

河道管理における現場の課題と研究・ 技術開発の連携に向けて ～河道管理研究小委員会における議論と論点～

FOR ESTABLISHING THE LINKAGE BETWEEN PRACTICAL ISSUES AND
RESEARCH & TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS IN RIVER MANAGEMENT
- KEY POINTS OF DISCUSSION IN THE TASK COMMITTEE ON RIVER
CHANNEL MANAGEMENT -

河道管理研究小委員会¹
Task Committee on River Channel Management

¹土木学会 水工学委員会 (〒160-0000 東京都新宿区四谷一丁目無番地)

The task committee on river channel management has been established from Nov. 2018 to foster the common recognitions and the public-private-academic collaboration on practical issues and research and technological development in the field of river channel management. Through the activities in FY2019, the current status and issues of the practical river management were summarized, and the effective method of the information organization and the feedback system from river management to river design/planning should be encouraged to heighten the effectiveness of river management. The present status of research on sediment dynamics, riparian vegetation dynamics and new technology were comprehensively reviewed, and the future direction of the research and technological development was proposed.

Key Words : river channel management, sediment dynamics, riparian vegetation, maintenance technology

1. はじめに

洪水から地域の安全・安心を守っていくためには、河川整備を着実に推進するとともに、これまで整備してきた河川管理施設や河道の治水機能を洪水時に確実に発揮できるよう適切に維持管理しなくてはならない。河川の維持管理の中で、堤防、水門、樋門・樋管といった構造物については、点検・評価のための基準類が整備され、それに基づいた維持管理が行われるようになりつつある。しかし、洪水を流す器である河道そのものについては、科学的・技術的知見に基づいた点検・評価手法を確立するには至っていない状況である。河道は洪水外力や地質や土砂生産量などの流域特性、植生などの作用を受け、絶えず変化しており、その変動幅を技術的に把握し、適切な点検・評価および対策技術の確立に結びつけていくためには、学術と技術との連携が必要不可欠である。

一方、学術分野においては、土砂水理学、植生水理学等に関する研究が長年にわたり行われており、移動床素

過程や河川内植生動態等に関する知見が蓄積されつつある。しかし、学術的関心・価値から機構解明に関する研究に傾注しがちであり、河川管理の現場における課題解決に資するような研究・技術開発の活性化が必要不可欠である。

以上のような背景の中、河道管理における現場の課題と学術・技術分野の動向について、官民学で情報共有をはかり、今後の河道管理分野に必要な研究・技術開発の方向性の共通認識の醸成や、学術・技術的連携をはかるための組織として、2018年11月に土木学会水工学委員会に河道管理研究小委員会（委員長：田中規夫（埼玉大学）、官民学から20名の委員で構成）が設置された。

本報告では、研究小委員会活動開始初年度となる2019年度の活動を通じて得た、河道管理の現場における課題、現場の課題と研究技術開発をつなぐために重要な視点、学術・技術分野のレビューおよび今後の河道管理分野の進展に必要な研究・技術開発の方向性について、2020年1月に開催したワークショップの内容を中心に報告するものである。

2. 河川管理の現状と課題

(1) 河川管理の現状

河川の管理は、日常や出水時の河川巡視、堤防や河川管理施設の点検、水理・水文等の観測などによる状態監視を基本とし、洪水流下による変化や構造物の劣化の度合いを適切にとらえて対応を行っていくことが求められる。平成25年に河川法の一部が改正され、河川維持管理に関する責務が明確に規定されるとともに、河川管理施設等の維持又は修繕に関する技術的基準が定められ、適切な時期に河川管理施設等の巡視を行い、草刈り、障害物の処分、その他の河川管理施設等の機能を維持するために必要な措置を講ずることとされた。特に、ダム、堤防、可動堰、堤防が存する区間に設置された水門、樋門、その他の流水が河川外に流出することを防止する機能を有する河川管理施設等については、一年に一回以上の適切な頻度で点検を行うこととされている。河道については、河川管理施設ではないことから河川法上の点検義務には該当しないものの、維持管理の程度が洪水の流下に大きく影響を与えることから、同様の点検が必要である。

こうした流れを受けて、国土交通省水管理・国土保全局では、堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領⁹⁾(以下、「要領」という)を策定し、定期的に、あるいは出水や地震等の大きな外力が作用した後に点検し、機能状態を評価している。

(2) 河川管理の課題

維持管理に係る予算の推移(図-1)を見ると、国管理河川に関して、近年は1000億円程度の当初予算が確保されているが、その内訳(図-2)は、堤防除草、河川巡視、施設操作、定期測量等調査、許認可・工事監督支援業務など多岐にわたる維持管理行為の内容に応じた義務的経費が多く、河道の点検、河道の維持的な掘削、樹木伐採に利用できる予算は限られているのが実情である。また、労務費の増加によって、実質的な予算規模は減少傾向にある。点検は、主に河川事務所の職員が実施しているが、令和2年度に定員の増加がなされるものの、職員数は十分と言いきれない。更に都道府県や市町村では技術系職員も限られている。こうした状況から、効率的かつ効果的な点検手法の開発が求められている。

要領には、河川定期縦横図等に基づく状況把握で判明した要注意箇所や近年実施された河床掘削等の河川工事の区域等において、流下能力及び施設の機能・構造安定性への影響が懸念される河道の変化を把握するために行うべき目視点検(表-1)について記載されている。一方で、流下能力の評価は水位計算が基本であり、現地における目視点検は補足事項とされている。また、河床低下、河岸侵食・洗掘、河口閉塞についても、河川定期縦横断測量等の経年の情報をもとに評価することが基本であり、

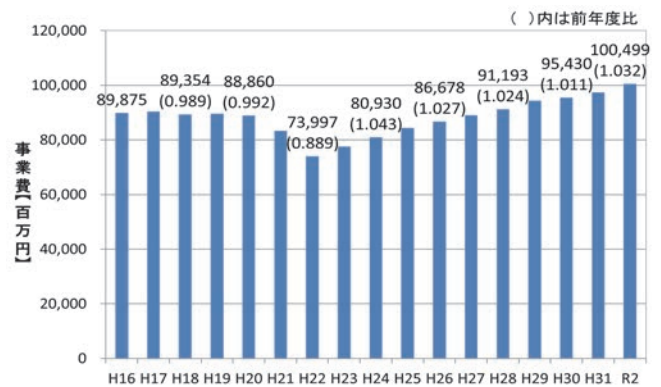


図-1 河川維持管理費(国管理)に係る当初予算の推移

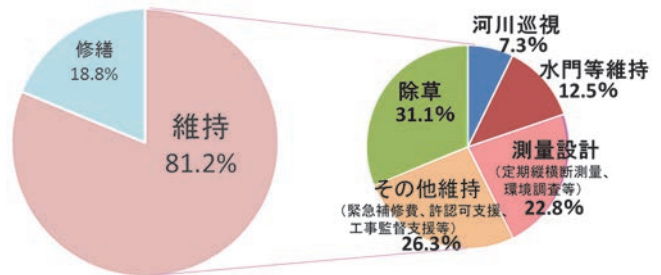


図-2 河川維持管理費(国管理)に係る予算内訳(H30当初)

表-1 河道に関する点検事項

項目	点検事項
流下能力	・河道流下断面を阻害するような河床上昇等土砂堆積は生じていないか。 ・低水路拡幅を行った区間で、再堆積による川幅縮小が見られないか。 ・洪水流下の阻害となるような樹木群が繁茂していないか。 ・流木等による河積阻害はないか。
河床低下	・河床低下あるいは局所洗掘の兆候として構造物の変状(沈下等)が見られないか。
河岸侵食	・自然河岸に崩落・侵食が生じているか。河岸法線は堤防防護ライン・低水路河岸管理ラインを横切って堤防側に近づいていないか。 ・樹木群繁茂による偏流(水衝・洗掘)が見られないか。
河口閉塞	・河川管理上の支障となる河口閉塞、河口砂州高の上昇が見られないか。

同様に現地における目視点検は補足事項とされている。したがって、点検結果の評価については検討段階にあり、こうした点検事項から流下能力や施設の機能の状態を把握し分析する技術や土砂再堆積・樹木再繁茂を抑制する技術、効率的に変状を把握する技術など様々な研究課題がある。

3. 河道管理における現場と研究をつなぐ視点

(1) 現場で必要とされる技術

予算と人員が不足する中で、堤防と同様に、長い管理延長の中で要注意箇所を抽出すること、そして河川管理の経験が浅い職員でも対策の必要性を判断できることが求められる。また、河川管理は責任を伴うものであり、曖昧な判断基準は採用されにくい。

図-3は管理の実施イメージである。対策実施の必要性を判断するため、河川定期縦横断測量等の基本データや過去の巡視・点検結果を整理し、判断に資する情報に加

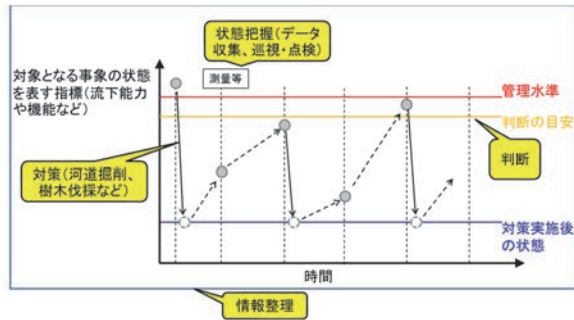


図-3 管理の実施イメージ

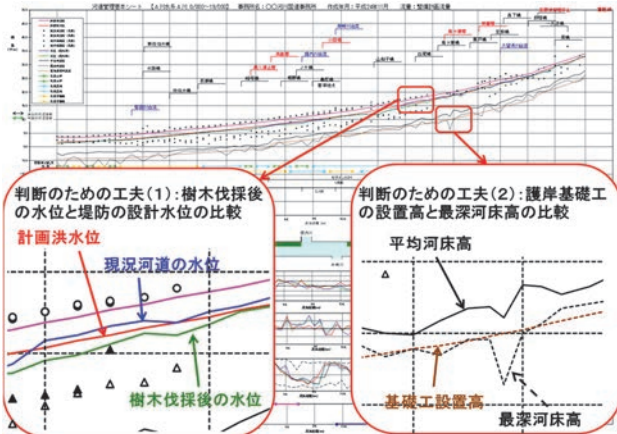


図-4 河道管理基本シートにおける判断のための工夫

工することが重要である。対象となる事象に応じて、河川定期縦横断測量成果等をどう加工すると、河道の状態を表す指標として活用することができるのか、その指標を用いて対策実施後の変化を予測し、管理水準を満足するように判断の目安を設定することができるのかについて、明らかにする必要がある。

(2) 情報整理の取り組みと知見の蓄積

上述した情報整理での取り組みは一筋縄ではいかない。そこで、九州地方整備局河川部と国総研河川研究室が中心となり、九州河道管理研究会（以下、「研究会」という）を立ち上げて、九州地方整備局河川部等の職員や宮崎大学の杉尾哲名誉教授等の学識者の参画のもと、河道管理のための技術を磨いてきた。

図-4は、情報整理の一つの成果であり、河道管理基本シート²⁾（以下、「シート」という）と呼んでいる。シートの詳細はここでは割愛するが、樹木伐採の判断のための工夫として、現況河道の水位計算結果に加え、樹木伐採後の水位を表示している。また、護岸基礎工の設置高を表示している。これらは、それぞれ流下能力の不足する区間、護岸被災が懸念される区間の抽出に有用であり、予算や人員が不足する中での効率的かつ効果的な点検に資する。

(3) 管理から設計へのフィードバック

シートにおいては、河川定期縦横断測量等の経年の情

報をもとに傾向分析を行い、河床高の変化等を予測する。一方、対象とする事象によっては、着目する事象が不明確であったり、判断基準が明確でなかったりするものがある。また、変状等の進展を予測できないものもある。例えば、河道掘削後の再堆積や樹木伐採後の再繁茂を予測する技術の研究は後述するように進んできているが、点検の対象とする指標や判断の目安を示すのに、どの程度寄与できるであろうか。管理の中でこれらの技術を磨き上げ、河道設計に活かすことも管理の重要な視点であり、管理で得た知見を設計にフィードバックすることは管理を研究の題材とすることの醍醐味である。

4. 土砂、植生に関わる研究・技術の現状と課題

河道管理に関わる工学的課題として、土砂水理学、植生水理学等に関する研究が長年にわたり行われてきており、移動床素過程や河川内植生動態等に関する知見が蓄積されつつある。しかしながら、変化し続ける河川環境と河川管理の現場における課題やニーズに対して、研究コミュニティからの知見の提供は十分とはいえず、現場における課題解決に資する研究・技術開発が望まれている。このような前提に立ち、小委員会では、河川の土砂、植生に関わる研究・技術の現状と課題について議論を進めている。小委員会における議論はまだ論点整理の段階であるため、現時点におけるいくつかの論点を紹介する。

(1) 河川の土砂と植生に関わる時空間スケールの階層性

河川における土砂と植生に関わる現象の時空間スケールは実に幅広い。例えば、流砂現象における砂粒子の運動や乱流構造などは秒スケール、1出水イベントに着目すれば時間～日スケールであるのに対し、植物の生育は年スケール、河道の中長期的な変化やダム建設が下流河道に及ぼす影響などは、数年～数十年スケールで顕在化する現象である。また、小さな時空間スケールの現象は、より大きな時空間スケールによって境界条件を規定されるために、一種の階層性を持つ。現在の河道の状態は、階層性を持った幅広い時空間スケールの現象が折り重なり、なおかつそこに人為的な河道改修や流域の水・物質動態に対する人間活動の影響が及んだ結果であって、このことが現在の河道がおかれている状況の分析・診断や、物事の因果関係の理解を難しくしている側面がある。

このため、河川における土砂・植生に関する学術知と河川管理における現場知・経験知を相互に結合するためには、まず、各研究が対象としてきた現象の時空間スケールと相互関係の整理が必要であろう。土砂水理学が伝統的に対象としてきた領域は、流砂現象（掃流砂、浮遊砂）、小規模河床形態、中規模河床形態（主に砂州）、蛇行理論・安定河道理論など、非常に幅広く、一般的には提示した順に時空間スケールが大きくなる。

近年の土砂水文学分野の研究の多くは、流砂現象の素過程の力学的記述や計算技術の高度化に多くの労力を割いてきており、大きな時空間スケールの現象を直接的に扱う研究、あるいは大スケールの影響が局所的現象にどのように現れるかを扱う研究は相対的に少なかった感がある。一方で、河道の樹林化・二極化、ダム堆砂、河床材料や河川地形の変化等、河道管理の直接・間接の課題となっている現象の多くは、数年～数十年スケールで進行している現象である。土砂水文学が得意としてきた現象の時空間スケールと、河道管理の課題となっている中長期的な現象の時空間スケールの間のギャップを認識し、その関連性を読み解く研究・技術を開発した上で、河道管理の課題解決に資するアプローチが必要とされている。

(2) 流域毎の土砂動態の工学的理解と河川管理への応用

中長期的な河道の動態の研究や、河川間の比較を行う上では、現在は恵まれた研究環境にあるとの指摘もある。

河川地形や水文データの蓄積と電子化が進んでおり、オープンデータではないものの、過去数十年に亘る河道の変化を追跡できるようになってきた。定期縦横断測量に加えて、空中写真、LPデータ、河川環境基図、河床材料調査等、河道の経年変化を分析するための情報はこの20年余りの間に格段に充実してきている。それだけでなく、高度経済成長期以降頻繁に行われてきた砂利採取による影響は、河道そのものが持つ土砂動態や地形変化の特性を見えにくくしていた。しかし、河川での砂利採取が多く、河川で取りやめられて以降、数十年が経過しており、河道が有する土砂動態と地形変化の方向性を分析しやすい環境が整ってきている。

各河川の河道特性に応じた河川管理が科学的知見に基づいてなされるようになるためには、流域による河道特性の違いがなぜ生じているのか、という視点での研究も必要であろう。流域の地形地質によって生産される土砂の量と質にかなり違いがあることは、ダム計画の分野ではかなり以前から認識されている。ダム堆砂量のモニタリングに基づいて比流出土砂量や土砂生産ポテンシャルなどが地形・地質と結び付けて整理され、現在では、それらの知見が総合土砂管理の技術体系に継承されている。しかしながら、河道管理の場面においては、流域・河川・セグメント毎の河道特性の違いは、河川縦断形や河床材料の縦断分布等として把握されてはいるものの、なぜそのような違いが河川毎に生じているのか、という観点からは十分に解明されていない。また、河道内の土砂動態と相互作用系にある植物は、気候の影響を大きく受けている。流域毎に異なる土砂動態とこれを基盤とする河道特性を、地形・地質や気候などの流域特性と関係づけて理解することは今後の重要な課題である。

(3) 土砂水文学の知見の現場活用における課題

過去数十年の日本の河川管理技術は、土砂水文学、河

川地形学などの知見を取り込みながら、着実に進歩してきたと考えられる。一方、学術的知見に不十分な点が残されていることが認識されないまま活用される例、あるいは適切に活用されていない例が指摘されている。

前者の例として、近年一般的に行われるようになってきた河床変動解析における流砂量式がある。平面二次元河床変動解析は、浅水流方程式と各種の流砂量式に基づき土砂動態、河床地形変化を予測するものである。iRICなどの高性能な計算プラットフォームの普及により、河床変動解析を河川技術者にとって身近なものとし、河川技術の高度化に大きな役割を果たしている。しかしながら、河床変動解析において既に公式的に扱われている流砂量式であっても、混合粒径条件下のみならず、均一粒径条件下においてさえ課題があることが指摘されている。このため、河川管理上求められる精度、時空間スケールに対して、種々の解析法の持つ精度や適用限界などについて適用例を踏まえて議論し、河川技術者と研究者とが共通の課題認識を持つことが重要である。そして、両者との間で浮上した新たな課題の解決を意識し、調査・解析・評価法などの研究・技術開発を行うことは、河川管理の現場だけでなく学術の発展にも寄与するであろう。

一方、土砂水文学の知見が適切に現場活用されていない例として、“砂州”の見方が挙げられている。砂州河道において、その砂州がいかなる作用によって形成されたものであるかの見極めは、砂州に起因する課題（例えば水衝部の形成、局所洗掘、砂州の樹林化等）への対処方針を検討する上での基本条件となる。しかしながら、議論の対象となっている砂州が、固定砂州であるか、たまたま緩い湾曲部に差し掛かった移動砂州かという見極めが困難であるなど、砂州研究の成果を河道管理の視座から再整理する必要性が指摘されている。

(4) 土砂と植生の相互作用

河道における土砂と植生は相互作用系にあることは自明であり、土砂が植物の生育基盤となる一方、植物は流れに作用して、土砂の堆積・侵食に影響して河川地形を変化させる。また、植物の種子は風散布・水散布など様々な形態で生じ、植物種によっては河川洪水による攪乱によって生育環境が保たれる種もある。また、細粒土砂には栄養塩が多く付着しており、植物の生長に利用される。このように、多くの関わりを持つ土砂と植生について、これらの相互作用の工学的な記述が不十分との指摘がある。より具体的には、流れの数値計算では、植物は単なる粗度や障害物として扱われることが多かったが、実際には洪水中に複雑な挙動を示す。例えば、洪水中に樹林帯は粗度として振舞うが、洪水中に倒伏・流失するかどうかによって水位や平面流況、河床変動は大きく変化する。また、疎な樹林帯に流木が捕捉されることによって透過率が変化し、平面流況や水位を変化させ、ときには災害の原因になるとの報告もある。植物の有無は、

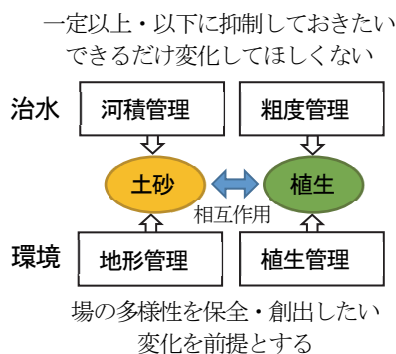


図-5 河道管理において土砂と植生が有する二面性

ウォッシュロードや浮遊砂の堆積にも大きく影響するため、河道掘削後にどのような植物が定着するかによって、その後の土砂堆積の度合いや維持管理に大きく影響する。このように、植物と（流れと）土砂の相互作用系についてより一層の知見の蓄積と体系的な記述が望まれる。

(5) 土砂水理学・植生水理学の現場実装に向けて

河川の土砂と植生を論ずるとき、多くの場面では、治水又は河川環境保全のいずれかの視点に立って議論がなされることが多い。治水と河川環境保全を両立する河道管理を目指す上では、個別の議論を統合するための枠組みが必要である。一つの枠組みとして、河道管理において土砂と植生が有する二面性を図-5に示す。河道管理における治水の目標は、洪水を安全に流下させることが最大の目的であり、土砂の堆積は河川断面積を低下させ、植物の繁茂は粗度を上昇させる。一方、河川環境保全の側では、生物の生息・生育・繁殖環境と多様な河川景観の保全・創出をするために、河川空間に多様な物理環境を必要とする。治水と環境を両立するためには、河道管理において土砂と植生が有する二面性を意識し、学術的知見がどのように現場活用可能かを研究側からも提示していくことが重要である。

5. 河道管理に資する新技術の動向

河道管理への活用が期待される新技術として、人工衛星やドローン等を用いた計測技術、大容量のデータを蓄積・管理するCIM、機械的に学習するAI技術、各種データを効果的に可視化するAR、VR技術などの新技術の進展が目覚ましい。小委員会では、このような新技術がどのように河道管理の現場に活かされているか事例をまとめ、新技術の活用における課題を整理した。

(1) 河道管理における新技術の整理と活用事例

近年の代表的な新技術について、河道管理の活用の方



図-6 河道管理における新技術の分類・整理

面に応じて、図-6に示すように、①データ取得（計測技術）、②評価・判断（解析技術）、③蓄積・継承（データ蓄積、図化技術）に分類・整理した。本報では、主に①データ取得に関する新技術として、UAV（小型無人航空機）、ALB（航空レーザ測深）、人工衛星を活用した事例について示す。

a) UAVを活用した事例

UAVは、既に河川管理の実務における測量、調査、施工、維持管理の場面で多く活用されている。管理面では、アクセスが困難な巡視箇所等の状況を“人の目に代わって”把握することで、管理者の負担軽減、省力化に繋がる³⁾。また、UAVは低高度での運用が可能であり、“非常に高分解能”の画像や点群データを得られる。これにより、密な樹木群下における地盤高の把握、水面下の河床材料粒径の把握⁴⁾、構造物のクラックの把握等が可能となり、AI等の画像解析技術を組み合わせた変状検知の試み⁵⁾も進んでいる。最近では、水面屈折率を考慮した水面下地形の把握⁶⁾、評定点レスの地形計測手法の提案⁷⁾、全天候型UAV、グリーンレーザ搭載UAVの登場等により、UAVの活用場面は今後ますます拡大すると予想される。ワークショップでは、UAVの活用事例として、出水時における表面流速分布の計測⁸⁾、画像解析による河床表層粒度分布の計測事例⁹⁾を紹介された。

b) ALBを活用した事例

ALBは、近赤外波長を用いた航空レーザ測量では計測できなかった水中下を、グリーンレーザを用いることで測深する技術である。ALBの登場によって、従来は200mピッチの深浅測量でしか把握できなかった水中下の地形を“限なく三次元的に”把握できるようになり、測線間で生じた洗堀の発見、砂州の移動など中規模河床形態を含めた地形変化の把握などが可能となってきた¹⁰⁾。

ワークショップでは、ALB点群データを土体とした河川CIMモデル¹¹⁾を紹介された。河川CIMモデルは、地形モデルに河道計画諸元、河川管理施設諸元、水防関連情報等を反映し、各種情報を“机上で”“任意の場所を”“立体的に”表示し、可視的に確認できるため、これま

で現地状況、平面図・横断図・縦断図等を交互に確認する必要のあった点検作業が容易となり、必要人員・費用の軽減、点検漏れの防止等が期待される。

c) 人工衛星を活用した事例

人工衛星データは、従来は分解能の粗さ、コストの高さ等から、災害後の浸水範囲の把握等では用いられるものの¹²⁾、日常的な河道管理で活用する機会は非常に少なかった。近年は高分解能化が進み、新たな地球観測衛星が次々と打ち上げられるなど市場が活況であり、今後の活用が期待される技術である。

衛星データのメリットには、数10kmスケールの“広大な範囲”を、1日～数ヶ月に1回の“高頻度”で“反復的”に調査可能、現場の安全管理が不要、波長帯の異なる多次元的情報が取得可能、調査単価が安価といった点が挙げられる。一方で、衛星データの分解能は、現時点では最高で30cm程度（例えばworldView-3）であるため、河道全体を粗く俯瞰的に把握するような活用用途となる。

ワークショップでは、複列河道における頻繁な流路変動を把握する事例、分光反射特性を用いて地被区分の変化を定期的に把握する事例¹³⁾等が紹介された。また、課題として、光学衛星の場合は雲量の条件によって計測範囲が影響を受けること、現状は複数の衛星が群雄割拠の状況で実務者が選定に悩むこと等が示された。

(2) 新技術の活用における課題

各種の新技術の進展・普及を背景に、これを河道管理に活用することで、省力化とともに、これまで経験的に進められてきた管理の高度化や合理化に繋がるものが期待される。一方、河道管理の実務における各段階において、新技術を如何に反映するかは現時点で曖昧であり、試行錯誤の状況にある。これに対処する上では、河道管理に必要な情報の再整理と計測データとの関係性の把握、高度化・多様化した技術を運用可能な人材の育成、三次元点群データ等の大容量化するデータ資産の統合的な管理等を進めていくことが重要である。

6. 河道管理における官民学連携に向けて

本報は、土木学会水工学委員会に設置された河道管理研究小委員会での議論と、2020年1月に開催されたワークショップの内容を中心に、その成果を取りまとめたものである。活動開始初年度は、官民学それぞれの立場からのレビューを中心に活動してきたが、今後、この連携体制をより実効的なものにしていくために、具体的なフィールドを特定、共有した研究・技術開発を実施し、現場、研究者、技術者からの課題や解決策のすり合わせを通して、現場起点の研究・技術開発の体制を築き上げていく必要がある。また、小委員会の活動について、本報告のような情報発信を継続的にを行い、小委員会メン

バー以外にも広く認識を共有し、全国の河川管理の現場で、管理者、研究者、技術者の連携が促進されるよう取り組んでいく予定である。

謝辞：本研究は、公益財団法人河川財団の河川基金助成事業（助成番号 2019-5211-031）により実施された。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領，2019.
- 2) 藤田光一，田上敏博，天野邦彦，服部敦，浦山洋一，大沼克弘，武内慶了：現場での実践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.
- 3) 野間口芳希，秋田麗子，炭田英俊，山崎崇徳：河川管理における新技術の活用に関する一考察，河川技術論文集，Vol.24，pp.251-256，2018.
- 4) 原田守啓，荒川貴都，大井照隆，鈴木英夫，沢田和秀：UAVと水域可視化処理による河川地形計測手法の検討，河川技術論文集，Vol.22，pp.67-72，2016.
- 5) 小澤淳真，筒井胤雄，山崎崇徳，本田禎人：AIを用いた河川管理実務の効率化・高度化に関する一考察，河川技術論文集，Vol.25，pp.611-616，2019.
- 6) 神野有生，上田修靖，IGD Yudha PARTAMA，赤松良久，関根雅彦：UAVを用いた浅水底の写真測量のための水面反射軽減技術，土木学会第72回年次学術講演会講演概要集，2017.
- 7) 小室隆，浦川貴季，米原千絵，宮崎真弘，神野有生，赤松良久：RTK-GNSS搭載型UAVによる複数天底角・複数高度撮影に基づく標定点を用いない河道写真測量，河川技術論文集，Vol.25，pp.237-242 2019.
- 8) 橋場雅弘，藤田一郎，萬矢敦啓，西山典志，太田陽子：大規模洪水時におけるUAVを用いたエアリアルSTIV法による流量観測の検証，河川技術論文集，Vol.25，pp.157-162，2019.
- 9) 平生昭二，阿左美敏和，吉村真，西口祐輝，河合彩里伊：UAV撮影画像処理による河床表層粒度分布把握に関する基礎研究，河川技術論文集，Vol.24，pp.263-266，2018.
- 10) 秋田麗子，西口亮太，野間口芳希：水中の河床地形の面的計測とその活用方策について，河川技術論文集，Vol.23，pp.173-178，2017.
- 11) 大西伸和，橋本将明，狩野晋一：河川CIMモデルの構築による河川維持管理の効率化方策検討，令和元年度 建設コンサルタント業務研究・発表会論文集，2019.
- 12) 国土交通省：災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究 総合報告書，2003.
- 13) 高橋俊守，加藤和弘，松下容一郎，村山昌史，安岡善文：多時期IKONOSデータと分類樹木を用いた河道内植生分類に関する研究，水工学論文集，第49巻，pp.1429-1434，2005.

(2020. 4. 2受付)