

明石高専専攻科 学生員 ○ 青木 智幸

明石高専 正会員 神田 佳一

神戸大学 学生員 岡本 歩

1. はじめに

岡山県旭川下流の洪水対策用放水路である百間川に施工された分流通（二の荒手）は、堰堤下部に図-1に示すような水抜き管を有する水位調節用の広頂堰である。この断面形状は、平成10年、台風の影響による洪水で被災し、その後復旧されたものである。その構造上の特徴から、洪水時に堰下流部において管からの噴流と堰を越流する流れが共存する複雑な流れ場となり、大きな局所洗掘が生じることが予測される。昨年度の研究¹⁾において、堰周辺の流れと局所洗掘特性を実験的に明らかにした。本研究では、実験および数値解析により洗掘穴内の流れ特性を明らかにし、現象の把握を試みるとともに数値計算の有効性について検討する。

2. 実験装置および方法

実験は、長さ6.3m、幅0.8mの長方形断面水路中央部に、表面を平均粒径 $d_1=15\text{mm}$ の玉石で被覆し、下部に内径3cmの塩ビ管を5cm間隔で3本埋設した堰堤模型（図-1）を設置して行った。河床材料には平均粒径 $d_2=0.88\text{mm}$ の珪砂を用いた。実験では河床勾配 $i=1/2000$ とし、流量 10.53 l/s のもとで河床変動が生じる前と変動後の河床形状を測定し、その後河床を固めて流速分布を計測した。

3. 数値解析手法

本研究で用いた一般座標系での平面2次元流れの連続式および運動方程式を次に示す。

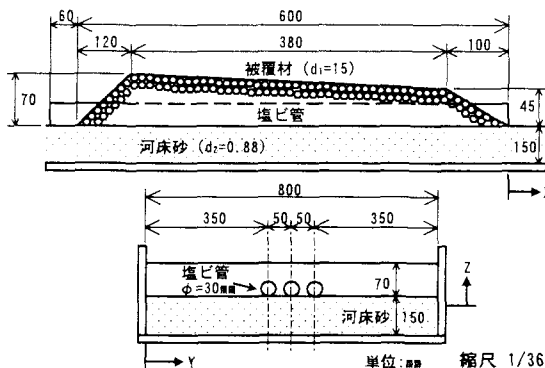


図-1 堰堤模型

[連続式]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{Vh}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

[運動方程式]

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{M}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UM}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VM}{J} \right) = & \\ -gh \left(\frac{\partial \xi / \partial x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta / \partial x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho J} & \\ + \frac{\partial \xi / \partial x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'^2} h \right) + \frac{\partial \xi / \partial y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'v'} h \right) & \\ + \frac{\partial \eta / \partial x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'^2} h \right) + \frac{\partial \eta / \partial y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'v'} h \right) & \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{N}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UN}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VN}{J} \right) = & \\ -gh \left(\frac{\partial \xi / \partial y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta / \partial y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho J} & \\ + \frac{\partial \xi / \partial x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'v'} h \right) + \frac{\partial \xi / \partial y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{v'^2} h \right) & \\ + \frac{\partial \eta / \partial x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'v'} h \right) + \frac{\partial \eta / \partial y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{v'^2} h \right) & \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 h は水深、 U, V は流速ベクトルの反変成分、 M, N は xy 方向の流量フラックス、 z_s は基準面からの水位、 τ_{bx}, τ_{by} は底面せん断応力、 $-\overline{u'^2}, -\overline{u'v'}, -\overline{v'^2}$ は水深平均レイノルズ応力である。

数値解析法として有限体積法を、移流項の離散化には一次精度の風上差分、時間積分には Adams-Bashforth 法を用いた。境界条件として上流端には流量、下流端には水位を与えた。また水抜き管からの流出については、その流量を実験式¹⁾から推定し、それと同様の流量を流し得る断面積の切欠きを堰頂部に3本設けることによりモデル化した。

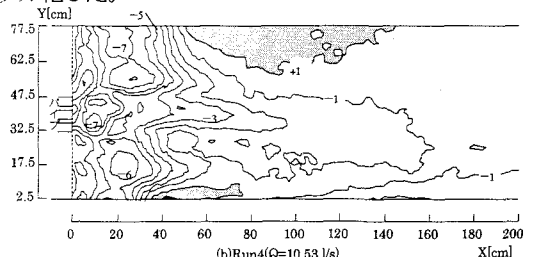


図-2 堰下流の河床変動量

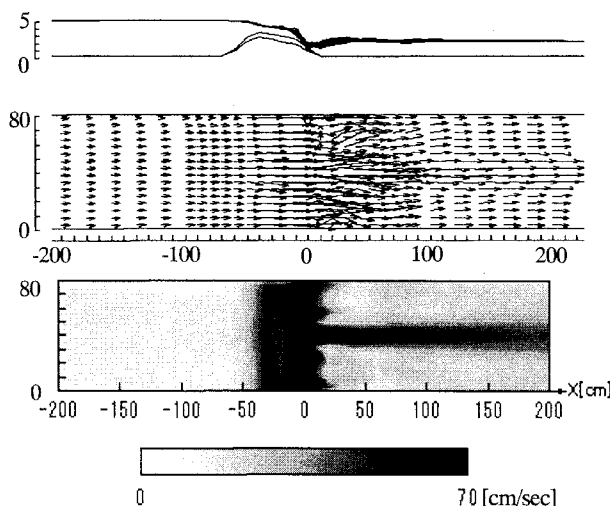


図-3 水面形および主流速分布の計算結果(河床変動前)

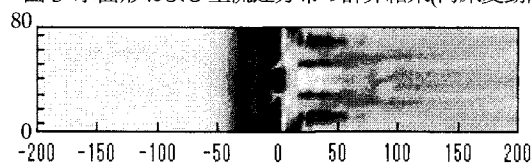


図-5 主流速分布(測定値：河床変動前)

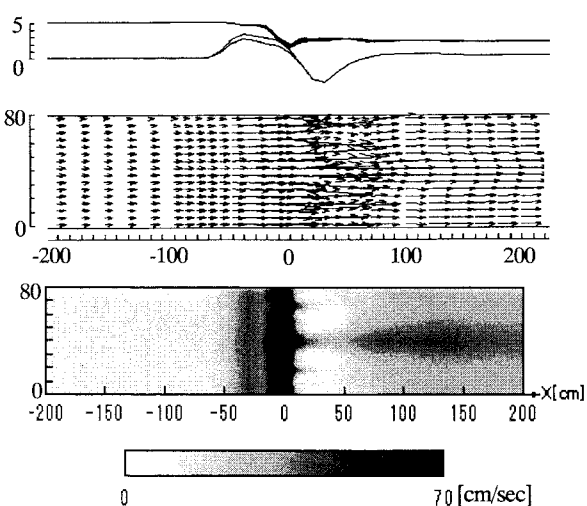


図-4 水面形および主流速分布の計算結果(河床変動後)

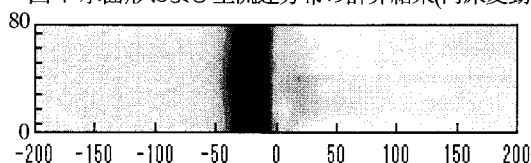


図-6 主流速分布(測定値：河床変動後)

4. 実験結果と数値計算の検討

図-2に通水1時間20分後の河床変動コンター図を示す。水路幅中央部に見られる流下方向に細長い洗掘穴は噴流の影響によるもので、これに加え堰下流側斜面に沿う越流水の影響により堰直下で洗掘穴は水路幅方向へも広がっている。最大洗掘は $X=25\text{cm}$ 、 $Y=50\text{cm}$ で $Z_{\max}=7.6\text{cm}$ であった。

数値計算において与えた河床形状(河床縦断面図)、河床変動前後の流速分布(計算値)をベクトルおよび流下方向成分のみの色の濃淡で示したものが図-3,4であり、流速は鉛直方向に平均化した流速で示している。堰上流では流速はともに 14cm/sec 程度であるが、堰直上で水深の低下より流速は増加し、堰直下でベクトルは左右両岸を向いている。これは切欠き部流れの断面変化に伴い生じ、河床変動が平衡状態になるとこの現象はみられない。水路幅中央の黒筋は切欠きに伴う噴流で、河床変動後では変動前(70cm/sec 程度)の半分以下に減速している。これは洗掘穴の発達に伴い河床付近において逆流領域が発現し、このため代表流速が小さくなったものと考えられる。

図-5,6に示した流速測定結果と計算結果(図-3,4)とを

それぞれ比較すると、河床変動前において埋設された3本の管の内、左右の管からの噴流は $50\sim 70\text{cm/sec}$ に達した。 $X=20\sim 50\text{cm}$ で流速は減少している。これは噴流に越流水が覆いかぶさり流れが乱されたためと考える。また変動後では堰直下の流速がやや増加しているが、噴流による流速の増加は明瞭には見られなかった。洗掘に伴う河床の低下により、全体的に流速は減少した。

特に変動前において、測定結果は流れの複雑性を表し主流速分布は河床変動コンター図と酷似している。計算結果と測定値に相違点も見られるが、概ね実験による堰直下の流速分布を再現できた。今後、管内流量の合理的なモデル化も含めて数値計算の精度を上げる必要がある。

5. おわりに

本研究では、水抜き管を有する広頂堰下流の局所洗掘特性および洗掘穴内の流れ特性について実験的に検討するとともに、数値計算の有効性について言及した。

参考文献

- 1) 神田佳一・青木智幸他：平成15年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，p.Ⅱ-11，2003。
- 2) 長田信寿：水工学における計算機利用の講習会講義集，土木学会水理委員会，pp.61-76，1999。