

# 既設河川横断工作物を改良した切欠き魚道設置の検討と実践

林田寿文・棟方有宗・大宮裕樹・中村圭吾

## 1. はじめに

河川横断工作物（以下「横断工作物」という。）で魚類を遡上させるには、河川管理者（行政）によって魚道設置や横断工作物自体の撤去りなども検討されるが、特に魚道は水面落差が大きくなるほど対策コストは膨大になる。さらに、本来はすべての横断工作物が環境に配慮されるべきであるが、所定の機能を満足している既設工作物は、後付けで環境への配慮が実施されづらい。また、近年では市民団体などによる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るが、洪水による流出防止の対策が必要など、一時的な構造物として設置されている事例が多いことが課題となる。より低コスト・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、横断工作物の必要な機能と安全性を十分確保した上で、本稿でいう「切欠き魚道」として横断工作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。

そこで本稿では、切欠き魚道の設置として既設横断工作物に切欠き（スリット）を入れる工事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）に実践した事例を紹介する。その過程で得られた知見として、計画段階での課題とその対処方法、および、魚道機能を高めるための工事段階での工夫について報告する。

## 2. 切欠き魚道設置に関する課題の検討

### 2.1 竜の口溪谷の堰堤

竜の口溪谷（流域面積2.5 km<sup>2</sup>、流路延長4.52 km、河床勾配1/35）の堰堤は、床止めの機能を持つ幅10.0 m、延長6.0 m、高さ2.5 mの2段構造の河川工作物である（図-1、2）。両岸にはブロック積みの擁壁護岸が設置されている（図-1）。堰堤は、仙台市建設局によって平成3年度に建設工



図-1 竜の口溪谷の堰堤（堰堤両岸に擁壁護岸）

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。工事を行う直前の河床高は、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-2）。下流側の河床高は、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、頻繁に河床高が変動することが確認されている。本堰堤上流への魚類などの遡上は、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が期待される目標種としては、広瀬川に生息するアユ、サクラマス(ヤマメ)、モクズガニを設定した。

### 2.2 切欠き魚道の設置に関する課題の検討

切欠き魚道の実施において2つの課題解消と1件の手続きが必要となった。1つ目の課題としては、コンクリートで作られた横断工作物を掘削する際、効率的な遡上やメンテナンスフリーを実現するには、どのような構造が望ましいかを定める

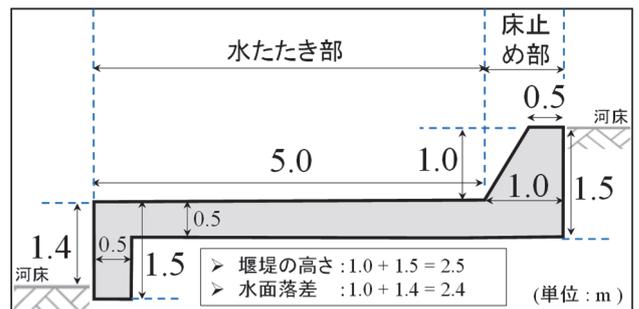


図-2 堰堤縦断面図（河床高は工事直前の状況、上流側の河床高は堰堤設置後の堆積土砂と推定）

必要があるということである。そこで、横断工作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。横断工作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、工作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、この2つ目の課題である切欠き魚道の形状は、現場ごとの検討が必要であるため3章に詳述する。

次に、手続きとしては横断工作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、管理者である仙台市に対して協議や申請などを行い、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。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. 切欠き魚道設置を実践するための安全性および効果の検討

#### 3.1 切欠き魚道設置による横断工作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>2)</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<sup>3)</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と判断した。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。

#### 3.2 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侵食を及ぼさない構造としている<sup>5)</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>6)</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。

#### 3.3 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>3)</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回復が期待された。

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。切欠き魚道の設置により、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. 切欠き魚道設置の実践

### 4.1 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下流端の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、部材厚の半分以上（0.3 m 以上）を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-3）。水たたき部の水路形状は、床止め部付近では深さ0.1 m、最下流で深さ0.2 m と、次第に深くすることで水路は1/50の勾配とした。また、水路幅は0.5 m から1.0 m へと下流ほど広くして流速を落とし、魚道の入口で水生生物の水路内への進入を容易にした。工事は令和元年11月に実施した（図-3）。

なお、切欠き魚道を設置した場合、上流区間の最深河床が切欠き魚道底面の高さまで減少すると想定されるが、本堰堤の床止め機能上は問題ないことを確認している。

### 4.2 水生生物を遡上させるための様々な工夫

切欠き魚道の落差解消により魚類が魚道内へ進入出来るようになったため、次に魚道内を特に遊泳力の弱い底生魚や甲殻類など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

コンクリートで水路を作る場合、その形状は全て直角の矩形となることが多いが、矩形形状は水生生物の遡上にとって有効に機能しない。そこで、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、両側の側面を奥に削り込むオーバーハング

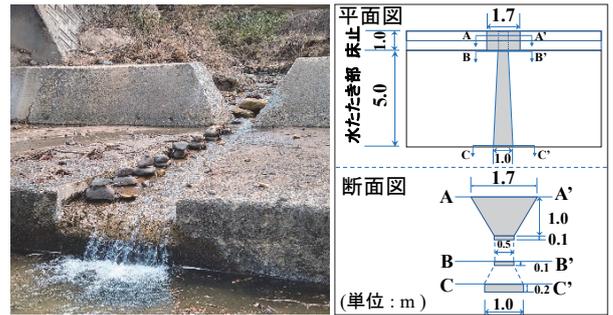


図-3 切欠き魚道の完成

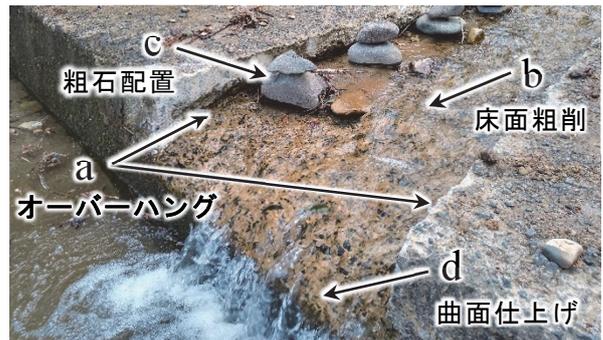


図-4 水生生物の遡上を補助する様々な工夫

形状とした（図-4a）。

#### b) 水路床面の粗削り仕上げ

魚道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小さくなるため、底生魚などの遡上が容易になる。そこで掘削後の床面の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-4b）。粗削りにすることは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-4c）。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。粗石を片岸に寄せてオーバーハング部と連動させ、底生魚などが潜みながらの遡上も可能となる。

#### d) 水脈落下部分の曲面仕上げ

魚道内へ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>6)</sup>。例えば、直角形状の隔壁における流水は剥離を引き起こす。そのため、剥離防止として水が落下する部分を曲面状（アール状）に仕上げた（図-4d）。

## 5. 切欠き魚道の機能評価

切欠き魚道の機能評価として、令和2年4~12月にかけて月1回の計9回、竜の口溪谷堰堤の上

流部における魚類相調査を実施した。採捕された魚種は、アブラハヤ（コイ科）、ホトケドジョウ（ドジョウ科）、オオヨシノボリ（ハゼ科）の3科3種であった。先行研究から竜の口溪谷の切欠き魚道設置前の魚類相はアブラハヤとホトケドジョウの2種であったことから、魚道設置から1年足らずで魚類の遡上に一定の効果が確認されている。特にアブラハヤは魚道設置前には確認できなかった大型の個体も採捕され、魚道を遡上したものと推察される。このように、切欠き魚道の効果として上流部で新たな魚種が確認されはじめている。これは、魚類が遡上するために必要な水面落差20 cm以下という条件<sup>7)</sup>を創出できたことが一因であると考えられる。今後、遡上魚種は増加することが推察されるため、継続的なモニタリングによるデータ把握を行い、切欠き魚道の存在をゆるぎないものになりたい。

## 6. おわりに

本研究は、今後の中小河川改修のあり方を見直す重要なカギとなる。切欠き魚道は強度・機能を維持したまま低コストでの施工を実施しているため、施設管理者がこれまで抱えてきた財政問題を解消することが可能である。既設堤体の構造による制約で切欠き（スリット）の形状は現場ごとで検討する必要があるものの、施工法は堤体を掘削するのみと比較的簡素であることから、各種堰堤への汎用性を有している。そのため、本堰堤のように横断工作物の機能を担保できれば、環境への配慮を付加することが可能である。行政や河川協力団体などによる切欠き魚道の設置が推進され、生物多様性の保全に寄与していただけると幸いである。

なお、本堰堤に設置した切欠き魚道での解消落差は1.2 mである。そのため、全2.4 m落差の残り1.2 mについては堰堤下流に設置したふとんかごによる土砂堆積により解消している。詳細な情報は林田ら<sup>8)</sup>の論文を参照されたい。ただし、ふとんかごの設置は本堰堤に限った工夫であることを申し添える。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、魚道設計・工作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 小松優氏から有益な情報をいただいた。また、本研究は河川基金助成（No.2019-5211-024、No.2020-5211-024、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) 茅野恒秀：協同による溪流環境の復元の試み-赤谷プロジェクトにおける新たな治山事業-。土木学会誌、vol.94、no.7、July 2009.
- 2) 床止めの構造設計手引き：国土開発技術研究センター、1998.
- 3) 河川砂防技術基準(案) 設計編：国土交通省HP、2019.
- 4) 道路土工-擁壁工指針 平成24年度版：日本道路協会、2012.
- 5) 石山信雄ら：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.
- 6) 林田寿文ら：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.
- 7) 鬼束幸樹ら：階段式魚道におけるプール間落差と遡上率の関係、応用力学論文集vol11、677~688、2009
- 8) 林田寿文ら：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、河川技術論文集、第26巻、2020.

林田寿文



土木研究所水環境研究グループ自然共生研究センター 主任研究員、博士（環境科学）  
Dr. HAYASHIDA Kazufumi

棟方有宗



宮城教育大学生物学教室 准教授、博士（農学）  
Dr. MUNAKATA Arimune

大宮裕樹



仙台市 建設局 百年の杜推進部 河川課、修士（農学）  
OHMIYA Hiroki

中村圭吾



土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員、兼 自然共生研究センター長、博士（工学）  
Dr. NAKAMURA Keigo