

溶存物質輸送における流管モデルの基礎的研究

豊橋技術科学大学 学生会員 ○青木 京平
 豊橋技術科学大学 正会員 四倉 信弘

1. 緒言 本研究は、河道形状が流れによって自然に形作られ、流量が長期間安定していて流管も滑らかな曲線の連続として表現できるような自然河川における水質拡散現象の解析に適した流管モデル¹⁾を、人工性や非定常性の強い我国の河川に適用するために、諸問題の解明と改良を行なおうとするものである。ここでは、基礎的事項のチェックのために行なった実験の一部を報告したい。

2. 流管モデルの概要 自然河川における直交曲線座標を図-1のように設定し、定常流を考えて、(1)式で表わされる横断方向への累積流量 q を定義し、それを(z の代わりに)横方向の独立変数として、定常2次元の拡散方程式を(若干の仮定の下に)記述すれば(2)式を得る。

$$q = \int_{z_L}^z m_z h v_x dz \dots (1)$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial q} (m_x h^2 v_x e_z \frac{\partial c}{\partial q}) \dots (2)$$

ここに、 z_L =左岸の座標値、 m_z 、 m_x =横および縦方向の座標距離修正メトリック、 h =水深、 v_x =縦方向の水深平均流速、 e_z =横方向の水深平均による拡散係数、である。

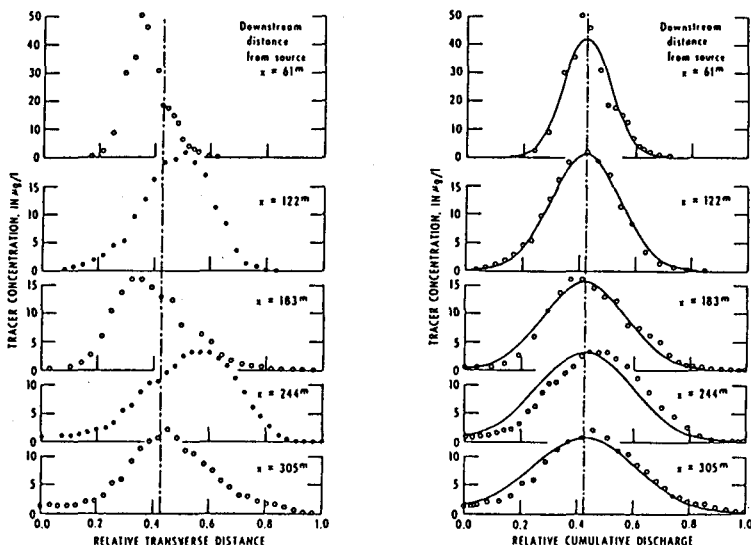
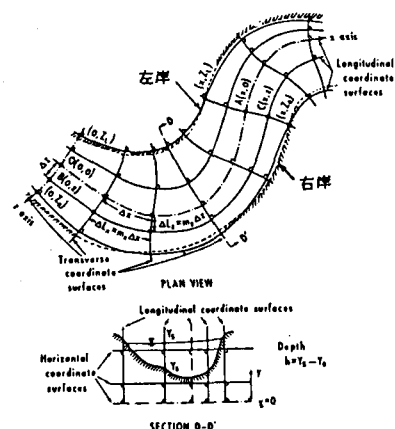
(2)式で表わされる(定常2次元の)流管モデルの特徴のひとつ

は、流れの蛇行や川幅の変化などに伴って、横方向の流速変化が著しい場合にも、横方向の濃度分布がガウス分布に近い形に表現されることである。一例として図-2を示す。図の左は、通常の横座標(z)に対して濃度分布をプロットしたものであり、右は上述の q を横座標に用いた場合である。右図の実線の曲線は解析解であり、図から解析解はあたかも、直線の流速一様な水路における解のような形状が得られることが理解されよう。

これは、 x と q を用いると図形的には河道を矩形水路として扱えるためである。この特徴を活かせば、例えば支流については各支流を他の支流との間に横分散が起こらない流管群としてみなすことができ、また、河道内に存在する島や中州はその長さに渡って $e_z=0$ の流線として扱うことができ、実河川の複雑な流路網などを著しく簡単化して扱うことができる。

図-2 Atrisco Feeder 運河

(New Mexico)における横方向濃度分布の横方向距離に対するプロット(左)と累積流量に対するプロット²⁾



3. 直線矩形水路での解析解と実験 流管モデルによる対象水域や条件の簡略化は解析解を容易に得ることにもつながる。そのひとつの例として河道内の任意地点に連続点源がある場合をとりあげよう。

いま、 h 、 v_x 、 e_z の断面平均値を測定河道区間で平均したものをそれぞれ H 、 V_x 、 E_z と表現して横分散定数を次のように定義する。 $D = \lambda H^2 V_x E_z \dots (3)$ 、ここに、 λ =係数群 $m_x h^2 v_x e_z$ の断面内および河道における変化を考慮して実験的に得られる無次元係数である。これを用いて(2)式を簡略化した上で、 $c' = cQ/M$ 、 $\xi = x \lambda E_z / V_x B^2$ 、 $\eta = q/Q \dots (4)$ (ここに、 M =投入源における保存性溶質の単位時間あたりの流入質量、 $B = Q/HV_x$)の無次元化を行なえば、 $\partial c' / \partial x = \partial^2 c' / \partial \eta^2 \dots (5)$ を得る。この解は点源が η_s ($0 \leq \eta_s \leq 1$)にある場合、

$$c'(\xi, \eta) = \frac{1}{\sqrt{4\pi\xi}} \sum_{N=-\infty}^{\infty} \left[\exp \left\{ -\frac{(2N + \eta_s + \eta)^2}{4\xi} \right\} + \exp \left\{ -\frac{(2N + \eta_s - \eta)^2}{4\xi} \right\} \right] \dots (6)$$

で与えられる。

4. 実験 図-3に示す幅40cm、長さ14m、勾配1/2000の矩形水路を用いて上記の検証実験を行なった。図-4はその結果の一例であり、図-4(a)は、点源が測定点より上流6mの断面の中央にある場合、図-4(b)は同じく左岸側(左岸から10cm)にある場合、図-4(c)は同じく右岸側にある場合の、各濃度分布と計算値を示したものである。なお、計算においては $\lambda = 1$ とし、拡散係数 E_z については、Fischerら³⁾による総合的報告の結果としての、 $e_z = 0.15h v_x \dots (7)$ (ここに、 v_x =摩擦速度)から算出される値を用いた。一部無視できない誤差が見受けられるものの、計算値は実測値とよく適合しているといえよう。

【参考文献】1)四倉信弘、中村俊六：河川における溶存物質の2次元輸送解析のための流管モデルについて、土論報No.399-II-10、1988、2)Yotsukura, N. & W.W.Sayre: Transverse Mixing in Natural Channels, Water Resources Research, Vol.12, No.4, 1976、3)Fischer, H.B., et al: Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, 1979

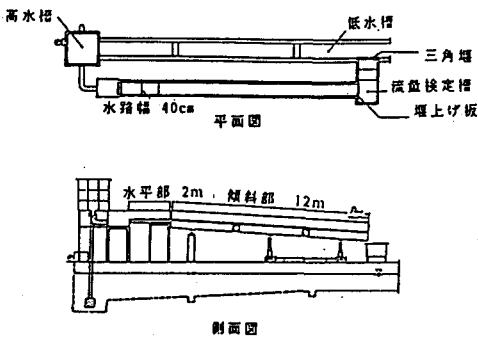


図-3 実験水路

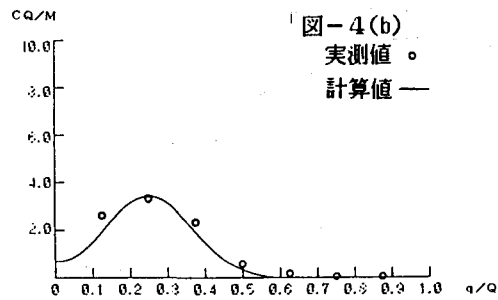


図-4(b)
実測値 ○
計算値 —

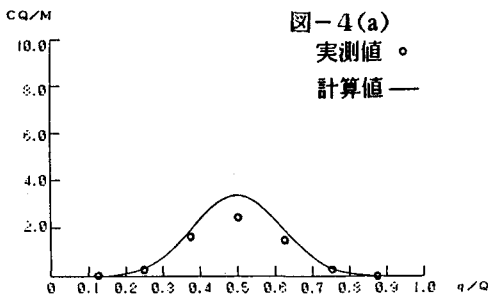


図-4(a)
実測値 ○
計算値 —

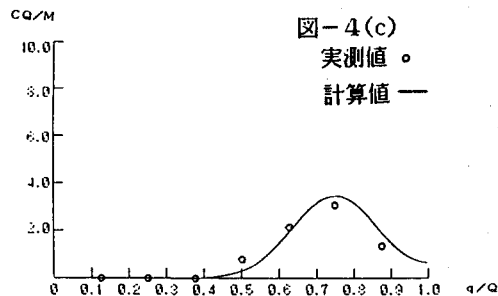


図-4(c)
実測値 ○
計算値 —