

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～

STUDIES ON RIVER EFFECTIVE MANAGEMENT IN THE MIDDLE AND
SMALL RIVER-ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN RIVER CHANNEL
TYPE AND PROGRESS FACTOR-

大石 哲也¹・高岡 広樹¹・萱場 祐一²・原田 守啓³
Tetsuya OHISHI, Hiroki TAKAOKA, Yuichi KAYABA and Morihiro HARADA

¹正会員 博 (工) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

²正会員 博 (工) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム
(〒300-2621 茨城県つくば市南原1-6)

³正会員 博 (工) 大日コンサルタント(株) (〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21)

The purpose of this paper is to suggest progress of the middle and small river channels and how river types can conduct maintenance easily. Firstly, we conducted questionnaire survey about maintenance to river managers, surveyed 31 rivers and calculated the some parameters related to river channel morphology, basin area, friction velocity and so on, with GIS data and survey data.

As a result, there were highly correlations among mowing, inhabitant utilization and ease of maintenance. The types of those rivers were grouped at 6. High risk rivers, have high friction velocity, were the bar channel and the flat-floored bedrock channel constrained by revetment. Furthermore, ease of maintenance was different by the types of river channel. These results suggest that not only estimating from fluvial hydraulics but increasing use of inhabitant utilize can conduct the river maintenance effectively

Key Words : river maintenance, river management, river channel progress, middle and small river.

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124,000km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。しかしながら、中小河川では、その立地条件が多様であるのに対して、河道特性を体系的に検討した例は少なく、河道計画・設計を行うための基本的な情報(河道縦横断測量、水位・流量観測等)が乏しい¹⁾ことや、改修後の維持管理費も少ないため、改修後のモニタリングや維持管理が十分に行えていない河川も多い。

河道特性の把握には、自然河川の場合、例えば、セグメントという概念により河川形態を区分²⁾したものや、地形の類似性から河川形態を区分³⁾したものなどがあり、これにより対象河川の変化の程度をある程度予測すること

が可能である。一方、中小河川の場合、上記のような自然河川に近い挙動を示すものから、河岸を人為的に拘束したものまで様々であり、改修後に生じた変化が、どのような要因によるものなのか、また、河道改修が河道特性にどのような影響を及ぼしているのかについて、自然河川ほど検討が十分に行われているとは言えない。

維持管理の内容も多岐に渡っており、例えば、河道内に繁茂した植物の除去や堆積土砂の除去といった数ヶ月から数年単位で行われているようなものや、出水等の外力による構造物の破損、河床洗掘といった不定期に発生する河道災害に対応した災害復旧事業まで、管理対象を捉える際の時間スケールや難易度も異なっている。

近年、大河川においても、例えば藤田ら⁴⁾が指摘するように、「河道設計と対となる河道管理は、相対的に改善の余地が大きい」との指摘がなされており、維持管理に充てられる人的・財政的余力が乏しい中小河川において

は、より一層強いものと考えられる。

筆者らは、中小河川の効率的・適確な維持管理手法の提案を大きな目標としている。本論文では、手始めとして、維持管理の効率化へ向けて、まず、河川管理者に維持管理についてアンケート調査を行い、対象河川の現地調査を行った。次に、現地調査を基に河道のタイプ分けを行い、その成立要因を物理的指標により、できるだけ定量的に示し、また、これらの河道タイプと被災危険性の関係について検討し、さらには、どういった河道タイプで維持管理が容易であるかについて検討した。

2. 検討方法

(1) 調査方法

a) 維持管理に関するアンケート調査

都道府県管理河川の維持管理の実態を把握するため、低平地から山地河川まで幅広い立地条件の河川がみられる岐阜県に対して維持管理に関するアンケート調査を実施した。調査項目は、県下で管理する各河川において、①草本・木本をどの程度の頻度で刈り取っているか、②刈り取りの主体は誰か、③土砂除去をどの程度の頻度で行っているかといった客観的な情報と、④人々の利用が多いか、⑤河川管理者として維持管理がうまくいっていると感じているかといった主観的な情報とした。

b) 現地調査

アンケートで掲げられた河川のうち、31河川を対象として、平成23年8-9月にかけて、当該箇所およびその上下流に対して概観調査（計63箇所）を行った（図-1）。具体的には、調査地点の概観写真の撮影と目視やレーザー距離計を用いて横断形状、底面幅を計測し、砂州の有無、植物の有無、護岸の有無などのデータを取得した。

(2) 河道タイプの類型化と成立要因の分析方法

a) 河道タイプの類型化

河道タイプの類型化は、現地調査で取得した写真や横断形状などを基に行った。設定した河道タイプは、人頭大より大きな巨礫が河道に目立つ巨礫残留型、平滑岩盤化した河床をもつ平岩川（ひらいわかわ）型、河床に砂礫がありバー（砂州）が形成されており、護岸の拘束がみえない幅の広い河道をバー型（主に底面幅20m以上）、護岸に拘束された幅の狭い河道を拘束バー型、低水路内に人工的にテラス部を付けたテラス型、低水路幅と川幅がほぼ同じで河床が見え難い平水型の6タイプとした（図-2）。

b) GISによる流域情報の分析

調査地点の流域情報について、既存資料などを利用し、河道タイプとの関係についてとりまとめた。使用した既存資料等から、①流域特性に係わる変数（調査地点標高、地質、流域面積）、②河道形状に係わる変数（縦断勾配、

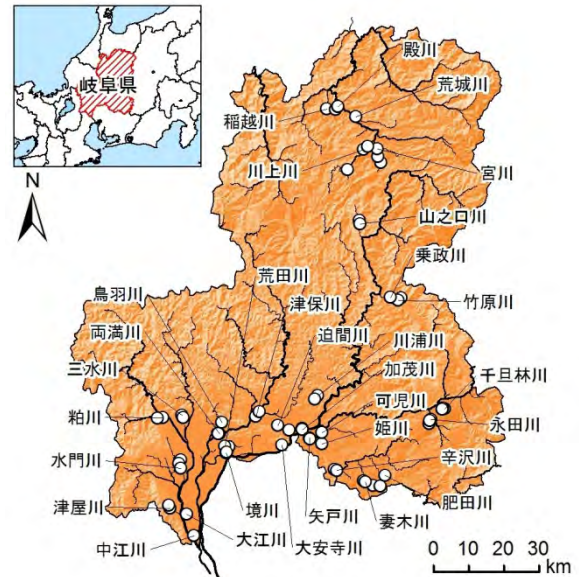


図-1 調査河川と調査地点（岐阜県）



図-2 河道タイプ（模式図とイメージ写真）

底面幅）、③治水安全性（被災危険性）に係わる変数（ピーク流量、摩擦速度）について、河道タイプとの関係性について検討を行った。

①については、沖積河川学²⁾で示される大規模スケールに相当し、調査地点での河道の形成に影響する上位の境界条件にあたり、②の支配因子に関連する変数である。②については、中規模スケールに相当し、河道の平面形状などを規定し、③の支配因子に関連する変数である。③については、小規模スケールに相当し、局所的な変化を捉える変数であり、①と②の影響を受けて生ずるものである。とくに、ここでは、どの河道タイプが被災性が高いかを知るため、出水規模を10年確率規模と想定し検討した。

以上の変数間の関係を河道タイプ別に検討するにあたり、統計解析ソフト（JMP8.0）により次元分散分析およびTukeyのHSD検定を行った。以下では、①から③で使用する各変数を算出するために使用した係数などの定義を示す。

a. 流域面積 A (km^2)

地形データより、GIS上(ArcGIS10)で調査地点の流域界の抽出を行い、流域面積を算出した。地形データは、国土地理院の10mメッシュDEMデータを用いた。

b. 表層地質 火成岩類(%), 堆積岩類(%), 堆積地形(%)

調査地点の集水域に占める表層地質区分(独)産業技術総合研究所統合地質図データベース)を集計し、火山岩、深成岩および付加コンプレックスのうち火成岩由来のもの、堆積岩類および付加コンプレックスのうち堆積岩に由来するもの、扇状地、地すべり・崖錘堆積物、段丘等の堆積地形が占めるものの面積割合をそれぞれ算出した。

c. 縦断勾配 I_b

DEMデータを用いて対象河川の縦断図を作成し、調査地点前後約100m区間の縦断勾配の平均を抽出した。

d. 底面幅 B (m)

現地調査により、対象地点の河道の底面幅とした。

e. 流出係数 f

国土数値情報土地利用細分メッシュデータを用い、土地利用種別に応じた流出係数を面積割合で加重平均した合成流出係数を算出した。

f. 洪水到達時間 T_p (h)

洪水到達時間を以下の土研式⁵⁾より算出した。

$$T_p = 1.67 \times 10^{-3} (L / \sqrt{S})^{0.7} \quad (1)$$

ここに、 L :流域最遠点から調査地点までの流路長(m), S :平均流路勾配であり、GISにより算出した。

g. 10年確率1時間雨量(mm/h)

洪水到達時間を用い、アメダス確率雨量計算プログラム(独)土木研究所水理水文チーム)から、調査地点の最寄りのアメダス観測地点における降雨強度をfair式により算定した。

h. 10年確率ピーク流量(m^3/s)

10年確率のピーク流量を、合理式⁶⁾により算出した。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f r A \quad (2)$$

ここに、 Q_p :10年確率ピーク流量(m^3/s), f :流出係数, r :10年確率1時間雨量(mm/h), A :流域面積(km^2)である。

i. 等流水深 h (m)

10年確率のピーク流量流下時における水位と河床面に作用する摩擦速度を算定するため、Manningの等流公式により、等流流下時の水深を算出した。Manningの粗度係数は実測が困難なため、現地調査時の河道の状況の外観から河川砂防技術基準(案)計画編等を参考に、 $n=0.030, 0.035, 0.040$ の3段階の値を仮定した。エネルギー勾配は、DEMデータから算出した縦断勾配 I_b を適用した。

j. 摩擦速度 U_* (m/s)

河床面に作用する外力の指標として、10年確率のピーク流量流下時における摩擦速度を算出した。摩擦速度は、局所洗掘などによる河道災害の発生に関する潜在的な危険度を表す指標として扱った。

(3) 維持管理に関するアンケート調査の分析

アンケート調査より得られた客観的な情報と主観的な情報との間にどのような関係がみられるのかについて、その傾向を分析した。また、これらアンケート結果と河道タイプとの関係についても分析を行った。具体的には、河道タイプごとに調査項目別に割合で示すとともに、客観的情報と主観的情報から調査項目間の関係性を知るため、主成分分析を行った。

3. 結果

(1) 河道タイプと各変数間の関係

図-3に河道タイプと各変数間の箱ひげ図および箱ひげ図上にTurkeyのHSD検定の結果を簡易的に示す。図の横軸は、河道タイプの資料数の違いにより幅が異なる。例えば、資料数が多くなれば、幅が広がる。箱ひげ図は、河道タイプ別に、分布の範囲(上下の横線が90%値, 10%値, 箱の上下が75%値, 25%値を示す)、中央値(箱内の横線)、外れ値(上下横線外にあるプロット)を示している。とくに中央値については、今回取得したデータのうち値の頻度が多かったことを示し、河道タイプの典型的な値と見なすことができる。また、HSD検定の結果については、同じアルファベットで繋がっていない場合は河道タイプ間で有意に異なる($p < 0.05$)ことを示している。なお、分散分析の結果は、いずれの項目も1%未満の確率で有意差があったため結果を省略する。

a) 流域特性に係わる変数との関係

調査地点標高との関係を見ると、巨礫残留型は、中央値で約600mと他のタイプと比較し最も高い。拘束バー型、平岩川型は、中央値が共に約280mであり、いずれの分布範囲も広い。テラス型、バー型、平水型は、全体的に標高が低く、中央値が約10-40mであり、分布範囲も狭いのが特徴的であった。また、HSD検定から、上記3つのグループに有意な差が生じていた。

表層地質の火成岩類を見ると、巨礫残留型は、火成岩類の割合が中央値で約80%と高く、拘束バー型、平岩川型は、中央値が約30%前後で分布範囲が広く、標高との関係と同様の傾向を示していることが分かる。しかしながら、バー型については、標高との関係で見られた傾向とは異なり、中央値が約30%弱と拘束バー型、平岩川型と同等の値を示した。HSD検定からもバー型を除けば、標高との関係と同様な関係性があった。また、堆積岩類の割合は、火成岩類と相対的に逆傾向にあった。なお、堆積地形の割合は、平水型、テラス型での中央値が相対的に高い傾向にあるものの、火成岩類や堆積岩類での検討ほど、明確な違いは生じていなかった。

流域面積については、バー型の分布範囲が最も広く、中央値で100 km^2 と他と比較し最も大きかった。次に、巨礫残留型が50 km^2 、この他については、約10 km^2 前後と河道

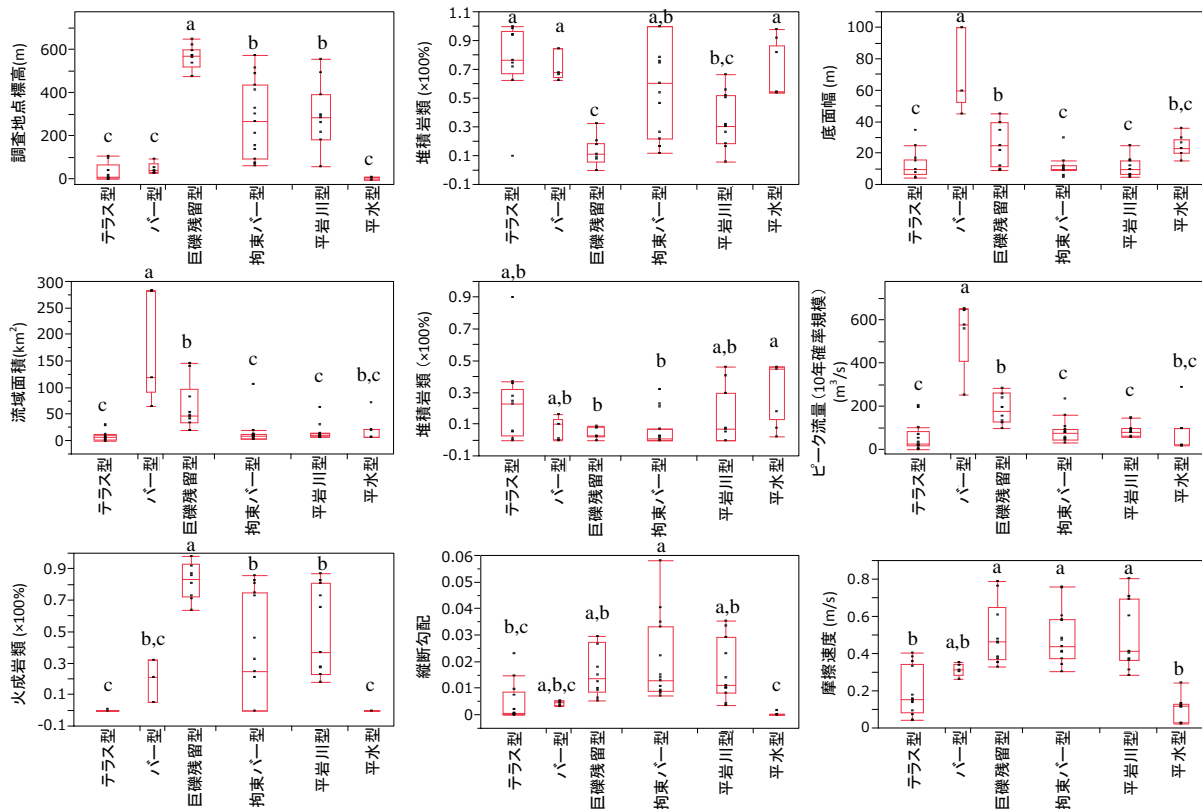


図-3 河道タイプと各変数間との関係 (TurkeyのHSD検定)

タイプ間で大きな違いがなかった。HSD検定の結果からも、この傾向が伺えた。

b) 調査地点の河道形状に係わる変数との関係

縦断勾配との関係を見ると、拘束バー型、巨礫残留型、平岩川型は、中央値でいずれも0.012前後であった。ただし、拘束バー型は、縦断勾配の分布範囲が広く、巨礫残留型、平岩川型の分布範囲がほぼ同等であり、拘束バー型と比べて分布範囲に違いがあった。HSD検定からは、上記3タイプに有意差は生じていなかった。また、バー型、テラス型、平水型の順で縦断勾配が緩くなる傾向にあった。HSD検定からは、拘束バー型がテラス型、平水型との間に有意差があり、巨礫残留型、平岩川型が加わると、平水型のみ有意差が生じていた。

底面幅との関係を見ると、バー型は、分布範囲が広く、中央値で約60mと他と比較し最も大きかった。次に、巨礫残留型の分布範囲が広く、中央値で約20m、平水型は巨礫残留型よりも分布範囲がやや狭いものの、中央値で約20mと等しかった。この他の河道タイプは、底面幅が狭く中央値で約10mであった。また、HSD検定からも、バー型は他のタイプと有意な差があり、巨礫残留型と平水型との間には有意差がないものの、他の河道タイプとは有意差があった。

c) 治水安全性 (被災危険性) に係わる変数との関係

10年確率規模で想定されるピーク流量との関係を見ると、バー型は、中央値で約580(m³/s)と他のタイプと比較し最も流量が多く分布範囲も広がった。次に、巨礫残留

型で約180(m³/s)であった。この他は中央値で約30-100(m³/s)であった。HSD検定から、バー型と他の河道タイプとの間に有意差がみられ、巨礫残留型は、テラス型、拘束バー型、平岩川型との間に有意差がみられた。なお、この傾向は、流域面積との関係と類似していた。

10年確率規模で想定される摩擦速度との関係を見ると、巨礫残留型、拘束バー型、平岩型の分布範囲がほぼ同じで、中央値も約0.4(m/s)とほぼ同等であった。次に、バー型、テラス型、平水型の順で0.3-0.1(m/s)と摩擦速度の中央値が小さくなる傾向にあった。また、HSD検定からは、巨礫残留型、拘束バー型、平岩川型とテラス型、平水型との間に有意差があり、バー型については、双方とも有意差が見られなかった。

(2) アンケート結果と河道タイプの関係

維持管理に関するアンケート結果について、河道タイプごとに各項目の割合を図-4に示す。なお、木本については、現況で河道に生えていない河川が多いことや、数年おきに伐採するなど、データ分析が不可能であり、分析からは除外した。このため、ここでは草刈りのみについてデータ分析を行った。

a) 客観的情報

まず、①草刈りの頻度については、どのタイプも年に1回以上草刈りを行っている割合が75%以上を占めていた。とくにテラス型は、年1回以上、実施している河川が多かった。次に、②草刈りの主体に関しては、全体を通して、

ボランティア（基本的に無償）、自治会（行政からの補助金がある）が行っている場合が、どの河道タイプとも約70%以上を占めていた。テラス型については、ボランティアで70%以上と他と比較し高かった。最後に、③土砂除去の頻度については、テラス型、巨礫残留型、平水型で、未実施で済む河川が70%を越えており、逆に、バー型、拘束バー型、平岩川型で60%以上が年1回の土砂除去を行っていた。

b) 主観的情報

④維持管理がうまくいっているかどうか、⑤住民利用が多いかどうかについては、双方ともに似たような傾向にあった。まず、バー型では維持管理がうまくいっており、住民利用も多くなっている。テラス型も他と比較すると80%以上は維持管理がうまくいっていると感じており、住民利用も約75%と高い。巨礫残留型、拘束バー型、平岩川型では、維持管理がうまくいっている、うまくいっていないとが、いずれも50%前後であった。同3タイプは、テラス型、バー型と比較すると住民利用の少ない割合が約60~75%と高くなった。また、平水型は、維持管理がうまくいっていない河川の割合が70%を越え、住民利用も無いが約50%を占め、いずれも他と比較し高かった。

c) 客観的情報と主観的情報による主成分分析

上記の客観情報と主観情報について、全項目を対象に主成分分析を行った結果を図-5に示す。第1主成分は、維持管理がうまくいっているかどうかの因子負荷量が0.93と高く、草刈りの頻度、住民利用も0.79, 0.75と高かった。一方、草刈りの主体については、-0.64と以上の3つの変数とは逆の傾向にあった。第2主成分は、土砂除去の因子負荷量が高く、-0.81であった。この他、草刈りの主体が0.5と高い傾向にあった。なお、主成分分析の結果、第2主成分までの寄与率が73%以上であった。

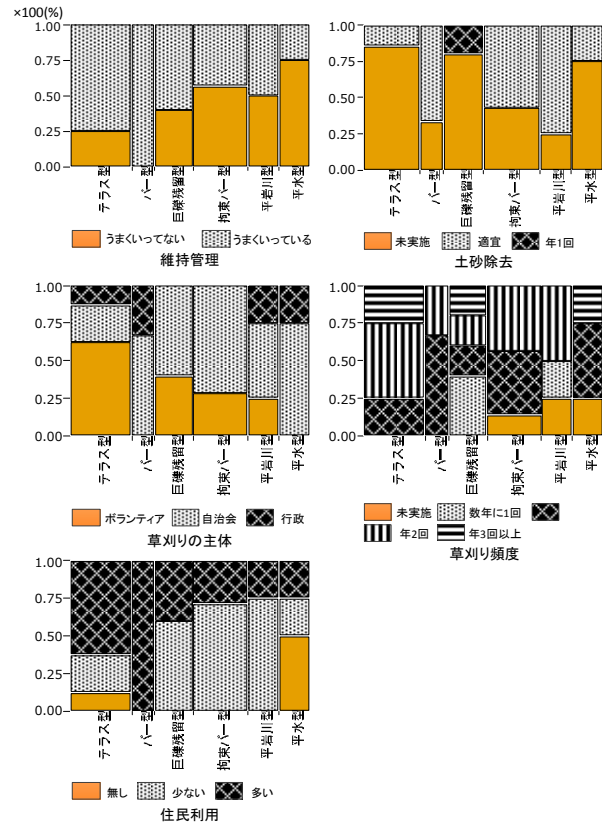


図-4 河道タイプ別にみたアンケート項目別の割合

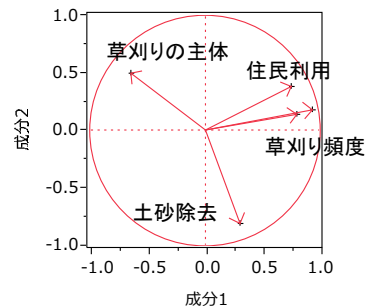


図-5 全調査項目に関する主成分分析

4. 考察

(1) 河道タイプ別にみた成立要因と維持管理の容易さについて

a) 巨礫残留型

巨礫残留型は、図-3より標高の高い場所にあり、同時に火成岩類の割合が多い地域特性を持っていた。一般的に火成岩類は、堆積岩類と比較して岩盤の節理の間隔が広いので、巨礫が生産されやすい条件下にある。さらに、生産原からの距離も近く、通常の外力では運ばれ難い。このため、河道内に残留した巨礫が存在していたものと考えられる。また、流域面積に比例して底面幅は大きい傾向にあったと考えられる。

被災危険性の指標となる摩擦速度は、拘束バー型および平岩川型と同じように高いものの、現状で河床に巨礫が残留しており、河床低下なども生じにくいものと思われる。なお、このように巨礫が残留する傾向は、現在、

土砂の欠乏が著しい山間地を流れる川の特徴とも言える。

維持管理については、草刈りも頻繁であり、うまくいっていると感じている割合が高い。ただし、人工過密地帯に無いためか住民利用は少ない河川が多いようである。

b) 拘束バー型および平岩川型

両河道タイプは、図-3からいずれの変数においてもほぼ同様な傾向を示していた。このうち、堆積岩類の割合で両者の傾向が多少異なっており、拘束バー型の方が堆積岩類の構成割合が大きい。すなわち、バーの有無には、潜在的に堆積岩類の割合の差が表れている可能性がある。

摩擦速度は、両河道タイプとも高いうえ、底面幅が20mを下回っている河川が多い。このような川幅が狭く、5分勾配の立ち護岸では、護岸被災の例が多いことが指摘されている⁷⁾。また、護岸よりも河床により多くの摩擦力がかかることで、河床低下が起因となり護岸被災へと繋がること、水理学的な実験・解析の検討からも解明されつつある⁸⁾。実際に、現地調査からも、拘束バー型、平

岩川型とも根継ぎを行っている箇所があり、河床低下が進行している河川も多く見られた(図-2参照)。

維持管理については、双方共に約50%の河川でうまくいっておらず、住民利用も少ない傾向にある。

c) バー型

バー型は、巨礫残留型に代表される山間地にできる河道タイプよりも標高が低い箇所に位置し、流域面積が広い(図-4)。さらに、底面幅も広く、砂礫が卓越している。したがって、大河川で通常に見られる河道形成プロセス^{例えば、2)}に基づいて理解することができる。草刈り、土砂除去、管理の主体も自治体で行われているようだが、維持管理がし易いという結果で、河原が多いためか住民利用も多い傾向にある。

d) テラス型および平水型

両河道タイプは、比較的似通った傾向を持っていた。両者の違いは、わずかであるが平水型の方が、テラス型に比べて標高が低く、底面幅が大きく、縦断勾配も緩く、ピーク流量が大きいことがあげられる。流量・水深が大きくなると平水型となり、テラス型や平水型は、川幅が20m未満の箇所が多いが、底面摩擦が低いため、b)で考えられる護岸被災による被害は少ないと考えられる。むしろ、越水等の危険性が高いと言えよう。

維持管理に関しては、テラス型の方が、平水型に比べて草刈り頻度が多いものの、住民利用が多いうえ、維持管理がうまくいっている河川が多い傾向にある。

(2) 中小河川の効率的・適確な維持管理に向けての課題

拘束バー型や平岩川型のように川幅が小さい場合には、河床への摩擦速度が大きくなるほど、被災危険性が増すことになる。このような状況下では、必然的に河床低下が進行し、護岸被災を防ぐため根継ぎなどの補修にかかる維持管理費が増大することになる。こういった状況に鑑み、平成22年8月に国土交通省から「中小河川に関する河道計画の技術基準について」が通知され、例えば、流量2倍にすると川幅を2倍にし、河床にかかる摩擦速度を減少させることが推奨されている。

川幅を広くすると、河床へ対する摩擦速度が小さくなり、被災危険性が低くなる。しかし、単に広げただけでは、その分だけ土砂が堆積しやすくなり、植物の繁茂への対策に苦慮しなければならなくなる。すなわち、被災可能性は減少するが、代わりに毎年行われる草刈りなどにかかる費用が増大することに繋がる。この解消には、テラス型などのように、住民利用を促進することで、維持管理をし易くする方法が考えられる(図-5)。

今後の課題としては、水工学的な検討から、被災や植物繁茂への双方を低減できる川幅等の設定をどうするか、と同時に、人々が川へ行きやすく、親しみやすくするにはどうするかといったことも考慮にいれて、維持管理を含めて河道計画を考えて行くことが重要であろう。

5. まとめ

中小河川の効率的・適確な維持管理手法の提案へ向けて、手始めとして、河道タイプの成因とどういったタイプで維持管理が容易であるかについて検討した。具体的には、岐阜県へ維持管理に関するアンケートを実施し、31河川(計63箇所)の河川概観調査を行った。これを基にGISなどを用いて、調査地点標高、縦断勾配、摩擦速度などの物理条件を算出した。

アンケート結果の分析を行った結果、草刈り頻度と住民利用と維持管理のし易さには高い相関があった。また、現地調査から河道タイプは6つに分類された。被災危険性の高い(摩擦速度が高い)河川は、拘束バー型と平岩川型であり、両者の物理条件には、HSD検定からも有意差が少なく、類似する傾向にあった。また、維持管理と河道タイプ別との関係を見ると、テラス型は、75%の河川で、維持管理がうまくいっていると感じられ、拘束バー型、平岩型、平水型になると維持管理50%以上がうまくいっていないとの結果であった。

河道計画を考える際には、水工学的な見地だけでなく、人々の利用を含めて考えることで、維持管理を容易にできる可能性について示した。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、元 岐阜県県土整備部河川課長(現 国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所長) 堂蘭俊多 氏を始め、河川課の皆様にはデータの提供、県河川の管理状況の実態について惜しみないご協力を頂いた。ここに謹んで感謝の意を表し、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 藤田光一: 中小河川の治水安全度を早急に把握せよ(特集1 今までにない自然災害に立ち向かう), 国土技術政策総合研究所, 国総研アニュアルレポート, vol.5, pp.12-15, 2006.
- 2) 山本晃一: 構造沖積河川学, 山海堂, 690p., 2004.
- 3) Dave Rosgen: APPLIED RIVER MORPHOLOGY, 1996.
- 4) 藤田光一, 田上敏博, 天野邦彦, 服部敦, 浦山洋一, 大沼克弘, 竹内慶了: 現場での実験を通して河道管理技術を向上させる先駆的取り組み, 河川技術論文集, vol.17, pp.539-544, 2011.
- 5) 土木学会編: 水理公式集[平成11年版], p.37, 1999.
- 6) 土木学会編: 水理公式集[平成11年版], p.36, 1999.
- 7) 土木学会関西支部: 河川構造物災害の現状とその対策, 土木学会関西支部昭和62年度講習会テキスト, pp.25-38, 1987.
- 8) 原田守啓, 松岡俊一郎, 藤田裕一郎: 粗度配置が異なる長方形断面開水路の抵抗特性とせん断応力分布に関する実験的研究, 土木学会論文集B1(水工学), vol. Vol.68(4), pp. 1273-1278, 2012.