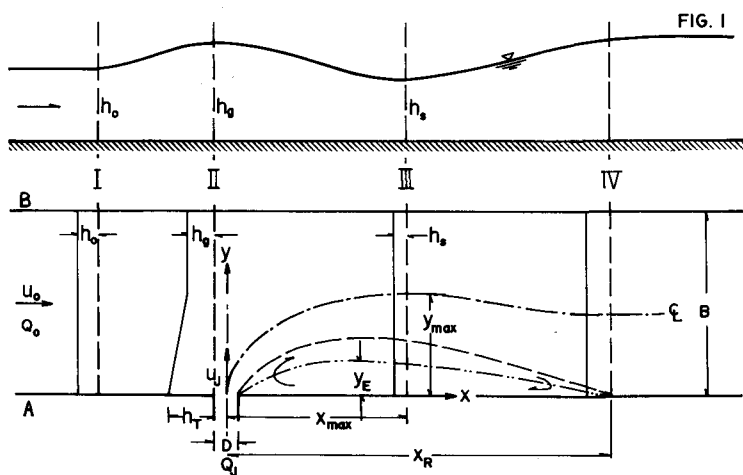


須藤靖彦

主流の水筒形特性については Anwar²⁾ の実験が知られているが、それを著者らの実験結果と比較して定量的に解析する方法を考察した。

図-1は直角合流の一般的な特性を示した略図である。主流は常流である。合流点の直下流には死水域が形成され、主流の水面形は丁度一様な流れの中に橋脚等が存在する場合と同様な状況を示す。支流の影響を受けない充分上流(断面Ⅰ)では等流状態であり、断面Ⅱに近づくに従って主流の横断面が



向で支流の流入口側から滞流が生じ徐々に水深が増加して断面Ⅱにおいて水深は最大となる。断面Ⅱから断面Ⅲにかけては、支流の影響により、主流の流積が減少し流速は増大する。これに伴って、水深は徐々に減少し断面Ⅲ即ち支流の最大貫入点で水深は最小値をとる。又横断的にみると断面Ⅱと断面Ⅲの間で水深分布は死水域側(境界A)で小さく、境界Bに向って増大する。この傾向は支流の流向が主流方向に曲げられるに従って徐々に減少し、支流の最大貫入点(断面Ⅲ)に達すると横断方向には一様な水深となる。断面ⅢからIVに向って主流と支流との混合は充分に発達し始め、これに伴って流速は減少し水深は徐々に増大して等流水深に漸近して行く。

i) 支流の弯曲偏向特性 一般に無限の拡がりの中へ側圧を伴って噴流が直角に流入する場合にその噴流が拡散しない完全流体の渦無し流れであると考えたと、噴流軸の弯曲偏向特性は円弧となることが明らかにされている(新津、加藤³⁾)。河川が直角に合流する場合も上述の噴流の場合と類似した点が多い。しかし、河川合流の場合主流は或る有限の中と有しており、その為主流中への支流の貫入は抑制されるはずである。前述の円弧の軌跡が如何に変形されるかを実験によって検討

した結果は次の様である。主流に流入する支流
中心の軌跡は支流出口から支流の最大貫入点
(x_{max} , y_{max}) までは図-2の様に任意の B/D , Q_0/Q_1 に
対して相似性が見られその関係は式(1)の様に示さ
れる。図-2中の曲線は式(1)によるものである。

$$\left(\frac{y}{y_{max}}\right)^2 + \left(\frac{x}{x_{max}} - 1\right)^2 = 1 \quad (1)$$

式(1)は軌跡を x_{max} , y_{max} により標準化したも
のであり、これらは次の様にして求める。

ii) y_{max} 図-1中の断面ⅠとⅢに着目し、 x 方
向の運動量を考える。支流の方向は 90° 曲げら
れてもその運動量は保存されると考えると、

$$\frac{\omega}{2} h_0^2 B + \rho Q_0 U_0 = \frac{\omega}{2} h_s^2 B + \rho Q_0 U_0 + \rho Q_1 U_1 \quad (2)$$

ベルヌーイ式は

$$h_0 + \frac{U_0^2}{2g} = (h_T) = h_s + (1 + f_s) \frac{U_s^2}{2g} \quad (3)$$

また断面Ⅲにおいて主流は支流の影響で単に中が縮小されて流積が減少し、かつ支流と主流の流量
比に等しいだけ平均的に流速が増大すると仮定すると連続の式は

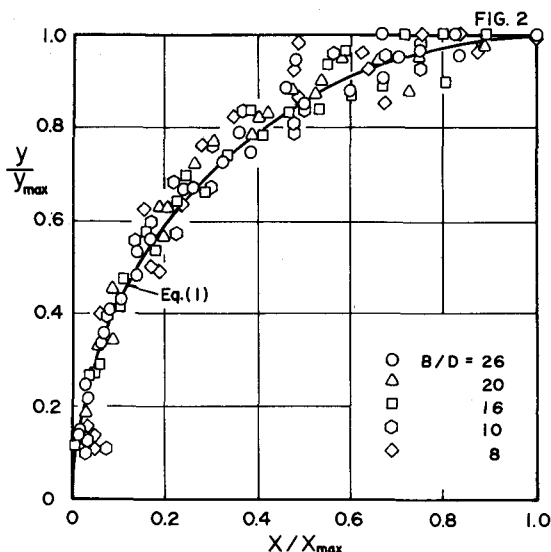
$$Q_0 = (B - y_{max}) h_s \left(1 + \frac{Q_1}{Q_0}\right) U_s \quad (4)$$

以上の(2), (3), (4)式中の未知数は y_{max} , h_s , U_0 の3個であり、各々の値を決定することが出来る。
 f_s は断面Ⅲにおける速度水頭に対する補正係数であり、実験結果と比較して $f_s = 0.1$ である事を知った。
(4)式において行は、た仮定は、次のような考察を行は、実験により補正項と定めた結果である。
断面Ⅲにおける平均の流速を2つの成分の和と考える。即ち支流の中心線を境界と考えて、主
流の中が縮小して流速が増大し更にこれと支流が加速すると考える。更に後者の加速による主流流
速の増加分は支流と主流の流量比が増すに従って増大するものと考えられ、べき乗の関数形を仮定し
て定数の決定を行は、た結果、前述の流量比に関して一次の関係を得た。⁴⁾

iii) x_{max} 断面ⅡとⅢに囲まれた部分について y 方向の運動量式を適用すると、

$$\rho Q_1 U_1 + \frac{\omega}{2} h_T^2 D + \frac{\omega}{2} \int_{\frac{D}{2}}^{x_{max}} \{h(x, 0)\}^2 dx = \frac{\omega}{2} \int_{\frac{D}{2}}^{x_{max}} \{h(x, B)\}^2 dx \quad (5)$$

断面Ⅱにおける水面形は実験結果から $y = 0$ で最大 ($h = h_T$) であり上流部の比エネルギーに等し
く、 $y = 0 \sim y_{max}$ までは直線的に減少し以後は一定値 ($h = h_g$) とする事を知った。この水面形は
後に述べる様に断面Ⅰとの間に連続式及びベルヌーイ式と適用して求める事が出来る。以上の事か
ら(5)式中の $h(x, y=0)$ 及び $h(x, y=B)$ と断面Ⅱから断面Ⅲまで(6), (7)式の様に直線的に変化すると仮
定すると(5)式から x_{max} の値を求める事が出来る。



$$h(x, 0) = h_T - (h_T - h_s) \frac{x}{x_{max}} \quad (6)$$

$$h(x, B) = h_g - (h_g - h_s) \frac{x}{x_{max}} \quad (7)$$

この x_{max} に関しては現在のところ実験による検討が不充分であり、仮定の適否が明確ではない。実用的には x_{max} に関して (8) 式による実験式を得ている。

$$\frac{x_{max}}{D} = 3.8 \left(\frac{Q_T/D}{Q_0/B} \sqrt{\frac{B}{D}} \right)^{0.7} \quad (8)$$

図-3は(8)式と実測値と比較して示したものである。

3. 主流の水面形

断面Ⅰは合流点の充分上流であり支流の流入による影響を受けない断面である。流れは等流状態であり、水深は等流水深 h_0 で一様である。断面Ⅱ ($x = -\frac{D}{2}$) では、実験結果からよどみ点 $y=0$ で最大 ($h = h_T$) であり、この値は前述の断面Ⅰにおける比エネルギーに等しく $y=0 \sim y_{max}$ までは直線的に減少し、以後は一定値をとる事を知った。

$$h\left(-\frac{D}{2}, y\right) = \begin{cases} h_T - (h_T - h_g) \frac{y}{y_{max}} & (0 \leq y \leq y_{max}) \\ h_g & (y_{max} < y \leq B) \end{cases} \quad (9)$$

断面Ⅰ、Ⅱ間でのベルヌーイの式及び連続の式は

$$h_0 + \frac{U_0^2}{2g} = h_T = h_g + \frac{U_g^2}{2g} = h + \frac{U^2}{2g} \quad (10), \quad Q_0 = (B - y_{max}) h_g U_g + \int_0^{y_{max}} h U dy \quad (11)$$

(9), (10), (11) 式から (12) 式が得られ、2. ii) の y_{max} 及び断面Ⅰでの比エネルギーから水面形が得られる。

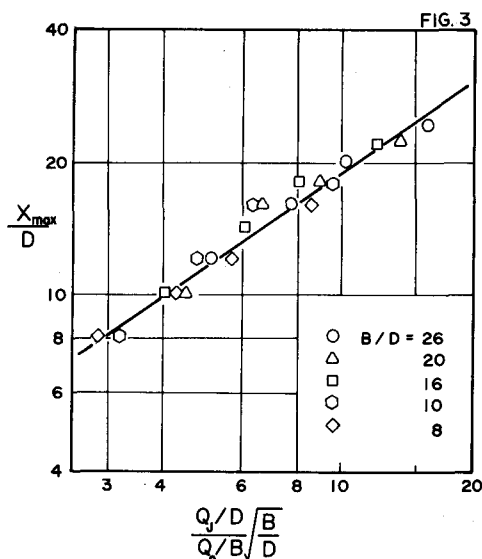
$$\sqrt{2g(h_T - h_g)} \left\{ (B - y_{max}) h_g + \frac{2}{15} (2h_T + 3h_g) y_{max} \right\} = Q_0 \quad (12)$$

断面Ⅲは支流の最大貫入点であり、水深 h_s は主流中での最小値となつて横断的にはほぼ一様である。この水深は 2. ii) で述べたように (2), (3), (4) 式から求める事が出来る。断面Ⅲ以下は漸次水深が増加し、断面Ⅳを経て主流流量に支流流量を加えた流量に対する等流水深に漸進していく。

4. 死水域の形状

合流点直下流に形成される死水域の形状を表わす代表的な量として Reattaching Point までの距離 L_R と死水域中で流速が 0 とする点までの横断方向の距離の最大値 y_E に着目して実験による解析を行なった。

i) Reattaching Point までの距離 著者らは前回の報告リ (Kouse⁵⁾ が低速風洞中で行なった実験との比較を行なった。その後行なった実験においても同様に Q_0/B と Q_0/B との比が大になるにつれ、また B/D が小になると従つて系統的な相違が見られる事から主流の中の効果を考慮したパラメーターによる解析を試みた。主流と支流の中の比をべき乗の形で取り入れた関数形を仮定し、実験によ



て定数の決定は行ない、結果(13)式を得た。図-4は実験値と(13)式を比較して示したものである。

$$\frac{x_R}{D} = 3.2 \left(\frac{Q_1/D}{Q_0/B} \sqrt{\frac{B}{D}} \right)^{1.1} \quad (13)$$

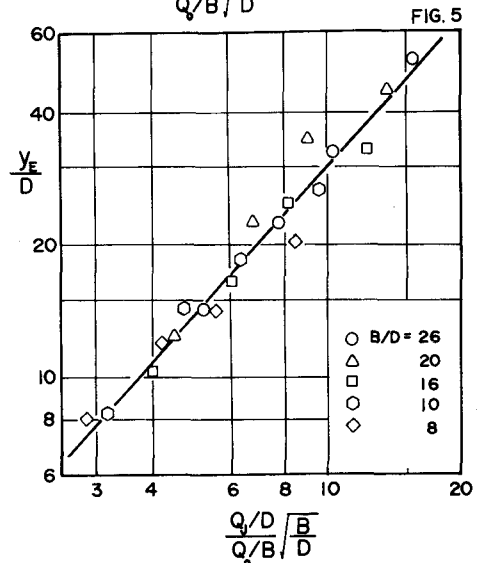
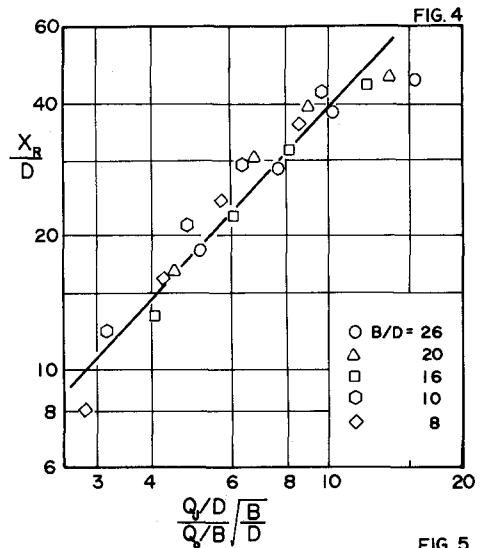
ii) 逆流域の最大中 前述の死水域の長さと同様の取扱いを行なって(14)式を得た。図-5は実験値と比較したものである。

$$\frac{y_E}{D} = 0.23 \left(\frac{Q_1/D}{Q_0/B} \sqrt{\frac{B}{D}} \right)^{1.1} \quad (14)$$

iii) 逆流域の形状 2.i) で述べた様に、支流中心の軌跡が相似である事から逆流域の形状も相似である事が予想される。(13)、(14)式から(15)式の関係を得る事が出来、死水域の形状についても相似性のある事が明らかとなった。

$$\frac{y_E}{x_R} = 0.07 \quad (15)$$

5. 流速分布及び合流による主流のエネルギー損失 前回の報告^{1),6)}と同様の取扱いを行ない、川中の比がより小さい場合に対しても同様の結果を得た。流速のパラメータ σ は $\sigma < 10$ では $\sigma \sim 5.5 \sim 6.0$ とはほぼ一定で、 $\sigma > 10$ では $\sigma \propto \sqrt{5}$ なる傾向がある。合流による主流のエネルギー損失はいずれの場合も非常に小さく、殆んど無視出来る程度であった。



本研究について懇切に御指導下さった岸 力教授に深く感謝致します。尚本研究は文部省科学研究(特定研究)「水理構造物の機能」(代表者、東工大 吉川 秀夫教授)の一部である。

参考文献

- 1) 板倉、石井：河川合流点における流れの機構の研究，第23回土木学会年講，1968
- 2) Anwar, H. : 石原・本間編，応用水理学，中Ⅱ，丸善，昭和33年，pp.81~82
- 3) 新津、加藤：EP-カーテンの性能および設計に関する研究，衛生工業協会誌，第34巻，第12号，昭和35年2月
- 4) 板倉、石井：北海道大学工学部研究報告，第54号，昭和44年7月(投稿中)
- 5) Rouse, H. : Diffusion in the Lee of a Two-Dimensional Jet, Extracts of Proceedings, IX-th International Congress of Applied Mechanics, Vol. 1, pp. 307-315, 1957
- 6) 板倉、石井、増永：河川合流点における流れの機構の研究，第22回土木学会年講，1967