

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

FLOOD SIMULATIONS IN THE OTOTSU RIVER WITH VEGETATIONS BY
A TWO-DIMENSIONAL NUMERICAL MODEL

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⁷・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)

⁷学生会員 九州工業大学工学部 建設社会工学科 (同上)

Two-dimensional numerical simulations of flood flows in the Ototsu River were performed to examine the effects of the vegetations on the flood flows. 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 in the flooding. The effects of the vegetations on the behavior of flood flows at the design flood discharge were also examined based on the numerical results. It shows that the 2D numerical model is useful in the examination of the effects of the vegetations on the flood flow behavior.

Key Words : *flood flow, the Ototsu River, vegetations, two-dimensional numerical simulation*

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。河道内樹木群は、水衝の緩和、堤防・河岸保護などの治水機能や豊かな生態系環境を提供する環境機能などを有することから保全される傾向にある。一方で、樹木群は、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ることや堤防沿いに高速流を発生させるなどの治水面上の問題を引き起こす場合がある。

河道内樹木群の管理については、「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。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つつ、支障の大きいものから必要に応じて伐採することが基本とされている。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り、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

次元解析モデル等¹⁾の数多くの数値モデルが開発されている。準 2 次元解析については実務で用いられるようになってきており、河道計画の多くは準 2 次元解析の結果をベースに検討されている。準 2 次元解析は基本的に 1 次元解析であるので縦断方向に関する水位や流速の情報が得られる。また、準 2 次元解析では樹木群を死水域として取り扱い、樹木群の繁茂状況によっては洪水流の樹木群内の透過を考慮し死水域の面積を 30% 割り引くが、樹木群の繁茂状況が粗か密かを区別する明確な基準はない。仮に、樹木の繁茂状況に応じた流況変化を平面 2 次元解析等で把握することが可能となれば、その結果を準 2 次元解析に反映することが可能となり、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可能になると考えられる。

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と

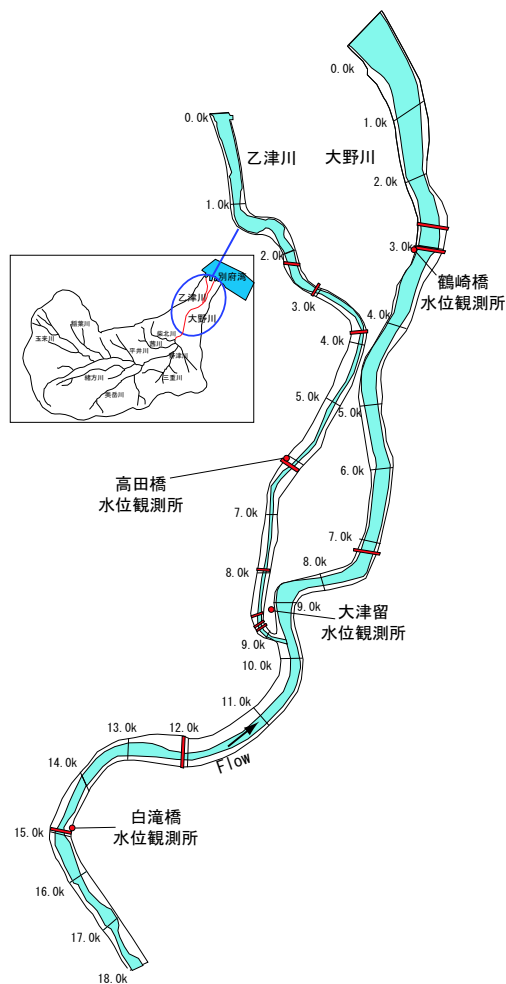


図-1 乙津川の概要

もに、その検討方法を確立することを目的としている。ここでは、大野川の派川である乙津川を対象に、準2次元解析と平面2次元解析を行い、両者の結果の違いについて検討するとともに、両結果に基づき、樹木群が洪水流の挙動に及ぼす影響について検討した。

2. 乙津川の樹木繁茂状況

本研究で対象とする乙津川は、大分県の中央部を貫流する一級河川大野川の派川である(図-1)。その延長は10.9kmで図-1では全区間の内、距離標0km～大野川からの分流地点までの区間を示している。乙津川の河道特性による河道区分はセグメント2-2に対応する。計画高水流量は大野川から分流堰により配分される流量 $1,500\text{m}^3/\text{s}$ である。

乙津川を含む大野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。乙津川には平成5年9月の出水時に計画高水位を1.2m超過した箇所が存在する。このため、図-1に示す距離標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。

図-2は、平成11年～平成16年について樹木群の繁

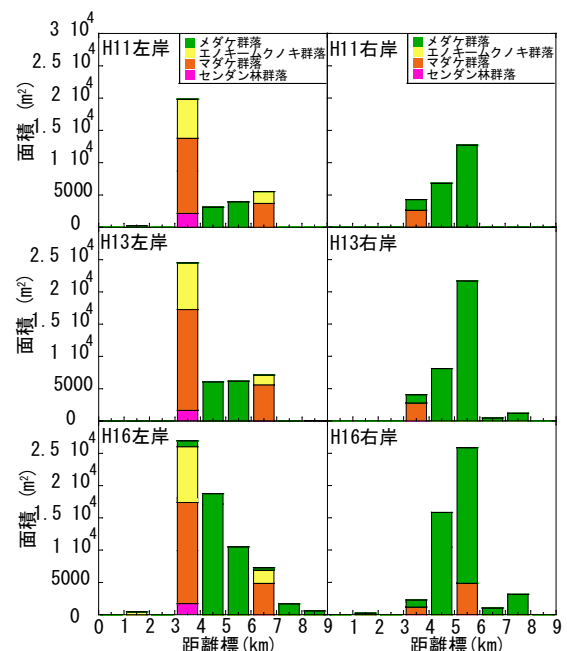


図-2 各距離標間の植生繁茂面積の経時変化

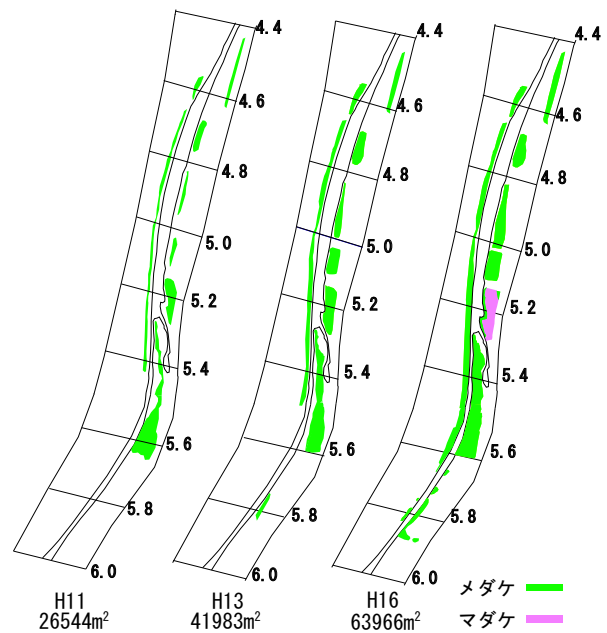


図-3 距離標4～6km区間の樹木群繁茂状況の経時変化

茂面積を距離標ごとに調べたものである。なお、樹木群は、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た。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^{7),8)}から、平成13年については航空写真⁹⁾からそれぞれ面積を求めた。これより、樹木群は距離標3～6km区間に集中して繁茂しており、その多くはメダケもしくはマダケの竹林であることが確認できる。また、平成11年～平成16年にかけて、メダケ群落の面積が、特に距離標4～6km区間で急増していることが確認できる。

図-3は、樹木群が急増している4～6km区間の樹木群繁茂状況を示したものである。これより、樹木群の多

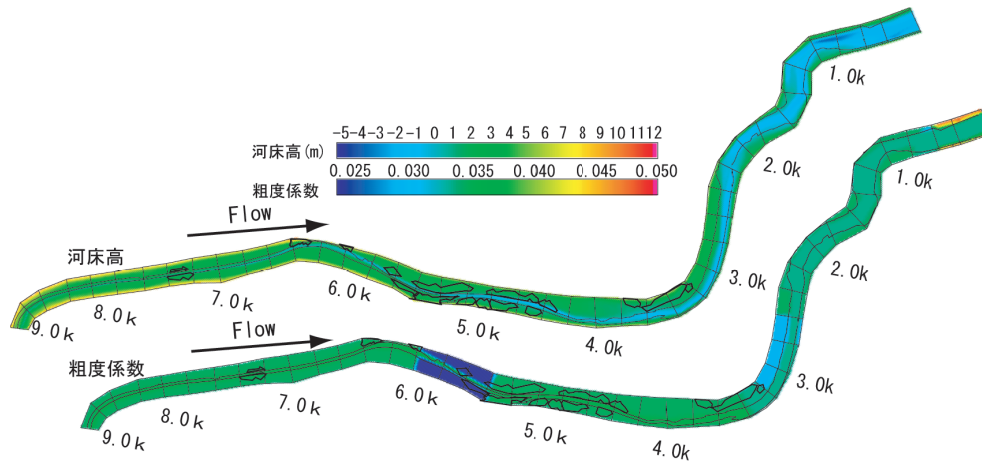


図-4 乙津川の河床高と粗度係数

表-1 平面 2 次元解析に用いた樹木群パラメーター

	樹木密度 N (本/㎡)	胸高直径 d (m)
マダケ	3.47	0.049
メダケ	15.9	0.016
常緑広葉樹林	0.13	0.450

くはメダケであり、その繁茂位置は大きくは変化せず樹木群面積だけが增大していることが確認できる。また、平成 16 年では平成 11 年の面積の 2 倍程度となっている。

このように距離標 4～6km 区間では樹木群が年々増加しており、平成 17 年 9 月 4～6 日にかけて発生した台風 14 号による出水ではこの区間に位置する高田橋水位観測所(図-1)において計画高水位を 0.32m 超えたことを踏まえると¹⁰⁾、この区間では樹木群により流下能力が低下していることが推察される。

3. 数値解析概要

以上のような樹木群の調査結果から、距離標 3～6km 区間では樹木群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。ここでは乙津川の距離標 0.4km～9.0km の区間を対象に準 2 次元解析と平面 2 次元解析を行い、樹木群が流れに及ぼす影響について縦断のみならず平面的にも検討した。準 2 次元解析には財団法人国土技術研究センターが作成した河道計画シミュレータ¹¹⁾を、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、乙津川の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 年の測量データと「大野川河道技術資料」¹³⁾で用いられた値を使用した。図-4 に、上記のデータを用いて得られた乙津川の河床高と粗度係数のコンター図を示す。なお、図中の太線は樹木群の繁茂範囲を表している。

樹木群の繁茂位置については「河川水辺の国勢調査平成 16 年度版 大野川水系大野川植生調査報告書」に基づき作成した。なお、樹木群については、乙津川の樹木群のほとんどを占有しているマダケ、メダケ群集、および常緑広葉樹林(ムクノキ・タブノキ群落)(6.2～6.6km のみ繁茂)を対象とした。

準 2 次元解析では樹木群はいずれも死水域とし、混合係数 f については標準値¹⁴⁾を用いた。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 $F_x = C_d \cdot a/2 \cdot u h \sqrt{u^2 + v^2}$, $F_y = C_d \cdot a/2 \cdot v h \sqrt{u^2 + v^2}$ 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 =樹木密度(本/㎡)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⁾を基に表-1 のように設定した。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。

境界条件として上流端(距離標 9.0km)に流量を、下流端(距離標 0.4km)に水位を与えた。痕跡水位との比較では、高田橋水位観測所での痕跡水位から算出された出水時の流量 724.78m³/s と痕跡水位 0.965m を、計画高水流量時の解析では計画と同様に、計画高水流量 1500m³/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 × 2.5% の和 T.P1.158m を与えた。

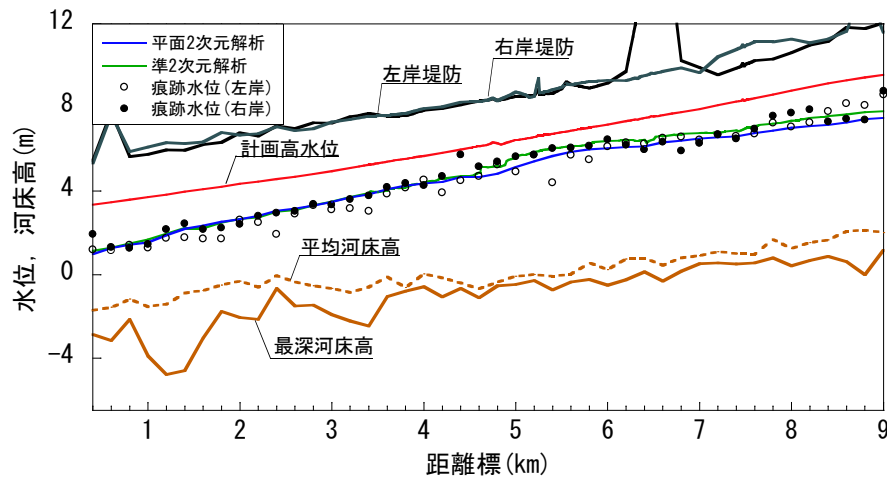


図-5 平成 11 年 9 月の出水時の痕跡水位と解析結果との比較

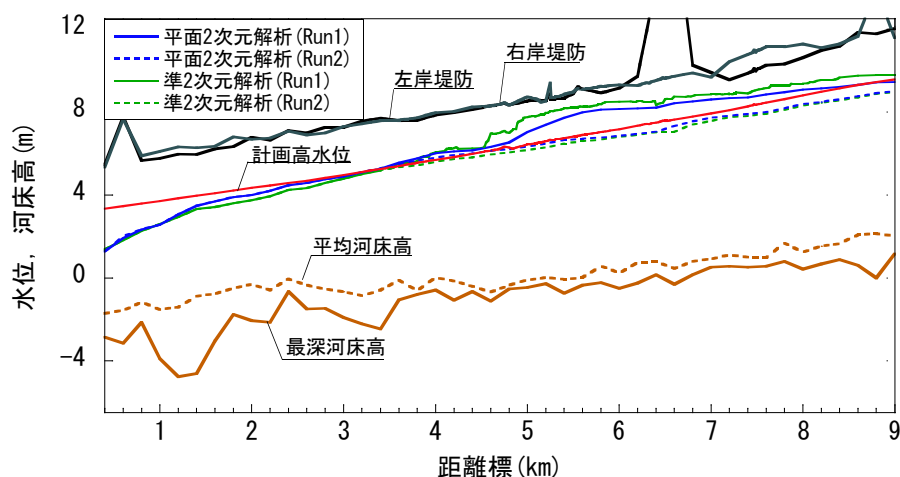


図-6 計画高水流量時の水位の解析結果

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、両モデルの検証を行った。図-5 は、準 2 次元解析および平面 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。準 2 次元解析と平面 2 次元解析の結果を比較すると、4.8km 付近から違いが生じはじめ、準 2 次元解析では水位が高い右岸側の痕跡水位と、平面 2 次元解析では水位の低い左岸側の痕跡水位とほぼ一致していることが確認できる。これは、準 2 次元解析では樹木群を死水域として取り扱うために、平面 2 次元解析では樹木の抵抗係数値が枝や葉を考慮していないために若干小さな値であったために、それぞれ水位の高い右岸側、水位の低い左岸側の痕跡水位と一致したと考えられる。全体的には両結果ともに痕跡水位を良好に再現していることが確認できる。なお、平面 2 次元解析の左・右岸水位については河道中心軸の水位と大きな違いはなかった。また、いずれの解析についても、平成 9 年 9 月の出水に対する痕跡水位について同精度の結果が得られた。これらより、両解析結果とも

に十分な精度で洪水流を再現できることが確認できる。

(2) 樹木群が流況に及ぼす影響

次に、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、樹木群が流れに及ぼす影響について検討した。図-6 は、準 2 次元解析と平面 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。Run2 の結果に着目すると、平面 2 次元解析の水位は、距離標 3.4km ~ 4.8km の区間で計画高水位を若干超えるものの、両解析結果ともに計画高水位を概ね下回っていることが確認できる。Run1 に着目すると、両解析結果ともに、樹木群の繁茂状況が密になる距離標 4.8km 付近から上流までの水位が急増し、計画高水位を超えることが確認できる。このように、樹木群は距離標 4.8km より上流側の水位上昇に大きな影響を及ぼすことが確認できる。

準 2 次元解析と平面 2 次元の解析結果を比較すると、樹木群内を洪水流が流下するものとして取り扱っている平面 2 次元解析に比べ、死水域として取り扱っている準 2 次元解析の方が、その上昇する割合は大きい。実際には洪水流は樹木群内を流れることから、樹木群を死

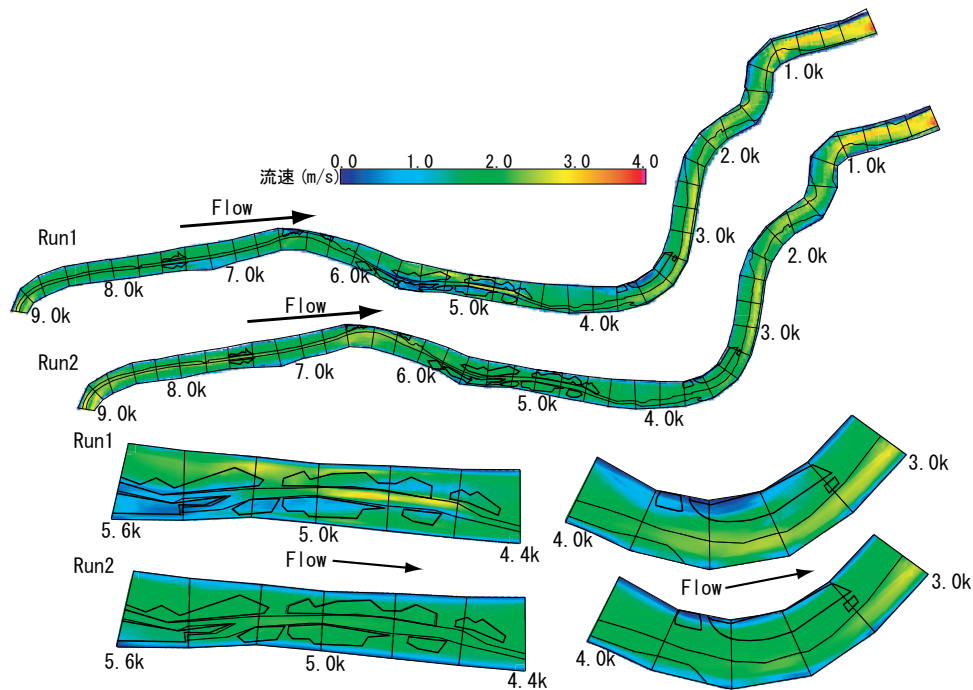


図-7 計画高水流量時の Run1(平成 16 年樹木繁茂状況) と Run2(樹木伐採時) の流速の絶対値のコンター図

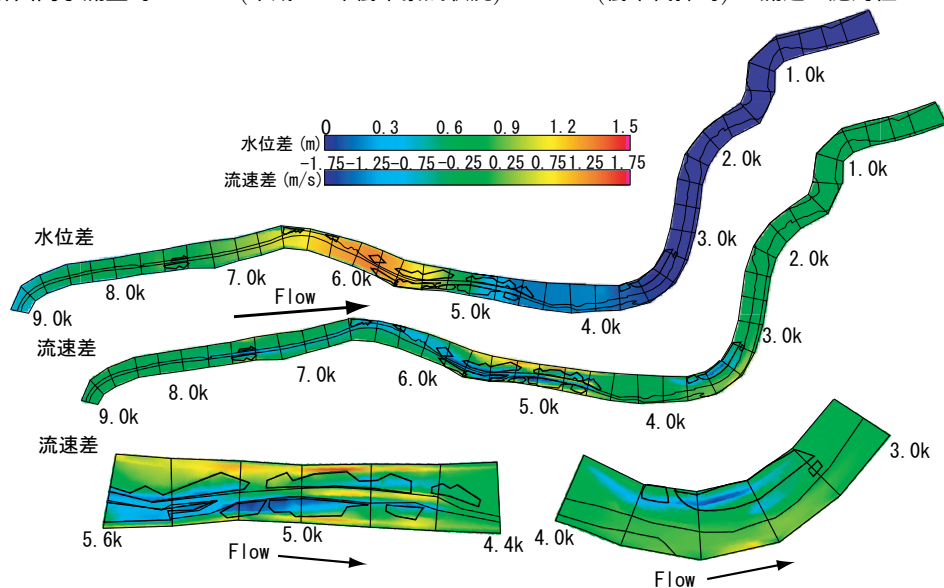


図-8 計画高水流量時の Run1(平成 16 年樹木繁茂状況) と Run2(樹木伐採時) の水位差と流速差

水域として取り扱う準 2 次元解析は、平面 2 次元解析に比べ水位をより安全側に予測した可能性はある。準 2 次元解析では標準的な死水域、混合係数 f を用いて、一方平面 2 次元解析では実際の繁茂状況を踏まえたパラメータを用いて、樹木群が取り扱われている。従って、平面 2 次元解析の結果に基づけば、準 2 次元解析の死水域や f 値の設定をより合理的に行える可能性がある。これについては、今後検討する予定である。

以下では、樹木群が洪水流に及ぼす影響を面的に検討する。図-7 は、平面 2 次元解析による Run1 と Run2 の流速の絶対値のコンター図と樹木群周辺の拡大図を示したものである。なお、図中の太線が樹木群の繁茂範囲である。これより、いずれの Run についても、低

水路に沿って流速が速くなる様子、樹木群内では流速が遅くなる様子、逆に樹木群と堤防の間で流速が速くなる様子等が確認できる。

図-8 は、Run1 と Run2 の水位と流速の差をコンター図として示したものである。なお、流速差については樹木群周辺の拡大図も示している。樹木群の存在により、水位が上昇あるいは流速が増大した場合には正の値になる。これより、水位については縦断方向と同様に、距離標 4.8km を境に水位の上昇が大きくなることが確認できる。また、横断方向については大きな変化はないことも確認できる。一方、流速については、距離標 5.0km 周辺で樹木・堤防間の流速が増大するなど、横断方向に大きな変化が生じていることが確認できる。

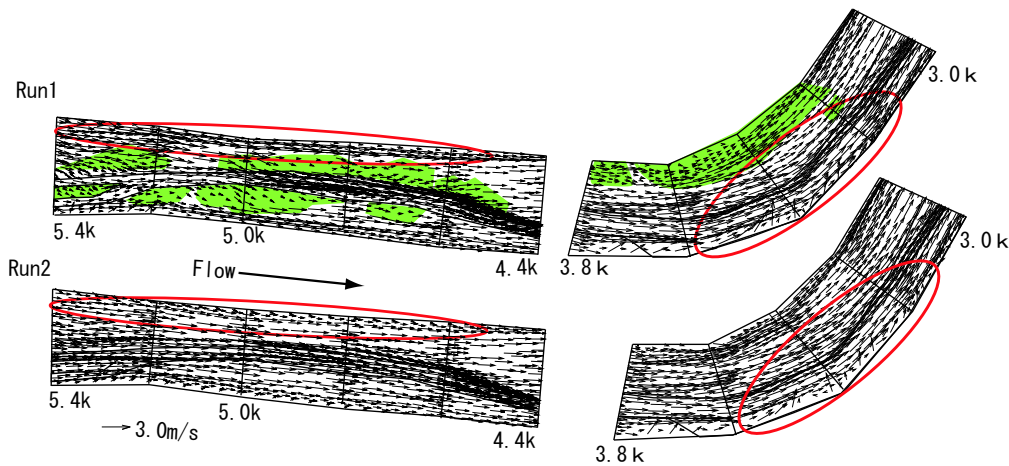


図-9 平面 2 次元解析による流速ベクトル結果 (距離標 3.0～3.8km, 4.4～5.4km 区間)

さらに、距離標 3.4km 付近の蛇行部についてはその内岸で流速が減少し、その外岸で流速が増大している様子が確認できる。

図-9 は、距離標 3.0～3.8km, 4.4～5.4km までの流速ベクトルを示したものである。なお図中の緑の塗りつぶしは樹木繁茂区間を表している。距離標 4.4～5.4km 付近では赤丸で囲まれた部分で樹木群と堤防の間で流速ベクトルが大きくなっており、樹木群により流れが加速される様子が確認できる。さらに、距離標 3.0～3.6km 付近では赤丸で囲まれた部分で Run1 の流速ベクトルは蛇行部内岸側に存在する樹木群により流向が変化し、流れが外岸側へ押しやられ、水衝部が Run2 に比べより外岸側へ及ぶことが確認できる。

以上のことから、乙津川については、樹木群の存在による水位上昇の検討を行う場合、平面 2 次元解析より水位が大きく計算される準 2 次元解析を行うことで十分だと考えられる。また、堤防沿いに発生する高速流や水衝部については平面 2 次元解析を用いた検討が必要と考えられる。

5. おわりに

以上、準 2 次元解析および平面 2 次元解析結果に基づくと、乙津川では距離標 4～6km 区間の樹木群は、距離標 4.8km から上流の水位上昇を生じさせていること、5.0km 付近の左岸堤防沿いの流速を増大させること、また、距離標 3.0～3.6km の蛇行部左岸側の樹木群が洪水流の流向に影響を与え、水衝部を外岸まで押しやること、などがわかった。今後は、乙津川の治水面上許容可能な樹木繁茂状況を明確にするとともに、伐採等を含む乙津川の樹木管理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、九州工業大学工学部生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

- 1) 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。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 瀬岡和夫、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。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 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。
- 14) 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。
- 15) 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。

(2005. 9. 30 受付)