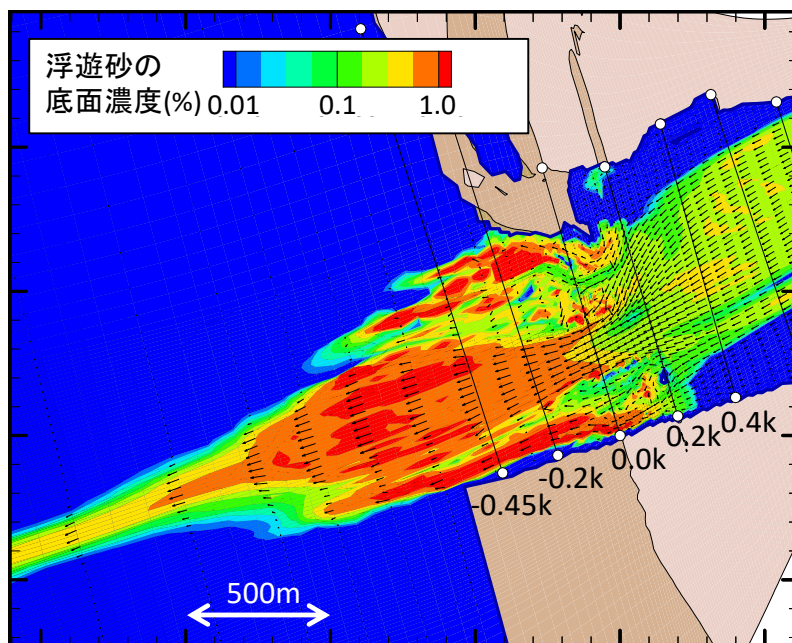


(a) 河床地形のコンター図(ピーク 3)



(b) 浮遊砂の底面濃度分布のコンター図(ピーク 3)

図 5-21 河口部の河床地形と浮遊砂底面濃度分布のコンター図 (ピーク 3)



図 5-22 平成 23 年 7 月洪水中の河口砂州(ピーク 3: 7/30 15:00 頃撮影)

5.4 まとめ

第 5 章では、第 4 章で構築した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(解析法 1)を平成 23 年 7 月阿賀野川洪水に適用し、洪水中の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、砂州の拡幅機構を明らかにした。

まず、解析法 1 を用いた解析結果から、河口砂州上を越流する流れが生じると砂州が洗掘を受け拡幅が始まり、洪水流量ピークが発生するまでの間に砂州の拡幅が急激に進行すること、河口砂州拡幅の進行に伴い、河口主流部の河床が埋め戻されることを明らかにした。

次に、同解析結果は、0.2km 地点で洪水後に観測された河口砂州の最終的な開口幅や河道中央部の埋戻し量をほぼ説明出来ており、解析より得られた砂州拡幅過程は、第 3 章で示した観測結果より得られたそれとほぼ一致していたことを示した。

阿賀野川河口砂州は細砂で構成されていることから、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、河口砂州の上流端 0.2km 付近から浮遊砂濃度が下流に向かって急激に増大すること、この時、砂州周辺より下流の浮遊砂量は、掃流砂量と比較しても大量であることを示した。このことから、河口砂州の拡幅に対しては、浮遊砂移動の影響が大きいことが分かった。また、河口砂州周辺で巻き上げられた浮遊砂の多くは、海域の-0.5km~-1.0km 付近に堆積し、河口テラスを形成、成長させることを明らかにした。

さらに、斜面に沿う方向の流れと流砂運動を考慮しない解析法 2 とこれらを考慮している解析法 1 の解析結果の比較より、解析法 1 は大きな河床勾配を有する河口砂州周辺の掃流砂量や底面せん断応力が増加し、河口砂州拡幅量とそれに伴う河口主流部の河床の埋め戻し量、下流への砂州移動が増大すること、特に、浮遊砂の移動が砂州拡幅に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

これらより、十分発達した縦横断的に大きな斜面勾配を有する河口砂州上の斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を考慮した解析法 1 を用いて、各時間の観測水面形と一致するように流れと河床変動を計算することで、側岸侵食モデルを用いずとも河口砂州の拡幅過程と最終的な開口幅の決定機構を適切に説明できることを示した。

第 6 章 結論

6.1. 本研究の結論

本研究では、十分発達した河口砂州周辺の流れの三次元性と縦横断的に大きな斜面勾配を有する砂州上の斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を解析に取り込み定式化することで、河口砂州の拡幅過程をモデル化した解析法 1 を構築した。この解析法 1 を細砂からなる河口砂州の大規模な開口が生じた平成 23 年 7 月阿賀野川洪水に適用し、観測水面形の時間変化に基づいて、洪水流と河床変動を計算することにより砂州の拡幅過程や最終開口幅について検討した。以下に、本研究で得られた結論を示す。

第 2 章では、洪水流による河口砂州の拡幅機構に関する既往研究について、現地観測及び数値解析に基づく知見と課題を整理し、本研究の位置付けを示した。

第 3 章では、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を示した。次に、平成 23 年 7 月阿賀野川洪水における詳細な観測結果から、河口砂州がどのように拡幅し開口幅が拡大したかを検討した。

河口砂州の洪水時の拡幅機構を明らかにするため、国土交通省北陸地方整備局阿賀野川河川事務所と共同で、洪水時の水面形時系列を詳細に観測する体制を整え、CCTV カメラによる洪水時の河口砂州変形の様子を撮影した。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。河口砂州周辺の地形についてはマルチビーム測量による 3 次元測量が行われ、砂州と滞筋との比高差が 10m 以上もあり、河口砂州付近の横断勾配は概ね 1/6 にもなることを示し、河口砂州地形の影響を十分に取込んだ解析が必要であることを明らかにした。

平成 23 年 7 月にはピーク流量が既往最大となる約 11,000m³/s の洪水が発生し、河口砂州が大規模に開口した。この洪水の観測結果より、洪水流が河口砂州上を越流すると共に拡幅が生じ始め、洪水ピークまでの間に急激に開口幅が拡大したことが分かった。一方で、洪水減水期における砂州拡幅量は洪水上昇期の砂州拡幅量に比べ相対的に小さいことが分かった。

第 4 章では、十分発達した河口砂州の洪水流による拡幅過程と最終開口幅を説明するには、第 5 章で明らかとなった縦横断的に大きな斜面勾配を有する河口砂州上を越流する流れと流砂運動を適切に計算することが重要であり、これらを考慮した解析モデル(解析法 1)を構築した。

具体的には、水深積分した渦度方程式と水表面における運動方程式を水深積分の連続式・運動方程式と連立して解析することで斜面に沿う底面付近の流速を適切に計算した。掃流砂運動の解析では、斜面に沿う流れから計算される底面せん断応力に斜面上の砂粒子に作用する重力の影響を考慮し、斜面に沿う方向の掃流砂量の評価式、斜面に沿う流砂運動を考慮した流砂の連続式を導出した。阿賀野川河口砂州は、細砂で構成されることから大規模な地形変化の解析には浮遊砂の三次元運動を考慮する必要があるため、浮遊砂濃度の三次元移流拡散方程式を計算した。これらにより、洪水流と河床変動を一体的に計算する砂州の拡幅解析モデル(解析法 1)を構築した。

また、斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動の考慮が洪水流による砂州拡幅過程に及ぼす重要性を検討するために構築した斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を考慮しない解析法 2 の方程式系を解析法 1 と対比し、解析法 1 の特色を示した。

第 5 章では、第 4 章で構築した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(解析法 1)を河口砂州の大規模な拡幅に伴い開口幅が拡大した平成 23 年 7 月阿賀野川洪水に適用し、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、洪水流による河口砂州の拡幅過程と最終開口幅について検討した。

解析法 1 を用いた解析結果から、河口砂州上を越流する流れが生じると砂州が洗掘を受け拡幅が始まり、洪水流量ピークが発生するまでの間に砂州の拡幅が急激に進行すること、河口砂州拡幅の進行に伴い、洪水上昇期に洗掘された河口主流部の河床が埋め戻されることを明らかにした。また、本解析結果は、洪水後に観測された最終的な河口砂州の開口幅や河口主流部河床の埋戻し量をほぼ説明出来ていること、第 3 章で示した観測結果より得られた砂州の拡幅過程とほぼ一致することを示した。さらに、解析法 1 の解析結果は、斜面勾配の効果を考慮しない解析法 2 の解析結果に比べ、底面せん断応力と掃流砂量を増加させ、河口砂州の洗掘量、砂州の下流への移動量を増大させる結果となった。このことから、斜面に沿う底面付近の流れと流砂運動を考慮することが河口砂州の拡幅機構を適切に計算するために重要であり、その有効性を示した。

阿賀野川河口砂州は細砂で構成されることから、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、河口砂州の上流端 0.2km 付近から浮遊砂濃度が下流に向かって急激に増大する。このため、河口砂州の拡幅に対して、浮遊砂移動の影響が大きいことが分かった。また、河口砂州周辺で巻き上げられた浮遊砂の多くは、海域のテラス状の地形を有する-0.5km~-1.0km 付近に沈降・堆積し、砂州から流送された浮遊砂が河口テラスを成長させることが明らかとなった。

以上より、斜面に沿う方向の流れと流砂運動を考慮した解析法 1 を用いて、各時間の観測水面形と一致するように流れと河床変動を適切に計算することで、既往研究で用いられていた側岸侵食モデルを用いずとも洪水流による河口砂州の拡幅過程と最終的な開口幅の決定機構を適切に説明できることを示した。

6.2. 今後の研究課題

本解析結果では、河口砂州背後域において実測よりも土砂堆積量が大きく計算される傾向にあった。このため、河口砂州背後域の流れと流砂運動の解析法について更なる検討が必要である。本研究が対象とした河口砂州は砂で構成されるため、浮遊砂が河口砂州の拡幅に及ぼす影響が大きかった。このことから、掃流砂の運動が支配的となる礫で構成される河口砂州の拡幅に対する本解析法の適用性の検討が必要である。また、洪水流と海の波の相互作用を考慮して河口砂州の拡幅機構、海域での土砂堆積機構、河口の閉塞過程の検討が必要である。

謝辞

私は、平成 26 年 4 月に中央大学博士後期課程に入学し、「十分発達した河口砂州の洪水流による開口機構に関する研究」を始め、他の方より多い 4 年を掛け、研究成果を博士論文としてまとめることが出来ました。この間、多くの人に支えられました。ここに記して深謝の意を表します。

中央大学研究開発機構教授 福岡捷二先生には、研究室に配属されてから 7 年間もの間、研究のご指導を頂きました。また、研究に関する事だけでなく、様々な物の考え方や物事に取り組む姿勢等について、数多くの指摘や叱咤激励を頂きました。研究の進展が遅い私に対する、福岡先生の粘り強いご指導のおかげで、こうして博士論文に値する研究成果を上げる事が出来ましたこと、心より御礼申し上げます。

中央大学研究開発機構准教授 福田朝生先生、田端幸輔先生には、数々の研究に関する有益なアドバイスを頂きました。心より御礼申し上げます。

中央大学研究開発機構助教 後藤岳久先生、竹村吉晴先生には、多大な労力を割き、様々なサポートをして頂きました。このサポートがなければ、今の私は無いと思っております。お二方には、なんとお礼を申し上げたらよいか、言葉も見つかりませんが、深く感謝しております。

広島大学大学院工学研究科准教授(前 中央大学研究開発機構教授) 内田龍彦先生には、水理学・流体力学を始めとする勉強や研究に用いる解析法を基礎から御指導頂きました。心より御礼申し上げます。

仲井いく子様、岩佐結子様には、研究生活に係わる事務を行って頂きました。おかげで何不自由なく、研究に集中することが出来ました。心より御礼申し上げます。

福岡研究室の皆様には、同じ学生として、個々の研究内容やそれに取り組む姿勢にとっても刺激を受けていました。ありがとうございました。

国土交通省北陸地方整備局阿賀野川河川事務所の皆様には、日々の業務がお忙しい中、貴重な洪水観測データを整理して頂くだけでなく、研究成果の発表と現地見学の機会までも与えて頂きました。研究成果発表と現地見学の場は、まだ社会経験のない私にとってとても刺激になることが多かったです。心より御礼申し上げます。

中央大学理工学部教授 檜山和男先生には、博士論文の主査をお引き受け頂きました。ご多忙の中、研究に対する有益な助言を賜りました。心より御礼申し上げます。

中央大学理工学部教授 山田正先生, 中央大学理工学部教授 有川太郎先生, 中央大学理工学部教授 田口東先生, 東北大学工学研究科教授 田中仁先生には, 博士論文の副査を引き受けて頂きました. それぞれの先生より多くの研究に対する助言を頂きましたこと, 心より御礼申し上げます.

最後になりましたが, 博士課程に進学することに理解を示し, 長い間支え続けて頂いた家族に深く感謝致します.