

室内実験による洪水氾濫数値計算の妥当性に関する研究

水工学研究室 名古屋 大輔
指導教官 細山田 得三

1. はじめに

わが国では国土の10%が洪水氾濫区域であり、そこに総人口の50%、全資産の75%が集中している。そのため洪水により被害を受けやすい状況にあることがいえる。わが国における近年の洪水災害の特徴として都市域における氾濫が挙げられる。これは、近年の異常気象により治水処理施設レベルを超えた降雨のために、降水を都市域で処理出来ないことが原因である。早急に対策を講じる必要が出てくる。対策としてハード、ソフト両面が求められる。

ソフト対策のひとつである洪水氾濫シミュレーションにより洪水が予測可能になれば、洪水に対する対策や準備が可能になる。その考えから、現在は洪水氾濫に対するシミュレーションは多く存在している。しかし、それらはあくまでシミュレーションであり実験などにより検証はされていない。既往の研究では水害後に洪水の痕跡から最大水深を調べるのが限界であり、洪水流の時間的変化を調べることは困難である。

本研究では、検証が困難な洪水氾濫数値計算に関して、その妥当性を検証することを目的として、模型を使った室内実験を行った。洪水という大規模な自然現象を、小さいスケールで考えることにより模型での実験を可能にした。本論文では、水の広がり方、流速の点から実験値と計算値を比較する。

2. 実験および画像解析

本研究ではマンホールなど地中からの洪水氾濫を想定しているので、その状況になるようにベニヤ板を土台とした実験装置を作り(図-1)実験を行った。ベニヤ板の表面を流れる水を洪水流と仮定し、その挙動をビデオで記録し、時間発展を調べることが目的である。

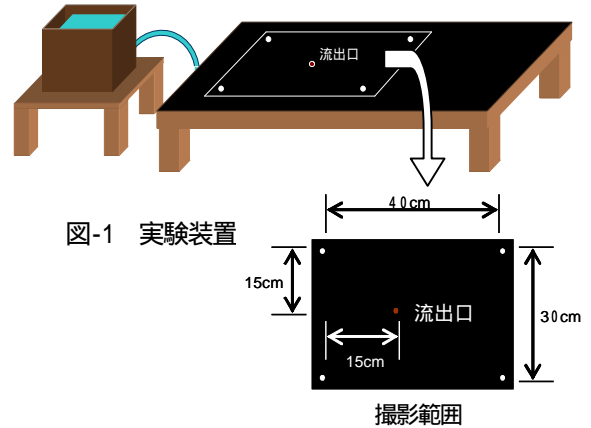


図-1 実験装置

本実験ではベニヤ板上の縦30cm、横40cmの範囲を撮影の範囲とした。ホースから水が流れると板に開けた穴(範囲内の左から15cm、上から15cmの位置、直径7mm)から水が流れ出る仕組みになっている。実験では画像解析しやすいように水に粒子を入れてある。なお撮影時間は実験開始から水が広がりきるまでの8秒間とした。

撮影した様子を以下に示す(図-2)。図上に見えている4つの白い点は撮影範囲であると同時に画像解析の範囲を示す目印である。また白い粒上のものが水の広がりにあわせて無数に確認できる。これは前述した粒子であり、この粒子を時間変化とともに追うことによって画像解析することが可能である。

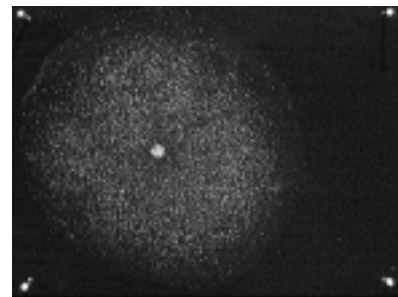


図-2 撮影画像(8秒後)

また、放出される水の流量が100mlのピーカーを満たすのに要する時間から、実験で使用した水の流

量は $18\text{cm}^3/\text{s}$ であると確認することができた。

本研究で使用した流体画像解析ソフトウェア「Flow-vec32」は、一定の時間間隔で連続的に取り込まれた画像から、濃度の情報を利用して流れのベクトル解析を行うソフトウェアである。画像解析によって算出される物理量(水理量)はベクトル座標、速度、角度などであり、これらの空間的分布とその時間発展が時々刻々とファイルとして出力される。

3. 洪水氾濫数値計算

3.1 基礎方程式

数値計算の基礎方程式は、連続式(1)と運動方程式である非線形長波方程式(2)、(3)である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) \\ = -gh \frac{\partial(z^* + h)}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (2) \\ - \frac{gn^2}{h^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) \\ = -gh \frac{\partial(z^* + h)}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad (3) \\ - \frac{gn^2}{h^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned}$$

ここに、 $x, y, M, N, g, t, z^*, h, A_h, n$ はそれぞれ垂直座標、水平座標、 x, y 方向の線流量、重力加速度、時間、地盤高、水深、水平粘性係数、マニングの粗度係数である。また、これら M, N, h の配置は、スタガード格子で定義する。

3.2 冠水域の時間変化に関するアルゴリズム

氾濫計算では冠水域と非冠水域とを判別していく必要がある。その方法として、まず地形の情報を読み込み、各格子点に冠水域かそうでないかの指標を

与える(図-3)。このとき冠水と非冠水域の境界値として水深の最小値を設定することで、フラグging変更の基準とする。すなわち水深が以下ならば0(地盤露出)、 ε 以上ならば1(冠水)とする。

式(1)~(3)で示した基礎方程式は水の運動を支配する方程式であるため、計算は冠水域の格子に対して行う。水が引いていく場合には水深が負の値になる格子が発生する可能性がある。これを補正するために誤差として生じた体積分を線流量に補正線流量として与え、周囲の格子の冠水状態を参考にしながら水深が0になるように調整した。

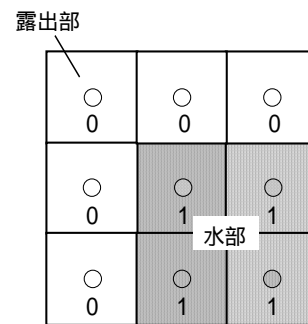


図-3 フラグgingデータの配置
(1が冠水域, 0が露出域)

また、水塊が不連続となり、水位勾配が物理的に意味を持たないと判断された場合、越流公式(4)を用いた。

$$Q = 0.35h\sqrt{2gh} \quad (4)$$

ここで Q は線流量である。以上の方法を時間の進行に伴って繰り返すことにより、氾濫流の伝播を計算することができる。

3.3 計算条件

計算格子は5mmの正方格子で、計算領域は60×80の格子で被覆されており、全体で縦30cm、横40cmの長方形の領域である。洪水波の流入は領域内の1つの格子(30,30)とした。流量は実験の時と同じ $18\text{cm}^3/\text{s}$ 、計算時間間隔は0.0002秒、全計算時間は8秒とした。また計算パラメータは重力加速度 g を 9.80m/s^2 、粗度係数 n を0.030、粘性係数 A_h を $0.1\text{m}^2/\text{s}$ とした。

4. 実験値と計算値の比較

4.1 水の広がり方の比較

実験で得た水の広がり（図4）と、洪水氾濫数値計算で得た水の広がり（図5）を比較したものを図-5に示す（1秒後から8秒後まで各1秒間隔）。図-5は両者の図を4角の目印をもとに重ね合わせたものである。

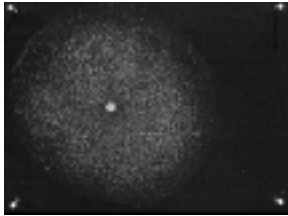


図4（8秒後）

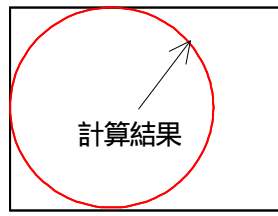
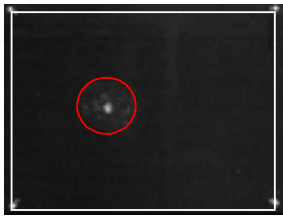
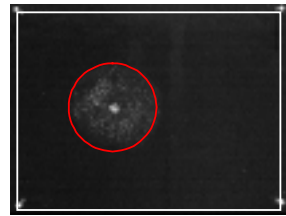


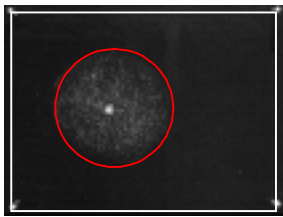
図5（8秒後）



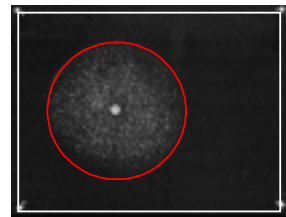
1秒後



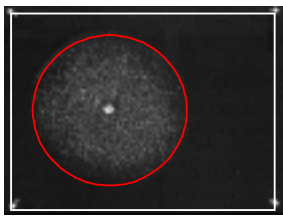
2秒後



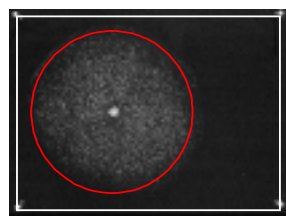
3秒後



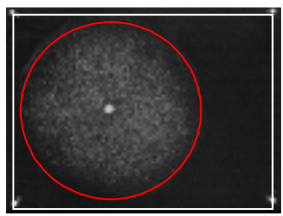
4秒後



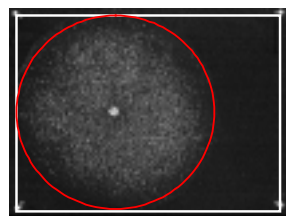
5秒後



6秒後



7秒後



8秒後

図6 水の広がり方の比較

水の広がりに関して、実験値は粒子を計算値は赤い円の広がりを見るとわかる。赤い円の方が大きな広がりをしているように見えるが、実際の水は粒子より広い位置まで流れている。よって、図-6より実験値と計算値の時間と水の広がり方の関係は、一致していることがいえる。

4.2 流速の比較

実験値と計算値の流速を比較した結果を図-8に示す。また、各流速測定地点と水の流出場所の関係は図-7に示す。、、はそれぞれ流出場所からの距離がほぼ同じになるようにとった。また、、より少し離れた地点に、を設けた。この二点も流出場所からの距離はほぼ同じである。本来なら流出場所付近での流速も計測したかったが、実験で値を得ることができなかったのewith以上のように決めた。

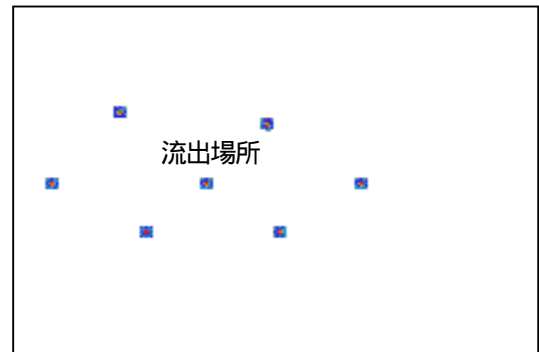
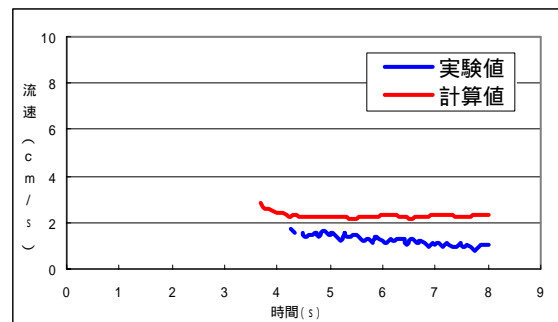


図7 流速計測地点



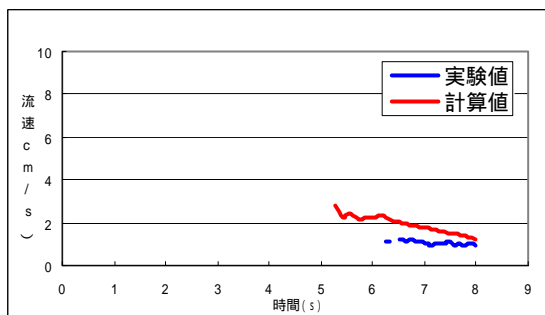
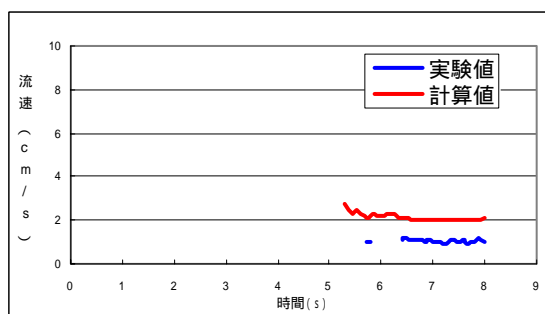
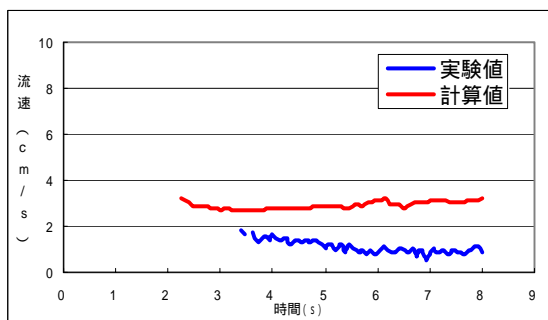
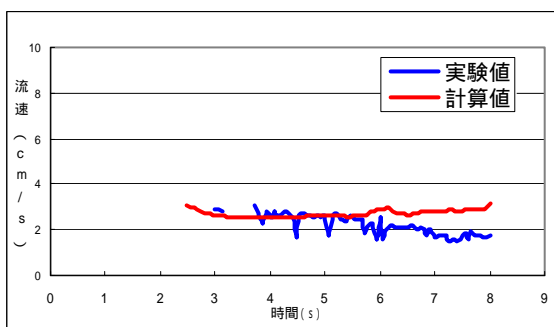
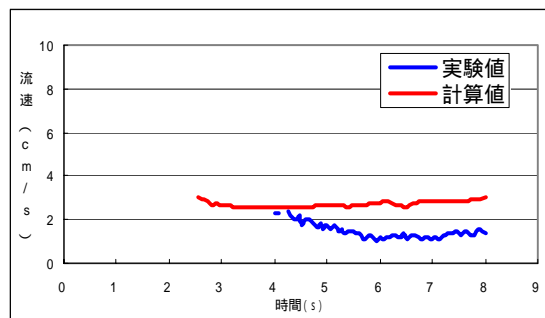


図-8 流速の比較

図-8より流速に関しては実験値と計算値では異なる結果となったことがわかる。実験値のほうが計算値よりも数秒遅れて計測が始まっている。また、 cm/s 、 cm/s 、 cm/s に関して、計算値は一定なのに対し実験値は、時間とともに流速は減少していることがわかる。そこで原因のひとつとして考えられるのは粒子の影響である。つまり、実験値での流速が小さくなった原因は、(1)粒子のために流速が低減した(粒子による流体抵抗)、(2)流体の動きと粒子の動きが連動していない(流体と粒子の間に相対速度がある)だと考えられる。ただし、 cm/s に関しては他の計測地点より流出場所からの距離が長い為、その地点では粒子による影響はないと思われる。しかし、その地点に水が到達するまでに粒子の影響を受けるので結局は粒子による影響があると考えられる。

5. 結論

本研究では、洪水氾濫数値計算を室内実験によってその妥当性を検証した。水の時間的広がり、流速の点から実験値と計算値の比較を行った結果、水の広がりに関しては実験値と計算値が一致するという結果が得られた。しかし流速に関しては、実験値と計算値は異なる値を示した。さらに、実験においては流出地点付近でのデータを計測することができなかった。よって流速に関する今後の課題として、今回私が行った研究とは異なる方法での検証が必要であると考えられる。また、障害物をおくなど実地形を想定した実験での検証も求められる。

参考文献

- 1) 土木学会：水理公式集 昭和60年版 pp.217～218, 1985.
- 2) 岩佐義朗,井上和也,水鳥雅文：氾濫流の水理の数値解析法,京都大学防災研究所年報,第23号, B-2, 1980.
- 3) 細山田得三,早川典生,加納裕美,酒井彩美：微細な地形標高を考慮した都市型中小河川の氾濫数値計算,水工学論文集,第46巻,2002.
- 4) 国土交通省河川局ホームページ：<http://www.milt.go.jp/river/>