

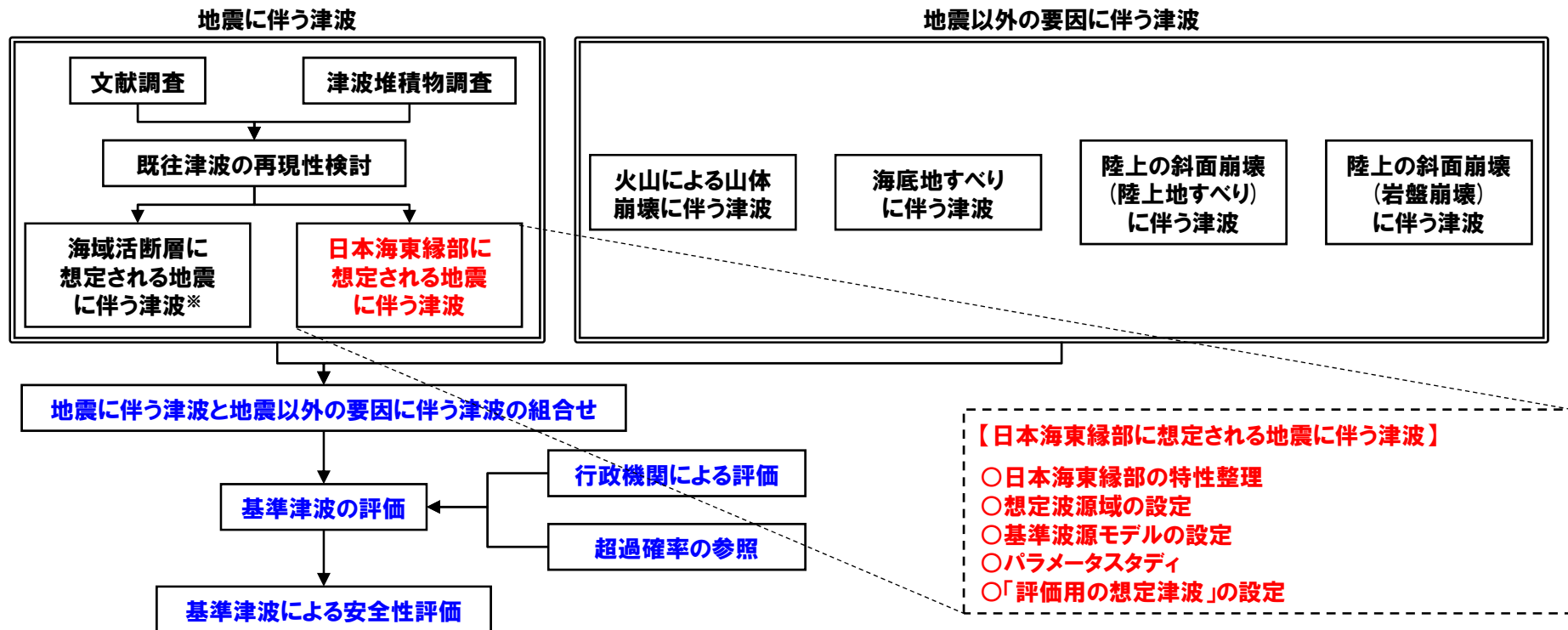
泊発電所の基準津波に関するコメント回答

(日本海東縁部に想定される地震に伴う津波)

令和3年4月21日
北海道電力株式会社

本日の説明概要

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の評価として、日本海東縁部の特性整理、想定波源域の設定、基準波源モデルの設定、パラメータスタディ及び「評価用の想定津波」の設定について説明する。
- 本資料では、最新の知見や先行する他の審査等を反映し、過去の審査資料から資料構成を再整理している。
- また、令和元年9月27日審査会合における指摘事項に対するコメント回答について説明する。



黒字:説明済み

赤字:今回説明範囲

青字:今後説明予定

※海域活断層に想定される地震に伴う津波は説明済みであるが、今後、「積丹半島北西沖の断層による地震に伴う津波」について説明する。

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

1. 1 指摘事項

1. コメント回答方針	4
1. 1 指摘事項	4
1. 2 指摘事項に関する回答方針	7
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	11
2. 1 日本海東縁部の特性整理	16
2. 1. 1 文献レビュー	18
2. 1. 2 当社の調査結果	27
2. 1. 3 想定される日本海東縁部の範囲	31
2. 2 想定波源域の設定	32
2. 2. 1 想定波源域(南北方向)の設定	34
2. 2. 2 想定波源域(東西方向)の設定	41
2. 2. 3 想定波源域(深度方向)の設定	51
2. 3 基準波源モデルの設定	57
2. 4 パラメータスタディ	80
2. 4. 1 パラメータスタディの検討方針	82
2. 4. 2 計算条件	93
2. 4. 3 健全地形モデルの解析結果	104
2. 4. 4 防波堤の損傷を考慮した地形モデル①の解析結果	152
2. 4. 5 防波堤の損傷を考慮した地形モデル②の解析結果	200
2. 4. 6 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③の解析結果	248
2. 5 「評価用の想定津波」の設定	296
2. 6 補足説明	304
2. 6. 1 パラメータスタディ評価因子影響分析	305
2. 6. 2 貯留堰を下回る時間の確認	369
2. 6. 3 断層パターン5東端の検討	379
2. 6. 4 アスペリティモデルの保守性確認	398
参考文献	417
参考資料	421

1.1 指摘事項

令和元年9月27日審査会合における指摘事項一覧

指摘時期	No	指摘事項	説明時期
令和元年9月27日 審査会合	1	敷地前面上昇側における最大水位発生地点については、防潮堤の前面ではなく、敷地北側防潮堤の前面となっており、敷地前面上昇側の水位(10.78m)については何に用いる水位であるか明確になっていない。健全地形における評価地点と、敷地北側防潮堤の損傷を考慮した地形における評価地点については、評価の目的を整理したうえで、それぞれ適切な評価地点として設定すべき。	今回説明
	2	防波堤の南側・北側の損傷に加えて敷地北側防潮堤の損傷の組合せについて検討すること。また、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波として全体像を示すことができる時期を提示すること。	今回説明
	3	土木学会(2016)における1993年北海道南西沖の波源モデルでは、断層面上縁深さ10kmと設定していることを踏まえ、断層面上縁深さを5kmより更に深くした検討が必要ではないか。地震動の評価における F_B-2 断層の評価では、地震発生層の下端を40kmで検討していることから、断層面上縁深さの変動幅を大きくさせた検討をすること。	今回説明
	4	波源位置を東方向へ移動させた場合、津波水位が大きくなることから、東方向へ移動させた場合における設定根拠の説明が必要である。今回示された波源モデルは過去の波源モデルから変わっており、感度の変化も想定されるため、波源位置に関する検討の深掘りが必要である。また、ひずみ集中帯と波源モデルの関係性を改めて整理すること。	今回説明
	5	ひずみ集中帯波源位置の検討において「西傾斜の断層パターン7」を基本として検討しているが、「東傾斜の断層パターン5」については東方向に動かしてもひずみ集中帯から外れないことから、これらの断層パターンについても検討し資料化すること。例えば、断層パターン5の断層面下端を、地震本部におけるひずみ集中帯の東端に設定した場合の検討等をする。	今回説明
	6	過去に実施している発電所を波源とした場合の評価では、同心円状に津波が伝播することから、これらの伝播経路上に波源モデルを配置し、走向を「くの字」にした評価の必要性について検討すること。	今回説明
	7	貯留堰を下回る時間の確認について、海水ポンプの取水性を評価する観点であれば、貯留堰を下回る時間に着目したパラメータスタディの必要性について検討すること。	今回説明
	8	下回る時間として「最長時間」と「合計時間」の2通りで算出しているが、貯留堰天端を一時的に上回る波形を考慮しないで時間を算出する等、保守的な時間評価を検討すること。	今回説明
	9	資料中に「ホルスト」と記載されているが、断層は確認できているのか。「ホルスト」の記載が文献の引用であるならば、その文献の詳細と事業者の見解を併せて示すこと。	今回説明

余白

1. 2 指摘事項に関する回答方針

1. コメント回答方針	4
1. 1 指摘事項	4
1. 2 指摘事項に関する回答方針	7
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	11
2. 1 日本海東縁部の特性整理	16
2. 1. 1 文献レビュー	18
2. 1. 2 当社の調査結果	27
2. 1. 3 想定される日本海東縁部の範囲	31
2. 2 想定波源域の設定	32
2. 2. 1 想定波源域(南北方向)の設定	34
2. 2. 2 想定波源域(東西方向)の設定	41
2. 2. 3 想定波源域(深度方向)の設定	51
2. 3 基準波源モデルの設定	57
2. 4 パラメータスタディ	80
2. 4. 1 パラメータスタディの検討方針	82
2. 4. 2 計算条件	93
2. 4. 3 健全地形モデルの解析結果	104
2. 4. 4 防波堤の損傷を考慮した地形モデル①の解析結果	152
2. 4. 5 防波堤の損傷を考慮した地形モデル②の解析結果	200
2. 4. 6 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③の解析結果	248
2. 5 「評価用の想定津波」の設定	296
2. 6 補足説明	304
2. 6. 1 パラメータスタディ評価因子影響分析	305
2. 6. 2 貯留堰を下回る時間の確認	369
2. 6. 3 断層パターン5東端の検討	379
2. 6. 4 アスペリティモデルの保守性確認	398
参考文献	417
参考資料	421

1.2 指摘事項に関する回答方針

令和元年9月27日審査会合における指摘事項に対する回答方針

No	指摘事項	回答方針
1	敷地前面上昇側における最大水位発生地点については、防潮堤の前面ではなく、敷地北側防潮堤の前面となっており、敷地前面上昇側の水位(10.78m)については何に用いる水位であるか明確になっていない。健全地形における評価地点と、敷地北側防潮堤の損傷を考慮した地形における評価地点については、評価の目的を整理したうえで、それぞれ適切な評価地点として設定すべき。	<ul style="list-style-type: none"> ○防潮堤を越流し、津波が流入する可能性の高い波源の選定を目的として、評価地点:防潮堤前面の最大ケースを選定する。 ○敷地北側防潮堤が損傷した場合に、防潮堤前面に到達する可能性の高い波源の選定を目的として、評価地点:敷地北側の最大ケースを選定する。 ○また、敷地北側防潮堤の損傷が津波評価へ有意な影響がないことを確認する。 ○回答内容はP101,102,139～151,187～199,235～247,283～295に掲載。
2	防波堤の南側・北側の損傷に加えて敷地北側防潮堤の損傷の組合せについて検討すること。また、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波として全体像を示すことができる時期を提示すること。	<ul style="list-style-type: none"> ○以下の複数の地形モデルを用いたパラメータスタディを実施する。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 健全地形モデル (北防波堤あり-南防波堤あり) ➢ 防波堤の損傷を考慮した地形モデル① (北防波堤なし-南防波堤なし) ➢ 防波堤の損傷を考慮した地形モデル② (北防波堤あり-南防波堤なし) ➢ 防波堤の損傷を考慮した地形モデル③ (北防波堤なし-南防波堤あり) ○また、敷地北側防潮堤の損傷の組合せが津波評価へ有意な影響がないことを確認する。 ○回答内容はP100,101,139～151,187～199,235～247,283～295に掲載。
3	土木学会(2016)における1993年北海道南西沖の波源モデルでは、断層面上縁深さ10kmと設定していることを踏まえ、断層面上縁深さを5kmより更に深くした検討が必要ではないか。地震動の評価における F_B-2 断層の評価では、地震発生層の下端を40kmで検討していることから、断層面上縁深さの変動幅を大きくさせた検討をすること。	<ul style="list-style-type: none"> ○津波を伴う既往地震のモデル化では、検討対象(水位・遡上高、地震動等)が異なれば、同一地震でも設定されるパラメータ等が異なる。 ○本検討では、津波の水位や遡上高が検討対象であることから、日本海東縁部の特性や津波の波源に関する知見に基づき、基準波源モデルのパラメータ設定を行う。 ○断層面上縁深さ・地震発生層厚さの設定について、土木学会(2016)における1993年北海道南西沖の波源モデルとの比較を行い、断層面上縁深さのパラメータスタディの変動幅の妥当性を確認する。 ○回答内容はP51～54,91,92に掲載。
4	波源位置を東方向へ移動させた場合、津波水位が大きくなることから、東方向へ移動させた場合における設定根拠の説明が必要である。今回示された波源モデルは過去の波源モデルから変わっており、感度の変化も想定されるため、波源位置に関する検討の深掘りが必要である。また、ひずみ集中帯と波源モデルの関係性を改めて整理すること。	<ul style="list-style-type: none"> ○既往の知見を踏まえて、想定波源域(東西方向)の設定根拠について再整理する。 ○上記を踏まえ、波源位置のパラメータスタディの実施の必要性について検討する。 ○回答内容はP41～49,84～86に掲載。

1.2 指摘事項に関する回答方針

令和元年9月27日審査会合における指摘事項に対する回答方針

No	指摘事項	回答方針
5	ひずみ集中帯波源位置の検討において「西傾斜の断層パターン7」を基本として検討しているが、「東傾斜の断層パターン5」については東方向に動かしてもひずみ集中帯から外れないことから、これらの断層パターンについても検討し資料化すること。例えば、断層パターン5の断層面下端を、地震本部におけるひずみ集中帯の東端に設定した場合の検討等を行うこと。	<ul style="list-style-type: none"> ○日本海東縁部の特性整理を踏まえたうえで、土木学会(2016)に基づく断層パターン1～8に準じて検討を行う。 ○パターン5を東端に設定した場合より、断層パターン1～8の方が泊発電所に対して保守的な津波評価であることを数値シミュレーションより確認する。 ○回答内容はP85,86,379～396に掲載。
6	過去に実施している発電所を波源とした場合の評価では、同心円状に津波が伝播することから、これらの伝播経路上に波源モデルを配置し、走向を「くの字」にした評価の必要性について検討すること。	<ul style="list-style-type: none"> ○詳細パラメータスタディのSTEP3において、波源位置の不確かさを考慮するため、走向に関するパラメータスタディを実施する。 ○なお、過去に実施している発電所を波源とした場合の評価(逆伝播解析)では、同心円状に津波が伝播し、これらの伝播経路上に波源モデルを配置した場合に津波水位が大きくなることが想定されるため、くの字(北側断層を+方向、南側断層を-方向)に折り曲げたモデルによる検討を実施する。 ○回答内容はP90に掲載。
7	貯留堰を下回る時間の確認について、海水ポンプの取水性を評価する観点であれば、貯留堰を下回る時間に着目したパラメータスタディの必要性について検討すること。	<ul style="list-style-type: none"> ○最大水位変動量に着目したパラメータスタディの実施ケースを対象として、貯留堰を下回る時間を確認する。 ○貯留堰を下回る時間に着目したパラメータスタディを実施した場合においても、十分な貯水容量を確保できる見込みであることから、貯留堰を下回る時間に着目したパラメータスタディは実施しないこととする。 ○回答内容はP369～378に掲載。
8	下回る時間として「最長時間」と「合計時間」の2通りで算出しているが、貯留堰天端を一時的に上回る波形を考慮しないで時間を算出する等、保守的な時間評価を検討すること。	<ul style="list-style-type: none"> ○貯留堰を下回る時間に加え、保守性を考慮した時間を以下のとおり算出し、取水可能時間との比較を行う。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 貯留堰を下回る時間：貯留堰を下回る波形のうち、下回る時間が最長となる1波形の時間 ➢ 保守性を考慮した時間：貯留堰を下回る時間に保守性を考慮し、短周期の水位上昇を無視した複数波形の時間 ○回答内容はP371に掲載。
9	資料中に「ホルスト」と記載されているが、断層は確認できているのか。「ホルスト」の記載が文献の引用であるならば、その文献の詳細と事業者の見解を併せて示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> ○地形の高まりを「ホルスト」と表現しており、文献の引用ではなく、適切な表現ではないことから、「地形の高まり」に記載を改める。 ○回答内容はP27に掲載。

最新の知見や先行する他の審査等による再整理内容

○最新の知見や先行する他の審査等を反映し、過去の審査資料から資料構成を再整理した内容は、下表のとおりである。

No	再整理内容
1	○日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の想定波源域の設定、及び基準波源モデルの設定について、地震本部(2003)や土木学会(2016)等の文献を引用するだけでなく、申請者の考え方を整理するとともに、資料構成を再整理した。 ○再整理内容はP11～79に掲載。
2	○日本海東縁部の地震は、東西圧縮場という中で起こっている特殊な地震であり変動幅があることを踏まえ、日本海東縁部の特性について再整理した。 ○再整理内容はP16～31に掲載。
3	○日本海東縁部に想定される地震の検討に際して、地下構造の考慮と端部設定の根拠、その上で想定波源域を設定した理由について再整理した。 ○再整理内容はP32～56に掲載。
4	○設定した波源モデルにおいて8ケースの断層面を考えた理由、及び断層傾斜角・傾斜方向設定の考え方について再整理した。 ○再整理内容はP85～86に掲載。
5	○根本ほか(2009)のアスペリティモデルを採用した理由、及びこのアスペリティモデルであれば保守性を担保できるとした理由、並びに最大すべり量を12mに設定した根拠について再整理した。 ○再整理内容はP65～76,398～416に掲載。
6	○大角ほか(2018)等、前回の審査会合以降の新たな文献を確認のうえ、敷地への影響を踏まえて再整理した。 ○再整理内容はP421～424に掲載。
7	○日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の、想定波源域を考慮のうえ設定する基準波源モデルを対象に行う不確かさの検討について、パラメータスタディ実施の要否を再整理した。 ○再整理内容はP82～92に掲載。
8	○詳細パラメータスタディにおいて、断層上縁深さ5km以深のケースを実施しない理由を再整理した。 ○再整理内容はP82,83,91,92に掲載。
9	○ライズタイムについて、パラメータスタディを実施しない理由を再整理した。 ○再整理内容はP78,82,83に掲載。

2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

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

2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

主に参照する知見

- 日本海東縁部に関する研究成果を取りまとめた知見を評価目的毎に整理した結果として、下表の知見を主に参照する。
- なお、下表以外の個別の知見についても、必要に応じて参照する。

評価目的	主に参照する知見	整理結果
日本海東縁部の特性整理 想定波源域の設定	大竹ほか編(2002)	<ul style="list-style-type: none"> ○日本海東縁部の新生プレート境界説(大陸側のプレートが東に向かって沈み込む)が発表され、その後発生した1983年日本海中部地震の発生メカニズムと整合した。 ○1993年北海道南西沖地震が発生し、この震源断層は西傾斜を示し、日本海東縁部は単純な沈み込みモデルでは説明できないことが明らかとなった。 ○『日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究』(科学技術庁研究開発局※(1994～1998))が実施され、この研究結果は、『日本海東縁の活断層と地震テクトニクス』(大竹ほか編(2002))に取りまとめられた。 ※現文部科学省 ○以上から、既往の研究成果を取りまとめた知見である大竹ほか編(2002)を主に参照する知見として抽出する。 ○大竹ほか編(2002)では、日本海東縁部の地震発生メカニズムについて、日本海東縁部に存在するのは海溝軸のような単純なプレート境界ではなく、プレートの相対運動は何条かの「ひずみ集中帯」によって担われているとされている。
	地震本部(2003)	<ul style="list-style-type: none"> ○1995年の兵庫県南部地震を契機として、地震・津波に対する防災の観点から、地震に関する調査や研究を政府として一元的に推進するために、政府の特別機関として地震本部が設置された。 ○『日本海東縁部の地震活動の長期評価』(地震本部(2003))では、日本海東縁部に発生した地震に関する既往の調査研究の成果を参考に評価している。 ○以上から、地震本部(2003)を主に参照する知見として抽出する。
基準波源モデルの設定 パラメータスタディの検討内容	土木学会(2016)	<ul style="list-style-type: none"> ○『原子力発電所の津波評価技術』(土木学会(2002))では、原子力発電所における設計津波を設定するために活用可能な方法として、地震と津波に関する既往の研究成果から得られた様々な知見を取りまとめている。 ○『原子力発電所における津波評価技術2016』(土木学会(2016))では、前著の発行(2002年)以降の期間で得られた最新の知見を取りまとめている。 ○以上から、地震と津波に関する既往の研究成果から得られた様々な知見を取りまとめた知見である土木学会(2016)を主に参照する知見として抽出する。

2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

日本海東縁部に関する知見の整理

関連する地震・津波イベント	日本海東縁部の特性整理, 想定波源域の設定		基準波源モデルの設定, パラメータスタディ	
	地震発生メカニズム	活断層・活構造の調査	地震活動領域・震源モデル	津波解析
1983年日本海中部地震 (東傾斜) <small>整合</small>	新生プレート境界説 (大陸側のプレートが東に向かって沈み込む) が発表			
1993年北海道南西沖地震 (西傾斜)		『日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究』 (科学技術庁研究開発局※ (1994~1998)) ※現文部科学省		『地域防災計画における津波対策強化の手引き』 (国土庁ほか (1998))
1995年兵庫県南部地震 <small>地震本部の設置</small>		『日本海東縁部の活断層と地震テクニクス』 (大竹ほか編 (2002))	『原子力発電所の津波評価技術』 (土木学会 (2002))	
	日本海東縁部に存在するのは海溝軸のような単純なプレート境界ではなく、プレートの相対運動は何条かの「ひずみ集中帯」によって担われている。	参照	改訂	
	『日本海東縁部の地震活動の長期評価について』 (地震本部 (2003))			
2011年東北地方太平洋沖地震 <small>知見の反映</small>		『ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究』 (文部科学省 (2007~2012))	『日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書』 (国交省ほか (2014))	
			『原子力発電所の津波評価技術2016』 (土木学会 (2016))	
				『海域における断層情報総合評価プロジェクト』 (文部科学省 (2012~2019))
				『日本海地震・津波調査プロジェクト』 (文部科学省 (2013~2020))

【凡例】

: 研究成果を取りまとめた知見として主に参照するもの

: 研究成果を取りまとめた知見のうち確認したもの

検討フロー (1/2)

【2.1 日本海東縁部の特性整理】

- 想定波源域の設定に先立ち、日本海東縁部に関する既往の知見を整理する。
- 当社の調査結果から敷地前面海域の地形的特徴を確認し、日本海東縁部に関する既往の知見と比較する。
- 既往の知見から、地震本部(2003)の評価対象領域と同じ範囲に、日本海東縁部の範囲を想定する。

【2.2 想定波源域の設定】

- 想定波源域の設定では、南北方向、東西方向及び深度方向毎に設定根拠を再整理する。

【2.3 基準波源モデルの設定】

- 基準波源モデルの断層パラメータについては、既往津波の波源モデル、国交省ほか(2014)のスケーリング則等の既往の知見を踏まえて、設定する。

【2.4 パラメータスタディ】

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

※敷地北側防潮堤の損傷の組合せが津波評価へ有意な影響がないことを確認する。

【2.5 評価用の想定津波の設定】

- パラメータスタディの結果を踏まえて、健全地形モデルにおける「評価用の想定津波」及び損傷地形モデルにおける「評価用の想定津波」を設定する。

【2.6 補足説明】

- パラメータスタディ評価因子影響分析、貯留堰を下回る時間の確認、断層パターン5東端の検討及びアスペリティモデルの保守性確認を実施する。

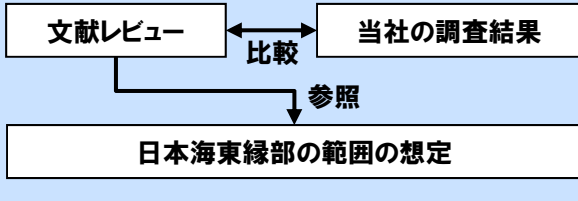
【参考資料】

- loki et al.(2019), 大角ほか(2018)の知見を確認する。

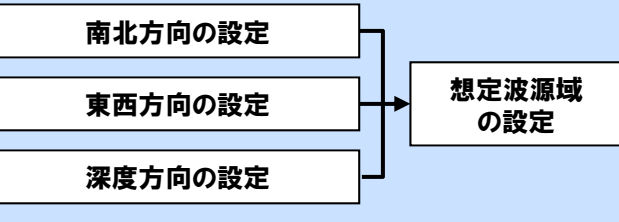
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

検討フロー (2/2)

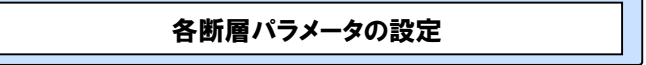
2.1 日本海東縁部の特性整理



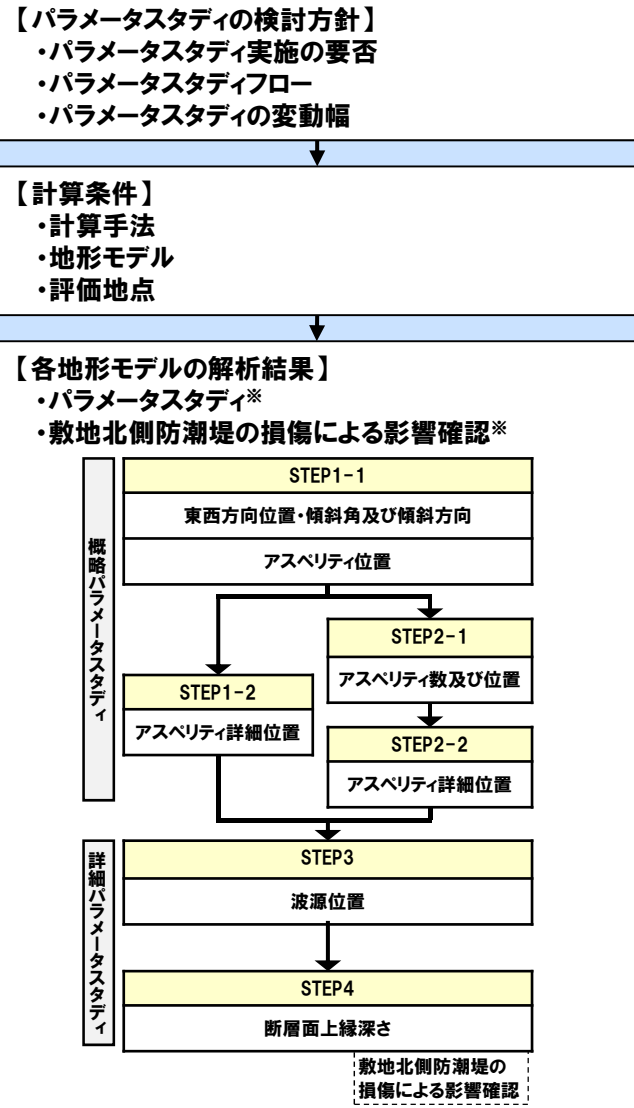
2.2 想定波源域の設定



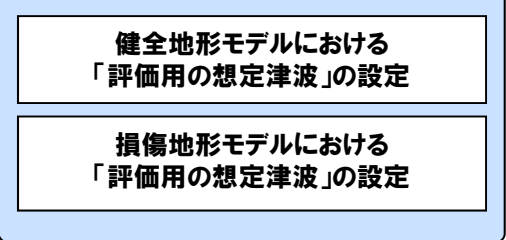
2.3 基準波源モデルの設定



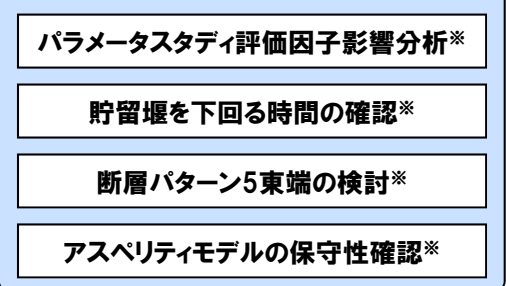
2.4 パラメータスタディ



2.5 「評価用の想定津波」の設定



2.6 補足説明



参考資料



※以下の複数の地形モデルを用いて検討する。
 ○健全地形モデル (北防波堤あり-南防波堤あり)
 ○防波堤の損傷を考慮した地形モデル① (北防波堤なし-南防波堤なし)
 ○防波堤の損傷を考慮した地形モデル② (北防波堤あり-南防波堤なし)
 ○防波堤の損傷を考慮した地形モデル③ (北防波堤なし-南防波堤あり)

敷地北側防潮堤の
損傷による影響確認

2.1 日本海東縁部の特性整理

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

2.1 日本海東縁部の特性整理

整理方針

- 日本海東縁部の地震は、東西圧縮場という中で起こっている特殊な地震であり、明瞭なプレート境界が存在しない一方で、M7クラスの地震に伴い1983年日本海中部地震津波、1993年北海道南西沖地震津波等の津波が発生している。
- 日本海東縁部は明瞭なプレート境界が形成されていないことから地震の発生メカニズムが複雑であるため、想定波源域の設定に先立ち、テクトニクスと地震メカニズム、地殻構造、地質構造に基づいたひずみ集中帯、地震活動からみたひずみ集中帯、活断層分布及び地震活動の長期評価に関する既往の知見を整理する。
- 当社の調査結果から敷地前面海域の地形的特徴を確認し、日本海東縁部に関する既往の知見と比較する。
- 既往の知見及び敷地前面海域の地形的特徴を踏まえ、日本海東縁部の範囲を設定する。

2.1 日本海東縁部の特性整理

【文献レビュー】

- ・テクトニクスと地震メカニズム (P18)
- ・地殻構造 (P19~21)
- ・地質構造に基づいたひずみ集中帯 (P22)
- ・地震活動からみたひずみ集中帯 (P23)
- ・活断層分布 (P24)
- ・地震活動の長期評価(地震本部(2003)) (P25)

【当社の調査結果】

- ・敷地前面海域の地形的特徴 (P27~30)

比較

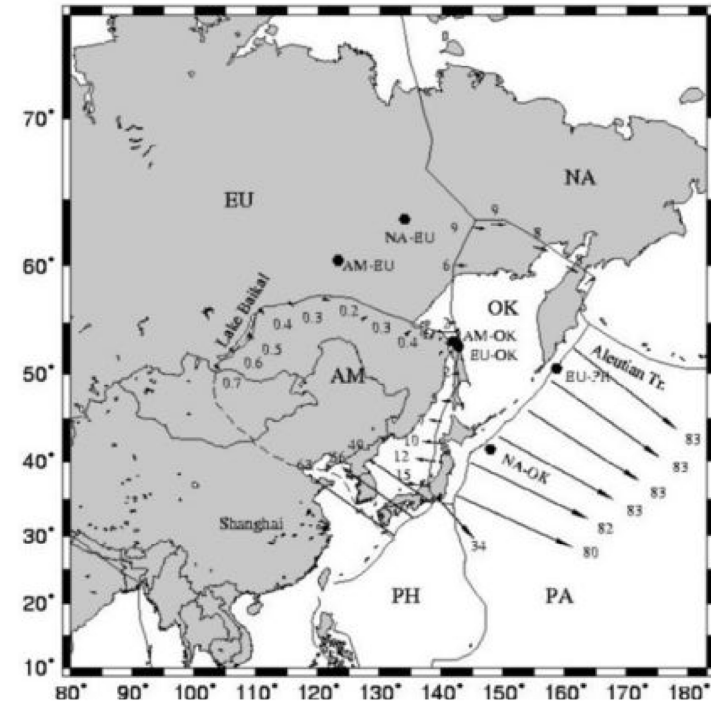
参照

【日本海東縁部の範囲の想定】

- ・既往の知見から、地震本部(2003)の評価対象領域と同じ範囲に、日本海東縁部の範囲を想定 (P31)

既往の知見 (1/9) テクトニクスと地震メカニズム

- 大竹ほか編 (2002) では、現在の日本海の地形と地質構造は、3,000-1,500 万年前の日本海形成時に作られた構造 (日本列島の大陸からの分離, 日本海盆における海洋性地殻の形成等) と、約1,000万年前より以降の変動によって形成された構造 (日本列島に沿った縁辺部の地殻変動) が重なりあっているとされている。
- 国交省ほか (2014) では、ひずみ集中帯について、以下のとおりとされている。
 - 日本海東縁部の北海道西方沖から新潟県沖には、多くの断層・褶曲が分布したひずみ集中帯とよばれる領域がある。
 - ひずみ集中帯は、西に位置するユーラシアプレート (もしくはアムールプレート) と東に位置する北米プレート (もしくはオホーツクプレート) の幅の広いプレート境界と考えられている。
- 地震本部 (2003) では、日本海東縁部で発生する地震について、以下のとおりとされている。
 - 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、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 (ひずみ集中帯) より成り、幅をもった領域全体で圧縮力によるひずみを解消する。
- 岡村 (2019) では、日本海においてマグニチュード7前後からそれ以上の大地震が繰返し発生してきたが、それらは活断層の破壊によって発生したと推定されている。
- 国交省ほか (2014) では、日本海東縁部で発生する地震は、内陸の活断層タイプの地震と同様の発生メカニズムを持つと考えられている。



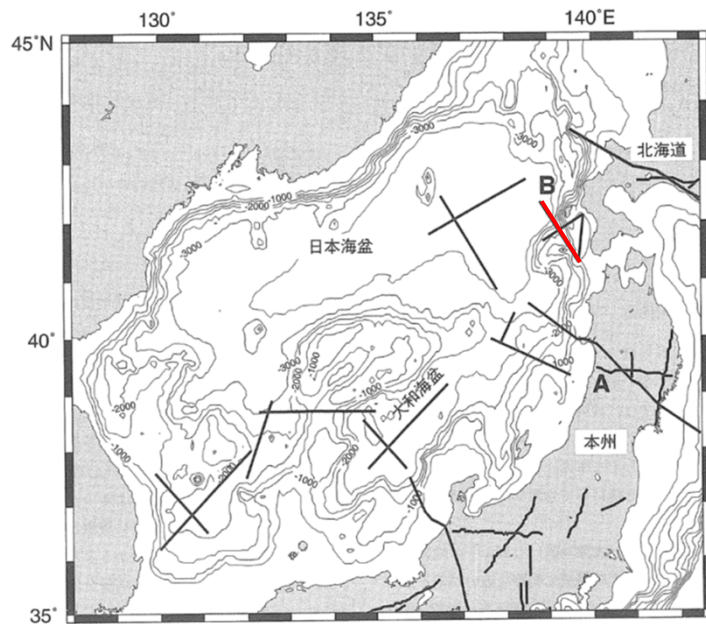
EU:ユーラシアプレート, NA:北米プレート, OK:オホーツクプレート
AM:アムールプレート, PA:太平洋プレート, PH:フィリピン海プレート

日本列島周辺のプレート運動
(国交省ほか (2014) より引用)

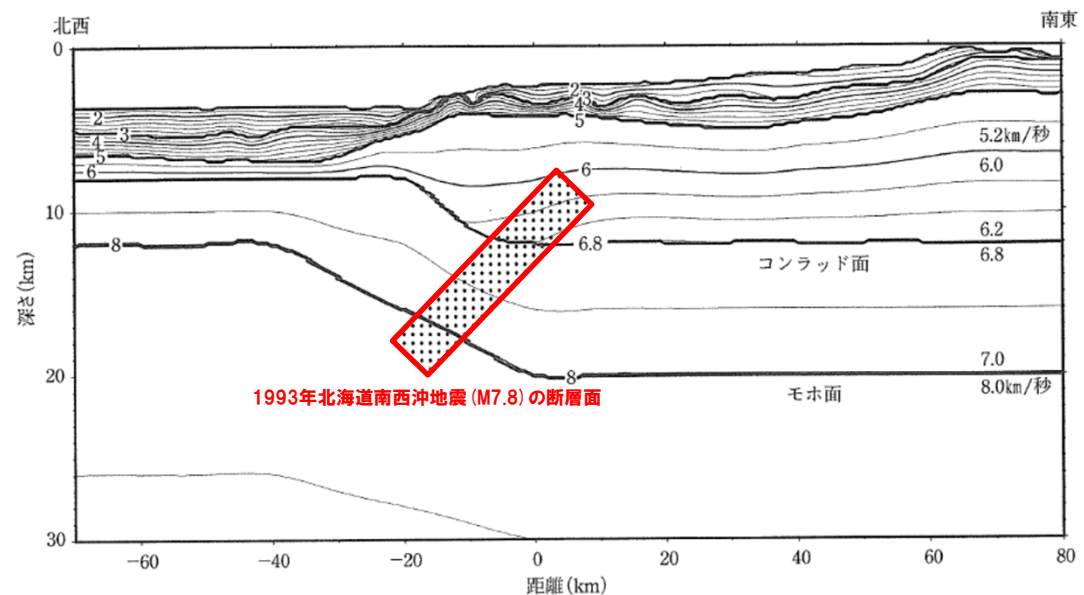
既往の知見 (2/9) 地殻構造 (1/3)

○大竹ほか編 (2002) では、日本海東縁部の地殻構造と地震の発生域の関係について、以下のとおりとされている。

- 固体地球は核・マントル・地殻で構成されており、一番外側が地殻であり、地殻とマントルの境界はモホ面と呼ばれる。
- 日本海盆下の地殻厚さは8km程度と薄く、日本海沿岸付近の地殻厚さは20km程度と厚くなる (測線B)。
- 地殻厚さと地形との対応関係 (地殻が急激に厚くなる地点は、水深も急激に浅くなる) が明瞭にみられ、1993年北海道南西沖地震及び1983年日本海中部地震は、地殻厚さが急変する場所で発生している。
- 日本海東縁部は地殻厚さが急変する場所にあたり、応力集中が起きやすいので、大地震が発生し、結果としてプレート収束の主たる部分を担っていると考えられる。



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



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

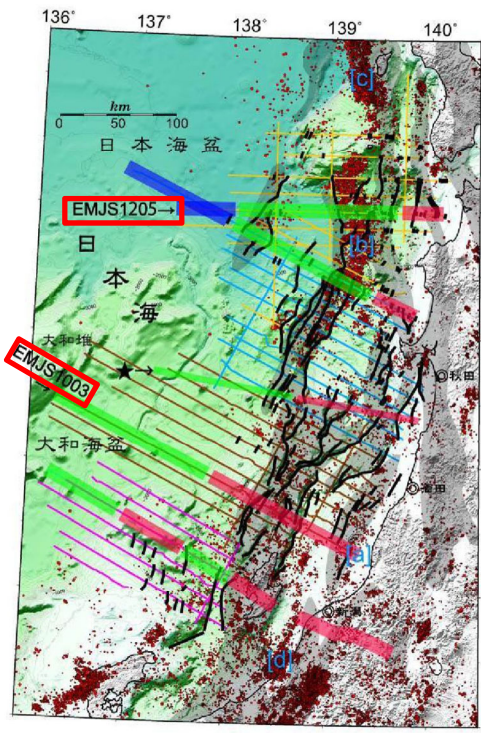
測線Bに沿った地殻構造
(大竹ほか編 (2002) に一部加筆)

2.1.1 文献レビュー

既往の知見 (3/9) 地殻構造 (2/3)

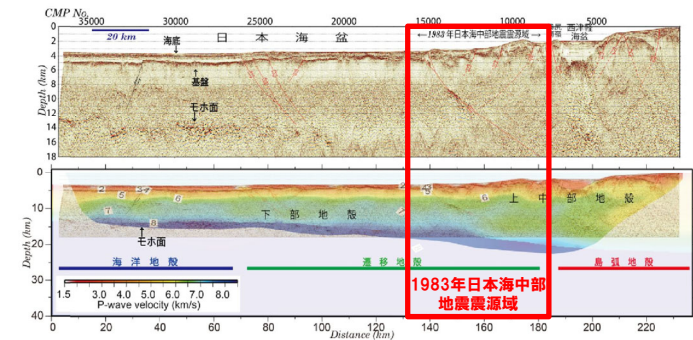
○小平 (2013) では、日本海東縁部の地殻構造について、以下のとおりとされている。

- 地殻構造は、地震波速度構造より島弧地殻 (下図の赤線)、遷移地殻 (下図の緑線) 及び海洋地殻 (下図の青線) に区分される。
- ひずみ集中帯と地殻構造の空間的な分布で比較すると、北部 (秋田沖～西津軽沖) と南部 (能登半島沖～山形沖) とで違いがある。
- 北部 (秋田沖～西津軽沖) では、島弧地殻の領域が狭く、島弧地殻の領域だけではなく、「島弧地殻と遷移地殻」や「遷移地殻と海洋地殻」の地殻構造の境界付近でもひずみ集中帯が分布しており、1983年日本海中部地震は、「島弧地殻と遷移地殻」の地殻構造の境界で生じた地震である。
- 南部 (能登半島沖～山形沖) では、島弧地殻の領域が広く、ひずみ集中帯や被害地震 (1833年庄内沖地震や1964年新潟地震) はすべて島弧地殻が形成されている領域に分布している。

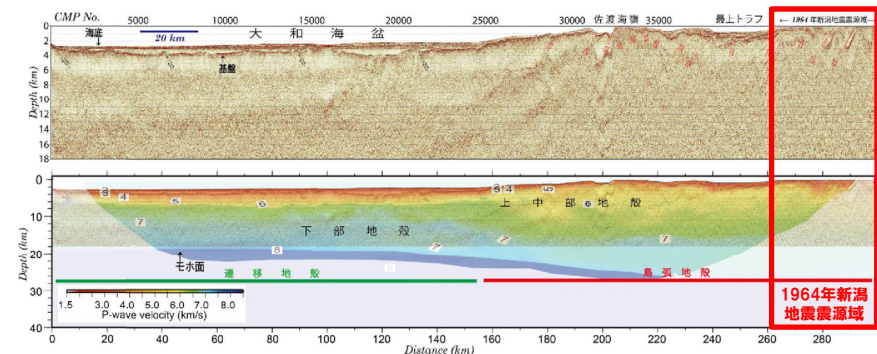


調査海域図
(小平 (2013) に一部加筆)

実線:地震探査測線 (太線:海底地震計による地震探査測線)
 黒線:逆断層
 赤点:気象庁一元化震源と地震年報による震源
 (深さ0~50km, 期間:2000~2011年, マグニチュード:M_J>1)
 ★の測線:西坂ほか (2001) による地震探査測線
 灰色:日本海東縁ひずみ集中帯の分布
 [a]:1964年新潟地震 (MJ7.5)
 [b]:1983年日本海中部地震 (MJ7.7)
 [c]:1993年北海道南西沖地震 (MJ7.8)
 [d]:2007年新潟県中越沖地震 (MJ6.8)



測線EMJS1205における地震探査イメージングの結果
(小平 (2013) に一部加筆)



測線EMJS1003における地震探査イメージングの結果
(小平 (2013) に一部加筆)

2. 1. 1 文献レビュー

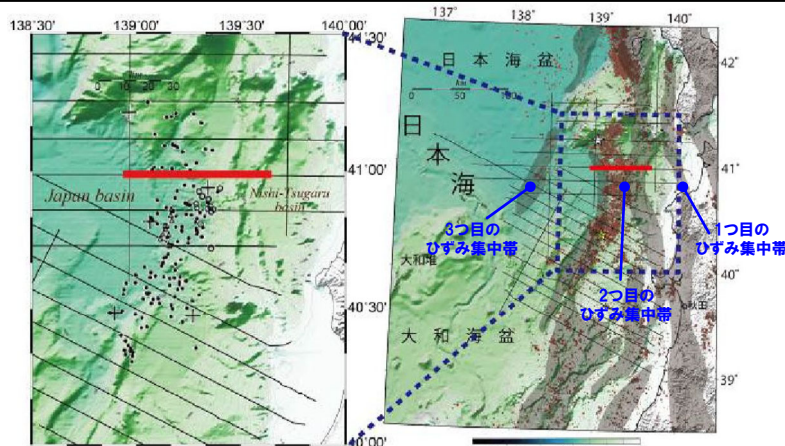
既往の知見 (4/9) 地殻構造 (3/3)

○小平 (2013) では、北部 (秋田沖～西津軽沖) に分布するひずみ集中帯を3タイプに区分し、その地殻構造について以下のとおりとされている。

- 1つ目のひずみ集中帯は、島弧地殻に位置し、地殻構造の特徴は南部における特徴と同様である。
- 2つ目のひずみ集中帯は、島弧地殻と遷移地殻との境界付近に位置し、この領域内で日本海中部地震が発生した。
- 3つ目のひずみ集中帯は、遷移地殻と海洋地殻との境界付近に位置し、日本海中部地震震源域より地殻が薄い。

○小平 (2013) では、上記のうち2つ目のひずみ集中帯について、以下のとおりとされている。

- 日本海中部地震震源域のイメージング図より、震源域の西端に位置する部分において東傾斜の逆断層を伴った非対称な背斜の発達が認められ (右下図 紫矢印)、この背斜に対応する東傾斜の明瞭な反射面を地殻内に同定することができる。
- この反射面は、以下の理由から、日本海中部地震の震源域である可能性が高く、接続している背斜に関連した構造であるとみられる。
 - ✓ 深度10～18kmに分布した東傾斜の震源 (右下図 ●印) とよく対応すること
 - ✓ この反射面に接続している背斜は、震源域北部から南部まで震源分布の走向に沿ってイメージされていること
 - ✓ 日本海中部地震の震源モデルが東傾斜の逆断層であること
- 地震波速度構造と比較すると震源断層とみられる反射面を境に、地殻構造が陸側と海側で異なっており、震源域より陸側の沿岸域では島弧地殻の特徴を示している。
- 反射面はちょうど地殻構造の境界付近に形成されており、それが地震断層として作用した可能性を示唆している。

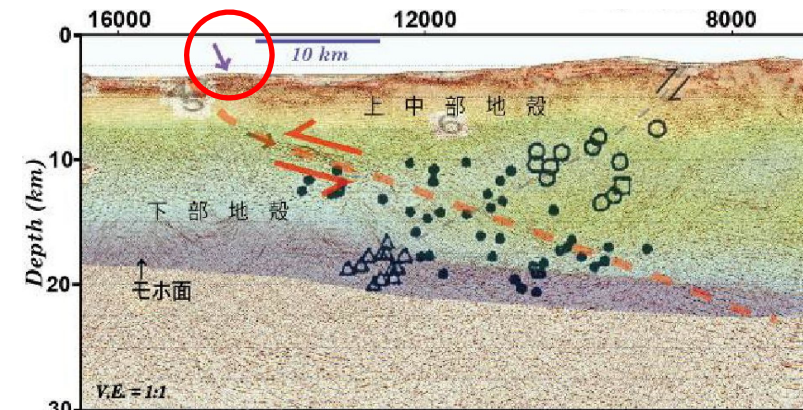


海底地震観測と陸上観測網の統合処理で得られた余震分布

気象庁一元化震源と地震年報による震源分布 (深さ:0～50km, 期間:2000～2011年, マグニチュード: $M_j > 1$)

測線図

(小平 (2013) に一部加筆)

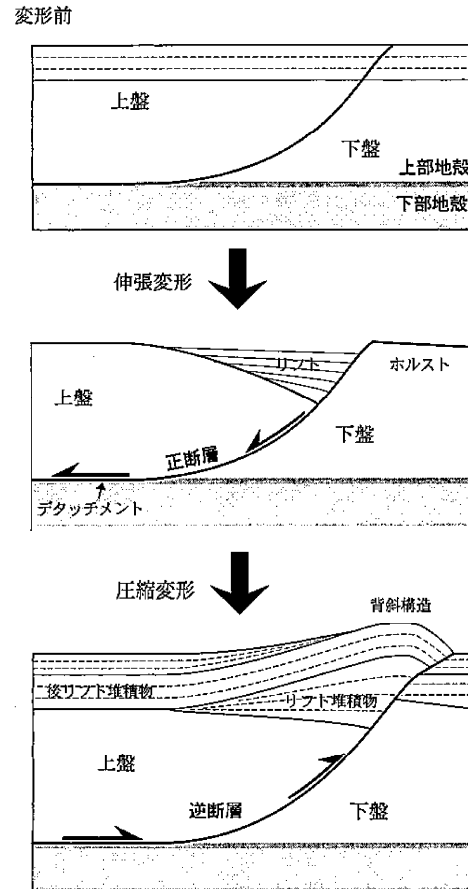


マルチチャンネル反射法地震探査によって得られた深度断面と海底地震計による地震波速度構造と海陸統合処理によって得られた余震分布の比較 (小平 (2013) に一部加筆)

2.1.1 文献レビュー

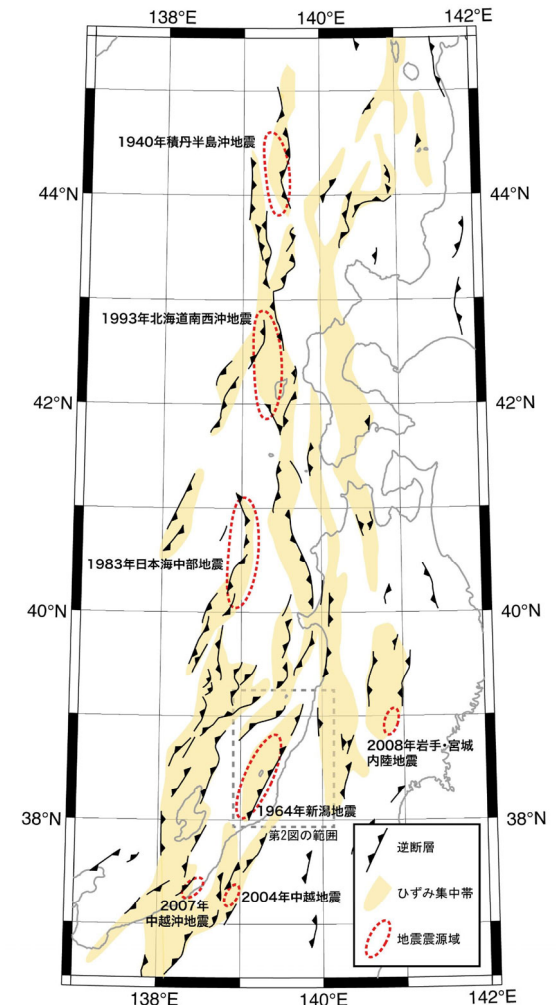
既往の知見 (5/9) 地質構造に基づいたひずみ集中帯

- 大竹ほか編 (2002) では、日本海東縁部の活断層について、以下のとおりとされている。
 - 日本海東縁部は、1,500万年以上前の日本海の拡大時に、正断層が発達しリフトが多数形成され、その後、約300万年前以降の東西圧縮応力により、それらの古い正断層が逆断層として再活動している。
 - 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を必ず伴う。
- 岡村 (2019) では、背斜構造の幅はおよそ15km程度で、急傾斜する前翼と緩傾斜する後翼からなる非対象な断面をもち、前翼基部に断層が観察される場合があるとされている。
- 大竹ほか編 (2002) では、ひずみ集中帯について、以下のとおりとされている。
 - 日本海東縁部には、背斜構造と逆断層が連続する断層、褶曲帯がいくつも発達するが、この間に断層や褶曲が全く見られないゾーンも分布することから、地殻のひずみは断層、褶曲帯に集中してきたことを示している。
 - 断層、褶曲帯は約300万年間に地殻の短縮ひずみが集中した場所であるといえる。
- 岡村ほか (2019) では、断層、褶曲帯の分布は、地下の断層の分布を推定することができることから、地質構造に基づいたひずみ集中帯であるとされている。



伸張応力場では上盤が沈降し、堆積盆地(リフト)が形成される。一方、断層の下盤はほとんど変動しないため、相対的な高まり(ホルスト)として残る。伸張応力場から圧縮応力場に転じた場合には、正断層が逆断層として再活動し、堆積盆地を含む上盤が隆起し、非対象な背斜構造が形成される。

圧縮応力場及び伸張応力場で形成される模式的な断層とそれに伴う構造 (大竹ほか編 (2002) より引用)

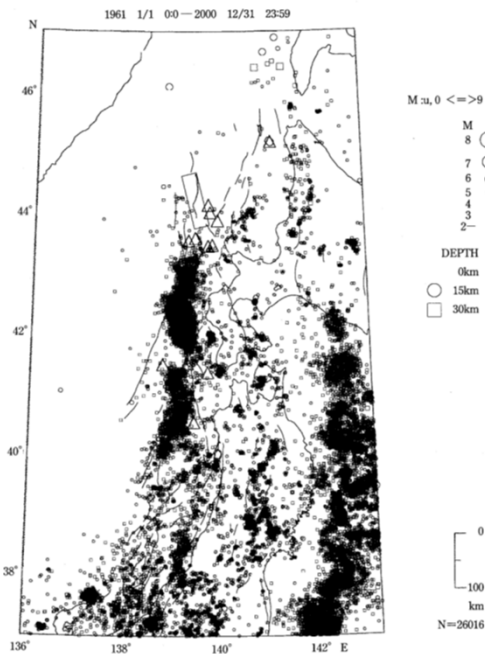


断層と褶曲の分布からおおよその領域を示しているため、境界の位置は厳密ではないし、過去約350万年間に形成された領域なので、すべてが活動的とは限らない。20世紀以降の主要な地震の震源域を赤の点線で示す(大竹ほか編 (2002) などを基に一部修正)。

地質構造に基づいたひずみ集中帯 (岡村ほか (2019) より引用)

既往の知見 (6/9) 地震活動からみたひずみ集中帯

- 大竹ほか編 (2002) では、地震活動からみたひずみ集中帯について、以下のとおりとされている。
- 積丹半島北西沖から男鹿半島沖では、東経139度に沿う南北方向の地震分布が顕著で、近年は北から1940年積丹半島沖地震 (M7.5), 1993年北海道南西沖地震 (M7.8), 1983年日本海中部地震 (M7.7) が発生している。
 - この南北走向の地震帯は、数十kmの幅をもつ1本の明瞭な帯で特徴づけられる。
 - 地震活動が集中的にみられる地震帯は、現在活動中のひずみ集中帯であり、最近約40年間の浅い地震の震源分布に基づいて、ひずみ集中帯の分布を右下図のとおり示している。



日本海東縁の浅い地震 (深さ30km以浅) の震源 (1961-2000年) と活断層の分布 (大竹ほか編 (2002) より引用)

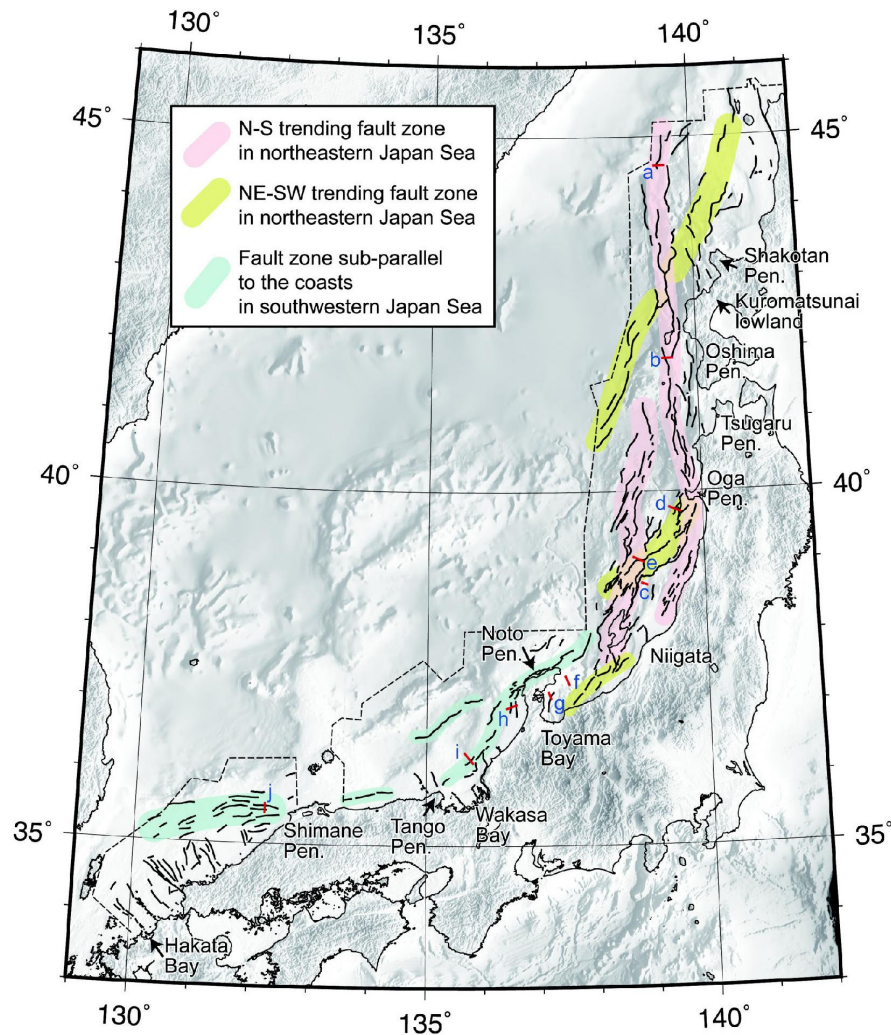


地震活動からみた日本海東縁のひずみ集中帯と地震空白域 (長円で囲んだ領域, AかA' とB, X) (大竹ほか編 (2002) より引用)

既往の知見 (7/9) 活断層分布

○岡村 (2019) では、富山湾より北東側の日本海東縁部の活断層について、以下のとおりとされている。

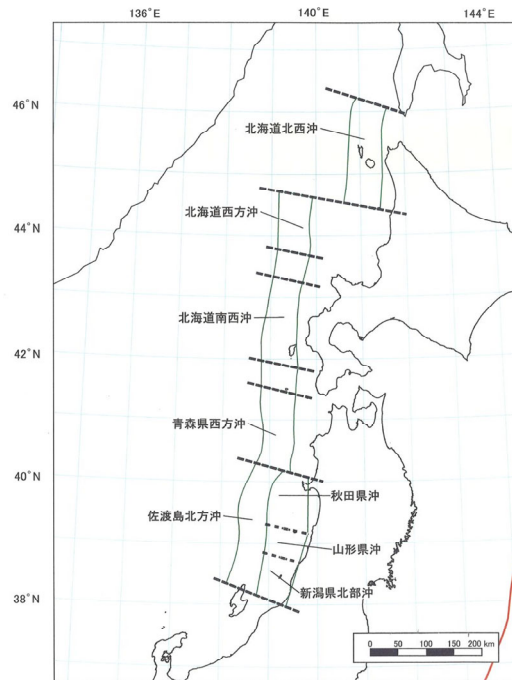
- ほぼ南北方向に伸びる断層の集中帯とそれに斜交する北東-南西方向の断層帯が認められる。
- 南北方向の断層集中帯は規模の大きな断層が重複して分布するのに対して、北東-南西方向の断層帯では断層規模はやや小さく、断層の集中度も低い。
- 過去に発生した規模の大きい地震は、南北方向の断層集中帯に沿って発生している。
- 断層面の傾斜は東傾斜と西傾斜が交互に現れる。



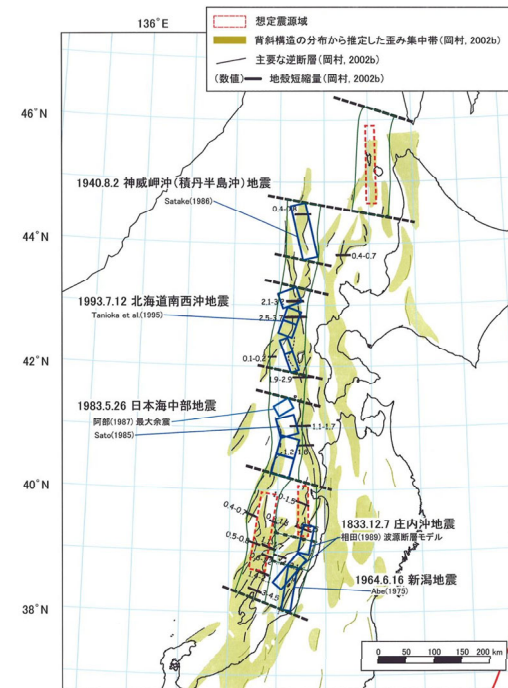
日本海における主要な活断層図
(岡村 (2019) より引用)

既往の知見 (8/9) 地震活動の長期評価

- 地震本部 (2003) では、日本海東縁部における地震発生の可能性の取りまとめを行い、評価結果について、以下のとおりとされている。
- 地震観測及び歴史記録からM7.5以上の大地震の発生が確認されている領域では、以下の地震を代表例と考え、将来も同様な地震が発生するものとしている。
 - ・1940年神威岬沖 (積丹半島沖) 地震
 - ・1993年北海道南西沖地震
 - ・1983年日本海中部地震 ほか
 - 地震観測記録、歴史地震の記録、津波の記録、深度分布、及び地震性堆積物・津波堆積物の解析結果に基づく既存研究に基づき、日本海東縁部の大地震を整理している。
 - 日本海東縁部における地震の発生位置及び震源域は、過去の大地震の震源モデル・余震域及びひずみ集中帯の空間的な分布を参照して推定している。



日本海東縁部の評価対象領域
(地震本部 (2003) より引用)



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

既往の知見 (9/9) まとめ

○日本海東縁部は、明瞭なプレート境界が形成されていないことから地震メカニズムが複雑であるため、テクトニクスと地震メカニズム、地殻構造、地質構造に基づいたひずみ集中帯、地震活動からみたひずみ集中帯、活断層分布及び地震活動の長期評価に関する既往の知見を整理した。

【テクトニクスと地震メカニズム】

- アムールプレートとオホーツクプレートの間には、明瞭なプレート境界が存在せず、東西方向に数十km程度の幅をもち南北方向に伸びるひずみ集中帯でマグニチュード7クラスの地震が発生している。
- 内陸の活断層タイプの地震と同様の発生メカニズムを持つ。
- プレートの相対運動に伴う東西方向圧縮力によるひずみを解消することで地震が発生する。

【地殻構造】

- 日本海東縁部は地殻厚さが急変する場所にあたり、応力集中が起きやすいので、大地震が発生し、結果としてプレート収束の主たる部分を担っていると考えられる。
- ひずみ集中帯と地殻構造の空間的な分布で比較すると、北部(秋田沖～西津軽沖)と南部(能登半島沖～山形沖)とで違いがある。
- 地震波速度構造と比較すると震源断層とみられる反射面を境に、地殻構造が陸側と海側で異なっており、震源域より陸側の沿岸域では島弧地殻の特徴を示している。

【地質構造に基づいたひずみ集中帯】

- 日本海の拡大時に形成された古い正断層が逆断層として再活動している。
- 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を伴う。
- 地殻のひずみは断層、褶曲帯に集中してきたことを示している。

【地震活動からみたひずみ集中帯】

- 南北走向の地震帯は、数十kmの幅をもつ1本の明瞭な帯で特徴づけられ、地震活動が集中的にみられる地震帯は、現在活動中のひずみ集中帯である。

【活断層分布】

- 南北方向の断層集中帯は規模の大きな断層が重複して分布し、規模の大きい地震が発生している。
- 断層面の傾斜は東傾斜と西傾斜が交互に現れる。

【地震活動の長期評価】

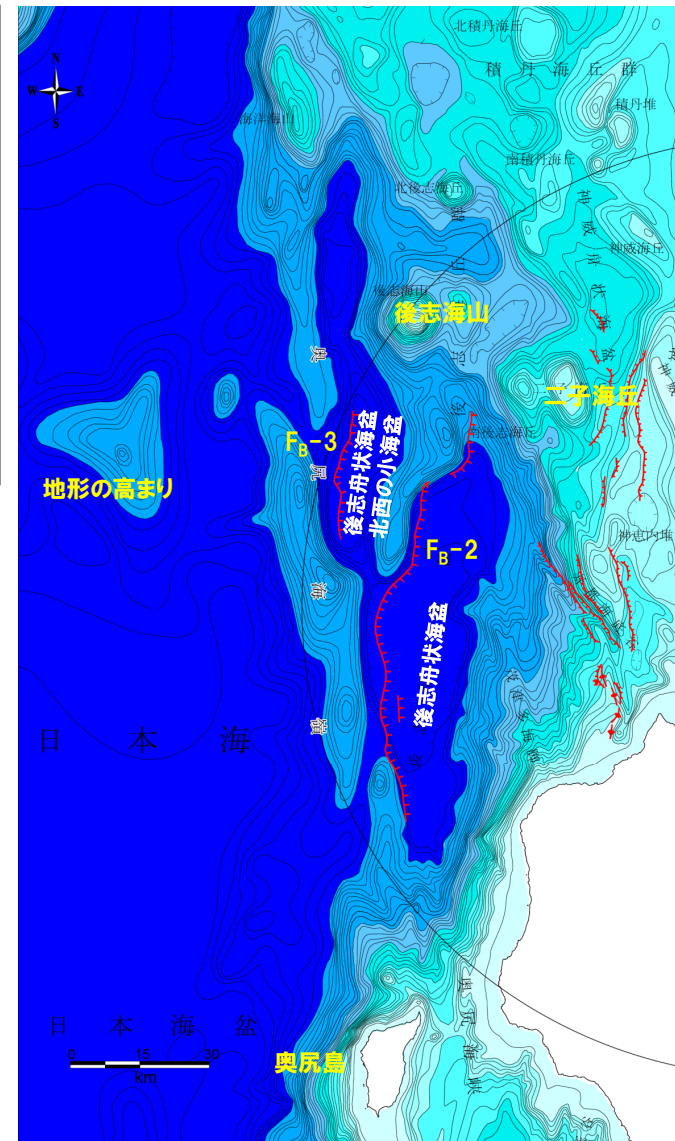
- M7.5以上の大地震の発生が確認されている領域では、将来も同様な地震が発生するものと考えられる。
- 評価対象領域(地震本部(2003))は、様々な既存研究(地震観測記録、歴史地震の記録、津波の記録、深度分布、地震性堆積物・津波堆積物)、過去の大地震の震源モデル、余震域及びひずみ集中帯の空間的な分布を参照して推定している。

2. 1. 2 当社の調査結果

敷地前面海域の地形的特徴 (1/4) 敷地前面海域の地形

一部加筆 (H25/10/16審査会合)

- 敷地前面海域では、後志舟状海盆西縁にF_B-2断層 (約101km)、後志舟状海盆北西の小海盆の西縁にF_B-3断層 (約45km) を震源として考慮する断層として評価している。
- F_B-2断層及びF_B-3断層は、共に西傾斜の逆断層であり、これらの断層の隆起側には、南北方向に断続的に高まりが認められる。この高まりは、後志舟状海盆西側で2列に分かれる。
- F_B-2断層が分布する後志舟状海盆の北端は、後志海山、二子海丘等に規制され、南端では、奥尻島から連続する高まりに規制される。
- F_B-3断層が分布する小海盆も、北端は後志舟状海盆同様に後志海山に規制され、また、その海盆北端西側には地形の高まりが認められる。



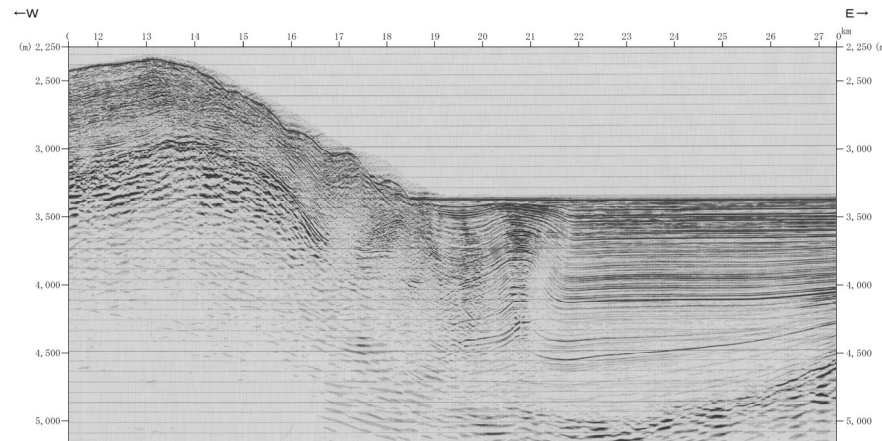
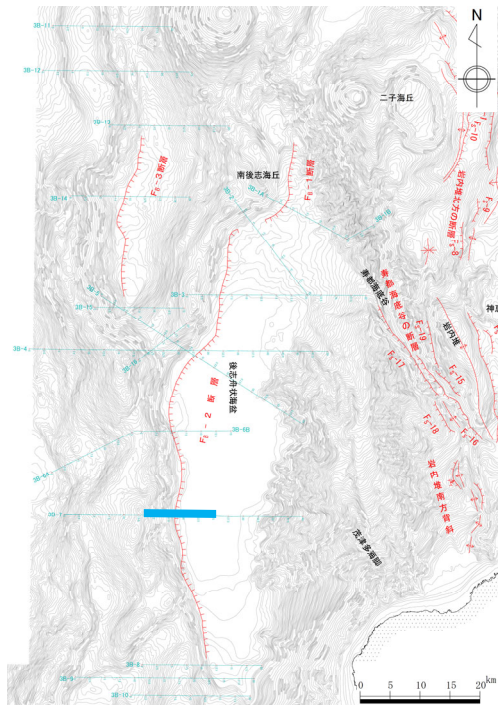
F_B-2断層及びF_B-3断層

2. 1. 2 当社の調査結果

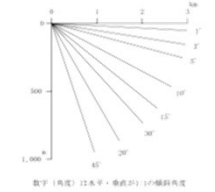
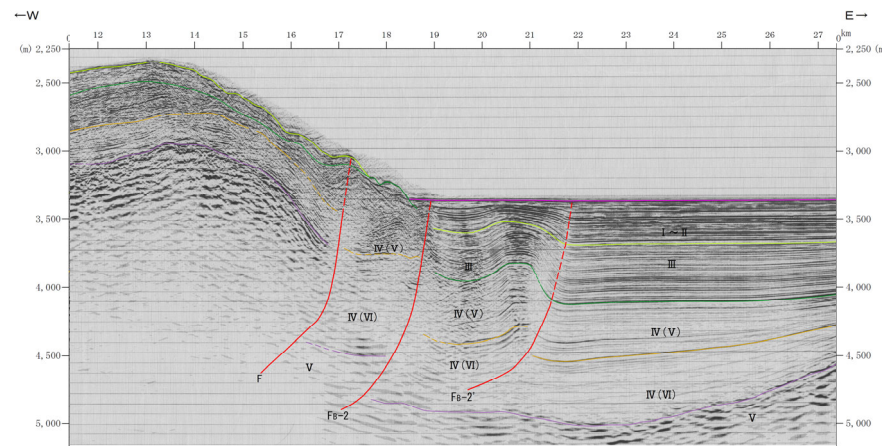
敷地前面海域の地形的特徴 (2/4) F_B-2断層 (測線3B-7)

一部加筆 (H25/10/16審査会合)

- 背斜構造の東側が急傾斜となる非対称な形状から西傾斜の逆断層が推定される。
- 断層の上下変位量は、V層上面で2km程度とみられる。
- F_B-2断層の東側のIII層以降の堆積物には変位・変形は認められない。



- 凡例
- I-II (中気層断層～完断層)
 - III (下気層断層～中気層断層)
 - IV (知断層～下気層断層)
 - IV(V) (知断層～下気層断層)
 - IV(VI) (知断層～中気層断層)
 - V (知断層以下)
 - 赤点付線は各層の上面を示す
 - F₁-1 断層及断層番号
 - F₂-1 断層運動に関連する変位



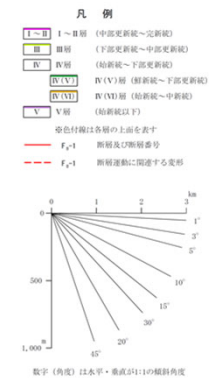
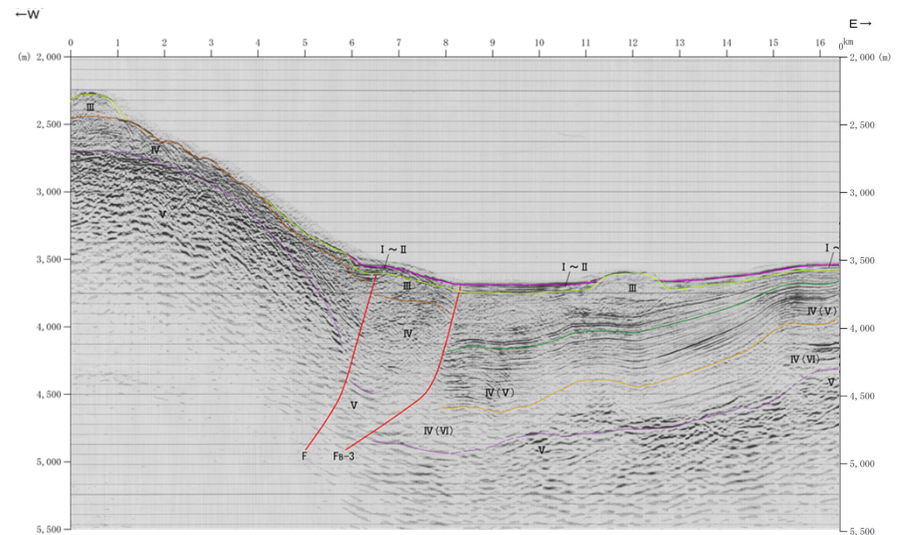
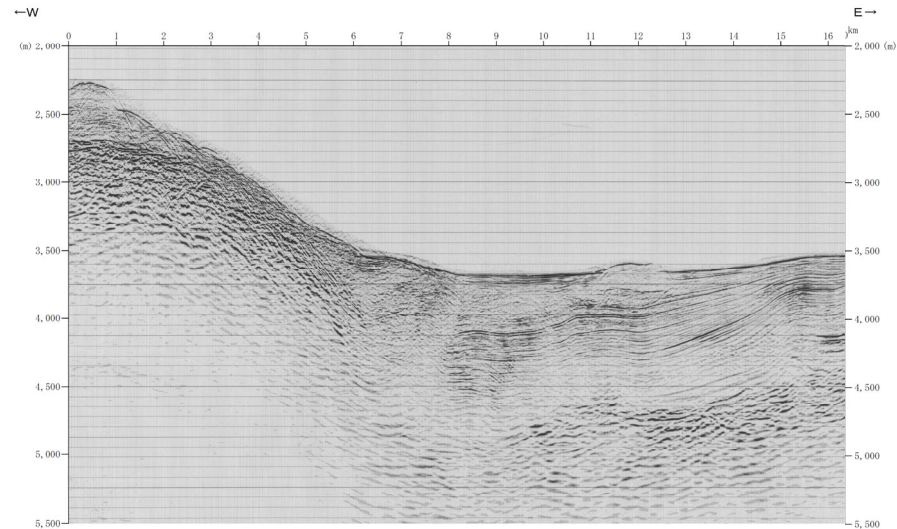
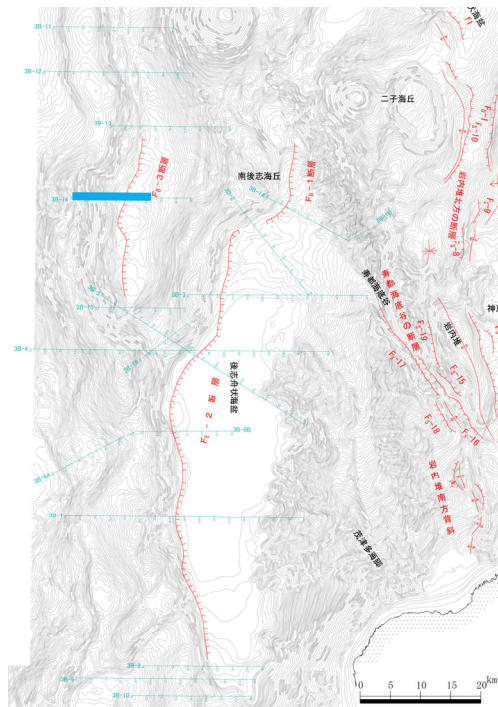
※凡例のうち地質年代については、誤記があったことから今回修正した。

2. 1. 2 当社の調査結果

敷地前面海域の地形的特徴 (3/4) F_B-3断層 (測線3B-14)

一部加筆 (H25/10/16審査会合)

- 背斜構造の東側が急傾斜となる非対称な形状から西傾斜の逆断層が推定される。
- 断層の上下変位量は、V層上面で2km程度とみられる。
- F_B-3断層の東側のIII層以降の堆積物には変位・変形は認められない。



※凡例のうち地質年代については、誤記があったことから今回修正した。

2. 1. 2 当社の調査結果

敷地前面海域の地形的特徴 (4/4) まとめ

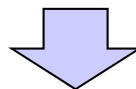
○当社の調査結果から敷地前面海域の地形的特徴を確認し、日本海東縁部に関する既往の知見と比較した。

【当社の調査結果に基づく敷地前面海域の地形的特徴】

- 背斜構造の基部に西傾斜の逆断層 (F_B-2 断層, F_B-3 断層) が確認される。
- その東側には活断層を示唆する変位・変形は認められない。

【日本海東縁部に関する既往の知見】

- 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を伴う。

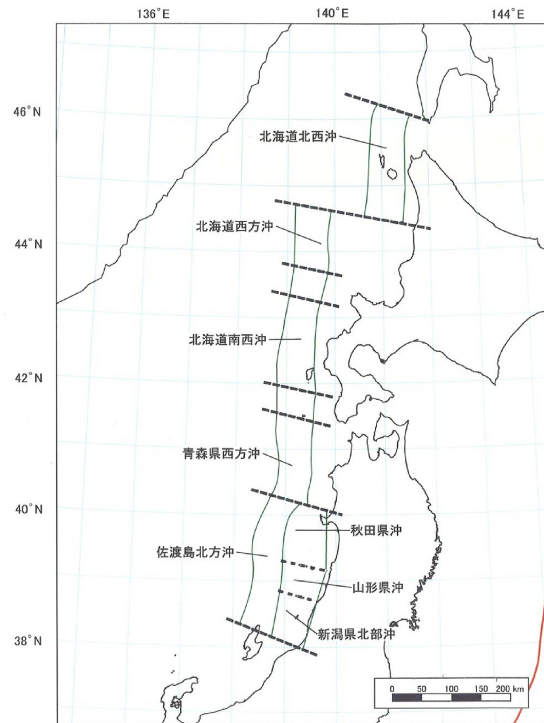


○以上から、当社の調査結果から確認した敷地前面海域の地形的特徴と日本海東縁部に関する既往の知見は整合する。

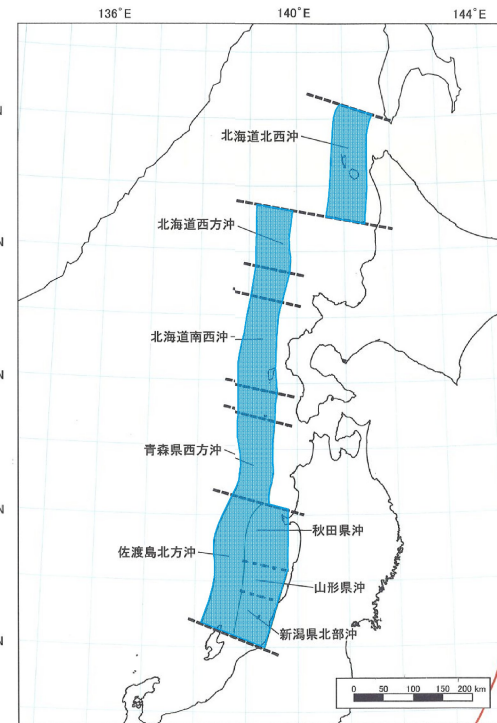
2. 1. 3 想定される日本海東縁部の範囲

想定される日本海東縁部の範囲

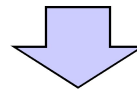
- 地震本部(2003)の評価対象領域は、様々な既存研究(地震観測記録, 歴史地震の記録, 津波の記録, 深度分布, 地震性堆積物・津波堆積物), 過去の大地震の震源モデル, 余震域及びびずみ集中帯の空間的な分布を参照して推定されたものである。
- 当社の調査結果から確認した敷地前面海域の地形的特徴と日本海東縁部に関する既往の知見は整合する。



地震本部の評価対象領域
(地震本部(2003)より引用)



想定される日本海東縁部の範囲
(地震本部(2003)に一部加筆)



- 以上から、日本海東縁部の範囲は、地震本部(2003)の評価対象領域と同じ範囲に設定した。