

岐阜大学工学部 正員 河村三郎

1. まえがき 近年、洪水流の三次元的な流れの構造を把握するために、洪水流の垂直航空写真が撮影され、カメラ効果や流動標識(漂流物、泡等)の測定によって洪水時の表面流速とその分布が得られるようになってきている。そこで、今回このような航空写真の可視化による表面流速のデータから、洪水時の横断河床形状ならびに、ある区域内の等水深コンター図などの新しい計算法を開発した。

2. 計算モデルの基本的概念 流砂河川、とりわけ砂質河川においては、限界掃流力以上になると、河床面の砂は、流速の変動に応じて、ある層の厚さで移動している。このような『河床面付近の砂移動による河床変化は、表面流速に微妙に影響し、河床形状を示す全ての要素が表面流速に反映されている』と考える。河床横断形状の計算式の誘導においては、この概念をモデル化して行なった。計算時の拘束条件としては、『洪水時の表面流速と流量から得られた断面平均水深は、前述のモデルによる計算式を使用して求めたその断面の計算平均水深に等しくならねばならない』と適用する。この条件を使用すると、流路中心における洪水時の水深が確定できるので、横断方向における各点の水深は、その点の鉛直流速分布形及び表面流速 V_s と中心線上の表面流速 V_{sc} との比が与えられるので計算できる。いずれにしても、洪水時の表面流速分布は、その時の河床状況を写した映像であると考えらる。

3. 流速分布 鉛直方向の流速分布は、次式のような指数形式的の分布式で与える(図-1参照)。

$$\frac{v(y)}{V} = \left(\frac{n+1}{n}\right) \left(\frac{y}{h}\right)^n \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 h : 水深、 V : 平均流速、 $v(y)$: y 点の流速。航空写真のような画像データでは、表面流速 V_s が与えられるので、 V_s の観測値によって平均流速を計算する。式(1)において、 $y=h$ とおけば、 $V=\alpha V_s$ ----- (2)

ここに、 α は $\alpha=n/(n+1)$ ----- (2)' である。摩擦損失係数を f とすると n は、 $n=1/\sqrt{f}$ --- (3)

と表すことができる。したがって、摩擦速度 u_* と平均流速との関係は、 $V/u_*=\sqrt{8/f}=n\sqrt{8}$ ----- (4)

となる。 $u_*=\sqrt{g\beta I}$ であるから、 n は、 $n=\alpha V_s/\sqrt{8g\beta I}$ ----- (5) ここに、 I : 水面勾配。

4. 表面流速による水深の計算式

(i) 河床材料が横断方向に一定の場合 式(5)から、 $V=n\sqrt{8g\beta I}$ ----- (6) であり、流路の中心上では、 $V_c=n_c\sqrt{8g\beta I_c}$ ----- (7) となる。ここに、添字 C は流路の中心線を示す。 V と V_c との比をとると $(h/h_c)=(n_c/n)^2(V/V_c)^2(I_c/I)$ ----- (8) $I=I_c$ とし、 $V=\alpha V_s$ 、 $V_c=\alpha_c V_{sc}$ とし、式(2)'を使用すると $(h/h_c)=[(n_c+1)/(n+1)]^2(V_s/V_{sc})^2$ ----- (9) が得られる。

(ii) 河床材料が横断方向に変化する場合 水深と粒径との関係をつけるために、マンニング・ストリックラー式を使用する。 $V/u_*=7.66(h/D)^{1/6}$ --- (10) ここに、 D : 平均粒径。式(4)と式(10)から、 $K=7.66/\sqrt{8}$ とすると $n=K(h/D)^{1/6}$ ----- (11) 式(11)から、 $(n_c/n)=(h_c/h)^{1/6}(D_c/D)^{1/6}$ ----- (12)

式(12)を式(8)に代入し、 $I=I_c$ とすると、 $(h/h_c)=(\alpha/\alpha_c)^{3/2}(V_s/V_{sc})^{3/2}(D_c/D)^{1/4}$ ----- (13) ここに、 $(\alpha/\alpha_c)=(n/n_c)(n_c+1)/(n+1)$ ----- (14) 図-2のように区分した場合の j 点の水深 $h(j)$ は、次式のように表現できる。 $h(j)=h(c)[(n(c)+1)/(n(j)+1)]^2(V_s(j)/V_s(c))^2$ ----- (9)'

同様に、式(13)は、 $h(j)=h(c)[(\alpha(j)/\alpha(c))^{3/2}[V_s(j)/V_s(c)]^{3/2}[D(c)/D(j)]^{1/4}$ ----- (13)'

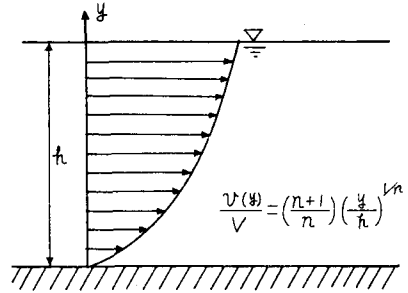


図-1

となる。式(9)は砂質河川で使い、横断方向に粒径が変化する河川湾曲部や礫質河川では式(13)を使用する。

5. 計算手順 (1) 横断方向に $\Delta r = r_j - r_{j-1}$ のように区分する。

(2) Δr 内の平均流速は、 $V(j) = \alpha(j) V_s(j)$, $V(j-1) = \alpha(j-1) V_s(j-1)$ であるから $V(j) = [\alpha(j) + \alpha(j-1)] [V_s(j) + V_s(j-1)] / 4$ ----- (15)

によって与えることができる。(3) $f_l(c)$ の第一近似値は、横断面内の平均水深 f_{lm} に等しいとする。断面形を近似的に長方形とすると、表面流速から得られる平均水深は、 $f_{lm} = Q / \sum_{j=1}^N V_o(j)$ ----- (16)

によって計算できる。ここに、 Q は実測流量であり、 $V_o(j)$ は次式によって与える。 $V_o(j) = [\alpha(j) + \alpha(j-1)] [V_s(j) + V_s(j-1)] \Delta r / 4$ ----- (17)

(4) 礫質河川の場合は、 $D(j)$ を与える。(5) 例えば、 $\Delta r = 10 \text{ m}$ とし、各点の $V(j)$ を与える。(6) $f_l(c) = f_{lm}$ とし、各点の $f_l(j)$ を式(9)あるいは(13)によって計算する。(7) $j = 1$ から $N-1$ までの各点の計算水深から、次式によって計算平均水深 (f_{lmc}) を求める。

$f_{lmc} = \sum_{j=1}^{N-1} f_l(j) / (N-1)$ ----- (18) (8) 第一回目の計算では当然のこととして $(f_{lmc} - f_{lm}) \geq 0$ であるから、この正負の符号に応じて、 $f_l(c)$ の値を増減させ、 $f_{lmc} = f_{lm}$ になるまで計算を繰り返す。(9) $f_{lm} = f_{lmc}$ になった時の各点の水深が求める水深である。(10) 実測水位から各点の水深を差引くことによって各点の河床高を求め、横断河床形状を得る。なお、計算時の $n(j)$ の値は、 $n(j) = \alpha(j) V_s(j) / \sqrt{8g f_l(j) I}$ によって与える。この計算

手法を各測定横断面に適用した結果から、ある区域の等水深コンター図や河床高コンター図が得られる。現在、航空写真のカメロン効果によって得られた等流速コンター図から、計算機によって自動的に、等水深コンター図と河床高コンター図を得られるよう計算機プログラムを開発中である。図-3, 4, 5は天竜川の例であり、図-3と5を比較すると、洪水後の河床形状と驚くほど一致していることが知られる。

最後に、この計算法を開発するのに御協力頂いた建設省浜松工事事務所、中日本航空株式会社関係者に感謝の意を表す。

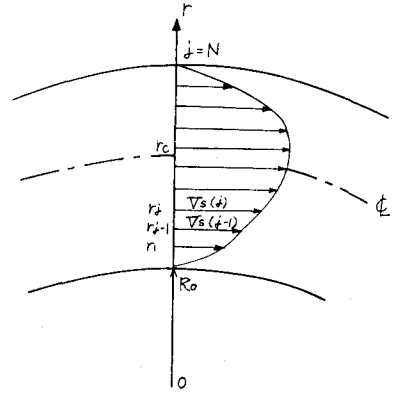


図-2

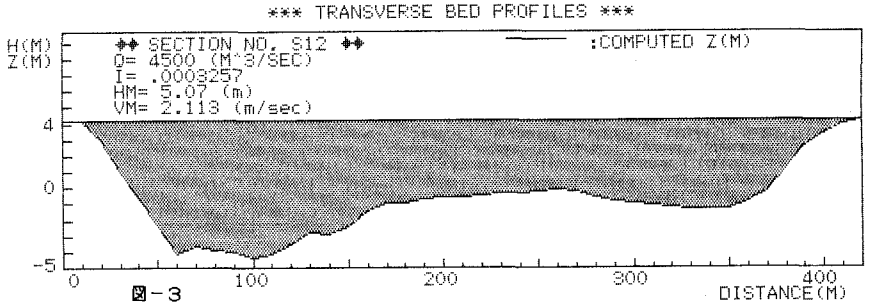


図-3

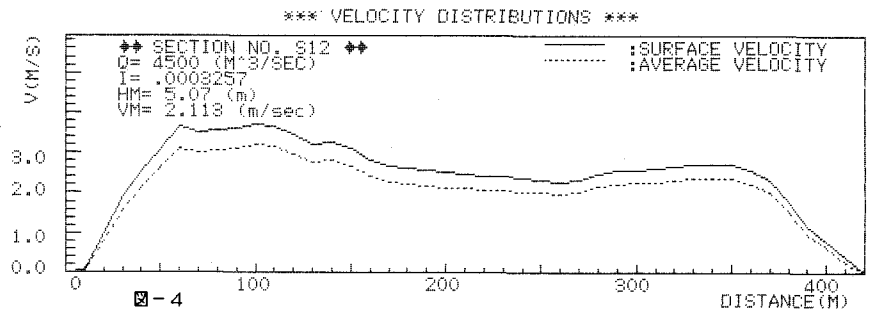


図-4

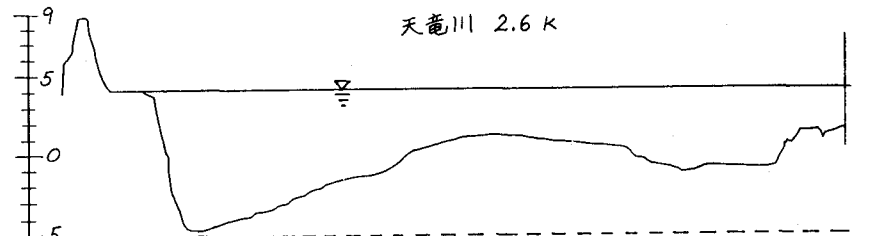


図-5