

神戸大学工学部 正員 神田 徹
神戸大学大学院 学生員 ○山崎 篤

1. まえがき

開水路の不等流や不定流を一次元的に取扱う場合には、分合流点での水理条件を与える必要がある。特に分合流点を多く含む都市河川網では、その水理条件は自然河川に比べて大きな影響を与えるし、また数値計算上でもその適切な表現が望まれるところである。本研究は、支流が主流に対して直角に合流する場合を対象として、合流部における流れの特性を実験的に検討したものである。

2. 実験方法

実験水路は、幅40cmの主流水路と幅10cmの支流水路よりなり、水路断面は矩形で、底勾配は水平である。実験条件は、主流流量：430～4500 cm³/sec、支流流量：500～2800 cm³/secで、下流水深は4～6 cmである。合流点より上流側1m、下流側3m、支流側40cmを検査断面として、その地点で、流速および水深を測定した。なお、流速はプロベラ流速計（直径2cm）、水深はポイントゲージを用いて測定した。また下流堰の影響および摩擦損失の影響は、あらかじめ支流流量がゼロの場合の水位差を用いて除去了。なお、主流・支流の流れは共に常流である。

3. 実験結果と考察

3-1. 基礎方程式

基礎方程式は運動量方程式を用いる。

$$\rho \beta_3 Q_3 V_3 - \rho \beta_1 Q_1 V_1 = \rho g B \left(\frac{h_1^2}{2} - \frac{h_2^2}{2} \right) - F \quad (1)$$

ここに、 ρ ：密度、 g ：重力加速度、 B ：主流水路幅、 β ：運動量補正係数、 Q ：流量、 V ：平均流速、 h ：水深であり、添字1, 2, 3はそれぞれ、上流、支流、下流の検査断面を示す。また F は検査断面内の程辺に作用する外力である。ここで、(1)式を変形すると次式を得る。

$$\Delta h^3 + 3\Delta h^2 + 2(1 - \beta_3 Fr^2 - \phi)\Delta h + 2\left\{ \frac{\beta_1}{(1+r)^2} - \beta_3 \right\} Fr^2 - 2\phi = 0 \quad (2)$$

ここに、 $\Delta h' = \Delta h/h_3$ 、 $\Delta h = h_1 - h_3$ 、 $Fr = V_3/\sqrt{g h_3}$ 、 $\phi = F/\rho g B h_3^2$ 、 $r = Q_2/Q_3$ である。(2)式は $\Delta h'$ に関する三次方程式となり、以下の図に示す実験値は、(2)式の $\Delta h'$ の解から計算して求めたものである。

3-2. 運動量補正係数、エネルギー補正係数

各検査断面における運動量補正係数およびエネルギー補正係数と流量比の関係を図-1、図-2に示す。これらの図より下流検査断面での運動量補正係数は、流量比の増加とともに大きな値となる傾向が認められ、支流検査断面ではほぼ1.0である。以下の計算において、これらの係数は上流および支流では1.0、下流では実験式を用いた。

3-3. ϕ について

ϕ は外力 F を下流検査断面での静水圧と断面積で無次元化した量であり、

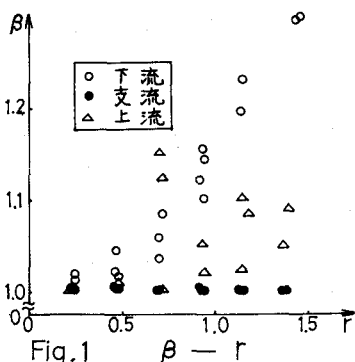


Fig. 1

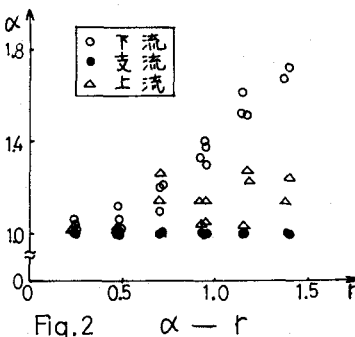


Fig. 2

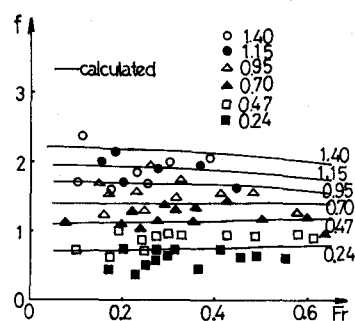


Fig. 3 $\phi - r$, r

その値は小さい値を示した。このことから本研究では合流によって検査断面内に作用する外力は無視することができた。

3-4. 水位差

上流と下流, および支流と下流の水位差を次のように表わす。

$$h_1 - h_3 = f \frac{V_3^2}{2g} \quad (3) \quad h_2 - h_3 = f_2 \frac{V_3^2}{2g} \quad (4)$$

(3), (4)式における係数 f , および f_2 の特性を図-3, 図-4に示す。これらの図より f , f_2 は流量比の増加に従って増加する傾向が認められるが, 下流フルード数の増加に対しては, 顕著な変化は認められない。

3-5. 比エネルギーの変化

上流と下流, および支流と下流の比エネルギーの変化を次のように表わす。

$$(\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_1) - (\alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} + h_3) = f_D \frac{V_3^2}{2g} \quad (5)$$

$$(\alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_2) - (\alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} + h_3) = f_{D2} \frac{V_3^2}{2g} \quad (6)$$

ここに, α はエネルギー補正係数である。(5), (6)式における係数 f_D , f_{D2} の特性を図-5, 図-6に示す。これらの図より, f_{D2} は流量比の増加に従って大きくなる傾向が認められる。また下流フルード数の増加に対しては, 流量比が小さいときにはほぼ一定値をとるが, 流量比が大きいときには若干減少する傾向が認められる。 f_D については, 実験値のバラツキが大きくその特性は明確でないが, ある程度流量比が大きくなると小さくなる傾向があるようである。

3-6. エネルギー損失

合流による損失エネルギーを次の式で表わす。

$$\Delta E = E_1 + E_2 - E_3 = f_E \rho Q_3 \frac{V_3^2}{2g} \quad (7)$$

ここに, E_i は各検査断面でのエネルギー・フラックスであり, 次式のごとくである。

$$E_i = \rho Q_i (\alpha_i \frac{V_i^2}{2g} + h_i) \quad (8)$$

の式における f_E の特性を図-7に示す。この図より f_E は流量比の増加に従って増加する傾向があり, 下流フルード数の増加に対しては, 流量比が小さいときには若干増加し, 流量比の増加に伴いその勾配は小さくなり, 流量比がかなり大きくなると, 逆に減少していく傾向が認められる。

4. あとがき

本研究では, 合流による水位差, 比エネルギーの変化, および損失エネルギーを $f(V^2/2g)$ の形で定式化し, その諸係数の特性を実験的に明らかにした。データの若干のバラツキはあるがこの定式化はほぼ妥当と考えられるので, 今後種々の実験条件に対して検討を加えていきたい。

おわりに, 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 角屋隆教授)の援助を受けた。記して謝意を表する次第である。

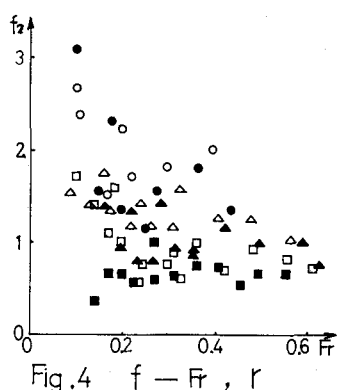


Fig.4 $f - Fr, r$

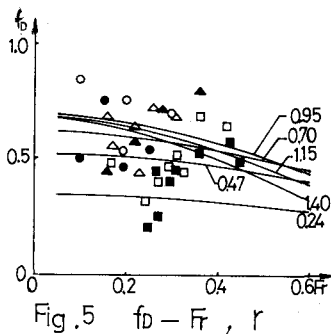


Fig.5 $f_D - Fr, r$

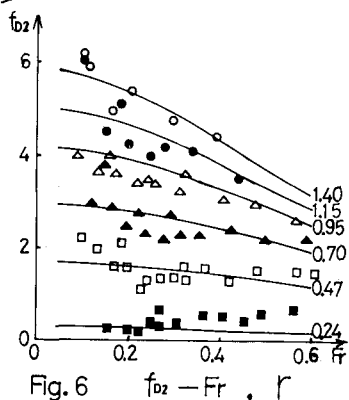


Fig.6 $f_{D2} - Fr, r$

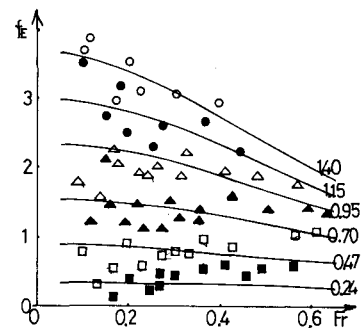


Fig.7 $f_E - Fr, r$