

山形県における巨大津波痕跡の波源に関する基礎的検討

阿部 郁男*

1. 本研究の背景

東日本大震災では津波防災の問題点の一つとして行政機関等により事前に行われていた津波被害想定が過小であったことが挙げられている。例えば、宮城県においては 30 年以内に発生する確率が 99% 以上とされた宮城県沖地震、沖合の断層と連動することによりマグニチュード 8 クラスとなる連動型地震、1933 年の昭和三陸地震を対象として津波の被害想定が行われており¹⁾、岩手県も同様に 1896 年の明治三陸津波を近代以降の最大の被害となる津波として想定し²⁾、それに基づいた防災教育やハザードマップの作成などの防災対策が実施されてきた。しかし、宮城県では 869 年の貞観津波による堆積物が想定浸水範囲を超えて広く分布していることが指摘されており³⁾、岩手県でも 1611 年の慶長三陸津波による遡上記録が山田町津波災害誌⁴⁾に掲載されていたものの、防災計画の作成や防災教育などに積極的に活用されることはなく、多くの地域で想定を超える津波により大きな人的被害が生じた一因と考えられる。

一方、東日本大震災以降、その問題点を踏まえて各地で想定の見直しが行われている。例えば、山形県においては、政府による最大クラスの津波を発生させる津波断層モデルが公表されたことにより 2016 年に津波被害想定⁵⁾が行われており、それに基づき津波浸水区域が設定され、ハザードマップの作成や防災教育などの津波防災対策の検討が進められようとしているが、最大クラスの津波による想定津波範囲を超えた場所に津波による堆積物が存在することも指摘されている⁶⁾。そこで、最大クラスとされる津波被害想定を超

える津波の発生原因を推定することが、今後の津波防災対策の検討に必要なのではないかと考えられるため、今回の検討を試みた。

2. 既往断層モデルによる庄内平野における津波水位の分析

山形県を対象とした津波被害想定では庄内平野の前面に F34 断層が想定されており、庄内平野で推定される津波の最高水位は 11m 程度となっている。一方、津波堆積物とみられるイベント層の最高位は庄内平野の北部で 20.5m、南部で 37.9m とされており⁶⁾、山形県による津波被害想定から推定される津波水位よりも非常に大きな値となっている。そこで、最初に庄内平野に最も影響の大きい断層と考えられる F34 断層の北側のみ⁷⁾をベースとして、すべり量を 2 倍、5 倍、10 倍、15 倍と変化させて津波が到達する水位を解析することとした。津波数値解析の条件を図 1 と表 1 に示した。なお、本来であれば当時の地形を再現して数値解析を行うべきであるが、デジタル伊能図により 200 年前の海岸線を確認したところ、現在の海岸線との大きな違いが酒田港の開発に伴うもののみであったため現況の地形データをそのまま利用した。また、

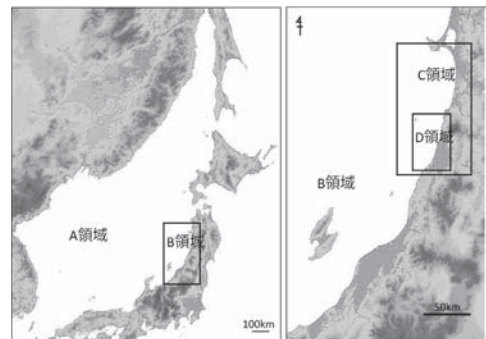


図-1 数値解析における計算対象領域の設定

* 常葉大学社会環境学部

表-1 数値解析における計算対象領域の諸元

領域名	メッシュサイズ (m)	メッシュ数	計算条件
A	1350	1200 × 1500	線形長波 / 陸側完全反射 / 領域外自由透過
B	450	480 × 810	非線形・浅水理論 / 陸側遡上 / 粗度は一律 0.025 を設定
C	150	510 × 750	
D	50	780 × 1170	



図-2 庄内平野北部における津波水位の出力ライン



図-3 庄内平野南部における津波水位の出力ライン

津波水位については北部、南部での最高位が確認された場所に向かって海岸線からの水位の変化を示すこととした。津波水位を出力したラインを図2および図3に、すべり量を変化させた場合の津波水位の状況を図4および図5に示した。

図5に示すように、庄内平野南部の津波水位出力ライン上には20mを越える標高の砂丘があることによって、すべり量5倍以上となった場合にのみ砂丘を越えて津波が遡上し、その遡上高は、すべり量10倍の場合に

25.7m、すべり量15倍の場合に45.2mとなる。また、庄内平野北部の津波水位出力ライン上での津波の遡上高は、すべり量10倍の場合は14.2m、すべり量15倍の場合は25.1mとなる。これらの結果から、すべり量が13倍程度であれば、津波堆積物とみられるイベント層の最高位（庄内平野の北部で20.5m、南部で37.9m）の高さまで遡上すると考えられたため、F34断層の北側のすべり量を13倍とした数値解析も実施した。その結果として、図6に示すように庄内平野北部の津波水位出力ライン上での遡上高は21.8m、また図7に示すように庄内平野南部の津波水位出力ライン上での遡上高は35.1mとイベント層の最高位に近い値が得られた。また、この条件での最大津波水位の分布を図8に示した。庄内平野北部には20m前後、南部には40m前後の最大水位となる結果が得られた。

3. 地震断層運動以外の発生原因に関する分析

前述のとおりF34断層の北側のすべり量を13倍とした場合に、イベント層で確認された最高位と同程度まで津波が遡上することが確認できた。この場合の地震断層のすべり量は70.85mとなる。地震断層のすべり量はスケーリング則から求めることが可能であるため津波予報にも利用されており¹¹⁾、例えば、マグニチュード9.0の場合には約20mとなるが、東北太平洋沖地震では、遠地実体波の解析からは28m⁸⁾、近地強震記録を用いた解析からは48m⁹⁾、津波の観測記録からは最大

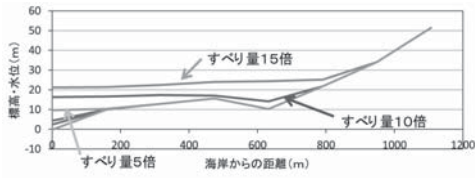


図-4 庄内平野北部におけるすべり量ごとの津波水位の変化

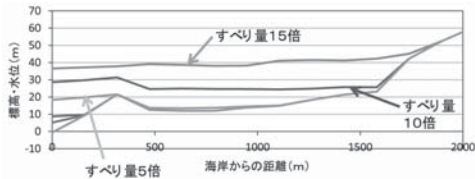


図-5 庄内平野南部におけるすべり量ごとの津波水位の変化

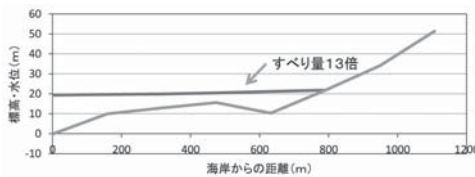


図-6 すべり量13倍での庄内平野北部における津波水位の変化

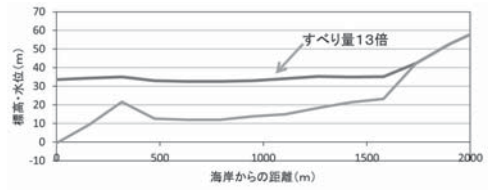


図-7 すべり量13倍での庄内平野南部における津波水位の変化

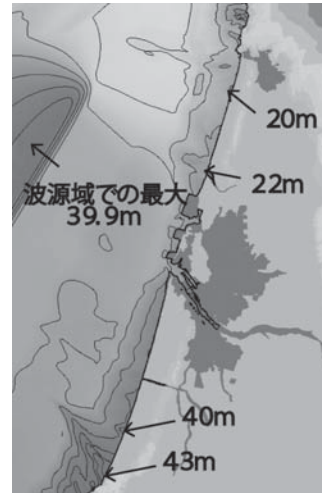


図-8 すべり量13倍での最大津波水位の分布

69m¹⁰⁾ などの様々な解析結果が報告されている。地震断層のすべり量には東北太平洋沖地震での解析事例のように局所的な大小が報告されているが、東北太平洋沖地震のすべり量69mの場合でもスケーリング則から推定される平均すべり量の3.5倍程度である。つまり、今回の検討で得られた70.85mのすべり量は東北太平洋沖地震と比較しても非常に大きな値であり、断層運動のみが原因でこのような巨大な津波が発生したとは考え難い。そこで、庄内地方周辺の海底地形を確認したところ、酒田港の約30km西南西に周辺とは異なる海底地形がみられるため、その場所に津波波源を設定して庄内平野への津波来襲状況の分析を行った。波源の設定場所については図9に示しているが、図9では海底の地形変化が判別できるように水深25m間隔で等深線を描

いている。今回の検討においては、長さが約15km、幅が約9kmの波源を設定し、その波源で発生する津波の規模を段階的に上げてゆき、庄内平野北部および南部での津波水位出力ライン上での遡上高がイベント層の最高位に近い値になるまで計算を行った。結果として、図9に示す波源域で最大134mの津波が発生した場合に、庄内平野南部の津波水位出力ライン上での遡上高37.6m、庄内平野北部の津波水位出力ライン上での遡上高25.5mと津波堆積物とみられるイベント層の最高位(庄内平野の北部で20.5m、南部で37.9m)に近いまたは上回る高さまで遡上することが確認できた。図10には、波源域での最大水位の変化とそれぞれの津波水位出力ライン上での遡上高を示した。

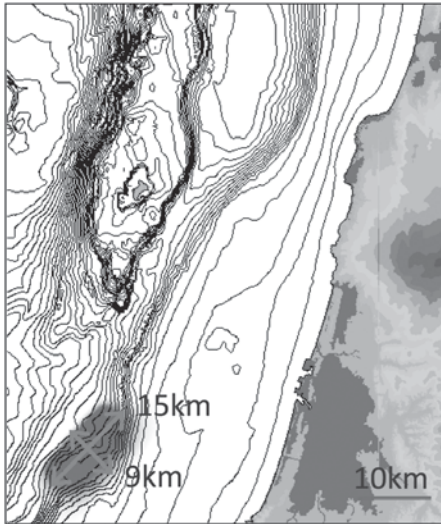


図-9 波源域を設定した場所と海底地形の関係

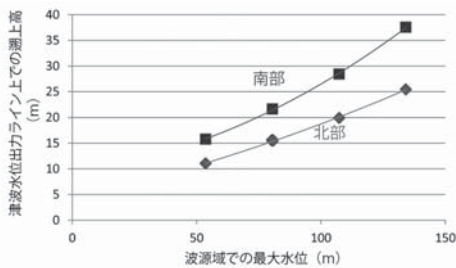


図-10 波源域での最大水位と津波水位出力ライン上での遡上高との関係

4. 巨大津波が発生した場合の浸水範囲の想定

今回の検討のまとめとしてイベント層の最高位まで達するような巨大津波が発生した場合の浸水範囲の想定を行うこととした。数値解析の条件は図1, 表1に示したとおりであるが, この解析では土地利用条件に合わせた粗度を設定し, 堤防等の構造物を取り除き, 津波の波源として図9に示す場所で最大134mの津波発生を想定した条件で数値解析を行った。数値解析から求められた酒田駅周辺の浸水範囲を図11に示す。山形県によ

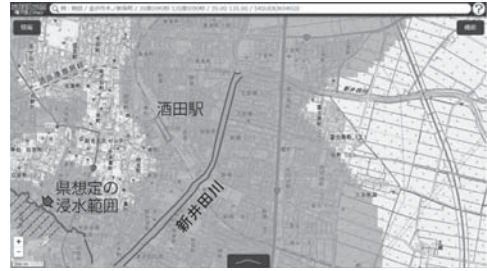


図-11 波源域を設定した場所と海底地形の関係

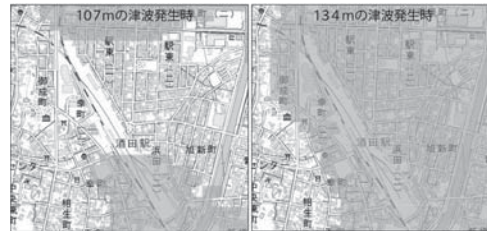


図-12 発生する津波の高さが変わった場合の浸水範囲の違い

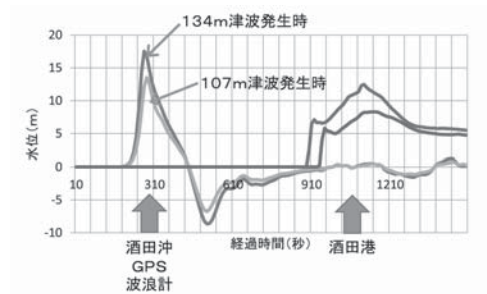


図-13 GPS波浪計と酒田港での津波水位の変化

る津波被害想定では, 当該領域での津波浸水範囲はごく一部であり, そのほかに新井田川沿いに僅かに浸水範囲が広がる程度であるが, 津波堆積物の可能性が指摘されているイベント層の最高位まで到達するような津波が発生した場合は, 図11に示すように山形県の被害想定の上水範囲を大きく超えて酒田駅周辺まで津波が到達する可能性があることが分かる。また, 図9の波源で発生する津波の高さが変わった場合には浸水範囲も大きく異なり, 例えば, 図12に示すように発生する津波の高さを107mとした場合には, 酒田駅の東側にある地域へは津波が到達しなく

なる。このような局所的に大きな津波が発生した状況に、現在、公表されている被害想定や津波警報システムは対応できていないため津波観測情報の活用が津波からの避難に重要ではないかと思われる。この時の、酒田沖に設置された GPS 波浪計と酒田港の験潮所への津波到達状況を抽出した結果を図 13 に示す。津波発生約 5 分後に酒田沖 GPS 波浪計に津波が到達した後、酒田港へ津波が入り込むのは 10 分程度の時間があることが分かる。134 m の津波発生を想定した場合には酒田沖 GPS 波浪計での水位は 17.5m に達し、107m の津波が発生した場合には 14.1m である。このような津波観測情報と連携した津波防災対策や避難計画策定を実現することができれば、現在の想定を超えるような津波が発生した場合でも人的被害を軽減できるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 宮城県防災会議地震対策等専門部会：宮城県地震被害想定調査に関する報告書，211p., 2004.
- 2) 岩手県：岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書（概要版），191p., 2004.
- 3) 宍倉正展，澤井祐紀，行谷佑一，岡村行信：平安の人々が見た巨大津波を再現するー西暦 869 年貞観津波ー，AFERC ニュース，No.16, pp.1-10, 2010.
- 4) 山田町教育委員会：山田町津波災害誌，845p., 1982.
- 5) 山形県：山形県津波浸水想定・被害想定調査（概要），39p., 2016.
- 6) 山野井 徹，門叶冬樹，加藤和浩，山田 努，鎌田隆史，今野 進：山形県庄内砂丘に挟まれる 2 層の古津波堆積物，地質学雑誌，第 122 巻，第 12 号，pp.637-652., 2016.
- 7) 中央防災会議：日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書，データ集②，[断層パラメータの設定]，27p., 2014.
- 8) 気象庁：平成 23 年（2011 年）東北太平洋沖地震ー遠地実体波による震源過程解析（暫定）ー，<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/event/20110311far.pdf>，参照 2017-05-07.
- 9) 鈴木 亘，青井 真，関口春子：近地強震記録を用いた 2011 年 03 月 11 日東北太平洋沖地震の震源インバージョン解析（2011/08/12 改訂版），http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/TohokuTaiheiyo_20110311/inversion/，参照 2017-05-07.
- 10) 佐竹健治，藤井雄士郎，原田智也，行谷佑一：津波波形からみた 2011 年東北太平洋沖地震のすべり量の時空間分布，<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/2013/06/03/time-and-space-distribution-of-coseismic-slip-of-the-2011-tohoku-earthquake-as-inferred-from-tsunami-waveform-data/>，参照 2017-05-07.
- 11) 林 豊：津波予報への数値シミュレーション技術の活用，<https://www.metsoc.jp/kyoikuhukyu/resume/Hayashi.pdf>，参照 2016-12-19.