

論文内容の要旨

多摩川中流部における洪水流と河川改修による河道の長期的変化及び治水と河川環境の調和に関する研究

都市人間環境学専攻 後藤 勝洋

【研究の背景と目的】

本研究の対象とする多摩川中流部(日野用水堰～大丸用水堰:45.2～32.4km)では、過去の砂利採取や固定堰の建設等に伴う河道内の土砂移動量の減少が治水と河川環境へ与える影響は深刻となっている。そのため、浅川合流点上流区間(45.2～37.0km)では、計画的に河川改修が進められたことで、近年、大規模洪水の発生とともに低水路河床高が安定し、かつての砂州河道が回復しつつある。

大規模洪水に対する災害が少なく、かつ、治水と河川環境の調和した川づくりを行うためには、これまでの洪水流や河川改修に対する河道の長期的変化を把握し、その知見を河川管理に活かすことが重要と考える。本研究では、多摩川中流部の河道の長期的変化を分析し、浅川合流点上流区間の低水路が安定化する機構を明らかにする。そして、その低水路の安定化の機構を活用して、合流点下流区間(37.0～32.4km)の低水路の安定化を図るための河川技術を検討する。さらに、低水路の安定化した河道では、自然河川の河道形状である「船底形断面形」が形成され、それが治水と河川環境の調和した川づくりにつながることを明らかにする。

【本論文の内容と成果】

第1章「序論」では、研究の背景と目的、本論文の構成を示した。

第2章「既往研究と本研究の位置づけ」では、「洪水流と河道形状」、「河道と植生の変化の相互関係」、「生物のハビタットの評価」に関する既往の研究について、それらの成果と課題を踏まえた本研究の位置づけを示した。

第3章「多摩川中流部の複断面河道の長期的変遷、低水路河道断面の安定化の機構」では、過去74年間(昭和22年～令和2年)の実測データを用いて、洪水や河川改修に対する河道の長期的変化について分析した。浅川合流点上流区間では、既設の護床工や改築した堰、帯工の敷高に規定され、低水路河床高の縦断面形が維持されるようになった。これにより、洪水に伴い低水路幅の拡大が促され、低水路が安定化しており、それが砂州の比高差の維持とともに多様な植生域の保全に寄与していることを明らかにした。また、低水路河床の安定した河道では、昭和40年代の低水路幅に戻るように変化し、河道断面形が「船底形断面形」を形成していることを示した。

第4章「浅川合流点上流区間の低水路安定化の機構を用いた合流点下流区間の河道改修技術」では、第3章で明らかとなった浅川合流点上流区間の低水路の安定化の機構を活用して、合流点下流区間の低水路の安定化を図るため、大丸用水堰を切り下げて床止め工に改築し、河道の土砂移動量を制御することで、低水路河床縦断面形を維持する河川技術を提案した。堰改築による効果を準三次元洪水流・河床変動解析法を用いて評価した結果、河道の流下能力と土砂移動状況の改善をもたらし、かつての交互砂州河道を回復させ、低水路の安定化に寄与することを示した。

第5章「安定した砂州河道と生物のハビタットの形成の関係」では、第3章で示した低水路の安定化に伴い形成される「船底形断面形」について、砂州の比高差に応じた多様な植生の生育場の動的な維持と洪水時の魚類の避難場所となり得る低流速域の形成に寄与することを示し、「船底形断面形」が治水と河川環境の調和した河道断面形となり得ることを明らかにした。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題を示した。

本論文は、多摩川中流部で長期間にわたり実施されてきた河川改修が、洪水時の土砂移動量の制御に寄与し、計画的に設置・改築されてきた横断構造物が一体となって機能することで、適切な低水路河床縦断面形が維持され、低水路幅の回復とともに河道の安定化、良好な生物のハビタットの形成につながっていることを水理的・河川工学的手法で明らかにしている。

論文審査の結果の要旨

多摩川中流部における洪水流と河川改修による河道の長期的変化及び治水と河川環境の調和に関する研究

Study on harmonization with flood control and river environment viewed from long-term changes of river channel due to flood flows and river channel improvements in the middle reach of Tama River

都市人間環境学専攻 後藤 勝洋

Civil, Human and Environmental Science and Engineering, Katsuhiro Gotoh

研究背景と目的

沖積地を流れる自然河川は、大規模洪水時の流れとそれに伴う土砂移動によって河道の縦横断面形が形成され、その後の洪水により河道形状は変化しながらも、河道断面形のある程度の変動幅の中で長期的に安定している。しかし、河川改修は、河道における土砂移動量の時間的・空間的な不連続性をもたらすことになり、低水路河床高の低下と低水路幅の縮小化、いわゆる河道の二極化を生じさせ河川構造物の被災をもたらしている。河道の二極化は、高水敷(砂州)上の樹林化、砂州や瀬・淵などの生物の生息・生育・繁殖場(ハビタット)を縮小・消失させるなど河川環境面への影響も大きい。

多摩川中流部(日野用水堰～大丸用水堰: 45.2～32.4km)の複断面河道においては、洪水時の低水路の土砂移動の不連続性が治水と河川環境へ与える影響は深刻である。河道の土砂移動量を回復することによって、治水と河川環境を一体的に捉えた河川管理を実行することが課題である。

本研究では、多摩川中流部のこれまでの河川改修や大規模洪水に対する河道の長期的な変化を分析し、浅川合流点上流区間の低水路が安定する機構、合流点下流区間の低水路の不安定化の要因を明らかにする。そして、浅川合流点上流区間の低水路の安定化の機構を合流点下流区間に活用して、土砂移動の連続性を改善し低水路の安定化を図る河道改修技術を確立する。さらに、低水路砂州河道の安定した断面形が、自然河川の河道形状である「船底形断面形」を呈し、それが生物のハビタットの形成に寄与することを示し、「船底形断面形」が治水と河川環境の調和した河道断面形となり得ることを明らかにする。

本論文の内容と成果

本論文は6章で構成され、各章の内容と成果の概要は以下のとおりである。

第1章「序論」では、研究の背景と目的、本論文の構成を示した。

第2章「既往研究と本研究の位置づけ」では、治水と河川環境の観点から関係する既往の研究についてとりまとめ、それらの成果と課題を踏まえた本研究の位置づけを示した。

洪水流と河道形状に関する研究は、洪水流によって河道がどのように変化し、どのような問題が生じたか、対策はどうあるべきかといった調査研究が中心であり、長期間にわたる洪水流と河川改修を受け続けた河道と河川環境の変化、それらの相互関係について調査した研究はほとんど行われていない。近年になって洪水の履歴と人間活動による治水(河道の安定)と河川環境に及ぼす長期的な影響評価ができる段階となってきた。

計画規模の洪水流に対して河道断面形の作り方について、福岡(2010)は、国内外の沖積地河川の無次元計画流量と安定な無次元河幅・無次元水深の関係式(福岡の式)を導き、福岡の式が自然河川の形状である「船底形断面形」を表すことを示した。しかし、「船底形断面形」が、河川植生や生物のハビタットとの関係から見ても望ましい河道断面形かを、実河川で実証することが望まれる。

多摩川における河道と植生の関係に関して、李、藤田ら(1999)は、河道の変化による植生の生育環境への影響と、植生の土砂堆積作用などによる河道への影響を水理学的に分析し、礫河原が樹林化する機構を検討しているが課題が多く残されている。河川における生物のハビタットに関しては、国内外で様々な評価手法が提案されているが、そのほとんどは平水時の流況における評価手法であり、洪水時の流況、それによる河道の変化に対する

生物のハビタットの評価手法は確立されていない。

長い歴史を持つ治水事業と比べて、河川環境の整備と保全是新しい事業対象であったこともあり、先進的に取り組まれてきた多摩川においても、河川環境は地先の問題として捉えられ、治水と河川環境は一体ではなく、別々の事業として実施されることが多かった。そのため、本研究では、過去の度重なる洪水の作用と改修工事を受けて変化を遂げてきた多摩川中流河道において、長期にわたる実測データの分析と精度の高い洪水流・河床変動解析に基づいて、安定な河道や生物のハビタットがどのように形成されて来たかを水理的視点で詳細に検討し、多摩川の治水と河川環境を一体的に扱う河川管理の重要性について論じる。

第3章「多摩川中流部の複断面河道の長期的変遷、低水路河道断面の安定化の機構」では、多摩川中流部(日野用水堰～大丸用水堰)を対象に、過去74年間(昭和22年～令和2年)の実測データを用いて、河川改修や洪水等に対する河道の長期的な変化、それらを踏まえた低水路の安定・不安定化の機構、河道の変化と植生の変化の相互関係、低水路の安定化の機構と「船底形断面形」の関係について検討している。

多摩川中流部では、昭和49年～令和元年の過去46年間で $2,000\text{m}^3/\text{s}$ (日野橋観測所)を超える大規模洪水が6回(昭和49年、昭和57年、平成11年、平成13年、平成19年、令和元年)発生している。昭和57年洪水後から平成11年までの17年間は、 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を超える洪水は発生しておらず、平成11年以降、発生頻度が高くなっている。このため、多摩川中流部の河道の変化を考える上で、平成11年を一つのポイントと捉え分析を行った。

浅川合流点上流区間(45.2～37.0km)では、平成11年以降、大規模洪水の頻発化とともに、これまでの河川改修による効果が顕われ始め、低水路河床高がほぼ維持されている。この低水路河床高の安定を保つ機構について以下に示す。JR中央線上流～四谷本宿堰区間(42.2～38.2km)では、日野橋(39.9km)、JR中央線(41.35km)の橋梁に護床工が設置されており、その上流の低水路河床高が護床工の敷高程度に達すると河床低下が抑制されるようになった。さらに、四谷本宿堰(38.2km)は、平成13年9月洪水で被災したため、堰の敷高を切り下げて、床止め工に改築されたことで、河道の流下能力、土砂移動量が改善された。これにより、当該区間の低水路河床高は、ほぼ一定間隔で設置された堰や横断構造物の護床工の敷高に規定され、低水路河床高の縦断面形がほぼ維持されることで、平成11年以降の洪水規模の増大により、高水敷化していた砂州河岸の洗掘が促され、その土砂が河床へ供給されることで、低水路河床が安定化することが明らかとなった。これにより、低水路河床と砂州河岸の比高差の安定は、洪水による砂州河床の攪乱を適度な頻度でもたらし、比高差2.0m程度以下の砂州上では新たな樹木群落の定着・拡大が抑制され、そこにはオギ原等の草本群落が動的に保たれていることが分かった。一方、JR八高線～多摩大橋区間(44.8～43.8km)では、平成26～28年に、多摩大橋周辺地区(44.8～43.4km)で、砂礫による河床の埋戻しと高水敷化した砂州の掘削、連続的な帯工群の設置等による「船底形断面河道」への改修が行われた結果、低水路河床高は概ね維持され、低水路幅が広がったことにより、昭和40年代の砂州河道が回復しつつある。

一方、浅川合流点下流区間(37.0～32.4km)では、その下流端に固定堰部が7割を占める大丸用水堰(32.4km)、その上流には河積阻害の大きい京王線橋梁(35.1km)が存在し、それらが上流河道及び浅川からの流入土砂の流下を妨げるため、それら横断構造物の直上流に土砂が堆積し、大規模な砂州(中州)を形成している。特に、大丸用水堰は洪水の流下能力が低いことに加え、発達した中州の不安定な形状による濘筋への流れの集中や偏流、それに伴う水衝部位置の変化が護岸や河岸侵食被災をもたらしており、改築の緊急性が高いことが明らかとなった。

第4章「浅川合流点上流区間の低水路安定化の機構を用いた合流点下流区間の河道改修技術」では、第3章で明らかとなった浅川合流点上流区間の低水路の安定化の機構を、合流点下流区間の低水路安定化を図るための技術として活用し、その効果を洪水流・河床変動解析法を用いて評価している。

浅川合流点上流区間の低水路河床縦断面形が堰・護床工等の敷高に規定されて安定していることを踏まえ、堰上流の京王線橋梁(35.1km)の護床工の敷高と堰下流の低水路河床高が経年的に安定している31.0km付近の低水路

平均河床高をつないだ河床縦断面形を想定し、その河床縦断面形における大丸用水堰地点(32.4km)の高さを、堰改築後の床止め工の敷高として設定した。堰改築による効果を検証するため、橋梁や堰等の横断構造物周辺の流れと土砂移動を精度良く解析可能な非静水圧準三次元洪水流・河床変動解析を行った。河床変動解析は掃流砂・浮遊砂間の相互作用を考慮した非平衡流砂運動に基づく解析法であり、これらを令和元年10月洪水に適用した結果、実測の洪水水面形の時間変化、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、評価した。その結果、堰改築後河道では、洪水ピーク時の水面形が計画高水位を下回り、河道の流下能力が向上すること、現況河道に比べて堰を通過する流砂量が増加し、堰上下流の土砂移動が改善されることを示した。また、砂州の移動が妨げられなくなったことで、現況河道で見られた低水路内の不規則な砂州(中州)の発達は解消されることにより、堰直上流の砂州の比高差は0.9m程度に抑えられ、これは樹木が繁茂しやすい比高差(2.0m程度以上)と比べて十分に低く、砂州上の樹木の繁茂は抑制される。以上のことから、大丸用水堰を切り下げて床止め工に改築し、低水路河床の縦断面形を是正することにより、河道の流下能力と土砂移動の改善をもたらし、低水路の安定化に大きく寄与することを明らかにした。

第5章「安定した砂州河道と生物のハビタットの形成の関係」では、第3章で示した低水路の安定に伴い形成される「船底形断面形」について、多様な植生の維持と洪水時の魚類の避難場所の形成の観点から分析し、「船底形断面形」が治水と河川環境の調和した河道断面形となり得ることを考察している。

安定した砂州河道と植生の生育場との関係について、砂州上の植生を一年生草本群落、オギ群落(多年生草本群落)、樹木群落に区分し、それぞれの生育範囲を砂州の比高差、冠水・河床変動が生じる流量(解析結果)との関係で分析した結果、「船底形断面形」では、砂州の比高差に応じて、植生の棲み分けがなされ、洪水による冠水・攪乱が適度な頻度で発生する。その結果、樹木群落の拡大が抑制され、オギ原を代表とする草本群落が動的に維持されていることを示した。

洪水時の魚類の避難場所については、第4章で行った河道の底面流速分布を用い、洪水時の魚類の避難行動の東ら・1999、傳田ら・2009の知見を踏まえ、これを指標として多摩川の代表的な魚種(アユ、オイカワ)を対象に分析を行った。対象魚種の遊泳速度(0.7~1.5m/s程度)以下の低流速域を、魚類の避難場所となる可能性のある領域とみなし、広い範囲の流量に対して低流速域が形成される河道の特徴を考察した。分析の結果、「船底形断面形」に改修された多摩大橋周辺(44.2~43.4km)の右岸砂州は、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とを示した。以上のことから、「船底形断面形」は、治水(河道の安定)と河川環境(良好な生物のハビタットの形成)の調和した河道断面形となり得ることを明らかにした。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題を示した。多摩川中流部では、長期間にわたり実施されてきた河川改修が、洪水時の土砂移動の連続性の改善に寄与し、既設の横断構造物の護床工や改築された堰、帯工群等の横断構造物が一体となって機能することで、適切な低水路河床縦断面形が維持され、低水路幅の回復とともに河道の安定化、良好な生物のハビタットの形成につながっていることを水理的・河川工学的手法で示している。さらに、精度の高い洪水流・河床変動解析手法を用いて、洪水流と土砂移動、河川構造物の関係、及びそれらが治水と河川環境に与える影響を適切に評価し、その結果に基づき河川構造物の設計法を提案、実施しており、これは河川防災技術のための「デジタルツイン」技術の好例になるものと考えられる。

以上により、本論文は、治水と河川環境の調和した河川の作り方の技術を示すとともに今後の河川管理の新たな方向性を提示するものであり、本論文の学術的、工学的価値は高く、博士(工学)に値する。