

黒部川の既設縦工群を活かした 低水路交互砂州河道の是正に関する研究

IMPROVEMENT OF MAIN CHANNEL WITH ALTERNATE BARS WHICH MAKE THE BEST OF LONGITUDINAL DIKES EXISTING FOR BANK PROTECTIONS IN THE KUROBE RIVER

加藤翔吾¹・石川伸²・後藤岳久³・福岡捷二⁴
Shogo KATO, Shin ISHIKAWA, Takahisa GOTOH and Shoji FUKUOKA

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市環境学専攻 博士課程前期課程
(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²国土交通省北海道開発局札幌開発建設部 事業調整官 (〒060-0002 北海道札幌市中央区北2条西19丁目),
前国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所 事務所長 (〒938-0042 富山県黒部市天神新173)

³正会員 博士(工学) 中央大学研究開発機構 助教 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

⁴フェロー 工博 Ph.D. 中央大学研究開発機構 教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The Kurobe river forms alternate bars at downstream of the Aimoto weir. In this section, longitudinal dikes have been installed for bank protections of the flood channel. In 1995, a large flood occurred. Meandering pattern and flow attacking points of the main channel have been changed since 1995's flood. Therefore, most of the longitudinal dikes have become not to work against bank erosions by flood flows.

In this study, we considered that improvement of channels at downstream of the Aimoto weir was accomplished by recovering natural pattern of alternate bars. And, we carried out flood flow and river bed variation analysis in gravel-bed rivers in order to investigate the stability of the predetermined channels. As a result, it was confirmed that a proposed river improvement channel was useful and the existing longitudinal dikes were able to work against flood flows.

Key Words : Kurobe river, alternate bars, meandering pattern, Natural sandbar with boulders, longitudinal dikes

1. 序論

黒部川は、愛本地点(13.4km)を扇頂部として富山湾へ流入する日本屈指の急流扇状地河川である。愛本堰堤地点は、図-1に示すような急縮部にあり、その下流に愛本床止めが設置されている。愛本床止めでは、洪水流から左岸堤防を護るために河道中心よりもやや右岸側へ向けて階段状の帯工で導流されている。河道への主流の流入方向は、安定な交互砂州を形成する上で、支配的な役割を果たすことを木下¹⁾は見出している。このことは、愛本床止めの右岸側へ向かう流れが、愛本床止め下流に形成される交互砂州の蛇行振幅・蛇行パターンに重要な意味を持つことになる。黒部川では、低水路河岸の水衝部対策として平成3年から縦工群が設置されてきた。平成7,8年と連続して起こった洪水では、既設縦工群が機

能し、水衝部の河岸浸食を軽減した²⁾。しかし、愛本床止め直下流の低水路右岸が著しく河岸浸食され、また河床低下が生じた。そのため、被災した右岸に護岸を延伸した。その結果、その後の洪水では、この護岸に沿って主流が走るようになり、直線的で深い濤筋が形成され、下流の水衝部位置が移動した(図-2)。平成17年洪水では、縦工と縦工の間が浸食被災を受けた³⁾(図-6)。さらに、愛本床止め直下流での著しい河床低下のため、平成23年洪水で愛本床止め工が被災した³⁾。

これまで、黒部川の河道変化については、坂本ら⁴⁾は愛本地点上流の出し平ダム・宇奈月ダムの連携排砂⁵⁾が砂州の樹林化に及ぼす影響について研究している。また、原田・福岡ら⁶⁾は、ダムの排砂・砂利採取・河床高・出水等の経年データを用い、洪水流・河道改修・植生繁茂・排砂の相互の関係が河道変化・植生変化に及ぼす影響を検討している。しかし、交互砂州河道区間に建設さ

れてきた縦工群が適切に機能しなくなり、河道維持が困難になってきたことを踏まえ、既設縦工群を活かした望ましい河道の回復が喫緊の課題となっている。

長田・福岡⁷⁾は、石礫の離脱・流下・堆積の過程を組み込んだ石礫河川の二次元洪水流・河床変動解析法を構築し、常願寺川⁸⁾や安倍川⁹⁾等石礫河川の洪水時の河床変動を説明してきた。この解析法は、常願寺川の低水路河道の設計⁸⁾や札内川の縦・横断面形状の検討¹⁰⁾に用いられており、黒部川の検討にも同様に用いることができる。

本研究では、既設縦工群を活かした安定な低水路交互砂州河道を再構築するために、まず黒部川河道の経年変化から交互砂州区間の問題点を抽出する。そして、長田・福岡⁷⁾の石礫河川の2次元洪水流・河床変動解析法を用い、安定な交互砂州河道に回復するために低水路河道形状をどのように是正すべきかについて検討する。

2. 黒部川の課題と低水路河道是正の考え方

(1) 黒部川の河道変化とその課題

黒部川は、昭和44年の既往最大洪水（約5700m³/s）によって破堤し、愛本堰堤は激しい被災を受けた。その後、愛本堰堤は図-1に示す現在の位置へ移設され、跡地に愛本床止めが設置された。愛本床止め階段状の帯工は、河道の中心線よりもやや右岸側に向けて導流するように設置されている。

図-2は、交互砂州区間（7.0km～13.4km）の河道状況、縦工群・護岸の設置状況を経年的に示した航空写真である。平成元年河道では、交互砂州は河幅全体に及び、流れは緩やかな蛇行を形成している。図-3は愛本地点の年最大流量を示し、図-4は平成7年7月洪水の流量ハイドログラフを示す。平成7年7月洪水は、ピーク流量（約2400m³/s）観測後も年平均最大流量（約970m³/s）を上回る流量が、数日に亘り続いた洪水であった。図-5は、愛本床止め直下流12.6km地点の平成2年～平成24年の経年的な横断測量データを示す。平成7年洪水では、12.6km低水路右岸で約40mの河岸浸食と大きな河床低下が生じた。このため、平成7年洪水後に12.4km～12.8kmの右岸に護岸が設置された（図-2）。その後、平成8～10年洪

水で、設置された右岸護岸に沿って12.2km付近まで直線的な滞筋が発生し、下流の蛇行パターンが徐々に変化してきた（図-2、平成12年河道）。その結果、平成17年洪水で水衝部位置の変化が顕著になり、図-6に示すように縦工の間が洗掘を受けた。図-7は、水面幅の縦断分布の経年変化を示す。平成7年以降10.0km～12.0km区間の低水路幅が縮小し（図-7）、植生範囲が拡大している（図-2）。このように、低水路の蛇行形態の変化によって、既設の縦工群が機能しなくなった。平成23年洪水では、愛本床止め下流での著しい河床低下により、再び愛本床止め工が被災した³⁾。また、護岸沿いの河床低下は12.0km付近まで滞筋の直線化をもたらしている（図-2、平成25年河道）。このように護岸沿いの流れの発生により滞筋の直線化、河床低下が著しくなったため、下流河道の交互砂州の振幅、蛇行パターンが大きく変化し、堤防被災の懸念が生じるようになった。これは常願寺川におけるコンクリート護岸前面の洗掘による危険な流れの発生と同様の現象であり、常願寺川では対策がとられてきた¹¹⁾。

(2) 低水路河道是正の考え方

図-2が示すように平成元年河道は、河幅全体を使った緩やかな蛇行形状を有していた。縦工群は、昭和60年河道を対象に、土木研究所で行われた大型水理模型実験¹²⁾によって位置、構造等が決められ、平成3年から縦工群の設置が始まった。平成7年洪水では、既設縦工群が河



図-1 愛本地点と下流河道

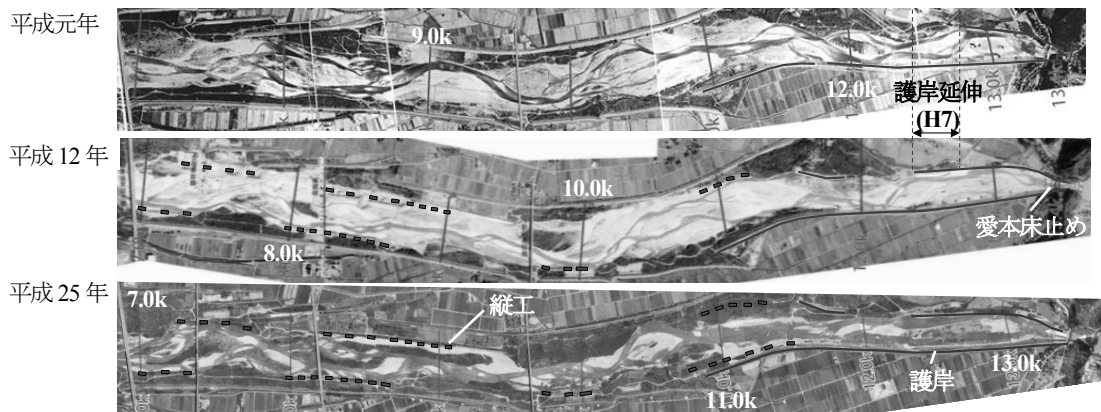


図-2 河道の経年変化を示す航空写真

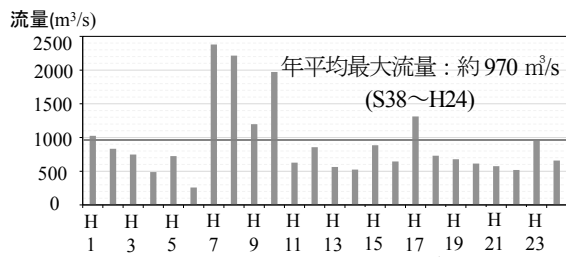


図-3 年最大流量の時系列データ



図-4 平成7年洪水の流量ハイドログラフ(月/日)

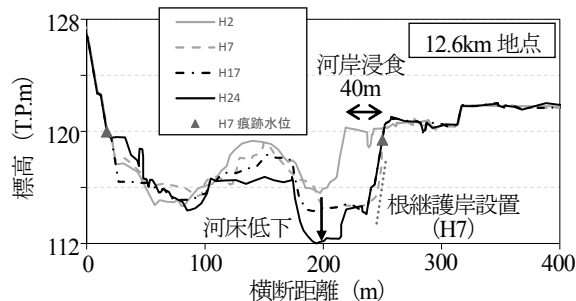


図-5 愛本床止め直下流の横断測量データ

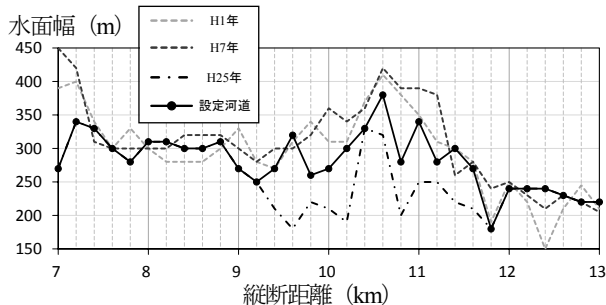


図-7 水面幅の縦断分布の変化

岸浸食を抑制する効果を発揮したが²⁾、愛本床止め下流の流れと河床の変化が主たる原因となって、今日の黒部川の河道管理上の問題を引き起こした。したがって、現況河道を平成元年頃の低水路河道に是正することによって既設縦工群を活用し、安定な交互砂州河道の再形成を図る。

図-8の航空写真は、平成元年と現況の河道状況を示す。現況河道の低水路河道線形を平成元年のように回復させる上で重要なことは、愛本床止め下流の低水路右岸護岸に沿う流れを護岸から離すことである。そのために、巨石付き盛土砂州¹³⁾を図-8に示す2箇所に設置し、蛇行パターンを改善し、既設縦工群を水衝部とするように低水路線形を是正する。

2 (1) で示したように平成23年洪水では、愛本床止め直下流の河床低下のため愛本床止め工が被災した³⁾。そこで愛本床止め下流の河道の是正にあたっては、低水路幅を広げ、埋戻しにより河床高を回復し、巨石付き盛土砂州によって下流への洪水流を適切に誘導する。図-9は愛本床止め下流の最深河床高の経年的な縦断形変化を示す。平成24年の最深河床高は、愛本床止め下流の12.4km～13.2kmで、大きく低下している。そこで、新しい河道計画では、図-9に示すように13.2km地点の愛本床止めの敷高と、最深河床高が経年的に変化していない12.4km地点の間を平成7年の最深河床高に近い形で緩やかに繋ぐ



図-6 平成17年洪水による縦工間の洗掘状況³⁾

ように設定する。巨石付き盛土砂州は、平成7年規模の洪水(約2400m³/s)までは河道中央に洪水流を導き、昭和44年規模の大洪水(約5700m³/s)では堤防が十分機能し、巨石付き盛土砂州は洪水で損傷しても良い構造とする。図-10は巨石付き盛土砂州を設置した12.6km地点の横断面形状を示す。巨石付き盛土砂州の高さは周囲の砂州と同じ高さとし、2基目の巨石付き盛土砂州も同様の構造とした。10.0km～12.0km区間の低水路幅は、平成7年以前の低水路幅を参考に砂州を掘削し、拡幅する。深掘れの埋戻し材料は、掘削した土砂を用いる。

3. 既設縦工群を活かした安定な交互砂州河道の回復

(1) 解析方法と解析条件

本章では、2 (2) で設定した河道の安定性や巨石付き盛土砂州の効果について、長田・福岡⁷⁾の石礫河川の二次元洪水流・河床変動解析を用いて検討する。非定常二次元洪水流解析には一般座標系の連続式と運動方程式を用いている。石礫河川の河床変動解析では、大きな石の遮蔽効果を考慮して離脱量を算定し、凹凸のある河床における粒子の停止割合から堆積量を算定する。河床変動解析は離脱量、堆積量、流砂の収支から算定している。縦工群の縦断長は50mであり²⁾、縦工形状をメッシュに取り入れ、洪水流解析には、愛本床止めの護床工・帯工、水制の形状抵抗を考慮した^{14),15)}。

解析対象区間は6.0km～14.0kmとした。上流端の境界条件は、黒部川河道の変化を引き起こした平成7年7月洪水における愛本地点観測流量を与えた(図-11)。平成7年当時は、愛本地点より下流での水位・流量観測が行われていないため、下流端の境界条件は流速勾配と水深勾配0を与え、流砂の境界条件は上流端での土砂移動が平衡状態にあるとした。また河床材料が愛本堰堤を境に異

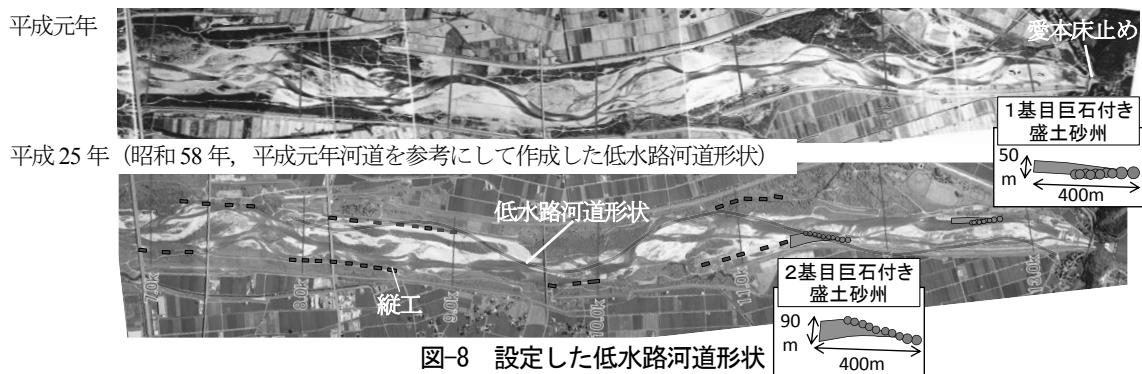


図-8 設定した低水路河道形状

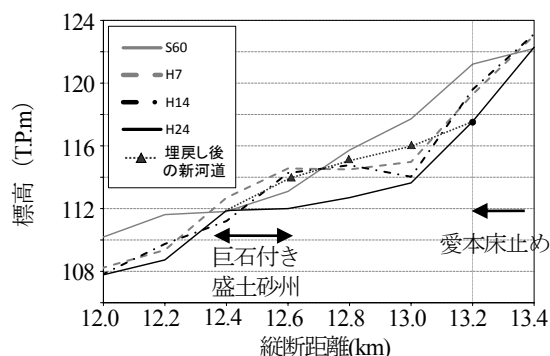


図-9 愛本床止め下流の最深河床高の縦断図

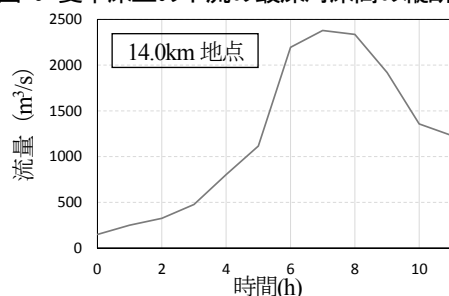


図-11 上流端流量ハイドログラフ

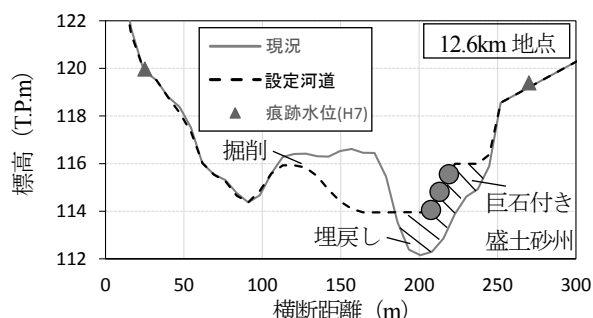


図-10 巨石付き盛土砂州と横断形状

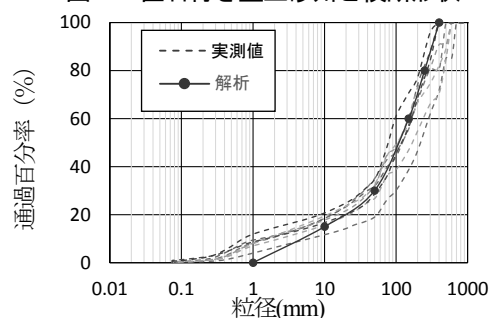


図-12 解析で用いた粒度分布

なるが、十分な情報がないため交互砂州区間（7.0km～13.4km）の滞筋の表層の粒度分布を用いた（図-12）。マンニングの粗度係数は、石礫河川である常願寺川の実験の再現計算⁷⁾で用いられた $0.03[m^{-1/3}s]$ とし、河道内の樹木群による抵抗は、福岡¹⁶⁾が用いている樹木群透過係数の平均的な値である $40[m/s]$ で評価した。尚、本検討では、黒部川の実績洪水を対象とした解析パラメーターの検証を行っていないため、上記の数値を用いている。今後水位等の詳細な観測を実施して検証を行う必要がある。

(2) 設定した河道の検証

図-13は現況河道と設定河道の流量ピーク時（約 $2400m^3/s$ ）の単位幅流量を示し、図-14は洪水後の河床変動のコンター図を示す。現況河道では主流が愛本床止めから12km地点付近まで低水路右岸に沿って流下し、10km付近では河道中央部を流下しており、縦工群が適切に機能していないことが分かる。一方、設定河道においては、2基の巨石付き盛土砂州によって洪水流が適切に跳ねられ、その結果、河幅全体を使った緩やかな洪水流となり、10km,11km付近の既設の縦工群は水衝部対策工として機能していることが分かる。

沖積地河川の安定な河道断面形の無次元流量と無次元河幅・水深関係は、式(1),(2)の福岡の式¹⁷⁾で概ね表現される。

$$2.80 \left(\frac{Q}{\sqrt{g d_r^5}} \right)^{0.40} \leq \frac{B}{d_r} \leq 6.33 \left(\frac{Q}{\sqrt{g d_r^5}} \right)^{0.40} \quad (1) \quad \frac{h}{d_r} \leq 0.14 \left(\frac{Q}{\sqrt{g d_r^5}} \right)^{0.38} \quad (2)$$

ここに、 Q ：河道形成流量、 B ：水面幅、 h ：断面平均水深、 I ：エネルギー勾配、 d_r ：代表粒径(= d_{60})、 g ：重力加速度である。図-15は、平成7年洪水に対する愛本床止め下流の12.8km地点における現況河道と設定河道の無次元流量と無次元河幅・水深関係の時間変化を示す。現況河道では、無次元水面幅が無次元流量の増大と共に大きく変化しており、これは洪水の中に著しい水理量の変化が起こっていることを示している。一方、設定河道ではこの傾向が改善され、無次元河幅の福岡の式の範囲内に収まり、流量の増加に伴い福岡の式の傾きに沿って上昇しており、水理量の急激な変化のない好ましい流れの条件¹⁷⁾を満たしていることが確認できる。

次に、愛本床止め直下流の流況について示す。図-16は愛本床止め直下流における右岸沿いの滞筋の水面形と平均河床高・最深河床高の縦断図を示す。年平均最大流

現況河道（平成 24 年）

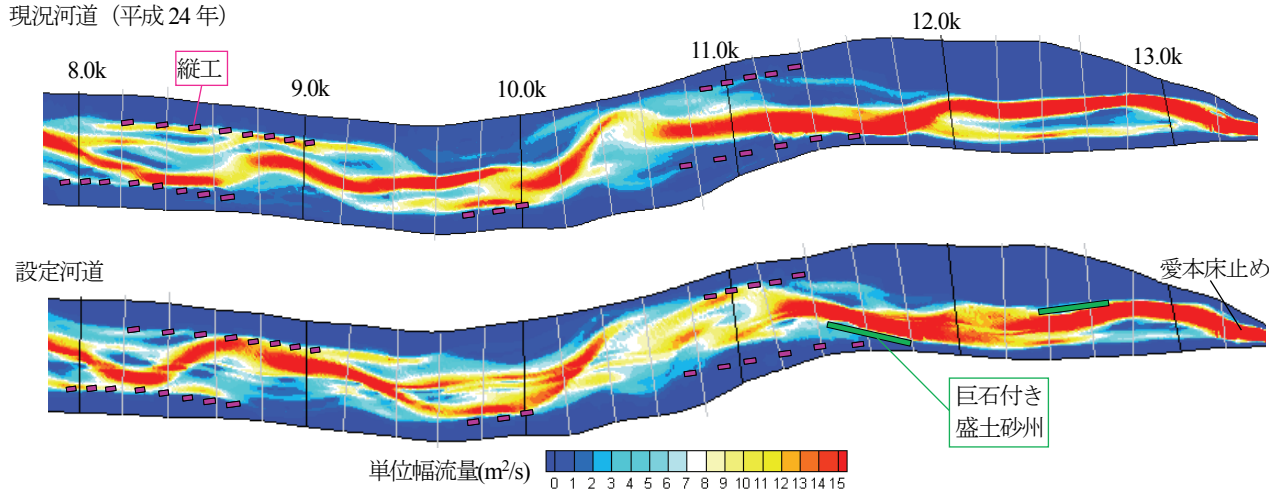


図-13 ピーク時の単位幅流量コンター

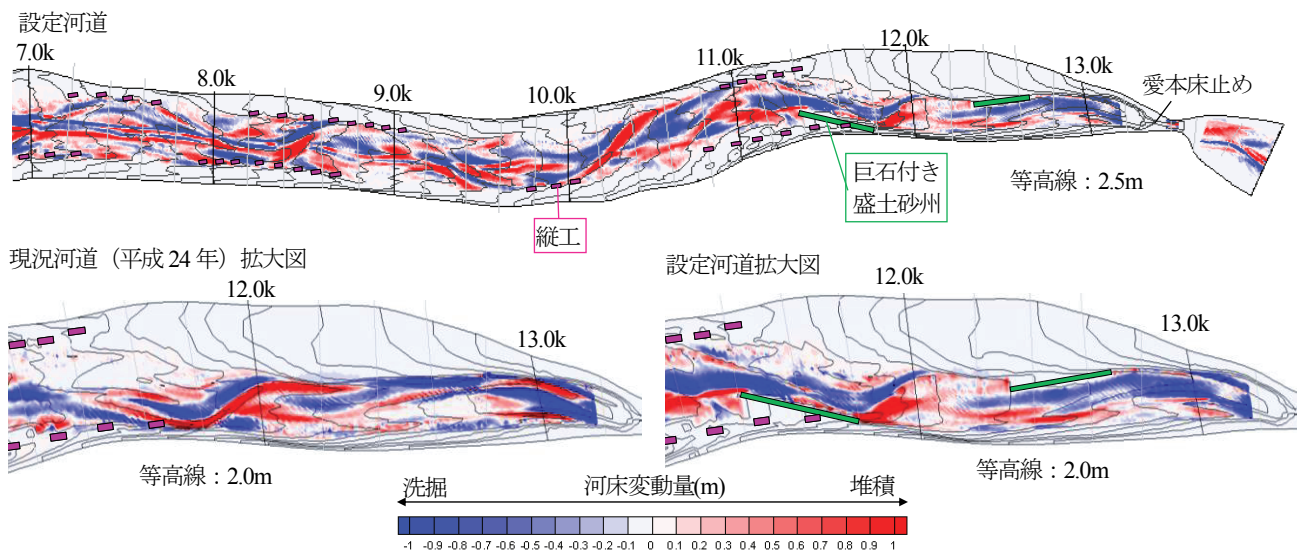


図-14 洪水後の河床変動コンター

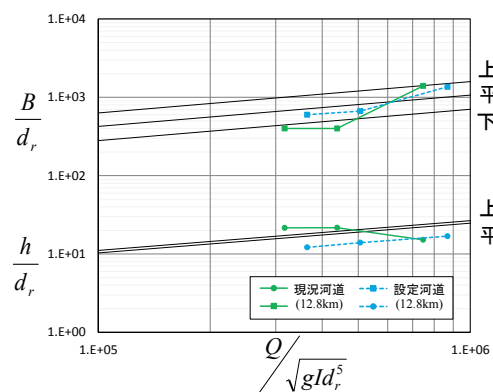


図-15 無次元流量と無次元河幅・水深の関係(12.8km)

量時（約970m³/s）には、設定河道は巨石付き盛土砂州と低水路幅を広げたことによって、巨石付き盛土砂州前面から13.0kmまで、現況河道に比べて右岸水面形が緩やかになっていることが分かる。ピーク流量時（約2400m³/s）は年平均最大流量時（約970m³/s）よりも堰上げ効果が小さいものの、巨石付き盛土砂州の設置と低水路幅を広げたことにより、右岸水面形が緩やかになっている。図-17はピーク時（約2400m³/s）の愛本床止め下流の改修前後の横断図を示す。設定河道では河幅を拡幅

したため、現況河道と比べて流れの集中が緩和されている。

このように愛本床止めから巨石付き盛土砂州設置区間の河幅を広げ、護岸沿いの深掘れを埋める巨石付き盛土砂州を設置することで、既設の縦工群を活用した緩やかな振幅、波長の交互砂州河道形状を再現できることを示した。今後、愛本堰堤上流の河床材料の粒度分布を考慮した土砂の移動、巨石付き盛土砂州下流の交互砂州河道の関係が長期に亘って縦工群と河道状態が安定的に維持できるかについて検討する。また、ここで議論した河道計画に基づいて、現地で段階的に施工していくことになるが、施工に合わせて調査解析を行い、治水上、環境上望ましい黒部川を実現していく。

4. 結論

本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 黒部川の交互砂州区間は、平成 7 年の洪水によって、愛本床止め直下流で河岸浸食、滞筋の河床低下が発生した。その後、続いて発生した洪水に

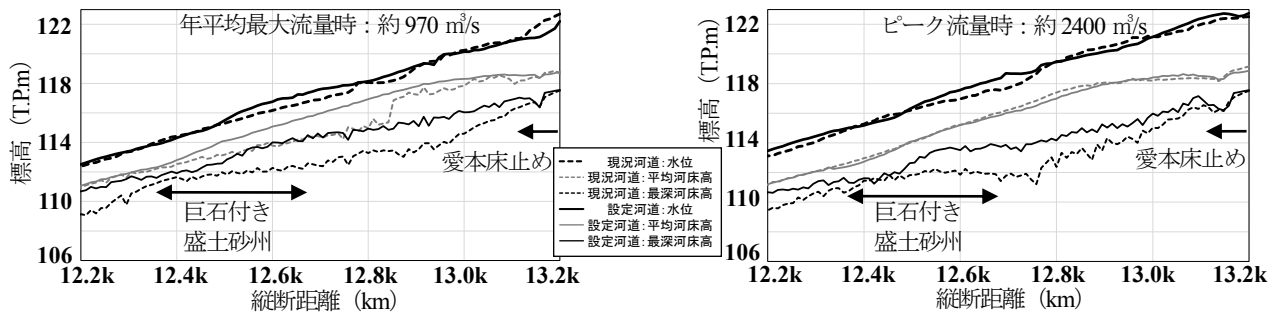


図-16 愛本床止め直下流の右岸水面形と河床高の縦断面図

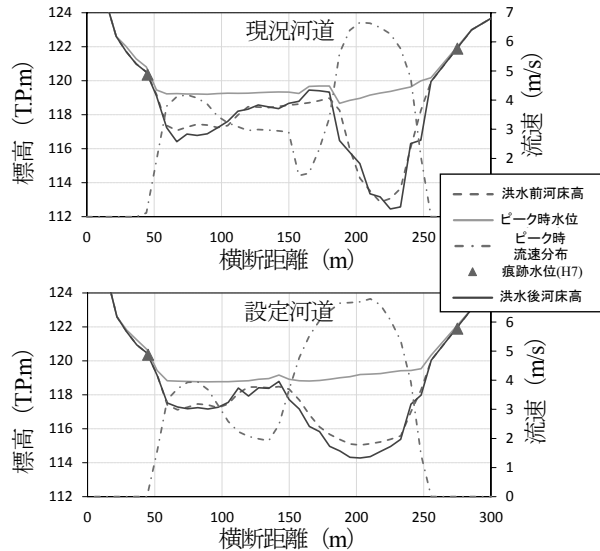


図-17 ピーク時の 12.8km 地点の水理量の横断面図の比較

よって、延伸された右岸護岸に沿って流れの直進化が進行し、下流の交互砂州の蛇行振幅・蛇行線形が変化し、既設縦工群が有効に機能しなくなった。

- 2) 愛本床止め直下流では、巨石付き盛土砂州の設置と低水路幅の拡幅により、断面形状は、福岡の式の無次元流量と無次元河幅・水深の望ましい範囲内に収まることを示した。
- 3) 滞筋の直進化が進行し、狭く深くなっている愛本床止め下流の低水路を広げ、直進化した滞筋を埋め、巨石付き盛土砂州を 2 基設置することによって、平成元年頃の緩やかで広い水面幅を有し、既設縦工群が有効に機能し得る低水路蛇行形状となることを洪水流と土砂移動解析によって示した。

参考文献

- 1) 木下良作：石狩川河道変遷調査，参考編，科学技術庁資源局資料第 36 号，1962。
- 2) 鎌田照章，土屋進，中平善伸，高島和夫：黒部川縦工計画と中小洪水に対する縦工の河岸浸食防止効果，水工学論文集，第 45 巻，pp.787-792，2001。
- 3) 北陸地方整備局 河川部 黒部河川事務所：第 3 回 黒部川河道検討会 資料，2014。
- 4) 坂本健太郎，川嶋崇之，浅枝隆：ダム下流の砂州上への排砂土砂の堆積が樹木の成長促進に与える影響，水工学

論文集，第 53 巻，pp.1165-1170，2009。

- 5) 齋藤博之，進藤裕之：黒部川宇奈月ダム・出し平ダムの連携排砂と環境調査について，河川技術論文集，第 8 巻，pp.197-200，2002。
- 6) 原田芳朗，寺崎賢一，福岡捷二：黒部川における河床変動，河床材料分布，植生の変化に関する研究，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.68，No.4，pp.I_1417-1422，2012。
- 7) 長田健吾，福岡捷二：石礫河川の河床変動機構と表層石礫の凹凸分布に着目した二次元河床変動解析法，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.68，No.1，pp.1-20，2012。
- 8) 長田健吾，福岡捷二，氏家清彦：急流河川における砂州を活かした治水と環境の調和した河道計画，河川技術論文集，第 18 巻，pp.227-232，2012。
- 9) 長田健吾，福岡捷二，岡田昌之：石礫河川の二次元河床変動解析法を用いた安倍川網状流路の数値解析，水工学論文集，第 54 巻，pp.769-774，2010。
- 10) 福岡捷二：札内川の河道変遷を考慮した治水と環境の調和した安定な河道 縦横断面形状に関する研究，北海道河川財団研究所紀要(X XIV)，pp.123-164，2013。
- 11) 長田健吾，安倍友則，福岡捷二：急流礫床河川における低水路護岸沿いの深掘れ流路形成とその特性，河川技術論文集，第 13 巻，pp.321-326，2007。
- 12) 建設省土木研究所：黒部川の河道特性と河道計画，土木研究所資料第 3139 号，1993。
- 13) 国土交通省北陸地方整備局河川部北陸急流河川研究会：治水と環境の調和した新たな河岸防護技術の手引き，2013。
- 14) 内田龍彦，福岡捷二：底面流速解析法による連続する水没水制群を有する流れと河床変動の解析，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.67，No.1，pp.16-29，2011。
- 15) 内田龍彦，福岡捷二，福島琢二，田中正敏：大型粗度群上の浅い流れの平面二次元解析とその応用，土木学会論文集，No.691，pp.II-57，93-103，2001。
- 16) 福岡捷二，佐藤宏明，藤澤寛，大沼史佳：洪水流と河道の樹木繁茂形態に基づく樹木群透過係数と粗度係数の算定法，水工学論文集，第 51 巻，pp.607-612，2007。
- 17) 福岡捷二，坂口達哉：無次元流量に対する無次元河幅・水深のとり範囲と整備途上河川への適用，土木学会論文集 B1(水工学),Vol.68,No.4,I_1423-1428,2012。

(2015. 4. 3受付)