

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

FLOOD SIMULATIONS IN THE OONO AND THE OTOTSU RIVER BY A TWO-DIMENSIONAL NUMERICAL MODEL AND EFFECTS OF VEGETATIONS ON A DIVERSION DISCHARGE

重枝 未玲¹・朝位 孝二²・坂本 洋³・長太 茂樹⁴・秋山 壽一郎⁵・

樋口 直樹⁶・重岡 広美⁶・徳永 智宏³

Mirei SHIGE-EDA, Koji ASAI, Hiroshi SAKAMOTO, Shigeki NAGATA, Juichiro AKIYAMA,
Naoki HIGUCHI, Hiromi SHIGEOKA and Tomohiro TOKUNAGA

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

²正会員 博士(工) 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

³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)

⁴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)

⁵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)

⁶学生会員 九州工業大学大学院 建設社会工学専攻 (同上)

Two-dimensional numerical simulations of flood flows in the Oono and the Ototsu River were performed to examine the effects of the vegetations on the flood flows as well as a diversion discharge. A two-dimensional numerical model, based on finite-volume method with unstructured grid system and flux-difference splitting, was used for the simulations. The model was verified through the observation data of the water level and diversion discharge in the flooding. The effects of the vegetations on the diversion discharge at the design flood discharge were also examined based on the numerical results. It shows that the vegetations from 8.0 to 10km in the Oono river are affected to the water level around the diversion weir and the amount of the diversion discharge.

Key Words : flood flow, the Oono River, the Ototsu River, vegetations, 2D numerical simulation, diversion discharge

1. はじめに

近年、治水と環境の調和した川作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、流積を減少させるとともに流れの抵抗となり洪水時の河道内水位を上昇させ、治水上の問題を引き起こす場合がある。

河道内樹木群の管理は、「河川における樹木管理の手引き」¹⁾などに取りまとめられている。その基本は、樹木群が治水上支障をきたす場合には、樹木群の持つ治水機能や環境機能を損なわないように配慮し、支障の大きいものから必要に応じて伐採することとされている。そのためには、樹木群が治水上に及ぼす影響を把

握する必要がある。そのツールとして、準2次元解析モデル²⁾、平面2次元解析モデル^{3),4),5),6)}、準3次元解析モデル¹⁾などが存在する。

本研究で対象とする大野川は、分流堰により派川の乙津川へ分流が行われる。このため、河道内樹木またはその伐採による本川の水位上昇/低下は、派川への分流量の増加/減少につながり、本川または派川のいずれかに計画高水流量以上の流量が配分される可能性がある。特に、派川への過剰な分流は、計画高水流量が本川に比べ小さく設定されているため治水上の問題を引き起こす可能性が高くなる。このため乙津川への分流量は大野川の樹木管理を行う上で重要な検討事項の一つであると考えられる。

本研究は、大野川の治水と環境とが調和した樹木管

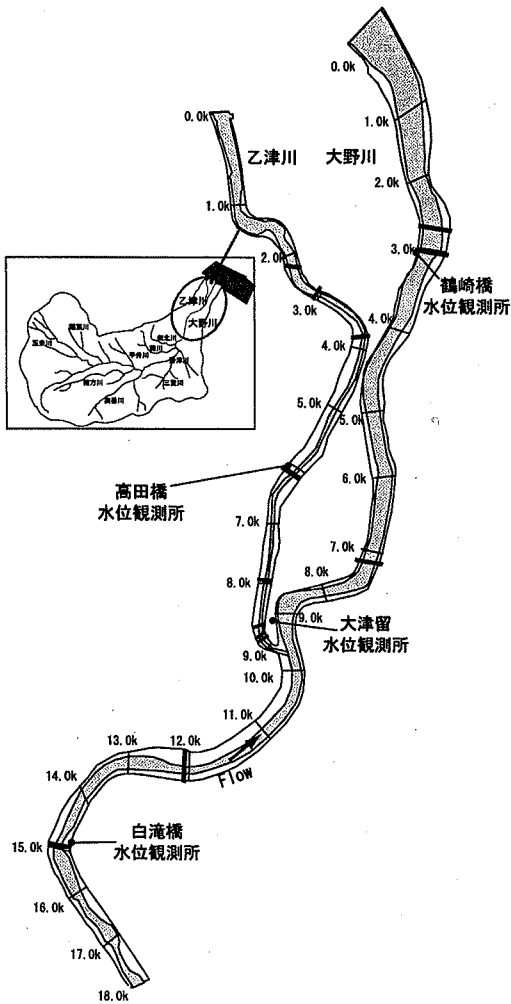


図-1 大野川・乙津川の概要

理基準を明確にすることを目的している。著者らは、これまでに準2・平面2次元解析に基づき、乙津川の樹木が洪水流に及ぼす影響について明らかにしている⁷⁾。ここでは、大野川とその派川の乙津川を包括した平面2次元解析を行い、河道内樹木が乙津川への分流量に及ぼす影響について検討した。まず、現地調査等に基づき大野川の樹木繁茂状況を把握した。次に、本川と派川を包括した平面2次元洪水流解析を行い、既存の洪水痕跡と分流量の観測結果に基づき、数値モデルの流況と派川への分流量の再現性について検証した。最後に、計画高水流量時の樹木を考慮した解析と樹木を全伐採した解析結果を比較することで、樹木群が乙津川への分流量に及ぼす影響を検討した。

2. 大野川・乙津川の概要と樹木繁茂状況

本研究の対象河川は、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の乙津川である(図-1)。対象区間は、大野川の計画基準点の白滝橋(距離標15km付近)から両河川の距離標0.0kmまでの区間であり、大

表-1 平面2次元解析に用いた樹木群パラメーター(大野川)

(a) 調査地点

距離標 (km)	樹木種	樹木密生度 $N(\text{本}/\text{m}^2)$	胸高直径 $d(\text{m})$
6.8	メダケ	18.9	0.026
7.2	メダケ	11.3	0.017
7.3	メダケ	16.6	0.013
7.5	メダケ	14.3	0.019
8.3	マダケ	3.20	0.050
8.8	メダケ	19.0	0.017
9.2	マダケ	4.38	0.059
9.6	マダケ	5.08	0.043
9.9	マダケ	5.15	0.038
10.2	マダケ	5.13	0.047
10.5	マダケ	3.98	0.046
10.9	マダケ	2.75	0.059

(b) 平均値

樹木種	樹木密生度 $N(\text{本}/\text{m}^2)$	胸高直径 $d(\text{m})$
メダケ	16.0	0.018
マダケ	4.24	0.049
ジャヤナギ	0.12	0.169
ムクノキ-タブノキ	0.13	0.451
アラカシ	0.13	0.549

表-2 平面2次元解析に用いた樹木群パラメーター(乙津川)

(a) 調査地点

距離標 (km)	樹木種	樹木密生度 $N(\text{本}/\text{m}^2)$	胸高直径 $d(\text{m})$
4.6	メダケ	21.3	0.022
4.8	メダケ	14.5	0.017
5.0	メダケ	23.6	0.023
5.5	メダケ	19.2	0.016

(b) 平均値

樹木種	樹木密生度 $N(\text{本}/\text{m}^2)$	胸高直径 $d(\text{m})$
メダケ	19.7	0.020
マダケ	4.24	0.049
ムクノキ-タブノキ	0.13	0.451

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る。延長は大野川については約15km、乙津川については約9km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0～7.4km区間ではセグメント2-2、距離標7.4～15km区間ではセグメント2-1、乙津川についてはセグメント2-2に対応する。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。

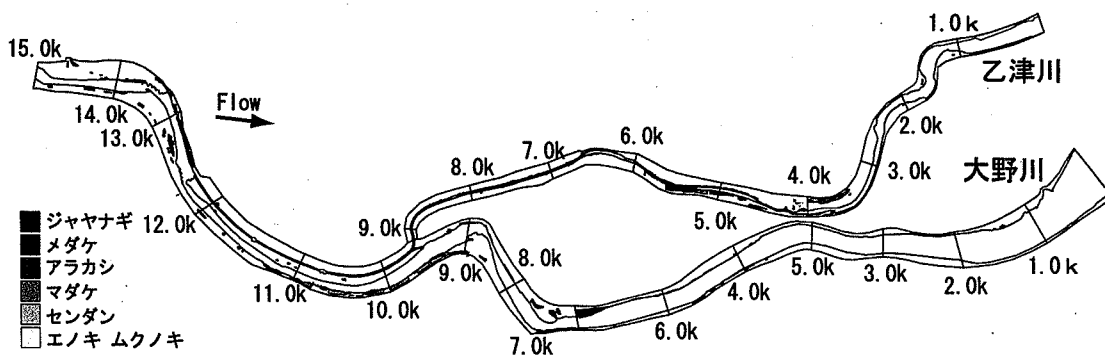


図-2 樹木繁茂分布図

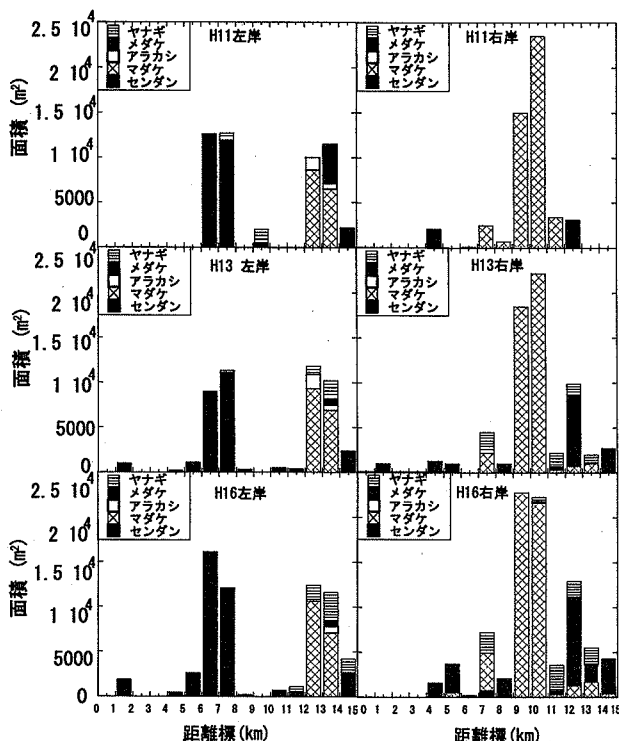


図-3 各距離標間の樹木繁茂面積の経時変化 (大野川)

大野川・乙津川の直轄管理区間の堤防整備率は96%であるが、河積が不足している区間が存在する。平成5年9月の出水(流量(白滝橋):9,422m³/s)では、大野川・乙津川のいずれも計画高水位を超過したこと、平成17年9月の出水(流量(白滝橋):8,318m³/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⁸⁾こと、などが報告されている。このため、大野川の距離標6~8kmや乙津川の距離標2.5~5.2kmの区間では流下能力の確保を目的とした高水敷掘削や樹木伐採などの治水事業が計画されている。

平成16年の大野川・乙津川の樹木群の繁茂分布を図-2に、平成11年~平成16年の大野川の樹木繁茂面積を距離標ごとに調べたものを図-3に示す。樹木は、胸高直径の比較的大きなもの、繁茂状況が密で繁茂面積が大きなものを抽出し、平成11年、16年については河川

水辺の国勢調査大野川植生調査報告書^{9),10)}から、平成13年については航空写真¹¹⁾からそれぞれ求めた。図-2から、大野川では距離標6~8kmの左岸では蛇行部の内岸側の高水敷に、12~15km区間の左岸では高水敷外岸側に、距離標9~11kmの右岸では湾曲部内岸から外岸にかけて、12~13km区間の右岸では湾曲部外岸で繁茂していること、多くの樹木が低水路と高水敷の境界に沿って繁茂していること、などがわかる。また、図-3から、大野川の樹木の多くはメダケもしくはマダケの竹林であること、左岸側については距離標6~8km、12~15kmの区間で、右岸については距離標9~11kmの区間で樹木繁茂面積が大きく、右岸の距離標9~10km区間の樹木面積が時間の経過とともに増加していること、平成11年の段階では距離標12~14km区間の右岸では樹木はほとんど存在していなかったが、平成16年になると多くの樹木が繁茂するようになったこと、などもわかる。なお、乙津川の繁茂面積と距離標との関係については参考文献⁷⁾に示しているので参照されたい。

3. 数値解析の概要

樹木繁茂状況の調査結果から、樹木が洪水流の挙動に対し大きな影響を及ぼすと考えられる。ここでは、従来のような本川から派川への分流量を仮定し分流点での水位が一致するまで繰り返し計算を行う手法ではなく、本川の大野川と派川の乙津川を一体として取り扱う平面2次元解析を行い、樹木が大野川から乙津川への分流量に及ぼす影響について検討した。平面2次元解析には著者等が開発したSA-FUF-2DFモデル¹²⁾を用いた。

まず痕跡水位に基づき、両モデルの予測精度について検証した後、計画高水流量時の洪水流解析を行った。計画高水流量時の解析については、樹木群が洪水流に及ぼす影響を調べる目的で平成16年の樹木繁茂状況を反映させたRun1と樹木群を全て伐採したRun2の2通りを行った。

計算に用いた河道縦横断面と低水路および高水敷の粗度係数については、それぞれ平成13年の測量データ

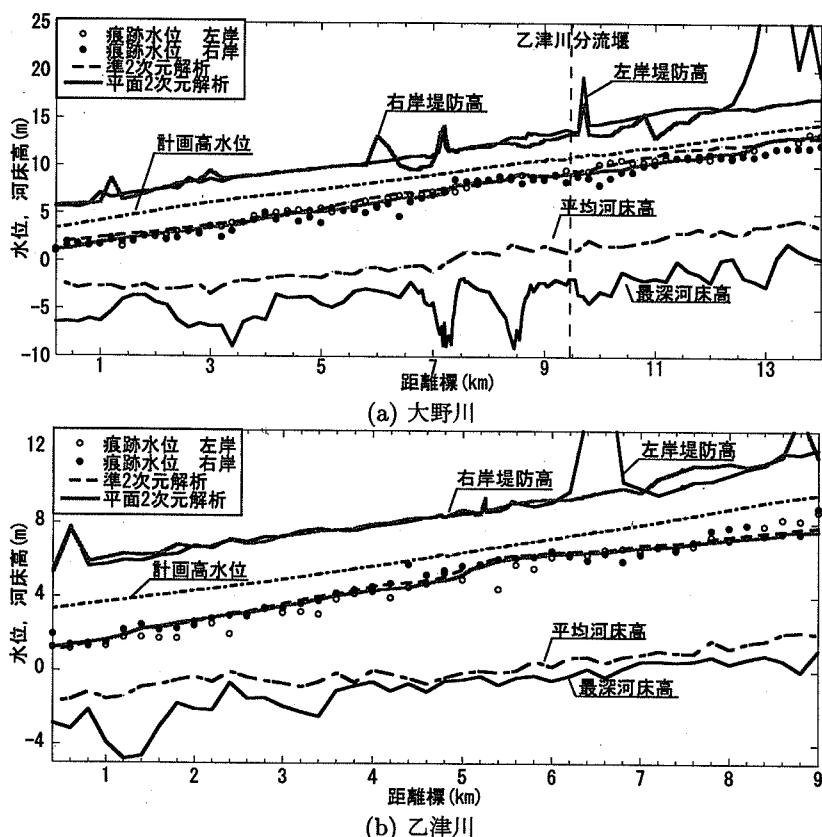


図-4 平成 11 年 9 月の出水時の痕跡水位と解析結果との比較

と「大野川河道技術資料」¹³⁾で用いられた値を使用した。また、乙津川分流堰には、コンクリートの平均的な粗度係数 0.015¹⁴⁾を与えた。樹木群の繁茂位置については図-2 に基づき作成した。

SA-FUF-2DF モデルでは樹木群は x 方向, y 方向の運動方程式にそれぞれ $F_x = C_d \cdot a/2 \cdot u h(u^2 + v^2)^{0.5}$, $F_y = C_d \cdot a/2 \cdot v h(u^2 + v^2)^{0.5}$ で表される空間平均された流体力項を付加することで取り扱われる¹²⁾。ここに、 a =樹木群密度パラメーター(= $d \cdot N$)、 d =樹木の投影幅、 N =樹木密生度(本/ m^2)および C_d =抵抗係数であり、各パラメーターは、樹木繁茂状況に応じて設定される。樹木群密度パラメーター a については、現地で行ったコドラード調査結果¹⁵⁾を基に、大野川については表-1 のように、乙津川については表-2 のように各調査樹木範囲に応じて設定した。なお、調査区間以外の樹木については表-1、表-2 の平均値を用いた。抵抗係数 C_d については、植生繁茂状況でその値は変化すると考えられるが、ここでは円柱の抵抗係数 $C_d=1.2$ ²⁾を用いた。なお、準 2 次元、平面 2 次元解析のいずれも、非水没状態として樹木群を取り扱った。

境界条件として大野川の上流端に流量を、大野・乙津川の下流端に水位を与えた。痕跡水位との比較では、白滝橋水位観測所の痕跡水位から算出された出水時の流量 $7,060 m^3/s$ と痕跡水位 $1.131 m$ (大野川), $1.2 m$ (乙津川)を、計画高水流量時の解析では計画高水流量 $9,500 m^3/s$ と淡水と海水の密度差による水位上昇を考慮した朔望

平均満潮位と河口水深 $\times 2.5\%$ の和 $T.P1.194 m$ (大野川)と $1.158 m$ (乙津川)を与えた。

4. 解析結果と考察

(1) 洪水痕跡に基づくモデルの検証

平成 11 年 9 月の出水時の痕跡水位に基づき、平面 2 次元モデルの検証を行った。図-4 は、平面 2 次元解析の河道中心軸上の水位と痕跡水位との比較を行ったものである。なお、解析結果には参考のため準 2 次元解析の結果についても示している。

大野川、乙津川のいずれについても、平面 2 次元解析および準 2 次元解析は、痕跡水位を十分な精度で再現していることがわかる。準 2 次元解析と平面 2 次元解析の結果を比較すると、大野川では距離標 6km 付近と 11km 付近で違いが生じており、いずれも準 2 次元解析では痕跡水位よりも若干大きく、平面 2 次元解析では痕跡水位を概ね再現していることがわかる。また、乙津川については 4.8km 付近から違いが生じはじめ、平面 2 次元解析に比べ準 2 次元解析の方が、水位を若干大きく予測していることもわかる。これらは、準 2 次元解析では樹木内を死水域として取り扱うこと、湾曲などの河道平面形状を考慮できず樹木繁茂位置の正確な再現ができないことにより、流水抵抗を過大に評価し、痕跡水位よりも大きくなったと考えられる。また、平成 9 年 9 月の出水に対する痕跡水位についても同程

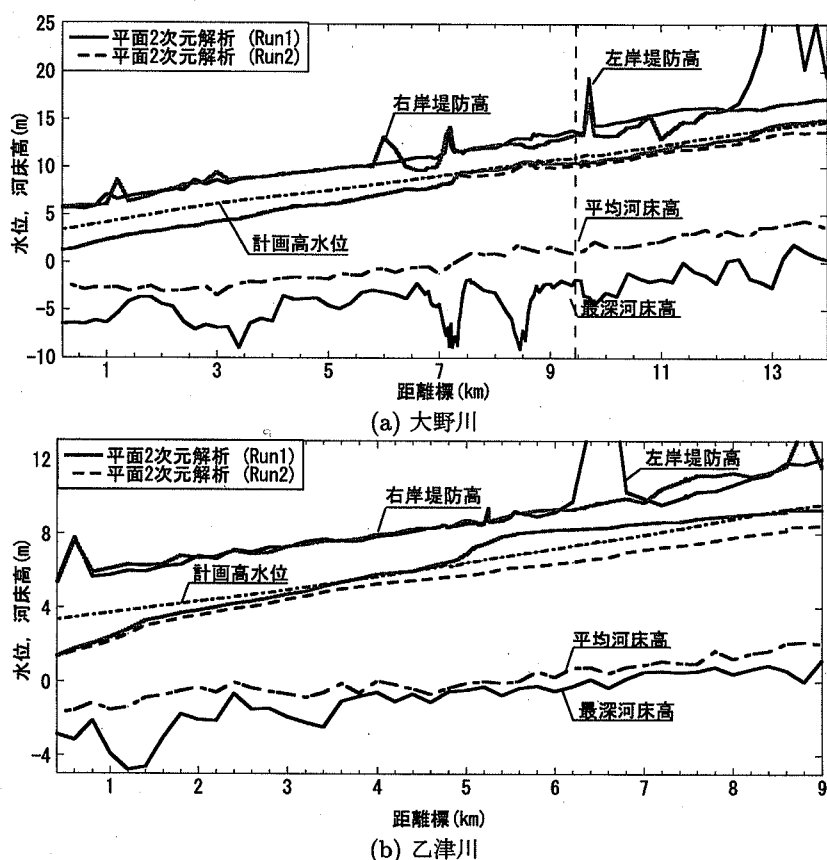


図-5 樹木伐採が水位に及ぼす影響

度の精度の結果が得られた。

これらより、SA-FUF-2DF モデルは十分な精度で、大野川・乙津川での洪水流の挙動や分流量を再現できることが確認できる。

(2) 樹木群が分流堰周辺の水位と分流量に及ぼす影響

大野川は、先述したように、分流堰により乙津川への流量が配分されるため、分流量は大野川の樹木管理を行う上で重要な検討事項の一つとなる。そこで、計画高水流量時の樹木群を考慮した洪水流解析 (Run1) と樹木群を全て伐採した解析 (Run2) を行い、樹木群が分流堰周辺の水位と分流量に及ぼす影響について検討した。

図-5 は、平面 2 次元解析の河道中心軸上の水位の解析結果を示したものである。この図から、大野川では樹木伐採した場合には、距離標 8.5km 付近を除いては全ての区間で解析水位は計画高水位を下回ることがわかる。また、図-2 に対応するように、樹木繁茂面積の小さい距離標 7km 付近までは、Run1 と Run2 の間に大きな違いは生じず、樹木が繁茂面積が増加する距離標 7km 付近から Run1 と Run2 に違いが生じることがわかる。距離標 8.5km 付近では、樹木を伐採したにもかかわらず水位があまり低下していない。この現象は準 2 次元解析では見られなかったものであることから、ここでの水位上昇は樹木繁茂が直接的な原因ではなく、湾曲などの平面形状の変化によるためと考えられる。

乙津川については、樹木の伐採により、いずれの区

間についても計画高水位を下回ることがわかる。特に、5km より上流側では水位が大きく低下しており、この区間の樹木群は水位上昇に大きな影響を及ぼしていることがわかる。また、図-2 に示すように樹木がさほど存在しない距離標 1km 付近で、Run1 と 2 の結果の違いが生じていることもわかる。分流堰付近の大野川の水位に着目すると、樹木伐採により 8.5km より上流の水位が低下していることがわかる。先程の乙津川での水位低下は、この水位低下に伴い分流堰の越流水深が低下し、分流堰からの分流量が減少したためと考えられる。

以下では、乙津川への分流量について検討する。図-6 は大野川上流から乙津川への分流量を示したものである。なお、分流量は分流堰天端上の流量を堰幅方向に積分することで求めた。図中には、式 (1) から求まる計画高水流量比¹³⁾と痕跡水位に基づく流量もあわせて示している。

$$Q = 188.2(H - 6.85)^{1.5} \quad (1)$$

平成 9, 11 年の既往洪水流量と解析結果を比較すると、いずれも既往の洪水流量を数パーセントの誤差で再現していることがわかる。参考に準 2 次元解析の結果を示しているが、準 2 次元解析はいずれも既往の洪水流量を過大に評価しており、平面 2 次元解析の方が精度が高いことがわかる。このように、SA-FUF-2DF モデルは痕跡水位のみならず分流量の再現性も高いこ

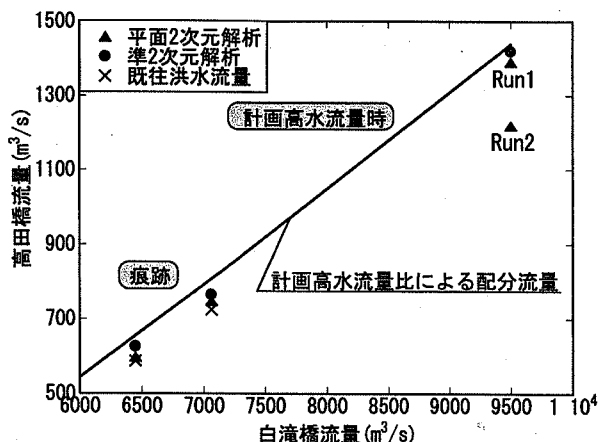


図-6 痕跡水位に基づく分流量と解析結果との比較および樹木伐採が分流量に及ぼす影響

とが確認できる。

次に、計画高水流量時の検討を行う。大野川の計画高水流量は、先述したように $9,500 \text{ m}^3/\text{s}$ で、分流堰により乙津川へ $1,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 配分される。Run1 の解析結果より求めた分流量は $1,391 \text{ m}^3/\text{s}$ で、計画高水流量との差は 7 % 程度となり、過剰もしくは過小な分流はされていないことがわかる。また、既往の洪水流量と計画高水流量の解析結果は、計画高水流量比を示す線と概ね平衡であり、計画高水流量比の関係は保たれていることがわかる。このように、現樹木繁茂状況では乙津川への分流は適切に行われていることが確認できる。

Run2 の解析結果より求めた分流量は $1,219 \text{ m}^3/\text{s}$ となった。また、大野川の樹木伐採による分流堰の越流水深の低下は、図-5 から 0.3m 程度であった。この水位変化が、乙津川の流量を計画高水流量の 20 % 程度減少させ、大野川では計画高水流量の 3 % 程度増加させるが、図-5 で示したように、大野川では分流点より下流では、樹木伐採による流下能力の向上により計画高水位を超えるような水位上昇が生じることはなく、また、分流量が低下する乙津川では樹木がさほど繁茂しない箇所 (距離標 0~3km) においても水位低下が生じる。このように、図-2 に示す分流堰付近の大野川距離標 8km~10km の樹木は、乙津川への分流量に大きな影響を及ぼしていることが確認でき、この区間での樹木管理は分流量に配慮しつつ行う必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究から、①本平面 2 次元数値モデルが大野、乙津川の痕跡水位、乙津川への分流量を十分な精度で再現可能であること、②大野川、乙津川の樹木伐採により、概ねの区間において、水位は計画高水位より低下すること、③河道内樹木の伐採は、乙津川への分流量を計画高水流量の 20 % 程度減少させ、大野川への流量は計

画高水流量の 3 % 程度増加させること、④大野川の流量増加は、樹木伐採による流下能力の向上も相まって計画高水位を超えるような水位上昇を引き起こすことはないこと、⑤大野川の距離標 8km~10km の樹木は、乙津川への分流量に大きな影響を及ぼすため、この区間の樹木管理は分流量に配慮しつつ行う必要があること、などの大野川の樹木管理を行う上で有用な知見が得られた。今後は、治水機能を有する樹木、水位上昇や堤防沿いの高速流などの治水上問題を生じさせる可能性がある樹木を抽出し、大野川・乙津川の適切な樹木管理法について検討する予定である。

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。また、当時九州工業大学工学部生であった小笹良一君にはデータ作成を行うにあたり協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 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。
- 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。
- 福岡捷二，渡辺英明，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解析，土木学会論文集，No. 491/II-27，pp. 41-50，1994。
- 灘岡和夫，八木宏：SDS & 2DH モデルを用いた開水路水平せん断乱流の数値シミュレーション，土木学会論文集，No. 473/II-24，pp. 35-44，1993。
- 池田駿介，空閑健，陳飛勇：両岸に植生帯を有する開水路流れに発生する大規模水平渦の安定性と運動量輸送，土木学会論文集，No. 551/II-37，pp. 63-73，1996。
- 清水義彦，辻本哲郎：植生帯を伴う流れの平面 2 次元解析，水工学論文集，第 39 巻，pp. 513-518，1995。
- 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 次元数値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。
- 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。
- 国土交通省 九州地方整備局 大分河川国道事務所：大野川水系大野川植生調査報告書，1999。
- 国土交通省 九州地方整備局 大分河川国道事務所：大野川水系大野川植生調査報告書，2004。
- 国土交通省 九州地方整備局 大分河川国道事務所：大分川・大野川写真集，2004。
- 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。
- 国土交通省 九州地方整備局 大分河川国道事務所：大野川河道技術資料 平成 14 年 3 月，2002。
- Chow, V. T.: *Open-channel hydraulics*, MacGraw-Hill College, 1959。
- 国土交通省 九州地方整備局 大分河川国道事務所・九建設計株式会社：乙津川定期縦断測量 (植物調査) 報告書，2005。

(2006. 4. 6 受付)