

# 豊平川の洪水時における河畔林における影響に関する研究

Influence of riparian trees on flood flow in the Toyohira River

北海道大学工学部環境社会工学科国土政策学コース  
北海道大学工学院環境フィールド工学専攻  
北海道大学公共政策大学院  
北海道開発局札幌開発建設部  
北海道開発局札幌開発建設部

○学生員 内田 有吏子 (Yuriko UCHIDA)  
学生員 田中 甫幸 (Toshiyuki TANASKA)  
正会員 清水 康行 (Yasuyuki SHIMIZU)  
正会員 山下 彰司 (Shouji YAMASHITA)  
非会員 高橋 慶久 (Yoshihisa TAKAHASHI)

## 1. はじめに

### 1.1 背景

現在、豊平川の河道内にはヤナギやミズナラ、ハルニレを始めとして17科35種の樹木が生長している。その樹木にはアオジ、カワラヒラ、シジュウカラなどの鳥類が生息していたり、河畔林が魚付林の役割を果たすなど動植物にとって良好な環境を形成している。その例として図-1に瑞穂橋周辺の河道内における樹林帯の様子を示す。また、都市化の進展により、札幌都心部において自然に触れる機会が減ったが、豊平川の河畔林は都心にいながら緑に親しめる場としての役割を担っており、札幌市民のいこいの場としても親しまれている。

豊平川は人口180万人の都市を誇る札幌を貫流する河川としてだけでなく、日本一急流の都市河川としても知られている。普段は静かな豊平川もひとたび洪水が起これば、大量の土砂を含む高速な洪水流となる。入植当初の札幌は常に豊平川の洪水との戦いであった。しかしながら、治水技術の発展と先人たちの努力により、豊平川に関する治水安全度は大幅に向上した。

今日、豊平川による洪水に悩まされることはなくなったが、近年豊平川の河畔林を含む河道内の樹林帯が増え、それに伴って抵抗が拡大し、洪水時に水位を上昇させる恐れがでてきた。河畔林が洪水時における水位上昇に与える影響を検証する必要がある。またそれに応じて、伐採などを含めた河道内の樹林帯における適切な管理方法についても考える必要がある。その管理に当たっては、治水的側面だけでなく、生態系やアメニティなどの自然環境の側面を考慮して行う必要がある。

### 1.2 目的

上の背景をうけ、治水的側面と自然環境側面とが共存できる河道内の樹木帯の適切な管理方法を提案することを目的として現在研究を進めている。本研究ではその最初のステップとして、札幌の都心における豊平川の河道内の樹林帯が、洪水時において水位上昇に与える影響を明らかにし、それに加えて、現在我々が考えている樹林帯の管理案について数値計算モデルにより検証を行うことを目的とする。

## 2. 数値計算の概要

今回、数値計算手法を用いて、豊平川の河道内の樹林帯が



図-1 水穂橋周辺河道(区間 A-B 内)



図-2: 計算領域

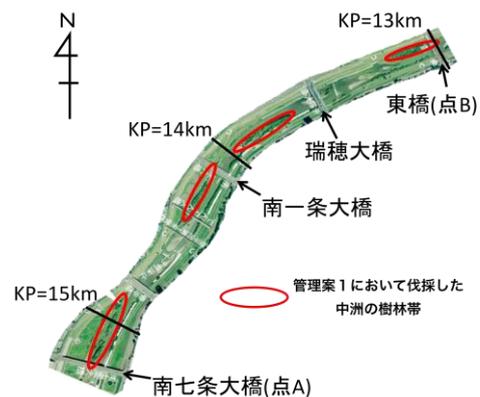


図-3 区間 A-B

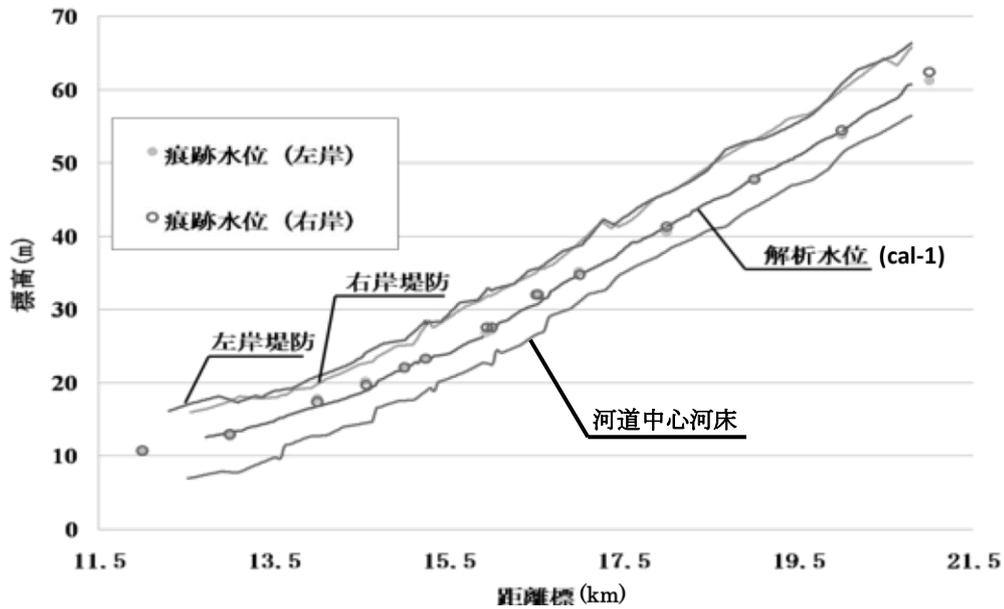


図-4: Cal-1の水位と昭和56年8月洪水の痕跡水位の比較

洪水時において水位上昇に与える影響を検証した。数値計算手法を用いた理由として、実際に豊平川の樹林帯を伐採して検証することが難しいことが挙げられる。また、数値計算手法を用いた場合、樹林帯の有無の設定、樹林帯の規模や場所の設定が少ない労力で行うことができるメリットもある。

### 2.1 各解析の趣旨と目的

今回行った解析の趣旨について述べる。今回、計算は4種類行った。行った計算を以下に載せる。

- Cal-1) 昭和56年の洪水の再現
- Cal-2) 平成18年の樹林帯がある場合の計算
- Cal-3) 平成18年の樹林帯伐採後の計算
- Cal-4) 平成18年の区間A-Bにおいて樹林帯を伐採した計算

Cal-1は昭和56年の痕跡水位と比較することで、粗度の各パラメーターを設定するのに用いた。Cal-2は樹林帯がある場合の水位の検証を行い、Cal-3は樹林帯を全部伐採した場合の水位の検証に用いた。Cal-2とCal-3を比較することで樹林帯の有無がどのように水位上昇に影響を与えたのかを検証した。区間A-Bにおいて中洲の樹林帯を伐採する案を管理案1とし、Cal-4はその案を採用したときの影響力を検証した。管理案1は後ほど説明する。

今回の数値解析にあたり、Nays<sup>1)</sup>という解析システムを用いた。これは、格子作成などの前処理、計算、結果の可視化をGUI環境で統一的に行うソフトウェアである。

### 2.2 計算領域

設定した計算領域を示した図を図-2に示す。計算領域における下流端を距離標12.4km(東橋付近)とし、上流端を距離標20.8km(南20条付近)とする約8.4kmの区間とした。

区間A-B(図-3)は計算領域内にあり、南7条大橋(点A)

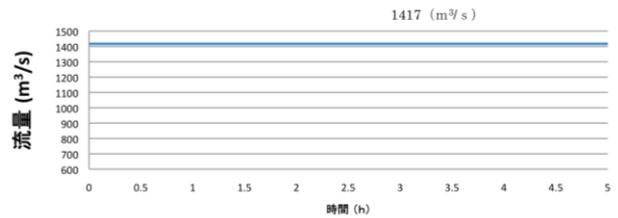


図-5 与えた流量

から東橋(点B)までの区間とする。この区間は計算領域内において樹林帯の密度が高い。区間A-Bを計算領域における代表区間とする。

### 2.3 計算格子

Cal-1のために作成した計算格子1(Grid1)は昭和56年の測量データを元にして作成した。Cal-2のために作成した計算格子2(Grid2)とCal-3のために作成した計算格子3(Grid3)は平成18年の測量データを元にして作成した。grid1, grid2の樹林帯や植生部分に関しては植生セル密度を粗中密と3段階に分けた植生セルを設けた。植生セルの設置は昭和56年と平成18年の航空写真を元に行った。植生セル密度における植生の遮断面積を粗・中・密とそれぞれ0.05・0.07・0.1とした。その理由は後のほど述べる。

### 2.4 ハイドログラフ

Cal-1の計算において上流端から流量を1417 m³/sを一定として流した。この流量は昭和56年8月洪水時のピーク時流量であり、記録として残っている昭和56年8月洪水の痕跡水位と比較するためにこのピーク流量を設定した。Cal-2, Cal-3, Cal-4に関しても比較を容易にするためにCal-1と同じ流量を用いた。

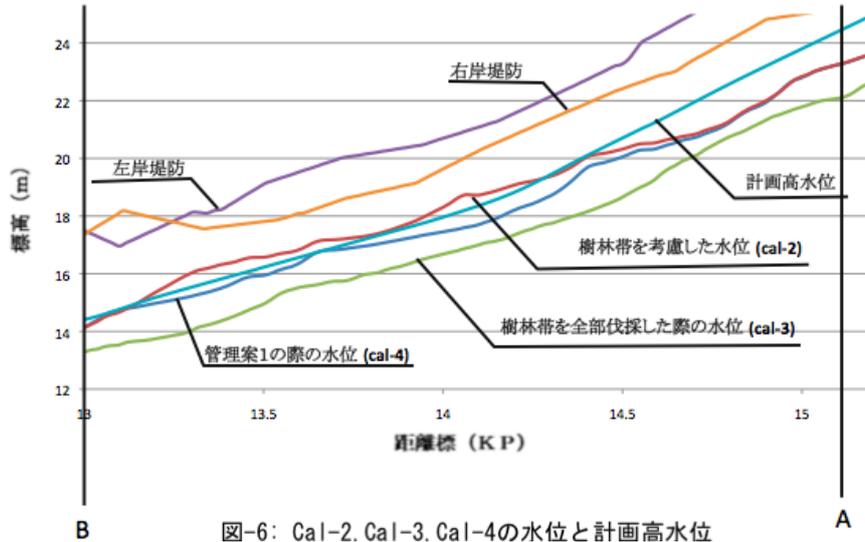


図-6: Cal-2. Cal-3. Cal-4の水位と計画高水位

### 2.5 境界条件

境界条件は上流端の流速は上で述べた流量から与え、下流端の水位は等流計算から求めた。

### 2.6 計算式

浅水流の挙動は非定常二次元浅水流方程式を解くことで導いた。

連続式

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

運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \\ & = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + \nu_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{D_x}{\rho h} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \\ & = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + \nu_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{D_y}{\rho h} \end{aligned} \quad (3)$$

$x, y$ : 直交系の座標,  $t$ : 時間,  $u, v$ :  $x, y$  方向の水深平均流速,  $\rho$ : 水の密度,  $h$ : 水深,  $H$ : 水位,  $g$ : 重力加速度 ( $9.8\text{m/s}^2$ ),  $\nu_t$  は水深平均渦動粘性係数である。

また  $\nu_t$  を次式で与える。

$$\nu_t = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad (4)$$

$\kappa$ : カルマン定数,  $u_*$ : 摩擦係数である。また  $\tau_x, \tau_y$  は  $x, y$  方向の河床せん断力で、次式により算定する。

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5)$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (6)$$

ここで  $n$ : マニングの粗度係数である。なお、 $D_x, D_y$  は植生による抵抗力であり

$$D_x = \frac{1}{2} \rho C_D a_s u \sqrt{u^2 + v^2} \min(h, l) \quad (7)$$

$$D_y = \frac{1}{2} \rho C_D a_s v \sqrt{u^2 + v^2} \min(h, l) \quad (8)$$

と与える。ここに、 $C_D$ : 植生の抵抗係数、 $D$ : 植生高さ、 $\lambda$ : 単位体積に占める植生の遮断面積で

$$\lambda = \frac{n D_m}{S^2} \quad (9)$$

で表され、 $n$ : 植生の本数、 $D_m$ : 植生の直径、 $S$ : サンプリング間隔である。以上の式を一般座標に変換して計算を行った。

## 3. 解析結果と考察

### 3.1 パラメーターの設定

#### (1) 粗度の設定

Cal-1 の水位と昭和 56 年 8 月洪水の痕跡水位を比較し、その比較に基づき粗度係数の設定を行った。低水路・高水路・固定床の粗度係数を  $0.038 \cdot 0.04 \cdot 0.08$  としたとき、両水位が一致した。そのときの計算結果を図-6 に示す。cal-2, cal-3, cal-4 においてこの粗度を適応した。

#### (2) 遮断面積の設定

Cal-1 において航空写真から昭和 56 年の河道内樹木はなく、ゆえに遮断面積  $\lambda=0$  とした。Cal-2 において低水路・高水路・固定床の遮断面積を  $0.10 \cdot 0.07 \cdot 0.05$  とした。Cal-3 において、河道内の樹林帯を全部伐採するので、 $\lambda=0$  とした。Cal-4 において樹林帯を伐採したので区間 A-B においては  $\lambda=0$  とし、区間 A-B 以外の区間を Cal-2 と同様の遮断面積とした。

#### (3) 樹木の抵抗係数

抵抗係数  $C_D$  については植生繁茂状況 (3) 樹木の抵抗係数

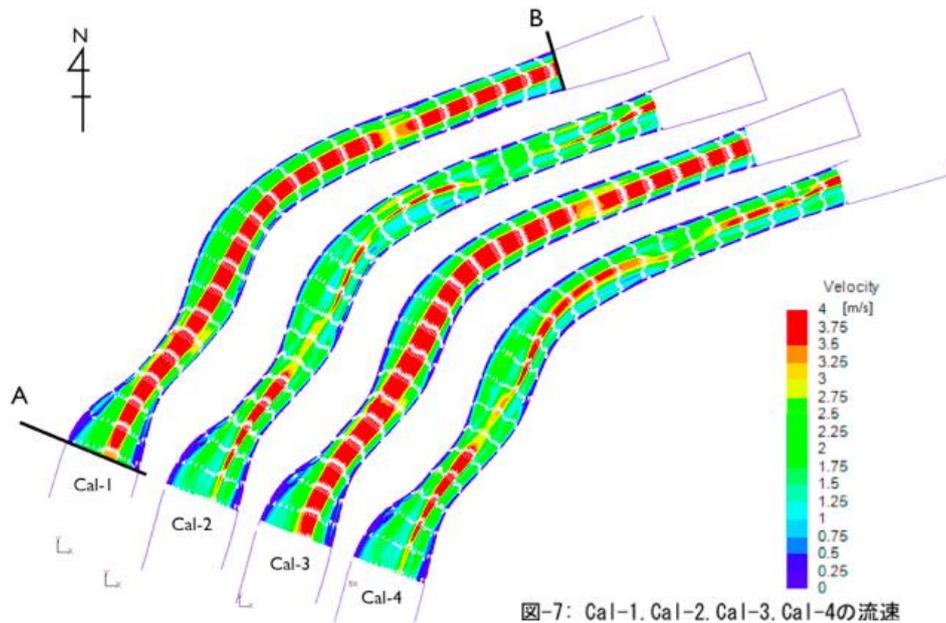


図-7: Cal-1. Cal-2. Cal-3. Cal-4の流速

えられるが、ここでは円柱の抵抗係数  $C_D=1.2^2$  を用いた。

#### 4. 河道内の樹林帯の影響の検証とその考察

Cal-2, Cal-3 の計算結果の水位を図-6 に示し、Cal-2, Cal-3 における流速を図-7 に示す。

Cal-2 の水位は 13.2~14.3 において計画高水位を上回っていることが確認できる。Cal-2 の流速に関して、低水路において 4 m/s 以上の高速な洪水流が起きていることが確認できた。高水敷においては 2 m/s の流量が観測される。しかしながら、護岸付近においては流速が落ちていることが確認できる。樹林帯のない場合、流路は安定し、低水路において高速な洪水流が発生することが分かったが、兩岸においては流速が小さいので、洪水時における侵食力が小さいことが分かった。

Cal-3 において Cal-2 と比較して水位が 1.5m~2m ほど低下しているのが確認できる。樹林帯の有無によって 1.5m~2m ほどの水位上昇を引き起こすことが分かった。Cal-3 の流速においては洪水流は樹林帯を避けて流れていることが確認できる。Cal-2 の流速と比較して樹林帯を避けているため、場所によっては高水敷上や護岸付近に 4m を超える高速な洪水流が発生していることが確認できる。Cal-2 の場合と比べて護岸が侵食されるリスクが高いものと考えられる。

#### 5. 河道内の樹林帯の管理案とその検証

河道内の樹林帯の存在により洪水時において計画高水位を超える水位となるだけでなく、高速な洪水流が樹林帯を避けて護岸付近を流下することにより、護岸侵食のリスクにさらされていることが分かった。

本研究では管理案 1 として樹林帯の密度が高い区間 A-B において、その区間にある中洲の樹林帯を全部伐採する管理案を提案し、その検証を行った。その検証を行った計算 Cal-4 の水位の結果を図-6 に示す。

水位に関してだが、区間 A-B において水位が計画高水位よりも下回っていることが確認できる。流速においても中洲の樹林帯を切ったことにより、高水敷に高速な洪水流が流

れることがなくなった。

#### 5. 終りに

本研究から、平面二次元解析により昭和 56 年洪水が再現できることがわかった。樹木群は流速低下や水位上昇を引き起こし、浸食といった悪影響が考えられる。しかし、一部の中洲の樹木伐採により水位は計画高水位より下回り、安全性が確保される事がわかった。よって、適切な樹木管理が求められる。

今後の課題として、今研究では基本的に中洲に存在する樹木の全伐採としているが、鳥類・哺乳類といった河川環境生態などを考え、伐採区間をさらに広い区間で計画することにより、間引きといった全伐採ではない方法により、出来るだけ樹木を保全した樹木管理を検討していく予定である。

#### 謝辞

本研究では、北海道大学大学院博士課程岩崎理樹氏ご助言を戴くとともに、本論文の細部にわたりご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。

#### 参考文献

- (1) <http://i-ric.org/nays/ja/index.html>
- (2) 福岡捷二, 渡辺明英, 津森貴行: 樹木群を有する開水路における平面せん断流の構造とその解析, 土木学会論文集, No.473/II-24, pp.41-50, 1994.
- (3) 重枝未玲, 朝位孝二, 坂本洋, 長太茂樹, 秋山壽一郎, 樋口直樹, 重岡広美, 徳永智宏, 大野川とその派川の乙津川を包括した平面 2 次元洪水流解析と河道内樹木が乙津川への分流量に及ぼす影響, 河川技術論文集, 第 12 巻, pp.85-95, 2006
- (4) 大沼史佳, 須藤純一, 福岡捷二: 治水と環境を考えた河道内樹木管理の一つの試み, 水工論文集, 第 53 巻, pp.613-618, 2009
- (5) 飯島直己, 福岡捷二, 岡部博一: 堤外地に耕作地と樹木群を有する蛇行河川における洪水流と河床変動, 水工論文集, 第 54 巻, pp.745-750, 2010