

II-78

河岸植生の粗度に関する研究

北海道大学工学部○学生員 三宅 洋  
 北海道大学工学部 フェロ-会員 黒木 幹男  
 北海道大学工学部 フェロ-会員 板倉 忠興

1、はじめに

近年水辺環境に対する潤いやゆとりを求める声を受け、あるいは河畔林のもつ生態学的な評価も進み、河道計画も植生の繁茂を可能な限り残す方向に動きつつある。しかし、河畔林の存在は疎通能力の点では明らかにデメリットである一方、河畔林における河岸流速の低下は河岸に働くせん断力を低下させ、河岸を保護する役割を果たしうることも考えられる。そこで河畔林のもつメリット、デメリットを定量的に評価し、河畔林の適切な管理を進める為には、これらがどの程度の抵抗を持つかを評価し、さらにその抵抗が周囲の流れ、および河川の疎通能力にどのような影響を及ぼすかを知る必要がある。

そこで疎通能力(流量)、抵抗、あるいはその抵抗による周囲への影響は、流速分布という形で現れることに着目し、Shionoら<sup>1)</sup>の解析による横断方向流速分布の算定法を用い、実河川への適用を試みた。

2、断面内における流速分布の計算方法

流下方向に一樣な流れを考え、横断方向にだけ変化するものとする。また横断方向の平均流速はゼロとする。浅水流理論を用いると、流れは次式で与えられる。

$$ghI - \frac{f}{2}u^2 \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right)^2} + \frac{\partial}{\partial y} \left( sh \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (h + \eta) = 0 \quad (2.2)$$

ただし、 $g$  : 重力加速度、 $y$  : 横断方向の距離、 $I$  : 平均河床勾配、 $h$  : 水深、 $u$  : 局所平均流速(水深平均値)、 $\eta$  : 局所河床高、 $f$  : せん断力係数であり次式で定義される。

$$\tau_b = \rho \frac{f}{2} u^2 \quad (2.3)$$

$\tau_b$  : 河床せん断力、 $\rho$  : 河水の密度。

また、 $\varepsilon$  : 横断方向の拡散係数であり、次式で定義される。

$$\varepsilon = \lambda hu_s = \lambda \sqrt{\frac{f}{2}} hu \quad (2.4)$$

$\lambda$  : 無次元横断拡散係数、 $u_s$  : 摩擦速度

水平床部分では、 $h$  = 一定であるから、式(2.1)を変形し、解くと次式が得られる。

$$u^2 = A_1 e^{\gamma y} + A_2 e^{-\gamma y} + \frac{2}{f} ghI \quad (2.5)$$

Study on roughness of river vegetation

by Hiroshi MIYAKE, Mikio KUROKI and Tadaaki ITAKURA

ここで、 $r = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \frac{f}{2} \frac{1}{h}}$

ただし、 $A_1$ 、 $A_2$ は積分定数である。

傾斜床部では、局所水深  $h$ 、 $\tan \theta = d\eta/dy$  を用

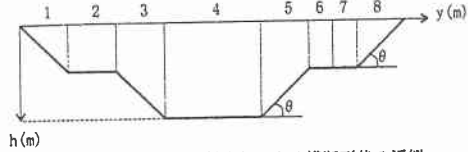


図-1 平坦床部と傾斜床部による横断形状の近似

いて式(2.1)を変形し、 $\ln(h)=t$ の変換を行って解き、変数を置き戻すと次式を得る。

$$u^2 = B_1 h^{\lambda_1} + B_2 h^{-\lambda_2} + wh \tag{2.6}$$

ここで、 $\lambda_1 = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{8}{\lambda} \frac{f}{2} \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{\tan^2 \theta}} - 1 \right\}$ 、 $\lambda_2 = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{8}{\lambda} \frac{f}{2} \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{\tan^2 \theta}} + 1 \right\}$

$$w = \frac{gl}{\frac{f}{2} \sqrt{1 + \tan^2 \theta} - \lambda \frac{f}{2} \tan^2 \theta}$$

ただし、 $B_1$ 、 $B_2$ は積分定数である。

河川の横断形状を近似し、水平床部と傾斜床部の組み合わせからなる  $n$  個の領域に分割すると、流速分布を表現するための未知の積分定数は  $2n$  個となる。これを求めるために、各領域の接続部分 ( $n-1$  個) における、 $u$ 、 $du/dy$ 、すなわち  $u^2$ 、 $du^2/dy$  を一致させ、境界条件として両端の水際部における水深、流速をゼロとすると、 $2n$  個の連立一次方程式を解くことによって積分定数が求まり、断面内の流速分布を求めることができる。

### 3、単断面の流速分布

#### 3.1 断面形状が流速分布に及ぼす影響

まず、単純な矩形断面における流速分布を考える。(2.1)式において横断方向の流速差によるせん断力を考慮した第3項をゼロ、および平坦床により  $d\eta/dy = 0$  とした

$$U = \sqrt{\frac{2ghI}{f}}$$

と、(2.1)式を両端の境界条件 ( $y = 0$ 、 $B$  において、 $h = 0$ 、 $u = 0$ ) を用いて解いた中央部の流速  $u(B/2)$  との差  $\Delta u$  を用いて無次元化した

$$\frac{\Delta u}{U} = \frac{U - u(B/2)}{U} = 1 - \sqrt{1 - \frac{2(e^{rB})^{\frac{1}{2}}}{1 + e^{rB}}} \tag{3.1}$$

$$rB = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \frac{f}{2} \frac{B}{h}}$$

式(3.1)より、 $\Delta u/U$  には  $B/h$  が大きく影響していることが考えられる。そこで  $f = 0.01$  として、 $\lambda = 0.2, 0.45, 0.8$  の3 case において  $\Delta u/U$  と  $B/h$  の関係を示したのが図 (3) である。同じ形状の断面では、無次元横拡散係数  $\lambda$  の値が大きいほどせん断力を考慮しない場合に比べて  $\Delta u/U$  が大きくなることが分か

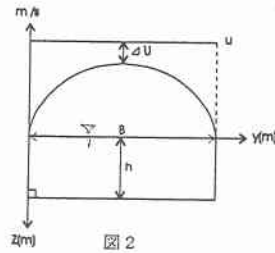


図 2

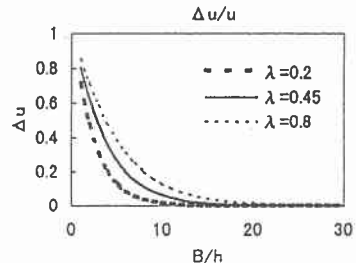


図 3

る。また、 $\Delta u/U$ には $B/h$ 、つまり断面の形状が大きく影響していることが分かる。

### 3.2 実河川への適用

上記の計算方法を用いれば、流速分布の理論値を求める為には、河川の横断形状 ( $y, h$ )、平均河床勾配 ( $I$ )、せん断力係数 ( $f$ )、無次元横拡散係数 ( $\lambda$ ) の情報が必要である。前者2者はともかく、実河川における  $f$  および  $\lambda$  をどの程度に見積もるかは検討が必要である。

図(4),図(5)は流量観測資料に記載されている堺川において、 $\lambda=1.0, 0.5, 0.1$  の3 case で、河床部分を実測値どりの値で計算したものと、平坦床に簡略化したものである。 $f$  は資料にある  $n$  および  $R$  の値を用い、 $f = 2gn^2/R^3 = 0.0476$  で全区間一定にしたものである。この2つを比較すると、河床形状の多少の簡略化をしても、流速分布にはほとんど影響してこないことが分かる。図(6)は簡略化した断面を用いて、河床部分の水深、および側壁部分の中間水深を代表水深として  $f = 2gn^2/h^3$  の換算を用いた、河床部分の  $f(f_b = 0.0445)$  および側壁部分の  $f(f_w = 0.0561)$  をもちいて同様に計算したものである。いずれの場合も流速分布にあまり変化はなく、また  $\lambda$  を変化させることによる影響も少ないようである。

大島ら<sup>2)</sup>が実河川における直線区間の  $\lambda$  の値を調査した結果、 $\lambda=0.22\sim 0.78$  程度であり、安定した直線区間では  $\lambda=0.4$  程度の値で十分横断方向の横拡散係数が求まるとしている。また、Siono らは、上記の計算において  $\lambda=0.45$  の値を推奨している。そこで、直線区間の単断面の流速分布の計算では、 $\lambda=0.45$  で固定しても差し障りがないのではないかとと思われる。以下の図は  $\lambda=0.45$  と固定して  $f$  は全区間一定と近似して流量が一致するように与えたものである。

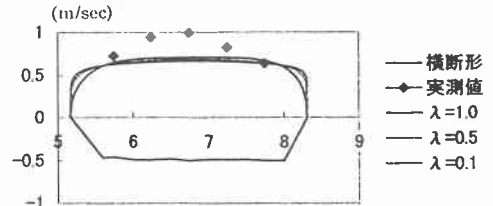


図4 堺川(河床実測値)

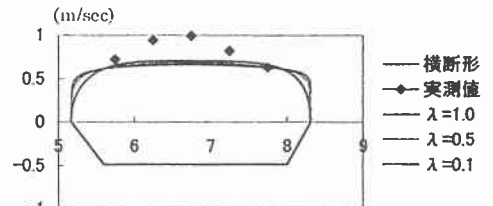


図5 堺川(河床簡略化)

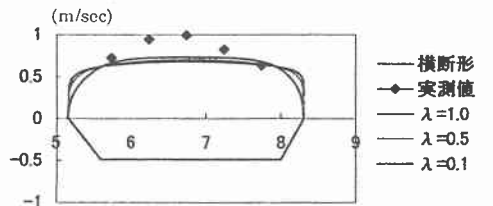


図6 堺川( $f_b=0.0445, f_w=0.0561$ )

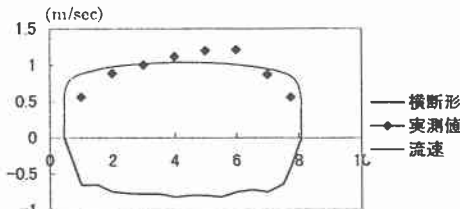


図7 鬼志別川( $f=0.0117$ )

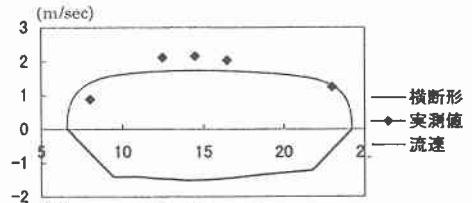


図8 売買川( $f=0.019$ )

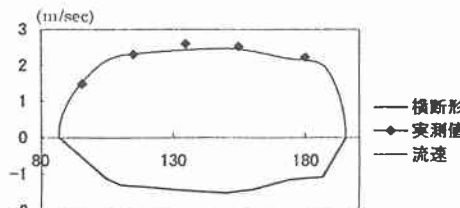


図9 歴舟川( $f=0.0096$ )

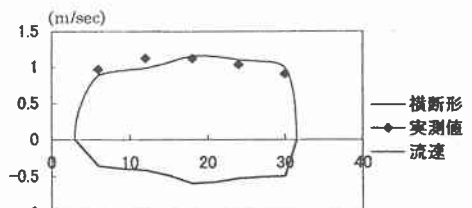


図10 無加川( $f=0.0255$ )

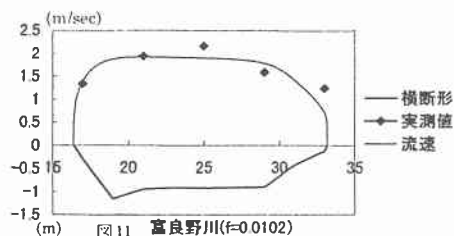


図11 富良野川(f=0.0102)

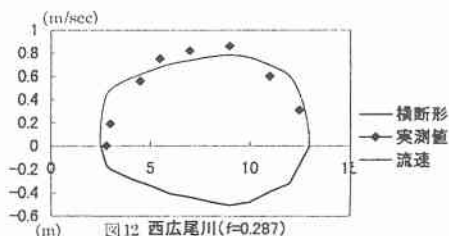


図12 西広尾川(f=0.287)

#### 4、複断面の流速分布

複断面河道の流速分布を算定する場合、無次元横拡散係数をどのようにあてえるか検討が必要である。

Shiono らは高水敷の無次元横拡散係数を、 $H$ ：全水深、 $h'$ ：高水敷の水深を用いて、 $\lambda = \frac{0.2}{(h'/H)^{1.5}}$  の値を

あてえているが、今回は簡単のため、単断面の場合と同じ $\lambda=0.45$ の値を用いて、 $f_h$ ：高水敷のせん断力係数、 $f_b$ ：低水路部分のせん断力係数の2種類を用いて、流量が一致するように $f_h$ 、 $f_b$ を与えたのが下の図(13)図(14)である。

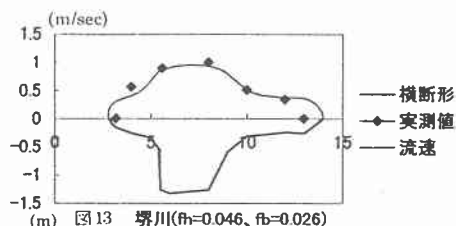


図13 堺川(fh=0.046, fb=0.026)

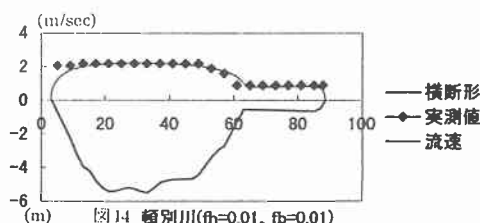


図14 堺別川(fh=0.01, fb=0.01)

#### まとめ

この手法により横断方向の流速分布を求めるためには、 $f$ と $\lambda$ という2つのパラメーターを定める必要があり、さらに実際の流速分布から河畔林のもつ抵抗( $f$ )の値を逆算するためには、河畔林のない状態をうまく再現してやる必要がある。今回この2つのパラメーターのうちの1つである $\lambda$ について、 $\lambda=0.45$ という固定した値を用いて単断面と複断面の実河川の流速分布を計算してみたが、場所によって変わらう $f$ を流量が一致するという条件で全断面一定、あるいは低水路部と高水敷はそれぞれ一定と近似している割には、比較的うまく流速分布が再現できているのではないかと思われる。このことは $\lambda$ を固定しうる可能性を示していると思われ今後様々な面から検討していく必要が有ると思われる。

#### 参考文献

- 1) Shiono k., and D. W. Knight ; Two Dimensional Analytical Solution for a Compound Channel, Proc. of The Third International Symposium on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements, pp. 503 - 510, July 1988
- 2) 大島吉雄、松元賢市：河川の横拡散に関する調査、土木技術資料、1976
- 3) 黒木幹男：多自然型川づくりに係る粗度の研究、平成九年度北海道大学依託研究報告書