

II-113

河川感潮部の水質シミュレーションモデル

新日本製鐵 正会員 片山 能輔
早稲田大学理工学部 正会員 鮭川 登
東京電力 秋元 賢吾

1 はじめに

河川における物質濃度を求めるための水質方程式の数値計算法を提案し、汚濁負荷の大きい支川の合流により水質が悪化している河川感潮部の水質状況を把握するために行なった水質シミュレーションの方法と結果について述べる。

2 水質シミュレーションモデル

水質方程式を特性曲線法に基づく数値計算法により解き、河川における物質濃度を求める方法を提案する。ここで提案する水質の数値計算法は、特性曲線に沿って、すなわち、河川水とともに移動しながら濃度の変化を追跡するもので、濃度の変化の過程をモデル化した計算法である。この計算法では、まず、河川の流れを計算し、特性曲線を求め、特性曲線に沿って濃度を計算することになる。

2.1 流れの計算モデル

河川の流れは連統方程式と運動方程式に基づいて計算する。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} \right) - qv_q \cos \theta = 0 \quad (1), (2)$$

ここで、 A は流水断面積、 Q は流量、 H は水位、 R は径深、 n はManningの粗度係数、 q は流路単位長当りの横流入量、 v_q は横流入水の流速、 θ は横流入の流れと主流のなす角度である。

流れの計算では、式(1),(2)を陰差分法により差分化し、各計算断面における水位 H と流量 Q を求める。

2.2 水質の計算モデル

河川における物質濃度は水質方程式を解いて求める。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(AE \frac{\partial C}{\partial x} \right) - kC \quad (3)$$

ここで、 C は物質濃度、 u は流速、 A は流水断面積、 E は分散係数、 k は減衰係数である。

水質方程式(3)は、部分段階法により、移流方程式、減衰方程式および分散方程式に分離して、数値解を求める。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial t} = -kC, \quad \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(AE \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (4), (5), (6)$$

移流方程式(4)の特性微分方程式は $dx/dt=u$ 、 $dC=0$ となり、解は特性曲線 $dx/dt=u$ 上で $C=\text{const.}$ となる。減衰方程式(5)の解は $C=C_0 \exp(-k\Delta t)$ となる。分散方程式(6)はCrank-Nicolson法により差分化し、数値解を求める。

式(4)、(5)、(6)を順次解くことにより式(3)の解を求める。ただし、支川の合流点では、合流部の物質収支式により濃度の計算を行なう。

$$\frac{d(C_m V_m)}{dt} = (C_u - C_m)Q_u + (C_t - C_m)Q_t - (C_d - C_m)Q_d \quad (7)$$

ここで、 V_m は合流部の水の体積、 C_m は合流部の物質濃度、 Q_u 、 Q_d 、 Q_t および C_u 、 C_d 、 C_t はそれぞれ合流部直上流、直下流および支川の流量と物質濃度である。順流の場合は $C_m=C_d$ 、逆流の場合は $C_m=C_u=C_d$ である。

減衰と分散を考慮しない場合の水質方程式(3)の解を求める手順（移流方程式(4)の解）を示すと、図1のようになる。

3 水質シミュレーションの例

汚濁負荷の大きい5つの支川が合流する、地点Aまでが感潮部である、図2に示すような、約20kmの河道区間を対象として、水質シミュレーションを行なった。水質シミュレーションの対象とした流れの特性曲線を描くと、図3のようになる。本川上流端の物質濃度を6mg/l、支川1は10mg/l、支川2と5は30mg/l、支川3は50mg/l、支川4は100mg/lとし、減衰がない場合($k=0$)について、分散係数を0、1、10、100 m^2/s とした場合について水質計算をし、ある時刻における物質濃度の縦断変化と地点Bにおける物質濃度の時間変化を示すと、図4および図5のようになる。図4によると、支川の合流により本川の水質が汚濁されている状況がわかり、図5によると、地点Bにおける濃度は潮位変化に応じて変化することがわかる。また、分散係数が1 m^2/s 以下のときは分散の影響は殆ど受けないが、10 m^2/s より大きくなると、分散の影響により濃度の計算結果が変わることがわかる。

分散係数を10 m^2/s とし、減衰係数を0、 10^{-7} 、 10^{-6} 、 10^{-5} s^{-1} の一定とした場合について水質計算をし、ある時刻における物質濃度の縦断変化を示すと、図6のようになる。図6によると、減衰係数が 10^{-7} s^{-1} 程度の場合は濃度の計算結果は減衰の影響を受けないが、減衰係数が 10^{-6} s^{-1} 以上になると、減衰の影響を受け、濃度の計算値が小さくなることがわかる。

4 おわりに

河川感潮部における水質の数値計算法を提案し、数値計算例を示した。その結果、水質の計算式に含まれる分散係数と減衰係数の値の与え方により濃度の計算値がかなり変わることが示された。水質観測を行ない、分散係数と減衰係数の特性を明らかにすることが今後の課題である。

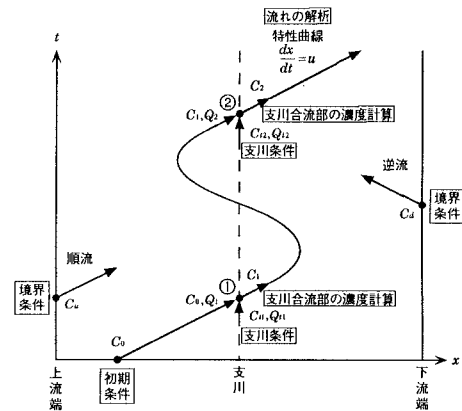


図1 移流方程式の数値計算法

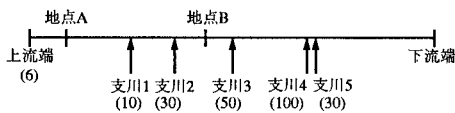


図2 河道区間 ()内は濃度 (mg/l)

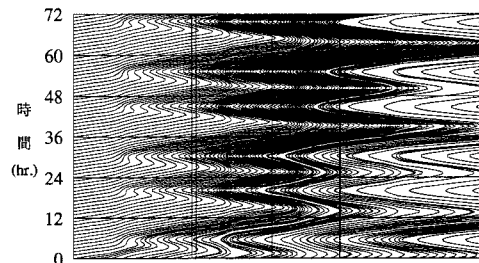


図3 流れの特性曲線

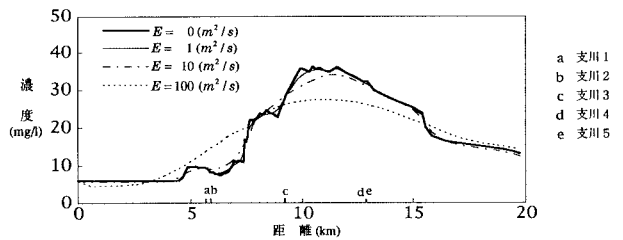


図4 物質濃度の縦断変化（分散係数の影響）

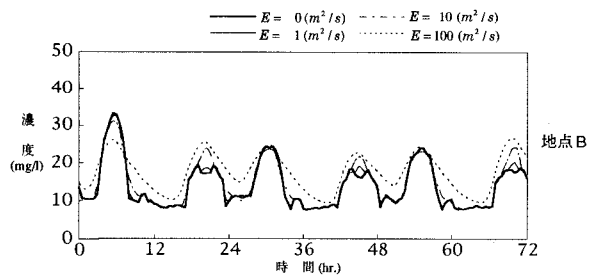


図5 物質濃度の時間変化（地点B）

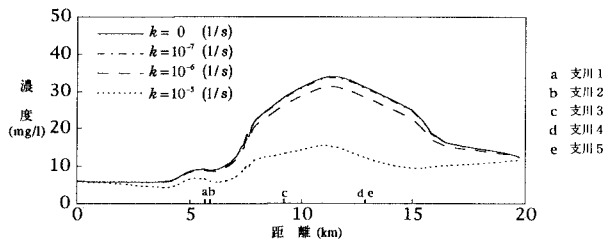


図6 物質濃度の縦断変化（減衰係数の影響）