

河川環境の経年変化を踏まえた 急流中小河川における部分拡幅工法の考察

APPLICABILITY OF LOCAL RIVER WIDENING FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED RIVERS BASED ON LONG TERM ENVIRONMENTAL CHANGES

河野誉仁¹・大槻順朗²・中村圭吾¹・林田寿文³

Takanori KONO, Kazuaki OHTSUKI, Keigo NAKAMURA and Kazufumi HAYASHIDA

¹正会員 博(工) (国研) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

²正会員 博(工) 山梨大学大学院助教 総合研究部工学域 土木環境工学系
(〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

³正会員 博(環境科学) (国研) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター(同上)

部分拡幅工法は環境形成と治水を両立する有力な手段であるが、河川の特성에 応じた河床安定性、環境上の効果、維持管理の量について実例の整理がなされていない。本研究では、施工後10年程度経過した部分拡幅改修区間を対象に追跡調査を実施し、拡幅による治水上、環境上の変化と河川特性の関係性を検討するとともに事前予測・評価の妥当性を検討した。その結果、部分拡幅部では、流量・勾配・川幅等による長期的な地形変化と、湾曲・拡幅等の平面形状による局所・短期的な地形変化が確認された。数値解析による評価は、整備後に生じている地形変化や瀬淵分布、植生定着状況を概ね再現し、施工後の環境予測に有用であることが認められた。

Key Words: local river widening, follow-up investigation, morphodynamic simulation, nature-oriented flood protection, Kyusyu region

1. はじめに

我が国の河川上流部においては、過去の河川整備により多くの河川が狭く深い断面に改変されており、河床低下や河岸侵食による被災の要因ともなっている。また、河道の単調化を招き、生物生息場環境や人との関わりを喚起する水辺の喪失をもたらしている。近年の豪雨災害では、多量の流入土砂による河道の埋塞や河床上昇が被害を拡大していることも多い。

このような現状の課題の解決策の一つとして、本研究では河道の部分拡幅に着目している。河道の拡幅は流下能力の増大のみならず、土砂の堆積や植物の定着を伴って、良好な水辺環境を形成する重要な要素をもたらすと考えられている。これまでも多自然川づくりにおける中心技術として河道拡幅は推奨されており、海外でも Room for the River や Local River Widening などのテーマで Nature-oriented の河川技術として拡幅が実施されてきた。

国内でも部分拡幅の事例が増えているものの河川の規模や特徴が異なっている。これまで流量や勾配、湾曲な

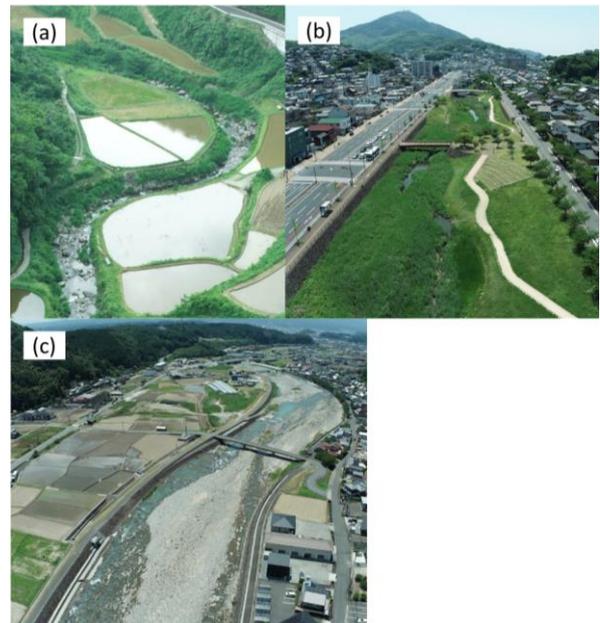


図-1 対象地 (a)山附川, (b)板櫃川, (c)花月川

どの河道特性に応じて適する部分拡幅工法について水路実験や数値解析を用いた検討が行われてきたが^{2),3)}, 実現場でどのような効果が期待できるのか十分に整理されて

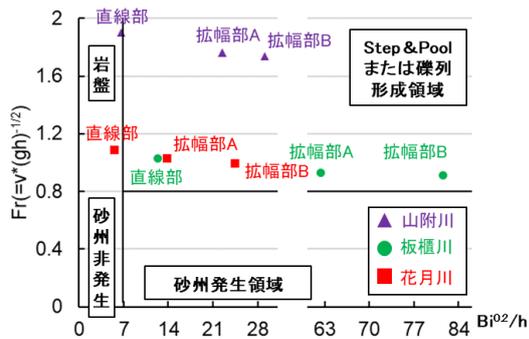


図-2 対象となる部分拡幅部の河道景観区分⁴⁾

表-1 各対象河川の諸元と解析条件

	山附川	板櫃川	花月川
流量 (m ³ /s)	25*6回	37*5回	640*3回
地形	数値標高モデル (2021)	計画断面 (2007)	計画断面 (2017)
流量 (m ³ /s)	25*6回	37*5回	640*3回
河床変動	無	有	有
給砂	-	無	平衡流砂量
下流端水位	等流水深		
粗度係数 (m ^{-1/3} s)	0.035		
河床材料	100mm単一		調査結果 (2017)



図-3 (a)山附川, (b)板櫃川, (c)花月川における近傍観測地点の日降水量と確率規模, および人的操作

いない。また、河床変動解析をはじめ数値解析に基づく事前の変化予測技術が発展しているものの、部分拡幅部における再現性や有用性が十分に検討されていない。

そこで本研究では、部分拡幅工法の効果を事例に基づいて整理することを目的とし、①施工後10年程度の期間を経過した3つの改修区間の追跡調査および②数値計算に基づく治水・環境の事前評価法を適用した。①②を相互に比較し、現状の到達地点として、維持管理を含めた適切な拡幅工法について考察する。

2. 方法

(1) 対象河川

山附川（宮崎県高千穂町）、板櫃川（福岡県北九州市）、花月川（大分県日田市）を対象とした（図-1）。それぞれ河床勾配が1/20～1/100の急流河川での拡幅事例である。平均年最大流量に対して、山附川は射流、板櫃川・花月川は常射混在流れとなる。川幅パラメータとフルード数による河道景観区分⁴⁾（図-2）に照らすと、山附川・花月川について、対象区間前後の直線部では「岩盤河床」、拡幅部では「Step&Poolまたは礫列」となる。板櫃川では直線部、拡幅部いずれも「Step&Poolまたは礫列」領域となっている。調査対象とする拡幅部は、拡幅の場所（湾曲・直線拡幅）などによる特徴的な区間を抽出しており、直線部はリファレンスとして隣接する区間から抽出した。

(2) 追跡調査

現地と資料調査による追跡調査を実施した。現地で空

撮による地形測量、魚類相及び植生分布調査を実施した。空撮にはドローン（DJI Phantom4 RTK）を用い、対地高度50m、重複率80%で連続撮影し、SfM-MVS解析ソフトウェア（Agisoft Metashape）を用いてオルソ画像と数値標高モデルを作成した。魚類調査では、100m間隔で3～4地点設定した長さ40mの調査区でエレクトリックショッカーによる採捕を行い、種名、体長、個体数を計測し、補足として環境DNAメタバーコーディング法による魚種検出を実施した。植生分布調査では、目視確認とオルソ画像を比較し植生分布図を作成した。

資料調査では、各河川の拡幅事業の計画図面、測量図面、環境調査成果等の資料を収集し、拡幅の目的、当時の環境、整備後の維持管理の実施状況等を整理した。出水履歴については近傍の雨量・水位・流量観測所のデータを整理した。過去の航空写真・衛星写真は国土地理院地図HPおよびGoogleEarthProの閲覧機能を用いた。

(3) 数値解析による評価

平面2次元河床変動解析を用いた水理検討を行った。事前の環境変化予測の妥当性検討に鑑みて、実績流量ではなく平均年最大流量を繰り返し与えた。さらに平水流況に対する瀬淵分類と、出水流況に対するWOI（Wash-Out Index）⁵⁾による植生流失評価を行った。瀬淵分類では、現地空撮から得た3次元地形に対して流況を計算し、瀬淵を分類する水深・流速の閾値を現地状況に適合するよう調整した。計算にはiRIC Softwareの河床変動計算ソルバNays2DH、および環境評価ソルバEvaTRiP Proを用いた。計算条件を表-1に示す。

表-2 魚類調査の結果、採捕及び環境DNAメタバーコーディング法による種検出結果を統合。

調査年 (西暦)	山附川		板櫃川		花月川	
	10-12	21	09	19, 21	14	21
ウナギ	○	○	○	○	○	○
ヤマメ	○	○	○	○	○	○
トンコ	○	○	○	○	○	○
タカハヤ	○	○	○	○	○	○
カワムツ	○	○	○	○	○	○
ウグイ	○	○	○	○	○	○
ヒジマス	-	○	-	○	-	○
			イシノシヨ	-	カワヨシホリ	○
			アユ	-	キンブナ	○
			ミナミダカ	-	アリアケギハチ	-
			ブルーギル	-	コイ	-
			モツゴ	-	ウナギ	-
			カマツカ	-	ナマス	-
			ウナギ	-	ドジョウ	-
			サクラマス	-	サクラマス	-
				○	オヤヒラミ	○

3. 結果と考察

図-3に各対象河川近傍の降雨観測所の年最大日雨量と観測所における確率規模別降雨量を示している。表-2に各河川における魚類調査結果を、図-4に各河川の植生分布から抽出した河道における植生被度の割合を示す。以下、個別の河川の説明の中で適宜参照する。

(1) 山附川 (I=1/20)

a) 整備の特徴と履歴

山附川は流域面積8.1km²、勾配約1/20のstep-poolを呈する山地河川である。2005年の台風14号により被災し改良復旧工事が実施され2008年に完了した。河岸侵食部を活用した拡幅と、転石・巨岩を護岸や河床安定のために利用している点が特徴的であり、自然の営力により自律的にStep-Pool構造を形成することを狙った。平均川幅は5~6mから10mに拡幅され、河床は洪水後の形状を尊重している。

山附川では2008年の工事完了後、2011年の1/10程度の洪水を挟む形で2010年から2012年にかけて劉⁹⁾による調査が実施された。その後、2012、2013年に確率規模1/10に近い出水が生じているが、それから2021年まで大出水を経験していない。また、工事完了以後、河道掘削などの大きな人為的改変は行われていない。

b) 河床地形、水理環境

山附川では2021年においても河道内にStep-Poolが明瞭に形成されていた。一部、護岸基礎の露出が見られたが、総じて顕著な河道の変状はなかった。山附川では外岸侵食部を河道として拡幅しているが、湾曲部に典型的な内側ではなく、拡幅した外岸側に土砂が堆積している箇所が多くみられた。解析流速は流心部で約6m/sに達するが、拡幅部や一部の湾曲部で流速が2m/s程度に減速していた(図-5 (b))。減速区間はStepが形成されている個所とお

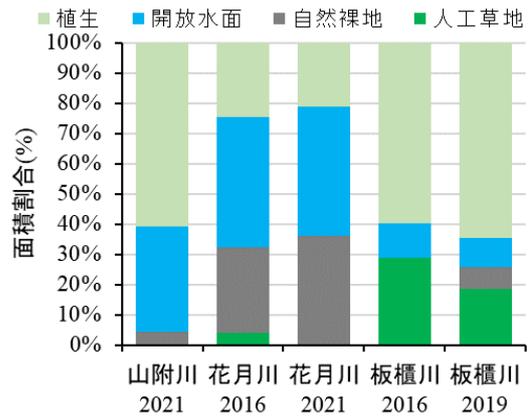


図-4 植生分布図に基づく河道内の植生被度

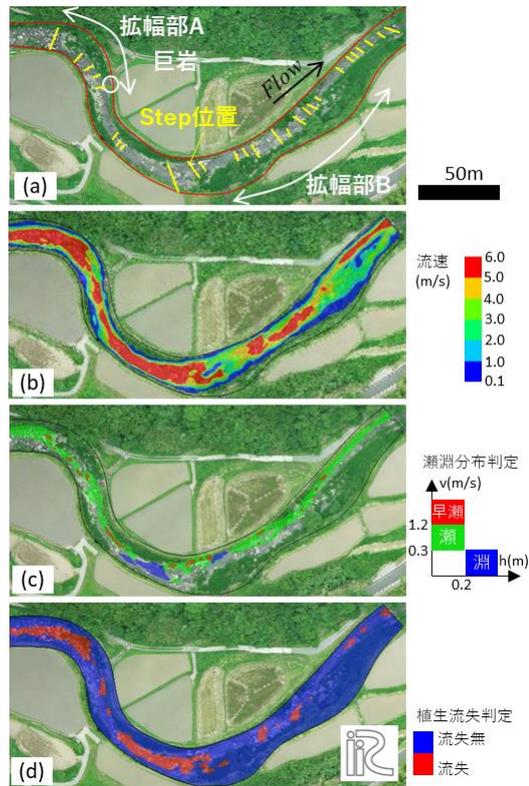


図-5 山附川における(a)オルソ画像、(b)流速、(c)瀬淵判定、(d)植生流出判定

おむね対応していた。

既往調査では2011年の出水を挟んでstep間隔は増加傾向にあり、河道の移動性が依然としてあることが示唆された⁹⁾。2021年の空撮オルソ画像からstep間隔を計測すると、対象区間では15~16m程度となり、前回調査(2011年10月)からさらに増加していた。この値は、近傍の自然河川の値(10~13m)⁹⁾をやや上回る値であり、既往研究におけるリファレンスサイトの状態に近づいたと考えられる。

拡幅部A出口の水衝部には直径約5mの巨岩が存置されている。ここでの解析流速をみると、洪水流が巨石に衝突することで流心が内岸側へ偏心している。これにより河岸付近の土砂堆積が促進させることで外岸侵食を防止する効果を発揮している。

c) 魚類

2021年調査では2012年の調査とほぼ同種の魚類が確認された(表-2)。2011年の出水を挟む既往調査では魚種数に差はないものの生息密度は増加傾向かつ既往研究におけるリファレンスサイトの密度よりも低く、魚類相は回復途上であると考えられた⁹⁾。2021年の本研究の調査では魚種に変化はなかったが、生息密度ではカワムツとドンコが各1個体と低かった。密度については変動性が高い可能性があることに留意する必要があるだろう。

d) 植生

2021年調査では、66科168種(木本:50種,シダ植物:21種,一年生草本:36種)が確認された。河道法肩にはケヤキやエノキといった代表的な溪畔林や多年生草本,河道にはツルヨシが優占しているが,水面部や裸地も多く確認でき,河道における開放水面,裸地の割合は35.5%であった(図-4)。整備直後の2010年には,ツルヨシとアメリカセンダングサの被度が高く,2012年には出水を経てアメリカセンダングサが大幅に減少しツルヨシの被度が増加した⁹⁾。これに対し,2021年の調査では対象区間の河道内のツルヨシの被度は23.0%であり,出水直後だった2012年の20.4%からわずかに増加したが大きな差はなかった。ツルヨシの分布は主に拡幅部に堆積した土砂上であった。ここでは,拡幅による洪水流の減速によって植生流失可能性は低く評価されており(図-5(d)),現地の状況と一致した。一方で,みお筋部の一部も流失無と判定されており,近年出水が小さく攪乱が弱いにも関わらず水面幅は河道幅に対して20%程度確保され,流路が明瞭に確認できる状態であった。

(2) 板櫃川 (I=1/70)

a) 整備の特徴と履歴

板櫃川は流域面積13.1km²,勾配約1/70の都市域を貫流する急流河川である。「水辺の楽校プロジェクト」の一環として,河道拡幅とあわせて親水性のある水辺に整備された。約350mの拡幅区間のうち,橋梁を挟んで上流側(拡幅部A)と下流側(拡幅部B)に分かれて拡幅されている。みお筋部を平坦にしつつ,直径数10cmの石を配置することで流路の変動と流況の多様性を引き出す狙いで設計された。2008年に工事完了し,北九州市による継続的なモニタリングが実施されている。

板櫃川では工事完了以後2009,2014,2017,2018,2021年に確率規模1/10程度の大きな出水を経験している(図-3(b))。2014年に,拡幅部A下流右岸側と拡幅部B左岸側の河床掘削が実施された。みお筋部を除く公園部については草刈が毎年実施されている。他の2つの事例と異なり上流にダム(河内ダム)が存在する。

b) 河床地形,水理環境

北九州市の調査結果によると,工事完了後2009,2010年にかけての出水により,拡幅部Aの上流側が侵食し淵が形成された。この淵は経年的に徐々に拡大した。また,

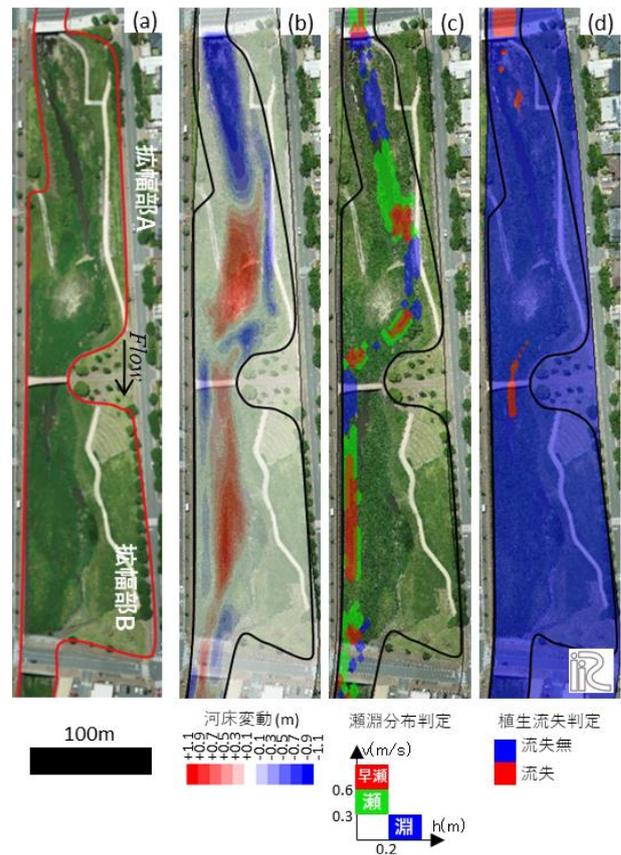


図-6 板櫃川における(a)オルソ画像, (b)流速, (c)瀬淵判定, (d)植生流出判定

拡幅部Aの下流側は堆積域となり,流路の移動や滞筋の縮小が生じた。高比良ら⁷⁾によると,2009年の時点でみお筋部の堆積によって存置していた石が埋没している。拡幅部Bでは断面縮小部(橋梁)付近に淵が形成され,その下流では経年的に堆積傾向となって,2015年には滞筋の分岐や縮小が生じ,水流が不明瞭な湿地的な環境に遷移した。2021年の調査時の状況は,拡幅部A上流側に1mの落差工が設置されたことを除けば2015年から大きな相違はなかった。

計画地形に対して河床変動計算を適用したところ,給砂ありの条件では,拡幅部Aの上流側で現況とは逆に堆積域となった。ダムの存在を念頭に給砂なしの条件で再計算したところ,現況と対応する計算結果が得られた(図-6(b))。計算結果では,1回目の出水後に拡幅部A上流部での洗堀と直下での堆積が見られ,拡幅部Bでは徐々に低水路部全域に堆積した。給砂なしの条件のため,拡幅部Aの侵食土砂がその下流に堆積し,さらに拡幅部Bに輸送され緩やかに堆積している。瀬淵分布をみると,拡幅部Aでは洗堀による淵や流路の左岸への移動が計算され現況と一致する(図-6(c))。一方,拡幅部Bでは右岸沿いに早瀬の形成が示されており,現況に見られる左岸寄りの流路や淵,湛水域を再現できなかった。

c) 魚類

本研究の調査では,既往調査で確認された魚種に加えて,アユ,イシドジョウ,ミナミメダカが確認された

(表-2) . 指標種となっているオヤニラミはいずれの調査でも確認された. 多様な魚種の生息環境が整備後から現在に渡り形成されていることがうかがえる. 一方高比良ら⁷⁾は, 2005年から2009年にかけて魚類密度の低下を確認し, その要因に土砂堆積による巨石の埋没を指摘している. 2021年でも拡幅部では水面上に現れるような石がわずかにしか確認できなかった.

d) 植生

北九州市の調査によると, 2008年の工事完了後, 1年後には全体がオオオナモミ群落やイヌビエ群落といった一年生草本群落に覆われた. 2年後にはタチスズメノヒエ群落などの多年生広葉草本群落やツルヨシ群落に遷移した. 2014年に河床掘削が行われたが, 翌年には2008年の工事完了後と同様の植生の遷移が生じた.

2020年の河道内の開放水面の面積割合は10%程度であり, 2016年時点と変化がなかった(図-4). 植生の群落別の河道占有率は, 一年生草本群落: 18%, 多年生広葉草本群落: 21%, 単子葉草本群落: 59%であった. 拡幅部Aの下流側では, 2016年, 2020年にかけて一年生草本群落が優占し, 自然裸地も確認できる. 一方で, 拡幅部Bにおいては, 2016年は主にセイタカアワダチソウ群落や多年生広葉草本群落が優占し, 2020年には主としてツルヨシ群落である単子葉草本群落が優占した. 2021年には拡幅部Aは拡幅部Bに比べて植生繁茂が顕著でなかったが, WOIによる植生流失判定では拡幅部全体で流失無と評価された(図-6 (d)). 拡幅部Aでは土砂の侵食・堆積による攪乱の影響が大きく, 拡幅部Bでは緩やかに堆積することが植生繁茂の差に影響したと考えられる.

(3) 花月川 (I=1/100)

a) 整備の特徴と履歴

花月川は大分県を流れる流域面積67.0km², 勾配約1/100の河川である. 2012年7月の豪雨により堤防越水が発生したことを受けて, 洪水時の流速の低減や遊砂地としての機能を狙いとして, 延長約1.2kmに渡って左岸側に引堤され, 川幅40mから70mへ拡幅された. 工事は2016年度に完了した.

その翌年2017年に確率規模1/100を上回る大出水(平成29年7月九州北部豪雨)が発生した(図-3 (c)). 拡幅部Bでは多くの土砂(およそ2.3万m³)を堆積させたことで下流での被害が軽減された. 貯留した土砂の撤去は翌年の2018年6月に実施された. その後も, 2018, 2020年に1/30に迫る豪雨が生じ, 2018年には再度河道掘削が実施された.

b) 河床地形, 水理環境

掘削工事がほぼ完了した2016年においては, 上流の拡幅部Aでは明瞭でない砂州があり, 下流の拡幅部Bは法線の緩やかな湾曲に伴い内岸砂州が生じていた. また, 流路上で露岩箇所が散見された. 2017年の大出水直後の写真では, 拡幅部Aの砂州が一部欠損しており, 侵食域

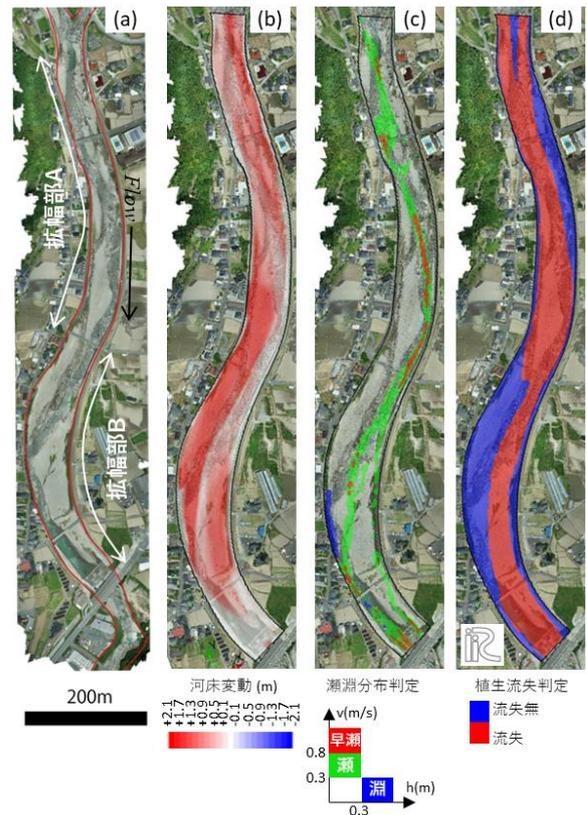


図-7 花月川における(a)オルソ画像, (b)流速, (c)瀬淵判定, (d)植生流出判定

であったと推定された. 拡幅部Bでは土砂の堆積とともに, 洪水が直線的に流れることで内岸側にも流路が形成された. 堆砂除去後の2018年12月では下流側の外岸流路が埋められ内岸流路のみとなるが, 2020年11月には流路が埋まり2016年同様の外岸へ向かう流路へ変化している.

河床変動計算の結果では, 拡幅部Aよりも拡幅部Bで堆積が卓越し(図-7 (b)), 拡幅部Aでは不明瞭な砂州, 拡幅部Bでは内岸砂州が発達した. また, 平水時は砂州上をみお筋が蛇行する砂州横断型の瀬淵形成が予測され, 2021年の状況とよく対応した(図-7 (c)).

c) 魚類

2021年の本研究での調査において, 2016年の確認種のほぼ全てを確認し, さらにウナギやアリアケギバチ, ヤマトシマドジョウが確認された(表-2). 瀬淵の分布などにも顕著な差がないことから, 拡幅によるネガティブな影響はなく, 良好な生息環境が形成されていると考えられる.

d) 植生

植生分布には, 施工後の2016年から2021年にかけて際立った変化はなかった(図-4). 2021年の花月川では, 河道面積の21%を植生が占めており, 開放水面・裸地が卓越している. 確認された群落としては, 上流側にツルヨシ群落, 下流側に一年生草本群落が認められた. ツルヨシ群落は河岸沿いで流れが緩く, 植生流失判定(図-7 (d))でも部分的に流出しないと判定された箇所分布しており, 評価との対応が良好だった.

現況から花月川の拡幅部は、植生管理の点で良好な状態にあるように見える。一方、拡幅以前の2009年の空中写真からは河道を植生が覆っていることが確認できた。また、2016年から2021年までには、複数回の大洪水の発生と堆積土砂掘削が生じている(図-3(c))。そのため、現状の植生の少ない状態は、これらの近々のインパクトの影響が相当に大きいと考えられるため今後の変遷を注視していく必要がある。

4. 部分拡幅工法特性・機能・留意点

本研究では、急流河川で実施された3つの部分拡幅工法の事例を収集し分析を行った。まとめとして、急流河川の特성에応じた部分拡幅工法の機能と適用における留意点を検討する。

(1) 部分拡幅工法の特性と機能

a) 土砂堆積特性

Step-Poolを呈する河川では砂州河道に見られる特性と異なる点がある。山附川では、洪水の直進性が高く大きな土砂を伴って外岸に衝突しながら流れ、外岸が洗掘されず堆積傾向となる場合が多く見られた。巨岩を拡幅部に存置することで土砂堆積を促進し河岸を防御していた。拡幅部では流路部も減速し土砂を堆積させることで、Step-Poolの形成にも関与する。

板櫃川と花月川は同程度の勾配帯の河川であり、部分拡幅部が堆積域となる点は共通であったものの、土砂供給量や洪水外力の相違によって堆積・侵食の特性が異なっていた。板櫃川は供給土砂が少ないために拡幅部内に侵食域を形成しそれが下流へ再堆積し安定化することが示唆された。花月川では拡幅による掃流力低下と緩湾曲による内岸堆積の双方の効果により、洪水時の土砂捕捉効果が高められている特徴がみられた。

b) 魚類

いずれの拡幅部でも、整備後の早い段階で確認された魚種が2021年でも確認され、魚種の回復は比較的早くなされることが示唆された。個体数密度については、十分に議論するデータをそろえることが出来なかったが、土砂が過剰に堆積する場合には影響がある可能性がある。

c) 植生

部分拡幅の実施にあたっては、河道内の植物の過剰な繁茂が懸念される。山附川、花月川においては植生の繁茂は顕著ではなく、開放水面や裸地が一定の割合確保される管理上望ましい状態となっていた。山附川では2013年以来大きな出水がなく、出水による流失も一部生じないと判定されつつも、維持管理なしに良好な状態を保持している。step間隔が以前より拡大しており、河床の変動性があることも一つの要因である可能性がある。板櫃川では、拡幅部の堆砂に伴って旺盛に植生が繁茂してい

る。これは前述の河床の安定化と流況が大きく影響している。

(2) 事前の環境予測の妥当性

拡幅部の施工後の環境は、流量や勾配、川幅等による河川景観区分や中規模河床形態の発生領域区分等のマクロ的視点の事前評価と概ね対応しており、局所的な拡幅であっても変化の方向性を見定める上で有用である。また、より定量的な予測として平面2次元河床変動解析とその結果を用いた瀬淵環境、植生定着可能性の評価を実施し、現況と比較することでこれらの有効性を検証した。

河床変動解析は、板櫃川や花月川のような砂州河道であれば適応性が高いことが分かった。しかしながら、板櫃川では植生繁茂に起因してみお筋の再現が不十分だったため瀬淵形成の評価にも影響した。そのため、植生が容易に定着する条件では注意を要する。植生の定着可能性は、WOIの流失可能性評価と大部分で整合しており、この手法が有効であることが示された。

これらの評価は土砂供給量の大小にも依存する。板櫃川での検討にあるように、給砂有の条件が必ずしも適合するとは限らないため、流域状況を勘案しながら境界条件を設定する必要がある。

謝辞: 本研究にあたって、福岡県、北九州市、国土交通省筑後川河川事務所、劉義濤氏(建設環境研究所)には貴重な調査データを提供いただきました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 多自然川づくり研究会：「多自然川づくりポイントブックⅢ」中小河川に関する河道計画の技術基準；解説，公益社団法人日本河川協会，2011.
- 2) 原田ら：扇状地の中小河川における部分拡幅工法の有効性，河川技術論文集，第21巻，pp.253-258，2015.
- 3) 河野ら：治水と環境の両立を目指した河道湾曲部の側方侵食を活用した拡幅形状の設定法，河川技術論文集，第27巻，PS3-25，2021.
- 4) 大石ら：中小河川改修時の川幅設定が河道の景観に与える影響，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.70，No.4，I_997-I_1002，2014.
- 5) 田中ら：樹木の洪水破壊指標と流失指標を考慮した砂礫洲上樹林地の動態評価手法の提案，土木学会論文集B，Vol.66，No.4，pp.359-370，2010.
- 6) 劉：山地溪流における自然環境配慮型の河川工法の評価に関する研究，九州大学学位論文，2013.
- 7) 高比良ら：板櫃川で実施された多自然川づくりの魚類生息環境からみた評価，河川技術論文集，第17巻，pp.395-400，2011.

(2022. 3. 25受付)