意見 OPINION

魚道の設計で知っておきたいこと

和田 吉弘

中部学院大学 〒501-3993 岐阜県関市倉知4909-34

Yoshihiro WADA¹⁾: For a knowledge of fishway designs. *Ecol. Civil Eng.* 3, 225-230, 2000.

1) Chubugakuin University, 4909-34, Kurachi, Seki, Gifu 501-3993, Japan

Key words: fishway design, ramp fishway, protruded fishway, guide-flow fishway, fan-shaped fishway

はじめに

「魚ののぼりやすい川づくり」ということで最近、既設魚道の改修や新設が急ピッチで進められている。そうした中、1995年10月には岐阜県で2回目の国際魚道会議が開催され、魚にやさしい魚道づくりが本格化してきたことはとても意義あることであった。自然を利用して生きていかねばならない私たちは、その利用による影響を予測して対応に万全を期さない限り、自然を破壊してしまうことになるだろう。対応に万全を期し新たな自然を創造することが、私は自然の保護につながるものと思っている。

しかしながら、その保護につながる新たな自然を創造する目的で、せっかく改修や新設された魚道を見ても、魚の気持ちを理解しない、とんでもないものが多いのは残念なことだ。これまで沖縄から北海道まで、各地で魚道を見てきたが、ほとんど似たりよったりのものばかりであった。人間の都合で、申し訳に、しかも無批判に模倣した魚道が次々と造られたとしか思えない結果になっているのである。「人目」にだけやさしい魚道づくりになっているところも多く見られる。魚の気持ちになってもらいたいものである。

跳びはね遡上

魚は本来、水の中を遊泳している。その水の中に空気が泡状にわき上がるような気泡流中を遊泳したり、空気中を飛び跳ねて遡上しなければならないことは不自然なことだ。魚にも好きな流れがあるはずで、これをはるかに超えるような急流が続けば押し流されてしまう。私たちが日常利用している階段の段差は20~30 cmである。段差が50 cmも60 cmもある階段では、とても耐えられないだろう。魚だって適切な段差があるはずなのである。

幅2 m、延長40 mの人工流路においてアユを用いて、階段式魚道にある隔壁の上端部の形状について実験をした(ダム水源地環境整備センター編1998)。隔壁上端部の形を直角にした場合、その上を流れ落ちる流水の落下位置が隔壁から離れ空洞ができる(Fig. 1)。遡上アユは、この空洞のために、跳びはねてしか通過することができない。また、これによって気泡流や乱流も起きやすくなる。そこで隔壁上端部の形状を傾斜型(R型)にすれば、流れは斜面に沿って流下し空洞はなくなり、気泡流や乱流も少なくなるはずである。それぞれの階段の高さと流量を同じにして、直角型と傾斜型の比較実験をした。

その結果、一時間に直角型では1336匹のうち33匹が跳びはねて遡上(遡上率2.4%)した。これに対し、傾斜型では1817匹のうち1556匹が遡上(85.5%)した。直角型を傾斜型に改良しただけで、驚異的な効果を

Fig. 1. Ramo fishway with embedded stones.
(粗石付き斜路魚道)

上げることができたのである。アユの遡上期を迎えると必ずといってよいほど、魚道を跳びはねて遡上する様子を新聞やテレビでごらんになっている方も多いだろう。しかし、水中を遊泳する魚が、空中に舞い上がってしか遡上できないことは不自然なことなのである。

粗石付き斜路魚道

近年、コンクリートの斜路に自然石を埋め込んだ粗石付き魚道と呼ばれるものを各河川で目にする。ところが、合格点がつけられるものはごく少なく、ほとんどが落第点しかつけられないのが現状である。

最も多いのが、勾配が急で粗石によって流速を抑えることに失敗し、魚の選好流速や突進力を越えてしまっていることだ。階段式の魚道はプールを設けることによって、流速を抑制し魚を遡上させようと工夫されている。この形式の魚道勾配は堰堤の高さにもよるが、1 m の高さに対して魚道の長さが 10 m (1/10 勾配) は必要とされている。したがって、斜路に石を埋めて流速を抑えようとすれば、さらに勾配を緩くする必要(例えば、1/20)がある。

また、既設の堰堤が魚道の出口になって、その上端部が直角型になっていることも問題点となることが多い。流れの落下点と既設堰堤の間に大きな空洞ができてしまうことは、前述したように、不自然な遡上をせざるを得ない。斜路を懸命に登ってきた魚は出口に空洞があっても跳びはねて上流に行こうとするが、多くの魚道の斜路面は水深が浅く、跳びはねるにも助走路がない。その上、落下流が斜路に突き当たり跳ね上がって乱流と気泡流が発生し、魚は跳びはねすらできないのである。

水深 10~30 cm の急流にいたアマゴの行動を追ってみると、彼らは必ずといってよいほど河床の石の下流側の「くぼみ」に潜み、餌(おもに水生昆虫)が流下するのを見つけると飛び出して捕食し、再び「くぼみ」に戻ってくるのを観察する。急流の石は流れを分流し、下流側に落ち込んでできる渦流によって小石を巻き上げ「くぼみ」をつくり、そこに比較的流れの緩やかな場所をつくるのである。アマゴはそこに潜んでいる。斜路に埋め込む石も、これを参考にしてはどうだろうか。

「くぼみ」と「くぼみ」の間隔を短くする石の配置を工夫すれば、魚は選好流速を越えても突進力によって、「くぼみ」に入って休息し、次の「くぼみ」に進みながら遡上することができるだろう。

横揺れ魚道

紀ノ川の農業用取水堰堤に設けられた魚道を見て驚いたことがある。既設の魚道は急勾配で落差が大きいため、魚類の遡上が期待できないということで改善されたものである。流量を制御するために魚道出口にスライド式の隔壁を作り、急勾配と落差を小さくするために隔壁の間隔を短縮し、隔壁の底部に大きな潜口が左右交互に設けられていた。

ところが、魚道入口付近を見ると横長の長方形をしたプールの水が左右に大きく横揺れし、左側壁と右側壁の水位差が 0.5~0.8 m もあり、見ていると船酔いを起こすほどであった。プールの中は気泡流と乱流が発生して白く泡立ち、流向はプール底から湧き上がる流れと、潜り込む流れが左から右へ、右から左へと揺れていたのである。これが出口から入口に向かって増幅されていたのだ。また、魚道出口付近に設けられたスライド式隔壁からの流水は、その直下の水平なコンクリートに突き当たり跳ね上がっていた。これではアユの遡上は困難で、目的を果たしていないものであった。

突出型魚道の問題点と対応

日本の多くの河川の堰堤に設けられている魚道は、河川の中央部寄りに堰軸から突出しているものが多い(Fig. 2)。普通、遡上魚の遡上経路は兩岸沿いにあり、とりわけ水裏側にある。したがって、どうして中央部寄りに設けられたのか、理解に苦しむ。このために兩岸沿いを遡上してきた魚類は堰堤という魚止めに突き当たり、右往左往しながら登り口である魚道の入口を探し求める

Fig. 2. Protruded fishway to downstream.
(各河川に多くみられる突出型の階段式魚道)

が、本来流れに逆らって上流へ行こうとする魚類にとって、下流側に開口する入口を見つけることは容易なことではない。つまり、突出魚道の入口に魚類を誘導することが難しく、どうしても魚道の両側に迷入してしまうことが避けられないのである。漁業組合の方は網でこれをすくい取り、上流に移すために大変な苦勞をすることがある。また、これを密漁する人が絶えず、この対応にも苦慮することがあるようだ。

要は、岸沿いに魚道を設けることを考えればいいのだが、河川状況によっては、魚類の遡上経路になる河岸部に設けることが不可能なこともある。この改善策として、魚道の入口を堰軸に接近させることが挙げられる。例えば、Fig. 3の魚道の特徴は、突出魚道を屈曲させて堰軸に接近させて開口させた魚道入口から流出する流れを左右に分流させている。さらに、その一方を魚道直下に設けたトンネル内に流し、一本の魚道で堰堤という魚止めで遡上を阻止された魚類を入口に誘導するよう工夫したものである。

また、Fig. 4は呼び水式階段魚道と呼ばれている。河岸沿いに遡上してくる魚類を呼び水の強い流れによって上流方向を知覚させて、分散させることなく河岸寄りの魚道入口に誘導するものだ。なお、呼び水式魚道は呼び水の流速によって、魚類を魚道に誘導しようとする。これは長良川河口堰に設置される魚道を開発されているときに考案されたために、すべての魚道に有効と誤解され、全く不必要な場所に設置されたりしているが、これは考えものだ。むしろ、河口堰魚道においては海水あるいは汽水に來遊したアユをはじめ、多くの魚類が淡水を求めて集まってくる。だから、潮位変動によって流速が大き

Fig. 3. Tunnel fishway with switch-bauls.
(屈曲トンネル型の階段式魚道)

Fig. 4. Guide-flow fishway.
(呼び水式魚道)

く変動する河口堰魚道では、魚道入口付近に淡水を呼び水として多く流すようなゲート操作をすることが必要であり、流速を期待した呼び水効果を考える必要はないと思われる。

扇型魚道の今後

突出型階段式魚道を設置した際には魚道の両側に遡上

Fig. 5. Fan-shaped fishway.
(自然石を利用した扇型魚道)

魚が迷入するというので、遡上経路の河岸部に扇型魚道を設けているのをよく見ることができる (Fig. 5). これは魚道の入口を広くして、遡上してきた魚類を魚道に誘導しようとしたもので、日本の多くの河川に設けられている。ただし、魚の遡上経路に設けるといことは評価できるが、構造への配慮が欠けているものがとても多いことに驚く。

例えば、勾配が急なコンクリートの扇型斜面に、空き過ぎた間隔で石を張り付けてある粗石付き扇型魚道が多い。この斜面の石張りは流速を制御する能力は、ほとんど期待することはできない。したがって魚類の選好流速を越え、突進力をもってしても遡上は困難であると思われる。せめて、石張りの石をもっと大きくし、その下流側にくぼみ等があれば、遡上効率は低くても、ある程度の遡上が期待できるのだが。扇型魚道は斜路式・階段式とともに、魚道出口の流量と入口の流量を等しくするための工夫が必要である。

魚道の設計で知っておきたいこと

建設省では「魚がのぼりやすい川づくり推進検討委員会」を設け、河口から源流まで横断工作物によって遮断されている施設に魚道を設置しようと積極的に努力され

ている。私も委員会の構成員として、各河川に新設された魚道について報告を聞く機会を与えられている。ところが誠に残念なことだが、「人目にやさしい魚道づくり」は数多くあるが、「魚にやさしい魚道づくり」になっていないものが多い。これまでの沖縄から北海道に至る多くの魚道視察から、今後魚道を新設されたり改良されたりする際に、ぜひとも留意して欲しいと思っていることを列挙してみよう。

魚道の設置場所の選定

魚類の遡上経路は兩岸沿いに多く、特に屈曲部内側(水裏部)に多いようである。しかし、水裏部には州があり、これが安定しているか否かを見極める必要がある。魚道設置予定場所の上・下流の流況(川床の安定度)を調査し、判断することが重要である。もし、やむを得ず屈曲部外側(水衝部)に設置せねばならない際には、呼び水・副堰堤等による魚類誘導の方策をする必要があるだろう。

魚道の幅員について

河川に横断工作物を設け、その一部に魚道を設置する際、地元漁協関係者から魚道の幅員を広くするよう強い要望があるのが一般的である。このため全面魚道が最適と判断される。これは魚道の幅員が広いほどよいとか、魚道流量が多いほど遡上が容易であるといった考えから生じる判断である。しかし、この考えは今や改める必要がある。魚類の遡上経路を考えれば、全面魚道は全く無駄なことだと思われる。流量減少が起きても、魚道が多魚種利用可能な魚道に設計することは、不可能なことではないと考えているからだ。

この全面魚道は上・下流部の川床が不安定で、常に遡上経路が移動してしまう場合や小河川に限定すべきで、この際にも水位変動に対応できる構造にしておくべきである。日本の河川では一基幅員 1 m もあれば十分に対応できると思っている。呼び水式魚道でも呼び水水路を含めて幅 3 m 以下でも十分だろう。

魚道勾配

魚道勾配は 1/10~1/20 が適切である。実験では、1/3 という急勾配でも上る個体が見られるが、選好流速・突進力の持続時間からみて、魚道(落差 0.45 m)の長さが短距離の場合に限定された。1/25 勾配より緩傾斜では、逆に遡上率が低下するようだ。

隔壁上端部形状

隔壁上端部形状は R 型あるいは傾斜型(45~60 度)とする。従来の直角型では越流落下点と隔壁の間に空洞が生じ、遡上魚は不自然な跳びはね遡上をしなければならない。最近では、隔壁を越流した流れが、隔壁に沿っ

て流れ込む R 型が適切とされている。

隔壁落差

実験では 25 cm の隔壁落差で 45 度の傾斜型でも好結果を得ているが、これは隔壁上瑞部の直上流速を毎秒 40 cm に正確に調節した結果である。現実には特別な一定の流量調節機能を維持させることが難しいため、落差をより小さくするべきとの考えから、隔壁落差は 10～20 cm としておきたい。

隔壁の厚さ

隔壁の厚さは隔壁の強度にもよるが、20～30 cm にするのがよいだろう。厚さは増すほど斜面距離が長くなる。実験の結果では、斜面距離が短いほど遡上効率は良くなる。

プールの形状

プールの形状は縦長にする。横（幅員）対縦の比は、1 対 2 または 2 対 3 がよい。この逆の横長プールの実験では、流水が下流側隔壁に衝突し、乱流が起き、時には横揺れを起こす。

プール水深

プール水深は浅いほど整流され、流れが同一方向になることから、遡上効率が高くなる。しかし、プールの水深を浅くすることは流速を弱める効果を低下させることがあるから、魚道が長くなれば遡上に対して悪影響を及ぼすだろう。したがって、現状ではプール水深を 0.6～0.8 m 程度として、底生魚への配慮を含め、石を投入（頭大程度の石サイズ）して水深を調節してやるのがよいと考えている。

魚道の流速

魚道の流速は魚種によって、選好流速・突進力とその持続時間が違う。このため、魚道構造にもよるが、一概に決めるのは難しい。私はアユ・サツキマス、ウグイ・カジカ・ヌマチチブ・カワヨシノボリ等の魚類を供試して実験をしたが、アユの選好流速といわれる 0.4～0.6 m/秒（隔壁直上）流速であれば、ほとんど問題はなく、多魚種利用可能な魚道流速であると思っている。

切り欠き

切り欠きは、本来、魚道勾配が急である場合、越流部と非越流部を設け流れを蛇行させて対応しようとしたものである。したがって、魚道勾配に配慮し、魚道流速にある程度対応できる魚道構造に設計される現状では、切り欠きは遡上効率と乱流を少なくするため、交互に設けることはしなくなった。むしろ、その目的は大型魚の遡上と渇水時の対応として設けられる。

この隔壁の水平部対切り欠き幅の比を誤ると、魚道下

流部から入口にローリングを発生させて、魚類の遡上を不能にしてしまうことがある。実験の結果から、水平部対切り欠き幅の比は 4 対 1、または 5 対 1 にされることが適切であると考えている。

潜孔

潜孔は魚道内の流況をよくする、堆砂を流出させる、底生魚の遡上に有効と信じられていたが、その効果はほとんど認められていない。したがって、現在は魚道修理・掃除時の水抜きとして底部に径 0.1～0.15 m ほどの穴を設けておき、常時は蓋をしておくのがよいだろう。

屈曲部

屈曲型の魚道は、魚道入口を堰軸部に開口するために設置する。流れの方向転換を屈曲部でさせるわけだから、流況が乱れやすく、時にはここを起点に横揺れが発生することもある。これまで、いくつもの屈曲型の魚道を見て、流況が安定し遡上魚の休息場所としても活用されていたのは、屈曲部が直角形ではなく半円形で容積が魚道プールの 3 倍のものであった。

流量調節

流量調節は上流側の水位変動に対して、魚道内流量を適切にするために必要なものだ。各河川で一般的に使用されているのは角落としを設け、これに厚板や柱を落とし込む方式である。これは越流落下点と角落としの間に空洞が生じ、遡上を阻害することになってしまう。角落としを有効な魚道内の流量調節として作動させるには、上端部形状を R 型にすることが大切である。

最近では上流部の水位が 40 cm 程度変動しても、魚道内流量の影響を少なくするために余水吐きと溢流方式を組み合わせたものが多くなってきた。この他、フラップゲートを上流側に転倒させたり、隔壁の上端部形状を変化させないためにスライド式のものも設置されている。

魚道の入口

魚道入口は、流量の変動や河床低下に対応できるようにすることが大切である。このため、魚道入口は平水時の水位を基準にするのではなく、少なくとも魚道最下流部プールに設けられている隔壁の上端部が、川床にまで潜入するように突き込んでおくことがよいだろう。また、魚道入口は洗掘されやすいことを予測し、入口底に粗朶沈床・木工沈床・蒲団簀等を固定させておくことも一つの方法であろう。

休憩プール

休憩プールは堰堤が高くなれば魚道が長くなるため、必要なものである。ところが、どのくらいの間隔に設けるのがよいのかについて、特に実験された報告は現在の

ところはない。溢流式階段魚道でアユを用いた遡上試験時に観察した結果では、20~30 m の位置にあるプール内で遡上を休止している個体が多く見られたことから、一つの目安としてはどうかと思っている。休憩プールは勾配をなくし、容積は大きく保ってやる必要がある。

呼び水水路

呼び水水路付き魚道を屈曲させて設計する際には、屈曲部直上流部で急激な水位上昇が起きる。このため呼び水が側壁を越流して、魚道内に流れ込んで流況を著しく乱すことがある。したがって、呼び水水路の側壁を高くする必要がある。

呼び水水路の流速は、魚道流速の2倍以上が必要である。呼び水水路の流速が遅いため遡上魚が迷入することもあるから、迷入防止への構造上の工夫が大切である。例えば、魚道入口より呼び水水路を高く落差を設けたり、急傾斜にして斜面距離を長くする。また、魚道とともに屈曲させ急激な水位上昇部を設ける。あるいは横揺れを発生させる構造にするとか種々の方法が考えられる。いずれにしろ、魚が呼び水水路に迷入しない工夫が必要である。知恵をしぼって欲しい。

今後のあり方

しかしながら、こうした「知恵」があっても、発注者あるいは設計者と工事施工者との相互理解の不十分さによって、実際の魚道に反映されないことがある。また、私のところへ「〇〇河川にこんな魚道を設計したので指導してほしい」と時々依頼がある。現地の写真や地図、魚道設計図などを持って来られる。そこでいろいろと質問して理解しようと努力するのだが、全容を把握するための資料が不足していたり、設計者自身が現場を全く見

ていないこともあったりして質問に答えられないこともある。実態に即さない設計や施工は、もはや回避しなくてはならない。

近年は、「知恵」を反映させる努力が実施されている。例えば、「“魚にやさしい溪流づくり” 越美山系の魚道」というパンフレット（建設省中部地方建設局越美山系砂防工事事務所）を見て驚いた。砂防堰堤に設置する魚道について研究が進められ、実験資料に基づいて検討を重ね、設計された魚道をいくつも設置されている。設置後、その評価を公表することは稀であるのが現状だが、結果を公表し、しかも「反省点」まで記載されているのである。こうした姿勢がより良い魚道を設けるために、とても大切なことだと思われる。

河川は生き物である。設計前に河川とそこに生息する魚類の正体を知り、それに適切な魚道でなければならない。どこかの河川でうまくいったので、ここにも同じものを作ればうまくいくといったものでは決してない。こうしたことを念頭に置いて、魚道作りをしてもらいたい。

後 記

本稿は、和田吉弘著の『人と魚の知恵くらべ』（岐阜新聞社、2000年）の第4章「魚ののぼりやすい川づくり」を抜粋しながら、私が構成に手を若干加え、文体を「です調」から「である調」に編集した。次いで、その草稿に著者が加筆修正されたものである。（森誠一記）

引用文献

ダム水源地環境整備センター編(1998)最新魚道の設計。ダム水源地環境整備センター