

9.3 流域からの流出土砂に着目した河川維持管理の軽減技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境研究グループ（自然共生）

研究担当者：萱場祐一、大石哲也

高岡広樹（専）

【要旨】

本研究では、新規に河道計画を立案する際の一助とするため、中小河川の現状を調査した後、河道特性や流域からの流出土砂の違いなどから河床地形や生物生息場に及ぼす影響を検討し、河道改修後に環境や維持管理が軽減化するため手立てを提案することを目的とする。本報告では、改修後の幅水深比と Fr の関係から河道景観の推定を行うことで、河川地形の変化を介した瀬・淵の有無や維持管理時における問題点を明らかとし、その対策について検討した。また、河道計画時段階での環境や維持管理の軽減化に向けて、魚類の生息場、植物の生育可否が数量的に評価可能なツールを開発・提案した。

キーワード：中小河川、河川維持管理、河道計画、環境計画

1. はじめに

日本の河川延長は一級、二級河川をあわせて約 120,000km で、この半数以上（約 77,000km）の河川延長が、都道府県が管理する河川（以下、「中小河川」という）である。中小河川では、河川改修や災害復旧事業の際に、河川断面を単断面とし、河床を堀下げ兩岸を立ち護岸とする改修が多く行われてきた¹⁾。しかし、改修後に生じた出水によって極度に河床洗掘が生じる例も見られるなど、補修に要する維持管理が不可欠となる川づくりとなっているとの報告がなされるようになった²⁾。中小河川の改修事業に関する現状を鑑み、平成 22 年には「中小河川に関する河道計画の技術基準」³⁾が改訂され、川幅幅幅によって流下能力を確保し、河床にかかる掃流力をあげない改修が基本方針の 1 つとなった。

また、河川は治水のためだけにあるものではなく、そもそも生物の生息場として貴重な空間である。対象とする生物によっても異なるが、例えば、水生生物にとって瀬・淵の有無が生息にとって重要な構成要素であるとされている^{例えば 4)}。瀬・淵の形成は、出水時の流水と流砂の相互作用によって成り立ち、さらに、川幅も形成要因に関係する要素とされている。

治水・環境・維持管理で、以上のような諸問題が生じている背景には、計画流量の目標達成のため、流下能力の確保に必要な河道の幅幅や掘削など、主として量的に検討可能な項目が重視され、環境や維持管理への配慮が後付けになりがちであったがあげられる。

そこで、本研究では、新規に河道計画を立案する際のの一助とするため、中小河川の現状を調査した後、河道特性や流域からの流出土砂の違いなどから河床地形や生物生息場に及ぼす影響を検討し、河道改修後に環境や維持管理が軽減化するため手立てを提案することを目的とした。

本報告のとりまとめにあたって、第 1 章では、中小河川における現状の問題点と研究の方向性について示した。第 2 章では河川改修後の河道特性量と河道の景観との関係について検討を行った。ここでは、改修時の人為的な川幅設定は、出水時の河道地形の変化を介し、平常時に利用可能な生物生息場に影響することを示すと共に、土砂供給量の多寡や流域の地質構造が河道景観に影響している可能性があることを示した。第 3 章では、第 2 章で示したような河道変化に対して、河川環境にどのような影響を及ぼすかを評価する方法やツール開発を行った。ここでは、河川地形の変化によって生ずる水域生物の物理場の変化を評価項目として取り上げ、とくに流速や水深の変化に対する魚類の応答や自然共生研究センターの実験河川を利用した植物の繁茂条件に係る実験を行い、生息場所の環境条件を簡易に評価できる指標化とツールを提案した。第 4 章では、本成果をもとに治水、環境、維持管理を統合した河道計画への適用へ向けての手立てをとりまとめた。

2. 河川改修後の河道特性量と河道の景観との関係

2.1 概要

河川改修後にどのように地形が変化し、それが河川性生物の生息環境やその後の維持管理にどのような影響を及ぼすかについては、十分な調査や報告がされていない。一般的に、上流からの流量や土砂供給量が一定であれば、川幅の変化によって流速・水深や土砂移動量もコントロールされる。すなわち、人的な設定可能な川幅に対して、流速や土砂移動量が従属的な動きをする。したがって、川幅の設定によっては、治水および環境にとって適度な変化を見出せ、実行できる可能性が高い。しかしながら、これまでのところ、川幅をどの程度広げれば良いのか、また、全ての川に川幅幅幅が有効であるのかについて、十分な議論が成されているとは言えない。

そこで、改修後の中小河川を対象に現地調査を行うとともに、川幅や流量などの河道特性量と河道の景観との関係を分析し、川幅設定が河道の景観に与える影響について検討を行った。

2.2 現地調査

ここでは、花崗岩を有する三重県、堆積岩や火成岩を有する岐阜県内を流下する中小河川を対象とした。まず、両県下約 100 河川 300 箇所、1 河川において典型的な河道断面を呈している 2~5 箇所において、川幅 (b) と代表粒径 (d) について調査を行った。川幅は、単断面の場合、両河岸あるいは両護岸の間の底面幅とし、複断面の場合、低水路幅とした (図 2.5 参照)。代表粒径は、効率性を加味し、河床の表面に 1m の区画を設定し、このうち最も平均的な材料の中径サイズとした。また、河床材料の特定が困難な岩盤河床では、河床勾配が変化しない前後区間で、同様な手法をもとに代表粒径を決定した。

2.2.1 データ分析に利用する対象箇所の選定

現地調査で取得したデータをもとに、データ分析に利用する対象箇所を選定した。まず、対象箇所を選定においては、技術基準³⁾に従って、「流域面積が 200km² 以下」で、土砂移動に伴い河床形態の変化が生じると予想される「河床勾配が 1/1, 200 以上」とした。以下に、対象箇所を選定にあたって、流域面積、河床勾配の具体的な算出方法を示す。

まず、国土地理院発行の基盤地図情報数値標高モデルの 5m メッシュ (未整備地域は 10m メッシュ) データを利用し、ArcGIS (9.3) のツールである ArcHydro より、全調査箇所の流域界を求め、流域面積 A を計算した。次に、河川に沿って 50m 間隔で標高値を抽出し、縦断面を作成し、調査箇所の縦断面勾配 I を求めた。

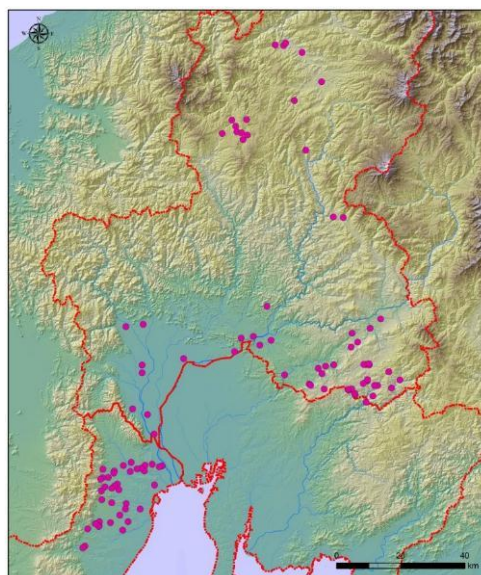


図 2.1 対象箇所 (岐阜県および三重県)

ここで、1 河川における同質データの重複を避けるため、「セグメントが異なる」、「代表粒径 (d) が 1 オーダー以上離れている」場合にのみ、1 河川で 2 箇所以上のデータを利用することとした。

以上の検討から、最終的に 74 河川 95 箇所のデータを選定した (図 2.1)。

2.2.2 流量と水深の算出

以上までに、対象箇所の川幅、河床勾配、流域面積といった河道特性量が求められた。河川地形を形成する要素としては、土砂量を除くと、この他に少なくとも流量、水深が必要となる。そこで、対象箇所の流量と水深を、下記の方法によって求めた。流量については、前述を踏まえ、簡便な合理式を利用することとした。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f r_p A \quad (1)$$

ここに、 Q_p : p 年確率ピーク流量 (m³/s)、 f : 流出係数、 r_p : p 年確率時間雨量 (mm/h)、 A : 流域面積 (km²) である。なお、流出係数は、土地利用種別ごとの値を用いて流域の土地利用別面積割合より算出した。また、合理式の確率時間雨量は、確率降雨強度式としてフェア式⁵⁾から求めた。フェア式の定義を下記に示す。

$$r_t^p = \frac{b p^m}{(t+a)^n} \quad (2)$$

ここに、 r_t^p : 確率 p の t 継続時間確率降雨量 (mm/h)、 p : 確率年 (年)、 t : 継続時間 (h)、 a , b , m , n : フェア式パラメータである。フェア式の継続時間は、土研式⁵⁾により求めた。

$$t = 1.67 \times 10^{-3} (L/\sqrt{S})^{0.7} \quad (3)$$

ここに、 L : 流域最遠点から調査箇所までの流路長(m)、 S : 平均流路勾配である。

次に、水深(H)は等流水深により求めた。

$$H = \left(\frac{nQ_p}{B\sqrt{I}} \right)^{3/5} \quad (4)$$

ここに、 n : 粗度係数であり、粗度係数については、河川砂防技術基準(案) 計画編を参考に、岩河床や低平地で0.030とし、それ以外は0.035と設定した。

以下では、設定流量を1年確率の1時間降雨継続時間として与え、流量 Q でデータ分析を行った結果について検討を進める。

2.3 データ分析の結果と考察

2.3.1 流量と川幅の関係

図2.2に流量 Q と川幅 B との関係を示す。また、日本の沖積河川で分析された2、3年確率流量規模にあたる平均年最大流量時(Q_m)との関係⁶⁾について勾配別にプロットした。さらに、川幅が流量の0.5乗に比例する⁷⁾とされるレジーム則についても参考までに示した。

山本⁷⁾がすでに指摘しているように、沖積河川と同様に中小河川においても同一の流量に対する川幅のプロットにばらつきが生じていた。また、本研究で設定した確率流量は、レジーム則で示される線よりも下に位置しており、中小河川は沖積河川に比べると、流量に対する川幅が小さいと推察される。

また、図2.2の $B-Q$ で示されるレジーム則は、 Q が大きいく所て I が小さく、河床材料も小さくなり、河川縦断方向の特性値の変化を含んだ図となっていることが山本⁷⁾に指摘されている。そこで、流量と河床勾配の積を横軸に設定したものを図2.3に示す。図2.2と同様に沖積河川と比較し、同じ流量に対しての川幅が小さいことが示唆される。

$B-Q$ あるいは $B-QI$ の関係から、中小河川の川幅が沖積地の河川に比べて小さい傾向にあることが示された。しかしながら、図2.2や図2.3を用いて、想定される流量に対する川幅を推定するには、少し粗い指標とも考えられる。具体的には、川幅の設計を考える際に、ある1つの流量を仮定したとしても、図中で得られる川幅に1オーダー以上の開きが生じている。したがって、この指標だけでは、実務へ反映することが難しいと考えられる。

2.3.2 幅水深比と河道の景観との関係

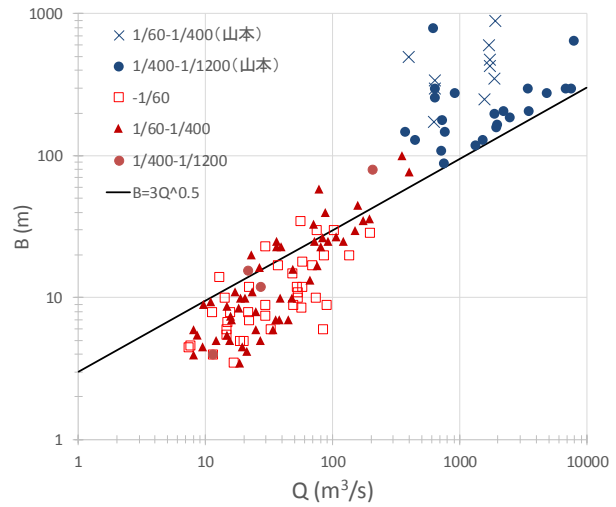


図2.2 川幅 B と流量 Q_1 、 Q_m との関係

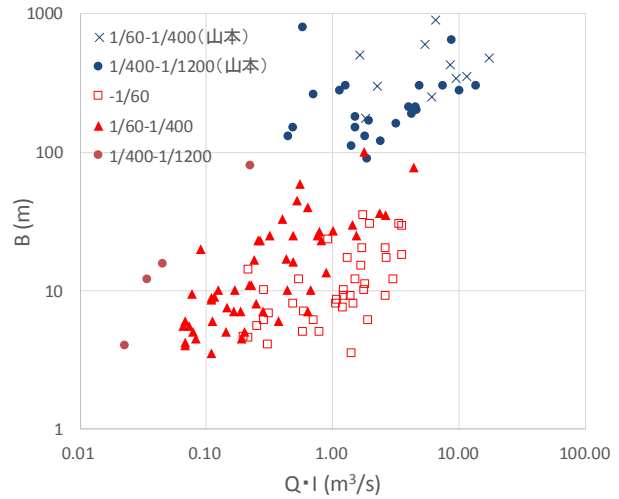


図2.3 川幅 B と Q_1I 、 Q_mI との関係

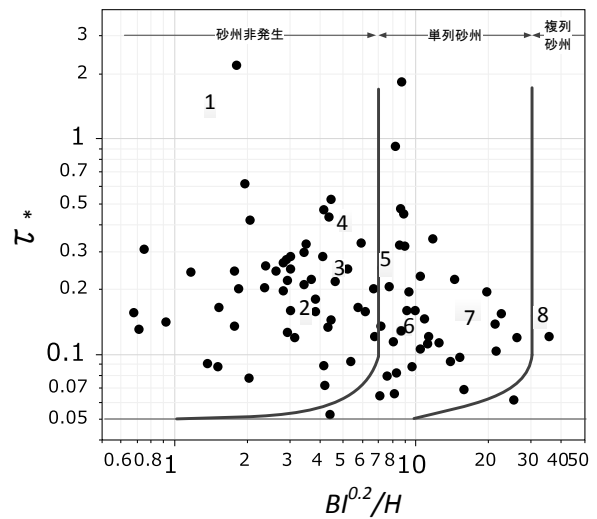


図2.4 砂州発生領域区分との関係
(数字は、図2.5の写真No. と対応している)



図 2.5 $B^{0.2}/H$ と河道景観との関係 (写真中の両矢印は設定した川幅を示す)

幅水深比は、交互砂州の発生・非発生など、河床形態を判断する1つの指標として用いられることが多い。また、出水により形成される交互砂州は、平水時などの流量で生じる瀬・淵といった形態的イメージとの関係も深い⁸⁾。すなわち、川幅の変化は、洪水時の土砂輸送の結果によって形成される河床形態に影響し、さらに平水時の流量でみられる河道の景観（以下、河道景観という）へとその影響が波及すると考えられる。

図 2.4 は、黒木・岸⁹⁾の中規模河床形態の領域区分をもとに、 $B^{0.2}/H$ と無次元掃流力との関係についてデータをプロットしたものである。同図は、黒木・岸にならって、実用的な見地から区分線を B/H の代わりに勾配を含めて $B^{0.2}/H$ とした。なお、 $B^{0.2}/H$ と B/H には、ほぼ線形の関係 ($r^2=0.93$) がみられ、例えば $B^{0.2}/H$ が 7 のとき B/H は約 15 となる。また、 $\tau_* > 0.1$ では簡略化して、 $B^{0.2}/H < 7$ は砂州非発生領域、 $7 < B^{0.2}/H < 30$ は単列砂州発生領域、 $B^{0.2}/H > 30$ は複列砂州領域とした。さらに、図 2.5 に、調査河川のうち代表的な河川での $B^{0.2}/H$ と河道景観を示した。なお、図 2.4 の 1-8 の数字と図 2.5 の写真 No. は、それぞれ対応する関係にある。

図 2.4 の中で 1~4 は $B^{0.2}/H$ が 7 未満であり、砂州非発生領域に位置している。これらの河川の河道景観を見ると、殿川や妻木川では、岩盤化が進行し、河床に土砂や植物が占める面積が小さく、瀬・淵も見られなかった。さらに、河床低下が顕著であり、護岸の根継ぎが見られるのも特徴的であった。この他には、大平川のように河床の一部で岩盤化が進行している川や、千旦林川のように明瞭な瀬・淵の形成は見られないものの、河床に土砂や植物が比較的多い河川も多く見られた。

一方、5~8 の砂州発生領域区分に位置する河川では、辛沢川や藤川のような河床に交互砂州の発達や瀬・淵が見られる河川が多くなった。また、 $B^{0.2}/H$ が大きくなるにつれて、三滝川のように複列砂州の発達し、瀬・淵もみられ、徐々に河床に木本が見られる川も多くなった。

以上より、 $B^{0.2}/H$ は、黒木・岸による中規模河床波の発生・非発生区分との関係性が高いことや、平水時でみられる瀬・淵などの生物生息場の基盤となる地形形成の条件と関係性が高いことが示唆される。

しかしながら、砂州発生、非発生の区分だけでは、例えば、砂州発生領域にある朝明川でみられる礫段 (S&P) や礫列¹⁰⁾などの河川上流域で見られるような河床形態が生ずる理由を十分に説明できない。また、砂州非発生領域においても、河床低下に伴い岩盤化が進行する河川と進行しない河川との境界条件が不明確である。

2.4 データ分析の結果と考察

2.4.1 河道特性による領域区分と河道景観との関係

図 2.6 の傾向から、河道景観に違いが生じる理由について検討する。ここでは、図 2.6 を境界値から 4 つの領域に区分し、河道景観との対応について考察する。横軸の $B^{0.2}/H$ は、7 を境界値として砂州発生領域が区分される。縦軸の F_s は、反砂堆などの小規模河床形態の区分としても利用されているパラメータである。この河床形態区分の境界値は、 $F_s \geq 0.8$ のときに Upper regime、 $F_s < 0.8$ のときに Lower regime とする 1 つの目安が示されている¹³⁾。そこで、ここでは縦軸の境界値を 0.8 とした。領域区分の概念図を図 2.7 に示す。

まず、 $B^{0.2}/H < 7$ の領域のうち、 $F_s < 0.8$ の I の領域では、

河道景観として、「砂州」が多く見られる。例えば、山本⁷⁾の沖積河川の研究からも F_r に換算すると 1 を越えるような領域での交互（複列）砂州の発達には示されていない。このため、中流域に見られる交互（複列）砂州からなる砂州の河道景観が多く占めていると理解される。

$F_r > 0.8$ のⅡの領域では、「S&P および礫列」が多くを占めている。長谷川¹⁰⁾によると、河川上流域でも流量の規模に応じて交互砂州が発生することや、交互砂州の上に S&P が形成されると言われている。また、 F_r が 0.84 を越えると粒径に関係なく反砂堆を生じる¹⁴⁾ことも示されている。これらのことから、Ⅱの領域は、河道景観からすると「S&P および礫列」が多くなると考えられる。

一方、 $BI^{0.2}/H < 7$ になると、 $BI^{0.2}/H > 7$ での分布が少ない「平坦な河床」、「岩盤」、「岩盤一部露出」の河道景観が多くを占める。「平坦な河床」は、ⅢとⅣの領域でほぼ同数プロットされているが、「岩盤」、「岩盤一部露出」は、ⅣよりもⅢの領域の方が多く、 F_r の大きい領域まで広範囲に分布している。Ⅲの領域に岩盤河床が多い 1 つの理由として、Ⅲの領域に存在する河川は、 $F_r > 0.8$ であり、Upper regime にあることが影響していると考えられる。すなわち、出水時において、反砂堆や平坦河床などが生じていれば、河床波の形状抵抗が低下し、河床に直接作用する有効な掃流力が増加する。このため、掃流砂量は、河床波の形状抵抗が作用する砂堆、砂漣と比べて増加する。結果として、Ⅲの領域の流砂量は、Ⅳの領域に比べて大きくなるものと考えられる。また、実際の河川では、出水による履歴効果が大きく効いており、とくにⅢの領域は、常に土砂輸送量が多くなりがちである。つまり、 $F_r > 0.8$ の領域で、岩盤化や岩盤一部露出が他領域よりも多く存在している理由の 1 つとしては、流砂量の増加が影響していると考えられる。

Ⅳの領域は、条件によっては反砂堆領域が生ずる可能性もある¹⁵⁾が、砂漣や砂堆が生じる Lower regime 領域に属すると考えられ、先の現象とは逆に流砂量が小さくなり、土砂が留まっているのではないかと推察される。

さらに、Ⅰ-Ⅳに示す各々の境界線付近では、様々な河道景観が混在しており、交点付近では全ての河道景観が密接している。このように、各領域の境界線付近で河道景観の重複が見られるのは、逆説的ではあるが、実際の河道景観の領域区分に説明可能な条件をうまく示せているのではないかと考えられる。

2.4.2 境界条件の違いによる影響

上記では、 F_r の条件から河床形態が変化し、それが流入している土砂の多寡に影響しているという 1 つの可能性

表 2.1 河道景観の区分とその定義

河道景観	定義	写真No. (図-5参照)
S&Pまたは礫列	河川の流路方向に直角に段落ち (Step) と淵 (pool) がみられるか、流路軸に直行する礫の連なりで、段落ち部に浅い淵をもつ状態	7
砂州	交互 (複列) 砂州の前縁線が明瞭で、瀬・淵の発達のある状態	6,8
不明瞭な砂州	交互 (複列) 砂州の前縁線が不明瞭で、これに伴い瀬・淵の発達が少ない状態	5
岩盤	河床全面に亘って岩盤が露出している状態	1,4
岩盤一部露出	河床の一部に岩盤が露出している状態	3
平坦な河床	主に片岸にみお筋が固定され、河床の土砂が平坦に堆積し、瀬淵が不明瞭である状態	2

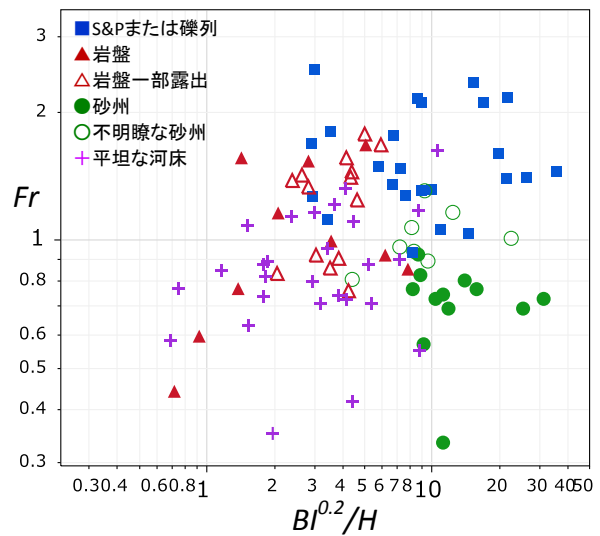


図 2.6 $BI^{0.2}/H$ とフルード数との関係

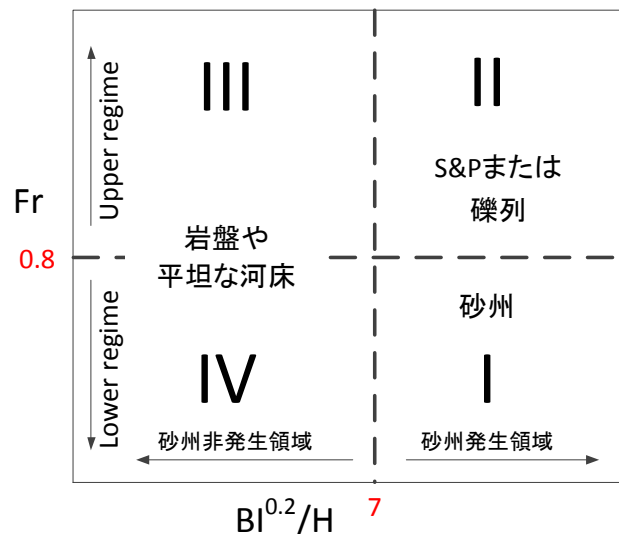


図 2.7 領域区分と河道景観との対応 (概念図)

を示した。しかし、実際には、流域からの土砂供給量の違いによる影響だけでなく、もともとその川が持っている地形・地質にも依存していると考えられる。とくに、「岩盤」が露出している川は、扇状地を流れる大河川では少なく、中小河川で特徴的にみられる景観の1つであり、近年問題視されている¹⁶⁾。山間地から扇状地の大河川へ流入する中小河川では、砂礫の層厚が大河川と比較し薄い場合が多いことや、改修後の流量に対する土砂供給量が不足しがちなことに加え、改修により河床を掘り下げることによる影響も考えられる。このような境界条件の違いが、図2.6、7の河道景観のバラツキに表れているとも考えられる。

2.4.3 改修時の川幅設定の考え方

本研究で得られた結果は、実務に利用する観点からみると、今後の中小河川における川幅設定を考える際の1つの判断材料として利用できるのではないかと考えられる。川幅という非常に基本的な情報があれば、既存に取得されている広域データや水理公式から、改修後の河道景観の変化を予想が可能となる。例えば、河道の安定性や生物生息場の構成要素である瀬・淵構造の形成に配慮するのであれば、川幅の設定に際し扇状地ではⅠ領域区分、山間地ではⅡの領域区分となるように川幅を設定するのが1つの目安になると考えられる。また、Ⅲの領域にあり、改修箇所の河床面から基岩までの土砂量が少なく F_r が大きい場合は、基岩が河床に露出する可能性が高くなると予想される。この際、基岩が現れ、河道の安定性が損なわれる場合は、あらかじめ河床低下対策をとったり、より川幅を広げたり、流量を減少させるような対策も考えられる。さらにⅣの領域で、基岩が露出する影響がないようであれば、生物生息場の確保に重点をおき、可能な限り瀬淵が期待できるような工夫^{例えば、17)}も設計段階から配慮することも可能となると考えている。

2.5 改修時の川幅設定が河道景観に与える影響

ここでは、中小河川を対象に行った95箇所の調査データをもとに、河道特性の分析を通し、川幅設定が河道景観に与える影響について検討を行った。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・分析した1つの結果として、黒木らの研究で得られた砂州発生領域区分との対応関係が良いことが分かった。
- ・フルード数 (F_r) $- B^{1/2}/H$ と河道景観との間に関係性が見られ、土砂供給量の多寡や流域の地質構造が河道景観に影響している可能性があることを示した。
- ・人為的に設定された川幅と水深の比 (B/H) が河床形態や河道景観の形成に影響を与えていると考えられる。

今後の課題として、本データの信頼性を高めるためにも、改修後に生じた現象を詳細に分析する必要がある。また、この他、1河川の土砂供給量の違いが河床形態や河道景観に及ぼす影響について、検討を進めて行く必要があると考えている。

3. 河道変化に伴う河川環境への影響評価

3.1 概要

第2章で示したような川幅変化は、出水時の河床地形の形成に関わることや、その河床地形が平常時の生物生息場に与える影響について示した。しかしながら、河川性生物の生息場の影響などを具体的に評価する方法が少なく、また河道計画時に迅速に評価可能なツールもない。そこで、河川地形の変化によって生ずる生物物理場の変化を数量的に評価可能な項目を検討し、とくに流速や水深の変化に対する魚類の応答や自然共生研究センターの実験河川を利用した植物の繁茂条件に係る実験を行い、生息場所の環境条件を簡易に評価できる指標化とツールを提案した。

また、実務的な観点から、提案したツールを河道計画・設計に適用するための手立てを述べると共に、河道断面形の違いが生物生息場と維持管理の軽減に及ぼす影響についてモデルを用いた比較を行った。

3.3 評価ツールの概要

3.3.1 評価ツールの要点

筆者らの目標は、河道計画と設計を一体化し、現況河道地形を基礎としながら目標流量を流下させ、かつ、生物の生息環境や維持管理に配慮した河道形状を短時間で同時に設定できるツールとシステムを構築することにある(図3.1)。本報告では、とくに環境と維持管理を数量的に評価可能となるツールの開発と提案についてとりまとめる。

ツールの開発には、流況計算が可能な iRIC(ver.2.3)の機能を利用している。iRICはGUI機能により、プリ処理では直観的な操作によって地形を編集でき、ポスト処理では結果を視覚化できるという特徴を持つ。また、流れの計算では、複数のソルバの中から検討したい水理現象に対応するソルバを扱うことが可能である。流れの計算で得られた結果は、流下能力や水位のチェックなど治水面からの評価ツールとして利用可能である。

開発したツールは、生物生息環境の評価に関するソルバにあたり、主に平常時の流量に対して、流れの計算で得られる水深や流速といった物理指標を用いて、生物生息環境のチェックを行うシステムである。具体的には、流れの計

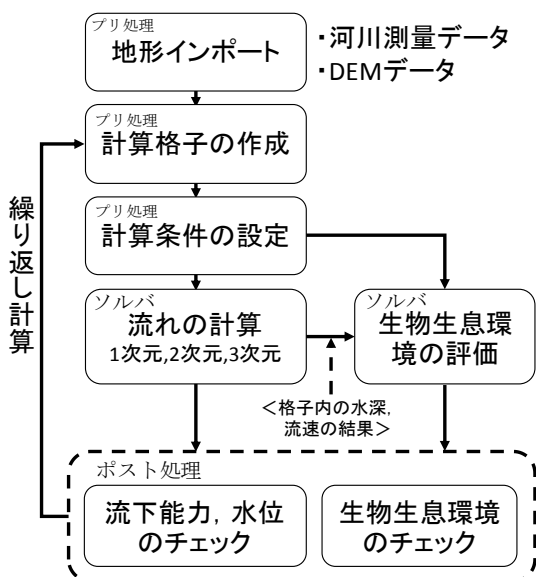


図 3.1 評価ツールの概略

算（ソルバーのモデル）で得られた時間、断面（各格子のノード）ごとのデータ（cgns ファイル形式）を入力データとして与え、別途用意した評価関数を利用して評価される。また、算定された結果は、iRIC に搭載される GUI 機能によって可視化でき、視覚的に評価のチェックが可能である。つまり、生息場の評価が著しく悪い箇所を視覚的に捉えることが可能で、どの場所の縦横断面形状を変更すべきかの検討が容易となる。

3.4 評価ソルバの作成

3.4.1 魚類生息場の評価ソルバ

魚類生息場の評価ソルバは、流速や水深などを基に生息場の評価（Suitable Index：SI 値）を扱った文献¹⁸⁻³⁸⁾から淡水魚類 15 種について、成長段階別（産卵、仔稚魚、成魚）、季節別に整理したものである。ここで、SI 値とは魚類が生息する場所として好む、水深、流速、河床材料、隠れ場（カバー）などについて、現地での実測データを取得し、生息場としての適性を 0 から 1 で評価した値である。表 3.1 に各魚種の整理結果と図 3.2、3.3 に水深、流速別の SI モデルの例を示す。

3.4.2 植物生育可否の判定ソルバ

植物生育可否の判定ソルバは、河道内植物の過剰な繁茂を判断できるものである。具体的には、陸生植物が水中に侵入し易くなる条件を定義して判定が行われる。実際に、中小河川の現状を鑑みると、川幅の狭すぎる断面は河道の安定を損なっている一方で、広すぎる断面は平常時の水深や流速が小さくなることで、草本や木本植物の生育が著しいという問題がある³⁹⁾。自然共生研究センター内にある実験河川で行った検討では、水深を約 25cm に設定した断面

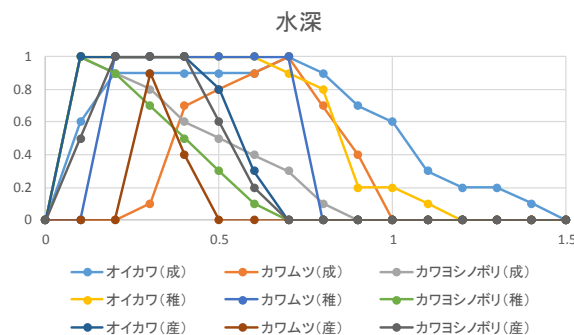


図 3.2 水深に対する生息場適性指数 (例)

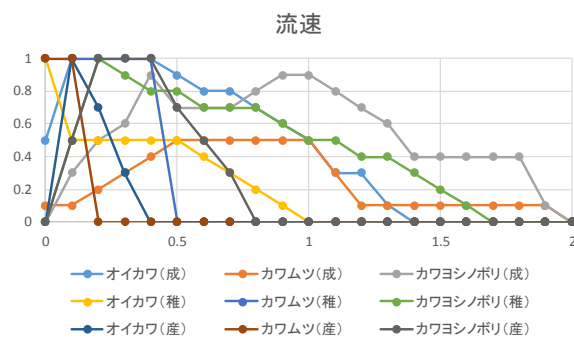


図 3.3 水深に対する生息場適性指数 (例)

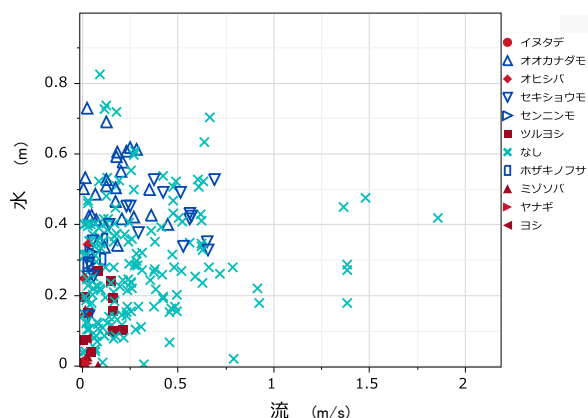


図 3.4 物理環境を指標とした植物の生育可否

において、整備から 2 年経過すると、水域の半分が陸生草本に覆われたが、水深を約 35cm に設定した断面では、陸生草本の生育が数%まで抑えられていた³⁹⁾。また、岐阜県内の 9 河川 (250 地点) の状況を調査したところ、確認された陸生植物 (イヌタデ、オヒシバ、ツルヨシ、ミゾソバ、ヤナギ、ヨシ) の全てが、水深が 40cm 以上の箇所での生育が制限されており、実験河川での結果をほぼ支持していた (図 3.4)。

この他に、引き続き検討が必要であるが、流速が早くなるほど、深い水深での生育が確認できなくなる傾向も見られる。以上の検討から、評価ソルバでは、水深別の評価値の他に水深-流速の関係から近似曲線をもとに評価でき

表3.1 SI データ一覧

		(水深, 流速)														
成長段階	季節	ウグイ	オイカワ	カワヨシノボリ	アユ	アマゴ	カワムツ	ニゴイ	アメドジョウ	ヨシノボリ	アブラハヤ	タモロコ	ギンナ	カマツカ	カジカ	サケ
成魚	秋	○.○	○.○	○.○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	夏	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○
	不特定	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○	○.○
仔稚魚	秋	-	○.○	○.○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	夏	○.○	-	○.○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	不特定	○.○	○.○	○.○	-	-	○.○	-	-	○.○	○.○	○	-	-	○.○	○.○
産卵	秋	-	-	-	○.○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	不特定	○.○	○.○	○.○	-	-	○.○	-	-	○.○	-	-	-	-	○.○	-

る方法を2つの方法を採用している。

3.5 河道モデルを用いた検討

3.4.1 河道モデルおよび検討諸元

河道モデルを用いて、作成した評価ソルバから生物の生息環境がどのように変化するかについて検討を行った。ここでは、岐阜県の小里川(恵那市山岡町付近の6.8km-7.3kmの区間、河床勾配：約1/250)を対象にした河道モデルを用いた(図3.5)。本モデルは、従前に筆者らが航空写真からDEM化したモデルを元に作成した⁴⁾。

検討した河道モデルは、現況モデルの他に、現況モデルの川幅(約20m)に対して、川幅を2倍に広げたモデル(拡幅(2B))と川幅を半分にしたモデル(減幅(1/2B))とした。想定した流量は、小里川での平常時流量を元に3m³/sとした。ここでは、単純な比較検討をしたいため、いずれのモデルも河床の著しい凹凸を少なくし滑らかな断面にすると共に、平常時の流況では河床の変化も少ないので固定床とした。なお、実際の川幅拡幅時には、平常時の流量を対象とした環境や維持管理に配慮した河道断面の検討が求められている。

3.4.2 対象魚類の選定および評価の方法



図3.5 解析対象河川の概況

(1) 魚類生息場に関する評価

計算結果は、図3.6で示されるように、格子内の流速や水深の結果に対して評価された値がカラーコンターで図示される。これにより、視覚的に評価結果を比較検討することが可能である。ここでは本データをもとに格子の評価値と格子の面積とを掛け合わせた重み付きの生息場面積を算出した例を図3.7、3.8に示した。

まず、水深での結果をみると、オイカワ、カワヨシノボリについては、川幅が2倍になると生息適地も2倍になるなど、成長段階に係わらず川幅変化に比例して、生息適地

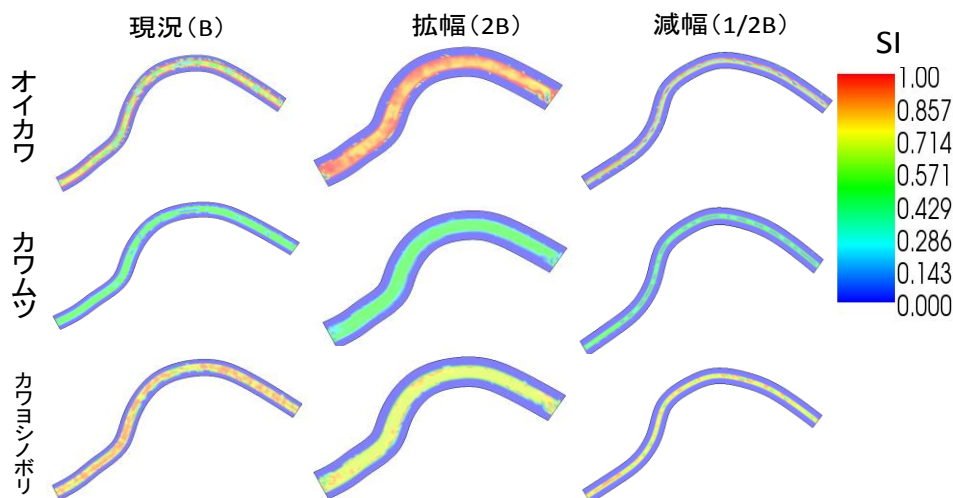


図3.6 流速による評価結果例(成魚)

が増加していた。一方、カワムツについては、川幅が2倍になると水深が浅くなるため、成魚の生息適地が減少していた。次に、流速での結果をみると、例えばオイカワについては、どのモデルでも成魚、仔稚魚、産卵期の順に生息適地が減少していた。

最後に、水深、流速での評価結果から、いずれの河道モデルもオイカワと比較してカワムツの生息適地が小さいことが分かる。これまでの研究から、オイカワとカワムツの両方生息する河川では、オイカワが流れの速い「瀬」に出てくるのに対し、カワムツは流れのゆるい川底部分「淵」に追いやられること⁴²⁾、また、カワムツは淵を好みやすい魚であることが知られている⁴³⁾。つまり、今回扱った河道モデルは、横断方向の河床の凹凸が少なかったことが、カワムツの適地を小さくさせていたものと考えられる。

(2) 植物生育可否に関する評価

図 3.9 に植物生育可否の判定ソルバにより得られた結果を整理した。植物の生育可否は、4つの段階で評価されており、水深が40cm以上あれば、時間が経過しても水中への植物の進入の可能性が低く、30-40cm、30-20cm、20-0cmと水深が小さくなるにつれて、植物の生育可能性が高くなることを示している。結果から現況モデルでは、約60%が陸生の植物に覆われる可能性があることが分かる。一方で、減幅(1/2B)モデルでは、植物に覆われる危険性が約30%弱まで減少し、拡幅(2B)になると、河道のほとんどが植物によって覆われてしまう可能性が高い。

3.4.3 環境に配慮した断面形状の工夫

川幅を変更した3つの河道モデルによって、魚類の生息場、植物の生育可否の判定結果が変わる例を示した。ここでの検討から、川幅を拡げる効果は、洪水時の流下能力向上だけでなく、生物の生息空間を拡大できる可能性があることを予測することができた(図3.7、3.8)。しかし、単純な拡幅は、平常時の水深が浅くなることで植物の生育場所を増やし(図3.9)、植物の管理コストが増大する可能性があることも同時に分かった。これからの河道計画・設計では、目標流量に対する流下能力を確保するだけでなく、これと同時に、平常時において生物の生息場を確保すること、河道内における植物の過剰な繁茂を避け、維持管理コストの低減を図る工夫が必要であることがモデルでの検討からも理解できる。

4. 治水、環境、維持管理を統合した対策技術

本研究では、新規に河道計画を立案する際の一助とするため、中小河川の現状を調査した後、河道特性や流域から

の流出土砂の違いなどから河床地形や生物生息場に及ぼす影響を検討し、河道改修後に環境や維持管理が軽減化するため手立てを提案することを目的とし検討を行った。

この結果として、幅水深比とFrの関係から、河道景觀の推定を行うことで、河川地形の変化を返した瀬・淵の有無や維持管理時における問題点について明らかにした。この指標は、現場で川幅を決定する際の目安として活用可能と考えている。また、河道モデルを用いた検討では、魚類の生息場、植物の生育可否の判定により、川幅を拡げる効果は、洪水時の流下能力向上だけでなく、生物の生息空間を拡大できる可能性があることを示した(図3.7、3.8)。ただし、単純な拡幅は、平常時の水深が浅くなることで植物の生育場所を増やし(図3.9)、植物の管理コストが増大する可能性があることが示唆された。

以上を踏まえて、これからの河道計画・設計では、目標流量に対する流下能力を確保するだけでなく、これと同時に、平常時において生物の生息場を確保すること、河道内における植物の過剰な繁茂を避け、維持管理コストの低減を図る工夫が必要であることがモデルでの検討からも理解できる。

第4章では、本成果をもとに治水、環境、維持管理を統合した河道計画への適用へ向けての手立てを考えてみたい。通常の河川整備計画では、まず、目標流量とそれを計画高水位以下で流下させるための河道断面形状の概略、環境の配慮事項、維持管理の考え方などが整理されている。次に、事業実施段階において、簡易な河川測量を行ったうえで目標流量に対する一次元の不等流計算結果などに基づき平面・縦横断断面形状の設定といった河道計画を行う。河道設計の段階では、河道計画を元に、詳細な河川測量により流下能力をチェックしたうえで、護岸の構造計算、土工の数量等が求められる。以上が河道計画・設計の一般的な検討手順となっている(図4.1)。この手順の中で、整備計画および河道計画で設定された横断形状は、台形断面(定規断面)、一定勾配であることが多いが、この形状が河道設計時にそのまま流用され、河道の平面・縦横断断面形状を見直すことが少ないのが現状となっている。また、目標流量を流下させる断面の確保や護岸の安定性については、数値的な取り扱いが可能であるのに対して、環境に関しては定性的な取り扱いに留まっており、河道計画・設計の中で環境の保全が積極的に扱われることが難しくなっている。

すなわち、現状の検討手順には、整備計画や事業実施段階で計画した河道形状が与条件となっており、設計段階における河道形状の変更が困難であること、さらに、瀬・淵

等の生息場の形成を見越した河道計画・設計を実施できないことに課題があるものと考えられる。

河川性生物は、その成長段階によって様々な生息場所が求められる場合が多い。例えば、ここで評価の対象に利用した流速・水深以外にも粒径や植物のカバーなどの評価も必要である。ただし、人的に操作可能な物理環境条件を上手にコントロールすることで、多様な物理場の形成を促すことが、まずは重要であろう。

ここでの検討から、川幅の概略を決めた際に、例えば図4.2に示したA案のような定規断面では、目標流量は流下するが、水深と流速の分布に変化が乏しく、深くて早い流れの河道設定を回避できない。一方、B案のように平面・縦断的な変化のある断面では、流下能力の確保だけでなく、瀬・淵の形成が期待でき、維持管理への課題も明確となる河道形状の設定が可能となる。

本報で示した基準やツールを活用すれば、河道計画の初期段階から環境に対する評価、維持管理に対する影響評価を行うことが可能であると考えている。本ツールで得られる結果の妥当性は、水理学や生態学の知見から検証する必要があるが、本ツールを用いることで、治水安全性の向上と河川環境の保全、維持管理の容易さを満足する河道計画・設計の可能性が高まるものと考えている。

参考文献

- 1) 原田守啓、藤田裕一郎：中小河川の断面形状と河道相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(4)、pp. I_1291-I_1296、2012。
- 2) 大石哲也、高岡広樹、萱場祐一、原田守啓：中小河川の効率的・適確な維持管理に向けて～岐阜県の複数河川を対象にした河道タイプの把握と成立要因の分析～、河川技術論文集、vol. 18、pp. 221-226、2012。
- 3) 国土交通省河川局：中小河川に関する河道計画の技術基準について、平成22年8月9日通知。
- 4) 水野 信彦、御勢 久右衛門：河川の生態学、築地書館、247p、1993。
- 5) 吉谷純一、松浦直：全国アメダス観測地点における確率降雨算定に関する研究報告書、土木研究所資料、vol. 3900、170p、. 2003。
- 6) 山本晃一：河道特性論、土木研究所資料、vol. 2662、pp. 37-50、1988。
- 7) 山本晃一：構造沖積河川学、山海堂、690p、. 2004。
- 8) 長谷川和義、上林悟：溪流における瀬・淵（ステップ・プール）の形成機構とその設計指針、水工学論文集、vol. 40、pp. 893-900、1998。

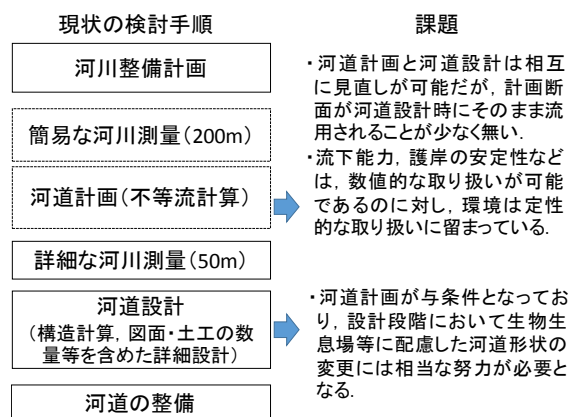


図4.1 現状鶴の移働計画の手順とその課題

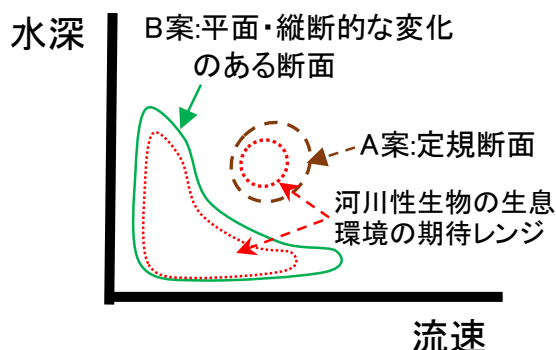


図4.2 環境に配慮した断面形のあり方（概念図）

- 9) 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、pp.87-96、1984。
- 10) 長谷川和義：河川上流域の河道地形、ながれ、vol. 24、pp. 15-26、2005。
- 11) 岸力、黒木幹男：移動床流における河床形状と流体抵抗 (I)、北海道大学工学部研究報告、vol. 67、pp. 1-23、1973。
- 12) 林泰造：河川蛇行の成因についての研究、土木学会論文報告集、vol. 180、pp. 61-70、1970。
- 13) 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、pp. 59-69、1972。
- 14) 宮田雄一郎、田中凡子：高領域ベッドフォームに対する流砂濃度の影響、地質学雑誌、vol. 117(3)、pp. 133-140、2011。
- 15) Simons, D.B and E, V. Richardson：The effect of bed roughness on depth-discharge relations in alluvial channels, US Government Printing Office, 1962。
- 16) 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(4)、pp. I_1033-I_1038、2013。
- 17) 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、vol. 19、pp. 87-

- 92、2013.
- 18) 水産庁中央水産研究所: 淡水魚類生息条件データ集, 2001.
- 19) 鈴木興道: 魚の住みやすい川づくりに資する魚類の生息分布とその場の流速, 土木学会論文集 vol.593(II-43), pp. 21-29, 1998.
- 20) 和田真治, 須藤靖彦, 東信行, 中村俊六: 農具川における魚類生息場適性基準(HSI)の作成と検証, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 353-354, 1998.
- 21) 石川雅明, 梶山誠: IFIM 適用のためのアユの産卵場特性に関する基礎調査, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, vol.23, pp. 294-295, 1996.
- 22) 小出水規行, 竹村武士, 奥島修二, 山本勝利, 蛭原周: 千葉県谷津田域における農業排水路の物理環境特性とタモロコ生息場のポテンシャル試算, 農業土木学会大会講演会講演要旨集 vol.2004, pp. 740-741, 2004.
- 23) 須藤達美, 永瀬恭一, 道上正規, 檜谷治: PHABSIM を用いた純淡水魚類生息場の定量的評価に関するケーススタディ, 水工学論文集, vol.44, pp. 1203-1208, 2000.
- 24) 渡邊亮輔, 地主隼人, 福井吉孝: 荒川水系小畔川の魚類の生息及び生息場評価, 土木学会年次学術講演会, vol.60, pp. 437-438, 2005.
- 25) 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: 河川の侵食・堆積傾向と流量変動による底生魚の生息場所選好性の変化, 京都大学防災研究所年報(48), pp. 935-943, 2004.
- 26) 小出水規行, 竹村武士, 奥島修二, 相賀啓尚, 山本勝利, 蛭原周: HEP法による農業排水路におけるタモロコの適性生息場の評価, 河川技術論文集, vol.11, pp. 489-494, 2005.
- 27) 鬼東幸樹, 永矢貴之, 東野誠, 高見徹, 大塚法晴, 秋山壽一郎, 尾関弘明, 白石芳樹: アユの産卵に適した水深および流速の選好曲線に関する検討, 河川技術論文集, vol.11, pp. 483-488, 2005.
- 28) 原田守啓, 藤田裕一郎, 深谷治由: 河川の生息環境評価手法に関する一考察, 水工学論文集, vol.45, pp. 1129-1134, 2000.
- 29) 辻本哲朗, 田代喬, 伊藤仕志: 生活圏の連結性に着目した魚類生息環境評価法の提案と河道内微地形の役割評価, 河川技術に関する論文集, vol.6, pp. 167-172, 2000.
- 30) 北村忠紀, 田代喬, 辻本哲郎: 生息場評価指標としての河床攪乱頻度について, 河川技術論文集, vol.7, pp. 297-302, 2001.
- 31) 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 小林宏正, 浮田正夫: IFIM における魚の選好曲線の河川間の互換性に関する検討, 環境工学研究論文集, vol.36, pp. 271-276, 1999.
- 32) 田代喬, 伊藤仕志, 辻本哲郎: 生活史における時間的連続性に着目した魚類生息場の評価, 河川技術論文集, vol.vol.8, pp. 277-282, 2002.
- 33) 辻本哲郎, 永禮大: 魚類生息環境変質の評価のシナリオ, 水工学論文集, vol.43, pp. 947-952, 1999.
- 34) 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 今井崇史, 浮田正夫: IFIM における河川生態環境評価法の精度と普遍性に関する一考察, 環境システム研究, vol.26, pp. 447-452, 1998.
- 35) 金亨烈, 玉井信行: 乙川における IFIM を用いた魚類の生息域評価に関する研究, 環境システム研究, vol.24, pp. 77-82, 1996.
- 36) 金亨烈, 玉井信行, 松崎浩憲: 流量増分生息域評価法における生息数基準に関する研究, 水工学論文集, vol.40, pp. 151-156, 1996.
- 37) 石川雅明, 中村俊六, 築坂正美, 東信行, 中村緩徳: 河川における魚類生息環境評価(IFIM 適用)のための基礎調査, 木更津工業高等専門学校紀要, vol.29, pp. 23-32, 1996.38) 河村三郎: 魚類生息環境の水理学, リバーフロント整備センター, pp. 241, 2003.
- 39) 大石哲也, 高岡広樹, 萱場祐一, 原田守啓: 中小河川の効率的・適確な維持管理に向けて～岐阜県の複数河川を対象にした河道タイプの把握と成立要因の分析～, 河川技術論文集, vol.18, pp. 221-226, 2012.
- 40) 大石哲也, 高岡広樹, 原田守啓, 萱場祐一: 河道横断面形状の設定と草刈りの有無が植生変化に与える影響, 第 68 回土木学会年次学術講演会, 2014.
- 41) 大石哲也, 萱場祐一, 加瀬瑛斗, 渡 敏, 高岡広樹: デジカメ航空写真による中小河川の地形データ作成と河道計画への適用可能性, 土木学会論文集 B1(水工学) vol.68(4), pp. 1399-1404, 2012.
- 42) 川那部浩哉, 宮地伝三郎, 森主一, 原田英司, 水原洋城, 大串竜一: 遡上アユの生態—とくに淵におけるアユの生活様式について—, 京大生理生態業績, vol.79, pp. 30-31, 1956.
- 43) 水野信彦: 魚にやさしい川のかたち, 信山社出版, pp. 97, 1995.

STUDY ON TECHNIQUE IMPROVING RIVER MAINTENANCE COST WITH CONSIDERING OF SEDIMENT FROM BASIN AREA.

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY 2011-2015

Research Team : Aqua Restoration
Research Center

Author : KAYABA Yuichi, OISHI Tetsuya
TAKAOKA Hiroki, HARADA
Morihiro

Abstract : The purpose of this research is to suggest how to optimize river form design to reduce river maintenance efficiently and improve sediment management. Firstly, we studied to deal with influence on channel form by regulated river width artificially in small and middle-sized river we surveyed about 100 rivers and evaluated the some parameters related to channel form, width (B), representative grain-diameter (dr), bed slope (I) and so on, with GIS data and survey data. We calculated flow discharge (Q), flow depth (H), Froude number (Fr) and so on using the existing formula. We investigated the relationship between those channel characteristics and channel forms. As a result, there were highly correlations between the sandbar generation area classification (Kuroki et.al. 1984) and channel forms. We found that the types of those river channels can be classified 4 groups by $Fr \sim BI^{0.2}/H$. In conclusion, the results of this study were found to have effects on the ratio of the river width and the depth of water (B/H) which were set up artificially has affected the river channel through change of a stream bed form. Secondly, we studied to develop the simulation tool to evaluate the results of hydrological regime and river habitats seamlessly. The river habitats tool consists of habitat suitable index model of freshwater fish and the growth judgement model of river terrestrial plants in water. We examined validity of these tools by 3 models changed the width of a river. As a result, the model which widened the width of a river can be increased suitable habitats for fish, it however were covered with a plant too much. In conclusion, these tools will enable a river environmental planning to estimate quantitatively as well as a flood-control planning.

Key words : *river width, small and medium-sized river, river maintenance and river management, river planning, environmental planning*