

透過性パイプを用いた小段式台形断面魚道の 提案とその効果

PROPOSAL OF FISHWAY WITH POROUS PIPES SETTLED ON SMALL STEPS IN TRAPEZOIDAL SECTION AND EFFECT OF PROPOSED FISHWAY ON MIGRATIONS OF AQUATIC ANIMALS

安田陽一¹・大津岩夫²・高橋正行³・森永正則⁴・三村進二⁵

Youichi YASUDA, Iwao OHTSU, Masayuki TAKAHASHI and Shinji MIMURA

¹正会員 博士(工学) 助教授 日本大学理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8)

²正会員 工博 教授 日本大学理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8)

²正会員 博士(工学) 助手 日本大学理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8)

⁴河港課長 長崎県大瀬戸土木事務所 (〒857-2301 長崎県西彼杵郡大瀬戸町板浦郷 1128-16)

⁵情報企画課係長 長崎県建設技術研究センター (〒856-0026 長崎県大村市池田 2-1311-3)

Recently, Yasuda et al. have proposed the fishway with small steps in trapezoidal cross section for the migration of benthic fishes and crustaceans (i.e., shrimps and crabs). In this case, as the fishway has a slope of V 1: H 3 and a rest pool for swimming fishes may not be formed at each step, it is difficult for swimming fish to migrate at the upstream through the fishway. For the design of fishway, an economical fishway for the migration of multi-aquatic animals is required.

This paper presents the proposal of fishway with porous pipes settled on small steps in trapezoidal cross section for the migration of multi-aquatic animals. Further, the authors show the effect of the fishway on the migration of multi-aquatic animals such as diadromous crabs, shrimps, and swimming and demersal fishes. By using the video camera, hourly changes of the number of diadromous crab and shrimps i.e., crustaceans were recorded for the upstream migration via the fishway during a 15-hour period at the end of the summer in 2004. The field investigations revealed that juvenile shrimps, crab, and fishes could migrate easily upstream and downstream on the fishway. Further, the velocity distribution around the proposed fishway has been shown under the condition in which multi-aquatic animals could migrate at the upstream.

Key words: fishway, migration, shrimp, crab, demersal fish, swimming fish, Porous pipe

1. まえがき

甲殻類および底生魚の遡上・降河に配慮した3分の1勾配の小段式台形断面魚道(愛称: エコステップ魚道)が提案され¹⁾、東シナ海に注ぐ長崎県西彼杵郡に位置する雪浦川水系の河通川に設置された(写真-1)。生物調査の結果、甲殻類および底生魚が1:1の側面勾配を有する台形断面魚道の水際を遡上・降河することが確認され、魚道の効果が示されている^{1),2),3)}。なお、甲殻類および底生魚ばかりでなく遊泳魚など多様な水生生物が遡上・降河できる恒久的な魚道としては、7分の1勾配を有するプール式台形断面魚道(写真-2)が提案されている⁴⁾。

勾配が3分の1勾配を有するエコステップ魚道は10分の1勾配前後のプール式魚道に比べて施工費用が大幅に抑えられている。この魚道は主に甲殻類・底生魚の遡上・降河に配慮したものであるが、さらに遊泳魚が容易に遡上できれば、経済的な魚道を迅速に整備するための有効な手段となる。

安田らは3分の1勾配の傾斜面の水際に設置可能な梯子型透過性簡易魚道を提案し、東京都と神奈川県を流れる多摩川の調布堰において適用し、甲殻類、底生魚の遡上を容易にしたばかりでなく遊泳魚の遡上(写真-3)を可能にした事例を示している^{5),6)}。この事例では透過性の蛇籠を使って魚道内に休憩用のプールが形成されるようにしている。

透過性であるため、射流の状態で飛び跳ねず、プールが形成されやすい特徴を生かし、耐久性があり透過性のあるパイプを用い、これをエコステップ魚道内に設置することで堰上げを生じさせ、プールを形成させることができることを見出した。また、長崎県雪浦川の流路工に整備される魚道として、この透過性パイプを設置したエコステップ魚道を設置することになった(写真-4)。

ここでは、透過性パイプを用いた小段式台形断面魚道の特徴を示し、魚道内の水理特性および魚道の適用性を明らかにした。また、施工された魚道の生物調査を行った結果、日中は遊泳魚および底生魚の

遡上が、日没後は甲殻類および底生魚の遡上・降河が認められたので、それらの遡上・降河記録を示す。さらに、遡上した水生生物(3種類の遊泳魚、3種類のエビ、4種類のハゼ、およびモクズガニ)の中にカワアナゴの遡上が認められ、透過性パイプを用いた魚道が多様な水生生物に適した魚道であることを示すことができた。

2. 透過性パイプを用いたエコステップ魚道の特徴

提案した魚道の特徴を以下にまとめる。

- ・ 総落差は2m、ステップ高さは10cmである。透過性パイプは直径20cm、長さ80cmのものを使用している。なお、最上流部1番目のパイプについてはパイプに接近する流速が2番目以降のパイプに比べて大きくなることから、安定したプールが形成されやすくするため、高さを30cmとしている。
- ・ 3分の1の勾配を有するエコステップ魚道において休憩用のプールが形成されるように、ステップ一段おきに透過性パイプが設置されている。なお、側壁の傾斜角度は甲殻類・底生魚の遡上・降河を可能にするため45°にしてある。
- ・ 遡上・降河する水生生物の迷入防止を図るため、階段式落差工の上下流端と魚道上下流端が揃えられている(写真-4参照)。また、魚道天端は落差工の天端より15cm程度低く、河川の流量がある程度以上達すると、通常時でも落差工を越流する流れが形成され、甲殻類、底生魚が遡上可能な状況にもなっている。
- ・ 透過性パイプの中にステンレス製の鎖を通し魚道側壁に固定している。また、パイプ自身が軽量であるため、透過性パイプ内に6cm径前後の礫を投入し、パイプ自身の重量を大きくさせて、通常の流れによってパイプが振動せず安定するようにしている(写真-4)。
- ・ 透過性パイプは網目構造であるため、パイプを横断して浸透する流れとなる。また、腐食ににくい素材であるため耐久性に優れている。万一パイプが破損しても安価に交換ができる。
- ・ 透過性パイプが階段状水路に設置されているため、遊泳魚や底生魚がプール内で休憩し容易に遡上できる環境を作り出している。
- ・ 対象河川の通常流量規模および透過性パイプの耐久性を考慮し、底面幅1.0mの魚道を並列に設置した。また、護岸に沿って遡上・降河する甲殻類への配慮ならびに呼び水効果を図るため、透過性パイプを設置していないエコステップ魚道が護岸側に沿って設置されている。

なお、透過性パイプを用いたエコステップ魚道(写真-4)は落差が1～2m程度であるときに有効であるが、落差が2m以上あるところではプール式台形断面魚道(写真-2)⁴⁾が有効である。



写真-1 河通川に設置された1/3勾配のエコステップ魚道

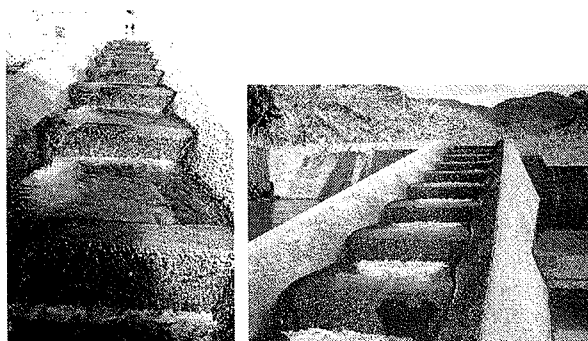


写真-2 1/7勾配を有する台形断面プール式階段魚道

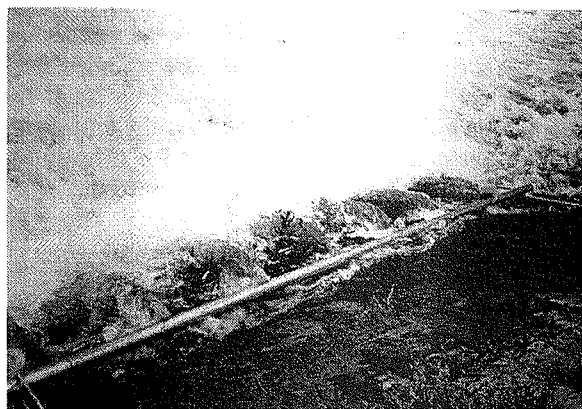


写真-3 1/3勾配に設置された梯子型透過性魚道

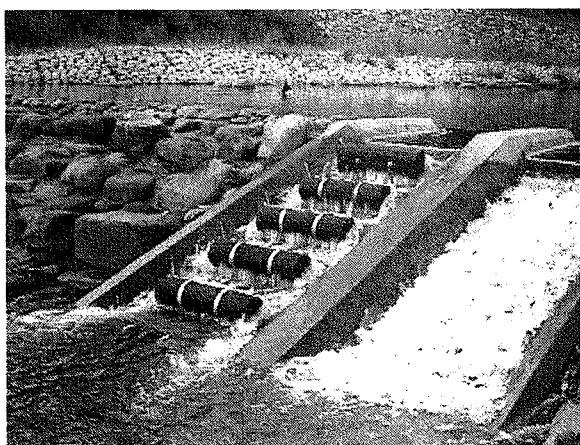


写真-4 透過性パイプを敷設したものと敷設していない1/3勾配のエコステップ魚道

3. 実験方法および現地調査方法

3. 1 提案魚道の水理実験方法

提案魚道の水理特性を知るため、2分の1縮尺の魚道模型(図-1)を用い、日本大学理工学部環境水理実験室内の長方形断面水路(幅 80cm)で実験を行った。また、透過性パイプを魚道模型に設置した。魚道内の流速特性を知るためにI型2次元電磁流速計を用い、流下方向および横断方向の時間平均流速を計測した。さらに、実験ではパイプ内に礫が詰まっている場合と詰めていない場合との比較を合わせて行なった。

3. 2 提案魚道の現地調査方法

提案魚道を遡上・降河する水生生物の種類および遊泳魚・甲殻類・底生魚の遡上・降河に対する提案魚道の効果を調べるために、2004年9月、10月、に遡上調査および生物調査を行なった。なお、遡上調査は日本大学理工学部土木工学科水理研究室が行い、生物調査は長崎県大瀬戸土木事務所依頼のコンサルタントが行なった。

遡上調査は2004年9月4、5日に行い、1時間ごとの水温、気温、照度、流量(魚道上流端の天端で生じる限界水深)の測定を行なった。また、遡上の確認は魚道天端での目測に加え、透過性パイプを有する魚道天端に設置したビデオカメラを用いて継続的に撮影記録を行なった(写真-5)。なお、夜間の場合、目測は不可能になるため、赤外線ライトを用いたビデオを3台用いて遡上・降河の撮影記録を行なった。なお、夜間は遊泳魚の遡上はほとんどなく、甲殻類の遡上が頻繁になることから、護岸にそった透過性パイプのない小段式台形断面魚道上流端の両側壁を中心に撮影記録を行なった[写真-5(2)参照]。

生物調査は9月16日・17日および10月14日に実施され、魚道上流端にトラップおよび定置網を設置し、定期的に生物の種類数、個体数を測定している。この場合、水温、気温、水深等が測定されている。

4. 透過性パイプを有するエコステップ魚道内の流況

透過性パイプを有する小段式台形断面魚道における流況はパイプの相対高さ、すなわちパイプ径と限界水深との比によって4つに区分される(図-2)。なお、魚道勾配、パイプの透過性、魚道長、側壁勾配、および小段高さは現地に対応し設定されている。

図-2に示されるように、透過性パイプの隙間を流れる流況(Type1)、透過性パイプが置かれたステップ内のみ潜り込み流れが形成される流況(Type2)、透過性パイプ間の領域に潜り込み流れが形成される流況(Type3)、および透過性パイプ前方に表面渦が形成されなくなり、射流で流下し始める流況(Type4)が存在する。Type4の流況は、

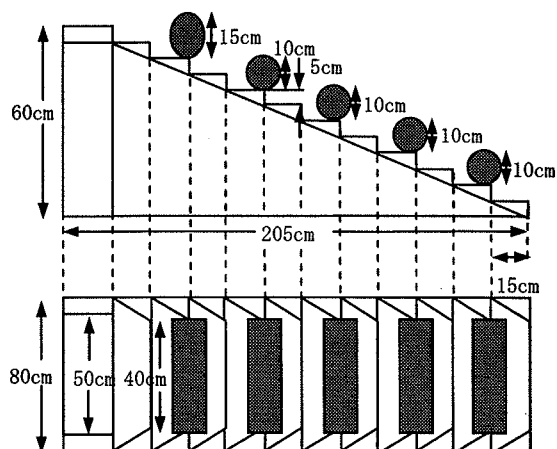
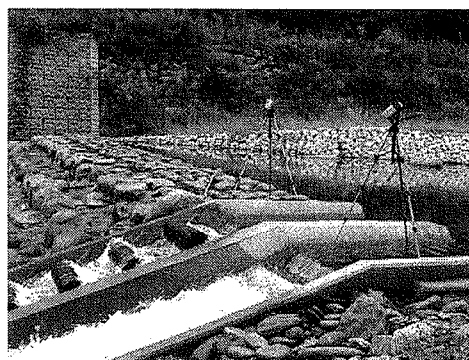
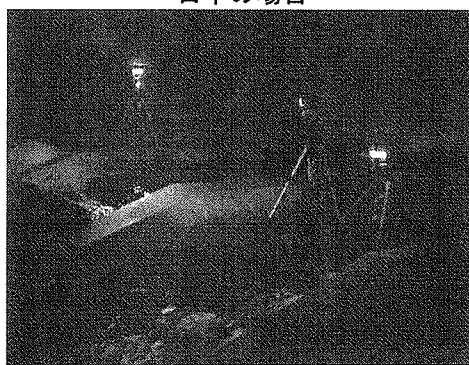


図-1 エコステップ魚道模型図



日中の場合



夜間の場合(赤外線ライト使用)

(1)

(2)

写真-5 ビデオカメラ設置位置

相対パイプ高さの程度によって2番目以降の透過性パイプ周辺の流況が射流になったり表面渦を伴う流れになったりする。

水生生物の遡上環境から各流況を比較すると、遊泳魚および底生魚にとっては休息可能なプールが確保されるType3の流況が遡上に適した流況であるものと推論される。また、Type2の場合、潜り込み流れはパイプが設置されたステップ上に形成されるものの、パイプ脇の流れの水深が小さくなり、特に遊泳魚の遡上には適していないものと考えられる。

5. 各流況の形成領域

Type1からType4の各流況の形成領域を図-3

に示す。図中の h は 2 番目以降の様なパイプ径を示す。また、限界水深 dc は魚道天端の台形断面において限界流の条件(1)から求めたものである。

$$\frac{\alpha T Q^2}{g A^3} = 1 \quad (1)$$

ここに、 A は流積であり、 $A = (B + dc)dc$ で示される。また、 g は重力加速度、 T は水面幅であり、 $T = B + 2dc$ で示される。さらに、 α はエネルギー補正係数であり、実用上 1 とみなしている。

図中の横軸はパイプの中に空隙率を示し、模型実験ではパイプに礫を詰めた程度によって形成領域がどの程度影響するのかを検討した。パイプ内全体に(実規模で平均径が 6cm 程度の)礫が投入されると、約 78% 程度の空隙率となる。

遊泳魚の遡上に適した流況 Type 3 が形成される領域について、図に示されるように、流量規模を示す限界水深 dc はパイプ径の 20% から 90% となる。施工されるパイプ径は 20cm 程度であることから、4 cm から 18cm の限界水深を有するときに遡上可能な状態になる。なお、魚道上流端の越流水深で考えると、単純計算(限界水深の 1.5 倍)で 6cm から 27cm 程度となり、対象河川の通常流量を包含する結果となる。

なお、パイプ内に礫が投入されることによって遮蔽効果が高まり、Type3 の形成領域が幾分大きくなった。

6. 提案魚道の遡上調査結果

2004 年 9 月 4 日 5 日に実施した遡上調査結果を図-4, 5 に示す。図に示されるように、気温と水温との違いは小さく、26℃前後を示し、遡上・降河行動に適した温度である。温度変化は小さく、遡上・降河行動を妨げるものではない。また、流量は単位幅流量にして 60 l/s/m 程度である。日中は雲があるものの晴天であり、照度は 12 万 lx まで達した。遡上結果を見てみると、ハゼおよび遊泳魚の遡上が日中認められる。また、夜間においてはハゼの遡上も見られるが、エビ・カニの甲殻類の遡上が顕著である。特に今回の遡上調査ではエビ(ヌマエビ・テナガエビ)の遡上が多く見られた。遡上の観測からは、甲殻類が側壁を利用し、特にモクズガニはパイプを利用して休息する様子が確認された(写真-6)。

県の委託を受けたコンサルタントが生物調査を 2004 年 9 月 16 日・17 日(定置網・トラップによる調査)、10 月 14 日(ビデオ撮影による調査)に実施した。調査結果によると、9 月 16 日正午 12 時から翌日午前 10 時までの間で遊泳魚(アユ 33 匹、カワムツ 2 匹、ボラ 1 匹)、底生魚(ボウズハゼ 2 匹、ゴクラクハゼ 4 匹、ヌマチチブ 1 匹、シマヨシノボリ 4 匹、カワアナゴ 2 匹)の遡上が確認された。

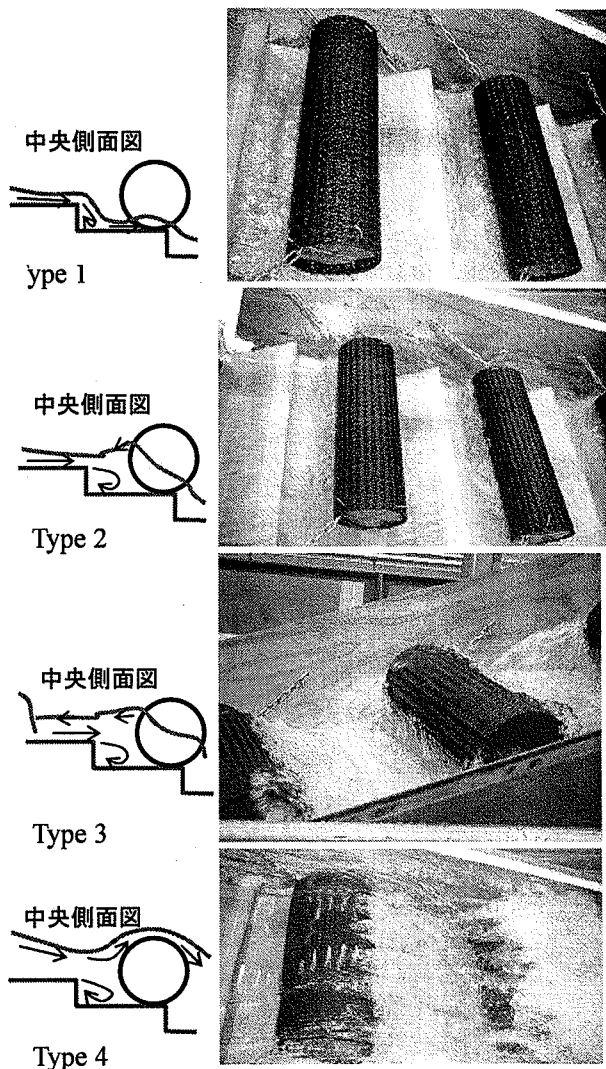


図-2 透過性パイプを有するエコステップ魚道内の流況

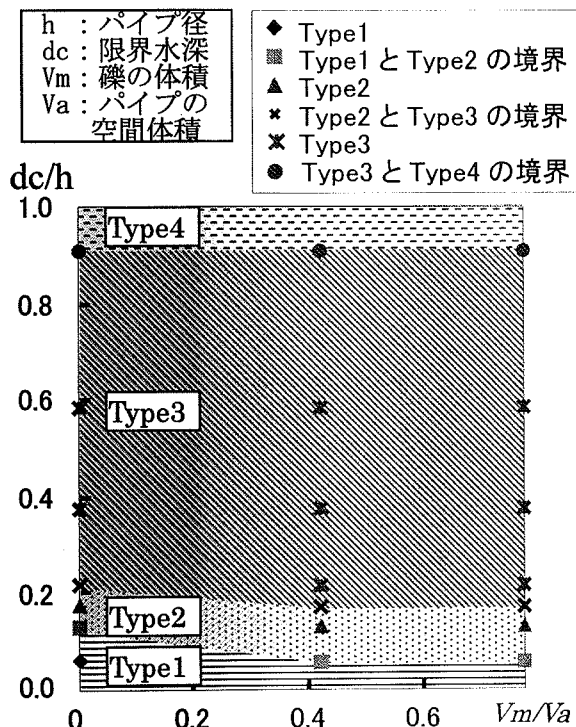
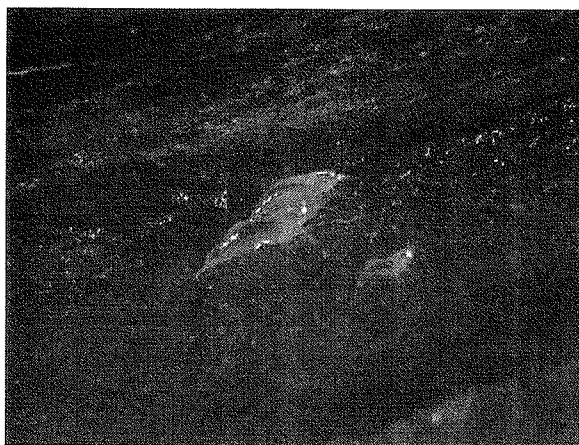
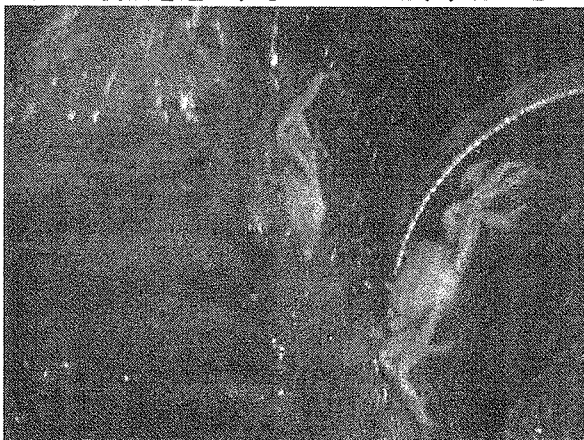


図-3 各流況の形成領域

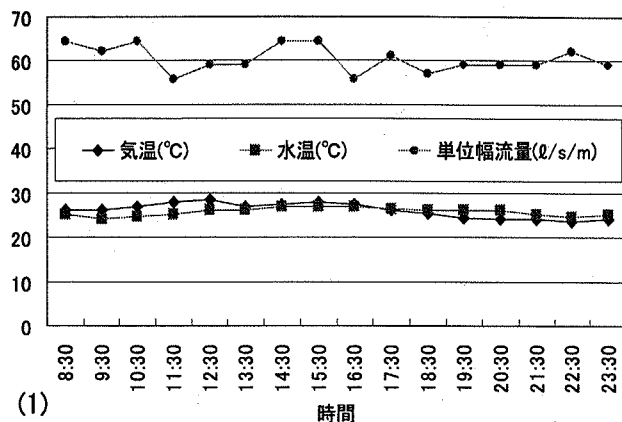


(1) 魚道側壁を遡上するヌマエビとテナガエビ

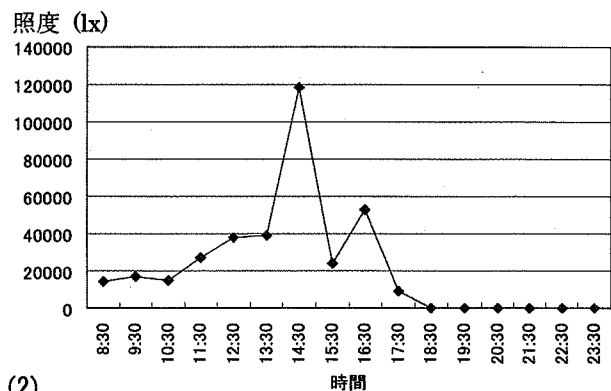


(2) パイプを利用して休息するモクズガニ

写真-6 魚道内での甲殻類の遡上・休息の様子



(1)



(2)

図-4 遡上調査時(2004年9月4日,5日)における単位幅流量・気温・水温・照度の時間変化(日没時間:18:43)

時間帯による遡上数変化

61 170 171

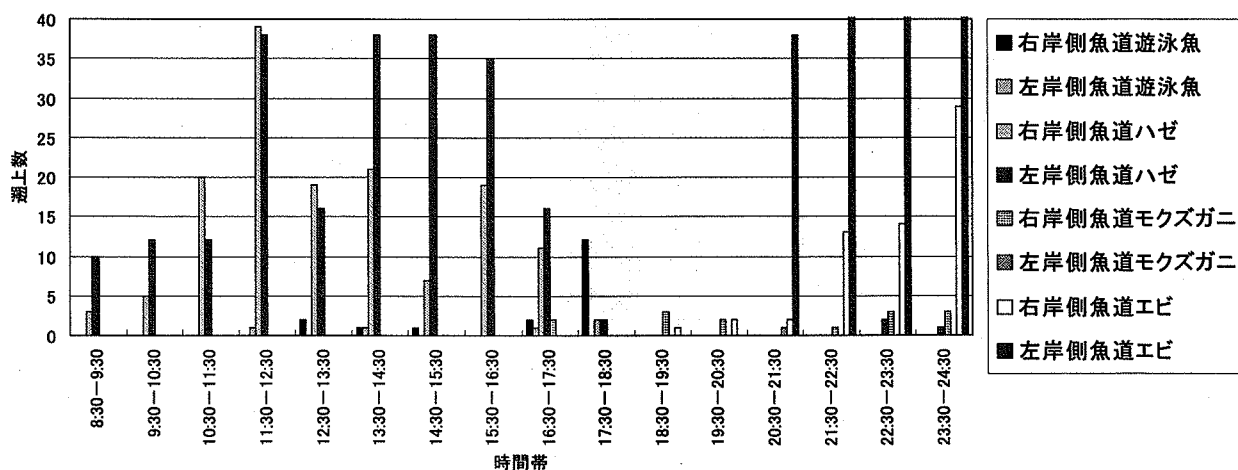


図-5 遡上調査時の時間帯ごとの遊泳魚・底生魚および甲殻類の遡上数の変化

また、甲殻類ではヌマエビ(ヤマトヌマエビ 1 尾), テナガエビ(ミナミテナガエビ 23 尾, ヒラテナガエビ 20 尾), モクズガニ 10 匹の遡上を確認することができた。10 月の調査では、午後 8 時から 10 分間でエビ類 55 尾, カニ類 1 匹の遡上が確認された。

生物調査の結果、3 分の 1 勾配を有する小段式台形断面魚道において、多様な水生生物の遡上に対する魚道の効果が認められた。なお、生物調査当日の水量は多かったため、遡上数は多くなかった。

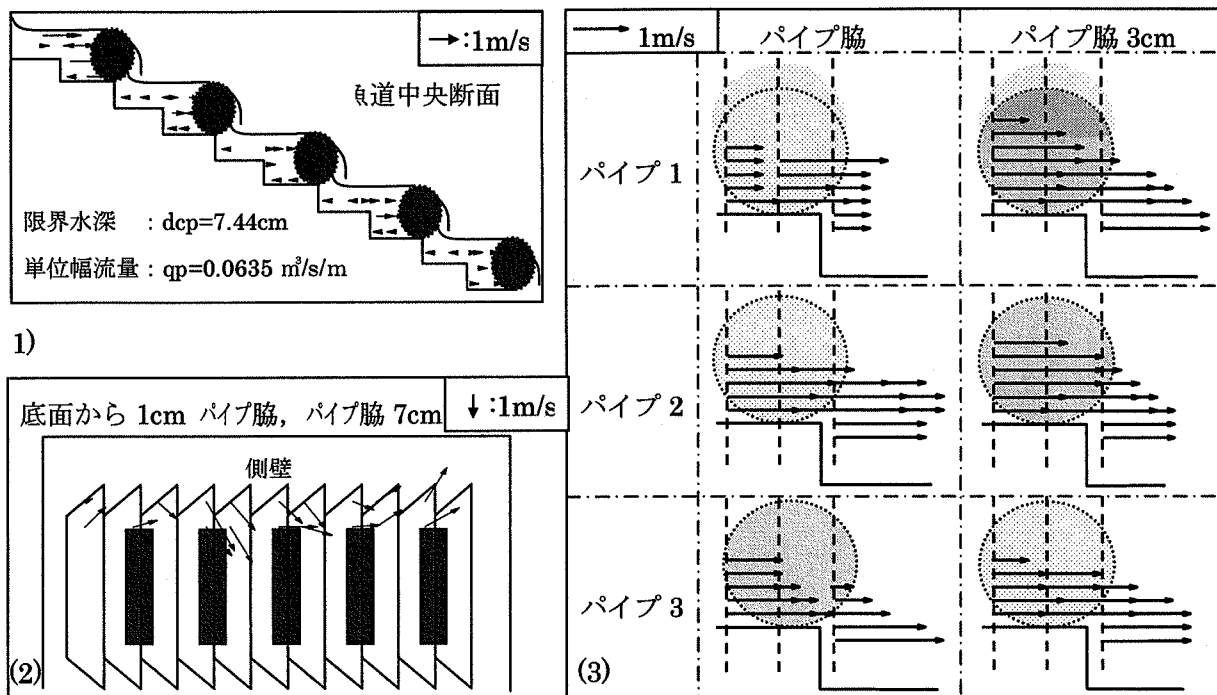


図-6 パイプを設置したエコステップ魚道内の時間平均された平面流速ベクトル

7. 透過性パイプを有する魚道内の流速特性

透過性パイプを設置した小段式台形断面魚道内の時間平均された平面流速ベクトルを図-6に示す。ただし、流況はType 3を対象としている。図に示されるようにパイプ前方に形成されたプール内の流速は1 m/s以下であり、休息可能な状態となっている[図-6(1)]。また、パイプ脇の流速においては、底面付近では流速は1.5m/s程度となるものの、水表面付近では1 m/s またはそれ以下となっている。なお、この実験は遡上調査をしたときの水利条件とほぼ同じ条件のもとでの実験である(図-4 参照)。

8. まとめ

透過性パイプを有する小段式台形断面魚道の水利特性を明らかにし、現地に設置された提案魚道の効果を調べた結果を以下にまとめる。

1. 3分の1勾配を有する小段式台形断面魚道に遊泳魚の遡上を配慮して透過性パイプを等間隔に設置した魚道を提案し、その特徴を説明した。
2. 護岸側に沿った甲殻類の遡上・降河、遡上経路への呼び水効果に配慮して、パイプが設置されていない小段式台形断面魚道を護岸側に、透過性パイプが設置されている魚道を中央側に、並列に設置した。
3. 遡上調査および生物調査によって提案魚道を多様な水生生物が遡上・降河したことを裏付けた。このことから、透過性パイプを使用することによって遊泳魚の遡上が可能になる。
4. 透過性パイプを有する魚道内の流速特性を示

し、プール内では休息可能な流速を示し、パイプ脇では遊泳魚の遡上が可能であることを裏付ける流速結果が得られた。なお、遡上調査と同様な水利条件のもとで実験は行なわれた。

謝辞：本研究を行うにあたり、長崎県建設技術研究センター(NERC)からの研究助成を受けた。また、長崎県大瀬戸土木事務所、大瀬戸町役場の多大なる協力を得た。さらに、日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻の大学院生(佐々木・岡川氏)、同大学理工学部土木工学科学部生(渋谷・布施・内藤・宮嶋・久保・小泉・岡・全田氏)諸氏の協力を得た。ここに、記して謝意を申し上げる。

参考文献

- 1) 安田陽一、大津岩夫、浜野龍夫、三矢泰彦、“エビ・カニ類に適した遡上水路の提案,” 河川技術論文集, 土木学会水理委員会河川部会, Vol. 6, 149 - 154, 2000.
- 2) 安田陽一、大津岩夫、浜野龍夫、三矢泰彦, “多様な水生生物の遡上・降河に配慮した魚道の提案,” 河川技術論文集(論文), 土木学会水理委員会河川部会, Vol. 7, 149 - 154, 2001.
- 3) 安田陽一、大津岩夫、三矢泰彦、浜野龍夫, “長崎県河通川におけるエビ・カニの遡上に配慮した魚道の効果,” 河川技術論文集, 土木学会, Vol. 8, pp. 343-348, 2002.
- 4) 安田陽一、大津岩夫、三矢泰彦、浜野龍夫, “多様な水生生物の遡上・降河に配慮したスリット砂防堰堤に設置する魚道の提案とその効果,” 河川技術論文集(報告), 土木学会, Vol. 9, 487 - 492, 2003.
- 5) 安田陽一、大津岩夫、小出水規行 “既設の固定堰に設置する透過型簡易魚道の提案,” 河川技術論文集(報告) 土木学会水理委員会河川部会, Vol. 8, 349-354, 2002.
- 6) Yasuda, Y., Ohtsu, I., Takahashi, M., “New Portable Fishway design for existing trapezoidal weirs,” Journal of Environmental Engineering and Science, Vol. 3, No. 5, 391-401, 2004.

(2005. 4. 7 受付)