

II-237 湾内における海水交換モデルについて

全日本コンサルタント 正員 三 木 一 美

全日本コンサルタント 正員 〇 岩 部 玖 尚

全日本コンサルタント 前 田 純 一

1. 序 説

内湾の汚染対策において、その浄化能力の把握は基本的命題の一つである。内湾の浄化機構のうち最も基本的なものは、汚染された湾内海水そのものが、湾内に流入してくる淡水、外海水によって交換されて、湾外に流出する現象である。これを海水交換という。そして、その大きさを表わす量を総称して海水交換率という。

本報告は、内湾を二次元一層に分割した各域における海水交換率の値を数値計算により求める手法を述べるもので、その特徴は、独自の海水交換率の定義と、大メッシュの採用による数値計算の簡略化にある。

2. 海水交換率の定義

これまで種々の形で海水交換率が定義されているが、本モデルのような二次元以上のモデルに実用的に適用できるものはないので、以下のような定義を新たに考えて用いた。

任意の設定時刻 $t=0$ において湾内域にある海水を湾内水と規定し、その湾内水が $t=0$ 以降に湾内に流入してくる淡水、外海水によって交換される過程を考えると、湾内の各域 i における湾内水の存在率の減少曲線 $p_i(t)$ 、あるいは淡水、外海水の存在率の増加曲線 $r_i(t)$, $s_i(t)$ は第一次近似として指数曲線で近似できることが予想される。

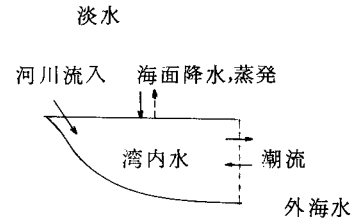
そこで、宇野木らの滞留時間の定義¹⁾を拡張して、逆輸送を考慮した湾内水の滞留時間とでもいうべきものを定義した。すなわち、湾内の各域 i において、はじめ 100% あった湾内水が $1/e$ 、約 36.8% になる時刻 $t=Te_i$ を交換時間として定義し、その時の淡水、外海水の存在率 R_i, S_i と合わせて海水交換率パラメータと称する。これが本モデルにおける海水交換率の定義で、 Te_i は海水交換の速さを、 R_i, S_i はそれぞれ、淡水、外海水の寄与の大きさを表わすものとなる。

なお、 $1/e$ に限らず、湾内水の存在率が一般に $1/n$ になる時刻 Tn_i は、指数曲線を仮定すれば Te_i の値を用いて、 $Tn_i = Te_i \cdot \ln n$ により求めることができる。

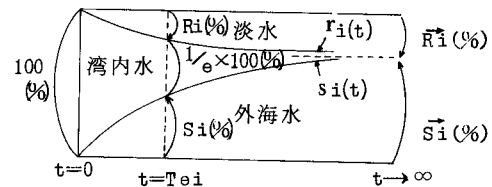
また、上記の R_i, S_i の代りに、 $t \rightarrow \infty$ の時の値（定常値） $\bar{R}_i, \bar{S}_i$ ($\bar{R}_i + \bar{S}_i = 100(\%)$) を定義に用いてもよいと思われる。

3. 大メッシュによる簡略化モデル

この海水交換率を求めるには、内湾の拡散モデルを設定し、右図のような初期条件、境界条件により、淡水、外海水の拡散計算を行なって $r_i(t)$, $s_i(t)$ を求めれば、湾内水の減少曲線 $p_i(t)$ は、 $100(\%) - r_i(t) - s_i(t)$ により求めることができる。

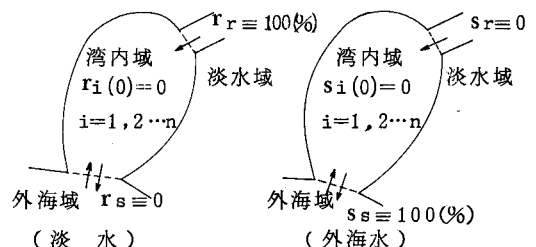


海水交換の現象



海水交換率の定義

(メッシュ i における海水交換)



(淡水)

(外海水)

拡散計算における初期条件、境界条件

本モデルでは、内湾を二次元一層に分割した各域について、この海水交換率を求めるわけであるが、内湾の拡散モデルとしては、一般に行なわれている潮流計算の結果の潮流および恒流のデータを用いる。

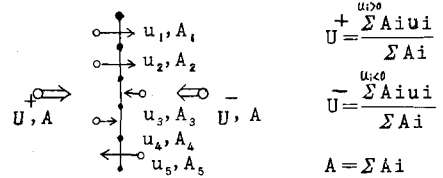
一般のこうした潮流計算および、それに続く汚染拡散計算は、細かいタイムステップ (Δt : 分・秒のオーダー) およびメッシュ間隔 (ΔS : $10^2 \sim 10^3 m$ のオーダー) を用いているが、ここで述べている海水交換の計算においては、そんなに細かい結果は必ずしも必要でないし、また、一年くらいの期間についての拡散計算になるので、上記のような細かい $\Delta t, \Delta S$ を用いていたのでは計算量が膨大になってしかたがない。

そこで、本モデルでは、海水交換率を求めるための淡水、外海水の拡散計算において、 Δt として 1 day, ΔS として一潮時 (12 時間) の潮流の流跡距離のオーダー (10 Km 前後) のものを採用して、潮流の往復運動を乱流 (拡散) として扱うことにより、計算量を大巾に縮小することを考えた。

細かい $\Delta t, \Delta S$ による二次元一層の潮流計算結果の潮流、恒流データを平均化して大メッシュにおける拡散モデルを求めるには、以下の工夫が必要である。

(1) 移流

移流は、潮流計算結果の恒流を大メッシュの境界断面上で平均化して用いるが、単純に平均したのでは恒流の細かいパターンを十分に再現できないので、右図のように便宜的に一断面に±両方向の移流を考え、それぞれ恒流の⊕値、⊖値の全断面平均値を与える。



(u_i, A_i : 小メッシュの恒流, 断面積)

(2) 拡散係数

恒流の平均化

拡散係数 K は、潮流の往復運動による乱流拡散係数 K_t と流れの鉛直分布による移流分散係数 K_d の和を考える。

K_t の計算には混合距離理論を用いる。計算式は、 $K_t = \alpha u^2 T / 2$ である。 T は潮流の半周期 (6 時間), u は潮流の平均流速、また α は転流時に潮流が周囲の海水と混合する割合で、Parker の潮汐交換率 r ³⁾ と同義のものである。これまでの観測例では、 α または r は 10% 前後の値を示している。

K_d については、適当な計算式が見当たらないので、淡水、外海水の拡散定常解の計算結果が内湾における現実の塩分濃度分布を説明できるような K_d の値を試行によって求める。すなわち、湾内の各域 i における淡水、外海水の定常存在率を R_i, S_i (%), 定常塩分濃度を C_i とすれば、

$$R_i = (1 - C_i / C_s) \times 100 (\%), \quad S_i = (C_i / C_s) \times 100 (\%), \quad R_i + S_i = 100 (\%)$$

となる関係を用いる。ここに、 C_s は外海水の塩分濃度で、淡水の塩分濃度はゼロとしている。

本モデルを適用した内湾の例では、湾口部は潮流の往復運動による乱流拡散係数 K_t のみで説明できたが (K_t : $10^6 \sim 10^7 cm^2/sec$), 大きい河川流入があって淡水と塩水による二層構造の顕著な湾奥部では、流れの鉛直分布による移流分散係数 K_d が K_t よりも数等大きい (K_t : $10^4 \sim 10^6, K_d$: $10^6 \sim 10^7 cm^2/sec$)。

以上のモデルにより拡散方程式を差分化して計算に用いるわけであるが、具体的な式の形は省略する。

5. 後 記

本手法にも限界はあるが、実用的な意味では十分な適用性を持った手法であるといえることができる。今後の課題としては、差分法に代る有限要素法による拡散計算の導入、モデルの二層化などが考えられる。

- [参考文献] 1) 宇野木, 岸野, 岡見 (1975): 伊勢湾の平均的海況, 恒流および海水交流、伊勢湾における汚濁物質の循環機構に関する調査報告書, 産業公害防止協会, PP. 1~88
2) 速水, 福尾, 依田 (1956): 明石海峡による播磨灘と大阪湾との海水交流について、海岸工学講演会講演集, PP. 49~53
3) Parker, Norris, Nelson (1972): Tidal Exchange at Golden Gate, A.S. C.E., Sanitary Engineering Division, April, 1972