

第II部門 DEM-MPS法による rolling-grain ripple 形成過程の数値シミュレーション

京都大学工学部 学生会員 ○松本 昌展
 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 五十里 洋行
 京都大学工学研究科 正会員 後藤 仁志

1. はじめに

砕波帯より岸側の領域では砕波による波・流れの非線形性や非対称性の影響を含めた複雑な条件下での砂連凹凸の発達については十分な理解には至っていない。粒子法の一つであるMPS (Moving Particle Semi-implicit) 法と移動床解析手法としては個別要素法 (DEM: Distinct Element Method) を用いた数値シミュレーションを実施し、砕波帯以浅で発生する砂連の凹凸の発達過程を対象に、特に、間隙水の有無が及ぼす影響について計算力学的観点から検討する。

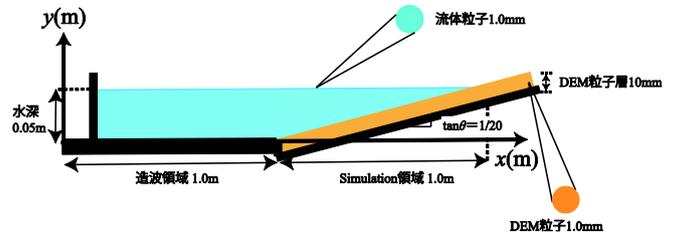


図-1 計算条件

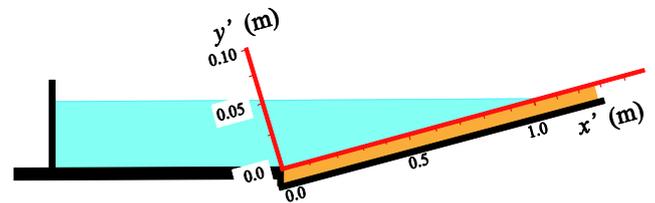


図-2 x'-y'座標系

2. 数値解析手法

流体解析には MPS-HS-HL-ECS-GC-DS¹⁾法を用いた。DEM カップリングモデルについては流体粒子に対して DEM 粒子群の体積占有率によって相互作用力を決定するモデル(後藤ら³⁾)を採用した。

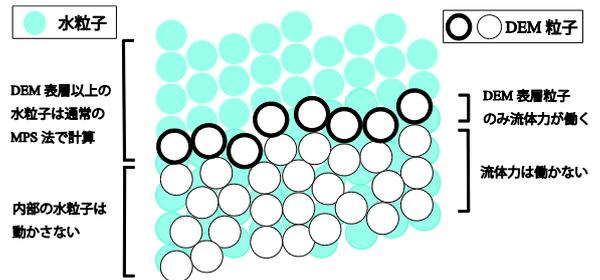


図-3 間隙流の取り扱い

3. 砕波帯・波打帯における rolling-grain ripple 形成過程の数値シミュレーション

1) 計算条件

計算領域を図-1 に示す。0.0 < x < 1.15m が造波領域であり、初期水深は 5.0cm である。移動床部は、粒径 1.0mm、比重 2.65 の DEM 粒子から構成され、移動床の斜面勾配は 1/20 である。周期 0.7s、波高 1.5cm の規則波を移動床に作用させる。なお、MPS 粒子および DEM 粒子はそれぞれ 85,970 個および 15,843 個である。DEM 表層粒子座標は、図-1 における x-y 座標系を半時計回りに tanθ=1/20 回転した図-2 の x'-y' 座標系で計測した値とする。また、間隙流の取り扱いに関しては図-3 に示す通りである。

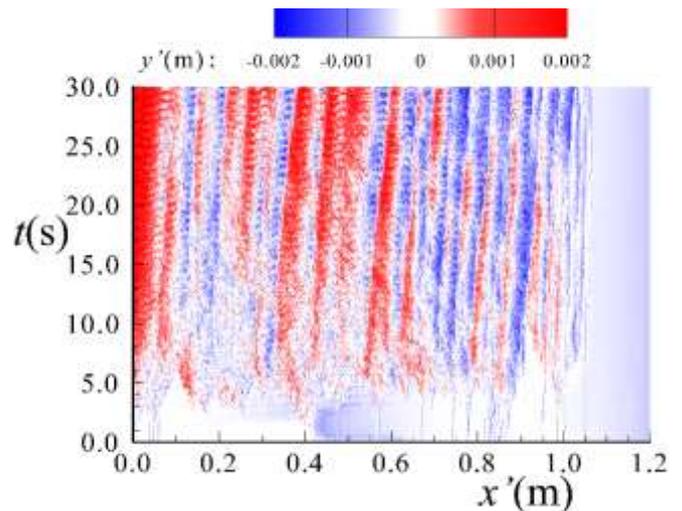


図-4 ripple の凹凸に関する時空間分布

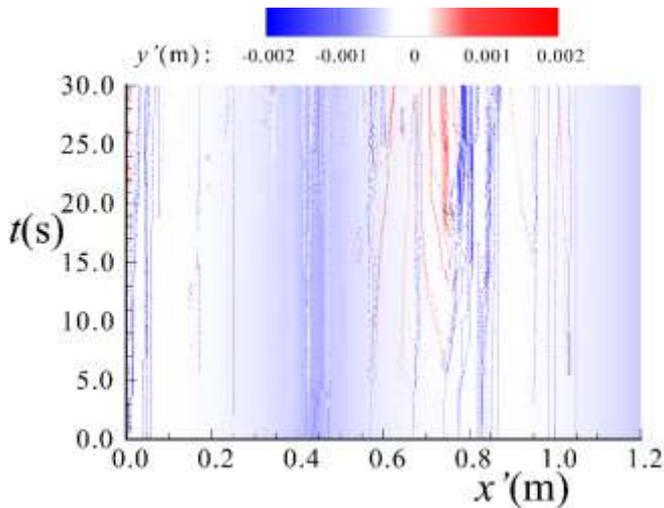


図-5 間隙流を考慮しない場合の ripple の凹凸に関する時空間分布

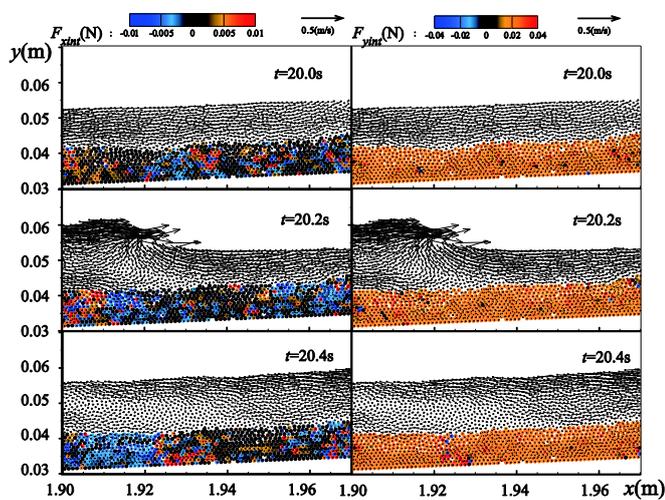


図-6 間隙流を考慮する場合の移動床に働く流体力の分布

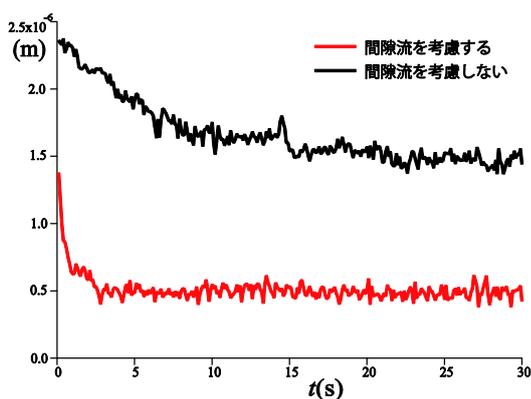


図-7 隣接 DEM 粒子との重複距離の比較

2) 数値解析結果

間隙流の有無による ripple 凹凸の発達過程の違いを、凹凸レベルに応じたカラーコンター図を用いて検討する。間隙流を考慮した場合(図-4)と、間隙流を

考慮しない場合(図-5)の ripple の凹凸の発達過程の時空間分布を示す。図-4,5 の比較から、間隙流を考慮する場合、間隙流を考慮しない場合と比較して殆ど凹凸が形成されておらず、間隙流が ripple の凹凸形成に強く影響を及ぼすことが理解できる。また、図-6 に間隙流を考慮した場合の DEM 粒子に作用する流体力の水平成分 $F_{int x}$ (図-6 の左列) および鉛直成分 $F_{int y}$ (図-6 の右列) を示す。表示範囲は、ripple の発達が概ね平衡と見なせる時刻 $t=20.0s$ から $0.2s$ 刻みで $t=20.4s$ まで、領域は $7.0cm$ 区間 ($1.90m \leq x \leq 1.97m$) に絞った。進行波の運動量が間隙水を介して移動床内部に輸送されていることがわかる。

また、図-7 から、間隙流を考慮しない場合は間隙流を考慮した場合と比較して DEM 粒子一つあたりの平均重複距離の値が大きく、DEM 粒子同士の噛み合わせが強いことが理解できる。間隙流を考慮する場合、DEM 粒子間相互作用力が小さくなり、流体力が DEM 層の骨格を緩ませていることから、移動床 DEM 粒子の流動を促進させていることがわかる。なお、平均重複距離は $1.90m \leq x \leq 1.97m$ の範囲の移動床 DEM 粒子を対象とした。

4. おわりに

本研究では、砕波帯から波打帯で発生する sand ripple の形成過程を流砂水理学的観点から検討するため、DEM-MPS 法による数値シミュレーションを実施した。移動床表面層 DEM 粒子群の流動化促進に関して DEM 粒子間距離の観点から考察し、ripple の凹凸形成に対する間隙流の重要性が明らかとなった。

参考文献

- 1) A.Khayyer,H.Gotoh:Enhancement of stability and accuracy of the moving particle semi-implicit method,*Journal of Computational Physics.*,Vol.230,pp.3093-3118,(2011)
- 2) N.Tsuruta,A.Khayyer,H.Gotoh:A shortnote on Dynamic Stabilization of Moving Particle Semi-implicit method,*Computers&Fluids*,Vol.82,pp.158-164,(2013)
- 3) 後藤仁志:数値流砂水理学-粒子法による混相流と粒状体の計算力学-, pp.91-140, (2006)