

## 三次元河口流解析に適したモードスプリット法の構築

東京工業大学大学院情報理工学研究科情報環境学専攻 学生員 ○大橋 暁  
東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶 泰雄

### 1. 序論

沿岸海域環境管理を行う上では、河川経由の陸域環境負荷を精度良く評価する必要がある。通常、陸域負荷調査は、海と川の接続点よりも上流地点で行われるため、沿岸環境シミュレーションを行う際には、陸域負荷が境界条件として与えられる上流地点と沿岸域をつなぐ河口流モデルの取り扱いが重要である。一般的な沿岸環境計算では、河川部分についても沿岸域と同一の計算モデルや座標系が採用される。しかしながら、河口域では、密度流による鉛直循環や浮泥層の存在、滞筋や浅場等による地形変化に起因して、鉛直方向のみならず横断方向の流れ・地形・水底質環境変化が顕在化しているため、横断方向に十分な格子解像度を確保した三次元河口流解析が望ましいが、現状の沿岸計算ではこのような要求を満足する計算モデルは存在しない。そこで本研究では、沿岸環境モデルとリンクすることを念頭にして、計算負荷が少ない三次元河口流モデルを構築することを目的とする。そのため、ここでは、沿岸モデルで「三次元計算」と「平面二次元計算」を併用するモードスプリット法<sup>1)・2)</sup>の考え方を応用して、「三次元計算」と「鉛直二次元計算」を併用する新しいモードスプリット法を取り込んだ河口流モデルを開発し、三次元計算の回数を減らすことで計算時間を大幅に短縮することとする。また、本モデルの有効性を検証するために、密度フロントを対象としたテスト計算を実施する。

### 2. 本モデルの概要

通常のモードスプリット法は、三次元場と平面二次元場を分離して数値解析を行うのに対して、本モードスプリット法では、流速や密度の鉛直変化が横断変化よりも顕著である河口流解析用として、三次元計算と鉛直二次元計算を分割して計算を進める。具体的には、毎計算ステップにおいて鉛直二次元計算を実施し、数～数十ステップに一回三次元計算を実施して両者の計算結果を交換する（図1）。本モデルの基礎方程式系としては、三次元場では三次元 NS 方程式と連続式、密度保存則を用い、鉛直二次元場ではそれらの式系を横断方向平均した方程式系を採用する。計算手順としては、鉛直二次元計算のみの計算ステップと両計算を同一に行う計算ステップで異なっており、次に示すようになっている。

【鉛直二次元計算のみを行うステップ】

- ① 鉛直二次元 NS 方程式、連続式、密度保存則を計算し、横断平均水位、流速、密度を求める。

【鉛直二次元と三次元計算の両方を行うステップ】

- ② 三次元計算結果の横断平均値を①で行われた横断平均水位、流速、密度に置き換える。
- ③ 三次元 NS 方程式、連続式、密度保存則より水位、流速、密度を計算する。
- ④ 三次元計算結果から鉛直二次元方程式系に必要な修正項を計算し、①における鉛直二次元計算で採用する。

このような計算手順となる本モードスプリット法を導入することにより、計算負荷の大きい三次元計算の回数を減らしつつ、流れや密度の三次元構造の再現が可能となっている。

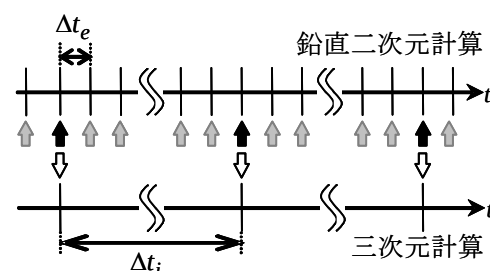


図1 本モードスプリット法における計算時間間隔の設定

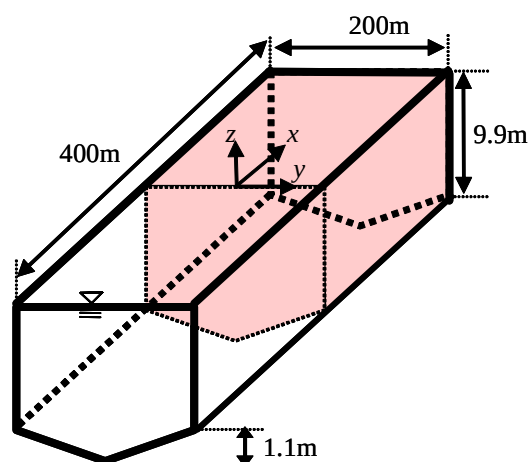


図2 計算領域の設定

### 3. 密度フロントに関するテスト計算

#### (1) 計算条件

本モデルの有効性を調べるために、密度フロント（Lock Exchange

キーワード：モードスプリット法、河口流、三次元計算、密度フロント

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL：03-5734-2591 FAX：03-5734-2650

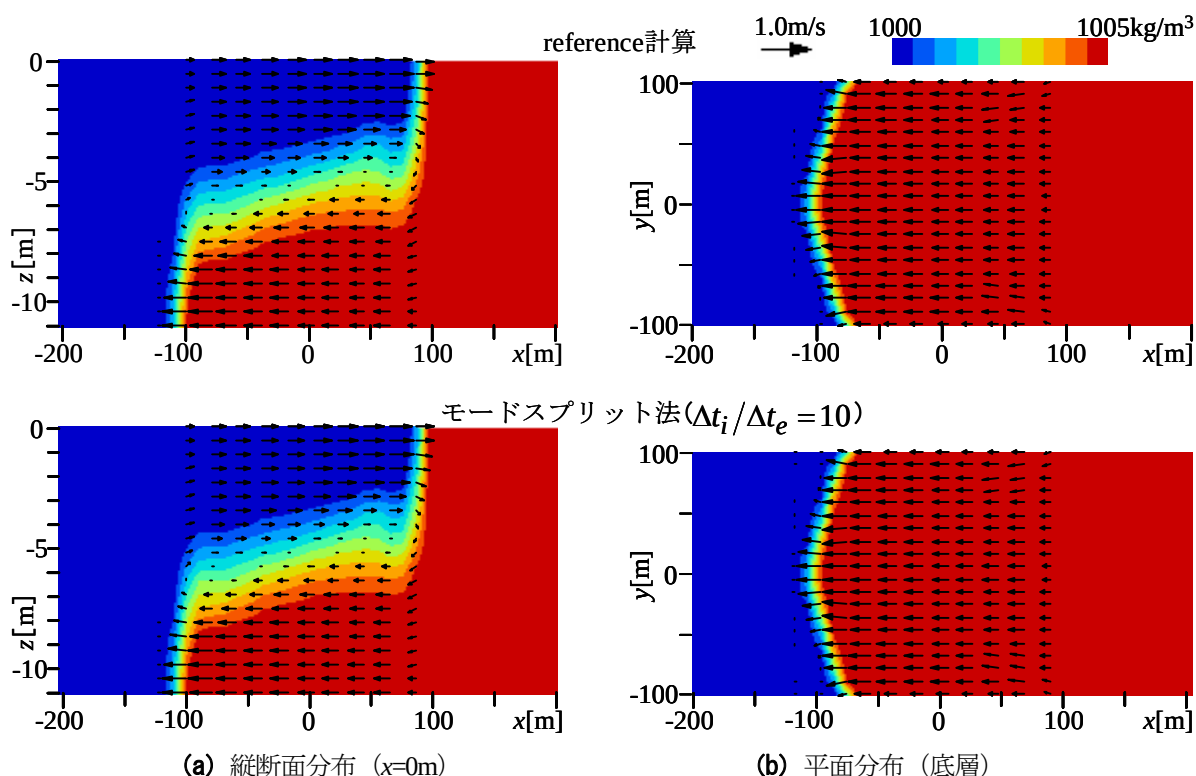


図3 reference計算とモードスプリット法を用いた場合 ( $\Delta t_i / \Delta t_e = 10$ ) における密度フロント構造の瞬間像 ( $t=360s$ )

Problem) のテスト計算を行う。計算領域は流下 ( $x$ ) 方向 400m, 横断 ( $y$ ) 方向 200m であり, 底面は中央部 ( $y=0m$ ) で窪む形状とする (図 2)。初期条件として  $x$  が正と負の領域に  $1005, 1000kg/m^3$  の密度を各々与えて, 計算開始後密度フロントが上下に交差する, という密度流計算を行う。鉛直二次元場及び三次元場の計算時間間隔  $\Delta t_e, \Delta t_i$  としては, モードスプリット法を用いる場合 ( $\Delta t_i / \Delta t_e = 10 - 60$ ) と reference 計算としてモードスプリット法を用いない場合を設定して, 各ケースの計算精度や CPU 時間を求める。

## (2) 密度フロントの計算結果

図3は計算開始 360s 後の縦断面 ( $y=0m$ ) と平面 (底層) における密度コンターと流速ベクトルを示している。ここで, モードスプリット法を用いる場合 ( $\Delta t_i / \Delta t_e = 10$ ) とモードスプリット法を用いない reference 計算の結果が各々表示されている。これより, 両者の密度フロントの鉛直・平面構造は概ね一致していることが分かる。そこでモードスプリット法による計算結果や CPU 時間の変化を定量的に検討するために, 同時刻における計算誤差  $Err$  (モードスプリット法を用いるケースと reference 計算結果の差の RMS 値) と無次元 CPU 時間 (各ケースの CPU 時間を reference 計算の値で除した値) を算出した結果を図4に示す。その結果,  $\Delta t_i / \Delta t_e$  を大きくすると計算誤差  $Err$  は大きくなるものの最大で 2.4% であるのに対して,  $\Delta t_i / \Delta t_e$  とともに無次元 CPU 時間は減少し最小で 0.038 となる。これより, 本モードスプリット法により, 計算誤差をほとんど増加させずに計算時間を大幅に短縮することが可能となり, 本モデルの基本的な有効性が検証された。

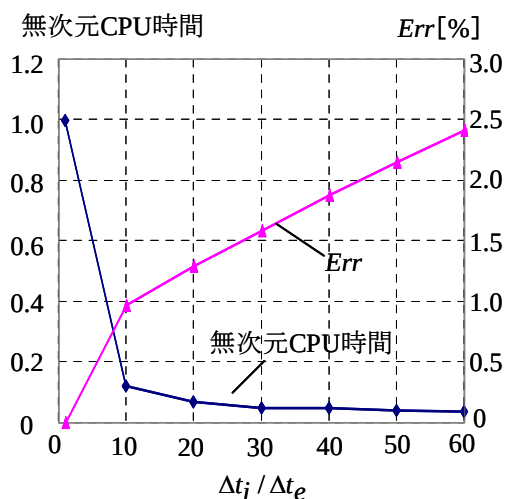


図4 無次元 CPU 時間と計算誤差  $Err(t=360s)$

## 4. 結論

三次元河口流解析法の計算負荷を大幅に減少させるために, 三次元計算と鉛直二次元計算を併用する新しいモードスプリット法を導入した三次元河口流モデルを構築した。本モデルの有効性を検証するために, 密度フロントに関するテスト計算を行ったところ, 本モデルが計算誤差を抑制しつつ計算時間を大幅に短縮し得る手法であることが示された。

## 参考文献

- 1) Madala, R. V. and Piacsek, S. A., *J. Comp. Phys.*, Vol.23, pp.167-178, 1977, 2) 二瓶, 加藤, 佐藤: 土木学会論文集, No. 803 / II-73, pp.115-131, 2005.