

バークエによる河床変動特性と 流れの多様性について

高岡 広樹¹・原田 守啓²・大石 哲也³・萱場 祐一⁴

¹正会員 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市官有地無番地)
E-mail:h-takao55@pwri.go.jp

²正会員 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市官有地無番地)
E-mail:m-harada55@pwri.go.jp

³正会員 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市官有地無番地)
E-mail:ooishi@pwri.go.jp

⁴正会員 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム (〒300-2621 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:y-kayaba@pwri.go.jp

バークエとは、河岸に対し20～30°の角度で上流側に向けて設置される高さの低い水制状の構造物で、河床地形や流れの多様性を創出するために利用されており、河床環境の改善策として注目されている。そこで、本研究では、施工事例を基にバークエの適用範囲や構造について検討するとともに、現地調査からバークエによる河床変動特性を明らかにし、創出される多様な環境について考察する。

バークエの機能は、河岸付近の流れを中央部へ変化させ、バークエ先端部で局所洗掘が生じ、河岸周辺に土砂を堆積させる。バークエを設置することで断面内の水深、流速の分布が広範になり、多様な流れ場を創出している。さらに、バークエ周辺では瀬淵が形成され、設置していない区間よりも魚類の生息場として適した環境となっていることが分かった。

Key Words : *barbs, local scour, sediment deposition, bed variation, flow diversity*

1. はじめに

バークエとは、河岸に対し20～30°の角度で上流側に向けて設置される高さの低い越流型水制の様な構造物で、主に北海道で、河床地形や流れの多様性を創出するため利用されている。一方、北米の河川工法で、spur dikesの一種であるstream barbs¹⁾は、バークエと同様、上流側に向けて、湾曲部の外岸に複数配置することにより、河岸侵食を防御する工法として用いられている。バークエは、先端に向かって低くなるよう緩やかな勾配が付けられており、河岸侵食を抑制するだけでなく、流砂を捕捉して寄り洲を形成する機能がある。また、両岸に設置することにより帯工的な利用も可能である。

原田ら²⁾は、移動床水路に越流型の水制を上流側に向けて配置し、上向き角度や形状の違いによる河床変動に

ついて実験を行っている。その結果、上向き角度が大きいかほど水制周辺の局所洗掘は減少する傾向にあることが分かっている。また、バークエを両岸に設置したハ型の構造物についても水路実験により河床変動特性を調べており³⁾、従来の帯工に比べ、下流側の洗掘量が増加するが、河床が低下しても落差を生じず、また、下流中央に淵が形成され、環境面でのメリットを有していることが明らかとなった。

大石ら⁴⁾は、岐阜県内の中小河川の現況について調査しており、改修により底面幅一様に浅く流れ瀬淵のない単調な河川や、河床材料が流出し河床低下傾向を示している河川が多く、特に、河床が岩盤化している河川も見られた。瀬淵は魚類にとって重要な生息環境であることが知られており、また、岩盤化が河川生態系に及ぼす影響の1つとして産卵環境の減少が指摘されている⁵⁾。岩盤

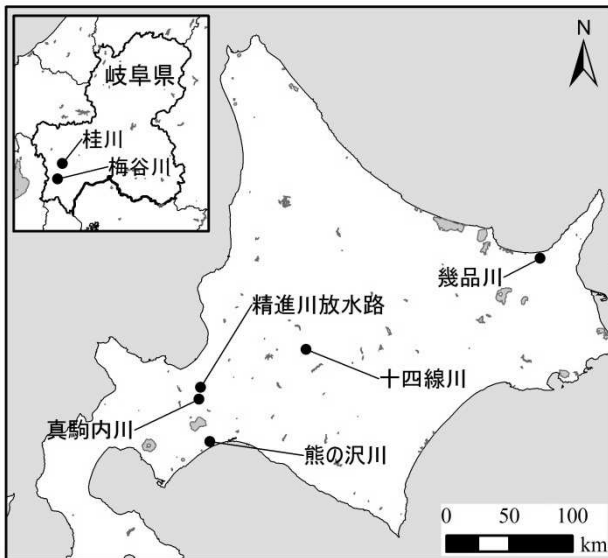


図-1 バーブ工位置図

化した河川で多様な生息環境を復元するためには、上流から供給される土砂を河床に捕捉・堆積させることが必要であり⁶⁾、瀬淵を創出し、流砂を捕捉する機能を有しているバーブ工は、河床環境の改善策として注目されている。著者らの所属する(独)土木研究所自然共生研究センターでは、縮尺1/5の大型模型を用いた水理実験などを実施し、環境に配慮した新しい河道安定工法の実用化を進めている⁷⁾。

本研究では、国内のバーブ工の施工事例について、立地条件から適用範囲や構造について検討する。さらに、河道地形の測量や水深、流速の測定、魚類の生息環境について現地調査を行い、バーブ工による河床変動特性を明らかにするとともに、創出される水深、流速の多様性と魚類の生息場について考察する。

2. 施工事例に基づく適用範囲の検討

国内のバーブ工の施工事例について紹介するとともに、立地条件や河川規模について整理し、バーブ工の適用範囲やその構造について検討する。

(1) バーブ工の施工事例

北海道の5事例と岐阜県の2事例について、バーブ工の設置目的や構造、配置などを紹介し、設置後の状況について説明する。対象としたバーブ工の位置を図-1に示す。

a) 幾品川

幾品川では、右岸側の自然河岸の侵食が著しく、流向を変化させ河岸侵食を抑制するためバーブ工を設置している。構造は、ネットチューブに現地の河床材料を中詰めし、右岸側から上流に向けて長さ30mで配置し、中間を切り下げている。写真-1に設置1年後の状況を示す。

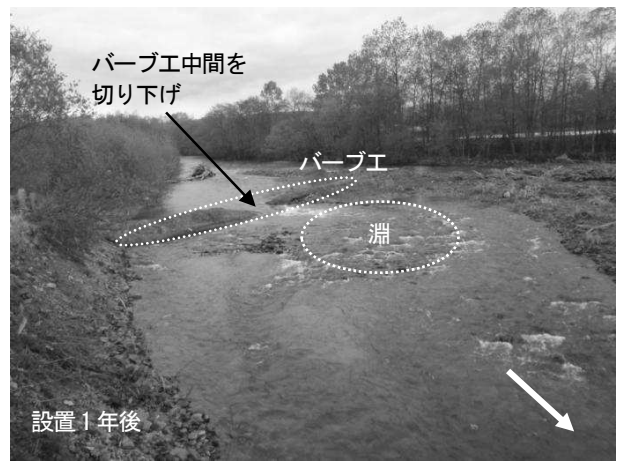


写真-1 幾品川(北海道)のバーブ工

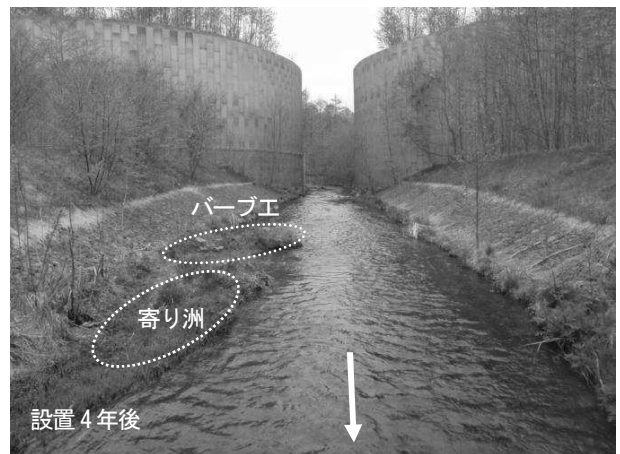


写真-2 熊の沢川(北海道)のバーブ工

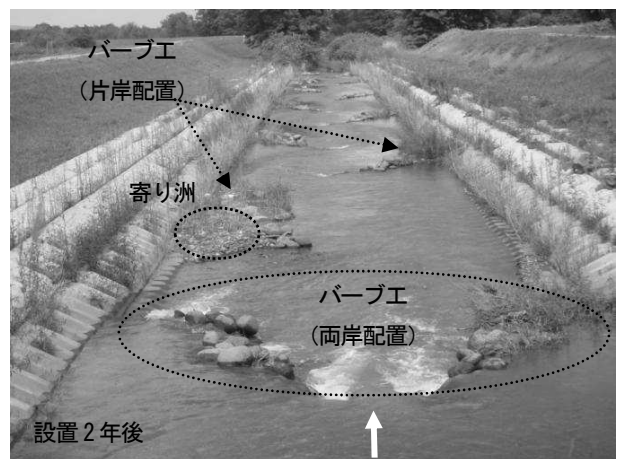


写真-3 十四線川(北海道)のバーブ工

バーブ工により流向が変化し、右岸側の河岸侵食は停止している。また、中間の切り下げ部の下流は、深さ2m程度の淵となっている。

b) 熊の沢川

熊の沢川は、樽前山の火山砂防の鋼製セルダムの間を流れ、改修により単調な台形断面となってしまう河川である。バーブ工は、単調になってしまった河道に蛇行や淵・寄り洲を形成し、流れを多様にするために設置され、ネットチューブに河床材料を中詰めし、長さ3m、



写真-4 精進川放水路（北海道）のバーブ工



写真-6 桂川（岐阜県）のバーブ工

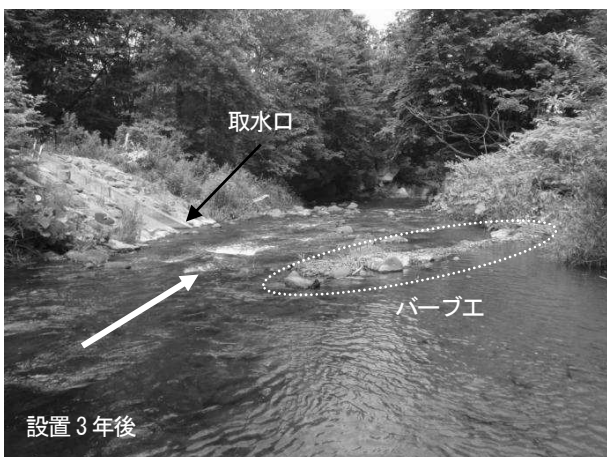


写真-5 真駒内川（北海道）のバーブ工



写真-7 梅谷川（岐阜県）のバーブ工

高さ30cmのものを片岸に配置している。設置4年後の写真-2を見ると、右岸側のバーブ工の下流に寄り洲が形成され、植物が繁茂していることが分かる。

c) 十四線川

十四線川は、改修によりコンクリートの大型連節ブロックを敷き詰めた三面張りの河道となっており、多様な流れを創出する目的で、バーブ工を設置している。構造は、自然石を連結したものを河床のブロック上に置いたものであり、上流端では両岸から突出したハ型に設置し、その下流では左右岸交互に配置している。設置2年後の状況（写真-3）を見ると、ハ型のバーブ工では、上流がややせき上がり、中央の開口部で速い流れとなっている。また、上流から流れてきた土砂がバーブ工により捕捉され、バーブ工上流の河岸側に寄り洲が形成されている。

d) 精進川放水路

精進川放水路では、捨石構造の耐久性を観察するため、河床にある最大礫径（30cm程度）の材料を集積し、全長2m、高さ30cm程度のバーブ工を左岸に1基設置している。写真-4に設置1年後の状況を示す。融雪出水など幾度かの洪水を経験しているが、バーブ工を構成する捨石の8割程度は残存している。また、精進川放水路では、土砂の移動が少なく、河床も締め固まっているため、バーブ工による河床変動は生じにくくなっている。

e) 真駒内川

真駒内川では、左岸側に取水口があり、滲筋が右岸側に偏り、取水が困難になったため、滲筋を左岸側に固定する目的でバーブ工を設置している。構造はネットチューブに現地の河床材料を中詰めし、右岸に1基配置している。設置3年後の様子を写真-5に示す。バーブ工により滲筋が取水口のある左岸に固定されていることが分かる。しかしながら、設置6年後の2011年に大きな出水で破壊され、流失している。

f) 桂川

桂川は、改修後より河床低下が進行し、下層にあった粘土層が露出しており、粘土層上に砂礫の堆積を期待し、岐阜県およびバーブ研究会の協力で、人力によりバーブ工を設置している。バーブ工は、割栗石をネットに中詰めし、木杭で固定したものを両岸に配置している。設置1年後の状況（写真-6）を見ると、バーブ工の開口部の下流が侵食され、淵が形成されている。

g) 梅谷川

梅谷川は、改修により平坦な急流河川となり、河床低下が問題となっている。バーブ工は、水際部に寄り洲を形成し、河床低下による護岸被災を防止するため設置している。構造は、巨礫を置いただけの捨石構造であり、片岸のものを左右交互に配置している。設置1年後の状

表-1 バープ工の設置目的と立地条件

河川名	設置目的	構造	配置	河床勾配 (1/x)	計画高水 水面幅(m)	計画水深 (m)	摩擦速度 u_* (m/s)	移動限界粒径 d_c (m)	備考
幾品川	河岸侵食の抑制	ネットチューブ (河床材)	片岸	250	100	3	0.34	0.15	中間を切り下げ
熊の沢川	蛇行・淵・寄り洲 の形成	ネットチューブ (河床材)	片岸	65	8.72	1.18	0.42	0.22	
十四線川	多様な流れの創出	連結自然石	両岸 片岸	130	10.2	1.3	0.31	0.12	コンクリート 三面張り
精進川放水路	耐久性の観察	捨石	片岸	200	13.7	3.7	0.43	0.23	
真駒内川	滞筋を固定	ネットチューブ (河床材)	片岸	40	40	2.5	0.78	0.76	流失
桂川	砂礫の堆積	ネットチューブ (割栗石)	両岸	280	13.2	2.2	0.28	0.10	
梅谷川	寄り洲の形成	捨石	片岸	60	10.8	3	0.70	0.61	一部流失

況(写真-7)を見ると、両岸に寄り洲が形成され、護岸に沿う流れが生じていないことが分かる。また、洪水によりバープ工の一部が流失している。

表-1にバープ工の施工事例について、設置目的や構造・配置をまとめたものを示す。設置目的は様々であるが、滞筋を固定するといった流向の制御と、寄り洲の形成などの土砂の堆積に大別され、バープ工は単基もしくは複数基配置することで、このような効果を発揮することが分かる。構造については、ネットチューブに石を充填したもの、自然石を連結したものの、巨礫を置いただけの捨石構造が見られ、従来の水制や帯工などの構造物に比べ、材料も安く、また、人力で施工可能であり、非常に簡単に設置できるメリットがある。しかしながら、真駒内川や梅谷川では、洪水で流失しており、外力の大きい河川への施工については、流失しないよう構造に注意する必要がある。

(2) 適用範囲

バープ工の7事例について、河床勾配などの立地条件や河川規模を整理したものを表-1に示す。ここに、摩擦速度 u_* は、計画高水位時の水深と河床勾配から算出し、式(1)より移動限界粒径 d_c を計算した。

$$\tau_{*c} = \frac{u_*^2}{sgd_c} = 0.05 \quad (s=1.64, g=9.8 \text{ m/s}^2) \quad (1)$$

バープ工は、河床勾配1/280~1/40の山間地から扇状地の河川で利用されており、ほとんどの事例が幅20m以下の中小河川であることが分かる。移動限界粒径を見ると、真駒内川と梅谷川の2河川は、河床勾配も急であり、移動限界粒径が0.6~0.8mと大きいことが分かる。実際これらの2河川のバープ工は洪水で流失しており、捨石の径を考えると、外力の大きい急流河川への適用は難しいと考えられる。一方、他の河川では、移動限界粒径0.1~0.3mとなっており、この領域では、捨石やネットチューブ、自然石連結など各種構造について検討可能である。

3. バープ工の現地調査

熊の沢川、十四線川、桂川のバープ工を対象に現地調査を行った。調査は、トータルステーションを用いて河道地形の測量を行い、特に、桂川ではバープ工設置直後と1年後に実施した。また、十四線川、桂川では、バープ工周辺の水深と6割水深における流速を測定した。さらに、桂川において、バープ工周辺の流下方向20mの区間を調査区に設定し、遊泳魚を対象に潜水目視を行い、底生魚を対象にさで網を用いて採捕し、魚種と個体数を調べた。また、バープ工の影響の見られない上下流それぞれにおいて、バープ工設置前の状況に近い平瀬区間を対象に同様の調査を行い、魚類の生息環境について考察した。魚類調査は、2013年8月14日に実施し、天候は晴れ、水温は約20℃であった。

(1) バープ工による河床変動特性

図-2に、熊の沢川におけるバープ工周辺の河床高と河床材料の平面分布を示す。熊の沢川は、台形断面の単調な河道の右岸にバープ工を単基で設置しており、主な河床材料は砂~8cm程度の礫である。バープ工先端部付近の河道中央部に洗掘が生じ、河床材料が粗いことが分かる。また、バープ工の河岸側に微細な土砂が堆積している。これは、バープ工の先端が下げられているため、河岸の近くではバープ工の高さまで土砂を捕捉する働きによるものであり、移動床実験の結果²⁾と一致している。

図-3に桂川におけるバープ工周辺の河床高を示す。同図には、6割水深における流速の大きさと向きを、また、設置直後と設置1年後の河床高の差から算出した河床変動量も示している。バープ工の中央の開口部から下流で河床が侵食されており、最大40cm程河床が低下し淵が形成されている。流速を見ると、バープ工により中央部に速い流れが生じ、バープ工下流の淵では、右岸側のバープ工直下で逆向きの流速が生じている。また、バ

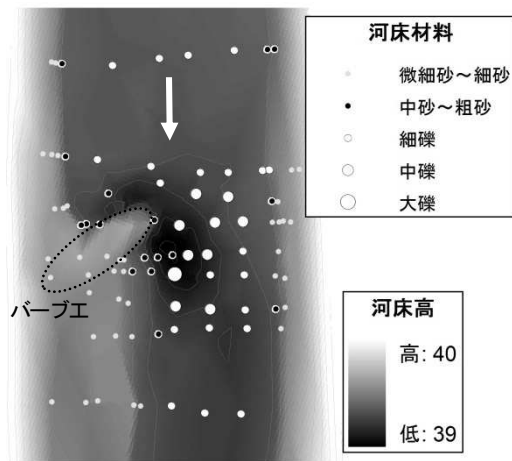


図-2 バーブ工周辺の河床状況 (熊の沢川)

ーブ工の上流や河岸側には、土砂が堆積している。

よって、バーブ工の機能は、流れを対岸に向け、先端部で局所洗掘を生じるが、河岸側に土砂を捕捉し、寄り洲を形成する。特に、両岸に配置した場合では、両岸に寄り洲が形成され、中央部では流れが集中し、河床が侵食され、淵が形成される。

(2) 流れの多様性

十四線川と桂川の流速・水深の測定値について、バーブ工を設置していない上流の流速と水深の平均値 (v_0, h_0) との比 ($v/v_0, h/h_0$) を求めた。その結果を図-4 に示す。バーブ工上流のデータについては、無次元流速、水深ともに1付近に分布しており、バーブ工が無ければ単調な流れとなっていることを示している。一方、バーブ工周辺や下流では、分布域が拡大しており、多様な流れが創出されていることが分かる。特に、開口部付近では、深くて非常に速い流れが生じている。桂川では、流速が最大 4.4 倍、水深が 3.7 倍となっており、十四線川では、流速が最大 4.8 倍、水深が 0.3~2.5 倍と、水深の分布がやや狭くなっている。これは、十四線川の河床はコンクリート三面張りであり、河床侵食が生じないため、水深の変動が小さい。

また、水深、流速の分布域は川幅水深比が増加するに従い拡大する傾向にあり⁸⁾、バーブ工を設置することにより、川幅水深比を大きくした場合と同様な効果を得られる。よって、バーブ工は川幅水深比が小さくなりがちな中小河川において、川幅を変えることなく流れの多様性を創出することが可能である。

(3) 魚類の生息環境

バーブ工周辺の調査区および上下流それぞれの平瀬において、14 種 (スナヤツメ、アユ、カワムツ、オイカワ、アブラハヤ、カマツカ、フナ属、アブラボテ、ドジョウ、シマドジョウ、ナマズ、オオクチバス、ドンコ、カワヨシノボリ) の魚類が確認された。表-2 に全地点

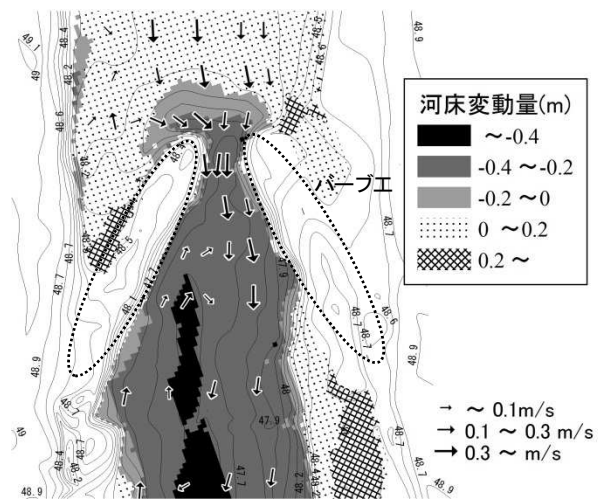


図-3 桂川におけるバーブ工周辺の河床変動

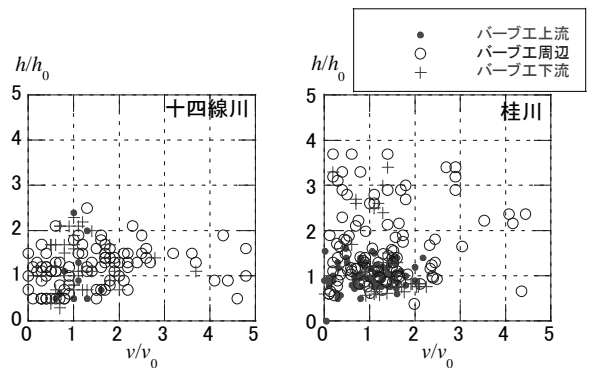


図-4 バーブ工周辺の無次元流速と水深

表-2 魚類調査結果

魚種名	調査区		
	バーブ工周辺	平瀬 (上流)	平瀬 (下流)
スナヤツメ	0	5	11
アユ	16	2	3
カワムツ	317	91	150
オイカワ	25	9	44
アブラハヤ	25	3	0
アブラボテ	10	1	1
ドジョウ	0	7	2
カワヨシノボリ	18	35	18
総個体数	411	147	223

で合計 5 個体以上確認できた 8 種の個体数を示す。バーブ工周辺では、確認された個体数が最も多く、他の調査区では少ないアユ、アブラハヤ、アブラボテが多く見られた。早瀬に代表的なアユと淵に代表的なアブラボテが多く確認されたことは、バーブ工により、それぞれの魚種が必要とする環境が創出されていると考えることができる。また、平水時に死水域となっているバーブ工直上流の河岸側でカワムツの稚仔魚が多く観察された。一方、スナヤツメとドジョウについては、バーブ工周辺では確認できなかった。従って、バーブ工を設置することにより、瀬淵が形成され、そのため、魚類の生息場に適した環境が創出されていると考えられる。

4. おわりに

本研究では、北海道と岐阜県のバープ工の施工事例について、設置目的や時間経過後の様子などを紹介し、それらの立地条件から適用範囲や構造について検討した。

施工事例は、川幅 20m 以下の河川に多く、河床勾配 1/280~1/40 に分布している。摩擦速度の大きな河川では、捨石構造のバープ工は破損・流出しており、急流河川への導入には構造の面で検討する必要がある。

また、熊の沢川、十四線川、桂川において、現地調査により河道地形や水深・流速を測定した。測定結果から、バープ工は、河岸付近の流れを中央部へ変化させ、先端部で局所洗掘が生じるが、河岸周辺に寄り洲を形成していることが分かった。特に両岸に配置した場合は、バープ工の両岸に寄り洲が形成されるとともに、バープ工上流にも若干の土砂が堆積する。また、中央の開口部では流れの集中により河床が洗掘され、淵が形成される。

さらに、バープ工上流の水深・流速を基準として、バープ工周辺の水深・流速の分布範囲について検討した。その結果、バープ工を設置することで水深、流速の分布が広範になり、設置していない場合に比べ水深は最大 3.7 倍、流速は 4.8 倍となり、流れの多様性を創出していることが分かった。

また、バープ工周辺では、アユなどの他の平瀬区間であまり見られない魚種が確認され、バープ工は、水深・流速などの物理場の多様性だけでなく、魚類の生息場に適した環境を創出していると考えられる。

今後は、現地のモニタリング調査を継続し、より詳細に環境への影響について調査するとともに、水路実験によりバープ工周辺の流れや河床変動について調べる必要がある。

謝辞：北海道におけるバープ工の施工事例について、
(株)北海道技術コンサルタントの岩瀬晴夫氏に紹介い

ただいた。また、魚類調査について、自然共生研究センターの永山滋也氏、森照貴氏、小野田幸生氏、加藤康充氏、高木哲也氏にご助力いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) U.S. Department of Agriculture Portland, Oregon Natural Resources Conservation Service: *Engineering Technical Note 23 Design of Stream Barbs Version 2.0*, 2005.
- 2) 原田守啓, 高岡広樹, 大石哲也, 萱場祐一, 藤田雄一郎: 設置角度の異なる越流型上向き水制の河床変動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol. 69, No.4, pp. I_1189- I_1194, 2013.
- 3) 原田守啓, 高岡広樹, 大石哲也, 萱場祐一, 藤田雄一郎: 平面形状の異なる帯工周辺の河床変動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol. 69, No. 4, pp. I_1177- I_1182, 2013.
- 4) 大石哲也, 高岡広樹, 萱場祐一, 原田守啓: 中小河川の効率的・適確な維持管理に向けて~岐阜県の複数河川を対象にした河道タイプの把握と成立要因の分析~, 河川技術論文集, 第18巻, pp. 221-226, 2012.
- 5) Kondolf G. M. : Hungry water: effect of dams and gravel mining on river channels, *Environmental Management*, Vol. 21, No. 4, pp. 533-551, 1997.
- 6) 石山信雄, 渡辺恵三, 永山滋也, 中村太士, 剣持浩高, 高橋浩揮, 丸岡昇, 岩瀬晴夫: 河床の岩盤化が河川性魚類の生息環境に及ぼす影響と礫河床の復元に向けた現地実験の評価, 応用生態工学, Vol. 12, No. 1, pp. 57-66, 2009.
- 7) 原田守啓, 高岡広樹, 大石哲也, 萱場祐一: 新しい河道安定工法の実用化に向けた調査研究の取り組み, 河川技術論文集, 第19巻, pp. 87-92, 2013.
- 8) 萱場祐一, 天野邦彦: 河川におけるハビタットの空間スケールと河道計画への利用, 土木技術資料, Vol. 46, No. 6, pp. 40-45, 2004.

CHARACTERISTICS OF BED VARIATION AND FLOW DIVERSITY DUE TO “BARB” GROINS

Hiroki TAKAOKA, Morihito HARADA, Tetsuya OOISHI and Yuichi KAYABA

“Barbs” are submerged upstream-pointing groins, used to create variable flow and river bed in Hokkaido. The barbs have the function of preventing bank erosion and catching sediment. In this study, we introduce some examples for later states of barbs and investigate the applications and structures from location requirements. Using bed levels, flow velocity and depth obtained by field survey, we develop the characteristics of bed variation for barbs and consider the range of flow depth and velocity.

As a result, we find that the bed erosion occur around the tips of barbs, and sediment deposition around river bank. The barbs create the diversity of flows because flow depth and velocity around barbs vary over wide range