

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| 氏 名         | おお 谷 ひで お 夫                        |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (工 学)                          |
| 学 位 記 番 号   | 論 工 博 第 3874 号                     |
| 学位授与の日付     | 平 成 17 年 11 月 24 日                 |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当            |
| 学 位 論 文 題 目 | 各種空間スケールにおける急変流下の高精度局所地形変動解析に関する研究 |

|        |                      |             |             |
|--------|----------------------|-------------|-------------|
| 論文調査委員 | (主 査)<br>教 授 酒 井 哲 郎 | 教 授 戸 田 圭 一 | 助教授 後 藤 仁 志 |
|--------|----------------------|-------------|-------------|

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、各種空間スケールにおける急変流下の局所地形変動について、個々のスケールにおいて特徴的でかつ卓越した物理現象を抽出してモデル化し、実務的計算環境での実行性が確保できる範囲に計算負荷を制限した上で、解の精度を向上させる解析方法の提案を目指した研究を取りまとめたものである。

対象とした空間スケールは、大・中・小スケールそれぞれについて、「津波に対する湾口狭窄部」、「河川構造物近傍」、「ジェット水流による掘削・揚砂および覆砂現象」であり、個々の課題は、自然災害予測、建設工事の効率化、水域環境改善といった具体的課題に関連しつつ、土砂水理学が対象とする物理現象を共通の基礎として有している。論文は全5章から成る。

第1章は序論であり、研究の背景、各種空間スケールの定義および解析方法の概要、研究の構成が述べられている。

第2章では、大スケールの地形変化に対する計算として、従来計算法では十分に再現できなかった1960年のチリ津波により発生した気仙沼湾湾口狭窄部の大規模洗掘を取り上げ、その精度向上を実現している。このスケールの流れ場の計算では、計算格子が粗くなり、流砂量や侵食現象を支配する狭窄部での掃流力の精度が十分に確保できない。はじめに、計算上のサブグリッドスケールの現象に相当する流速の鉛直分布構造の変化とそれに伴う底面せん断力の増大現象が、狭窄部に発現する顕著な圧力勾配によってもたらされることを水理模型実験により見出し、従来の計算では底面せん断力が過小評価されることを明らかにした。その改善のために、顕著な負の圧力勾配下で適用可能な底面せん断力の評価式をカルマンの運動量方程式と流速分布の log-wake 則から導出し、さらに、高底面せん断力条件を考慮した流砂量式を用いた地形変化計算方法を構築した。この手法を用いた結果、気仙沼湾の狭窄部の洗掘現象が、従来方法に比べ大きく改善された。

第3章では、中スケールの地形変化に対する計算として、河川仮締切工周りで発生する局所洗掘現象を取り上げ、その精度向上を検討した。このスケールの現象では、局所的な渦流の掃流力が洗掘の計算精度を支配する。一般に、局所洗掘に起因する渦流を精度良く解くには、細かな間隔の計算格子を導入して高い空間解像度を確保する必要があるが、膨大な計算負荷に伴い、実務的な計算環境での実行は不可能に近い。そこで、まず水理模型実験により、仮締切工において洗掘を駆動する隅角部の剝離渦と、それによる洗掘孔の形状特性を明らかにした。剝離渦をサブグリッドの現象として捉え、その掃流力を非擾乱域の無次元掃流力および仮締切工幅水深比の関数として定式化した。さらに、洗掘孔の斜面崩壊モデル、洗掘の進展に伴う剝離渦の減衰モデルをサブモデルとして計算に導入し、仮締切工の局所洗掘モデルを構築した。計算の結果、局所洗掘深の時間変化および河床の平面形状の予測が、従来計算と比較して大きく改善された。

第4章では小スケールの地形変化を取り扱う計算の対象として、水流ジェットによって底泥下の砂を底泥上に揚砂・覆砂する工法「底泥置換覆砂工法」を取り上げている。計算により揚砂量や覆砂厚、覆砂範囲を見積もることは、施工計画上的重要な課題である。まず、新工法である底泥置換覆砂工法についてその効果を検証するため、現地実験を実施した。その結果、底泥置換覆砂工法では揚砂・覆砂が底泥と混合することなく可能で、施工後の砂層に好気性環境が創出され、底生生物や水生植物の復元に有効であることが確認された。次に、水理模型実験により覆砂メカニズムを把握するとともに、揚砂量がジ

ェット流量や粒径と相関を持つことを示し、揚砂量予測式を構築した。水流ジェットによる掘削・揚砂といった地形変化計算に対しては、大・中スケールの計算の枠組みで用いた流砂量式の有効性が明確でなく、経験的流砂量式に依存せず、砂粒子の運動メカニズムの忠実なモデルに基づく取り扱いが必要である。そこで、固液二相流の基礎式の離散化に、固液相界面の解像に有効な MPS 法を採用し、現象の本質的な部分の再現に成功した。

第 5 章では、得られた成果をまとめて結論とし、今後の課題や研究の方向性についても言及している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、各種空間スケールにおける急変流下の局所地形変動について、個々のスケールの現象に特徴的で卓越した物理現象を抽出してモデル化し、計算負荷を実務上の対応が可能な範囲に制限した上で、解の精度を如何に向上させるかを目的にした研究を取りまとめたものである。

第 1 章には、研究の背景、各種空間スケールの定義および解析方法の概要、研究の構成が述べられている。

第 2 章では、大スケールの地形変化計算として、チリ津波により発生した気仙沼湾湾口狭窄部の大規模洗掘を取り上げている。この現象では湾口狭窄部における掃流力の精度が流砂量や侵食現象を支配するが、サブグリッドスケールの現象に相当する圧力勾配による底面せん断力の増大現象をモデル化した結果、高精度化が実現されている。

第 3 章では中スケールの地形変化計算として、河川仮締切工周りの局所洗掘を取り上げている。このスケールの現象では、局所的な渦流の掃流力が洗掘の計算精度を支配することから、渦流をサブグリッドスケールの現象と捉え、その掃流力を実験式で表現するサブモデルを導入して高精度化を実現している。

第 4 章では小スケールの地形変化計算として、水流ジェットによって底泥下の砂を底泥上に揚砂・覆砂する工法「底泥置換覆砂工法」を対象としている。このスケールの現象には、砂粒子の運動メカニズムに基づく取り扱いが必要であることから、固液二相流型の MPS 法を採用し、現象の本質的な部分の再現に成功している。

第 5 章では、得られた成果をまとめて結論とし、今後の課題についても言及している。

局所地形変化に支配的な流体現象の実験的考察に基づき、できる限り簡便でかつ高精度なモデルが提案され、防災・環境両面での土砂水理学の実務上の貢献についての具体的な姿が提示されており、学術上、実務上寄与するところが大きい。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17年10月24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。