

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏名 （ふりがな） 後藤 岳久 （ごとう たかひさ）	所属 中央大学	役職 機構准教授
②技術研究 開発テーマ	名称 黒部川における安定した石礫交互砂州河道の回復技術に関する研究		
③研究経費 （単位：万円）	平成 年度	平成 年度	平成 年度
※端数切り捨て。	224万円	140万円	126万円
④研究者氏名 （研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）			
氏名	所属機関・役職 （※平成31年3月31日現在）		
福田 朝生	中央大学 機構准教授		
⑤研究の目的・目標 （様式地河-1、地河-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）			
<p>黒部川の扇頂部に位置する愛本床止めは、やや右岸に向けて設置されており、その流れの攻撃角により、下流河道で卓越する交互砂州の低水路蛇行線形を規定している。交互砂州河道の水衝部には縦工群が設置され、水衝部の高水敷や堤防を洪水流による侵食から守ってきた。一方、平成7年7月には、過去約40年間で最大規模の洪水が発生し、愛本床止め直下流右岸の水衝部で大規模な河岸侵食が生じた。その後、侵食を受けた愛本床止め直下流右岸に新たに護岸を設置・延伸したことにより、洪水流が護岸沿いを走るようになり、濬筋の直線化と濬筋の河床低下が進行した。濬筋の直線化は、水衝部位置を変化させたことから、水衝部に設置された既設の縦工群が有効に機能しなくなっている。加えて、愛本堰堤は上流からの石礫土砂の流下を阻害していることから、愛本堰堤下流の濬筋の直線化と河床低下を助長している。このような河床低下・濬筋の直線化は、愛本床止や新たに水衝部が被災を受ける危険性が高まっている。</p> <p>本研究では、第一に、愛本床止め下流に2基の巨石付き盛土砂州を設置し、直線化した交互砂州河道区間の低水路蛇行線形を是正し、既設の縦工群の機能を回復する。2基の巨石付き盛土砂州の設置効果を、モニタリングデータとこれを用いた石礫河川の河床変動解析により明らかにする。そして、検討結果を踏まえ、2基の巨石付き盛土砂州、既設縦工群が効果的に機能するための河道縦横断形の是正策を提案する。</p> <p>第二に、愛本堰堤からの石礫土砂の排砂を促進する石畳排砂水路について、数値移動床実験により石畳床上の流れと流砂の抵抗等を明らかにし、これを河床変動解析に組み込み、堰堤からの排砂促進可能な石畳排砂水路の諸元を提案する。そして、石畳排砂水路の設置が愛本堰堤下流の河床低下を抑制する効果を明らかにする。</p>			

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)



図-1 平成 29 年 7 月洪水観測体制

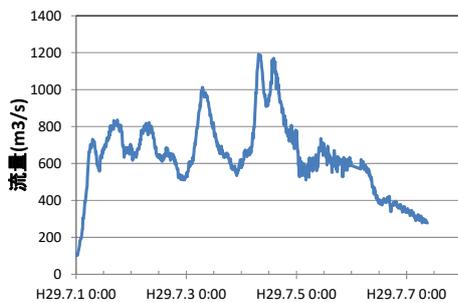


図-2 平成 29 年 7 月洪水流量ハイドログラフ(愛本)



図-3 平成 29 年 7 月洪水による巨石付き盛土砂州周辺の瀬淵の形成

1 実洪水に対する巨石付き盛土砂州の設置効果の検証

1.1 モニタリング体制と結果

平成29年7月に愛本地点のピーク流量が約1,200(m³/s), 洪水継続時間が約1週間にも亘る洪水が発生し, 2基の巨石付き盛土砂州が初めて洪水を経験した. 図-1は本洪水における観測体制を示し, 図-2は愛本地点の流量ハイドログラフを示す. 本洪水では, 巨石付き盛土砂州周辺を中心として詳細に水面形時系列の観測値が得られ, さらに, 定点カメラにより巨石付き盛土砂州周辺の流況の映像を取得できている.

図-3は, UAVによる巨石付き盛土砂州周辺の洪水後の空中写真を示す. 濬筋の直線化が進行していた愛本床止め下流に2基の巨石付き盛土砂州を設置することにより, 洪水後の河道では低水路の蛇行線形が回復し始め, それに伴い瀬淵が形成されていることが分かる. 図-4は上流側の巨石付き盛土砂州周辺の観測水面形の時間変化を示し, 図-5は巨石付き盛土砂州上流の洪水前後の横断図を示す. 流量ピーク付近における水面形は, 巨石付き盛土砂州が水位を堰上げ, その上流側の水面形を緩やかにしていることが分かる. これにより, 巨石付き盛土砂州の上流の横断測線(12.4km,12.6km)では, 右岸濬筋部に土砂が堆積し, 左岸側の砂州は浸食を受けることにより濬筋幅が拡大し, 河床低下が緩和されていることが分かる.

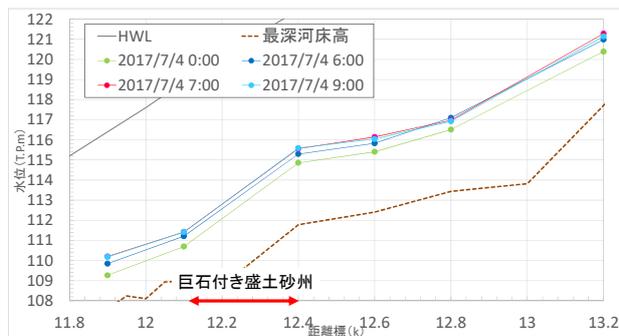


図-4 上流側の巨石付き盛土砂州周辺の洪水ピーク付近の観測水面形の時間変化

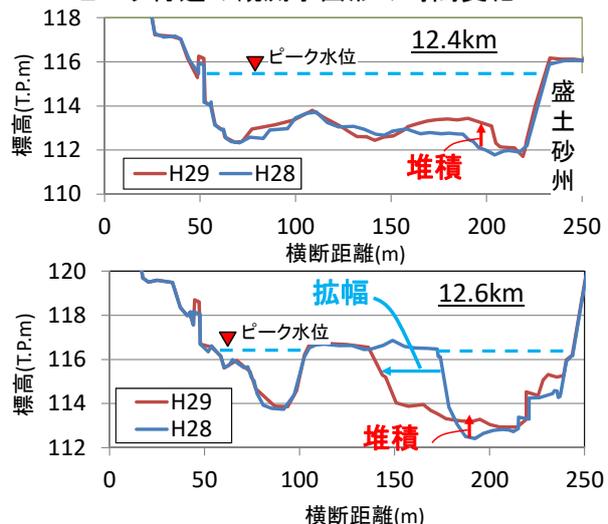
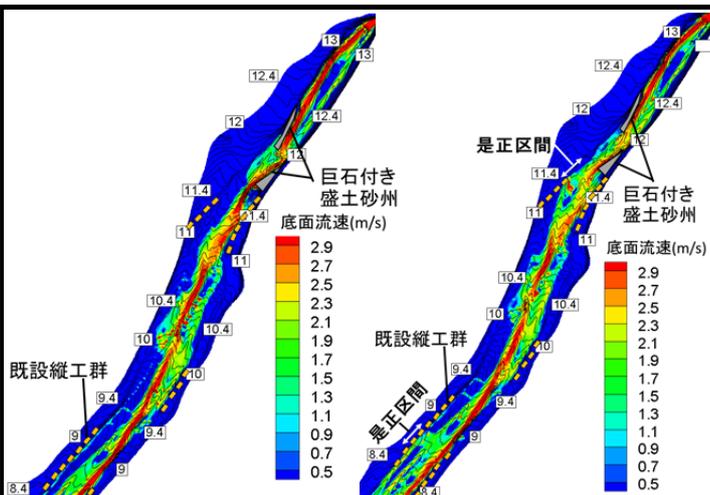


図-5 巨石付き盛土砂州上流の測量結果



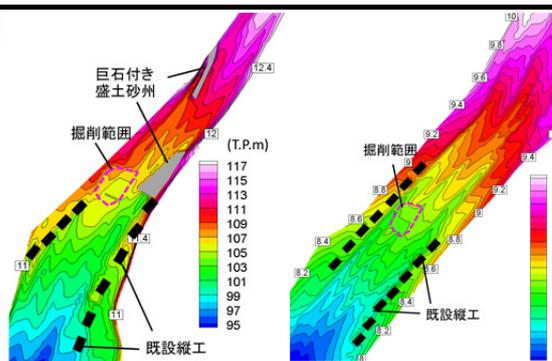
(a) 現況河道 (b) 是正河道
 図6 現況河道と是正河道における約
 1,000(m³/s)時の底面流速分布の比較

1.2 石礫河川の河床変動解析法による巨石付き盛土砂州の設置効果と河道是正策について

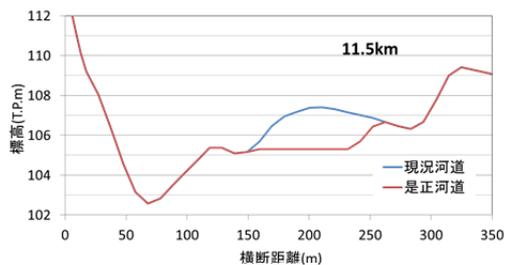
平成29年7月洪水の観測データを用い、石礫河川の河床変動計算を行い、巨石付き盛土砂州の設置効果および河道是正策を検討する。石礫河川の河床変動解析における流れの解析は、準三次元解析法である一般底面流速解析法(GBVC法, 内田・福岡)を用いる。

流れの解析の境界条件は、15.4kmと7.2kmで観測された水位ハイドログラフを与え、河床変動解析の上流端境界条件は平衡状態の流砂量を与えた。解析初期地形は、平成28年度の定期横断測量と巨石付き盛土砂州周辺の詳細測量データより作成し、河床材料は平成24年の計測値を用いた。

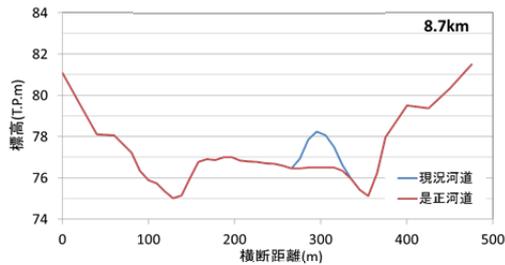
図-6は、現況河道および是正河道における本洪水での1,000(m³/s)時の底面流速分布を示す。1.1での実測でも見られたように、下流側の巨石付き盛土砂州については、対岸(右岸)の砂州が高いため、洪水流が砂州に乗り上げず、流れを十分対岸に撥ねていない。また、9km付近についても流れが左岸側に寄っており、右岸側の既設縦工群が有効に活用できていない。このため、11.5km付近右岸砂州および8.7km付近中州の切り下げを行うことを提案し(図-7および図-8)、これにより、巨石付き盛土砂州が有効に機能し、図-6(b)に示すように低水路の蛇行線形の回復が見られる。



(a) 11.5km 付近 (b) 8.7km 付近
 図-7 河道是正範囲



(a) 11.5km 付近



(b) 8.7km 付近

図-8 是正河道の横断形状

2 石畳排砂水路の設置案およびその下流河道に対する排砂効果

2.1 黒部川の愛本堰堤から石礫土砂の排砂を促進する技術の考え方

図-9は、愛本堰堤上流の排砂促進策を示す。河幅の広がる15km付近では石礫土砂が堆積し易いことから、クリーク水路を掘削して流れを集中させ、石礫が愛本堰堤の上流付近(14km)まで流下することを促進する。クリーク水路の勾配は黒部川の平均河床勾配である1/100とし、愛本堰堤下流河道の河床を構成する粒径(10~20cm)が排砂促進されるように、水路幅と掘削深が決定されている。石畳排砂水路は、河床に巨石の石畳を設置することで流れの抵抗を小さくし、これをクリーク水路下流端から愛本堰堤の土砂吐まで設置して愛本堰堤からの排砂を促進することを狙いとする。図-10は愛本堰堤(13.55km)の各ゲート位置とその敷高を示す。愛本堰堤の土砂吐は左岸側に設置され、図-11は、現況河道の最深河床高および石畳排砂水路・クリーク水路の水路床高を示す。ここで、石畳排砂水路の縦断勾配は、洪水流・河床変動解析を用いて水深と流速が縦断的に低下しないように試行錯誤的に決定した。



図-9 愛本堰堤, 石畳排砂水路, クリークの位置関係

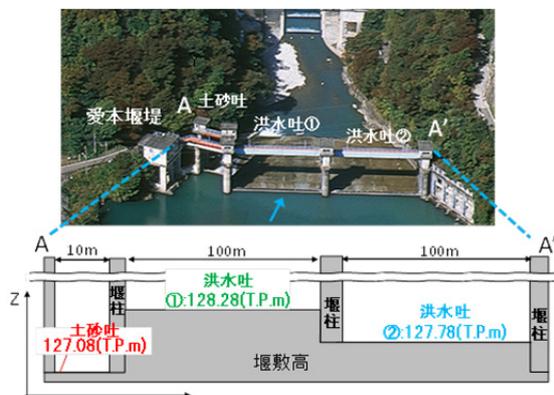


図-10 愛本堰堤の土砂吐と各ゲート敷高

図-12は、平成25年6月洪水において、宇奈月ダムと出し平ダムの連携排砂時の宇奈月ダム貯水位と流入・放流量ハイドログラフを示す。連携排砂において、宇奈月ダムの水位低下操作時や自然流下状態の時間帯では、ダムから流量約400~600m³/sを長時間放流している。約400~600m³/sの流量は、愛本堰堤下流河道における低水路満杯程度の流量に相当し、下流河道では掃流力が著しく大きくなる状況となる。このことから、500m³/s程度の流量に対して、愛本堰堤から石礫の排砂促進を可能とする石畳排砂水路の設置を狙いとする。

2.2 石畳排砂水路の流と流砂運動を評価するための石礫河川の河床変動解析法の検討

石畳排砂水路の水路床の凹凸分布は、石礫河川の河床表層の凹凸分布と異なるため、石畳床の流れの抵抗と流砂量との関係を把握し、これを河床変動解析法に考慮する必要がある。そのため、石畳水路上の石礫土砂の移動を対象とした数値移動床実験を行い、得られた数値実験結果の流れ場と流砂量を説明する長田らの河床変動解析法について検討する。

石畳水路の数値移動床実験では、巨石を石畳状に配置して石畳排砂水路を模した実験水路を作成し石礫土砂を堆積させた。数値実験水路の勾配は、黒部川の平均河床勾配と同様の1/100とし、水深は約2mとした。図-13は、数値実験結果の流速分布と流速コンターを示す。石畳を構成する巨石と巨石の間に小さい礫がはまり込むことにより、比較的凹凸の小さい水路床が形成され、石畳水路は流れに対する抵抗を小さくしていることが分かる。この時の石畳床の流れの抵抗を粗度係数で換算すると0.033(m^{-1/3}s)である。

次に、長田らの河床変動解析法を上記の石畳水路の数値実験と同一条件で計算し、数値実験結果の

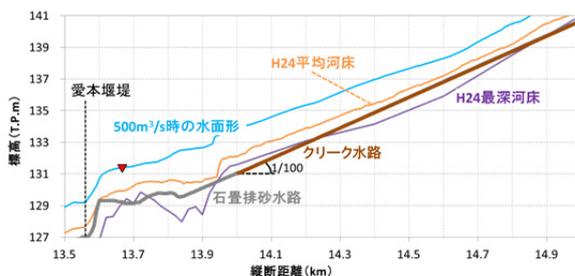


図-11 平成25年6月洪水における連携排砂時の宇奈月ダム下流河道の流量ハイドログラフ



図-12 平成25年6月洪水における連携排砂時の宇奈月ダム下流河道の流量ハイドログラフ

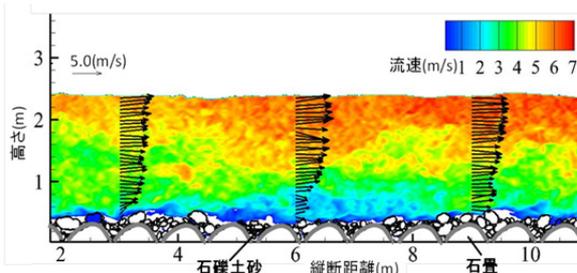


図-13 石畳床の数値実験における流下方向流速コンター図

表-1 石畳排砂水路と石礫河川を計算するための各パラメータ

	石畳排砂水路	石礫河道
流れの抵抗	粗度係数(0.033)	d90による形状抵抗
反発係数	0.75	0.65
石畳とみなす土砂層厚		0.5m

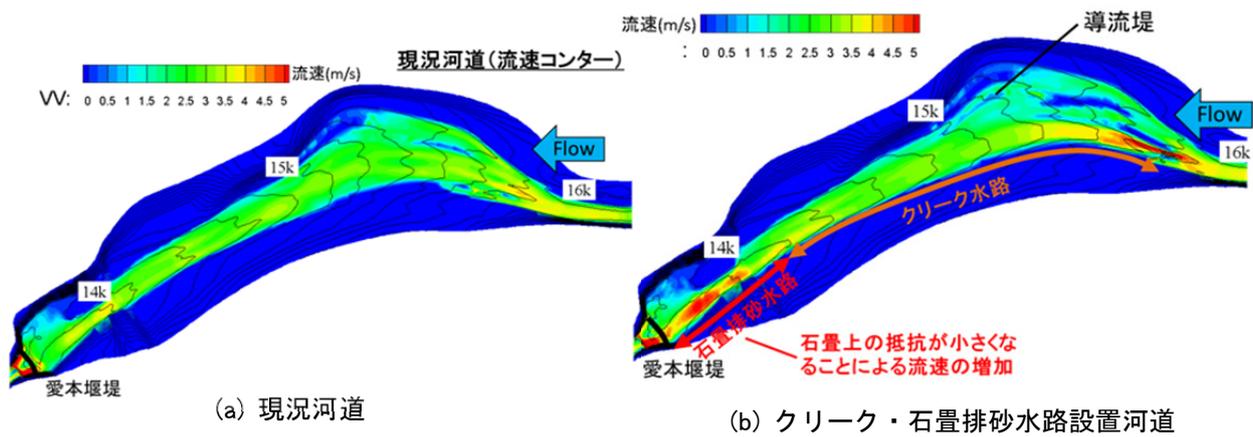


図-14 現況河道と石畳排砂水路・クリーク設置河道における面流速分布 (500m³/s 時)

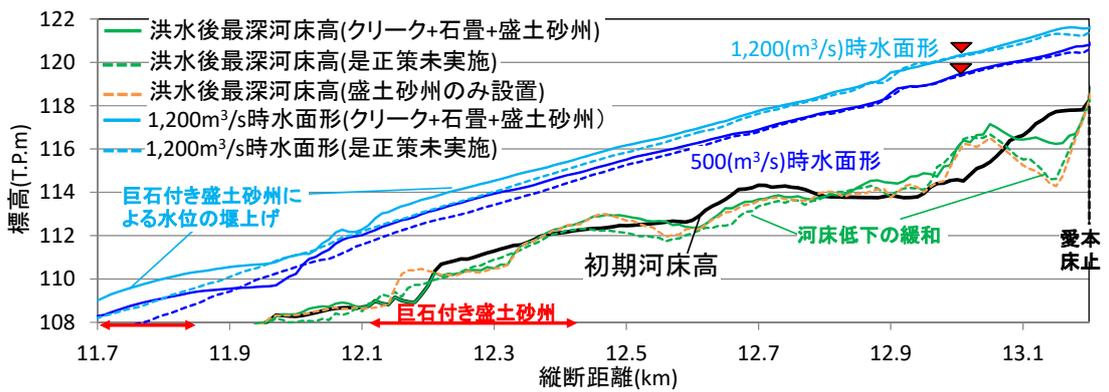


図-15 愛本床止下流河道の洪水後の最深河床高と水位縦断分布 (500m³/s 時, 1200m³/s 時) の解析結果

流れと単位幅流砂量を説明するようにパラメータを調整した。その結果、石畳排砂水路の反発係数は、20cm より大きい粒径では表-1 に示すように 0.75 を用いることとする。

2.3 石畳排砂水路による排砂促進が下流河道に及ぼす効果

石畳排砂水路とクリーク水路による排砂促進が、下流河道の河床低下の抑制に与える効果について検証する。洪水の外力条件は、平成 29 年 7 月洪水の流量ハイドログラフとし、2.2 で構築した解析法を用いる。

図-14 は、現況河道と石畳排砂水路・クリーク設置河道における流量 500m³/s 時の底面流速のコンター図をそれぞれ示す。クリークと石畳排砂水路を設置した河道では、現況河道に比べてクリーク水路内や石畳排砂水路内で流速が大きくなり、比較的流れが集中していることが分かる。

図-15 はクリーク水路と石畳排砂水路、巨石付き盛土砂州を設置した場合、巨石付き盛土砂州のみを設置した場合、これらいずれの対策を実施していない場合における解析後の最深河床高縦断分布と流量 500m³/s 時、流量ピーク時 (1,200m³/s) の水面形を示す。図より、巨石付き盛土砂州は流れに対して抵抗体となるため、その上流で水位を堰上げ、土砂堆積を生じさせており、12km 付近や 12.5km 付近の河床低下を緩和していることが分かる。一方、2 基の巨石付き盛土砂州の設置のみでは、愛本床止 (13.2km) 直下流の河床低下をあまり抑制出来ていない。図-16 は、愛本堰堤を通過する 10cm 以上の粒径の全幅の流砂量の時間積分値を示す。愛本堰堤から排出される石礫の流砂量は、石畳排砂水路を設置すると現況河道の 2 倍程度になっている。このため、愛本堰堤下流河道では、図-15 に示したように、愛本堰堤 (13.55km) からの石礫土砂の供給量が増加し、床止直下流の河床低下が抑制されていることが分かる。以上のことから、クリーク水路と石畳排砂水路の設置は、愛本床止下流河道の河床低下の抑制に対して有効であることを示した。

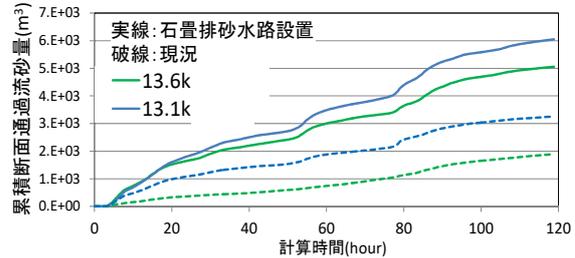


図-16 愛本地点を通過する粒径 10cm 以上の流砂量の時間積分値

⑦研究成果の発表状況・予定

(本研究の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

- ・これまでに発表した代表的な論文
 - ・著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
 - ・国際会議、学会等における発表状況
 - ・主要雑誌・新聞等への成果発表
 - ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
 - ・研究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
 - ・企業とのタイアップ状況
 - ・特許など、知的財産権の取得状況
 - ・技術研究開発成果による受賞、表彰等
- ・これまでに発表した代表的な論文
- 1) 後藤岳久, 桶川勝功, 福岡捷二, 福田朝生: 黒部川愛本堰堤から排砂を促進するための技術開発と交互砂州河道の回復, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, pp.I_865-I_870, 2018.
 - 2) 後藤岳久, 桶川勝功, 福岡捷二, 福田朝生: 黒部川愛本堰堤からの排砂を促進する石畳排砂水路とその設置効果, 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集, II-063, 2018.
 - 3) Fukuda, T. and Fukuoka, S.: Interface-resolved large eddy simulations of hyperconcentrated flows using spheres and gravel particles, Advances in Water Resources, 2017.
 - 4) Fukuda, T. and Fukuoka, S.: Euler-Lagrange simulation of invert concrete abrasion, Proceedings of the 2nd International workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto-Japan, 2017.
 - 5) 福田朝生, 福岡捷二: 土石流の流下時の分級と構造物に作用する衝撃力の数値移動床実験, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.73, 2017.
 - 6) 後藤岳久, 福岡捷二, 桶川勝功: 黒部川における石礫交互砂州河道の回復技術に関する研究—巨石付き盛土砂州設置による河道の回復効果の検証—, 土木学会第72回年次学術講演会講演概要集, II-153, 2017.
 - 7) Fukuda, T. and Fukuoka, S.: Euler-Lagrange simulations of debris flow experiments, Proceedings of Two-phase modelling for Sediment dynamics in geophysical flows THESIS-2016, Tokyo – Japan, 2016.
 - 8) 加藤翔吾, 石川 伸, 後藤岳久, 福岡捷二: 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, 河川技術論文集, 第21巻, pp.177-182, 2015.

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

本研究の成果は、下記URLの中央大学福岡ユニットのHPで公開し、常に情報発信している。

(URL: <http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~sfuku/index.html>)

河川流域技術研究会(中央大学研究開発機構)において、国土交通省の水資源国土保全局等の技術職員、国土技術政策総合研究所等の研究職員および大学の研究者の方々に対して、本研究の成果を発表した。(来場人数: 40人程度)

また、研究室の公開イベントについては、中央大学の学園祭(開催日: 11/2(金)~11/4(日), 来室人数: 100人程度)およびオープンキャンパス(開催日: 8/5(土)~8/6(日), 来室人数: 100人程度)にて、一般および学生向けに研究成果の情報を発信した。

⑨表彰、受賞歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

無し。

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究では、澇筋の直線化と澇筋の河床低下が進行している黒部川について、やや右岸に向けられた攻撃角を有する愛本床止めの直下流に、2基の巨石付き盛土砂州を設置して洪水流を撥ねることにより、これをきっかけとして本来の砂州河道が回復可能であることを示した。同様に、護岸沿いの洗堀が進行している河川は、石礫河川だけでなく砂礫河川でも見られ、このような河川に対しても水撥ね効果と砂州河道の回復が可能な盛土砂州の形状や構造、その施工法などについて今後検討していく必要がある。この技術は、護岸の設置等により失われた砂州河道を回復させ、治水と自然の調和した河川技術となることが期待される。

石畳排砂水路については、石畳は流れの抵抗を小さくするため、堰堤の土砂吐きに石畳排砂水路を接続して設置すると、堰堤からの排砂が促進され下流河道の河床低下が抑制されることを示した。今後、石畳排砂水路を試験的に施工し、実洪水における石畳排砂水路上での石礫土砂の流れ方を理解し、具体の施工方法について検討する必要がある。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究では、まず、河道の澇筋化と河床低下、それに伴う砂州の樹林化・既設縦工群の機能低下が課題となっている黒部川の交互砂州区間を対象とし、やや右岸に向けられた愛本床止めの下流に2基の巨石付き盛土砂州を設置することにより、既設縦工群を有効に活用し得る交互砂州河道が回復可能であることを平成29年7月洪水のモニタリングデータとそれを用いた石礫河川の河床変動解析により実証された。これらを踏まえ、黒部川の交互砂州河道を適切に維持管理するために必要な河道是正箇所と是正策を提案することが出来た。

一般に、河川では、河床の変動・澇筋の変化により既設の構造物が機能しなくなる場面がしばしば見られる。本研究の成果は、巨石付き盛土砂州のように河川技術者が少しの手を加えるだけで自然の営力で砂州河道を回復し、それによって既存ストックの機能を活かした河川管理が可能となることを示した。

石畳排砂水路については、石畳床の数値移動床実験結果を石礫河川の河床変動解析に反映させ、この解析法により、愛本堰堤からの石礫土砂の排砂促進と下流河道の河床低下を抑制する効果を示した。石畳排砂水路は流れの抵抗を小さくすることで、堰堤からの排砂を促進しており、堰堤下流河道に石礫土砂を供給する対策として有効な手段になり得ることが示された。本研究で対象とした愛本堰堤のように、堰堤上下流での流送土砂の不連続性に起因する事例は、急流河川だけでなく緩流河川の堰堤上下流でも見られる現象である。石畳排砂水路は、このような課題を抱える河道への活用の可能性が広がることが期待できる。