

詳細な地形情報を考慮した氾濫水の挙動に関する数値実験

水工学研究室 加納 裕美

指導教官 細山田 得三

1. はじめに

近年多発している「都市型水害」は、排水処理能力を上回る集中豪雨、中小河川の氾濫、内水氾濫による浸水、地下空間の浸水、都市機能の麻痺、莫大な被災者数と被害額、という特徴を持つ新たな防災上の課題となった。平成13年6月には水防法が改正され、洪水予報を出す河川を都道府県管理の中小河川にも広げ、指定された河川は、氾濫時に浸水が見込まれる区域とその深さを公表することを義務付けられた。

特に、都市型水害における内水氾濫による浸水は深刻であり、これらは整備水準がいまだに低い都市河川、中小河川、下水道が原因にある。しかし、既に都市化が進んでしまった密集市街地では河道整備・遊水池の整備などいわゆるハード面だけの洪水対策に限界があり、ソフト面での対策を強化していく必要がある。中でも、ソフト面ではハザードマップの作成が住民の避難行動、行政側の危機管理の双方に有効であることが分かっている^{1.)}。また、国土交通白書によると『業績測定のための業績目標(平成13年8月決定)』として洪水ハザードマップ認知率を平成12年4%から平成18年までに70%まで引き上げることを目標に掲げている^{2.)}。このように、洪水の影響予測に対する社会的ニーズは増加していると言えよう。

しかし、現在作成されているハザードマップは大規模な一級河川を対象としていることが多く、市街地を流れる中小河川を対象としたものは少ないというのが現状である。また、川幅数メートルの洪水氾濫シミュレーションを数百メートル解像度のハザードマップで評価することは困難である。加えて、洪水ハザードマップに示される予想水深は越流や破堤による外水氾濫を対象としたものであり、都市型の水害に多く見られる内水氾濫は考慮されていない。このような点でも、ハザードマップ、特に洪水氾濫シミュレーション技術にはいくつかの課題が残っている。

これらの背景を踏まえ昨年の研究では、マンホール標高データと住区データから新潟県長岡市中心部のDEMを作成し、微細な地理情報を考慮した洪水氾濫シミュレーションが可能であることが分

かった^{3.)}、^{4.)}。本研究では、排水路網の流れを考慮したモデルを構築し、内水による浸水をも考慮した氾濫シミュレーションを行うことを目的としている。

2. 排水路網の流れのモデルの構築

(1). 基礎方程式

基礎方程式として、以下に示す連続式と開水路非定常流れの運動方程式を用いる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Av}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) = \sin\theta - \cos\theta \frac{\partial (z^* + h)}{\partial x} - \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} \quad (2)$$

ここで、 x は水平座標、 t は時間、 v は流速、 g は重力加速度、 h は水深、 z^* は地盤高、 A は流積、 R は径深、 α はエネルギー補正係数、 n はマンシングの粗度係数である。

(2). 管路網でのモデル

平面二次元における計算では、図-1.のようなモデルを考える。図中、丸はマンホール、太線は管路を示す。

まず、マンホール、管路それぞれに番号を付け、それらの相互のつながりを表すデータを作成する。また、それぞれの管路について、両端のマンホールの番号・管路幅・管路高さを管路のデータとして作成する。そして、それぞれのマンホールについても、座標値・標高値・マンホールの面積・マンホール蓋の高さから管路床までの長さすなわち鉛直方向最大長さ、並びに流出・流入条件をマンホールのデータとして作成する。ここで、流出・流入条件については、流出に0、流入でも流出でもない点においては1、流入に2という指標を与え判断した。

計算では、これら3種のデータ群を読み込むことにより、マンホール・管路の相互の位置関係、並びに幾何形状を定義する。その上で、まず各々の管路について平均流速と平均流量を求め、そし

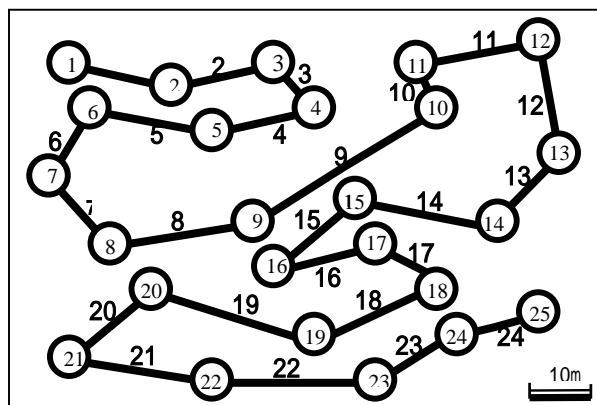


図-1. 管路網のモデル

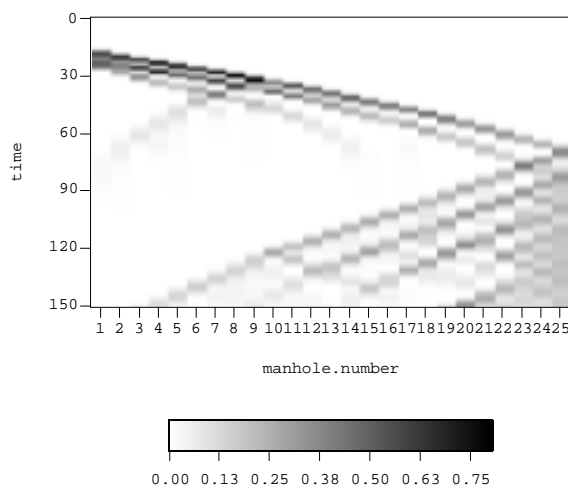


図-2. 各マンホール地点における水深の時間的変化

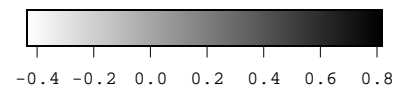
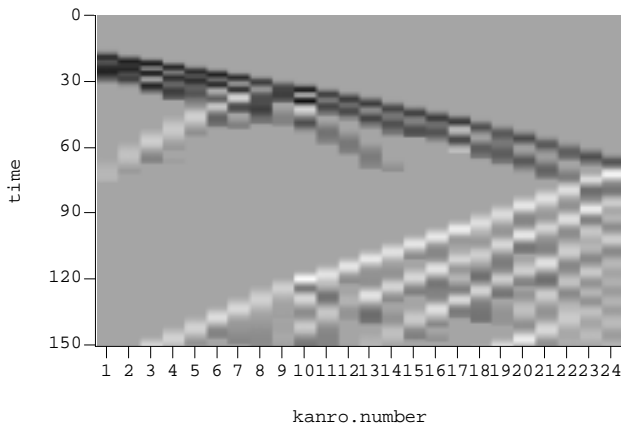


図-3.各管路における流速の時間的变化

て求めた流量を使って今度は各々のマンホール地点について水深を計算する。ただし、計算簡略化のため管路は全て長方形断面とした。

(3) . 試算

図-1.の場合を想定して、計算を試みた。計算は時間間隔 0.1 秒で 150 秒間分の計算を行った。計算条件として、重力加速度に $9.8[m/s^2]$ 、組度係数 0.01 を用いた。また、人為的な流入として時間 15 秒から 25 秒の間にマンホール番号 1 番の地点において、 $0.2 [m^3/sec]$ を与えた。尚、流出点は設けず、管路網内に流入した水を溜めることにした。図-2.、図-3 にこの計算結果を示す。

(4) . モデルの妥当性に関する検討

各マンホール地点における水深と時間の関係を表わす図-2. から、計算開始後 15 秒以降、それぞれのマンホール地点において、水深の増加が見られる。また、水がマンホール底部の標高値に従い、マンホール 25 番地点まで流れ下っているのが分かる。そして、マンホール番号 2 5 番地点に水が到達すると、今度は逆流が起こり始めている。

この逆流現象については、各管路における流速と時間の関係を表わす図-3 から裏付けられる。最初に管路番号 24 番地点に到達するまで、流速はおおむね正の値を示している。しかし、管路番号 24 番の地点に到達した後は流速が負の値に変わり、マンホール底部の標高が低い方からマンホール底部の標高が高い方へ流れが伝わっている。

この現象が顕著に見られた理由としては、当然のことながら今回の計算で流出地点を設けなかったこと、管渠断面が流入流量に対して若干小さかったこと、並びに短時間に大量の水を流入したことなどが挙げられる。

最後に、管路網全体に存在する水総量の計算結果として、計算開始後 50.4 秒の時点で $2.00975 [m^3]$ を得た。これは人為的な流入として $2.00 [m^3]$ の水を流し込んだので、妥当な結果が得られたと考える。誤差が生じた理由としては、管路長さが管路両端に繋がるマンホールの中心間距離を取って

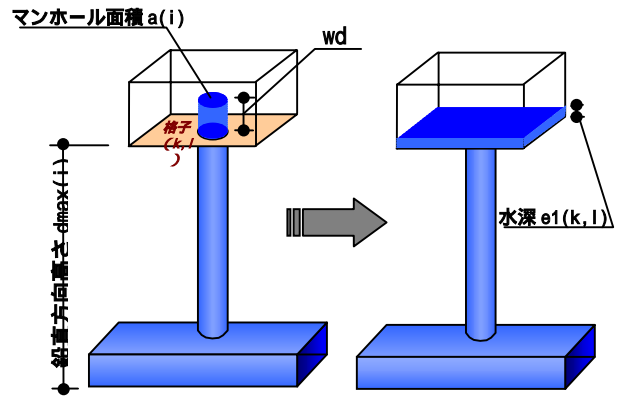


図-4. マンホールから水が溢れ出るイメージ

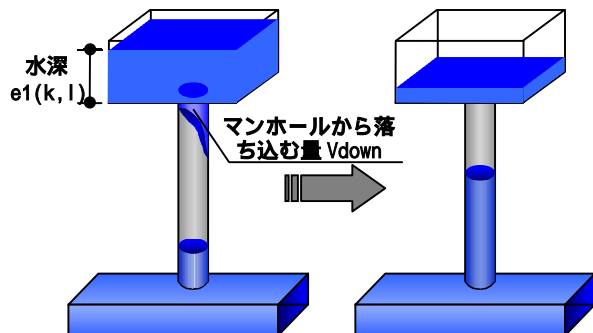


図-5. マンホールへ水が流れ込むイメージ

いるためと考えられる。

3. 地上を流れる氾濫流と排水路網の流れの結合

(1) . マンホールから水が溢れ出る場合

あるマンホール地点での水深がそのマンホールの鉛直方向高さ $dmax(i)$ より高い時、水はマンホールから溢れ出る場合である、と判定できる。このような場合のイメージを上図に示す。この時、溢れ出た水の体積 Vup は次のように表せる。

$$Vup = a(i) \cdot wd$$

ここで、 $a(i)$ はマンホール i の断面積、 wd はマンホール地点の水深 $h1(i)$ と鉛直方向高さ $dmax(i)$ との差である。この溢れ出た水の体積 Vup を 1 格子の面積 ($=dx \times dy$) で除すれば格子 (k, l) 上で変化する水深 $Wdepth(k, l)$ を求めることができる。

さらに、時間 dt の間に溢れ出た水の体積が Vup なので、これを流量 Qup に直して、排水路網の流れから差し引けば、排水路網の流れと地上を流れる氾濫流との結合が図れる。ここで、 $qin(i)$ はマンホール i における流入流量である。

$$Qup = Vup / dt$$

$$qin(i) = -Qup$$

(2) . マンホールに水が流れ落ちる場合

あるマンホール地点での水深 $h1(i)$ がそのマンホールの鉛直方向高さ $dmax(i)$ より小さい時、水はマンホールへ流れ込む場合である、と判定できる。

このような場合のイメージを図-5に示す。この時、マンホールへ流れ込んだ水の体積 V_{down} は次のように表せる。

$$V_{down} = C \cdot a(i) \cdot dt \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot e1(k,l)}$$

ここで、 $a(i)$ はマンホール i の断面積、 C は流出係数、 dt は時間間隔、 g は重力加速度、 $e1(k,l)$ は格子 (k,l) 上の水深である。この流れ込んだ水の体

積 V_{down} を1格子の面積 ($=dx \times dy$) で除すれば格子 (k,l) 上で変化する水深 $W_{depth}(k,l)$ を求めることができる。

さらに、時間 dt の間にマンホールに流れ落ちた水の体積が V_{down} なので、これを流量 Q_{down} に直して、排水路網の流れに加えれば、排水路網の流れと地上を流れる氾濫流との結合が図れる。

$$Q_{down} = V_{down} / dt$$

$$q_{in}(i) = Q_{down}$$

(3) 試計算

このモデルを用いて、図-1の排水路網と仮想の地形を想定し、計算を試みる。想定した地形図を図-6に示す。格子間隔は $dx=2.0[m]$ 、 $dy=2.0[m]$ 、時間間隔 0.1 秒で 900 秒間の計算を行う。氾濫流は地上の格子 $(5,33)$ 地点 (計算領域左上部) で周期 700 秒、高さ $50 [cm]$ の正弦波として発生するが、2分の1周期以降、波の高さは $0 [m]$ とする。組度係数は地上において 0.015 、排水路網内において 0.01 という値を用いた。また、管路網の流出地点をマンホール 25 番の地点とし、その他のマンホール地点は全て流入地点とした。

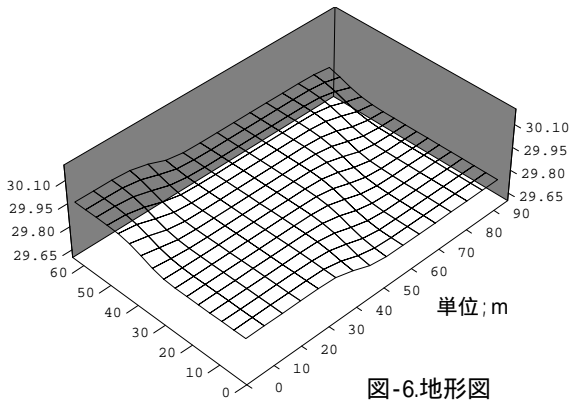


図-6.地形図

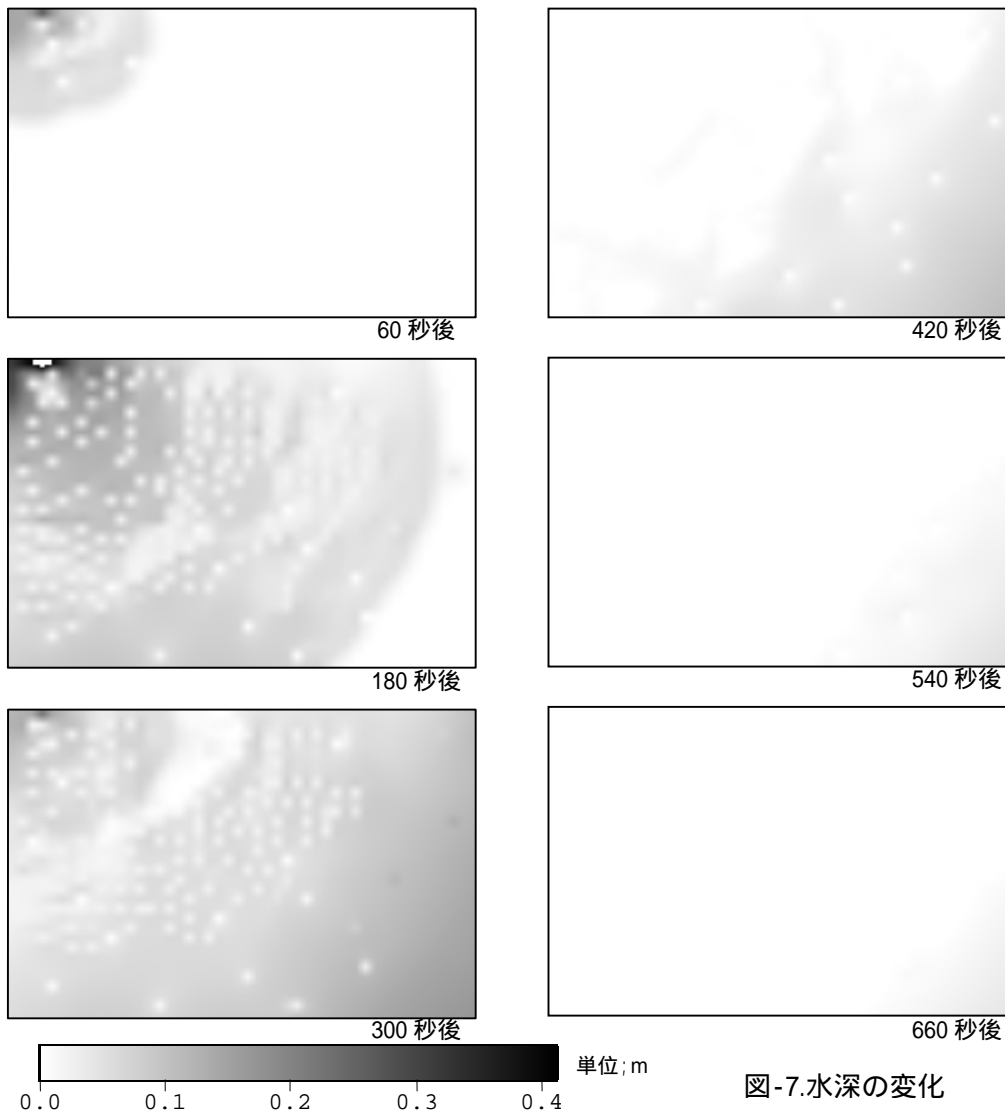


図-7.水深の変化

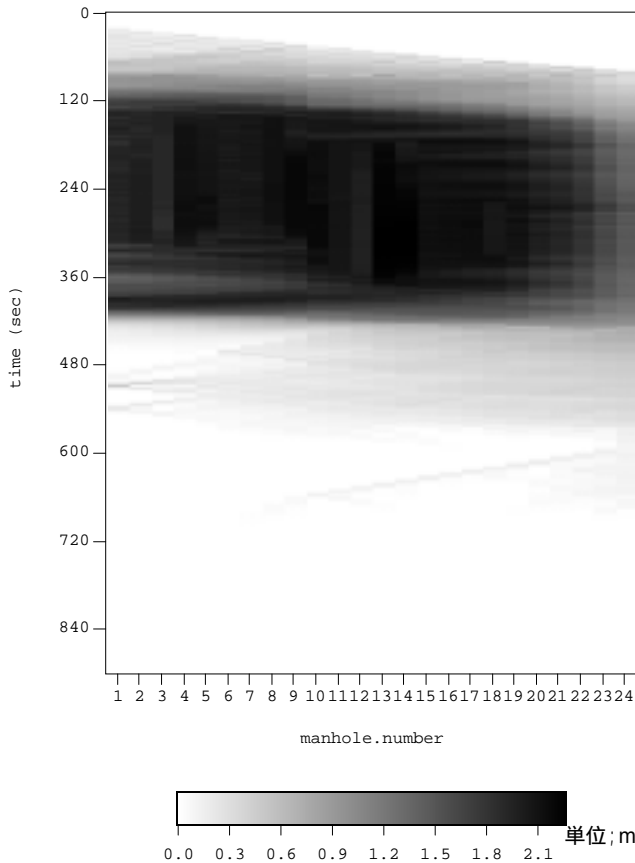


図-8.各マンホール地点における水深の時間的变化
(地上を流れる氾濫流との結合後)

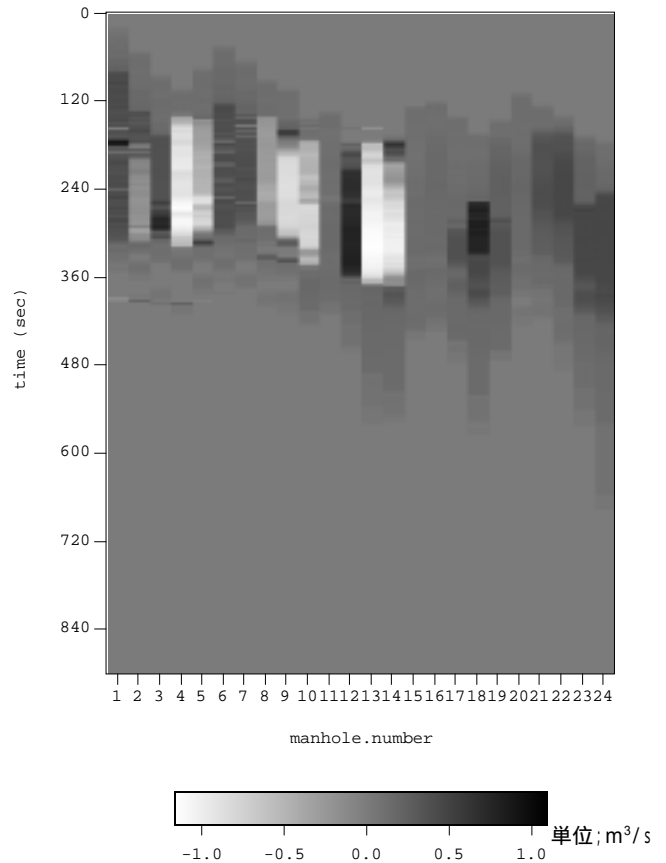


図-9.各マンホール地点における流入流量の時間的变化
(地上を流れる氾濫流との結合後)

(4) .計算結果に対する検討

地上を流れる氾濫流と排水路網の流れを結合したモデルでは、計算領域内ならびに、管路網内に水が溜まり、そして次々とその水が引いていく。このような過程が図-7、図-8、図-9においてよく表されている。なお、図-9については、流入流量の値が正である場合をマンホールに水が流れ込む場合とし、流入流量の値が負である場合をマンホールから水が溢れ出る場合とした。

各マンホール地点の水深は、計算開始後 100 秒後から 400 秒後にかけて高い水深を示している。このうち、いくつかのマンホール地点についてはマンホールから水が溢れ出しているのが図-9 から判断できる。そして時間の経過に伴い、徐々に水が排水路網を経て領域外に排出されているのが、これらの図から推定できる。

4. まとめ

本研究では、排水路網の流れを、各マンホール地点の水深ならびに各管路の流速と水深によって表現することで、そのモデルを構築した。そし

て、地上を流れる氾濫流のモデルと排水路網の流れのモデルを結合することにより、排水路網の流れを、地上を流れる氾濫流の計算に反影させることを可能とした。今後の展望としては、今回構築したモデルをマンホールの蓋が存在する場合のモデルに発展させ、その上で、実地形への適用を試みることが挙げられる。

参考文献

- 1.) 群馬大学工学部片田研究室, 平成 10 年 8 月末集中豪雨災害における郡山市民の対応行動に関する調査報告書, 1999
- 2.) 国土交通省編, 平成 13 年度国土交通白書, 2002
- 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, pp. 253-258
- 4.) 酒井彩美, 微細な地形情報を考慮した氾濫流の数値計算, 2002