

学位請求論文要旨

デルタ河川網の洪水流と河床変動に関する研究

FLOOD FLOWS AND BED VARIATIONS IN CHANNEL NETWORK ON RIVER DELTAS

土木工学専攻 後藤 岳久
Civil Engineering, Takahisa Gotoh

研究背景と目的

デルタは洪水流によって形成される沖積地形の一つである。洪水毎に幾つもの流路が流れの位置を変えながら海に土砂を流出・堆積させ、デルタ地形を形成する。人々はこのような土地においても、洪水災害から人命・財産を守る努力を重ね集落、都市、農地を築いてきた。デルタの治水を適切に行うためには、デルタ河川網における洪水時の流れと河床変動を把握することが必要である。

研究対象とした太田川デルタには110万人の人口を有する広島市の中心市街地が位置しており、太田川放水路と5つの市内派川からなる流路網を形成している。明治以降、河口デルタは大正8年の大洪水をはじめとして、ほぼ4、5年に1回の割合で洪水被害を受けた。そのため、国直轄による太田川の改修が強く望まれ、昭和8年に太田川放水路の建設を含む太田川改修計画が決定された。そして、戦争による中断を挟みおよそ36年の歳月をかけ昭和43年に太田川放水路が竣工した。太田川放水路と旧太田川の分派点の形状と構造は昭和23年の改修計画に基づいて設計されており、河川整備基本方針における計画高水流量に対して、適正な分流機能を有しているかは明らかになっていない。さらに、実洪水においてそれぞれの河川にどの程度の流量が流れるかについては、正確に把握出来ていない。太田川では基本高水流量12000(m³/s) (玖村地点)のうち4000(m³/s)を洪水調節施設で調節する計画であるが、未だ整備途上段階にある。このため、河道の流下能力を超える洪水が流下することが考えられる。デルタ河川における洪水流と河床変動を評価し得る解析モデルを構築し、洪水流の流れ方を把握し、安全な川をつくることが重要である。

太田川デルタ河川の河岸沿いには干潟が形成されており、汽水生物の貴重な生息・生育・繁殖の場となっている。太田川放水路の干潟には塩性植物群落が広島湾域で唯一まとまって形成され、アサリやヤマトシジミなどの潮干狩りの場所にもなっている。一方、太田川放水路には災害時の物資輸送を担う緊急用河川敷道路を河岸沿いに整備する計画があり、治水と干潟環境を両立させた河川整備が求められている。河川干潟の環境を理解し、干潟を保全・再生するためには洪水時の流れと河床変動の把握が不可欠である。

本研究の目的は、太田川デルタ河川網における洪水時の流れと河床変動、洪水流量配分を把握するため、大きな潮位変動や複雑な河道形状を有し、各河川の流れの状態が相互に影響するデルタ河川網の観測水面形時系列データを用いた非定常準三次元洪水流・二次元河床変動解析法を構築し、太田川デルタ河川網の河川管理、干潟環境の管理に資する基礎的情報を提供することである。

本論文の内容と成果

本論文は5章で構成され、各章の内容と成果の概要は以下の通りである。

第1章の「序論」では、研究の背景と目的、研究の構成を述べている。

第2章の「既往研究と本研究の特徴」では、河川流路網の洪水流（河床変動）に関する既往研究と観測水面形時系列データを用いた洪水流（河床変動）解析法の既往研究について述べ、本研究の特徴と位置づけを示す。

開水路流路網における洪水流については、荒木、伊藤が管水路網の計算に一般的に用いられるHardyCross法に基づいた一次元不等流解析を行ったのを嚆矢としている。岩佐らはグラフ理論を応用した一次元定常流解析法を展開し、神田らは、分合流点付近の局所的なエネルギー損失を考慮して岩佐らの解析法を拡張している。金本・

常松らは岩佐らの解析法を非定常流に拡張した洪水流一次元解析法を太田川デルタ河川網に適用している。国内外において、非定常一次元の浅水方程式を陰的に解く方法によって流路網の洪水追跡が行われているが、これら一次元解析法では、複雑な河道の水理現象、特に、分派点付近における洪水貯留や流れの三次元性に起因する運動量交換を適切に評価できず、解析法の精度向上が求められていた。海外のデルタ河川に関する研究の主要な関心はデルタの発達過程にあり、これについて平面二次元解析を用いた検討が行われている。従来の非定常一次元・二次元洪水流（河床変動）解析法では、既往研究や経験等によって決定された河道の抵抗分布などのパラメータを与え、洪水流・河床変動解析を行っている。しかし、洪水現象は、河道の抵抗分布、流れと土砂移動が相互に影響を及ぼしあう複雑な非線形現象であり、前述のパラメータの与え方によって様々な解が計算される。特に、デルタ河川網ではそれぞれの河川の流れと河床変動が複雑に影響を及ぼし合うため、河道の抵抗分布などのパラメータの与え方によって様々なパターンの流れと河床変動、洪水流量配分が計算され、解が一つに定まらない。実河道においてどのような抵抗分布を与えるかについては未だ確立された判断基準がなく、このことが、洪水流中の流れと河床変動の評価を難しくしている。この点について、福岡は観測された水面形の時間変化には、洪水の非定常性、河道・河床形状、河床変動、植生の挙動、分合流の影響が積分された形で現れており、洪水流中の水理現象が反映されたものであることを示している。そして、観測水面形時系列データを用いた非定常二次元洪水流解析法を実行し、分合流流量・破堤流量・支川流量・ポンプ排水流量・遊水地への流入流量、支川からの流入流量等を実行している。本研究が対象とした太田川デルタ河川網は、複雑な平面形状を有し、各河川の流れと河床変動が互いに影響しあひながら水面形が形成される。従って、流路網において観測水面形を用いた洪水流・河床変動解析を行うためには、様々な影響が反映された流路網の観測水面形時系列をより効率的再現するための解析手順を検討し、全体の流れ場を合理的に決定する新しい検討課題となり、これについて第4章で扱う。

第3章「太田川デルタ河川網の特徴と課題」では、詳細に水面形観測した平成22年7月洪水と既往最大洪水である平成17年9月洪水における洪水流と河床変動の実測値を整理・考察し、第4章において論ずべき重要な洪水流の水理現象について考察している。

太田川デルタ河川網の洪水時の水面形を把握するため、各河川に分派点上下流に水位計を設置した。さらに、解析モデルより得られた各河川の流量ハイドログラフを検証するため、既設の矢口第一流量観測所に加え、太田川放水路と旧太田川に分派点、旧太田川と京橋川に分派点の下流に流量観測地点を設けた。分派点付近の河床変動の把握や計算初期地形を正確に取り込むため、各分派点において洪水前後の河床形状を詳細に測量した。このような観測体制を整えた上で平成22年7月洪水を迎えることにより、太田川デルタ河川網の洪水流と河床変動について詳細な検討が可能となった。

太田川放水路と旧太田川に分派点は広島市街地の安全性確保のための治水上最重要地点である。分派する河川にはそれぞれ堰が設置されており、その直上流に砂州が形成されている。この砂州の発達過程を明らかにするため、定期横断測量データや航空写真の重ね合わせから経年的な変化を調べた結果、樹木が繁茂し始めた昭和63年頃から砂州が大きく発達し、砂州の高さがほぼ固定堰高と同じになった平成10年以降は大きく変化していないことが分かった。平成21年に砂州の掘削を行っているが、その後の洪水によって再び砂州が形成されている。このことから、砂州は掘削を行っても河道線形や堰構造物との関係から、洪水により砂州が再び形成されること、砂州はその高さが固定堰高よりも極端に大きくならず、堰の高さ程度で安定することが分かった。

太田川放水路において、経年的に行われている横断測量結果を用いて河床形状コンターを描き、洪水流による河床高の経年変化を比較した。これより、太田川放水路の2km-(3.4)km区間には約1km波長の交互砂州が形成されており、交互砂州は洪水時に下流に移動するものの経年的に安定した形状をしていることが明らかとなった。

市内派川の河床形状については、平均河床高・最深河床高の縦断分布から、平成17年9月洪水と平成22年7

月洪水前後の河床変動について考察した。その結果、市内派川では河口や分派点付近など断面形状が縦断的に変化する区間を除き大きな河床変動が生じていないこと、河口付近では川幅が漸拡することにより土砂が経年的に堆積する傾向にあること、分派点付近の河床高は約1m程度の変動の幅の中で変化していることが分かった。

太田川デルタ河川網における干潟は、市内派川が泥干潟であり、太田川放水路は砂干潟である。従って、市内派川の河床にどのような分布で泥が堆積しているかを調べる必要がある。そこで、太田川放水路および旧太田川・天満川・元安川において河床材料のコアサンプリング調査・音響探査調査、ふるい分け試験調査を行った。調査結果より、いずれの河川においてもみお筋の河床材料は砂で構成されていることが確認された。0.0km 付近より下流の河床材料は、0km より上流区間に比べて細くなっている。このことから、川幅が漸拡しみお筋が細砂で構成された河道の河床変動を評価するためには、掃流砂に加え浮遊砂を考慮した解析が必要であることを示した。

第4章の「デルタ河川網の観測水面形を用いた非定常準三次元洪水流・二次元河床変動解析法と平成17年9月洪水と平成22年7月洪水への適用」では、デルタ河川網における観測水面形時系列データを用いた非定常準三次元洪水流・二次元河床変動解析法を構築している。対象河川に分派点付近で生じる三次元流れおよび河床での土砂の移動量を評価するため底面流速を適切に求める必要がある。そこで、流れの解析には浅水方程式と水深積分渦度方程式を解くことによって底面流速を求める準三次元洪水流解析を適用し、平成22年7月洪水と既往最大洪水である平成17年9月洪水における洪水流と河床変動について検討している。太田川デルタ河川網では、それぞれの河川の流れと河床変動が相互に影響しあうため、どの区間からどのような順番で観測水面形時系列を再現し洪水流量配分を求めるのが最適かを判断する必要がある。本研究では、上流端流量ハイドログラフ、下流端の潮位条件、流路網の水面形の時間変化が既知であることから、上流から下流に向かって観測水面形を再現した。このように、デルタ河川網で生じた様々な水理現象の影響が反映された観測水面形時系列データを解として、非定常準三次元洪水流・河床変動解析を一体的に行うことにより太田川デルタ河川網における洪水時の流れと河床変動、洪水流量配分を評価することが出来た。

掃流砂の輸送に加えて浮遊砂量の輸送を考慮した本解析法は、川幅が河口付近で漸拡し細かい河床材料で構成されている天満川・旧太田川の土砂堆積の実測値を適切に説明できた。このような縦横断面形、河床材料からなる河道の河床変動を見積もるためには、掃流砂だけでなく浮遊砂を考慮した洪水流と河床変動の一体的解析が必要なが分かった。大きな潮位変動を有する太田川では、水面形の時間変化と潮位変動が密接に関係する。潮位変動の影響を受ける河道区間の洪水流と河床変動を見積もるためには、観測水面形時系列データを用いた本解析法が特に有効であることを示した。

本解析法では、流れの解析に非定常準三次元洪水流解析を用いることで分派点付近の三次元的な流れを考慮し、分派点を含む区間の河床変動を求めている。堰構造物を有する太田川放水路と旧太田川に分派点では、湾曲や分流による二次流を適切に評価することで実測の河床変動をほぼ説明している。この分派点の砂州は洪水時にもほぼ安定した形状を保っていること、平成17年9月洪水は大規模な洪水であったことから、流量配分にほとんど影響していなかったことが解析より確かめられた。

太田川放水路における河岸沿いの干潟は、交互砂州の深掘れ付近において侵食・洗掘を受けている。0.0km 付近より上流では交互砂州が干潟となるため、経年的に安定した干潟形状や面積を保っている。一方、0.0km 付近より下流では、みお筋と干潟との比高差が大きいため交互砂州は干出せず、干潟は一方向的に侵食・洗掘を受けている。このように、交互砂州が干出せず一方向的に侵食・洗掘を受ける区間では捨石を干潟の法面に設置し、河岸沿いの干潟の侵食・洗掘を抑え、干潟環境を保全していくことが重要である。交互砂州の深掘れ部周辺に干潟を造成し低水路幅をやや狭めたため、造成干潟周辺で洗掘が生じた。一方、造成干潟直下流では低水路幅が急拡しており、そこに砂州が流下したことにより顕著な土砂堆積が生じた。今後干潟を造成するため、干潟の形や大き

さが、造成干潟周辺の洪水中の流れと河床変動にどのような影響を及ぼすのかを定量的に評価する必要がある。

第5章の「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題について述べている。

- 1) 観測された水面形の時間変化には、河床形状、河床形態、河道・樹木群の抵抗、洪水中の河床変動の影響が積分された形で現れており、観測水面形時系列データを解として非定常準三次元洪水流・二次元河床変動解析を行うことによりデルタ河川網における洪水中の流れと河床変動を評価することができた。従来の洪水流・河床変動解析法では、河道の抵抗分布等のパラメータを合理的に決定する方法が確立されていないため、流れと河床変動が一義的に求まらない。特にデルタ河川網では、それぞれの河川の流れと河床変動が影響を及ぼし合う複雑な非線形現象であり、河道の抵抗分布などのパラメータの与え方によって様々な解が計算されることが課題であった。この点について、本研究では洪水中のあらゆる水理現象が積分された形で反映された観測水面形時系列データを再現するように河道の抵抗分布などの各パラメータを決定し、非定常準三次元洪水流解析と二次元河床変動解析を一体的に行うことによってデルタ河川網の複雑な洪水中の流れと河床変動を説明した。
- 2) 太田川放水路には交互砂州が形成されており、経年的に安定した河床形状となっていることが分かった。一方、市内派川は河口付近で河床材料が細かく川幅が漸拡しているため堆積傾向にあった。このような縦横断面形や河床材料からなる河道の河床変動計算には、浮遊砂を考慮した洪水流と河床変動の一体解析が必要であることを示した。太田川デルタ河川網の流砂量の縦断分布や河床変動は洪水流に加えて潮位変動の影響を強く受けることにより、水面形の時間変化と密接に関係している。潮位変動の影響を受ける河道区間の洪水流と河床変動計算のためには、観測水面形時系列データを用いた本解析法が特に有効であることを示した。
- 3) 堰構造物によって太田川放水路と旧太田川に分派する地点の直上流には砂州が形成されており、固定堰高程度の高さで経年的に安定していることが実測データより分かった。堰構造物の設置された分派区間において、本解析法は、三次元流れの影響を受けた河床変動をほぼ説明出来ている。解析結果より、太田川放水路と旧太田川の分派点の砂州は、平成17年9月洪水のように大きな洪水であれば、洪水中もほぼ安定した形状を保持していることから、洪水流量の配分にほとんど影響を及ぼしていないことが明らかとなった。
- 4) 太田川放水路の0.0km付近より上流では交互砂州が干潟となるため、経年的に安定した干潟形状や面積を保っている。0.0km付近より下流では、交互砂州の高さは干潮時の水位よりも低く干出しなため、干潟は一方向的に侵食・洗掘を受け減少傾向にある。このような区間では干潟法面に捨石を設置し、河岸沿いの干潟の侵食・洗掘を抑え、干潟を保全していくことが重要である。交互砂州の深掘れ部周辺に干潟を造成し低水路幅をやや狭めたため、造成干潟周辺で洗掘が生じた。一方、造成干潟直下流では低水路幅が急拡しており、そこに砂州が流下したことにより顕著な土砂堆積が生じていた。干潟の形や大きさが、干潟周辺の洪水中の流れと河床変動にどのような影響を及ぼすのかを定量的に評価し、今後干潟を造成するための基礎的な情報を収集していく必要がある。

本研究より以下に示す課題が挙げられる。

本研究が対象とした太田川デルタ河川網は、河床変動や分派点上下流の水面形・河床材料・河床形態、河床変動の変化がさほど大きくなかった。これらの変化が大きい河川において、上記の変化が水面形に及ぼす影響の把握や測定間隔などの水面形の測り方について検討する必要がある。

太田川放水路の0.0-0.2km付近の左岸では、低水路幅を狭めて干潟を造成し低水路の縦横断面形を変化させた。そこに交互砂州が流下してきたことで、造成干潟前面の洗掘とその下流の堆積が顕著に生じていた。太田川のように潮位変動により水深・流速が洪水中に大きく変化する流れ場において、異なる形状や大きさの干潟を設置し低水路の縦横断面形を変化させることが、干潟周辺の流れと河床変動にどのような影響を及ぼすのかについて定量的に評価し、干潟設計に必要な考え方を見出すことが必要である。