

長崎県千綿川に設置された 台形断面魚道の特徴と魚道設置の効果

CHARACTERISTICS OF FISHWAY WITH TRAPEZOIDAL SECTION LOCATED AT CHIWATAGAWA IN NAGASAKI PREFECTURE AND EFFECT OF THE FISHWAY ON MIGRATIONS OF AQUATIC ANIMALS

安田陽一¹・大津岩夫²・高橋正行³・三村進二⁴・原口哲幸⁵

Youichi YASUDA, Iwao OHTSU, Masayuki TAKAHASHI, Shinji MIMURA, and Tetsuyuki HARAGUCHI

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)

³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)

⁵情報企画課長 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)

In Nagasaki Prefecture, there are many rivers with steep slope and short distance, and the flow condition at the downstream part of river is apt to become a mountain river. Also, there are many weirs and dams in the rivers for the irrigation and the flood control. The weirs and dams are obstacle to the migration of aquatic animals, and the fishway for the migration of multi-aquatic animals is required as the improvement of weirs and low head dams. This paper presents characteristics of the fishway with a rest shallow pool and a trapezoidal section, which is settled at weirs in Chiwata River. Also, the effect of the fishway on the migration has been discussed on the basis of the field investigation. Further, the field investigation yields that in the rest shall pool of the fishway, soil and rock materials have not been deposited after floods.

Key words: fishway, migration, shrimp, crab, demersal fish, swimming fish, Trapezoidal section

1. まえがき

長崎県の川は、急峻な地形が海岸線まで迫っており、川の勾配は急で延長も短いため、洪水時には激流となって流下し、平時時には流量が少なくなる特徴をもっている。川を安全に流下させること、有効な水利用を行うことなどを目的として、主要な地点にはコンクリート構造物であるダムや堰などの河川横断工作物が設置されている。このため、川に生息する水生生物が遡上・降河を行うことが困難となっている。

甲殻類・底生魚には、海と川とを行き来する通し回遊性の種が存在し、一生の間に一度は海に降りなければ繁殖できない種がいることは一般的に知られていない。また、通し回遊性の種の中でも海から遡上してくる甲殻類のほとんどは稚ガニ・稚エビの段階で遡上を行う。それらが他の水生生物の餌として捕食され、河川に生息する水生生物の個体数を維持する重要な役割を果たすことへの配慮はなされていない。

長崎県東彼杵郡に位置する千綿川は大村湾に注ぐ河川である。千綿川の河口から 3km 上流の区間では農業用の取水堰が 4 箇所設置され、通し回遊性の水生生物が生息・産卵可能な環境になっている。

4 箇所の堰の内、下流側から 2 番目および 3 番目の固定堰には魚道が整備されている。しかしながら、最下流部の堰には既設の魚道が設置されているものの老朽化に伴い魚道の機能が失われた状態になっている。さらに、河口から 4 番目の堰には魚道が設置されていない。すなわち、遊泳魚が河口から遡上できる環境はなく、底生魚および甲殻類についても、遡上・降河が困難な状況となっている。通し回遊性の遊泳魚・底生魚・甲殻類の生態系保全の観点から水生生物の移動が可能な環境になるための魚道整備が必要である。

従来、河川横断工作物において遊泳魚を遡上させる手段として魚道の整備がなされてきた。しかし、多くの魚道は遊泳魚の遡上経路を考慮せずに設置されることが多く、魚道としての機能を果たさないものも少なくない。また、魚道形状によっては出水を重ねるうち魚道内や下流端付近に土砂が堆積し、遡上経路が遮断され遡上できない場合が多く発生している。

千綿川は、暴れ川としても知られている河川であり、堰下流側の河床が変動しがちである。河川管理上、魚道に土砂や礫が堆積しにくい構造にする必要がある。また、流量の変動に対応でき、遊泳魚ばかりでなく底生魚、甲殻類が迷入することなく遡上・

降河しやすい魚道の整備が必要となった。

上記の条件に満足するように、7分の1勾配を有する台形断面魚道および魚道と河川との接続方法が著者らによって提案され、2002年に竣工した。

ここでは、竣工以来、出水が幾度もあり河川に土砂や礫の流出があったにもかかわらず魚道のプール内に土砂や礫が堆積しなかった台形断面魚道の構造の特徴および水理特性を示す。また、迷入しにくく、かつ遡上・降河しやすくするための魚道と河川との接続方法を示す。さらに、施工された魚道を通して多様な水生生物の遡上・降河が認められたことを示す。

2. 千綿川の流域概要

千綿川は、長崎県東彼杵郡東彼杵町に位置し、その源を多良山系（多良岳標高 982m）に発し、山間部を西流し下流付近で左支川塩鶴川と合流したのち、大村湾に注ぐ流路延長約 3.2km、流域面積約 27.5km²の二級河川である（図-1、2 参照）。

千綿川の上流域は巨礫が多く急流で、そこには四十八の淵が連なる龍頭泉があり、長崎県を代表する景勝地となっている。中・下流域では、田園地帯を貫流し、国道 34 号、JR 大村線と交差した後、大村湾へと注ぎ込んでいる。

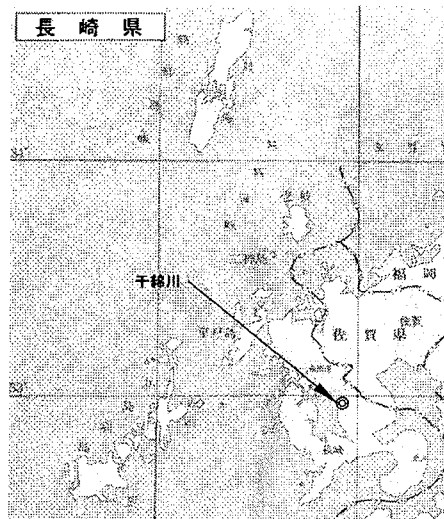


図-1 千綿川の位置関係



3. 台形断面魚道の提案と施工時の工夫

3. 1 従来型魚道の課題

従来型魚道については、これまでに以下のような課題が挙げられる。

- ① 魚道側壁部が垂直となっているため、水際を歩いて遡上する甲殻類などへの配慮がなされていない。
- ② 従来型魚道の断面が矩形断面であるため、横断方向にほぼ様な流れが形成され、魚道中央部の流速と水際近くの流速との違いが小さい。このため、小型魚の遡上に配慮するためには魚道内の流量を小さくし、魚道外に流出する流量を大きくする必要があり、魚道入口の流れが遊泳魚に認識しにくく迷入しやすくなる。
- ③ 隔壁下流面が鉛直面である場合が多く、隔壁を越流する流れが面に沿うことなく剥離しやすくなるため、遡上しにくい構造となる。また、越流面の内側に空洞が形成されやすく、遡上しにくい環境となる。
- ④ 魚道規模が大きく深いプールが形成されている場合、プール内の流れは減勢されやすく、魚道下流端での流れが弱くなるので遡上対象の水生生物に流れを認識させることが困難になっていることがある。
- ⑤ 魚道内のプールが深いため、土砂堆積が発生しやすい。また、魚道内や下流端付近に土砂が堆

図-2 千綿川の位置

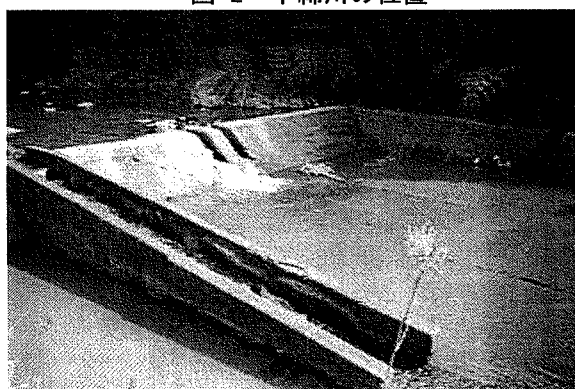


写真-1 第一堰（施工前）

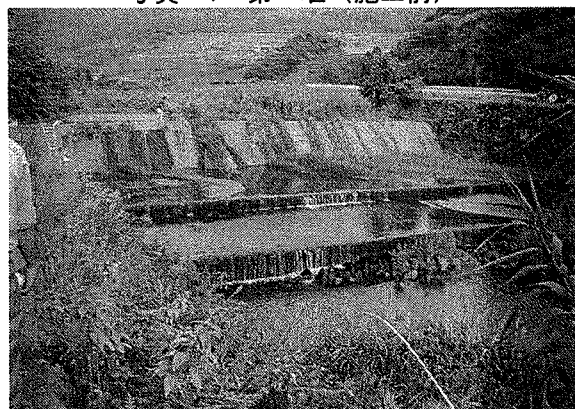


写真-2 第四堰（施工前）

積し、遡上経路を遮断していることがある。

3.2 台形断面魚道の提案

千綿川の場合、図-2に示されるように、河口から1.5 km以内に4箇所の農業用の取水堰があり、そのうち河口に最も近い堰には魚道はあるものの老朽化に伴い魚道の機能が損なわれている(写真-1)。また、河口から4番目の堰には魚道がない(写真-2)。なお、河口から2番目、3番目においては魚道が整備されている。

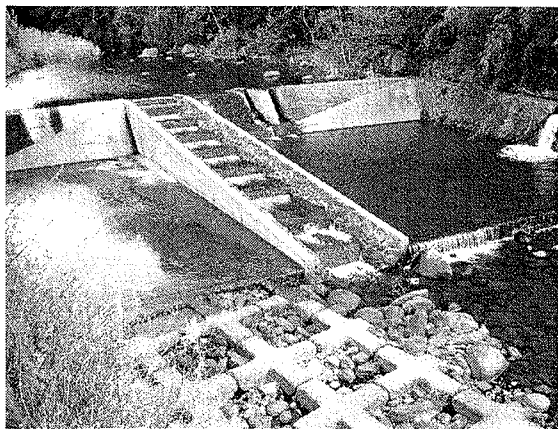
3.1で示した課題を踏まえて河口から1番目および4番目の堰を対象に千綿川流域の地勢や水生生物に適した台形断面魚道を提案した。以下に台形断面魚道の検討に際しての考慮した事項を示す(写真-3, 4)。

- ① 歩いて遡上・降河する甲殻類などの水生生物にも配慮した断面形状とする。エビ・カニなどの甲殻類が歩いて遡上する際には、触角の先端を水際に浸けたりしながら遡上し、流速が遅くなる箇所で水中に入る行動をとる。したがって、水際付近では水面変動を緩和し、遡上しやすい側壁勾配とする。ただし、鳥などの捕食者に狙われにくい勾配とするため、1:1とする。
- ② 隔壁および側壁を1:1の傾斜面にすることによって、魚道中央部の流れより側壁近くの流速が小さく水際の水面変動が緩和されやすくなるため、小型魚・底生魚・甲殻類の遡上が容易になる。
- ③ 台形断面内のプールの水深を浅くすることによって通常時の流れにおいて魚道中央部に多量の気泡混入流れが形成されるが、水際近くでは気泡が少なく遡上経路が遮られることはない(この場合はプールの深さ 60cm)。また、魚道中央部の気泡の存在は魚道下流端では魚道からの流れにおいて呼び水の効果を持たすことができる。
- ④ 魚道内に土砂が堆積しないようにプールを浅くし、隔壁下流面を傾斜面にすることによって、出水時に輸送された土砂や礫を排出されやすくする。なお、竣工後3年間経過した中で幾度の出水があったにもかかわらず、土砂は堆積していない。
- ⑤ 魚道下流端付近に土砂が堆積しないよう配慮する。水叩きの直下流部には、経年的な出水により洗掘が生じていることが多いため、魚道下流端を土砂堆積のない洗掘箇所付近に設置することで、水生生物の遡上経路を確保する。

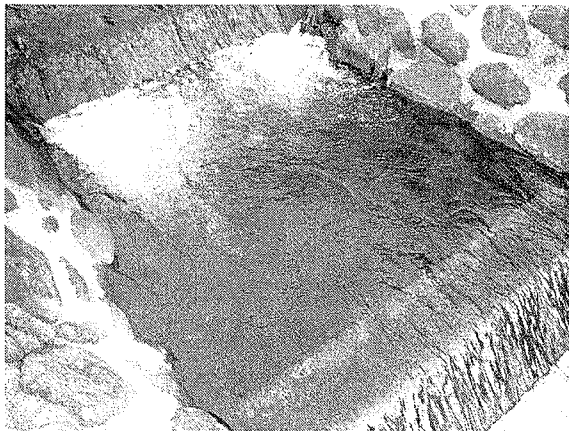
3.3 魚道施工時の課題と工夫

台形断面魚道を千綿川第一および第四堰で施工するにあたって、2, 3の課題とその課題に対する工夫があったので以下にそれを示す。

- ① 施工した魚道の設置位置は第一堰の場合は既存の魚道位置であり、第四堰の場合は角落とし箇所である。このときの課題としては、魚道上流部で



(1) 河川と魚道との位置関係



(2) プール内の流況

写真-3 第一堰に設置された魚道(17%勾配)



(1) 下流から見た魚道内の流況



(2) プール内の流況

写真-4 第四堰に設置された魚道(17%勾配)

の堰と魚道との接続方法である。第一堰の場合、魚道上流端で射流の流れが形成されないように、魚道最上流部の底部に隔壁を新たに設けて接続環境を良好にした(写真-5)。第四堰の場合、角落としての矩形形状を維持したまま台形断面魚道と接続させたため、不連続な状態となった。施工中に水利権者と協議した結果、堰上流端の角落としての形状を維持し台形断面との連続性を円滑にする改良を行なった(写真-6)。また、魚道上流端の隔壁と2番目の隔壁との流下方向の距離が狭まっているのは新たに隔壁を設けて遡上環境を改善したためである。

- ②千綿川のように急流河川の場合、計画段階の堰下流側の水位と施工後の水位とが必ずしも一致しない。第一堰の場合、計画より0.8m近く水位が低下した。計画設計段階でその影響を考慮して魚道の張り出しを行なうことが好ましいが予算との関係で千綿川の場合困難であった。そこで、新たに隔壁を設け、さらに魚道下流側に巨礫(出水時でも移動しにくい礫の大きさ)を設置し、下流の堰上げを行なった(写真-7)。また、第四堰の場合、あらかじめ想定される洗掘孔をプールとして設け、そこから抽出した礫を使って下流水位を堰き上げて魚道下流端と河川との接続環境を改善した(写真-8)。なお、写真-7,8は竣工後3年間、幾度の出水が生じた後の状態を示している。
- ③第一堰の側壁表面にはコンクリートの他石が埋められている(写真-5)。最近では、なるべくコンクリート表面を出さないことが好まれるように解釈されているが、魚道において石の張りぼては水際を利用する甲殻類および底生魚にとっては危険性を与えていることに土木技術者は気が付いていない。コンクリートの粗面仕上げでは甲殻類の場合、爪を引っ掛けて歩行することはできても天然石の表面が水で濡れた場合、爪で表面を引っ掛けることが困難な場合が多く不規則の水際近くの流れが当たったときには容易に流されてしまう。底生魚においても同様な状況となる。また、石の凹凸が水際近くの流れを乱し、不規則な水面変動を与えがちとなる。そこで、第一堰の場合でできる限り石の張り出しを最小限に留めるように調整した。第四堰については、第一堰のように表面に石を張ることはせず、コンクリート表面を粗く仕上げるようにしてある(写真-4)。

以上のことから、計画設計の段階では図面に反映できない点をいかに施工中に対応するかが魚道整備に重要な点となる。そのためには、行政と設計・施工業者、およびそれらの仲介に立てる財団(大学機関を含む)との連携が必要不可欠である。

4. 施工前後における水生生物の生息状況

魚道設置の効果を検証するため、施工前後の堰の上下流それぞれで水生生物の生息調査を実施した。表-1に水生生物調査の結果を示す。

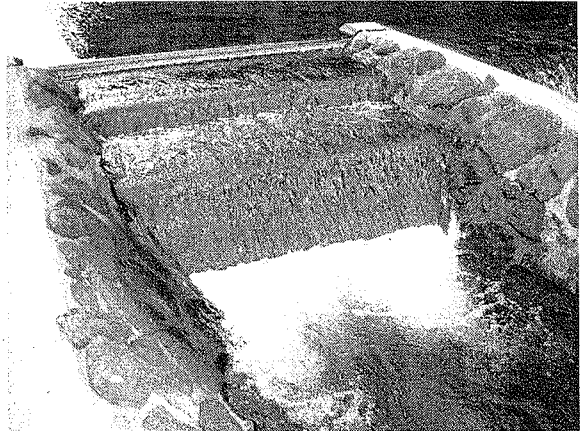


写真-5 第一堰の魚道上流部の改良箇所

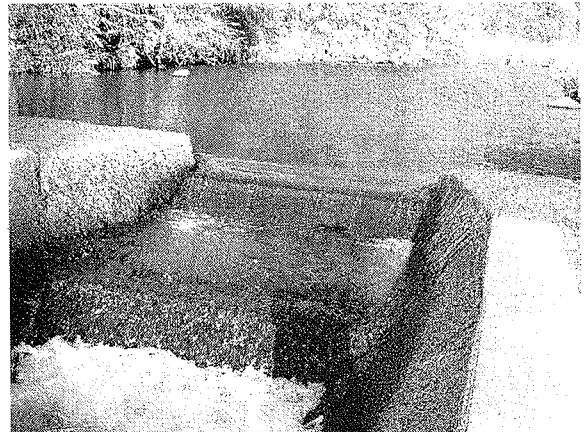


写真-6 第四堰の魚道上流部の改良箇所

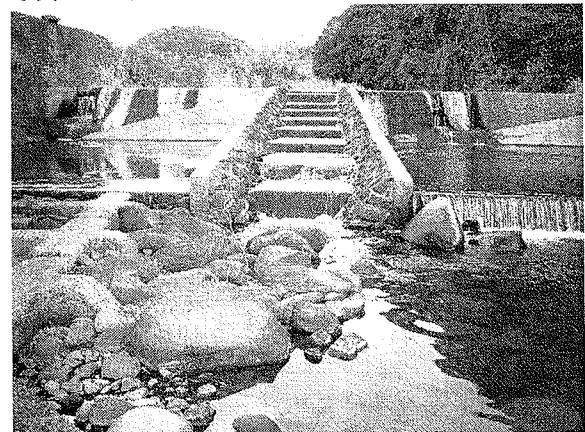


写真-7 第一堰下流の水位と魚道との接続状況

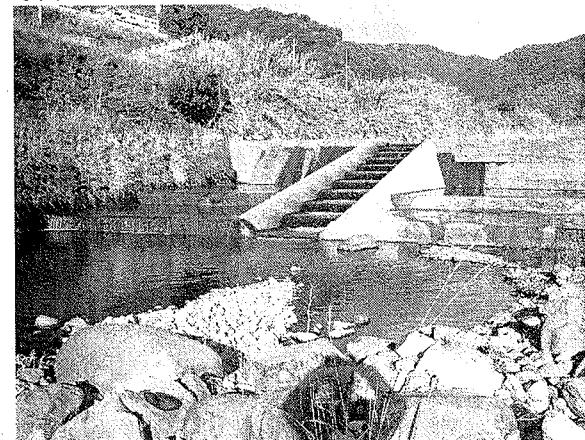


写真-8 第四堰下流の水位と魚道との接続状況

魚道設置前の調査では、第四堰上流側において確認された水生生物はオイカワ（魚類 写真 5）、カワムツ B 型（魚類）、ミナミヌマエビ（甲殻類）、モクズカニ（甲殻類）の 4 種類と極めて少なく、回遊性を持つ種はほとんど確認されなかった。

魚道設置後の第四堰上流側の調査では、前回全く確認されなかったアユ（魚類）、シマヨシノボリ（魚類）、イシマキガイ（貝類）などの回遊性を持つ種が確認され、魚類 10 種、貝類・甲殻類 4 種の水生生物が確認された。

以上のことから、一連の魚道整備が完了したことで多種多様な水生生物が遡上しているものと判断されるが、調査を行った 2 回の時期が異なっているため、経年的な調査が今後必要である。

5. 台形断面魚道の流速特性

台形断面魚道の流速特性を知るために 3 分の 1 模型(写真－9)を製作し、日本大学理工学部テクノプレイス環境水理実験室内で実験を行なった。

流速測定は計測技研の 2 次元電磁流速計(4mm 径の I 型および L 型)を用いた(測定時間 30s, サンプルング間隔 1/40ms)。また、各方向の時間平均流速、および合成された流速の瞬間最大流速を算定した。

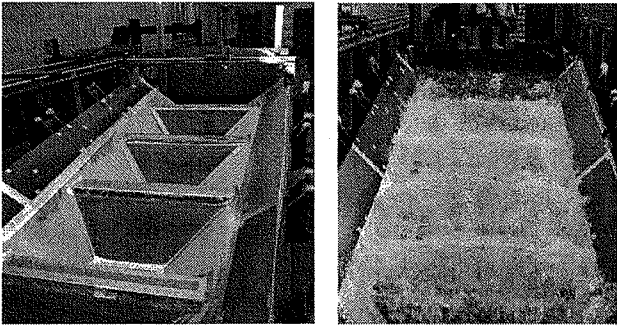
実験条件として、千綿川の通常時の流量を対象(魚道内の流況の安定性を調べるため通常時の流量の中でも比較的大きい流量を対象)にフルードの相似則に基づき設定した。

魚道中央部の時間平均流速ベクトルを図－3 に示す。図中の流速は実規模に換算した大きさを示している。図に示されるように隔壁から越流した流れが底面に沿っていることが理解される。また、主流速の大きさは 2 m/s 前後となり、魚道中央部で顕著な表面渦の形成が見られる。図－4 は水面から実規模換算で 2 cm 下方の水際近くの平面流速ベクトルを示す。図に示されるように、魚道側壁近くの流速は常に 1 m/s 以下を示し、流下方向の成分を有している。すなわち、正の走流性を持つ小型の遊泳魚および底生魚にとって遡上しやすい環境であることが推論される。

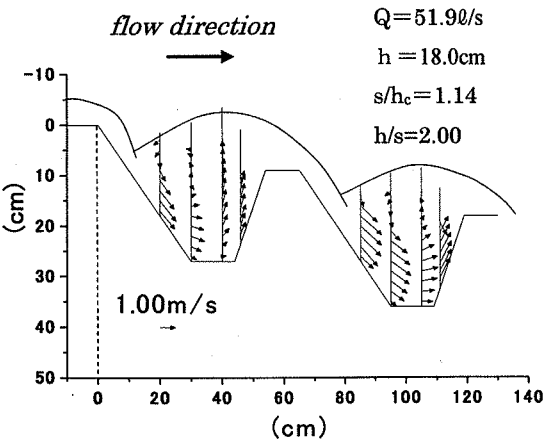
魚道中央部における合成流速の瞬間最大流速ベクトルを図－5 に示す。図－3 に示す平均流速ベクトルと比較すると、ベクトルの方向は平均流速、瞬間最大流速ともに同様な方向を示している。すなわち、魚道内の流れが不規則に変動していないことを意味する。また、流速の大きさを比較すると、瞬間最大流速の大きさは平均流速の 2 倍から 3 倍に及ぶ。これらのことから、魚道中央部での流速によって魚道下流端で魚道からの流れを認識させやすくし、呼び水の役割を果たすことが推論される。なお、提案した台形断面魚道の場合、プール内で最低限の休憩は可能ではあるが定住はしにくい構造になっている。

表－1 千綿川水生生物調査

	設置前	設置後	備考
調査日	H14.10.4～5	H16.7.30～31	
天 候	晴(降雨 2 週間無)	晴(降雨 3 週間無)	
調査地点	第 4 堰上流	〃	
調査方法	定置網、目視	〃	
確認種 (魚類)	オイカワ	－	
	カワムツ B 型	カワムツ B 型	
	－	ドンコ	
	－	アユ	回遊性遊泳魚
	－	ドジョウ	
	－	タカハヤ	
	－	シマヨシノボリ	回遊性底生魚
	－	トウヨシノボリ	
	－	ギンブナ	
	－	コイ	
	－	ウナギ	回遊性底生魚
(甲殻類・貝類)	ミナミヌマエビ	ミナミヌマエビ	
	モクズカニ	モクズカニ	回遊性甲殻類
	－	イシマキガイ	回遊性貝類
	－	カワニナ	



(1) 1/3 縮尺模型 (2) 流況
写真－9 台形断面魚道模型



図－3 魚道中央部での時間平均流速ベクトル

6. まとめ

長崎県東彼杵町を流れる千綿川の河口から 1 番目および 4 番目の堰に設置される魚道を提案し、提案魚道の特徴とその効果を調べた結果を以下にまとめる。

1. 第一堰および第四堰に設置される魚道として側壁および隔壁越流面の勾配が 1 : 1 を有し、17% の魚道勾配を有する台形断面魚道が有効であることを示した。今回採用した台形断面魚道は、これまでの魚道と違って構造的には実に単純である。台形断面魚道の大きな特徴は、エビ・カニなどの甲殻類、ハゼ・ウナギなどの底生魚、小型の遊泳魚の遡上に配慮するための方策として水際に着目したことである。この水際線が河川横断工作物の上下流と結ばれることで甲殻類、底生魚、小型の遊泳魚などの遡上経路が形成されたこと、また、歩いて遡上する甲殻類などが歩き易いよう側壁を傾け粗面にしたことが、従来の魚道との大きな相違点である。
2. 提案魚道は浅い休憩用のプールを有し、プールの形状から、出水時に輸送される土砂や礫がプール内に堆積しにくい構造であることを説明し、施工後 3 年間経過した現在でも幾度の出水を受けたにもかかわらずプール内に堆積していないことを報告した。
3. 魚道整備にあたって施工中に生じた課題を示し、特に施工前と施工後の堰下流側の水位の違いが生じたときの河川と魚道との接続方法の工夫を示した。
4. 魚道整備後に第四堰上流側での水生生物の生息調査を行なった結果、魚道整備前には観測されなかったアユ（魚類）、シマヨシノボリ（魚類）、イシマキガイ（貝類）などの回遊性を持つ種が確認され、魚類 10 種、貝類・甲殻類 4 種の水生生物が確認された。
5. 台形断面魚道模型を用いて魚道プール内の流速特性を示した。その結果、魚道中央部では流れが速く、側壁の水際付近では流速が小さく、流下方向のベクトルを有することを示した。

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、長崎県県北振興局の多大なる協力を得た。さらに、長崎大学環境科学部の三矢教授には千綿川の生態系について多大な助言を受けた。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、三矢泰彦、浜野龍夫：エビ・カニに適した遡上水路の提案、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.221 - 226, 2001.
- 2) 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

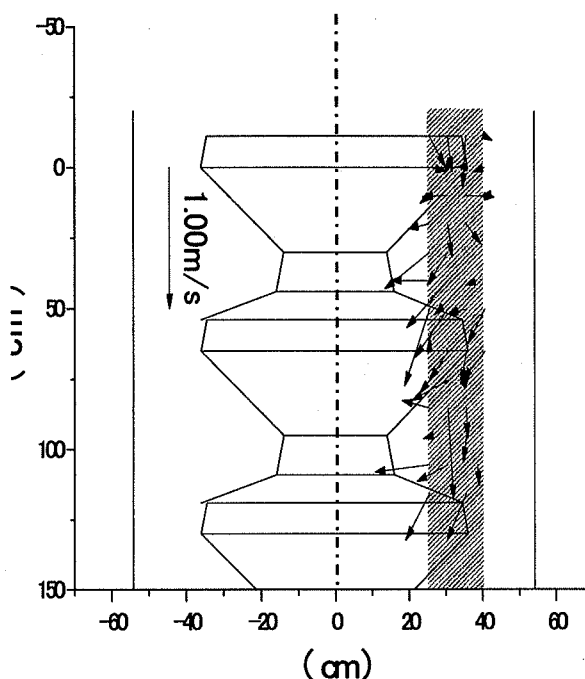


図-4 魚道プール内の水際水面近くにおける時間平均流速の平面ベクトル

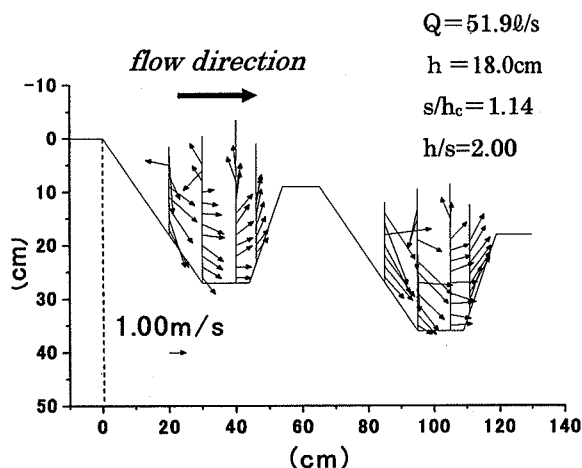


図-5 魚道中央部における瞬間最大流速ベクトル

効果、第 8 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.343 - 348, 2002.

- 3) 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降河、第 9 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.487 - 492, 2003.
- 4) Mossa, H., Yasuda, Y., Chanson, H., "Fluvial, Environmental & Coastal Developments in Hydraulic Engineering," A.A.Balkema, London, 235pages, 2004.

(2005. 4. 7 受付)