

# ミニマルチャネル乱流における移動床上の掃流砂を対象とする仮想領域シミュレーション法の開発。

TRUONG VU HUNG

「掃流砂」は、河床や海床における流れが活発になると、やや大きな砂礫が床近傍の薄い境界層内において移動し、その結果、河川や海岸などが形成される現象である。その重要性が昔から認識されているが、複雑な現象である乱流や、固体と液体の相互作用、粒子同士の接触などの現象が重なり、影響し合っているため、掃流砂の理解はまだ不完全である。本研究の目標は、掃流砂の解明とそのモデリングのために、高密度の固液二相乱流に対応できる「直接」数値シミュレーション法(Direct Numerical Simulation; "DNS")、つまり乱流の全てのスケールを、モデルを用いることなく解くような数値計算法を開発することである。そのために、液体中において自由に動く粒子を対象とする「仮想領域法」を提案し、その精度や妥当性を検証した。論文の内容は次の通りである。まず本研究で扱う仮想領域法を定密度と非定密度ソルバーに分類する。次に粒子内剛体運動を回復する人工外力の求め方を説明する。人工外力には、固体積率に比例する外力、粒子の「marker点」における相対速度を無くするための外力、またそれらを組み合わせた新しい「ハイブリッド」外力がある。それぞれの長所、短所を検討するために、Poiseuille流れやCouette流れなどのせん断流に着目し、粒子を一・二個含むカノニカルな流れの計算を行い、計算精度や計算時間などを検討する。次に、より複雑な高密度の固液二相流について検証する。つまり、部分的に球形ガラスビーズが充填された、回転軸が水平の円柱ドラムの実験との比較を行う。実験は二種類あり、一つ目は、ドラムにガラスビーズを半分程度まで入れ、周りの空間にはひまわり油（または空気）を満たし、ドラムを密閉するものである。二つ目は、回転ドラムの円周部がメッシュで作られており（側面部はアクリル板）、ガラスビーズはドラム内に捕捉されたままであるが、ポンプによって循環させる流体はビーズ層の上に、自由表面流れおよび掃流砂層を形成するものである。全体を見るとこれらの実験結果と数値解析の結果は十分に合っている。最後に、2重周期「ミニマルチャネル」領域内における移動床上の掃流砂のシミュレーションを行う。領域の幅が「壁単位」100程度を超えるかどうかによって、3次元シミュレーションと準二次元シミュレーションに分類される。著者の知る限りでは、掃流砂のDNSの計算が実現されたのは、本論文が初めてである。