

中小河川の改修計画（不透過越流型水制工の計画・設計）について

STUDY ON RIVER IMPROVEMENT PLAN OF SMALL-MEDIUM SIZED RIVERS(SUBMERGED GROINS)

(株) 北海道水工コンサルタンツ ○正会員 角谷 和成 (Kazunari.Sumiya)
(株) 北海道水工コンサルタンツ 正会員 佐々木 真 (Makoto.Sasaki)
(株) 北海道水工コンサルタンツ フェロー 吉井 弘 (Hiromu.Yoshii)

1. はじめに

中小河川の改修計画において、現況の河川環境を保全・維持するには「川幅と水深」の関係が重要であると考え、昨年度は「中小河川の中規模河床形態について」¹⁾と題し、土木学会等の論文成果を参考に直線的な河道区間における改修計画の考え方について報告した。

今年度は、中小河川の蛇行河道において、河川環境の保全と河道維持とを両立させるために有効な「不透過越流型水制工」について、土木学会を中心とした系統的・継続的な研究成果を基に改修計画・設計及び設置後のモニタリング調査を報告するものである。

2. 検討対象地点の現状と課題

① 河道状況

検討対象地点（H23 年度改修工事区間）は、道東に位置する藻琴川（流域面積 98.0km²、流路延長 17km）中流部の蛇行河道で、河床勾配 1/300 程度、川幅 13m 程度（平均融雪期最大流量時の水面幅）、河床材料平均粒径 2～3cm 程度のセグメント 2-1 に分類される（表 2-1 参照）。検討対象地点の蛇行河道（平面形は図 4-2）の諸元を表 2-2 に示す。

表 2-1 検討対象地点諸元一覧表

項目	流量 (m ³ /s)	水深 (m)	川幅 (m)	B/h	τ*	BI ₀ ^{0.2} /Ho
平水時	3.2	0.7	8	11	0.04	3.2
平均融雪期最大時	9.6	1.0	13	13	0.07	4.2
平均年最大時	27.8	1.4	20	14	0.10	4.6

(BI₀^{0.2}/H₀ < 7)

表 2-2 蛇行河道諸元一覧表

項目	A 区間	B 区間
曲率	θ=54°	θ=66°
曲率半径	R=25m	R=30m
川幅（平均融雪期最大流量時）	B=7～13m	B=13～15m
水深（平均河床高から）	h=1.0m	h=1.0m

② 河川環境

魚類の生息状況について、調査の結果、改修前（H23 年 12 月以前）は図 4-2 に示す A 区間でアメマス等が生息していたが、B 区間では魚類の確認ができなかった。

③ 改修計画上の課題

検討対象地点直下流の浅瀬区間はサクラマス、シロサケの産卵床が確認できた。H23 年度の改修工事はその上流に当たるため、下流の河川環境を保全すると共に改修区間の蛇行河道に存在する淵の保全対策が重要な課題となった。こうした課題を解決する対策として、H23 年度の改修工事では不透過越流型水制工を計画した。その目的は以下の通りである。

- (1) 河岸の流速軽減
- (2) 流水の方向を変える
- (3) 平水時における緩流域の創出
- (4) 淵の保全及び創出
- (5) 土砂堆積

3. 水制工設置における既往研究成果

検討対象地点の課題を解決するため、以下の既往研究成果を参考とした。

① 秋草麩らの研究²⁾

秋草らの研究では、水制工を施工する場合の諸元のうち、水制高、水制長、水制間隔、水制工勾配、設置方向について既往の設置事例（250 例、論文発表は 1961 年 4 月）を統計的に整理されている（表 3-1 参照）。しかし、当該研究では、水制工の設置範囲について示されていない。

表 3-1 設置事例統計表

水制高/水深	大部分が 0.1~0.4 の範囲にあり、0.5 以上はほとんどない。
水制長/川幅	0.1 以下が大部分であり、0.2 以上は非常に少ない。
水制間隔/水制長	大部分が 1~4 の範囲である。
水制工勾配	1/10～1/50 が 32%、1/50～1/100 が 20%で、1/10～1/100 で全体の 50%をこえる。
設置方向	流れの方向に対して直角が 55%で上向き角度 15° までで 90%以上を占める。

② 福岡捷二らの研究³⁾

福岡らの研究では、図 3-1 に示す一様湾曲実験水路（曲率半径と川幅の比 R/B=4.5、水路勾配 1/500 等）に 2 箇所の棧型水制を設置して、水路実験と準三次元数値計算を行っており、次の結論を得られている。

「湾曲外岸側に発生する洗掘深を小さくする水制工の諸元（水制間隔、水制高、水制長等）は、B を川幅、h_a を設計水深として次の条件を満足することが望まし

い。」

- $f_s/B \leq 0.2$ (水制長と川幅の比)
 $S/f_s = 2.0 \sim 3.0$ (水制間隔と水制長の比)
 $H_s/h_a = 0.1 \sim 0.4$ (水制高と設計水深の比)
 h_a : 設計水深 (低水路満杯流量時の水深)

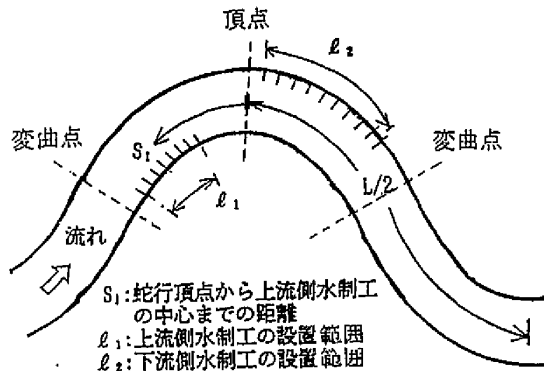


図3-1 蛇行部における水制工設置位置図

水制工の設置範囲は、準三次元計算法によって内岸と外岸での河床の洗掘・堆積状況を調べて決定することを勧めているが、実験結果からは次のように記述されている。

- (1) 水制工は湾曲部上流内岸側と下流外岸側の2箇所が有機的に機能するように設置する。
- (2) 上流側水制工 (上流内岸側) の設置範囲 ℓ_1 は曲率、流量を変えても変化が少ない蛇行長 (L) の $0.10 \sim 0.15$ の範囲とする。
- (3) 下流側水制工 (下流外岸側) の設置範囲 ℓ_2 は流量規模を変えてもあまり変わらないが、平面形状での違いによって大きく変わる。曲率半径を小さくすると、水制工の設置範囲を長くする必要があるため、湾曲部外岸においては主流の加速領域を定め、二次流の変化を十分に確認した上で範囲を決定することが望ましい。

③ 山本晃一の研究⁴⁾

山本の研究では、既存の水制の調査を行い、水制の効果、問題点等を明らかにするとともに、今後の水制あり方、設計の考え方を表されている。セグメント2-1の河川の場合は、以下のように記述されている。

「セグメント2-1の区間については、扇状地河川に比べて河岸高も高く、また河岸は固定砂州の淵部となっているので、護岸前面に根固めを行うのが通例である。水制工を設置する必要はないと思うが、設置する場合は根固めの補強という位置づけでなく、水制郡の水制先端線を連ねた線に深掘れを追いやるものとして位置づけすべきであろう。水制長 ℓ_g は河岸から深掘れをどれだけ離れたいかによって定め、水制間隔 L_g は、 ℓ_g の2~3倍程度か、水制高 h_g の10~20倍程度の短いものとする。水制の高さは平均年最大流量時の平均水深の $1/2 \sim 1/3$ 程度は必要である。」

さらに、山本⁵⁾は侵食位置とその移動方向は次のように説明している。

水路内に存在する砂州の前縁線が分かればそれより推定し得る。分からない場合は、精度は落ちるが水路平面

形状より概略推定する。

「直線水路では砂州が発生しない場合 (対象地点はその領域と考える) は湾曲角が 20° 以下の場合は、最大曲率位置より上流に $2B$ 、下流に $2B$ 程度、 $20^\circ \sim 45^\circ$ の場合では上流に $1.5B$ 、下流に $3B$ 程度、 45° 以上の場合では、上流に $0.5B$ 、下流に $4B$ 程度を侵食域とする。 60° 以上で1湾曲の長さが川幅の7倍以上ある場合は最大曲点より、川幅の5倍程度の所を基準として上流に $0.5B$ 、下流に $3 \sim 4B$ 程度を侵食域とする。直線部が川幅の10倍程度ある場合は直線部の中央に新しいプールが発生するものとする。」

④ 「北海道の川づくり技術ガイドライン」⁶⁾

「北海道の川づくり技術ガイドライン」の作成に当たった千田稔⁷⁾は水制工の設置位置及びその範囲について、既研究成果 (阿部・鈴木⁸⁾、山本⁴⁾) と事業実施経験から湾曲部の洗掘範囲を図3-2のように説明されている (各記号については図3-3を参照)。

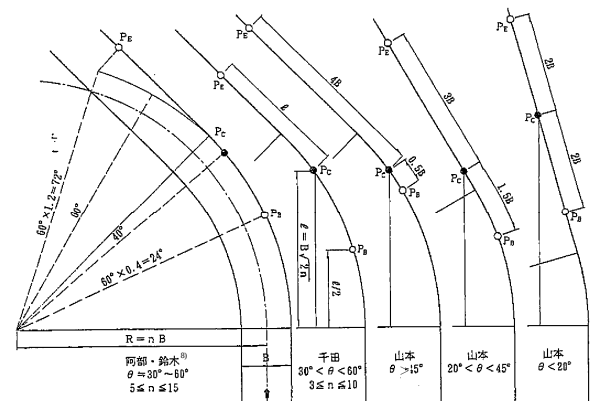
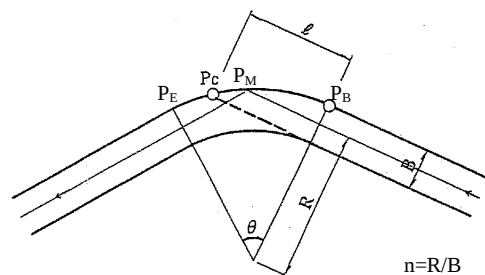


図3-2 洗掘の始終点



- P_B : 円曲線の始点
 P_M : 湾曲率の最大点
 P_C : 上流内岸側の延長線と曲線部の外岸側との交差点
 ℓ : 上流内岸側の延長線から曲線部の外岸側までの距離
 P_E : 円曲線の終点
 B : 川幅、 θ : 曲率、 R : 曲率半径

図3-3 湾曲部の記号

4. 水制工の計画設計

4-1 水理諸元

水制工の対象とする水理量は低水路満杯流量とし、その規模は平均融雪期最大流量が支配的であると考える、その川幅と水深を設計水理量とした (表2-2参照)。

4-2 不透過越流型水制工の計画

① 水制工の諸元

不透過越流型水制工は、水制長、水制高、水制幅、水制工勾配、設置範囲から、水制間隔とその向きを決定する必要がある。水制工の単体構造は、河川改修後の修景や材料調達の容易さを踏まえて石組みとし、計画高水流量に抵抗する重量と大きさを「護岸の力学的設計法」⁹⁾により算出した。水制工の諸元は「3. 水制工設置における既往研究成果」を参考とし、表 4-1 のように計画した。

表 4-1 水制工の諸元

水制長	平水時水面幅の 1 割程度とした。蛇行河道の場合は曲率で水面幅が一様でないため、水制工長を変化させた(図 4-1 参照)。
水制高	平水位 + 10cm (水制工先端の高さ) とした。
水制間隔	水制長さの 3 倍とした。
水制工の向き	想定流心方向に対して直角とした。
水制工の勾配	川側に向かって 2% の下り勾配とした。
水制工の構造	石組みとした。石の粒径は、「護岸の力学的設計法」 ⁹⁾ で算定し、現況の深部 -50cm (50cm 嵌入) を水制工の底部とした。

② 水制工の設置範囲

現況の淵を保全し、根固めの役割を果たすためには水制工の設置範囲が重要である。設置範囲の検討については、福岡ら³⁾はその目的のために三次元解析を勧めている。本論文では定性的、経験的な研究資料⁷⁾を参考とし、水制工設置は図 4-1 のように現況の淵をカバ

ーする範囲とし、検討対象区間については、図 4-2 より A 区間に 4 基、B 区間に 5 基設置した。

5. モニタリング

河川改修後の状況を調査し評価を行うため、モニタリングを実施した。その結果を以下に示す。

5-1 河道状況について

- (1) 水制工設置後の河道状況調査を 2 年後の平成 25 年 5 月に実施した。図 4-2 に示す①~⑧の横断のうち、河床変動が顕著に見られる③、⑤(図 5-1 参照)より、A 区間は比較的安定した淵を形成しているが、B 区間の淵の位置は下流に拡大している事を示している。
- (2) 深掘れの深度は(進行度合い)、2 年間のモニタリング期間ではあるが、現況の淵の深さは最大で -0.3m 程度とほぼ維持されている。その後平成 25 年 9 月 16 日降雨では、平均年最大流量以上となる高水敷上 1.5m 程度まで冠水したが、平成 25 年 11 月 21 日時点の調査において水制工は維持されていた。
- (3) モニタリングの結果、淵の深さは大きく変わらないが、その範囲が下流に移動し拡大したことが課題としてあげられる。原因としては、水制工による水跳ねが発生し、水衝部が下流方向へ移動したと考えられる。平成 25 年 11 月 21 日に流速観測を実施した際(観測時流量 $3\text{m}^3/\text{s}$ 、平水流量程度、B 区間)の流水は、写真-1 に示すように水制工の水跳ね効果でセンター寄りになっている。また、上流側水制 2 基については、天端が水面上に確認されたが、その下流側水制 3 基については、天端が水面以下となっていたため、水制工の構造の設定方法が課題となった。

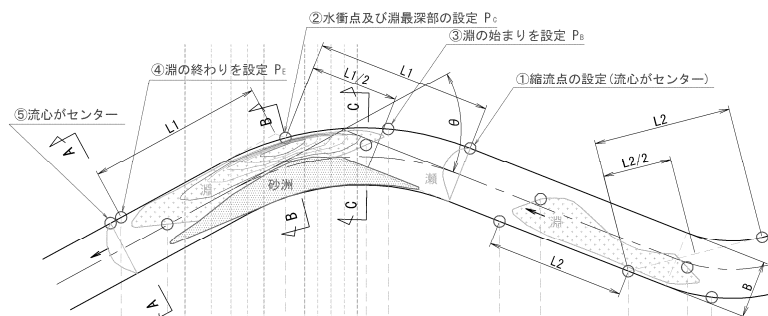


図 4-1 淵の形成範囲

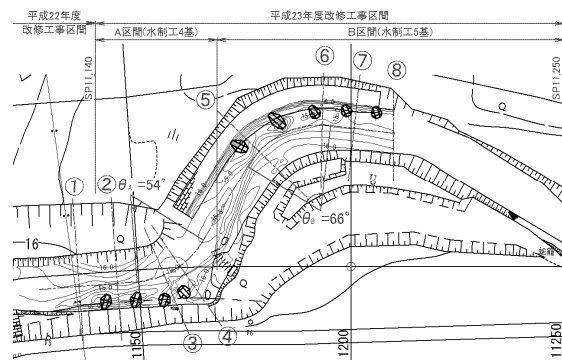


図 4-2 水制工配置図 (A 区間 4 基、B 区間 5 基)

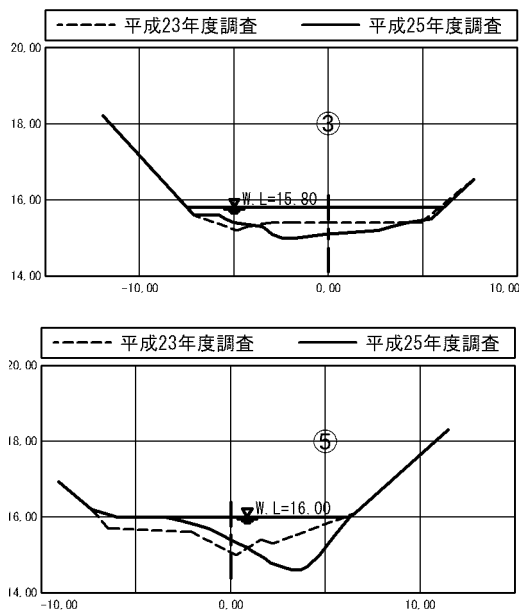


図 5-1 横断面図の比較



写真-1

(4) 水制工の間については、流速・流向の観測結果より反転流等で緩流域が確認され、魚の生息に適した水域環境となっている。今後は河床材料の調査の必要がある。

6. これからの水制工の計画・設計について

6-1 水制工の設置範囲

モニタリングの調査結果から水制工の設置範囲は次のように考える。

- (1) 現況の淵をカバーする範囲とする。
- (2) 検討対象区間とした曲率 45° 以上の蛇行河道では、図 3-2、図 4-1 より淵の始まりは河道の曲がり地点となり、淵の終わりは流速分布がセンターになる地点と考えられる。水制工を計画する場合、現況の淵をカバーすることを踏まえ、水制工の起点を淵の始まりとし、水制工の終点を図 4-1 に示す流速分布がセンターになる位置 (図 5-1 の⑤) までを範囲とする。その際、平面 2 次元、準 3 次元計算法等で検討し、整合性を図る必要がある。

6-2 水制工の構造について

モニタリングの調査結果から水制工の構造は次のように考える。

- (1) 水制工の高さは、現況の淵の形状や水制工の目的で異なってくるが、魚類の生息域の保全を重点的な課題とする場合、その高さは平水位 + 0.1m 以上と考え、積雪

地域の河川 (北海道) では、平均融雪期最大流量時の水位以下とする。ただし、蛇行河道では湾曲による水位上昇を考慮し、水制工は平水位において水没させないよう計画する必要がある。

- (2) 水制工の長さは、平水位時における水面幅の 1 割程度とする。しかし、蛇曲河道の場合は曲率で水面幅が変化するため、水制工の設置位置で長さを変化させる必要がある。

- (3) 水制間隔は、水制長の 3 倍程度とする (福岡³⁾ を参考)。

- (4) 水制工の向きは、水制工の水跳ね効果を考慮して、流心がセンターになるよう水制工毎の位置で流心に対して直角とする。

- (5) 水制工の勾配は、川側に 1/100 以下とする (秋草²⁾ の統計的資料を参考)。

- (6) 水制高の低い不透過越流型水制工は、石組み工を基本として、護岸の力学的設計法⁹⁾ でその大きさを検討する。施工は基礎石の嵌入、石組み工等に十分な配慮が必要である。

7. あとがき

構造としての高さが低い不透過越流型水制工の有効性については報告の通りである。

石組みの施工等については、他の工法より短期的で廉価であるが水制先端の河床は掘れることが避けられない。その深掘れに対する対策が重要であり、特にその石組みの施工に関する経験と熟練した技術とが求められる。水制工の果たす役割について、その施設の維持等を含めて、今後も継続したモニタリング調査を行うものである。

また、論文の掲載に際し、資料等の使用をご了承頂いた網走建設管理部の関係者の皆様に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中小河川の中規模河床形態について…佐々木真、吉井弘 土木学会北海道支部論文報告集 平成 25 年 2 月
- 2) 水制に関する研究 昭和 36 年 4 月…秋草勲、吉川秀夫、坂上義次郎、芦田和男、土屋昭彦 土木研究所報告 第 107 号
- 3) 越流型水制工の設計法の研究 …福岡捷二・西村達也・高橋晃・川口昭人・岡信晃利 土木学会論文集 No. 593 1998. 5
- 4) 日本の水制… 山本晃一著 山海堂
- 5) 沖積河川—構造と動体—… 山本晃一著 技報堂
- 6) 北海道の川づくり技術ガイドライン(案) 平成 10 年 7 月…監修/北海道建設部河川課発行/ (財) 北海道建設技術センター (発行当時の名称)
- 7) 自然的河川計画…平成 11 年 1 月千田 稔著 (株) 北海道水工コンサルタンツ蔵書
- 8) 流路工の湾曲部に関する実験的考察…阿部宗平、鈴木浩之 土木技術資料 1983.3
- 9) 護岸の力学的設計法… (財) 国土技術センター 編 山海堂