

# 洪水時における河川内樹木と高茎草本類の水理的影響

## Hydraulic Effects of Trees and Altherbosa in River Channels during Flood

水工事業本部 水工第1部 川村 嘉勝<sup>1)</sup>



1)

### 1 はじめに

北海道内を流れる河川では、ヤナギ類等の樹木やオオイタドリやオオアワダチソウ等の茎が堅く背の高い草本(高茎草本類)の群落が多く見られる(写真-1参照)。

河川に繁茂する植生は、生態系の保全や良好な景観形成等の環境機能を有する一方で、洪水の流下を阻害する。特に、樹木や高茎草本類の繁茂状況は、河川の流下能力に大きく影響すると考えられる<sup>i)</sup>。このため、流下能力の算出にあたっては樹木密度や高茎草本の倒伏状況に応じた適切な抵抗の設定が重要であり、洪水観測と水理解析によって植生抵抗の評価法を確立する必要がある。



写真-1 河道内に繁茂する樹木と高茎草本

そこで、本検討では2005年8月21日~22日に石狩川の一次支川である美唄川(図-1参照)において発生した出水を対象に、樹木密度や高茎草本類の倒伏状況に応じた抵抗について評価を行い、出水時の再現計算を実施した。

なお、本検討で用いた水位や植生状況等のデー

タは、石狩川開発建設部において実施された洪水観測結果や植生倒伏調査結果<sup>ii)</sup>を基にしている。



図-1 美唄川位置図

### 2 検討対象河川と出水状況

美唄川は、流域面積 93.9km<sup>2</sup>、河川延長 21.8kmを有し、石狩川中流域に位置する石狩川一次支川である。河道形状は、堤間幅 100m、低水路幅 20m程度の複断面河道になっている(図-2参照)。また、低水路法面や高水敷にはヤナギ等の樹木やオオイタドリ等の高茎草本類が繁茂している。

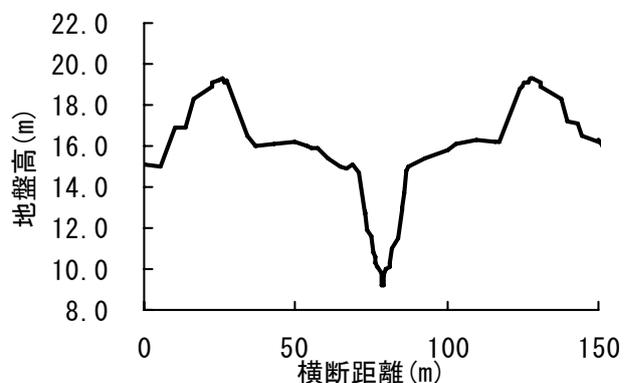


図-2 美唄川横断面図(KP3.0)

2005年8月21日～22日において発生した出水は、寒冷前線の通過に伴う大雨により発生したものであり、流域上流に位置する美唄山雨量観測所における累計雨量は121mmを記録した。また、美唄水位観測所(KP5.69)では、ピーク水位が計画高水位を0.13m上回る18.80mの値が観測され、痕跡水位もKP4.6～5.8にかけて計画高水位を超過した(図-3、図-4参照)。

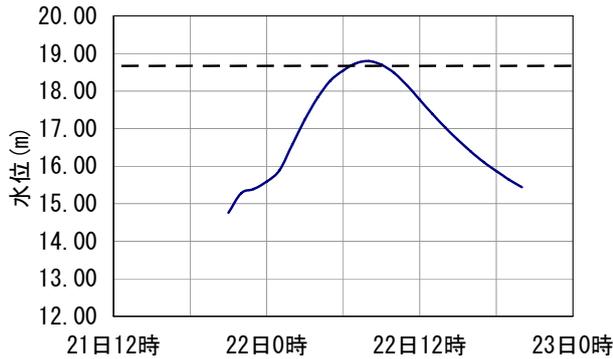


図-3 美唄水観測所水位時系列図

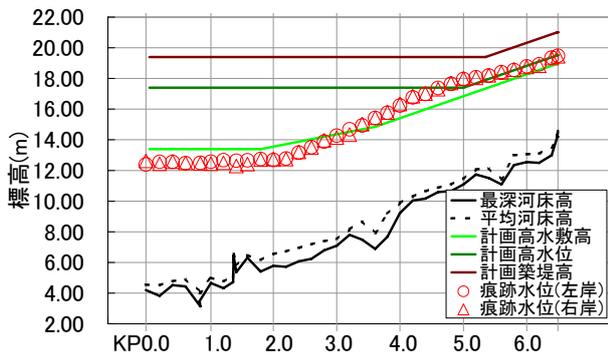


図-4 美唄川痕跡水位縦断面図

### 3 検討方法

#### 3.1. 準二次元不等流解析法

河道計画検討で流下能力評価を行う場合、一般的に準二次元不等流解析法<sup>iii)</sup>を用いる。

準二次元不等流解析法は、河道断面内を横断形状や樹木繁茂状況等から顕著な流速差が生じると考えられる位置で複数断面に分割し、分割断面ごとの平均流速と平均水位を求める手法である。なお、本解析法は「横断面内流速分布の計算」と「縦断水位の計算」で構成される。

以下にそれぞれの計算の運動方程式を示す。

[横断面内流速分布の計算]

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_{ji} (\tau'_{ji} S'_{wji})}{\rho g} + \frac{\sum_{ji} (\tau_{ji} S_{wji})}{\rho g} = A_i I$$

$$Q = \sum_i (u_i A_i)$$

[縦断水位の計算]

$$\frac{dH}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \alpha \frac{u^2}{2g} \right) + \frac{\tau}{\rho gh} + \frac{\tau'}{\rho gh} = 0$$

$$\int u^2 dA = \beta \sum_i (u_i^2 A_i)$$

ただし、 $S_b$ :底面せん断力が働く潤辺長、 $S_w$ :樹木群境界の潤辺長、 $S'_w$ :樹木群境界以外の分割断面境界の潤辺長、 $\tau$ :樹木群境界に作用するせん断力、 $\tau'$ :樹木群境界以外の分割断面境界に作用するせん断力、 $u$ :分割断面での平均流速、 $n$ :マンニングの粗度係数、 $R$ :径深、 $\rho$ :水の密度、 $g$ :重力加速度、 $A$ :河積、 $I$ :エネルギー勾配、 $Q$ :全断面の流量、 $H$ :水位、 $x$ :区間距離、 $h$ :水深、 $\alpha$ :エネルギー補正係数、 $\beta$ は運動量補正係数、添字  $i$ :  $i$  番目の分割断面についての量、添字  $ji$ :  $j$  番目の分割断面境界についての量である。

なお、せん断力  $\tau_{ij}$ ,  $\tau'_{ij}$  は下式で与えられる。

$$\tau_{ji} = \rho f \Delta u_{ji} \left| \Delta u_{ji} \right|$$

$$\tau'_{ji} = \rho f' \Delta u_{ji} \left| \Delta u_{ji} \right|$$

ただし、 $f$ : 樹木群境界の境界混合係数、 $f'$ : 樹木群境界以外の境界混合係数とする。

#### 3.2. 計算条件

##### 3.2.1. 粗度係数

###### (1) 低水路及び高水敷

低水路の粗度係数は河床材料と洪水時の水理量等から、高水敷の粗度係数は高水敷に繁茂する草本の草丈と洪水時の水深の関係から算出し、それぞれの値は0.020、0.055と設定する。

なお、それぞれの粗度係数の詳細な設定は「河道計画検討の手引き<sup>iv)</sup>」に示されている方法に準じている。

## (2) 樹木群

樹木繁茂範囲の抵抗は、「河道計画検討の手引き<sup>iv)</sup>」に示されているように死水域として扱うのが一般的である。

しかし、美唄川のように河積に対し樹木が繁茂している面積の割合が大きくなる傾向がある中小河川のような場合には、樹木群を死水域扱いにすると洪水再現計算が合わない事例も報告されている<sup>v)</sup>。

この場合、樹木の繁茂状況(樹高、樹木密度等)に関する情報を基に樹木群による抗力を考慮することにより再現性が得られたとの報告がある<sup>v)</sup>。

なお、樹木群による抗力は、樹木群の樹高、枝下高さ、幹の胸高直径や単位面積当たりの樹木本数から透過係数を算出して考慮する。

樹木群の透過係数  $k$  (m/s) を下式に示す。

$$k = (2g/a_w/C_d)^{0.5}$$

ただし、 $a_w = N \cdot D_m$  (m<sup>2</sup>)、 $C_d = 0.6$ 、 $g = 9.8$  (m/s<sup>2</sup>) である。 $N$  は単位面積当たりに繁茂する樹木本数、 $D_m$  は幹の胸高直径である。

## (3) 高茎草本類

一般的に用いられている解析法では、高茎草本類の抵抗は高水敷粗度係数の内数として取り扱われている。

しかし、「河川における草本類管理に関する検討会<sup>vi)</sup>」によると、草本域は水深等によって草本の倒伏状況が変化し、倒伏状況によって流れへの影響(粗度係数)が変化する特徴を有しているとしている。また、草本域の粗度係数は、草本の倒伏状況、水深や水面勾配等と関係があるとしている(図-5参照)。

### 3.2.2. 境界混合係数

「河道計画検討の手引き<sup>iv)</sup>」等に示されている一般的な複断面境界の境界混合係数の値は、低水路幅・低水路水深比が 10~40 程度の間の河川や水路等により観測された値を基に設定されたものである<sup>vii)</sup>。

一方、美唄川の低水路幅・低水路水深

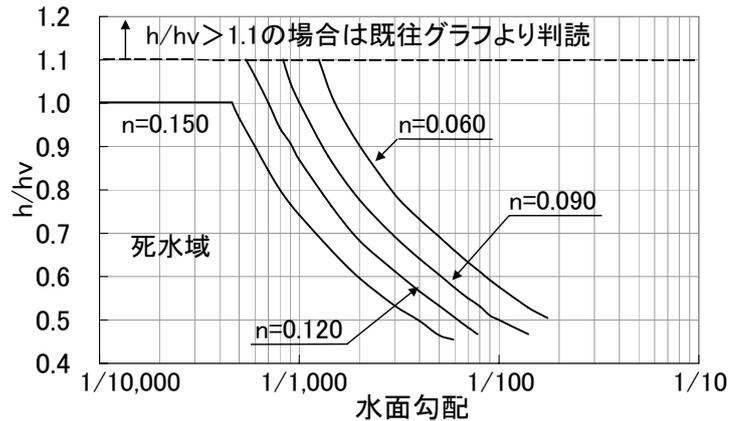


図-5 高茎草本と粗度係数の関係

比は 3~5 程度の値をとり、一般的な境界混合係数の適用範囲である 10~40 という値を大きく下回っている。

このことから、低水路幅・低水路水深比が 10 程度以下の河川において適用できる川村ら<sup>viii)</sup>が設定した下式を用いて境界混合係数を算出する。

$$f = \frac{c + dx}{a + bx}$$

$$x = h/D - 1$$

$$a = 0.0513 \exp(-15.8n_{mc})$$

$$b = 1.90 \exp(-18.3n_{mc})$$

$$c = 0.0130 \exp(34.4n_{mc})$$

$$d = 0.00187 \exp(-0.352n_{mc})$$

ただし、 $f$ : 複断面境界の境界混合係数とする。

## 4 植生が洪水に与える影響

### 4.1. 植生による流下阻害の影響

図-6に、2005年8月に発生した出水における

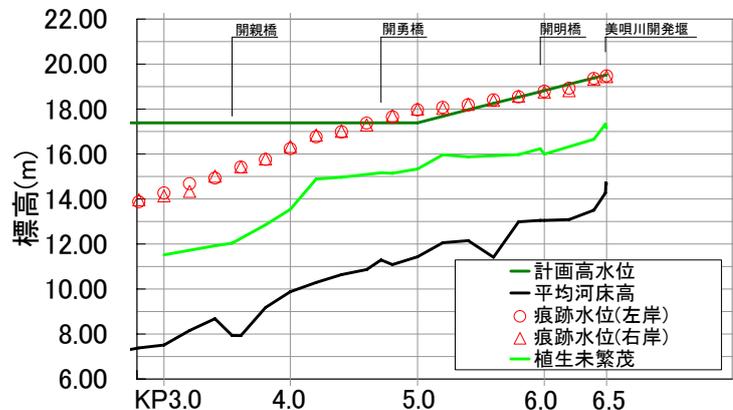


図-6 樹木等が繁茂していない場合の計算水位

痕跡水位と準二次元不等流解析法により算出した樹木群と高茎草本類が繁茂していなかった場合の計算水位を比較して示す。

これによると、樹木群や高茎草本類が繁茂していなかった場合の水位は痕跡水位と比べ1.9~3.0m低い値を示す結果となった。

このことから、美唄川では低水路や高水敷に繁茂する樹木群や高茎草本類の影響により大きく流下阻害を起していることが伺える。

#### 4.2. 従来の解析法による再現計算

図-7に樹木が繁茂している範囲を死水域と設定する従来行われている準二次元不等流解析法により算出した水位と痕跡水位を比較して示す。

これによると、従来行われている解析法において算出した水位は痕跡水位に近い値を示す区間があるものの、痕跡水位に比べ最大0.8m高い値を示す区間が生じる結果となった。

これは、美唄川のように河積に対して樹木が繁茂する面積の割合が大きい河川では、樹木を死水域扱いとすることにより、その抗力が過大に評価されるためと考えられる。

#### 4.3. 樹木群を考慮した解析法による再現計算

図-8に樹木が繁茂している範囲について透過係数を用いて抗力を考慮した準二次元不等流解析法(以下、「樹木群を考慮した解析法」と呼ぶ)により算出した水位と痕跡水位を比較した図を示す。

これによると、樹木群を考慮した方法で算出した計算水位は痕跡水位より若干低い値を示す結果となった。

このことから、美唄川のように河積に対する樹木投影面積の割合が高い河川では、その抗力を考慮することにより樹木群が繁茂している影響を適切に評価することができると思われる。

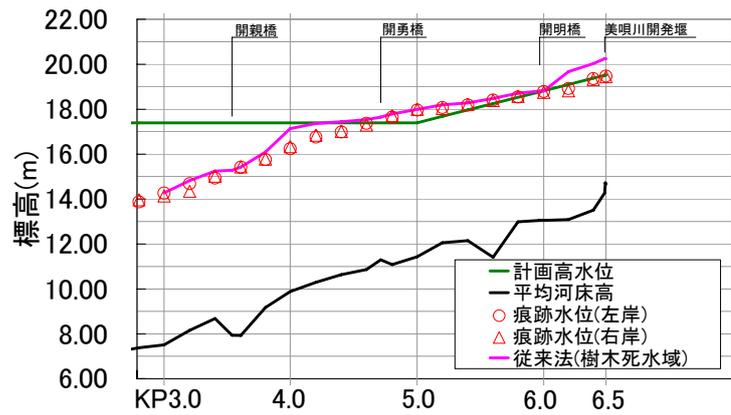


図-7 従来法による計算水位

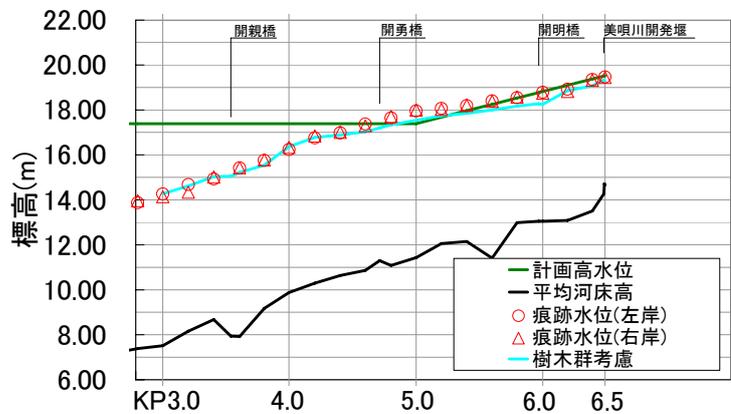


図-8 樹木群を考慮した方法による計算水位

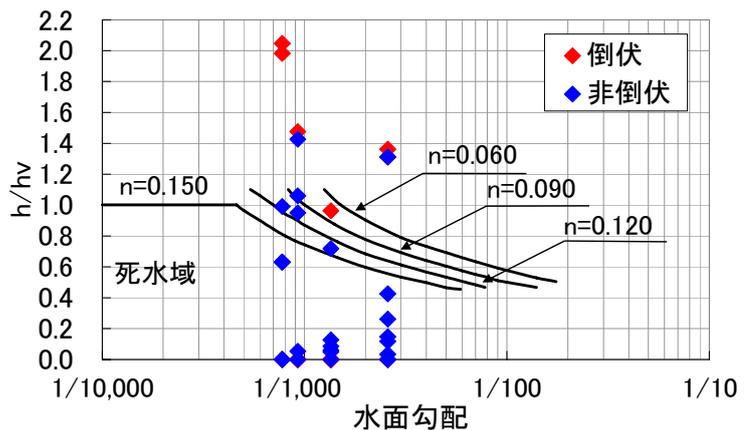


図-9 高茎草本類の繁茂状況と粗度係数

#### 4.4. 高茎草本を考慮した解析法による再現計算

図-9に「河川における草本類管理に関する検討会<sup>vi)</sup>」において整理された粗度係数の関係を示した図に美唄川における出水時の高茎草本類の倒

伏状況をプロットしたものを示す。

これによると、高茎草本類繁茂範囲における水深は草丈の2倍に達する箇所もあり、水深が草丈を越えた箇所は軒並み倒伏していたことがわかった。この傾向は、検討会において整理された実績と同じ傾向になっている。

また、図-9を基に高茎草本類の粗度係数を設定(倒伏:0.06、非倒伏:0.15)し、樹木群及び高茎草本類を考慮した準二次元不等流解析法により算出した水位と痕跡水位を比較したものを図-10に示す。

これによると、樹木群と高茎草本類を考慮した方法で算出した計算水位は痕跡水位に近い値を示す結果となった。

このため、樹木や高茎草本類が多く繁茂する河川では、その抗力を考慮することによりそれらの影響をより適切に評価することができると考えられる。

## 5 まとめ

図-11に従来行われている準二次元不等流解析法による計算水位と樹木群及び高茎草本類を考慮した準二次元不等流解析法により算出した水位を比較して示す。これによると、樹木群や高茎草本類を考慮した方法により算出した水位は従来行われている方法により算出した値より低く、かつ痕跡水位に近い値が算出されることがわかった。

このことから、美唄川のように樹木群や高茎草本類が繁茂する河川において流下能力等を算出する場合、樹木群や高茎草本類による影響を適切に評価する必要があることがわかった。

しかし、本検討では高茎草本類の倒伏状況の違いによる水の流れへの影響について詳細に評価することができなかつたため、定量的な評価を可能にするため今後も調査・検討を続ける必要がある。

なお、本資料は石狩川開発建設部の委託業務の成果<sup>ii</sup>をまとめたものである。

i 福岡捷二、藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，土木研究所報告書，第180号-3，pp129-192，1990.1

ii 田中徹・桑村貴志・阿部修也：河川に繁茂する

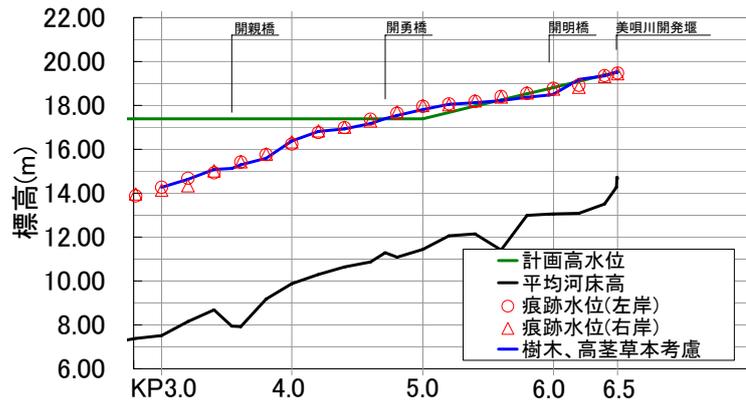


図-10 高茎草本類を考慮した方法による計算水位

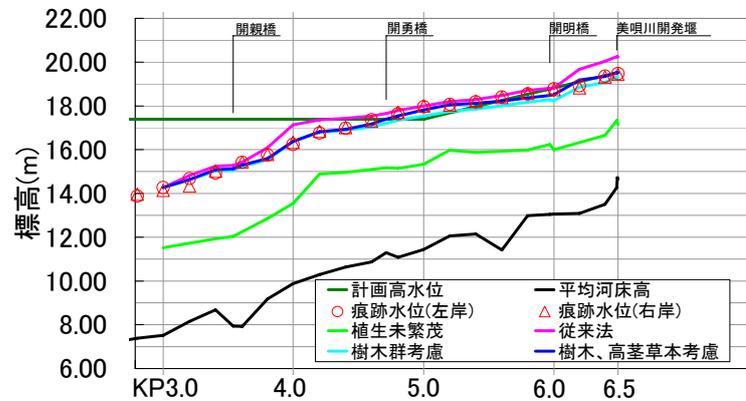


図-11 植生の取り扱いの違いによる水位差

樹木群落が洪水流に与える影響について，第49回北海道開発局技術研究発表会発表論文集，2006.2

iii 財団法人リバーフロント整備センター編：河川における樹木管理の手引き，山海堂，1999.9

iv 財団法人国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，2002.2

v 木下誠一・山越明博・大山孝：中小河川における樹木の影響を考慮した解析手法の検討，第46回北海道開発局技術研究発表会発表論文集，2003.2

vi 河川における草本類管理に関する検討会：高茎草本の洪水時の挙動と河川管理上の留意点，2004.3

vii 福岡捷二，藤田光一：複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用，土木学会論文集，No.411/II-12，pp63-72，1989

viii 川村嘉勝・濱木道大・荒井信行・木下誠一・山越明博・渡邊康玄：中小河川を対象とした低水路・高水敷境界の境界混合係数に関する研究，河川技術論文集第9巻，2003.6

