

大隈大学工学部 正員 中辻裕二

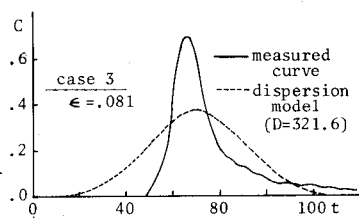
大阪大学工学部 正員 榎本 亨

1. まえがき ; 水質の移流分散の解析は一般にはFick型の存在則に基づくものであり、流速場の特性は平均操作により分散係数で表現される。したがって、濃度分布は周知のようにガウス分布形状で移流することとなるが、流れに死水域が存在し、また流れ場が非一様である場合には濃度分布が歪んだり、あるいは収縮したりすることが観測されており、水質の時間変動を論議する場合には水質がどのようなスケールの流速場(現象を代表する渦の挙動)と関連して輸送されるかが重要となる。本文では沿岸海域での埋立て、防浪堤の建設に伴って後背部に発生する死水域が水質の分散過程において貯留・輸送遅滞効果を果すことに着目して水理実験を行ない、実験結果に基づいて死水域を考慮した移流分散モデルを構築し、その適用性を検討した。

2. 濃度-時間(C-T)曲線と流況特性について ; 実験は水路幅40cm, 長さ13.5m, 勾配1/500の矩形断面水路を用い, 長さ10cmの水刺を片側に並べることにより発生する死水域の水質捕捉効果を調べた。濃度測定はメゲルバリオレットを上流端で瞬間線投入した場合のガスレーザ光の断面平均透過率をセレン光電池を用いて水刺設置より上・下流2点(間隔7m)で計測した。濃度と水圧は10~40ppmの範囲で線型関係にある。

図-1はC-T曲線の一例を示したものであり、破線は上流側C-T実験値を入力条件として表-1の実測分散係数を用いた計算結果である。計算曲線は分散効果を受けて分布形状は滑らかであるのに対し、実測曲線は立ち上がり部では急峻で、また下降部では長く尾を引く、いわゆる tailing 現象を呈している。すなわち、現象的にみれば一旦死水域に捕捉された水質が死水域内の渦の効果により緩やかに循環して時間遅れを有して再び主流域に放出されることからC-T曲線の歪み、およびみかけ上の分散係数

図-1 濃度・時間曲線



圖一) 濃度、時間曲線。

水相	5	4	3	2	1	0
€	.160	.124	.081	.052	.017	.000
D	948.6	588.7	321.6	175.1	228.9	137.6

where $Q = 2$ l/sec, D (cm^2/sec)

表-1 死水域率 ε 、 k 分散係數 D

めであり、 E の増大とともにみかけ上の分散係数が急増していることがわかる。また、その値は実測流速分布から求めた $E = 1 \text{ den.}$ Fisher の分散係数 D_E, D_F に比較して非常に大きい。

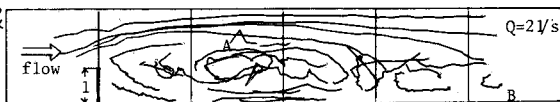


图-2 流跡線 ($Q=2\text{ l/sec}$, $l=15\text{ cm}$, $h=10\text{ cm}$)

から非一様性パラメーター $r = \int_0^B (\bar{u} - u)^2 dy / \bar{u}^2 B$ を求めたが、その流れ変化は $0 \leq x \leq 4$ m を除いて r は 0.01 より小さくなり、横断方向の流速を考慮した二次元的補正を示唆している。つぎに、Fischer 流の分散係数 D_f と r との相関を求めた $D_f = 0.154$ の関係で表現でき、流れの非一様性、水質分散に及ぼす影響は D_f で補正できようである。しかしながら、表-2 に示す実験値と比較して D_f および D_E はともに小さく、横断方向の水質輸送ならびに死水域の貯留効果が水質分散に対して支配的に作用していると考えられる。

3. 水質輸送モデルによるシミュレーション； 以上の実験から複雑な流況場における水質輸送モデルの設定に際しては、死水域の規模、渦の挙動を考慮する必要があると思われる。モデル化の側面標準は C-T 曲線の再現化にあり、ここでは実験流速分布を極力考慮しながら死水域を一種の貯留輸送タンクとみなすモデル化を以下の 5 つの仮定に基づいて行った。

- [1] 主流域と死水域とを分離し、各々一次元解析する。[2] 流速分布 u の補正は横断方向のみかいた対流流速 V で表現する。[3] 乱れによる水質輸送量 $-V'c$ は対流流速による輸送 $-Vc$ と仮定する。[4] 主流域においては死水域との流量交換を横流入とみなし、実験値 Γ_m, B_m から連続方程式を満たすように k_m を決定する。[5] 死水域においては貯留輸送効果に着眼をおろし水深一定として連続性より逆向き流速を算定する。

以上の仮定に基づき図-3 に示す仮想的な 3 区間の連続性から V を算出し、基礎式として (1), (2) を得る。ここに運動方程式は厳密には満たされていないが、実験値 Γ_m, B_m を用いることにより間接的に配慮されていると考える。

$$\begin{cases} \partial C_m / \partial t + 1/A_m \cdot \partial (\Gamma_m A_m C_m) / \partial x - 1/A_m \cdot \partial (A_m D \cdot \partial C_m / \partial x) / \partial x = -\beta V / B_m C_m \text{ (for } V \geq 0) \text{ or } -\beta V / B_m C_d \text{ (for } V < 0) & (1) \\ \partial C_d / \partial t + \partial (\Gamma_d C_d) / \partial x = \beta V / B_d C_m \text{ (for } V \geq 0) \text{ or } \beta V / B_m C_d \text{ (for } V < 0) & (2) \end{cases}$$

図-4 は流量 2 l/sec、水深 1.5 cm の場合の実験流速分布より $\Gamma, V, D_E + D_f$ を算出して、上流側 C-T 曲線を入力条件とした数値計算例であり、実験値とともに示した。基礎方程式中の β 値は境界乱れ幅と主流域幅との比を示す水質進行係数であり、 $\beta = 0.0$ の場合は Taylor dispersion model となる。

β の増大にともない C-T 曲線の立ち上がり部においては水質のみかいた対流流速 V により死水域へ輸送される結果、ピーク濃度の若干の減衰がみられるが、下流部の tailing 効果は殆んどみられない。この原因は死水域を一次元的な上向き流速場と仮定した結果、実験値と比較して水質の死水域滞留時間が短くなり遅滞効果を及ぼさないからであろう。同時に Hay 模型による計算結果を鎖線により示した。このモデルは死水域の貯留効果のみに着目して濃度差に比例した水質交換を考慮したものであり、 α は混合速度と摩擦速度 U_* で表現するパラメーター ($\alpha = \alpha U_*$) である。C-T 曲線の立ち上がり部においては濃度に比例した減衰ならびに下流部においては死水域濃度の混入により tailing 現象を呈するが、ピーク濃度の著しい減衰ならびに発生時間遅れが生じる。

いずれのモデルにおいても C-T 曲線の急峻な立ち上がり、tailing 現象をシミュレートできないが、この原因は流速場が多分に 3 次元的で横断面内輸送があるのに対し、モデル化は水表面のデータにより死水域を分離したこと、また断面急縮部において単位長さ当りの濃度増減効果が C-T 曲線の立ち上りを助長していることにあると考えられる。今後は渦の挙動と水質との関連において移流分散を論じたいと考えている。

h	0	10	15	D_E
Q=2	56.3	100.8	167.6	37.4
Q=4	137.6	180.8	269.2	67.6
Q=6	168.1	306.7	508.3	59.3

where $d = 10$ cm, Q (l/sec), h (cm)

表-2 $Q, h \sim D, D_E$

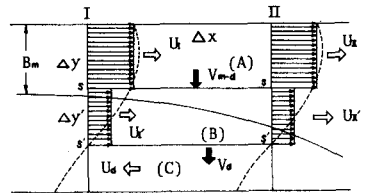


図-3 モデルの概念図

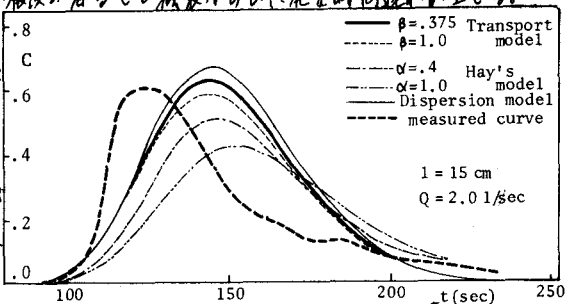


図-4 水質輸送モデルによる数値計算例