

19. NDVIと河道内植生繁茂状況の比較

武田 尚樹¹・呉 修一^{2*}・菊地 大智³・石川 彰真³

¹富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

²富山県立大学准教授 工学部 環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

³富山県立大学大学院 工学研究科 環境・社会基盤工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

* E-mail: kure@pu-toyama.ac.jp

近年河道内の樹林化の進行が問題視されている。河道内に植生が繁茂することで堤防の侵食の対策となる。一方、植生の繁茂により流下能力の低下が発生し、水位が上昇しやすくなる。侵食や越水は堤防決壊の要因となる。このような植生の繁茂によって生じるリスクの評価を行う際には、植生を考慮した粗度の算出が必要となる。粗度算出に必要な植生の高さなどは、現地調査から得られるが時間と手間を要する。

本研究では、衛星画像から算出可能なNDVIと調査項目を比較し、両者の関連性を評価した。評価結果より、樹木繁茂地点の調査項目とNDVIの関連性を確認することはできなかった。今後は、NDVIのような植生を判断する新たな指標での比較や草本類の繁茂が多い地点での現地調査とNDVIの比較を検討する。

Key Words : roughness coefficient, NDVI, vegetation survey, flood simulation, codrat method

1. はじめに

近年、河道内樹林の進行が問題視されている。河道内に樹林が繁茂する要因として、洪水による河床の掘削により河床の高さが低下し高水敷との差である比高差が大きくなり砂州の固定化が進行するためである。また、比高差が大きくなるほど植生が洪水によってフラッシュされにくくなるため樹林化の進行が加速される。

河道内に樹木のような植生が繁茂することによって流下能力の低下を引き起こし、水位上昇の要因となる。これにより、越水の危険性が高くなる。また、富山県の河川は、勾配が急であるため河川内の流れのエネルギーが大きく、侵食被害も多く報告されている。しかし、堤防付近の植生は堤防の侵食被害を軽減する効果がある。堤防の決壊の要因として越水と侵食が考えられ、植生の繁茂状況によって生じるリスク軽減効果と増長効果のバランスを考慮・評価する必要がある。

また、地球温暖化の影響によって降水量や短時間豪雨の頻度の増加が予測されており、富山県においてもその影響を受ける可能性が高い。それらの影響により、洪水などの河川災害の危険性が一層高まることが懸念されており、この対応策として樹林伐採が注目を集めている。樹林伐採によって流下能力の向上を促し、越水や流木等

の危険性を減少させることが期待されている。

田中ら¹⁾は、北海道美唄川における樹木や草本類といった植生を考慮した粗度係数を用いた計算を行った。その結果、植生の抵抗を評価した計算の方が観測水位に近い値を示した。これより、樹木や草本類といった植生が洪水時の水位に大きく影響していることが明らかになった。

植生の伐採前後の越水リスク等の解析を行う際には、粗度係数の設定が必要となる。粗度係数算出において、植生高さ・枝下高さ・密度・胸高直径が必要となり、これらは現地調査での測定により求めることができる。しかし、現地調査は時間と手間がかかり、広域でリスク評価を行うことは困難である。本研究の目的は衛星画像から算出可能なNDVIを用いて対象領域の植生の繁茂状況を数値的に判断し、温暖化を考慮した流量を設定、植生を考慮した洪水解析を行うことにより、樹林伐採による影響評価を行うことである。そこで従来の粗度係数算出方法の適用、1次元解析と2次元解析の違いによる植生の水位への影響評価、衛星画像を用いた粗度係数の算出を行い課題を検討した。また、衛星データLandsat8から算出した植生の活性度の指標であるNDVIを用いて、現地調査から求めた調査項目との比較により、関連性の把握を行った。

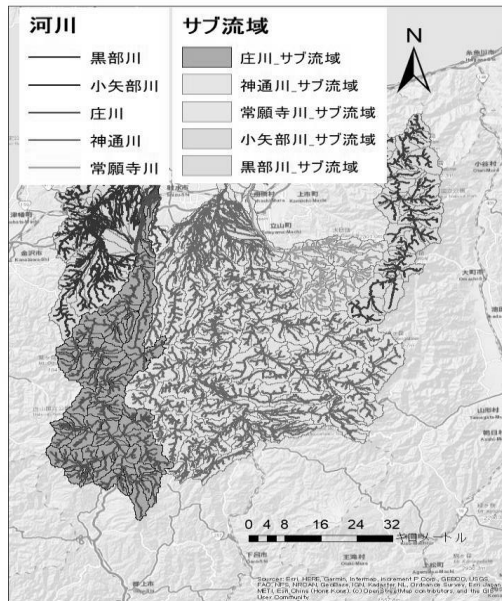


図-1 対象領域

2. 対象領域の概要

本研究では、富山県と岐阜県にまたがる一級河川である小矢部川・庄川・神通川・常願寺川・黒部川を対象領域とする（図-1）。現地調査では、小矢部川（河口から約9 km地点）、庄川（河口から約21 km地点）、常願寺川（河口付近地点）のNDVIが高い地点の3か所で行った（図-2）。

3. 富山県内5河川における粗度係数の空間分布

(1) 手法

富山県内5河川を対象に植生を考慮した粗度係数を低水路と高水敷に分けて算出する。低水路の粗度係数は河道計画検討の手引き²⁾に記載されている河床材料を踏まえた粗度係数算出式を用いて算出する。低水路の粗度係数を算出する粗度係数算定式を以下に示す。

a) 低水路粗度係数算出式

$$n = \frac{K_s^{\frac{1}{6}}}{7.66 \times \sqrt{g}} \quad (1)$$

ここで、 K_s は相当粗度（河床材料の代表粒径を m 単位で使用）、 g は重力加速度である。

また、高水敷の粗度係数は草本類と樹木群の繁茂状況から算出する式を用いる。以下に算定式を示す。

b) 草本類粗度係数算出式

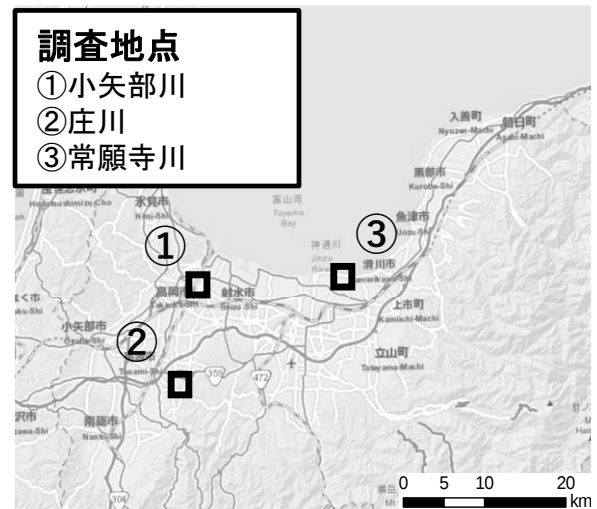


図-2 現地調査（NDVI）の地点

表-1 摩擦速度による洪水時の植生の状態

	硬い草	柔らかい草
直立状態	$u_* \leq 12 \text{ cm/s}$	$u_* \leq 7 \text{ cm/s}$
たわみ状態	$12 \text{ cm/s} \leq u_* \leq 22 \text{ cm/s}$	$7 \text{ cm/s} \leq u_* \leq 15 \text{ cm/s}$
倒伏状態	$u_* \geq 22 \text{ cm/s}$	$u_* \geq 15 \text{ cm/s}$

・摩擦速度

$$u_* = \sqrt{I_e \times g \times H_{fp}} \quad (2)$$

ここで、 u_* は摩擦速度、 I_e はエネルギー勾配（河床勾配としてもよい）、 g は重力加速度、 H_{fp} は高水敷上の水深である。 H_{fp} は計画高水位から現況高水敷高を差し引いた値を用いる。次に、上記の式で求めた摩擦速度を表-1の分類を適用し洪水時の草本類の状態を決定する。

・直立状態

$$n = 0.094 \times \frac{h}{h_v} - 0.31 \quad (3)$$

・たわみ状態

$$n = 0.074 \times \frac{h}{h_v} - 0.27 \quad (4)$$

・倒伏状態

$$n = 0.074 \times \frac{h}{h_v} - 0.27 \quad (5)$$

ここに、 n は高水敷粗度係数、 h は高水敷上の水深[m]である。次に樹木群の繁茂状況による粗度係数算定式を下記に示す。

c) 樹木群粗度係数算出式

・透過係数

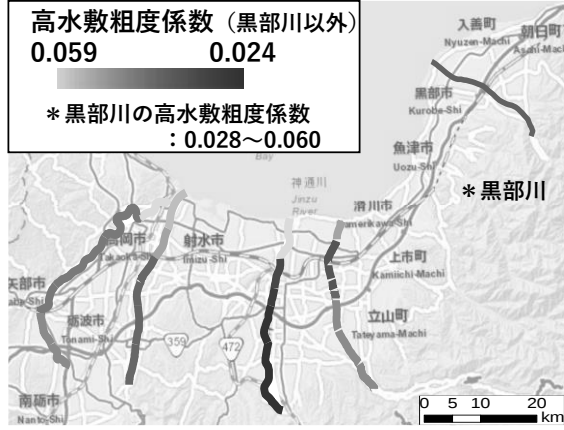


図-3 国土交通省算出の高水敷粗度係数

$$k = \left(\frac{2g}{a_w} \right)^{0.5} \quad (6)$$

ここに、 $C_d(=0.6)$ は抗力係数、 $a_w=N \times D_m$ は単位面積当たりの樹木の本数、 D_m は幹の胸高直径[m]、 g は重力加速度($=9.8$)である上記の透過係数を求め高水敷水深、枝下高さ、樹高の関係性により用いる式を決定する。下記に樹木群の粗度係数算出式を示す。

・ $h_m > 0$, $h \leq h_m$ の場合

$$n = (n_b^2 + h^{\frac{4}{3}}/k^2)^{0.5} \quad (7)$$

・ $h_m > 0$, $h_m < h \leq h_v$ の場合

$$n = (h/h_m)^{\frac{5}{3}} \times (n_b^2 + h_m^{\frac{4}{3}}/k^2)^{0.5} \quad (8)$$

・ $h_m > 0$, $h_v < h$ の場合

$$n = (h_v/h_m)^{\frac{5}{3}} \times (n_b^2 + h_m^{\frac{4}{3}}/k^2)^{0.5} \quad (9)$$

(2) 結果

前式を用いて国土交通省北陸地方整備局が算出した高水敷の粗度係数分布を図-3に示す。黒部川を除く4河川はある程度の区間の範囲で粗度係数が算出されているが、黒部川は全域に一樣の粗度係数が与えられる結果となっているため空間による違いが見られない結果となった。

4. 局所領域における植生の影響評価の推定

(1) 手法

植生を考慮した河道内計算を行う場合には2次元での解析が必要となるが、膨大なデータや長い解析時間を要する。そこで、簡易的な1次元不定流計算に適用できる植生を考慮した粗度係数算出を図る必要がある。水位計を有している神通大橋付近と常願寺大橋付近を対象に、

前章の粗度係数算出式を用いて1次元不定流計算と2次元不定流計算に同様の粗度係数を与える。これにより、各不定流計算の課題点と植生の影響評価を明らかにする。1次元不定流計算は以下の式を用いる。

[連続式]

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \quad (10)$$

[運動量方程式]

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} = gA \frac{\partial (h+z)}{\partial x} - \frac{gn^2|Q|Q}{R^{\frac{4}{3}}A} \quad (11)$$

ここに流積[m²]、 R : 径深、 Q : 流量[m³/s]、 q_l : 側方流入量[m²/s]、 u : x 方向の流速[m/s]、 h : 水深[m]、 z : 標高[m]、 g : 重力加速度[m/s²]、 α : エネルギー係数、 n : マニングの粗度係数である。

2次元不定流計算では河道内の平面2次元解析を行うことができるiRIC Nays2DHを用いる。2次元不定流計算は以下の式を用いる。

[連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = 0 \quad (12)$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t} + \frac{\partial (hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial (huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x - \frac{F_x}{\rho} \quad (13)$$

$$\frac{\partial (vh)}{\partial t} + \frac{\partial (huv)}{\partial x} + \frac{\partial (hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y - \frac{F_y}{\rho} \quad (14)$$

ただし、

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \frac{\tau_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (15)$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t h \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (16)$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t h \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t h \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (17)$$

$$\frac{F_x}{\rho} = \frac{1}{2} C_D a_s h_v u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \frac{F_y}{\rho} = \frac{1}{2} C_D a_s h_v v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (18)$$

ここに、 t : 時間[s]、 v : y 方向の水深平均流速[m/s]、 H : 水位[m]、 τ_x , τ_y : xy 方向の河床せん断力[N/m²]、 F_x , F_y : xy 方向の植生による抵抗力[N]、 C_f : せん断係数、 v_t : 渦動粘性係数、 C_D : 植生の抗力係数、 a_s : 単位体積

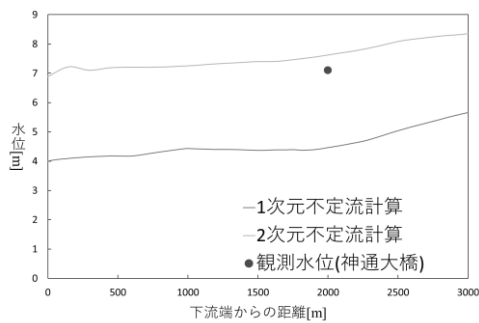


図-4 縦断面図の比較（神通川の神通大橋付近）

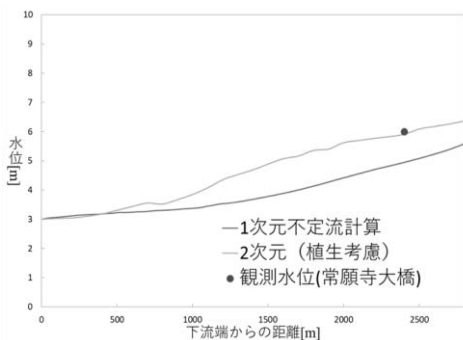


図-5 縦断面図の比較（常願寺川の常願寺大橋付近）

に占める植生の遮断面積 $[m^2]$, h_v : 植生高さ[m]と水深[m]の小さい方である。

(2) 結果

神通川及び常願寺川を対象にした1次元不定流計算と2次元不定流計算の結果を図-4、図-5に示す。図-4、図-5より、解析結果が観測水位に近いのは植生を考慮し粗度係数を与えた2次元不定流計算の結果となった。1次元不定流計算では観測水位から大きな差異が生じる。これらより、1次元不定流計算に適用できる植生を考慮した粗度係数算出法を提案することで、簡易的に正確な解析結果を得ることができると考える。

5. 衛星画像からの植生判断・粗度係数分布

(1) 手法

衛星画像から植生の繁茂地点・粗度係数の抽出を行う。対象範囲の植生繁茂地点において、コドラート法により得られた実測値を基準とする。Google earthより色調から感覚的にパラメータを決定することで算出した高水敷粗度係数の分布図を富山県の5河川全域に描画する。それ

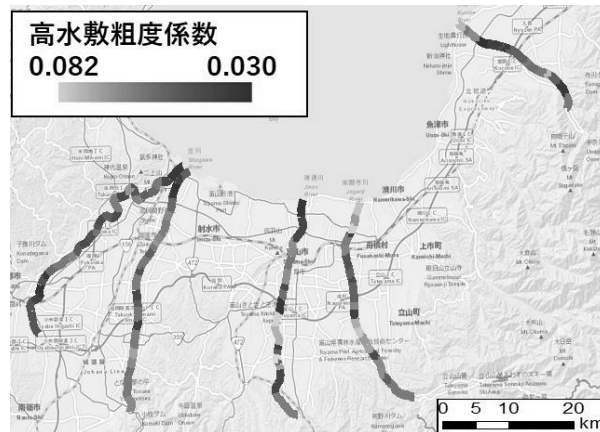


図-6 衛星画像の目視により算出した高水敷粗度係数空間分布

に加えて、高水敷粗度係数を呉ら³⁾の降雨流出モデルを用いて観測流量・水位との比較することで、富山県の5河川全域における高水敷粗度係数の精度を比較する。

(2) 結果

富山県の5河川全域に反映した粗度係数空間分布を図-6に示す。粗度係数は呉ら³⁾の降雨流出モデルを用いて観測流量・水位との比較をすることで整合性の検証を行い、ある程度の精度を有していると考えられる。しかし、植生繁茂地点を航空写真より色調から感覚的に判断しているため不確実性が懸念され、数値的な粗度係数算出方法が必要となる。

6. NDVIと現地調査の比較

(1) 手法

データの収集が比較的容易な衛星データLandsat8より近赤外線域と赤色域可視光線の反射率を取得し、NDVIという植生の活性度を表す指標を算出した。NDVIは-1から1の範囲の値をとる。NDVIは下記の式から算出した。

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (19)$$

ここにIR：赤色可視域の反射率、R：近赤外域の反射率である。

植生調査はNDVIが高い地点を調査対象とし一定の面積内で項目を測定するコドラート法を用い10 m×10 mの範囲内で行った。調査項目において、樹木の繁茂が多い地点では、植生高さ(m)・枝下高さ(m)・密度(本/m²)・胸高直径(m)の4項目を調査し、草本類の繁茂が多い地点では、植生高さのみの調査を行った。調査項目と衛星デー

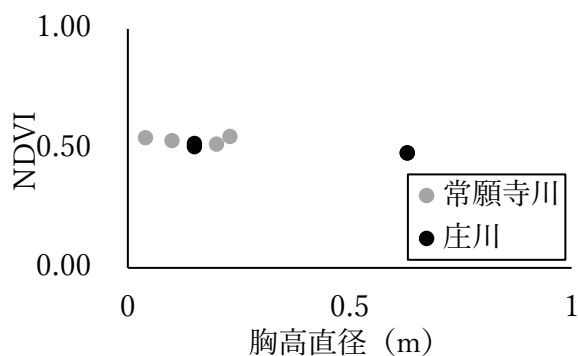


図-9 胸高直径とNDVIの比較

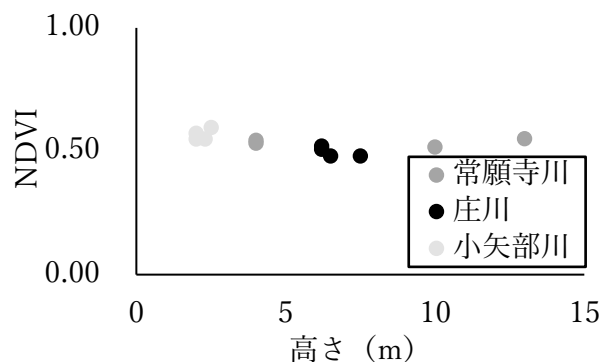


図-7 植生高さとNDVIの比較

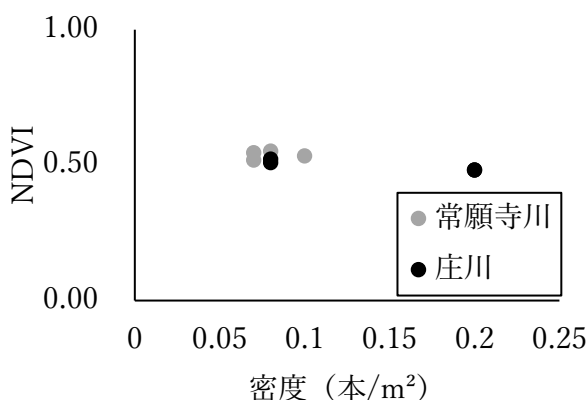


図-10 密度とNDVIの比較

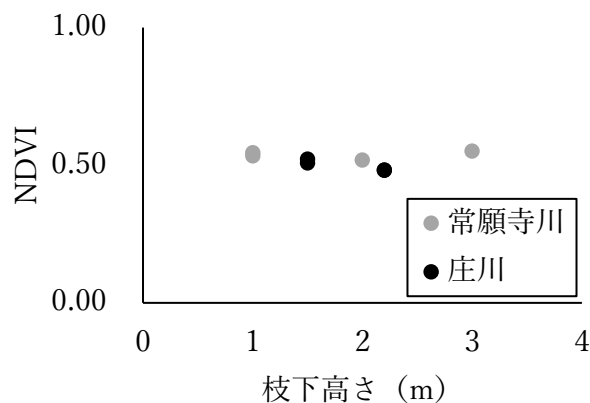


図-8 枝下高さとNDVIの比較

タLandsat8から算出したNDVIを比較し関連性を把握する。

(2) 結果

調査項目の植生高さとNDVIの比較を図-7に示す。小矢部川・庄川・常願寺川の調査地点は同程度のNDVIであったが、植生高さに違いが生じた。枝下高さ(図-8)、胸高直径(図-9)、密度(図-10)においても、各項目の結果に違いが生じていたが、NDVIと調査項目の関連性は確認できなかった。しかし、調査地点が少ないことから関連性の有無は判断できない。引き続き、調査地点を増加させ、関連性を検討する必要がある。

7. まとめ

本研究では常願寺川の植生調査から粗度係数を算出し、1次元不定流計算を行った。しかし、常願寺川調査地点のみのパラメータを用い他河川の粗度を算出しているため、各々の河川で植生調査を行い比較する必要がある。また、植生繁茂地点を航空写真の色調から感覚的にパラメータ値を決定していることから整合性がとれない。そのため、簡易的に数値として判断するためNDVIを用い

て植生調査項目と比較した。各河川において調査項目の値に差異は生じたが、同程度のNDVIとなり関連性が確認できなかった。

今後は、NDVIの低い草本類が繁茂している地点を調査し、関連性を確認する。また、NDVI以外の植生を評価する指標での比較を行い、NDVIに代わる指標の検討を行う必要がある。

これらを用いて、衛星データから算出可能な値と現地調査の結果を比較することで、新たな粗度係数算出式の提案を図る。

謝辞：本研究の一部は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20S11813)により実施した。富山の一级河川で用いた横断面データは国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所に提供頂いた。

参考文献

- 1) 田中徹, 桑原貴志, 阿部修也: 河川に繁茂する樹木群落が洪水流に与える影響について, 平成17年度技術研究発表会,

2005.

- 2) 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，2002.2.
- 3) 呉修一，山田正，吉川秀夫：表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究，土木学会 Vol. 49, B-2, pp. 169-174, 2005.