

## 論文の内容の要旨

大きく発達した河口砂州は河口開口幅を狭め、洪水時には河道内の水位を高め、堤防からの越水や支川からの排水を困難にする等の深刻な問題を引き起こしている。従来の河口砂州の開口幅の解析では、砂州斜面に沿う流れと流砂運動を適切に解析できないことから、砂州斜面の侵食を経験式で与え、河口砂州の拡幅計算が行われており、ここに課題が残されていた。本研究では、砂州斜面に沿う流れと流砂運動を適切に考慮することにより砂州の拡幅機構を側岸侵食のモデル化をせずとも高精度に計算できる解析法（解析法 1）を構築した。砂州斜面の効果を考慮していない解析法(解析法 2)と比較し、阿賀野川の現地観測データより解析法 1 の有効性を示している。

第 1 章「序論」では、研究の背景、目的、本研究の構成を示している。

第 2 章「洪水流による河口砂州拡幅機構に関する既往研究」では、洪水流による河口砂州の拡幅に関する既往研究を概観し、本研究の位置付けを示している。

第 3 章「十分発達した河口砂州を有する阿賀野川河口域における平成 23 年 7 月阿賀野川洪水流と河口砂州の変形観測」では、阿賀野川河口砂州の洪水時の拡幅プロセスを明らかにするため、密な縦断間隔で設置された水位計から洪水水面形の観測や CCTV カメラ等による映像収集等大規模な洪水流観測を行い、これらの分析から大きな斜面勾配を有する河口砂州を越流する流れと流砂運動を精度良く解析することが、砂州の拡幅過程の高精度解析に不可欠であることを明らかにしている。

第 4 章「十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅機構の解析モデルの構築」では、大きな斜面勾配を有する河口砂州越流時の急勾配斜面に沿う三次元流れと流砂運動を定式化し解析モデル(解析法 1)を構築している。河口砂州周辺の三次元的な流れを解くことにより求めた斜面上の底面付近の流速を用い、斜面上の底面せん断応力を評価している。斜面上の流れの底面せん断応力と斜面上の砂粒子に作用する重力の影響を考慮することで、斜面に沿った流砂の連続式と三次元流速場を用いて底面付近の流砂運動を精度良く求め、これと浮遊砂の三次元移流拡散方程式より河口砂州の拡幅過程を解析した。

第 5 章「平成 23 年 7 月阿賀野川洪水による河口砂州の拡幅機構と最終開口幅の検討」では、解析法 1 を用い、洪水流量のピークまで砂州が洗掘を受けて急激に拡幅が進行することを示し、第 3 章の映像分析による砂州拡幅過程とほぼ一致すること、最終開口形状の解析結果が洪水後に観測された開口形状を説明できること、一方、斜面に沿う流れと流砂運動の効果を考慮していない解析法 2 は、特に、河口砂州を越流する流量が増大するにつれて砂州の拡幅過程を説明できないことを示している。

以上より河口砂州斜面に沿う流れと流砂運動の効果を適切に取り込んだ解析法 1 が、側岸侵食の経験式を考慮しなくても河口砂州の拡幅過程を高精度に解析できることを示した。

第 6 章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の研究課題を示している。

## 論文審査の結果の要旨

河口は河川と海の接続部であり、そこには都市が発達している。河口砂州は、波浪や海浜流による漂砂の堆積作用と河川流による侵食作用とから形成される。大きく発達した河口砂州は河口の開口幅を狭めている。発達した河口砂州は、洪水時には河道内の水位を高め、堤防からの越水や支川からの排水を困難にする等の深刻な治水問題を引き起こす。洪水流による河口砂州の拡幅機構を定量的に明らかにし、河口砂州の維持管理技術に資することは重要な治水課題の一つである。河口砂州の大規模な拡幅は、洪水流による三次元的な流れが砂州上を越流することで生じる。従来の河口砂州の開口幅の解析では、砂州斜面に沿う流れと流砂運動を適切に解析できないことから、砂州斜面の侵食を経験式で与え、河口砂州の拡幅計算が行われており、ここに課題が残されていた。

本研究では、砂州斜面に沿う流れと流砂運動を適切に考慮することにより砂州の拡幅機構を側岸侵食のモデル化をせずとも高精度に計算できる解析法の構築を目的としている。平成23年7月阿賀野川洪水により開口幅が拡大した砂州を対象とし、洪水時の観測水面形の間隔変化に基づいて、河口砂州の拡幅プロセスを明らかにするとともに、河口砂州の拡幅、開口幅を算定し、現地観測結果を適切に説明できる解析法(解析法1)を構築する。また、斜面に沿う流れと流砂運動を考慮しない解析法(解析法2)の解析結果から、斜面に沿う流れと流砂運動を考慮することが、河口砂州の拡幅機構に本質的な重要性を持つことを示す。

本論文は6章で構成される。各章の内容と成果の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、研究の背景、目的、本研究の構成を示す。

第2章「洪水流による河口砂州拡幅機構に関する既往研究」では、洪水流による河口砂州の拡幅に関する既往研究を概観し、本研究の位置付けを示している。

第3章「十分発達した河口砂州を有する阿賀野川河口域における平成23年7月阿賀野川洪水流と河口砂州の変形観測」では、阿賀野川河口砂州の洪水時の拡幅プロセスを明らかにするため、大規模な観測体制を整備し洪水流観測を行った。阿賀野川の河口では、河口砂州上流の河幅は約1,000m、一方、河口では砂州により川幅が200mまで狭められ、漣筋部の河床高と河口砂州の比高差は10m以上あり、河口砂州の前縁部の斜面勾配は約1/5にもなる。本研究では、洪水時の河口砂州の拡幅過程は、その上下流河道の水面形の時間変化に明確に現れることから、河口から3.4km付近までの区間に水位計を密な縦断間隔で設置し、洪水時の水面形時系列を詳細に観測できるようにした。洪水時の河口砂州の変形を把握するため、CCTVカメラによる洪水時の河口砂州拡幅の様子を撮影した。また、洪水中及び洪水前後で河口砂州の航空写真撮影が行われた。以上のような観測体制整備後、平成23年7月記録的な豪雨(平成23年7月新潟・福島豪雨)が生じ、阿賀野川洪水では、横越地点のピーク流量は既往最大となる約11,000m<sup>3</sup>/sに達し、河口砂州の開口幅は0.2km断面において約200mから約550mまで拡大した。CCTVカメラの映像分析から、大きな斜面勾配を有する河口砂州の上流側前縁部を洪水流が越流し流量増大とともに拡幅が生じ始め、河口砂州

の急勾配斜面に沿う流れと流砂運動を精度良く解析することが、河口砂州の拡幅過程を解析し、最終開口幅を決定するために重要であることを明らかにした。

第4章「十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅機構の解析モデルの構築」では、河口砂州の洪水流による拡幅過程を説明するには、大きな斜面勾配を有する河口砂州越流時の急勾配斜面に沿う三次元流れと流砂運動を適切に説明する解析モデルが必要であることが第3章の観測結果から明らかになった。河口部周辺の洪水流の三次元的な流れは、水深スケールの渦運動に規定されること、河床変動解析に重要な底面流速が水深積分した渦度の定義式により水深平均渦度と水表面流速、水深平均鉛直方向流速から計算できることに着目し、河口砂州斜面上の底面付近の流速を適切に計算し底面せん断応力を評価する。流砂運動の解析では、斜面上の流れの底面せん断応力と斜面上の砂粒子に作用する重力の影響を考慮することで、斜面に沿った流砂の連続式を導出した。河口砂州は、細砂で構成されることから三次元流速場を用いて底面付近の掃流砂、浮遊砂を精度良く求め、これと浮遊砂濃度の三次元移流拡散方程式より洪水流れと流砂運動を一体的に解析するモデル（解析法1）を構築した。

第5章「平成23年7月阿賀野川洪水による河口砂州の拡幅機構と最終開口幅の検討」では、構築した本解析法（解析法1）で、観測水面形の時間変化を説明するように洪水流と河床変動解析を行い、河口砂州の拡幅機構と開口幅の決定に有効であることを示している。洪水流量が河口砂州を越流しない時間帯では、砂州開口部に流れが集中し、開口部の河床低下が進行する。その後、砂州を越流する流れが生じると砂州拡幅が始まる。さらに洪水流量のピークまでは、砂州が洗掘を受けて急激に拡幅が進行する。この拡幅過程は、第3章で示した映像分析による砂州の拡幅過程とほぼ一致することから、高い精度の解析結果が得られている。拡幅の進行に伴い、砂州上の土砂は河道中央に向かう底面付近の流れによって輸送され、洗掘を受けた河道中央部を埋め戻す。解析結果は、洪水後に0.2km断面で観測された砂州の拡幅量や河道の中央部の埋戻し量をほぼ説明出来ている。河口砂州を越流する流れにより細砂が大量に巻き上げられ、浮遊砂濃度が下流に向かって急激に増大し、河口砂州の拡幅に対して浮遊砂移動が大きな役割を果たすこと、巻き上げられた浮遊砂は-0.5km～-1.0km付近に沈降・堆積し、河口テラスを大きく成長させることを明らかにした。次に、斜面に沿う流れと流砂運動の効果を考慮していない解析法2を用いて検討した結果、河口砂州を越流する流量が増大するにつれて砂州の拡幅過程の説明が困難になることを示した。

以上より河口砂州斜面に沿う流れと流砂運動の効果を適切に取り込んだ解析法1が、側岸侵食の経験式を考慮しなくても河口砂州の拡幅過程を高精度に解析できることを示した。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の研究課題を示している。

以上要するに、本論文は、都市機能の発達した河口域の治水の安全性に密接に関係する洪水時の河口砂州の拡幅機構、開口幅について、学術、技術の両面から新しい考え方、解析方法、結果を与えるものであり、学術上、河川技術上極めて重要な貢献を与えている。よって本論文は、博士[工学]論文として価値があるものと認める。