

荒川中流域の支川群の河道内植生が 洪水流に与える影響と生態的機能の評価

INFLUENCE OF VEGETATION IN TRIBUTARIES OF THE ARAKAWA MIDDLE
BASIN ON FLOOD FLOW AND EVALUATION OF ECOLOGICAL FUNCTION

五十嵐善哉¹・田中規夫²・末永博³・又吉健太⁴

Yoshiya IGARASHI, Norio TANAKA, Hiroshi SUENAGA and Kenta MATAYOSHI

¹正会員 工博 埼玉大学大学院助教 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

²正会員 工博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (兼) 研究機構レジリエント社会研究センター (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³正会員 工修 前埼玉大学大学院理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

⁴非会員 国土交通省関東地方整備局 荒川上流河川事務所計画課 (〒350-1124 埼玉県川越市新宿町3-12)

Resistance by plant growth is increasing at the tributaries of the middle Arakawa basin. This study performed flood flow observation, numerical simulation, and GIS data analysis for the appropriate management of river vegetation. The water level hydrographs of Typhoon Hagibis in the Toki-gawa River and Oppe-gawa River were observed by newly set pressure gauges considering river and vegetation characteristics. Observed data clarified the change of the water level profile during the rising and decreasing period. In addition, the backwater rise by the river vegetation was numerically estimated. The factors which affect the local water level were evaluated. Finally, the river habitat was classified in relation to the flood influences and the living organisms in each classified habitat were analyzed using GIS data. This analysis clarified the points to keep in mind for the management of the river vegetation.

Key Words : Flow level observation, Typhoon Hagibis, numerical simulation, GIS data analysis

1. はじめに

荒川中流域の支川群では樹林化が進行している。河道内樹林化は、水位を上昇させ、堤内地への氾濫リスクを高める。その一方で、樹林のせき上げによる洪水流の河道内貯留は、洪水波形を鈍化させ、伝播速度を遅延させる¹⁾。その結果、下流のピーク流量を低減し、氾濫リスクの低下に寄与すると考えられる。そのため、植生の伐採や砂州の盤下げを実施するにあたり、地先だけでなく下流域のリスク変化を含めた議論が不可欠である。また、市街化が進んだ当該流域では、河道内植生が流域内の緑地を連続的につなぐ貴重な生態ネットワークの一部となっている。したがって、河道内の樹林管理が流域の生態系に及ぼす影響に配慮することが重要である。

福岡²⁾は、洪水痕跡水位縦断と越水箇所、または河岸侵食箇所の比較から、樹木などの河道管理が必要な箇所、治水上の危険箇所は水位縦断形の変化から判断できることを示した。本研究では、簡易水位計により洪水時の水面形を観測し、平面二次元の洪水流解析を行うことで管

理すべき河道内植生を検討する。さらに、GISデータも活用し、治水上管理すべき河道内植生と生物の観測域の関係を調べ、樹木管理の際に留意すべき点を明確にする。

2. 水位縦断分布の観測および取得データの分析

(1) 水位の計測

a) 圧力センサーの概要

入間川流域の河道内に既存の水位観測所の設置間隔よりも高密度に水位計 (圧力センサー: HOBO Water Level Logger U20L-01) を設置し、10分ごとの圧力 (全圧) と温度を計測した。

b) 圧力から水位の算出

全圧および気圧を計測し、水圧を算出する。全圧の計測のため、洪水時に圧力センサーが水没状態となるように、低水路付近に設置した。また、気圧の計測のため、洪水時に水没しない程度の高所にも圧力センサーを設置した。これらの全圧および気圧から水深を求めた。ここで、水の密度は水温に対応する密度を用いた。また、水

表-1 各観測所区間の河道特性 (水位観測所位置は図-7に記載)

河川名	観測所間	観測所間の距離(km)	河床勾配	樹林割合(%)	低木割合(%)	竹林割合(%)
入間川	入間川落合橋-小ヶ谷	4.9	1/580	7.5	3.0	1.8
越辺川	越辺川落合橋-天神橋	4.8	1/1900	32.4	6.2	5.6
越辺川	入西-今宿	3.4	1/350	39.7	9.4	15.7
高麗川	坂戸-出世橋	15.6	1/330	33.7	4.0	1.2
都幾川	野本-唐子橋	4.0	1/620	37.0	12.5	4.8
都幾川	唐子橋-月田橋	5.7	1/560	63.2	17.9	18.6

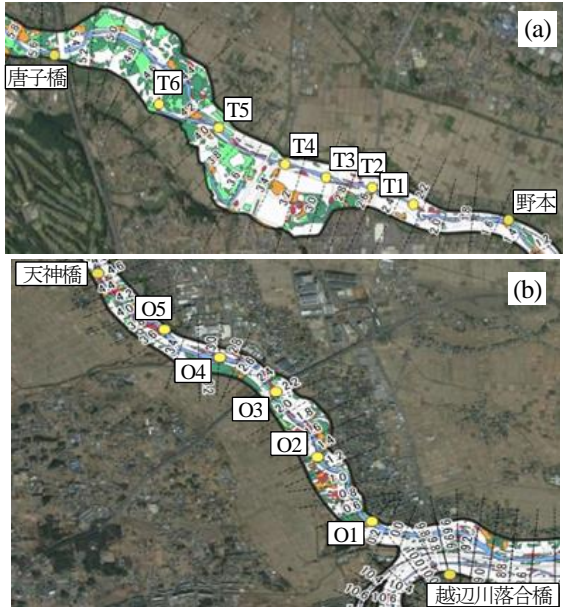


図-1 圧力センサー設置地点 (a): 野本-唐子橋水位観測所区間, (b): 越辺川落合橋-天神橋水位観測所区間)

深を水位に変換するため、観測位置の地盤高をRTK-GNSSにより計測した。

(2) 観測地点の選定と河道特性

観測区間は、入間川流域の水位観測所の中から、河道特性と設置可能性に基づいて選定した。本研究では河道特性のデータが豊富な国管理の区間を観測対象とした。観測区間の選定にあたり、着目した河道特性は河道内の植生割合と河床勾配である。表-1に各観測所間の河道特性を示す。河道内の植生割合については、樹高が低く、樹冠が浸水しやすい低木、密度の高い竹林は抵抗が大きいと考え、特に注目した。また、樹木による抗力の大きさは流速の2乗で効くため、河床勾配の大きさにも注目した。各河道特性の算出方法を下記に示す。

a) 各河道特性の算出方法

植生割合は、平成28年河川環境基図の植生図のGISデータから、各観測所間の堤外地面積に対する樹林面積の割合を算出した。河川環境基図の植生図において、基本分類のヤナギ低木林とその他の低木林を低木に、植林地(竹林)を竹林とした。

河床勾配は、河川横断測量における観測所断面での低水路平均河床高の差を距離標の距離で割ることで算出した。ただし、堰などの段差部分の高低差は除いた。低水路平均河床高は平成25年河川横断測量の横断図から、低

表-2 各観測地点間の河道特性

	区間	河床勾配	植生分布の特徴	川幅変化	蛇行度
都幾川	野本-T1	1/620	川沿い	小	小
	T1-T2		少ない	小	小
	T2-T3		少ない	狭窄	小
	T3-T4		少ない	小	小
	T4-T5		一帯	拡幅	小
	T5-T6		点在	狭窄	小
	T6-唐子橋		一帯	拡幅	大
越辺川	落合橋-O1	1/1900	少ない	小	大
	O1-O2		川沿い	小	大
	O2-O3		川沿い	小	小
	O3-O4		少ない	小	小
	O4-O5		少ない	小	小
	O5-天神橋		川沿い	小	小

水路部分の河積と幅を求め、それらを割ることで求めた。

b) 観測区間の選定

表-1より、植生の割合が多く、勾配が大きく異なる越辺川落合橋-天神橋観測所間と野本-唐子橋観測所間を水位計設置区間として選定した。入間川流域の国土交通省管理区間全体に対して、野本-唐子橋間は平均的な河床勾配、越辺川落合橋-天神橋間は緩勾配である。

c) 観測地点の選定

観測区間の越辺川落合橋-天神橋観測所間と野本-唐子橋観測所間において、さらに詳細な河道特性を整理し、河道特性が似た区間ごとに分割することで、観測地点を選定した。観測地点の選定では、植生分布、河床勾配に加えて、川幅、蛇行度にも着目した。図-1(a),(b)に、それぞれ野本-唐子橋間と越辺川落合橋-天神橋間における水位観測地点を示す。また、表-2に各観測地点間の河道特性を示す。ここで、O1地点とT5地点には気圧計測用の圧力センサーも設置した。

(3) 各地点の水位時系列と痕跡水位の比較

T3, T5, O1, O3地点の全圧計測用の圧力センサーとO1地点の気圧計測用の圧力センサーは出水時に流失し、回収することができなかった。表-3に各水位計・気圧計の回収状況をまとめた。各地点で取得した令和元年東日本台風の水位時系列データと痕跡水位の比較を図-2(a)~2(g)に示す。図には、HWL、最深河床高、現況高水敷高、現況堤防高を合わせて示す。痕跡水位は、荒川上流

表-3 各圧力センサーの回収状況

	名前	距離標	位置	設置日	回収日	計測内容
都幾川	T6	4.4k	右岸	19/8/10	19/11/28	全圧, 水温
	T5	4.0k	左岸	19/8/10	-	全圧, 水温
	T5	4.0k	左岸	19/8/10	19/10/14	気圧
	T4	3.4k	右岸	19/8/10	19/11/28	全圧, 水温
	T3	3.0k	右岸	19/8/10	-	全圧, 水温
	T2	2.6k	左岸	19/8/10	19/11/28	全圧, 水温
	T1	2.2k	左岸	19/8/10	19/11/28	全圧, 水温
越辺川	O5	3.8k	左岸	19/8/10	19/11/28	全圧, 水温
	O4	3.2k	左岸	19/8/10	19/11/28	全圧, 水温
	O3	2.2k	左岸	19/8/3	-	全圧, 水温
	O2	1.4k	右岸	19/8/3	19/11/28	全圧, 水温
	O1	0.4k	左岸	19/8/3	-	全圧, 水温
	O1	0.4k	左岸	19/8/3	-	気圧

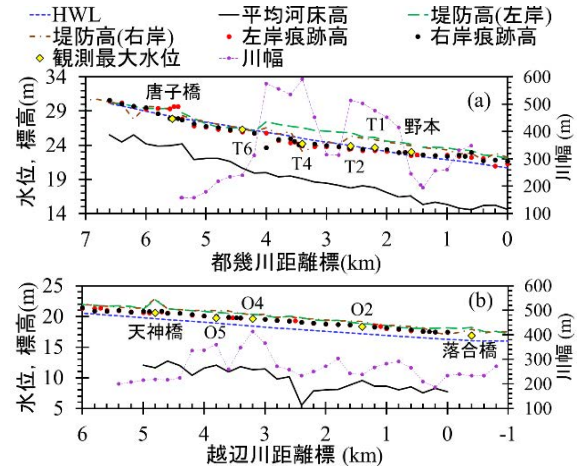


図-3 最大水位と痕跡高の縦断面図 (a): 都幾川, (b): 越辺川

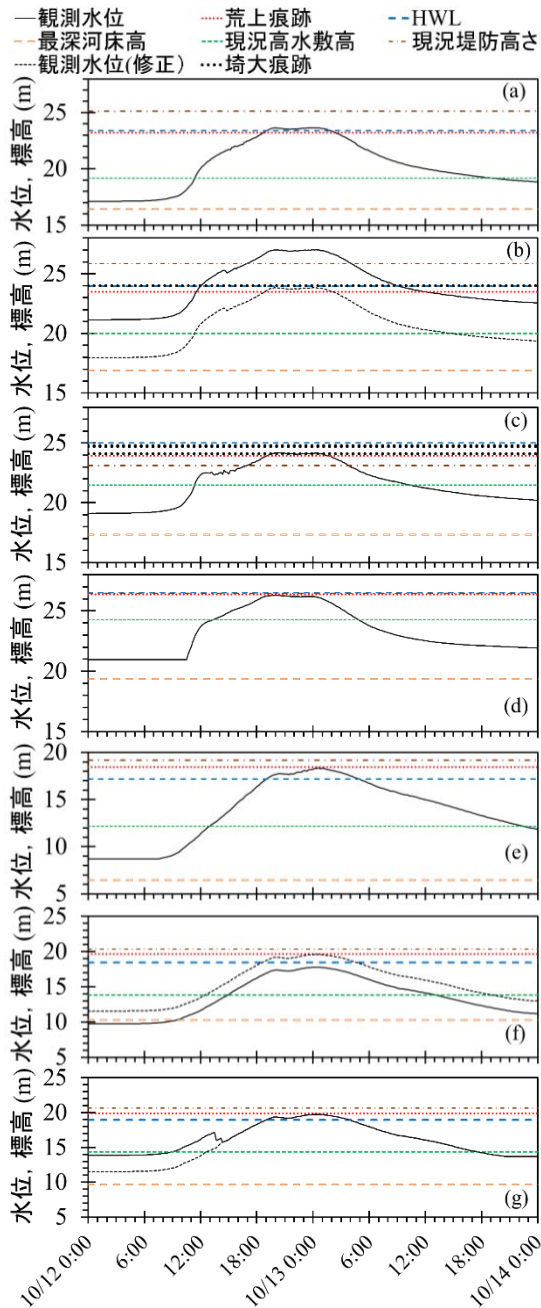


図-2 各地点の観測水位および痕跡高の比較 (a): T1, (b): T2, (c): T4, (d): T6, (e): O2, (f): O4, (g): O5

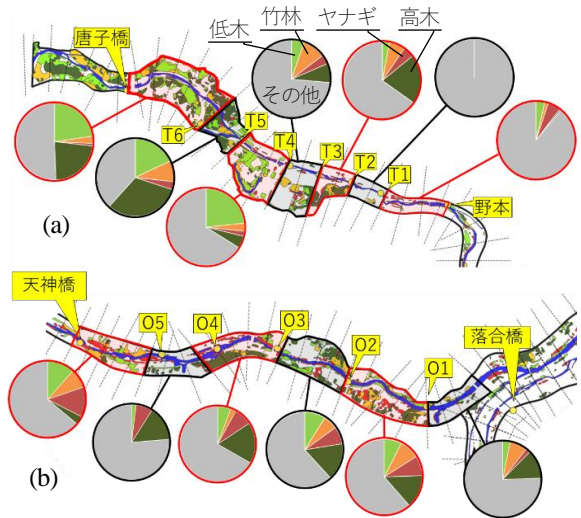


図-4 河道内の植生分布 (a): 都幾川, (b): 越辺川

河川事務所取得の痕跡水位を示した（凡例では荒上痕跡と記載）。また、堤外地で埼玉大学が取得した痕跡高も示した（凡例では埼玉大痕跡と記載）。

T2地点（図-2(b)）およびO4地点（図-2(f)）を除くと、観測最大水位が痕跡水位とほとんど一致しており、その差は大きい地点(T1)でも27 cm程度であった。これは、痕跡高の取得地点と圧力センサーの設置位置が異なることを考慮すると、十分に小さい値と考える。

一方、図-2(b)と図-2(f)を見ると、観測最大水位が痕跡高と大きく異なる。これらの地点は、付近の橋脚や樹木の影響で、RTK-GNSSによる地盤高の計測（衛星の受信）が上手くいかなかったことが原因と考えられる。そこで、地盤高に横断測量の平均河床高を使用して、水位を算出し直し、図-2(b)と図-2(f)に観測水位（修正）として示す。この修正により、観測水位の最大値と痕跡高の差は小さくなった。

O5地点の観測水位（図-2(g)）は、10月12日の13時半から15時頃にかけて、不連続となっている。これは、水位計が洪水時に移動したためだと考える。この地点の水位計は低水路護岸の法面に錘と共に設置したが、回収時には護岸上の高水敷まで移動していた。そこで、水位計

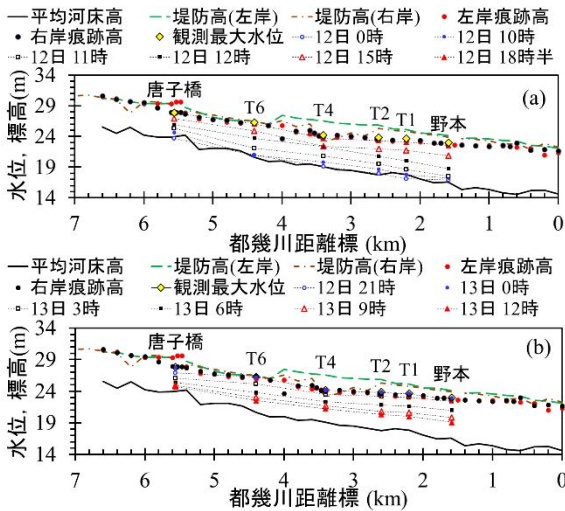


図-5 都幾川の観測水位縦断面図 (a):増水期, (b): 減水期

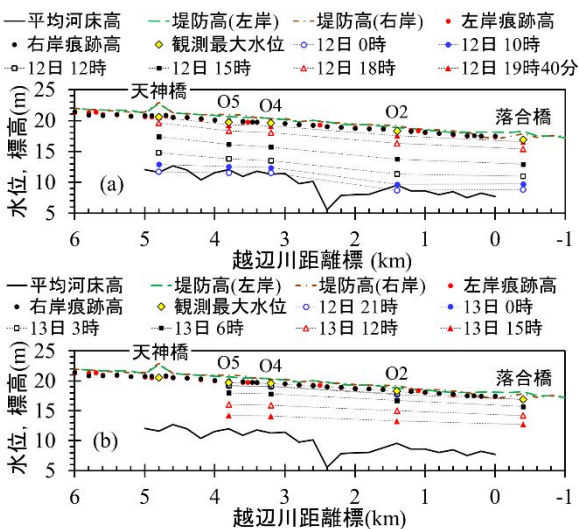


図-6 越辺川の観測水位縦断面図 (a):増水期, (b): 減水期

が移動する以前の地盤高を、横断測量の平均河床高に修正し、図-2(g)に示す。水位計の移動中と思われる時刻の水位は移動前後の水位から線形補間した。

(3) 最大水位の縦断分布と河道特性の比較

都幾川と越辺川の最大水位の縦断分布をそれぞれ図-3(a),3(b)に示す。図には、HWL、平均河床高、現況堤防高、痕跡高、観測最大水位、川幅もあわせて示す。また、植生分布を図-4(a),4(b)にそれぞれ示す。これらの図から、河道特性が最大水位に与える影響を検討する。

a) 都幾川

都幾川について見ると、都幾川は縦断的な川幅の変化が大きく、上流部では河道内樹木が多く、下流部では樹木が少ないという特徴がある。

唐子橋の最大水深はT6地点の最大水深に比べて1.8 m小さい。唐子橋とT6では、抵抗が大きいとされる低木、竹林は同程度の割合である。ただし、唐子橋は下流に堰があり加速されやすいため、水深が小さかったと考えられる。また、蛇行度が大きいと、左右岸での水位

差が大きかったことも影響したと考えられる。図-3(a)より、樹林が多く存在する左岸の痕跡高は、右岸の痕跡高よりも1.4-1.7 m程度高い。また、T6地点はその下流が狭窄部であるため、水位が大きくなったと考えられる。

T4地点は川幅が広い。T4地点の少し下流部が狭窄部となっており、洪水が貯留され水位が高くなることが考えられるが、その影響はT4地点までは及んでいない。

T2から野本の最大水位の水面勾配は河床勾配に比べて小さい。これは、越辺川との合流部の背水影響と考えられる。また、T2から野本は川幅が漸減する区間であるため、河道内植生が少ないが水深は大きくなった。

b) 越辺川

越辺川は都幾川に比べて、河床勾配が緩勾配である。また、川幅の変化も小さく、各地点の最大水位に水面勾配の変化は小さい。また、天神橋からO2地点までは蛇行度も小さく、左右岸の差は見られない。O2地点から落合橋までは蛇行度は大きいものの、越辺川・都幾川合流部の背水影響で左右岸の痕跡高の差は非常に小さい。

(4) 各時刻の水位縦断分布

両河川において、水位縦断の時間変化を調べる。

a) 都幾川

図-5(a),(b)に、それぞれ都幾川の増水期、減水期の各時刻における水位縦断図を示す。都幾川では、10月12日10時から12時にかけて水位が急激に上昇している。特に、低木が多く植生しているT6、T4地点では11時から12時にかけて2 m程度上昇している。これは、低木の樹冠まで水位が達したために、低木からの抗力が大きくなり、水位が急上昇したと考えられる。

また、12時から15時にかけては、T4地点では水位の変化が小さいが、T2から野本で水位が大きく上昇している。これは、この時点から越辺川・都幾川合流部の背水影響がT2地点まで達したことを意味する。その後、18時半には唐子橋で最大水位となり、下流のT6から野本ではその後、20時頃に最大水位付近となった。

次に、減水期について考察する。図-5(b)より、10月13日0時までは全体として最大水位付近であり、長い時間、広範囲で高い水位が継続したことが分かる。その後、特に上流から水位が大きく低下している。13日の6時時点で、唐子橋では水深が約1.4 mであるが、野本では4.5 m程度である。

b) 越辺川

図-6(a),(b)に、それぞれ越辺川の増水期、減水期の各時刻における水位縦断図を示す。越辺川においても、上流側の方が水位の立ち上がり早いことが分かる。ただし、越辺川は、都幾川とは異なり、水位が縦断的に、ほとんど一律で上昇している。これは、前述した通り、川幅の変化や蛇行度、河床勾配が小さいためだと考えられる。また、O2より下流は、O4より上流と比べて水面勾配が緩やかであり、増水期は背水影響がO2地点まで及

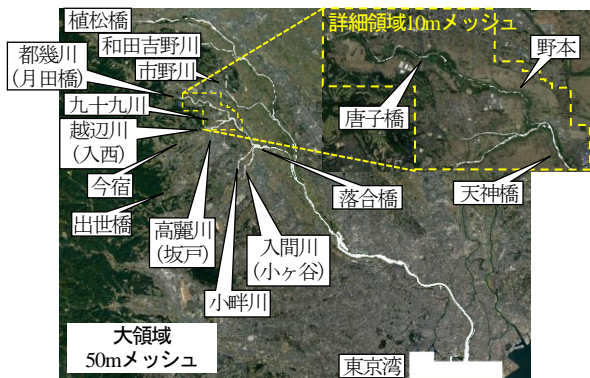


図-7 モデルの構造図

表-4 数値解析で設定した各植生のパラメータ

植生の種類	高さ (m)	直径 (m)	密度 (本/m ²)
高木	樹高: 9.0 枝下高: 3.0	0.2	0.03
低木	樹高: 3.0 枝下高: 1.5	0.1	0.03
竹林	9.0	0.038	3.43
ササ	3.0	0.015	25

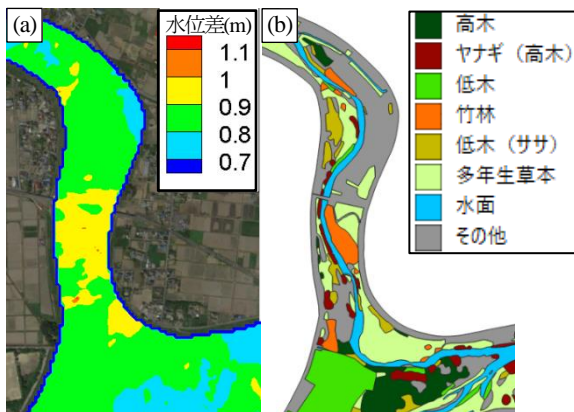


図-8 河道内植生が水位に与える影響 ((a)河道内の水位差 (植生ありーなし), (b)河道内の植生分布)

んでいたことがわかる。上流の天神橋では12日の19時40分で痕跡高付近の水位を記録し、その後欠測となった。10月12日21時には、下流も含めて最大水位付近となった。

図-6(b)より、越辺川では、減水期も、水位の低下に縦断的な変化はあまり見られない。O4からO5は、増水期には背水影響が小さかったが、減水期は水面勾配がO2より下流と同程度であり、合流点の背水影響を増水期より受けながら変化したと考えられる。

3. 数値解析モデルによる河道内植生の影響評価

本解析モデルは、荒川本川の upstream は植松橋観測所から、下流は東京湾までを支川群を含めて解析しつつ、都幾川と越辺川の合流点付近は10 mメッシュで、樹木の鉛直構造を考慮した詳細な計算を行える2wayネスティングモデルとなっている。モデルの構造図を図-7に示す。流れ

の基礎方程式は、樹木の抗力項を除き、田中ら³⁾と同様とした。ただし、境界条件の位置と与え方は氾濫状況や実績値の取得位置で少し変更している。実洪水では破堤時刻などの詳細は不明であることから、第一段階として、堤防越流が生じなかった場合における河道内樹木の影響として、堤防高は十分に高く設定し、検討を行った。

(1) 境界条件および計算条件

a) 流量ハイドロおよび水深の時系列

上流端の境界条件には、台風19号の実測データから、時々刻々の流量と水深を与えた。実測データがない場合や欠測がある場合は、貯留関数法および、各河道のH-Q式を用いて流量、水深を求めた。

b) 河道内植生の抵抗

高木、低木、竹林、ササについては、鉛直構造や空隙率を考慮した抗力項として、その抵抗を与えた。樹種ごとのパラメータを表-4に示す。その他の河道内植生(草本など)の抵抗は、マンニングの粗度係数で与えた。

(2) 河道内植生の有無による水位の局所変化

図-8(a)に河道内植生の有無による水位の差(植生ありーなし)を、図-8(b)に植生の配置を示す。これより、植生ありの方が全体として70-80 cm程度水位が高く、局的には、1-1.1 m程度大きい地点もあった。これらの地点は、川幅に対して竹林が多く存在するという特徴がある。堤防越流や破堤を考慮した解析を行った場合には、本解析より水位が全体的に低くなると考えられる。そのため、植生による抵抗も減少し、水位上昇量は低下すると考えられる。実際の堤防越流、破堤状況を再現した後、再度、河道内植生の影響を議論する必要がある。

4. 河道内植生が治水と生態系に与える影響

(1) 治水・偏流という視点での河川植生分類

河川管理を適切に行う上で、災害の危険性が高まる植生の状態を把握することは重要である。河道内植生を、洪水流に対する抵抗の大きさ、堤防に対する安全性という観点で分類する。

a) 抵抗の大きさ

植生は洪水時に迂回流や高速流を発生させる原因となる。低木は洪水時に樹冠が浸かることで大きな抵抗となり、水位上昇をもたらす。高木は樹冠が浸水しなければ、抵抗は小さいと考えられたが、台風19号では高木の幹に浮遊物がトラップされ、大きな抵抗となった場所も存在した。竹林は密度が高く、その抵抗は大きいのに加え、竹林の上流側で浮遊物を面的にトラップする傾向がある。

b) 堤防の安全性

樹木が洪水流により倒木した場合、根の周囲に穴ができるため、堤防法尻の洗掘の要因となり得る。すなわち、

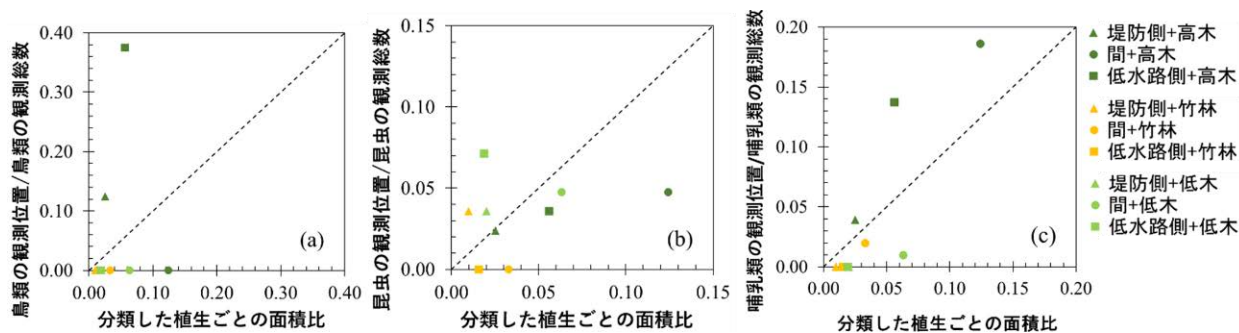


図-9 生物の生息域と植生の関係 (a): 鳥類, (b): 昆虫, (c): 哺乳類

堤防付近の植生は、流速の低減により堤防法面の洗掘を抑制する効果を持つものの、転倒時や浮遊物を大量に捕捉した場合には堤防の侵食や洗掘を引き起こす可能性を有する。また、低水路沿いに生育している植生は、水衝部では流速を低減させ、堤防の侵食抑制が期待できるが、倒木し流失する危険性も高い。また、偏流の要因になることも考えられる。

以上より、本研究では抵抗の大きさと堤防の安全性を考慮し、流れに与える抵抗から高木、竹林、低木に分けた3分類と、河川を横断的に堤防から20 m⁴、低水路から20 m⁴、その間に分けた3分類より、河川空間および植生抵抗を9つに分類した。

(2) 河川植生分類と生態系の関係

河道管理には治水面はもちろん、生態系の影響も考慮することが大切である。そこで、上述した9分類に対して、鳥類、昆虫、哺乳類の観測位置の関係を調べ、図-9に示す。図-9(a),(b),(c)の縦軸は、それぞれ鳥類、昆虫、哺乳類の観測位置別の観測数を観測総数で割った値である。横軸は、分類した植生ごとの面積を入間川流域全体の面積で割った値である。図の左上ほど、分類した面積比に比べて各生物種が多く観測されたことを表す。

図-9(a)より、鳥類は低水路側と堤防側の高木で多く観測されている。図-9(b)より、昆虫は低水路側の低木が最も多く、堤防側の竹林や低木でもやや多く確認されている。図-9(c)より、哺乳類は低水路と堤防まで20 mの範囲の高木で多く観測され、堤防側20 m範囲の高木でもやや多く観測されている。

一方で、低水路側の竹林では鳥類、昆虫、哺乳類が観測されておらず、堤防と低水路の中間の竹林でも、哺乳類が少し観測されている程度である。上述したように、川幅に対して竹林の存在割合が大きいと、水位の局所的な上昇の原因となり得る。そのため、治水面の危険性が大きく、生態系への影響が小さい、低水路側および中間の竹林は管理が重要である。ただし、川幅に対して竹林の存在割合が少ない場合などは、低水路際の竹林は流速の低下も期待されるため、一概に伐採すればいいとは言えない。そのため、それぞれの樹林帯において、本論の解析のように、植生の有無による水位の変化や流速の変化等を検討し、植生のもつ長所短所を総合的に評価し、

樹木管理を行っていくことが重要である。

5. まとめ

本研究では、河道内植生が洪水流に与える影響と生態系との関係を明らかにするため、実河川における水位観測、数値解析、GISデータ分析を行った。

都幾川および越辺川における水位観測では、甚大な被害をもたらした令和元年東日本台風の水位ハイドログラフを縦断的に、高密度に観測することができた。その精度は痕跡高との比較から確認された。この計測データの分析から、平均的な勾配の河川および緩勾配河川における増水期と減水期の水位縦断の変化特性が把握できた。

数値解析では、河道内の植生（樹木および草本）の有無による水位上昇量を面的に整理したところ、川幅に対して竹林の割合が多い場合、局所的には1 m以上水位を上昇させていた。ただし、本解析は堤防越流および破堤を考慮しておらず、植生の影響が過大評価されていると考えられるため、今後はさらなる検討が必要である。

また、GISデータの分析から、治水上の性質と生物の観測位置を整理した。これにより、河道内植生の管理の際に留意すべき点が明瞭になった。

謝辞: 本研究の一部に国土交通省技術開発助成制度・地域課題分野（河川）の予算を使用した。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤宏明, 福岡捷二, 出口桂輔: 洪水流の伝播機構に及ぼす河道状況の変化とその解析, 河川技術論文集, Vol.13, pp.327-332, 2007.
- 2) 福岡捷二: 洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術, 河川技術論文集, Vol.12, pp.1-6, 2006.
- 3) 田中規夫, 五十嵐善哉, 伏見健吾: 荒川中流域の潜在的氾濫リスクと現存する江戸時代の旧堤防群が果たす減災効果, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.L1393-L1398, 2018.
- 4) リバーフロント整備センター編集: 河川における樹木管理の手引き, 1999.

(2020. 4. 2受付)