

樹木群を有する河道の洪水位予測

福岡捷二*・藤田光一**・新井田 浩***

樹木群が分布している河道の洪水位の予測を行うために、樹木群の存在による死水域流れの抵抗及び樹木群と洪水流の干渉による抵抗を考慮にいたした運動方程式と連続式より水深平均流速の横断分布を求める。つぎに、この流速分布と樹木群分布を考慮して分割した断面についてたてられた一次元運動量方程式から縦断水位を求める式を導いている。これらの流速分布式、及び縦断水位変化式の適用性が石狩川の洪水資料で確認されている。

Keywords : vegetation, flow resistance, Ishikari river, velocity distribution, water level prediction

1. 序 論

我が国河川の中、下流部の河道断面は低水路と高水敷から構成される複断面形状が一般的である。樹木群が繁茂した河道では、洪水は樹木群内を流れにくく、樹木群上を流れる洪水は高水敷上の流れのように振舞う。このことから、密生した樹木群のある河道もまたほぼ複断面形であるといつてよい。従来、複断面河道の水位予測手法には河道の抵抗を河道全体の粗度係数(合成粗度係数)の形でとらえた1次元解析法(不等流計算法、不定流計算法など)が用いられてきた¹⁾。この手法を用いる際には、精度の高い合成粗度係数を求めておく必要がある。この点については多くの研究が行われており、水位予測の精度は高まってきている²⁾。複断面河道においては高水敷に水が乗ると粗度係数の計算値が水深によって急激に変化してしまうところから、井田は断面分割法を提案している³⁾。この手法は低水路と高水敷でマンギの抵抗則が独立に成立し、また低水路、高水敷の粗度係数が等しい場合、水深による全体の粗度係数(合成粗度係数)の変化はないという考えにもとづいている。具体的には合成径深 R_c を式(1)のように定義し、さらにこの合成径深を用いてマンギの抵抗則より式(2)に示す合成粗度係数 N_c を算出している。

$$R_c = \left\{ \frac{\sum A_i R_i^{2/3}}{A} \right\}^{3/2} \dots\dots\dots (1)$$

$$N_c = \frac{\sum A_i R_i^{2/3}}{\sum \frac{A_i R_i^{2/3}}{n_i}} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 A は河積、 R は径深、 n は粗度係数、添え字 i は分割断面の番号を示す。

以上に示した合成粗度係数を用いて水位予測手法としては、エネルギー保存則により導かれた式(3)が用いられている¹⁾。

$$\left\{ H_2 + \frac{D_2(Q_2)^2}{2g(A_2)} \right\} - \left\{ H_1 + \frac{D_1(Q_1)^2}{2g(A_1)} \right\} = h_e$$

$$h_e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{N_1^2 Q_1^2}{A_1^3 R_1^{4/3}} + \frac{N_2^2 Q_2^2}{A_2^3 R_2^{4/3}} \right\} \Delta X \dots\dots\dots (3)$$

ただし、式中の表示は建設省河川砂防技術基準(案)に従っており、 H は水位、 D はエネルギー補正係数、 Q は流量、 ΔX は計算断面間隔、 g は重力加速度、添え字 1, 2 は断面番号を示す。この手法によれば水深による合成粗度係数の急激な変化はある程度改善される。

福岡、藤田は実測粗度係数と断面分割法による合成粗度係数との相違が低水路流れと高水敷流れとの流体混合によるとして、これによる抵抗を低水路と高水敷の境界に作用するせん断力の形で評価した⁴⁾。このせん断力は低水路流速と高水敷上流速を用いて以下に示す式(4)で表現され、これを導入した運動方程式により複断面河道の合成粗度係数が適切に算出されるようになった。

$$\tau = \rho f (u_{mc} - u_{fd})^2 \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 u_{mc} は低水路流速、 u_{fd} は高水敷流速、 f は境界混合係数を示す。境界混合係数 f の値は断面形状により異なるが、おおむね 0.17 であることが大型模型実験によって示されている。

樹木群が繁茂している河道の断面形は一般的に複断面形である。このような河道の水位予測では、先に示した複断面河道の形状による影響に加えて、以下に示す樹木群が抵抗要素として流れに与える影響が考慮されなければならない。

① 樹木群内の流れは、他の河道部分に比較して著しい低流速域となる。

* 正会員 Ph.D. 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒152 目黒区大岡山2-12-1)
 ** 正会員 工修 建設省土木研究所河川部河川研究室主任研究員
 *** 正会員 工修 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所

② 樹木群内の遅い流れが周辺部の速い流れと激しく混合することにより速い流れを減速させている。

これらは樹木群が河道内において大きな粗度の塊として働き、河道の抵抗を計算するにあたってこの粗度の大きさと分布（樹木群の繁茂状態）を考慮する必要があることを示している。しかし、式（3）で示された水位予測手法ではこれらの現象を十分に表現しきれないことが示されてきた⁵⁾。すなわち、福岡らは沼淵川での洪水観測と解析によって、樹木群領域では実質的に流速をゼロとみなし、この範囲を河積から除外することによって（樹木群領域を死水領域とする）かなりの精度で水位予測が可能であることを示している。さらに福岡、藤田は精度の高い水位予測を行うために、樹木群領域を死水域とすることに加えて、樹木群境界で生じるせん断力を考慮する必要があることを指摘した。すなわちこのせん断力を複断面河道での低水路流れと高水敷流れとの流体混合現象と同様に式（4）の形で表現したうえで、境界混合係数 f の値が樹木群の密度、配置、幅及び水位によってどのように変化するかについて大型模型実験による検討で明らかにした^{6),7)}。

この結果をもとに、樹木群による流体混合に伴うエネルギー損失を式（5）の形で表現している。

$$EL = \frac{\sum(\tau_j S_{wj})}{\rho g \sum A_i} \frac{A_{i=p}^{2/3}}{\sum_{i=1}^{n_i} \left\{ Q \frac{n_i S_{wi}^{2/3}}{\sum A_i^{5/3}} \right\}^2} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 j は各分割断面境界の番号、 τ_j は境界 j に働くせん断力、 S_{wj} は τ_j が働く潤辺長、 EL は樹木群によって生じる付加的な流体混合によるエネルギー損失を断面内でたし合わせたもの、 p は樹木群内外の境界 j に接する分割断面の番号、 ρ は水の密度、 Q は断面全体の流量を示す。さらに、式（5）を用いて式（3）中の h_e を以下の式（6）の形で表現することによって縦断水位を計算する手法を提案している⁷⁾。

$$h_e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{N_1^2 Q_1^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{N_2^2 Q_2^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right\} \Delta X + \frac{1}{2} (EL_1 + EL_2) \Delta X \dots \dots \dots (6)$$

しかし、式（5）で考慮されている流体混合現象に伴うエネルギー損失は樹木群によるものだけで、低水路と高水敷の境界におけるエネルギー損失は考慮されていない。さらには、樹木群境界に作用するせん断力 τ の算出に用いられている流速差は式（5）中の $\{ \}$ で表現されており、これはマンニングの抵抗則が各分割断面で独立に成立するものとして求められた値である。したがってこの値では樹木群内外での流体混合による低流速域の加速と高流速域の減速を十分に表現できず、過大な流速

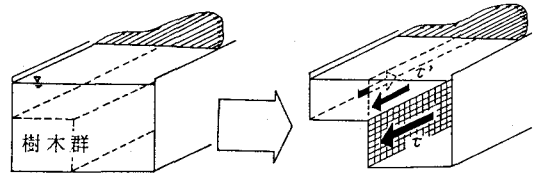


図-1 樹木群を考慮した河道のモデル化

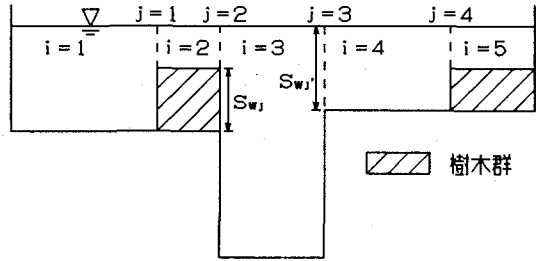


図-2 樹木群を有する河道の一般的な横断面

差を与えるという問題を含んでいる。

そこで本研究では、以上に示した研究をふまえた上で、樹木群が流れに与える影響を抵抗力として算出することによって、樹木群が繁茂している河道における実用的でかつ精度の高い水位予測手法を確立することを目的としている。具体的には、図-1に示すように、まず樹木群による死水域を河積から除き樹木群上を地盤高とする断面を想定する。このようにして決められた断面形は、複断面河道の断面形に類似したものとなる。次に樹木群境界、及び低水路と高水敷の境界にせん断力 τ 、及び τ' が働いているとして、樹木群の存在による流れの加速と減速を表現できる断面内の横断流速分布の計算式を導く。計算で求めた横断流速分布を用いて壁面及び樹木群境界に働くせん断力を算出する。次に運動量原理に基づき樹木を有する河道の縦断水位変化の計算式を導く。最後にこれらの流速分布式と縦断水位の式を用いて石狩川における二つの洪水を対象に横断流速分布、及び縦断水位変化を計算し実測値と比較することにより本計算法の適合性を検証する。

河川の樹木に関する水理的問題は、最近多面的に研究が行われているが⁸⁾、本文では洪水時の水位予測という大きな枠組みの中で河道内の樹木群の影響を取り込むことを主眼としている。

2. 計算法

(1) 横断流速分布

樹木群を有する河道断面で一般的なものとして図-2に示す断面を想定する。流れは等流と仮定する。

樹木群による死水域を河積から除いた後、横断面を樹木群の繁茂状況と断面形状に従い分割し、これらの各分割断面の境界及び樹木群境界に作用するせん断力を考慮

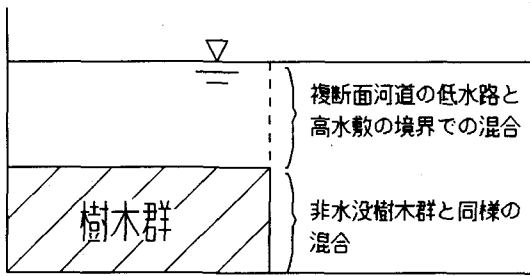


図-3 水没樹木群による混合

表-1 境界混合係数 f の値

混合現象の区別	境界混合係数の値
低水路流れと高水敷流れとの混合	0.17
河岸に接している樹木群と主流部との混合	0.03
一つの流れにはさまれた樹木群と主流部との混合	0.10

すると、各分割断面の運動方程式と連続式は以下に示す式(7)、(8)で表現できる。

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum(\tau_j S_{wj})}{\rho g} + \frac{\sum(\tau_j S_{wj})}{\rho g} = A_i I_b \dots\dots\dots (7)$$

$$Q = \sum(A_i u_i) \dots\dots\dots (8)$$

ここで u_i は各分割断面の断面平均流速、 n_i 、 R_i 、 A_i はそれぞれ各分割断面の粗度係数、径深、死水域を除いた河積、 S_{bi} は壁面せん断力が働く潤辺長、 τ_j 、 τ_j' は樹木群境界、分割断面境界に作用するせん断力、 S_{wj} 、 S_{wj}' は τ_j 、 τ_j' が働く潤辺長、 I_b は河床勾配を示す。また左辺第一項は壁面に働くせん断力、左辺第二項は各分割断面の境界に働くせん断力、左辺第三項は樹木群境界に働くせん断力、右辺は重力の流下方向成分を示す。せん断力 τ 、 τ' はそれぞれ式(9)、(10)で表現する。

$$\tau = \rho f u_i^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$\tau' = \rho f (\Delta u)^2 \dots\dots\dots (10)$$

ここで Δu は τ' が作用する境界に接する二つの流れの流速差を示す。境界混合係数 f の値については、福岡、藤田により検討されており^{4), 6), 7)}、本研究においてはこの検討結果を用いることとする。樹木群が河岸に接している場合樹木群幅が広いことが多いため f の値として 0.03 を用いた。逆に樹木群が二つの流れにはさまれている場合樹木群幅が狭いことが多いため f の値として 0.10 を用いた。

また水深が増加し樹木群が水没する場合は樹木群上の水深が樹木群の高さに比較して極端に小さい場合を除いて、樹木群領域と主流部の混合現象を樹木群上の流れと主流部との混合、及び樹木群内の流れと主流部との混合に分けて考えることができることが示されている。(ただし、水没した樹木群上には、適当な値の粗度係数を与えている。) 計算では、樹木群が水没する場合、樹木群上の水深がさまざまでありこれらを統一的に取り扱うため、樹木群上の混合は複断面河道の低水路と高水敷の境界での混合を、樹木群と主流との境界での混合は非水没樹木群と主流との間の混合をそれぞれ仮定した(図-3)。

計算で用いた境界混合係数 f の値を表-1に示す。以上式(7)~(10)、及び表-1の f の値を用いて、横断

流速分布が計算できる。

(2) 縦断水位

本研究においては、従来から用いられてきた合成粗度係数を用いず、式(7)から求まる横断流速分布を用いて壁面及び繁茂形態の異なる個々の樹木群が洪水流に与える抵抗を直接算出し、その総和を河道全体の抵抗として縦断水位を計算する。この手法を用いる理由は、河道内における個々の樹木群がそれぞれどれだけの抵抗を流れに及ぼしているかを評価でき、かつ全体としての抵抗も精度よく見積ることができるからである。

以下、基本式を導出する。まず樹木群による死水域を除いた断面内における微小流管中の流れ方向の運動方程式は、運動量原理により式(11)により表現できる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g} \right) dA \delta x = \frac{\tau}{\rho g} ds \delta x \dots\dots\dots (11)$$

次に式(11)を断面全体で積分する。ここで流速の積分の平均値として各分割断面の断面平均流速を用い(各分割断面内での運動量補正係数は1.0とする)、圧力は静水圧分布を仮定する。せん断力 τ の積分は、複断面境界に作用するせん断力が内力として打ち消し合うことから、壁面せん断力と樹木群境界に作用するせん断力の二つにまとめることができる。したがって式(11)を積分した結果として式(12)を導くことができる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{1}{A} \left(\sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right) + H \right\} = \frac{1}{A} \sum \left(\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right) + \frac{1}{\rho g A} \sum (\tau_j S_{wj}) \dots\dots\dots (12)$$

ここで、 H は水位を示し、 $H = z + h$ 、 A は $\sum A_i$ 、右辺第一項は壁面せん断力の断面平均値、右辺第二項は樹木群境界に働くせん断力の断面平均値を示す。なお u_i は式(7)、(8)から求まる横断流速分布の計算値を用いるものとする。実際の計算は式(12)を差分化した式(13)により行う。式中の記号は、前述の式に従う。

$$\left(H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right)_2 - \left(H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right)_1 = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right)_1 + \left(\frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right)_2 + \left(\frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right)_1 + \left(\frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right)_2 \right\} \Delta X \dots\dots\dots (13)$$

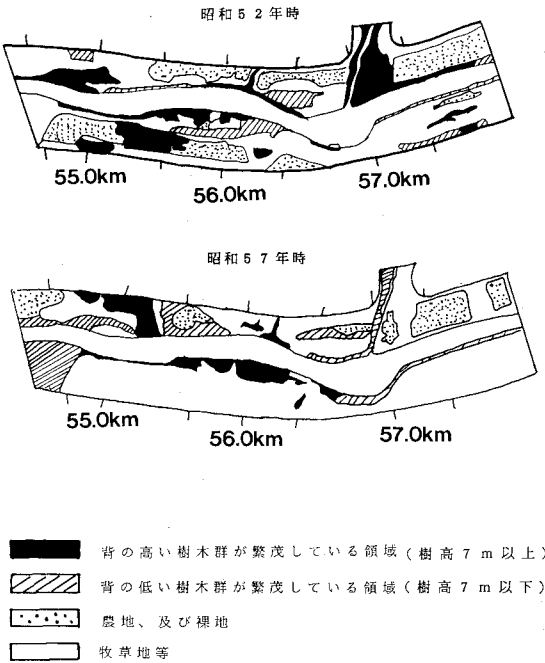


図-4 樹木群の分布

3. 石狩川洪水への適用

(1) 石狩川の河道特性、及び洪水の概況

横断流速分布、及び縦断水位変化の計算法を石狩川における二つの洪水（昭和50年8月洪水及び56年8月洪水）に適用し、計算法の適合性を検討した。計算の対象としたのは河口から54.5～57.5 kmの区間で、河床勾配1/4100を持つ。河道の状況と樹木群の繁茂状況を共に図-4に示す。この図を見ると52年から57年にかけて高水敷上の樹木群の分布がかなり異なっていることがわかる。河道内で見られる樹木群の大部分が柳であり、高いもので10 mに及ぶものもある。樹木群の密度（単位面積に占める樹幹の面積）は概ね0.0007～0.025の範囲にみられ、その大部分が0.001～0.007の範囲に集中している。これは福岡、藤田による実験⁷⁾で用いられた植生模型の密度に近い値である。樹木群には、低水路に沿って細長く分布している場合と高水敷上において横断方向にかなり広い幅を持って分布している場合の二通りがある。

また横断面形は両側高水敷を持つ複断面形で、全河幅に対する低水路幅の比は0.25程度の値を持つ。低水路の粗度係数は0.028を用いている。また高水敷の粗度係数については既往の研究において、地被状態に応じてそれぞれ異なる値を持つことが示されている。本研究においては観測された表面流速から一般的な地被状態（牧草地等）の高水敷粗度係数を局所不等流計算法²⁾（水位及

表-2 計算で用いた高水敷粗度係数

地被状態の区分	粗度係数
牧草地等	0.035
堅草 疎	0.040
堅草 密	0.050
樹木群上	0.050

び流速は既知とする)により逆算し、その結果0.031～0.035程度の値を得ている。

樹木群上の粗度係数については福岡らの実験において0.04程度の値が示されており⁷⁾、これを現地での値に換算すると0.05程度と推定できる。その他の地被状態の部分については既往の研究結果を参考に設定した⁹⁾。計算において高水敷の粗度係数として用いた値を表-2に示す。

本研究で対象とした昭和50年及び56年洪水は石狩川において過去に例のない大洪水であった。58.0 km地点におかれている月形橋流量観測所において50年洪水では最高水位15.92 m（流量6714 m³/s）、56年洪水ではこれを上回る最高水位16.99 m（流量8834 m³/s）を記録している。計画高水位は16.60 mであった。それぞれの洪水時における表面流速分布の観測結果を図-5に示す。これを図-4に示した樹木群の状況と併せて見ると、樹木群領域及びその周辺領域が明らかに低流速域になっていること、また密な状態で低水路に沿って細長く分布している非水没樹木群は主流部を二分する働きを示していることがわかる。

(2) 断面諸量、及び死水域の設定法

計算にあたっては河道断面を矩形で近似し、この断面中に図-4に示す樹木群の分布に従い、樹木群の高さ及び密度に応じて死水域を設定する。このように作成した断面をその断面形状により数断面（4～6断面程度）に分割し、これを計算に用いる。樹木群の死水域の大きさは密度について密（樹木群密度0.005以上）と疎の二種類、高さについて高木（樹高7 m以上）と低木の二種類に分類している。ここで、密な状態で繁茂している樹木群内の流速はほとんどゼロであるのに対して、疎な状態で分布する樹木群内は、完全には死水域とならないことから、後者については樹木群の高さを割引いたのち死水域を設定している。すなわち表-3に示すように密な場合は割引率はゼロであるが、疎な樹木群については、高木林、低木林それぞれについて表-3の高さを与えることとし、この値を用いると、昭和56年洪水について計算流速分布は、実測流速分布に、ほぼ一致する。

樹木群の上下流の死水域の拡がりについては福岡、藤田の実験結果⁷⁾である上流側に25度、下流側に5度の割合で縮まる死水域を設定している。

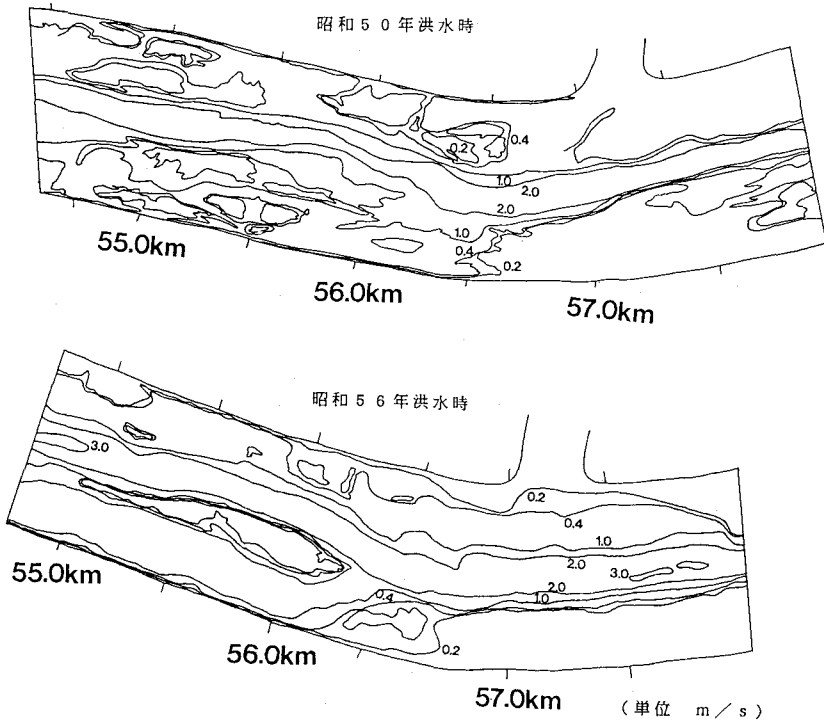


図-5 洪水時の表面流況

表-3 樹木群の分類と死水域として設定する高さ

樹木群の分類	死水域として設定する高さ
高木林 (密)	7.0 m
高木林 (疎)	4.5 m
低木林 (密)	3.0 m
低木林 (疎)	2.5 m

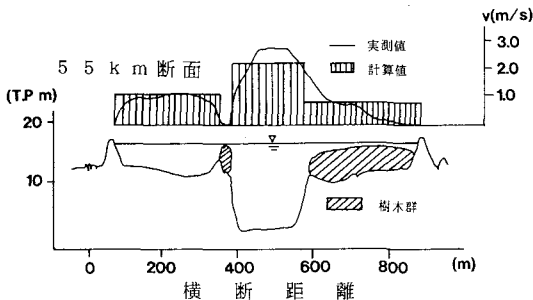


図-6 横断流速分布の計算結果 (56年洪水)

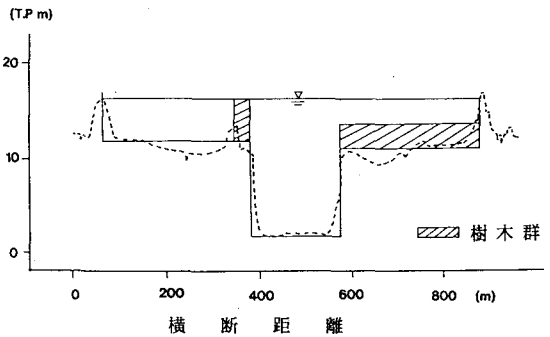


図-7 計算で用いた矩形近似した横断面

(3) 56年洪水を対象とした計算結果

a) 横断流速分布

56年洪水のピーク時における横断流速分布(各分割断面の断面平均流速の分布)の計算結果の一例(55.0 km断面)を表面流速の観測結果と共に図-6に示す。

計算には、昭和56年8月測量の横断面を、図-7に示すように樹木群による死水域を考慮したのち矩形近似

して用いた。

各分割断面の断面平均流速は式(9)、(10)を式(7)に代入し水位及び流量を既知量として計算を行った。計算結果は樹木群の影響による横断流速分布形状をほぼ表現していることがわかる。

計算に用いた断面は図-7に示すように樹木群を考慮した断面形状でかつ実用性を重視してできるだけ簡単な形で近似したものである。さらに断面の分割数を増やすことにより断面をより実状に近い形で表現することも可能であり、この場合の計算結果を以下に示す。計算は55.0 km断面を対象に行った。計算に用いた断面(分割数を増したものを)を図-8に、計算結果を図-9に示す。計算結果は図-6に示す結果とあまり変わらないが、よ

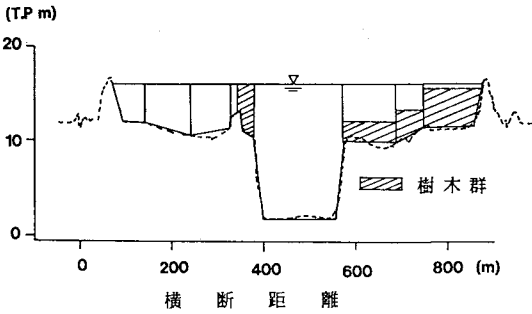


図-8 計算に用いた断面 (分割数を増した場合)

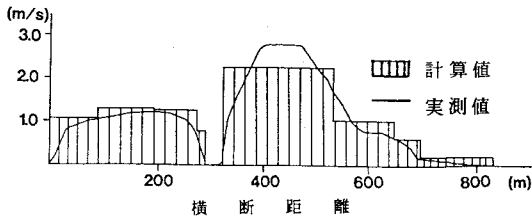


図-9 横断流速分布の計算結果 (分割数を増した場合)

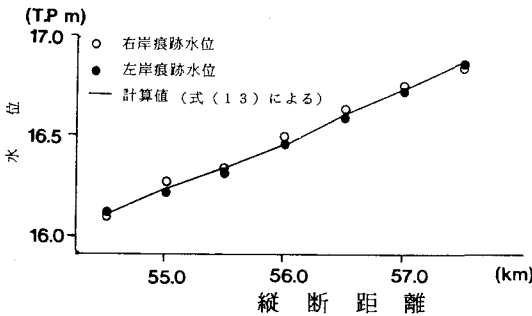


図-10 縦断水位の計算結果 (56年洪水)

表-4 断面内における抵抗の内訳

断面	抵抗力の比 (②/①)	潤辺長の比
54.5 k	0.147	0.013
55.0	0.252	0.012
55.5	0.194	0.012
56.0	0.450	0.018
56.5	0.258	0.017
57.0	0.166	0.014
57.5	0.313	0.013

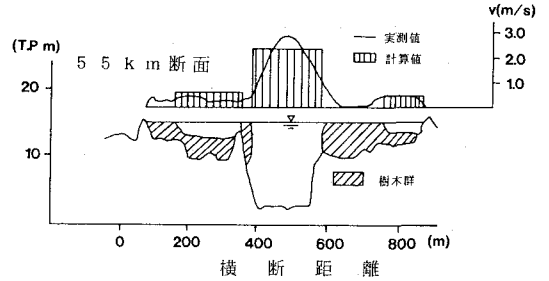


図-11 横断流速分布の計算結果 (50年洪水)

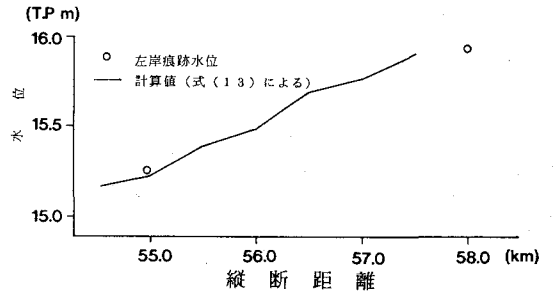


図-12 縦断水位の計算結果 (50年洪水)

り実際の流速分布に近いものとなっている。図-6と図-9の比較より、流体混合に起因するせん断力は隣合う流れの流速差が大きい場所、すなわち高水敷と低水路の境界及び樹木群の境界において大きな値を持つことからこれらの点に着目して断面を分割しさえすれば、分割数をそれほど多くとらなくても横断流速分布を実用上ほぼ表現できると結論される。

b) 縦断水位の計算結果、及び断面内における各種抵抗の大きさの内訳

計算区間の下流端である54.5 km断面の痕跡水位を境界条件、流量を既知として式(13)により洪水のピーク時における縦断水位変化を計算した。本計算結果と実測値との比較を図-10に示す。

本計算法は痕跡水位をよく説明していることがわかる。

またそれぞれの断面の抵抗を①底面及び側壁の摩擦によるもの(式(12)の右辺第一項)、②樹木群境界に働くせん断力によるもの(式(12)の右辺第二項)とに分

け、式(13)を用いた計算過程において得られたこれらの力の比を、それぞれの力が働く潤辺長の比($\sum S_{wj}$ と $\sum S_{bt}$ の比)と比較して表-4に示す。

この表から明らかなように流体混合現象による樹木群境界に働く抵抗は壁面摩擦による抵抗に比較して潤辺長の比以上に全抵抗の中で大きな割合を占めている。また樹木群境界に働くせん断力は樹木群近傍の流速の二乗に比例することから、特に56.0 km付近のように低水路河岸に高木林が密生している場合は、樹木群境界において大きなせん断力が働くことになる。

(4) 50年洪水を対象とした計算結果

本節の目的は56年洪水を対象とした計算において用いた死水域の設定法、及び境界混合係数 f の値を洪水規模の異なる50年洪水に用いることによって本計算法の適合性を検証するところにある。従って計算式及び計算条件は56年洪水で用いたものに準ずる。ただし横断図は53年測測のもの、樹木群分布は52年調査のものを

いている。

まず、横断流速分布の計算結果の一例を図-11に示す。50年洪水については5kmおきの痕跡水位の測定結果しか得られていないため、水位は不等流計算結果から得られた数値を与えた。横断流速分布の計算結果には56年洪水のものと比較すると実現象との間にややズレがある。この理由として以下の点が考えられる。まず、計算に用いた横断面及び樹木群分布が50年洪水時のそれらと比較して異なっている可能性がある。次に樹木群の分布が56年洪水時に比較して縦断的に一様でない。すなわち横断方向にある幅を持った樹木群が縦断方向に断続的に分布している。この状態では樹木群領域内が死水域とならない場合や、個々の樹木群の近傍での流れが干渉しあい流れがより複雑なものになる場合があると考えられる。このような場合の樹木群の取扱についてはさらに検討が必要であると考えられる。とはいえ、横断流速分布の計算値はほぼ妥当な分布を与えているといえる。

次に、縦断水位変化の計算結果を図-12に示す。痕跡水位の測点が少ないという問題はあるが、測定された痕跡水位との対応を見る限りにおいてはほぼ実現象に近い結果を与えている。

4. 結 論

本研究の基本的考え方を要約し、結論を述べる。本研究においては、河道内に種々の配列で存在する密生した樹木群に起因する抵抗増加、すなわち樹木群によって生じる死水域、樹木群内の流れと主流間の混合による抵抗、樹木群によって作られる複断面河道形状に起因する抵抗を考慮にいれた運動量方程式をたてている。この式中に含まれている諸係数値に大型模型実験から求められた値を採用することによって、洪水流の流速分布と水位縦断形が見積れることを示している。

樹木群が流れに及ぼす影響の中で最も大きなものは、密生した樹木群内では流速が極端に小さくなり、死水域と見なせることにある。このことは、樹木群を有する河道において洪水流は、そのほとんどが樹木群外を流れることを意味している。この機構によって、樹木群が存在する河道の流速分布や水位がほぼ決定される。

樹木群内外の遅い流体と速い流体との混合に伴う抵抗の発生も流速分布を変形させ、洪水位に影響を与える。

洪水流による樹木群の変形、樹木群密度の違いは、本文では樹木群高さの割引率として考慮している。これらが計算結果に与える影響は前二者の抵抗要因に比較して一般的には小さいと考えられる。

しかし、死水域の大きさ、境界混合係数の値、樹木群高さの割引率の大きさは樹木群の密度、生育状況によって変化すると考えられる。この点に関しては、現地河川への適用事例を積み重ねることによって、より一般性を

もたせていく必要がある。これまで、樹木群繁茂状況や河道特性の異なる幾つかの河川に本計算法を適用した結果から判断すると、樹木群の存在分布、生育状況を対象河川で十分調べ、この調査に基づき死水域を適切に考慮することができれば、他の諸係数値は本文で用いた係数値で代表させることができ、これによって水位縦断分布が実用上十分な精度で予測可能であることが見いだされている。

主要な結論を示す。

① 樹木群が繁茂している河道の水位予測には、複断面河道の抵抗予測の手法が適用できる。これによって複断面河道及び樹木群を有する河道の統一的な抵抗予測が可能になった。

② 樹木群が繁茂している河道に対して、樹木群領域を死水域とし、さらに樹木群境界及び低水路と高水敷の境界に作用するせん断力を考慮することによって実用的な横断流速分布の計算式を導いた。

③ 横断流速分布の計算結果を用いることにより、運動量原理に基づいた縦断水位の計算式を導いた。

④ 本研究で得られた横断流速分布及び、縦断水位の計算法を石狩川における昭和56年洪水に適用し、実測の流速分布、洪水位を用いて検討することにより、樹木群の繁茂状況に応じた断面の分割方法、死水域の設定法、粗度係数、境界混合係数の与え方を明らかにした。

⑤ 昭和50年の洪水位予測に④で確立された計算法を用いることによって、本計算法の一般性が検証された。最後に貴重な資料の提供をいただいた関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省河川砂防技術基準(案)一調査編一、第6章、山海堂、1977。
- 2) 福岡捷二：河川の洪水と粗度、水工学シリーズ87-A-5、1987。
- 3) 井田至春：広幅員開水路の定常流一断面の影響について一土木学会論文集第69号別冊(3-2)、1960。
- 4) 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、土木学会論文集第411号/II-12、pp.63~72、1989。
- 5) 福岡捷二ら：溜沼川における洪水流と河床変動の研究、土木研究所報告第180号、pp.35~128、1990。
- 6) 藤田光一、福岡捷二：洪水流における水平乱流混合、土木学会論文集第429号/II-15、pp.27~36、1991。
- 7) 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、土木研究所報告第180号、pp.129~192、1990。
- 8) 辻本哲郎：植生を伴う流れの水理、水工学シリーズ91-A-5、1991。
- 9) 建設省河川局治水課、土木研究所河川研究室：河道特性に関する研究、第40回建設省技術研究会、1988。

(1991.9.11 受付)

PREDICTION IN FLOOD WATER LEVEL OF RIVER COURSES WITH VEGETATION

Shoji FUKUOKA, Kohichi FUJITA and Hiroshi NIIDA

River courses supply good environment for vegetation growth. Vegetation is an essential element composing river landscape and river environment, but it is also roughness element for making the resistance to flow increase. In this paper, the lateral distribution of depth-averaged velocity is firstly obtained from equations of motion within a cross-section and continuity equation in which we consider the flow resistance in compound cross-section and resistance due to interaction between distributed vegetation and flood stream. Secondly, longitudinal water level is calculated from *one-dimensional momentum equation taking account of distributed vegetation and the lateral velocity distribution*.

The applicability of the basic equations determining velocity distribution and longitudinal water level is assured by two sets of data of large floods in the Ishikari River.
