

微細な地形情報を考慮した氾濫流の数値計算

水工学研究室 酒井 彩美
指導教官 細山田得三

1. はじめに

わが国における近年の洪水災害の特徴として身近な中小都市河川からの氾濫が挙げられる。このような河川は、都市化が進んだ市街地を流れるため河川改修が困難であり、その対策として数値シミュレーションに基いたハザードマップの作成などが考えられる。しかし従来行われている数値計算では格子間隔が広いと解像度が悪く、都市域の中小河川を解像できるものは少ないのが現状である。

そこで本研究では、より解像度の高いシミュレーションの開発を目的として、氾濫流を計算するアルゴリズムを構築した。本論文では、氾濫流の計算の定性的な妥当性を確認するためいくつかのモデル地形に対して計算を行った結果を示す。精度の高い計算を行うためには、さらに標高などの地形情報を取得する必要がある。ここではその作成法を考案し、長岡市中心部を流れる柿川を対象とした結果について報告する。

2. 数値計算法

2.1 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。

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

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

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

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、マンギ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。

2.2 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（地盤露出域）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-1）。このとき冠水と地盤露出の境界値として水深の最小値（ここでは便宜的に0.0001mとした）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）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

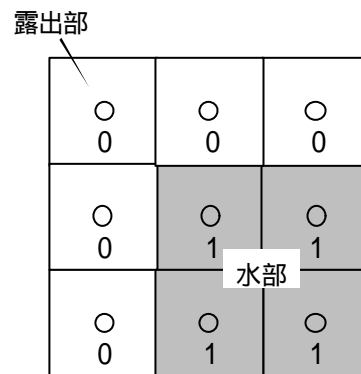


図-1 フラグgingデータの配置
(1が冠水域、0が露出域)

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。

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. モデル地形への適用

作成した氾濫計算モデルを用い、仮想地形を対象に計算を行った。氾濫は領域内の1つの格子から発生させたものである。

3.1 計算条件

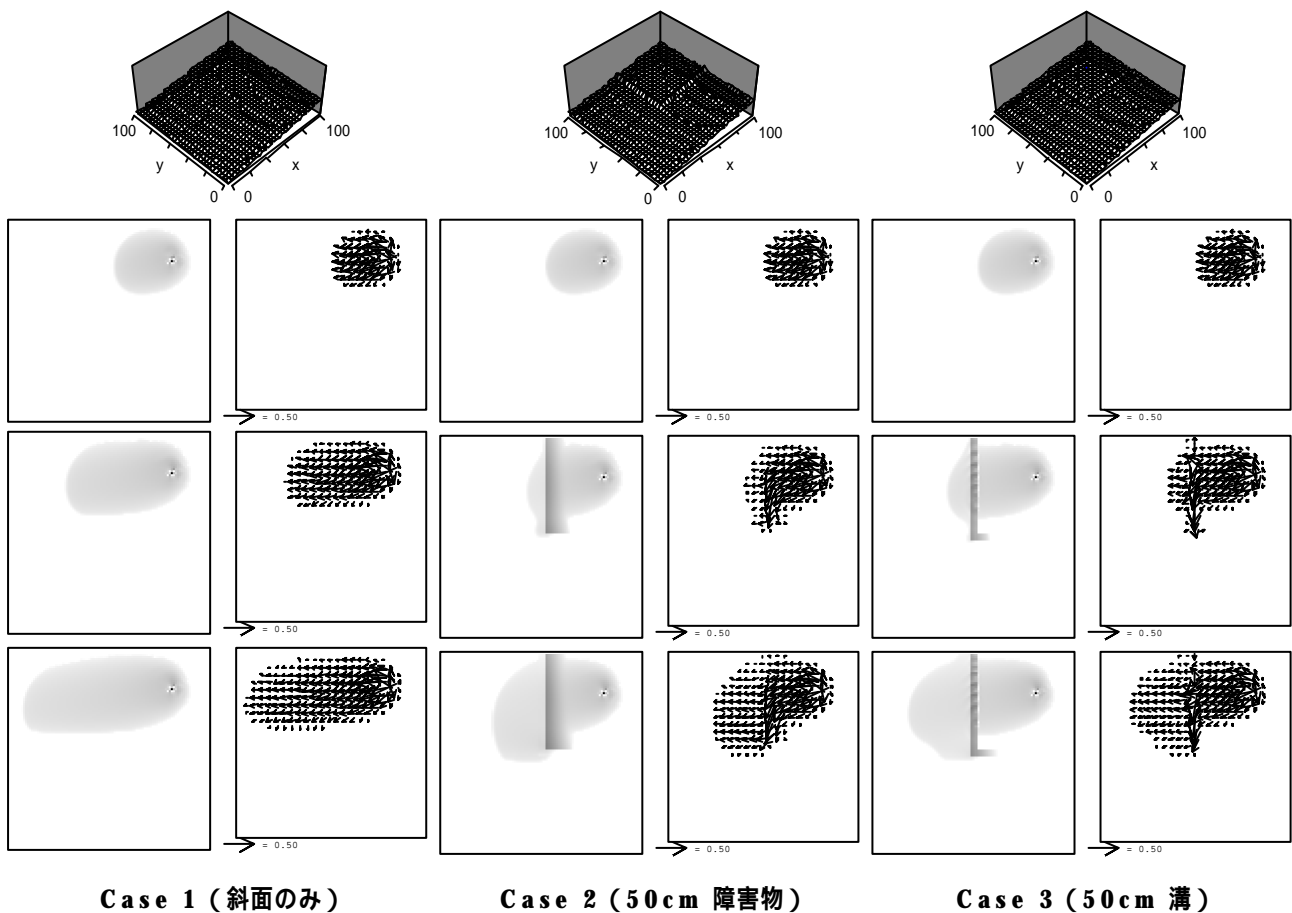
計算格子は一辺が50mの正方格子で、計算領域は100×100の格子で被覆されており、全体で5km

四方の領域である。洪水波の流入は領域内の1つの格子(80,80)とし、一定の水位を与えることで水位勾配をつけて流入させた。計算時間間隔は0.1秒、全計算時間は90分とした。また計算パラメータは重力加速度 g を9.80 m/s²、粗度係数 n を0.015、粘性係数 A_h を0.1 m²/sとした。

地形データとしては、1/1000の勾配を持つ斜面(Case1)、斜面に50cmの障害物を設けたもの(Case2)、斜面に50cmの溝を設けたもの(Case3)の計3ケースとした。

3.2 計算結果

図-2にそれぞれのケースの結果を示す。一点から流出した水は左方向に流れる。各ケースとも左方向に1/1000、下方向に1/20000の勾配がついており、斜面に沿った流れといえる。Case2では、一旦障害物の前で貯留しており、またCase3では溝の中を流れることがわかる。以上より、今回作成した氾濫計算モデルは地形情報を反映した計算ができるということがわかった。



Case 1 (斜面のみ)

Case 2 (50cm 障害物)

Case 3 (50cm 溝)

図-2 水位変化と流量ベクトル(30,60,90分後)

4. 実地形への適用

作成した氾濫計算モデルを実際の地形に適用させた。計算対象地域は長岡市中心部を流れる柿川周辺とした。この地域は洪水発生頻度確率が1/2年であり、長岡市において最も洪水氾濫に対する危険度が高い。また市街地に隣接し地下利用も活発で、洪水災害に警戒を要する領域である。

4.1 地形の作成

詳細な氾濫シミュレーションを行うためには、計算格子に対して地形データを入力する必要がある。このため柿川流域の標高と、道路、街区、河道といった土地利用状況をデジタル化する作業を行い、計算格子の指標に用いた。

標高データの作成には長岡市土木部下水道管理課により保存されている「長岡市公共下水道台帳施設平面図」を用い、長岡市全域に設置されたマンホール蓋の標高値 (cm 単位) を利用することにした。また、土地利用状況データは「1:2500 国土基本図」を用いて作成した。作成した計算対象地形を図-3に示す。

4.2 計算条件

計算領域は東西 360m、南北 220m であり、計算

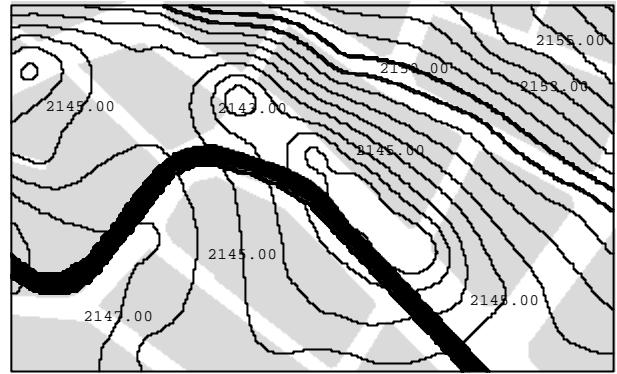


図-3 計算対象地形 (cm)
(黒線は柿川、灰色は街区、白色は道路)

格子サイズは 1.0m である。初期条件として河道内部で 1.5m の水深とし、それ以外の領域では水位 0 とした。計算領域の河道の上流で洪水の入射境界条件として水位変動を与えた。計算パラメータは前に示したものと同一とした。

4.3 計算結果

図-4 に氾濫開始からの冠水域の時間的な広がりを示した。これらの時間間隔は 2.4 分である。図中 A 点近くの柿川の右岸側から氾濫が始まっていることがわかる。氾濫流は左岸よりも右岸側に多く発生しているが、これは長岡市土木部の職員への聞き取

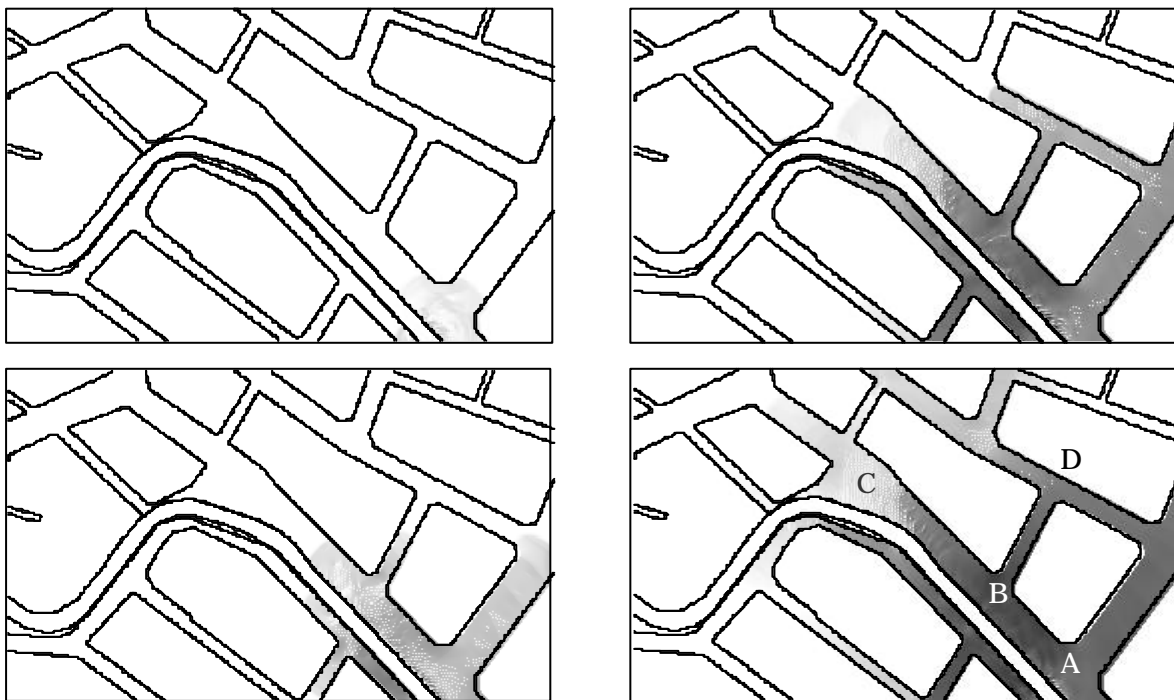


図-4 河道から市街地へ進行する氾濫流の水位分布

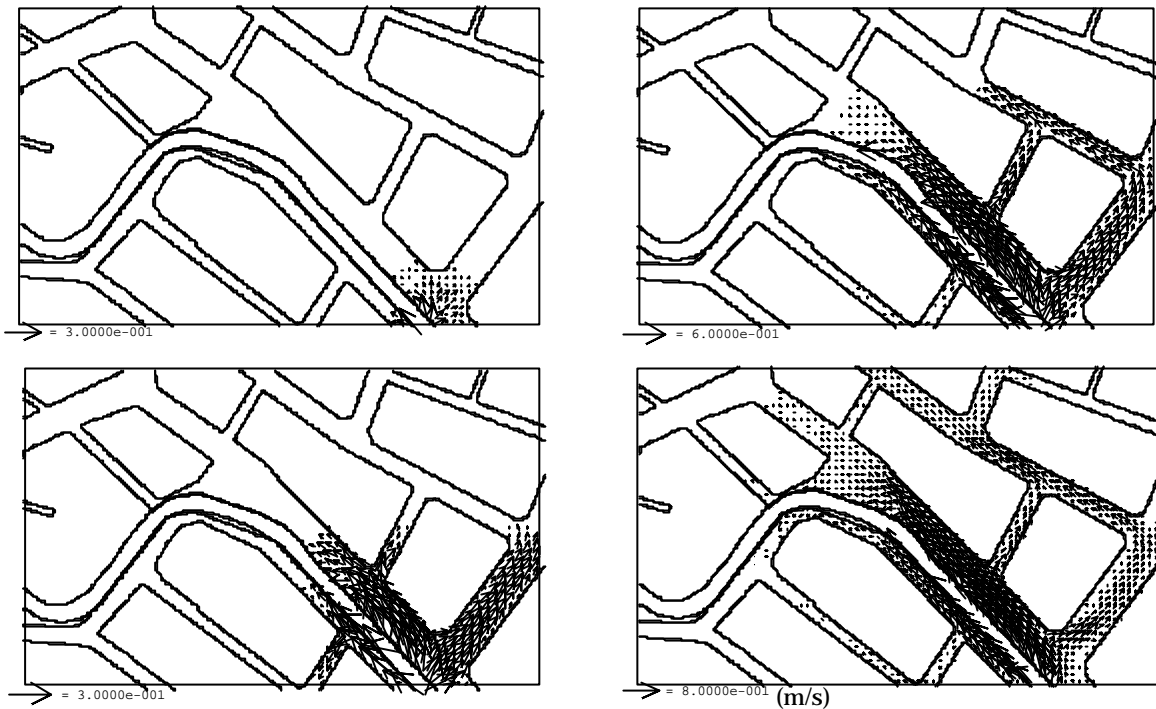


図-5 河道から市街地へ進行する氾濫流の流量ベクトル

り調査と一致している。右岸側の氾濫流は、道路に沿って進行しているが、地形勾配に応じて氾濫の進行が変化している。A点からB点方向に向かう河道に平行な道路の方がA点から河道に直行している道路よりも氾濫流の進行が早い。B点付近は図-3によると最も標高の低い領域であり、氾濫流の挙動が標高に強い影響をうけていることがわかる。B点での水位は計算の全体を通して常に高い値を保持している。

図-5には氾濫流の線流量ベクトルを示している。なお、柿川の河道内部の線流量ベクトルは氾濫流に比べてかなり大きいため示していない。氾濫源のA点では、はじめ早い線流量となっているがA点からB点に向かう間で道路に平行な方向にかなり強力な線流量が生じている。この領域以外では、D点付近でもある程度の強い線流量となっている。C点付近では、あまり強い線流量ベクトルではなく、C点に到達する前に河道へ戻る流れも一部見られるようである。

5. 結論

本研究では非線形長波方程式を用いて氾濫を計算するアルゴリズムを構築し、従来行われているシミ

ュレーションより格子サイズを細かくして計算を行った。さらに、柿川流域を対象にマンホール標高データと縮尺 1/2500 の地図から解像度の高い標高データと土地利用状況データを作成し、それを用いて格子間隔 1m、高低差数 cm で氾濫流の計算を行った。これらの結果より、詳細な地形情報を反映した氾濫シミュレーションの可能性を示すことができた。

ただ、今回の計算では妥当性を比較する定量的なデータが得られていないため、定性的な判断のみの留まっている。室内実験や過去の被害状況との比較による検証を行い、信頼性の高いシミュレーションにするのが今後の課題である。また下水管路網からの雨水の氾濫も計算できるプログラムに発展させていく予定である。

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) 長岡市土木部：信濃川水系柿川改修状況現況および浸水状況写真。