

神戸大学工学部 正員 神田 徹

富士通ファコム 正員 ○ 山崎 篤

1. まえがき

開水路網における洪水追跡計算を行なう場合、通常の一次元解析法を用いるためには分・合流点での水理学的条件がきわめて重要となる。前報¹⁾において、合流点近傍の流速分布と水面変化を測定した結果、下流検査断面の位置を適当に選べば、運動量方程式による解析が妥当であることが確かめられた。本文では、合流角度、本流と支流の流量比、本流と支流の水路幅比によって、合流部での水位差とエネルギー損失がいかなる特性をもつかを定量的に示すとともに、洪水追跡計算へ応用するための合流点条件の定式化について検討した結果を述べる。

2. 水位差、エネルギー損失、比エネルギー変化

図-1のように、検査断面I, II, IIIおよび側壁で囲まれるControl Volumeに対して、運動量方程式と連続方程式は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \rho \beta_3 B v_3^2 h_3 - \rho \beta_1 B v_1^2 h_1 - \rho \beta_2 b v_2^2 h_2 \cos \theta \\ = \rho g B \left(\frac{h_1^2}{2} - \frac{h_2^2}{2} \right) + \rho g b \frac{h_2^2}{2} \cos \theta - F \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (2) \quad \text{図-1 合流部のControl Volume}$$

ここに、 Q は流量、 v は断面平均流速、 h は水深、 B は本流水路幅、 b は支流水路幅、 θ は合流角度、 β は運動量補正係数で、添字は各検査断面を示す。また F は合流部の支流側壁に作用する圧力である。上式において、 β_i ($i=1, 2, 3$)、 $F_r = v_3 / \sqrt{g h_3}$ 、流量比 Q_2/Q_1 、水路幅比 $B'=b/B$ 、合流角度 θ および水深比 h_2/h_1 が与えられれば、水位差 $\Delta h = h_i - h_3$ ($i=1, 2$)が求められる。

いま、合流点をはさむ断面間の水位差、エネルギー損失、比エネルギーの変化を管路のアナロジーから、それぞれ次の関数形で表わすことにする。

$$(i) \text{ 水位差 } \Delta h_1 = h_1 - h_3 \equiv f_1 \frac{v_3^2}{2g}, \quad \Delta h_2 = h_2 - h_3 \equiv f_2 \frac{v_3^2}{2g} \quad (3)$$

$$(ii) \text{ エネルギー損失 } \Delta E = E_1 + E_2 - E_3 \equiv f_E Q_3 \frac{v_3^2}{2g} \quad (4)$$

ここに、 E_i ($i=1, 2, 3$)は各検査断面を通過するエネルギー・フラックスで、次式で表わされる。 $E_i = \rho Q_i (\alpha_i \cdot v_i^2 / 2g + h_i)$ 、 α :エネルギー補正係数。

(iii) 比エネルギーの変化

$$h_{D_i} = \left(\alpha_i \frac{v_i^2}{2g} + h_i \right) - \left(\alpha_3 \frac{v_3^2}{2g} + h_3 \right) \equiv f_{D_i} \frac{v_3^2}{2g} \quad (i=1, 2) \quad (5)$$

(3), (4), (5)式において、 $f_1, f_2, f_E, f_{D_1}, f_{D_2}$ は係数で、その値は(1), (2)式から算定できる。計算値と実験値を比較すれば、図-2に示すように両者の一致は良好である。また図から明らかに、これらの係数に対する下流フルード数 F_r の影響は少ないから、合流角度、水路幅比、流量比が一定であれば、水位差および比エネルギーの差は $v_3^2 / 2g$ に、またエネルギー損失は $Q_3 (v_3^2 / 2g)$ にほぼ比例する。

3. 流量比、合流角度、水路幅比の影響

図-3は、 f_1, f_2 と流量比の関係を合流角度と水路幅比をパラメータとして示

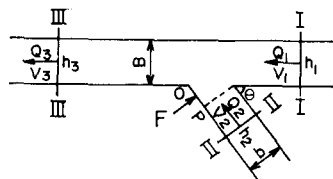


図-1 合流部のControl Volume

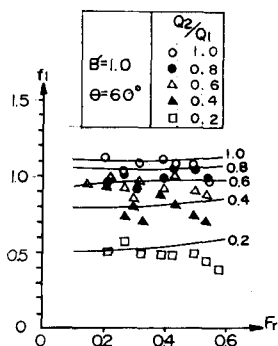


図-2 実験値と計算値

したものである。水路幅比が大きい場合には、流量比の増加とともに f の値は増加する。一方、水路幅比が小さく、合流角度が小さい場合には、流量比の増加とともに f の値は減少の傾向がある。また流量比が一定であれば、合流角度が大きいほど、水路幅比が大きいほど、 f は大きな値をとる。また合流角度が大きい場合には、水路幅比の影響は少ない。

図-4は f_E を示した図であり、エネルギー損失は合流角度の増加とともに、流量比の増加とともに、また水路幅比の減少とともに大きくなる。このことは、上述の水位差との関連から次のように説明できる。合流角度が増加すれば水位差は大きくなり、この位置水頭の差によってエネルギー損失は大きくなる。また、流量比の増加や水路幅比の減少とともに必ずしも水位差は大きくならないが、いずれの場合も流入するエネルギー・フラックスの内の速度水頭成分が増加するので、位置水頭の差と速度水頭の差の和としてのエネルギー損失が大きくなるものと考えられる。

図-5は f_{D1} 、 f_{D2} を示した図である。水路幅比を一定とすれば、 f_{D1} 、 f_{D2} は合流角度の増加とともに大きな値をとる。合流角度を一定とすれば、水路幅比の増加とともに f_{D1} は大きな値をとり、 f_{D2} は小さい値をとる。また合流角度、水路幅比にかかわらず、流量比の増減にともなう f_{D1} の値の変化は僅かであるが、 f_{D2} は水路幅比が小さい場合には、流量比の増加とともにかなり大きな値をとる。

(5)式を用いれば、本流の上、下流断面の間の流れに対して次の運動方程式（定常流）が成立する。

$$\frac{d}{dx_L} \left(\frac{v^2}{2g} + h \right) + S_f - S_0 + \frac{f_{D1}}{4x_L} \frac{v_d^2}{2g} = 0 \quad (6)$$

ここに、 $4x_L$ は上・下流断面の距離、 v_d は下流断面での平均流速（ $v_d = v_3$ ）、 S_f は摩擦勾配、 S_0 は水路床勾配である。河道形状が与えられれば合流角度と水路幅比が定まるから、 f_{D1} を流量比の関数として、その値を指定すればよい。

図-6は本流の縦断面水面形について、観測値と計算値を比較したものである。この図は、支流流量が本流流量に匹敵しうる程度に大きい場合には、合流点の上・下流水深が連続するという仮定は勿論、速度水頭を考慮しても $f_{D1}=0$ とする限り、実際の水面形が再現できないことを示している。断面の位置、とくに下流断面を適当に選び、 f_{D1} の値（この場合、 $f_{D1}=0.5$ ）を与えると、図のように所期の水面形を算出することができる。

謝辞 本研究は、文部省科学研究費—自然災害特別研究（代表者、京都大学防災研究所、角屋睦教授）の援助を得て行なったものである。記して謝意を表す次第である。

参考文献 1) 神田・山崎・桑田：開水路合流部の流れに関する実験的研究。土木学会関西支部年講，昭和52年4月
 2) 神田・山崎：開水路合流部の流れの水理学的特性，建設工学研究所報告，No. 19，昭和52年5月

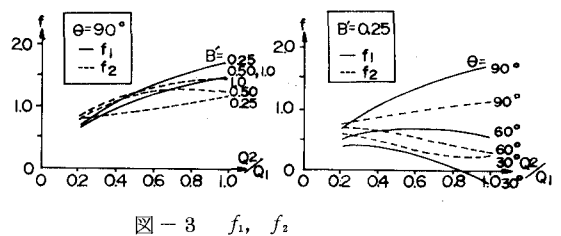


図-3 f_1 , f_2

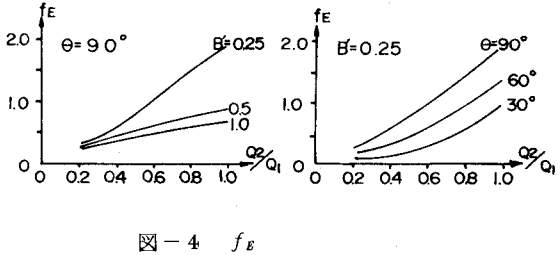


図-4 f_E

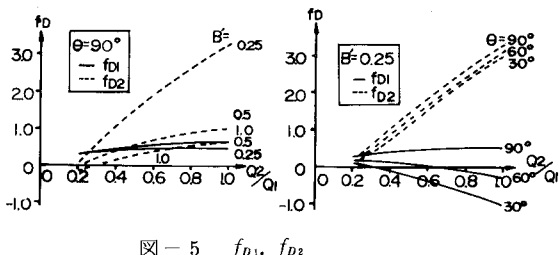


図-5 f_{D1} , f_{D2}

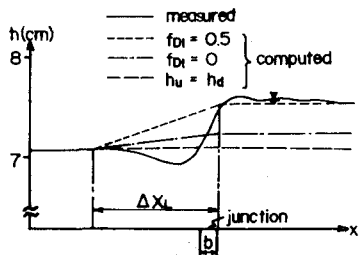


図-6 水面形の観測値と計算値