

長岡技術科学大学大学院

酒井 彩美

長岡技術科学大学環境・建設系 正会員 細山田得三

長岡技術科学大学環境・建設系 正会員 福嶋 祐介

長岡技術科学大学環境・建設系 フェロー 早川 典生

1. はじめに

洪水氾濫による水害は毎年のように発生し、人命に関わる甚大な被害が発生している。このような水害による被災を軽減するためには、氾濫域の予測を行い、日常的に防災意識を高めておく必要がある。そのため、各自治体では氾濫流シミュレーションによってハザードマップを作成し、水害の危険性についての情報公開しようとする動きがある。しかしながら、洪水・氾濫流に関するシミュレーションは、冠水域と露出域とが計算領域内に分布するため計算が複雑である。また、現在広く行われている種々の計算は格子間隔が広く、解像度が十分ではない。近年では 50m 程度の解像度の高い地形情報が公開され、それらに応じた高解像度の数値シミュレーションが可能になると予想される。本研究では、長波方程式に基づく氾濫を計算する簡便なアルゴリズムを改めて作成し、従来適用されているものよりかなり細かいメッシュで計算を行って、氾濫流の動的挙動の特性を調べた。

2. 数値計算法

2.1 基礎方程式

数値計算の基礎方程式は、以下の連続式(1)と運動方程式である非線形長波方程式(2)、(3)である。ただし水塊が不連続となった場合、次節で述べる越流公式を用いた。

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

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

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

ここに、 x 、 y 、 M 、 N 、 g 、 t 、 z^* 、 h 、 A 、 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、粘性係数、マンニングの粗度係数である。これら M 、 N 、 h の未知量は、図-1に示すようなスタガード格子で定義する。

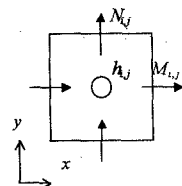


図-1 未知量 M 、 N 、 h の格子内の配置

2.2 冠水域の時間変化に関するアルゴリズム

まず地形の情報を取り込み、冠水域を判別するために図-2のようなフラグgingデータを用意する。基礎方程式(1)~(3)による計算は、冠水域と判定された領域に対してのみ行う。ただし、基礎方程式(1)は露出域と判定された格子についても計算するので、冠水域と露出域は時間的に変動する。冠水域から露出域に変わる場合には、水深が負の値になる格子が発生する。これを補正するために、周囲の格子の冠水状態を参照しながら水深が0になるように線流量を調整した。また、水塊が不連続となり、水位勾配が物理的に意味をもたないと判断された場合には越流公式(4)を用いた。

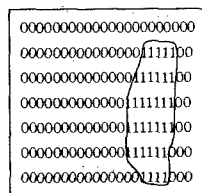


図-2 冠水域の判別に用いるフラグging用データ
(1が冠水域、0が露出域)

キーワード：氾濫流 数値計算 非線形長波方程式 越流公式

連絡先 : 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 tel. 0258(47)9621

$$M, N = 0.35h\sqrt{2gh} \quad (4)$$

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。

2.3 境界条件

本研究では実地形を用いず、仮想的に作成した4つの地形 (A~D) に対して1点 (ポイントソース) から放出される洪水氾濫の計算を行った。計算格子は一辺が50mの正方格子で、計算領域は100×100の格子で被覆されており、全体で5km四方の地形である。ケースA~Dはそれぞれ水平な平面、x軸方向に千分の一、y軸方向に2万分の一の勾配を持つ斜面、勾配かつ障害物 (0.5mの隆起) がある斜面、勾配かつ0.5mの溝のある斜面である。計算時間間隔は0.1秒であり、全計算時間は2時間である。なお、放出点では流量ではなく、一定の水深を与えることで放出とした。

3. 結果

図-3~6はそれぞれのケースにおける地形の鳥瞰図及び30、60、120分後の水深を示す。ケースAは傾斜がないため同心円状に広がり、壁面に到達後は通りぬけることができず壁に沿って流れている。ケースBでは、斜面の勾配に沿って流れていることがわかる。ケースCは一旦障害物の前で溜まり、障害物を超える水量になると越流している。ケースDは溝に落ち込み、その中を流れたあと溢れ出している。以上の結果より、ポイントソースから氾濫する流れについて微細な地形の影響を受けながら広がる様子が定性的に問題なく表現できることがわかった。

4. まとめ

本研究では長波方程式に基づいた計算アルゴリズムを構築し、氾濫流の動的挙動を把握した。特に微小な地形変化に応じた氾濫流の挙動が精度よく計算できる可能性を示すことができた。ただ、現時点では計算結果の妥当性を検討するためのデータがない。実験や衛星データ等を利用した実際の現象との比較、妥当性の検証が今後の課題である。

今回の計算は簡略化した地形に対して、一箇所からの流出の動向を解析する計算にとどまったが、今後は降雨や蒸発散の影響、底面への浸透等を取り入れた解析や実際の地形データを用いての計算を行っていく予定である。

参考文献

土木学会編：水理公式集、昭和60年版

pp.217~218、1985

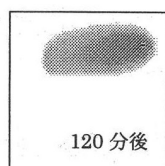
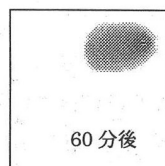
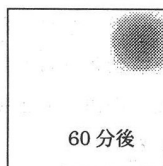
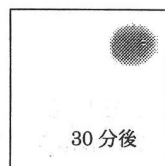
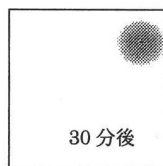
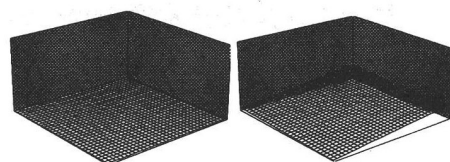


図-3 A (水平)

図-4 B (勾配あり)

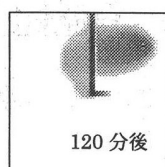
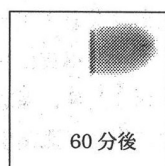
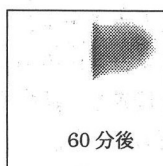
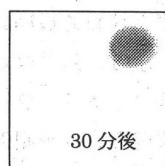
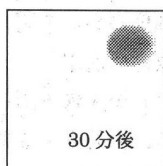
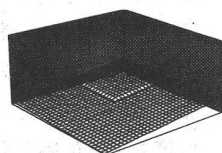
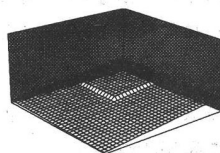


図-5 C (勾配、障害物)

図-6 D (勾配、掘削)

