

iRIC-ELIMO および Nay2DFlood ソルバーを使用した 津波浸水シミュレーション：宮城県北上川の事例

末安 史弥*・根本 達也*・ベンカテッシュ ラガワン*

Simulation of Tsunami Inundation using iRIC-ELIMO and Nay2DFlood Solvers: Case Study of Kitakami River, Miyagi Prefecture

Fumiya SUEYSU*, Tatsuya NEMOTO* and Venkatesh RAGHAVAN*

*大阪公立大学大学院理学研究科地球学専攻 Department of Geosciences, Graduate school of science, Osaka Metropolitan University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-5858, Japan. E-mail: se23912w@st.omu.ac.jp

キーワード：津波，浸水，iRIC-ELIMO，Nays2DFlood，北上川

Key words：Tsunami, Inundation, iRIC-ELIMO, Nays2DFlood, Kitakami River

1. はじめに

日本ではこれまでに数多くの地震が起こっており，甚大な被害を引き起こした例も少なくない．地震による被害は地震動によるものだけでなく，海域で発生した津波によるものも大きい．津波は陸域へ伝播し，遡上，浸水被害をもたらすことがある．

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波は，沿岸域のみならず海岸から離れた沿川地域にも大きな被害をもたらした．津波が遡上した宮城県石巻市北上川では，湾内や河口付近での津波水位データが欠損しており，解析が難しく，津波の波高と遡上による浸水の関係を考慮した研究が少ない．

本研究では，東北地方太平洋沖地震を対象として，追波湾における津波の発生，伝播および北上川河口付近での遡上，浸水のシミュレーションを行った．また，実測値との比較を行い，評価した．

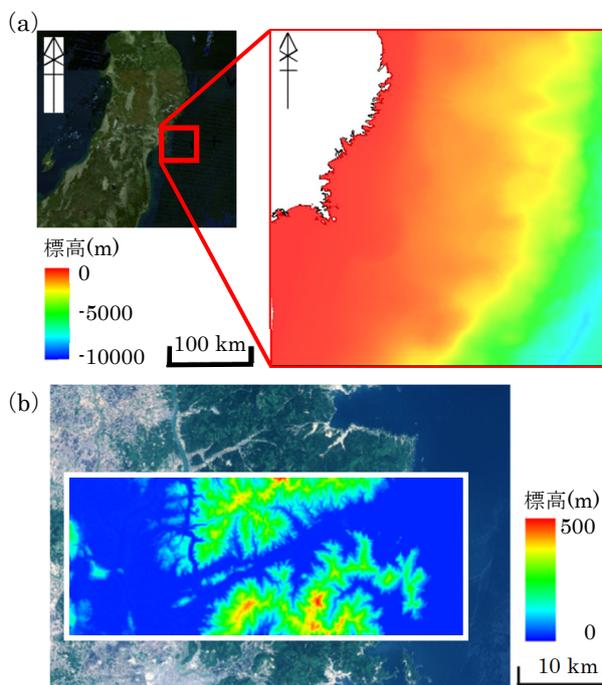
2. 津波伝播の解析手法

津波計算には，iRIC のソルバーの一つである ELIMO (Easy Performable Long-wave Inundation Model) を用いた．ELIMO は，矩形断層モデルによる海底変位情報から，津波の発生，伝播を計算する．

本解析ソルバーに採用されている津波の支配方程式は，球面座標による水深積分型運動方程式である．ここで，汀線不透過条件は，汀線に仮想的な不透過壁を与えることで津波の波高を求めることができる．

津波の初期水位は，二つの断層からなる矩形断層モデル (国土地理院，2011) により計算した (第1表)．

海底地形データとして日本海洋データセンターの日本近海域 500 mメッシュデータを使用し，解析対象地域は東経 141 度から 144 度，北緯 37 度から 40 度とした (第1図 (a))．津波発生からの計算時間は，有意な波高が確認できた範囲の 9000 秒間とした．



第1図 解析地域

(a) 津波伝播計算の対象地域，(b) 津波遡上計算の対象地域

第1表 使用した断層パラメータ

	緯度	経度	断層長さ	断層幅	すべり距離	すべり角	走向	傾斜角	断層深さ
断層1	38.80 度	144.00 度	186 km	129 km	24.7 m	101 度	203 度	16 度	41.4 km
断層2	37.33 度	142.80 度	194 km	88 km	6.1 m	83 度	203 度	15 度	40.4 km

3. 津波遡上・浸水の解析手法

津波遡上・浸水解析には、iRIC の汎用解析ソルバーである Nays2DFlood を用いた。Nays2DFlood は一般曲線座標で境界適合座標を用いた非定常平面二次元流計算で行われ、動的に浸水域を求めることができる。解析地域は、北上川の沿川を対象とした（第 1 図 (b)）。本解析には、地形と津波の波高データおよび波が遡上した際の抵抗量を示す粗度係数が必要である。地形データには SRTM (Shuttle Rader Topography Mission) GL3 (90 m) を使用し、波高データには、ELIMO の北上川河口における結果を用いた。小谷ほか (1998) を参考に粗度係数を設定した。

4. 評価方法

津波浸水結果の評価は、相田 (1977) による幾何平均 K および幾何標準偏差 κ を用いた。この指標は、地点ごとの痕跡高と計算水位の比を用いて、以下の式 (1), (2) で表される。これは、津波痕跡高と計算水位の適合度を示すものである。

$$\log_{10} K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_{10} K_i \quad (1)$$

$$\log_{10} \kappa = \left[\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (\log_{10} K_i)^2 - n(\log_{10} K)^2 \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで、 $K_i = O_i / C_i$ 、 n : 地点数、 O_i : i 番目の地点での津波痕跡高、 C_i : i 番目の地点での計算水位である。幾何平均 K は、波源で想定された津波全エネルギー量の妥当性を表わす。幾何標準偏差 κ は、地形データの誤差、解析上の誤差等を複雑に反映したものである。土木学会 (2002) によると、再現性の良好な範囲は $0.95 < K < 1.05$ 、および $\kappa < 1.45$ とされている。

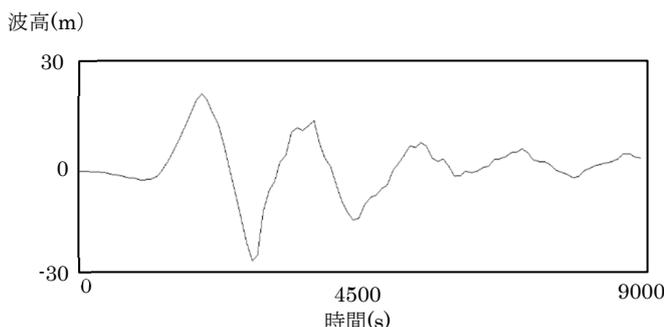
5. シミュレーションの結果

5.1 津波伝播の解析

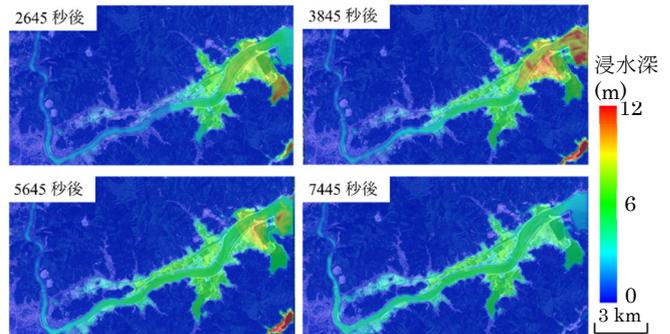
ELIMO の津波シミュレーションの結果、北上川河口における津波第 1 波の到達時刻は、津波発生から 1445 秒後であった。計算終了時間の 9000 秒までに 5 回の波が押し寄せていることがわかる。北上川河口における最大波高は 20.6 m であった。(第 2 図)。

5.2 津波遡上・浸水域の解析

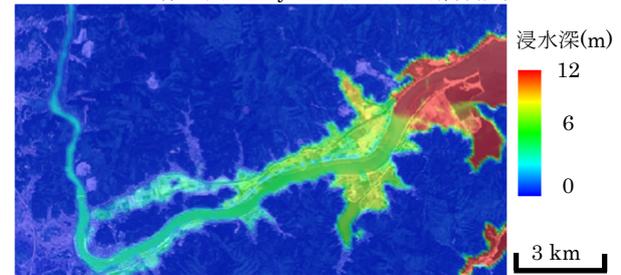
Nays2DFlood の計算結果から得られた浸水深の変化を第 3 図に示す。河口付近で約 12 m の波高が確認でき、遡上域は時間が経過するにつれて河川を中心にして拡大していることがわかる。津波発生から 5645 秒まで、波が到達しており、7445 秒以降は浸水域における水位上昇は確認できなかった。



第 2 図 北上川河口地点での津波波高データ



第 3 図 Nays2DFlood での解析結果



第 4 図 最大浸水深

6. シミュレーションの評価

相田 (1977) の指標により再現性の評価を行った。計算水位は Nays2DFlood の計算結果の最大浸水深を用いた (第 4 図)。津波痕跡高データは、津波痕跡データベース (東北大学, 2010) より解析対象範囲内で信頼度 A のデータ (28 地点) を用いた。 K は 0.9533、 κ は 1.3234 であり、本研究のシミュレーションは、北上川河口域において、2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波を良好に再現したといえる。

7. おわりに

本研究では 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波を、矩形断面モデルと海底地形データを用いて計算し、津波伝播シミュレーションを行った。シミュレーションの結果と陸域の地形データから、宮城県北上川河口での津波遡上・浸水域の計算を行い、相田 (1977) の指標のもと評価を行った。その結果、良好な再現度の津波浸水シミュレーションを実現できた。しかし、一連のシミュレーションにおいて、津波計算と遡上解析を分割して行っており、海域から陸域にかけての津波エネルギー量の伝播等も考慮したシミュレーションを検討する必要がある。また、使用する海底及び陸域の地形データの高解像度化を検討する必要がある。

文 献

- 相田勇 (1977) 三陸沖の古い津波のシミュレーション. 地震研究所彙報, vol.52, pp.71-101.
- 土木学会原子力土木委員会 津波評価部会 (2002) 原始力発電所の津波評価技術. 66p.
- 国土交通省国土地理院地殻変動研究室 (2011) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動と震源断層モデル <https://www.gsi.go.jp/cais/topic110422-index.html>. (2022/9/23 閲覧)
- 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫 (1998) GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法. 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp.356-360.
- 東北大学災害科学国際研究所 (2010) 津波痕跡データベース <https://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp>. (2023/5/5 閲覧)