

弯曲水路における横断河床形

立命館大学 正員 小沢功一

1. はじめに 河川の曲線部においては内岸の凸岸附近には土砂が堆積し、また外岸の凹岸附近では河床等が洗掘される傾向がある。したがって河川弯曲部の凹岸は堤防としての弱点部となるので護岸を施す必要が生じてくる。そのような場合、河床の最大洗掘深を予測することができれば都合がよい。河川弯曲部のモデルとして単一の180度の彎曲角を持つ曲線部の前後に直線部が接続している場合を考える。このような弯曲水路においては弯曲部からの出口断面の外岸附近に最大洗掘深が見られると言われている。最大洗掘深についての定量的な評価については池田や Zimmermann 等の研究が見られる。これらの研究においては河床上の砂粒子に作用している力の主流方向および半径方向についての釣合いを考え、横断河床形の式を導いている。最大洗掘深はその河床形の最も外岸寄りの部分で起るとされている。それらの計算式を用いて最大洗掘深を求める場合、式の中に含まれているいろいろな係数はいくらに取ったら良いのか、あるいはその式の曲率半径などについての適用限界はどれ程なのかという点等必ずしも明らかになっていない。そこで同じような考え方から別に得られた横断河床形の式について実験値と比較しながら考察を行なった。

2. 基礎方程式 水深 h が曲率半径 R に比較して小さく、また流れが主流方向に一様である場合、円筒座標で表わした運動方程式はつぎのようである。 r 方向については $-U_\theta^2/r = -g I_r + \partial(\varepsilon \partial U_r / \partial z) / \partial z \dots (1)$, θ 方向については $g I_\theta + \partial(\varepsilon \partial U_\theta / \partial z) / \partial z \overset{=0}{\dots} (2)$ となる。また連続式は $\partial U_r / \partial r + U_r / r + \partial U_z / \partial z = 0 \dots (3)$ である。ここに U_r , U_θ はそれぞれ r , θ 方向の流速であり図-1のような分布を考えている。また I_r , I_θ はそれぞれ r , θ 方向の水面勾配であり, $I_r = \partial z_h / \partial r$, $I_\theta = -\partial z_h / r \partial \theta$ となる。 z_h は自由表面の z 座標である。また ε は渦動粘性係数である。そして z 方向には静水压分布をとするとしている。つぎに U_θ としては速度欠損則 $(U_{\max} - U_\theta) / U_* = -1/k \cdot \ln \{ (z - z_b) / h \}$ を用いて式(1)から r 方向のせん断力 τ_r を $\tau_r = \rho \varepsilon \partial U_r / \partial z$ として求める。 z_b は河床の z 座標, U_* は摩擦速度, k は Kármán 定数である。この時の境界条件としては自由表面においてはせん断力は0であるとしている。また I_θ としてはつぎのようにすることができると実験的にも確かめられている。

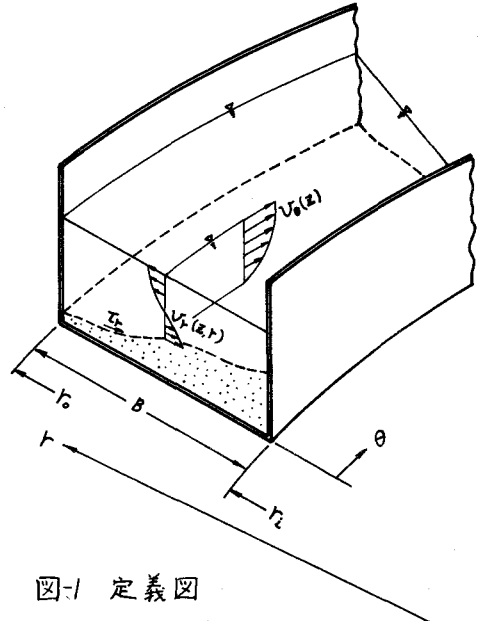


図-1 定義図

$I_\theta = (\alpha_0 + \alpha_1) U_m^2 / g r$ ここに $\alpha_0 = \int_0^1 (U_\theta^2 / g r) d\eta / (U_m^2 / g r)$, $\alpha_1 = (13/kC)^2 + (kC/\sqrt{\pi})$ である。 U_m は U_θ についての

OZAWA KOICHI

鉛直方向の平均値, γ は無次元鉛直座標 $\gamma = (z - z_b)/h$. C は Chezy 式の係数である。そこで河床上における砂粒子は球形であるとしてその一粒に作用するせん断力と重力とのそれぞれについての斜面方向成分の釣合いは遮蔽係数入を考慮するとつぎのようになる。 $(1/\lambda)(\tau_b)_{\gamma=0}(\pi D^3/4)\cos\theta = (p_s - p)(\pi D^3/6)\sin\theta \cdots (4)$ ここに p_s は砂の密度である。また横断河床は曲率半径 r の位置で水平と角 θ をなす斜面になっているとしている。式(4)から横断方向の水深はつぎのように表わされる。 $h/h_a = (r/r_c)^B(A/B+1) - A/B \cdots (5)$ ここに h_a は平均水深, r_c は水路中心の曲率半径, A, B は定数。

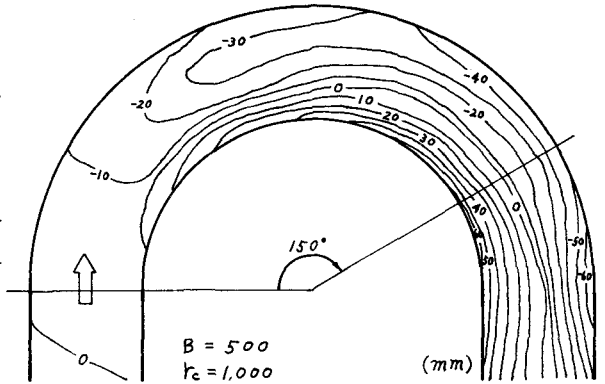


図-2 等高線図

3. 実験結果および考察 始めに水路の底に中央粒径が0.72mmの砂を水平に約8cmの厚さに敷き、その高さを砂面測定器で測っておく。つぎに水を一定時間流した後の河床を再び測って河床変動量を求めた。そのようにして測った流下実験後の河床の一例を等高線で示すと図-2のようである。これは流量が21.5 l/s, 流下実験時間は3時間のものであり、河床高を平均してその平均値からの偏りについて示してある。この図から彎曲角が150度

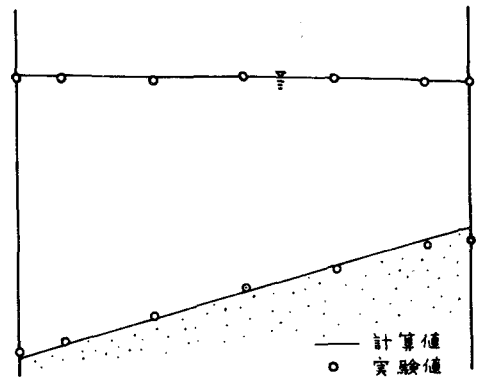


図-3 横断面図

以降においては等高線は流下方向にほぼ平行になっていることがわかる。したがってこの部分においては流れは主流方向に一樣であると考えることができる。つぎに彎曲部からの出口の横断面を示すと図-3のようになる。この場合の流量は13 l/s, 流下実験時間は15時間である。この図には式(5)に基づいた計算式から得られた値もプロットしてあるが実験値と良く一致していると見ることができ。計算する場合に、鉛直方向の平均流速 u_m は横断方向に一定としている。二次流の完全発達域においては u_m は強制渦型として分布するとされているが、図のように傾斜した河床の横断面においては u_m は横断方向にほぼ一定な $u_m \approx 27 \text{ cm/s}$ とする事ができると実験的に明らかになった。また式(5)の中の平均水深 h_a に関して、一連の実験値を整理すると図-4に示されているように $h_{as} \approx h_{ac}$ である事が明らかになった。

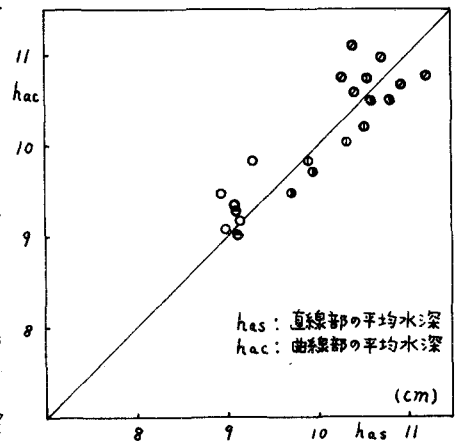


図-4 平均水深 h_a