

機関番号：12301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560471

研究課題名（和文）礫床河川における樹林化砂州と低水路の一体的な管理手法に向けた基礎研究

研究課題名（英文）Study on effective measures for management of bars and low water channel in forested gravel-bed rivers

研究代表者

清水 義彦（SHIMIZU YOSHIHIKO）

群馬大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70178995

研究成果の概要（和文）：最近の礫床河川では低水路の河床低下と植生化した砂礫州の比高増大によって河道内樹林化と低水路固定が進み、洪水流量の流下能力阻害や礫州再生等の河道ダイナミズムの低下が生じている。こうした点に鑑み、本研究では砂礫州内部に洪水流を導くことで樹林化を抑制し、砂礫州のフラッシュを通じて横断面内の極端な比高解消を目的とした河道管理手法を提案した。すなわち、渡良瀬川において砂礫州の河床掘削を行い、洪水営力による有意な河床変動を州内部で誘発させた。そしてフィールド調査と水理解析を通じて、河床掘削による洪水攪乱の誘発が河道特性変質を受けた礫床河川における砂州と低水路の管理手法として有効であることを提示した。

研究成果の概要（英文）：Recently, riparian trees in the course of gravel-bed rivers have been very much increasing due to bed degradation in low water channel and increasing of relative height over vegetated gravel bars. Such a situation reduces the capacity of flood discharge. Furthermore, it brings about the degeneration of dynamic river system. This study aims to propose effective measures for reproducing gravel bars and for reducing of extreme relative elevation in cross section by leading flash floods over forested bars. The bed excavation over the vegetated gravel bar in Watarase River was conducted for the restriction of riparian trees and the recovery of gravel bars with geomorphic changes caused by flood disturbance. After experiences of several times of floods, significant bed variation was caused in the excavated area by active sediment transport. As results of the field survey and the numerical hydraulic calculation, it is confirmed that induced flood disturbance due to bed excavation is one of the effective measures for the management of gravel-bed rivers.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：河川水理学，河川工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：礫床河川，河道内樹林化，砂州掘削，低水路，洪水攪乱，河床変動，河道管理

1. 研究開始当初の背景
最近の数十年におけるわが国の礫床河川の

多くでは、低水路の河床低下と横断面内比高差の拡大によって、非冠水や洪水攪乱の微弱

な安定域の拡大、植物の過剰な繁茂と流下能力阻害、低水路の固定化等が生じている。こうした特徴が顕著に現れている利根川水系渡良瀬川、神流川の礫床区間において、研究代表者はこれまで河道内樹林化対策と低水路管理の研究に取り組んできた。しかしながら樹林のほとんどを占めるハリエンジュは丁寧な伐根を行っても礫床内に破断した根茎が残存し、翌年には著しい萌芽し、4,5年で再樹林化が生じている。一方、こうした河川環境の劣化を改善するために、砂州の切り下げ等の掘削を行って、冠水頻度の増加と掃流力の増大をねらった河川管理もなされるようになってきた。しかしながら、それら多くの検討が低水路と隣接する砂州部分の比高を下げ、冠水範囲を広げるものであって、必ずしも有意な洪水かく乱を得ることができない。研究代表者はむしろ安定化した州上での有意な流砂現象を洪水営力より誘発させることが河道のダイナミズムであり、かつ重要であると考えて本研究の着手に至った。

2. 研究の目的

河道内樹林化の進む利根川水系渡良瀬川の礫床区間を対象に実施した砂州や低水路の掘削とその後に生じた出水による洪水攪乱から、樹木消失のメカニズムや出水後の樹木群落の再生・繁茂過程を明らかにする。そして、洪水のダイナミズムを利用した砂州の部分掘削や低水路とつなぐ砂州上の小流路（掘削路）の設置により、再樹林化の抑制、礫河原再生の手法を提案する。さらに、樹林化砂州がもたらす低水路の屈曲化、堤防付近の水衝部形成のメカニズムも考察し、治水問題となる砂州と低水路の関係を明らかにしながら、砂州掘削による洪水営力を用いた洪水攪乱の誘発を樹林化砂州と低水路の一体的な管理手法として提案する。

3. 研究の方法

(1) 出水による河道攪乱状況の調査

- ・洪水痕跡調査
- ・植生の破壊規模調査
- ・河床材料、河床変動調査

(2) 平面2次元流河床変動解析による検討

砂州、低水路の平面形状、また砂州掘削の影響を考慮して、掃流力、移動限界礫径、河床変動と河床粒度構成変化を数値計算から求めた。

(3) 出水後の植生変化のモニタリング調査

洪水攪乱後の地被状態の変化、とくに、草本類の出現および表層細粒分（シルト、細砂）の堆積、またハリエンジュの再生の有無などに焦点をあててモニタリングを実施した。

4. 研究成果

(1) 中州の掘削と洪水かく乱について

渡良瀬川において、河床勾配 1/130 程度の礫床区間の狭窄部下流に位置する砂礫州（中州）の掘削を行った。ここでは低水路が中州によって分岐し、右岸側低水路には中州先端付近から下流にかけて落差の大きな瀬が形成され、このため洪水主流は右岸側を集中して流れて水衝部となっている。横断面では最深河床と中州との最大比高は約 5.0m にもなり、これが中州の冠水頻度、洪水攪乱規模を低下させて恒常的な安定域を生み、ハリエンジュ樹林地が形成されている。低水路は粗粒化が顕著に進み、その河床表層は 20cm~30cm 程度の石で覆われているため、近年進んできた河床低下は停止しているが、河岸侵食や保護工の変形が生じている。掘削の目的は①樹木伐採伐根後の再樹林化の抑制、②礫河原再生、③右岸低水路流れの緩和による水衝部対策、④流下能力の向上である。これらに対し砂州掘削によって洪水流の一部を中州に導き、洪水かく乱を誘発させることでねらった。樹木の伐採伐根を行った後に掘削を行い、掘削路平面形状は幅 40m の長方形で、中州のやや右岸側に配置し、掘削路左右岸側は現状形状を残している。深さは約 1m~1.5m で底面高は右岸側低水路の平常時水面より 2m 程度高い (50.8k 地点)。図 1 に中州掘削範囲を示す。掘削後、2007 年 9 月台風 9 号洪水により中州は中規模な出水 (1000m³/s) を経験した。図 2 は出水中の状況を示す航空写真で (斜線部が掘削路に相当)、掘削路に流水が導かれ、流路化したことが分かる。また、その他の中



図 1 狭窄部下流の中州における掘削範囲

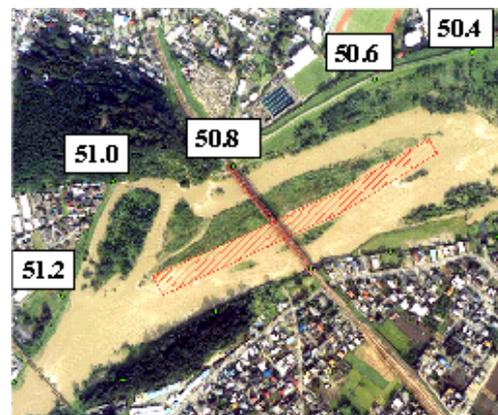


図 2 2007 年 9 月洪水による中州の冠水

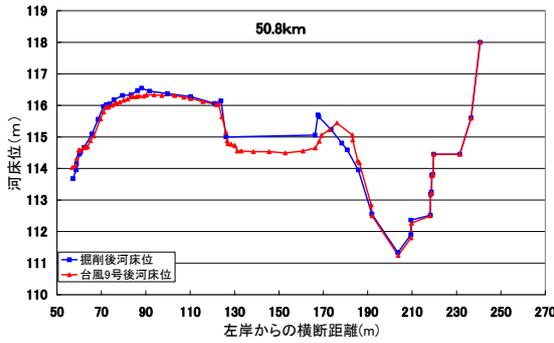


図3 掘削路を含む横断面の河床変動

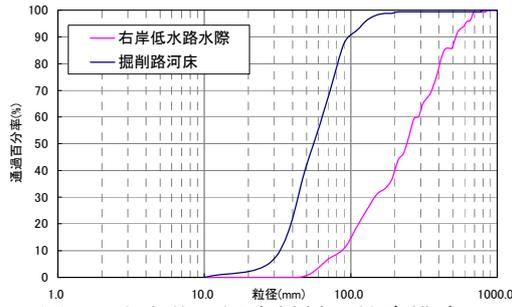


図4 出水後の河床材料の粒度構成



図5 出水約1年後の中州の状況

州の部分は非冠水や冠水しても植物が残存している。図3には出水前後の横断面地形の比較、図4には出水後の低水路と中州上の粒度構成、図5に約1年後の中州の状況を示す。これより、低水路では地形変化が生じていないが、中州掘削路では約0.5mの河床低下が生じている。これは図4に見る粒度構成が関与しており、細粒分が堆積する砂礫州では洪水流の誘導により砂礫の掃き出しによって河床低下となり、その結果横断比高の解消につながる。一方、この出水規模では（生起確率年5年程度）、低水路の粗粒化によって河床攪乱が生じない（図4）。出水1年後までには台風9号規模の出水は経験していないが、掘削路は流路化し、その周辺に裸地河原が再生されている。テンポラリーにはカワヤナギの実生が見られるが定着はしていない。しかし水際にはツルヨシの繁茂が進行している。

(2) 平面2次元河床変動解析による中州掘削の効果検証

平面2次元河床変動計算を用いて、中州の掘削を実施した場合としなかった場合の流況、河床変動の状況を比較し、中州掘削によ

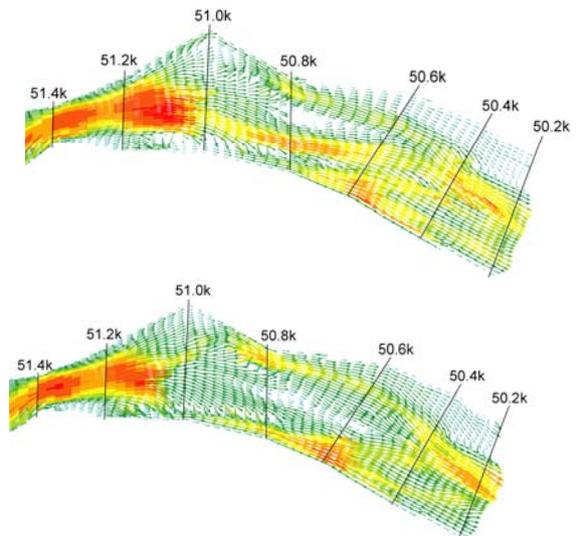


図6 流速コンターの比較（上図；掘削路あり，下図；なし，赤色で5m/s，黄色で3.5m/s）

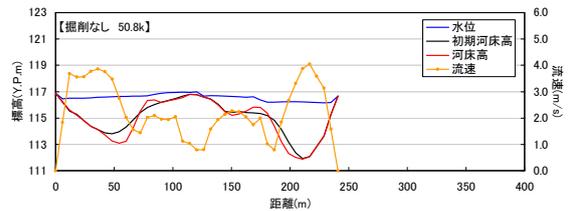
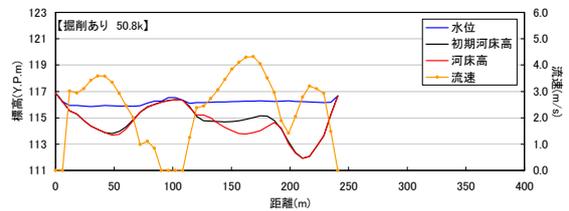


図7 流速の横断分布の比較（上図；掘削路あり，下図；なし）

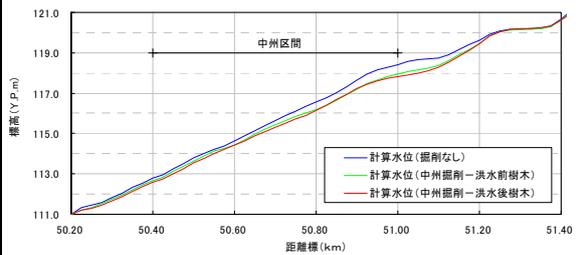


図8 平均水位の縦断分布（ピーク流量時）

る河道攪乱への効果を分析した。計算には、一般座標系の平面2次元河床変動モデルを用い、樹木群の影響（透過係数 $k=36 \text{ m/s}$ ）および混合粒径を考慮した。河床材料は、図4のように低水路部と掘削路床で大きく異なっているため、対象砂州上には掘削路での調査結果を、その他の低水路部には低水路水際での調査結果を与えた。計算期間は、洪水ピーク時を含む15時間とし、流砂量は、掃流砂の

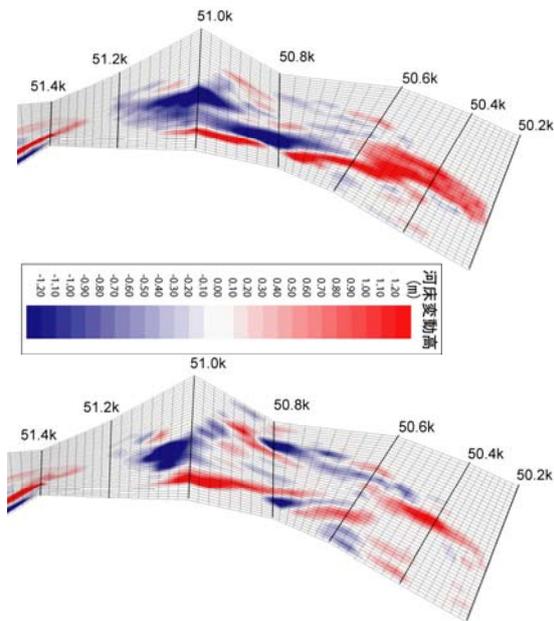


図9 河床変動計算の比較（上図；掘削路あり，下図；なし）

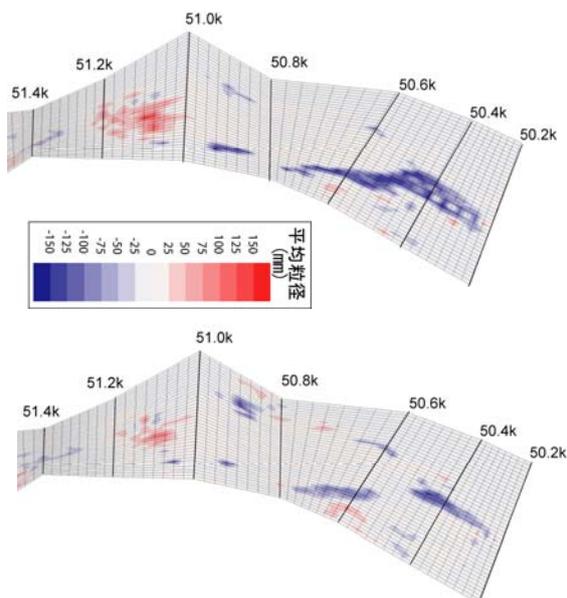


図10 平均粒径（計算値）の比較（上図；掘削路あり，下図；なし）

みを対象として芦田・道上式を用い，上流端からの供給土砂量は調査結果の河床材料から求められる平衡流砂量とした。また，粒度の計算は平野による粒度分布の連続式を用い，深度方向の粒度の履歴を考慮できるモデルとした。

①流況の変化

掘削を実施した場合としなかった場合のピーク流量時の流速ベクトルを図6に示す。また，同時刻の流速の横断分布（50.8k）を図7に示す。これらより，中州の掘削により，洪水が砂州内部へ誘導され，掘削路がセカン

ダリーチャンネル（流量フラックスが第2位となる流路）として機能したことが分かる。砂州上の流速は掘削により約2m/sから約4m/sまで増加し，砂州の両脇のみお筋に生じていた高流速は，左岸では約4m/sから約3.5m/sに，右岸では約4m/sから約3m/sに緩和されている。図8は掘削有り無しで計算した横断面内での平均水位の縦断形を比較したものである。中州の掘削により最大60cm程度の水位低下が生じている（51.0k付近）。これより，中州の一部掘削は洪水の誘導と同時に，樹木伐採効果を含めて水位低下に対する効果も有している。

②河床攪乱の効果

洪水ピーク6時間後の河床変動コンターを図9に示す。掘削を実施した場合，掘削路での河床低下が進行するとともに，砂州下流において堆積が進行している。掘削しない場合も砂州下流での堆積は生じているが，その範囲は狭い。次に，河床材料の変化状況から，砂州下流に堆積した土砂の起源を分析した。砂州上の河床材料は低水路に比べて細かい構成となっているため，堆積範囲の河床材料が洪水前より細かくなっていれば，砂州上で洗掘された土砂が堆積したと見なすことが出来る。平均粒径の変化量のコンターを図10に示す。砂州下流の堆積範囲の河床材料は洪水後細粒化する結果となり，砂州下流の堆積土砂は，砂州上の洗掘土砂が起源と考えられる。一方，砂州の上流端（51.0k～51.2k付近）では河床低下とともに粗粒化が生じ，砂州の河床低下と同時に上流から粗粒径の土砂が供給されたものと考えられる。

(3)中州掘削による効果評価

以上より，中州掘削の効果として以下の項目が評価できた。

- ・中州を一部掘削することにより，洪水が中州内部に誘導され，掘削路がセカンダリーチャンネルとして機能するようになる。これにより再樹林化の抑制と礫床再生が認められた。
- ・掘削路が流路として機能することにより，流量分担によって低水路部の高流速（水衝部）が緩和される。
- ・中州の掘削と洪水による掘削路の洗掘（河床低下）により河積が増大し，縦断的な水位低下が期待できる。
- ・中州上の砂礫分が低水路に供給されることで，中州の河床低下から横断比高の解消が期待できる。また，低水路への供給砂礫によって河道内土砂の再移動が期待できる。

(4)小規模掘削路による効果評価

前述した中州の掘削よりも小規模な砂州掘削によって，樹林化対策や比高解消に対する効果が得られるかを検討した。図11に示すように，50.1kから49.6k上流までの左岸

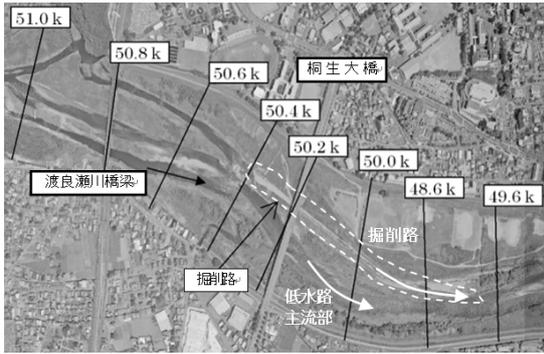


図 11 小規模掘削路の設置



図 12 小規模掘削路による砂州への洪水誘導



図 13 出水前後の掘削路の比較

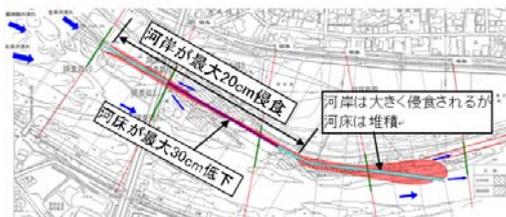


図 14 出水後の掘削路地形変化の概要

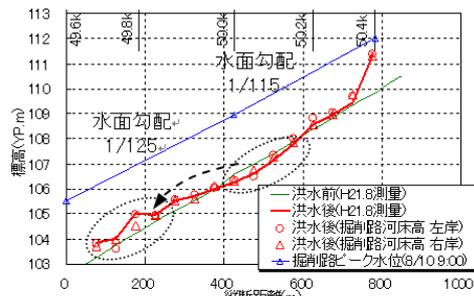


図 15 出水後の掘削路縦断河床地形の変化

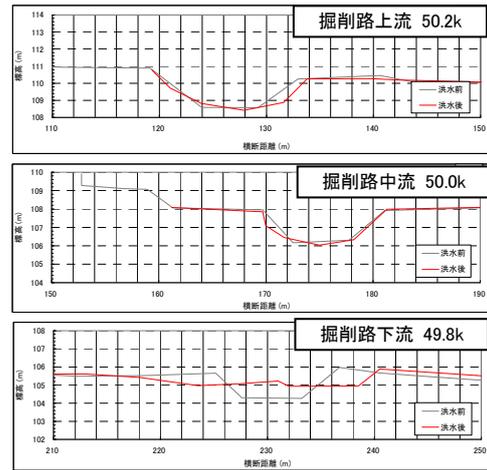


図 16 掘削路横断面形状の比較

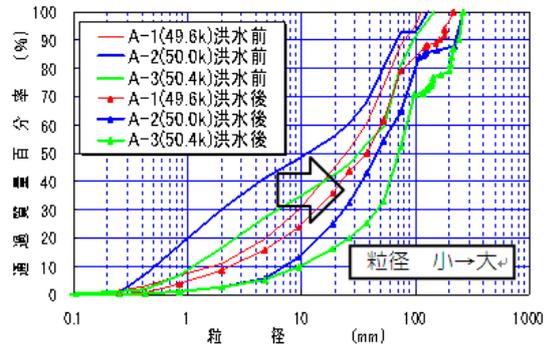


図 17 掘削路の粒度構成の変化

砂州内に、幅 5m、延長 675m、深さ 2.7~2.9m、河床勾配 1/110 の掘削路を 2009 年 3 月までに設けた（以下、桐生大橋掘削路と呼ぶ）。掘削路表層の河床材料は 60% 粒径で 26mm 程度であり、ハリエンジュなどの樹木が多く繁茂する箇所であったが、伐採伐根した後、掘削路を設置した。2009 年 8 月 10 日台風 9 号による出水により桐生大橋掘削路にも洪水流の一部が誘導され、掘削路に速い流れが生じた。出水中の状況を図 12 に、出水前後の状況を図 13 に示す。流量規模は桐生大橋地点では約 $530\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水規模で、平均年最大流量よりやや小さい規模の出水であった。水位については 50.0k 付近で左岸の高水敷（グラウンド）には達しないものの、掘削路の河岸肩から約 1m の水深が発生する程度まで上昇した。図 14 に出水後の掘削路周辺の地形変化の概要を、図 15 にその縦断河床地形の変化を示す。掘削路では縦断距離 400m~500m にかけて河床低下し、その下流から掘削路末端にかけて河床上昇しており（堆積開始箇所は平面的に掘削路が本川に近づき、水位が高いときには流れが合流し始める箇所であり、湾曲部の内岸側にもあたることから、この箇所掘削路上流側よりも流速が低下して堆積がしたものと推測される）、流砂現象が見られるとともに、掘削路での河岸侵

食も生じた。下流側の 49.8k 付近では左岸側の掘削路面が崩れており (図 16), 土砂堆積とともに流れが一部蛇行したような痕跡が確認された。横断形状では, 図 16 に示すとおり, 掘削路の中・上流部では左右岸に最大 20cm 程度の側方侵食が確認された。全体的に両岸が連続的に侵食されているが, 50.2k では右岸, 50.0k では左岸側の侵食が顕著であり, 直線水路に近い掘削路に蛇行的な流れが生じようとしていることが確認される。下流側の 49.8k では, 河岸は侵食され, 掘削路の水路幅は 2 倍程度に大きく広がっているが, 上流側で侵食された土砂が堆積し, 河床高が 70cm 程度上昇している。河床材料について, 洪水前後の掘削路河床の粒度分布を図 17 に示す。掘削路の粒径は全ての地点において粗粒化しており, 60%粒径で出水前が 25~55mm 程度であったのに対し, 出水後は 50~85mm 程度となった。とくに 10mm 以下の細粒分が多く流出し, 植物繁茂の物理基盤の消失によって, 草本侵入を抑制させている。

(5) 研究の総括

洪水のダイナミズムを利用した砂州の部分掘削や低水路とつなぐ砂州上の小流路 (掘削路) の設置により, 次の内容が効果として認められた。

- ・樹木伐採伐根後の再樹林化の抑制
- ・樹林化砂州上の礫床再生
- ・水衝部における低水路流れの緩和
- ・流下能力の向上
- ・砂礫州の河床低下に伴う横断比高の低減
- ・低水路への砂礫供給

砂州内で河床変動が生じるキーポイントは河床材料の粒度構成にある。これは粗粒化に伴い鈍化して行くが, 報告したように流れの蛇行化によって掘削路内での河岸侵食が誘発される場合があり, 掘削路による地形の攪乱が期待できる。以上から, 砂州掘削による洪水営力を用いた洪水攪乱の誘発が樹林化砂州と低水路の一体的な管理にとって有効な手法であることが提示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 松田浩一, 内堀寿美男, 清水義彦, 石原正義, 藤堂正樹, 固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究, 土木学会水工学委員会・河川技術論文集, 査読有, 第 16 巻, 2010, 235-240.
- ② Yoshihiko SHIMIZU, Forestation in gravel-bed rivers and an attempt of its controlling, Annual Jour. of Hydraulic

Eng., reviewed paper, Vol. 54, 2010, K5-K8.

- ③ 岩見収二, 清水義彦, 低水路管理における中州掘削の有効性とその留意点について, 土木学会水工学委員会・河川技術論文集, 査読有, 第 15 巻, 2009, 279-284.

- ④ 岩見収二・清水義彦, 洪水攪乱誘発に対する中州掘削と河床材料の効果, 土木学会水工学委員会・水工学論文集, 査読有, 第 53 巻, 2009, 601-696.

- ⑤ 清水義彦・岩見収二・石川陽介・佐藤文泰・磯田忠生・遠藤武志, 洪水攪乱の誘発を目的とした中州掘削工事の効果評価とその考察, 土木学会水工学委員会・河川技術論文集, 査読有, 第 14 巻, 2008, 169-174.

[学会発表] (計 7 件)

- ① 清水義彦, 河川の植生化とその制御 - 移動床水理が果たす今後の展開から -, 土木学会水工学委員会・基礎水理シンポジウム, 2009. 12. 21, 土木学会講堂 (東京都)

- ② 清水義彦, 礫床河川の植生化とその制御 (河床形状, 河川地形, 洪水かく乱の観点から), 土木学会水工学委員会・海岸工学委員会, 水工学夏期研修会, 2008. 8. 6, 東京大学本郷キャンパス.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 義彦 (SHIMIZU YOSHIHIKO)
群馬大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 70178995

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

- ・岩見 収二 (IWAMI SHUJI), 群馬大学・大学院工学研究科博士後期課程
- ・石川 陽介 (ISHIKAWA YOUSUKE), 群馬大学・大学院工学研究科博士前期課程
- ・松田 浩一 (MATSUDA KOUICHI), パシフィックコンサルタンツ (株) 河川部
- ・須藤 達美 (SUTOH TATSUMI), パシフィックコンサルタンツ (株) 河川部
- ・内堀 寿美男 (UCHIBORI SUMIO), 国土交通省渡良瀬川河川事務所調査課
- ・大島 秀則 (OUSHIMA HIDENORI), 国土交通省渡良瀬川河川事務所調査課