

波浪と流動の相互作用を考慮した非構造格子カップリングモデルの開発

九州大学 学生会員 升永史織

九州大学 正会員 山城 賢 井手喜彦

1. はじめに

海洋表層の流れは様々な力によって複雑に駆動されており、浅海域において波によって生じるラディエーション応力の存在は流れの場を変化させる。一方、波浪場も水位や流れの場に依存して変化する。このように波と流れの状態は互いに影響を及ぼし合っているため、精度の高い計算を実施するには波と流れの相互作用を考慮しなければならない。しかし、波と流れの相互作用を考慮した非構造格子カップリングモデルの構築に関する研究例は少ない。そこで本研究では、既往のモデル同士をカップリングすることで波と流れの相互作用を考慮した非構造格子モデルを開発した。さらに、実務での使用を考慮し波と流れそれぞれの計算で異なる計算メッシュおよび計算時間間隔を設定できるようにすることで、計算効率を向上させ計算時間の短縮を図った。

2. 構築したカップリングモデルの概要

2.1 カップリングに使用したモデル

流れの計算には、海洋流動モデル FVCOM(Finite-Volume Community Ocean Model ver. 3.2)を用いた。本モデルは水平空間方向に非構造格子系を採用しており、複雑な海岸線を詳細に表現できるため、高精度な計算が期待できる。FVCOM には SWAVE と呼ばれる波浪カップリング計算のためのモジュールが用意されているが、計算の不安定性および有義波高の過大評価などの深刻な問題点が確認されている。また、波と流れの計算で同一の計算メッシュを用いるため、波の計算に膨大な計算コストが生じるという課題もあった。そこで本研究では、非構造格子系に対応している第三世代の沿岸波浪推算モデル SWAN(Simulating WAVes Nearshore)を FVCOM へ組み込むことで、これらの問題を解決したカップリングモデルを開発した。

2.2 変数の受け渡しと計算メッシュ

本モデルは FVCOM を基にした流れモジュールと SWAN を基にした波モジュールからなる (図-1)。流れモジュールから波モジュールへは流速、水位を受け渡し、波モジュールから流れモジュールへはラディエーション応力(S_{xx} , S_{xy} , S_{yy})から計算される力(F_x , F_y)を受け渡す。本モデルは各モジュールで異なる計算メッシュ及び計算時間間隔を設定可能である。なお、本モデルは単層計算のみに対応している。

3. 相互作用計算の検証

3.1 計算概要と検証方法

両モジュール間で流速、水位及び F_x , F_y を受け渡す相互作用計算は、有義波高と水位を確認することで精度を検証した。本検証では Ting(2001)¹⁾による水理模型実験値と比較した。計算メッシュは矩形 (x 軸方向に 60m, y 軸方向に 65m) の単純地形で数値実験を行った。開境界から y 軸方向に有義波高 0.152m, ピーク周期 2.00 秒のスペクトル波を入力した。最大水深は 0.46m, 勾配は y 軸方向 14m 地点から 1:35 とした。計算時間間隔は流れの計算は 0.01 秒, 波の計算は 5 秒とした。計算条件の詳細を表-1 の Case1 に示す。

3.2 計算結果

図-2 に x 軸方向中央における有義波高と水位の y 軸方向への変化を示す。実線は開発したモデルによる計算値, 点は実験値である。有義波高・水位ともに、実験値と比較し、近い値を示していること

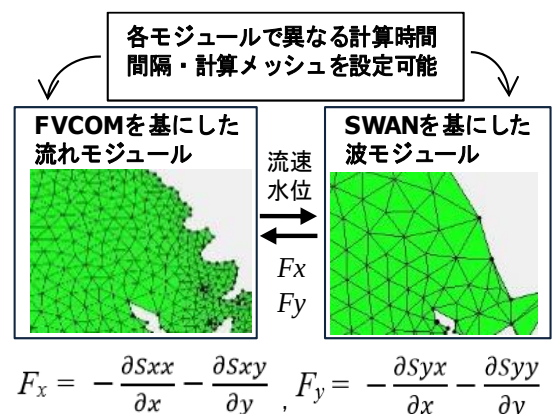


図-1 カップリングモデルの模式図

表-1 計算ケース

計算ケース	流れモジュール	波モジュール
Case1	ノード数 2046	流れモジュール同様
Case2	メッシュ数 3900	ノード数 751 メッシュ数 1400 格子間隔 2.5m程度
Case3	格子間隔 x軸方向2m y軸方向1m	ノード数 301 メッシュ数 538 格子間隔 4m程度

から、適切に相互作用計算が行われていることが確認できた。

4. 計算精度と計算時間に関する検討

相互作用計算において流れモジュールと波モジュールで異なる計算メッシュを用いた場合に、メッシュの違いが計算精度や計算時間に与える影響を評価した。前章の検証と同様の計算条件を設定し数値計算を行った。計算メッシュに関しては3つのケース(表-1のCase1~3)を設定した。流れモジュールは全てのケースで同じメッシュを使用し、波モジュールはそれぞれ異なるメッシュを用いた。計算結果を図-3に示す。オレンジの線はx軸方向中央でのCase1と水位差の絶対値の平均値を示す。メッシュの解像度が高くなるにつれ計算精度は良くなっており、Case1とCase3では0.12cmの差が見られた。また、青線はCase1の計算時間に対する各ケースの計算時間を示す。解像度が低いほど計算効率は良くなっており、Case3はCase1より計算時間を約3割短縮することができた。このように計算精度と計算時間はトレードオフの関係になっており、求められる精度と計算時間を考慮した適切な設定が必要である。

5. 相互作用計算を用いた検証

FVCOMとSWANでそれぞれ独立した計算(独立計算)と相互作用計算の結果を比較することで、波と流れの相互作用を考慮することによる影響を確認した。矩形(x軸方向に30km、y軸方向に14km)の単純地形を対象に、潮汐を考慮した数値実験を行った。開境界にy軸方向から反時計回りに10度の方向に有義波高3m、ピーク周期8秒のスペクトル波と、振幅2m、周期12時間の潮汐を入力した。最大水深は11m、勾配は1:1000とした。計算時間間隔は流れの計算は0.25秒、波の計算は2分である。流れ及び波モジュールで同様の計算メッシュを用いた。図-4に有義波高を示す。独立計算では、有義波高は定常となったが、相互作用計算では、潮汐による水位・水深の時間変化が生じることから、有義波高にも時間的な変化が見られた。満潮時には $y=6\text{ km}$ 、干潮時には $y=2\text{ km}$ 付近で碎波していることが分かる。図-5に水位を示す。独立計算のみによる水位と比較し、相互作用計算ではウェーブセットアップが顕著である。特に干潮時に差が大きくなり、最大0.15mの上昇を示した。

6. 終わりに

非構造格子モデルのFVCOMとSWANを基にして、波と流れのカップリングモデルの開発を行った。矩形の単純地形を用いて、既往研究の実験値との比較からモデルの検証を行い、モデルの精度を確認した。また、波と流れの計算に異なるメッシュを用いた際の計算精度や時間への影響を把握した。さらに、相互作用計算と既存のモデルによる計算を比較することで、相互作用による効果を確認した。

参考文献

- 1) Ting, F.C.K. (2001): Laboratory Study of Wave and Turbulence Velocity in Broad-banded Irregular Wave Surf Zone, *Coastal Engineering* Vol43, pp183-208

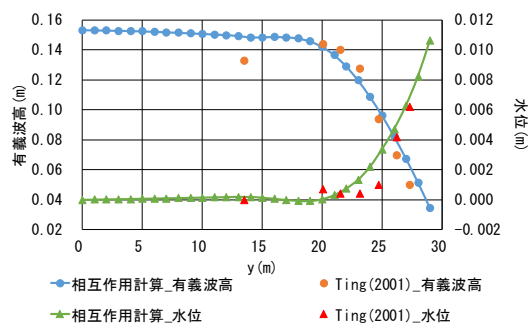


図-2 有義波高・水位 (x=30m)

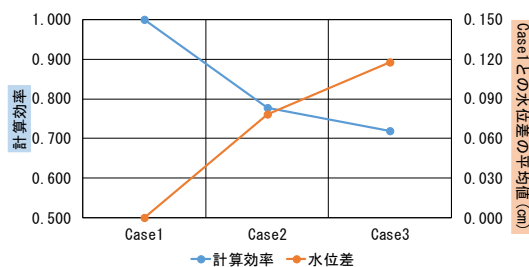


図-3 計算精度と計算時間の関係

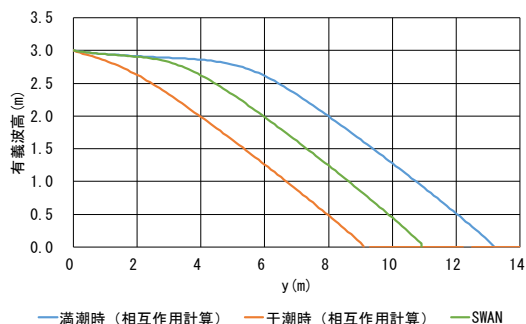


図-4 有義波高 (x=15 km)

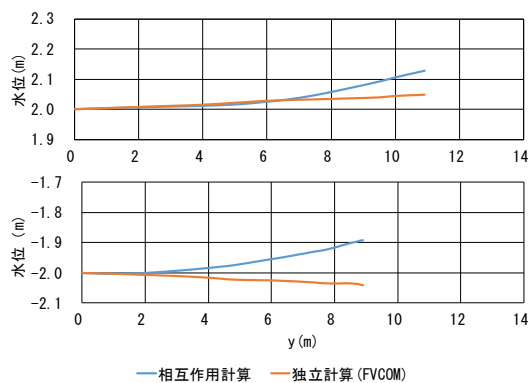


図-5 水位 (x=15 km)

(上：満潮時，下：干潮時)