

開水路合流部の流れに関する実験的研究

神戸大学工学部 正員 神田 徹
 富士通ファコム 正員 ○山崎 篤
 神戸大学大学院 学生員 桑田明仁

まえがき

開水路網の計算を一次元的に取扱う場合には、分合流点での水理条件はきわめて重要となる。本研究は、流速分布および水面形の変化について、特に合流角度の影響を検討したものである。

1. 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の支流水路からなり、水路床勾配は水平である。実験条件は、合流角度： 30° 、 60° 、 90° 、下流検査断面でのフルード数： $0.15 \sim 0.6$ 、支流と主流の流入流量比： $Q_2/Q_1 = 0.2 \sim 1.0$ 、下流水深： $4 \sim 6$ cmである。

2. 流速分布

図-2は合流角度 90° と 30° の場合の主流方向の流速分布を示した図である。図から明らかに、 90° の場合は合流水路側に死水域が形成されるために、流水断面積の減少、流速の増加が見られる。死水域の長さは流量比が1.0の場合には合流点から2m以上の距離におよぶ。これに対して 30° の場合には、死水域は形成されず、流れの状態は平行流の合流に近い。また合流部では、水深方向に流速が増加する点があり、これは流れが三次元的であることを示す。

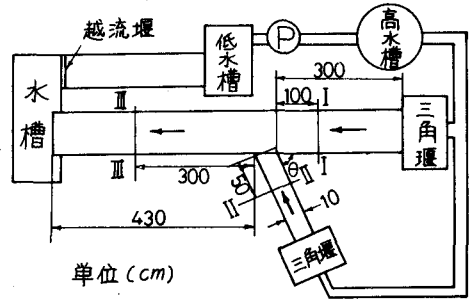


図-1 実験装置

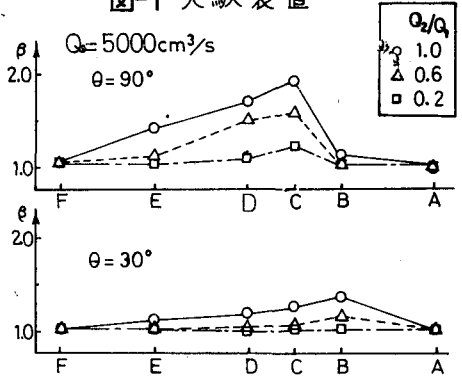


図-3 運動量補正係数

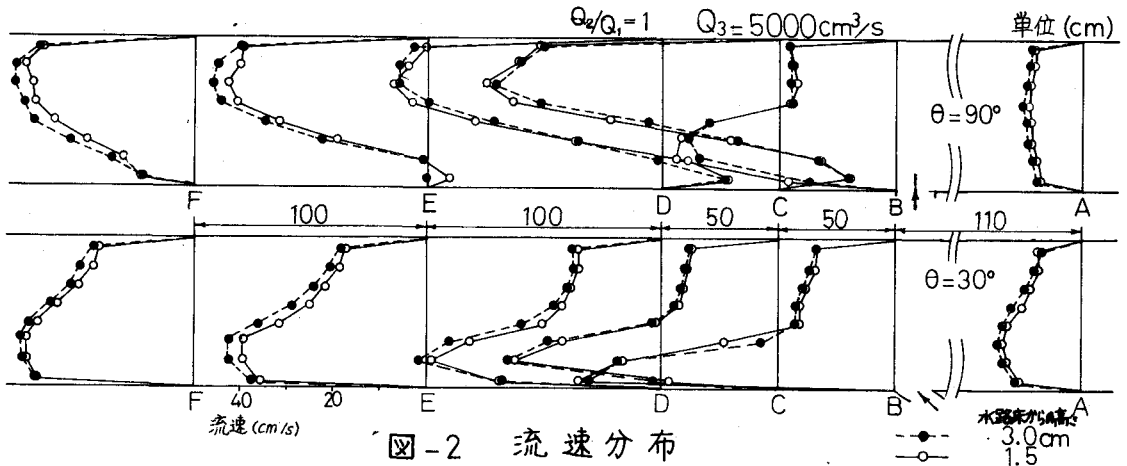
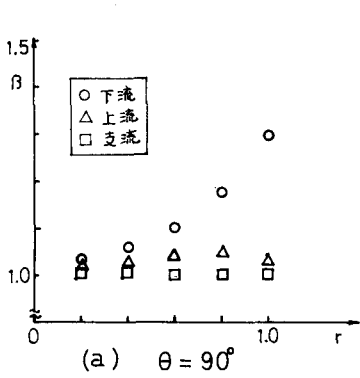
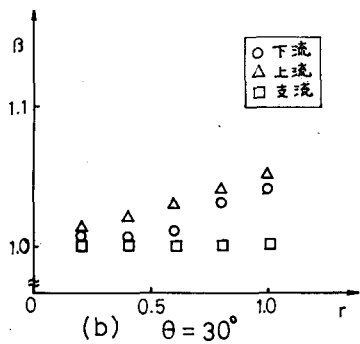


図-2 流速分布

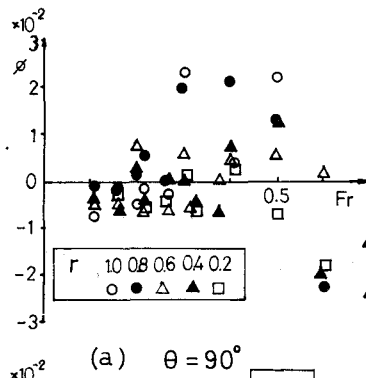


(a) $\theta = 90^\circ$

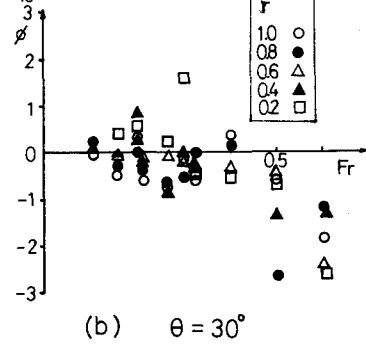


(b) $\theta = 30^\circ$

図4 $\beta - r$

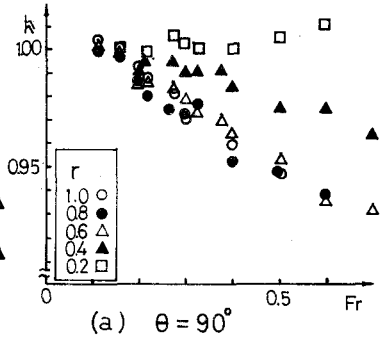


(a) $\theta = 90^\circ$

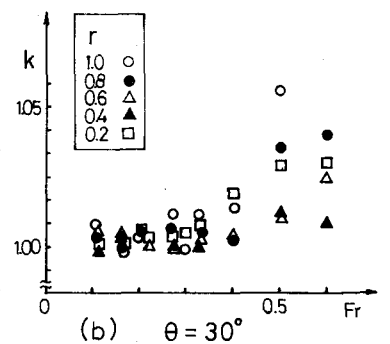


(b) $\theta = 30^\circ$

図5 $\phi - Fr, r$



(a) $\theta = 90^\circ$



(b) $\theta = 30^\circ$

図6 $k - Fr, r$

図-3 は各断面での運動量補正係数を示したものである。死水域の形成と関係して、 $\theta = 90^\circ$ の場合は合流点より下流にピークがあらわれるのに対して、 $\theta = 30^\circ$ の場合には、合流点でピークがあらわれる。

3. 水位変化

図-1 の I, II, III 断面を検査断面とすれば、運動量方程式は次式のものになる。

$$\beta_3 B V_3^2 h_3 - \beta_1 B V_1^2 h_1 - \beta_2 b V_2^2 \cos \theta = \rho g B \left(\frac{h_1^2}{2} - \frac{h_3^2}{2} \right) + \rho g b \frac{h_2^2}{2} \cos \theta - F \sin \theta - U \quad (1)$$

ここに、 V :断面平均流速、 h :水深、 B, b :主流および支流水路幅、 β :運動量補正係数で添字はそれぞれ各検査断面を示す。また θ :合流角度、 F :合流部の支流側壁に作用する圧力、 U :検査断面内の潤壁に作用する摩擦力である。(1)式に $F = \rho g \frac{h_2^2}{2} b \cot \theta$ を仮定して変形すると次式を得る。

$$\Delta h^3 + 3 \Delta h^2 + 2(1 - \beta_3 Fr^2 - \phi) \Delta h + 2 \left\{ \beta_1 Fr^2 \frac{1}{(r+1)^2} + \beta_2 Fr^2 \frac{\cos \theta}{B'} \frac{1}{r} \frac{r^2}{(r+1)^2} - \beta_3 Fr^2 - \phi \right\} = 0 \quad (2)$$

ここに、 $\Delta h = (h_1 - h_3)/h_3$, $Fr = V_3/\sqrt{g h_3}$, $r = Q_2/Q_1$, $k = h_2/h_1$, $B' = b/B$, $\phi = U/\rho g B h_3^2$ である。

(3-1) 運動量補正係数

図-4 は、各検査断面における運動量補正係数を示した図である。この図より、 $\theta = 90^\circ$ の場合には、上流および支流検査断面ではほぼ 1.0 をとり、下流検査断面では流量比の増加とともに大きな値をとる傾向を示す。また $\theta = 30^\circ$ の場合には、下流検査断面では上流と同様に、流量比の増加とともに大きくなるが、 90° の場合と比較して小さい。上流検査

断面では、図-2の流速分布からも明らかなように、合流水路側の流れが支流の流れに引きずられるために、運動量補正係数は流量比の増加とともに大きな値をとる。支流検査断面ではほぼ1.0である。

(3-2) ϕ について

図-5は実験値より求めた ϕ の値を示した図である。 ϕ のorderは(2)

式より Fr^2 と比較が可能であり、この

図よりほとんど無視することができ。ただし小さな合流角度、大きな Fr の値の場合には負の値が生ずるが、これは(1)式における F の仮定に問題があると考え。このことに対する検討は講演時に述べる。

(3-3) $k = h_2/h_1$ について

図-6は k の値を示した図である。この図より、 $\theta = 90^\circ$ の場合には流量比が小さいほど大きな値を示す。これに対して、 $\theta = 30^\circ$ の場合には $r = 0.6$ で k の値は最小になり、流量比が大きい場合には 90° の場合の傾向と異なる。このことは、 $\theta = 30^\circ$ で流量比が大きい場合には、下流水梁が上流水梁より大きくなるという下記の現象と対応していると考えられる。

(3-4) 水位差

図-7は主流の水位差を示した図である。図中の実線は(2)式において、 $\phi = 0$ 、 $k = 1.0$ を仮定し、 β については実験値を用いたときの計算値である。 $(h_1 - h_2)/h_3$ は $\theta = 90^\circ$ の場合には流量比の増加とともに大きくなるが、 $\theta = 30^\circ$ の場合にはむしろ逆の傾向が見られ、流量比が大きいときには負の値をとる。今、(2)式から $(h_1 - h_2)/h_3$ が負の値になる条件は次のようになる。

$$\beta_1 Fr^2 \frac{1}{(r+1)^2} + \beta_2 Fr^2 \frac{\cos \theta}{B'} \frac{1}{k} \frac{r^2}{(r+1)^2} - \beta_3 Fr^2 - \phi > 0 \quad (3)$$

ここで、(3)式に $\beta_1 \doteq 1.0$ 、 $k \doteq 1.0$ 、 $\phi \doteq 0$ を仮定し、本研究における実験条件、 $B' = 0.25$ 、 $\theta = 30^\circ$ を代入すると、 $r > 0.811$ となり、実験結果とよく対応していると考えられる。

あとがき

流速分布、水面形の変化に対する合流角度、流量比、下流フルード数の影響が明らかになった。今後は、本研究で得られた結果をもとにして、エネルギー損失に対する考察を加えていきたい。

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。

(参考文献) 神田・山崎; 合流点近傍の流れに関する実験的研究, 土木学会第31回年講

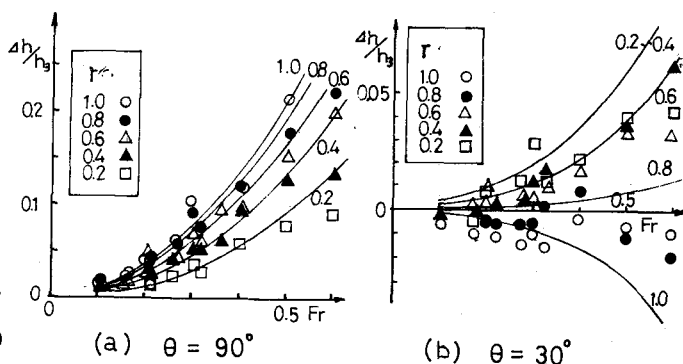


図-7 $\Delta h - Fr, r$