

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

PROPOSAL OF FISHWAY IN A SLIT TYPE SABO DAM AND EFFECT OF PROPOSED FISHWAY ON MIGRATIONS OF AQUATIC ANIMALS

安田陽一¹・大津岩夫²・三矢泰彦³・浜野龍夫⁴
Youichi YASUDA, Iwao OHTSU, Yasuhiko MIYA and Tatsuo HAMANO

¹正会員 工博 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)

³農博 教授 長崎大学環境科学部環境科学科 (〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14)

⁴農博 助教授 水産大学校生物生産学科 (〒759-6595 山口県下関市永田本町 2-7-1)

Recently, a normal concrete Sabo dam in Nagasaki Prefecture of Japan was improved as a slit type Sabo dam slitted at the center part of the dam in March, 2002.

This paper presents the proposed fishway for the migration of multi-aquatic animals and a design method for setting the proposed fishway in a slit type concrete Sabo dam slitted at the center part of the dam. 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. The velocity and the air-concentration distributions around the proposed fishway were measured. 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 18-hour period at the end of the summer in 2002. The experimental results revealed that juvenile shrimps, crab, and fishes could migrate easily upstream and downstream on the fishway.

Key words: fishway, migration, shrimp, crab, demersal fish, swimming fish, Slit type Sabo dam

1. まえがき

近年、河川の連続性、水生生物の生態系保全を配慮するために、砂防堰堤に切り込みを設けたスリット砂防堰堤が採用されている¹⁾。スリット砂防堰堤には土石流の捕捉を目的とするものと、洪水時の流出土砂を調節することを目的とするもの²⁾があり、それぞれの目的に応じた設計基準が提示されている³⁾。

不透過性砂防堰堤をスリット化する試みが全国的に実施され、スリット化に伴い河川の連続性が確保されるようにしている。しかしながら、水生生物の遡上・降河が可能な状態となり、水生生物の生態系保全に寄与していることを実証した例は極めて少ない。

最近、長崎県西彼杵郡大瀬戸町に位置する雪浦川の支川、小田川にある不透過性砂防堰堤(写真-1)において、土石流による計画土砂流出量の見直しに伴い堰堤を嵩上げするための改修工事が実施された。工事においては、河川の連続性、水生生物の生態系保全に配慮するため、砂防堰堤中央部をスリット化することも含まれている。この堰堤は土石流の捕捉を目的とするスリット堰堤であり、大規模な出水が生じても土砂流出が少ないことが想定される。また、

砂防堰堤の 300m 下流側では田畑および農業用水堰などがあり大規模出水時の被害を最小限に食い止める必要があるため、スリット砂防堰堤直下流側での減勢機能を考慮して、副ダムを有する減勢工³⁾となっている(写真-2)。

小田川では、海と川とを行き来する性格を持つ通し回遊性の水生生物として、エビやカニといった甲殻類、ハゼやウナギといった底生魚などが多く生息している。この種の生物は一生の間に一度は海に降りなければ繁殖できない⁴⁾。このような通し回遊性生物の生息域を広げることは広範囲にわたって多様な水生生物の生息数を増やすこととなり、河川の生態環境の改善に大きく貢献する。また、自然生息が極めて少なくなった通し回遊性の遊泳魚であるアユを定期的に放流し、アユの生息を促している流域でもあることから、多様な水生生物の遡上・降河可能な魚道の整備が必要不可欠となる。

ここでは、小田川砂防堰堤改修工事を研究対象として水生生物の生態環境の保全に配慮した砂防堰堤の改修工事の留意事項およびスリット砂防堰堤に魚道を設置するときの留意事項を提言した。また、多様な水生生物の遡上・降河に配慮した魚道について提案した。さらに、竣工したその年の夏に現地での水理計測および生物調査を実施し、スリット

化に伴って河川環境が大幅に改善されたことを示した。すなわち、砂防堰堤直上流側で多くの遊泳魚の生息を確認することができ、生息できる環境空間が形成されたことを示した。また、18時間にわたる水生生物の遡上数の変化を示した。さらに、スリット直下流側での減勢池における流速および空気混入率の計測から、多様な水生生物が遡上可能な流況となっていることを示すことができた。

2. 水生生物の生態環境の改善に配慮した砂防堰堤の改良工事

河川幅が10mから20m程度の箇所を設置されている不透過性砂防堰堤をスリット化し、水生生物の生態環境の改善を促している例は数多くある。しかしながら、施工期間中の水生生物の生態系保全に対する配慮がなされていないことが多い。その典型的な例として、河川を工事用道路として砂利で埋め、工事完了時に工事用道路を河道に復元する場合が挙げられる。この場合、道路となった区間で生息環境が絶たれることとなる。

河川横断構造物の施工過程においても生息環境を確保しながら改修工事を進める必要がある。

小田川砂防堰堤の場合、川を埋めず通水していない箇所を中心に工事用道路とする方針となった。結果として左岸側に沿って設けられていた農道を一時的に借用し、工事用道路としている。このことによって、施工期間中でも河川の生息環境が保護された。

不透過性砂防堰堤をスリット化することによって、堰堤上流側の河床勾配や出水時の堰堤に接近する流れの状況が変化する。スリットの構造、例えば形状、寸法、スリット底面位置などによっては堆積された土砂が急激に輸送され、産卵床や生息空間が失われる可能性がある。

小田川砂防堰堤の場合、堰堤中央部の一箇所をスリットにし、堰堤上流側50mまでの範囲の河床勾配および河床レベルに基づきスリット底面位置（ここでは減勢池内の底部から1.9m）が決定されている。さらに、堰堤周辺の巨礫の径および立木の高さを考慮してスリット幅（2m）が決定されている。この場合、4章で詳しく述べるが、堰堤周辺の河川流況が大幅に改善されている。

3. 多様な水生生物の遡上・降河に配慮した魚道

(1) 魚道の提案

小田川砂防堰堤の場合、スリット砂防堰堤直下流側での減勢機能を考慮して、副ダムを有する減勢工³⁾となっているため（写真-2、図-1）、スリット内、スリット流出口、および副ダムにおいて魚道を設置する必要がある。

スリット内および副ダムにおいて設置する魚道については写真-3、4に示されるように台形断面プール式階段魚道を提案した。

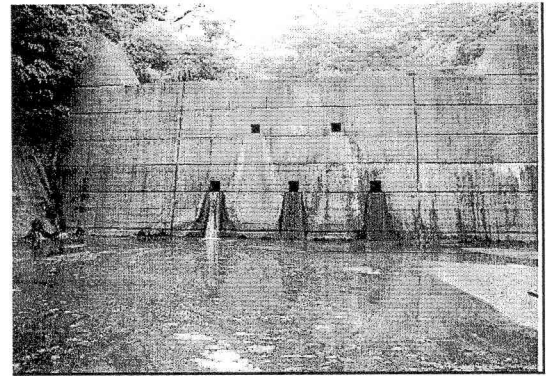


写真-1 旧小田川砂防堰堤

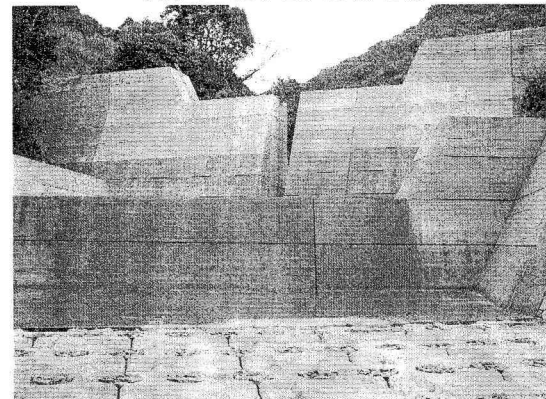


写真-2 嵩上げ・スリット化された小田川砂防堰堤

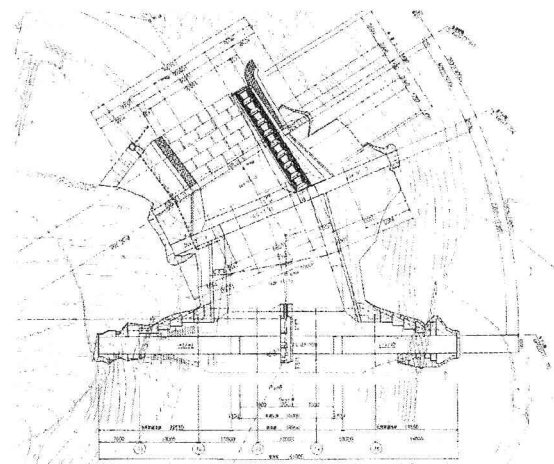


図-1 スリット化された小田川砂防堰堤平面図



写真-3 スリット内に設置された台形断面プール式階段魚道

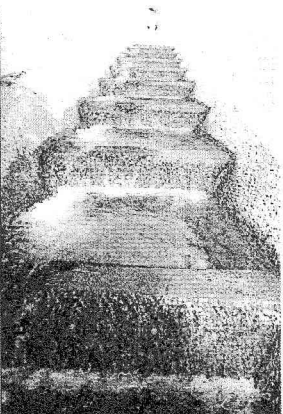


写真-4 副ダムに設置された台形断面プール式階段魚道

a) 副ダムに設置された魚道の特徴

副ダムに設置された提案魚道の特徴を以下に示す。

- ・ 45 度傾いた側壁を有し、面が粗く仕上がっている。これは、水際に沿って遡上・降河する甲殻類^{4),5)}、底生魚、貝類などに配慮したものとなっている⁶⁾。
- ・ 遊泳魚が休憩できるようにプールが形成されている。ただし、プール水深は 30cm 程度とし、多くの水生生物がプール内に留まらないように空間を狭くしている。
- ・ プール越流部の右岸側の天端を一部(30cm)切り欠き、天端の位置を 10cm 下げた(写真-4)。このことによって、平水時の流量が小さくても水深、単位幅あたりの水量が大きくなり遊泳魚の遡上環境が良好に保たれるようになる。
- ・ 越流部の断面形状は台形である。また、越流部背面側は 1:0.2 勾配の斜面であり、越流面は 1:1 勾配(45 度)の傾斜面を有する。これは、プール水深が小さいことと相俟って中規模の出水時には越流面に沿った流れによって土砂が排出されやすく、堆積しにくい構造となっている。
- ・ 本砂防堰堤の場合、平水時の流れは全て魚道を経由する構造になっている。このため、迷入することはない。なお、魚道の勾配は遊泳魚が容易に遡上・降河可能な 15% である。

b) スリット内に設置された魚道の特徴

スリット内の魚道の場合、写真-3 に示されるように右岸側のみ側壁を 45 度に傾けた。片側のみとなっているのは、プール空間が狭くなり過ぎるのを避けるためである。その他は副ダムに設置された魚道の場合と同じ構造になっている。

c) スリット流出口に設置された魚道の特徴

小田川砂防堰堤のスリット下流側は副ダムを有する減勢池であり利水を兼ねているため、常時満水状態である。そこで、減勢機能が損なわずスリット内に設置された魚道からの流れによって水生生物が魚道の入口が容易に見つけられるようにするため、スリット流出口に台形断面小段式魚道⁶⁾を設置した(写真-5)。すなわち、大出水時の減勢機能の妨げにならないように減勢池内に設ける魚道規模を小さくし、水中でも底生魚・甲殻類が壁に沿って容易に遡上できるように流下方向および側壁方向ともに 45 度の勾配を有する台形断面階段魚道とした。上部 80cm までは 5cm ステップ、下部 110cm までは 10cm ステップとなっている。なお、迷入防止および生息空間として巨礫を扇状に積み上げている。

(2) 魚道を設置するときの留意事項

魚道を設計するとき大切なことは魚道の構造ばかりでなく魚道と河川との接続である。

魚道と河川との接続において留意すべき点を以下に示す。

- ・ 魚道の側壁と河川との接続が不連続にならないようにする。また、魚道側壁近くの流れの勢

いが弱い状態で魚道を河川に繋げることが水際に沿って遡上する貝類(イマイ貝)・甲殻類(エビ、カニ)・底生魚(ハゼ、ウグイなど)にとって重要である。

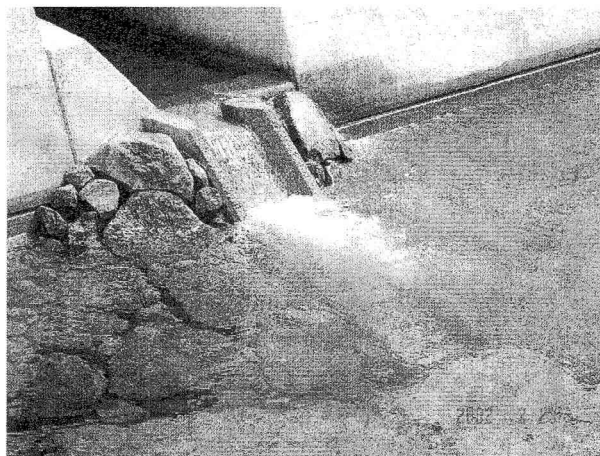


写真-5 スリット流出口に設置された台形断面小段式魚道

- ・ 底生魚、甲殻類、遊泳魚類が魚道越流部を遡上する場合、遡上経路として水際近くを利用することが多い^{4),6)}ことから、側壁に沿って速い流れが生じないようにする。なお、水跳ねが激しくなると水際を這って、または歩いて遡上する水生生物にとって遡上困難となる。
- ・ 魚道の入口が水生生物にとって認識しやすいように空気混入した流れが形成されるようにする。すなわち、迷入しないように工夫する。
- ・ 水生生物が安全に降河できるようにする。すなわち、鉛直落下し、固定壁に衝突する流れを形成させないようにする。

小田川砂防堰堤の場合、上記の留意事項を満足するように魚道が河川に接続されている。

4. スリット化による河川流況の変化

小田川砂防堰堤上流部の河川流況について、スリット化される前と後との比較を写真-6 に示す。写真に示されるように、改修工事前は粒径の細かい土砂が堆積し、堰堤直上流のみ水面を有するだけではほとんどの領域で伏流水となっていた。すなわち、堰堤によって土砂が堆積された領域では水生生物の生息空間がなかった。一方、スリット化されたことによって、スリットに流れが集中し、出水時に新たな滞筋が形成され、平水時でも水面を有する溪流河川が広い範囲で観察されるようになった。すなわち、生息空間が広い範囲で確保され、写真-7 に示されるように堰堤直上流では今まで観察されなかったカワムツの群れに遭遇することができた。これは、遊泳魚の遡上環境が確保されたことを意味する。なお、調査日の流況は夏季の平水時の流況であり、晴天が 2 週間程度続いても一定の流量(80~90 ㎥/秒)が常に保たれている。また、撮影は砂防堰堤から 500m 上下流まで踏査・観察に基づき水生生物の生息域を確認した上で行ったものである。

5. 水理実験および遡上調査

施工された魚道の効果を調べるため、甲殻類の遡上の時期である平成14年9月3日から9月7日にかけて水理計測および遡上調査を行った。遡上調査では、18時間にわたる流量、水温、気温、照度、遡上完了数の変化を調べた。なお、この調査時期は稚エビの遡上時期であり、種の保全からみて稚エビが魚道を容易に遡上できることが重要なため⁹⁾である。遡上完了数を調べるため、副ダムおよびスリット内に設置された魚道の上流端にデジタルビデオを設置した(写真-8)。なお、夜間では赤外線を用いて撮影を行った。魚道の水際で撮影を行い、撮影記録から遡上数ばかりでなく種類および体長を評価した。

スリット砂防堰堤に設置された魚道の内、遡上環境が厳しい箇所は45度の傾斜角度を有する台形断面小段式魚道であるため、スリット流出口に設置された魚道周辺の流況を対象として流速および空気混入の分布を検討した。流速は、ケネック社製のポータブル1次元電磁流速計を用い、流向に合わせて30秒間の時間平均流速として測定した。また、東京計測社製の透過光式ボイド率計を用いて魚道入口付近の空気混入率を測定した。

6. 魚道周辺の気温、水温、および照度の変化

遡上調査時の魚道周辺の気温、照度、およびスリット下流側の減勢池内の水温の一例(平成14年9月6日7日調査分)を図-2、3に示す。なお、調査時間は午後3時から翌朝午前8時である。

図-2に示されるように、調査期間中は晴天に恵まれ、水温は21℃から23℃と遡上に適した温度であり、気温は24.5℃から33℃までの変化が認められた。また、照度については20時から明朝6時ころにかけて0の値を示した(図-3)。すなわち、砂防堰堤周辺には照明はない。

7. 提案魚道からの遡上結果



写真-6 スリット化した後と前の堰堤上流側の河川流況
a) スリット化された後 b) スリット化される前



写真-7 スリット直上流で観察されたカワムツ

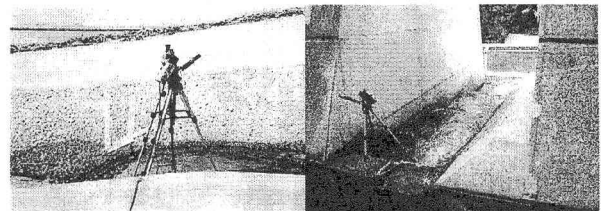


写真-8 魚道上流端でのビデオ撮影
a) 副ダムに設置された魚道 上流端での撮影 b) スリット内の魚道 上流端での撮影

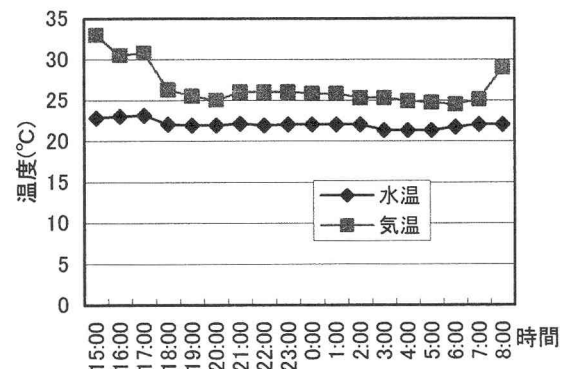


図-2 魚道周辺の気温および水温の変化
(平成14年9月6・7日調査分)

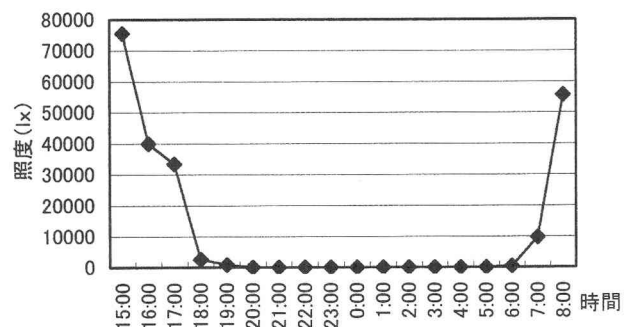


図-3 魚道周辺の照度の変化
(平成14年9月6・7日調査分)

副ダムに設置された魚道の右岸側、左岸側およびスリット内に設置された魚道の上流端での撮影記録を整理して各時間帯におけるエビの遡上数の変化を図-4、5、6に示す。

図に示されるように、照度が 0 近くするときヌマエビおよびテナガエビの約 3000 個体近くの遡上が観察された。また、副ダムおよびスリット内に設置された魚道においても遡上数のピークは顕著に見られない。これは、横断構造物が障害とならず下流の河川から魚道を通じて次々に連続して遡上しているものと考えられる。

副ダムに設置された魚道の場合、左岸側の遡上数(2250 個体)は右岸側(670 個体)に比べて多い。これは、右岸側は左岸側に比べて越流部の天端の高さが低く流量および水深が大きくなり、水際の流れが乱れやすくなっているため、遡上しやすい左岸側を選んだ個体数が多かったものと考えられる。

スリット内に設置された魚道と副ダムに設置された魚道とを比較すると、スリット内に設置された魚道での遡上数(1680 個体)が副ダムに設置された場合(2920 個体)に比べて少ない結果となっている。この要因の一つとして、スリット内での撮影記録は側壁が傾斜している右岸側の水際付近のみであるため、流れの勢いが弱い箇所から遡上しているものと考えられる。

撮影記録から遡上ばかりでなく甲殻類(モクズガニ、テナガエビ、ヌマエビ)の降河も確認することができた。なお、甲殻類の他にイシマキガイの遡上を撮影記録から確認することができた。底生魚の遡上については撮影記録から確認することができなかった。これは、プール式魚道であるため、底生魚は遊泳魚と同様に流心を通して遡上したものと考えられる。なお、スリット上流では多数の底生魚をタモで捕獲することができ、遡上可能な環境であることを確認した。

図-7, 8 はスリット内に設置した魚道を遡上したヌマエビおよびテナガエビを対象にした体長別の割合を示したものである。

なお、副ダムに設置された魚道の右岸側、左岸側においてもほぼ同様な割合を示している。

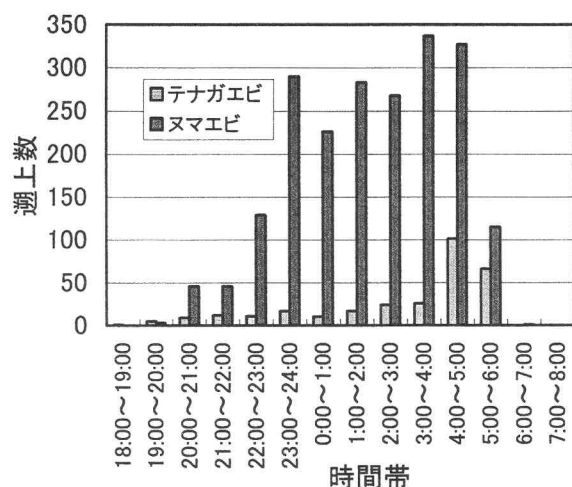


図-4 副ダムに設置された魚道左岸側でのエビの遡上数の変化(平成 14 年 9 月 6・7 日調査分)

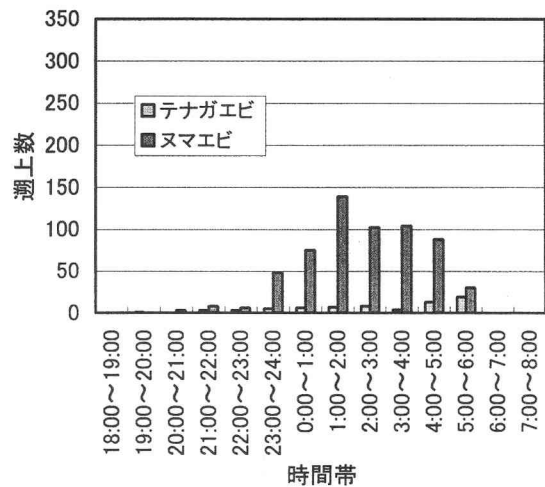


図-5 副ダムに設置された魚道右岸側でのエビの遡上数の変化(平成 14 年 9 月 6・7 日調査分)

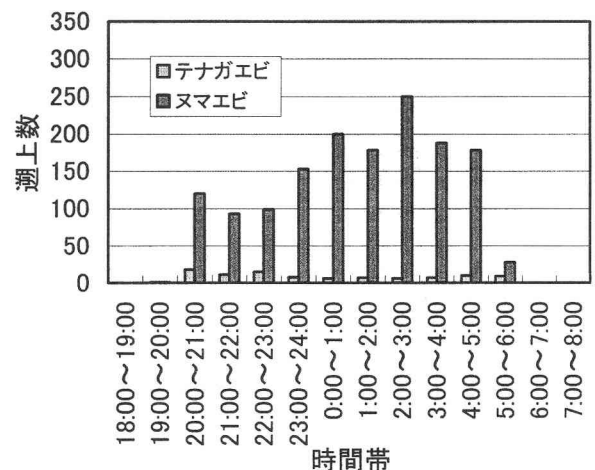


図-6 スリット内に設置された魚道でのエビの遡上数の変化(平成 14 年 9 月 6・7 日調査分)

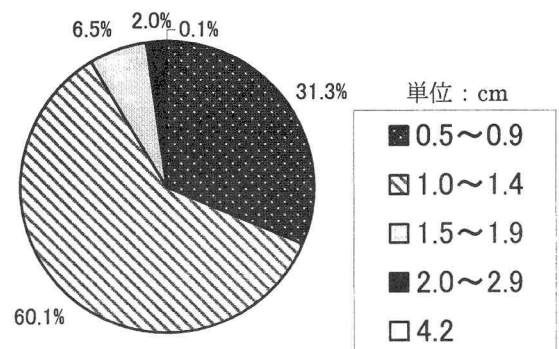


図-7 ヌマエビを対象とした体長別遡上割合
スリット内に設置された魚道(平成 14 年 9 月 6・7 日調査)

図-7 に示されるように、ヌマエビの場合、体長 0.5~1.4cm のものが全体の 92%を占めている。すなわち、幼生から稚エビになった年のものが遡上可能な環境となっている。また、テナガエビについても、体長 1.0~2.4cm の稚エビが全体の 56%を占めてい

ることがわかった(図-8). すなわち,提案魚道の設置によって,稚エビが容易に遡上可能な環境となり,上流部で稚エビから成長できる生息域が広がったものと考えられる.

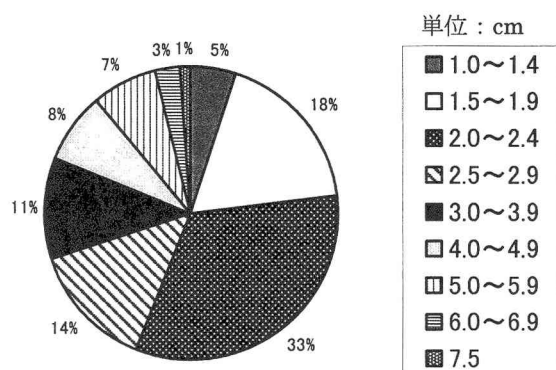
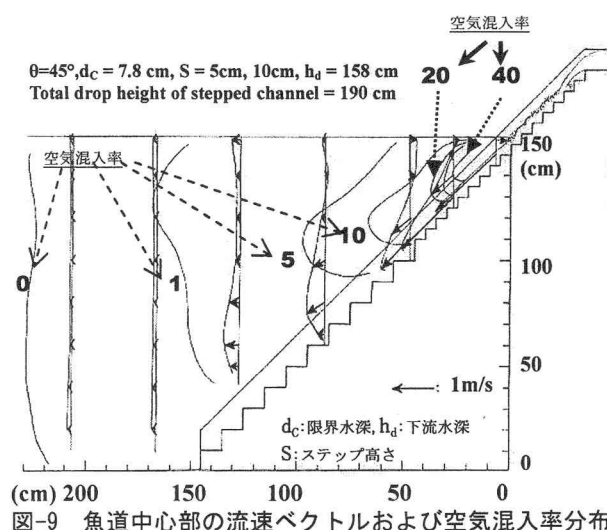


図-8 テナガエビを対象とした体長別遡上割合
スリット内に設置された魚道(平成14年9月6・7日調査)



8. スリット流出口に設置された魚道周辺の流速分布

スリット内に設置された魚道下流端からの流れは台形断面小段式魚道(エコステップ)を経て減勢池内で潜り込み,扇状に広がって流下している. この場合,魚道中心部で空気混入の量が多く,流速においても中央部が最も速い. 図-9 は平水時での魚道中心部の流速ベクトルおよび空気混入率 $[(\text{気泡の通過時間}/(\text{気泡の通過時間} + \text{水の通過時間})) \times 100\%]$ の分布を示す.図に示されるように,中心部においても流速が短区間で減衰し,空気混入した領域も潜り込んだ位置から水平距離にして40cmのところまで空気混入率が20%未満となっている. なお,魚道の側岸となる位置では空気混入率は10%未満となり,流速においても常に30cm毎秒以下となっている. これらのことから,甲殻類,底生魚,遊泳魚にとって魚道入口に接近しやすい環境であると推論される.

9. まとめ

不透水性砂防堰堤中央部をスリット化した減勢池を有する砂防堰堤に設置される魚道を提案し,魚道の効果を調べた結果を以下にまとめる.

1. 多様性水生生物の遡上・降河に配慮するため台形断面プール式階段魚道を提案した.また,少ない水量でも水深が十分に保ち,かつ遡上しやすいように右岸に沿って切り欠き部を設ける工夫を提案した.
2. スリット流出口においては減勢池内の減勢機能の妨げにならず,甲殻類・底生魚などにとって水中でも遡上しやすい小段式台形断面魚道の設置を提案した.
3. 施工期間中でも水生生物の生息環境を確保し,魚道と河川との接続の流れの状況に配慮して調整することによって,生態環境が竣工後,回復しやすいことを示した.
4. 魚道における遡上調査の結果,竣工した年に甲殻類・底生魚・遊泳魚類の遡上を確認した.また,幼生から稚エビに変態した年の稚エビが提案魚道の水際に沿って約3,000個体遡上することを確認し,魚道の効果を得ることができた.
5. スリットと減勢池との間に設置された小段式台形断面魚道周辺の流速および空気混入分布から甲殻類,底生魚,遊泳魚にとって魚道入口に接近しやすい環境であると推論できた.

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,日本大学理工学部土木工学科高橋助手,後藤助手,同大学学部生,理工学研究科土木工学専攻大学院生,長崎大学環境科学部の学生,長崎大学水産学部の学生諸氏の協力を得た. ここに,記して謝意を申し上げる.

参考文献

- 1) 透過型砂防堰堤技術指針(案),建設省砂防部砂防課, pp. 1-17, 2001.
- 2) 水山高久,阿部宗平:スリットを有する砂防ダムの土砂調節機能に関する検討,土木研究所資料,第2851号, p. 30, 1990.
- 3) 安田陽一,大津岩夫:スリット型砂防堰堤における減勢工の水理特性,第47回水工学論文集,土木学会水理委員会, pp. 853-858, 2003.
- 4) 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,第7回河川技術に関する論文集,土木学会水理委員会河川部会, pp. 149-154, 2001.
- 5) Yasuda, Y., Ohtsu, I., Hamano, T., and Miya, Y.: A Proposed Fishway to Facilitate the Upstream and Downstream Migration of Freshwater Shrimps and Crabs, Proc. 29th IAHR Congress, Theme B3, Beijing, pp.312-317, 2001.
- 6) 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.

(2003. 4. 11受付)