

隔壁に擬岩を用いた急勾配魚道の提案

PROPOSAL OF POOL TYPE FISHWAY WITH ARTIFICIAL ROCKS IN A STEEP SLOPE

関谷 明¹・宮田 司¹・木村 成利²・安田 陽一³
Akira SEKIYA, Tsukasa MIYATA, Naritoshi KIMURA and Youichi YASUDA

¹ 正会員 建設技術研究所 水理室 (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪 1047-27)

² 正会員 不動テトラ ブロック環境事業本部 (〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7 番 2 号)

³ 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)

In many cases of weir in Japan, it might be difficult to install long fishway, and the fishway with a steep slope should be required. In accordance with a design manual of fishway, 1/10 slope is recommended for the upstream migration of swimming fishes.

In this report, a pool type fishway with artificial rocks in 1/5 steep slope has been proposed. The flow condition in the proposed fishway has been made clear. The velocity field in the pool has also been characterized. By using swimming fish, benthic fish, and crab, the migration route in the proposed fishway has been discussed.

Key Words : *Steep slope fishway, Artificial rock, Hydraulic model experiment, Swimming fish, Benthic fish, Crab*

1. はじめに

国内の堰堤では、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、遡上可能な急勾配魚道の設置が望まれている。しかし、遡上効果が確認できている魚道の勾配は 1/10 程度とされている¹⁾。

魚道勾配を急勾配にするには、プール長を短くするか、隔壁間落差を大きくする必要がある。しかし、プール長を極端に短くすると魚道内の構造によってはプール内において安定した流況が確保できなくなる。

隔壁間落差を大きくすると越流部での流速が速くなることや流れが剥離する可能性があるため、隔壁間の落差は、これまで知見で 10cm~20cm が必要としている。

隔壁に擬岩を用いた魚道(以下、擬岩魚道と称す。)は、この急勾配に対応できると判断できたため、ここで提案する。

擬岩魚道は、越流部において縦横断方向に均一な流れ場を形成する従来型のものと違い、水深、越流長、落下流速等が場所によって多様に変化する²⁾。

従って、隔壁間落差が大きい場合でも流速が減勢され、低流速の流れ場や剥離しない流れ場が形成される。これにより、急勾配とした場合でもプール長が従来のものに比べ長くでき、その結果、プール内で安定した流況が確保できる。

本研究では、擬岩魚道の勾配を 1/5 の急勾配にし、かつ越流水深を変化させて稚アユの遡上の可能性を水理模型実験にて調査した。その結果、高い稚アユの遡上が確認できた。併せて、底生魚および甲殻類としてカジカおよびモクズガニの遡上を調査した結果を報告する。

越流水深は 0.05m から 0.33m まで変化させたときの流況を流速ベクトルの分布から説明した。また、稚アユ、カジカ、モクズガニを用いた遡上実験の結果について魚道内の流況と関連づけて考察した。

2. 擬岩による隔壁の形状

実験に用いた擬岩魚道は、隔壁に擬岩を用いた隔壁間落差 0.3m、隔壁間隔 1.5m、勾配 1/5 の急勾配のプール式魚道である。

隔壁は、縦横断方向に高さを変化させた図-1、写真-1 に示す幅 1.5m、厚み約 0.7m、隔壁の高さは最高位で約 0.9m とした。

なお、隔壁がコンクリート製の擬岩であるため、形状寸法の再現性があることも特徴の一つである。

3. 検討概要

本研究では、幅 1.5m、高さ 1.5m、長さ 30m の 2 次元水路の中央部に擬岩魚道の隔壁 3 基の実物を設置し、以下の調査を行った。

① プール水深と流量との関係調査

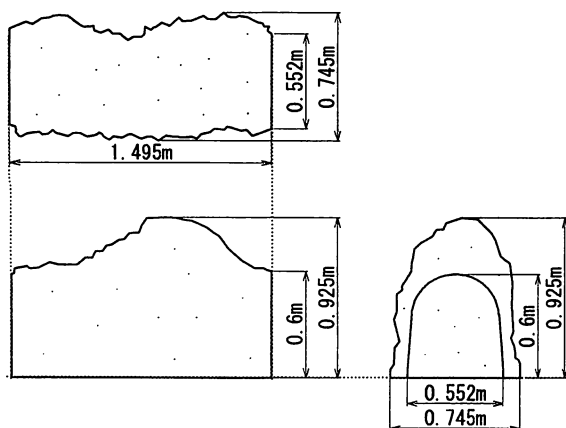


図-1 隔壁形状と寸法（擬岩）

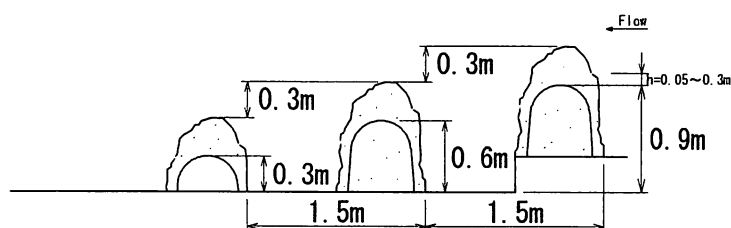


図-2 実験施設概要

- ② プール内の流況調査
撮影記録，流速鉛直分布
- ③ 実魚を用いた遡上率調査
稚アユ，カジカ，モクズガニを対象

4. 実験対象魚種

(1) 稚アユ

稚アユは，体長約8.5～10.5cm，平均体長9.0cm，体重7.0～12.0gの個体を使用した。

使用尾数は1実験50尾～100尾程度とした。

(2) カジカ

カジカは，体長約6.2～6.7cm，平均体長6.5cm，体重4.0～5.5gの個体を使用した。

使用尾数は1実験50尾～100尾程度とした。

(3) モクズガニ

モクズガニは，体長約6.2～6.7cm，平均体長6.5cm，体重4.0～5.5gの個体を使用した。

使用尾数は1実験50尾～100尾程度とした。

5. 越流水深と流量との関係

計画流量に対し，幅や高さ等の魚道の形状諸元の設定には，基本となる越流水深と流量との関係が必要不可欠である。

本研究で対象となる隔壁は擬岩であるため，最上流部の隔壁の越流水深（図-2 参照）と流量との関係を整理した。

越流水深と流量との関係から，図-3 に示すように越流水深0.1mで約0.021m³/s，0.2mで約0.081m³/s，0.3mで約0.194m³/sという値を得た。

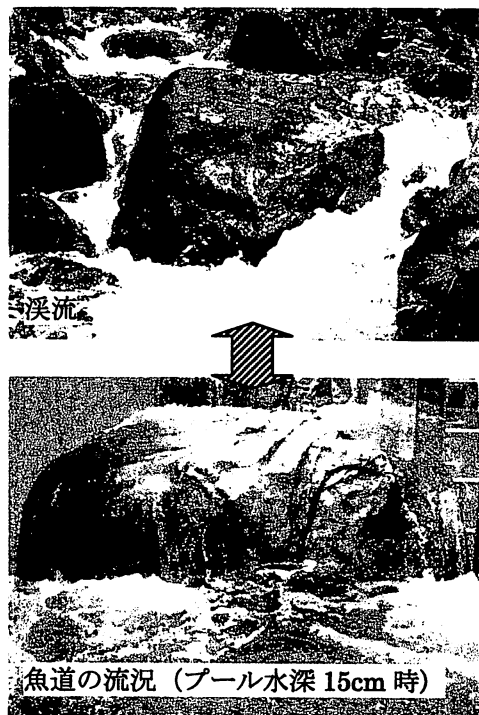


写真-1 溪流と魚道の流況

越流水深の増加に伴い越流幅が増加するため，水深に対する流量の変化の割合も非越流部に対し越流部の幅が狭い一般の階段式魚道の隔壁より大きくなる。このため，流量の変動幅が大きい河川でも，越流水深の変化量が小さく，計画時に理想としたプール内流況が確保しやすくなると考えられる。

このように，従来の越流部，非越流部で分けた隔壁と違い，水深の増加に伴い越流部の幅が変化するため，水深に対する流量の変動量が従来のものより大きくなる。

階段式魚道のプール内流況は越流水深に支配される。このことは，魚道の流量制御が出来ない河川において，流量の変動幅が大きい場合でも，水深変化量が小さくてすむことを意味し，計画時に理想としたプール内流況を確保できる流量範囲が従来のものより広くなり，魚の遡上，定位もより容易になる。

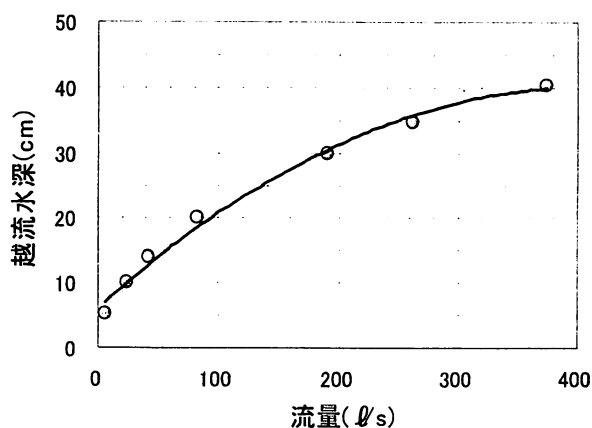


図-3 流量と越流水深の関係

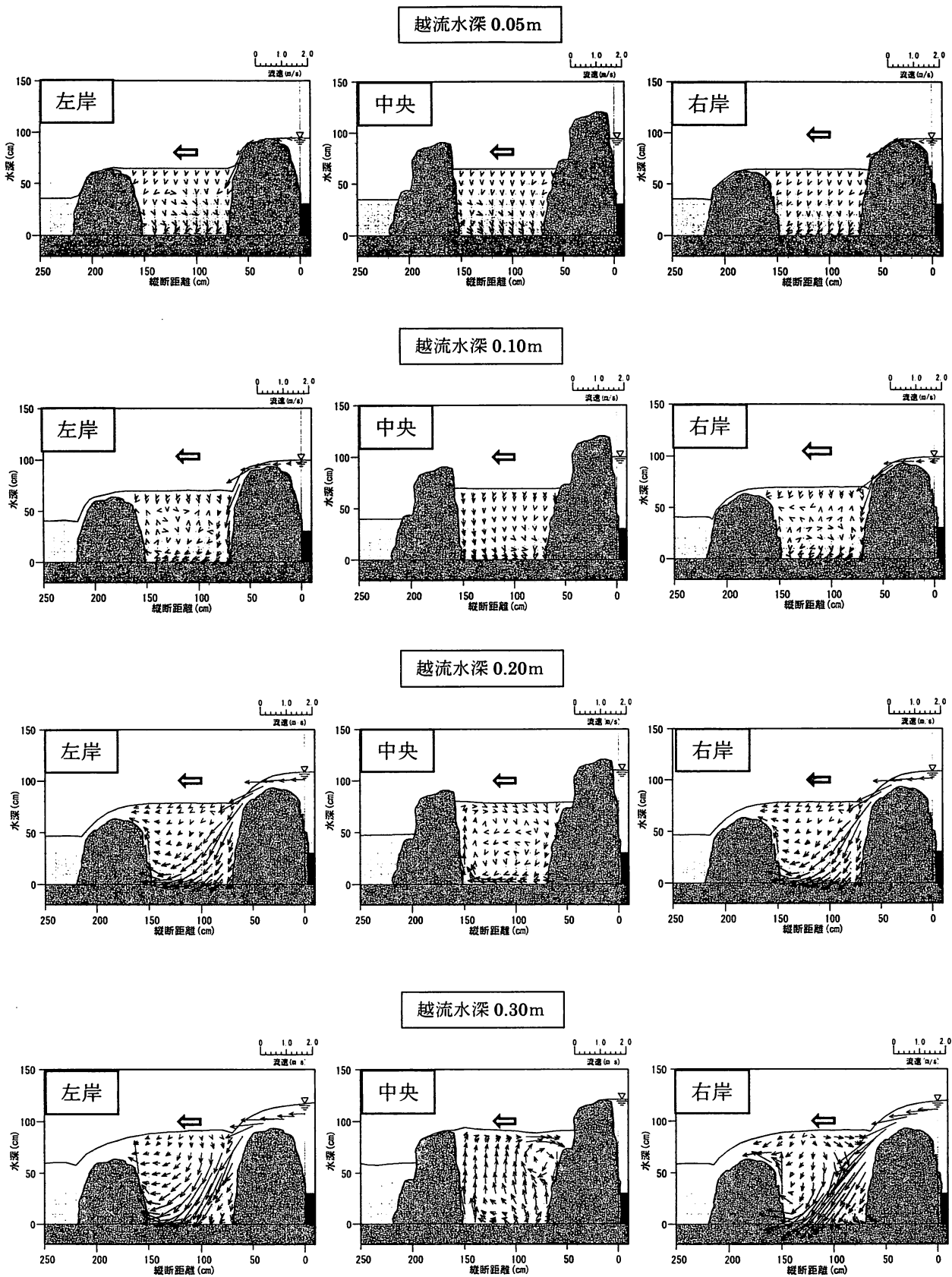


図-4 プール内の鉛直流速分布と流況

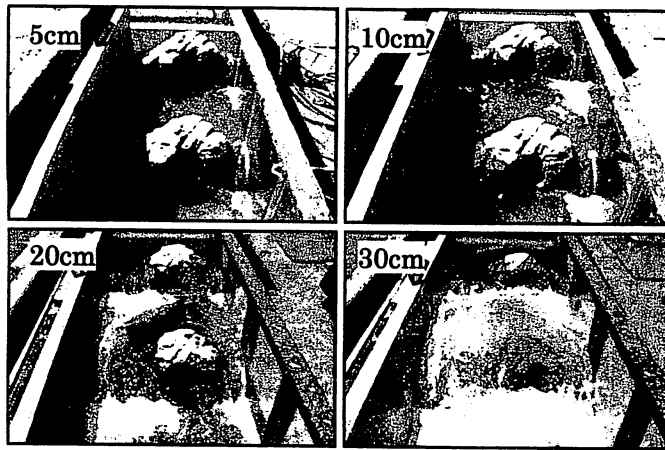


写真-2 流況写真

6. 魚道内の流況

越流水深 0.05m, 0.1m, 0.2m, 0.3m の 4 水深を対象にプール内の鉛直流速分布を調査した。(写真-2 に流況を示す。) なお、流量の変化量は、約 $0.01\text{m}^3/\text{s}$ から $0.20\text{m}^3/\text{s}$ の範囲に相当する。

左岸側、右岸側の越流部中央断面における水深と流速ベクトルを図-4 に示す。左右岸の越流幅が異なることから異なる流速ベクトルが得られる。越流水深 30cm の場合、特に左右の越流部からの流入する流速値とプール内流況の違いは顕著となる。

越流水深が 5cm から 30cm までの流速は、越流部で稚アユの突進速度 2.0m/s 以下となり、稚アユにとって遡上可能な流れ場が形成されている。

魚道中央部の非越流部では、越流水深 0.3m 時においても流速 0.2m/s 以下の流れ場となっていることより、越流量が多い場合でも非越流部の下流域で十分、魚の定位、休息が期待できる。

本隔壁魚道は、隔壁形状が横断方向及び縦断方向に変化するものであり、計測した代表断面以外にも各流量に対し、魚の遡上可能な流速場が確保できているものと推測できる。

視覚的に平面的に流れ場をみると、剥離落下を示す地点、静水面、水面が白濁する地点が混在しており、遡上に容易となる流れ場、逆に遡上は困難となる流れ場が混在している。

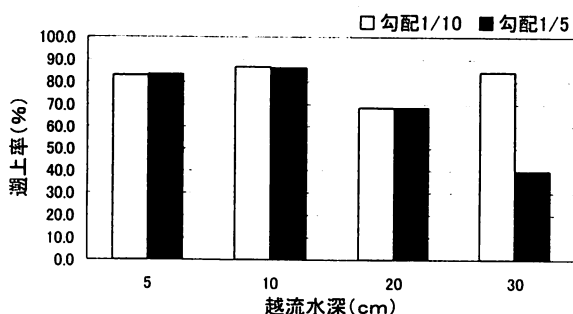


図-5 稚アユの遡上率 (勾配 1/10 と 1/5)



写真-3 稚アユの遡上状況

以上の結果より、本魚道において越流水深が 0.05 ~ 0.3m の範囲で確保できる場合、魚の遡上空間は確保できている。

また、景観的にみても、目的とした溪流に比較的近い景観形成ができている。

7. 稚アユの遡上

国内の魚道の対象魚として第 1 にあげられる稚アユの遡上について調査した。

調査は、流況調査時と同様、越流水深 0.05m, 0.10m, 0.20m, 0.30m の 4 水深を対象とした。実験は、午後 4:00 に稚アユを実験水路下流に放流し、翌日午前 9:00 (通水時間 17 時間) に最上流までの遡上した数を調査し、放流数に対する遡上率として整理した。

稚アユは、実験開始前に実験水路上流にて半日、遊泳訓練をした個体を約 100~150 尾、使用した。

結果、図-5、写真-3 に示すように越流水深 0.05m, 0.10m 時では、遡上率約 80%以上を示し、越流水深 0.20m 時でも 67%と短時間の実験ではあるが高い遡上率を示すことが確認できた。越流水深 0.30m 時については、遡上率 40%となり、高い遡上率ではないが、遡上可能な流れ場が形成できていること、また、通水時間が長くなることで遡上率は上がると期待でき、稚アユの遡上が十分可能な魚道であることは証明できた。

なお、図中棒グラフの白部は、勾配 1/10 とした場合の遡上率であるが、越流水深 20cm 以下の遡上率はほぼ同一の効果が得られている。

遡上場所としては、左右岸の側壁沿いが最も多く観察できたが、流量が多い場合は、越流部中央で稚

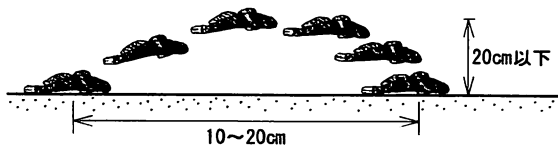


図-6 カジカのプール部の移動状況

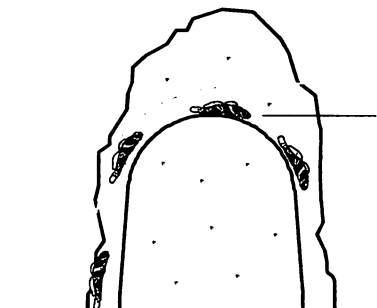


図-7 カジカの隔壁移動状況

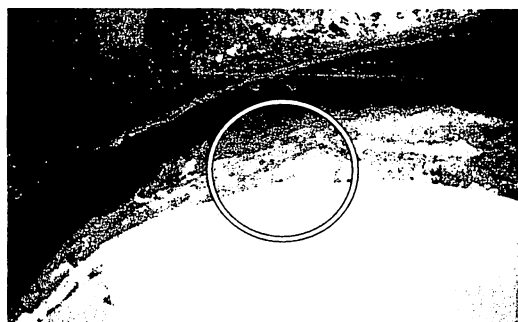


写真-4 カジカの遡上状況
(越流水深 0.10m 時の隔壁天端)

アユの体高以上の水深が確保され、かつ越流部天端で流速が減勢されるため、中央付近からの遡上も多く観察できた。

8. カジカの遡上

底性魚の中でも、ヨシノボリ類のように腹部に吸盤を有していないため、一般的に遡上が困難とされているカジカを用いた遡上観察を行った。

調査は、流況調査時と同様、越流水深 0.05m, 0.10m, 0.20m, 0.30m の 4 水深を対象とした。

実験は、午前 9:00 にカジカを実験水路下流に放流し、2 日間、水路側壁および水面上から遡上状況の観察を行った。

カジカは、河川にて捕獲したものをを用い、1 実験に約 50 尾使用した。

結果、越流水深 0.05m 時、0.10m 時の 2 流量については、側壁沿いからカジカの遡上を確認できた。

写真-4 に隔壁上に定位するカジカを示す。

しかし、越流水深 0.20m 時、0.30m 時においては、遡上確認ができなかった。

遡上できないカジカは、非越流部直下に付着するものが多くみられた。



図-8 落下流により下流に流される
モクズガニの様子

カジカの遊泳状況をみると側壁沿いに付着するような形で長時間定位し、図-6³⁾に示すようにある瞬間に上流に移動する傾向がみられ、移動の際は、床板から数 cm、浮上して上流に移動し、その後、再度、沈降するといった遊泳形態を示すことが確認できた。

隔壁遡上時は、図-7 に示すように、一旦、隔壁下流端で定位し、その後、隔壁天端に付着しながら、時間をかけて遡上する様子が伺えた。

越流水深 0.20m 以上となる場合、側壁沿いを移動するが、越流部からの落下流により床板上に定位できず、隔壁下流端に接近する前に下流に流される傾向がみられた。

以上より、0.10m 以下の越流水深であればカジカの遡上は期待できると判断できるが、越流水深が 0.20m 以上となる場合は、落下流を減勢できるプール床板表面構造が必要となると考えられた。

本魚道のプール床板は、コンクリートをフラットに敷設したものであるため、落下流が流入した場合、床板上での流速減勢は期待できない。具体的には、玉石等をプール床板上に敷き並べるといった方法で、カジカの定位場所を確保することと、落下流の減勢を行なうことが考えられる。

9. モクズガニの遡上

回遊性のある甲殻類としてモクズガニの遡上観察を行った。

調査は、流況調査時と同様、越流水深 0.05m, 0.10m, 0.20m, 0.30m の 4 水深を対象とした。

実験は、午前 9:00 にモクズガニを実験水路下流に放流し、午後 7:30 まで通水し、水路側壁および水面上から遡上状況の観察を行った。

モクズガニは、1 実験に約 20 尾使用した。

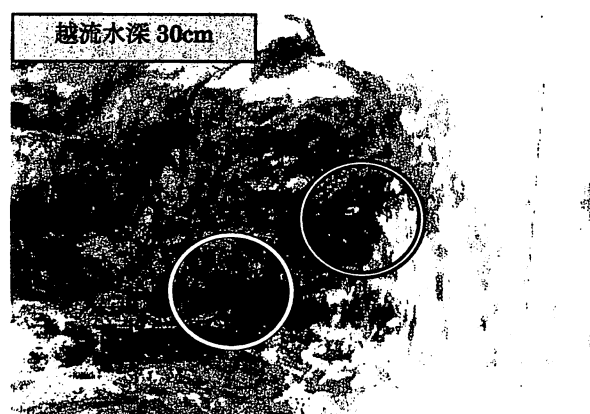
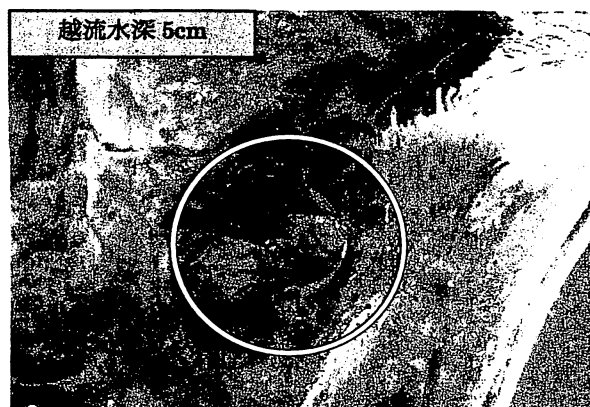


写真-5 モクズガニの遡上状況

結果、写真-5 に示すように越流水深 0.05m 時～0.30m 時までの 4 流量についてモクズガニの遡上が確認できた。

モクズガニは、側壁沿いで定位した後、越流部直下に移動し、越流部と非越流部の境を遡上する傾向がみられた。

また、図-8 に示すように、プール内を上流に移動の際に、落下流により足をすくわれる形で下流に流される個体も多く観察できた。

以上より、0.30m 程度の越流水深であればモクズガニの遡上は期待できると判断できるが、遡上を容易にするためには、落下流を減勢でき、かつモクズガニの足が掛けられるプール床板表面構造が必要となると考えられた。

具体的には、カジカと同様、玉石等をプール床板上に敷き並べるといった方法で、モクズガニの定位場所を確保すること、および落下流の減勢を行なうことで隔壁までの移動が容易になると考えられた。

10. まとめ

魚道の勾配を 1/5 とし、越流水深が 5cm から 30cm まで変化させた場合の流況特性および浮遊魚、底生魚、甲殻類の遡上実験について検討した結果を以下に要約して示す。

①提案した擬岩魚道は、隔壁の左岸側と右岸側の越流幅が異なるため、プール内の流速場が異なる。

特に、越流水深が極端に小さい場合と大きい場合(5cm, 30cm の場合)に違いが顕著に表れた。

②稚アユを用いて遡上実験の結果、越流水深を 5cm から 30cm まで変化させても遡上可能であることが確認できた。また、プール内の右岸側の流速場の違いおよび非越流箇所が存在が遡上経路の多様性につながっていることを確認した。

③カジカおよびモクズガニを用いて遡上実験を行った結果、カジカの場合は、越流水深が 5cm から 10cm までの範囲で、モクズガニの場合は、越流水深が 5cm から 30cm の範囲で遡上が可能である。

④越流水深が 20cm 以上の場合、カジカおよびモクズガニの行動からプール部の底床部に粗石等を設け、流速が低減でき、定位できる環境を設けることがカジカの遡上の可能性を高め、かつモクズガニの安定した遡上行動の確保につながる。

本擬岩隔壁は、大量生産が可能であること、自然石を用いた魚道と違い、流況の現地における再現性も高く、かつ施工も自然石を用いるものよりは容易となるため、現場における期待度が高い魚道となると考えられる。

魚道勾配が 1/5 においても遡上可能な環境が確保できていることより、魚道延長を確保できない区間での適用が可能となる。

コスト面でも勾配 1/10 に比較すると隔壁枚数が半分となり安価になる。

11. おわりに

本研究では、水理量として越流部に相当する部分の流況把握のみであり、複雑な流れ場の流況把握を行っていない。このため、今後は、より詳細な水理量の把握を行う方針である。

現地においては、土砂の流入等が考えられる。今後の課題として、土砂の流入によりプール部が埋没した場合を想定した遡上検討を行う予定である。

本検討より、新たな課題としてプール部の形状も含めた検討が必要不可欠と考えられた。浮遊して遊泳する魚ではないモクズガニやカジカ等は、プール部の床板上で長時間定位すること、移動においても床板上の流速が支配要因となる。

今後は、隔壁形状のみならず、魚道全体の改良を含め、適用可能となる堰、または対象魚を明確にしていく方針である。

参考文献

- (財)ダム水源地環境整備センター:最新 魚道の設計, 信山社サイテック, 1998
- 関谷明, 宮田司, 木村成利:「擬岩に隔壁を設けたプール式魚道の研究」; 全国魚道実践会議 2006in 岐阜論文集, pp71-74, 2006
- 和田吉弘:「長良川のアユづくり」; 治水社, pp123-125

(2008. 4. 3 受付)