

急勾配斜路式魚道の現地溯上実験報告

THE EXPERIMENT REPORT ON RUN OF FISH IN THE STEEP SLOPE FISHWAY

神野忠広¹・岩田幸雄¹・関谷 明²

Tadahiro KANNO, Yukio IWATA and Akira SEKIYA

¹正会員 国土交通省中部地方整備局 越美山系砂防事務所
(〒501-0605 岐阜県揖斐郡揖斐川町極楽寺137)

²正会員 建設技術研究所 水理砂防部 (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1047-27)

In our country, many places which cannot perform installation of fishway of a loose slope are seen. For this reason, installation of a steep slope fishway is desired now. However, generally it is said that the fishway slope which a fish can run must be a slope looser than 1/10.

Therefore, we experimented by the existing fishway of 1/5 slope. This fishway is the type by which the bouldery was buried in the bottom of waterway. The installation place of fishway is the Oogawara-Daiich sabo dam in the Neo River. In this experiment, we investigated the effect of run of fish using Amago.

As a result, it turned out that the efficiency of run of fish is high.

Since it was thought that this experiment result became design index of steep slope fishway, we report here.

Key Words : a steep slope fishway, bouldery sloping fishway, Amago

1. はじめに

国内の砂防堰堤では、魚道延長が長くとれず、緩勾配魚道の設置ができない場所が多くみられる。

このため、コスト面も含め、溯上可能な急勾配魚道の設置が望まれている。

これに対し、一般に、斜路式魚道の溯上可能な勾配1/10程度までとされている。しかし、現地実験等による確認はあまりなされていない。^{1) 2)}

本検討では、魚の溯上が困難とされる勾配1/5の粗石付きの斜路式魚道を対象に水理量とアマゴの溯上効果を調査し、急勾配魚道を設ける際の一指標とすることを目的とした。

また、既存の粗石付き斜路式魚道の計算方法との比較検討を行った。

尚、斜路式魚道については、筆者も含め様々な検討がなされている^{3) 4)}。斜路式魚道内の流速分布予測については、福井らによる斜面に球体を配し、斜路内の流速分布を求めた水理模型実験報告⁵⁾ などがある。急勾配のものに関しては、斜路部に円筒を設けた研究成果が(旧)建設省土木研究所より報告^{6) 7)} されている。また、岩村

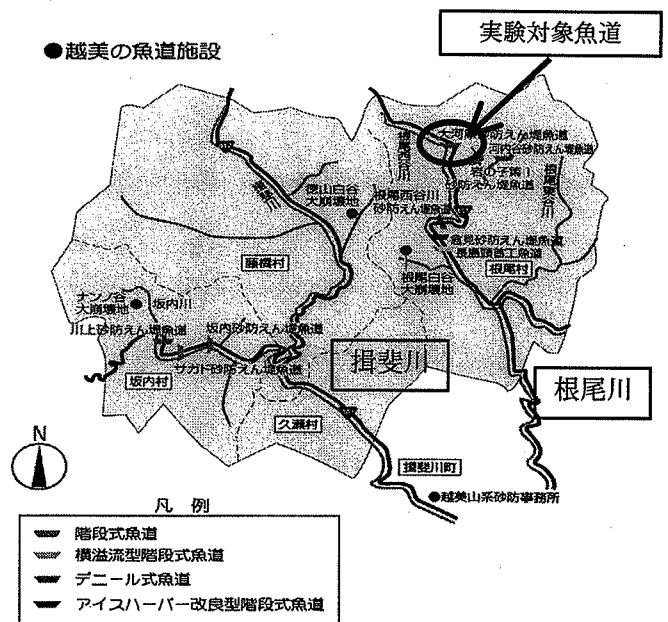


図-1 実験対象地域

による斜面に粗石を配した研究報告⁸⁾ がある。解析方法については、河村により簡易な計算方法^{2) 9)} が紹介されている。

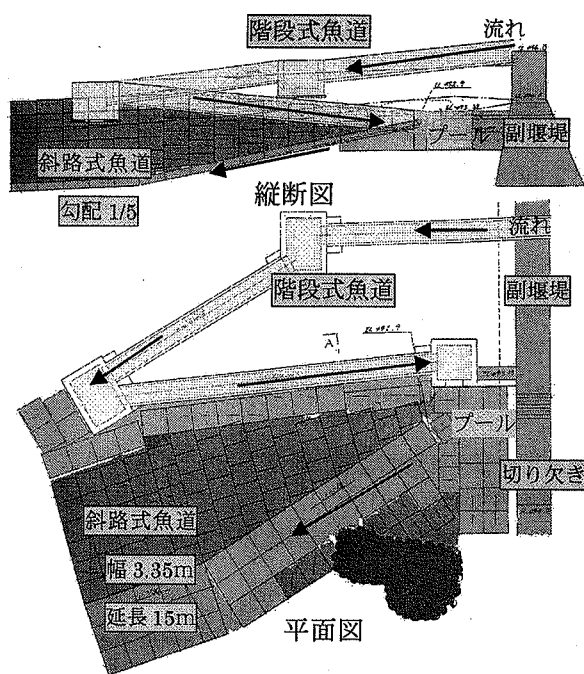


図-2 魚道の形状

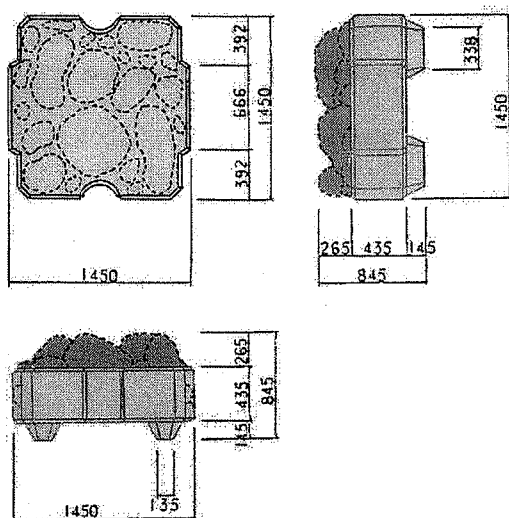


図-3 粗石付きブロックの形状

2. 対象水路の概要

大河原第一砂防堰堤は、図-1に示す根尾西谷川上流に設けられた施設であり、魚道は堰堤の右岸側に位置する。

魚道は、図-2に示すように堰堤に直結する上流側が階段式魚道、プールをはさみ、その下流側が本検討対象とした斜路式魚道となる。

斜路式魚道は、幅3.35m、流路延長約15.0m、勾配1/5の急勾配水路であり、図-3に示す粗石付きのブロックが水路床に敷設されている（写真-1参照）。

粗石は図-4に示すように長径約48cm、中径、短径約25cmの自然石を表面にちどり状に敷設したもので、充填密度（斜面の面積に対する粗石部の占める投影面積の比

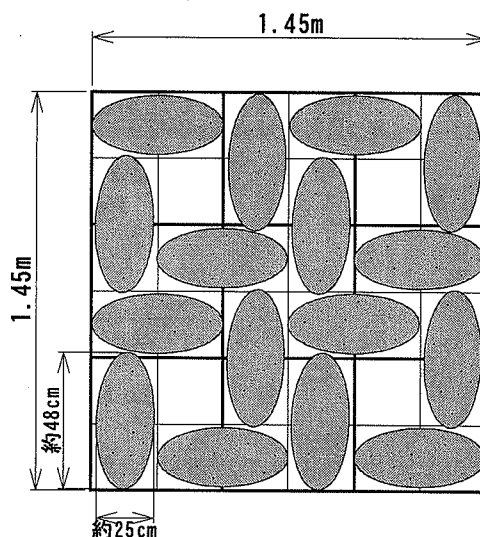


図-4 粗石の配置

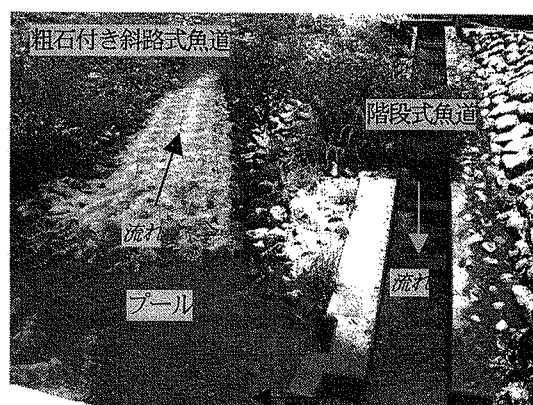


写真-1 粗石付きの斜路式魚道

率）は約0.7である。

3. 現地実験の概要

(1) 実験内容

実験では、斜路式魚道に流入する流量と魚道内の流速分布および対象魚であるアマゴの溯上率を調査した。

斜路式魚道の流量は、副堰堤の切り欠き部と階段式魚道の流量を算出し、その和とした。流速は、プロペラ式流速計を用い、縦断方向に6側線、横断方向5点、深さ方向3点計測した。

溯上実験は、斜路式魚道の下流を完全に網で仕切り、そこに約500尾のアマゴを放流し、魚道上流端のプールに溯上した個体の数を調査した。調査時間は、放流後68時間とした。

(2) 実験時期

アマゴの溯上は、水温変化が顕著となる春先の出水後、秋の産卵期の前で活発になることが知られている^{10) 11)}ため、秋の産卵期前である9月～10月の期間に行った。

(3) 環境条件調査

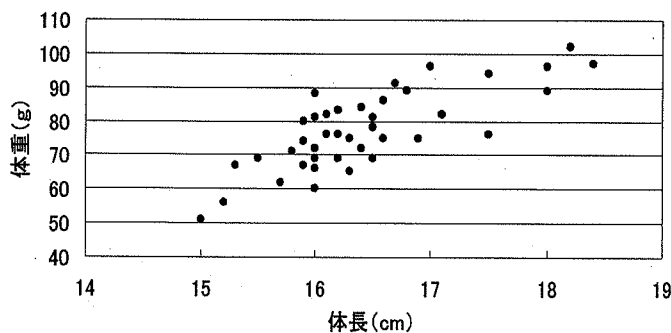


図-5 アマゴの体重と体調

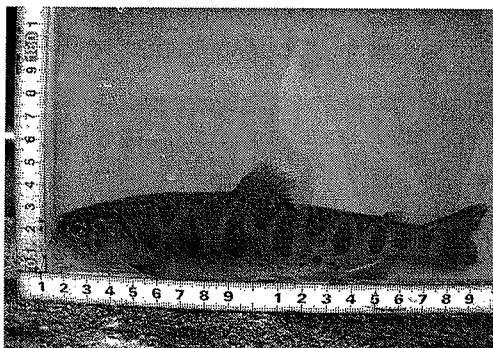


写真-2 実験で使したアマゴ

環境条件として溯上調査期間の天気、水温、照度を調査した。

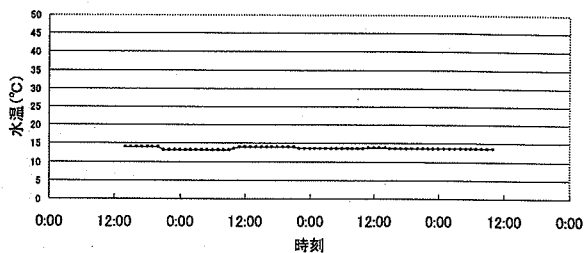


図-6 水温条件

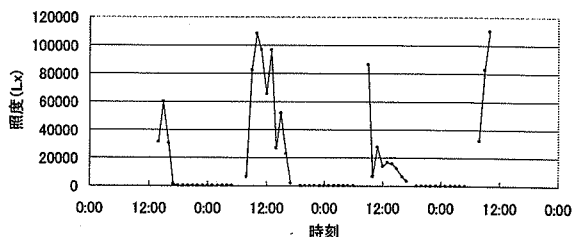


図-7 照度条件

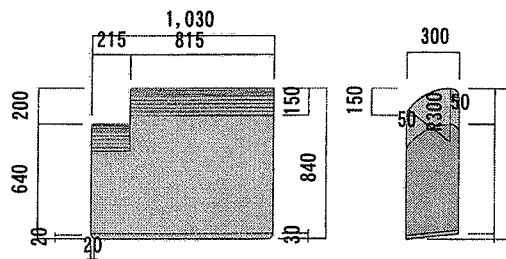


図-8 階段式魚道の隔壁諸元

4. 対象魚について

(1) アマゴの遊泳速度

一般にサケ科の魚の遊泳速度は、巡行速度が体長の3～4倍、突進速度が体長の10倍以上といわれている^{12) 13)}。

また、体長10cmのアマゴの巡行速度が40～50cm/s、突進速度が150cm/sを示した事例¹⁾がある。

(2) 実験で使したアマゴ

実験では、根尾川流域の養魚場（根尾川の水でアマゴを飼育しており、水質、水温等が現地環境とほぼ合致した条件の魚）より入手した個体を用いた。また、実験に際し、約1日間、対象となる斜路式魚道の下流で遊泳訓練を行った。

体長と体重は、図-5示すように体長約15～18cm、体重50～100 gの個体である。

5. 現地実験時の環境条件

実験時の環境条件は、以下のとおりである。

a) 実験日時

平成15年9月29日～10月3日

b) 水温

水温変化は、図-6に示すように昼間で約13～14℃と地

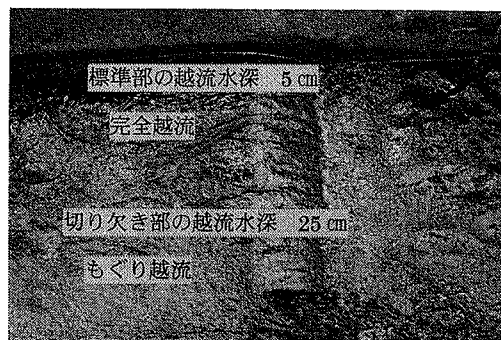


写真-3 階段式魚道の流況

下水と同程度であり、日変化が小さい条件下であった。

c) 照度

照度は、図-7示すように昼間と夕暮れ時の照度変化が大きい条件を示した。

一般に魚の遊泳に適した水温は、10℃前後^{1) 2) 10) 11) 13)}とされている。また、視覚の発達した浮遊魚は、照度の変化に敏感であり、日の出、日の入り時の照度変化が大きくなる時間に溯上行動が活発になる^{1) 2) 10) 11) 13)}とされている。

このため、本実験時では水温が平均で約13.5℃を示し、照度も昼間で約100000Lxを示し、かつ夕暮れ時の照度変化も大きく、アマゴの遊泳環境として適していたものと判断できた。

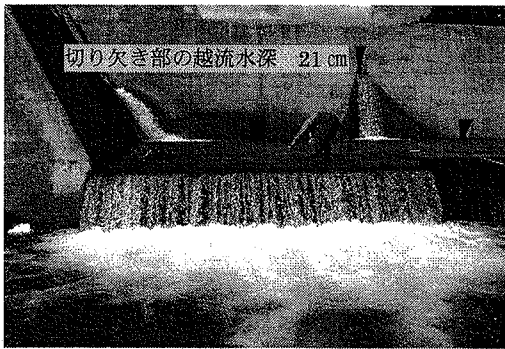


写真-4 副堰堤の流況

表-1 根尾川の比流量

比流量 (m ³ /s/100km ²)	
豊水	10.33
平水	6.91
低水	4.42
渇水	2.81
年平均	9.25

表-2 大河原の流量

大河原 (m ³ /s)	
豊水	1.76
平水	1.17
低水	0.75
渇水	0.48
年平均	1.57

※ 流域面積17km²として

6. 水理条件

(1) 斜路式魚道の流量

実験時、副堰堤からの流れは写真-4に示すように右岸切り欠き部のみの越流であるため、斜路式魚道の流下流量は、副堰堤の切り欠き部からの流れと階段式魚道からの流量の和となる。

階段式魚道の越流水深は、標準部で約0.05m、切り欠き部で0.25mであった（写真-3参照）。魚道の隔壁形状は図-8に示すように魚道幅1.0m、隔壁厚0.2m、切欠き高0.2m、切欠き幅0.2mである。

これより、魚道内流量を標準部、切欠き部と分けて式（1）、式（2）¹⁴より算出すると、標準部で約0.017m³/s、切り欠き部で約0.021m³/sとなり魚道での流量は計0.038m³/sとなる。

・完全越流

$$Q = 0.61b \cdot h_1^{3/2} \cdot g^{1/2} \quad (1)$$

・もぐり越流

$$Q = bh_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2)$$

h_1 : 越流水深, h_2 : 下流側の水深

副堰堤切り欠き部の越流水深は、0.21mであった。流量は、Govinda-Raoの長方形堰の公式（式（3））¹⁴より求めると約0.751m³/sとなる。

$$Q = CBh^{3/2} \quad (3)$$

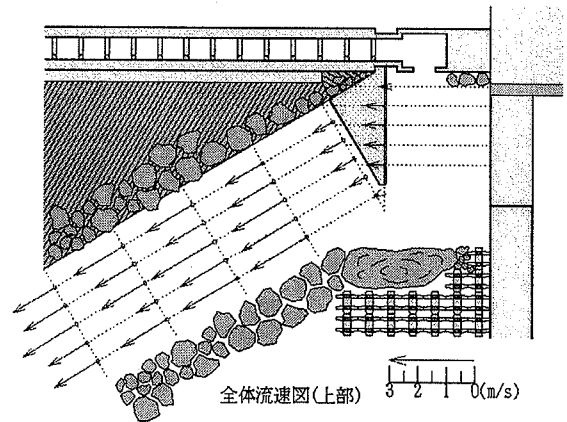


図-9 水面近傍の平面流速分布図

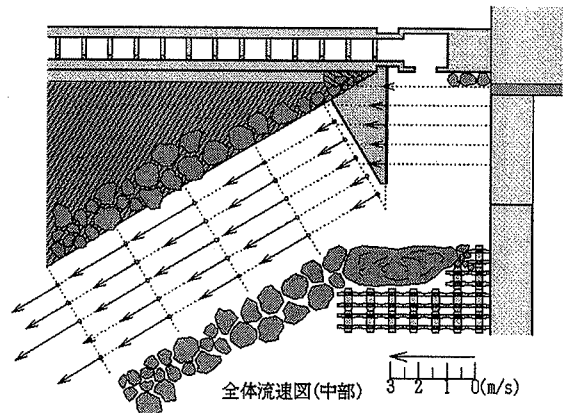


図-10 5割水深の平面流速分布図

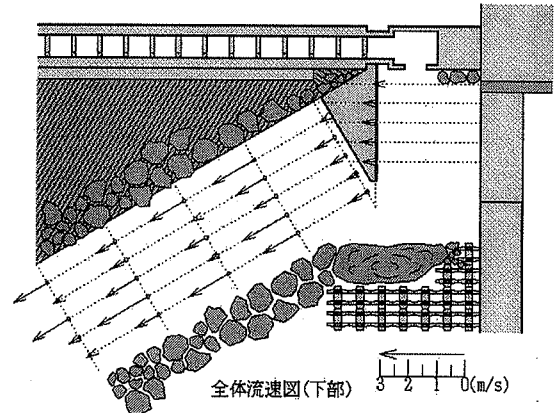


図-11 床板上の平面流速分布図

$$C = 1.552 + 0.083 (h/L) \quad (4)$$

(0.1 < h/L ≤ 0.4)

Q : 流量 (m³/s) ; B : 幅 (m)

h : 越流水深 (m) ; C : 流量係数

L : 堰長 (m) ; $h/L = 0.105$

これより、斜路式魚道の流量は、約0.8m³/sとなる。

ここで、根尾川の比流量は、表-1に示すとおりであり、大河原第一砂防堰堤の流域面積を17km²であることから大河原の年間流量は表-2に示す値となる。従って、本実験時の流量が低水時程度であり、アマゴの産卵時期（9

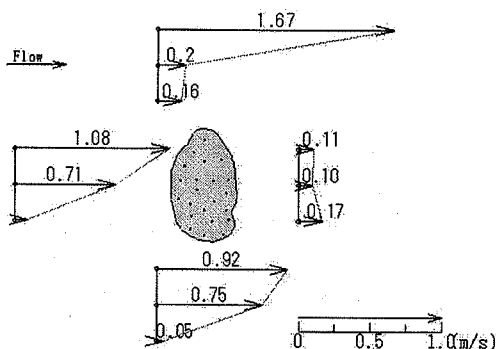


図-12 粗石周りの流速分布

月下旬から10月下旬)としては一般的な流量条件であると判断できた。

(2) 斜路式魚道の流速

a) 平面分布

流速分布は、縦断方向に6側線、横断方向5点、深さ方向3点で計測した。

計測結果は、図-9, 10, 11に示すように深さ毎に整理した。

まず、縦断的な流れについてみると、上流から下流まで加速されず、一定の流速値を示すことより、粗石による流速減勢効果が発揮されていると判断できた。

深さ方向でみると、水面近傍、5割水深での流速平均は約1.99m/sを示すが、床板上では、約1.0m/sとなる。

個々の値についてみると最大値で約2.7m/s程度を示す地点もみられるが、横断、縦断、鉛直ともに連続はしていない。

b) 粗石周りの流速

斜路式魚道のほぼ中央に位置する粗石を抽出し、粗石の左右上下4点を対象に、深さ方向3点について流速を計測した。

結果、図-12に示すように粗石上流表面で流速約1.0m/sを示す流れが、粗石下流では、約0.1m/sとなり、粗石下流側で流れが減勢されることが確認できた。また、これより、粗石下流がアマゴの定位休息可能な流速場となっていることが予測できた。

(3) 流速からの溯上予測

一つの事例として、アマゴの突進速度は、先に記したように体長の15倍程度という報告¹³⁾がある。

産卵溯上期のアマゴの体長は、約16.5cmであり、突進速度は約2.5m/sとなる。従って、この指標より判断すると、アマゴは、斜路式魚道内において溯上可能となることがわかる。

別の事例では、突進速度1.5m/sという報告もみられ¹²⁾、この指標から判断すると、水面および5割水深程度までは、溯上が困難となるが、床板上では、十分、溯上が可能であることがわかる。

以上より、水理的に斜路式魚道での溯上効果を予測すると、アマゴの休息空間が粗石下流側に確保されている

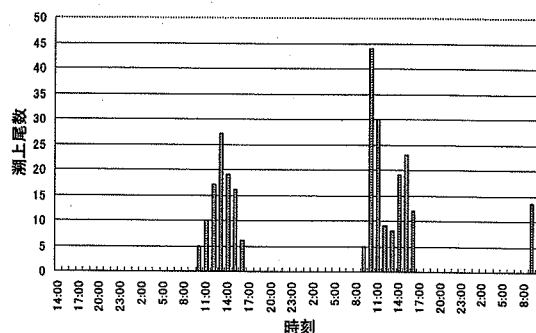


図-13 目視による時間毎のアマゴの溯上

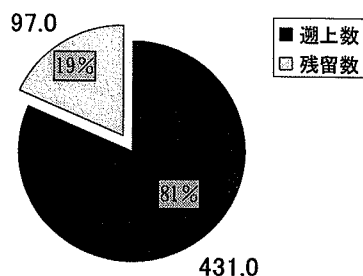


図-14 溯上尾数と残留数

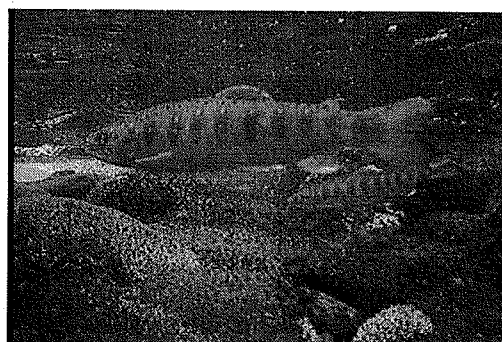


写真-5 斜路式魚道を溯上するアマゴ

こと、床板近傍流速がアマゴの突進速度以内であることより、十分、アマゴの溯上が可能な流況を形成していると判断できた。

7. 溯上実験の結果

各時間毎のアマゴの溯上尾数をカウントしたものが、図-13である。また、溯上実験時間68時間でのトータルの溯上尾数は、図-14に示すように放流数528尾中、431尾の溯上が確認できた。

溯上率は、約81%となり、斜路式魚道内の流れが高い溯上効果を示すことがわかった。

8. 数値計算との比較

粗石付きの斜路式魚道の設計に用いる断面平均流速は、式(5)²⁾⁹⁾を用いている。

これより、本対象水路の形状および水理諸元を用い断面平均流速を算出すると約2.4m/sとなる。

現地実験結果は最大値2.7m/s、5割水深での平均値2.0m/sとなり、現地の値に比べ、早い値を示すことがわかった。

$$\frac{U}{u_*} = 1.18 \exp(1.1 \varepsilon e^{-0.8 \sigma} e^{5.5 I} (\frac{d}{D_{84}})) \quad (5)$$

$$\varepsilon = 2.28 e^{-0.82 \lambda} \quad (6)$$

$$u_* = \sqrt{gRI} \quad (7)$$

U : 平均流速 ; u_* : 摩擦速度

d : 水深 ; I : 勾配

R : 径深 ; ε : 充填係数

D_{84} : 84%粒径 ; λ : 河床面積に対する粗石の面積比

これより、数値解析で粗石付きの斜路式魚道の設計をする際は、算出される流速が安全側の値であることを念頭に置く必要があることがわかり、溯上空間が床板近傍となる魚については、緩い条件設定となることがわかった。

9. まとめ

本現地実験結果を整理すると以下のものであり、環境条件、水理条件共に、溯上実験に適した条件であり、短期間の実験結果ではあるが、溯上期のアマゴの遊泳活動を評価できるものと判断できた。

(1) 粗石付き斜路式魚道の形状

- ・勾配=1/5
- ・水路幅=3.0m
- ・粗石径=50×25×25cm
- ・充填密度=0.7

(2) 水理条件

- ・階段式魚道の流量=0.038m³/s
- ・副堰堤からの流量=0.751m³/s
- ・斜路式魚道の流量=0.789m³/s

(3) 環境条件

- ・実験日時: H15年9月29日～10月3日
- ・溯上実験時間: 68時間
- ・水温=13～14℃
- ・照度=0～100000Lx

(4) アマゴの溯上実験結果

- ・アマゴの体長=15～18cm ; 平均16.5cm
- ・アマゴの体重=50～100g ; 平均78g
- ・放流数=528尾
- ・斜路部溯上数=431尾/68時間
- ・溯上率=81%

10. おわりに

以上より、急勾配1/5の斜路式魚道においても粗石を配することで魚の溯上は可能となることがわかった。

従って、急勾配の斜路式魚道を設計する際は、粗石による流速減勢効果が溯上効果を支配するため、粗石の粒径、配列、充填密度が重要であると判断できた。

流速を予測する際は、式(5)を用いることで安全側ではあるが、溯上の是非を判断する指標を得られることがわかった。

尚、魚道延長が長距離となる場合は、本検討対象としていないため、適用に当たっては休憩プール等、他の事項が必要となる。

謝辞: 本現地実験にあたっては、中部学院大学和田吉弘副学長に多大なるご指導を頂きました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 和田吉弘: 人と魚の知恵くらべ, 岐阜新聞社, pp. 40-42, 172-174, 2000.
- 2) (財)ダム水源環境整備センター編: 最新魚道の設計, 信山社サイテック, pp. 257-264, 326-329, 1998.
- 3) 漆山敬二, 関谷明, 柏井条介, 村岡敬子: “粗石魚道の水理特性”, 第51回土木学会年次講演会公演概要集, 1996
- 4) 久保田哲也, 中西章, 谷口政由貴: “砂防施設の斜路式魚道における溪流魚の溯上水理条件”, 砂防学会誌, 229号, 2000
- 5) 八田哲郎, 福井吉孝, 他: “横勾配を持つ粗石付き緩斜路魚道について”, 河川技術に関する論文集, 第5巻, 1999
- 6) 柏井条介, 菅原崇之: “円筒を抵抗とした水路式魚道のアユの溯上実験”, 土木技術資料, Vol. 35, 1997
- 7) 桜井力, 柏井条介, 他: “コンクリートブロックを用いた粗石式魚道の水理および溯上特性”, 水工学論文集, 第44巻, 2000
- 8) 岩村勉: “植え石つき斜路型魚道の研究”, 全国魚道実践研究会議2003in岐阜論文集, 2003
- 9) 河村三郎: 魚類生息環境の水理学, (財)リバーフロント整備センター, pp. 8-11, 2003.
- 10) 宮地伝三郎, 川那部浩哉, 水野信彦: 原色日本淡水魚類図鑑, 保育社, pp. 80-86, 1992.
- 11) 加藤憲司: ヤマメ・アマゴの生態と釣り, つり人社, 1990.
- 12) 千田稔: 自然的河川計画, 理工図書, pp. 42-44, 1992
- 13) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六編: 河川生態環境工学, 東京大学出版会, pp. 74-78, 1993.
- 14) 土木学会編: 昭和60年度版水理公式集, 土木学会, pp. 283-288, 1980

(2004. 4. 7受付)