

土砂動態および魚類の移動特性を踏まえた、魚道設計技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 28

担当チーム：河川生態チーム

研究担当者：萱場祐一、村岡敬子

【要旨】

本研究は、魚道内への流入土砂の特性や、設計対象魚種の遡上特性を踏まえながら、維持管理上最も適した魚道形式・諸元の選定を行うと共に、流れ場に対する魚類の移動特性に応じた魚道の配置や魚道入り口周辺の適正な整備を行う技術の確立を目指し、実施するものである。本研究では、全国の魚道を対象としたアンケート調査により魚道内への流入土砂の影響実態を把握するとともに、その結果を踏まえた現地踏査を通じて魚道内への土砂堆積の要因について整理を行った。また、実物大の模型を用いた魚類の遊泳行動や遡上期の回遊魚の分布調査等により、良好な移動環境を形成するための方策や既存魚道の改善方法の提案を行った。

キーワード：底生魚、土砂堆積、簡易改善、

1. はじめに

河川上下流の魚類の移動環境の確保および魚類生息環境の保全のため、国土交通省では「魚ののぼりやすい川づくりモデル事業(平成3年度～)」、「自然再生事業(平成14年度～)」をはじめとする各種事業を展開し、設置可能な堰堤には魚道が設置されてきた。しかしながら、こうして設置されてきた魚道の中には、魚道内への土砂の流入や上下流の土砂の堆積により、必ずしも遡上しやすい環境が維持されている状態ではないものもある。また、魚道本体が十分に機能している魚道においても、魚道入り口部の河床の不連続や流れ場の影響により魚道内に到達できる魚種が限られ、堰堤下流に魚が滞留するなどの問題点も指摘されている。また、底生魚や小型魚の遡上効果が小さいと指摘されている魚道も少なくない。これらの問題を解決するため、事業者らは魚道遡上調査の実施や有識者らに助言を求めるなどしているが、実地の魚道における現状の課題を総合的に取りまとめ、各々の魚道にフィードバックするための知見が乏しいため、各地先の実情に応じた効果的な対策をとることが困難な実情がある。

本研究では、魚道内への流入土砂の特性や、設計対象魚種の遡上特性を踏まえながら、維持管理上最も適した魚道形式・諸元の選定を行うと共に、流れ場に対する魚類の移動特性を踏まえた魚道の配置や魚道入り口周辺の適正な整備を行う技術の確立を目指し、以下の3つの達成目標を掲げ、実施するものである。

達成目標 1

堰堤や魚道の諸元と魚道周辺における土砂堆積特性の関係の解明

達成目標 2

魚道周辺における魚類の遡上経路の解明

達成目標 3

河道特性および魚類の移動特性を踏まえた、魚道設計技術の提案

2. 研究方法

2.1 全国の河道横断工作物を対象とした調査および現地踏査

土砂堆積に関係しそうな項目を抽出するために、遠賀川および番匠川を対象に、既存調査で魚道内への土砂堆積が報告されている堰堤を含む 50 堰堤において、魚道内および上下流の堆積土砂特性および周辺の環境を調査した。抽出された項目を踏まえたアンケート表を作成し、国土交通省と連携しながら直轄区間にある全魚道(980基)を対象とした調査を実施した。本アンケートの結果の精査により、機能不全を起こしている可能性のある魚道を抽出するとともに、航空写真等の確認や現地踏査を通じ、土砂による機能障害の要因を整理した。

2.2 河川における魚類の遡上経路の選択に関する現地調査

回遊性カジカが遡上する河川において、カジカの遡上期にカジカが滞留する場の物理環境や河道内

水位変動時の定位置の変化を調査し、遡上経路の選択条件を整理した。

2. 3 流れ場と魚類の遊泳行動に関する検討

土木研究所内の屋外実験水路（幅 40cm）内に実物大の階段式魚道隔壁(2 形状)、低落差の堰堤(2 形状)の二次元模型（幅 40cm）を製作し、越流水深 5 - 30cm、落差 5 - 20cm の範囲で流況を変化させた。実験には、アユ、カジカ、イワナを利用し、アユおよびカジカは 2 時間、イワナは 1 時間にわたり遊泳行動を観察するとともに、遡上行動を 17 秒間にわたり高速ビデオカメラ(DITECT Co., Ltd., Sports Corder, Tokyo, Japan) 5 台により記録した。また、天ぷら粉をトレーサーとした流況撮影を行い、PIV 解析により水量を求めた。

2. 4 底生魚や小型遊泳魚を対象とした遡上環境改善法の検討

アクリルを用いて遊泳行動観察用矩形パイプ（幅 20 cm×高さ 10 cm×長さ 130 cm）とひさしからなる実験模型を制作し、土木研究所内の室内実験施設内に据え付けた(図-1)。ひさしの内角は、10°、15°、20°、25°、40°とし、ひさしが無い状態(90°)の計 6 形状である。実験時の流速は、模型上下流の角落しとポンプの回転数により調整し、ひさしのないケースでは矩形中心部の流速を二次元電磁流速計により計測した。ひさしのあるケースでは、模型の上流よりトレーサーを流し、底部から高速ビデオカメラ(50fps)にて撮影した画像からトレーサーの移動速度を求め、これを流速とした。実験に供したカジカは長野県産の大卵型カジカ(B.L.67.52mm±3.6mm)で、納入から実験までの間の給餌は行わなかった。尚、カジカの馴致水槽および実験開始時の水温は、冷却装置により 17℃に調温した。

模型内にカジカを投入し、一度ひさしの下に定位した後の行動を観察し、自発的に上流に向かっ

て起こした行動を挟む 7-17 秒間の画像を 50fps で撮影した。実験は、①模型内に 1 尾ずつカジカを投入し、ひさしの無い状態で遡上できる限界の流速を求める、② 5,6 尾のカジカを模型内に投入し、①の限界流速以上の流れ場における行動を観察の 2 段階に分けて実施した。後日研究室にて一連の行動を確認し、以下の三つに分類した。

遡上成功：行動を起こした後、上流方向への移動に成功した行動数。連続して小刻みに複数回移動した一連の行動は 1 回の遡上成功行動数とした。

遡上失敗：行動を起こした後、下流へ流された行動。

非成功・非失敗：行動を起こすが、上下流の範囲において、概ね 1cm 内の移動にとどまったもの。

また、各ケースに対して次式により、遡上成功率および頭持ち上げ率を求めた。

$$\text{遡上成功率} = (\text{遡上に成功した数}) / (\text{実験時間}) / (\text{同時に投入したカジカの尾数})$$

$$\text{頭持ち上げ率} = (\text{行動開始時に頭を持ち上げた件数}) / (\text{総行動数})$$

3. 研究結果

3. 1 魚道および周辺の土砂堆積要因に関する検討結果

全国の直轄区間の魚道を対象としたアンケートの結果、機能不全を起こしているとして 365 魚道、その内 147 魚道が魚道内・魚道上流・魚道下流の土砂堆積、ゴミ・植生繁茂の影響を受けている魚道として抽出された。現況写真をもとに、堰堤周辺および魚道内の土砂堆積の状況を確認し、土砂・ゴミ・植生繁茂の影響を受けている魚道として 114 魚道に絞り込み、これらを調査対象とした。さらに 28 基の魚道については、現地踏査を実施し、

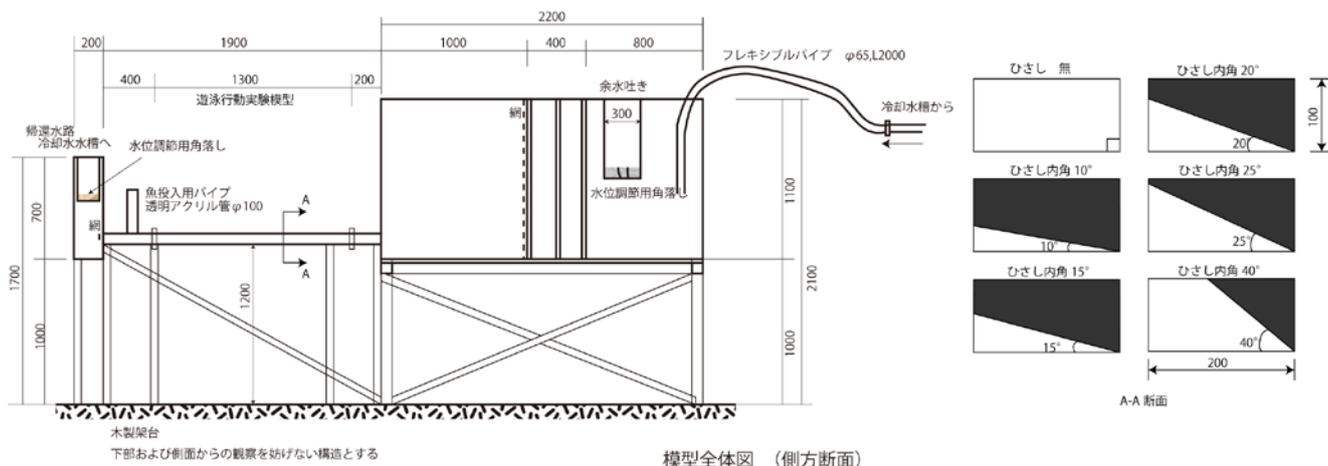


図-1 実験装置

土砂堆積の要因となる要因を分析するとともに、調査対象とする 114 基について得られた仮設に基づき、航空写真等をもとに再度精査し、機能障害の要因を特定した。

これらの結果、以下に示すように、堰堤や魚道の条件と土砂堆積の関連する 3 つの要因が抽出された。

- ・魚道の折り返し部や休憩プール内において、部分的に流れの緩やかな領域が生じる設計となっているため、土砂が沈降する「魚道本体の構造上の問題」

- ・セグメント 2 の区間において、河道湾曲部の内側に魚道があり、魚道上流側に砂州が付くことにより、魚道内に水が流れない「魚道配置場所の問題」。

- ・セグメント 3 の区間において、下流の橋脚や砂州により出水時に魚道下流側が堰上げられ、魚道下流プールや魚道直下に土砂が堆積する「堰堤および周辺環境の問題」(図-2)。

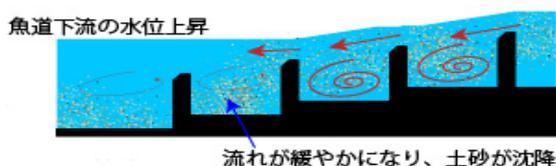


図- 2 下流の堰上げによる魚道内への土砂の沈降

3. 2 魚道周辺における魚類の遡上経路に関する調査

現地調査の結果から、移動能力が小さいカジカは、河道内の定位可能な流れ場を選択しながら移動するとともに、成長と共に上流側に分布域を拡大することが示された。遡上のためには、定位可能な連続した流路の確保が重要と考えられた。また、実物大模型実験内における遊泳行動の解析から、底生魚のカジカは底面に定位し、定位時は平面的に移動しないため、遡上経路として河床の流れ場の連続性が重要と考えられた。一方で、魚道下流の深掘れは逆流を引き起こすなど、河床付近の流れ場の連続性に影響を与え、底生魚の移動や魚道の見つけやすさに影響すると思われるものの、魚道下流の深掘れは主にセグメント 1, 2 で発生していることから、回遊性カジカにおいては、すこし成長した個体を対象とした対策を考える必要があると思われる。

イワナやアユの遊泳魚は、流れに向かって定

位・移動しようとする一方で、定位時に平面的にも上下にも移動するため、比較的広い範囲の流れ場を認識可能であったことから、カジカよりも大きな単位で連続性を考えることができると考えられる。

3. 3 階段式魚道等の流れ場と魚類の移動環境に関する検討結果

階段式魚道の隔壁模型を用いた実験では、アユ・イワナ共にいずれの実験条件においても遡上行動を示したが、堰上げにより越流部からの流れが表面流となるケースでは、遡上行動数が低下し、これは既往の知見と一致する。カジカはアユ・イワナに比べて遡上行動が活発ではなく、なかでも越流水深 10cm の落下流となるケースでは、遡上行動を示した個体は観察されなかった。一方、遡上行動を示した個体における遡上成功率は、イワナ・アユ・カジカ共に堰上げによって高くなる傾向を示した。

これまで、隔壁や構造物の頂部付近における流線の勾配が大きく変化する断面において、アユやカジカが下流に押し戻され、遡上の失敗の一因となる状況が観察されていることから、越流部の流れの流線は緩やかに変化する表面流が高い遡上成功率に結びつくのではないかと推定された。さらに、表面流状態では、隔壁頂部付近の主流が隔壁面から離れるため、隔壁に沿って遡上するカジカの移動に良い影響を与えるのではないかと考えられた。これらの結果から、カジカの遡上しやすさの点からは、階段式魚道のプール水深を浅く、流量を大きくすることが効果的である可能性が示唆された。さらに、階段式魚道の設計においては、対象魚の遡上行動や定位位置に配慮したプール内の流況の設定と、頂部の通過しやすさのから考えた断面形状や水深のありかた双方を考えていく必要があると考えられた。

3. 4 底生魚や小型遊泳魚を対象とした遡上環境改善法の検討結果

実験①では、遡上成功数は流速によらず 2~4 件/(時間・尾)と安定した行動数が観察されたが(図-3)、0.43m/s 付近では模型内に定位したままの個体も観察された。実験②では、0.43m/s 付近の遡上成功数はばらつくとともに、実験①と同様に、定位したまま動かない個体が観察され、この付近が遡上の限界流速と推察される。さらに流速の大きい領域では、内角 15° のひさしがあるときに

FISH PASSAGE DESIGN IN CONSIDERATION OF SEDIMENT AND SWIMMING PERFORMANCE

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2012-2016

Research Team : Water Environment Research
Group (River Environment)

Author : KAYABA Yuichi

MURAOKA Keiko

Abstract : Flow condition in and to fish passage are important for successful migration through fish passage, though suitable flow for migrating fish are depend on their swimming performance. Additionally, it often varies sedimentation around fish passage. In this study 114 site of fish passage condition were compared, and cautionaries on designing fish passage to avoid damage of sedimentation were shown. Experimental study on swimming performances also shows improve method of current fish passage by using design components such as small eaves which restrict head-raising movements.

Key words : Fishway, bottom swimming fish, dam, damage, migratory fish