

非構造格子を利用した新しい津波数値計算のネスティング手法

防衛大学校 正会員 ○嶋原 良典
防衛大学校 正会員 藤間 功司

1. はじめに

津波・高潮などの長波計算では、水深が浅くなるにつれて複雑になる現象を精度良く再現するため、外洋部から沿岸部に近づくにつれて空間格子を細かくする必要がある。その場合のネスティング手法としては、空間解像度の異なる複数の領域に対して同時進行的に計算し、各領域の境界上で水位・流速などの変数を線形補間により受け渡すのが一般的である。この手法は格子の粗い大領域から格子の細かい小領域へ伝播する場合は有効であるが、逆に小領域内で発生した反射波や散乱波が大領域へ通過する場合、短波長成分が開境界上で反射し、小領域内にトラップされることが指摘されている (Kowalik ら¹⁾)。このようなエネルギー成分は数値誤差として蓄積され、結果として計算の不安定性の要因となる。そこで本研究では、上述の問題を解決する一手法として接続域に非構造格子を配置した新しいネスティング手法を提案し、簡単なモデル計算から本手法の有効性について検討した。

2. ネスティング手法の概要

図-1 に示すように、空間格子長の異なる領域（大領域、小領域）の間に接続領域を設ける。大・小領域は直交座標系のスタガード格子とし、一方で接続領域では大・小領域に接する部分に構造格子を配置し、その内側に三角形の非構造格子を配置する。そして、大・小領域を有限差分法（以下、FDM）で、接続領域を有限体積法（以下、FVM）で計算する。なお、本研究では FDM 計算には後藤ら²⁾の手法を、また FVM 計算には George³⁾の手法を採用している。

大・小領域と接続領域の領域境界上（図-1 の黒太線上）では線流量を定義しており、線形長波計算の場合、それぞれのセル中心に定義された水位を用いて圧力勾配が計算でき、これにより次ステップの線流量が求まる。したがって、大領域から小領域へ線流量を補間する従来のネスティング手法とは異なり、各領域での変数を直接受け渡すことができることが本手法の利点である。

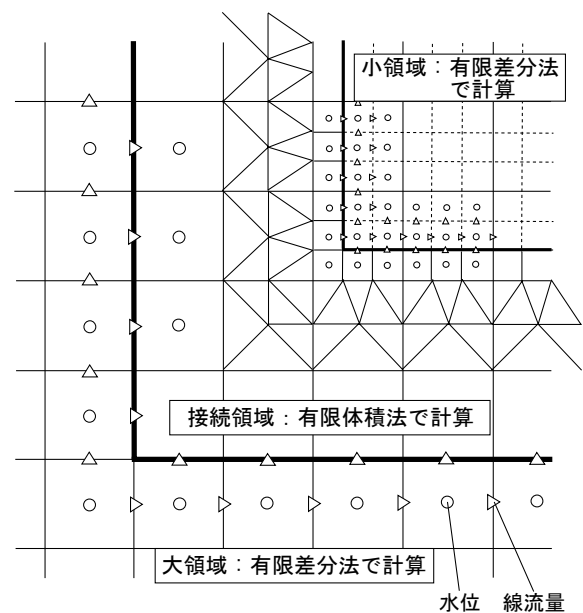


図-1 計算格子の配置例

(大領域と小領域の格子長比が 1 : 3 の場合)

3. モデル計算による提案手法の検証

本ネスティング手法の妥当性を検証するため、簡単なモデル計算を行った。水深 4,000m の水平床に対して空間格子が大領域 1,800m、小領域 600m（格子長比 1 : 3）とし、大領域の中心に小領域を設定した。すなわち、小領域から大領域に津波が伝播していくことになる。初期条件として、小領域の中心位置にガウス分布に基づく水位を与えた。中心部で発生した津波は同心円状に伝播する。津波が小領域から大領域側へ通過した後は、小領域内

キーワード 津波伝播 非構造格子 有限体積法 有限差分法

連絡先 〒239-8686 神奈川県横浜須賀市走水 1-10-20 防衛大学校システム工学群建設環境工学科 TEL 046-841-3810

E-mail shigi@nda.ac.jp

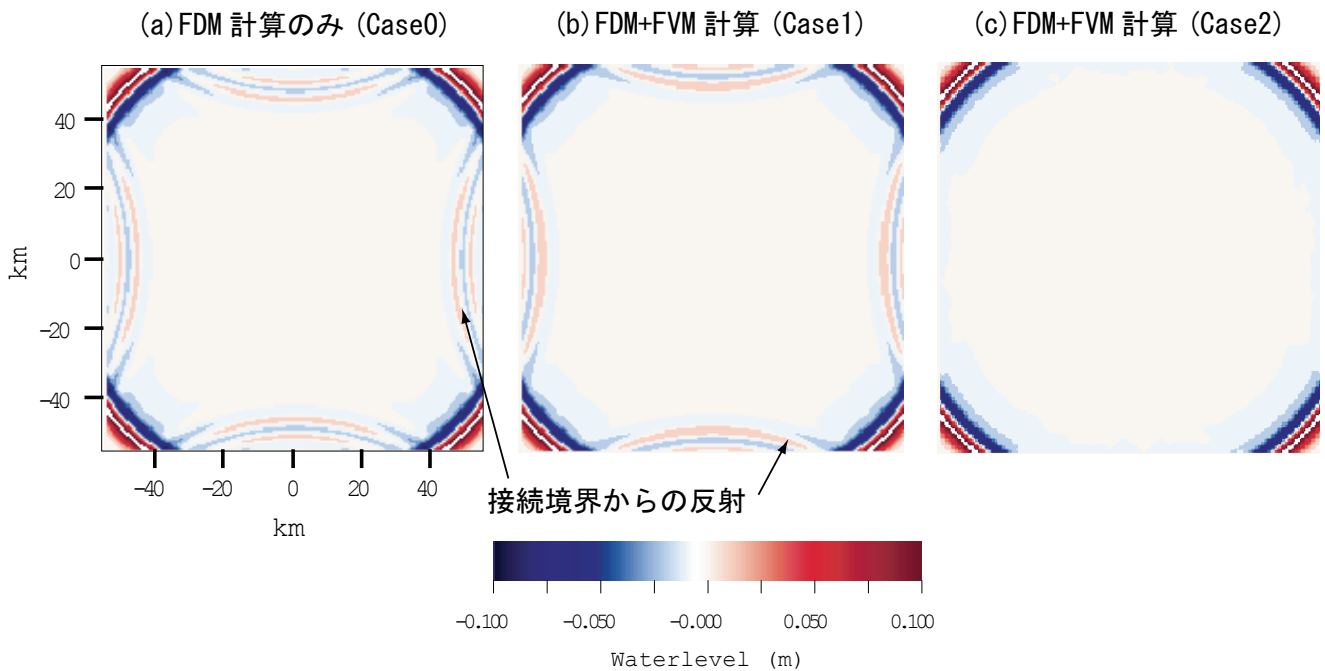


図-2 小領域での水位の空間分布 (t=350s)

には津波が存在しないのが物理的に正しい解である．比較する計算のケースとして，従来の FDM による接続計算で接続領域がない場合を Case0，大領域の 1 格子分相当に接続領域を考慮する場合（格子の要素数 2960）を Case1（格子の配置は図-1 を参照），そして大領域の 20 格子分，すなわち津波の約 1 波長相当分に接続領域を考慮する場合（要素数 36672）を Case2 とした．

計算結果として，350 秒後における各ケースの小領域での水位の空間分布を図-2 に示す．従来のネスティング手法である Case0 では，接続境界上から小領域の中心部方向に津波本体の 10% 程度の大きさの反射波が発生している．次に，Case1 では FVM による接続領域を考慮しているが Case0 と同程度の反射が起こっている．これは，大領域の格子 1 格子分の距離で空間格子の大きさを急激に変化させていることから，結局，従来の線形補間による接続とほとんど変わっていないのが理由として考えられる．一方，Case2 では格子の大きさを徐々に変化させているため，境界上での反射は見られず，接続領域を経て大領域へ伝播している．以上の検討から，接続領域を津波の波長と同程度のオーダーの距離で考慮することによって，従来のネスティングで見られた反射誤差が起らず，本手法の有用性が確認できた．ただし，Case2 の演算時間は Case0 に比べ約 2 倍かかっており，経済的な格子配置を検討することが今後の課題として残されている．

4. 結論

本研究では，接続域に非構造格子を配置した新しいネスティング手法を提案し，本手法が小領域から大領域を通過する場合において，境界上から反射誤差を発生させることなく津波数値計算に有効な手法であることを示した．今後は，実地計算を行う場合の最適な格子配置の検討や，分散波動の場合のアルゴリズムについて計算手法を構築する必要がある．

参考文献

- 1) Kowalik, Z. and T.S. Murty (1993) : Numerical Modeling of Ocean Dynamics, World Scientific.
- 2) 後藤智明, 小川由信 (1982) : Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科.
- 3) D. L. George (2006) : Finite Volume Methods and Adaptive Refinement for Tsunami Propagation and Inundation. Ph.D. Thesis, Department of Applied Mathematics, University of Washington, Seattle.