

## 沙流川の氾濫シュミレーション

### Flood calculation of Saru-river

北海道大学土木工学科 学生員 岩田圭佑 (Keisuke Iwata)

北海道大学助教授 工学研究科環境資源工学専攻 正会員 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

#### 1. 目的

台風などの影響で大雨が降ることの多い日本では河川の氾濫による災害が頻発している。2004年台風23号などに代表されるような大きな氾濫が起きた。また、2003年8月の台風10号によって北海道沙流川で実際に発生した氾濫では、日高管内沙流郡平取町の二風谷ダムで流れ込む流量が限界流量を超えたために、10日未明から約8時間にわたって緊急放水が行われ、これに伴い下流域の2650世帯、約6500人に避難勧告が出された。本研究ではこの時間帯に下流域において被害が大きかった地域(10.8kp~13.4kp)の氾濫の様子を、数値計算を用いて再現しその特徴を考察することを目的とする。

#### 2. 沙流川現地の状況

図-1は沙流川の位置を示し、図-2は今回対象とした地点の氾濫前と氾濫後の航空写真である。図-2の氾濫前後を比較すると左岸側、右岸側ともに被害を受けている様子がわかる。図-3は解析対象地点の標高データを用いて地形を3次元表示したものである。図-3によれば、左岸側に標高が高くなっている部分があり、この部分は被害を免れたと思われる。また右岸側には堤防が設けられているため、堤内地にまでこの氾濫が広がったのかどうかも検討すべきである。

#### 3. 計算方法

計算は2次元非定常流、非圧縮流れの連続式および運動方程式をもとに行った。

・連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

・運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} \\ &= -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \nu_t \frac{\partial(uh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \nu_t \frac{\partial(uh)}{\partial y} \right] \\ & \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} \\ &= -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \nu_t \frac{\partial(vh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \nu_t \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right] \end{aligned}$$

ただし、 $x, y$ : 格子座標

$u, v$ :  $x, y$  方向の水深平均流速

$t$ : 時間

$\rho$ : 水の密度

$h$ : 水深

$H$ : 水位

である。また、渦動粘性係数は  $\nu_t = \frac{1}{6} \kappa u_* h$  である。

ここで  $\tau_x, \tau_y$  は  $x, y$  方向の河床せん断力で

$$\tau_x = \frac{\rho g n_m^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{\frac{1}{3}}}, \tau_y = \frac{\rho g n_m^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{\frac{1}{3}}}$$



図-1a 北海道図

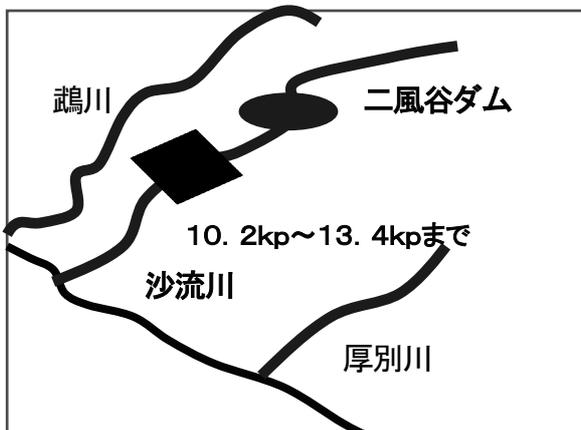


図-1b 沙流川周辺図

で表される。

ただし、

$n_m$  : マニングの粗度係数

である。これらの式を一般座標に変換したものをを用いて計算を行った。

粗度係数を導くにあたり、低水路と高水敷に同じ値の粗度係数を何種類か与え計算し比較した。その結果をふまえ低水路と高水敷に違う値を与えて最終的な粗度係数を確定した。



図 - 2 検討対象地区の航空写真 (上: 氾濫前, 下: 氾濫後)

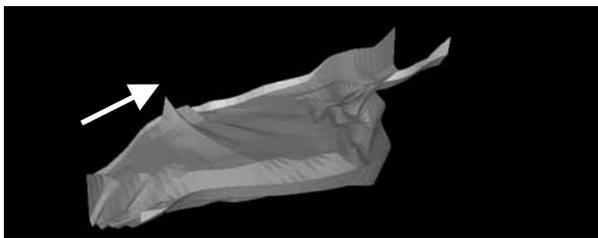


図 - 3 検討対象地区の河川形状

#### 4. 計算格子

測量データから河床を座標で表し格子を作成した。始めに低水路を密にしたものを用いたがスムーズな計算結果を得ることができなかった(図 - 4a)。そこで、低水路のみに限定した予備計算用の格子を作成した結果、全体が均一になるように格子を作成すると流れがうまく再現できるということがわかった。格子の完成形を図 - 4b に示す。格子は流れ方向に対して水平になるように配慮した。

#### 5. 解析システム

本研究の解析における格子作成や解析結果の可視化を行うシステムに関して、Nays<sup>1)</sup>という新しい解析システムを用いた。これは測量データを読み込み自由に格子を作成し、プログラムで計算を行った解析結果データを2次元または3次元で可視化するというものである。

#### 6. 境界条件

境界条件は上流で流量, 下流で水位を与えた。本研究では9

日の午後 6 時から 10 日の午後 6 時までの時間で解析を行う。また、二風谷ダムの効果を検証するために、ダムが存在した場合とそうでなかった場合の氾濫の様子を比較するために、ダムからの放流量を「ダムが存在した場合の境界条件」、ダムへの流入量を「ダムが存在しなかった場合の境界条件」のデータとして用いた。それぞれの時間ごとの上流端流量を図 - 5a に、下流端水位を図 - 5b に示す。流量と水位の最大値は放流量を用いた場合がそれぞれ5269.23 m<sup>3</sup>/s, 流入量が6119.20 m<sup>3</sup>/s である。

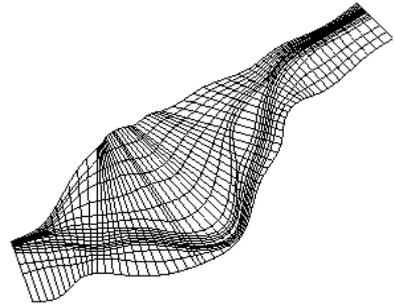


図 - 4a 計算格子 (低水路を密にしたもの)

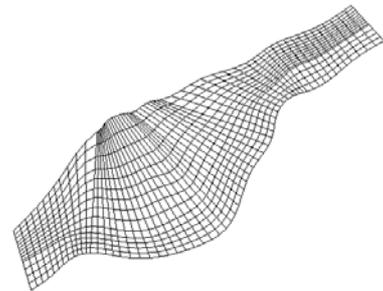


図 - 4b 計算格子 (完成形)

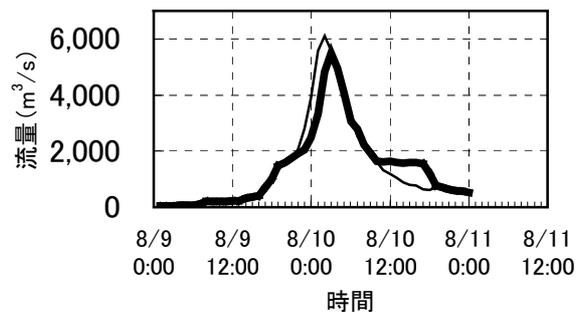
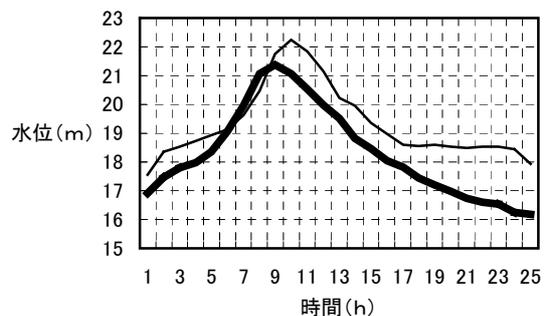


図 - 5a 流量グラフ



— ダムなし — ダムあり

図 - 5b 水位グラフ

7. 計算条件

放流量（ダムありの場合）を用いて、粗度係数を統一して計算を行った。与えた値は $n=0.035, 0.037, 0.040$ の3種類である。計算時間はダムの緊急放水の時間帯をもとに9日の18:00から10日の18:00までの24h、時間刻み $\Delta t=0.05$ で計算した。

8-1. 低水路と高水敷を同一粗度係数とした場合の計算

水位が最大となったときの流速ベクトル図を示す(図-6abc)。図からもわかるように $n=0.040$ を与えた場合が氾濫の様子に近く、これを低水路と高水敷に与える粗度係数のベースとした。図-7は図-6b時における水深コンター図である。下流側左岸において写真との違いが見られる。そこで、次に、低水路と高水敷で違う値の粗度係数を与えた場合の計算を用い、計算結果と痕跡水位が一致するように再度調整を行うことにした。



図-6a  $n=0.035$

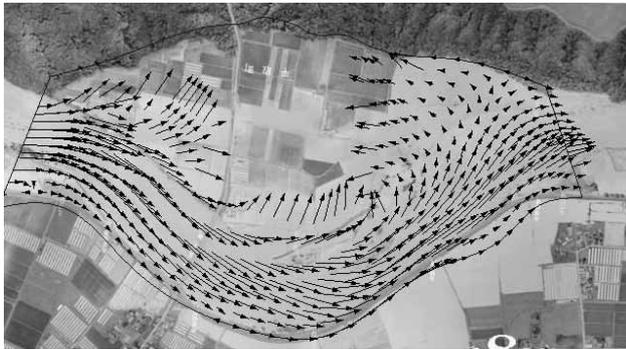


図-6b  $n=0.037$

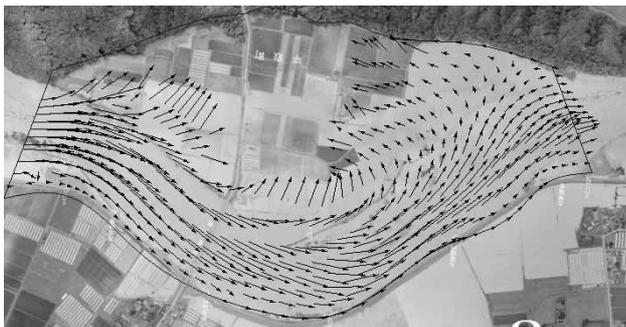


図-6c  $n=0.040$  3.75m/s

8-2. 低水路と高水敷を異なる粗度係数とした場合

高水敷の粗度係数は、一般に氾濫源の粗度係数として使われる $0.055\sim 0.100$ の範囲で与えるとすると、低水路においては $0.040$ よりも低い値を用いるべきと考えられる。

まず低水路に $0.025$ 、高水敷は樹木などを考慮して $0.055$ と $0.065$ の2つの値を与えて行ったが低水路の流速が早く痕跡水位に一致しなかった。また、下流側左岸においても改善が見られなかったため、低水路では流木なども考慮して粗度係数を $0.035$ とした。図-8は水位が最大となったときの流速ベクトル図である。また、図-9に痕跡水位と計算水位の比較を示す。

痕跡水位とはわずかに違いが見られたがこれは樹木が生えていた地点に与えた粗度係数が関係していると考えられるため、樹木などの粗度を考えるにあたりちがう計算方法を用いるべきであると考えられる。計算結果と痕跡水位を比較したものを図-10に示す

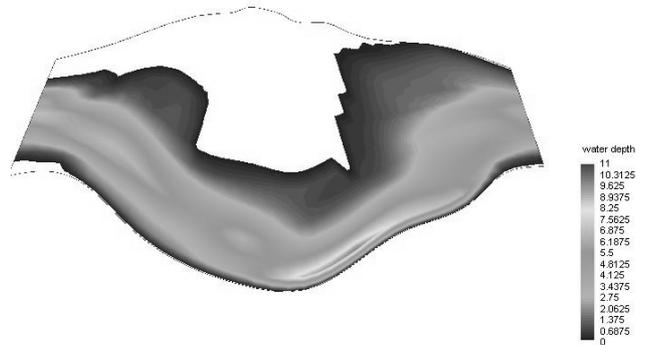


図-7 水深コンター図



図-8 流量が最大ときの流速ベクトル図

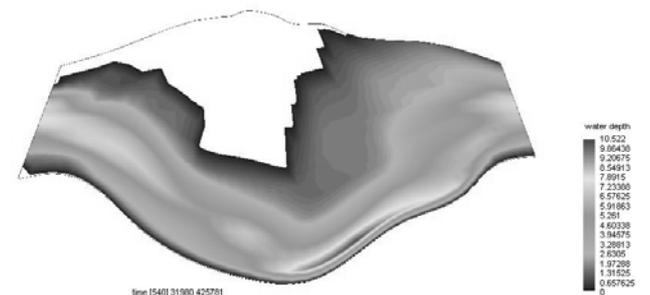


図-9 水深コンター図

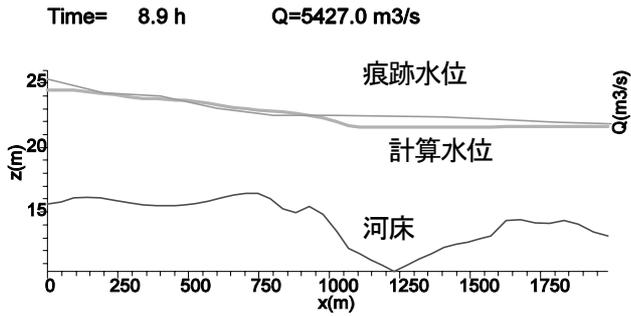
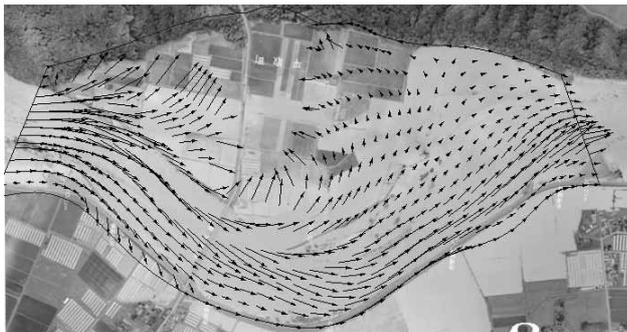
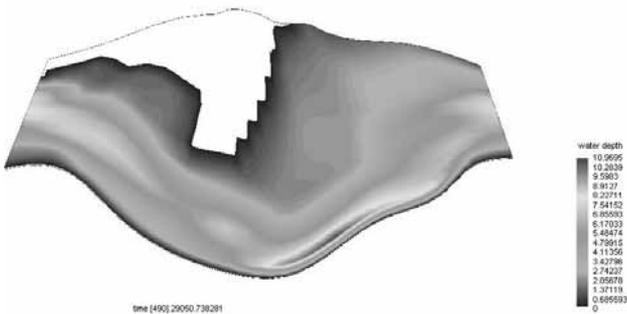
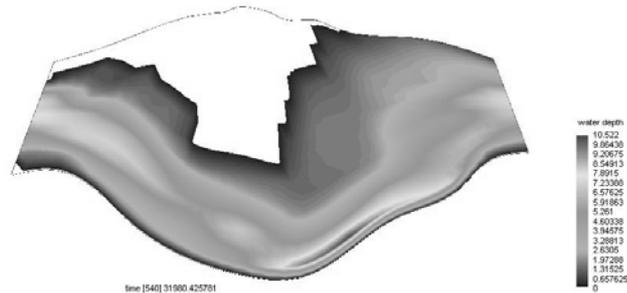


図 - 10 痕跡水位と計算水位の比較



流速ベクトル図 (上: 放流量, 下: 流入量)



水深コンター図 (上: 放流量, 下: 流入量)

図 - 11 放流量と流入量を用いたダムの効果の考察結果

### 9 - 1. 二風谷ダムの効果の検証

図 - 11 に、6 章で述べた二風谷ダムの効果を比較したものを示した。それぞれの流量、水位の場合について 8 - 2 と同じ時間と粗度係数で比較した。水深コンター図から、ダムがなかった場合約 45cm 水位が高く、氾濫がその分大きく広がっていることがわかった。またベクトル図をみると下流域の流れが、ダムがなかった場合は流量が最大になっても上流方向にそのまま下流に流れているので、さらに下流の地点でも被害が大きくなっていたことが推測される。さらに、ダムがあった場合右岸側の堤防を越えた氾濫は見られなかったが、ダムがなかった場合上流右岸側でわずかながら堤防を越流した流れが見られた。

### 9 - 2. 実際の氾濫状況の検証

実際の氾濫では 9 - 1 で述べたように左岸側のみで氾濫が起こった。氾濫は大きく分けて 3 箇所から広がったとみられ、最終的には右岸側全体から氾濫が広がった。図 - 12 にその場所を示した。また下流側の氾濫では時間が経過すると水が引いていたのに対し、上流側では水が引かずに残っている様子がみられた。

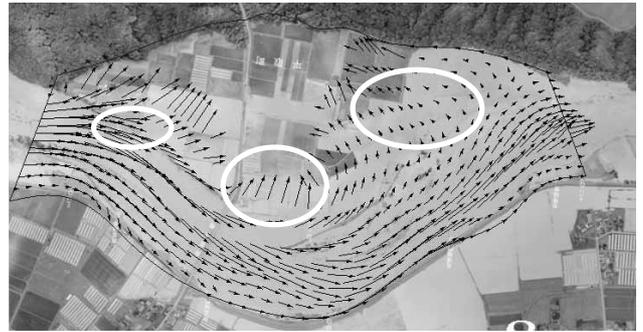


図 - 12 氾濫の発生日点

## 10. まとめ

今回の氾濫シミュレーションでは氾濫の様子を検証することに成功したが、樹木がある地点の計算方法など新しく改善すべきことも発見できた。河川の湾曲部における氾濫の対策を考えるうえでも大きな効果があると思われる。本研究のシステムを生かしてさらに具体的に氾濫を再現できるようになるだろう。

### 参考資料

Nays: <http://ws3-er.eng.hokudai.ac.jp/yasu/hendou/Nays/index.htm>

流量データ (株)水工技研