

赤石第2頭首工のアイスハーバー型魚道隔壁における魚類の遡上行動

ASCENDING ROUTE OF FISHES AT A WALL IN ICE-HARBOR
TYPE FISHWAY OF THE AKAISHI NUMBER 2 HEAD-WORKS

泉 完¹・高屋大介²・工藤 明³・東 信行⁴

Mattashi IZUMI, Daisuke TAKAYA, Akira KUDO and Nobuyuki AZUMA

¹正会員 農博 弘前大学・助教授 農学生命科学部 地域環境科学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

²農修 青森県東地方農林水産事務所 (〒030-0801 青森市新町2-4-30)

³正会員 農博 弘前大学・教授 農学生命科学部 地域環境科学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

⁴正会員 農博 弘前大学・助教授 農学生命科学部 生物生産科学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

The ascending route of the fish and the flow characteristics at the wall were demonstratively carried out in the ice-harbor type fishway (width:2.6m, drop:0.15 m, pool-length:3.0m, gradient:1/20) of Akaishi the number 2 headworks on the Akaishi River in Aomori Prefecture. It was found that the swimming fishes swum up rectilinear for the flow in lower layer division (which the velocity was about 200cm/s) of disturbing overflow on the notches at the wall in the fishway canal. On the other hand, it was found that on the orifices of the wall in the fishway canal the fishes swum through in the each basal plane corner part as well as on the orifices of the uppermost stream division wall.

Key Words : Headworks, Ice Harbor Fishway, Ascending survey, Ascending route of Fishes

1. はじめに

近年、頭首工や取水堰などの河川横断工作物に設置される魚道の設置意味が、河川生態系に配慮した河川整備計画を行う上で、重要視されてきており、それぞれ固有の魚道構造に起因する水理設計がなされている。

これら魚道の水理設計に関して、魚類等が魚道を遡上していく流れの境界条件としての設計流速は重要な factor であり、設計者は対象魚種の巡航速度(ここで約60分間持続できる遊泳速度と定義する)、および突進速度(ここで数秒間持続できる最大遊泳速度と定義する)を指標にして設計流速を想定している。そして、これらの巡航速度と突進速度は、それぞれ体長の2~4倍、10倍が一般的な目安とされ^{1),2)}、最近では魚道を視野にした淡水魚類の耐久遊泳速度について、大型の実験水路を使用した詳細な実験が行われ、有益な知見を得ている³⁾。

一方、「魚類等が魚道内の流れ場をどのように遡上(遊泳)していくのか」については、非常に興味のある課題で、この点、著者らは切り欠きと潜孔を持つ現地魚道の隔壁部で魚類等の通過経路や遊泳速度の実地調査を

行ってきたが⁴⁾、依然明らかにすべき点が多い。

そこで、本報告は前報⁴⁾に引き続き頭首工のアイスハーバー型魚道において、魚道水路中の切り欠き部と上流のプールの影響を受けない最上流部潜孔部での現地調査から、魚類がこれら魚道隔壁のどのような流れ場をどのようにして遡上するのかについて実証的に検討したものである。

2. 調査魚道の概要

魚類の隔壁通過経路の調査を行った魚道は、赤石川水系赤石川(青森県、二級河川)に設置されている赤石第2頭首工のアイスハーバー型魚道である。本魚道では魚類の遡上・水理調査も行われ、24時間採捕調査による主な魚種とその遡上割合は遊泳魚87%(アユ・72%, ウグイ・15%), 底生魚12%(ヨシノボリ類, ウキゴリ類, カジカ)である⁵⁾。赤石川(河川総延長約45km)は、世界遺産の白神山地から日本海へ注ぎ、頭首工は河口から約6km上流に位置している。図-1に魚道の概要を示す。

魚道は右岸側に位置したアイスハーバー型魚道で、全

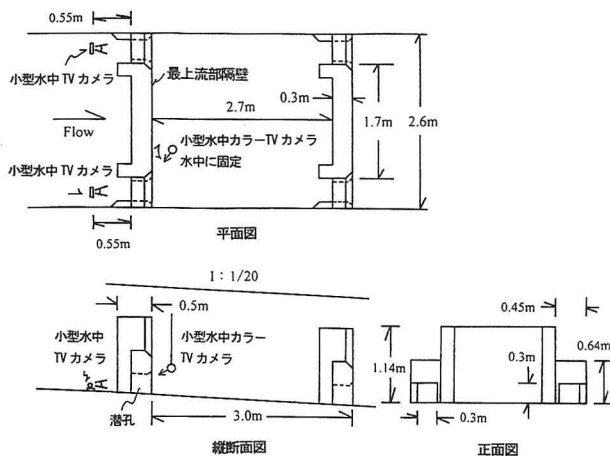


図-1 魚道の概要

長71m, 幅2.6m, 隔壁間隔3.0m, 勾配1:20, プール間落差0.15mである。隔壁には左右に切り欠き(幅0.45m), その下方には潜孔(0.3m×0.3m)がある。魚道計画流量は $0.3\text{m}^3/\text{s}$ で, 魚道の水路床は各プール間に段差がない斜路になっている。

3. 調査項目と方法

調査は, 1999年～2001年の灌漑用水の取水期である6月から8月にかけて昼間に行った。調査項目は, 切り欠き部の鉛直方向(深さ方向)と潜孔部の魚類の通過経路, 隔壁の上・下流水深と切り欠き部の水深, 切り欠き部と潜孔部の流速分布である。なお, 魚類が切り欠き隔壁部背面からどのように遡上してくるのかも観察した。それぞれの調査において気温, 水温を測定するとともに, 2001年では魚種を調べるため既往調査⁴⁾と同様に右岸一箇所のみの方網による採捕調査も同時に行った。

なお, 魚道プール内の流況は, 両切り欠きからの越流水脈と潜孔からのもぐり噴流が卓越しているものの, 上流側非越流部隔壁付近には流速の遅い区域が形成され, アイスハーバー型魚道特有の流況であった。

(1) 切り欠き部の計測方法

切り欠き部の鉛直方向の通過経路の測定は, 越流水脈が一様な流れを形成する最上流部隔壁を選定した調査⁴⁾と比較するため, プール内の流速分布を測定した水路の第3プールの隔壁切り欠き部を選定した。そして, 水中の観測は図-2に示されるように切り欠き天端に回転式の小型水中TVカメラ(FM-1000, キュー・アイ, 直径8.5cm・長さ22cm)を設置し, 画像をVTRで録画した。カメラは測定台に固定され, カメラレンズの中心は測定台底部から約10cmの高さにある。

カメラの見通し方向は, 右岸では右岸側壁方向, 左岸では非越流部側壁方向とした。カメラのレンズは, 壁から12cm離れているため切り欠き越流水脈の横断方向

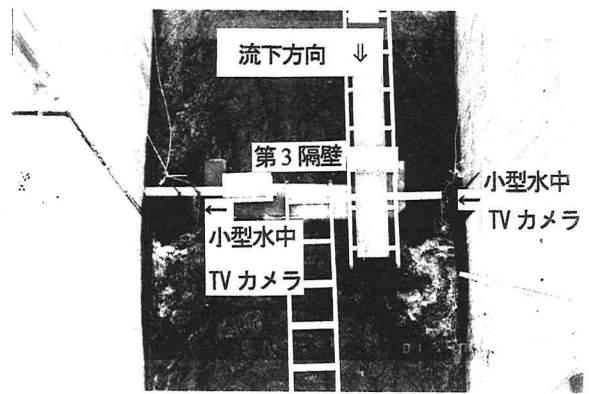


写真-1 切り欠き部における小型水中TVカメラの設置状況

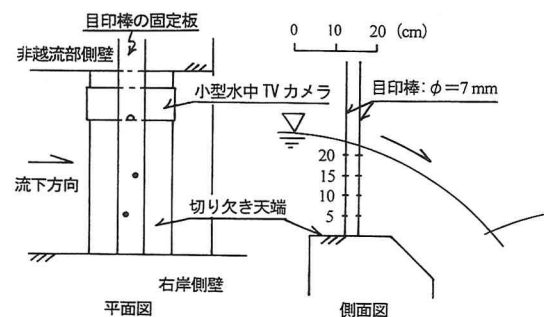


図-2 切り欠き部における観測概要の1例(右岸側)

全体を見通せないが, 切り欠き幅の約60%を見通せる。また, 目視による遊泳魚類の経路が確認しやすいように, 5cmごとにマークを付けた直棒を切り欠き部に設置し測定した(写真-1・図-2参照)。

(2) 潜孔部の計測方法

潜孔部の魚類の通過経路については, 上流プールからの流れの影響を受けない潜孔で, 魚類がどのように遡上するかを調べるため, 魚道水路の最上流隔壁の潜孔部を選定し, 図-1に示すように潜孔全体を見通すことができるよう潜孔から55cm上流の水路床に小型水中TVカメラを設置し, 画像をVTRで録画した。なお, 潜孔部において魚類の通過が確認しやすいように潜孔内に白線を引く工夫をした。さらに, 潜孔入口部や切り欠き背面の魚類の動態を観察するため, 最上流部の隔壁の直下流部水中に超小型水中TVカラーカメラ(FM-4100, キュー・アイ, 上下・左右の巡回視界角360°)を設置し(図-2参照), カメラを適宜旋回させながら画像をVTRで録画した。

また, 隔壁の切り欠き部(63点: 横断方向9点×深さ方向7点)と潜孔部(49点: 横断方向7点×深さ方向7点)の流速を三軸電磁流速計(ACM-300, アレック電子)を用い測定し, サンプルング間隔10Hzで40秒間データレコーダ(TEAC製; DR-F1)に記録させた。そして, 三軸方向成分(W: 横断方向, S: 流下方向, D: 深さ方向)の各流速は, 記録データのうち100個を用い, 平均流速およ

表-1 遡上経路調査日と気象・水理条件

調査日	番号	観測遡上経路		切り欠き水深 (cm)	水位差 (cm)	天気	水温 (℃)
		切り欠き部	潜孔部				
1999年 6/29	S-1	—	左岸*	22.0*	21.5*	晴れ	26.7
2000年 8/8	S-2	—	左岸・右岸*	20.8*	20.0*	曇り	22.5
2001年 7/3	S-3	左岸・右岸**	—	19.8**	14.0**	曇り	21.0
7/18	S-4	右岸**	—	30.0**	17.0**	晴れ	19.6
7/23	S-5	左岸・右岸**	—	25.5**	14.0**	晴れ	22.8

*：最上部隔壁，**：第3隔壁

表-2 主な魚種と平均体長

単位：(cm)

	アユ	ウグイ	ヨシノボリ類
1999年6月下旬	7.0	10.8	—
2000年8月上旬	10.3	8.0	5.1
2001年7月上旬	6.2	6.2	3.0
2001年7月中旬	7.2	7.7	5.0

表-3 計測時間と計測個体数

番号	観測時間 (hr)		観測個体数		
	切り欠き部	潜孔部	切り欠き部	潜孔部	潜孔部
	側面	正面	側面	左岸	右岸
S-1	—	4.5	—	123	—
S-2	—	8.0	—	133	194
S-3	6.2	—	375	—	—
S-4	5.8	—	78	—	—
S-5	6.0	—	31	—	—

び流速変動の指標として標準偏差を求めた。

4. 調査結果と考察

表-1と表-2はそれぞれ切り欠き部と潜孔部の遡上経路調査日と気象・水理条件，および観測時間を示したものである。表-1には調査日に対応し番号を付した。調査回数は，切り欠き部の鉛直方向3回，潜孔部4回の合計6回で1日あたりの平均観測時間は6.1時間である。

調査日の気象条件は晴れの日が多く，平均水温は，19.6℃～26.7℃の範囲であった。ここで，調査時の主な魚種を既往調査⁴⁾および採捕調査で調べると，表-2に示すようにアユ(平均体長6.2cm～10.3cm)，ウグイ(平均体長6.2cm～10.8cm)，底生魚ではヨシノボリ類(平均体長3.0cm～5.1cm)であった。したがって，観測されたおもな魚種は遊泳魚ではアユ，ウグイ，底生魚ではヨシノボリ類，ウキゴリ類を指すことになる。

(1) 切り欠き部の通過特性

はじめに画像を観察したところ，S-3とS-5の左岸では魚種の計測個体数が極めて少なかったので，ここでは右岸切り欠き部のみについて検討することにした。表-3は，S-3・S-4・S-5の各調査での切り欠き幅の約60% (横断方向27cm幅)の区域における右岸の計測個体数を示したものである。計測個体数は，31個体～375個体，総観測時間18.0時間の合計484個体である。魚種は遊泳魚が467個体(96%)，底生魚が17個体(4%)であった。

切り欠き水深は19.8cm～30cm，プール間の水位差は14cm～17cmであった。

鉛直方向の通過経路は，図-2に示されるように画像の目印によって，天端から5cmごとに区分し，各深さごとを通過する魚種の割合を調べた。図-3は，各調査日の深さ別の計測個体数，図-4は合計484個体の深さ別の割合を遊泳魚・底生魚に分けてそれぞれ示したものである。これらの図に示すように切り欠き水深が20cm～30cm程度の場合，底からの深さが10cm程度(水深の約50%)までで約80%を占めているのがわかる。

切り欠き部を通過する遊泳魚の動態とそこでの流れを画像から観察すると，流れは目印棒による下流側への人工的な乱れの影響はあるものの，上流側からの影響で多量の気泡をともなった流れであり，流線の方に逆らって，やや直線的に瞬時に通過する個体が多数であった。

そこで，このような通過経路と流れ場との関係を調べた。図-5(a)・(b)，図-6は，右岸切り欠き部の流下方向成分(S方向)の等流速線とその流速変動曲線(σ_S ：標準偏差)，および $Xb/b=0.2$ の位置(Xb ：魚道水路側壁からの距離， b ：切り欠き幅)における2次元合成鉛直流速分布 V_{SD} の1例である(切り欠き天端中央の水深

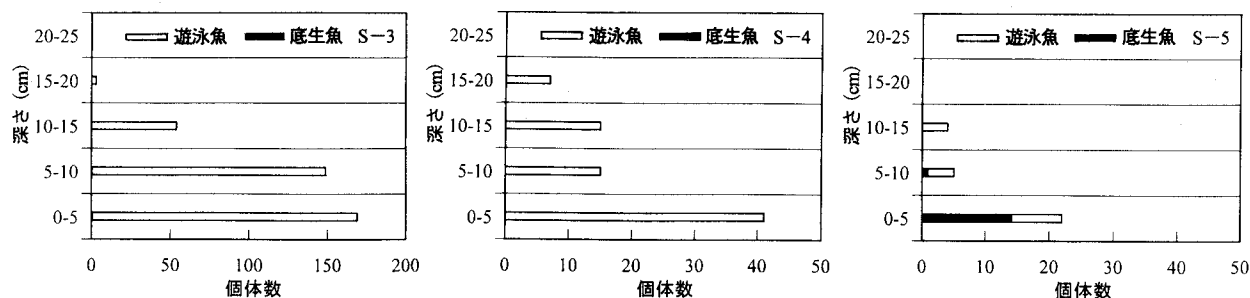


図-3 切り欠き部の鉛直方向の通過個体数

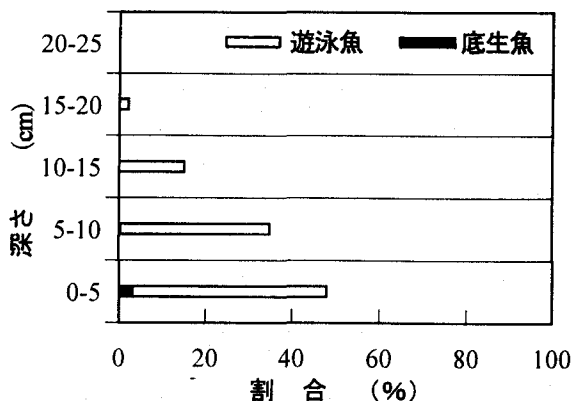


図-4 切り欠き部の鉛直方向の通過割合

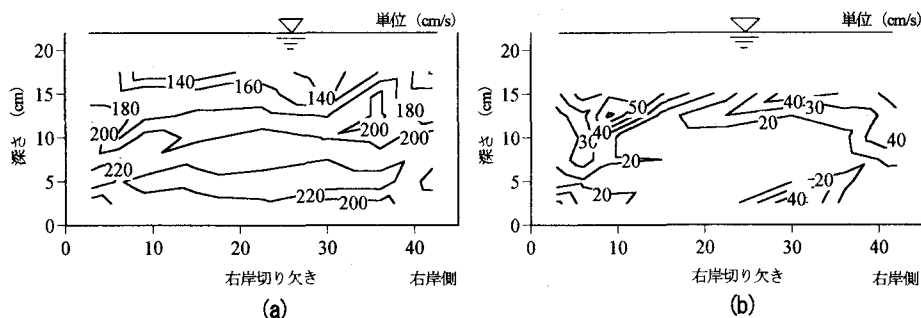


図-5 (a)・(b) 等流速線と流速変動 (σ_s) 曲線

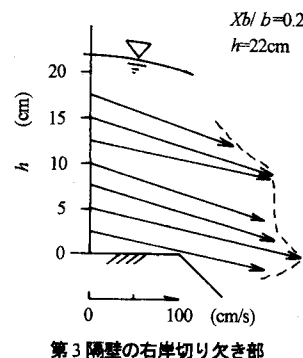


図-6 2次元合成鉛直流速分布

h は22cm) . 断面内の流速値 V_s は140cm/s~230cm/sで下層ほど速く、流速変動値 σ_s も10cm/s~50cm/sと大きい。

また、水深10cmの位置の接近流速を無視した平均理論流速 $V_N (= \sqrt{2g h})$ ($h=10$ cm)は $V_N=140$ cm/sであるが、図に示されるように平均理論流速値の1.4倍の200cm/sを越えており、上流からの接近流速の影響を強く受けていることがわかった。

一方、2次元合成鉛直流速値 V_{SD} は150cm/s~240cm/sであり、水深が同じ越流水脈が一樣な最上流隔壁の流れ場⁴⁾と比較しても接近流速のため約1.2倍ほど速い。そして、流速変動値 σ_s は鉛直平均27cm/sで、最上流隔壁の流れ場 ($\sigma_s=2$ cm/s)に比較してかなり乱れている。

このように、魚道水路中の切り欠き部では、おもにアユやウグイなどの遊泳魚が越流水脈を一樣に通過している本魚道の最上流部切り欠きの調査⁴⁾と対照的に上流切り欠きからの水流の影響で気泡を伴った変動が大きい乱流場であり、遊泳魚は、切り欠きの天端や側壁を感知⁷⁾しながら、それとはほぼ平行な方向、すなわち流れの変動が大きいので、流線の方向に逆らって最短距離を選択して瞬時に遊泳し通過する遡上行動をするものと推測される。また、本魚道の切り欠きを通過する際の遊泳魚の遊泳速度は少なくとも240cm/sはあったことがわかってきたが⁴⁾、水路中の切り欠き部では速くて乱れている流れ場 (V_{SD} =約200cm/s, σ_s =約20cm/s)をそれよりもさらに速い、ほぼ突進速度に近い遊泳速度で通過していると考えられる。

一方、切り欠き部における吸盤を持つハゼ科の底生魚と確認された魚類の遡上形態は、乱れのある流れ場でも既往の調査と同様に吸盤を使って切り欠き部の天端上や側壁沿いを断続的に這うようにして遡上することが確認された (図-4 参照)。

(2) 潜孔部の通過特性

2回の各潜孔の魚類の計測個体数は、表-3に示されるように123個体~194個体、左岸・右岸潜孔の観測時間と総数はそれぞれ12.5時間・256個体、8時間・194個体で合計450個体である。魚種は遊泳魚が251個体(56%)、

底生魚が199個体(44%)であった。水理条件の水位差 Δh は20.0cmと21.5cmである。

潜孔部は遡上魚が通過する時の流れの境界場で、とくに入口は流速が速い流れ場であり、魚類はこの流れ場を突進速度に近い遊泳速度で通過すると考えられる。そこで、潜孔部における通過経路は、潜孔部を図-7に示すように9区域に分け、各区域を通過する魚類の割合を調べた。表-4・表-5に遊泳魚と底生魚別の経路割合を示す。

表から潜孔部入口における経路割合は、左岸・右岸とも遊泳魚では潜孔底面隅角部のNo.3とNo.9の区域で60%、底生魚では同様にNo.3とNo.9の区域で80%を占め、とりわけ隔壁非越流部側の隅角部No.9の区域が最も多いことがわかる。そこで、これら潜孔底面隅角部区域(No.3, No.6, No.9)の入口から出口への魚類の通過経路を全個体数の割合で調べた(表-6 参照)。

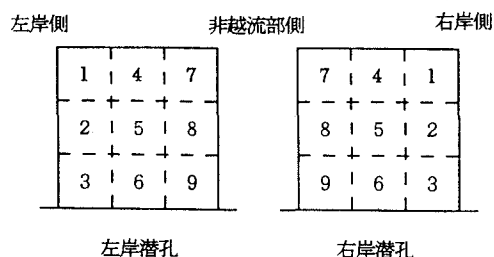


図-7 潜孔部における通過経路の区分

表-4 潜孔部における通過経路の割合 (遊泳魚)

最上流部隔壁 左岸潜孔 遊泳魚 (%)										
No.	出 口									計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
入	1	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			12.0
	2	1.5		1.5		1.5	4.0		1.5	10.0
	3		1.5	6.0			1.5		6.0	15.0
	4								1.5	1.5
	5				1.5	1.5				3.0
口	6			3.0		6.0				9.0
	7									0.0
	8					1.5	3.0	1.5	1.5	7.5
	9			1.5		9.0	15.0		1.5	42.0
	計	4.5	3.0	13.5	1.5	15.0	32.5	1.5	3.0	100.0

最上流部隔壁 右岸潜孔 遊泳魚 (%)										
No.	出 口									計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
入	1		1.6			1.6				3.2
	2		1.6			8.1	3.2			12.9
	3			13.0		1.6	9.8		3.2	27.5
	4			1.6		1.6			1.6	4.8
	5									0.0
口	6					1.6	6.5		3.2	11.3
	7									0.0
	8					1.6		3.2	1.6	9.6
	9			1.6		3.2	4.9		3.2	30.7
	計	0.0	3.2	16.1	1.6	17.7	27.6	1.6	4.8	100.0

表-5 潜孔部における通過経路の割合 (底生魚)

最上流部隔壁 左岸潜孔 底生魚 (%)										
No.	出 口									計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
入	1									0.0
	2									0.0
	3			27.0			7.5			34.5
	4									0.0
	5									0.0
口	6			1.5			12.0		3.0	16.5
	7									0.0
	8									0.0
	9			7.5			28.0		13.5	49.0
	計	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	47.5	0.0	16.5	100.0

最上流部隔壁 右岸潜孔 底生魚 (%)										
No.	出 口									計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
入	1									0.0
	2			1.5						1.5
	3		0.8	22.0			1.5			24.3
	4									0.0
	5									0.0
口	6			1.5			11.4		0.8	13.7
	7							1.5		1.5
	8						1.5	1.6	0.8	2.3
	9			3.8			38.6	3.2	14.3	56.7
	計	0.0	0.8	28.8	0.0	0.0	53.0	0.0	17.4	100.0

魚類の通過経路は、遊泳魚・底生魚ともに、No. 3→No. 3, No. 9→No. 6, No. 9→No. 9の経路が50%以上を占めており、既往調査⁴⁾での上流からの接近流速の影響を強く受ける魚道水路中の潜孔部の遡上経路に極めて類似することがわかった。

一方、隔壁背面に設置した水中TVカメラで潜孔入口を観察すると、遊泳魚は潜孔からの主流に相対するように潜孔からの主流と隔壁背面の境界付近の流れ場から、流れに逆らい(正の走流性で)一気に通過する個体が多く見られた。また、吸盤を持つ底生魚の一部は、水路床から吸盤で吸いつきながら隔壁非越流部背面の垂直壁を利用して、切り欠き部へと移動することも確認され、非常に興味深い。

一方、図-8 (a)・(b)はそれぞれ左岸潜孔部の2次元合成流速分布 V_{WS} ・ V_{SD} と等流速線 V_S およびその流速変動曲線を示した1例である(水位差 $\Delta h=24\text{cm}$)。潜孔内の流速は、中央部が $V_S=257\text{cm/s}$ と最も速く、右岸側の隅角部では縮流の影響で遅い所がある。接近流速を無視した平均理論流速 $V_0(=\sqrt{2g\Delta h})$, $\Delta h=24\text{cm}$ は $V_0=217\text{cm/s}$ であるが、平均理論流速値の1.1倍の $V_S=240\text{cm/s}$ 以上が30%も占め、上流からの影響を直接受けない潜孔部でも、接近流速の影響を受けていることがわかった。

ここで、魚類が最も通過する潜孔入口の底部の流れ場の特徴は、縮流の影響を受ける右岸の側壁近傍の一部を除き、流速値 V_{SD} は $160\text{cm/s}\sim 240\text{cm/s}$ 、合成流速変動値 $\sigma_{SD}(=\sqrt{\sigma_S^2+\sigma_D^2})$, σ_S , σ_D : S方向とD方向の平均流速の標準偏差)は $5\text{cm/s}\sim 10\text{cm/s}$ であり、魚類はこれら 100cm/s を悠に越える流速の変動が小さい流れ場を遊泳

表-6 潜孔部における遊泳形態

魚 種	入 口 通過経路	出口通過経路割合 (%)		
		No.3	No.6	No.9
遊 泳 魚	No.3	18.7	4.8	2
	No.6	0.0	6.4	1.6
	No.9	0.8	14.3	17.9
底 生 魚	No.3	23.7	3.5	0.0
	No.6	1.5	12.6	1.5
	No.9	5.1	34.8	14.1

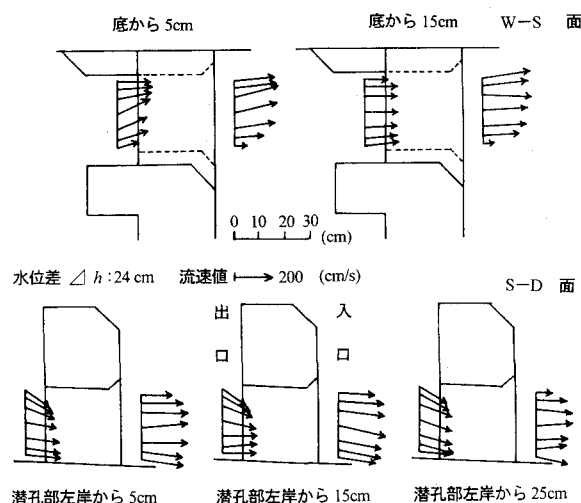


図-8 (a) 潜孔部の流速分布図

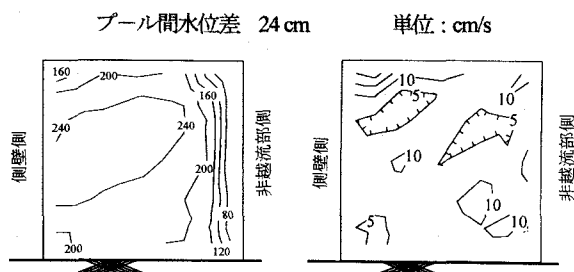


図-8 (b) 潜孔部の等流速線⁵⁾と流速変動曲線
(最上流部隔壁 左岸潜孔下流側)

していくことがわかった。ただ、このように縮流の影響で流速が極端に遅い側壁近傍場所もあり、縮流の影響を受ける区域を通過する魚類は、ある程度余力を持った遊泳力で利用していることも考えられる。

以上のことから、最上流部潜孔の遡上経路と流れ場の特徴は、本魚道水路中の隔壁潜孔部の調査結果とほぼ同じであることが確認され、本調査のアイスハーバー型魚道における魚類の潜孔部通過パターンは、流れが緩やかな隔壁非越流部背面の直下流域で休息（待機）し、入口では隔壁非越流部背面に近い隅角部（No. 9）の区域を、また、本潜孔は側壁から10cm離れているので流れが遮蔽されている側壁よりの隔壁背面に近い隅角部（No. 3）の区域をそれぞれ選好し、遡上することがわかった（図-9参照）。このことは、アイスハーバー型魚道においては、魚類の遡上のし易さを考えると潜孔を側壁からある程度離して設置するなどの流れを遮る空間、いわゆる、魚類の待機場所を創出し、経路の選択性の幅を広げてやる工夫もまた効果的であることを示している。

5. まとめ

アイスハーバー型魚道（幅2.6m、隔壁間隔3.0m、勾配1:20、プール間落差0.15m、切り欠き幅と高さ0.45m・0.64m、潜孔0.3m×0.3m、青森県赤石川赤石第2頭首工）を事例にして魚類の隔壁通過経路と流速分布特性について実証的に検討した。その結果、本調査研究の範囲では、(1)魚道水路中の切り欠き部の流れ場（切り欠き水深20cm～30cm）は、接近流速の影響を強く受ける変動が大きい乱流場であり、遊泳魚と確認された魚類は、その大半が切り欠き天端上から10cm程度（水深の約50%）の200cm/s（流速変動値約20cm/s）を越える流速中を瞬時に遊泳し通過する遡上行動をすること、(2)上流からの影響を受けない魚道最上流部隔壁における潜孔部の魚類の通過経路については、魚道水路中の隔壁潜孔部と同様に流れが緩やかな隔壁非越流部や潜孔側壁の背面から、潜孔内の上部や中央部よりむしろ底面隅角部を選好し、160cm/s～240cm/s（流速変動値約10cm/s）の流速の中を遊泳し、通過していくことが明らかにされ、本魚道の魚道

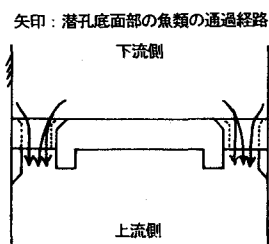


図-9 潜孔部の魚類の通過経路

水路中の隔壁潜孔部の魚類の通過経路の調査結果とほぼ同じであることが確認された。

最後に、本調査を通じてアイスハーバー型魚道の隔壁部の流れ場と魚類等の通過特性との関係についてその一端を明らかにすることができた。ここで、潜孔の機能に関しては、その効果が認められないとの意見⁶⁾もあるが、本調査研究の水理条件での潜孔は底生魚はもちろんのことアユやウグイのような遊泳魚にとっても有効かつ重要な通過施設であることがわかった。

謝辞：本調査研究を行うに当たり、赤石川水産および赤石地区内水面漁協、赤石川土地改良区の関係各位にはお世話いただいた。弘前大学農学生命科学部農業水利学研究室卒業生の菅原賢治君（弘前大学大学院農学研究科）、矢口真澄君、工藤隆大君、佐藤純君（弘前大学大学院農学生命科学研究科）らの学生諸氏から多大な援助を得た。なお、本研究の一部は文部科学省科学研究補助金（基盤研究(C)課題番号12660212）を受けた。ここに記して、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 廣瀬利雄, 中村中六: 魚道の設計, 山海堂, pp. 7～8, pp. 170～171, p. 207, 1991.
- 2) 塚本勝巳, 梶原 武: 魚類の遊泳速度と遊泳能力, 水産土木, Vol. 10, No. 1, pp. 31～36, 1973.
- 3) 鈴木興道: 魚道の設計に資する淡水魚類の耐久遊泳速度, 土木学会論文集, No. 622/VII-11, pp. 107～115, 1999.
- 4) 泉 完, 高屋大介, 工藤 明, 東 信行: アイスハーバー型魚道における魚類の隔壁遡上特性—赤石川赤石第2頭首工を事例にして—, 農業土木学会論文集, No. 217, pp. 75～84, 2002.
- 5) 泉 完, 高屋大介, 工藤 明, 東 信行: 赤石川赤石第2頭首工のアイスハーバー型魚道における魚類等の遡上・水理特性, 農業土木学会論文集, No. 215, pp. 55～63, 2001.
- 6) 和田吉弘: 魚道の設計で知っておきたいこと（意見）, 応用生態工学, Vol. 3, No. 2, pp. 225～230, 2000.
- 7) 井上 実: 魚の行動と漁法, 恒星社厚生閣, pp. 25～27, 1990. (2002. 9. 30受付)