

氏名	^{ムハマド} ^{スレイマン} Muhammad Sulaiman
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2899号
学位授与の日付	平成20年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科社会基盤工学専攻
学位論文題目	Study on Porosity of Sediment Mixtures and a Bed-porosity Variation Model (混合砂礫の空隙率と空隙率の変化を考慮した河床変動モデルに関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 藤田正治 教授 中川 一 教授 戸田圭一

論文内容の要旨

本論文は、混合砂礫の粒度分布の分類手法と空隙率の推定法を開発し、その結果を使って河床材料の粒度分布だけでなく空隙率の変化も解析できる新規性の高い河床変動計算モデルの構築を行ったものであって、6章からなっている。

第1章は緒論であり、山地から海岸までの流砂系に対して治水、利水、環境に関する総合的土砂管理を行うにあたり、河床-空隙率変動モデルが必要なツールの一つであり、土砂管理に関する多くの問題を抱えている多くの国々で、本研究の主題が重要であることが示されている。

第2章では、より具体的な研究の背景として、インドネシアのメラピ火山地域のプロゴ川流域における土砂問題の実態、すなわち、噴火による土砂生産、火砕流や土石流の発生と土砂災害、砂利採取の実態と河床低下問題などについて述べられており、とくに火山噴火による土砂生産と過剰な砂利採取が治水・利水と河川生態系に大きな影響を与えていることを示している。そこで、頻繁に発生する噴火による土砂生産量や砂利採取量のデータなどから、メラピ火山の噴火活動を考慮した持続可能な砂利採取管理についての提言を行うとともに、このような管理には河床-空隙率変動モデルがツールの一つとして重要であることを示している。

第3章では、河床-空隙率変動モデルのサブモデルとなる河床材料の粒度分布の分類方法について検討している。河床材料の粒度分布はユニモダル分布とバイモダル分布に分けられ、ユニモダル分布は対数正規分布型、タルボット分布型、反タルボット分布型の3つのタイプに分類することができ、それぞれ特徴的な確率密度分布を呈している。そこで、最小粒径と最大粒径の間における50%粒径および確率密度分布のピークに対する粒径の相対的位置を表す2つの指標を設定し、それを使ってユニモダル分布の3つのタイプを分類する手法を考え、領域区分図を提示するとともに、様々な粒度分布がこの領域区分図によりの確に分類されることを示した。また、実河川の河床材料の粒度分布を分類し、河川上流の河床表層材料はタルボット分布型、下層材料はバイモダル分布型、河口部では対数正規分布型、生産土砂はタルボット分布型を呈している場合が多いことを示し、この特性をわが国の土砂動態の実態との関連で説明した。

第4章では、混合砂礫の空隙率を求める手法を開発し、それを使って粒度分布のタイプごとに空隙率と粒度分布の幾何パラメータの関係を提示している。河床材料の空隙率は、その移動履歴に応じて異なる締め固め度を有しているため、粒度分布のみによって空隙率を求めることには問題があるが、先駆的な研究として興味深い内容である。空隙率の求め方としては、計算モデルと実測手法を提案している。計算モデルは、ある粒度分布を持った球状粒子の混合物の中から乱数を用いて粒子を一つずつ選択し、仮想の容器に満杯になるまで充填し、そのときの粒子の配列から空隙率を求めるものである。このモデルは空隙構造の詳細な解析を通して水棲生物の生息場の研究への応用も図れるものでもある。対数正規分布型やタルボット分布型の粒度分布にこのモデルを適用し、各粒度分布の幾何パラメータと空隙率の関係を求めている。その結果、対数正規分布型の混合砂礫の標準偏差が増加すると空隙率は通常河床変動計算で仮定している値よりかなり減少することなどが示された。しかし、このモデルは幅の広い粒度分布のとき計算時間が大きくなるという欠点があり、このような場合については

実測による方法を用いている。提案した方法は水置換による河床材料の体積測定に基づく方法であり、現地での操作性もよい。充填モデルと同様に対数正規分布型やタルボット分布型の粒度分布にこの方法を適用し、各粒度分布の幾何パラメータと空隙率の関係を求めている。

第5章では、空隙率の変化を考慮した河床変動モデルを構築している。これまでの河床変動計算モデルでは空隙率を一定としているが、提案したモデルでは流砂の連続式および粒径別流砂の連続式において空隙率が時空間的に変化するものとして解析している。空隙率の変化は河床材料の締め固めと粒度分布によるが、第4章で考察したように、前者を考慮することは現時点では難しく、粒度分布のみに依存すると仮定している。基礎式は河床多層モデルにより巧みに解析され、マッコーマック法を用いて数値計算する方法が示されている。このモデルは、無給砂条件でも空隙率の変化により顕著に河床低下が生じない場合と給砂条件であるが空隙率の変化により河床上昇が生じない場合を対象にした実験に適用され、モデルの妥当性が実験結果との比較により検証されている。さらに、このモデルはアーマーコートが発達した河床に細砂が供給される場合や河床材料から細砂が流出するような場合にも適用され、河床材料の粒度分布のタイプ、空隙率、粒度分布の変化など、河川生態系にとって重要な情報が多く提供できることが示された。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、研究課題が抽出され、今後の研究展開が述べられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、混合砂礫の粒度分布の分類方法と空隙率に関して実験と解析により検討するとともに、河床材料の空隙率の変化も解析できる新しい河床変動計算モデルの構築を行ったものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. インドネシアでは火山噴火による土砂生産と過剰な砂利採取が治水・利水と環境に大きな影響を与えており、その対策の一つとして持続可能な砂利採取管理手法の提言し、このためには空隙率の変化も解析できる河床変動モデルが必要であることを示した。
2. 混合砂礫の粒度分布の幾何形状に着目して、粒度分布を対数正規分布型、タルボット分布型、反タルボット分布型に分類する考え方を示し、その領域区分図を提示した。様々な混合砂礫に対して、この方法は粒度分布を的確に分類することが可能であることが実証された。
3. 混合砂礫の空隙率を測定するための粒子充填モデルを開発するとともに、混合砂礫の空隙率と粒度分布の幾何パラメータの関係を表す図表を提示した。この結果、標準偏差の大きい粒度分布をもつ混合砂礫の空隙率は、河床変動計算で通常使われている空隙率よりかなり小さくなることがわかった。
4. 上記の結果を使って、河床材料の空隙率の時空間的变化を考慮した河床変動モデルを提案した。このモデルは、流砂の非平衡性により空隙率が増加するような実験に対して適用され、その妥当性が実験結果との比較から検証された。

本論文は、河川生態系の問題への発展も見据え、河川工学に関する広範囲の問題に適用できる新規性の高い河床変動モデルを提案しており、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年2月22日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、研究の新規性、独創性、信頼性が高く、今後の問題点も明確に示されており、合格と認めた。