

II-416

流れの中を沈降する粒子群の挙動に関する研究

大阪市立大学 正会員 小田一紀
 大阪市立大学 正会員 ○ 重松孝昌
 (株) 日水コン 菅野 寛

1. はじめに

水中を沈降する粒子群の運動を正確に予測するため、粒子-流体間の相互作用を考慮した数値解析が行われるようになってきた。既往の研究の多くは2流体乱流モデルに基づくものであり、方程式を完結させるために必要な未知定数を含まざるを得ない。また、粒子濃度が高く粒子間の作用力が無視できない現象には適用し難いといった問題点も有している。それ故、未知定数の検証やモデルそのものの適用性を検討するため、静止流体中に粒子群が投入される場合を対象とした研究しかなく、流れの中に粒子群を投入した場合を対象とした解析的あるいは実験的研究は、ほとんどないのが実情である。

著者らは、既に粒子-粒子間および粒子-流体間の相互作用を考慮した数値シミュレーションを開発しており、計算結果と既往の実験結果を比較することによってその妥当性を検証している^{1),2)}。本研究では、この数値シミュレーション手法を用いて流れの中に粒子群が投入されたときのそれらの運動を解析した。

2. 計算条件

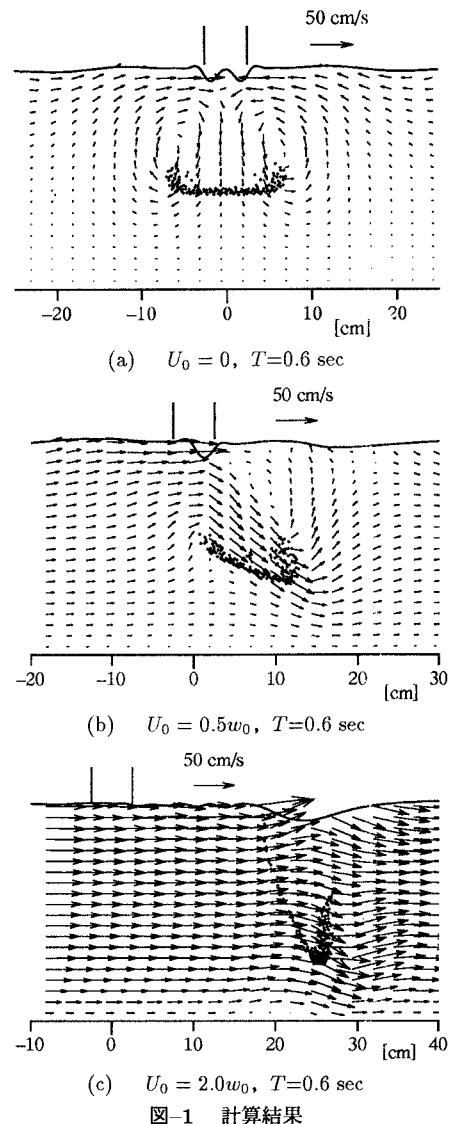
計算手法の詳細は、文献1)を参照されたい。

比重 $s=2.65$ 、粒径 $d=3\text{mm}$ の粒子を、その底層が水面に固定された幅 5cm の容器に体積 $V_0 = 10\text{cm}^3/\text{cm}$ だけ入れた状態を初期条件とし、容器の底層を瞬時に開いて、対数則に従う平均流速 $U_0\text{cm/s}$ の流れの中に粒子を投入した。このとき、水深は $h=30\text{cm}$ と一定にして、流れの平均流速 U_0 を $0, 0.25w_0, 0.5w_0, 0.75w_0, w_0, 2w_0, 3w_0$ (ここに、 $w_0 = \sqrt{(s-1)gd}$) と変えて数値実験を行い、粒子群の沈降速度や分散幅に及ぼす流速の影響を検討した。

3. 計算結果

図-1(a)は $U_0=0$ の場合の計算結果を示したものである。この場合には、粒子群は投入の中心を対称軸としてほぼ対象に水平方向に広く分散し、その周囲の流体もこの軸を対称軸として2つの循環流を形成していることがわかる。同図(b)は $U_0=0.5w_0$ の場合の計算結果である。この場合には、粒子群は流れによって下流側へと流され、また、流体運動によって鉛直方向にも沈降が促進されていることがわかる。図-1(c)には $U_0=2.0w_0$ の場合の計算結果を示す。同図によれば、粒子群の鉛直方向の分散が大きくなっていることがわかる。これは、流速の増大に伴って粒子群の鉛直方向の分散が大きくなることを示している。

図-2は、投入中心軸と水中を沈降する粒子群の重心の位置との水平距離 (L_c) を示したものである。いずれの計算条件においても、 L_c は沈降とともに線形的に増加しており、その増加の割合は流速 U_0 の増大とともに大きくなっていることがわかる。流れの中に投入された粒子群の堆積位置の投入位置からのズレを予測するときには、水底まで沈降するのに要する時間と粒子群の水平



移動速度との積によって求められよう。しかし、この両者を精度よく求めることは困難である。いま、水底に堆積したときの重心の位置と投入中心軸からの水平距離を L_{ct} とし、沈降に要する時間を h/w_0 で表すことにすれば、粒子群の重心の水平方向の移動速度は $L_{ct}w_0/h$ と表すことができる。この粒子群の重心の水平移動速度と流速との関係を示したものが図-3 である。図中の破線は、数値実験の結果を最小自乗法によって原点を通る直線で近似した結果を示している。図-3 によれば、 $U_0/w_0 < 1$ の範囲では粒子群の重心は流れとほぼ同じ速度で水平方向に移動しているが、 $U_0/w_0 \geq 1$ の範囲では粒子の水平方向速度は流れの速度よりも小さくなるのがわかる。

図-4 は粒子群の沈降速度 W の計算結果を示したものである。同図によれば、粒子群の沈降速度は流速の増加とともに増加して $U_0 = w_0$ で最大となり、さらに流速が増加して $U_0 = 2.0w_0, 3.0w_0$ となると減少する傾向があることがわかる。これは、 $U_0 \leq w_0$ の条件下では、流速の増加とともに粒子群の分散が小さくなるために群としての特性がより強くなり（図-1(b) 参照）、 $U_0 = 2.0w_0, 3.0w_0$ の場合には粒子群の鉛直方向の分散が大きくなるために個々の粒子の特性が強くなる（図-1(b) 参照）ためであると考えられる。

図-5 は、沈降過程における粒子群の拡がり幅を示したものである。静止流体中に粒子群が投入された場合には、粒子群の拡がり幅は沈降とともにほぼ線形的に増加するが、流速が $U_0 \leq w_0$ の範囲では、流速が増加するとともに徐々に沈降粒子の拡がり幅が減少し、水底における堆積幅も小さくなっていることがわかる。 $U_0 = w_0, 2.0w_0, 3.0w_0$ の場合には、流速が大きいほど沈降過程における粒子群の拡がり幅は増加するが、 $20 < z/d$ の範囲ではほぼ一定の拡がり幅で粒子群が沈降していることがわかる。さらに、 $U_0 = 2.0w_0$ および $3.0w_0$ の場合には水底付近で急激に堆積幅が増加している。これは、図-1 に示すように、沈降とともに下流側の粒子の沈降速度や水平速度が小さくなるため、水平分散幅はほぼ一定値を有するものの、鉛直方向の分散が大きくなり、着底時には遅れて沈降してきた粒子が下流方向へと流されるためである。

まとめ

本数値実験によって、粒子群の沈降・分散挙動は静止流体中と流れ場中とは異なることが見出された。また、粒子群の沈降速度や拡がり幅は流速によって複雑に変化することが示された。

参考文献

- 1) 小田ほか (1992) : 改良型 DEMAC 法による粒子群の沈降・分散挙動の解析, 海岸工学論文集第 39 巻, pp.971-975.
- 2) 小田ほか (1993) : DEMAC 法による沈降粒子群の分散・堆積挙動のパラメトリック解析, 海岸工学論文集第 40 巻, pp.951-955.

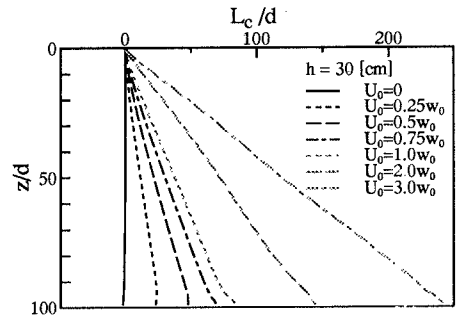


図-2 粒子群の中心位置の水平移動距離

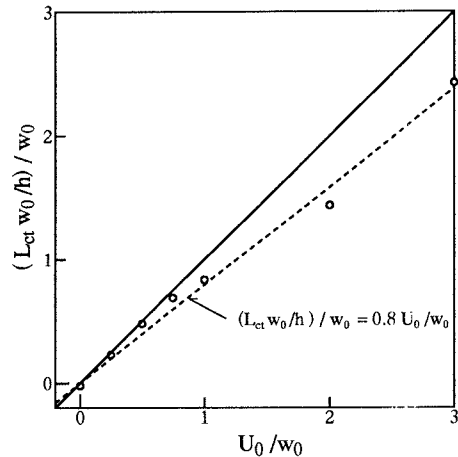


図-3 粒子群の中心位置の水平移動速度 W/w_0

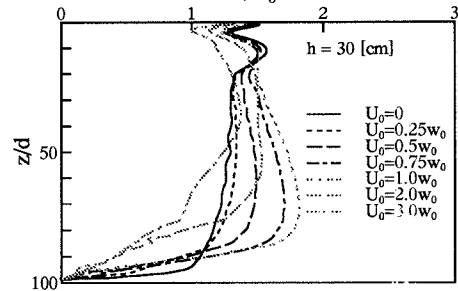


図-4 粒子群の沈降速度 B/d

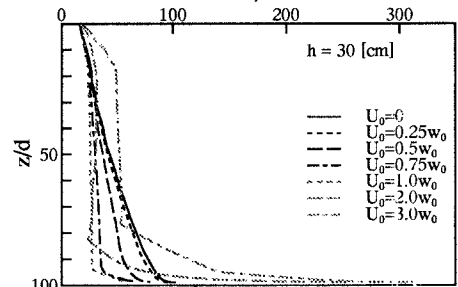


図-5 粒子群の拡がり幅