

魚道の設計

昭和57年3月

財団法人 国土開発技術研究センター

ま え が き

今日、内水面漁業資源振興が盛んに唱えられ、アユ、サクラマス、サケ等を中心とした母川回帰性の魚類について、特に振興の重点がおかれているが、将来においても、この傾向は変革はないものと考えられる。

現在、河川を横断する構造物については、河川管理者の立場からも、魚道の設置等に努力が払われているが、今後は、さらに即地的、効果的な検討を加え、その設置に、積極的に取り組むことが、重要な課題となっている。

このような情勢をかんがみ、本調査は、既存魚道の実態、魚類の遡上生態を把握し、更に呼び水効果に関する水理数値解析手法による検討を行なうことによって、魚道の標準的構造基準をとりまとめたものである。

これらの業務実施にあたって、特に呼び水水理数値解析に就いては、京都大学、井上和也助教授に、多大なる御協力、御指導をいただいた。また、魚類の生態と、魚道構造に関しては、信州大学、小山長雄教授に、知見を、さらに既存魚道の現地調査にあたっては、各現地の魚道管理者に、御協力をたまわった。関係各位に深く感謝の意を表わすものである。

昭和57年3月

報告書に用いた用語について

魚道に関する用語には、同一の意味を表わすのに異なった表現をしている例がみられる。本報告書では、混乱を避けるため用語を統一して用いた。

1. 遡上……………「そ上」・「遡上」・「沂上」は、全て「遡上」に統一した。
2. 魚道……………「魚梯」と「魚道」は使い分ける必要があるが、報告書では「魚梯」も「魚道」に記載した。
3. 魚道出水口…魚道の水吐出口は出水口に統一した。また補助的に登り口ということばも併用した。
4. 魚道入水口…魚道の水取入口は入水口と統一した。
5. 呼び水……………「呼び水効果」・「呼び水式魚道」は、小山(1965, 1967)の原著ではひらがなの「よ」を用いているが、便宜上漢字の「呼」を用いた。

目 次

まえがき	
報告書に用いた用語について	
1. 調査の目的および内容	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査の背景と基本方針	1
1.3 調査内容	3
1.4 調査対象魚道および文献	3
2. 魚道の定義と種類	4
2.1 魚道の定義	4
2.2 型式からみた魚道の種類	4
2.3 型式別魚道実態	8
3. 魚道にかかわる魚類の生理生態	9
3.1 魚類の生理生態学的知見	9
3.1.1 走 性	9
3.1.2 遊泳行動	13
3.1.3 視 覚	18
3.1.4 水温感覚	20
3.1.5 聴 覚	21
3.1.6 日周行動	24
3.1.7 魚群の行動	25
3.2 魚道における魚類の遡上生態	25
3.2.1 遡上活動	25
3.2.2 河川遡上速度	31
3.2.3 魚類の魚道出水口（登り口）付近における行動	34
3.2.4 魚動内水理状況と魚類の行動	41
3.2.5 魚道における魚類の遡上速度	56
4. ヒヤリングなどによる魚道の評価と問題点	59
4.1 ヒヤリング対象魚道の概要	59
4.1.1 ヒヤリング対象魚道の選定	59
4.1.2 調査対象魚道の概要	60

4.2	魚道の実態	85
4.2.1	構造の実態	85
4.2.2	魚道内水理状況の実態	90
4.3	魚道の評価と問題点	91
4.3.1	魚道別評価と問題点	91
4.3.2	魚道の評価と問題点のまとめ	96
5.	魚類の生理生態などからみた魚道の設計条件と問題点の検討	97
5.1	魚道効果を十分発揮する為の条件	97
5.2	魚道出水口(登り口)付近における水理条件	101
5.2.1	魚道出水口への魚類の誘導方法	101
5.2.2	魚道および魚道出水口の位置	105
5.3	魚道の内部構造	108
5.3.1	魚道幅員	108
5.3.2	魚道勾配	109
5.3.3	隔壁の構造	109
5.3.4	側壁の高さ	113
5.3.5	切欠の構造	114
5.3.6	潜孔	115
5.3.7	阻柱(水制柱)	115
5.4	魚道内水理条件	116
5.4.1	通水量	116
5.4.2	流速(隔壁越流流速)	116
5.4.3	通水状態	116
5.4.4	隔壁越流水深	116
5.4.5	魚道の水理計算	116
5.5	その他の設計条件	121
5.5.1	魚道入水口	121
5.5.2	魚溜り	124
5.5.3	プール底面の形状	125
6.	魚道の呼び水効果に関する数値解析の方法	126
6.1	魚道の呼び水効果に関する数値解析の目的と背景	126
6.2	基礎式と差分式	127
6.3	運動方程式	129
6.4	数値解析のための検証データ	131

6. 4. 1	池田ダム付属魚道の概要	131
6. 4. 2	呼び水効果の実態把握	132
6. 5.	検証計算方法・条件および結果	135
6. 5. 1	計算対象領域と格子分割	135
6. 5. 2	河床高と粗度係数	135
6. 5. 3	境界条件	135
6. 5. 4	初期条件	135
6. 5. 5	時間間隔	135
6. 5. 6	計算結果	135
6. 6	検証計算結果の考察	138
7.	堰および魚種別の魚道設計条件と今後の課題	142
7. 1	堰および魚種別の魚道設計条件	142
7. 1. 1	魚道を設計する場合の基本的な考え方	142
7. 1. 2	既往の魚道設計マニュアル例	142
7. 1. 3	魚種別の魚道設計条件(案)	146
7. 2	ケーススタディーとしてのK堰の概略魚道構造と水理条件	149
7. 2. 1	魚道対象魚	149
7. 2. 2	アユの遡上期の流況	149
7. 2. 3	K堰の概要	149
7. 2. 4	概略魚道構造	151
7. 2. 5	呼び水効果の検討	158
7. 3	今後の検討課題	167
8.	ま と め	168
9.	引用文献および参考書	169
9. 1	引用文献	169
9. 2	参 考 書	170
10.	付表・付図	171

1. 調査の目的および内容

1.1 調査の目的

本調査は、魚道に関する魚類の生態学および水理学的知見の収集整理を行うとともに、既設魚道の実態把握、魚類の遡上生態の把握並びに呼び水効果に関する数値解析法の検討を行ない、魚道と魚類の生態の関係を検討し、今後の効果的な魚道設計のための資料を得ることを目的としたものである。

1.2 調査の背景と基本方針

魚道は、魚類の生態の基本に即して設計されなくてはならない(小山、1967)。しかし現存の魚道は、こうした観点から設計されたものは少なく、まだ野外実験装置(高橋、1981)的段階にあると言われる。そのため、今後とも魚類設計に必要な魚類の生理生態に関する実験や魚道観察などを実施して、知見の集積を図り、魚道の機能の一つである“魚を効率よく遡上・降下させる”ための構造を考える根拠やヒントとする必要がある。一方、魚の生理生態に関する実験や、魚道における野外観察などで得られたデータは、供試魚種・体長・環境条件などが一様でないので、直ちに魚道構造設計に反映させ、一般化することができないといった問題もある。

小山(1967)が述べているように、魚道およびそれをとりまく環境はきわめて複雑であるので、ケース・バイ・ケースの環境に応じた魚道設計の立案をするためには、上述の知見の集積は極めて重要である。

昭和55年度調査では、日本における魚道の実態把握、魚道にかかわる魚類の生理生態学的知見の収集、数値解析による呼び水効果の評価などについてマクロ的な検討を行なった。本年度調査では、収集文献の整理、水中ビデオ撮影などによる魚類の遡上生態の把握、魚道の現地踏査とヒヤリング、呼び水効果に関する数値解析法の検討などによって、日本の魚道の評価と問題点の整理を行なった。そしてこれらの結果を基に、標準的な魚道設計マニュアルの作成と、今後の魚道研究の課題について提案した。

本調査の内容および相互関係を示したものが図1.1である。

1.3 調査内容

調査内容は次のとおりである。

- 1) 魚道の定義と種類
- 2) 魚道にかかわる魚類の生理生態
- 3) ヒヤリングなどによる魚道の評価と問題点
- 4) 魚類の生理生態などからみた魚道の設計条件と問題点の検討
- 5) 魚道の呼び水効果に関する数値解析の方法
- 6) 堰および魚種別の魚道設計条件と今後の課題
- 7) ま と め

1.4 調査対象魚道および文献

調査対象魚道は、文献によるもの、現地踏査を実施したものなどとした。また調査対象文献は、日本で発行されている雑誌・研究誌・報告書などに掲載されている魚道関係のものとした。

2. 魚道の定義と種類

2.1 魚道の定義

魚道の定義については、日暮(1915,1916)、加藤(1936,1968)小山(1967)などによるものがある。一例として小山(1967)の定義を示した。

「魚道とは、魚類の移動を困難または不可能にする障害のあるとき、移動の目的が達せられるように作られた水路または装置の総称である」

2.2 型式からみた魚道の種類

魚道を型式から分類した例としては、長田(1916)、石井(1928)、小山治行(1954)、小山長雄(1967)、加藤(1968)などによるものがある。一例として小山長雄(1967)による分類を表2.1、図2.1～2.13に、また型式別特徴を表2.2に示した。

表2.1 魚道の型式(小山, 1967)

I. 水路式	
1. 平面式魚道	Simple plane system
2. 導壁式魚道	Complex plane system
3. 階段式魚道	Pool and fall system (step system)
4. 逆流式魚道	Counter current system (Denil system)
5. トンネル式魚道	Tunnel system
6. ウナギ魚道	Eel ladder
II. すくい揚げ式	
7. エレベーター式魚道	Elevator system
III. ロック・ゲート式	
8. ロック・ゲート式魚道	Lock and gate system
IV. その他	

(注) これらの魚道形式は、単一に使用されているものが多いが、複合的に使用されているものも数多くみられる。

表 2.2 型式別の魚道の特徴（小山1967などから作表）

型 式	特 徴					備 考	図番号
	開渠	暗渠	傾斜	魚道内 構造物	そ の 他		
水 路 式	平面式魚道				有・無 両方	・最も原始的な水路魚道である ・低落差のところに適する	・サケ、マス等の泳力の強いものには、十分に通用する 図 2.1
	導壁式魚道	○		○	有 (導壁)	・水制用の導壁がある ・渦流が生じ易い	図 2.2
	階段式魚道	○		○	有 (隔壁)	・水制用の隔壁を付け水溜りと越流を生じさせた魚道である ・隔壁間高差、勾配などを变化させることにより、流速をコントロール出来ることから、体長、魚種別に設計し易い ・構造物の高さに制約を受けない	・本邦の現存魚道は、ほとんどこの型式である 図 2.3
	逆流式魚道	○			有	・水を逆流させる為の特殊な水制壁がある	・構造複雑、労費を要し、非実用的である 図 2.4
	トンネル式魚道		○		有	・水路内の設備は種々あるが、階段式が多い	図 2.5
	ウナギ魚道		○			・暗渠にするなどウナギの生態特性に基づき、設計されている	図 2.6
す揚 ぐい 式	エレベーター (索道)式魚道					・魚をすくい揚げて、動力で上流へ放流する ・魚類を集めるのが難しい	・高ダムに適した魚道である。 ・維持、補修に費用を要す 図 2.7 図 2.8
ロ ッ ク ゲ 式	ロックゲート (閘門)式魚道					・全面ゲート工作物などに用い、魚類の集り易い所に設置可能である	・遡上期に常時管理を必要とする 図 2.9
そ の 他	トラップ式魚道					・階段式または導壁式魚道の付属的なものである	図 2.11
	採捕用魚道					・階段式魚道の付属的なものである	図 2.10
	呼び水式魚道	○		○		・平面式水路を中心に階段式魚道を両側に配置した複合魚道である	・魚類の走流性に基づき、魚類の遡上効率を高めようとしたものである 図 2.12
	扇型魚道			○			・魚道の間口が広い点はすぐれているが、呼び水効果が少ない 図 2.13

(注) ○印は「有」を示す

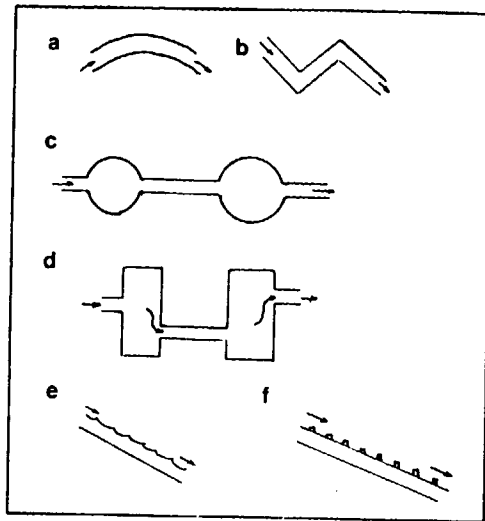


図 2.1 平面式魚道の型 (小山, 1967)

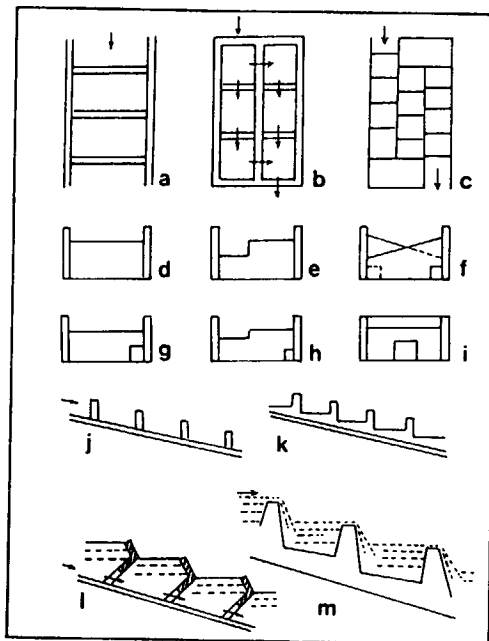


図 2.3 階段式魚道の型 (d~i は横断面図, j~m は縦断面図) (小山, 1967)

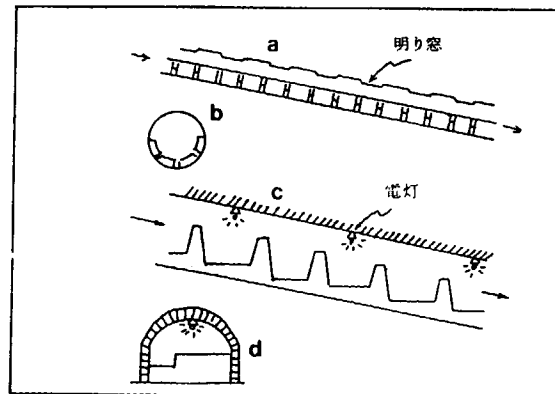


図 2.5 トンネル式魚道 (a・c は縦断面図, b・d は横断面図) (小山, 1967)

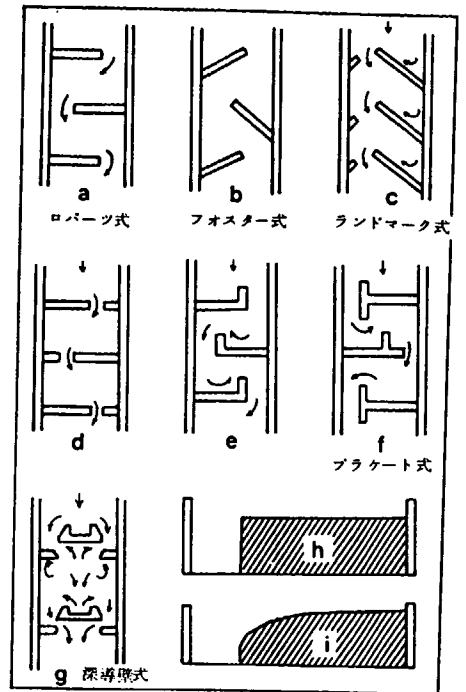


図 2.2 導壁式魚道の型 (h・i は横断面図) (小山, 1967)

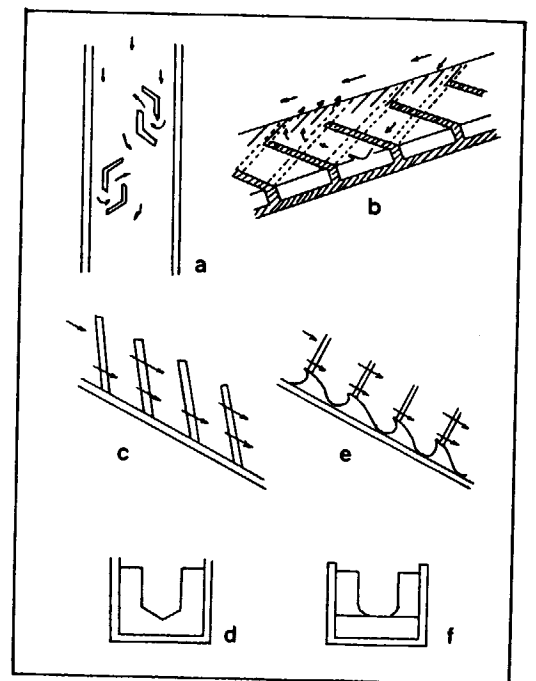


図 2.4 逆流式魚道の型 (b・c・e は縦断面図, d・f は横断面図) (小山, 1967)

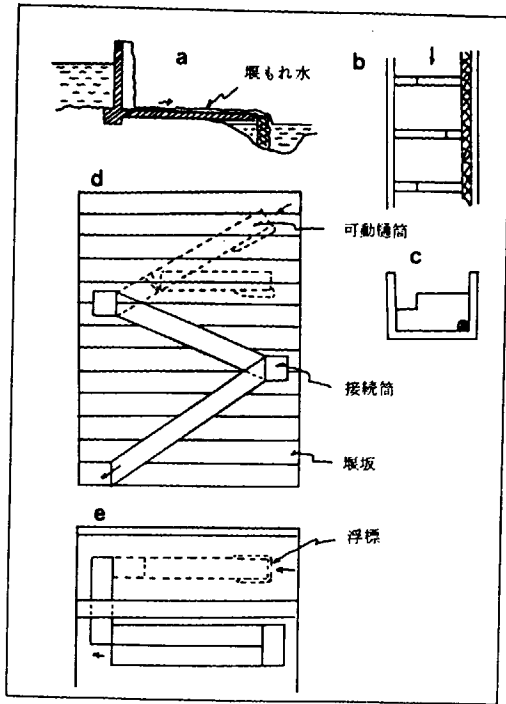


図 2.6 ウナギ魚道の型 (a は縦断面図, b・e は平面図, c は横断面図, d は正面図) (小山, 1967)

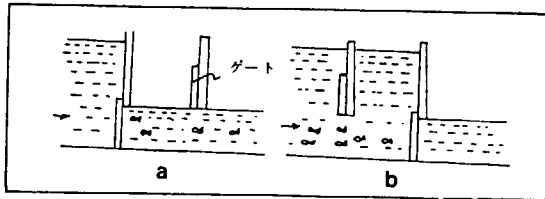


図 2.9 ロック・ゲート式魚道 (小山, 1967)

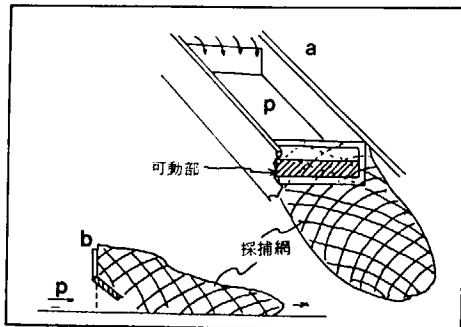


図 2.10 採捕用魚道 (私案) (小山, 1967)

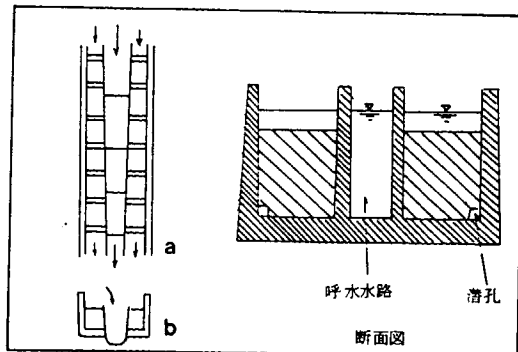


図 2.12 よび水式魚道 (a : 平面図, b : 上流側からの正面図) (小山, 1967)

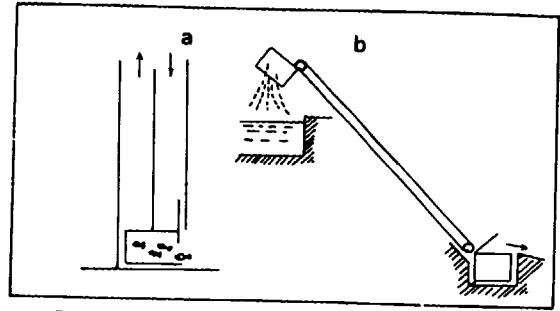


図 2.7 エレベーター式魚道 (小山, 1967)

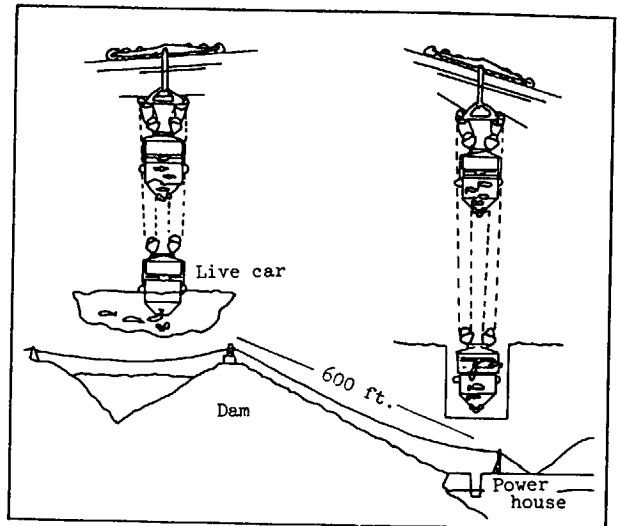


図 2.8 索道式魚道 (建設省中部地方建設局 沼津工
事々務所, 1979)

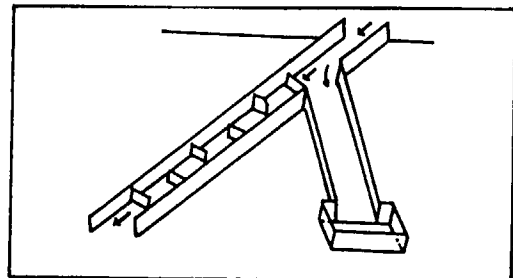


図 2.11 トラップ魚道 (小山, 1967)

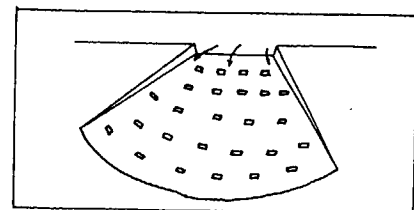


図 2.13 扇形魚道 (小山, 1967)

2.3 型式別魚道実態

小山(1967)は、魚道型式からみた日本の魚道実態について、「日本の現存魚道はほとんどの(階段式)魚道である。これはすなわち、この魚道の優秀性を物語るものである。」と述べている。そこで本調査で収集した稲葉伝三郎他(1954)「魚道の設計に就いて」などの魚道構造図から、日本における魚道型式の実態を整理し、図2.14に示した。この図からもわかるとおり日本における魚道は、階段式魚道が一番多い(92%)といえる。

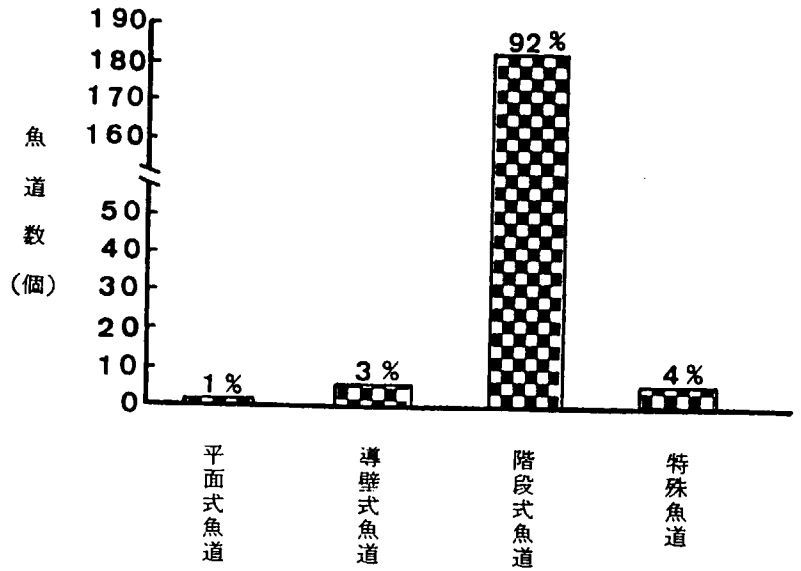


図 2.14 日本における型式別魚道の実態

注) 特殊魚道は、すくい揚げ式、ロックゲート式、扇型魚道などである。

3. 魚道にかかわる魚類の生理生態

本章は、魚道設計条件(7章)を考える上で基本となる魚類の生理生態や魚道における魚類の行動を、既往文献と池田ダム付属魚道などにおける水中ビデオ撮影などによる魚類の遡上生態の調査結果を基にして整理したものである。

3.1 魚類の生理生態学的知見

3.1.1 走 性

走性とは、「自由運動の能力をもつ生物が、外部からの刺激に反応して運動を起こし、この運動に方向性が認められること」(山田編、岩波生物学辞典、1960)であり、刺激の種類によって走流性、走光性などと呼ばれる。なお、刺激に対して向う場合を正、遠ざかる場合を負の走性という。

魚のもつ代表的な走性は、光に対する走光性、流れに対する走流性である。その他に、走化性(化学物質)、走電性(電流)、走地性(重力)、走固性(個体)などがある。以下に、これらの中から比較的魚道設計に関係のある走光性、走流性について概説した。

1) 走光性

魚類が走光性を示す生理的仕組は、刺激相称性、保目標性、対刺激性の3つのケースが考えられている。内橋(1953)は、光によく集まる魚種は、脳各部のなかで視覚の中樞である視葉がもっとも大きく、その側面に陥凹部を形成するか、さらに陥凹部が発達して *Lateralen Einschnürung* を形成していることを指適している(表3.1)。また「走光性なし」としてあげた魚種でも、幼若時代には走光性があることが認められる例として海棲時代のアユ・ウナギなどをあげている。

表3.1 脳の形態と走光性(内橋、1953)

走光性の強い魚		走光性の弱い魚
視葉の側面に陥凹部を有するもの	<i>Lateralen Einschnürung</i> を有するもの	陥凹部、 <i>Lateralen Einschnürung</i> を欠く
カタクチイワシ	ウルメイワシ	(淡水産) (海産)
サンマ	マイワシ	アユ マアナゴ
マサバ	サヨリ	フナ ボラ
マアジ	キビナゴ	コイ ブリ
ヒイラギ	ニシン	ニジマス ハタハタ
	サツパ	ナマズ スズキ
	ヤマトカマス	オイカワ クロダイ
		その他6種 その他34種

(1) 刺激相称性

刺激相称性とは、光に対する受容器（眼）を相称に持っているとき、相称の受容器に同じ刺激量を受けようとする行動性である。たとえば、光が右眼に照射されると、右眼に当たった光の刺激のため、魚は右眼の側に回転を続けるが、左眼にも光を受けると、左右両眼に受ける刺激を等しくしようとして体を動かし、その結果として光源に向って直進することになる。

(2) 保目標性

保目標性とは、目標走性とも言われ、眼の網膜のある特定の部位に目標を受け留め、その部位から目標をはずさないように維持しようとする行動性である。この場合は、魚が光源に向うのに必ずしも両眼に刺激を受ける必要はないとされている。

(3) 対刺激性

対刺激性とは、保留走性とも言われ、刺激に対して一定の角度を保った定位運動の反応を示す行動性である。集魚灯に対して魚が円運動をとるのは、そのためと言われている。

(4) アユの走光性

アユは走光性の弱い魚類である（表 3.1）と言われているが、内橋（1953）が指摘しているように、海棲時代のときは、走光性があると言われている。表 3.2 に仔アユ、シラスアユ、および稚アユの走光性に関する小山長雄（1978）の実験概要を示した。

表 3.2 仔アユ、シラスアユおよび稚アユの走光性 (小山長雄、1978 から成表)

	走光性の有無	走光性符号逆転境界照度	小山(1978)の実験結果	説明																																																																																																																							
仔アユ	+ -	10,000ルクス ≥ 正の走光性 10,000ルクス ≤ 負の走光性	<p>照度と仔アユの走光性</p>	10,000ルクス程度までの照度では正の走光性を示し、それ以上の照度では一部の個体は負の走光性を示す。(10,000ルクスの実線は正の走光性を示す個体数であり、破線は負の走光性を示す個体数である。)																																																																																																																							
シラスアユ	+ -	4,000ルクス ≥ 正の走光性 4,000ルクス ≤ 負の走光性	<p>照度とシラスアユの走光性</p>	4,000ルクス程度を境界として、正負の走光性が分かれる。走光性記号の逆転する境界照度(4,000ルクス)は、仔アユのそれ(10,000ルクス)より低い。(4,000ルクスの実線は正の走光性を示す個体数であり、破線は負の走光性を示す個体数である。)																																																																																																																							
稚アユ	-		<table border="1"> <tr> <td>照度 (lux)</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>A 2分</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>A 3</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td></td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>A 4</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●</td> <td></td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>A 5</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>B 2分</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> </tr> <tr> <td>B 3</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> </tr> <tr> <td>B 4</td> <td>●●</td> <td></td> <td></td> <td>●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> </tr> <tr> <td>B 5</td> <td>●●</td> <td></td> <td></td> <td>●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> </tr> <tr> <td>C 2分</td> <td>●●●●</td> <td></td> <td></td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●</td> </tr> <tr> <td>C 3</td> <td>●●●●</td> <td></td> <td></td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●</td> </tr> <tr> <td>C 4</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>C 5</td> <td>●●</td> <td></td> <td></td> <td>●●●●</td> <td>●●●●</td> <td>●●</td> </tr> <tr> <td>D 2分</td> <td>●●●●</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>●●●●</td> </tr> <tr> <td>D 3</td> <td>●●●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>●●</td> <td>●●●●</td> </tr> <tr> <td>D 4</td> <td>●●●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>●●●●</td> </tr> <tr> <td>D 5</td> <td>●●●●</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>●●●●</td> </tr> </table> <p>150 cm</p> <p>稚アユの低照度選択性</p>	照度 (lux)	8	10	12	14	15	16	A 2分	●●●●	●●●●	●●●●			●	A 3	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		●	A 4	●●●●	●●●●	●●●●	●●		●	A 5	●●●●	●●●●	●●			●	B 2分	●			●●●●	●●●●	●●●●	B 3	●			●●●●	●●●●	●●●●	B 4	●●			●●	●●●●	●●●●	B 5	●●			●●	●●●●	●●●●	C 2分	●●●●			●●●●	●●●●	●●	C 3	●●●●			●●●●	●●●●	●●	C 4	●			●●●●	●●●●	●	C 5	●●			●●●●	●●●●	●●	D 2分	●●●●	●				●●●●	D 3	●●●●				●●	●●●●	D 4	●●●●				●	●●●●	D 5	●●●●				●	●●●●	2~3ルクスの微弱な照度差も感知し、高照度を避け、低照度を選択する。(実験は、長さ150cm、幅20cm、深さ15cmの塩化ビニール水槽の上にすりガラスをかぶせ、照度勾配——実験Aでは右から左に向かって照度が漸減——をつくり、アユの分布状況の経時変化を調べたものである。)
照度 (lux)	8	10	12	14	15	16																																																																																																																					
A 2分	●●●●	●●●●	●●●●			●																																																																																																																					
A 3	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●		●																																																																																																																					
A 4	●●●●	●●●●	●●●●	●●		●																																																																																																																					
A 5	●●●●	●●●●	●●			●																																																																																																																					
B 2分	●			●●●●	●●●●	●●●●																																																																																																																					
B 3	●			●●●●	●●●●	●●●●																																																																																																																					
B 4	●●			●●	●●●●	●●●●																																																																																																																					
B 5	●●			●●	●●●●	●●●●																																																																																																																					
C 2分	●●●●			●●●●	●●●●	●●																																																																																																																					
C 3	●●●●			●●●●	●●●●	●●																																																																																																																					
C 4	●			●●●●	●●●●	●																																																																																																																					
C 5	●●			●●●●	●●●●	●●																																																																																																																					
D 2分	●●●●	●				●●●●																																																																																																																					
D 3	●●●●				●●	●●●●																																																																																																																					
D 4	●●●●				●	●●●●																																																																																																																					
D 5	●●●●				●	●●●●																																																																																																																					

(注) (+)は「有」、(-)は「無」を示す。

2) 走流性

流水中に住んでいる魚が、流水によって下流に流されないために、流水の来る方向に頭を向け、水流に逆らって泳ぐ性質（図 3.1）を走流性という。走流性は、水流の圧力が側線[※]や皮膚を刺激することによって起こるが、視覚刺激によっても起こるといわれている。

魚の走流性は、成長段階によって性質が異なる場合が見られ、アユは、稚魚期は（正）、成魚期は（負）の走流性を示す。こうした魚の走流性は漁法に応用されており、遡河する登りアユの採捕を目的とする「登り落ち漁法」（図 3.2）、落ちアユの採捕を目的とする「やな」（図 3.3）はその例である。

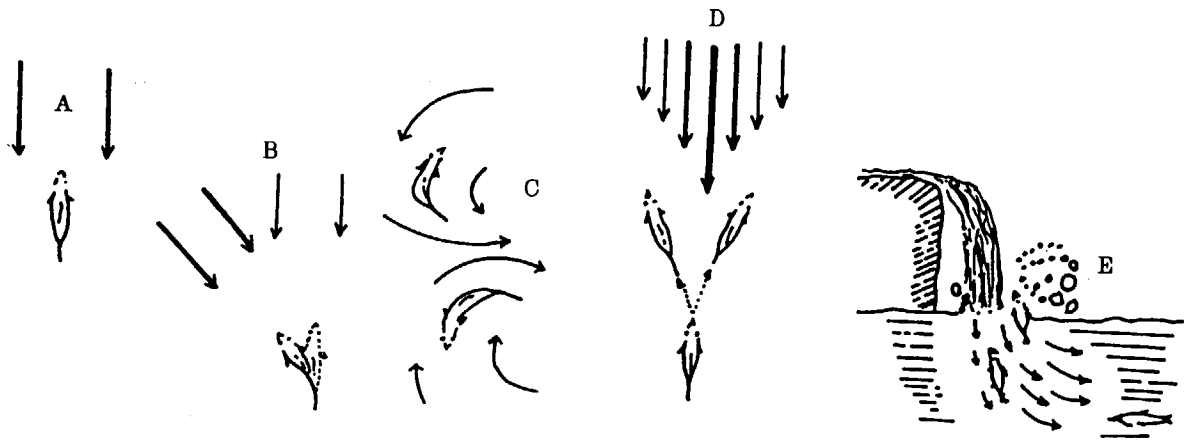


図 3.1 水流と魚の定位（小山、1967）
（矢印は水流を示す）

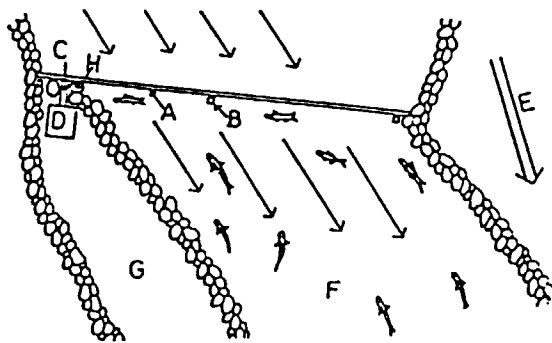


図 3.2 登り落設計図（後藤、1979）
A: 堰板 B: 杭 C: 樋口 D: 魚受箱
E: 本流 F: 湖上路 G: 排水路
H: 魚石

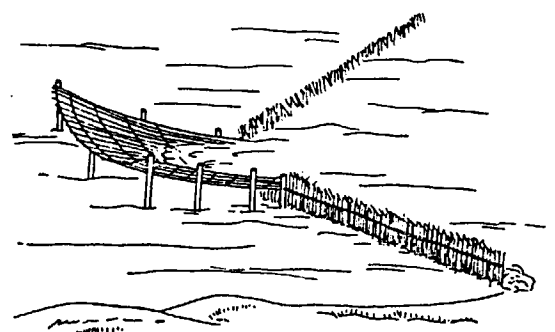
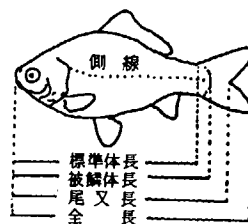


図 3.3 やな（井上、1978）

※ 側線



3.1.2 遊泳行動

1) 遊泳力

遊泳力は、〔遊泳力=流速+そのときの遊泳速度〕（小山、1967）としてみる事ができる。遊泳速度は、魚種・体長・生理状態・時刻・流速などといった種々の要因によっても異なる。以下に、魚種ごとの遊泳力に関する既往文献を整理した。

(1) アユ

既往文献からアユの遊泳にたいする適正流速や最高流速値を整理し、これを図3.4に示した。アユにたいする適正流速は、40～120 cm/sec、最高流速は100～220 cm/sec というところにあると言える。

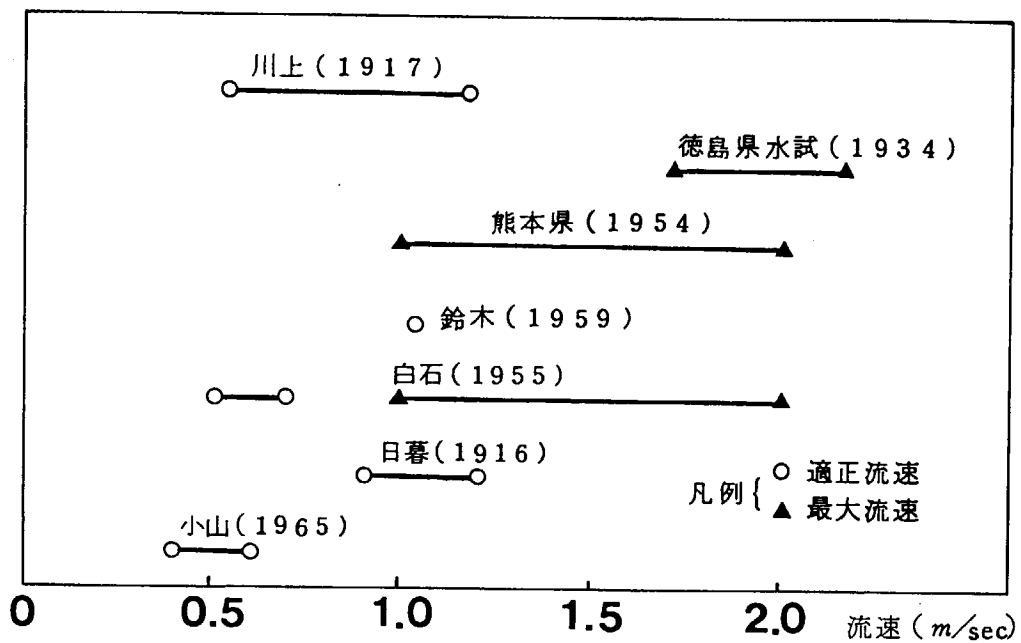


図 3.4 アユの適正流速と最大流速

前述したとおり遊泳速度（遊泳力）は同一魚種でも体長・生理状態・時刻・流速などによって異なるので、この点に関する小山（1965、1967）の報告を以下に示した。

① 体長別最適流速の上限と下限

小山（1967）は、アユの体長別最適流速（図3.5の第1のピーク）について実験結果をとりまとめ（図3.6）

- 体長 5～6 cm のアユ : 30～40 cm/sec
- 体長 6～7 cm のアユ : 35～47 cm/sec
- 体長 7～8 cm のアユ : 42～55 cm/sec
- 体長 8～9 cm のアユ : 47～60 cm/sec

と報告している。

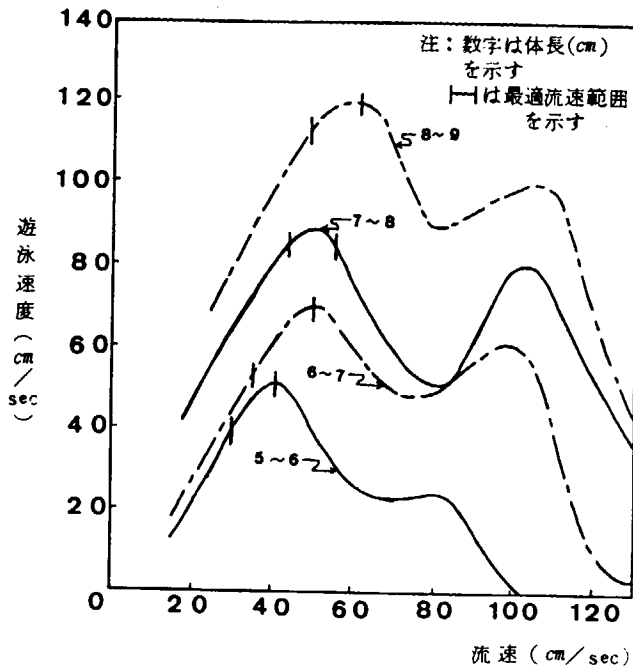


図 3.5 アユの遊泳速度と流速の関係 (小山、1965)

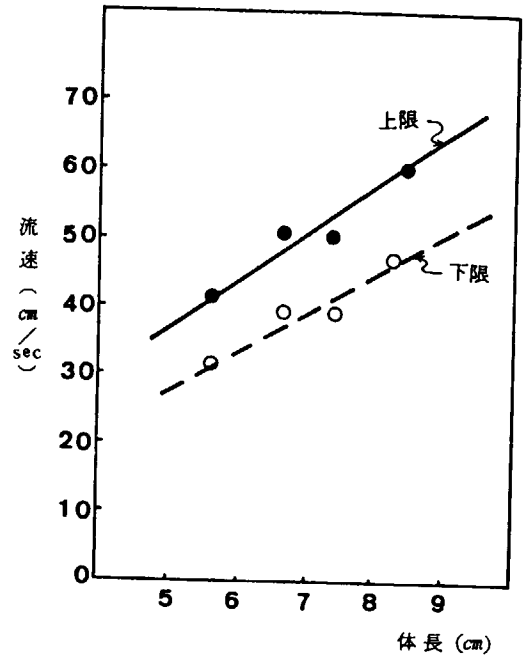


図 3.6 アユの体長別最適流速の上限と下限 (小山、1967)

② 時刻と遊泳力

小山他(1965)は、アユの遊泳力と時刻の関係について(図 3.7)稚アユの泳力モードは、日中と夕刻では異なり、夕刻の方が小さい(130 cm/sec)と報告している。

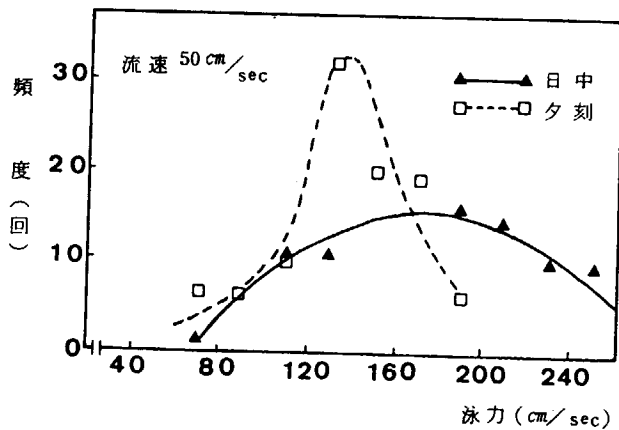


図 3.7 時刻と遊泳力 (小山、1965)

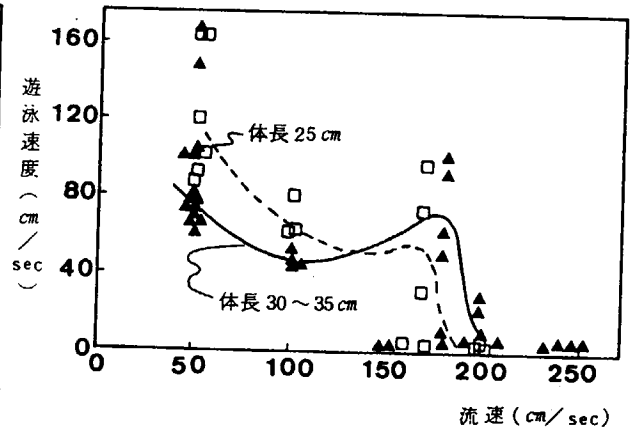


図 3.8 流速とヒメマス遊泳速度 (小山他、1969)

(2) ヒメマスとニジマス

① 遊泳力の限界流速

小山他(1969)は、ヒメマスとニジマスの遊泳力の限界流速について、次のように報告している(図3.8および図3.9)。

- ヒメマス : 体長25~35 cmの個体
遊泳限界流速 180~230 cm/sec
- ニジマス : 体長15~40 cmの個体
遊泳限界流速 170~200 cm/sec

② ニジマスの停水中における遊泳速度

小山他(1969)は、ニジマスの停水中における遊泳速度について次のように報告している(図3.10)。

- 自由遊泳時 : 体長25~30 cmの個体
遊泳速度 70 cm/sec
- 求餌行動時 : 体長25~30 cmの個体
遊泳速度 200 cm/sec (自由遊泳時の約3倍)

③ 耐流遊泳時の選好流速

小山他(1969)は、ニジマスが持続的に10分間耐流遊泳するときの選好流速について次のように報告している(図3.11)。

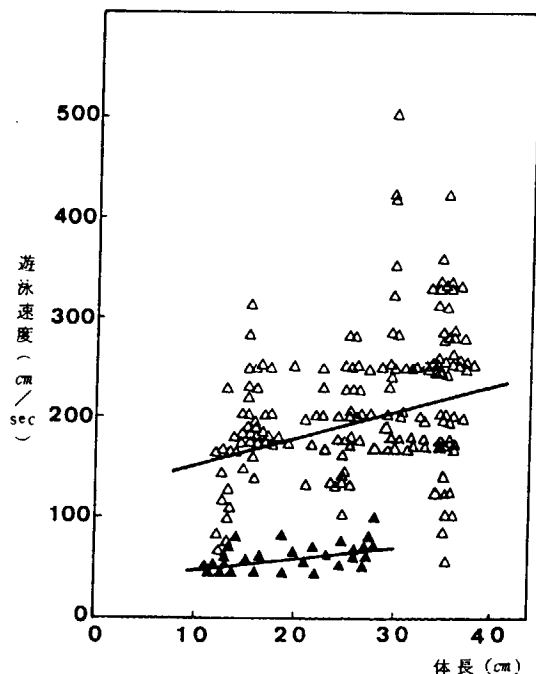


図3.10 停水におけるニジマスの遊泳速度
(小山他、1969)
▲自由遊泳 △求餌遊泳

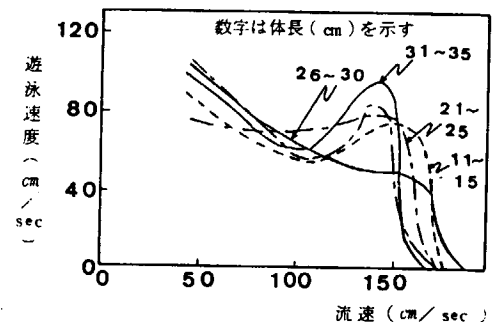


図3.9 体長15~40 cmのニジマスの泳力
(小山他、1969から作図)

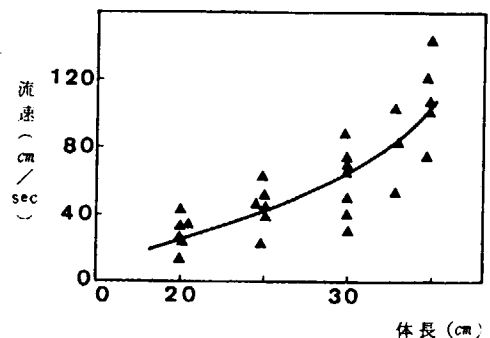


図3.11 体長と耐流流速
(小山他、1969)

- 体長 20 cm の個体 : 選好流速 30 cm/sec
- 体長 25 cm の個体 : 選好流速 45 cm/sec
- 体長 30 cm の個体 : 選好流速 60 cm/sec
- 体長 35 cm の個体 : 選好流速 100 cm/sec

(3) ウナギ

松井他(1967)の報告によれば、シラスウナギは種々の傾斜面を容易に登りうる能力をもち、登面がぬれ、かつそれが平滑でない限り、傾斜が90度近くでも登るといふ。また適正流速については、次のように報告している。

- シラスウナギ : 適正流速 40 cm/sec
- 体長 15~30 cm の成魚 : 流速 150 cm/sec でも容易に遡上する

(4) オイカワとウグイ

小山(1967)は、オイカワの、遊泳力について、体長 7.5~9.5 cm の個体は、流速 100 cm/sec 以上では遡上できないが、流速 80 cm/sec 以下では容易に泳ぐ、と報告している。またウグイについてもオイカワと同様であるとし、両者ともアユの遊泳力の約 0.8 倍とみて大差はないとしている。

(5) アマゴ

建設省富士川砂防工事事務所(1980)は、養殖アマゴを用いて魚類遡上実験を行い、次のように報告している。

表 3.3 魚類遡上実験の概要(富士川砂防工事事務所、1980)

実験の種類	実験内容	実験結果
魚道内遡上実験	魚道内を網で仕切って池をつくりこの中にアマゴを放流した。魚道の構造がアマゴの遡上に障害あるか否か観察した。	10時から16時まで6時間観察し、1年魚3回、2年魚5回遡上するのを観察した。流速 0.66~0.93m/sec で階段毎の水位差は15~20cm
流速抵抗力実験	(A)金網カゴ(35cm×45cm)アマゴ(1年魚、2年魚)を入れ耐泳流速を調べた。 (B)実験池(60cm×80cm)を網で囲って作り、実験池を通る流速を変えて流速に対する抵抗力を調べた。	1年魚は 2.4 m/sec、2年魚は 3.2m/sec の流速に瞬時耐える。 流速は 0.71~1.41m/sec まで変化した。流されることなく一定位置に定位した。
低水位での遊泳力実験	床固工水たたき部にアマゴを放流して低水時での遊泳力を観察した。	体高 6 cm のアマゴを水位 3.5~4 cm の水流の中に放流した結果、流速 17m/sec では遊泳出来ず、1.2m/sec では遊泳出来た。

(6) その他の魚類

小宮山(1981)は、サクラマス系統では、流速40~50 cm/sec、イwana系統では、体長約10 cmで流速20 cm/sec内外のところで定位する、およそ流速30 cm/secのところ、サケ属とイwana属が分かると述べている。

2) 跳躍高(とびはね高)

魚類のとびはね行動には、次の3型があるとされている(内田、1930;末広、1960)

- ① 危険逃避・摂餌・不良環境などのとき他律的におこるもの
- ② 遊びの一種または性的興奮などにより自律的におこるもの
- ③ 急流や激流に遭遇したときおこるもの

また、跳躍力は静水(止水)中と流水中では異なり、後者の方がより大きな値を示すとされている。

(1) アユ

図3.12は、アユの跳躍高に関する既往文献をとりまとめたものである。これらの報告からみると、アユの跳躍力は、静水(止水)中では10~30 cm、流水中では30~70 cmである。なお、図3.13~3.14に、小泉他(1965)と白石(1955)による、アユの跳躍高に関する報告を示した。

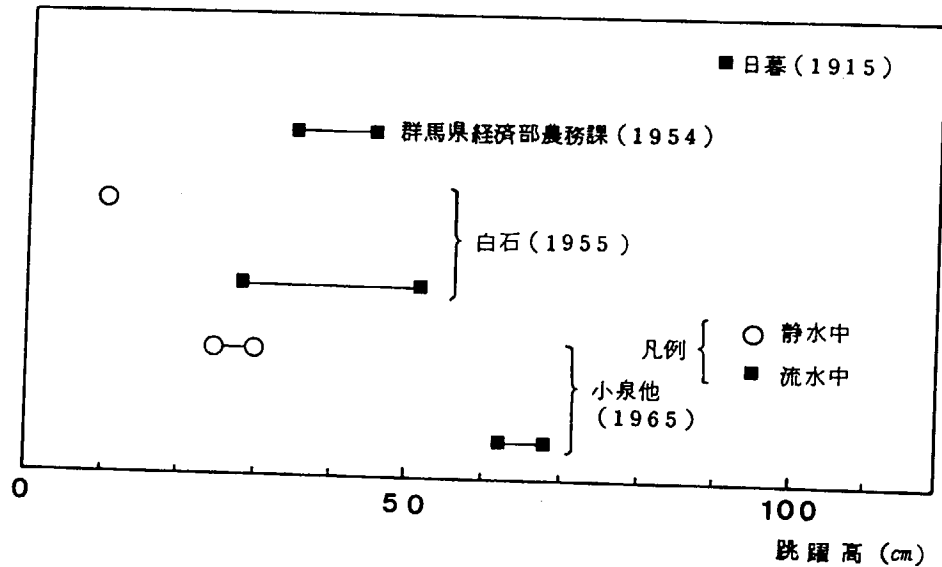


図3.12 アユの跳躍高

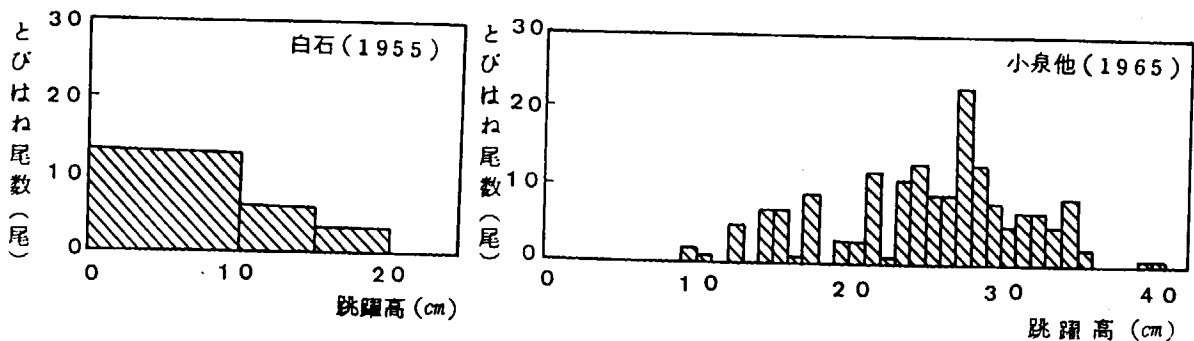


図3.13 アユの停水中における跳躍高

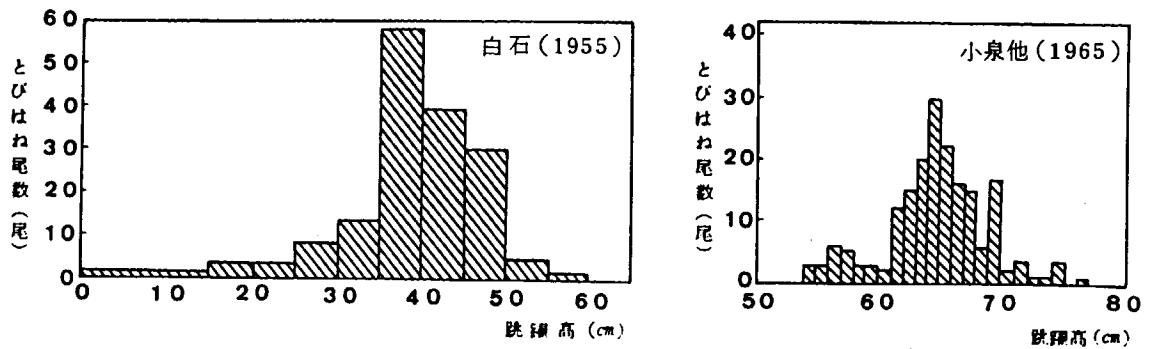


図 3.14 アユの流水中における跳躍高

(2) その他の魚類

田内 (1953) は、Talbo, G.B. 他 (1940) の文献をとりまとめ、ベニマス (体長不詳) は 1.2 m までジャンプする、と報告している。また高橋 (1981) は、カラフトマスを用いた遡上実験を行い、カラフトマスが落差 0.4 m (ダム直下流の最大水深 1.2 m) のダムを遡上することを確認している。

3.1.3 視 覚

1) 目の構造

魚類の眼とヒトの眼の相違点は、レンズの形である。ヒトのレンズは偏平に近いが、魚のそれは球形 (図 3.15) である。^{*} そのほか焦点の合せ方が、ヒトや陸上動物の眼の構造と異なる。魚は、レンズについている靨帯によって、レンズと網膜の距離をわずかに調節するだけである。また、魚の眼は、涙腺をもたず、まぶたもない。

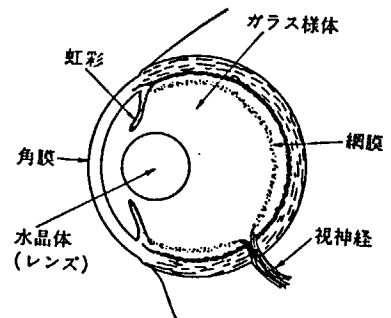


図 3.15 魚類の眼の構造 (Marshall) (井上、1978)

2) 視 覚

魚は、ヒトと違って体側の両側に 1 個ずつ眼がついているので、両眼で 1 つの物体を見るより、単眼視でそれぞれ重なり合わない別々の像を見ることが多いという (井上、1978)。このため、魚の水平視野は単眼では 160 度を超えるが、両眼視 (図 3.16) の場合は 20~30 度あり、ヒトの 120 度に比べて約 1/4 である (ニコルスキー、亀井訳、1964)。また、魚はレンズが球形で焦点距離が著しく短かい^{*}ため、ヒトなどに比べかなりの近眼であるといわれ (図 3.17)、水の透明度のきわめて良好な場合でも、物を認め得る距離は、最大 30 cm 以下のものである (井上、1978)。

^{*} カメラの魚眼レンズを想像するとわかり易い

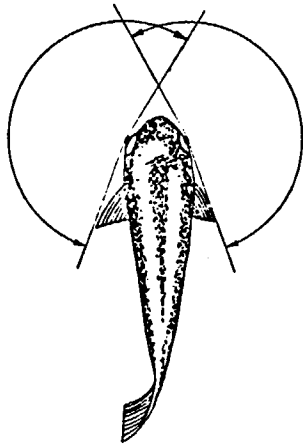


図 3.16 魚の两眼視野と単眼視野
(F. オマニー) (井上、1978)
中央の交叉した部分が两眼視野

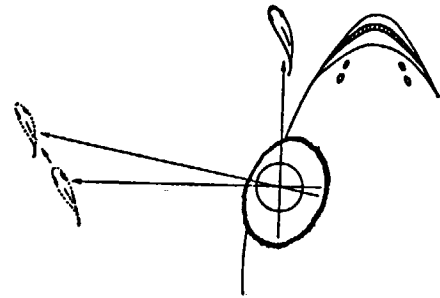


図 3.17 魚の前方視と側方視
(Marshall) (井上、1978)
側方視では遠くまで見えるが、はっきり見えないことを示す

3) 色覚

魚類に色覚があるか否かについては、視細胞の構造 (図 3.18) から考えて十分にあるといわれている (井上、1978)。

視細胞を構成する円柱体は、低照度の光線に対して反応し、色別ないし視覚に関係するものでありまた円錐体は、高照度の光線に対して反応し、色彩感覚に関係するものであるからである。

4) 色光選好性

小山 (1965~1978) は、アユの色光選好性について実験し、仔アユ、シラスアユ、稚アユともに、黄色光をもっともよく選好し、赤色光を忌避すると報告している。(図 3.19~3.20、表 3.3)。

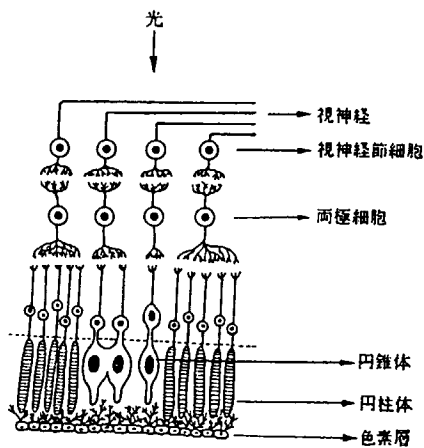


図 2.18 魚の網膜と視細胞 (Marshall)
(井上、1978)

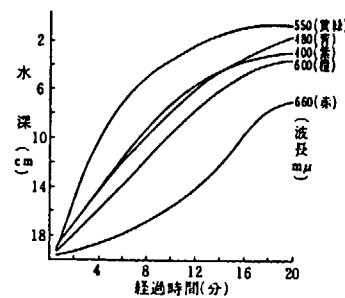


図 3.19 色光と仔アユの走光性
(小山、1978)

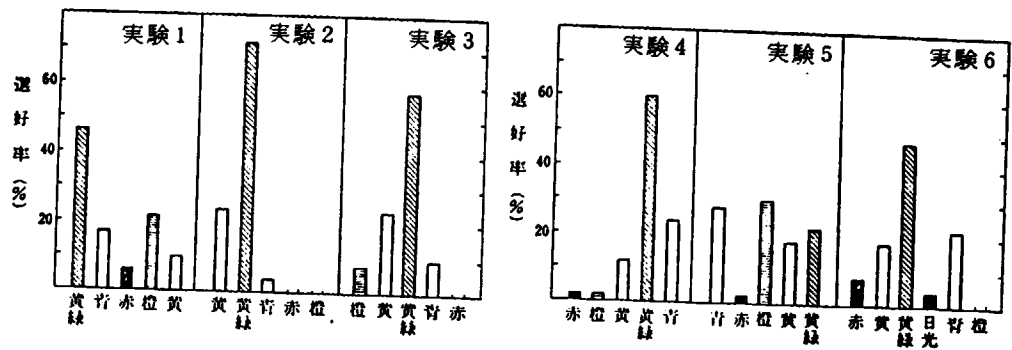


図 3.20 シラスアユの色光選好性 (小山、1978)
(色光の配列を変化させても黄緑光が選好される)

表 3.3 各餌場における摂餌量 (修正値) (小山、1978)

餌場番号 色光	餌場番号				合計 (g)	指数
	I	II	III	IV		
黄	1084	1051	550	988	3673	100
黄 緑	205	494	68	414	1181	32
青	627	5	99	0	731	20
赤	0	0	0	0	0	0

3.1.4 水温感覚

魚類の温度受容器は、側線器官 (12 頁の脚注参照) にあると言われる (井上、1978)。魚類は変温動物であるから、環境の水温に応じて体温を変えるが、この能力は無制限のものではない。また魚種ごとに生息できる適温 (図 3.21) がある。

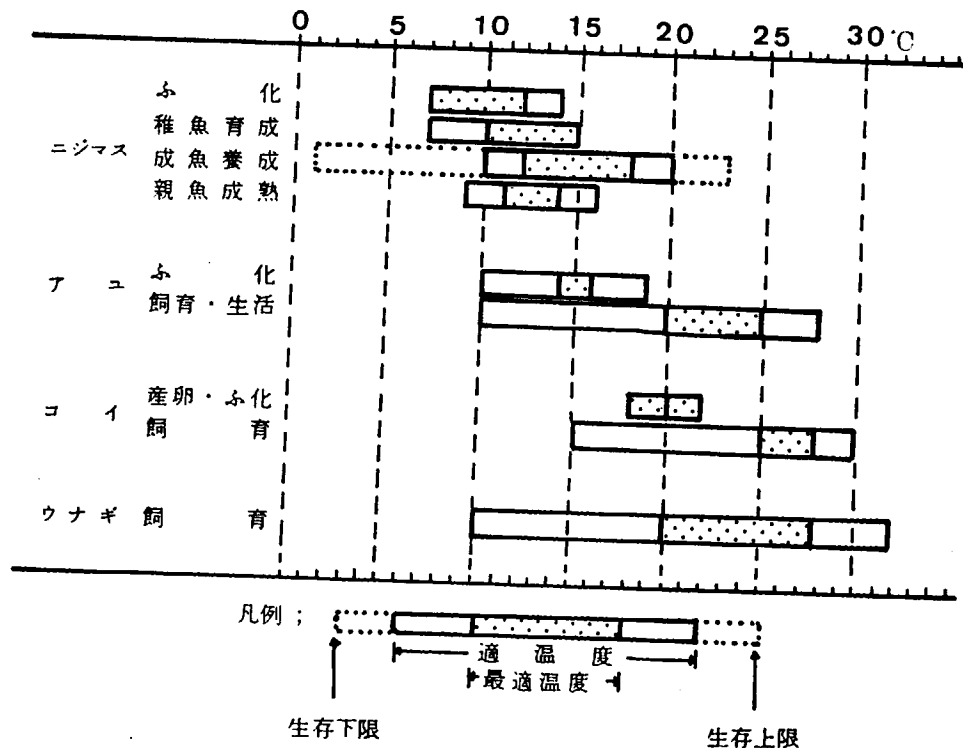


図 3.21 重要水産生物の適温図
(日本水産資源保護協会、1972)

3.1.5 聴覚

1) 聴覚に関する器官

魚が聴覚を有することは、今日では既に明らかにされている。魚の聴覚に関する器官は、内耳・側線・うきぶくろなどである。以下に、それぞれについて井上(1978)の説明を引用した。

(1) 内耳

魚の耳とヒトの耳を比べると、ヒトの耳は外耳、中耳、内耳の3つに分れているが、魚は頭部に埋れた内耳があるだけである。ヒトの外耳には音の圧力を感じる鼓膜がある。その先の中耳に3つの小さな骨(槌骨、砧骨、鐙骨)があって、それらが鼓膜の振動を増幅する。中耳の先はリンパ液が詰まった内耳で、ここには音を神経のインパルス(衝動波)に変える螺旋形の蝸牛管や平衡感覚に関係する半規管など、もっとも複雑な組織がある(図3.22)。ヒトの蝸牛管には聴覚細胞があり、それによって、音波の刺激をとり入れている。

他方、魚の内耳は図3.23のように簡単なものである。上下の2部分に分かれており、上の部分は半規管となって平衡感覚を支配し、下の部分は通のう、小のう、および小のうに付属する壺のう(ラゲナ)で構成される耳石器官となって音の受容を行っている。半規管の2つは垂直の方向にあり、他の一つは水平になっている。多くの魚類はこの3管全部を所有しているが、ヤツメウナギは水平部が欠除し、メクラウナギは両端にびん(瓶)のある1管だけをもっている。通のう、小のう、壺のうの内壁には鋭敏な感覚細胞があり、また内腔にはリンパ液が満たされている。

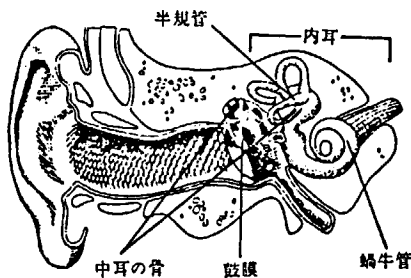


図3.22 ヒトの耳 (S. スチブンスら)
(井上、1978)

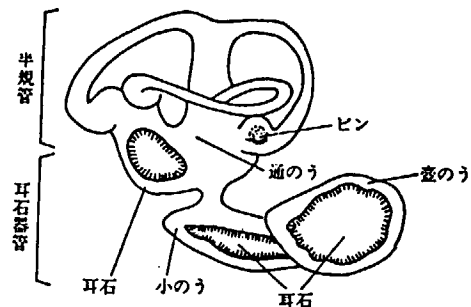


図3.23 アブラハヤの内耳 (Marshall)
(井上、1978)

さらにこの3つの部分に、内壁から分泌された石灰質の物体があり、これが耳石となる。耳石の大きさと形は魚種により違うが、同一種内では基本型はほぼ一定しているので魚を分類するとき役に立つ。また耳石にできる年輪で魚の年齢査定もできる。耳石器

官は、音受容の他、重力の作用や運動開始または停止時に加わる直線加速度の受容を行い、また通のうは単独で姿勢反射を制御する。音受容は主として小のうで行われ、耳石自体は音波を受容することはないが、振動によって小のうの内圧が変動すれば、それに伴って耳石は動き感覚細胞を刺激する。これらの細胞からの神経刺激は聴神経を通じて脳に伝達される。耳石を動かすのには、ある程度大きいエネルギーがリンパ液を媒介として伝ってくる必要があるので、内耳が受けとる音は比較的振動の大きい音、すなわち高い音とされている。

(2) 側線

側線も聴覚に関係する器官であり、主として低振動による感覚に関与するといわれる。この他にも側線は水流や水圧などの機械的刺激の受容器として知られている(第3章、3.1.1、3.1.4)。

(3) うきぶくろ

うきぶくろは魚類特有の器官で、多くの機能を営んでおり、まだそれらに対する研究は十分でないが、次の4つの機能が認められている。① 聴覚補助、② 発音、③ 比重調節、④ 呼吸である。

以下に、うきぶくろの聴覚補助機能について説明する。

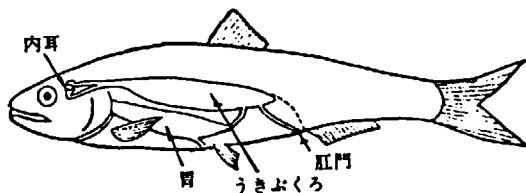


図 3.24 ニシンのうきぶくろと内耳との連絡 (Marshall)
(井上、1978)

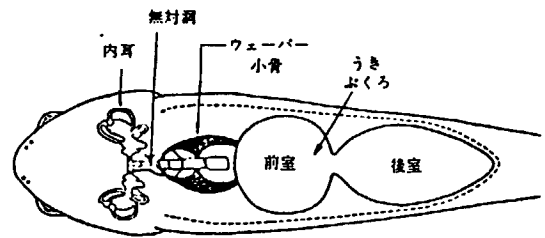


図 3.25 骨鰾類の聴器 (Marshall)
(井上、1978)

有鰾魚のうちうきぶくろは体腔内で独立しているものが多いが、魚種によってはうきぶくろと内耳とが連絡しているものがある。その連絡の方法には2つあり、ニシン(図3.24)やイワシ類は直接うきぶくろと内耳がつながっているが、コイやナマズのような骨鰾類ではウェーバー小骨を介して連絡している(図3.25)。なお、骨鰾類というのはうきぶくろと内耳がウェーバー小骨でつながっている魚類をいう。この小骨は音波を増大する聴覚器の補助器官でもあり、また水中の動揺や水中の圧力変化を感知するともいわれている。

2) 音感受閾

魚の音感受性に関する研究は、かつては魚の感受する音周波の上限をきめることに主な関心が払われ、完全なオーディオグラムを作製しようとする試みはあまりなされていなかった。しかし、魚は振動数の上限に対してもっとも高い感度を示すのではないので、近年は高低いろいろな振動数における受容の閾値を調べ、それから魚の感度がもっとも良い振動数を見出そうという試みが行なわれ、その結果図 3.2 6 にみられるようなオーディオグラムが作られるようになった。

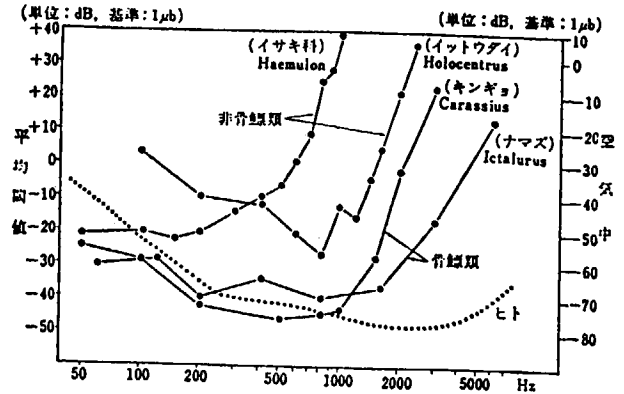


図 3.2 6 行動より調べた魚のオーディオグラム (古川より)
(井上、1978)
縦軸は音圧、ヒトのオーディオグラムには右の目盛を適用

この図はその一例をあげたものである。縦軸の感度の平均閾値は音圧で示される。図から明らかなように、魚で感度のよいのは 100~1000Hz の間で、それより振動数が高くなると感度は急激に低下する。他方、ヒトでは 200~5000Hz 間では感度にはそれほど差はない。

魚とヒトの音感受閾について比較する場合、水と空気という媒質の音響インピーダンスの相違を考慮に入れる必要がある。音の強さの単位は音圧であり、基準音圧として $1 \mu\text{bar}$ (マイクロバール、 $1 \text{ dyne}/\text{cm}^2$ 、 10^{-6} bar) が用いられる。しかし、魚とヒトの音感覚閾の比較では音圧ではなく、音強度 (エネルギー) について行われる。空気中で音圧 $1 \mu\text{bar}$ の音の強度は $2.3 \times 10^{-9} \text{ W}/\text{cm}^2$ であるが、水中ではこの強度の音が生じる音圧は音響インピーダンスの関係で空気中の 60 倍になる。ヒトの可聴閾値、すなわち耳に聞えるか聞えないかの限界の音圧は $0.0002 \mu\text{bar}$ で、これは -74 dB (基準 $1 \mu\text{bar}$) であり、これはまた $10^{-16} \text{ W}/\text{cm}^2$ のエネルギーに相当する。これと同じ強さの音は水中では -38.8 dB の音圧を生じる。

図 3.2 7 によれば、キンギョやナマズなど骨鰭類の最低可聴閾値は 200~1000 Hz では $-30 \sim -40 \text{ dB}$ であり、ヒトの耳のそれと余り違いがないことがわかる。しかし、非骨鰭類のイトウダイの最低可聴閾値は 600 Hz で -20 dB であり、イサキ科の魚では最低可聴の振動数は 150~200 Hz と低いものの、音圧ではイトウダイと同様 -20 dB と高く、非骨鰭類の聴力はヒトに比べ劣っていることが明らかである。

3) アユのとびはね反応と周波数

小山 (1978) は、琵琶湖産仔アユ (体長 6.2~8.5 cm) を用いて、音の周波数と稚アユの反応を調べ、次のように報告している。

アユは、停水に近い状態の池で飼われているときは、水中音に対して反応を示さなかった。しかし、短時間でも流れを経験させると、アユの水中音に対する反応性は回復し、毎秒100~2,500 サイクルの範囲の周波数に対して、とびはね反応を示した(表3.4、ただし、この実験では他の周波数については調査されていない)。

表3.4 音周波 (cycle/秒) と稚アユのとびはね反応

経過時間 (分)	音 周 波 (cycle/秒)									
	無放声	堰の水音	100	300	500	700	1000	1500	2000	2500
1	0	7	3	2	0	0	0	4	0	5
2	0	8	4	5	1	9	1	5	8	1

3.1.6 日周行動

動物の行動の1つに、一昼夜を周期とする日周行動がある。生物学では、一昼夜の24時間周期で繰り返される行動現象をサーカディアン・リズムと呼び、周期活動の発現の基盤になっている体の仕組みを生物時計と呼んでいる。

水中における動物の日周活動には、照度変化が大きく影響するが、潮の干満等も影響要因の1つである。

日周行動の例は多く、前述したアユの遊泳力の日周変化(図3.7)の他、後述する魚道における遡上や降下のリズムもその1つである。以下に小山(1978)によるアユのとびはね活動と、摂餌活動の日周リズムを示した。

1) とびはね行動の日周変化

アユのとびはね行動には、以下の4つのピークがあり、リズム間隔は約4時間である。

- 第1回目のピーク : 午前5時
- 第2回目のピーク : 午前9時30分
- 第3回目のピーク : 午後1時30分
- 第4回目のピーク : 午後5時

2) 摂餌活動の日周変化

アユの摂餌活動には、以下の3つのピークがみられる。

- 第1回目のピーク : 日の出前後
- 第2回目のピーク : 正 午前
- 第3回目のピーク : 日没前後数時間

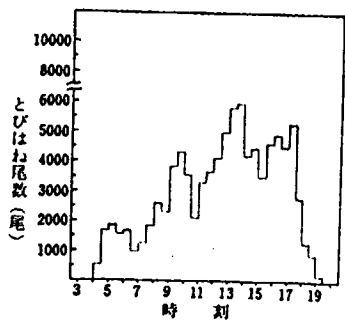


図 3.27 とばはね活動の日周リズム
(小山、1978)

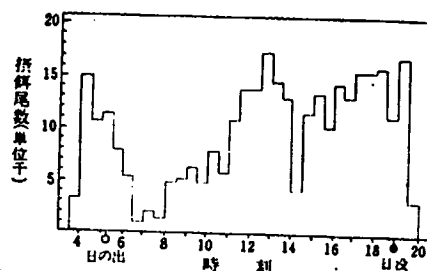


図 3.28 池全体のアユの摂餌活動
(小山、1978)

3.1.7 魚群の行動

井上(1978)は、魚群について次のように述べている。

魚は魚群を作って行動することがある。この場合魚群は、同一魚種のほぼ同一体長の個体からなり、各個体は遊泳方向・間隙・速度について統制のとれた行動をする。

魚が群れをつくる性質(成群性)は、魚種や成長段階によって異なる。魚の生活史からこれをみると

- ① 一生群れをつくる魚種
- ② 生活史のある時期(例えば稚魚のときとか、産卵期のときなど)だけ群れをつくる魚種
- ③ 一生孤独な魚種

に分かれるが、大部分の魚は生活史のある時期に群れをつくるようである。群れの適応に関しては、外敵に対する防衛効果説(Parr, 1927)を中心に、エネルギー保持説(Shaw, 1962)などが提唱されている。また、魚が群れをつくる時関与する感覚は、視覚・聴覚あるいは機械的感覚などであるが、その中もっとも重要なものは視覚であるといわれている。

3.2 魚道における魚類の遡上生態

3.2.1 遡上活動

1) 遡上日周期を調べる際の問題点

楠田(1963)は、魚道における魚類の遡上日周期を調べる際の問題点として、次の①～④をあげている。

- ① 調査河川の違い
- ② 調査河川のある地理的な位置(地方)の違い
- ③ 調査地点の流程における位置(河口からの距離)の違い
- ④ 遡上魚群の推定方法の違い

なお④遡上魚群の推定方法については、鮎箱陥漁法、捕獲魚梯、四ッ手網或は曳網など

で稚アユを部分的に捕獲して遡上魚数を推定する方法、一定時間に遡上した稚アユを観察して遡上魚数を推定する直接観察方法などがあることが指摘されている。

このように、遡上魚数は単純には比較できない、といった問題もあるので今回は、遡上活動の検討は、量的なものはさしひかえ、質的なものだけとした。

2) 遡上時期

(1) アユ

アユの遡上時期については、仮に同一河川においても上述③調査地点の流程における位置の違いによって、また調査年次によって時間差が生じる。こうした問題点はあるが、アユの遡上時期について一応表 3.6 に整理した。マクロ的にみた場合、アユの遡上は、桜前線のように南の方が早く、段々と北上するといえる。

表 3. 地方別にみたアユの遡上時期

地 方	河川名(都道府県名)	遡 上 期 間	報 告 者
東北地方	北上川 (宮城県)	5月下旬～6月上旬	今井・佐藤 (1951)
関東地方	江戸川 (東京都)	4月下旬～5月中旬	林・川崎 (1947)
"	久慈川 (茨城県)	4月中旬～(?)	茨城県 水産部漁産課 (1954)
中部地方	豊川 (愛知県)	4月上旬～5月中旬	堀田 (1952)
"	木曾川 (")	"	
"	揖斐川 (岐阜県)	"	
"	長良川 (")	"	
北陸地方	阿賀野川 (新潟県)	6月がピーク	越田 他 (1935)
四国地方	仁淀川 (徳島県)	5月中旬～(?)	藤原 (1934)
"	吉野川 (")	3月下旬～5月下旬	徳島県水試 (1934)
九州地方	球磨川 (熊本県)	2月下旬～(?)	熊本県 (1952)

3) 遡上時期と体長組成

アユについて、遡上時期と体長組成の関係を既往文献から整理すると、遡上の初期は大型の個体群であり、中期ころから小型の個体の混入がみられ、ピーク時以降は小型の個体群であるといえる(徳島県水試、1934;堀田、1952;楠田、1963;土屋、1971;日野、1979)。大雲川と吉野川第十樋門における報告例を図 3.29～3.30 に示した。

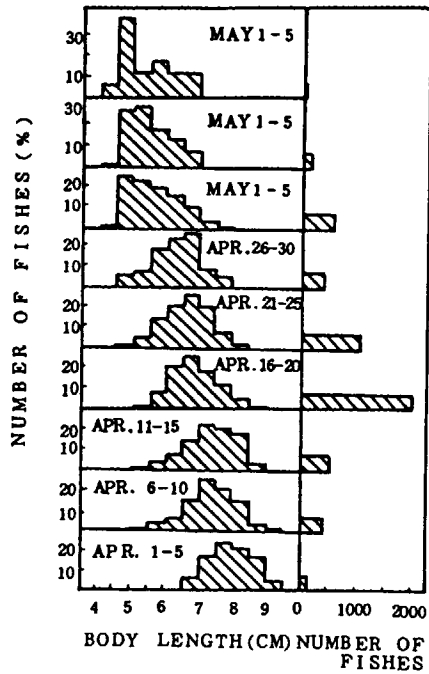


図 3.29 Seasonal variations in the body length and the number of anadromous ayu fry caught every 5 days period at the mouth during April 1 to May 15, 1962(楠田、1963)

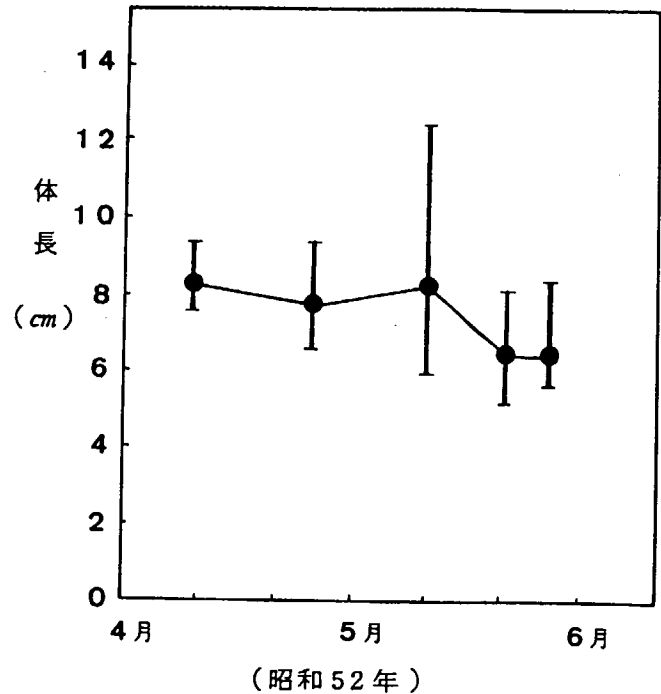


図 3.30 吉野川第十樋門アユ遡上状況調査結果(日野、1979 から作図)

4) 遡上の日周変化

魚類行動に日周変化(期)がみられることは、第3章3.1.6で述べた。ここでは、遡上の日周期に限って整理する。なお、遡上行動には、環境要因(例えば、水温・天候・水位・潮位など)が大きく影響するが、その点に関する検討は第3章3.2.1 5)で行う。

(1) アユ

① 遡上時間帯

アユの遡上時刻に関する報告は多い(土屋、1971;楠田、1963a;1963b;川那部他、1957;加藤他、1955;徳島県水試、1934;滋賀県水試、1927;1928;新潟県水産試、1930;新潟県、1931;群馬県水試、1932;岐阜県、1934;加藤、1935;小田他、1936;今井他;1951茨城県水産部漁産課、1954;群馬県経済部、1954;鈴木、1959;伊藤他1962;堀田、1952)。これらの報告をとりまとめると、アユの遡上は、堀田(1952)、滋賀県水試(1927)、伊藤他(1962)の報告のみが夜間も認められたとしているが、他の報告(90%)は全て、昼間のみで、夜間は遡上していないとしている。

② 遡上のピーク時刻

遡上のピーク時刻に関する報告をとりまとめて表3.7に示した。また、遡上の日周

期調査例として川那部他(1957)による宇川(京都府)の調査結果と、堀田(1952)による阿賀野川(新潟県)の調査結果を図3.31~3.32に示した。

これらの報告をとりまとめると、天候、水温、潮位などにより異なるが、マクロ的には遡上のピーク時刻は14時前後であるが、日没直前(16~18時頃)も多いといふことができる。

表 3.7 アユの遡上時刻

調査場所(都道府県名)	遡上時刻	ピーク時刻	報告者
宇川 橋北堰(京都府)	夜明~日没 (60 Lux以上)	12~14時	川那部他 (1955, 1957)
大 雲 川(京都府)	夜間の遡上なし	16~18時	楠 田 (1963a, 1963b)
阿 賀 野 川(新潟県)	一日中	{ 9~11時 13~15時	堀田(1952)
吉野川第十樋門(徳島県)	夜間も少しは 遡上する	14~16時	徳島県水試(1934)
岩 本 ダ ム(群馬県)	7~17時	12~16時	群馬県水試(1932)
麻 生 ダ ム(岐阜県)		{ 6~8時 13~15(最大) 16~18時	岐阜県(1934)
鹿 瀬 ダ ム(新潟県)		10~12時	加藤(1935)
津 伏 ダ ム()		6~18時	小田他(1936)
飯 野 川 ダ ム()	日出~日没	12~16時	今井他(1951)
辰 ノ ロ ダ ム(茨城県)		13~14時	茨城県水産部漁産課 (1954)
中 村 ダ ム(群馬県)		10~16時	群馬県経済部農務課 (1954)
滝 原 ダ ム()		14~15時	鈴木(1959)
吉 野 川(徳島県)	夜間も少しは 遡上する	14~15時	伊藤他(1963)

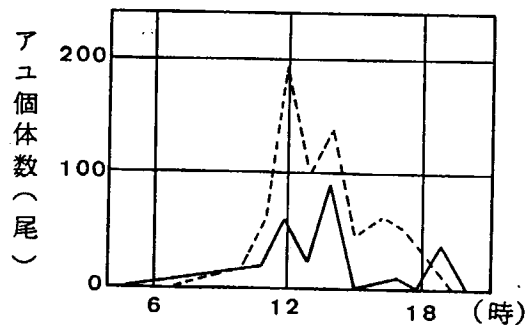


図 3.31 河口と宇川橋堰堤を上るアユの個体数の日周期変化(5月20日)
実線は宇川橋堰堤(5月18日)で、1時間ごと
に10分間に上った個体数をあらわした。
(川那部他、1957)

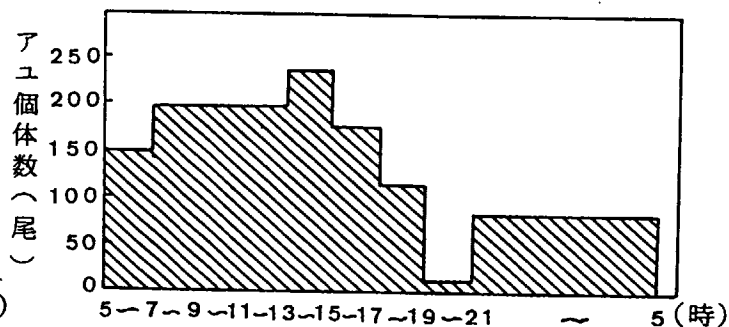


図 3.32 阿賀野川におけるアユ
遡上の日周期変化(堀田、1952)

③ 遡上時刻と体長組成

遡上時刻と体長組成については前述した(第3章3.2.1 3)。ここでは1日間における体長組成の変化について述べる。

楠田(1963, b)は、大雲川(京都府)の河口付近で、遡上する海産稚アユの遡上時刻と体長組成の関係を調べ(図3.33)

① 遡上ピーク時刻の個体ほど小型である

② 遡上ピーク時刻の前後には大型の個体が多い

と報告している。

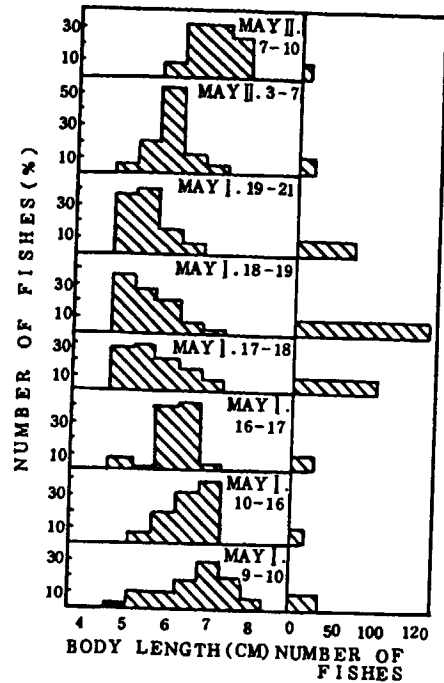


図3.33 Diurnal variations in the body length and the number of anadromous ayu fry caught at the mouth of the river for May 1~2, 1962(楠田, 1963b)

5) 遡上活動と環境要因

① 遡上活動と水温

遡上活動と水温の関係に関する既往資料をとりまとめて表3.8に示した。表3.8から、ある限り遡上は12°C位で活性化し、20~22°C程度のとくにさかんであると言える。しかし、水温と遡上活動はとくに関係がないとする報告も少なくない(富山県, 1934; 小田他, 1936; 鈴木, 1959; 伊藤他, 1962~1967)。

表3.8 アユの遡上活動と水温

調査場所(都道府県)	活性化水温(°C)	最適水温(°C)	備考	報告者
鹿瀬発電所(新潟県)		約22		久保(1962)
鹿瀬豊実発電所(")		20.2~22.6	22.6°C以上では遡上減	三善(1935)
江戸川(東京)		14~16	14°Cより低くても16°Cより高くても遡上減	林他(1947)
宇川橋(京都府)			17~18°C以上で遡上数増加	川那部他(1957)
大雲川(")	12	13以上		楠田(1962a,b)
利根大堰(群馬県)	12			土屋(1971)
天竜川南向発電所(長野県)		(正の相関)		長野県(1931)

このように、遡上活動と水温との関係に賛否両論があることについて小山(1967)は、それは河川の状況、観察時間、潮の干満、気象条件など他の環境要因によって変化することを意味している、と指摘している。そして前述の(第3章3.1.6)日周行動との関係から、「遡上活動は、基本的にはアユの体内リズムに依存すると考えたい」と述べている。また、伊藤他(1962)は、「水温の影響は、アユの前歴水温によって違うので一律にはいえない」としている。この点について楠田(1963b)の報告は、次のとおりである(図3.34)。遡上活動のピークは、16時頃であり、河川水温(13℃)と海水温(15.6℃)が最も接近したときである。

② 遡上活動と濁り

河川の濁りは、物理的に魚の視野を妨げるので忌避されることは容易に想像できる。魚道における遡上活動と濁りの関係について、小田他(1936)は、「出水による黄濁水がしだいに減少し、濁度が低くなるにしたがって遡上が始まり、平水時にもどる直前が最もさかんである」と述べている。また新潟県水産試(1930)は、具体的に「透明度が0.9mから遡上が多くなり、1.2~1.5mのときがとくに多い」と述べている。また小山(1978)は、室内実験(図3.35)結果(表3.9)から、「アユは濁った水よりも清水の方を愛好する」と述べている。

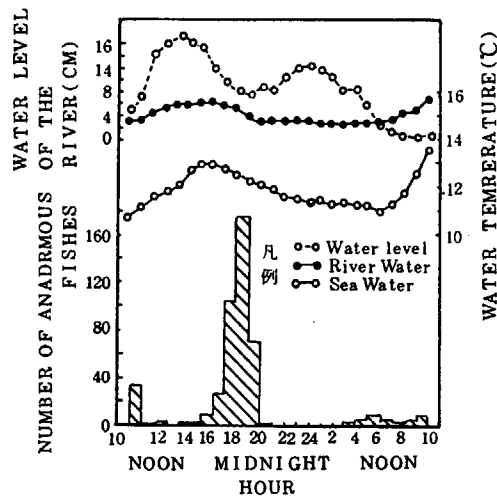


図 3.34 Diurnal variations in the number of anadromous ayu fry every hours the water temperature of both the sea and the river and the water level at the mouth of the River Okumo for May 1~2 1962 The total of anadromous ayu fry caught is 453 in number. (楠田、1963b)

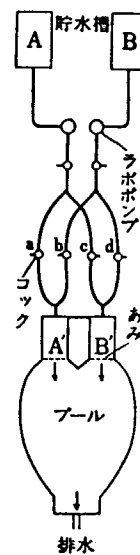


図 3.35 水質選好実験装置 (小山、1978)

表 3.9 稚アユの水質選好性 (小山、1978)

水の種類	実験回数	平均選好尾数	差の有位性
清水：濁水 1	5	33:19	※
清水：濁水 2	5	32:18	※

※ 有位水準5%、試水の分析値省略

③ 遡上活動と潮位

遡上活動と潮位（潮の干満）の関係については、上げ潮で下流水位が高まってくる時刻に遡上がさかんになる（今井他1951、図3.36）という報告と、満潮時の前後に遡上が多く、とくに満潮直後の下げ潮時に遡上がさかんになるケースが多い（伊藤他1964～1967図3.37）という報告がある。この点について小山（1967）は、観察場所の状況や調査方法によって（図3.38）、干満の影響が違ってくことも考慮に入れなければならない要因であるが、魚の走流性の基本などからみて、アユの遡河は、やはり満潮時を中心にして多くなるべきものであろうと述べている。

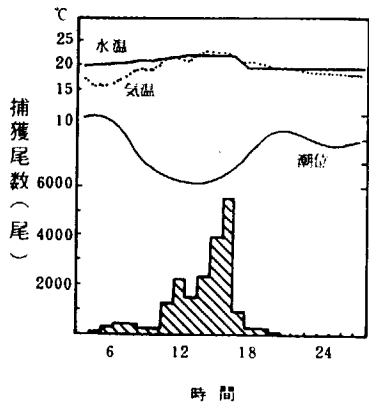


図 3.36 幼鮎捕獲尾数の時間的変化
昭和26年6月23日
(今井他、1951)

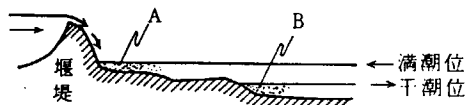


図 3.38 潮の干満と遡上の1例
(小山、1967)

注) A地点では満潮とその前後に、B地点では干潮時に遡上が多いという結果が生じる可能性が高い。

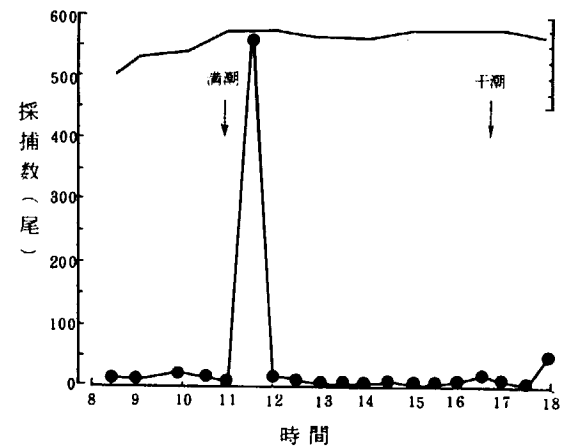
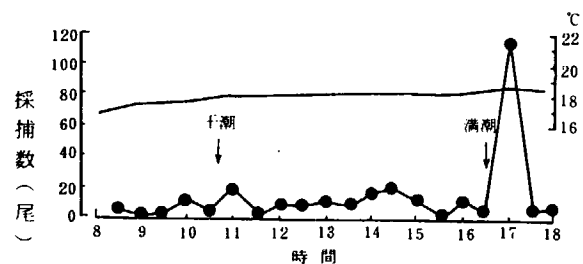


図 3.37 長良川河口部(11.5 km)における四つ手網によるアユの採捕数の日周変化と潮汐および水温との関係(1965年5月12日と5月23日の例)(伊藤他、1967)

3.2.2 河川遡上速度

1) 河川遡上速度に与える要因

稚アユの河川遡上速度に与える要因には、アユ自体の特質と、河川の特性の2つがある。それぞれの要因について述べる。

(1) アユ自体の特質に関する要因

- ① 天然遡上アユか、放流アユか
- ② 放流アユでは、産地、採捕の時期、採捕後の蓄養期間の長さなど
- ③ 体長
- ④ その他

(2) 河川の特性に関する要因

- ① 河川の規模
- ② 河床型などの河川形態
- ③ 流量
- ④ 流速
- ⑤ 水質
- ⑥ 水温
- ⑦ 堰などの障害物
- ⑧ その他

2) 稚アユの河川遡上速度

或流程を通じての稚アユの河川遡上速度は、1)の要因などから相当大きい巾があると考えられる。表3.10は、稚アユの河川遡上速度に関する既往文献と、本調査の結果を整理したものである。稚アユの平均遡上速度は、約0.2～3.4 km/日程度とみられる。

表 3.10 稚アユの河川遡上速度

報告者名	実験河川名	実験時期	アユの区分	アユの体長など	実験方法	河床型など	水温	流速	河川遡上速度	備考
1. 伊藤他 (1962)	吉野川(四国)	4月下旬	天然遡上アユ(?)	?	?	平瀬	?	0.2~0.3m/sec	約10sec/m※ (約2.5km/日)	※遡上期間を 1日7時間と して換算
2. 伊藤他 (1964)	長良川	①4月②5月	天然遡上アユ	約13cm	目視観測	?	?	流心部0.7~ 1.2m/sec	①② 0.5~300sec/m 多くは0.5~0.3 sec/m) ※	
3. 塚本他 (1979)	駅館川水系津 房川(大分県)	5月下旬	湖産アユ	全長:6.4cm 体重:1.7g(?)	標識放流	Aa-Bb移行型	?	?	①4月の平均: 約2.0km/日 ※ ②5月の平均: 約1.6km/日 ※ ①②の平均: 約0.3km/日 ※	
4. 伊藤, 水野 (1979)	仁淀川水系坂 折川	5月下旬	河口採捕後蓄 養したアユ	全長:10.8cm 体重:16.8g	標識放流	Aa-Bb移行型	?	?	0.4 km/日	
※ 5. 池田ダム (1981)	吉野川(四国)	4月23日~ 5月16日	海産アユ(蓄 養2ヶ月)	全長:119±0.7cm 体重:104±0.6cm 体重:139±2.7g	標識放流(ア ブラビレの切 断-3,000尾)	Bb	15.5±0.6°C	?		※ 生データより 算出
6. 加藤他 (1955)	宇川(京都)	4月4日~ 5月5日	天然遡上アユ	?	目視観測	?	?	?	0.19km/日	遡上速度が遅 い原因は、遡 上の途中に3 堰堤がある為 と思われる

3.2.3 魚類の魚道出水口（登り口）付近における行動

魚道設計上で重要度の高い要素として、いかに多数の魚類を魚道出水口に誘導するかということがある（小山、1967、1968、1979、加藤、1968など）。本節は、これをテーマとして考えた場合の魚類の魚道出水口付近における行動について、既往資料、並びに今回の調査結果を整理した。

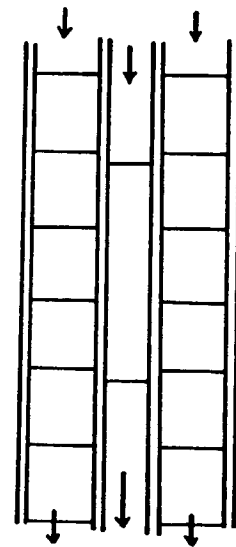
1) 「呼び水」と「呼び水式魚道の定義」

小山は、「木曾三川河口資源調査報告（1965）」の中で、初めて「呼び水式魚道」を提唱している。以下に、小山の「呼び水」および「呼び水式魚道」に関する報告を示した（(1)～(5)）。

(1) 小山他（1965）アユの行動環境、木曾三川河口資源調査報告、第2号、P243

小山はここに「呼び水式魚道」を提唱した。これは大要図X-24のようなもので、中央に低水位の通水路を設け、魚道流速よりはるかに強い水流を流す。仮にその流速が、アユ遊泳力を超えるものであっても、この通水は呼び水（流速隔差）として働き、アユの遡上をうながす効果がある。

注) アンダーラインは著者記入。
また、小山(1965)の文章を一部改変



図X-24 呼び水魚道

(2) 小山他（1967）呼び水式魚道に関する実験、木曾三川河口資源調査、第3号、P1

魚の走流性を生起させ、これを誘引する流水を小山は「呼び水」とよび、呼び水を魚道に附属せしめた魚道を「呼び水式魚道」と名づけた（小山他、1965c）。その構造、効果などの概要はすでに前報告中に記載しているとおりであるが、ここにさらに魚道の中央に呼び水水路を設けるものを「中央呼び水式魚道」、側方に設けるものを「側方呼び水式魚道」と称して区別したいと思う。

(3) 小山(1967)魚道をめぐる諸問題Ⅱ(解説編)、木曾三川河口資源調査団P66

私は流量はたんに「流水断面積×流速」という表面的なものでなく、次のような種々な効果をもっていると考えている。

- 1) 流量が多ければその水流くさびが下流に深く広く打ちこまれる。したがって、魚の走流性生起の影響範囲は広くなり、遡上量を多くする。河口域ではこれが淡水くさびになり、走淡水性を広く生起させ、また河のもつ走化性物質や食物の供給を多くする。
- 2) 流量の多いときは周辺域と水温の隔差を生ずる。その水温隔差が魚類の走温性をおこさせ、より好適な温度帯へと移動させる。もし、流量の多いところがより好適温ならば、そこに集合する個体が多くなる。しかし、不適温ならば結果は逆である。
- 3) 流量が多ければ周辺域と流速隔差が生ずる。この流速隔差刺激によって走流性が誘起される。増水後に遡上が多いのはそのためであろう。1)項とあいまって遡上量が多くなる。間欠的に流量が多いと、隔差刺激の頻度を多くするので、より効果的になる。

流量が多ければ包含個体が多くなるほかに、私は走性上以上のように流量効果を考えているので、同じ意味をもつ流量のことを、より具体的なことばで「呼び水」と表現しているのである。このような呼び水を付随している魚道が「呼び水式魚道」である(既述)。

(4) 小山(1978)アユの生態、中公新書

① P132

流量が多いということは、川にアユをよびこむ効果が高いということである。

② P134

一言にしていえば、魚道出水口に魚をよびこむように水流を配慮すればよいのである。このような考えから、私は「呼び水式魚道」を開発した。

(5) 小山他(1967)呼び水式魚道に関する実験、木曾三川河口資源調査報告、第3号、P17

1. 呼び水式魚道は普通魚道に比べいじりしく容量が大である。
2. 呼び水式水路には、他の水路の少なくとも2倍以上の流速の通水を必要とする。
3. 普通水路の通水は、アユの選好流速の範囲内であることが望ましい。もし、流速がその範囲外であるときは、弱いよりもむしろやや強いほうが効率が高い。ここでのアユ(体長平均7.5cm)の選好流速は50~70cm/secと推定された。
4. よび水路は側辺にあっても効果はあるが、中央にあるほうがさらに効果が大きい。
5. 呼び水水路の幅は、普通水路の3/5~3/7が適当と思われる。
6. 魚道の出水口に黄色光線で照射すれば、多くの場合魚道効率が高まる。

2 「呼び水」と魚類の行動

小山(1965、1967)は、呼び水に関する事項として、以下の5例をあげている。

- ① 高梁川の採捕場(図3.39)の場合、全体を大きな魚道とみると、魚道が呼び水の役目をはたしており、アユはその側方を選択遡上している。
- ② 同図で採捕場にアユの集結があるが、その集結の多いところは流速の強いところの両側にある。
- ③ 明治用水堰(矢作川)の場合、放流水の両側にアユの個体群が定位している(図3.40)。

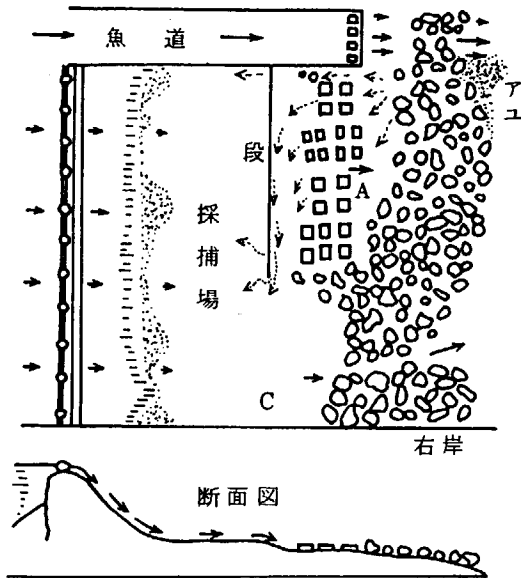


図 3.39 高梁川防潮堰におけるアユの遡上状況 (小山、1965)

注) A地点を通過するアユが最も多い。これは魚道からの水が呼び水の効果を出しているためと考えられる。

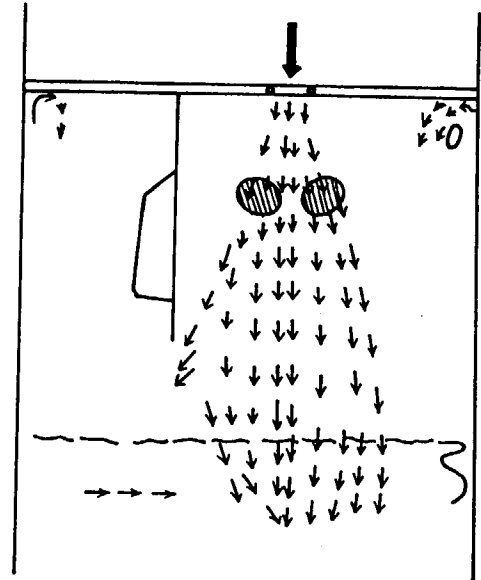


図 3.40 明治用水堰におけるゲート放流水の動きとアユの行動(小山、1965)

注) 斜線部はアユの集結場

- ④ 新信濃川堰(図3.41)の場合、全体を大きな魚道とみたとすると、水流の両側をアユが選択遡上している。

- ⑤ 榎田川黒部井頭首工の場合、叩きの強い流れの横をアユが遡上している(図3.42)。

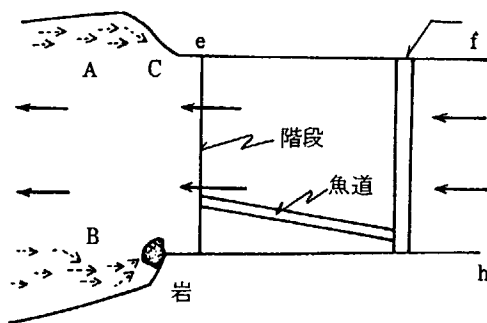


図 3.41 新信濃川堰(野積堰)におけるアユの遡上路 (小矢印)(小山、1965)

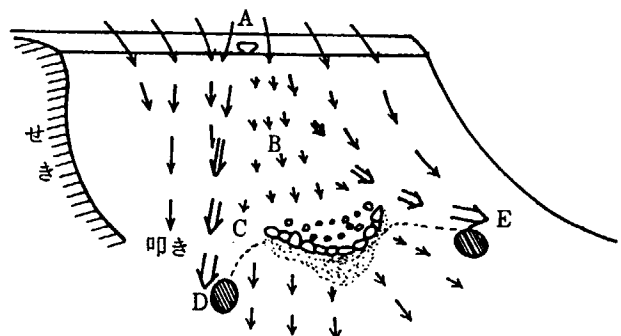


図 3.42 榎田川黒部井頭首工における水の流れとアユの行動(小山、1967)

注) アユの流れの強いD・Eの横を遡上してくる

3) 魚道水理模型における魚類の行動

(1) 北上大堰付属魚道水理模型における魚類の行動

佐藤他(1973)は、北上大堰付属魚道水理模型における魚類の行動について、次のように説明している。

① オイカワ幼魚の行動

予備実験として、水温7℃のときに、遊泳力のやや弱いオイカワ幼魚の行動を観察した。模型の水理条件としては、越流流量がやや多く、また下流が干潮の場合を想定して、ローラーゲート越流流量92ℓ/sec、その上・下流の水位差25cmの条件をつくり、下流に平均体長5cmのオイカワ幼魚約600尾をはなした。これらの魚は0.35~0.42m/secの水流におされて一旦下流にさがった後に、右岸の0.14~0.21m/secの逆流によって誘導水路登口の線より下の渦流に群集し、その後序々に上流の橋脚に達して、このゆるい渦流に留まった。そこでこの橋脚の渦流の生ずる部分を除去すると、魚群は魚道登口の近くの0.14m/secの渦流まで降り、ここから魚道に入るようになった(図3.43)。

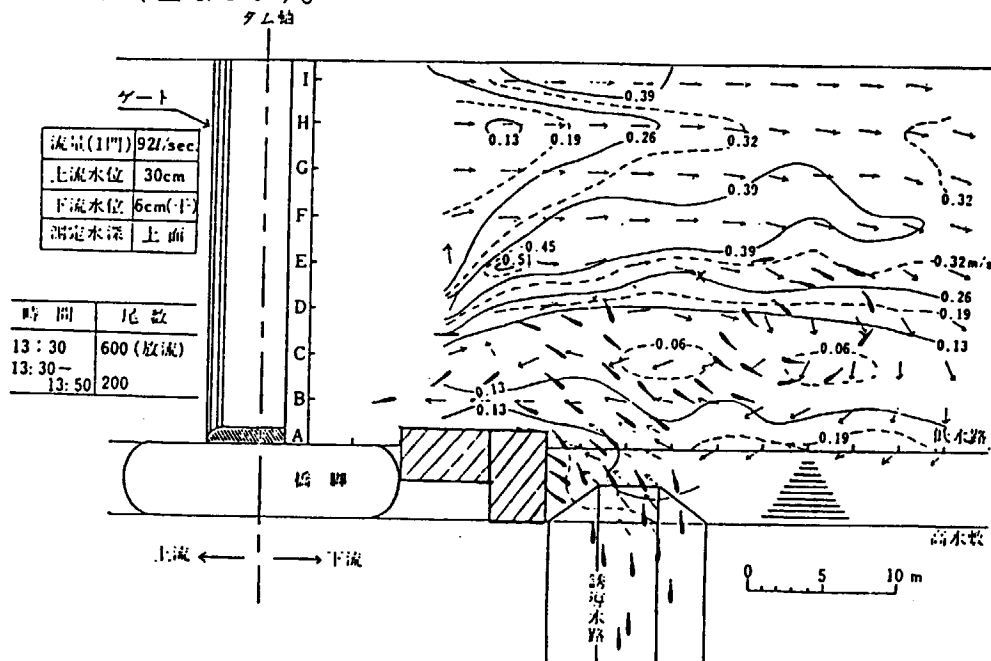


図 3.43 堰堤模型におけるオイカワ幼魚の移動模式
(魚群は誘導水路登口から遡上している)

② 幼アユの行動

遊泳力のやや強い魚種の一例として、平均体長7.5cmのアユ幼魚100尾を水温15℃の模型の下流に各実験ごとに放し、その行動を観察した。この際は、オイカワ幼魚を用いた予備実験の結果を考慮に入れて模型の誘導水路登口を30cm上流に移し、これと橋脚との間にできる渦流部分が小さくなるようにした。まず越流流量がやや少なくまた下流が干潮の場合を想定して、水理条件を越流流量46ℓ/sec・ローラーゲ-

ト上・下流の水位差 25 cm とすると、下流に放されたアユ幼魚 100 尾の魚群は流速 0.06~0.13 m/sec の範囲の下流部をのぼり、誘導水路登口の線の下流を右岸寄りの逆流にさかかって降る旋回運動をつづけ、誘導水路に入ったものは最初の 10 分間に 0 尾或は 1 尾に過ぎなかった。

越流流量がやや少なく、下流が満潮である場合を想定して、水理条件を越流流量 46 l/sec・ローラーゲート上・下流の水位差 18 cm とすると、下流に放されたアユ幼魚 100 尾の魚群の河床部をさかのぼる旋回運動は流速 0.06~0.13 m/sec の範囲の右岸寄りに見られ、誘導水路登口の線の上流にまで達して、ここから最初の 10 分間に 140 尾あるいは 76 尾以上のアユ幼魚が誘導水路に入った (図 3.44)。

以上のようにアユ幼魚は堰堤下流が満潮の条件に相当する水位の高いときに誘導水路によく入るのがみられた。これは、この場合に、ローラーゲート下の跳水区域及びその下流の河心部の急流域がせばまったために、河心部における魚群の旋回運動が誘導水路登口の線よりも上流に移ったためと考えられる。

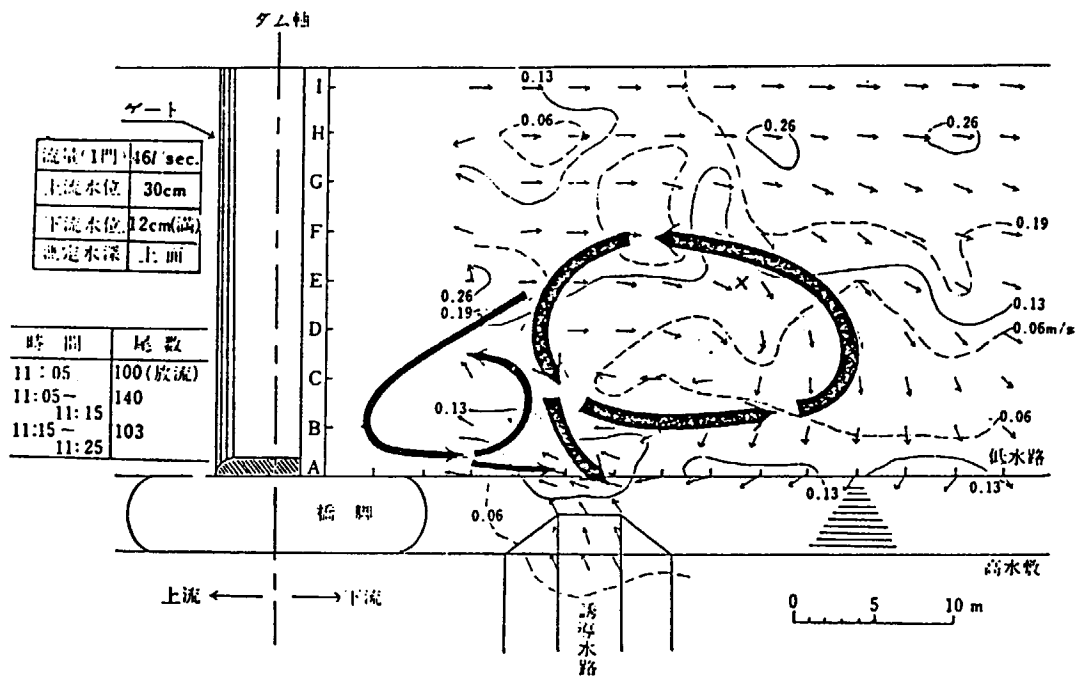


図 3.44 堰堤模型下流の満潮条件における幼アユの回遊移動模式 (魚群は誘導水路登口に達してここから遡上している)

(2) 新潟大堰付属魚道におけるゲート放水による呼び水効果

小山(1969)は、新潟大堰付属魚道におけるゲート放水による呼び水効果について次のように説明している。新潟大堰付属魚道は、魚道の幅員が左右合計 17 m もあるにかかわらず、魚道放水のみでは、魚を誘致することが困難であり、図 3.45 に示すようにゲート 2、3、4、から 1:2:1 の割合で放水するのが呼び水効果として最良の方

法であることが分った。

この方法で、堰下流 300 m 付近を遡上してきた魚は、C の地点で右岸と左岸に分かれ、やがて魚道口に定位することが推定された。

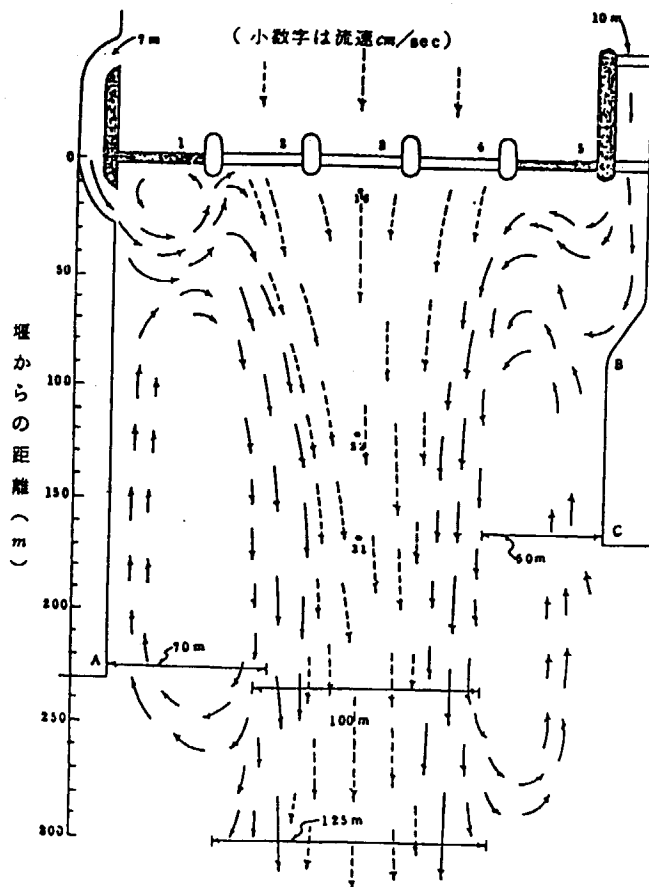


図 3.45 流量 100 m^3/sec 、中央ゲートから放水(小山, 1969)

4) 呼び水式魚道の実例

既設の呼び水式魚道としては、新潟大堰、信濃川水門、高瀬堰、木曾川大堰などの付属魚道がある。また建設中のものとしては、蒲原大堰付属魚道がある。いずれも第4章4.1.2に写真が載せてあるので参照されたい。

また、呼び水式魚道の特殊例として、池田ダム(吉野川)付属魚道があげられる。池田ダム付属魚道は、階段式(一部トンネル式)であり、呼び水水路はない。しかし、魚道出水口横(上流側)に発電放水口があり、そこからの放流水が実質的な呼び水効果を果たしている(写真6.1)。「呼び水水路」も魚道の一部であるとする考え方(サケ、マスが遡上する魚道では、呼び水水路のことをサケ・マス用魚道と称している)によれば、この魚道を「呼び水式魚道」などということとはできないが、「呼び水」とは魚類の走流性を誘起するに足るだけの流速隔差を周辺域との間に生じさせる流量とする定義に従えば、これは典型的な「呼び水式魚道」である。

5) 遡上と群れ行動

遡上期のアユは、群れをつくる性質があり(小川、1980)、魚道を遡上する際にも小さな群れごとに、不連続に遡上することが観察されている(表3.11)。こうした行動は、我々の実施した今回の調査(吉野川第十堰付属魚道)においても観察されている。写真3.1は、魚道出水口付近における群れ行動、写真3.2は、魚道の隔壁をとび越えるアユの群れ、写真3.3は、魚道入水口付近における群れ行動(魚道を遡上しきったアユの群れ)である。

このようなアユの遡上と群れ行動に関連して川那部(1957)は、アユが魚道に入る(遡る)性質について以下のように述べている。

- ① 個体個体の流れにさかのぼろうとする性質(正の流向性)
- ② 他の個体のあとにつきしたがうという性質

表3.11 遡上アユの群れ行動

報告者	年次	調査場所	観察内容
白石	1955	辰ノ口堰付属魚道 (久慈川)	遡上アユは、大きさ別に群れをつくって不連続に遡上すると推測される。
京都府経済部 水産課	1956	宇川橋堰堤 付属魚道	上りアユはすべての個体が群れ生活をなしている。群れを作る性質はかなり強く、堰堤をとび上る時なども、つづけざまに1数尾が上ったり、ばらばらに上ったものが、堰堤の上でいっしょになって群れを作ったり、前の方を行く群に加わったりするのがよく見られる。
川那部他	1957	同上	コンクリートの上で、水流が強くてじりじり後退している個体が、あとからきて上っていく個体をみとめると、追尾して共に上るといったあいもみられる。 また魚道からとび上る回数を、5秒ごとに記録してみると、この回数も正の伝播型の傾向をしめている。これはたとえば水流のこまかいちがいによるものとも考えられるが、とぶときにも群れとしてのまとまりがあるのではないかとも感じられる。
小山他	1965	高梁川防潮堰 付属魚道	魚道通水の流路の側部に多数のアユが泳いでおり、時間の経過とともに、その数はだいに増加し、数が増すと遡上を開始する。
(財)国土開発技術研究センター	1981 (今回調査分)	吉野川第十堰 付属魚道	写真3.1~3.3および本文参照のこと
群馬県水試 [※]	1932	岩本ダム(利根川)	同種は群れをなして間けつ的に遡上する。

注) ※印: 直接原文は読んでいないが、小山(1965)「魚道をめぐる諸問題I(文献編)」から引用をした。

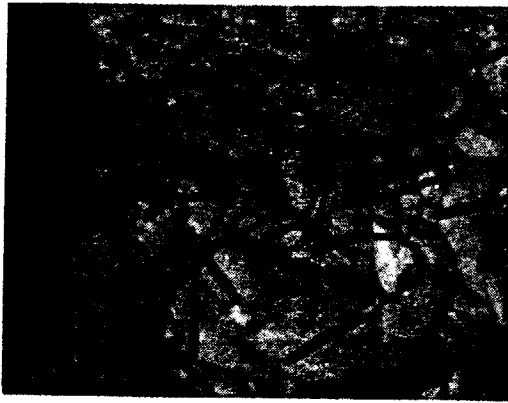


写真 3.1

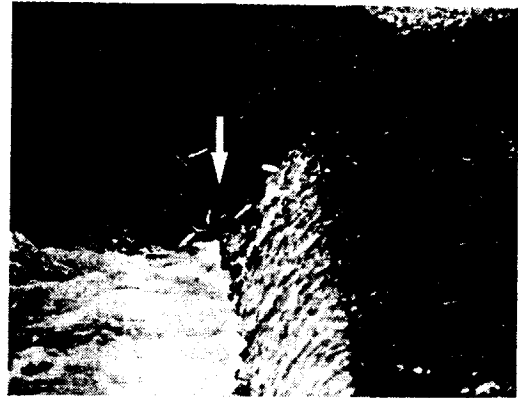


写真 3.2

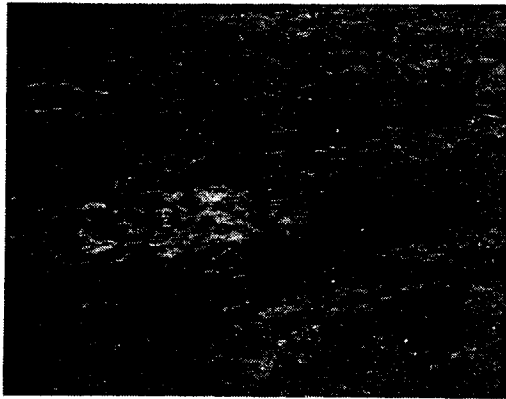


写真 3.3

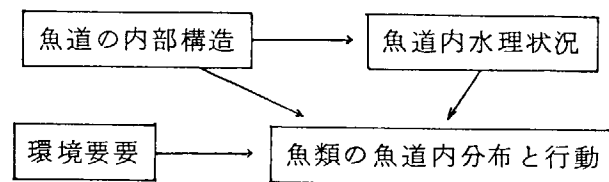
写真 3.1 第十堰（吉野川）付属魚道の出水口付近における稚アユの群れ
（昭和56年6月）

写真 3.2 第十堰（吉野川）付属魚道の隔壁の側壁付近をとびはねて遡上する稚アユの群れ（昭和56年6月）

写真 3.3 第十堰（吉野川）付属魚道の入水口付近における遡上しきった稚アユの群れ（昭和56年6月）

3.2.4 魚道内水理状況と魚類の行動

魚類の魚道内分布と行動には、下記のような因果関係がある。



本節は、既往資料並びに今回の調査結果（水中ビデオ撮影の解析）からこの因果関係を整理した。

1) プール内流速分布

白石（1955）は、中村堰付属魚道において、広井式流速計、ブライス式流速計、ピトー管などによって、プール内の流速分布を調査し次のように報告している。

(1) 越流式魚道（切欠部に角材を入れて、越流式にみたてたもの）

越流式魚道のプール内流速分布を図3.4.6に示した。越流式では上の隔壁から落ちた水はそのまま下層に潜行して流下した後、下の隔壁に当たって昇流となり、表面を逆流して上の隔壁の近くまで押ししているため、中層は止水状態となっている。

アユは、遡上に際して飛躍することが多いという点から考えてみると、アユは、表層部の逆流に乗って徐走し、その勢で上の隔壁を跳躍することによって遡上を果している（白石、1955）といってもよい。

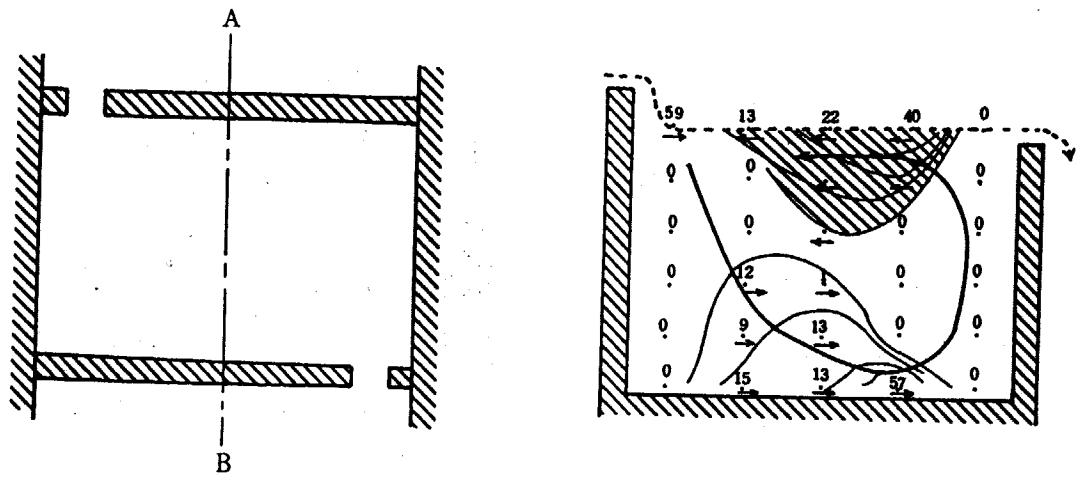


図 3.46 越流式魚道における流速分布

左図は測定平面図、右図はA B 方向の流速と流れの方向、蔭をつけた部分は逆流を示す。図中流速0と記したところは実際には上下に僅かに流動があるが、定方向でないため測定できぬ部分である。 →印は、アユの位置を示す

(2) ノッチ (切欠) 式魚道

ノッチ (切欠) 式魚道のプール内流速分布を図 3.47 に示した。ノッチ式では、上の隔壁のノッチから流出した水が表面を流下して下の隔壁に当り、そこで下降流となって潜行し、底部を逆流している。すなわち、越流式と全く反対方向 (図 3.46 と図 3.47 を比較参照) に水が流動している。このことは図 3.48 の土砂の堆積状況からもわかる。

この場合、アユの分布は、底部の逆流中に静止状態を示していることが多い (白石、1955) と報告されている。

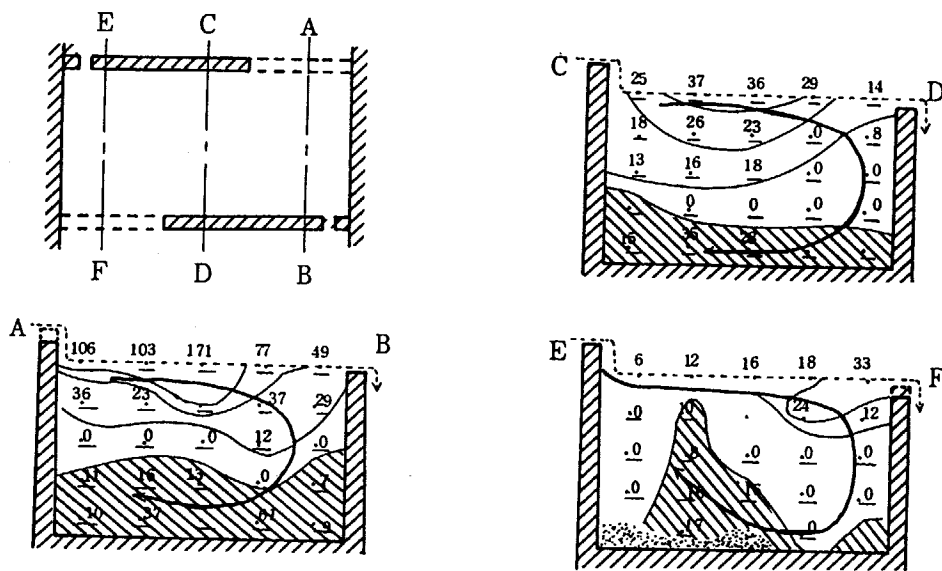


図 3.47 Notch 式魚道の流速分布

A - B, C - D, E - F は測定断面、右図の蔭つけた部分は逆流を示す。

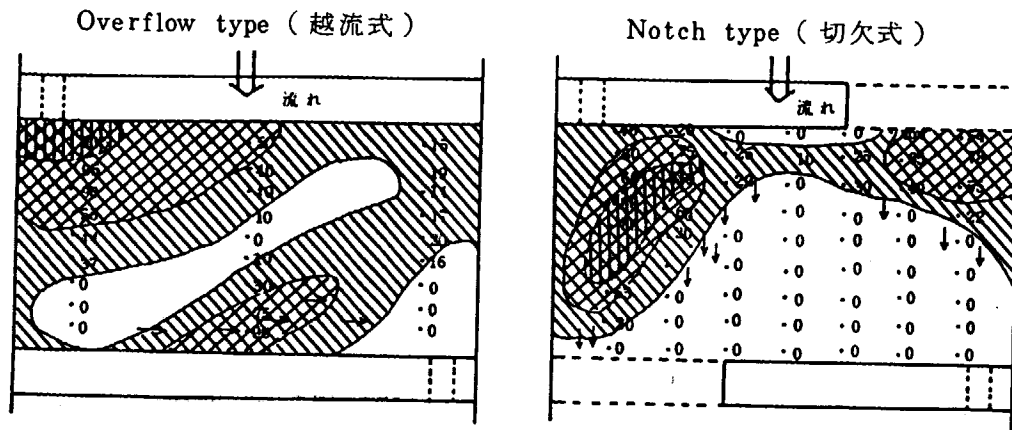


図 3.48 越流式とノッチ式魚道のプール内の土砂堆積状態(■)※とアユの位置(矢印)

注)※ 原著では(cm)となっているが、(■)の誤りと思われる

2) プール内の流況

池田ダム付属魚道において、魚道プール内の流況、とくに切欠部から流出した水の拡散状況について、ダイコンの輪切をトレーサーに用いて実態把握調査を行った(写真3.4)。

連続写真3.4①～②をみると、プール内の流況は、切欠部、切欠部以外の隔壁の越流水、潜孔部からの流出水などの影響により、流向は一定でなく、乱流や渦流を呈していることがわかる。

プール内の流速分布については実測を行わなかったため、連続写真から流況を推測し図3.49に示した。前述した白石(1955)の報告にもあったように、プール内の流速分布はかなり複雑であると考えられる。

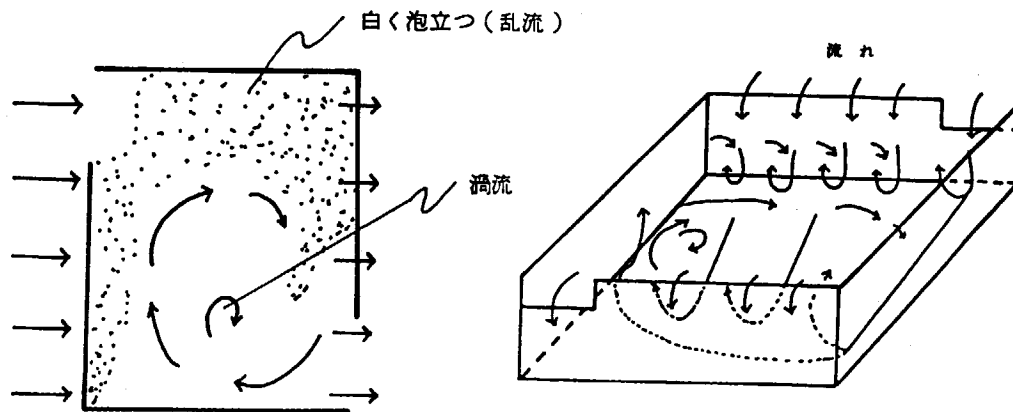


図 3.49 プール内の流況モデル



⑨



⑩



⑪

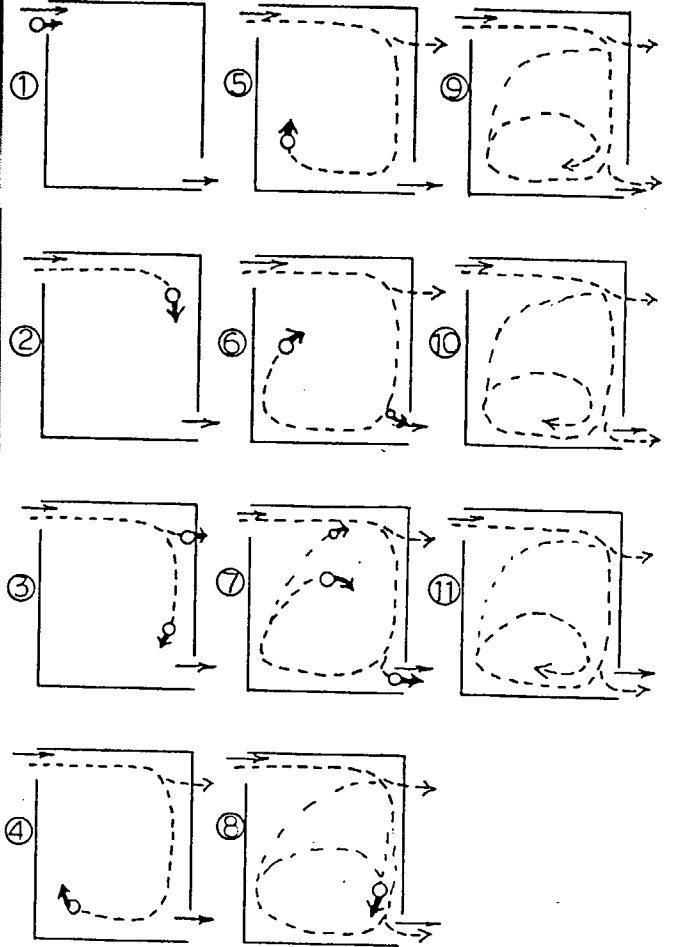
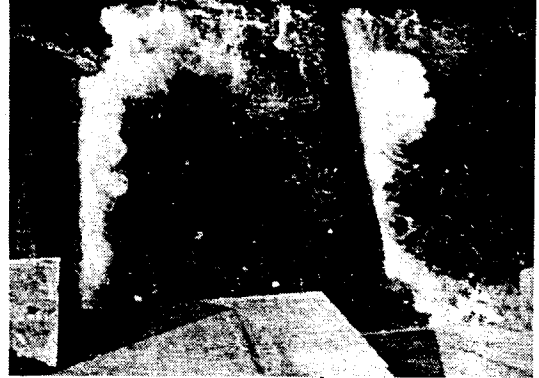


写真 3.4 池田ダム付属魚道におけるプール内の流況（昭和56年6月）

3) 遡上部位

(1) 側 壁

魚道を遡上するアユは、主に側壁に沿って遡上する(表3.12)。この事実について小山(1967)は「陰影が片方にある場合はほとんど陰影側を選択的に遡上している(小山他、1965)。これは稚アユの陰影選択性の現われであろう(小泉他、1964)と推測した上、「こうした行動は、前歴光条件や遡上密度によって多少異なる」と指摘している。これは、我々が実施した今回の調査(吉野川第十堰付属魚道)における観察結果もとびはね遡上をする群れが側壁よりに多かった(写真3.2)という事実から説明できると思われる。

表 3.12 魚道におけるアユの遡上部位

報告者	年次	調査場所	観 察 内 容
新潟県水試 [※]	1930	豊実ダム付属 魚道	魚道側壁に沿って遡上する。
群馬県水試 [※]	1932	岩本ダム付属 魚道(利根川)	遡上進路は、魚道側壁に沿うものが多い
加藤	1968	同上	魚道(梯)では、大部分両側壁に沿って遡上する
小田他 [※]	1936	^{わしは} 鳴瀬ダム付属 魚道(江の川) 津伏ダム付属 魚道(太田川)	魚は魚道の側壁に沿って遡上するものが多い
土屋他	1971	利根大堰付属 魚道	魚道の左右兩岸の壁の直近をのぼるものが大部分で、中央部を通過するものは少ない

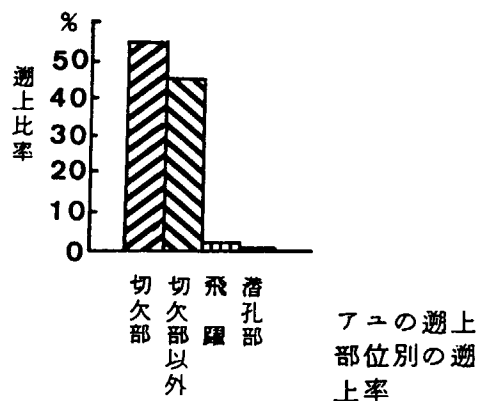
注) ※印: 直接原文を読んでいないが、小山(1965)「魚道をめぐる諸問題I(文献編)」から引用した。

(2) 階段式魚道の隔壁における遡上部位

階段式魚道の隔壁には、切欠(ノッチ)や潜孔の付いたものがある。アユが、こうした魚道の隔壁のどの部位をより多く遡上するかについては、統一された見解はない(表3.12)。この原因について小山(1967)は「これは、魚道の性格、とくに越流速によるもので、泳力に応じた好適流速があれば、そこを選択して遡上するということであろう」と述べている。

表 3.13 アユの階段式魚道の隔壁における遡上位

報告者	年次	調査場所	観察内容
群馬県水試 [※]	1932	岩本ダム付属魚道(利根川)	隔壁越流のある時は、切欠や潜孔部は余り通過しない
藤原他	1934	仁淀川ダム付属魚道	隔壁をとびこす魚もあるが、大部分は潜孔から遡上する
加藤	1968	岩本ダム付属魚道(利根川)	切欠部を遡上するものが多い。遡上した個体のうち、切欠部を遡上した個体 52.8% (1,194 尾) 切欠部以外の部分を遡上した個体 45.2% (1,021 尾)、飛躍して遡上した個体 20% (47 尾)、潜孔部を遡上した個体 0.0% (1 尾) であった。



注) ※印: 直接原文を読んでいないが、小山(1965)「魚道をめぐる諸問題I(文献編)」から引用した。

今回の吉野川第十堰付属魚道における調査でも、切欠部(写真3.5)や切欠部でない部分(写真3.2)のいずれにもとびはねて遡上するアユが観察された。また、北海道の天ノ川頭首工付属魚道では、切欠部でない部分の隔壁越流水脈中を遡上するヤマメの稚魚(?)が観察された(写真3.6)。



写真 3.5

吉野川第十堰付属魚道において切欠部をとびはね遊上する稚アユ
(昭和56年6月)



写真 3.6

天ノ川頭首工付属魚道(北海道)において隔壁水脈中を遊上するヤマメの稚魚(?)
(昭和56年8月)

(3) 水中ビデオでみた隔壁遊上行動

吉野川池田ダム付属魚道と第十堰付属魚道において、隔壁部を遊上する稚アユの行動を、水中ビデオで撮影し、その結果を整理、検討した。調査地点については、第10章付図1~2を参照されたい。

隔壁部の遊上に成功した魚は、切欠部(図3.52~3.53)、切欠部以外の隔壁部(図3.54)のいずれの場合も、とびはね(ジャンプ)によるものか、隔壁越流水脈中の遊上によるものかが不明であるが、表層を通過する個体と、隔壁の下側へもぐりこむ個体がみられ、量的には後者の方が86~93%と圧倒的に多かった。(図3.50~3.51)。

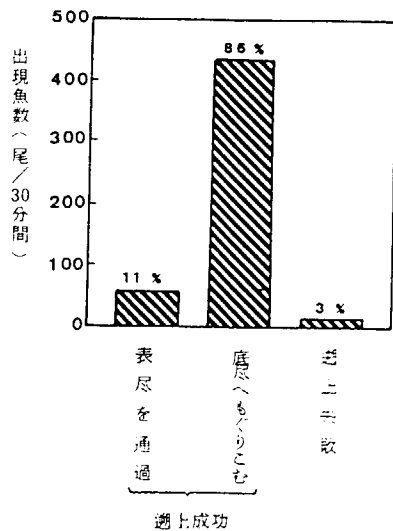


図 3.50 第十堰(st, 11)における稚アユの遊上状況

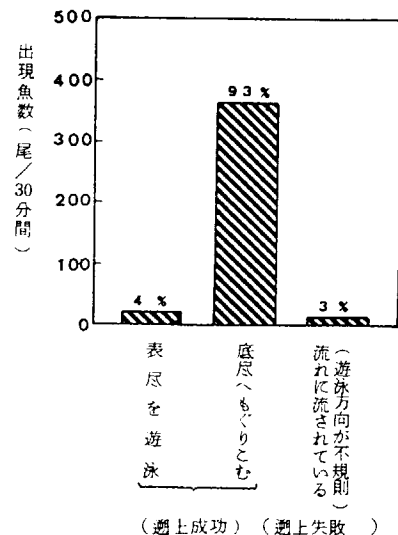


図 3.51 第十堰(st, 12)における稚アユの遊上状況

概略図	説明	概略図	説明	概略図	説明
<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>表層を通過</p> <p>遡上</p>	<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>表層部を遊泳して画面から消える</p> <p>遡上</p>	<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>表層を通過</p> <p>遡上</p>
<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>底層へもぐりこむ</p> <p>成功</p>	<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>ジャンプまたは隔壁越流水脈中を通過して、底層へもぐりこみ、画面から消える</p> <p>成功</p>	<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>底層へもぐりこむ</p> <p>成功</p>
<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>遡上失敗</p>	<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>遊泳の方向性が不規則である（流れに翻奔さされているようにみえる）</p> <p>（遡上失敗？）</p> <p>遊泳方向が不規則</p>	<p>遊泳軌跡 流向 隔壁</p>	<p>遡上失敗</p>

図 3.5 2 池田ダム付属魚道 (st, 4) における魚の行動 (切欠部)

図 3.5 3 第十堰付属魚道 (st, 12) における稚アユの行動 (切欠部)

図 3.5 4 第十堰付属魚道 (st, 11) における稚アユの行動 (切欠部以外の隔壁部)

4) 遡上部位と流速分布

アユ(魚類)は、遊泳力に応じた魚道の好適流速の部位を選択して遡上するであろう、という小山(1967)の推測は前述した。仮に上述の推測が正しいとすると、こうした魚類の行動は、後述(第6章)する魚道の設計条件の一つとなる一方、隔壁の切欠や潜孔は魚類生態学の立場からみた場合、重要な問題である。以下にこうした観点から調査している白石(1955)の報告(図3.55)と、プール内の流速分布について調査している建設省(1976)の報告 — 新潟大堰および信濃川水門付属魚道 — を示した(表3.14)。

また水理学的に、隔壁上の落下水脈中の流速分布を試算してみると(図3.56)、隔壁越流速が急激に変化することがわかる。

表 3.14 魚道隔壁上の流速分布(1976. 8. 31 実測)

		新 潟 大 堰		信 濃 川 水 門	
		階 段 式 魚 道		階 段 式 サ ケ ・ マ ス 用	階 段 式 ア ユ 用
概略平面図					
概略縦断面図					
隔壁上流速 実測データ 51.8.31実測		1回目 11:30~11:45 上流水位 0.77 ^m 潮位 0.15 ^m 下流水位 0.65 ^m	14:20~14:30 上流水位 0.80 ^m 潮位 0.13 ^m 下流水位 0.69 ^m	14:30~14:40 上流水位 0.81 ^m 潮位 0.13 ^m 下流水位 0.70 ^m	
		2回目 16:45~16:00 上流水位 0.80 ^m 潮位 0.17 ^m 下流水位 0.69 ^m	17:40~18:00 上流水位 0.84 ^m 潮位 0.21 ^m 下流水位 0.75 ^m	18:00~18:15 上流水位 0.85 ^m 潮位 0.22 ^m 下流水位 0.75 ^m	
実測結果		1回目 流速 0.52~0.99 m/s 平均流速 0.77 m/s 水位差 0.12 ^m	流速 0.95~1.46 m/s 平均流速 1.10 m/s 水位差 0.11 ^m	流速 0.46~0.92 m/s 平均流速 0.63 m/s 水位差 0.11 ^m	
		2回目 流速 0.43~0.72 m/s 平均流速 0.58 m/s 水位差 0.11 ^m	流速 0.75~1.33 m/s 平均流速 1.09 m/s 水位差 0.09 ^m	流速 0.48~0.99 m/s 平均流速 0.74 m/s 水位差 0.10 ^m	

出典：建設省(1976)

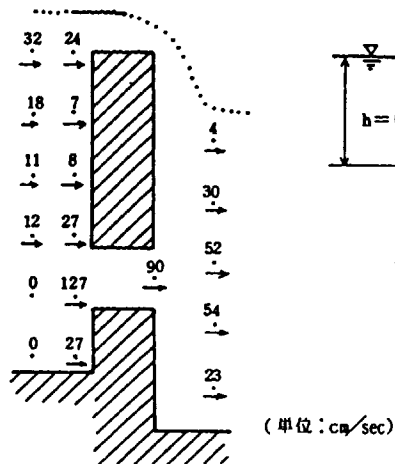


図 3.5.5 潜孔部の流速分布
(白石、1955)

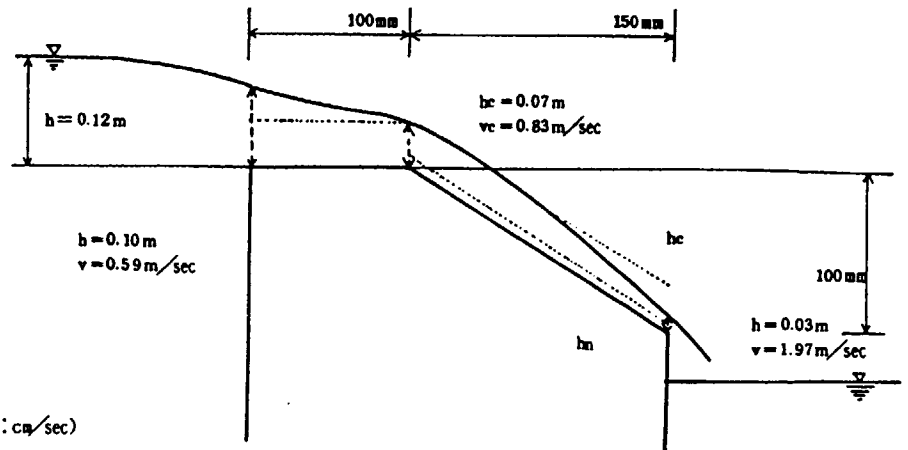


図 3.5.6 隔壁上の越流水脈中の流速分布

5) 魚道内分布

(1) 各プールにおける魚類数

魚道内における魚類の垂直分布をみると、水深の浅いところの方が数が多い(新潟県水試、1930、小山他、1965)という。また小山他(1965)は、魚道内の魚類の分布状況を、矢作川明治用水ダム付属魚道(左岸魚道、プール数32)で調査し、分布状況(下流プールに多く分布)から、魚道の出水口や入水口付近、また中央部のプールを広くする必要性が有ることを提案している(図3.57)。

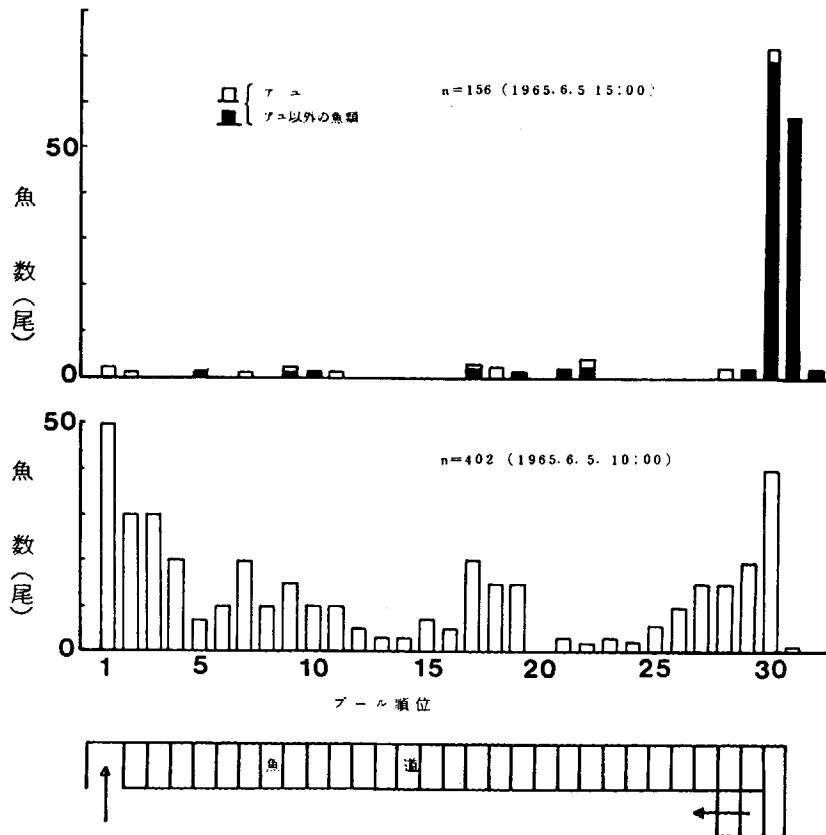


図 3.5.7 プール内の魚の分布(小山他、1965 から作図)

(2) 水中ビデオ撮影などにみられる魚類の魚道内分布状況

吉野川の池田ダム付属魚道や第十堰付属魚道において、水中ビデオや水中カメラを用いて行なった魚類の魚道内分布状況調査の結果は次のとおりである。

① 水中ビデオカメラの撮影範囲

調査に用いた水中ビデオカメラは、図 3.58 に示すように、上下各 45° 、合計 90° の視野を撮影することができるものである。

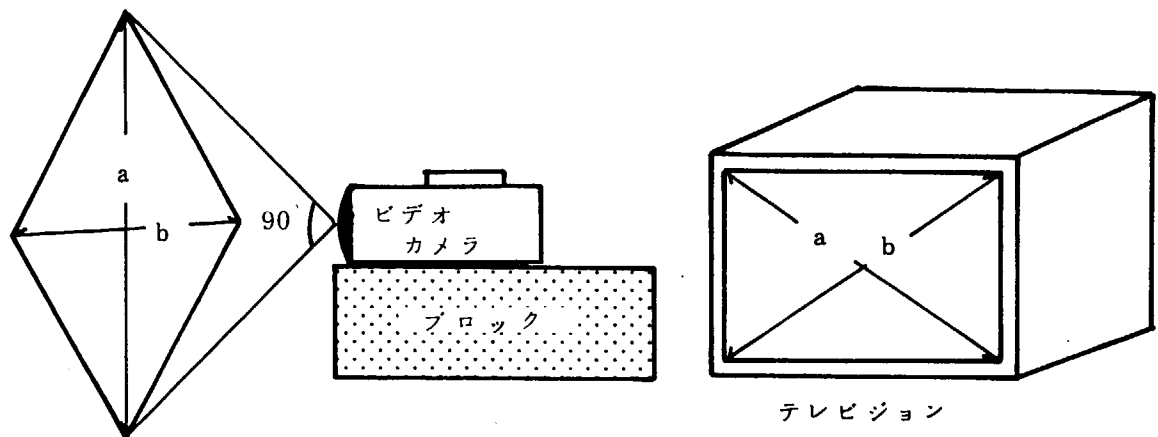
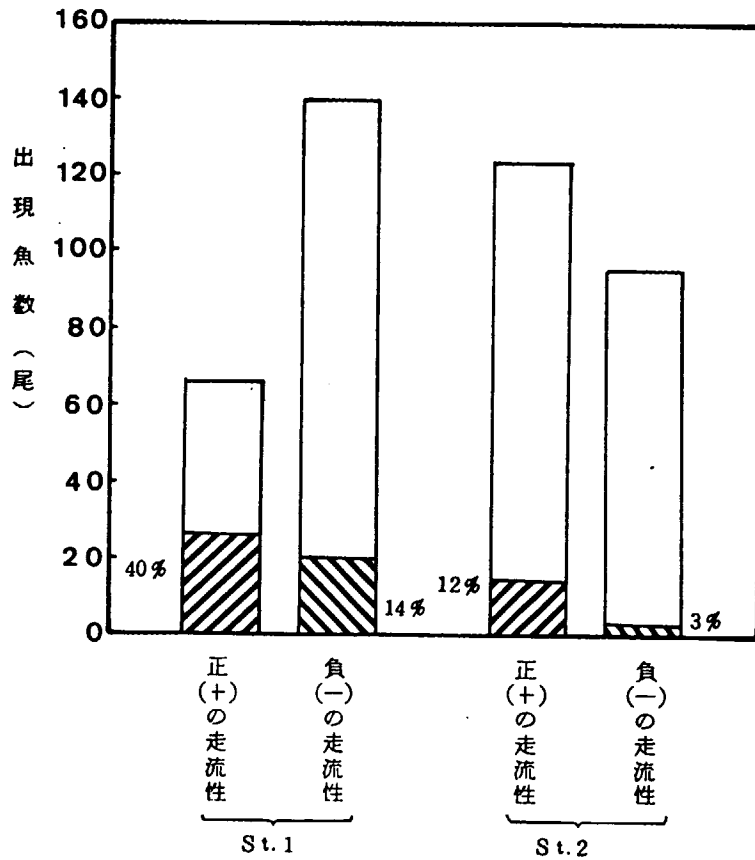


図 3.58 水中ビデオカメラの撮影範囲

② プール内の流速と魚の走流

プール内の流速分布は、かなり複雑である（第3章3.2.4、1）、2）。そのため撮影部位の違い、すなわち流速分布の違いによって魚類の示す走流性にも違いがみられる。図 3.59 は、図 3.60 に示すように同一プール内での撮影部位の違いによる走流性の違いについて整理した結果である。

st. 1 は切欠から流れこむ速い流速の分布域のため、正(+)の走流性を示す個体は少なく、流される（頭部が流向方向に向いている）すなわち負(-)の走流性を示す個体が多い。他方、st. 2 は、st. 1 に比べ流速も速くないので、正(+)、負(-)の走流性を示す個体数に差はみられない。また魚種による違いについてみると、アユはオイカワに比べかなり速い流速分布域（st. 1）においても正(+)の走流性を示す個体が多い（図 3.59、図 3.61）。



凡例 { Ayu
Ayu以外の魚類
(ほとんどオイカワである)

注) 撮影は27~28分間であるが、図は、結果を30分に換算した値で作図してある。

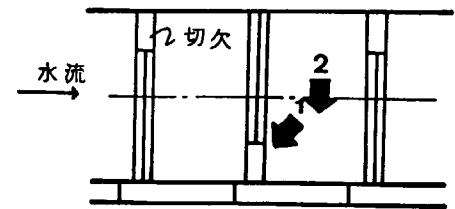


図 3.59 同一プール内における撮影部位の違いと Ayu 出現率の違い

図 3.60 水中ビデオ撮影地点
注) 矢印の方向で撮影

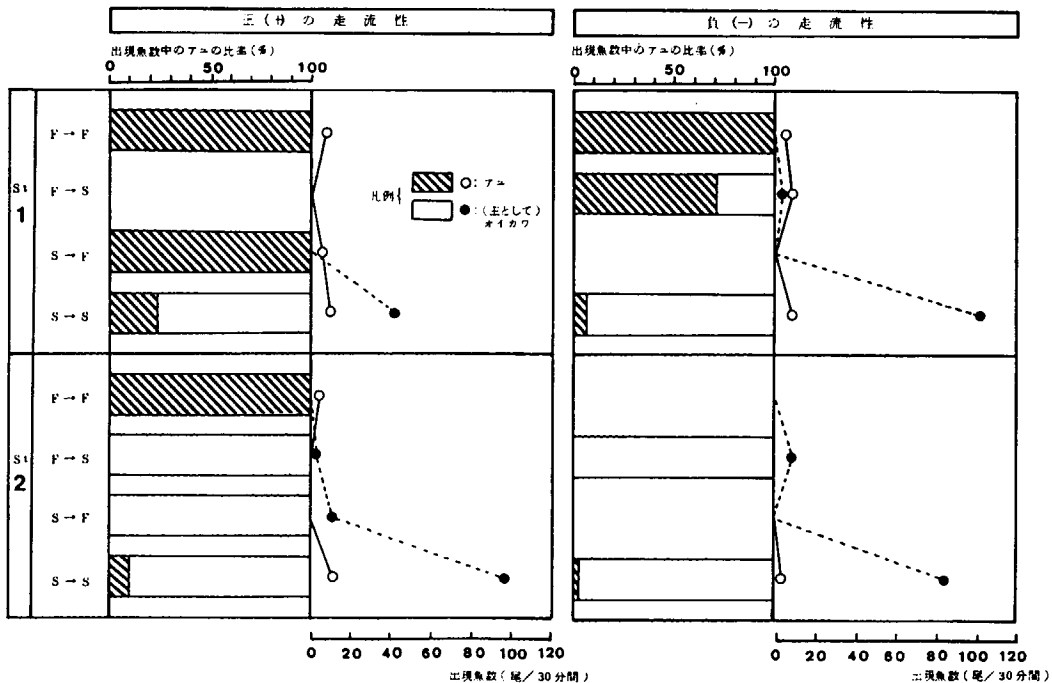


図 3.61 池田ダム付属魚道の同一プール内における Ayu と (主として) オイカワの行動の違い
注) Fは流速の速い部位を示し、Sは遅い部位を示す

③ 底面に礫があるプールとないプールにおける魚類行動

プール底面に礫が敷いてあるプールと、ないプールにおける出現魚数の違いを図 3.62 に示した。礫のあるプール(写真 3.7)の方に礫のないプールの約 3 倍の出現魚数がみられた。なお撮影は、両プールとも切欠に向かってほぼ同じような条件となる位置から行なった。また撮影時間も結果に影響を与える(図 3.63、表 3.15)ので、ほぼ同時間の撮影結果を用いた。

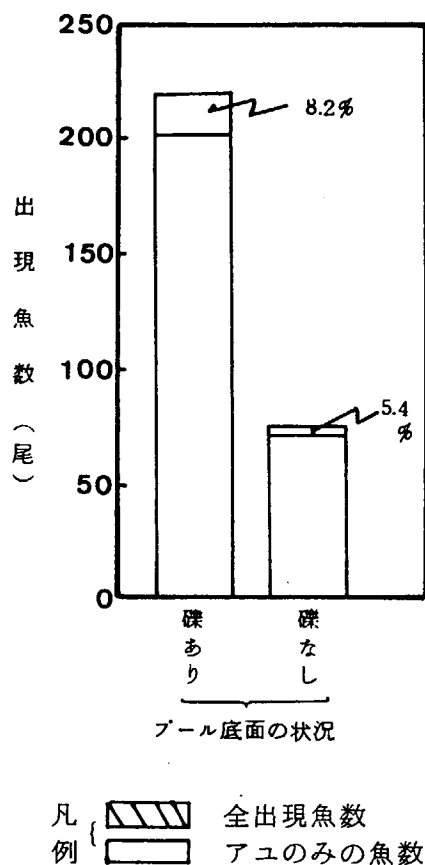


図 3.6 2 底に礫が「ある」プールと「ない」プールにおける出現魚数 (30 分間の平均値)

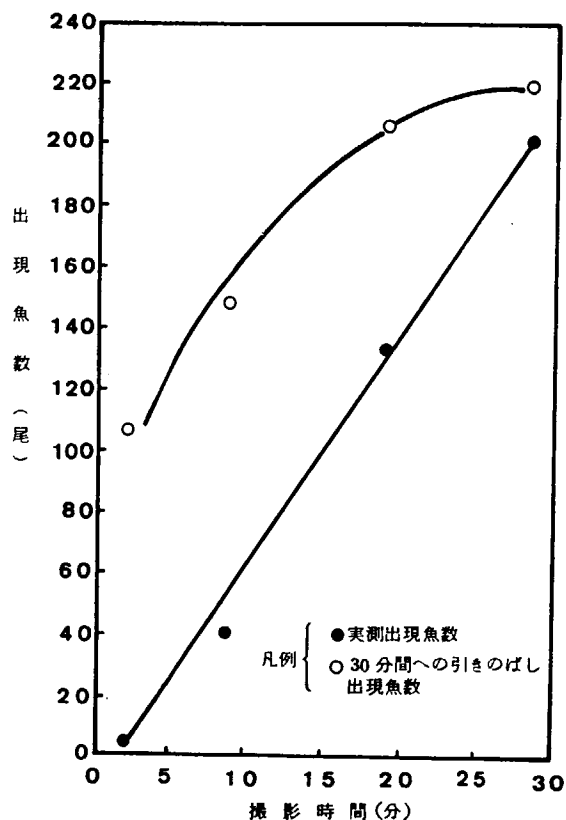


図 3.6 3 同一プール(底に礫あり: st, 1. 1. 1. 2)における撮影時間と出現魚数



写真 3.7 礫の敷いてある魚道プールを泳ぐオイ
カワ（前方のアワは切欠からのアワ）

表 3.15 池田ダム付属魚道における出現魚数
— 底に礫が「ある」プールと「ない」プールにおける出現魚数の違い —

プール底の状況		礫 あり				礫なし
調査地点		st. 1	st. 1	st. 1	st. 2	st. 5
撮影時刻		11:49~			7:05~	7:05~
撮影時間		19分16秒	1分59秒	8分22秒	27分40秒	30分
出現魚数 (尾)	正(+)の走流性を示す魚数	42 (17)	4 (1)	31 (3)	115 (14)	33 (3)
	負(-)の走流性を示す魚数	90 (13)	3 (1)	10 (0)	88 (3)	41 (1)
	合計	132 (30)	7 (2)	41 (3)	203 (17)	74 (4)
	30分当りの出現魚数	206 (47)	106 (30)	147 (11)	220 (18)	74 (4)

注：()内の数字は、アユの尾数

6) ウナギの行動

魚道に係るウナギの行動記録は、日暮(1915)、加藤(1978)に詳しい。両報告ともに、ウナギは障害物がぬれてさえいれば自己の体から粘液を出し、それによって魚体を蛇行させながら遡っていくので特別にウナギ用の魚道はいらないと報告している。

7) サケ

サケの魚道内分布と行動については、加藤(1978、新潟県鹿ノ瀬魚道に於ける観察)に

よる報告がある(図3.64)。これによると10尾以上の魚群が遡るときは、非常に速く遡る個体もあれば、2~3段遡ってひと休みしてから遡る個体もあり、またいつまでもプールにとどまっている個体もあるという。

また、隔壁の遡上部位について、観察結果(サケ9尾についての追跡調査)を整理してみると、側壁より(隔壁の右または左)を遡った回数66回(43.2%)、切欠部(ノッチ)を遡った回数47回(30.7%)、中央部を遡った回数40回(26.1%)であった。なお飛躍して隔壁を遡った回数は24回(15.8%)であった。こうしたことからサケは通水量が適量のときは、切欠部以外からも遡上し、また側壁よりを遡る個体が多いと述べている。

3.2.5 魚道における魚類の遡上速度

魚道における魚類の遡上速度を知ることは、魚を速かに遡上させるという魚道の持つ機能を評価する基準として重要である。しかし、こうした点については調査例が少なく、現時点では遡上速度と構造との関係に論及することは不可能である。今回は、魚道における魚類の遡上速度に関する既往文献の整理(表3.16)と池田ダムにおける魚種別の遡上速度の図式化にとどめた。

なお、今後データが蓄積された際、①調査期間、②1日の内の調査時刻、③遡上期間中の時期、④調査日の遡上魚数、⑤遡上魚の体長などに留意して解析すれば、魚道構造設計に役立てることが出来るものと思われる。

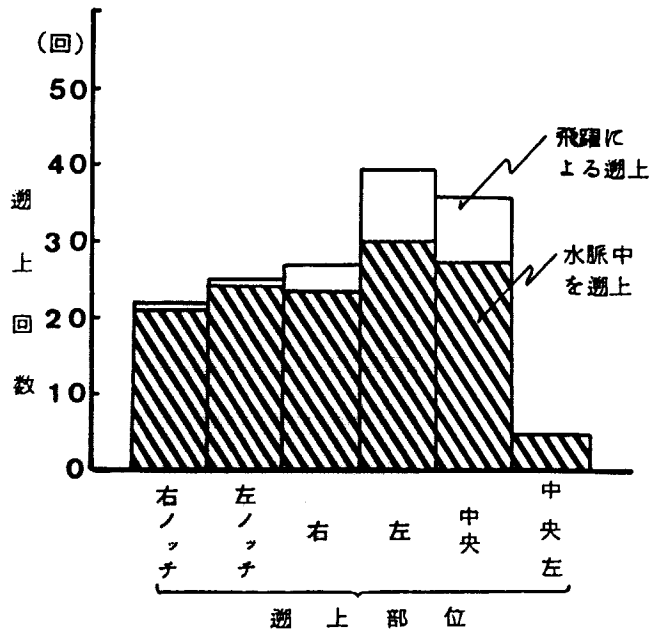


図 3.64 サケの遡上部位別遡上回数

表 3.16 既往文献による魚道における魚類の遡上速度

報告者名	河川名	魚道名	魚道型式	実験方法	魚種	体長 (cm)	実験時期	水温	調査	結果	備考
1. 中村他 (1980) (1981) ※1) (1982)	吉野川 (四国)	池田ダム 付属魚道	階段式 (一部分ト ンネル式 また発電 放水がよ び水の役 目をして いる)	※2) 推定方式	フナ	※1) 15.1 ± 2.4 cm	① S.5 4.5.1 a.m.	1 3.8	1 3.3時間/全魚道 ^{※5)}	※5) (0.11)	※5) 魚道長は165m
						16.4 ± 2.8 cm ^{※1)}	② S.5 4.5.1 p.m.	1 4.2	" (0.11)	1ますは(プール長)	
						16.7 ± 1.3 cm	③ S.5 5.4.2 3 noon		" (2.0)	45m	
						16.6 ± 2.3 cm	④ S.5 5.6.6 noon		" (2.0)		
						18.3 ± 2.0 cm	⑤ S.5 5.6.2 3 p.m.		" (0.33)	※1) 池田ダムの調 査生データによる	
						16.0 ± 2.2 cm	⑥ S.5 6.5.9 noon		" (0.21)		
						?	① S.5 4.5.1 7 p.m.		" (0.10)	※2)	
						13.1 ± 1.3 cm ^{※1)}	② S.5 4.6.2 p.m.		" (0.30)	注1 参照のこと	
						16.4 ± 1.6 cm ^{※1)}	③ S.5 4.6.2 2 p.m.		" (0.07)		
						16.6 ± 2.4 cm ^{※1)}	④ S.5 4.7.9 p.m.	20.0	" (0.25)		
13.4 ± 2.0 cm	⑤ S.5 5.6.6 noon		" (0.06)								
16.4 ± 2.5 cm	⑥ S.5 5.6.2 3 p.m.		" (0.13)								
16.4 ± 2.7 cm	⑦ S.5 5.7.1 7 p.m.		" (0.1)								
12.8 ± 1.2 cm	⑧ S.5 6.4.3 0 noon	15.1	" (0.77)								
12.1 ± 1.6 cm	⑨ S.5 6.5.9 noon	16.6	" (0.08)								
12.4 ± 1.8 cm	⑩ S.5 6.5.1 6 noon	14.9	" (0.05)								
2. 財国土 開発技術 研究センタ- (1981)	吉野川 (四国)	第十堰付 属魚道	階段式 (制水柱 あり)	目視観察	ウグイ	※1) 18.2 ± 7.5 cm	① S.5 4.7.9 p.m.	20.0	1.5	" (0.03)	※3) 本調査結果
						20.1 ± 2.8 cm	② S.5 5.4.2 3 noon		1 9.1	" (0.43)	※4) 魚道長は55m
						20.4 ± 6.8 cm	③ S.5 5.6.6 noon		0.6	" (0.01)	1ます(プール長) 3m
						16.3 ± 2.4 cm	④ S.5 5.6.2 3 p.m.		1.5	" (0.03)	
						19.4 ± 3.7 cm	⑤ S.5 6.8.2 0 noon		1.4	" (0.03)	
						24.1 ± 4.2 cm	⑥ S.5 6.4.2 4 a.m.	12.9	1.3	" (0.03)	
						19.6 ± 3.0 cm	⑦ S.5 6.4.3 0 noon	15.1	2.7	" (0.06)	
						20.2 ± 2.0 cm	⑧ S.5 6.5.9 noon	16.6	1.9	" (0.04)	
						17.5 ± 3.8 cm	⑨ S.5 6.5.1 6 noon	14.9	5.5	" (0.13)	
							S.5 6.6.5 a.m.		0.5時間/全魚道 ^{※4)}	※4) (0.05時間/ます)	

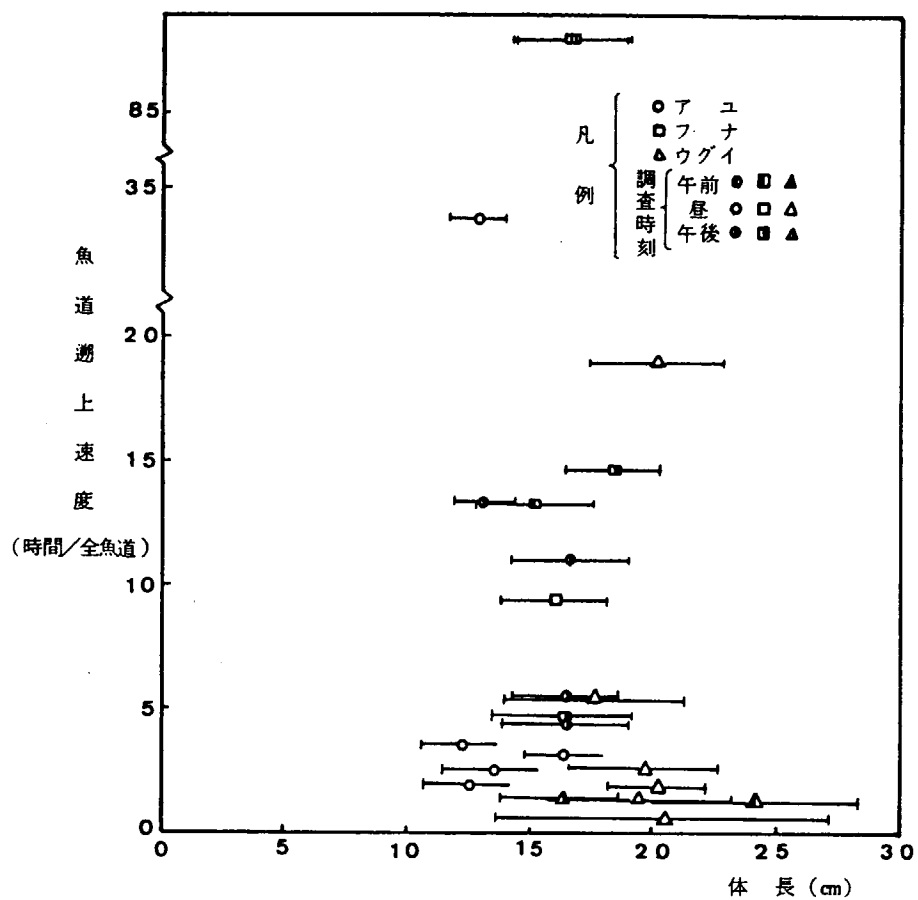


図 3.65 池田ダム付属魚道における魚類の遡上速度

注) 魚道全長は 165 cm

4. ヒヤリングなどによる魚道の評価と問題点

4.1 ヒヤリング対象魚道の概要

4.1.1 ヒヤリング対象魚道の選定

ヒヤリング対象魚道は、建設省・水資源開発公団・北海道・四国電力㈱などが、所有または管理するものの中、図4.1に示した19の河川構造物に付属する28魚道を選定した。これらは文献などによれば、魚の遡上が良いといわれているものである。[※]

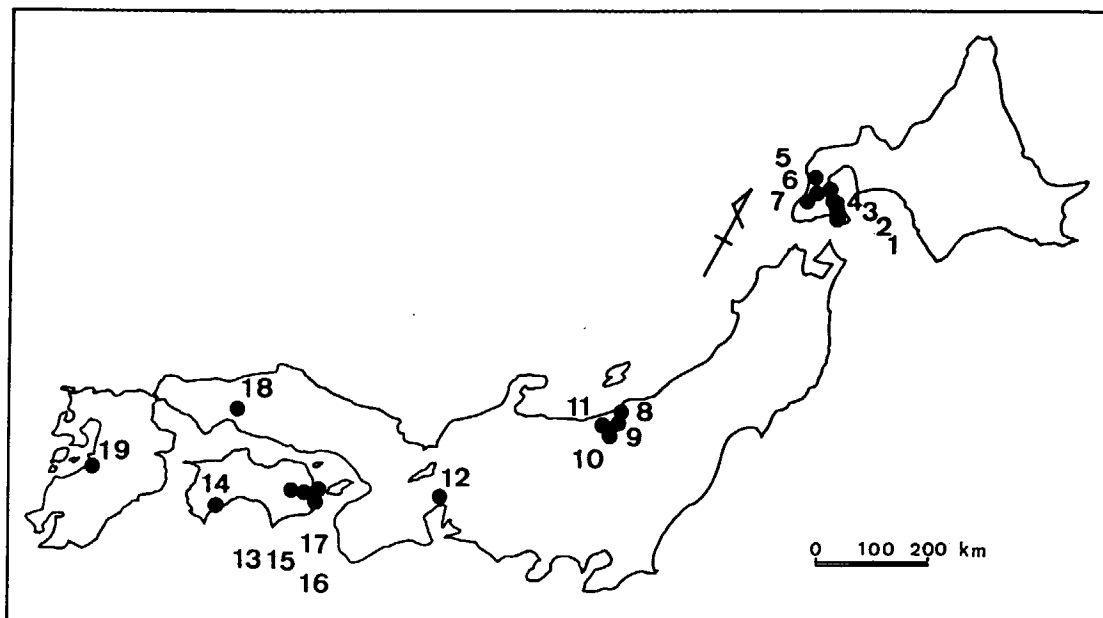


図4.1 ヒヤリング対象として選定した魚道（河川横断構造物）の地理的位置

- | | |
|----------------|------------|
| 注：1 原木川床止① | 11 洗堰 |
| 2 " " ② | 12 木曾川大堰 |
| 3 " 砂防堰堤 | 13 池田ダム |
| 4 " 治山ダム | 14 佐賀ダム |
| 5 姫川第一頭首工 | 15 第十堰 |
| 6 天ノ川頭首工 | 16 旧吉野川河口堰 |
| 7 石崎川（右股川）砂防堰堤 | 17 今切川河口堰 |
| 8 新潟大堰 | 18 高瀬堰 |
| 9 信濃川水門 | 19 球磨川堰 |
| 10 蒲原大堰 | |

注) ※ 10 蒲原大堰は、現在建設中であり、魚の遡上の良否は未知である。

4.1.2 調査対象魚道の概要

1) 魚道形式

調査対象魚道の魚道形式は、階段式が最も多く約86% (24魚道*)であった。階段式魚道以外の型式としては、新潟大堰、信濃川水門、蒲原大堰のロック式魚道(いずれも建設中か、未操作である)と木曾川大堰の平面式魚道がある。なお球磨川堰付属魚道は、階段式魚道の特殊な型である採捕式魚道(第2章2.2)であった。

2) 感潮・非感潮の区分

調査対象魚道で感潮区域にあったものは、新潟大堰付属魚道、旧吉野川河口堰付属魚道、今切川河口堰付属魚道、第十堰付属魚道、球磨川堰付属魚道の5堰8魚道であった。他の魚道は全て、非感潮域にあった。

3) 階段式魚道における呼び水施設の有無

魚類を魚道出水口付近に誘導する呼び水施設のある階段式魚道は、6魚道(池田ダムの発電放流水による、呼び水効果も含む)であった。なお、呼び水式魚道の発案者である小山長雄氏の指導によるもの(確認がとれたもの)が、この内4魚道(新潟大堰、信濃川水門、蒲原大堰、木曾川大堰)あった。

4) 通水量調節ゲートの有無

通水量調節ゲートとして、フラップゲートを使用している魚道は6堰あり、中でも高瀬堰付属魚道は15段のフラップゲートから構成されている。

5) 魚道対象魚

魚道対象魚は、北海道では、サケ・マス(サクラマス)であり、本州、四国、九州ではアユが中心である。信濃川はサケ・マス(サクラマス)の遡上があることから、兩種について考慮されている。

6) 魚道建設に当たっての水理模型実験の有無

魚道建設に当たって、事前に水理模型実験を行なっている魚道は、新潟大堰、信濃川水門、球磨川大堰(採捕式魚道)の3付属魚道であり、いずれも小山長雄氏の指導によるものであった。

7) 魚道建設後の魚類遡上実態調査

魚道建設後に魚類遡上実態について調査した例は少なく、池田ダムと新潟大堰の2例にすぎなかった。

8) 各魚道の概観

現地踏査を実施した魚道の写真を整理し、以下に示した。

(1) 原木川床止① ————— 写真 4.1

(2) 原木川床止② ————— 写真 4.3

注) ※ 旧吉野川河口堰付属魚道は、左右岸に同一構造の魚道があるので数量としては1とした

- (3) 原木川砂防堰堤 ————— 写真 4. 3
- (4) 原木川治山ダム ————— 写真 4. 4
- (5) 姫川第一頭首工 ————— 写真 4. 5
- (6) 天ノ川頭首工 ————— 写真 4. 6
- (7) 石崎川(右股川)砂防堰堤 ——— 写真 4. 7
- (8) 新潟大堰 ————— 写真 4. 8
- (9) 信濃川水門 ————— 写真 4. 9
- (10) 蒲原大堰 ————— 写真 4. 10
- (11) 洗 堰 ————— 写真 4. 11
- (12) 木曾川大堰 ————— 写真 4. 12
- (13) 池田ダム ————— 写真 4. 13
- (14) 佐賀ダム ————— 写真 4. 14
- (15) 第十堰 ————— 写真 4. 15
- (16) 旧吉野川河口堰 ————— 写真 4. 16
- (17) 今切川河口堰 ————— 写真 4. 17
- (18) 高瀬堰 ————— 写真 4. 18
- (19) 球磨川堰 ————— 写真 4. 19
- (20) 信濃川第 2 床固 ————— 写真 4. 20

表 4. 3 ヒヤリング対象魚道の水理状況

番号	名 称	魚道通水流量 (m^3/sec)	隔壁越流速 (m/sec)	備 考
8	新潟大堰	0.5	0.5	鮎 用
9	"	1.5	1.5	鮭 鱒 用
16	木曾川大堰	0.25~0.3		
17	"	0.40~0.5	0.5	
19	池田ダム	0.64	0.79	
20	佐賀ダム	0.999	0.7	
26・27	高 瀬 堰	0.80~1.00	0.4~0.8	

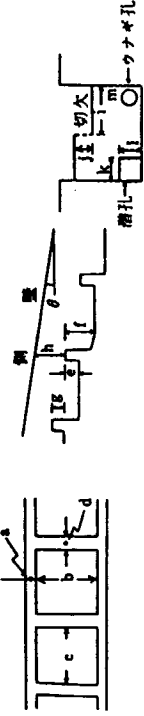
注) 番号は表 4. 1 に対応

表 4.1 ヒヤリング対象魚道概要

番号	河川構造物名称	所在地	河川名	管理者等	魚道の位置	魚道の型式	魚道対象魚	通水量調節	呼び水施設	備考
1	原木川床止 ①	北海道	原木川	北海道	左岸	階段式	サケ・マス・サケ	無	無	
2	原木川床止 ②	"	"	"	右岸	"	"	"	"	
3	原木川砂防ダム	"	"	"	左岸	"	"	"	"	
4	原木川治山ダム	"	"	"	左岸	"	"	"	"	
5	姫川頭首工	"	姫川	"	"	"	"	"	"	
6	天ノ川頭首工	"	天ノ川	"	"	"	"	"	"	
7	石崎川砂防堰堤	"	石崎川	"	右岸	"	"	"	"	
8	新高大堰	新潟県	信濃川	建設省	"	"	アユ*	"	有	*ゲートや橋梁の塗装色に魚に対する配慮
9	"	"	"	"	左岸	ロックゲート式	アユ・サケ・マス	—	—	
10	信濃川水門	"	"	"	"	"	"	—	—	
11	"	"	"	"	右岸	階段式	アユ*	無	有	*呼び水水路は、サケ・マス用
12	蒲原大堰	"	"	"	"	"	"	有	有*	* バイブ式
13	"	"	"	"	"	ロックゲート式	アユ・サケ・マス	—	—	
14	洗堰	"	"	"	左岸	階段式	"	無	無	
15	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
16	大曾川大堰	愛知県	木曾川	水公団	左岸	階段式	アユ	有	有	
17	"	"	"	"	中央	"	"	無	無	
18	"	"	"	"	右岸	平面式*	"	"	"	* 石が張ってある
19	池田ダム	徳島県	吉野川	"	"	階段式	アユ	有	有*	* 発電放流水
20	佐賀ダム	高知県	四万十川	四国電力	左岸	"	"	"	無	
21	第十堰	徳島県	吉野川	建設省	左岸	"	"	無	"	
22	旧吉野川河口堰	"	"	水公団	右岸	"	"	有	"	
23	"	"	"	"	左岸	"	"	"	"	
24	今切川河口堰	"	"	"	右岸	"	"	"	"	
25	"	"	"	"	左岸	"	"	"	"	
26	高瀬堰	広島県	太田川	建設省	"	"	"	"	有	
27	"	"	"	"	右岸	"	"	"	有*	* バイブ式
28	球磨川堰	熊本県	球磨川	"	左岸	"	"	無	無	採捕用魚道

表 4.2 ヒヤリング対象魚道の内の階段式魚道の実態(その1)

番号	名称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	よひ氷水路 (箇)の有無	魚道の位置 (岸)	魚道の全長 (m)	幅員			屈曲数 (回)	勾配 (度)	側壁 天端幅 (m)	フラッシュプレート数 (個)	階段数 (個)	階段間距離			魚道出水口と河川構造物との距離 (m)	魚道対象魚	
								登り口 (m)	出口 (m)	有効幅員 (m)						登り口 (m)	出口 (m)	平均値 (m)			
1	原木川床止 ①		507	0.8	無	左	0	10.75	1.5	1.5	1.5	0	1/8.3	0.3	0	4	2.2	2.2	2.2	10.75	
2	" ②		238	0.73	無	右	0	10.8	1.5	1.5	1.5	0	1/8.3	0.3	0	4	2.2	2.2	2.2	10.8	
3	" 砂防堰堤	7.0	68.00	0.9	無	左	180	35.8	1.5	1.5	1.5	1	1/8.3	0.3	0	14	2.2	2.2	2.2	6.4	
4	" 治山ダム	8.0	56.00	1.0	無	右	180	35.8	1.5	1.5	1.5	1	1/8.3	0.3	0	14	2.2	2.2	2.2	6.2	
5	姫川第一頭首工		34.6	0.4	無	左	180	15.0	1.5	1.5	1.5	1	1/7.1	0.3	0	7	2.5	2.5	2.5	4.5	
6	天ノ川 頭首工	1.8	76.5			左	0	26.8				0	1/1.4			8				2.7	
7	石崎川(古股川) 砂防堰堤	7.8	48.5	2.0	無	右	90	84.9	1.5	1.5	1.5	4	1/8.3	0.3	0	31	2.2	2.2	2.2	1.2(18)	
8	新湯大堰		238.0		有(箇)	右	90	60.4	7.0	7.0	7.0	0	1/20	0.54	1	4	9.4	34.4	5.0	8.0	
9	信濃川水門		96.0		有	右	45	45.2	11.0	9.0	5.0	0	1/27	1.0	0	5	1.80	5.8	5.0	1.5	鮎用
10	"					右		38.1			2.0		1/20								鮎用川
11	浦原大堰				有(箇)	右	45	91.0	1.30	5.5	2.0	0	1/16	0.5	4	10			4.0		鮎用
12	洗 堰				無	右	30	36.0	5.75	3.64	5.005	0				10	4.0	4.0	4.0		鮎用
13	"				無	右	0	36.0	4.3	3.64	5.155	0		0.3		8	9.0	5.0	5.1		鮎用
14	木曾川大堰				無	右	0	58.2	3.6		3.6	0	1/12.5	0.7	3	11	2.2	2.2	2.2	4.99	
15	"				有	左	45	48.0	10.4	7.0	2.5	0	1/16	0.5	3	11	5.9		2.0	23.0	
16	池田ダム	24.0	247.0		有	右	90	165.0	4.5	4.5	4.5	1	1/12	0.5	1	46	5.0	16.5	3.0	36.0	
17	佐賀ダム	8.0	112.5		無	右	90	108.2	5.5	4.0	4.0	1	1/15	0.6	8	16	6.75		4.5	15.2	
18	第十堰				無	右	0	41.25	3.0	4.0	4.0	0	1/12	1.5		14	3.0	3.0	3.0		
19	旧吉野川河口堰		192.0		無	左,右	0	530.1	5.5	5.5	5.5	0	1/25	0.5	1	12	5.76	5.4	3.0	38.0	
20	今切川河口堰		220.0		無	右	45	45.2		9.0	5.5	0	9/100	0.5	1	12			2.7	25.2	
21	"		220.0		無	右	180	53.2	5.5	5.5	5.5	0	9/100	0.5	1	12			2.7	40.8	
22	高瀬堰		270.0		有(箇)	右	45	86.25		6.0	6.0	0	1/13.6	0.75	15	3	4.25	6.0	4.0	4.0	
23	"		270.0		無	右	0	101.25	6.0	6.0	6.0	0	1/13.6	0.75	15	4	1.60	6.0	4.0	4.0	
24	球磨川堰				無	右	45	38.6	6.0	6.3	6.0	1		0.5	1	6			3.0	2.0	



凡例

表 4.2 ヒヤリング対象魚道の内の階段式魚道の実態 (その 2)

番号	名称	隔壁				切欠			潜孔			水柱の有無	プールの底面形状	水理模型実験の実施の有無	魚道の有効幅員	切欠幅の有効幅員	潜孔幅の有効幅員	隔壁間距離		
		d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 天端高さ (m)	h 天端高さ (m)	切欠形状	切欠部位 (交互・連続)	幅 (m)	i 高さ (m)	j 高さ (m)								潜孔形状	潜孔部位 (交互・連続)
1	原木川床止 ①	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.894	0.2	角	連続	連続	角	0.15	0.15	無	0.30	0.596	0.100	7.333	
2	" ②	0.3	0.3	0.8	0.3	0.5	0.894	0.2	角	連続	連続	角	0.15	0.15	無	0.30	0.596	0.100	7.333	
3	" 砂防堰堤	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.894	0.1	角	連続	連続	角	0.15	0.15	無	0.22	0.596	0.100	7.333	
4	" 治山ダム	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.894	0.1	角	連続	連続	角	0.15	0.15	無	0.26	0.596	0.100	7.333	
5	姫川第一頭首工	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.894	0.1	角	連続	連続	角	0.20	0.20	無	0.43	0.596	0.133	8.333	
6	天ノ川 頭首工								角	交互	交互	角			無	0.24				
7	石崎川(古柳)砂防堰堤	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.894	0.2	角	連続	連続	角	0.20	0.15	無	0.31	0.594	0.133	7.333	
8	新潟大堰	0.35	1.0	1.25	0.25		1.50	0.15	角	交互	交互	角	0.1	0.1	無	0.29	0.214	0.014	20.000	
9	信濃川水門	0.35	1.8	2.0	0.20		1.60	0.15	角	交互	交互	角			無	0.52	0.320		25.000	
10	"																			
11	蒲原大堰	0.3	0.9	1.15	0.25							なし			無				16.000	
12	洗 堰	0.15					1.70	0.15	角	交互	交互	角	0.20	0.20			0.340	0.040		
13	"	0.15					1.70	0.15	角	交互	交互	角	0.20	0.20			0.330	0.039		
14	木曾川大堰	0.3	1.15	1.35	0.2	1.6	1.1	0.15	角	交互	交互	角	りなき籠 (幅0.3 m)		無		0.306		11.000	
15	"	0.3	1.15	1.35	0.2		1.0	0.2	角	交互	交互	角	0.3	0.3	無		0.320	0.120	10.000	
16	池田ダム	0.3	0.70	0.95	0.25	0.5	1.0	0.2	角	交互	交互	角	0.2	0.2	無	0.18	0.044	0.044	12.000	
17	佐賀ダム	0.2	0.70	1.0	0.3		1.0	0.15	角	交互	交互	角	りなき籠		有	0.036	0.038		15.000	
18	第十堰		0.70	0.95	0.25		1.0	0.2	角	交互	交互	角	0.3	0.3	有		0.044	0.067	12.000	
19	旧吉野川河口堰	0.3			0.12		1.5	0.2	角	交互	交互	角	0.3	0.3	無	0.029	0.036	0.055	25.000	
20	今切川河口堰	0.3	0.88	1.0	0.12	2.693	1.5	0.2	角	交互	交互	角	0.3	0.3	無	0.025	0.036	0.055	22.500	
21	"	0.3	0.88	1.0	0.12	2.693	1.5	0.2	角	交互	交互	角	0.3	0.3	無	0.025	0.036	0.055	22.500	
22	高瀬堰														無	0.22				
23	"														無	0.22				
24	球磨川堰		0.5												有					

凡例

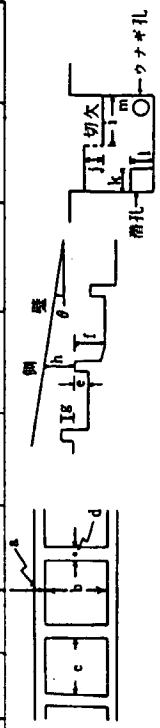


写真 4. 1 原木川床止①

写真 4. 1 (1) 魚道下流から上流を望む



(サクラマスの遡上は良いというりことである)

写真 4. 1 (2) 魚道上流から下流を望む



(切欠が連続している)

写真 4. 2 原木川床止②

写真 4. 2 (1) 魚道下流から上流を望む



(原木川床止①と同様の魚道であり、サクラマスの遡上は良いとのことである)

写真 4. 2 (2) 魚道上流から下流を望む



(魚道入水口に、ゴミよけのサクがある)

写真 4.3 原木川砂防堰堤



写真 4.3 (2) 魚道入水口の状況

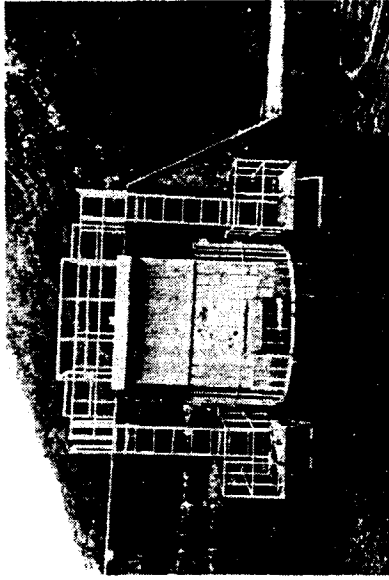


写真 4.3 (1) 魚道下流から上流を望む

写真 4.3 (3) 魚道内部の状況 (上流から下流を望む) →
(下流から上流を望む) ↓

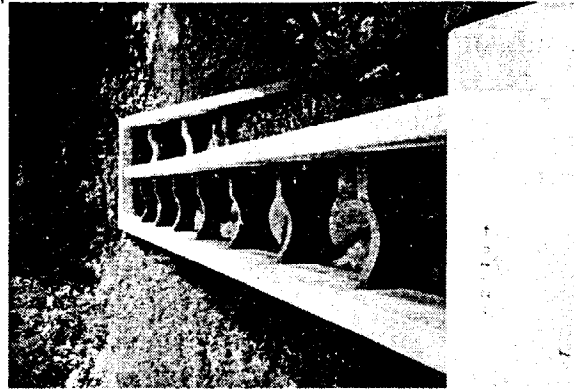
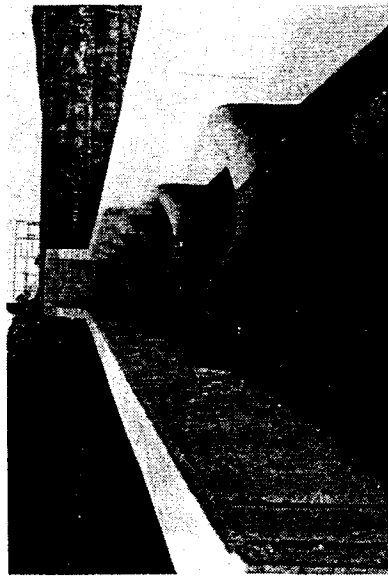
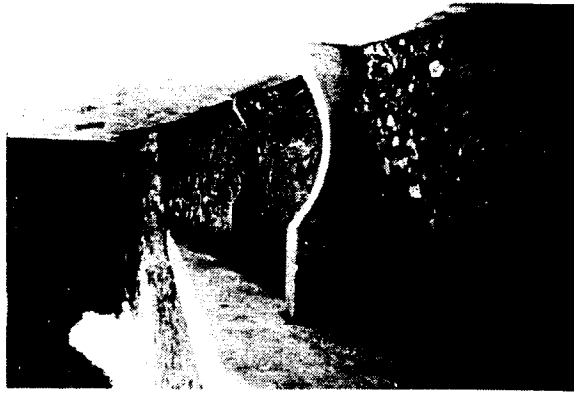


写真 4.3 (4) 魚道の
出水口
付近の
状況



(隔壁の下流部の丸みのある構造がわかる。切欠と潜孔は
対照の位置にあり、おのおの連続して位置する)

(隔壁の上部は角ばっている)

(魚道出水口付近のブールにたまった礫)

写真 4.4 原木川沿山ダム

写真 4.4 (1) 魚道下流から上流を望む

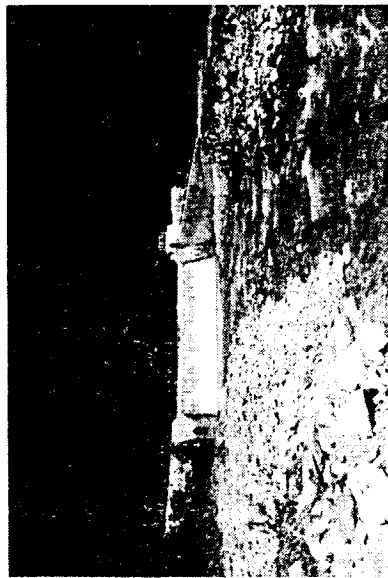


写真 4.4 (2) 魚道出水口付近の状況

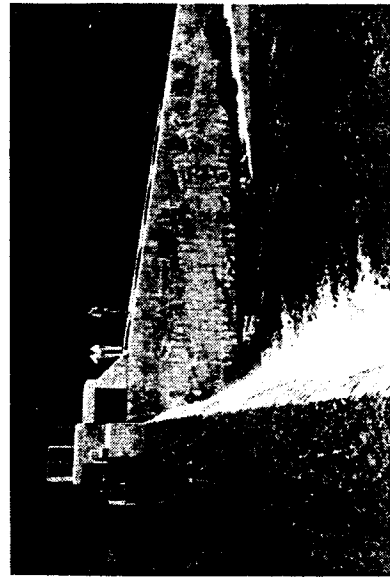


写真 4.4 (3) 魚道内の水理の状況

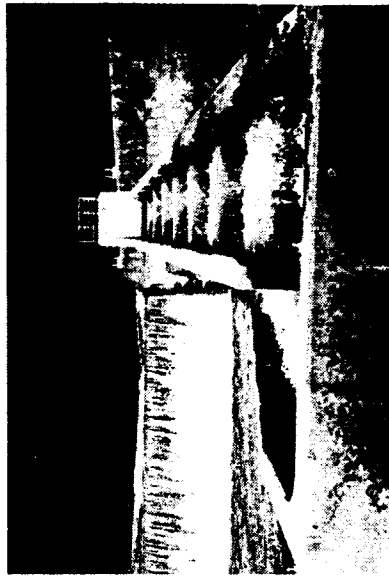


写真 4.4 (4) 魚道入水口付近の状況



写真 4.4 (5) ダム上流の平瀬(この付近が、サクラマス産卵場の一つであること)



写真 4.5 姫川第一頭首工

写真4.5 (1) 魚道下流より上流を望む

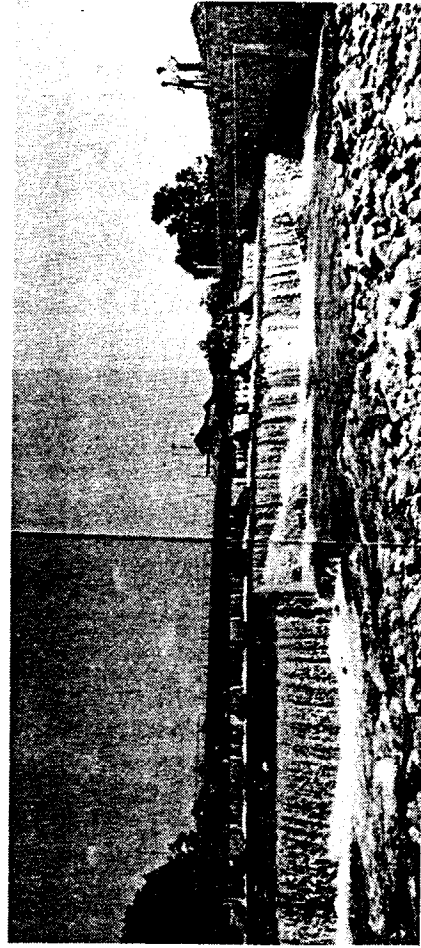
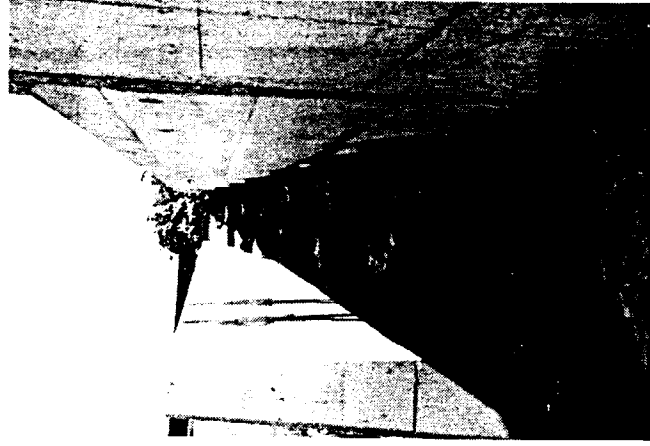


写真4.5 (2) 堰上流の状況



写真4.5 (3) 魚道内部の水利状況



(流量が少ないため、切欠からの
水流と、潜孔からの水流がよく
わかる)

写真 4. 6 天ノ川頭首工

写真 4. 6 (1) 魚道下流より上流を望む

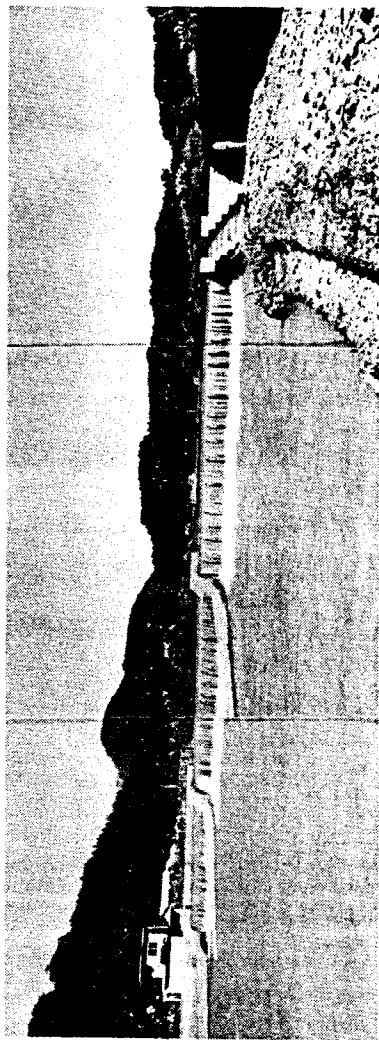


写真 4. 6 (2) 魚道内部の水利状況(下流から上流を望む)

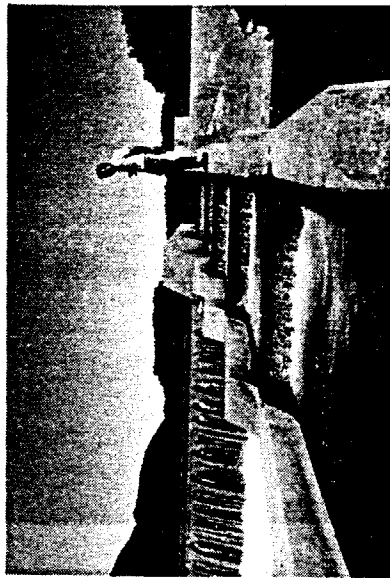


写真 4. 6 (3) 魚道内部の水利状況(上流から下流を望む)



写真 4. 7 石崎川(右股川) 砂防堰堤

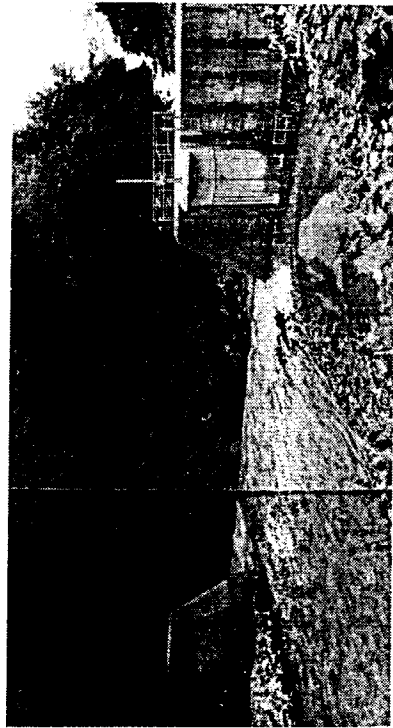


写真 4. 2 0 魚道入水口の状況(ゲートを下げている)

写真 4. 7 (2) 魚道下流から
～4. 7 (3) 上流を望む①



②



写真 4. 7 (4) 魚道内部構造(下流から上流を望む)



写真 4. 7 (5) 魚道内部構造(上流から下流を望む)

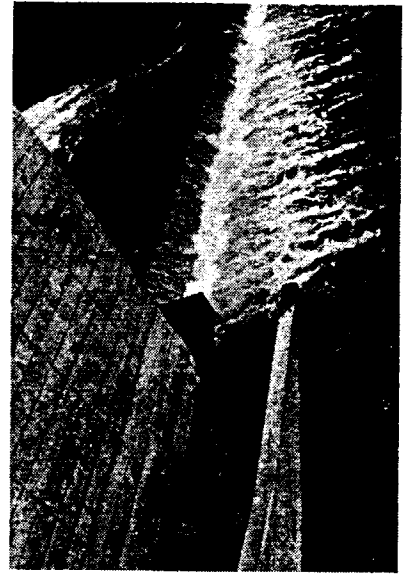
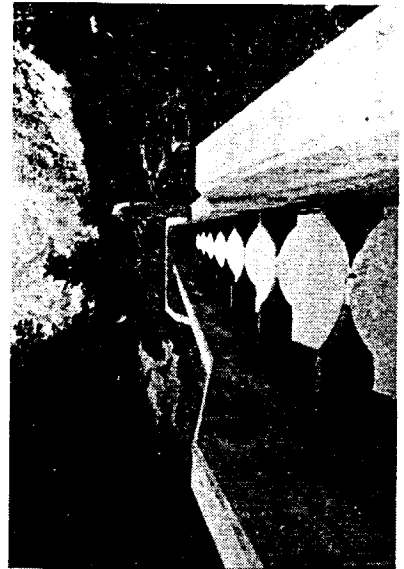


写真 4. 7 (6) 魚道出水口付近の状況

写真 4. 8 新瀨大堰

写真 4. 8 (3) ロックゲート式魚道の入水口付近の状況

写真 4. 8 (1) 魚道入水口付近から下流を望む

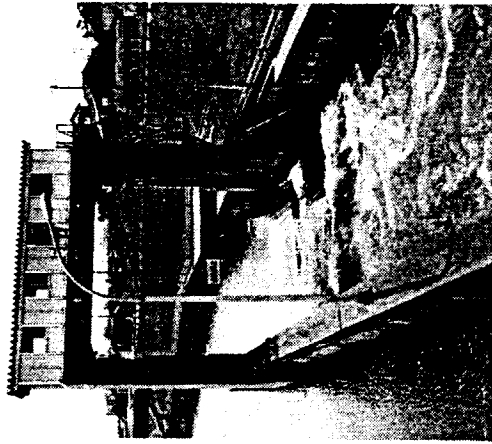
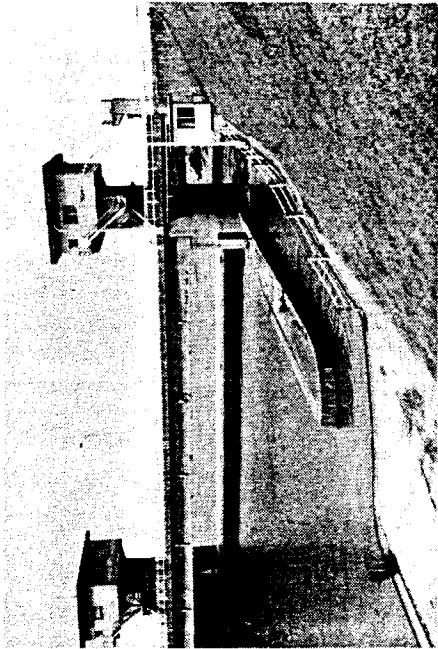


写真 4. 8 (2) 魚道出水口付近の状況

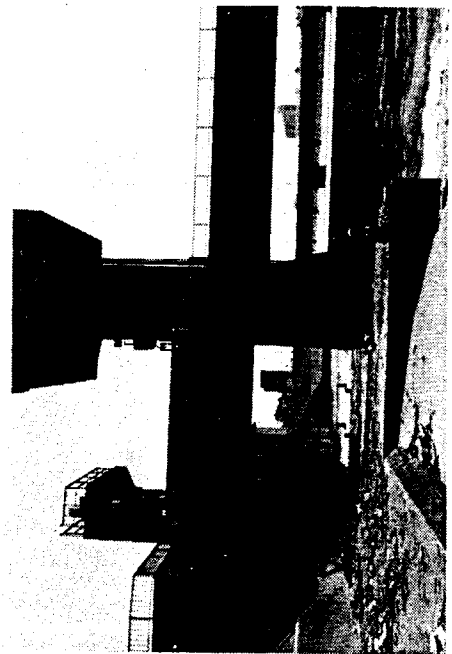


写真 4.9 信濃川水門

写真4.9 (1) 堰下流右岸から上流を望む

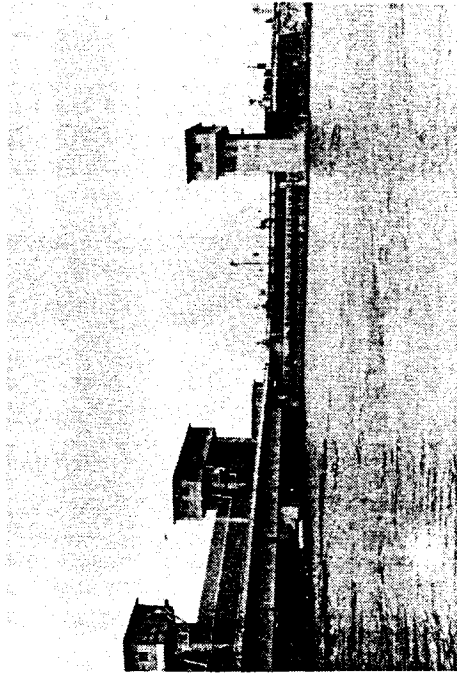


写真4.9 (2) ロックゲート式魚道の出水口付近の状況

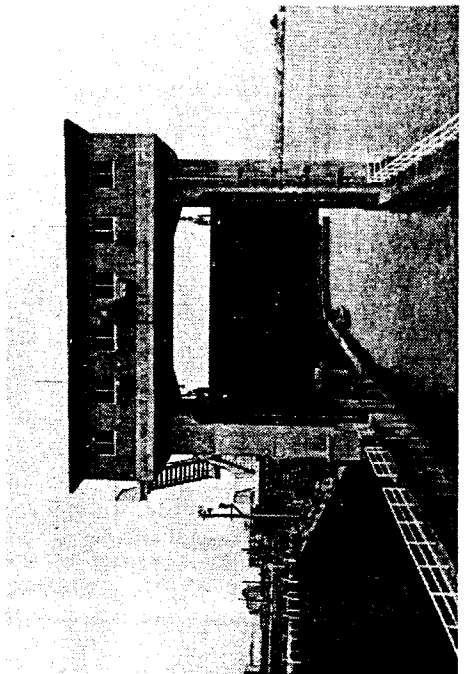
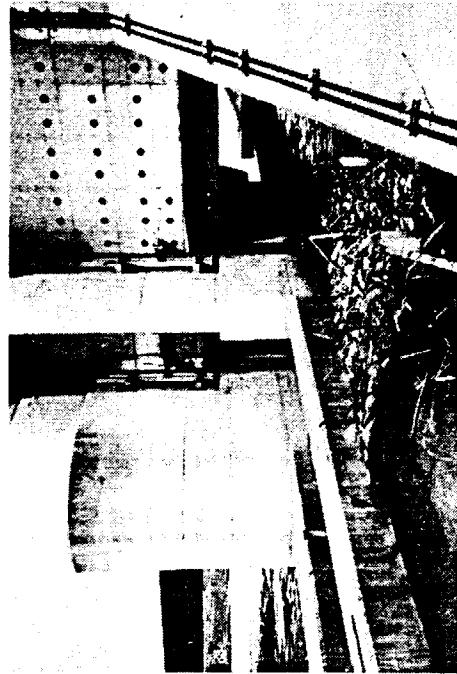
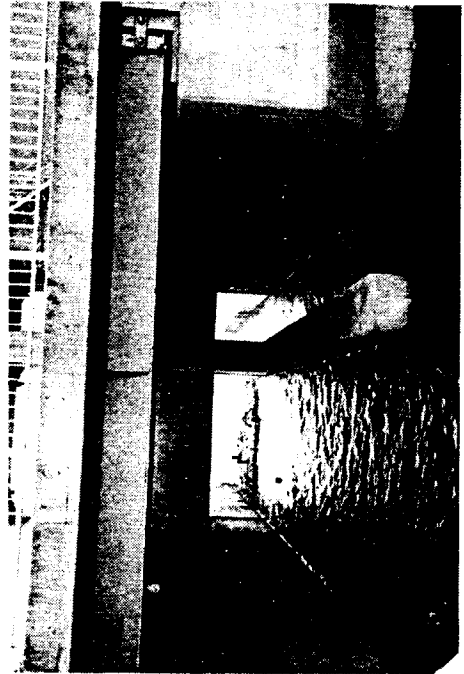


写真4.9 (3) 階段式魚道の入水口付近の状況



(水制柱用に入っているH鋼にたまったゴミ)

写真4.9 (4) 階段式魚道の出水口付近の状況

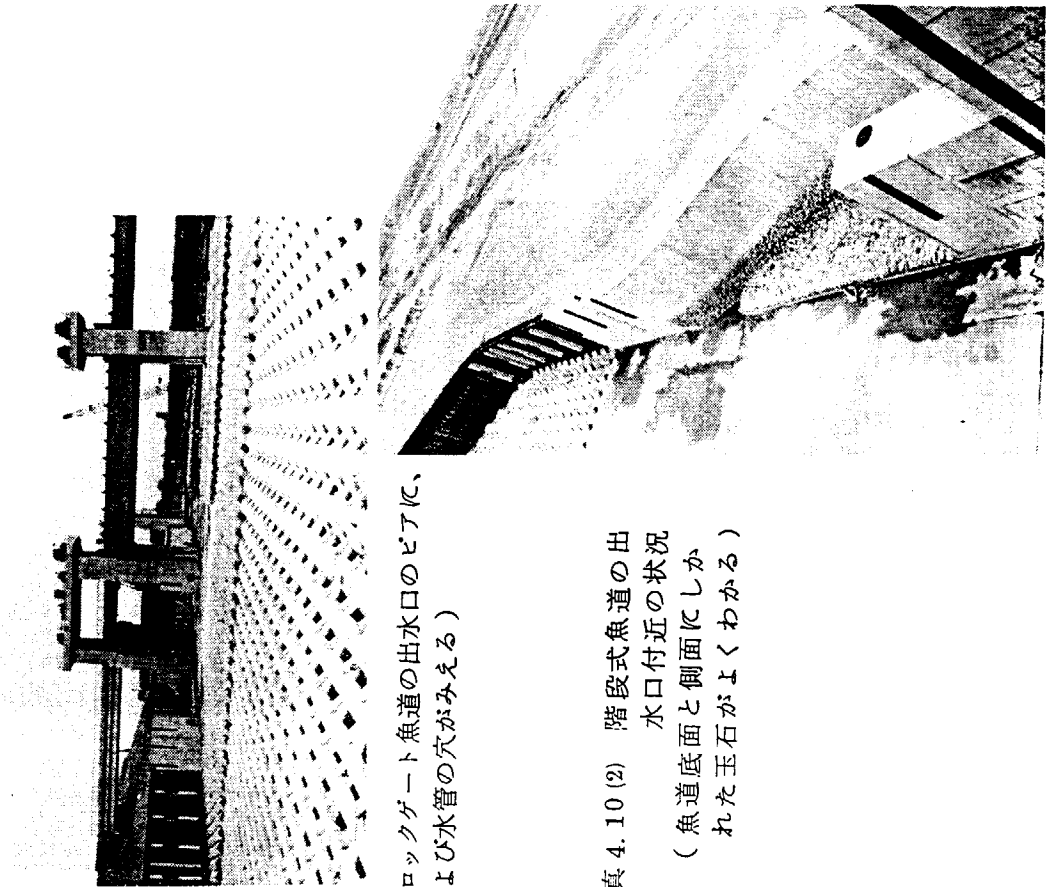


(アユ用魚道)

(サケ用魚道—呼び水路)

写真 4.10 蒲原大堰

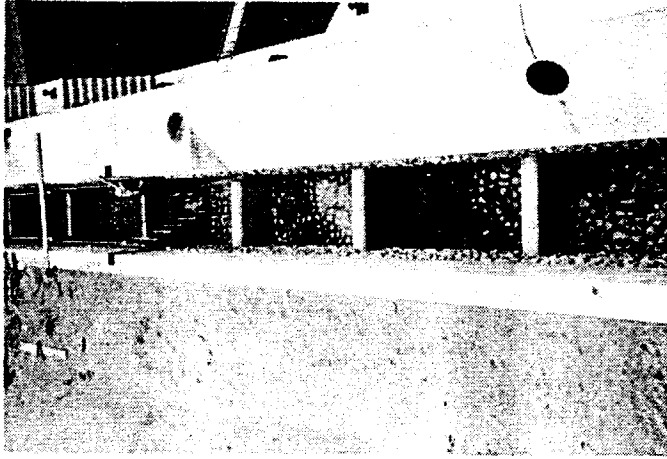
写真 4.10 (1) 堰下流右岸から上流を望む



(ロックゲート魚道の出水口のピアに、よび水管の穴がみえる)

写真 4.10 (2) 階段式魚道の出水口付近の状況
（魚道底面と側面にしかれた玉石がよくわかる）

写真 4.10 (3) 階段式魚道の内部の状況



(隔壁は、切欠がない。隔壁の天端には丸みがある。入水口付近のフラップゲートがみえる)

写真 4.11 洗 堰

写真 4.11 (1) 堰上流の状況

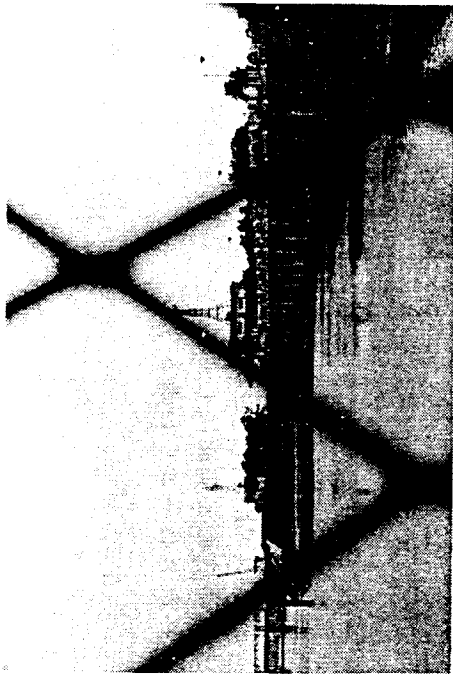


写真 4.11 (3) プール内だとびはねるアユ



写真 4.11 (4) 採捕されたアユ

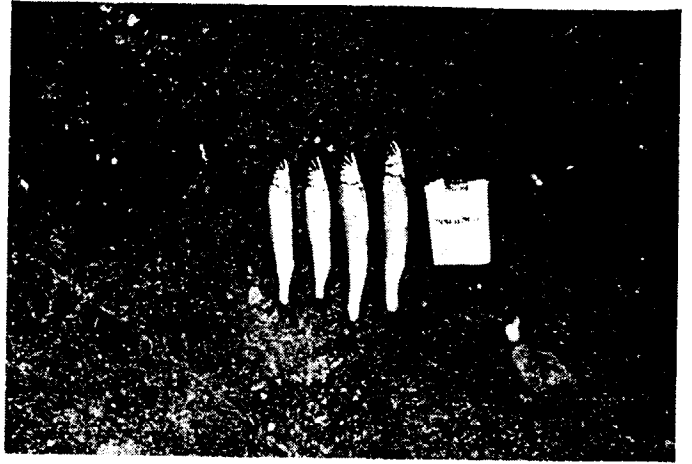


写真 4.11 (2) 魚道出水口付近の状況

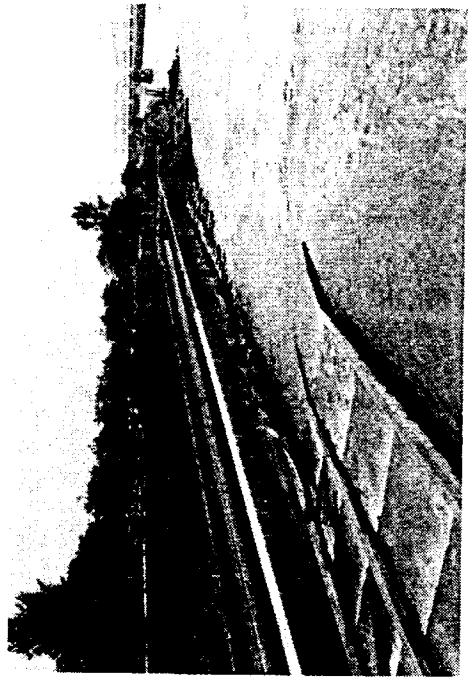


写真 4. 12 木曾川大堰

写真 4. 12 (1) 堰上流から下流を望む

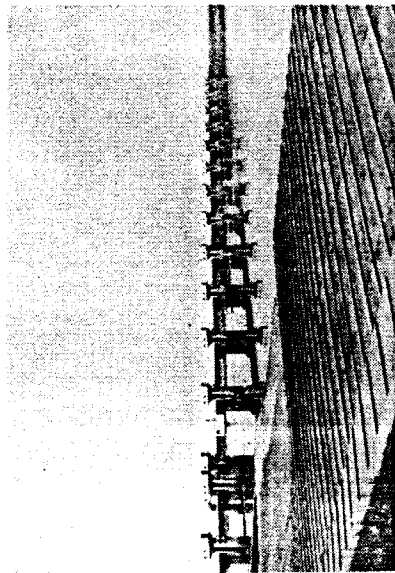


写真 4. 12 (4)
中央魚道
の状況



写真 4. 12 (6) 左岸魚道の出水口付近の状況



写真 4. 12 (2)
右岸魚道の
出水口付近
の状況
(魚溜り用
のプール
が出水口
にある)

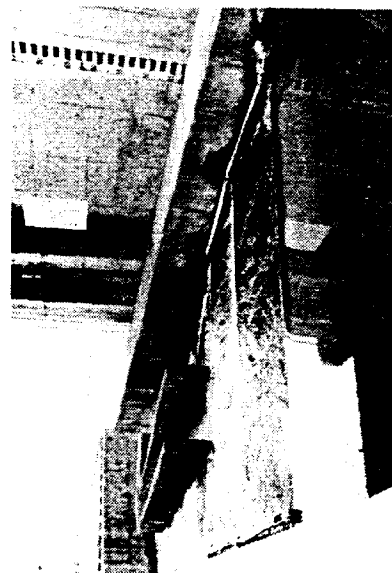


写真 4. 12 (3)
右岸魚道の入水
口付近の状況



(最上流端に水位
調節用のL鋼が
置いてある)

写真 4. 12 (6) 左岸魚道の入水口付近の状況



(中央が、よび水路であり、その左右が階段式
魚道である。通水量は、入水口にあるフラップ
ゲートで調節している)

写真 4.13 池田ダム

写真 4.13 (1)
魚道の状況
(写真左隅から発電放水が出ている)

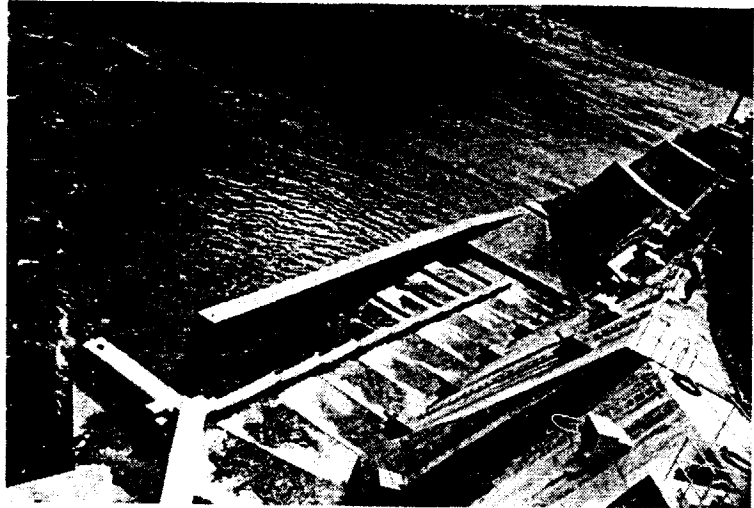


写真 4.13 (2)
トンネル式魚道



写真 4.13 (3)
魚道側壁
(ゴイサギが立っている)



写真 4.13 (4)
水中ビデオ
カメラ



写真 4.13 (5) 水中カメラと水中ビデオ
カメラ設置状況



写真 4.13 (6)
水中ビデオカメラのモニター

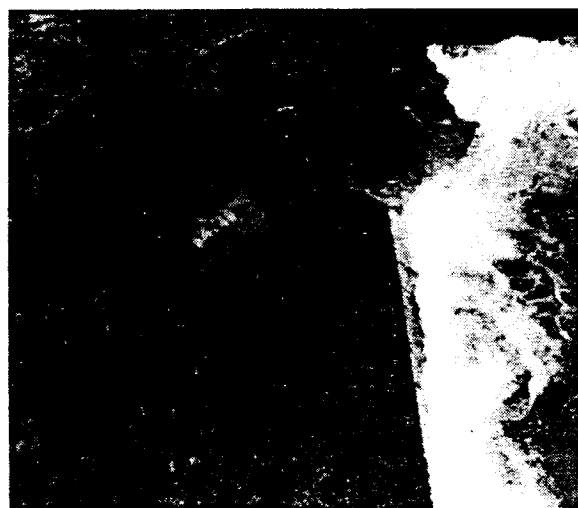


写真 4.13 (7)
水中ビデオカメラ設置状況

写真 4.14 佐賀ダム

写真 4.14 (1) ダム下流の状況

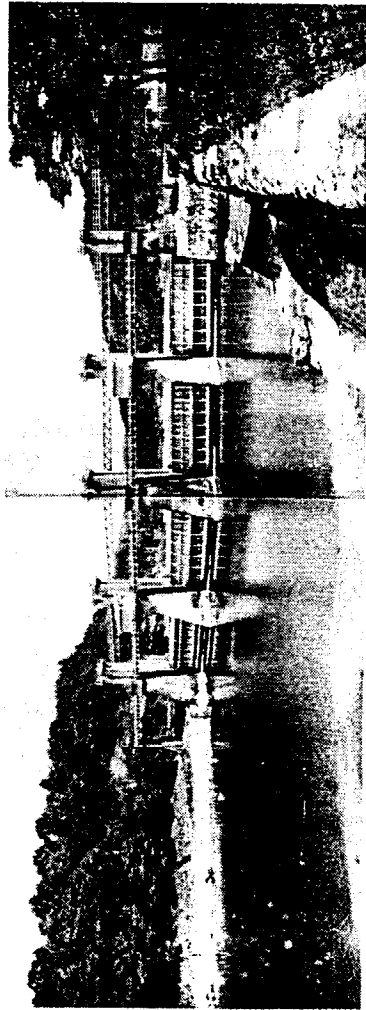


写真 4.14 (3)

魚道内部の水利の
状況 ①



②



写真 4.14 (2)

出水口にある
通水量調節用
の手動のフラッ
プゲート

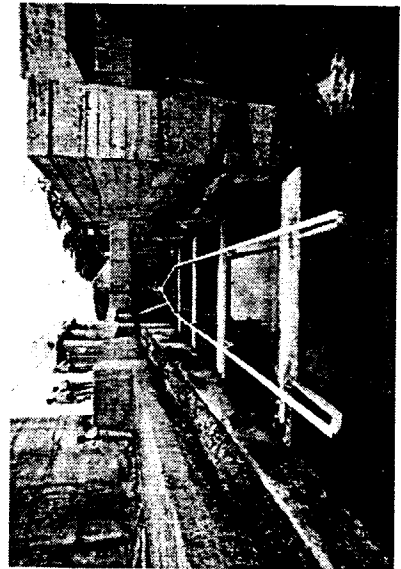


写真 4.14 (4)
魚道出水口
付近の状況



(プール内の水制柱、出水口の魚溜り用プールなどが
わかる)

写真 4.15 第十堰

写真 4.15 (1)
魚道状況



写真 4.15 (2)
魚道下流
の状況



写真 4.15 (3)
魚道内の
水理の状況
(水制柱がみら
れる)

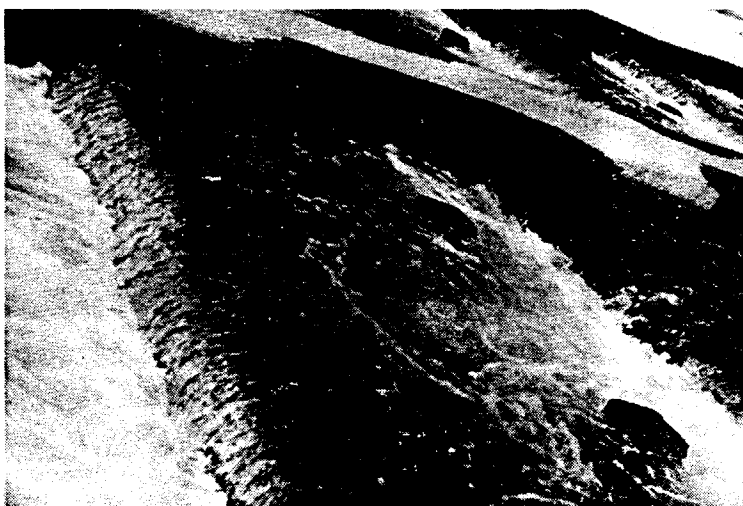


写真 4.16 旧吉野川河口堰

写真 4.16 (1)
魚道入水口
付近の状況

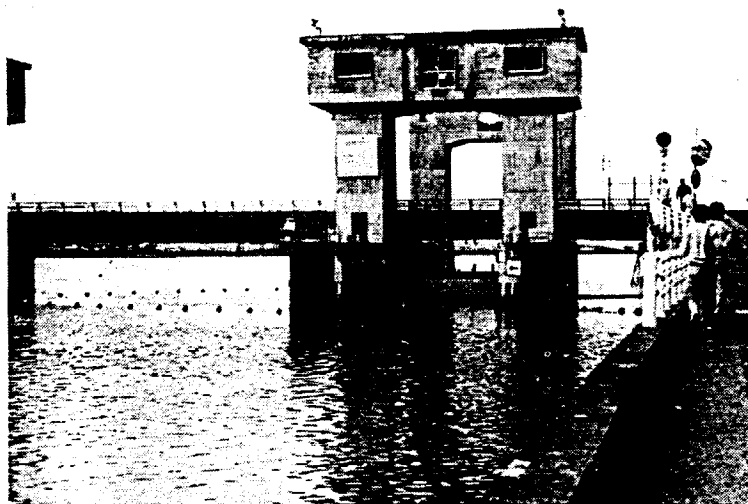


写真 4.16 (2)
魚道の状況



写真 4.16 (3)
旧吉野川
河口堰

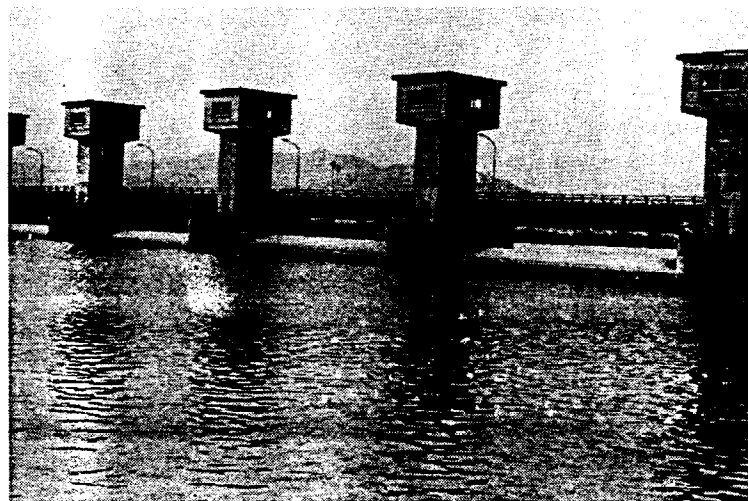


写真 4.17 今切川河口堰

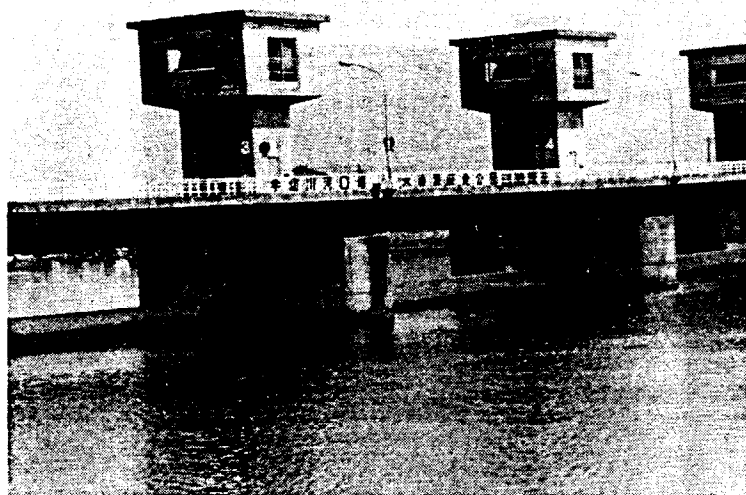


写真 4.17 (1)
今切川河口堰



写真 4.17 (2)
魚道の状況
①



写真 4.17 (3)
魚道の状況
②

写真 4.18 高瀬堰

写真 4.18 (1) 堰上流の状況

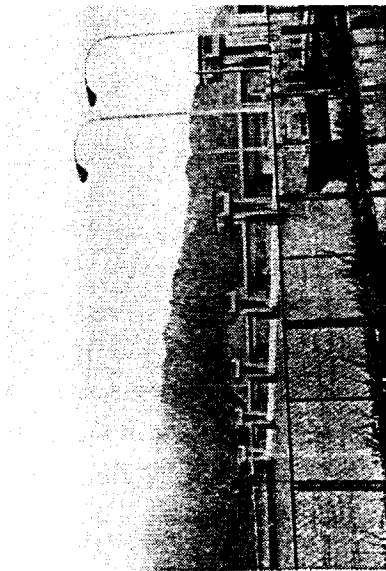


写真 4.18 (2) フラップゲートであそぶ魚

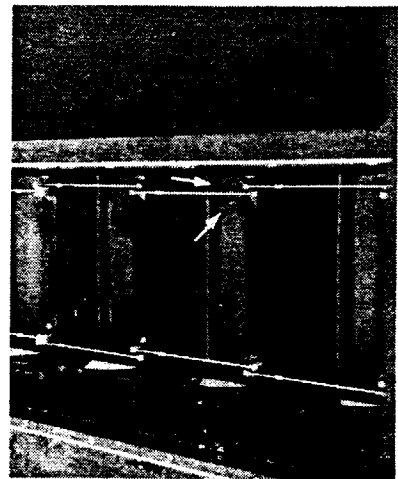


写真 4.18 (3) フラップゲートの操作による通水量の調節

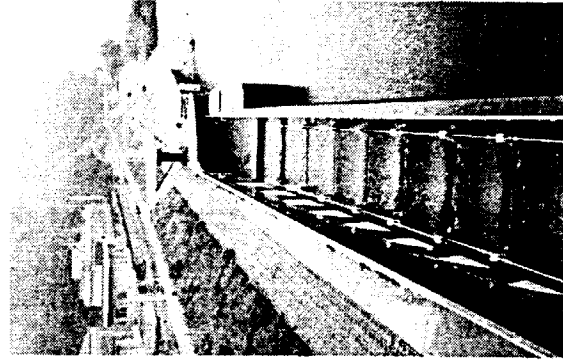
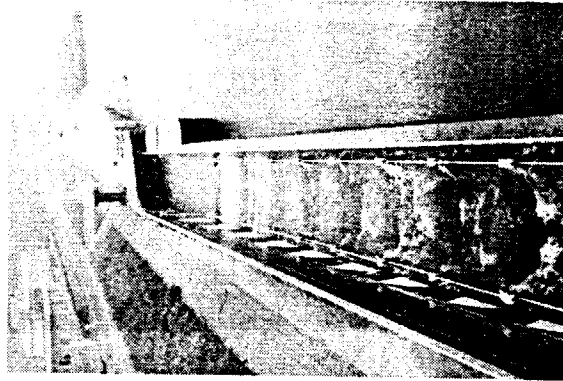


写真 4. 19 球磨川堰

写真 4. 19 (1) 堰下流の状況

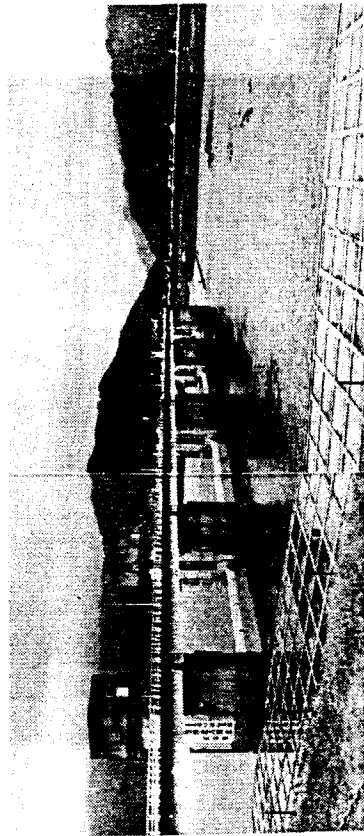
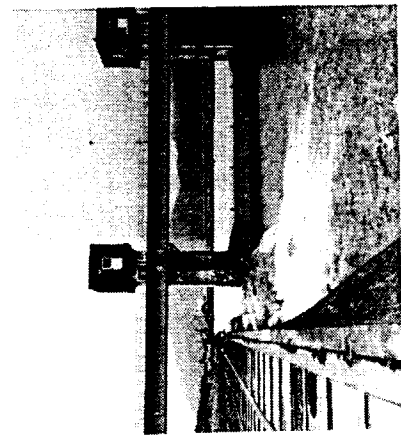
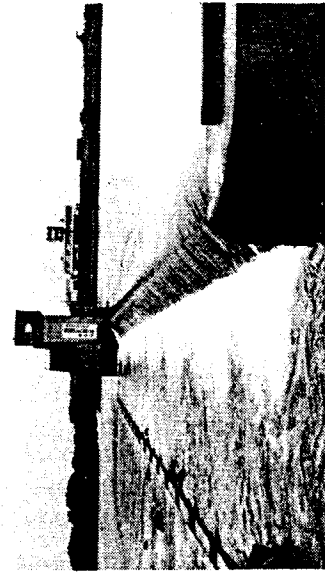


写真 4. 19 (2) 右岸の舟通し



(出水口付近が破損している)

写真 4. 7 1 左岸側の固定堰



(手前が魚道出水口)

写真 4. 19 (3)

魚道入水口付近の
状況(採捕式魚道)



写真 4. 19 (4)

アユ採捕口



(プール内の矢印
のところに網を
入れ、手前の水
の出水している
ところからアユ
が、下のプール
へ落ちる)

写真 4. 19 (5)

魚道の状況



写真 4.20 新信濃川第 2 床固

写真 4.20 (1) 床固の状況



写真 4.20 (3) ジャンプする魚 (マルタウグイ?)



写真 4.20 (2) ジャンプする魚 (マルタウグイ?)



写真 4.20 (4) ジャンプする魚 (マルタウグイ?)



4.2 魚道の実態

本節は、ヒヤリング対象魚道の構造と水理の実態とを、日本における他の魚道の実態と比較検討した。

4.2.1 構造の実態

1) 魚道の寸法表示

魚道の構造諸元の寸法表示は、図 4.2 に示す表示法に従うこととした。

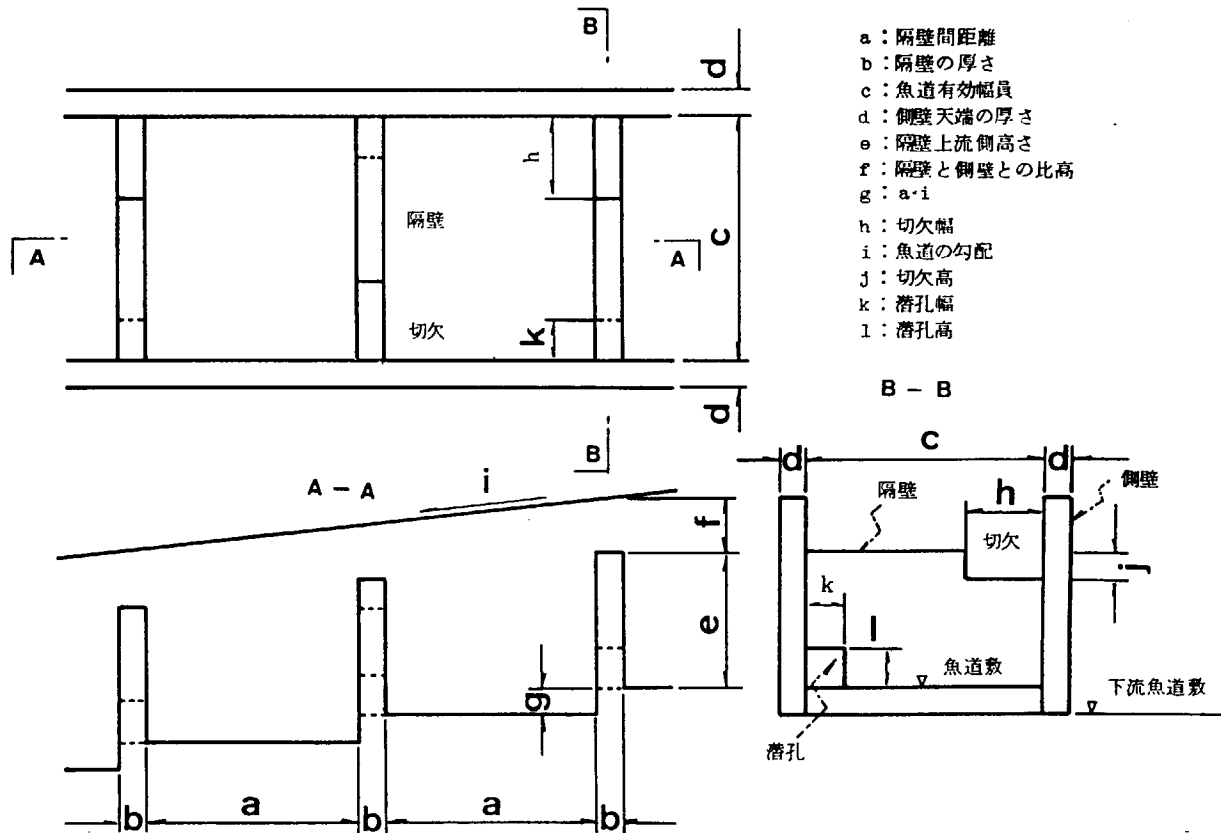


図 4.2 階段式魚道の寸法表示

2) 魚道全長

階段式魚道は、かなり堤高が高いダムについても、魚道効果があるといわれている（表 2.2）。図 4.3 は、本調査における階段式魚道の魚道全長の実態について整理したものである。魚道全長は、50 m 未満のものが最も多いが、500 m を越すものもある。なお、魚道全長が 50 m 未満のものが、全体の約 51% となっているのは、砂防堰堤に設けられた小型の魚道も調査対象としたためである。

ヒヤリング対象魚道と当該調査における魚道とを比較してみると、両者ともほぼ同様の分布パターンとなっている。

3) 屈曲数

魚道全長の短い魚道は、出水口から入水口まで、直線的であるものが多い。他方、魚道全長が長い魚道は、何回かの屈曲がみられる。

図 4.4 は、日本における階段式魚道の屈曲数の実態を整理したものである。2) の魚道全長で述べたように、当該調査における既設魚道は魚道全長が短いものが多かったことから、屈曲数も 0 (なし) のものが約 41% あり、最も多い。

ヒヤリング対象魚道と、当該調査における既設魚道とは類似の分布パターンとなっている。

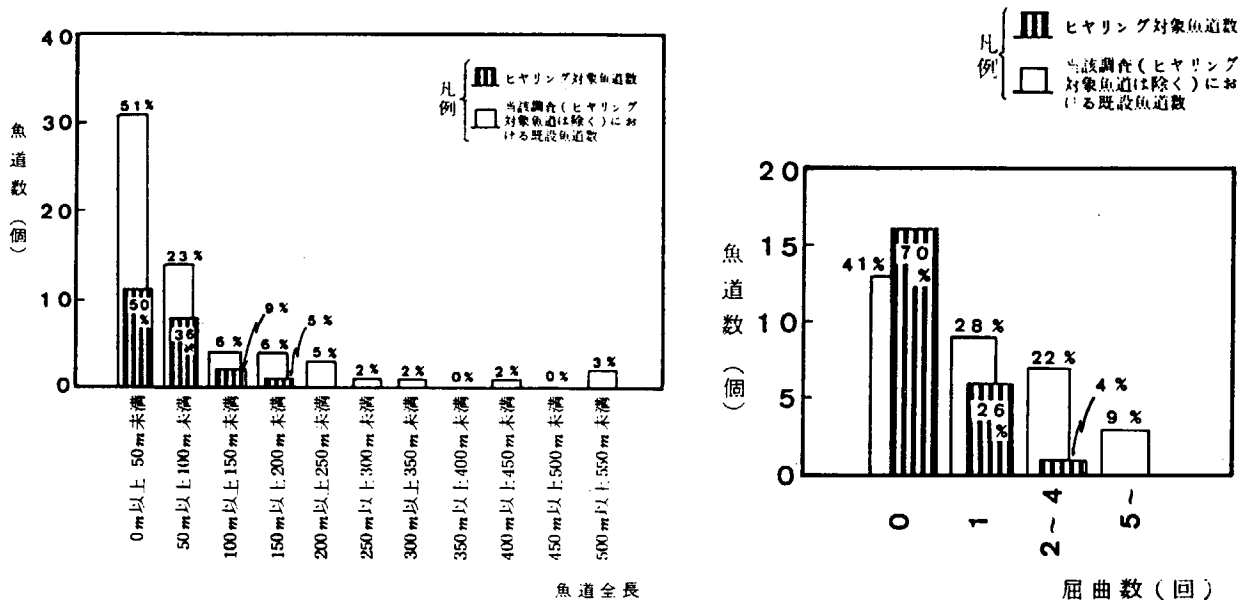


図 4.3 魚道全長の実態

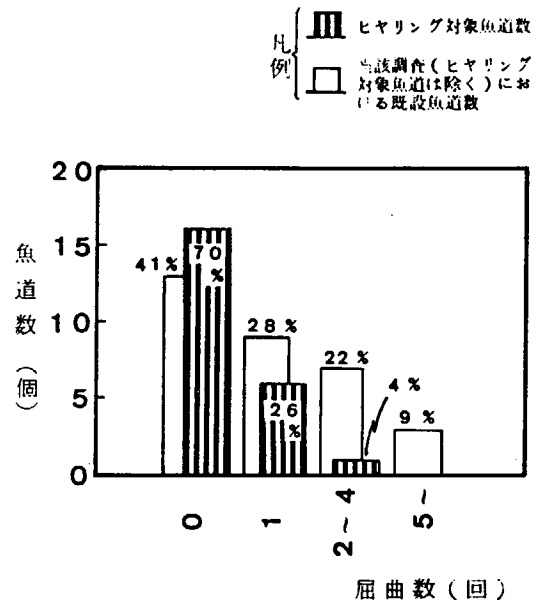


図 4.4 屈曲数の実態

4) 魚道出水口の方向

魚道の出水口の方向は、河道に対して 0°、30°、45°、60°、90°、180°、等があり、また、魚類遡上や堆砂からみた有効性についても議論されている (第 5 章 5.2.2、3))。

図 4.5 は、当該調査における階段式魚道の出水口の方向の実態を整理したものである。出水口の方向は、0°と 90°のものが多い。他方、ヒヤリング対象魚道は、0°と 45°のものが多い。

5) 有効幅員

図 4.6 は、当該調査における階段式魚道の有効幅員の実態について整理したものである。小山 (1967) によると、有効幅員は、広い方がよいとされているが、実態は、2 m 以上 4 m 未満のものが約 57% と最も多い。

他方、ヒヤリング対象魚道では、2 m 未満のものと、4 m 以上 6 m 未満のものが多いという結果になっている。なお有効幅員が 2 m 未満のものは、北海道にある砂防ダムや頭首工などの付属魚道である。

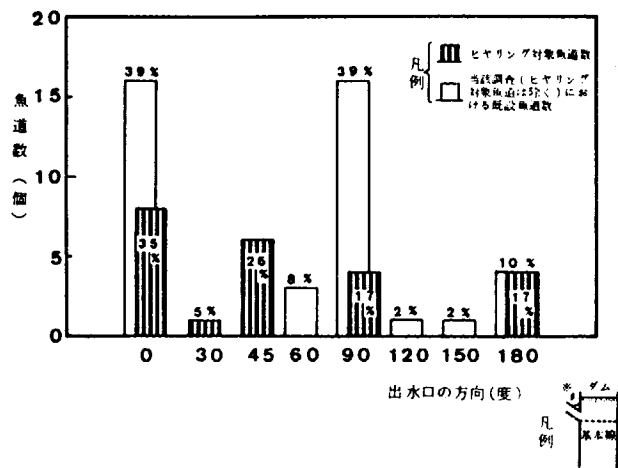


図 4.5 魚道出水口の方向実態

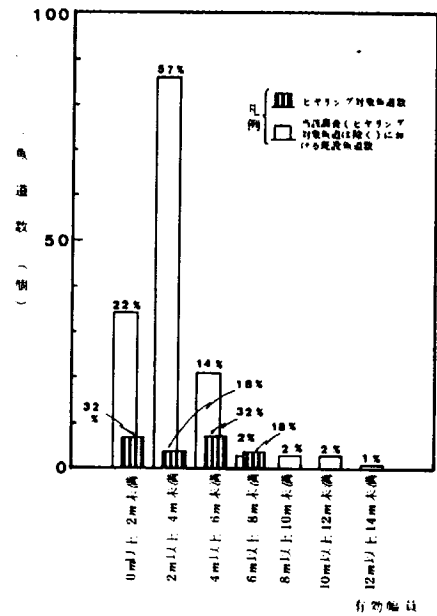


図 4.6 有効幅員の実態

6) 勾配

図 4.7 は、当該調査における階段式魚道の勾配の実態について整理したものである。

魚道の勾配は、小山(1967)の提唱している、魚道の備えるべき条件によると、最大でも 1/10 程度、緩勾配にするほどよい、とされている。実態についてみると、1/10 勾配の魚道が約 17% と最も多いが、しかし、1/10 より急勾配のものが、約 57% と大多数を占めている。こうした魚道では、隔壁越流速が速くなり、魚の遡上効率を低下させているのではないかと想像される。

他方、ヒヤリング対象魚道では、1/8 勾配のものが 6 魚道と最も多いが、これらはサクラマスまたはサケ用魚道で、アユ用魚道は全て 1/10 以下の勾配であった。

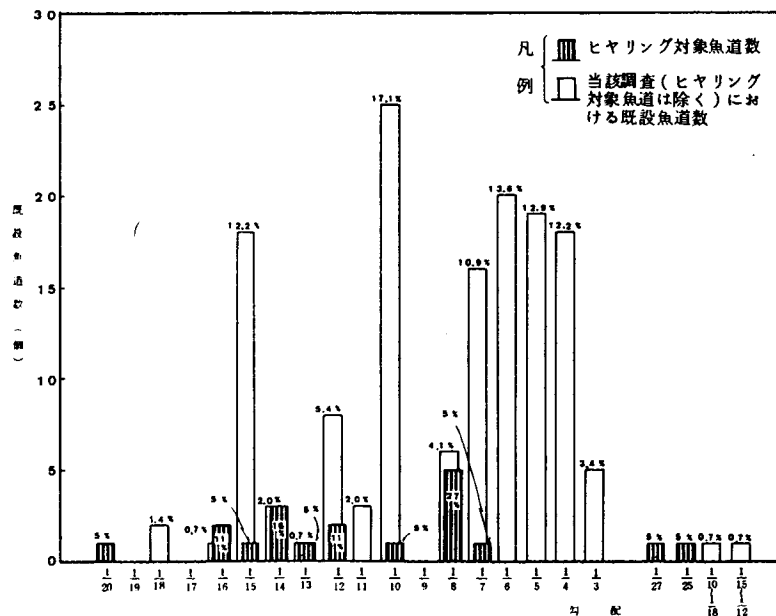


図 4.7 勾配の実態

7) 隔壁間距離

図4.8は、当該調査における階段式魚道の隔壁間距離の実態について整理したものである。隔壁間距離は、1.5 m以上2 m未満のものが最も多く、約50%である。この程度の隔壁間距離の魚道は、前述（第3章3.2.4）した魚道内水理の状況から考えると、プール内の流れが複雑になっていると想像される。

他方、ヒヤリング対象魚道では、2.0 m以上2.5 m未満のものが最も多くなっているが、しかし、全般的には当該調査における魚道の傾向と似た形となっている。

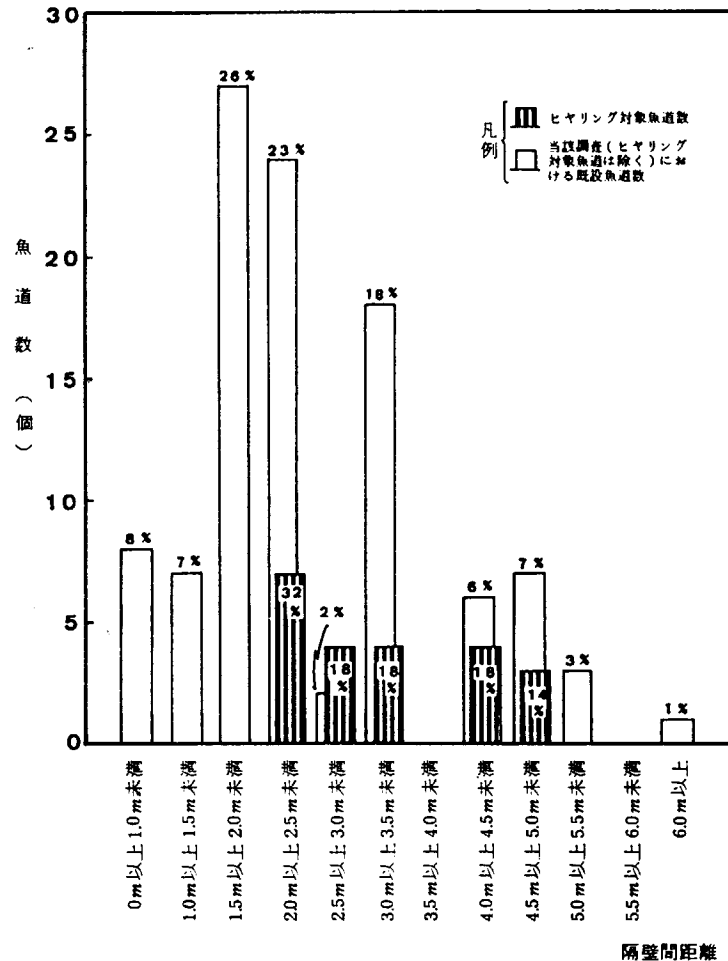


図 4.8 隔壁間距離の実態

8) 隔壁間高差

図 4.9 は、当該調査における階段式魚道の隔壁間高差の実態について整理したものである。

小山(1967)によると、隔壁間高差は、30 cm以下がよいとされている。ヒヤリング対象魚道、当該調査における既設魚道ともに、隔壁間高差は、0.3 m以上0.35 m未満のものが最も多く、約47~50%であり、小山(1967)による魚道として備えるべき条件にやや近い。

9) 魚道の有効幅員と堤長の関係

図 4.10 は、当該調査における階段式魚道の有効幅員と堤長の比を整理したものである。

小山(1967)の提唱している、魚道の備えるべき条件によると、魚道の有効幅員と堤長の比は、少なくとも4~5%を限界とする、とされている。ヒヤリング対象魚道、当該調査における既設魚道ともに、有効幅員と堤長の比は、4%未満のものがそれぞれ約80%、約64%である。

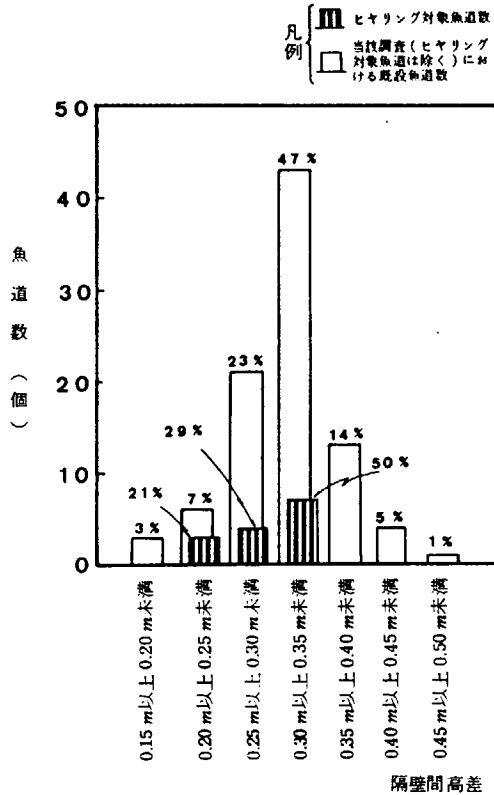


図 4.9 隔壁間高差の実態

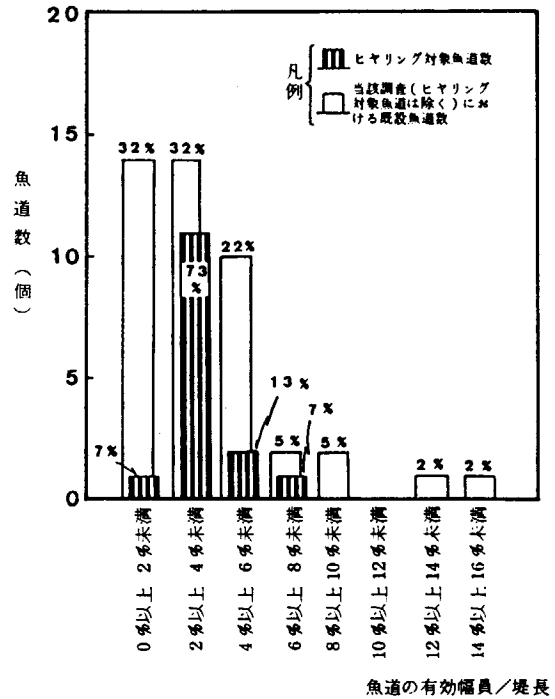


図 4.10 魚道の有効幅員と堤長の関係

10) 隔壁の切欠幅と魚道の有効幅員の関係

図 4.11 は、当該調査における階段式魚道の隔壁の切欠幅と、魚道の有効幅員との関係を整理したものである。隔壁の切欠幅の有効幅員に対する比は30%以上40%未満のものが約42%で最も多い。

他方、ヒヤリング対象魚道は、隔壁の切欠幅の有効幅員に対する比は、10%未満、30%以上40%未満、50%以上60%未満のものが同程度に多い。

11) 隔壁の潜孔幅と魚道の有効幅員の関係

図 4.12 は、当該調査における階段式魚道の、隔壁の潜孔幅の有効幅員に対する比を整理したものである。当該調査におけるそれは、3%以上6%未満のものが多い。

他方、ヒヤリング対象魚道は、3%以上6%未満のものと、9%以上12%未満のものが多。

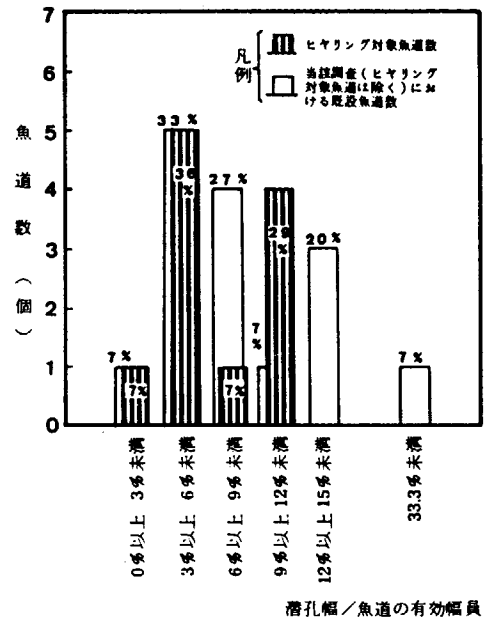
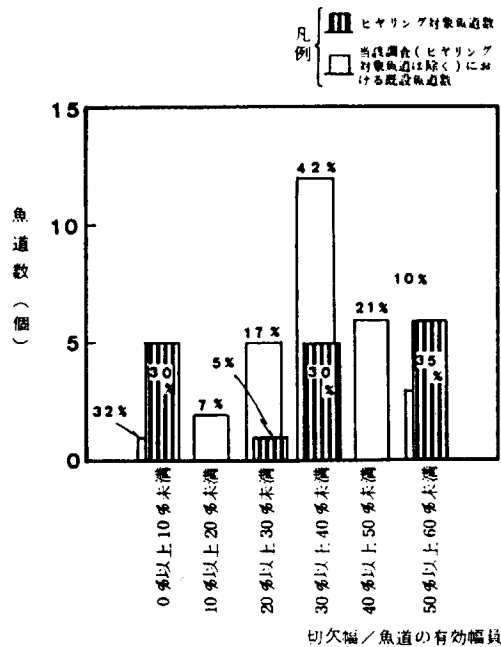


図 4.1.1 切欠幅と魚道の有効幅員の関係

図 4.1.2 潜孔幅と魚道の有効幅員の関係

4.2.2 魚道内水理状況の実態

魚道内の水理状況に関する報告は少ないが、魚道内の水理状況として、魚道通水量と隔壁越流速を取りあげ、簡単な整理を行なった。

1) 魚道通水量

魚道通水量は、流量調節装置がない限り、魚道の有効幅員・貯水位と魚道入(出)水口の天端高との水位差などによって異なる。図 4.1.3 に当該調査における階段式魚道の魚道通水量の実態を示した。上述の理由により、数値そのものを比較検討することは意味をもたないと思われるが、最大でも $6 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度の魚道通水量であり、 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 未満の魚道が 26% と最も多い。

他方、ヒヤリング対象魚道もこれとほぼ同様の分布パターンを示している。

2) 隔壁越流速

図 4.1.4 は、当該調査における階段式魚道の隔壁越流速を整理したものである。これによると隔壁越流速は $0.6 \text{ m}/\text{sec}$ $0.8 \text{ m}/\text{sec}$ 未満程度のものが約 45% を占める。この値は小山(1967)の魚道の備えるべき流速条件である、 $0.40 \text{ m}/\text{sec}$ \sim $0.60 \text{ m}/\text{sec}$ と比較すると若干速い程度であるがほぼ条件を満しているといえる。

流速の早い魚道の中には、おそらく流量調節装置がない為か、サクラマスまたはサケ用魚道であると思われるが、隔壁越流速が $1 \text{ m}/\text{sec}$ を越しているものもある。

他方、ヒヤリング対象魚道で隔壁越流速がわかっているものは、全てフラップゲートなどによって魚道通水量が調節されているアユ用魚道であるので、上述の小山(1967)の提唱している、アユ用魚道の適正流速 ($0.40 \text{ m}/\text{sec}$ \sim $0.60 \text{ m}/\text{sec}$) をほぼ満している。

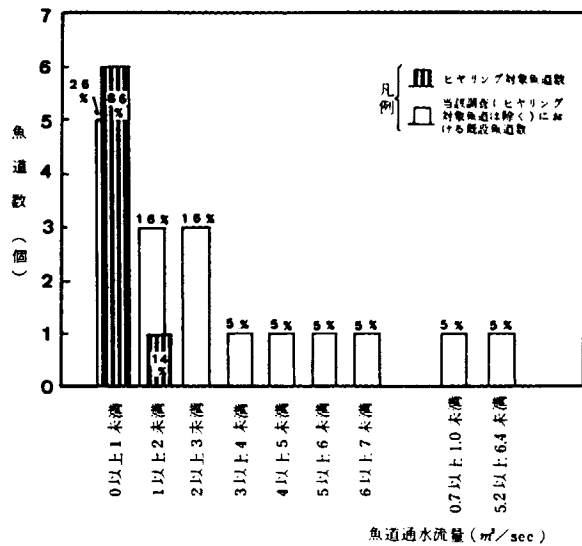


図 4.13 魚道通水流量の実態

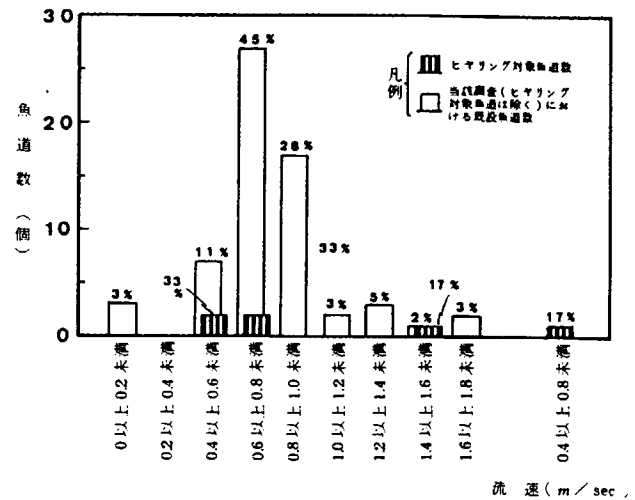


図 4.14 隔壁越流速の実態

4.3 魚道の評価と問題点

4.3.1 魚道別評価と問題点

ヒヤリングおよび現地踏査を実施した魚道について、各魚道の特徴、稼動状況、漁協などの提唱する評価や改良点などから、魚道別の評価と問題点について整理した(表4.4)。整理に当たっては、以下の点に留意した。

- ① 魚道出水口付近の水理状況(呼び水効果との関係)
- ② 魚道内水理状況(通水状況)
- ③ 魚道入水口付近の状況
- ④ 魚類の遡上状況
- ⑤ 漁協などの評価
- ⑥ 管理上の問題点(稼動状況)
- ⑦ 構造上の改良点
- ⑧ その他

表 4.4 魚道別の評価と問題点

魚道名	実 態	評 価	問 題 点 ・ 課 題
1. 原木川床止付属魚道	・ サクラマスの遡上がある。1)	・ 魚道設置後、サクラマスの遡上が可能となり、漁協に評価されている。1) ・ 河川幅が狭く、床止の高さも低く、かつ魚道出水口も床止の下流の深みにあるので、呼び水施設はないが遡上魚は、床止の下流の深みでしばらく遊泳している間に、魚道出水口をみいだすものと考えられる。	
2. 原木川床止付属魚道	原木川床止①付属魚道と同じ		
3. 原木川砂防堰堤付属魚道	・ サクラマスの遡上がある。1) ・ 出水により、堰堤上流の流れが変化し、魚道への入水がない。 ・ 魚道内の一部のプールには、礫の堆積がみられる。	・ 魚道設置後、サクラマスの遡上が可能となり、漁協に評価されている。1) ・ 魚道は1回屈曲した後、堰堤直下流までつづいているので、遡上魚は魚道出水口をみい出し易いと考えられる。	・ 魚道入水口の位置、高さの設計が難しい。 ・ 魚道管理に人手や費用を用する。
4. 原木川治山ダム付属魚道	・ サクラマスの遡上がある。また産卵場がダム上流にある。1) ・ 通水流量が多い。	・ 原木川砂防堰堤付属魚道と同じ。	・ 手動で通水流量を調節することが出来るが、人手や費用の関係から、管理されず、通水流量は設定流量よりも多いと思われる。

5. 姫川第一頭首工付属魚道	・ サクラマスの遡上がある。1) ・ 通水流量が少い。	・ 頭首工の下流の深みに、魚道出水口があるので、遡上魚は、魚道出水口を見い出すことは可能と考えられる(原木川砂防堰堤、治山ダムの場合よりは、むしろかしい)。 ・ 魚道に入った遡上魚が、遡上し易い構造である。	・ 入水口の敷高が高いので、河川流量が少ない。今回のような場合は、魚道通水流量が少くなる。 ・ かなり広い川であるのに、魚道が左岸側に一つしかない。 ・ 出水口と頭首工との距離が若干大きすぎると考えられる。
6. 天ノ川頭首工付属魚道	・ サクラマスの遡上がある。1) ・ ヤマメの稚魚(?)の遡上が確認された。	・ 出水口と堰堤との距離があるが、出水口の直上流に小さな副堰堤(?)があるので、遡上魚は、出水口を見出し易いと考えられる。	・ 出水時、出水後の通水量管理に入手費用がかかる。 ・ 潜孔に礫などが堆積する。
7. 石崎川(右股川)砂防堰堤付属魚道	・ サクラマスの遡上がある。1)	・ 出水口と堰との距離が余りないので、右岸寄りを遡上してきた魚はもろんのこと、他の部位を遡上してきた魚も、最終的には、出水口をみい出すと考えられる。	・ 冬期、海からの流砂が魚道内に堆積する。
8. 新瀧大堰付属魚道(右岸階段式魚道)	・ 魚道設置後の魚類の遡上実態調査で、アユなどの遡上が確認されている。1)	・ 新瀧大堰付属魚道と同じ。	・ プール内にあるH鋼に、ゴミ、木材などの浮遊物がとどまる。
9. 信濃川水門付属魚道(右岸階段式魚道)			
10. 蒲原大堰付属魚道			

11. 洗堰付属魚道 (左岸魚道)	・魚道内でとびはねるアユが確認された。	・出水口と堰堤との距離があるので、その堰にアユが集結する可能性がある。事実、漁師が、その場所に網を張っていた。
12. 木曾川大堰付属魚道 (左岸・中央・右岸魚道)	・各魚道ともにアユの遡上があがるが、遡上量は、中央魚道>左岸魚道>右岸魚道の順である。 1)	・右岸、中央、左岸に魚道があり、加えて、ゲート放流水などによる呼び水効果をあげるなどでアユなどの遡上効果を高めている。
13. 池田ダム付属魚道	・アユなどの遡上調査が実施されており、遡上が確認されている。 1)	・アユの遡上についての漁協の評価は高い。 1) ・発電放流水が呼び水の役割りをしており、遡上魚の遡上効率を高めている。
14. 佐賀ダム付属魚道	・アユの遡上がある。 1)	・アユの遡上について、漁協の評価が高い。 1) ・出水口とダム堤との距離が余りなく、また川幅もそれほど狭くないので、遡上魚は出水口を見出し易いと考えられる。

15. 第十堰付属魚道	・アユの遡上が確認された。 ・遡上アユの実態調査が実施されている。 1)	・魚道出水口からの水流が、ほぼ堰下の流心であるので、遡上魚は容易に魚道出水口を見出しせると考えられる。
16. 旧吉野川河口堰付属魚道 (左岸、右岸魚道)	・アユやボラの稚魚の遡上が確認された。 ・遡上アユの実態調査が実施されている。 1)	・魚道プール内の水制柱がプール内の流れを複雑にしている。 ・魚道出水口と堰堤との距離が若干大きすぎると考えられる。
17. 今切川河口堰付属魚道	旧吉野川河口堰付属魚道と同じ	
18. 高瀬堰付属魚道 (右岸、左岸魚道)	・落ちアユが確認された。 ・アユの遡上がある。 1)	・15段連続フラップゲートにより、魚道通水量の調節を行い、アユの遡上効率を高めている。 ・右岸魚道は船通し、左岸魚道は呼び水管により、呼び水効果を高めている。
19. 球磨川堰付属魚道	・アユの遡上がある。 1)	・アユの遡上についての漁協の評価が高い。 ・魚道出水口と堰堤との距離が小さいので、遡上魚は、魚道出水口を見出し易いと考えられる。

4.3.2 魚道の評価と問題点のまとめ

本節は、4.2 魚道の実態と、4.3.1 魚道別の評価と問題点の結果から、概括的な魚道の評価と問題点のまとめを行なった。

1) 評価の良い魚道

評価の良い魚道は、以下のような点が優れていると考えられる。

- ① 呼び水施設からの放水またはゲート放流水などにより、呼び水効果が高い。
- ② ①のような呼び水はないが、魚道出水口と堰堤との距離が小さく、遡上魚が堰下流でしばらく遊泳していれば魚道出水口を見出しやすい構造となっている。
- ③ 魚道勾配が、アユ用魚道では $1/10$ 以下、サクラマスまたはサケ用魚道では $1/8$ 程度であり、適切になっている。
- ④ 魚道通水量の管理が成されている。

2) 魚類の遡上に対する魚道の問題点

ヒヤリング結果などから、魚道の問題点として以下のような点が考えられる。

- ① 1)の①～③の条件のいずれかが満たされていない。
- ② 魚道プール内の水理状況を複雑にする水制柱がある。
- ③ 隔壁間距離が小さく、上流プールの切欠からの隔壁越流速の流速が速い内に下流プール隔壁へ当るため、魚道内プールの水理状況が複雑である。
- ④ 魚道有効幅員の堰長に対する比が小さい。
- ⑤ 魚道通水量の管理が悪く、遡上魚に対して適正流量が確保されていない。
- ⑥ 出水後などに、潜孔へ礫などが堆積しやすい。
- ⑦ 砂防ダムなどの場合、出水により堰上流の流れが変り、魚道入水口へ水が流れてこない。
- ⑧ 魚道通水量の調節装置のない魚道では、入水口の位置の設定に十分な配慮が成されていない。

5. 魚類の生理生態などからみた魚道の設計条件と問題点の検討

5.1 魚道効果を十分発揮するための条件

本章は、第2章から第4章までの検討結果と、魚道の備えるべき条件から、魚道の設計条件と問題点について検討した。

小山(1967)は、魚道の備えるべき条件すなわち魚道効果を十分発揮するための条件として、表5.1の事項を示し、これらのうち条件1～3が魚道の備えるべき3条件であると報告している。さらに小山(1979,1981)、川那部(1981)らは、「魚ののぼる魚道」の備えるべき条件は、「魚道出水口付近に魚がよく集まる」ことを第一義とし、「魚道の構造上の問題」は第二義的なものであると述べている。すなわち表5.1の条件1が、魚道設置に当たっての最重要条件であり、他は補足的な条件であるとしている。

表5.1 魚道の備えるべき条件(小山1967)

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. 魚道出水口を容易に見だし、またはそれが魚を誘引すること。2. 通水量および通水状態が適当であること。3. どの魚種、どの体長にも適した構造であること。4. 魚が負傷したり、極度に疲労しないこと。5. 建設・管理・維持などが簡便・安価であること。6. 保全施設が十分なこと。 |
|--|

(注) 1～3が魚道が備えるべき3条件

魚道として備えるべき条件については、この他に日暮(1915,1916,1918)長田(1916)、青戸(1928)、小山治行(1954)、加藤(1968)、稲葉(1976)、Rounsefell他(1953)、Meleod他(1941)などによる報告がみられる。表5.2はこれらの報告の概要である。

本章での検討課題は、以下の4項目とした。

- 1) 魚道出水口(登り口)付近における水理条件(表5.1の1)
- 2) 魚道の内部構造(表5.1の3,4,5)
- 3) 魚道内水理条件(表5.1の2,4)
- 4) その他(表5.1の5,6)

表 5.2 (1) 魚道の備えるべき条件に関する報告例

著 者	年 次	備えるべき条件	項 目 別 内 容
日 暮 忠	1915	① 通水流速は魚の泳力以下であること ② 水位の落差 [*] は魚の飛躍高以下である ③ 陰所潜行魚類のために適当な装置をつくること <ウナギ魚梯> ① 魚道内が暗いこと ② 魚体支持用の材料が存在すること ③ 通水量をなるべく少なくすること ④ 兩岸側に接して位置すること	① 通水流速は 90~120 cm/sec が適度である ② 傾斜式魚道は、勾配 1/20~1/30、階段式魚道は、1/5位のところまで通ずる ③ アユのとびはね (90 cm) からみて、30 cm 内外の落差が適度である ④ 出水口は、水流のやや緩慢な深所に向ける ⑤ 通水量は幅 2 m 内外の魚道の場合 56~84 l/sec 以内とする ⑥ 出水口は、なるべくダム水流部に接近させる
日 暮 忠	1916	<アユの魚梯> ① 暗所を嫌うので、魚道は明るくする ② 魚道の位置は、魚の最も集結しやすいところにする	① 通水流速は 90~120 cm/sec が適当である ② 各ブールの長さ・幅は 90 cm あれば足りる。しかし川の大きさ(水量)に応じて変える必要がある
長 田 正 男	1916	① 位置の選定 ② 誘導性 ③ 遡上率	
日 暮 忠	1918	<アユ魚梯> ① 明るい方がよい ② 出水口は魚の集まるところ(滝など)の近くに設けるのがよい ③ 階段式と斜面式のどちらでもよい ④ 魚道壁底は凹凸のある方がよい <ウナギ魚梯> ① 暗い穴や石の間を伝って通るようにする ② 流速は遅く、しかも水量は少なくてもよい ③ アユ用魚梯でも壁底は凹凸にしたり多少手が加えられればウナギ用にも共用できる	① 魚溜りは 90 cm の長さ、深さは 30 cm、隔壁溢流深は 9~15 cm で十分である ② 通水量は 140~170 l/sec ③ 流速は最高 1.2~1.5 m/sec ④ ダム溢流は、少なくとも 2.8~4.2 m ³ /sec なければならない
青 戸 信 賢	1928	① 魚道でもっとも重要なのは、出水口に魚類を誘導することと、それらを効果的に遡上させることである	① 魚道の幅は少なくとも 1.6~2.0 m 以上、深さは 0.4 m 以上、出水口の底は最低水位の 30~40 cm 以下、ノッチ(欠

注) *隔壁間高差と思われる

表 5.2 (2) 魚道の備えるべき条件に関する報告例(つづき)

著 者	年 次	備えるべき条件	項 目 別 内 容
		② 出水口の位置の決定には、魚類・遡上時期・魚の進路の調査が必要である ③ 遡上魚類はダムに近い淵に休息するから、出水口は河心を側方のいずれでもよいから、淵に向けるようにする ダムが川に斜設されているばあいは、上流岸近くに設ける ④ 出水口をダムから長く突出させてはよくない ⑤ 流出水の方向がダムから落下する水流の方向と異なっても、出水口を淵に向け魚類を誘導すれば、魚道効果に影響はない ⑥ 出水口の位置は、ダム下の泡渦の多いところはさける。いっばんにダムから2~12m離す必要があるが、18m以上離すことは不適當である ⑦ 魚道の発見を容易にさせる手段として、河心に導堤を突出させるのは有効である ⑧ 出水口の水深に留意し、場合によっては水位に対応できるより高差のちがう出水口を2個以上設ける必要もある	切部)の幅は30~40cm以上とする ② ダムから溢流が多ければ、一般に魚道通水量も多くする。水量調節には補助給水法や入水量調節装置を用いる ③ 入水口は洪水・流水による損傷をうけぬように配慮し、また魚道が水没しないよう側壁はじゅうぶんに高くする ④ 狭く深いノッチはあまりよくない 魚道勾配は1/10~1/12がよいとされる ⑤ 隔壁高はサクでは60cm以下がよいが、アユではさらに小さくてよい ⑥ 隔壁の上面は水平よりもノッチ側に傾斜したほうがよい ⑦ 逆流式魚道は1/4~1/3のような勾配を与えることができる
稲 葉 伝三郎	1976	① その河川の主な遡河魚が速やかに登り口を見出し魚道に入るようにする ② 河川の水位、水量、水流等に変化が生じて魚道内の必要水量が保たれるようにする ③ 魚道の広さ、水量、水流等は魚が楽に遡上できるようにする	
小 山 治 行	1954	① 魚が魚梯に入り易くする ② 魚が魚梯内を楽に遡上できるようにする	
Rounsefell G.A. et al	1953	<魚が魚梯内を楽にのぼれる条件> ① 上流及び下流側の水位や流量に変動があってもよくのぼれるようにする ② 魚が途中で負傷したり、極度に疲労しないようにする	
白 石 芳 一	1955		<アユ魚道> ① 水の落差を30cm以下とする ② 魚梯内に50~70cm/sec内外の流速のところを継続して存在させる ③ 魚梯内の水流の最大速度は1m/secまでとする

表 5.2 (3) 魚道の備えるべき条件に関する報告例 (つづき)

著 者	年 次	備えるべき条件	項 目 別 内 容
佐 藤 隆 平	1979	① 登口が堰堤脚の線に接近して位置することが望まれる (Clay 1961) ② 人為的に水量調節が出来る水力発電用堰堤には階段式魚梯が適当であり、他方水位変動の激しい天然河川の堰堤に設ける魚道としては、深阻流水路又はデニール型魚梯が適当と考えられる (佐藤 1978)	<アユ用魚道> (階段式魚梯及び深阻流水路の場合) ① 各プールの大きさは、長さ 1.8m, 幅 1.2m, 深さ 0.9m 以上とする ② 各プール間の最高落下流速は $V=1.4$ m/s 以下となるように水位差(h)すなわち各隔壁の段差を設計する (小泉ら 1964, Rounsefell ら 1953) <アユ・サケ・マス用魚道> (階段式魚梯及び深阻流水路の場合) ① 各プールの大きさは、サケ・マスを対象として長さ 2.4m, 幅 1.8m, 深さ 0.9m 以上とする ② 各プール間の最高落下流速は、 $V=2.5$ m/s 以下となるように水位差(h)すなわち各隔壁の段差を設計する (Rounsefell ら 1953, Clay 19)
伊 藤 弘 住	1976	<アユ魚道 (稲葉伝三郎)> ① 流れが堰を全幅越流するときは、魚道の位置を兩岸に設ける。ただし、みお筋が片側のみの場合は、片側のみでよい ② 魚の登り口は、河川本来の流れに直角方向がよい ③ 登り口はなるべく堰に接近した位置とするのがよい ④ 水量は余り少ないと効果がない ⑤ 魚道の隔壁にはノッチをつけた方がよい (小山長雄, 小泉清明の実験) ⑥ 出水口, 入水口, あるいは魚道全体に黄色光線 (波長 475 mμ 程度) を投射するのがよい ⑦ 隔壁には、潜孔がある方がよい ⑧ プール内には水制柱がない方がよい ⑨ 水位を調節する装置があることが望ましい	<アユ魚道 (稲葉伝三郎)> ① 単独落差を 30 cm 以下とする ② 流速は 2m/sec 以下とする ③ 一般に勾配は 1/10~1/16 程度とする (小山長雄, 小泉清明の実験) ④ 魚道にとって適当な流量は、1 m 幅当り $q=0.125\sim 0.25$ m ³ /sec 程度である

5.2 魚道出水口（登り口）付近における水理条件

5.2.1 魚道出水口への魚類の誘導方法

魚類を魚道出水口へ誘導する方法としては、次のような方法が考えられている。

- ① 「呼び水」による方法
- ② 誘導堤または副堰堤による方法
- ③ 音を利用する方法
- ④ 光や色彩を利用する方法
- ⑤ 電気スクリーンによる方法

つぎに各方法について述べる。

1) 「呼び水」による方法

「呼び水」により魚類を魚道出水口へ誘導する方法は、小山（1965、1967）が魚類の生態（主に走流性—第3章3.1.1—）に基いて提唱したものであり、種々の調査例、検討例（第3章3.2.3）からもその効果が裏づけされている。

(1) 呼び水式魚道の実際

呼び水式魚道には、呼び水水路と本魚道との位置関係から「中央呼び水式魚道」と「側方呼び水式方式魚道」がある（小山、1965）。また、構造の面は、「水路」と「パイプ管」の二つの方法がある。つぎにそれぞれの方法の特徴と問題点を示した。

① 呼び水水路による方法

- a. 規模の大きな魚道に適する（幅員3 m以上の魚道、小山・1967）
- b. 魚道幅員が大きくなる為、工事費が増大し、経済性には劣る。

② パイプ水路による方法

- a. 中・小規模の魚道に適する
- b. 経済性に富む
- c. パイプ閉塞の恐れがある

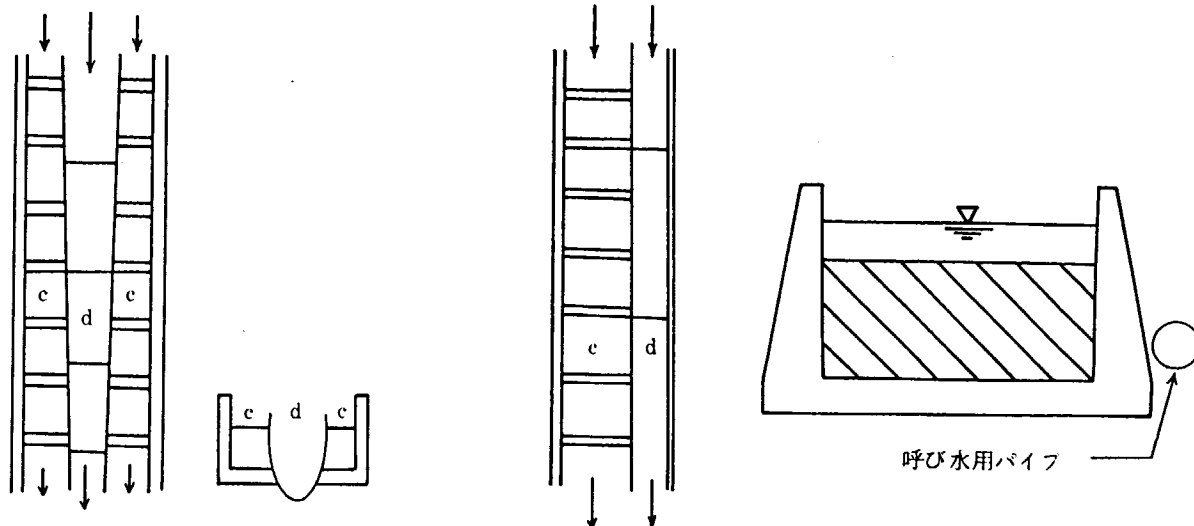


図 5.1 中央(水路式)呼び水魚道 (小山、1976)
 (a.平面図 b.断面図
 c.本魚道 d.呼び水水路)

図 5.2 側方(水路式) 呼び水魚道
 (c.本魚道、
 d.呼び水水路)

図 5.3 パイプ式呼び水式魚道

(2) 呼び水効果の向上のための改良点

呼び水効果を向上させるための呼び水水路の改良点としては、下記のものが考えられている。

- 呼び水水路敷高を変更する案(小山、1967)
- ゲート操作による案(小山他、1969)

つきに各案について述べる。

① 呼び水水路敷高を変更する案

呼び水水路敷高を低下させることにより、魚道出水口における流速を早め、呼び水効果の向上を図る案である(図 5.1 の呼び水水路の敷高は、本魚道のそれより低くなっている)。

② ゲート操作による案

呼び水効果を上げるためには、本来ならその河川の下流放流量を、魚道から流下させる以外は全て呼び水水路から流下させるのが最善の方法である。しかし、こうした呼び水水路をつくることについては、①費用がかかる、②管理することが難しい、という問題がある。それゆえ、流量が大きい河川では、この解決策として、ゲート放水に呼び水効果を持たせて流すのが理想的である、と小山他(1969)は推奨している。

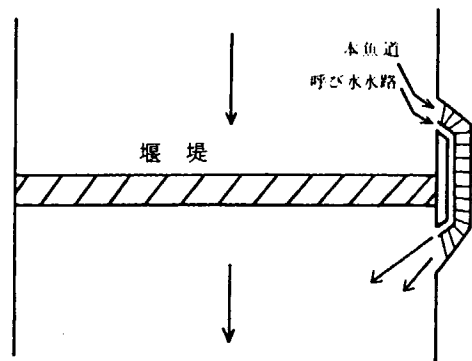


図 5.4 呼び水式魚道の設置モデル

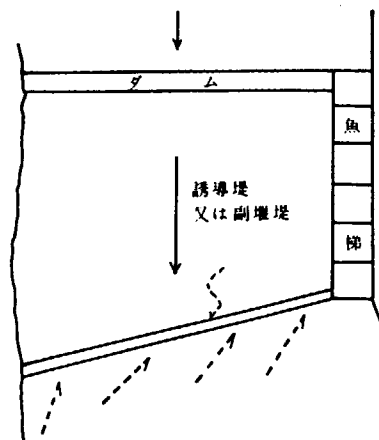


図 5.5 誘導堤または副堰堤による方法

2) 誘導堤または副堰堤による方法

誘導堤または副堰堤を、魚道出水口から対岸に向って斜めに設ける方法（加藤、1968）である（図 5.6）。これは、「呼び水による方法」の考え方の根拠である魚類の走流性の利用と、魚は障害物につきあつた時、鈍角の方向にしか回れない（加藤、1968）という性質を利用したものである。

この方法についての検討報告は見当たらないが、本方法の基本的な考え方は、長良川にみられる漁法の一つである「登り落ち漁法」（第 3 章 3.1.1 図 3.2）や「張網漁法」（図 5.6）に共通すると考えられることから、有効性は期待される。

加藤（1968）は、本方法を採用している例として、天竜川泰阜ダムと阿武隈川信夫ダムをあげている。しかし、現在利用されているかどうかは不明としている。また小山（1981）は、副堰堤的な構造の段差（図 5.7 の D-D'）をもつ魚道の 1 つとして、筑後川水系津江川取水堰付属魚道（案）を示している。

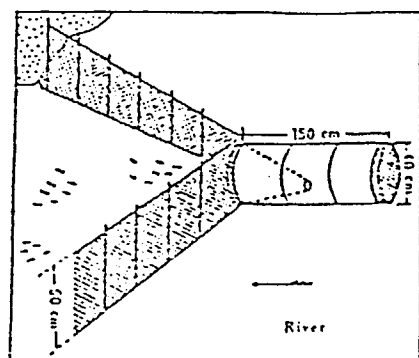


図 5.6 張網漁法

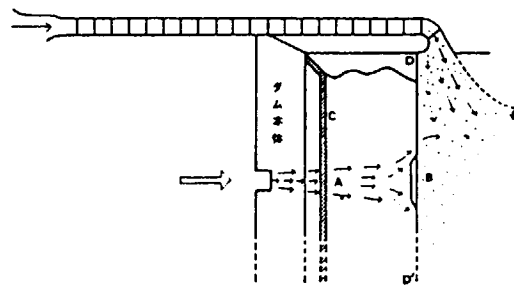


図 5.7 筑後川水系津江川取水堰付属魚道（案）（小山、1981）

3) 音を利用する方法

堰直下流に集結する魚を、音で魚道出水口へおびき寄せる案である。音と魚類の行動については、第3章3.1.5で簡単にふれたように、アユの場合100～2500サイクルの音（他の周波数については実験されていない）に対して反応を示すことから、小山（1968）は、アユを誘致集結させるために音を補助的に使えばその効果の向上が図れるとしている。

4) 光や色彩を利用した方法

本方法は、魚類がある限られた光や色彩に対して正または負の走光性を示すという生態的特性に基づいて考案されたものである。具体的には、次のような方法が考えられている。

(1) 魚道の出水口に黄色カバーをする方法

アユは、570～580nmの波長、すなわち黄色光線に対して正の走光性を示す（第3章3.1.1）。こうしたアユの生理生態的特性を利用して、魚道の出水口に黄色光線を与れば、魚類を魚道に誘導できると考えられる（小山、1967）。具体的には、黄色ガラス、又は黄色アクリル板などで簡単なアーケードを設けるのが経済的であり、また管理もしやすいであろう（建設省沼津工事事務所、1979）。

(2) 堰・ダム・誘導堤・副堰堤などの下流面を赤色にする方法

アユは、赤色を嫌うという生理生態的特性がある（第3章3.1.3）。こうしたアユの生理生態的特性を利用して、堰・ダム・誘導堤・副堰堤などの下流面の下部を赤色にすれば、魚類を魚道出水口付近に誘導させる効果の向上が図れると考えられる（小山（1967））。

本方法は、小山長雄氏の指導による、新潟大堰（赤色）、信濃川水門（赤色）、豊川用水大入頭首工（オレンジ色）などにその施工例がみられる。

4) 電気スクリーンによる方法

電気スクリーンを魚道に用いることは、魚類の取水口への迷入防止工などに古くから用いられてきた。本方法による魚類の誘導原理は、電流を水中に流すことによって、電氣的スクリーンを形成し、魚が(+)と(-)の間に入ったときに感電するショックによって、負の走電性を生起させて、魚類を魚道の出水口付近へ誘導しようとするものである。

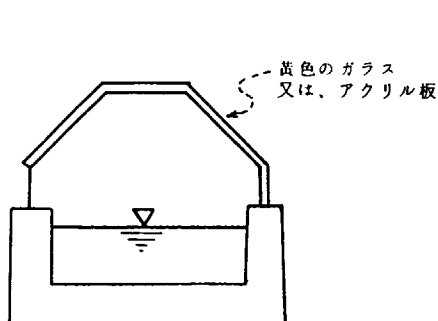


図 5.8 黄色カバーを用いる方法

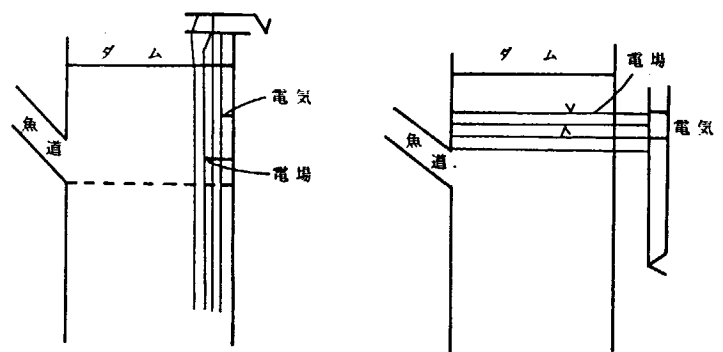


図 5.9 電気スクリーンによる方法

加藤(1968)は、この方法の有効性についてある程度期待できると報告しているが、愛知県(1931)の愛知県挙田明治用水ダムにおける誘導実験では、効果はほとんど認められなかったとされている。

しかし本方法には、電気料金などの経済性や、出水時の管理、安全性などの問題が残る。

5.2.2 魚道および魚道出水口の位置

魚道出水口(登り口)は、魚の遡上路に当るように設置するのが常識である(小山、1967)。具体的な魚道設置位置について、以下に表5.2 魚道の備えるべき条件に関する報告例からとりまとめた。

1) 魚道位置

- (1) 魚道はミオ筋側に設ける(図5.10-d.c.e)。
- (2) 堰(ダム)計画地点の河幅がかなり広い場合には、魚道は兩岸とする(図5.10-a)。
- (3) 魚道は堰(ダム)の構造および水理特性を生かし、魚類が自然に誘導集合される位置とする(図5.10-d.e.f)。
- (4) 魚道は、地形・地質・出入水口付近の河床状況を調査し、堰(ダム)および魚道完成後における河床の変化に対して対処可能な箇所とする。
- (5) 魚道は、魚の遡上に対して人為的影響を少なくするため、道路・橋その他の人為的な影響の少ない場所とする。

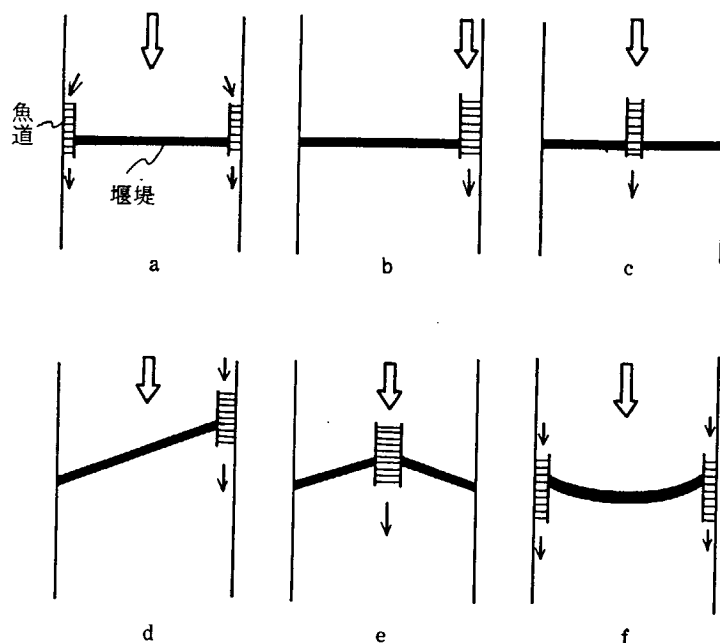


図5.10 魚道の位置(小山、1967)

2) 魚道出水口の位置

- (1) 堰(ダム)下流に滝・淵といった場所がある場合には、魚道出水口をそこに設ける(日暮:1918、青戸:1928、小山:1967 図5.11)。
- (2) 堰(ダム)高が高い場合には、魚道出水口は堰(ダム)から流下する水流によって混

- 乱されないダム下流の水溜部または越流水の水が自然流速に近くなるような場所に設ける。
 また水叩部と下流河床との高さの差が小さい堰（ダム）では、水叩部に設ける。
- (3) 魚道出水口は、堰（ダム）堤脚の線に接近して位置することが望ましい（Clay, 1961）。
- (4) 魚道出水口は、堰・ダム下流の泡・渦の多い場所はさける（青戸、1928）。

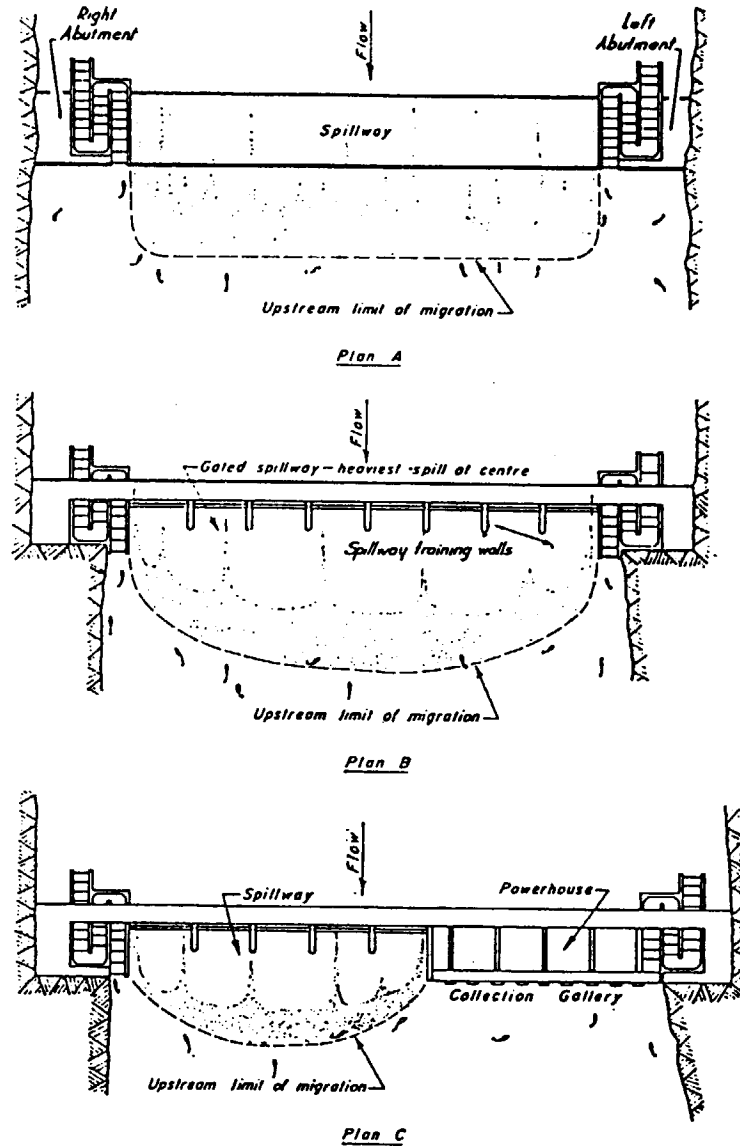


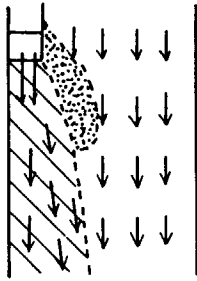
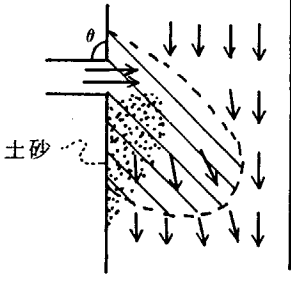
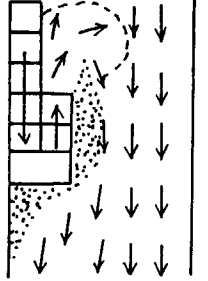
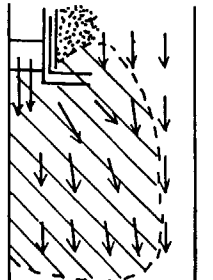
図 5.11 魚道出水口の位置（Clay, 1961）

3) 魚道出水口の河川との取付角度

魚道出水口と河川との取付角度の関係については、田内（1929）による報告がある。結論は、河川流向と魚道出水口との角度（ θ ）が、 30° と 60° のときには、通水量が多くなるに従って遡上効率が上がるが、 90° のときには一定限以上の通水は渦を出現させて、遡上効率が急減するということである。

こうした魚道出水口の河川と取付角度について、呼び水効果や土砂堆積といった観点から考察したものを表 5.3 に示した（建設省沼津工事々務所、1979）。

表 5.3 魚道出水口の河川との取付角度について

ケース	モデル図	特徴
ケースⅠ	<p style="text-align: center;">$\theta = 0^\circ$</p> 	<p>○呼び水効果が小さい。</p>
ケースⅡ	<p style="text-align: center;">$\theta = 90^\circ$</p> 	<p>○出水口直下流に土砂堆積を生じる可能性があり好ましくない。</p>
ケースⅢ	<p style="text-align: center;">$\theta = 180^\circ$</p> 	<p>○呼び水効果が小さく、かつ出水口付近に土砂が堆積しやすいので、好ましくない。</p>
ケースⅣ	<p style="text-align: center;">$\theta = 0^\circ$、呼び水パイプ $\theta = 90^\circ$</p> 	<p>○$\theta = 0^\circ$、呼び水パイプ $\theta = 90^\circ$ の条件では、呼び水効果も大きく、土砂の堆積も少ないと思われる。</p>

注) 斜線部は、魚道流水の影響範囲を表わす。
 点は、土砂の堆積想定位置を示す。

出典) 建設省沼津工事々務所(1979)から作表。

なお表 5.3 のケースⅡ、Ⅲ（評価が悪いケース）については、堰（ダム）堤と魚道出水口との距離によって評価が異なることが予想される。魚道出水口を堰（ダム）堤脚の線に接近させて設置すれば（第 5 章 5.2.2、2）、（3）、魚類の誘導効果は向上するのではないだろうか（図 5.12）。

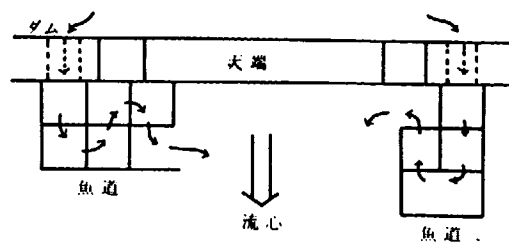


図 5.12 魚道出水口の位置と方向（高橋、1981）

4) 魚道出水口の水深

(1) 魚道出水口を淵、洗堀部、または滝つぼなどに設ける場合、魚道出水口の水深について青戸（1928）は、「魚道出水口の水深について留意し、場合によっては種々の水深に対応できるように高さの違う魚道出水口を 2 個以上設ける必要もある」と述べている。

(2) 魚道出水口を瀬に設ける場合

原則的に魚道出水口は瀬に設けることはないが、設けざるを得ない場合には、洗堀による河床低下によって魚類が魚道へ入れなくなってしまう事態を防ぐ為に、魚道出水口を現河床の下部まで設ける必要がある。現河床に埋設される魚道の長さは、各河川の洗堀程度に応じて適宜決定されるが、概ね 1 m 程度あれば十分であるとされている（建設省沼津工事事務所、1979）。

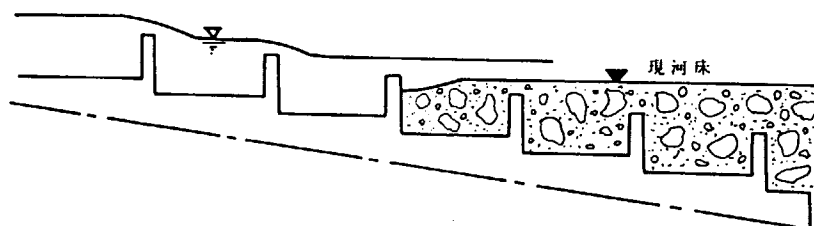


図 5.13 洗堀対策の例

5.3 魚道の内部構造

5.3.1 魚道幅員

魚道幅員は広ければ広いほど魚類の遡上効率が高まることはいうまでもないが、構造的に堰本体や兩岸に許容される幅、および放水量などから制限を受ける。

ここで、魚類生態からみた魚道幅員決定の際の要因について考えてみると、次のようなものがあげられる。

- ① 遡上魚の群れの大きさ（幅）と遡上魚数
- ② 遡上魚のサイズ
- ③ 放流量の平均流速と魚類にとっての適正流速

しかし、こうした魚類生態学の立場から魚道幅員について検討した報告はみあたらない。

既設の魚道について魚道幅員の堰(ダム)長に対する幅員率をみると(第4章4.2.1)4%未満のものが多く、魚の遡上効率からみると、幅員率3%程度までは魚ののぼりが悪い(小山他、1968)とされている。現実幅員率4~5%のものがかなり見られるということは、過去の経験からする必然性が存在しており、おのずからその限界を形成していったものであろうと推察される。こうしたことから最近では、魚類生態学の立場からよりむしろ経験的な数字から、魚道の幅員率は4~5%が適切と考えられている(小山、1967)。しかし、堰(ダム)長が50m以下というような小河川や溪流にある堰や砂防ダムなどにおいては、魚道の幅員率が4~5%では、魚道幅が著しく狭くなってしまふ。こうした堰やダムについては、北海道水産部(1980、1981)の魚道設計指針(サケ・マスが対象)などにもあるように、魚道幅は狭くとも2.5m以上は必要であると考えられる。

5.3.2 魚道勾配

小山(1967)は、主としてアユを対象とした魚類生態学の立場(第3章3.1.2遊泳力、跳躍高など)から、魚道勾配は最大限 $1/10$ 程度とし、緩勾配にするほどよいと報告している。サケ・マスについては $1/8 \sim 1/10$ 勾配という報告がある(北海道水産部、1980、1981)。

ところで、魚道を階段式魚道に限定して考えてみると、各プールにおける水理の状況と魚類の行動(第3章3.2.4)などから、プール長をある程度長くする必要がある。こうしたことから、魚道設計においては、平均的な魚道勾配を考えるよりも、後述する隔壁高差と隔壁間距離(プール長)との比 $\frac{\text{隔壁高差}}{\text{隔壁間距離}}$ を勾配より重点に考えた方が、魚類の生態に則していると考えられる。例えば小山(1967)が提唱しているように、長い魚道においては途中に休息用プールとして、他のプールより長いプールをつくるのが良いといった意見も、こうしたことから生まれてくるのであろう。

5.3.3 隔壁の構造

1) 隔壁の形状の種類

本州にあるアユを主たる対象として設置されていると思われる階段式魚道の隔壁の形状には、図5.14に示すような形がみられる(小山、1967)。

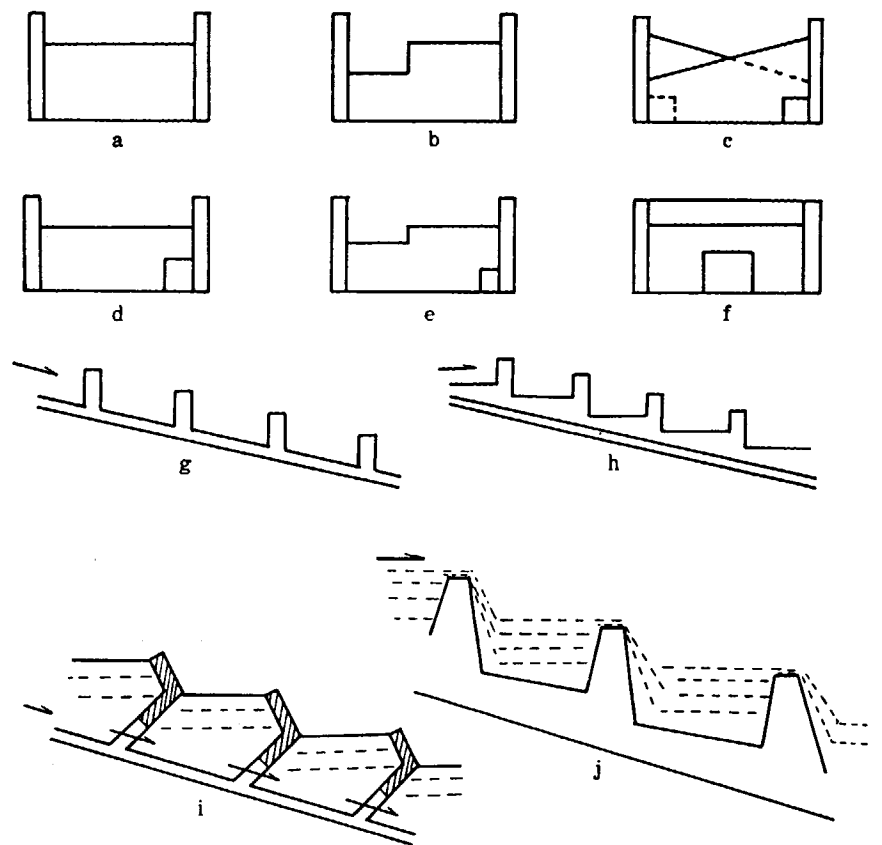


図 5.14 階段式魚道の隔壁の形状（小山、1967）
（a～fは横断面図、g～jは縦断面図）

一方、北海道水産部（1980、1981）のサケ・マス用魚道設計指針にみられる隔壁形状は、図 5.15 に示すとおりである。さらに後述するが、切欠が同じ側に連続して設置されている魚道と、左右両側に交互に設置されている魚道とがある。このサケ・マス用魚道の隔壁形状は、サケ・マスの生態や、模型実験および現地魚道における遡上実態などに基づいて検討されてきた（北海道桧山支庁経済部水産課係長の話し）といわれる。

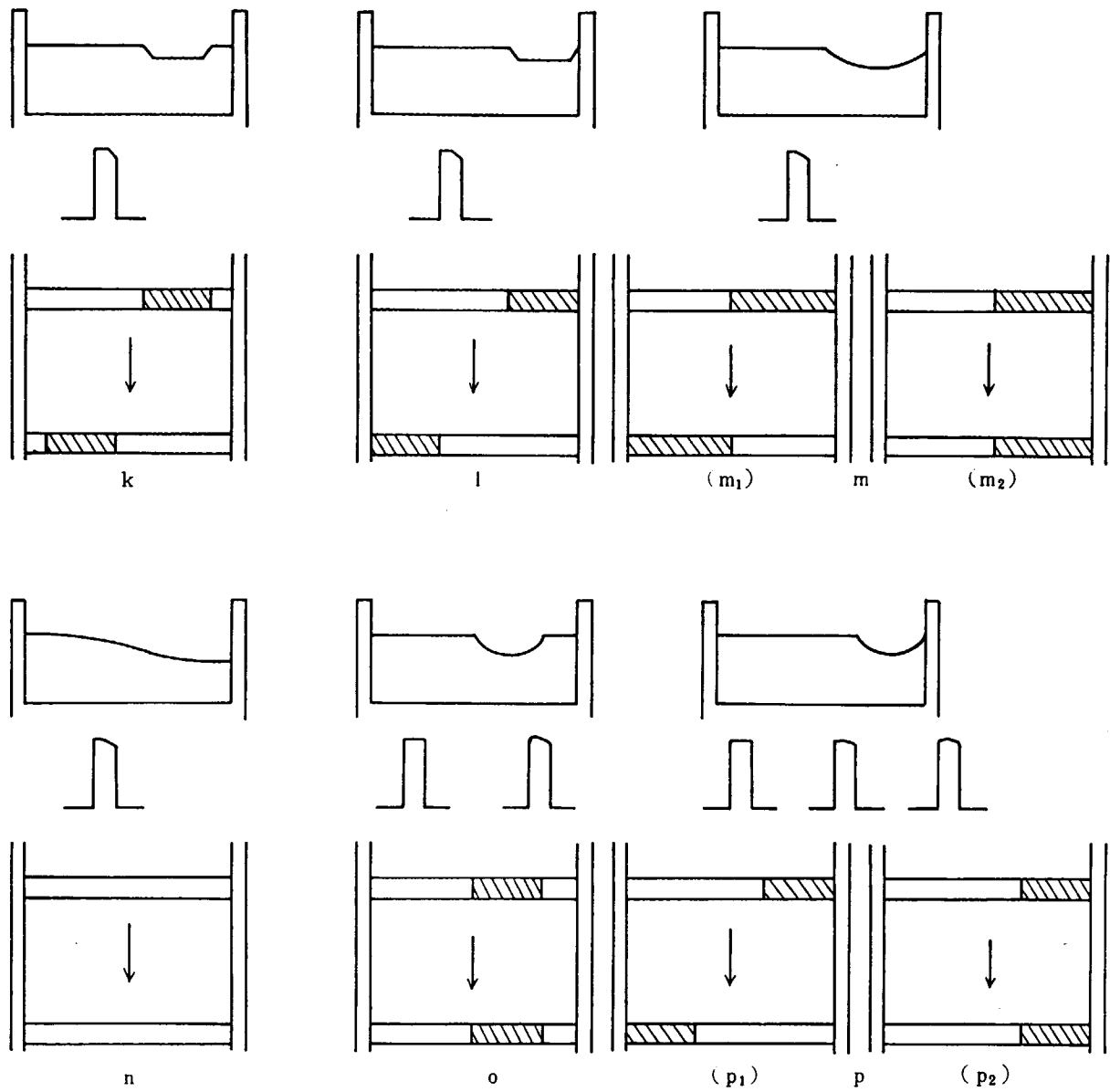


図 5.15 階段式魚道の隔壁の形状（北海道水産部、1980、1981から作図）（いずれも、上段は横断図、中段は縦断図、下段は平面図）

2) 隔壁の高さ

隔壁の高さは、魚道の水深の維持に必要であり、魚種、魚のサイズなどにより決定される。

また、隔壁の高さは直接的に魚類の遡上に影響を与える。即ち、ジャンプの為の助走とジャンプ高との関係から、深い方がよい(図 5.16)とされている。

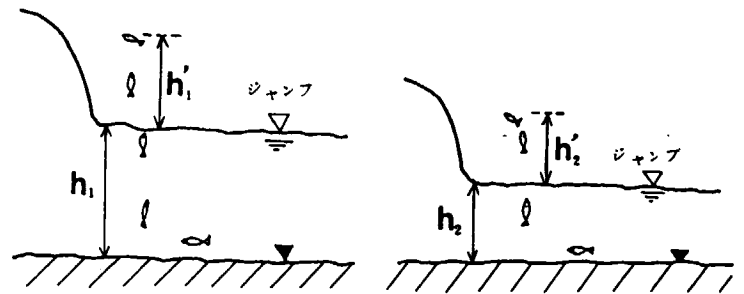


図 5.16 水深と魚のジャンプ高

(水深 ($h^1 > h^2$) が深ければ、魚のジャンプ能力の最大値が出せる ($h'^1 > h'^2$))

隔壁の高さは一般には、アユ・ウグイなどの小型魚では 60～70 cm、サケなどの大型魚では 90 cm 程度といわれている(加藤、1968)。

また、隔壁の高さは間接的にも魚類の遡上に影響を与える。即ち、隔壁の高さ、隔壁間高差、通水量の三者の関係によって、隔壁越流のプール内における流向が複雑になるといふ水理状況への影響が考えられる。この点について加藤(1968)は、魚道上流側で 70 cm 程度は隔壁の高さがなければならないと指摘している。

3) 隔壁の天端厚

魚が隔壁を通過する方法は、越流する水脈の中を遡上する場合とジャンプして遡上する場合とに分けられる。この点に関し、加藤(1968)は岩本発電所における調査で、アユは越流水脈中を遡上するものが 98%、ジャンプして遡上するものが 2% であったとし、越流水脈の重要性を指摘している(第 3 章 3.2.4)。

また加藤(1954)は、隔壁の天端厚について水理との関係から、30 cm 以下にするべきであり土木工学的に許される限り薄くした方がよいと指摘している。これは、30 cm 以上の厚さになると縮流を発生し、魚類の遡上に影響を与える為であるとしている。

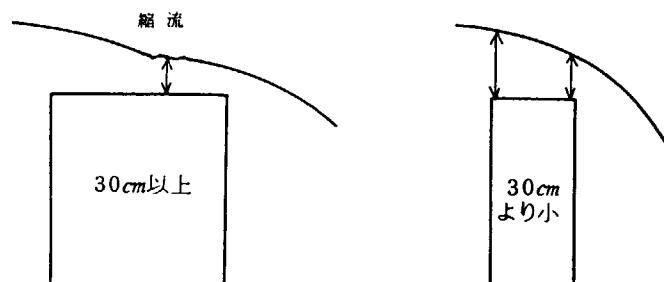


図 5.17 隔壁の天端厚と縮流(加藤、1954)

4) 隔壁の天端形状と水理

隔壁の天端形状は、隔壁越流水脈と関係し、魚の遡上をうながす重要な要素である。

すでに、第3章3.2.4(図3.56)において、隔壁越流水脈中で流速が急激に変化することを指摘した。図5.18および図5.19に、隔壁間高差と越流水脈および隔壁の天端断面形と越流水脈との関係を略図で示した。これらの関係からみる限り、隔壁天端形状は丸みがある方がよく、さらに隔壁間高差は小さい方がよい。

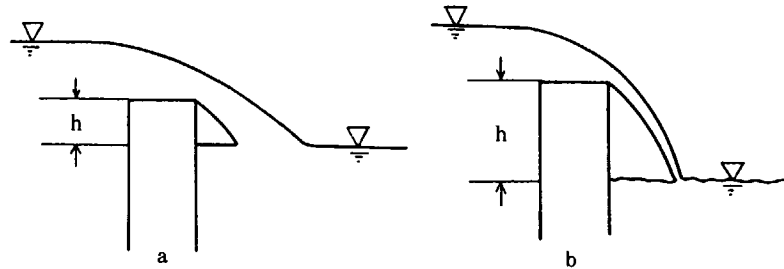


図 5.18 隔壁間高差(h)と越流水脈との関係
(隔壁間高差が小さい方が越流水脈は細くならない)

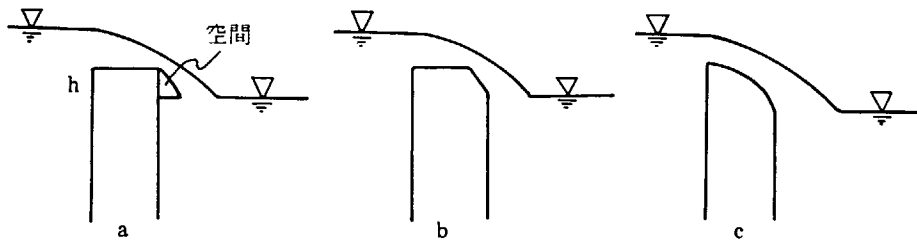


図 5.19 隔壁の天端形状と越流水脈との関係
(丸みのある形状の方が越流水脈がなめらかである)

5) 隔壁間高差

隔壁間高差は、最大値では魚類のジャンプ高まで許される。小型の魚である稚アユの流水中でのジャンプ高が60cm以上(小泉ら1965、第三章3.1.2)であるから、高差は60cmでも良い。しかし、魚道の備えるべき条件である「魚を疲労させない」ということ(表5.1)を考えると、30cm以内となる(小山、1967)。他方サクラマスなどのジャンプ力の強い大型魚については、アユの場合よりは大きくてもよいと考えられるが、後述する北海道水産部のサケ・マス用魚道設計指針によれば、隔壁間高差は50cm以内とされている。

5.3.4 側壁の高さ

側壁の水面からの高さは、魚類ジャンプ高との関係によって決定される。即ち、魚道外へのとび出しを防ぐために「ジャンプ高く側壁高さ」にしておかなければならない。従って、側壁は、魚道対象魚を何種にするかによっても異なる。具体的にはアユではジャンプ高

が60～70 cm (小泉他、1965第3章3.1.2)程度であることから通水面から最低80 cm (小山、1967)程度とする。他方、サケ・サクラマスおよびヤマメなどのジャンプ高に関する報告はないので、現在の段階では少なくともアユと同様に最低80 cm程度は必要であると想定される。なお、北海道水産部(1980、1981)によるサケ・マス用魚道設計指針によれば、1 m程度とされている。

5.3.5 切欠の構造

隔壁に切欠をつける理由としては、以下の事項が考えられる。

- ① 隔壁越流水に流速差(切欠のあるところの方が流速が速い)ができるので、魚類のサイズに応じた水路が選べる。
- ② 濁水時にも魚道に通水が可能である。

ところで、魚類は切欠部を選択的に遡上するかというと、白石(1954)、加藤(1968)の報告では、決して選択的ではないとされている。さらに、本州のアユを対象としていると考えられる魚道では切欠を隔壁の左右交互に設けていることから、プール内の水流に乱れが生じ(第3章3.2.4)遡上を防げる場合(白石、1954)もある。

このように考えると、白石(1954)、加藤(1968)の指摘しているように、水量調節できる魚道では、切欠はむしろない方がよい(小山、1967)。しかし、砂防、治山ダムなどのように水量調節が不可能な魚道では、水量の減少時にその威力を発揮するように設計しておけば、非常に有効な手段であるといえることができる。

(1) 切欠の形状

切欠の形状は、図5.14～5.15に示したように種々なタイプがある。どのタイプが魚類の遡上に対して、最も影響が少ないかという研究報告はない。いろいろな魚種に対処できるよう、隔壁越流水に流速差の幅をもたせるという意味では、図5.15のm～pにみられる曲線形がよいと考えられる。

(2) 切欠の位置

本州にあるアユを対象としていると考えられる魚道の切欠は、隔壁の左右に交互に設けられている。これは、流速を小さくする為であると考えられる。例えば加藤(1968)は、佐久発電所取水ダム附属魚道における実測で、切欠が5段連続している場合、流速2.55 m/secで、交互についている場合より、速い流速があったとしている。しかし、この報告は、他の部分の流速に関する記載がないから、必ずしも評価はできない。一方、後述する北海道におけるサケ・サクラマス用魚道では、切欠が連続となるよう設計されている。(北海道水産部、1980、1981)。

こうした切欠の位置については、切欠の有無、形状などとともに魚類の遡上効率の関係から、今後いくつかの既設魚道について調査する必要があると考えられる。

(3) 切欠高

切欠高は、魚類の〔体高+背ビレ高〕より高くする必要がある。具体的には、アユなどの小型魚では6~8cm、サケ・サクラマスなどの大型魚では15~20cm以上が必要である。

(4) 切欠幅

切欠幅は、既設魚道の実績では有効幅員の30%以上40%未満のものが多い(第4章4.2.1)。

5.3.6 潜孔

潜孔をつける目的としては、以下の事項が考えられる。

- ① ウナギなど、越流部を遡上せず魚道の底部を遡上する魚の遡上用
- ② 低水時における魚類の遡上部位用
- ③ 洪水時等における土砂吐き

加藤は、魚の遡上観察から、潜孔を通過した個体は見受けられなかった(加藤、1968)としている。また、小山(1967)は、潜孔からの放水が大きすぎると、プール内に渦流を生じ、魚類の遡上に影響を与えると指摘している。

こうしたことから、潜孔は③の洪水時などにおける土砂吐きと考えた方が良いと思われる。土砂吐きの機能を発揮させるのであれば、潜孔は隔壁の左右交互に設け、その大きさは、10~20cm程度の正方形(小山、1967)または円形でよいと考えられる。

5.3.7 阻柱(水制柱)

阻柱をつける目的としては、次の事項が考えられる。

- ① プールの流速を緩和する役目をもつ
- ② 網などによる密漁防止

①については部分的には流速を緩和するものの、プール内の流れを複雑にし、渦流等を生じさせるので余り望ましくないと考えられる。さらに、構造的に不安定であり、倒壊する例が多いことも

報告されており(加藤、1968)、管理上からも問題がある。そこで、②については遊漁者の良識を期待することとし、設けない方が良く考えられる。

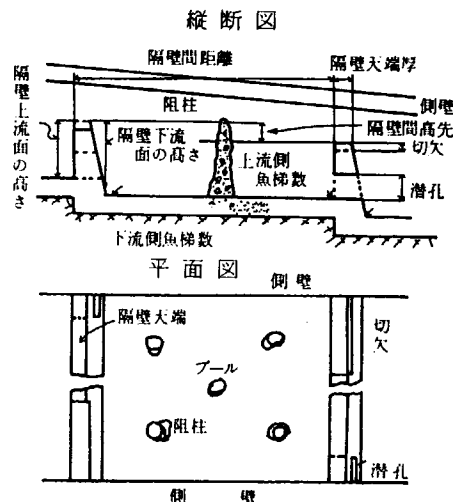


図 5.20 阻柱

5.4 魚道内水理条件

5.4.1 通水量

通水量は、入水流の断面積と流速の積である。最終的には前述した魚道構造（幅員、勾配など）と後述する流速、越流水深などによって決定される。しかし、一般的に言えば、魚類を魚道出水口（登り口）付近に誘導する呼び水効果を高めるために、魚類が遡上できる範囲で、通水量は多い程よいと考えられる。

他方、通水量は、堰（ダム）の建設目的により、下流放流量との関係で、魚道設計の事前に決定されることが多いと思われるが、魚類の遡上効果の高い魚道とするためには、堰やダムそのものの建設計画の時に、同時に考慮に加えられるべきものであろう。

5.4.2 流速（隔壁越流流速）

通水流速は、魚道設計上、最も重要なものである。すなわち、通水流速は、魚の遊泳力以下にする必要がある。遊泳力は、魚種・体長・生理状態・水温・時刻などにより異なるので、一義的には決定できない（第3章3.1.2）。具体的には設計しようとする魚道周辺の漁業実態から考えて、漁業上重要なもの、あるいは遊泳力の弱いものを対象とすることがよいと考えられる。日本における主な魚道設計の対象魚は、アユ・サクラマス、（サケ）（ウナギ）（アマコ）（ヤマメ）（イワナ）などであろう。

5.4.3 通水状態

魚道の通水状態は、できる限り泡や渦流などといった魚の定位感覚（側線が主器官）に影響を与える要因のない方がよい。こうした点からもプール内構造物である阻柱（水制統）などはない方がよい。

5.4.4 隔壁越流水深

隔壁越流水深は、魚道通水量、隔壁越流流速を決定する重要な要素である。隔壁越流水深は、前述の切欠高と同様に、魚類の〔体高＋背ビレ高〕より高くする必要があると考えられる。具体的にはアユなどの小型魚では6～8cm、サケ・マス等の大型魚では15～20cm以上としたい。なお、隔壁越流水深の上限は、隔壁越流部の限界流速が魚類の遊泳力以下になるようにする必要がある。

5.4.5 魚道の水理計算

1) 通水量

魚道の通水量の水理計算には、いくつかの公式がある（小山1967）。

沖公式(A) $Q = cbh^{3/2}$ 、本間公式(B) $Q = mbh\sqrt{2gh}$ 、幅厚セキ公式(C) $Q = cd^{2/3}\sqrt{2/3g}h^{3/2} = 1.70cbh^{3/2}$ ここで、 Q ：流量 (m^3/sec)、 c と m ：流量係数、 b ：切欠の幅または魚道の幅員 (m)、 h ：越流水深 (m)、 g ：重力

以下に隔壁（切欠）の形状の異なる2タイプの流量計算例を示す。

1) 図 5.21 の場合

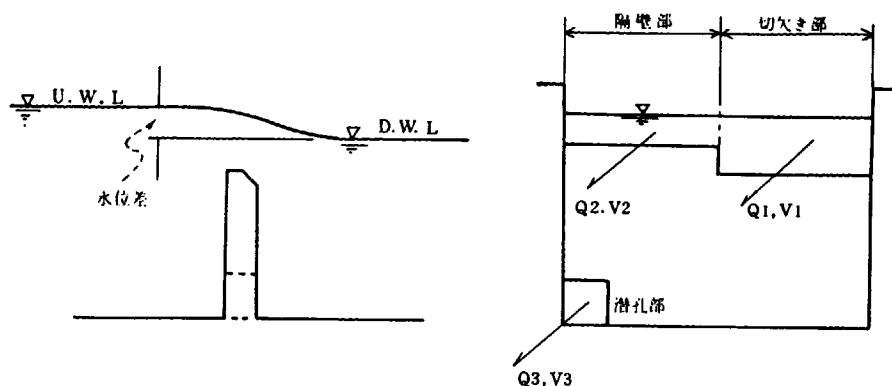


図 5.21 隔壁（切欠）モデル - 1

魚道設計対象流量を Q とすると

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

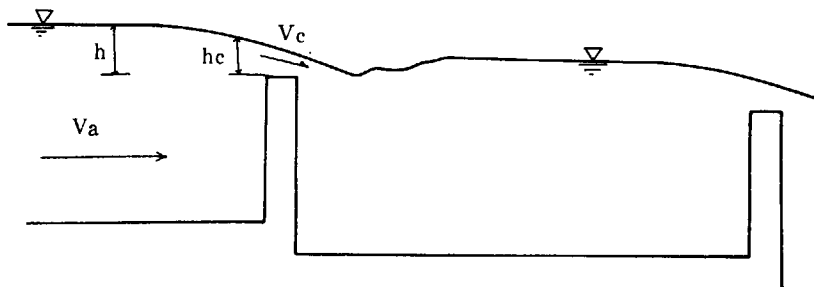
ここに Q_1 ; 切欠き部の流量

Q_2 ; 隔壁部の流量

Q_3 ; 潜孔部の流量

各流量の水力検討を次に示す。

① 越流部の水埋



常流から限界水深をへて、射流に移移する場合

$$hc = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}}, \quad Vc = \sqrt{g hc} = \sqrt[3]{\frac{g Q}{b}}$$

$$E = hc + \frac{Vc^2}{2g} = hc \left(1 + \frac{1}{2} \right) = \frac{3}{2} hc$$

$$Q = bhc Vc = bhc \sqrt{g hc}$$

ここで、流量を単位幅流量におきかえ、整理すると次の式が導かれる。

$$q = \frac{Q}{b}$$

$$h = \frac{3}{2} h_c - \frac{V a^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

$$h_c = q^{\frac{2}{3}} \cdot g^{-\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2)$$

$$v_c = \sqrt{gh_c} \dots\dots\dots (3)$$

$$q = \sqrt{gh_c^3} \dots\dots\dots (4)$$

なお、 $V a$ が小さい場合(1)式は、

$$h \doteq \frac{3}{2} h_c$$

ここで、 q ; 重力加速度

h_c ; 限界水深

v_c ; 限界流速

次に、 h_c と v_c との関係、 h_c と q との関係を図示すると次のとおりとなる。

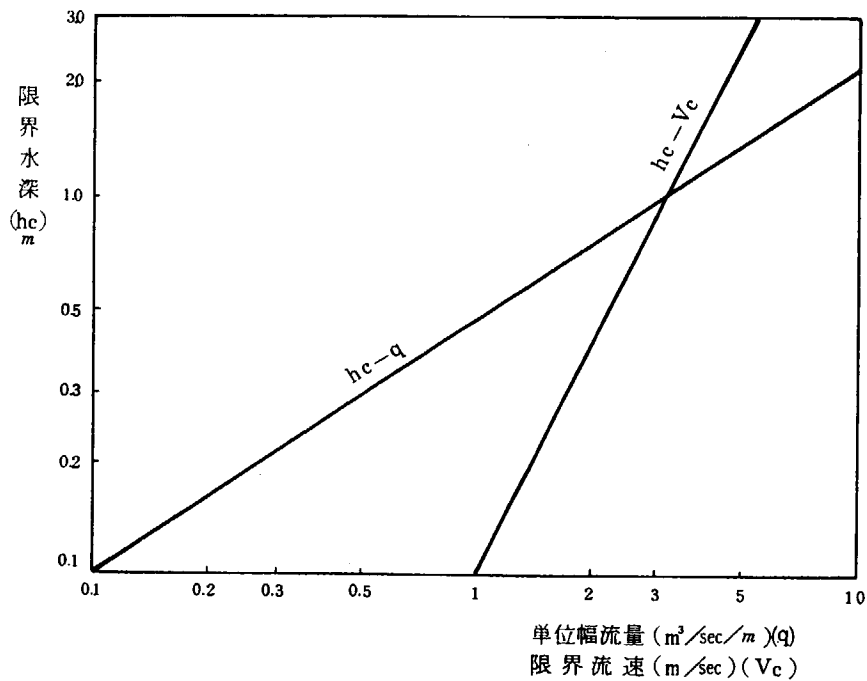


図 5.22 限界水深 h_c と単位幅流量 q 及び限界流速 v_c との関係

② 潜孔部の水埋

潜孔部を通過する水量は、次式より求める。

$$Q = C_a \cdot a \cdot V_o = C_a \cdot a \cdot C_u \sqrt{2g(\Delta h + h_a)}$$

ここで、 C_a ；断面収縮係数で薄刃オリフィスでは普通 0.61～0.72 の範囲である。

a ；オリフィスの断面積

C_u ；流速係数、普通 0.95～0.99 の範囲

Δh ；上下流の水位差

h_a ；接近速度水頭

次に、 $C_a = 0.67$ 、 $C_u = 0.97$ 、 a をパラメータとして Q と Δh との関係と求めると次のとおりとなる。

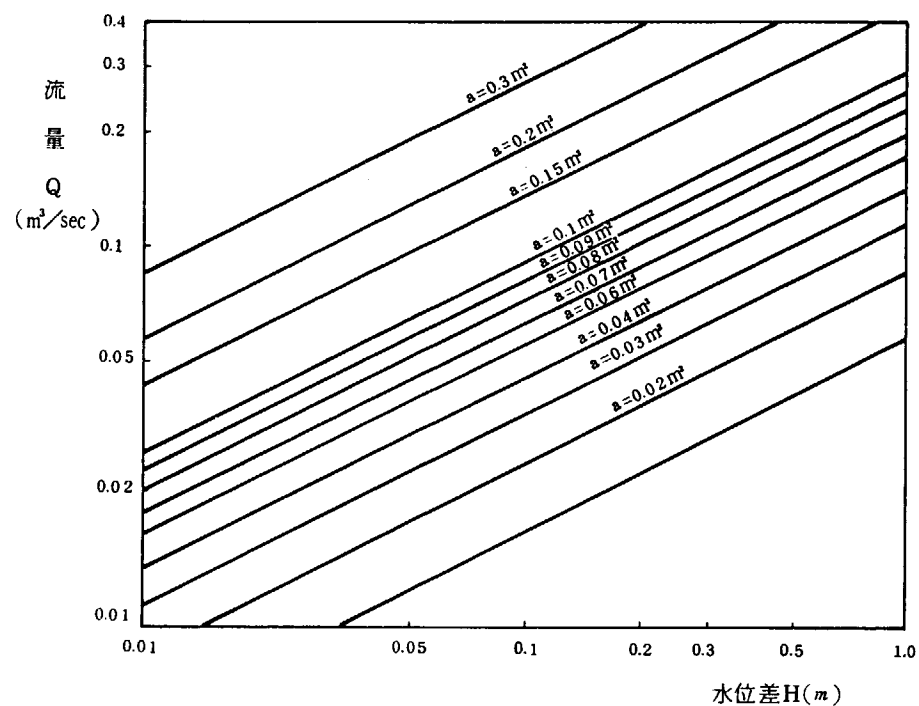


図 5.23 潜孔部における水位差と流量との関係

(2) 図 5.24 の場合

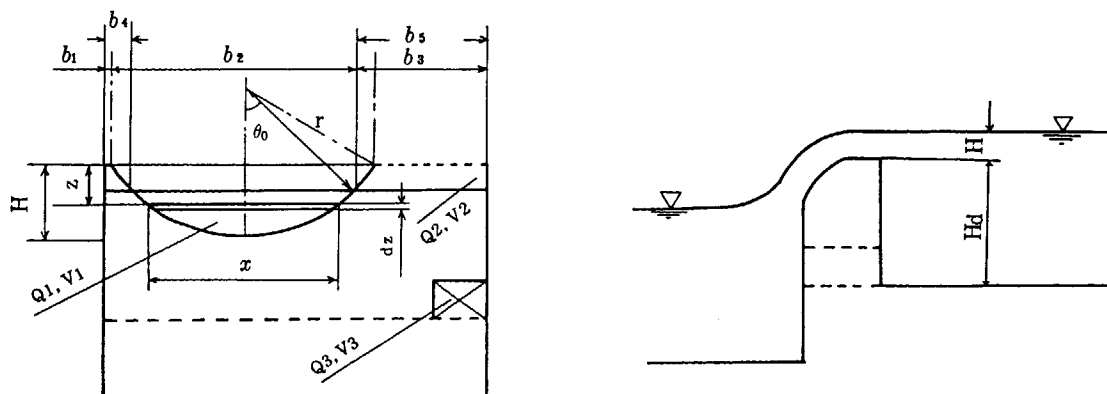


図 5.24 隔壁（切欠）モデルー 2

魚道設計対象流量を Q とすると、

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

ここに Q_1 ; 切欠部の流量

Q_2 ; 隔壁部の流量

Q_3 ; 潜孔部の流量

① 切欠部の越流量 (Q_1)

一般解を以下に示す

$$V = c\sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad d\theta = v \cdot dA$$

$$dA = x \cdot dz$$

$$x = 2 \cdot r \cdot \sin \theta$$

$$z = r \cdot (1 - \cos \theta)$$

$$dz = r \cdot \sin \theta \cdot d\theta$$

$$dA = 2 \cdot r^2 \cdot \sin \theta \cdot d\theta$$

$$dQ = c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot r \cdot (1 - \cos \theta)} \cdot 2 \cdot r^2 \cdot \sin^2 \theta \cdot d\theta$$

$$= c \cdot 2 \cdot r^2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot r} \cdot \sqrt{1 - \cos \theta} \cdot \sin^2 \theta \cdot d\theta$$

$$\therefore Q = c \cdot 2r^2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot r} \int_0^{\theta_0} \sin^2 \theta \cdot \sqrt{1 - \cos \theta} \cdot d\theta$$

② 隔壁部の流量 (Q_2)

水路幅 B は

$$B = 1/2 (b_1 + b_3 + b_4 + b_5)$$

として、矩形堰として計算する。

修正レーボック (Rehbock) の式より

$$Q = k \cdot B \cdot H^{3/2} \dots \dots (m^3/sec)$$

$$k = 1.785 + \left(\frac{0.00295}{H} + 0.237 \frac{H}{Hd} \right) \cdot (1 + \xi)$$

$$\xi : Hd < 1.00 m \quad \xi = 0$$

$$Hd \geq 1.00 m \quad \xi = 0.55 (Hd - 1)$$

式の適用範囲

$$B \geq 0.50 m \quad Hd = 0.30 \sim 2.50 m$$

$$H = 0.03 \sim Hd \leq 0.80 m \quad H \leq B/4$$

③ 潜孔部の流量 (Q_3)

(1) 図 5.21 の場合と同じ方法 (式) で求める。

5.5 その他の設計条件

5.5.1 魚道入水口

1) 入水口の位置

加藤(1968)は、入水口の位置の選定に必要な条件として、以下に示す事項をあげている。

(1) 選定に当たっての留意点

- ① 発電所用取水口、灌漑用取水口、その他の取水口の位置
- ② 従来の河川の流れ(みお筋)

(2)、(1)の注意が必要である理由

- ① 魚道取水量を十分に確保するため
- ② 魚道内へ土砂の流入するのを防止するため
- ③ 魚道通水量の調節を十分に管理するため

入水口の位置は以上の(1)(2)を考慮し、「魚道入水量を十分に確保することができ、土砂の流入も少ないみお筋側」とすることが望ましい。しかし、こうした位置には、発電所用取水口など他の取水口も位置することが多いので、他の取水口への魚類の迷入、吸収(特に、仔アユの流下時)を防ぐための配慮が必要である。

小山(1967)は、こうした事の対策として、図5.25～5.26に示すようなバイパス方式や、図5.27の格子による方式、或は格子と光線(赤色)とを組み合わせた方式(図5.28)などを提唱している。

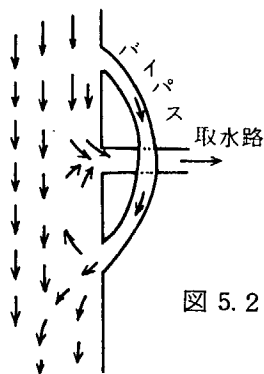


図 5.25 バイパス式誘導水路
(小山、1967)

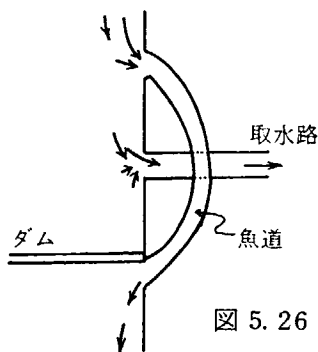


図 5.26 バイパス式魚道
(小山、1967)

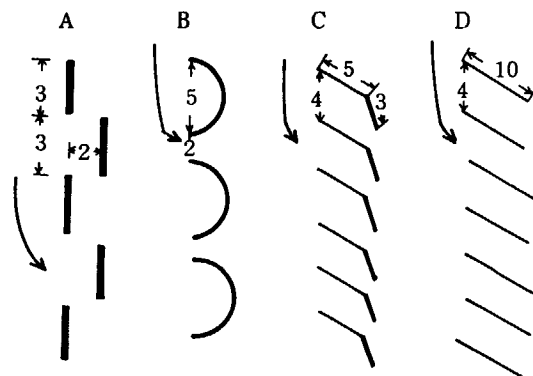


図 5.27 格子のタイプ(単位cm)
(小山、1967)

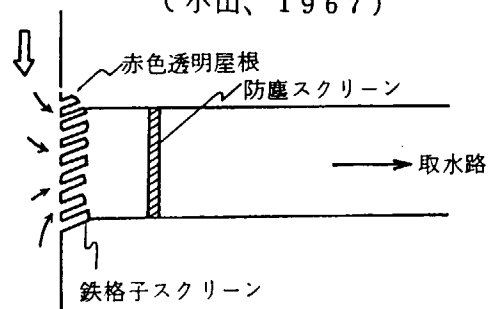


図 5.28 複合防魚スクリーン(小山、1967)

2) 入水量の調節

魚道の入水量（通水量）は、隔壁越流速や越流水深などに影響し、魚類の遡上に対し重要な役目を果たすものである。

池田ダム付属魚道、旧吉野川河口堰付属魚道、今切川河口堰付属魚道、利根川河口堰付属魚道、木曾川大堰付属魚道、高瀬堰付属魚道などにおいては、鋼鉄多段式フラップゲート（図 5.29）を用いてこの通水量の調整が行われている。

ここで、入水量の調節用としてフラップゲートを用いる際の留意点として、次のようなことがあげられる。

フラップゲート長の基準としては、フラップゲートを最大限まで到した時に、魚道プールの残り（フラップゲートで隠れていない部分）の長さが少なくと

も 2.5 m 位は残るようにフラップゲート長とプール長の長さを調整して設計する必要があると考えられる。これは、フラップゲートを到した時に、魚道プールの残りの長さが少ないと、魚類の遡上に対して悪影響（例えばフラップゲートの裏側に魚が進入し遡上ができない）を与える、といった報告がされているためである。

ところで、通常フラップゲートは、図 5.29 (1) に示すように、ゲートを下流側へ倒すことにより通水量の調整を行う構造をとっているが、上述の問題などに対処するために、図 5.29 (2) に示すような上流側へ倒す構造とすれば良い、といった提案もある。しかし、この構造は、流速

が速くなる斜流延長が通常のものと比較した場合に長くなり易い、といった特性があり、これがまた魚の遡上に対して悪影響を与える可能性も考えられる。そこで、この構造設計を行う際には、計画高水位・通常満水位・最低取水水位などの各水位と、計画通水量・魚道幅員などの関係から、図 5.29 (2) に示した θ が、できる限り小さくなる、すなわち流速が速くなる斜流延長ができる限り短い構造になるように検討すれば、効果的な魚道構造となるであろう。

いずれにせよ、治水ダム、砂防ダムのような十分に管理を行なうことができない河川構造物が

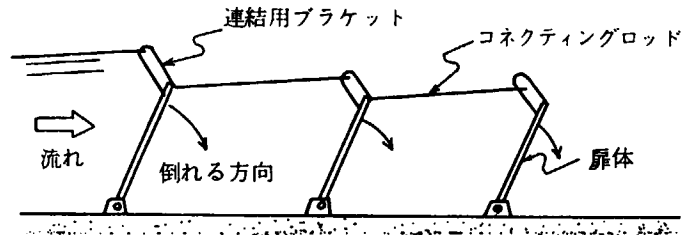


図 5.29(1) 通常のフラップゲート

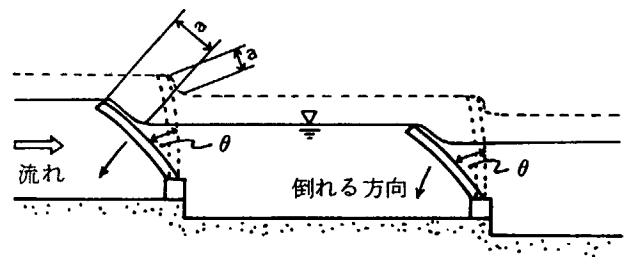


図 5.29(2) 上流側へ倒す構造のフラップゲート(案)

設けられている魚道については、フラットゲートを用いて取水量を調節することは不可能である。佐藤(1979)は、こうした流量変化の激しいダムに付属させる魚道としては、デニール型(図5.30)や深阻流水路型(図5.31)を推薦しているが、いずれも米国のサケなどの大型魚を対象とした魚道であり、日本には建設例もないので今日ではまだ、魚類の生態との関係からの評価は出来ない。

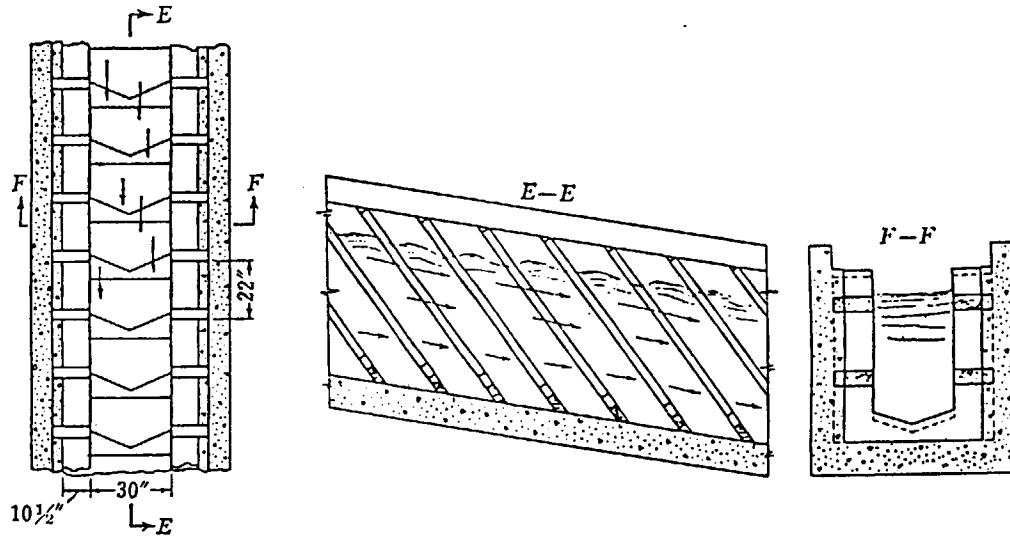


図 5.30 デニール型魚梯の一例 (Rounsefell 1953)
左から鳥瞰図・縦断面図・横断面図(佐藤、1979)

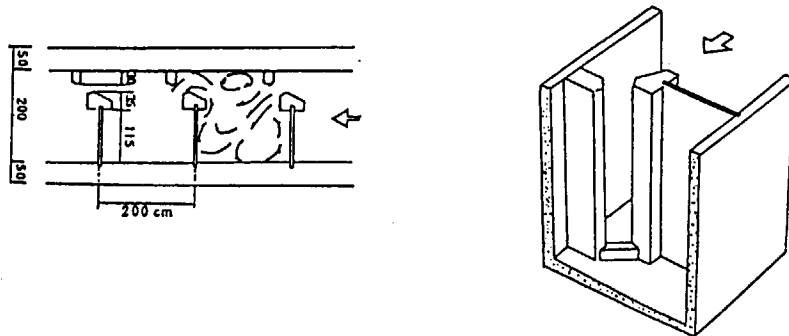


図 5.31 深阻流水路の一例 (Clay 1961)
上は鳥瞰図、下は断面図(佐藤、1979)

調整を無視することができない限り、治山・砂防ダムのような管理の困難な魚道では、なるべく簡単な装置で一般の人も操作しやすいものとするのが望ましい。以下に通水量調節装置の2例を示した。どちらの装置を利用するかは、河川構造物を建設する地点の事情によるが、こうした魚道は、後述するように少なくとも毎年魚道対象魚の遡上時期前に、補修が必要である。

① 人力操作の2～3段のフラップゲート……流砂量が少なく、比較的管理の容易な地点

② 角落し(図5.32)……流砂量が多く、管理が難しい地点

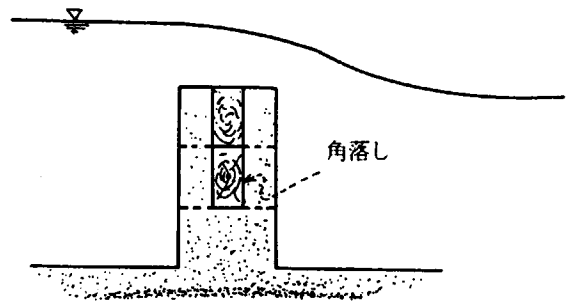


図5.32 角落し

3) 入水口の管理と管理設備

(1) 土砂の堆積に対する管理

魚類の遡上期に先だって堆積土砂を排除し、埋没している場合は掘削を行う。

(2) 管理設備

洪水時には、多量の土砂や流木などがあるので、フラップゲートの破壊や魚道隔壁の破損が予想される。そのような洪水時、或は魚道内部の補修時のため、その他遡上調査などにも利用できるような、非常用鋼鉄スライドゲートを設ける必要があると考えられる。

(図5.33)

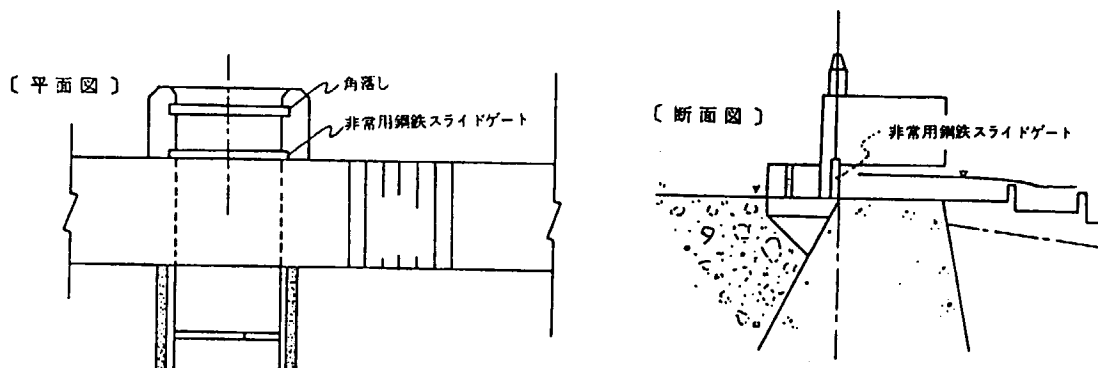


図5.33 魚道管理設備

5.5.2 魚溜り

魚溜りは、魚道が長くなった場合、魚が休息する場所である。魚溜りについて加藤(1968)は、各隔壁間距離が充分であるならば、魚は充分休息することができるから、特別に作る必要はない、と述べている。実際、池田ダム等のプール内における水中ビデオ撮影(第3章)の結果を見ても、魚類はプール内を泳ぎまわってから遡上しているので、加藤(1968)の指摘するように、魚溜りは、必要ないものと思われる。

他方、小山(1967)は、魚道長の長い魚道については、出水口、中間部、入水口(第3章、3.2.4)付近のプール長を長くして魚の休息場をつくるのがよいと述べている。

5.5.3 プール底面の形状

プール底面は平滑にしているものが多いが、玉石を配置したり、凸凹を作っているものもある。これは以下の理由による(小山、1967)。

- (1) 魚道内を自然の河床に近似させ、魚に異物感を与えない。
- (2) 底面流が自然に近いものとなり、また部分的に流速がゆるやかになる。
- (3) 底面積が広くなり、餌料生物が多く付着する。
- (4) 魚に休息場を与える。
- (5) 視覚的に走流性を与える。

こうした構造をもつものとしては、ヒヤリング調査を実施した高瀬堰付属魚道や現在建設中である新潟県の蒲原大堰付属魚道がある(小山ら指導)。また(3)の理由を指摘するデータとしては、本年度池田ダム付属魚道で実施された、礫を入れたプールと入れないプールでの餌料生物(付着藻類や水生昆虫など)の量的調査結果(水公団、池田ダム管理所談)がある。

なお設計や建設に当っては次の点に留意すべきである。

- (1) 魚道の下流の河床が、砂地や小礫地である場合はさける。
- (2) 石は高く突出させず、せいぜい5cm以下とする(渦流の防止)

また、石のはり方について、水公団木曾川大堰の管理課長は、経験談として図5.34のように、流れに対して横長にするのがよいと話してくれた。

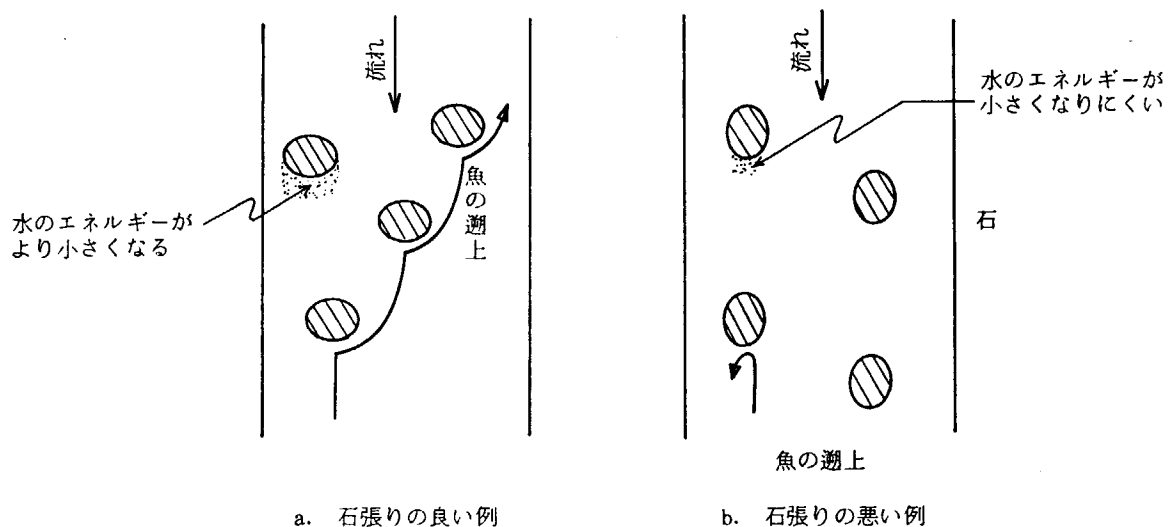


図 5.34 プール内の石の張り方

6. 魚道の呼び水効果に関する数値解析の方法

6.1 魚道の呼び水効果に関する数値解析の目的と背景

魚道の機能を水理学的な面から考察しようとするとき、流れの場のうち、①魚道内部および②魚道出水口付近における流れの解析が中心となろう。前者は魚道内での魚の遡上可能性を流速の大きさなどから考える場合の、また後者は魚道からの放流水の魚に対する呼び水効果などを考える場合の水理学的な面からの基礎資料を与えるものである。前者については、第5章5.4.5で述べたように、水理学的には本間の公式などにより、魚道の備えるべき条件(表5.1~5.2)とされる魚道内流速、隔壁の越流流速などについて水理計算が試みられてきている。一方、後者については小山(1967、1979)などにより魚道の備えるべき第一条件として、魚道は呼び水効果をもつことが重要であると指摘されている。しかし、この点に関しては、現在まで二~三の魚道模型実験による検討がされているにすぎない(第3章3.2.3)。

魚道の呼び水効果について、模型実験により検討することは、現実的かつ説得力があり検討手法としては最善の手法であると思われる。しかし種々の河床状況や魚道出水口の方法などに合せた実験ケースについて検討するには、費用と時間がかかり、最良の手法とは言えない。これに対し、呼び水効果に関する数値解析は、比較的短時間に種々の計算ケースについて行なうことができ、また費用的にも少なく、物理的にもスペースがいらないといった利点を持っていると思われる。そこで本章では、魚道の備えるべき第一条件である、魚道の呼び水効果に関する数値解析の手法について検討した。

さてこの課題は、水理学的にみれば、ある水域に放流水が流入したときの水域内の流れを予測する問題である。この場合の流れには、出水口のごく近傍のように流れの三次元的な解析が必要とされる箇所も含まれているが、そのための数値解析法は現段階では十分に発達していないので、ここでは流れの平面的な挙動に焦点を絞り、これを水理学的な基礎式を用いていわゆる二次元平面流れとして数値解析することにする。以下においては、二次元平面流れについての基礎式と、これを用いて数値解析するための差分式を導くとともに、呼び水式魚道の例として、池田ダム付属魚道の呼び水状況の解析から、本モデルの検証を行なった。

6.2 基礎式と差分式

二次元平面流れの基礎式はコントロール・ボリュームを図 6.1 のようにとるとき、次式で表わされる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} M \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} N \Big|_{y_j}^{y_{j+1}} = 0 \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} U M \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} v M \Big|_{y_j}^{y_{j+1}} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad \dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} U N \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{1}{\Delta y} v N \Big|_{y_j}^{y_{j+1}} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad \dots\dots(3)$$

ここに記号はつぎのとおりである。

x, y : 水平面内にとられた座標軸で x は東向き, y は北向きとする。

$\Delta x, \Delta y$: コントロール・ボリュームのそれぞれ x 方向および y 方向の大きさ。

t : 時間

$M = uh$: x 方向の流量フラックス,
 u : x 方向の流速

$N = vh$: y 方向の流量フラックス, v : y 方向の流速

h : 水深

H : 水位 (= $h + Z_b$, Z_b : 河床高)

g : 重力の加速度 (9.8 m/sec^2)

τ_{xb}, τ_{yb} : 底面(河床)において作用するそれぞれ x 方向および y 方向のせん断応力, 抵抗則に Manning 公式を用いれば次のように表わされる。

$$\frac{\tau_{xb}}{\rho} = gn^2 \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad \dots\dots(4)$$

$$\frac{\tau_{yb}}{\rho} = gn^2 \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad \dots\dots(5)$$

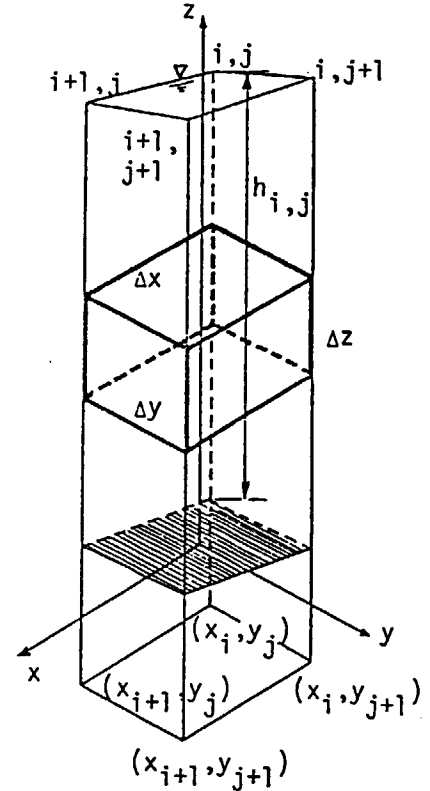


図 6.1 二次元平面流れの
コントロール・ボリューム

ただし, ρ : 水の密度, n : Manning の粗度係数である。

(1), (2)および(3)式を用いて流れの数値解析を行なうのに, 次の差分式を用いることにする(図 6.2)。ただし変数の右下の添字 i および j で (x, y) 平面での位置を, 右肩の添字 n で時間ステップを示す。

連続式(1)式:

$$\frac{h_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}}^{n+3} - h_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}}^{n+1}}{2 \Delta t} + \frac{M_{i+1, j+\frac{1}{2}}^{n+2} - M_{i, j+\frac{1}{2}}^{n+2}}{\Delta x} + \frac{N_{i+\frac{1}{2}, j+1}^{n+2} - N_{i+\frac{1}{2}, j}^{n+2}}{\Delta y} = 0$$

.....(6)

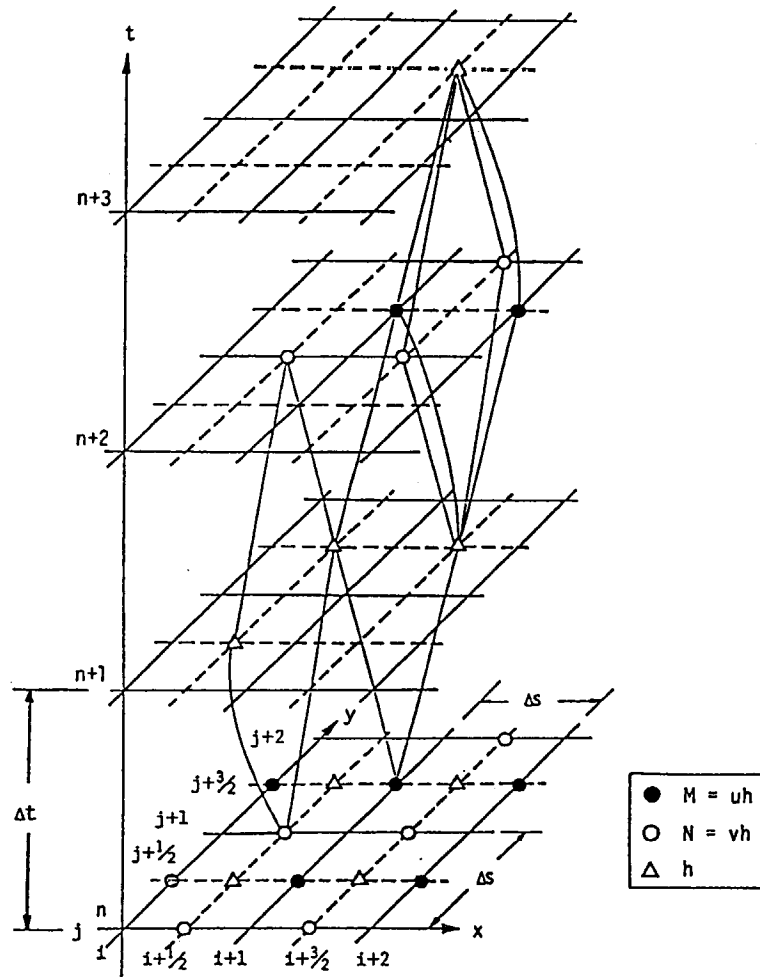


図 6.2 二次元平面流れの差分格子

6.3 運動方程式

x 方向：(2)式

$$\begin{aligned}
 & \frac{M_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} - M_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{2 \Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{(M_{i+a,j+\frac{1}{2}}^n)^2}{h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1}} - \frac{(M_{i-1+a,j+\frac{1}{2}}^n)^2}{h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1}} \right] \\
 & + \frac{1}{\Delta y} \left[\frac{2M_{i,j+\frac{1}{2}+b}^n (N_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n + N_{i-\frac{1}{2},j+1}^n)}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})} \right. \\
 & \left. - \frac{2M_{i,j-\frac{1}{2}+b}^n (N_{i+\frac{1}{2},j}^n + N_{i-\frac{1}{2},j}^n)}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})} \right] \\
 & = -g \frac{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1}) (H_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} - H_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})}{2 \Delta x} \\
 & - g n^2 \frac{\bar{U}_{i,j+\frac{1}{2}} \sqrt{(U_{i,j+\frac{1}{2}}^n)^2 + (v_{i,j+\frac{1}{2}}^n)^2}}{[(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})/2]^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

y 方向：(3)式

$$\begin{aligned}
 & \frac{N_{i+\frac{1}{2},j}^{n+2} - N_{i+\frac{1}{2},j}^{n+2}}{2 \Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{2N_{i+\frac{1}{2}+d,j}^n (M_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i+1,j-\frac{1}{2}}^n)}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})} \right. \\
 & \left. - \frac{2N_{i-\frac{1}{2}+d,j}^n (M_{i,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i,j-\frac{1}{2}}^n)}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1})} \right] + \frac{1}{\Delta y} \left[\frac{(N_{i+\frac{1}{2},j+c}^n)^2}{h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1}} \right. \\
 & \left. - \frac{(N_{i+\frac{1}{2},j-1+c}^n)^2}{h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1}} \right] = -g \frac{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1}) (H_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} - H_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1})}{2 \Delta y} \\
 & - g n^2 \frac{\bar{v}_{i+\frac{1}{2},j} \sqrt{(U_{i+\frac{1}{2},j}^n)^2 + (v_{i+\frac{1}{2},j}^n)^2}}{[(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1})/2]^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

ここに

$$\bar{U}_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{(M_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} + M_{i,j+\frac{1}{2}}^n)}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\bar{v}_{i+\frac{1}{2},j} = \frac{(N_{i+\frac{1}{2},j}^{n+2} + N_{i+\frac{1}{2},j}^n)}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1})} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$U_{i,j+\frac{1}{2}}^n = \frac{2M_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$v_{i,j+\frac{1}{2}}^n = \frac{(N_{i+\frac{1}{2},j}^n + N_{i+\frac{1}{2},j+1}^n + N_{i-\frac{1}{2},j+1}^n + N_{i-\frac{1}{2},j}^n)}{2(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1})} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$U_{i+\frac{1}{2},j}^n = \frac{(M_{i,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i,j-\frac{1}{2}}^n + M_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i+1,j-\frac{1}{2}}^n)}{2(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1})} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$v_{i+\frac{1}{2},j}^n = \frac{2N_{i+\frac{1}{2},j}^n}{(h_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} + h_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^{n+1})} \quad \dots\dots\dots (14)$$

である。また、(7)式および(8)式中の変数の右下に書かれている添字 a、b、c および d はそれぞれ次のとおりである。

$$a = \begin{cases} 0 : M_{i,j+\frac{1}{2}}^n > 0 \\ 1 : M_{i,j+\frac{1}{2}}^n < 0 \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0 : \frac{1}{4}(N_{i+\frac{1}{2},j}^n + N_{i+\frac{1}{2},j+1}^n + N_{i-\frac{1}{2},j+1}^n + N_{i-\frac{1}{2},j}^n) > 0 \\ 1 : \frac{1}{4}(N_{i+\frac{1}{2},j}^n + N_{i+\frac{1}{2},j+1}^n + N_{i-\frac{1}{2},j+1}^n + N_{i-\frac{1}{2},j}^n) < 0 \end{cases}$$

$$c = \begin{cases} 0 : N_{i+\frac{1}{2},j}^n > 0 \\ 1 : N_{i+\frac{1}{2},j}^n < 0 \end{cases}$$

$$d = \begin{cases} 0 : \frac{1}{4}(M_{i,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i,j-\frac{1}{2}}^n + M_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i+1,j-\frac{1}{2}}^n) > 0 \\ 1 : \frac{1}{4}(M_{i,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i,j-\frac{1}{2}}^n + M_{i+1,j+\frac{1}{2}}^n + M_{i+1,j-\frac{1}{2}}^n) < 0 \end{cases}$$

このように流向に応じて差分をとる区間を変化させたのは、非線型項による数値計算上の不安定性を避けるためである。

(6), (7)および(8)式による計算の手順は以下のものである。

(i) 計算対象領域のすべての i, j に対して M^n, N^n および h^{n+1} の値は初期値あるいは前回の計算結果から知られているとする。まず(7)および(8)式より M^{n+2} および N^{n+2} を計算する。

(ii) 上の計算結果と(6)式から h^{n+3} を求める。

(iii) (i) および (ii) を所定の計算時間の範囲で繰返す。

上の計算過程から明らかなように、 M および N が求められる時間と h が求められる時間とは Δt だけずれている。しかし、実際の計算では Δt は非常に小さく採られているので、初期値を設定したときの時間軸上の配置にならない、 M^n, N^n および h^{n+1} が同時刻の計算結果であるとみなすことにする。

6.4 数値解析のための検証データ

検証データを取得するための調査は、吉野川池田ダム付属魚道において実施した。

6.4.1 池田ダム付属魚道の概要

池田ダム付属魚道は、前述したように発電放流水が実質的な呼び水効果をもつように工夫された魚道である(表6.1)。

魚道の概要については、第4章4.1.2を参照されたい。

表6.1 池田ダムおよび付属魚道の諸元

項 目	内 容	項 目	内 容
1. ダムの名称	池田ダム	11. 水系・河川の名称	吉野川水系吉野川
2. 型式	重力式コンクリートダム	12. 管理機関	水資源開発公団
3. 建設目的	治水・上水・農水・発電	13. ダムの地先名	
4. 竣工年	昭和50年3月	13.1 右岸	徳島県三好郡池田町ウエノ
5. ダムの規模		13.2 左岸	池田町西山
5.1 堤高	24m	14. 河口からの距離	78.3 km
5.2 堤頂長	247m	15. 標高	94.5 m
5.3 堤体積	$52 \times 10^3 \text{ m}^3$	16. 流域面積	$1,904 \text{ km}^2$
6. 湛水面積	144 ha	17. 感潮・非感潮の区分	非感潮
7. 湛水延長	9.17 km	18. ダム付近の河床勾配	1/1100
8. 総貯水量	$12,650 \times 10^3 \text{ m}^3$	19. ダム付近の地形	狭さく部
9. 有効貯水量	$4,400 \times 10^3 \text{ m}^3$	20. ダム付近の河床材料	岩
10. 可動堰・固定堰の区分	可動堰	21. 維持流量の有無	有

注) 本表は、ヒヤリング調査結果から作表した。

6.4.2 呼び水効果の実態把握

発電放流水の呼び水効果の実態把握は、発電放流口からパンチくずやダイコンの輪切りなどを流下させ、これらの拡散状況をカメラやビデオに収めることによって行なった(写真6.1)。この結果呼び水(発電放流水)は、うず流(ジェット流)を生じながら川の流れに対して、約50度の角度で対岸まで達していることが確かめられた(写真6.1.⑥)。

次に検証計算に必要な流向・流速のデータを、Y=340 Line についてCM-II型流向・流速計を用い測定した。測定結果は表6.2に示したとおりである。測定結果は呼び水(発電放流水)がジェット流となっているため、例えば右岸から87m地点の2割水深の流速は、0.8~2.1 m/secとなっているなどの流速の振れ幅の大きな地点がみられた。また、流向についてみると、左岸側に逆流している区域がみられた。

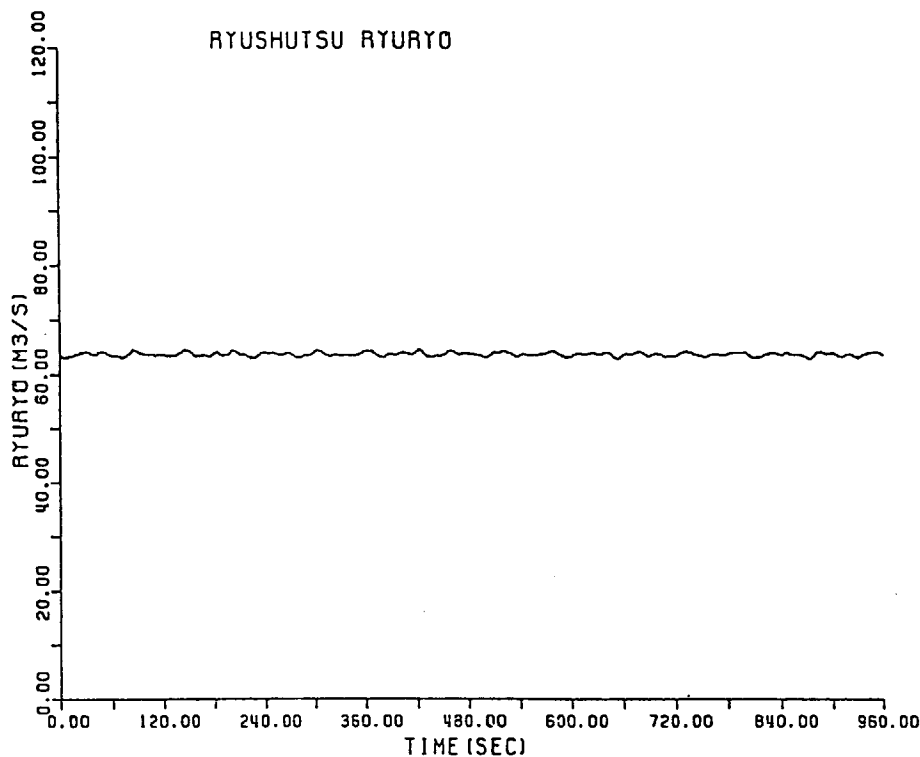
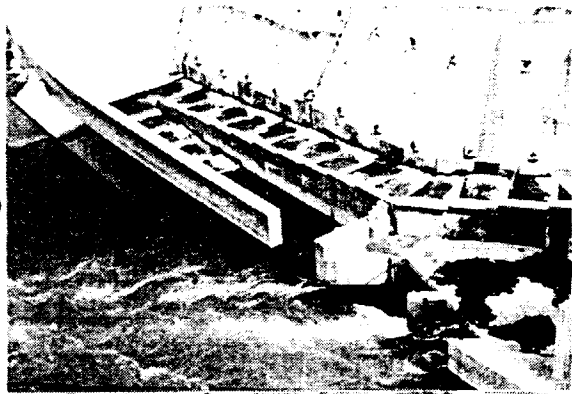


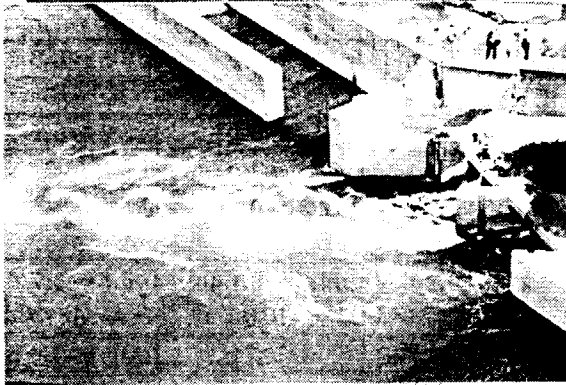
図 6.4 発電放流量 (約 64 m³/sec で安定している)



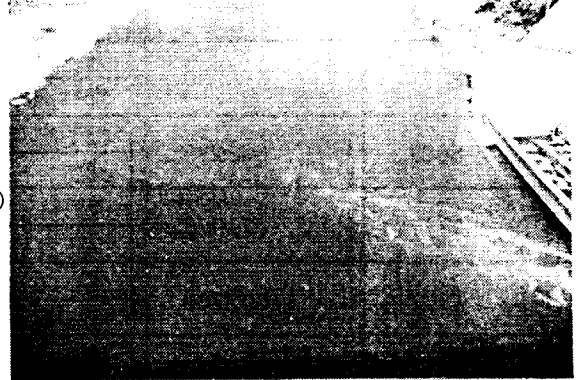
①



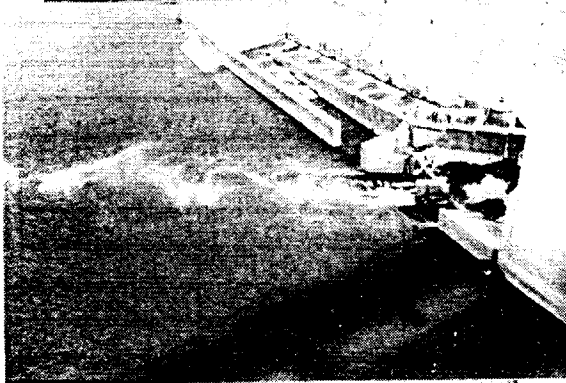
⑤



②



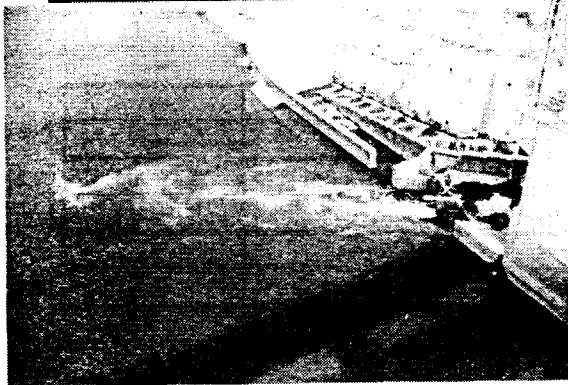
⑥



③



⑦



④

写真 6.1 池田ダム附属魚道における呼び水効果に関する実態把握調査 (1981・6)

- ① 魚道と呼び水 (発電放流水)
- ② } 呼び水にパンチくず投下
- ③ } }
- ⑥ 対岸 (左岸) までパンチくずが到達している様子がわかる。
- ⑦ パンチくずの拡散状況

表 6.2 池田ダム下流 (Y=340Line) における流向・流速の調査結果 (1980.8.20)

左岸からの 距離 (m)	水深 (m)	流速 (m/sec) 及び流向 (度)			
		2 割	6 割	8 割	
112	1.10	流速	0.16	0.25	0.09
		流向	280	269	260
107	1.22	流速	0.25	0.35	0.12
		流向	355	355	340
102	1.44	流速	0.32	0.30	0.28
		流向	0	5	7
97	2.50	流速	0.43	0.38	0.32
		流向	15	40	66
92	6.80	流速	0.42	0.2 ~ 0.4	0.55
		流向	58	180	65
87	6.80	流速	0.8 ~ 2.1	0.7 ~ 0.8	0.05 ~ 0.3
		流向	26	30	65
82	6.23	流速	0.3 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	0.35 ~ 0.55
		流向	55	90	90
77	7.98	流速	0.55	0.2 ~ 0.7	0.7
		流向	80	60	50
72	10.20	流速	0.10 ~ 0.45	0.40 ~ 0.60	0.55 ~ 0.75
		流向	45	50	67
67	11.85	流速	0.05 ~ 0.15	0.57	0.35 ~ 0.45
		流向	8	43	92
62	11.65	流速	0.40 ~ 0.45	0.05 ~ 0.35	0.3 ~ 0.4
		流向	57	52	85
57	11.80	流速	0.25 ~ 0.50	0.17 ~ 0.20	0.15 ~ 0.32
		流向	67	8	55
52	11.90	流速	0.025	0.25	0
		流向	5	350	0
47	11.83	流速	0	0	0
		流向	—	—	—
42	—	流速	—	—	—
		流向	—	—	—
37	11.62	流速	0	0	0
		流向	—	—	—
32	—	流速	—	—	—
		流向	—	—	—
27	8.35	流速	0	0	0
		流向	—	—	—
22	—	流速	—	—	—
		流向	—	—	—
17	10.09	流速	0	0	0
		流向	—	—	—
12	—	流速	—	—	—
		流向	—	—	—
7	7.48	流速	0	0	0
		流向	—	—	—
2	—	流速	0	0	0
		流向	—	—	—

6.5 検証計算方法・条件および結果

6.5.1 計算対象領域と格子分割

計算対象領域は、堰の下流100mまでとし、格子の一边の大きさは5mとした(図6.3)。

6.5.2 河床高と粗度係数

河床高は、実測値(水公団池田ダム管理所資料)とし、粗度係数は $n = 0.025$ とした。

6.5.3 境界条件

- ① 河川堤防： 水位の変化によって汀線は移動しないとする。したがって、堤防に直角方向の流量フラックスは0とした。
- ② 上流端(堰)： 発電放流流量として $64 \text{ m}^3/\text{sec}$ を与える(図6.4)。したがってこの点ではこれに相当する流量フラックスを与えた。
- ③ 魚道および呼び水放流口： 流量を流出角度を考慮して後に設定される流量フラックスに改めて与えた。
- ④ 下流端： 下流端水位として、YP+7 6.96 mを与えた。

6.5.4 初期条件

堰からの放流流量に対応する等流状態を与えた。

6.5.5 時間間隔

差分の格子の大きさにかかわらず $\Delta t = 0.1$ 秒とした。

6.5.6 計算結果

計算結果を図6.5に示した。

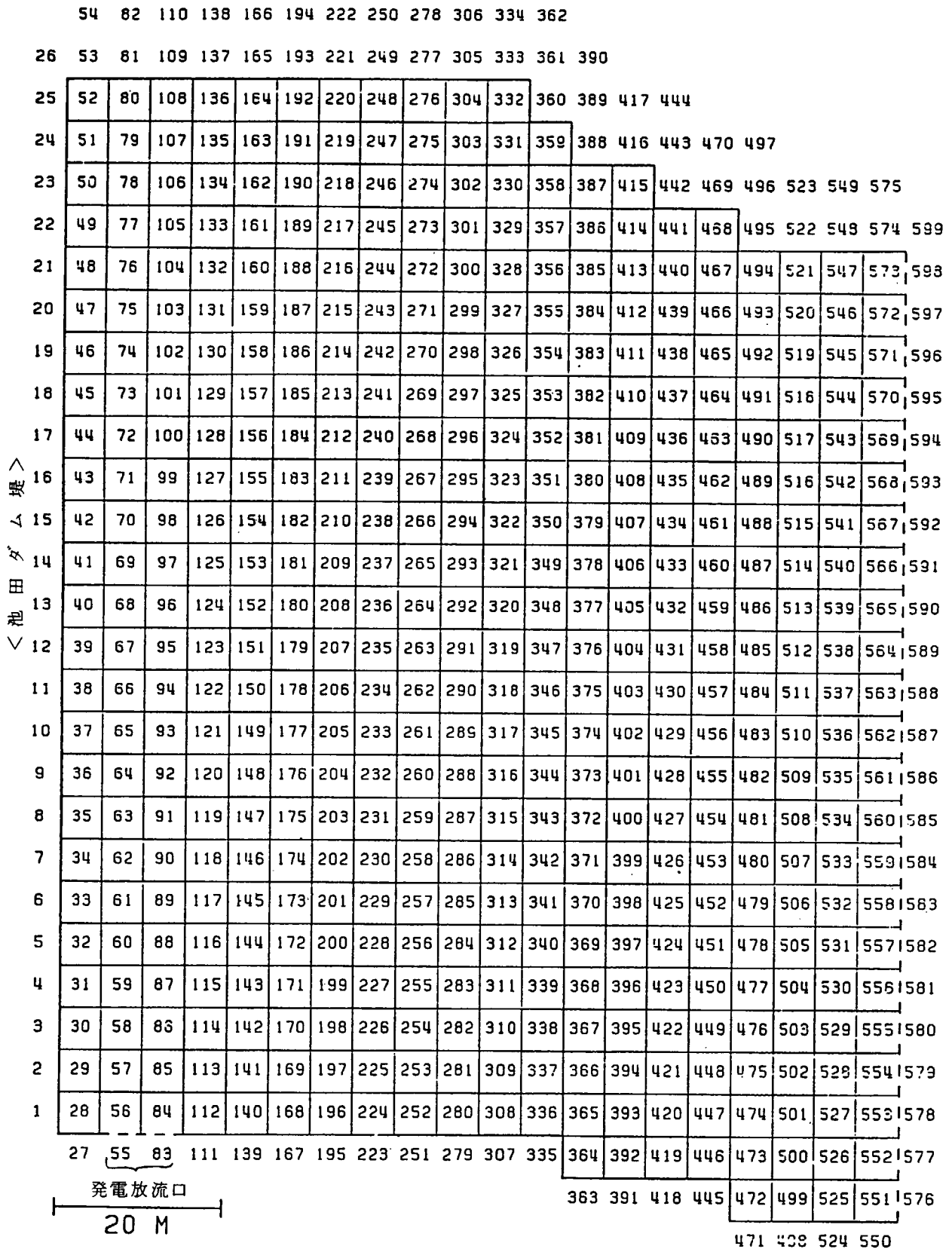


図 6.3 池田ダム付属魚道および呼び水（発電放流水）の拡散状況に関する数値解析のための計算格子

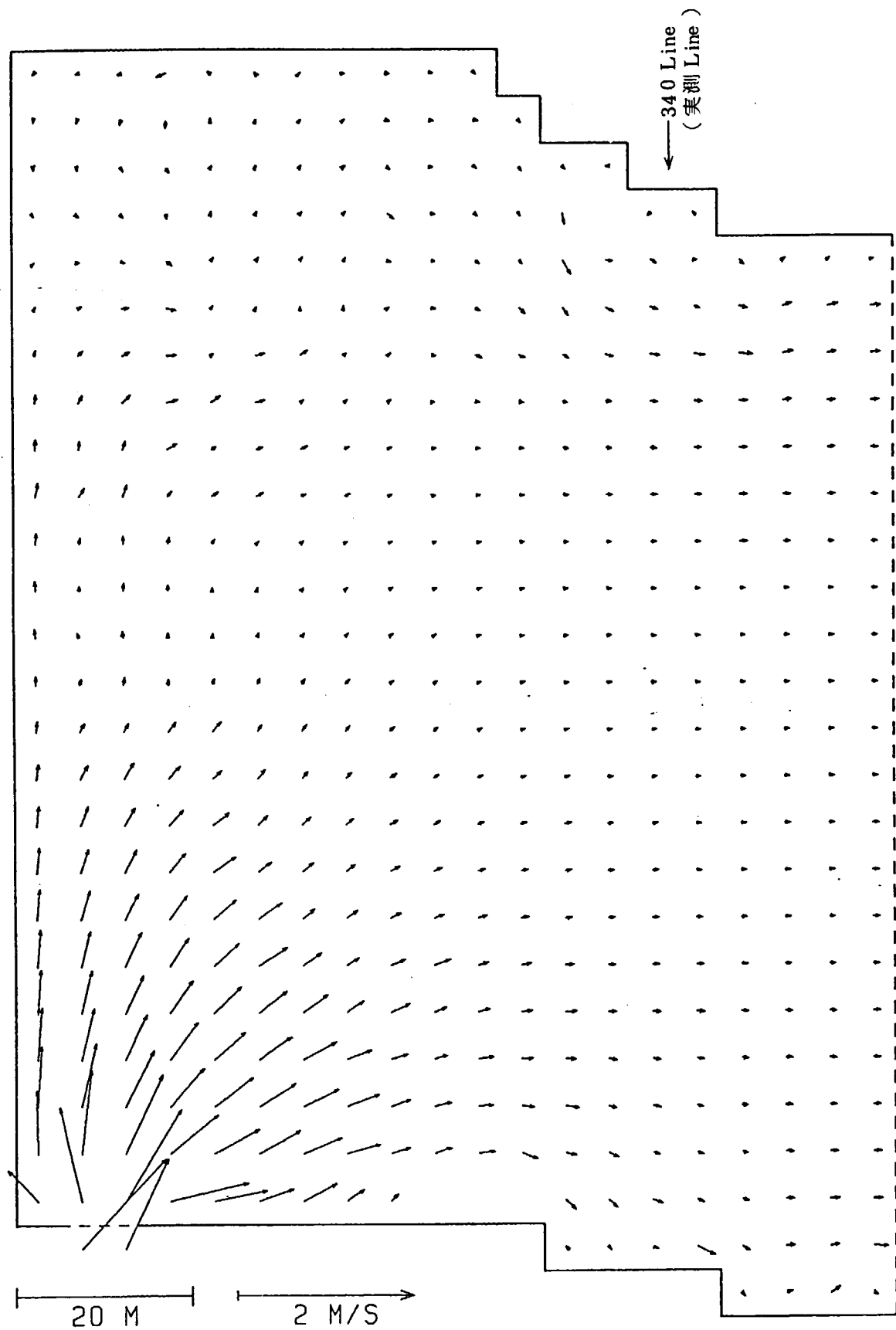


図 6.5 呼び水効果に関する計算結果 (池田ダム付属魚道)

6.6 検証計算結果の考察

検証計算結果と実測値との比較を、表 6.3 と図 6.6 ~ 6.7 に示した。

検証計算は、手法のところでも述べたように、二次元平面流れとして解析しているため、実測値との比較による結果の評価は、図 6.7 に示した水深方向 3 測点の平均値を比較することより行なった。

検証結果について考察すれば次のとおりである。

この実測値は、池田ダム附属魚道の呼び水である発電放流水が、ジェット流で、図 6.6 にみるように流向・流速が複雑であり、また流量観測においても観測船が流されるなど、水理の実態を十分に把握することがむずかしいという状況の下でのものである。

しかし、このように検証のための水理条件としては、きわめて複雑であるにもかかわらず検証結果(図 6.7)をみると、総合的にみて、河川の中央付近ではよく適合しており、また対岸の逆流現象もよく表現されている。

従って、本数値計算モデルは河床構造や呼び水方式がごく一般的な魚道の場合、その呼び水効果の計算に、十分使用できるものと考えられる。

表 6.3 池田ダム下流の流向・流速の実測値と検証計算結果

メッシュ No	計 算 結 果			メッシュ No	計 算 結 果			測 定 位置	実 測 値								
	X	Y	$\sqrt{x^2+y^2}$		θ	X	Y		$\sqrt{x^2+y^2}$	θ	2 割 水 深 $\sqrt{x^2+y^2}$	θ	6 割 水 深 $\sqrt{x^2+y^2}$	θ	8 割 水 深 $\sqrt{x^2+y^2}$	θ	平 均 $\sqrt{x^2+y^2}$
4 1 9	0.100	-0.049	0.111	116	4 4 6	0.383	-0.178	0.422	115								
4 2 0	0.215	-0.084	0.231	111	4 4 7	0.148	-0.057	0.159	111								
4 2 1	0.139	-0.052	0.148	111	4 4 8	0.141	-0.044	0.148	107								
4 2 2	0.175	-0.042	0.179	104	4 4 9	0.138	-0.029	0.141	102								
4 2 3	0.178	-0.023	0.179	97	4 5 0	0.156	-0.020	0.157	97								
4 2 4	0.183	-0.010	0.183	93	4 5 1	0.174	-0.011	0.174	94								
4 2 5	0.157	0.001	0.157	90	4 5 2	0.164	-0.003	0.164	91								
4 2 6	0.147	0.008	0.147	87	4 5 3	0.134	0.003	0.134	89								
4 2 7	0.151	0.012	0.151	86	4 5 4	0.129	-0.006	0.129	87								
4 2 8	0.128	0.014	0.129	84	4 5 5	0.125	0.009	0.125	86								
4 2 9	0.121	0.015	0.121	83	4 5 6	0.121	0.011	0.121	85	0.03	5	0.25	350*	0.00	0	0.03	5
4 3 0	0.116	0.015	0.117	83	4 5 7	0.117	0.011	0.118	85	0.25	67	0.17	8*	0.15	55	0.20	61
4 3 1	0.114	0.014	0.114	83	4 5 8	0.114	0.011	0.115	85	0.40	57	0.05	52	0.3	85	0.25	65
4 3 2	0.109	0.012	0.110	84	4 5 9	0.110	0.010	0.110	85	0.05	8*	0.57	43	0.35	92	0.46	68
4 3 3	0.121	0.009	0.121	86	4 6 0	0.116	0.008	0.116	86	0.10	45	0.40	50	0.55	67	0.35	54
4 3 4	0.137	0.006	0.137	88	4 6 1	0.137	0.006	0.137	88	0.55	80	0.20	60	0.70	50	0.48	63
4 3 5	0.159	0.000	0.159	90	4 6 2	0.160	0.003	0.160	89	0.30	55	0.40	90	0.35	90	0.35	78
4 3 6	0.150	-0.008	0.150	93	4 6 3	0.171	-0.002	0.171	91	0.80	26	0.70	30	0.05	65	0.52	40
4 3 7	0.186	-0.018	0.187	96	4 6 4	0.184	-0.010	0.184	93	0.42	58	0.20	180*	0.55	65	0.49	62
4 3 8	0.231	-0.022	0.233	95	4 6 5	0.239	0.020	0.240	95	0.43	15	0.38	40	0.32	66	0.38	40
4 3 9	0.179	-0.059	0.188	108	4 6 6	0.137	-0.042	0.143	107	0.32	0	0.30	5	0.28	7	0.30	4
4 4 0	0.154	-0.069	0.169	114	4 6 7	0.070	0.011	0.071	81	0.25	355	0.35	355	0.12	340	0.24	350
4 4 1	-0.058	-0.057	0.081	226	4 6 8	-0.035	0.035	0.049	315	0.16	280	0.25	326	0.09	260	0.17	270

単位 (X : m/sec Y : m/sec $\sqrt{x^2+y^2}$: m/sec θ : 流向)

注) *の数值は平均を求める場合除外した。

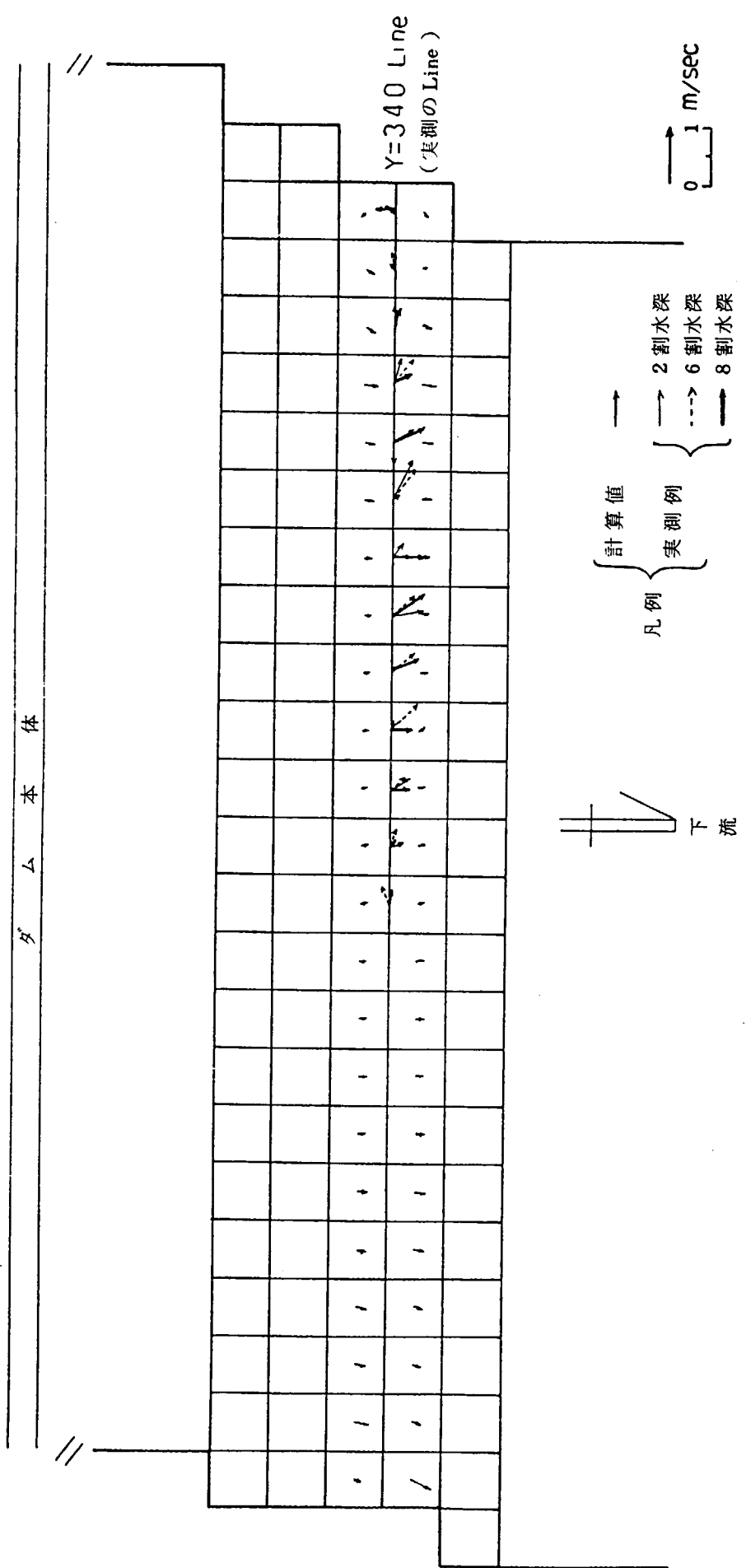


図 6.6 池田ダム下流の流向・流速の実測値 (2.6.8 割水深) と計算結果の比較

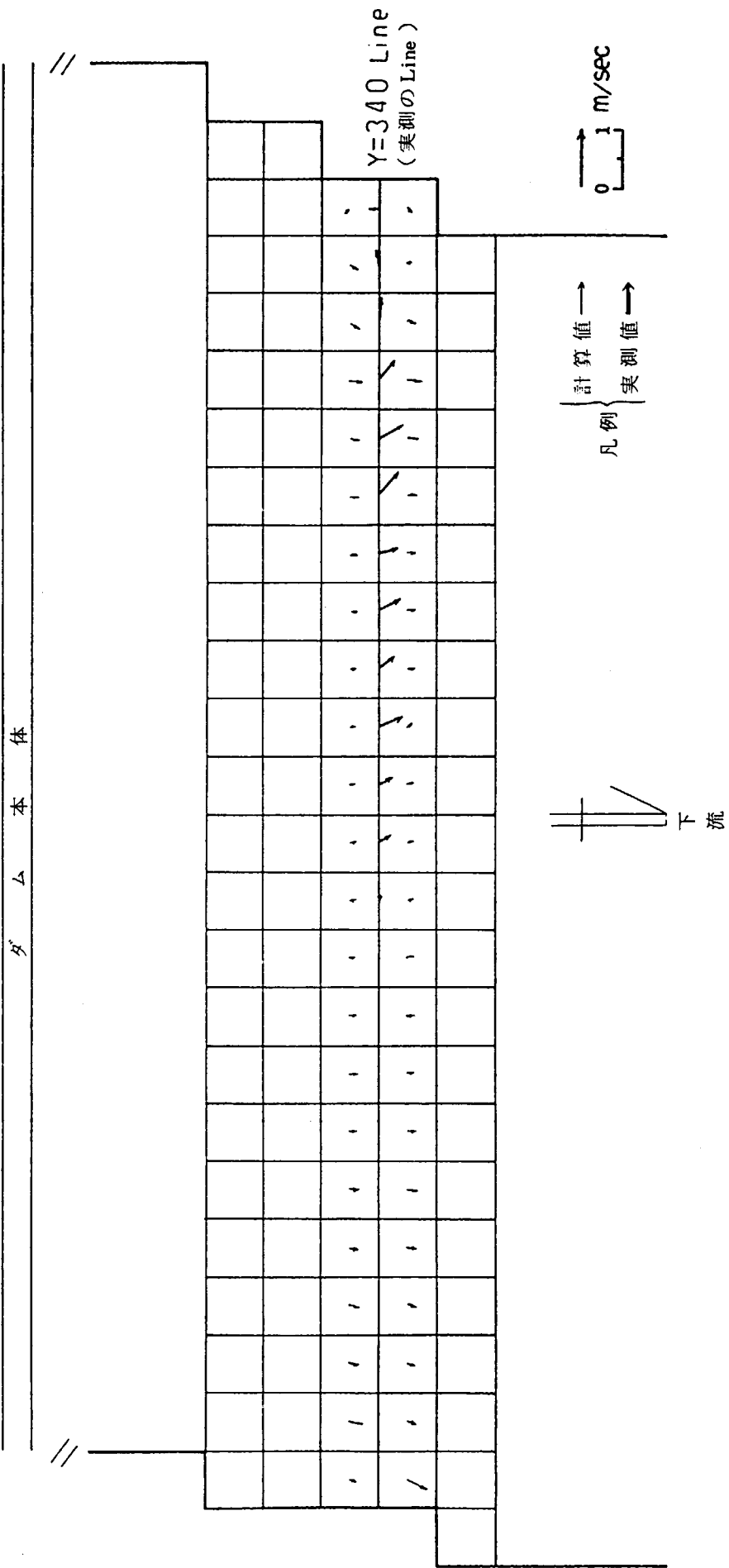


図 6.7 池田ダム下流の流向・流速の実測値 (2.6.8 割水深の平均値) と計算結果の比較

7. 堰および魚種別の魚道設計条件と今後の課題

7.1 堰および魚種別の魚道設計条件

7.1.1 魚道を設計する場合の基本的な考え方

堰および魚種別の魚道設計の基本的な考え方を表 7.1 に示した。すなわち、魚道設計の条件として、①魚道対象魚、②流程における魚道（堰など）の位置、③堰などの高さ、④管理所の有無を考え、これを基本として整理した。

整理結果をみると、日本の魚道を設計する場合、魚種としては、①アユ用、②サケ・マス（サクラマス）用、③アマゴ、ヤマメ、イワナ用（溪流魚用）の3種類また管理所の有無による、魚道通水量の調節機構や保守、管理方法の違いを考える必要があると考えられる。なお、堰の高さについては、魚道形式を階段式とすることによって対処できると考えられる。

表 7.1 魚道のパターン分類

流程における位置	魚道対象魚			堰の高さ	管理所の有無	例
	北海道	関東以北(除北海道)	関東以西			
下流	サクラマス (サケ)	アユ サクラマス	アユ	低い	有※、無※	河口堰 床止 取水堰
中流	サクラマス (サケ)	アユ サクラマス	アユ	低い	有※、無※	床止 取水堰
上流 (溪流)	サクラマス (サケ)	サクラマス ヤマメ イワナ	アマゴ イワナ	高い	無※	砂防ダム 治水ダム 発電ダム

注) ※「有」は可動堰、「無」は固展堰
と考えてもよい

7.1.2 既往の魚道設計マニュアル例

既往の魚道設計マニュアルで、アユを対象としたものとしては、古くは農林省農地局によるもの（1967）があり、新しくは、伊藤弘佳（1967）によるものがある。また、サケ・サクラマスを対象としたものとしては、農林省農地局（1967）と北海道水産部（1980、1981）によるものがある。以下に、そのそれぞれを表 7.1～7.3 として示した。

表 7.1 魚道設計マニュアル例

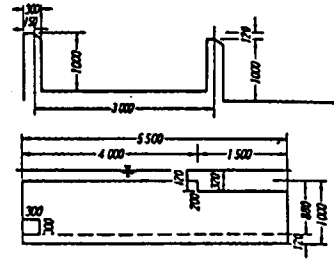
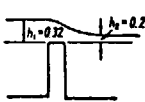
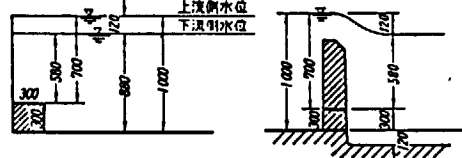
農林省農地局 (1967)	伊藤弘住 (1976)																										
<p>魚族(サケ、マス、アユ等)が、ソ上する河川に頭首工を設置する場合は原則として魚道を設け、常時一定量の水を流下させるようにする。</p> <p>このため、魚道はセキ設置後、ミオ筋を形成する土砂吐に接して設けるものとする。</p>	<p>魚道の水理計算例(階段式)</p>																										
<p>【解説】 魚道の構造は、段階式、斜面式などがあるが普通一般には階段式が多く用いられる。</p>	<p>(i) 設計条件</p> <p>幅 5.5m 隔壁高 1.0m 隔壁間隔 3.0m 切欠き 1.5m×0.2m 越流水深 12cm 潜穴 0.3m×0.3m</p> <p>形状寸法 上記条件によって形状寸法を決定する(図-a参照)。</p>  <p>図 - a</p>																										
<p>(1) 階段式魚道</p> <p>これは、セキ頂の一端を開口した緩勾配の矩形断面の開水路中に階段式の間仕切りのある隔壁を設け、この隔壁上を越流水が順次落下して開キの終端が下流水面に達するものである。</p> <p>① 幅員：魚道の幅員は2.0~6.0mを標準とするが、魚族の大きさ、数量、河川流量に応じて決定する。中小河川では頭首工の規模も小さく2.0m以下でもよい。</p> <p>② 勾配：上下流隔壁の間隔はサケ、マスに対してはアユ、ウグイ類に対するより広くとることが必要で、通常2.0~5.0mとして、その勾配は1:10~1:15を適当とする。</p> <p>③ 魚道に流す水量、隔壁上の越流水深は河川下流部で稚アユの登るところでは0.15mその他の場合は0.25mが適当である。</p> <p>④ 登り口：魚族の集る場所を選び濁水時においても登り口は常に水中にあるよう特に留意する。特に将来の河床底下による水位の低下を考慮し、登り口で浮き上がらぬよう考えること。</p> <p>なお魚族を誘導するため登り口付近の幅を広くしたり、別途上流から導いたパイプによって補水を要する場合もある。</p> <p>⑤ 隔壁：隔壁の標準は図-aに示すとおりである。この隔壁には欠口および潜孔を左右に設ける。隔内の枠には数本の阻柱を設け、流速を殺すのがよい。</p>	<p>(ii) 流量および流速の検討</p> <p>本間公式</p> <p>完全越流 $Q = m \cdot B \cdot h_1 \sqrt{2g \cdot h_1}$</p> <p>不完全越流 $Q = (\alpha \cdot \frac{h_2^3}{h_1} + \beta) b \cdot h_2 \sqrt{2g \cdot h_1}$</p> <p>潜りせき $Q = m' \cdot b \cdot h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$</p> <p>$m = 0.35$ $m' = 0.91$</p> <p>1) 越流部</p> $Q = 0.35 \times 4.0 \times 0.12 \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.12} = 0.257 \text{ m}^3/\text{sec}$ $v = \frac{0.257}{0.12 \times 4.0} = 0.54 \text{ m/sec}$ <p>2) 潜りせき部(図-b参照)</p> $Q = 0.91 \times 1.5 \times 0.2 \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.12} = 0.418 \text{ m}^3/\text{sec}$ $v = \frac{0.418}{0.2 \times 1.5} = 1.39 \text{ m/sec}$  <p>図-b</p>  <p>図 - c</p> <p>3) 潜孔部</p> <p>潜り流出として計算(水理公式集、図-c参照)。</p> $Q = C_2 \cdot a \cdot B \sqrt{2g \cdot h_0}$ <p>ここに C_2 : 流量係数 a : 開き高 B : 流出幅 h_0 : 上流側水深</p> $Q = 0.25 \times 0.3 \times 0.3 \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.0} = 0.10 \text{ m}^3/\text{sec}$ $v = 0.10 / 0.3 \times 0.3 = 1.11 \text{ m/sec}$ <p>以上の結果をまとめると、</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>$Q \text{ m}^3/\text{sec}$</th> <th>$v \text{ m/sec}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>越流部 0.257</td> <td>0.54</td> </tr> <tr> <td>潜流部 0.418</td> <td>1.39</td> </tr> <tr> <td>潜穴部 0.100</td> <td>1.11</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>0.775</td> </tr> </tbody> </table>	$Q \text{ m}^3/\text{sec}$	$v \text{ m/sec}$	越流部 0.257	0.54	潜流部 0.418	1.39	潜穴部 0.100	1.11	計	0.775																
$Q \text{ m}^3/\text{sec}$	$v \text{ m/sec}$																										
越流部 0.257	0.54																										
潜流部 0.418	1.39																										
潜穴部 0.100	1.11																										
計	0.775																										
<p>図-a</p> <table border="0"> <tr> <td>$h_1 = 0.6 \sim 1 \text{ m}$</td> <td>上流面高</td> </tr> <tr> <td>$h_2 = 0.9 \sim 1.3 \text{ m}$</td> <td>下流面高</td> </tr> <tr> <td>$h_3 = 0.15 \text{ m}$</td> <td>欠口深さ</td> </tr> <tr> <td>$h_4 \geq 0.5 \text{ m}$</td> <td>隔壁より側壁天までの高さ</td> </tr> <tr> <td>$d_1 \leq 0.30 \text{ m}$</td> <td>隔壁の天の厚</td> </tr> <tr> <td>$d_2 \leq 0.45 \sim 0.5 \text{ m}$</td> <td>隔壁の底厚</td> </tr> <tr> <td>$g = 0.2 \sim 0.3 \text{ m}$</td> <td>潜孔の幅と深さ</td> </tr> <tr> <td>$b = 2.5 \sim 5.0 \text{ m}$</td> <td>隔壁幅員</td> </tr> </table> <p>⑤ 上流口：セキ上流側の水位の変動が少ない場合は、上流口に角落しまたはセキ板を2~3列設ける。上流水位の変動が激しい場合は魚道の上流口高を最低計画水位以下にして、流量を調整できる転倒ゲートを設けるとよい。</p>	$h_1 = 0.6 \sim 1 \text{ m}$	上流面高	$h_2 = 0.9 \sim 1.3 \text{ m}$	下流面高	$h_3 = 0.15 \text{ m}$	欠口深さ	$h_4 \geq 0.5 \text{ m}$	隔壁より側壁天までの高さ	$d_1 \leq 0.30 \text{ m}$	隔壁の天の厚	$d_2 \leq 0.45 \sim 0.5 \text{ m}$	隔壁の底厚	$g = 0.2 \sim 0.3 \text{ m}$	潜孔の幅と深さ	$b = 2.5 \sim 5.0 \text{ m}$	隔壁幅員	<p>図-b</p> <p>図-c</p> <p>3) 潜孔部</p> <p>潜り流出として計算(水理公式集、図-c参照)。</p> $Q = C_2 \cdot a \cdot B \sqrt{2g \cdot h_0}$ <p>ここに C_2 : 流量係数 a : 開き高 B : 流出幅 h_0 : 上流側水深</p> $Q = 0.25 \times 0.3 \times 0.3 \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.0} = 0.10 \text{ m}^3/\text{sec}$ $v = 0.10 / 0.3 \times 0.3 = 1.11 \text{ m/sec}$ <p>以上の結果をまとめると、</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>$Q \text{ m}^3/\text{sec}$</th> <th>$v \text{ m/sec}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>越流部 0.257</td> <td>0.54</td> </tr> <tr> <td>潜流部 0.418</td> <td>1.39</td> </tr> <tr> <td>潜穴部 0.100</td> <td>1.11</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>0.775</td> </tr> </tbody> </table> <p>あゆの体長=7cm程度と思われるので、流速0.54m/secが最適流速であり隔壁高差12cmで十分である</p> <p>以上はあゆを対象にした階段式魚道の計算例である。</p>	$Q \text{ m}^3/\text{sec}$	$v \text{ m/sec}$	越流部 0.257	0.54	潜流部 0.418	1.39	潜穴部 0.100	1.11	計	0.775
$h_1 = 0.6 \sim 1 \text{ m}$	上流面高																										
$h_2 = 0.9 \sim 1.3 \text{ m}$	下流面高																										
$h_3 = 0.15 \text{ m}$	欠口深さ																										
$h_4 \geq 0.5 \text{ m}$	隔壁より側壁天までの高さ																										
$d_1 \leq 0.30 \text{ m}$	隔壁の天の厚																										
$d_2 \leq 0.45 \sim 0.5 \text{ m}$	隔壁の底厚																										
$g = 0.2 \sim 0.3 \text{ m}$	潜孔の幅と深さ																										
$b = 2.5 \sim 5.0 \text{ m}$	隔壁幅員																										
$Q \text{ m}^3/\text{sec}$	$v \text{ m/sec}$																										
越流部 0.257	0.54																										
潜流部 0.418	1.39																										
潜穴部 0.100	1.11																										
計	0.775																										
<p>(2) 斜面式魚道</p> <p>セキ頂一端に開口した緩勾配の矩形断面の開水路中に水勢を殺すため、左右交互に隔壁を突出し、この間を水が落下して開キの終端が下流水面に達するものである。この魚道の場合は魚族が遊泳してソ上するため、流速をゆるくする必要があるため、勾配は1/15より緩にしなければならぬ。この方式の場合は魚族にみあった流速が問題となるので勾配の決定が重要となる。</p>																											

表 7.2 昭和 55 年度 魚道 設計 指針

北海道水産部(1980)

種別	指針	指針	決定根拠	備考事項
形式	階段方式	水路の長軸に直角な隔壁を設け階段状の魚梯(プール)から水を落とす形式で54年度の実施結果が良好であった。		。漕孔の併設によって、サクラマスおよびアユのそ上も可能と判明した。
勾配	1/8 ~ 1/10	魚の跳躍に必要な助走距離と水深があれば、1/5程度の急勾配でよいのである。しかし、魚群は一般に流速の小さい主流沿いを好んでそ上するので、魚梯と切り欠きの流速が0.3~1.1m/s程度以下となるようにした。		。アユについては、1/10~1/16程度の勾配を採用しているものが多いという。(小山長雄ほか)
魚梯	断面	。正面幅 1.5m 。隔壁間隔 2.5m 。袖高 1.0m	。正面幅：低水(1年を通じ275日はこれを下らない流量)時、魚の跳躍に必要な水深0.5mを確保できるよう選定した。 。隔壁間隔：54年度の実施結果から魚の休息できる経済的な幅を選定した。 。袖高：54年度の実施結果から魚の跳躍による飛び出し防止に役立つ経済高を選定した。	。魚の習性として特記すべきものは、 (1) 向流性をもち (2) 原則として主流の隅を離れない (3) 水深0.3m以上の上とよみに集まる (4) 動く影におびえる などである。(小山長雄ほか)
	切り欠き(ノッチ)	。形状 上幅 半径 0.9m x 0.6m 半円形 。設置サイド：片側とし漕孔の反対方向	。切り欠き：54年度の実施結果から、水量の少ないとき有利なので計画した。 。形状：魚体損傷の防止および流下水脈をなるべく隔壁の近くに落とすように有利なようにした。(図-2) 。設置サイド：切り欠きおよび漕孔を互いに設けると、渦流を生じやすく、また魚に過度の疲労と方向感覚のまひをもたらしやすいたことが判明した。	
漕孔	形状	。形状 一辺 正方形 0.15~0.20m	。漕孔：54年度の実施結果からプールの内水脈の整正および跳躍力のない小型魚等のそ上に有効であることが判明した。(図-2)	
	設置場所	。設置場所：水路床上0m 。設置サイド：片側とし切り欠きの反対方向	。断面：54年度の実施結果から正面幅の1/5程度が有利であると推定した。	図-2 流下水脈の整正と隔壁下流端の形状
落差	0.5m以内			。アユについては、0.3m以下としているものが多いという。(小山長雄ほか)
排水口(昇り口)	位置	。位置：左右岸のどちらからに付いたよどみに取り付け 。方向：河川本来の流れに直角向き	プールの比較的短い魚梯および水量の少ないときのそ上を容易にするため計画した。	。かんがい取水口の設置位置については、魚の迷入防止、他構造物との競合回避等を図るため、対岸に計画した。
	位置および高さ	。位置および高さ： 。排水時においても継続的に魚道機能が発揮できるよどみに取り付け 。付属施設およびその色調：維持管理用門扉および半円形スクリーンを取り付け黄色塗装の実施	前前述の魚の習性、54年度の実施結果等から計画した。 ただし、転倒の存在、現地の地形等によって指針によれないときは、河心のよどみを利用するか、昇り口周辺河道の整正既設ブロックの布設替え等によって誘因効果の拡大を図った。 。位置および高さ： 前前述の排水口(昇り口)の位置によって自動的に決定されるため、砂防ダム、治山ダム等の上流の堆砂状況によっては、取水口の覆数化、河道の整正等を計画した。 。金物類の色調 加藤精一、稲場伝三郎ほかの研究成果によって黄色(HS-346)の塗装を計画した。	。ダムの有効高等によつては、鋼製門扉を木製角落とした。 ただし、ゴミ取りスクリーンについては、鋼製とした。
その他		。工事に伴う水質汚濁防止対策の実施 。危険および密漁防止対策の実施	。工事とりわけ土工事に伴う水質汚濁防止並びに不特定住民の魚道接近に伴う転落事故防止のため、必要に応じ計画した。	

表 7.3 昭和 56 年度魚道設計指針(案)

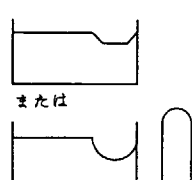
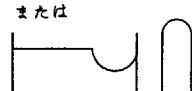
北海道水産部(1981)

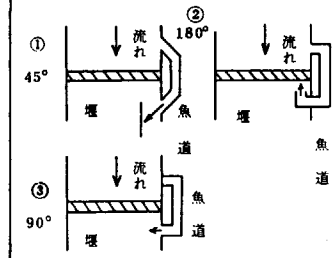
種別	指針		決定根拠	参考事項
	指	針		
形式	直線階段	方式	構造が簡単で有効高 小さな河川工作物に適用し効果的である 有効高が大きいきとき経済的で、用地面積を小さくできるとともに効果追跡が容易である	実例が多い 昭和56年度に試験工事を予定している
	らせん階段			
勾配	1/8 ~ 1/10		前年度指針決定根拠のとおりである	
断面	正面幅	1.5 m	らせん階段の袖高については、明りとり窓の設置、遠心力にう流水の上昇対策などのため、1.8 m とする。 袖高については、流量の大きいものは 1.0 m、低いものは 60 cm 位とする	
	隔壁間	2.5 m		
袖高	1.0 m			
魚梯	形状	上幅 半径 半円形 0.9 m × 0.6 m	前年度のとおりである	
	設置	サイド：片側とし潜孔の反対方向		
潜孔	形状	一边 正方形 0.15 ~ 0.20 m	同上	
	設置	場所：水路床上 0 m サイド：片側とし切り欠きの反対方向		
落差	0.5 m 以内		同上	
排水口 (昇り口)	位置：左右岸のどちらかに沿った よとみとし、できるだけ河川工作物に近づける		過年度設置施設の追跡結果による	
	位置および高さ： 濁水時においても継続的に魚道機能が発揮できるよとみに取り付ける 付属施設およびその色調： 維持管理用扉および半円形スクリーンを取り付け黄色塗装の実施		前年度のとおりである	
その他	工事に伴う水質汚染防止対策の実施 危険および密魚防止対策の実施		らせん階段にその都度アイスコープをはめ、外から魚道内を観察できるようにする。	

7.1.3 魚種別の魚道設計条件(案)

魚種別—①アユ用、②サクラマス・サケ用、③ヤマメ(アマゴ)・イワナ用—の魚道設計条件(案)をとりまとめ表7.4に示した。とりまとめに当っては、第2～5章および、7章7.1.2の既往の魚道設計マニュアルを参考とした。

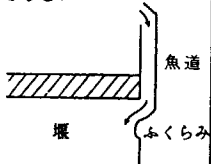
表 7.4 (1) 魚 種 別 の 魚 道 設 計 条 件 (案)

魚道設計条件	ア ヌ 用	サクラマス・サケ用	ヤマメ、アマゴ、イワナ用	備 考
1. 型 式	階段式	同 左	同 左	管理所があり、常時操作管理が可能な堰においては、ロックゲート式なども設けてよい。
2. 魚類の魚道出水口への誘導方法				
1) 呼び水による方法	できる限り設ける	同 左	同 左	
2) 誘導堤または副堰堤による方法	設置可能であれば設ける	同 左	同 左	
3) 光や色彩による方法	設置可能であれば1) 2)の補助手段として設ける	同 左	同 左	}
4) 音による方法				
3. 魚道出水口の位置				
1) 魚道位置	左右岸(ただし小河川ではみお筋側だけでもよい)	同 左	同 左	堰直下流によどみがあればそこにする。
2) 魚道出水口の位置	できる限り堰直下流とする	同 左	同 左	
3) 河川の流れに対する魚道出水口の角度	魚道の構造により異なり 45°①、90°②または180°③	同 左	同 左	
4. 魚道内水理条件				
1) 流 速	40~60 cm/sec 程度	1.1 m/sec 以下	1.1 m/sec 以下	隔壁越流流速とする
2) 隔壁越流水深	15 cm ± 3 cm 程度	30 cm 程度	15 ~ 30 cm 程度	
3) 通水量の調節装置	管理所などがあり、操作が可能な場所では、フラップゲートとする。他の場所は角落しを設け適時操作するか、流況から考えて入水口の高さにより調節する	同 左	同 左	
5. 魚道の内部構造				
1) 魚道幅員	片側 5 m 程度とし、全体として堰長の4~5倍とする	2.5 m 程度	2.5 m 程度	
2) 勾 配	1/10 以下	1/8 ~ 1/10	1/8 ~ 1/10	
3) 隔 壁				
(1) 形 状	 または  半円形である	同 左	同 左	



(つづく)

表 7.4 (2) 魚種別の魚道設計条件 (案) (つづき)

魚道設計条件	アユ用	サクラマス・サケ用	ヤマメ、アマゴ、イワナ用	備 考
(2) 天端厚	20~30 cmとする。ただし、土木的に可能な限り小さい方がよい。	同 左	同 左	
(3) 高さ	上流側 0.7 m 程度 下流側 1 m 程度	上流側 0.6 m 下流側 0.9 m	上流側 0.7 m 程度 下流側 1 m 程度	
(4) 隔壁間高差	30 cm以内	50 cm以内	50 cm以内とし、今後検討が必要である	
(5) 隔壁間距離 (プール長)	魚道出水口、入水口付近は 5 m、その他は 3 m 程度とする。また、魚道長の長いものは、中央付近のプールも 5 m 程度とし魚の休息場をつくる。	2.5 m 程度とし屈曲部のプールは、それより広くした方がよい	同 左	
4) 切 欠				必要性について、プール内水理の状況と魚の遡上生態の関係から再検討を要す
(1) 形 状	5. 3) (1)	同 左	同 左	
(2) 切欠の並び方	交互とするが、検討課題の一つである	連 続	アユ用に準ずる	
(3) 高さ、幅	幅：隔壁幅の 1/3 程度 高さ：10 cm 程度	半円形 0.9 m × 0.6 m 程度	アユ用に準ずる	
5) 側壁の高さ	80 cm 程度	アユ用に準じ 80 cm 程度とするが、今後の検討課題の一つである	同 左	
6) 潜 孔				
(1) 隔壁における位置	切欠のある場合には切欠と対照の位置とする	同 左	同 左	
(2) 形 状	正方形、長方形または円形	同 左	同 左	
(3) 高さ、幅	10~15 cm × 10~15 cm	15~20 cm × 15~20 cm	アユ用に準ずる	
7) プール底面の形状				石を敷いた方がよいとする説もあるが、遡上に対して有効であるかは検討の余地がある。例えば石礫のあるプールには、そこに魚がとどまってしまう様子がみられる。
6. 魚道入水口の位置	・農工水等の取水口には近づけない ・フラップゲートのない魚道では濁水時においても継続的に魚道機能が發揮できるよどみに取りつける	同 左	同 左	
7. その他	魚道出水口付近を下図のように、ふくらみをつけてもよい 			

7.1 ケーススタディーとしてのK堰の概略魚道構造と水理条件

7.2.1 魚道対象魚

K堰下流部における有用魚種は、アユ、コイ、フナ、ウナギ、オイカワ、ウグイなどであるが、そのうち回遊魚は、アユとウナギである。

従って、K堰付属魚道の対象魚としては、アユとウナギが考えられるが、第7章7.1の魚種別の魚道設計条件で述べたように、ウナギに対しては特別な魚道構造は必要でなく、ウナギ孔（潜孔）を設ければ十分であると考えられるので、この場合アユを魚道対象魚とする。

7.2.2 アユ遡上期の流況

K川には天然遡上アユがみられ、K堰付近では3～6月が遡上期に当る。アユ遡上期のK堰地点における過去10年間の流況は表7.5に示すとおりである。

表 7.5 K堰における3～6月の流況

昭和年	流況	豊水流量 (m^3/sec)	平水流量 (m^3/sec)	低水流量 (m^3/sec)	渇水流量 (m^3/sec)	最大流量 (m^3/sec)	最小流量 (m^3/sec)
26		38970	21612	11216	3459	107193	3136
30		35335	24269	14247	2851	134689	2823
31		67508	42175	29517	5668	125967	3080
35		43368	19487	3098	2879	180471	2849
37		43594	20168	3408	2979	350175	2456
38		96513	45448	19339	3021	344658	3015
41		79084	49119	26438	14027	174645	13274
42		73126	51583	3276	3821	133869	2797
43		30211	13460	3406	2877	61072	2674
44		40575	24962	15160	5200	215252	4177
平均		54828	31229	12911	4578	182799	4028

7.2.3 K堰の概要

K堰は、K川河口上流12km地点に建設予定の可動堰である。堰長は、422.5mであり、50.2m幅の可動ゲート5門から成る。本体ゲート基準設定水位およびゲートタイプは、表7.6、図7.2に示すとおりである。

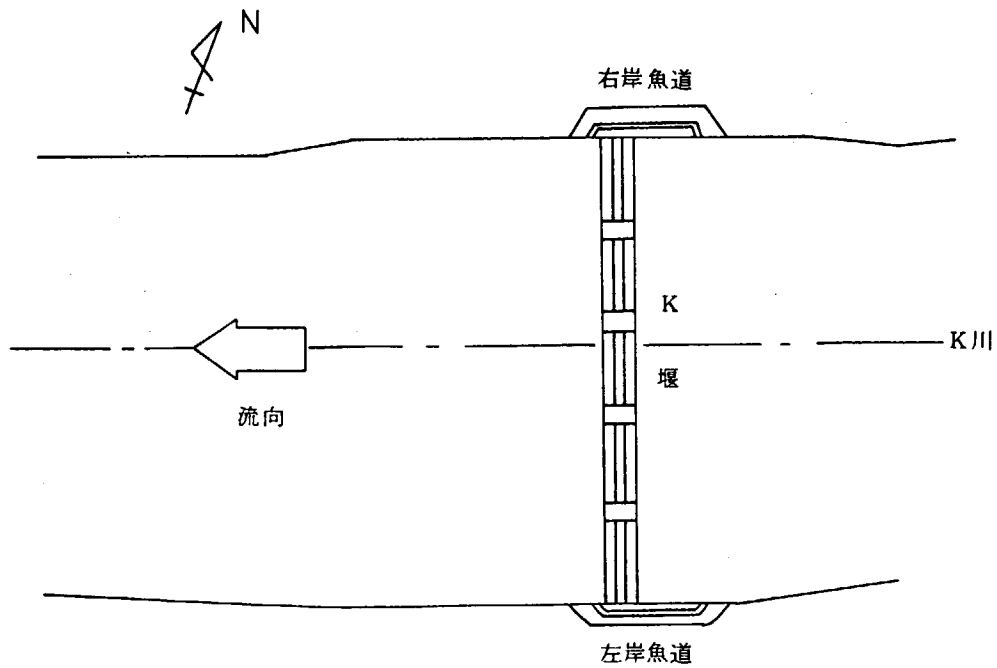
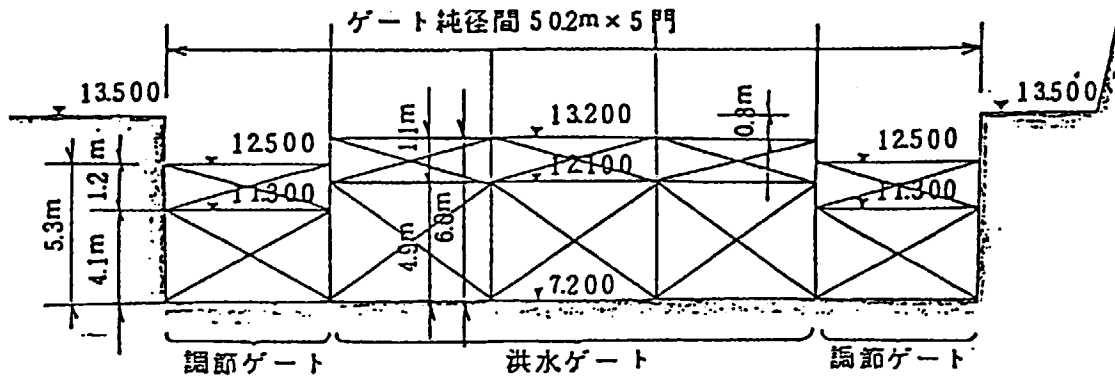


図 7.1 K 堰の平面図

表 7.6 本体ゲート基準設定水位

	設定水位	備 考
計画高水位	T. P. +15.460 m	
定開度制御上限水位 (越流時上限水位)	13.200	計画高水敷高は T. P. +13.200 m に余裕 0.3 m を見込んで T. P. 13.500 とする
常時満水位	12.500	
定開度制御下限水位 (平常時確保水位)	12.100	工業用水最大取水確保
洪水時確保水位	11.300	左岸農業用水自然取水確保 工業用水直送分のみ確保
最低取水位	9.700	



調節ゲート：純径間 50.2 m
 上段フラップ二段扉型式（フラップ高 1.2 m）
 洪水ゲート：純径間 50.2 m
 上段フラップ二段扉型式（フラップ高 1.1 m）

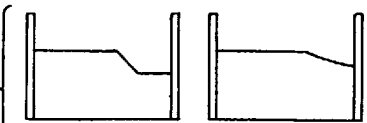

図 7.2 K堰のゲートタイプ

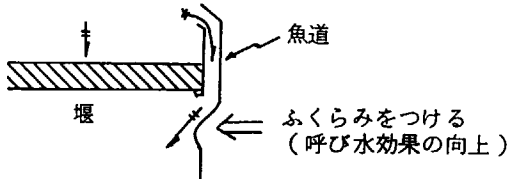
7.2.4 概略魚道構造

1) 設計条件の検討

第7章7.1のアユの魚道設計条件を基本とし、K川およびK堰の構造特性を考慮して、K堰付属魚道の概略構造の検討を行った（表7.7）。なお、検討に当っては、信州大学小山長雄教授と京都大学井上和也助教授の御指導を受けた。

表 7.7 K 堰付属魚道の設計条件

設計条件項目	K 堰付属魚道の設計条件
<p>1. 魚類の魚道出水口への誘導方法：</p> <p>1) 「呼び水」による方法</p> <p>2) 誘導堤または副堰堤による方法</p> <p>3) 電気スクリーンによる方法</p> <p>4) 光や色彩を利用した方法</p> <p>5) 音を利用した方法</p>	<p>以下の 2 案とする</p> <p>①呼び水水路による呼び水方式： アユ遡上期（3～6月）</p> <p>②ゲート放流による呼び水方式： アユ遡上期以外の時期</p> <p>なし（考えない）</p> <p>堰直下流に魚が集まってしまふ場合には、第 3 門または第 2～4 門を赤色に塗装してもよい</p> <p>補助的に用い、呼び水効果の向上を図る</p>
<p>2. 魚道位置</p> <p>1) 魚道位置</p> <p>2) 魚道出水口の位置</p> <p>3) 魚道出水口の河川流向に対する角度</p>	<p>左・右岸とする</p> <p>堰直下流とする</p> <p>45° とする</p>
<p>3. 魚道内水理条件</p> <p>1) 通水量</p> <p>3) 流速（隔壁越流流速）</p> <p>4) 隔壁越流水深</p> <p>5) 通水量の調節装置</p>	<p>0.534 m³/sec（隔壁越流速）程度とする</p> <p>60 cm/sec（隔壁越流速）程度とする</p> <p>15 cm ± 3 cm とする</p> <p>フラップゲートで調節する</p>
<p>4. 魚道の内部構造</p> <p>1) 魚道幅員</p> <p>2) 勾配</p> <p>3) 隔壁</p> <p>(1) 形状</p> <p>(2) 天端厚</p>	<p>左・右岸ともに下記魚道幅員とする</p> <p>①（本）魚道：5 m</p> <p>②呼び水（用魚道）水路：2.5 m</p> <p>1/10 程度とする</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>横断面図</p> <p>縦断面図</p> <p>20～30 cm</p>

(3) 高さ (プールの上流側、下流側)	<ul style="list-style-type: none"> 上流側 0.7 m 程度 下流側 1 m 程度 	} とする。
(4) 隔壁間高差	30 cm 程度とする	
(5) 隔壁間距離 (プールの広さ)	<ul style="list-style-type: none"> ・出水口から上流の1段目と5段目のプール ・取水口から下流の2段目のプール ・その他のプールは、3 m 程度とする 	} 5 m 程度
4) 切欠		
(1) 形状	4、3)、(1)の図参照	
(2) 隔壁における切欠部位	交互につける	
(3) 切欠の高さ、幅等	<ul style="list-style-type: none"> 幅は隔壁幅の1/3程度(1.7 m)とする 高さは、10 cm以下とする 	
5) 側壁の高さ	80 cm程度とする	
6) 潜孔		
(1) 隔壁における位置	切欠と対称の位置とする	
(2) 形状	正方形または円形	
(3) 潜孔の高さ、幅等	15 cm × 15 cm または直径 15 cm 程度とする	
7) 阻柱	なし	
8) 魚溜り	プールの長さで調節する(4、3)、(5)参照)	
9) プール底面の形状	底面に玉石を敷く(50 cmおき程度)	
5. 魚道入水口の位置	農工水等の取水口に近づけない	
6. その他		
1) 魚道出水口付近の構造		

2) 呼び水水路の検討

以下には、建設省F工事々務所が昭和56年度に実施している呼び水水路の検討内容を示す。

(1) 堰地点下流の既得水利権量

堰地点下流における既得水利権量は、表7.8に示すとおりで、その最大は、K堰堤 $Q = 2.880 \text{ m}^3/\text{sec}$ (R堰. 上水. 工水) N毛織 $Q = 0.210 \text{ m}^3/\text{sec}$ を合わせた $Q = 3.090 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。

表 7.8 K堰下流既得水利権量

(m^3/sec)

月 日	K 堰 堤				N 毛織	合 計	月 日	K 堰 堤				N 毛織	合 計
	R 堰	上水	工水	小計				R 堰	上水	工水	小計		
6.16 } 6.19	0.025	0.544	1362	1931	0.210	2.141	7.11 } 7.19	0.189	0.544	1.362	2.095	0.210	2.305
6.20	"	"	"	"	"	2.141	7.20 } 7.31	"	"	"	"	"	2.305
6.21	"	"	"	"	"	2.141	8.1 } 8.10	"	"	"	"	"	2.305
6.22	"	"	"	"	"	2.141	8.11 } 8.31	"	"	"	"	"	2.305
6.23	"	"	"	"	"	2.141	9.1 } 9.10	"	"	"	"	"	2.305
6.24	0.974	"	"	2.880	"	3.09	9.11 } 9.20	"	"	"	"	"	2.305
6.25	"	"	"	"	"	2.141	9.21 } 9.27	"	"	"	"	"	2.305
6.26	"	"	"	"	"	2.141	9.28 } 9.30	"	"	"	"	"	2.305
6.27 } 7.2	"	"	"	"	"	2.141	10.1 } 6.15	0.211	"	"	1.93	"	2.141
7.3 } 7.10	0.189	"	"	2.095	"	2.305							

(2) 呼び水水路構造の検討

微調節流量の規模としては、下流河川の必要放流量等に関係する。

堰地点下流の既得水利権量は $3.090 m^3/sec$ で、この値はK堰完成後のK堰流況では、低水量に匹敵し、河川維持流量を約 $2,000 m^3/sec$ と考えた場合の全放流量は約 $5,000 m^3/sec$ 程度となる。これは約240日流況程度である。

つぎに微調節水路の断面について検討する。

① 水路敷高(流入部)

水路敷高は、大堰の基準設定水位及び、左右岸の取水施設の敷高等を参考にして、 $TP + 9.000 m$ とする。

② 水路幅

水路幅としては、最低取水水位 (T. P. + 9.700) において、下流放流量 $Q = 5.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ を確保するものとする、 $B = 2.7 \text{ m}$ 程度必要となる。

この水路幅において、常時満水位 (T. P. + 12.500 m) 時には、 $Q = 60 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度流下可能である。(図 3.7 参照)

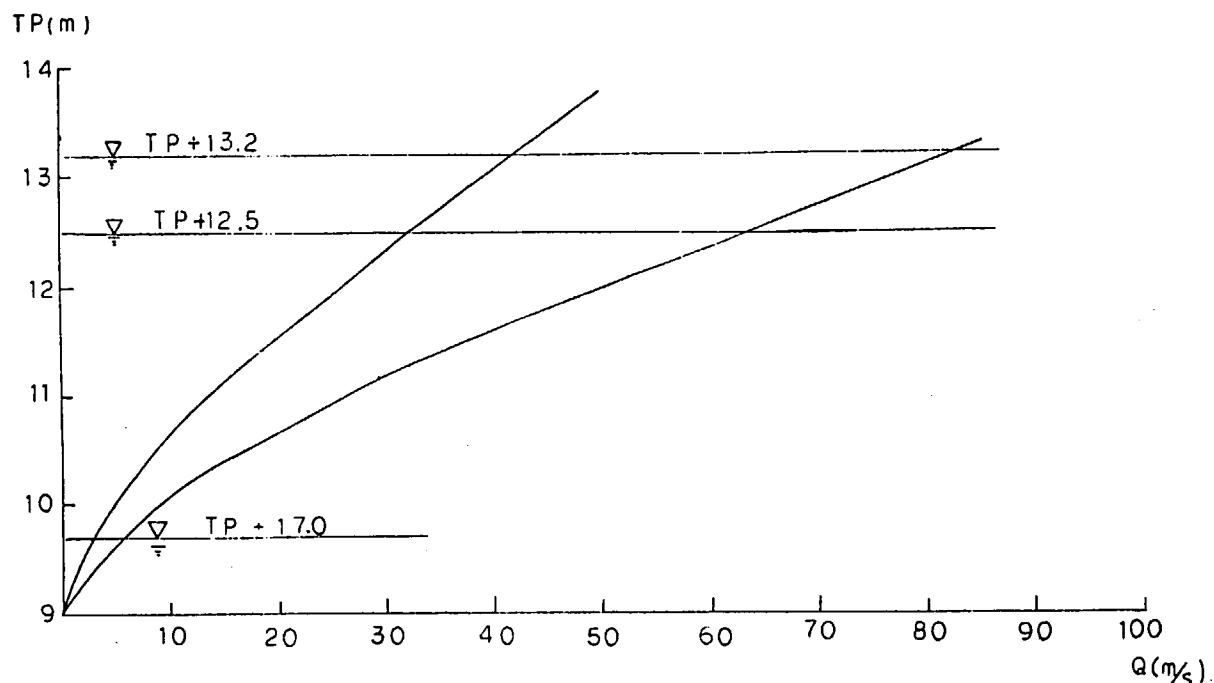


図 7.3 微調節水路 H ~ Q

(3) 微調節水路の流量調節方法について

本微調節水路は、K堰貯水池水位 T. P. + 12.500 (T. P. + 13.200) ~ T. P. + 9.700 の間について流量調節を行う。

流量調節方法は、流調精度、規模から転倒ゲートまたは、バルブによる方法が考えられる。

それぞれの比較検討を表 7.9 に示す。

以上の比較検討の結果、転倒ゲート案は、上流からのゴミ等下物に対する維持管理が不要であり、貯水池の変動に対して下流放流量の変化も大きく、取水口の敷高も T. P. + 9.000 で必要な下記放流量が確保できる等の利点があり、本設計の流調方式としては、転倒ゲート案が有利と考えられる。

表 7.9 流量調節方法比較表

項 目	転倒ゲート案	バルブ案	摘 要
流調設備	転倒ゲート $3.50^H \times 2.70^B \dots 1$ 門	バルブ $\phi 1,100 \dots \dots 2$ 門 (上記は大気放流した場合のバルブ口径である。 1門は予備)	
上流からのゴミ等の流下物に対して	ゲートからオーバーフローさせるため問題なし	バルブにゴミ等が詰まる可能性があり、流入口にスクリーン等を設ける必要がある。 このため維持管理で問題がある。	
貯水池水位変動に伴う流量変化	ゲートの開度を固定した場合に貯水池の水位変動に対して流量変化が大きく主ゲートからのオーバーフローが少なくなり、騒音等に対して有利である。	バルブ開度を固定した場合に貯水池の水位変動に対して流量変化は小さい。	
騒音	オーバーフローをさせるため騒音は発生するが、ゲートの操作方法及び転倒ゲートの段数を増加させて対処することは可能である。	アンダーフローのため騒音は小さい、特にもぐり流出させると有利	
取水口数高	取水口の数高は T. P. + 9.000 で流下可能	取水口の数高を T. P. + 7.700 m 程度まで下げる必要がある (上記は大気放流させた場合でもぐり流出の場合にはさらに数高を下げる必要がある。取水口の数高を T. P. + 9.000 とし取水口とバルブの間で落差工を設ける案もあるが騒音が大きくなる可能性がある。	魚道の呼び水効果を大きくするため、流調部より下流の水路は射流で流下させる必要があり、流調部の数高はできるだけ高い方が呼び水効果としては有利である。

3) 入水口迷入防止対策

遡上魚に対する入水口迷入対策として、以下のことに留意した。

(1) 入水口計画位置は堤防および堤内地条件で許容できるかぎり上流に計画した。

入水口流速は、最悪条件（貯水池の最低水位時すなわち異常湧水時状態において、取水可能な最大水量を取水した場合）においても、流入流速は 30 cm/sec となるよう水幅を十分大きく計画している。

異常湧水時以外の、いわゆるK堰の通常状態（魚道としての効果発揮状態）のTP+12.500m貯水位においては最大流速は、右岸で 0.16 m/sec 、左岸では 0.08 m/sec と迷入が防止できるに十分な入水流速としている。

上記吸込みには十分安全な入水流速ではあるが、それでもなお安全を考えて、迷入防止対策として効果のあると言われる稚アユの忌避する赤色をスクリーンに塗装しかつ赤色光線を照射するなどの計画を立案してもよいと考えられる。

4) 概略構造図

上述の1)～3)の検討に基づく概略構造図を図7.4～7.10に示した。

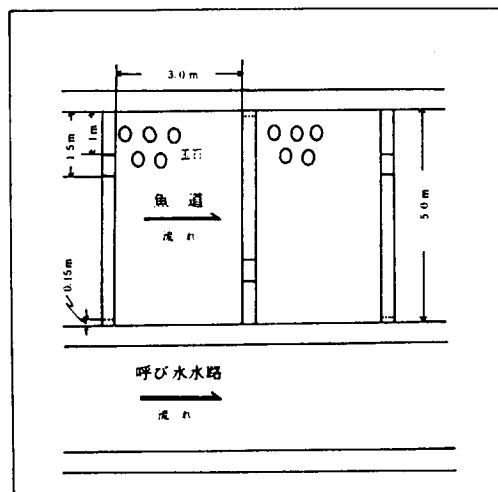


図 7.4 プール平面図

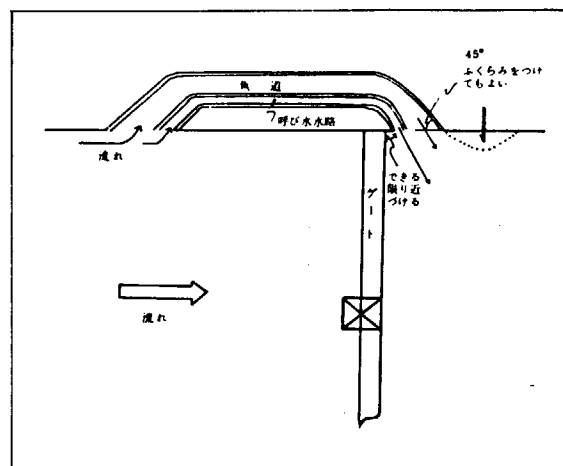


図 7.7 平面図

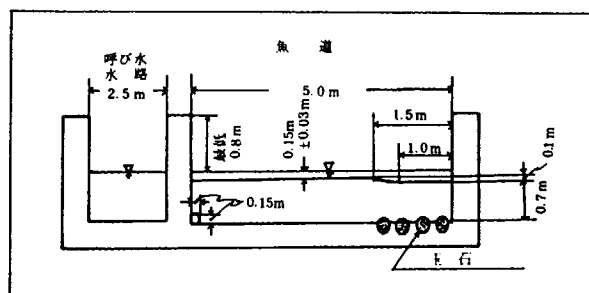


図 7.5 横断面図

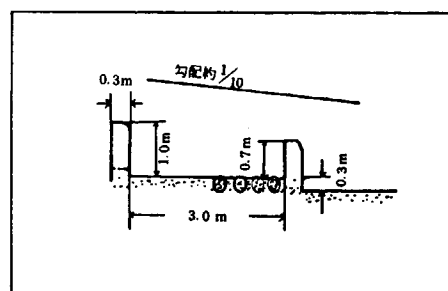
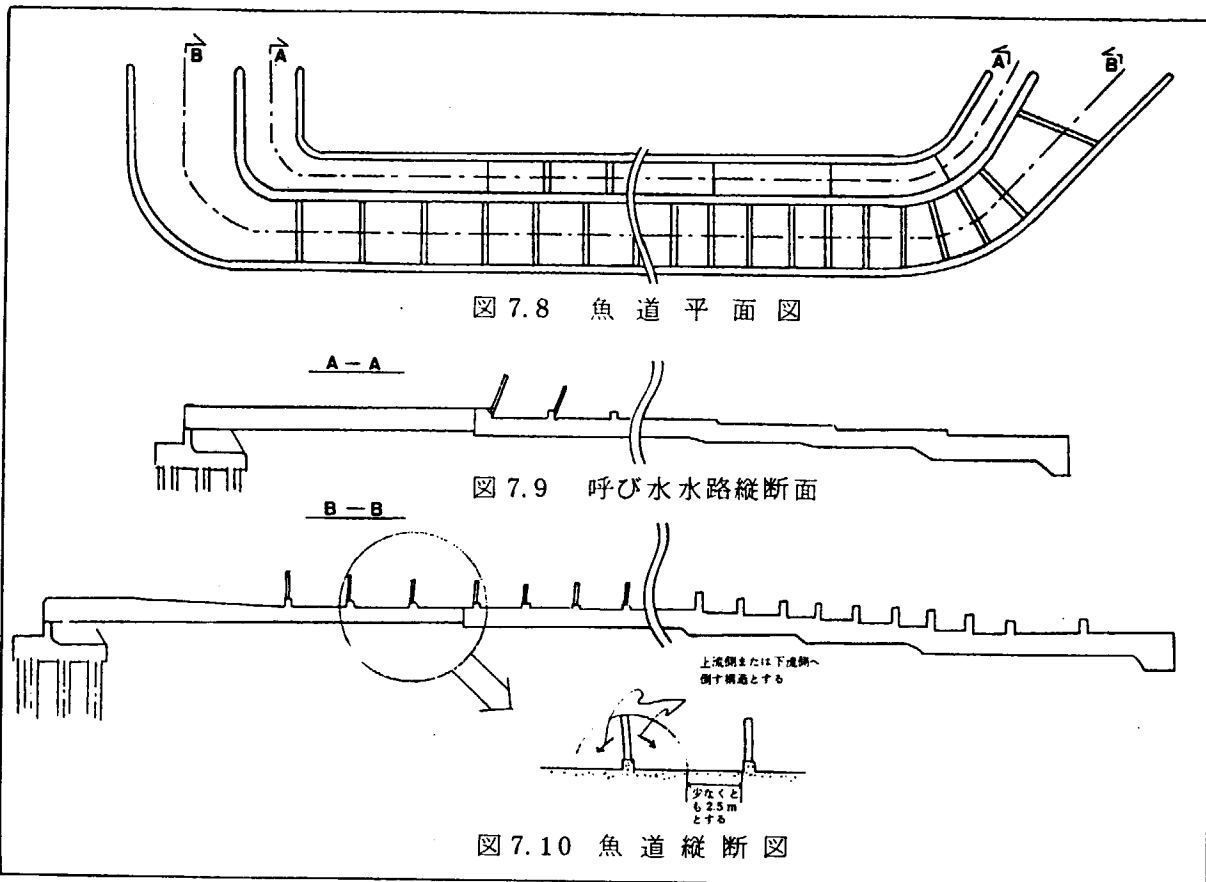


図 7.6 隔壁断面図



7.2.5 呼び水効果の検討

第6章で検討した、魚道の呼び水効果に関する数値解析の手法を用い、K堰付属魚道の呼び水効果について検討した。

1) 計算対象領域と格子分割

計算対象領域は、堰下流100mまでとした。なお、河川形態堰および魚道の構造と放流量などが、河川中心線を軸として左右岸対称と考えられるので、実際の計算は、右岸側半分のみについて実施した(昭和55年度調査結果参照)。

2) 河床高、粗度係数

河床形態は、図7.12と図7.13の2通りの案を設定し、それぞれ図中の河床高とした。

粗度係数は、0.030とした。

また、魚道出水口と堰堤との距離は、図7.14と図7.15の2通りの案を設定した。

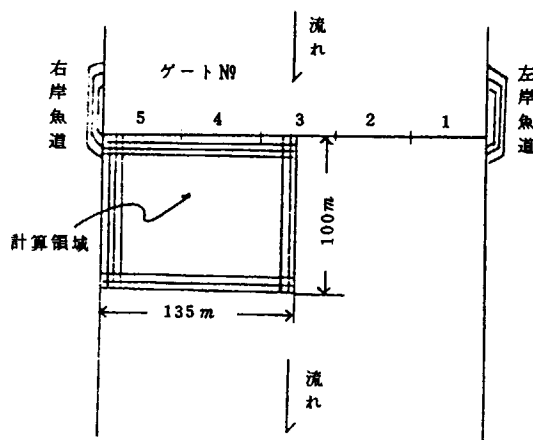


図 7.11 計算対象領域略図
(河川中心線で、左右岸対称岸対称と考える)

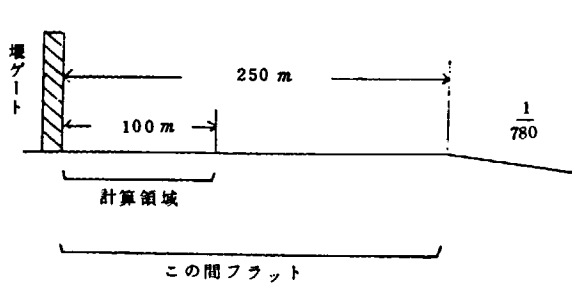


図 7.12 計算領域の河床形態 (第 1 案)

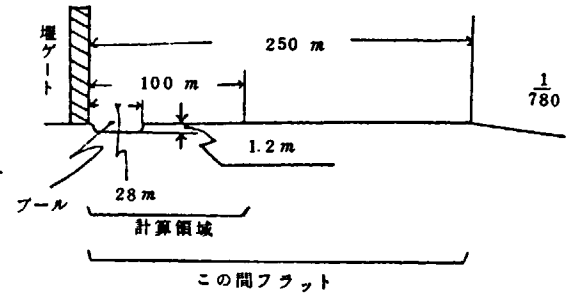


図 7.13 計算領域の河床形態 (第 2 案)

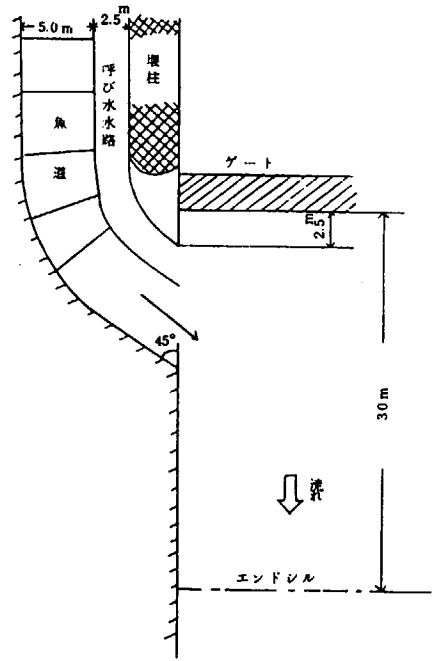


図 7.14 魚道出水口とゲート (堰堤) との距離が短い案

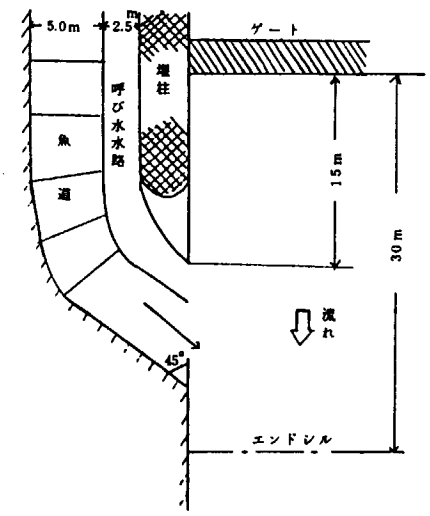


図 7.15 魚道出水口とゲート (堰堤) との距離が長い案

3) 境界条件

- ① 河川堤防：水位の変化によって汀線は移動しないとする。したがって、堤防に直角方向の流通フラックスは 0 とした。
- ② 上流端 (堰)：堰からの放流流量を計算ケース別 (表 7.10) に想定する。したがって、この点ではこれに相当する流量フラックスを与える。
- ③ 魚道および呼び水放水口：後に設定される流量を流出角度 (45°) を考えて流量フラックスに改めて与えた。
- ④ 下流端：堰からの放流流量と魚道および呼び水の総放流流量 (後述表 7.10) との和に対する等流水深を与えた。
- ⑤ 河川中央線：堰の下流 100 m までを対象とし、また流れは河川の中央線を軸として

左右対称であるとして、右岸側のみを計算した。したがってこの計算では河川中央線を横切る流量フラックスはなく、またこれを挟む左右の格子では縦断方向の流量フラックスおよび水深はつねに等しいこととした。

4) 初期条件

各計算ケースの放流流量に対応する等流状態を与えた。

5) 時間間隔

差分の格子の大きさにかかわらず $\Delta t = 0.1$ 秒とした。

6) 計算ケース

計算ケースは、河床形態（図 7.12 ~ 7.13 の 2 条件）、魚道出水口と堰堤との距離（図 7.14 と図 7.15 の 2 条件）と、堰本体ゲート、魚道および呼び水水路からの放流量の組合せから、9 ケースを考えた（表 7.10）。

計算ケースの立案に当っては、呼び水効果を、呼び水水路からの放流水のみではなく、堰本体ゲートからの放流水にも発揮させるように留意した。

表 7.10 計算ケース一覧

ケース	河床形態	魚道流量 (片岸当) m ³ /sec	呼び水流量 (片岸当) m ³ /sec	ゲート放流量 (m ³ /sec)					堰堤と魚道 出水口との 距離
				Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	Na 5	
I	フラット	0.534	25.00	0	0	0	0	0	図 7.14 のとおり
II	"	"	2.207	9.869	9.869	9.869	9.869	9.869	
III	"	"	"	5.483	10.966	16.448	10.966	5.483	
IV	"	"	"	0	12.336	24.673	12.336	0	
V	"	"	4.949	8.772	8.772	8.772	8.772	8.772	
VI	プール	"	2.207	5.483	10.966	16.448	10.966	5.483	図 7.15 のとおり
VII	"	"	25.00	0	0	0	0	0	
VIII	"	"	4.949	8.772	8.772	8.772	8.772	8.772	
IX	"	"	5.922	0	0	0	0	0	

7) 計算結果と考察

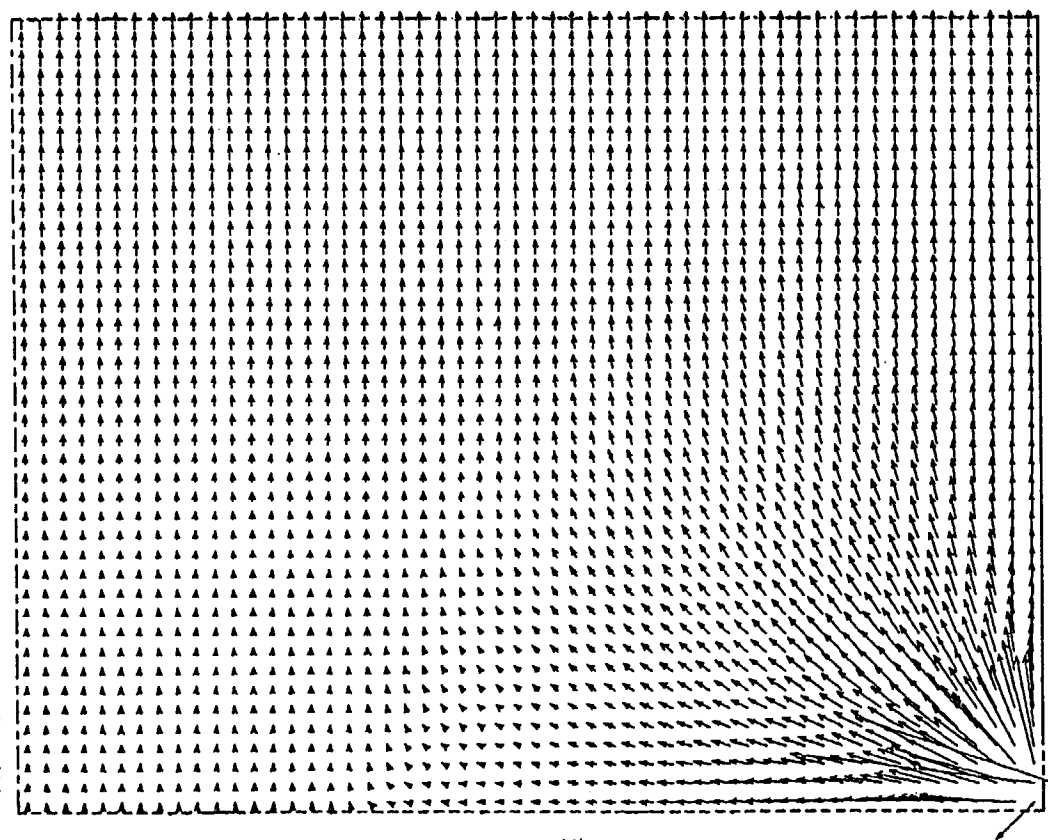
各計算ケースの結果を図 7.16～7.24 に示した。

河床形態の違い（フラットの場合とプール付きの場合）と流向・流速分布の違いについて比較してみると、両者の間に大きな違いはみられない。しかし、河川流量の少ない場合においては、プールがあれば、河川の各部位を遡上してきたアユは、プールの中で回遊するうちに魚道出水口を探し得ると推測されることから、プールを設けるメリットがあると考えられる。

計算結果から、K堰付属魚道における効果的な呼び水放流の方法としては、計算ケースのⅠと、Ⅶであると考えられる。すなわち、計算結果（図 7.16、7.22）の流向・流速分布からみて、ゲート放流せず兩岸の魚道からそれぞれ約 $25.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ ずつ放流する方法は、ほとんどの河川水をコントロールできるので、呼び水効果の向上が図れ、遡上魚は魚道を容易に探知でき得ると推測される。さらに、堰直下流の河川中央付近の流速が弱い部位に遡上魚が集合することを防ぎ、それらの遡上魚を魚道出口付近に誘導するために、ゲートを赤色に塗装することがよいと考えられる。なお、塗装景観を考慮すれば、ゲートの水面下部分のみを塗装することがよく、また、さらに、赤色はアユに忌避行動を起こさせるので、魚道出口に近い両サイドのゲート（ゲート No 1 と 5）は、可能な限り塗装しない方がよいであろう。

ここで、ケースⅠとⅦとを比較してみると、魚道出水口と堰堤との距離がほとんどないケースⅠの場合には次の問題はないが、距離が若干ある（15m）ケースⅦの場合には、魚道出水口と堰堤との間に流速が弱い区域が生じ、そこに魚が集合することが予想されるので、こうした事態が生じた際には、何らかの対策が必要になるかもしれない。

KAKOGAWA (WITHOUT POOL)

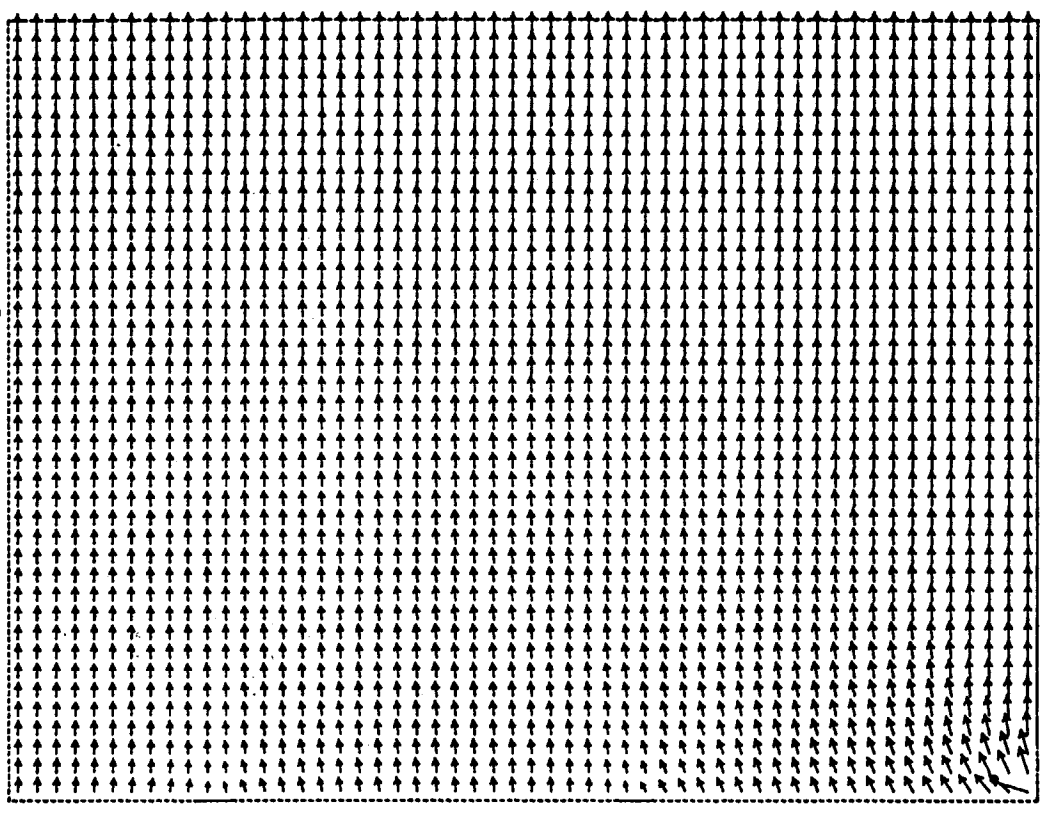


堰

魚道 20 M 5 M/S

図 7.16 ケース I の計算結果

KAKOGAWA (WITHOUT POOL)

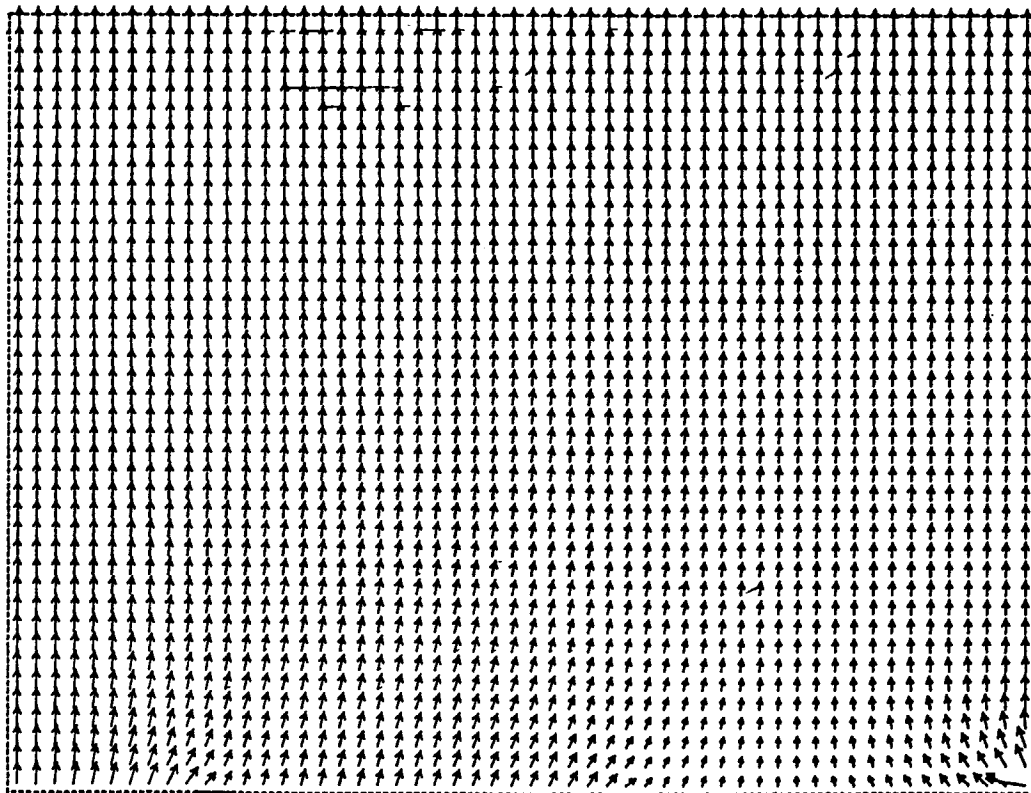


堰

魚道 20 M 5 M/S

図 7.17 ケース II の計算結果

KAKOGAWA (WITHOUT POOL)

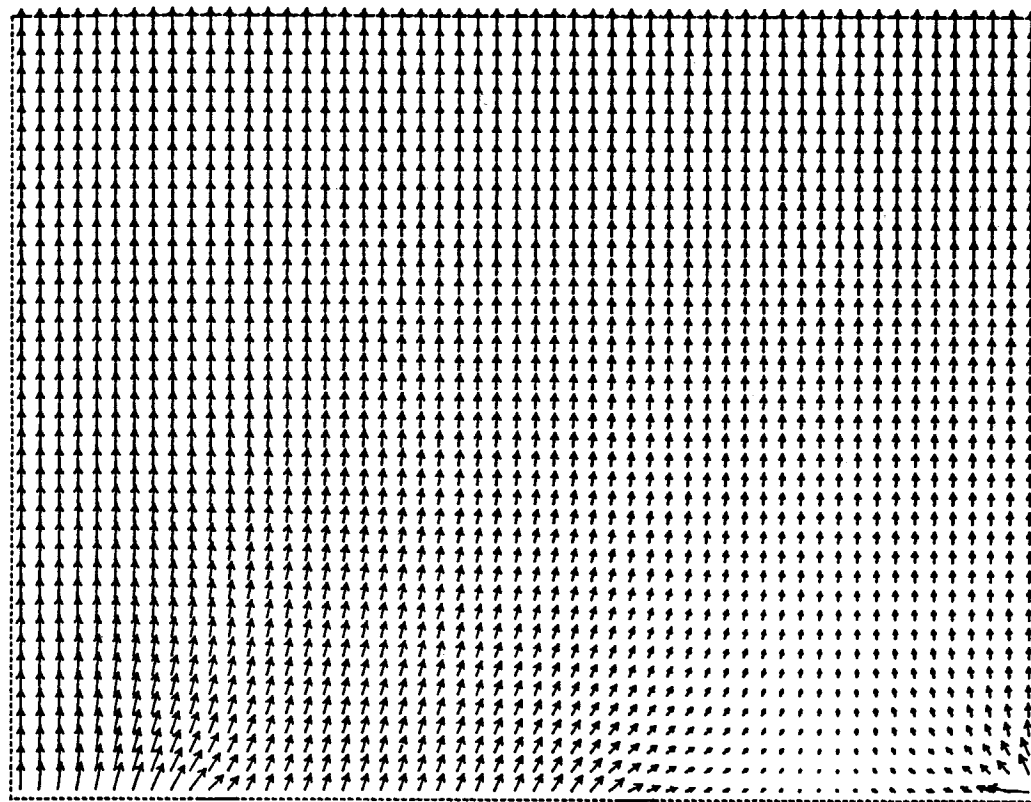


魚道
20 M
5 M/S

堰

図 7.18 ケースⅢの計算結果

KAKOGAWA (WITHOUT POOL)

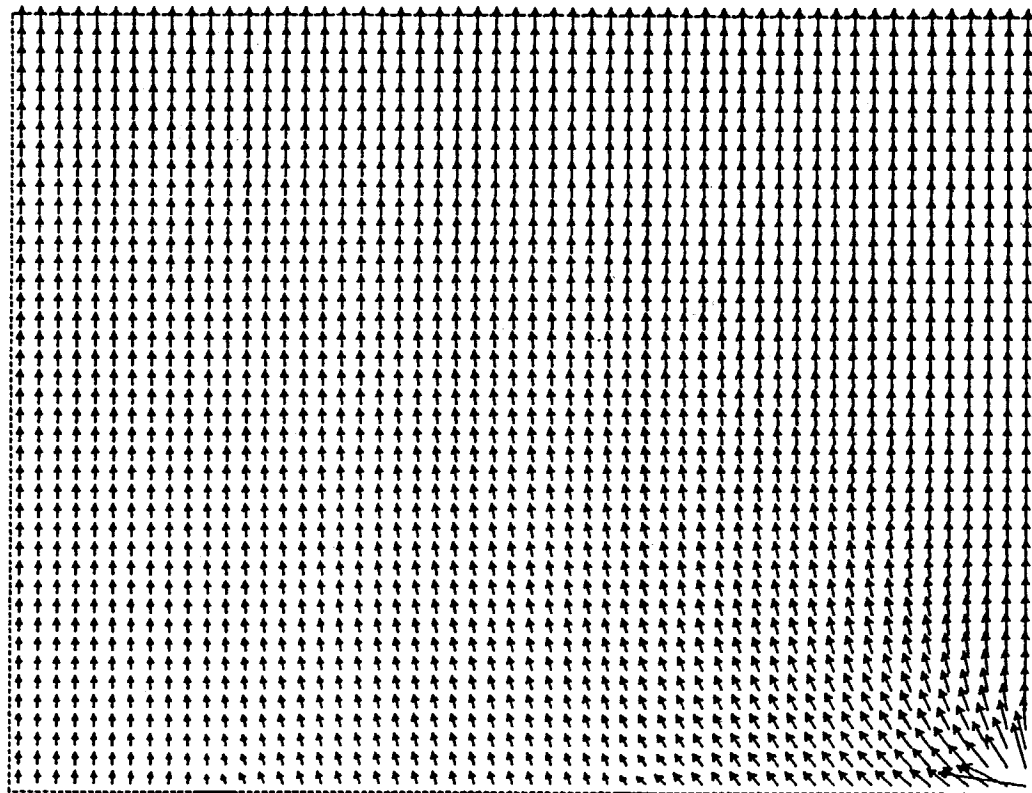


魚道
20 M
5 M/S

堰

図 7.19 ケースNの計算結果

KAKOGAWA (WITHOUT POOL)

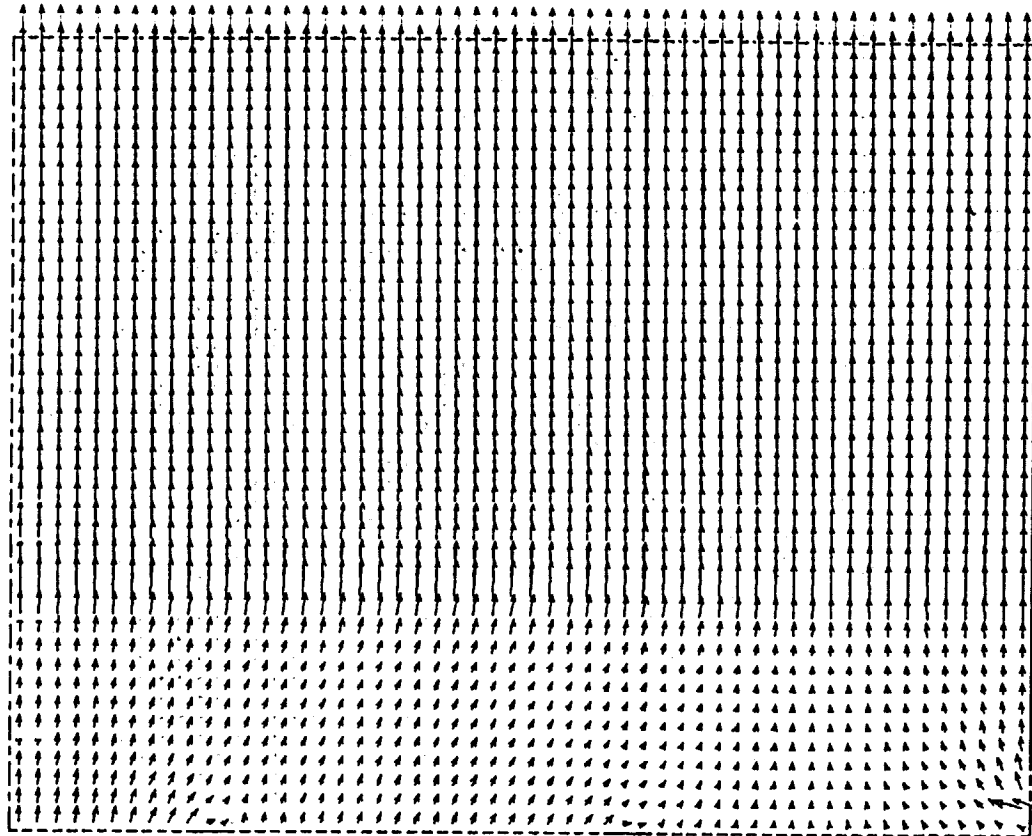


魚道

20 M | 5 M/S

堰

KAKOGAWA (WITH POOL)



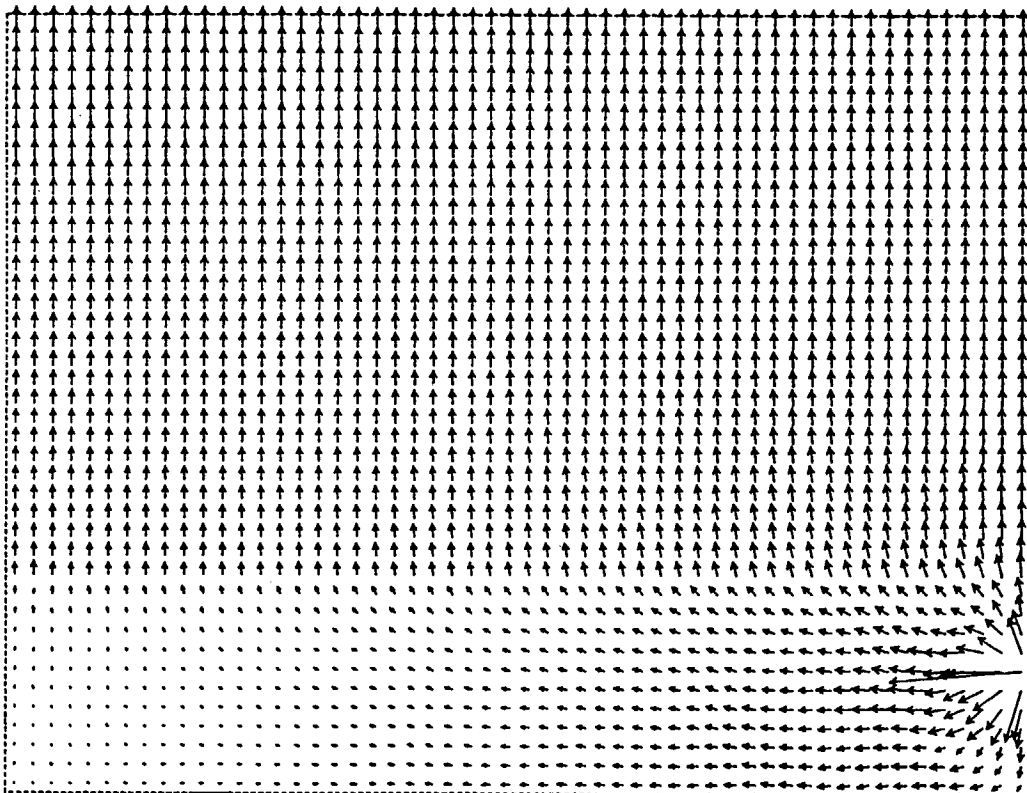
魚道

20 M | 2 M/S

図 7.20 ケース V の計算結果

図 7.21 ケース M の計算結果

KAKOGAWA (WITH POOL)



堰

魚道

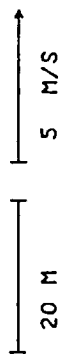
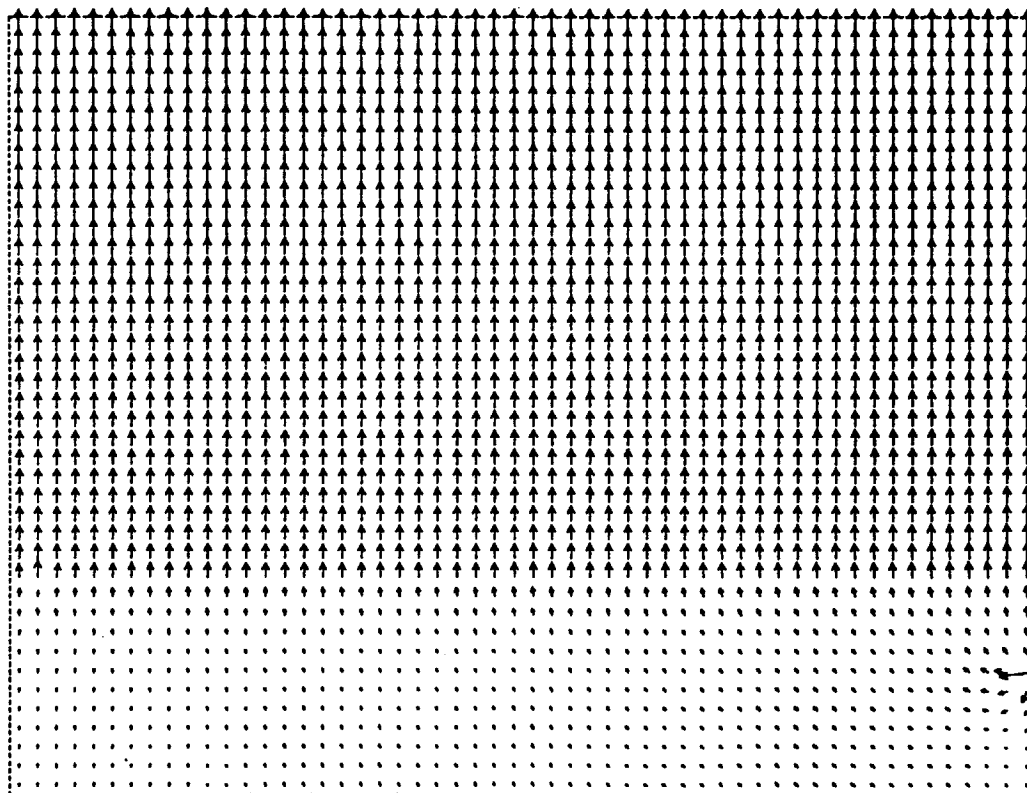


図 7.22 ケースⅦの計算結果

KAKOGAWA (WITH POOL)



堰

魚道

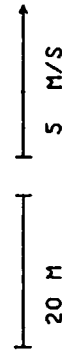
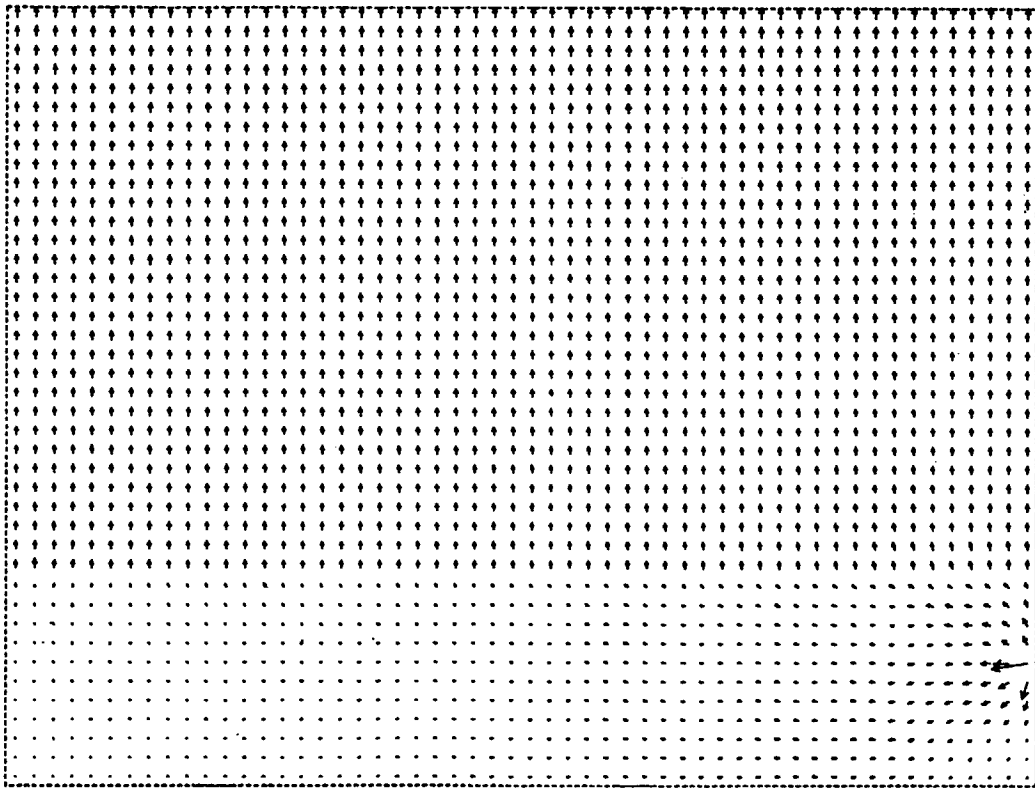


図 7.23 ケースⅧの計算結果

KAKOGAWA (WITH POOL)



魚道
20 M
5 M/S

図 7.24 ケースⅩの計算結果

版

7.3 今後の検討課題

魚類の遡上効率を向上させるための、魚道設計条件のための今後の検討課題について、以下に整理した。

- 1) 魚道の出水口付近における魚類の行動は、それらを魚道出水口へ誘導する方法を考える上で重要である。しかし、この点に関する研究は少ない。他方、魚類を魚道出水口へ誘導するための方法についてはいくつかの提案が成されている。今後は、両者を結びつける実験の実施や観察データの蓄積が必要がある。そして、ケース・バイ・ケースの環境に応じた手法の選択方法についての検討が必要である。
- 2) 魚道の内部構造と魚類の遡上生態に関する資料が少なく、切欠の形状、位置および必要性、プール底面の形状などといった魚道の詳細構造の決定が難しい。今後は既設魚道におけるこうした点に関する実験や調査が必要と考えられる。
- 3) 魚道対象魚としては、アユ、サクラマス、サケ、ヤマメ、アマゴ、イワナなどがあげられるが、アユ以外の種は、遊泳力、ジャンプ高、光に対する反応といった生態の基礎調査がほとんど成されていないので、魚道の通水量、隔壁越流速、隔壁間高差といった魚道構造や水理条件の決定が難しい。今後は、こうした点に関する実験や調査が必要である。

8. ま と め

- 1) 本調査は、魚道に関する魚類の生態学および水理学的知見の収集整理を行うとともに、既設魚道の実態把握、魚道の遡上生態把握並びに呼び水効果に関する数値解析法の検討を行い、魚道と魚類の生態の関係を検討し、今後の効果的な魚道設計条件について考察した。
- 2) 魚道の定義と種類について整理した。日本の魚道形式では、階段式魚道が一番多い。(第2章2.3)。
- 3) 魚道にかかわる魚類の生理生態については、既往文献と池田ダム付属魚道および第十堰付属魚道における水中ビデオ撮影などの結果から、整理した(第3章)。
- 4) 魚道の呼び水効果に関する数値解析法を、池田ダム付属魚道における呼び水(発電放水)実態調査結果と比較検証し、モデルの評価を行なった。その結果、数値解析モデルを、呼び水効果の評価手段として用いることが、可能であると考えられた(第6章)。
- 5) 小山(1965他)の提唱している「呼び水」および「呼び水式魚道」の定義について整理した(第3章3.2.2)。
- 6) 魚道内(プール内)の水理条件について、池田ダム付属魚道で実態把握を行なった。その結果切欠からの越流水によりプール内の水理条件はかなり複雑であることがわかった(第3章3.2.4)。
- 7) 19の堰またはダムに付属する魚道について、ヒヤリングおよび現地踏査を実施し、魚道の評価と問題点について整理した(第4章)。
- 8) 魚類の生理生態などからみた魚道の設計条件と問題点について検討した(第5章)。
- 9) 魚道設計条件を基に、K堰の概略魚道構造と水理条件について、ケーススタディーを行なった(第7章7.2)。
- 10) 魚類の遡上効率を高めるための、魚道設計条件を考える上での課題について提案した。(第7章7.3)。

9. 引用文献および参考書

9.1 引用文献

- 1) 今井 丈夫他(1951) 捕獲魚梯による幼鮎採捕試験、日水会東北支部報、2(2)
- 2) 小野寺好之他(1960) 川の魚の生活Ⅱ、魚類5種の生活史と群集構造、京都府農林部水産課
- 3) 加藤 精一他(1954) 隔壁を溢流する水脈について、第27回全国湖沼河川養殖研究会要録
- 4) 加藤 精一他(1955) 鮎放流基準調査報告書、淵のアユの生態Ⅱ、京都府経済部水産課
- 5) 川那部浩哉他(1957) 遡上アユの生態Ⅱ、とくに生息密度と生活様式について、生理生態Ⅷ7
- 6) 川那部浩哉 (1981) シンポジウム、白山の川と魚の保護、はくさんⅧ18、増刊号、石川県白山自然保護センター
- 7) 楠田 理一 (1963) 海産稚アユの遡上生態Ⅱ、大雲川における遡上群の季節的变化、Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, vol. 29. №9
- 8) 楠田 理一 (1963) 海産稚アユの遡上生態Ⅰ、大雲川における遡上群の日週変化、Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, vol. 29. №9
- 9) 建設省旧信濃川工事事務所 (1969) (2)、Ⅰ. ニジマスおよびヒメマスの遊泳力 Ⅱ. 可動堰ゲートからの放水管理法 Ⅲ. 閘門式魚道のゲート操作方法 Ⅳ. 閘門式魚道の構造および管理上の諸要点
- 10) 小山 長雄他(1969) 閘門式水路可動堰の魚道設置に関する調査、Ⅰ. 魚道模型実験、Ⅱ. 稚アユの水質選好性、信大繊維、生物工学教室
- 11) 小山 長雄 (1979) 特集一魚のほらぬ魚道—淡水魚、第5号
- 12) 小山 長雄 (1981) 特集一溪流魚の魚道—そのあるべき姿勢を求めて—、淡水魚、第7号
- 13) 後藤 官子 (1979) 登り落漁法と長良川中流の魚相、淡水魚、第5号
- 14) 佐藤 隆平 (1973) 北上大堰水理模型におけるアユの遡上行動、水産増殖 21(2)
- 15) 佐藤 隆平 (1979) 山形県河川魚類増殖調査報告、日本水産資源保護協会、月報、Ⅷ177
- 16) 白石 芳一 (1955) 階段式魚梯における遡上アユの生態について(1)水産増殖 3(1)

- 17) 白石 芳一 (1955) 階段式魚梯における遡上アユの生態について(2)、水産増殖、3(2)
- 18) 白石 芳一 (1972) 魚道の構造と操作運営、関屋分水事業に関する水産現況調査報告書
- 19) 鈴木喜三郎 (1959) 滝原堰堤魚道のアユ遡上状況、三重県水産試験場、伊勢湾分場研究報告第1号
- 20) 田内森三郎 (1932) 魚梯に於ける魚類の遡上率、日本水産学会誌1(1)
- 21) 高橋剛一郎他(1980) 遡河魚の生活史と魚道問題、日本林学会北海道支部講演集第29号
- 22) 高橋剛一郎 (1981) 知床半島における河川工事、河川工作物と魚類保護について、知床半島自然生態系総合調査報告書、動物編
- 23) 土屋 実他(1971) 利根大堰の稚アユ遡上、および流下仔魚の迷入におよぼす影響について、埼玉水試研報、№30
- 24) 日野 淑美他(1979) 吉野川第十樋門におけるアユ遡上調査について、徳島水試報、昭和52～53年度
- 25) 堀田 秀之 (1952) 幼鮎遡上の時間的变化について、魚類学雑誌 vol.2 №3
- 26) 三善 清旭 (1935) 魚梯に於ける鮎の遡上に及ぼす水量、温等の影響、日本水産学会誌、4(1)

9.2 参 考 書

- 1) 井上 実 (1978) 魚の行動と漁法、恒星社厚生閣、東京
- 2) 伊藤 弘住 (1967) 河川構造物施工法、山海堂
- 3) 稲葉伝三郎他(1954) 魚道の設計に就いて
- 4) 稲葉伝三郎 (1976) 淡水増殖、恒星社厚生閣
- 5) 加藤 精一 (1968) 魚道および魚梯、日本水産資源保護協会
- 6) 小山 長雄 (1965) 魚道をめぐる諸問題Ⅰ、文献編、木曾三川河口資源調査団
- 7) 小山 長雄 (1967) 魚道をめぐる諸問題Ⅱ、解説編、木曾三川河口資源調査団
- 8) 小山 長雄 (1978) アユの生態、中公新書
- 9) 農林省農地局(1967) 土地改良事業計画設計基準
- 10) 北海道水産部(1980) さけ・ます通路整備事業(魚道)設計報告書
- 11) 北海道水産部(1980、1981) さけ・ます通路整備事業実施報告書
- 12) 水公団吉野川開発局(中村中六他)
(1980、1981) 吉野川アユ遡上調査報告書

10. 付表・付図

付表、付図目次を以下に示した。

付表 1. 階段式魚道の実態

〃 2. 魚道に係る水理状況

〃 3. 魚道の構造と水理のまとめ

〃 4. 池田ダム付属魚道および第十堰付属魚道における水中ビデオ・カメラ撮影等について

付図 1. 池田ダム付属魚道における水中ビデオカメラによる魚類の遡上状況実態把握調査地点

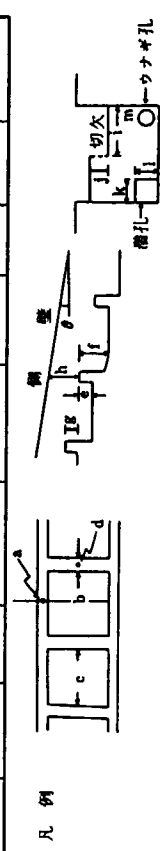
〃 2. 第十堰付属魚道における水中ビデオカメラによる魚類の遡上状況実態把握調査地点

付表 5. ヒヤリング調査様式

付図(写真) 3. ScotlandのPitlochryの魚道

付表-1 (1)階段式魚道の実態(その1)

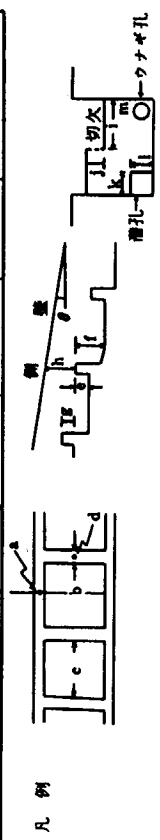
番号	名称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸) (度)	魚道の全長 (m)	幅		屈曲数 (回)	勾配 (度)	御座天端幅 (m)	a 隔壁数 (個)	隔壁間距離	
							登り口 (m)	出口 (m)					登り口 (m)	出口 (m)
1	立石発電所堰堤	4.70	50.50		右1(180)	75.6	6.0		1	1/10				3.0
2	鹿帯発電所堰堤	2.5	72.5		右1(90)	51.0	5.0	3.0	1	1/10				3.0
3	薄島発電所堰堤	4.0	20.0		左1(180)	57.50	5.0	3.0	1	1/15				3.0
4	愛本発電所堰堤	3.50	90.0		右1(90)	70.0		5.5	直線状	1/13				4.0
5	旭発電所堰堤	5.0	81.50		左1(90)	58.0	5.0	3.5	1	1/10				3.0
6	白山発電所堰堤	4.10	111.10		右1(90)	43.0	5.0	4.0	1	1/12				3.0
7	江尾発電所堰堤	2.5	78.0		左1(0)	32.0	3.3	3.0	2~4	1/12				3.70
8	茂井堰三浦川水門堰首工	2.70	90.9		左右(0)	14.0			直線状	1/14				
9	森山発電所堰堤	15.70	185.0		右1(90)	304.90	8.0	3.50	5~	1/12				3.0
10	西平発電所堰堤	21.0	102.0		右1(60)	246.5	5.6		5~	1/10~1/8				2.0
11	小田井用水堰頭首工	1.20	153.0		右1(0)	21.50		8.0		1/18				3.2
12	五田ヶ瀬井堰頭首工				右1(0)				直線状					
13	第三面河発電所堰堤	11.0	83.0		右1(90)	151.0	6.0	4.0	5~	1/15				4.50
14	仁淀川第一発電所堰堤	12	130		左1(180)	162		5.5	1	1/10				4.0
15	藤原第二発電所堰堤	13	97.0		左1(150)	182.0	6.0	3.0	2~4	1/10				3.0
16	姫川第六発電所				左1(0)	78.8		3.6	直線状	1/10				3.0
17	千手発電所堰堤	9.70	330.0		右1(90)	220	11.0		1	1/15				4.20
18	大久保発電所堰堤	7.0	100		左1(0)	107.0	8.8	5.5	直線状	1/15				4.0
19	名倉発電所堰堤	8.30	114.50		左1(90)	65.0		2.50	直線状	1/8				2.0
20	渡川発電所堰堤	6.4	109.0		左1(90)	98.0	6.0	4.0	1	1/15				4.50
21	川辺川第二発電所堰堤	8.0	75.0		右1(90)	83.20	6.0		1	1/12				4.0
22	蓬萊発電所堰堤	19.0	133.0		右1(120)	267.30	9.0		2~4	1/12~1/15				4.50
23	豊実発電所堰堤	20.30	205.45		左1(90)	547.6		5.50	2~4	1/15				3.60~4.50
24	新郷発電所堰堤	18.0	199.0		左1(180)	542.20	6.0		2~4	1/15				4.50
25	鹿ノ瀬発電所堰堤	18.66	279.50		左1(90)	413.20	12.0		2~4	1/15				4.50



凡例

付表-1 (1)階段式魚道の実態(その2)

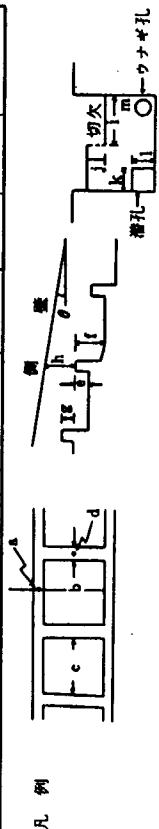
番号	名	称	隔						壁			切			魚道の有効幅員 延長	切欠幅 魚道の有効幅員	槽孔幅 魚道の有効幅員	備考
			d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)	h 天端高さ (m)	i 幅 (m)	j 高さ (m)	k 幅 (m)	l 高さ (m)	m ウナギ孔 (m)						
1	立石発電所埋堤		0.3	1.0	1.30	0.3			0.9	0.15				0.45				
2	豊希発電所埋堤		0.3	0.9	1.20	0.3			1.0	0.15	0.25	0.25	0.45					
3	薄島発電所埋堤		0.5	0.9	1.1	0.2			0.3	0.20								
4	愛本発電所埋堤		0.4	1.20	1.50	0.3			1.85	0.3	0.45	0.45			0.061	0.336	0.081	
5	旭発電所埋堤		0.3	0.8	1.10	0.3			1.50	0.20								
6	白山発電所埋堤		0.4	1.0	1.25	0.25			1.33	0.15	0.3	0.25						
7	江尾発電所埋堤		0.6	0.7	1.0	0.3			1.0	0.15	0.2	0.2						
8	茂樺三澤用水改修工事		0.45												0.061			
9	森山発電所埋堤		0.3	0.8	1.05	0.25			0.8	0.15	0.3	0.3						
10	西平発電所埋堤			0.9	1.20	0.3			0.75	0.15	0.2	0.2						
11	小田井用水埋頭首工		0.5			0.2					0.3	0.3			0.052		0.038	
12	五田ヶ瀬井埋頭首工																	
13	第三面河発電所埋堤		0.6	0.75	1.05	0.3			1.30	0.15	0.3	0.3						
14	仁淀川第一発電所埋堤		0.3	0.9	1.20	0.3			1.20	0.2			0.7		0.042	0.218		
15	標原第二発電所埋堤		0.6	1.0	1.30	0.3			1.0	0.1	0.15	0.15	0.3					
16	姫川第六発電所		0.4	1.50	1.80	0.3			1.40	0.15	0.45	0.45				0.389	0.125	
17	千手発電所埋堤		0.3	1.50	1.80	0.3			2.40	0.15	0.6	0.6	0.6					
18	大久保発電所埋堤		0.45	1.20	1.45	0.25			1.05	0.06	0.3	0.25						
19	名倉発電所埋堤			0.6	0.85	0.25			0.5	0.15					0.022	0.200		
20	渡川発電所埋堤			0.7	1.0	0.3			1.30	0.15			0.6					
21	川辺川第二発電所埋堤			0.9	1.20	0.3			0.9	0.2	0.3	0.3	0.3					
22	蓬萊発電所埋堤			0.6	1.20	0.3			1.20	0.15	0.3	0.3						
23	豊実発電所埋堤					0.3			1.20	0.2	0.3	0.3			0.027	0.218	0.055	アールの底部が傾斜を有する
24	新郷発電所埋堤		0.	0.7	1.0	0.3			1.20	0.2	0.6	0.3						
25	鹿ノ瀬発電所埋堤					0.3			1.20	0.15	0.3	0.3						アールの底部が傾斜を有する



凡例

付表-1 (2)階段式魚道の実態(その1)

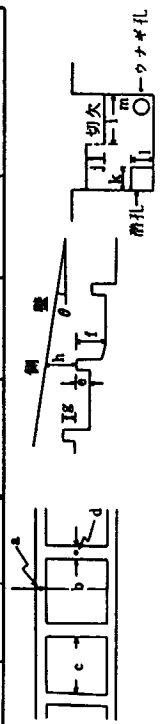
番号	名	称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸)	魚道の全長 (m)	幅		回曲数 (回)	勾配 (度)	側壁先端幅 (m)	a 隔壁数 (個)	登り口 (m)	隔壁間距離 出口 (m)	平均値c (m)
								登り口 (m)	有効幅員b (m)							
26	佐久発電所埋堤		12.10	82.40		右1(0)	167.3	6.0	3.64	直線状	1/10				3.0	
27	今渡発電所埋堤		11.8	308.0		左1(90)	106		3.75	2~4	1/12				3.0	
28-1	第一床固					右1(0)	57.50		11.70						5.0	
28-2	"					左1(0)	34.20		10.00						5.0	
28-3	"					(90)	100		3.00							
29-1	東京都上水道海水防止埋堤		3.0	94.0		左1(0)	37.90		4.00	直線状	1/15				4.0	
29-2	"					中1(0)	25.00		4.00	直線状	1/10				2.5	
30-1	仰光川農業水利改良事業頭首工		2.0	180.0		右1(0)	214.5		5.5	直線状	1/12					
30-2	"					左1(0)	235.0		5.5	直線状	1/15				2.5	
31	岩井井堰用水改良事業頭首工		3.50	232.40		右1(0)	180			直線状					3.0	
32	杉井堰用水改良事業頭首工		2.21	133.0		右1(0) 中2	14.0		4.0	直線状	1/10				3.0	
33-1	農業水利改良事業頭首工		7.0	101.50		右1(90)	59.0	5.0	3.0		1/10				3.0	
33-2	"					左1(90)	79.0	5.0	4.0		1/10				3.0	
34	大見川	1							1.98		10/71	0.2			1.77	
35	"	2							3.6		10/71	0.2			1.89	
36	"	3							2.0		10/71	0.2			1.90	
37	"	4							2.05			0.2			1.6	
38	"	5							2.0			0.2				
39	"	6							2.03		10/63	0.22			2.15	
40	"	7							2.00		10/63	0.21				
41	"	8							1.6		10/47	0.2			1.7	
42	"	9							2.02		10/57	0.2			1.87	
43	"	10							2.0		10/71	0.2			2.25	
44	"	11							2.02		10/71	0.2			2.2	
45	"	12							2.50		10/57	0.2			1.9	



凡例

付表-1 (2)階段式魚道の実態(その2)

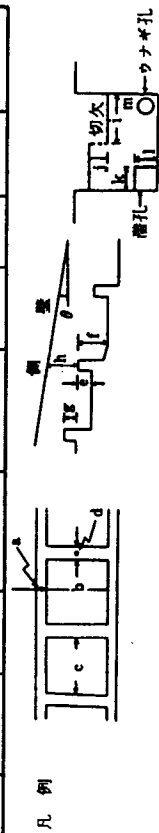
番号	名	称	隔			壁			切			港			魚道の有効幅員 延長	切欠幅 魚道の有効幅員	港孔幅 魚道の有効幅員	備
			d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)	h 天端高さ (m)	i 幅 (m)	i 高さ (m)	k 幅 (m)	l 高さ (m)	m ウナギ孔 (m)						
26	佐久発電所	堰堤	0.6	0.9	1.2	0.3			0.6	0.09	0.2	0.15		0.055	0.132	0.044		
27	今渡発電所	堰堤	0.3	1.0	1.30	0.3			1.25	0.15	0.3	0.3		0.012	0.333	0.080		
28-1	第一	床固		0.8	1.1	0.3			3.0	0.15	0.3	0.3			0.256	0.026		
28-2	"	"		0.8	1.1	0.3			3.0	0.15	0.3	0.3			0.300	0.030		
28-3	"	"							3.0	0.15	0.3	0.3				0.100		
29-1	東京都上水道	漏水防止堰堤				0.25			1.5	0.2	0.5	0.2		0.043	0.375	0.125		
29-2	"	"				0.25			1.5	0.2	0.5	0.2			0.375	0.125		
30-1	宇田川	堰堤				0.15							0.031					
30-2	"	"				0.15												
31	岩熊井	堰堤				0.3												
32	杉坂井	堰堤		0.9	1.20	0.3							0.030					
33-1	農業水利	堰堤		0.7	1.0	0.3												
33-2	"	"		0.7	1.0	0.3												
34	大見川	堰堤	1	0.13	0.43	0.29	0.2											
35	"	2	0.4	0.2	0.5	0.3	0.25											
36	"	3	0.4	0.2	0.41	0.22	0.19											
37	"	4	0.2	0.15	0.40	0.25	0.27											
38	"	5																
39	"	6	0.20	0.12	0.40	0.28	0.37											
40	"	7																
41	"	8	0.3	0.25	0.58	0.33	0.08	0.1	0.8	0.1				0.500				
42	"	9	0.2	0.2	0.5	0.2	0.12	0.1	1.88	0.1				0.931				
43	"	10				0.3												
44	"	11	0.2	0.18	0.5	0.26	0.20											
45	"	12	0.16	0.26	0.75	0.39	0.56											



凡例

付表-1 (3)階段式魚道の実態(その1)

番号	名称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸) (度)	魚道の全長 (m)	登り口 (m)	幅 出口 (m)	有効幅員b (m)	屈曲数 (回)	勾配 (度)	側壁天端幅 (m)	a 隔壁数 (間)	登り口 (m)	隔壁間距離 出口 (m)	平均値c (m)
46	大見川 13							2.00			10/57	0.2				1.90
47	" 14							2.02			10/43	0.2				1.7
48	" 15							2.00			10/43	0.22				1.85
49	" 16							2.02			10/57	0.2				2.0
50	" 17							2.00			10/57					
51	" 18							2.0			10/57	0.2				2.4
52	" 19							2.0			1/4	0.2				1.4
53	" 20							2.0			10/47	0.2				2.04
54	" 21							2.0			10/51	0.2				1.90
55	" 22							2.0			10/26	0.15				0.71
56	狩野川 1							2.03			10/37	0.3				1.2
57	" 23															
58	" 4							1.88			10/37	0.3				1.47
59	柿木川 1							1.44			1/4	0.28				1.36
60	" 2							1.76			10/47					1.75
61	" 3							1.0			10/51	0.25				1.05
62	地蔵堂川 1							2.0			10/71	0.2				2.3
63	" 2							2.0			10/71	0.2				1.88
64	" 3							2.0			10/51	0.2				1.71
65	" 4							2.00			10/47	0.2				1.20
66	" 5							2.04			10/43	0.2				1.65
67	" 6							2.0			10/37	0.2				
68	" 7															
69	" 8							2.00			10/51	0.2				1.85
70	" 9							1.09			10/43	0.2				

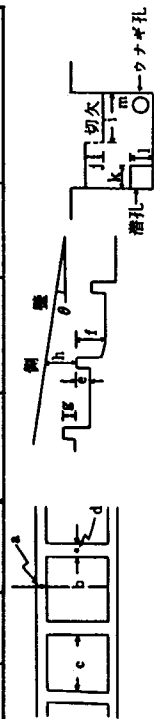


凡例

付表-1 (3)階段式魚道の実態(その2)

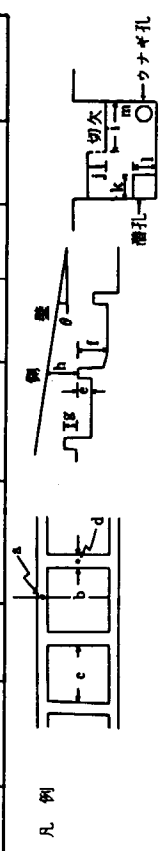
番号	名	称	壁				切欠			潜孔	ウナギ孔 (m)	魚道の有効幅員 堤長	切欠幅 魚道の有効幅員	潜孔幅 魚道の有効幅員	備考
			d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)	h 天端高さ (m)	i 幅 (m)	j 高さ (m)						
46	大見川	13				0.35									
47	"	14													
48	"	15	0.19	0.2	0.58	0.38	0.2	0.9	0.1			0.450			
49	"	16	0.2	0.42		0.35									
50	"	17													
51	"	18				0.35	0.4								
52	"	19	0.2			0.35	0.35								
53	"	20	0.2	0.15	0.6	0.4									
54	"	21	0.2	0.12	0.45	0.33	0.2								
55	"	22	0.2	0.16	0.45	0.29	0.28								
56	狩野川	1	0.2	0.43	0.9	0.47	0.11	0.83	0.15			0.409			
57	"	23													
58	"	4	0.33		0.78		0.11								
59	柿木川	1	0.126	0.30	0.59	0.29		0.5	0.3			0.347			
60	"	2			0.26										
61	"	3	0.16	0.30	0.54	0.24	0.10	0.3	0.1			0.300			
62	地藏堂川	1				0.26									
63	"	2	0.18	0.10	0.67	0.30	0.20								
64	"	3	0.2	0.16	0.44	0.33	0.26								
65	"	4	0.17			0.26	0.2								
66	"	5	0.18	0.2	0.56	0.4									
67	"	6													
68	"	7													
69	"	8	0.2	0.12	0.45	0.36	0.28								
70	"	9													

凡例



付表-1 (4)階段式魚道の実態(その1)

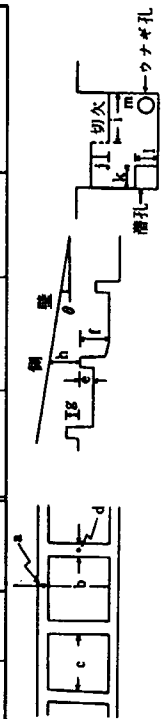
番号	名称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸) (度)	魚道の全長 (m)	登り口 (m)	幅 出口 (m)	有効幅員b (m)	屈曲数 (回)	勾配 (度)	側壁先端幅 (m)	隔壁数 (個)	登り口 (m)	隔壁間距離 出口 (m)	平均値c (m)
71	地藏堂川 10								2.00		10/40	0.2				
72	" 11								2.04		10/47	0.2				1.80
73	" 12								2.00		10/37	0.2				
74	" 13								1.7		10/37					
75	" 14										10/40	0.2				1.7
76	" 15								2.00		10/37	0.2				
77	" 16								2.00		10/40	0.24				2.0
78	" 17								2.00		10/47	0.2				1.05
79	" 18								2.0		10/37	0.2				1.94
80	" 19								2.0		10/51	0.2				
81	" 20								2.0		10/43	0.2				2.00
82	菅引川 1								2.0		10/71	0.22				2.25
83	" 2								2.0		10/71	0.2				2.20
84	" 3								1.9							1.65
85	" 4								2.0		10/71	0.2				2.3
86	" 5								2.0		10/63	0.2				2.30
87	" 6								2.0		10/51	0.2				
88	" 7								2.0		10/43	0.2				1.60
89	" 8								2.04		10/47	0.2				2.00
90	" 9								2.0		10/57					1.96
91	" 10								2.0		10/51	0.2				2.0
92	" 11								1.93		10/57	0.2				2.37
93	" 12															
94	" 13								1.97		10/57	0.2				2.20
95	徳永川 1								2.0		10/51	0.2				1.9



凡例

付表-1 (4)階段式魚道の突態 (その2)

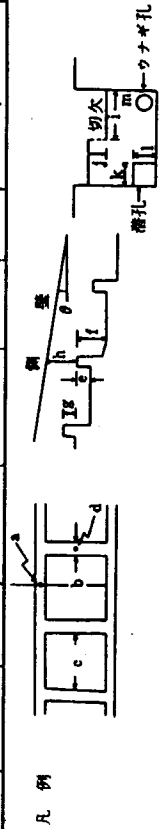
番号	名	称	階				h 天端高さ (m)	切 幅 (m)	i 高さ (m)	j 高さ (m)	潜 幅 (m)	k 高さ (m)	l 高さ (m)	m ウナギ孔 (m)	魚道の有効幅員 堤長	切欠幅 魚道の有効幅員	潜孔幅 魚道の有効幅員	備	考
			d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)													
71	地蔵堂川	10																	
72	"	11	0.2	0.21	0.50	0.38													
73	"	12																	
74	"	13																	
75	"	14																	
76	"	15																	
77	"	16	0.20			0.39													
78	"	17					0.4												
79	"	18				0.4													
80	"	19																	
81	"	20	0.2			0.4													
82	菅引川	1	0.17	0.22	0.52	0.30	0.28	1.0	0.03					0.500					
83	"	2	0.2	0.23	0.50	0.27	0.18	0.94	0.09					0.470					
84	"	3																	
85	"	4	0.1		0.34														
86	"	5	0.2	0.19	0.57	0.38	0.22												
87	"	6	0.2	0.10	0.46	0.36	0.26												
88	"	7	0.2																
89	"	8			0.37		0.34												
90	"	9					0.34												
91	"	10			0.38														
92	"	11			0.04		0.43												
93	"	12																	
94	"	13	0.2	0.2	0.5	0.3	0.19												
95	徳永川	1	0.2	0.3	0.6	0.3	0.2	0.9	0.1					0.450					



凡例

付表 - 1 (5) 階段式魚道の実績 (その1)

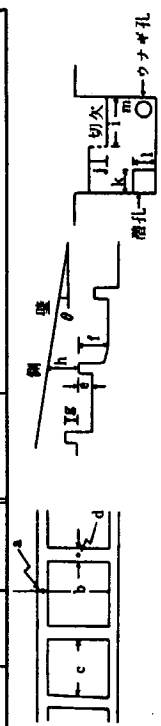
番号	名	称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸) (度)	魚道の全長 (m)	幅員		周曲数 (回)	勾配 (度)	側壁先端幅 (m)	障壁数 (個)	登り口 (m)	隔壁間距離 出口 (m)	平均値 c (m)
								登り口 (m)	有効幅 b (m)							
96	徳永	川 2									10/71	0.2				2.20
97	"	3						2.0			10/57	0.2				2.10
98	"	4						2.0				0.2				2.25
99	猫越	川 1						0.8			10/52	0.15				0.73
100	冷	川 1						1.57			10/57	0.3				1.80
101	"	2						2.0			10/71	0.2				2.25
102	"	3						2.0				0.2				2.20
103	本谷	川 1						1.22			10/51	0.5				0.55
104	"	2									10/26	0.16				0.71
105	持越	川 1						1.26			10/61	0.2				1.37
106	"	2						1.3			1/7	0.2				1.54
107	"	3						0.8			1/27	0.17				0.7
108	古奈	川 1						0.88			10/29	0.22				1.76
109	"	2						0.82			10/25	0.16				0.72
110	追良瀬	砂防ダム						3.0			1/10	0.2				3.0
111	中村	堰						2.0			1/15	0.2				0.94
112	岩本	ダム						4.54				0.606				
113	利根	大堰						3.40				0.3				3.40
114	辰ノ口	堰					25.5				1/15					
115	馬又	ダム						1.2			1/8					
116	泰	阜	14.30					2.0			1/10					
117	落	合	10.12					3.0			1/15					
118	若	宮	9.30					4.0			1/10					
119	初	瀬	11.25					3.0			1/10					
120	筏	津									1/18					



凡例

付表-1 (5) 階段式魚道の実態 (その2)

番号	名	称	隔			壁			切			欠	階	孔	m ウナギ孔 (m)	魚道の有 効幅員 堤長	切欠幅 魚道の 有効幅員	潜孔幅 魚道の 有効幅員	備	考	
			d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)	h 天端高さ (m)	i 幅 (m)	j 高さ (m)	k 幅 (m)	l 高さ (m)										
96	徳永	川	2	0.1	0.4	0.3	0.25														
97	"	"	3	0.2	0.1	0.4	0.3														
98	"	"	4	0.2	0.2	0.5	0.3	0.14	0.9	0.1						0.450					
99	猫越	川	1	0.08	0.12	0.45	0.33	0.33													
100	冷	川	1	0.3	0.10	0.44	0.34	0	0.80	0.1						0.509					
101	"	"	2	0.2	0.2	0.5	0.3	0.16													
102	"	"	3	0.16	0.22	0.50	0.28	0.16	0.92	0.1						0.420					
103	本谷	川	1	0.42	0.40	0.58	0.37	0.08		0.18											
104	"	"	2	0.08	0.16	0.44															
105	持越	川	1	0.2	0.31	0.52	0.21	0.08													
106	"	"	2	0.2	0.27	0.6	0.37	0.27	0.3	0.22						0.231					
107	"	"	3	0.08				0.29													
108	古奈	川	1	0.85	0.26	0.60	0.34	0.19	0.305	0.045						0.347					
109	"	"	2	0.08	0.15	0.46	0.31	0.31													
110	追良瀬	防ダム		0.2	0.8				1.00	0.15	1.0	0.20				0.333	0.333				
111	中	堰		0.26	0.52				0.70	0.15						0.350					
112	岩本	ダム		0.36	1.0				0.61	0.09	0.15	0.15				0.134	0.033				
113	利根	大堰		0.3	0.60				1.13	0.15	0.30	0.30				0.332	0.088				
114	辰	ノ口堰			0.25~15		0.15														
115	馬又	ダム																			
116	黍	阜ダム														0.014					
117	落	合														0.030					
118	若	宮														0.043					
119	初	瀬														0.027					
120	茂	津																			



凡例

付表-1 (6) 階段式魚道の実態 (その1)

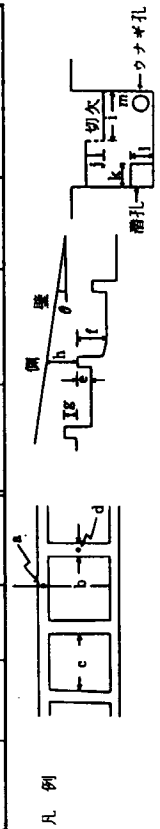
番号	名	称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸) (度)	魚道の全長 (m)	幅		屈曲数 (回)	勾配 (度)	側壁天端幅 (m)	橋壁数 (個)	橋壁間距離	
								登り口 (m)	出口 (m)					登り口 (m)	出口 (m)
121	加	枝													
122	浜	原		361.4				5.5			1/15				
123	高	岡		124.2				3.0			1/12				
124	広	瀬		279.5				2.4			1/6				
125	南	向		122.7				5.5							
126	鹿	島		81.5				6.0							
127	大川節頭首工			101.5				3.5							
128	海水防止堰			94.0				3.0							
129	上川頭首工			113.0				8.0							
130	西	手		102.0				9.2							
131	新信濃川堰堤			102.0				2.9							
132	中	岩		107.9				13.0							
133	伏	田						1.8			1/10				
134	利根川河口堰					左	135.0	3.6			1/6		7.0		5.0
135	早川第一					右		7.5							
136	川	茂						0.9			1/5				
137	柳河原							0.9			1/10				
138	小	坂						3.6			10/65				
139	志	津川		91.3				1.5			10/55				
140	猪ノ	谷						1.2			1/8				
141	加	計						1.8			10/55				
142	田	代						1.8			1/10				
143	湯ノ	上						1.8			1/7				
144	鳥湖川第2							3.0							
145	里	島						1.82			1/12				
								2.0			1/8				



凡例

付表 - 1 (6)階段式魚道の実態 (その2)

番号	名	称	壁						魚道の有効幅員 延長	切欠幅 魚道の有効幅員	潜孔幅 魚道の有効幅員	備考					
			d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)	h 天端高さ (m)	i 幅 (m)					j 高さ (m)	k 幅 (m)	l 高さ (m)	m ウナギ孔 (m)	
121	加枝																
122	浜原																
123	高岡																
124	広瀬																
125	南																
126	鹿島																
127	大川筋頭首工																
128	海水防止堰																
129	上川頭首工																
130	西手																
131	新信濃川堰堤																
132	中岩																
133	伏田																
134	利根川河口堰								0.15	3.0	0.3				0.020		
135	早川第一																
136	川茂																
137	柳河原																
138	小坂																
139	志津川																
140	猪ノ谷														0.013		
141	加計																
142	田代																
143	湯ノ上																
144	鳥湖川第2																
145	里島																

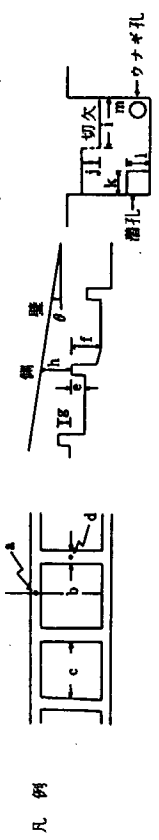


凡例

付表一 1 (7)階段式魚道の実態(その1)

番号	名	称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸)	魚道の全長 (m)	幅			屈曲数 (回)	勾配 (度)	御壁天端幅 (m)	a 階数 (個)	階壁間距離		
								登り口 (m)	出口 (m)	有効幅員b (m)					登り口 (m)	出口 (m)	平均値c (m)
146	一	字															
147	笹	戸															
148	海	ノ															
149	妻	籠															
150	秋ヶ	瀬	取	水	堰	左1()	36										
151	中	村	ガ	ム		右1()	9.4									0.92	
152	淀	川	大	堰		左1() 右1()	65										
153	加	古	川	大	堰	左1(60) 右1(60)	92	10.15	8.0	5.0	2	1/10	0.6, 0.8	8(10)**	2.5	4.5	2.5
154	芦	田	川	河	口	堰	左1()			2.0							
155	高	梁	川	潮	止	堰	左2() 右2()			1.00							
156	佐	野	用	水	堰	左2() 右2()	17.5			3.0							
157	鴨	越	堰			右1()				8.5							
158	旭	川	新	堰			26.3			4.0							
159	松	浦	大	堰		左1() 右1()	30			4.7							
160	嘉	瀬	川	大	堰	左1() 右1()				2.0							
161	遠	賀	川	河	口	堰	左1()	40		3.5							
162	筑	後	大	堰		左1() 右1()	60.8			2.5							
163	長	柄	可	動	堰	左1()				3.0							
164-1	桂	川	一	号	井	堰	左1()	360		4.00							
164-2	"	"				右1()	240			4.10							
165-1	久	我	井	堰		左1()	400			3.60							
165-2	"	"				右1()	200			3.60							
166-1	桂	川	三	号	井	堰	左1()	270		3.90							
166-2	"	"				右1()	270			4.15							
167-1	桂	川	四	号	井	堰	左1()	360		3.15							

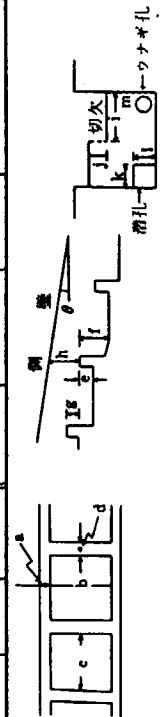
※:10連動傾伏ゲート
** :可動壁あり



凡例

付表-1 (7)階段式魚道の実績(その2)

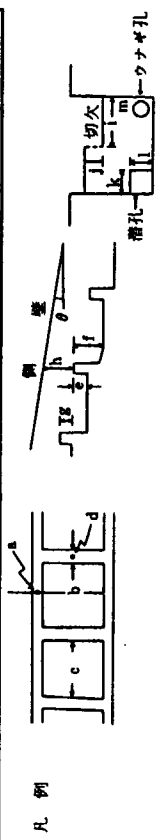
番号	名称	階				壁				切欠幅 (m)	切欠高さ (m)	潜幅 (m)	孔高さ (m)	ウナギ孔 (m)	魚道の有効幅員 延長	切欠幅 魚道の有効幅員	潜孔幅 魚道の有効幅員	備考
		d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)	h 天端高さ (m)	i 幅 (m)	j 高さ (m)	k 幅 (m)									
146	一字																	
147	征戸																	
148	海ノ口																	
149	妻籠																	
150	秋ヶ瀬取水堰														0.047			
151	中村ダム		0.63												0.010			
152	淀川大堰																	
153	加吉川大堰	0.5	0.9	1.2	0.3						0.4	0.2			0.010			呼び水、計測中
154	芦田川河口堰														0.004			
155	高梁川潮止堰														0.019			
156	佐野用水堰														0.017			
157	鴨越堰														0.027			
158	旭川新堰														0.052			
159	松浦大堰														0.148			
160	嘉瀬川大堰														0.010			
161	遠賀川河口堰														0.038			
162	筑後大堰														0.005			呼び水
163	長柄可動堰																	
164-1	桂川一号井堰														0.021			
164-2	"																	
165-1	久我井堰														0.017			
165-2	"																	
166-1	桂川三号井堰														0.017			
166-2	"																	
167-1	桂川四号井堰														0.014			



凡例

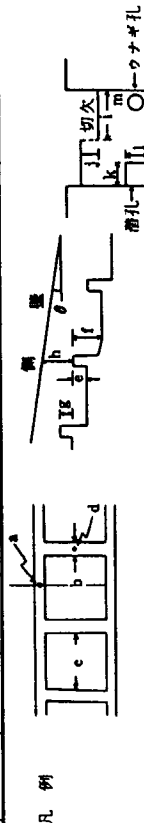
付表一 1 (8) 階段式魚道の実績 (その 1)

番号	名称	堤高 (m)	堤長 (m)	堤巾 (m)	魚道の位置 (岸)	魚道の全長 (m)	幅員			屈曲数 (回)	勾配 (度)	御座天端幅 (m)	隔座数 (個)	隔壁間距離		
							登り口 (m)	出口 (m)	有効幅員 b (m)					登り口 (m)	出口 (m)	平均値 c (m)
167-2	桂川 四号 井堰				右1()	36.0			3.50	10/112						
168	三ヶ村 井堰		43.4		左1()	1.50			1.55	1/10						
169	宇陀川 頭首工	1.66	46.5		左1()	21.0			2.0	1/10						
170	楠田川 魚道					2.50			1.2~1.8	1/8						
171	酒匂川 魚道		7.50		左1()	1.80				1/5		9				
172	信濃川 発電取水ダム		330.0			214.0		10.9	7.3	1/15				4.55		
173	里見ダム	4.15	47.0		右1()	17.6			1.5	1/7				1.50		



付表 - 1 (8) 階段式魚道の実態 (その 2)

番号	名 称	階 壁				切 欠			孔		魚道の有効幅員 堤長	切欠幅 魚道の有効幅員	潜孔幅 魚道の有効幅員	備 考
		d 天端厚 (m)	e 上流面高さ (m)	f 下流面高さ (m)	g 高さ (m)	h 天端高さ (m)	i 幅 (m)	j 高さ (m)	k 幅 (m)	i 高さ (m)				
167-2	桂川 四号井堰													
168	三ヶ村井堰													
169	宇陀川 頭首堰													
170	楠田川 魚道				0.1~0.3									
171	酒匂川 魚道				0.3									
172	信濃川 築電取水ダム		0.3											
173	里見ダム		0.2											



付表 2 (1) 魚道に係る水理状況

番号	名	称	型式	隔壁越流速 (m/s)	魚道勾配
34	大見川	(1)	階段	1.0	1/7.1
35	"	(2)	"	0.75	1/7.1
36	大見川	(3)	"	0.52	1/7.1
37	"	(4)	"	0.70	
38	"	(5)	"	0.60	
39	"	(6)	"	1.3	1/6.3
40	"	(7)	"	1.3	1/6.3
42	"	(9)	"	1.08	1/5.7
43	"	(10)	"	0.95	1/7.1
44	"	(11)	"	0.8	1/7.1
45	"	(12)	"	0.6	1/5.7
46	"	(13)	"	0.6	1/5.7
48	"	(15)	"	0	1/4.3
49	"	(16)	"	0.9	1/5.7
51	"	(18)	"	0.42	1/5.7
53	"	(20)	"	0.67	1/4.7
54	"	(21)	"	0	1/5.1
55	"	(22)	"	0	1/2.6
56	狩野川	(1)	"	1.64	1/3.7
57	"	(2)、(3)	"	1.59	
58	"	(4)	"	1.64	1/3.7
59	柿木川	(1)	"	0.6	1/4
60	"	(2)、(2)	"	0.67	1/4.7
61	"	(3)	"	0.9	1/5.1
62	地藏党川	(1)	"	0.82	1/7.1
63	"	(2)	"	0.9	1/7.1
64	"	(3)	"	0.82	1/5.1
65	"	(4)	"	0.79	1/4.7
66	"	(5)	"	0.67	1/4.3

付表 2 (2) 魚道に係る水理状況

番号	名	称	型	隔壁越流速 (m/s)	魚道勾配
69	地藏党川	(8)	階段式	0.85	1/5.1
72	"	(11)	"	0.73	1/4.7
73	地藏堂川	(12)	"	0.9	1/3.7
76	"	(15)	"	0.73	1/3.7
77	"	(16)	"	0.6	1/4
78	"	(17)	"	0.79	1/4.7
79	"	(18)	"	0.67	1/3.7
81	"	(20)	"	0.95	1/4.3
82	菅引川	(1)	"	0.52	1/7.1
83	"	(2)	"	0.57	1/7.1
84	"	(3)	"	0.85	
85	"	(4)	"	0.6	1/7.1
86	"	(5)	"	0.73	1/6.3
87	"	(6)	"	0.52	1/5.1
88	"	(7)	"	"	1/4.3
89	"	(8)	"	"	1/4.7
90	"	(9)	"	0.6	1/5.7
91	"	(10)	"	0.67	1/5.1
92	"	(10)	"	0.6	1/5.7
93	"	(12)	"	"	
94	"	(13)	"	"	1/5.7
95	徳永川	(1)	"	0.9	1/5.1
97	"	(3)	"	0.85	1/5.7
98	"	(4)	"	"	
100	冷川	(1)	"	0.6	1/5.7
101	"	(2)	"	0.6	1/7.1
103	本谷川	(1)	"	0.67	1/5.1
105	持越川	(1)	"	0.79	1/6.1

付表 2 (3) 魚道に係る水理状況

番号	名	称	型式	魚道通水流量 (m^3/s)	一般部流量 (m^3/s)	ノッチ通水流量 (m^3/s)	潜孔通水流量 (m^3/s)	魚道内流速 (m/s)	隔壁越流量 (m^3/s)	ノッチ流量 (m^3/s)	潜孔流速 (m/s)	c/b	d/b	有効魚道幅員 (m)	魚道勾配
106	持越	川(2)	階段枝						0.6						1/7
108	古奈	川(1)	"						1.34						1/2.9
134	利根川	河口堰	越流式	2.74	0.38	0.91	0.08		0.95	1.21		1.27		7.5	
150	秋ヶ瀬	取水堰	階段式	0.5										6.0	
152	淀川	大堰	"	2.06	0.32	0.62	0.04		0.8	1.55	1.45	1.94	0.94	6.0	
153	加古川	大堰	"	1.136	0.19	0.32	0.058		0.81	1.28	1.45	1.58	1.13	5.0	1/10
154	芦田川	河口堰	"	4.0										2.0	
159	松浦	大堰	"	6.0				0.4~0.6						4.7	1/15
161	遠賀川	河口堰	"	5.0				0.4~0.6							1/15
162	筑後	大堰	"					0.4~0.6						2.5	1/15.5
	馬端	堰	"	5.2~6.4										6.0	
	北上	大堰	"											6.0	
	阿武隈	大堰	"	2.0										10.0	
	佐野用	水堰	"	3.0										12.0	
121	加	枝	"	0.2										5.5	1/15
	仁淀川	取水堰	"	1.0										5.5	1/13.3
	鳴瀬	ダム	"	0.7~1.0											1/15
	津伏	ダム	"												
	辰の口	堰	柵型	0.7										5.3	1/12
114	"		階段式	1.0										2.5	1/15
173	里見	ダム	"	0.15										1.5	1/7
151	中村	ダム	"	0.056							0.89			2.0	1/15

付表 3 (1) 魚道構造と水理のまとめ

付表 3 (1) 魚道全長の実態 (単位・個)

種別	魚道全長の実態 (単位・個)											合 計
	0以上 50未満	50以上 100未満	100以上 150未満	150以上 200未満	200以上 250未満	250以上 300未満	300以上 350未満	350以上 400未満	400以上 450未満	450以上 500未満	500以上 550未満	
既往資料による既設魚道	31 (50.8)	14 (23.0)	4 (6.6)	4 (6.6)	3 (4.9)	1 (1.6)	1 (1.6)	0 (0)	1 (1.6)	0 (0)	2 (3.3)	61 (100)
ヒヤリング対象魚道	11 (50.0)	8 (36.4)	2 (9.1)	1 (4.5)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	22 (100)

注) ()内は%

付表 3 (1) 屈曲数の実態 (単位・個)

種別	屈曲数の実態 (単位・個)				合 計
	1	2~4	5以上		
既往資料による既設魚道	9 (28.1)	7 (21.9)	3 (9.4)		32 (100)
ヒヤリング対象魚道	6 (26.1)	1 (4.3)	0 (0)		23 (100)

注) ()内は%

付表 3 (1) 魚道出水口の方向実態

(単位・個)

種別	魚道出水口の方向実態 (単位・個)					合 計
	0	30	45	60	90	
既往資料による既設魚道	13 (40.6)	1 (3.1)	0 (0)	0 (0)	13 (40.6)	32 (100)
ヒヤリング対象魚道	7 (33.3)	0 (33.3)	7 (33.3)	0 (0)	3 (14.3)	21 (100)

注) ()内は%

付表 3 (1) 有効幅員の実態

(単位・個)

種別	有効幅員の実態 (単位・個)						合 計
	0以上 2未満	2以上 4未満	4以上 6未満	6以上 8未満	8以上 10未満	10以上 12未満	
既往資料による既設魚道	34 (22.5)	86 (57.1)	21 (13.8)	3 (2.0)	3 (2.0)	1 (0.6)	151 (100)
ヒヤリング対象魚道	7 (31.8)	4 (18.2)	7 (31.8)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	22 (100)

注) ()内は%

付表 3 (2) 魚道構造と水理のまとめ

付表 3 (2) 勾配の実態

種別	(単位・個)															合 計
	1/20	1/19	1/18	1/17	1/16	1/15	1/14	1/13	1/12	1/11	1/10	1/9				
既往資料による既設魚道	0(0)	0(0)	2(1.4)	0(0)	1(0.7)	18(12.2)	3(2.0)	1(0.7)	8(5.4)	3(2.0)	25(17.1)	0(0)				
ヒヤリング対象魚道	1(5.3)	0(0)	0(0)	0(0)	2(10.5)	1(5.3)	3(15.8)	1(5.3)	2(10.5)	0(0)	1(5.3)	0(0)				
種別	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/27	1/10~1/18	1/5~1/12	1/25	合 計					
既往資料による既設魚道	6(4.1)	16(10.9)	20(13.6)	19(12.9)	18(12.2)	5(3.4)	0(0)	1(0.7)	1(0.7)	0(0)	147(100)					
ヒヤリング対象魚道	5(26.1)	1(5.3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(5.3)	0(0)	0(0)	1(5.3)	19(100)					

注) ()内は%

付表 3 (2) 隔壁間距離の実態

種別	(単位・個)											合 計
	0以上 1未満	1以上 1.5未満	1.5以上 2.0未満	2.0以上 2.5未満	2.5以上 3.0未満	3.0以上 3.5未満	3.5以上 4.0未満	4.0以上 4.5未満	4.5以上 5.0未満	5.0以上 5.5未満	5.5以上 6.0未満	
既往資料による既設魚道	8(7.8)	7(6.8)	27(26.2)	24(23.3)	2(1.9)	18(17.5)	0(0)	6(5.8)	7(6.8)	3(2.9)	0(0)	1(1.0)
ヒヤリング対象魚道	0(0)	0(0)	0(0)	7(31.8)	4(18.2)	4(18.2)	0(0)	4(18.2)	3(13.6)	0(0)	0(0)	0(0)

注) ()内は%

付表 3 (2) 隔壁間高さの実態

種別	(単位・個)						合 計
	0.15以上 0.20未満	0.20以上 0.25未満	0.25以上 0.30未満	0.30以上 0.35未満	0.35以上 0.40未満	0.40以上 0.45未満	
既往資料による既設魚道	3(3.3)	6(6.6)	21(23.1)	43(147.2)	13(14.3)	4(4.4)	91(100)
ヒヤリング対象魚道	0(0)	3(21.4)	4(28.6)	7(50.0)	0(0)	0(0)	14(100)

注) ()内は%

付表 3 (2) 魚道の有効幅員/堤長

種別	(単位・個)						合 計	
	0以上 2未満	2以上 4未満	4以上 6未満	6以上 8未満	8以上 10未満	10以上 12未満		12以上 14未満
既往資料による既設魚道	14(3.18)	14(3.18)	10(22.8)	2(4.5)	2(4.5)	0(0)	1(2.3)	1(2.3)
ヒヤリング対象魚道	1(6.7)	11(73.3)	2(13.3)	1(6.7)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

注) ()内は%

付表 3 (3) 魚道構造と水理のまとめ

付表 3 (3) 切欠幅/魚道の有効幅員 (単位・個)

種別	比率	0以上 10未満	10以上 20未満	20以上 30未満	30以上 40未満	40以上 50未満	50以上 60未満	合計
既往資料による既設魚道	1 (3.4)	2 (6.9)	5 (17.3)	12 (41.5)	6 (20.7)	3 (40.3)	29 (100)	
ヒヤリング対象魚道	5 (29.4)	0 (0)	1 (5.9)	5 (29.4)	0 (0)	6 (35.3)	17 (100)	

注) ()内は%

付表 3 (3) 潜孔幅/魚道の有効幅員 (単位・個)

種別	比率	0以上 3未満	3以上 6未満	6以上 9未満	9以上 12未満	12以上 15未満	合計
既往資料による既設魚道	1 (6.7)	5 (33.2)	4 (26.7)	1 (6.7)	3 (20.0)	1 (6.7)	15 (100)
ヒヤリング対象魚道	1 (7.1)	5 (35.8)	1 (7.1)	4 (28.6)	3 (21.4)	14 (100)	

注) ()内は%

付表 3 (3) 魚道通水流量の実態 (単位・個)

種別	角度(度)	0	30	45	60	90	120	150	180	合計
既設魚道数	16 (39.1)	0 (0)	0 (0)	3 (7.3)	16 (39.1)	1 (2.4)	4 (9.7)	41 (100)		
ヒヤリング対象魚道数	8 (34.8)	1 (4.3)	6 (26.1)	0 (0)	4 (17.4)	0 (0)	4 (17.4)	23 (100)		

注) ()内は%

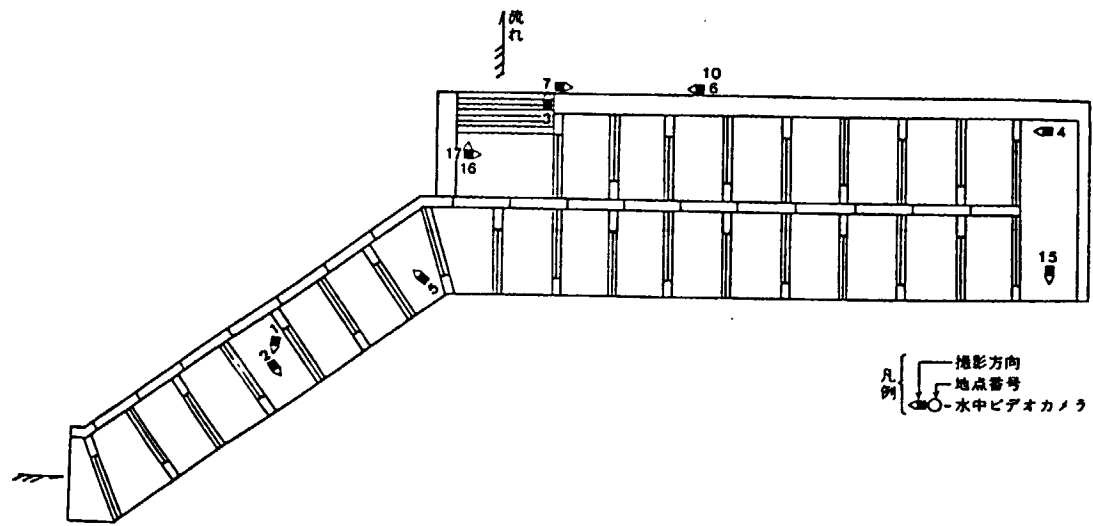
付表 3 (3) 一般部流速の実態 (単位・個)

種別	流速 (m/s)	0.2以上 0.4未満	0.4以上 0.6未満	0.6以上 0.8未満	0.8以上 1.0未満	1.0以上 1.2未満	1.2以上 1.4未満	1.4以上 1.6未満	1.6以上 1.8未満	0.4以上 0.8以上	合計
既往資料による既設魚道	3 (3.2)	0 (0)	7 (11.3)	27 (45.3)	17 (27.4)	2 (3.2)	3 (4.8)	1 (1.6)	2 (3.2)	0 (0)	62 (100)
ヒヤリング対象魚道	0 (0)	0 (0)	2 (33.3)	2 (33.3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (16.7)	0 (0)	1 (16.7)	6 (100)

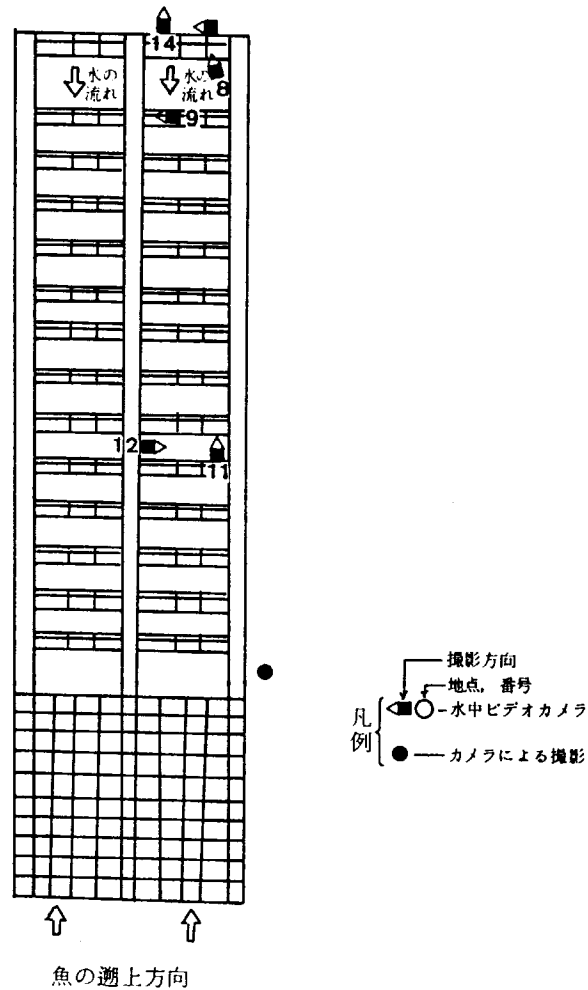
注) ()内は%

付表4. 池田ダム付属魚道および第十堰付属魚道における
水中ビデオ・カメラ撮影地点等について

魚道 名称	テーブ №	st №	撮 影 部 位		撮 影 時 刻
池 田 ダ ム	1	1	魚道内(礫アリ)	切欠向	11:49-12:19
		2	" (")	横 向	7:05- 7:35
		3	" 入口(水深1m)	下流向	9:15- 9:44
ダ ム	2	4	魚道内(屈曲部)	切欠向	11:49-12:19
		5	" (礫なし)	2方向	7:05- 7:35
		6	" 外側	上流向	9:15- 9:44
第 十 堰	3	7	" 入口"(水深1m)	下流向	10:30-11:00
		8	魚道最大流		8:35
		9	" 上流向		10:30-11:00
ダ ム 池 田	4	10	魚道外側入口	上流向	6:35- 7:05
第 十 堰		11	魚道内	切欠向	7:15- 8:45
		12	"	横 向	8:50
		13	"	越流点	11:49-12:19
		14	"	最大流	14:00-
池 田 ダ ム	5	15	" (屈曲部)		7:05- 7:35
16		" (外向)		9:15- 9:44	
17		" (内向)		10:30-11:00	



付図1 池田ダム付属魚道における水中ビデオカメラによる魚類の遡上状況実態把握調査地点(昭和56年度)



付図2. 第十堰付属魚道における水中ビデオカメラによる魚類の遡上状況実態把握調査地点(昭和56年度)

魚道設計資料調査

現地調査

—ヒヤリングによる魚道実態調査—

昭和56年8月

(財) 国土開発技術研究センター

目 次

1. 調 査 目 的
2. 調 査 の 構 成
3. 調 査 内 容
 - 3.1 必要資料（図面等）の収集
 - 3.2 写真撮影による魚道の実態把握
 - 3.3 ヒヤリングによる魚道の実態把握
 - 3.3.1 河川に関する内容
 - 3.3.2 堰（ダム）に関する内容
 - 3.3.3 魚道に関する内容
 - 3.3.4 周辺漁業に関する内容
 - 3.3.5 その他魚道に関するもの

1. 調査目的

ヒヤリングにより、魚道の実態把握を実施し、今後建設される河川横断構造物である堰等の付属魚道設計に役立てることを目的とする。

2. 調査の構成

本調査は、以下の各調査から構成される。

- 1) 必要資料(図面等)の収集
- 2) 写真撮影による魚道の実態把握
- 3) ヒヤリングによる魚道の実態把握
 - (1) 河川に関する内容
 - (2) 堰に関する内容
 - (3) 魚道に関する内容
 - (4) 堰の周辺漁業に関する内容
 - (5) その他

3. 調査内容

3.1 必要資料(図面等)の一覧

表-1 必要資料(図面等)の一覧

	資料内容	備考
1	堰の位置図(地形図) (2/2)	縮刷: 1/5,000程度
2	堰の全体構造図(横断図) (2/2)	
3	同上(平面図)	
4	魚道平面図	
5	同上横断図	
6	同上側面図	
7	同上内部構造図	
8	堰下流河川の横断測量図 (2/2)	堰~魚道出水口の下流100 ~200m位までについて
9	堰及び魚道の操作基準	特に、アユ、サケ等の遡河魚 類の遡上降下期について
10	流量諸元と流況	堰地点における過去10年間 程度の平均的な値(別紙)
11	その他、魚道に関する図面等	

表-2 流量諸元及び流況

水系名	河川名	観測所名	流域面積	河口又は合流点よりの距離 Km	調査年 年～年	旅											年総量 $\times 10^6 \text{ m}^3$								
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	最大	豊水	平水	低水	濁水	最小	年平均

3.2 写真撮影による魚道の実態把握

写真撮影に当っては、以下の点に着目する。

- ① 魚道内の水理状況
- ② 魚道構造と水理の関係 (例えば、水制柱と流れ)
- ③ 魚道取水口(出口)付近及び上流の様子 (例えば取水口)
- ④ 魚道出水口(登り口)付近の水理状況 (呼び水の状況等)
- ⑤ 魚類の遡上状況
- ⑥ その他、魚道の実態把握として重要と思われる点

①



②



③



④



⑤



3.3 ヒヤリングによる魚道の実態把握

3.3.1 河川に関する内容

表-3 河川に関するヒヤリング内容

	ヒヤリング内容		解 答			
	1.	堰、ダム の 名称		堰 ダム		
2.	水系、河川 の 名称		川水系 川			
3.	管理機関又は事業者名					
4.	堰、ダム の 地先名		右岸			
			左岸			
5.	河口からの距離 (Km)		Km			
6.	標 高 (堰天端) 等 (m)		m			
7.	堰上流の流域面積 (Km)		Km			
8.	感潮、非感潮の区分		感潮 非感潮			
9.	堰付近の河床勾配		/			
10.	堰付近の地形		狭さく部、平野部、			
11.	堰付近の河床材料		泥、砂、レキ、岩			
12.	水質の環境基準	河 川	堰上流	A A、A、B、C、D、E、なし		
		貯水池				
		河 川	堰下流	A A、A、B、C、D、E、なし		
13.	維持流量の有無と量		有 、 無			
			堰ゲート	m ³ /s	全体	m ³ /s
			魚 道	m ³ /s		
そ の 他						

3.3.2 堰に関する内容
(ダム)

表-4 堰に関するヒヤリング内容

	ヒヤリング内容		解	答
1.	堰、ダムの名称			堰 ダム
2.	型 式			
3.	建設目的			
4.	竣工年			
5.		堤 高 (m)		m
		堤頂長 (m)		m
		堤体積 ($\times 10^3 \text{ m}^3$)		$\times 10^3 \text{ m}^3$
6.	湛水面積	(h a)		h a
7.	湛水延長	(Km)		Km
8.	総貯水量	($\times 10^3 \text{ m}^3$)		$\times 10^3 \text{ m}^3$
9.	有効貯水量	($\times 10^3 \text{ m}^3$)		$\times 10^3 \text{ m}^3$
10.	可動堰、固定堰の区分		可動堰、固定堰	
12.	取水施設	取水場所	右岸 左岸	堰からの距離
		取水量 (m^3/s)		m^3/s
		取水期間	通年	
その他				

3.3.3 魚道に関する内容

表-5 魚道に関するヒヤリング内容(その1)

	ヒヤリング内容	解 答
1	魚道設置理由	
2	漁業対策(漁業補償等)の方法	
3	魚道の設計根拠	試験的、経験的、補償、その他
4	魚道の設計者又は機関名	
5	魚道設計、設置に当たっての調査内容、報告書名	
6	魚道の設計対象魚種	アユ、ウナギ、カワマス、サクラマス
その他		

表-6 魚道に関するヒヤリング内容(その2)

	ヒヤリング内容		解 答	
			魚 道 の 位 置	個 数
7	魚道の位置と個数			
8	魚道の型式		魚道の位置	個 数
9	魚道の巾、長さ		魚道門	魚道長さ
10	魚道の勾配		魚道の位置	魚道の勾配
11	魚道構造	階段数	魚道の位置	階 段 数
		隔壁の高さ	魚道の位置	隔 壁 の 高 さ
	隔壁間距離	魚道の位置	隔 壁 間 距 離	
	隔壁間高差	魚道の位置	隔 壁 間 高 差	

表-7 魚道に関するヒヤリング内容(その3)

	ヒヤリング内容		解 答	
1 2	潜孔、切欠の有無			
1 3	通水量調節機構の有無と方法		有無	方 法
			有、無	
1 4	通 水 量	通 水 量	m ³ /s	
		水 深	cm	
		流 速	m/s	
1 5	魚道出水口の角度(度)		魚道の位置	出水口の角度(度)
1 6	特殊付属構造	呼び水施設		
		光 線		
		そ の 他		
1 7	魚道の色彩			
1 8	通水量決定の根拠			
そ の 他				

3.3.4 周辺漁業に関する内容

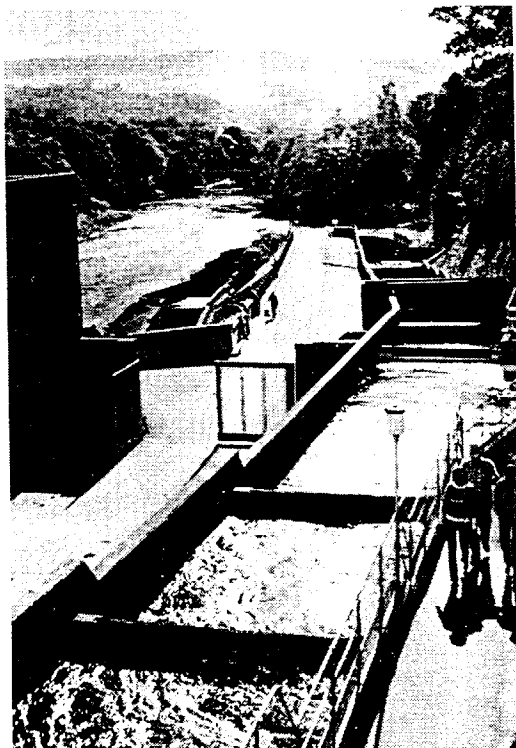
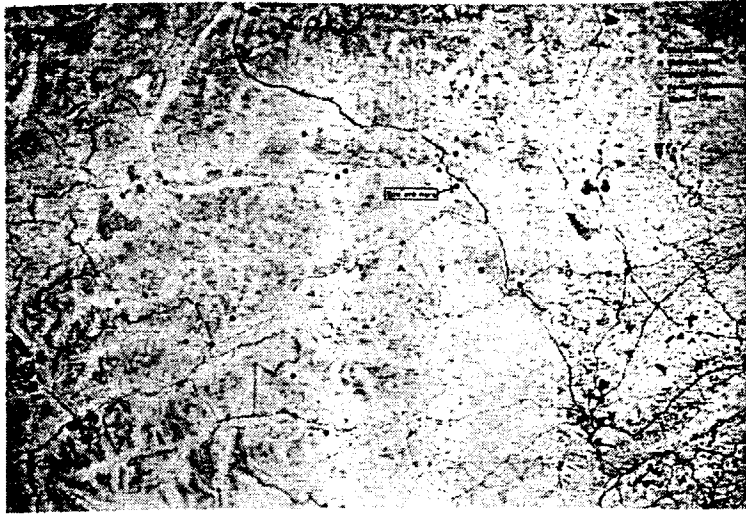
表-8 周辺漁業に関するヒヤリング内容

	ヒヤリング内容	解 答		
1	漁業権の有無	有 無		
2	漁業組合名称及び組合員数	漁業組合名称	組合員数(人)	
3	周辺の主要魚種名 (※印：遡河魚種)			
4	遡河魚の遡上期、降下期	無種名	遡上期	降下期
5	魚道設置前、後における漁獲量、遡上量、魚種変化等の変化状況及びその確認調査実施の有無			
その他				

3.3.5 その他魚道に関するもの

表-9 その他魚道に関するヒヤリング内容

	ヒヤリング内容	解 答	備考
1	魚道における漁類の遡上時刻の日周変化等について。また、その確認調査実施の有無。		表-8の 4,5 参照
2	魚道設計に当り、事前に環境調査等の実施、委員会の設置の有無。また、それらの名称について。		表-8の 5 参照
3	魚道についての、地元の評価及び、今後の改良点について。		表-8の 5 参照



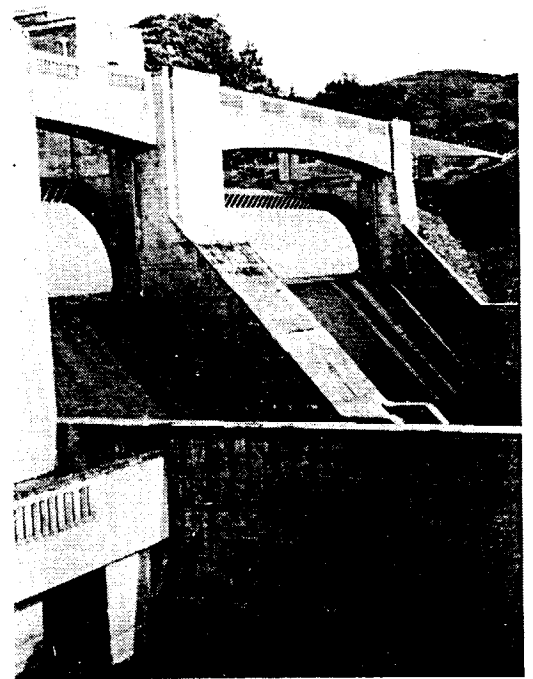
PITLOCHRY FISH PASS

Between April and October salmon return from their Atlantic feeding grounds to the rivers where they were born in order to lay their eggs. The flow of water from the bottom of the fish ladder attracts them into the first pool and from there they go in 15" (450mm) steps through connecting pipes from pool to pool until they have climbed the height of the dam. Three resting pools, spaced among the other thirty-one, provide patches of slack water for a break in the struggle against the current.



Section of Fish Ladder

In late autumn the female salmon, with a male in attendance, makes a trough in the gravel of the river bed, lays her eggs and covers them with gravel. The young fish hatch in spring and wriggle up through the gravel in search of food. They live and grow in the river for one to four years before travelling downstream on their way to the sea.



付図(写真)3 Scotlandの Pitlochryの魚道

(東京成徳短期大学秋山講師の御厚意による)