

# 拡張準2次元解析を用いた大野川・乙津川の 河道内樹木の管理に関する研究

STUDY ON MANAGEMENT OF VEGETATIONS USING EXTENDED QUASI  
TWO-DIMENSIONAL ANALYSIS IN THE OONO AND OTOTSU RIVER

重枝 未玲<sup>1</sup>・朝位 孝二<sup>2</sup>・坂本 洋<sup>3</sup>・徳永 智宏<sup>3</sup>・  
西尾 崇<sup>4</sup>・秋山 壽一郎<sup>5</sup>・中江 邦昭<sup>6</sup>

Mirei SHIGE-EDA, Koji ASAI, Hiroshi SAKAMOTO, Tomohiro TOKUNAGA,  
Takashi NISHIO, Juichiro AKIYAMA and Kuniaki NAKAE

<sup>1</sup>正会員 博士(工) 九州工業大学准教授 工学部建設社会工学科(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

<sup>2</sup>正会員 博士(工) 山口大学准教授 工学部社会建設工学科(〒755-8611宇部市常盤台 2-16-1)

<sup>3</sup>正会員 株式会社 建設技術研究所 九州支社河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12 CTI福岡ビル)

<sup>4</sup>正会員 国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所所長 (〒870-0820 大分市西大道1-1-71)

<sup>5</sup>フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

<sup>6</sup>学生会員 九州工業大学大学院 工学研究科建設社会工学専攻(同上)

The management of the vegetation in the Oono and Ototsu River were examined using extended quasi 2D simulations. Firstly, the relation between the boundary mixing coefficients  $f$  and vegetation density in the Oono River is examined through comparison of numerical results between quasi 2D and 2D simulations. From the relation, a value of  $f$  is found to be 0.11 in the Oono River. And the effects of deforestation to the boundary mixing coefficient  $f$  were also examined. It showed that deforestation is not effected significantly on the value of  $f$  in the Oono River. Finally, management map of the vegetation in the Oono and Ototsu River was made using extended quasi 2D analysis.

**Key Words :** *flood flow, the Oono River, the Ototsu River, vegetations, quasi 2D analysis, Boundary mixing coefficient, management map of vegetations*

## 1. はじめに

近年、治水と環境の調和した川づくりが求められている。河道内樹木は、水衝の緩和などの治水機能や豊かな生態系環境の提供などの環境機能を有する。その一方で、流下阻害による水位上昇などの治水上の問題<sup>1), 2)</sup>を引き起こす場合がある。

従来の樹木管理は、出水後に治水安全度の確保が困難となることが分かった場合に行われてきた<sup>1), 2)</sup>。しかし、近年では観測史上最大規模やそれに近い豪雨が頻発しており、今後、治水と環境の両機能を考慮にいれた河道内樹木の適正な管理が益々重要になると考えられる。

河道内樹木の管理は、治水上支障をきたす樹木から必要に応じて伐採することが基本とされている<sup>3)</sup>。最近では、樹木の生長特性を考慮した管理方法についても提案がなされている<sup>1)</sup>。通常、樹木の伐採管理には区域伐採

が、また必要に応じて間伐も行われる<sup>3)</sup>。従って、このような管理を行うためには、樹木群の繁茂状況が流れに及ぼす影響を考慮できるモデルが不可欠となる。

福岡ら<sup>4)</sup>は、利根川と江戸川を対象に、平面2次元不定流解析結果と観測水位に基づき、河道内樹木の透過係数の平均的な分布の推定を試みている。このことは、平面2次元解析を用いることで、樹木密度などの繁茂状況と樹木の流水抵抗を評価するための透過係数あるいは抵抗係数とを対応づけることが可能であることを示唆している。

通常、実務では準2次元解析の結果に基づき樹木の伐採計画が検討される。準2次元解析では、樹木群を死水域と樹木境界で流れに働くせん断力として取り扱われる。そのためには死水域とせん断力を算定するための境界混合係数 $f$ 値の設定が必要となる。しかしながら、これらの設定は樹木の繁茂状況を反映しているわけではない。従って、平面2次元解析の結果に基づき、樹木繁茂状況

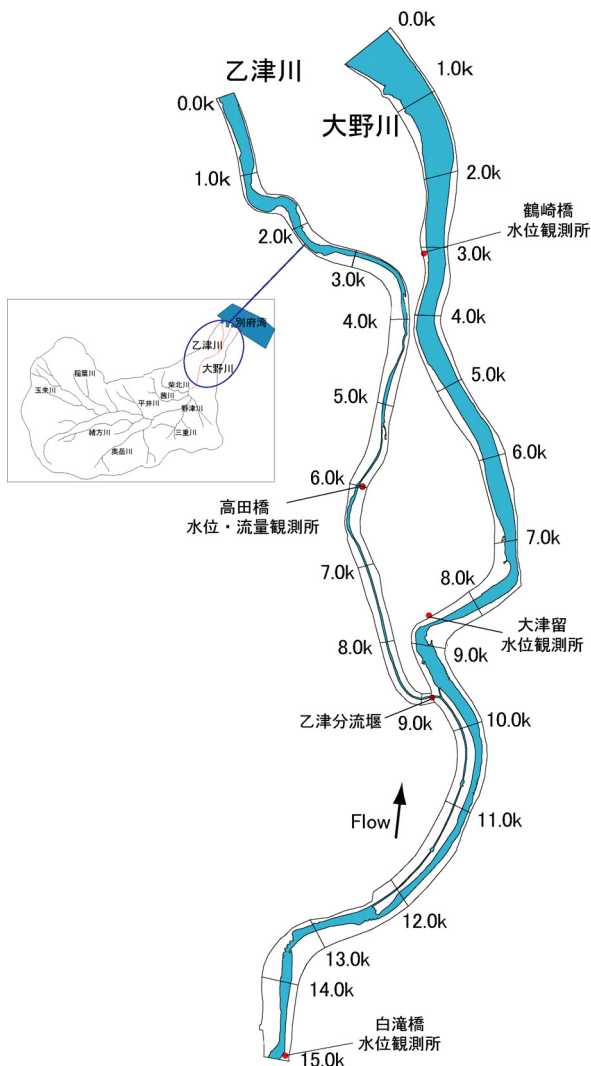


図-1 大野川と乙津川の概要

と死水域あるいは境界混合係数 $f$ 値を対応づけることで、準2次元解析の枠組みで治水面上適切な樹木繁茂状況の検討や樹木伐採位置や量などの河道内樹木の管理をより合理的に検討することができると考えられる。

著者ら<sup>5)</sup>は、これまでに乙津川を対象に、平面2次元解析と準2次元解析との比較から樹木繁茂状況と境界混合係数 $f$ 値の対応付けや樹木伐採が $f$ 値に及ぼす影響を検討してきた。また、大野川と乙津川を対象に、平面2次元解析モデルに基づき河道内樹木群が有する治水機能を検討した<sup>6)</sup>。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、大野川の治水と環境とが調和した樹木管理基準を明確にすることを目的としたものである。ここでは、大野川を対象に樹木繁茂状況と境界混合係数 $f$ 値とを対応づけるとともに、樹木伐採が境界混合係数 $f$ 値に及ぼす影響について検討する。次に、これらの結果を踏まえ、樹木繁茂状況が考慮でき樹木伐採後の水位予測が可能となるように、準2次元解析を拡張する。最後に、大野川・乙津川の樹木群が有する治水機能<sup>6)</sup>を踏まえつつ、拡張準2次元解析に基づき樹木管理を行う上で一つの基準となる樹木管理マップ

の作成を行い、その利用方法について述べる。

## 2. 大野川と乙津川の概要

本研究の対象河川は、図-1に示す大分県の中央部を貫流する一級河川の大野川とその派川乙津川である。対象区間は、大野川の計画基準点の白滝橋(距離標15.0km付近)から両河川の距離標0.0kmまでの区間である。この区間の河道特性による河道区分は、大野川の距離標0.0~7.4km区間ではセグメント2-2、距離標7.4~15.0km区間ではセグメント2-1、乙津川はセグメント2-2である。大野川の距離標9.5km付近で分流堰により乙津川への分流が行われており、計画高水流量の配分は計画基準点の白滝橋で $9,500\text{m}^3/\text{s}$ 、乙津川で $1,500\text{m}^3/\text{s}$ である。

大野川・乙津川の直轄管理区間の堤防整備率は96%である。平成5年9月の出水(白滝橋流量： $9,422\text{m}^3/\text{s}$ )では、大野川・乙津川のいずれも計画高水位を超過した。また、平成17年9月の出水(白滝橋流量： $8,318\text{m}^3/\text{s}$ )では、乙津川の高田橋水位観測所(図-1)で計画高水位を0.32m超えた<sup>7)</sup>。平成16年の大野川・乙津川の樹木群の繁茂分布は、図-2に示す通りである。なお、図中には平面2次元解析に基づき検討した、水位上昇や堤防沿いの高速流、および堤防保護などの大野川・乙津川の樹木の治水機能<sup>6)</sup>についても併せて示している。

## 3. 拡張準2次元解析の考え方

準2次元解析では、ある程度樹木が密生していれば死水域として取り扱われることが多い。しかし、実際には繁茂状況によって樹木内にも流れが生じるために、樹木群内の流れが洪水流に及ぼす影響は $f$ 値に陰的に含まれることになる。従って、痕跡水位に基づく $f$ 値の修正が必要となる。

準2次元解析のフレームワークで樹木の繁茂状況を考慮する方法として、(1)死水域を減少させる方法、(2)透過係数を用いて樹木群内の流速を求める方法、(3)境界混合係数 $f$ 値を樹木繁茂状況に応じて変化させる方法の3つが考えられる。(1)は「河川における樹木管理の手引き」<sup>3)</sup>等に示されている方法であるが、樹木の繁茂状況と死水域の設定とは関連付けられているわけではない。また、(2)については、これまで樹木群内は死水域として取り扱われてきたため、今までの準2次元解析のフレームワークに組み込むことは容易ではない。(3)については、樹木繁茂状況に応じて変化する樹木に隣接する断面と樹木内との流速差を $f$ 値に陰的に含ませる方法であり、準2次元解析のフレームワークに簡単に組み込むことができる。そこで、本研究では(3)の方法に基づき、樹木繁茂状況を考慮できるように、準2次元解析を拡張した。

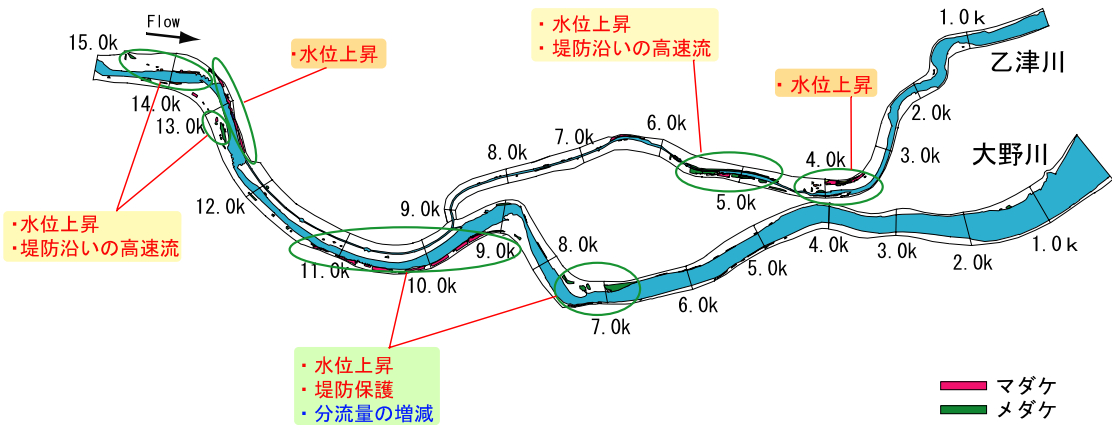


図-2 樹木繁茂状況と樹木の有する治水機能

#### 4. 大野川の樹木境界混合係数の推定

乙津川については樹木繁茂状況と境界混合係数 $f$ 値との関係<sup>9)</sup>を得ているので、ここでは大野川について検討する。なお、結果については乙津川についても併せて示している。

##### (1) 樹木境界混合係数 $f$ 値

境界混合係数 $f$ 値には推奨値があり、樹木が堤防に接する場合は $f=0.03$ 、樹木が河道の中央にある場合は $f=0.10$ が用いられる。また、河道中央に繁茂する樹木の $f$ 値を求める式(1)のような実験式<sup>8)</sup>も存在する。

$$\begin{aligned} (K_s \sqrt{h}) / (u_m \sqrt{b}) \leq 0.4 \dots f &= 0.072 (K_s \sqrt{h}) / (u_m \sqrt{b}) \\ (K_s \sqrt{h}) / (u_m \sqrt{b}) > 0.4 \dots f &= 0.017 + 0.029 (K_s \sqrt{h}) / (u_m \sqrt{b}) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $K_s$ =樹木群の透過係数、 $b$ =樹木幅、 $h$ =水深、 $u_m$ =樹木群に接する断面での平均流速である。

##### (2) 平面2次元解析モデルの予測精度の検証

まず、平成9、11、17年に発生した流量(H9: 6447m<sup>3</sup>/s, H11: 7060m<sup>3</sup>/s, H17: 8318m<sup>3</sup>/s)の異なる3つの出水に対して、痕跡水位に基づき平面2次元解析モデルの検証を行った。平面2次元解析にはSA-FUF-2DFモデル<sup>9)</sup>を用いた。図-3は大野川について平面2次元解析による河道中心軸上の水位と平成17年の痕跡水位との比較を行ったものである。この図から、痕跡水位が局所的に大きくなっている距離標5~6kmや9.4~9.6km区間の右岸側で、解析結果が若干小さくなっていることが確認できる。これは、距離標5~6kmや9.4~9.6km区間の右岸には樹木繁茂していることから、流木やゴミ等が樹木によりトラップされ水位が局所的に上昇したためと考えられる。また、このような区間を除いては、平面2次元解析は全体的には痕跡水位を十分な精度で再現していることも確認できる。いずれの出水に対しても誤差0.6~3.1%であり、同程度の精度の結果が得られた。さらに、乙津川への分流量と河道内水位についても同程度の精度が得られた。これらより、平面2次元解析は痕跡水位と分流量を十分な精度で

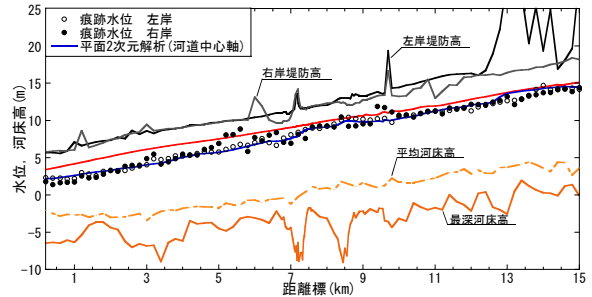


図-3 平成17年の出水時の痕跡水位と平面2次元解析結果

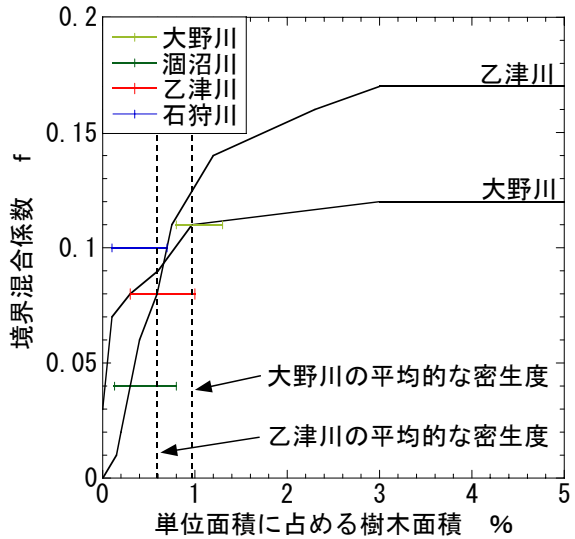


図-4 境界混合係数と単位面積に占める樹木面積との関係

再現できることが確認できた。

##### (3) 樹木伐採前の境界混合係数 $f$ 値の検討と妥当性の検証

大野川の平均的な樹木繁茂面積の割合に対する $f$ 値を把握することを目的として、単位面積中に占める樹木繁茂面積の割合(0.0~5.0%)を変化させた平面2次元解析と $f$ 値(0.01~0.2)を変化させた準2次元解析を行い、両解析結果が一致するような関係を調べた。準2次元解析には河道計画シミュレータ<sup>10)</sup>を用いた。堤防沿いの樹木についても $f$ 値の変化による水位差の検討を行ったが、顕著な変化が現れなかったため $f$ 値には推奨値である0.03を用い、樹木が河道中央にある場合の境界混合係数について検討

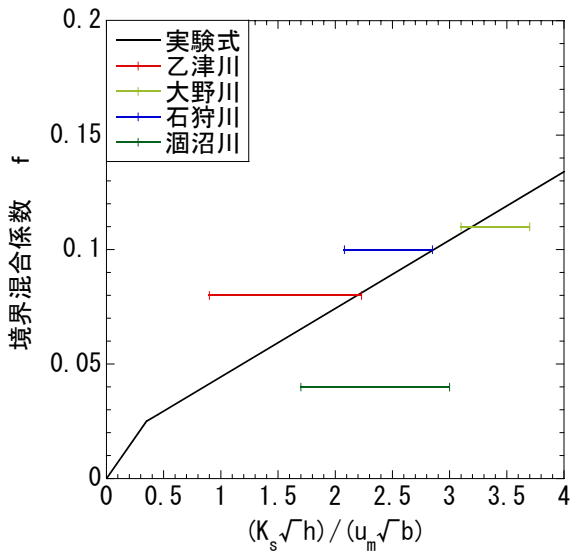


図-5 境界混合係数と無次元パラメータとの関係

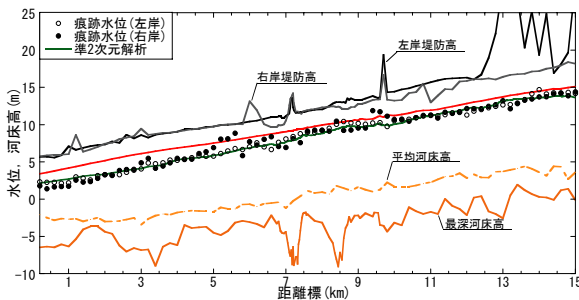


図-6 H17年の大野川の出水時の痕跡水位と準2次元解析との比較

した。

図-4は、両解析の河道中心軸上の水位が一致した時の樹木繁茂面積の割合と $f$ 値との関係を調べたものである。なお図中には、乙津川の結果<sup>5)</sup>と他の河川の $f$ 値についても合わせて示してある。大野川と乙津川の平均的な樹木面積の割合はそれぞれ0.98%と0.59%であり、この図から両河川の平均的な樹木繁茂状況に応じた $f$ 値はそれぞれ0.11と0.08であることが確認できる。また、他の河川の $f$ 値と樹木面積の割合との関係は、大野川と乙津川の曲線付近にデータがちらばっていることも確認できる。これは、 $f$ 値が樹木の繁茂位置や形状などの各河川の河道の特性に応じて変化するためと考えられる。実際、 $f$ 値の検討事例を見ると0.01~0.37程度の幅を持っていた。したがって、ここで得られた関係は大野・乙津川に限定されるものだと考えられる。そこで式(1)と大野・乙津川の平均的な $f$ 値との適合性を調べたものが図-5である。これより、いずれの河川においても実験式周辺にデータがあることから、実験式の関係に概ね従っていること、また、実験式は第1近似として十分であることが確認できる。

以上の検討から、大野川と乙津川の境界混合係数はそれぞれ $f=0.11$ と $0.08$ と考えられる。この $f$ 値を用いて、平成9, 11, 17年に発生した流量の異なる出水に対して痕跡水位に基づき準2次元解析の検証を行った。図-6は、大野川の準2次元解析水位と平成17年の痕跡水位との比

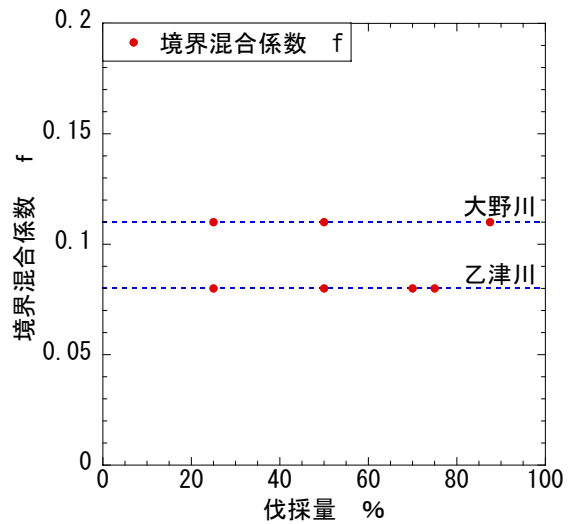
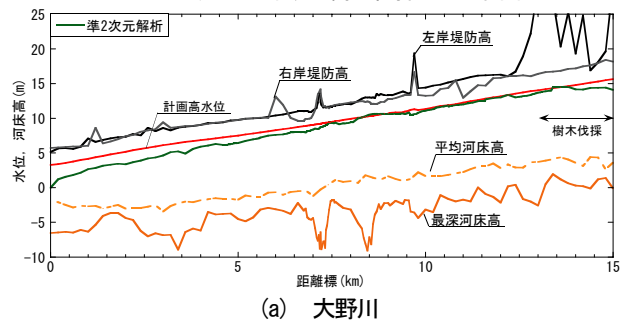
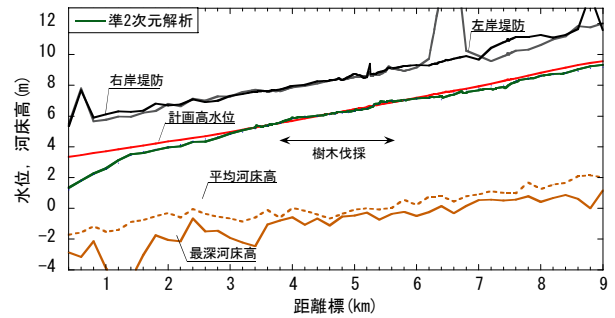


図-7 境界混合係数と樹木伐採量との関係



(a) 大野川



(b) 乙津川

図-8 計画高水位程度となる樹木繁茂状況での2次元解析の水位

較を行ったものである。これより、準2次元解析は十分な精度で再現していることがわかる。また、いずれの出水に対しても同程度の精度の結果が得られた。また、乙津川についても分流量と痕跡水位について同程度の精度が得られた。以上から、準2次元解析は痕跡水位と分流量を十分な精度で再現できることが確認できた。

#### (4) 樹木伐採後の境界混合係数 $f$ 値の推定

樹木伐採が $f$ 値に及ぼす影響について検討した。大野川の伐採量は樹木の幅方向に1/4, 1/2, 7/8とした。平面2次元解析と一致した場合の $f$ 値と樹木伐採量を調べたものが図-7である。なお図中には乙津川の結果<sup>5)</sup>も合わせて示している。いずれの伐採も $f$ 値の変化はなく一定値となった。これは、大野川と乙津川の樹木の平均的な透過係数 $K_s$ は6.8と6.5(m/s)であり、この程度であれば樹木

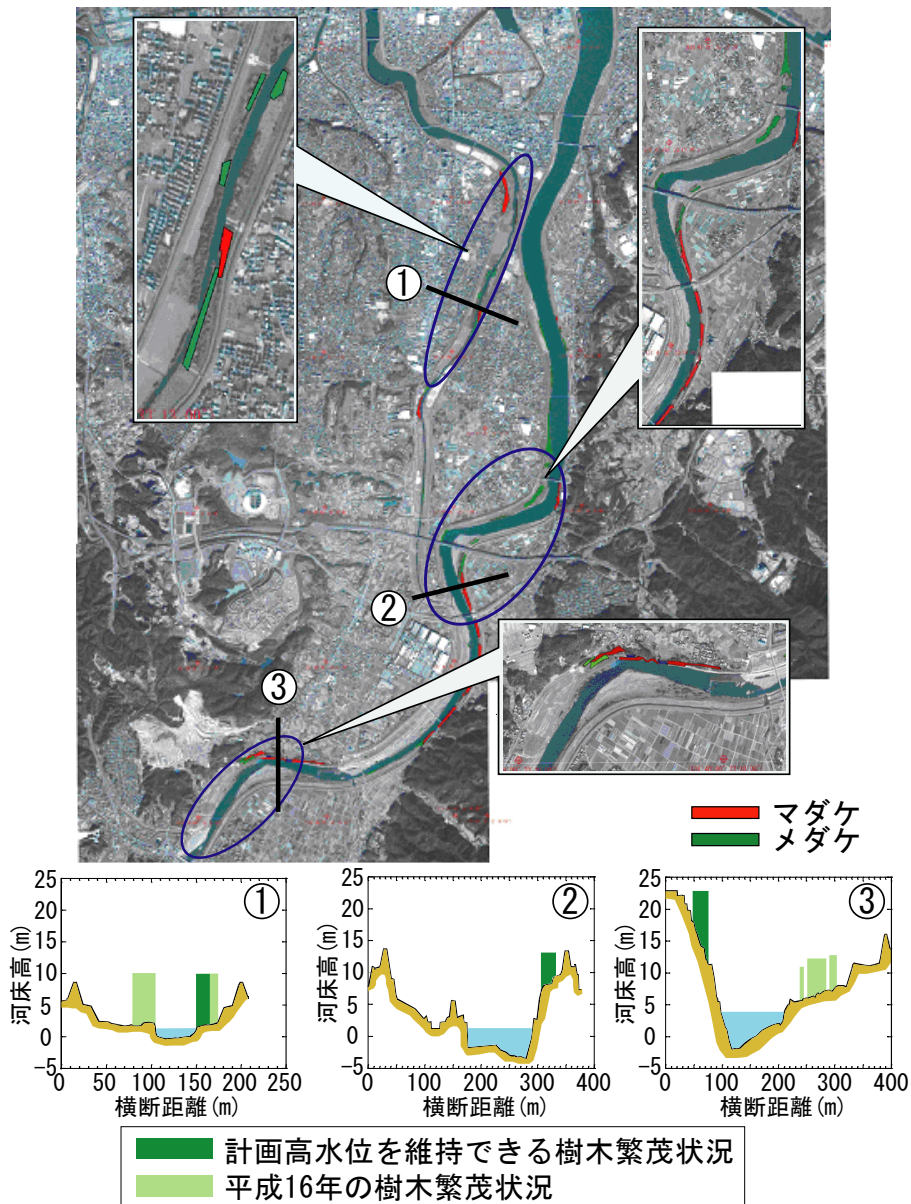


図-9 樹木管理マップ

群内の流速は急激に減少し樹木の幅方向の流速変化は小さく、樹木の幅が $f$ 値に大きな影響を及ぼさないためと考えられる。また、このことは、樹木によるせん断力により水位上昇が引き起こされている河道であれば、樹木伐採を行ったとしても、伐採領域が死水域でなくなる効果以上には水位低下が生じる可能性は低いことを示唆している。なお、これらについては大野川と乙津川の樹木の平均的な透過係数に限ったことで、透過係数が小さく樹木の幅方向に流速が大きく変化する場合には樹木幅は $f$ 値に影響を及ぼす可能性はある。

#### (5) 準2次元解析の拡張

以上から、樹木を区域伐採する場合には図-4より得られる平均的な $f$ 値を用いれば、間伐する場合には図-4から得られる密生度に応じた $f$ 値を与えれば良いと考えられる。従って、図-4を用いることで樹木繁茂状況を $f$ 値に反映することができる。この関係を導入することで、

準2次元解析を樹木繁茂状況の考慮できる拡張準2次元解析とした。

#### 5. 大野川・乙津川の樹木管理マップ

最後に、拡張準2次元解析に基づき、計画高水位を維持できる樹木繁茂状況について検討した。樹木を全伐採した平面2次元解析により、大野川の距離標8.5kmについては湾曲部の影響により計画高水位を下回らないことがわかっている。そこで、ここでは、大野川の距離標8.5kmを除く、区間について水位が計画高水位程度になる樹木繁茂状況について検討した。境界混合係数値には、樹木の密生度については大きく変化しないと考え、現在の大野川と乙津川の平均的な値を用いた。

図-2の樹木が有する治水機能に基づけば、乙津川では距離標4.6～5.6km区間が、大野川では距離標13.0～

15.0km区間が樹木による水位上昇が顕著であった区間である。この区間の蛇行度 $S$ と相対水深 $D_r$ との関係を調べると、流れは領域Ⅲの直進性の強い複断面蛇行流れ<sup>11)</sup>となっている。このように、領域Ⅲの複断面蛇行流れが生じる区間に、低水路沿いの樹木が繁茂する場合には、大きな水位上昇を引き行う可能性<sup>12)</sup>が考えられるので注意を要する。大野川・乙津川では、この区間と計画高水位を超える区間が概ね一致した。従って、この区間について樹木伐採を行い、大野川・乙津川で計画高水位が維持できるような樹木繁茂状況について検討した。乙津川については伐採対象区間を距離標4.6～5.6kmとし、大野川については計画高水位を超える距離標13.0～15.0kmを対象に樹木伐採を行った。

拡張準2次元解析に基づき、計画高水を維持できる最小限の樹木伐採量を検討したところ、乙津川については国土交通省九州整備局大分河川国道事務所によって計画された「樹木および竹林伐採計画案(参考文献<sup>9)</sup>の図-7を参照)」に従って伐採、大野川については計画高水位を超える距離標13.0～15.0kmを対象に、低水路沿いに繁茂する樹木群を全て伐採すれば良いことがわかった。この伐採状況の時の水位の解析結果を図-8に示す。この図より、いずれの河川についても解析水位は計画高水位程度となることが確認できる。

以上を踏まえると、大野・乙津川で計画高水位を維持できる樹木繁茂状況は図-9のようになる。図中の赤あるいは緑の塗りつぶしが樹木繁茂範囲である。また、特に注意を要する区間については拡大図と、その際の各距離標での横断面図も併せて示している。なお、横断面図中の濃い緑が計画高水位を維持できる樹木繁茂状況を表している。同図には参考までに伐採管理前の樹木繁茂状況を薄い緑で示している。このように、顕著な水位上昇を引き起こす樹木群を推定し、その区間での適切な樹木繁茂状況を把握することで、重点的な管理が必要な樹木とその区間が明確になり、合理的な樹木管理を行うことが可能となる。本研究で作成した樹木管理マップはその基準のひとつになる。

ただし、これは樹木群の生長を考慮にいれたものではないため、どの場所にどの程度の樹木が繁茂するかは不明である。従って、今後、樹木繁茂状況のモニタリングが重要になる。そのモニタリング手法については、(1)航空写真、(2)河川水辺の国勢調査、(3)レーザープロファイラーデータによる高さ情報、などに基づきGISにより樹木情報を管理する必要があると考えられる。容易でかつ安価なモニタリング手法については今後検討する必要があると考えられる。

## 6. おわりに

拡張準2次元解析に基づき、今後治水面からの樹木管

理を行う上での一つの基準となる樹木管理マップの作成を行った。その結果、計画高水流量時に計画高水位を維持できる図-9のような樹木管理マップを得ることができた。

**謝辞：**本研究は、河川懇談会の活動の一環として、国土交通省大分河川国道事務所と共同で研究を行ったものである。本研究を実施するに当たり、大分河川国道事務所の関係各位には現地調査の実施やデータの提供など多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 桑原正人, 藤堂正樹, 小笠原豊, 石尾年光, 石井克尚, 犬丸潤, 中村敬司: 加古川の河道内樹木の生長特性を考慮した管理方法, 河川技術論文集, 第12巻, pp.461-464, 2006.
- 2) 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: 樹木群を考慮した平面2次元モデルによる乙津川の洪水流解析, 水工学論文集, 第50巻, pp.1171-1176, 2006.
- 3) 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.
- 4) 福岡捷二, 佐藤宏明, 藤澤寛, 大沼史佳: 洪水流と河道の樹木繁茂形態に基づく樹木群透過係数と粗度係数の算定法, 水工学論文集, 第51巻, pp.607-612, 2007.
- 5) 重枝未玲, 朝位孝二, 坂本洋, 西尾崇, 秋山壽一郎, 樋口直樹, 石原仁, 徳永智宏: 数値シミュレーションに基づく乙津川の樹木伐採前後の境界混合係数値の検討, 水工学論文集, 第51巻, pp.601-606, 2007.
- 6) 重枝未玲, 朝位孝二, 坂本洋, 西尾崇, 秋山壽一郎, 重岡広美, 樋口直樹, 徳永智宏: 大野川と乙津川の河道内樹木群が有する治水機能の検討, 水工学論文集, 第51巻, pp.595-600, 2007.
- 7) 国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所: 台風14号大分川・大野川の出水状況平成17年9月4日～6日, 2005.
- 8) 福岡捷二, 藤田光一: 洪水流に及ぼす河道内樹木群の水利的影響, 土木研究所報告, 第180号-3, pp.129-190, 1990.
- 9) 重枝未玲, 秋山壽一郎: 数値シミュレーションに基づく堤防に沿った樹林帯の治水機能の検討, 土木学会論文集, No.740/II-64, pp.19-30, 2003.
- 10) 財団法人国土技術研究センター: 河道計画シミュレータ WebSite, <http://kasen-keikaku.jp/index.html>, 2004.
- 11) 福岡捷二: 洪水の水利と河道計画の設計法, 森北出版, 2005.
- 12) 重枝未玲, 朝位孝二, 坂本洋, 西尾崇, 秋山壽一郎, 石原仁, 樋口直樹, 徳永智宏: 低水路沿いの樹木が複断面蛇行水路の洪水流の挙動に及ぼす影響, 水工学論文集, 第51巻, pp.643-648, 2007.

(2007. 9. 30受付)