

第II部門

リップル形成に対する間隙流の影響

京都大学工学部 学生員 ○藤澤 大雅
 京都大学工学研究科 正会員 原田 英治
 京都大学工学研究科 正会員 後藤 仁志

1. はじめに

浅海域での波・流れの変化は、移動床内部の間隙流速分布に変化をもたらすが、移動床表層付近には浸透流あるいは滲出流が発生する。一定周期で振動する水槽内に発現する ripple を対象に水理実験および数値解析を実施し、間隙流が ripple 形成に及ぼす影響を計算力学的に示す。

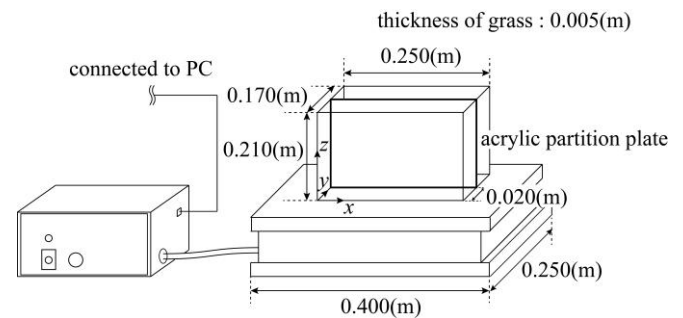


図-1 実験模式図

2. 実験条件

実験では、図-1 に示すように水槽を振動台上に設置し加振させた。振動台の変位には $x = -A \sin(2\pi f t)$ の正弦波 ($A=1\text{cm}$, $f=2.0\text{Hz}$) を与えた。初期の堆積層厚を 2cm 、被り水深を 1cm に設定し、堆積層には直径 1cm 、比重 2.65 のアルミナ球を用いた。

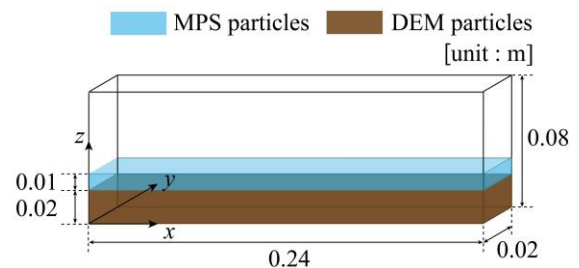


図-2 数値解析の計算領域

3. 数値解析手法および計算条件

本計算では、液相に高精度 MPS 法 (MPS-HS-HL-ECS-GC-DS-WPP 法) を、固相に個別要素法 (DEM) を適用し、両相を抗力型モデルで接続した¹⁾。数値解析の計算領域を図-2 に示す。DEM 粒子径の直径を 1cm 、比重を 2.65 とし、MPS 粒子径を 0.5cm とした。

4. 実験と数値シミュレーションの比較

図-3 に、堆積層表面変化の時間推移を示す。数値解析で $x/d=70, 170$ 付近で表層が大きく凹み、数値解析における移動床勾配は実験のそれと比較して大きいものの移動床表層の凹凸の発生位置は概ね一致している。また実験、数値解析ともに $t=9.0\text{s}$ 以降、移動床表層の ripple の発

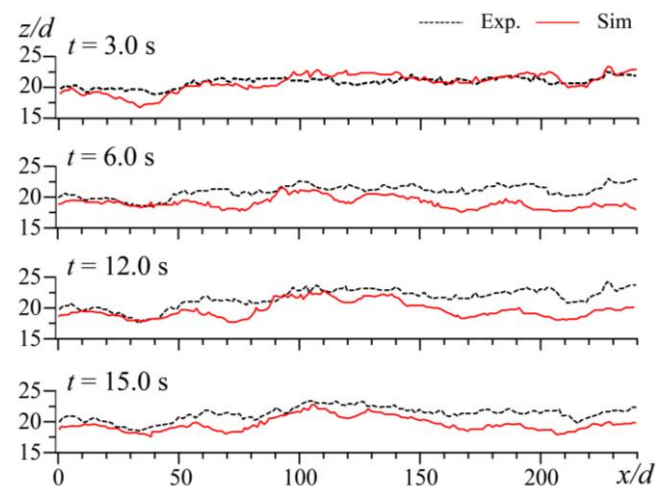


図-3 移動床表層凹凸の時間発達過程

達は収束し平衡過程にあるとみなせる。

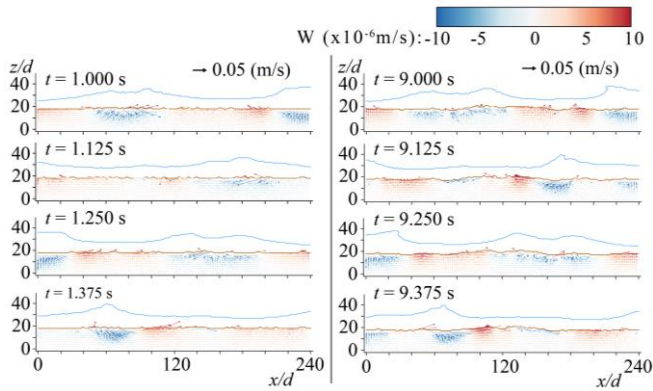


図-4 間隙流速ベクトル（鉛直方向成分）

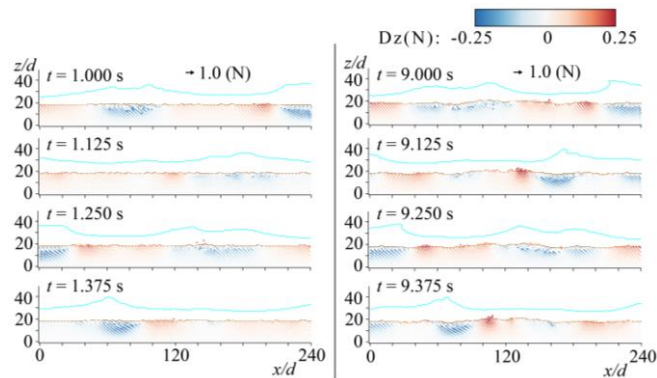


図-5 流体抗力ベクトル（鉛直方向成分）

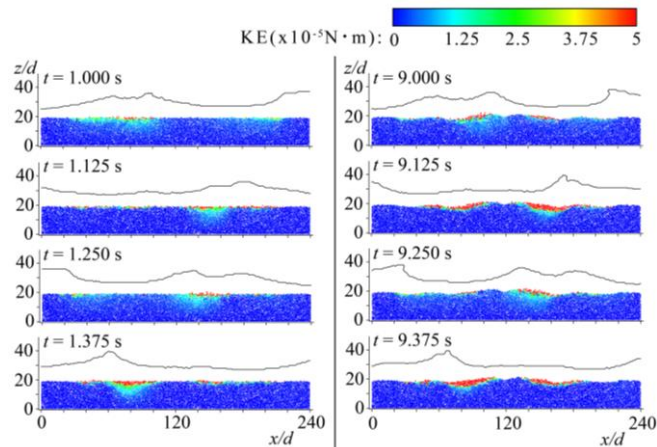


図-6 DEM 粒子の運動エネルギー

5. 間隙流

図-4 に示す間隙流速と図-5 に示す流体抗力の位相分布は概ね類似している。また、流体抗力のレベルは圧力勾配力より数倍高かった。図-6 に DEM 粒子の運動エネルギーの位相分布を示す。移動床粒子運動が活発な領域と間隙流速が高い値を示す領域に相関が認められる。これらより、間隙流速の ripple 形成への寄与がうかがえる。つぎに、ripple を形成する

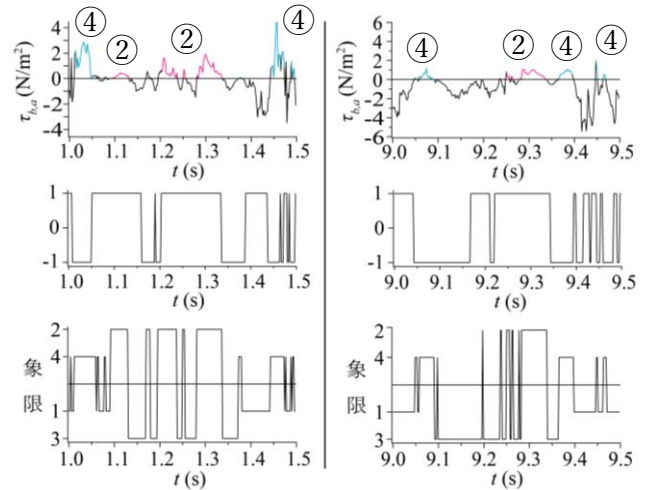


図-7 移動床表層に作用する底面せん断応力

DEM 粒子に作用する底面せん断応力 τ_b について検討を行う。図-7 上段に $x/d=80$ における発達過程 ($t=1.0\sim 1.5s$) および平衡過程 ($t=9.0\sim 9.5s$) の底面せん断応力 τ_b の時系列を示す。また、中段には鉛直方向の間隙流速 w の符号を示す時系列 (1 および -1 はそれぞれ鉛直上向きおよび下向きを示す) を、下段には変動速度成分 (u', w') の象限別区分の時間変化を示す。底面せん断応力 τ_b が正值を示す時間帯に注目すると、間隙流速 w が負値を示す時間帯では、移動床表層では浸透傾向であり、変動成分は第 4 象限に存在する。一方、間隙流速が正值を示す領域では、移動床表層では滲出傾向であり、また変動成分が第 2 象限に存在することが分かる。以上より、移動床表層近傍での組織的な乱流構造による間隙流速への影響が示唆される。

6. おわりに

本研究では振動水槽を用いた水理実験と同条件で別途実施した数値解析から、間隙流が ripple 形成に強い影響を及ぼすことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 後藤仁志：粒子法 連続体・混相流・粒状体のための計算科学，森北出版，2018。