

数値解析に基づく乙津川の境界混合係数値の検討

九州工業大学工学部	学生会員	○柳 善之	九州工業大学工学部	正 会 員	重枝 未玲
山口大学工学部	正 会 員	朝位 孝二	(株)建設技術研究所	正 会 員	坂本 洋
国土交通省九州地方整備局	正 会 員	西尾 崇	九州工業大学工学部	フェロー会員	秋山 壽一郎
(株)建設技術研究所	正 会 員	徳永 智宏	九州工業大学大学院	学 生 会 員	樋口 直樹

1. はじめに

河道内樹木は、適切に管理されていない場合に治水面上の問題が生じる。そのため、適切な樹木管理基準が近年求められている。樹木管理は河道内樹木が洪水流に及ぼす影響を勘案しながら行う必要があり、その検討のツールとして準2次元解析が一般に用いられる。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う。死水域やせん断応力を求めるための境界混合係数 f の設定は痕跡水位に基づいて行われるため、痕跡水位が存在しない樹木伐採後の f 値や死水域の推定方法は確立されていないのが現状である。本研究は、乙津川の治水と環境保全とが調和した樹木管理基準を明確にすることを目的に乙津川の平均的な f 値の推定を行うとともに、樹木伐採が数値解析に基づき f 値に及ぼす影響を検討する。

2. 乙津川の概要

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より配分される流量 1,500m³/s である。乙津川の河道内樹木は、距離標 3.4~5.6km 区間に集中しており、メダケ等の竹林が多く、そのほとんどは低水路沿いに位置する。

3. 境界混合係数

準2次元解析では、河道内樹木は(1)死水域として流積を減少させること、(2)流れと樹木の境界に働くせん断力 τ を加えることで取り扱われる。一般に(1)については、ある程度の樹木が密生していれば樹木繁茂範囲の全てを死水域として取り扱われることが多い。また、(2)については、 f を用いて $\tau = \rho \cdot f \cdot (\Delta u)^2$ と定義される。ここに、 ρ =水の密度、 Δu =樹木群内外の流速差であり、樹木群内の流速はその外側の流速に比べ非常に小さいために通常 0 と計算される。しかし、実際には樹木群繁茂状況によっては樹木内にも流れが生じているために、樹木群内の流速は 0 とならない。このため、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 値の修正の必要性が生じる。

f 値は樹木の位置により推奨値があり、樹木が堤防に接している場合は $f=0.03$ 、樹木が河道の中央にある場合には $f=0.10$ が用いられる。また、福岡・藤田の実験¹⁾ から樹木が堤防に接した場合と河道の中央にある場合とに分け、河道中央の f を求める理論式を次式のように提案している。

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

ここに、 K_s =透過係数、 h =水深、 u_m =樹木群に接する分割断面の平均流速、 b =樹木群幅である。

4. 数値解析の概要

平面2次元解析には著者等が開発した SA-FUF-2DF モデル²⁾を、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ー³⁾を用いた。SA-FUF-2DF モデルでは樹木群は運動方程式にそれぞれ $F_x = C_d \cdot a / 2 \cdot u_h \cdot (u^2 + v^2)^{0.5}$ 、 $F_y = C_d \cdot a / 2 \cdot u_h \cdot (u^2 + v^2)^{0.5}$ 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²⁾。ここに、 a =樹木群密度パラメータ($=d \cdot N$)、 d =樹木の投影幅、 N =樹木密度(本/m²)および C_d =抵抗係数であり、各パラメータは、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 a については、現地で行ったコドラート調査結果⁴⁾をもとに設定した。抵抗係数 C_d については、円柱の抵抗係数 $C_d=1.2$ ¹⁾を用いた。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。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。

5. 結果と考察

(1)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: 572m³/s, H11: 725m³/s, H17: 1142m³/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。図-2は、平成17年の出水での平面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。この図から、平面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確認できる。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。これより、本平面2次元解析は十分な精度で洪水流を再現でき

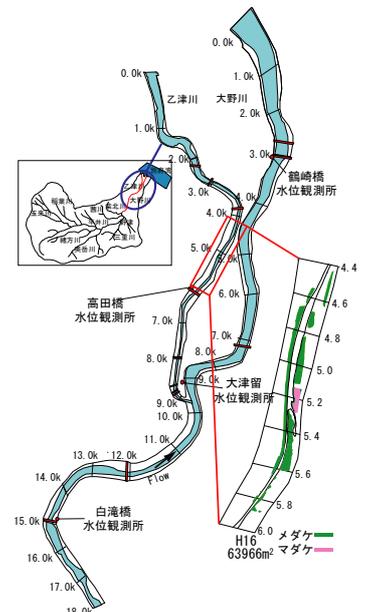


図-1 乙津川の概要

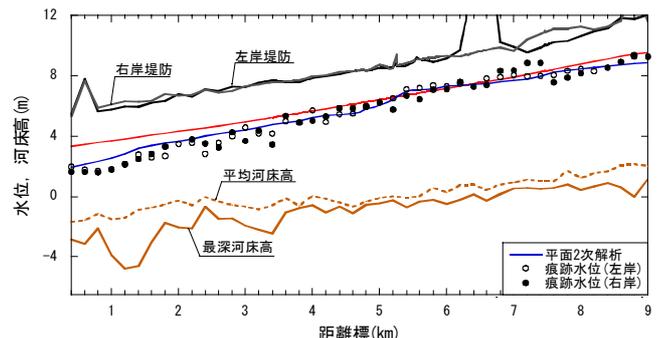


図-2 H17年の出水時の痕跡水位と平面2次元解析結果との比較

ることが確認できる。

(2) 樹木伐採前の境界混合係数 f 値の検討と妥当性の検証

樹木群内では、樹木繁茂状況によって流れが生じ、 f 値に影響を及ぼす。そこで、乙津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、計画高水流量時について単位面積中に占める樹木繁茂面積の割合を変化させた平面2次元解析と f 値を変化させた準2次元解析を行い、両解析結果が一致するような単位面積中に占める樹木繁茂面積の割合と f 値の関係を調べた。なお、乙津川は竹林が多いことから樹木繁茂面積は樹幹面積としている。また、低水路沿いに繁茂している樹木が多いため、ここでは樹木が河道の中央にある場合の f 値についてのみ検討している。

平面2次元解析と準2次元解析で得られた河道中心軸上の水位の比較を行った結果、両結果が一致していることが確認できた。この結果を用い樹木繁茂面積の割合と f 値との関係を調べたものが図-3 である。乙津川では樹木繁茂面積の割合は 0.3~1.0% であることから、 f 値は 0.06~0.12 の範囲にあり、平均的な樹木面積の割合に応じた f 値は 0.08 であるとわかる。また、他の河川についてみると、乙津川を対象に求められた f 値と樹木面積の割合との関係を表す曲線付近にデータがらばることがわかる。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乙津川に限定されるものだと考えられる。

そこで理論的に求められた式(1)と乙津川の平均的な f 値との適合性を調べたものが図-4 である。これより、いずれの河川においても理論式周辺にデータがあることから、理論式の関係に概ね従っていること、また、理論式は第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、乙津川での平均的な境界混合係数は $f=0.08$ 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(H9: 572m³/s, H11: 725m³/s, H17: 1142m³/s)の異なる3つの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-5 は、平成17年の出水での準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。これより先ほどの平面2次元解析と同様に痕跡水位を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ことから、その妥当性が確認できる。

(3) 樹木伐採後の境界混合係数 f 値の推定

最後に、樹木伐採が f 値に及ぼす影響について検討した。計画段階で樹木伐採後の痕跡水位は存在しないために、樹木伐採による f 値を検討することは計画を行う上で有用であると考えられる。伐採対象区間は樹木が最も繁茂する 4.6~5.6km とした。伐採量は樹木の幅方向に 1/4, 1/2, 3/4 とした場合と伐採計画案に従った場合とした。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-6 である。いずれの伐採も、 f 値は大きな変化はなく $f=0.08$ の一定値となることがわかった。これは、乙津川の樹木の平均的な透過係数 $K_t=6.5$ (m/s)であり、この程度であれば樹木幅による f 値の変化が小さいためと考えられる。このことは、樹木によるせん断応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水位低下が生じることから、可能性が低いことを示唆している。しかし、乙津川では低下率は 13~18% であり、乙津川の樹木伐採に伴う水位低下は、河積の増加が主な要因であり、 f 値の変化によるものではないと考えられる。以上から、乙津川については樹木を区域伐採する場合には、 $f=0.08$ としても良いと考えられる。

6. おわりに

本研究から、(1)乙津川の平均的な f 値は 0.08 であること、(2) $f=0.08$ を用いれば流量の異なった3つの出水に対する痕跡水位を再現可能であること、(3)数値シミュレーション結果に基づけば、間伐を行う場合には図-3 の関係を、区間伐採を行う場合には $f=0.08$ を用いれば伐採後の水位を予測できること、などの乙津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について検討する予定である。

参考文献 1)福岡捷二, 藤岡光一: 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.

2)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.

3)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.

4)国土交通省 九州地方整備局大分河川国道事務所・九建設株式会社: 乙津川定期縦断測量(植物調査)報告書, 2005.

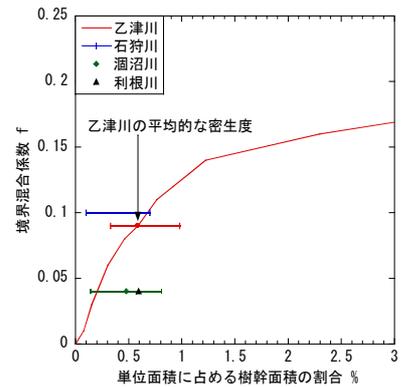


図-3 境界混合係数と単位面積中の樹木面積との関係

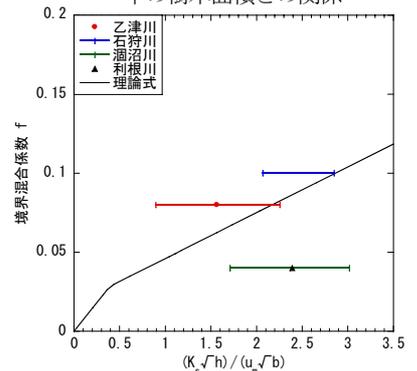


図-4 境界混合係数と無次元パラメータとの関係

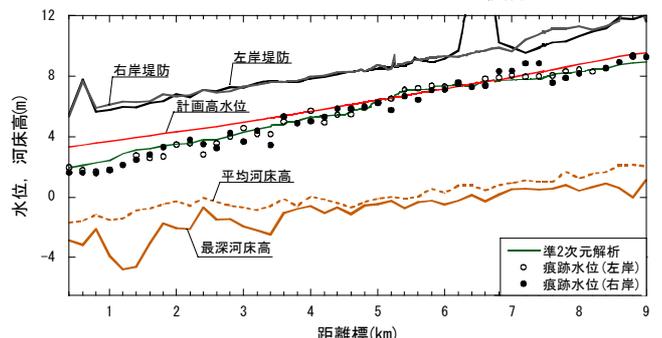


図-5 H17年9月の出水時の痕跡水位と準2次元解析との比較

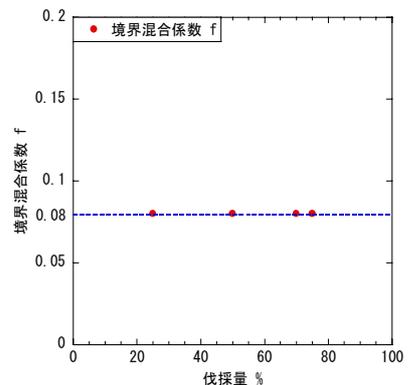


図-6 境界混合係数と伐採量との関係