

氏 名	はら だ えい じ 原 田 英 治
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2089 号
学位授与の日付	平 成 13 年 9 月 25 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	混合砂礫床における流砂・漂砂の分級機構の計算力学的研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 酒 井 哲 郎	教 授 高 橋 保	助教授 後 藤 仁 志
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、個別要素法型の粒状体モデルを用いて流砂・漂砂のシミュレーションを行うとともに、漂砂については室内実験も実施し、混合砂の流送機構を詳細に論じた結果をまとめたものであって、8章から成っている。

第1章では、論文全体の研究の位置付けと研究対象について述べるとともに、本論文の構成を示している。

第2章では、混合砂を対象に流砂・漂砂に関する既往の研究を概観し、既往の研究の概要と問題点および課題について整理している。

第3章では、以後の章のシミュレーションの骨格を成す個別要素法を基礎とした粒状体モデルを詳説し、個別要素法に基づく粒状体モデルを流砂現象に適用する際にしばしば問題点として指摘されるモデル定数の選択について簡便かつ合理的な方法を提案している。流砂・漂砂のシミュレーションには、粒子系のモデルの他に流れのモデルが必要であるが、どのような観点から流れのモデルを選択すべきかを説明し、流砂の一方向流と漂砂の振動流を対象とする際のモデルについて具体的に述べている。また、モデル定数の設定プロセスで必要となるパラメータの設定法を説明し、設定されたパラメータを用いて、粒径および粒子層厚が及ぼす計算時間ステップへの影響について系統的に検討している。

第4章では、混合粒径流砂の流送機構の数値解析を実施している。まず比較的単純な流れ場で、混合砂で問題となる粒径別移動限界や粒径別流砂量について、シミュレーション結果と既往の実験とを比較することにより、本論文で用いた個別要素法を基礎とした粒状体モデルの妥当性を確認している。次に、混合粒径砂から成る移動床における代表的な現象として、分級の内部機構を数値解析を通じて検討している。分級は、河床変動に大きな影響を及ぼし均一砂で生じる現象と実現象の相違の主要原因の一つであるため、これまでに多くの研究が試みられてきたが、砂粒子レベルの視点に立った研究は少なかった。第4章では、このような点に鑑み、粒状体モデルに基づく数値解析により、分級の内部機構を検討している。

第5章では、混合粒径から成る人工真珠を用いた移動床水理実験を実施している。ここでは、大小2粒径混合粒子を用いて、大粒子が表層へ上昇し、小粒子が下層へ下降する鉛直分級の進行過程や、分級が完全に発達した平衡状態での、アーマコートの非定常的挙動をビデオ画像解析を通じて詳細に検討している。

第6章では、前章の水理実験を受けて、振動流下の混合粒径漂砂の分級機構の数値解析を実施している。まず、大小2粒径混合砂を用いた数値解析を行っているが、ここでの目的は、大小2粒径混合状態という理想化された状態において、分級進行に伴う大粒径粒子の振動流下での上昇過程を再現することにある。次に3粒径混合砂を対象とした数値解析を実施している。この数値解析については、同一粒子初期配置での水理実験と比較して、モデルの個々の粒子運動の再現性を検討するとともに、砂粒子移動速度や砂粒子数密度等の混合粒径シートフロー漂砂の力学特性についても詳細に検討している。

第7章では、これまで用いてきた異なるサイズの粒子を混合する前章までの発想とは違った観点でのサイズの異なる要素の相互作用を伴う移動過程として、円形要素を剛体連結して任意の形状の剛体要素を形成するサブプログラムを組み込んで、前章までの個別要素法型の粒状体モデルを拡張し、振動流下での被覆ブロックの破壊過程の数値シミュレーションを実施し

ている。

第8章では、論文全体のまとめと各章毎の主要な結論を列挙するとともに、今後の課題を述べて結論としている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、混合砂から成る流砂・漂砂の移動特性を粒子レベルの視点から解析した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 個別要素法を基礎とした粒状体モデルのモデル定数の合理的かつ簡便な設定方法を提案し、流砂量の既往の実験データとの適合性を指標にモデル定数の設定を実施し、均一砂に対する最適値を粒子特性に対して図表化した。
2. 混合粒径流砂のシミュレーションを実施し、既往の実験結果や Egiazaroff の式が示す粒径別移動限界掃流力の特性が良好に再現されることを確認した。また、中粒径以下の粒子に対しては、芦田・道上による移動限界の補正の妥当性が、粒状体モデルの面から確認された。また、粒径別流砂量については既往の実験結果は芦田・道上式よりも大きな値を示すことが知られているが、本シミュレーションも同様な傾向を示し、粒径別流砂量の面からも本モデルの妥当性が確認された。
3. 振動流装置を用いた実験を実施し、分級の進行過程と平衡状態（完全発達過程）の双方におけるアーマコートの非定常挙動をビデオ画像解析によって詳細に検討した。最も単純な混合砂である2粒径混合の状態においてもアーマリングの特性は複雑で、細粗混合比の変化が平衡状態に達するまでの時間や漂砂量に影響を及ぼすことを明らかにした。
4. 混合砂を対象に振動流下の数値シミュレーションを実施し、分級過程を追跡した。アーマコート発達段階では漂砂量は Madsen-Grant の実験式と良好な一致を示す。
5. 個別要素法型の粒状体モデルに要素を剛体連結させるモジュールを組込んで被覆ブロックの振動流下での挙動をシミュレーションした。

本論文は、これまで未解明であった混合砂から成る流砂・漂砂の移動機構を粒子レベルの視点で精査しており、学術上、實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13年8月6日、論文内容とそれに関した事項について試問を行った結果、合格と認めた。