

破堤時間を考慮した津波浸水の数値シミュレーション

末安 史弥*・高岡 凌門**・根本 達也*・ベンカテッシュ ラガワン*

Numerical Simulation of Tsunami Inundation
Considering Breakwater Breach Time

Fumiya SUEYASU*, Ryouto TAKAOKA**, Tatsuya NEMOTO* and Venkatesh RAGHAVAN*

*大阪公立大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Osaka Metropolitan University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-5858, Japan. E-mail: se23912w@st.omu.ac.jp

** 大阪市立大学理学部 Faculty of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan.

キーワード：津波, 浸水, iRIC-ELIMO, Nays2DFlood, 釜石湾

Key words: Tsunami, Inundation, iRIC-ELIMO, Nays2DFlood, Kamaishi Bay

1. はじめに

構造物を用いた津波被害の抑止法の一つに津波防波堤の設置がある。釜石港湾口防波堤は、東北地方太平洋沖地震において、一定の減災効果を発揮したことが認められている。一方で、本防波堤は大規模な津波により破堤しており、ハザードマップで想定されていた浸水域を大きく超えて被害が広がる結果となった（国土交通省，2011）。

米山ほか（2012）は、釜石港湾口防波堤を対象に、3次元流体解析を行い、防波堤有無の2つの条件で津波水位や流速を比較することで、防波堤の効果について検証を行った。しかし、米山ほか（2012）は、計算時間内で防波堤が倒壊しない条件で解析を行っており、実際に起こった津波による防波堤の倒壊は考慮されていない。

本研究ではiRICソフトウェアを用いて、破堤時間を考慮したシミュレーションを行い、防波堤が無い場合との比較を行うことで防波堤の効果を検討した。また、それぞれの計算結果と実測値を比較し、再現性の評価を行った。

2. 津波発生・伝播の解析

2.1 解析手法と計算条件

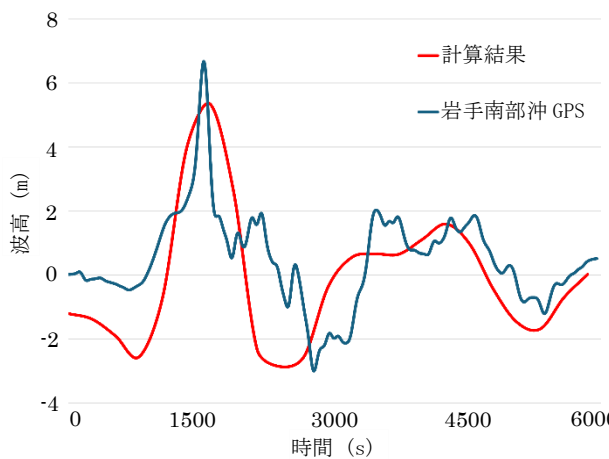
津波計算には、iRICのソルバーの一つであるELIMO（Easy Performable Long-wave Inundation Model）を用いた。ELIMOは、矩形断層モデルによる海底変位情報から、津波の発生、伝播を計算する。

海底変位情報として国土地理院が公開している「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」を参考に、津波初期水位を計算した（第1表）。また、海底地形データには、GEBCOの15秒グリッドデータを使用した。解析対象地域は、2つの断層を含む東経

140.40度から144.75度、北緯35.45度から40.25度の範囲である。計算時間を6000秒、計算時間間隔を150秒に設定し計算を行った。

2.2 計算結果

ELIMOでの津波シミュレーションの結果と全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）の観測結果との比較を第1図に示す。釜石港に最も近いGPS波浪計である岩手南部沖波浪計における第1波到達時間は、津波発生から約1300秒後であった。この時の波浪計での最高水位は6.7mであったのに対し、シミュレーションでの最高水位は5.3mとやや過小に評価される計算結果となった。



第1図 計算結果と波浪計の波高データ。

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

3.1 解析手法と計算条件

津波遡上・浸水解析に、iRIC の汎用解析ソルバーである Nays2DFlood を用いた。解析対象地域は、釜石市釜石港の周辺地域である。小谷ほか (1998) を参考に、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を設定した。また、防波堤の破堤を再現するために、計算格子内のポリゴンに防波堤のセルを作成し、破堤する時間を設定した。破堤時間は津波の最高水位到達時間に合わせて、地震発生から 1600 秒後、1700 秒後、1800 秒後に設定した。地形データには SRTM-1 (Shuttle Rader Topography Mission) を使用し、波高データには、釜石湾の防波堤から沖に約 1 km の地点における ELIMO の計算結果を用いた。

3.2 計算結果

Nays2DFlood の計算結果から得られた、1600 秒後に破堤する条件での浸水域の時系列変化を示す (第 2 図)。防波堤の破堤時間による浸水域の大きな変化はみられなかったが、防波堤無しの条件ではより上流まで浸水域が拡大していることが確認できた。また、釜石港での浸水深は、防波堤なし、破堤開始 1600 秒、1700 秒、1800 秒の順に小さくなり、7.67 m、6.16 m、4.54 m、3.77 m であった。

4. シミュレーションの評価

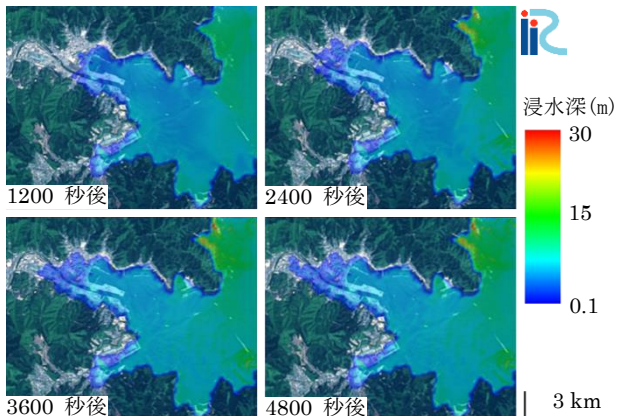
4.1 評価方法

津波浸水結果の評価に、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。これらの指標は、地点ごとの痕跡高と計算水位の比を用いて、次式で表される、これらは、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 は地点数、 O_i は i 番目の地点での津波痕跡高、 C_i は i 番目で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、波源域内における地盤変動の空間的分布の妥当性ほか、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。土木学会原子力土木委員会津波評価部 (2002) によれば、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。



第 2 図 浸水域の変化 (破堤条件 : 1600 秒後)

第 2 表 各条件下での再現性指標値.

	K	κ
防波堤なし	1.020931	1.148612
破堤開始 1600 秒	1.020852	1.104937
破堤開始 1700 秒	1.019469	1.132720
破堤開始 1800 秒	1.021076	1.086542

4.2 再現性の評価

各条件の計算結果において、相田 (1977) の指標により再現性の評価を行った (第 2 表)。計算水位には Nays2DFlood の計算結果の最大浸水深を用いた。津波痕跡高データとして、津波痕跡データベース (東北大学災害科学国際研究所, 2017) より解析対象範囲内で信頼度 A のデータ (22 地点) を用いた。

津波のエネルギーの妥当性を表す K は、いずれの条件下でも良好なシミュレーションであるといえる値を示した。条件による値の差がみられない理由は、使用した断層モデルが同一であることが考えられる。

解析上の誤差、データの誤差等を表す κ は、地震開始から 1800 秒後に破堤する条件の時に最も 1 に近づく値となった。これらの結果から、数値シミュレーションにおいて、防波堤の条件を設定して計算を行うことで、実際の浸水の状況に近づけることができると考えられる。一方で、1700 秒後に破堤する条件では、防波堤なしの場合との差が小さい結果となり、改めて計算条件等を検討する必要がある。

5. おわりに

本研究では、防波堤の破堤時間を考慮して 2011 年の東北地方太平洋沖地震に伴う津波浸水シミュレーションを行った。また、計算結果を用いて、実測値と比較し、再現性の評価を行った。その結果、防波堤を設置しなかった場合に比べ、破堤時間を考慮したシミュレーションでは、より再現性が高い結果となり、防波堤設置による数値シミュレーションの再現度向上が確認できた。しかし、防波堤を設置しなかった場合との明確な差が確認できなかった。今後、沿岸部の地形データの改善や使用する断層モデルの検討、より詳細に防波堤の条件を設定することが必要である。

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> (2024/5/13 閲覧)
- 国土交通省 (2011) 平成 22 年度国土交通白書, pp.27-28.
- 小谷美佐, 今村文彦, 首藤信夫 (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, vol.45, 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> (2024/5/24 閲覧)
- 米山望・森信人・三輪真揮 (2012) 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の釜石湾における挙動の数値解析. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.68, no.2, pp.161-165.