

## 安定河道理論による流域の土砂生産の評価

## 学位論文内容の要旨

古来、人類と河川とは非常に密接な関わりがある。人類の歴史も四大河文明と言われるように、大河の流域が発祥の地である。そこでは、しばしば洪水、氾濫が起り川が輸送してきた土砂によって肥沃な土地が作り上げられた。その反面、この洪水により河川周辺の農地が奪われ、家屋が奪われ、人命が奪われる悲劇が繰り返されてきたことも事実である。川を制する者は国を征すると言われるように、河川の政策はその国の中核をなしてきた。町を守る、農地を守るために河道を安定させる対策が経験的に行われてきた。河道は河川自身が流送してきた土砂によって構成されており、またこれらの土砂は流れと共に移動し絶えず変動している。したがって、いかに自然の力を利用して、しかも変動の少ない河道を設計するかは極めて重要な課題である。この問題は1900年代に、安定な灌漑水路の設計基準の作成を目指したレジーム理論に始まる。灌漑水路内では土砂の堆積も侵食も共に生じないように勾配、水深、川幅などを設計する必要があり、当時はもっぱら経験によって行われていた。

一般的な構図として、川は山地の溪流に始まり次第に大きくなって海に至る。勾配は山地では急であるが、流下するにしたがい緩やかとなって河口に至る。河道幅は溪流では狭く、海に近づくにしたがって広くなる。水深も同様に次第に深みを増す。これに対し、河床や河岸を構成する砂礫の大きさは次第に細くなる。このように我々は、河川の諸特性量の縦断的な変化についてある定着したイメージを持っている。

本研究では、このような概念に対し土砂水理学からのアプローチで河道の安定縦断形状についてモデルを構築し、実流域に適用するとともに土砂生産特性の評価を行っている。河道の動的安定を議論する場合、従来の研究では未知量の数に対して条件式が不足している。このため、河道の特性量である川幅、水深、河床材料の平均粒径等、本来は未知量とするべき量のひとつまたはそれ以上を与条件とする必要が生じ、閉じた形で自然状態の河道の安定縦断形状を考察することができなかった。本研究は、安定横断形状に関する研究の成果を取り入れた新たな安定河道縦断形状の理論を提案し、さらに流域の土砂生産について量的および質的な評価を行ったものである。

本論文は結論を含めて全6章から構成されており、その概要は次のとおりである。

第1章では、支配流量の存在を仮定し、従来から使われている関係式に加え、安定横断形状の研究成果を導入して河道の縦断形状の理論的な解析を行っている。本理論解析では、それまで不可能であった河道縦断形状を流量変化のみを用いて説明するこ

とを可能にしている。さらに、水深、川幅、河床材料の平均粒径など河道特性量の縦断変化を理論的に求めている。

第2章では、前章で得られた理論的關係を幹川河道に適用し、流量の縦断分布を与えるだけで安定河道縦断形状や水深、川幅、河床材料の平均粒径の縦断分布を求めることができる「幹川河道モデル」を構築し、実流域に適用してその妥当性を検証している。また、大きな支川が合流する場合については、幹川河道モデルを拡張した「支川合流モデル」を構築し、川幅、平均粒径が合流前後で不連続に変化する実河川の特徴を定量的に説明している。この支川合流モデルは次章の「河道網モデル」の基礎となるものである。

第3章では、流域内のすべての河道を取り入れた「河道網モデル」を構築している。本モデルは、河道を構成する個々の河道（単位河道）にそれぞれ第1章の理論を適用し、単位河道間の接続關係を考慮してつないでゆくもので、任意地点における河道特性量の推定が可能となる。実流域への適用に当っては国土数値情報の数値データを用いることとし、略1km×1kmの3次メッシュに1本の単位河道を配した河道網図を用いる。本モデルでは、河道網に沿って単位河道の上下流端における標高、勾配を与えることで、任意地点の流量、流砂量、水深、川幅、平均粒径が、外部リンク流入流量のみの関数として与えられる。なお、外部リンク流入流量は流域内で一定とし、モデルの簡略化を図っている。本モデルを多くのダム流域に適用して川幅、平均粒径について現地資料と比較し良好な一致を見ている。さらに、本モデルはダムの堆積土砂の岩質構成を良好に再現できることを確かめ、モデルの妥当性の検証としている。

第4章では、幹川河道モデルと河道網モデルとの比較を行い、河道網モデルで流量の縦断変化を一次式で表現したことの妥当性を検証している。実流域に河道網モデルを適用し、幹川河道に沿った流量の縦断変化を調べると、幹川モデルで用いたものと同じの指數的な変化を示すことを確認している。

第5章では、上述のモデルを用いた流域の平均年生産土砂量の推定方法を開発している。既設の貯水ダム流域に本モデルを適用し、得られた流砂量とダム堆砂量とを比較することによって、支配流量の年当たりの継続時間を求め、流域地質と降雨の関数として表している。本法を砂防ダム流域に適用しその妥当性を確認している。最後に、海岸侵食が著しい北海道の胆振日高海岸へ流入する河川群に本法を適用して、海域への平均年土砂供給量を算定し、同海岸の土砂収支を量的に論じている。これらの河川の大部分は水理、水文資料が乏しく、本法の開発によって初めて量的な議論が可能となったものである。

第6章は結論であり、本研究で得られた主要な結果について取りまとめている。

以上のように、本研究は新たに安定河道縦断形状に関する理論解析を行うとともに、その結果を基にして幹川および流域内のすべての河道を対象に、土砂動態の解析モデルの開発を行ったものである。安定河道と土砂動態の把握は河川計画の基本であるのみならず、砂防計画、ダム計画、海岸計画など水と土砂に関連する多くの問題に関わっており、本研究はそれらに対する理論的な基礎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

## 安定河道理論による流域の土砂生産の評価

川は山地の溪流に始まり次第にその規模を大きくして海へ至るのが河川の一般的な構図である。本研究は、このような概念に対し土砂水理学的アプローチから河道の安定縦断形状についてモデルを構築し、これを実流域に適用するとともに土砂生産特性の評価を行ったものである。

本論文は結論を含めて全6章から構成されており、その概要は次のとおりである。

第1章では、支配流量の存在を仮定し、従来から使われている関係式に加え、安定横断形状の研究成果を導入して河道の安定縦断形状の理論的な解析を行っている。本理論による解析では、流量変化のみを用いて河道縦断形状を説明することを可能にしている。さらに、水深、川幅、河床材料の平均粒径など河道特性量の縦断変化を理論的に求めている。

第2章では、前章で得られた理論的関係を幹川河道に適用し、流量の縦断分布を与えるだけで安定河道縦断形状や水深、川幅、河床材料の平均粒径の縦断分布を求めることができる「幹川河道モデル」を構築し、これを実流域に適用してその妥当性を検証している。また、大きな支川が合流する場合については、幹川河道モデルを拡張した「支川合流モデル」を構築し、川幅、平均粒径が合流前後で不連続に変化する実河川の特徴を定量的に説明している。この支川合流モデルは次章の「河道網モデル」の基礎となるものである。

第3章では、流域内のすべての河道を取り入れた「河道網モデル」を構築している。本モデルは、河道を構成する個々の河道（単位河道）にそれぞれ第1章の理論を適用し、単位河道間の接続関係を考慮してつないでゆくもので、任意地点における河道特性量の推定が可能となる。本モデルでは、河道網に沿って単位河道の上下流端における標高、勾配を与えることで、任意地点の流量、流砂量、水深、川幅、平均粒径が、外部リンク流入流量のみの関数として与えられる。本モデルを多くのダム流域に適用して実測結果と比較し良好な一致を見ている。さらに、本モデルはダムの堆積土砂の岩質構成を良好に再現できることを確かめ、モデルの妥当性を検証している。

第4章では、幹川河道モデルと河道網モデルとの比較を行い、河道網モデルで単位河道内の流量の縦断変化を一次式で表現したことの妥当性を検証している。また実流域に河道網モデルを適用して幹川河道に沿った流量の縦断変化を調べ、幹川モデルで用いたものと同じの指数的变化を示すことを確認している。

第5章では、上述のモデルを用いた流域の平均年生産土砂量の推定方法を開発している。既設の貯水ダム流域に本モデルを適用し、得られた流砂量とダム堆砂量とを比較することによって、支配流量の年当たりの継続時間を求め、流域地質と降雨の関数として表しており、本法を砂防ダム流域に適用してその妥当性を確認している。最後に、海岸侵食が著しい北海道の胆振日高海岸へ流入する河川群に本法を適用して、海域への平均年土砂供給量を算定し、同海岸の土砂収支を量的に論じている。これらの河川の大部分は水理、水文資料が乏しく、本法の開発によって初めて量的な議論が可能となったものである。

第6章結論であり、本研究で得られた主要な結果について取りまとめている。

これを要するに、本研究は新しい安定河道縦断形状に関する理論解析を行うとともに、その結果を基にして幹川および流域内のすべての河道を対象とする、土砂動態の解析モデルの開発を行ったものであり、多くの新知見を与え、河川工学上寄与するところが大きい。

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。