

岐阜大学工学部 正会員 河村 三郎

岐阜大学大学院 学生会員 ○久富 正

1. はじめに

従来, Taylor, Greated, Soliman等により, 合流部を通過する流れが常流で合流する場合について数多くの研究がなされてきたが, 著者らは, 緩勾配で常流の流れとなっている本川水路と射流で合流する支川水路(合流角度 90°)の場合を解析し, 実験結果と比較して考察した。

2. 理論的考察

図-1のような合流点を考えると, 運動方程式と連続式は,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} B_1 h_1^2 \cos \phi_1 + \frac{1}{2} B_2 h_2^2 \cos \phi_2 \cos(\theta) - \frac{1}{2} B_3 h_3^2 \cos \phi_3 - R \cos \phi_{1-2} \\ & - (F_{f1} \cos \phi_1 + F_{f2} \cos \phi_2 + F_{f3} \cos \phi_3) + W_c \\ & = \frac{w}{g} Q_3 V_3 \cos \phi_3 - \frac{w}{g} Q_1 V_1 \cos \phi_1 - \frac{w}{g} Q_2 V_2 \cos \phi_2 \cos(\theta) \quad \text{----- (1)} \end{aligned}$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad \text{----- (2)}$$

ここに, W_c = 合流点部分の水の重量の流れ方向成分, R = 水路2における反力, F_f = 壁面における摩擦力, ϕ = 水路勾配, θ = 合流角度, B = 水路幅, h = 水深, w = 水の単位体積重量, C は流向の曲がりに対する補正係数とし, $C = f(\frac{Q_2}{Q_3}, F_{H3})$ とする。

A. Case 1の場合(図-2)

式(1), (2)より, $R \cos \phi_{1-2}$, F_f と W_c を無視し, $B_1 = B_2 = B_3$, $\cos \phi_1 = \cos \phi_3 = 1$ とすると,

$$\begin{aligned} & \left(\frac{h_1}{h_3}\right)^2 + \left(\frac{h_2}{h_3}\right)^2 \cos^2 \phi_2 \cos(\theta) - 1 = 2 F_{H3} \left[1 - \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2\right] \\ & - \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 \cos \phi_2 \cos(\theta) \quad \text{---- (3)} \end{aligned}$$

ここに, $F_{H3} = \frac{Q_3^2}{g B_3^3 h_3}$ である。

ここで, 式(3)を C について解くと, 式(4)になる。

$$C = \frac{1}{\theta} \cos^{-1} \left\{ \frac{1 + 2 F_{H3} \left[1 - \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2\right] - \left(\frac{h_1}{h_3}\right)^2}{\left[\left(\frac{h_2}{h_3}\right)^2 \cos \phi_2 + 2 F_{H3} \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2\right] \cos \phi_2} \right\} \quad \text{---- (4)}$$

B. Case 2の場合(図-3)

$h_2 = h_1$ であるから, 式(3)より,

$$\begin{aligned} & \left(\frac{h_1}{h_3}\right)^2 + \left(\frac{h_1}{h_3}\right)^2 \cos^2 \phi_2 \cos(\theta) - 1 = 2 F_{H3} \left[1 - \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2\right] \\ & - \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 \cos \phi_2 \cos(\theta) \quad \text{---- (5)} \end{aligned}$$

同様に, 式(4)より,

$$C = \frac{1}{\theta} \cos^{-1} \left\{ \frac{1 + 2 F_{H3} \left[1 - \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2\right] - \left(\frac{h_1}{h_3}\right)^2}{\left[\left(\frac{h_1}{h_3}\right)^2 \cos \phi_2 + 2 F_{H3} \left(\frac{h_1}{h_3}\right) \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2\right] \cos \phi_2} \right\} \quad \text{---- (6)}$$

以上により, 実験値を用いて C を式(4), (6)より計算し, $C = f(\frac{Q_2}{Q_3}, F_{H3})$ の関係を考察した。

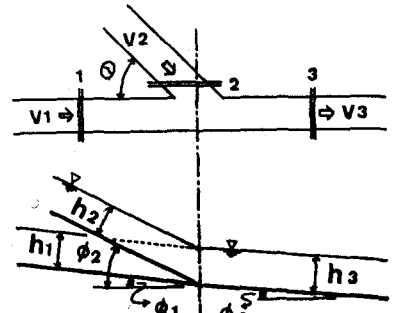


図-1

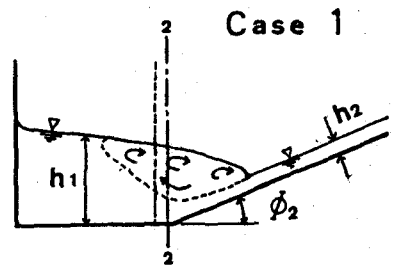


図-2

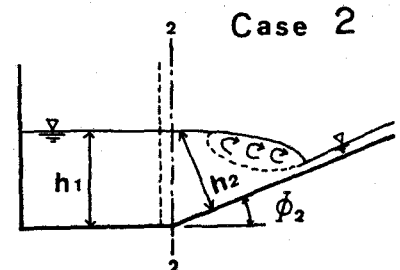


図-3

3. 実験

実験装置の概要図は、図-4に示すようなアクリル製樹脂水路で、本川水路全長10m、支川水路全長3.5m、水路幅15cm、水路の高さ35cmである。本川水路勾配 $1/500$ 、支川水路勾配 $1/5$ と $1/10$ で、合流角度は 90° に固定されている。流量は、 Q_1 を6ℓ～14ℓに変化させて、それに対応した流量比(Q_2/Q_1)が0.2～0.6になるように調整した。水深の測定は、ポイントゲージで水路床に対して垂直に測り、測定位置は、合流点から本川上流方向10B(水路幅の10倍の距離)地点、本川下流方向20B地点、支川上流方向10B地点である。

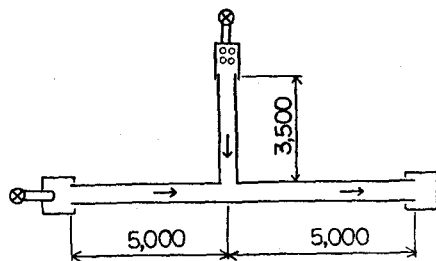


図-4

4. 解析結果と実験値との比較と考察

Cは流量比(Q_2/Q_1)と F_{H0} との関数としたが、実験データより F_{H0} にあまり関与しないことが判明したので、ここでは、 $C=1-a(Q_2/Q_1)^b$ と仮定した。

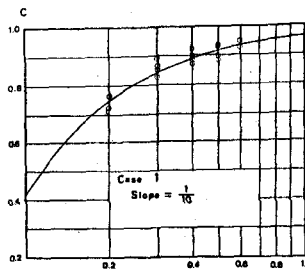


図-5

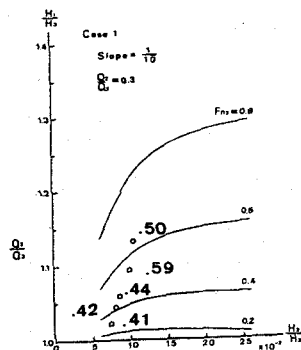


図-6

Case1の場合；図-5は、Cと Q_2/Q_1 の関係を示したもので、図中の○印は実験データより式(4)を用いてCを算定したもので、実線はそれを最小自乗法で求めた $C=1-0.0366(Q_2/Q_1)^{1.21}$ である。図-6～図-8は、 H_1/H_2 と H_3/H_2 の関係を流量比別に示したものである。図中の○印は実験値であり、実線は算定されたCを式(3)に代入して求めたものである。図-5から、流量比の増加に伴ってCが大きくなり $\cos(\theta)$ が0に近づく、換言すれば、式(1)からわかるように支川の流速および水深が流量比の増加に伴って急激に大きくなることを示されている。図-6～図-8から、ばらつきはあるものの理論曲線にかなり一致し、流量比が増大するにつれて同じ F_{H0} に対して落差 $\Delta h = h_1 - h_3$ が大きくなる。また、同じ流量比に対して F_{H0} が大きくなると急激に合流部上・下流の落差は大きくなる。Case2の場合；図-9はCと Q_2/Q_1 の関係を示したものである。この図から、Cは一定で $C=0.942$ と考えてもよい。そこで図-10は、 $C=0.942$ を用いて式(5)に代入して H_1/H_2 と F_{H0} の関係を示したものである。実験値と理論値とはかなりよく一致している。〈参考文献〉M.Soliman; For river junction, Rivers 76, Volume II, pp 1057～1066

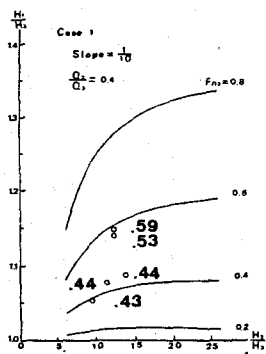


図-7

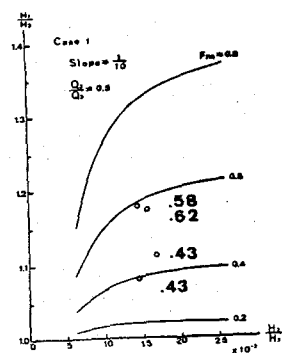


図-8

図-5から、流量比の増加に伴ってCが大きくなり $\cos(\theta)$ が0に近づく、換言すれば、式(1)からわかるように支川の流速および水深が流量比の増加に伴って急激に大きくなることを示されている。図-6～図-8から、ばらつきはあるものの理論曲線にかなり一致し、流量比が増大するにつれて同じ F_{H0} に対して落差 $\Delta h = h_1 - h_3$ が大きくなる。また、同じ流量比に対して F_{H0} が大きくなると急激に合流部上・下流の落差は大きくなる。Case2の場合；図-9はCと Q_2/Q_1 の関係を示したものである。この図から、Cは一定で $C=0.942$ と考えてもよい。そこで図-10は、 $C=0.942$ を用いて式(5)に代入して H_1/H_2 と F_{H0} の関係を示したものである。実験値と理論値とはかなりよく一致している。〈参考文献〉M.Soliman; For river junction, Rivers 76, Volume II, pp 1057～1066

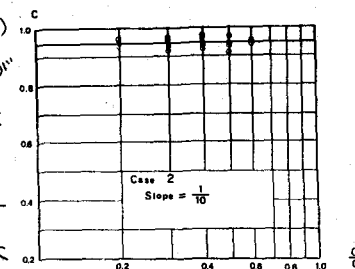


図-9

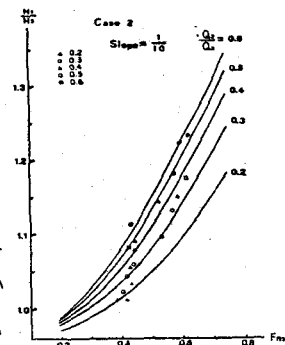


図-10