

有明海潮流の準 3 次元有限要素モデル Quasi-Three Dimensional Finite Element Model of Tidal Current of the Ariake Sea

○桐 博英* 白谷栄作* 丹治 肇*
Hirohide Kiri, Eisaku Shiratani and Hajime Tanji

1. はじめに

有明海における近年の現地観測体勢の強化に伴い、比較的長期間の定点観測データが収集されるようになってきている。観測データをもとに潮流の物理過程を明らかにし、有明海の環境改善に向けた取り組みへと効果的に利用するには、空間分解能が高い数値解析との対比が必要である。しかし、有明海における潮流現象では、多くの数値シミュレーションが行われ、使用されるモデルも 2 次元から 3 次元へと進化しているものの、計算量の大きさから 3 次元解析は空間分解能が低く抑えられ、解析の主目的が有明海の大規模流動構造の解明にとどまっている。本研究では、複雑な地形形状を容易に再現できる有限要素法による 3 次元モデルを構築し、有明海潮流の再現性を確認するとともに、実用化に向けて解析コードの並列計算性能を検証した。

2. 構築したモデルの概要

有明海の 3 次元潮流解析では、POM (Princeton Ocean Model) を改良したモデルや Delft 3D Flow が主に用いられている。両モデルとも海底形状を忠実に再現するため、鉛直方向に σ 座標系を採用しており、本モデルでも同座標系を導入した。解析は運動方程式および水温、塩分の移流拡散方程式をそれぞれ、水平フェーズと鉛直フェーズに分離し、後者のうち粘性項 (または拡散項) と底面摩擦項を陰解法、それ以外を陽解法で解析した。水平方向の離散化には、桐ら(2008)による有明海潮流の 2 次元解析で再現性が検証されている、非線形の気泡関数要素を用いた混合補間を用いて定式化した。また、有明海では、潮汐に伴って生じる干潟を取り扱う必要があるため、内山 (2004) に倣い干出・没水モデルを導入した。

3. 有明海での数値計算

解析対象領域は、**図 1** に示す有明海全域である。解析に用いた有限要素メッシュは、桐ら(2008)の解析で用いたものを使用した。このメッシュは、有明海湾奥部で要素間隔が 95 ~ 450 m であり、これまでに行われた有明海の 3 次元解析の計算格子間隔 (国調費モデルで 900 m) と比較して空間分解能が高い。なお、15 層で解析した場合の総節点数は 365,145、総要素数は 687,690 であった。その他の解析に関する項目は、**表 1** のとおりとした。

4. 解析結果

(1) 潮流速の鉛直分布

諫早湾口の有明と長洲を結ぶライン上の島原沖にある P61 地点における潮流速変動の鉛直分布を**図 2** に示す。**図 2** では、上から表層、中層および底層のそれぞれ 2 層分の潮流速をプロットしている。表層および中層の潮流速は、これまでの観測値をほぼ再現しているほか、P61 地点では、別途比較した他の地点と比べて流速の鉛直変化が大きかった。これは、P61 地点付近で海底地形が大きく変化することによる流れの 3 次元変動によると考えられる。

*農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering, NARO

表1 計算モデルの計算諸元

項目	条件
解析項目	流動, 水温, 塩分
干潟判定閾値	0.1 m
鉛直分割数	15 層
解析期間	2001年5月1日～5月31日
潮位	13分潮による天文潮位
河川流入	主要9河川
気象データ	風: 熊本港 気温, 日射量, 雲量, 相対湿度: 熊本地方気象台
渦動粘性係数, 拡散係数	水平: Smagorinsky (1963)の経験式 鉛直: Munk and Anderson(1948)成層化関数
Δt	2 秒

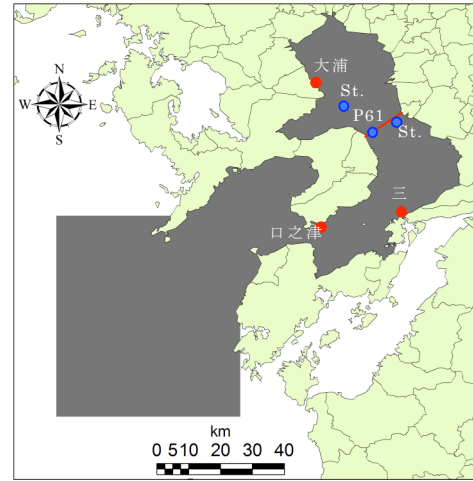


図1 解析領域

(2) 潮位解析結果

口之津, 三角および大浦の毎正時潮位データと解析結果を比較したのが図3である. 有明海灣口の口之津と比較して湾奥部に向かうほど推定精度が低下する傾向は, 他の解析結果と同様である. 解析結果でも基本的な潮汐変動をほぼ再現しているが, 今後, 若干のパラメータの改善を行う必要がある.

(3) モデルの並列化効率

本解析では計算量が大きくなるため, PC クラスタを構築し, 領域分割法による並列計算を行った. 領域は, 各計算ノードで分担する計算負荷ができるだけ均等になるよう, 各領域の要素数が等しくなるようにした. 並列計算ライブラリには MPICH2 を用い, 解析コードの並列化率はほぼ 100%であった. 本解析では, 8 ノード以降で速度向上率が若干抑えられた. これは, 通信等に係るオーバーヘッドが増えることと, 各ノードで分担する節点数に若干のばらつきがあることによると考えられる.

5. まとめ

本研究では, 有明海の潮流の局所的な3次元流動構造を再現できるモデルの構築を目指して, 有限要素モデルを開発した. 30 昼夜の再現計算の結果, 基本的な潮流変動や, 島原沖の潮流速の鉛直分布が再現できることを確認した. 今後は, 通年計算に向けて解析コードのチューニングを行うとともに, 解析メッシュの領域分割法の改善を行っていきたいと考えている.

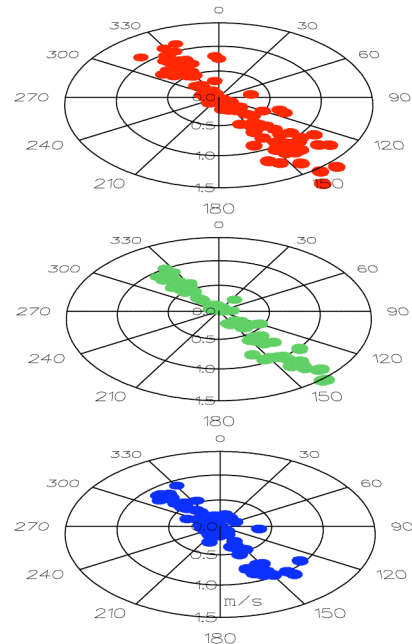


図2 深度別潮流速変動 (P61 地点)

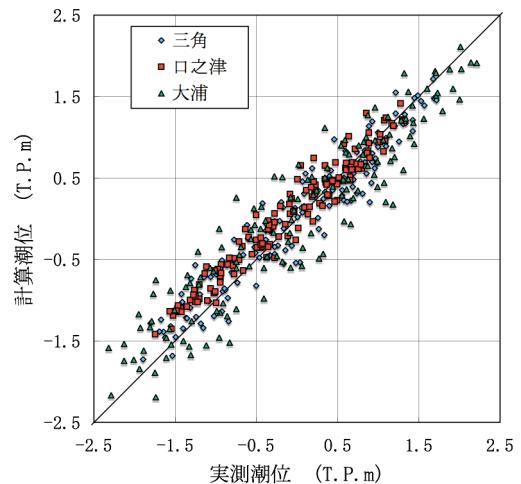


図3 潮位変動の比較

引用文献: 内山 (2004) 海岸工学論文集, 51, pp.351-355
 桐ら (2008) 海岸工学論文集, 55, pp.376-380