

1983年日本海中部地震の波源断層モデルの検証

大角恒雄¹・藤原広行²

¹フェロー会員 国立研究開発法人防災科学技術研究所 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

E-mail: t_ohsumi@bosai.go.jp

²非会員 国立研究開発法人防災科学技術研究所 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

E-mail: fujiwara@bosai.go.jp

海域における断層情報総合評価プロジェクト（文部科学省受託事業）として、日本周辺の海域における断層モデルを構築し、その断層モデルの妥当性の検証を実施している。本研究では、多くの既往研究が報告されている日本海で発生した津波地震で、より代表的であり年代の新しい例として1983年日本海中部地震の検討を行った。妥当性の検証は、震源域周辺の断層モデルを連動させ、津波伝播解析を実施し、解析で得られた日本海東縁沿岸での最大水位上昇量と観測との比較から、津波の規模を定量化し評価した。その結果、地質学的データや地形を参照して得られた断層データと、余震分布等の地震学的データを合わせて考慮することにより、過去の地震による津波痕跡高を、説明できる有効性が示された。具体的には、断層のパラメータスタディを150 mメッシュの地形モデルで実施し、大すべり域の設定位置の変化を検証し、先行研究の断層モデルとの比較を実施し、最大水位上昇量を把握した。この結果を踏まえ、50 mメッシュで津波予測計算を実施した。

Key Words : Tsunami simulation, Nihonkai-Cyubu earthquake, Fault modeling

1. 緒言

文部科学省プロジェクト「海域における断層情報総合評価プロジェクト」¹⁾では、日本海周辺海域の地震と津波のハザード評価に資することを目的に、断層情報が不足している海域について、これまでに様々な機関が日本海周辺海域で実施してきた調査から得られた反射法探査データなどを収集し、最新のデータ処理技術を統一的に適用した再解析を行い、統一的な基準で断層情報を整備するものである（図-1）。

本プロジェクトでは、国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）をとりまとめ機関とし、2013年度から2019年度までに、サブテーマ①「海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築」²⁾、②「海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈」、③「海域における断層モデルの構築」を実施する。サブテーマ①では、JAMSTECが各機関によって観測された日本海の反射法探査データ、速度構造データ、観測井データなどの既往の調査結果を収集し、それらのデータや解析結果を一元的に管理するデータベースの構築を行う。サブテーマ②では、JAMSTECが日本海の反射法探査データについて、ノイズの除去やデータの整合性の確認などの再解析・再処理を実施し、断層の解釈を

行う。また、信頼性の高い傾斜を見積もるため、3次元速度構造の構築の必要性についても検討する。サブテーマ③では、①と②の結果を踏まえて、断層の連続性を地質構造と地形から確認し、断層リストを作成する。国立研究開発法人防災科学技術研究所（NIED）は、海域における断層モデルの構築³⁾を行い、解釈を終えた日本海から主断層のモデル化を検討する。また、M7程度の地震の震源断層と推定されるもので、かつ、津波の記録が存在する地震の震源断層と考えられるものについては、津波のシミュレーションを行うことにより、構築した断層モデルの妥当性を検証する。

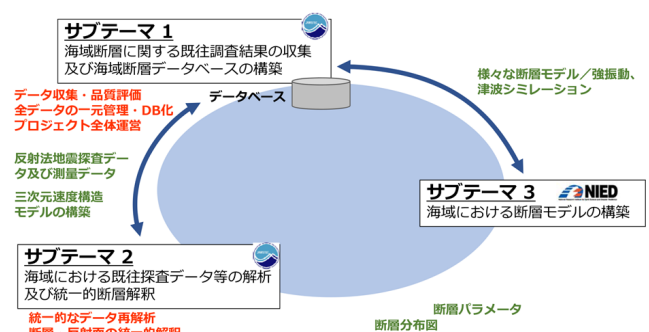


図-1 海域における断層情報総合評価プロジェクト概要

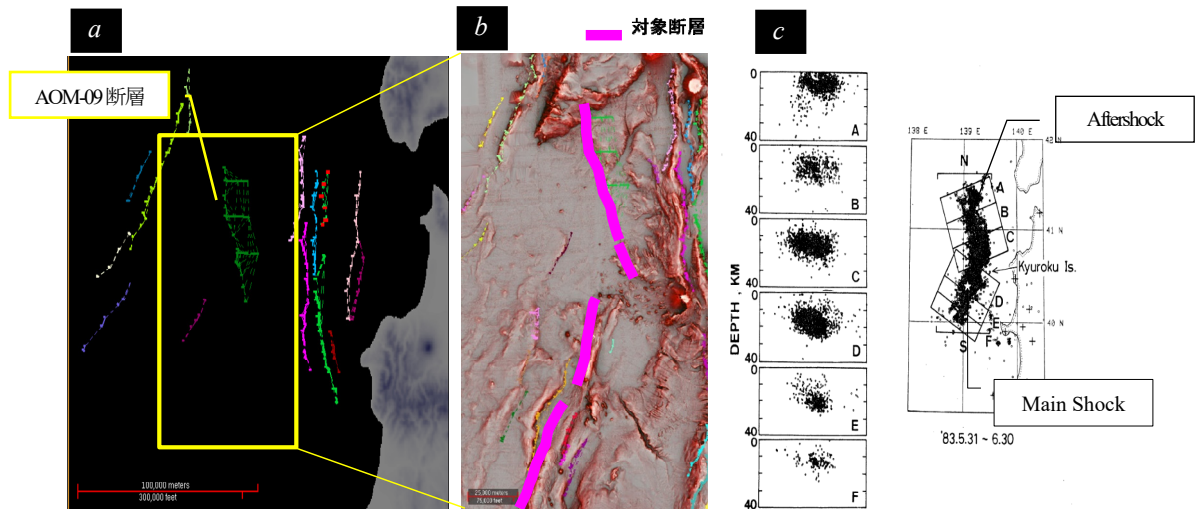


図-2 地形を考慮した断層トレース (a, b) と震源分布 (c)

a: サブテーマ②において測線データのみで判断された青森県沖の断層と AOM-09 断層を横切る断面

b: サブテーマ②において地形および震源分布を参照し設定された日本海中部地震の震源近傍の断層トレースを野・他 (2016) ⁴⁾の赤色立体地図に対象断層を記載

c: 日本海中部地震の本震及び余震分布 (高木・他(1984)⁹⁾に加筆)

本研究でサブテーマ③では、地質学的・地球物理学的データに基づいて設定した断層モデルについて、津波予測計算による検証を実施している。平成27年度の断層モデルの検証においては1940年神威岬沖地震による津波について、津波予測計算を実施し、津波痕跡データとの比較を実施した。本検討においては、日本海で発生した津波地震について、より代表的で地震発生年代の新しい例として1983年日本海中部地震の検討を実施した。

サブテーマ②では、測線密度が粗い南西諸島海域における断層解釈での考え方をもとに、日本海海域についても断層データの見直しが実施されている。日本海中部地震の震源域周辺の断層データについても、南西諸島での考えを拡大し、音波探査データに限定せず、地形データや地震活動を考慮した断層トレースの検討を実施した。

平成 26 年度サブテーマ②で示されている青森沖の解釈断面 (図-2a) では 15 の断層面が認められ、全て逆断層と解釈されている。海岸線に近い断層は、ほぼ南北の走向を示している。各断層を野・他 (2016) ⁴⁾の赤色立体地図に対象断層を記載した (図-2b)。マルチチャンネル反射法地震探査 (Multi-Channel Seismic reflection survey: MCS) によって確認されており、比較的深い上部地殻下方まで読み取ることができ、これらの断層は海底地形でも断層運動による落差が顕著なため、海底地形図 (野・他, 2016) ⁴⁾とも調和する (図-2b)。一方、沖合の断層で最も特徴的な断層の AOM-09 断層は、本震の震源域に位置し、断層の長さが南北方向に約 55 km あることが確認されている。エアガンの精度の高い MCS のデ

ータであり、断層深部までの反射波が得られている。この断面図を含め、この断層の空間的な連続性を確認することができ、ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクトの成果 (野・他, 2012) ⁵⁾とも調和する。反射法地震探査から得られる Ocean Bottom Seismograph (OBS) に設置したエアガンの震源とした広角反射法及び屈折法の探査データからの速度情報を基に作成した速度構造モデルから約 15 km の深部まで達し、上部地殻と下部地殻の境界を越えてモホ面まで到達していることが判明している。

日本海中部地震の発生後、東北大学および弘前大学では、両大学の地震観測網データを一括処理することで、本震発生後から 7 月末のおよそ 2 か月間に約 8000 個を超える地震の震源を決定している。余震域は日本海盆の東縁に位置し、南北に長い逆「く」の字型をしている。1983 年 5 月 31 日から 6 月末までに発生した日本海中部地震震源域の地震の震央分布及び震源分布を図-2c (高木・他 (1984) ⁹⁾ に示す。

2. 手法の概略

本研究の対象とする断層は、1983年5月26日に秋田県能代市西方沖で発生した日本海中部沖地震に発生した $M7.7$ ($M_w7.7-7.9$) の分布している断層とした。海域の断層モデルは、サブテーマ①で整備された反射法探査データなどの観測データに基づき作成した断層トレースに従い、断層面を矩形断層で近似し構築した従来の方法に対

し、当該地域ではサブテーマ②は測線密度が粗い南西諸島海域における断層解釈での考え方をもとに、日本海海域についても断層データの見直しを実施した。日本海中部地震の震源域周辺の断層データについても、南西諸島での考えをさらに拡大し、音波探査データのみでなく、地形データや地震活動をもとに断層トレースの検討を実施した。

(1) 震源分布と地形を考慮した断層トレース

サブテーマ②で示された断層トレース（図-2b）に基づき設定した矩形断層モデルを図-3に示す。

測線データから示されていた既存の断層 AOM-09 に加え、サブテーマ②で新たに海底地形データや地震データを考慮することより得られた南北に連なる断層（図-2c）をモデル化の対象とした。

パラメータの設定では、傾斜角 45° 、断層上端深度 0 km、断層下端深度 15 km として矩形で近似した。これを初期断層モデルとして、断層の近似方法、断層トレースの組み合わせや形状、大すべり域等の諸条件について検討した。断層モデルのパラメータを表-1に示す。

表-2に主な既往研究^{7),8),9),10),11),12),13)}における断層パラメータを示す。この断層モデルのマグニチュードは $M_w7.87$ である。日本海中部地震についての既往研究に示される断層モデルにおけるマグニチュードは $M_w7.7 \sim 7.9$ で、その範囲内に含まれている。

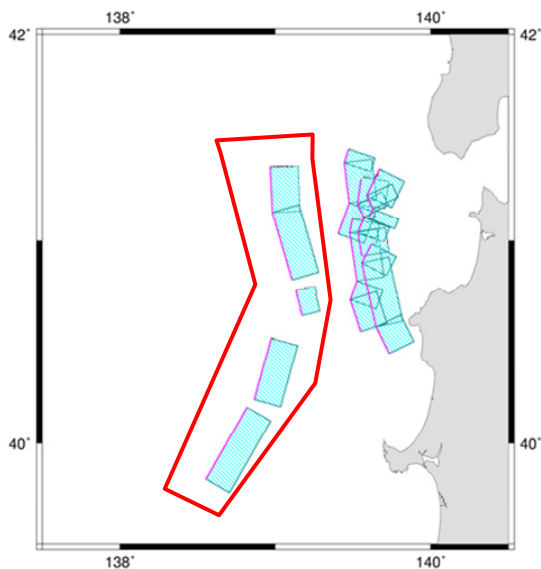


図-3 日本海中部地震の震源域近傍の断層モデル

表-1 初期断層モデルのパラメータ

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
41.1372	138.9810	0	15.00	354.60	45.00	90	24.46	21.21	6.12	7.87
40.8089	139.1081	0	15.00	341.00	45.00	90	38.04	21.21	6.12	7.87
40.6331	139.1717	0	15.00	343.90	45.00	90	14.18	21.21	6.12	7.87
40.2169	138.8645	0	15.00	12.90	45.00	90	34.88	21.21	6.12	7.87
39.8240	138.7738	0	15.00	27.50	45.00	90	45.40	21.21	6.12	7.87

表-2 1983年日本海中部地震の既存断層モデル

a) 相田 (1984)⁷⁾

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
40.21	138.84	2.0	22	40	90	40	30	4.87	100	7.7
40.54	139.02	3.0	355	25	80	60	30			

b) 多田 (1984)⁸⁾

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
40.20	138.80	0.0	13	20	90	60	40	3.5	120	7.7
40.73	138.96	0.0	335	20	90	60	30			

c) 田中・他 (1984)⁹⁾

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
40.37	138.87	0.0	15	20	120	30	35	4.61	90	7.8
40.61	139.06	0.0	350	20	90	60	40			

d) Satake (1985)¹⁰⁾

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
40.37	138.87	0.0	15	20	120	30	35	4.61	90	7.8
40.61	139.06	0.0	350	20	90	60	40			

e) Kanamori and Astiz (1985)¹¹⁾

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
40.10	138.70	-	21	30	115	150	40	2.0	150	7.7

f) Sato (1985)¹²⁾

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
40.27	138.86	0.0	15	20	90	35	35	6.07	105	7.9
40.58	138.97	0.0	15	20	90	35	35			
40.84	139.06	0.0	345	20	90	35	35			

g) 小菅・他 (1986)¹³⁾

Lat.	Lon.	Top (km)	Bottom (km)	Strike	Dip	Rake	L (km)	W (km)	D (km)	Mw
40.79	139.09	0.0	345	25	90	40	40	4.60	100	7.8
40.65	139.03	0.0	20	25	90	30	40			
40.39	138.91	0.0	20	25	90	30	40			

(2) 津波予測計算条件

津波予測計算は表-3の条件で実施した。

表-3 津波予測計算の計算条件

内 容	
支配方程式	非線形長波理論
数値解法	Staggered Leap-frog 差分スキーム
計算領域	北海道南部および日本海東縁部の沿岸
計算領域の格子サイズ	外洋から順に 1350 m, 450 m, 150 m (最小 150 m)
境界条件	陸域では遡上を考慮 海側では無反射の透過境界
各種施設の取り扱い	各種施設は考慮しない
計算時間	12 時間
初期水位	Okada(1992)で算出した海底地盤変動量
潮位	TP.0m
打ち切り水深	10^2 m
粗度係数	0.025

3. パラメータスタディ

本検討では50 mの地形モデルによる3段階のパラメータスタディを実施した。第1段階では、大すべり域の設定位置の変化を検証し、第2段階では、領域北部の水位上昇量を抑えるモデルを検討し、第3段階では、先行研究の断層モデルとの比較を実施した。

(1) パラメータスタディ：第1段階

図-3で示した日本海中部地震の震源域近傍の断層モデルに対し、図-4に示した特性化モデルで、大すべり域の設定位置を変化させることによって、沿岸の津波の最大水位上昇量がどれだけ変化するかについて検討した。

この検討で用いる断層形状は図-5に示した大すべり域の設定方法の組み合わせパターンについて津波予測計算を行い、最大水位上昇量の変化を比較した。

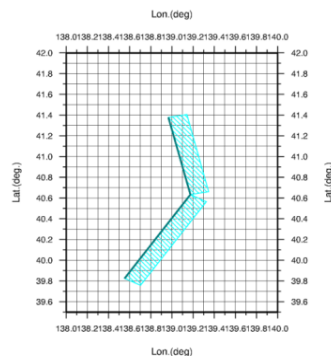


図-4 日本海中部地震の特性化モデル

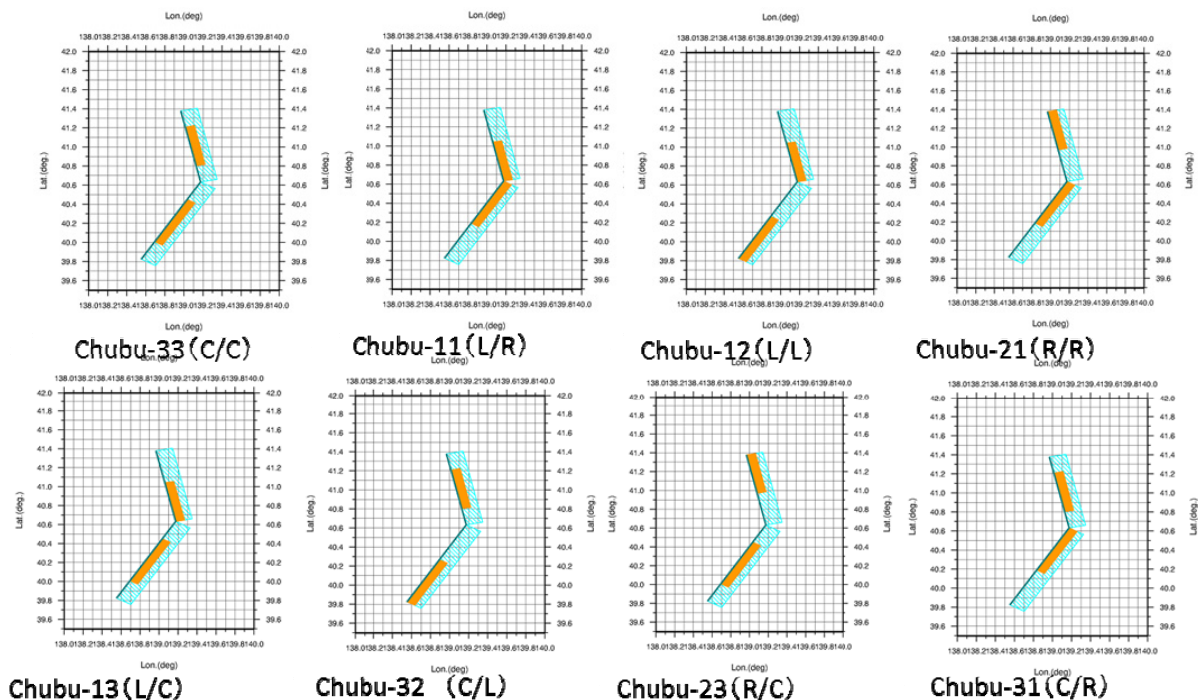


図-5 検討した大すべり域設定位置の組み合わせパターン

本検討においては、図-5に示した大すべり域の8パターンの組み合わせに加えて、断層傾斜角を浅部では高角、深部では低角となるように変化させた場合（図-6）についても検討を実施した。

断層傾斜角を浅部では高角、深部では低角と変化させる理由は、反射断面によって得られた断層面が、P波の速度構造によって、浅部が高角になり、深部の断面全体としては低角に生じている実際の現象（図-7）を再現したモデルで、速度構造モデルに基づいて、海底面から5 kmを目途に変化させた。

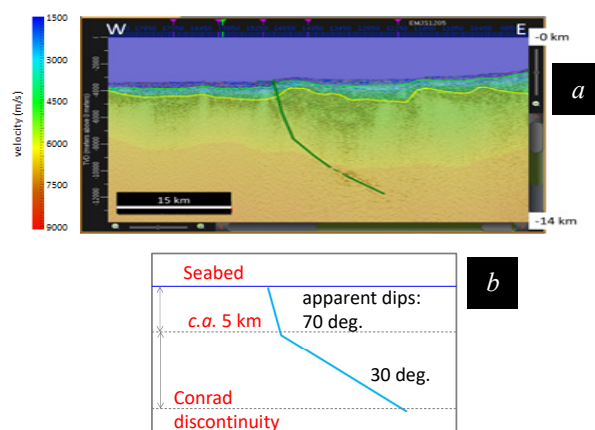


図-7 断層傾斜角の設定方法

a: 反射法探索断面（カラーコンターはP波の速度構造）

b: 断層傾斜角を浅部では高角、深部では低角と変化させたイメージ図

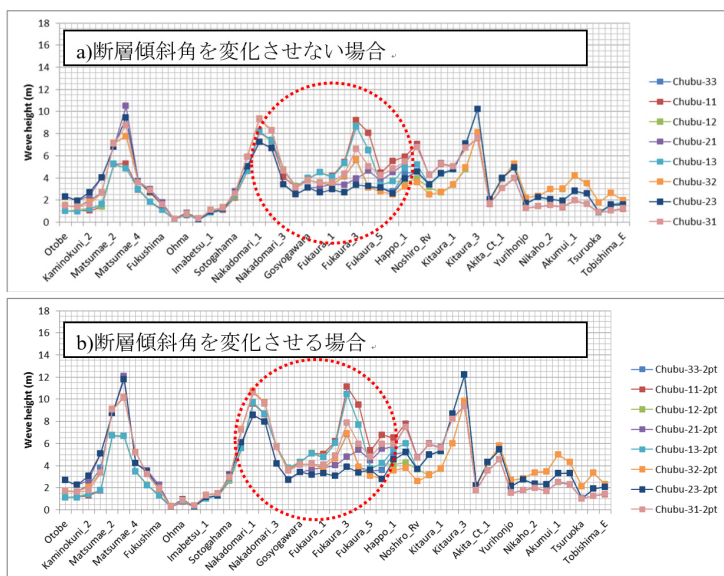


図-8 2枚断層モデルの場合の計算結果

図-8に2枚断層モデルの場合の計算結果を示す。傾向として、北端を除く主要な2枚の断層の折れ目付近の対岸の地域で水位上昇量のばらつきが大きくなっている傾向がみられる（図-8中の赤点線で囲った部分）。この傾向を、沿岸の津波痕跡高と比較した（図-9）。津波痕跡高は東北大学工学研究科の「津波痕跡高データベース」¹⁹に信頼度A,Bのみを使用し、内陸部にある津波痕跡地点を、周辺の沿岸の150 mメッシュに対応させている。図中の青線はChubu-11の断層モデルの計算結果であり、灰色線は各評価点における全計算結果の最大値を示す。

松前周辺においては、主な2枚の断層のうち北側の断層の大すべり域を南寄りに設定することで水位上昇量が低下し、痕跡高に近づく傾向にある。小島周辺においても松前周辺と同様、北側の断層の大すべり域を南寄りに設定することによって痕跡高に近づく傾向がある。西津軽周辺では、北側の断層の大すべり域を南寄りに設定することで痕跡高より高くなり、北寄りに設定することで痕跡高に近づく。能代周辺においては、津波痕跡高が局所的に高くなっており、全ての断層モデルにおいて津波痕跡高を再現することはできなかった。また、男鹿半島周辺においては、全ての断層モデルにおいて計算水位上昇量が痕跡高よりも高くなる傾向となった。

(2) パラメータスタディ：第2段階

第1段階のパラメータスタディを踏まえ、領域北部の水位上昇量を抑え、能代周辺に高い断層モデルの設定方法を検討した。北側の断層に大すべり域を設定しない場合、大すべり域の位置、面積、アスペクト比を変えた場合、サブテーマ②の断層形状と沿岸における最大水位上昇量と津波痕跡高を比較した（合計10ケース：図-11

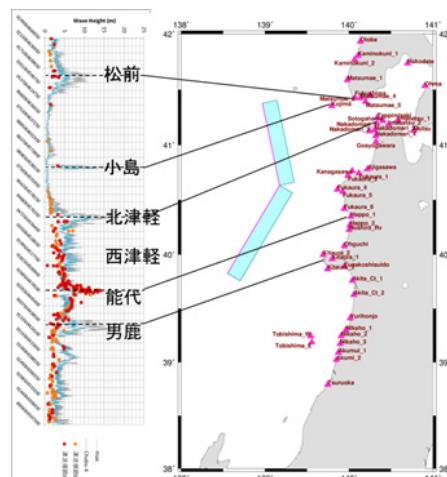


図-9 津波痕跡高との比較の例（グラフと地図上の各地点との対応関係を示す）青線は Chubu-11 の断層モデルの計算結果であり、灰色線は各評価点における全計算結果の最大値。

Chubu-11を比較モデルとし、大すべり域で解放するモーメント量を共通とした。検討ケースは以下の設定である。

- ・ Chubu-11W-S：大すべり域の面積を変えないように断層幅を約半分にし、南側の断層のみに設定。
- ・ Chubu-11W：大すべり域の面積を変えないように断層幅を約半分にし、南側・北側の断層に設定。
- ・ Chubu-11h-S：大すべり域の面積を半分にし、南側の断層のみに設定。

松前周辺においては北側の断層の大すべり域を南寄りに設定するか、大すべり域を設定しないことで痕跡高に近づく。小島周辺においては、長さを短くした大すべり域を南寄りに設定することで痕跡高に近づく。しかし、大すべり域を設定した場合の背景領域のすべり量よりも、大すべり域を設定しない場合の断層全体の平均すべり量のほうが大きくなることから、小島に近接する部分の断層のすべり量が大きくなり、計算水位上昇量は高くなる。西津軽周辺においては計算値が痕跡高を上回る傾向にあるが、北側の断層に大すべり域を設定しないことで津波痕跡高に近づいた。しかし、この場合には小島周辺における計算水位上昇量が高くなるため、小島周辺と西津軽周辺の津波痕跡高の条件を同時に満たすことは難しい。能代周辺においては、津波痕跡高を再現することはできなかった。男鹿半島周辺では南側の断層の大すべり域の長さが短い場合に痕跡高に近づく。

以上により、松前周辺の津波は北側の断層に大すべり域を設定しないことで津波痕跡高をおおむね説明できる。また、西津軽周辺では計算水位上昇量が痕跡高よりもやや高くなる傾向にあり、能代周辺では、この地域で得られている津波痕跡高を再現できるような結果は、大すべり域の設定方法や断層形状を変えても得られなかった。

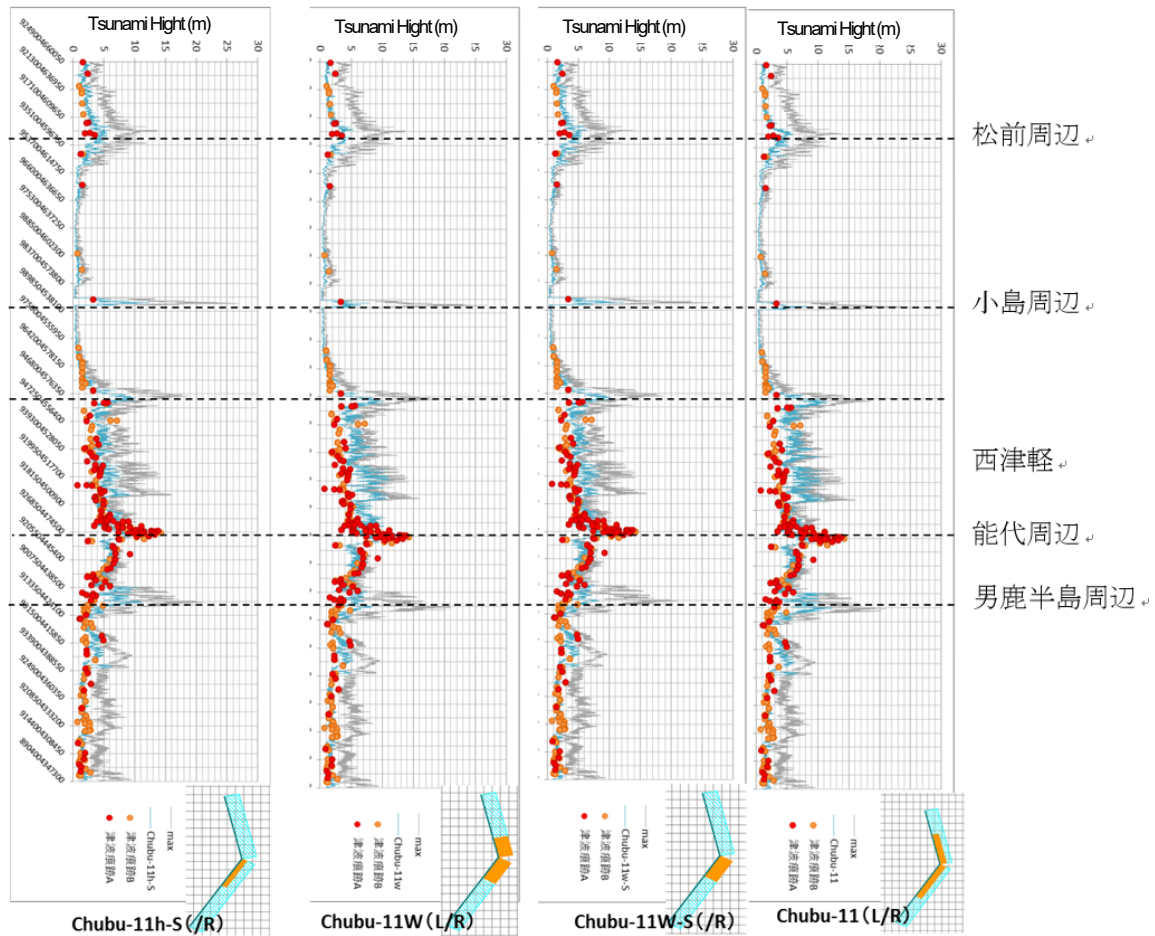


図-11 大すべり域の設定方法を変えた場合の沿岸における最大水位上昇量と津波痕跡高の比較

(3) パラメータスタディ：第3段階

相田 (1984) ⁷⁾ の断層モデルや、日本海における大規模地震に関する調査検討会 (以下、日本海検討会とする) ¹⁶⁾ の断層モデルよりも断層の長さが長くなっている。本検討で設定した断層モデルのモーメントマグニチュードは2枚断層モデルの場合で $M_w 7.91$ 、3枚断層モデルの場合で $M_w 7.97$ である。一方、先行研究の断層モデルの規模は相田のモデルが $M_w 7.7$ であり、Sato (1985) ¹²⁾ のモデルは $M_w 7.9$ であり、本検討の2枚断層モデルについては先行研究と調和する。本検討の断層の長さが先行研究よりも大幅に長くなっている。一方、先行研究では日本海中部地震の断層面を低角に設定していることから断層幅が大きい。本検討で使った断層形状と余震域と比較すると、サブテーマ②のデータから設定した断層モデルの南端は男鹿半島より南まで至っているが、余震域は男鹿半島より北の範囲で収まっている。断層モデルの北端部は北海道の松前半島まで至るが、余震が多くみられる領域は青森県沖より南の範囲である。図-13に断層モデルを示す。

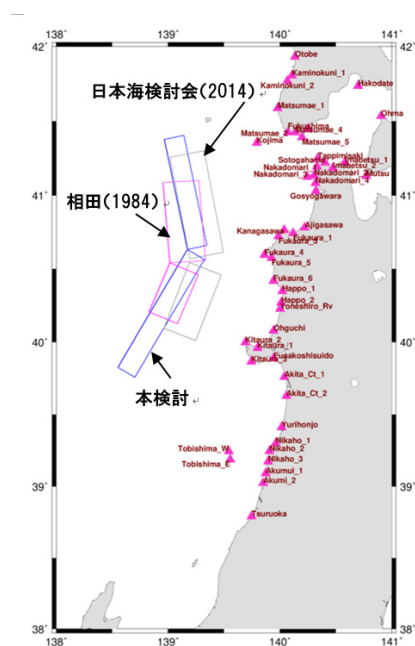


図-13 本検討・相田 (1984) ⁷⁾ ・日本海検討会 (2014) ⁸⁾ の断層モデルの比較

断層の長さについては、余震分布からそれに近接する断層の組み合わせを考慮することで設定した。その結果、設定する長さは相田（1984）⁷⁾等、先行研究に近い長さとなったが（約110 km）、相田（1984）⁷⁾の断層長さよりも10 km程度長い。断層傾斜角が先行研究では低角であるとされていることから、地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動評価手法¹⁷⁾（「レシビ」）」に基づく考え方により30°で設定した。

断層傾斜角は、前述の断層浅部では高角、深部では低角となるように傾斜角を変化させた。マグニチュードが $M_w7.61$ と規模が先行研究に比べるとやや小さめになる。

図-14において結果を示した断層の、モデル設定の考え方について下記に示す。

- ・ Chubu-30deg-BLR：断層傾斜角を30°として設定。北側、南側の断層の下端部に大すべり域を設定する。
- ・ Chubu-30deg-BR：断層傾斜角を30°とし、南側の断層のみ、下端部に大すべり域を設定する。
- ・ Chubu-30deg-BR-2pt：断層傾斜角を浅部と深部で変

化させ、平均30°とする。南側の断層のみ下端部に大すべり域を設定する。

- ・ Chubu-45deg-BR-2pt：断層傾斜角を浅部と深部で変化させ、平均45°とする。南側の断層のみ下端部に大すべり域を設定する。

図-14に示した4ケースの計算結果では、いずれも松前周辺及び小島周辺では痕跡高と同程度、西津軽周辺では痕跡高と同程度か、やや高い程度の最大水位上昇量が示された。能代周辺では痕跡高より低くなっている一方で、男鹿周辺では痕跡高と同程度の結果が得られた。

この結果から余震分布をもとに断層の組み合わせを考慮することで、日本海中部地震による津波をある程度説明できる可能性が示された。以上の検討は最小格子サイズが150mの地形モデルを使用し実施した概略計算である。この検討で比較的、津波痕跡高の再現性が良かった断層モデルについて50 mメッシュの地形モデルを使用した詳細計算用の断層モデルとすることとした。

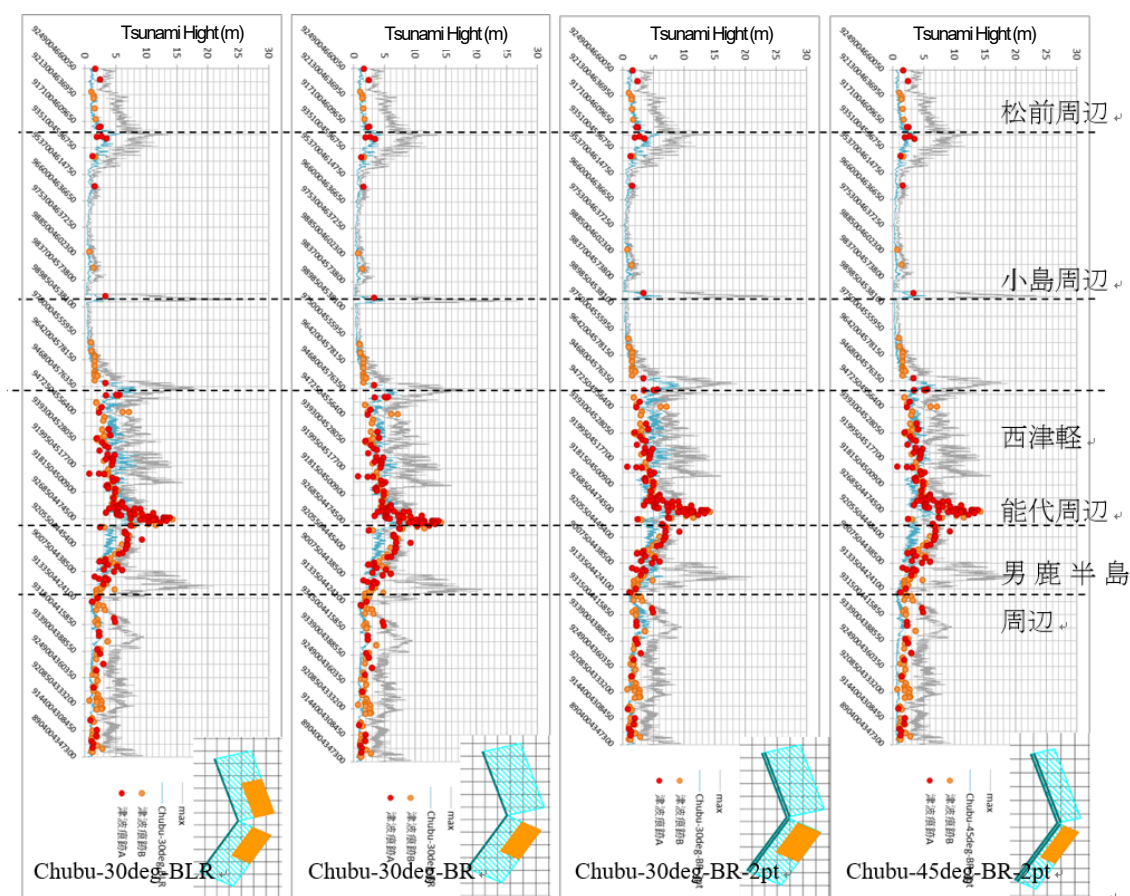


図-14 3種類の断層形状を用いた場合の主な計算結果の比較
青線は各断層モデルの計算結果であり、灰色線は各評価点における全計算結果の最大値。

4. 1983年日本海中部地震を対象とした津波予測計算

上記に検討した150 mメッシュの地形モデルを用いた津波予測計算の概略計算による結果を考慮して選定した、50 mメッシュの地形モデルによる詳細計算に資する断層モデルを以下に示す。

計算領域は、津波予測解析の計算領域を図-15に示す。計算領域については、外洋から沿岸へ3対1の割合で計算領域を細分化した。各計算領域の格子サイズは外洋から順に1,350 m, 450 m, 150 m, 50 mである。地形モデルは本プロジェクト¹⁾において平成27年度に整備したものを使用した。計算条件は、表-3に示した条件の格子サイズと計算時間を6時間に変更した。

津波予測解析の結果を図-16に最大水位上昇量伝搬T.P. 0 m（日本海東縁）を図-17に最大水位上昇量T.P. 0 mと痕跡を示す。断層モデルの妥当性については、津波予測解析で計算した沿岸の最大津波水位と痕跡とを比較し、幾何平均値Kと幾何標準偏差 κ を求めることで検証した（表-4）。

使用した痕跡は、「津波痕跡データベース」¹⁵⁾に記載されている1983年日本海中部地震津波に該当する計2,662地点（2016年7月閲覧）のうち、検討地域沿岸から100 m以内にある痕跡信頼度がAかBかつ痕跡パターンが浸水高である地点とした。

最小150 mメッシュの地形モデルを用いた計算により選定した断層モデルをベースに設定した合計10個の断層モデルについて、50 mメッシュの地形モデルを用いた津波予測計算を実施することで、日本海中部地震による津波の再現性について検討を行った。妥当性の評価方法については、津波予測計算で得られた沿岸の最大津波水位と日本海中部地震による津波痕跡高を比較し、幾何平均値Kと幾何標準偏差 κ を求める方法により行った。

先行研究の事例として相田（1984）⁷⁾の断層モデルを使用して計算した場合のK- κ は、K=1.35, κ =1.58となった。本検討において設定した断層モデルについては、以

下の2つのパターンで比較的良好なK- κ が得られた。一つは、ケース③の傾斜角を低角（30°）とし、南側の断層のみ、断層上端部北寄りに大すべり域を設定した場合は、K=0.97, κ =1.53 となり、もう一つは、ケース⑤の傾斜角を低角（30°）とし、南側の断層のみ、断層下端部北寄りに大すべり域を設定した場合は、K=1.01, κ =1.56となった。相田（1984）の断層モデルおよび本検討で設定した断層モデルにおいて、Kの値は0.89～1.51と適合度に大きな幅を持つものの、 κ の値については1.53～1.62とあまり大きな違いが見られなかった（表-4）。土木学会原子力土木委員会における適合性の基準¹⁸⁾として、 $\kappa < 1.45$ とされているが、この範囲にある結果は今回、得られていないが、Kについては、 $0.95 < K < 1.05$ の範囲に入る計算結果は複数得られており、津波高さの再現性については日本海中部地震により発生した津波の高さを再現できる断層モデルを示すことができたと考える。

これらの結果から、地質学的データや地形を参照して得られた断層データと、余震分布等の地震学的データを合わせて考慮することにより、過去の地震による津波痕跡高を、説明できる有効性が示された。

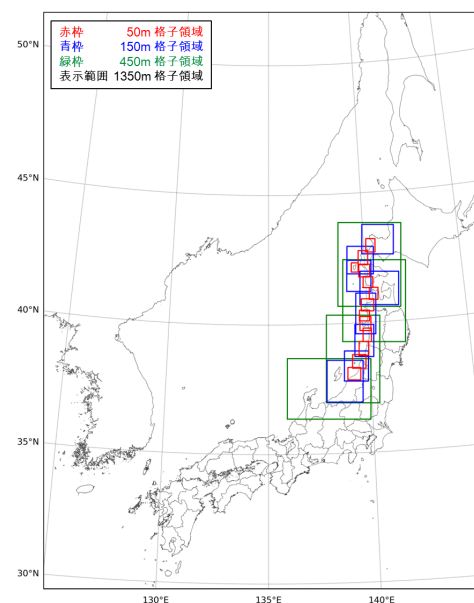


図-15 計算領域の位置

表-4 観測記録の信頼度A,Bを使って求めたK- κ の値

断層モデル名		傾斜角	平均傾斜角	大すべり域	K	κ
① Chubu-AIDA	相田(1984)の断層モデル	40°, 25°		—	1.35	1.58
② Chubu-3f 30deg	余震域から断層長さ設定	30°	30°	—	1.45	1.53
③ Chubu-3f-R	余震域から断層長さ設定	30°	30°	南断層上端	0.97	1.53
④ Chubu-30deg-BLR	余震域から断層長さ設定	30°	30°	北南断層下端	0.92	1.58
⑤ Chubu-30deg-BR	余震域から断層長さ設定	30°	30°	南断層下端	1.01	1.56
⑥ Chubu-30deg-2pt	余震域から断層長さ設定	69°, 22.6°	30°	—	0.98	1.60
⑦ Chubu-30deg-BR-2pt	余震域から断層長さ設定	69°, 22.6°	30°	南断層下端	0.89	1.62
⑧ Chubu-3f-2pt 45deg	余震域から断層長さ設定	69°, 37.4°	45°	—	1.51	1.59
⑨ Chubu-3f-R-2pt	余震域から断層長さ設定	69°, 37.4°	45°	南断層上端	1.32	1.56
⑩ Chubu-45deg-BR-2pt	余震域から断層長さ設定	69°, 37.4°	45°	南断層下端	1.38	1.60

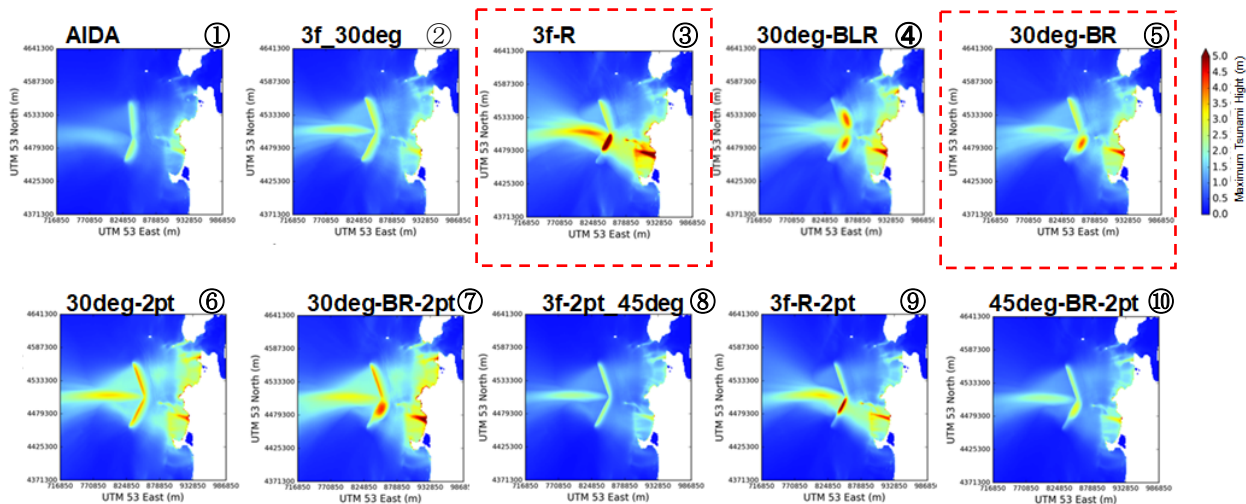


図-16 最大水位上昇量伝搬 T.P.0m (日本海東縁)

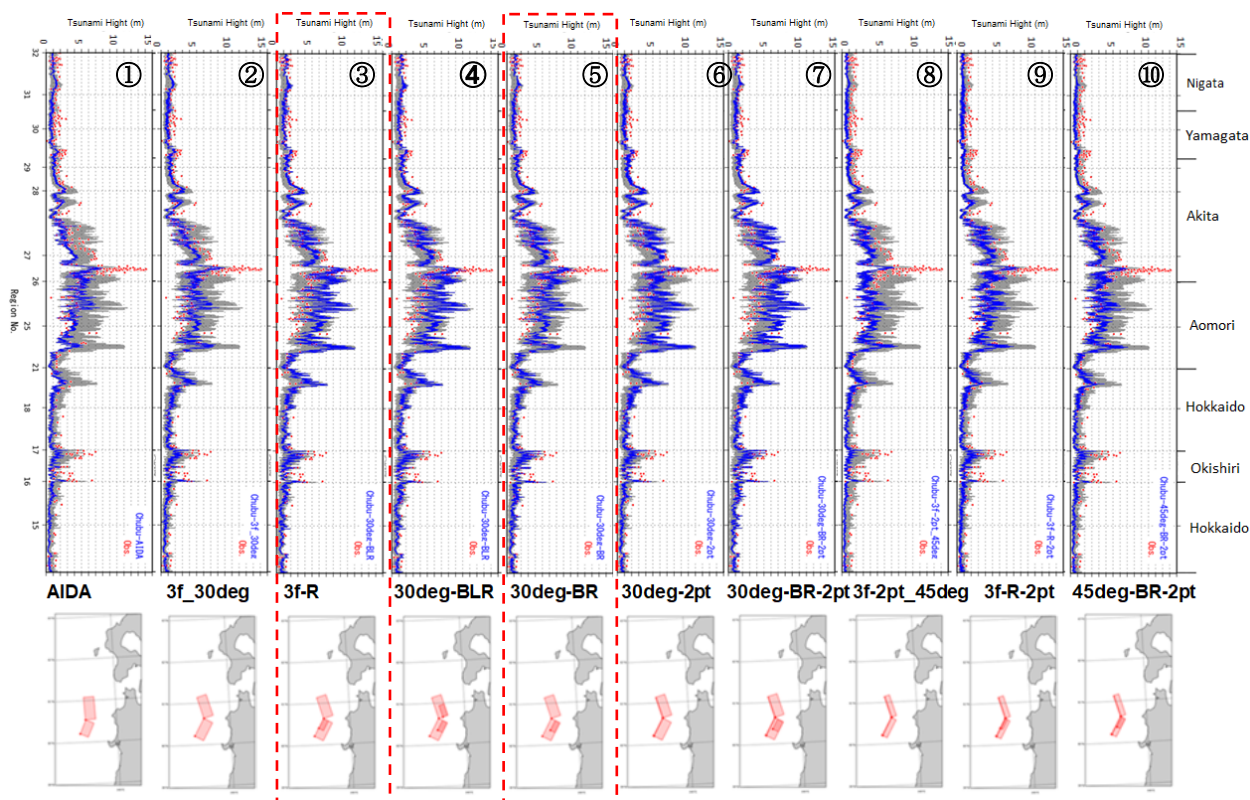


図-17 日本海中部地震における日本海東縁での観測値(赤)と津波伝播解析で予測した沿岸の最大水位上昇量(青:各モデル, 灰:全モデル, 赤枠内は推奨モデル)

5. 結論

1983年に発生した日本海中部地震の震源域を対象に、断層モデルの妥当性を検証した。妥当性の検証は、本プロジェクト¹⁾²⁾で作成した断層モデルと既往研究の断層モデル³⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾で津波伝播解析を実施し、沿岸での最大水位上昇量と痕跡や驗潮所の観測記録から $K\text{-}\kappa$ を求め、津波の規模を定量化し評価した。

パラメータスタディによる詳細計算用断層モデルの選定では、サブテーマ②で得られた断層データのモデル化

方法について検討した。その結果、以下のような結果を得た。

1) 設定した断層モデルに対して、断層傾斜角を一定とする場合と、断層傾斜角を浅部では高角、深部では底角とする場合の2通りの設定。さらに大すべり域の位置について8通りのパターンを設定したパラメータスタディを行った。その結果、北側の断層と南側の断層の境界となる屈折部分の対岸付近の地域で断層パラメータの設定のちがいによる沿岸の水位上昇量のバラツキが大きくな

った。また、北側の断層の大すべり域を南よりに設定することで、松前周辺の最大水位上昇量を津波痕跡高に近づく結果となった。能代周辺においては、津波痕跡高が局所的に高くなっているため、これを再現することはできなかった。

2) 1)の結果から、大すべり域の設定方法が異なる断層モデルを複数パターン、パラメータスタディを行うことで、計算領域の北部の水位上昇量を低く抑え、能代周辺に高い波を集めるような断層モデルを検討した。その結果、松前周辺の津波痕跡高は、北側の断層に大すべり域を設定しないことでおおむね説明できることが示された。能代周辺については、これを再現できるような高い津波高さを得ることができなかった。能代周辺については、先行研究によって、ソリトン波が観測されたことが報告されており、これが原因で局所的に高い津波が発生した可能性がある。

3) 1)~3)までの結果考慮し、また、先行研究における断層モデルの違いと日本海中部地震による余震域を比較した。これにより、余震域を参照した断層モデルを設定し、断層傾斜角を低角(30°)とする場合と通常通り(45°)の場合、断層傾斜角を浅部と深部で変化させる場合について津波予測計算を実施し比較した。また、大すべり域の設定方法についても検討した。その結果、余震域を考慮して断層モデルを設定することで日本海中部地震による津波痕跡高をおおむね説明できる可能性が示された。パラメータスタディの結果を、 K - κ を用いることで断層モデルの適合度を定量的に判断することにより、検証用の断層モデルを選定した。

日本海中部地震を対象とした津波予測計算では、上記パラメータスタディで選定した断層モデルをベースに50 mメッシュの地形モデルを用いた津波予測計算を実施することで、日本海中部地震による津波の再現性について検討を行った。

1) 先行研究の事例として相田(1984)の断層モデルを使用して計算した場合の K - κ は、 $K=1.35$ 、 $\kappa=1.58$ となった。

2) 本検討において設定した断層モデルのうち以下の2つのパターンで比較的良好な K - κ が得られた。

a)傾斜角を低角(30°)とし、南側の断層のみ、断層上端部北寄りに大すべり域を設定した場合

b)傾斜角を低角とし、南側の断層のみ、断層下端部北よりに大すべり域を設定した場合

得られた K - κ は、a)の場合で、 $K=0.97$ 、 $\kappa=1.53$ 、b)の場合で $K=1.01$ 、 $\kappa=1.56$ となった。

5) 相田(1984)⁸⁾の断層モデルおよび本検討で設定した断層モデルにおいて、 K の値は0.89~1.51と適合度に大きな幅を持つものの、 κ の値については1.53~1.62とあまり大きな違いが見られなかった。土木学会原子力土木

委員会における適合性の基準として、 $\kappa < 1.45$ とされているが、この範囲にある結果は今回、得られていない。

しかし、 K については、 $0.95 < K < 1.05$ の範囲に入る計算結果は複数得られている。

6) 1)~3)の結果から、地質学的データや地形を参照して得られた断層データと、余震分布等の地震学的データを合わせて考慮することにより、過去の地震による津波痕跡高を、説明できる可能性が示された。

謝 辞

本解析にあたり、応用地質株式会社東京支社地震工学センターにはパラメータスタディの協力を得た。また、国際航業株式会社技術本部 環境保全部 海洋エンジニアリンググループには、津波予測計算の協力を得た。記して御礼申し上げます。なお、本研究は、本研究は文部科学省「海域における断層情報総合評価プロジェクト」の資金等の提供を受けたものです。

参考文献

- 1) 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構(2015): 海域における断層情報総合評価プロジェクト 平成26年度成果報告書, http://www.jishin.go.jp/database/project_report/kaiiki-h26/, (2017年7月閲覧),
- 2) 金田義行・高橋成実・及川信孝・大角恒雄・藤原広行: 海域における断層総合評価プロジェクト, 日本地震学会2014年度秋季大会, 2014.
- 3) 大角恒雄・乗松君衣・松山尚典・藤原広行: 海域における断層情報総合評価プロジェクトにもとづく日本海海域における震源断層モデルの構築, 日本地震学会2015年度秋季大会, 2015.
- 4) 野徹雄・平松孝晋・佐藤壮・三浦誠一・千葉達朗・上山沙恵子・壺岐信二・小平秀一(2016), 日本海及びその周辺の地形データの統合と赤色立体地図. Jamstec Report of Research and Development, 2016, 22, p. 13-29, doi: 10.5918/jamstecr.22.13.
- 5) 野徹雄・高橋成実・佐藤壮・小平秀一・金田義行(2012), 日本海東縁ひずみ集中帯における反射法地震探査, 超音波テクノ, 24, 6, 15-20.
- 6) 高木章雄・長谷川昭・西城忠泰・山本明・三品正明・海野徳仁・植木貞人・橋本恵一・佐藤俊也・堀修一郎・立花憲司・村上栄寿・河野俊夫・仁田交市・清水洋・松沢暢・小原一成・野坂正史・佐藤裕・田中和夫・佐藤魂夫・小菅正裕・浜口博之・小山順二(1984): 1983年日本海中部地震による災害の総合的調査研究, 2.2 本震前後の地

- 震活動, 文部省科学研究費(No.58022002)自然災害特別研究
突発災害研究成果, 乗富一雄編, 24-30.
- 7) 相田勇 (1984) : 1983年日本海中部地震津波の波源数値モデル, 東京大学地震研究所集報, 59:99-104.
 - 8) 多田堯 (1984) : 日本海中部地震と地殻変動, 月刊地球, 6, 18-21.
 - 9) 田中和夫・佐藤魂夫・小菅正裕・佐藤裕 (1984) : 1983年日本海中部地震による災害の総合的研究, 24 日本海中部地震の特性, 文部省科学研究費(No.58022002)自然災害特別研究突発災害研究成果, 乗富一雄編, 39-45.
 - 10) Satake, K. (1985) : The mechanism of the 1983 Japan Sea earthquake as inferred from long-period surface waves and tsunamis, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 37:249-260.
 - 11) Kanamori, H. and L. Astiz (1985) : The 1983 Akita-Oki Earthquake (Mw = 7.8) and Its Implications for Systematics of Subduction Earthquakes, Terra Scientific Publishing Company (Terrapub), Tokyo, Japan. *Earthq. Predict. Res.* 3 (1985) 305-317.
 - 12) Sato, T. (1985) : Rupture Characteristics of the 1983 Nihonkai Chubu (Japan Sea) Earthquake as Inferred from Strong Motion Accelerograms *J. Phys. Earth*, 33:525-557.
 - 13) 小菅正裕・池田仁美・鎌塚吉忠・佐藤裕 (1986) : 余震分布・地殻変動・津波データによる1983年日本海中部地震の静的断層モデル, 測地学会誌, 32(4) 290-302.
 - 14) Okada, Y (1992): Internal Deformation due to Shear and Tensile in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 85,1018-1040.
 - 15) 東北大学: 東北大学津波痕跡データベース(オンライン, 2017年3月閲覧), <http://tsunami3.civil.tohoku.ac.jp>
 - 16) 日本海における大規模地震に関する調査検討会 (2014) : 日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書 (平成26年9月)
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/
 - 17) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2009) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」) (平成21年12月21日改定) .
 - 18) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会 (2002) : 原子力発電所の津波評価技術 (本編) , 1-9.

Study on Fault Modeling in the Source Region of the 1983 Nihonkai-Cyubu Earthquake

Tsuneo OHSUMI and Hiroyuki FUJIWARA

This work, entitled “Project for the Comprehensive Analysis and Evaluation of Offshore Fault Informatics”, was supported by the Japan Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) through the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). The purpose of this study was to verify fault modeling in the source region of the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake, which was caused by marine faults located offshore Japan. We investigated the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake as a more typical example of tsunami earthquakes that occur in the Sea of Japan, which have been reported by many previous studies. We constructed a new fault model using marine seismic industry data and geological and geophysical data compiled by the Offshore Fault Evaluation Group, Japan Agency for JAMSTEC. The marine seismic industry data included information from a new fault located to the north of an existing fault investigated previously. We adjusted the geometrical continuity of these faults, whereby the magnitude of the fault slip was increased. We applied the standard scaling laws based on strong ground motion for the fault parameters. The validity of the fault model was examined by comparing tsunami heights of the Japanese coastline between historical observation records and the tsunami simulation analysis, and by quantifying obtained data using scale and variance parameters referred to as Aida's K and κ . Based on the results, and by referring to geological data and aftershock location, the simulated tsunami heights using the new model approached the heights observed in historical records. This indicated the validity of the model for accurately modeling the source region. In future studies, more reasonable results are expected by considering asperities and fault parameters located in the shallow part of the source region. By considering the fault data obtained by referring to geological data and aftershock location, the explanation of the tsunami traces due to the past earthquake was shown to be effective.