

大阪市立大学工学部 正会員 ○ 重松孝昌
 大阪市立大学工学部 錦織陽一
 大阪市立大学工学部 学生員 廣瀬真由
 大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀

1. はじめに

工事海域の大水深化や一度に投入する土砂量の大量化に伴い、様々な土砂投入形態がとられるようになってきた。最近では、バージ船の船倉が複数個に分割されていることを利用して、船倉毎に分けて土砂を投入する例もあるようである（例えば、荒井ら [1]）。しかし、これまでの数少ない堆積形状予測モデルは鉛直二次元問題として現象を捉えたものがほとんどであった。海洋工事の施工管理の精度向上が望まれている一方で、三次元堆積形状を予測することができる力学モデルはほとんどないのが実情である。したがって、上記のような条件下における堆積形状の予測には適用できない。すなわち、三次元問題として沈降粒子群の運動解析を行うことができる手法がほとんどないという問題があった。

このような状況を鑑み、著者らは三次元個別要素を用いた固液混相流モデルを開発している。ここでは、この固液混相流モデルを用いて、投入条件が粒子群の沈降挙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

個々の粒子の運動は三次元個別要素法を用いて計算し、流体運動は空隙率を考慮した基礎方程式を解くことによって求めた。計算手法の詳細は、重松ら [2] を参照されたい。尚、本研究では、水面変動は考慮していない。図-1 に計算条件を示す。同図は、計算領域を平面的に示したもので、図中の灰色に塗られた部分は

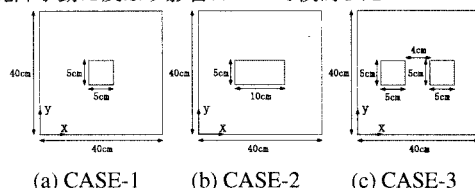


図-1 計算条件

投入容器を表している。ここでは、単位面積当たりの粒子投入量を一定として、投入面積が小さい場合 (CASE-1)、投入面積が大きい場合 (CASE-2)、投入面積は大きいのが二つの粒子群に分割して投入する場合 (CASE-3) の 3 通りで計算を行った。水深 $h = 40\text{cm}$ と一定にした。粒径 $d = 0.5\text{cm}$ で、CASE-1 の粒子数は 1000 個、CASE-2 および CASE-3 の粒子数は 2000 個とした。CASE-1 および CASE-3 の投入口は $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ で、CASE-2 のそれは $5\text{cm} \times 10\text{cm}$ である。

3. 計算結果

図-2 は、投入後 $t = 0.5$ 秒経過したときの、それぞれの条件における粒子群の沈降挙動および $y = 0$ の $x - z$ 平面内の速度ベクトルを表したものである。図-2 によれば、粒子投入総量が最も少ない CASE-1 の誘起流動速度が最も小さいように見受けられる。CASE-2 および CASE-3 の誘起流動速度はいずれも大きな値を示しているが、2つの投入容器から投入した CASE-3 の場合は、鉛直下向き流速が大きな値を示す場所が二ヶ所見られ、2つの粒子群が誘起した流体運動が相互に影響を及ぼしているように見える。また、同図からは、粒子群の沈降速度はいずれのケースもほぼ等しいことが見て取れるが、これは単位面積当たりの投入量が等しいためであると考えられる。

図-3 は、沈降に伴って誘起される流体運動の鉛直成分の水平分布を示したものである。 $z = -5\text{cm}$ とあるのは、粒子群の重心が $z = -5\text{cm}$ の位置に到達したとき、その水深における水平分布を示している。CASE-1 と CASE-2 を比較すると、鉛直流速は総粒子量が多い CASE-2 の方が大きな値を示すことがわかる。また、総粒子量が等しい CASE-2 と CASE-3 を比較すると、CASE-2 の方が流速は大きな値を示している。これは 2つの投入容器の間隔の影響が現れているものと考えられる。さらに、CASE-1 と CASE-3 を比較すると、CASE-3 の流速分布図は単純に CASE-1 の結果を重ね合わせれば得られるというものではない。

いということが明らかである。

いま、各時刻における x 方向の粒子群の分散幅を B_x 、 y 方向のそれを B_y として、 B_x/B_y の経時変化を示したものが図-4 である。 $B_x/B_y = 1$ は x 方向の分散幅と y 方向の分散幅が同じであることを意味しており、この値が 1 に近いほど粒子群は平面的には円形をしていることを示している。CASE-1 の場合には、始終 $B_x/B_y = 1$ となっているが、長方形断面を有する投入口から粒子を投入した CASE-2 の場合には、初期には $B_x/B_y = 2$ であったが時間の経過（沈降）とともに急速に B_x/B_y は 1 に近づくことがわかる。すなわち、長方形断面を有する投入口から投入された粒子群は沈降過程において楕円形から円形へとその平面形状が急速に変化することがわかる。

図-5 は沈降過程における粒子群の分散幅の計算結果を示したものである。図には、粒子群の分散幅から投入容器幅を差し引いたものを粒径で無次元化して示している。小田ら [3] は鉛直二次元問題として粒子群の堆積形状を予測し、沈降過程における粒子群の分散挙動が堆積形状に大きな影響を及ぼすこと、また、沈降過程における分散幅は沈降とともに線形的に増加すると指摘している。しかし、図-5 に示すように、本研究で行われた三次元解析の結果によれば、

分散幅の増加率は沈降とともに小さくなることがわかる。すなわち、沈降粒子群の分散挙動は鉛直二次元問題としては予測することは不可能であり、三次元問題として検討することが必要であると指摘することができる。

4. 結 論

本研究では、三次元個別要素法を用いて水中に投入された粒子群の沈降・分散過程およびその周囲流体の運動について検討した。本研究によって得られた知見を要約すれば以下のようなものである。(1) 粒子群の沈降挙動を三次元問題としてとらえることの必要性を再認識した。(2) 複数の粒子群として投入する場合には、周囲流体の運動は個々の粒子群の影響の線形的な足しあわせとして捉えることには無理があることが確認された。(3) 本研究で用いたモデルは、種々の投入条件の下で計算された粒子群の三次元沈降挙動を予測することが可能であることが示された。

参考文献

[1] 荒井ら (2000) : 底開式バージによる投入土砂堆積形状に関する予測モデルの現地適用性について, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.986-990. [2] 重松ら (2000) : 個別要素法による水中沈降粒子群の 3 次元挙動に関する研究, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.996-1000. [3] 小田ら (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 (2), pp.951-955.

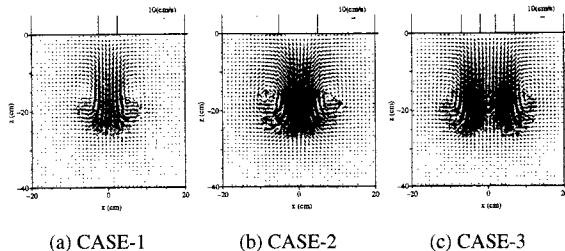


図-2 沈降過程の流群の沈降分散挙動および誘起流動

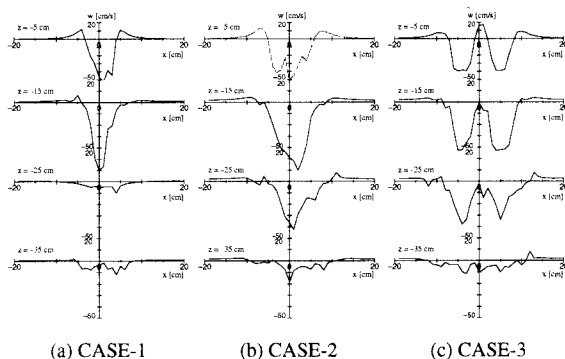


図-3 粒子群中心高さにおける鉛直流速の水平分布

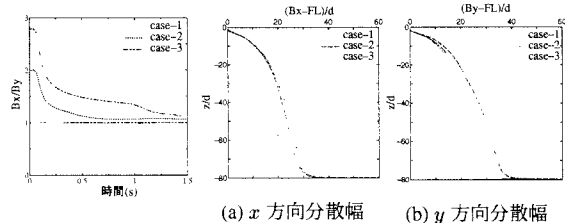


図-4 分散幅比

図-5 粒子群分散幅