

航空写真による洪水時湾曲部の横断河床形状の計算法

岐阜大学工学部 正会員 河村三郎 山田直光 田中智處

1. まえがき 近年、洪水流の3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、カメラン効果や浮動標識（漂流物、泡等）の測定によって洪水時の表面流速とその横断方向の分布が得られるようになってきている。そこで、このような航空写真の表面流速あるいは平均流速のデータを利用し、洪水時湾曲部の横断河床形状を既に開発した計算手法¹⁾によって計算し、その適合性を考察する。

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

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

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 の実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、 $n = K\sqrt{8/f} \equiv 1/\sqrt{f}$ --- (3) ここに K ：Kármán 常数。摩擦速度 u_* と平均流速 V との関係は、 $V/u_* = \sqrt{8/f} = n\sqrt{8}$ --- (4) となる。

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

3. 表面流速における水深の計算式 式(4)から、 $V = n\sqrt{8ghI}$ --- (6) であり、流路の中心線上では、 $V_c = n_c\sqrt{8gh_cI_c}$ --- (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)

河川湾曲部に対しても適用できるように、湾曲部の曲率半径 r を導入して、 I を次式のように表す。

$I = I_c(r_c/r)$ --- (9) 式(9)を式(8)に代入すると相対水深 (h/h_c) は、

$(h/h_c) = (n_c/n)^2 (V/V_c)^2 (r/r_c)$ --- (10) となる。式(2)と式(2)'を使用すると、

$(h/h_c) = ((n_c+1)/(n+1))^2 (V_s/V_{sc})^2 (r/r_c)$ --- (11)

水深と河床材料の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。

$V/u_* = 7.66(h/D)^{1/6}$ --- (12) ここに D ：平均粒径。式(4)と式(12)から

$\beta = 7.66/\sqrt{8}$ とすると、 $n = \beta(h/D)^{1/6}$ --- (13) この式から次式が得られる。

$(n_c/n) = (h_c/h)^{1/6} (D/D_c)^{1/6}$ --- (14) 式(14)を式(11)に代入して整理すると次式が得られる。

$(h/h_c) = (\alpha/\alpha_c)^{3/2} (V_s/V_{sc})^{3/2} (D/D_c)^{1/4} (r/r_c)^{1/4}$ --- (15)

ここに、 (α/α_c) は次式のようになる。 $(\alpha/\alpha_c) = (n/n_c)(n_c+1)/(n+1)$ --- (16)

図-2のように区分した場合の y 点の水深 $h(y)$ は、次式のように表現できる。

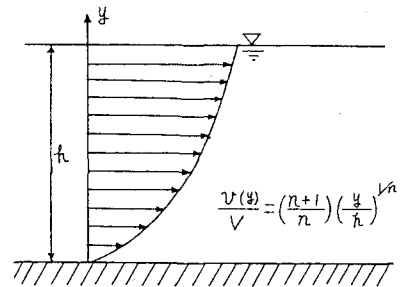


図-1 流速分布の定義図

4. 計算手順 (1) 計算に必要なデータを整理する(航空写真から得られた表面流速分布と水面勾配, 他の流量観測点から求めた撮影時点における流量, 河床材料の粒径分布, 流向に対する曲率半径, 高水敷等の不動点等の位置と標高など)。

(2) 図-2のように, 横断方向に $\Delta r = r_j - r_{j-1}$ のように

区分する。(3) 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,

$$V(j) = \{ \alpha(j) + \alpha(j-1) \} (V_s(j) + V_s(j-1)) / 4 \quad (17)$$

により, 与えることができる。(4) h_c の第1近似値は,

横断面内の平均水深 h_m に等しいとする。表面流速分布から

得られる平均水深は, $h_m = Q / \sum_{j=1}^N V_0(j) \quad (18)$ によって計算できる。ここに, Q は流量観測点から求めた航空写真撮影時の流量であり, $V_0(j)$ は次式によって計算する。

$$V_0(j) = \{ \alpha(j) + \alpha(j-1) \} (V_s(j) + V_s(j-1)) (r_j - r_{j-1}) / 4 \quad (19)$$

(5) 礫質河川の場合は, $D(j)$ を与える。(6) 例えば, $\Delta r = 10m$ とし, 各 j 点の $V_s(j)$ を与える。

(7) $h_c = h_m$ とし, 各 j 点の $h(j)$ を式(15)によって計算する。(8) $j = 1$ から N までの各点の計算水深から, 次式によって計算平均水深 h_{mc} を求める。

$$h_{mc} = \{ \sum_{j=1}^N h_c(j) \} / (r(N) - r(0)) \quad (20) \quad \text{ここに, } h_c(j) = \{ h(j) + h(j-1) \} (r_j - r_{j-1}) / 2$$

(9) 第1回目の計算では, 当然のこととして $(h_{mc} - h_m) < 0$ であるから, この正負の符号に応じて, h_c の値を増減させ, $h_{mc} = h_m$ になるまで計算を繰り返す。(10) $h_{mc} = h_m$ になった時の各点の水深が求める水深である。(11) 実測水位(航空写真の解析から求めた水位)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。

5. 湾曲部への適用例

図-3のようなサクラメント川¹⁾の湾曲部への適用した結果を示す。計算対象断面は,

Section 4であって, 洪水後の横断河床形状と粒径分

布, 及び洪水時の水面勾配と横断方向の平均流速分布が実

測されている。それらのデータは, $Q = 260 m^3/sec$, $I =$

0.0003 , $R_o = 497m$, $D_c = 1.6mm$ である。 $\Delta r = 7.625m$ とし

各点の平均流速を示すと図-4のようである。 $D_c = 1.6mm$

一定として計算した結果は図-5のようであって, 最大洗掘深

については, 満足すべき結果となっている。湾曲部内側の不

一致は, 洪水後の堆砂によるものと考えられるが明確ではない。

文献 1) 河村 三郎, "航空写真による洪水時河床形状の新計算法", 第21回

自然シホ, 1984, pp357-360

2) Odgaard, A.J., "Transverse Bed Slope in Alluvial Channel Bends",

Proc. ASCE, HY12, 1981, pp 1677-1694.

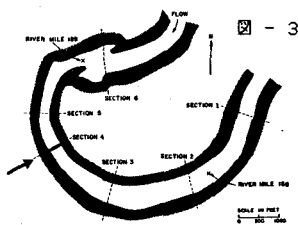


図-3

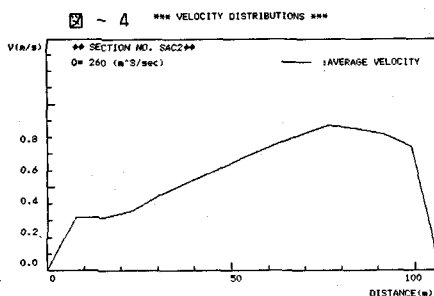


図-4

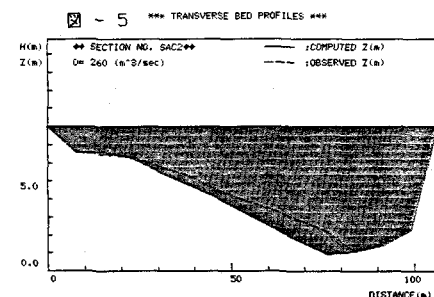


図-5