

1. はじめに

開水路合流部において、コントロールボリュームを仮定すると運動量方程式の適用によって、特に流れが常流の場合、その上流側と下流側断面の水深の比 η は、下流のフルード数 F 、および合流部の幾何条件（合流角 θ 、および水路幅比 k ）と流量比 i で表わされる外的パラメータ η の関数として解析的に求められ、コントロールボリュームの長さ（合流区間長）は実験水面形の観測から水路幅の数倍程度であることを示した。¹⁾

また上の方法から、射流の場合、および解の適用範囲について一般的に表現できることを示した。²⁾

本研究は、実験的に水面形と流れの状態を調べ、合流区間長について更に検討を行なったものである。なお記号および関係する式等は、図-1 および表-1 に示す通りである。

2. 実験

実験装置は参考文献¹⁾に示したもので、幾何パラメータ $\theta = \cos(\pi/6)/(2/3) \approx 1.299$ に固定されており、河床は水平である。実験ケースは常流のみを対象として、 η と F を山ざり変化させるようにした。用いた η は図-2 の●印として示す通りである。実験は本川水路中心軸に沿ってポイントゲージにより水面形の計測、および可視化実験として、パンチ屑による表面浮遊法と、光源を水深の $2/3$ および $1/3$ の深さに設置したインクによる色素注入法を用い、適当な露光時間で写真撮影を行なった。

水面形の結果の一例を図-3 に示す。これは Q と下流端水深 W が等しく、流量比 i が異なる場合、すなわち下流の条件が等しく η が異なる場合の水面形を重ね合わせたものである。横軸は断面を基準として下流方向に水路幅を無次元化した距離である。図中の破線は計算による単一水路の不平等水面形である。

表面浮遊法によって表面の流れ線、渦領域等が得られ、色素注入法によって平均的な流向、横方向の乱れの相対的な強さ等が観測される。

3. 合流区間長の検討

合流区間内下流端断面は、合流による渦領域の発生や横方向流速が大きいなどの急変流から、流れの損失が摩擦抵抗のみによる漸変流に移行する所であるが、あるいはこの断面より下流の流れは単一水路の流れと相似であると

表-1. 常流の場合の解と条件

外的パラメータ領域	$M \leq 1$	$1 < M \leq M_*$	$M > M_*$
解	$0 < F \leq 1$	$0 < F \leq F_*$	
式	$\eta = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2} \cos \left[\frac{\pi - \cos^{-1} \left(\frac{F^2}{1 + 2F^2} \right) \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2}}{3} \right] \quad \dots (1)$		
条件	$F_* = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2} \cos \left[\frac{\pi - \cos^{-1} \left(\frac{F^2}{1 + 2F^2} \right) \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2}}{3} \right] \quad \dots (2)$		
式	$F_* = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2} \cos \left[\frac{\pi - \cos^{-1} \left(\frac{F^2}{1 + 2F^2} \right) \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2}}{3} \right] \quad \dots (3)$		
式	$F_* = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2} \cos \left[\frac{\pi - \cos^{-1} \left(\frac{F^2}{1 + 2F^2} \right) \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2}}{3} \right] \quad \dots (4)$		
式	$F_* = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2} \cos \left[\frac{\pi - \cos^{-1} \left(\frac{F^2}{1 + 2F^2} \right) \left(\frac{1 + 2F^2}{3} \right)^{1/2}}{3} \right] \quad \dots (5)$		

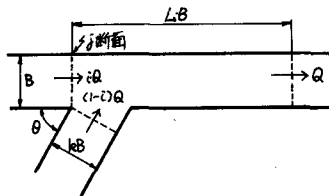


図-1 合流部模式図

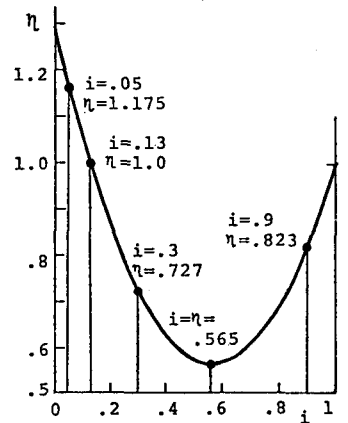


図-2 実験ケース

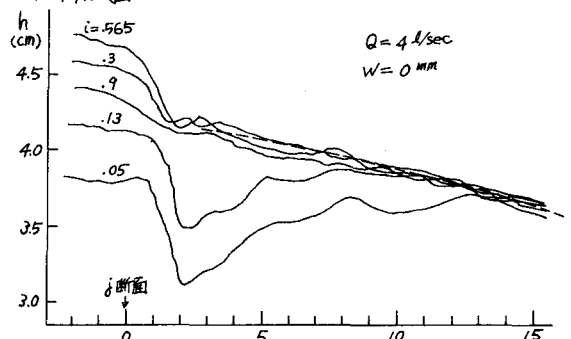


図-3 実験水面形

考えることが出来る。そこで実験結果をもとに、各特性から特に合流区間に関係すると思われる長さについて検討する。この長さは図-1で示すように断面からの距離を水路幅で無次元化した長さとして表わすものとする。

i) 水面は図-1から分かるように、断面直下流で急勾配で下降するものがあるいは凹状を呈している区間と、それの上流と下流の単一水路の不等流水面形にほぼ等しいと思われる滑らかな区間とに分けられる。前者の区間長は大体 $L_2=1.5 \sim 2$ の範囲にあるが、下流の条件が等しい場合は小さい程すなわち支流流量が大きい程大きく、また等しい Q の場合では下流の水深が大きい程小さい。

流が本川と支川である表面流線の境界線が本川水路軸と平行になるまでの長さは、各ケースで比較しても系統的な特性は明らかではないが、 $L=1.5 \sim 2.5$ の範囲にある。

表面流線によってみられる明確な渦領域の終端までの長さは、狭い範囲ではあるが $L=2 \sim 4$ 程度であり、小さいほど大きい程、また下流の水深が大きい程小さいようだ。

インリから得られた各断面の平均的な流向は、少なくとも $L=5.5$ より小さい外は全て水路軸と平行になっている。しかし $L>6$ の領域でもインリが流線は明確な渦領域にあるもの程は顕著ではないがやはり蛇行しており、蛇行が見られなくなるまでの長さは、流量比や下流の条件にかかわらず $L \approx 10$ と思われる。

このように視点を度えることにより、合流区間長は大きさと特性が異なるが、厳密な意味で単一水路の流束と相似になるまでの長さは、従来言われている単一水路の縦断の最大スケールにほぼ等しいと言えよう。

ii) 表-1の式(1)を用いて、上で得られた L との対応を検討する。合流区間長として、不等流水面形と実験値を重ね合わせて得た、ケースによって異なる値である L_2 、便宜的に L_2 の平均として一定値 3.7 、 L_2 の最大値 8 、および最大スケールの 10 の値を用い、断面の水深の実験値 h_j と式(1)から得られる値 h_j^* の比較を行った。二の場合、下流の水深は外挿した不等流水面形から得た。結果を図-4に示す。計算値と実験値の差異は $L=10$ の場合が最も大きく $L=8$ の場合である。これは L を大きくするとその間の摩擦損失が無視できないことを示している。 $L=L_2$ と $L=3.7$ の場合を比較すると、両者はほとんど似たような位置にプロットされているが、前者の中には大きく離れるものもあり、また全体的に後者が実験値に近いと思われる。ただし、 $L=3 \sim 4$ のものも代表としてプロットした $L=3.7$ のものとほとんど等しい点に来る。

4. おわりに

本実験の範囲では、合流区間長は $3 \sim 4$ 程度にとりあえず解析解(式(1))とよく合う。この区間の下流端は可視化実験で明確に見られる渦領域の終端にはほぼ一致するようだ。しかし実際は渦領域から脱出した小さな渦はすぐに消滅せず流下する。合流後流束が単一水路の流束と相似になるまでの距離は 10 程度であると思われる。幾何条件の相違に伴う合流区間長の変化等更に検討が必要である。

本研究は大阪大学、室田明教授、および神戸大学、神田信昭教授に有益な助言を賜った。また本校卒業生、田中典弘、前田陽一(西板建設)両君に助力を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 多田: 南水合流部の流線図について、第40報, 555, 10.
- 2) 多田: 南水合流部の流線図について、第41報, 555, 6.

