

干潟・浅場を考慮した3次元潮流シミュレーション

鳥取大学大学院 学生員 ○田中健太郎
 鳥取大学工学部 正会員 松原雄平・黒岩正光
 八千代エンジニアリング 正会員 中平順一
 鳥取大学大学院 学生員 マゼン タイエフ

1. はじめに

潮間帯は生態系や物質循環などにとって重要な場であり、精度良い流動予測が必要不可欠である。潮間帯の冠水・干出を考慮した潮汐流の予測は、従来、平面2次元モデルや層積分型の3次元多層モデルなどが用いられている。平面2次元モデルでは、流れの鉛直構造が表現できない。多層モデルでは、ある程度水深の深いところでは、鉛直構造は表現できるが、干潟のような潮間帯では、鉛直方向の層数が1つとなり、鉛直構造は表現困難である。また最近では σ 座標系を用いたモデルも提案されている。しかしながら、まだ確立されたモデルがあるとは言いがたい。本研究では、これまでのモデルとは別の手法を用いて、冠水・干出と流れの鉛直分布も計算できる新たな潮汐流の3次元予測モデルを提案し、モデルの妥当性を検討しようとするものである。

2. 数値モデルの概要

本モデルは、黒岩ら¹⁾の海浜流の準3次元モデルのコードを潮流モデルに改良したものである。

(1)運動方程式及び連続式： 3次元 N-S 方程式に静水圧近似およびブシネスク近似した運動方程式を基礎式とする。

$$\frac{Du}{Dt} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

連続式は

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

水面変動 ζ および鉛直方向流速 w はそれぞれ

$$w = w_{z=-h} - \frac{\partial}{\partial x} \int_h^z u dz - \frac{\partial}{\partial y} \int_h^z v dz \quad (4)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \int_h^z u dz - \frac{\partial}{\partial y} \int_h^z v dz \quad (5)$$

から計算される。

(2)数値計算法： 本研究では、Kautitusら²⁾が吹送流の計算に用いた Fractional Step 法を適用する。この手法は、運動方程式を水平方向の微分項と鉛直方向の微分項の2つに分け、2段階で時間積分を行う方法である。1ステップ目、すなわち水平方向の微分項の離散化には有限差分法を、2ステップ目は鉛直方向のみの計算となるので、水深に関わらず等分割を行うことが容易であり、底面付近だけ細かく分割

することができ、浅い領域でも流れの鉛直構造を再現することが可能である。

(3)水面および底面における境界条件

水面には、風や波による摩擦せん断応力は作用しないものとする、

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (z = \zeta) \quad (6)$$

底面では、底面摩擦せん断応力が作用するとし、

$$\varepsilon_z \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{bx}}{\rho}, \quad \varepsilon_z \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (z = -h) \quad (7)$$

ここに、 τ_{bx} および τ_{by} は底面せん断応力で、

$$\tau_{bx} = \rho g u \sqrt{u^2 + v^2} / C^2, \quad \tau_{by} = \rho g v \sqrt{u^2 + v^2} / C^2 \quad (8)$$

で表され、 C は Chezy 係数（例えば、柿木ら³⁾）を用いて以下のように表した。

$$C = \frac{1}{n} (h + \zeta - 1.0)^{1/6} \quad : \quad h + \zeta \geq 1.1 \text{ m} \quad (9)$$

$$C = \frac{0.683}{n} (h + \zeta) \quad : \quad h + \zeta \leq 1.1 \text{ m} \quad (10)$$

のように表した。

底面における w は

$$w = -u \frac{\partial h}{\partial x} - v \frac{\partial h}{\partial y} \quad (11)$$

とした。

(4)沖側入射境界： 対象とする場が閉鎖された領域である場合、開口部において潮汐波の水位変動を与えればよい。本計算では、M2 分潮のみを考え水位変動を与えた。

(5)潮間帯における冠水・干出計算： 潮汐による極浅海域の冠水と干出は、加藤ら⁴⁾の手法を用いて冠水・干出計算を試みた。下げ潮時は、水位が下がり干潟域が露出するにつれて、ある実水深以下になったところで陸域（計算領域外）として新たに境界を設定すればよい。一方、上げ潮時は水位上昇に伴い、陸域から海域となるところの水深を設定し、新たな境界を設定する必要がある。加藤らと同様に、まず、上げ潮時の各計算ステップ内では、境界を不透過として計算領域内の水位と流速を計算し、次のステップに入る前に、計算された水位を領域外に外挿する。外挿は図に示すように行うが、陸域のある1点が海域の2点以上のところから外挿されるときは、2あるいは3点平均した値を用いることとする。なお、外挿された点の実水深が正であれば、海域とされるが、実際の計算では、ある程度の水深が必要である。本モデルでは、試行錯誤の結果、0.2m がそ

の限界であり、外挿した点における実水深が 0.2m 以上であれば、海域として計算領域とした。なお、下げ潮時に実水深が 0.2m 未満であれば、干潟域としている。

3. 数値計算結果

図-1 に示すような構造物で囲まれた人工干潟モデルにおける潮流計算を試みた。潮汐は M2 分潮に相当する周期 12 時間、振幅 1.5m とした。計算格子間隔は 10m、時間間隔は 0.5s とした。

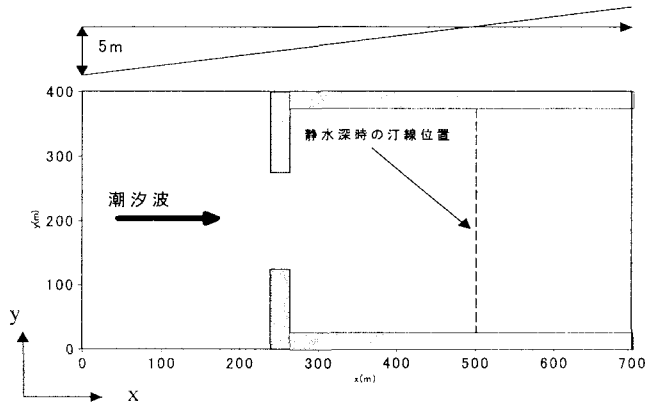


図-1 干潟モデルの計算領域

図-2 および 3 はそれぞれ上げ潮時、下げ潮時の断面平均流速のベクトル図と $y=200\text{m}$ の断面における鉛直分布を示したものである。これらの図から、干出および冠水の状況が計算されているのが明らかである。また、開口部において流速が速くなっており、上げ潮時の開口部流入による伴う構造物背後の剥離渦が再現されている。浅瀬における流速の鉛直分布も計算されている。

4. おわりに

本研究では、干潟域における冠水・干出を考慮できる 3 次元潮汐流予測モデルを提案し、閉鎖水域内（人工干潟モデル）における計算を試みた。潮汐による干満が再現できるとともに、潮流の鉛直分布も同時に計算できることが確認できた。

謝辞：本研究は、平成 16 年度における鳥取大学・八千代エンジニアリングとの共同研究（代表：黒岩正光）の成果の一部である。また、平成 16 年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究 C(2)、『人工生命手法による中海生態系環境の評価手法に関する研究』、代表：松原雄平）の補助を受けて行った。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 黒岩ら：準 3 次元海浜流数値シミュレーションに関する研究，海工論文集，1997
- 2) Koutitas et.al. : Modelling three-dimensional wind-induced flow, *J. Hydraulics Div.*, ASCE, Vol.106, HY11, pp.1843-1865, 1980
- 3) 柿木ら：白川・緑川河口域の干潟形成に及ぼす潮位・潮流と河川流入の影響，海工論文集，第 47 巻，2000
- 4) 加藤ら：干潟上の潮流計算および干潟変形予測の手法，港湾技研報告，Vol.18, No.4, pp.3-75, 1985

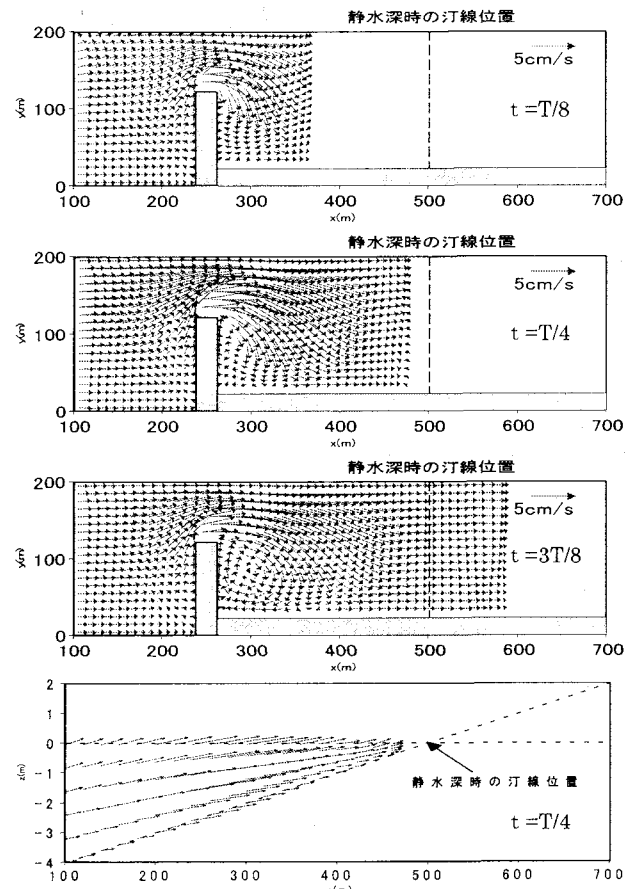


図-2 上げ潮時の断面平均流速と鉛直分布

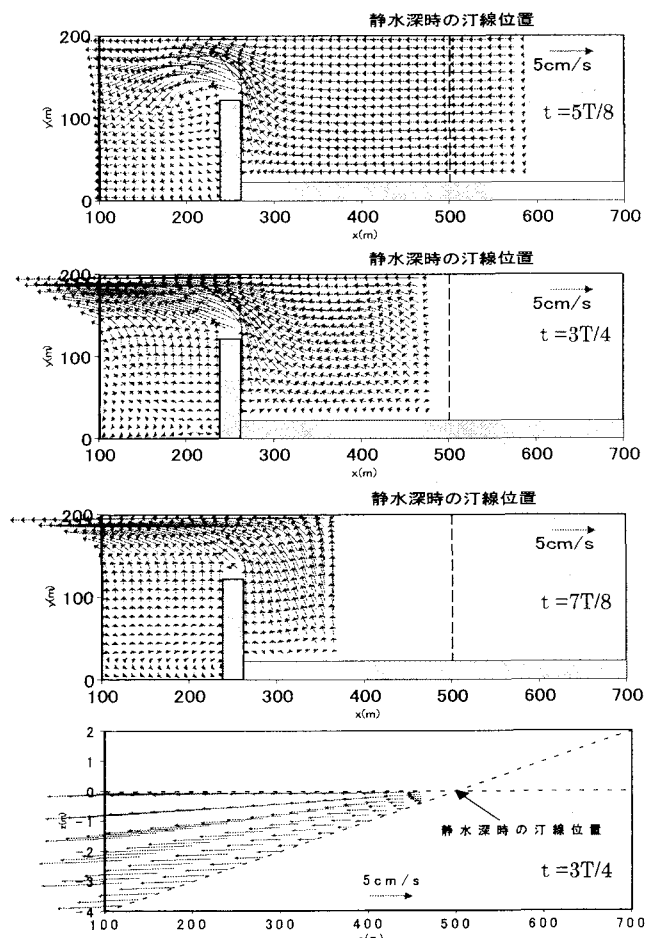


図-3 下げ潮時の断面平均流速と鉛直分布