

氏 名	フィットリ リアンディニ Fitri Riandini
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2737 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 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 都 市 環 境 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Simulation Model for Cohesive Sediment Transport and Bottom Topography Changes in Estuary (エスチャリーにおける粘着性底泥輸送および海底地形変化のシミュレーションモデル)
論文調査委員	(主 査) 教 授 高 山 知 司 教 授 酒 井 哲 郎 助 教 授 間 瀬 肇

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、河口部での流体と底泥の挙動を再現する数値モデルを構築することを目的として、フロック形成理論を導入した数値モデルを活用し、既存の実験結果と比較することによってモデル検証をおこなうとともに、干潟における底泥輸送と地形変化の数値実験を行って、モデルの現地適用性を検討したものであり、7章からなっている。

第1章は序論であり、河口部は一般に人口が稠密で、産業活動が活発であるとともに、生態系にとっても豊かな場所であるために、河口部における地形変化を適切に予測することは非常に重要性であることを指摘している。河口部は底泥で形成されているために、浮遊泥のフロック化とその分解、沈降といった底泥の輸送過程を明らかにし、そのモデル化が必要であることを示し、本論文の方向性と位置付けを明確にしている。

第2章では、まず、静水圧分布を仮定した準3次元流動モデルのPOMによって流れ場を計算している。そして、干潟のように海水と陸域との境界が潮位に伴って移動するような条件に適用できるように海水の移動境界条件が考慮できるようにしている。流れと浮遊底質との相互作用については、乱流によるフロックの形成と破壊、沈降過程を考慮したフロック形成理論を数値モデルに導入している。矩形エスチャリーにおいて一様流、潮汐流の変化に伴う、フロック径、質量濃度、沈降速度の変化を計算している。また、潮汐流の場合の質量濃度および乱流減衰率の鉛直分布をも示している。これにより、一様流の場合には、底面近傍で濃度は高くなり沈降速度も急激に小さくなり、流速が早くなると濃度は一様になり、流速が小さくなるに従って、底面近傍での濃度勾配が大きくなることを再現している。潮汐流に関しては、表層と底面近傍では濃度の時間変化が逆位相になっており、中層では時間変化が少ないことを示している。

第3章では、沈降した底泥についてはGibsonの圧密方程式を流動層モデルと連動させて解くことで、堆積層が連続的に計算できるようにしている。さらに、底泥の構成材料としての砂と底泥の成分毎にGibson方程式が線形的に分離されると仮定して、底泥成分と砂成分の混成体の圧密が再現できるようにしている。流動シミュレーションと分離して、時間変化の緩やかな圧密沈降シミュレーションを行っている。この場合、粘着性底泥だけの場合と若干の砂質が混合している場合の濃度鉛直分布の時間変化のシミュレーションを行い、COSINUSの実験結果との比較を行って、高濃度底泥層の濃度分布に関して提案したモデルの信頼性を明確にしている。また、最下層の境界条件として、密度 2650 kg/m^3 を設定し、圧密床と流動圧密層の間の密度の連続性を仮定し、鉛直1次元の圧密シミュレーションを実施し、重力密度の鉛直分布が従来の実験結果と一致することを示している。

第4章では、インドネシア、東カリマンタン州のマハカム川の淡水・海水交換過程と底泥輸送のシミュレーションに適用し、観測結果との比較からモデルの再現性を検討している。表面における全浮遊物質の空間分布は衛星画像解析観測により求められているので、これを鉛直一様分布として浮遊底質の初期・境界条件としている。海域での浮遊砂濃度観測は15点で実施されており、ここでの観測結果は計算結果の検証に用い、潮汐は主要6分潮を、河川流量は一定値 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ を与えている。初期境界条件としての塩分濃度は海域で33psu、河川は0psu、水温は河川で 29°C 、海域で 26°C としている。また、

鉍物粒子の基本粒径は $4\mu\text{m}$ とした。河川最上流端での境界条件は、浮遊砂濃度 170 mg/l の基本粒径の鉍物粒子を仮定している。デルタ分岐点の Muara Jawa での潮汐計算の検証を行った結果では、支流の上流部にもかかわらず潮位変動の再現性はよいが、流速値は計算結果の半分以上になっており、これは、河道内での流速の再現性が水平解像度に依存することによると推定している。また、この海域での浮遊砂の平均濃度に関する計算は観測結果をよく再現している。

第5章では、有明海における潮流に関して数値計算を行い、有明海東側の海域で筑後川からの河川流によって循環流が生じることを明らかにしており、現地観測でもこのような循環流が生じることを示している。有明海における潮汐による底質輸送に伴う航路の埋没に関して数値実験を行い、塩分濃度や流速、底質濃度が航路埋没に及ぼす影響を調べ、河口部においては低塩分濃度で、高底質濃度の条件では航路埋没が促進されることを確かめている。

第6章は、本研究で開発した数値計算モデルのマニュアルとして記述しており、数値計算の流れや計算に用いたサブルーチンの内容を取りまとめている。

第7章は、結論として本論文で得られた成果を取りまとめるとともに、今後の課題も整理している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、河口部での流体と底泥の挙動を再現する数値モデルを構築することを目的として、ブロック形成理論を導入した数値モデルを適用し、既存の実験結果と比較して、モデルの検証を行うとともに、干潟における底泥輸送と地形変化の数値実験によってモデルの現地適用性を検討したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 干潟のような移動境界条件に対しても適用できる準3次元流動モデルに乱流によるブロックの形成と破壊の過程を導入し、Gibson の圧密方程式と連動して解くことによって、底泥の堆積層の変化が連続して解析できるモデルを構築した。しかし、底泥・流動化モデルと圧密モデルでは変化の時間スケールが異なることを考慮した結合モデルとしている。
2. 単純な地形として矩形状の河口部において一様流と潮汐流に関してブロック径や質量濃度、沈降速度の変化特性を調べるとともに、時間変化の緩やかな圧密沈降シミュレーションを行い、既存の実験結果と比較して重力密度の鉛直分布がよく一致することで、モデルの妥当性を確認した。
3. 潮汐による底質輸送で起きる航路の埋没について数値実験を行い、塩分濃度や流速、底質濃度が航路埋没に及ぼす影響度を調べた。その結果、塩分濃度の相違による浮力の効果が大きく、河口部において再現される低塩分濃度で、高底質濃度の条件では航路埋没が早く促進されることを確かめた。
4. インドネシア、東カリマンタン州のマハカム川の淡水と海水の交換過程や底泥輸送に関してシミュレーションを行い、現地観測結果と比較して、モデルの再現性を確認した。デルタ分岐点の Muara Jawa での水面変動および流速記録を用いて、潮汐計算の検証を行った結果、支流の上流部にもかかわらず潮位変動計算の結果は極めてよい再現性を示したが、流速は計算値が観測値の半分以上になっていた。これは、河道内の流速が水平解像度に依存するためと考えられる。このため、観測点 Muara Jawa における表層の浮遊砂濃度の計算は観測結果に比べて小さめに出ているが、ピーク時の高濃度は再現できていた。

以上要するに本論文は、河口部における流体と底泥の挙動を再現する数値モデルを構築し、その妥当性を既往の実験値や観測地で検証しており、河口部における地形変化に関して重要な情報を提供しており、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19年1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。