

大阪大学工学部 正員 中込 塔二
大阪大学工学部 正員 榎 本 亨

1. まえがき ; 死水域を有する流路場で水質分散過程の解析にあたっては、死水域の水質滞留効果を表現するために横断方向混合速度ならびに水質滞留時間の定量的評価が極めて重要となる。著者らは昨年¹⁾で死水域を一種の貯留輸送タンクとみなすモデル化を行なったが、本報では死水域に到達する渦の挙動と主流域物理諸量および死水域の地形形状との関連性を実験的に明らかにするとともに、境界面で仮想的に渦列を媒介とする水質混合モデルを考案し、その適合性を検討したので報告する。

2. 凹部の渦の挙動と分散特性について ;

実験装置および計測方法は前回と同様であり、幅 b 、長さ l の凹部水域を複数個併設して凹部に到達する渦による水質捕捉・貯留効果を調べた。主流流速 U_0 は 5.1, 9.01, 18.18 cm/sec の 3 種類であり、実験ケースは表-1 のとおりである。稜定断面上下流端で計測した濃度・時間 ($C-t$) の曲線より Moment 法で算出した分散係数 D を比較すれば、 $U_0 = 18.18$ cm/sec、且つ断面一様の実験ケース U_0 を除いて分散係数 D は Elder の値 5.93 $h U_0$ (ここに、 h は水深、 U_0 は流速を示す) よりも大きくなる。また、 U_0 が小さくなれば水平方向の流速分布が不均一となり、凹部内の滞留時間が長くなる可能性が強くなり、 $D/h U_0$ の値は大きくなる傾向にある。この $C-t$ 曲線の歪度を視覚的に把握するために、ピーク濃度と全濃度面 A の立ち上がり時間と減衰時間との形状比 γ_m を求めたのが図-1 である。 γ_m は上流側 $C-t$ 曲線を x カデータとして実験分散係数を用いて推算した下流側 $C-t$ 曲線の形状比であり、 γ_m は実験値のものである。凹部を有しない断面一様な実験ケース U_0 では、 γ_m/γ_c は流速 U_0 に関係せずほぼ 1.0 の値をとり、分散係数 D のみで $C-t$ 曲線を推定できることが分かる。他方、 $U_0 = 18.18$ cm/sec の実験ケース 4, 5, 6 を除いて、 γ_m/γ_c は 1.0 より大きな値をとり、実験 $C-t$ 曲線はより歪んでいることを示しているが凹部の渦の特性との関連で系統的に論議することはできない。

表-1 凹部形状 ($b \times l$) と個数 N 、単位: cm.

CASE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b	0	20	10	20	10	20	20	20	20	20
l	0	20	20	20	20	126	62	41	62	41
N	0	6	6	3	3	1	2	3	1	1

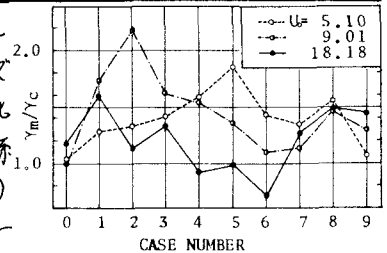


図-1 濃度時間曲線の歪度

3. 凹部内渦の挙動特性 : 上述の $C-t$ 曲線の歪みは tailing 現象と称され、その直接的な関連因子は凹部と主流域の水質混合速度および水質の凹部内滞留時間である。それらは凹部内に到達する代表渦の循環特性と一義的に関連しており、フロートを浮かべてその挙動を数多く追跡することにより平均化した特性を求めた。滞留時間は次元解析から拡散係数 E あるいは循環 Γ を用いて表現されるが、ここでは主流域の流況特性と凹部形状特性を用いて次のように定義した。

$$T_E \propto l^2 / E \propto b^2 / h U_0, \quad T_\Gamma \propto l^2 / \Gamma \propto l^* b / (l^* + b) U_0$$

ここに、 l^* は代表渦の流下方向平均渦径である。渦の挙動は不規則でありまた凹部形状によつては二次流が到達して循環渦領域外の二次流領域の占める割合は小さくなる。例えば、 $U_0 = 5.1$ cm/sec、 $b/l = 0.25$ の場合には凹部面積の 40% 近くになるとり、水質交換に参与する凹部内面積を $b \times l^*$ で表現した。実験した滞留時間 T_m と T_E 、 T_Γ とを比較したのが、 $T_m \sim T_E$ (b/l が小さい場合にはほぼバラツク) に対し、 $T_m \sim T_\Gamma$ は図-2 に示されるようにほぼ線型関係にあり、循環特性を用いた T_Γ の評価が適当であると

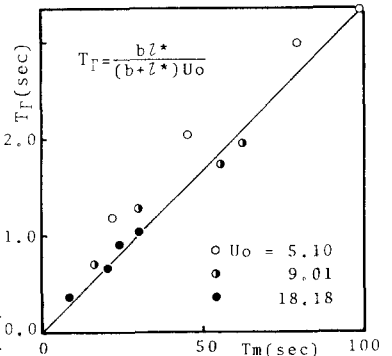
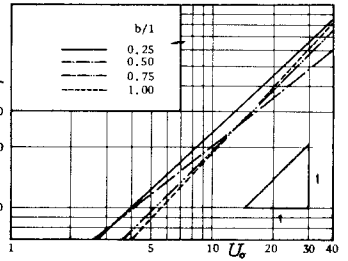


図-2 循環特性時間

思われる。図-3は、この T_p から求めた循環速度 $\bar{U}_p$ と $\bar{U}_0$ との関係を示したものであり、凹部形状比 b/l によりその定数 α は若干異なるが、 $\bar{U}_p \propto \bar{U}_0^\alpha$ なる関係式が導かれる。全体として α はほぼ1.0の値であり、循環速度と主流流速とは線型関係にあるとみなしてよい。



4. 仮想渦列による水質交換モデル:

水質交換は凹部の循環 $\bar{U}_p$ と主流流速 $\bar{U}_0$ との境界面の乱れを媒介として生じると考えられるが、いまこの界面の不連続性を滑らかに連結するために図

4に示すような仮想渦列 P_0 を配列して、流況場を再現する。すなわち、

不連続面を挟む矩形積分路について循環 P_0 をとるならば、渦度 ω は $P_0 / \delta x \cdot \delta y = (\bar{U}_0 - \bar{U}_p) / \delta y$ で表わされ、この仮想渦列の作る流況場のために渦管内では流速分布が滑らかになっていると考えよう。この渦管は流速の粘性作用を抽象化したものであり、境界面における乱れの生成、あるいは境界面の凹部水域への拡大は境界面での渦度 P_0 の強さで表現できる。ここでは、この渦度の強さの分布を表現する方法として、流速変動 U_{rms} の最大値の凹部水域への拡がり角度 θ を用いて定義した。

すなわち、図4に示す仮想渦において、真Aでの接線方向流速 V の主流方向成分が $(\bar{U}_0 - \bar{U}_p) / 2$ なる速度をもつような渦を配列することにより得られる横断方向流速成分 V_m が境界面を通じた水質交換に寄与する水質混合速度に相当すると考えられる。 V_m は次式のように求まる。

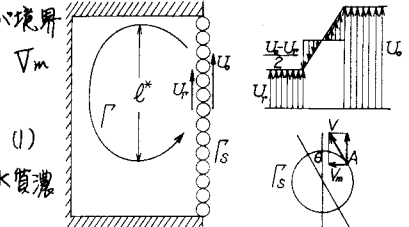


図-4 モデルの概念図

$$V_m = V \cdot \sin \theta = (\bar{U}_0 - \bar{U}_p) / 2 \cdot \tan \theta$$

つぎに、この混合速度 V_m および凹部死水域率を考慮して凹部内水質濃度 C_d の瞬時的変化を求める。主流水域での濃度 C_m との物質収支は、

$$\frac{dC_d}{dt} = \frac{1}{bl^*} \left(C_m \cdot V_m \cdot \frac{l^*}{2} - C_d \cdot V_m' \cdot \frac{l^*}{2} \right) \quad (2)$$

で表わされる。さらに、流れは定常であると仮定するならば、連続性より $V_m \cdot l^* / 2 - V_m' \cdot l^* / 2 = 0$ となり、且つ、 $C_m = 0$ とするならば凹部内水質濃度 C_d の衰減率は初期濃度を C_0 として次式で求まる。

$$C_d / C_0 = \exp(-V_m / 2b \cdot t) \quad (3)$$

上記水質交換モデルの妥当性を検証するために、2.の渦の循環特性を用いて式(3)より計算した濃度半減時間と実測時間とを比較したのが図-5である。渦が凹部全域に十分発達している $b/l = 1.0$ の場合においてはモデルによる推算値は実測値と極めて一致している。他方 $b/l = 0.5$ の場合においては主流流速 $\bar{U}_0$ が小さいときには若干の隔たりがあるが、これは二次流の発達による死水域率の算定、すなわち l^* の評価の誤差に原因すると思われる。図-6は、凹部内濃度の衰減特性を比較したもので、曲線は式(3)による推算値であり、また図中の黒丸・白丸は b/l がそれぞれ1.0、0.5の実測値である。両者の傾向が極めてよく一致していることから、仮想渦列を用いた水質交換モデルの妥当性が検証できる。最後に、4.のデータは国立公害研・村岡浩爾君より提供頂き、また有益な助言を賜った。謝意を表す。

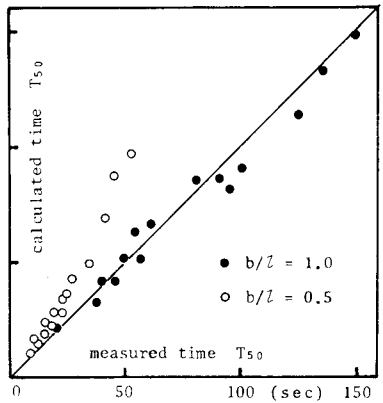


図-5 凹部内濃度の半減時間 T_{50}

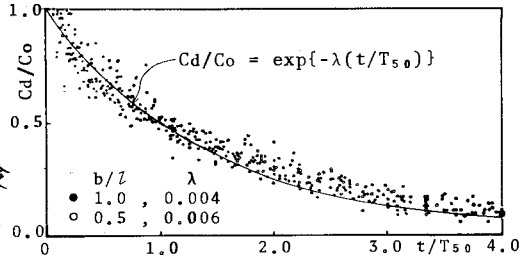


図-6 凹部内濃度の衰減特性