

(財)電力中央研究所 正員 角湯正剛
正員 木鳥雅文
正員 和田 申

1. はじめに

内湾における長期間の水質問題を考える場合、湾口部での海水交換現象は、重要な役割を果たす。この現象を定量的に検討するために、筆者らは、海域の流動と乱れを再現し、海域で生起しているであろう現象を再現し、海域の各点での海水交換率を算定する数値モデルを構築した。¹⁾

本文は、このモデルの妥当性を検討するために、水理実験で湾内の海水交換率を算定し、数値モデルにより算定したものと比較し、本数値モデルによる手法の妥当性を検討した結果について述べたものである。

2. 海水交換率の定義

閉塞された内湾における海水交換率に関する研究では、湾口部での平均交換率を算定する目的で、Parkerらや柏井らが、交換率を湾内外の塩分濃度および上げ潮、下げ潮時に湾口部で調査した塩分濃度で定義している。

筆者らは、湾奥の水塊が外海水と交換するまでに要する時間を求めることを目的として、次のように海水交換率を定義した。すなわち、満潮時に、湾内のある点に存在していた粒子群のうち、引き続く満潮時に湾外に流出したものの割合でその点の海水交換率とした。このように定義すると、湾口部での平均交換率ではなく、平面的な交換率の分布を求めることができる。また、一潮汐後の交換率と、投入された個々の粒子の位置が判れば、 N 周期後の投入点 (x_0, y_0) の交換率 $\gamma_N(x_0, y_0)$ は、次式から求めることができる。

$$\gamma_N(x_0, y_0) = \iint \gamma_{N-1}(x, y) \cdot f(x, y | x_0, y_0) dx dy / \iint f(x, y | x_0, y_0) dx dy \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $\gamma_{N-1}(x, y)$: $(N-1)$ 周期での交換率、 $f(x, y | x_0, y_0)$: (x_0, y_0) に投入された粒子群の一潮汐後の粒子の位置の確率密度

湾内の数多くの点に投入された粒子群の位置を1周期間追跡すれば、 N 周期後の交換率を求めることができる。

3. 潮流および残差流の水理実験結果と数値実験結果との検討

内湾の交換率を求めるための対象地形として、図-1に示す水理模型を作成した。模型縮尺としては、水平方向1/500、鉛直方向1/50とし、内海の半日周潮流を対象として、潮流を発生した。

数値モデルでは、水理模型実験と同じ対象領域を、150m間隔の格子群で分割し、湾内および湾口部付近は、75m間隔で再分割している。そして、水理実験と同じ境界で1.5mの潮位振幅を与え、潮流を再現した。運動粘性係数は、潮流の再現性を考慮して、 $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ の値を採用した。

図-2は、このようにして求めた水理模型と数値実験による半日周潮流の潮流槽内の長軸方向の潮流振幅のベクトルを示している。数値実験によるものは、水理実験によるものの沖合での潮流振幅を合せるように倍率を乗じている。潮流振幅は、沖合で15cm/s程度であり、湾内では、湾口部で15cm/s程度と大きい。湾口部より数百m湾奥へ向

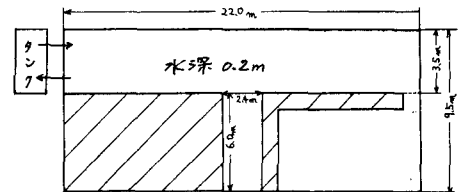


図-1 水理実験範囲

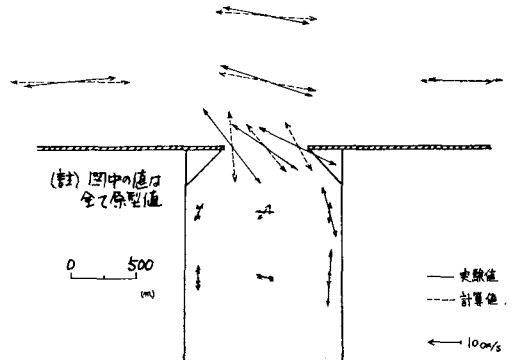


図-2 半日周潮流の長軸方向の潮流振幅

うと小さくなる。これらの傾向は、水理実験、数値実験とも同様で、湾口部での流向が、両者で若干異なることを除いて、数値実験結果は、水理実験結果と再現している。

図-3は、同様にして求めた残差流のベクトルを示している。数値実験によるものは、水理実験によるものより小さい値しか得られなかったため、湾口部での流入量を合致させるために約1.3倍している。両者の結果と比較すると、両者とも湾内に時計方向の環流が形成されているが、その及び範囲は、水理実験の方が大きく、数値実験では、その2/3程度しか湾奥方向に環流が形成されていない。その流速値の大きさは、両者とも潮流振幅と同程度である。

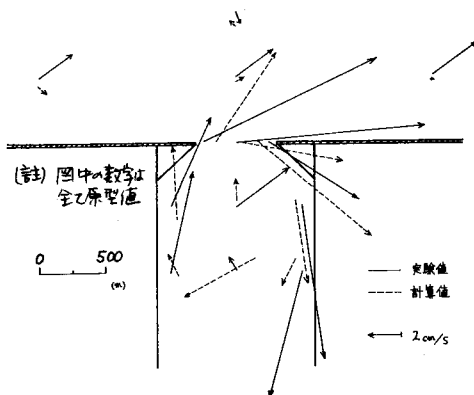


図-3 潮汐残差流のベクトル図

4. 海水交換率の水理実験結果と数値実験結果との比較

湾内の各点での海水交換率は、満潮時に、図-4に示す各点に浮子を投入し、それらの浮子が、引き続く満潮時に湾内に戻ってくるか否かを観測することにより算定した。水理実験においては、10回同じ点に浮子を投入して交換率を算定した。数値実験においては、同じ点に100個粒子を投入し、各粒子は、図-2、3に示す潮流、残差流の平均流と、所定の拡散係数を有する乱れにより移動するものとし、各粒子の位置を時々刻々追跡することにより交換率を算定した。与えた乱れの拡散係数は、湾内外の各点で測定した流速変動から半日周期潮流成分を除去した乱れ成分を用いて算定した値から判断して、 $5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ の値を採用した。また、計算時間間隔は、1分とした。

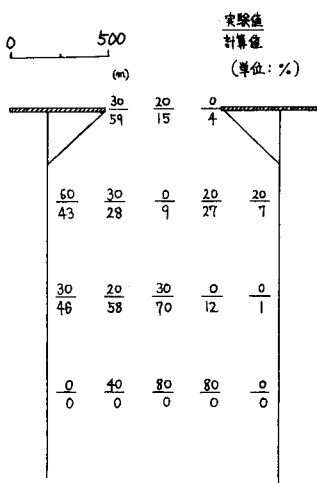


図-4 海水交換率の算定結果

このようにして求めた水理および数値実験による湾内各点の海水交換率の値を図-4に示す。交換率の値は、湾内に存在する時計方向の環流の影響を受け、湾奥から湾口に向かって左側の領域では大きな値を示すのに対し、右側の領域では小さい。交換率の値も、水理実験と数値実験によるものとで比較すると、湾口部および湾口部から500 mの測線では、両者の値は、比較的良く一致しているが、それより湾奥の測線では、若干異なる値を示している。これは、残差流の形成される規模が両者で異なっていることに起因しているもので、残差流の規模を参考にして考えると、両者の値は、比較的良く一致していると思われる。

これら各点の交換率のうち、満潮時に投入した粒子が、平均的な流れで、引き続く満潮時までには一度は湾外へ出る投入点の交換率の平均値が、湾口部における平均交換率と考えることができる。この平均交換率は、両者とも約30%である。

5. おわりに

筆者らが提案した数値モデルによる海水交換率の算定法の適合性と検討するために水理実験を行い、両者の海水交換率を比較した。その結果、海水交換率には、残差流の影響が大きく、数値モデルでは、水理実験による残差流を十分には再現できていないため、湾奥部における両者の交換率の値に若干の差異はあるが、残差流の規模を勘案すると、両者の値は良く一致していると考えられ、数値モデルによる手法の妥当性は立証された。今後は、実際の海域での観測結果から本手法の妥当性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 角場, 切藤, 和田: 閉塞された水域の海水交換に関する検討, 第27回海岸工学講演会論文集, 1980年