

日本海東縁部で発生する地震津波に関する災害アセスメント

鈴 鹿 陽*・高橋智幸**・松富英夫***

日本海東縁部には近年、大規模な地震津波が発生しているプレート境界が存在する。その周辺には地震空白域が存在し、近い将来の大地震の発生が懸念されている。これらの地震空白域については農林水産省ら(1996)が被害想定を、地震調査研究推進本部(2003)が地震活動の長期評価を行っている。しかし、日本海東縁部は地質年代的に新しいためプレートの相互関係が明瞭でない上、観測網の整備が遅れており、信頼性の高い想定地震を得るに至っていない。そこで本研究では、農林水産省らと地震調査研究推進本部のモデルを基に、それらの想定とは異なるパターンで地震津波が発生した場合の危険度評価を行った。

1. はじめに

ユーラシア・プレートとオホーツク・プレート(あるいは北米プレート)の境界である日本海東縁部では、1983年日本海中部地震や1993年北海道南西沖地震などの津波を伴う巨大地震が多く発生している。そして、その周辺には近年巨大地震の発生していない地域(第一種地震空白域)が存在し、近い将来の地震発生が懸念されている。これらの地震空白域については農林水産省ら(1996)が津波の被害想定を実施しており、これを基にして秋田県などの日本海沿岸の自治体は地域防災計画を策定している。しかし、地震調査研究推進本部(以下、推本)(2003)が最近の地震研究の成果を踏まえて地震活動の長期評価を行っており、津波についても新たな危険度評価が必要な時期に来ている。また、日本海東縁部は南海トラフや日本海溝、千島海溝と比べて地質年代的に新しいためプレートの相互関係が明瞭になっておらず、さらに観測網の整備が遅れているため、信頼性の高い想定地震を得るに至っていない。したがって、各機関の想定モデルに加えて、これらの想定とは異なるパターンで地震津波が発生する場合の危険度評価を行っておく必要がある。

想定地震を構成する断層パラメータのうち、断層位置や寸法、すべり量については、地震空白域などの情報を基にして、防災上必要とされる精度で決定することが可能である。しかし、走向や傾斜角、すべり方向については一意的に決定できるほどの情報は得られていない。特に、走向は津波エネルギーの指向性に強く影響を与え、日本海東縁部のように震源域と沿岸部が近い場合は津波高分布に大きく影響してくる。

そこで本研究では、農林水産省らと推本のモデルを基に各断層パラメータに関するパラメータ・スタディを実施し、東北地方の日本海側における津波来襲の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 津波に関する数値解析

(1) 計算条件

計算範囲は、農林水産省ら並びに推本の相定域を基にして、西経136.5度から140.5度、北緯36.7度から41.3度の青森県津軽半島から石川県能登半島を含む日本海沿岸とした。本計算で用いた地形条件を図-1に示す。津波の伝播計算は、線形長波理論をStaggered Leap-frog法によって差分化し、陸側を鉛直壁、海側を自由透過として実施した(高橋, 2002)。格子間隔は1215m、時間間隔は1秒、再現時間は2時間とした。なお計算の安定のため、打ち切り水深を10mに設定してある。

断層モデルとしては、農林水産省らと推本の想定震源域の中から、今後30年以内の地震発生確率が最も高い佐渡島北方沖想定震源域(E138.58, N38.7, 長さ140km, 幅34km, 傾斜角45°, 走向9°, すべり量314cm, M7.8, 以下、佐渡島北モデル)と秋田県沖想定震源域(E139.41,

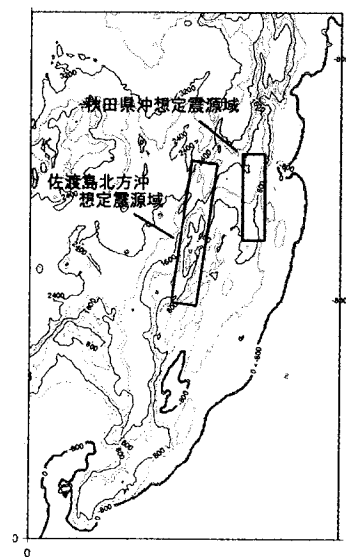


図-1 地形条件及び外力条件

* 学生会員 秋田大学大学院工学資源学研究所
** 正会員 博(工) 秋田大学助教授 工学資源学部土木環境工学科
*** 正会員 工 博 秋田大学助教授 工学資源学部土木環境工学科

N 39.23, 長さ 90 km, 幅 24 km, 傾斜角 30°, 深さ 20 km, 走向 0°, すべり量 224 cm, M 7.5. 以下, 秋田沖モデル) を選択した (図-1)。ただし, 推本の資料では佐渡島北モデルと秋田沖モデルの断層基準位置の緯度・経度, 走向とすべり方向が明示されていないため, 断層基準位置と走向は図から読み取った値を用い, すべり量は想定地震の地震モーメントより算出した。各ケースの断層パラメータから Mansinha・Smylie (1971) の理論を用いて津波波源を求めて初期条件とした。

(2) パラメータ・スタディ

次の方法でパラメータ・スタディを実施し, 沿岸部での津波高分布の変化を調べた。

- すべり方向を 45 度から 180 度まで 45 度間隔で変化させた 4 ケース。
- 想定地震の地震モーメントより算出したすべり量を基本として, 90% から 110% まで 5% 間隔で変化させた 5 ケース。
- 深さを 0 km, 1 km, 10 km, 20 km と変化させた 4 ケース。
- 走向を 5 度間隔で 1 回転させた 72 ケース。

3. 計算結果

(1) すべり方向及びすべり量の変化と津波高との関係

すべり方向の変化と津波高分布を比較した結果, 両モデルともすべり方向が 90 度のときに津波高が最も高くなるという関係が得られた (図-2)。これは逆断層の時に, 断層運動に伴う地盤変動の鉛直方向成分が大きくなるためである。また, 秋田沖モデルでは走向が 180 度のときの津波高分布は全体的に低く, 他の 3 通りの津波高分布のように突起した分布が見られなかった。

また, すべり量の変化と津波高分布を比較した結果, 両モデルとも, すべり量の増加に伴い津波高は全体的に増大するという関係にあることが確認できた (図-3)。ただし, 増大する傾向は一樣ではなく, 秋田沖モデルで

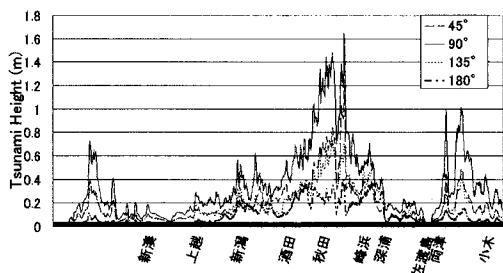


図-2 すべり方向の変化と津波高との関係(秋田県沖想定震源域)

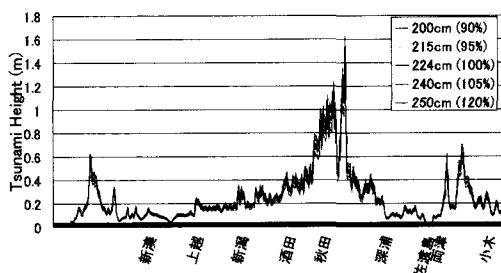


図-3 すべり量の変化と津波高との関係(秋田県沖想定震源域)

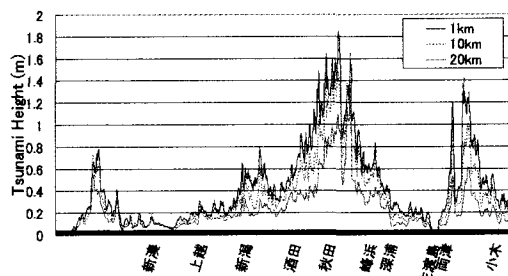


図-4 断層の深さと津波高との関係(秋田県沖想定震源域)

は, 秋田県の沿岸部で増大する傾向が大きく, 富山県及び青森県の沿岸部では小さかった。また, 佐渡島北沖モデルでは能登半島及び山形県, 秋田県沿岸部で増大する傾向が大きく, 佐渡島及び新潟県, 青森県沿岸部で小さかった。

(2) 深さの変化と津波高との関係

断層の深さと津波高分布の比較を図-4 に示す。全体的には深さが 1 km と 0 km の場合が最も高くなった (1 km と 0 km の場合は同様の津波高分布を示すため, 同図では 0 km の分布は省いてある)。ただし, 秋田沖モデルでは深さが浅くなると, 秋田から酒田の間に最大の津波高が分布し, 1 m を超える津波が来襲する。それらに比べ, 上越付近では津波高の変化は小さかった。一方, 佐渡島北沖モデルでは浅くなると, 酒田付近に高い津波高を生じたが, その他の地点では大きな変化は見られなかった。

(3) 走向の変化と津波高との関係

a) 走向を一回転させた時の津波高の変化

走向の変化と津波高との関係を検討した。パラメータ・スタディの方法は, 想定震源域の断層の中心として, 5 度間隔で断層を一回転させて沿岸部に来襲する津波高分布の変化を見るものである。この際, すべり量はマグニチュードより算出した値を採用し, すべり方向は上述の結果を踏まえ 90 度とした。また, 推本モデルを標準として走向を変化させた時の各地点での最大津波高を発生

させる走向をその地点での最大モデルと定義した。断層を一回転させたときの推本モデルと最大モデルの比較を図-5に示す。

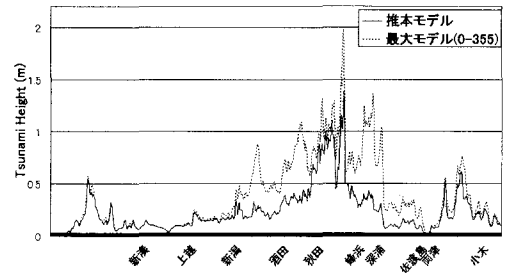
秋田沖モデルによる津波高分布の変化を見ると、新潟から青森県津軽半島にかけて津波高分布の変化が比較的大きく、能登半島及び佐渡島は津波高分布の変化が小さかった。特に日本海中部地震津波の際に被害が大きかった峰浜付近は推本モデルの約3倍の津波高を生じた。そのほかに酒田、新潟付近も推本モデルの約3倍の津波高分布を示した。一方、佐渡島北沖モデルを見ると秋田沖モデルと同様に、新潟から青森県津軽半島にかけて及び佐渡島で津波高分布の変化が比較的大きかった。地点ごとに見ると、峰浜付近及び佐渡両津付近では推本モデルの約4倍の津波高が発生し、新潟付近では約2倍、秋田付近では津波高が3mに達している。

次に半回転ごとの最大モデルと推本モデルを比較したものを図-6に示す。秋田沖モデルを見ると断層を時計回りに半回転させた場合の最大モデルは新潟から秋田にかけて高い津波高分布を示している。また逆回りに半回転させた最大モデルは峰浜、深浦付近に高い津波高が分布し、逆に秋田を境に北部沿岸では低い津波高が分布している。また、能登半島、上越及び佐渡島では津波高分布の変化は殆ど見ることが出来なかった。佐渡島北沖モデルを見ると、両回転共に同じような津波高分布を示した。地点別に見ると酒田、秋田ではどちらの最大モデルでも高い津波高分布を示しており、酒田では推本モデルと両最大モデルに格差はあまり見られないのに対し、秋田、新潟付近では推本モデルの約2倍の津波高がどちらの回転の場合も発生している。佐渡島に関しては、時計回りに半回転させた時の最大モデルが、逆回転させた時の最大モデルを上回る津波高を示している。

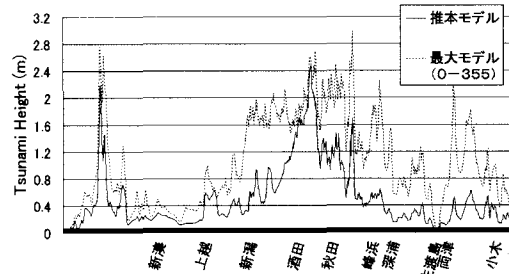
b) 歪集中帯内の走向の変化と津波高との関係

日本海東縁部の想定震源域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(歪集中帯)に設定されている。そこでは以前より巨大地震が発生しており、今後も発生する可能性が高い。そこで、本研究ではこの歪集中帯内で発生したと考えられている地震の断層パラメータを調べ、想定される走向の範囲を抽出した。その結果、-5度から40度及び165度から190度の範囲でいずれの地震も想定されているため、この範囲でのパラメータ・スタディを実施した。すなわち、a) では0度から355度と高い自由度で比較したが、ここではより現実的に発生する可能性の高いモデルのみを比較することとした。a)と同様に、各地の最大津波高を発生させる走向をその地点での最大モデルと定義した。歪集中帯の最大モデルと推本モデルとの比較を図-7に示す。

まず秋田沖モデルを見ると歪集中帯の最大モデルは酒

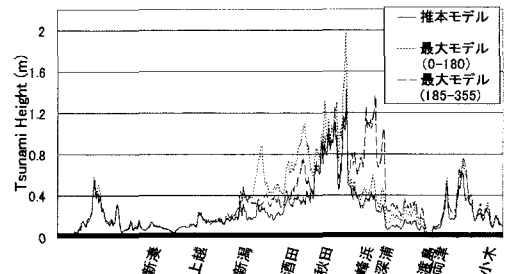


a) 秋田県沖想定震源域

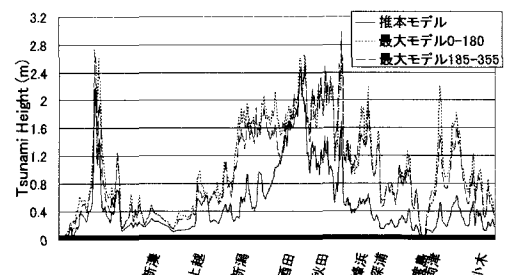


b) 佐渡島北方沖想定震源域

図-5 走向の変化(0度~355度)と津波高の関係



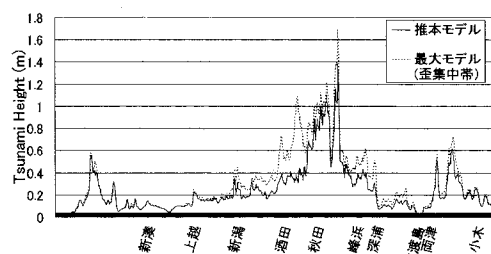
a) 秋田県沖想定震源域



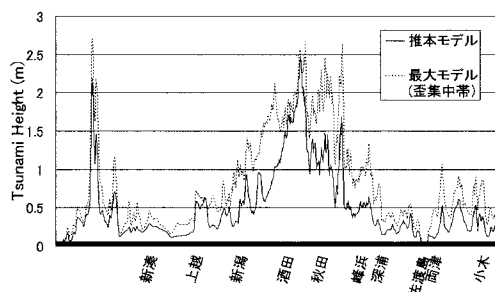
b) 佐渡島北方沖想定震源域

図-6 推本モデルと半回転ごとの最大モデルの比較

田及び秋田周辺で推本モデルよりも高い津波高分布を示している。酒田では推本モデルの津波高の約2倍に、高



a) 秋田県沖想定震源域

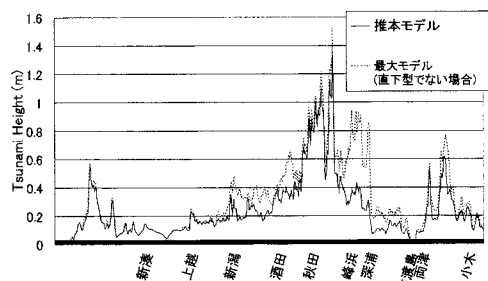


b) 佐渡島北方沖想定震源域

図一七 歪集中帯内の走向の変化と津波高の関係

いところでは約3倍に達する。また秋田付近では小刻みに津波高分布が変化し、高いところでは約1.7 mに達する。また、歪集中帯の最大モデルと推本モデルは極めて類似していることが示された。

佐渡島北沖モデルを見ると、秋田沖モデルとは異なり、歪集中帯の最大モデルの津波高分布が推本モデルのそれ



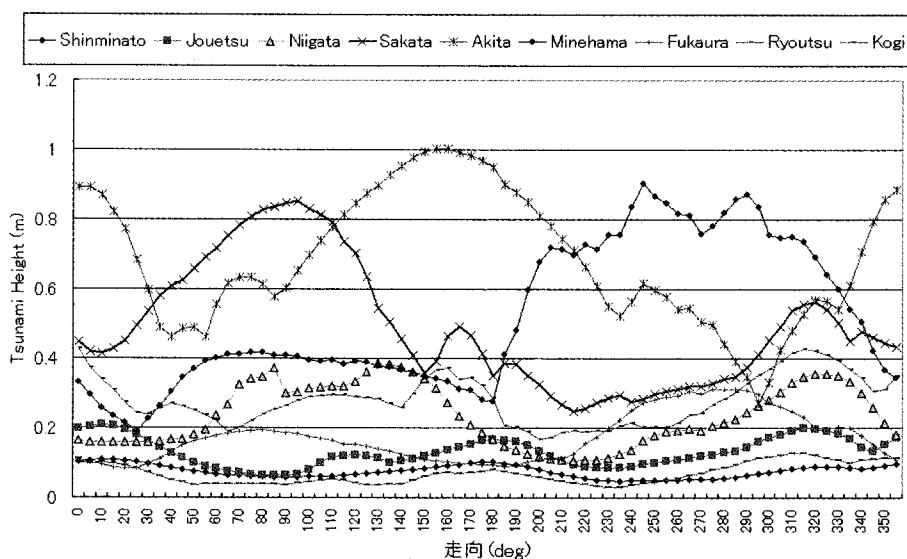
図一八 直下型ではない範囲の走向と津波との関係(秋田県沖想定震源域)

を上回っている地点が多い。地点別に見ると新潟から酒田にかけてと秋田周辺で高い津波高分布が見られ、酒田及び秋田、能登半島で2 mを超える津波高が発生している。また全体的に1 mを超える地点が多く、危険性が高いことが分かる。

c) 直下型以外の場合の走向の変化と津波高との関係

秋田沖の想定地震域の場合、これまでの方法でパラメータ・スタディを行うと、断層位置の関係上、直下型の地震になってしまうケースも含まれる。そこで、秋田沖モデルに関してのみ直下型の地震とならない走向の範囲を -45 度から $+5$ 度及び 135 度から 185 度と抽出し、この範囲の走向を変化させた時の各地の最大モデルを求めた。直下型ではない走向の範囲の最大モデルと推本モデルとの比較を図一八に示す。

直下型ではない走向の場合の最大モデルは、歪集中帯の最大モデルに類似しているが、全体的には歪集中帯の



図一九 秋田沖の走向の変化による地点ごとの津波高の変化

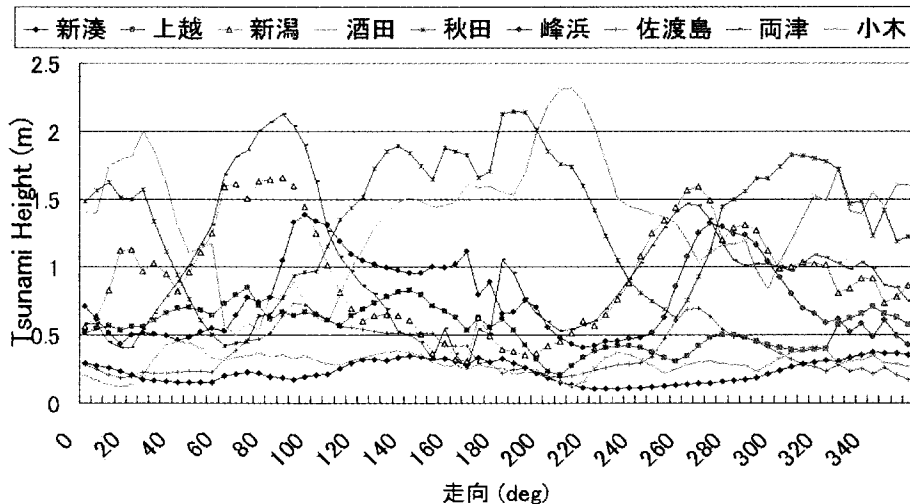


図-10 佐渡島北方沖の走向の変化による地点ごとの津波高の変化

最大モデルよりも低い津波高分布となっている。しかし、歪集中帯の最大モデルでは変化がなかった峰浜付近に推本モデルの約2倍の高さの津波高が発生している。

d) 地点ごとに見た津波高の変化の様子

これまではパラメータ・スタディの比較を沿岸部における津波高分布で行ってきたが、ここでは各地点におけるそれぞれのケースによる津波高の変化を検討する。日本海東縁部の沿岸部での代表的な地点として、上越、新潟及び酒田、秋田、峰浜、深浦と佐渡島の両津、小木を選択した。

まず、秋田沖モデルの断層を一回転させた場合の各地点の津波高の変化を図-9に示す。秋田市が走向の変化の影響を最も受けていることが分かる。また、0度から180度までの範囲では酒田市が走向の変化の影響を最も受け、185度から355度の範囲では峰浜村が走向の変化の影響を最も受けやすいことがわかる。

次に、佐渡島北モデルの断層を一回転させた場合の各地点の津波高の変化を図-10に示す。秋田沖モデルの時と同じく秋田市と酒田市が走向の影響を受けている。また佐渡両津、新潟市も周りと比較して走向の変化の影響を受けていると言ってよい。

4. おわりに

本研究で得られた結果は以下の通りである。

(1) すべり方向の変化と津波高分布を比較した結果、両モデルともすべり方向が90度のときに津波高が最も高くなる関係を得た。(2) すべり量の変化と津波高分布を比較した結果、両モデルともすべり量の増加に伴って

全体的に津波高は増大するという関係を得た。(3) 走向の変化と津波高分布を比較した。秋田沖モデルについては、震源域が沿岸部に近いため、震源域に面した地域でのみ走向変化の影響が現れた。津波高が最大となる地域に変化はないが、その周辺で津波高の増大が見られた、特に日本海中部地震津波で甚大な被害が発生した峰浜付近では推本モデルの約3倍に達した。一方、佐渡島北モデルについては、より広い範囲で走向変化の影響が現れた。津波高が最大となる地域は峰浜付近に移動し、推本モデルの約3倍に達した。ただし、推本モデルでの最大値付近では走向変化に伴う津波高の変化はないため、推本モデルはこれらの地域に最も大きな津波エネルギーが来襲する走向であると考えられる。すなわち、津波高の最大値の発生は走向に大きく関係していることを示している。(4) 歪集中帯の範囲内で走向を変化させた結果、推本モデルよりも危険度の高いモデルが得られた。

参 考 文 献

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2003): 日本海東縁部の地震活動の長期評価, 平成15年6月20日, 35 p.
- 佐藤良輔 (1989): 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会, 390 p.
- 高橋智幸 (2002): 津波の解析技術—南海地震津波を例として—, 土木学会水工学シリーズ, 02-B-5.
- 農林水産省 (1996): 日本海東縁部地震津波防災施設整備計画調査報告書, 314 p.
- Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971): The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.