

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

POSITIVE STUDY FOR SELF-SUSTAINING RECOVERY OF GRAVEL BARS IN THE ASAHI RIVER

眞田淳二¹・浦上将人²・渡辺 敏³・前野詩朗⁴・藤塚佳晃⁵

Junji SANADA, Masato URAKAMI, Satoshi WATANABE, Shiro MAENO and Yoshiaki FUJITSUKA

¹非会員 国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所 (〒700-0914 岡山市鹿田町 2-4-36)

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

³正会員 農修 (株)ウエスコ 環境計画部 (〒700-0033 岡山市島田本町 2-5-35)

⁴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)

⁵正会員 工修 (株)建設技術研究所 九州支社河川部 (〒810-0041 福岡県福岡市中央区大名 2 丁目 4-12)

The river morphology of the Asahi River has dramatically changed during two decades. Its typical change is a reduction of gravel bars and a development of riparian forest in the downstream. Our aim is to propose appropriate measures for stimulating self-sustaining recovery of gravel bars. In the research field, we reproduced gravel bars, existed formerly, by cutting two stable sand bars and investigated their impact-response process by floods. Our result is that the numerical analysis is useful for choosing a gravel bar restoration area where branches and seeds hardly drift ashore during flood recession period. And we found that cutting sand bar facilitates a fluctuation of surrounding river bed. Furthermore we can expect that cutting sand bars has a ability to recover a natural ecosystem in the river.

Key Words : gravel bars, self-sustaining restoration, impact-response, flood flow, numerical analysis, the Asahi river

1. はじめに

近年, 河川環境の保全や創造に向けた取り組みの一つとして, かつて存在した川の姿を取り戻そうとする試みが多くの現場で始められている。例えば, 本稿で対象としている礫河原再生であれば, 渡辺ら¹⁾²⁾, 島谷ら³⁾, 萱場ら⁴⁾等が挙げられる。しかし, ようやく始まったばかりの取り組みであり, 試行錯誤を繰り返しているのが現状である。旭川でも一部で植生の再発達が起こり, 礫河原の持続性確保のためには, 除草や礫による河床表層のマルチング等の人為的管理が必要となっている。

本稿の対象区間である旭川下流部では, 近年の治水事業, 河道管理, 流域開発等により過去 20~30 年で河相が大きく変化し, 礫河原は激減した⁵⁾。そのため, どこで, どのように礫河原を再生させるべきかを調査, 検討し,

2004 年から礫河原を再生させるための現地試験を行っている。本稿は, 現地試験により新たに得られた有益な知見を報告するとともに, 数値計算等を用いて礫河原の再生の可能性の高い場所とその手段を選定したプロセスを記述し, 今後の礫河原再生に向けた計画技術, 予測技術の発展に資するものである。

2. 調査地及び現地試験の概要

(1) 調査地の概要

調査対象区間は, 岡山市を流れる一級河川旭川の下流部の河口から 10.8-17.5km の区間で, 平野部に出た直後から感潮区間上流端までである。区間の河床勾配は 1/670, 河道幅は約 300m, 河床材料の代表粒径は 40-70mm でセグメント 2-1⁶⁾に分類される。図-1 は本研究の現地試験を

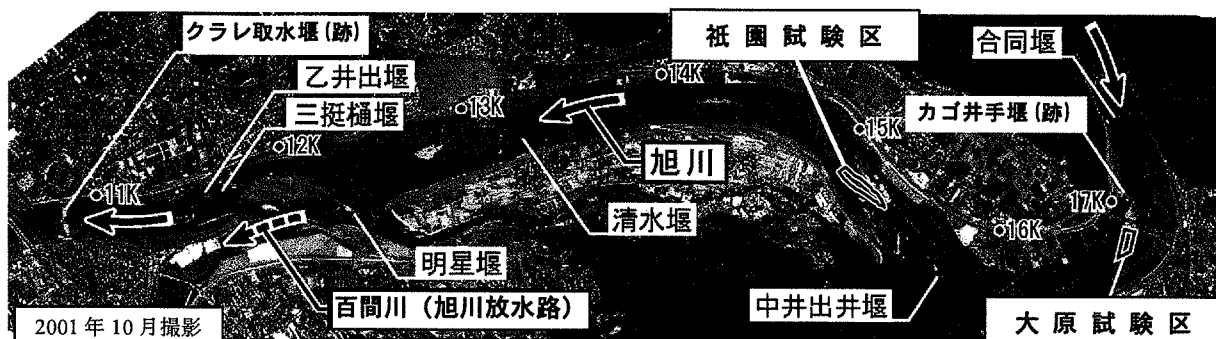


図-1 調査対象区間及び現地試験の実施位置

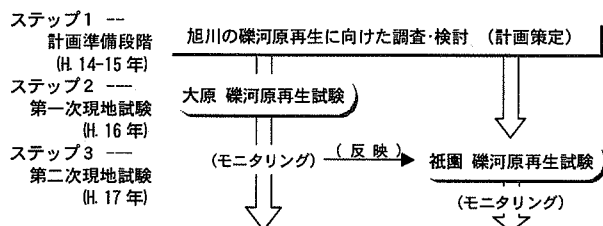


図-2 調査の実施スケジュール

行う直前の空中写真であるが、昭和20年代初頭には区間全域が礫河原であったものが、現況では洪水流が砂州を横切る場所の一部でのみ確認できる状況で、また、調査区間には6箇所の取水堰（堰跡も含む）が存在している。

(2) 現地試験の概要

図-2 にこれまでの調査検討スケジュールを示す。礫河原再生の試験は、大原試験区と祇園試験区の2箇所で実施しており、大原試験区は2004年3月、祇園試験区は2005年3月に試験を開始した（図-3、図-4）。試験方法の詳細は既往の研究^{1), 2)}を参照されたいが、複断面化した砂州河岸を切り下げて礫河原を造成し、その後の時間の経過、洪水作用による変化をモニタリングしている。

モニタリングでは、地形と表層河床材料分布、植生分布の変化を調査した。地形は3Dレーザスキャナを使用し、1mメッシュで地盤高2cm以内の精度で測定した。表層河床材料分布は、ベルトトランセクトを縦横断に複数設置し、1~2mの間隔で河床表層の礫と細粒土砂の粒径、河床表層での細粒土砂（粒径2mm以下）の堆積状態²⁾を分類し、表層で一様に堆積する場合はその堆積厚についても測定した。

3. 既往試験（大原試験区）の概要と課題点

本稿は祇園試験区での試験を中心に述べるが、大原試験区で確認された課題を克服できるかどうかを検証するため、1年後に試験を開始したものである。以下に大原試験区における試験と課題を記述する。

(1) 大原箇所選定理由の概要

本試験はかつて広く存在した礫河原等の河川環境を再生することを主目的とした。そのため、①かつて礫河原

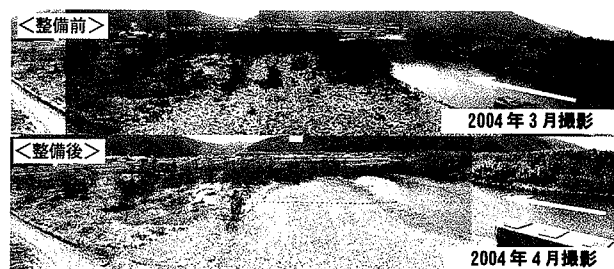


図-3 大原試験区における礫河原の人工整備



図-4 祇園試験区における礫河原の人工整備

が存在したが、帰化植物や樹木が増加した場所の改善、②現存する貴重種分布への影響は回避、を考慮して試験区の場所を選定した。さらに、先発の大原箇所は、③植生除去と砂州の切下げは流下断面不足に貢献できる、④治水的に安全な場所を選定する、⑤親水利用への貢献度が高い、等の観点も踏まえ選定した。

(2) 整備概要

大原では整備区域の上流側で礫河原が現存していたため、それを下流に延長する形で整備した。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た。縦断方向の地形勾配はレベルとした。試験区下流端で止水域が生じないように、整備区域の下流端は平面的に26°⁷⁾で零筋に擦り付けた。

(3) 大原箇所での課題の概要

大原では、試験区の一部で植生が再定着した（図-5）。その原因は、洪水で供給される植物の繁殖体（種子や枝）が、洪水減衰期に形成される死水域において漂着し、定着するというものであった²⁾。他方、試験開始から2年が経過した現在においても、洪水減衰期に洪水流がスムーズに流れる空間では、目立った植生発達は起こっていない。一方、植生が定着した空間では、植生の拡大発達を加速する細粒土砂の堆積^{8), 9)}が、植生に

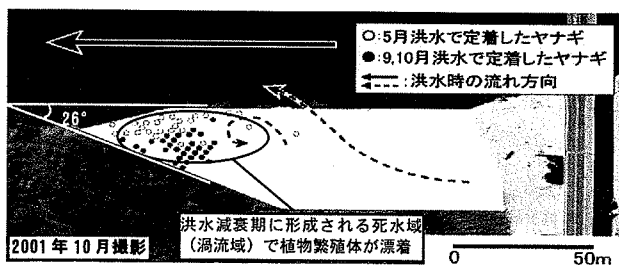


図-5 大原試験区における植生の再定着^{1, 2)}

よる粗度係数の増大との相乗効果により進行している。なお当該箇所では、減衰期の死水域形成について、事前の平面二次元解析は行っていない。

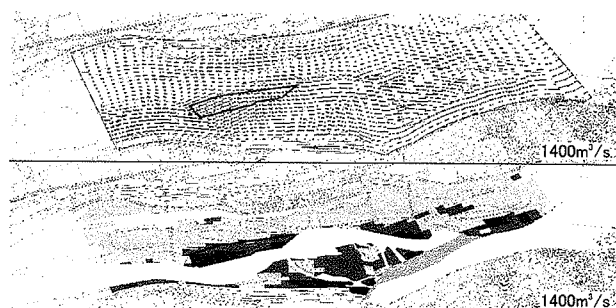
4. 祇園試験区の試験計画と事前の予測

祇園箇所の試験計画においても、前述した大原試験区選定理由の①～④を考慮するとともに、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、試験区下流端で洪水減衰期に死水域が形成されないような切り下げ範囲と高さを検討した。

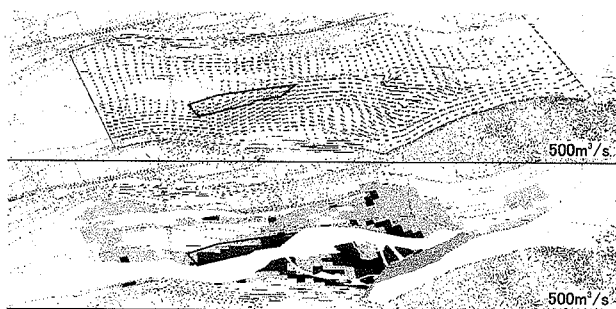
具体的には、平面二次元の数値解析¹⁰⁾を用いて、A)洪水時の河床攪乱作用の平面分布を予測し（攪乱ポテンシャルマップの作成：図-6）、礫河原が形成・維持されやすい場所を選定するとともに、B)整備する礫河原において洪水時に死水域が形成されにくい形状となっているかどうかを事前に予測した。また、祇園試験区の計画段階（整備前）に発生した洪水時の流況を現地で観察し、数値解析による予測の妥当性を定性的に確認した。

上記 A)の予測結果を図-6 に示すが、祇園箇所の攪乱作用は相対的に大きく、整備した礫河原は維持されやすいと判断した。なお、せん断応力 0.04kN/m^2 を閾値としたのは、対象区間の植生分布を対象にした事前の解析で、礫河原が分布・形成される場所のせん断応力が 0.04kN/m^2 以上の場所であったことによる。

上記 B)の予測結果を図-7 に示す。同予測は、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）を対象にしたものである。切り下げる砂州上では、減衰期においても洪水流はスムーズに流れ、



(a) $1,400\text{m}^3/\text{s}$ （上：流速ベクトル，下：せん断応力）



(b) $500\text{m}^3/\text{s}$ （上：流速ベクトル，下：せん断応力）

死水域（閉じた渦流）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る。試験区の上流端は、洪水時に左岸側を流れるメインチャンネルと砂州を横切るサブチャンネルの分岐点となっているが、祇園試験区の計画段階で発生した洪水中（ $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度）の流況観察では、砂州上に乗上げたサブチャンネルの一部の流れが、拡散的にメインチャンネルへと合流する様子を確認し、そのことから、切り下げる試験区では死水域が生じにくいと推察した。

5. 結果と考察

祇園試験区の整備後、2005 年 9 月 7 日に $980\text{m}^3/\text{s}$ の洪水が発生した（以下、9/7 洪水と呼ぶ）ので、試験計画を検証するべく現地調査と解析を行った。試験区直上流の下牧観測所（河口より 19.0km 地点）における同洪水の位

せん断応力 0.04kN/m^2 以上が発生する確率と場所

- 1回/50年 ($4,405\text{m}^3/\text{s}$)
- 1回/12年 ($3,000\text{m}^3/\text{s}$)
- 1回/8年 ($2,260\text{m}^3/\text{s}$)
- 1回/4年 ($1,400\text{m}^3/\text{s}$)
- 1回/3年 ($1,000\text{m}^3/\text{s}$)

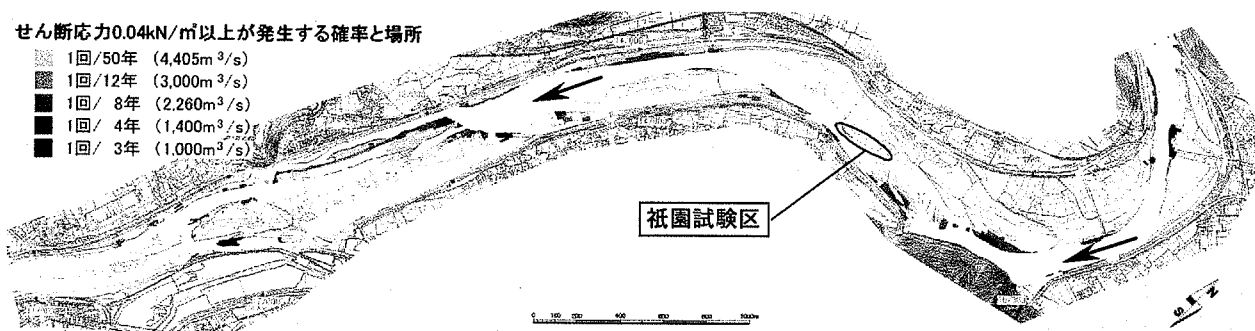


図-6 対象区間の攪乱ポテンシャルマップ（祇園試験区整備前）

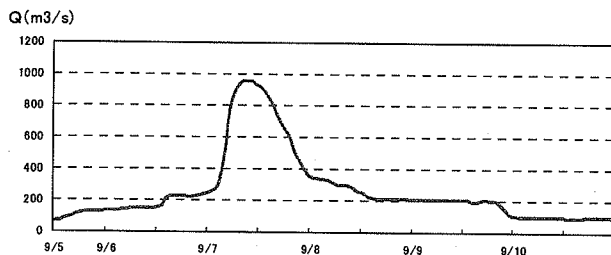


図-8 9/7洪水の位況(下牧観測所)

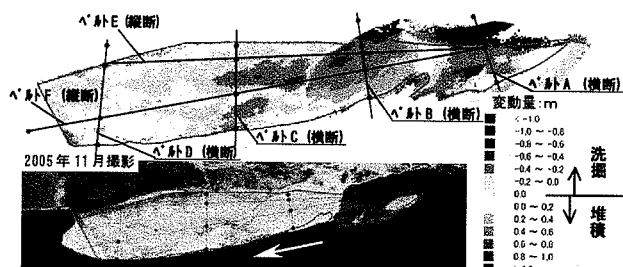


図-9 祇園試験区の洪水に伴う河床地形の変化(平面)

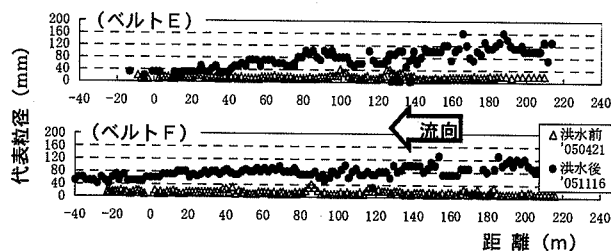


図-10 洪水に伴う河床表層の礫径の変化(祇園)

況を図-8 に示す。

(1) 植物の漂着抑制効果

祇園試験区では、切り下げた砂州上で死水域が形成されることなく洪水流はスムーズに流れ、現時点では、大原試験区で起きたような洪水による植物繁殖体の漂着と定着は確認されていない。

(2) 河床変動の回復

9/7 洪水で砂州部の河床地形が大きく変化した(図-9)。また、整備直後に河床表層で分布した細粒土砂と小礫は掃流され、粗粒化が起こった(図-10)。そして、洪水前に一時的に発達していた植生の大部分は、河床の洗掘と堆積によって消失した(図-11)。

a) 植生の発達と洪水による河床変化との関係

祇園試験区を整備した2005年は渇水年であった。旭川では中流の本川条に貯水ダム(旭川ダム)もあるため、9/7 洪水を経験するまでは試験区の冠水はなく、安定した植生発達が可能な状況であった。

9/7 洪水に伴う植生の消失について、洪水前後の河床地形変化(図-9)から判断すれば、試験区上流端(ベルトA)と中央部(ベルトC)は洗掘で、ベルトBは土砂の堆積が原因したと考えられる。しかし、試験区下流付近

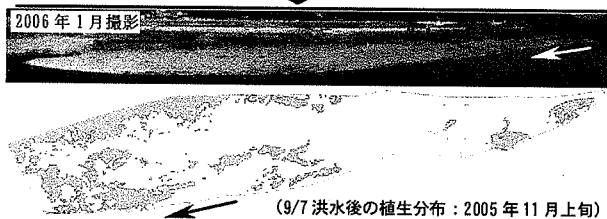
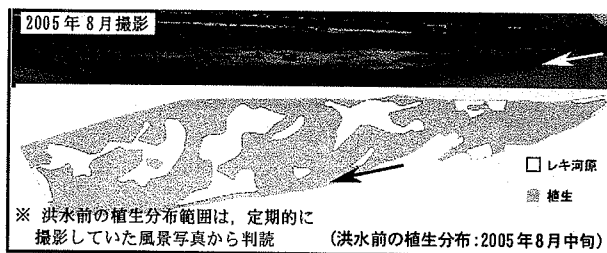


図-11 祇園試験区での9/7洪水に伴う植生分布の変化

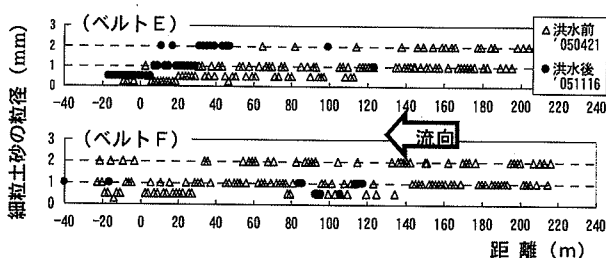


図-12 洪水に伴う表層細粒土砂の堆積場所の変化(祇園)

(ベルトD)では、河床地形の変化が小さいにも関わらず植生が消失した。図-10 に河床表層の礫径の変化を示すが、9/7 洪水で表層河床材料の礫径は平均で18mmから78mmと大きくなった。また、現地で洪水後に残存した植生塊の周囲では植物の根が洗い出されている一方で、植生塊の上には洪水の減衰期により土砂が堆積している状況も確認された。そのような状況から判断すれば、流量増加に伴って、植生が疎な部分から河床の洗掘が進行し、洪水ピークからその後の減衰期にかけて土砂が堆積した過程が推測される。以上から、今回の試験整備は、980m³/s程度(約1回/3年)の洪水によって植生が破壊され得る地形デザインであったと考えられる。さらに、試験区上流の大量の土砂堆積は、植生の発達を抑制する河床変動の回復を予感させ、砂州の切下げがそれを生む引き金となった可能性を示唆させる。

また、9/7 洪水によって河床表層で細粒土砂が堆積する領域が大きく減少した(図-12)。現地調査(ベルトトランセクト)の調査距離から算定すれば、整備直後には全体の91%の河床表層で細粒土砂が分布したが、9/7 洪水後にはそれが19%に減少し、見た目には河床表層で礫しか見えない透礫層エリアが、整備直後に9%であったものが、9/7 洪水後には81%にまで拡大した。ただし、9/7 洪水後の透礫層エリアの93.3%では、礫が鉛直方向に1~2層程度(3~5cm厚)でしか堆積しておらず、完全な植生の発達抑制は難しいが、表層で細粒土砂が分布する河床と比較すれば、相当に植生の発達が抑制される河床に変

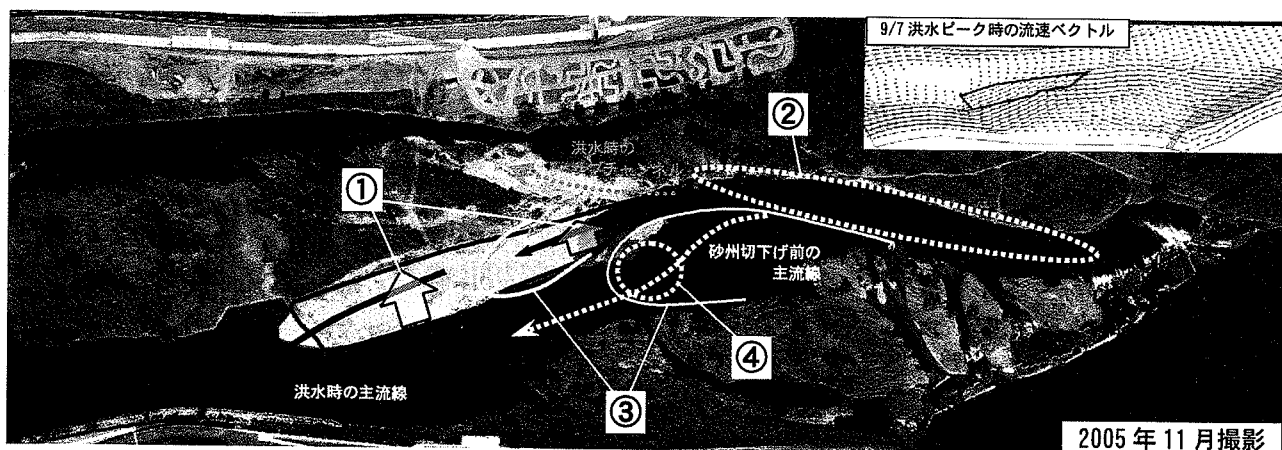


図-13 9/7 洪水に伴う祇園試験周辺の滞筋河床変化の筋書き (想定図)

化したと考えられる。

b) 滞筋部の変化

9/7 洪水後に、滞筋部の地形測量を実施していないため厳密に証明することはできないが、想定外の試験成果として滞筋部の変化がある。地元水産関係者へのヒアリングから、試験区に隣接する滞筋部はかつてアユの産卵場であったとされる。一般的なアユの産卵場は、流速の早い砂利底の浅瀬とされる¹¹⁾。しかし、20 年余り前からの河床低下と、粗粒化（代表粒径で 8cm 程度）によって、10 年余り前からその機能を失っていた。将来的には、滞筋部への土砂投入も検討していたが、試験整備後の 9/7 洪水で、同産卵場とされていた滞筋部を中心に土砂が堆積して水深の浅い早瀬が形成され、河床の礫径は細粒化した。これは、①砂州の切下げ試験によって試験前の狭窄部の高速流の解消と有効流下断面の増大が起き、②そのことが 9/7 洪水のピーク時を中心に試験地上流の河床変動を促し、土砂が供給されたものと推察している。そして、③その土砂供給によって新たな砂州形成が始まり、その一連の河床変化として滞筋部で土砂堆積が起こり、④従前のアーマー化した河床よりも河床粒径が小さくなった、という解釈ができる（以上の①～④の現象が起こった位置を図-13 に示す）。なお、同様の変化が大原試験区でも起こっており（図-14）、砂州の切下げが、動的な砂州形成を生む引き金となり、滞筋部の深掘れ解消に寄与する可能性が示唆される。

祇園の試験整備に伴う上記のような河床の変化は、アユの産卵場機能¹¹⁾の改善にとって良い方向に向かっていると判断される。このことが試験の一時的な効果でなければ、砂州の切下げが、その上流付近の滞筋部を中心とした河岸や河床の固定を解消し、河川環境の自律的な回復を可能にするというシナリオも期待できる。

(3) 攪乱頻度の検討

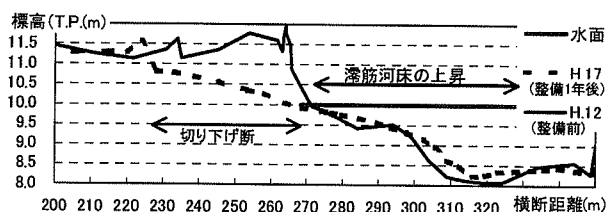


図-14 大原における砂州切下げ後の滞筋部の河床変化

祇園試験区では、必ずしも大きな洪水で洪水作用（せん断応力）が大きくなるとは限らず、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の出水で低水路河床に働くせん断応力が最大となり、それ以上の流量では小さくなる（図-15）。

試験地周辺で優占するツルヨシやオギ等は地下茎で連続して群落を拡大する、また種子を多産し密な根を持つシナダレスズメガヤは、2～3 年もすれば相当に密でまとまった群落を形成して河床を覆う。そのため植物が定着しても洪水で掃流させるには、1 回/2～3 年以上の頻度での攪乱が必要である。旭川においてその頻度で発生する規模の洪水は平均年最大流量（ $1,400\text{m}^3/\text{s}$ ）以下であり、それは低水路満杯流量程度である。低水路内の砂州河岸の侵食と外岸河床の洗掘は、低水路満杯流量規模で最大になることが、既往の研究¹²⁾でも明らかにされている。これは、礫河原の再生に対して大きな洪水を期待して待つよりも現実的であり、持続的礫河原の形成にとって有効な考え方が、本試験によっても実証されたと考えられる。また、図-15 の予測結果が示すように、当該地で $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水が最も河床変動を促すということが事実であれば、例えば上流ダムの洪水調節により、減衰期に $1,000\text{m}^3/\text{s}$ クラスの洪水継続時間を長く持続させることが、本試験のような目的においては有効な施策にもなり得ると考えられる。ちなみに、9/7 洪水での砂州の冠水時間（ $500\text{m}^3/\text{s}$ 以上）の継続時間は 17 時間であった。その期間中において、砂州全体に有効なせん断応力が何時間作用すれば、礫河原の自律的回復に有効であるかについては今後のさらなる検討が必要である。

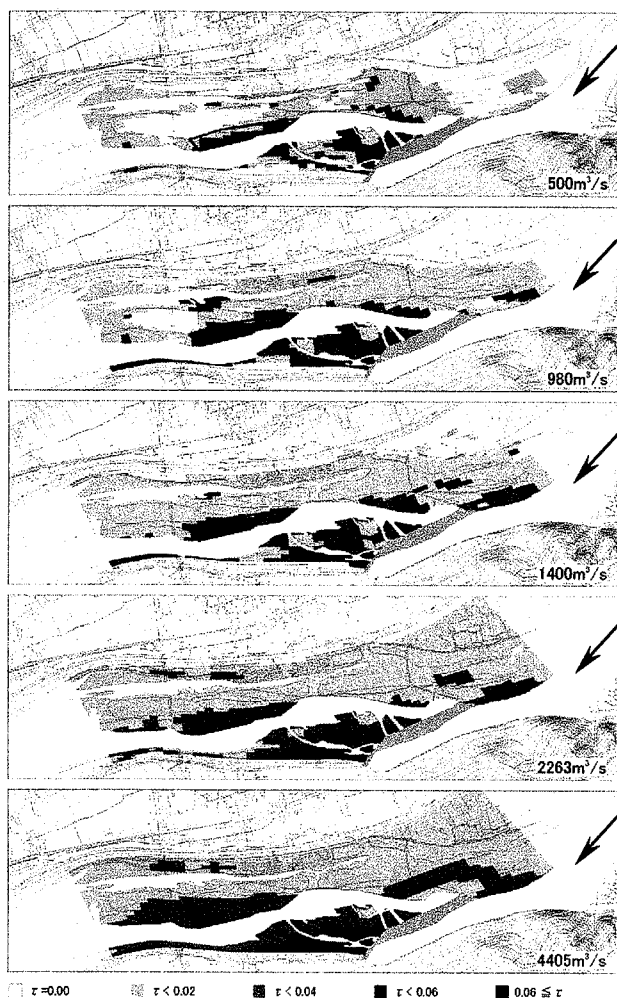


図-15 祇園試験区周辺の流量規模別せん断応力の変化

6. おわりに

以上の試験結果から、切り下げ砂州での植物の漂着と定着の予防に役立つ洪水減衰期の死水域発生の抑制には、平面二次元解析等により事前の確認が有効であることがわかった。また、今後の試験結果に負うところがあるが、礫河原の自立的回復には、砂州の切り下げ高を洪水時のせん断力が 0.04 kN/m^2 以上でかつその頻度は植生が定着する期間である2,3年に1回程度確保することが効果的であることが推定できた。更に砂州の切り下げが試験区だけでなく上流も含めた周辺の河道形状まで変化を引き起こす結果が得られたことから、今後は切り下げに伴う影響範囲を従前より広く設定して予測と検証を行うことがより効果的な研究に有益であることがわかった。

なお、大原での植生の再定着については、数値計算等による事後検証から、死水域の解消には砂州の切り下げが不足していることが示唆されたため、現在その補完整備を計画している。本研究の現地試験も始めてから2年が経過したばかりであり、今後も継続的に経過を追跡していく予定である。

謝辞: 本研究にあたって、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。また、調査・解析では㈱ウエスコの白井宏尚氏、藤原正季氏に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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, 2006.
- 3) 島谷幸宏, 高野匡裕: 多摩川永田地区にお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.
- 4) 萱場祐一, 千葉武生, 力山基: 鬼怒川におけるカワ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.
- 5) 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, 土木史研究講演, Vol.25, pp.423-433, 2005.
- 6) 山本晃一: 沖積河川学, (株)山海堂, 1994.
- 7) 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.
- 8) 渡辺 敏, 藤田光一, 塚原隆夫: 安定した砂礫州における草本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.
- 9) 藤田光一, 李参熙, 渡辺 敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也: 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション, 土木学会論文集 No.747/II-65, pp.41-60, 2003.
- 10) 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.
- 11) (財)リバーフロント整備センター 編: 川の生物図典, (株)平文社, 1996.
- 12) 福岡捷二, 小俣篤, 他: 複断面蛇行河道における洪水流と河床変動, 土木学会論文集 No.621/II-47, pp.11-22, 1995.

(2006. 4. 6受付)