

現地海岸では碎波帯内で短期的かつ大規模な地形変化を引き起こすシートフロー形式の砂移動が重要となる。シートフロー条件は主として高波浪時に発生し、底面流速振幅が大きくなるため、砂漣が消滅し底面上で極めて高濃度の移動砂層が形成される。本研究では、シートフロー移動層の力学的挙動を、振動流装置を用いた実験と新たに開発した二相流モデルによる数値実験により解明したものである。二相流モデルは、連続式および運動方程式を満足する固相（底質）と液相（流体）の運動を質量保存則および運動量保存則の観点から記述し、圧力だけでなく固液間力・粒子間力・乱流応力・乱流拡散も同様に考慮することにより、水と砂粒子の運動を相互干渉を考慮しながら同時に解くものである。

本論文は、振動流装置を用いた実験、波・流れ共存場での数値実験、非対称振動流場での数値実験で構成される。第1部ではシートフロー現象について既往の研究を整理し、室内実験を実施した。室内実験では、底質に細砂を用い振動流境界層において、漂砂特性の把握や漂砂量の測定、またハイスピードカメラで得られた輝度分布を基に時空間的な漂砂濃度分布が示されている。室内実験では、移動機構を計測することを目的として改良 PIV 法が適用された。改良 PIV 手法では、相互相関手法に比べて優れていることが確認された自乗誤差最小化手法が採用された。また、底面近傍でも精度の高い流速・濃度推定手法を開発することに成功した。PIV 手法で計測された砂粒子の移動速度や浮遊砂濃度の特性に関する知見は、後半の数値モデル構築の見通しを良くするのに活用するとともに、移動床条件での乱流計測や固液混相流の固相濃度変化など、計測が困難な条件における新しい知見が数多く得られた。

第2部では、まず、二相流の概念に基づく数学モデルを構築した。連続式および運動方程式を固液相へ適用することで物理現象を数学的に表現した。流体の単位体積当りの固液間力、粒子間力成分、乱流応力、乱流拡散過程を数学的に記述した。初期条件および境界条件についても数学的に記述している。構築したモデルを、差分法を用いて数値的に解くアルゴリズムを開発し、実験データが比較的豊富な正弦振動流、および、波・流れ共存条件に適用し、数値モデルの精度と適用性を検証した。

第3部では、海浜変形問題で極めて重要になる非対称振動流条件への適用性を検討した。非対称振動流では岸向きと沖向きで境界層の乱流構造が異なるため、これらを合理的に表現できるように渦粘性係数と乱流拡散係数を修正し、底質の移動速度や浮遊砂濃度に関して最新の実験データと比較することによりモデルの精度を検証した。本研究で提案したモデルは、底質の粒径、振動流の流速、周期のさまざまな条件において、シートフロー漂砂の移動方向を正しく予測し、漂砂量の予測精度も従来のモデルに比べて格段に向上していることが確認できた。また、近年発表された二相流モデルと比較しても、流速、浮遊砂濃度、底質の輸送フラックスのいずれにおいて

も、本研究のモデルの予測精度が最も優れていることが確認できた。

以上、要するに、本研究は計測が困難なシートフロー漂砂現象について、画像解析に基づく実験と二相流理論による数値モデルを開発し、シートフロー条件での底質の総輸送量に対して精度の高いモデルを提案することに成功した。開発したモデルの妥当性は、最新の実験データに対して網羅的に検証されており、現時点では本モデルが世界中で最も高精度なモデルであることが定量的に示されている。本研究で開発したモデルは、縮尺効果の影響を受ける経験定数を含まないため、現地海岸条件にも適用可能なものであり、広い適用範囲を持つもので実用性が高い。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。