

## 学位論文題名

## 河川構造物周辺の流れと河床変動に関する研究

## 学位論文内容の要旨

本論文は、河川工学および河川計画上の重要な課題の一つである構造物周辺の流れと河床変動に関して研究を行ったものである。

北海道の河川改修は北海道拓殖計画に基づいて推進され、北海道の発展に多大な貢献を行ってきた。特に捷水路計画は北海道の河川改修の中樞を担った事業であり、洪水時の水位低下、洪水時間の短縮化および堤内地下水の低下(排水効果)を期待した事業である。しかしながら、捷水路事業は上記の効果が期待できる一方で、河床勾配が急になるため、エネルギーが集中する箇所では河床低下や築堤崩壊を招く恐れがある。これ等を解決する方法として床止工等の河川構造物があり、河床の安定化やエネルギーの分散を行っている。ただし、床止工は流れや河床変化を縦断的に遮断する構造物であり、魚類等の生態系に影響を与える可能性もある。このため、生態系に与える影響を最小限にして最も効果のある形状や配置間隔を検討することが必要である。また、床止工と同様な水理特性を有している越流堤は、遊水地事業の一部として設置されている。越流部の流れは遊水地内の環境または維持管理に重要な影響を与えることから床止工同様に、越流堤の形状等に関しても十分な検討を行う必要がある。しかしながら、床止工や越流堤でしばしば発生する跳水を含むような流れは現象が非常に複雑となるため、従来の経験のみでは予測することが難しく、数値計算による予測手法の確立が望まれている。数値計算により跳水を含む流れの予測が可能となれば、様々な状況を想定した的確な形状や縦断的な配置間隔を予測することが可能となる。

河川に設置されている構造物として、床止工と並んで挙げられる構造物に水制工がある。特に、北海道の十勝川などでは捷水路事業と並行して水制工による河川改修が大規模に進められている。水制工は、土砂堆積効果、水勿ね効果及び河岸保全効果等様々な効果が期待できる。さらに近年、水制工は流れに静と動を作り出すことから環境保全効果もあり、様々な河川で水制工による河川改修が推進されている。しかしながら、水制を含む河道の変化を予測することは非常に難しく、今までの経験のみでは的確な水制配置を予測することが非常に困難である。このため、現地河川を縮小した大型模型実験により、適切な水制間隔や水制長を計画しているのが実情である。しかし、大型模型実験は特定の河川や抽出箇所の予測はできてもその結果を任意の河川に適用することはできない。従来の定性的な予測に加え、定量的な予測が数値計算によって水制工の流況変化や土砂堆積を的確に予測可能となれば、このような問題点は解決される。ただし、水制によって生起する現象は未解明な部分を多く含んでおり、基礎実験及び現地観測を行い、実際に生起している流れや河床変化について検討する必要がある。

数値計算による予測手法として実河川への適用を図った研究の歴史は比較的浅くおよそ10年程度である。これまでの研究は、沖積河川における流れと河床変動に関して平面2次元モデル及び3次元モデルを用いて適用を行ったものであり、数値計算により比較的幾何形状が単純な流れの再現は可能になっている。しかし

ながら、跳水を含むような常射流が混在する流れに対しては未だ多くの問題が残されている。また、座標系を疑似直交系で与えている例が多く、境界が急変するような場合には必ずしも的確に現象を再現できていない。

以上の点を踏まえ、第1編では床止め・越流堤における流れの予測手法に関する研究を行っている。

最初に、跳水現象についても再現可能と考えられる MacCormack 差分を用いた 1 次元モデルの開発を行い、石狩川遊水地越流堤実験の結果を用いてモデルの検証を行っている。また、床止め・越流堤上下流の河道形状によっては、平面 2 次元現象も重要となる。このため、さらに平面 2 次元数値計算モデルの開発を行い、モデルの検証には牛朱別川分水路実験の結果を用いている。さらに、昭和 56 年の石狩川洪水に見られるように、河床の局所洗掘、土砂の異常堆積等、洪水氾濫の誘因をなす河道災害が床止め近傍で発生している。このような現象は上昇流や下降流が卓越しており、局所的に流れは非静水圧になっているものと考えられる。このため、風上差分を差分式とした鉛直 2 次元非静水圧モデルの開発を行い、2 次元モデルに関しては、一般曲線座標系を導入して境界が急変する場合にも適用を可能としている。

第2編では水制周辺の流れと河床変動に関する研究を行っている。

水制を含む河道の流れと河床変動の予測手法について、まず、平面 2 次元モデルにより流れや河床変化について基礎実験結果と比較し、その適用限界や問題点についての検討を行っている。これに加えて、水制をモデル化した計算を行ない流れや河床変化について蛇行部基礎実験や大型模型実験に適用し、その適用限界や問題点についての検討を行っている。

次に、平面 2 次元モデルとの不一致がどこから生じているのか固定床および移動床実験を行ない検討を行っている。さらに、基礎実験により把握された流れの特徴としての水平渦および 2 次流が、実河川の水制近傍においても土砂堆積に重要な影響を与えていることを現地観測によって確認している。これら基礎実験および現地観測により水制近傍では 2 次流、水平渦および乱流拡散が重要な影響を与えていることを明らかにしている。次に、それぞれの現象を再現可能なモデルの構築を行ない、基礎実験結果および現地観測結果へ適用し、その有用性を明らかにし、特に、2 次流については準 3 次元モデルの提案を行なってモデルの有用性を明らかにしている。

これらの知見は、今後の最適な実験計画の立案、さらには実際の河川計画の立案に当たって極めて有用な資料を与えるものである。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 板 倉 忠 興  
副 査 教 授 佐 伯 浩  
副 査 教 授 藤 田 睦 博  
副 査 助 教 授 黒 木 幹 男

## 学位論文題名

### 河川構造物周辺の流れと河床変動に関する研究

本論文は河川工学および河川計画上の重要な課題の一つである構造物を含む流れと河床変動に関する研究を行ったものである。

第1編は床止め・越流堤周辺の流れの予測手法に関する研究である。

実際河川の流れおよび河床変動の予測に関する従来の数値計算モデルでは、差分上の問題から流れが急変する場合や跳水を伴う常射流混在流れを的確に予測することが非常に難しい。また、基礎式として直交座標を使用しているため、極端に湾曲した河道、川幅が急変する河道、水制等を含む河道等では、基礎式と整合のとれた計算格子点の配置設定が非常に困難となる場合が多い。

これら2つの問題点を解決するため、本編では跳水を含む流れに対してMacCormack差分を用いた1次元および平面2次元の数値計算モデルの開発を行っている。さらに、直交座標系で示される平面2次元流れの基礎式を、座標軸を任意に取ることが可能な一般座標系へと変換し、任意の平面形状に対して流れの計算を可能にしている。

本編で開発したモデルを、跳水を伴う越流堤の基礎実験や段落ち段上がりを含む実験結果に適用し、モデルの適合性を検証している。本計算モデルは、近年多く見られる親水機能や生態系に配慮した複雑な平面形状を伴う河川改修方式の評価にも十分対応可能であり、河川計画等の実務に対する貢献度は非常に大きい。

第2編は水制周辺の流れと河床変動に関する研究である。

河道維持を目的として河道内に設置される水制の河床に対する影響を把握することは、河道災害防止の面からも極めて重要な事項のひとつである。また、近年増大している河川環境面からの要請により、河川構造物の周辺環境への影響を把握することも、早急に解決しなければならない課題のひとつである。

従来の平面2次元数値計算モデルを用いた河床変動計算では、河床付近のせん断力を算出する際に流速分布の対数則を仮定しており、水制背後のような3次元性が非常に強く、対数則が成立しない条件下において、河床付近のせん断力とそれに伴う局所的な河床の変化を高精度で算出することが非常に困難であった。このため流れを3次元的に取り扱う必要があるが、3次元モデルは非常に複雑であり、計算時間も膨大となることから、とくに現場の技術者にとって実際河川への適用は現在のところ不可能に近い。

本編では、固定床および移動床の水路実験によって、水制背後に生じる流れの特徴である2次流、乱流拡散および水平渦を詳細に計測している。さらに、現地観測を行い、基礎実験より得られた流れの特性が実河川でどの程度の規模や相互

関係で発生しているかを詳細に計測している。現地の実測においては、河床高および流速分布の計測に、海洋で広く使用されている多層式流速計(ADCP)を適用し、海洋に比較して非常に水深が小さい河川においても十分な精度で適用が可能であることを確認している。これらの結果に基づいて、それぞれの流れの特性が再現可能なモデルの構築を行っている。特に2次流については水制により発生する構造を明らかにし、この結果をもとに水制により発生する2次流のモデル化を行っている。この計算モデルでは、水深方向流速に2次元浅水流モデルの流速解を用い、これを3次元運動方程式に取り入れることで、構造物背後の2次流や剥離を伴う流れの算出を可能としている。このことによって、計算時間が従来の3次元モデルに比較して大幅に短縮でき、現場の技術者にとっても、水制背後の流れを精度よく再現可能であることを確認している。さらに、水制を高水敷として取り扱う計算モデルを構築し、より中長期的な予測が可能であることを確認している。

本研究の成果により、従来非常に困難であった水制等河川構造物を含む河道の河床変動予測あるいは河川構造物の周辺環境への影響を把握することが可能となり、本研究の成果は治水上および河川環境上極めて有用な知見を与えるものである。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。