

## 水際に寄り洲を形成するバーブ工法

原田守啓\* 高岡広樹\*\* 大石哲也\*\*\* 萱場祐一\*\*\*\*

### 1. はじめに

バーブ (barb) とは、「(矢じり・釣り針の) あご、かかり、戻り、さかとげ」を意味する英単語であり、「バーブ工」は、川の流れに対して、河岸から上流側に向けて(さかとげのように)突き出して設置する、高さの低い水制の一種で、流れによって運ばれてくる砂を溜めて寄り洲を形成することを目的とした河川工法である。自然共生研究センターでは、バーブ工の「寄り洲を形成する機能」に着目して、調査・研究を進めている。

日本の中小河川の多くは、高度成長期以降に改修が進められ、洪水を溢れさせずに流すために、段階的に河床を掘り下げ、護岸を積み、その結果として、台形を逆さにした狭くて深い断面形の川が多くみられるようになってきている。改修後の流速と掃流力の増加によって改修後に河床低下が進んだ川では、岩盤が露出したり、掘削直後の時点で河床に固く締め固まった地層が露出したりするなどして、瀬淵が失われた川が、日本の各地にみられる。また、そのような川では、河床が平坦で川幅いっぱいにながら水が流れているために、護岸法面に水際に接する形になっており、自然河岸と比べて水際部が非常に単調である。

平成 22 年 8 月に通知された「中小河川に関する河道計画の技術基準について」<sup>1)</sup>と、その解説として平成 23 年 10 月に発刊された「多自然川づくりポイントブックⅢ」<sup>2)</sup>では、河岸・水際部の河川景観及び自然環境面での機能が十分発揮されるようにするため、護岸の設置を必要最小限とするとともに、露出する護岸の前面には自然河岸を形成して、水際部の環境機能を高めることを基本方針の一つとしている。

このようなことから、バーブ工は、洪水の流れを阻害することなく、護岸の前面に土砂を溜めて寄り洲を作ることができ、特に、改修済みの中小河川における流速水深や河床材料の多様性を、安

価に回復できる可能性を持つ工法として、注目している。本稿では、新しい河川工法である「バーブ工法」を紹介するとともに、バーブ工が寄り洲を形成する機構を解明することを目的に実施した移動床水理実験の成果を中心に、実用化に向けた取り組みを報告する。

### 2. バーブ工法のあらまし

北米では、河道湾曲部の外岸における河岸侵食を抑制する工法として、水制工の一種であるバーブ工(Stream barbs)が用いられている。Stream barbs は、河岸への元付け部の高さは河岸高と等しく、先端に向かって低くなるように勾配を付けた水制を、河岸直角から 60° から 70° も上流側に角度を向けて、湾曲部の外岸に複数基配置する工法で、湾曲外岸の流速を低減し、局所洗掘の原因となる縦渦を減殺して、河岸侵食を抑制する<sup>3)</sup>。

一方、日本のバーブ工は、主に北海道において、流砂を捕捉して寄り洲を形成したり、河床形状と流れに変化をつけたりする目的で用いられてきており、数多くの施工事例がある(写真-1)。その外観は、Stream barbs と同様に、上流に向けてかなり角度がつけられた水制状の構造物ではあるが、河床から突出する高さが低く抑えられ、出水時には容易に水没する点が大きく異なる点である。

本体の構造は、バリエーションに富み、捨石構造、石をネット状の材料でくるんだ袋詰構造、自然石を連結した連結自然石構造、表面を連節ブロックで被覆した構造など、様々である。

そこで、バーブ工が流砂を捕捉して寄り洲を形成する機構を解明するため、河床から突出する高



写真-1 バーブ工の施工事例  
(左：精進川放水路，右：日高門別川)

さが低い越流型水制について、平面設置角度を直角から上向きの広い範囲で変化させた移動床水理実験を行い、平面設置角度が河床変動に及ぼす効果と、寄り洲を形成するために好ましい水制形状について、検討を行った。

### 3. 寄り洲形成機構解明のための水理実験<sup>4)</sup>

#### 3.1 実験方法

##### 3.1.1 実験水路

実験水路は、長さ 8m、底面幅 30cm (アルミ製)、側壁高さ 20cm (アクリル製) の長方形断面水路を使用した。延長 8m のうち、中間の 3m 区間を移動床区間として、固定床区間には板材に同じ砂を塗布して製作した粗度板を設置した。

移動床区間には、粒径 0.6mm のほぼ均一な珪砂を満たし、各ケースの水制模型は、移動床区間の上流端から 1.2m の位置に単体で設置した。水路床勾配は 1/200 とし、流量は 8.0L/sec とした。

これらの実験条件は、扇状地区間における一般的な単断面の中小河川との相似を意識して設定したものであり、実河道との長さ比を 40 倍とすれば、河道幅 12m、河床材料の代表粒径 24mm の河道に、流量 80m<sup>3</sup>/s 程度の出水が流下する状況を模したものとなる。

##### 3.1.2 実験手順

実験は、土砂の流出が進んで河床低下を生じる中小河川の状況を模擬し、無給砂条件で実施した。また、通水時間は水制を設置しない条件での予備実験を踏まえ、通水 30 分程度で移動床区間の流砂量が減少し河床低下の速度が鈍化したことから、各ケースについて、30 分通水後の水路中心における水位縦断分布と、1cm メッシュでの河床高を計測した。また、水制模型周辺の三次元的な流れの構造を考察するため、ビデオ撮影を実施した。

##### 3.1.3 実験ケース

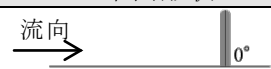

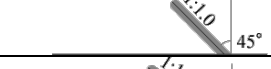
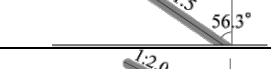
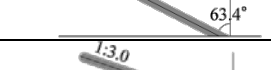

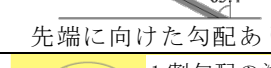


実験ケースは、水制なしの 1 ケース(Case0)、平面角度の検討のためのケースを 6 ケース(Case1~6)設定した。さらに、水制の断面形状、水制先端の高さを下げた際の効果を確認するため、Case5 を基本形として抽出して、形状を変化させた 3 ケース(Case5a,5b,5c)を追加した。実験ケースの一覧を、表-1 に示す。

水制模型は厚さ(天端幅) 18mm、高さ 10cm として、厚さ 9.5cm に敷き均した初期状態の砂

面から 5mm 程度露出するようにした。横断方向には天端が水平である状態を基本とした。水制模型の断面形は長方形を基本とし、先端部のみ丸く加工した。水制長は、側壁から 10cm の位置まで確保することを共通事項とした。

水制形状の検討のための追加 3 ケースは、水制先端を 1cm 下げ、横断面上では 1:10 の勾配となるケース(5a)、水制周囲に法面を付加したケース(5b)、先端を下げなおかつ法面を付加したケース(5c)を設定し、Case5 と比較した。

表-1 実験ケース (平面角度の検討)

Case	平面角度	平面形状
1	0° (-)	
2	26.6° (1:0.5)	
3	45° (1:1.0)	
4	56.3° (1:1.5)	
5	63.4° (1:2.0)	
6	71.6° (1:3.0)	
5a	63.4° (1:2.0)	
5b		
5c		

#### 3.2 実験結果

##### 3.2.1 水制の平面設置角度の効果

全てのケースにおいて、通水開始直後から河床波の一種である砂堆が発達した。上流側から河床低下が進行し、水制模型が露出するに伴い、水制模型周辺の局所洗掘と下流側への影響が顕著となって、各ケースの違いが現れた。30 分通水後の砂面高の平面分布を図-1 に、水制近傍の最大局所洗掘深を図-2 に、洗掘体積を図-3 に示す。なお、洗掘体積は、砂堆による凹凸と区別するために、Case0 の河床縦断形を直線で近似した高さの基準面を設定し、水制近傍で基準面より

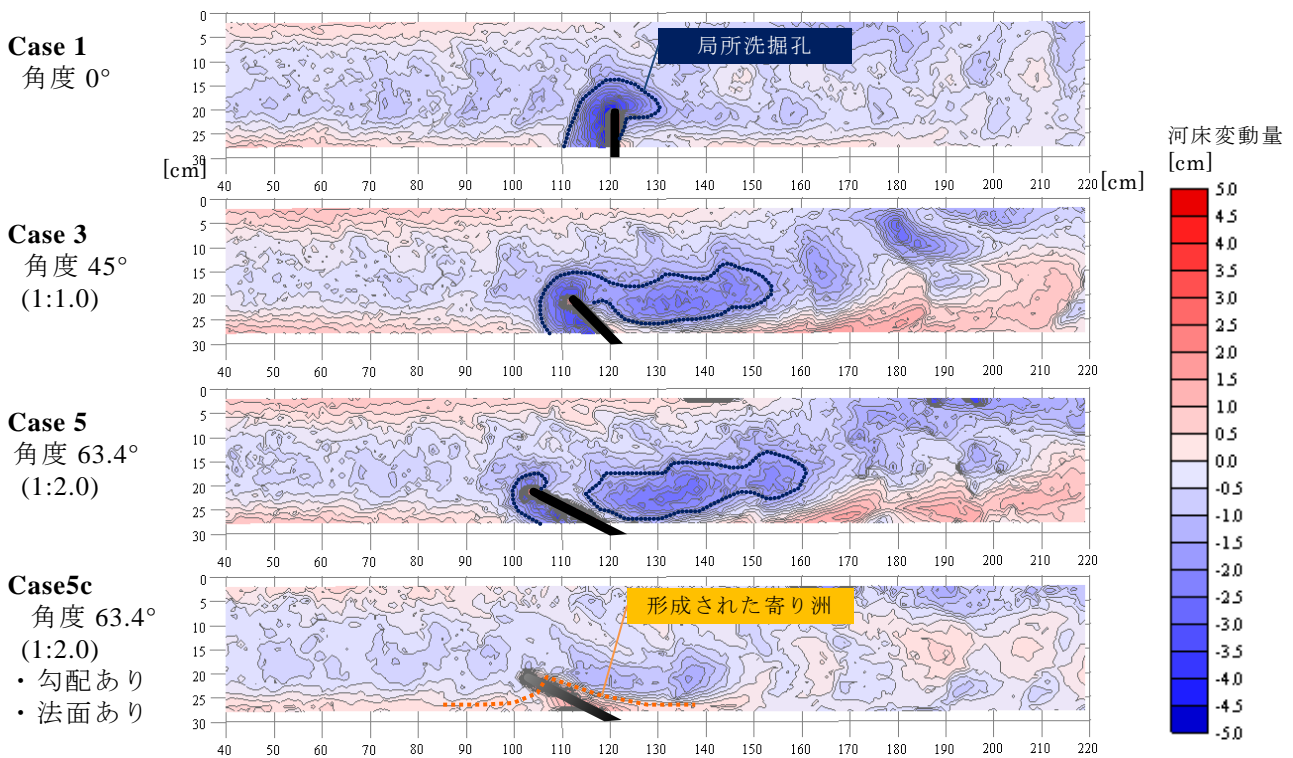


図-1 通水後の砂面高平面分布 (Case0 による基準面からの変動量) 4) 抜粋

1.5cm 以上砂面が低い領域について集計した。

一般的な直角水制に相当する Case1 では、通水直後から、橋脚周りの馬蹄形渦に類似した強い縦渦が水制先端部において発達し、烏帽子のような平面形状の洗掘孔が形成された。

水制に上向き角度をつけるにつれ、水制先端部の洗掘孔は縮小し、伴って最大洗掘深も低減されたが、洗掘された土砂の体積は、Case1 から 4 にかけて大幅に増加した。さらに、水制下流側の横断方向の河床高に顕著な偏りを生じた。この理由は、水制を上流側に傾けるにつれ、水制先端から上流側にみられる洗掘孔とは別に、水制を斜めに越流した流れに起因する下流側の洗掘孔が拡大することによる。Case4 より更に角度を大きくした Case5、6 では、下流側の洗掘孔が縮小し、侵食量も減少している。

以上より、越流型水制に上向き角度をつけることにより、最大洗掘深は低減できても、流砂を捕捉した寄り洲は形成されないことが確認された。

### 3.2.2 水制形状の工夫による寄り洲の形成

局所洗掘深が抑制され、かつ水制下流側の侵食量が小さい Case5(63.4°)を基本形として、形状が異なる Case5a、5b、5c を比較した結果より、水制形状の効果をまとめれば以下のとおりである。

まず、水制先端を下げることは、局所洗掘の抑

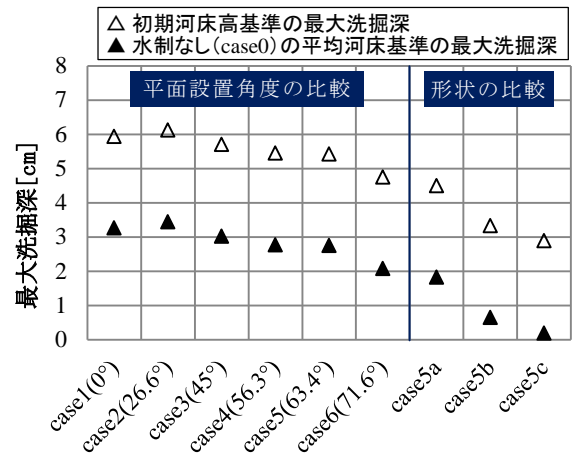


図-2 最大局所洗掘深

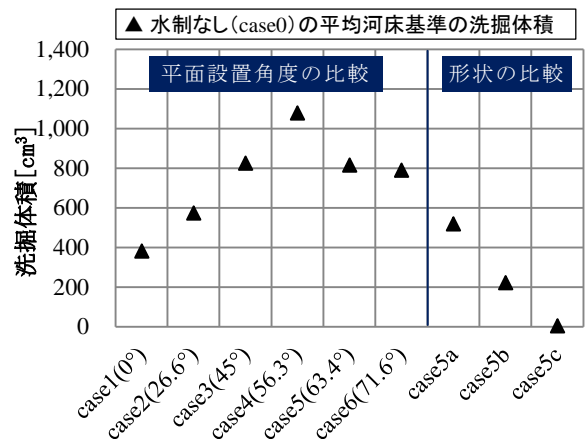


図-3 洗掘された土砂の体積

制に一定の効果が期待できるが、河床が低下し、



水制が露出するとその効果は相対的に低下する。水制側面に法面を設けることは、局所洗掘の原因となる縦渦の抑制には非常に効果的であったが、上流からの流砂を捕捉することはできなかった。

水制先端を下げ、側面に法面を設けたケース (Case 5c) では、局所洗掘を抑制しながら、流砂を水制近傍に捕捉・維持することができた。他のケースでは、砂堆が水制付近を通過する際に、砂堆前縁線が局所洗掘孔に差し掛かると、洗掘孔に常在する橋脚周りの馬蹄型渦に類似した縦渦によって急速に砂が流出するが、Case 5c では、砂堆が水制を乗り越えるように進み、水制先端の河床高は回復し、水制付け根の上下流側には砂が捕捉され、計測時まで寄り洲が維持された。

#### 4. 考察

河床面から突出する高さの小さい越流型水制の平面設置角度を変化させた結果、上向き角度を大きくするにつれ、局所洗掘深は減少することが確認された。しかしながら、水制を斜めに越流する流れにより下流側に形成される洗掘孔が拡大し、洗掘体積の総量は増加した。一方、水制の先端を低くし、かつ局所洗掘の原因となる縦渦の発生を防ぐ法面を設けたケースでは、局所洗掘が大幅に抑制され、さらに水制の根元の高さまで流砂が堆積した寄り洲が形成された。

以上の結果より、バーブ工による寄り洲の形成機構は、上向き角度が大きく、かつ先端を下げた高さの低い水制が、出水中に水制の高さまで掃流砂を堆積させる働きによるものと考えられる。

#### 5. おわりに

本稿では、流砂を捕捉して寄り洲を形成する「バーブ工法」を紹介するとともに、設置時の平面角度と形状が河床変動特性に与える影響につい

て報告した。今後、設計法の提案に向けて、いくつかの課題について検討を進めていく。水制の設計にあたっては、洗掘深の予測、構造物に作用する流体力の算定が重要である。バーブ工についても、同様の整理が可能かどうか検討を進めていく。また、本体構造のバリエーションについても、適用範囲を含めて検討を進めていく。

なお、平成 23 年からは、バーブ工に興味のある研究者、有識者、建設コンサルタント技術者、メーカー等が集まったバーブ研究会が開催されており、筆者らも研究会に参加しながら、調査研究を進めている。

今後も引き続き、バーブ工の機能解明と設計手法の検討を進め、試験施工事例を蓄積しながら、多自然川づくりの現場に資する技術へと高めていく所存である。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり、北海道におけるバーブ工の施工事例をご紹介いただいた (株) 北海道技術コンサルタントの岩瀬晴夫氏、バーブ研究会の皆様、記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省河川局：中小河川に関する河道計画の技術基準について、2010。
- 2) 多自然川づくり研究会：多自然川づくりポイントブックⅢ 中小河川に関する河道計画の技術基準；解説 川の営みを活かした川づくり～河道計画の基本から水際部の設計まで～、260p、日本河川協会、2011。
- 3) U.S. Department of Agriculture Portland, Oregon Natural Resources Conservation Service: *Engineering Technical Note 23 Design of Stream Barbs Version 2.0*, 2005. (Web 版有り)
- 4) 原田守啓、高岡広樹、大石哲也、萱場祐一、藤田裕一郎：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、I\_1189-I\_1194、2013。

原田守啓\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ自然共生研究センター 専門研究員、工博  
Dr. Morihiko HARADA

高岡広樹\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ自然共生研究センター 専門研究員、工博  
Dr. Hiroki TAKAOKA

大石哲也\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ自然共生研究センター 主任研究員、工博  
Dr. Tetsuya OISHI

萱場祐一\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員、工博  
Dr. Yuichi KAYABA