



永久保存

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3530号

土木研究所資料

砂防溪流における魚道設置の手引き(案)

平成10年2月

建設省土木研究所

砂防部砂防研究室

Copyright © (1997) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

砂防溪流における魚道設置の手引き(案)

砂防研究室 室 長 南 哲 行
前 室 長 石川 芳治*
主任研究員 小山内 信智
竹崎 伸司

要旨

砂防事業が行われる地域は、土砂災害の危険性の高い地域であると同時に自然豊かな環境であることが多い。そのため溪流内に横断構造物を設けると縦断方向の溪床の連続性を分断することになり、生態環境上の影響が問題となる。最近では横断構造物に魚道を設置することは一般的に行われるようになってきているが、砂防溪流においては土砂移動等の特性から、魚道設置に技術的な困難を伴うことが多い。

本報告では現場技術者の魚道設計の手助けになるよう、一般的な考え方の流れを示し、これまでに得られた知見を整理した。

キーワード：魚道、山地溪流、横断構造物、溪流環境

*現京都府立大学 助教授

はじめに

砂防事業が行われる地域は、山地溪流周辺や扇状地上の田園地帯など、土砂災害の危険性の高い地域であると同時に自然豊かな環境であることが多い。そのため、砂防事業においては山地の保全とともに溪流の安定化を目指すこととなるが、その際に溪流内に横断構造物を設けると縦断方向の溪床の連続性を分断することになり、生態環境上の影響が問題となる。そこで、最近では河川内の横断構造物に魚道を設置することは一般的に行われるようになってきている。しかしながら、砂防溪流においてはその特性から、魚道設置に技術的な困難を伴うことが多い。

問題点を抽出すると、以下のようになる。

- ・ 溪床勾配が急である（魚道勾配がきつくなる、魚道延長が長くなる）
- ・ 土砂の移動が活発である（魚道内の土砂堆積が多い、魚道隔壁などの磨耗が激しくなる）
- ・ 流況が不安定である、溪床変動が激しい、上流側が堆砂地である（安定した遡上路確保が困難）
- ・ 地形的制約がある（側方の用地確保が困難、施工が困難、維持管理が困難）
- ・ 自然公園等の規制がある（景観・周辺環境との調和が必要）

このような難しさに対しては、個々の現場条件を十分に考慮して対処すべきものであるが、この「砂防溪流における魚道設置の手引き（案）」では現場技術者の魚道設計の手助けになるよう、一般的な考え方の流れを示し、これまでに得られた知見を整理した。

もとより、魚道の設計手法に関しては未解明な点も多く、また、その思想においても単に現況復旧にとどまらず、生態系にとって良好な環境を積極的に創出することも意識すべきであり、本書は常に修正・改良を加え、現場技術者が自ら解釈を行うべきものであることを最後に申し添えたい。



砂防溪流における魚道設置の手引き（案）

目 次

第 1 章 溪流魚道の計画

第 1 節 溪流魚道の考え方

1.1.1	溪流魚道の定義	1
1.1.2	魚道設置の目的	2
1.1.3	基本調査	3
1.1.4	設計手順	4

第 2 節 魚道設計のための調査・計画

1.2.1	魚道の設計・計画資料の準備	7
1.2.2	魚道の対象魚の選定	9
1.2.3	魚道の設置位置の選定及び地形的制約条件の整理	12
1.2.4	魚道の設計条件の設定	14

第 2 章 魚道の設計

第 1 節 魚道の概略設計

2.1.1	魚道入口・出口の選定	29
2.1.2	魚道の型式の選定	30
2.1.3	魚道の設計（概略設計）	33

第 2 節 魚道の詳細設計

2.2.1	魚道の細部構造の設計	46
2.2.2	材料の検討	63

第 3 章 魚道の維持管理

3.1.1	魚道の管理	65
-------	-------	----

第1章 溪流魚道の計画

第1節 溪流魚道の考え方

1.1.1 溪流魚道の定義

この指針における溪流魚道（以下魚道という）とは溪流を横断して設けられ、魚類の移動を阻害している、あるいは阻害する可能性のある床固工、砂防ダム等の構造物に、その障害を軽減、除去するために設置される水路及びそれに付随する構造物を言う。

解 説

砂防溪流において魚道を設置する場合、一般の河川で用いられている魚道の考え方を踏まえ、土砂移動の激しい溪流（扇状地上の河川を含む）に合った魚道を選択する必要がある。そのためには維持管理を含め、魚道内への土砂流入・土砂堆積等への配慮が必要である。このように砂防溪流の特性に配慮した魚道を溪流魚道という。

なお、以下では溪流魚道を略して単に魚道と呼ぶこととする。

1.1.2 魚道設置の目的

魚道設置の目的は溪流内における魚類の移動（遡上と降下）への障害を除去、軽減することによって、溪流生態系の保護・育成をはかり、魚の住みやすい溪流の状態を維持することである。

解 説

溪流の中に河道を横断して砂防施設が設置されると、流れが不連続となり、水生生物の生活に影響を与えることがある。魚道設置の第一の目的は、溪流内における魚類の生活行動（遡上、降下）への障害を除去・軽減することであり、河川生態系を保全し、魚や他の生物のすみやすい環境を維持するためのものである。

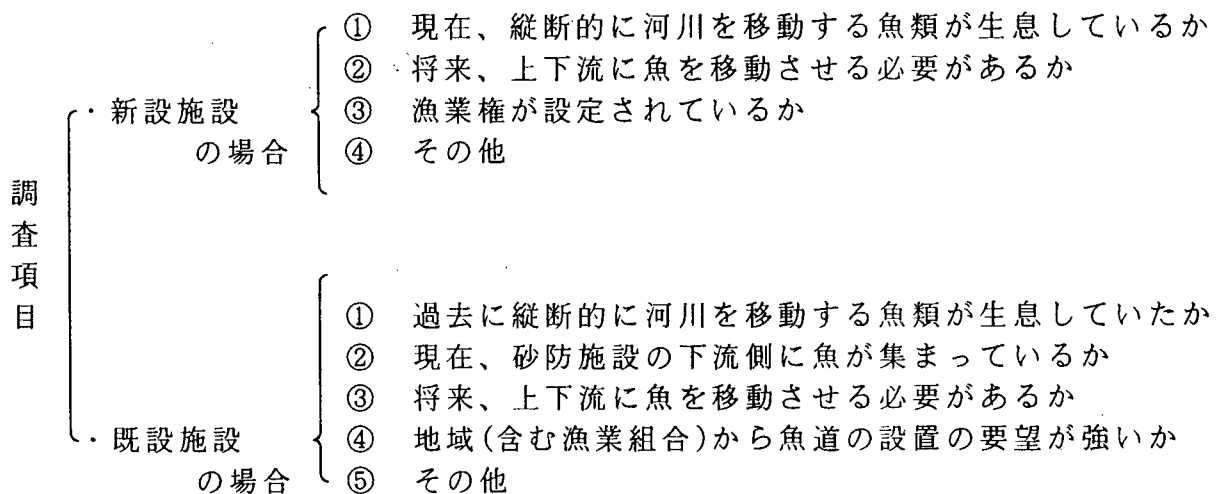
1.1.3 基本調査

対象砂防施設における魚道の必要性について検討を行う。

解 説

魚道の設計に入る前に、まず砂防施設への魚道設置の必要性の確認を行う。

ここでは砂防施設に設置する魚道の必要性を検討するための基礎資料の収集・整理を行い、魚道を設置するかどうかの検討を行う。



(1) 魚道設置が必要な場合

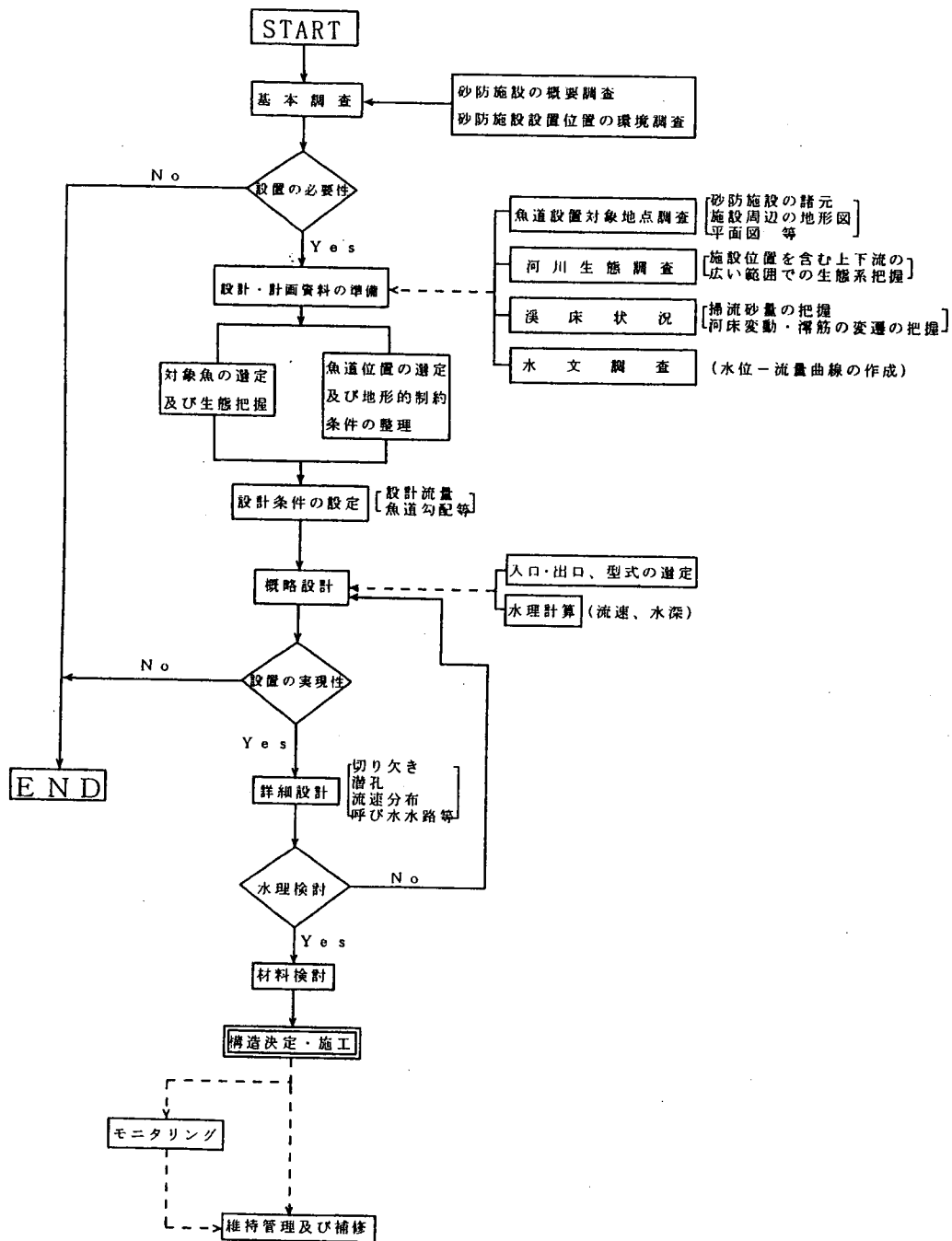
- ① 現在の魚類の生息環境を分断する位置に横断構造物を設置する場合
- ② 魚類が砂防ダム・床固工等の構造物の下流に滞留し、その構造物が移動を阻害している場合
- ③ 現在は魚が生息していないが昔は魚が生息し、将来復元を考えている箇所

(2) 魚道設置が不要あるいは必ずしも必要とは言えない場合

- ① 過去から現在にかけて魚が生息していたことがなく、将来に亘って魚が生息する可能性の低い箇所の場合
- ② 魚が生息しているが、対象魚が河川を縦断的に移動する習性がない場合

1.1.4 設計手順

砂防河川における魚道設計手順の考え方を以下に示す。



解 説

魚道設置に当たって事前に必要な調査は魚道を設置する対象である砂防施設の調査、河川生態調査、河道現況調査、水文調査などである。この資料を基に設置地点にあった魚道を設計する。

(1) 事前調査〔設計・計画資料の準備〕：

① 砂防施設の種類、目的、諸元と砂防施設周辺の地形等の調査：

魚道設置の対象となる砂防施設の種類（ダム、堰、床固工等）、諸元や上下流水位等に関する情報を把握する。施設設計図、周辺の地形図、堆砂状況等の収集、調査を行う。

② 河川生態、特に魚類についての情報収集：

生息魚類等に関する情報、例えば周辺に生息する魚の種類、その遡上時期、降下時期、遊泳力、跳躍力、その他の行動特性について把握する。

その他当該地に漁業権があるか否か、ある場合の魚種を把握しておく。

③ 河道現況調査：

当該砂防施設の上下流の河道の状況（河床勾配、河床形態、河床材料、蛇行の状態、その他）について把握する。新規に設置される構造物の場合は、それが設置されることによる河床変化の予測資料などがあるとよい。

④ 水文諸量の把握：

当該地点の河川の水位（水深）、流量、流況、水温、水質などに関する情報を収集し、水位～流量曲線の作成など、情報は整理しておく。

(2) 設計手順：

① 対象魚種の選定：

事前調査の結果を検討し、学識経験者の意見を参考にして対象魚種を選定する。

② 対象魚種の生態調査：

対象とした魚種の詳しい生態調査をおこなう。

③ 魚道の位置の決定及び地形的制約条件の整理：

砂防施設の位置、河道の状況などを勘案して魚道の位置を決定する。その際近隣の既設魚道の機能実態等を参考にする。

加えて、決定した魚道設置位置が有する地形的制約条件を整理しておく。

④ 設計条件の設定：

魚道の設定に当たり、下記の項目を整理する。

・設計流量の設定

水文情報、溪流の規模及び対象魚の生態等から魚道に流すべき設計流量を設定する。

・魚道の形式、規模

対象魚、設計流量、上下流の水位差等から魚道の形式、規模、勾配等を決定する。

⑤ 魚道入口・出口の選定：

魚類の遡上経路、集魚場所を調査する。

⑥ 魚道形式の選定：

設置可能な魚道を幾つか選定する。

⑦ 概略設計：

④の条件の基で水理計算を行い、魚道の最大流速、水深等を求める。

⑧ 詳細設計：

魚道細部の設計（切欠き、潜孔、呼び水水路等）を行い、この条件で魚道の充たすべき水理条件を満足しているか否かをチェックする。条件を充たさない場合は魚道形式の再検討、細部諸元の修正をして条件を充たすまで繰り返す。

⑨ 構造設計：

砂防溪流では土砂移動が激しいために魚道の摩耗破損の可能性が高い。従って溪流の状況を考慮して、耐磨耗性資材を用いるなどの対策を講ずる。

(3) 魚道の維持管理及び補修：

施工された魚道が常に有効に機能するような方策を検討する。

第2節 魚道設計のための調査・計画

1.2.1 魚道の設計・計画資料の準備

魚道の設計・計画に当たって以下の4項目の調査、資料収集を行う。

- (1) 魚道設置対象地点調査
- (2) 河川生態調査
- (3) 溪床現況調査
- (4) 水文調査

解 説

魚道はそれが設置される砂防施設の種類や設置場所の河道の状況等により適切な種類を選定する必要がある。

(1) 魚道対象地点調査

魚道を砂防ダムに設置する場合とダムに比べ高さの低い床固工に設置する場合とでは、適応する魚道の種類が異なってくる。

・砂防施設の概要

- ・砂防施設の種類
 - ・砂防施設の諸元
 - ・砂防施設の構造把握
- } 平面図、構造図等の収集

・砂防施設周辺の状況

- ・流出土砂量の多少 ……計画流出（生産）土砂量の把握
 - ・河床材料（礫・砂利・砂）
 - ・河床勾配（緩・急）
 - ・砂防施設周辺の状況
 - 川幅の広狭
 - 後背地の広狭
- } 地形図の収集

砂防施設の設置目的は土砂の流出防止である。そのために施設上流側には土砂堆積があり、これが魚道設置時の最も大きな問題点となる。

魚道が魚の移動時期には正常な状態である型式を決定するためには、魚道の勾配（砂防施設の高さとの関係）、滯筋との関係等、諸条件に注意をして設計に当たる。また、魚道のための設置場所が十分であるか否かをはじめ移動土砂量等の

把握が必要である。

(2) 河川生態調査

下記の項目について魚道設置位置周辺の生物の生息状況を調査する。この際「水と緑の溪流づくり調査」、「河川水辺の国勢調査」等で既に調査されている資料がある場合には、これらを利用するとよい。

- ・ 魚 類 河川内の魚類の生息状況調査
- ・ 底生生物 河川の水域における底生動物、藻類等の水棲植物の調査
- ・ 植 物 河川周辺の植物の生育状況の調査
- ・ 動 物 昆虫を含む陸上の動物等の生息状況の調査

(3) 溪床状況調査

砂防施設周辺の溪流状況は、施設設置によって大きく変化することがあるので、魚道を設置する場合にはその変化を考慮して諸元を決定する必要がある。

- ・ 溪流の平面形状、溪床勾配の把握
- ・ 掃流砂量の把握
- ・ 溪床変動・落筋の変遷調査

(4) 水文調査

魚道を設計する上で不可欠の資料である。

- ・ 降 水 流域の降水特性を把握
- ・ 流 量 豊・平・低・渇水量をはじめ魚類の遡上・降下期の平均的な流量の把握

1.2.2 魚道の対象魚の選定

魚道設計に当っては、対象魚類を選定し、対象魚の遊泳能力、跳躍力、体長、体高、生活行動の特性等について資料を収集する。

解 説

ここで調査対象とする魚類は河川の中～上流域に生息するものと上流域に産卵場所がある回遊魚等である。また、近年では漁協による多種・多量の放流が行われており、それらの放流魚に対しても配慮が必要となる。

魚は種類によってまた魚令（体長）によって、遊泳能力や跳躍力等の魚道の構造や寸法の決定に影響を及ぼす要素の値が異なるから、適切な魚道の設計のためには対象とする魚種の設定と、その生態に関する詳細な情報が必要である。

魚類の遡上能力の限界値の設定は体長・体高、遊泳特性などを考慮して行う。

対象魚の遊泳力を推定するのに体長は有力な情報であり、体高は遊泳に必要な最小水深を規定する。

最大遊泳力（＝突進速度）は一般的には体長に比例し、紡錘型をした魚類では、体長（BL）の10倍（cm/sec）程度である。しかし例外も多く、アユの突進速度は $12\sim 18BL$ cm/sec程度でかなり大きい。又BLが著しく大きい場合や小さい場合にはこの目安から大きくはずれるので注意をしなければならない。遊泳に必要な最小水深は体高の1/2程度である⁶⁹⁾。

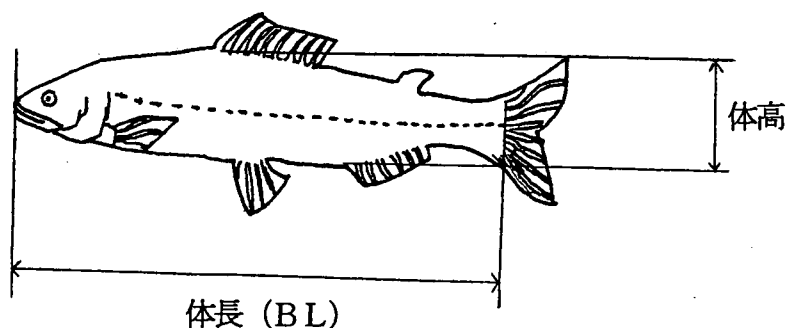


図-1.1 魚の体長(BL)と体高

表-1.1 魚道対象魚種

魚 種	成魚の平均 体 長 (cm)	遊 泳 速 度 (cm/sec)		遡上時期	降下時期	水 温	産 卵	食 餌
		突進速度	巡航速度					
ヤマ・ササギ	降海型 60 陸封型 30	(体長 20cm) 150~250	80~100	3~5月 (40~60)	4~6月 (10~20)	10~15℃	9~11月	肉 食
イナ・ヤマギ	14~70	(10, 20) 150~250	80~100	夏 (30~60)	3~6月 (15程度)	8~15℃ (20℃まで)	9~11月	〃
ヤマ・ササギ	降海型25~50 降海型20~25	(1年魚) 240 (2年魚) 320	70~140 70~140	4~5月 (30~40)	11~3月 (15~25)	20℃以下	10月下旬	〃
ウグイ	30	(7~10) 100		2~6月			(春~夏) (水温15℃前後)	雑 食
ア ユ	10~30	(4~5) 50~70 (5~9) 100~120 (14.4) 178	5~10 40~60 100	3~7月 (7~8)	秋 (孵化仔魚)(成長期22~23)	12~14℃ (20℃程度 (24~5℃))	8~12月	プランクトン 藻 類
ニジマス	80~100	(15~40) 170~200	40~100	9~11月			4~6月	〃
カジカ	15			2~7月 (2程度)	1~6月 (孵化仔魚)		1~6月	〃
ハナカジカ	15			5~6月 (1.3~1.6)	4~5月 (0.8~0.9)		4~5月	〃
イトウ	100~150				7~8月 (稚魚)		春	〃
カワマス	15~50					10℃	11~12月	〃
ウナギ	100	(7~15) 60~80 (15~30) 90~150 (稚魚(9)) 80	15	10~6月 (5~6)	9~2月 (40~70)		6~7月	肉 食
ゴギ	20					20℃を超え ないところ	10下~11中月 (水温11~8℃)	〃
サケ	55~100			9~1月 (60~80)	3~5月 (4程度)		地域により異 9~2月	〃
ヒメマス	17~30			9~10月			9中~10上月	〃
オカワ(ハ)	15						5~8月	〃
ハス	30						5~8月	肉 食
サヨリ	20						10~11月	〃
サヨリノホリ	7			7~10月 (1.5~2)	5~7月 (孵化仔魚)		5~7月	雑 食
アユカケ	20			春 (2~3)	秋~冬 (20)		1~3月	肉 食
ボウズハゼ	12			3~5月 (3)	7~8月 (孵化仔魚)		7~8月	藻 類
フナ(ジヨ)	20						4下~7月	雑 食
アブラハヤ	13					8~20℃	春~初夏	〃
ワカサギ	8~15			1~5月 (6~11)	一 (孵化仔魚)		1~4月	雑 食
コイ	60						4~7月	〃
フナ(ギンナ)	25						4~6月	〃
ナマズ							5~6月	肉 食
カニ類(モズカニ)					初秋~初冬		初秋~初冬	

注：遡上時期、降河時期の下の（）内は、その時の体長(cm)

表-1.2 魚類による川の利用⁶⁸⁾

魚類による川の利用(上流部)

区分 魚種	利用区分	水 域			支 川
		早瀬	平瀬	淵	
イワナ	摂餌 繁殖 休息・避難等				
ヤマメ・アマゴ	摂餌 繁殖 休息・避難等				
アブラハヤ	摂餌 繁殖 休息・避難等				
カシカ	摂餌 繁殖 休息・避難等				

魚類による川の利用(中流部)

区分 魚種	利用区分	水 域			支 川
		早瀬	平瀬	淵	
ウグイ	摂餌 繁殖 休息・避難等				
カワムツ	摂餌 繁殖 休息・避難等				
アユ	摂餌 繁殖 休息・避難等				
オイカワ	摂餌 繁殖 休息・避難等				
ヨシノボリ	摂餌 繁殖 休息・避難等				

魚類による川の利用(中～下流部)

区分 魚種名	利用区分	水 域					支 川
		砂礫底	砂 底	砂泥底	泥 底	死水・水草域	
カ マ ツ カ	摂餌 繁殖 休息・避難等						
シマドジョウ	摂餌 繁殖 休息・避難等						
コ イ	摂餌 繁殖 休息・避難等						
ギ ン ブ ナ	摂餌 繁殖 休息・避難等						
ウ ナ ギ	摂餌 繁殖 休息・避難等						
ナ マ ズ	摂餌 繁殖 休息・避難等						

資料)「リバーフロント研究報告第3号」 1992年3月 財団法人リバーフロント整備センター

1.2.3 魚道の設置位置の選定及び地形的制約条件の整理

(1) 魚道が安定した機能を発揮するよう設置場所の選定に当っては次の点に配慮する。

- ① 魚類の遡上経路の確認
 - ② 魚類の集魚場所の確認
 - ③ 魚道設置に当っては河川管理施設等構造令に配慮
- (2) 砂防施設周辺の地形的条件を把握する。

解 説

(1) 魚道を床固工や砂防ダムのどの位置に設けるかは魚道の良否を左右する。魚道の位置選定に当っては、次の点が考慮されなければならない。

- ① 魚道を既設の砂防施設に設置する場合は、事前調査によって把握した遡上経路を確認する。新たに設置する場合には、流況を推定しその結果に基づいて遡上経路を推定する。どちらの場合も滞筋の長期的な変動を考慮して設置位置を決めるものとする。

中村⁴²⁾は遡上中の魚の取るルートを下記のように整理している（図1.2参照）。

④のケース：遡上魚の巡航速度よりも大きな流速の流れを僅かに避けて巡航速度で前進できる、ある限られた帯状の場所に集中して前進すると考えられる。

⑤のケース：周辺が弱すぎる流れの中であって、巡航速度以下の比較的強い流れがある場合にはこの中に遡上魚の群が集中するに違いない。

⑥のケース：流速が早過ぎるというわけではないが、流れがくねくね乱れていて、その中に穏やかな流れがある場合はそこが遡上路になる。

⑦のケース：魚は体長相当分の長さしか流れを認識できない。従って、十分大きな循環流に入ってしまうと抜けられなくなるので注意が必要である。

- ② 集魚場所の見極めは魚道入口の設定に当たって最も重要な要件である。一般的には遡上路の行き止まりであるが、状況によっては砂防施設の直下全域にわたることもあるので注意しなければならない。

- ③ 床固工等溪流横断構造物を流下する流水は、構造物と直角の方向に流れるものであり、その平面形状のいかんによっては、下流側の水衡作用を助長したり、局部洗掘の原因となることが多い。魚道の設計に当たり、魚道設置によ

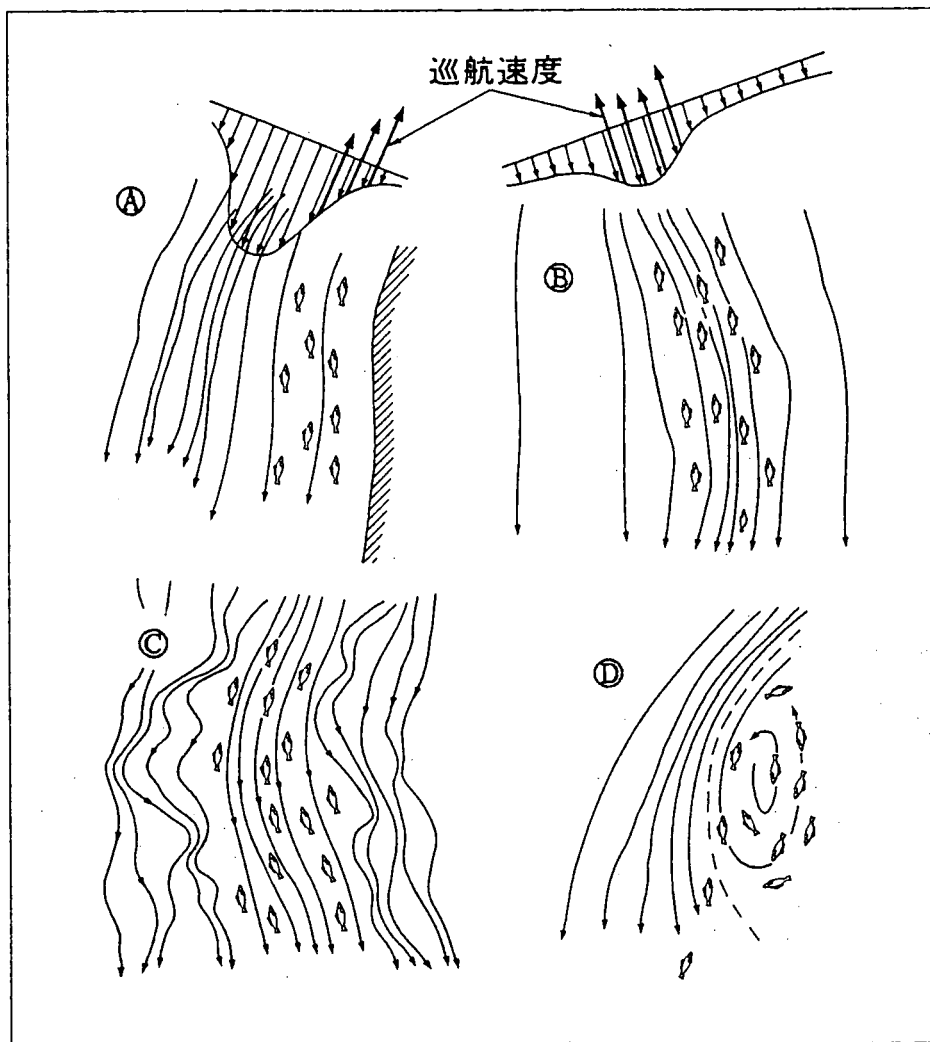


図-1.2 各種の流況下での遡上魚の前進ルート (中村俊六、1992) ⁷⁷⁾

って洪水時の流向が変り下流側に悪影響を与えることのないように考慮することが必要である。

(2) 地形的条件により設置できる魚道の形式が制限される。

砂防施設は溪流に設置されるので、施設周辺に魚道のための十分な空間を確保することが困難な場合がある。

1.2.4 魚道の設計条件の設定

魚道の設計をするための条件としては次の要素がある

- ① 溪流の流量と流況
- ② 砂防施設に適用可能な魚道の型式と勾配

解 説

(1) 溪流の流量と流況

大河川の下流部に設けられる頭首工などのように河川流量が多く、比較的安定しているところでは、魚道の規模は大きいほどよいといわれ、最近では全面魚道と呼ばれる川幅全面に亘って魚道を設ける例もある。しかし、砂防溪流のように流量変化の激しい溪流では、魚道の規模が大きすぎると低水時に所要の水深が得られなくなるなど魚道として機能しなくなるおそれがある。

したがって、魚道を設ける地点の溪流の流量と流況を勘案し、魚道が必要な時期（魚類等の遡上期、降下期）には少なくとも魚道としての所要の水深が得られるような規模・構造にしておく必要がある。また、魚道としての所要流量は魚道の型式や勾配によっても変化するし、対象魚種（特に体高）にも左右される。

(2) 砂防施設に適用可能な魚道の型式と勾配

魚道の機能としては、前述の水理条件を満足しなければならない。

魚道には各種の型式のものが考えられているが、河床勾配が急で流砂量が多く、流量変化も著しく、河道も不安定な砂防溪流に適用させるとなるとその種類は限られてくる。これらの魚道も設置する砂防施設の高さにより魚道の勾配、魚道長が決められる。

魚道の機能に対する勾配の影響は極めて大きく、過去の実態調査²⁵⁾の結果をみると、勾配のきついものほど機能低下の割合が高くなってきている。河川下流域の頭首工の魚道についての調査結果⁶⁾でも魚道の遡上不良の74%が勾配1/10より急なものである。

しかし最近のアユを用いた実験によると、流量を調節すれば魚道勾配1/3でも高い遡上率を得ることができることが判った⁷²⁾。この実験結果から魚道の流速が対象魚の遡上能力を上回らないように工夫すれば、急勾配箇所のある魚道の採用も可能である。

砂防溪流における魚道に対しては、前述の砂防溪流の特徴のほかに土石の流下

による魚道各部（底部や隔壁など）の磨耗と、川幅が狭いことが魚道（大規模なもの）設置を空間的に制約する厳しい条件として加わっている。

したがって、魚道型式の選定はこれらの条件を総合的に判断した最も効果的かつ維持管理の容易なものを見出すことに帰着する。

砂防溪流の魚道には表－1.3のような原因による機能の低下が起こり易く、これに対処する配慮もしておく必要がある。表－1.4は流入土砂に対するタイプ別魚道の土砂堆積状況、流況を示したものである^{73)～76)}。

表－1.3 魚道の機能低下の原因と対応策

原 因	対 応 策
流量が少ない	・魚道の設置位置は、上流の流水、土砂の堆積状況等を把握し、安定した渚筋に設置する。 ・魚道の入口は、岸に近く、横断構造物に近接した位置にして魚類が認識し易いようにする。 ・下流側で河床が安定している位置から、魚道入口まで根固め等を若干低くして遡上魚を導入する。
魚が魚道入口に集まりにくい	
下流の根固めブロックが遡上を阻害する	
流出土砂によって流向や、渚筋が変化する	
河床低下によって入口（登り口）が浮き上がる	・入口の直下には深みがあることが望ましいが、水量の変化が大きいところでは低水時に入口が浮き上がらないように計画河床よりも入口を1段深くいれておく等の工夫をする。
流出土砂によって施設が破損、埋没する	・土砂の流入量、流入形態を考慮して維持管理のしやすい形式・形状のものを選択する。
魚道内にゴミ・土砂が流入、堆積する	
流水が水抜き孔に流れてしまう	・魚道形式の決定に際しては、引き込み可能水量、魚道設置勾配等を考慮し、対象魚種の遡上可能流速及び水深が確保できるものを選択・設計する。 ・切欠きや潜孔を設ける際は、魚道内の水流が極力乱れないように配慮する。 ・魚道の延長が長くなる場合は、休息場所を確保できるよう配慮する。
魚道の勾配が急である	
段差が大きすぎる	
幅員が狭く流速が大きすぎる	

表-1.4 魚道内の土砂流入・堆積特性および流況

魚道タイプ	魚道内の土砂流入・堆積特性および流況	留意点等
階段式	・流入土砂は隔壁の越流部天端まで堆積する。 ・上流からの落下水による巻き上げにより、プール内にはある程度の空間が確保できる。 ・隔壁越流部の流速が大きくなっても、非越流部があればプール内に静穏域が確保できる。 ・勾配が大きくなると落下水により泡立ちが激しくなるが、フラッシュされる土砂も多くなり、プール内の土砂堆積量は減少する。 ・越流部の流速は堆積土砂が多く、水深が小さくなるほど速くなる。	流況（流量、水深、流速）の不安定性に対して魚道機能のチェックが必要である。
アイスハーバー式 （潜孔付）	・流入した土砂のほとんどが停止することなく潜孔を通過して下流へ流出する。 ・越流部を通過する流水は階段式と同様の流況となるが、越流量に対してプール深が大きい場合、流水は完全に減勢される。 ・潜孔の位置を一直線にすることで、潜孔部の流速はかなり大きくなるものの、プール内の流水の乱れは小さくなり、静穏域も確保できる。 ・上流側の潜孔は閉塞する可能性も高いが、階段式と同様の機能は確保できる。	潜孔部の流速を小さくするには、魚道を緩勾配にする必要がある。
パーティカル スロット式	・流入土砂は、一部が死水域等に薄く堆積する以外はほとんど流出するため、流況への影響は少ない。 ・スロット中央部の流速は速いが、両端および底部では減速されており、適当な流速を選んで遡上することができる。 ・魚道の勾配が大きいと、プール内の流水の乱れ、泡立ちも大きい。	流速を小さくするには、魚道を緩勾配にする必要がある。 （1/10程度が限界と考えられる）
デニール式	・流入土砂のうち、粒径の大きい礫は阻流板の間に堆積するが、細粒土砂は側部阻流板間で発生する螺旋流によって巻き上げられて流出する。 ・土砂が底部阻流板間に堆積すると、減勢効果が低下し、流速の速い部分が増加する。 ・魚道勾配が大きくなると、螺旋流による泡立ちや水面の乱れも大きくなる。	底部の流速は土砂堆積後も遡上可能な程度に抑えられるが、死水域がないために魚道延長が長くなる場合には、休息場所を設置することが望ましい。
粗石付き斜路	・斜路に自然石を埋め込む型のため、魚道の幅が狭い型の場合流量によっては斜路全体で泡立つ。	流量、流況の推定精度は他の形式のものよりかなり低い

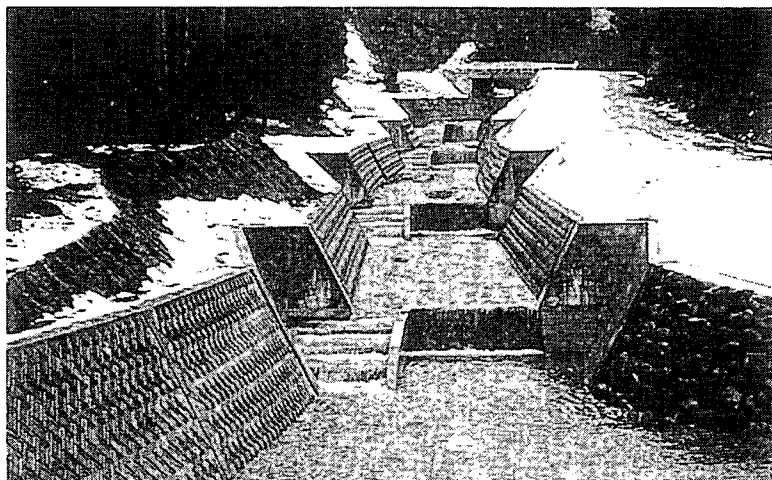
砂防溪流に適用可能と思われる魚道の型式としては、つぎのようなものがあげられる。

- ① 階段式（直線式、折り返式、引込み式）
- ② アイスハーバー式
- ③ バーチカルスロット式
- ④ デニール式
- ⑤ スリット式
- ⑥ 粗石付き斜路
- ⑦ カルバート式
- ⑧ らせん式
- ⑨ その他の型式（緩勾配水路等）

① 階段式

隔壁により階段式のプールをつくり、これを連続させる構造である。

わが国の魚道は従来ほとんどがこの形式で設けられているが、流速、流量とも水位変化による影響を強く受け、2.2.1の水理設計で述べるように、越流水によりプール内の流れが不安定になる場合もある型である。



階段式魚道
(落差工：阿賀野川支川小屋の沢)

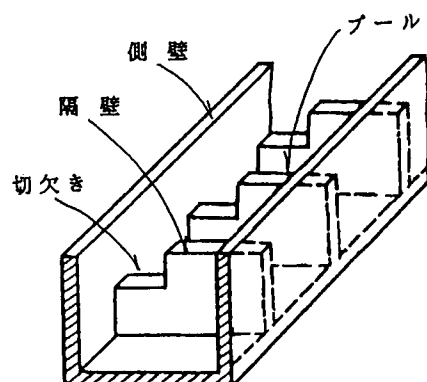
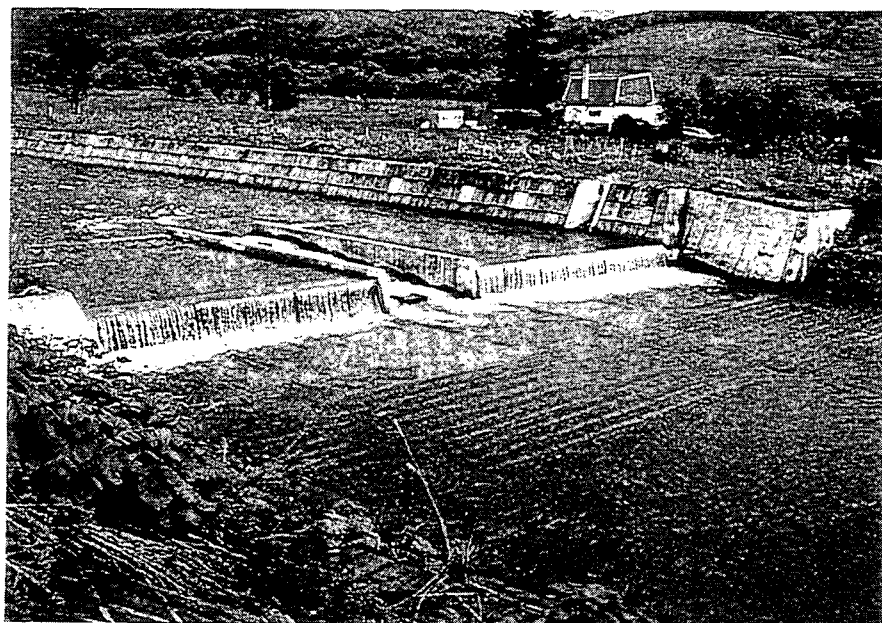


図 - 1.3 階段式魚道

② アイスハーバー式

階段式魚道の欠点である越流水によりプール内の流れが不安定になる、水位変動の影響を強く受ける、プール内に堆砂しやすい、等を克服するために改良された魚道である（隔壁の一部に非越流部を設け、越流部下に大きな潜孔を持つ）。



字莫別川18号落差工

（石狩川水系字莫別川）

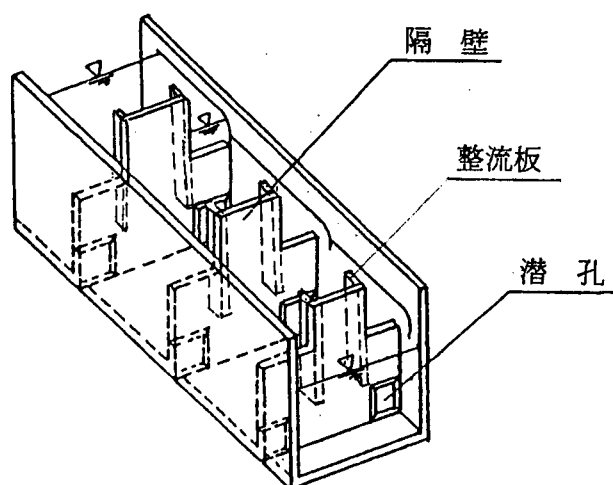
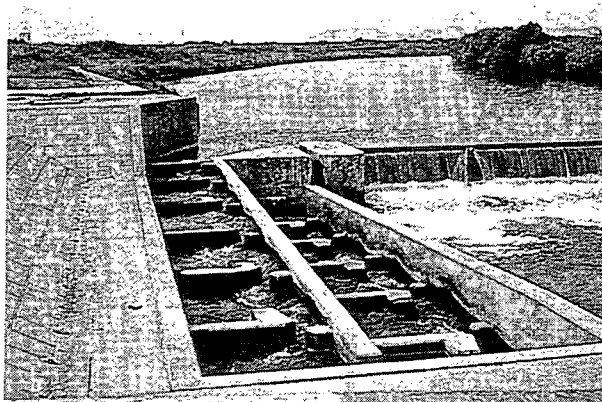


図-1.4 アイスハーバー式魚道

③ バーチカルスロット式

プール間が縦の溝でつながっている型式である。

流速は水位変動の影響を受け難く、流量は水位に比例する。魚道内の流速を落とす場合には勾配を緩くすることが必要である。



三方島堰の右岸側バーチカルスロット式魚道(下流より望む)

三方島堰³⁹⁾

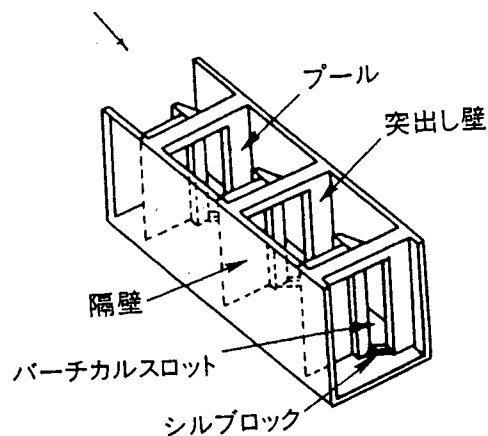
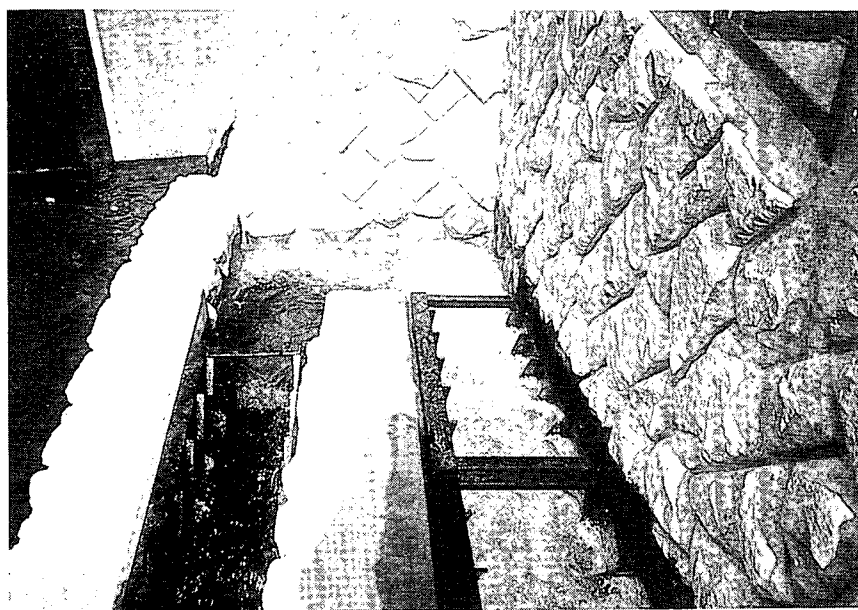


図-1.5 バーチカルスロット式魚道

④ デニール式（標準型）

直線水路内に短ピッチに阻流板を斜めにいれ、水流のエネルギー減勢を図ったものである。

流速、流量とも水位の変動の影響を受ける。底部で流速が遅く、表層で速い。小型で急勾配のものが適用可能である。



根尾西谷川砂防ダム⁵⁶⁾
(揖斐川水系根尾西谷川)

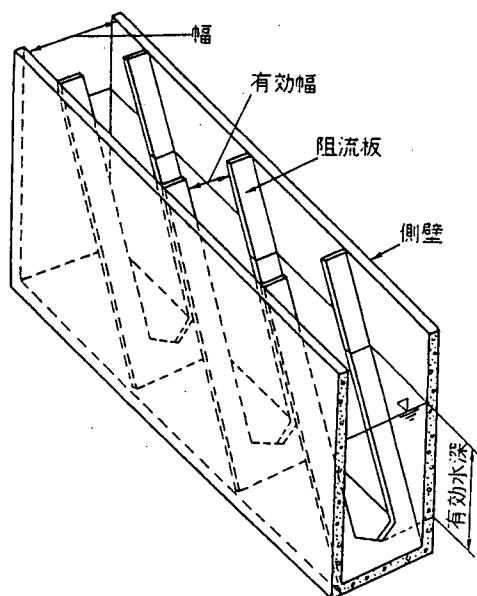


図-1.6 デニール式魚道

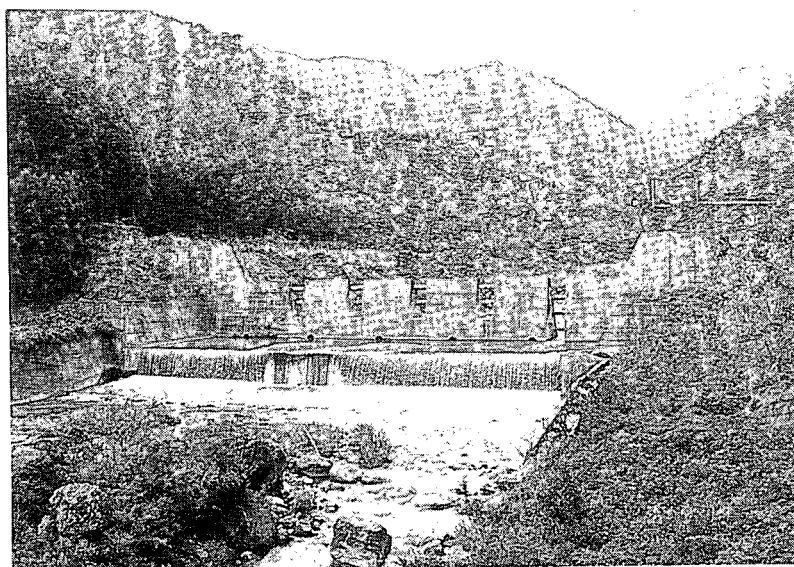
⑤ スリット式

流出土砂の多い砂防施設の魚道として考えられた型式である。

② 砂防ダムのスリット

砂防ダム本体にスリットを設けて、ダムの堆砂制御と魚道の機能を兼ねたものである。但し、既設の砂防ダムには適用できない。

堤体を切り欠いて河床の連続性を維持するという点では大暗渠とおなじだが、スリット式の場合、小規模な土砂流出であれば閉塞しても表流水の働きで土砂が徐々に掃け、自然に機能を回復する可能性がある。

中津川砂防ダム（仁淀川水系中津川）⁵⁶⁾

主タム正面図

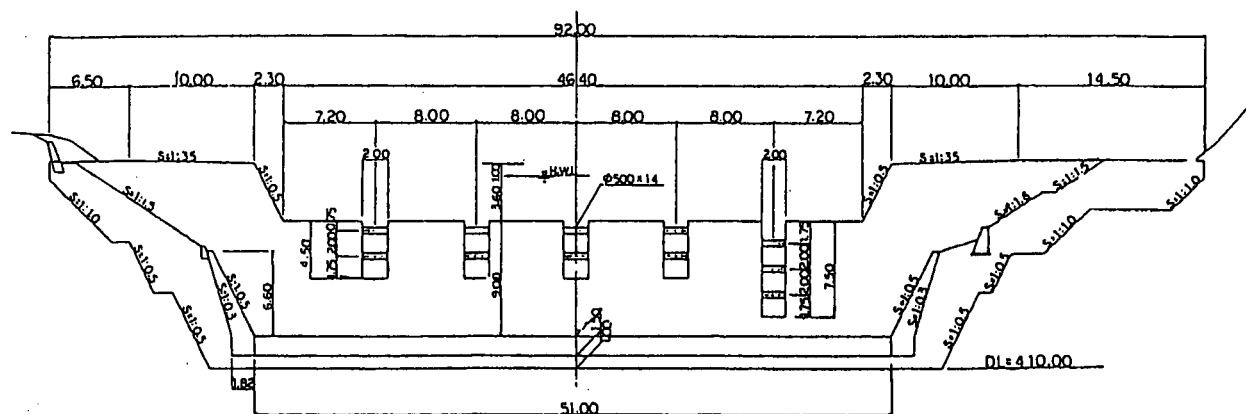
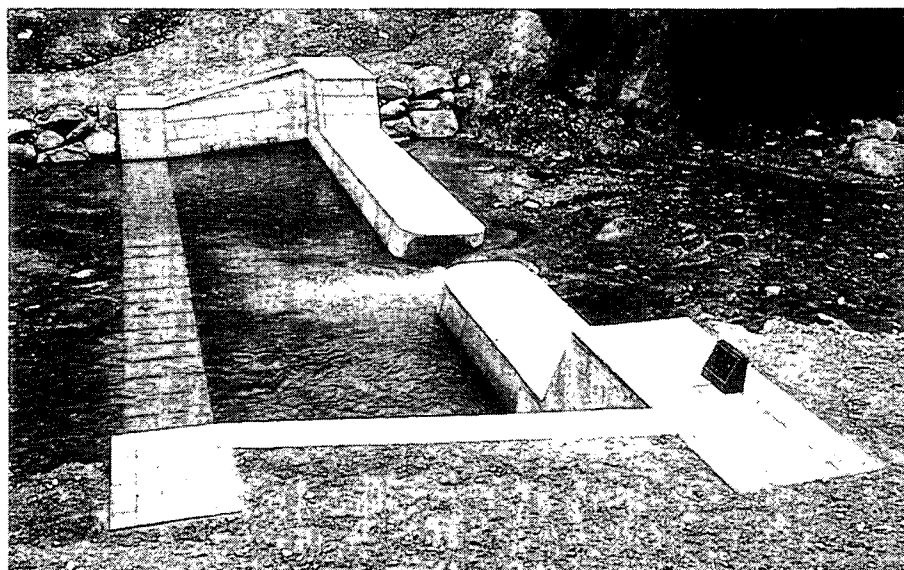


図-1.7(a)スリット式(砂防ダムに設置の例)
(スリットを1本だけ水褥池の水面まで下している)

⑥ 床固工のスリット

床固工にスリットを設けたもので、複数箇所のスリットを設けている例もある。



温川 1 号床固工 (木曾川水系落合川温川)

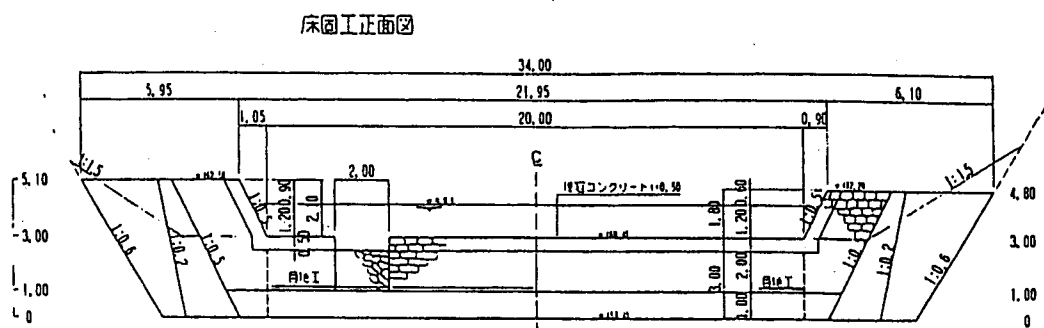


図-1.7(b) スリット式魚道（床固工に設置の例）

⑥ 粗石付き斜路

斜路に粗度として自然石等を埋め込み、魚類の遡上し得る部分を作り出す型式で、水位により流速、流量とも変化する。

下流部の流況予測と上流端の工夫が成否の鍵を握る。



外ノ沢ダム
(信濃川水系外ノ沢)

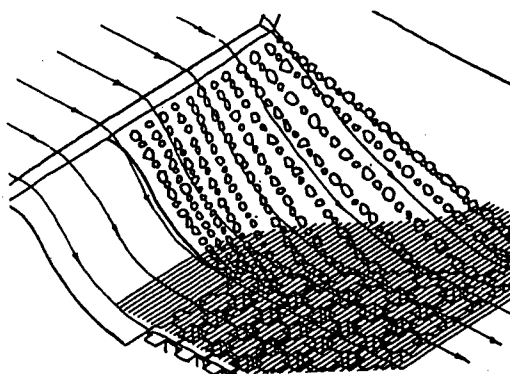
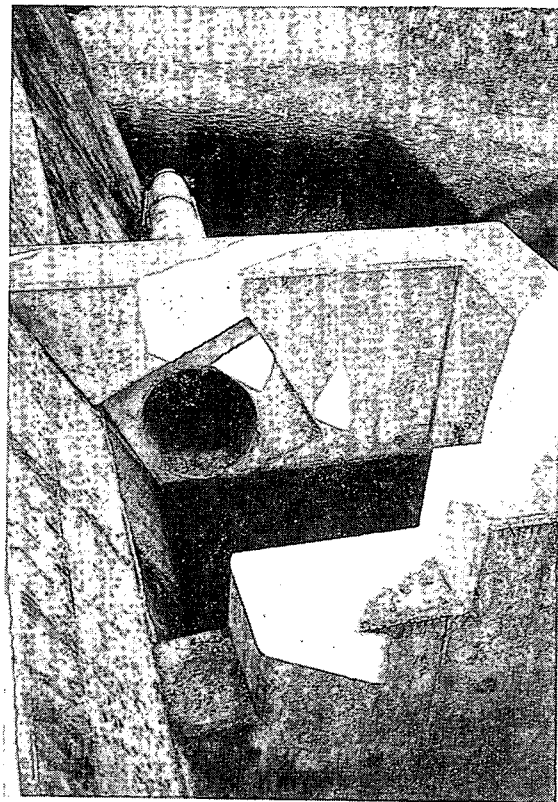
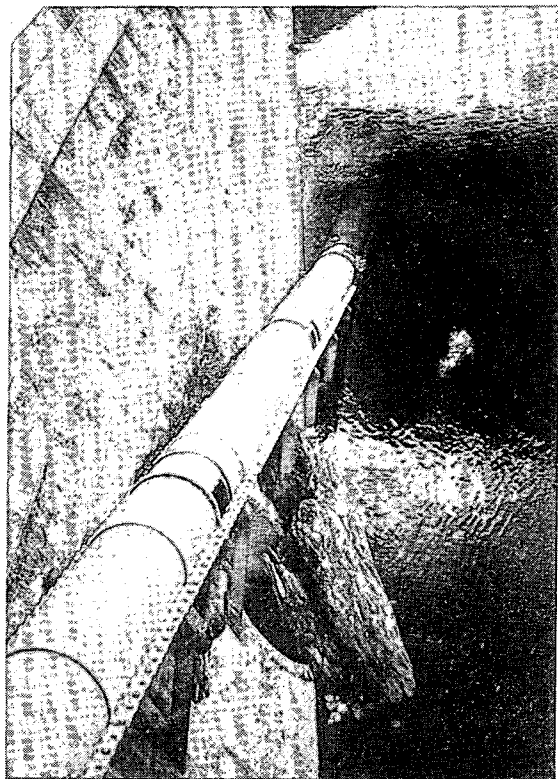


図-1.8 粗石付き斜路 (中村俊六, 1997) ⁷⁶⁾

⑦ カルバート式

中に阻流板や隔壁を設けた暗渠を、砂防ダム本体に斜めに取り付けるものである



パイプには堆砂の進行に合わせて
いくつも穴があけられている

満砂時の魚道出口となる樹

蓬沢砂防ダム⁵⁶⁾
(魚野川水系蓬沢)

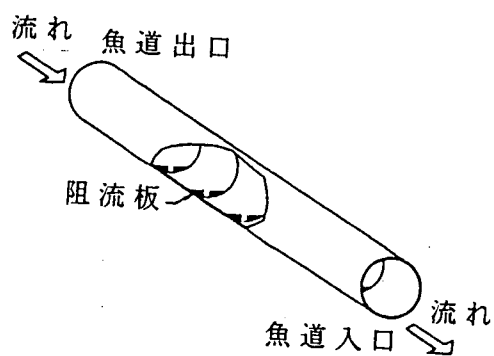


図-1.9 カルバート式¹⁹⁾

⑧ らせん式

魚道設置のための十分な空間を確保することが困難な場所に採用されることが多い。螺旋の中の魚道形式は現在のところ階段式が多い。

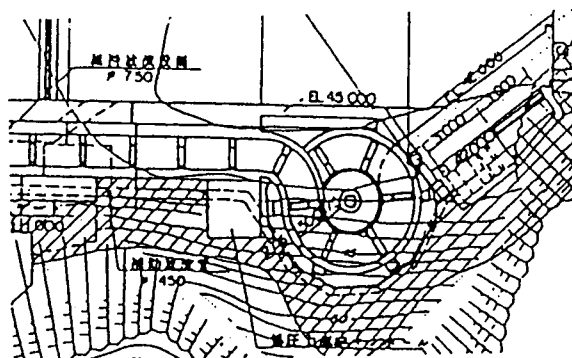


図 - 1.10 らせん式魚道



守門川第2号ダム³⁹⁾
(新潟県五十嵐川水系守門川)

⑨ その他の型式（緩勾配バイパス水路）

砂防施設周辺に水路を設置する十分な空間がある場合に限られる。水深が浅い水路になる場合は、水温の上昇、外敵からの保護対策が必要となる。また緩勾配とするために水路が長くなるので休憩、避難場所を設けなければならない。



道観松砂防ダム（神通川水系蒲田川）⁵⁸⁾

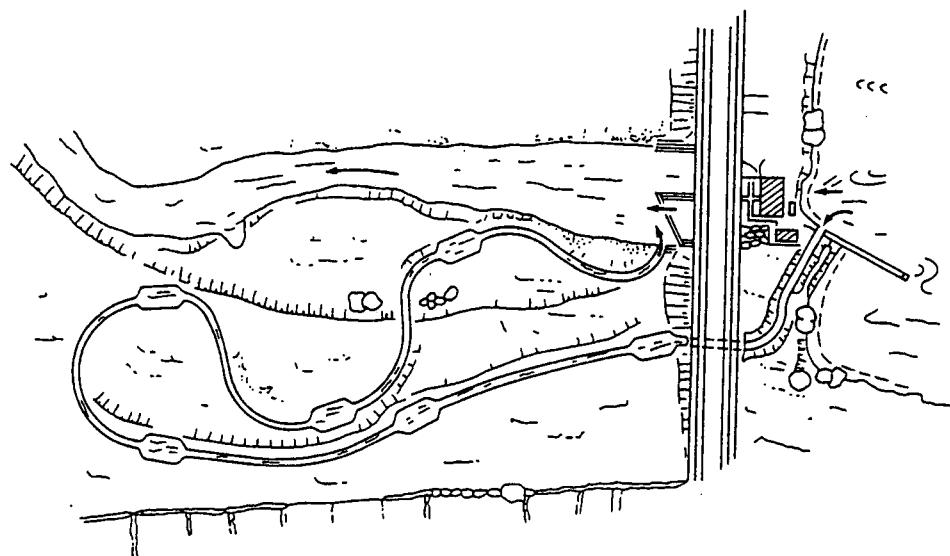


図-1.11 緩勾配バイパス水路

第2章 魚道の設計

第1節 魚道の概略設計

2.1.1 魚道入口・出口の選定

- (1) 魚道入口の選定に当っては遡上魚が集まっている場所を見極める。
- (2) 魚道出口の選定に当たっては土砂などの堆積による閉塞に注意する。

解 説

- (1) 魚道の入口は、1.2.4で確認した集魚場所に合わせる。

砂防溪流では川幅当りの流砂量が多く、河道が安定していない場合が少なくない。そのため魚道入口が土砂の堆積によって埋没したり、濡筋が変化して集魚場所が移動し魚道が機能しなくなる場合が生じる。そのような場合には次のような配慮が必要になる。

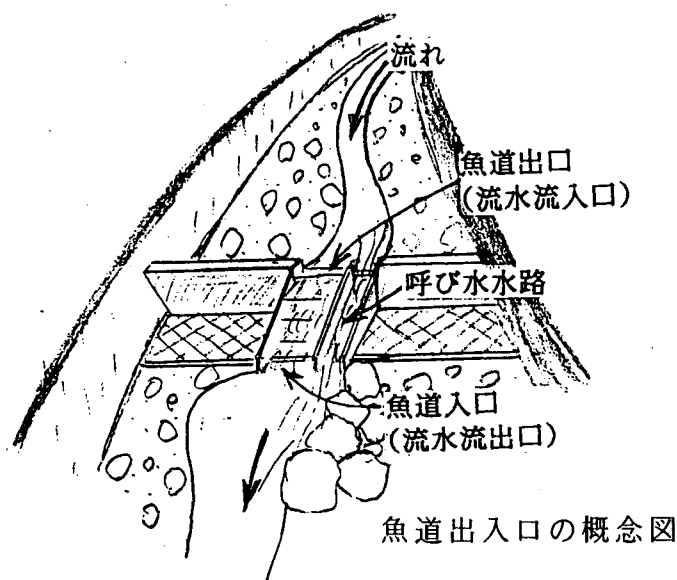
魚道前後の濡筋の連続性を確保するための対策工、例えば水叩きに溝をつける。魚の降下する際には、水叩き地は一定の水深を確保し、水辱地にするのが望ましい。

- (2) 魚道出口に対しても土砂堆積対策を考慮する。

これらは現場の河道の状況、床固工や砂防ダムの規模等を総合的に判断して決める。

魚道の入口：魚道への登り口、魚道内流水の出口。

魚道の出口：魚道から溪流等への遡上口、魚道内への流入水の取り込み口。



2.1.2 魚道の型式の選定

魚道型式選定に当たっては設計条件などの諸条件に最も適したものを、各魚道型式の特徴を十分理解した上で選定する必要がある。

- (1) 対象とする河川流量・水位の範囲
- (2) 魚道流量
- (3) 対象魚の遡上能力の限界値
- (4) 立地条件及び経済的条件
- (5) 土砂の移動状況

解 説

設置する魚道の上流端、下流端の位置から魚道の勾配が得られる。1.2.1の(4)で収集した水文量の条件を用い、設置可能と思われる魚道の型式を選定し、適当な寸法を想定して水理計算を行い概略の規模を決めることになる。

(1) 対象とする河川流量・水位の範囲

流量変化の激しい砂防溪流で、魚道が常に機能するように設計することは困難なことである。そこで、魚類の遡上期に有効に機能すると考えられる流量の範囲を設定することとする。

設計対象河川流量の範囲を大きく設定すると、水位変動幅も大きくなることを念頭に置いて流量範囲を設定しなければならない。

(2) 魚道流量⁶⁹⁾

幾つかの型式の流量の単位幅流量等は以下のようなものである。

① 階段式等の越流部を持つ型式の完全越流時の流量

越流水深 (m)	限界水深 (m)	限界流速 (m/s)	単位幅流量 (m ³ /s/m)
0.100	0.067	0.808	0.054
0.150	0.100	0.990	0.099
0.200	0.133	1.143	0.152
0.250	0.167	1.278	0.213
0.300	0.200	1.400	0.280

② 縦30cmの潜孔の単位幅流量（縮流係数 $C = 0.8$ の場合）

落差 Δh (m)	潜孔流速 (m/s)	単位幅流量 ($m^3/s/m$)
0.050	0.990	0.238
0.100	1.400	0.336
0.150	1.715	0.412
0.200	1.980	0.475
0.250	2.214	0.531
0.300	2.425	0.582

③ スロット幅30cmのバーチカルスロットの単位水深当たり流量

落差 Δh (m)	スロット流速 (m/s)	単位水深当たり流量 ($m^3/s/m$)	(縮流係数 $C = 0.8$ の場合)
0.050	0.990	0.238	
0.100	1.400	0.336	
0.150	1.715	0.412	
0.200	1.980	0.475	
0.250	2.214	0.531	
0.300	2.425	0.582	

④ 標準デニールの流速と流量

①有効幅 $b=20cm$ (有効水深 $d=1.5b$ の場合)				②有効幅 $b=35cm$ (有効水深 $d=1.5b$ の場合)			
勾配		代表流速 (m/s)	流量 (m^3/s)	勾配		代表流速 (m/s)	流量 (m^3/s)
1/3	0.333	1.151	0.068	1/3	0.333	1.523	0.277
1/4	0.250	0.997	0.059	1/4	0.250	1.319	0.240
1/5	0.200	0.892	0.053	1/5	0.200	1.179	0.215
1/6	0.167	0.814	0.048	1/6	0.167	1.077	0.196
1/8	0.125	0.705	0.042	1/8	0.125	0.932	0.170
1/10	0.100	0.630	0.037	1/10	0.100	0.834	0.152

(3) 対象魚の遡上能力の限界値

魚類の遊泳速度を魚の体長の倍数で表すと、一般に魚の発揮し得る最大の速度（突進速度）は $10 \times$ 体長 / s 前後、比較的長時間（30分～数時間）疲労することなく泳ぎ続けられる速度（巡航速度）は $2 \sim 3 \times$ 体長 / s であると言われるが、体長5～9cmのアユで40～60cm、体長10cmのヤマメで40～50cmとされている。

① 対小型の遊泳魚

- ・ヤマメ、イwana、ウグイ等の巡航速度はアユの8割程度である。
- ・小型魚は遊泳力が弱いので流れの乱れなどにも配慮しなければならない。

② 対大型魚

大型魚に対しては型式より規模が問題となることが多い。

- ・流速、流量、水深などが小さすぎると魚道に入りにくくなる。
- ・小型魚では進入が困難な状況でも進入する。

③ 対底生魚

アユなどの遊泳魚とことなり、カジカ、ヨシノボリやアユカケのように河床の砂礫の間等を生活の場としている底生魚は、ヨシノボリのように吸盤を持っているものを除くと、極く低い堰でも遡上を阻害される。

- ・階段式魚道の潜孔で対処するためには、潜孔の縦寸法を十分取った上で、プール間落差をかなり小さくする必要がある。
- ・バーチカルスロット式ではプール間落差をかなり小さくする必要がある。
- ・標準デニール式は、底部流速をかなり小さくする必要がある。
- ・粗石付き斜路は、底生魚の遡上に適している。

④ 対モクズガニ等

どの型式でも、ロープを用いた補助経路を付加することによって対応可能である。

(4) 立地条件及び経済的条件

- ① 総落差が2 mを超える場合には途中に休憩プールが必要になるのでプールタイプが有利である。
- ② 直ちに永久工作物としての魚道の設置が困難な場合、当面の措置として簡易型魚道を用いてもよい。

(5) 土砂の移動状況

平常時及び出水時の土砂の移動量並びに粒径を考慮してその溪流に適した型式を表-1.4を参考にして選定する。

2.1.3 魚道の設計（概略設計）

魚道の設計に当たって以下の項目について検討する

- (1) 魚道の設計流量
- (2) 魚道内の水理条件

解 説

設置する魚道の上流端、下流端の位置から魚道の勾配が得られる。

(1) 魚道の設計流量

魚道が十分な機能を発揮するためには、魚道の上流部および下流部において、河川水位や流量の変化に対応することが必要である。魚道の設計流量を決定する際の河川流量は下記の、流量を参考にして決める。

- ㉑ 当該魚道地点直上の河川維持流量または河川確保流量
- ㉒ 上記流量の定めがない場合には低水流量程度
- ㉓ 対象魚種の遡上期および降下期の平均的な流量・最小流量

㉑については、河川法施行令第10条に定められる流水の正常な機能の維持のための流量は、漁業、舟運などの機能を保持するため、定常的に当該魚道地点を流下する河川流量であると一般的に位置づけられているものである。

この場合、上流ダム群などで新たに開発されて確保される流量が当該地点を通過する場合には、この流量を勘案した河川確保流量の範囲内で魚道および呼び水の設計流量を定めることとなる。

㉒について、維持流量などが未制定である場合には、当該地点の河川流量データから低水流量相当量の範囲内で魚道の設計流量を定めることとなる。

この低水流量は、一般に前述の維持流量あるいは河川確保流量に相当する場合が多いからである。

㉓については、魚類の遡上期および降下期は比較的春期および秋期が多いので、この期間の平均的な流量を目安に設計流量が定められる。

(2) 魚道内の水理条件

対象魚（表-1.1）の体高・遊泳能力によって決まる越流水深、流速等は例えば最も条件の厳しいアユの遡上期についてみると、魚道内の水理条件は対象魚種と

遡上期か降河期かによって異なるが、以下ようになる。

- ① 魚道の幅全域で流速 $1.5\text{m}/\text{sec}$ （安全をみれば $1.2\text{m}/\text{sec}$ ）を越える箇所があってはならない。水深方向の流速分布は、それ程厳密なものではないが、水面近くは鳥などに狙われ易いので、できるだけ深い位置で上記以下の流速を維持するのがよい。
- ② 魚道内の流速は遡上意欲を失わせる程小さくしてはならない。
- ③ 断面平均流速は、魚道内の水面形追跡計算に当たっての境界条件となる断面、即ち支配断面以外では、ほとんど意味をもたない。むしろ、全域で泡だっているような状況にならないようにとか、所々に休息場所を設定するなどの局所流況の設定に心掛けるべきである。

魚道内の水理条件のうち最も重要なものは流速である。魚道に適正な流速は対象魚種と遡上期か降河期かによって異なるが、魚種としては大別してアユ用とサケ・マス用のいずれかに分けることができる。上記流速の上限値は稚アユの遊泳力（その流速に逆らって数分間とどまり得る流速）が根拠となっている。降河期あるいはサケ・マス用は上記の数値の約1.5倍が目安となる。⑥の流速の下限値がどの程度かは未知に近いがアユで $40\text{cm}/\text{sec}$ 程度、サケ・マス用で $60\text{cm}/\text{sec}$ 程度としてよいであろう。

④は魚道内のある断面で、上限速度を上廻るような箇所があると、この断面が壁となって、それ以上の遡上が妨げられることを意味する。魚道の縦断方向のいずれの断面においても、少なくとも上限流速以下の部分が存在することが必要である。

⑤に関連して、著しい泡だちは魚が忌避するので、これが全面に亘るような魚道（たとえば全面越流型）は望ましくない。隔壁、切欠、潜孔などの適当な配置によって、泡だちの少ない比較的静穏な水域（休息場所）を工夫する必要がある。

その他、対象魚種や魚道を含む堰の特殊性、さらには河川特性などから魚道および呼び水の設計流量を種々検討して、最適な値を選択できると考えられる。

魚道を設計するうえで必ず必要となる河川流況としては以下のものが挙げられる。

- ① 魚道上流側（出口側）の水位とその変動
- ② 下流側（入口側）の水位とその変動

◎ その他、流送土砂量など

しかし、砂防溪流などでは、これらを知るための資料がない場合が多く、なんらかの方法で推定し、設計条件として確定しなければ設計に入れない。流量の資料から水位などを予測することは比較的容易であるから、まず流量について「設計対象流量」を決める場合もある。

設計流量の決め方

砂防溪流での流量観測値は少なく、何らかの方法で流量を推定することになる。設計流量の決め方としては、以下のものが考えられる。

㊤ 時系列データからおおよその設計条件値（あるいはその範囲）を決める簡略法

これは、図-2.1を例にとれば、4月23日の出水時の流量は除外して他の期間の平均値を設計条件の基準値にする、といった方法である。

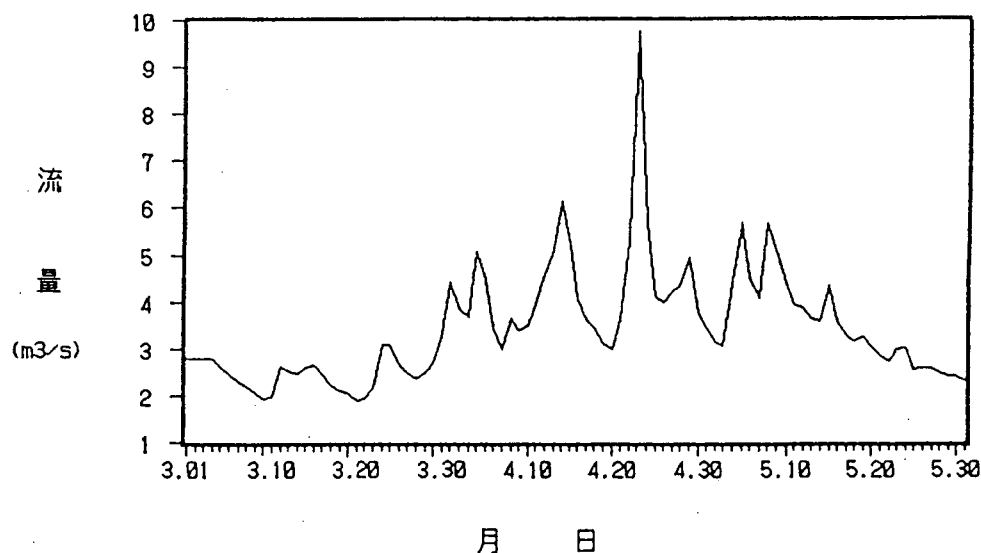


図-2.1 流量の時系列データの一例

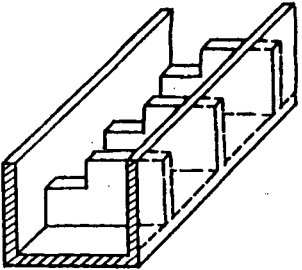
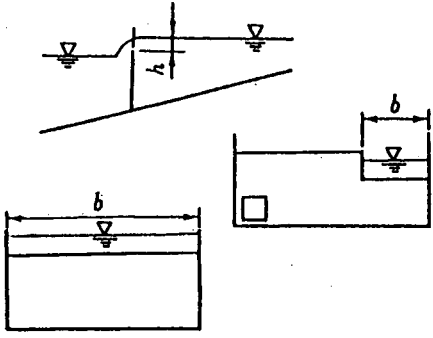
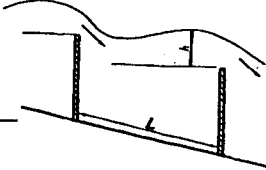
- ㊤ 当該流域の流量資料が得られる地点のデータから比流量を計算して魚道設置地点の流域面積に掛ける等の簡略法。
- ㊦ この他にタンクモデルを用いて流量の推定をしている例が報告されている(65)。

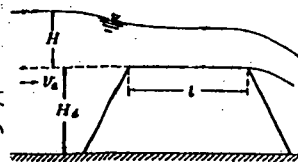
(2) 魚道の設置位置・形状の決定

魚道の設置位置を選定する。設置位置としては、特に魚道の入口と出口の位置が適切であるように選定するが、ここでは概略設計の段階であるので設置可能な位置は検討対象として全て抽出し、1.2.3で収集した図面を用いて記入しておく。設置位置の条件から設置可能な魚道の型式を選定する。

設置する魚道の上流端、下流端の位置から魚道の勾配が得られる。1.2.3で収集した水文量の条件を用い、設置可能と思われる魚道の各型式毎に適当な寸法を想定して水理計算を行い概略の規模を決める（表－2.1(a)～(i)参照）。次に上で得た各型式の魚道の概略設計を比較検討し、最良と思われるものを選定する。

表-2.1(a) 階段式

外 観		側面 及 横断 図	 
流 況	水位変動に対して流速、流量とも激変		
計 算 式	落下流状態 代表流速：越流流速 $\sqrt{(2/3)gh}$、係数：C_w(概略値 0.61)、流量：$C_w \cdot b \sqrt{gh^3}$ 表面流状態 (但し $4 < L/d < 95$、$5\% < I < 15\%$ の場合) 代表流速：$Q/(b \cdot d)$、流量：$1.5 \cdot b \cdot d \sqrt{gIL}$ 切欠きのある場合には隔壁天端部と切欠き部とに分けて計算する 潜孔部 流速：$\sqrt{2gh}$、係数：C_o(0.65~0.8程度)、流量：$C_o \cdot a \sqrt{2gh}$ (a: 潜孔の面積(m^2))		
長 所	・わかりやすく、設計が容易 ・流量が少なく済む ・設計例が多いので安心できる		
短 所	・流速、流量ともに水位変化の影響を強く受ける 上流側水位の10cm単位の変動が遡上の可否に影響を及ぼす ・切欠き部がない場合、遡上のために何回も水表面に浮上しなければならない ・切欠き部がない場合、プール内に不安定現象が生じ易い(越流水の状態、横波の発生) ・潜孔のない場合、底棲生物の移動は不可能 ・プール内に堆砂しやすい		
留 意 点	・下記①の理由で、潜孔を付けるときは下向きにして旋回流を抑制する⁽¹⁾ ・下記②の理由で、越流水深から推定される流速や流量以上に水が流れるので設計する際には注意が必要である⁽¹⁾ ・切欠きを設けると水位が低い時にも機能し、魚類の遊泳遡上路(ジャンプではなく)が確保される ・切欠きはプール内の魚道延長が長い場合には休息場所を設ける必要がある		
実験・ 現地での 観察結果	①潜孔がある場合の方が流速が大きく、大きな旋回流が生じる ②潜孔がある場合にはその直下の切欠き部の接近流速が大きくなる ③各プールでのアユの行動範囲は、潜孔のない場合の方が狭い これは潜孔によって出来る旋回流に逆らって遊泳するためである⁽¹⁾ ・土砂流出の多い河川ではコンクリート隔壁は磨耗に弱いので強度をあげる工夫が必要⁽²⁾ ・アユを用いた急勾配な魚道の実験によると1/5、1/3という急勾配魚道でも1/10勾配のものに比べれば遡上率は低いが、越流水深が10cm程度(越流流速 1.37~0.83m/s)なら遡上が期待できる⁽³⁾		
メ モ	・アユ：側壁際や渦流の影など流速の緩やかなところを遡上 ・既設魚道の流速や流量のチェックが生じた場合、越流水深が浅い時には以下の注意が必要。砂防河川の魚道では隔壁が厚いので越流水深の浅い場合($l > 0.7H$)には広頂堰の式を用いる 代表流速：$v = (1/n)R^{2/3}I^{1/2}$、係数：K(理論値=1.70)、流量：$Kb(H + (v^2/2g))^{3/2}$		



- (1) 中村・高嶋・伊集院：階段式魚道模型内でのアユの挙動、Fishways'90 in Gifu、1990
- (2) 登川魚道現地調査での観察
- (3) 原義文他：急勾配な階段式魚道を用いたアユ遡上実験、平成7年度砂防学会研究発表会
概要集、1995.5

表-2.1(b) : アイスハーバー式

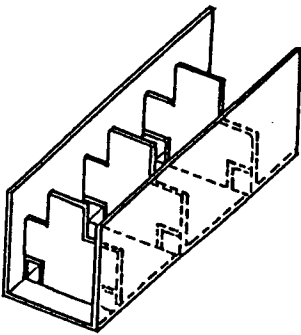
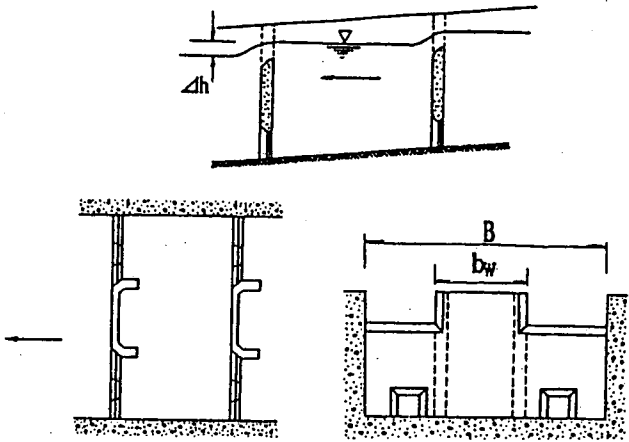
外 観		側面及横断面図 
流 況	越流部、潜孔部で速い 越流部：水位変動に対して流速、流量とも激変 潜孔部：流速、流量とも水位変動の影響を受けにくい	
計 算 式	越流部 …代表流速：潜孔流量 $\sqrt{2g\Delta h}$ 、係数： C_w (概略値 0.61)、流量： $C_w \cdot b \sqrt{gh^3}$ 潜孔部 … “ : “ $\sqrt{2g\Delta h}$ 、 “ : C_o (“ 0.75)、 “ : $C_o \cdot a \sqrt{2g\Delta h}$ ($b=B-b_w$) 全流量： $Q=Q_w+Q_o$	
長 所	・階段式魚道の欠点（プール内の不安定現象）を解消 ・水位が極端に低くなっても機能は維持できる ・大きな潜孔は魚類等の進入を容易にする ・非越流部背面の静穏水域が休息場となる	
短 所	・魚道勾配が急な場合は潜孔の流速が速くなり、底棲魚や遊泳力の弱い魚類の遡上は困難となる⁽²⁾	
留 意 点	・潜孔からの流速を低流速とする場合、緩勾配が必要である	
実験・ 現地での 観察結果	・流速：越流部直下流、潜孔出口で速い流れが生じ非越流部下流域で流速の遅い部分が生じる⁽²⁾ ・アユ：ほとんどが潜孔を遊泳層とし、潜孔通過時には全力で突進しているが出口に到達する確率は低い また阻流板の間に迷い込み出られなくなっているものが見られた⁽³⁾	
メ モ	・我国ではまだ実施事例は少ない 倉見砂防ダムでは地形に沿って曲線的に折返し配置をしている⁽¹⁾ (1) 建設省中部地方建設局：砂防施設における魚道設置事例集、1993. 10 (2) 原義文他：デニール式魚道およびアイスハーバー型魚道における遡上特性、平成7年度北陸地建管内技術会研究会論文集、1995. 5 (3) 原義文他：デニール式魚道およびアイスハーバー型魚道における遡上特性、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、1995. 5	

表-2.1(c) : バーチカルスロット式

外 観		側面 及 横断 図	
流 況	水位変動に対して流速は不変、流量は比例 プールの水位差だけで流速が決まる (水深は設計流量と想定する水位変動との対応で決まる)		
計 算 式	代表流速：スロット流速 $\sqrt{2g\Delta h}$ 、 係数： C_v (概略値 0.75)、 流量： $C_v \cdot b \cdot y \sqrt{2g\Delta h}$		
長 所	・上流側的水深変化は魚道内の流況をほとんど変化させない ・遡上魚が任意の水深位置を選べる ・階段式よりは堆砂しにくい		
短 所	・低流速には緩勾配が必要 このため、設置スペースに限りがある場合には注意を要する		
留 意 点	・スロット部分での流速 ($\sqrt{2g\Delta h}$程度) が対象魚の突進速度以下になるようにプール間の水位差を決める ・魚類等がスロットを回り込むときに負傷しないように面取りを行わなければならない		
実験・ 現地での 観察結果	スロット部の流速：中村⁽¹⁾は、ごく表面部分とごく底部には$\sqrt{2g\Delta h}$よりはるかに小さい部分があると述べている 土木研究所の模型実験⁽²⁾の流速測定結果も、下図のようになっている		
メ モ	・スロット部を通り抜けた水が隔壁の裏側に作る渦に魚が迷い込むという実験結果もあるので注意を要する⁽³⁾ (1) 中村俊六：魚道の設計理論試案、魚道の設計シンポジウム、(財)ダム水源地環境整備センター、1992.2 (2) 土木研究所砂防研究室・(財)建設技術研究所：砂防設備に適した魚道形式に関する実験報告書、1993.1 (3) 原義文他：デニール式魚道およびアイスハーバー型魚道における遡上特性、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、1995.5		

表-2.1(d) : デニール式 (標準型)

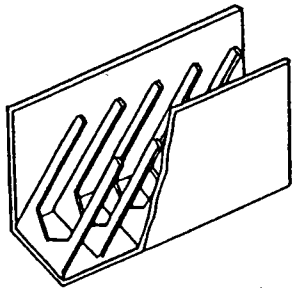
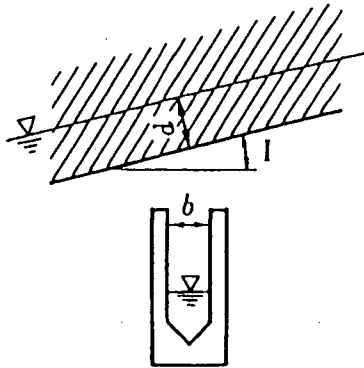
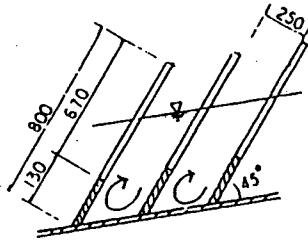
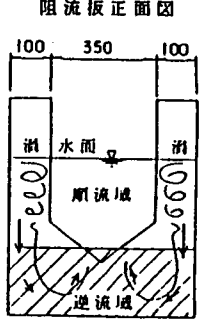
外 観		側面 及 横 断 図	
流 況	底部が低流速、水面に行くに従い高流速 水位変動に対して流速、流量とも変化		
計 算 式	代表流速 : 25%水深流速、 $f(d/b)\sqrt{gI^*}$ 、係数 : C_D (概略値 0.94)、流量 : $C_D(d/b)^2\sqrt{gIb^5}$		
長 所	・かなりの急勾配でも使用できる ・底面から水面方向に流速が遅い層から速い層まで生じる		
短 所	・流速の遅い部分は阻流板によって生じた渦の影響で大きな乱れを生じる ・底棲魚の遡上は期待できない		
留 意 点	・魚道が長くなる場合は休息用プールが必要である		
実験・ 現地での 観察結果	・底面から水面方向に遅い流れから、早い流れまで直線的な分布が得られる⁽²⁾ ・流速の遅い部分は阻流板によって生じた渦の影響で大きな乱れを生じている (下図)⁽²⁾ ・流入土砂は魚道の上流側約半分あたりまでは堆積し、下流側半分では巻き上げられて流出した⁽¹⁾ ・アユを用いた現地調査 : 阻流板と阻流板の間で側壁あるいは下流方向を向いて迷っている個体もある⁽²⁾ 阻流板縦断面図  阻流板正面図 		
メ モ	・有効幅は対象魚の体長の1/2以上あれば十分である * : $f(\frac{d}{b}) = -0.184(\frac{d}{b})^2 + 1.862(\frac{d}{b}) - 0.955$ (1) 土木研究所砂防研究室・(財)建設技術研究所 : 砂防設備に適した魚道形式に関する実験報告書、1993.1 (2) 原義文他 : デニール式魚道およびアイスハーバー型魚道における遡上特性、平成7年度北陸地建管内技術会研究会論文集、1995.5		

表-2.1(e) : スリット式

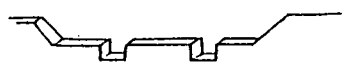
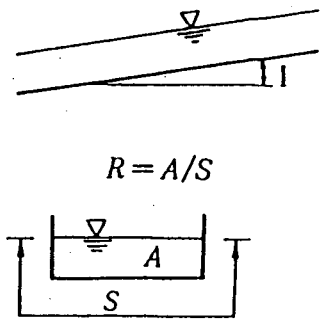
外 観	ダムのスリット  床固工のスリット 	側 面 及 横 断 図	 $R = A/S$
流 況	水位変動に対し流速、流量とも変化		
計 算 式	代表流速 : $(1/n) \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$ 、 粗度係数 : n (概略値)、 流量 : $(1/n) \cdot A \cdot V^{2/3} I^{1/2}$		
長 所	・底棲生物の移動も可能である ・在来型の魚道に比べて、流水を魚道に集め易い ・ダム本体のスリットでは土砂流出でスリット部が閉塞しても表流水の働きで、徐々に土砂が掃け、自然に機能を回復する可能性がある ・魚道の維持管理が容易である ・スリット式魚道は本堤に切り欠きを設けるだけで済むので、施工性、経済性に優れている		
短 所	・同一流量では、従来の魚道に比べて流速が大きくなる ・土砂堆積によりスリット部が閉塞した場合、自然の機能回復には、時間が掛かり、魚道の機能が無となる		
留 意 点	スリット部に流水が集中する可能性があるので、河川流量に合わせてスリット幅と個数を設置する必要がある。しかしスリット幅を大きくし過ぎると河床維持に問題が生じる場合があるので、設置に当たっては十分な検討が必要である		
実験・ 現地での 観察結果	・床固工のスリット魚道は水深は確保されるが、反面流速が大きくなり、対象流量に制約がある⁽¹⁾ ・床固に複数のスリットを設けておけば、洪水の送流土砂等による閉塞が生じても全てが閉塞することはないことが確認されている⁽¹⁾		
メ モ	ダムにおけるスリット式魚道では、本堤のスリットは水褥池～上流側の移動を容易にするので、望ましいが、副堤に設けると水褥池の水深が確保できなくなるので、副堤には他の形式の魚道を設置するなどの工夫が必要である (1). : 阿部彦七 : スリット魚道の実験的考察、建設技術研究所所報、(財) 建設技術研究所、1991.1		

表-2.1(f)：粗石付き斜路・粗石付き斜曲面

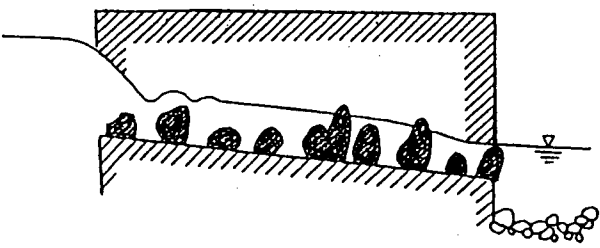
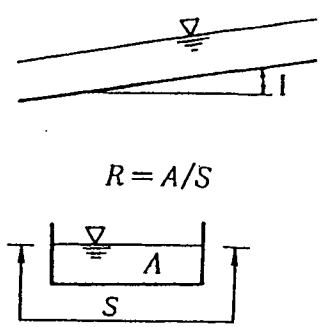
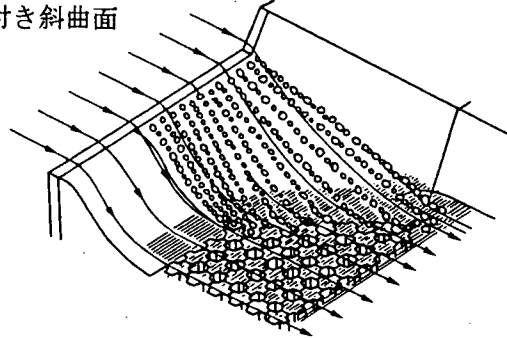
外 観	粗石付き斜路 	側面及横断面図  $R = A/S$
流 況	水位変動に対し、流速・流量とも変化	
計 算 式	代表流速： $1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$ 、係数： n （概略値 0.05）、流量： $A/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$	
長 所	・堆砂しにくい ・メンテナンスが比較的容易である	
短 所	・粗度抵抗の評価が難しいため、流況の予測精度は他の形式に比べかなり低い（人工粗石を規則的に配置する場合にはある程度の評価はできる）	
留 意 点	・魚道勾配を全面一様とせず縦断、横断とも少しずつ変化させるなどの工夫をすることが必要である	
実験・現地	・流速が大きい、大量の泡が発生している等の流況の乱れが観察されている⁽¹⁾ - での観察結果・水の流線に沿って石を線状に配置するのが最良の配置である⁽²⁾	
メ モ	・水理条件の変動、計算精度を考慮して柔軟な設計を行えば、水理量の変動に対応できる部分の確保が可能である (1) 建設省中部地方建設局：砂防施設における魚道設置事例集、1993.10 (2) Charles P. Mitchell: Fish passage problems in New Zealand, Migrants, Fishways '95 in Gifu, 1995.10	
外 観	粗石付き斜曲面 	側面及横断面図
流 況	水位変動に対し、流速・流量とも変化	
計 算 式	現在のところ流量及び流速分布を与える公式はない	
長 所	・越流水の流れが急勾配部に集中し、その結果、緩勾配部に魚類の遡上可能な流れが生じる ・遡上経路の連続性を確保するための流況設定が容易である	
短 所	・遡上経路内に十分な休息場を確保することが難しいので落差の大きい構造物への魚道には不向きである	
留 意 点	・増水時以外では鳥などに狙われ易い状況である	

表-2.1(g) : カルバート式

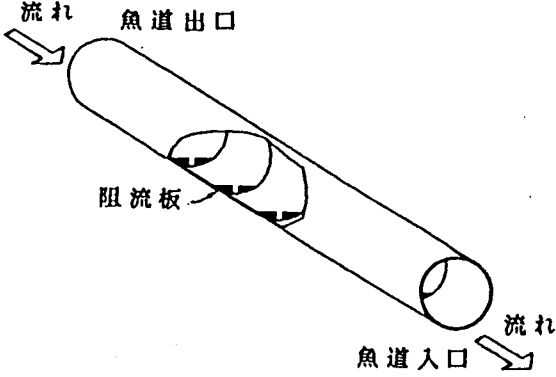
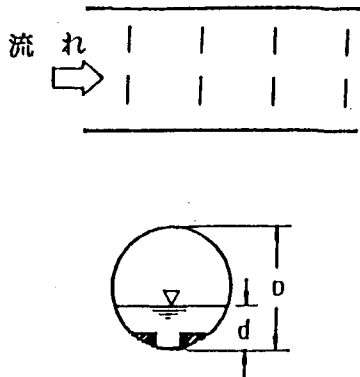
外 観		側面及横断面図 
流 況	内部構造により異なる	
計 算 式	代表流速： 係数： α 、 β (概略値 *)、 流量： $\alpha (d/D) \beta \sqrt{gID^5}$	
長 所	・魚道のための用地をとらない	
短 所	・メンテナンスが困難である ・採光に工夫が必要である	
留 意 点	低流速には緩勾配が必要	
実験・ 現地での 観察結果		
メ モ	*: カルバート内の阻流板の設置形状により α、β が大きく異なる ⁽¹⁾ ・この型式は一種の簡易魚道とみることもできる ・景観的には採用し難い型式である 蓬沢砂防ダムには堤体背面に設置され、水抜き穴からカルバートに進入する形になっている²⁾ (1) Katopodes, C.: Advancing the Art of Engineering Fishways for Upstream Migrants, Fishways' 90 in Gifu, 1990.10 (2) 建設省中部地方建設局：砂防施設における魚道設置事例集、1993.10	

表-2.1(h) : らせん式

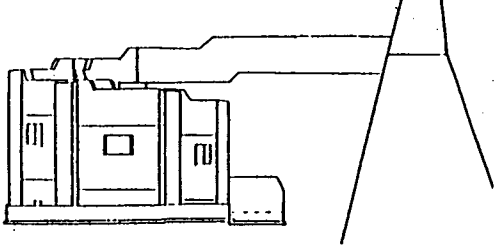
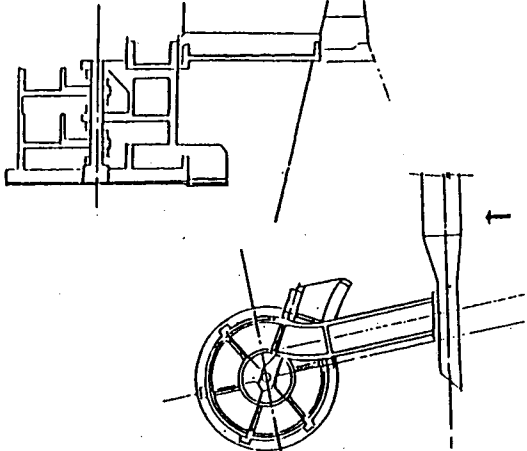
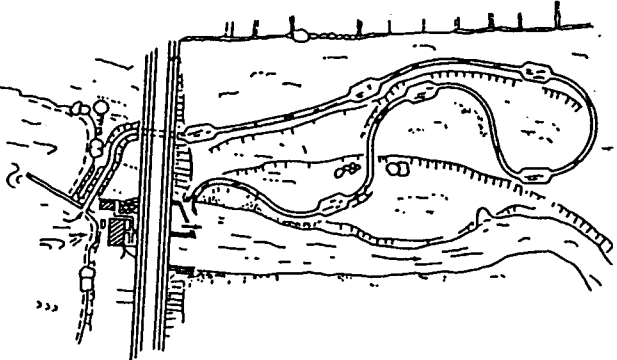
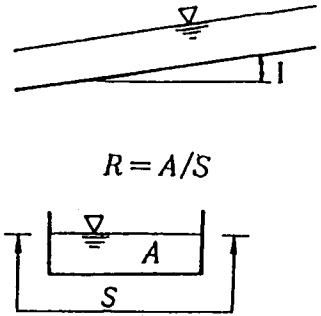
外 観		側面及横断面図	
流 況	内部の型式により異なる		
計 算 式	内部の型式により異なる		
長 所	・ 魚道設置スペースが小さく配置形状の細かい検討が不要である ・ 既製の部品の組立により設置できる ・ 施工期間が短くて済む		
短 所	・ 魚道内の堆砂排除が一般の魚道よりも困難である		
留 意 点	・ 対象魚種によっては明かりの確保が必要となる		
実験・ 現地での 観察結果	内部形状をアイスハーバーとした場合、諏訪ら⁽³⁾の実験及び数値解析によれば ・ 隔壁形状としてアイスハーバー式を用いると、プール内にはよりスムーズな流れが得られ又魚が休息できる適当なよどみも形成される ・ 潜孔からの流れは勢いが強く、乱れの要因となる場合があるのでその設置位置には注意が必要である ・ 側壁への堰の取り付け位置を内周よりとすると、プール内にスムーズな流れが形成され、乱流や表面波動の乱れも小さくなる		
メ モ	・ 細野⁽¹⁾によれば1990年までに北海道でサケ・マス通路整備事業等で11基設置されている岩手県、新潟県に1基ずつ設置されている ・ また中部地方建設局⁽²⁾にも守門川第2号ダム（新潟県）、大平川砂防ダム（北海道、角形のらせん）の例が載っている ・ 既製品には堆砂の進行に合わせて複数の導水口を持つものは開発されていない (1) 細野成一：らせん式魚道の開発とその施工例、Fishways'90 in Gifu 1990 (2) 建設省中部地方建設局：砂防施設における魚道設置事例集、1993.10 (3) 諏訪 他：らせん魚道のプール内流況に関する数値シミュレーション、Fishways'95 in Gifu 1995		

表-2.1(i)型式：緩勾配バイパス水路

外 観		側面及横断面図  $R = A/S$
流 況	水位変動に対して流速、流量とも変化	
計 算 式	代表流速：断面平均流速 $\frac{1}{n}R^{2/3}I^{1/2}$ 、 係数：n(概略値 0.05)、 流量： $\frac{A}{n}R^{2/3}I^{1/2}$	
長 所	・緩勾配であるので底棲生物の移動も可能である ・景観、親水機能を持つ	
短 所	・流量、流速の確保が難しく、予測精度が低い ・相当勾配を緩くしないと目的とする緩い流速が得られない ・砂防施設の周辺に広い用地が必要である	
留 意 点	・長く浅い水路にする場合は水温の上昇や鳥類への対応策などにも留意する必要がある ・水路が長くなる場合には休憩用プールが必要である	
実験・ 現地での 観察結果		
メ モ	・景観、親水性にも配慮する場合であれば様々な工夫が盛り込める ・道観松砂防ダム（神通川水系蒲田川）では掘削残土を利用して砂防ダム前面に広場を造りその中に緩勾配水路（魚道）を通し、ミニ公園としている” 1) 建設省河川局砂防課：生態に配慮した砂防事業実施例、1993.12	

第2節 魚道の詳細設計

2.2.1 魚道の細部構造の設計

魚道の位置、対象魚種、型式、流量などの設計条件が決まれば、水理および構造の細部設計を行う。

解 説

魚道の細部構造の設計は、魚が通り易くする方法を工夫し、魚にとって有利な条件を与える構造にすることを配慮しながら行う。

1. 水理設計

設計流量に対する魚道幅員、勾配、深さ、隔壁（階段式など）の高さ、切欠寸法などを定め、設計流量に対して水位・流速等のチェックを行う。この時、計画の水理条件を充たさない箇所がある時は、その部分の修正設計を行ない計画条件を満足するまで繰り返す。

2. 構造設計

- (1) 魚道各部に作用する外力は、主として、㊸静水圧、㊹水流の動圧、㊺流下土石の衝撃力である。砂防溪流では土石の流下が多いので㊺による摩擦が特に著く、そのための配慮が必要である。
- (2) 構造的な安全性だけでなく、施工性、管理時の安全や維持管理の容易さなどにも十分配慮する必要がある。

1. 水理設計

(1) 水理設計に用いる水理公式

魚道内部の流速と水深を求める水理公式は、魚道の型式別に次のようなものがある。

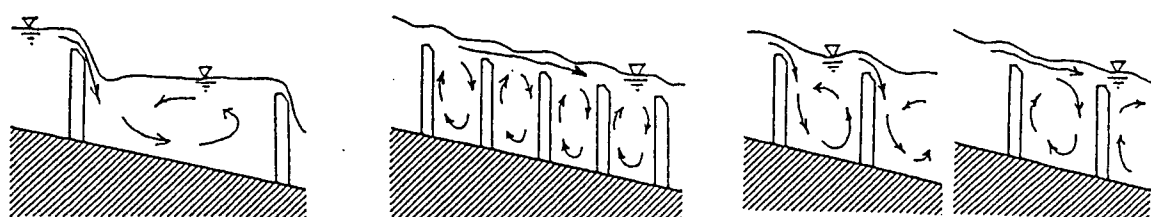
① 階段式

(a) 基本型（切欠きおよび潜孔なし）

基本型における流況は、流量によって大きく二つ（あるいは三つに分けられる。すなわち、㊸流量が少なくて堰頂で落下流（の一部）が形成され、それがプール内に潜入する状況になる場合（「落下流（潜入流）状態」）、㊹流量が多くて堰頂上の流れが連なり、堰上に連続した表面流が形成される場合（「表面流状態」）および㊺両者の遷移領域（「不安定状態」）である。

これらの各状態の内、魚道として問題となるのは、主として遷移状態である。

遷移状態では、プール内の流れが突然正反対の方向に変化し、遡上魚が混乱して一斉に下り始める可能性がある。



(a)落下状態

(b)表面流状態

(c)不安定状態

図-2.2 階段式における落下流状態と表面流状態（中村俊六、1991）³⁴⁾

いずれの状態が発生するかは、流量のほかに隔壁天端形状、プール間段差およびプール長などが影響する。シャープクレスト（越流水深／隔壁天端厚が2以上のもの）を用いたカトポディスら（Katopodis他、1987）の実験によれば、

$$Q_c = \frac{Q}{b I L^{3/2} \sqrt{g}} \quad \text{-----} \quad (2.1)$$

ここに、 Q ：流量（ m^3/s ）

g ：重力の加速度（ $=9.8\text{m}/\text{s}^2$ ）

I ：勾配

b ：水路幅（ m ）

L ：プール長（ m ）

で表される無次元流量を用いたとき、

$$Q_c = 0.22 \sim 0.31 \text{（平均的には} 0.25 \text{）} \quad \text{-----} \quad (2.2)$$

が両状態を区分するようである。

「流下流状態」での流量 Q_c および流速 V_c の計算にはいわゆる越流公式を用いれば良い。すなわち、流量は、

$$Q_c = 0.61 b h^{3/2} \sqrt{g} \quad \text{-----} \quad (2.3)$$

ここに、 h ：越流水深（ m ）

程度であり、越流流速はいわゆる限界流速：

$$V_p = \sqrt{g h_c} = \sqrt{2 g h / 3} \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

程度である。

なお、下流側プールの水位が高く（図-2.3）、 h_2 が $2h_1/3$ 程度を超える場合はいわゆる「潜り越流」となり、この場合の流量 Q_p は

$$Q_p = b h_2 \sqrt{2 g (h_1 - h_2)} \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

程度である。

一方、「表面流状態」での流量 Q_s は

$$Q_s = 1.5 b d \sqrt{g I L} \quad \text{-----} \quad (2.6)$$

ここに、 d ：隔壁上の水深（m）

（ただし、 $4 < L/d < 95$, $5\% < I < 15\%$ の場合）

程度であり、また、流速 V_s は、

$$V_s = Q_s / b d \quad \text{-----} \quad (2.7)$$

程度となる。

なお基本型（全幅越流型）では越流頂部における圧力変動により流れが不安定になる。越流頂では水表面は大気圧で、圧力は水深の増加に伴っていったんは増加するものの、天端付近で急激に低下する。このため越流水脈（ナップ）の背面（下面）に空気が自由に出入りできる完全越流の場合には安定した状態が続くが、空気の出入りがない基本型のような場合にはいわゆる付着ナップとなる。この場合には、ナップ下面の圧力は不安定であって圧力低下と圧力解放とが繰り返されることになるので横波が生じることがある。特に魚道が途中でカーブしている場合には激しくなることがある。

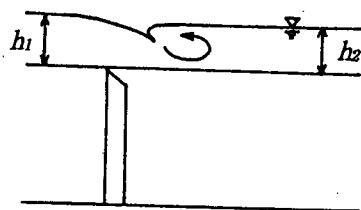


図-2.3 潜り越流の形態

加藤はアユについての調査¹⁾で、越流水脈中を遡上したものが98%で、ジャンプして遡上したものは2%しかなかったことから、越流水脈の重要性を指摘している。

(b) 切欠き付き階段式

切欠きを設けた場合の流量あるいは流速の計算にも、切欠きのない場合（基本型）の公式を、切欠き部分とそうでない部分とで別々に用いれば良い。ただし、切欠きにおける越流状態が潜り越流となる場合があるので注意を要する。また、次の現象も起こるので注意を要する。

切欠きが同一の側にある場合、流速が十分減勢しきれないうちに次の切欠きに流入することがあり、流速が次第に加速されて下流のプールほど水深が浅くなる場合がある。

交互に切欠きを設けた場合には切欠きからの強い流れによってプール内に循環流ができる。ほとんどの遡上魚は切欠きかを利用するが、循環流が強い場合は遡上魚がそこに入り込んでしまう場合もある。

(c) 潜孔付き階段式

潜孔からの流量は、図-2.4の記号を用いて、いわゆる潜りオリフィスの流量公式を用いて計算ができる。

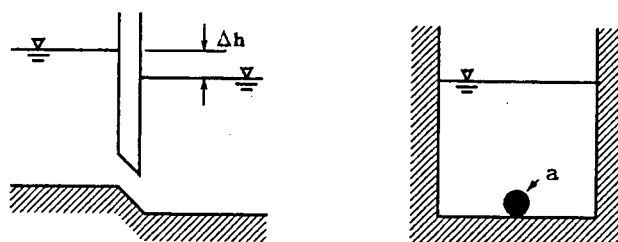


図-2.4 潜孔からの流量公式における記号説明

$$Q_o = C a \sqrt{2g \Delta h} \quad \text{-----} \quad (2.14)$$

ここに、 Q_o ：潜孔を通過する流量（ m^3/s ）

C ：流量係数

a ：潜孔の面積（ m^2 ）

Δh ：プール間水位差（ m ）

また、潜孔部の流速は

$$V_o = \sqrt{2g \Delta h} \quad \text{-----} \quad (2.15)$$

の程度となる。

流量係数 C は、いわゆる「小さいオリフィス」の場合には0.6程度であるが、魚道の場合には接近流速を考慮する必要がある、その効果も含めるとすれば若干大きくなる。 $C=0.65\sim0.8$ 程度である。

② アイスハーバー式

階段式の欠点であるプール内の流れや波動の不安定性を解消するために開発された非越流壁と潜孔を持つ型式である。遡上魚は、非越流壁の背面に常に形成される静穏域でいつでも十分に休息できるので、対象魚の突進速度 U_c への問題はない。また、限界流速 V_c についても、非越流壁の越流部との境界部分に大きなハッチを設けることにより、ほぼ直線的に支配断面に突進することが出来るので、設計対象流速として概ね妥当な値が得られる。

計算式は階段式と同様である。

原ら⁶⁴⁾のアユを用いた実験によれば、殆どのアユは潜孔を利用したが、潜孔の流速が速く魚道出口まで到達したアユはなかった。この魚道勾配は1/12であり潜孔付近の流速は速いところで $170\text{m}^3/\text{sec}$ である。

しかし、魚道勾配が緩い例では全面泡だらけで越流している階段式魚道の非越流部を立ち上げたアイスハーバー式に改良し良好な結果を得た例もある⁶⁹⁾。

③ バーチカルスロット型

潜孔付階段式の場合と同様に流量および流速はプール間水位差 Δh で決まり、以下の式で与えられる程度となる。

$$Q_{vs} = C b_o y \sqrt{2g \Delta h} \quad \text{-----} \quad (2.16)$$

$$V_{vs} = \sqrt{2g \Delta h} \quad \text{-----} \quad (2.17)$$

ここに、 b_o : スロットの幅 (m)

y : スロット部分の水深 (m)

Δh : プール間水位差 (m)

また、流量係数 C は0.75~0.85程度である。

カトポディス¹⁹⁾によれば、 L (プール長) = $10b_o$ 、 B (プール幅) = $8b_o$ の標準的なバーチカルスロット式魚道の流量は、 $1.90 < y/b_o < 9.02$ の範囲において、

$$Q_{vs} = (3.77 (y/b_o) - 1.11) \sqrt{g I b_o^5} \quad \text{-----} \quad (2.18)$$

で与えられるという。

なお、スロット部分を抜ける流速は、深さにはほとんど関係なく、どの位置でも V_{vs} の程度であるが、表層と底部には緩い流れが生じる。

④ デニール式

(a) 標準型デニール

流量 Q_d は図-2.6の記号を用いて次式で与えられる。

$$\frac{Q_d}{\sqrt{g I b^5}} = \left(\frac{d}{b} \right)^2 = 0.94 (d/b)^2 \quad \text{-----} \quad (2.19)$$

すなわち、

$$Q_d = 0.94 (d/b)^2 \sqrt{g I b^5} = 0.94 d^2 \sqrt{g I b} \quad \text{-----} \quad (2.20)$$

なお、大きさが図-2.5と異なるものを造るときは、相似形のものを造れば上式がそのまま適用できる。また、文献39)には標準型とは若干異なる形状のものについて述べられている。

流速分布の概形は図-2.6で与えられる。図中Curve 1は水深が浅い場合の、またCurve 2は水深が深い($d/b > 1$)の場合の、各流速分布の概形を示す。上流側湛水池の水位が変動して魚道内の水深(したがって流量)が変化する場合、流速分布はCurve 1と2にはさまれた範囲内で変化すると考えて良い。なお、図中横軸の流速は代表流速 u_m' (=25%水深($y/d = 0.75$)における流速)で無次元化されているが、代表流速 u_m' は次式で与えられる。

$$U_m' = [-0.184 (d/b)^2 + 1.862 (d/b) - 0.955] \cdot \sqrt{g s b} \quad \text{---} \quad (2.21)$$

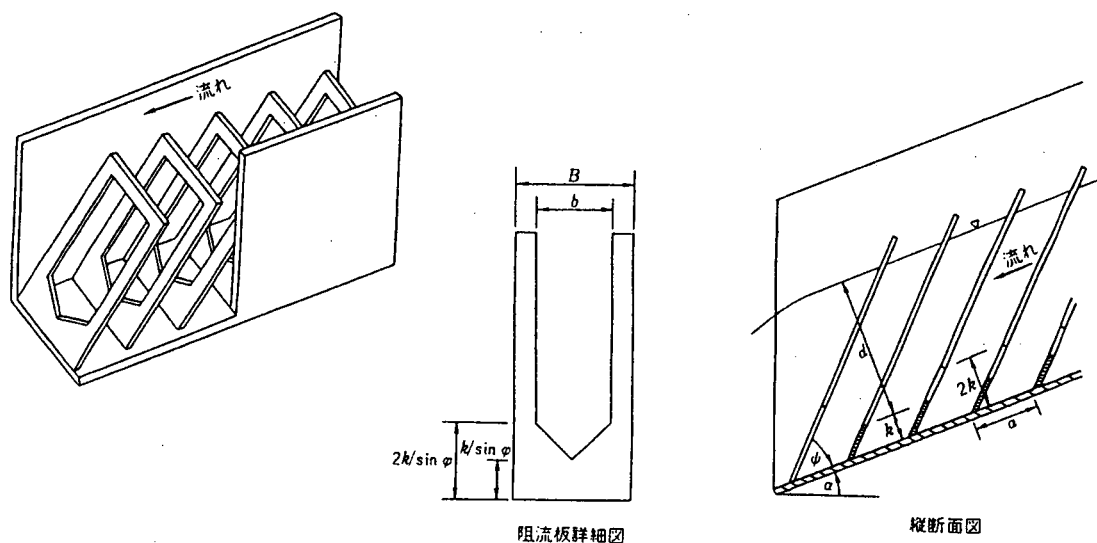


図-2.5 標準型デニール (Katopodis, 1982) ⁷⁹⁾

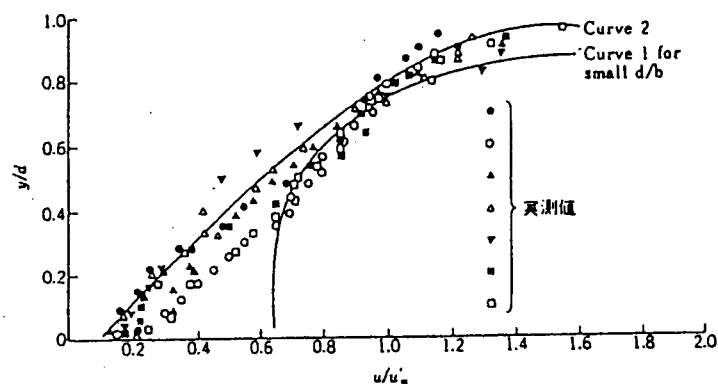


図-2.6 デニール式の流速分布 (Rajaratnam & Katopodis, 1984)⁸⁰⁾

原ら⁶²⁾の実験 (水路勾配1/7)によれば、遡上率は低い。流速分布は底面から水面方向に遅い流れ(0.4m/sec)から速い流れ(1.3m/sec)まで直線的な分布がえられるが、この流速の遅い分布は、阻流板によって生じた渦の影響により大きな乱れじている。アユは魚道底部の流速の遅い部分を遊泳層とし、阻流板をうまく通過できず図-2.7のように側壁或いは下流部方向を向いて迷っている個体が多く見られた。この結果デニール式魚道では遊泳力の弱い魚類の遡上率は低く、底生魚の遡上は殆ど困難であると結論づけている。

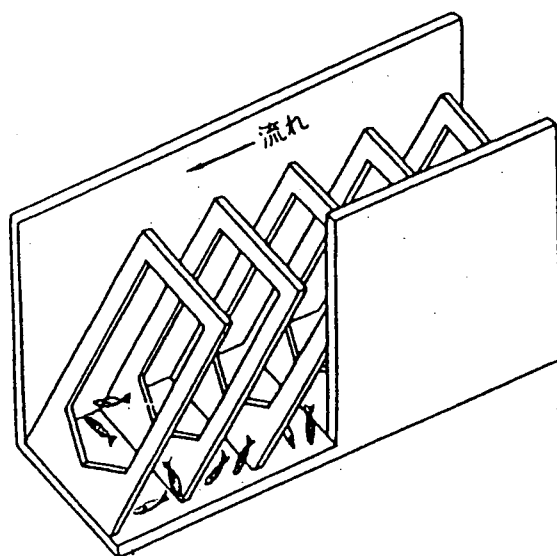


図-2.7 阻流板間に迷っているアユ(原義文他、1995)⁶²⁾

⑤ スリット式

河床の変動があっても魚道への導水が可能な、構造も簡単で維持管理の容易な砂防溪流に適した型である。スリット部は十分広いので開水路としてマンニングの公式を用いて計算する。

$$V = \frac{1}{n} I^{1/2} R^{2/3} \quad \text{-----} \quad (2.22)$$

ここに、 V ：断面平均流速 (m/s)
 n ：マンニングの粗度係数 ($s/m^{1/3}$)
 I ：魚道の勾配 (無次元)
 R ：等流状態における径深 (m)
 $= A/S$ (S ：潤辺)

$$Q = A \cdot V$$

ここに、 A ：断面積 (m^2)
 $= B \cdot h$

である。

⑥ 粗石式斜路

流れが等流になった状態を考えて、等流公式としてマンニングの平均流速公式を用いる。

$$V = \frac{1}{n} I^{1/2} R_o^{2/3} \quad \text{-----} \quad (2.22')$$

ここに、 V ：断面平均流速 (m/s)
 n ：マンニングの粗度係数 ($s/m^{1/3}$)
 I ：魚道の勾配 (無次元)
 R_o ：等流状態における径深 (m)

あるいは、

$$Q = \frac{A}{n} I^{1/2} R_o^{2/3} \quad \text{-----} \quad (2.23)$$

ここに A ：断面積 (幅 B の矩形断面であれば水深を d として $A = B d$)
 Q ：流量 (m^3/sec)

粗度係数 n は導流壁式の場合³³⁾と同様に推定すると

粗度係数 n としてコーワン (Cowan, 1956) の式：

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_s \quad \text{-----} \quad (2.24)$$

ここに

n_0 : 直線上にスムーズに作られた水路の場合の粗度係数

n_1 : 表面不整についての補正粗度

n_2 : 水路の断面形状や大きさについての補正粗度

n_3 : 水路内の障害物についての補正粗度

n_4 : 植生についての補正粗度

m_s : 蛇行についての補正係数

となる。

すなわち、コンクリート製水路であれば $n_0 = 0.014 \sim 0.02$ 程度、表面に特に凹凸がなければ $n_1 = 0.0 \sim 0.005$ 、断面形状はしばしば変化するので $n_2 = 0.010 \sim 0.015$ 程度、土砂の堆積や転石、流木等がない場合には $n_3 = 0.0$ 、かなりあると予測されれば $n_3 = 0.020$ 程度、植生は生じないのであれば $n_4 = 0.0$ 、そして蛇行の程度は「かなりある」と評価すれば $m_s = 1.15$ 程度が考えられる。したがってすべて中をとった値を用いれば、

$$n = (0.017 + 0.0025 + 0.0125 + 0.010 + 0.0) \times 1.15 = 0.048$$

程度の値が概略値として予測できよう。ただしあくまでも概略値であり、しかも水深によって変化するので、この場合も設計に柔軟性を持たせることが必要である。

⑦ カルバート式

カルバート内の阻流板の設置形状により係数 α 、 β が大きく異なるがカトポデイス¹⁹⁾によれば図-2.8のように形状により大きく異なる。

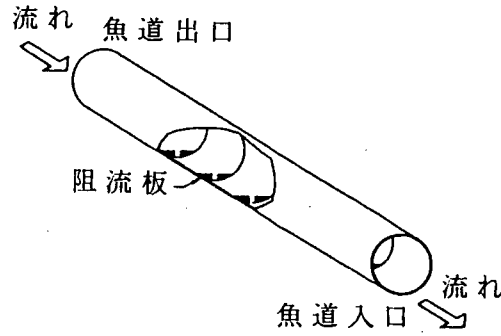
1% < I < 5% の範囲で

$$Q = \alpha (y^0 / D)^\beta \sqrt{g I D^5}$$

ここに、 y^0 : カルバート内の水深

D : カルバートの直径

I : 魚道 (カルバート) の勾配



平面及断面図	種類	諸元	α	β	摘要
PLAIN 		smooth, $D=0.287\text{ m}$ smooth, $D=0.305\text{ m}$ with sandpaper	13.3 16.45 13.3	2.7 2.04 2.7	$0.029 < y/D < 0.552$ $0.03 < y/D < 0.84$ $0.029 < y/D < 0.552$
OFFSET BAFFLE 	1 2 3 4	$L=0.67D, z_b=0.1D$ $L=0.67D, z_b=0.2D$ $L=0.33D, z_b=0.1D$ $L=1.01D, z_b=0.1D$	12 11.14 9.38 9.48	2.6 3.63 2.62 2.57	$0.029 < y/D < 0.552$
WEIR BAFFLE 	1 2 3 4	$L=0.6D, z_b=0.15D$ $L=1.2D, z_b=0.15D$ $L=0.6D, z_b=0.1D$ $L=1.2D, z_b=0.1D$	5.39 549 6.6 35.3 8.62 443196 9	2.43 5.78 2.62 4.14 2.53 8.63 2.36	$0.25 < y/D < 0.9$ $0.1 < y/D < 0.25$ $0.35 < y/D < 0.9$ $0.1 < y/D < 0.35$ $0.2 < y/D < 0.9$ $0.1 < y/D < 0.2$ $0.2 < y/D < 0.9$
SLOTTED WEIR BAFFLE 	1 2 3 4 5 6	$L=0.6D, z_b=0.15D$ $L=0.3D, z_b=0.15D$ $L=1.2D, z_b=0.15D$ $L=2.4D, z_b=0.15D$ $L=0.6D, z_b=0.1D$ $L=1.2D, z_b=0.1D$	10.05 8.34 11.09 11.11 14.78 14.92	3.16 2.96 3.1 3.0 3.04 3.0	$0.03 < y/D < 0.84$
FISH-WEIR 	1 2 3 4	$L=2.39D, L_1=0.16D, z_b=0.14D$ $z_b=0.06D, b_1=0.22D, b_2=0.069D$ $L=1.2D$ $L=0.6D$ $L=1.79D$	17.63 38.99 21.2 11.57	2.88 3.57 3.2 2.53	$0.06 < y/D < 0.4$ $0.09 < y/D < 0.4$ $0.08 < y/D < 0.4$ $0.045 < y/D < 0.4$
SPOILER BAFFLE 	1 2 3 4	$L=0.53D, z_b=0.09D$ $L=1.06D, z_b=0.09D$ $L=0.53D, z_b=0.15D$ $L=1.06D, z_b=0.15D$	9.06 0.85 6.73 0.29 5.01 0.33 2.51 0.19	2.83 2.02 2.44 1.12 2.84 1.35 2.1 0.98	$0.1 < y/D < 0.46$ $0 < y/D < 0.1$ $0.09 < y/D < 0.46$ $0 < y/D < 0.09$ $0.15 < y/D < 0.46$ $0 < y/D < 0.15$ $0.1 < y/D < 0.46$ $0 < y/D < 0.1$

図-2.8 カルバート式魚道 (Katopodis, 1990) ¹⁹⁾

⑧ らせん式

内部の構造により異なる。

⑨ 緩勾配バイパス水路

マンニングの公式を用いて

$$V = \frac{1}{n} I^{1/2} R^{2/3} \dots\dots\dots (2.22)$$

ここに、 V ：断面平均流速 (m/s)

n ：マンニングの粗度係数 (s/m^{1/3})

I ：魚道の勾配 (無次元)

R ：等流状態における径深 (m)
= A/S (S ：潤辺)

$$Q = A \cdot V$$

ここに、 A ：断面積 (m²)
= $B \cdot h$

である。

(2) 魚道の勾配

魚道の機能に対する勾配の影響は極めて大きく、実態調査結果²⁵⁾から勾配のきついものほど機能低下の割合が高くなると言える。河川下流域の頭首工の魚道についての調査結果¹³⁾でも 魚類遡上不良の74%が1/10より急なものであったと述べている。

2. 構造設計

(1) 呼び水水路

呼び水水路とは魚類を魚道入口に誘導するために強い流れを作り出す水路である (P.29説明図参照)。小山⁵⁾によると効果的に魚を誘導するためには、魚道部の流量の2倍以上の流量が必要であるとしている。

呼び水水路は、比較的大きな河川で、川幅と流量が大きい場合に用いられる手法で、大多数の砂防溪流では流量が少ないのでこれを設置している例は未だ収集し得ていない。

砂防溪流では平常時の滞筋が魚道を中心に形成されるよう位置の選定を行い、その維持に心がけることが必要である。

(2) 魚道の入口

入口の設計は、いかにして魚類を誘導し、魚道内に入れるかを工夫することである。

- ① 誘導の原則は位置の決定である。遡河性魚類は一般に走流性を持つので、遡上してきた魚類が流れに沿って進むと自然に魚道入口に達するような、流れに顕著な流線状が形成されていることが理想である。
 - ② ①のような誘導流が自然に得られない場合には呼び水水路を用いる。
 - ③ 魚道内に魚類を導くには、いかに有効な広い入口を確保するかにある。広い水路が魚道入口に向かって収束するようなものが望ましい。
 - ④ 河川工学的な配慮として、魚道入口の局所洗掘を考慮して入口が常時の水面上にでないようにする必要がある (根入れの確保)。
- 等工夫点があるが、魚道入口以外に魚類が誘われる流れが無いように工夫することが肝要である。

(3) 魚道入り口の処理

河床低下による魚道入り口の浮き上がりによる機能の低下防止のために、魚

道下流端を予め現河床高よりも深く設置しておくなどの配慮が必要である。図-2.9のような構造にするなど設置場所に適した処置を工夫する。

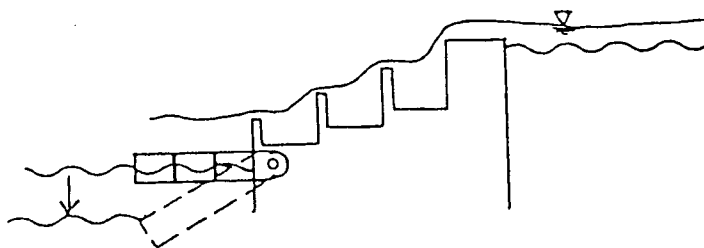


図-2.9 魚道入口の工夫例

(4) 階段式魚道の構造

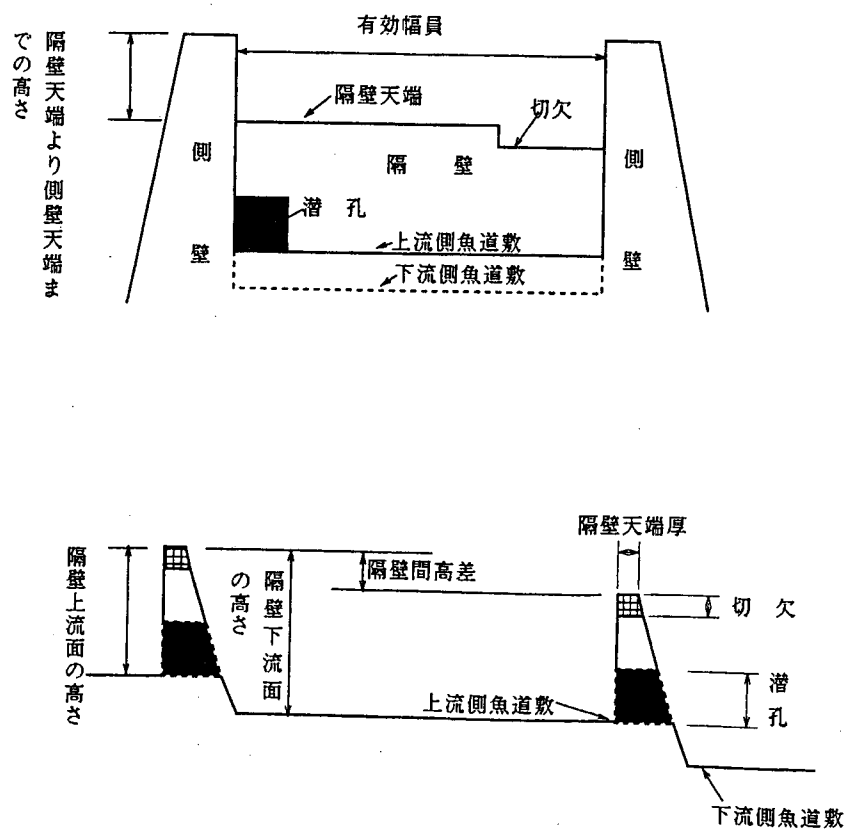


図-2.10 階段式魚道の縦横断図

① 天端厚さ

隔壁の天端厚について加藤¹⁾は水理との関係から、30cm以下にすべきであり、土木工学的に許される限り薄くした方がよいとしている。これは、30cm以上の厚さになると縮流を生じ、魚類の遡上に影響を与えるためである。流出土砂量の多い砂防溪流では耐摩耗等から天端厚50cmの魚道もある。

② 天端の形状

和田²⁾のアユを用いた遡上実験によると、照度の違いはあるが天端の形状が直角型は2.4%しか遡上しておらず、切断角度45°の傾斜型は85.5%と高遡上率であった。また遡上するアユは隔壁の両端部に限らず全面を利用した。丸型の遡上率も79.1%と高くなっている(図-2.11)。

さらに和田⁴⁾は、隔壁上部の形状を変化させて実験を行い検討した結果として図-2.12の形を示している。

天端型	照 度	遡上率
直角型	70~110	2.4%
傾斜型	90~100	85.5
丸 型	58~ 70	79.1

天候:晴、照度:(Lux)・($\times 10^3$)

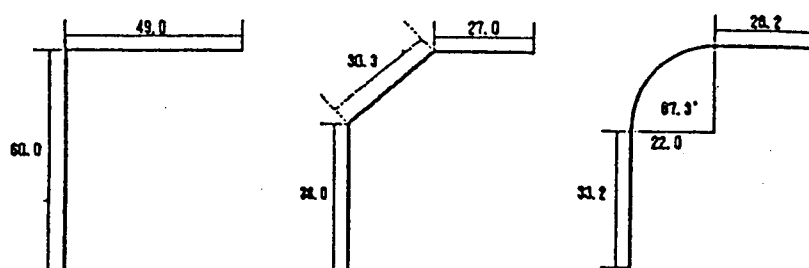


図-2.11 天端の形状 (和田吉弘, 1990)²⁾

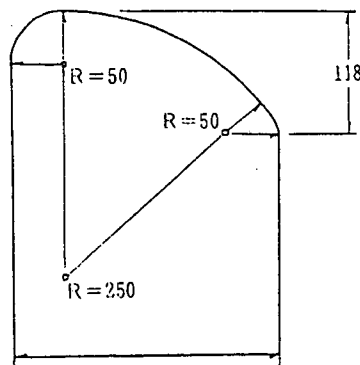


図-2.12 隔壁上端部形状 (単位mm) (和田吉弘、1992)⁴¹⁾

③ 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、対象魚種のサイズ、跳躍力等により決定される。加藤¹⁾はアユ・ウグイ等で70cmあればよいと思われるが一般に水深が深い方がよいとしている。

ジャンプによる遡上を考慮する場合には助走との関係から深い方がよいとされている。

④ 隔壁間高差

隔壁間高差は、魚類が疲労せずに魚道を通過することを考えると30cm内外となる。

⑤ 側壁の高さ

側壁の水面下らの高さは、魚類のジャンプ高との関係により決まる。即ち魚道外への飛び出しを防ぐために「ジャンプ高<側壁高さ」にしなければならない。従って側壁高さは対象魚の種類により異なる。

⑥ 切欠きの構造

隔壁に切欠きをつける理由は

- ・隔壁越流水に流速の差をつけ魚類がそれぞれの能力に応じて遡上できるようにする。
- ・水量が少ないときにも魚道内の通水が可能である。砂防溪流のように平常時の水量が少ない河川の魚道には特に有効な手段である。

⑦ 切欠きの形状

切欠きの形状は図-2.13の他にも多くの形があるが流出土砂量の多い砂防溪流の魚道では単純な形が用いられている。

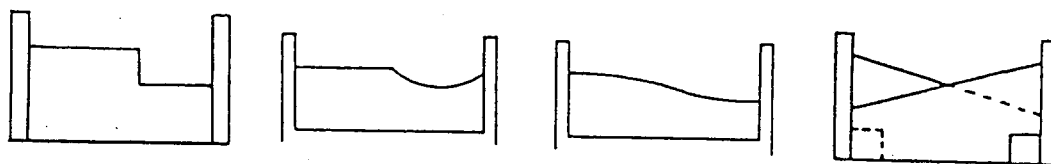


図-2.13 切欠きの形状

⑧ 切欠きの位置

直線状に設ける場合と左右交互に設ける場合があるが、実態調査³¹⁾によると直線：交互は4：6となっている。直線状に設けると流れは速い流速のまま流下する。この状態を避けるため交互に切欠きを設けるようになったと考えられるが、切欠きからの流れは直進して下流側の側壁に当たり、次の切欠きに向かうためプール内に循環流が形成されて魚類の遡上を阻害する。このため最近では切欠きは直線状に設けられる例が多くなっている。

⑨ 切欠き幅

実態調査³¹⁾によると切欠き幅は、魚道幅の20～60%で30%台が最も多く中央値は36.7%である。

⑩ 潜孔

潜孔をつける目的としては

- ・ 底部を遡上する魚類の遡上路
- ・ 低水時における遡上路
- ・ 洪水時等における土砂吐き

である。水量が十分ある場合には潜孔からの流れによってプール内に旋回流が生じ、魚類がそれに逆らい遊泳するためプール内の行動範囲が広がる。これを避けるためには、潜孔の向きを下向きにして旋回流が底面上に薄く生じるようにするなどの工夫が必要である。

2.2.2 材料の検討

溪流魚道に適した魚道の材料の耐磨耗性等の検討を行う。

解説

(1) コンクリート

通常の規模の魚道では、水圧が構造断面を決定する支配要因とはならないのが普通である。

土石の流下が多い砂防溪流では磨耗が大きく、構造物の寿命を短くしている。そのため魚道にとって耐磨耗策は構造上の最大関心事ある。

流砂の多い河川のコンクリート構造物の磨耗量を概略予測するには次式*がある。

$$D = C V^4 T \quad \text{-----} \quad (2.25)$$

ここに、 D ：コンクリート構造物の磨耗量 (cm)

V ：平均流速 (m/s)

T ： V の継続時間 (時間)

C ：コンクリートの磨耗係数

従来用いられている各種のコンクリートの C の大凡の値は次表のとおりである。

表-2.2 資材別磨耗性比較 (参考)

種 別	相対磨耗度	備 考
普通コンクリート	5.0~6.0~(10)	$(6.6) \times 10^{-5}$
富配合コンクリート	3.0~4.5	$C = 4.5$
高強度コンクリート	1.5~3.0	(2.7)
膠石コンクリート	1.6~2.5	(2.5)
A混和剤添加コンクリート	~2.5	(2.4)
鋼繊維補強コンクリート (SFRC)	1.5~2.5	(2.4)
B混和剤添加コンクリート	1.0~2.0	(1.8)
割石張コンクリート	1.0	(1.2)

*大野 林：“コンクリート河川構造物の磨耗予測の一手法”
土木学会関東支部学術講演会論文集 (S. 63)

式(2.25)で磨耗量をチェックし、磨耗が著しい場合には耐磨耗対策（Cの小さい材料を使用する）を講ずる必要があるだろう。

(2) ラバースチール等

近年、ラバースチール等の耐衝撃、耐磨耗に効果的な資材も開発されている。

第3章 魚道の維持管理

3.1.1 魚道の管理

魚道が適切に機能するためには、維持管理が必要である。管理項目としては次のようなものが挙げられる。

- (1) 堆積土砂、流木等の除去
- (2) 破損、河床低下等にもなう機能低下の改善
- (3) 魚道の遡上状況の観察と問題の把握

解 説

魚道の管理に当たっては管理分担が問題になる事が多い。堰などの構造物の設置者、或いは河川の管理者と魚場の管理者とが異なる場合、それぞれがどの部分を受け持つかを予め取り決めておく必要がある。

(1)

砂防溪流では特に堆砂や流木が多いことから、その処理は魚道の機能維持の上から極めて重要である。流砂や流木の多い洪水時には魚道を閉鎖できれば、堆砂や流木堆積のおそれは少なくなるが、砂防溪流の場合は数、地理的条件等により、全ての魚道をそのように措置することは難しい。従って、堆積土砂、流木等の除去は出水後の人力等による対応によらざるを得ない。

(2)

洪水後には必ず巡視して、魚道の破損や出入口の堆砂、河床低下などの異常の有無を点検し、異常が発見された場合には早急に対策を講ずる必要がある。

(3)

魚道の効果、設計法等については未だ不明の点も多い。そのため定期的に（特に遡上期など）巡視して、魚の遡上状況、入り口への集まり具合など、魚道の機能に関する観察を行い、問題点があればその改善策を講ずる必要がある。

参考文献

- 1) 加藤精一：魚道および魚梯、水産増殖叢書、1968
- 2) 芦田和男・高橋保・水山高久：山地河川の掃流砂量に関する研究、新砂防第107号、PP. 9～17、1977
- 3) 建設省富士川砂防：(昭和55年度)影響調査(魚族生態調査・その2)報告書、国際航業(株)、1980. 11
- 4) 近畿地建・(財)国土開発技術研究センター：魚道設計資料調査報告書 1982. 3
- 5) 小山長雄：魚道の診断と設計、1986. 12
- 6) 全国内水面漁業協同組合連合会：内水面漁場環境・利用実態調査報告書
－魚のすみよい川への設計指針(案)－、1987
- 7) 中村・高嶋・木村：階段式魚道内の流況に関する実験について、農業土木学会誌、
第55巻第10号、1987. 10
- 8) 高橋剛一郎：溪流環境の保全に関する砂防学的研究 北大・農・演習林研究報告、第45巻2号 1988
- 9) 建・北陸地建松本砂防：(昭和63年度)溪流魚の遡上特性に関する基礎的調査報告書 1989. 1
- 10) 篠邊三郎：頭首工の魚道(上巻 現状編) 笹軽印刷 1989. 1
- 11) 和田吉弘：アユの遡上と魚道、河川 No. 516 1989. 7
- 12) 川那部・水野：日本の淡水魚 山と溪谷社 1989. 11
- 13) 篠邊三郎：魚道の設置数、型式、勾配について 農業土木学会 Vol. 57, No. 12 1989. 12
- 14) ダム技術センター：ダム技術 増刊No. 39 「魚道」特集号 Vol. 1 1990
- 15) 篠邊三郎：魚道の規模・流量・遡上魚・管理の状態 農業土木学会 Vol. 58, No. 2 1990. 2
- 16) 水野信彦：魚のすみよい川の形＝瀬と淵は夫婦＝、河川 No. 524、1990. 3
- 17) 中村・高橋・伊集院：階段式魚道模型内でのアユの挙動、Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 18) 高橋剛一郎：砂防ダムに設置する魚道について Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 19) Katopodis, C. : Advancing the Art of Engineering Fishways for Upstream Migrants,
Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 20) 妹尾・梅田・窪田：自然河川に学ぶ今後の魚道計画 Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 21) 和田吉弘：アユの遡上と魚道構造の関係 Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 22) 岩城・山本・片山：河川改修と魚道の考え方 Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 23) 西口・今野・井上：魚道機能の基礎的研究 Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 24) 細野成一：らせん式魚道の開発とその施工例 Fishways' 90 in Gifu 1990. 10
- 25) 土研砂防研究室・(財)建設技研：溪流における魚道の実態調査検討業務報告書、1990. 11
- 26) 児玉知浩：砂防施設に設置する魚道について、北海道水産部、1990
- 27) 建設省土木研究所砂防研究室：砂防における魚道の実態調査、土木研究所資料第2907号、1991. 2
- 28) ダム技術センター：ダム技術 増刊No. 40 「魚道」特集号 Vol. 2 1991
- 29) 高橋剛一郎(砂防学会論文集No. 2)：山地溪流における自然環境の保全のあり方 1991
- 30) 土研・(財)建設技研：砂防設備に適した魚道形式に関する実験報告書 1991. 1
- 31) 土研砂防部砂防研究室：土研資料2907号 砂防における魚道の実態調査 1991. 2
- 32) 阿部彦七：スリット魚道の実験的考察、建設技術研究所所報、1991. 6
- 33) 千田稔：自然的河川計画 理工図書 1991. 3
- 34) 中村俊六：魚道の設計(27回)水工学に関する夏期研修会講義集 土木学会水理委員会 1991. 8
- 35) 本間・水山：“魚道”と“瀬と淵”を考える 建・湯沢砂防工事事務所 1991. 8
- 36) 岐阜大学、岐阜県土木部：多自然型川づくりシンポジウム講演論文集 1991. 11
- 37) 土研・(株)建設技研：溪流における魚道の実態調査検討業務報告書 1991. 11
- 38) 中村俊六：砂防ダムに設置する魚道の設計について、砂防学会ワークショップ、1991. 11
- 39) 廣瀬・中村：魚道の設計 山海堂 1991. 12
- 40) 建設省中部地建河川計画課：第1回 溪流になじんだ砂防事業講演会 1992. 1

- 41) 和田吉弘：魚道実物大模型実験による遡上特性、魚道の設計シンポジウム、(財)ダム水源地
環境整備センター、1992. 2
- 42) 中村俊六：魚道の設計理論試案、魚道の設計シンポジウム、(財)ダム水源地環境整備センター
1992. 2
- 43) 本間・田畑・水山・富沢・井良沢監修：“魚道”と“瀬と淵”を考える－溪流環境シンポジウム
報告集－、1992. 6
- 44) 田畑和男：魚にやさしい溪流とは、“魚道”と“瀬と淵”を考える－溪流環境シンポジウム報
告集－PP. 36～51、砂防広報センター、1992. 6
- 45) 土研・(株)建設技研：平成3年度 イワナを対象とした魚道に関する実験業務報告書 1992. 2
- 46) 中村俊六：日本に於ける内水面漁業の歴史とダム貯水池の利用について 1992. 10
- 47) 建・河川局治水課：魚ののぼりやすさからみた河川横断施設概略点検マニュアル(案) 1992. 11
- 48) 土研・(株)建設技研：平成4年度 イワナを対象とした魚道に関する実験報告書 1992. 11
- 49) 竹門康弘：山地溪流における生物群集保全について、砂防学会ワークショップ 1992. 12
- 50) 土研・(財)建設技研：砂防設備に適した魚道形式に関する実験報告書、1993. 1
- 51) 水野信彦：魚の生態と川づくり、「河川における魚道の開発と応用」講習会、工業技術会 1993. 4
- 52) 中村俊六：既設魚道の改善策、 ” ” ” ”
- 53) 和田吉弘：魚を使った魚道実験と応用、 ” ” ” ”
- 54) 水山・阿部・本間：砂防施設に適した魚道の一検討 建設技術研究所所報 1993. 6
- 55) 土研砂防部砂防研究室：土研資料3197号 砂防に関するアイデア事例集 1993. 8
- 56) 建設省中部地建：砂防施設における魚道設置事例集 1993. 10
- 57) 玉井・水野・中村：河川生態環境工学 東京大学出版会 1993. 11
- 58) 建設省河川局砂防部砂防課：生態に配慮した砂防事業実施事例 1993. 12
- 59) 湯沢工事事務所：(平成5年度)管内砂防施設魚道調査業務報告書 北日本開発 1994. 1
- 60) 土研・(株)建技研：H5年度・魚道機能を有した透過型砂防ダムの水理模型実験業務報告書1994. 3
- 61) 金沢工事事務所：生態と地域環境に考慮した尾添ダムの施工、
平成6年度北陸地建管内技術研究会論文集、1994. 7
- 62) 原義文他：デニール式魚道およびアイスハーバー型魚道における遡上特性、
平成7年度北陸地建管内技術研究会論文集、1995. 5
- 63) 原義文他：急勾配な階段式魚道を用いたアユ遡上実験、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、
1995. 5
- 64) 原義文他：デニール式魚道およびアイスハーバー型魚道における遡上特性、
平成7年度砂防学会研究発表会概要集、(社)砂防学会、1995. 5
- 65) 浮島・島田：魚道設計のための流量設置手法について、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、
1995. 5
- 66) 永井・久保田：溪流魚の魚道に置けるそ上動態に関する研究、平成7年度砂防学会研究発表会
概要集、1995. 5
- 67) 小田晃他：登川流路工における魚道の実態調査、建設技術研究所所報、(財)建設技術研究所
1995. 6
- 68) 建設省北陸地方建設局河川部：砂防ダム魚道計画マニュアル(案)、1995. 6
- 69) 中村俊六：魚道のはなし、山海堂、1995. 7
- 70) Charles P. Mitchell: Fish passage problems in New Zealand, Fishways' 95 in Gifu、
1995. 10
- 71) 諏訪他：らせん魚道のプール内流況に関する数値シミュレーション、Fishways' 95 in Gifu、
1995. 10
- 72) 柏井・村岡：多様な魚種を対象とした魚道の遡上実験、土木技術資料 38-2、1996. 2

- 73) 原義文、石川芳治、小泉豊：魚道を兼ねたスリットダムの土砂調節特性、平成5年度砂防学会研究発表会概要集、1993.6
- 74) 小泉豊、石川芳治、原義文、阿部彦七、本間久枝：水路式魚道の水理特性と砂防への適用、平成5年度砂防学会研究発表会概要集、1993.6
- 75) 西中悟、石川芳治、原義文、古川正幸、福所邦彦、長井斎：イワナ・ヤマメの遊泳速度と魚道遡上に関する実験、平成5年度砂防学会研究発表会概要集、1993.6
- 76) 西中悟、石川芳治、小山内信智、長井斎、村上正人：魚道形式による土砂水理特性の変化に関する実験、平成6年度砂防学会研究発表会概要集、1994.6
- 77) 中村俊六：魚道の設計理論試案、平成4年2月 魚道の設計シンポジウム
- 78) 中村俊六：砂防ダムの魚道、新砂防第212号、pp.52~57、1997.9
- 79) Katopodis, C, A Study of the Hydraulics of Denil Fishways, M. Sc. Thesis, The University of Alberta, Dept. of Civil Engineering, Edmonton
- 80) Rajaratnam, N and Katopodis, C, Hydraulics of Denil Fishways, Journal of Hydraulics Engineering , ASCE, Vol. 110