

三ツ目内頭首工のアイスハーバー型魚道における魚類の遡上実態とその水理特性

FLOW CHARACTERISTICS AND ASCENDING OF FISHES IN ICE HARBOR
TYPE FISHWAY OF MITUMENAI - HEADWORKS

泉 完¹・工藤 明²・東 信行³

Mattashi IZUMI, 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 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)

³ 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)

Ascending fishes and hydraulic characteristics were examined in the ice-harbor-type fishway (3.0m wide, 0.15m drop, 1/16 slope) of Mitumenai headworks in Mitumenai river. The ascending fishes were observed 7 species of fish. Regarding main species of fish, Japanese dace (97.6%), Japanese fatminnow (1.5%) swam up the fishway. In the case of over flow on the notch, fishes tends to path through the notch section mainly. On the other hand, in the case of no over flow on the notch, as it was observed that fishes ascends through the orifice, it was found that the orifice performs a function as ascending path way. Hydraulic characteristics in the pool of the fishway were understood by three-dimensional distribution of velocity in the case of both over flow and no over flow on the notch.

Key Words : Headworks, Ice Harbor Fishway, hydraulic characteristics, ascending of fishes

1. はじめに

近年、河川生態系を保全する立場から生態系に配慮した河川の整備計画が行われつつある。このような中で、農業用取水堰である頭首工魚道において、頭首工下流の河床の低下や施設の老朽化によって魚道機能が著しく低下している事例が見られ、魚道の改築が各地で行われるようになってきた。また、魚道環境を川の流れの一部として整備する考え方も重要視されつつあり¹⁾、河川特有の地理的・水理的特性や生態系の条件に適応した魚道形式を選定することが重要になっている。

魚道に関する研究は、頭首工魚道や堰魚道など各分野で盛んに行われてきているが²⁻⁵⁾、頭首工魚道の遡上と水理特性に関する調査研究は、階段式魚道の遡上調査や魚道の水理特性と遡上効果などでその報告事例⁶⁾は少なく、現地測定に基づく魚道内の流況を詳細に調べた事例はきわめて少ない。一方、魚道内における魚類の遡上行動と水理特性との関係を把握することは魚道を設計する場合極めて重要であり、デニール式魚道などの流れ特性と稚アユの遡上行動に関する報告事例⁷⁾に見られるようにこれに関する研究が進められつつある。

このような中で、著者らは既設頭首工魚道で現地調査を行いその実態を把握してきたが⁸⁾、改築された各種魚道の遡上実態と魚道構造に起因する水理特性との関係を把握することは、遡上効果と合わせて今後の魚道設計を行う上で極めて大きな意義がある。

そこで、本報告はアイスハーバー型階段式に改築された頭首工魚道を対象に灌漑用水の取水期間中での魚類の遡上と魚道水理に関する現地調査を行い、遡上効果とその水理特性との関係について考察したものである。

2. 調査頭首工の魚道の概要

遡上調査を行った魚道は、青森県の一級河川の一つである岩木川水系三ツ目内川 (計画高水量 3.4 0 m³/s) に設置されている三ツ目内頭首工のアイスハーバー型階段式魚道である。この頭首工は、河口から約 8.0 km 上流に位置し、漁業権としての対象魚種は、アユ、ヤマメ、コイ、フナ、イワナ、ウグイ、ニジマス、カジカの 8 種類である。図-1、および写真-1 は、三ツ目内頭首工の概要を示したものである。堰全長は 60.55 m で全面可動堰 (1.8 m × 3) である。取水口は左岸に位置して

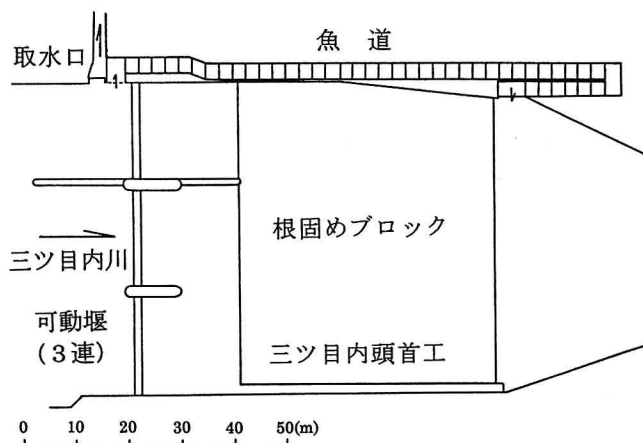


図-1 三ツ目内頭首工の概要

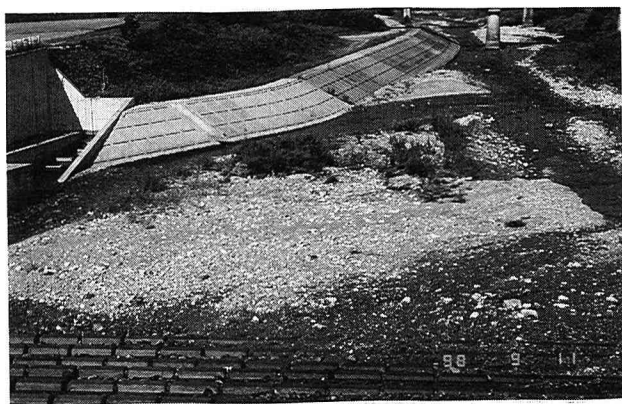


写真-1 頭首工下流の状況

おり、取水量は代かき期（5月15日～5月29日）で1.836 m^3/s 、普通灌漑期（5月30日～9月1日）で1.085 m^3/s である。なお、従前の魚道は幾度の洪水で頭首工下流の護床が大きく低下して魚道の入口に著しい段差が生じたため、1993年～1996年に現在のタイプに改修されている。魚道は、コンクリート製で取水口の直下流にあり、長さ116.8m（折返し部18.3m）、幅3.0m、勾配1/16.6である。魚道内には隔壁が44箇所あり、隔壁には高さ0.5m、幅1.3mの切り欠きとその下方には正方形断面（0.23m $\times$ 0.23m）の潜孔が一つ設けられている。切り欠き越流部の高さと厚さはそれぞれ1.0mと0.2mであり、下流側の断面形状は1/4円弧になっている。また、切り欠きと潜孔は4プールごとに交互に配置されており、隔壁間の落差は0.15m、プール間隔は2.5mである。

頭首工下流の状況は、写真に示すように護床工中央部に堆砂が見られ、魚道のみから河川水が流下する場合、魚道の入口水位は下流左岸のミオ筋水位に連続しており、可動堰直下流には湛水域は形成されない。ただ、河川流量が多くなると可動堰からも越流し、このときは護床工中央部の堆砂をはさんで水流が二つに分かれる状況に

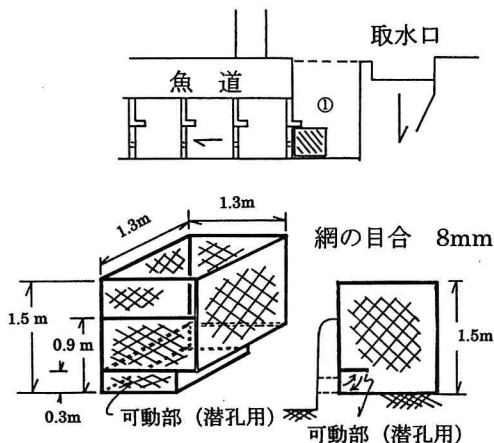


図-2 採捕位置と採捕網

なっている。

3. 調査方法と項目

魚道での遡上調査は、1997年と1998年に灌漑用水の取水期である5月から9月にかけて合計11回行った。採捕方法は、図-2に示すように籠状敷き網を魚道出口部に1箇所を設置し、24時間（10時から翌日10時）にわたって2時間ごとに敷き網を上げ、魚道を遡上した魚類を採捕した。ここで、本調査では敷き網に採捕された魚類は、魚道を遡上してきたものとして取り扱うこととした。なお、調査のうち2回は遡上魚数がきわめて少ない傾向にあったので、深夜から早朝の観測を行っていない。

調査項目は、採捕した魚類の種類、数、体長と重さ、水質（河川の水温、濁度、溶存酸素、電気伝導度）、照度、気温、魚道流量、魚道出口隔壁の切り欠き部と潜孔部流速、その隔壁の上・下流水深と切り欠き水深、魚道内の流速分布である。敷き網は切り欠きと潜孔からの遡上を考慮した構造になっているが、1998年の調査では、遡上経路を調べるため、切り欠きと潜孔それぞれ分けて採捕できる構造にして行った。また、流量観測のための流速測定は魚道出口部(①:9点)で行い、各地点の流速は一軸電磁流速計（ACM-3D、アレック電子）を用い測定した。なお、切り欠き上方にビデオを設置し、切り欠きの遡上経路に関する測定も一部行った。

魚道内の流速測定は、プールの22段目で三軸電磁流速計（ACM-300、アレック電子）を用いて、遡上調査と別に、切り欠きから越流している場合と潜孔のみから流下している場合の2種類の水利条件で行った。測定点は、横断方向、縦断方向、深さ方向の合計112～140点である。また、潜孔のみの条件では、潜孔出口断面（25点）を詳細に測定した。

4. 調査結果と考察

表－１ 遡上調査日と気象条件

調 査 日	天 気	気 温(℃)		河川水温(℃)	
		範 囲	平均	範 囲	平均
’97 5/19～5/20	晴れ後雨	9.4～20.4	14.4	10.4～17.9	13.7
6/ 2～6/ 3	晴れ後雨	11.6～19.9	14.5	11.6～17.1	14.2
7/14～7/15	曇り後雨	20.1～27.3	22.0	16.8～19.4	18.1
8/11～8/12	曇り	19.1～24.9	22.7	15.3～16.6	15.8
9/ 1～9/ 2	曇り	21.1～26.5	22.4	16.7～19.6	18.1
9/15～9/16	曇り	11.4～20.0	15.5	13.3～17.2	15.3*
’98 5/18～5/19	曇り後晴れ	14.2～20.7	14.2	12.8～15.9	14.3
6/ 8～6/ 9	曇り	12.1～20.8	16.0	13.2～18.3	15.6
7/13～7/14	晴れ	14.0～26.9	19.1	13.4～18.9	15.9
8/10～8/11	晴れ後曇り	15.4～24.8	20.5*	16.8～20.8	19.1**
8/31～9/ 1	曇り後晴れ	15.7～24.1	19.2	13.9～15.4	14.6

注) 10:00から翌日の10:00までの1時間毎測定値

*: 0:00～5:00, **: 3:00～5:00の測定値を除く。

(1) 遡上の実態

表－１は、遡上の調査日と天候、および気温と河川水温の測定範囲と平均気温をそれぞれ示したものである。調査日の気象条件は、1997年は概して曇りがちで雨模様の日が多く、1998年は、晴れまたは曇りの日が多かった。また、調査時の河川の平均水温は、それぞれ1997年では13.7℃から18.1℃、1998年は14.3℃から19.1℃の範囲であり、各年とも5月の水温が低かった。

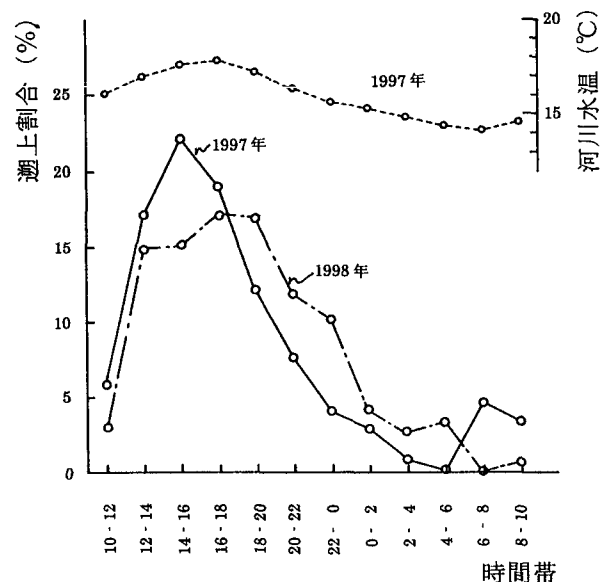
表－２は、遡上魚種と遡上数を調査日毎にまとめたものである。遡上した魚類は7種類で、ウグイが全体の遡上数の98%とそのほとんどを占めており、アブラハヤ、ヤマメ、イワナの順になっている。ただ、有用魚種としてのアユは採捕されなかった。また、2ヶ年の調査における1調査当りの遡上数は100匹程度であり、各年の調査日程を同じにしているが、1997年では5月19日の遡上数が545匹と突出し、年、時期によって異なっている。この理由として、一般にウグイは春から初夏にかけて水温が13℃の頃になると産卵するといわれているので¹⁰⁾、この地域のウグイの産卵回遊期に調査日が重なったためであると考えられる。なお、河川内での採捕調査を行っていないので遡上率は不明である。また、表中*印は、河川水位の減少により潜孔のみから流下する条件であるが、潜孔のみからでも遡上していることが確認できる。

一方、遡上効果については、改修前の遡上実態が不明であるのではっきり言えないが、本調査結果と魚道の入口水位と下流河川のミオ筋水位とが写真－１に示すように連なっていることから考えると、遡上効果が出ているものと推察される。ただ、アユやカジカなどについては今回の調査で上述のように確認されなかったもので、今後、下流河川での生息調査や魚道入口部での放流遡上実験などを行い、遡上の確認が必要であろう。また、遡上特性については、遡上魚のほとんどがウグイであるので、こ

表－２ 遡上魚種と遡上数

魚 種	経 路	5月	6月	7月	8月	9月	計	
1997								
ウグイ		537	24	63	172	22	7	825
アブラハヤ		7	---	2	---	---	---	9
ヤマメ		---	---	2	---	---	---	2
アメマス		---	2	---	---	---	---	2
イワナ		1	---	---	---	---	---	1
カマツカ		---	---	---	---	3	---	3
合 計		545	26	67 *	172	25	7	842
1998								
ウグイ	切り欠き	26	---	25	---	98	---	142
	潜 孔	5	98	---	18	22	---	143
アブラハヤ	切り欠き	---	---	2	---	---	---	2
	潜 孔	---	---	---	6	---	---	6
ヤマメ	切り欠き	---	---	1	---	---	---	1
	潜 孔	---	---	---	---	---	---	---
アメマス	切り欠き	1	---	---	---	---	---	1
	潜 孔	---	---	---	---	---	---	---
モクズガニ	切り欠き	---	---	1	---	---	---	1
計	切り欠き	27	---	29	---	98	---	154
	潜 孔	5	98	---	24	22	---	149
合 計		32	98 *	29	24 *	120	---	303

注) *: 潜孔のみの水理条件



図－３ 調査期間における全遡上数の経時的変化

こでは主としてウグイの遡上特性を示すことになる。

図－３は、全調査における遡上魚数の経時的変化を示したものである。魚類の1日における遡上が盛んな時間帯は、調査日によって異なるが、おおむね午後から日没直後(20時前後)で、1日の遡上数の60%以上を占めている。また、深夜から早朝の遡上はきわめて少なくなる傾向で、同水系の岩木川統合頭首工魚道の遡上傾向と同じ傾向を示し⁹⁾、ウグイの遡上パターンに引っぱられている。また、河川水温と魚類の遡上の関係について調べて見ると、魚類の遡上が少なくなる深夜から早朝の河川水温は、図－３に見られるように1日のうちで低くなる傾向にある。魚類の日周期行動については、生態的要因¹²⁾が関係していると思われるが、魚類の遡上につい

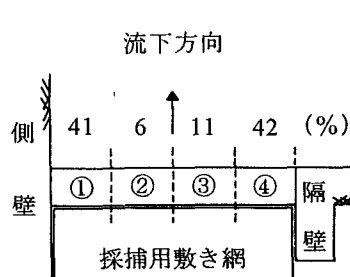


図-4 切り欠きの遡上経路割合

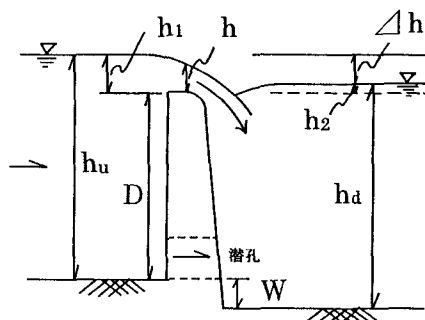


図-5 水力条件の概要図

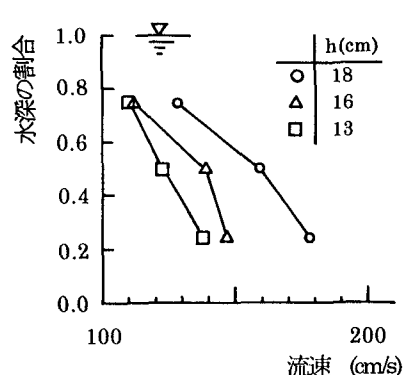


図-6 切り欠き部の鉛直流速分布

では水温も影響するものと推察される。

(2) 遡上経路

切り欠きから越流している場合の切り欠きと潜孔の遡上経路を調べると、表-2に示すように、魚はおもに切り欠きを選好し遡上しており、その割合は85%になっている。切り欠きからの遡上に関しては、全面越流型魚道でのアユの遡上実験⁹⁾で80%、アイスハーバー型魚道のサケの遡上調査事例¹⁰⁾では85%との報告事例がある。本調査では、魚種が異なるもののサケの事例と同様な傾向を示し、興味深い結果となっている。また、潜孔のみから流下する条件でも前述したように遡上していることがわかった。一般に、潜孔は底生魚用を目的にしているが、ウグイのような遊泳魚に対しても有効な通過施設であるものと考えられる。

つぎに、切り欠きのどの経路を遡上していくのかを調べた。図-4は、ビデオ撮影から魚道出口の切り欠き部での魚類の遡上経路について、切り欠きを4分割断面にして、撮影記録時間10時間における経路別の遡上割合を示したものである。図に示すように、側壁近傍と非越流部の隔壁近傍で遡上割合の約80%を占め、中央部では少なかった。この点、魚類は側壁近傍を通過すると言われている⁹⁾が、本タイプの切り欠き中央部下流では後述するように切り欠きからの越流水脈に加え、直下流の潜孔から流出する水流があるので、これも遡上経路に与える一要因であるものと考えられる。

(3) 魚道の水力条件

図-5は、魚道隔壁の流れの概要、表-3は各調査日の水力条件を示したものである。魚道を流下していた流量は、55 l/s～450 l/sの範囲であり、調査日、時間によって多少の流量変動が生じていた。切り欠き水深は、潜孔のみから流下する状態を除き8～20 cm、水位差は、ほぼプール間の落差15 cmに相当している。

また、切り欠きからの越流状態は、表-3に示すように下流水位 h_2 と上流水位 h_1 の比が2/3以下の完全越流の状態であり、越流水脈は切り欠き断面が1/4円弧のため滑らかであった。切り欠き部の実測平均流速と潜孔出口平均流速は、それぞれ81～155 cm/s、130

表-3 水力条件

調査日	(単位:m,s)					
	h_1	h_2	h_2/h_1	Δh	h	Q_{obs}
'97 5/19～5/20	0.14	—	—	—	0.12	0.265
6/ 2～6/ 3	0.08	—	—	—	0.10	0.102
7/14～7/15	—	—	—	0.14	—	0.064
8/11～8/12	0.22	0.05	0.23	0.17	0.20	0.398
9/ 1～9/ 2	0.11	0.09	0.09	0.10	0.11	0.251
9/15～9/16	0.13	0.01	0.08	0.12	0.12	0.259
'98 5/18～5/19	0.08	—	—	0.15	0.08	0.142
6/ 8～6/ 9	—	—	—	0.17	—	0.055
7/13～7/14	0.15	—	—	0.16	0.13	0.221
8/10～8/11	—	—	—	0.15	—	0.069
8/31～9/ 1	0.21	0.05	0.24	0.18	0.18	0.450

注) 10:00から翌日の10:00までの2時間毎測定値の平均、 Q_{obs} :各調査日における1回の実測値

～173 cm/sであった。

ここで、切り欠きの鉛直方向の流速分布を調べると、図-6に示すように水深が増加するに伴い下層の流速が大きく、また、上層の流速は下層に比べ約30%遅くになっており、クレスト上の流速分布に近似している¹⁰⁾。

一般に、アイスハーバー型は、非越流部があるのでプール全域が乱れないという利点がある。ただ、水力条件として越流水深が増大していくと（ここでは約20 cmを越えると）、越流水脈が下流隔壁まで影響する場合も見られ、水位変動幅に対応したプール長との関係も重要であると思われる。また、本魚道は4プール毎に切り欠きが交互になっているため、その区間での水位差で水流が減勢されていると考えられる。

魚道を設計する場合、切り欠きの水力条件は魚類の遊泳速度および突進速度などに関連し¹⁰⁾、突進速度は一般に体長の10倍が目安とされている^{10),11)}。そこで、遡上した魚体長分布と切り欠き水深と流速および潜孔流速の関係を調べた。表-4は、遡上した魚の経路別の体長分布の1例で、表中の平均は体長の1 cm区分のヒストグラムから加重平均で求めた。切り欠きから越流する場合、潜孔から遡上する魚体は、切り欠きから遡上するそれと比較しやや大きい傾向にあるが、潜孔のみからの流下ではそれより小さい魚でも遡上していることがわかる。

表-4 遡上魚の体長分布 (1998年)

月	魚種 経路	(cm)		アブラハヤ 経路	平均
		範囲	平均		
5月	切り欠き	8.0~16.0	11.0	—	—
	潜孔	10.0~14.0	12.4	—	—
6月	切り欠き	—	—	—	—
	潜孔	5.0~18.0	9.0	—	—
7月	切り欠き	5.0~16.0	10.6	6.0~9.0	7.5
	潜孔	—	—	—	—
8月	切り欠き	—	—	—	—
	潜孔	4.0~15.5	7.9	5.0~6.0	5.5
9月	切り欠き	9.0~25.0	13.6	—	—
	潜孔	11.0~20.0	14.4	—	—

いま、流速を遡上した魚の体長で割った値を仮りに突進速度と表すことにして、調査日の魚の体長分布から体長の最小値と最大値、平均値を用いて突進速度を試算した(表-5参照)。ここで、流速については、切り欠き部では鉛直方向で流速が変化するのでその平均値を、潜孔部では断面9点の測定値のうち最小値を用いている。また、突進速度の範囲の()値は、体長の平均値を用いた値である。魚種により突進速度は異なると思われるが、概して体長の10倍より大きい流速でも遡上していることがわかる。ただ、局所的にどの流れ場を選好して通ったかはなお不明であるので、より遅い所を通っている可能性もあると考えられる。

(4) 魚道プール内の流速分布と流況

魚道内の魚類の遡上行動と水理特性との関係を把握することは、和田ら⁸⁾が報告しているように魚道を設計する場合極めて重要である。図-7(a)、(b)は、それぞれ切り欠きから越流している場合、潜孔のみから流下している場合のプール内の流況を三軸方向流速計による3次元ベクトル流速分布で概括的に示したものである。

切り欠き越流時の水理条件は、流下流量325 l/s、プール内水深115 cm、切り欠きの越流水深14 cmである。また、図-8(a)、(b)には、切り欠き中央部(潜孔の直上)とこれから35 cm右岸よりの流下方向の2次元ベクトル流速分布も示した。全体に、切り欠きからの水流は、もぐり流で下段の隔壁まで達し、プール内で回転流をなしている。また、切り欠き中央部の流下方向では、越流水脈による流れと切り欠き下方の潜孔からの流出水流による流れが卓越しているが、図-8(b)のように潜孔の影響を受けないところでは、切り欠き直下流に上向きの流れを形成している。また、底面部の流速は比較的小さい。一方、非越流部の隔壁に沿う横方向の流れが生じており、この隔壁区域に魚が休息できると思われる流速変化の小さい回転流領域を形成している。一般のアイスハーバー型では、切り欠きと潜孔が2カ所あるのに対し、本魚道は切り欠きと潜孔が1カ所であるので、非越流部の隔壁間のプールでは意外と穏やかな流況を示し、良好な水理状況であるものと考えられる。

一方、潜孔のみから流下する場合の流況(流下流量71 l/s、プール内水深98.5 cm)は、図-7(b)に示

表-5 体長分布と水深、流速の関係

調査日	切り欠き			突進速度の範囲 (cm/s/B.L.)*	潜孔 流速の範囲 (cm/s)	突進速度の範囲 (cm/s/B.L.)**
	水深 (cm)	流速の範囲 (cm/s)	平均			
1998年						
5/18~5/19	8	—	81	10~5(7)	113~175	11~8(9)
6/8~6/9					146~175	29~8(16)
7/13~7/14	13	106~144	122	24~8(12)		
8/10~8/11					147~180	37~10(19)
8/31~9/1	18	128~178	155	17~6(11)	145~195	13~7(10)

*:切り欠き平均流速を遡上した魚の体長(最小値と最大値)で割った値。()は平均体長で割った値
*:潜孔流速の範囲のうち最小値を遡上した魚の体長(最小値と最大値)で割った値。

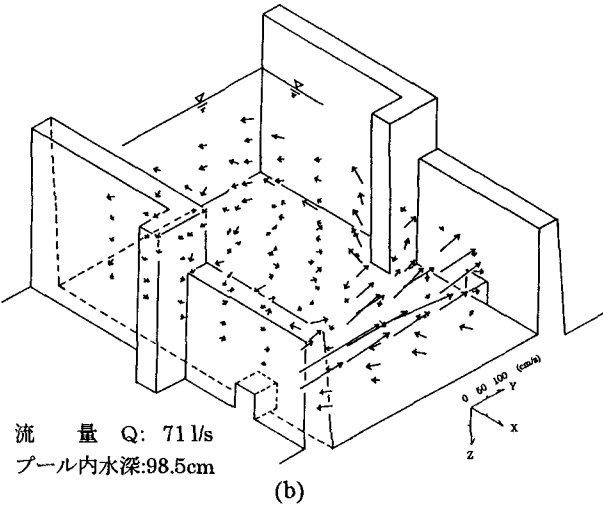
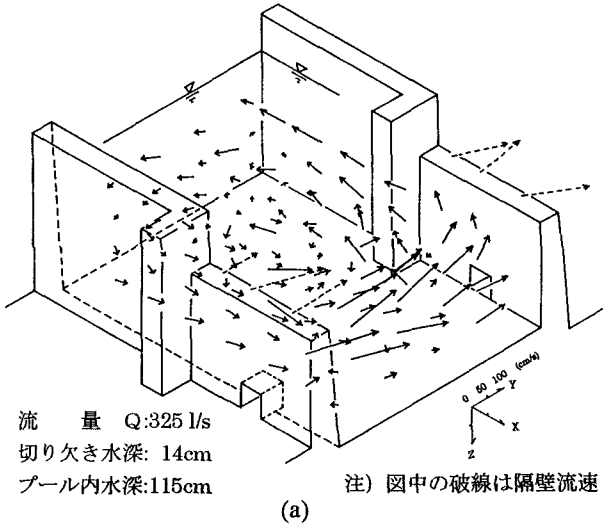


図-7 魚道プール内の流速分布

すように潜孔からの直線的な流出水流があるものの、非越流部方向では、切り欠きから越流する場合より非常に流速が遅い穏やかな回転流領域を成していることがわかる。また、この条件で潜孔出口断面の25点(4.5 cm×5 cmのメッシュ)での三軸流速計による流速の流下方向成分を測定した結果、流速は中央部では195 cm/sと側壁近傍より速くなっているが、潜孔の隅角部では流速が10 cm/sと著しく遅いところが見られた。測定位置によってかなり変動し、標準偏差は40 cm/sであった。これは潜孔内の縮流によって渦乱流が生じているためと考えられる。

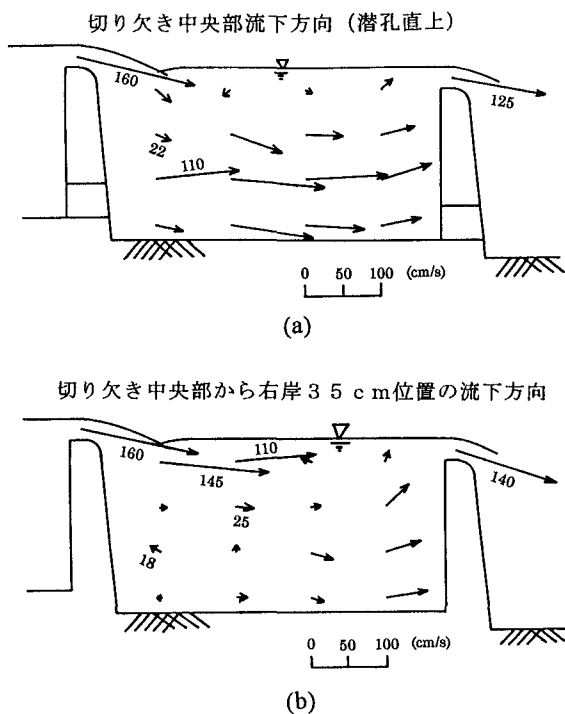


図-8 二次元のベクトル流速分布
(切り欠き越流時)

以上、これらの水理状況と切り欠きの遡上経路から、魚は非越流部区間のより穏やかな水域で休息し、①切り欠き越流時では、切り欠き中央部以外の直下流で見られる流速が上向きで遅い区域(図-8 (b)参照)から側壁あるいは隔壁よりを、②潜孔のみの流下時では非越流部区間で休息し、機を見て上流の潜孔内へと、それぞれ遡上して行くものと推察される。ただ、体長が5 cm程度の小さい魚体でも潜孔内を遡上していることから、潜孔内の遡上経路についても今後調べる必要がある。

また、調査期間中、魚道内に流下してくるゴミ(とくにビニール袋類)が潜孔に詰まるケースが多々見られた。今回の調査では小流量時に潜孔が機能していることがわかってきたので、魚道内に流下してくるゴミ対策(例えば、魚道の出口にフロート式の水面表層部のみのスクリーンなど)を考慮する必要があり、施設の維持管理が極めて重要であると考え。

5. おわりに

灌漑期間において改修されたアイスハーバー型階段式魚道の遡上と水理特性についての現地調査を行い、遡上効果について検討した。本魚道では、主としてウグイの遡上が確認され、潜孔も機能していることがわかった。ただ、アユやカジカなどの魚種については確認されなかった。下流河川での生息調査や放流遡上実験などで今後の追跡調査が必要であろう。

謝辞：本調査研究を行うに当たり、平川内水面漁協、平

川土地改良区、青森県中南農村整備事務所、青森県土地連の関係各位にはお世話いただいた。弘前大学農学部農業水利学研究室の学生諸氏には多大な援助をいただいた。また、本報告を取りまとめるに当たり、篠邊三郎弘前大学名誉教授には貴重なご助言をいただいた。ここに、心より感謝の意を表します。なお、本研究を着手されていた弘前大学農学部川越信清教授は1997年9月9日故人となりました。謹んで先生のご冥福をお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) 柏井条介：魚道設置の意味と設計上の課題, 土木学会誌, Vol. 83, pp. 49~51, 1998.
- 2) 篠邊三郎：頭首工の魚道・上巻 全279頁, 笹垣印刷, 弘前, 1989.
- 3) 篠邊三郎：頭首工の魚道, ダム技術, 39, pp. 43~56, 1990.
- 4) 篠邊三郎：頭首工の魚道・下巻 全311頁, 笹垣印刷, 弘前, 1996.
- 5) 中村俊六・高嶋信博・木村 博：階段式魚道内の流況に関する実験について, 農業土木学会誌, Vol. 55-10, pp. 933~998, 1987.
- 6) 佐藤隆平・菅原政一・大塚勝章・安藤淳一：鳴瀬堰付設階段式魚道におけるアユ及びサケの遡上調査, 水産工学 29-2, pp. 123~126, 1992.
- 7) 金子義明・和泉 清・土屋十朗・大竹義男：秋川における魚道の水理特性と遡上効果, 水工学論文集, 第41巻, pp. 265~270, 1997.
- 8) 和田 清・東 信行・中村俊六：デニール式およびスティーブパス式魚道における流れ場の特性と稚アユの遡上行動, 水工学論文集, 第42巻, pp. 499~504, 1998.
- 9) 泉 完・川越信清・工藤 明・三上 亘：既設頭首工魚道における魚類の遡上と水理特性について, 農業土木学会誌, Vol. 66(10), pp. 55~60, 1998.
- 10) 玉井信行・水野信彦・中村俊六：河川環境生態学, pp. 40~42, 東京大学出版会, 1997.
- 11) 川那部浩哉・水野信彦：川と湖の魚, pp. 140~145, 保育社, 1996.
- 12) 水野信彦・御勢久右衛門：河川の生態学, pp. 168~170, 築地書館, 1993.
- 13) 小野寺 収・三澤 均・神藤謙：アイスハーバー型魚道のサケの遡上効果, 電力土木, No. 276, pp. 14~18, 1998.
- 14) 日野幹雄：明解水理学, 丸善, 1983.
- 15) 廣瀬利雄・中村中六：魚道の設計, pp. 170~171, 山海堂, 東京, 1991.
- 16) 井上 実：魚の行動と漁法, pp. 155~159, 恒星社厚生閣版, 1978.
- 17) 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.
- 18) 川那部浩哉・水野信彦：日本の淡水魚, 山と溪谷社, 1990.

(1998. 9. 30受付)