

# 信濃川小千谷・越路地区の河床変動対策

## —現地観測, 模型実験, 数値解析結果の比較—

### CONTROL OF BED VARIATION

### AT OJIYA-KOSHIJI DISTRICT IN THE SHINANO RIVER

福岡 捷二<sup>1</sup>・安部 友則<sup>2</sup>・西村 達也<sup>3</sup>  
Shoji FUKUOKA, Tomonori ABE and Tatsuya NISHIMURA

<sup>1</sup>フェロー会員 Ph.D. 工博 広島大学教授 工学部第四類(建設系) (〒739-8527東広島市鏡山1-4-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 建設省 信濃川工事事務所所長 (〒940-0098長岡市信濃1-5-30)

<sup>3</sup>正会員 工博 株式会社建設技術研究所 技術第五部課長 (〒103-8430中央区日本橋本町4-9-11)

Bed regulation works such as groins are effective measures to control the deformation of river bed near structures. Myoken-zeki weir was constructed in the Shinano river in 1990. As the bed variation of the reach where the weir was to be constructed was quite remarkable by floods, the bed regulation work was implemented for the river bed control based on the results of physical tests. The appropriateness of this measure has been proved by the floods that happened after the construction. Further, it is confirmed that all the results of river bed variation in the field measurement, the physical tests and the numerical simulations correspond well.

*Key Words : bed regulation work, bed variation, field measurement, physical test, numerical simulation*

## 1. はじめに

河道弯曲部では, 外岸側の河床が洗掘され, 内岸側の河床が上昇する。河床の洗掘, 堆積などの河床変化が大きくなると, 流れは著しく偏流するようになり, 場合によっては, 堤防の決壊, 河川構造物の破損を引き起こす。特に河道内に建設された横断河川構造物においては, 河床変動によって構造物の機能が妨げられないように河床変動対策を実施しなければならない。

河道弯曲部の河床変動対策の抜本的方法としては, 河道の線形を滑らかにすることであるが, この方法が可能でない場合には, 水制工や帯工が設置されることが多い。河床変動対策として水制工を設置する場合, 水制工の構造・配置を適切に決める必要がある。水制工の設置は, 河道内の流れを大きく変化させ, 水制工の上・下流に新たな水衝部を発生させる恐れがある。これまで, 秋草・吉川<sup>1)</sup>らが行った既設の水制工の統計的処理結果をもとに代表的な水制工の諸元を決め, 現地検討や模型実験によって最終的な水制工の構造・配置を決定してきて

いる。しかし, 模型実験によって水制工の構造, 配置を決定する場合, 個別の河道条件や水理条件に対しては解を与えることができるが, 任意の河道形状や水理条件に対して, そのまま適用することができない。このため, 水制工の適切な配置と諸元を, より簡単に, 合理的に決定する方法が強く求められている。

水制工の配置については福岡ら<sup>2)3)4)</sup>が建設省土木研究所で系統的な研究を行い, 設計法の基本的な考えを見出した。さらに水制工が流れに及ぼす影響を外力として運動方程式に取り入れ, 水制工周りの流れと河床変動を容易に計算できる水理計算モデルの開発を行い, このモデルを越流水制工を設置した固定床および移動床直線水路, 大型水理模型実験に適用することにより, モデルの適用性を示すとともに, 弯曲部における水制工の設計法を示した<sup>5)</sup>。

信濃川小千谷・越路地区のNO.300地点には, 河床の安定を図るとともに長岡市への取水を目的とした妙見堰が建設された。堰上流の河道法線は, 弯曲しているため, 洪水時の河床変動が著しく堰の機能に支障をきたす恐れがあることから, 計画の段階から,

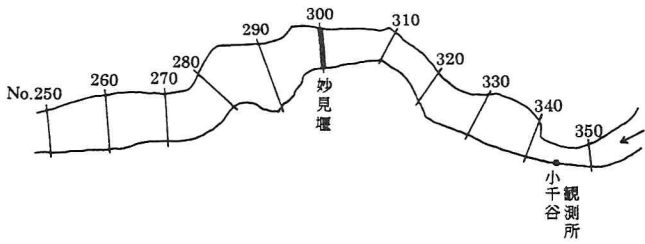


図-1 信濃川小千谷・越路地区の河道法線形

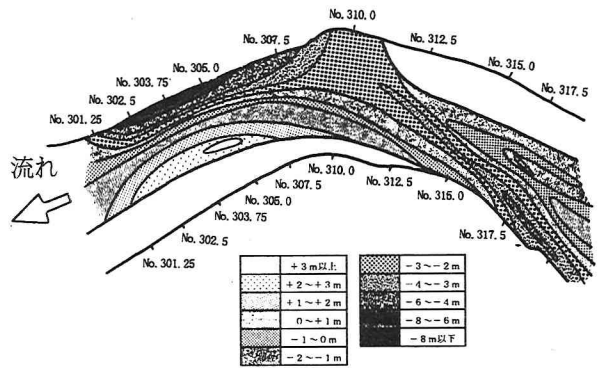


図-2 河床変動対策前の河床変動状況  
(模型実験結果, 流量8000m<sup>3</sup>/s 42時間通水後)



写真-1 妙見堰上流河道の航空写真

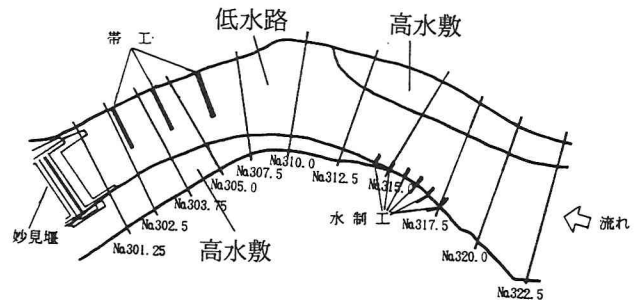


図-3 妙見堰上流河道の水制工と帯工の配置

建設省土木研究所では、模型実験により妙見堰完成後の堰上下流の河床変動状況を把握するとともに、その軽減策について検討を行った。その結果、河床変動対策として堰上流の弯曲部上流内岸側の水制工と弯曲部下流外岸側の帯工の組み合わせが望ましいことが明らかとなり<sup>6)</sup>、模型実験結果にもとづき平成2年に河床変動対策工が完成している。

本文では、妙見堰上流の河床変動対策工完成後の河床高の測量結果から、河床変動対策工の効果について検討する。次に現地観測結果が、先に行った模型実験結果とどのような対応を示しているかを調べ、さらに福岡ら<sup>5)</sup>による水理解析モデルが現地観測結果をも説明し得るものかについて検討する。

## 2. 小千谷・越路地区の河床変動対策工

### (1) 信濃川小千谷・越路地区の概要

信濃川小千谷・越路地区は、信濃川が山間部から平野部へ出る新瀨平野の扇頂部にあたり、扇状地を形成している区間である。小千谷・越路地区には、河道改修事業の施設計画の一環としてNo.300地点(大河津分派点から約30km上流地点)に妙見堰が建設されている。妙見堰上流河道の河床勾配は約1/600、低水路幅は300mであり、同区間の河床材料は広い粒度分布をもつ混合粒径であり、平均粒径は約53mm、 $\sqrt{d_{84}/d_{16}} = 7.8$ である。

妙見堰上流の河道線形は図-1及び写真-1に示すように左右に蛇行しているため、上流から流下してき

表-1 信濃川模型実験の実験条件

流量	4000m <sup>3</sup> /s	8000m <sup>3</sup> /s
通水時間*	167時間	42時間
低水路幅	300m	
水路延長	3250m	
河床勾配	1/600	
河床材料	平均粒径52.8mm $d_{84}/d_{16}=7.8$	

注: 数値は全て現地での換算値を示す

\*: 通水時間は河床形状がほぼ安定状態になるために必要な時間

た流れがNo.317.5付近の左岸側を流下し、No.302.5~305.0付近の右岸側へ集中する。土木研究所が行った模型実験によれば<sup>2)3)</sup>、既往出水の最大流量規模に近い8000m<sup>3</sup>/sが実時間で42時間流下した場合には、図-2に示すように断面No.305付近の右岸側において、初期河床高-4.0mから約4.0~4.5mの洗掘が生じ、左岸側の弯曲部内岸側には3mを超える堆積が生じる。このため、妙見堰上流においては、洪水時の河床変動を軽減させ、特に左岸側の土砂堆積を小さくするための対策工が必要となった。

### (2) 河床変動対策工

建設省土木研究所では、妙見堰上流で発生する河床変動の軽減策として弯曲部上流内岸側の水制工と弯曲部下流外岸側の帯工の組み合わせとそれらの設置位置について模型実験による検討を行った。その結果、図-3に示した水制工と帯工の組み合わせが堰上流の河床変動を最も効率よく軽減できることを明らかにした。

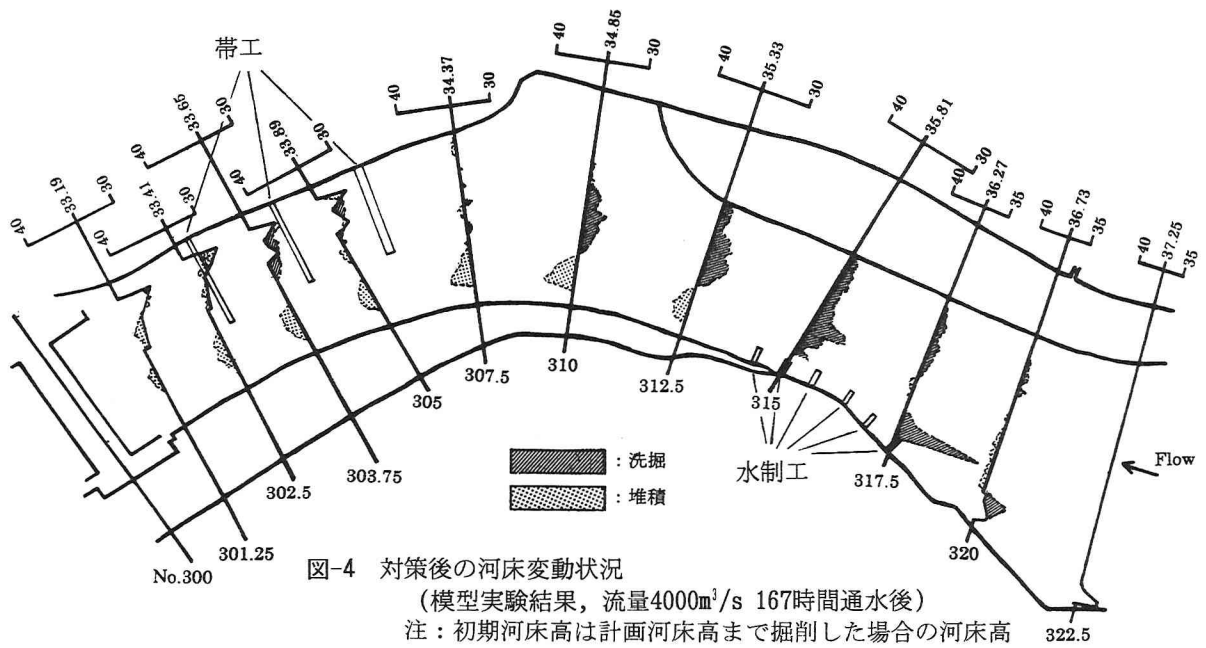
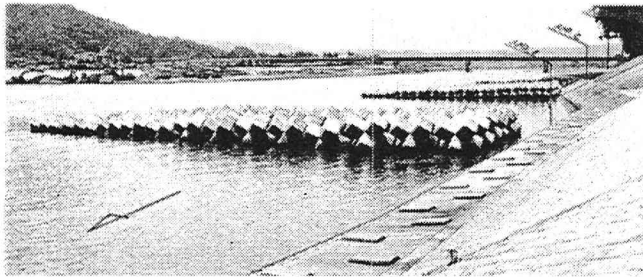


図-4 対策後の河床変動状況

(模型実験結果, 流量 $4000\text{m}^3/\text{s}$  167時間通水後)

注：初期河床高は計画河床高まで掘削した場合の河床高

(施工後の水制工)

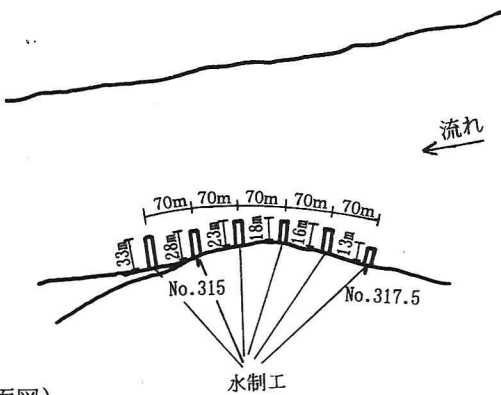


(帯工の施工状況)



写真-2 水制工と帯工の施工状況

(平面図)



(正面図)

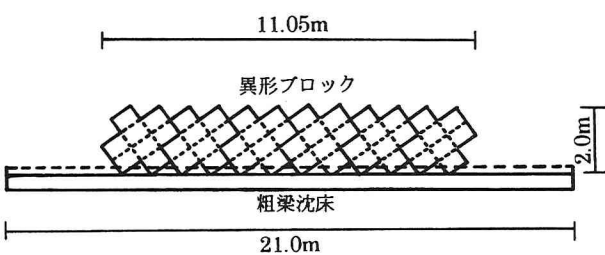
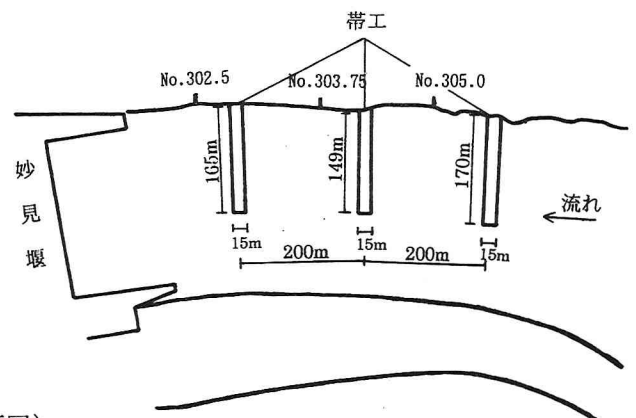


図-5(1) 水制工の構造と諸元

(平面図)



(正面図)

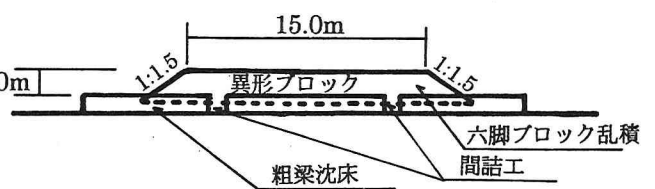


図-5(2) 帯工の構造と諸元

表-2 小千谷地点の出水状況

	警戒水位超過回数	警戒水位超過時間
平成2年	1	12時間
平成3年	3	8時間
平成4年	—	—
平成5年	1	6時間
平成6年	—	—
平成7年	2	23時間
平成8年	—	—
平成9年	—	—
平成10年	2	39時間
計	9	88時間

表-3 計算条件

流量	平成2年から平成10年までの指定水位以上の洪水の時刻流量を連続して用いる。
低水路幅	300m
河道延長	妙見堰上流3300m
河床勾配	1/600
初期河床形状	平成2年測量結果
河床材料	平均粒径52.8mm $d_{84}/d_{15}=7.8$

の結果、内岸側の低水路法線形状が滑らかになり、下流への流れがかなり一様化している。この一様化した流れが弯曲部外岸側に設置した3基の帯工に向かい、これらが外岸側の洗掘防止、内岸側の堆積を軽減させている。

以上の模型実験結果にしたがい、妙見堰上流河道においては図-5および写真-2に示す6基の水制工と3基の帯工を堰の建設に併せて平成2年に完成した。

### 3. 対策後の河床変動

#### (1) 河床変動対策後の洪水の発生状況

平成2年4月に妙見堰の操作を開始して以来、約9年が経過している。表-2は9年間での洪水発生状況を示したものであり、妙見堰から約4.5km上流の小千谷地点では警戒水位を超えた出水の回数が9回、超過時間は88時間である。小千谷地点の警戒水位相当の流量は約3000m<sup>3</sup>/sであるため、3000m<sup>3</sup>/s以上の流量が流下した時間は88時間発生したことになる。特に平成10年は3000m<sup>3</sup>/s以上の流量が流下した時間は39時間であり、9年間で最も多い年である。

#### (2) 河床変動の実態と水理模型実験結果との比較

図-6は平成3年と平成10年の低水路内平均河床高と最深河床高の実測結果を模型実験結果と比較したものであり、図-7は平成2年から平成10年までの妙見堰地点からNo.320までの河床変動状況を示したものである。なお、平成2年から平成10年までの小千谷地点の最大流量は約5850m<sup>3</sup>/sであり、同期間では先に述べたように警戒水位相当流量(3000m<sup>3</sup>/s)が88時間流下していることから、模型実験結果は、その流量条件に近い流量4000m<sup>3</sup>/sが167時間流下した場合の結果を用いる。図-6の実測と模型実験の平均河床高の縦断変化を見ると、ほぼ同じ傾向を示している。しかし帯工上下流と水制設置付近の実測河床変動状況、帯工の上流側で河床高が模型実験結果よりも高く、下流側で河床高が低くなっている。この理由は次のように説明する。現地では、上流側帯工の天端高さが模型実験で用いた天端高さより高く施工されたため、その上流側で土砂が堆積し、下流側へ流下しなかったことにより帯工下流で洗掘が生じたものである。また、水制設置位置付近の河床変動の差異は、図-6から明らかかなように単純に水制上流河道の初期河床形状が実験(計画河床高まで掘削さ

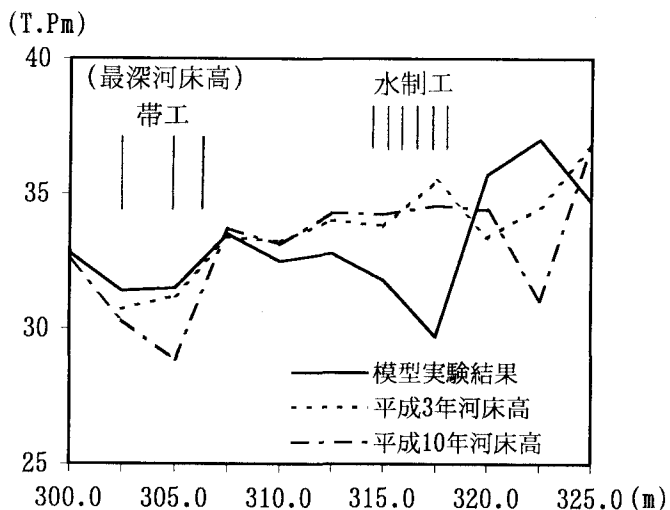
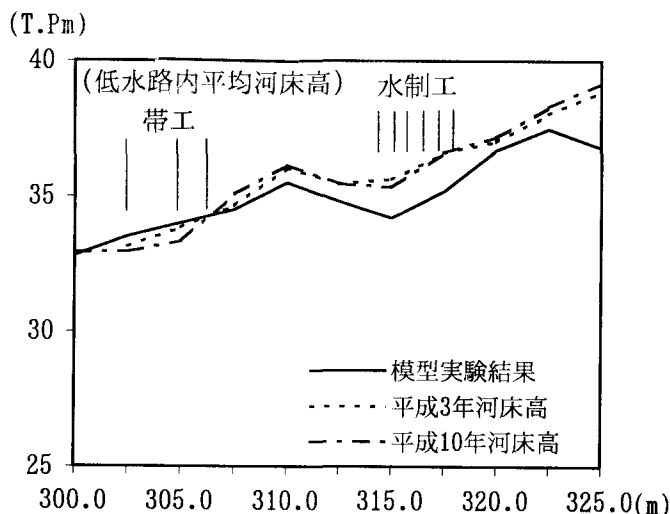


図-6 平均河床高と最深河床高の縦断変化

図-4は、図-3に示した水制工と帯工の組み合わせによる河床変動対策後、低水路満杯流量とほぼ等しい流量4000m<sup>3</sup>/sを167時間流下させた場合の模型実験結果を示したものである。実験条件は表-1に示す通りである。模型実験の初期河床形状は、計画河床高まで掘削を行った場合の断面を用いている。

図-4に示した実験結果を見ると弯曲部上流内岸側に設置した水制工は、流れを河道中央にはねるとともに、水制工の直下流に土砂を堆積させている。そ

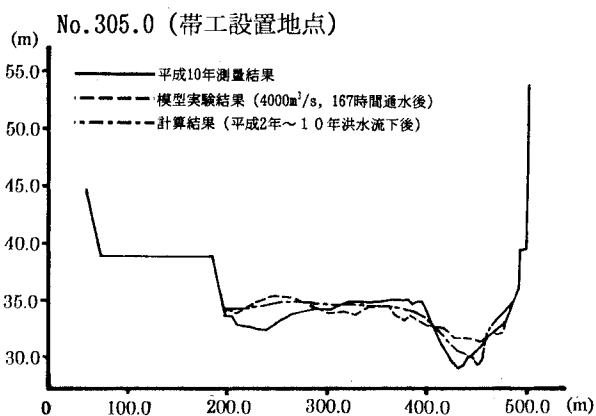
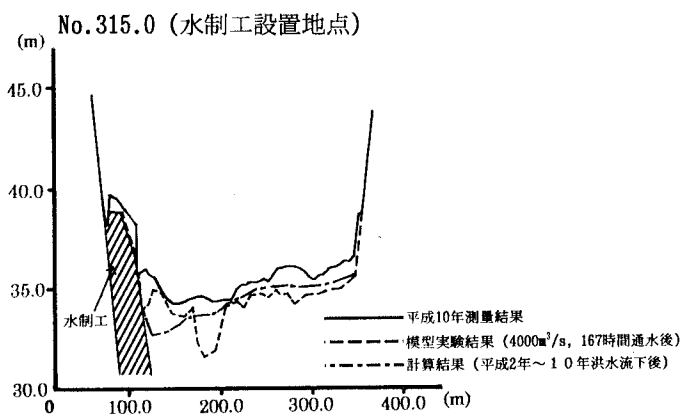
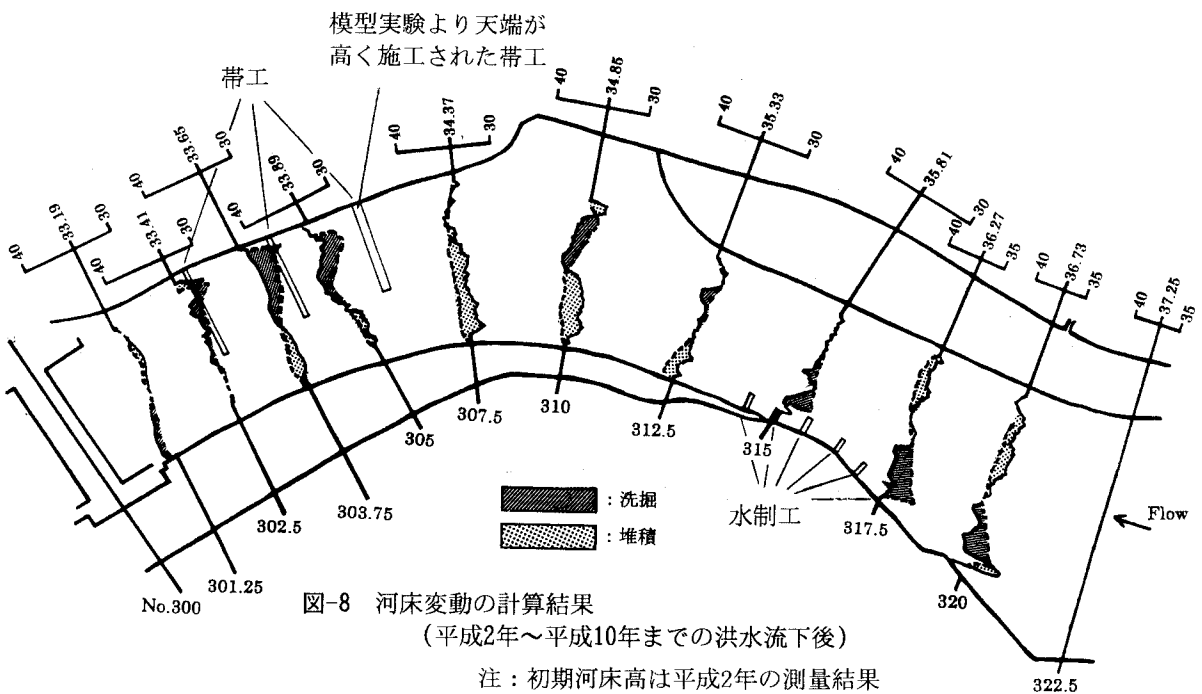
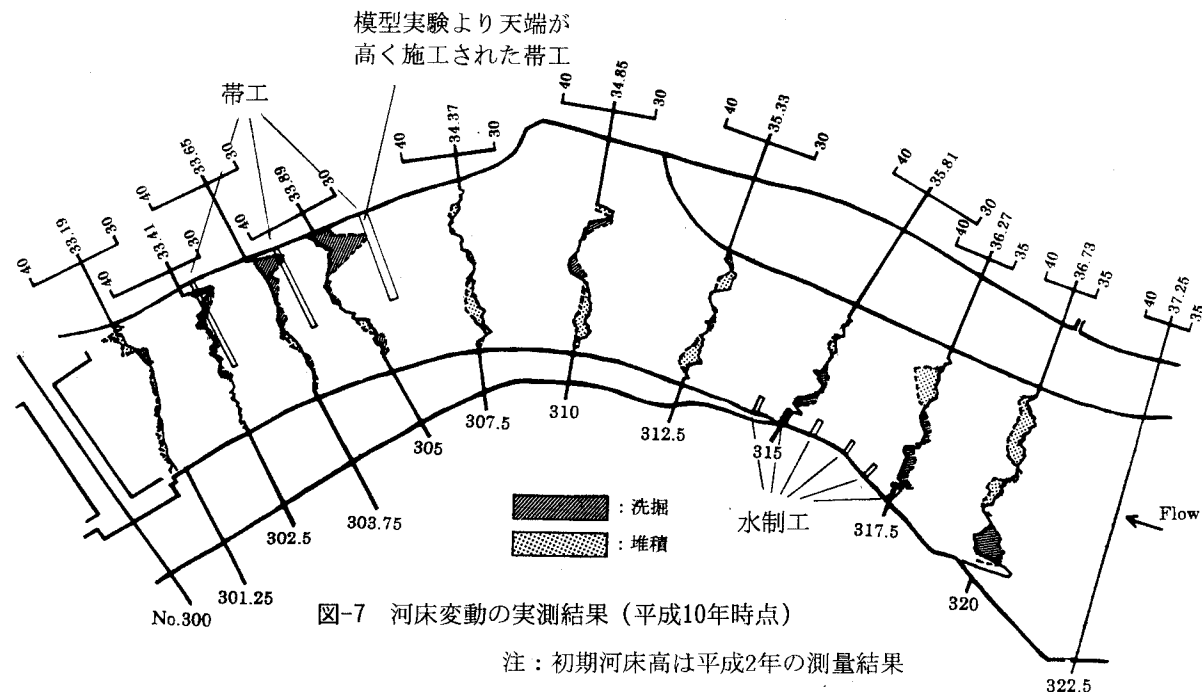


図-9 水制工と帯工設置地点の横断形状

れた断面)と現地(現況河床)で異なっていたことによるものである。

次に、図-7に示した平成10年の妙見堰上流河道の河床変動状況と図-4に示した流量 $4000\text{m}^3/\text{s}$ を167時間流下した場合の模型実験結果と比較すると、平成10年の横断河床形状の測量結果と模型実験結果は、初期河床形状が異なっているが、洗掘・堆積傾向はほぼ一致していることがわかる。特にNo.315～317.5区間の左岸側に設置した水制前面での洗掘状況や帯工設置区間であるNo.302.5～305区間の河床変動状況は、よく一致しており、施工した水制工と帯工が実河川において期待通りの効果を発揮していることがわかる。

#### 4. 河床変動計算と対策工の効果の検証

福岡ら<sup>9)</sup>が作成した越流型水制工周りの流れと河床変動計算モデルを用いて、平成2年から平成10年までの洪水発生による河床変動について検討する。

計算では帯工は水制工と同様に外力の形で流れに影響を与えるものとして計算を行っている。そのときの外力の抗力および揚力係数は川口・岡信・福岡の水理実験結果<sup>1)</sup>を参考に、 $C_D=4.0, C_L=0.1$ を用いる。計算条件は表-3に示す通りである。なお、初期河床高は平成2年の測量結果を使用している。

図-8は、平成2年から平成10年までの指定水位以上の洪水の時間流量を連続して流下した場合の河床変動計算結果を示す。この計算結果を見ると、弯曲部上流内岸側に設置した水制工は流れを河道中央にはねるとともに、水制工の下流に土砂を堆積させている。この機能によって、内岸側の低水路の法線形を滑らかにし、下流への流れを一様化させる。この一様化した流れが弯曲部外岸側に設置した帯工に向かい、堰上流部の外岸側の洗掘防止、内岸側の堆積を軽減させている。図-7に示した現地観測結果と比較すると、断面No.315～317.5の左岸に設置した水制前面での洗掘状況および直下流での堆積状況を概ね再現できており、作成した水制工周りの河床変動計算モデルは実河川における水制工と帯工設置後の河床変動にも適用可能であることがわかる。

図-9は水制工設置地点(No.315.0)と帯工設置地点(No.305.0)の平成10年の現地横断河床形状の観測結果と計算結果を示したものである。なお、図中には、図-4で示した流量 $4000\text{m}^3/\text{s}$ を167時間通水した場合の模型実験結果も併せて示している。この図を見ると、計算結果はNo.315.0付近の左岸側などにおいて現地観測結果に比べて河床変動状況が大きめになっているが、現地観測結果をほぼ再現することができる。また、妙見堰上流に河床変動対策工として施工した水制工と帯工の組み合わせによる効果について、現地観測結果、模型実験結果、計算結果の3者はほぼ同じ結果を得ており、模型実験によって決定した妙見堰上流の河床変動対策工は効果的な対策工であることがわかる。

#### 5. 結論

河川横断構造物上流の河床変動が著しい場合には、それにより構造物の機能が妨げられる恐れがある。このため、河床変動を減少させるための対策工を実施しなければならない。信濃川妙見堰上流においては、洪水時の河床変動が著しいことから、模型実験をもとに河床変動対策が行われている。妙見堰完成後、約9年が経過しており、現地観測結果および河床変動計算モデルにより、模型実験をもとに設置した水制工と帯工の組み合わせの効果を把握した。本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) 現地河川では模型実験に比べて、初期河床断面が異なっていたこと、また上流側の帯工を高く施工したため、帯工設置地点上流側の河床変動状況に差が見られた。しかし現地観測結果と模型実験結果の堆積・洗掘傾向はほぼ一致しており、模型実験が水理構造物を用いた河床変動対策の検討に有効であることが明らかになった。
- (2) シミュレーションモデルによる計算結果は、現地観測で得られた水制工と帯工設置後の河床変動状況を良く再現できており、実河川における水没型の水制工および帯工による河床変動の軽減効果把握に十分な精度で用いることができることが明らかになった。
- (3) 現地観測結果、模型実験結果、シミュレーションモデルによる計算結果は、河床変動対策後の河床形状についてほぼ同等の結果を得ることができた。これより模型実験および数値シミュレーションは河床変動対策工の設計に有効な手段となることが明らかになった。今後は、両手法を効率よく併用した河床変動対策工の合理的設計法の確立が望まれる。

#### 参考文献

- 1) 秋草勲, 吉川秀夫, 坂上義次郎, 芦田和男, 土屋昭彦: 水制に関する研究, 土木研究所報告, 第107号, 1960.
- 2) 福岡捷二, 高橋 晃, 森田克史: 信濃川小千谷・越路地区河道計画模型実験報告書, 土木研究所資料, 第2610号, 1988.
- 3) 福岡捷二, 高橋 晃, 渡辺明英: 水制工の配置と洗掘防止効果に関する研究, 土木研究所資料, 第2640号, 139p., 1988.
- 4) 福岡捷二, 高橋 晃, 渡辺明英: 水衝部対策工としての水制工の新しい配置法, 土木技術資料, 第31巻, 第12号, pp.38-43, 1988.
- 5) 福岡捷二, 西村達也, 高橋 晃, 川口昭人, 岡信昌利: 越流型水制工の設計法の研究, 土木学会論文集, No.593/II-43, pp.51-68, 1998.
- 6) 福岡捷二, 高橋 晃, 西村達也: 信濃川小千谷・越路地区の河床洗掘と堆積の軽減—水制群と帯工の組み合わせによる対策—, 第48回年次学術講演会概要集, 第II部, pp.124-125, 1993.
- 7) 川口広司, 岡信昌利, 福岡捷二: 越流型水制群に作用する流体力, 水工学論文集, 第44巻, 2000.

(1999.9.30受付)