

構造物群がある場における洪水氾濫流の数値シミュレーション

九州工業大学大学院 学生員 ○重枝 未玲, 小林 俊彦
九州工業大学工学部 正 員 秋山 壽一郎

1. はじめに

洪水氾濫対策を策定する手段として、予測精度の高い洪水氾濫シミュレーションモデルが求められている。そのベースとなる洪水流数値モデルには、氾濫流の挙動に大きな影響を与える構造物や道路網などの配置状況を適切に表現できることが求められる。著者ら¹⁾は、非構造格子による有限体積法および流束差分法に基づき、物体の境界まわりに効率良く計算メッシュを配置できる洪水流数値モデル(以下ではFUF-2DFモデルと呼ぶ)を構築した。本研究は、構造物が設置された氾濫原での洪水氾濫流の水深、流速ベクトルおよび構造物に働く流体力の新たに収集した実験データに基づきFUF-2DFモデルの検証を行ったものである。

2. 実験

実験装置は図-1に示す貯水槽部(長さ1.94m, 幅3.0m)と氾濫部(長さ3.06m, 幅3.0m)より構成される洪水氾濫シミュレーション水槽である。水槽全体は水平に保たれており、貯水槽部と氾濫部の底面はアクリル製である。

洪水氾濫流には、初期条件の設定が正確かつ容易な非定常流である2次元ダム破壊流れを採用した。氾濫部を水の無いドライベッド状態とし、ゲートを瞬時的(約0.1sec)に開放することにより、貯水槽に貯留した水深 $h_r=0.2m$ の水を氾濫部に流出させることで、2次元ダム破壊流れを発生させた。

構造物は幅0.06m, 高さ0.2mのアクリル製の角柱でモデル化し、全国中枢都市における建物占有率が10%から40%であることを踏まえ²⁾、図-2に示すように角柱の中心間隔が0.15mとなるように等間隔に10本設置した。なお、この場合の占有率は16%である。

氾濫流の水深 h および水深平均流速ベクトル U_a の算定は、氾濫部がドライベッド状態であることを踏まえ、以下のような方法で行った。水深 h は、所定の測定点にレーザースリット光を照射することによりウランで着色した水表面を可視化し、水路側方からCCDカメラで撮影した流況のフレーム画像をコンピュータ解析することにより求めた。水深平均流速ベクトル U_a は、1次元ダム破壊流れの実験より得られた $U_a = 0.92U_s$ なる関係³⁾を用い算定した。ここで、 U_s は表面流速ベクトルであり、直径約5mmの発砲スチロール球を多数投入し、水深測定と同一測定点の流況を撮影・収録したそれらの動きをPTV画像解析することにより求めた。水深と流速の測定は図-1中の●で示す測定点a~eで行った。ただし、角柱背後の測定点bでは気泡の混入によって発砲スチロール球の識別が困難だったため、流速測定は行っていない。角柱に働く流体力 D は、図-2に示すA~Fの角柱に2分力計を取り付け算定した。流体力測定のサンプリング間隔は0.01秒、サンプリング時間は30秒である。以上の測定のいずれも実験結果の信頼性を高めるために同一条件下で4回繰り返した。

3. FUF-2DFによる数値シミュレーション

計算領域は、6478個の計算メッシュで分割し、貯水槽および氾濫部の底面がアクリル製であることを踏まえ、Manningの粗度係数は $n=0.01$ とした。壁面と構造物の境界には閉境界条件、氾濫部の開境界には自由流出条件を与えた。水の無いドライベッド状態では水深が0となるため計算不能になる。これを処理するために、極めて小さな水深 h_0 を氾濫原の初期水深として与え、水深が h_0 以下となるセルでの流速を $u=v=0$ とした。ここでは、 h_0 は0.00001mとした。

構造物に働く x および y 方向の流体力 D_x および D_y は、それぞれ $D_x = -\rho \int_{\partial\Omega} 0.5gh^2n_x dL'$ および $D_y = -\rho \int_{\partial\Omega} 0.5gh^2n_y dL'$ で算出した。ここに、 ρ は水の密度、 $\partial\Omega'$ は構造物の境界線、 L' は $\partial\Omega'$ の長さである。

4. 計算結果

紙面の都合上、測定点a, dおよびe, 構造物A~Cの比較についてのみ示す。図-3および図-4は、各測定点における水深と流速の時系列について、計算結果と実験値との比較をそれぞれ行ったものである。水深につ

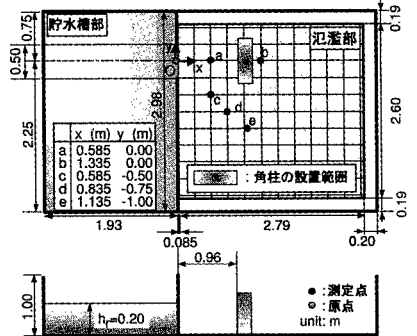


図-1 実験水路と測定点位置

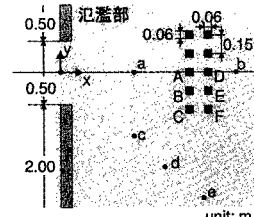


図-2 角柱群の配列状態

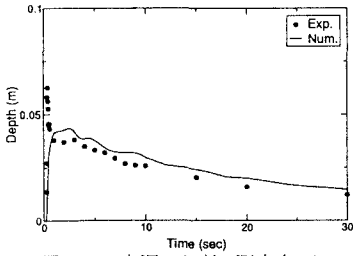


図-3-a 水深の比較 (測定点 a)

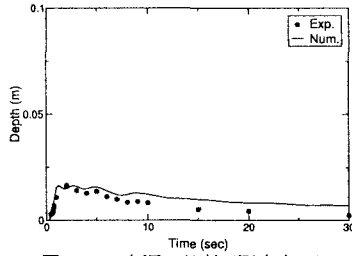


図-3-b 水深の比較 (測定点 d)

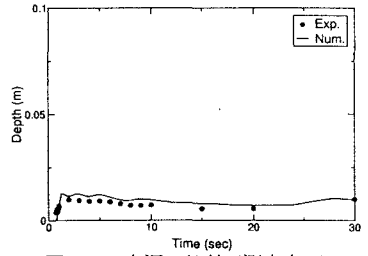


図-3-c 水深の比較 (測定点 e)

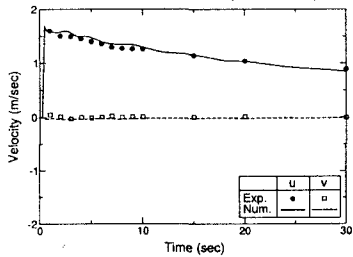


図-4-a 流速の比較 (測定点 a)

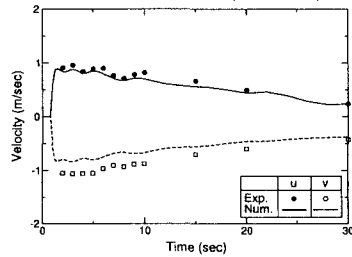


図-4-b 流速の比較 (測定点 d)

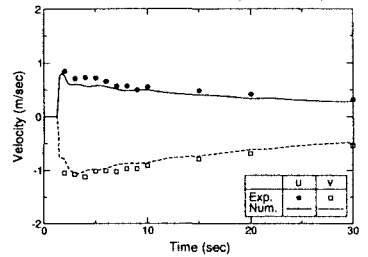


図-4-c 流速の比較 (測定点 e)

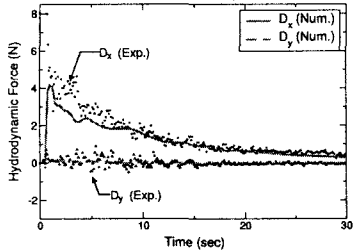


図-5-a 流体力の比較 (構造物 A)

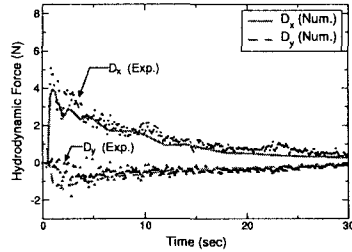


図-5-b 流体力の比較 (構造物 B)

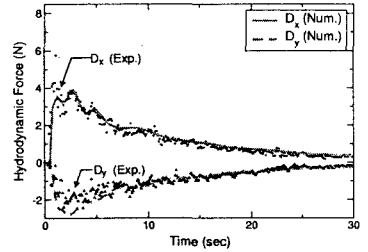


図-5-c 流体力の比較 (構造物 C)

いては、(1) ゲートと構造物群の間にある測定点 a ではゲート開放から約 1 秒間で実験値より小さな値となっているが、それ以降では実験結果はほぼ再現されている。(2) ゲート中心軸から離れた測定点 d および e では若干の差異が認められるが、実験結果がほぼ再現されている。測定点 a の約 1 秒間では水深の再現性に若干の問題が認められるのは、その時間では鉛直方向の加速度の大きな浅水流方程式では記述できない流れが生じているためと考えられる。流速については、(1) 若干小さく計算されているものの、実験値がほぼ再現されている。

以上より、全体的に見れば FUF-2DF モデルが構造物が設置された氾濫原での洪水氾濫流の複雑な挙動をほぼ再現できることがわかる。なお、計算で生じた質量エラーは 10^{-6} % 以下であった。

図-5 は、各構造物に働く流体力の時系列について、計算結果と実験値との比較を行ったものである。これらの結果から、次のようなことがわかる。(1) 構造物 A、B および C での流体力は洪水氾濫流の到達とともに急激に大きくなった後、時間の経過とともに緩やかに小さくなる。(2) ゲート中心軸から離れると D_y の値も大きくなる。(3) 洪水氾濫流の到達時に生じる抗力のピーク値は再現されていないもの、それ以降の時刻では実験値はほぼ再現されている。このことは、洪水氾濫流が構造物に到達した瞬間や到達してから約 5 秒間を除いては、構造物周りの圧力分布が静水圧分布で近似できることを示しており、洪水氾濫流が構造物に到達した初期状態を除けば、FUF-2DF モデルに基づき構造物に働く流体力をほぼ予測できることがわかる。

5. おわりに

本研究では構造物が設置された氾濫原での洪水氾濫流を対象とした水深、流速ベクトルおよび構造物に働く流体力の実験データを得るとともに、それに基づき FUF-2DF モデルの検証を行った。その結果、FUF-2DF モデルが構造物が設置された氾濫原での洪水氾濫流の挙動をほぼ再現できること、FUF-2DF モデルに基づき洪水氾濫流中の構造物に働く流体力についても十分な精度で予測できることがわかった。

参考文献

- 1) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 浦勝, 有田由高: 水工学論文集, 第 45 巻, 2001.
- 2) 栗城 稔, 末次忠司, 海野 仁, 田中義人, 小林裕明: 土木研究所資料 3400 号, 1996.
- 3) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 小林俊彦, 大田和正: 水工学論文集, 第 46 巻, 2002.