

# 「棚田式魚道」の水力特性と有効性に関する検証

馬淵和三<sup>1</sup>・平松 研<sup>2</sup>・板垣 博<sup>3</sup>

## Hydraulic Characteristics and Effectiveness of the Terrace Type Fishway

Kazumi Mabuchi<sup>1</sup>, Ken Hiramatsu<sup>2</sup> and Hiroshi Itagaki<sup>3</sup>

**Abstract:** The terrace type fishway is a hybrid fishway of the pool type and the stream type, which has been developed and constructed at a ground sill of River Neo in 2000 by the Upper-Kisogawa construction bureau of the Japanese government and Yamatatsu Construction Company where one of the authors is working. The terrace type fishway is named for its shape that resembles a terrace paddy in a mountainous area. This fishway is equipped with several devices; a) There are many slits on the walls that are surrounding the pools, because the walls are made of the fieldstones around the ground sill. The fishes can pass through the slits without jumping. b) The mouth of the fishway opens widely for fishes to find their routes easily. In addition, the slope for the lateral direction is set steeper than that for the stream direction to gather the river water along the walls, which assures the minimum water depth required for passing even in the drought period. c) The depth of the pools is shallow enough to flush the soil and sands during the flood, which makes the fishway maintenance-free. d) The roughness with small rocks on the slits and bottom of the pool effectively reduces the velocity in the fishway. e) The rapid velocity at the upstream mouth of fishway is reduced by raising the position of the mouth. The hydraulic characteristics and effectiveness of the fishway from the viewpoint of passage of the aquatic habitats are examined by the follow-up surveys during these 3 years. As a result, it proves that the terrace type fishway can be an alternative to the conventional ones and further it is superior to them in many aspects.

**Keywords:** Fishway; Hybrid type; River environment

### 1 はじめに

近年、自然環境の保全と回復は様々な場所・分野において重要なテーマとなってきた。河川環境においても例外ではなく、様々な自然回復のための取り組みがなされている。そこでは、いわゆる河川の直線化、護岸のコンクリート化などによって河川をコントロールするという旧来の考え方から、自然や生態系を考慮することにより河川と共生するという考え方へのパラダイムシフトが起きており、河川構造物に附設される魚道にも同様の転換が求められている。

魚道は、河川内における水棲動物、主に魚類の移動障害を除去・軽減するものであり、一般に河川構造物に附設される施設である。それらは、大きく分けて、プールタイプ（階段式、バーチカルスロット型など）、ストリームタイプ（斜路型、デニール型など）、その他（ロック式など）の3種類に分類されている。ストリームタイプの魚道は急勾配河川に適さないことが多いため、これまで日本の河川においてはプールタイプの一種である階段式の魚道が最も多く設置されてきた。この階段式魚道は比較的単純な構造であり、魚種によっては良好な遡上が見られるが、一方で、小流量時の遡上のためには魚類が跳躍をしなくてはならないこと、魚道上り口が分かりにくいこと、プール部への砂礫の堆積が見られることなどの問題も有している。さらに

は、それと似た構造のものが自然河川には存在しない明確な人工構造物であることが新しいパラダイムと整合せず、このため、階段式魚道に代わる自然河川と調和する新しいタイプの魚道の開発が求められてきた。これに対し、現在の国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所と筆頭著者の所属する榊山辰組は近自然型魚道である「棚田式魚道」を共同開発し、2000年1月、岐阜県西部を流れる根尾川の第3床固工に設置した（図1）。

本論文は、水位変動や土砂堆積への対応など旧来の魚道が抱える諸問題を解決すべく開発された「棚田式魚道」の水力特性を紹介するとともに、現地調査を通じて、「棚田式魚道」の有効性を明らかにすることを目的とする。



図1: 根尾川に設置された棚田式魚道

<sup>1</sup>岐阜大学大学院連合農学研究科学生, 株式会社山辰組代表取締役 Graduate Student, The United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, 1-1Yanagido, Gifu, 501-1193 Japan, President, Yamatatsu-gumi Construction Company, 203-1 Inabata, Ohno-cho, Ibi-gun, Gifu, 501-0511 Japan

<sup>2</sup>岐阜大学農学部助教授 Associate Professor, Faculty of Agriculture, Gifu University, 1-1Yanagido, Gifu, 501-1193 Japan

<sup>3</sup>岐阜大学農学部教授 Professor, Faculty of Agriculture, Gifu University, 1-1Yanagido, Gifu, 501-1193 Japan

## 2 棚田式魚道

### 2.1 概要

棚田式魚道とは、プールタイプとストリームタイプの両者の特徴を有するハイブリット型魚道である。ちょうど図2にあるような、玉石で覆われた自然の河川敷における1:10程度の緩やかなスロープ部に生じていた自然石の間の落差を流下する流れを模したものであり、水はプール間あるいは隔壁部を剥離（自然落下）することなく流下する構造となっている。また、築造材料も河川内にある自然石を利用しており、本来の河川環境と調和した流況と景観を有する点に特徴がある。

浅いプールの連続で構成される本魚道は、山間部にある「棚田」を連想させる形状であることから、「棚田式魚道」と呼ばれている。主要な水産資源であるアユを主な対象としているが、それ以外にも、自然河川の河床の形状を模して開発した細かな自然石の凹凸で魚道底面を覆うことにより、カニ・カメや川底面を這いながら移動する水棲昆虫をはじめとする多種多様な水棲生物が利用可能となるような工夫がなされている。



図2: 自然石の間を流下する流れ

### 2.2 平面形状

図3にあるように、階段式魚道では、河川構造物に到達した魚類が突出部にある上り口を見つけ出せない場合があることが指摘されている。これに対し、扇形魚道と呼ばれる180度の開口を持った魚道が開発されてきたが、従来の扇形魚道は、魚道底面が上流部出口を中心として下流側へ放射状に同一勾配の傾斜で設置されてきたため、上流部出口から魚道内に流れ込んだ水は下流に流れるほど広く浅い流れとなり、小流量時にはアユが上れるための水深を確保することができていなかった。

本魚道は、扇形魚道の考え方を踏襲しているが、一般的な半円状の扇形魚道とは異なり、縦断方向の勾配を一般的な勾配1:10、横断方向の勾配を1:6としている（図4）。横断方向の方が急勾配であることと、わずかなではあるがプール部底面に横断方向への勾配をつけることで、図5のように小流量時においても魚道両端部に流れを集中させて、アユの遡上に必要な水深を確保し、扇形魚道の問題点を回避することを可能とした。

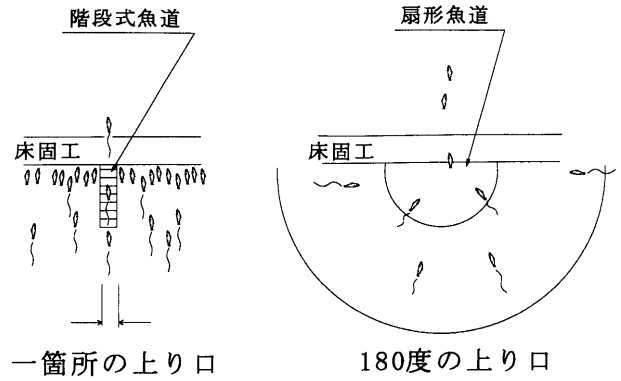


図3: 魚道の形状による上り口の比較

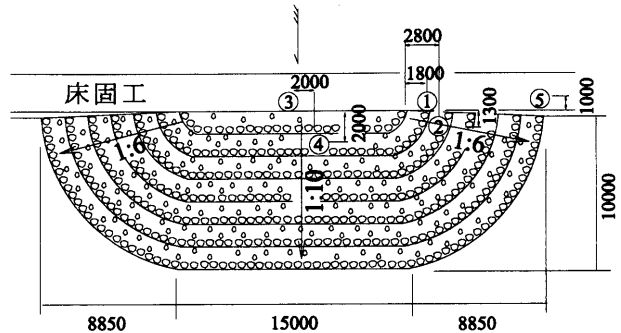


図4: 魚道平面図及び流速測定位置（単位：mm）

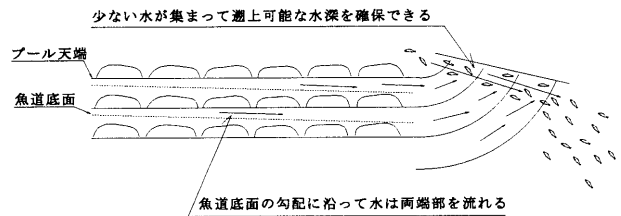


図5: 減水時に横断方向へ水を集める構造

### 2.3 縦断形状

全体として棚田式魚道は階段式魚道などと同じプールの連続であるが、一般的なプール式魚道では隔壁の天端が水平かつ連続で、一部切欠き部などを有していても水位変化に対応が困難であったのに対し、棚田式魚道は自然石を並べた隔壁構造となっているため、スリット部と呼ばれる自然石の間隙が存在し、小流量であっても跳躍することなく遡上する経路が確保できる形状となっている（図6）。ただし、流れが間隙に集中するきらいがあるので、間隙部表面を直径40mm程度の細かい自然石の凹凸（粗度）で覆い、流れを減速させている。これまで、プール式魚道においては、アユが上段のプールに移動する際に勢いをつける助走のためと休憩場所を確保するために60cm～80cm程度の水深が必要とされてきた（財）リバーフロント整備センター、1998；（財）ダム水源地環境整備センター、1991；農林水産省構造改善局建設部設計課、1994；和田、1993）

しかし、このような従来のプールでは、隔壁が図7のように鉛直となっていることにより、越流した水が

この鉛直壁面に沿って底面に向かい、続いて底面に沿って下流側の鉛直壁面に当たり上昇するため、プール内に対流に似た回転流が生じることになる(農林水産省構造改善局建設部設計課, 1994; (財)ダム水源地環境整備センター, 1991, 1998)。この流れに対して対流方向性のあるアユが進む方向を間違える行動が確認されている。また、大きいプール水深を確保したため洪水による流出土砂がプール内に堆積して、魚道の機能が発揮できなくなり、その除去作業などのメンテナンスに要する労力や費用が課題となっている。

一方で、棚田式魚道は基本的に魚を跳躍させることなく、スリット部を遊泳させて遡上させる構造としているため、プール水深はスリット部を流下する水が剥離しないで水深を保ちながら下流側のプールに注ぎ込む高さ(落差)と等しくなるものとして、実測した河川における自然石間の落差をもとにプール水深を約20cmとしている(図6)。前述の通り、この棚田式魚道は実際の河川に存在する自然石間を流下する流れを模しているため、特に助走や休憩場所を設ける必要がなく、従来の魚道に比べて浅いプールでの設計が可能となる。このため、アユが進行方向を見失うような回転流は発生しない。さらに、プール水深を浅くしただけでなく、隔壁からプール底面にかけて緩い曲面を備えたスロープ形状としているため、洪水時に流入する土砂が図8に示すように激流に舞い上げられてプール内には堆積しないようになる。

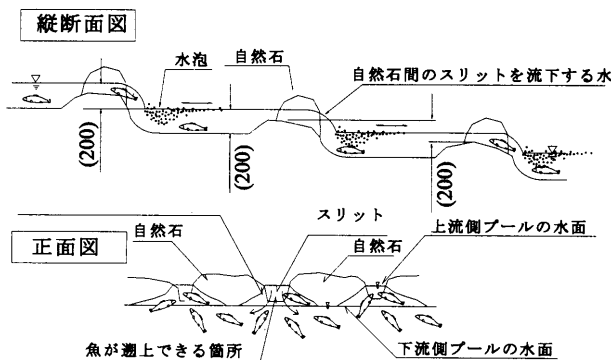


図6: スリット部の流れ (単位: mm)

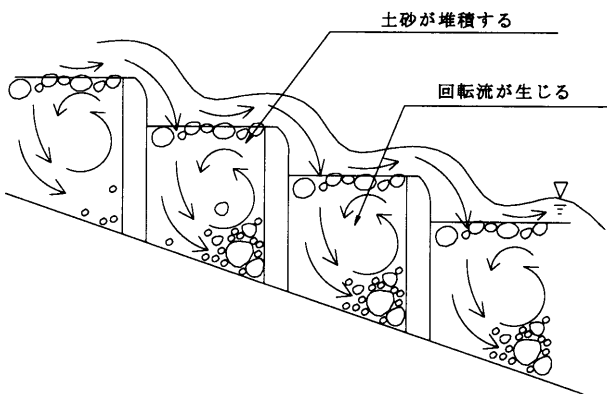


図7: 垂直壁で構成される深いプール部に生じる回転流と土砂の堆積物

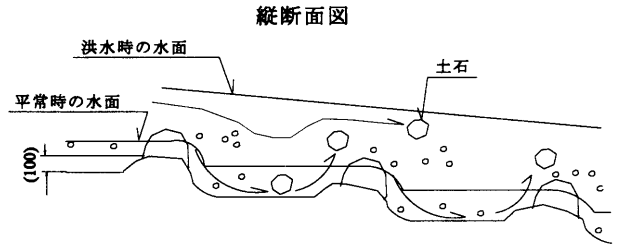


図8: 土砂が溜まらないプール構造 (単位: mm)

### 3 現地調査

#### 3.1 根尾川第3床固と設置状況

根尾川第3床固は、揖斐川との合流点から約10.8km上流に位置しており、1970年の改築から30年以上が経過している。本床固の全幅は133.75mで天端中央部は当初から左右両岸より20cm程度低く施工してあるため流心は常に中央部にある。近辺で見られる主な魚種は、アユ、アマゴ、オイカワ、ヨシノボリ、カジカ、ウナギである。

本魚道設置前の観測により、本床固において、アユが遡上している流量の上限は $35\text{m}^3/\text{s}$ (床固工中央の水深は0.25m)、下限は $5\text{m}^3/\text{s}$ (床固工中央の水深は0.10m)程度であることが分かっている。なお、遡上時期に体長は7~15cmとなるアユの突進速度は毎秒体長の10(~18)倍程度、すなわち体長が最大のもので約1.5m/sとなり((財)リバーフロント整備センター(1995);(財)ダム水源地環境整備センター(1991)), $35\text{m}^3/\text{s}$ はちょうどその流速に相当する流量である。4月10日から6月10日ごろの遡上期間において、流量がこの範囲に入った期間は1998年度が26%、1999年度が84%であった。年度により値に大きな差があることから、河川流量の変化にうまく対応が可能となる魚道が必要とされることが分かる。

図9に示す通り、第3床固には既設の斜路式魚道があるが、河床低下により上り口に落差が生じている上に、その先の下流部には土石が堆積しており、遡上が困難な状況になっている。そのため、新魚道は確実に滞筋が確保できる床固中央部に設置した。

これまでは、河川の段差部に魚道を設置する場合、一般的には床固工などの構造物の天端より低い位置に魚道は設置されてきた。すなわち、「魚道は河川を横断する構造物の高さより低くしないと河川断面を侵す」との考えによるものである。しかし、このような構造で魚道を設置すると、河川横断構造物の天端から魚道の最上流部へと流下する水は低下背水曲線を描いて加速し、魚道上流部において跳水現象(図10の手前側)を起こす。これまでの観察では、この跳水部が遡上を妨害しているようであり、魚道の最上流部まで遡上したアユが、跳水部の手前で真っ黒に集まって滞留している光景がよく見受けられた。このため、本魚道では、魚道最上流部のプール隔壁の高さを洪水時の流況に悪影響を与えない程度に床固工の天端の高さより高くすることにより、逆に堰上げ現象を起こすこととした(図10)。

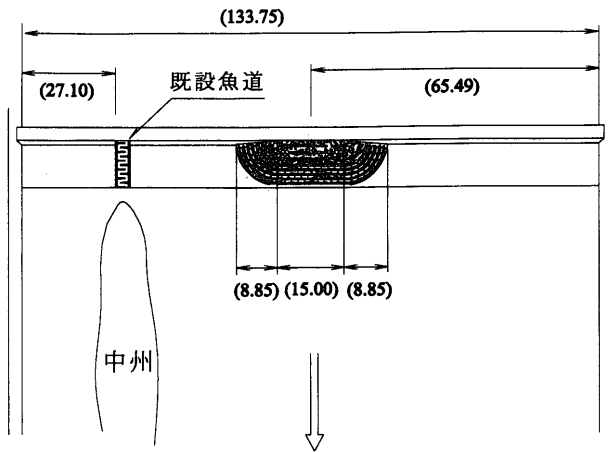


図 9: 棚田式魚道の設置位置 (単位 : m)

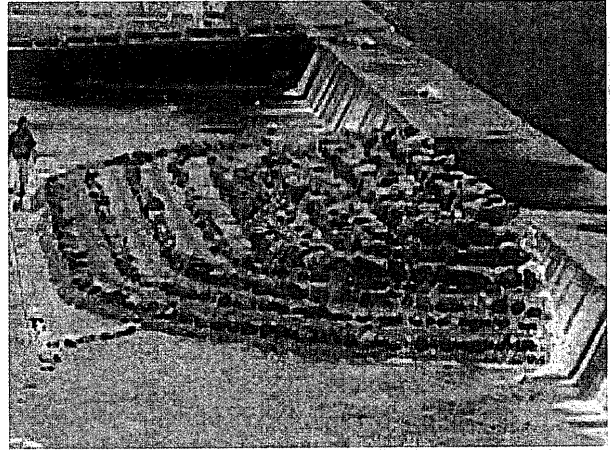


図 12: 洪水後の状況



図 10: 堰上げ現象 (中央) と跳水現象 (手前)



図 13: スリットを通過するアユ

### 3.2 砂礫の堆積

図 11 は魚道設置後の 2002 年 8 月 22 日に発生した洪水時の流況である。この図からも分かる通り、大量の土砂が流されている。一方、図 12 は洪水後の魚道の状況である。魚道周辺にはかなり大きな岩を含めて大量の土砂が堆積しているが、魚道内にはほとんど堆積が見られない。この結果からも、本魚道が 2.3 節に示した通りに機能しているものと考えられる。

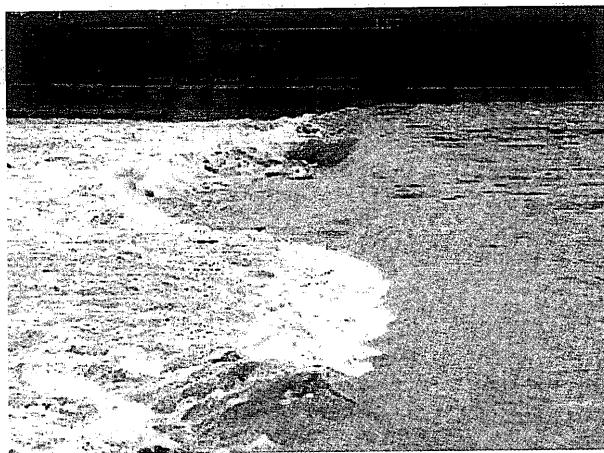


図 11: 洪水時の状況

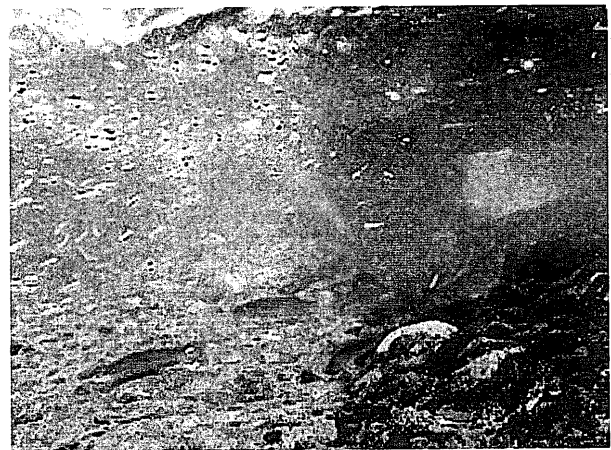


図 14: 底面に沿って遡上するアユと底面の細かな凹凸

### 3.3 遡上状況と流速調査

2000 年 5 月 5 日にアユの遡上状況に関する観察および水中ビデオ撮影による遡上数計測を行った。当日の床固工中央の水深は 29.2cm であり、本魚道設置前にはアユの遡上に適しない水深に相当するが、図 4 の②付近から遡上するアユを水中ビデオで撮影した結果、午後 0 時 45 分から 55 分までの 10 分間に 710 匹のアユが遡上したのを確認した。さらに、それらの遡上は

魚道の左岸側から多くみられた。この時点での水温は14℃であった。

遡上を確認したアユは全体的に小さく、体長が7～8cm程度のものが多かった。図13はスリット部を通過するアユの姿であるが、上流側のプールに遡上する際に、ジャンプすることなく、遡上している。また、水中カメラにより撮影した図14では、ほとんどのアユが底面の流速が緩くなっている箇所を沿って遡上していることが分る。このことから、底面を覆った細かな自然石の凹凸による粗度が有効に働いているものと考えられる。

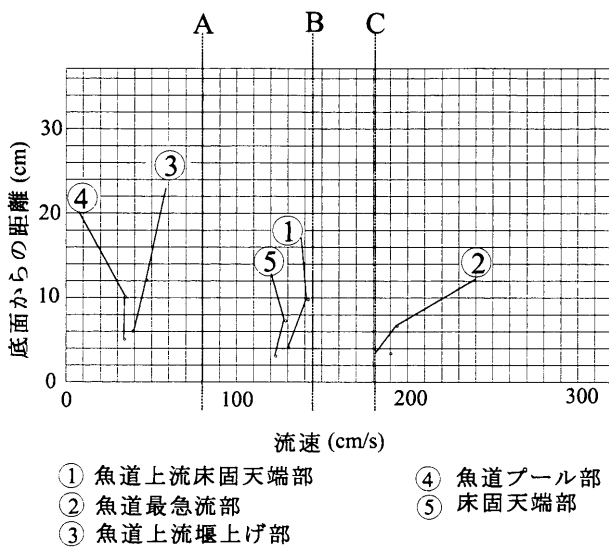


図15: 現地魚道垂直方向流速分布

地元漁協の要請により実際のアユの遡上時に魚道内に入って流速等の調査を実施することができなかったため、魚類の遡上に影響が少ない翌年3月に流速調査を実施した。アユの遡上を観察した2000年5月5日とほぼ同じ流況となった2001年3月14日に、アユが大量に遡上することが観察された箇所をはじめとして、プール部、堰上げ部、床固部などの流速を測定した（測定箇所は図4の中に記載）。図15に測定結果を示す。図中のA線とB線はそれぞれ、突進速度が毎秒体長の10倍であると仮定した場合と18倍（一般にいわれている値の中で最大のもの）であると仮定した場合における体長8cmのアユの突進速度である。測定結果より、魚道内の②、③、④のうち、②点以外においてはA線以下の流速になっており、計画通りの減勢効果が得られていることが分かる。

また、魚道による堰上げ現象が現れていない①の魚道上流床固天端部の流速が約1.3m/s～1.4m/s、⑤床固天端部が1.2m/s～1.3m/sであるのに対し、③の魚道上流堰上げ部は0.4m/s～0.6m/sと大きく減速しており、設置位置を高くしたことによる流速低減効果が明確に現れている。アユの遡上を確認した2000年5月5日の水深が29.2cmと魚道設置前の上限とされた水深25cmを上回っていてもアユは遡上できた理由としては、この堰上げ現象による可能性が高い。②における最も流速が速い箇所は水面から3cmの位置で、流速は2.45m/s、最も遅い箇所は水面から12cmの位置・魚道底部から3.5cm地点で、流速は1.81m/s（C線）であった。C線でも、8cmのアユにとって、毎秒体長

の22.6倍の流速となるが、遡上状況の観測日には多くのアユが確認されており、アユは一般にいわれている以上の突進能力がある可能性が示唆される結果となった。上記の観測日とは異なるが、減水時には図16のように水中で棲息する生物のうち、最も泳ぎを不得意とする生物のひとつといえるトビゲラの種などの通過が多数確認されている。このことは、本魚道がアユなどの泳ぎを得意とする魚種だけに適した魚道ではなく、水中に棲む多様な生物にとっても自然河床の段差部を通過するのに似た環境として受け入れられていることを意味する。

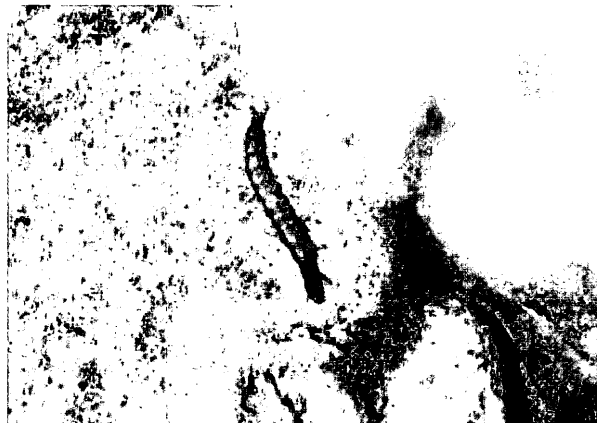


図16: 泳ぎが不得手なトビゲラの遡上

#### 4 まとめ

設計指針と設置後の追跡調査により得られた棚田式魚道の水理特性と遡上状況についてまとめれば以下のようになる。

- 1) スリット部を設置したことと縦断方向と横断方向の勾配を変えることにより、小流量時においても遡上経路が確保されており、実際に魚類の遡上を確認された。
- 2) 開口部を180度と広くしたことにより、上り口を見失う可能性が低くなっていると考えられ、観測においてもそれを示唆する遡上を確認された。
- 3) プール水深を浅くすることとプール隔壁から底面にかけてスロープ状にしたことにより、土砂が堆積しない構造となった。この効果は、実際の洪水後の調査により確認された。
- 4) 流速調査により、本魚道の流速は自然石の粗度などにより、ほぼ適正に制御されていることが確認された。
- 5) 魚道最上流部のプール隔壁設置高を床固工の天端高よりも高くすることにより、魚道上流部における遡上障害が低減した。
- 6) アユの最大突進速度はこれまでいわれていた毎秒体長の18倍よりも大きい可能性がある。

ここで得られたいくつかの結果は、短時間における生物対象の調査によるものであるため幾分定性的ではあるが、本棚田式魚道が、自然石の間を流下する流れを模した近自然型の魚道として有効に機能することは明確になったものと考えている。今回の調査を通じて、

河川の環境や景観の中に無理なく溶け込んでいく構造物こそが、水中で棲息する生物にとっても受け入れやすいものであるとの感触を得た。今後も調査を継続し、水棲生物にとって重要なファクターが何であるのかを定量的な形で明らかにしていきたい。

#### 引用文献

- [1] 農林水産省構造改善局建設部設計課監修 (1994) : よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針, (社) 農業農村整備情報総合センター, pp.49-57.

- [2] 和田吉弘 (1993) : 長良川のアユづくり, 治水社, pp.114-138.
- [3] (財) ダム水源地環境整備センター (1991) : 魚道の設計, 山海堂, pp.170-171.
- [4] (財) リバーフロント整備センター編集 (1995) : 魚道のはなし, (財) リバーフロント整備センター, p.89, 134, 169.
- [5] (財) リバーフロント整備センター編集 (1998) : 魚のすみよい川づくり「魚からみた落差工への配慮事項」, (財) リバーフロント整備センター編集, pp.27-28.

〔この論文に対する公開の質疑または討議は2004年6月30日まで受け付けます。〕