

# 既設河川横断構造物を改良した 切欠き魚道設置の検討と実践

## CONSIDERATION AND PRACTICE ON INSTALLATION OF SLIT-TYPE FISHWAY MADE FROM EXISTING STRUCTURE

林田 寿文<sup>1</sup>・棟方 有宗<sup>2</sup>・大宮 裕樹<sup>3</sup>・中村 圭吾<sup>4</sup>

Kazufumi HAYASHIDA, Arimune MUNAKATA, Hiroki OHMIYA, and Keigo NAKAMURA

<sup>1</sup>正会員 博士(環境科学) (国研) 土木研究所 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)

<sup>2</sup>博士(農学) 宮城教育大学 生物学教室 准教授 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉149)

<sup>3</sup>修士(農学) 仙台市 建設局 百年の杜推進部 河川課 (〒980-8671 宮城県仙台市青葉区国分町3-7-1)

<sup>4</sup>正会員 博士(工学) (国研) 土木研究所 河川生態チーム (兼 自然共生研究センター)  
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

The objectives of this study was to improve construction cost, upstream migration efficiency, maintenance work when constructing and operating the fishway, because fishways were still needed for the fish to migrate upstream in various rivers (mainly, small and medium-sized). Although the construction of fishway has been ongoing for approximately 6 decades in Japan, there is room for further improvement in design of fishway. Therefore, we proposed to dig existing concrete structures like in-river barriers (e.g., headworks, weirs, or dams) to improve the above subjects. We considered for the shape of the slit and the safety of the structure, and constructed slit-type fishway in the Tatsunokuchi-valley in Sendai city. As a result, because to the slit-type fishway that was set up, the water head required for upstream migration of fish was secured at a low cost.

**Key Words :** fishway, in-river barriers, structural improvement, cost reduction, connectivity, slit-type

### 1. はじめに

河川内を制限なく移動するための水域連結性の確保は、多くの水生生物が生活史をまっとうする上で必要不可欠である<sup>1)</sup>。一方で河川横断構造物 (以下、横断構造物) による水域連結性の欠如は、生物の生息場の分断、個体群の減少、本来の生活史の改変、空間的な生物構造の改変<sup>2)</sup> など生態系へ悪影響を及ぼす<sup>3)</sup>。個体群の絶滅などを引き起こす<sup>4)</sup> とともに、集団レベルで遺伝子構造を変えてしまう可能性もある<sup>7)</sup>。その分断期間が長いほど上流の生息場の質は低下する<sup>4)</sup>。魚類の中でも水域連結性分断の影響を大きく受けるのは、アユ (*Plecoglossus altivelis*) やサケ科 (*Salmonidae*) のような通し回遊魚と呼ばれる産卵や成長のため海と河川を行き来する生活様式を持つタイプの種である。これらの種は、特に個体群維持が必要とされ、その対策として、障害物になりうる横断構造物を通過させるため魚道が設置されてきた。

魚道設置の取組みとしては、大河川では魚がのぼりや



図-1 竜の口溪谷堰堤 位置図  
(国土地理院地図加筆)

すい川づくり事業などの後押しで一定の効果を上げてきた。一方で中小河川や農業水路の横断構造物には魚道がない場合も多く、魚類の遡上が困難な河川・水路は幾多もある。また、横断構造物の中には役割が不明、もしくは

は役割を終えていると考えられるものさえある。近年では、生物多様性保全のため河川の縦断的な連結性に加え、本川と支川・田畑・氾濫原などとの横断的な連結性も求められ、魚道の必要性は増している<sup>8)</sup>。しかしながら、財政事情などにより、それらの横断構造物には対策が行われず、ほとんどが放置されているのが現状である。

横断構造物で魚類を遡上させるには、上述のように魚道設置や横断構造物の撤去なども検討されるが、いずれも水面落差が大きくなるほど対策コストは膨大になる。また、近年では小さな自然再生として、堰堤などへの簡易魚道の設置も広がっているが、洪水による流出防止などの対策が必要な事例もある。より効率的・低コスト・メンテナンスフリーで水生生物の遡上を実現するためには、横断構造物本体の安全性を十分確保した上で、横断構造物自体への簡易な掘削を行う方策も有効な一案だと考えられるが、特に中小河川ではこのような事例がほとんど確認できない。

そこで本研究では、切欠き魚道の開発を目的に、既設堰堤に切欠き（スリット）を入れる工事方法の案出に加え、切欠き魚道を仙台市広瀬川の一次支川である竜の口（たつのくち）溪谷の堰堤（図-1、図-2）に設置したので報告する。

## 2. 切欠き魚道設置に関する課題の検討

### (1) 竜の口溪谷の堰堤

竜の口溪谷（流路延長: 4.52 km, 流域面積: 2.5 km<sup>2</sup>, 河道勾配: 1/35, 平均水面幅: 2.0 m）の堰堤は、幅10.0 m, 延長6.0 m, 高さ2.5 mの2段構造である（図-2、図-3）。兩岸にはブロック積みの擁壁護岸が設置されている（図-2）。堰堤は、仙台市建設局によって平成3年度に建設工事が行われた。便宜上、上流側の1段目を床止め部、下流側の2段目を水たたき部と呼ぶ。床止め部の高さは1.5 m, 延長1.0 mであり、天端幅が0.5 mの台形状となっている。水たたき部は延長5.0 mであり、下流側では1.5 mの高さがある。水たたき部のコンクリート厚は0.5 mであった。工事を行う直前の地盤高は、上流側で床止め部の天端と同程度、下流側で水たたき部が1.4 m程度露出していた（図-3）。下流側の地盤高は、堰堤から約40 m下流で合流する広瀬川の水位に大きく影響を受け、頻繁に地盤高の増減が起きることが確認されている。本堰堤上流への水生生物の遡上は、増水時以外にはほとんどなく、竜の口溪谷には主にアブラハヤが生息するのみである。切欠き魚道により遡上期待される目標種としては、広瀬川に生息するアユ(*P. altivelis*)、サクラマス(ヤマメ)(*Oncorhynchus masou*)、モクズガニ(*Eriocheir japonica*)を設定した。

### (2) 課題の検討

切欠き魚道の実施において課題が2つあった。1つ目は



図-2 竜の口溪谷の堰堤

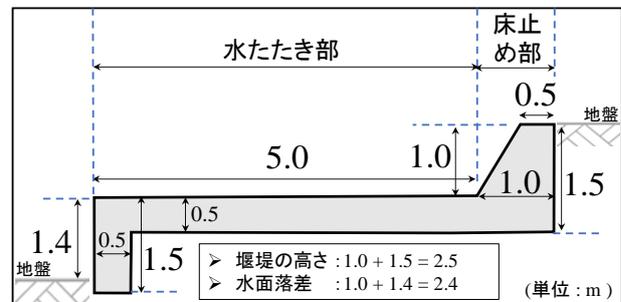


図-3 堰堤縦断図（地盤高は工事直前の状況）

コンクリートで作られた横断構造物を掘削する際、効率的な遡上やメンテナンスフリーを実現するには、どのような形状が望ましいかを定める必要があるということである。そこで、横断構造物を掘削する方法として、穴を開ける案と切欠き（スリット）を施す案の2案を検討した。両案を比較した結果、穴を開ける案のデメリットとして、流木やゴミなどが詰まりやすいことや、流水が集中して大きな流速となった場合、水生生物の遡上が困難になることが想定された。一方、切欠きは余水を吐くことが出来、水深も安定する。そこで、切欠き案を選定するに至った。横断構造物に切欠きを設置して水生生物の遡上を促す形状を“切欠き魚道”と呼ぶこととした。ただし、切欠き魚道はコンクリートを大きく掘削しすぎた場合、構造物本体が損壊してしまうおそれがあるため、それに留意した形状にする必要がある。そのため、切欠き魚道の形状は、現場ごとの検討が必要である。

2つ目は、横断構造物の管理者から許可を得る必要があるということである。本堰堤は、仙台市が管理していることから、協議や申請などを行って工事許可を得ることが必要となる。そのため、本件について仙台市と協議を重ねた結果、共同研究としての枠組みの立ち上げによって事業を推進することで合意できた。そこで、仙台市建設局と土木研究所は、令和元年11月に竜の口溪谷における魚道整備などを含む、多自然川づくりの推進に関する覚書の締結に至った。覚書には、緊密に連携し多自然川づくり・魚道整備を積極的に推進することにより、自然環境の保全などへの貢献を図ることを目的とすることなどが記載されている。この覚書締結をもって、仙台市建設局の全面的な支援による事業が可能となった。

### 3. 切欠き魚道を実践するための安全性および効果の検討

### (1) 切欠き魚道設置による横断構造物本体の安全性検討

本堰堤は、本体の自重と兩岸の擁壁護岸に挟まれている摩擦抵抗力で安定性が維持されている。そのため、床止め部および水たたき部に切欠きを設置した場合でも、本堰堤の滑動は生じない。ただし、施工で本体に大きなクラックが入り2分割になるような場合は、その限りではない。

一般的に床固工・落差工などの天端に切欠きを設けることは、「上下流の連続性を確保するための工夫として魚道などを設置する場合には、洪水時に問題が生じない範囲で切欠きを設けてよい」とされている<sup>9)</sup>。本堰堤の床止め部の落差高は1 mと比較的低く、水たたき部と一体構造であるため、床止め部の付け根でのせん断破壊は考えにくく、中間部に切欠きを設けても背後からの静水圧・土圧（土石流）は軽減される傾向であるため問題ないと整理した。

また、水たたき部の掘削可能厚さの決定については、河川砂防基準（案）設計編 [1]<sup>10)</sup>を参考にした。本基準では、水たたき部は洗掘などを防げる長さや揚圧力に耐える重量（厚さ）を有するものでなければならないとの記述がある。また、本堰堤の水たたき部の部材厚は0.5 mしかないことから、本体が2分割になるような損傷を与えないためには切欠きを極端に深く入れることは難しいことが判明した。そのため、揚圧力に問題がなく、堰堤に損傷を与えない切欠きの規模として、水たたき部で深さ0.1～0.2 m程度の水路状掘削に留めることとした。

### (2) ブロック積み擁壁護岸の安全性検討

床止工における取付擁壁の構造は、堤防の機能を損なわないように自立構造を原則としており、床止工本体が流出しても堤防や高水敷に浸食を及ぼさない構造としている<sup>10)</sup>。本擁壁護岸も同様に、コンクリート構造のもたれ式擁壁ではないがブロック積み擁壁であり、経験に基づく設計法<sup>11)</sup>により自立構造で施工されてことが確認できた。また、基礎構造についても地盤面より2.5 m程度の根入れがあり、切欠きを行うことで破壊などの問題は発生しないと判断した。

### (3) 切欠きを設置することの効果

堰堤などに切欠きを入れることで、上流側の常時堆砂が減少して出水時の堆砂容量を大幅に増加させることができる<sup>8)</sup>。また、中小洪水時には下流へ土砂を流下させ、大洪水時には切欠きで流れがせき上げられるため、流速が弱くなり流れ込む土砂を一時的に堆積させる。その後、出水の後半（減水時）、またはその後の中小出水時にスリットからその土砂が流下することにより、次の洪水に備える事が可能となる。切欠き魚道工事を行う以前の竜の口溪谷は、堰堤から上流区間延長150 m程度までシルトや砂などが堆積して石などは埋没していた。切欠きが設置された場合、状況は一転して細粒分などが流出し河

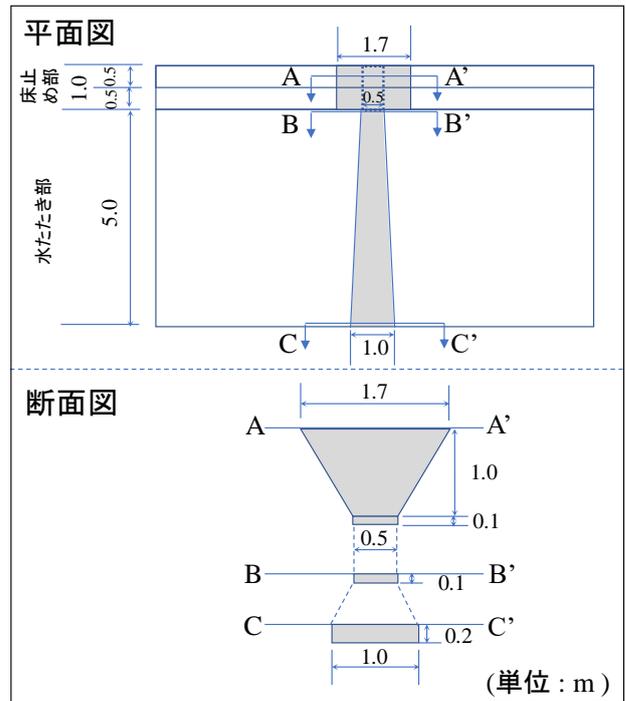


図-4 切欠き魚道 平面図(上図)・断面図(下図)  
(グレー部：コンクリートを掘削する範囲・形状)



図-5 切欠き魚道の設置イメージ図  
(白線：掘削ライン)

床が低下することから竜の口溪谷の流下能力が増加し、堰堤にかかる背後からの水圧・土圧の影響は減少する。また、シルト分などが抜けることで生物の生息場となる浮石の復活が期待された。

加えて、竜の口溪谷の流量は常時少なく、本堰堤全体を薄い水深で流下するのみであり、増水時以外に本堰堤を水生生物が遡上することはほぼ出来ない。切欠きの設置により、常時少ない流量を堰堤中央部に寄せるため通常時も必要水深が確保でき、増水時も両岸にはより緩流となる空間が出来るため、水生生物の遡上が容易になる。

## 4. 切欠き魚道の実践

### (1) 切欠き形状の詳細検討

本堰堤は2段構造で、水面落差が合計約2.4 mあったため、切欠きを少しでも深くして水面落差を減少させる必要があった。しかし、前述のように水たたき部の部材厚

は0.5 mしかなかったため、部材厚を半分以上（0.3 m以上）確保した形状として水深0.1～0.2 mの水路、および、床止め部の中央部を高さ1.0 m、上幅1.7 m、下幅0.5 mの逆台形に削り、それぞれを連結させる形状とした（図-4、図-5）。水たたき部の水路形状は、床止め部付近では幅0.5 m、深さ0.1 mとし、最下流で幅1.0 m、深さ0.2 mと徐々に深く広くした。そのため、水路は1/50の勾配がついた。床止め部付近の水路では、余水を外に吐く効果も期待できる。また、水路は下流ほど流下断面が大きくなるため流速が小さくなり、魚道の入口で水生生物の水路内への進入を容易にする効果がある。工事は令和元年11月27～30日に実施した（図-6）。

## (2) 水面落差解消のための追加検討

切欠きの形状は決定出来たが、堰堤全体の水面落差を解消出来るる深さまで掘削することが出来ず、依然として水面落差は約1.2 m残った（図-5）。この落差を減少させるため、更なる工夫が必要であった。広瀬川の合流点付近に位置する竜の口渓谷堰堤は、数年に1回程度出水に見舞われ、図-7のように中規模程度以上の洪水後には堰堤下流に土砂が一時的に堆積することが分かっていた。ただし、堆積した土砂は広瀬川の水位変動で1ヶ月も持たずに流出し、水面落差は元に戻ってしまう。

そこで、堰堤下流側の河道内に出水などで堆積した土砂を長期間にわたって保持し、水面落差を減少させることを目的に、堰堤の下流約10 m地点に吸出し防止材（厚さ10 mm）を張ったふとんかご（W200×D120×H50 cm、線径3.2 mm、網目13 cm）を12個設置した（図-8、図-9）。吸出し防止材は水だけが透過し上流側およびふとんかご内に土砂を堆積させる効果がある。ふとんかご設置の結果、工事後約1ヶ月間には出水がなかったものの、上流から流下した土砂が約1.0 m堆積し、水面落差を約0.2 mまで縮小させることができた（図-6、図-9）。

## (3) 水生生物を遡上させるための様々な工夫

遊泳力の弱い魚類など様々な水生生物を遡上させる補助機能として、以下の4項目について施工を行った。

### a) 水路側面部のオーバーハング

本来、コンクリート構造物に水路を設置する際、その形状は全て直角の矩形となることが多い。しかしながら、矩形形状は水生生物の遡上にとって有効に機能しないと考えられるため、水路の側面を垂直にはせず、流速の減少、日陰の創出、鳥類などの捕食者からの隠れ場創出を目的に、側面を奥に削り込むオーバーハングを両側に、床止め部まで設置した（図-10a）。

### b) 水路床面の粗削り仕上げ

水生生物が水路を効率的に遡上するために重要な要素の一つに粗度の設定がある。床面の粗度をより大きくすることで、床面に近づくほど流速がより小さくなるため、体高の小さい底生魚などの遡上が容易になる。一般的に



図-6 切欠き魚道の完成



図-7 台風19号2週間後の土砂堆積による段差解消状況（令和元年10月25日撮影）

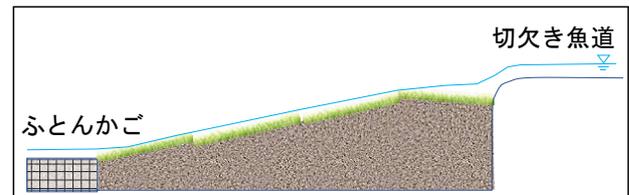


図-8 ふとんかごによる土砂堆積イメージ 縦断面図



図-9 ふとんかごの設置および土砂の堆積状況

コンクリートを掘削するためにコンクリートブレーカーを使用するが、この機械はコンクリート表面をきれいに仕上げるのが難しい。そのため、見栄えを良くするために表面を研磨することが多い。そこで本工事では、掘削後の床面を研磨せずに、粗度をなるべく大きくするために凸凹を残す施工とした（図-10b）。粗削りはモズカニなどの甲殻類の遡上にも良い影響を与える。

### c) 水路内への粗石設置

水路内に流速の小さい空間を創出するため、粗石を0.5 m間隔で配置した（図-10c）。粗石の背後で水生生物の定位が可能になるほか、水路内に様々な流速の空間を創出する効果も期待される。また、粗石を片岸に寄せ

てオーバーハング部と連動させることで、例えば底生魚などが潜みながらの遡上も可能となる。鉄筋を床面に打ち込み、現地で採取した粗石に穴を開けて固定しているのみであることから、出水時には流出する可能性もあるが、その場合にも簡単に復旧することが可能である。

#### d) 水脈落下部分の曲面仕上げ

階段式魚道の隔壁の様に、徐々に段差を遡上する形状において、水生生物を遡上させるための重要なことの1つに水脈が剥離しない（空気だまりが発生しない）構造であることが知られている<sup>14)</sup>。例えば、直角形状の隔壁における流水は、ほとんどの場合で剥離を引き起こす。そのため、水脈の剥離を防ぐために水が落下する部分を削り曲面状（アール状）に仕上げた（図-10d）。この結果、水脈は構造物からほとんど離れず流下している。

## 5. アウトリーチ活動の推進

生態系の保護・回復・持続可能な利用の推進には、地域住民の協力が不可欠である。そこで、以下に述べる様々な主体に対して、竜の口溪谷で行っている切欠き魚道設置の取組みの周知に加え、多自然川づくり、魚道の機能紹介などの勉強会を開催した。本活動は、宮城教育大学、仙台市、土木研究所の協同で行った。

### (1) 小学校での出前授業の実施

仙台市内の小学校を訪れ、5学年の3クラス合同授業の「環境出前講座」に参加した（R1年11月28日、10:30～12:00）。土木研究所からは、切欠き魚道の整備に関する内容も含む「河川環境のかんがえ方と多自然川づくり」と題した授業を行った。生徒達からは、生き物の行動についてよく理解でき、川を大事にする気持ちが湧いたなど、様々なコメントをいただいた。

### (2) 大学生への環境授業

河川の水生生物に興味のある大学生約30名を対象に、大学の講義の一環として、切欠き魚道を設置している工事現場で勉強会を実施した（R1年11月28日、13:30～15:00）。建設会社、仙台市、土木研究所の3者から、それぞれの立場による状況説明を行った。質疑も活発に行われた。

### (3) 建設会社との勉強会

建設会社および、仙台市と土木研究所で、詳細な施工内容の共有を目的に現場勉強会を行った（R1年10月～12月、R2年2月、計6回）。通常工法の工事では、見栄えを重視し“キレイ”に仕上げがちである。そのため、魚道内の粗度も低くなり、水生生物の遡上に配慮出来ないということがしばしば起こる。本工事では、施工中にもつぶさに情報を伝達・相談することで、細部にまでこだわった魚道を設置することができた。

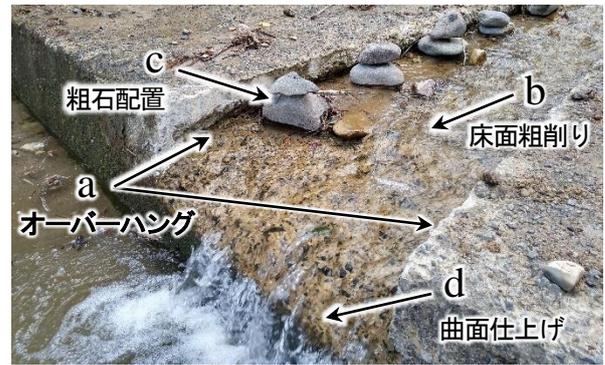


図-10 水生生物の遡上を補助する様々な工夫



図-11 地域住民との協同作業

### (4) 地域住民とのワークショップの開催

地域住民と協同で作業を行い、環境意識の向上を目的とした広瀬川自然再生ワークショップを開催した（R2年2月2日、13:00～16:30）。参加者は、SNSなどでの呼びかけによる周辺住民や行政など17名（大人12名、子供5名）であった（図-11）。

初めに、周辺環境および切欠き魚道を知ってもらうため座学を1時間ほど行い、その後、竜の口溪谷に移動して以下の作業を行った。1つ目は切欠き魚道とふとんかごの周辺に石を積み、水生生物の遡上を補助する環境を創出することである。図-11に示すように現地採取した石で水を堰上げることで、水面落差をより減少させることが出来た。2つ目は竜の口溪谷上流で魚類採取を行い、魚類相を知ることである。現状の竜の口溪谷の生息魚類相は、かなり貧弱であることを前提に、それを確認することを目的としている。これらの様子は地元のケーブルテレビによる取材および放映が行われ、効率的に地元への周知を行うことも出来た。

このような地域住民などとの協同の取組みは、今後も実施を予定している。長期的には、土砂の堆積部分に植生を導入することも検討している。植生が繁茂することで堆積した土砂が流失しづらくなり、日陰の創出も見込める。また、水生生物の遡上時期である春～秋には土砂の堆積状況を随時確認しながら、石を積み予定である。

## 6. おわりに

工事後の魚類調査は未実施だが、切欠き魚道の設置と

ふとんかご設置による土砂堆積によって、魚類などの水生生物が遡上するために十分な水面落差を創出できたと考えられる。今後、切欠き魚道の効果検証のため、竜の口溪谷上流域の魚類相調査と、堆積土砂のモニタリングを行う予定である。また、全国各地に切欠き魚道の事例を増やし、データ収集することも重要だと考えている。

竜の口溪谷堰堤における切欠き魚道設計のコンセプトを以下にまとめる。

- 1) 水面落差すべてを解消するための魚道設置や、構造物自体の全撤去は、多大なコストが必要なことから行わない。なるべく低予算が目標。
- 2) 全国各地で切欠き魚道を普及させることが目標。竜の口溪谷床止めはそのパイロット事業である。
- 3) 下流側にふとんかごを設置して土砂堆積を促進させることで、堰堤の水面落差を緩和させる。土砂が堆積することにより遡上しやすい環境が創出される。
- 4) 切欠き魚道の設置により、上流の河床が低下する傾向にあり、治水安全度の向上が見込める。
- 5) 粗度向上を基本とした様々な工夫を取り入れた改良を繰り返して、遡上機能の確保・向上を目指す。

#### (1) まとめ

本研究で検討を行った切欠き魚道の設置は、横断構造物自体の安全性確保と所有者の許可があれば、誰でも安価で行うことができる。今回の切欠き魚道工事は建設会社に依頼したが、それでも工事価格は、水面落差2.4 mを遡上させるために必要な魚道の新設や構造物の全撤去と比較しても、大幅にコストを削減することができたと考えられる。一方で、ほとんどの工程を委託せずに自らが行うことで、工事費をより削減することも可能である。本切欠き魚道工事で使用した工事機械は、大きく分類してコンクリートに切れ目を入れるカッターと、掘削（はつり）していくブレーカーであった。これらの道具さえあれば施工は可能である。そのため、行政と連携した河川協力団体や、中小河川などを管理する地方自治体などによる切欠き魚道の施工を誘発する可能性もある。そのためにも、切欠き魚道を適応できる河川や横断構造物の早急な条件整理も必要である。

図-12のような横断構造物は、全国の中小河川に数多くあり、水生生物の遡上を妨げている。竜の口溪谷の場合には、切欠きを深く入れることが出来なかったため土砂堆積を併用したが、本構造物のように下流の水位がある程度確保できる堰堤であれば、切欠き魚道を設置するだけで、水生生物の遡上を実現させることが出来る。また、手作り簡易魚道などと切欠き魚道を併用することも、水生生物の遡上効率向上の一助になるものと考えている。

**謝辞：**本研究を行うにあたり、魚道設計・構造物の安全設計に関して、(株)シビルデザインエンジニアリングケア 橋本聡氏、工事施工に関して、(株)小松建設 小松優



図-12 工夫の余地がある河川横断構造物

氏、阿部匡利氏から有益な情報をいただいた。仙台市立東長町小学校の関係諸氏、宮城教育大学の関係諸氏には授業を行う機会をいただいた。ワークショップの開催にあたり、かわらばん 菅原正徳氏にお世話になった。また、切欠き魚道設置工事は河川基金助成 (No.2019-5211-024, 代表 林田寿文) の一部を用いて行われた。ここに記して深甚なる謝意を申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 川那部浩哉, 水野信彦, 中村太士. 河川生態学, 2013.
- 2) Morita K., Yamamoto S., Hoshino N.: Extreme life history change of white-spotted char (*Salvelinus leucomaenis*) after damming. Can J Fish Aquat Sci. Jun;57(6):1300-6., 2000.
- 3) Layman CA., Quattrochi JP., Peyer CM., Allgeier JE.: Niche width collapse in a resilient top predator following ecosystem fragmentation. Ecol Lett. Oct;10(10):937-44., 2007.
- 4) Morita K., Yamamoto S.: Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. Conserv Biol. Oct;16(5):1318-23., 2002.
- 5) Fukushima M, Kameyama S, et al.: Steel EA. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. Fresh water Biol. Aug;52(8):1511-24., 2007.
- 6) Morita K, Morita SH, Yamamoto S.: Effects of habitat fragmentation by damming on salmonid fishes: lessons from white-spotted charr in Japan. Ecol Res. Jul;24(4):711-22., 2009.
- 7) Yamamoto S, Morita K, Koizumi I, Maekawa K.: Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: Spatial-temporal changes in gene frequencies. Conserv Genet. Aug;5 (4):529-38., 2004.
- 8) 石山信雄, 永山滋也, 岩瀬晴夫, 赤坂卓美, 中村太士: 河川生態系における水域ネットワーク再生手法の整理: 日本における現状と課題. 応用生態工学会, 19(2), 143-164, 2017.
- 9) 床止めの構造設計手引き: 国土開発技術研究センター, 1998.
- 10) 建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説 設計編II: 日本河川協会, 2008.
- 11) 道路土工-擁壁工指針 平成24年度版: 日本道路協会, 2012.
- 12) 林田寿文, 本田隆秀, 萱場祐一, 島谷幸宏: 階段式魚道における落下流と表面流の発生特性とウグイの遊泳行動, 環境システム研究論文集, 28:333-8, 2000.

(2020. 4. 2受付)