関西自然保護機構会報 13：41－49，1991

工学的立場からみた河川

高　橋　剛一郎
（富山県立大学短期大学部）

1. はじめに

かつて公害問題が大きな関心を集めた頃は，河川の環境保護といえば水質の問題が中心であった。近年は，水質は依然として大きな問題であるが，ダムや河川改修といった土木工事によって河川の形状や水の流れが変えられてしまい，きわめて自然の状態とかけ離れた様相を示すことに対する批判が大きくなってきた。筆者はこの10年余り，土木工学的な立場からの河川の取り扱いと河川環境の保全という，相反することの多い分野の関わりについて，特に河川の上流部で行われている砂防・治山工事をめぐって調査・研究を行ってきている。この小論では，まず“工学的”な立場をごく簡単に整理し，ついで防災と環境保全の調和をどのように行うべきかという観点から砂防を対象にして，工事の問題点を整理し，これを解決する手法や可能性をまとめてみたい。

なお，ここでは“望ましい川”として，魚が棲める川を念頭においている。本質的な面からは，魚だけではなく，水生昆虫や植生などを含めて総合的に考えなければならないことはいうまでもない。しかし，魚が良好な状態で棲めるような河川はそれ以外の条件も良好に保たれていると考えることが可能であり，したがって魚を中心とした環境を考えることは第一段階としては十分意味を持つと考える。

2. “工学的”立場からの河川の取り扱い

河川に対する土木的な働きかけとしては，河川そのもの，あるいは河川の水を利用するための工事（船運のための浚渫や取水施設の建設）や，災害を防ぐための工事（築堤，ダムの建設）が行われてきた。これらの利水や治水の技術は専ら河川工学や砂防工学の分野で発達してきた。その技術の発達の過程を概観したとき，次のような3つの特徴があげられる。

まず，複雑な要素を排除して単純なモデルの構築が行われていることである。河川は水が流れ土砂が運ばれ堆積し，そこに様々な動植物が生活する場であるが，工学的な立場からは水の流れや土砂の輸送を，たとえば流量や流砂量などの数字でとらえ，それらを単純な運動モデルとして組み立てる。これをもとにして対策を考えることを指向してきたのが従来の流れであった。

次に，全国的に画一化された技術基準に収斂される方方向性があげられる。河川・砂防行政において統一的な基準ともいうべきものが定められている（建設省河川局，1977）。ある程度のレベルの技術を，その最低線を維持しつつ全国的に広く行き渡らせるためにはこのようなマニュアル化は効果的な方法であり，またある意味ではこれは必要なことであったと考えられる。その反面，各地方の特性に合わせた技術や伝統工法と呼ばれるものが消失したり，あるいは各々の現場における独創的な工夫といったものを行いにくくしたことも事実である。その結果，全国いたるところで同じような形状をした河道断面が設計されてきたのである。

河川工事を行う社会的な背景と関連して，特に土地に関連する制約の多いことがあげられる。戦後の洪水災害防止においては，洪水は堤内地（堤防によって保護される部分，すなわち農地，宅地，

市街地等）に侵入することを許さず，洪水流を速やかに流下させることを図ってきた。また，効率的な土地利用とのかねあいから，河道の曲流を少なくして直線的に固定することが行われてきた。そして，堤内地における土地利用のあり方や住まい方もかつてとは異なり，堤内地への洪水の氾濫にもはや対応できない状況になってきている。

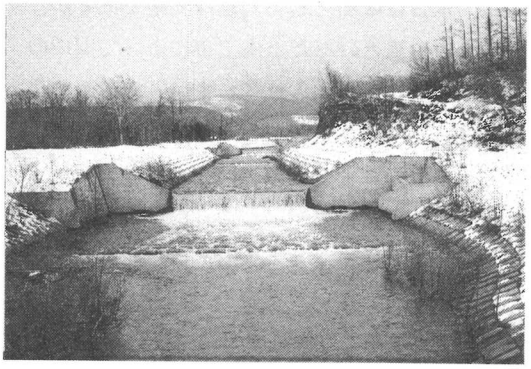
良好な河川環境の復活や，修景，あるいは治水上の必要性から遊水地の設置や，曲がりくねった河道の復活を検討するにも，土地の取得が困難になっており，また土地利用の形態と相まって小規模な氾濫でも許されない状況になっている。このように，治水の方式を再検討するにも，非常に制約条件の多い，いわば余裕のない状態におかれている。

3. 砂防工事の実態と対策

(1) 砂防工事の概略

砂防の目的は土砂の移動に伴って引き起こされる直接的・間接的な災害を防ぐことである。行政的には，建設省が管轄する砂防事業（砂防法に基づく）と，森林法に基づき農林水産省が管轄する治山事業によって行われている。一般的には，大規模な工事は国の直轄になり，中小規模の工事は都道府県が行っている。治山と砂防ではその目的や方法に若干の相違がみられるが，具体的に河川で行われている工事自体には大きな差はみられない。ここでは両者を総称して砂防ということにする。

河川上流の山腹にある崩壊地などは，土砂を渓流に供給し災害の原因となるので，これを復旧し最終的に森林の復活をはかるために山復工が行われる。川の両岸の斜面が迫っている峡谷部では下流に流出する土砂を貯留したり調節するためにダムが造られる。峡谷部の下流には扇状地や山間地の盆地のような比較的平坦で開けた土地が広がり，ここは人間の生活・生産空間となっている。ここでは流路を固定し，望ましくない河岸の侵食を防ぐために護岸や堤防の築設が行われ，場合によっては曲流している流路をショートカットして直線的な河川形状にすることもある。また，河床の低下を防ぐ，あるいは渓床勾配の緩和を目的に床固工が設置される。このような，護岸と床固工の組合せを一般に流路工と呼んでいる（図－1）。



図－1. 流路工の施工された河川

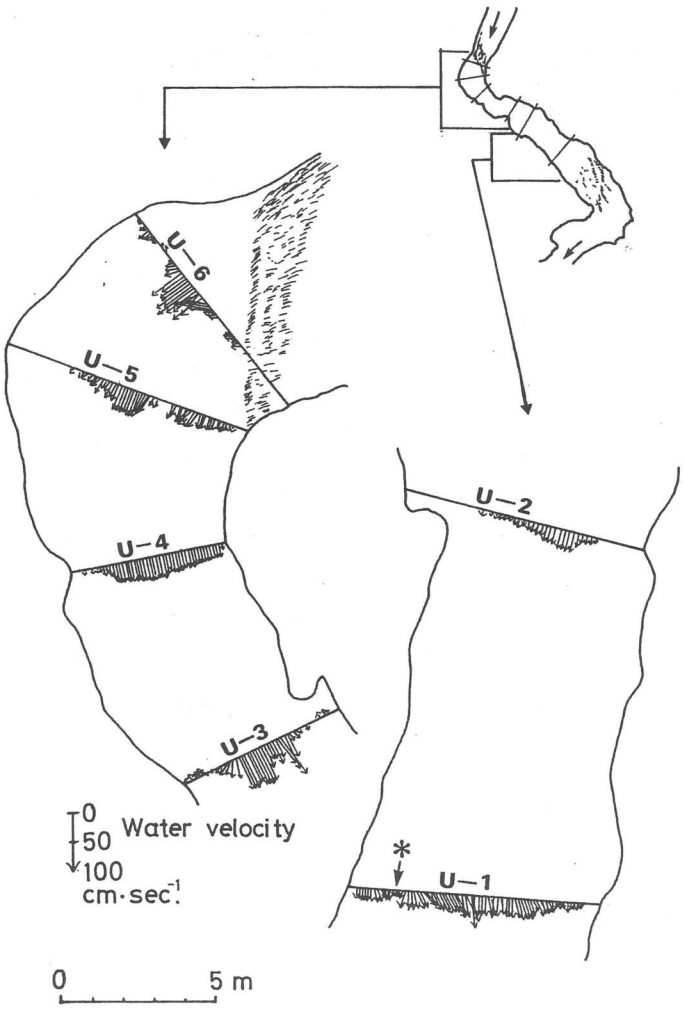
(2) 砂防工事が魚類に与える影響

砂防工事の影響を，その内容によって分類すれば以下のようである。

1. 砂防ダムや床固工（川底の低下を防ぐためにいれる，比較的落差の低いダム状の構造物）が魚類の移動の障害になる（移動の障害）。

2. 河道の直線化や断面の整形や護岸（以下これらを総称して改修という）により河底の凹凸が減少し，流れが全体的に単調になり（図－2，3），遊泳性魚類の摂食に不利に作用する（摂食空間の減少）。

3. 河道の断面が整形され渓岸のえぐれや水面に覆いかぶさったり水中に一部を水没させるような植物体が取り除かれることにより，魚類がなんらかの危険を感じたときに避難する場所が減少する（カバー機能の減少）。



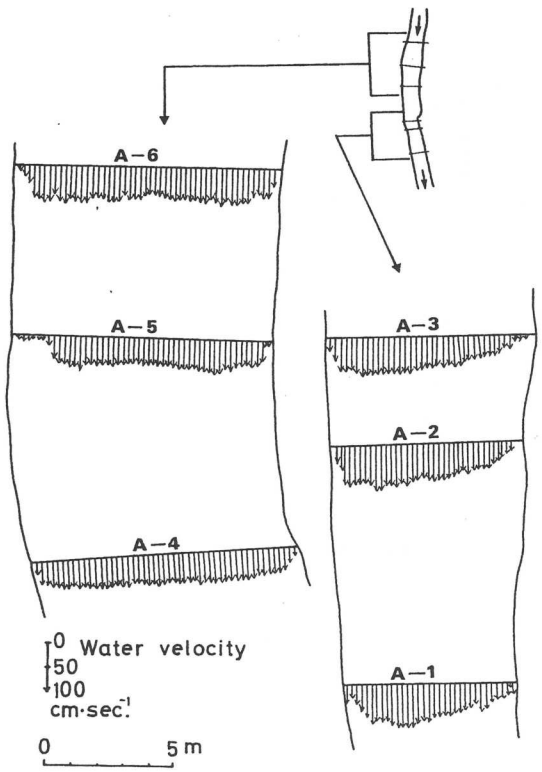
図－2. 改修を受けていない河川の表面流速分布。瀬と淵の分化に応じて様々な流れが現れている。

4. 水深の深い部分や河床に突出している大礫などもカバー機能を有するが，改修によりこれらが取り除かれる（同上）。

5. 改修を受けていない渓流では様々な流速の部分が生じており，それぞれの流速場は流速選好性の異なる魚種の，また同一魚種についても選好流速の異にする複数の発育段階の個体の生息を可能にし，結果的に魚種および環境収容能力を高めているが，改修はこれと反対の方向を指向する（環境の多様性の減少）。

6. 改修を受けていない渓流は瀬と淵の分化が明瞭である。瀬は水生昆虫（魚類の重要な食物）の生息場所として重要な場所であり，また淵は上述したように魚類の生息に欠かせない場所である。このような複雑な渓流の要素を改修は減少させ，結果的に魚類に悪影響を与える　とになる（環境の多様性の減少）。

7. 冬季間は水温の低下に伴って魚の活性も低



図－3　改修を受けた河川の表面流速分布。全面にわたって一様な流れとなっており，変化にきわめて乏しい。

下する。水深のある流れの穏やかなところで魚はエネルギーの節約をしながら過ごすが，一様に水深が浅くなり整然とした流れの状態を示す改修された流れは越冬には不適当である（越冬場所の減少）。

8. 改修によって，魚種によっては産卵場所が減少してしまう（産卵場所の減少）。

9. 洪水時には，改修された河道は一様に高流速となるため，魚のとどまる空間がなくなる（洪水時の退避場所の減少）

以上の項目は，工事が行われたことによる結果としての影響を分類したものである。これらを整理しなおし，具体的な工事（工種・工法）との関連でみてみると，

a．ダム，床固工に関する問題

b．河道の改修に関する問題

となる。また，具体的な工種や工法とは若干異なるが，

c．流路周辺の植生の取り扱いに関する問題

も大いに関係している。

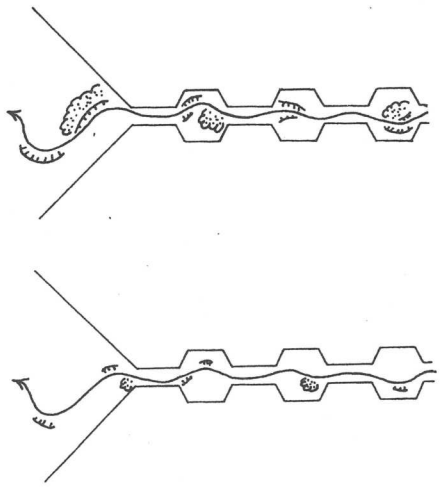
峡谷部においてはおもにダムによる魚の移動に対する障害の問題(1)があげられる。流路工施工地においては床固工による移動の問題と，さらに生息環境の質的悪化（２～９）が問題となり(Takahashi and Higashi, 1984)，すなわち全ての問題が関係してくる。植生の問題は流路工施工地において，どの様に河道計画を立て，また維持管理するかという問題の中に含まれてくる。

(3) 魚類の生息環境の保全を尊重した砂防工事

砂防と魚類保護の両立を考えるに際し，大きくふたつの極端な場合 ― 既に砂防工事が行われ完全に人工的な状態になってしまったケース，そして現在は全く工事がされておらず今後砂防工事が行われる場合 ― を想定し，各々についてモデルを考えてみた。これらの場合わけ自体は非常に極端であり，現実に起こっている問題を反映しているとは必ずしもいえない。しかし，多くの渓流はこれらの極端な状態を結んだ軸上にプロットされると考えることができ，この意味ではそこにおける対策は，極端な場合において考えられたモデルを応用することによって構築することができる。

新たに防災工事の計画が立てられる場では，魚類にとって好ましい環境を保持するよう計画に盛り込むことは十分可能である。

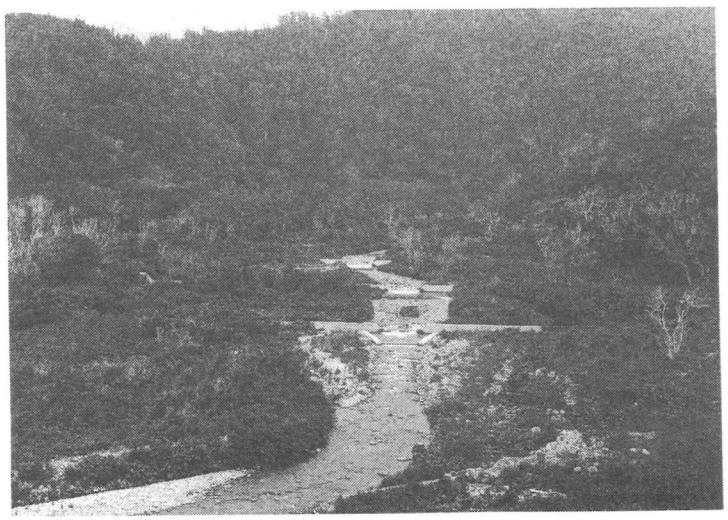
現実の渓流を詳しく観察すると，一般には峡谷のように谷幅の狭い場と比較的谷幅が広がっている場が交互に出現し，峡谷部は空間的広がりを欠くため土砂の蓄積は少ないが，拡幅部は土砂の堆積の場である。別の表現をすれば，峡谷部は土砂の通過区間であり，拡幅部は土砂の堆積の場であ



図－4. 流路地形と土砂移動。扇状地より上流では，河川は峡谷を形成する。しかし川幅は変動し，拡幅部と狭窄部が交互する。土砂の堆積・洗掘はもっぱら拡幅部（そして扇状地）で生じる。上の図は土砂移動の活発な渓流で，下は穏やかな渓流である。同じ時間スケールでみた場合，活発な渓流の方が当然のことながら変動がきく，それだけ災害の危険性が高いといえる。

るとともに下流に流送される土砂の供給する場であるといえる（図－４）。従来は，効果的に土砂を貯留・調節でき，岩盤のある場所（峡谷部に多い）に大型のダムを造ることが行われてきた。しかし，上に述べたような拡幅部の性質をうまく利用することによって魚類の移動の問題は解決できる。拡幅部に床面工を複数設置すること（低ダム群工法と言われている，図－５）によって既に堆積している土砂の洗掘を防ぐとともに，上流からの流出土砂の堆積を促すことにより，効果的に土砂の移動をコントロールできる（東，1982）。有効に機能する魚道の設置は，ダムが大型になればなるほど困難になるが，落差が１ｍの構造物でコントロールする低ダム群工法は魚道の設置が非常に容易であることが確かめられており，設置後の維持管理も容易である。

流路工施工地においては，従来は洪水流をスムーズに流下させるよう直線的に流路形状を変えることが一般的であったが，原則として河道の現況を尊重した流路形状を採用するものとする。災害の原因となる急激な流路変動を起こしやすい場は限られており，ここに床固工などをいれることに



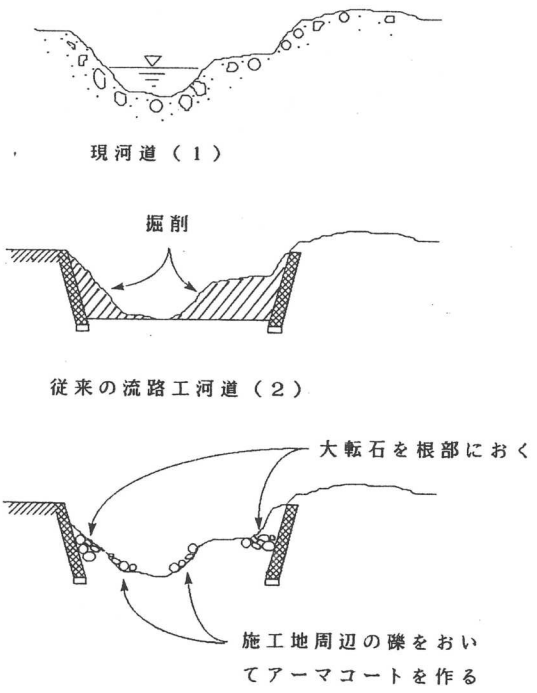
図－5. 底ダム群施工地の全景。植生で覆われているので見にくいが，ダムは非常の幅が広く，両岸の山腹斜面の基部にまで達している。最下流のダムの水通し部の全面にある構造物は，落差を分割し，またダム直下にプールを造るために設けられた簡易魚道である。

より，流路の固定が可能となる。床固工には魚道を設置するものとするが，構造物の落差が小さいので，有効に機能する魚道を造ることは簡単である（図－５；高橋，1988）。また，河道の断面を平坦に修正するのではなく，現況の断面形状を尊重した河道計画（図－６）を採用するものとする。この河道計画は，魚のことを考慮することとは別に，純粋に砂防工学的考察に基づいて提唱されたものであり（池谷，1978），十分実用性があると考えられる。

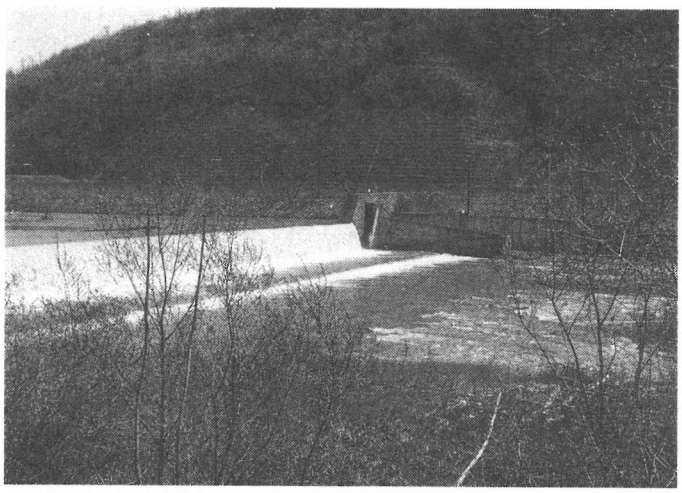
既に完全に人工的な空間に変えられてしまった渓流においては，正直なところ非常に困難な問題が多い。

まず，魚の移動の障害についてであるが，この問題の構造自体は単純である。一般的には，ダムに有効に機能する魚道を付設することにより，問題は解決される。しかし現実には，技術的に有効に機能する魚道を保障する水準に達していない。

図－７は，長大な砂防ダムとその左岸部分に取り付けられた魚道である。これは比較的魚が遡上



図－6. 元の河床形状を生かした河道断面計画（池谷，1978）。

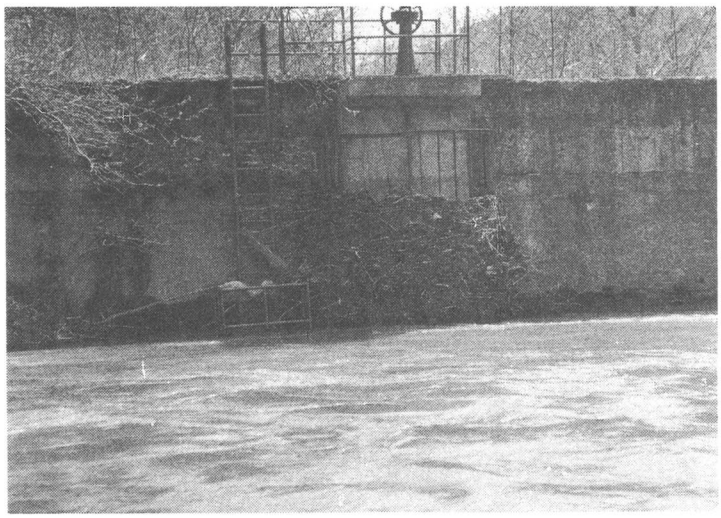


図－7. 砂防ダムと魚道。魚道のもっとも重要な機能のひとつは，魚道入口（出水口）に魚を集めることである。ダムが大型になれば，この機能を発揮させることが飛躍的に困難になってくる。

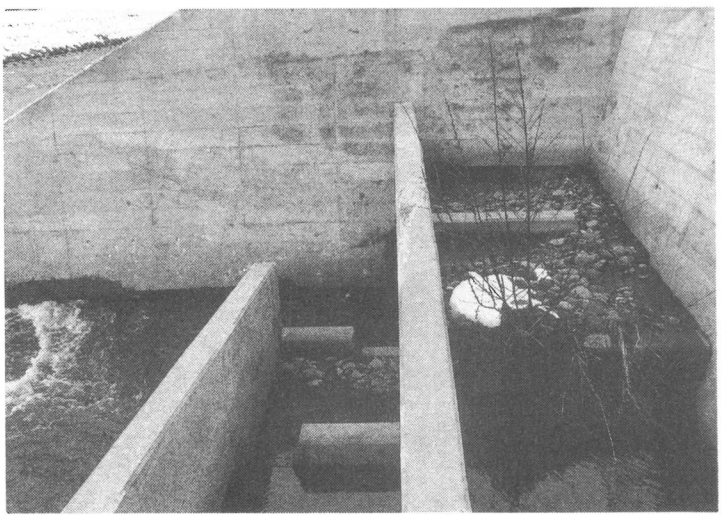
しているといわれている魚道であるが，ダムがなかった場合の遡上するであろう魚の内，果してどの程度の割合の魚が魚道に行き着けたかは不明である。多くの魚道の観察例からは，魚道の位置が不適切で，とても魚が魚道の入口（出水口）を見いだせない構造のものが圧倒的に多い。

また，土砂や流木の流出の活発な渓流では，これらが魚道の出入口付近や内部に貯りやすく，しばしば魚道の閉塞をまねく（図－8，9）。これは魚道設置後の維持管理が問題点であるが，その体制づくりについては全く整備されていないのが現状である。

一方，落差の大きくない床固工のような構造物については問題の解決は比較的容易である。図－10に示すように，河道全面にわたる構造物を何段にもいれて落差を分割し，いわば全面魚道のよう



図－8. 出口（入水口）にゴミや枯れ枝がたまっている魚道。

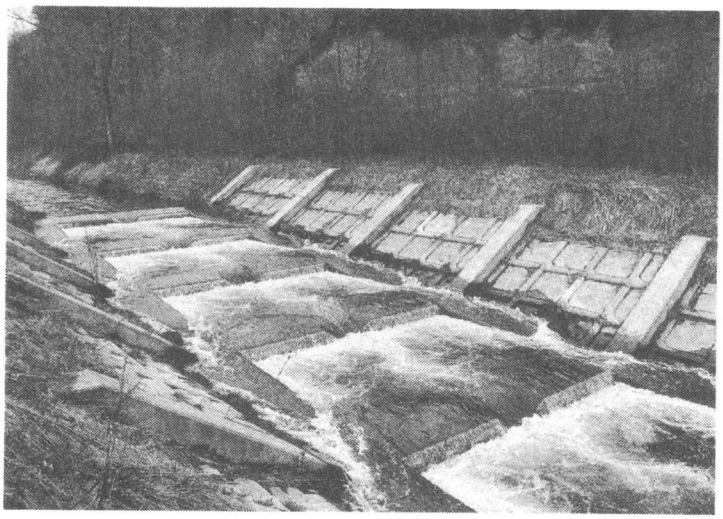


図－9. 土砂がつまり，ほとんど水の流れなくなってしまった魚道。

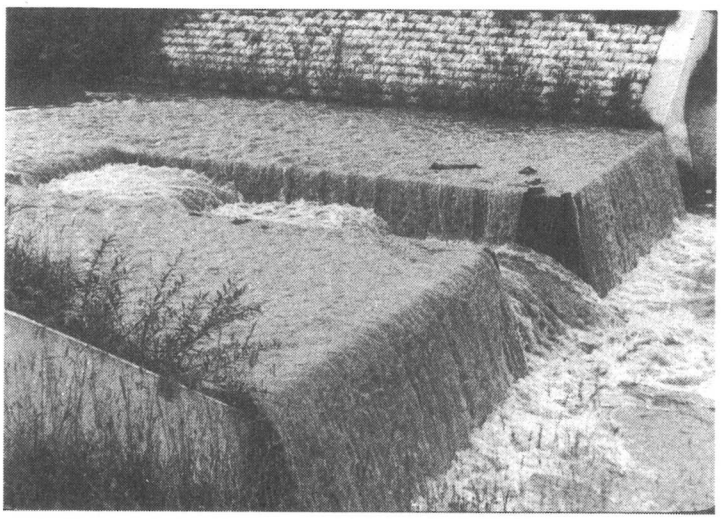
な構造に改善することや，床固工の中央部に切り欠きを設け，そこに隔壁をつけて魚道とする（図－11）などの方法が考えられる。

いずれにしても砂防ダム，特に規模の大きいものにつける魚道に関しては技術的に幼い段階にあるといえる。このことを十分に認識したうえで，新たに技術を開発する意味をもたせ，いわば実験的な施工を行って，魚道技術の向上を目指すことがよいと考える。

改修による環境の単純化については，先に述べた社会経済的な制約が大きく関わってくる。従来の工法においては，河道の改修は洪水流を無害に流下させることを目的とし，土地利用の利便性との関係から河道を直線的に固定し，かつ河道断面を滑らかにしてきた。すなわち，最小の面積で洪水流を流下させる方向性にあった。魚に



図－10. 流路全面を階段式の魚道にした例。



図－11. 落差工の中央部に設けられた切込み式魚道。

とって好ましい環境とは完全に相反する方向性を有しているといえる。この意味では，魚のための再改変は河道計画自体の見直しを避けることはできない。河道微地形や流れの多様性を回復することは，換言すれば流れに対する障害物を造ることである。したがって，この問題解決には河道のための余分な土地の確保が前提条件となる。著しい荒廃渓流や人工稠密地帯では困難であるが，土砂流出の激しくなく，土地利用の密度の高くない流域の渓流ならば，魚類生息環境の回復は十分可能性が高いと考える。

具体的には，ディフレクター（転流装置）を千鳥状に配置することによって，流れに変化をつけ，あわせて河床に起伏を与えることが有効な方法である。また，渓岸に植生を導入することにより，カバーを与えることも有効である。この時，樹木は柔らかな構造のもので大木にならないものが望ましい。頑丈で大きな幹は洪水の時に大きな抵抗を受けるため，ゴミをためて渓岸洗掘のきっかけになったり流木となり下流に害を与える可能性が大きいからである。このほかに，淵の水深を保つような護岸を行うこと（水野，1980）や，魚巣ブロックを根固めに用いるなどの対策が考えられる。

4. おわりに

近年の河川環境に対する関心は急速に高まってきている。この流れを受けて行政側の姿勢の変化にも目を見張るものがある。物事の進展においては，そのはじめの段階で定着した流れが後々まで影響を及ぼし，その後の段階では既に定まった流れを変えるには相当のエネルギーを要する。河川工学や砂防（工）学の分野に自然環境に対する配慮を正確に組み込むのは，この意味では現在が絶好の機会であるといえる。従来ありがちであったような，開発か保護か（行政 vs 自然保護団体）というステレオタイプの対決ではなく，両者が互いに歩み寄った議論が，今こそ必要であると考える。

“工学的”な面についてふれれば，土と水の運動のみを対象とした単純化されたモデルに固執することから一歩踏み越えなければならない。多様な要素の混在している河川の保全には，単純なモデルの構築という方法論は時にきわめて有害な結果をもたらすことが懸念される。自然の複雑な過程の多様性，複雑さの重要性を認識し，河川の取り扱いを考えることが重要であると考える。

このことは技術論というよりは，むしろethicsに関わる問題であるかもしれない。だが，真に優れた技術はしっかりしたethicsのうえに成り立つものであろう。将来にわたって安全で，良質な河川環境を保つためにもこの部分の議論が充実することを望む次第である。

引 用 文 献

東　三郎．1982．低ダム群工法，387pp．北海道大学図書刊行会，札幌．

池谷　浩．1978．流路工計画における計画河幅の考え方．新砂防，Vol. 31(1)：7－13．

建設省河川局．1977．河川砂防技術基準（案）．計画編，278pp．山海堂，東京．

水野信彦．1980．中流域（アユ漁場）での河川改修の問題点と改善策．淡水魚，6：1－7．

高橋剛一郎．1988．渓流環境の保全に関する砂防学的研究，北海道大学農学部演習林研報．45(2)：371－453．

Takahashi, G. and Higashi, S. 1984. Effects of channel alteration on fish habitat. Jap. J. Limnl. 45(3)：178－186．