

## 学位請求論文要旨

### 治水と環境の両立を目指した川づくりの技術的考え方とその適用性に関する研究

福留 脩文

Civil engineering, Shubun Fukudome

#### 研究の目的と意義

1990年に当時の建設省河川局から「多自然型川づくり」の通達が出され、1997年、河川法の目的に治水・利水に環境を重視する思想が加わった。さらに2005年、多自然型川づくりレビュー委員会が設置され、翌年、課題の残る川づくりの解消と全体水準の向上を目指して「多自然型川づくり」から「多自然川づくり」への提言がなされ、「多自然川づくり基本方針」の通知に続いて、2008年、「中小河川に関する河道計画の技術基準について」の通知が行われた。今日、多自然はすべての川づくりの基本であり、そして、川づくりは河川全体の自然の営みを視野に入れたビジョンが必要であること等が再認識されている。すなわち、土砂の移動や流量の変動等、河川が本来持つダイナミズムの保全・回復、流域との連続性の確保に努めること等の必要性がうたわれている。

一方、近年では、局地的な集中豪雨が各地に頻発し、治水面での早急な対応を図るべき課題も明らかになっている。2007年、国土交通省河川局では「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について」の提言を受けて河川維持管理に係る技術指針案を通知し、2011年、河道流下断面の確保・河床低下対策を含めた「河川砂防技術基準維持管理編」を策定している。これに対して、福岡は、治水と環境の調和した望ましい河道断面とは、自然河川の河道断面に近いものであろうと提言している。これからの河川管理は、地球温暖化による洪水流量増大の可能性が高まることを考えて、流域スケールでの計画流量規模を考えた自然性の高い河幅、断面形を有する川づくりまで入って議論することが喫緊の課題であるとして、新しい多自然河道の作り方、河川管理のあり方について方向を示している。

本論文は、自然性の高い河岸・河床形態を有する川づくりを目標に、これまで筆者が行ってきた20年以上に亘った現場での技術を総合的に考え再構成し、河道の安定性や河川管理といった視点から検証および再評価して、今日的な治水と環境の調和をめざす川づくりの技術としてその適用性を整理した。

#### 本論文の内容と成果

本論文は6章で構成され、各章の内容と成果の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、上記の背景を踏まえ、一旦手が入った河川を再び自然の安定した河床・河岸に近づける、川づくり設計手法の研究過程を整理した。その構成は、自然河川の地形が有する力学的な安定性から、河道の形状(川成)と河岸・河床の安定した関係とそ

それぞれの構造を研究すること、およびそれらのメカニズムやダイナミズムを活かす伝統工法を再評価して今日的な適用技術のありかたを研究することである。この二つの視点が、今日的な治水と環境の調和をめざす川づくりの技術として重要と考える。

第2章「治水と環境の調和した山地石礫河川および沖積砂礫河川の川づくり」では、自然の実河川の現場から、河道や河岸・河床の構造を、大スケールから小スケールに自然の営力が作りだした形・タイプ・出現パターンとして捉える考え方を整理した。

山地河川では、これまで無数に発生した土石流と、毎年確率の頻度で発生する洪水流とが作り出した、侵食と堆積による長期に安定した河道が形成されている。河岸と河床には福岡の指摘する多様な粒径の石礫が堆積する状態が見られ、長谷川の指摘する中規模・小規模形態の共存が見られる。それらは個々に共通した形を有し、基本的な単位構造を形成して、一定のパターンをもって繰り返し出現する。これらの河岸・河床形態は、変化しつつも安定した自然の法則性を有しており、筆者は、この状態を再現する設計や施工の技術の体系化が可能であると考えた。

沖積河川では、山地石礫河川とは異なり、河道は一樣に粒径の小さな砂礫河床で構成され、構造体的な定形は見出せない。しかし、河床には山本の指摘する川成に応じた淵や砂州の発生パターンが見られ、やはり自然の力学的な法則に支配されていることが知られている。筆者は、そのことを前提に河道湾曲部に発生する淵・瀬・砂州の安定した関係に着目し、とくに淵尻部のその下流に続く瀬と砂州の境界領域において、形と構造に安定した重要な法則性があると考えた。そして、山地河川、沖積河川ともに、これらの形や構造を一旦破壊すると、容易に自然が創出していた安定した状態に戻らないことが分かった。

第3章「山地石礫河川の設計手法」では、第2章で整理した河床の中規模形態から小規模形態の構造をモデルとして、人工的に改修されて安定性を失った河道を再び自然に近く復元する設計手法を提案している。

それは、河床安定化の設計対象区間は、流路幅スケールの中規模形態(交互砂州)を基本的な延長単位として、その復元する交互砂州上に小規模形態の礫列・礫段も復元することをモデルにしている。筆者は礫列・礫段をモデルにした石組み技術(分散型落差工)を研究してきたが、河床に配置する間隔や落差は、いずれも反砂堆形成と分級作用を成因として射流下で形成される礫列・礫段の波長と波高に近似させている。そして、石組みの河床への敷設は、大小の石礫を横断方向へ連結し、縦断方向へは覆瓦構造をなす自然の堆積形状を基本として、構造の要となる大石は、流体中の静止物体の安定計算によって、その形や大きさを求めている。これらの大石が安定しておれば、石組み構造は河床で変化しながらも安定すると考えた。その設計概念は、福岡の指摘する大粒径を含む多様な粒径の石礫が堆積して河床が安定することの構造的なモデルである。

この研究は、さらに堰堤などの段差構造を有する河道では、溪流復元型全断面魚道として応用できることも示した。

第4章「岩岳川における河道設計と工事後の河道変化」では、第3章で述べた分散型落差工の設計手法を実際の河川で用いて、その工事完了後の河道変化について追跡調査を行

った結果を述べている。

福岡県を流れる二級河川・岩岳川の岩屋地先の河道は、片側コンクリート護岸に接する河床が低下し、一方反対側の堆積部が肥大化する河床二極化の問題を有していた。その河道区間の堆積土砂を掘削すると同時に、河道の蛇行半波長区間つまり交互砂州の一波長区間の河床に、礫列が射流下で形成される波長に合わせた間隔で分散型落差工を敷設した。その結果、以下のような知見が得られた。

①人の手によって掘り出され、河床で浮いた状態の巨礫や巨大石は、計算では安定しても通常の洪水で移動する可能性が大きい②交互砂州の区間単位において、礫列が射流下で形成される波長に合わせた間隔で分散型落差工を配置すると、河床も落差工石組みも安定すること③落差工石組みは、一部が脱落しても石礫が補給されれば元の状態が復元し易いこと④落差工石組みが維持できれば、狭小化していた滯筋は自然な広さに維持されて河床は安定し、瀬と淵の環境も維持できること、さらにその結果、河床全体への土砂の堆積と植生の繁茂が抑制されていることを確認している。

同じ岩岳川のさらに上流の篠瀬地先では、堰堤下流の護床工部に、これを若干延長して分散型落差工を応用した全断面溪流復元型魚道を設計し施工している。同地先の上下流では河床低下が進行して、堰堤直上流の堆積部を除き岩盤が全面に露出していた。設置した魚道は、石礫河川の砂州前縁部に形成される段落ち構造をモデルとして設計し、施工に携わった。工事完成後の追跡調査の結果では、一部の落差工石組みに脱落や変形はあるものの、全体の構造に異常はなく、落差下流のプールには砂礫が適度に捕捉されて、上下流に比べて多様な溪流魚その他の河川生物の住処になっていることが明らかになっている。

これらの実験的な試みとその後の追跡調査によって、山地石礫河川の河道で自然の法則に則った河床形態の構造を復元する設計手法の開発が可能であり、人工的に改修された河道が引き起こす河床の二極化対策にも効果があることが分かった。

第5章「沖積砂礫河川の設計手法について」では、第2章で述べた自然の淵・瀬・砂州の安定した立地関係に着目して、改修によって自然の安定性を失った沖積河川の水路や河床形態を、再び自然に近く復元し安定化させる設計手法を示している。

福岡は自然河岸が粗度の低い護岸で改修されると、その前面を流れる洪水流は流速を増して河岸際に深掘れを起こさせ、河道の滯筋化と砂州が現れ、河床の二極化が促進されることを指摘している。筆者は、沖積砂礫河川でこうした問題が発生すると、蛇行河道の半波長単位で低水路の滯筋を自然な蛇行形態に矯正し、同時に淵・瀬・砂州の形態も自然に近づけることを試みている。

滯筋の流向を自然な形状で蛇行させ、同時に瀬と淵を保全または復元していく方法として、筆者は水制の働きを研究してきた。高水の洪水を利用して、湾曲河道の水衝点に最深部をもつ安定した淵を確保すると、平水の流れはその最深部を追って蛇行することになる。その水衝点に洪水流を集め、これを過ぎると主流線は徐々に河岸から離れていくといった流路を設計するためには、水制工の働きを活用することが有効である。淵の水衝点を過ぎた洪水の主流は、河岸から離れて淵尻・瀬頭さらに瀬の上を通過し、対岸の次の水衝部に向かう。一方、淵尻から一部分岐した洪水流は直進し、河岸沿いの水裏部に形成される砂州上流端のワンド部に緩やかに進入して、その砂州上を拡散し流下すれば、この流れが砂

州上の植生繁茂や土砂の過剰堆積を抑制する。自然河岸が護岸化されると、この淵尻と瀬頭の立地条件が破壊されて河床低下が進行するケースが多く見られる。

熊本県を流れる一級河川・菊池川水系岩野川の直轄区間の河道では、両側がコンクリート護岸で改修され、流路は一方の護岸に交互に寄り付いて河床低下と堆積部の肥大化が同時に進行していた。その河道掘削と同時に、上述のような設計概念で水路の自然な蛇行と淵・瀬・砂州の復元を試みて、追跡調査を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

①自然の蛇行形状に近く矯正した、滞筋の流路と復元した淵・瀬の状態は安定して維持されていること②砂州の上流端に接続する淵尻と瀬頭の位置と高さが維持されて、毎年の出水による洪水が砂州上に氾濫すること③その氾濫を受ける砂州の領域は一年生の草本類が成育して、元のような多年生の草本類に覆われる現象は起きていないこと、等である。

沖積砂礫河川でも、河床や河岸の安定した維持管理を図っていくうえでは、淵・瀬・砂州の安定した関係を保つことが重要である。そのためには、従来の護岸・根固めや落差工などの工法だけでは不可能であり、またそれらをそのままに放置しても自然は回復しない。洪水流を利用して、その侵食・堆積のダイナミズムを許容範囲で復活させる水制等の働きが必要であると考えられる。

第6章「結論と課題」では、本研究で得られた成果を総括し今後の課題を述べた。

本論文の成果をまとめると次の通りである。

1. 今日、すべての川づくりは、多自然として各河川の特性を活かすようにとうたわれるようになったが、まだ技術的に踏み込まれた検討はほとんど行われていない。本論文では、これに一步踏み込み、山地石礫河川および沖積砂礫河川、また対策工など、分類できる範囲で分類して、こうした河川の特性を捉えるべく整理した。
2. わが国では、今後、公共事業の予算が制約される中、高度経済成長期から現在まで形成されてきた膨大な社会資本の老朽化、劣化も踏まえた効率的な維持管理のあり方が課題となっている。河川ではさらに、局地的な集中豪雨が各地に発生することから、冒頭に掲げた維持管理に関する技術指針が通知されている。本論文では、これまでの多自然川づくりにはない、維持管理まで含めた対策としての提案を行った。

本研究から以下に示す課題が挙げられる。

自然素材のみでの工作物は、自然の力学的な法則に基づいた構造であっても、コンクリート構造物のように均質な強度が保証されない。設定以上の大規模な外力が発生した場合、その規模に応じて構造が大きく変形しても、その上で巨石や巨岩が河岸・河床の安定にどのように寄与するかを明らかにしていく必要がある。

また、福岡の指摘する、計画高水位以下で流れる高水流量にはどのような水面幅や断面形が望ましいかについて、本研究でもそれらを大スケールの河床形態の中で考え、既存の巨石や巨岩の位置や形状を読み、自然が形成した河道の骨格をデザインに入れることや、沖積河川でも、湾曲河道に自然に近い淵・瀬・砂州を形成させると同時に河岸を護る新しい水制の設計技術を確立する必要がある。

さらに、これまでの多自然川づくりの研究と合体させ、大小さまざまなスケールからなる河道と洪水流に対して、普遍性の高い河道設計技術、管理技術を考える、新たな河道計画論につなげることが課題である。