

干潟域を対象とした潮汐・潮流の数値計算

鹿児島大学大学院 学生会員 ○進藤祐介
鹿児島大学大学院 正会員 齋田倫範

1. はじめに

近年、沿岸域において赤潮や貧酸素水塊の形成といった水環境問題が深刻化している．このような背景から、干潟を含む沿岸域を対象とした数値シミュレーションが盛んに行われている．干潟域は、生物化学的な水質浄化機能を有するとともに、潮下帯への濁りの供給源となるなど、沿岸域の水環境に大きな影響を及ぼす．また、水深の小さな干潟域では波や流れによる物理的攪乱効果も大きい．本研究では、干潟域の物理現象に関する諸検討を行うために、鉛直二次元数値モデルを作成した．加えて、数値波動水路プログラム CADMAS-SURF（沿岸技術研究センター，2008）を用いた計算を行い、両者の結果を比較した．

2. 鉛直 2 次元数値モデルの概要

本研究で作成した数値モデル（以下、静水圧モデル）の基礎方程式は、静水圧近似を適用し、 σ 座標系で記述した鉛直二次元の運動方程式(1)、連続の式(2-a,b)である．

$$\frac{\partial Du}{\partial t} + \frac{\partial Du^2}{\partial x} + \frac{\partial u\varpi}{\partial \sigma} = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(2DK_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_z}{D} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \quad (1)$$

$$D\varpi = \sigma \int_0^1 \frac{\partial(Du)}{\partial x} d\sigma - \int_0^\sigma \frac{\partial(Du)}{\partial x} d\sigma \quad (2-a) \quad , \quad \frac{\partial D}{\partial t} + \int_0^1 \frac{\partial(Du)}{\partial x} d\sigma = 0 \quad (2-b)$$

$$\text{但し, } \varpi = \frac{\partial \sigma}{\partial t} + u \frac{\partial \sigma}{\partial x} + w \frac{\partial \sigma}{\partial z}$$

ここで、 D ：全水深、 u ：水平流速、 w ：鉛直流速、 ϖ ： σ 方向の流速、 η ：水位、 K_h 、 K_z ：水平、鉛直方向の渦動粘性係数、 g ：重力加速度である． K_h 、 K_z の評価には、標準型 $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いた．干潟部の処理には、内山(2004)の冠水・干出スキームを採用した．干出判定水深は 0.1m である．また、運動方程式の底面境界条件は、内山(2004)によって修正された対数則（粗度長：0.01m）とした．計算では、図-1 に示す計算領域の開境界に、周期12.42h の水位変動を正弦関数で与えた．振幅は、1.0m から 3.0m まで 0.5m 間隔で設定した．干潟沖側（干潟縁辺部）の勾配は 1/100 とし、干潟勾配は 1/500 から 1/5000 の間で 11 ケースを設定した．計算格子間隔及び計算時間間隔は、それぞれ $\Delta x=100\text{m}$ 、 $\Delta \sigma=0.1$ 、 $\Delta t=0.02\text{s}$ である．

比較に使用した CADMAS-SURF は、二次元非圧縮粘性流体を対象とした連続の式と運動方程式、圧力に関する Poisson 方程式を基礎方程式とする．CADMAS-SURF による計算においても、図-1 に示す地形を対象とした．ただし、設定した干潟勾配は 1/1000 のみである．静水圧モデルの潮汐振幅 2m の場合の計算結果を踏まえ、開境界には振幅 0.518m/s、周期 12.42h の水平流速を与えることとした．底面境界条件は対数則（完全粗面）、計算格子間隔及び計算時間間隔は、 $\Delta x=100\text{m}$ 、 $\Delta z=0.5\text{m}$ 、 $\Delta t=0.1\text{s}$ とした．

3. 計算結果

静水圧モデルの計算結果として、干潟勾配と平均汀線位置からの汀線移動距離との関係を図-2 に示す．図中の実線、破線は、それぞれ潮位と地形から幾何学的に求められる満潮時、干潮時の汀線位置を表す．干潟勾配 1/1000 程度以上のケースでは概ね潮位変動に対応した汀線移動が生じている．一方、勾配 1/1000 以下の極めて緩やかな干潟を想定したケースでは潮位変動に対応した汀線移動は生じない．また、開

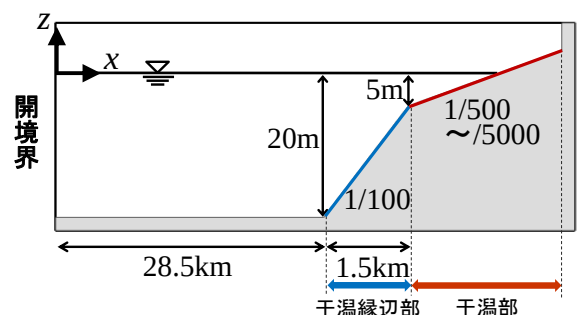


図-1 計算対象地形の概略図

境界に与える潮位振幅に対する依存性も小さくなる。すなわち、干潟勾配が小さい場合、干潟部での海水流入が円滑に行われず、あるいは静水圧近似のもとではこのような状況を計算できない可能性がある。

次に、干潟勾配 1/1000、潮汐振幅 2m の計算における水位変動を M_0 , M_2 , M_4 成分に調和分解して得られる岸沖方向の振幅分布を図-3 に示す。静水圧モデルの場合、干潟部で M_2 潮振幅が減少するとともに、干潟部で M_4 潮が発生している。一方、CADMAS-SURF では、 M_2 潮、 M_4 潮の振幅に岸沖方向の大きな変化は見られなかった。なお、CADMAS-SURF の結果において、沖側から M_4 潮が発生しているのは、開境界条件の与え方に起因するものと考えられる。次に、調和分解で得られた岸沖方向の位相分布を図-4 に示す。位相は干潟縁辺部沖側 (28.5km 地点) を基準とした位相差として表示してある。静水圧モデルの場合、 M_2 潮、 M_4 潮ともに干潟部で位相の遅れが生じているのがわかる。また、 M_2 潮の位相差より M_4 潮の位相差が大きい。一方、CADMAS-SURF の場合、 M_2 潮、 M_4 潮の位相に遅れはほとんど見られなかった。

次に、干潟部に海水が流出入する際に生じる水面勾配の分布を図-5 に示す。静水圧モデルでは、干潟部で水面勾配が大きくなっている。これは、水深の浅い干潟部で海底摩擦の影響を強く受けるためと考えられる。しかし、CADMAS-SURF の結果では、生じる水面勾配は極めて小さかった。この挙動の違いは前述の調和解析結果と対応している。

4. まとめ

本研究では、特徴の異なる 2 つの数値モデルによって、干潟上の流動に関する数値計算を行ったところ、両者の結果に大きな違いが見られた。静水圧モデルと CADMAS-SURF の結果の相違については、座標系の違いや空間解像度の影響が考えられる。あるいは、干潟域に海水を流出入させる駆動力として水面勾配以外の作用、すなわち動圧が寄与している可能性も考えられる。今後、計算結果の相違に関する詳細な検討を行うとともに、干潟上の海水挙動を高精度に再現できる数値モデルを構築したい。

参考文献

内山雄介(2004)：海底面の力学過程を考慮した冠水・干出スキームの開発と三次元 σ 座標海洋流動モデルへの適用，海岸工学論文集，pp351-355。
財団法人沿岸技術研究センター(2008)：CADMAS-SURF 実務計算事例集

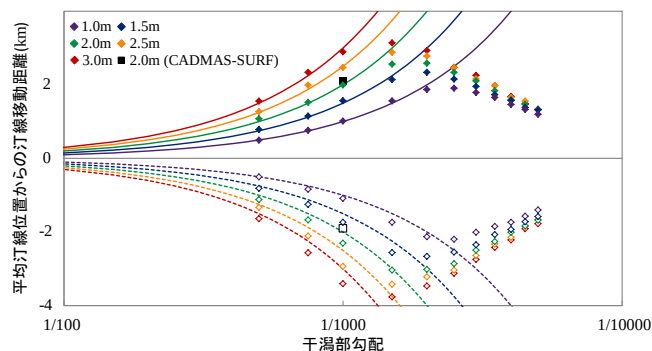


図-2 干潟勾配と汀線移動距離の関係

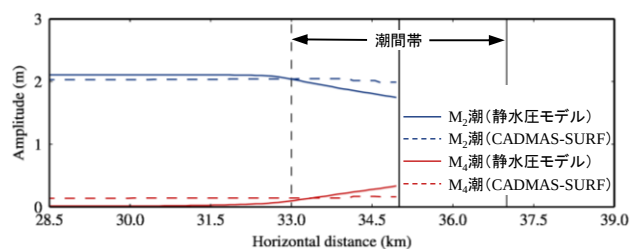


図-3 岸沖方向の振幅分布

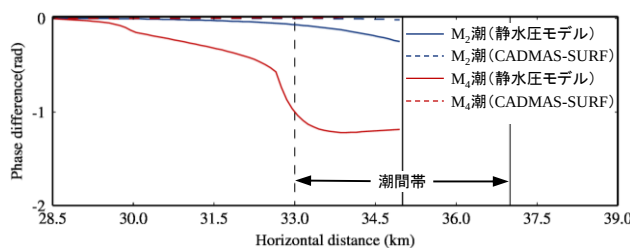
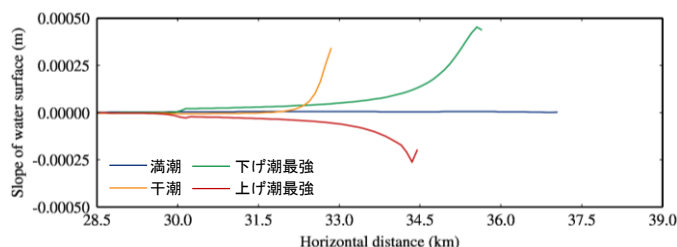
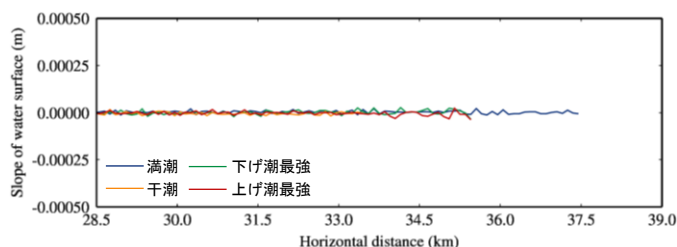


図-4 岸沖方向の位相差分布



(a) 静水圧モデル



(b) CADMAS-SURF

図-5 岸沖方向の水面勾配分布