

水没/非水没状態となる地形起伏がある場での氾濫流の数値解析

九州工業大学大学院 学生会員 ○重枝 未玲
九州工業大学工学部 正会員 秋山 壽一郎

1. はじめに

氾濫シミュレーションは洪水氾濫対策の策定する上で有効な手段である。氾濫原には、地形起伏や構造物など、氾濫流の挙動に影響を及ぼす要素が多く存在しており、その適切な評価が氾濫シミュレーションモデルには要求される。著者ら^{1),2)}は、非構造格子に基づく有限体積法および流束差分法を用い、少ない計算格子で正確に地形形状を表現できる数値モデル(以下では、SA-FUF-2DFモデルと呼ぶ)の構築を行ってきた。本研究は、氾濫原に存在する要素の中で水没/非水没状態となる地形起伏を取り上げ、その取り扱いを組み込んだSA-FUF-2DFモデルの検証を実験結果に基づいて行ったものである。

2. 実験の概要

実験装置は、図-1に示すような貯水槽部(幅2.98m,長さ0.85m)、越流・整流部(幅2.4m,長さ1.14m)および氾濫部(幅2.4m,長さ2.77m)より構成される洪水氾濫水槽である。整流部から流出部へは幅2.4mから0.5mへ緩やかに絞り込まれている。なお、このような漸縮に際して流れの剥離が生じないように配慮されている。また、氾濫部下流端には刃型堰が設置されている。氾濫部に設置された要素は、地形起伏を表す高さが異なる2種類の物体であり、それらの配置と諸元はそれぞれ図-1に示すとおりである。ただし、その物体は地形特性や想定スケール等を考慮した上でモデル化しているわけではない。これは、本研究の主眼が水没/非水没状態となる地形起伏や物体の取り扱いを組み込んだ非構造格子に基づく数値モデルの基本性能の検証にあるためである。

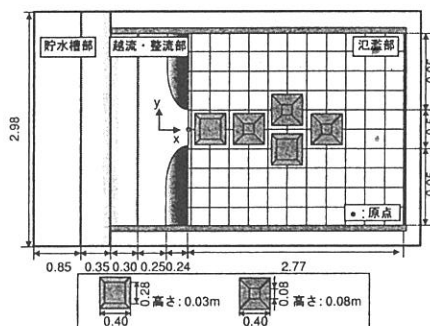


図-1 実験装置および物体群の配列状況

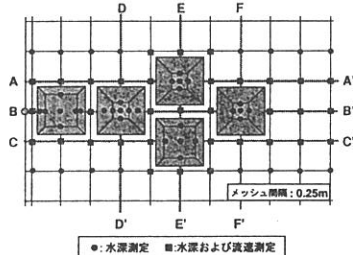


図-2 測定点

実験条件としては、定常状態で流量 $Q=0.0155\text{m}^3/\text{s}$ とし、刃型堰の高さ(0.04m)で氾濫流の水深を調節し、地形起伏の水没/非水没状態を再現した。図-2中に示した測定位置で、容量式波高計により水深 h 、電磁流速計により底面より0.02m上方から水面まで0.01m刻みの x および y 方向の流速 u_x および u_y を測定した。流速 u_x および u_y に基づき水深方向の流速分布を2次曲線で近似し、その積分より単位幅流量を求め、それを水深で除することで、 x および y 方向の水深平均流速 u 、 v を求めた。水深および流速測定のサンプリング時間とサンプリング間隔は、それぞれ50秒0.05秒である。

3. 数値シミュレーションの概要

計算メッシュのサイズを変化させた数値実験に基づき、計算精度と効率を検討した結果、計算領域を3986個のメッシュで分割した。Manningの粗度係数 n は、底面がアクリル板であることを踏まえ、 $n=0.01$ とした。境界条件には、上流端に一定単位幅流量($q=6.5 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{s})$)、下流端に実験より求めた一定水深($h=0.056\text{m}$)、壁面には閉境界条件をそれぞれ与えた。

水深 h が $h_v(=0.00001\text{m})$ 以下であるセルをドライセルとし、これに以下の水没/非水没状態を考慮したドライベッド条件を与えた。ドライセルは、次のように定義される完全ドライセルと部分ドライセルに分けられる。完全ドライセルは隣接するセルの水深 h が全て h_v 以下のセルであり、そこでの水深および流速はそれぞれ $h=h_v$ および $u=v=0$ に設定する。一方、部分ドライセルは、隣接するセルのいずれかが水深 $h > h_v$ となるセルであり、隣接するセルの水位とドライセルの地盤高との高低差に基づき次のように処理する。ドライセルの地盤高より隣接セルの水位が高い場合には、通常通り計算を行う。一方、ドライセルの地盤高より隣接セルの水位が低い場合には、両セルの境界に閉境界条件を与え、ドライセルの水深および流速をそれぞれ $h=h_v$ および $u=v=0$ に設定する。

初期条件として、流速 $u=v=0$ と全ての地形起伏が水没状態となる水位および最も高い地形起伏が非水没状態となる水位の2通りを与えた。いずれ水位でも定常解には有意な差異が認められず、質量エラーは3%以下

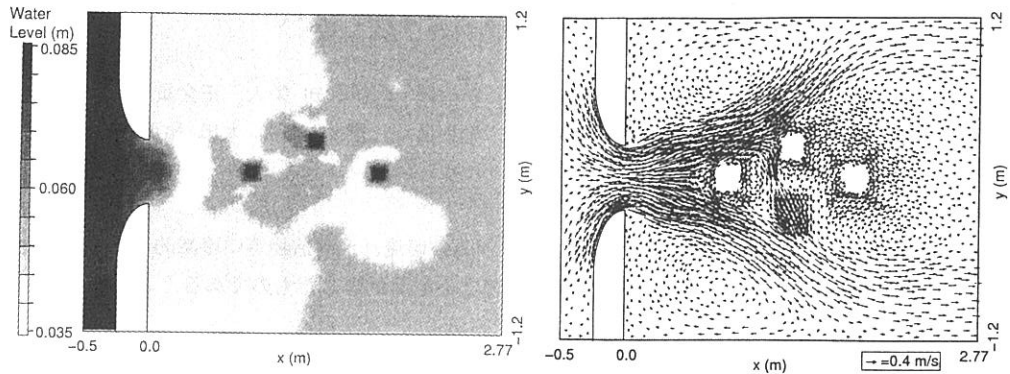


図-3 水深コンターと流速ベクトル図 (水没/非水没混在)

であった。

4. 数値モデルの検証

図-3は、定常状態と切断された時点での数値シミュレーションより得られた水面形状と流速ベクトルを示したものである。これらの図から、図-2に示すB-B'およびD-D'断面の交点を中心とし設置された非水没状態の地形起伏により、流れが2分される様子が確認できる。また、流出部の両端と側壁の間に大きな渦が発生していることも確認できる。図-4は、図-2に示すA-A'からF-F'断面における水面形状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。非水没物体の前面で水位が上昇していること、非水

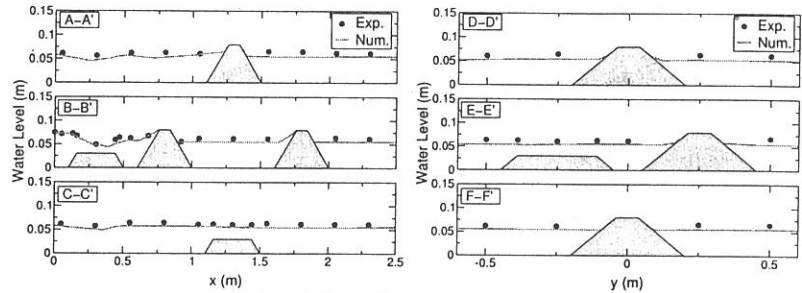


図-4 水位の比較 (水没/非水没混在)

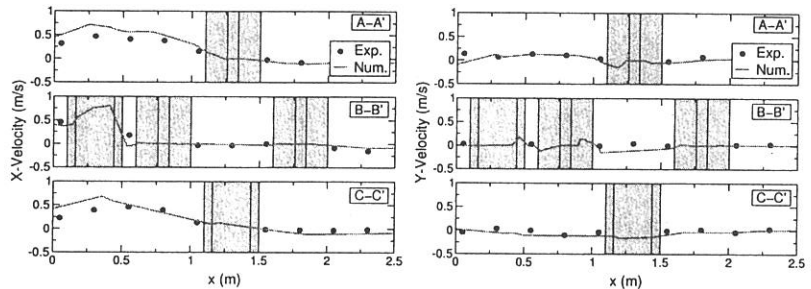


図-5 x , y 方向流速の比較 (水没/非水没混在)

没物体の前面に比べ背後では水位が低下していること、などが確認できる。図-5は、図-2に示すA-A'からC-C'断面における x および y 方向の水深平均流速について比較を行ったものである。なお、図中の影をつけたところは、地形起伏の位置を表している。これらの図から、非水没状態となる地形起伏より上流側では、その下流側に比べ全体的に x 方向の流速が早いことなどがわかる。B-B'断面の流出口付近では跳水が発生したため、 x 方向流速が急激に減速している。本数値モデルにより得られた計算結果は、水深および流速の実験値をほぼ再現している。このことから、SA-FUF-2DFモデルが水没/非水没状態の物体が混在し、そこで常射流混在流となるような極めて複雑な流況を再現できることがわかる。

5. おわりに

本研究では水没/非水没の地形起伏の取り扱いを組み込んだSA-FUF-2DFモデルの検証を実験結果に基づき行った。その結果、SA-FUF-2DFモデルが地盤高勾配を適正に取り扱えること、水没/非水没状態にある地形起伏が存在する場での複雑な洪水氾濫流の挙動を十分な精度で予測できることなどがわかった。

参考文献

- 1) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 浦勝, 小林俊彦: 水工学論文集, 第46巻, 2002.
- 2) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 浦勝: 土木学会論文集, No.705/II-59, pp.31-43, 2002.