急流河川水衝部の三次元流れ構造と石礫河床に作用する流体力

株式会社建設技術研究所 正会員 ○加藤 翔吾

中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 序論

急流河川水衝部の護岸前面の砂州は、速い流速により侵食を受け易い。砂州河床の洗掘や侵食には、河岸近傍の 流れの三次元構造と水面変動の役割の理解が特に重要である. 輿石ら ¹⁾は、常願寺川現地実験水路において非静水 圧準三次元解析法を適用し、水衝部における局所流場の解析精度を向上させたが、水面変動や流れの三次元構造が 河床洗掘,河岸侵食に与える影響については、十分に検討されていない.本研究では、常願寺川現地実験水路を対 象に非静水圧準三次元解析によって、水衝部における水面変動と流れの三次元構造を明らかにし、石礫河道の洗掘 [m] 0

25

や侵食を引き起こす流体力を評価する.

2. 検討方法と解析条件

常願寺川現地実験水路は,図-1に示す複断面 蛇行流路で全長170m,縦断勾配1/200,堤間幅 20mの中に、幅4.0m、深さ0.7mの低水路を有す る. 図-2(a), (b)は, 水衝部 (0と水衝部 (0の実験) 中の状況を示す.水衝部(0)は、急変する流れの 流入部であり,かつ湾曲部のため外岸侵食対策 として河岸保護工が設置され、水衝部①には垂 直壁の護岸と護岸の前面に巨石が設置されてい

る. 実験水路には、約6.9m³/sの流量を流下させ、水衝 部①で流速分布の計測が行われた. 解析条件を示す. 水衝部は,水面が時空間的に激しく変動する三次元流 れであり、静水圧分布からの偏差が生じる.このため 解析法は、輿石ら1)と同じ非静水圧準三次元解析法を 適用したが、河床の粗度分布の与え方が輿石ら¹⁾と異 なる.本研究では、石礫河床の不均一な底面粗度の分布を 以下のように与える.底面粗度は、実測の水位縦断分布、 流量,流速分布を説明するようにks=0.14mとks=0.06mをラ ンダムに与えた. 解析の境界条件は上下流端に観測水位を 与え,地形は縦断幅0.5m,横断幅0.25mのデカルト座標メ ッシュに,測量結果等を用いて作成した¹⁾.実験と解析の 詳細は文献を参照されたい¹⁾.



3.水衝部近傍における水面変動と流れの三次元構造

図-3は、縦断水面形の実測結果と解析結果を低水路平均河床高と共に示す.水衝部①において、解析結果は河道 の湾曲に伴う左右岸の水位差を良好に再現している.図-4(a),(b)は,それぞれ水衝部①における水表面流速(赤色) と底面流速(黒色)の実測と解析結果をベクトルで示す. コンターの色は河床高を示す. 護岸沿いの底面流速は, 実 測結果よりもやや小さく計算された.しかし、本検討の解析結果は、曲りによる二次流や水表面流速の向き及び巨 石の水跳ねにより底面流速が内側に向く流れの状況を説明出来ている.

キーワード 急流河川,流れの三次元構造,水面変動,非静水圧準三次元解析法,流体力 連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1615 河岸防護工近傍における三次元流れ場の特徴 を示す.図-5(a),(b)は,それぞれ水衝部①と水 衝部①の水面変動の状況を示す.流入部で水面 が大きく波打ち,巨石前面で流れは堰上がり, 巨石背後の砂州上で水面変動している状況を見 ることが出来る.図-6(a),(b)は,水衝部①と水 衝部①の低水路外岸から出発した流跡線(水粒 子の移動軌跡)を示す.流跡線の色は,水粒子の 鉛直方向流速を示す.流入部から出発した水粒 子(図-6(a))は,内岸では河床に沿って流下する が,外岸では水衝部手前で大きく上昇する(赤 色).水衝部①の手前から出発した水粒子(図 -6(b))は,水衝部手前で下降し(青色),巨石斜 面に沿って上昇する(赤色).その後,巨石付き



盛土砂州上や周辺で水粒子は変動しながら流下する.このように、水面変動は、現地実験水路で見られる状況と類 似しており、砂州の流出・侵食に密接に関係する水理現象である(図-2). _{水面高よ}

4. 石礫群に作用する流体力評価

 $\partial x \quad \partial x \quad \partial z \Big|_{z=z}$

 $f_x = \frac{\tau_{bx}}{2} - \frac{\partial \overline{p}}{\partial p} + \frac{\partial z_b}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial p}$

δī

本研究では、3.で非静水圧準三次元解析から水衝部や河岸近傍の三次元流 れの検討を行った主計算領域の下層に図-7に示す石礫群の粗度層を考える。 粗度層での流れの加速・減速を無視することで、石礫群に単位体積当たりに 働く x 方向の流体力 f_xを式(1)のように表現する。

Flow

$$\hat{x}_{a}$$
 \hat{x}_{b} $\hat{x$

図-7 石礫群を含む粗度層

ここに、&: 粗度層の厚さ($\&=k_s$)、 \bar{p} :粗度層内の平均圧力、 τ_{bx} :x 方向の底面せん断力である. 主計算領域での底面 流速と底面圧力より式(1)の底面せん断力と粗度層内の平均圧力を評価し、粗度層内の鉛直方向の圧力勾配 $\partial p / \partial z |_{z=zb}$ を静水圧分布で仮定すると、石礫群に単位体積当たりに働く x 方向の流体力 f_x は式(2)となる.

$$f_x = \frac{\rho c_b^2 u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2}}{\delta z} - \rho g \frac{\partial z_s}{\partial x} - \frac{\partial dp_b}{\partial x} \quad (2) \qquad \qquad \frac{1}{c_b} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z_b}{k_s} + A_r \right) \quad (3)$$

(1)

式(2)中の c_b は、河床高より下で対数分布を仮定することで、式(3)で与えられる.また、粗度層内の平均圧力は、底面高 z_b での圧力の静水圧成分と非静水圧成分から $\bar{p} = \rho g h + d p_b$ と表した.

図-8(a),(b)は、水衝部 (0)において式(3)を用いた場合と式(3)の第一項のみを用いた場合での粗度層の石礫群に作用する水平方向の流体力の分布とベクトルを示す.急変流となる流入部付近では、粗度層内の圧力勾配が石礫群に作用する流体力として支配的になる.水衝部より下流では、粗度層内の圧力勾配が小さくなり、底面せん断力が流体力の大部分を占める.本検討は、鉛直方向の流体力について考えていないため、河岸の石礫に作用する流体力の評価と流体力の解析結果の妥当性は今後の課題である.

5. 結論

急な水面勾配を有する流入部や河岸近傍では,流 れは三次元構造を持ち,水面は激しい変動を伴って いる.水面勾配の急な場の石礫に作用する流体力は, 底面の圧力勾配が重要となることを示した.

参考文献 1)興石,内田,福岡:護岸水衝部における三次元流 れと河床形状の観測法と解析法の開発,土木学会論文集 B1(水工学),Vol.69,No.4,pp. I_1171-I_1176, 2013.

