

多摩川中流部における船底形河道の形成と植生生育場・魚類避難場に関する研究

後藤 勝洋¹・瀬尾 敬介²・後藤 岳久³・福岡 捷二⁴

¹正会員 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: gotou-k@tamacc.chuo-u.ac.jp (Corresponding Author)

²非会員 国土交通省 関東地方整備局 京浜河川事務所 (〒230-0051 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央 2-18-1)

³正会員 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: goto510.21p@g.chuo-u.ac.jp

⁴フェロー 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: sfuku@tamacc.chuo-u.ac.jp

多摩川中流部河道は、経年的な河川改修により低水路河床高が維持され洪水流量に応じて低水路幅が拡大することで、自然河川に見られる動的に安定な河道形状である船底形河道へ変化している。本稿では、多摩川中流部に形成された船底形河道について、洪水流・河床変動解析結果を用いた水理的・環境的評価を行った。船底形河道では、砂州の比高差に応じて適度な洪水攪乱が生じることで、草本植物の生育場が保たれ、樹木管理のし易い河道となっている。また、船底形河道では、流量の増加に応じて水面幅が広がるため、底面流速の増加が緩やかであり、洪水時の魚類の避難場所となり得る低流速域が連続的に形成され易い。このように船底形河道は多様な生物のハビタットの保全に寄与し、その河道検討にあたり高精度の解析結果は重要な情報を与える。

Key Words: ship-bottom-shaped channel, stabilization of river channel, river vegetation, refuge for fish, quasi-3D flow and bed variation analysis

1. 研究の背景と目的

洪水流を河道で安全に流し、河道の安定性を高め、かつ河川環境にも配慮した維持管理のし易い河道形状の検討は、河川管理上最も本質的な課題である¹⁾。これまでの安定な河道形状に関する研究^{例えば2)3)}では、断面形状や流量が縦断的に変化しない理想的な直線河道に対して、河床・河岸を静的平衡状態、あるいは、動的平衡状態として仮定した安定河道の理論式を提示しているが、それらを土砂移動が著しく非平衡流砂運動を伴う実河川に適用するには課題が多い。さらに、現在の河川管理の基本は治水と河川環境の調和に基づくものであり、河道の安定性を含む治水と河川環境の両面に望ましい河道形状について明らかにすることが求められている。

それに対して、福岡⁴⁾は、実河川の河道形成流量と安定河道形状の力学関係に着目した新たなアプローチとして、国内外の沖積地河川のデータを用い、次元解析手法に基づき、河道の無次元流量と無次元断面諸量の関係式

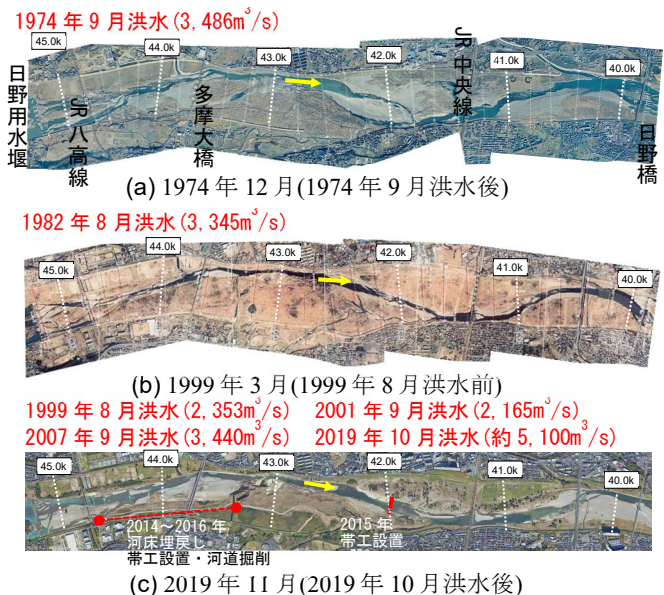


図-1 多摩川中流部(45.2~39.8km 区間)の河道の経年変化

(福岡の式)を導いた。そして、自然河川の河道形状に見られる低水路と砂州を含む高水敷が緩やかに連続した「船底形断面形」⁴⁾を基本に福岡の式を満足する断面形

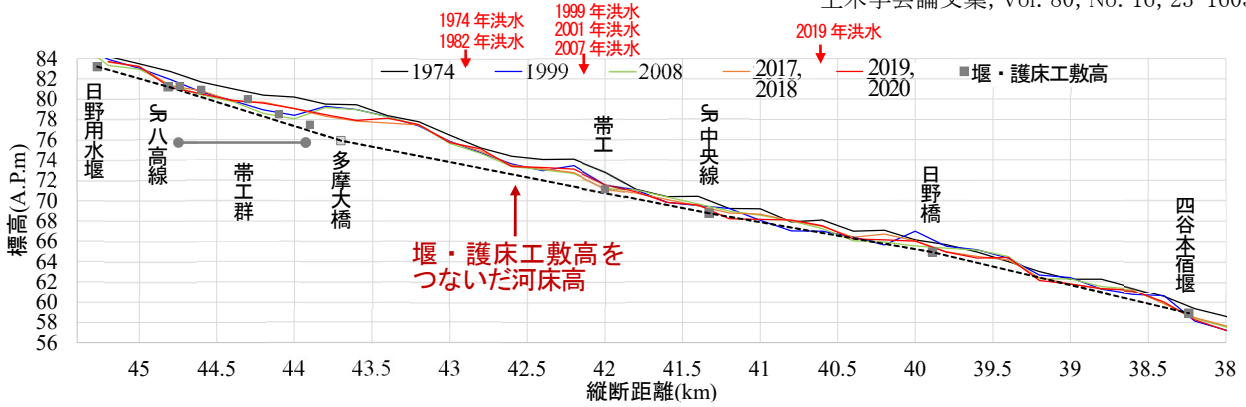


図-2 低水路平均河床高縦断分布の経年変化

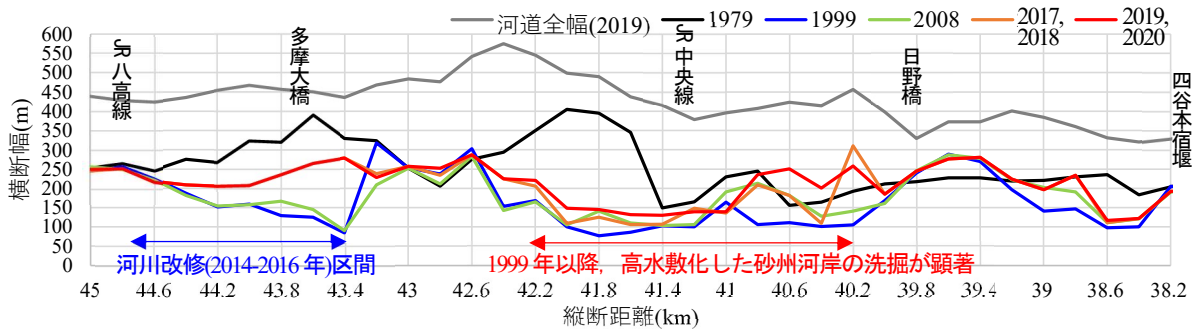


図-3 低水路幅の経年変化

が、治水と河川環境の調和した望ましい河道形状であるとして、河道設計の新しい考え方を示している。以降、各地で船底形河道に基づく河道設計の実践的な検討が進められている^{例えは 5), 6)}。

多摩川中流部(図-1)は、高度経済成長期の大量の砂利採取や固定堰の建設によって土砂移動量が減少したことによって低水路の河床低下が進行し、河道の二極化に伴い砂州河道の特徴は失われた。これに対して、低水路河床の安定化を図るため、横断構造物の計画的な設置・改築、砂礫による河床の埋戻し、高水敷化した砂州の掘削等による船底形河道への改修が行われた⁹⁾。著者ら^{7), 8)}は、多摩川中流部における洪水や河川改修に対する河道の長期的変化から、低水路河床高の維持と洪水流量に応じた低水路幅の拡大、それに伴う船底形河道化による河道の安定機構を明らかにしている。一方で、船底形河道は、環境面でも望ましく、生物の生育・生息・繁殖場(ハビタット)の形成と密接に関係すると考えられるが、その実証的な研究は行われていない。

河道における生物のハビタットなどの河川環境の評価については、国内外で様々な手法が提案され、河川環境整備の評価や目標設定など、河川管理にも実用されつつある^{例えは 9)}。しかし、これらの評価手法は、主に平水時の流況やある時期の植生・物理環境場の評価に留まっている。河道をハビタットとする生物にとっては洪水の影響は大きいと考えられるが、洪水時の流況や河道の変化に対するハビタットへの影響の評価やそれらに配慮した川づくりの検討はほとんど行われていない。その最大の要因は、洪水時の観測データが限られており、洪水時の

生物調査も困難であり、洪水時の流況やそれに対する魚類等の挙動が十分に把握されていないためと考えられる。これに対して 2000 年頃から、魚類に発信機を付けたテレメトリー調査が実用化され、実河川での洪水時の魚類の挙動がある程度明らかとなってきた^{例えは 10)}。観測・解析技術の発展とともに、洪水時の流況が高精度に解析できるようになり、それらの解析結果に基づく詳細な流れ場の情報が得られることによって、洪水時の河道と生物のハビタットの関係の評価が可能になりつつある。

本稿では先ず、既報^{7), 8)}で示した、多摩川中流部(図-1)における低水路河床高の安定化と船底形河道の形成の機構について説明する。その上で、2019 年 10 月洪水を対象とした準三次元洪水流・河床変動解析結果⁸⁾を用いて、「多摩大橋周辺」(44.8~43.4km)及び「JR 中央線上下流区間」(42.2~40.2km)に形成された船底形河道が多様な植生の生育場と洪水時の魚類の避難場所の形成に寄与することを明らかにする。

2. 多摩川中流部の低水路河床高の安定化と船底形河道の形成

図-2 は対象区間の低水路平均河床高縦断分布の経年変化、図-3 は低水路幅の経年変化、図-4 は横断形状(43.8km, 40.4km)の経年変化を示す。多摩川中流部では、1950~1960 年代の大量の砂利採取や固定堰の建設により、図-2、図-3、図-4 に示すとおり、低水路の河床低下が進行し、砂州が高水敷化したことで低水路幅が狭まり、特徴的な

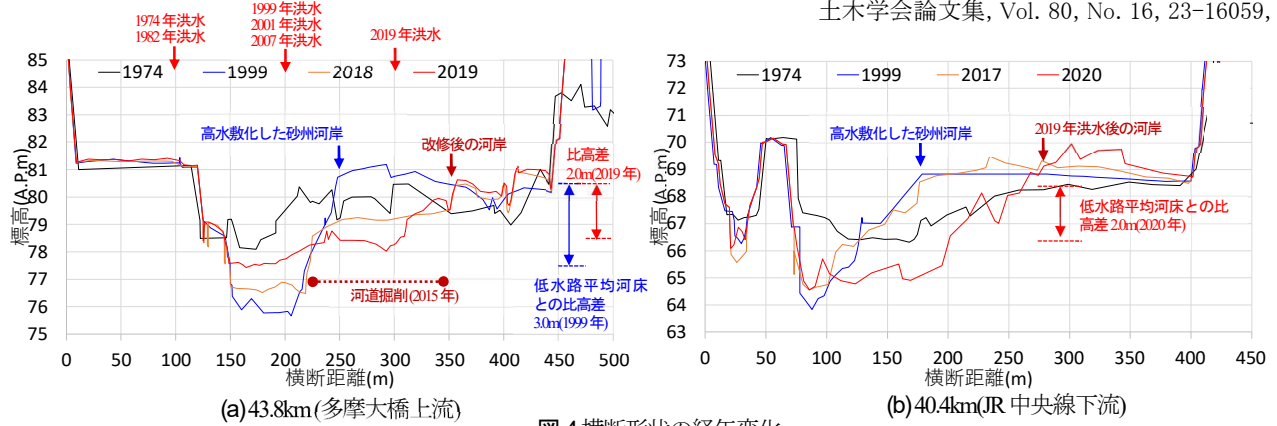


図4 横断形状の経年変化

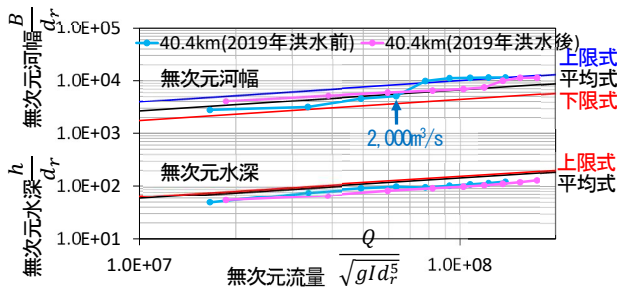


図5 福岡の式による2019年10月洪水前後河道の無次元流量と無次元河幅、無次元水深の関係(40.4km断面)



図6 多摩大橋周辺の船底形河道(43.6km付近)

砂州河道は失われた(図-1(b)). しかし近年, 当該区間の低水路河床高は, 橋脚の護床工や床止め工に改築した堰, 帯工群などの横断構造物の敷高(図-2の黒い点線)に規定されほぼ維持されるようになった. これにより, 1999年以降の大規模洪水に伴う河道の変化が低水路幅の変化(図-3)に顕われるようになり, 高水敷化した砂州河岸の洗掘が促され, 低水路幅の拡大とともに砂州河道が回復しつつある(図-1(c)). 計画洪水規模であった2019年10月洪水では, JR中央線上下流区間で顕著な砂州河岸の洗掘が生じ, 図-3, 図-4(b)より, 河道が二極化する前の1960年代の低水路幅に近づくように変化した結果, 河道断面形が低水路河床と高水敷(砂州)が緩やかに連続する船底形河道に変化している.

図-5は, 2019年10月洪水前後の河道における40.4km断面に対して, 各流量時の解析結果から求めた福岡の式⁹⁾による無次元流量と無次元河幅・水深の関係を示す. 図-5より, 2019年10月洪水前の二極化していた複断面河道(青線)では, 2,000m³/sに相当する無次元流量を超えると, 高水敷(砂州)が冠水し始めるため, 無次元河幅が急増し, 上限式付近にプロットされていた. これが船底形河道(ピンク線)になると, 上限式と下限式間の安定な低水路幅の領域に収まり, 無次元流量の増加に応じて無次元河幅, 無次元水深ともに福岡の式にほぼ平行して連続的に変化するようになり, 流量の変化に対応して安定河道の関係を満足している.

著者ら⁸⁾は, 複断面河道から船底形河道への変化について, 洪水エネルギーが河道全体で適切に分担されるように河床の不連続部(高低差)が洗掘され, その結果, 低

水路と高水敷(砂州)が滑らかに連続するような断面形が生じたものと考察し, 船底形河道は河道幅が堤防に規定されている中で, 洪水流量に応じて低水路幅を変化させて洪水流を安全に流下させることができる動的に安定した河道形状であることを示している.

3. 準三次元洪水流・河床変動解析による船底形河道と生物のハビタットの形成の関係

多摩大橋周辺の船底形河道は, 図-6の現地写真に示すように, 低水路河床と連続した砂州上で一年生草本群落, 多年生草本群落(オギ原), 樹木群落の棲み分けがなされており, 多摩大橋の downstream 砂州を中心に多摩川の代表的な植生であるオギ原が2019年10月洪水後も維持されている. また, 低水路幅を拡幅し河床を礫で埋め戻したことで1960年代の砂州河道が回復しつつあり, 平水時には濡筋が緩やかに蛇行し早瀬やワンドが形成される多様な水域のハビタットが見られる. 本章では, 広い範囲の洪水流量に対する流況の分析が可能な2019年10月洪水を対象に, 既報⁸⁾で実施した詳細な河道地形を考慮した準三次元洪水流・河床変動解析結果を用いて, 船底形河道が多様な植生の生育場と洪水時の魚類の避難場所の形成に寄与することを明らかにする.

(1) 解析方法

洪水流解析法については, 水深積分の枠組みで非静水圧分布の三次元流れを再現できる竹村ら¹¹⁾による準三次

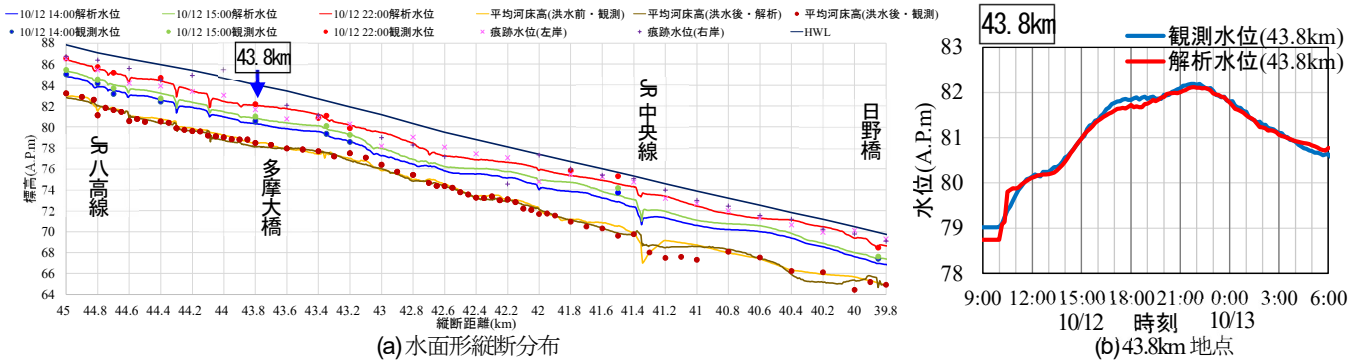


図-7 2019年10月洪水の観測水位と解析水位の比較

元洪水流解析法(Q3D-FEBS法)を用い、河床変動解析法は、長谷部ら¹²⁾による非平衡流砂運動を考慮した掃流砂と浮遊砂の一体解析法を用いた。解析格子は、2019年10月洪水前に実施されたALB測量及び横断測量結果、河川横断構造物の設計図面を用いて、1~5m程度の空間解像度で河道地形を詳細に再現した。また、河床材料の粒度分布は、低水路には対象区間の平均的な粒度分布を初期値として与えた。砂州・高水敷には、経年的に堆積した細粒土層を考慮するため、砂州河岸部で実施された調査結果を踏まえ、低水路の粒度分布の1mm以下の割合を2倍にした粒度分布を設定した⁸⁾。

本解析法を2019年10月洪水に適用した結果、実測の洪水水面形の時間変化(図-7)、流量ハイドログラフ、河床の洗掘・堆積傾向を十分説明できることを確認した⁸⁾。

(2) 船底形河道における多様な植生の生育場の形成

多摩川中流部のJR八高線~日野橋区間を対象に、船底形河道と植生の生育場の関係について分析を行った。図-8は当該区間における植生の経年変化を示す。この植生図は、植生区分を一年生草本、多年生草本、低木、高木群落で分類し、樹林化の主要因となっているハリエンジュ群落を赤の網掛けで表示している。図-9は、解析結果より低水路平均河床高と砂州の比高差の範囲毎に求めた平均的な冠水流量とその流量に対応した洪水の発生頻度(日野橋観測所の観測流量(1974~2019年)より算定)、2020年植生図と2019年10月洪水後の測量データ(JR八高線~JR中央線区間)から求めた各植生区分の生育箇所の比高差の範囲の関係を示す。

多摩大橋周辺は、河道の二極化が顕著であった1999年河道(図-4(a)の青線)における高水敷化した砂州の比高差が3.0m以上に達しており、砂州全体が樹林化していた(図-8(a))。図-9より、当該区間では砂州の比高差が3.0mを超えると、流量3,000m³/s程度(発生確率1/12年)以上の洪水でないと砂州河床がほとんど冠水せず植生が攪乱を受けないため、砂州が経年的に樹林化し易い状態であった。それが2019年河道(図-4(a)の赤線)では、船底形河道に改修され、切下げられた砂州の比高差は2.0m程度以下で2019年10月洪水後も概ね維持されている。比

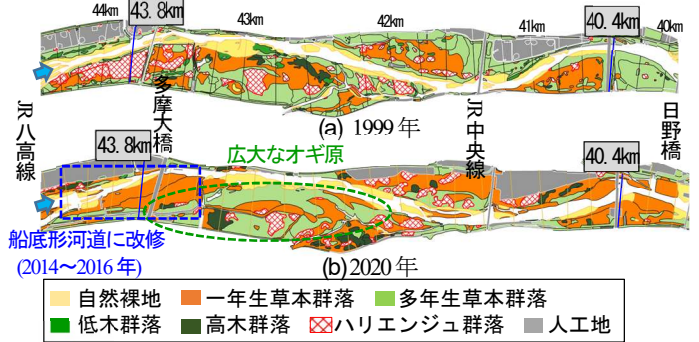


図-8 植生の経年変化

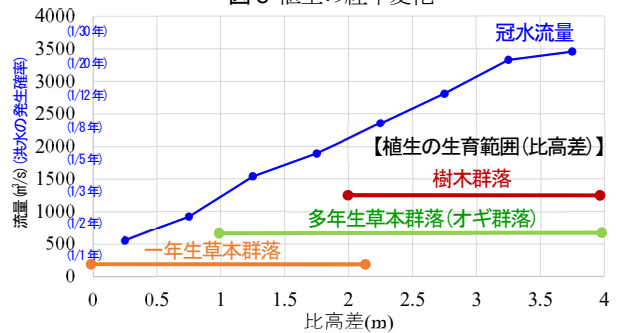


図-9 砂州の比高差と冠水流量、植生の生育範囲の関係

高差2.0m程度以下の砂州では、図-9より、流量2,000m³/s程度(発生確率1/5年)の洪水で砂州が冠水し攪乱が生じることから、樹木群落の拡大が抑制され、一年生・多年生草本群落の生育場が消長しながらも保たれている。2020年植生図(図-8(b))より、多摩大橋周辺及びその下流では砂州の比高差に応じて、自然裸地、一年生草本群落、多年生草本群落(オギ原)に遷移するエコトーンが形成されており、樹木の生育範囲も河床高の高い高水敷上にはほぼ限定されている。

2019年10月洪水によって船底形河道に変化した40.4km付近(図-4(b)の赤線)では、比高差2.0m以下の連続した砂州河床が形成され、2019年10月洪水後(図-8(b))は一年生草本群落に遷移している。今後、元々の植生であったオギ原に遷移することが期待される。

以上のことから、多摩川中流部に形成された船底形河道は、低水路河床との比高差が2.0m程度以下の連続した砂州河床が維持されているため、洪水による攪乱に応じた多様な草本群落の生育場が保全され、樹木の生育範囲が高水敷上にはほぼ限定された樹木管理のしやすい河道

であることを示唆している。なお、本分析結果は、船底形河道への改修以降、2019年10月洪水後までの限られたデータに基づくものであるため、今後の中小規模洪水を含む洪水に対する砂州・植生の応答を継続的にモニタリングし、データを蓄積・評価していく必要がある。

(3) 船底形河道による洪水時の魚類の避難場所となり得る低流速域の形成

次に、洪水流・河床変動解析結果を用いて、船底形河道と洪水時の魚類の避難場所となり得る低流速域の形成の関係について分析を行う。既往の調査研究(例えば¹⁰)より、洪水時に魚類が河岸や底面付近の流速の低い領域に退避し、遊泳速度を超える高流速に反応して避難行動をとっていることが明らかとなっている。それらの知見を踏まえ本稿では、準三次元洪水流解析から求まる「底面流速」を指標として、底面流速が魚類の遊泳速度を下回る領域を洪水時の避難空間となり得る「低流速域」として評価する。対象魚種は、当該区間周辺の河川水辺の国勢調査において確認個体数の多い「アユ」を代表魚種として選定した。アユの遊泳速度は、魚道的设计に用いられている体長と遊泳速度(突進速度)の関係¹³⁾を適用して、調査結果によるアユの平均体長に対する遊泳速度を算定し、これを遊泳可能流速の上限値の目安(1.5m/s程度)とした。

図-10はJR八高線～JR中央線区間における底面流速分布の解析結果、図-11は船底形河道に改修された43.4km断面、2019年10月洪水で二極化していた河道が船底形河道に変化した40.4km断面(2019年10月洪水前後河道)における各流量時の横断面内の底面流速分布の解析結果を示す。平均年最大流量に相当する流量1,000m³/s時(図-10(a))には、船底形河道に改修された多摩大橋周辺の右岸砂州やJR中央線上流の右岸砂州上の1960年代の複列砂州(図-1(a))の旧流路跡に広大な低流速域が形成されている。図-11(a)に示す1,000m³/s時(青線)の流速分布より、船底形河道の43.4km断面では、低水路河床と右岸砂州が横断的に緩やかに連続しているため、底面流速1.5m/s以下の低流速域も連続的に形成されている。一方、河道が二極化していた40.4km断面(図-11(b))では、低水路幅が狭く洪水流が集中するため、流速の増加が速く、1,000m³/s時には低流速域は高水敷化した砂州河岸付近の限定的な範囲となっている。

さらに流量が2,000m³/s(図-10(b))に達すると、多摩大橋周辺では高水敷が冠水し始める。この段階では、右岸砂州と高水敷上に整備された堤外水路(せせらぎ水路)の水面が横断的につながるとともに、せせらぎ水路と下流のJR中央線上流右岸砂州上の旧流路跡及び支川の谷地川が縦断的につながることで、縦横断的に連続した低流速域が形成されるようになる。図-11(a)より、船底形河道の43.4km断面では、1,000m³/s(青線)から3,000m³/s(オレ

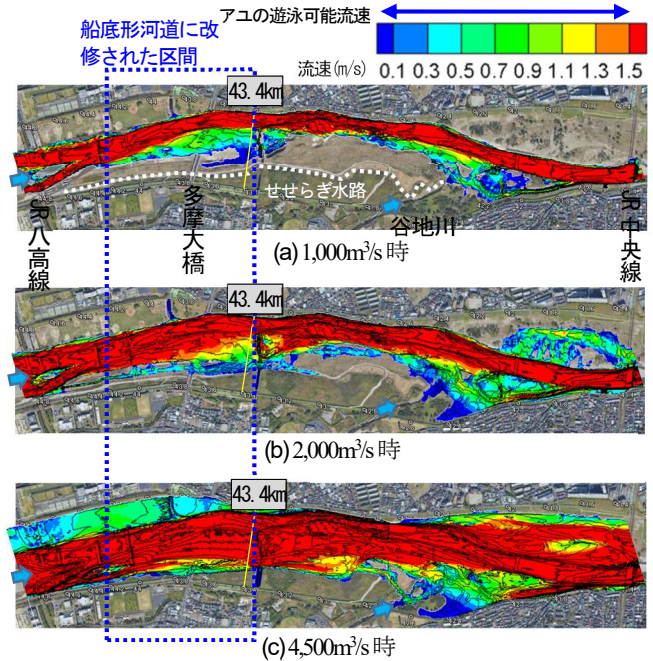


図-10 解析結果による底面流速分布の時間変化 (JR 八高線～JR 中央線区間)

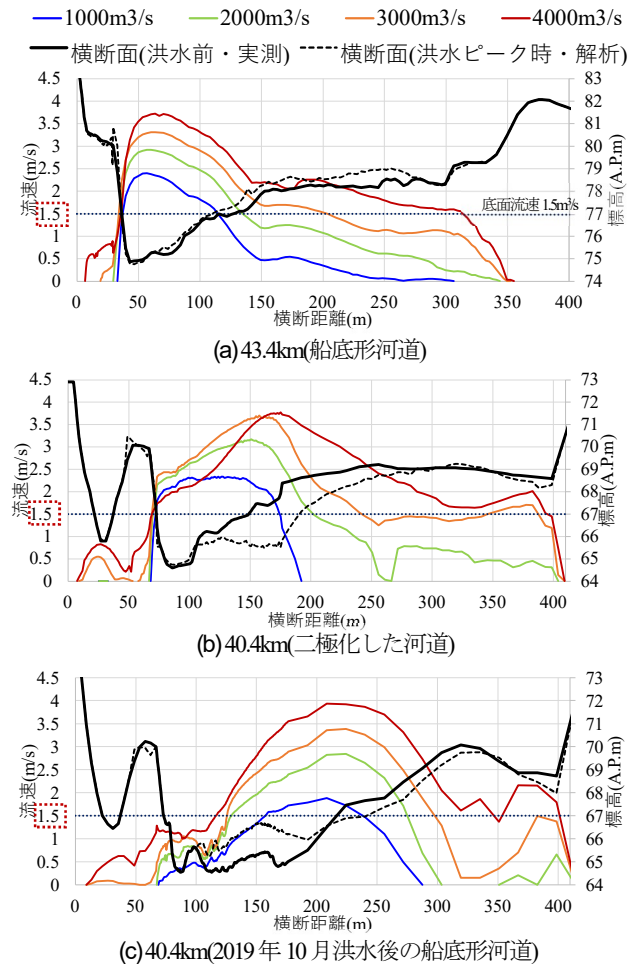


図-11 解析結果による各流量時の底面流速の横断分布

ンジ線)の流量の増加に応じて、水面幅が広がっていくため、底面流速の増加が緩やかであり、低流速域が時空間的に連続している。一方、河道が二極化していた40.4km断面(図-11(b))では、流量が2,000m³/s(黄緑線)程度

に達すると高水敷化した砂州が一気に冠水し始め、低流速域が不連続となっている。その後、既往最大洪水規模に相当する流量 $4,500\text{m}^3/\text{s}$ (図-10(c)) に達しても、高水敷上のせせらぎ水路周辺では低流速域が形成されている。2019年10月洪水前後に実施された魚類調査によると、せせらぎ水路で捕獲された魚類の個体数は洪水後に2.5倍に増加していたことから、せせらぎ水路が洪水時の魚類の避難場所として機能していることを示唆している。

2019年10月洪水によって船底形河道に変化した40.4km断面について、同洪水のハイドログラフを通水した場合の底面流速分布(図-11(c))を見ると、低水路の河積が増大し水面幅が広がったことで、滞筋への流れの集中が緩和された幅の広い流速分布を呈するようになっている。これにより、洪水前の二極化していた同断面(図-11(b))と比べて、流量の増加に対する底面流速の増加が緩やかになっており、流量が $3,000\text{m}^3/\text{s}$ (オレンジ線) に達しても底面流速 1.5m/s 以下の低流速域が連続的に形成される。当該断面では、局所的に砂州高が高くなっている箇所(横断320m付近)があり、これが水面や低流速域の横断的な広がりや妨げている。しかし、黒の点線の洪水ピーク時の横断形状が示すように、この砂州の高低差を解消するように河岸部の洗掘が生じ、より自然な河道形状に変化していく船底形河道の特徴が顕われている。

(4) オギ原による洪水時の魚類の避難場所となり得る低流速域の形成

さらに、多摩大橋周辺に生育する広大なオギ原(図-8(b))に着目し、オギ原による低流速域の形成について考察する。福岡ら¹⁴⁾による現地調査・実験より、オギやヨシなどの高茎草本類は、洪水流によって倒伏されていない状態では、群落内部の底面付近で死水域や流速が $0.2\sim 0.4\text{m/s}$ 程度に収まる低流速域が形成されることが示されている。多摩川大橋周辺のオギ原について、洪水流によって倒伏する際の草丈水深比と水面勾配の関係¹⁴⁾を適用すると、流量 $2,000\sim 4,500\text{m}^3/\text{s}$ 時の水面勾配 $1/270\sim 1/260$ 程度(解析結果)に対して、オギが倒伏する草丈水深比は 0.75 程度となる。オギの草丈を 2.0m 程度と仮定すると、水深 1.5m 程度が当該区間のオギの倒伏の目安となる。図-12に示すように、流量 $3,000\text{m}^3/\text{s}$ 時のオギ原周辺の水深は 1.0m 程度以下となっていることから、倒伏していないオギ原が船底形河道と高水敷上の低流速域を接続する魚類の避難経路となる可能性を示唆している。

以上のことから、船底形河道は、流量の増加に応じて水面幅が広がることで、底面流速の増加が緩やかであり、それにより低流速域が時空間的に連続して形成されることに加え、比高差に応じて広範囲に生育するオギ原による低流速域が高水敷と接続することで、洪水時の魚類の避難場所・経路となる可能性があることを示した。

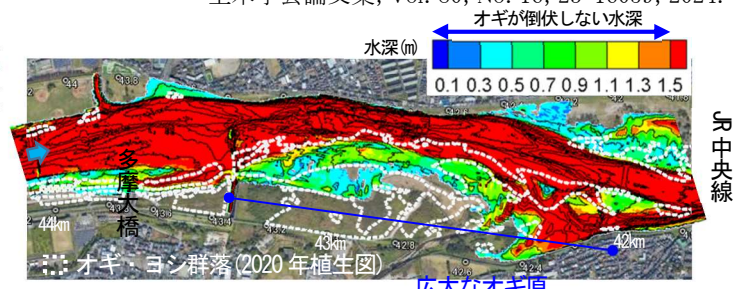


図-12 解析結果による $3,000\text{m}^3/\text{s}$ 時の水深分布(多摩大橋周辺)

4. まとめ

多摩川中流部では、低水路河床高の縦断形が維持されるようになったことで、近年の大規模洪水によって高水敷化した砂州河岸の洗掘が促され、河道が二極化する前の1960年代の低水路幅に戻つつあり、それに伴い、河道形状が船底形河道に近づくようになっている。本稿では、詳細な河道地形を考慮した準三次元洪水流・河床変動解析結果を用いて、多摩川中流部の船底形河道と生物のハビタットの形成の関係について評価した。船底形河道では、砂州の比高差に応じて、植生の棲み分けがなされ、洪水による攪乱が適度な頻度で発生することで、樹木群落の拡大が抑制され、オギ原等の草本群落の生育場が保たれている。また、船底形河道では、流量の増加に応じて水面幅が広がることで、底面流速の増加が緩やかであり、それにより低流速域が時空間的に連続して形成されるため、洪水時の魚類の避難場所・経路となる可能性がある。

このように、高精度の準三次元洪水流・河床変動解析法による詳細な流れ場の情報は、生物のハビタットに関する知見と組み合わせることでより多角的な河川環境評価に活用できるとともに、船底形河道を基本形とした治水と環境の調和した河道設計・管理に資する重要な情報を与える。

REFERENCES

- 1) 福岡捷二：洪水の水利と河道の設計法，森北出版，2005。 [Fukuoka, S.: Flood Hydraulics and Channel Design, Morikita Publishing Company, 2005.]
- 2) 平野宗夫：拡幅を伴う流路変動について，土木学会論文集，第210号，pp.13-20，1973。 [Hirano, M.: River-bed variation with bank erosion, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Vol.210, pp.13-20, 1973.]
- 3) 池田駿介，Gary Parker，千代田将明，木村善孝：直線礫床河川の動的安定形状とそのスケール，土木学会論文集，第375号，pp.117-126，1986。 [Ikeda, S., Parker, G., Chiyoda, M. and Kimura, Y.: Stable channel cross-section of straight gravel rivers with actively transported bed materials, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Vol.375, pp.117-126, 1986.]
- 4) 福岡捷二：温暖化に対する河川の適応技術のあり方治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて，土木学会論文集 F, Vol.66, No.4, pp.471-489, 2010。 [Fukuoka, S.: River engineering adaptations against the global warming - towards

- generalization of close-to-nature rivers -, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser.F, Vol.66, No.4, pp.471-489, 2010.]
- 5) 笹木拓真, 宮原幸嗣, 福岡捷二: 複断面から船底形河道への改修による洪水流況及び低水路河床高の変化, 河川技術論文集, 第 20 巻, pp.277-282, 2014. [Sasaki, T., Miyahara, K. and Fukuoka, S.: Changes in flood-flow dynamics and bed variations by repair to ship-bottom-shaped channels from compound channels, *Advances in River Engineering*, Vol.20, pp.277-282, 2014.]
 - 6) 小澤太郎, 福島陽介, 海津義和, 後藤岳久, 福岡捷二: 多摩川上流部における治水と河川環境が調和した総合的な河道管理, 河川技術論文集, 第 19 巻, pp.471-476, 2013. [Ozawa, T., Fukushima, Y., Kaizu, Y., Gotoh, T., and Fukuoka, S.: River management in consideration of both flood control and river environment at the upper reach of the Tama River, *Advances in River Engineering*, Vol.19, pp.471-476, 2013.]
 - 7) 後藤勝洋, 寺西浩三郎, 後藤岳久, 福岡捷二: 多摩川中流部における河道の長期変遷(1947年~2020年)から見た低水路河道の安定・不安定と河川植生の相互関係の分析, 河川技術論文集, 第 28 巻, pp.217-222, 2022. [Gotoh, K., Teranishi, K., Gotoh, T. and Fukuoka, S.: Interrelationships between stabilization of the main channel and river vegetation viewed from the long-term(1947-2020) change of river channel in the middle Tama River, *Advances in River Engineering*, Vol.28, pp.217-222, 2022.]
 - 8) 後藤勝洋, 後藤岳久, 瀬尾敬介, 福岡捷二: 大規模洪水による高水敷化した砂州河岸の洗掘に伴う船底形断面面の形成, 河川技術論文集, 第 29 巻, pp.329-334, 2023. [Gotoh, K., Teranishi, K., Gotoh, T., Seo, K. and Fukuoka, S.: Formation of ship-bottom-shaped channel due to scouring of immobilized sandbar riverbanks by large floods, *Advances in River Engineering*, Vol.29, pp.329-334, 2023.]
 - 9) 永矢貴之, 白石芳樹, 釜瀬明日香, 鬼束幸樹, 東野誠, 高見徹, 東均, 秋山壽一郎: 流況一生活環境評価モデルに基づく最適河道断面の選択手法の提案, 環境工学論文集, 45 巻, pp. 39-50, 2008. [Nagaya, T., Shiraiishi, Y. Ukese, A., Onitsuka, K., Higashino, M. Takami, T., Higashi, H. and Akiyama, J.: Evaluation of suitable hydraulic conditions for living environment of fishes with horizontal 2-D numerical simulation and PHABSIM, *Environmental Engineering Research*. Vol.45, pp. 39-50, 2008.]
 - 10) 東信行, 鴨下真吾, 佐原雄二, 関泰夫, 渡辺勝栄: 増水時における河川魚類の挙動と河川構造, 環境システム研究, Vol.27, pp.793-798, 1999. [Azuma, N., Kamoshita, S., Sawara, Y., Seki, Y. and Watanabe, K.: Behavior of Japanese dace *Leuciscus hakonensis* and masu salmon *Oncorhynchus masou* during flood period, *Environmental Systems Research*, Vol.27, pp.793-798, 1999.]
 - 11) 竹村吉晴, 福岡捷二: 波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS), 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019. [Takemura, Y. and Fukuoka, S.: Analysis of the flow in undular and hydraulic jump stilling basins using non-hydrostatic quasi-three dimensional model considering flow equations on boundary surfaces, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1(Hydraulic Engineering), Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019.]
 - 12) 長谷部夏希, 後藤岳久, 福岡捷二, 榊井正将: 掃流砂と浮遊砂を一体的に扱う準三次元洪水流・河床変動解析法の開発と昭和 56 年 8 月石狩川洪水への適用, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.78, No.2, pp.967-972, 2022. [Hasebe, N., Gotoh, T., Fukuoka, S. and Masui, M.: Development of quasi-three-dimensional flood flow and riverbed variation analysis method that can calculate bed load and suspended load integrally, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser.B1(Hydraulic Engineering), Vol.78, No.2, pp.967-972, 2022.]
 - 13) 財団法人ダム水源環境整備センター編集, 廣瀬利雄編著, 中村俊六編著: 魚道の設計, 山海堂出版, pp.170-171, 1991. [Water Resources Environment Center, Hirose, T. and Nakamura, S.: Design of fishways, Sankaido Publishing Company, pp.170-171, 1991.]
 - 14) 福岡捷二, 成田一郎, 服部敦, 狩野晋一: 洪水時の高茎草本の挙動と粗度係数, 河川技術論文集, 第 11 巻, pp.237-242, 2005. [Fukuoka, S., Narita, I., Hattori, A. and Karino, S.: Altherbosa behavior and roughness coefficient during flood, *Advances in River Engineering*, Vol.11, pp.237-242, 2005.]

(Received May 31, 2023)

(Accepted September 12, 2023)

STUDY ON THE FORMATION OF SHIP-BOTTOMED RIVER CHANNEL, VEGETATION AREA AND FISH REFUGE IN THE MIDDLE REACH OF TAMA RIVER

Katsuhiro GOTOH, Keisuke SEO, Takahisa GOTOH and Shoji FUKUOKA

In the middle reach of Tama River, the low channel bed height has been controlled by continuous river improvements, and the river channel has been transformed into the ship-bottom-shaped channel as the low channel width has been increased in response to flood flow. In this study, we evaluated the hydraulic and environmental characteristics of the ship-bottom-shaped channel by flood flow and river bed variation analysis. In the ship-bottom-shaped channel, sandbar bed is moderately disturbed by floods according to the height of sandbar, which dynamically maintains the habitat for herbaceous vegetation and facilitates tree management. In addition, the water surface width widens as the flow rate increases and the increase in bottom velocity becomes slow, resulting in creating continuous low velocity area that can provide refuge for fish during flooding. Thus, the ship-bottom-shaped channel contributes to the conservation of diverse habitats. And the results of this highly accurate analysis provide important information for design and management of the channel in harmony with flood control and river environment.