堰を簡易的に考慮した平面2次元洪水流解析

九州工業大学工学部 学生会員 荒木佑仁・板井勇生 九州工業大学大学院 正会員 重枝未玲 九州工業大学 フェロー会員 秋山壽一郎 九州工業大学大学院 学生会員 大久保剛貴

1.はじめに

近年,我が国では想定外の豪雨による水害が頻発している.効率的な水害対策を講じる上で,河道内の 洪水の過程を的確に予測することは重要であり,そのためには構造物などの抵抗を適切に評価することが不 可欠である.本研究は,河川横断構造物である堰を対象に,その簡易的な取り扱いを組み込んだ平面2次元 洪水流モデルを実験結果及び実河川へ適用し,その再現性を検討したものである.

2. 数値モデルと堰の取り扱いの概要

平面 2 次元洪水流モデルの基礎方程式は,式(1)の2次元浅水流方程式である.同方程式の離散化には,有限体積法,流束差分離法¹⁾を用いた.堰の取扱いは, 堰形状に沿ってメッシュを配置し,堰の河床高を与える方法1²⁾, メッシュを配置せず,セル境界線の情報として堰高Dを与え,*F_x*,*F_y*を,式(2)に示す抵抗係数により求める方法2³⁾, メッシュを配置せず,セル境界線の情報として堰高Dを与え,*ΔH*を式(3)に示すように,段上りと段落ちのエネルギー損失に補正係数をかけて求める方法3⁴⁰の3通りである.方法2と3では,上下流いずれの水位も堰高より低い場合には閉境界条件を与えた.式(2),(3)の記号の定義を図-1に示す.

 $U = (h, uh, vh)^{T}$; $E = (uh, u^{2}h + 1/2gh^{2}, uvh)^{T}$; $F = (vh, uvh, v^{2}h + 1/2gh^{2})^{T}$; ∂U ∂E ∂F (1) $+S_1+S_2+S_3=0$ $S_1 = (0, -gh(S_{ox} + S_{Lx}) + F_x, -gh(S_{oy} + S_{Ly}) + F_y)^T; S_2 = (0, ghS_{fx}, ghS_{fy})^T; S_3 = (q_r, 0, 0)^T;$ '∂x '∂y ∂t [U:保存量ベクトル E,F:x,y方向の流束ベクトル,h:水深 g:重力加速度,u,v:x,y方向の流速, $|S_1: 河床・エネルギー損失勾配・消滅項ベクトル ,<math>S_2: 摩擦勾配ベクトル ,S_3:発生項ベクトル ,$ |S_{ox} , S_{oy} : x , y方向の河床勾配 _{SLx} , S_{Ly} : x , y方向のエネルギー損失勾配, S_{fx} , S_{fy} : x , y方向の摩擦勾配 q_r : 単位面積当りの流入流量 (-:流入,+:流出) $[F_x, F_y: 計算メッシュ内に樹木などの物体群が含まれる場合に付加される<math>x, y$ 方向の流体力項, $F_n = [1/2C_D u_{n1} | u_{n1} | (D - z_{b1})L] \cdot 1/A' \quad \left[u_n = u \cdot n_x + v \cdot n_v; \ F_x = F_n n_x; \ F_v = F_n n_v; \right]$ (2) $\begin{bmatrix} F_n: セル法線方向の流体力, D: 基準面から堰頂までの高さ, Á: 堰の境界線とセル重心で構成されるセルの面積$ $<math>\Delta H = \alpha(\xi \cdot u_{a}^2/2g + \xi_{a} \cdot u_{a}^2/2g) \cdot |u_{a}|/u_{a} \int \xi = -1 + (h_{a}/h_{a})^2 + 2/Fr_1^2 \cdot (-1 + \Delta z_{b}/h_{a} + h_{a}/h_{a});$ $\Delta H = \alpha (\xi \cdot u_{n1}^2 / 2g + \xi_{sd} \cdot u_{n2}^2 / 2g) \cdot |u_n| / u_n$ (3) $\xi_{sd} = -1 + (h_2/h')^2 + 2/Fr_2^2 \cdot (-1 + \Delta z_{b2}/h_2 + h'/h_2);$ [α:補正係数 *h*:堰上での水深

3. 実験結果に基づくモデルの検証

実験装置と測定点の概要を図-2に示す.実験は非定常流で行い,固定 堰上の流れが完全越流状態(CaseA),潜り越流状態(CaseB),完全越流状態 から潜り越流状態に遷移する(CaseC)の3通りを実施した.非定常流は上流 から一定流量Q₁(m³/s)流し,2台目のポンプを計測開始時刻から10秒後に Q₂(m³/s)で稼動させ100秒後に停めることで発生させた.測定項目は水位 H(m),流量Q(m³/s)である.水位についてはビデオカメラで撮影した画像 を解析することで測定した.流量については、発砲スチロール球を流し その動きを撮影し,PTV解析を行うことで1秒平均の水表面流速を求め, log則による水表面流速⁴⁾と水深平均流速⁴⁾との比から水深平均流速を算定 し,これと水位観測で得られる流積により流量を求めた.

解析領域は実験水路のx=0~2.83mの区間であり,方法1では0.001m~ 0.04m間隔の細かなメッシュで堰形状を再現し,その他の区間は0.04~0.1m の間隔の440個のメッシュで,方法2と3では堰の位置をセル境界で再現し, 全区間で0.04m~0.1m間隔の368個のメッシュで分割した. 粗度係数は n=0.011m^{-1/3}sとし,上・下流端には実測流量・水位を境界条件として与えた 抵抗係数及び補正係数は,CaseAの初期流量で水面形を最も再現できる値



計算セル

 $C_D=6.9$, $\alpha=0.78$ とした.ここでは、紙面の都合上、CaseCに基づく検証結果のみ示す、図-4 はCaseCの水面



が高いこと,(3)方法2,3は堰形状を考慮していないため,堰下流の跳水区間の流況が再現できず,約46%の 誤差が出ること,(4)一方で堰による水位上昇は,方法2で12.1%,方法3で6.3%となり,跳水区間の誤差に比 ベ小さくなること,(5)方法2,3は(3),(4)のような誤差はあるが,跳水区間を除く水面形の実験結果を6.3% 程度の誤差で全体的に再現していることがわかる.方法2,3は方法1に比べ49倍程度の計算効率であった. 4、彦山川流域への適用

最後に,方法3のモデルを九州北部豪雨災害で被災した彦山川へ適用し,その実 河川への適用性を検討した.彦山川の概要を図-5に示す.解析対象は彦山川,金辺 川,中元寺川であり,2012年7月14日0時から15日0時の出水を対象とした.堰高に 可動部と固定部,固定部の高さを与えた堰を考慮した解析,堰高0を与えた堰を考 慮しない解析を実施した.補正係数α=0.78,粗度係数には計画粗度係数を用いた. 上流端または残留域や支川上流端からの流入流量については,分布型流出解析モデ ルによる算出流量を,下流端の水位については,中島水位観測所の実測値を与えた

図-6は彦山川の解析ピーク水位の縦断変化と痕跡水位を比較したものである.本 モデルの解析結果は(1)堰を考慮しない解析結果に比べ,堰周辺での予測精度が向上 していること,(2)それ以外の区間でも痕跡水位を平均誤差10%程度の精度で再現し

ていることがわかる.図-7は添田観測所での流 量と水位ハイドログラフの解析結果と実測値と の比較したものである.これらから,堰を考慮 した解析は,(1)三山波形を持つ複雑な流量や水 位ハイドログラフを再現していること,(2)堰を 考慮しない解析に比べ,ピーク流量は若干小さ く評価しているものの,(3)水位ハイドログラフ の再現性は堰を考慮しない解析に比べ全体的に 高いことが確認できる.

5.おわりに

本研究から,堰の取り扱いに方法3を用いた平 面2次元洪水流解析は(1)方法1に比べ,堰下流

の跳水区間で予測精度は若干低下するが計算効率は高く,堰を超える非定 常流を概ね再現できること,(2)複数の堰が設置された実河川での痕跡水位 流量・水位ハイドログラフを再現できることが確認された.

謝辞:本研究は,科学研究費基盤研究(C)(課題番号:16K06515,研究代表 者:重枝未玲)の助成を受けたものである.ここに記して感謝の意を表す. 参考文献)1) Roe, P. L.: Journal of Computational Physics, Vol.43, pp.357-372, 1981. 2) 例えば,重枝未玲ら:土木学会第56回年次学術講演会講演概要集,pp.302-303, 2001.3) 重枝未玲ら:土木学会論文集,No.740/II-64, pp.19-30, 2003.4) 椿東一 郎:基礎土木工学全書6 水理学I,森北出版,p.208,1973.



図-5 彦山川流域の概要



