

開水路合流に関する実験的研究

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
 新 田 組 正員 新 渡 秀 世

1. まえがき

開水路の不等流や不定流の計算を一次元的に取扱う場合には、分合流点で水理条件を与える必要がある。通常、自然河川では分合流点でのエネルギー損失は摩擦損失に比較して minor である場合が多いが、都市河川網におけるような分合流点ではその水理条件はきわめて重要となる。本研究では、支流が主流に直角に合流する場合を対象として、合流部における水位変化およびエネルギー損失を実験的に検討したものである。

2. 実験方法

実験水路は図-1に示すように幅40cmの主流水路と幅10cmの支流水路からなる。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：500~3500cm³/sec、支流流量：250~1750cm³/secで下流水深は4~8cmである。水深の測定は合流の影響がほとんど無視できるとみなせるA、B、C点で行なった。また下流堤の影響および摩擦損失の影響は支流流量がゼロの場合の水位差を用いて除去した。なお本実験では主流、支流とも流れは常流である。

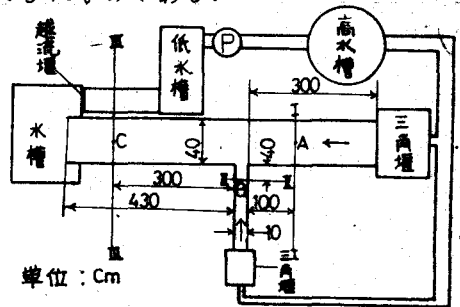


図-1 実験装置

3. 実験結果と考察

3-1. 水位差

図-1のI、II、IIIを検査断面とすると運動量方程式は次式のごとくである。

$$\rho \beta_3 Q_3 V_3 - \rho \beta_1 Q_1 V_1 = \rho g B \left(\frac{h_1^2}{2} - \frac{h_3^2}{2} \right) - F \quad (1)$$

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、添字はそれぞれ各検査断面を示す。また F は検査断面内の潤壁に作用する外力で、その符号は流れと逆向きを正とする。ここで近似的に $\beta \approx 1$ を仮定して(1)式を変形すると

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

ここに、 $\Delta h' = \Delta h/h_3$ 、 $\Delta h = h_1 - h_3$ 、 $Fr = V_3/\sqrt{gh_3}$ 、 $\varphi = F/\rho g B h_3^2$ 、 $r = Q_2/Q_1$ である。図-2は実験値と(2)式で $\varphi = 0$ としたときの理論値を示したものである。以下に示す図における理論値は

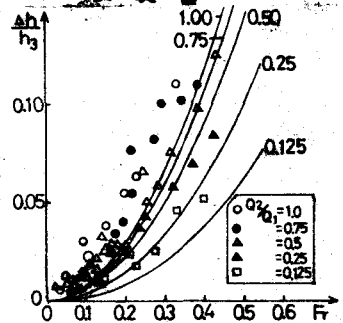


図-2 ΔhとFrの関係

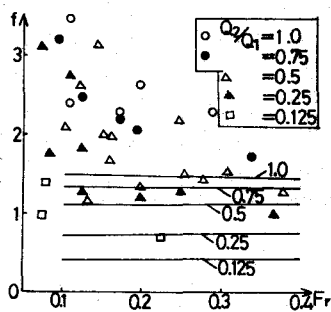


図-3 fとFrの関係

図-2の $\Delta h'$ の理論値から求めることができる。

Δh は次式のように表わす。

$$\Delta h = f \frac{V_3^2}{2g} \quad (3)$$

(3)式から f は次式のように与えられる。

$$f = 2 \cdot \frac{\Delta h'}{Fr^2} \quad (4)$$

図-3は f と Fr の関係を r とパラメータとして示したものである。 f の実験値は流量比の増加に従って大きくなるが、下流フルード数の増加に対しては、流量比が比較的小さいときにはほぼ一定値をとり、流量比の大きいところでは若干減少する傾向が認められる。また図中の実線は(4)式による f の理論値である。図-4は f と r の関係を Q_3 とパラメータとして示したものである。これより f は流量比が同じでも下流流量(総流量)が増加するほど小さくなることが認められる。

3-2. エネルギー損失

検査断面内における流量フラックスの連続式は次式で表わされる。

$$E_1 + E_2 - E_3 - \Delta E = 0 \quad (5)$$

ここに、 E は各検査断面における流量フラックスであり次式で表わされる。

$$E = \rho Q \left(\alpha \frac{V_3^2}{2g} + h \right) \quad (6)$$

ここに、 α はエネルギー補正係数であり、 ΔE は合流による損失エネルギーである。 ΔE を次式のように表わす。

$$\Delta E = f_e \rho Q_3 \frac{V_3^2}{2g} \quad (7)$$

(7)式を(5)式に代入して、 $\alpha = 1$ 、 $h_1 = h_2$ と仮定して f_e について解くと

$$f_e = \frac{B'^2 + r^3}{(1+r)^3 B'^2 (1+\Delta h')^2} - 1 + 2 \frac{\Delta h'}{Fr^2} \quad (8)$$

ここに、 $B' = b/B$ 、 b ：支流水路幅である。図-5は f_e と Fr の関係を示したものであり、図-6は f と r の関係を Q_3 とパラメータとして示したものである。 f_e の理論値と実験値との関係は前述の f とはほぼ同様である。図-7は流入フラックスに対する ΔE の比と Fr の関係を実験値から求めたものである。この図から明らかにこの比は下流フルード数、および流量比の増加に従って

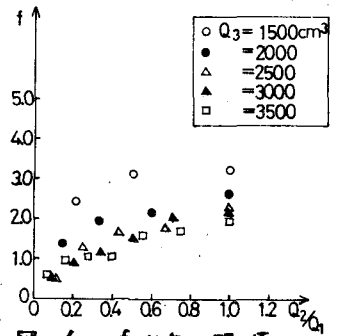


図-4 f と r の関係

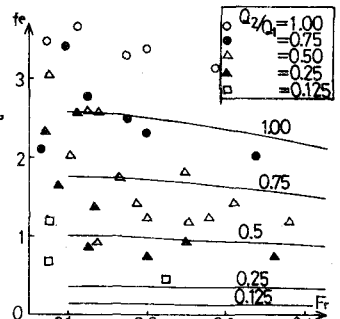


図-5 f_e と Fr の関係

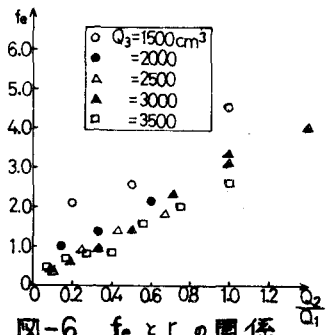


図-6 f と r の関係

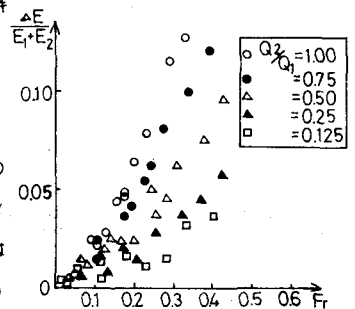


図-7 $\frac{\Delta E}{E_1 + E_2}$ と Fr の関係

て増加する傾向が認められる。

3-3. 主流の比エネルギーの変化

合流による主流の比エネルギーの変化を次式のように表わす。

$$h_d = \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_1 - (\alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} + h_3) = f_d \frac{V_3^2}{2g} \quad (9)$$

(9)式において、 $\alpha \approx 1$ と仮定して f_d について解くと

$$f_d = \frac{1}{(1+r)^2 (1+\Delta h')^2} - 1 + 2 \frac{\Delta h'}{Fr^2} \quad (10)$$

図-8は f_d と Fr の関係と r をパラメータとして示したものであり、図-9は f_d と r の関係を Q_3 をパラメータとして示したものである。 f_d の理論値と実験値との関係は前述の f 、 f_e とほぼ同様である。

3-4. φ について

図-2, 3, 5, 8に示すように実験値と理論値にはかなりの差がある。その原因としては運動量補正係数、エネルギー補正係数の仮定の問題もあるが、それ以上に(1)式における $F \approx 0$ の仮定の影響が大きいと考えられる。図-10は(1)式から実験的に求めた φ と Fr の関係を示したものであるが、この図から明らかに φ は下流フルード数、および流量比の増加に従って増加する傾向が認められる。このことから合流部においては通常の摩擦に比べて無視できない外力 F の存在を考慮することが必要であろう。この F は死水域の形状、水路幅比、主流と支流の混合機構等に関係すると思われるが、その特性については検討中である。

4. あとがき

以上、本研究においては合流による水位差、エネルギー損失、および主流の比エネルギーの変化とそれぞれ(3), (7), (9)式のように定式化し、そこに含まれる諸係数について実験値を示した。これらを運動量方程式による計算値と比較したが、その結果から、運動量方程式における仮定は不十分であることが認められた。今後はこの点を考慮してこれらの係数の定量的な把握のために、系統的に研究を進めていきたい。

最後に、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 角屋睦教授)の援助を受けた。記して謝意を表する次第である。

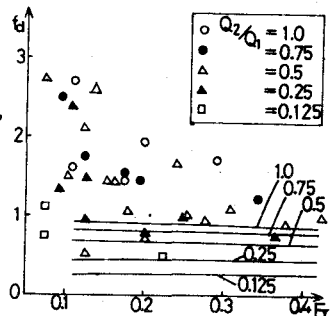


図-8 f_d と Fr の関係

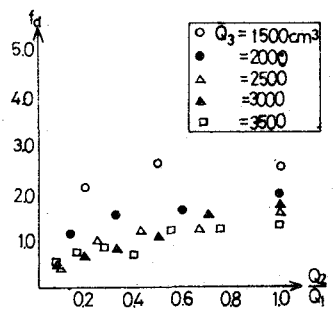


図-9 f_d と r の関係

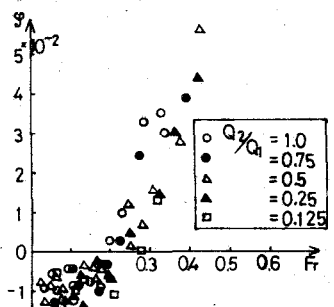


図-10 φ と Fr の関係