

## II-44 弯曲河道に設置されている水制周辺の現地調査について

北海道開発局開発土木研究所 正員 崇田徳彦・渡邊康玄  
 北海道大学工学部 正員 清水康行  
 北開水工コンサルタント(株) 正員 福田正一・住友裕明

### 1. はじめに

水制施工計画立案には、水制によって生じる河床変動について数値計算<sup>1)~5)</sup>や模型実験<sup>3), 6)</sup>を行い、水制長や水制間隔等を決定する必要がある。しかし、現地における観測は行われておらず、数値計算や模型実験がどの程度現地の現象を再現しているかは不明である。

本研究は弯曲部に設置されている水制周辺の流れを計測し、水制背後の土砂堆積に伴う2次流の効果について検討した。

### 2. 現地および調査概要

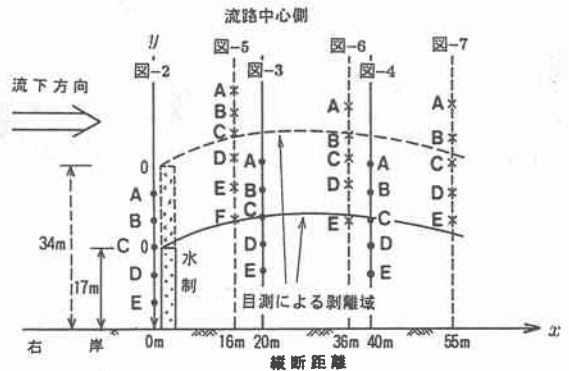
十勝川は大雪山連峰十勝岳に発し、流域面積 9,100km<sup>2</sup>、流路延長 156km の一級河川である。旅来地区は十勝川河口から約 10km 上流に位置し、平成 4 年 8 月新たに 5 基の水制が設置された。設置当初の水制長は 17m であり、平成 6 年 8 月二期目の工事により長さ 34m に延長された。昭和 61 年度に行われた河床材料調査によると、この地区の河床材料粒径は約 1cm である。水制施工前の旅来地区の航空写真を写-1 に示す。

調査日は平成 5 年 5 月 1 日と平成 6 年 10 月 14 日であり、流量は両日とも年平均流量とほぼ同量の 250m<sup>3</sup>/s である。また着目した 5 基の水制は現在のところ水制長に対して水制間隔(約 150m)が充分長いため、1 基の水制に着目したとき単独水制と見なすことができる。このため最前列の水制についてのみ観測を行うこととした。

着目水制近傍の河床変動に影響を与える出水は、新設、延長工事に対してそれぞれ施工直後に発生しており、平成 4 年 9 月に流量約 900m<sup>3</sup>/s、平成 6 年 9 月に流量約 2000m<sup>3</sup>/s が発生した。また、平成 5 年の融雪出水は規模が小さく河床の変化に対しては有意ではなかった。



写-1 旅来地区航空写真



• H5年5月1日の観測点 × H6年10月14日の観測点  
 (水制長 17m) (水制長 34m)

図-1 測定点平面図

### 3. 計測装置

平成 5 年 5 月 1 日の測定には、3 次元電磁流速計 (ALEC 製) を用いた。電磁流速計を棒の先端に固定し、人力により所定の水深となるよう調節し、水深方向に 20cm 間隔で流速を測定した。測定は電磁流速計の針を直接目視して行った。なお、測定時間は一点につきほぼ 4~5 秒である。平成 6 年 10 月 14 日の測定には超音波多

層式流速計 ADCP(米国 RD Instruments 社製) を用いた。ADCP は測定部を水中に水没させ水面から超音波を発射して超音波のドップラー効果を利用することにより水深別の 3 次元の流速がデジタルデータとして得られるものである。測定時間は 0.2 秒間隔で 60 秒間行い、25cm 層厚 (ただし、水面から 1m は測定不能) で測定した。

#### 4. 調査結果

測定点周辺の平面図を図-1 に示す。水制の延長方向を  $y$  軸 (流路中心から右岸側が正) としそれに対して直角方向に  $x$  軸 (水制下流方向が正)、水深方向に  $z$  軸 (河床から表面が正) をそれぞれとることとする。A, B, C, D, E, F は測定箇所であり、水制先端から連ねる線が目測による剥離域である。

平成 5 年 5 月 1 日に行った調査結果を図-2, 3 および 4 に示す。また平成 6 年 10 月 14 日に行った調査結果を図-5, 6 および 7 に示す。 $x, y, z$  軸に対して流下方向流速  $u$ , 横断方向流速  $v$ , 鉛直方向流速  $w$  がそれぞれ対応する。図は手前が上流、左側が流路中心であり、縦軸は標高 (T.P), 横軸は水制先端からの距離を示す。また、破線は水面を示し、測定箇所を連ねる実線は河床を示す。

##### 4-1 流速

水制上流域の調査結果図-2 によると、水制によって遮られた流れが河床付近に潜り込み流路中心側に向かっている。横断方向流速を見ると測点 B および C で表面付近と河床付近で流速が逆向きになっている 2 次流が生起している。特に測点 B の河床付近では流速 75cm/s であり、ほぼ流下方向流速と同程度の流速が生じている。

水制下流側 16m 及び 20m の調査結果図-5 及び図-3 によると、図-5 の測点 B の流下方向流速は河床付近で流速が膨らんでいる。これは水制によって遮られた上流域の流れが河床付近に入り込んだことによるものと考えられる。しかし、この地点から縦断的に 4m 下流の測点である図-3 の測点 C ではこのような流速分布をしていないことから、水制先端部で発生している河床付近で膨らんだ流下方向流速分布は水制のごく近傍でしか生

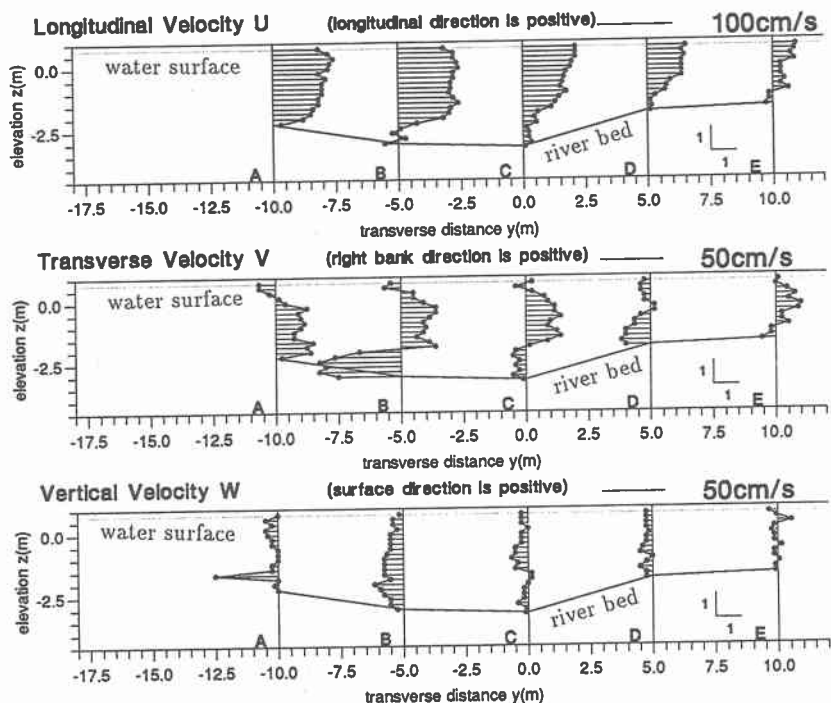


図-2 水制上流側 0m(平成 5 年 5 月 1 日観測結果)

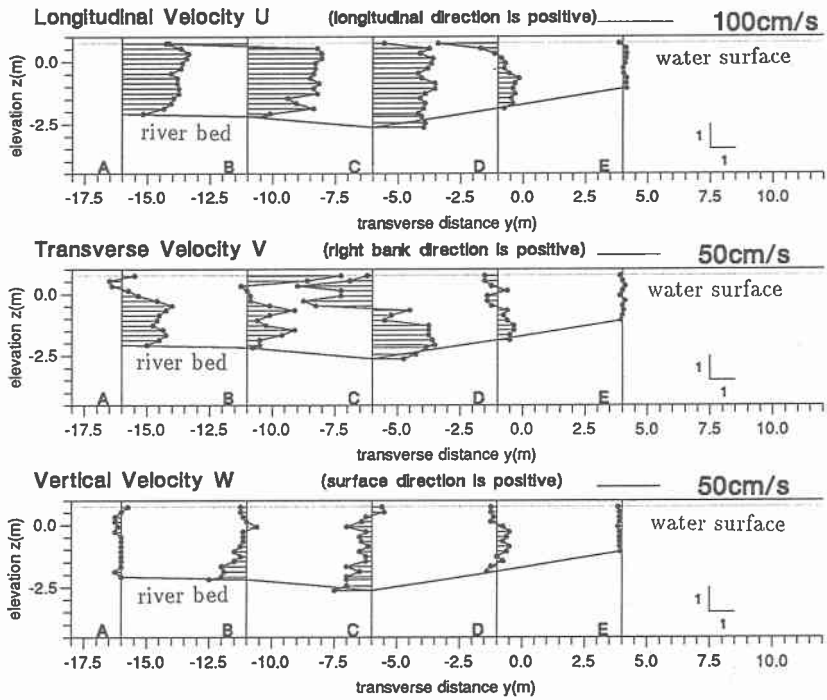


図-3 水制下流側 20m(平成 5 年 5 月 1 日観測結果)

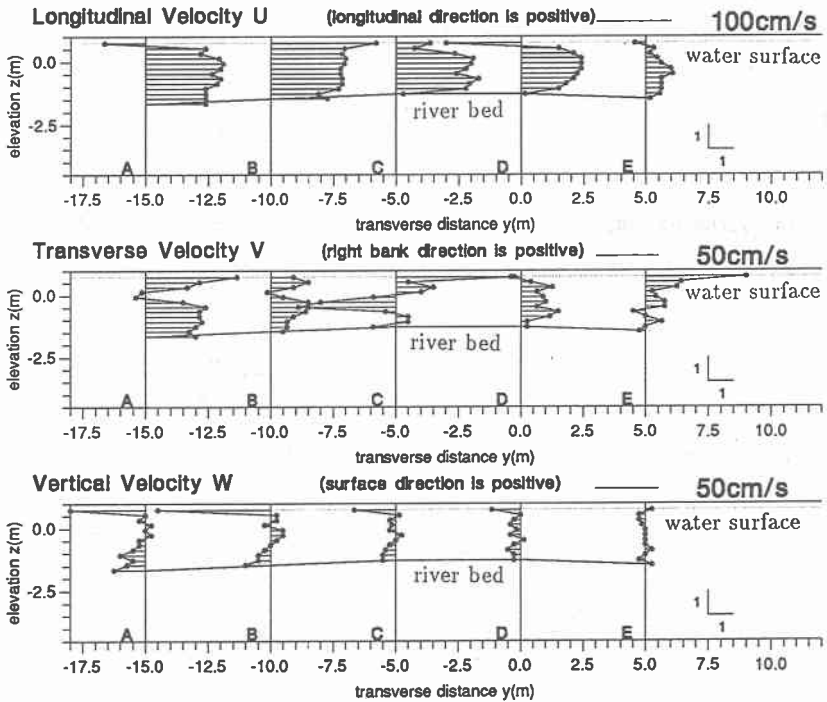


図-4 水制下流側 40m(平成 5 年 5 月 1 日観測結果)

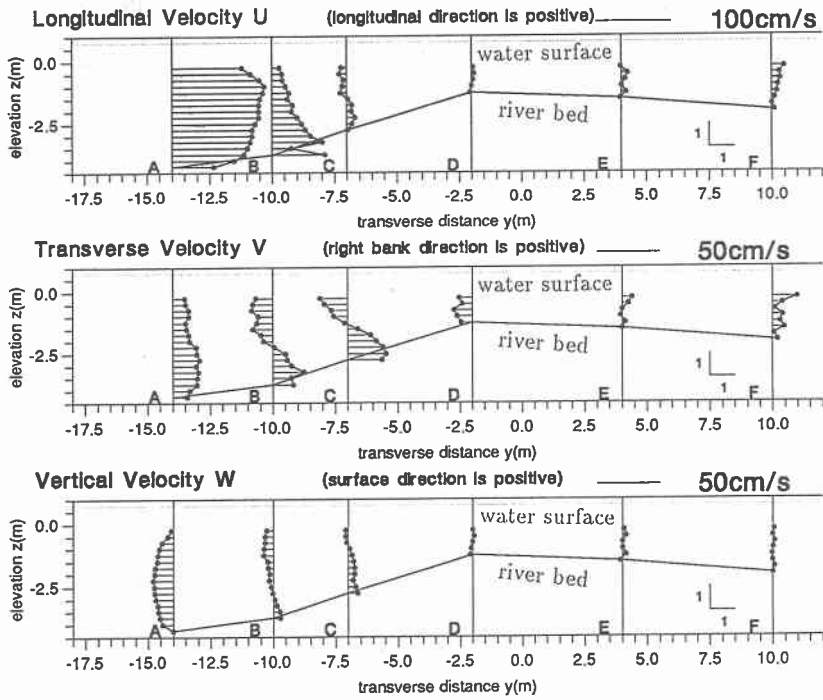


図-5 水制下流側 16m(平成 6 年 10 月 14 日観測結果)

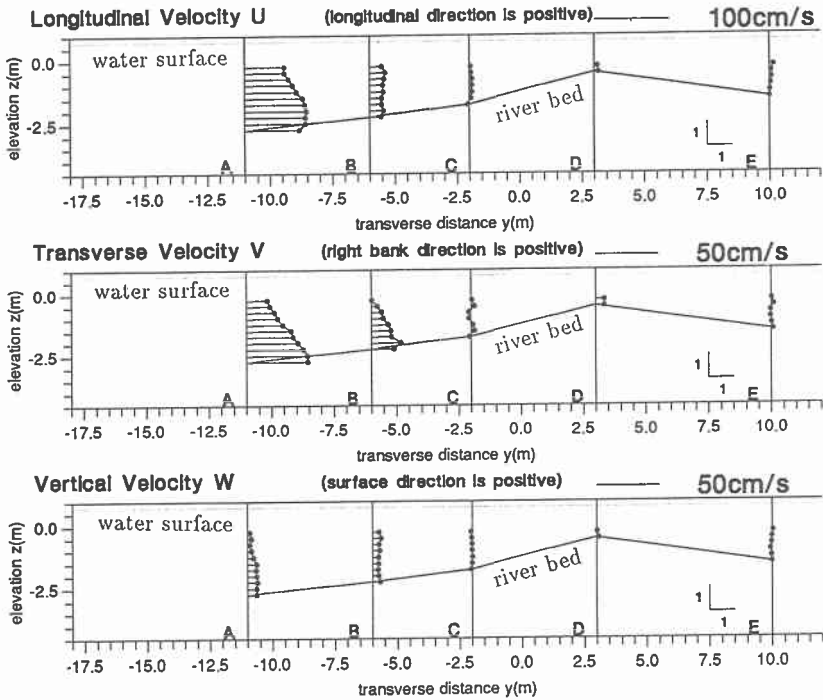


図-6 水制下流側 36m(平成 6 年 10 月 14 日観測結果)

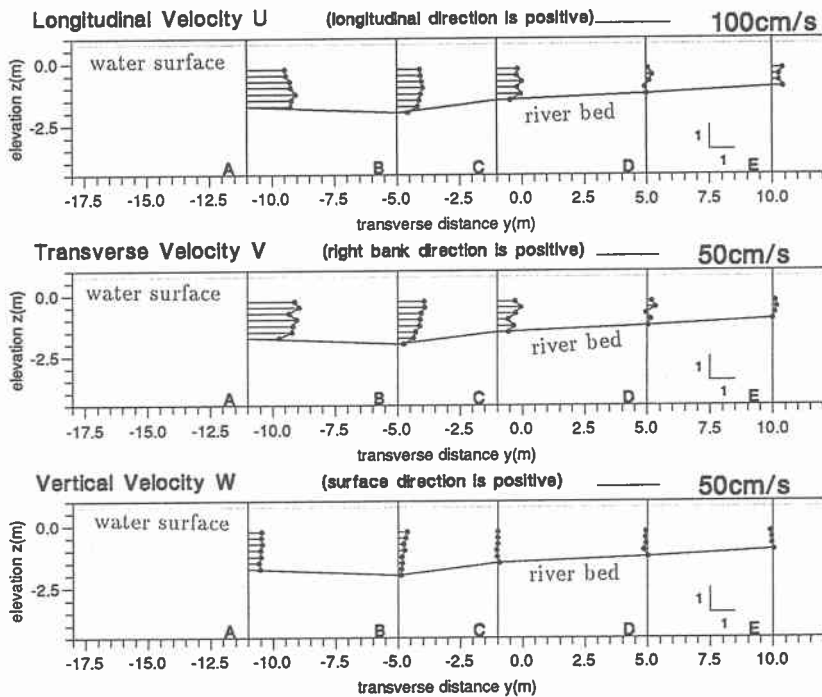


図-7 水制下流側 55m(平成 6 年 10 月 14 日観測結果)

起していないものと考えられる。

図-3 の測点 C および D, 図-5 の測点 B および C の横断方向流速は河床付近で流路中心側から右岸側へ向かい、表面付近で右岸側から流路中心側へ向かう 2 次流がよく示されている。この 2 次流は水制上流側で発生している 2 次流とは向きが逆になっている。今回行った 2 回の調査では、水制からの縦断的な測定位置が多少異なる (16m および 20m) ものほぼ同規模の 2 次流が発生しており、水制長の違いによる 2 次流の大きさの違いは認められなかった。

図-3 の測点 C および D において鉛直方向流速は測点 C では下向き、測点 D では上向きの流れが生じている。また同様に図-5 の測点 B の河床近傍では上向き、それ以外では下向き、測点 C では上向きの流れが生じている。これによって下流に向かってらせん流が発生しているのが明確に伺える。室内基礎実験によると<sup>7)</sup>、水制背後に生じる 2 次流は流下方向流速に対し 1 オーダー小さな値を示しているが、今回の調査結果では流下方向流速とほぼ同規模の流れとなっている。

水制下流側 40m の調査結果によると、横断方向流速が水深方向に不連続な分布形となっている。水制から 40m 下流の位置であることから水制により生じた流れが不安定になっているため 1 点につき 4~5 秒の観測時間では不十分であったと考えられる。

#### 4-2 河床

H6 年 10 月 14 日の観測結果である図-5 および図-6 では、測点 D を頂点として水制によって発生する 2 次流により土砂が堆積している。H5 年 5 月 1 日の観測においては、2 次流により生じたと考えられるマウンドはない。この異なった現象の理由として以下のことが考えられる。H5 年 5 月 1 日の観測は施工直後の出水から半年程度経過していることから、出水時の 2 次流によりマウンドは形成されたが、その後乱流拡散による浮遊砂がマウンド周辺に堆積したため、2 次流により生じたマウンドは見えなくなった。また、H6 年 10 月 14 日の観

測日直前の出水規模は最大流量は約  $2000\text{m}^3/\text{s}$  であり、出水時にはかなり大きな 2 次流が発生していたと考えられる。

このことは、水制からの縦断距離がほぼ同じである図-4 と図-6 の河床形を比較したとき、図-6 のマウンドの頂点の高さが図-4 の河床の高さにほぼなっていることから上記のことが考えられる。

流れと河床変化について検討を加えると以下ようになる。水制背後の剥離域を境界として 2 次流が発生しており、この 2 次流の働きにより剥離域を縁取る形で土砂が堆積する。つまり水制背後では 2 次流によってマウンドが形成される。マウンドが形成されることで、さらに水制背後では乱流拡散による土砂堆積が促進されるものと考えられる。

## 5. 結論

今回の観測結果をまとめると以下ようになる。

(1) 川幅が水制長に対して充分広い場合、水制長が異なっても出水規模が同程度の場合、ほぼ同規模の 2 次流が発生している。

(2) 水制の施工にあたっては一回の工事で計画延長まで完了するのが理想と考えられているが、実際には予算の関係上、段階的に水制が延長されている。ところが 2 次流は水制先端から下流域に広がる剥離域近傍でしか発生していないため、むしろ段階的に水制を延長した方が効果的と考えられる。

このように、水制背後の土砂堆積は、水制によって発生する 2 次流が大きな要因となっていると考えられる。一般に水制に関する基礎実験は室内で行われてきた。しかし室内の限られた水路幅に対して対岸の側壁の影響が発生しないような水制長を想定すると、水制を水路幅に対して短くするか水深を小さくしなければならない。また、水制長を短くすると水制側の側壁により水制によって生じる 2 次流が抑制される。さらに水深を小さくするとせん断力が小さくなり、河床材料を小さくしなければならないと言った問題が生じる。このため、2 次流による土砂堆積は室内の基礎実験では再現することが非常に難しくなっている。今後水制背後の基礎実験を行う場合、以上の点を考慮する必要がある。

今回の現地調査によって、水制周辺に発生する 2 次流を捉えることができた。特に ADCP を用いての計測では、鉛直方向流速についても妥当と思われる値を観測することができ、河川流況調査に ADCP が非常に有効な観測機器であることが示された。

今回の検討は、流速調査をもとに検討したものであり、今後水制背後に堆積する土砂の粒度分布調査を行うとともに、水理的な検討を含め水制背後の土砂堆積の検討を行う必要がある。

## 謝辞

ADCP の計測に関して (株) S E A の下田氏より、著者らの昼夜の質疑さらに観測現場からの質疑に対して機敏な対応をしていただいた。心から謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 板倉忠興, 黒木幹男, 森明巨: 水制の機能と効果に関する研究, 水域経営に関する基礎的研究, pp.101~121, 1991
- 2) 道上正規, 檜谷治: 水制周辺の平面 2 次元河床変動計算に関する研究, 水工学論文集, pp.61~66 第 36 巻, 1992
- 3) 福岡捷二, 渡辺昭英, 西村達也: 水制工の配置方法の研究, 土木学会論文集, pp.27~36, No.443, 1992
- 4) 清水康行, 西本直史: 水制による河床変化の数値計算, 開発土木研究所報告, pp.1~24 No.98, 1993
- 5) 崇田徳彦, 清水康行: 水制を含む流れの準 3 次元数値計算モデルの開発, 土木学会論文集, pp.31~39, No.497, 1994
- 6) 加治昌秀, 竹本成行, 福田義昭, 北條紘次: 効果的な水制工の配置に関する研究, 土木学会北海道支部論文集, pp.369~374, No.48, 1992
- 7) 崇田徳彦, 清水康行: 水制を含む流れに関する研究, 開発土木研究所月報, pp.2~15, No.471, 1992