

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820206

研究課題名(和文)有限差分法と有限体積法ハイブリッド型津波数値モデルによる津波予測精度の高度化

研究課題名(英文)Development of tsunami model integrating the Finite Difference Method and the Finite Volume Method

研究代表者

鳴原 良典 (Shigihara, Yoshinori)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・講師)

研究者番号：90532804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、実務等で使用される津波数値モデルの高度化を目指し、有限体積法で計算する外洋伝播域と陸上遡上域の間に非構造格子で構成された接続領域を有限体積法で解くハイブリッド型津波数値モデルの開発を目的としている。

新たに構造格子と非構造格子を接続する水深データの作成アルゴリズムと、非構造格子による線形分散波理論の数値モデルを開発した。開発した手法は線形分散波理論の理論解に良好に一致することを確認し、2011年東北地方太平洋沖地震津波の再現計算から実地形への適用も可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop a tsunami numerical model which is capable to include several grid systems and facilitate the process of assembling domains of different resolutions. The assembly of structured domains (inner and outer) is achieved by constructing an intermediate unstructured grid between them. The Boussinesq model are used for the governing equations. The present scheme is able to diminish short period waves reflected on the boundary of a coarse grid domain. A numerical simulation consisting of a Gaussian-hump shape is used for validation by determining the energy transferred/retained in a finer grid domain. In addition a practical application, the 2011 Tohoku Tsunami, is provided as a case study to confirm the validity of proposed model.

研究分野：水工学

キーワード：津波 有限差分法 有限体積法 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

2011年の東日本大震災における津波被害を受け、我が国の津波防災対策の見直しは急務である。より正確・緻密な津波ハザード情報を国民に提供するため、従来よりも高精度で、速やかに実務に適用可能な津波数値モデルの開発が望まれている。

一般に、津波を予測するための数値計算方法は実務的に使用可能なものはほぼ確立しており、被害想定や予報等において幅広く利用されている。津波計算は深海の発生域から沿岸の陸上遡上域までを一括に行う必要がある。そのため、沿岸部に向かうにつれて空間解像度が高くなるような複数の地形領域を同時進行的に計算し、領域の境界上で物理変数を受け渡すネスティング計算が適用される。その際の計算手法には有限差分法(FDM)が採用されている。また、地形データは沿岸数 m オーダの解像度で整備されており、様々な機関から入手可能である。計算コードは無料公開されているため、必要な地形データさえ揃えば、誰でも容易に津波計算を実施することができる。

一方、既往の津波数値モデルには以下の課題が残されている。数値モデルの精度の問題として、各領域間の境界付近では計算精度が低下することや、沿岸で発生した津波成分の一部が外洋に透過せず数値誤差として沿岸部に蓄積し、これらが計算不安定の原因となる。次に地形データの問題として、外洋の地形データは緯経度基準の地球座標系であり、主に遠地津波の評価で用いられる。しかしながら、日本近海の詳細な地形データは近地津波計算で使用することを前提としているため平面直角座標系が多い。これら両方を使用する場合、地形データ作成の際に多大な労力が必要になることから、遠地津波と近地津波の計算は通常別々に実施される。そのため、津波警報解除までを対象とするような長時間の計算を行う場合、遠方の特殊地形から生じる現象(例：海山による散乱波)を考慮できず、またモデル精度の問題から計算が不安定化しやすくなる問題が生じる。

2. 研究の目的

本研究は、津波数値モデルの高度化を目的とし、以下の2点について検討した。

(1) 分散波理論に基づいた非構造格子有限体積法(FVM)による津波数値モデルの開発
分散波理論への拡張として、浅水理論の非構造格子 FVM モデルにポテンシャル法を適用することにより分散項を導入する。

(2) 分散波理論に基づいた FVM・FDM ハイブリッド型津波数値モデルの構築と実務計算への適用性の検討

構造格子領域と非構造格子領域間の接続アルゴリズムを構築し、実地形計算への応用として 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の再現計算を行う。同イベントの実測記録およ

び既往の数値モデルによる結果との比較から本モデルの再現精度を評価する。

3. 研究の方法

下記の項目に基づいて研究を遂行した。

(1) 分散波理論に基づいた非構造格子 FVM による津波数値モデルの開発

Boussinesq 型の線形分散波理論式において、分散項をポテンシャル関数で置き換えることにより Poisson 方程式が導かれる。この式を境界値問題として陰的に、その他の項を陽的に解く。同手法は FDM による手法が確立しており、本研究では非構造格子に基づく計算アルゴリズムを開発した。

開発した数値モデルの妥当性を検証するため、ガウス波を初期条件とした 2 次元平面場の伝播問題に適用し、線形 Boussinesq 式による理論解との比較を行った。

(2) 分散波理論に基づいた FVM・FDM ハイブリッド型津波数値モデルの構築と実務計算への適用性の検討

FVM・FDM ハイブリッド型津波数値モデルを以下に示すとおり構築した。空間格子長の異なる構造格子の領域として大領域と小領域を考え、これらの領域間に非構造格子の接続領域を設ける。接続領域の構成として、大・小領域に接する部分に四角形格子を設け、さらにその内側に三角形格子を領域内に満たすように配置する。変数は格子の重心位置に水位、水深、分散ポテンシャル関数、境界に線流量を定義する。大・小領域を FDM で、接続領域を FVM で計算する。大・小領域と接続領域の境界上の線流量は、両領域間共通の変数として使用される(図-1)。

構築した数値モデルを 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の再現計算に適用した。ここでは構造格子の大・小領域と非構造格子に基づく接続領域の地形データを自動的に作成するアルゴリズムを新たに開発した。具体的には、既存の水深データを GIS ソフトウェアを利用することで座標系を統一し、非構造格子の重心位置には、構造格子の水深データを平面補間して与える。図-2 に計算領域の概要を示す。図中、実線の外側が構造格子の大領域(空間格子長 1350m)であり、実線の内側が非構造格子の配置範囲、さらに点線の内側が構造格子の小領域(空間格子長 150m)である。

4. 研究成果

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

(1) 分散波理論に基づいた非構造格子有限体積法(FVM)による津波数値モデルの開発
線形 Boussinesq 式による津波伝播計算を FVM により行い理論解と比較した。その結果、主峰の後方から生じる分散波列を良好に再現できることを確認した。さらに、従来のモデルである構造格子による FDM による数値解

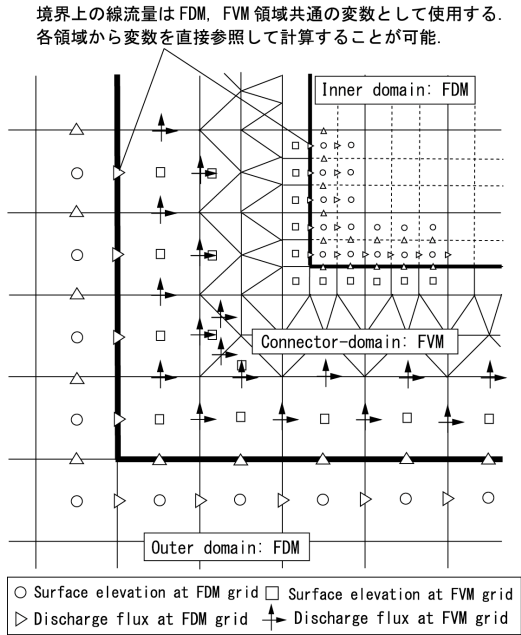


図-1 非構造格子によるネスティング手法の概念図

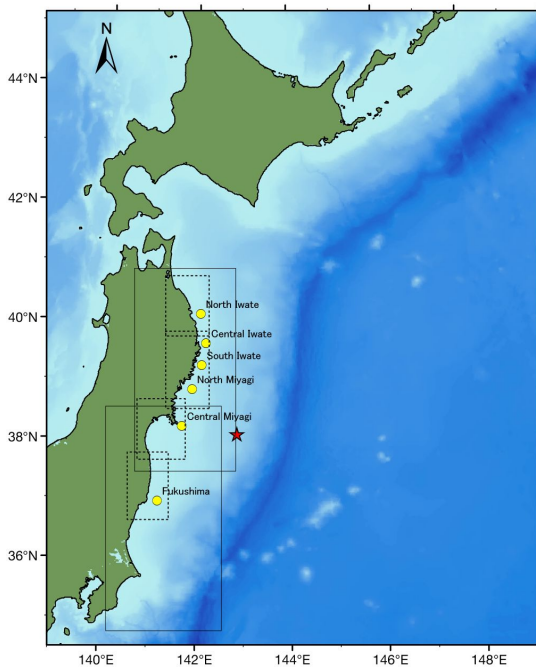
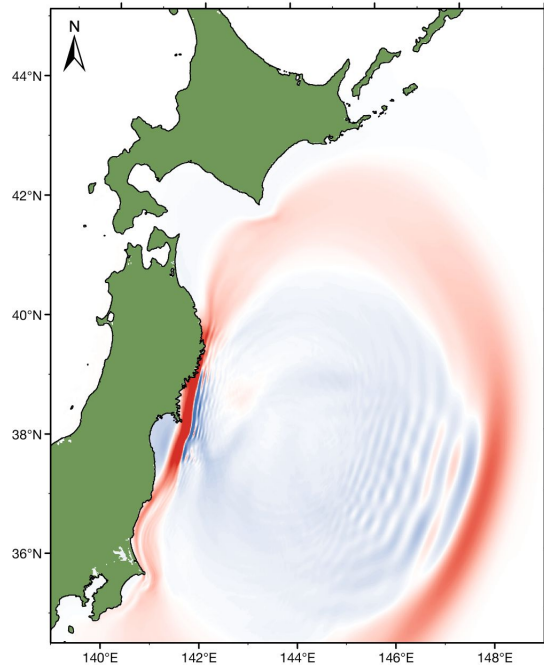


図-2 計算領域

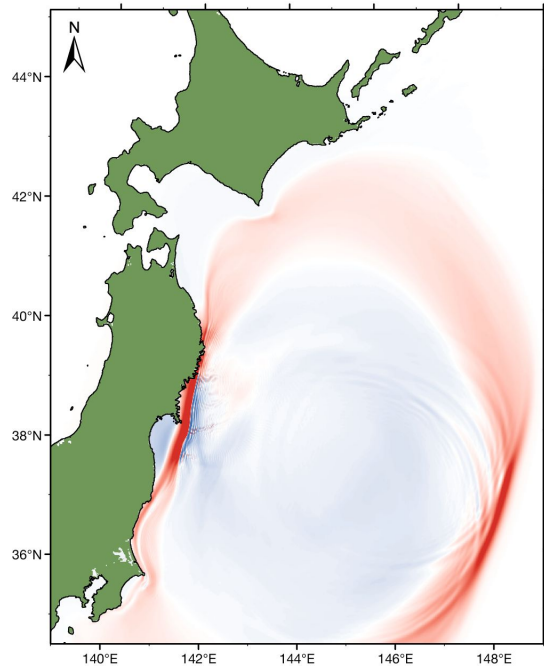
ともほぼ同じであった。

現状、計算時間では FDM に比べて倍以上となっており、プログラムコードのチューニングなどさらなる高速化が必要である。

(2) 分散波理論に基づいた FVM・FDM ハイブリッド型津波数値モデルの構築と実務計算への適用性の検討



(a) 線形分散波理論



(b) 線形長波理論

図-3 地震発生 30 分後の津波伝播の様子

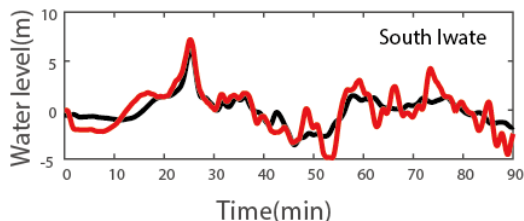
接続領域の地形データを自動的に作成する新たなアルゴリズムにより、地球座標系、平面直角座標系のいずれかに統一した水深データを作成することができた。同データを利用し、2011 年東北地方太平洋沖地震津波の伝播計算を行った。ここで、初期条件として設定した震源モデルは Yagi&Fukahata(2011) を使用し、震源の動的な破壊過程 (破壊伝播速度とライズタイム) も考慮している。

計算結果として、地震発生 30 分後の津波

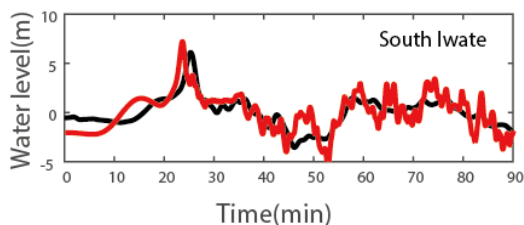
伝播の様子(水位分布図)を図-3に示す。図から、外洋部の構造格子領域と沿岸付近の非構造格子領域の各領域間の境界付近では非物理的な反射はほとんど発生せず、両者はシームレスに接続されていることを確認し、開発したモデルの有効性を示すことができた。さらに、(a)線形分散波理論による計算と(b)線形長波理論と比較すると、外洋(太平洋)側と三陸沿岸に向かう津波の波形が大きく異なっていることもわかる。

図-4は、岩手南部沖におけるGPS波浪計による津波水位波形の観測値と計算値である。これより、線形長理論かつ波源を静的破壊とした場合(図-4(b))と比較しても、線形分散波理論かつ波源に動的破壊を考慮した場合(図-4(a))が観測結果を良好に再現できていることがわかる。

本研究課題では線形分散波理論の伝播計算への適用を示すことができたが、遡上を含めた非線形分散波理論への拡張が今後の課題として残されている。



(a)線形分散波理論かつ波源に動的破壊を考慮した場合



(b)線形長理論かつ波源を静的破壊とした場合

図-4 GPS 波浪計(岩手南部沖)による観測波形との比較(赤:計算値,黒:観測値)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Shigihara, Y. and Fujima, K.: An Adequate Dispersive Wave Scheme for Tsunami Simulation, *Coast. Eng. J.* 56, 1450003, 32 pages
DOI:10.1142/S057856341450003X,
2014, 査読有.

〔学会発表〕(計 3 件)

Shigihara, Y.: Model accuracy of the transoceanic propagation of tsunami, 26th IUGG General Assembly, Prague, Czech, June 22 – July 2, 2015.

寺岡駿輔, 嶋原良典, 八木宏: 横須賀市を対象とした津波による人的被害予測に関する検討, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会, 東京都市大学(東京都世田谷区), 2016年3月15日.

嶋原良典, 樋渡康子: 震源の破壊過程と波数分散性を考慮した2011年東北津波の数値解析, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 幕張メッセ, 2016年5月25日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

嶋原 良典 (SHIGIHARA YOSHINORI)

防衛大学校・建設環境工学科・講師

研究者番号: 90532804