

新潟県中越沖地震における津波シミュレーション

長岡技術科学大学大学院 前田 祥吾
 長岡技術科学大学 正会員 犬飼 直之

1. はじめに

平成 19 年 7 月 16 日に新潟県中越沖地震が発生した。この地震は、マグニチュード 6.8, 最大震度 6 強を記録し、新潟県の中越地区、特に柏崎市近辺に甚大な被害をもたらした。また、この地震により小規模ながら津波が発生し、秋田県や石川県の沿岸まで津波が到達したことが観測された。この津波による被害は特に見られなかったが、甚大な被害をもたらすような大きな津波が来襲するのは、数十年あるいはそれ以上の期間に一度という程度であるので、たとえ小規模な津波であってもその挙動を把握しておくことは大変に意義が大きい。そこで本研究では、中越沖地震により発生した津波の数値シミュレーションを実施しその動態を再現して、新潟県沿岸での津波の挙動を調べた。また、津波の屈折図を作成し、津波の伝播状況を調べ、津波の集中する箇所も同時に調べた。

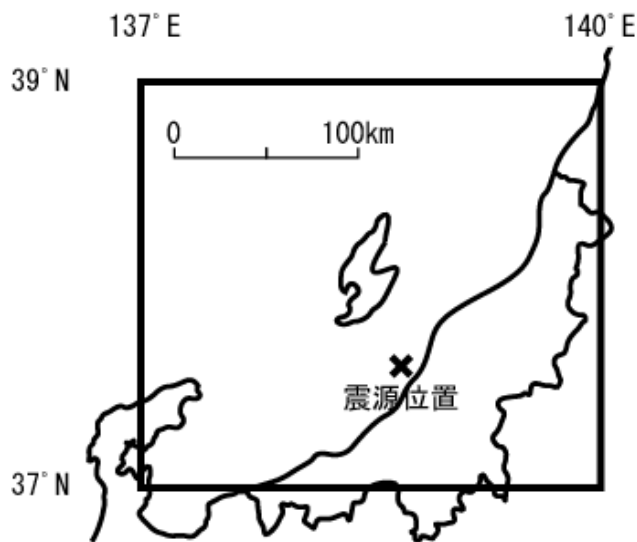


図-1 計算領域及び震源位置

2. 数値解析

(1) 数値計算方法

数値計算は球面座標系で下のように示される水の長波流動を記述するナビエ・ストークスの運動方程式および連続式を陽的に中央差分する手法を利用して計算をおこなった。震源の変動量は断層モデルを用いて計算を行った。また、波の屈折方向は波線の方程式を利用して計算をおこなった。

1) 運動方程式

(a) 経度方向

$$\frac{\partial u}{\partial t} + L(u) - \frac{uv \tan \phi}{a} - fv = -\frac{1}{\rho_w} \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial P}{\partial \lambda} + A_h \left\{ \nabla^2 u + \frac{(1 - \tan^2 \phi)u}{a^2} - \frac{2 \sin \phi}{a^2 \cos^2 \phi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} \right\} + \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)c^2}$$

(b) 緯度方向

$$\frac{\partial v}{\partial t} + L(v) - \frac{u^2 \tan \phi}{a} + fu = -\frac{1}{\rho_w} \frac{1}{a} \frac{\partial P}{\partial \phi} + A_h \left\{ \nabla^2 v + \frac{(1 - \tan^2 \phi)v}{a^2} - \frac{2 \sin \phi}{a^2 \cos^2 \phi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} \right\} + \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)c^2}$$

2) 連続式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \{ (\zeta + h)u \} + \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \{ (\zeta + h)(v \cos \phi) \} = 0$$

ただし、

λ : 緯度(rad), ϕ : 経度(rad), h : 水深(m), ζ : 水位(m),

f : コリオリ力, a : 地球の半径(=6.37×10⁶m),

A_h : 渦粘度(m²/s), A_v : 垂直粘度(m²/s), P : 圧力(N/m²)

$$L(\alpha) = \frac{u}{a \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\alpha) + \frac{v}{a \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\cos \phi \alpha) + w \frac{\partial}{\partial z} (\alpha)$$

$$\nabla^2 \alpha = \frac{1}{a^2 \cos^2 \phi} \frac{\partial^2 \alpha}{\partial \lambda^2} + \frac{v}{a^2 \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\cos \phi \frac{\partial \alpha}{\partial z} \right)$$

(2) 計算領域及び震源位置

津波シミュレーションの計算領域は図-1 に示すように北緯 37~39°, 東経 137~140° (およそ 267,000m × 222,000m) の範囲をメッシュ間隔約 500m で分割した。震源位置は図-1 に示すとおり北緯 37° 33' 24", 東経 138° 36' 24" である。

3. 結果及び考察

可視化した計算結果を図-3 に示す。上からそれぞれ、津波発生から 5 分後, 13 分 20 秒後, 21 分 40 秒後の様子である。白色に近づくほど水位が高いことを意味している。

また、図-2 は波線の方程式を用いた波の屈折計算

モデルを用いて算定した津波の屈折図である。波線は水深が浅い方向へ屈折する性質があり、図中、波線が密に集中している場所に津波が集中する事を示す。陸域を黒色にしているが、海域では白色に近づくほど水深が浅いことを意味している。

(1) 波の伝播

図-3 を見ると、約 5 分後には津波が柏崎沿岸に到達しているのがわかる。その後は、浅海波の波速は水深にのみ依存するので、水深の深い佐渡の西側では津波が速く伝播し、水深の浅い陸沿いを北上する波の伝播速度は小さい事がわかる。また、本州と佐渡に挟まれた佐渡海峡では、本州と佐渡の反射波が何度も往復し重複波となり、複雑な水位変動が発生している。また屈折図を見ると、波線は柏崎と小木の周辺で集中しており、実際に津波の最大波高を記録した箇所と概ね一致している。

(2) 波高

数値計算で算出された最大波高は 57cm であったが、実際に観測された最大波高は、国土地理院によれば柏崎と小木で観測された 30cm とされているが、地震調査委員会の発表では柏崎港で 1m の津波が観測されている。これは、国土地理院の検潮所と柏崎港は 400m ほど離れており、また柏崎港は震源に向かって開かれているため、波が集中して局所的に高い津波が観測されたものと考えられる。

4. まとめ

新潟県沿岸の海域は、海底と海岸の形状が複雑だったため、屈折や反射により津波が複雑な挙動をした事がわかる。

数値計算の結果、最大波高を記録した柏崎と小木の周辺に津波が集中した。このことから、数値解析が実津波の挙動をよく再現できていることがわかった。

参考文献

- 1) 犬飼直之：渤海の海水交換機構についての研究, 土木学会, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.1046-1150, 2001.11.
- 2) L.Mansinha : THE DISPLACEMENT FIELDS OF INCLINED FAULTS, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No.5, pp.1433-1440, 1971
- 3) 宇野木早苗：沿岸の海洋物理学, 東海大学出版会
- 4) 国土地理院,
<http://www.gsi.go.jp/index.html>, 国土交通省国土地理院, 2007
- 5) 新潟県中越沖地震の評価,

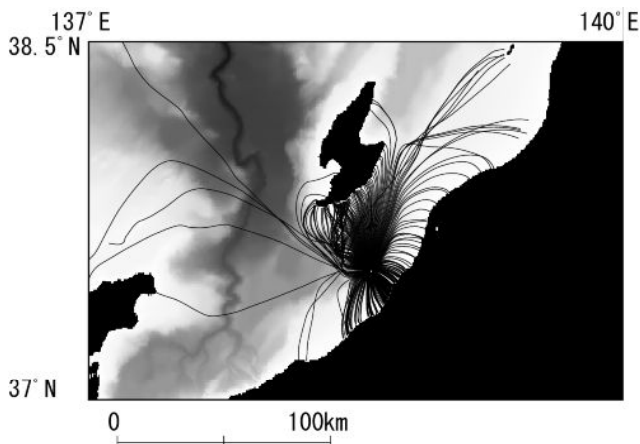


図-2 屈折図

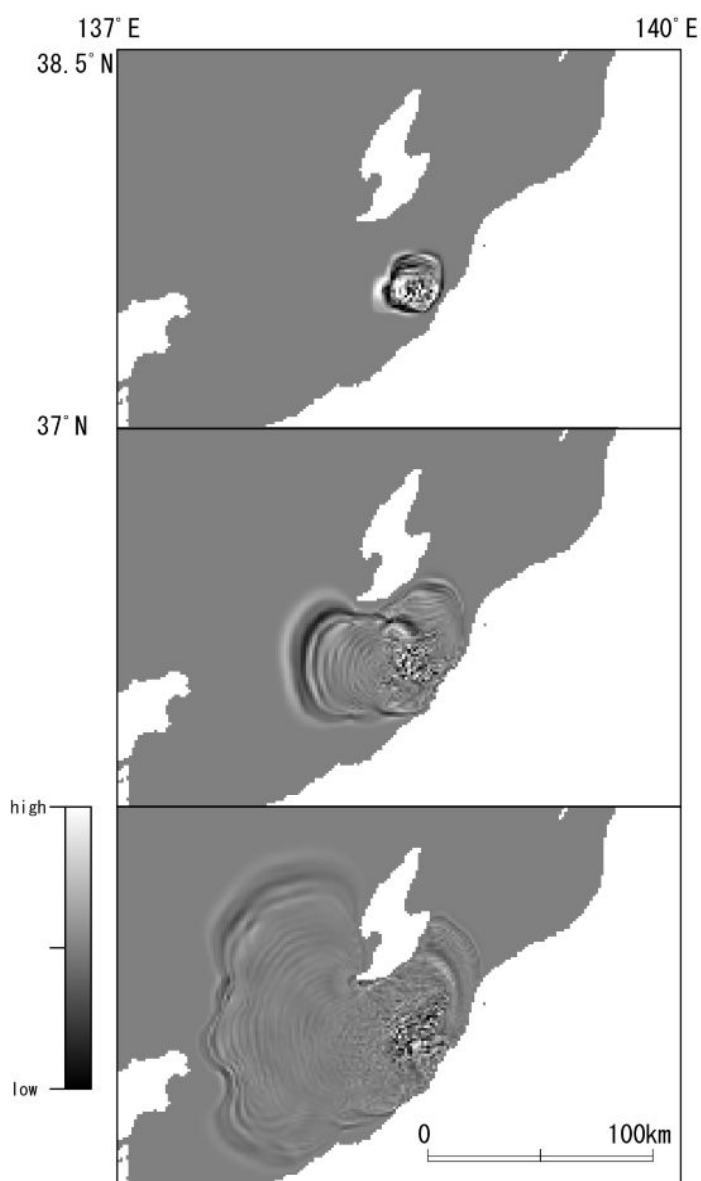


図-3 シミュレーション結果
(上：津波発生より 5 分後,
中：13 分 20 秒後, 下：21 分 40 秒後)