

氏名	かじ かわ ゆう き 梶川 勇 樹
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第179号
学位授与年月日	平成17年 3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	河川における局所洗掘現象の数値解析法に関する研究
学位論文審査委員	(主査) 松原雄平 (副査) 木村晃 檜谷治

学位論文の内容の要旨

河道内において発生する中規模河床変動、特に、水理構造物周辺で発生する局所洗掘現象は、その構造物自体の安定性を低下させるばかりでなく、周辺構造物および周辺環境等にも影響を与えるため、防災上の点からも非常に重要な問題となる。一方、近年の『多自然型川づくり』に基づく河川整備においては、河川自然環境および景観・親水性等を考慮し、より複雑な河道・河床形状あるいは河道内への各種水理構造物等の設置が計画されるようになってきており、これらの影響による複雑な流況の発生や局所洗掘現象を含む河床変動の問題も、より顕在化してくることが推測される。したがって、今後の河川計画上の問題によっては、より高精度な河床変動予測などが必要になるものと考えられる。

しかしながら、従来、その予測手法としてよく用いられてきた浅水流モデルあるいは静水圧近似による準3次元流モデルに基づく河床変動計算では、実用面では優れているものの、その局所洗掘現象を的確には再現できないことが指摘されている。これは、構造物周辺で発生する鉛直流を伴う局所流や、それに伴う非静水圧分布の影響を考慮していないことに起因する。したがって、近年では、このような複雑な流れ場にも対応できる数値モデルに関する研究が行われてはいるものの、その多くは高次の乱流モデルの基づくものであり、実用的な観点から見ると、基礎式・計算法が複雑で、また、計算時間・計算容量も多大に消費してしまう。さらに、構造物周辺の局所流が発生する状況下において、常流・射流の混在する流れ場を対象とした数値解析例は非常に少なく、また、河床変動計算までの適用を考慮するとその研究例はほとんどない。

以上より、本研究では、河川における中規模河床変動、特に構造物周辺で発生する局所洗掘現象を対象とした高精度河床変動予測を主目的とし、流れに関しては非静水分圧分布を考慮した3次元流れの数値計算手法を、河床変動に関しては平面2次元の河床変動計算手法についてより実用性を考慮した数理モデルの構築を行い、モデルの妥当性について、各種の流れ場および水理現象への適用から検討を行ったものである。

本論文の構成について、前半第2章～第4章で3次元流モデルに関する検討を、また、後半第5章～第6章では平面2次元河床変動モデルに関する検討を行っている。

第2章では、河床変動計算の基礎となる、3次元流れの数値計算モデルについて論じている。数値モデルには実用性を重視して0-方程式モデルを採用し、デカルト座標系における複雑境界形状にも対応できるようFAVOR法を導入した基礎式を示している。また、常流・射流混在場にも適用可能なMacCormack法による基礎式の具体的な離散化方法について提示し、さらに、圧力偏差算定時における移流項の高精度差分の必要性を指摘している。

第3章では、段落ち部における常流・射流混在流れを対象とし、鉛直2次元流計算によるモデルの適用性について論じている。その結果、段落ち流れの特徴的な流況である波状跳水状態・潜り噴流状態について良好に再現できることを示し、両流況の移行過程、移行限界についても良好に説明できることを示している。また、複雑河床形状を有する局所洗掘孔内の流況計算を行い、FAVOR法の有用性および本数値モデルの妥当性について明らかにしている。

第4章では、河川蛇行部・構造物周辺の3次元流況を対象とし、本数値モデルの適用性について論じている。まず、河川蛇行部を対象とし、FAVOR法の有用性を明らかにするとともに、非静水圧の導入によって、2次元流を含む常流・射流両流況下の流れを良好に再現できることを示している。次に、構造物として水制周辺の流況を対象とし、複雑河床形状および跳水の発生するような流況下においても、良好に再現できることを示している。最後に、現地レベルにおける構造物周辺の流況を対象とし、ある程度の精度で適用できることを示すと同時に、流況によっては離散間隔をより小さく取る必要性を指摘している。

第5章では、第2章で提案した3次元流モデルに基づく、平面2次元の河床変動計算モデルについて論じている。流砂には、局所洗掘現象へも適用できるよう掃砂流・浮遊砂の双方を考慮し、河床の局所斜面勾配の影響を考慮した流砂量式を示している。また、FAVOR法を導入した浮遊砂濃度・全流砂量の連続式を提示し、MacCormack法による具体的な離散化方法について提示している。

第6章では、局所洗掘現象を含む河床変動を対象とし、本数値モデルの適用性について論じている。まず、段落ち下流部の局所洗掘現象を対象とし、流況の移行を繰り返しながら洗掘が進行する様子を再現できることを示している。次に、河川蛇行部・湾曲部の河床変動を対象とし、FAVOR法の有用性を明らかにするとともに、その洗掘・堆積現象を概ね再現できることを示している。最後に、構造物として水制周辺部の局所洗掘現象を対象とし、常流・射流混在場でも適用可能であることを示すと同時に、水制による水はね効果の重要性を指摘している。

論文審査の結果の要旨

近年の『多自然型川づくり』に基づく河川整備においては、河川環境や親水性を考慮し、より複雑な河道・河床形状あるいは河道内への各種河川構造物等の設置が計画されており、複雑な流況の発生や局所洗掘現象を含むより高精度な河床変動予測が必要になってきている。そこで本研

究では、特に河川構造物周辺で発生する局所洗掘現象を対象とした高精度河床変動予測を主目的とし、流れに関しては非静水圧分布を考慮した3次元流れの数値計算手法を、河床変動に関しては平面2次元の河床変動へ遺産手法について、より実用性を考慮した数値モデルの構築を行い、模型実験等の数値シミュレーション結果から数値モデルの妥当性について検討を行っている。

まず、前半の3次元流れの数値解析法の開発では、デカルト座標系における複雑境界形状にも対応できるFAVOR法を導入し、段落ち部における常流・射流混在流れ、河川蛇行部や横断構造物周辺の流れを対象としてモデルの妥当性を検証している。特に再現が困難であった段落ち流れの特徴的な流況である波状跳水状態・潜り噴流状態について良好に再現できることが示されており、構築されたモデルの有用性が認められた。

つぎに、後半部では、3次元流れの計算法に基づいた平面2次元の河床変動計算モデルについて論じられている。対象とした局所洗掘現象は段落ち下流部、河川蛇行部、湾曲部、水制周辺部であり、いずれの現象についても精度良く再現されている。特に段落ち下流部の局所洗掘現象を対象とした解析では、流況の移行を繰り返しながら洗掘が進行する現象が初めて再現され、同分野の今後の発展に重要な知見を提供していると考えられる。

以上これらの研究成果は、今後の河川環境を考慮した河川工法に対して有益な情報を提供するものと考えられ、博士（工学）の学位論文に値すると判定する。