

# 鬼怒川中流部における礫河原再生について（中間報告）

Restoration of gravel beds in the middle reaches of the Kinu River (interim report)

研究第二部 主任研究員 増子 輝明  
研究第二部 次 長 前村 良雄

鬼怒川中流部では、戦後、河川整備が進められ、河川全体の治水安全度は飛躍的に向上した。しかしながら、土砂供給量の減少や砂利採取の影響によって、かつての網状または複列流路の蛇行区間が減少するなど流路の単列化が進行し、陸地化した砂礫砂州では冠水頻度（攪乱頻度）の減少や外来植物であるシナダレスズメガヤの侵入・繁茂が進行し鬼怒川らしい広大な礫河原が失われつつある。

さらに、礫河原の減少によって礫河原固有生物の生育・生息環境の変化が著しく、特にカワラノギク（環境省レッドリスト：絶滅危惧IB類）等の礫河原に生育する植物が絶滅の危機に瀕している。

本研究は、鬼怒川本来の礫河原固有生物の生息・生育に適した礫河原の再生を目的としており、本報告では大礫堆と2列蛇行に関する機能を利用した礫河原再生計画の概要を述べ、平成19年度に実施した礫河原再生モデル地区におけるモニタリング結果および、その結果を踏まえた今後の取り組みについて報告するものである。

キーワード：鬼怒川、礫河原再生計画、試験施工、モニタリング、大礫堆、礫河原固有生物、外来植物

The post-war river improvement projects in the middle reaches of the Kinu River has dramatically enhanced the flood safety level of the entire river. Because of the decreases in the quantity of sediment supplied from upstream sources and of gravel extraction, however, the river channel has been simplified as meandering sections with braided bars or multiple-row bars have decreased. Consequently, in the sand bars that have become part of the land, submergence frequency (disturbance frequency) has decreased, and the vast expanses of gravel beds characteristic of the Kinu River are being lost because of the invasion and growth of *Eragrostis curvula*, an exotic plant species. In addition, the ongoing decline of gravel beds is causing drastic changes in the habitats of gravel bed dependent organisms. Among such endangered species, a number of plant species growing on the gravel beds including *Aster kantoensis* (categorized as IB, endangered, in the Ministry of the Environment's Red List) are on the brink of extinction.

The purpose of this study is to restore gravel beds suitable for the growth of gravel bed-inhabiting species native to the Kinu River. This paper outlines a gravel bed restoration plan that makes use of functions related to large gravel bar formation and double meandering and reports on the results of monitoring conducted in 2007 in the gravel bed restoration model areas and on the measures to be taken in the coming years adopted according to the monitoring results.

*Key Words : Kinu River, gravel bar restoration plan, test construction, monitoring, large gravel bar, gravel bed dependent organism, exotic plant*

## 1. はじめに

鬼怒川中流部では、昭和30年代以前は、大礫や巨石を含む広大な礫河原が存在し、そこには礫河原固有の生物（カワラバッタやカワラノギク等）が生息・生育する全国でも希少な礫河原環境を有していた。戦後、鬼怒川では河川整備を進められ、河川全体の治水安全度は飛躍的に向上した。しかしながら、最近では局所的な河床低下や河岸侵食等の治水上の問題が生じており、さらに砂礫砂州の陸地化が進行するなど河相が大きく変化した。また、外来植物シナダレスズメガヤの侵入による礫河原固有生物の生育・生息環境の変化が著しく、特にカワラノギク（環境省レッドリスト：絶滅危惧IB類）等の礫河原に生育する植物が絶滅の危機に陥っている。

このような背景から、鬼怒川本来の礫河原固有生物の生息・生育に適した礫河原の再生について、有効な技術の知見を得るために、平成14年度から検討を行っている。平成17年度では、大礫堆と2列蛇行に関する機能を利用した礫河原の持続性・河道安定性について検討を行った。平成18年度からは技術検証を目的に、鬼怒川押上地区（95k～97k）にて試験施工を行い、その後モニタリングを通して検証を行っている。

本研究は、大礫堆と2列蛇行に関する機能を利用した礫河原再生計画の概要を述べ、平成19年度に実施した礫河原再生モデル地区におけるモニタリング結果および、その結果を踏まえた今後の取り組みについて報告するものである。

## 2. 鬼怒川中流部の課題

鬼怒川中流部の流路は、戦前では網状もしくは複列蛇行形状を呈していたが、戦後復興や高度成長期にお

ける築堤整備や砂利採取、上流からの土砂供給の減少などにより流路が単列蛇行に移行し、さらに、護岸前面の滲筋の固定化が進行している。（図-1、写真-1）

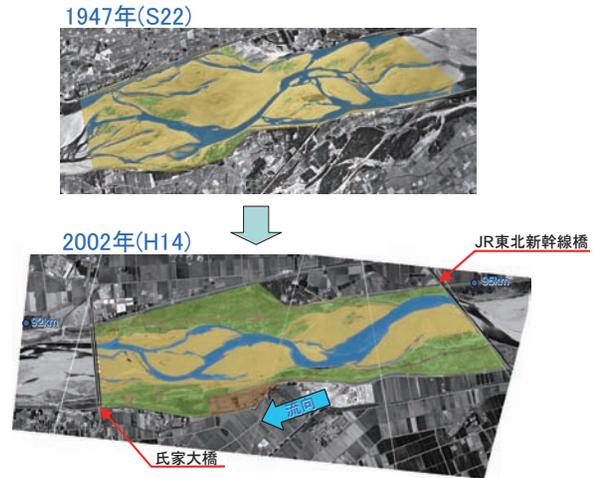


写真-1 鬼怒川中流部における流路の変化 (92k～94k)

図-2にはS40とH13の横断形状の変化を示したが、低水護岸施工による滲筋の呼び込みによって護岸前面に洗掘が発生し、約5m深掘れが生じていることがわかる。この護岸前面の局所洗掘は中流部の全区間を通して点在しており、構造物の安定性が低下していると共に流路の鮮明化・単列化の増長を招いている。

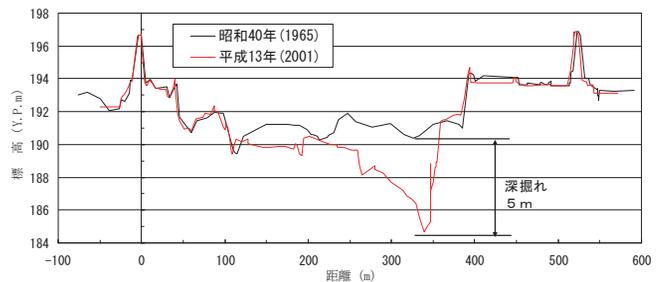


図-2 河道断面形状の変化 (鬼怒川95.5k)

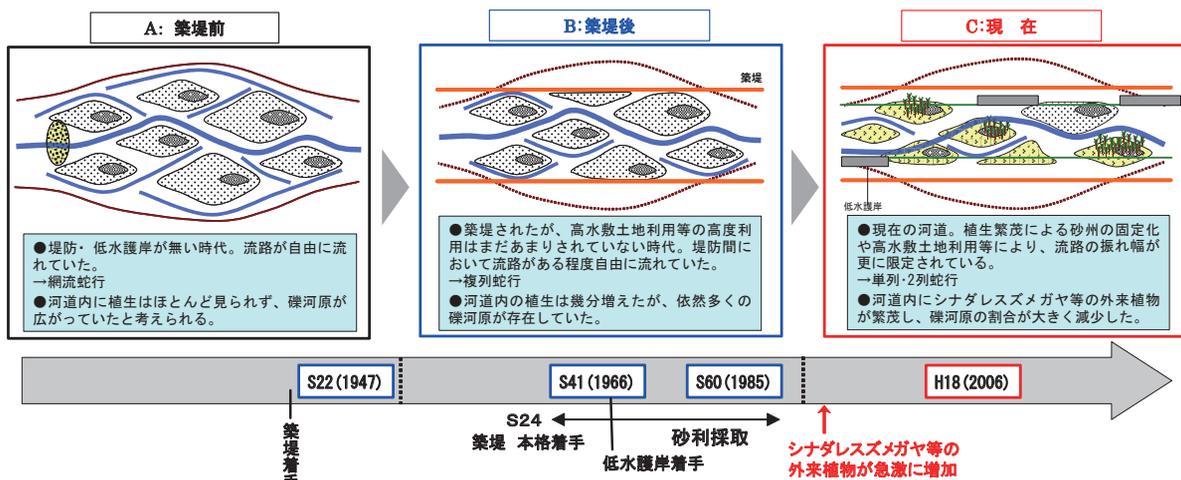


図-1 鬼怒川における河道形状の経年変化のイメージ

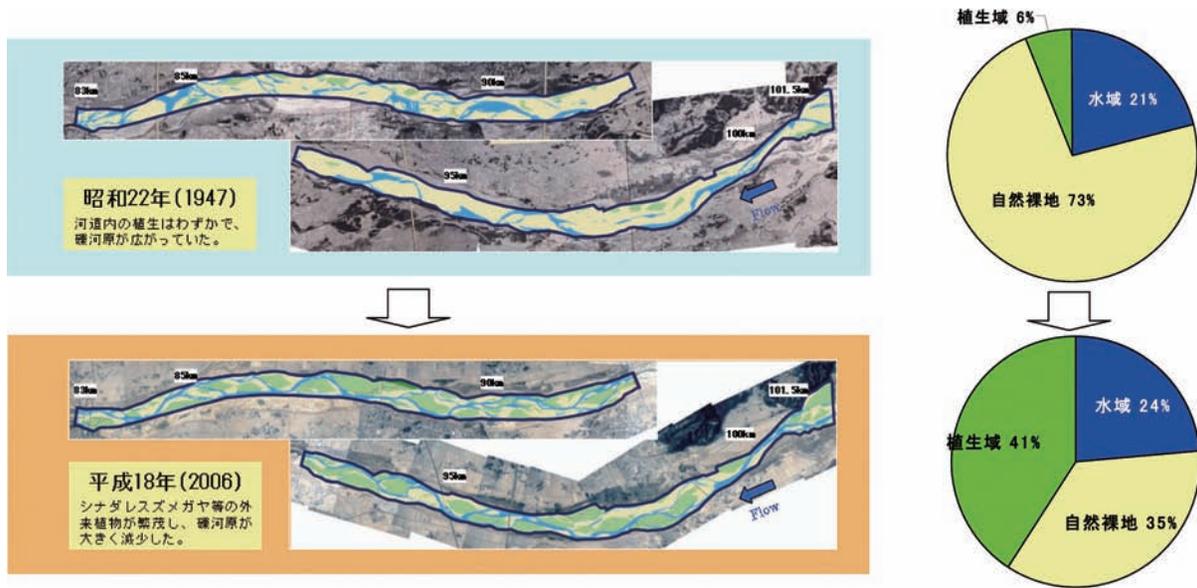


図-3 航空写真から見た植生の変化

図-3に、鬼怒川中流部における昭和22年と平成18年の河道内地目(植生域、自然裸地)を示した。

河床低下による水面との比高差の増大、砂州の陸地化により、昭和22年当時、河道内の70%存在した自然裸地(礫河原)は、平成18年では約半分が植生域へと変化している。

さらに、外来植物シナダレスズメガヤの侵入・繁茂等によって、平成8年には約10万株が生育していたカワラノギクが、その後5年間でほとんどが消失し、わずか110株程度1) となってしまったことに見られるように、礫河原固有生物の減少、及びこれらの生育場の減少により鬼怒川本来の礫河原固有の生態系が失われつつある。(図-4参照)

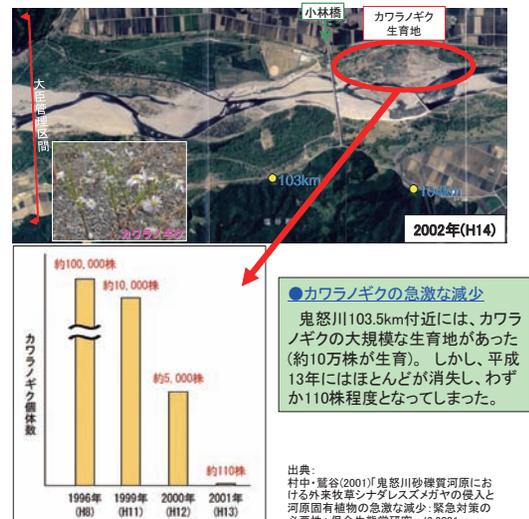


図-4(2) 鬼怒川におけるカワラノギクの経年変化

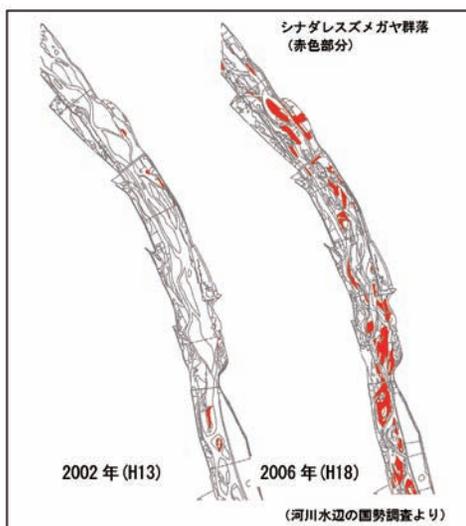


図-4(1) 鬼怒川におけるシナダレスズメガヤ群落の変化

### 3. 礫河原再生計画の概要

#### 3-1 礫河原再生の目標

以上のように、近年の鬼怒川では砂礫砂州の比高差の増大、流路の単列化が進み、その結果、洪水が生起しても冠水しない場所が存在し陸地化が急速に進行している。陸地化の進行は、攪乱頻度の低下によって表層に細粒分が溜まりシナダレスズメガヤなど外来植物の繁茂に適した環境となり礫河原の喪失につながる。

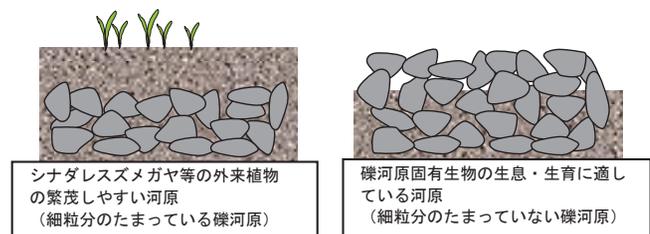


図-5 表層の状況

したがって、本検討における鬼怒川中流部の再生する望ましい姿としては、現状の課題を踏まえ、次のとおりとした。

- ・大礫堆のある安定した礫河原
- ・カワラノギクやシルビアシジミ等の礫河原固有生物の生息・生育に適した礫河原のある環境
- ・シナダレスズメガヤ等の外来植物が繁茂していない環境

※「大礫堆」については、3-2参照。

### 3-2 2列蛇行再生の基本的仕組み

築堤以前の鬼怒川では、発散・収束の河道地形が見られ、これは大礫径（巨石、玉石）の集合が直接関与している。すなわち大礫を含む混合粒径河道では、収束部での巨石や玉石等の大礫の集積部を介して河道幅が発散・収束を繰り返し、その中で複数の流路が蛇行するのを特徴としている（写真-2）。類似河川としては、鬼怒川の他に渡良瀬川・多摩川・神通川・相模川等が挙げられる。

上述の発散・収束の河道形態を模式的に表したものが図-6(1)である。混合粒径の砂礫河川を縦断的に見ると大礫の集積部（大礫堆<sup>\*</sup>）が処々に存在する。大礫堆の安定性が高い場所（横筋大礫帯）では、ステップ状の縦断地形が形成され、その上流側では河道幅が発散し下流側では収束するという、発散・収束の平面地形が形成されている。<sup>2)</sup>

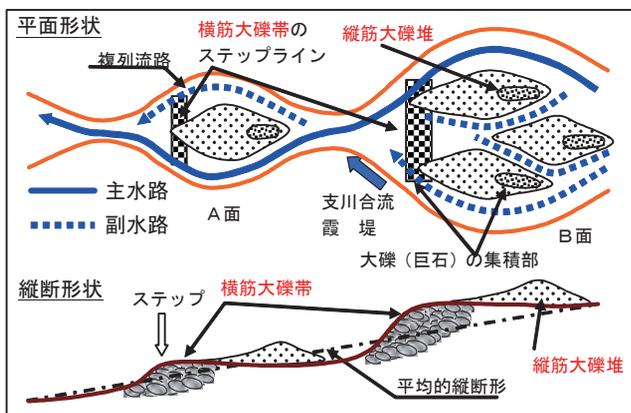


図-6(1) 大礫堆と発散・収束河道の概念図（築堤以前）

※ 発散面では大流量時等の高速流は、射流の場合が多く直進性を有することから河道中央部を流下する。このときのみ巨石等の大礫は流れによって輸送される（中小洪水には限界流速以下となる）ため、河道中央部に縦断方向に大礫堆が形成される。これを縦筋大礫堆と称している。

※ 比較的土砂量が少なく大礫を多く含む混合粒径河川では、ステップを形成する。この大礫（巨石・玉石等）の集合帯を横筋大礫帯と称している。

築堤後の河道では、堤防や護岸により流路変動幅が制限され、発散・収束河道の地形は見ることはできなくなったが、砂礫砂州を挟む2列蛇行は維持されており、一見複雑な複列流路も実のところは、縦筋大礫堆による分流があり、横筋大礫帯による流路の合流があるなど、規則性を持っている。（図-6(2)）

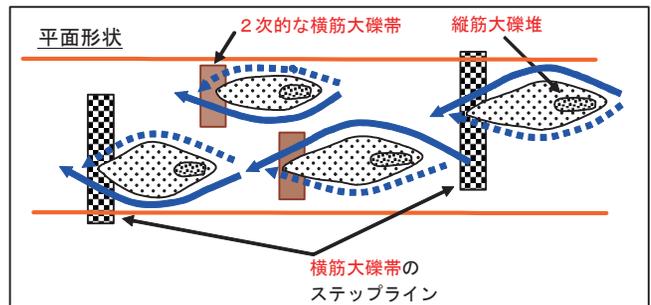


図-6(2) 大礫堆と発散・収束河道の概念図（築堤以後）

本検討では縦筋大礫堆による2列蛇行の機能に着目し、それを礫河原再生に反映することを検討した。

- 図-6(2)に示した縦筋大礫堆による分流効果を促進することによって、流路の単列化の進行を防ぎ、砂礫砂州の比高差増大の抑制を図った。
- 砂州切下げにより冠水頻度の増大を促し適度な冠水による礫河原環境を持続させることとした。
- 2列蛇行の再生では、縦筋大礫堆による分流効果によって鋭角な水衝流（クランクフロー）の発生を抑制できるなど河岸沿い流速の低減効果もある。

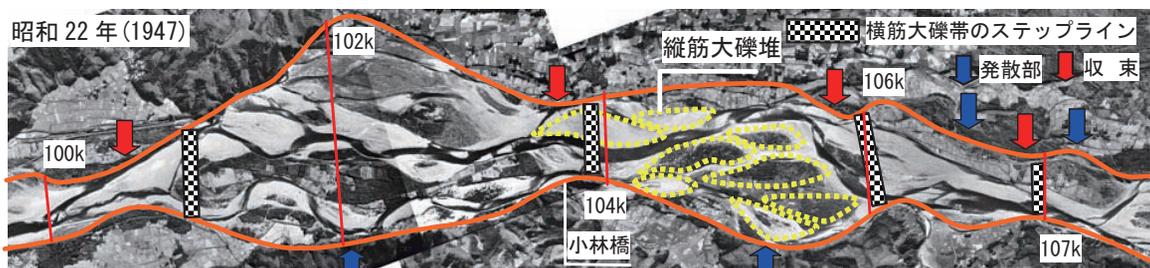


写真-2 鬼怒川の発散・収束河道（築堤以前（昭和22年）河道）

### 3-3 礫河原再生の試験施工の概要

礫河原再生の技術的知見の蓄積を行うことを目的に、再生モデル地区を選定し試験施工を実施した。

表-1は、試験施工の基本方針として、鬼怒川中流部における課題と、その対応方策および仮定した“期待される効果”を整理したものである。

表-1 試験施工の考え方

課題	対応方策	期待される効果
・縦筋大礫堆の消失	・縦筋大礫堆の復元	・単列流路から複列流路へ
・複列流路から単列流路への変化	・旧水路の掘削	・護岸への負担の軽減
・冠水（攪乱）頻度の減少	・砂州の掘削・整正	・冠水・攪乱頻度の増加 （0.6～2回/年→2～5回/年）
・樹林化、外来植物の繁茂		・外来植物の生育抑制

再生モデル地区としては、大礫堆の規模・安定性が鬼怒川の中でも比較的大きく、試験施工の結果が発現しやすい、東北自動車道地区（鬼怒川95.0k～97.0k）を選定した。（写真-3）



写真-3 再生モデル地区（東北自動車道地区）

具体的には、図-7に示したように人為的に大礫堆を造成し、これによる分流点の安定化を図り、合流点は横筋大礫帯のステップ状の縦断地形を利用して安定化を図った。また、分流点と合流点の安定化を図ることで砂礫砂州に適度な冠水頻度を持たせる。人為的にコントロールすることは最小限に抑え、自然の営力を極力利用して、礫河原環境を持続させることを試みた。

以下には、図-7の段階毎の説明を述べる。

#### ① 施工前

旧水路跡が存在し、かつて2列流路であったと判断できるが、現在は右岸に流路が固定化しており、護岸前面の深掘れが著しく根固ブロックが倒壊していた。（写真-4（1））



写真-4（1） 施工地区右岸の河岸状況

写真-4（2）は、旧水路跡を下流から見たものだが、陸地化した砂州上にはヤナギやハリエンジュなどの樹林が見られ、水路内には細粒分が堆積しシナダレスズメガヤの繁茂が著しい。



写真-4（2） 施工地区（旧水路）

#### ② 施工後

「縦筋大礫堆の復元」、「旧水路の掘削」、「砂州の掘削・整正」を行い、2列流路の安定化および砂礫砂州の冠水・攪乱頻度の増大を図った。（見かけ上の礫河原の増加）

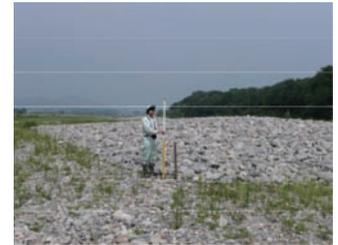


写真-5 施工した縦筋大礫堆

#### ③ 洪水の発生

2～5回/年（佐貫（下） $Q=600\text{m}^3/\text{s}$ ）の洪水が発生し、縦筋大礫堆によって分流が生じるとともに、砂州が冠水し攪乱が生じる。これによって、細粒分がフラッシュされる。

#### ④ 洪水を繰り返す

洪水による冠水・攪乱を繰り返して、2列流路、礫河原が維持される。また、表層の大礫が更新されることによって、自然の状態に近い礫河原が形成・維持される。

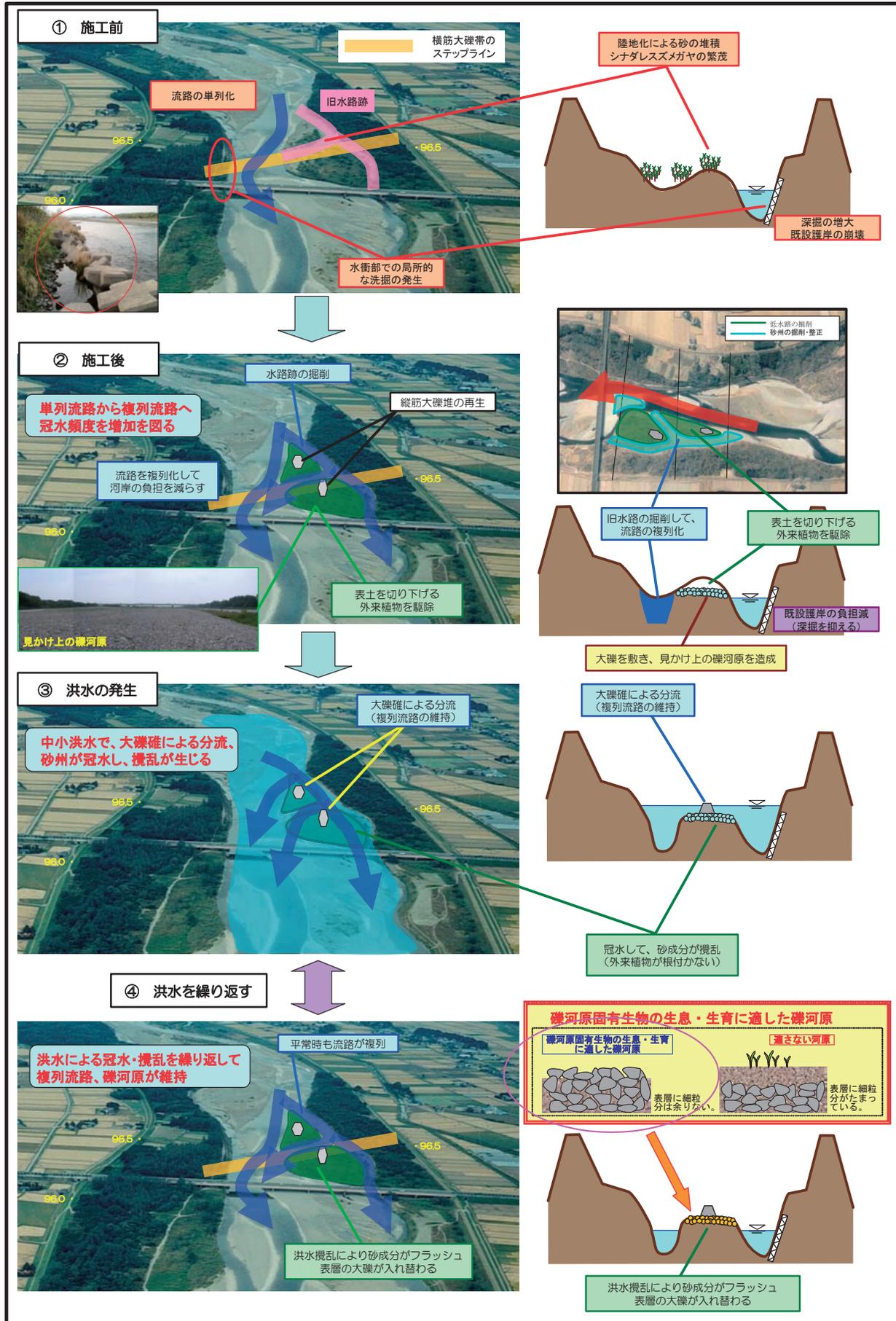


図-7 礫河原再生(試験施工)の概要

## 4. 平成 19 年 9 月出水における検証

### 4-1 H19.9出水の概要

平成19年3月に現地における現地施工が完了した後、同年9月に台風9号が接近し、鬼怒川上流の川俣雨量観測所で累積雨量412mmを記録した。同出水は過去25年間の最高水位と比較すると、佐貫(下)地点では2番目( $Q=2,600\text{m}^3/\text{s}$ )となっており、大規模な出水であった。なお、本実験における砂礫砂州の切り下げ高は、洪水規模は2~5回/年(佐貫(下) $Q=600\text{m}^3/\text{s}$ )を想定している。

出水のピーク時には大礫堆天端付近を流下し、大礫堆による分流は確認された。

また、洪水減水期に試験施工地区の上流左岸(97k左岸)にて河岸侵食が発生した。(A=20,000 $\text{m}^3$ , L=300m)このため、2列流路形状とするよう掘削した大礫堆の分流点に、大量に流失土砂が堆積し、左岸水路(新設)への流下が遮断された。

### 4-2 モニタリング調査内容

試験施工では、鬼怒川本来が有する河道形態に近づけるため、初の試みとして、大礫堆の復元を行い、複列蛇行の安定化、さらに、冠水・攪乱頻度を増加させることによって礫河原の再生を図った。<sup>3)</sup>

試験施工後に発生したH19.9出水後では、礫河原の変化状況を把握するため、下記に示すモニタリング調査を行った。(物理項目モニタリング)

- |               |                          |
|---------------|--------------------------|
| ① 洪水流の非正常性を確認 | → 「水位観測」                 |
| ② 大礫の挙動形態を把握  | → 「大礫の追跡調査」              |
| ③ 洪水流の土砂動態を把握 | → 「流砂量調査」<br>(リング法、河床材料) |

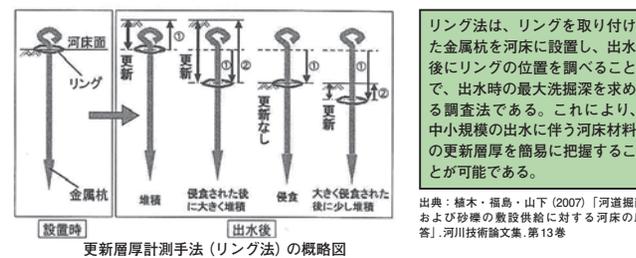


図-8 更新層厚調査(リング調査)

また、「礫河原固有種の生息・生育に適した環境の再生(礫河原の再生)」を確認するため、以下に対して調査を実施することとした。(生物項目モニタリング)

- 礫河原固有生物(植物、陸上昆虫)の分布状況
- 侵略性の高い外来植物(シナダレスズメガヤなどの)の分布状況
- 礫河原固有生物の生息・生育環境の把握(ハビタット調査)

### 4-3 モニタリング評価(物理項目)

#### (1) 大礫堆周辺の状況

試験施工地区上流の河岸侵食により土砂が流出し、減水期に大礫堆Aの分流部に堆積した。このため、掘削水路(旧水路跡)の閉塞が生じた。

写真-6に示すように、出水後の調査では、近傍に在った大礫( $d\approx 1.4\text{m}$ )の移動は見られなかったが、土砂が1m程度堆積していた。

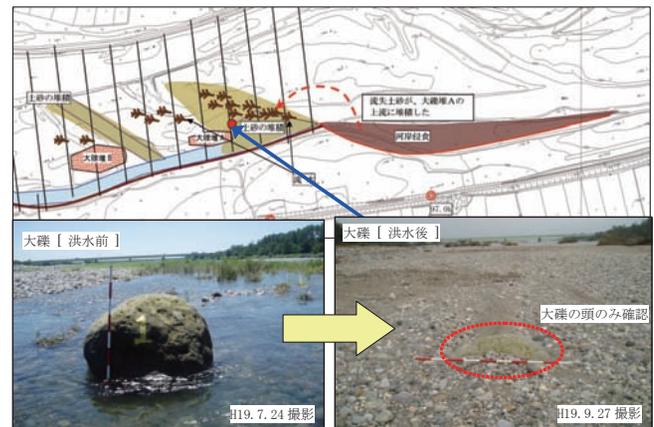


写真-6 出水後の大礫堆周辺

写真-7には、河岸侵食が発生した同時刻の大礫堆Aの流下状況を示したが、大礫堆の天端は確認され、また出水後にその形状には変化は認められず、分流施設として、その安定は確認された。



写真-7 出水時の大礫堆の状況

#### (2) 大礫堆による分流効果

今回の出水は規模が大きく(佐貫下 $Q=2,600\text{m}^3/\text{s}$ )大礫堆天端付近まで冠水していたが、水理解析による再現結果から流速ベクトルを見ると大礫堆Aによる分流が見られた。また、大礫堆Bでも大礫堆Aほどの明瞭な分流は見られないが、若干の分流は見られた。(図-9参照)

この大礫堆による分流効果は、計画段階から予測しており、水理解析による再現から分流効果は確認された。したがって、期待される効果である“大礫堆による分流効果”は、今回の洪水(H19.9洪水)で検証することができ、2列流路の安定化は期待できるものと判断できる。

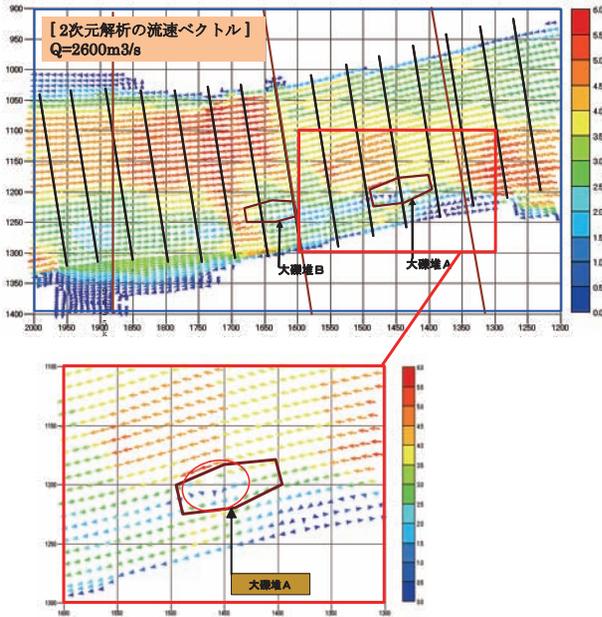


図-9 水理解析による大礫堆の分流効果

(3) 大礫の挙動形態・土砂動態

リング法による洪水時の更新層厚、最大洗掘深の調査結果から洗掘深と堆積深の関係を図-10に示した。

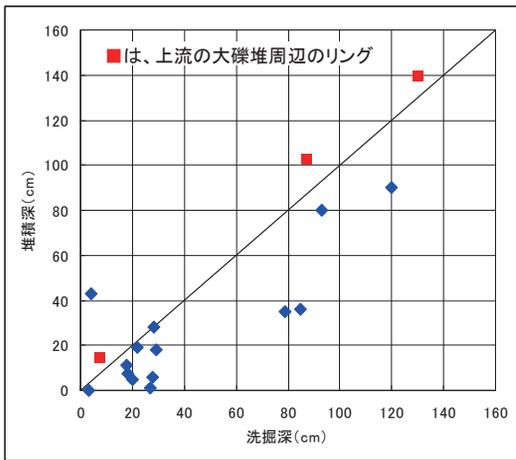


図-10 洗掘深と堆積深の関係

結果を見ると(洗掘深) > (堆積深)であり、上流大礫堆周辺への土砂堆積を除けば、全般的に侵食傾向にある。なお、洗掘深は平均45cm(最大130cm)であり、更新層厚の平均は37cmであった。

鬼怒川の場合、側方侵食による土砂流出はあるものの、上流からの供給土砂は小さいものと考えられ、流送土砂量は少なく河床の低下傾向が伺える。

大礫の挙動については、河道内の大礫を現地にランダムに配置し、出水前後の移動状況を計測した。

礫の初期配置は、図-11(1)に示すように設置箇所別に着色を行った。

図-11(2)に洪水後の礫移動距離と、その礫径の関係を示した。なお、河床以深に埋没した礫は欠測している。

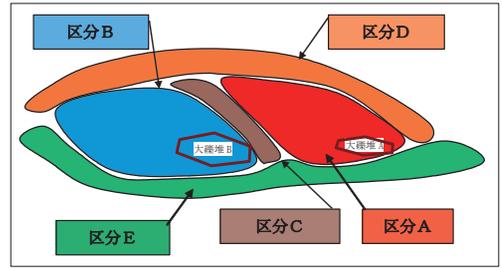


図-11(1) マーキング礫の初期配置

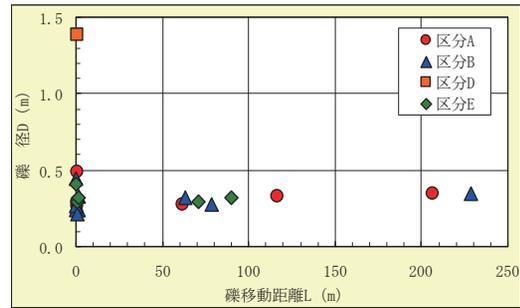


図-11(2) 礫移動距離と礫径の関係

礫の移動状況を見ると、礫径約50cm以下で移動が生じている。区分別(場所別)の移動状況を見ると、左岸沿い礫(区分E)は0~90mに対して、右岸沿い礫(区分A、B)は60~230mであり、右岸沿いの移動距離が大きい傾向にある。

また、現地の状況から判断すると、単体では移動が生じやすいものの、群体ではほとんど動かないものと考えられる。(大礫の集積(大礫堆)は安定する。)

図-10に示す更新層厚調査(リング法)実施箇所における洪水前後の河床材料構成率を図-12に示す。

左が上流の大礫堆付近(図-10の凡例■)であり、洪水後では2mm以下の構成率が増加し37.5~100mmが減少している。一方、右は侵食傾向にある代表箇所(図-10の凡例◆)での構成率だが、洪水後では洪水前に比べ37.5mm以上の砂利が多く占めており、砂成分がフラッシュされ洪水による攪乱が生じたことを意味している。

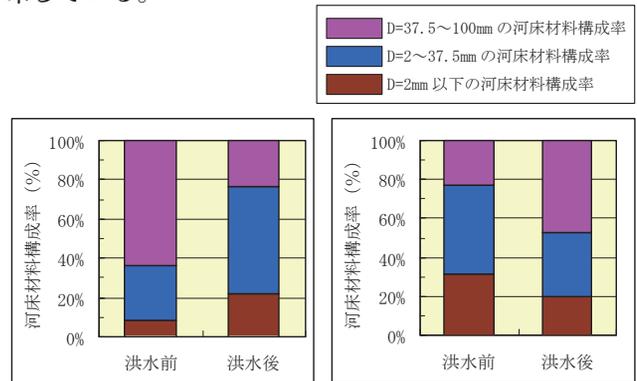


図-12 洪水前後の河床材料構成率

(4) モニタリング評価:物理項目

H19.9出水は出水規模が大きく、上流左岸の侵食土砂の流出が生じたため、当初予測していた仮説は完全には確認できなかった。しかし、H19.9出水を対象とする二次元流況解析(図-13)では、その状況(モニタリング結果)をほぼ再現できており、これと併せて次の評価ができる。

- 上流侵食による流失土砂により、試験区の形状が大きく変わったものの、分流効果を促す大礫堆に形状の変化はなく、中小洪水以上で分流施設としての効果は期待できる。
- 水理解析による大礫堆の分流効果を確認し、大礫堆による分流から2列流路の安定化が見込まれる。
- 今出水規模での摩擦速度分布(水理解析)は、ピーク時で、全区間を通して $u_*$ は4cm/s以上であることから、砂成分の堆積は生じる可能性は低く、概ね現地の状況と同様である。(砂堆積を $u_* = 4\text{cm/s}$ 以下で想定)
- 全般に侵食傾向にはあるものの砂成分はフラッシュし、また、表面砂礫の交換は生じている。

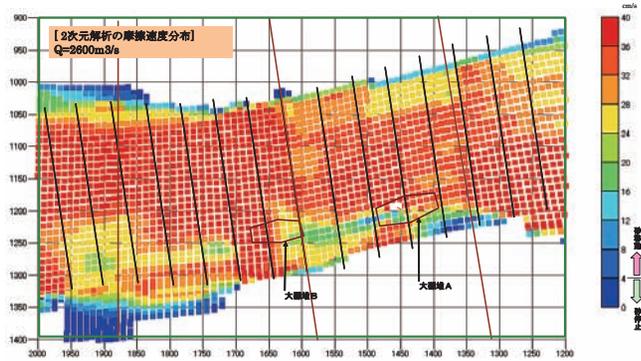


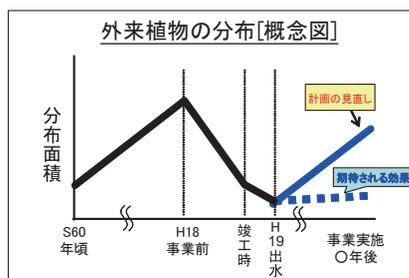
図-13 水理解析による摩擦速度 $U_*$ の分布

4-4 モニタリング評価(生物項目)

生物項目の評価については、試験施工による効果を出水直後の一時的ではなく、ある程度のスパンを持って評価する事が重要である。(下記の概念図)

試験施工区では、H19年9月出水による攪乱を受けたため、礫河原固有種・外来植物ともに概ね減少したが、発生時期が秋季(9月)であり、秋～冬季は植物の新たな発芽・定着はあまりみられないため、植物の分布状況は春期以降の状況をみたくうえで評価を進める必要がある。

現在モニタリングを継続中であるが、ここでは、H19.9出水直後の調査結果を整理した。



(1) 礫河原固有植物、外来植物の分布状況

試験施工+出水後(図-14の下図)の植生の状況を見ると、試験施工によって、表土切下げ・外来植物の駆除を行った砂礫砂州は、概ね礫河原(自然裸地)が維持されており、シナダレスズメガヤ群落の再生はほとんどみられなかった。

効果検証にあたって、今後の植生回復状況(礫河原固有種もしくは外来植物)が重要となる。

また、未施工区(施工区の上流砂州)では、カワラヨモギ-カワラハハコ群落の多くが、H19年9月出水後にシナダレスズメガヤに置きかわっている。また、ヤナギ類が優占してきていることから判断すると、州の固定化が進行するものと推察される。

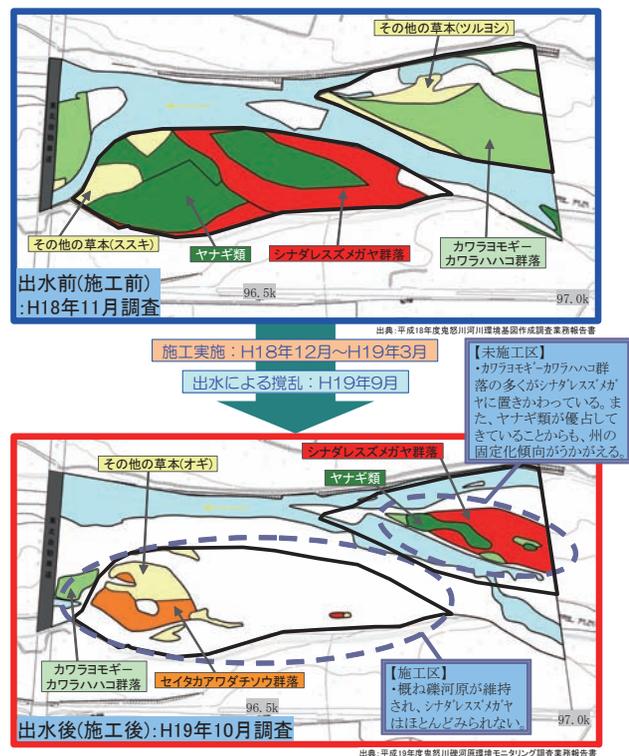


図-14 試験区内の植生状況の変化

(2) 陸上昆虫類の分布状況

試験施工の実施により礫河原(自然裸地)が広がり、H19.9出水直前には多くの礫河原固有種(カワラバタ、ツマグロキチョウなど)が確認された。(図-15の中図)

その後出水による攪乱を受けて確認数・確認範囲は減少(図-14の下図)したが、礫河原の範囲が広がり、カワラバタをはじめとする礫河原に依存する昆虫類の生息適地は広く存在していると考えられる。

また、これらの昆虫類は出水による攪乱のサイクルに適応しており、短期的に生息範囲や個体数が減少しても、新たに生息環境が創出されれば本来、速やかに



指標 1: 礫河原固有植物

礫河原をおもな生育環境とする種

指標 2: 礫河原固有昆虫

① 環境依存 (礫河原を主な生息環境とする種)

② 食草依存 (礫河原固有植物等を食草とする種)

負の指標: 注目すべき外来植物 (シナダレスズメガヤ等)

さらに、植物と昆虫の指標種を組み合わせることにより、生態系再生という目標に対してより適切なモニタリングが可能になる。

今後、これら指標設定も含めた調査・研究を進めていく予定である。

## 6. 謝 辞

最後に、本稿は国土交通省下館河川事務所の「平成19年度鬼怒川礫河原再生検討業務」において検討した結果をとりまとめたものである。

本検討にあたって、桜美林大学三島名誉教授を座長とする「鬼怒川礫河原再生検討委員会」委員の方々にご指導、助言を頂きました。また、国土交通省下館河川事務所各位には検討会の運営や貴重な情報提供といった多大なるご協力を頂きました。ここに、厚く御礼申し上げます。

### < 参考文献 >

- 1) 村中孝司・鷲谷いづみ:「鬼怒川砂礫質河原における外来牧草シナダレスズメガヤの侵入と河原固有植物の急激な減少:緊急対策の必要性」保全生態学研究vol6.2001 (2001)
- 2) 三品智和・須賀如川・唐沢 潔・古川保明:「鬼怒川河道における発散・収束現象と戦後の護岸施工との相互関係に関する考察」河川技術論文集 第12巻 (2006)
- 3) 増子輝明・前村良雄・三品智和・内田誠治:「鬼怒川中流部における礫河原の再生」リバーフロント研究所報告 第18巻 (2007)
- 4) 植木真生・福島雅紀・山下武宣:「河道掘削および砂礫の敷設供給に対する河床の応答」河川技術論文集 第13巻 (2007)