

2013 年度（第 49 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 13-A-7

河道内樹林化機構とその制御

岡山大学 教授

前野詩朗

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2013 年 8 月

河道内樹林化機構とその制御

Forestation Mechanism in Rivers and its Control Methods

前野 詩朗
Shiro MAENO

1. はじめに

1980年代以降全国各地の河川で礫河原が減少し、それと相反するように樹林化が進行している。樹林化が進行すると河道の洪水疎通能力の低下、礫河原固有生態系の消失、水辺への近づきやすさといった親水機能を低下させるなど幾つかの負のインパクトが指摘されている。一般市民の目から見ると、河道内の樹林は緑が豊富であるため川の環境や景観に良いように思われがちであるが、実は洪水氾濫の危険性が増していることや礫河原固有種が絶滅に瀕するなど川本来の姿ではない状況となっていることが余り理解されていないのが現状であろう。

以上のような背景のもと、河道の樹林化に関する研究が1990年前後から活発に行われるようになり、また、鬱蒼と茂った樹林の伐採や砂州の切り下げによる礫河原再生事業が全国の河川で展開された。このような経緯を踏まえて、2012年11月に土木学会水工学委員会河川部会・環境水利部会共催のジョイントワークショップ「河川の樹林化とは何か：樹林化現象の統合理解と今後の河川流域管理に向けて」が神戸大学で開催された。宮本ら¹⁾は、土木学会論文集、水工学論文集、河川技術論文集から河川植生に関連する論文を詳細にレビューし、植生研究史を図-1に示すように萌芽期、醸成期、開花期、多様期に分類し、特に最近の20年間ほどで200編以上の多くの研究が実施されていることを紹介した。このワークショップの概要を河川の樹林化課題に対する現状と将来展望としてまとめ、多くの現場で行われている樹林化対応策について個々の現場での事象の水工学的解釈や、全国レベルでの情報の共有化が必要不可欠であることを指摘している。また、現状では研究課題が多様化しているため「河川の樹林化とは何か」という問いかけに対して直接的・短絡的な回答を得ること以上に、「樹林化現象を類型化する」ことが今後の研究・技術開発のあるべき方向性として重要であるとしている。

以上のように多くの研究者や実務者が河道の樹林化に関連する研究を進めてきているが、未だに検討課題は多い。本稿では、著者らが、岡山市内を流下する一級河川旭川を対象にして実施した樹林化機構の解明に関する研究や礫河原再生試験実施後の現地調査により得られた知見を述べる。

2. 旭川の概要

旭川は岡山県北部蒜山高原の北端に位置する朝鍋鷲ヶ山(1,081m)を源として、吉備高原を南流し、岡山平野を経て児島湾へ注ぐ幹川流路長約142km、流域面積約1,800km²の一級河川である。調査地区は

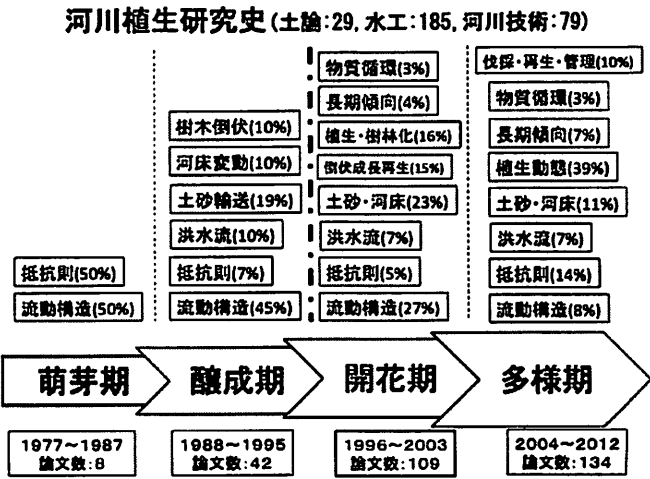


図-1 河川植生に関する研究の変遷¹⁾



図-2 対象区間

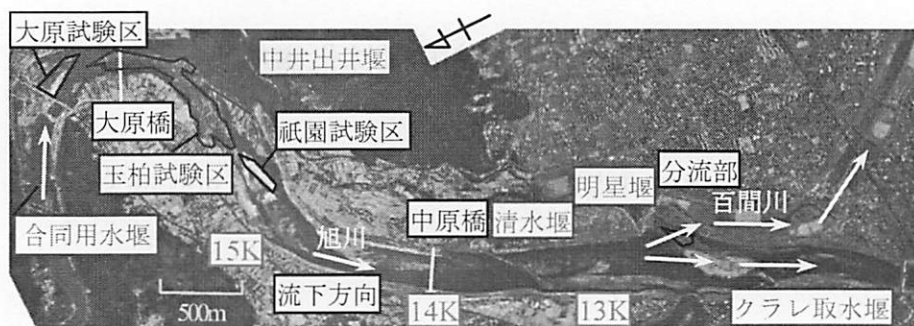


図-3 対象区間

表-1 旭川の主要洪水（基準地点：下牧）

順位	発生年	出水量 (m ³ /s)	原因
1	1934. 9.21	7,600	室戸台風
2	1945. 9.18	4,800	枕崎台風
3	1972. 7.12	4,610	梅雨前線
4	1998.10.18	4,310	台風 10 号
5	2011. 9. 3	3,140	台風 12 号

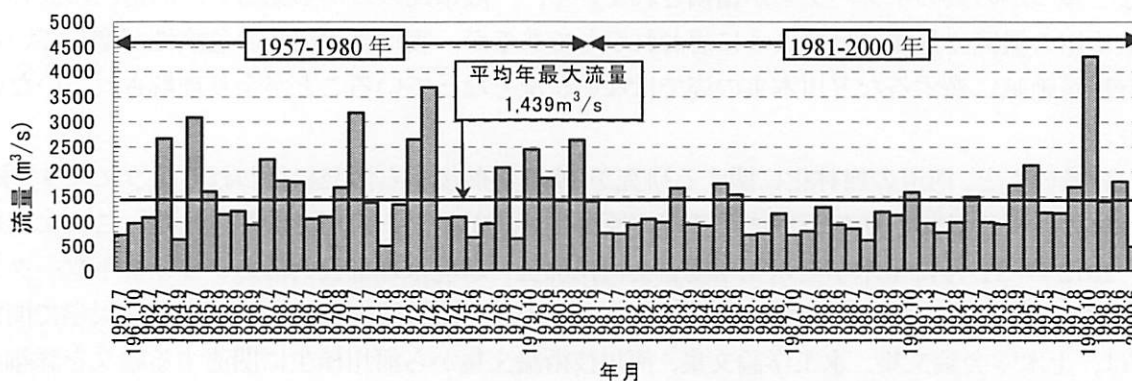


図-4 旭川の 1957 年～2000 年の 500m³/s 以上の洪水履歴（基準地点：下牧）

図-2 及び図-3 に示す河口から約 11 km から 17 km の区間で国土交通省管理区間である。表-1 は旭川の既往 5 位までの洪水である。大規模洪水は台風と梅雨前線によるものである。図-4 は、1957 年～2000 年の 500 m³/s 以上の洪水履歴を示している。1980 年までは 2,000 m³/s 以上の洪水の発生頻度は比較的高いが、1981 年から 2000 年までの期間においては、1998 年に発生した昭和以降、4 番目に大きな洪水 (4,310 m³/s) を除いて、2,000 m³/s 規模の洪水は殆ど発生していない。2008 年に策定された旭川水系河川整備基本方針では、室戸台風時の既往最大洪水を考慮して、基本高水は、そのピーク流量を基準地点下牧（河口から 19 km）において 8,000 m³/s とし、そのうち 2,000 m³/s を流域内の洪水調節施設により洪水調節し、同基準地点における計画高水流量 6,000 m³/s のうち 2,000 m³/s を百間川（旭川放水路）へ分流し、本川は 4,000 m³/s とすることが定められている。対象区間の平均河床勾配は 1/670 で川幅は約 300 m、河床材料の代表粒径は 40 mm～70 mm であり、河川の分類によるとセグメント 2-1 に相当する。対象区間の洪水流れや平常時の流況を支配する要素として、図-3 に示すように大きな蛇行と数多くの堰が存在している。なお、堰による湛水区間は約 3.3 km に及び、対象区間の約半分に相当する。

3. 樹林化の進行とその要因^{2), 3), 4)}

3.1 対象地区の樹林化の概要

旭川では、図-5 の 1980 頃とほぼ同じ構図で撮影された 2002 年の写真のように、河道の樹林化が急激に進行した。図-6 は約 50 年間の河道の変遷を示している。昭和 22 年には白っぽく見える礫河原が多く見られる

ため、砂州上に洪水が侵入しやすい状況であったことが推察される。その後、昭和30年代に盛んに行われた砂利採取により、昭和49年には砂州の一部が消失している様子がわかる。しかし、その後、砂州が拡大し、平成7年には、砂州の殆どが密な植生で覆われ、かなり樹林化が進行した。

図-7及び図-8は礫河原の分布状況の変化及びヤナギ林の分布状況の変化を示している。これらの図より、対象地域に多く見られた礫河原は2001年の段階では殆ど消失していることがわかる。それとは逆に、ヤナギ林が拡大している様子がわかる。また、図-9は樹林面積の経年変化の様子を示しているが、1980年代から20年程の間に急激に樹林域が拡大していることがわかる。1996年(平成8年)から2001年(平成13年)にかけて若干減少しているが、これは1998年に昭和以降歴代4位の大洪水(4,310 m³/s、生起確率：約1回/50年)により一部の樹林が破壊消失したことによる。ヤナギは旭川を象徴するように数多く繁茂しているが、それ以外にも図-10、11に示すように竹林やエノキ・アキニレ等の他の樹種も1990年代以降拡大傾向にある。

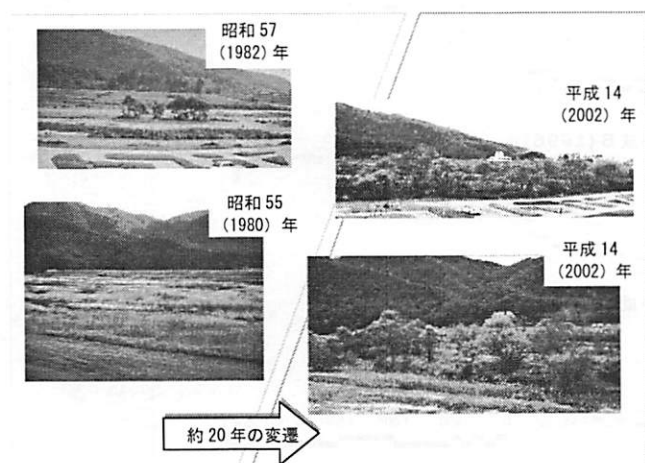


図-5 樹林化の様子^{2), 3)}

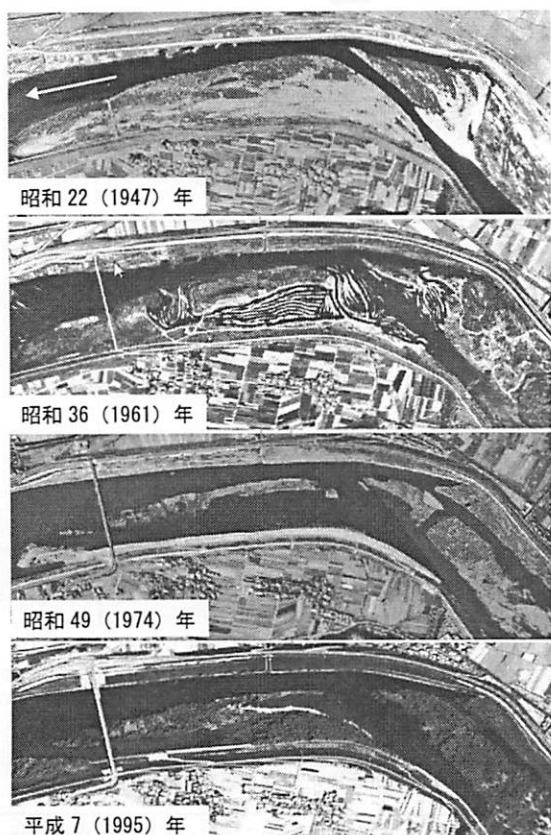


図-6 昭和以降の河道の変遷(13.5k~15k付近)³⁾

3.2 洪水インパクトと人為的インパクト

図-4に示した1957年以降の洪水履歴を見ると、1980年までは2,500 m³/s規模の洪水が数年おきに生じてい

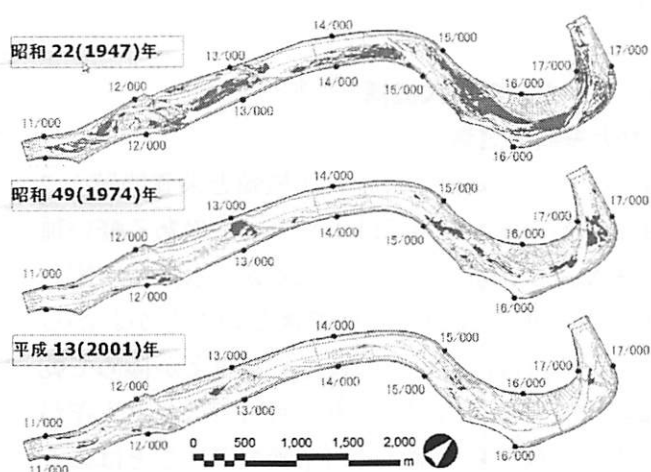


図-7 河原の変遷³⁾

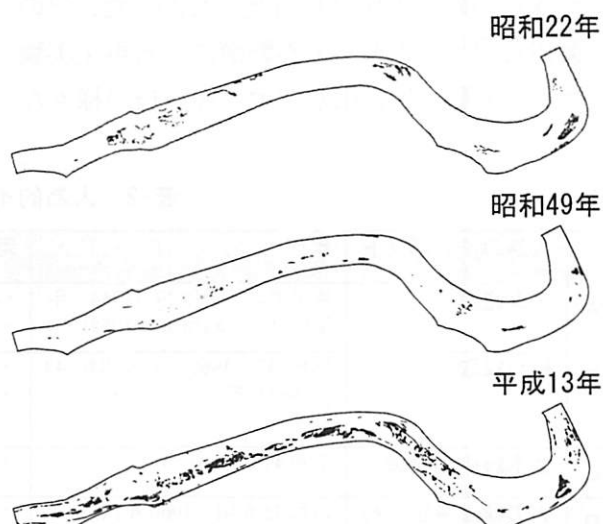


図-8 ヤナギ分布の変遷、渡辺ら²⁾

たが、1980 年以降の約 20 年間は、1998 年の洪水を除いて 1,500 m³/s 規模に留まっている。1980 年以降の 20 年間に対象地区の樹林化が急激に進行しており、洪水規模は樹林化の要因の一つであると考えられる。表-2 は、考えられる人為的インパクトを示している。1950 年代の中頃に、旭川ダム及び湯原ダムが建設され、洪水時の流量の平滑化によるピーク流量の減少があったことが最も大きいインパクトとして考えられる。次に、図-6 で示したように砂利採取による影響は大きいと考えられる。特に、砂利採取全面禁止後十数年後から樹林化が進行したこととの関係は否定できない。その他にも低水護岸の整備が進められ、また、人の手による植生持ち出しも河道内植生の繁茂に影響したことが考えられる。以上より、1950 年代～60 年代における人為的インパクトが数十年経った現在の樹林化に影響していると言える。

3.3 ヤナギ林の拡大機構^{2), 3), 4), 5)}

(1) ヤナギ類の定着

ヤナギの初期定着には、種子繁殖と栄養繁殖の 2 種類がある。種子繁殖では小さく冠毛のある軽い種子が風や流水によって散布されるが、水位が安定して湿った立地でないと成長できないことがわかっている。それは、ヤナギの種子や芽生えが極めて乾燥に弱いことによる⁶⁾。一方、河川では、ヤナギが流れ着いた枝から繁殖する（栄養繁殖）ことはよく知られているが、それがどのような立地の条件において可能なのか、あるいは制限されるのかを基礎的に調べた既存の研究事例は見当たらなかった。そのため、渡辺ら⁵⁾はヤナギの栄養繁殖による再生実験を行った。同実験では、洪水でヤナギの枝が様々な

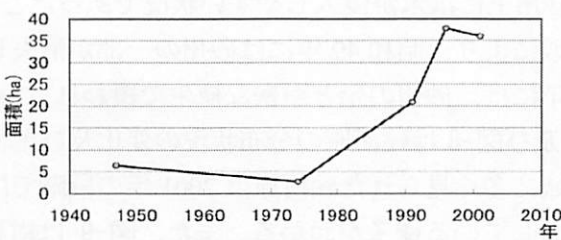


図-9 樹林面積の経年変化²⁾

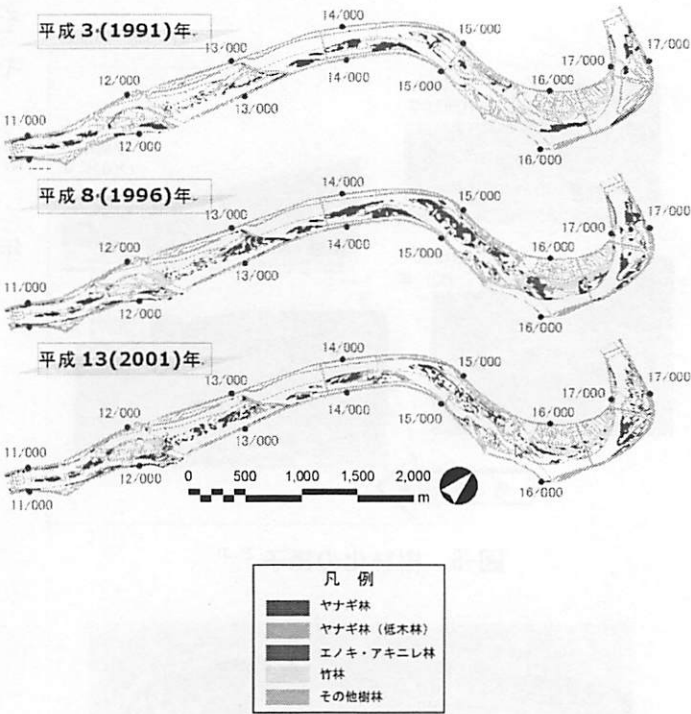


図-10 近年における樹林の変化³⁾

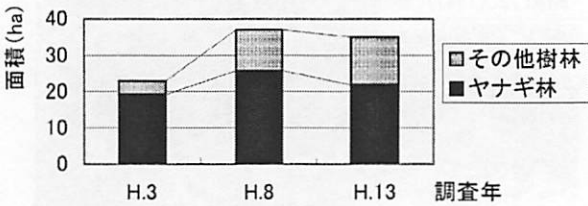


図-11 近年における樹林面積の変化²⁾

表-2 人為的インパクトの履歴²⁾

	人為的インパクト	年代	河道に対する一次的影響	備考
A	ダム建設	旭川ダム：昭和 29（1954）年 湯原ダム：昭和 30（1955）年	・流量の平滑化（平均年最大流量の減少） ・ピーク流量の減少	・土砂貯留はそれ程効いていない
B	砂利採取	昭和 35（1960）年～昭和 42（1967）年	・土砂供給量の減少 ・水面幅の拡幅，砂州面積の縮小	・岡山市内から始まり，徐々に上流へと実施 ・昭和 42 年以降全面禁止
C	低水護岸の整備	昭和 41（1966）年～	・河岸侵食抑制とそれに伴う滞筋固定	・直轄指定後
D	人の植生持ち出し行為の停止	昭和 35 年頃（1960 年代）	・砂州の植生被覆	・燃料，肥料革命後に停止

場所に流れ着くことを想定して、表-3 及び図-12 に示す 9 つの条件を設定した。各条件下において、現地で優占するジャヤナギとアカメヤナギの枝を用いて、10 cm 程度に切断した 1 年生、2 年生、3 年生の枝をそれぞれ 2 本ずつ設置した。プランターは屋外に設置し、湛水プランターは毎日水やりをして水位を一定に保ち、乾燥プランターは降雨のみの水供給とした。実験は 4 月下旬から開始した。

秋の成長休止期の段階におけるヤナギ両種に共通した結果（図-13）として、湛水プランターのケース④と⑤では活着・成長したが、乾燥プランターのケース⑦～⑨及び、湛水プランターの②とケース⑥では活着と成長が認められなかった。残るケース①と③について、ジャヤナギは活着・成長したが、アカメヤナギはしなかった。活着・成長が良好であったジャヤナギについて詳細を見ると、ケース①と③では発芽後に水面上にシュートが達してからでないと開葉しなかった。また、ジャヤナギのケース⑦は、降雨の多かった時期において一時的に発芽・成長が認められたが、その後の乾燥で枯死した過程があった。なお、ジャヤナギのケース⑧の成長枯死過程を除けば、上記の活着・成長に関する実験の結果は、実験開始から 10 日後で既に傾向が表れていた。

実験の結果から以下のことが言える。a) アカメヤナギは、水際に流れ着いたものだけが発芽成長し、定着する。b) ジャヤナギは、水際に流れ着いたものと、沈水下で完全に河床に埋没していないものは発芽成長して定着するが、それは水深が浅く、流れ着いた枝の貯蔵物質で水面上までシュートを伸ばすことが出来る個体に限られる。逆に、c) 乾燥した場所に流れ着いた枝は、両種共に栄養成長は抑制され定着できない、d) 冠水や降雨等で湿った河床条件が整えば一時的に成長する場合もあるが、その後乾燥すれば成長が抑制され枯死する。これら a)～d) の結論から言えることは、ヤナギ両種は水辺で定着できるが、乾燥した場所では定着できないということであり、それは水際線に沿ってヤナギ類が定着し、分布している現地の状況と一致している。

(2) ヤナギの定着と砂州の安定の共役的影響

前節でヤナギが水際に定着しやすいことを明らかにした。しかし、ヤナギの定着箇所が洗掘されるとヤナギは流失する。そのため、その洗掘に耐えられる程度に根を発達させるまでは、河床が安定していることが、ヤナギの定着にとっての必要条件となる。他方、現地では、河岸で定着したヤナギが、水際ラインに沿って細根をマット状に密生させており、洪水による河岸の洗掘を相当防護している状況が見られる。すなわち、河岸の安定とヤナギの定着は、相互に寄与し合う共役的關係にあると考えられる。

図-14 に、現地でヤナギ林が拡大してきた過程を示す。同図は、洪水によって新たに形成された水際に種子または枝等の栄養繁殖体が漂着し、そこで定着したヤナギが河岸を後退させることなく一方的に砂州を拡大させ、さらに拡大した砂州の水際にまたヤナギが定着する過程をよく表している。なお、ヤナギの樹齢分布は、平成 16 年において伐採された切り株の年輪から調査したものである。

表-3 ヤナギの栄養繁殖実験の条件区分

ケース区分		ヤナギの枝の設置条件
①	湛水 プランター	浮漂
②		冠水埋没
③		冠水挿木
④		水際漂着
⑤		湿潤挿木
⑥		湿潤地表
⑦	乾燥 プランター	乾燥埋没
⑧		乾燥挿木
⑨		乾燥地表

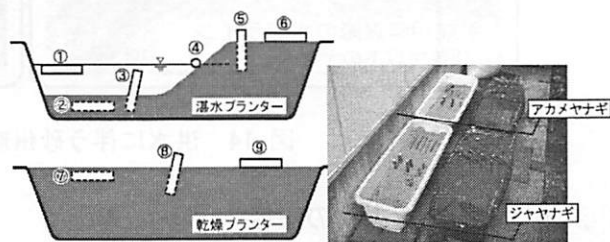


図-12 ヤナギの栄養繁殖実験の初期条件、図中の①～②は表-1 と対応、写真右湛水、左乾燥のプランター

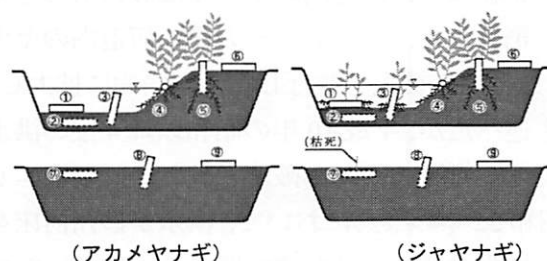


図-13 ヤナギの栄養繁殖実験の結果（6 ヶ月後）

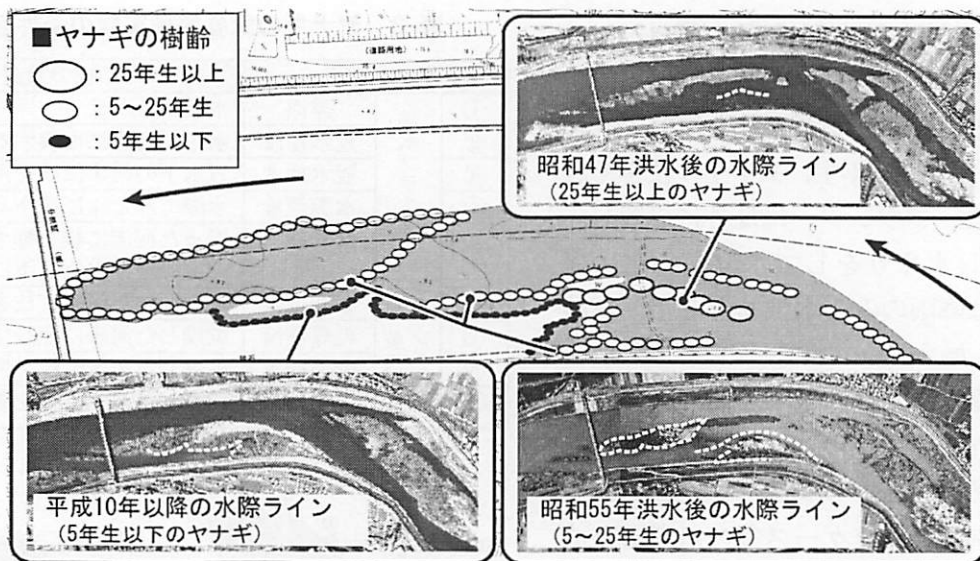


図-14 洪水に伴う砂州形成とヤナギ分布の拡大過程

(3) 洪水によるヤナギ林の破壊

図-15 に、対象区間におけるヤナギ分布の変遷を示す。対象区間では、昭和 30 年代中盤に大規模な砂利採取を経験し、河道内のヤナギは砂州もろとも一時的に消失した。しかし、その後、河道内のヤナギ分布は、砂州の拡大と並行して一方向的に拡大した。前にも述べたが、平成 10 年の昭和以降 4 位の洪水によってヤナギ林の一部が破壊された。同破壊エリアは、昭和 22 年の写真において、洪水が砂州河床を動かし、植生の発達が疎な礫河原が分布していたエリアとほぼ一致する。さらに、平成 10 年の洪水でヤナギが破壊されなかったエリアは、昭和 22 年においてもヤナギが分布していたエリアとほぼ一致する。そのことから、ヤナギが安定的に発達する場所は、河道の法線形（蛇行）や横断施設（堰）の設置方向によって相当支配されていると考えられる。

一方で、ヤナギの存在が、洪水作用の平面分布に影響する要素も小さくはない。図-16 は、現況植生が存在する条件下と、植生が全く無い場合のせん断応力分布を平面二次元解析により求めたものである。図-17 は、図-16 の破線で囲まれた部分の流速分布を示している。植生がない場合のせん断応力分布は、ある場合と比較して、全体的に大きくなり、砂州上に流れの影響が現れることがわかる。例えば、図中の実線で囲んだ部分（清水堰下流：図-1）については、植生有りの現況では右岸側に洪水流が集中しているのに対して、植生無しでは左岸側に大きなせん断応力が働くようになっている。現況の清水堰

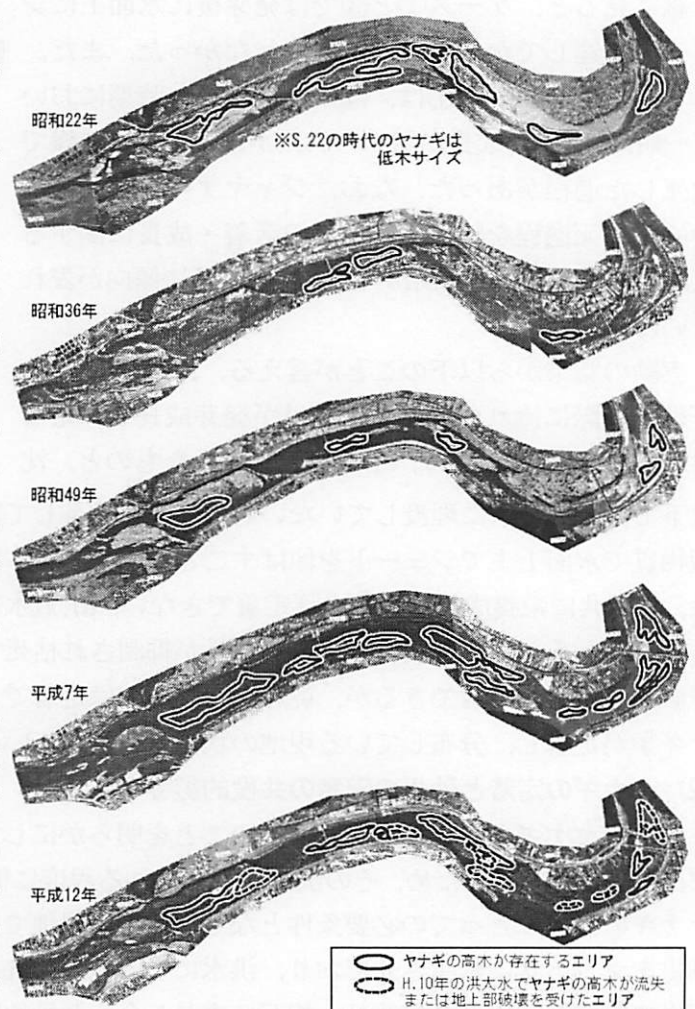


図-15 ヤナギ類の分布の消長

直下左岸側の砂州には、ヤナギの高木林が面的に発達している。他方、右岸側の砂州は採草地として管理され、植生の発達が抑制されている。以上は、ヤナギ等による大きな植生塊（樹林）がまとまりを持って分布すると、その空間周辺に働く洪水の破壊・攪乱作用が弱まることを表している。砂州上に植生入植すると、植生の周りに図-18 に示すように細粒土砂が捕捉される。さらに植生が繁茂すると、図-19 に示すように洪水時に植生が倒伏して河床面を覆うことで河床保護工となり水際の河床攪乱を抑制し砂州を安定化させ、その後の樹林の入植が定着を促進する。図-20 に、1968 年（昭和 43 年）と 2000 年（平成 12 年）の横断形を示す。図中の水位は、一次元の等流計算により求めた平均年最大流量時（ $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ ）の水位を表している。マニングの粗度係数は 0.035 を用いた。同図から、過去 30 年において、滞筋部では約 2 m の河床低下、砂州部では約 1 m の河床上昇が起きていることがわかる。いわゆる複断面化である。それに伴い、河床に働く掃流力は、滞筋部で 2 割～4 割の増大、砂州部では 2 割～4 割減少した。滞筋河床の低下は、対象区間およびその上流区間における 1960 年代の砂利採取により、供給土砂が減少した影響が大きいと考えられる。また、砂州部では、掃流力の低下に伴い（洪水流の滞筋集中）、洗掘を受け難くなると同時に、安定的に発達した植生による土砂の補足効果で河床が上昇したと考えられる。そして、以上のような砂州の安定化が、河岸におけるヤナギ類の安定的定着を促した可能性も示唆される。なお、上記のような複断面化現象は、対象区間のほぼ全域で起こっている。

また、洪水に伴うヤナギ林の破壊に関して留意すべきこととして、前述の平成 10 年の洪水（図-21）でもそうであったが、ヤナギが根こそぎ破壊・流失することは稀で、多くの場合、地上部が破壊されても地下部は

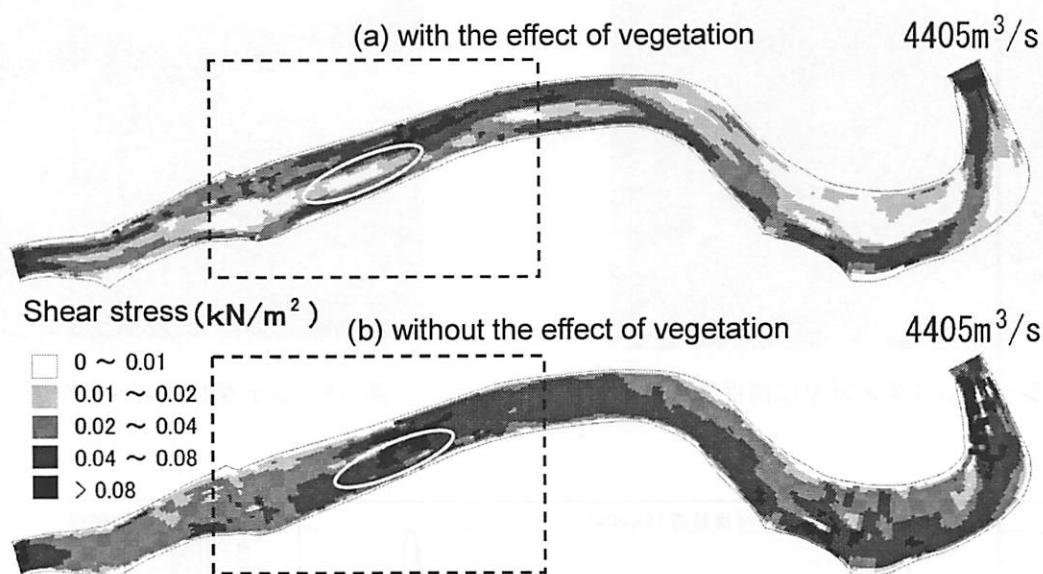


図-16 植生の有無によるせん断応力分布の違い

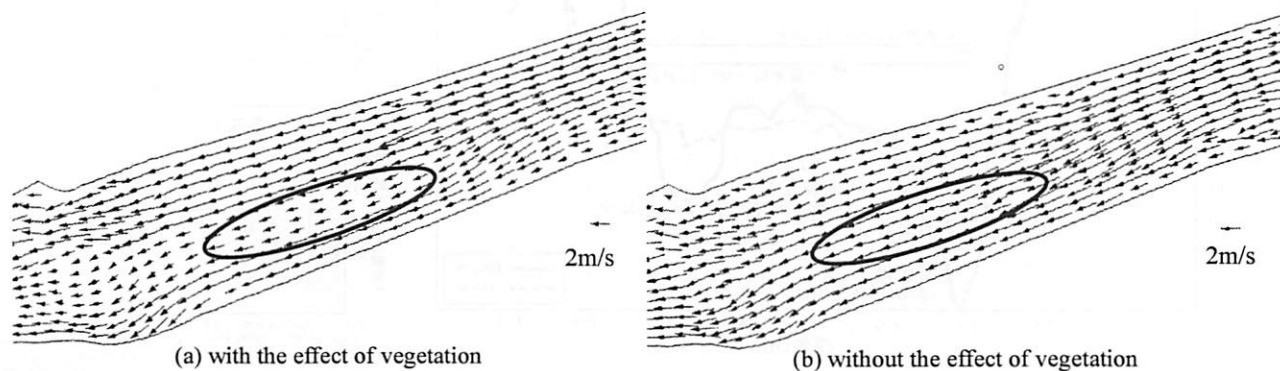


図-17 植生の有無による流速分布の違い

残存する点が挙げられる。そして、残存した地下部からは萌芽によって速やかに再生するため、根本的な破壊に至ることは少ない。

(4) ヤナギの再成長

洪水による地上部の破壊、あるいは治水上の伐採管理により残存したヤナギ地下部からの再生速度について、現地を対象に2通りの調査を行った。1つは、伐採木を用いた年輪解析によるものであり、もう1つはその伐採された株から再生した萌芽枝の成長速度の測定による。

前者の結果を図-22に示す。同図は、現地で樹高10mを超えるヤナギを対象にしたが、成長の良いものは約10年で10mに達している。成長速度を大雑把に見れば、最初の10年がほぼ1.0m/年で、その後、約0.5m/年の速度で成長している。また、単木個体よりも株叢生個体の方が、概して初期成長が良い。それは、株叢生個体の方が個体間の隣接距離が近いため、光を求めて上へと成長する個体間の競争が激しいためと考えられる。なお、本調査で対象としたヤナギは全てアカメヤナギであったが、対象地域では12~14mが樹高成長のほぼ限界であり、それ以上に成長するヤナギ個体はみられない。

図-23に、伐採した年における萌芽枝の成長速度を示す。ヤナギの伐採(3月)後に再生した萌芽枝は、1年で平均97cm、最大で365cmの長さまで成長した。8月において再度伐採した株においても、その後再生した萌芽枝が、約4ヵ月後の12月には平均で59cm、最大で123cmに達した。萌芽枝も150cmを超えれば、周囲の草本植生に覆われて枯れるようなことなく、その後はほぼ順調に成長を続ける。



図-18 シナダレスズメガヤに捕捉された砂



図-19 シナダレスズメガヤの倒伏状況

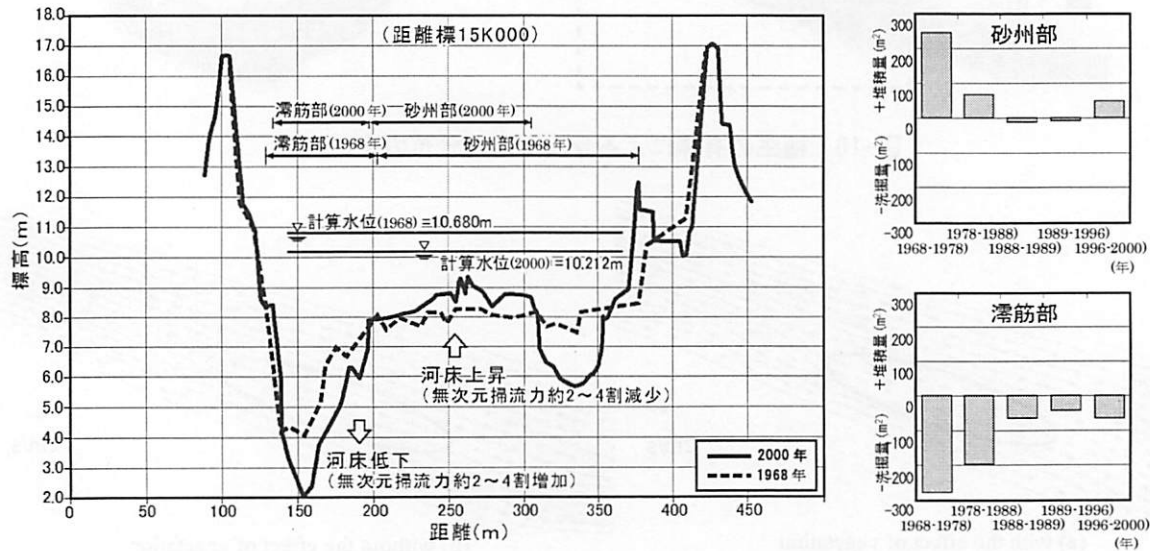


図-20 対象区間における複断面化の進行と砂州上の無次元掃流力の変化

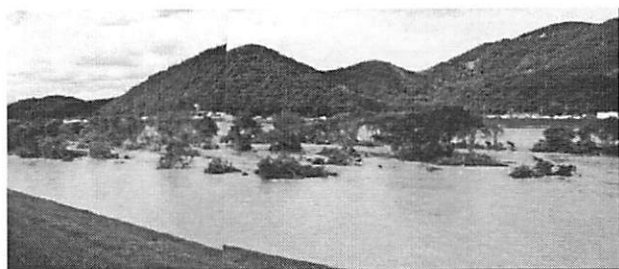


図-21 1998年の洪水時のヤナギ林の状況

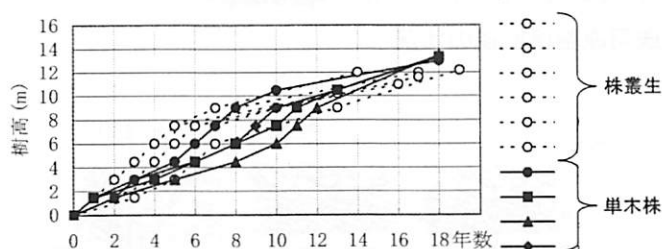


図-22 伐採木の年輪解析によるヤナギの樹高成長速度

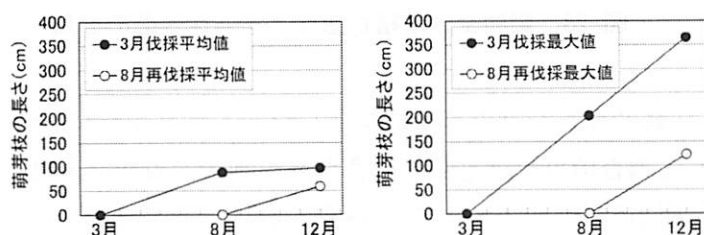


図-23 伐採翌年におけるヤナギの萌芽枝再生速度

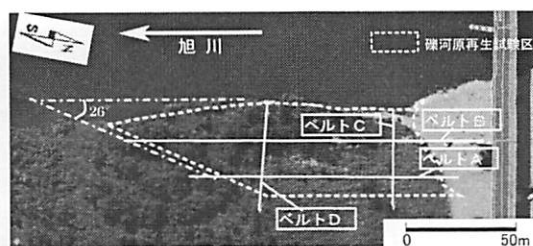


図-24 太原試験区

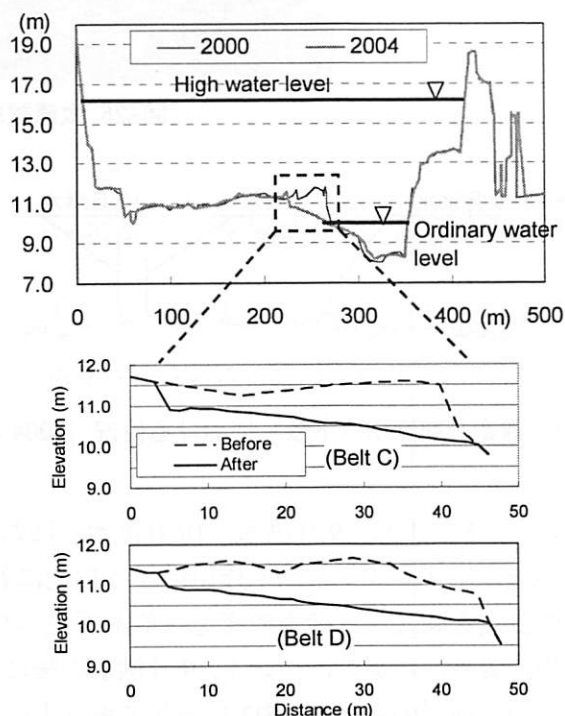


図-25 太原試験区の横断地形

4. 礫河原再生試験の結果の検証^{2), 3), 4), 5)}

国土交通省河川事務所では旭川の樹林化が進行している箇所の植生管理方針検討会を平成14年度からスタートし、現況把握、河道の変遷、現状の問題点等を明らかにした上で平成16年度から試験的に礫河原を再生する事業を実施した³⁾。本章では、現地試験を実施する際に検討した基本的な考え方や、整備後のモニタリング結果などから得られた知見を述べる。

4.1 大原試験区

4.1.1 大原試験区の概要

礫河原再生の現地試験区は、河口からの距離約16.8kmの左岸水際に位置する(図-2)。試験区の施工は2004年3月に行われた。図-24に示すように整備区域の上流側で礫河原が現存していたため、その礫河原の下流で土砂が堆積した部分を縦断方向に約140m、横断方向に約40mで植生を除去し、さらに1~2m程度の砂州の切り下げを行った(図-25)。現存した礫河原の下流端が約2%の横断勾配を有していたため、整備区域の横断勾配も約2%の一定勾配で水際に擦り付け、結果的に整備区域の最も水際と左岸堤防寄りの場所との比高差は約1mとなっている。縦断方向の地形勾配はレベルとした。切り下げ部の流れに止水域が生じないように考慮し、整備区域の下流端は平面的に26°で滞筋に擦り付けた(図-24)。なお、整備前の植生は、シナダレスズメガヤ群落が全体的に優占しており、下流側でヤナギ林とアキニレ林が発達していた(図-26)。

4.1.2 現地モニタリング方法

試験区を整備した2004年における最寄り観測所の水位データを図-27に示すが、2004は5月と9月、10

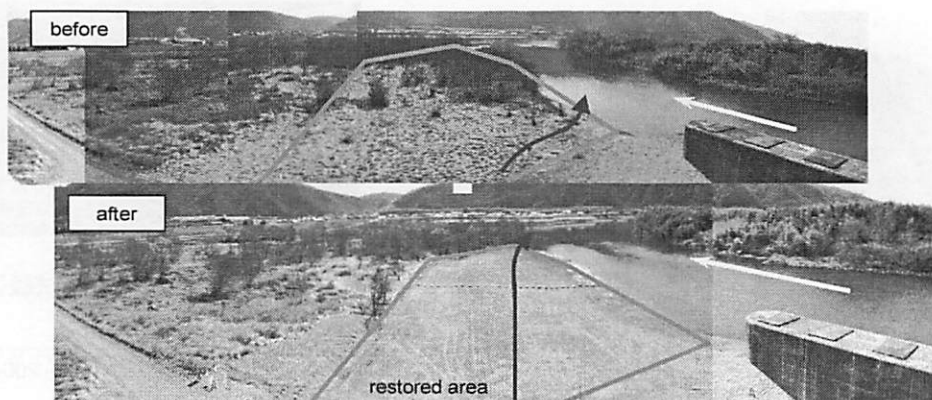


図-26 太原試験区の礫河原整備前後の状況

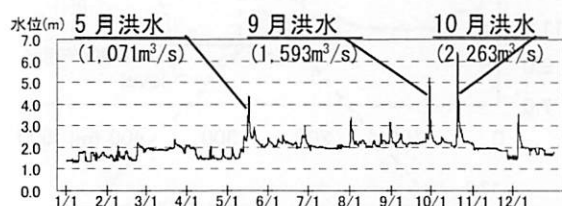


図-27 最寄り観測所（下牧）における位況（2004 年）

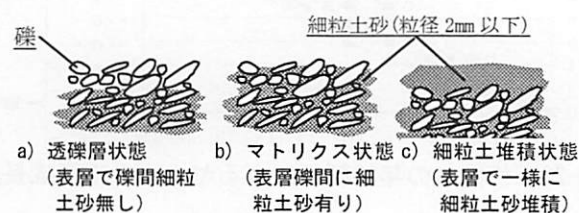


図-28 細粒土砂堆積状態による河床表面の分類

月（以下、5月洪水、9月洪水、10月洪水）において比較的大きな洪水が複数発生した。モニタリングでは、時間の経過に伴う変化と洪水作用に伴う変化に着目して調査項目を選定し、後者として地形と表層河床材料分布の変化を調査し、植生の変化（草本再生エリア、樹木の再生）については両者に着目して実施した。洪水作用に着目した調査について、9月洪水の後に台風が頻発し、9月洪水直後の調査は見合わせたため実施していない。地形の変化は、3D レーザスキャナを用いて、およそ1 m メッシュで地盤高2 cm 以内の精度を保てるように測定した。草本類の再生について、試験区を整備した1年目においては群落として認識できる（植生図が作成できる）程度にまでは植生が再生しなかったため、3D レーザスキャナにより、その再生範囲を正確に把握する手法を用いた。表層河床材料の分布の変化は、縦横断に各2本のベルトトランセクトを設置し（図-24）、1～1.5 m の間隔で、河床表層に分布する礫及び細粒土砂の粒径、河床表面の状態（図-28）を調査した。なお、同ベルトトランセクト調査では、同時に地形測量も実施しているが、3D レーザスキャナによる地形測量の結果との誤差は最大でも3 cm 程度であった。試験区の整備後、アキニレとヤナギ類が各調査時点でそれぞれ約50～150 個体再生した。それらについては、各調査時において全個体にマーキングしてサイズを計測するとともに、簡易のGPSを用いて位置を計測した。

4.1.3 目標設定と試験的整備における基本的考え方

生態面における最善の目標は、かつての洪水作用を取り戻すことである。しかし、河川管理において治水の必要性は重視すべき課題であり、直接的にこれまでの河川事業（ダムや堤防、護岸等）を取り除くのではなく、河川の生態系保全と両立できる選択肢を考慮する必要がある。また、上記の原因を踏まえれば、洪水流の滞筋集中を緩和し（例えば土砂投入や水制工の設置）、砂州上の洪水作用を回復させることが必要不可欠と考えられるが、滞筋部の施工には地元水産関係者と時間を掛けた十分な議論が必要な状況であった。そのため、まずは実現可能な次善の目標設定として、土砂が堆積した砂州陸域部を切り下げ、砂州上に働く洪水作用を回復させる手法を選択した。砂州の切り下げ位置の選定においては、20 年余り前まで礫河原であった範囲を考慮して、前述したように、わずかに現存している礫河原を下流側に延長することにした。なお、目標設定においては、治水面における断面不足の改善、親水面において人が好んで利用する礫河原空間の拡大も目的に掲げた。

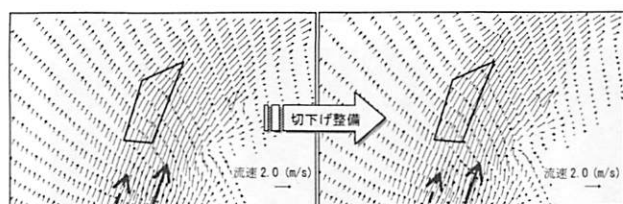


図-29 大原試験区の流速分布 $1,400\text{ m}^3/\text{s}$
(左：整備前，右：整備後； 図中枠内が試験区)

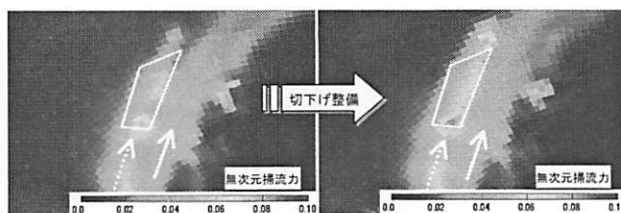


図-30 大原試験区の無次元掃流力分布 $1,400\text{ m}^3/\text{s}$
(左：整備前，右：整備後)

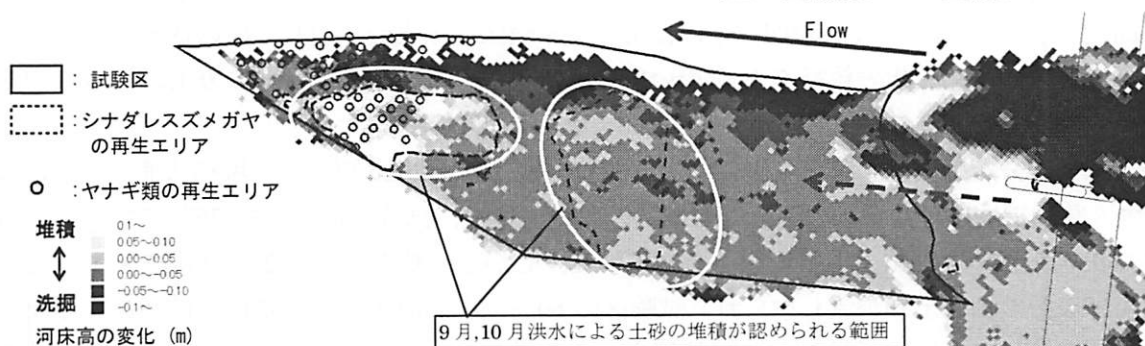


図-31 大原試験区における洪水後のヤナギ類およびシナダレスズメガヤの再生エリア

試験整備に対する生態的観点からの基本的な考え方と予測された整備効果は、以下の通りである。1) 河床変動の増大：河床地盤高を下げて洪水時の無次元掃流力を増大させ、攪乱によって植生の定着と発達を抑制する。整備区域の上流で現存した礫河原の代表粒径 5 cm を基準にすれば、その移動にとって必要な流量は、整備前が約 $3,600\text{ m}^3/\text{s}$ (約 1 回/25 年) であるが、整備により約 $2,000\text{ m}^3/\text{s}$ (約 1 回/4.5 年) となり攪乱が促される。2) 細粒土砂の除去：植生の急速な発達を促す表層細粒土砂を掘削により取り除く。20 年余りに礫河原であった頃の横断形を基準にすれば、切り下げ整備によって、試験区の大部分の河床表層では礫がメインで分布するようになり、植生の発達抑制が期待できる。3) 冠水頻度の増大：事前の調査で比高 (河床高－河川水位) が約 60 cm 以上の場所ではシナダレスズメガヤやノイバラが群落を形成していた。また、石川ら⁷⁾はノイバラの実生は沈水状態に対する耐性がないため低比高地では分布できず、砂州比高の増大がノイバラ群落の増加に関連しているとしている。以上から、砂州の切り下げによって冠水頻度を増大させれば、整備前に優占していた植生の発達抑制が期待できる。今回の整備では、整備前の冠水頻度が約 1 回/2 年であったのに対して、整備後は約 2～3 回/年の頻度に増大すると予測された。なお、1)と 3)の予測は、試験区の中央部を対象にした一次元の等流計算による。

4.1.4 数値計算による洪水作用の変化予測

図-29 と図-30 に、整備に伴う流速分布と無次元掃流力の変化を示す。なお、同解析では、河床粒径 5 cm 、平均年最大流量の約 $1,400\text{ m}^3/\text{s}$ を用いている。砂州を切り下げることで、試験区で発生する流速は大きくなり、併せてその流速の増大は試験区の下流にまで及ぶようになっている。無次元掃流力も試験区で全体的に大きくなり、その影響は下流にまで拡大していることが確認された。

4.1.5 現地試験の結果の検証

(1) 河床地形の変化：調査期間中に発生した 3 つの洪水 (図-27) では、試験区の全体が冠水し、河床変動が生じた。5 月洪水における河床地形変化は、試験区の一部 (砂州の切り下げによって河床表層に砂が一様に堆積する状況になっていた場所) で、表層の細粒土砂が掃流される程度であった。9 月洪水直後の地形変化は調査できなかったが、調査期間で最大であった 10 月洪水では、河床表層の礫移動を伴い $\pm 10\text{ cm}$ 程度の河床変動が生じた。図-31 は、8 月と 11 月における地形測定結果に基づく河床地形変化の平面図である。主だった地形変化として、試験区の下流寄りで 10 cm 余りの堆積が生じた。洗掘は滞筋の洪水主流線に近い水際に生じた程度に過ぎなかった。なお、整備前において、試験区上流で現存した礫河原の表層河床材料の代表

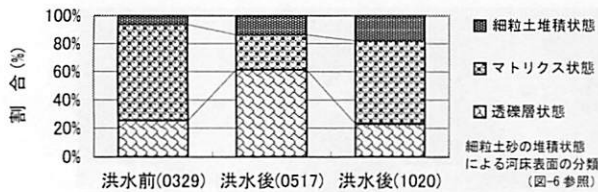


図-32 5月洪水に河床表層の細粒土砂堆積状態の変化

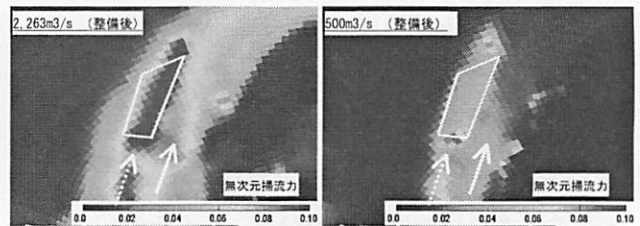


図-33 太原試験区の流量に伴う無次元掃流力分布の変化

粒径は5 cm 程度であったが、今回の切り下げによって試験区河床表層に現れた礫の代表粒径は2～3 cm 程度と小さかった。そのため、代表粒径5cm を用いて行った事前の解析による予測よりも、河床は動きやすい状況であったと判断できる。

(2) 表層河床材料分布の変化：河床表層における細粒土砂（粒径2mm 以下）の堆積状態の変化について、図-32 に示す。整備では単純な掘削のみとしたため、整備直後は、試験区面積の約75%において、河床表層がマトリクス状態あるいは細粒土堆積状態となっていた。しかし、整備して約2ヵ月後に発生した5月洪水によって、河床表層の細粒土砂が流し取られ、試験区の60%以上が河床表層で細粒土砂が分布しない透礫層状態となった。これは、今回の試験において特筆すべき結果の1つである。しかし、9月・10月洪水では、約50%のエリアの河床表層において再び細粒土砂がマトリクス状態で分布するようになり、加えて同洪水前に発達していた植生域を中心にして、約25%のエリアが細粒土堆積状態に変化した。

(3) 植生の回復：試験区で再生した植物の代表的なものは、草本のシナダレスズメガヤと、木本のアキニレとヤナギ類であった。その他の植物は、調査期間の整備後1年間において、試験区の1%以上の面積で優占することはなかった。シナダレスズメガヤとヤナギ類（主にジャヤナギ）が再生した場所を図-31 に示すが、興味深い現象として、シナダレスズメガヤが再生したエリアは、洪水による土砂の堆積エリアとほぼ一致した。ヤナギ類についても、整備区域の中で土砂の堆積が卓越した下流端付近を中心にして再生した。アキニレの再生は全て、砂州の切り下げ整備で取り残された地下部（根）からの再生によるものであった。そのため、アキニレの再生した場所は、整備前にアキニレが生育していた範囲に含まれていた。一方、ヤナギ類は全て、整備後に洪水で流れ着いた枝からの栄養繁殖に伴う再生であった。シナダレスズメガヤは、全て種子繁殖による再生であった。シナダレスズメガヤと一部のヤナギ類の再生エリアが、洪水に伴う土砂の堆積エリアと概ね一致している点からも、洪水と植物の繁殖体（種子や枝）の散布箇所との間に関連があることが推測される。

(4) 洪水に伴う植生回復の数値計算による再現予測：事前の予測では、砂州の切り下げによって試験区の全域に対して、ほぼ一様に比較的大きな無次元掃流力が働くことが確認されていた（図-30）。しかし、実際の洪水ではハイドロに伴い無次元掃流力の分布は変化する（図-33）。10月洪水の特徴として、ピークは数時間後に訪れたが、洪水の減衰は緩やかで、平常時の流況に戻るまで20時間以上を要した。そのため、試験区が冠水する約500 m³/s 以下の比較的小さな流量による流況が洪水減衰期にしばらく続いた。図-33 に示すように、試験区では流量が500 m³/s 程度になると、ヤナギ類が再生した試験区の下流で相対的に無次元掃流力が小さくなるのがわかる。すなわち、ヤナギ類の枝は試験区の全体が丁度冠水する程度の洪水減衰期において漂着したと考えられる。松間⁷⁾は、シナダレスズメガヤの種子の水中における沈降速度が中砂と同等であるため、河道内で砂が堆積するような空間で着床している可能性があるとしている。ヤナギ類の枝よりも、水中比重の大きなシナダレスズメガヤの種子の方が先に着床した結果が、図-31 に示す両種の再生エリアの違いに反映されたことが示唆される。

(5) その後の追加整備と効果の検証

2004年3月に整備を実施して2年間で1,000 m³/s～2,000 m³/s 程度の出水あったが、洪水の減水期に図-34に示すエリア③の樹木群が流れを障害し、出水時に整備エリアの下流部に死水域が形成され、植生の再定着が起

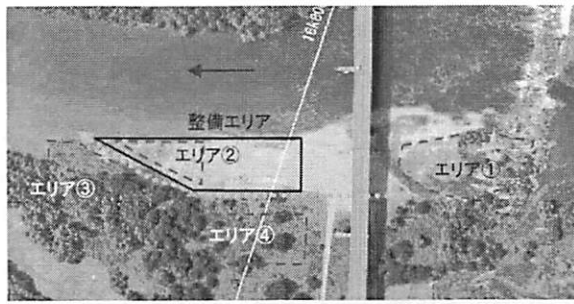


図-34 大原試験区の追加整備前の状況

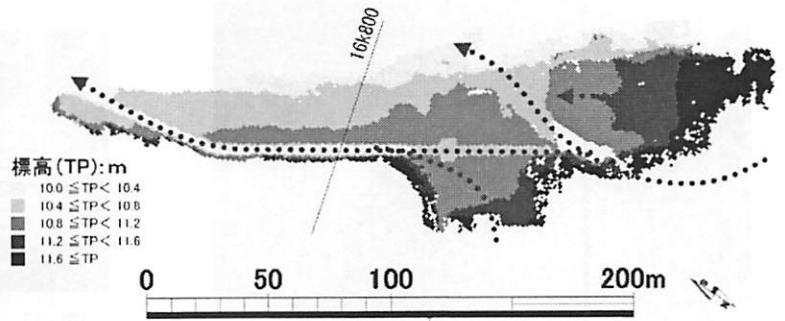


図-35 大原試験区の追加整備後の河床高分布

こったことが推察されたため、2006年3月にエリア③に繁茂していた樹木を伐採した。しかし、エリア①とエリア②には2004年の整備後の出水で定着したシナダレスズメガヤが既に繁茂しており、2006年7月の出水時に、図-19に示したように河床攪乱を妨げていたため、洪水後に以下の更なる追加整備を実施した。追加整備を行う前には図-34に示すように、エリア①の砂州は、整備エリアより0.5m程度高く、シナダレスズメガヤとツルヨシが発達し、ヤナギも点在していたため、これらの植生を除去し、砂州を上流のカゴ井手堰からスロープ状に整備エリアに擦り付ける形に切り下げた。エリア②では、発達していたシナダレスズメガヤ群落の除去を行い、さらにエリア①の下流端から、エリア②にかけて点線で示す位置に素掘り水路を開削した。この水路には、100 m³/s程度の小出水でも、流れをより引き込みやすくするためである。さらに、この水路を設けることで、エリア③及び④のシナダレスズメガヤ群落からの種子供給を抑える効果も期待している。また、大原箇所は礫河原まで車でアクセスが容易であることから、整備エリア内に巨石での境界線を整備していた。これまでのモニタリングから、車の進入と人が頻繁に利用するエリアでは植生の発達が見られなかったため、今回の追加整備で巨石を撤去し、整備エリア全体を車で進入可能とした。図-35に整備後の地形測定の結果を示す。

追加整備後2年で図-36に示すように、試験区の比高がやや高い箇所にシナダレスズメガヤが入植するとともに、水際に土砂が堆積し、ツルヨシやヤナギが定着した。2008年度以降、図-37に示した箇所の植生とラインに沿った河床変動を継続して調査してきた。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1.65 mで、最も高いもので2.45mであった。2011年9月1日では、平均樹高は2.57 mで最も高いもので4.31 mであった。また、図-38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0.85 m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、図-22で示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⁸⁾が提案したハリエンジュ（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4 m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。図-38に示すように流量が1,000 m³/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(3,300 m³/s)により対象11本のうち8本のヤナギが流出した（図-38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。図-39は各ライン上の河床変動を示している。橋脚の定点（TP：10.7 m）を基準として、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-39(a)に示す横断ラインB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20 m～25 m間で20 cm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

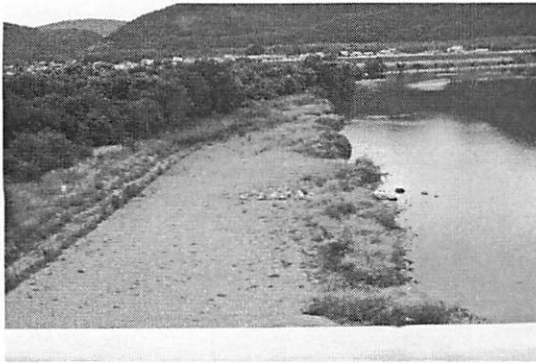


図-36 大原試験区 (2008 年 7 月撮影)

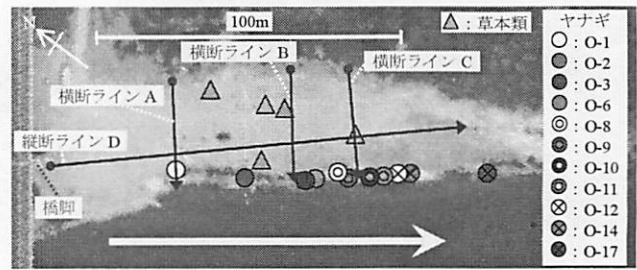


図-37 対象植生の位置および横断・縦断ライン

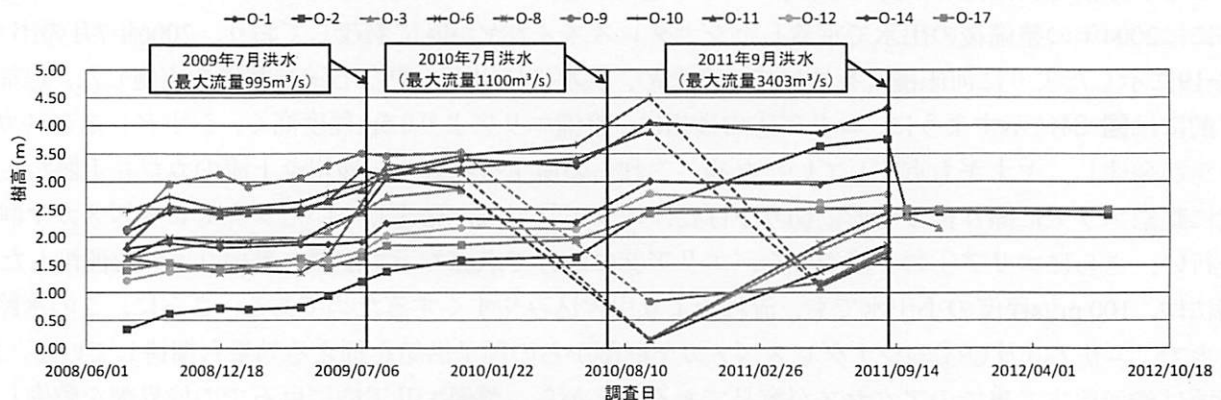
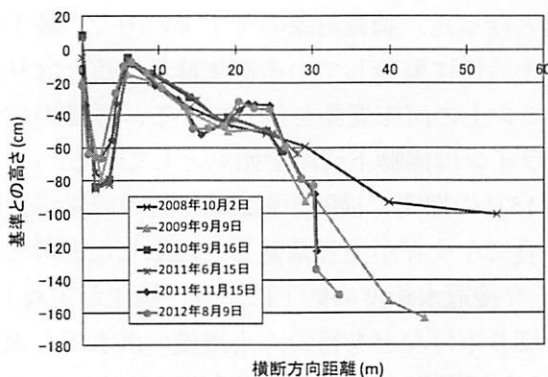


図-38 大原試験区のヤナギの樹高と出水状況

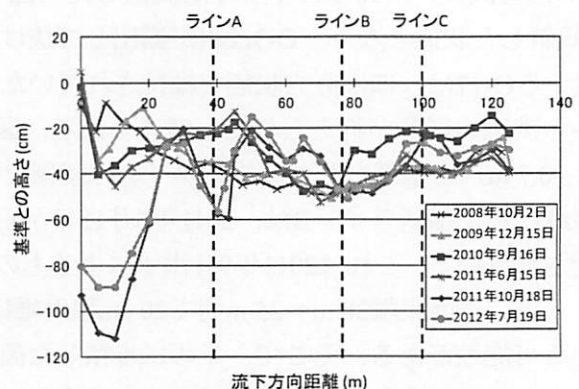
もみられた。

図-39 (b) は図-37 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、20 cm 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、1,000 m^3/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 1 m 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-36 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。

以上のように大原箇所は追加整備後、主に水際で植生が回復したが、2011 年の 3,000 m^3/s クラスの洪水で水際が洗掘され植生が流失した。また、整備箇所の下流側は植生が回復して生きているが、上流側はレクリエーションとしての利用が多いこともあり、礫河原が維持されている。このようにある程度自律的に礫河原は



(a) 横断ライン B の河床変動



(b) 縦断ライン D の河床変動

図-39 大原試験区各ライン上の河床変動

維持されているが、水際に土砂が堆積傾向にあり、現在図-40のように水際に植生が定着しつつあるため、これらの植生が成長する前に表土を20～30cm程度切り下げることで管理費用の面からも有効な手段と言える。

4.2 祇園試験区^{9), 10)}

4.2.1 祇園試験区の概要

祇園試験区を図-41の上段の図に示す(図-3参照)。試験区は同整備を行う前にも、数百～数千 m^3/s クラスの洪水を経験しているが、植生に覆われ複断面化した砂州の形状は変化せず、上段の整備前の写真のように河原は一方的に縮小していた。図-41の中段の図に祇園箇所を整備前後の様子を示しているが、当箇所の河原整備は、中段の図の赤枠で囲んだ部分で、平成17(2005)年3月に砂州を切り下げ行った。祇園箇所の試験計画においても、前述した大原試験区と同様に、横断勾配は2%、縦断勾配はレベルとしたが、大原試験区で得られた経験に基づき、平面二次元の数値解析を用いて、洪水時の河床攪乱作用の平面分布を予測し、礫河原が形成・維持されやすい場所を選定するとともに、整備する礫河原において洪水時に死水域が形成されにくい形状となっているかどうかを事前に予測した。図-42は、平均年最大流量の $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ と、洪水減衰期をイメージした $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (切り下げる砂州エリアの全体がちょうど冠水する程度の流量)を対象にした解析結果である。切り下げる砂州上では、攪乱作用は相対的に大きく、減衰期においても洪水流はスムーズに流れ、死水域を形成せずに滞筋に合流すること、また、攪乱作用が切り下げる砂州エリアのほぼ全体に及んでいることを確認できた。

4.2.2 礫河原再生試験の検証

図-41の中段の図は、整備後 $980 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水を経験した直後である。下段は、さらに $780 \text{ m}^3/\text{s}$ と $2,800 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水を経験した後である。図から、砂州の切り下げは、狭窄部の高速流解消と有効流下断面の増大をもたらし、整備区域上流の流速を増大させ、上流水衝部河岸と堰直下砂州の洗掘を促し、整備区域への土砂供給を引き起こしたことが推察される。そのような変化は写真に写る陸域だけでなく、水域でも起こっており、図-43に示すように滞筋部では河床上昇が進行した。以上のような砂州切り下げによる周辺への変化で最も評価できる点は、一部流れを変化させるためのきっかけを造ることで1998年に発生した既往4位の $4,310 \text{ m}^3/\text{s}$ 出水でも起こらなかった自律的な河原形成が起こったことと複断面化の解消が始まったことである。また、図中④で示したエリアは、かつてアユの産卵場であったとされ、河床低下により機能しなくなっていたが、今回の



図-40 大原試験区の現在の様子(2013年6月)

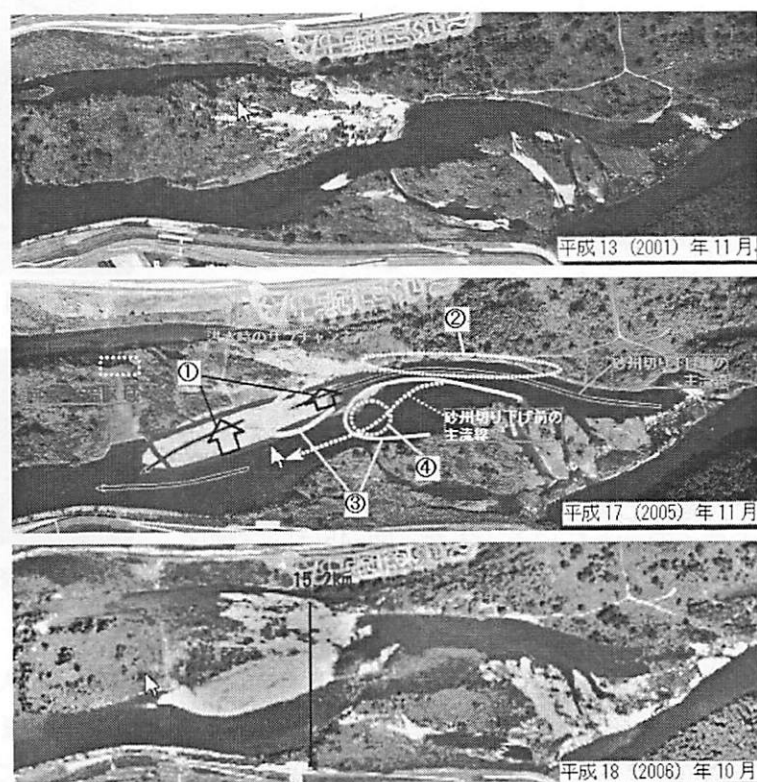
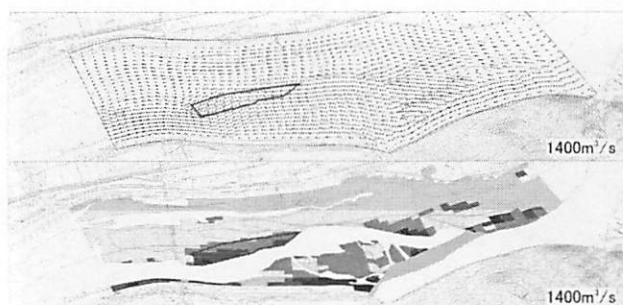
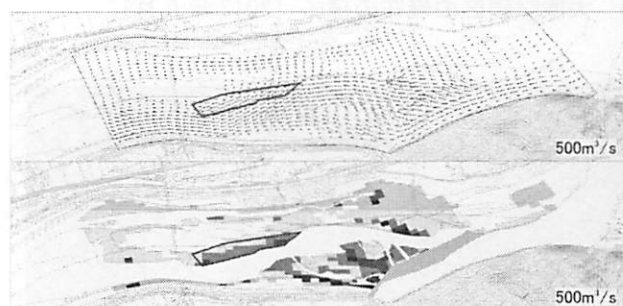


図-41 祇園試験区(整備前後の状況)



(a) 1,400m³/s (上：流速ベクトル，下：せん断応力)



(b) 500m³/s (上：流速ベクトル，下：せん断応力)

図-42 祇園試験区における事前の予測結果

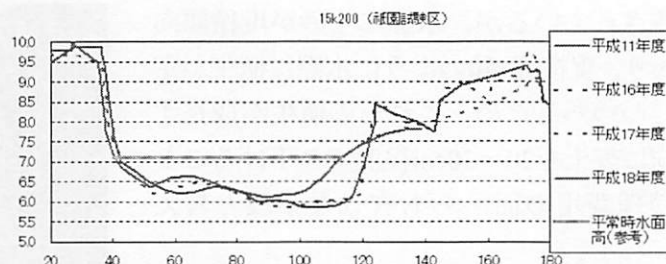


図-43 祇園試験区における横断地形の変化 (15.2km)



図-44 祇園試験区の現在の様子 (2013年2月)

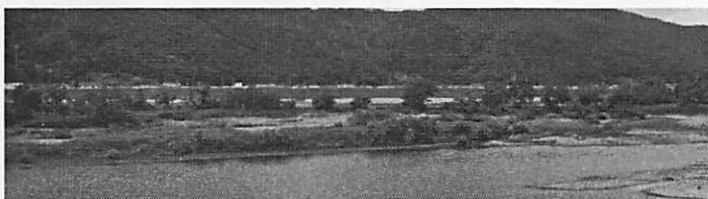


図-45 祇園試験区の現在の水際の様子 (2013年6月)

整備で、アユの産卵場が復活する可能性が示唆されている。図-44は祇園試験区の2013年2月現在の様子を示している。また、図-45は同試験区の水際の植生の状況を示している。2007年以降の洪水により、礫河原は下流に伸びるとともに、砂州の中央付近に水道が新たに形成され、2001年の整備前の状況に比べて礫河原が自律的に維持されていることが分かる。しかし、図-45に示すように、水際に植生が回復しつつある。これは太原試験区と同様な傾向であるため、早めに植生伐採と若干の切り下げを実施することにより、少ない労力と費用で礫河原を維持できるものと考えられる。

4.3 玉柏試験区^{11), 12)}

4.3.1 玉柏試験区の概要

図-46および図-47は2009年1月に伐採が実施された玉柏試験区を示している。当区間は旭川でも、最も流下能力が不足すると予測された区間であり、治水の観点から樹林化が問題視されていた。また、ピンク色の楕円の辺りは、今は旭川で激減しているカワラハハコ、カワラヨモギ等のいわゆる河原植物が群生していた場所である。群生していた当時は、砂州上に洪水流が流れ込み、河原植物以外の植物の発達が抑えられていたが、砂州に乗り上げる洪水流が樹林によって妨げられ、洪水作用が小さくなったことで他の植物が増え、河原植物の群生地が消滅したと考えられている。そのような治水、生態の目的で樹木伐採が計画されたが、地域市民との話し合いで、自然観察等の河川利用を目的に一部樹木(エノキ)を残したいとの要望があり、黄色で囲んだ範囲で、それを考慮した伐採が行われた。

4.3.2 伐採後の状況と伐採効果の向上の検討

当該試験区では砂州の切り下げを実施しなかったため、図-48に示すように伐採後速やかに植生が回復しており、2011年の3,000 m³/sクラスの洪水においても玉柏試験区の砂州に洪水が乗り上げる部分に礫河原が現れる



図-46 玉柏試験区（伐採前）

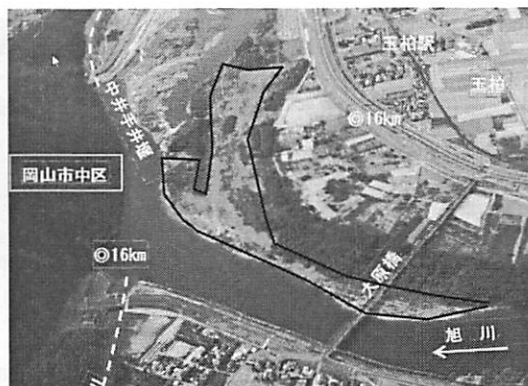


図-48 二つの液状化の発生



図-47 玉柏試験区（エノキを残した伐採）

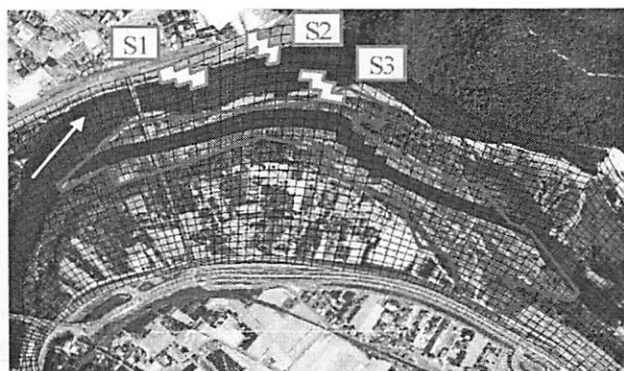


図-49 玉柏試験区（伐採前）

程度であった。当該試験区ではこのように現状で自律的な礫河原を維持することが困難であるため、図-49のようなパイロット水路と S1, S2, S3 の越流型の水制を設置して砂州上に積極的に洪水流を誘導することを、パイロット水路の幅や、水制の設置方法の違いにより検討した。図-50 の解析ケースの記号は、Pi はパイロット水路を砂州を縦断するように設けること、及び D2W はパイロット水路の下流側の水路幅を 2 倍程度拡幅することを示す。また、S12, S3, 及び S13 は、それぞれ図-49 で示した水制 S1, S2 を設置する場合、S3 は水制 S3 のみを設置する場合、及び S13 は水制 S1, S3 を設置する場合を示している。

図-50 (a), (b), (c) は Pi-D2W-S12, Pi-D2W-S3, Pi-D2W-S13 を施工後、流量が $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (青色)、 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (緑色)、 $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (赤色) の洪水が発生した場合に河床撓乱 (10 cm 以上の洗掘あるいは堆積) が生じると予測される範囲をそれぞれ色づけしたものである。これらの図より、(b) の Pi-D2W-S3 は砂州上流側部分において撓乱の起こらない白い範囲が目立つのがわかる。これは、Pi-D2W-S3 は上流側の砂州周辺に水制を設置していないために、流量が増えても砂州上へそれほど多くの水流が向かわなかったことが原因と考えられる。(a), (c) では、流量 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 及び $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪水時に生じる河床撓乱範囲は殆ど変わらず、これらの流量の洪水時には自律的に礫河原が維持される範囲が大きく拡大することがわかる。また、Pi-D2W-S13 は Pi-D2W-S12 と比較して流量が $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ でも、河床撓乱が生じる範囲が広がっており、効率的に礫河原を維持できると考えられる。Pi-D2W-S13 の整備を実施した場合の管理手法としては、青色の箇所については自律的に礫河原が維持できることが期待されるので、植生の管理は行わず、緑色、赤色の箇所については面積がほぼ同じであるため 3 年間洪水が発生しなかった場合に植生伐採、白色の箇所については $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の洪水で冠水し、掃流力が増すが、20 年以上の冠水間隔が空くため、そのまま放置すると樹林化してしまい、20 年に一度の洪水が来襲しても河床が撓乱されない可能性があるため、植生の再定着などを考慮すると、白い箇所も 3 年に 1 回の伐採管理が適切であると考えられる。また、期待した洪水が毎年発生するとは限らないことから、どの



(a) Pi-D2W-S12

(b) Pi-D2W-S3

(c) Pi-D2W-S13

(白色: 玉柏箇所, 青色: $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ (1 回/1.3 年), 緑色: $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ (1 回/2.9 年), 赤色: $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ (1 回/6.7 年))

図-50 各流量の洪水時に河床攪乱(10cm 以上の洗掘あるいは堆積)が生じると予測される範囲

色の箇所においても3年間洪水が発生しなかった場合は植生伐採を行うことが望ましいと考えられる。このような自律的礫河原維持を補完する人為的な礫河原再生管理を取り入れることで、効率的に礫河原を維持していくことができると考えられる。

5. 樹木を再生させない伐採方法^{2), 3)}

5.1 萌芽枝の繰り返し除去

図-51 に示すように、ヤナギ類は、伐採してもその切り株から萌芽枝を出して再成長する。繰り返し萌芽枝を除去すれば、そのうちに株のエネルギーは絶え、萌芽枝は再生しなくなる。実験では、伐採後1年目に、伐採された株から再生した萌芽枝を8月と12月の2回除去すれば、ヤナギ類は再生(萌芽)しなくなった。

5.2 切り株の環状剥皮

樹木の樹皮には休眠芽(芽が成長すれば枝や幹になる)がある。伐採などのストレスを感じると、ホルモンのバランスが崩れて、休眠芽が樹皮から芽を出して成長を始める。その芽を出したものが萌芽枝で、萌芽枝

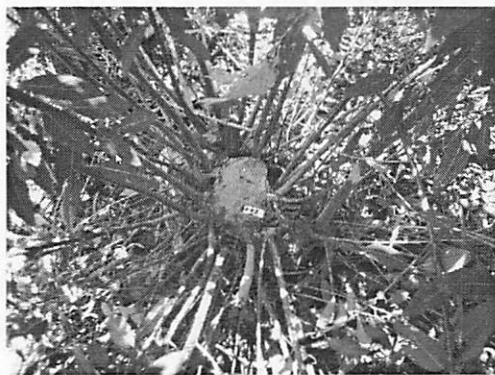


図-51 萌芽枝の繰り返し除去³⁾



図-52 切り株の剥皮³⁾



図-53 剥ぎ残した樹皮からの萌芽³⁾



図-54 伐採木の無料配布³⁾

が大きく成長すると幹になる。図-52 に切り株の環状剥皮は、伐採の後に残る切り株の樹皮を剥いで、休眠芽を摘んでおくという方法である。これまでの現場の経験では、樹皮を剥いだ部分からの萌芽枝の再生は認められていない。また、ヤナギ類(アカメヤナギ、ジャヤナギ、ヨシノヤナギ)は、地上の幹から萌芽枝を出すことはあっても、地下に埋まった幹や根から萌芽枝を再生させることはなかった。だから、切り株の地表より上の樹皮をきれいに剥いておけば、ヤナギ類は再生しないと考えられる。剥皮に必要な時間は、およそ 10 分程度で、切れ目さえ入れれば、誰にでも簡単にできる作業である。



図-55 市民ボランティアによる³⁾

ただし、以上の伐採方法も剥皮が十分で無かったり、再生した萌芽枝を根気強く繰り返し除去しないと、図-53 に示すように再生するため、初期（伐採後 1 年間）の処置が重要である。

6. 伐採した樹木の処理³⁾

国土交通省岡山河川事務所では、伐採後の樹木の処分コストを軽減させるため、伐採した樹木は、図-54 に示すように市民が持ち帰り易いサイズにして樹木の無料配布を実施している。伐採木は、キノコ類栽培用の「ほだ木」や燃料として利用されており、瞬く間に無くなるほど好評である。また、市民参加型の伐採イベントを開催し、自ら伐採した樹木を持ち帰ることが出来たり、ヒラタケの「ほだ木」の作成イベントなども合わせて開催するなど、疎遠になっていた人と川の繋がりを取り戻す試みが成果をあげている。国交省岡山河川事務所が社会実験として取り組む“アドプト・プログラム”により、シナダレスズメガヤの駆除作業を行っている。図-55 は、大原箇所の河原整備区で発生したシナダレスズメガヤ市民ボランティアによる除去作業の様子である。同社会実験により、川を美しく保つだけでなく、市民との河原再生や外来種防除に関わる情報・知識の共有が期待されている。

7. まとめ

樹林化が著しい旭川において試験的に実施された植生伐採、砂州の切り下げ後の河原の状況を数年にわたって調査した結果、礫河原再生試験区が引き金とかなり砂州が動的に活動し始めた箇所や速やかに植生が回復してきた箇所などがあった。本報で述べた成果をまとめると。

(1) 礫河原再生箇所を選定する際には平面 2 次元解析を実施し、洪水ピーク時だけでなく、洪水の減水期に砂州に種子や枝が漂着しない流れが生じることを確認する。

(2) 洪水により砂州上の植生が河床保護工化し、細粒土砂をトラップするので、砂州上を植生が覆いつくす前に植生除去をすると礫河原が維持されやすい。

(3) 水際にツルヨシやヤナギ類が定着するため、洪水により流失が数年にわたって生じない場合には早めに水際の植生の伐採と砂州の切り下げを実施することが結果的に管理費用の低減に繋がる。

現在、全国各地の河川で樹林化が顕在化しており、樹林化を根本的に解決する魔法の薬はないが、本報で述べた内容が若手研究者や実務者の方々に少しでも役に立てば幸いである。最後になりましたが、国土交通省岡山河川事務所からデータ提供など多大な協力を得たことを感謝します。

参考文献

- 1) 宮本仁志，赤松良久，戸田祐嗣：河川の樹林化課題に対する研究の現状と将来展望，河川技術論文集，第19巻，2013.
- 2) 渡辺 敏：河道内植生の管理と礫河原再生に関する研究，博士論文，2007.
- 3) 河道内植生管理の取り組み-旭川における礫河原最盛と樹林管理の実践例を通じて-，旭川植生管理検討会，国土交通省岡山河川事務所，2010.
- 4) 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，2005.
- 5) 渡辺 敏，前野詩朗，藤塚佳晃，宮崎貢，眞田淳二：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.201-206，2006.
- 6) Shingo ISHIKAWA：Seedling growth traits of three Salicaceous species under different condition of soil and water level，Ecological Review，Vol.23,No.1，1994.
- 7) 石川慎吾，福岡やよい，三宅尚：テリハノイバラとノイバラの生態学的特性と河川域における分布特性，植生学会第10回大会講演要旨集，pp.B09，2005.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 前野詩朗，赤堀遼介，兒子真也，藤井勲：旭川の玉柏箇所における植生伐採効果の検討，水工学論文集，第54 巻，pp.1225-1230，2010.
- 12) 赤堀遼介・前野詩朗・堀 博幸・藤井 勲：旭川玉柏試験区における自律的礫河原再生に関する研究，水工学論文集，第55巻，pp.871-876，2011.