

渦点法による合流部の流れのシミュレーション

神戸大学工学部 正員 神田 徹
大成建設(株) 正員 ○古川圭三

1. まえがき

開水路合流部では流れは隅角部からはく離し、合流点直下流には渦領域が形成される(図-1参照)。支流出口で小さな渦が発生し、渦領域内部には緩やかに回転する循環流が2~3個観測される。実験によるこれらの渦や循環流の特性などはすでに報告したとおりであり^{1), 2)}, 本研究は渦点法モデルを用いて、その非定常な流れを再現しようとしたものである。

2. 渦点法モデル

(1) 写像関数と流れの複素ポテンシャル

図-2のような合流水路(Z平面)内部は次式のS-C変換により変換平面(ζ 平面)の上半面に写像される。

$$\frac{dz}{d\zeta} = c \frac{\sqrt{\zeta^2 - 1}}{\zeta^2 - a^2} \quad (1)$$

ここに, $c = l_2/\pi i$, $a^2 = \frac{l_2^2}{4l_1^2 + l_2^2}$

(1)式を積分すれば次式のようにになる。

$$Z = c' \sin^{-1} \zeta + c' \frac{\sqrt{1-a^2}}{2a} \log \frac{(1-a\zeta + \sqrt{1-a^2}\sqrt{1-\zeta^2})(\zeta+a)}{(1+a\zeta + \sqrt{1-a^2}\sqrt{1-\zeta^2})(\zeta-a)} + i C \zeta' \frac{\sqrt{1-a^2}}{2a} \quad (2)$$

合流する流れをsinkとsourceによる流れと、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は次式で与えられる。

$$f = S_1 \log(\zeta+a) + \frac{S_2}{2} \log(\zeta+e) + \frac{S_2}{2} \log(\zeta-d) - (S_1+S_2) \log(\zeta-a) + \sum_j \left\{ \frac{-ik_j \log(\zeta-\zeta_{vj})}{\zeta-\zeta_{vj}} + ik_j \log(\zeta-\bar{\zeta}_{vj}) \right\} \quad (3)$$

ここに, S_1, S_2 はsourceの強さ, ζ_{vj} はj番目の渦の位置, k_j はj番目の渦の強度, $-$ 印は共役複素数を表わす。

渦点以外の位置の流速は $df/d\zeta$ で与えられ、渦点の移動は ζ 平面では次式で与えられる。

$$\zeta_{T+\Delta T} = \zeta_T + \left(\frac{df}{d\zeta} \right)_T^* \Delta T \quad (4)$$

ここで, $\zeta_T, \zeta_{T+\Delta T}$ はそれぞれ、時刻T, $T+\Delta T$ における渦点の位置, asterisk *は(3)式の下線部の項において、当該渦点の複素ポテンシャルを除くことを意味する。

(2) 渦点の導入

渦点は図-2に示す点で導入し、この点の位置は実験より定めた。渦点強度は、隅角部においてクッタの条件を満足するように定めた強度にある係数 α ($\alpha < 1.0$)を乗じることにより決定した。導入時間間隔は実験における渦発生の不規則性を考慮して正規分布とした。

3. 計算結果と考察

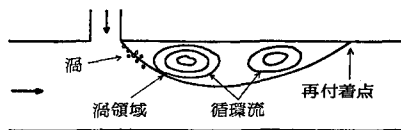


図-1 合流部の概況

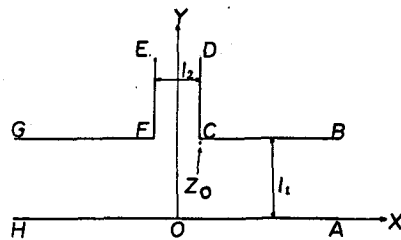
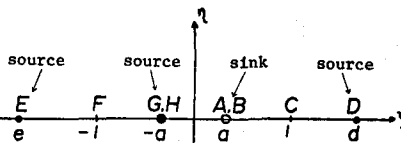


図-2 合流水路 (Z平面)

図-3 変換平面 (ζ 平面)

KANDA TOHRU, FURUKAWA KEIZO

以下の計算結果は，渦点導入位置 $Z_0 = (7.00, 36.06)$ ，渦点強度係数 $\alpha = 0.15$ ，渦点個数 $N = 25$ ，そして渦点導入時間間隔を平均 1.0 秒，標準偏差 0.2 秒の正規分布として計算したものである。

(1) 循環流の挙動

図-4 は水路内各点の約 1 秒間の軌跡である。 t は時刻を表わし，約 2 秒間隔の連続図である。循環流の形成が明確に認められ，それが徐々に流下し下流側の循環流と混合している様子が示されている。また図-5 は図-4 の No. 3 の時刻において存在する渦点の位置を軌跡の上に重ねて書いたものである。この図によれば，循環流は渦が複数個集まって形成されることが分かる。結局，支流出口で発生した渦が渦領域内に入り込み，それらが集中・分離を繰り返しながら流下するのに伴い，循環流も合体・分解をしながら渦領域内を徐々に流下するのである。

(2) 渦領域の変動

図-6 は計算によって得られた渦点位置を渦が 4 個発生することに示した図である。渦点の存在する位置から，渦領域の大きさは時間的に変動している。そこで最下流の渦点までの距離が渦領域の長さに対応すると考えて，その距離を各時刻ごとにプロットしたのが図-7 である。このデータについて自己相関係数を求めると約 30 秒の周期があり，これは実験における再付着点の振動周期の 7 割程度の値である。

4. あとがき

従来，合流点下流部には循環流の存在することが認められているが，その解析では定常かつ大規模な循環が唯一つあるものとして取扱われている。本研究で提案した渦点法モデルは，実験で確認された渦領域内部の循環流の挙動や渦領域の変動などをよく再現することから，合流点下流側の非定常な流れを説明するために有用なモデルであると言える。

参考文献

- 1) 神田・勝楽・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。
- 2) 神田・勝楽・古川：開水路合流点に生ずる渦の特性と渦点法モデル，土木学会年講，1980。

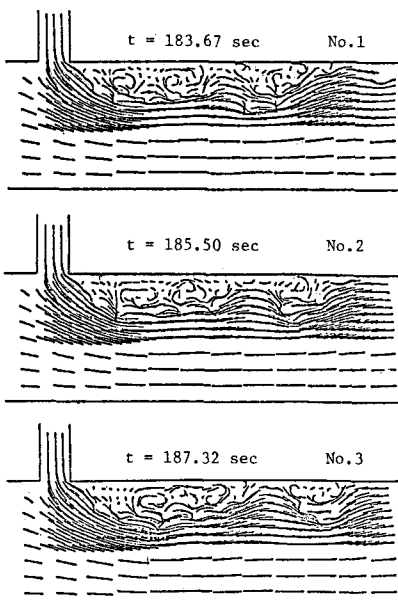


図-4 循環流の挙動

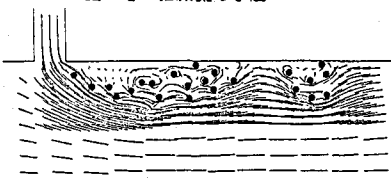


図-5 渦と循環流の関係

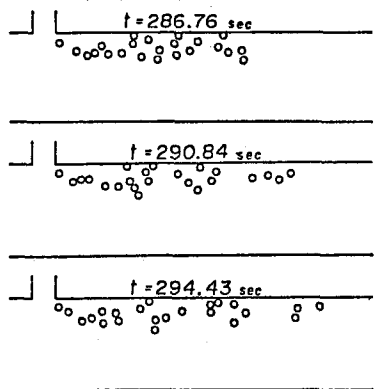


図-6 渦点位置の変化

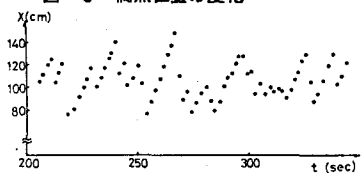


図-7 渦領域の変動