

〔特集〕生物の生息環境と流体力学

「多自然川づくり」と流体力学の接点

* (独) 土木研究所 自然共生研究センター
 (独) 土木研究所 自然共生研究センター
 (独) 土木研究所 自然共生研究センター
 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム

原 田 守 啓†
 高 岡 広 樹
 大 石 哲 也
 萱 場 祐 一

Common Ground between River Environment Restoration Works and Fluid Mechanics

Morihiro HARADA, Aqua Restoration Research Center, Public Works Research Institute

Hiroki TAKAOKA, Aqua Restoration Research Center, Public Works Research Institute

Tetsuya OISHI, Aqua Restoration Research Center, Public Works Research Institute

Yuichi KAYABA, River restoration team, Public Works Research Institute

1 はじめに

「多自然川づくり」とは、河川全体の自然の営みを視野に入れ、地域の暮らしや歴史・文化との調和にも配慮し、河川が本来有している生物の生息・生育・繁殖環境及び多様な河川景観を保全・創出するために、河川管理を行うことをいう。国土交通省では、平成18年に「多自然川づくり基本方針」を新たに定めて、河川管理行為の全ての局面において、「多自然川づくり」の取り組みを進めている。

特に、中小河川では、高度成長期以降、画一的な改修がなされ、特に環境面から課題が多いとされてきた。このため、平成20年3月には、都道府県が管理することが多い中小河川における多自然川づくりの具体的な技術論を「中小河川に関する河道計画の技術基準」に示した。平成22年には、治水と環境の総合的な視点から、河岸・水際部の計画・設計に関する基本的な考えをとりまとめ、技術基準の改定を行った。また、技術基準の具体的な解説を分かりやすい図版とともに示した解説書¹⁾を順次刊行し、技術基準の普及啓発を図ってきた。

これらの技術基準は、多自然川づくりの現場を支援するために、近年までの河川工学、土砂水理学、

河川生態学等の学術的・技術的知見をある程度集約したものであったが、これらの知見は河川中流域に偏っており、山地溪流から河口までの広い流程に対応するには課題がある。また、方針は示したものの、実務者が設計を行うための手法が整理されていない事項も、技術基準には複数残っている。中小河川の多自然川づくりは、発展途上の技術体系であり、これらの学術的・技術的な知見の不足を補う努力のみならず、計画・設計・施工・維持管理の各事業プロセスの改善、多自然川づくりに適応した新工法・新技術の開発といった取り組みを進めている。

本稿では、多自然川づくりの基本理念に深く関わる、河川地形と生息場の関係について述べた後に、多自然川づくりに関わる調査研究の中でも、主に中小河川を対象とした最新の議論を紹介する。さらに、多自然川づくりの技術体系を、主に水理学の視点から解説することを試み、今後の展望を述べる。

2 河川地形の成り立ちと生息場

2.1 開水路としての河川の特徴

河川は、主に土砂を境界面として、降水を由来とする水が重力によって流下する開水路である。河川を開水路の一種として見た際の一般的な特徴を、いくつか挙げる事ができる。

*〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田官有地無番地

† E-mail: m-harada55@pwri.go.jp

①流量が時間的に変動し、降雨の流出等により、不定期的に大きな流量が流れる場であること、②境界面を構成する土砂が、流水の作用によって侵食・運搬・堆積することにより、河川地形そのものが変化すること、③土砂の粒径や形状は一様でなく、流程と河川地形に対応して空間的に分布をもつこと、④境界面を構成する土砂に透過性があり、流量が少ない状況では、伏没・湧出が表面流の流量にも無視できない影響を及ぼすこと、⑤植物が生育し、流れや河川地形の形成にも影響を及ぼすこと、等が挙げられる。これらの特徴が、河川という場における流れを複雑にしているとともに、生物多様性(biodiversity)を支える「場(生態系)の多様性」を生み出している。

また、河川の姿は流程によって異なる。河川は、上流ほど河床を構成する土砂の粒径の幅が大きく、河床勾配も大きいのが普通である。山間部を含めて、河川の縦断形は、同程度の河床勾配が続くいくつかの区間に分けることができる。各区間内では、河床材料の粒度構成や河川地形も特性が似ていることが多いので、この区間をセグメントと呼んでいる。日本の沖積河川については、山本²⁾が整理したセグメント区分が一般的に用いられている。河川地形は、セグメントによって典型的な形態を有しており、これを理解し、尊重することが「多自然川づくり」に取り組む上での基本姿勢となる。

2.2 河川地形と河床形態

河川地形の骨格は、出水時に土砂が移動することによって形作られており、出水時の水量と河床材料に対応して発達する河床形態(bed forms)が、平水時における川の姿を決定している。

流水と土砂の相互作用によって形作られる規則的な河床形態は、土砂水理学の分野を中心に国内外で精力的に研究が進められてきた。1970年代には、河床形態の名称の統一や、各形態が発達する水量の領域についての知見の集約が図られた^{3,4)}。

砂漣(ripples)は、最も小規模な河床形態であり、河床面近傍の流れに支配されている。波長と波高は粒径と密接な関係がある。砂堆(dunes)は砂漣よりも大きく、水深の数倍程度の波長をもつ。反砂堆(antidunes)は、河床波と水面波の位相が同位相となる河床形態である。砂州(bar)は、最も大きい河床形態であり、その形状は三次元的で、発生領域は川幅と密接な関係を持つ^{5,6)}。流軸方向に対して左右交互に現れる砂州を単列砂州又は交互砂州(alternate bars)、川幅が広く、横断方向に砂州列の数が増えたものを

多列砂州と呼ぶ。また、湾曲部の内岸等に形成される移動しない砂州をこれらと区別して固定砂州(point bar)と呼ぶが、開水路の湾曲部の流れに見られるPlandtlの第1種2次流の作用により外岸側の土砂が内岸側に運搬され、横断面形状の変化を伴いながら形成されるものであるため、上記の河床形態区分とは同列に扱われない。

これらの河床形態と、実際の河川に見られる典型的な河川地形の対応は、概ね以下のものである。山地溪流に見られる、巨礫が噛み合わさった階段状の地形が連続する礫段(step and pool)は、反砂堆による河床変形と分級作用による粗粒化層の形成がその形成原因とされている⁷⁾。扇状地区間においては、河川地形の主役は砂州になり、礫を主体とした単列砂州あるいは多列砂州による流路が見られ⁸⁾、砂州列が多い河道は流路が網の目状になるので、網状流路と呼ばれる。平水時には水面より上に現れた砂州の上部が川原となる。中上流域においては、河床材料の粒径の幅が広く、流量変動の幅も大きいので、河川地形の骨格を決定する河床形態の上に、より小規模な河床波が形成されていることも多い。自然堤防帯では、原始的な氾濫原を有する自然河川では河道が蛇行しているのが普通であるが、日本においては河道を直線的に改修し、堤防や護岸によって河道が固定されていることが多い。河川地形は平水位より下に水没した形で砂州が存在しているか、平坦であることが多い。三角州地帯の河川地形は概ね平坦で幅が広く、河床材料の粒径が小さいため、流量に応じて平坦河床、砂漣、砂堆が現れる。河川地形全体に変化を及ぼすほどのものではないが、出水や潮汐流により河床形態の変化が日常的に起こっている。

各河床形態は、図1⁹⁾に模式的に示すように、流れとの相互作用を持つ。結果として、河床形態の変化は、見た目の流水抵抗を大きく変化させる。さらに、図2¹⁰⁾に示すように、土砂の粒子が集合して形づくる河床波が形状抵抗として受け持つ抵抗と、個々の粒子の運搬に寄与する抵抗の割合が変化するため、河床形態と流砂量は密接な関係を持つ。特に、砂堆と反砂堆の遷移領域を挟んで流水抵抗と流砂量が大きく変化するため、遷移領域より流速が小さい領域をLower regime、大きい領域をUpper regimeと呼んで区別している。

このように、河床形態が、実際の河川における河川地形の骨格を形作り、河川改修により河道の条件を変更した際の河川地形の応答にも直結している。

土砂水理学の知見が、多自然川づくりを治水と環境の両面から支えており、土砂水理学における現象

の解釈に流体力学が応用されているとみることができよう。

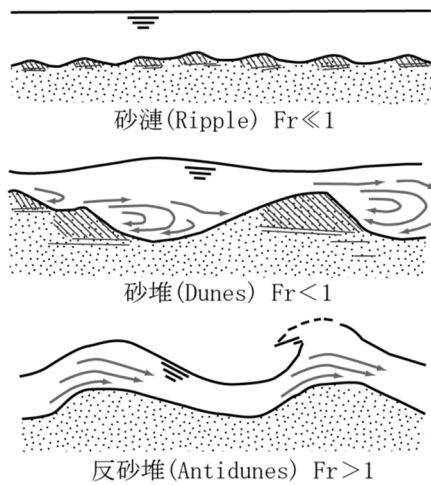


図1 河床形態と流れの相互作用

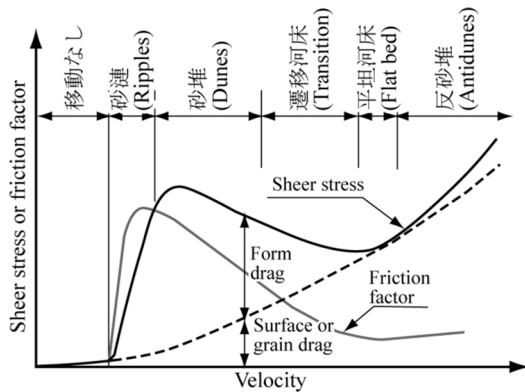


図2 河床形態と抵抗特性

2.3 河川における生息場の捉え方

生息場(habitat)とは、生物種が生息する場を指す概念であり、その種が生息する物理的な条件が備わった環境をいう。河川に生息・生育する生物種・生物群集と生息場との関係については、河川生態学の分野で盛んに研究されている。

Frissell ら¹¹⁾は、河川地形が形成される時空間スケールに着目して、生息場を6つの階層に分けて示した。すなわち、流域(watershed)、水系(stream)、セグメント(segment)、リーチ(reach)、瀬・淵(pool/riffle)、微生息場(micro-habitat)である。日本では、Frissell らがこのような階層的な概念を提示するよりかなり以前に、可児がリーチスケール、瀬・淵スケールに対応する形態区分を提示しており、長らく用いられてきている¹²⁾。瀬・淵スケールの景観区分は、早瀬(rapid)、平瀬(riffle)、淵(pool)、トロの4区分が一般的に用いられる。さらに淵については、川那部ら¹³⁾が、湾曲部外岸に形成されるM(meander)型淵、岩や橋脚の周辺に形成されるR(rock)型淵、岩盤等の侵食されない箇所の下流に形成されるS(substrate)型淵、

堰等によってせき上がったD(dam)型淵等に区分している。これらの淵は水理学的には成因が異なるが、生態的機能は、利用する種によっては異なることが予想されるものの、良くわかっていない。

また、微生息場スケールでは、場を利用する生物群集や場が生物に提供する機能によって、さらに詳細な分類が可能である。

生息場とその階層性の概念を河川管理に導入することは、河川生態学の知見を工学的に応用する上で都合が良い。リーチスケール、瀬・淵スケール、微生息場スケールでの生息場の保全や創出を目標として土木的な操作を行い、河川生態系に間接的に働きかけるというアプローチは、従来の技術体系を応用しやすく、効果的である。

2.4 瀬と淵、水際部の環境機能

筆者らが所属する自然共生研究センターでは、木曾川北派川に設置した3本の実験河川での実験と、河川での現地調査を通して、河川地形や河川空間を構成する環境要素と生物の関係について、知見を蓄積してきた。初期の研究で得られた基本的な知見として、瀬・淵スケールの景観区分における早瀬と淵には魚が多いということが確かめられている¹⁴⁾。また、湾曲した河道と直線的な河道の河床地形を比較すると、直線的に改修された河道では、一般的に平瀬とトロの割合が増加し、早瀬と淵が見られなくなる傾向がある¹⁵⁾。セグメントに対応した典型的な河川地形には、河川地形に対応した瀬淵構造(riffle-pool sequence)が見られる。さらに、河床形態が発達し瀬淵構造が明瞭な河川では、流速、水深の空間分布の幅が広いだけでなく、河床材料の平面的な分級(sorting)^{16,17)}が進み、生息場が底質に依存する魚類、底生無脊椎動物等に多様な微生息場¹⁸⁾を提供している。また、自然共生研究センターにおける、河岸・水際部の生態的機能についての一連の調査研究により、水際部の植生と空隙の環境機能が解明されてきた¹⁴⁾。これらの知見を踏まえ、中小河川の多自然川づくりにおいては、「瀬・淵の保全」、「自然な河岸・水際部の保全」を目標としている。

以下では、これまでに述べた河川地形と生息場の議論を踏まえ、主に中小河川における多自然川づくりに関する調査研究について紹介していく。

3 中小河川の課題と多自然川づくり

3.1 高度成長期の中小河川改修の課題

中小河川の改修が大々的に進められたのは、高度

経済成長も一段落した 1970 年代であった。都市が拡大し、郊外や農村部の開発が進められていく中で、中小河川の洪水に対する安全性を高めるための改修が急速に進められた。

洪水の水位を下げて氾濫を防ぐためには、流下断面を大きくする、河道を直線化して勾配を大きくするといったことが行われる。しかし、川に面した土地の開発が進んだ地域や、元々平坦な土地が少ない山間部では、川幅拡張のための用地を取得することが社会的に困難であり、川幅をそのままに川底を掘り下げたままでは土羽の河岸が崩れるため、河岸を押さえ流水による河岸侵食を防ぐため、主にコンクリートブロックを急勾配に積んだ護岸が整備されてきた。この結果、日本の中小河川の多くは、直線的で、狭くて深い台形断面の画一的な河道に改修されてきた¹⁹⁾。このような河道の洪水時の流れは、幅水深比が小さい台形断面（又は矩形断面）の直線開水路の現象になぞらえることができる。側壁近傍では、Plandtl の第 2 種 2 次流が発達し、潤辺に作用するせん断力分布に影響するとともに、断面内の最大流速点が水面付近から降下する現象(velocity dip)は古くから良く知られている²⁰⁾。狭くて深い台形断面の河道の流れにおけるこれらの現象が、河川地形を形づくる流砂現象に、どのような影響を及ぼしているかについては、明らかになっていない。しかしながら、河道の直線化、自然河岸と比べて平滑な護岸の整備等によって、河道の流水抵抗は減少し、出水時の流速は全体的に上昇している。その結果、河道の湾曲部や勾配変化点などでは、流水の運動量の増加に伴って局所的な河床洗掘により河道災害を被る事例が散見されている。また、人為的な河川断面の設定の結果、出水時に形成される河床形態が変化し、河床変動傾向や日常的な川の姿に影響を与えている可能性が現地調査により明らかになってきている。

3.2 人為的な川幅設定が河道景觀に及ぼす影響

河道改修によって人為的に設定された河道断面形が、改修後の河川地形等に及ぼす影響を検討するため、筆者ら²¹⁾は、異なる地質で流域が構成される岐阜県、三重県の約 100 河川 300 箇所を調査を行った。現地調査により確認した河道の景觀を、河床地形に着目して、①step and pool 又は礫列、②砂州、③不明瞭な砂州、④岩盤、⑤岩盤一部露出、⑥平坦な河床の 6 タイプに分類した。また、河床形態の発生領域との関係を調べるため、各地点で年 1 回程度発生する出水ピーク時の流況を簡易な手法により求め、

河道景觀と水量との関係について検討した。2.2 に示したとおり、河床形態は流水抵抗や流砂量と密接な関係を持つ。そのため、出水時における河床形態の発生領域を簡易に判定する指標として、川幅水深比と Froude 数に着目し、河道景觀タイプごとにプロットした結果を図 3 に示す。

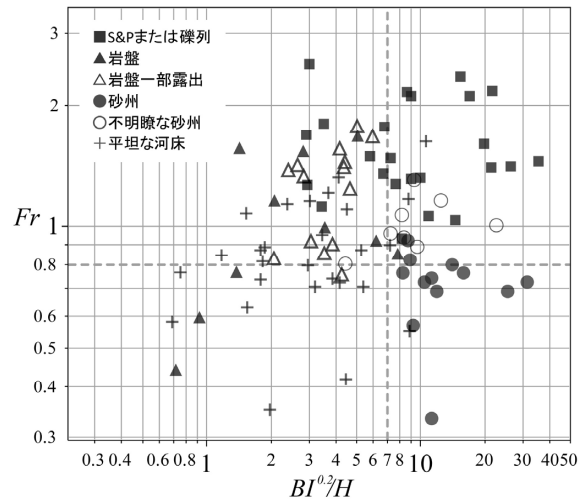


図 3 河道景觀と $B^{0.2}/H$ 、Froude 数との関係

横軸は、右に行くほど水深に対する相対的な川幅が広く確保されている河道であることを示す。黒木・岸⁶⁾は、単列以上の砂州が発生する領域を河床の不安定解析により検討し、川幅 B 、水深 H 、勾配 I として、その発生領域として $B^{0.2}/H > 7$ を提示した。図 3 の縦の点線はこの区分線を示す。縦軸の Froude 数は、大きいほど出水時の流速が大きい河道であることを示す。河床形態の Lower regime と Upper regime との遷移領域は、Froude 数 0.8-1.0 程度^{22,23)}に見出されており、図 3 の横の点線は $Fr=0.8$ を示す。

①step and pool 又は礫列は、Upper regime の領域にのみ見られる。また、②砂州は、Lower regime かつ川幅水深比が大きい領域に見られる。これらの河道景觀を呈する河川は、河道改修後も、セグメントに対応した河川地形が形成・維持されていることが予想でき、望ましい状況といえる。

一方、河川地形が単調な④岩盤、⑤岩盤一部露出と、⑥平坦な河床は、川幅水深比が小さい領域にまとまっている。特に、河床が低下して岩盤が露出した④、⑤は、Froude 数が大きい領域に多くみられる。これらの河川は、河道改修による川幅水深比の減少、流速の上昇等により、出水時に発達する河床形態の領域が Upper regime 寄りに変化し、同一流量に対する土砂の流送能力が増加して河床低下が生じた可能性を指摘できる。また、地形学的に見ると、厚い沖積層を基盤に持つ大河川と比べ、中小河川は河床を構成する土砂の層が薄いことも多く、河床掘削や改

修後の河床低下で岩盤が露出しやすい。岩盤が露出した河床では、掃流砂量が増加する²⁴⁾ため、一度岩盤が露出すると再度土砂に被覆されることは困難である他、岩盤露出部分が拡大して、河川環境に好ましくない不可逆的な影響を及ぼす。⑥平坦な河床の川は、河床に岩盤は露出していないものの、単調な平瀬が連続する環境であり、多様性に乏しい。

このように、河道改修にあたって、セグメントに対応した河床形態を維持しうるだけの川幅を確保することは、改修後の河川管理に治水と環境の両面から大きく関わる。冒頭に紹介した中小河川の技術基準では、過去の画一的な河道改修による出水時の流速の上昇や掃流力の増加に対する反省から、河川断面を拡大する際には「川幅拡幅」を原則としている。とはいえ、川幅の設定や断面形状の設定に関する知見は不十分であり、検討すべき課題であった。本事例は、課題となっていた川幅の設定において、河床形態の発生領域の観点から検討することの有効性を示している。

しかしながら、図3のFroude数が大きい領域では、step and pool等が形成されている①と、④⑤⑥のプロットが混在しており、川幅水深比のみでは、改修後の河道景観の違いを説明できていない。

元来 Froude 数が大きい領域にある山間地河道では、step and poolが河床の縦断形を維持する上で重要な機能を有している。step and poolを階段状水路とみなした際に、ステップ長とステップ高さが、流水抵抗が最大となる比に近づく傾向²⁵⁾が報告されている。また、巨礫が噛合うことによって形成されたstepを破壊するには、step形成時よりもより大きな外力を必要とする²⁶⁾。このような、山間地河道が本来有する河道安定機構を河道改修後にも適切に機能させるための条件を明確にすることは、中小河川の多自然川づくりにおける今後の課題の一つである。

3.3 多自然川づくりに適応した新工法の開発

3.1に述べたように、日本の中小河川は過去の河道改修によって、全体的に狭く深い断面へと改修されてきた。改修済みの河川を改めて川幅拡幅するのは現実的な方策とはいえないため、改修済み河川に不足する生息場を確保しながら、治水面でも機能を有する、或は治水上支障とならない工法の開発を進めている。多自然工法の開発を行う基本プロセスは、まず、生息場の生態的機能を解明し、生息場を機能面で代替する工法を開発するという流れである。自然共生研究センターが開発を進めているいくつかの工法について紹介する。

水際植生の生態的機能のうち、流速低減効果を有する代替工法として、砂鉄川では木杭と水制を導入した²⁷⁾。植生を伴う流れの解析では、植生を円柱群に近似してモデル化する手法²⁸⁾がある。木杭群の設計にあたって、これを応用している。

バーブ工法²⁹⁾は、河岸から上流に向かって急角度で突き出した低い水制状の構造物である。通常の水制と異なり、先端部の局所洗掘が抑制され、根元に掃流砂を堆積させる効果がある。護岸に沿った寄り洲の形成、平水時の滞筋幅の調整など、様々な応用が利く工法である。

瀬淵工³⁰⁾は、従来の床止工に代わる構造物であり、上流側の河床低下を抑制しながら、生物の移動性を確保でき、下流側には淵を形成する工法である。バーブ工と同様、上流側に角度をつけた部位を両側に持ち、強制的に並列螺旋流を発生させて、下流側中央に洗掘孔を形成する。これらの工法は、いずれも水理学の応用によるものである。

4 多自然川づくりの今後の展望

多自然川づくりは、(流体力学に立脚した)土砂水理学、河川生態学、建設システムを含む総合的な技術体系である。本稿の最後に、多自然川づくりの今後の展望に関わる研究動向について紹介する。

近年の数値解析技術の進歩により、幅広い粒径の土砂が混合した条件下の流砂現象の解明が進むことが期待される^{31,32)}。最新の計測技術は、河川における三次元的な流れ場と河床形状、掃流砂量の同時観測を可能にしつつある³³⁾。水理学と河川生態学の学際領域では、河床近傍の微生息場の構造を水理学的観点から解明しようとする試み³⁴⁾、生息場に対する物理的攪乱に焦点をあてた新たな取り組み³⁵⁾が始まっている。自然共生研究センターでは、多自然川づくりの設計を支援するツールの開発に着手した。河川の流れ・河床変動の解析ソフトであるiRIC³⁶⁾を活用し、河川技術者がPC上で河川地形を自在に修正しながら水理計算を行うことができるツールの提供を目指している。

引用文献

- 1) 多自然川づくり研究会：多自然川づくりポイントブックⅢ 中小河川に関する河道計画の技術基準；解説 川の営みを活かした川づくり～河道計画の基本から水際部の設計まで～（日本河川協会, 2011）260p.
- 2) 山本晃一：沖積河川学（山海堂, 1994）470p.
- 3) 水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状小委員会：移

- 動床流れにおける河床形態と粗度, 土木学会論文報告集, 第 210 号 (1973) 65-91.
- 4) ASCE Task Force on Bed Forms in Alluvial Channels of the Committee on Sedimentation: Nomenclature for bed forms in alluvial channels, *J. Hyd. Div.*, Vol. 92(3) (1966) 51-64.
 - 5) 村本嘉雄, 藤田裕一郎: 中規模河床形態の分類と形成条件, 第 22 回水理講演会論文集 (1978) 275-282.
 - 6) 黒木幹男・岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的. 研究, 土木学会論文報告集, vol.342 (1984) 87-96..
 - 7) 長谷川和義: 河川上流域の河道地形, *ながれ*, 24 (2005) 15-26.
 - 8) 竹林洋史: 河川中・下流域の河道地形, *ながれ*, 24 (2005) 27-36.
 - 9) Garcia, M. :*Sedimentation Engineering* (Manual 110), (ASCE, 2010) 77-106.
 - 10) Raudkivi, A. J. : *Loose Boundary Hydraulics*, 3rd ed., (Pergamon Press, 1990) 101-136.
 - 11) Frissell, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E., & Hurley, M. D. : A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, 10(2) (1986) 199-214.
 - 12) 川那部浩哉, 水野信彦, 中村太志: 河川生態学 (講談社, 2013) 13-33.
 - 13) 水野信彦, 御勢久右衛門: 河川の生態学 (築地書館, 1993) 247p.
 - 14) (独) 土木研究所自然共生研究センター活動レポート: https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_02.htm
 - 15) 萱場祐一, 千葉武生, 力山基, 尾澤卓思: 中小河川中流域における魚類生息場所の分布と構造, 河川技術論文集, 第 9 卷 (2003) 421-426.
 - 16) 芦田和男, 江頭進治, 安藤尚美: 階段状河床形の発生機構と形状特性, 京都大学防災研究所年報, 27, B-2 (1984) 341-353.
 - 17) Parker, G., Andrews, E. D.: Sorting of bed load sediment by flow in meander bends, *Water Resources Research*, 21(9) (1985) 1361-1373.
 - 18) Takemon, Y. : Biodiversity management in aquatic eco-systems –dynamic aspect of habitat complexity in stream ecosystems, *Biodiversity, Ecological Perspective* (Springer-Verlag, 1997) 259-275.
 - 19) 原田守啓, 藤田裕一郎: 中小河川の断面形状と河道粗度設定手法の変遷に関する考察, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4 (2012) I_1291-1296.
 - 20) 富永晃宏: 河川流の乱流力学とモデリング, *ながれ*, 29 (2010) 167-176.
 - 21) 大石哲也, 高岡広樹, 原田守啓, 萱場祐一: 中小河川改修時の川幅設定が河道の景観に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.70, No.4 (2014) I_997-I_1002.
 - 22) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, vol.206 (1972) 59-69.
 - 23) 泉典洋, Parker, G. : 平坦床-反砂堆遷移過程の分岐特性, 水工学論文集, 第 53 卷 (2009) 733-738.
 - 24) 田中岳, 泉典洋: 部分的に覆礫した岩盤河床における掃流砂量と流れの抵抗則, 土木学会論文集 B1(水工学), vol.69, no.4 (2013) I_1033-1038.
 - 25) Abrahams, A.D., Gang Li, Atkinson, J.F.: Step-Pool Streams: Adjustment to Maximum Flow Resistance, *Water Resources Research*, Vol.31, 10 (1995) 2593-2602.
 - 26) 藤田正治, 道上正規: 千代川における淵の構造と魚類の生息環境, 水工学論文集, 第 40 卷 (1996) 181-186.
 - 27) 佐川志朗, 萱場祐一, 田代喬, 真田誠至, 根岸淳二郎: 砂鉄川ショートカット区間における水辺域修復工法の導入効果, 河川技術論文集 vol.16 (2010) 179-184.
 - 28) 辻本哲郎: 植生を伴う流れの水理, 水工学に関する夏期研修会講義集, 第 27 卷 (1991) A-5-1-22.
 - 29) 原田守啓, 高岡広樹, 大石哲也, 萱場祐一, 藤田裕一郎: 設置角度の異なる越流型上向き水制の河床変動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4 (2013) I_1189-1194.
 - 30) 原田守啓, 高岡広樹, 大石哲也, 萱場祐一: 新しい河道安定工法の実用化に向けた調査研究の取り組み, 河川技術論文集, vol.19 (2013) 87-92.
 - 31) 福田朝生, 福岡捷二, 内田龍彦: 水流による石礫粒子群の移動機構とそのモデル化, 水工学論文集, 第 56 卷 (2012) I_937-942.
 - 32) 内田龍彦, 福岡捷二, Papanicolau, A. N. : 河川の局所流解析における非平衡粗面抵抗則の導出とその必要性・適用性, 河川技術論文集, 第 20 卷 (2014) 217-222.
 - 33) 岡田将治, 和泉征良, 竹内慈永, 萬矢敦啓, 橋田隆史: ADCP と RTK-GPS の実測データに基づく掃流砂量推定手法の考察, 土木学会論文集 B1(水工学), vol.70, No.4 (2014) I_631-636.
 - 34) 原田守啓, 小野田幸生, 萱場祐一: 粗粒化した石礫河床への土砂供給が遊泳性魚類の空間利用に及ぼす影響に関する一考察, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.70, No.4 (2014) I_1339-1344.
 - 35) 田中規夫, 古里栄一: 河川事業に資する生態水理学の現状と課題～適切な物理的攪乱状態の管理に向けて～, 河川技術論文集, vol.20 (2014) 145-150.
 - 36) iRIC Project HP : <http://i-ric.org/ja/index.html>