

# 日本海で発生する可能性のある地震津波が新潟県沿岸域に与える影響の把握

水工学研究室 政井雄大  
指導教員 犬飼直之

## 1 はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震以降、各地で巨大地震の今後の発生予測に対する検討が行われているが、新潟県沿岸域についても発生が予想される津波の評価が必要である。

ここで沿岸域に到達する津波からの防災に必要なこととして、速やかな避難、適切な避難場所の確保、適切な避難経路の確保などが考えられる。そのためには、津波発生の有無、津波の到達時間や到達規模、伝播状況などの情報が必要となる。

現在の津波速報では、地震発生数分後に津波の有無や到達予測時間、大よその水位変動量が速報されるが、新潟市街地は低平地であるので、震源に近い沿岸域の住人や海岸付近での職業者および行政関係者などは、迅速に津波発生の可能性などを判断できる事が望ましい。

また現在の津波予測手法は震源域や断層パラメータを推定し、その情報から震源域の隆起量を計算し津波伝播シミュレーションで被害を推定しているが、この方法では、実際に地震が発生した際に推定した震源域とずれが生じた場合に津波の評価がしづらいことから、一箇所だけでなく広い領域で津波の評価ができることが望ましい。

そこで本研究では津波情報を補う事を目的に、地震による津波発生の有無、津波の規模を予測する基準を考案した。

また、津波発生時の震央周辺の地盤変動規模を簡易的に推算して津波伝播計算に利用する手法を改良し、それを新潟県沖での仮想津波へ適用し、新潟県沿岸域への沿岸域へ到達する時間および規模を予測することを目的とした。

## 2 津波発生の有無の判断指標の改良

### 2.1 地震エネルギーと震源深情報を用いた最大水位変動量の推定

能登(2009)は、海底で発生する地震エネルギーMと震源の深さD(km)の関係から津波発生の判断する指標を開発した。しかしこの指標の開発以降、東北地方太平洋沖地震津波を含む数件の地震津波が発生しており、判断基準が変化している可能性がある。また、津波が発生する条件であっても津波が発生しないなど、到達規模の大きさに差がみられる。そこで既往研究以降に発生した津波地震の地震エネルギーと震源深さの情報に加え、新たに震源の水深、最大水位変動量の情報を追加した。

新たに加えた地震エネルギーと震源深さの情報のうち、2009年までのデータは気象庁気象業務支援センター発行の地震年報2009年版から、2010年から2012年までは地震調査研究推進本部のデータを利用した。また震源の水深の大きさはNGDCが提供する全球の地形情報を1分格子で表現したETOPO1データセットに緯度・経度を入力して求めた。

図-1に、地震エネルギー、震源深さ、震源の水深の3軸のグラフに、津波の海岸到達時の最大水位変動量を300cm以上を同一のスケールとし球径と色で示した。

図-1では、最大水位変動量の大きい点は震源の水深が浅く、且つ地震エネルギーの大きい位置に分布している。

図-2は図-1を地震エネルギーと震源深さの関係を表す平面で示したものである。図より津波はM6.21以上の地震で発生しており、最大水位変動量が1m程度の津波はM6.5以上の地震、3m以上の津波はM7.3以上の地震で発生している。

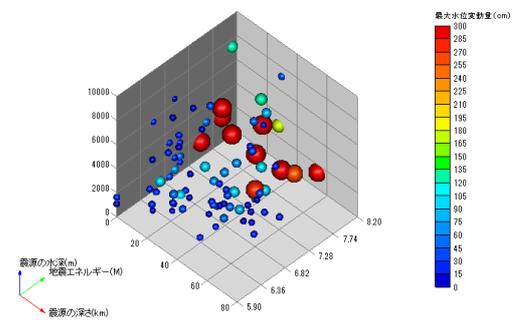


図-1 Mj・震源深さ・水深と最大水位変動量 (300cm以上の球径は同一のスケール)

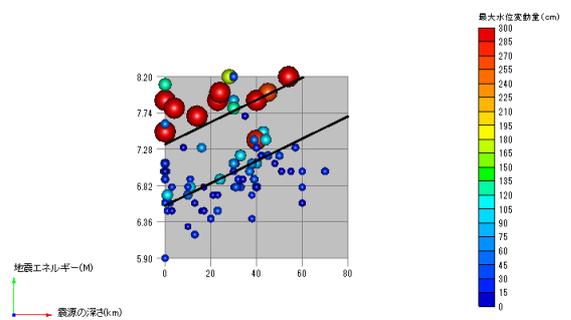


図-2 Mj・震源深さと最大水位変動量 (300cm以上の球径は同一のスケール)

## 2.2 グリーンの法則を用いた最大水位変動量の推定

まずグリーンの法則について、水深  $h_1$  の沖合での津波の高さを  $H_1$ 、水深  $h$  の沿岸での津波の高さを  $H$  としたとき式 (1) の関係が成り立つもので、気象庁では  $h=1\text{m}$  として沿岸での津波の高さに変換している。ここで到達する津波の高さ  $H$  を求めるには、沖合での津波の高さ  $H_1$  を知る必要があり、そのために地震による海底地盤の変位量計算が必要となる。

変位量計算の計算手法は Okada(1992)の手法を用いた。Okada(1992)は、半無限均質媒質において、有限矩形断層が一樣な食い違いを起こした時、媒質中の任意の点に生じる変位を弾性体理論に基づき導いている。その Okada によって公開されているフォートランのサブルーチンを利用し、そこに断層パラメータを入力し任意の位置での地盤変位量の計算を行った。

この手法を用いて、既往地震のうち断層パラメータと験潮記録の残っている 13 ケースについて地盤変動量を算出し、各地点の地盤変動量と水深をグリーンの法則に代入し計算した。その最大値と実際の験潮記録の最大値を比較した図を図-3 に示す。図をみると計算結果の方が値が大きくなっている。これは、海底地盤の隆起量を沖合での津波の高さとして適用したためと考えられる。そこで、2014 年の臼井の研究より海底地盤の隆起量に対する水面応答率は 20%から 40%程度であることから、隆起量と震源の水深に補正係数 40%を掛け合わせ験潮記録との比較を行った図を図-4 に示す。図から、概ね 40%以下に分布していることがわかる。このことからグリーンの法則における沖合での津波の高さに海底地盤の隆起量を適用する場合の補正係数は 40%と決定した。

## 3 新潟沖で今後発生の可能性のある津波の予測

### 3.1 計算条件

地震調査委員会 (2003) では、北海道沖から新潟県沖にかけての日本海東縁部を 8 つの領域に区分して今後の巨大地震を予想している。それによると、この中で 50 年以内に日本海で  $M7.5$  以上の地震が起こる可能性が最も高い海域は佐渡島北方沖であり、地震の規模は、過去に日本海で発生した地震の最大値から  $M7.8$  程度であると想定されている。

図-5 に地震調査委員会による領域区分と、記録がある  $M7.5$  以上の地震の震源地、ユーラシアプレートと北米プレートの境界を示す。この規模で地震が発生すると津波の発生が予想される。また、連動型地震を想定した津波予測についても検討する必要がある。

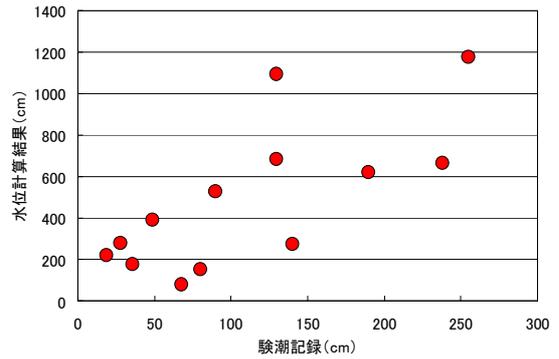


図-3 験潮記録と水位計算結果

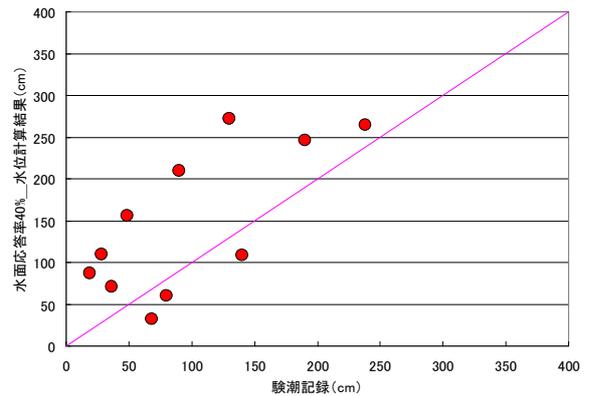


図-4 験潮記録と水面応答率 40%の水位計算結果



図-5 領域区分と  $M7.5$  以上の震源地域

$$H = H_1 \cdot (h_1/h)^{(1/4)} \quad (1)$$

$$\log MAX = 0.48M - 1.73 \quad (2)$$

$$\log H (MAX) = 0.35M - 1.45 \quad (3)$$

$$\log MIN = 0.52M - 2.32 \quad (4)$$

$$\log H (MIN) = 0.37M - 0.97 \quad (5)$$

$$\log W = 0.42M - 1.61 \quad (6)$$

$$\log L = 0.63M - 2.86 \quad (7)$$

### 3.2 震央付近での地盤変動量の把握

地震津波の伝播計算を行うためには、海底地盤の隆起量などを求める必要がある。加藤（2010）では地震発生直後の少ない情報からこれらの情報を推算する事を可能にした。それぞれの関係式を式(2)～(7)に示す。ここで、MAX/MIN：最大/最小隆起量、H(MAX)/H(MIN)：隆起量の震央からの距離、W：断層幅、L：断層長さ、である。式(2)より M7.8 の場合の最大隆起量は約 110cm となる。

### 3.3 グリーンの法則を用いた到達水位及び到達時間の予測

最大隆起量 110cm を式(1)の H1 とし水面応答率 40% の補正係数を適用し、今後新潟県沖で発生すると予想される佐渡島北方沖での最大水位変動量を確認した。その結果を図-6 に示す。図から想定場所で発生した津波が新潟県沿岸域へ到達する最大水位変動量は 2.4m 程度であると確認できた。また、想定場所よりも沖で発生した場合、最大変動量は 3m などに増大する可能性がある。

次に新潟県主要都市への津波到達時間を計算した。計算手法としては津波の伝播速度は地形と水深にのみ依存することから、主要都市の沿岸からの津波の伝播時間を計算し、津波の発生位置と重ね合わせ到達時間を確認した。その結果を図-7、図-8 に示す。図より津波先端部は、新潟市で 25 分程度、糸魚川市では 35 分程度で到達することが確認できた。

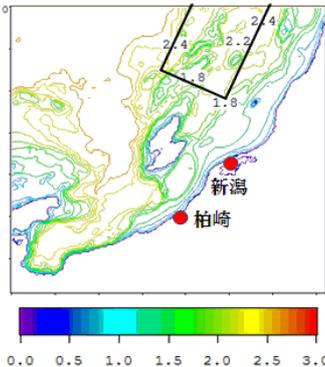


図-6 佐渡島北方沖で発生する仮想津波の最大水位変動量（単位：m）

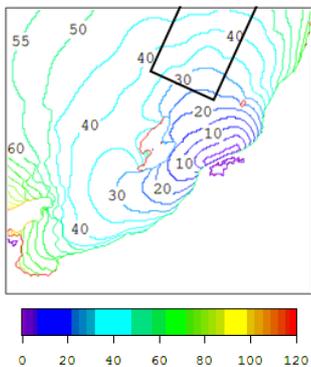


図-7 新潟市からの津波の伝播時間（単位：分）

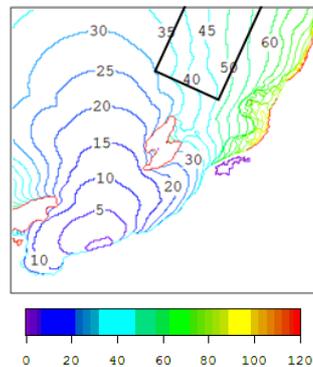


図-8 糸魚川市からの津波の伝播時間（単位：分）

### 3.4 想定震源域からの津波伝播シミュレーション予測

震源域で津波が発生した場合の伝播状況を把握するためにシミュレーションを実施した。シミュレーションに必要なパラメータの決定は式(2)～(7)を用いた。これらより得られた佐渡島北方沖の地震の断層パラメータは震央座標 E138.8, N39.2, エネルギー M7.8, 最大隆起量 1m, 最大沈降量 1m, 断層長さ 150km, 断層幅 80km, 断層の走行角 8° となった。図-9 に地震発生後の地盤の変動状況を示す。図より、領域は北を基準として時計回りに 8 度方向傾斜した方向を軸に日本側が隆起して中国大陸側が沈降している。

津波の先端部の伝播状況を把握するために、図-10 に新潟県沿岸域の到達時間の分布図を示す。また、図-11 に新潟県沿岸域の最大水位分布図を示す。

図-10 より、佐渡島北部へは 10 分程度で到達し、新潟県北部付近では地震発生後 20 分程度、新潟市周辺では 25 分程度、新潟県南部付近では 40 分程度で到達する。柏崎沿岸域付近で伝播時間が一番遅い。また、新潟県南部沿岸域では、新潟市方向から沿岸域を進行してきた津波よりも佐渡島の沖合から佐渡島と能登半島の間を伝播してきた津波の方が早く到達する。

図-11 より、新潟県沖から西方向の能登半島沖にかけて津波の最大水位量は 2m を超えるが、日本の沿岸域に到達する最大水位は佐渡島で 1.5m, 新潟県北部で 1m 程度となる。この変動量では現状では堤防を越水するなどの被害が生じる可能性は低いと考えられるが、港内の船の転覆などの被害が生じたり、海岸の形状や水深変化効果により水位が更に増幅される可能性があり、今後詳細地形において海岸域到着後の津波挙動を検討する必要があると考えられる。

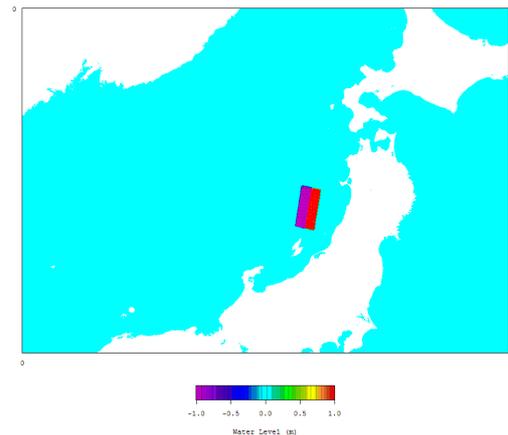


図-9 仮想地震による地盤の変動状況

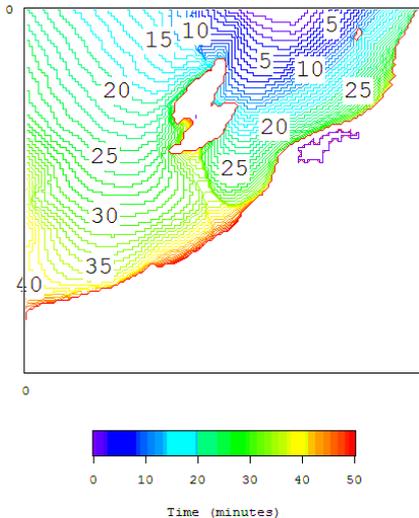


図-10 津波の先端部の伝播時間（新潟県沿岸域，津波発生をゼロ）（単位：分）

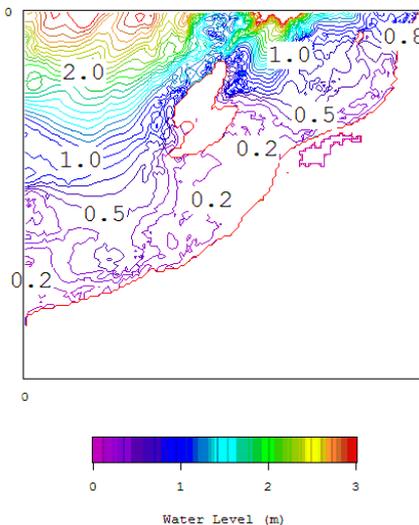


図-11 津波の最大水位分布（新潟県沿岸域）（単位：m）

### 3.5 想定される連動型地震による津波の大きさの予測

2011年東北地方太平洋沖地震と同規模の連動型地震が佐渡島北方沖で発生した場合の津波の大きさを予測した。2011年東北地方太平洋沖地震における海底地盤の隆起量は国土地理院（2011）により最大で5.5m程度であると想定されている。

2011年東北地方太平洋沖地震と同規模の連動型地震が佐渡島北方沖で発生した場合の海底の隆起量5.5mをグリーンの法則に適用し、最大水位変動量を予測する。水面応答率40%の補正係数を掛け、沿岸到達時の水位変動量を計算したものを図-12に示す。なお図-12における黒線は想定される断層の位置である。

図-12より、2011年東北地方太平洋沖地震と同規模の連動型地震が佐渡島北方沖で発生した場合、新潟県沿岸域に到達する最大水位変動量は12m程度である。

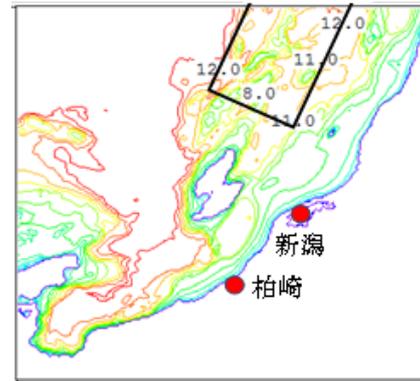


図-12 想定される連動型地震で発生する仮想津波の最大水位変動量（単位：m）

## 4 まとめ

従来の地震エネルギーと震源深さの情報から津波の発生の有無を判断する指標を改良し、津波速報の情報から津波発生の有無の判断情報および、最大水位変動量を把握する手法を考案した。また、グリーンの法則を用いて最大水位変動量を算出する手法を検討し、新潟県沖の仮想津波に適用し挙動予測を行った。さらに、地震速報の情報から地震の隆起量、沈降量、面積のパラメータを求める手法を用いて新潟県沖の仮想津波に適用し挙動予測を行った。

## 参考文献

- 1) 地震調査委員会（2003）：日本海東縁部の地震活動の長期評価，地震調査研究推進本部。
- 2) 能登兵衛（2009）：津波速報のための津波発生判断モデルの開発，長岡技術科学大学学士論文
- 3) 加藤文章（2010）：地震津波の発生判断基準および伝播予測手法の開発，長岡技術科学大学学士論文
- 4) 白井亮喬（2014）：水面変動を考慮した波源モデルを用いた南シナ海の津波伝播予測について，長岡技術科学大学学士論文
- 5) 気象庁（2009）：地震年報，気象業務支援センター。
- 6) (独法)港湾空港技術研究所（2011）：NOWPHAS（全国港湾海洋波浪情報網）（オンライン），国土交通省，<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>。
- 7) 佐藤良輔 編著(1989)：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック，鹿島出版会。
- 8) Okada, Y. (1992)：INTERNAL DEFORMATION DUE TO SHEAR AND TENSILE FAULTS IN A HALF-SPACE, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.82, No.2, pp.1018-1040.
- 9) 全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）：ナウファス波浪データ（オンライン），<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.html>