

徳山湾を対象とした停滞性水域の海水交換機構に関する研究

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○清田 晃平
長岡技術科学大学 正会員 犬飼 直之
長岡技術科学大学 正会員 早川 典生

1. はじめに

一般的に、閉鎖性海域では、湾口部付近の潮汐流などにより生成される水平循環流と、湾奥部の海水交換性の悪い停滞性水域が存在している。その停滞性水域沿岸は、流れが静穏な水域であるが、人口が集中し、かつ工業地帯が多く存在するために、生活排水や工業排水が多量に流入しており、水質環境を悪化させている。このような停滞性水域の環境保全策には、汚染物質の流入を制御する方法や、湾内の流況を改善させ、海水交換率を向上させる方法などがある。

2. 研究目的

本研究では、これらの環境保全策の中で、海の流れを利用した海水交換による自然浄化作用に着目し、閉鎖性水域の効率的な水質環境改善技術を開発することを目的とする。特に、閉鎖性海域が多く存在する瀬戸内海の中で徳山湾を例に、閉鎖性水域の流動特性を把握し、効率的な海水交換改善条件の把握を試みた。

徳山湾周辺では潮汐流が卓越するので、潮汐流の数値シミュレーションを行った。結果は水理模型実験の結果と比較し、計算の精度を確認した後、地形変換により流況を改変させ、改変前後の流動特性を比較・検討し、効率的な海水交換改善条件の把握を試みた。

3. 数値解析法

流れの平面2次元モデルを用いて、潮流を考慮した流れの基本式は、水深方向に積分した平面二次元の長波方程式によって次のように示される。本研究では、これらの式を陽的に差分化し、平面2次元の流れの計算を行った。

連続式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[(\zeta + h)u] + \frac{\partial}{\partial y}[(\zeta + h)v] = 0 \quad (1)$$

運動方程式

X 方向

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)C^2} = 0 \quad (2)$$

Y 方向

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)C^2} = 0 \quad (3)$$

ここに、 t : 時間
 f : コリオリ係数
 u, v : x 方向, y 方向の速度
 g : 重力加速度
 A_h : 水平渦動粘性係数
 C : Chezy係数
 ζ : 平均水面からの水面の高さ
 h : 水深

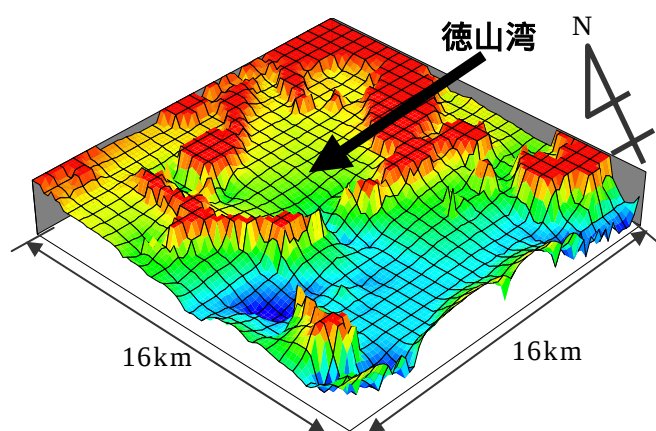


図-1 徳山湾地形図

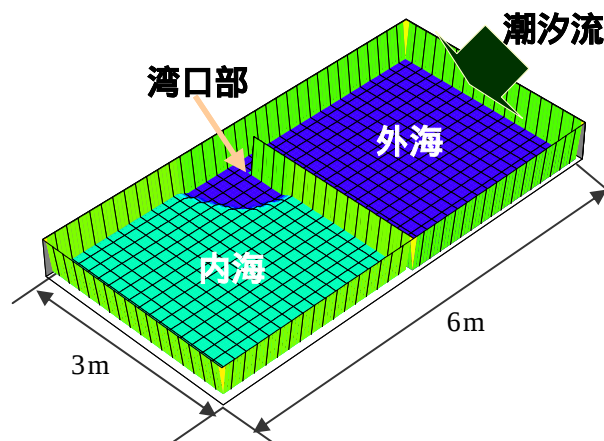


図-2 閉鎖性矩形湾地形図

4. 計算条件

図-1 に本研究で対象とした徳山湾の地形図を示す．今回の計算では、徳山湾を簡略化した閉鎖性矩形湾模型（図-2）を用いた．計算条件は、山崎らの水理実験の条件に合わせ、湾口部の地形、潮汐の振幅、周期を 8 通りに変化させたケースについて計算を行った．計算条件は表-1 の通りである．

表-1 計算条件

諸元	
格子間隔 (S)	6 cm
水深 (h)	湾内で 3.5cm, 7cm, 10.5cm と変化
タイム・ステップ (t)	1.0^{-6} 秒
コリオリ力 (f)	考慮しない
1 周期の長さ	120 秒, 180 秒, 240 秒 と変化
河川流入	なし
初期条件	水位、流速ともに全域で 0

5. 計算結果

(1) 流速

図-3 に、図-2 に示す地形での上げ潮最大時の流速ベクトル図を示す．上げ潮、下げ潮時共に湾内中央から湾口部に向け、流速が増加する．また、湾奥部では双方共に流速が小さく、停滞水域となっていることが確認できた．図-4 に湾口部を埋め立てた場合 (flat) と埋め立てない場合 (deep) の流速を場所別示す．湾奥部、湾口部共に埋立地形の方の流速が大きくなる結果が得られた．水理実験との比較についても、近似的な値が得られている．

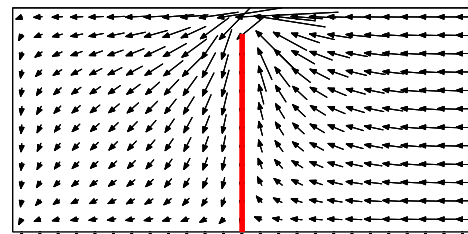


図-3 流速ベクトル図（上げ潮最大時）

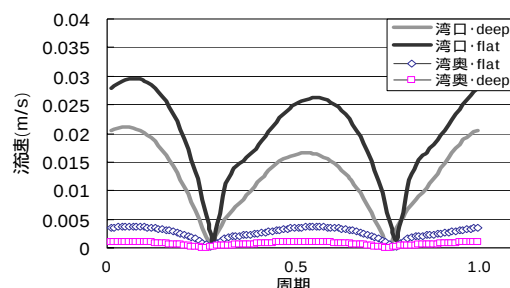


図-4 流速変化

(2) 水位変動

水位変動については、湾奥部、湾口部、外海の 3 点について検証を行った．検証の結果、3 点すべてにおいて、水位変動は一定であり、位相差もないことが確認できた．

(3) 流況変化

図-5 に、湾口部を埋め立てた場合 (flat) と深みがある場合 (deep) の湾内全域の平均（絶対値）である、発散、伸縮、せん断、回転の変化を示す．この図が示す通り、湾内全域の流況変化は、せん断の影響が大きいことがわかる．また、この 4 つの影響は、湾口部の地形に関係なく、上げ潮最大時に大きくなる傾向がある．さらに、湾口部を埋め立てた場合 (deep) では埋め込まない場合 (flat) に比べ、流況変化が大きくなることが確認できた．特にせん断の影響が大きく、せん断は湾口部、湾奥部のすべての湾内に影響をもたらしていることを考えると、湾奥部においても流況の変化は大きいものであることがわかる．

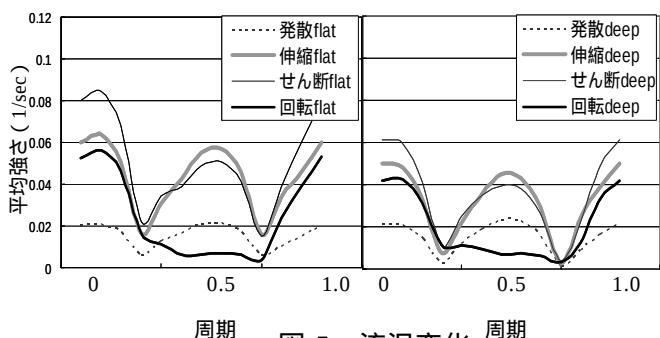


図-5 流況変化

6. まとめ

今回の閉鎖性矩形湾を対象とした解析結果より、閉鎖性が強く、湾口部が深い湾では、湾奥部の流れが小さく、停滞域が存在することが証明された．また、湾口部の深みを埋め立てたことにより、湾内の流況変化は、湾内全域で大きくなり、湾奥部の停滞域の範囲が狭くなることが確認できた．

7. 今後の課題

数値実験の海水交換性を評価するため、海水交換率を各ケースで比較し、海水交換性を確認する必要がある．更に今回の解析結果より、効率的な量を予測し、徳山湾の実地形に適用させることが課題である．

8. 参考文献

- 山崎宗広：内湾停滞域での流況制御による海水交換促進の技術に関する研究，産業技術総合研究所，論文，2003
- 高橋重樹：ミチゲーションのための海域流況制御に関する研究，東海大学卒業論文，1995
- 高田 明：瀬戸内海全域の汚濁予測に関する研究，工業技術院中国工業技術試験所，報告書，1978