

閉鎖性海域の開口幅が海水交換に及ぼす影響

熊本大学 学生員 ○壹岐 智成 正会員 山田 文彦
 山口大学 正会員 朝位 孝二

1. はじめに

内湾などの閉鎖性水域では、外海水との海水交換能力が低く、停滞性水域となる場合が多い。現在、海水交換を活性化し、停滞水域を解消する単純な工法の一つに、湾口幅を狭くする工法が考えられている。しかし、これまでの研究では、いずれも密度効果のない均一流体を対象としており、実際に存在する水温や河川淡水供給に起因した密度効果が考慮されていない。そこで本研究では、密度効果が存在する場において内湾に流れ込む河川水をも含めた湾口幅と海水交換能力の関係について数値実験により検討を行った。

2. 数値計算

基礎方程式は連続式と Reynolds 方程式、移流拡散方程式であり、計算手法は中辻ら(1994)に従った。計算領域は図-1に示すように河口域を想定したモデル湾である。潮位変動は開境界で与え、潮位振幅を 90cm、周期 12 時間の余弦関数で与えた。開口幅 W は 500m, 400m, 300m, 200m, 100m の 5 種類とし、水深は全水域で一定の 10m である。さらに、内湾の湾幅の中央には幅 100m、長さ 450m、水深 5m の河川を配置し、50m³/s の流量を与えた。計算ケースは湾内水と河川水の密度が等しい均一流体(run-A)と湾内水(海水) 1025 kg/m³、河川水(淡水) 1000 kg/m³とした密度の異なる場合(run-B)の 2 パターンによる計 10 ケースを行った。なお、数値計算は前駆計算を 5 潮汐行い、その後の 15 潮汐を結果として用いた。

3. 検討結果

海水交換能力の指標としては、湾内水がすべて入れ替わるまでの時間(滞留時間)と潮汐残差流エネルギーなどを用いて検討を行った。

3.1 滞留時間

湾内水の滞留時間(TR)は潮汐毎の残留率 R (式(1))を求め、指数近似を行い、式(2)に示すパラメータ β を導き、その逆数により求めた(式(3))。なお、残留率は初期段階で湾内に等間隔で 128000 個のマーカーを配置し、それをラグランジュ的に流れと移動させることにより求めた。

$$R = \frac{\text{湾内に残留する粒子数}}{\text{初期に湾内に配置した粒子数}} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$R \approx \alpha \exp(-\beta t) \quad (2) \quad : t \text{ は潮汐数}$$

$$TR = 1/\beta \quad (3)$$

図-2は各開口幅の滞留時間を示したものである。図より、均一流体(run-A)ではほぼ一定の値となっており、開口幅による変化は見られなかった。一方、密度効果を考慮した(run-B)では開口幅が大きくなるに従って、滞留時間は短くなり、密度効果が海水交換能力に影響を与えることがわかった。

3.2 潮汐残差流

村上ら²⁾は、潮汐残差流が海水交換特性に大きな影響を及ぼすことを報告している。そこで本研究においても、式(4)~(6)に示す湾内の流動の強さを表す指標を導入し、それらと滞留時間との関係を考察した。

$$ER = \frac{1}{2} \int_N (u_R^2 + v_R^2 + w_R^2) dN/N \quad (4)$$

$$VV = \int_N \left| \frac{\partial w_R}{\partial y} - \frac{\partial v_R}{\partial z} \right| dN/N \quad (5)$$

$$VH = \int_N \left| \frac{\partial v_R}{\partial x} - \frac{\partial u_R}{\partial y} \right| dN/N \quad (6)$$

ここで ER は平均潮汐残差流エネルギー、 VV は鉛直方向の平均渦度、 VH は水平方向の平均渦度、 u_R は潮汐残差流の湾幅方向成分、 v_R は潮汐残差流の湾の奥行き方向成分、 w_R は潮汐残差流の鉛直方向成分、 N はセル数である。

図-3に、それぞれ 15 潮汐目の TR 、 ER 、 VV 、 VH と開口幅との関係を示す。縦軸は、開口幅を 100m とした際の値でそれぞれを規格化した値であり、横軸は開口幅である。図より均一流体(run-A)では、いずれのパラメータにおいても開口幅による変化は見られず、先程の滞留時間の結果と一致することを確認した。また、密度効果を考慮した場合(run-B)では、残差流エネルギーが大きくなるに従い、滞留時間が小さくなることから、潮汐残差流が大きくなるにつれて、海水交換が促進されることが数値的にも確認することができた。

図-4は 15 潮汐目の流速を一潮汐平均して得られる残差流をさらに、幅方向に平均化した流速ベクトルを示したものである。均一流体では、顕著な循環流がみられないのに対し、密度効果を考慮した場合には、河川付近に大きな鉛直循環流が発生し、海域側でも防波堤よりやや内側を中心に小さな循環流が形成されている。また、流速ベクトル図に密度分布を重ねると、河道内で淡水と塩水の鉛直混合が顕著に見られることから、密度効果がある場合には重力循環流が発生していることが確認できた。

4. まとめ

本研究では、密度効果を考慮した場において、湾口幅と海水交換能力の関係について数値実験的に検討した。その結果を以下に示す。

1. 密度効果による鉛直循環が存在する場合、開口幅が広がるにつれて海水交換能力は大きくなる。
2. 密度効果による鉛直循環が存在する場合、開口幅が広がるにつれて潮汐残差流エネルギーは大きくなる。
3. 潮汐残差流エネルギーが高いほど、海水交換は促進される。

これらの結果から、河口域で海水交換能力を高めたい

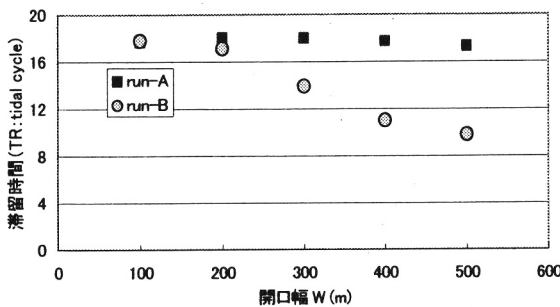


図-2 開口幅と滞留時間との関係

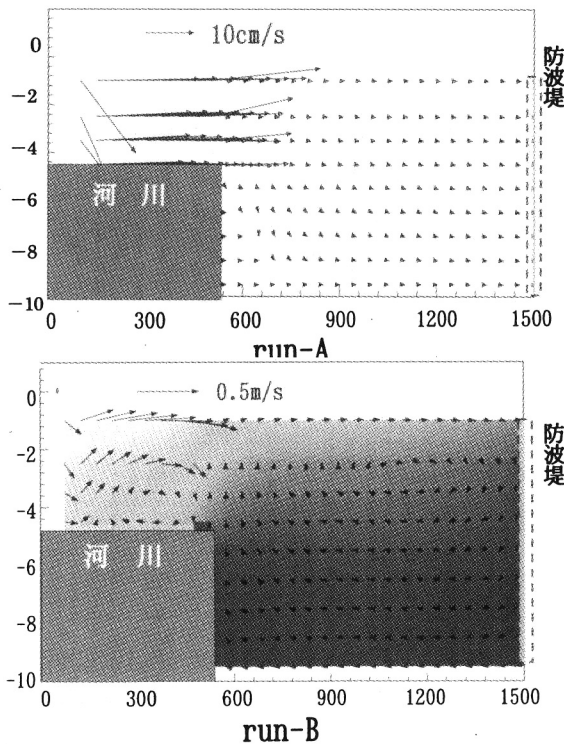


図-4 残差流の幅方向平均流速ベクトル(15 潮汐目)

場合、鉛直循環を促進させるような工法を採用することが望ましい。

今回、別途、大阪湾のような大きい湾を想定したモデル湾の計算も行ったが、その検討結果は紙面の都合上、発表時に紹介することとする。

5. 参考文献

- 1) 中辻哲二(1994): 水工学に関する夏季研修会論文集, Aコース, pp.A-9-1~A-9-28
- 2) 村上和男(1994): 港湾技研資料, No.900, pp.81~90

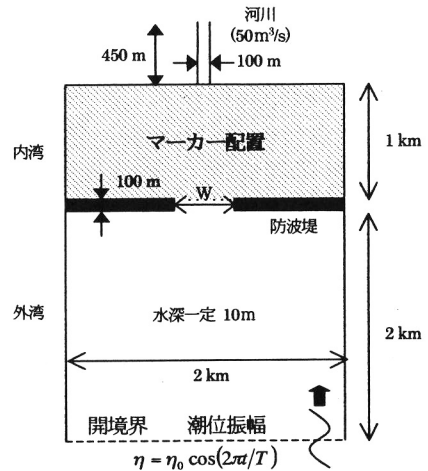


図-1 計算領域 (モデル湾)

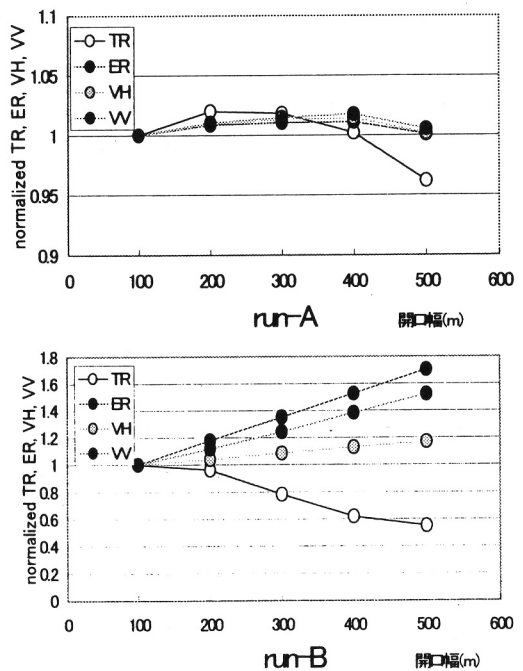


図-3 開口幅と各指標パラメータとの関係