

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀 重松孝昌
 大阪市立大学工学部 学生員 ○ 堀井聖子

1. はじめに

底質砂の移動機構に関する研究は、数多く行われている。最近では、計算機性能の向上に伴って、ミクロに砂粒子の移動現象を捉えた研究が見られるようになってきた。著者らは、既に、個々の粒子について運動方程式を立ててあらゆる移動形態を含む解析モデルの開発を試みている^{1),2)}。本研究では、一方向流れ場にこのモデルを適用し、上層の流体運動が底質砂粒子層内の流体運動および粒子の運動に及ぼす影響について検討した。

2. 計算手法および計算条件

本研究で用いたモデルは、個々の粒子の運動解析に個別要素法 (DEM) を、また、流体の運動解析に空隙率の時・空間変化を考慮した基礎方程式を用いて計算を行うものである。モデルの詳細は文献1)を参照されたい。

その一例を図-1に示すように、初期条件として $-25 \leq z/d \leq 0$ の粒子層内の流体運動は0とし、 $0 < z/d \leq 25$ の領域には次式で示される対数則に従う流速を与えた。

$$u(z) = u_* [8.5 + 5.75 \log(2z/d)] \quad (1)$$

ここに、 u_* :底面摩擦速度である。 $u_* = 5.68, 9.84, 12.71$ と変化させることによってシールズ数 ψ が0.1, 0.3, 0.5となるようにして計算を行った。ただし、粒子層内の流体運動は周期境界条件の仮定の下に計算し、 $z/d > 0$ の領域では式(1)で示される流速分布で定常状態であるものとしている。また、計算領域の下流端 (図-1の右端) から流出した粒子は、そのときの速度を有したまま他端から再び計算領域内に入るものとした。

3. 計算結果

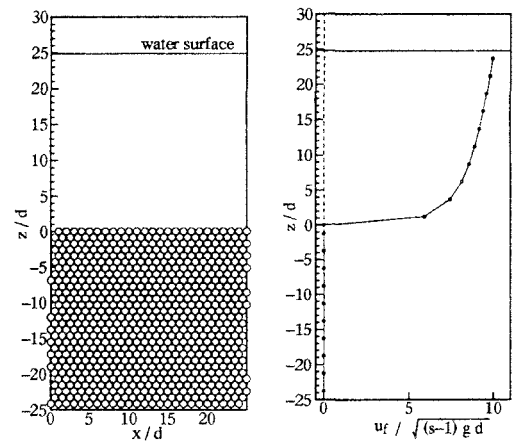
図-2に、シールズ数 $\psi_* = 0.3$ の場合の粒子の運動および流体の平均水平速度 u_f の計算結果を示す。同図によれば、時間の経過とともに、粒子層の表面(水底)から流体中に飛び出して運動している粒子数が多くなり、その結果、水底面の位置が低くなることわかる。これに伴って初期状態では粒子層内であった領域、すなわち、流体運動がなかった領域にも流体運動が発生することがわかる。このことは、本手法を用いることによって流体運動に応じた水底地形の変化を予測することの可能性を示唆している。

図-3は $\psi_* = 0.3$ および $\psi_* = 0.5$ の場合の粒子の無次元平均水平速度 $u_p/\sqrt{(s-1)gd}$ (u_p :粒子平均水平速度、 s :粒子の比重、 g :重力加速度)を示したものである。同図によれば、 $\psi_* = 0.3$ のときには $z/d \approx -3$ 程度までの粒子しか運動しないが、 $\psi_* = 0.5$ の場合には $z/d \approx 0.5$ 程度までの粒子が運動していることがわかる。すなわち、本手法によれば、流体力を受けて移動する底質静止粒子層厚 δ_s が変化することがわかる。

さらに、図-3によれば、 $\psi_* = 0.3$ の場合の $z/d > 0$ の領域内で運動する粒子の最大到達高さは $z/d \approx 6$ で、その水平平均速度は z/d の増加とともに増加している。一方、 $\psi_* = 0.5$ の場合には、その最大到達高さは

表-1: 計算に用いた諸定数

計算対象領域	$x = 5, z = 30$	(cm)
メッシュサイズ	$\Delta x = \Delta z = 0.5$	(cm)
タイムステップ	$\Delta t = 2.0 \times 10^{-5}$	(sec)
水深	$h = 5.0$	(cm)
底面摩擦速度	$u_* = 5.68, 9.84, 12.71$	(cm/sec)
シールズ数	$\psi_* = 0.1, 0.3, 0.5$	
粒径, 粒子密度	$d = 0.2(\text{cm}), \rho_p = 2.65(\text{g/cm}^3)$	
剛性バネ定数	$K_n = 1.0 \times 10^5$	(g/cm ²)
	$K_s = 2.5 \times 10^4$	(g/cm ²)
粘性定数	$\eta_n = 5.0$	(g/cm ² · sec)
	$\eta_s = 2.5$	(g/cm ² · sec)
摩擦係数	$\mu = \tan 30^\circ$	



(a) 粒子の配置 (b) 流速分布

図-1 初期条件 ($\psi_* = 0.3$)

10 < z/d < 14 にまで達し、水平平均速度は $z/d < 6$ の範囲では z/d の増加とともに増加するが、 $z/d > 6$ ではほぼ一定の速度になることがわかる。

ここで、粒子が移動している際の底質移動粒子層厚 δ_m として、 δ_m と δ_s の比を求めれば、今回のシールズ数の計算条件の範囲では $2.5 < \delta_s/\delta_m < 3.5$ となり、沢本³⁾が振動流場におけるシートフローの実験によって得た値 $\delta_s/\delta = 3 \sim 4$ と比較するとやや小さい値となっている。

図-4 は初期状態の水底面上にあった粒子の0～2秒までの移動軌跡を表したものである。

る。 $\psi_* = 0.1$ の場合には、計算開始後しばらくは粒子の鉛直方向の運動はほとんどなく、いわゆる“転動”と思われる形態で $x/d = 150$ 程度まで移動した後、およそ $1 < z/d < 2$ の範囲にまで浮上するようになることがわかる。 $\psi_* = 0.3, 0.5$ の場合には、粒子は計算開始直後には転動するがそれによる移動距離は短く、その後 $z/d = 8$ 程度まで浮上するが、概ね $2 < z/d < 5$ の領域を上下に運動しながら下流へと輸送されることがわかる。

4. まとめ

本研究では、一方向流れを対象として底質粒子の運動を数値シミュレーションによって解析した。その結果、従来の手法では解析できなかった流体運動に応じた水底地形の変動と、その変動に伴う流体運動の変化を計算できることを確認した。本モデルによって計算された粒子移動層厚は既往の実験結果とほぼ一致しており、本手法の妥当性が示された。

参考文献

- [1] 小田・他 (1994)：個別要素法による一方向流中の砂移動機構の解明の試み，関西支部，II-82。
- [2] 小田・他 (1995)：波による底質粒子の移動過程に関する数値シミュレーション，海講論文集，第42巻，pp.536-540。
- [3] 沢本・他 (1985)：漂砂の移動機構，水工学に関する夏期研修会講義集，pp.341-345。

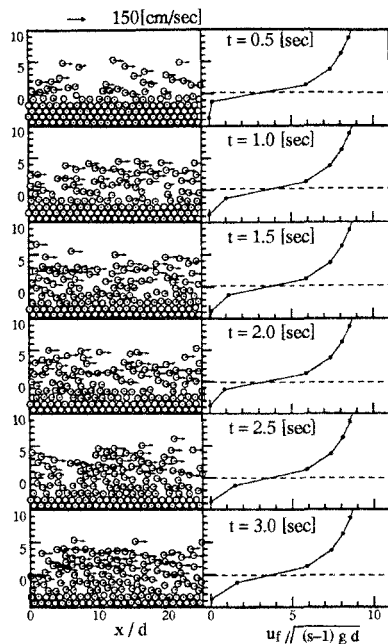
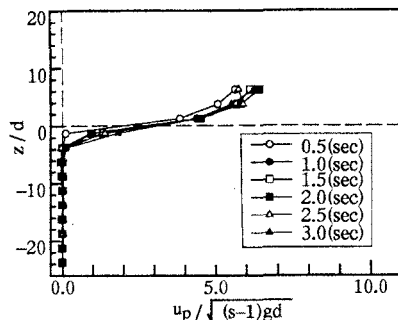
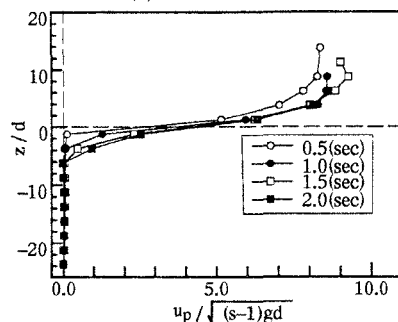


図-2 計算結果

($\psi_* = 0.3, t = 0.5 \sim 3.0 \text{ sec}$)



(a) $\psi_* = 0.3$



(b) $\psi_* = 0.5$

図-3 粒子の平均水平速度の分布

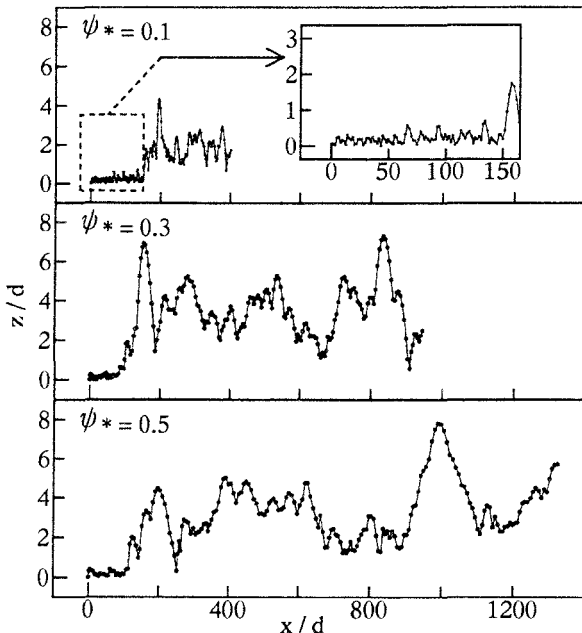


図-4 表層粒子の運動軌跡 ($t = 0.0 \sim 2.0 \text{ [sec]}$)