

児島湖における流動と物質拡散の数値シミュレーション

岡山大学工学部 正会員 河原長美
岡山大学工学部 学生員 那須清貴
(株)松本組 中井信行

1. はじめに

児島湖(図-1)は、1956年に農業用水の確保を目的として、児島湾より締切られた我が国初の人造湖であり、その面積は約8km²、平均水深1.6m、最大水深9mと比較的浅く、湖水を排出する為に締切堤坊に樋門が設けられており、その付近の凹部(水深6~9m)には塩分が滞留しており、樋門を開放することにより、その塩分の一部は流出するが、逆に樋門付近からの海水の侵入により、凹部の塩分濃度は短期的には、ほぼ一定している。また、その容量に比して流域面積が広く、かつ下水道未整備区域である岡山、倉敷市街の一部を流れる笹ヶ瀬、倉敷内2級河川が流入しており、近年では流域からの汚濁負荷の増加に伴ない、富栄養化傾向にあり、その水質の悪化の大きな社会問題となっている。

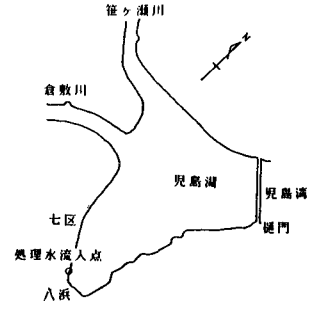


図-1 児島湖

このような状況下において、岡山県では児島湖流域下水道を整備することにより、水質の悪化を防止しようと計画中である。そこで、本研究では流域下水道処理水が湖内水質に及ぼす影響を調べる為の第一歩として、保存性物質の拡散シミュレーションを行ない、湖内における拡散特性を検討するものである。

2. 解析方法

計算に際し、児島湖を図-2に示す様に $\Delta x = 4\text{m} = 200\text{m}$ のメッシュに区切り、樋門付近の凹部では、第1層3m、第2、3層2mの3層に分割し、マルチレベルモデルを適用し、以下に示す基礎式を差分法によって計算した。

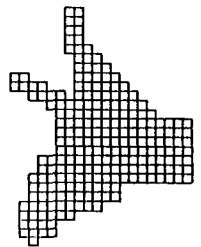


図-2 メッシュ図

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u u) + \frac{\partial}{\partial y}(v u) + \frac{\partial}{\partial z}(w u) - f v + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x}(A_x \frac{\partial u}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(A_y \frac{\partial u}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z}(A_z \frac{\partial u}{\partial z}) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u v) + \frac{\partial}{\partial y}(v v) + \frac{\partial}{\partial z}(w v) + f v + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x}(A_x \frac{\partial v}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(A_y \frac{\partial v}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z}(A_z \frac{\partial v}{\partial z}) = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u C) + \frac{\partial}{\partial y}(v C) + \frac{\partial}{\partial z}(w C) - \frac{\partial}{\partial x}(D_x \frac{\partial C}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(D_y \frac{\partial C}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z}(D_z \frac{\partial C}{\partial z}) = 0$$

ここに、 u, v, w はそれぞれ x, y, z 方向の流速、 f はコリオリ係数、 A は運動量拡散係数、 C は保存性物質の濃度、 D は物質の拡散係数である。

また、計算条件としては、児島湖の流況を支配する因子の中、最も大きなものは樋門開放による湖水の排水であるので、本研究では湖内水位がある値($TP = -13.5\text{cm}$)に達した時、樋門を開放し、一定水量(260万m³)が排出された時に樋門を閉じ、水位がもとの水位に回復するまで1周期(約31時間)として、12周期(CPU180分)まで計算を行なった。なお、河川流入量は笹ヶ瀬川12.3m³/s、倉敷川4.5m³/s、処理水は6m³/s(10PPM)、海水侵入量は0.5m³/s(31‰)としたが、これらの値は必ずしも観測に基づいているわけではなく、大胆な仮定の置かれている。

3. 計算結果及び考察

1 周期分の水位変動を示すのが、図-3 である。樋門開放により水位は膨打つ様に振動しながら低下し、閉鎖により振幅数 cm、周期 30 分程度のセイシュが 10 数時間に渡って減衰してあり、それに対応する流速ベクトルが図-4~7 である。これらより樋門開放時(図-4)には全域に渡って数 cm/s の樋門方向への流れが発生し、樋門付近では数 10 cm/s に達している。一方樋門閉鎖後は、およそ 10 数時間後(図-5, 6)までは、微かな流れ(数 mm/s)ではあるが、流況が一定せず、乱れた状態にあり、その傾向は特に湖の中央付近が顕著であり、これはセイシュによるものであると思われる。(しかし、その後(図-7)にはほぼ定常状態となる。

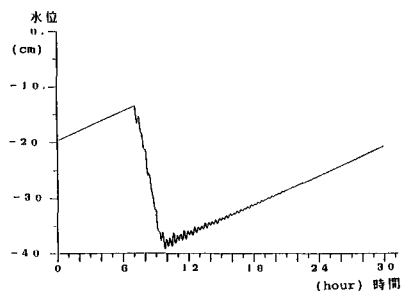


図-3 水位図

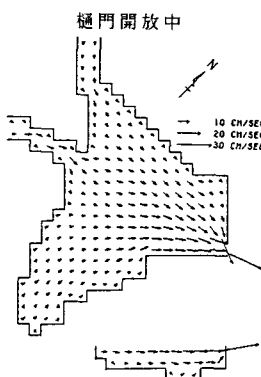


図-4 流速ベクトル図

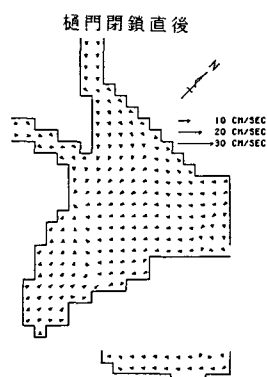


図-5 流速ベクトル図

次に処理水の拡散状況は、ほぼ 10~12 周期で定常状態となり、最後の 1 周期を例として、定常状態における樋門開閉による拡散状況についてみると、樋門を開放(図-9)すると、t 区から樋門方向に、南東岸沿に急速に広がり、閉鎖されると、逆に樋門から t 区へ押し戻され(図-10)、しばらくして再び湖心へゆっくりと広がって行く(図-11)が、その割合は樋門開放による方が圧倒的に大きい。しかし、いまだに t 区では常に高レベルであり、処理場からの排水はあまり拡散しないと考えられる。

4 おわりに

今回の計算により、児島湖内での物質輸送の大部分は、樋門開放時に生じることが分った。また、処理水はあまり拡散しないことも示された。

今後は、モデルの改良を行なうと共に、拡散方程式に水質物質の変化項を含めて、より実態に即したものにしていこう予定である。

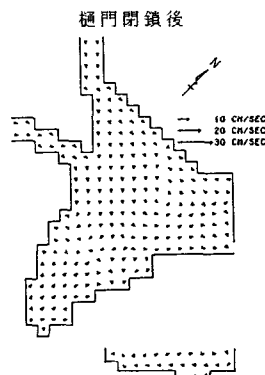


図-6 流速ベクトル図

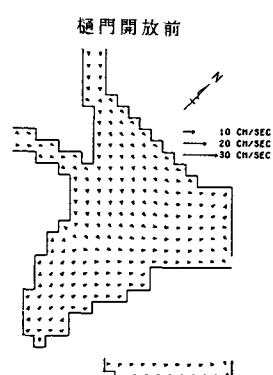


図-7 流速ベクトル図

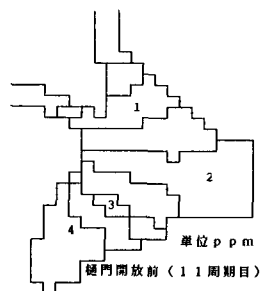


図-8 拡散図

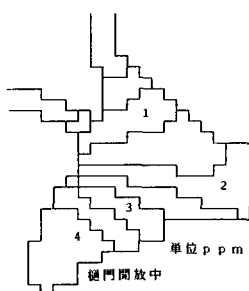


図-9 拡散図

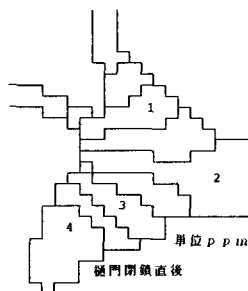


図-10 拡散図

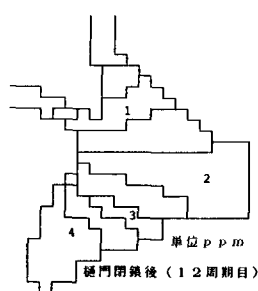


図-11 拡散図