

北工大 森 明 巨

北工大 岸 力

はじめに. 著者らは、^{(1),(2)} 前報において二次流によるモーメント輸送が河道弯曲部の流速分布に与える影響を与えることを数値実験により示した。本研究ではこれを理論的に示している。また、自然河川において、前報⁽¹⁾で導かれた弯曲流の型を予測するパラメータ P_f をその流れのパラメータとの対応を調べている。

1. 流れの基礎方程式

座標系を図-1の様に取り、深さ方向に平均化された S 方向の運動方程式を (1) 式で与える。

$$\frac{1}{2} \frac{\partial U^2}{\partial S} + \frac{r}{h_0} \frac{U^2}{h_0} f = -g \frac{\partial s}{\partial S} - \frac{h}{h_0 r_0} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 h : 水深、 r : 曲率半径、 $f = \langle u_x / U \rangle^2$ 、 u_x : 摩擦速度、 s : 水位、 s_0 : 水路中央での値を示す。 X は (2) 式で定義される二次流によるモーメント輸送関数である。 X に (3) 式を仮定する。

$$X = \int_{-r_0}^{+r_0} [u(y) - U] \cdot [v(y) - V] dy \quad (2)$$

$$X = \hat{X} \cdot G \cdot \cos \frac{\pi n}{B}, \quad \hat{X} = \left[k_{sn} \frac{(bU)^2}{r} \right]_{r=r_0}, \quad G = 1 + \left(\frac{X_0}{\hat{X}} - 1 \right) e^{-c \frac{r}{h}} \quad (3)$$

(記号の詳細は参考文献 (1) また (2) を参照して欲しい) 著者ら⁽¹⁾ は、弯曲流の数値計算に (3) 式を用いて良好な結果を得ている。 s と (4) 式で与え、(2)、(3) 式を (1) 式に代入する。得られた式を r で偏微分し、 $r=r_0$ とお

$$S' = -I_0 S + \alpha(S) n \frac{U_0^2}{g r_0} \quad (4)$$

11 式を整理し $(U^2/h f)_{r=r_0} = g I_0$ と仮定すると (5) 式が得られる。

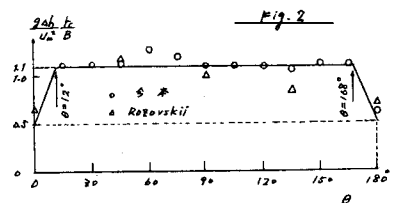
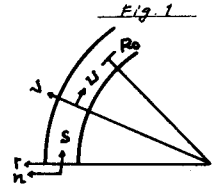
$$\frac{1}{2} \frac{\partial D_x}{\partial S_x} + f_0 D_x = -1 - \frac{\partial \alpha}{\partial S_x} / f_0 + P_f G \quad (5)$$

$$\therefore, D_x = \frac{h_0}{U_0^2} \left(\frac{\partial U^2}{\partial r} \right)_{r=r_0}, \quad S_x = \frac{S}{h_0}, \quad P_f = \sqrt{k_n} \pi \varphi_0 \frac{h_0}{B} \quad (6)$$

$\partial \alpha / \partial S_x = \text{constant}$ として (5) 式を解き $S_x = 0$ のとき $D_x = D_{x0}$ とおくと D_x は (7) 式で与えられる。

$$D_x = \left\{ \begin{aligned} & Z(S_x) + [D_{x0} - Z(S_x=0)] e^{-2f_0 S_x} \\ & Z = \left[P_f^2 \left(1 + \frac{X_0 \hat{X} - 1}{1 - c/2f} e^{-c S_x} \right) - 1 - \frac{\partial \alpha}{\partial S_x} / f \right] / f \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(3)、(4)、(7) 式における α 、 D_{x0} 、 X_0 を次の様に与える。図-2 は今本ら⁽¹⁾ 及び Rozovskii⁽⁴⁾ による弯曲流実験での左右岸の水位差の実測値と示したものである。 α を図中の実線で近似する。弯曲部の入口において、左右岸の水位差と速度水頭の差が大きいものとすると $D_{x0} = -\frac{1}{2} f_0^{-1}$ 。また、弯曲部の入口において二次流の強度が 0 になると $X_0 = 0$ である。



2. 理論と実験の比較

こゝで扱う実験水路は、総て、横断面形は矩形であり、一樣曲率弯曲部の前後に直線部が接続されている。

図3に今本⁵⁾による水路実験でUの実験値(○印)と(7)式から求める理論値(実線)の比較を示した。図から両者の傾向が良

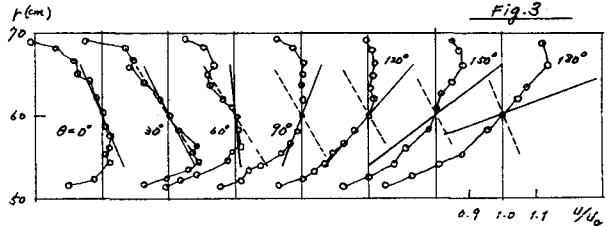


table 1

No	r ₀	彎曲角	P _f	D _x <0	D _x >0	D _x =0
I-1	25	90°	10.1	0~70°		81°
I-2	75		10.0	0~60	70	47
II-1	75		3.50	0~150	180	105
II-2	75	180°	4.7	0~150	180	123
II-3	150		3.5	0~60	70~180	49
II-4	150		4.0	0~30	60~180	72
III-1	150	90°	3.5	0~45	60~70	57
III-2	150		3.5	0~45	60~70	39

く一致しているのがわかる。図中の破線は二次流の効果も無視した場合の解であるが、この解は、実験値に反して強制渦とけらる。この計算例から、二次流が弯曲部の流速分布に与える効果の大きさはわかる。

表-1は、村本⁶⁾らの実験において $D_x < 0$ 及び $D_x > 0$ とする範囲の実験値と、 $D_x = 0$ とする角度の理論値の比較を示したものである。表から両者がほぼ同程度であることがわかる。二次流の効果も無視すると総ての R/V の全範囲で、図3の計算例と同様に $D_x < 0$ となる。

3. S56.8 石狩川淡水での弯曲部のパターンの P_f の関係

上記淡水の航空写真の撮影及び解析が北海道庁局石狩川開発建設部(アゾバ航測株)により実施された。図4は同資料より計算された P_f をセロガラの距離を横軸に取って示したものである。長谷川⁴⁾は、上記写真から弯曲部の流れのパターンを判読し、図4中の実線矢印地までは強制渦、実線矢印地までは自由渦であると示した。

(7)式において、 $\alpha = 0$ 、 $S_x \rightarrow \infty$ のときの D_x を $\tilde{D}_x$ とかくと $\tilde{D}_x = \tilde{D} = (P_f^2 - 1)/2f$ であるから P_f により流れるパターンが予測でき、P_f = 1 が境界値となる。図-4からこの方法により自由渦と強制渦の明確に区分されたことがわかる。

考察。以上の理論と実験値の比較から二次流が弯曲部に与える効果の大きさはわかる。

図-3の $\theta > 120^\circ$ では D_x の理論値は実験値よりかなり大きい。著者^{5), 7)} 及び村本⁵⁾ は二次流が発達すると主流との間に相互干渉が起り二次流が弱まることを指摘している。この作用は D_x が大きいほど強く、本理論ではこの効果も考慮して理論値が実験値より大きく変わったものと思う。

P_f は、2 流の P_f を予測する場合に必要な弯曲部流路長を2つ程に与える。自然河川では $C > 2$ の場合が多いから $\alpha \approx 1$ とする。また、 $\alpha = 0$ 、 $D_{x0} = -\tilde{D}$ とし $D_x = 0$ とする距離を S_{x0} とかくと、 $S_{x0} = \tilde{D} / \alpha f$ となる。表-1の実験例について S_{x0} を計算すると計算値は実験値の2~3倍となり充分な距離を与えるものと思われる。よって、石狩川について S_{x0} を計算すると、 S_{x0} は弯曲部流路長とほぼ同程度になり、流路長に代りて P_f の使用が有効であると判断した。

ところで、自然河川の流路形状は複雑でありこれらが流れに種々に作用する。現在、この種の流れに関する理論解析が盛んであるが、これに二次流の効果を加え、諸要素が流れに与える作用の強さを明らかにすることが必要であると思われる。

参考文献

- 1), 2), 7) 森, 岸, 他; 水誌 '82, '83年, 土木学会道支部 83年
- 3) 今本, 他; 京大防研年報 '82年
- 4) 今本, 他; 防研 '82年
- 5) 村本, 他; 防研 '66年
- 6) Bobrovski; Israel Program '61年
- 7) 長谷川; S56.8 北海道開発局写真に関する調査研究(自然現象科研(代表者) 82

