

(12) 都市河川における自然環境復元の技術

ENGINEERING FOR RECONSTRUCTION OF NATURAL ENVIRONMENT ON URBAN RIVER

吉 村 伸 一 *

Shinichi YOSHIMURA

はじめに

「近自然河川工法」、あるいは「多自然型川づくり」が最近の川づくりのキーワードになりつつある。それに伴い、「伝統工法」が注目されている。河川の自然性や生態系の回復に視点をあて、伝統工法を現代に適用しようという点は前進的である。しかし、河川技術者の頭の中では、相変わらず施設や装置が中心になっていて、河川の基本的資質である流水環境のありよう、すなわち、あるべき川の姿がトータルにイメージされていないのが気がかりである。

技術や工法は手段であって、目的のものではない。河川に何を求めるのか、どのような川の姿を技術や工法の向こうに見据えているかが問われる。筆者は、河川の自然復元に関して、河川形態の多様性と河川植生の復元ということが、最も大事だと考えている。本稿では、そのような視点から、都市中小河川の自然度をいかに高めるかについて、筆者がかかわった横浜市の事例を中心に述べる。

1. 河川の自然性と河川生態系

1. 1 流水作用と河川形態

河川は、侵食、運搬、堆積という3つの働きをたえず行っている。また、流水は必ず蛇行するという規則性がある。そのことによって、その川に固有の流路（大地形）と、瀬、淵、洲などの微地形が形成される。このような川自らの働きによって形成される川の姿を、どのようにして復元できるかということが基本テーマだということを押さえておきたい。

このことが、極めておろそかにされてきた。親水護岸や親水階段、生態護岸をつくることがあたかも目的であるかのように扱われてきたのである。「改良」された施設をつくったとしても、河床を「標準断面」どおり、平らに整正したままでは、河川の基本的自然性と生物の生息条件は、大きなダメージを受けたままで放置されていることに変わりはない。施設自体が目的ではなく、河川の自然性の復元こそが目的だということをはっきり認識してかかることが大切である。

1. 2 生物の生息環境と河川形態

水生生物の生息環境として重要なのは水質ばかりではない。流速の大小や水深の大小、流れ方、底質に左右されることが多い。水生昆虫は流速の大小と底質に最も影響されるし、同一種の魚類であっても、その生長過程で生息場所と流速の大小は異なる。一日の行動でも、活動する場と休息・休眠する場は異なるし、水深や流速等の条件は異なる。洪水や他の動物からの非難場を必要とするのも当然である。

こうした、生物の生活史や生活行動を支える環境条件を考えれば、河川形態の多様さが重要だということが

* 正会員・技術士（建設部門）・横浜市下水道局河川部河川設計課

理解できるであろう。つまり、瀬や淵、ワンドといった河川の微地形が、流速や水深、流れ方、底質などの違いを与えるのである。自然河川は、生物の生息条件を自らの働きによってつくりだしているのであり、河川の働きによってつくられる河川構造を把握し、これを復元することに有効な工法を考えることである。

1. 3 生物の生息環境と河川植生

地球上のあらゆる生物の生存の基盤は太陽エネルギーであり、この太陽エネルギーを生物に有用なエネルギーとして変換できるのが緑色植物である。植物だけが生産者であり、他の動物は全て消費者である。河川生態系においても、植物がその基盤に位置していることに変わりはない。

河川生態系における植生は、水生生物のエサ、産卵場、隠れ場などとして重要な役割を果たしているだけでなく、沿水域（河原）や陸域の植物は、昆虫や鳥など多様な生物の生息場として機能している。洪水時には、倒伏して土砂の流出を防いだり、魚の非難場にもなりうる。水中や水際の植物は、流速を弱め、大型の動物からの攻撃から非難しやすいことから、遊泳力の弱い稚魚などの生息場として重要な役割を果たしている。河川生物の多様性は、植生の豊かさに左右されるといっても過言ではない。

2. 都市河川の自然復元とその技術

河川環境の重要な特性は流水が存在することにある。そのことによって、河川としての特徴的な景観や自然、生態系というものが形成されるのであり、流水環境のありように基本的視点をおくことが大事である。流水作用によってつくり出される河川形態、とくに河床の微地形と河川植生の復元ということに視点をあて、どのようなことをすべきか、その具体的な方法について、筆者がかかわった具体例を素材に検討する。

2. 1 「標準断面」に関する一つの提案

都市中小河川の多くは、図1bの形状が与えられる。図1aの自然河川の形状と比較し、何が問題か、どのような発想の転換を図るべきかを考える。

これまでの多くは、いわゆる護岸を問題にしてきた。しかし、水域に生息する生物にとって、「環境護岸」はほとんど無意味に近い。問題は、河川形態の単純化、とくに河床の微地形の喪失というところにある。そのために、生物が必要としている生息条件の多様さが失われるのである。もう一つは、河川植生の喪失である。

そこで、最低限改善すべきことは図1cのステップ、つまり、河床に微地形と植生の回復を図ることである。平常時水深を確保するための低水路を設け、沿水域（河原）を復元し、瀬や淵を設ける。そのことで、水域環境に多様性を与え、水際や沿水域の植生を回復するのである。さらに、護岸天端にも植生が回復しうるスペースを設ける。天端コンクリートを打たず土を埋め戻したり、わずかでも土のり面を設けることは十分可能である（写真14）。

さらに、図1dのステップを考えたい。「多自然型川づくり」の建設省通達で、「一律標準断面を避け、広く確保できるところは広く確保する」といわれているが、現実には、一応の手がかりとしての「標準断面」は必要とするであろうし、また、用地を全面的に拡大することは出来ない。そこで、用地を拡大出来ない区間（標準断面区間）で、河川の自然復元スペースを拡大するため

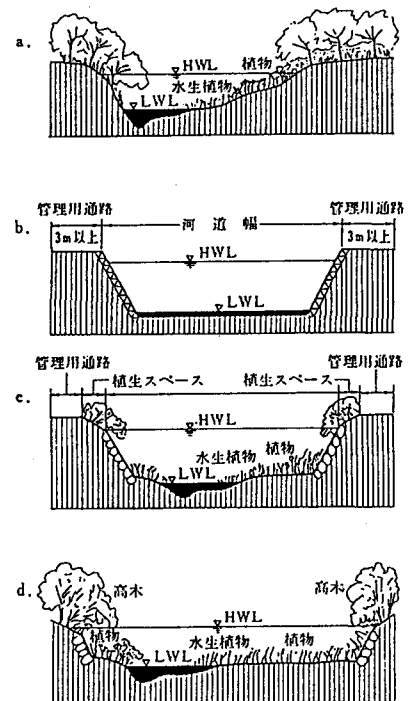


図1. 河川の断面パターン

の工夫を考えることが必要である。

図1 dは、そのための一つのモデルである。つまり、河川管理用通路の敷地を流水断面に取り込むことで、河川の領域を広げるという方法である。通常、改修河川には、兩岸に3 m以上の通路を設けることが原則になっている（河川管理施設等構造令）。要するに流水

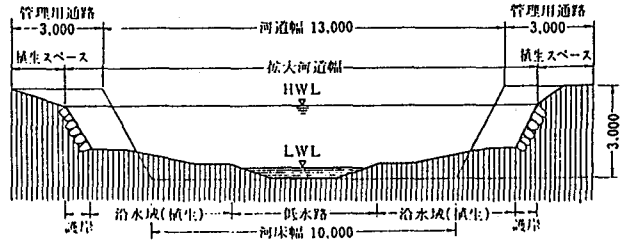


図2. 「標準断面」の改良案

のための用地の他に6 m以上の用地が確保されるということである。これは、中小河川の河道幅に対してかなりのウェイトを占めている。せめて、これぐらいは、通路とせずに川や生き物たちに返してやろうということである。

図2は、河床幅10m、天端幅13m、護岸高3mを与えて、図1 dの具体案をスケッチしたものである。護岸高は約半分になり、空石積みも不可能ではないと考えられる。このような複断面では、護岸の根入れ深さも少なくてすむ。護岸工事費を半減できるわけで、経済的にも優れている。その費用分を用地費にあてれば河川の自然回復スペースをさらに拡大できる。管理用通路の整備のために、既存林を伐採したり淵を埋めたりするケースがあるが、これも減少させることができるであろう。

管理用通路を無くすことについては、「構造令」などの基準との関係で異論がでることが予想される。盛土の堤防河川では、堤体の安全上一定の天端幅は必要であるが、掘込河川では絶対必要なものではない。改修前には無かったものであり、将来の維持工事等が出来ないわけではない。労をいわず管理していけばよいのである。所々にアクセスできる場を設けたり、1 m程度の歩行スペースを設ければすむことである。「構造令」を何があんでも守ろうとすれば、「多自然型川づくり」の通達はその出発点から既に破綻せざるをえない。要は、実際の川を前にして考えるのか、実際の川をマニュアルに合わせようとするのか、河川技術者の根本的抛り所が問われているというべきである。

2. 2 河床の微地形回復に関する具体例

通常、河川改修は河道拡幅を伴うため平常時水深は極めて浅いものになる。その上、河床が平滑化され、瀬や淵、洲などの微地形が破壊される。そのため、水深は均一化され、流速や流れ方、底質などの流水環境の多様性が失われ、水際部

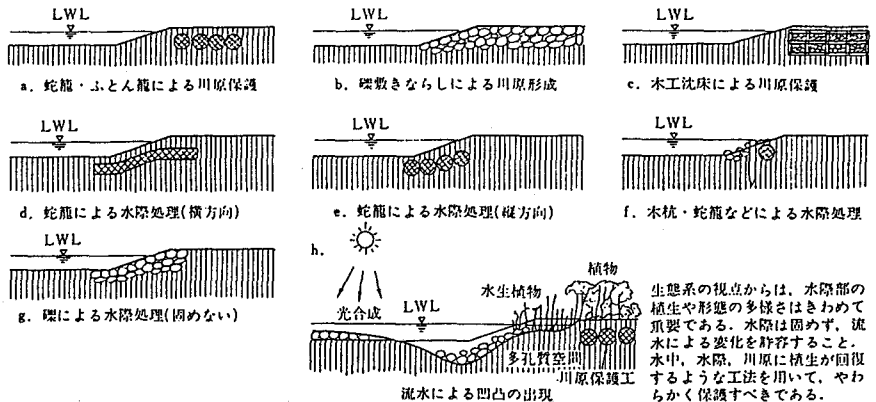


図3. 低水路の水際処理と河原の保護

や沿水域（河原）の植生が喪失する。こうした河川改修によって河川生物は大きなダメージを受けるのである。したがって、必要な水深を確保するための低水路を計画することが必要である。低水路は、沿水域を回復することと結び付いており、植生回復にも有効である。さらに、低水路内に瀬と淵を回復し、流水環境を多様化させることが必要である。ここでは、横浜市の狹（いたち）川、梅田川の事例を中心にその具体的方法を述べる。

(A) 低水路計画の留意点

低水路は、単に低水流量を流すための装置ではないということをまず押さえておきたい。しばしば、「親水

整備」と称して低水路の水際部を庭園的石組で固めたり、沿水域を舗装したりするケースが見受けられるが、生態的には無意味であるばかりか、有害でさえある。護岸整備された河川においては、唯一河床だけが自然状態であって、流水作用によりやがて自然に微地形が復元する可能性がある。そこを固定化するというのは河川の人工化、装置化の発想以外の何物でもない。河川の自然復元が目的であって、低水路はその補助的手段として計画されるべきだということを認識しなければならない。

低水路の計画で大事なことは、流水作用、つまり河川自身の微地形形成力をもって、自然復元を図るという発想である。人為的な低水路は、どのように設計したとしても不自然さを伴うことは避けられない。したがって、むしろ流水作用による変化を許容することの方がよいと考える。とくに、水際部や河床の自然な凹凸が大事であり、ここはフリーな構造にすべきである。沿水域（河原）は、洪水によって流出する可能性があり、ある程度固定化しなければならない場合があるが、その場合でも保護工は蛇籠などの植生回復可能な構造とすべきである（図3）。

（B）狹川・梅田川における施工例

狹川は、改修済みの河床に後から低水路を設けた事例である。約15m幅の河床に5～6m幅の低水路を設けた。河床を30～40cm掘り下げ、低水路の両側に掘削土量とほぼ同量の土を盛土した（写真1～4）。低水路の水際部は固めず、直径150～300mm程度の礫をゆるやかな勾配で敷き均し、盛土層は転圧しただけである。水際部や盛土層は固定していないため、当然変化する。しかし、その変化は、当初の人為的不自然さがより自然に、より多様に変化したと見るべきだと考えている。

1982年の第一期工事では、低水路は均一断面で直線的に施工した（写真3）。1983年の第二期工事では、低水路を蛇行させた（写真2）。低水路の蛇行は直線河道に出現する交互砂礫堆を参考に設計している。直線低



写真1. 狹川。低水路施工前

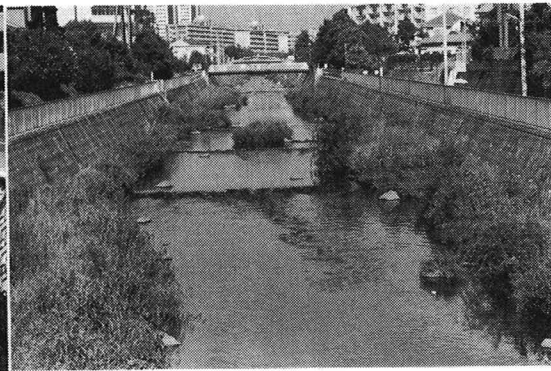


写真2. 低水路施工後（蛇行低水路）

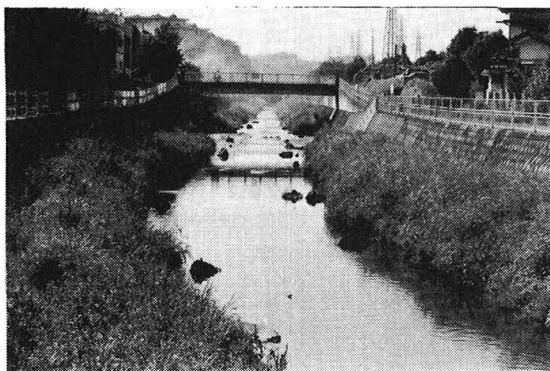


写真3. 低水路の現状（直線低水路）



写真4. 低水路の現状（蛇行低水路）

水路と蛇行低水路を比較すると、盛土層の安定に相当の開きが生じている。前者は、施工から約10年経過しているが、盛土層の土砂流出は少なくほぼ安定している（写真3）。一方、後者の土砂流出は激しい（写真4）。その原因として、落差工の影響、蛇行の極端さ、使用した土の違いや施工の違いなどが考えられるが、その他に、直線河道内の人為的な蛇行低水路においては洪水時の流況が複雑化し、土砂の巻き上げが大きく発生することが推測される。したがって、直線河道内の低水路は極端な蛇行を避けゆるやかな曲線とする、あるいは低水路幅に広狭の条件を与える程度にとどめることの方が良いと思われる。ただ、直線の低水路は単調であり、生物の生息環境としての多様さにかける。杭だしや簀だしなどの水制工を設置し、流水作用による洗掘と堆積現象を活用し、低水路の変化によって多様化を図るということが考えられる。

梅田川では、1987年の施工から低水路を設けている。計画上是単断面であるが、計画河床を30cm掘り下げた低水路を設けることとした。河床幅約6m、低水路幅約2mである。施工から約4年経過しているが、流水作用によって水際部や河床に凹凸が生じ、より自然な状態が出現しつつある（写真5～6）。また、旧河川の蛇行部の直線化をとりやめ、蛇行部を保全することも合わせて実施している（写真7～8）。ここでは、ゆるやかな土の法面とし、河床には河原を形成し低水路を蛇行させた。既定の計画にとらわれず、現川流路を尊重するという柔軟な発想をしたい。



写真5. 梅田川。低水路の現状



写真6. 梅田川。低水路に生じた自然な凹凸

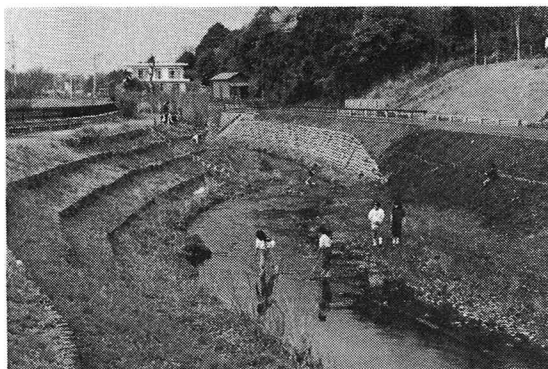


写真7. 梅田川。蛇行部の保全



写真8. 梅田川。蛇行部の河原は人気が高い

（C）瀬と淵の復元

水域の生物にとって、瀬と淵の存在は極めて重要である。これらは、基本的には流水作用によって形成されるものであるが、河川改修によって受けたダメージを回復する措置として、人為的に復元することが必要となる。そのためには、まず瀬と淵の基本構造を理解しておく必要がある。どのような位置にどのような形でそれらが存在しているかを把握しておくことである。瀬は、その上流で洗掘された砂礫が堆積してできるも

のであり、瀬と淵はそれぞれ関連して存在する。瀬は、堆積場であるから当然移動しにくい粒径の大きな礫が素材となっている。瀬に用いる礫の大きさについては、図4を参考にするとよいだろう。また、淵にはM型（蛇行型）、R型（岩型）、S型（滝つぼ型）といった3つの基本型がある。これらの基本型をふまえて、蛇行部の凹岸付近に淵を計画する、河床に固い岩などをおき流水作用で淵を形成する、落差工の水叩き部を淵の構造とするなどが考えられる。

独川や梅田川では、直径300mm内外の礫を用いて瀬を形成している（写真9）。独川の場合は礫の流出防止のために木杭をランダムに打ち込んだ。瀬を設けることで流速や流れ方、水深、底質等に変化が与えられる。そして、エアレーション効果や光合成の活性化、瀬音の発生など様々な効果が現われる。大事なことは、瀬を設けることでその瀬がまた新しい働き、つまり、淵をつくりだす働きをし始めるということである。そうすると、またその下流に瀬を形成するといった連続的な変化が期待できるのである（写真10）。

独川ではR型の淵を手本とし、低水路内に大きめの切り石を設置した。直線河道内の人工的な淵は土砂の堆積で消失する可能性が高いからである。この場合、岩を水面以下に設置しないと不自然になるので注意すべきであり、また、あまり多用すべきではない。

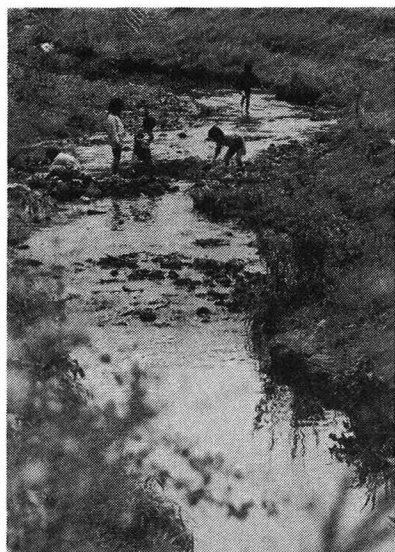


写真10. 河床の瀬はその下流に淵をつくる働きをする（梅田川）

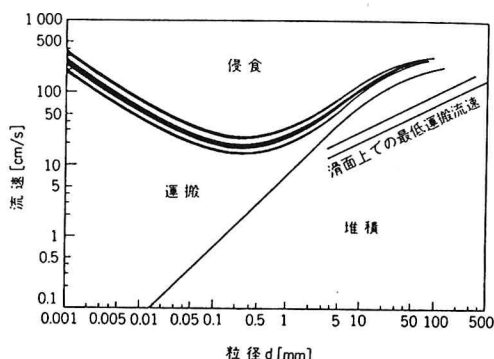


図4. ユレストレームの限界侵食流速



写真9. 独川の瀬

2. 3 落差工の改善…早瀬の復元による工法

生物的循環を妨げる河川施設に落差工がある。魚道を設けるのが一般的な方法であるが、梅田川ではそうした代替施設によらず、自然河川の早瀬を復元するという方法をとった（写真11～14）。自然河川の縦断勾配は多様であり、早瀬部ではかなりの急勾配となっている。これを手本に計画すれば、1～2m程度の落差は十分自然な状態で処理できるのではないかと考えたのである。

梅田川では、1mの落差を1/20の勾配で斜路にすることにした。中間部には勾配のゆるやかな区間を設けている。単なるスロープとしたのでは流速が増し、水深が低下するため、実際に魚が遡上する構造にはならない。そこで、斜路区間に木杭を打ち込み、さらに直径300mm内外の礫を充填することにした。つまり、礫が堆積して出来る早瀬の構造を手本にしその構造を復元する、そして礫の流出をある程度防ぐために木杭を打ち込むという方法をとったのである。このことによって、斜路工内の流れは一様でなくなる。流速の早いところ、遅いところ、水深の深いところ、浅いところといった多様な流れが出現する（写真13）。

1988年の施工直後はスロープ状に近い流れであったが、現在では流水作用によって礫が移動し、ほとんど人工を感じさせない自然の早瀬状に変化したと認められる。したがって、この場合の設計の重要ポイントは、礫の移動の自由度を確保した点にある。また、斜路工部は流速が増すため斜路工下流に自然に淵ができ、またその下流には瀬が出来ている（写真14）。つまり、この斜路工は単に魚道の機能があるだけでなく、河床の微地形の多様化にも役だっているということがいえる。

斜路工区間は流速が早くなるため、護岸基礎の根固めが必要となる。ここでは木工沈床を採用した（写真11～12）。木工沈床は木枠に礫を充填したものであり、植生が回復しやすい。かつ多孔質であるため様々な生物の生息場を提供することが可能である。斜路工と木工沈床の組合せによって、単機能の魚道では得られない複合的な構造を河川に与えることができたといえる。

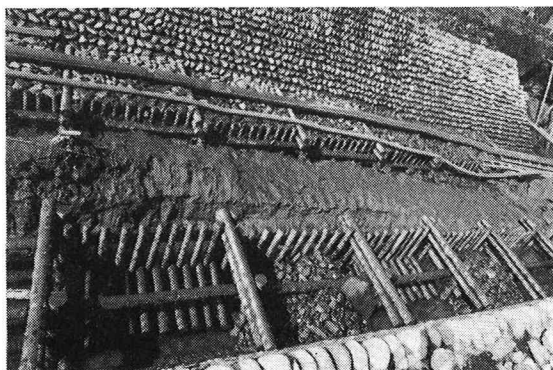


写真11. 梅田川。木工沈床の施工

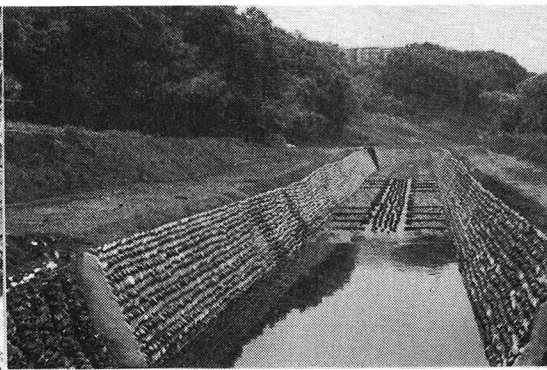


写真12. 斜路工と木工沈床の施工直後



写真13. 斜路工部の流れの様子

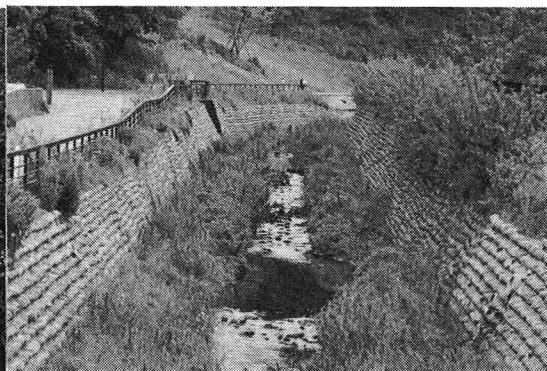


写真14. 斜路工下流に自然にできた淵。河床と天端の植生が人工物の固さをやわらげる

3. 「多自然型川づくり」の課題

建設省の「多自然型川づくり」の通達に関して、いくつかの提起をしておきたい。

3. 1 河川の領域の拡大を図る。

河川の自然や生態系の回復ということを考えるとき、そのためにどれだけの領域を河川に与えるかということが再検討されなければならない。近年の河川の空間計画は、洪水処理に必要な領域しか河川に与えて来なかったということがいえる。しかし、街にとって、河川は単に洪水を処理する空間でありさえすればいいという

ものではない。河川を生息場とする生き物にとってはなおさらである。川づくりと街づくりの双方において、河川に多様な空間性を与えることに有効な施策が求められる。

3. 2 マニュアルを捨てる。

「多自然型川づくり」では、「定規を捨て、フリーハンドで設計する」ということがいわれている。もうひとつ、「構造令」等のマニュアルを捨てるということをつけ加えたい。「構造令」を捨てるというのは言い過ぎではあるが、現実には「構造令」がネックになることがあり、再検討が必要である。例えば、先に述べた図1. dの工夫は「河川管理用通路」の項で不適格となり、「構造令」を守ろうとすれば実施不可能となる。

「河川管理施設等構造令」は政令であり、河川管理施設の計画、設計の最低基準とされている。これは、どちらかという大河川を対象とした基準の性格が強く、掘込型の中小河川にはなじみにくい内容が含まれている。「小河川の特例」等の特例条項があるが、掘込河川や中小河川、周辺環境との関係などについても、弾力性のある内容に改定する、あるいは通達等で弾力的な運用が可能にするなどの対応が望まれる。その際、「小河川の特例」のように、川幅や計画洪水流量など、小河川の定義を固定することは避けたい。あくまでもその川の特性から発想しうる内容とすべきである。

3. 3 水系や流域との有機的な関連をもたせる。

河川は系（システム）であり、河川の自然性や生態系の豊かさは、水系や流域の自然とむすびついて機能している。河川の一部を「多自然型」で改修しても、それだけで完結するという単純なものではない。水系の一つ一つ、流域に展開する自然をどのように保全し、結び付けるかということに関して有効な施策が無ければならない。

その点で、総合治水対策の様々な施策を「多自然型川づくり」と結合させることを提起しておきたい。流域貯留浸透事業、特定保水池整備事業などの流出抑制事業がある。これらは、施設整備に関する補助事業であり、保全系のものは補助対象にならない。施設というのは、流域の保水、遊水機能の代替施設であるが、現にある自然は、そうした機能を果たしているだけでなく、景観的にも生態系の面でも重要な役割を果たしている。しかも一旦失えば回復不可能である。横浜市では、独自に「水源の森」事業を設け自然地の保全にのりだしているが、流出抑制の施策を保全型の事業に拡充し、「多自然型川づくり」の施策と有機的な関連性をもたせることを望みたい。

おわりに

河川の自然復元に関する技術や工法の基本は、河川を「常に生長しつつある有機体」（安藝皎一、河相論）ととらえ、流水作用による変化を前提とし、これを活用することにあると考える。流水作用によって、河川自身の回復力をもって、自然復元を図るという発想が大事である。技術や工法は、その補助的手段として用いるものであり、河川の自然復元のための工事はその完了時が完成ではない。むしろ、その出発点でしかない。河川の流水作用の観察と、その後の変化の予測と管理が重要な技術的ポイントである。

本稿で紹介した事例は、既定の河川改修計画を前提とした制約条件の中で、約10年ほど前から試行的に実施してきたものである。したがって、ある程度自由な発想を展開しうる河床の微地形復元を中心としたものであり、その川の全体的な姿、つまり川の大地形をどのように計画すべきかという課題は残されている。河川改修計画の根本的な見直しがどうしても必要な時期にきていると考える。

なお、本文は「自然環境復元の技術」（杉山恵一・進士五十八編、朝倉書店、1992）に筆者が執筆した内容をもとに、加筆、再構成したものである。参考文献については省略させていただくことをお断りしておきたい。