

II - 9

石狩川流域の洪水氾濫と制御

北海道大学 学生員 宮武治郎
 北海道大学 フェロ-会員 黒木幹男
 北海道大学 フェロ-会員 板倉忠興

1. はじめに

北海道の治水事業は、明治 43 年から本格的に始まり、様々な整備が進められてきた。特に、開拓当初から石狩川においては、様々な改修が行われてきた。しかし、昭和 63 年に至っても全道各地で大きな洪水が起り、石狩川流域の滝川、砂川では市街地近くまで洪水が迫りその被害は多大なものになった。本論文では、石狩川流域の一地点を抜き出し水を入らせてみて、氾濫水の動きをシミュレートしようとするものである。

なお、堤内地への氾濫の解析法には、岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文の氾濫水の数値解析法を使用した。

2. 数値解析について

2-1 基礎方程式

氾濫水の広がり、及び伝搬を表す数学モデルとして次式が成立するとする。

連続式：

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

x 方向運動方程式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (2)$$

y 方向運動量式：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、h：水深、M=uh および N=vh：M・N はそれぞれ x および y 方向の流量フラックス u および v：それぞれ x および y 方向の深さ方向に平均された流速である。

以下に、この 3 式よりもとめた差分式を示す。

初期値として、h, M, N を与える。

連続式：

$$\frac{hn_{i,j} - h_{i,j}}{\Delta t} + \frac{M_{i+1,j} - M_{i,j}}{\Delta x} + \frac{N_{i,j+1} - N_{i,j}}{\Delta y} = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

x 方向運動量式：

$$\frac{Mn_{i,j} - M_{i,j}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left\{ \frac{1}{h_{i,j}} \left(\frac{M_{i+1,j} + M_{i,j}}{2} \right)^2 - \frac{1}{h_{i-1,j}} \left(\frac{M_{i,j} + M_{i-1,j}}{2} \right)^2 \right\} + \frac{1}{\Delta y} \left\{ \left(\frac{M_{i,j+1} + M_{i,j}}{2} \right) \left(\frac{N_{i,j+1} + N_{i-1,j}}{2} \right) \frac{4}{h_{i,j+1} + h_{i-1,j+1} + h_{i,j} + h_{i-1,j}} \right\}$$

$$\begin{aligned}
& - \left(\frac{M_{i,j} + M_{i,j-1}}{2} \right) \left(\frac{N_{i,j} + N_{i-1,j}}{2} \right) \frac{4}{h_{i-1,j-1} + h_{i,j-1} + h_{i,j} + h_{i-1,j}} \Big\} \\
= & -g \frac{1}{2\Delta x} \frac{h_{i,j} + h_{i-1,j}}{2} \frac{H_{i,j} - H_{i-1,j}}{2} - gn_{i,j+\frac{1}{2}}^2 \frac{\bar{u}_{i,j+\frac{1}{2}} \sqrt{(u_{i,j+\frac{1}{2}})^2 + (v_{i,j+\frac{1}{2}})^2}}{\sqrt[3]{\frac{h_{i,j} + h_{i-1,j}}{2}}} \dots\dots (5)
\end{aligned}$$

y 方向運動量式：

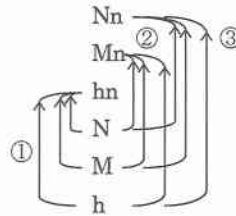
$$\begin{aligned}
& \frac{Nn_{i,j} - N_{i,j}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left\{ \frac{1}{h_{i,j}} \left(\frac{N_{i,j} + N_{i,j+1}}{2} \right)^2 - \frac{1}{h_{i,j-1}} \left(\frac{N_{i,j} + N_{i,j-1}}{2} \right)^2 \right\} \\
& + \frac{1}{\Delta x} \left\{ \left(\frac{M_{i+1,j} + M_{i+1,j-1}}{2} \right) \left(\frac{N_{i,j} + N_{i+1,j}}{2} \right) \frac{4}{h_{i,j} + h_{i,j-1} + h_{i+1,j-1} + h_{i+1,j}} \right. \\
& \quad \left. - \left(\frac{M_{i,j} + M_{i,j-1}}{2} \right) \left(\frac{N_{i-1,j} + N_{i,j}}{2} \right) \frac{4}{h_{i-1,j-1} + h_{i,j-1} + h_{i,j} + h_{i-1,j}} \right\} \\
= & -g \frac{1}{2\Delta y} \frac{h_{i,j} + h_{i,j-1}}{2} \frac{H_{i,j} - H_{i,j-1}}{2} - gn_{i+1/2,j}^2 \frac{\bar{v}_{i+1/2,j} \sqrt{(u_{i+1/2,j})^2 + (v_{i+1/2,j})^2}}{\sqrt[3]{\frac{h_{i,j} + h_{i,j-1}}{2}}} \dots\dots (6)
\end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
\bar{u}_{i,j+\frac{1}{2}} &= (Mn_{i,j} + M_{i,j}) / (h_{i,j} + h_{i-1,j}) \quad , \quad \bar{v}_{i+1/2,j} = (Nn_{i,j} + N_{i,j}) / (h_{i,j} + h_{i,j-1}) \\
u_{i,j+\frac{1}{2}} &= M_{i,j} \cdot \frac{2}{h_{i,j} + h_{i-1,j}} \quad , \quad u_{i+1/2,j} = \frac{M_{i+1,j} + M_{i,j} + M_{i+1,j-1} + M_{i,j-1}}{4} \cdot \frac{2}{h_{i,j} + h_{i,j-1}} \\
v_{i+1/2,j} &= N_{i,j} \cdot \frac{2}{h_{i,j} + h_{i,j-1}} \quad , \quad v_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{N_{i,j+1} + N_{i-1,j+1} + N_{i,j} + N_{i-1,j}}{4} \cdot \frac{2}{h_{i,j} + h_{i-1,j}}
\end{aligned}$$

差分の手順

- (1)： 初期値として h,N,M と与える
- (2)： ① hn ② Mn ③ Mn を求める。
- (3)： この3つの値を h,M,N とする。
- (4)： (1)(2)(3)を繰り返し計算をする



2-2 単純なモデルでの例

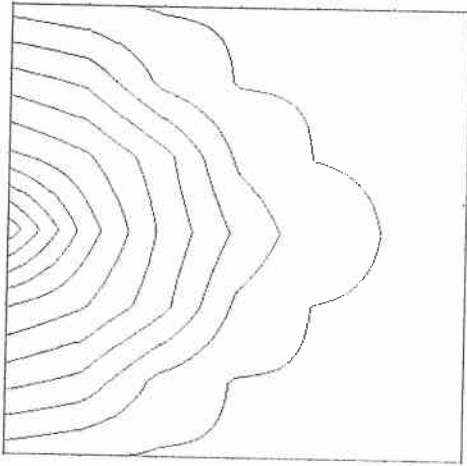
次ページの図はそれぞれ8×8のメッシュ (dx=250m,dy=250m) で区切った土地に、dt=1.0、Q=75m³/s で左辺中央のメッシュより水を流入させたときの等水深線図である。

図(1)：粗度係数 n=0.03 での流入後 10、20、30 分の等水深線図

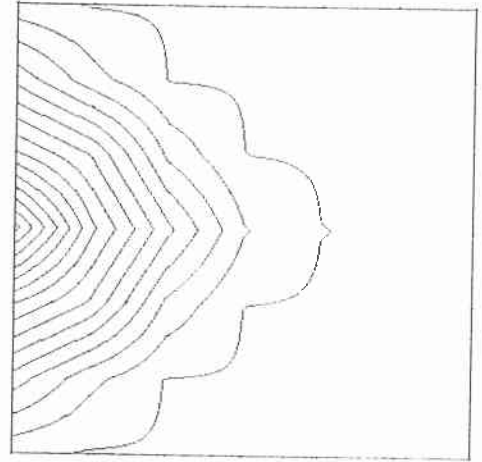
図(2)：粗度係数 n=0.05 での 10 分後の等水深線図

図(3)：粗度係数 n=0.03 で右に向かって下りの傾斜 (勾配 1/1000) をつけたときのもの。10 分後

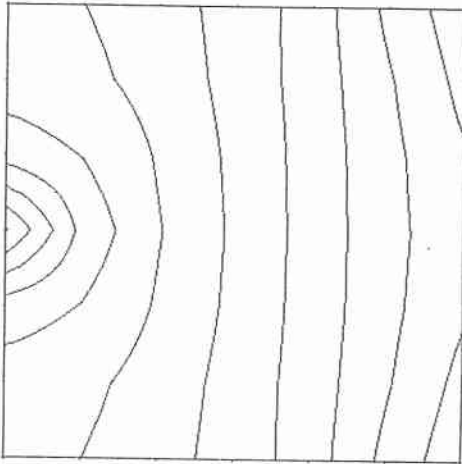
図(4)：粗度係数 n=0.03 で下に向かって下りの傾斜 (勾配 1/1000) をつけたときのもの。10 分後



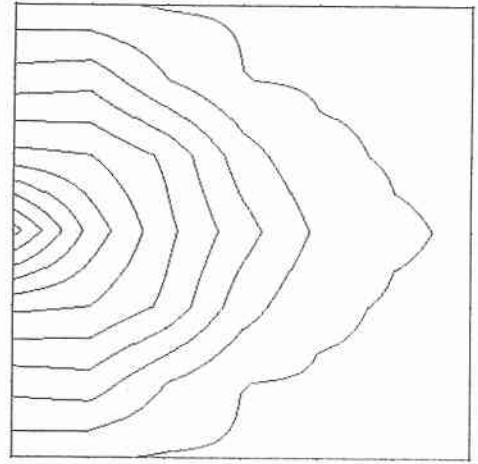
図(1) 10分後



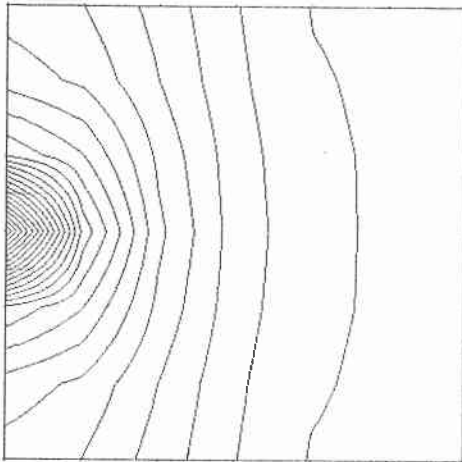
図(2)



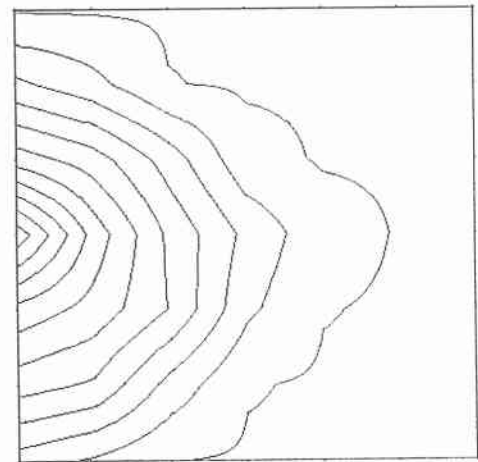
図(1) 30分後



図(3)



図(1) 50分後



図(4)

3. 氾濫水の解析

3-1 計算に必要な資料・条件

本論文では、北村周辺を取り出して解析を行った。北村の周辺では、昭和37年、50年、56年と堤防が破壊されて大きな被害を出したことがある。図1は、昭和50年の洪水の氾濫区域を表したものである。このときの洪水では月形大橋周辺の堤防が決壊し、ピーク流量7600m³/sという大規模なものであった。

堤内地は図2の地盤の等高線に示されるように、北東へ土地が高くなっている。なお、現在この地域には多くの開発が進められ、地形の形態も若干変わっているが、ここでは簡単のため図2のような単純なものとしている。

以下、ここでの数値解析モデルによって実際に計算する場合に必要なとされる資料等について例示しながら簡単にふれ、その後にシミュレーションの結果を示す。

i) 堤内地分割：図2を元に20×63にメッシュ分割(dx=250m, dy=250m)した。図3は、それに地盤高としてその格子内の平均値を与え、同じ地盤高を一つのブロックにしたものだ。

ii) 初期条件：破堤する以前の条件として、対象領域全体において、水深及び流量フラックスが全て0とした。つまり、降雨などによる内水は初期には存在しないとす。

iii) 粗度係数：堤内地の粗度係数については、資料が乏しい。ここでは、 $n=0.03$ をあたえることにする。

iv) 越流々量の計算：図3の矢印の位置（月形大橋周辺）から流量 $Q=7500\text{m}^3/\text{s}$ を流入させた。

v) 計算時間間隔 dt：試算の結果、 $dt=0.2$ 秒とする。

3-2 計算結果

次ページの図は、堤内地での等水深線で表したものであり、流入後30分から30分ごとに時間までと、時間から1時間ごとに8時間までの結果である。堤内地の北方の地盤の高い部分および局所的に地盤の高いところには浸水の度合いは少なく、1m程度の浸水で収まっている。一方、地盤の低い南方部では5-6mという相当大きい浸水の甚水が生じている。このとき、浸水域の水位を計算結果からみるとほぼ一定値になっており、水面は水平と考えて良い程度である。これは図1の昭和50年度における浸水域と比べて妥当であるとおもわれる。

図1

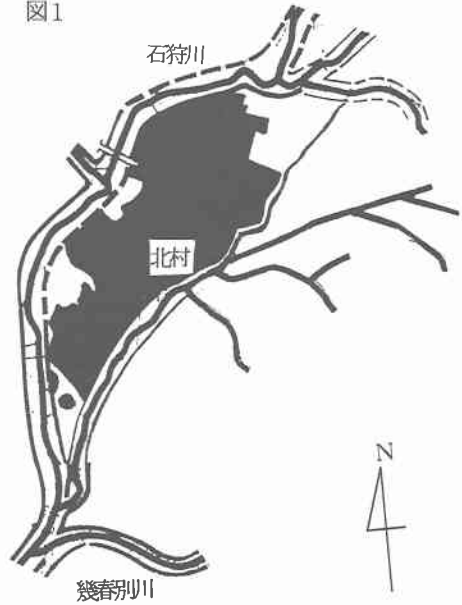


図2

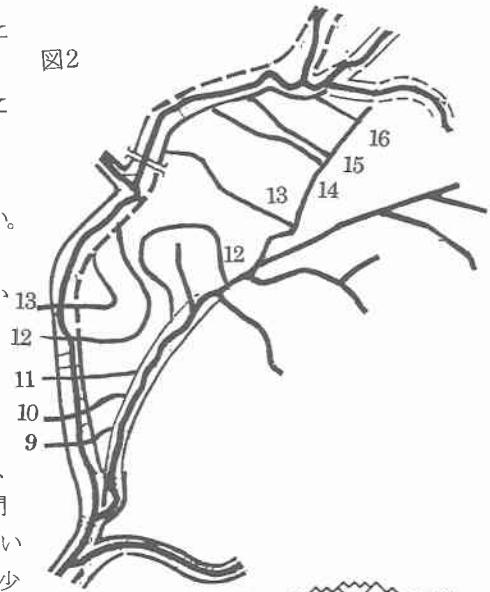
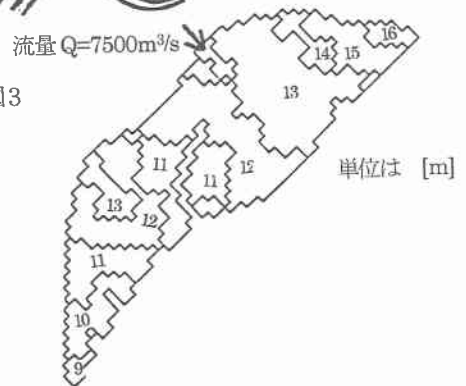
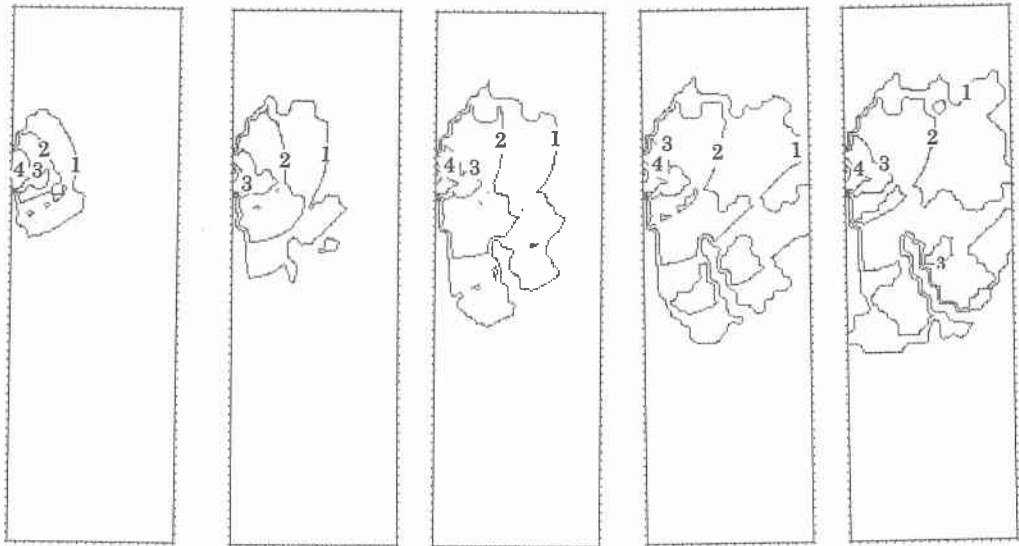


図3

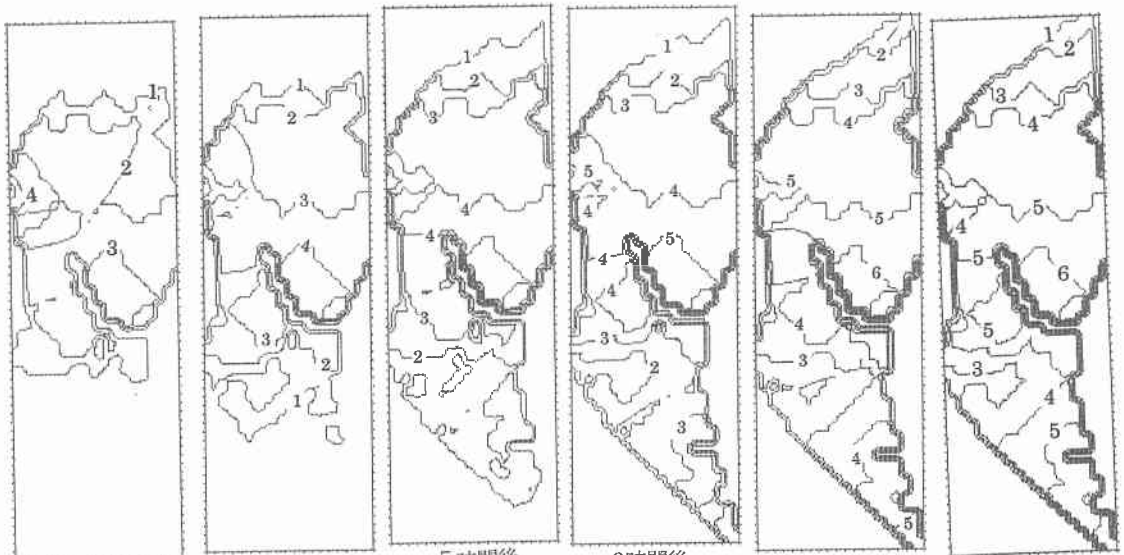




30分後

1時間後

2時間後



3時間後

4時間後

5時間後

6時間後

7時間後

8時間後

単位は [m]



4. 考察

いろいろと計算したが、なかなか予想どうりにはいかなかった。その理由の一つとして、境界付近の水の動きの計算がどうしてもうまくいかなかったこと、氾濫水の動きといっても低内地の盛土や排水路のことを条件に入れていなかったことが挙げられると思う。

これらのことを、これからの課題として研究を続けていきたいと思う

5. 参考文献

- 1) 岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文：氾濫水の水理の数値解析法、京大防災研究所年報第23号-B-2、1980
- 2) 北海道開発局石狩川開発建設部：石狩川治水史、1980
- 3) 北海道開発局建設部河川計画課：水害、1991