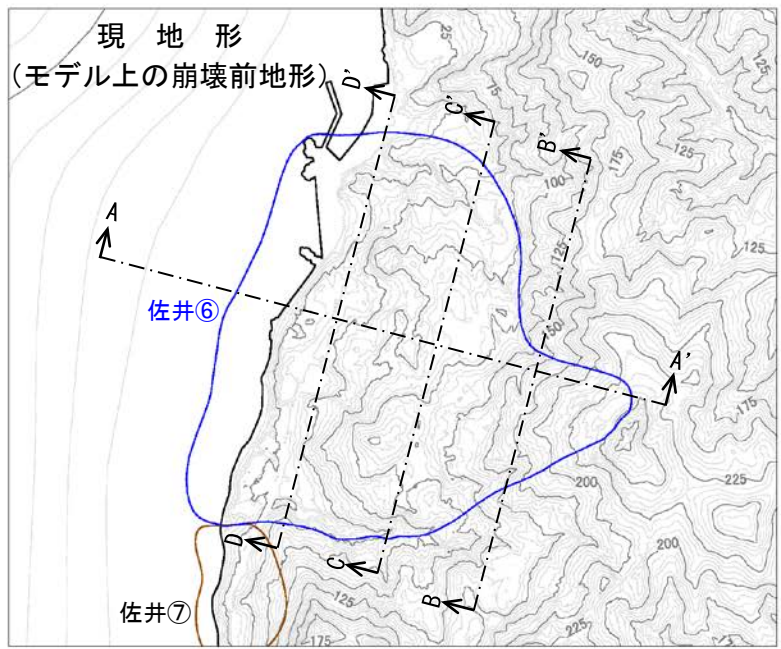
○現地地形を解析モデル上の崩壊前地形と設定した。  
○作成した現地地形モデルとすべり面モデルより算出した佐井エリアの検討対象地すべり地形(佐井⑥⑦⑧)の崩壊量は $7.74 \times 10^7 \text{m}^3$ である。

\*: 補足説明資料「6-2. 二層流モデルの適用性について」参照。



## 数値シミュレーション【ステップ4】 (2/11) : 解析モデル①<二層流モデル> (2/7)

検討対象地すべり地形 縦断面図 (1/3) 【ブロック佐井⑥】

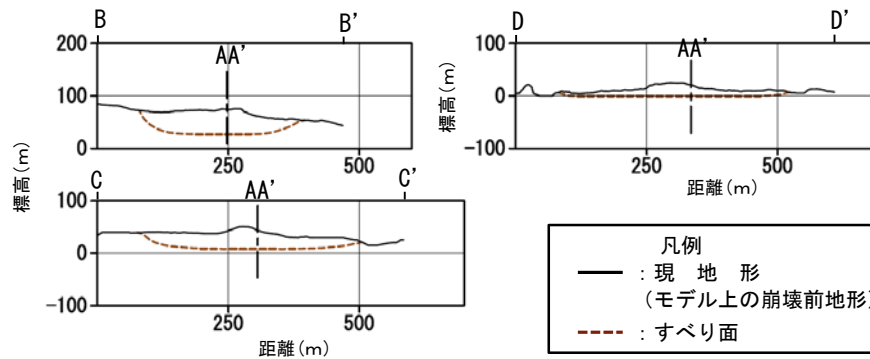
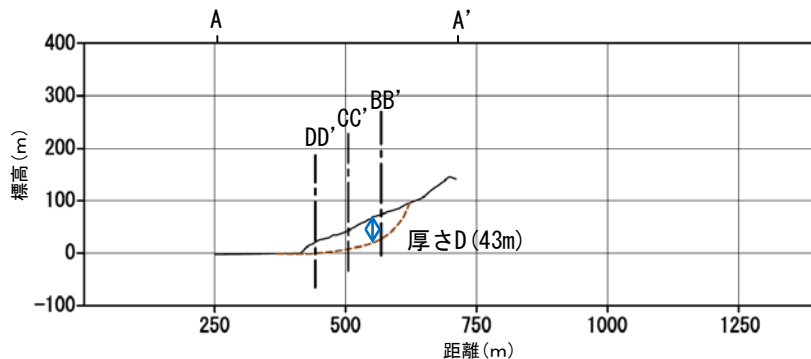
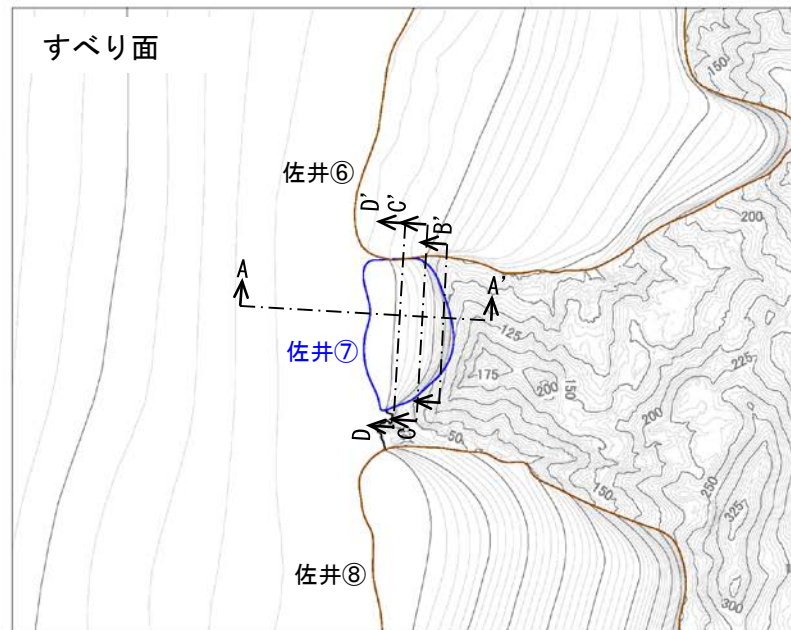
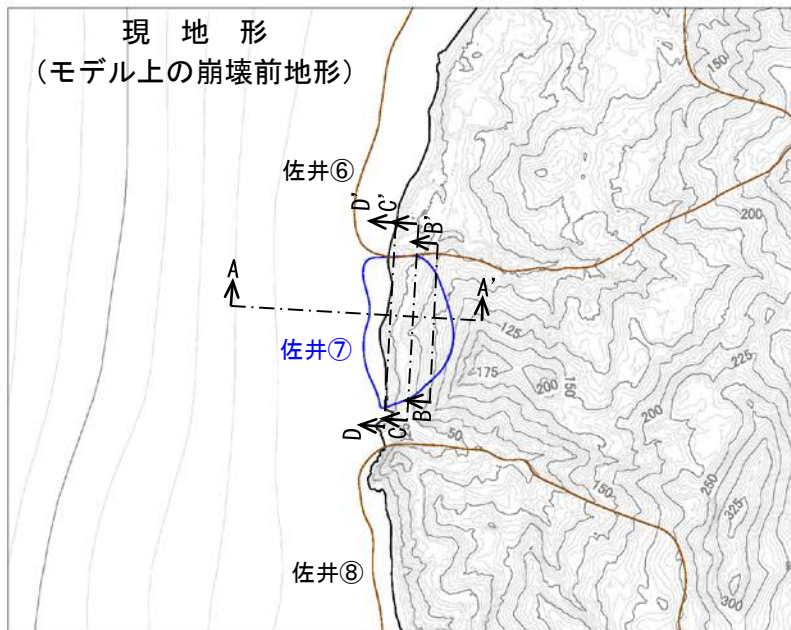


凡例  
 — : 現地形  
 (モデル上の崩壊前地形)  
 - - - : すべり面



## 数値シミュレーション【ステップ4】 (3/11) : 解析モデル①<二層流モデル> (3/7)

検討対象地すべり地形 縦断面図 (2/3) 【ブロック佐井⑦】



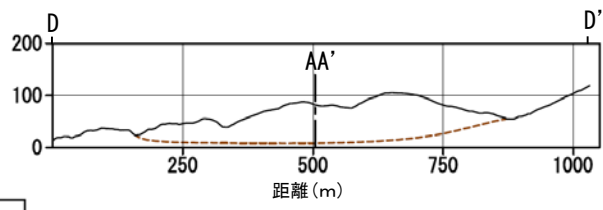
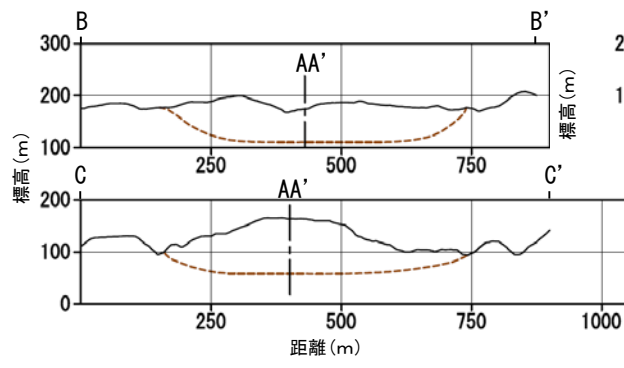
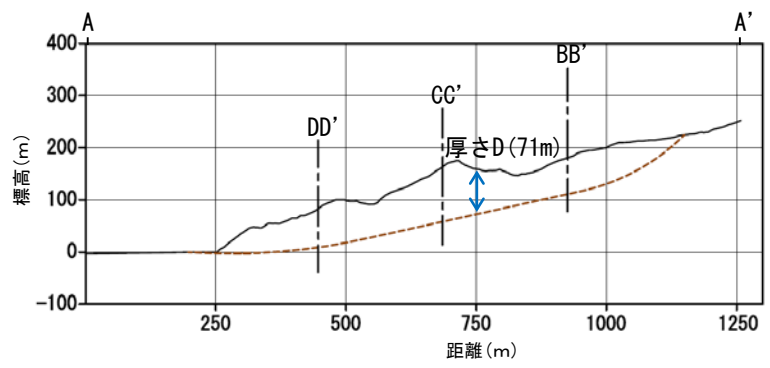
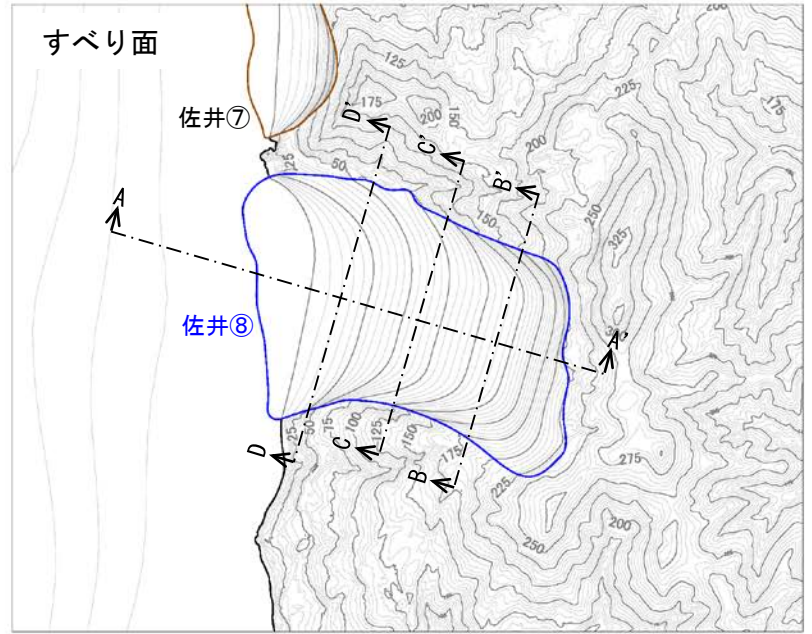
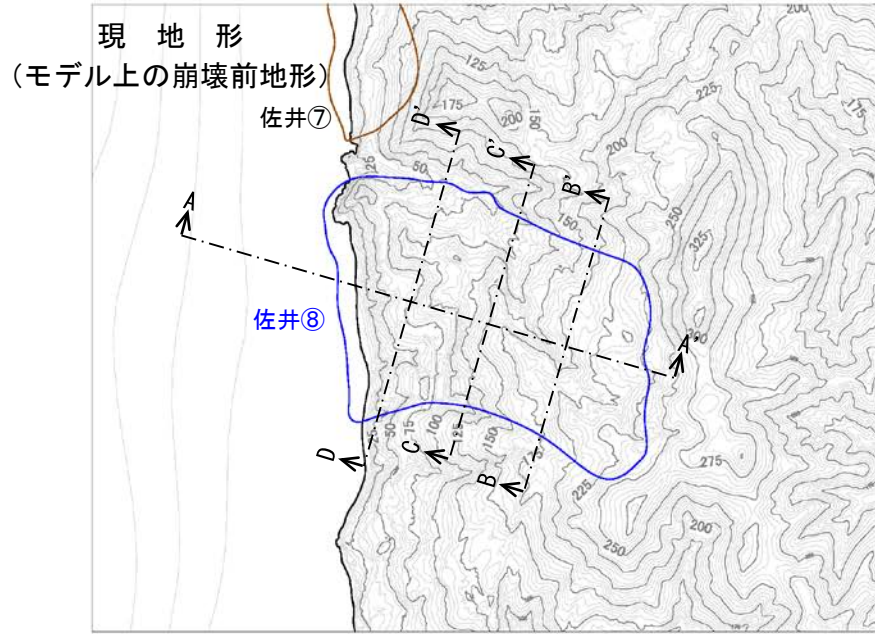
- 凡例
- : 現地形 (モデル上の崩壊前地形)
  - - - : すべり面





## 数値シミュレーション【ステップ4】 (4/11) : 解析モデル①<二層流モデル> (4/7)

検討対象地すべり地形 縦断面図 (3/3) 【ブロック佐井⑧】



凡例  
— : 現地形  
(モデル上の崩壊前地形)  
- - - : すべり面



# 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波 (16/27)

## 数値シミュレーション【ステップ4】 (5/11) : 解析モデル①<二層流モデル> (5/7)

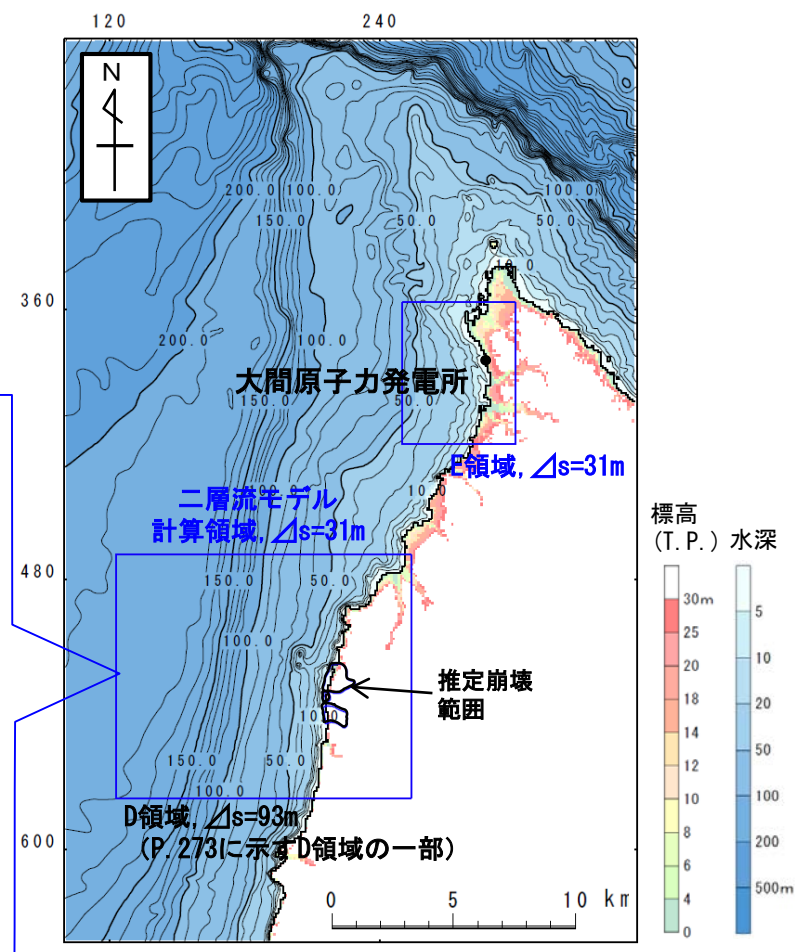
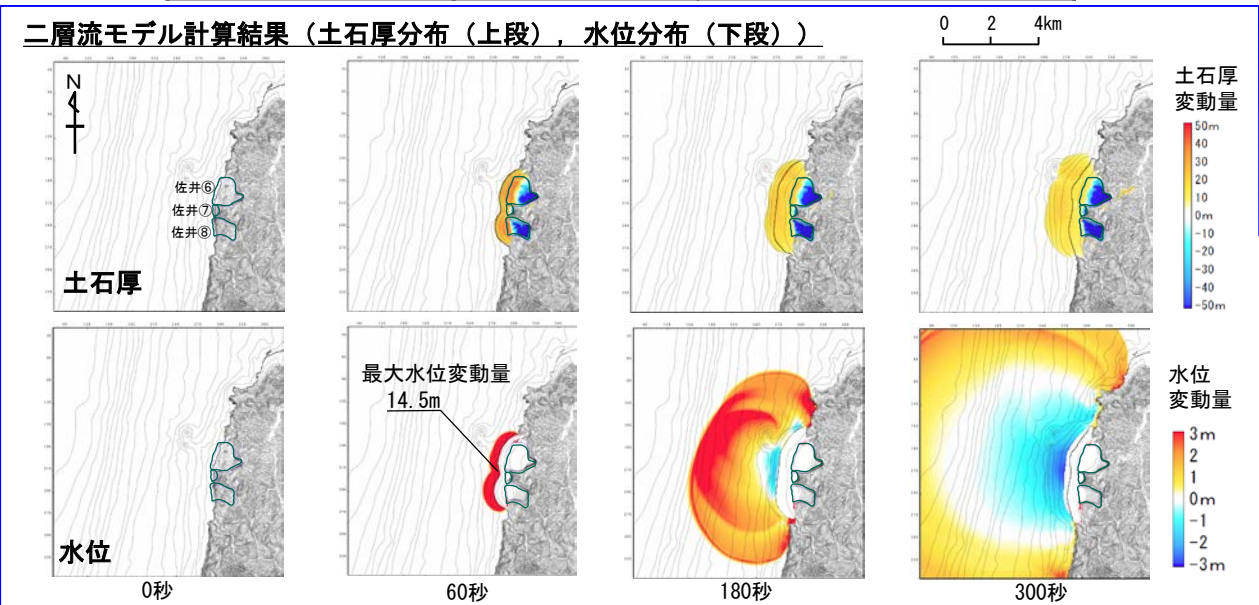
計算条件【佐井エリアの地すべり地形】

- 二層流モデルの計算条件は下表のとおりである。なお、佐井⑥⑦⑧が同時に崩壊開始（同時に海域に突入）するものとした。
- 敷地への津波の伝播シミュレーションは、二層流モデル計算領域の境界部で得られた時刻歴波形を津波伝播計算領域に接続して実施した。

主な計算条件

項目	内容	設定根拠
海水密度	$\rho_1=1.03(\text{g/cm}^3)$	Kawamata et al. (2005) (90)で1741年渡島大島火山津波を再現された値
崩壊物の密度	$\rho_2=2.0(\text{g/cm}^3)$	
上層(水)の粗度係数	$n=0.025(\text{s/m}^{1/3})$	
下層(土砂)の粗度係数	$n=0.4(\text{s/m}^{1/3})$	
抗力係数	$C_D=2.0$	
水平拡散係数	$\nu=0.1(\text{m}^2/\text{s})$	計算の安定性を考慮して設定
計算時間間隔	$\Delta t=1.0 \times 10^{-5}(\text{s})$	

二層流モデル計算結果 (土石厚分布 (上段), 水位分布 (下段))





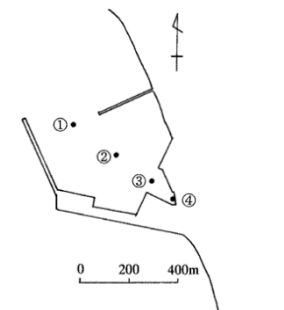
## 数値シミュレーション【ステップ4】（6/11）：解析モデル①<二層流モデル>（6/7）

計算結果【佐井エリアの地すべり地形】

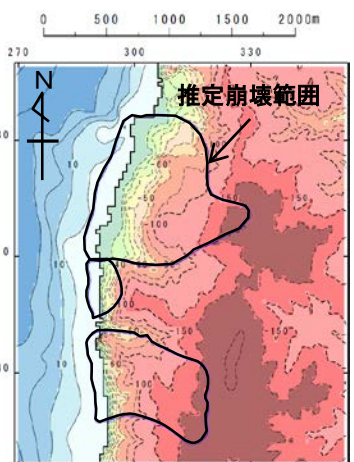
陸上の斜面崩壊に起因する津波の二層流モデルによる計算結果（上昇側）は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果（上昇側）

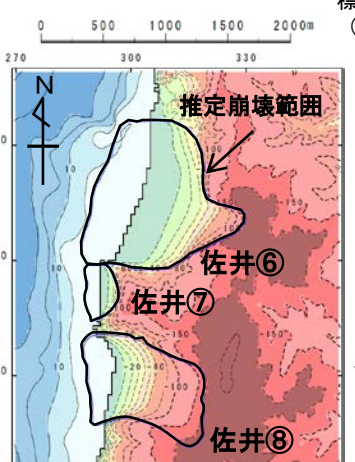
検討対象	解析モデル	敷地における最大水位上昇量
佐井エリアの地すべり地形	二層流モデル	4.70m



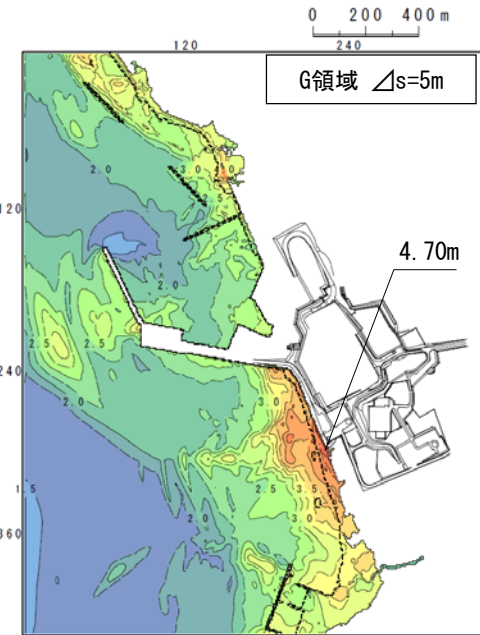
水位時刻歴波形出力点



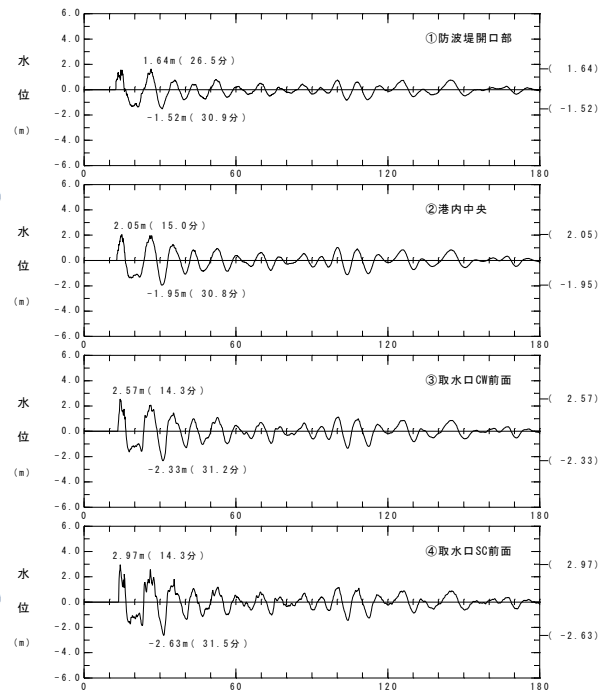
地形モデル  
【現地形(モデル上の崩壊前地形)】



地形モデル(すべり面)



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形

波源モデル





# 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波 (18/27)

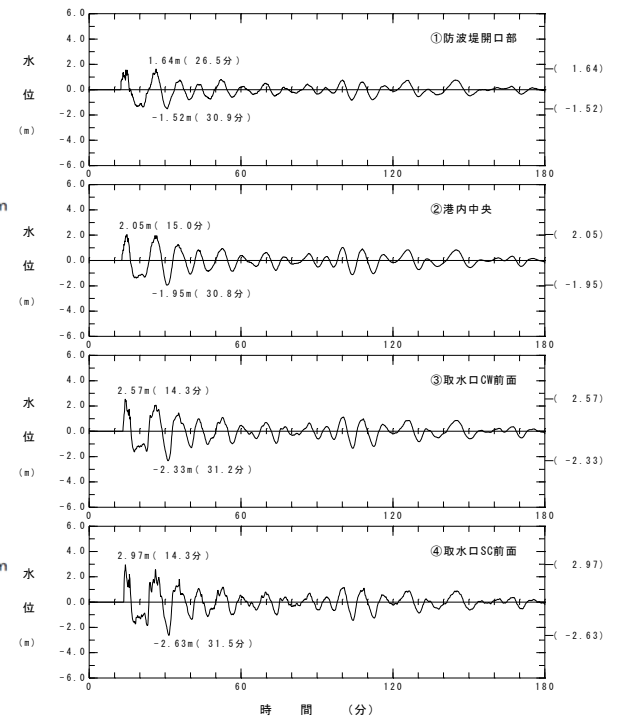
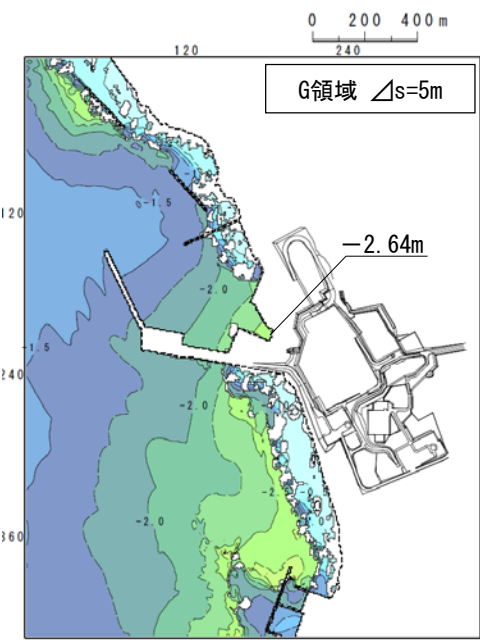
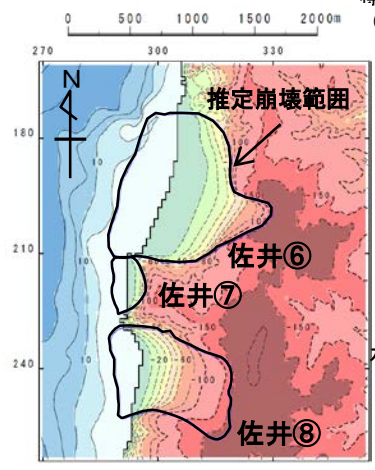
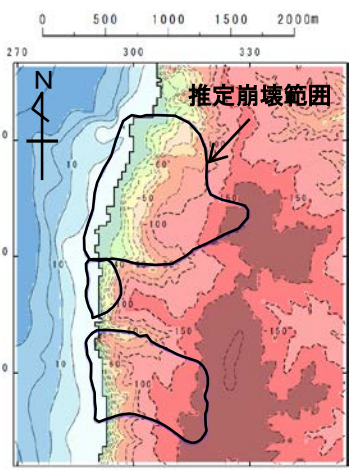
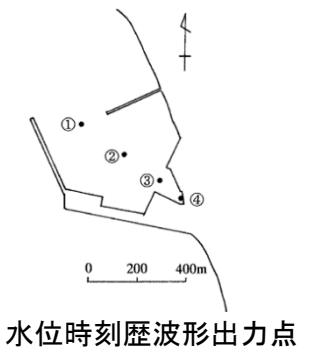
## 数値シミュレーション【ステップ4】 (7/11) : 解析モデル①<二層流モデル> (7/7)

計算結果【佐井エリアの地すべり地形】

陸上の斜面崩壊に起因する津波の二層流モデルによる計算結果 (下降側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果(下降側)

検討対象	解析モデル	取水口スクリーン室前面における最大水位下降量
佐井エリアの地すべり地形	二層流モデル	-2.64m



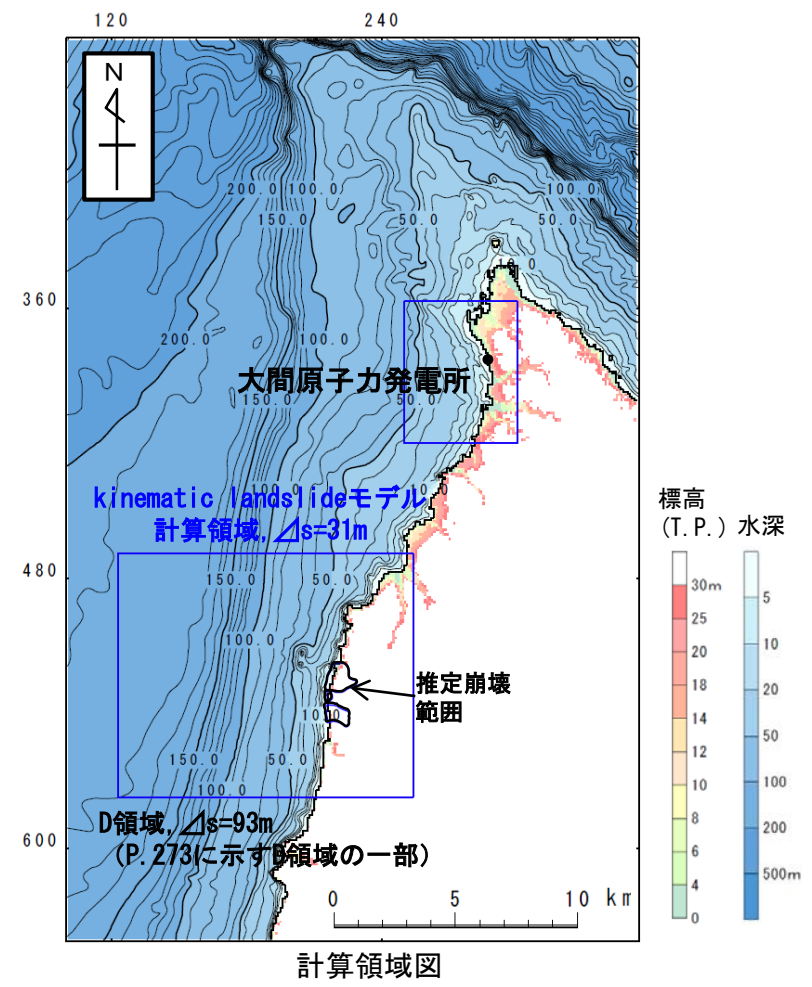
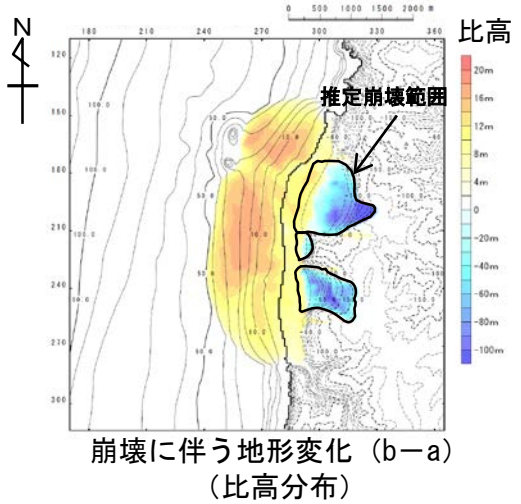
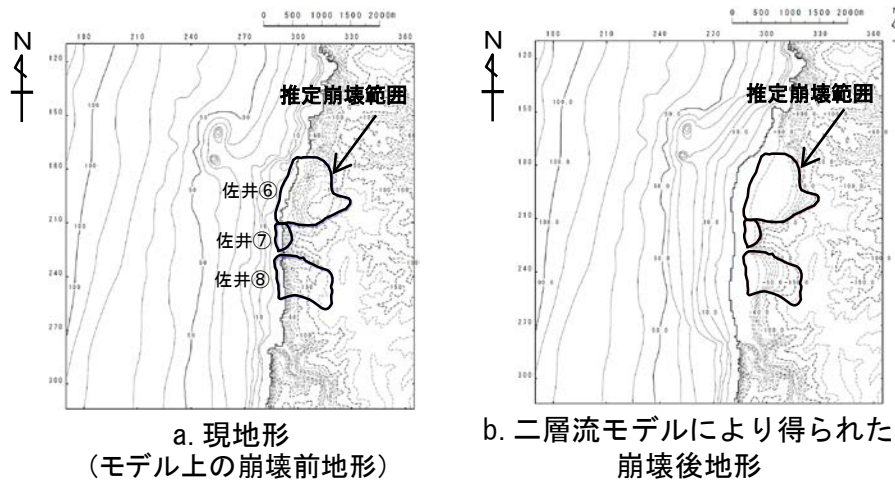
波源モデル



## 数値シミュレーション【ステップ4】 (8/11) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (1/4)

### 崩壊地形データの作成【佐井エリアの地すべり地形】

- ・解析モデル②としてkinematic landslideモデルを採用した。
- ・kinematic landslideモデルの崩壊地形データ (比高分布) は, 現地形 (モデル上の崩壊前地形) と二層流モデルにより得られた崩壊後地形から作成した。なお, 佐井⑥⑦⑧の崩壊物が同時に海域に突入するものとした。



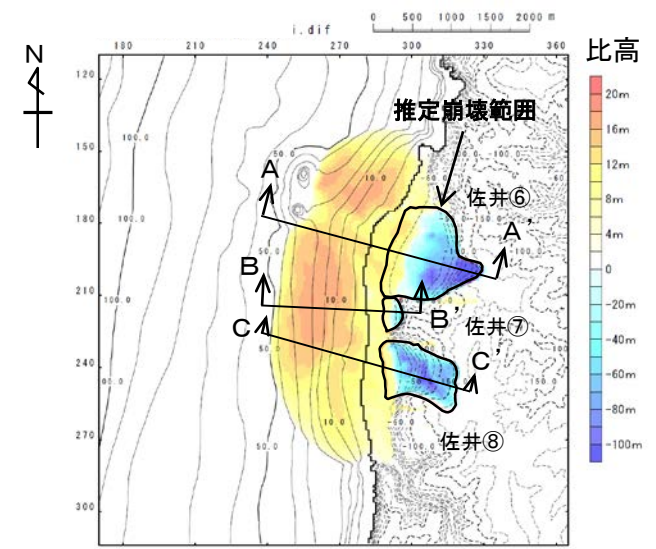




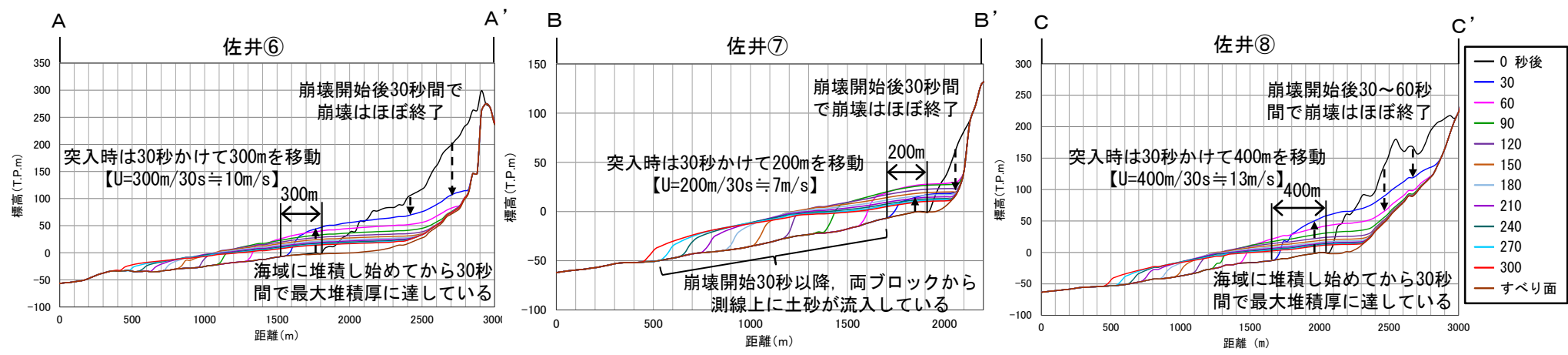
## 数値シミュレーション【ステップ4】 (9/11) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (2/4)

パラメータの設定【水平移動速度・比高変化継続時間】

- kinematic landslideモデルで考慮する水平移動速度Uおよび比高変化継続時間Tは、二層流モデル解析で得られた崩壊測線上の崩壊物の移動状況より下記のとおり設定した。
- 水平移動速度  $U_1$  : 10m/s (佐井⑥)  
 $U_2$  : 7m/s (佐井⑦)  
 $U_3$  : 13m/s (佐井⑧)
- 比高変化継続時間T : 30秒



kinematic landslideモデルに用いる比高分布



kinematic landslideモデルに用いるU及びT

(二層流モデル解析による崩壊測線上の崩壊物の移動状況より設定)



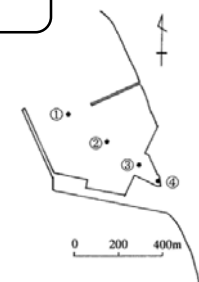
## 数値シミュレーション【ステップ4】 (10 / 11) : 解析モデル② <kinematic landslideモデル> (3 / 4)

計算結果【佐井エリアの地すべり地形】

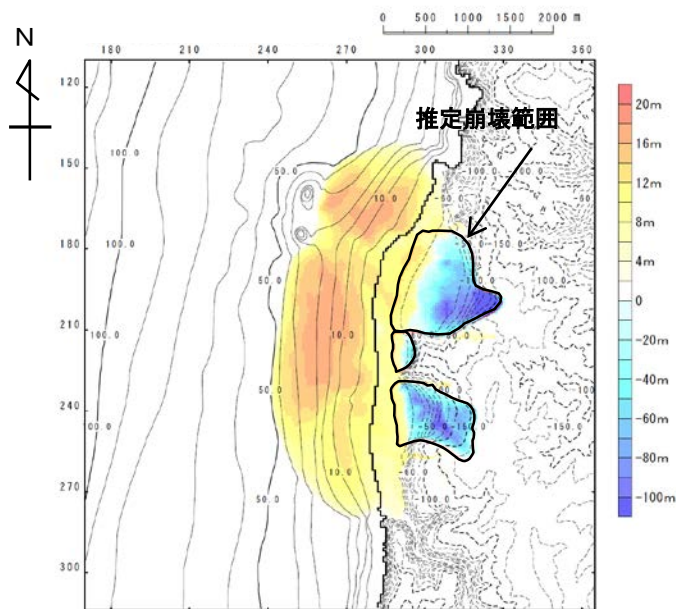
陸上の斜面崩壊に起因する津波のkinematic landslideモデルによる計算結果 (上昇側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (上昇側)

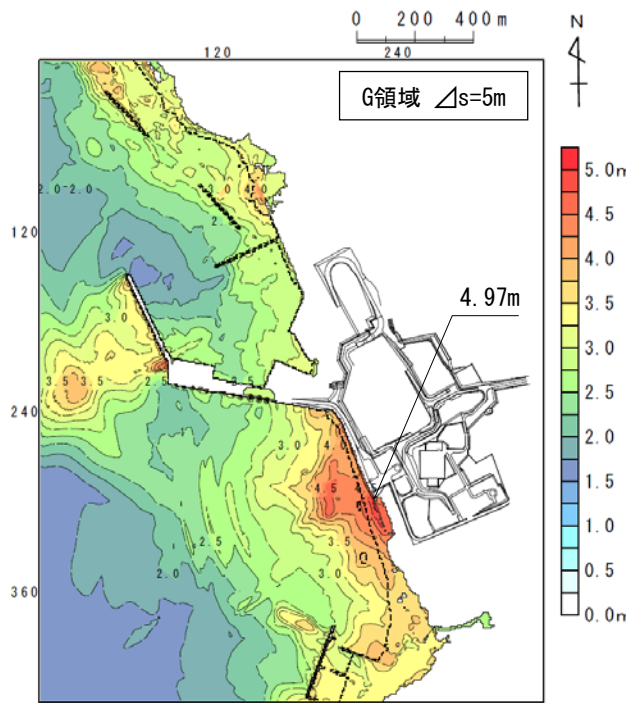
検討対象	解析モデル	敷地における最大水位上昇量
佐井エリアの地すべり地形	kinematic landslideモデル	4.97m



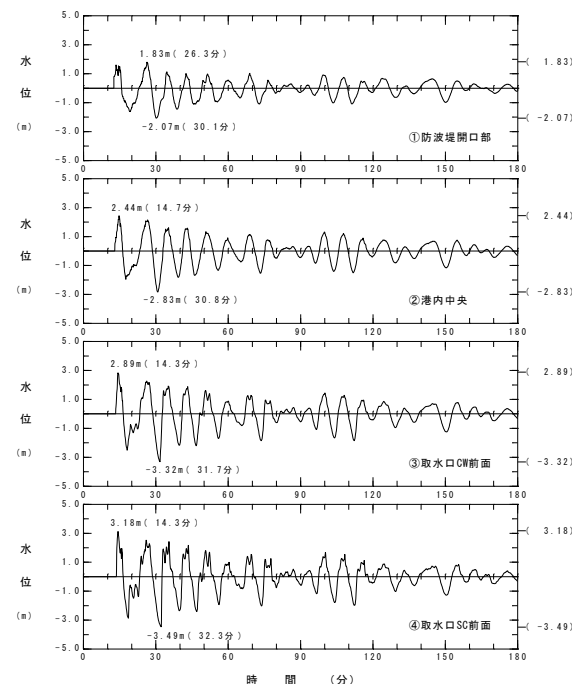
水位時刻歴波形出力点



波源モデル



最大水位上昇量分布



水位時刻歴波形



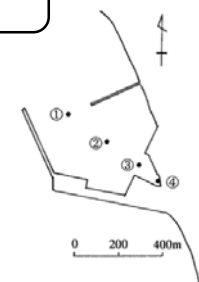
## 数値シミュレーション【ステップ4】 (11/11) : 解析モデル②<kinematic landslideモデル> (4/4)

計算結果【佐井エリアの地すべり地形】

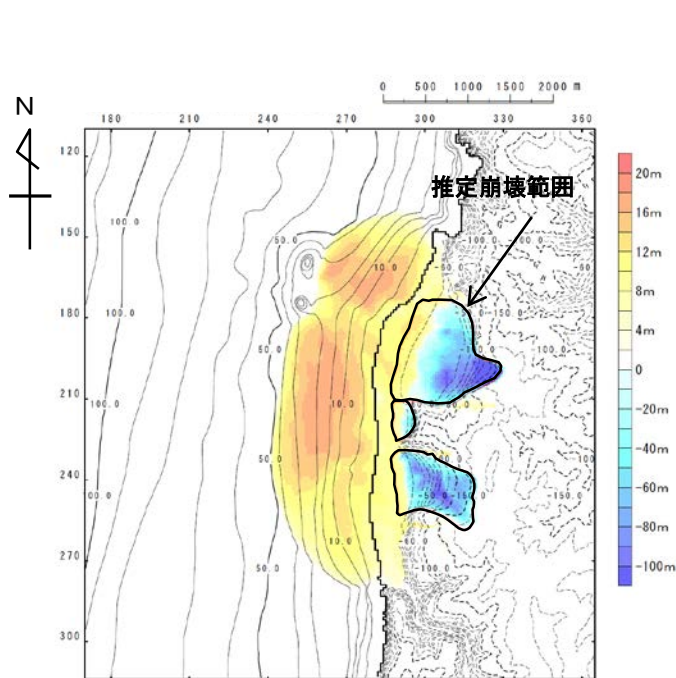
陸上の斜面崩壊に起因する津波のkinematic landslideモデルによる計算結果 (下降側) は下表のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果 (下降側)

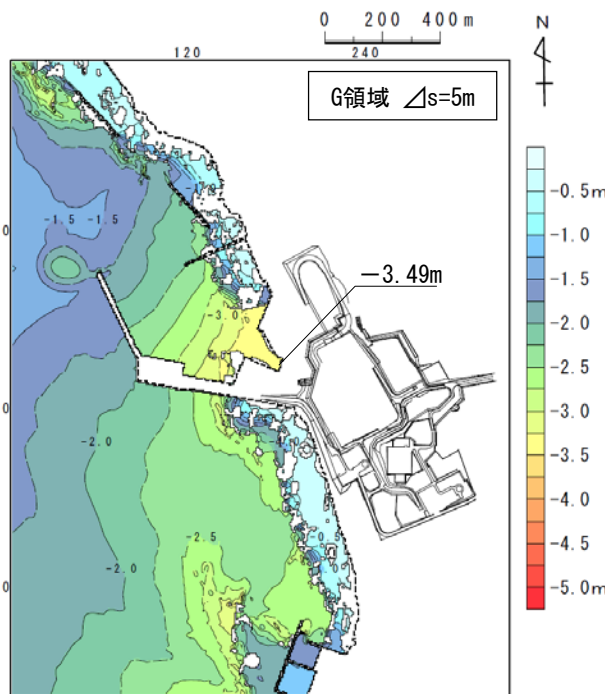
検討対象	解析モデル	取水口スクリーン室前面における最大水位下降量
佐井エリアの地すべり地形	kinematic landslideモデル	-3.49m



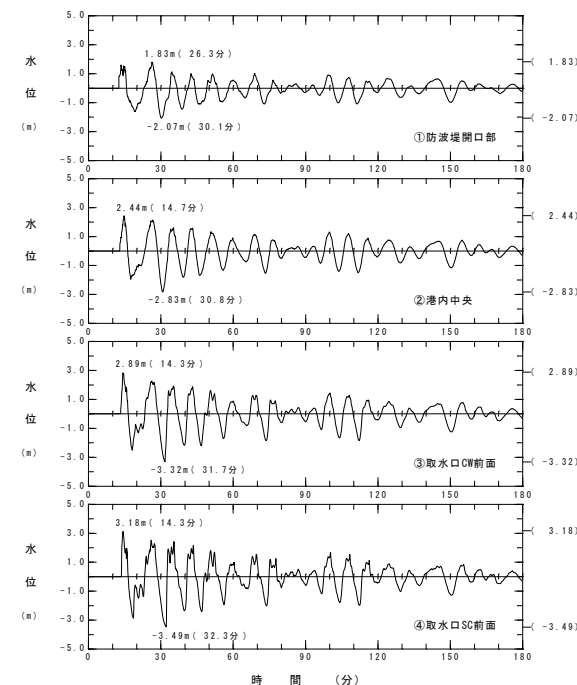
水位時刻歴波形出力点



波源モデル



最大水位下降量分布



水位時刻歴波形



### 陸上の斜面崩壊に起因する津波検討結果

- 陸上の斜面崩壊に起因する津波の検討結果は以下のとおりである。

陸上の斜面崩壊に起因する津波

区分	解析モデル	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面 における 最大水位下降量
陸上の斜面崩壊に起因する津波	kinematic landslideモデル	4.97m	-3.49m

(余白)



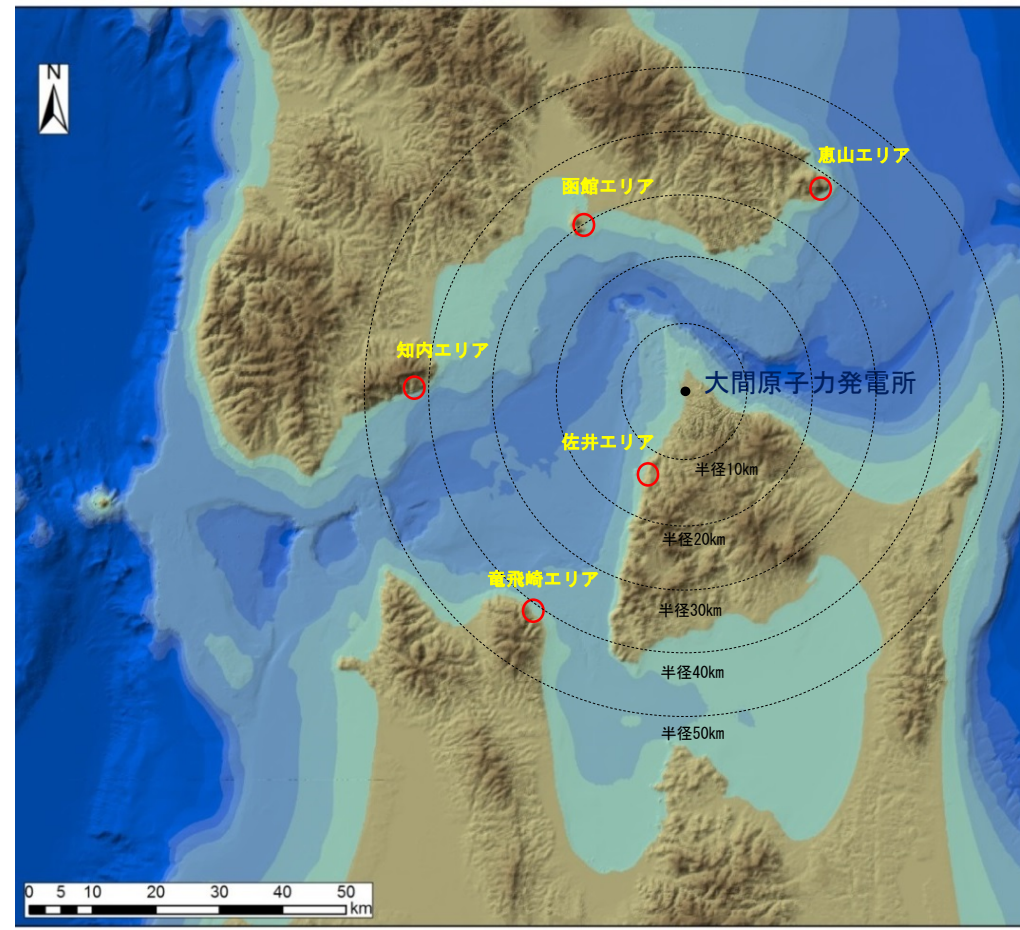


## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（24 / 27）

### （参考）検討対象地すべり地形の選定【ステップ3】：概略影響比較（1 / 4）

#### 検討方針

各エリアの検討対象地すべり地形について、概略的に発電所への津波影響を比較することを目的として、仮想的な崩壊後の堆積域・堆積厚さを仮定し、海面にその堆積厚さ分布を与えることによる津波伝播解析を実施する。



各エリア検討対象地すべり地形 地すべり規模

エリア	概算体積	敷地までの距離
恵山	$8.41 \times 10^7 \text{m}^3$	約40km
函館	$1.74 \times 10^7 \text{m}^3$	約30km
知内	$4.26 \times 10^7 \text{m}^3$	約40km
佐井	$1.67 \times 10^8 \text{m}^3$	約15km
竜飛崎	$1.37 \times 10^7 \text{m}^3$	約40km

各エリア検討対象地すべり地形位置



# 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波 (25/27)

## (参考) 検討対象地すべり地形の選定【ステップ3】：概略影響比較 (2/4)

### 検討パラメータの設定

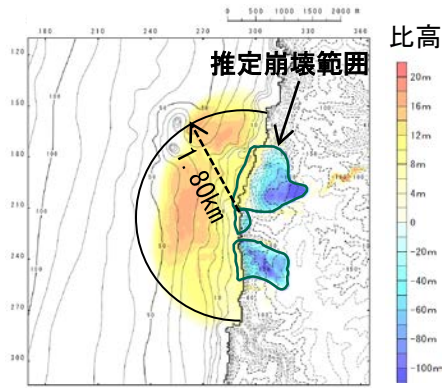
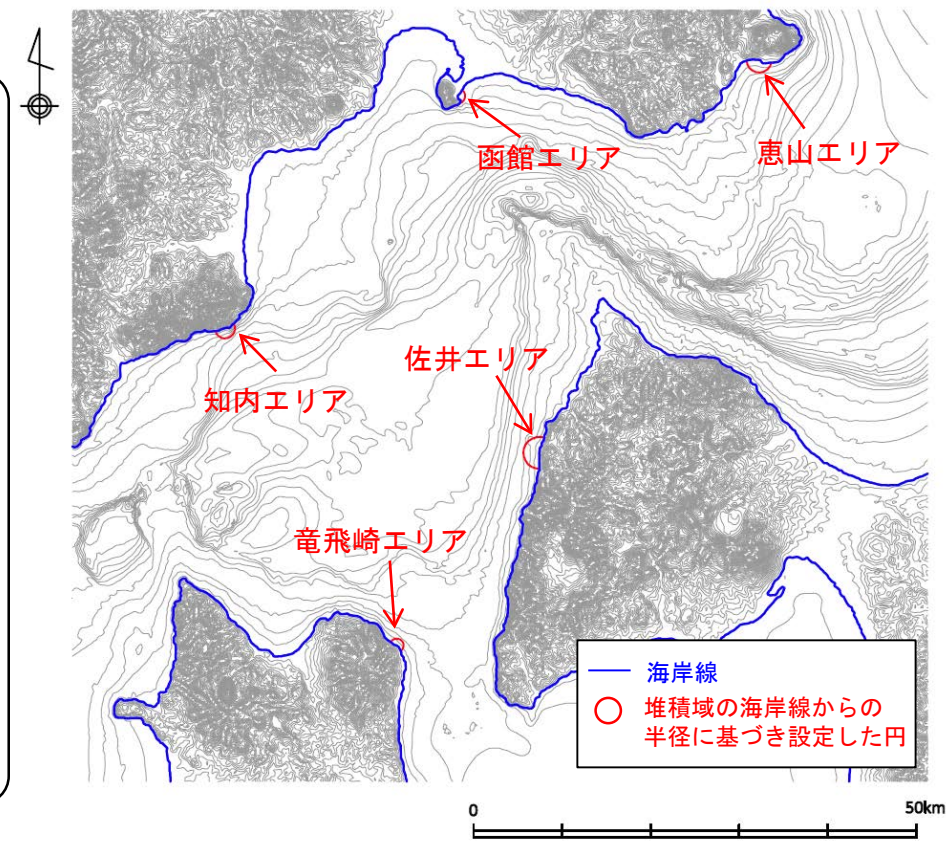
・概略影響評価上の堆積範囲・堆積厚さ及び比高変化継続時間は以下のとおり設定した。

- ①堆積範囲は、各崩壊体積に応じた半円を仮定し、それぞれの堆積範囲の半径  $r$  は佐井エリアを対象に実施した二層流モデル解析結果 (下図参照) の堆積範囲を基に設定する。
- ②堆積厚さは、概算崩壊体積が全て海域に流入するものとして、半径  $r$  の半円の範囲に、堆積厚さ一定で堆積すると仮定する。
- ③比高変化継続時間は、各崩壊体積に比例すると仮定し、佐井エリアを対象に実施した二層流モデルの解析結果 (下図参照) の比高変化継続時間を基に、以下のとおり設定する。

$$r = r_s \times \sqrt[3]{\frac{V}{V_s}}$$

$$T = T_s \times \frac{V}{V_s}$$

$r$  : 検討対象地すべり地形の堆積範囲の海岸線からの半径 (km)  
 $r_s$  : 佐井エリアの堆積範囲の海岸線からの半径 (二層流モデルから得られた1.8km)  
 $T$  : 検討対象地すべり地形の比高変化継続時間 (s)  
 $T_s$  : 佐井エリアの比高変化継続時間 (二層流モデルから得られた300s)  
 $V$  : 対象斜面崩壊の概算体積 (m<sup>3</sup>)  
 $V_s$  : 佐井エリアの概算体積 (1.67×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>)



佐井エリアの二層流モデル解析で得られた比高分布

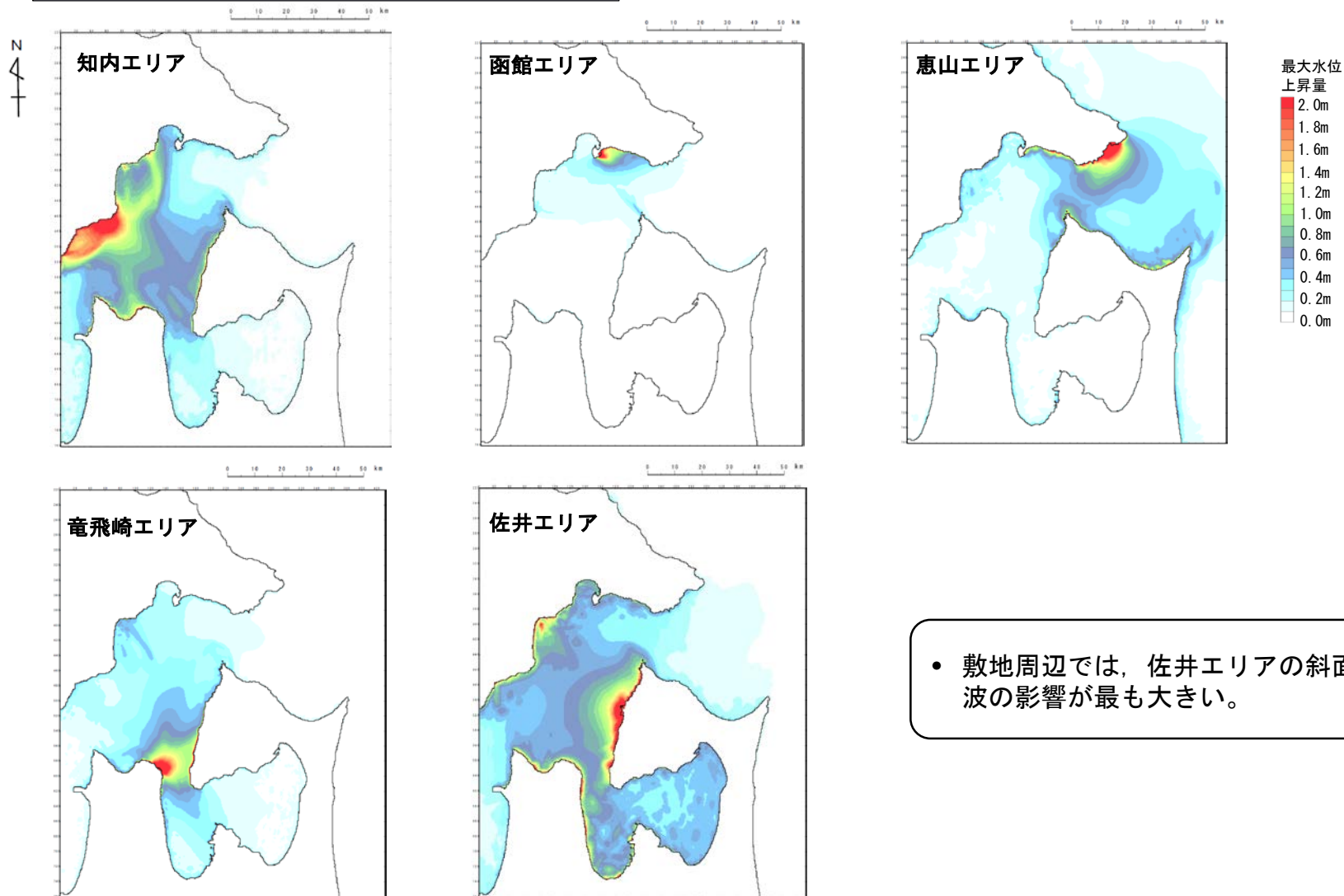
検討パラメータ

エリア	概算体積 V (m <sup>3</sup> )	堆積範囲の半径 r (km)	堆積厚さ H (m)	比高変化継続時間 T (s)
恵山	8.41 × 10 <sup>7</sup>	1.43	26	151
函館	1.74 × 10 <sup>7</sup>	0.85	15	31
知内	4.26 × 10 <sup>7</sup>	1.14	21	77
佐井	1.67 × 10 <sup>8</sup>	1.80	33	300
竜飛崎	1.37 × 10 <sup>7</sup>	0.78	14	25

## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（26／27）

（参考）検討対象地すべり地形の選定【ステップ3】：概略影響比較（3／4）

検討結果（津軽海峡内の最大水位上昇量分布）



- 敷地周辺では、佐井エリアの斜面崩壊による津波の影響が最も大きい。





## 2-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波（27 / 27）

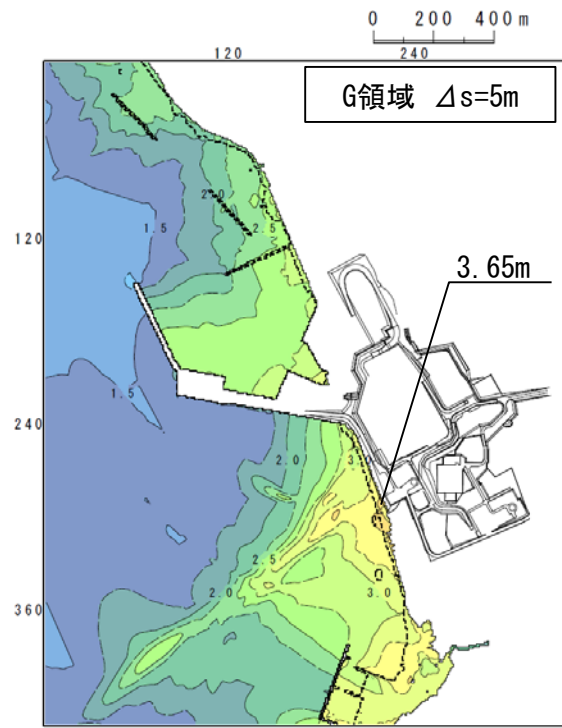
### （参考）検討対象地すべり地形の選定【ステップ3】：概略影響比較（4 / 4）

検討結果（敷地における最大水位変動量）

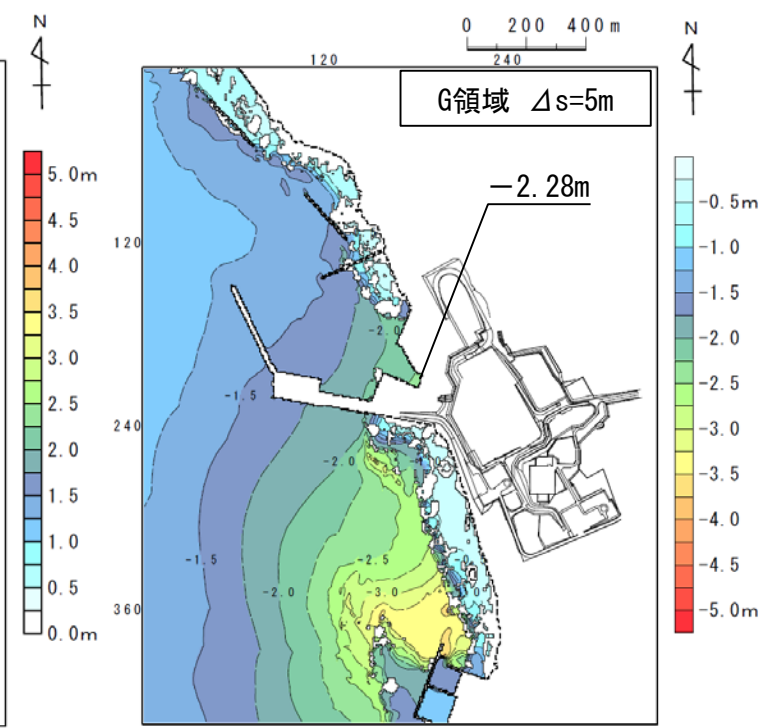
- 概略影響検討の結果、敷地における津波の影響は、佐井エリアの斜面崩壊による津波が最も大きい。

計算結果一覧

エリア	最大水位 上昇量	最大水位 下降量
恵山	1.33m	-2.16m
函館	0.35m	-0.39m
知内	1.59m	-2.06m
佐井	3.65m	-2.28m
竜飛崎	0.92m	-1.42m



最大水位上昇量分布(佐井エリア)



最大水位下降量分布(佐井エリア)

(余白)