

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

FIELD EXPERIMENT TO RESTORE A GRAVEL BAR AND
CONTROL GROWTH OF TREES IN THE ASAHI RIVER

渡辺 敏¹・前野詩朗²・藤塚佳晃³・宮崎 貢⁴・眞田淳二⁵

Satoshi WATANABE, Shiro MAENO, Yoshiaki FUJITSUKA, Mitsugu MIYAZAKI and Jungi SANADA

¹正会員 農修 ㈱ウエスコ 環境計画部 (〒700-0033 岡山市島田本町 2-5-35)

²正会員 工博 岡山大学助教授 環境学研究科社会基盤環境学専攻 (〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1)

³学生会員 岡山大学 自然科学研究科環境システム学専攻 修士課程 (同上)

⁴非会員 国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所 副所長 (〒700-0914 岡山市鹿田町 2-4-36)

⁵非会員 国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所 調査設計課 (同上)

In the last twenty years, gravel bars in the Asahi River have continuously decreased, whereas stable vegetation areas have rapidly expanded on sand bars. As a basic study for establishing a technique to restore a gravel bar, an artificial gravel bar was experimentally created in the field, and the effect of the flood flow on the field was examined. The prior numerical simulation for an annual scale flood predicted that the flood enough to move stones would uniformly flow over the restored gravel bar and the gravel bed would be maintained due to the increase of shear stress of the bed. However, the observed results showed that branches of *Salicaceous* species and seeds of *Eragrostis curvula* were driven ashore and the vegetation recovered quickly in the downstream part of the tested area. Additional numerical simulation using the observed hydrograph suggested that branches and seeds would be washed ashore during the flood recession period.

Key Words : *field experiment, growth of trees, gravel bar, flood, the Asahi river*

1. はじめに

2002年度において、国土交通省で自然再生事業制度が創設された。これまでは、治水を目的にした河川改修事業に合せて自然環境の保全・修復を行うものが主であったが、自然再生事業では、過去に行われた治水事業などによって損失・劣化した河川環境を、修復・再生して取り戻すことを主目的としている。それは、河川環境保全を目的にした新たな取り組みであり、先例がほとんど無いため、治水や地域の合意形成も含め、どのような施策が成功するのか、実践により確かめてみないとわからない部分が多いのが現実である。また、上記事業制度が創設されて間もない現時点において、そのような取り組みに対する研究も十分でないのが現状である。

本研究で対象にした旭川の中流域では、過去20~30年の間で植生の発達が抑制された礫河原（以下、礫河原と

呼ぶ）が殆ど失われ、樹林や安定植生域が増加した。その原因については後述するが、そのような変化に伴い、生態的に有益な自然の攪乱や、そのような場で生活する生物にとっての生態系の単純化といった河川環境上の問題が生じている。また、河道内砂州の50%以上を覆うようになった樹林は治水上の問題でもあり、植生に覆い尽くされた河原は川を利用する人にとって魅力を低下させている。そのため、約20年前には存在していた礫河原を再生し、同時にその礫河原での樹林や植生の再生を抑制するための整備（現地試験）を河道の一部で行った。

本研究では、その整備後に洪水作用により起こった河床の変化や植生の再定着について詳細に追跡した。併せて、その現象の過程について、生態および河川水理の観点から分析した。本論文では、以上の調査・分析により得られた結果を基に、持続的礫河原を合理的に再生整備する上での課題と留意点について示す。

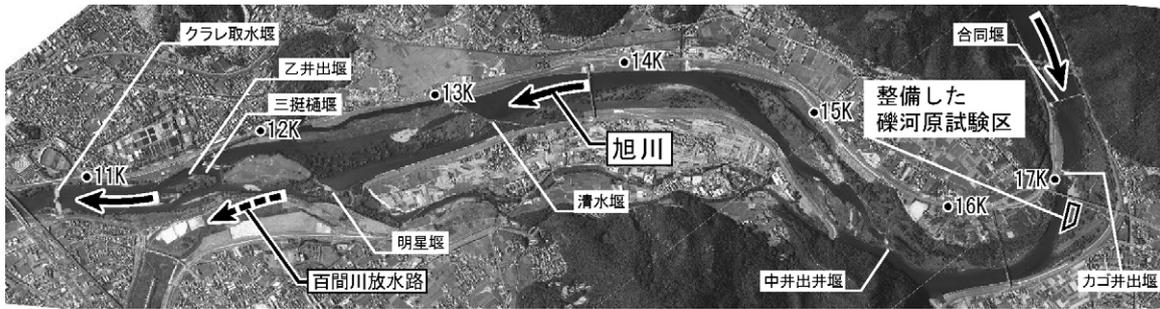


図-1 調査河川（旭川中流域）

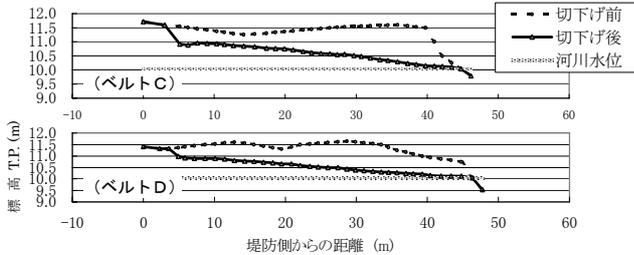


図-2 礫河原整備区の横断地形

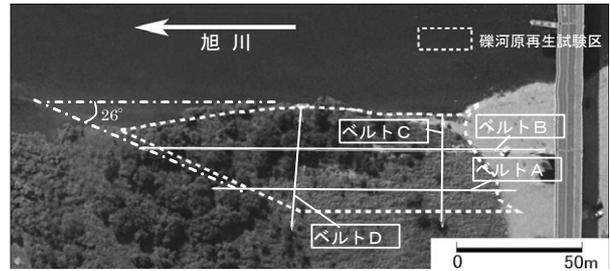


図-3 礫河原整備区の平面図



図-4 整備前と整備直後の景観変化

2. 調査地と方法

(1) 調査河川の概要

調査河川は岡山県岡山市を流れる一級河川旭川の中流である。平均河床勾配は 1/670、平均年最大流量 1,400 m³/s、川幅約 300 m、河床材料の代表粒径 40~70 mm で、山本¹⁾を参考すれば、Segment 2-1 に区分される。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、大きな蛇行と数多くの横断工作物の存在があること、それに一定流量（約 1,700 m³/s）を超えると百間川へと分流することがある。図-1 は本研究の現地試験を行う直前の空中写真である。図に示すように、現況では洪水流が砂州を横切る場所の一部でしか礫河原は存在していない。

(2) 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 16.8 km の左岸水際に位置する（図-1）。試験区の施工は 2004 年 3 月に行われた。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 140 m、横断方向に約 40 m で植生を除去し、さらに 1~2 m 程度の砂州の切り下げを行った。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との比高差は約 1 m となっている（図-2）。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²⁾、整備区域の下流端は平面的に 26° で滯筋に擦り付けた（図-3）。

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、下流側の一部でヤナギ林とアキニレ林が発達していた（図-4）。

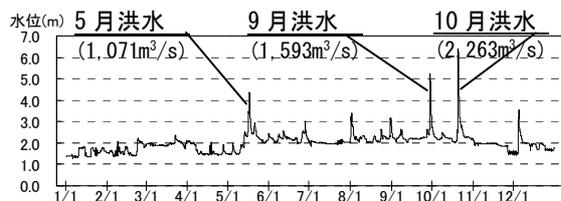


図-5 最寄り観測所（下牧）における位況（2004年）

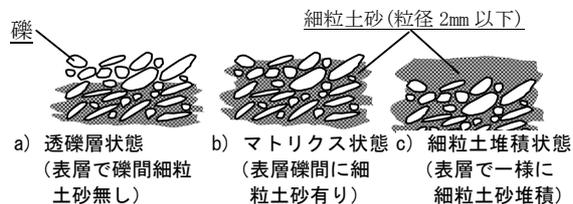


図-6 細粒土砂堆積状態による河床表面の分類

(3) 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-5に示すが、同年は5月と9月、10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。現地モニタリング調査の実実施スケジュールを図-7に示す。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1mメッシュで地盤高2cm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-3）、1~1.5m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-6）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3cm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。

(2) 平面二次元流の数値計算予測

試験区の整備に伴う砂州上の流速、無次元掃流力の変化と、本調査における洪水時の洪水作用を予測するための水理解析を行った。同解析では、これまで筆者ら³⁾が提案してきた計算手法を用いた。



図-7 現地モニタリングスケジュール

3. 仮説の設定

(1) これまでの変遷と課題

調査対象にした旭川で、礫河原が減少し、樹林化や安定植生域の拡大が起こった基本的な原因は、砂州上への洪水作用の低下である。詳しくは著者ら⁴⁾の報告を参照されたいが、川の基盤を形づくる土砂供給と洪水の規模が縮小し、それに伴って複断面化が進行した。土砂供給量の減少は主として昭和30年代後半における河道内の砂利採取と河床掘削によるもので、洪水規模の縮小は昭和29年、30年に建設された2つの流域貯水ハイダム（旭川ダム、湯原ダム）の建設に伴う部分が多い。複断面化は、図-1に示す河道区間のほぼ全川における滯筋河床の1~3m低下と、砂州陸域河床の1~2m上昇によってもたらされ、平均年最大流量（約1,400m³/s）において、滯筋部では2~4割無次元掃流力が増加、逆に砂州陸域では2~4割低下した。同時に、固定化された砂州上では、安定的に草本類が発達するとともに、ヤナギ類を主体とする樹木の定着が促され、定期的な河床の攪乱を必要としていた礫河原は徐々に縮小していった。

(2) 目標設定と試験の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、洪水流の滯筋集中を緩和し（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、滯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。

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

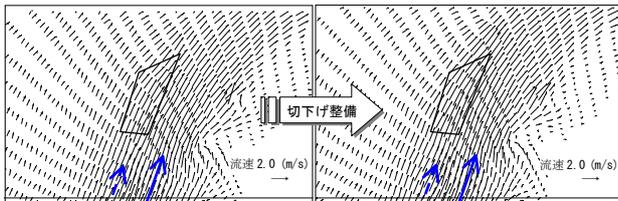


図-8 試験区の流速分布 1,400m³/s
(左：整備前，右：整備後； 図中枠内が試験区)

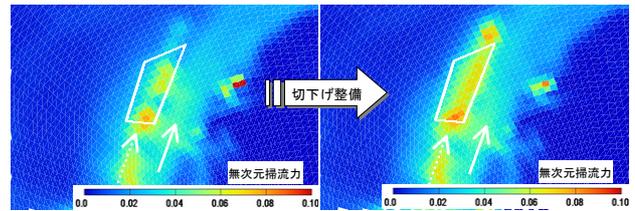


図-9 試験区の無次元掃流力分布 1,400m³/s
(左：整備前，右：整備後)

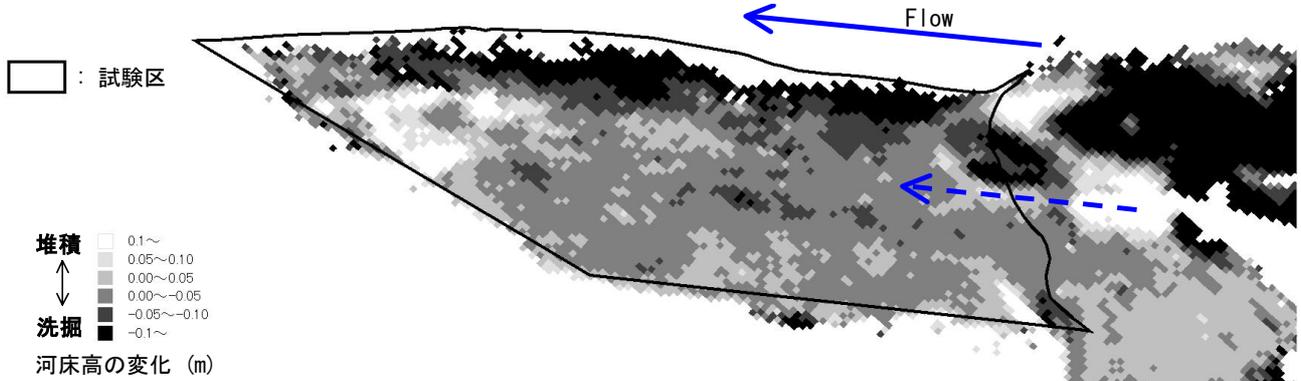


図-10 試験区における9月，10月洪水に伴う河床地形の変化

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 m³/s（約1回/25年）であるが、整備により約2,000 m³/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⁵⁾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。

(3) 数値計算による洪水作用の変化予測

図-8と図-9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 m³/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. 現地試験による検証結果

調査期間中に発生した3つの洪水（図-5）では、試験区の全体が冠水し、河床変動が生じた。そのため、事前に予測した現地試験による効果を検証する絶好の機会と捉え、現地のモニタリング調査と、数値解析による再現計算を行った。以下に、その検証結果を述べる。

(1) 河床地形の変化

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±10 cm程度の河床変動が生じた。図-10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。洗掘は濤筋の洪水主流線に近い水際で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5 cm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

図-11に、洪水に伴う表層河床粒径の変化を示す。切り

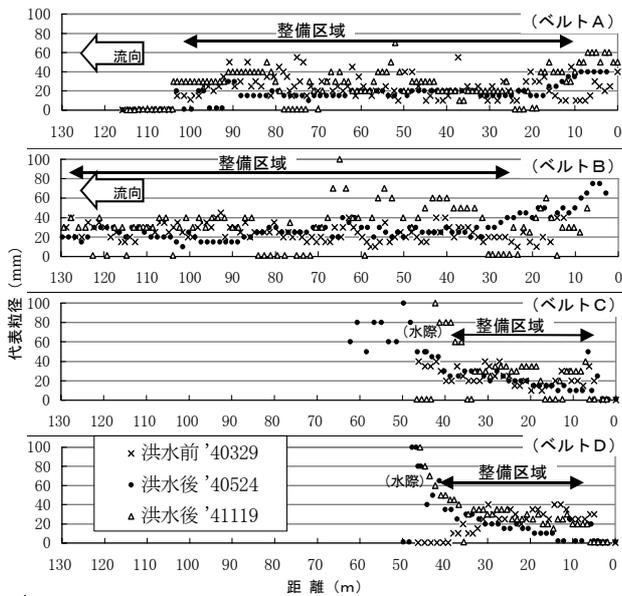


図-11 洪水に伴う河床表層の礫径の変化

下げによって河床に現れた礫は、試験区の場所によってそのサイズがまちまちであった。しかし、5月洪水によって、試験区全域の礫径の均一化が起こると同時に、全体的にやや細粒化した傾向が見られる。逆に、10月洪水では全体的に粗粒化が進行し、5月洪水直後の平均粒径26mmが10月洪水により37mmに増大した。これは単純に洪水規模の違いを反映した結果と考えられる。

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-12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。

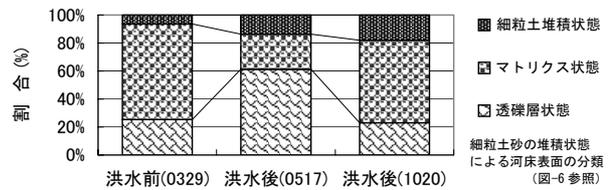


図-12 5月洪水に河床表層の細粒土砂堆積状態の変化

(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-13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（図-13）。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。

なお、本調査では、前節で示した表層河床材料の質の変化はあったが、整備して1年以内の試験区においては、例えば、砂の再堆積箇所に限定した植生発達⁹⁾や、礫径に対応した植生発達の違い等の、直接的な植生発達の応答の関係は認められなかった。

(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-9）。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

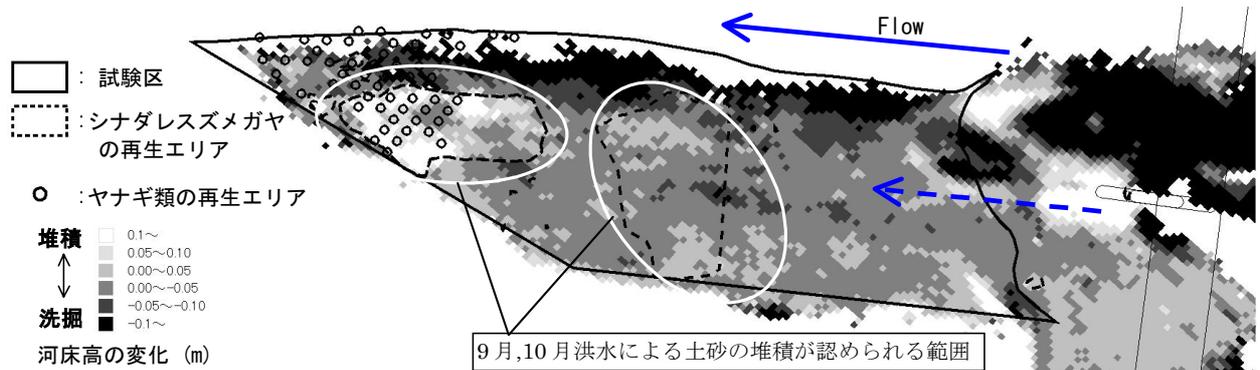


図-13 試験区における洪水後のヤナギ類およびシナダレスズメガヤの再生エリア

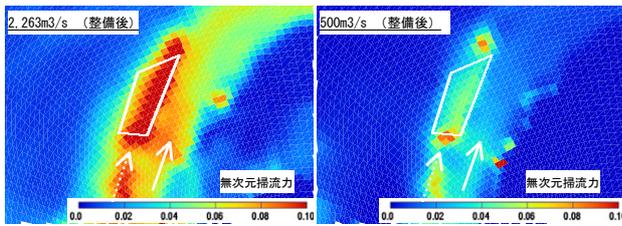


図-14 流量に伴う無次元掃流力分布の変化

-14). 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-14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ちょうど冠水する程度の洪水減衰期において漂着した可能性が示唆される。

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-13に示す兩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. 今後の展開に向けての課題と留意点

目標とする植生の発達が抑制された持続的礫河原を、合理的に再生整備するために必要となる基本的考えとして、再生された礫河原が、洪水作用によって自律した系として機能することが求められる。

多摩川⁸⁾や鬼怒川⁹⁾の例においても、植生発達を抑制するための砂州の切り下げや細粒土砂の除去等、本試験と同様な手段を用いて、礫河原再生の試験の整備に取り組んでいる。しかし、河床表層の細粒土砂が除去され、また洪水で多少地形変化が生じた場合においても、植生の一次遷移が起こることが、本試験だけでなく上記の事例においても検証されている。

本研究によって、洪水のハイドロや、周辺に残存した植生の抵抗による影響等によって発生する時空間的な低流速域において、植物の種子や枝が漂着し得ることが示された。したがって、事前の予測においては、整備した礫河原で植物の繁殖体が漂着可能な低流速域が生じないかを、確認しておくことが重要になると考えられる。またそれ以前に、自律した系として機能する可能性が高い場所を、平面流解析等によって選定しておくことも必要である。後者に関しては、技術的には相当程度可能と考えられる。また、本研究では、実際の洪水データに基づく平面流の解析によって、植物の繁殖体の漂着域(植生

発達域)の予測がある程度可能になることが示唆された。

砂州の切下げや細粒土砂の除去は、あくまでも一手段である。比高や細粒土砂の堆積以外の要因(例えば樹木の増加や一面を密に覆うようになった草本植生)で、礫河原が成立できない状況になっていると判断される場合もあると考えられる。上記のような事前予測の考えに基づき、さらに踏み込んで検討すれば、河床表層の樹木や草本植生を取り除くだけで、人為的の地形改変(またそれに伴う発生土砂の処理)を必要とせず、洪水作用によって自律した礫河原を再生することも不可能でないと考えられる。

冒頭でも述べたが、かつて存在した河川環境を取り戻すための取り組みは緒に着的ばかりであり、今後も現地試験等による検証作業は増えるであろう。そうした作業による成果を、その後の河道計画・整備の展開へと着実かつ効果的に反映させるためには、精度の高いデータを集積するとともに、例えば植物の種類や形態(形やサイズ、比重)、繁殖体の散布時期の違いによる植生回復過程に関わるような基礎データの集積等も、今後必要かつ重要になると考えられる。

謝辞：本研究の遂行にあたっては、岡山河川事務所が設立する「旭川植生管理検討会」の委員(岡山理科大学 波田善夫教授、岡山大学 河原長美教授、高知大学 石川慎吾教授、徳島大学 鎌田磨人助教授)から多くの示唆を与えて頂いた。ここに記して敬意と感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 山本晃一：沖積河川学，(榊山海堂，1994。
- 2) 建設省河川局 監：建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編，株式会社 山海堂，pp.122-123，1997。
- 3) 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，(2005年11月掲載予定)。
- 4) 渡辺 敏，前野詩朗，馬場俊介：旭川の河道変遷に伴う河川景観の変化-近年の治水事業とヤナギによる樹林化との関連-，土木史研究講演集，vol.25，pp.423-432，2005。
- 5) 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。
- 6) 渡辺 敏，藤田光一，塚原隆夫：安定した砂礫州における植生発達の有無を分ける要因，水工学論文集，第42巻，pp.439-444，1998。
- 7) 松間充：流水中のシナダレスズメガヤの種子散布について，平成15年度自然共生研究センター研究報告書，pp.77-83，2004。
- 8) 島谷幸宏，高野匡裕：多摩川永田地区にける学術研究と河道修復，河川技術論文集，第7巻，pp.381-386，2001。
- 9) 萱場祐一，千葉武生，力山基：鬼怒川におけるカララノギク保全のための人工河原造成について，土木学会第57回年次学術講演会，pp.115-116，2002。

(2005.9.30 受付)