

氏 名	後藤 仁志
学位(専攻分野)	博士 (工学)
学位記番号	工博 第 1258 号
学位授与の日付	平成 4 年 11 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 土木工学専攻
学位論文題目	砂粒子の運動機構とその移動床問題への応用に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 中川博次 教授 土屋義人 教授 村本嘉雄

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、砂粒子の運動機構に関する力学モデルを数値シミュレーションにより具体化し、単一の砂粒子の運動過程の重畳として移動床現象を模擬することにより、確率的現象を素過程とする移動床現象の主要な特性が良好に説明されることを述べたもので、全体で5章からなっている。

第1章は、移動床現象における砂粒子の運動機構に関する数値シミュレーションの位置づけを明らかにするとともに、移動床現象のシステム論的理解の重要性について述べて、本論文の全体構成を示している。

第2章は、時間軸上に展開された非平衡掃流砂過程を、重畳積分形式の非平衡流砂モデルにより定式化し、モデルの構成要素である pick-up rate と moving period について、確率過程モデルによる数値シミュレーションを通じて、その特性を明らかにしている。転動離脱の運動方程式により流体力の変動を考慮して砂粒子の離脱過程を追跡し、加速度の効果を考慮した pick-up rate の推定を実施するとともに、滑動形式の運動方程式と不規則に配置された河床突起との衝突・乗り越しモデルを用いた掃流過程のシミュレーションにより、非定常流れ場における砂粒子の運動特性の検討を行っている。シミュレーション結果は振動流・一方向流共存場や波動場における実験結果と比較され、その有効性が明らかにされている。さらに、振動流・一方向流共存場を対象に系統的なシミュレーションが実施され、その結果をまとめて、半周期平均掃流砂量および net の掃流砂量の近似式を提案している。

第3章は、振動流・一方向流共存場での砂漣上の浮遊過程における浮遊砂雲の重要性に着目し、浮遊砂雲による浮遊砂生成過程と浮遊砂雲から開放された後の拡散過程の2段階から成るシミュレーションモデルを提案して、濃度分布や砂漣の移動特性などの実験結果の良好な再現が可能であることを示している。k-ε乱流モデルにより模擬された流れ場において浮遊砂雲および浮遊砂雲から開放された後の浮遊粒子の運動を Lagrange 的に追跡している。個々の浮遊粒子の運動軌跡の追跡結果の重畳として求められた浮遊粒子の沈降位置の分布は、非対称砂漣の場合に実験を通じて確認されていた砂漣の上流方向への進行に理論的裏付けを与える結果を示した。さらに、実用上の計算の容易さを配慮して、生成項を有する Murphy

型の拡散方程式による浮遊砂雲からの浮遊砂生成を考慮した濃度場の数値シミュレーションが実施され、点計測から得られた濃度時系列が良好に再現されることを明らかにしている。

第4章は、定常等流下の掃流層を固液二相流的な側面に注目してモデル化し、粒子系と流れ系の相互作用を考慮した数値シミュレーションを実施したものである。従来の確率モデルで前提条件とされていた清水流近似は、粒子系と流れ系全体としての運動量保存則の面から不十分なものであり、底面剪断力が大きいときの高濃度掃流層を記述する上で重大な障害であった。従来の確率モデルによる砂粒子の運動過程の数値シミュレーションでは、清水流近似の問題には触れず、底面剪断力の大きい領域で砂粒子の停止条件を変化させることで済まされてきたが、本論文では、PSI-(Particle-Source-In)-セルモデルを用いて、砂粒子運動の数値シミュレーションと $k-\epsilon$ 乱流モデルによる流れ場の数値シミュレーションとを融合させ、清水流近似を用いない掃流過程のシミュレーションモデルを構築して、これまでの清水流近似を前提として確率モデルでは記述が困難であった底面剪断力の大きい領域における種々の saltation 特性についても有効な説明を可能にした。

第5章は、本論文で得られた成果をまとめて、砂粒子の運動機構に基づく移動床研究における本論文の位置づけを示して、結論としている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、単一の砂粒子運動の重畳として、確率的現象を素過程とする移動床現象を模擬して、力学モデルに立脚した現象のモデル化と数値予測の方法を示したもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 非定常流れ場における非平衡流砂過程を時間軸上に展開された重畳積分形式の流砂モデルにより定式化し、砂粒子の確率論的運動を考慮した数値シミュレーションによって、モデルの構成要素である pick-up rate と moving period の特性を明らかにした。すなわち、転動離脱過程の数値実験結果から、加速度効果を考慮した pick-up rate の推定式を提案するとともに、河床との不規則衝突と摩擦過程の繰り返しとして掃流過程を記述して、非定常流れ場における moving-period の変化特性を数値計算により明らかにした。一連のシミュレーション結果は、振動流・一方向流共存場や波動場における実験結果を良好に説明している。

2. 振動流・一方向流共存場での砂漣上の浮遊過程を、浮遊砂雲による浮遊砂生成過程と浮遊砂雲から解放された後の拡散過程に分割して、数値シミュレーションを行った。その結果、個々の浮遊粒子の運動過程の Lagrange 的追跡結果の重畳として求められた粒子の沈降位置の分布は、砂漣の進行方向に関する実験結果に理論的裏付けを与えた。また、生成項を有する Murphy 型の拡散方程式を用いた濃度分布の計算結果は、点計測から得られた濃度時系列を良好に表すことを明らかにした。

3. 粒子系と流れ系の相互作用系としての掃流層のシミュレーションモデルを構築し、従来の確率モデルの前提条件であった清水流近似を用いない推定法を提案して、これまで予測困難であった高濃度掃流層における砂粒子の運動特性を明らかにすることに成功した。シミュレーションの結果は、砂粒子の鉛直分布、移動速度、掃流層厚などの実験結果との良好な一致を示した。

以上、要するに本論文は、砂粒子の運動機構に基づく数値シミュレーションにより、移動床現象の種々

の特性を良好に予測することに成功したものであって、その成果は、学術上、實際上寄与するところが少ない。よって、本論文を京都大学博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成4年10月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。