

学 位 論 文 題 名

沖積河川における交互砂州河床の相似則に関する研究

学位論文内容の要旨

沖積河川においては、中規模河床形態である交互砂州、複列砂州、網状砂州のいずれが存在する。河道内の流れは、これらの砂州河床形状に支配され、局所的に集中して、河岸浸食や河床の局所変動を引き起こす。したがって、中規模河床形態の形状やその変動特性を把握することは、河道計画、河道の維持管理上重要であって、これまで多くの実験的理論的研究が行われてきた。特に、交互砂州は強い流れの集中、分散を引き起こし、流路の蛇行形成と密接な関係があることから、従来の研究の大部分は交互砂州を対象としている。最近では、広範囲にわたる基礎実験資料が蓄積されてきているほか、砂州形状、流れ流砂量間の線形あるいは非線形関係を考慮した理論解析が進展しており、また、水平スケールを取り入れた交互砂州平面形状の相似則が提案されている。これらの結果、交互砂州の発生領域及び形状、流れなどの基礎的諸特性が説明できる段階にきている。今後は、実際河川の河道条件・水理条件を明確にした精度の高いデータを収集してこれらの基礎的諸特性と比較検討することが要求されている。

交互砂州形成の基礎実験は、多くの場合河床材料に砂が用いられていて、掃流力を増して流砂を発生させるために、必然的に勾配を大きく設定したり、水路幅に比して水深を大きくすることになる。したがって、実際河川に対して従来の砂州形成基礎実験は、水平スケールに対して鉛直スケールの大きい歪んだ模型実験に相当すると考えられる。実際河川と比較検討するとき、この歪みの影響を明らかにする必要がある。

本論文では、上記のことに鑑み、鉛直、水平スケールを含む砂州形状に関する歪模型の相似則を提案すると共に形状特性の統計的性質を明らかにし、ついで低水時及び湾曲流路による変形を受けた砂州形状の相似性、小規模河床波を伴う砂州相似の限界について検討を行った。

第1章では、研究の目的と構成を述べた。

第2章では、直線水路に発生させた交互砂州上の河床砂の移動状況を直接ビデオカメラで撮影し解析することにより、困難とされてきた交互砂州上の流砂量分布の時間的・場所的变化を求め、底面付近流速ベクトルと流砂量ベクトルの関係、河床形状と流砂量縦横断分布の対応を明らかにした。これらにより、交互砂州が発達し平衡に至る過程をモデル化すると共に、砂州波高の相似性に関わる形状と流砂量の基礎的關係を見出した。また、平衡、発達時の砂州に拘らず、砂州半波長平均横断面の最大高低差 H_m と波高 H との関係は経験的に $H_m = (2/3)H$ で表され、形成された砂州同士はほぼ相似であることを示した。

第3章では、従来の研究において見出されている砂州形成領域区分の二つの無次元パラメーターに基づいて歪模型の水理相似則を明らかにすると共に、1次元の流砂連続式を援用することにより砂州形状の相似則を提案した。この相似則を検証するために、原型9河川の歪模型実験を歪比を変えて36例直線水路で行った結果、河道平面形状の相似を考慮していないにも拘らず砂州形状の相似則の成立性が良好であることを確かめた。この成果より、歪実験で形成される交互砂州の波高、砂州長の測定値から原型河川の波高、砂州長が歪比を考慮して予測可能であることを示した。このことは、歪比が消去される特性パラメーターのもとでは、実験と河川の砂州形状が統一的に説明されることを意味するものであり、従来の研究における統一表示のパラメーターの意味が明確にされた。

第4章では、従来の研究で公表されている交互砂州形成基礎実験データ 255個と建設省で調査したわが国の交互砂州形成河川データ77個を用いて、この二つのデータが、それぞ

れ異なった母集団から無作為に抽出された標本と考え、交互砂州形成時の水理諸量及び砂州形状の特性値としての砂州波高、砂州長の統計的性質について、第3章の河川歪模型の概念も導入して検討した。水理諸量、波高、砂州長とも無次元量表示で検討した結果、波高 H 、砂州長 l の同じ方向量による無次元量 H/h (h :平均水深)、 l/B (B :水路幅)の河川と実験の確率分布はほぼ一致して、平均的に $H/h=1$ 、 $l/B=4.5$ で表された。一方、 B/h 、 B/d (d :河床砂の平均粒径)、 h/d などは河川と実験の分布に差があり、これらの無次元量を独立変数として基礎実験データより求められた波高推定式を実際河川に適用する場合、歪比を考慮して推定式を修正する必要があることを示した。

第5章では、直線水路に交互砂州を形成させた後、小流量を通水して、低水時蛇行小流路の形成過程、これによる砂州の変形及びこれらの履歴作用を明らかにする目的で実験を行い、実験結果について十勝川水系土幌川の調査結果と対比しつつ類似性、相似性を考察すると共に、低水時水衝部の流況特性について土幌川の実測結果に基づいて検討した。その結果、蛇行小流路は砂州前縁沿いに形成され、洗掘深が増大して砂州は変形すること土幌川と同様に波高・砂州長比が比較的小さいときに二分される小流路が形成されること土幌川で顕著であった砂州先端部の細砂の堆積には低水時水衝部の2次流が関わっていること、変形砂州は土幌川の変形砂州と同様に第2章で見いだされた関係式 $H_m = (2/3)H$ を支持しないことで区別できることなどが明らかになった。

第6章では、流路が湾曲したときの砂州の変形及び相似性について検討した。はじめに湾曲流のみによって生じる河床洗掘深の縮尺比が歪の影響を受けないことを示し、湾曲の度合いがあまり大きくない交互砂州河川に対しては、歪比がある限界以下の歪模型によって予測が可能なることを明らかにした。これらの限界の無次元曲率(河幅/曲率半径)と歪比は湾曲による洗掘深が砂州波高の半分以上を越えない条件により導かれた。続いてこれらに関して行った2種類の検証実験の結果を述べた。その一つは、直線流路に発生させた交互砂州を固定化し、側岸を粘性性河岸に置き換えて実施した蛇行発達実験であり、湾曲の発達に伴い横断方向に砂州が伸長するものの、波高の変化がほとんど見られないことを明らかにした。その二は、湧別川に対する歪模型実験であり、河道平面形状を相似に与え、歪比6.5として河床形状の予測を行った。砂州波高に対する歪関係式を用いて再現した河床は実測値と非常によく一致を示した。これらにより、条件内の曲率を有する河川に対しては、直線水路における交互砂州の相似則(限界歪比以下)をそのまま適用しても、かなり良好な予測が可能なることを示した。

第7章では、これまでに、砂州を対象とした実験としてはあまり例を見ない掃流砂と浮流砂が混在する条件で実験を行い、河床波と共存する交互砂州の特性と相似性について検討した。その結果、この条件下の交互砂州と共存する河床波は反砂堆で、砂州は発生、消滅を繰り返し、先端部下流の洗掘の発達が弱く、各河床横断面の最大高低差に相違がない形状となり、形状抵抗は全抵抗の20%程度であることを明らかにした。この結果、掃流・浮流砂混在条件下の小縮尺模型では、実河川には存在まれな小規模河床波(流下反砂堆)を伴うことになり、原型河床を予測することが困難で、小規模河床波を伴う場合には歪模型であってもある程度大縮尺の模型実験を行う必要があることを指摘した。

第8章では、各章の主要な成果をまとめ、結論とした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 田 睦 博
副 査 教 授 板 倉 忠 興
副 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 新 谷 融 (本学大学院農学研究科)
副 査 助教授 黒 木 幹 男

学 位 論 文 題 名

沖積河川における交互砂州河床の相似則に関する研究

沖積河川における交互砂州上の流れは、局所的に集中して河岸浸食や河床変動を引き起こす。このため、交互砂州特性の解明は河道計画・河道維持管理上の最重要課題とされ、今日までに広範囲にわたる基礎実験や線形・非線形の理論解析がなされてきた。これらによって、砂州の発生領域・形状などの基礎的特性が次第に明らかになってきている。交互砂州実験は、多くの場合河床材料に砂が用いられており、その発生領域を満たすために、掃流力を大きくして流砂を発生させる必要がある。このため勾配を大きく設定したり、水路幅に比較して水深を大きく設定せざるをえない。実河川と比較した場合に水平スケールに対して鉛直スケールが大きい歪んだ模型実験に相当することになる。したがって、これらの実験結果から実河川における砂州形状を推定するためには、この歪みの影響を明らかにする必要がある。

本論文は、砂州形状に関する歪模型の相似則を明らかにしたものであり、ついで低水時および湾曲流路による変形を受けた砂州河床形状の相似性とその限界について検討をおこなっている。本論文は8章より構成されている。

第1章は、研究の目的と論文の構成を述べている。

第2章は、砂州上の砂移動状況を直接ビデオカメラで撮影することにより、これまで測定が困難とされてきた砂州上の流砂量の時間的・場所的变化を解析し、河床形状と流砂量縦横断分布の対応を明らかにしている。交互砂州が発達し平衡に至る過程をモデル化し、砂州波高の相似性に関わる基礎的關係を見い出している。また、砂州の発達時、平衡時にかかわらず、砂州半波長平均横断面の最大高低差 H_m と波高 H との關係が $H_m = (2/3)H$ で表されることを示している。

第3章は、従来の研究において見いだされている砂州形成領域区分の二つの無次元パラメーターに基づき、歪模型の水理相似則を明らかにしている。さらに、1次元の流砂連続式を用いて砂州形状の相似則を新たに提案している。また、原型9河川の歪模型実験を歪比を変えて36例実施し、河道平面形状の相似を考慮していないにもかかわらず、砂州形状が提案している相似則で説明できることを確認している。この成果は歪実験より得られる交互砂州の波高、砂州長から実河川のこれらの値を推定できることを示している。

第4章は、従来の研究で公表されている交互砂州形成の基礎実験データ225例と建設省が調査したわが国の交互砂州河川の実測データ77例を比較検討している。これに基づいて、波高推定によく用いられる池田式を実河川に適用する際の修正式を提案している。

第5章は、低水流量による交互砂州の変形特性を述べている。すなわち、交互砂州形成後の小流量がおよぼす砂州の変形・履歴作用について、実験ならびに土幌川の調査を対比して検討し、両者ともに砂州前縁沿いに蛇行小流路が形成され、洗掘深が増大して砂州が変形すること、波高・砂州長比が小さいときに二分される小流路が形成

されることを明らかにしている。さらに、変形砂州は第2章で得られた関係式 $H_m = (2/3)H$ を満足しないことで区別できることを明らかにしている。

第6章は、河道湾曲部における砂州河床の相似性について検討している。先ず、湾曲流のみによって生じる河床洗掘深の縮尺比が歪の影響を受けないことを示し、湾曲による洗掘深が砂州波高の半分を越えない条件から、歪模型実験の可能な限界無次元曲率（河幅／曲率半径）と限界歪比を提案している。湾曲部を有する湧別川の歪比6.5の歪模型実験の結果が実測値と一致することを示し、限界歪比の妥当性を検証している。

第7章は、掃流・浮遊砂混在条件下の小規模河床波を伴う砂州の相似性を述べている。掃流・浮流砂混在条件下の小縮尺模型では、実河川には存在まれな小規模河床波（流下反砂堆）を伴うことになって原型河床を予測することが困難であり、歪模型であってもある程度大縮尺の模型実験をおこなう必要があることを指摘している。

第8章は、各章の主要な結論をまとめている。

これを要するに、著者は、これまで十分明らかにされていなかった実河川と実験水路における交互砂州形状の歪相似則に関して多くの有用な新知見を得ており、防災工学および河川工学に貢献するところ大なるものがある。

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。