

魚類の定住利用と河床の安定化を目指した 渓床復元型全断面魚道の建設とその効果

THE EFFECT AND CONSTRUCTION OF ALL SECTION FISHWAY
WITH STREAMBED RESTORATION TYPE
AIMING AT INHABITANT AREA OF FISH AND RIVERBED STABILIZATION

福留脩文¹・有川崇¹・山路千冬²・藤田真二²・福岡捷二³

Shubun FUKUDOME, Takashi ARIKAWA, Chito YAMAJI, Shinji FUJITA and Shoji FUKUOKA

¹正会員 株式会社 西日本科学技術研究所 (〒780-0812 高知市若松町 9-30)

²株式会社 西日本科学技術研究所 (〒780-0812 高知市若松町 9-30)

³フェロー会員 Ph. D. 工博 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

The crossings such as check dams and groundseis cause the movement obstruction of fish and the cut off inhabitant area of rivers, and the fishway has been set up as the measures. However, past fishways have put the focus on the function as the pathway of fish, there are little case considered as inhabitant area. Authors designed and constructed the all section fishway with streambed restoration type by the masonry structure when the revetment of groundseis was improved, and verified the function of flood control and environmental side. From the investigation after construction, the living density of fishes in the fishway was about twice the average living density in upper and lower. And also, it is confirmed that the streambed structure has been maintained without the substantial change when five years were passed by 2010.

Key Words: fishway, streambed restoration, distributed drop woks, shoots and pools, structural change after the floods

1. はじめに

砂防堰堤や床固工などの横断構造物 (以下 本報では堰堤と呼ぶ) は、魚介類の移動阻害や生息水域の分断化を起こし、その対策として多様な構造の魚道が設置されてきた。しかし、従来の魚道は主として魚介類の移動経路としての機能に焦点が置かれ、堰堤そのものの構造や、河川生物の定住環境または溪流環境の保全に配慮された事例はほとんど見られない¹⁾。一方、堰堤のない河床の安定化は特に山地河道では治水面での大きな課題でもある。

これらの研究では、黒田・福岡ら²⁾が、礫床河川の流路・河床変動と河床材料との関係を指摘し、大きな粒径集団が土砂移動や河床の安定に果たす役割を報告している。さらに福岡³⁾は、石礫河川の河床材料粒度分布の変化に着目することの重要性を示し、その変化が河道とくに河床高変化に与える影響を明らかにしている。長谷川ら⁴⁾は、礫床河川の流路が谷幅・流路幅・水深スケールの各大・中・小規模形態で構成されていること、および大粒径の石礫が横断方向に連なる堆積形態を礫列・礫段・段落ちと呼び、その生物生息空間との関係を報告している。竜澤ら⁵⁾は長谷川ら⁴⁾の研究による流路の小規模形態から、その瀬・淵の構造・形状を模擬した魚道の設計法を提案している。また、福留^{6)~7)}は、礫床河川の床固め護床工で、現地発生 of 転石で礫列・礫段構造を復元して、この方式を分散型落差工と称している。

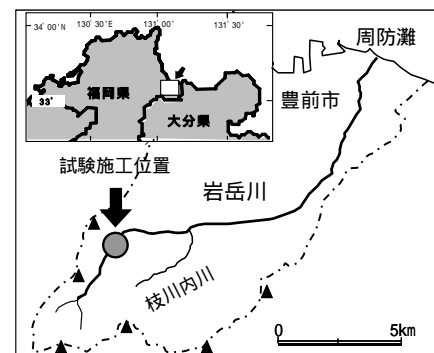


図-1 試験施工を行った位置



写真-1 対象区間 (の位置) の上流側河道

本研究では、岩岳川篠瀬地先において (図-1, 写真-1), 筆者らが設計・施工に携わった堰堤下流の渓床復元型全断面魚道の、魚介類の定住利用および河床の安定化に対する機能を検証し、その環境面での改善効果を明らかにすることを目的とした。

2. 岩岳川の対象区間の概要

岩岳川は耶馬日田英彦山国定公園にある犬が岳を源流とする流域面積 36.9km²、総延長約 20km の河川で、上流の山間部から豊前市の都市部を過ぎて周防灘に流入する。自然豊かで昔ながらの風景を多く残し、良好な生物の住む環境と多数の生物が見られる。しかし、これら生物の移動を分断する堰堤等の横断構造物が多く、その周辺では止水性種しか生息できない現状も報告されている⁸⁾。

現地の篠瀬地先は S 字型蛇行が続く渓流にあり、岩盤が露出する河床には巨礫が散在し、中小の石礫が堆積するのは堰堤上流とわずかな自然河岸部だけである。施工場所は蛇行による淵と淵の間で、上流の淵から 55m 程(河床勾配約 1/190) 下流に設置された篠瀬堰堤から約 50m の区間(河床勾配約 1/15) である(写真-1,2)。それに続く河道は左折して右岸側に淵があり、その下流に渡瀬堰堤が設置されている。土地の人の話では、対象区間はかつて大粒径の石礫が礫段・段落ちを形成していた場所である。

3. 渓流復元型全断面魚道のコンセプト

この篠瀬堰堤の下流に設置する魚道工事には、岩岳川他の工事現場から余剰的に発生する大粒径の石礫を使うことが確認されていた。そこで筆者らは、魚道と同時に渓流復元を図る設計を目指した。そのデザインは、長谷川ら⁴⁾ が指摘する流路の中・小規模形態で、砂州前縁の礫段・段落ちをモデルにした。また、急勾配の礫床河道の安定には、黒田・福岡ら²⁾ が指摘する石礫の大粒径集団が河床に堆積する構造をモデルにした。そして筆者らは、河床全面に戻す大半の巨礫を安定させるために、下記の分散型落差工による河床構造を設計した。

分散型落差工の基本構造は(図-2 参照)、まず「力石」と称する最大級の巨礫(直径 2~3m)を横断方向の両脇と中央に据えて、その間に「環石」と称する巨礫(直径 2m 内外)を円弧状に連結する。これが礫段・段落ちの「リブ」と称する骨格になり、この上流側に「鱗石」と称する巨礫(直径 1m 内外)を瓦状に重ねる。これらの全巨礫は、河床に堆積する石礫のように、上面を上流河床に傾斜させる(この傾きを「のめり」と称する)。その上で巨礫間に頭~拳大の石礫を充填する。これで個々の組み石は変位・移動しても、全体的な溪床構造は維持されると判断した。

4. 岩岳川に設置した魚道の構造

設計した溪床復元型全断面魚道の構造は、延長 50m、幅 19m、落差 3.5m で、プール長は自然の礫段を参考に 4m 前後、ステップ段差を 30cm 程とした。プール数は縦断方向に 12 個、横断方向に複列で、みお筋を堰堤中央の



写真-2 工事着工前の現場 (2004 年)



写真-3 工事中の堰堤直下石組み構造 (2005 年 1 月)



写真-4 完成後 5 年を経た上掲写真の現場 (2010 年 2 月)

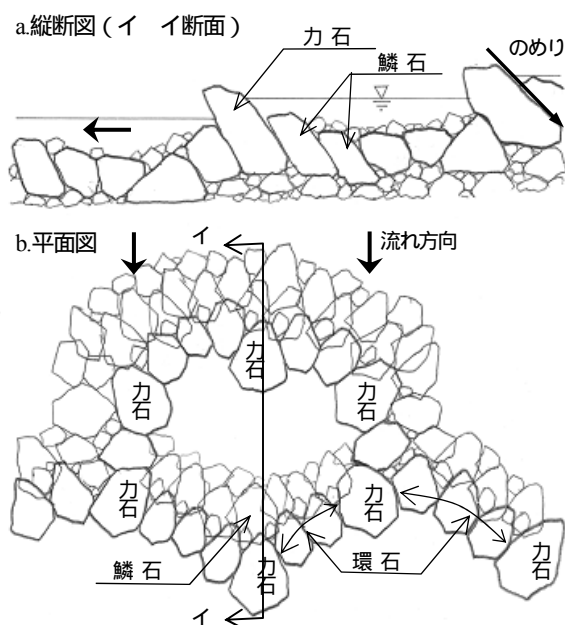


図-2 分散型落差工の石組み構造概念図

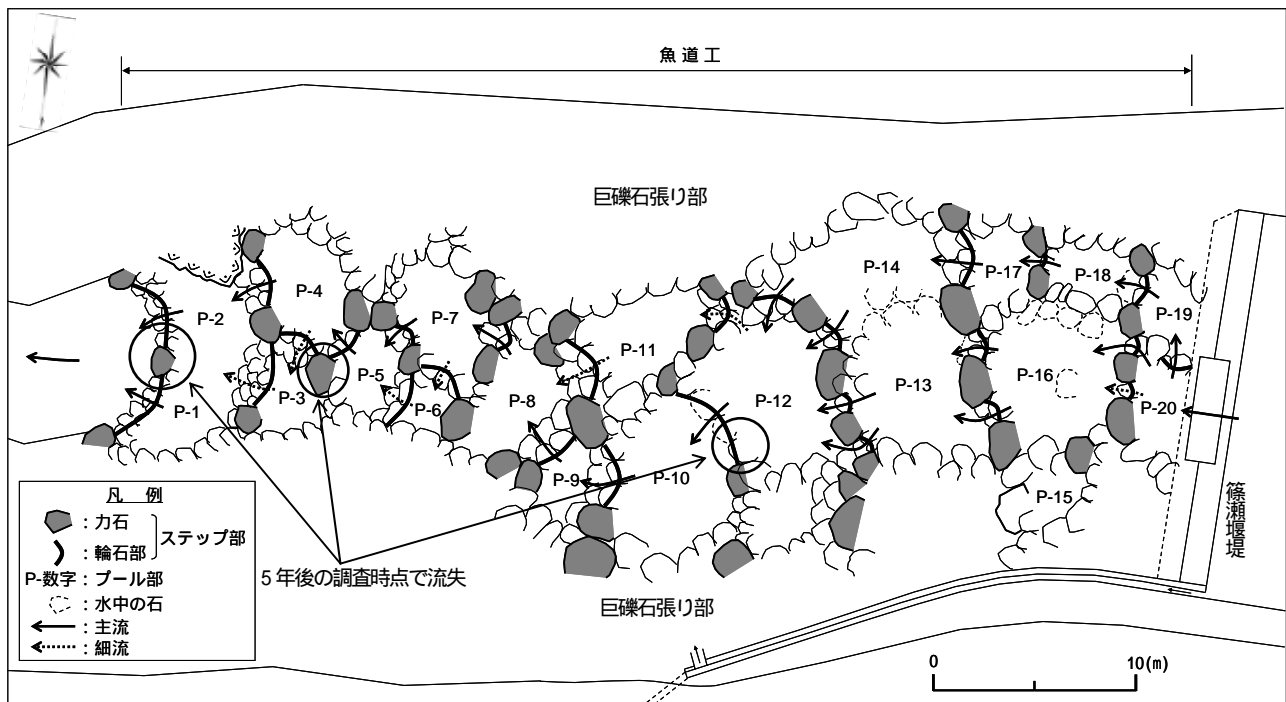


図-3 完成直後の渓床復元型全断面魚道の概況 (2005 年 4 月) . 丸印は 5 年後の調査時に流失

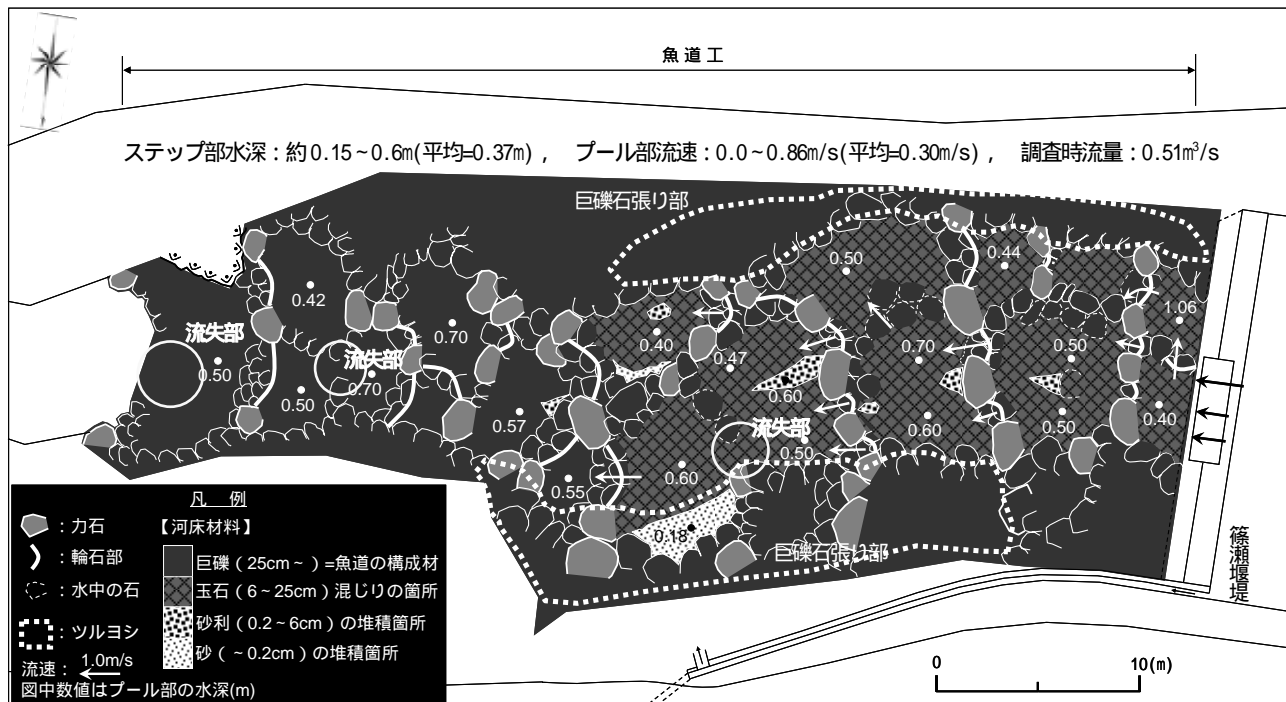


図-4 完成後 5 年を経た渓床復元型全断面魚道の概況 (2010 年 2 月) . 丸印は調査時点で流失

水越部から一旦右岸に寄せ、中間で左岸に寄せて下流端で河心に戻し、下流右岸側の淵に向けた。そのみお筋は各ステップ高を横断面で一番低くして、湧水期でも水量を確保し、岸際には水深の浅い緩流域ができるようにした。各プールの最深部水深を約60cmとした(図-3参照)。

堰堤下流の護床工区間8.5mに設置されていた異型ブロックは、力石を据える箇所のみを撤去して、その上に分散型落差工石組みを施工した。護床工から下流の岩盤河床には、溝状に掘削した凹部に力石を固定して石組みを施工した。工事は2004年12月～2005年3月に実施した。

5. 施工後の現場の変化

工事の完成から約5年を経た2010年2月28日に、魚道の石組み状態、水深、流向・流速を観察し測定した。また、定規により河床材料の粒径を巨礫(25cm以上)、玉石(6～25cm)、砂利(0.2～6cm)、砂(0.2cm以下)に区分してその分布域を記録し、施工区間の上下流での河床材料の堆積状態を観察した。その調査結果から、対象区間での溪床環境の復元状況等に関して検討する(図-4参照)。

(1) 工事後の出水履歴

工事完成後から 2009 年 2 月に至るまでの出水履歴を岩岳川流域最寄りの気象観測所である英彦山観測所での降水量から推測すると(図-5 参照), 以下のようになる.

施工後, 日降水量が 200 mm を超えたのが 3 回, 日 100 ~ 200 mm の降雨は 5 カ年間に 14 回観測されている. 中でも完成 5 カ月後の 2005 年 9 月上旬の降雨は, 計 439mm に達した他, 2.5 カ年後の 2006 年 8 月にも最大時間雨量 53mm, 累計 400mm を越える豪雨が観測されている. こうした降水量の推移から, 工事完成以降, 対象区間は大規模な出水を数回は経験しており, 中程度以上の出水の影響はほぼ毎年, 高頻度に及んでいたと考えてよい.

(2) 対象区間の変化

石組み状況を確認するため, 各ステップの力石と環石のほぼ全数を調査した. ただし, ほとんどが水中にある鱗石は状況観察に留まった. その結果, 力石の流失が下流で 2 個 (プール P-1,5 で各 1 個), 環石は最下流 (同 P-1 で数個) と中間部 (同 P-12 で 1 個) で流失していたが(図-3,4 参照), 周辺の緩みはなく全体に完成時と同様の状態を保っていた. 最下段の組み石の脱落は, その直下に局所洗掘が起きて落差がつくため破壊され易いとの 福岡⁹⁾の指摘がある. ステップ部水深は 15 ~ 60cm (平均 37cm) と多様であった. 各プール底の確認は困難であったが, 水深が 60cm 前後で過洗掘は起きていないと判断した. また巨礫の堆積部として河岸の前に施工した石張りは, 流失やかく乱はなく上面にヨシが生長して, 水際には砂利の堆積域や水深の浅い止水域が形成されていた.

水路の流れは当初から多様であったが, 5 年を経て河床や水際部に変化があった. 河床材料の分布を見ると, 堰堤直下から中間部にかけてのプール底は, 巨礫石張り上部に玉石 (径 6 ~ 25cm) が堆積し, 力石直下の流れの巻く所では砂利 (径 0.2 ~ 6cm) が堆積して, ヨシの生育している水際部には砂の堆積が見られた. 下流側魚道の河床には, 上流側のような小粒径の石礫の堆積は見られなかった.

以上の結果から, プールや兩岸側の河床に組んだ多様な粒径の石張り構造は, 工事の完成後からほとんど変化していない一方, ヨシが生え砂泥の堆積した水際の水域や河床材料の分布状態は多様性を増していると判断した(写真-5 ~ 9 参照).

6. 環境改善効果の検証

(1) 対象区間上下流との対比

対象区間の上流と下流の河床の状態を概観し, 対象区間の現状 (前項) との差異を明らかにした.

篠瀬堰堤の上流の河床には, 水深の浅い淵に続く 100m 程度の範囲で, 玉石や砂利が堆積する上に径 1m 前後の巨礫

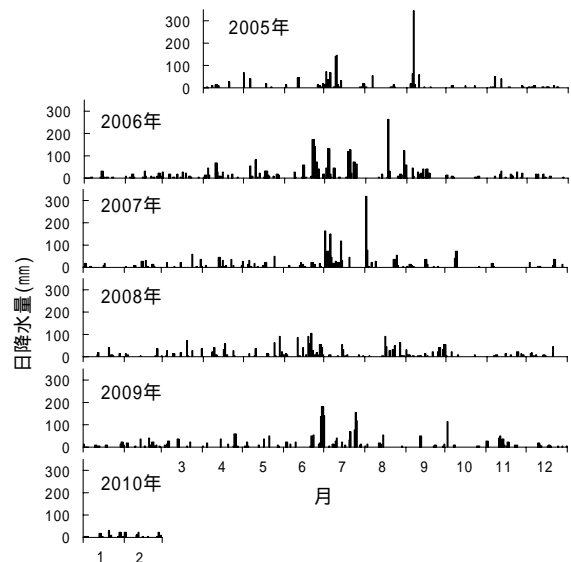


図-5 英彦山観測所での日降水量 (気象庁データより)



写真-5 工事完成直後, 5年後流失した力石 (2005年10月)

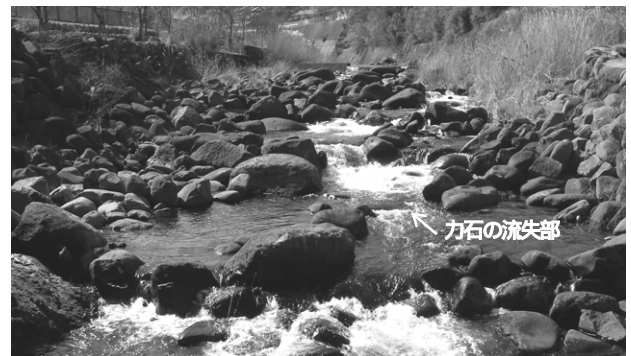


写真-6 工事完成後5年を経た写真-5と同位置 (2010年2月)



写真-7 工事完成後5年を経た左岸側P-13 (2010年2月)

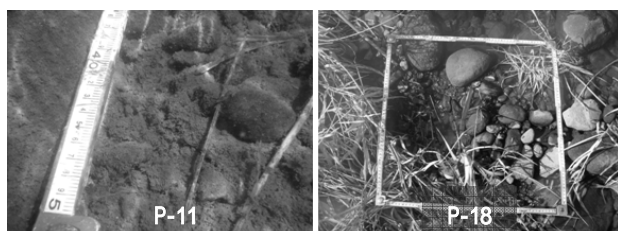


写真-8 工事完成後5年を経た右岸側河床 (2010年2月)

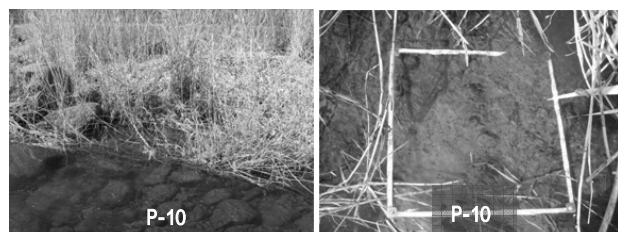


写真-9 工事完成後5年を経た左岸側河床 (2010年2月)

が散乱した状態が見られた。この表面上に見える巨礫は、観察できた大半が河床から遊離して上流へ起き上がり、横方向の礫列や礫段(ステップ・プール)も形成されない沖積部の緩流砂利河川の様相であった(写真-10 参照)。

施工区間の下流から渡瀬堰堤までの河床では、渡瀬堰堤の上流に土砂が堆積し、左岸側には砂利と巨礫が厚く堆積しているにもかかわらず、右岸側には水深2mを越す淵が形成されている。地元住民によると昔はもっと深かったとのことであるが、河道の蛇行湾曲部にできる淵として維持されてきたと判断する(写真-11 参照)。

渡瀬堰堤の下流側数十mの区間では、河床に砂利はほとんど堆積せず、岩盤が露出してその上に直径が2~4m級の巨礫が分散して点在している。その巨礫のほぼ全数が上流側にのめり姿勢で安定しているようすは全くなく、逆に起き上がった状態で、礫列も礫段も形成される要素は全く見られない(写真-12 参照)。

以上のように、対象区間の上下流の河床は安定しているとは言い難く、石張り構造等が工事後ほとんど変化していない施工区間とは対照的な状況にある。対象区間の上下流では、今後とも対策が講じられなければ、渓床環境の維持または復元は難しいといえる。

(2)魚道内およびその周辺での魚類の生息状況

全断面魚道の施工後約7ヶ月を経た、2005年10月28日に魚道内およびその周辺での魚類の生息状況を調査した。当調査では魚道下流側の淵と魚道内、および篠瀬堰堤上流の瀬・淵の3区間において水中眼鏡とシュノーケルを用いて潜水し、移動しながら一定面積内に分布する魚類の個体数を種別(目視により種を同定)に計数、記録した。この計数値を観察面積で除すことにより、単位面積(1m²)当たりの魚種別生息密度を算出した。調査当日の天候は曇り、水温は16.4であった。

各調査区間における確認魚種とその生息密度を表-1に示した。潜水目視によりコイ、カワムツ、ムギツク、ア

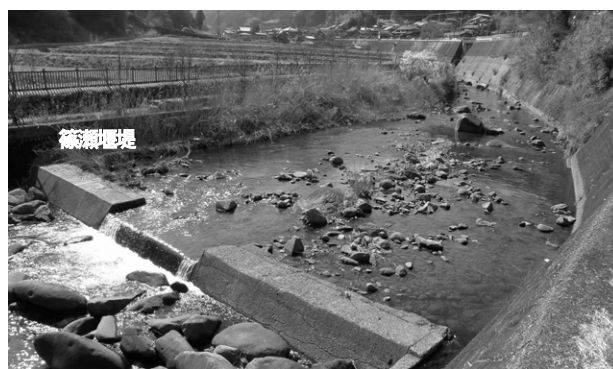


写真-10 篠瀬堰堤直上流の河床 (2010年2月)



写真-11 魚道直下の天然の淵と砂州 (2010年2月)



写真-12 渡瀬堰堤直下の全面露岩河床 (2010年2月)

表-1 魚道内とその周辺での魚類の生息密度

確認魚類		生息密度(尾/m ²)		
		魚道下流 (淵)	全断面 魚道内	堰堤上流 (瀬・淵)
コイ科	コイ			0.02
	カワムツ	1.25	2.58	1.44
	ムギツク	1.89	6.71	1.51
アユ科	アユ	0.04		0.01
サケ科	ヤマメ		0.11	
ハゼ科	カワヨシノボリ	4.50	6.50	2.75
合計		7.68	15.90	5.73

ユ、ヤマメ、カワヨシノボリの6魚種が確認された。このうちコイ、アユ、ヤマメの生息数はごく少なく、主体はカワヨシノボリ、カワムツおよびムギツクであった。なお、アユは幼期を海域で過ごした後、春季に川へ遡上して成長する両側回遊魚である。ただし、調査区周辺に

は種苗放流も行われているとのことであり、確認個体が放流または天然のいずれに由来するかは不明である。

各地点の生息密度の合計値をみると、魚道内の密度が最も高く、魚道下流の2.1倍、堰堤上流の2.8倍の魚類が生息していた。自然河川である四万十川の魚類の生息密度は、多くが5~10尾/m²であり¹⁰⁾、当魚道内の15.9尾/m²はこれを上回っている。これは周辺の魚類が魚道内へ蟄集していたと判断できる分布状態であった。

魚道内で確認された魚類はカワムツ、ムギツク、ヤマメ、カワヨシノボリの4種で、このうち、ヤマメは魚道内でのみ確認された。ヤマメは主に山地溪流に住む冷水性のサケ科魚類で¹¹⁾、魚道内だけの出現は、堰堤等の横断構造物が多く止水性の生物しか生息できない⁸⁾という本川で、ステップ・プールが連続する当魚道の構造が山地溪流に近い環境を創出している証左ともいえよう。また、魚道内では周辺に比べ、ムギツクの生息密度が際だって高い特徴が確認された。ムギツクは流れの緩やかな川の淵や淀みに多く、岩盤・コンクリートブロックや沈水植物帯の隙間に潜む事が知られる¹²⁾。その他、魚道内で普通にみられたカワムツ、カワヨシノボリも、緩流水域を好む魚種である。一般に高流速が問題となることが多い従来の魚道に対し、ここでは緩流性の魚類も豊富に生息している状況は特筆できる。これら魚類のほとんどは魚道内のプール部で確認され、特に水深が維持されているプール部が定住環境として利用されていた。

このように、施工された全断面魚道内は、従来の魚道が目的とした魚類の移動経路としての機能だけでなく、魚類が定住できる生息空間としての機能を具えており、環境面での改善効果は大きかったと判断できる。

7. 結論

以上のように流路幅20m前後の溪流で、かつて大粒径の石礫を失くして河床低下の起きていた堰堤下流に、元のような巨礫を投入し、魚道を兼ねた自然の河床形態の復元を試みた。そして、多くの洪水を経た後の観察を行った結果、以下のことが分かった。

- ・ 礫床河川の再生と再安定化には、黒田・福岡ら²⁾の指摘する大きな粒径集団が河床に存在する状態をモデルに設計することが重要である。
- ・ 河床に巨礫を安定させ、水中生物の生息環境を復元するには、礫段・段落ちの河床形態をモデルにした自然野石組みの分散型落差工が効果を良く発揮する。ただし、さらに持続的な河床の安定を図るためには、破壊され易いとされる最下段となる段落ち構造の研究が必要である。
- ・ 巨礫を含む多様な粒径の石礫で組む近自然的な渓床復元型全断面魚道は、魚類の移動経路を回復するとともに、溪流性魚類から緩流性魚類まで豊富に生息でき

る山地溪流に近い機能も具えることが分かった。

岩岳川の現場では、全断面魚道を施工した上、下流の渓床が大きく改変されていた。今後、こうした現場では堰堤の落差解消だけでなく、流路の中規模形態区間を単位に多様な粒径の石礫集団を安定させ、同時に溪流環境を復元したい。また分散型落差工の構造は、より広く礫床河川の河床安定化や環境復元に応用できる、普遍的な設計手法の確立が必要である。なお、福岡県豊前土木事務所では、普段から河川工事で余剰石礫が出ればこれを蓄積し、それを必要とする現場に再利用している。河川事業ではこうした横断的な取り組みも重要であると考え。

謝辞：本研究には、福岡県豊前土木事務所のご理解とご協力を、北海道大学名誉教授長谷川和義氏には貴重なご示唆を頂いた。また現場施工では、高知県在住の石工頭・小松総一氏にご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 大浜秀規、坪井潤一：透過性堰堤における魚道としての機能、応用生態工学、Vol.12, No.1, pp.49-56, 2009。
- 2) 黒田勇一、福岡捷二、山本輝、吉田和弘、井内拓馬：礫床河川の滞筋形成機構と河床粒度分布特性、河川技術論文集、Vol.11, pp.363-368, 2005。
- 3) 福岡捷二：石礫河川の移動床水理の諸問題と解決への道筋、土木学会/水工学委員会・海岸工学委員会、水工学シリーズ08-A-1, A-1-1-A-1-25, 2008。
- 4) 長谷川和義、鈴木俊行、張祐平：溪流のステップ・プール構造とそのハビタット特性、(財)河川環境管理財団、河川環境総合研究所報告、No.13, pp.113-127, 2007。
- 5) 竜澤宏昌、林日出喜、長谷川和義：溪流の小規模河床形態に関する研究-魚類等の生息環境保全対策への応用を目指して-、土木学会論文集、№.656 / -52, pp.83-101, 2000。
- 6) 福留脩文：水と緑の生態学的保全・復元について - 鳥居川を事例として - 全国治水砂防協会主催「第4回緑のゼミナール」テキスト、2000。
- 7) 福留脩文：河川に活かす石積み技法、FRONT, FEB. 2007, pp.14-17, 2007。
- 8) 福岡県豊前土木事務所：平成16年度起工第3561-303号郷土の水辺整備工事(魚道設計委託) 岩岳川報告書、2005。
- 9) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法、森北出版 pp.265-281, 2005。
- 10) 岡村収、為家節弥：四万十川の魚類、四万十川水系の生物と環境に関する総合調査報告書、高知県、1977。
- 11) 真山紘、木村清朗：サクラマス・ヤマメ、川那部浩哉、水野信彦編、日本の淡水魚、pp.156-168, 山と溪谷社、1989。
- 12) 細谷和海：ムギツク、川那部浩哉、水野信彦編、日本の淡水魚、pp.300-301, 山と溪谷社、1989。

(2010.4.8 受付)