12-9 東北日本背弧域の震源断層モデルに基づく確定論・確率論的津波予測 Deterministic and probabilistic tsunami forecast from seismogenic source faults in the backarc of Northeast Japan

東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

1. はじめに

東北日本の日本海東縁部における海域の断層については、日本海における大規模地震に関する調 査検討会(以下, MLIT と略称)¹⁾及び日本海地震・津波調査プロジェクト(以下, JSPJ と略称)²⁾によっ て断層モデルが示されている(第1図). 我々はまず,20世紀にこの地域で発生した1964年新潟 地震(気象庁マグニチュード(M) 7.5)及び1983年日本海中部地震(M 7.7)について、観測され た津波記録・痕跡高との比較から妥当な断層モデルを検討した³⁾. 次に、JSPJの断層モデルについ て、複数の相似則からすべり量を計算し、その違いが沿岸津波高に与える影響について検討した⁴⁾. さらに、MLIT モデルを用いて、確率論的な津波予測を実施した⁵⁾. 本稿ではそれぞれの概要につ いて述べるが、詳細については出版されている論文^{3),4),5)}を参照いただきたい.

2. 東北地方の日本海東縁部で発生した地震

東北地方の日本海東縁部で発生し、津波を生じた地震としては、1804 年象潟地震、1833 年出羽 庄内沖地震、1964 年新潟地震、1983 年日本海中部地震などがあるが、ここでは 20 世紀に発生した 新潟地震と日本海中部地震について検討した.

1983 年 5 月 26 日に発生した日本海中部地震(M 7.7)は秋田市,深浦町,むつ市で震度 5 を記録し, 北海道から島根県にわたって 1 mを超える津波によって被害が生じた.津波の遡上高は,震源付近 の秋田・青森両県では最大 14 m (峰浜村)に達し,甚大な被害をもたらした.この地震による犠 牲者 104 名のうち,100 名は津波によるものであった.また,韓国でも死者が 3 名生じた.

この地震については多くの断層モデルが提出されているが、ここでは、津波波形のインバージョ ンによる Satake⁶と JSPJ による 3 断層モデル (MMS01, MMS04, MGM01) ならびに 5 断層モデル (3 断層モデルに MMS02, MMS03 を追加) について、津波波形を計算し、北海道・本州に加えてロシ ア4か所での検潮記録と比較した。3 断層モデルについては 2 通りのすべり量^{7),8},5 断層モデルつ いては 1 通りのすべり量⁷⁾を与えた。これらのモデルからの津波波形は良く似ているが、波源近傍 では Satake モデルと 3 断層モデルが観測波形に近かった。日本海沿岸での痕跡高との比較では、3 断層モデルで武村式⁸⁾によるすべり量を使ったものが観測値を最もよく説明できたが、10 mを超え る最大値は再現できなかった (第 2 図).

1964年6月16日に発生した新潟地震(M 7.5)は,新潟県・山形県で震度5を観測し,両県を中心に, 家屋倒壊・液状化・石油タンクの火災によって大きな被害が生じた.津波の高さは新潟県沿岸で3 -5mであった.この地震についても多くの断層モデルが提出されているが,ここでは,Satake and Abe⁹とJSPJの新潟県沖の複数の断層モデルの連動による沿岸での津波高を痕跡高と比較した.そ の結果は,SHN09,MRK01,ECG03(あるいはさらにECG05を追加)したものが最もよく観測値 を再現した(第3図). 3. 確定論的(シナリオ型)津波予測と不確定性

JSPJ²⁾による断層モデルについて,複数の相似則を用いて,断層の大きさからすべり量と地震モー メントを算定した.第1の方法は,断層面積(長さ×幅)から経験式を用いて地震モーメントを計 算し,剛性率を仮定して断層すべり量を求める方法であり,地震調査研究推進本部地震調査委員会 による『震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)』⁷⁾におけるレシピ(ア)と同じ である(以下,レシピ(ア)と呼ぶ).第2は,強震動予測手法のレシピ(イ)⁷⁾と同様に,断層 長さから気象庁マグニチュードを求め,そこから地震モーメントを計算し,さらに経験式によって 求めた断層面積(長さ×幅から求めた面積とは異なる)ならびに剛性率で除することですべり量を 算定する(以下,レシピ(イ)と呼ぶ).第3は,武村(1998)⁸⁾による断層長さとモーメントの 関係式から地震モーメントを求め,断層幅を用いてすべり量を算定する方法(以下,武村式と呼ぶ) であり,第4は,MLIT1)による手法で,レシピ(ア)によって算定されるすべり量に1.5 mを加 えたものである(ただし最大は 6m).

これらのすべり量を比較すると、ほとんどの場合、MLITによるすべり量が最大となるが、西南 日本における垂直の横ずれ断層では、武村式によるすべり量が最大となる場合もある. レシピ(ア) と武村式のすべり量は断層の形状(長さと幅の比)に依存して変化する. 主に北海道・東北沖に分 布する幅広の断層に対しては、レシピ(ア)によるすべり量の方が大きくなる. 一方で、主に中部 ~西南日本沖に分布する幅狭の断層に対しては、武村式によるすべり量の方が大きくなり、その比 は2倍以上になることがある. 高角な断層は断層幅が比較的小さいため、同じ地震モーメントに対 して断層面積が小さく、すべり量が大きくなるためである. レシピ(ア)とレシピ(イ)から算定 されるすべり量はそれほど変わらない. 線形長波近似を用いて計算する沿岸における津波高はほぼ すべり量に比例するため、沿岸における津波高についても、武村式を用いた場合はレシピを用いた 場合の2倍以上になることがある.

東北地方沖合の 190(単独 67,連動 123)の断層モデルからの沿岸各地の津波高は、同プロジェ クト成果報告書²⁾に掲載されている.第4図は、それらの頻度分布を示したものである.

4. 確率論的津波予測

MLIT による 60 断層モデルを用いた津波ハザードの確率論的津波予測を行った⁵. MLIT の 60 断層について,確率論的断層すべりモデル¹⁰に基づき 1km×1km のグリッド間隔でランダムなすべりを計算し,76,685 通りの不均質なすべり分布のシナリオ(Mwの下限は 6.5,上限は MLIT による規模)を想定した.60 断層を 10 km×10 kmの小断層(合計で 994 個)に分け,それぞれに単位すべり量を与えた際の津波波形をグリーン関数として,上記のシナリオについて津波計算を行った.日本海沿岸に位置する 150 の市区町村の役場に最も近い 50 m 等深線地点における津波波形を記録し,グリーンの法則に従って水深 1 m における津波高を計算した.

60 断層における地震の再来間隔については、気象庁一元化震源カタログ(1997年~2017年、深 さ50 km 以浅)を用い、断層の地域毎にグーテンベルグーリヒター則の a 値ならびに b 値を推定し た.確率論的津波ハザード評価における偶然的ばらつきの大きさβは、20 世紀に日本海東縁部に おいて発生した4つの地震津波(1940年積丹半島沖地震(M 7.5),1964年新潟地震(M 7.5),1983 年日本海中部地震(M 7.7),1993年北海道南西沖地震(M 7.8))の痕跡高との比較から推定し、ハ ザード評価に取り込んだ.

第5図は沿岸において想定される津波高である. 今後100年間に想定される津波高は最大3.7m,

500 年だと最大 7.7 m, 1,000 年間では最大 11.5 m と高くなる.また,津波ハザードは日本海沿岸部 に沿って南西部から北東部に向かって増加することがわかる.これは,MLIT の断層が西南日本で は少なく,またそれらのほとんどが横ずれ断層型であることに起因すると考えられる.また,ハザー ドの再分解からは,九州〜近畿地方における津波ハザードは遠方の活断層による寄与が大きく,中 部〜北海道地方では近傍の活断層による寄与が大きいことがわかった.

> (佐竹健治・石辺岳男・室谷智子) SATAKE Kenji, ISHIBE Takeo, MUROTANI Satoko

謝辞

本研究は,文部科学省受託研究「日本海地震・津波調査プロジェクト」の一環として実施されました.記して感 謝いたします.

参考文献

- 1) 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, https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/
- 2) 文部科学省研究開発局・国立大学法人東京大学地震研究所 (2021), 日本海地震・津波調査プロジェクト令和 2 年 度成果報告書,

https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/Japan_Sea/JSR2Report/index.html

- 3) Murotani et al. (2022), Earth Planets Space, 74, 52, https://doi.org/10.1186/s40623-022-01607-4
- 4) Satake et al. (2022), Earth Planets Space, 74, 36, https://doi.org/10.1186/s40623-022-01594-6
- 5) Mulia et al. (2020), Earth, Planets Space, 72, 123, https://doi.org/10.1186/s40623-020-01256-5
- 6) Satake (1989), J. Geophys. Res., 94, 5627-5636, https://doi.org/10.1029/JB094iB05p05627
- 7) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2020), 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf
- 8) 武村 (1998), 地震第2輯, 51, 211-228, https://doi.org/10.4294/zisin1948.51.2_211
- 9) Satake and Abe (1983), J. Phys. Earth, 31, 217-223, https://doi.org/10.4294/jpe1952.31.217
- 10) Mai and Beroza (2002), J. Geophys. Res., 107, ESE 10-1-ESE 10-21, https://doi.org/10.1029/2001JB000588



- 第1図 東北日本背弧域の震源断層.赤は日本海における大規模地震に関する調査検討会¹⁾,青・グレーは日本海 地震・津波調査プロジェクト²⁾による.青と赤で示した海域の断層からの津波について調査した.
- Fig. 1 Fault models in the backarc of Northeast Japan. Tsunami generation and propagation from submarine faults (red: MLIT, blue: JSPJ) are examined. Gray rectangles are inland faults by JSPJ.



- 第2図 1983年日本海中部地震の津波痕跡高と、Satake⁶, JSPJ 断層モデルに基づく津波高の比較. K, κ はそれぞ れ痕跡高と計算高の比の幾何平均とその標準偏差で、ともに1に近いほど両者の一致度が高いことを示す.
- Fig. 2 Tsunami trace heights and computed coastal heights from fault models of Satake⁶⁾ and JSPJ for the 1983 Japan Sea earthquake. K and κ show the geometrical mean and standard deviation for the ratios of observed to computed heights. When the both values are closer to 1, the agreement is better.



- 第3図 1964年新潟地震の津波痕跡高と Satake and Abe⁹, JSPJ の断層モデルに基づく津波高の比較.
- Fig. 3 Tsunami trace heights and computed coastal heights from fault models of Satake and Abe⁹⁾ and JSPJ for the 1964 Niigata earthquake.



- 第4図 東北地方沖合の190の断層モデルに基づく津波高の頻度分布²⁾. 緑は単独の67断層,赤はそれらの連動(123 通り)によるもの. レシピ(ア)によるすべり量を仮定した.
- Fig. 4 Histogram of coastal tsunami heights computed from 190 fault models off Tohoku region²⁾. Green is for 67 singlesegment rupture scenarios, and red is for 123 multi-segment rupture scenarios. The slip amounts derived from Recipe A are used for the calculation.



- 第5図 確率論的な津波予測における日本海沿岸の津波高⁵⁾. 再来期間 1000 年(上),400 年(中),100 年(下) の津波高を示す.
- Fig. 5 Coastal tsunami heights based on probabilistic tsunami hazard analysis⁵⁾. Tsunami heights for return period of 1000 years (top), 400 years (middle) and 100 years (bottom) are shown.