旭川の大原箇所における植生の生長と 洪水時の植生流出条件の検討

INVESTIGATION OF VEGETATION GROWTH AND WASH-OUT CONDITION
DURING FLOOD EVENT AT OHARA AREA IN THE ASAHI RIVER

前野詩朗¹・吉田圭介²・三島望³・松山悟⁴

Shiro MAENO, Keisuke YOSHIDA, Nozomi MISHIMA and Satoru MATSUYAMA

1 フェロー会員 博士(工) 岡山大学大学院教授 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1)

2 正会員 博士(工) 岡山大学大学院准教授 環境生命科学研究科 (同上)

3 学生会員 岡山大学大学院環境学研究科社会基盤環境学専攻 (同上)

4 非会員 岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科 (同上)

The forestation in rivers causes several problems, because it reduces river flow capacity, and the forestation by invasive species sometimes affects endemic species and the biodiversity in a river habitat. The wash-out of vegetation during a flood is known to be a reasonable measure for preventing the forestation. However, the relationship among the wash-out condition, a river discharge and a bed deformation has not been clarified yet. This paper investigates the vegetation growth rate and the wash-out condition of vegetation during the flood at Ohara area in the Asahi River, based on the field observations and the numerical simulations. The observation results showed that the large discharge during the flood induced the bed deformation and the wash-out of vegetation, and the simulated results indicated that the non-dimensional bed shear stress of $d_{85}(\tau_{*85})$ can evaluate the washed-out condition more suitably.

Key Words : field observations, gravel bar, vegetation management, flood flow simulation

1. はじめに

岡山市を流れる一級河川旭川では、1980 年代以降、砂州上で植生が繁茂するようになり、河道内の樹林化が進行し、礫河原が減少している。これは、旭川ダム（1954 年）、湯原ダム（1955 年）が建設され洪水規模が縮小したこと、1960 年代以降の河床掘削による土砂供給量が減少したことなどが原因として考えられる。

樹林化の進行は、礫河原固有の植生の減少、あるいは流下能力の低下といった治水上の問題などを引き起こすため、植生を除去し、礫河原を再生させることは大変重要である。旭川では、礫河原を再生させるために、図-1 に示している大原試験区（2004 年 3 月）、祇園試験区（2005 年 3 月）で砂州の切り下げと植生の伐採などの現地試験¹⁾²⁾が実施され、その後、モニタリング³⁾も行われている。また、玉柏試験区（2009 年 1 月）では植生の伐採が行われている。しかし、植生の伐採・除去などの人による作業はできる限り減らし、小、中規模の出水により、自律的に植生が除去され、礫河原が再生・維持されることが理想である。そのためには、

どの程度の規模の洪水で植生の流出が起こるのかを把握する必要がある。

河道内植生の流出に関して、八木澤ら⁴⁾は砂礫洲に繁茂した樹木が流出し裸地するための洪水流量規模を推定し、流出限界せん断力を明らかにしている。田中ら⁵⁾は砂州上に繁茂した樹木の出水による流出実績から、抗力モーメントより底面せん断力の方が樹木の流出を評価できることを示し、繁茂場所の違いによる流出限界値の相違を明らかにしている。また、平川ら⁶⁾は出水前後の砂州の現地調査と河床変動解析から草本植生の破壊状況を明らかにしている。このように植生の流出条件等を評価する研究が行われているが、研究例は少ないため、今後河道管理のための精度良い植生の消長モデルを確立するためには、さらに多くの知見が必要である。

そこで、本論文では、2008 年から継続して行っている旭川大原箇所の礫河原を対象とした植生と河床変動の現地調査結果と 2011 年 9 月 3 日に発生した洪水の数値シミュレーション結果から、洪水が植生の流出に及ぼす影響について検討する。

図-1 対象区域と水位計設置箇所

図-2 解析メッシュ（清水堰より下流側のメッシュのうち下側が旭川，上側が百間川）

2. 数値解析

(1) 解析の概要

本研究の対象区間は図-1 に示す旭川の河口から10.8km～17.5km 区間と、旭川の放水路である百間川の河口から12.0km より上流の区間である。この区間の河道幅は約300m，平均河床勾配は1/670，河床材料の平均粒径は30mm 程度である。

図-1 に示す旭川の10.6km～16.9km 区間にPt.1～Pt.11，Pt.15～Pt.20 の17箇所，百間川の12.5km～13.6km 区間にPt.12～Pt.14 の3箇所に絶対圧型水位計(S&DL mini/10m レンジ)を設置した。これらの水位計により得られた実測水位と解析水位を比較することで植生による流水抵抗の妥当性を検討する。なお，Pt.19 に設置した水位計については，洪水により流失したため，水位データを計測することができなかった。

2011年9月3日に発生した洪水の数値シミュレーションを行った。2011年9月洪水は，河口から19.0kmの地点にある下牧観測所で9月3日21時40分に最大流量が3403m³/sに達する洪水となった（流量ハイドログラフを図-10に示している）。2011年9月洪水ピーク流量時の大原箇所（図-1中の赤枠内に示す現地調査の対象箇所）の冠水深は4～5m程度であった。

(2) 解析モデルと解析条件

本研究では，前野ら⁷⁾が同区間を対象として解析を行っている平面2次元モデルを用いた。このモデルは植生の柔らかさや，摩擦速度により倒伏の影響を考慮できるモデルであり洪水時の流況の再現性が検証されている。

図-2は，本研究で用いた解析メッシュを示している。旭川と百間川のメッシュはそれぞれ別々に作成しており，結合部分でデータのやり取りを行っている。旭川は，流下方向に326，横断方向に29の節点を，百間川は流下方向に138，横断方向に20の節点を設けた。メッシュの格子間隔は20m程度である。河床高は，デジタル航空カメラ（平成18年度撮影）で測量されたデータを用い，水面下の部分については，200mピッチの定期横断測量データを用いて内挿した。また，河床高のデータが得られてから2011年9月洪水までの間で，局所的に河床が変化している箇所もあるが，メッシュ平均の河床高に影響を与えるような大きな変化は起きていない。また，植生密度，植生高から形状抵抗力を求めている。

2011年9月洪水の再現を行うため9月3日6時から9月4日18時までの36時間を対象に数値解析を行った。9月3日6時の流量と下流端水位を与え，平面2次元不等流計算を行い初期条件とした。その後，河床変動を考慮せずに非定常計算を行った。

3. 現地調査の方法

(1) 調査箇所の概要

図-1 に示す大原試験区において 2008 年 7 月から 2012 年 8 月までの約 4 年間現地調査を行った。大原箇所は、旭川河口からの距離が約 16.8km の低水路左岸水際に位置している。礫河原再生の試験区として 2004 年 3 月に整備が行われている(図-3)。砂州の土砂が堆積した部分の縦断方向に約 140m、横断方向に約 40m の範囲で植生の

図-3 大原箇所の整備前後の景観³⁾

図-4 大原箇所の景観(2008年7月撮影)

図-5 対象植生の位置および横断・縦断ライン

除去と 1~2m 程度の砂州の切り下げが行われた。しかし、図-4 に示すように 2008 年には、水際部と下流側に植生が再び繁茂していることがわかる。

(2) 植生調査

a) 木本類

木本類は大原箇所の水際部に優先的に繁茂しているヤナギ類を対象とした(以下、ヤナギと呼ぶ)。2008 年の現地調査開始当初は、17 本(O-1~O-17)のヤナギを選定したが、調査開始後すぐに 6 本が人為的に除去されてしまった。そこで、図-5 に示す水際部に残った 11 本のヤナギについて、標尺を用いて樹高を測定した。位置座標については、RTK-GPS(精度±3cm 程度)を用いて緯度、経度を測定した。また、出水による流出や倒伏についても観測を行った。

b) 草本類

草本類は、ヨモギ(2本)、オオブタクサ、シナダレスズメガヤ、ハシカグサの 4 種類を 5 本選定し、出水による流出や埋没について観測した。図-5 に選定した草本類の位置を示す。

(3) 河床変動調査

図-5 に示すように横断ライン 3 本、縦断ライン 1 本を選定し、大規模な出水前後を含め、年に数回測量し、出水による河床変動についての調査を行った。

(4) 河床粒径調査

無次元掃流力を算出するために用いた河床粒径は、2008 年 7 月に大原箇所の 3 地点で、縦 50cm、横 50cm、深さ 5cm で河床を採取し、ふるいわけ試験により求めた。

4. 現地調査結果と考察

(1) ヤナギの樹高

図-6 は調査期間中のヤナギの樹高と 1000m³/s 程度以上の出水状況について示している。2008 年 7 月 31 日時点では、対象としている 11 本のヤナギの平均樹高は、約 1.65m で、最も高いもので 2.45m であった。2011 年 9 月

図-6 ヤナギの樹高と出水状況

(a) 横断ラインAの河床変動

(b) 横断ラインBの河床変動

(c) 横断ラインCの河床変動

(d) 縦断ラインDの河床変動

図-7 各ライン上の河床変動

1日では、平均樹高は2.57mで最も高いもので4.31mであった。また、図-6の点線箇所のように調査期間中に人為的に伐採されたヤナギもあった。伐採による影響を除くと年間約0.85mの速度で樹高が生長していることがわかった。さらに、夏季の方が速く生長し、冬季はほとんど生長しない。年間の生長速度は、渡辺ら⁸⁾が明らかにした伐採されたヤナギの生長速度と概ね一致する。また、池田ら⁹⁾が構築したハリエンジュ（ヤナギと同じ木本類）の生長モデルにおいても、樹齢5年で樹高が4m程度に生長することが示されており、生長速度はほぼ一致している。

(2) 植生の流出状況

図-6に示すように流量が1000m³/s程度の2009年7月洪水と2010年7月洪水では、ヤナギは流出しなかったが、2011年9月洪水により対象11本のうち8本のヤナギが流出した（図-6中のデータが失われている箇所が流出したヤナギ）。O-2は傾斜した状態となり、O-3は根が露出して抜けそうな状態となった。調査対象のヤナギの中で、最下流に位置するO-17は、ほぼ直立状態で維持されていた。これは、上流側に繁茂している植生群が抵抗となり、O-17への洪水の影響が抑えられたと考えられる。

一方、草本類は1000m³/s程度の洪水では流出しなかったが、2011年9月洪水により調査対象の草本類は全て流出か埋没した。

(3) 河床変動

図-7は図-5の各ライン上の河床変動を示している。橋脚の定点（TP：10.7m）を基準として、各横断ラインは陸側を始点、縦断ラインは橋脚下流端を始点としている。

図-7(c)に示す横断ラインCは、2011年6月15日から2011年11月15日の期間で横断距離25m付近の河岸が大きく侵食されている。これは2011年9月洪水によるもので、この侵食でヤナギが生育基盤ごと流出したと考えられる。一方、横断距離20m付近で20cm程度堆積しており、今後冠水頻度の低下により、植生が定着し、繁茂する可能性がある。そこで、早めに堆積した箇所の砂州の切り下げなどを行い、小規模の洪水でも水が流れるようにし、植生の発達を抑えることが望ましい。このような河岸側の侵食と堆積は横断ラインA、Bでもみられた。

図-7(d)は図-5に示す縦断ラインD上の河床変動を示している。2008年～2010年の間で、20cm程度の河床変動をしている箇所がみられる。この期間中は、1000m³/s規模の洪水が2度発生しており、この洪水の影響により河床変動が起こったと考えられる。2011年6月15日から2011年10月18日の期間で、橋脚下流側が約1m洗掘し、流下方向に沿って洗掘と堆積を交互に繰り返すような河床形状となっている。これは、2011年9月洪水によるものと考えられる。また、上流側と比較すると、下流側で洗掘・堆積などの砂礫の移動があまりみられないのは、図-4に示すように下流側で草本類が繁茂し、土砂移動を妨げているためと考えられる。

図-8 大原箇所の最寄り水位計設置箇所 (Pt. 11) の実測水位と解析水位

図-9 2011年9月洪水による大原箇所(図-1中の赤枠内)のヤナギの流出状況とヤナギの繁茂場所による領域区分

5. 解析結果および考察

(1) 2011年9月洪水の実測水位と解析水位の比較

植生の影響を考慮した数値解析の妥当性を評価するために水位計を設置し、実測水位と解析水位を比較した。図-8は、旭川の河口から16.9kmの左岸に位置するPt.11 (TP: 11.62m) に設置した水位計の実測水位と解析水位を示しており、両者の水位はほぼ一致している。図には掲載していないが他の計測点の実測水位と解析水位も概ね一致しており、植生による流水抵抗が正しく評価され、2011年9月洪水において精度良く再現できているといえる。

(2) 無次元掃流力と植生流出の関係の検討

河床の通過重量百分率の50%, 80%, 85%, 90%粒径の砂礫が移動する場合を考えて、大原箇所での河床粒径 $d_{50}=28\text{mm}$, $d_{80}=49\text{mm}$, $d_{85}=54\text{mm}$, $d_{90}=59\text{mm}$ で算出した無次元掃流力と植生の流出の関係を検討する。その際、河床材料が移動し始める無次元掃流力が0.05以上となることを植生の流出の条件とした。

図-9は2011年9月洪水による大原箇所(図-1中の河口から16.6~16.8km地点の赤枠内)のヤナギの流出状況とヤナギが繁茂している場所を領域1(上流域), 領域2(中流域), 領域3(下流域)の3つの領域に区分したものを示している。図-10は各領域ごとの無次元掃流力の時間変化と下牧観測所でのHQ式より算出した流量ハイドログラフを示している。無次元掃流力の値は各領域内に含まれる計算格子点上の無次元掃流力の値を平均化した値である。流量がピークに達したときに無次元掃流力が最も大きくなっていることがわかる。

50%粒径のときは、流量が $1000\text{m}^3/\text{s}$ 程度になると全て

(a) 領域1の無次元掃流力

(b) 領域2の無次元掃流力

(c) 領域3の無次元掃流力

図-10 各領域の粒径別の無次元掃流力の時間変化と流量ハイドログラフ(2011年9月洪水)

の領域でほとんどの時間で無次元掃流力が0.05を超えている。現地調査の結果から $1000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の出水では、対象のヤナギは流出していないので、流出条件としては適切ではない。90%粒径のときは、逆に全ての領域で無次元掃流力が0.05を超えていないので流出条件としては適切ではない。80%粒径のとき、全ての領域で8時間程度以上無次元掃流力が0.05以上となるが領域3では流出していないため現地での流出状況とは一致しない。85%粒径のとき、領域1、領域2では6~7時間程度無次元掃流力が0.05を超えているが、領域3では0.05を超えていない。つまり、領域1、領域2では植生は流出するが、下流側の領域3では植生は流出しないと考えられる。これは現地調査のヤナギの流出結果と比較しても適当であるといえる。

以上のことから、植生の流出を評価するには85%粒径で算出した無次元掃流力で評価することが最も望ましいことがわかる。この流出限界値は、84%粒径で移動限界

図-11 大原箇所付近の85%粒径より算出した無次元掃流力の平面分布の時間的変化（赤枠内は大原箇所）

を評価している田中ら⁵⁾の値と概ね一致する。

図-11(a)～(g)は洪水期間中の図-1中の大原箇所（河口から16.6～16.8km地点の赤枠内）を含む範囲の85%粒径で算出した無次元掃流力の平面的な時間的変化を示している。青色の部分は、無次元掃流力が0.05未満、緑色の部分が0.05以上の箇所である。無次元掃流力が0.05以上となる箇所は、流量が増加するにつれ範囲は広がっており、流量が3000m³/s程度に達したあたりから広範囲で0.05を超えている。しかし、大原箇所の下流側では無次元掃流力が最も大きかったと考えられるピーク流量時でも、0.05を超えておらず、下流側では植生が流出しにくいという現地の状況と一致する。

6. 結論

本研究では、旭川の大原箇所の植生の生長と洪水時の植生の流出条件について現地調査と数値解析による検討を行った。以下に得られた主要な結論を述べる。

- 1) 水際に繁茂するヤナギは、約4年間の調査では年間約0.85mの速度で生長し、夏季の方が冬季よりも速く生長することが明らかとなった。
- 2) 河床変動の調査により、2011年9月洪水により水際部が大きく侵食された。また、この侵食によりヤナギは生育基盤ごと流出した。
- 3) 流量が1000m³/s程度の洪水では、植生は流出しないが、流量が約3400m³/sの洪水では水際部のヤナギの多くが流出し、草本類は対象とした全てが流出か埋没した。このヤナギの流出結果を無次元掃流力で評価する場合、85%粒径を用いることが流出限界値として適切であることが示された。

局岡山河川事務所に多数の貴重なデータを頂いた。また、本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金、基盤研究(B)河道内樹木の消長機構に関する水理・生態学的解析と持続的河川管理に向けた戦略研究(代表者：道奥康治、課題番号23360212)の援助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 渡辺敏，前野詩朗，藤塚佳晃，宮崎貢：旭川における礫河原再生と樹林化抑制に関する現地試験による検証，水工学論文集，第50巻，pp.1201-1206，2006。
- 2) 眞田淳二，浦上将人，渡辺敏，前野詩朗，藤塚佳晃：旭川下流部における礫河原の自律的回復に向けた実証的研究，河川技術論文集，第12巻，pp.409-414，2006。
- 3) 眞田淳二，浦上将人，前野詩朗，渡辺敏：2006年7月出水を経験した旭川下流部礫河原再生箇所のモニタリング結果と考察，河川技術論文集，第13巻，pp.129-134，2007。
- 4) 八木澤順治，田中規夫，福岡捷二：砂礫州上に繁茂する植生の洪水時流失限界評価，河川技術論文集，第14巻，pp.139-144，2008。
- 5) 田中規夫，八木澤順治，福岡捷二：砂礫州上における繁茂場所の相違が樹木の洪水時流出限界に及ぼす影響，水工学論文集，第53巻，pp.631-636，2009。
- 6) 平川隆一，渡邊訓甫，小南考輝：北川の川坂砂州における地形変化と草本植生の相互作用について，土木学会論文集A2，Vol. 68，No. 2，pp.617-624，2012。
- 7) 前野詩朗，渡辺敏，藤塚佳晃：簡易に得られる植生特性値を考慮した数値解析モデルの精度向上の提案，土木学会論文集No.803／II-73，pp.91-104，2005。
- 8) 渡辺敏，前野詩朗，渡部秀之，志々田武幸：旭川におけるヤナギ林の拡大機構とその抑制管理のあり方に関する検討，河川技術論文集，第11巻，pp.77-82，2005。
- 9) 池田裕一，亀田涼，浅枝隆，坂本健太郎：渡良瀬川砂州上におけるハリエンジュの繁茂状況に関する基礎的調査，河川技術論文集，第18巻，pp.71-76，2012。

謝辞：本研究を行うにあたり，国土交通省中国地方整備

(2012.9.30受付)