

急流礫床河川の大礫砂州上の植物群落が出水時の流況に与える影響に関する実験的研究

池田 裕一¹・木原 健貴²・飯村 耕介³・幸村 智史⁴

¹正会員 宇都宮大学大学院教授 工学研究科地球環境デザイン学専攻
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)
E-mail:ikedai@cc.utsunomiya-u.ac.jp

²学生会員 宇都宮大学大学院博士前期課程 工学研究科地球環境デザイン学専攻
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

³正会員 宇都宮大学大学院助教 工学研究科地球環境デザイン学専攻
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

⁴学生会員 宇都宮大学大学院博士前期課程 工学研究科地球環境デザイン学専攻
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

近年、多くの礫床河川は人為的インパクトにより、河岸侵食や局所洗掘など治水上の問題に加え、礫河原固有植物の減少や外来植物の侵入など環境面の問題も顕著になった。鬼怒川では、砂州の切り下げと大礫堆の成形による礫河原再生事業を実施してきたが、事業後は特に維持管理をしていない。筆者らはこれまで、再生施工後の植生遷移を調査して、大礫砂州にU字型に繁茂した植物群落が出水時の流況や堆積環境に影響して植生遷移の重要な要因になっていると推察した。そこで本研究では室内実験を実施し、このU字型群落が出水時の流況に与える影響を検討した。その結果、全体的に砂州上を主水路に向かって斜めに横切る流れがU字型群落によって流下方向に整流されるようになっており、U字型植物群落が出水時の流況や堆積環境に大きく影響することが示された。

Key Words : *Kinu river, plant community, large gravel bar, sandbar, meandering*

1. はじめに

近年、日本の礫床河川の多くでは、ダム建設や砂利採取による土砂供給量の減少、低水護岸の設置および築堤などの人工的な河道整備が行われている。その結果、河川の治水安全度は飛躍的に向上した。しかしその一方で、礫床河川固有の景観や自然サイクルが損なわれるといった問題が生じている¹⁾²⁾。

礫床河川の一つである鬼怒川は本来、網状・複列の流路を呈しており、礫河原固有植物が多く生息している。しかしこのような河道整備によって、網状・複列流路の単列化、河原部の冠水頻度の減少などが起こり、河岸侵食や局所洗掘、礫河原固有植物の減少や外来植物の侵入・繁茂といった問題が生じている³⁾。これらの問題の中でも、礫河原固有植物の減少は著しく、鬼怒川本来の景観に大きな変化が生じている。このような状況から、鬼怒川では礫河原固有植物の生息・生育に適した環境づ

くりなど、礫河原を再生・保全することが急務となっている。礫河原の再生・保全においては、礫河原固有植物の保護だけでなく、礫床河川本来の河道システムを復元・維持し、よりよく機能させることが重要である。

これに対して鬼怒川では、外来植物の駆除・礫河原固有植物の保護を目的とした礫河原砂州の切り下げや、単列流路の複列化・河岸沿いの流速の低減を目的とした大礫堆の成形など、礫河原の再生・保全に向けた取り組みを行っているが⁴⁾、事業後は特に有効な維持管理を行っておらず、砂州上には細砂が多く堆積し、草地化・樹林化が進行しているのが現状である。

筆者らはこれまで、礫河原保全事業が実施されて間もない大礫砂州を対象に再生施工後の植生遷移を調査してきた。その結果、大礫砂州において上流側に開いたU字型に植物群落が生じ、砂州の下流側の周縁をめぐように形成され、それが出水時の流況や堆積環境に影響して植生遷移の重要な要因になっていると推察した⁵⁾⁶⁾。しかし、こ

のような砂州の周縁をめぐるような植物群落が発現する流況に与える影響を検討した例は少なく⁷⁾、特にU字型群落が出水時の流況に与える具体的な影響やその維持管理の程度が流況に与える効果を検討した例は見られない。

そこで本研究では室内実験を実施し、このU字型群落が出水時の流況に与える影響を検討して、再生施工後の維持管理のあり方を探る基礎的な知見を得ることとした。

2. 植生の繁茂状況

図-1は鬼怒川中流部、栃木県塩谷町の上平橋付近の大礫砂州の平成25年度の植生分布を示したものである⁶⁾。この大礫砂州は、平成23年度に礫河原再生施工が実施されたもので、この図は施工して2年後の平成25年度の状態である。図中、平水時には水の流れない副水路を破線で示してある。全体的な特徴として、大礫砂州の下流側において、上流に向けて開いたU字型の領域に多くの植物種が広く分布していることがわかる。

このU字型群落は、主としてイネ科の植物（オギ、ツルヨシなど）から構成されており、その内側に外来種のシナダレスズメガヤが繁茂し、外側にはカワラハハコのような礫河原に固有な植物が生息している。礫河原固有植物については、平成24年度の調査ではカワラハハコの他に、少数のカワラケツメイや、極めて少数のカワラノギクが見られた。しかし、平成25年度の調査では、カワラノギク、カワラケツメイは見られず、カワラハハコのみとなってしまったが、個体数は増加している。

木本類については、平成24年度の調査では数本見られる程度であったが、平成25年度には300本近くハリエンジュ、カワヤナギが見られた。このうちハリエンジュの多くは、大礫砂州右岸側で見られた。これに対し、カワヤナギは大礫砂州左岸側の副水路に沿って大きな群落を形成しつつある。

U字型群落の内側では、群落の流水抵抗により出水時の流勢は弱められ、細礫や砂が多く堆積して、シナダレスズメガヤが定着しやすい基質が形成されたものと考えられる。これとは逆に、U字型群落の外側では出水時の流れが集中するために、流勢は内側よりも強くなり、主細礫あるいはそれ以上の粒径の河床材料が堆積して、礫河原固有植物に適した基質となっているようである。また、ハリエンジュ群落がU字型群落の内側の右岸側で拡大しているのは、出水時は流れが右岸側の主水路に向いており、ここに個体（あるいはその一部）が漂着しやすくなっていることが大きな要因といえる。このように、U字型群落が流れ、堆積環境、そして植生遷移に大きな影響を与えているものと推察される。

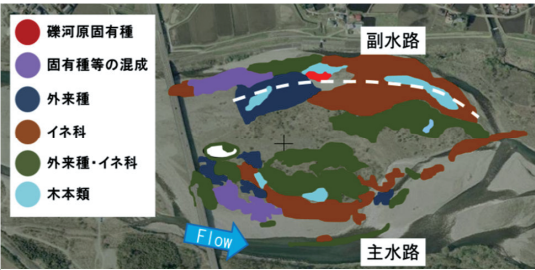


図-1 鬼怒川上平橋付近の植生図(平成25年度)

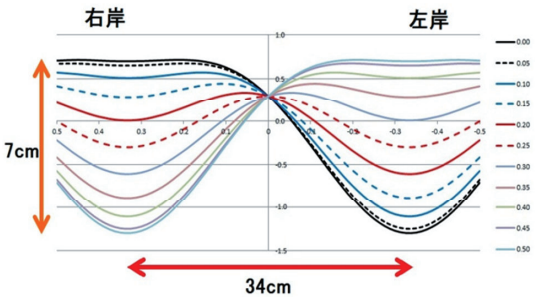


図-2 河床形状の横断面図(1/4波長分)

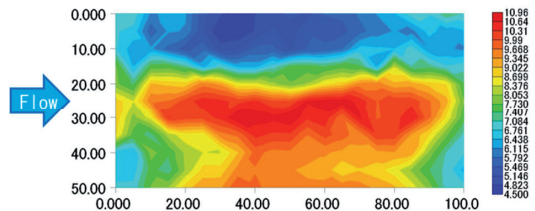


図-3 河床形状のコンター図(1/2波長)

表-1 実験条件

	Case1	Case2
植生模型	無	有
平均勾配	1/1000	
流量(l/s)	5.79	
平均水深(cm)	4.79	5.34
平均流速(cm/s)	24.15	21.67
フルード数	3.53	3.00

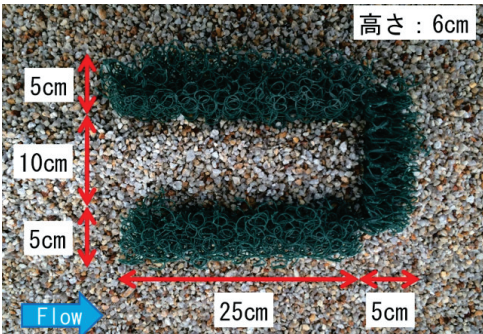


写真-1 植生模型

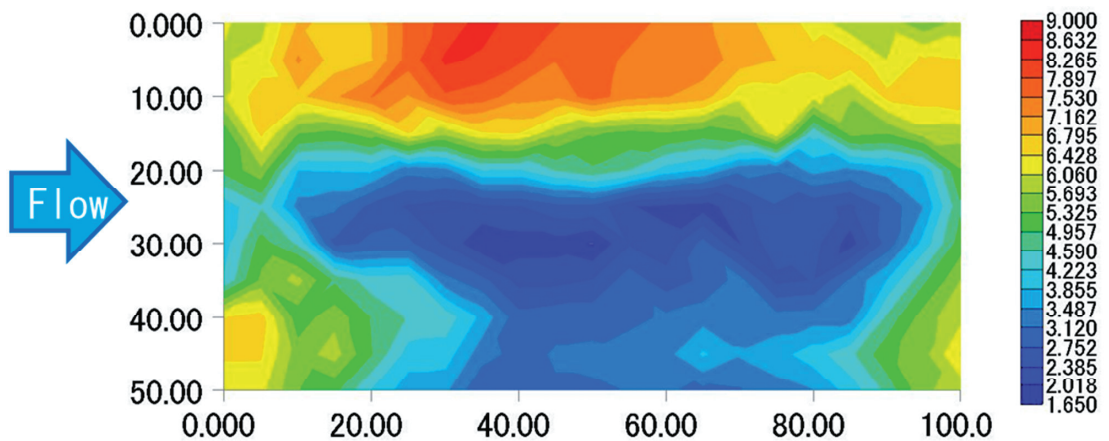


図-4 水深のコンター図 (Case1)

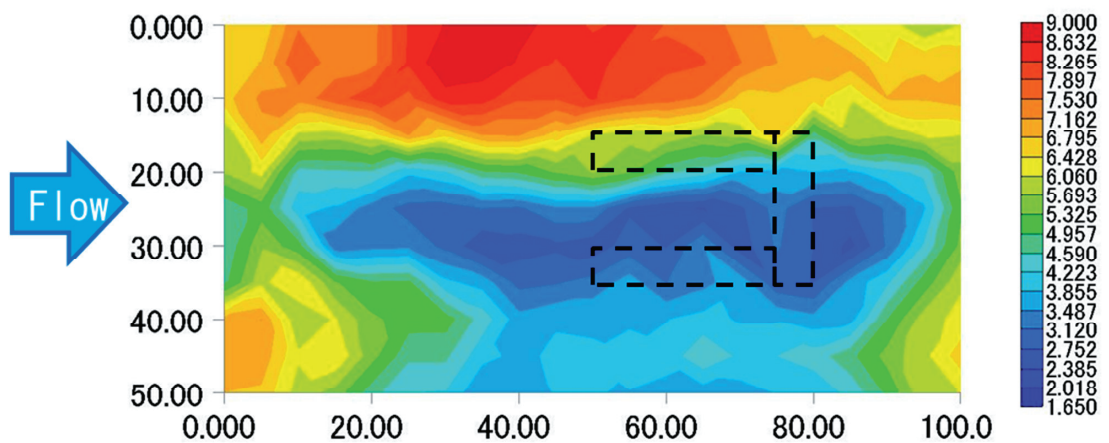


図-5 水深のコンター図 (Case2)

3. 実験装置および方法

実験には、幅50cm、高さ24cm、長さ800cm、勾配1/1000の塩化ビニル製水路を使用し、ここに波長（砂州2個分）200cmの2列蛇行流路の河床形状4波長分を成形した。河床形状の横断面は図-2に示すように、主水路と副水路との間隔が34cm、主水路と副水路との最大比高が7cmとなるようにsinカーブを組み合わせたものとした。砂州形状の形成には、粒径4～7mmの砂利を用いた。これは事前に限界掃流力を評価して、実験中に土砂移動が生じない粒径を選択したものである。図-3は、実際に成形した河床形状を測定したコンター図であり、数値は実験水路底面（平坦床）からの高さを示している。

また、現地のU字型群落の再現模型として写真-1のような植生模型を用意し、これを砂州上に設置しない場合と設置した場合の2ケースについて実験し比較することにした。植生模型の流水抵抗は、透過係数にして38cm/sであり⁹⁾、調査地点の出水時の流況に対応した実験が可

能なものである。

実験条件を表-1に示す。流量は、2ケースとも水路全幅にわたり冠水する値に設定した。実験においては、水路の上流側から5つ目の砂州地形上（全長100cm、幅50cm）で、流下方向・横断方向ともに5cm間隔で、水深と流速を測定した。水深測定にはポイントゲージを用いた。流速測定には2成分（流下方向および横断方向）電磁流速計を用い、各点の60%水深において100Hzで1分間のサンプリングを行った。ただし流速測定において、水路の両壁からは2cm離して測定した。

3. 実験結果および考察

(1) 水深

図-4はCase1（植生模型無し）における水深のコンター図、図-5はCase2（植生模型有り）における水深のコンター図である。尚、流向は左から右に向かっており、図-5

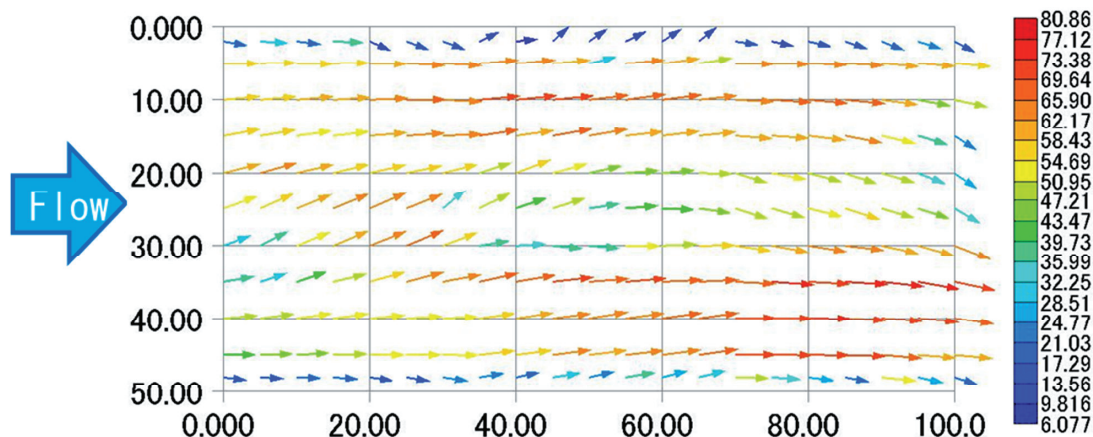


図-6 流速のベクトル図(Case1)

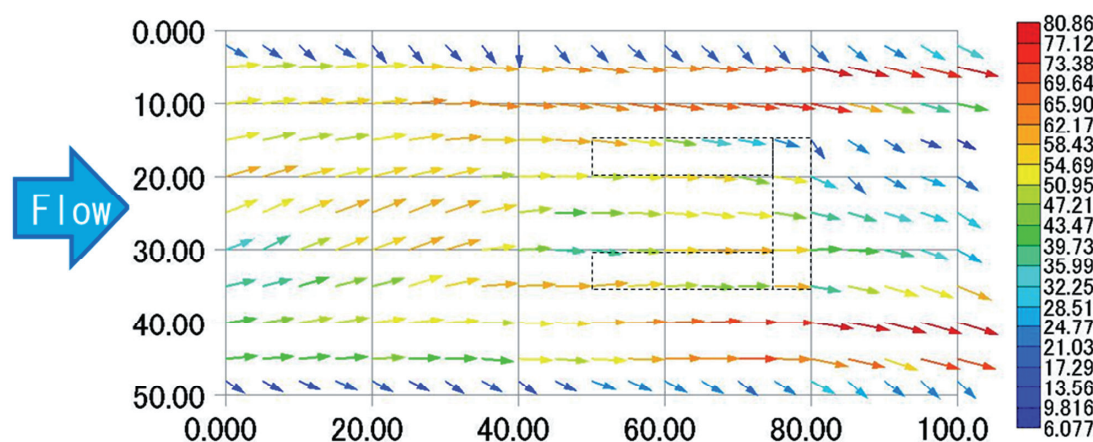


図-7 流速のベクトル図(Case2)

中の破線で囲まれた部分は植生模型を表している。また、図中の色は、水深が深いほど濃い赤に近く、浅いほど濃い青に近くなっている。

図-4を見ると、主水路側(左岸側)の水深が副水路側(右岸側)の水深に比べて深くなっていることがわかる。また、砂州の頂部付近(中央)において水深は最も浅くなっている。これは、水面が平均河床高にほぼ平行なために、図-3の河床形状のコンター図に対応した水深分布となったものといえる。

図-5を見ると、Case2においてもCase1と同様に、主水路側の水深が深く、副水路側の水深が浅くなっており、全体的な水深の大小関係に大きな違いは見られない。ただしCase1と比べて、水深が全体的に深くなっていることがわかる。しかも群落周辺に限定的なものでなく測定範囲全体として水深が増加しており、平均水深としても0.5cm、約10%の違いがある。このことから、U字型群落の大きさは砂州の半分程度と限定的ではあるが、その流水抵抗により砂州とその周辺の流れ全体に影響を及ぼしていることが推察される。

(2) 流速ベクトル

図-6、7にそれぞれCase1、Case2における流速のベクトル図を示す。図-7中の破線で囲まれた部分は、図-5と同様に植生模型を表している。

図-6(植生模型なし)を見ると、砂州の上流側では、測定範囲のすぐ上流側の砂州での主水路(右岸側)から測定範囲における主水路(左岸側)に向かう流況が現れている。そして主路路上では流れが集中・加速し、流下方向およそ50cmで最大流速をとる。さらに下流側では、この主水路から、今度はすぐ下流側の砂州の主水路(右岸側)に向かって流れが拡散し、流速も遅くなっていく。

これに対して副路路上(右岸側)の流れは、主路路上の流れとは異なり、およそ直進的である。さらに、副水路側の流速は、砂州の上流から下流に向かうにつれて徐々に加速している。これはすぐ下流の砂州の主水路(右岸側)に向かう流れの集中によるものと考えられる。

図-7(Case2、植生模型あり)を見ると、流況形態は全体的には図-6(Case1、植生模型なし)と同様である。

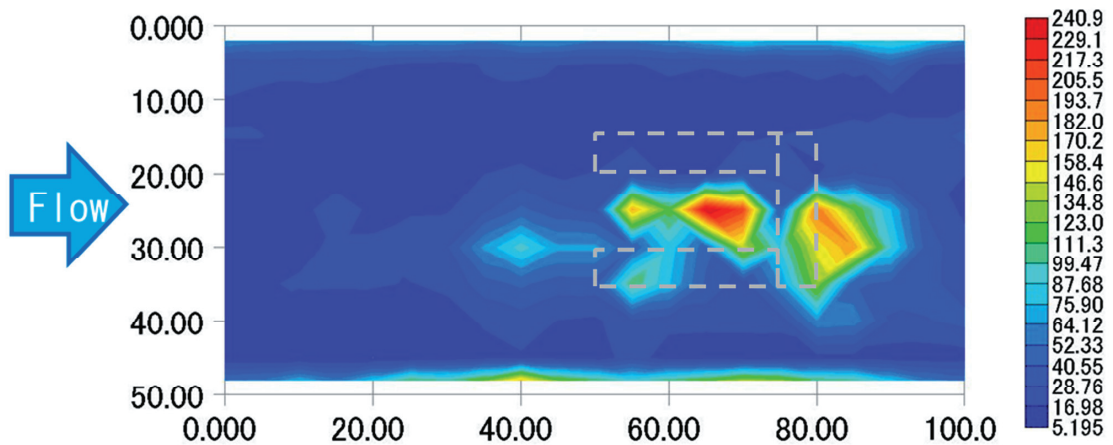


図-8 乱れエネルギーのコンター図(Case2)

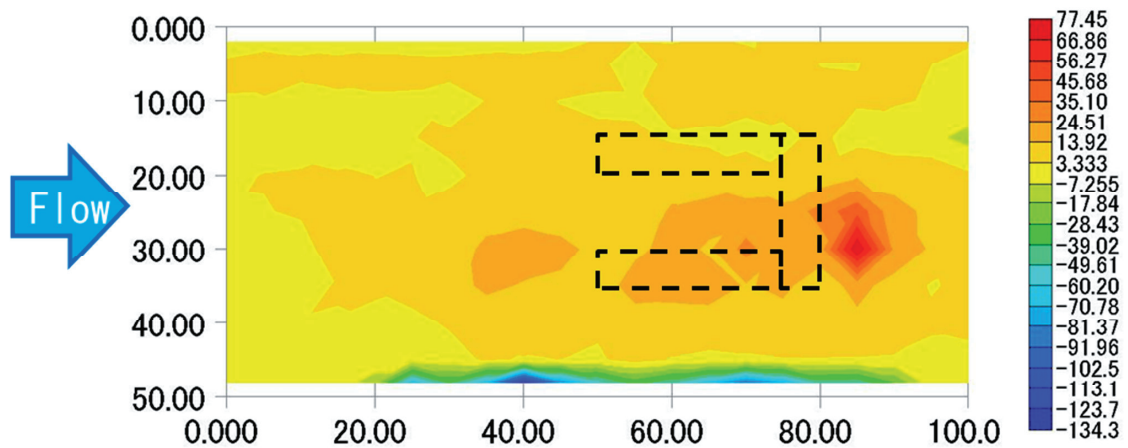


図-9 流速変動の相関のコンター図(Case2)

ただし主水路側を見ると、Case1では流下方向およそ中央で最大流速を示したのに対し、Case2では、砂州の終端あるいは群落の下流端で最大が流速になっている。副水路側も同じ傾向を示している。これは、群落の流水抵抗によって、砂州の下流側半分にはわたって低速領域が形成され、群落の左右岸側に流れが集中したためと考えられる。

さらに群落の背後左岸側には、右岸側に大きく回り込む流れが見られる。群落の流水抵抗によって主水路（左岸側）に集中した流れが、すぐ下流側の砂州の主水路（右岸側）に向かって、Case1よりも短い区間のなかで向かうためである。また群落の背後は、この回り込む流れも含めて、主水路上と副水路上の流れに挟まれて、流速がかなり遅くなっており、Case1に比べておよそ30%減少している。このことから、U字型の植物群落の下流側では細砂が堆積しやすいと推察される。実際、現地調査では、U字型群落の背後の主水路側に、極めて細かい砂の堆積が見られた。

(3) 乱れ特性

図-8、9はそれぞれ、Case2（植生模型あり）における乱れエネルギーおよび流速変動の相関（レイノルズ応力の符号を逆にしたもの）のコンター図を示したものである。

図-8の乱れエネルギー分布をみると、U字型の植生模型で囲まれた内部と植生模型の背後において、乱れエネルギーは大きなピークを示している。植生模型の背後では、主水路上と副水路上の速い流れに挟まれて低速領域が生じており、これらの速度差によって、大きな乱れが発生したものである。U字型の内部では、流れがU字型の細奥部に到達した際に、群落の流水抵抗によって水深が高まり、この作用によって乱れが増大したものと考えられる。

図-9の流速変動の相関をみると、大きな乱れエネルギーが生じていた植生模型の下流側で、変動相関も大きくなっている。これは乱れが大きいと同時に、群落背後の領域と特に副水路上の流れとの速度差によって、乱れに

よる運動量輸送が活発に行われたためである。一方で、同様に乱れエネルギーが大きいU字型の最奥部では、変動相関はあまり大きくない。これは、この領域では平面2次元的な速度変化が見られないためである。このような乱れの強さと運動量輸送の相違は、一つの大きな特徴といえることができる。

5. おわりに

本研究では、大礫砂州上の初期の植生遷移に見られるU字型植物群落に着目し、それが出水時の流況に与える影響について、室内実験を実施した。その結果、得られた知見は以下の通りである。

- 1) U字型群落の範囲は限定的であっても、その影響は全体に及び、流水抵抗によって水深は大きく増加する。
- 2) 群落の流水抵抗によって、中央部の低速領域が広がり、それに伴って左右岸への流れの集中が大きくなり、流速が最大となる地点が下流側に移動する。また群落背後に最も流れが遅い領域が現れる。これにより、現地調査で見られた堆積状況がおおよそ説明できた。
- 3) 乱れの大きさは、U字型群落の最奥部と背後で大きなピークを示す。前者は群落の流水抵抗による堰上げ効果、後者は群落背後と左右岸との流速差によるものである。そのため、前者では乱れによる水平2次元的な運動量輸送はさほど見られず、後者では活発な運動量輸送が見られた。

本研究によって、流況に関する基本的な知見は得られ

たものの、まだ室内の固定床実験しかも模擬的な地形上に限られたものである。今後は、細粒分の土砂移動を含む移動床実験や数値解析などを実施して、U字型群落の部分的伐採の効果なども含めて、砂州再生施工後の維持管理手法を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 須賀如川：大礫を含む混合粒径河川における河道システムの本質に関する考察，河川技術論文集，vol.10, pp.95-100, 2004.
- 2) 須賀如川：大きい河岸侵食力を有するクランクフローの基本的事項に関する考察，水工学論文集，vol.49, pp.955-960, 2005.
- 3) 村中孝司・鷺谷いづみ：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，vol.6, 2001.
- 4) 増子輝明，前村良雄，森川陽一，後藤勝洋：鬼怒川中流部における礫河原再生について，リバーフロント研究所報告，第21号，2010.
- 5) 池田裕一，宍戸彩，飯村耕介：急流礫床河川の大礫砂州上における植生分布に関する基礎的調査，第41回環境システム研究論文発表会講演集，2013.
- 6) 池田裕一，幸村智史，亀田涼，飯村耕介：鬼怒川における礫河原保全事業後の維持管理のあり方に関する基礎的調査，第42回環境システム研究論文発表会講演集，2014.
- 7) 池田裕一，鈴木倫久，河森克至，須賀堯三：砂州上における植物群落の分布形態に関する基礎的研究，環境システム研究，Vol.22, pp.198-203, 1994.
- 8) 池田裕一，岩松優二郎：高木群落の鉛直構造による流速分布の遷移に関する基礎的研究，応用力学論文集，Vol.12, pp.807-815, 2008.

(2015. 7. 16 受付)

EXPERIMENTAL STUDY OF RIVER FLOW WITH PLANT COMMUNITY ON A LARGE GRAVEL BAR IN STEEP CHANNEL

Hirokazu IKEDA, Toshiki KIHARA,
Kosuke IIMURA and Satoshi KOUMURA

Laboratory experiments were performed on river flow running on alternate bars of large gravel with plant community. The topography of alternate bars, with not only main channel but also sub channel, was designed with using sinusoidal curves, and formed with gravel in the experimental flume. The plant community model was installed in U-shaped area based on field investigations. It was shown that the flow without plant community is directed diagonally from the upstream main channel to the downstream main-channel in continuous alternate bars, and that the flow with U-shaped plant community is directed downstream, which is resulted in flow concentration beside the plant community and flow divergence behind the community. These results suggests that the U-shaped plant community has great effects on the flow structure, bed material distribution, and transition of plant community on the bars.