

神戸大学工学部 正員 神田 徹
協和設計(株) 正員 ○勝楽 敏彦
神戸大学大学院 学生員 古川 圭三

1. まえがき

開水路合流点では、流れは隅角部からはく離し、その直下流で渦領域が形成される。この渦領域は定常な循環渦ではなく、複雑な流況を呈する。本研究では、この渦領域の内部構造に注目し、特に渦の発生、渦の動的挙動などについて、その特性を実験的に明らかにするとともに、渦点法モデルによりその流況をシミュレートすることを試みた。

2. 水理実験による渦領域の特性

実験水路は、本流幅40cm、支流幅10cmの直角合流水路である。流速測定には超小型可逆プロペラ式流速計を用い、表面流況はオガクズと染料を用い、連続写真より調べた。

合流点直下流には図1のように渦領域が形成される。支流出口で小さな渦が発生し、その渦ははく離線に沿って流下する。渦領域内部には比較的大きな渦が2~3個存在し、それが渦領域内を緩やかに流下する¹⁾。本研究では、これらの渦をそれぞれ、小規模渦、大規模渦と呼ぶことにする。

図2は小規模渦の平均発生時間間隔 $\bar{T}'$ と流量比 $r=Q_J/Q_0$ の関係を示す。図中 H は水深を表す。 $\bar{T}'$ は r が大きいほど、また H が小さいほど短い。図3は図2の ■ 印の場合の小規模渦の発生時間間隔 $\bar{T}'$ の頻度分布を示したものである。ただし、 $\bar{T}'$ を次式により規準化している。

$$t = (\bar{T}' - \bar{T}') / \sigma_{\bar{T}'}$$

この分布形は流量比、水深を変化させてもほぼ同じ形を示す。

渦領域では、大規模渦が発生し、それが合体あるいは分解をしながら流下し、消滅する。再付着点の位置は大規模渦の下流側にあるから、大規模渦の流下とともに下流へ移り消滅の直後上流側へもどる。このため、その位置は大規模渦が流下し消滅するたびに振動する。図4は再付着点付近にフロートを浮かべることで求めた振動周期と連続写真より求めた大規模渦の周期を比較したものである。大規模渦の周期は再付着点の振動周期よりすべて小さくなっているが、これは流下する渦の強さが弱い場合、フロートの反応が顕著でなかったためと考えられ、この点を考慮すれば、両者はよく対応している。

3. 渦点法モデル

(1) 写像関数と流れの複素ポテンシャル

図5に示すように、合流水路を多角形 (Z 平面) で表わしその内部を次式 ($S-C$ 変換) により W 平面の上半面に写像する。

$$\frac{dz}{dw} = K (w-a)^{-0.5} (w-b)^{-0.5} (w-c)^{0.5} (w-d)^{-0.5} \\ \times (w-e)^{-0.5} (w-f)^{0.5} (w-g)^{-0.5} (w-h)^{-0.5} \quad (1)$$

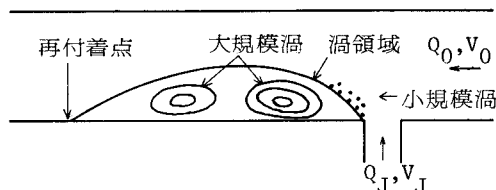


図1 渦領域

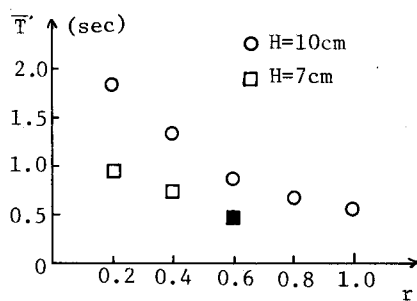


図2 小規模渦平均発生時間間隔 $\bar{T}'$ と流量比 r の関係

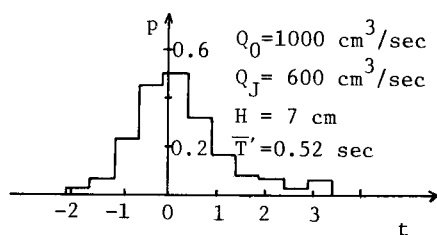


図3 頻度分布の規準化

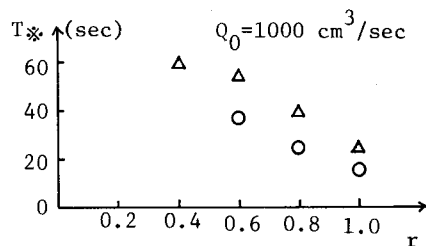


図4 再付着点の振動と大規模渦の周期

ここに、 K は大きさに関する定数で、 $a, b, \dots, h$ はそれぞれ Z 平面の $A, B, \dots, H$ に対応する W 平面の ξ 座標の値である。

合流する流れをsinkとsourceによる流れと、せん断層を表わす非粘性ポテンシャル渦対による流れとの重ね合わせによって表わせば、その複素ポテンシャル f は次式で与えられる。

$$f = m_1 \text{Log}(w-l) + m_2 \text{Log}(w-m) - (m_1+m_2) \text{Log}(w-n) - ik_u \text{Log}(w-w_v) + ik_u \text{Log}(w-\bar{w}_v) + \sum_{j=1}^N [-ik_j \text{Log}(w-w_{vj}) + ik_j \text{Log}(w-\bar{w}_{vj})] \quad (2)$$

ここに、 $-$ 印は共役複素数を表わす。 m_1, m_2 はsourceの強さを表わし、 k_u, k_j はそれぞれ点 f, c 近傍において発生する渦の強さを、また w_v は渦の位置を表わす。

渦点を除いた点での流速は次式で与えられる。

$$u_w - iv_w = df/dw, \quad u_z - iv_z = df/dz = (df/dw)/(dz/dw)$$

第 p 渦点の移動速度は次式で求められる。

$$u_{wp} - iv_{wp} = df^*/dw, \quad u_{zp} - iv_{zp} = df^*/dz = (df^*/dw)/(dz/dw)$$

ここに、 $\times$ 印は (2) 式下線部の項において $j=p$ の場合を除くことを意味する。

渦点の追跡には次式を用いる。

$$w_{T+\Delta T} = w_T + \left(\frac{df}{dw} \right)_T \Delta T$$

ここに、 $w_T, w_{T+\Delta T}$ はそれぞれ時刻 $T, T+\Delta T$ における渦点の位置を表わす。

(2) 渦点の導入

渦点は図5に示すように2箇所導入し、その導入位置は実験より定め、強さはそれぞれの隅角部においてクッタの条件を満足するように定めた。上流側の渦点は移動させず、下流側の渦点だけを移動させている。

3. 計算結果

計算結果の一例を図6に示す。これは、渦の制限個数20個、渦の導入間隔1.0秒の場合の流速分布と渦の位置を示す。図中の t は最初の渦の導入時刻を $t=0$ としたときの時刻を示す。流速分布から明らかなように、合流点直下流には渦領域が形成され、水路の左岸側では逆流も生じている。また、この図だけではわかりにくいですが、渦領域の大きさはほぼ周期的に変化し、実験で明らかになった渦領域の非定常挙動をよく再現している。

本研究は昭和 54 年度文部省科学研究費 (試験研究) 「放流水束の混合促進に関する実験的研究」 (代表者 : 大阪大学工学部、室田明教授) による研究成果の一部であることを記す。

参考文献

- 1) 神田・勝栗・古川 : 合流部に生ずる循環渦の挙動 土木学会関西支部年講, 1979.

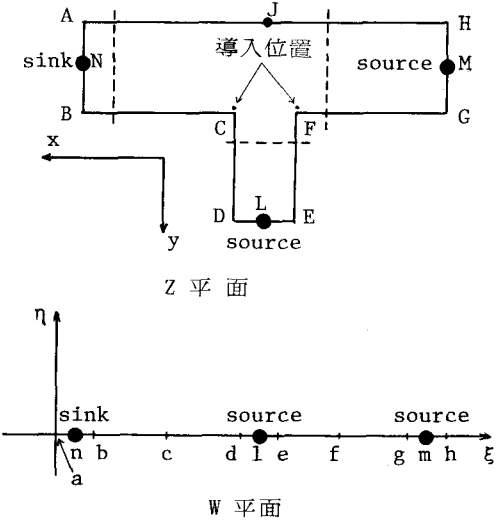
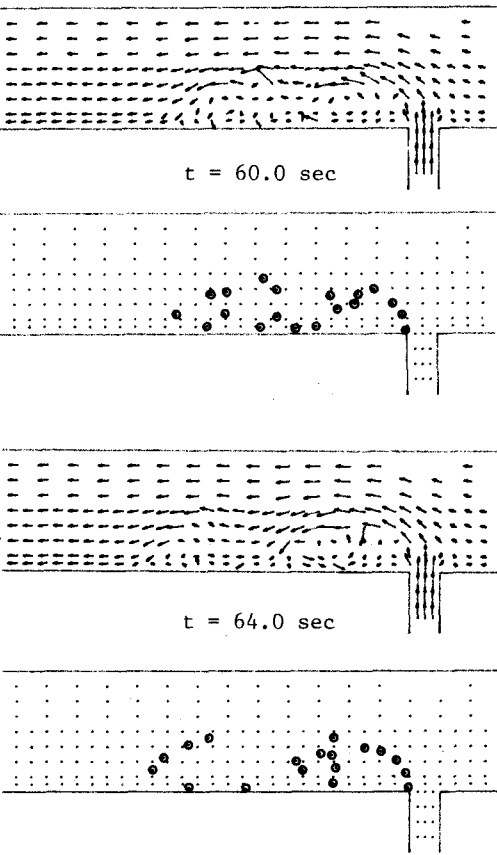


図5 Z平面とW平面



$$Q_0 = 1000 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

$$Q_j = 600 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

図6 流況図