

既設の固定堰に設置する暫定魚道の流況特性

FLOW CHARACTERISTICS OF A PROVISIONAL FISHWAY IN A CONSTRUCTED WEIR

安田陽一¹・高橋正行²・大津岩夫³

Youichi YASUDA, Masayuki TAKAHASHI, and Iwao OHTSU

¹正会員 博(工) 日本大学助教授 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 工修 日本大学助手 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 工博 日本大学教授 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)

At the right side of a trapezoidal weir located at 13 km upstream of the estuary in Tama River, there is no fishway. Recently, the authors proposed a portable fishway settled at a water-side of a constructed weir, and about 40,000 juvenile ayu could migrate upstream through the proposed fishway during 11 hours. In the period of the upstream migration, it is difficult to settle the portable fishway everyday. According to the policy due to the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, a permanent fishway has been planed. But, for the settlement, a long time might be required by economic and negotiation processes. In this paper, a provisional fishway is proposed as a short-term provision. Also, flow characteristics in the fishway are clarified, and a migration route in the fishway is shown on the basis of the measurements of water depth and flow velocity. Further, the stability of the fishway in food has been discussed.

Key words: Provisional fishway, upstream migration, juvenile ayu, velocity vector, hydrodynamic force

1. まえがき

東京都と神奈川県の間を流れる多摩川では水質改善に伴って多様な水生生物が生息するようになった。河口から13km上流側に利水用の堰が設置されている(写真-1)。右岸側の堰は固定堰であり、固定堰から越流する流れが呼び水の流れになっているため、様々な水生生物が固定堰直下流の水際に集まり遡上しようとしている。しかしながら、右岸側には魚道が設置されておらず固定堰から越流する流れが速いため、遊泳魚が遡上できない状況となっている。さらに、遡上できない稚魚は大型魚や鳥などによって捕食されてしまう。底生魚および甲殻類においても遡上困難な状態である。

国土交通省の政策によれば、平成3年度に立ち上げた「魚がのぼりやすい川づくり推進モデル事業」で策定された恒久的な引き込み型魚道の設置が計画されている。この場合、固定堰の構造を変えて魚道を整備する必要があるため多額の施工費用を要する。また、堰の構造を変えるため利水事業者である東京都水道局との具体的な協議を行った上で魚道整備事業を進める必要がある。多摩川全体からみた整備計画の位置づけ、整備費用のための予算確保、および東京都との協議などの背景から現在でも具体的な設計施工計画が示されておらず短期的に整備することは困難と思われる。

河川に生息する水生生物を保護するためには河川横断構造物による遡上困難な状況を早期に解消する

ための短期的な対策が中長期的な対策に加えて必要である。

最近、著者らは遡上時期に設置可能な幅 50cm 程度の簡易魚道を提案した¹⁾。3 分の 1 勾配の斜面の水際に設置することによって(写真-2, 図-1), 1 日最多約 4 万匹の稚アユの遡上を可能にし(写真-3), 短期的に遡上可能な環境を作り出すことができた^{1), 2), 3)}。この提案魚道の場合、移動式であるため河川管理上、管理人が常時必要となり、遡上時期に常時設置することは困難である。

ここでは、既設の固定堰および周辺の構造を変えることなく、常設される安全な暫定魚道を提案した。模型実験によって提案魚道における流況特性

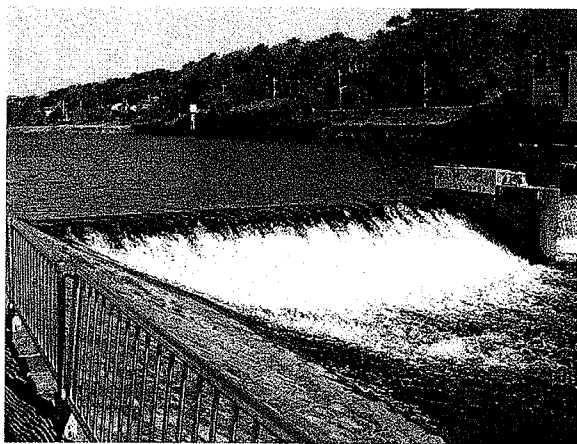


写真-1 東京都水道局が管理する調布堰(神奈川県側の固定堰; 堰高: 約 1.8 m)

を明らかにし、平水時・洪水時の流況を特徴づけた。また、暫定魚道における流況観察、流速ベクトル、および水面形から平水時の遊泳魚・底生魚・甲殻類の遡上経路を考察することができた。さらに、洪水時の魚道隔壁に作用する流体力を明らかにした。なお、ここで提案する暫定魚道とは、整備計画で示された魚道が整備されるまでの間に短期的に実施可能な試験的な魚道のことである。

2. 暫定魚道の提案

調布堰右岸側に設置可能な魚道を提案する(写真 - 4、図 - 2)。提案魚道の特徴を以下に示す。

- ・ 多様な水生生物が集まる水際に設置可能である。
- ・ 護岸と固定堰越流面との接合部で作られる 35.4% の勾配に三角錐状の隔壁が等間隔に設置されている。
- ・ 隔壁天端からさらに高さ 23cm、厚さ 15cm (原型寸法) の突出部が設けられ、間仕切り前で休憩できるプールが確保される構造になっている。この場合、隔壁天端に設けられた突出部の脇の流れを通して遡上しやすい環境としている。なお、突出部の高さは平水時にプールが形成されるための必要高さとし、かつ出水時に受ける流体力を最小限に抑えるための最小高さとして定めている。
- ・ 遊泳魚が遡上しやすいように、隔壁の越流面は 36 度の傾斜面(72%勾配)としている。この勾配は隔壁の高さ、隔壁間の落差から定められる。
- ・ 水際の流れの速さを制御し、甲殻類・底生魚が遡上しやすい状況にしている。
- ・ 堰の構造を変えていないため、堰を越える気泡混入した流れが呼び水の効果をもたらし、遡上ばかりでなく降河も可能な流れとなっている。
- ・ プール内で堆砂しにくいように、隔壁の高さを約 21 cm 程度としている。また、隔壁間の落差を約 30 cm 程度とした。その結果、隔壁間の長さは幾何学的に 72 cm となる。

3. 実験

水路幅 80 cm、長さ 18m の長方形断面水路に提案魚道(写真 - 4)を設置して実験を行った。実験では 6 分の 1 模型を用い、フルードの相似則を用いた。また、実験項目を以下に示す。

- ・ 提案魚道において遡上可能な流況となるための水理条件を知る。
- ・ 平水時(晴天が続いた晴天時)での流速、水深等の流況特性を知る。
- ・ 平水時の流況において隔壁の脇の流れが遡上可能な流れであることを検討する。
- ・ 平水時(小出水直後)での流速、水深等の流況特性を知る。
- ・ 中規模出水時の流れ(30 分の 1 確率以下の洪水)によって魚道の隔壁に与える流体力を知る。

なお、調布堰の場合、大規模な出水(50 分の 1 確率以上の洪水)が生じた場合、堰は水没し、主流が堰の越流面に沿わないため、魚道の安定性は中規模以下で検討する。また、30 年に 1 度起き得る程度の中規模出水(表 - 1 中の RUN1 に相当)でも堰下流側の水位は堰天端近くになる。

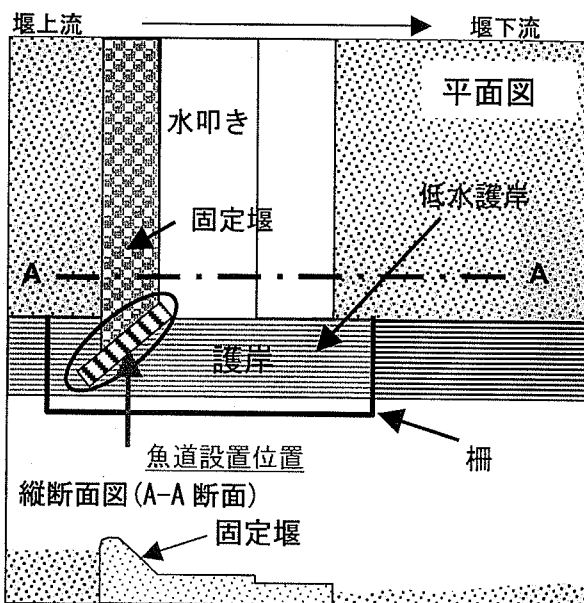


図 - 1 調布堰右岸側概略平面図



写真 - 2 透過型簡易魚道の設置状況

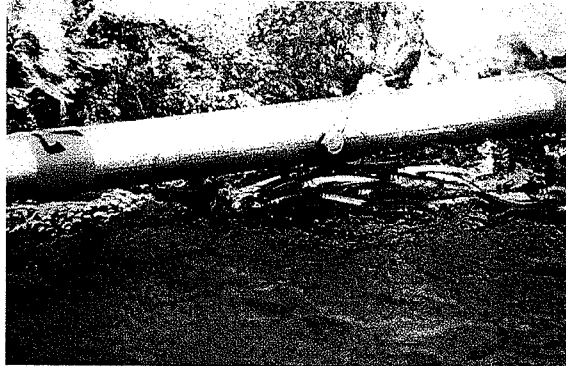


写真 - 3 簡易魚道を通して遡上する稚アユ

表 - 1 に示す実験条件は多摩川調布堰に基づいた原型のスケールに換算したものである。また、写真 - 4 に示されるように、模型実験では、越流面および護岸法面ともに滑面(合板の仕上げ面)としている。実際は護岸法面および越流面ともに石張り状になっている。そのため、斜面を滑面とすることで底面摩擦抵抗が小さくなり、魚道に接近する流れが速くなりがちになる。このことから、写真 - 4 に示す模型を用いた実験を行うことによって、平水時における暫定魚道内の流況が遡上可能な状況であるかどうか、および出水時に魚道が安定しているかどうかを安全側に検討することとなる。さらに、水路下流端に設置された越流型ゲートによって下流水位は調整できるが、安全側を考えるため、模型越流面上では常に射流が形成される状態で実験を行った。

水深はポイントゲージで測定し、魚道内の流速はケネック製の I 型 2 次元電磁流速計 (4mm 径のプロープ; 採取間隔 20ms, 採取時間 30s) およびピトー管を併用して測定した。魚道隔壁および隔壁突出部に作用する流体力(抗力)については、圧力取り出し孔を用いて隔壁前後に作用する圧力を測定した。

表 - 1 実験条件

RUN No.	単位幅流量 q_b (m ³ /s/m)	限界水深 d_{cp} (cm)	備考欄(想定 流量規模)
1	1.597	63.84	中規模出水 1
2	0.996	46.62	中規模出水 2
3	0.403	25.50	小規模出水 1
4	0.261	19.08	小規模出水 2
5	0.244	18.24	平水時 (雨天直後)
6	0.136	12.36	平水時(高め)
7	0.0957	9.78	平水時(普通)

中規模出水 1 の場合、実際は下流水位が堰天端近くまで上がり、主流が水面に沿う流れとなる。

4. 流況

平水時、小規模出水時、中規模出水時の流況の一例をそれぞれ写真 - 5 から写真 - 7 に示す。

平水時の流況の場合、写真 - 5 に示されるように、魚道隔壁ごとにプールが形成される。流況観察から遡上経路と推定されるルートをベクトルで示している。流速測定結果からも裏付けられているが(5章参照)、水際側の魚道隔壁の脇の流れは遡上経路に適した流れとなっている。また、各プール内では、遊泳魚がプール直上流の魚道隔壁からの流れに誘われるような流況になっていることから、正の走流性を持つ遊泳魚にとってスムーズに遡上しやすい流れになっているものと推定される。魚道最上流端では、限界流近くの流れになり、平水時の限界流速では実流速で 1 m/s 前後となることから、遡上経路は幅広く選べる状況となっている。すなわち、遡上してきた遊泳魚が捕食者から回避しやすい流れとなっている。

また、第 1 隔壁の天端では突出部が設けられていな

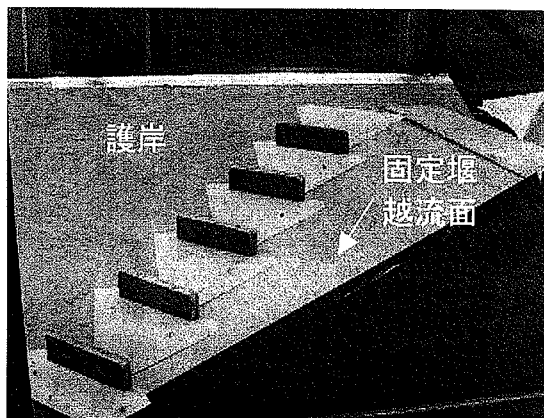
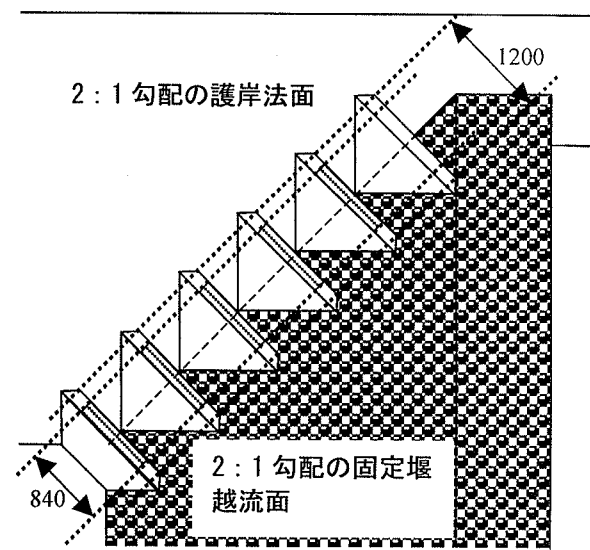
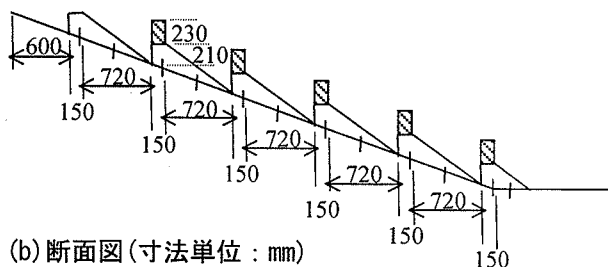


写真 - 4 暫定魚道模型



(a) 平面図(寸法単位: mm)



(b) 断面図(寸法単位: mm)

図 - 2 原型に換算した暫定魚道の寸法

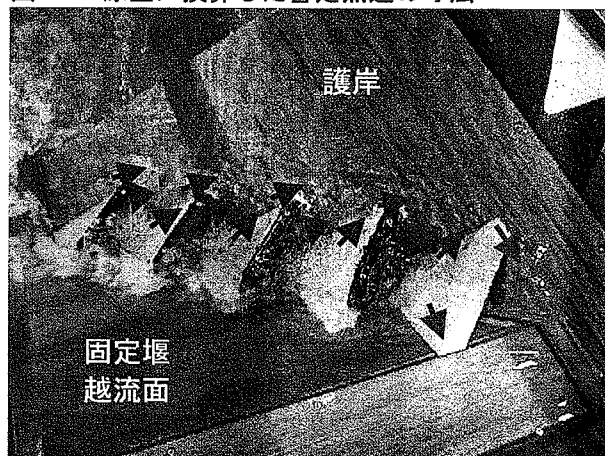


写真 - 5 平水時の流況(RUN7 の場合)

いことから水際近くを除いて限界水深程度の水深が保たれている。上述の流況が形成される水理条件としては、限界水深の大きさで表すと 18cm 以下となる。なお、18cm の限界水深が生じる状況は雨天直後の水量が比較的多い状況に相当する。

小規模出水時の流況の場合、写真 - 6 に示されるように、平水時に形成されたプールは形成されず、射流の状態で魚道上を通過する。この場合、魚道隔壁および突出部の形状の影響で魚道上を通過する流脈が大きく乱れがちとなる。すなわち、気泡混入した射流の流れとなる。このことによって、堰下流側の河床に向かう流れにおいて気泡の浮力の影響で乱れがより多く生成され流速が減衰されやすくなり、河床侵食の軽減につながるものと考えられる。

中規模出水時の流況の場合、写真 - 7 に示されるように、小出水時と同様に魚道上を射流で流下する。魚道隔壁および突出部の高さが従来の魚道^{4,5)}に比べて小さいことから、中規模の出水時で魚道上の水面形は魚道隔壁および突出部の形状を受けるものの流脈は大きく乱れないことが分かる。すなわち、出水規模が中規模程度から暫定魚道を設置したことによる流況の変化が小さいものと推定される。なお、第 3 章の「実験」で記述したように、中規模程度の出水が生じると、実際は堰下流側の水位が上がり、堰天端付近までできてしまう。すなわち、堰を越える流れが潜り込まず主流が水面に沿う可能性が極めて高くなる。このことから本実験で観察された RUN1 の流況は実際には形成しない流況であるが、中規模出水時の魚道隔壁に作用する流体力の検討として考慮に値する流況である。

5. 平水時の暫定魚道における水面形および流速ベクトル

平水時の流況 RUN6 における等水深線図および流速ベクトルを図 - 3、4 に示す。図に示されるように、原型寸法にして 30cm~40cm 程度のプールが魚道隔壁直上流側で形成される。また、平水時においても魚道隔壁の脇から 1 m 程度離れた箇所に水際ができるようになる。水際と魚道隔壁との間では水深が 15cm~20cm 程度となるため、捕食者が容易に魚道隔壁の脇に近づけない状況になっている。魚道隔壁の脇の流速は、図 - 4 に示されるように、1 m/s 程度の流速となっているため、多摩川で遡上行動をとる稚アユ、マルタウグイ、サクラマスなどにとって魚道隔壁の脇の流れは容易に遡上できる流れであることが推定される。また、水際と魚道隔壁との中間では、流速が 3 m/s 近くになることから、遡上中の遊泳魚を捕食者から守ることばかりでなく、流れを利用して遡上する遊泳魚と水際に沿って遡上する底生魚や甲殻類の遡上経路をそれぞれ独立して確保することができるものと推定される。なお、水際近傍の流速は魚道が設置されていない場合に比べて小さく水跳ねが軽減されるため、水中から

で水際を這って遡上する底生魚・甲殻類⁶⁾にとって遡上しやすい状況となる。魚道隔壁左岸側は堰から越流する流れに面していることから、魚道隔壁の脇の流速は 3m/s~4m/s 程度となる。なお、魚道が設置されていない場合は 5 m/s となり、遊泳能力の高い遊泳魚でも遡上することは不可能である。

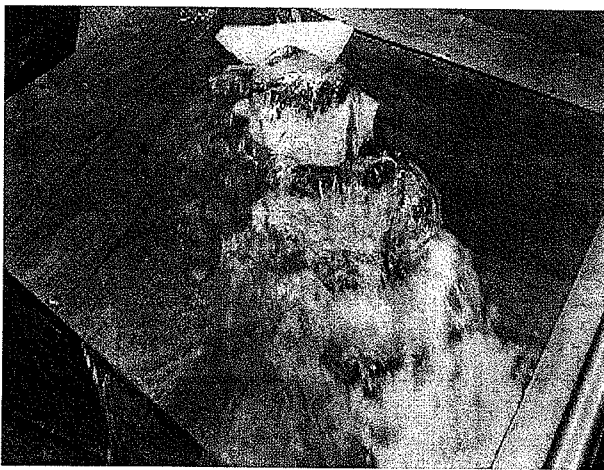


写真 - 6 小規模出水時の流況 (RUN4 の場合)



写真 - 7 中規模出水時の流況 (RUN1 の場合)

2 : 1 勾配の護岸法面

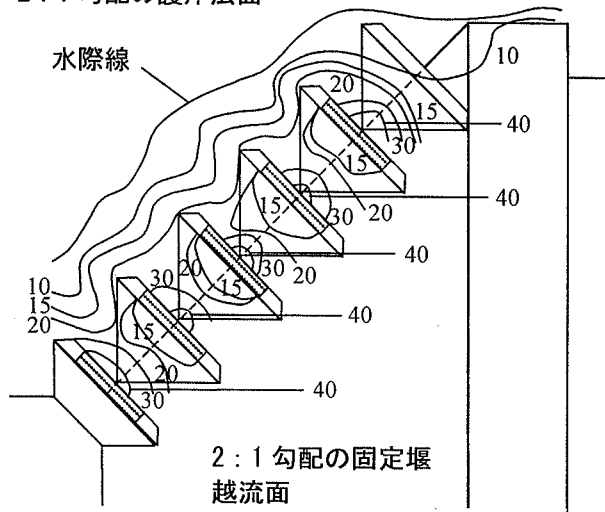


図 - 3 平水時の流況 (RUN6) における等水深線図 (単位 : cm)

2 : 1 勾配の護岸

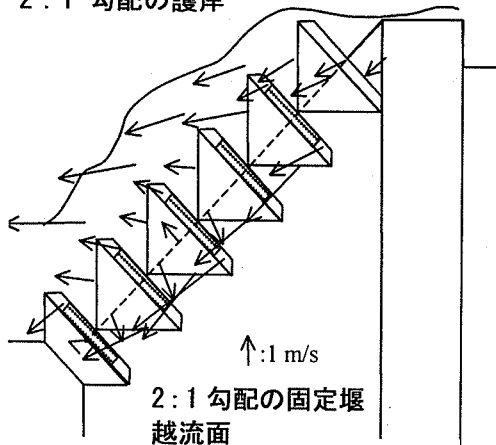


図 - 4 流況 RUN6 における流速ベクトル ($y=6\text{cm}$)

6. 中規模出水時の魚道隔壁および突出部に作用する流体力

中規模出水時の流況 RUN 1 を対象として、暫定魚道の安全性を検討するため、暫定魚道の隔壁部および隔壁突出部に作用する流体力を検討した結果の一例を図 - 5、6 および表 - 2 に示す。なお、魚道隔壁突出部前面に作用する流体運動による圧力 p_{df} を限界流速 V_c で表した運動エネルギー ($0.5 \rho V_c^2$) で無次元化し、(1) の関係で整理している (図 - 5)。

$$p_{df}/(0.5 \rho V_c^2) = f(y/S, z/T, N) \quad (1)$$

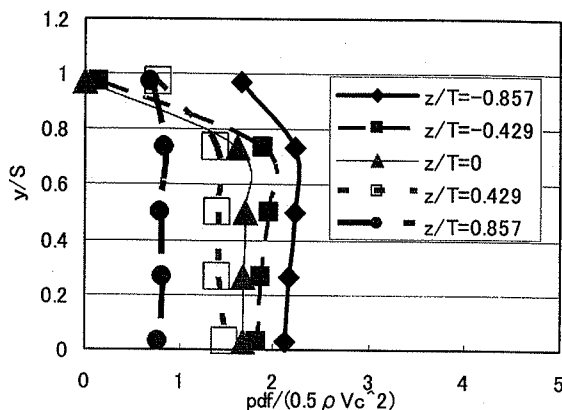
ここに、 N は魚道最上流端から数えた隔壁ナンバー、 S は突出部の高さ (原型寸法で 23 cm)、 T は突出部横断方向の幅の半分の長さ (原型寸法で 42 cm)、 y は魚道隔壁天端からの鉛直上方の長さ、 z は突出部中心からの横断方向の長さ (右岸へ進む方向が正の方向) である。

図 - 5 に示されるように、隔壁突出部前面に流れが衝突しているため、衝突点で流体運動による圧力の大きさが最大となり、逆 S 字型^{7,8)} の分布を示す。特に、突出部の左岸側では、堰から越流する流れが衝突しているため、圧力上昇が顕著に見られる。

一方、水際に最も近い右岸側 ($z/T=0.857$) では、他の断面に比べて p_{df} の大きさが最も小さく、分布が異なる。これは、堰から越流する流れが直接あたることなく、水際側の魚道隔壁の脇を通過する流れが突出部の右岸側にあたるためと考えられる。

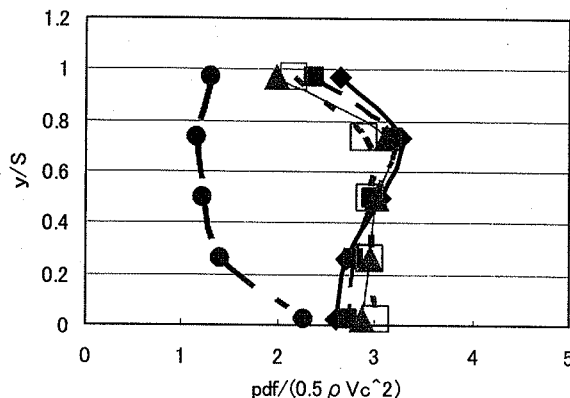
図 - 6 は突出部に作用する局所抗力係数 $C_{La}[(p_{df} - p_{at})/(0.5 \rho V_c^2)]$ の横断方向の変化を示す。なお、パラメータとして隔壁天端からの相対高さ y/S を用いている。図に示されるように、図 - 5 の場合と同様に左岸側の局所抗力係数の値が大きく、水際に最も近い右岸側 ($z/T=0.857$) の局所抗力係数の値は最も小さくなる。また、下流側の隔壁 ($N=5,6$) の左岸側

第2魚道隔壁衝突部前面に作用する流体力



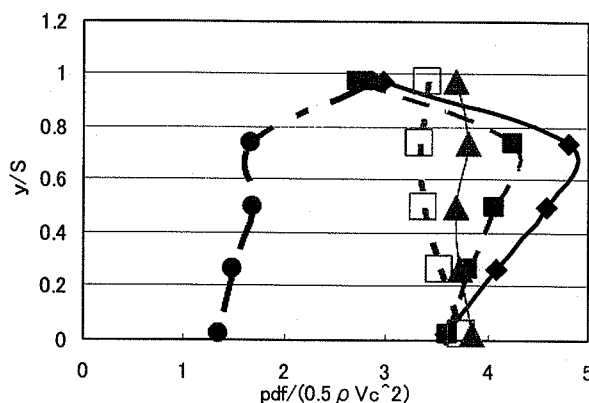
(a) 第2隔壁の突出部 ($N = 2$)

第4魚道隔壁突出部前面に作用する流体力



(b) 第3隔壁の突出部 ($N = 3$) (凡例は (b) 参照)

第5魚道隔壁突出部前面に作用する流体力



(c) 第5隔壁の突出部 ($N = 5$) (凡例は (a) 参照)

図 - 5 魚道隔壁に設けられた突出部前面に作用する流体運動による圧力の分布

($z/T=-0.857$) に作用する局所抗力係数 C_{La} が最大値を示し、5.6 となる。隔壁部に作用する抗力を表 - 2 に示す。抗力係数 C_D の値は隔壁前後面の中心に作用する流体運動による圧力を用いて算定して

いる[$C_D=(p_{ax}-p_{ay})/(0.5 \rho V_c^2 A)$]. また、表に示す抗力 D は $C_D \times [0.5 \rho V_c^2 A]$ から算定し、 A は隔壁部前面の面積を示す。表に示されるように、190 kgw (約 1.9 KN)未満の抗力が隔壁部に作用する。隔壁突出部に作用する抗力について、局所抗力係数の最大値が突出部全体に作用しているものとみなして計算すると($C_{Ld} \times [0.5 \rho V_c^2 A]$)を算定; A は突出部前面の面積、303 kgw (約 3.0 KN)程度となる。これらのことから、出水時の魚道隔壁の安全性からみて、魚道隔壁1個あたりに作用する抗力は突出部を合わせても500 kgw (4.9 KN)未満であり、問題がないものと考えられる。

7. まとめ

2 分の 1 勾配の護岸と固定堰越流面との接合部に設置できる暫定魚道(写真 - 4, 図 - 2)を提案し、その暫定魚道の特徴を示した(2 章参照)。また、平水時ならびに小規模、中規模出水時における暫定魚道内の流況特性(写真 5~7)を解明した。平水時の流況(写真 - 5)および流速測定の結果(図 - 3, 4)から、遡上・降河可能な流れであることを示し、遡上経路を推定した。また、出水時の魚道隔壁に作用する流体力の測定結果(図 - 5, 6, 表 - 2)から、出水時でも隔壁 1 個あたりに作用する抗力が最大でも 500kgw (4.9KN)未満となることが示された。

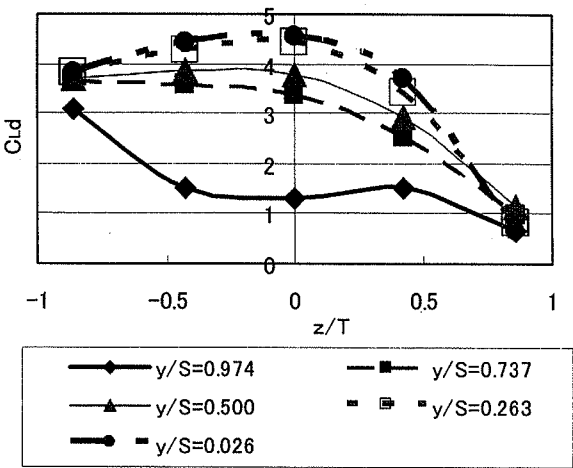
謝辞

本研究を実施するにあたり、平成 15 年度河川整備基金研究助成を受けた。ここに、記して謝意を申し上げる。

参考文献

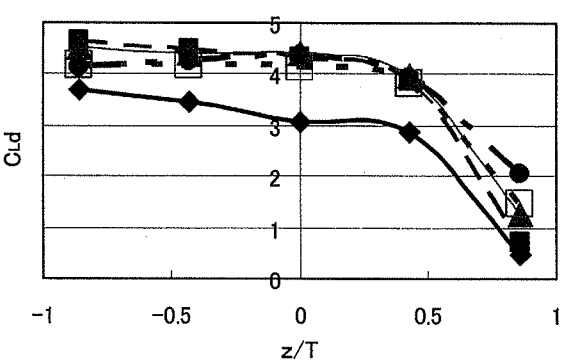
- 1) 安田陽一，大津岩夫，小出水規行“既設の固定堰に設置する透過型簡易魚道の提案,” 河川技術論文集(報告)土木学会水理委員会河川部会, Vol.8, 349-354, 2002.
- 2) Yasuda, Y. Ohtsu, I., Koizumi, N., Junaidi, A.: Installation Test of Ladder-Type Fishway at Diversion Weirs in Japan and Indonesia, *The 13th APD IAHR Congress*, 947-950, 2002.
- 3) Yasuda, Y. Ohtsu, I. & Takahashi, M.: New Portable Fishway Design for Existing Trapezoidal Weirs, *Journal of Environmental Engineering and Science, Special Issue*, Canada, 2004 (to be published).
- 4) 中村俊六 魚道の設計, 山海堂, 2000.
- 5) Wada, K. Azuma, N. & Nakamura, S.: Migratory behavior of juvenile Ayu in Denil and Steep pass fishways, *Advances in Fish Passage Technology, American Fisheries Society*, 2000.
- 6) 安田陽一，大津岩夫，三矢泰彦，浜野龍夫“長崎県河川通川におけるエビ・カニの遡上に配慮した魚道の効果,” 河川技術論文集(報告)土木学会水理委員会河川部会, Vol.8, 343-348, 2003.
- 7) Yasuda, Y. and Ohtsu, I.: Energy Dissipation Structures, *Encyclopedia of Water Science, Marcel Dekker Inc.*, New York, 195-198, 2003.
- 8) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Yamanaka, Y.: Drag on vertical sill of forced jump, *Journal of Hydraulic Research, IAHR*, 19 (1), 29-47, 1991.

第2魚道隔壁突出部に作用する抗力係数



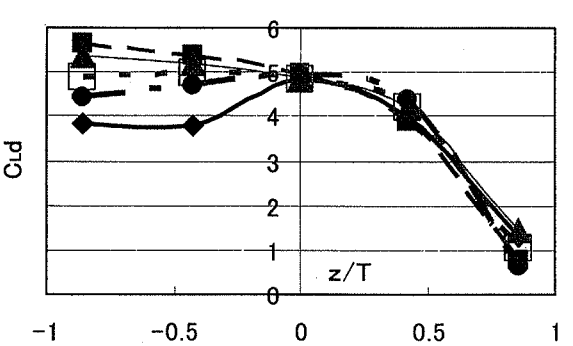
(a) 第 2 隔壁の突出部 (N = 2)

第4魚道隔壁突出部に作用する抗力係数



(b) 第 4 隔壁の突出部 (N = 4) (凡例は (b) 参照)

第5魚道隔壁突出部に作用する流体力



(c) 第 5 隔壁の突出部 (N = 5) (凡例は (a) 参照)

図 - 6 突出部に作用する局所抗力係数の変化

表 - 2 暫定魚道隔壁部に作用する抗力 (RUN 1 対象) 抗力の値は原型規模で表示

場所	抗力係数 C_D	抗力(KN)	抗力(Kgw)
第 1 隔壁	0.695	0.242	24.7
第 2 隔壁	2.92	1.02	104
第 3 隔壁	3.65	1.27	130
第 4 隔壁	4.60	1.60	165
第 5 隔壁	4.98	1.73	177
第 6 隔壁	5.28	1.84	188

(2004. 4. 7受付)