

II-197

河川感潮部における物質移流のシミュレーションモデル

早稲田大学大学院	学生会員	秋元 賢吾
早稲田大学理工学部	正会員	鮎川 登
早稲田大学大学院	学生会員	片山 能輔

1. はじめに

河川感潮部では支川から流入した汚濁物質が潮汐の影響で停滞するために、水質問題を生ずることが多い。ここでは、支川からの汚濁負荷が本川の汚濁におよぼす影響を調べるために、支川から流入した保存性物質が感潮部の流れによって移流される状況をシミュレートするために作成したモデルについて述べる。

2. 物質移流のシミュレーションモデル

2.1 基礎方程式

河川感潮部の流れは非定常流の連続方程式と運動方程式を用いて解析する。

$$\text{連続方程式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} \right) - q v_q \cos \theta = 0 \quad (2)$$

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 は流路単位長さ当りの横流入量、 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。

保存性の物質の移流の計算は移流方程式により行う。

$$\text{移流方程式} \quad \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

ここで、 C は、物質の濃度、 $u = Q/A$ は流速である。

2.2 境界条件および初期条件

流れの計算では、境界条件として上流端で流量、下流端で水位の観測値を与える。支川からの流入量については観測値があれば、観測値を用いるが、観測値がない場合には次式で与える。

$$q = Q_i/B_i, \quad Q_i = \alpha Q + Q_{i0} \quad (4)$$

ここで、 Q_i は支川の流量、 B_i は支川の河幅、 Q は支川合流点の直下流の断面の本川流量、 α および Q_{i0} は係数である。

物質の移流の計算では、境界条件として順流時には上流端で、逆流時には下流端で濃度を与えることが必要である。上流端は非感潮部にとられることが多く、その場合には上流端の境界条件として濃度の観測値を与えなければならないが、下流端については濃度の観測値がない場合には、順流時に流下した水が逆流時に遡上するものとして、順流時の濃度の計算値を用いて与えることを考える。

順流時には、支川の水が本川に流入するので、境界条件として支川からの流入水の濃度を与えることが必要である。支川からの流入水の濃度は観測値があれば、観測値を用いればよいが、観測値がない場合には逆流時に支川を遡上した水が順流時に本川に流入するものとして、支川からの流入水の濃度を与えることを考える。

非定常流の計算では、初期条件として各断面の水位と流量を与えることが必要である。ここでは、初期水位は水平とし、初期流量は0として計算をはじめ、上流端では流量を、下流端では水位を徐々に変化させ、それぞれ所定の値に達するようにする。各断面の初期濃度は適当に与える。

2.3 基礎方程式の数値計算法

流れの基礎方程式(1),(2)を4点陰差分スキームにより差分化し、得られた非線形連立方程式をNewton-Raphson法により数値的に解き、各断面の水位 H と流量 Q を求める。移流方程式(3)は、その特性微分方程式

$$\frac{dt}{1} = \frac{dx}{u} = \frac{dC}{0}; \quad \frac{dx}{dt} = u, \quad dC = 0 \quad (5)$$

により $dx/dt = u$ 上で $C = \text{const.}$ となることから、流れの解から特性曲線 $dx/dt = u$ を求め、濃度の初期条件および境界条件を用いて各断面における濃度 C を求める。ただし、支川の合流点では、支川から

の流入により濃度が変化するので、濃度の計算が必要になる。支川合流部の濃度の計算は、合流部における物質と流れの連続方程式に基づく次式で行う。

$$V_m \frac{dC_m}{dt} = (C_{iu} - C_m)Q_{iu} + (C_t - C_m)Q_t + (C_{id} - C_m)Q_{id} \quad (6)$$

ここで、 V_m は合流部の水の体積、 C_m は合流部の物質の濃度、 C_{iu}, Q_{iu} は合流部の直上流の濃度と流量、 C_{id}, Q_{id} は合流部の直下流の濃度と流量、 C_t, Q_t は支川合流水の濃度と流量である。支川からの流入がある順流時には、式(6)で $C_m = C_{id}$ として C_{id} を求める。逆流時には $C_m = C_{iu} = C_{id}$ とする。

3. 物質移流のシミュレーションの例

図1に示すような5つの支川が合流する、地点Aまでが感潮域である約20kmの河道区間を対象として物質移流の数値計算を行った。境界条件は、上流端で流量と濃度、下流端で水位の観測値を与え、支川の流量と濃度および下流端の濃度は前述した方法で推定して与えた。Manningの粗度係数 n および支川流量の算定式(4)のパラメータ α と Q_{t0} を適当に定め、計算断面間隔 Δx を300～700m、計算時間間隔 Δt を300 sec.として計算した結果のうち、地点Cの水位と流量および支川4の流量の観測値と計算値を比較して示すと、図2のようになり、流れの観測値と計算値はほぼ一致することがわかる。

流れの計算結果を用いて水粒子の移動の軌跡（特性曲線）を描くと、図3のようになる。図3に基づいて図1に示す濃度条件に対する物質移流による濃度変化を求め、ある時点における濃度の縦断変化を示すと、図4のようになる。また地点Bにおける濃度の時間変化を示すと、図5のようになる。図4および図5によると、支川3の汚濁負荷を減ずることによる本川の水質改善効果を推定することができる。

謝辞：本研究の実施にあたり貴重な資料を提供して下さいました関係各位に謝意を表します。

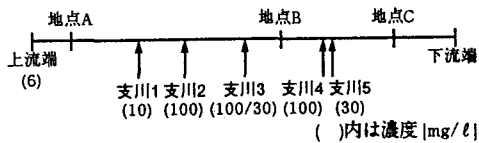


図1 対象河川と濃度の境界条件

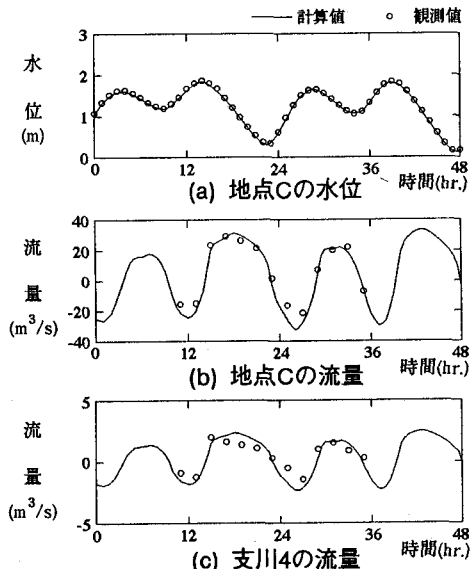


図2 水位と流量の観測値と計算値の比較

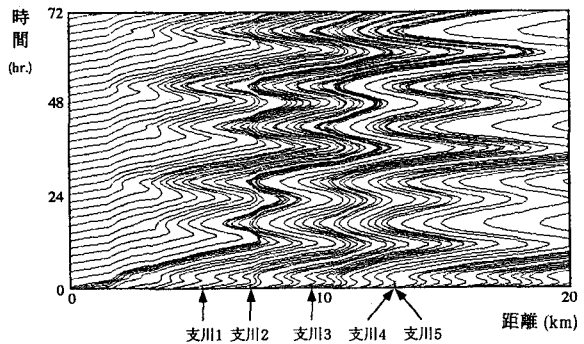


図3 水粒子の移動の軌跡（特性曲線）

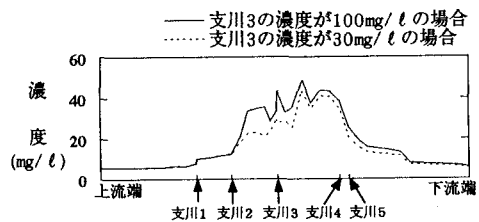


図4 濃度の縦断変化

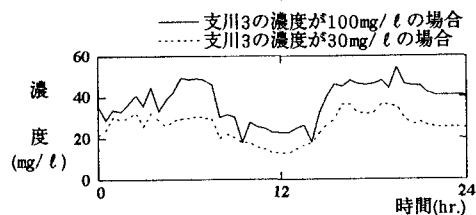


図5 地点Bの濃度の時間変化