

砂防施設用の捨て石型溪流魚道におけるヤマメの遡上実験

誌名	九州大学大学院農学研究院学芸雑誌
ISSN	13470159
著者	久保田, 哲也 谷口, 政由貴
巻/号	60巻1号
掲載ページ	p. 49-56
発行年月	2005年2月

砂防施設用の捨て石型溪流魚道におけるヤマメの遡上実験

久保田 哲也*・谷口 政由貴¹

九州大学農学研究科森林資源科学部門森林機能制御学講座森林保全学研究室
(2004年11月5日受付, 2004年11月11日受理)

Swimming Behavior of Yamame Trouts in Riprap Type Torrent Fishways for Erosion Control Facilities

Tetsuya KUBOTA* and Masayuki TANIGUCHI¹

Laboratory of Forest Conservation and Erosion Control, Division of Forest Environment and
Management Sciences, Department of Forest and Forest Product Sciences,
Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

緒 言

砂防ダムなど落差のある溪流の横断構造物は魚の移動の障害となり、それを軽減する目的で設置されているのが魚道であるが、過去には中下流域を中心に内水面漁業の補償として設置されてきた。一方、近年、環境への関心が高まったことから、砂防施設には水産資源保全の観点のみでなく生態系への配慮が求められるようになり、床固工、砂防ダムなどにもビオトープ保全に考慮して魚道が設置されるようになった。

著者らは、既往の研究においてデニール式など他のタイプと比較して遡上機能に優れているとされ(原ら, 1995, 1996a)、既設件数も多いプール式(階段式)魚道に関して、代表的な溪流魚であるイワナ(*Salvelinus leucomaenis f. pluvius*)とヤマメ(*Salmo masou masou Brevoort*)に対する適切なプール長さや流速・流量の関係を研究するとともに、斜路式魚道におけるこれら溪流魚の遡上限界流速と遡上実験などを研究した(久保田ら, 1997, 2000, 2004)。

既設魚道の改良と良好な魚道構造について検討する目的から、上記のような従前の研究で得られた知識を拡張するために、本研究では、プール式魚道におけるプール部に天然石を満たすように投入し、その間隙などが溪流魚の生息の場にもなることを配慮しながらス

トリム形式に改良する「捨て石型(溪床型)魚道」にした場合について実験的研究を行った。ただし、対象とする溪流魚は、実験に借用できた床固がイワナの生息域よりやや下流になることと、養魚場での入手が容易であったことから、「ヤマメ」とした。

既往の研究においては、新タイプの魚道を中心に、砂防構造物用魚道の形式・全体的構造と遡上率など遡上機能についての興味ある検討が多くなされているが(原ら, 1995, 1996; 中村ら, 1995; 和田ら, 1995; 端, 1999; 久保田ら, 2000, 2004など)、既設魚道改良のための基礎知識としての必要プール深や、休息域を含めた必要プール長、プール隔壁形式の比較など溪流魚の遡上限界条件の研究は少ない。また、自然石またはコンクリート製擬似自然石を用いた魚道の研究に関しても行われつつあるが(Michell, 1995; Miyamoto *et. al.*, 1995; ドイツ水資源・農業土木協会, 1998; 前野ら, 1998; 佐合ら, 1998; 野村ら, 1999)、緩勾配についてのものがほとんどであり、かつ、捨て石は水理学的粗度としてのみ取り扱われ、魚道床に固定された間隙のないものとなっている。つまり、魚道は単なる通路であるとの定義からその溪流ビオトープの一部としての活用は考えられておらず、たとえ魚道床に固定されていない間隙の多い捨て石を用いることを提言していても、あくまで護床工を併用した緩勾配の流れし

¹元・鳥取大学大学院農学研究科生物環境資源科学専攻

¹Former, Environment Science Course in Graduate School of Tottori University, Tottori 680-8553, Japan

*Corresponding author (E-mail: kubot@agr.kyushu-u.ac.jp)

か念頭もなく（ドイツ水資源・農業土木協会，1998など）、急勾配用のピオトープ型（渓床型）魚道の研究は見かけられない。

これらの課題に取り組むために，ここでは，ピオトープにも成り得る魚道の内部構造である溪流を模した捨て石式ピオトープ型魚道における遡上動態など，その実用化に向けた研究を行った．その結果，渓流域の魚道についての新たな知見を得ることができたと考えるので報告する．

方 法

1. 実験に使用した溪流魚ヤマメ

今回の研究では，実験溪流近くに立地する養魚場で養殖された平均体長17cm，平均体高3cmの養殖ヤマメを使用した．この体長などは，漁協関係者及び養魚場経営者からの聞き取りに基づき，周辺溪流に生息する平均的なものとした．また，ヤマメは数日間実験場所の溪流で馴化させるとともに，学習効果を避けるために一度実験に使用したヤマメは，原則として再度使用しないことにした．

2. 実験装置と設置場所

この形式（以降は「渓床型」と呼ぶ）は休息・避難場所などのピオトープを確保する目的でプールに相当する部分に天然石を詰め込み，プール間の隔壁部分の水通し横断中央部には石を積み上げたセイシュ（静振）防止用の凸部を持つ．これはアイスハーバー型魚道のセイシュ防止機能（廣瀬ら，1991；Kumar，1995）を参考にしたものとなっている．従って，この形式に



図2 捨て石型魚道実験魚道（10段）の流況。

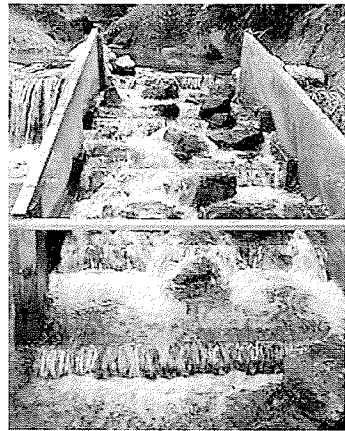


図3 捨て石型（渓床型）実験魚道（4段）。



図1 捨て石型（渓床型）実験魚道（10段）全体。



図4 捨て石型（渓床型）実験（手前：単純スロープ型）。

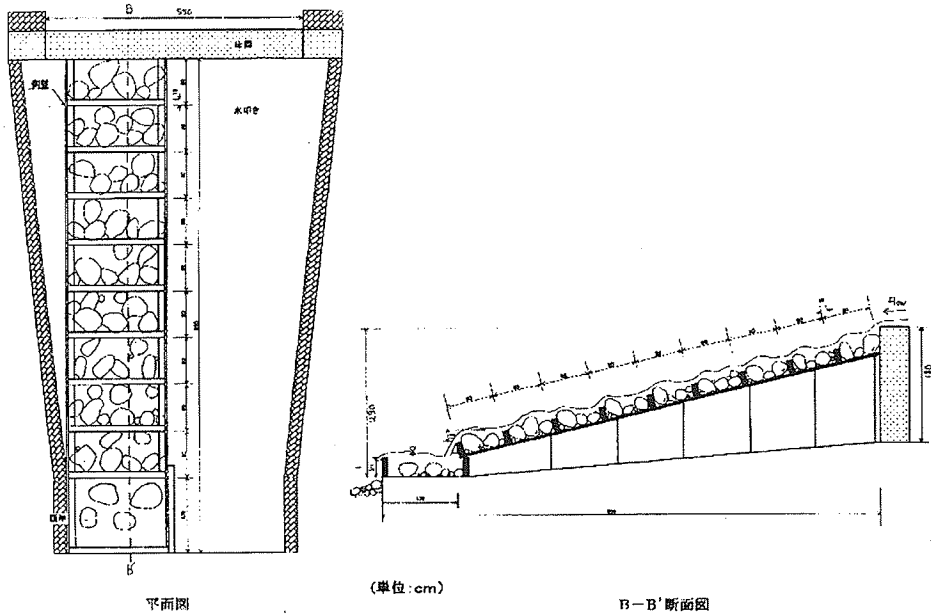


図5 捨て石型実験魚道（10段）構造図。

対する実験を、プール式魚道の一部を模した実験装置、またはそれに類似したもで行うことは困難であり、基本的に簡易型魚道とも呼べる実験装置を準備した。室内では水温と水質管理が困難なことから、実験は実際の溪流、鳥取県鹿野町河内川上流左支川の佐谷川の床固工に設置した（図1～4）。装置の規模は、実験において管理可能な規模で、かつ、使用許可の出た床固工の落差に合わせて、全落差2 m30cm、幅2 m、長さ8 m50cm、隔壁10段（以降10段と呼ぶ）、勾配1/4のもの（図1, 2）と、全落差80cm、幅1 m50cm、長さ3 m30cm、隔壁4段（以降4段と呼ぶ）、勾配1/4のもの（図3, 4）の2種類を製作した。急勾配であることから、捨て石は20cmから40cm前後の大きなものを使用し、数個の内部隔壁で下流に流されないように保持した。内部構造の詳細な諸元はやや複雑なので、図5と6に示した。また、比較実験のために、幅・長さ・勾配は前出と同じで、捨て石を行わない単なる「プール式」も作製し（全落差80cmはプール4段、全落差2 m30cmはプール10段）、落差80cmについては、小さな落差であるからプールのない「単純スロープ型」（図4：幅・長さ・勾配は同じ）も作製した。なお、プール式にはプール底に少量の捨て石をしたものも使用した。

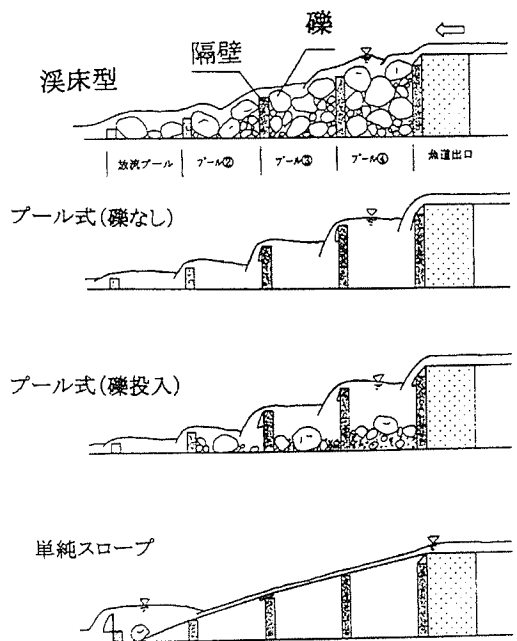


図6 捨て石型実験魚道など（4段）構造図。

3. 実験条件

実験は、実験装置を設置した溪流の周辺地域においてヤマメの遡上行動が活発になるとされる10月上旬から12月上旬に行った。

捨石を設置しない単なるプール式と比較するために「渓床型」とプール式に分け、かつ、落差別に設定した表1の水力条件により行った。ただし、各プール内での溪流魚の遡上数確認など実験の容易さからデータを蓄積しやすい落差80cm（プール4段）については同じ条件の実験を2時期（2年）行うなど実験ケースが多くなっている。また、溪流の増水による中断などもあり、実験時期が限られるため表1中、Q1とQ4は渓床型の実験のみに用いた。

なお、全実験期間において、水温、DOともヤマメの生息に適したものであった。

4. 実験手順

1) 土嚢を用いた上流の水回しにより流量を調節し、越流流速および越流水深と水温を測定する。

ただし、流速測定の測定回数は1秒間隔の20回とした。この回数は、40秒間の試験測定結果でも平均流速は20秒の結果とほとんど変わりがなかったことを参考に決めた。測定は、ナップや隔壁の影響を観測した結果、各隔壁から30cm上流に横断測線を設けて行うことにしたが、最上流部だけは流況が異なるので50cm上流とした。また、渓床型は流れが大きく変化することから、各隔壁の上流20cmにも測線を設けた。渓床型は乱れが大きいので6本の横断測線を、それ以外は4本の横断測線を設け、これらの各測線上で、渓床型は右岸側壁から5cm離れた点から10cmごとに13点、プール式は同じく5cm離れた点から20cmごとに7点について流速の鉛直分布を測定した。深さ方向の計測間隔は、底部から水面まで5cmごととした。その他、プール間隔壁越流流速に関しては、渓床型は上記と同じ13点、プール式は側壁から25cmの点から40cm間隔で3点、隔壁天端から流速計のプロペラ径である2cm上方で計測する。単純スロープ式は左岸側壁から10cmに縦断測線を設け、縦断方向に下流から20cm間隔で流速の鉛直分布を測定した。また、水深も上記の点でそれぞれ測定した。

2) 下流に逃亡防止用ネットを張り、放流部にヤマメを30尾放して一定時間放置するが、この実験はプールが多数あり遡上に時間を要することから、放置時間は、原則として42時間以上とした。遡上数が少ない場合は最大138時間まで放置したが、台風の接近などで

表1 捨石（渓床）型魚道実験ケースと実験回数。

流量略称 (m ³ /s)	Q1	Q2	Q3	Q4
魚道の形式	0.009	0.035	0.065	0.092
渓床型（4段）	2	3	2	2
渓床型（10段）	—	2	2	—
プール式（4段、礫なし）	—	2	2	—
同上（4段、礫投入）	—	2	2	—
単純スロープ	—	1	—	—

42時間よりも早く切り上げた例もある。また、落差の大きい10段のものは出水など実験管理上の問題から放置時間は一定にできなかった。

3) 土嚢で水回しをして水流を遮断してから、各プールの遡上率を測定するとともに、生息状況も観察した。捨石を投入している場合は、それらをすべて持ち上げて隙間にいるヤマメも回収して数えた。

結果と考察

この実験では簡易型魚道を使用しており、隔壁やプールが多数ある。従って、上流の地点ほど遡上が困難と思われるが、放流数に対する各プールの遡上数の率である「遡上率」を検討した。

これら遡上率は、落差80cmの場合を図7と図8に、落差2m30cmの場合を、図9、図10と表2にまとめた。流量 (m³/s) は表1のように、それぞれQ1=0.009m³/s、Q2=0.035m³/s、Q3=0.065m³/s、Q4=0.092m³/sとなっている。ただし、この4段と10段では、水力条件や遡上の様子がやや異なったので、まとめ方も変えている。

1. 落差80cmの4段の場合

すべての魚道タイプについて実験を行った流量Q2とQ3の場合を示した図7では、流量の少ない場合はプール式魚道の遡上率がよく、特に捨石をプール底に投入したものが最も良い遡上性能を示す。ところが、流量が約2倍に増すと、プール式の遡上性能は激減するとともに、渓床型の遡上性能が良くなり、流量が小さく流速の緩やかなQ2の時より遡上率が改善され、上流により多くの個体が遡上している。Q2の場合も水深は十分ある。

単純スロープ型の遡上率はどのケースもゼロであった。この落差は、魚道内構造・スロープ型隔壁の研究

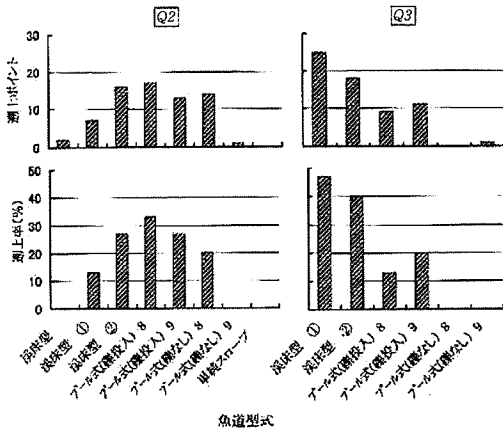


図7 実験魚道（4段）の遡上率と遡上ポイント（1段の点数を1点とし、この点に遡上数をかけたもの）。

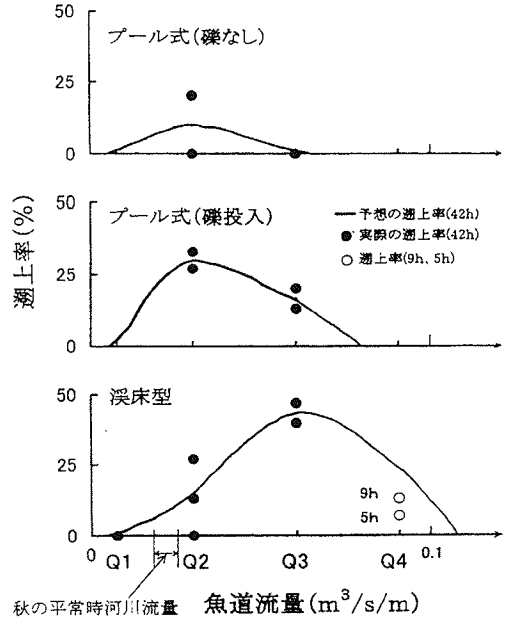


図8 実験魚道（4段）の流量と遡上率。

流量	Q2	Q2	Q3	Q3
実験時間	51h	30h	9h	5.5h
遡上率	20%	13%	13%	3%
魚道出口	↑↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑↑	↑
10			↑	
9				
8				
7	↑	↑	↑	
6	↑↑		↑↑	↑
5				
4	↑↑↑			
3	↑			
2段目		↑↑	↑↑	↑
放流プール	17	23	20	27

ヤマメ:30匹投入

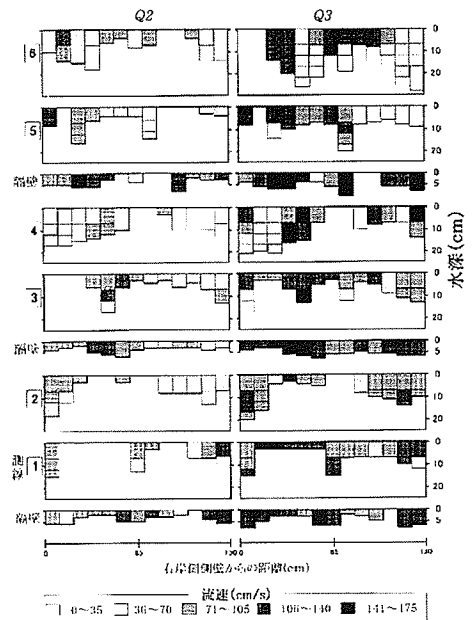


図9 捨て石型実験魚道（10段）における流量と遡上率。

図10 捨て石型実験魚道（10段）における流量と流速・水深の分布例。

表2 渓床型魚道（10段）の遡上率と全段遡上率（隠れヤマメ含む）。

流量	出口遡上率 (%)	全段遡上率 (%)
Q2 (51h)	20	43
Q2 (30h)	13	23
Q3 (9h)	13	33
Q3 (5.5h)	3	10

(久保田, 2004) で判明した限界落差の40cmよりも2倍も高く、水深も入り口付近を除きヤマメの体高より小さい上、流速もスロープ中ほどで突進速度約170 cm/sを超える。このような厳しい水理条件により遡上が不可能だったものと思われる。

観測から、溪流型では、流量が小さい場合、礫上の水深がやや不足する。しかし、プールでの水深がほぼ一定であるプール式に比較して、溪流型は流速・水深ともに多様性があり、実際の溪流に近いものとなっている。また、統計より求めた周辺溪流の秋季平常流量では渓床型は不利であるが、溪流魚の遡上が盛んになる小出水(志村, 1987)の際には有利となる。また、渓床型では、遡上数を確認する際、礫の隙間に隠れているヤマメも多く見かけられた。このことから出水時の避難場所、あるいは、溪畔林の少ない場所では越冬場所など(日本林業技術協会, 1999; 志村, 1987)のビオトープとして機能する可能性を確認できた。

2. 落差2m30cmの10段の場合

10段式のやや実物に近い魚道では、図9のように落差80cmのものより遡上率は下がる。しかしながら、台風の接近により放置時間を9時間にした場合でも放置時間30時間の遡上率と変わらなかつたので、遡上する気のある個体はかなり初期の段階で遡上していたと思われる。また、一度魚道の出口(上流)のトラップにいた個体が数段下流に戻る行動も見られたので、遡上率はこれより高いと推定される。さらに、図9のように7段目までの魚道内で礫の隙間に隠れていたものが多くいたことも観測されており、避難場所などとしての機能も発揮するものと考えられる。

表2には、遡上率と2段目以降に隠れていたヤマメもすべて含めた全段遡上率を示す。遡上率は放置時間の長い方が大きくなる傾向がある。

遡上率を考察するために、まず、一般的な遡上率に関して検討を加える。例えば、勾配1/8・長さ4mの実験用プール式階段魚道ではアユを対象にして放置期間3日で最高83.1%と言う高率の場合も例外的に報

告されているが(原ら, 1995)、同じく放置期間3日とした勾配1/10の実物大魚道を用いた研究では、プール式階段式魚道で遡上率37~42%、デニール式では19%と報告されている(原ら, 1995)。また、河川に設置した長さ約4m・勾配1/3程度のデニール式簡易魚道では、放置期間3日で、アユの遡上率10~15%と報告されている(向井ら, 1995)。養魚場での実験では前出とほぼ同じ規格のデニール式魚道を用いて、放置期間24時間で最大50%の遡上率が報告された(向井ら, 1995)。さらに、勾配1/7程度・長さ30mを越える実物の階段式、デニール式、アイスハーバー式各魚道の比較では、5日間の放置期間で階段式38.8~46.6、デニール式21.3、アイスハーバー式29.4%のアユの遡上率が報告されている(原ら, 1996)。本研究とほぼ同じ9m長で勾配1/3の階段式魚道でも、2時間程度のアユの遡上率が0.0~17.1%としている(原ら, 1996)。なお、長さ約60m・勾配約1/13の実物プール式階段魚道でのウグイの遡上実験では、放置期間5日間で70~80%の遡上率が報告されている(高山ら, 2001)。イワナ・ヤマメを対象としては、プール式魚道の一部を使用した24時間放置の遡上実験においてイワナ13%、ヤマメ20%までの遡上率が報告されている(久保田ら, 1997)。

下流域で使用するための緩勾配魚道では、遡上率は本研究より当然高いと思われるので、比較対象からはずして考えると、上記のような種々の魚道による既往の研究と比較して、実験の短い5.5時間のケースを除いた今回の遡上率13~20%は低い値とは言えない。また、全段遡上率23~43%は良い値と考えられる。

さらに、図10を見ると、捨て石型魚道では多様な水深・流速が生じており、より溪流に近い流れとなっているのが分る。

ま と め

今回の研究から以下のことが明らかとなった。

- (1) 捨て石型(渓床型)魚道は、1/4と急勾配のものでも遡上機能を有し、プール式と比較すると、出水

時により適する。

(2) 捨て石型魚道では、多様な流速・水深が出現し、流況が溪流に近いので、一種のピオトープとしての機能も期待できると思われる。

今後は、溪流魚の行動は個体差もあり多様であるので、他の魚種の行動も含めたより詳細な調査が必要であろうと考える。

砂防施設と自然環境の調和に関する基礎知識として、この研究が役立つものと思じる。

最後に、この研究にご協力いただいた鳥取大学農学部緑地防災学研究室の奥村武信教授と専攻生の皆様、床固などの使用を快く許可いただいた鳥取県砂防関係者の皆様、貴重な助言をいただいた鹿野町河内川養魚場の宮石初巳氏と天神川漁協の皆様に対し、記して感謝いたします。

文 献

- ドイツ水資源・農業土木協会著、中村俊六監修 1998 多自然型魚道マニュアル。(財)リバーフロント整備センター・山海堂、東京、33-71頁
- 原 義文・和田吉宏 1995 デニール式魚道における遡上特性. *Proc. International Symposium on Fishways '95 in Gifu*, 249-252
- 原 義文・松田 均・和田吉宏・宮園正敏 1996a 階段式、デニール式、アイスハーバー型魚道の遡上特性の比較. 平成8年度砂防学会研究発表会概要集、15-16頁
- 原 義文・松田 均・北村 保・和田吉宏・高原光義 1996b 急勾配な階段式魚道を用いたアユ遡上実験. 平成8年度砂防学会研究発表会概要集、17-18頁
- 端 憲二 1999 小さな魚道による休耕田への魚遡上試験. 農業土木学会誌、67(5): 19-24
- 廣瀬利雄・中村俊六編著 1991 魚道の設計. 山海堂、東京、42-65頁
- 北陸地方建設局建設技術協会 1995 設計要領、河川編. 北陸地方建設局建設技術協会、新潟
- 久保田哲也・永井 修・益本健司 1997 魚道プールを用いた溪流魚の行動に関する研究. 砂防学会誌、49(5): 20-25
- 久保田哲也・中西 章・谷口政由貴 2000 砂防施設の斜路式魚道における溪流魚の遡上水理条件. 砂防学会誌、53(2): 48-56
- 久保田哲也・壹岐朋恵・谷口政由貴 2004 溪流魚道における魚道内構造とヤマメの遡上特性. 砂防学会誌、56(6): 3-12
- Kumar, G. S., H. Nago, S. Maeno and T. Hoshina 1995 Hydraulics of Ice Harbor type fishway. *Proc. International Symposium on Fishways '95 in Gifu*, pp.79-86
- 前野詩朗・名合宏之・野村修治 1998 PTV法による全断面魚道の水理特性の検討. 水工学論文集(土木学会水理委員会)、42: 481-486
- Michell, C. P. 1990 Fish passes for New Zealand native freshwater fish. *Proc. International Symposium on Fishways '90 in Gifu*, pp.239-244
- Michell, C. P. 1995 Fish passage problems in New Zealand. *Proc. International Symposium on Fishways '95 in Gifu*, pp.33-41
- Miyamoto, S., M. Tkai, M. Watanabe and S. Komura 1995 Design method of boulders protruded slope fishways. *Proc. International Symposium on Fishways '95 in Gifu*, pp.101-112
- 向井哲也・中村幹雄・東 信行・中村俊六 1995 デニール式簡易組立魚道の実験的研究. *Proc. International Symposium on Fishways '95 in Gifu*, pp.253-256
- 中村俊六 1995 魚道の話. 山海堂、東京、84-108頁
- 中村俊六 1995 Experimental study on pool-type fishways with slope of 1 on 5. *Proc. International Symposium on Fishways '95 in Gifu*, pp.73-78
- 日本林業技術協会 1999 森林の環境-100不思議. 東京書籍、東京、166-167頁
- 野村修治・前野詩朗・名合宏之・里本公明 1999 急勾配用プールタイプ魚道の検討. 河川技術に関する論文集(土木学会水理委員会)、5: 153-158
- 佐合純造・本多卓志・大木孝志・田中直也 1998 大田原堰魚道におけるアユの遡上実験報告. 水工学論文集(土木学会水理委員会)、42: 493-498
- 志村俊司編 1987 イワナ・源流の職漁者. 白日社、東京、80-83頁、173-183頁
- 高山光弘・山本雅道 2001 階段式魚道におけるウグイ、*Tribolodon hakonensis* の遡上行動. 水産増殖(日本水産増殖学会誌)、49(1): 1-7
- 和田 清 1995 混成型魚道の水理特性とその魚類遡上効果. *Proc. International Symposium on Fishways '95 in Gifu*, pp.237-242

Summary

Stream type fishways are more desirable for various species than classic pool type fish ladder. However, there exist many old type fishways that have been already built into Sabo facilities. They need certain improvement in the structures and discharge control to maintain fish passage conditions. In the former study, the desirable minimum pool length of fishway and critical nap velocity are studied (Kubota *et al.*, 1997). Hence, in this study, fish behaviors with various “discharges” and “step height” comparing with “two inner structure”, that is, “step pool type” and “stone fill type (rip rap fill)- torrent bed type”, were studied by experiments to extract the versatile information for the improvement of fishways built already.

Eventually, the critical condition for the swimming behavior concerning with inner structures was obtained, and it was also found the difference of fish behavior among inner structure types that is meaningful in the assessment of appropriate structure.