

成層化した閉鎖性内湾の海水交換能力に関する数値実験

山口大学大学院

山口大学工学部

通産省工技院中国工業技術研究所

九州大学大学院総理工学研究科

学生員 ○宮脇周作

正会員 朝位孝二

正会員 山崎宗広

古庄建作

1. はじめに

内湾などの閉鎖性海域は外海との海水交換能力が低いこと水質の悪化を引き起こすことは良く知られている。湾内水の水環境を健全に保つためにも、湾の海水交換能力を把握しておくことは重要である。海水交換能力は湾の形状、潮汐、成層度などに依存すると考えられる。本研究は、モデル湾において湾口幅、潮位振幅、成層強度を系統的に変えて、それらと海水交換能力の関係について検討を行った。

2. 数値解析

2.1 支配方程式

本研究は数値解析により海水交換能力を検討する。支配方程式は連続式、Navier-Stokes 方程式、移流拡散方程式であるが、3 次元密度流を支配する基礎方程式の定式化に際して以下の仮定を用いる。

- ・水は非圧縮性である。
- ・流れの鉛直方向加速度は重力加速度に比べて十分小さいので、鉛直方向の圧力は静水圧近似される。
- ・Boussinesq の近似を採用する。

2.2 モデル湾と計算条件

モデル湾は図-1 に示すような矩形湾である。湾口が中央部にあり、湾口幅 w は 10, 8, 6, 4, 2 (km) の 5 種類を用いた。また湾内水は均一流体 (case-H) と図-2 に示す密度分布を持つ成層流体 (case-S) の 2 種類を考えた。周期は 12 時間、潮位振幅 A は 0.5, 1.0, 2.0 (m) の 3 通りとし余弦波として開放境界に潮汐を与えた。水深は全水域で 50m である。

水平方向の空間差分間隔は 1000m、鉛直方向は図-2 に示すように 7 層に分割した。差分時間間隔は 20sec である。コリオリ係数 $f = 8.0 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ 、水平渦動粘性係数 $\nu_H = 50.0 \text{ m}^2/\text{s}$ 、水平拡散係数は $K_H = 50.0 \text{ m}^2/\text{s}$ とした。また鉛直渦動粘性係数 ν_z と鉛直拡散係数 K_z は、case-H の場合はともに $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ と与えた。case-S では式(1)、(2)に示すような形で与えた。

$$\nu_z = \nu_{z0} (1 + 5.2 R_i)^{-1} \text{----- (1)}$$

$$K_z = \nu_z \frac{(1 + 10 R_i / 3)^{-3/2}}{(1 + 10 R_i)^{-1/2}} \text{----- (2)}$$

ここで $R_i (= -g(\partial \rho / \partial z) / \rho_0 (\partial U / \partial z)^2)$ は勾配型リチャードソン数である。 ν_{z0} は $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ と与えた。

海水交換能力の指標として残留率を用いた。これは初期に湾内に水平方向 250m 間隔、鉛直方向 5m 間隔にマーカーを設置しそれをラグランジュ的に流れとともに輸送させ、湾内に残留するマーカーの数をカウントし初期の個数との比率を示したものである。残留率が低いほど海水交換は良い。

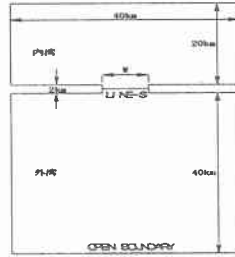


図-1 モデル湾

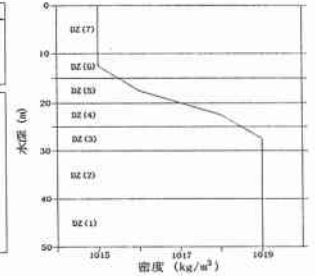


図-2 密度の初期鉛直図

3. 計算結果

3.1 鉛直速度場

湾口部 (LINE-S; 図-1) における鉛直ベクトル図 (満潮時、 $W=10\text{km}$) を示す。case-H では水平流は底面付近において海峡の中心から両側壁へとそれる。両側壁に沿った上昇流は海峡の中心方向へ次第に向きを変えそして下降する。一方、case-S ではその循環はみられない。これは先に述べたように水深 20m に仮定した密度躍層が鉛直循環を抑制しているためであると考えられる。

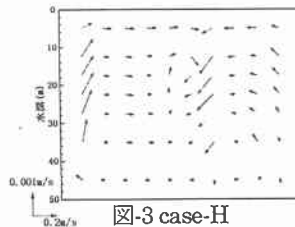


図-3 case-H

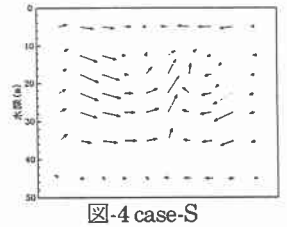


図-4 case-S

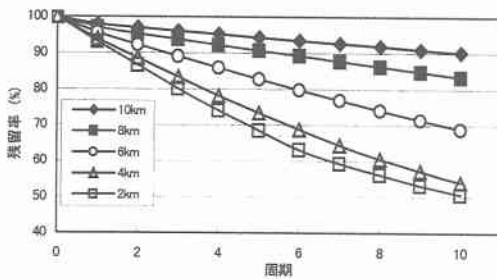


図-5 残留率 (case-H)

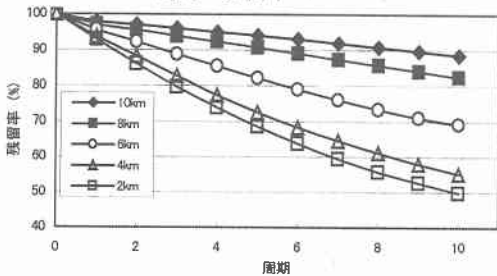


図-6 残留率 (case-S)

3.2 残留率

潮位振幅 2m の場合の均一流体、成層流体に対する残留率をそれぞれ図-5, 6 に示す。両ケースとも湾口幅が小さくなるにつれ残留率が小さくなる。特に湾口幅 6km を境に残留率が大きく異なる。また湾口幅 4km までは case-H の場合のほうが case-S よりもわずかながら残留率が低くなっている。これは前述したように鉛直循環が抑制されているためと考えられる。しかしそれは顕著な差異ではなかった。また他の潮位振幅でも同様であった。

水深 20m に密度躍層を与えているので、ここを境に上層と下層に分割し各層における残留率を示したものが図-7, 8 である。潮位振幅は 2m, 湾口幅は 2km である。湾口幅, 潮位振幅, 成層状態によらずどの場合も各周期において上層よりも下層の残留率が常に高い。しかし、図-7, 8 に示すケースだけが傾向が異なった。この理由については検討中である。

3.3 潮汐残差流

前節で湾口幅 6km を境に残留率が大きく異なることが分かった。流れの様相が湾口幅 6km を境に変わったものと考えられる。均一流体, 潮位振幅 2m, 湾口幅 8, 6, 4, 2km における潮汐残差流の流線を図-9~12 に示す。いずれも表層である。湾口幅が小さくなるにつれ潮汐残差環流が強化されていることが分かる。特に湾口幅 6km と 4km を比較すると潮汐残差環流が急激に強くなっていることが分かる。

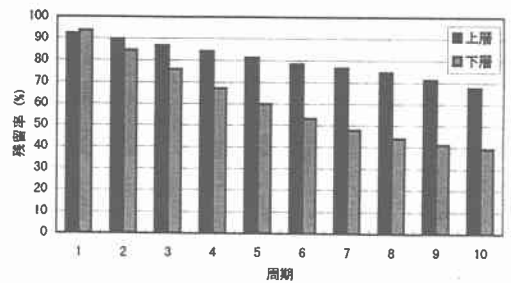


図-7 上・下層残留率 (case-H)

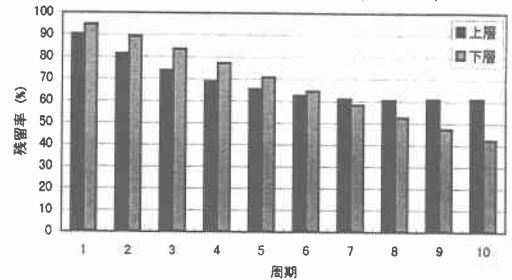


図-8 上・下層残留率 (case-S)

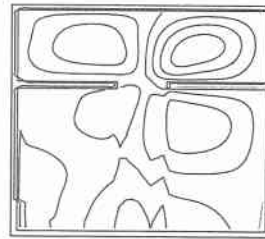


図-9 流線図 (W=8km)

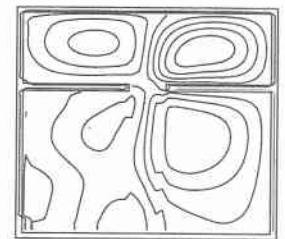


図-10 流線図 (W=6km)

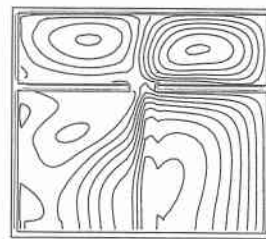


図-11 流線図 (W=4km)

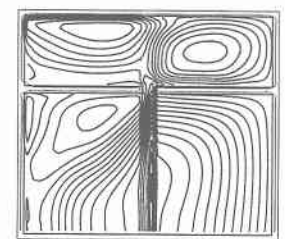


図-12 流線図 (W=2km)

しかしながら、4km と 2km では環流は強化されているもののそれほど顕著ではない。

4. まとめ

海水交換能力は湾口幅に強く依存し、密度成層の影響は顕著ではないことが分かった。今後は、より複雑な海底形状、河川流入水、風応力などを考慮してシミュレーションを行う予定である。

参考文献

Imazato et al.(1994):Three-Dimensional Numeric-al Experiments on Tidal Exchange, *J.Oceanogr.*,50,119-139.