

II-181

側岸に植生のある開水路流における横方向流速分布

大阪府立工業高等専門学校 正 員 多田博登

1. はじめに

側岸の抽水域に芦のような植生が繁茂する場合、主流域と植生域の間に周期的な水塊の交換があることはよく知られている。¹⁾これによって、主流域の流速分布の勾配を小さくし、流れの抵抗を大きくするような相互作用がみられる。これは水理学的には、側壁の粗度の増大、水路幅の縮小として捉えることによって表されると考えることができる。本研究では運動量方程式とレイノルズ方程式を用い適当な仮定から、最大流速の生じる断面位置を数値計算で求めることから水路横断方向流速分布を導いた。更にこれと水理模型実験の結果²⁾を比較して、植生域を伴う主流域の流れの特性を考察した。

2. 横方向流速分布モデル

対象とする開水路の流れは、幅Bの矩形断面水路で、側壁1の粗度が対岸側壁2および河床のそれに比べて大きいような完全乱流の等流であり、局所平均流速はx方向のuのみ0ではなく、uの鉛直方向分布は河床粗度が小さいとして、河床ごく近傍を除き深さの相違による流速値の相違は小さいが、uの横方向分布は側壁1の大きな粗度のため変化が大きい。そのため河床せん断力 τ_b は横方向流速分布に対応して分布するが、側壁せん断力 τ_1 および τ_2 は鉛直方向流速分布がほぼ一様であることに対応して、深さ方向に一定であると考えことにする。

いま鉛直方向および横方向流速分布はそれぞれ関数形 ϕ を用いて下のように表わされるとする。

$$u/(\tau_b/\rho)^{1/2} = \phi(z/ks_b), \quad u/(\tau_j/\rho)^{1/2} = \phi(y_j/ks_j); (0 < y_j < y_j^*) \dots\dots\dots(1), (2)$$

ここに添え字b, 1および2は河床, 側壁1および2におけるものであることを、添え字jは側壁の1および2を表すことにする。また y_j^* : 最大流速が生じる位置である。

水深に比較し水路幅があまり大きくないため、両側壁せん断力 τ_j の影響が相互に及ぶ場合、すなわち横方向流速分布において最大流速が一カ所($y_j = y_j^*$)で生じている場合(これを狭幅であるとする)、一方側壁粗度の影響が相互に伝わらない場合(広幅とする)はそれぞれ、 $y_1^* + y_2^* = B$, $y_1^* + y_2^* < B \dots\dots(3)$, (4)となる。後者は $y_1^* \leq y_1 \leq B - y_2^*$ の範囲で、u (および τ_b) は一定であると考えられる。

河床せん断力は下のように表される。

$$\tau_b/\rho = (\tau_j/\rho) \phi(y_j/ks_j)/K_b; (0 < y_j < y_j^*) \dots\dots\dots(5)$$

$$\tau_b/\rho = (\tau_k/\rho) \phi(y_k^*/ks_k)/K_b; (y_1^* < y_j < B - y_2^*) \dots\dots\dots(6)$$

式(6)は広幅で流速一定の領域における河床せん断力である。ここに、 $\phi(x) = \{\phi(x)\}^2$, $K_b = \phi(h'/ks_b)$ である。添え字kは1または2を表す。横断方向流速は $z = h'$ で計測されているとする。

運動量方程式を流れに適用すると、 $\int_0^B \tau_b dy + (\tau_1 + \tau_2)h = \rho g B I \dots\dots(7)$ であるから(5)より、

$$\Sigma \{1 + \Phi_j(y_j^*)/hK_b\} \tau_j + (B - y_1^* - y_2^*) \tau_k \phi(y_k^*/ks_k)/K_b = \rho g B I \dots\dots(8)$$

ここに、シグマは $j = 1$ と2を加えるものとする。狭幅の場合は上式左辺第2項は0である。

更にレイノルズ方程式において、流れは等流、水深は幅に比べて小さいことを考慮すると、x方向の式は、

$$0 = \rho g I + \partial \tau_L / \partial y + \partial \tau_v / \partial z \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 τ_L および τ_v はx方向の鉛直および水平内部せん断力であり、粘性応力は乱流応力(レイノルズ応力)に比べて十分小さいと考えれば、 $\tau_L = -\rho \overline{u'v'}$, $\tau_v = -\rho \overline{u'w'}$ (10), (11)

いま2次元流れにおいてよく観測されている τ_v の三角形分布がこの流れに対しても適用できると仮定すると、

$$\tau_v = \tau_b(1 - z/h) \dots\dots(12), \quad \text{よって } z \text{ 方向勾配は, } \partial \tau_v / \partial z = -\tau_b/h \dots\dots(13) \text{ ゆえに(9)は,}$$

$d\tau_L/dy = -\rho g I + \tau_b/h \dots\dots(14)$ となり(5)を代入してレイノルズ応力分布式が得られる。

$$\tau_L = \tau_j \{1 + F_j(y_j)\} - \rho g I y_j; (0 < y_j < y^*_j) \dots\dots\dots(15)$$

また狭幅の場合は $y_j = y^*_j$, $j=1, 2$ において, 広幅の場合は $y^*_1 < y_j < B - y^*_2$ の区間において, $\tau_L = 0$ となる. ここに関数 F は, $F_j(y_j) = \Phi_j(y_j)/hK_b$ (16)である.

以上から, 最大流速の生じる位置 y^*_j は, 狭幅の場合は $y^*_2 = B - y^*_1$ として,

$$y^*_1 \phi(y^*_1/ks_1)/\{1 + F_1(y^*_1)\} = (1 - y^*_1) \phi\{(B - y^*_1)/ks_2\}/\{1 + F_2(y^*_2)\} \dots\dots\dots(17)$$

広幅の場合は,

$$y^*_1 \phi(y^*_1/ks_1)/\{1 + F_1(y^*_1)\} = y^*_2 \phi(y^*_2/ks_2)/\{1 + F_2(y^*_2)\} = K_b/\theta \dots\dots\dots(18)$$

によって表される. ここに, $\theta = B/h$ (19)である. y^*_1 および y^*_1 と y^*_2 の値はそれぞれ式 (17) および式 (18) から数値計算によって求めることができるが, このとき関数形 ϕ の式形と式 (19) の θ の値を与えなければならない他に, 次のパラメータ $\beta = ks_b/h$, $\gamma_j = ks_j/ks_b$ (20), (21) の値も必要である. 以上の条件の元に適当な数値計算法を用いて, 位置に関する無次元量 $t^*_j (=y^*_j/B)$ の値が得られれば, τ_j は,

$$\tau_j = \rho g I y^*_j / \{1 + F_j(y^*_j)\} \dots\dots(22), \text{河床せん断力分布は式 (5), および横断方向流速分布は式}$$

(2) によって与えられる. また平均流速は式 (2) を積分して下のように得られる.

$$\begin{aligned} \bar{u}/(ghI)^{1/2} = & \Sigma (\tau_j / \rho ghI)^{1/2} \{6 + 2.5 \log(\alpha_j \cdot t^*_j)\} t^*_j \\ & + (\tau_k / \rho ghI)^{1/2} \{8.5 + 2.5 \log(\alpha_k \cdot t^*_k)\} (1 - t^*_1 - t^*_2) \dots\dots\dots(23) \end{aligned}$$

ここに, $\alpha_j = \theta / \gamma_j \beta$ (24)である.

3. 数値計算結果と実験値の比較

実験水路は長さ9m, 幅30cmの水平床矩形断面で, 抽水域植生模型として丸釘を右岸から一定幅の範囲で一定密度に水路床に垂直に植えたものを用いた. 植生幅と密度はそれぞれ4ケース (12, 10, 8, 6cm) および2ケース (1, 0.5本/cm²)である. 主流域における幅方向流速分布は2方向電磁流速計 (ケネック製) によった.

計算と比較する場合問題は①乱流域の水路幅をどうとるか (対数則の原点をどこにするか), ② ks_1 の値はどれほどか, である. 理論的アプローチは今困難であるから, 速度欠損則を利用した最小自乗法から原点位置と τ_1 , および ks_1 を推定した. これで得られた各パラメータ (式(19)~(21))を用い, τ_L/τ_1 , τ_b/τ_1 の分布, および流速 $u/\bar{u}$ の分布計算値を曲線で, レイノルズ応力 $-u'v'/\tau_1$, および流速分布実験値を○印でプロットして比較した. これを図-1に示しているが, 両者は計算値と実験値がよく合っていると思われる. 計算においては $\kappa=0.4$, $A=8.5$ とする対数則を用いた.

結果をまとめると, ①主流域の横方向流速分布形は分布の原点位置と植生の相当粗度 ks_1 を正しく見積もることによって本モデルでよく表現できる. ②原点位置は本実験範囲ではいずれのケースも主流域内にあり, 従来言われる植生域内にはない. よってスリップ速度は乱流流速ではなくむしろ誘導流速であると解釈でき

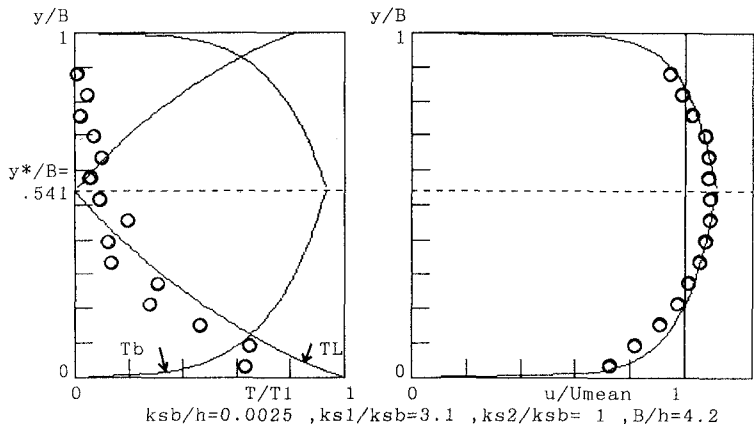


図-1 レイノルズ応力分布と流速分布

る. ③ ks_1 の値は植生幅, 密度という植生自体によってだけでなく流れとの相互作用で変動する. 最後に阪大・村岡浩爾教授代表で河川環境管理財団の援助を得た. 記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 福岡・藤田: 洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響, 土研報告NO. 180-3, 1990
- 2) 多田: 河川側岸の植生による流れの特性に関する模型実験, 土木学会関西年講, 1991