

黒部川縦工計画と中小洪水に対する 縦工の河岸侵食防止効果

The Longitudinal facility plan of the Kurobe River
and bank erosion prevention effect of longitudinal facility for medium floods

鎌田照章¹・土屋進²・中平善伸³・高島和夫⁴

Teruaki KAMADA, Susumu TSUCHIYA, Yoshinobu NAKAHIRA and Kazuo TAKASHIMA

¹正会員 建設省北陸地方建設局 黒部工事事務所長 (〒938-0042 黒部市天神新 173 番地)

²フェロー会員 (財) リバーフロント整備センター 専務理事 (〒102-0075 千代田区三番町 3-8)

³建設省北陸地方建設局 河川計画課長 (〒951-8505 新潟市白山浦 1-425-2)

⁴正会員 建設省北陸地方建設局 河川計画課 建設専門官

In any rapid rivers, maintaining the major bed width is considered to be one of the most important river works.

In Kurobe River, a riverbank erosion prevention method has been conducted based on hydraulic model experiment, and the interval and the length of the longitudinal facility was examined.

The construction has been made since 1992. For the bank erosion by medium size floods of July 1995, and June 1996, the field investigation was performed on the response of the longitudinal facility to the floods, and it was compared with the model experiment.

Key Words: rapid stream, natural sandbars, major bed, riverbank erosion, low water channel fixing, longitudinal facility

1. はじめに

急流河川は河床勾配が急なため、その流水エネルギーが大きく、一度洪水が発生すると、河岸が数十mの単位で侵食したり、河床が局所的に数m低下するなど、堤防などの施設が危険な状態にさらされる。過去の洪水においても外水の堤防越水がないにもかかわらず堤防が破壊した急流河川の例が確認されている。

そのため、従来から河床材料である玉石を利用した練石張護岸を主体に異形ブロックによる根固工、水制工等を併用して堤防を保護してきており、現在は河床低下の進行に対応して、護岸の根入れを深くする根継護岸を中心に実施してきている。

しかしながら、その進捗の度合いは低く、また、河床低下が発生してからその深さまで根継ぎを実施するという後追的な対応であるため、より効率的、安全な対策工の開発が期待されている。

黒部川においては、河相の変化により堤防沿いの砂州が高水敷化しつつあり、河道の複断面化が進んでいる。そのため、この新しく形成された高水敷部を維持することにより、堤防に対する保護効果を期待する河道計画を検討することとした。この目的で水理模型実験¹⁾により河岸侵食防止工について検討した。模型実験結果を受けて、平成4年より現地において河岸侵食防止工である縦工に着手している。

本論文では、まず河岸侵食防止工の一部である縦工の計画を述べる。次に、施工後の中小洪水に対する河道の変化を調査し縦工の応答について述べるとともに、現地調査結果が水理模型実験結果とどのように対応しているかを比較検討する。

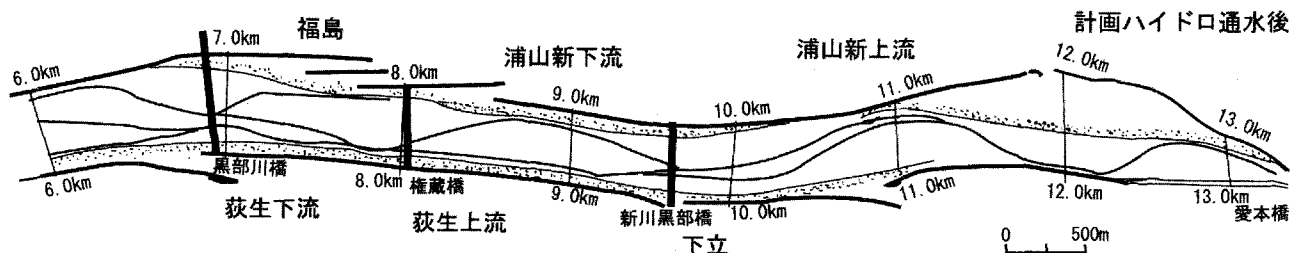


図-1 水理模型実験 流況図 (現況河道+縦工)

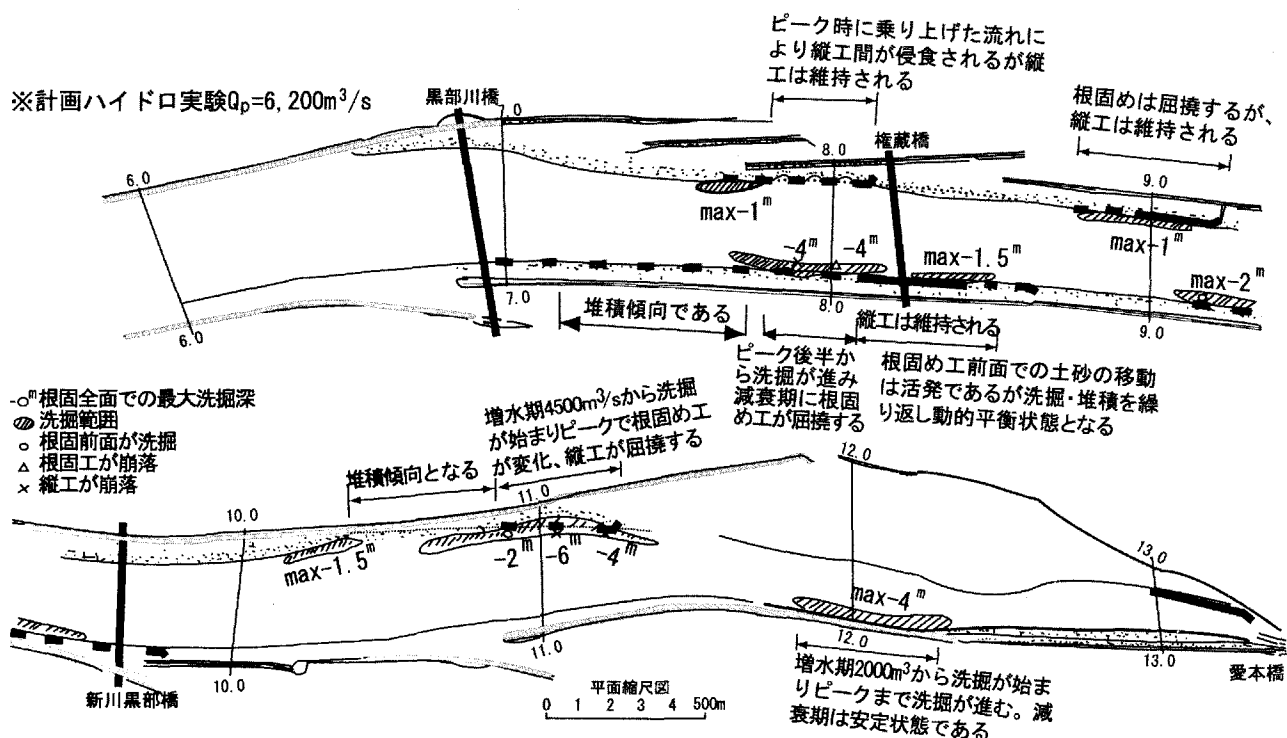


図-2 水理模型実験 河床変化状況 (現況河道+縦工)

2. 黒部川河岸侵食防止工

(1) 黒部川の概要

a) 河道の概要

黒部川は流路延長約 85km、流域面積 682 km^2 、河川勾配 (扇状地部) 1/80 ~ 1/120 の我が国でも有数の急流河川である。

河道は昭和 30 ~ 40 年代を境に変化し、平均河床高で約 2m 低下している。この原因には流下能力確保のための河道掘削、昭和 44 年以降大きな洪水がなかったことに加えて黒部ダム の竣工等によると考えられる。この結果、低水路川幅が狭くなり、川幅水深比は 350 前後から 250 程度に減少している (12.0 ~ 7.0km 間)。河床材料は平均粒径 70 ~ 200mm 程度であり (H2 調査, 11.7 ~ 6.6km)、セグメントでみると、扇頂部である愛本から河口までの間は、大きく見て 6.5km を境に二つに分けることができる。

b) 河岸の侵食と深掘れ

黒部川における昭和 44 年以降の主要な洪水における最大河岸侵食幅は 70 ~ 85m 程度である。

昭和 39 年から昭和 58 年に 2 ~ 4 年の間隔で撮影した航空写真をもとに、河岸侵食幅と侵食長の関係を見ると、侵食幅は侵食長の 1/10 ~ 1/5 となっている。また、この侵食長は砂州長の 2/3 程度で侵食幅と侵食長の比は砂州幅と砂州長の比の 1/2 であり、砂州形状に対応している。

また、局所洗掘深は主として砂州のスケールに規定されている。このため、河道が直線状のところ局所洗掘深は、ほぼ一定値となり、7.0km より下流で約 2m、その上流で約 2 ~ 3m となっている。但し、水衝部では、局所洗掘深が最大 4 ~ 5m に達している。

ここでいう局所洗掘深は低水路の平均河床高からの下がりである。

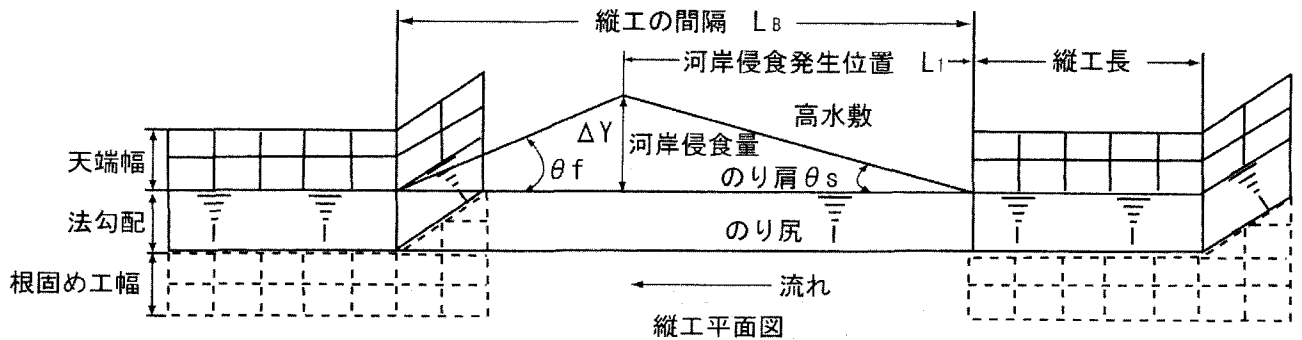


図-3 縦工の配置と侵食量の模式図

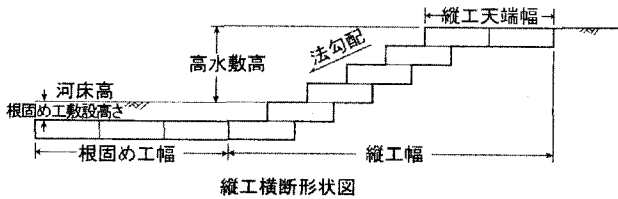


図-4 縦工横断形状図

(2) 河岸侵食防止工の基本的な考え方

黒部川の河道は、河床低下等によって河岸沿いに形成されていた砂州（寄り州）が高水敷化しつつある。このような状況のもと、寄り州に堤脚保護の効果を期待し、高水敷を維持し、河道の複断面化を図るもので、このために侵食防止工を施工しようとするものである。これは、河相の変化に対応した柔軟でより効果的な対策と考えられ、河岸侵食防止工のうち高水敷の河岸に設置するものを縦工と呼ぶ。

なお、高水敷がない所あるいは高水敷化が期待できない所は、河床高に対応した護岸、根固め等の補強を行う必要があることはいうまでもない。

(3) 水理模型実験¹⁾

建設省土木研究所は、黒部川の現況河道及び計画河道時の高水敷保護対策として河岸侵食防止工について、その構造、長さ、配置案、施工順序等を水理模型実験により検討した。

模型は、上流部河道と愛本堰堤を含む 14.6 ～ 6.0km の範囲を対象に、縮尺 1/100 で、堤防部分をモルタル製作し、他は移動床とした。実験は粘性力が無視できる領域であるため、フルードの相似則に基づいて実施した。

a) 現況河道における実験

現況河道（1985 年）における流下能力、水衝部、河床変動、河岸侵食等について検討した結果、計画高水流量がほぼ疎通可能であること、水衝部はほぼ固定されていて流量の違いによっても大きくは変化しないこと等が明らかになった。しかし、現況の高水敷化している寄り州部のうち、水衝部となる区間は河岸侵食が容易に進行すること等も明らかとなっ

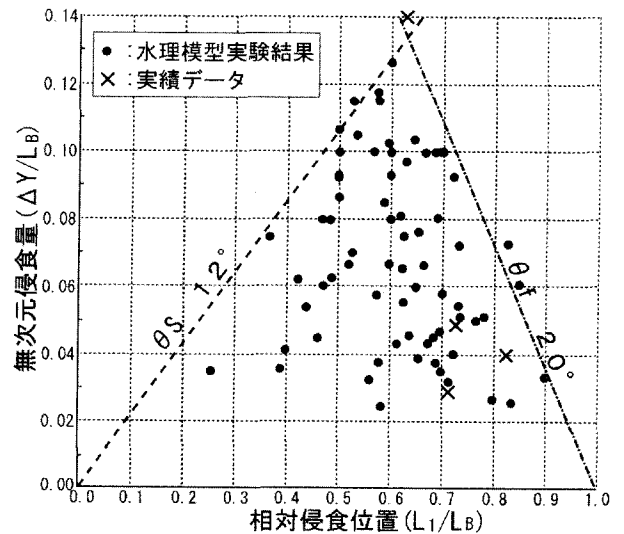


図-5 縦工間の無次元侵食量に対する相対侵食位置の関係

た。

水衝部は図-1 のとおり、ほぼ固定されており、その位置は 11.3 ～ 10.4km 間右岸（浦山新上流）、9.8 ～ 9.2km 間左岸（下立）、9.2 ～ 8.8km 間右岸（浦山新下流）、8.6 ～ 8.0km 間左岸（荻生上流）、8.1 ～ 7.7km 間右岸（福島）及び 8.0 ～ 7.0km 間左岸（荻生下流）である。縦工はこの水衝位置に配置する、長さ 50m、配置間隔 100m を標準とし、縦断的に不連続に配置した。さらに縦工自体の洗掘防止を図るため、縦工前面に幅 6m の根固め工を設置した。

次に、高水敷保護のための河岸侵食防止工とその効果を調べるため、中小洪水及び計画ハイドロ (6,200m³/s) を通水した。

中小洪水通水の場合、11.3 ～ 10.4km 右岸側、9.2 ～ 8.8km 右岸側、8.6 ～ 8.0km 左岸側の縦工前面で最大 2.0m まで洗掘が進行したが、根固め自体には特に問題は見られなかった。その他の箇所は縦工等の変形もなく、河岸侵食防止効果が得られた。

計画ハイドロ通水の場合、2,000m³/s までは河床変動は少なく水衝部はあまり明確でない。3,000m³/s 付近になると河床が動き出し、砂州が発達し蛇行ピッチが明瞭になってくる。4,500 ～ 6,200m³/s では、

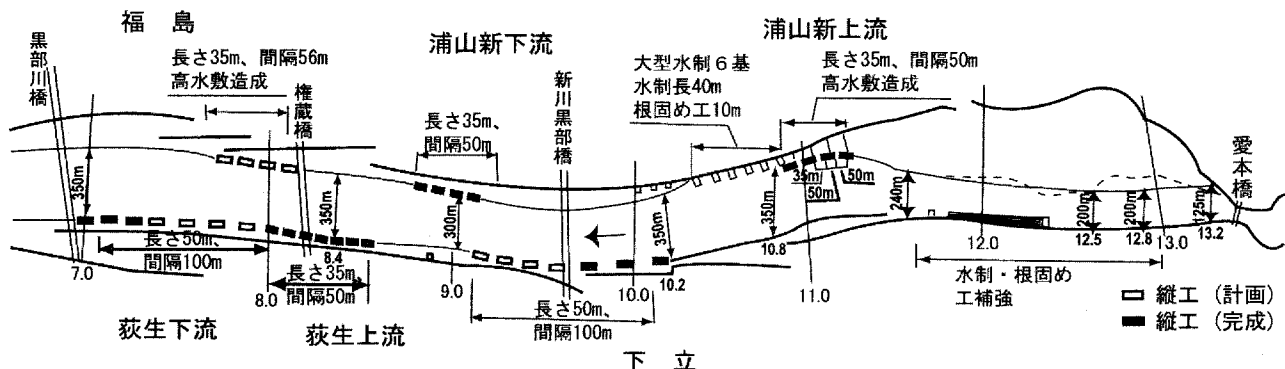


図-6 縦工計画平面図

河道全域にわたり河床変動が活発となり、大きな砂州が形成される。減水期では、ピーク流量時に形成されたみお筋に流れが集まり、網状に流れる。各箇所での河床変動、縦工の状況は図-2のとおりである。対策箇所は、中小洪水が長時間継続しても河岸侵食防止効果が得られ、かつ縦工が維持できること、さらに計画高水流量時には縦工に変形が生じるものの、河岸侵食防止に十分効果が得ることが明らかになった。

なお、現況寄り州を滑らかに結んだ線形の計画河道での実験の結果、河岸侵食対策工としては、現況河道時に必要とされた対策工のみで水衝部をカバーでき、新たな対策必要箇所は生じなかった。

b) 施工順序の検討

現況河道の水衝部対策および河岸侵食防止工の施工順序としては、水衝部が堤防に接近していて既設の水制と護岸根固めの補強、増設および縦工が必要となる 11.3 ～ 10.4km 間右岸側が第一優先箇所である。さらに第二優先箇所は河岸侵食が激しく、根固めが屈とうした 9.2 ～ 8.8km 右岸側である。第一優先箇所を施工した状態では、その効果が得られ、かつ他の場所へ影響を及ぼすような状況は生じない。第一、第二優先箇所を施工した状態でも他に影響を及ぼすことはない。よって、続いて侵食の激しい 8.6 ～ 8.0km 左岸側を第三優先箇所とし、これ以後は順次上流から施工を行う。つまり、水衝部を固定することによってその下流の水衝位置を変えないように上流から施工するものとする。

(4) 縦工の設計¹⁾

縦工は出水時の高水敷部の河岸侵食を許容範囲内にとどめることによって、高水敷を保護し、この高水敷に堤防保護機能を持たせるものである。

図-3に縦工の配置と縦工間の侵食量の模式図、図-4に縦工横断形状を示す。

縦工の配置間隔、長さ等の諸元と河岸侵食軽減効果は、1/50 相当の水路の抽出模型による実験により検討した¹⁾。

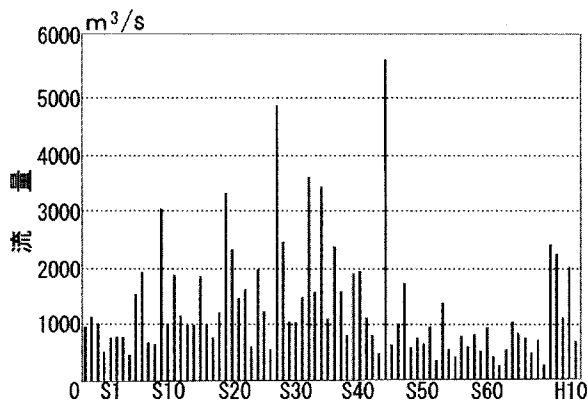


図-7 洪水発生状況

その結果、縦工の間隔 L_B と河岸侵食量 ΔY の関係は、間隔 L_B が小さくなるほど侵食量 ΔY は軽減することが明らかとなった。

また、最大侵食量の発生位置は、図-5の相対侵食位置が示すように縦工間の 4 ～ 9 割の範囲に生じ、その多くが中央より下流の約 6 ～ 7 割の位置に集中することが明らかとなった。

砂州形状が河岸侵食に大きく影響することから、低水路内に形成される砂州波長を $1/4 \sim 1/6$ に分断するよう縦工を配置することとした。現況砂州波長は約 600m であることから、間隔は 100m を標準とした。

河岸侵食量 ΔY は図-3に示す侵食の模式図より、

$$\Delta Y = L_B \cdot \tan(\theta_s) / \left(1 + \frac{\tan(\theta_s)}{\tan(\theta_r)}\right) \quad (1)$$

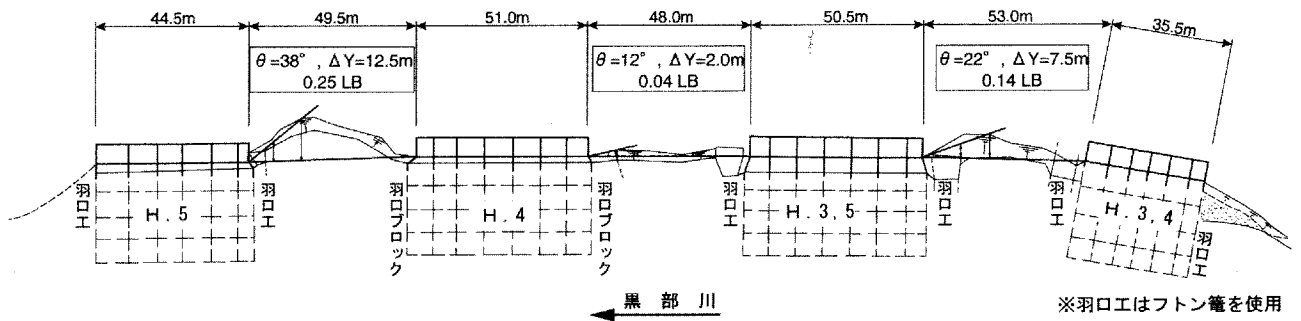
で評価する。図-5に示す実験結果から安全側を見て、 $\theta_s = 12^\circ$ 、 $\theta_r = 20^\circ$ を用い、

$$\Delta Y = 0.134 L_B \quad (2)$$

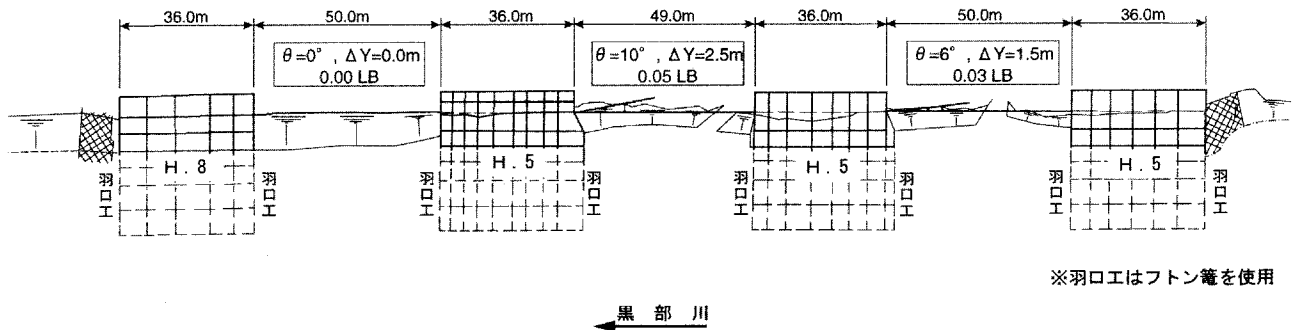
となる。

縦工は、縦断長さが大きければ確実に守れる河岸長が長くなるが、コストが高くなる。

縦工の最上流端は、河岸に入り込んだ流水が低水路側へ戻る所であり、構造物周りの流れの角の所に相当し、ここでは水面変化や流速の変化が生じる。この流れの急変が河岸に影響を与える区間を縦工の



図－8 現地調査結果 河岸侵食図（浦山新上流）



図－9 現地調査結果 河岸侵食図（浦山新下流）

最小必要長さとする。この長さは、水制周り洗掘孔の深さ、水制工周りの根固め範囲より、平均年最大流量時の低水路の平均水深の 15 倍程度以上とすることとした。

さらに、小洪水時の偏流や整流効果等を考慮し、縦工長さは、侵食量の約 4 倍程度を目安とした。すなわち縦工の配置間隔を 100m としたときの侵食量は式 (2) に示す実験結果では約 13m 程度であることから、縦工の長さを標準で 50m とした。

縦工上流端に、河岸に嵌入した巻き込み部を設けることにより、流れをスムーズに導流し、縦工上流端での落ち込み流を解消し、流況を改善するとともに、縦工背後への侵食を防止する効果を確認できた。

以上、模型実験より策定した縦工配置計画を図－6 に示す。縦工は、愛本堰堤から北陸自動車道黒部川橋の間約 6km に 33 基計画している。

表－1 河岸侵食 現地調査結果

箇所名	縦工の 施工年	縦工の 間隔(m)	θf (°)	ΔY (m)	$\Delta Y/LB$	箇所名	縦工の 施工年	縦工の 間隔(m)	θf (°)	ΔY (m)	$\Delta Y/LB$
荻下 生流	H.7	98.5	0	0.0	0.00	浦山新 下流	H.8	50.0	0	0.0	0.00
	H.7	98.5	0	0.0	0.00		H.5	49.0	10	2.5	0.05
	H.7	98.5	0	0.0	0.00		H.5	50.0	6	1.5	0.03
荻上 生流	H.10	49.5	0	0.0	0.00	浦山新 上流	H.5	49.5	38	12.5	0.25
	H.9	50.0	0	0.0	0.00		H.4	48.0	12	2.0	0.04
	H.8.9	97.5	0	0.0	0.00		H.3.5	53.0	22	7.5	0.14
	H.6	54.5	0	0.0	0.00		H.3.4	53.0	22	7.5	0.14
	H.5	53.0	0	0.0	0.00						
	H.5	55.0	0	0.0	0.00						
	H.5	51.0	0	0.0	0.00						
下立	H.8.9	101.5	0	0.0	0.00						
	H.6	100.0	0	0.0	0.00						
	H.6.8	100.0	0	0.0	0.00						

※別達施工

(2) 縦工の河岸侵食軽減効果

河岸侵食状況の現地調査結果(H.11.11)を表－1 に示す。施工区間のほとんどの区間で侵食は生じていない。施工済み縦工の間 17 カ所の自然河岸のうち、河岸侵食が発生したのは 5 カ所であり、これは縦工施工年次によるが、主として中小洪水のみお筋が右岸寄りであったことが一つの要因と考えられる。

図－8、9 に右岸側の浦山新上流、浦山新下流の現地調査結果を示しているが、河岸侵食量 ΔY は 1.5 ～ 12.5m と特に大きな値ではなく支障となるものではなかった。

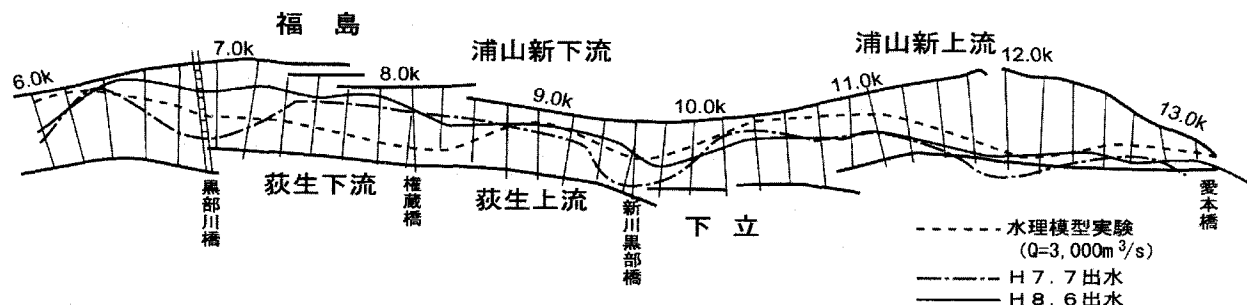


図-10 現況主流線と模型実験結果の比較

また、縦工自身も中小洪水に対して安定しており、中小洪水に対して高水敷の保護工としての役割を果たしていると考えられる。

一方、縦工を計画していない区間において中小洪水により河岸侵食が発生したが、この位置は縦工計画区間の上下流と近接しており、これはみお筋の小さなふれにより発生したものと考えられ、縦工計画全体に特に影響を与えるものではなかった。

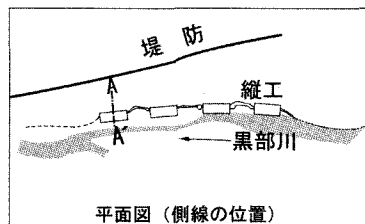


図-11 代表横断面図 A-A' (浦山新上流)

(3) 現地調査結果と模型実験結果の比較

a) 主流線

図-10は、実績の中小洪水の主流線と第一及び第二優先箇所の縦工を施工した場合の模型実験の主流線（現況河道に $3,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の中小洪水を通水したケース）の比較を示す。平成7年、8年の洪水が $2,000 \sim 2,400\text{m}^3/\text{s}$ 程度であったことからこの洪水は模型実験との比較に適している。

水衝部はほぼ同じ位置にあり、実測と模型実験結果がほぼ対応していると考えて良い。

b) 河岸侵食量

河岸侵食量 ΔY と縦工間隔 L_B の比について現地調査結果と模型実験結果を比較すると、模型実験結果 $\Delta Y/L_B=0.134$ に対し、実測は $\Delta Y/L_B=0.03 \sim 0.25$ とほぼ同様の結果を得ている。浦山新上流の最下流部1箇所で $\Delta Y=12.5\text{m}$ 、 $\Delta Y/L_B=0.25$ と大きい。これは、図-11に示した浦山新上流の代表横断面図のとおり、周辺地盤が高く、縦工のほとんどが地中にあるように、当箇所は河岸侵食というより、高水敷の表面が比較的うすく侵食したものを測定したためである。

(3) 河岸侵食量は模型実験結果に近い値を示している。河岸侵食防止工の設計に模型実験は有効であることを確認できた。

5. あとがき

縦工は、従来の低水護岸と同様に河岸を保護するものであるが、縦工を施工しない自然河岸部分を創出することができ、より自然環境に配慮した工法といえる。また、コスト縮減に資するものである。

今後は、縦工の効果について中小洪水のみならず計画高水流量規模も含め、より定量的な評価を行うため、洪水時後の縦工の挙動、自然河岸部の侵食量等について、引き続きモニタリングするとともに、横工の施工についても検討する必要がある。

謝辞：本論文をまとめるにあたってご指導等を賜った広島大学工学部福岡教授に深くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 山本晃一，高橋晃，林正男：黒部川の河道特性と河道計画，土木研究所資料，第3139号，1993。

(2000.10.2受付)

4. 結論

(1) 寄り州が発達し高水敷化し、かつ水衝部が固定した急流河川における中小洪水対策として、縦工が効果を有することが明らかとなった。

(2) 模型実験により定めた縦工の配置間隔、長さは、平成7、8年の中小洪水後の現地調査により、ほぼ妥当であることが明らかとなった。