

平面2次元水路における流動解析モデルに関する基礎的研究

広島工業大学 正会員 ○石井 義裕
 広島工業大学大学院 学生会員 神原 浩
 広島工業大学工学部 宮本 正和

1. 研究目的

近年, 日本を含め世界で洪水災害が増加している。これにより, 毎年世界各地で多大な被害が発生している。1999年, 2003年の二度にわたり福岡で洪水災害が起こった。これらの水害は従来の水害とは異なり, 地下空間の浸水などによる都市型水害といえる¹⁾。広島の代表的な地下空間として中区紙屋町のシャレオがある。そこで浸水災害が発生した際どのような浸水状況, 被害状況が生じるのか検討する。本研究では平面2次元水路における浸水の時間経過に伴う, 浸水状況を数値計算によりシミュレートする。

2. 数値シミュレーションの概要

本研究では解析ソフトウェア CFD2000 ((株) CAE ソリューションズ) を使用する。これにより空気と水の境界である自由表面(水面)を含む水の流れを解析する。

支配方程式は, 質量保存則[式(1)], 運動量保存則[式(2)], エネルギー保存則[式(3)]を用いる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = S_{m,p} \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho B_i + S_{u_i,p} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho H)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i H)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\kappa}{C_p} \frac{\partial H}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \Phi + Q + S_{H,p} \quad (3)$$

ここで, ρ は流体の局所密度, t は時間, u_i は流体速度の*i*成分, x_i は位置ベクトルの*i*成分, $S_{m,p}$ は任意の数の源からの流体への質量移動の単位体積あたりの割合, B_i は流体に働く体積力の*i*成分の単位体積あたりの大きさ, p は局所的な熱力学的圧力, $S_{u_i,p}$ は運動量の生成吸収項, τ_{ij} は粘性応力カテンソル, H は局所的な密度で平均化された静的な流体のエンタルピー, Φ はストークスの分子散逸関数を表す。支配方程式の結合系の解を得るためにPISOアルゴリズムを用いる。

3. 解析モデル

流速条件が異なる2つのCaseで数値シミュレーションを行う。解析モデルの構築手順は以下の通りである。

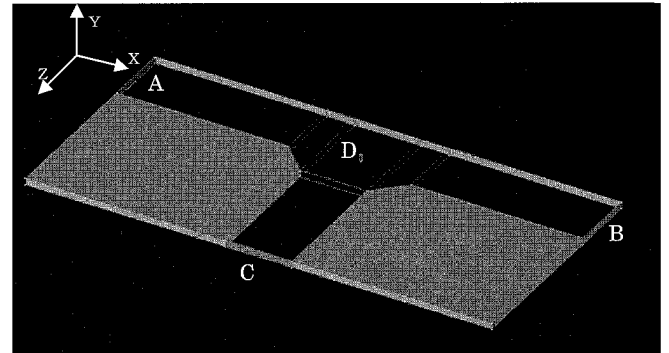


図1 幾何モデル

①相似則

幾何的相似としてはモデルの大きさを実寸の1/10縮尺にした。力学的相似としてはフルード相似を用いて流速等を設定した。

②計算モデル

平面2次元水路として図1に示すT字路を計算領域とし, 物体適合座標により作成した。このモデルは図1に示す座標軸方向に $5 \times 1 \times 2 = 10$ の格子からなる。モデルの大きさはX軸方向に23.1m, Y軸方向に0.3m, Z軸方向に11.1mである。

③格子データの作成

モデルはX軸に平均5cm刻み462メッシュ, Y軸方向は30cm刻み1メッシュ, Z軸方向に平均5cm刻み222メッシュ, $462 \times 1 \times 222 = 102564$ メッシュで構成する。平面2次元モデルとするためY軸方向のメッシュ数を1とする。

④解析条件

解析条件は層流とする。

⑤流体条件の設定

空気(300k, 1atm)中に水(300k)を流すこととする。

⑥境界条件の設定

流入口を図1のA($X=0m$, $Z=0 \sim 3.3m$)に設置する。Case1は広島市中区の洪水ハザードマップの想定水深より実スケールでの流入速度 $V_p=2.49m/s$ を求め, フルード相似によりモデルにおける流入速度 $V_m=0.789m/s$ とする。Case2では $V_m=5m/s$ とする。

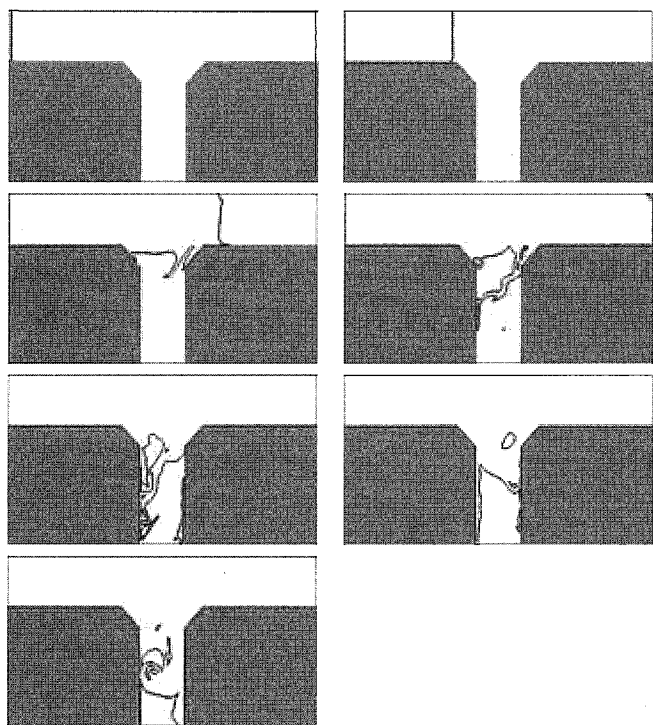


図2 Case1の経時変化(10s毎に表示)

流出口を図1のB($X=23.1\text{m}$, $Z=0\sim 3.3\text{m}$)とC($X=9.9\sim 13.2\text{m}$, $Z=11.1\text{m}$)の2カ所に設置する。VOFは、水が制約を受けずに流入出できるように設定する。

⑦時間ステップの設定

Case1は全計算時間90s, 時間刻み $\Delta t=0.001\text{s}$ とする。
Case2では全計算時間10s, 時間刻み $\Delta t=0.0001\text{s}$ とする。

Case1とCase2の計算条件を表1に示す。

表1 計算条件表

	$V\text{m(m/s)}$	$\Delta t\text{(s)}$	全計算時間(s)
Case1	0.789	0.001	60
Case2	5	0.0001	10

4. 計算結果

Case1の計算結果を図2に示す。計算開始後(0s)から60s後まで10s毎にVOF=0.08の面を水面と表す。
Case2の計算結果を図3に示す。計算開始後(0s)から8s後まで1s毎にVOF=0.08の面を水面と表す。

5. 考察

図2, 図3よりCase1, Case2共に直進方向であるX方向に進む水の流が早いことがわかる。本研究では2種類の流速でしか計算を行わなかったため流速と水の広がりについて十分理解することができなかった。そのため同じ条件で様々な流速で計算する必要があると考えられる。

6. 結論

1) 今回の研究で自由表面を含む基礎的数値シミュレーションモデルの構築に成功した。しかし, T字路での

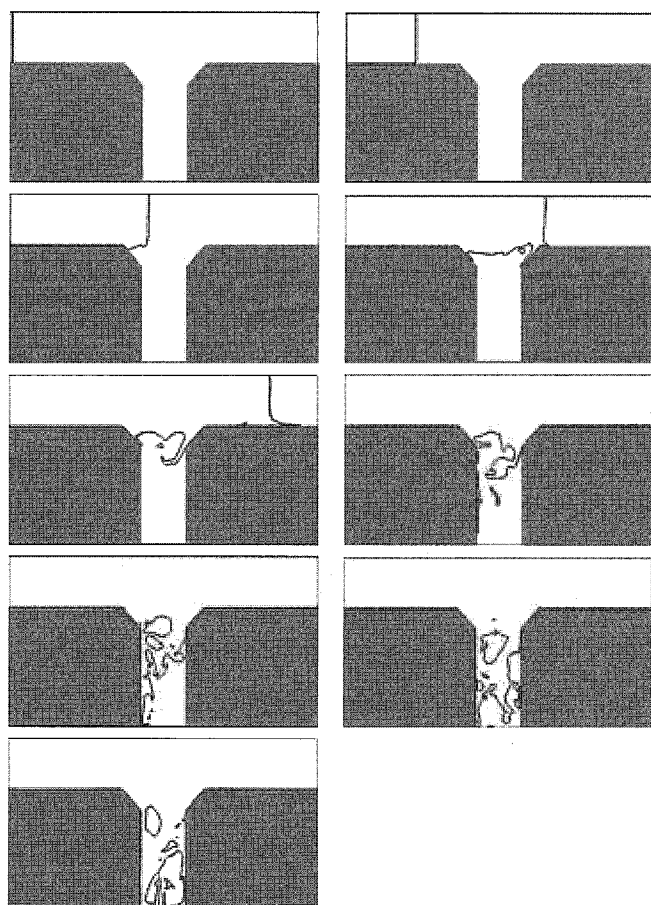


図3 Case2の経時変化(1s毎に表示)

水の広がり方は萬條²⁾の行った実験結果と比べて理想的な結果が得られなかった。メッシュ数や流入量の最適化が本研究の進展に必要であると考えられる。

2) 水が流出口Bまで到達するにはフルード相似により求めた実時間で約1分30秒しかかからない。それに比べ水が流出口Cまで到達するのに3分以上かかっている。今回の流入を想定した場合このことから図1のD地点にいる人はX軸方向(流出口B)に避難するのではなくZ軸方向(流出口C)に避難の方がより安全であるといえる。

3) 平均流速に直すとX方向に進む水は2.43m/s, Z方向に進む水は0.84m/sである。歩くスピードより少し速い程度だが実際は多くの出入口から浸水し流速も速くなると考えられる。

参考文献

- 1) 井上和也; 地下空間での水害 福岡水害から学ぶ, http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/kyodo/kyodo12/12s-2/pdf/inoue.pdf
- 2) 萬條敬太: 広島市中心部における氾濫水挙動に関する基礎的実験, 平成18年度広島工業大学卒業論文, 2007