

### 3 次元数値計算による広島湾の潮汐流に関する研究

指導教官 福嶋 祐介

水工学研究室 中村 眞

#### 1. 研究目的

一般に、閉鎖性海域では、湾口部付近の潮流による水平循環流と、湾奥部の海水交換性の悪い停滞性水域が存在している。この流れの弱い停滞性水域では、富栄養な河川水や工業廃水が流入し、長時間滞留することから水質環境の悪化が問題となっている。また、停滞性水域は、流れが静穏なため格好の開発対象となり、さらに水質が悪化するという悪循環に陥っている。このような閉鎖性海域の有効利用と環境保全を考える為には、海域内の流動機構と海水交換性を明らかにし、その予測を可能にすることが重要な課題である。

そこで本研究では、代表的な閉鎖性水域であり、水位差が3m以上もあるために潮汐流が卓越する広島湾を例に、湾内の流れと海水交換に関する3次元数値シミュレーションを行い、湾内水の流動機構を把握する事を試みた。

#### 2. 数値解析法

本研究では、流れの3次元多層モデルを用いて、連続式、運動方程式を陽的に差分し、3次元数値シミュレーションをおこなった。

連続式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

運動方程式

X 方向

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} - fv + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial x} - A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0$$

Y 方向

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + fu + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial y} - A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0$$

Z 方向

$$-\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial z} - g = 0$$

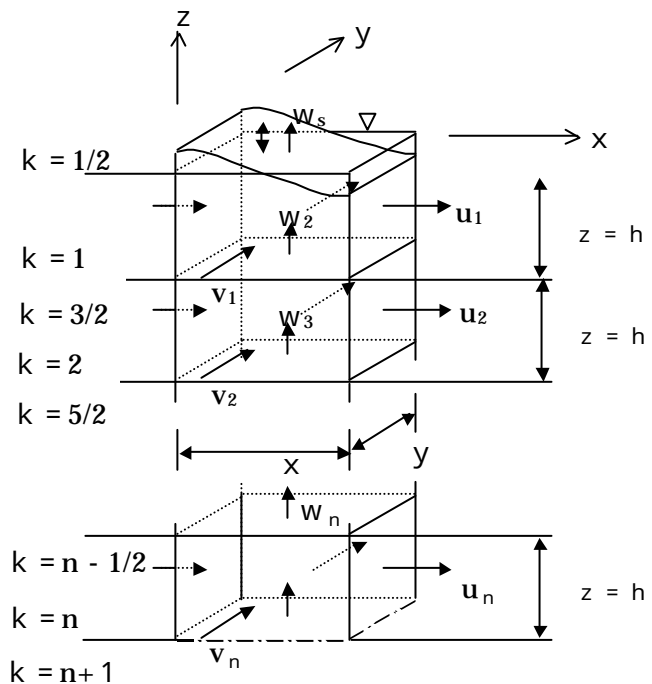


図 2.1 3次元多層モデル

### 3. 計算条件

対象領域は、広島湾（南北約 50 km、東西約 30 kmの楕円形湾）とした。



図 3.1 計算領域図

水深を鉛直方向に、層厚 11 層に分け、3次元計算を行った。層厚は、1~6 層を 5m、7~10 層を 10m、11 層を 20mとした。

表 3.1 計算条件

格子間隔 (S)	600m
水深 (h)	広島湾毎時断図より読み取り
タイム・ステップ (Δt)	12秒
コリオリ力 (f)	$f = 2 \sin \phi = 8 \times 10^{-5}$ ( $\phi = 34^\circ$ )
粗度係数 (C)	$b = w C \sqrt{u}$ $C_f = 0.0026$
1周期の長さ	12時間
河川流入	なし
初期条件	水位 流速ともに全域0
水平湧出し係数	$A_H = 1 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$
鉛直湧出し係数	$A_V = 5 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}$

### 4. 計算結果

#### 1) 潮流

##### (a) 水位

水位の再現性を確かめるため、広島湾内 6ヶ所の検潮所の水位と、数値実験によって得られた水位を比較した。この結果の一部を図 4.1 に示す。

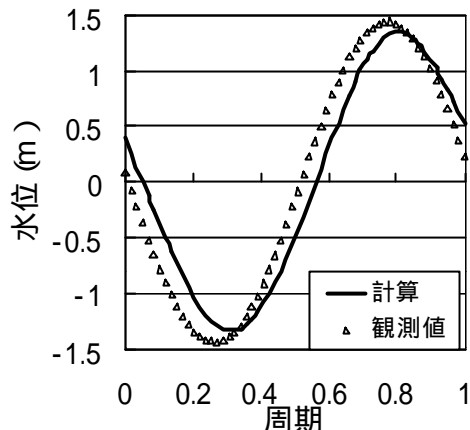


図 4.1 水位比較 (宇品)

これより、水位変動はよく一致していることが分かり、実海域の水位変動が再現できた事を確認した。

##### (b) 流速

流速の再現性を確かめるため、広島湾内で観測された流速値と、数値実験によって得られた流速値を比較した。観測地の位置を図 4.2 に、比較結果を表 4.1 に示す。

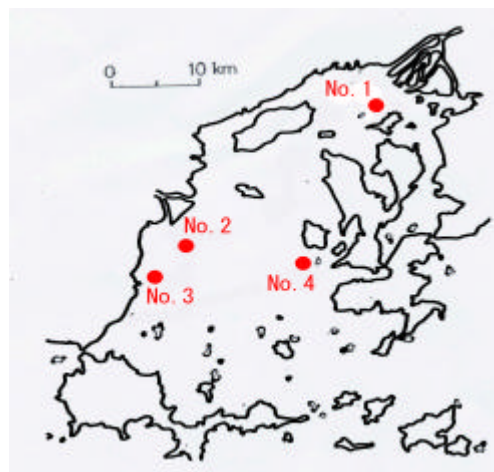


図 4.2 観測位置

表 4.1 流速比較 単位：c m/s

	観測流速	計算流速
No .1	4.7	4.5
No .2	10.3	7.9
No .3	9.3	9.8
No .4	17.5	19.9

上表より、各点の流速はよく一致している事が分かり、実海域の流速を再現できた事を確認した。

次に、湾内の流況状態を調べた。上げ潮最大流速時の潮流ベクトル図、等深線図を 図 4.3、図 4.4 に示す。

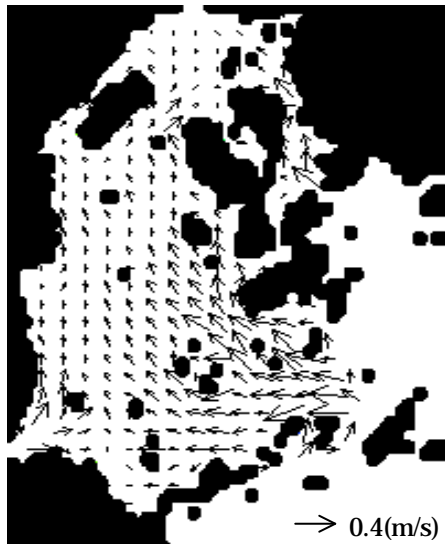


図 4.3 潮流ベクトル図(1層目)



図 4.4 等速線図(1層目)

以上により、計算値は、観測値と非常によく一致しており、広島湾の潮汐流をよく再現できたことを確認した。

## 2) 潮汐残差流

長期間での広島湾の流況特性を調べるため、潮流計算結果を1周期平均し、潮汐残差流を求めた。これも、潮流流と同様に、1、3、5層についての潮汐残差流を求めた。1層目の潮流ベクトルを図 4.5、等速線図を図 4.6 に示す。

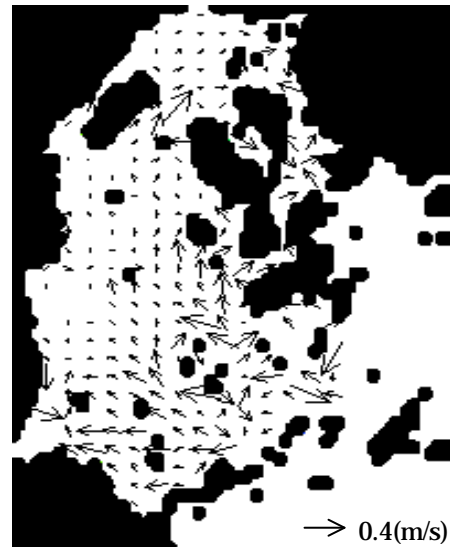


図 4.5 ベクトル図(1層目)

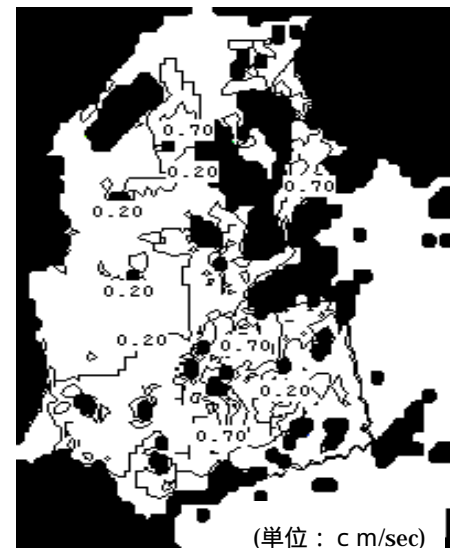


図 4.6 等速線図(1層目)

これより、潮汐残差流の最大流速は、0.7 cm/s 程度であることが分かった。これは、非常に微小な流速である。よって、広島湾の海水交換性はとても悪く、海水は滞留しやすいことが分かった。

#### 4. 結論

(1) 流れの基礎方程式を陽的差分法を用いて、広島湾を対象とした3次元数値シミュレーションを行った。

(2) 水位、流速について、数値計算結果と観測結果を比較し、計算の確かさを確認した。それによると、湾内の潮汐流の流速は、上げ潮、下げ潮最大流速時で10~30 cm/s程度、満潮、干潮時で1~10 cm/s程度であることが分かった。

(3) 潮汐残差流を求め、流況パターンを再現した。

(4) 潮汐残差流の流速は、非常に微小で、広島湾の海水交換性は非常に低い事が分かった。

#### 参考文献

- 1) 平田靖 : 広島湾におけるカキ養殖-夏場の管理(その一)「漁場環境」、緑書房、月刊「養殖」6月号、p96-97、2000
- 2) 中国工業技術試験所：潮流制御による瀬戸内海環境保全技術に関する研究、中国工業技術試験所研究報告、8、1992
- 3) 中国工業技術試験所：瀬戸内海全域の汚濁予測に関する研究報告書、1980
- 4) 中国工業技術試験所：瀬戸内海における

海水交換性及び負荷影響度の研究報告書、1986

- 5) 中野猿人：潮汐学、生産技術センター、p528、1940
- 6) 中国工業技術試験所：流速資料からみた瀬戸内海の拡散係数の分布について、1980
- 7) 海上保安庁水路部：沿岸水と外洋水の交換機構に関する研究ならびに海湾流出入量に関する研究
- 8) 上嶋英機 他：広島湾停滞性水域の水塊構造と河川水保存量の変動、第37回海岸工学論文集、pp. 799-803
- 9) 川西澄 他：広島湾北部海域における吹送流の鉛直構造と水質の変動特性、第48回海岸工学論文集、pp. 396-400
- 10) 浜走幸育 他：瀬戸内海における湾・灘水塊の移流・交換量の季節変動特性、第48回海岸工学論文集、pp. 1036-1040
- 11) 中国工業技術試験所：広湾における一年間潮流観測結果について、1979
- 12) 李寅鐵 他：広島湾における残差流および物質輸送過程の数値実験、日本海洋学会、2001
- 13) 中国工業技術試験所：瀬戸内海全域の潮流について、1980
- 14) 森 正浩：数値計算による広島湾の流れと物質の移動に関する研究、長岡技術科学大学修士論文、1994
- 15) 西川 誠：フロート拡散による海水交換評価法に関する研究、長岡技術科学大学修士論文、1995