

II-392 粒子群の沈降・分散挙動に及ぼす開扉速度の影響

— DEM-MAC法による数値シミュレーション —

大阪市立大学工学部 正 会 員 小田一紀 ○重松孝昌
学生会員 大西伸幸

■ はじめに

バージ船から水中に投入された土砂や捨石粒子群の沈降・分散挙動に関する研究はこれまで主として実験的に数多く行われている。それらは、バージ船底扉の開扉速度や開扉幅などの投入条件が粒子群の沈降・分散挙動や堆積幅に影響を及ぼすと報告している。したがって、水中における粒子群の挙動を理論的に解析する場合も、開扉条件を十分に考慮する必要がある。

著者らは、既に、個々の粒子の運動を解析する個別要素法(DEM)と流体の運動を解析するMAC法を併用して個々の粒子と周囲の流体との相互作用を考慮することができる数値シミュレーション手法DEM-MAC法を開発した。本手法は、短時間の微視的な挙動を捉えるには非常に有用な手法で、境界条件として開扉条件を付加することによって底扉から流出していく粒子の挙動を計算することができる。ここでは、投入口の開扉速度が粒子の沈降・分散挙動に及ぼす影響を本解析手法によって検討した結果を述べる。

■ 計算条件

MAC法による流体の運動解析では、水深は30cmと50cmの2種類とし、水平方向の計算範囲は100cm、メッシュ幅 $\Delta x=1.25\text{cm}$ とした。また鉛直方向の分割数を20と一定にして計算を行った。その他の諸係数や計算手法の詳細は小田ら(1990)を参照されたい。幅5cmの投入器を想定し、その中に粒径3mmの粒子を233個配置した。底扉は両端のヒンジを支点としてその中心が開くものとした。

まず、瞬間投入の場合を計算した。瞬間投入条件は、計算開始直後に底扉の境界条件を取り除くことによって与えた。次に、底扉の開扉速度 σ を $30^\circ/\text{s}$ 、 $60^\circ/\text{s}$ 、 $90^\circ/\text{s}$ に変えて計算を行い、開扉速度が粒子群の沈降・分散挙動に及ぼす影響を調べた。

■ 計算結果

図-1に、水深 $h=30\text{cm}$ のときの瞬間投入の場合の計算結果を示す。同図(a)は0.1秒後の計算結果を示したもので、ほぼ全粒子が容器からの流出を終えている。瞬間的に投入された粒子群は流出した直

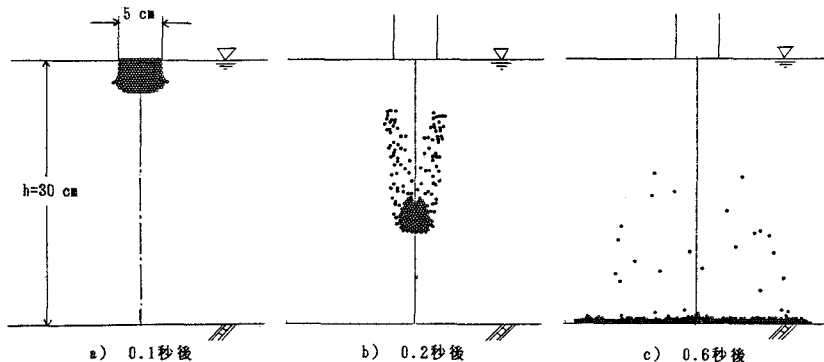
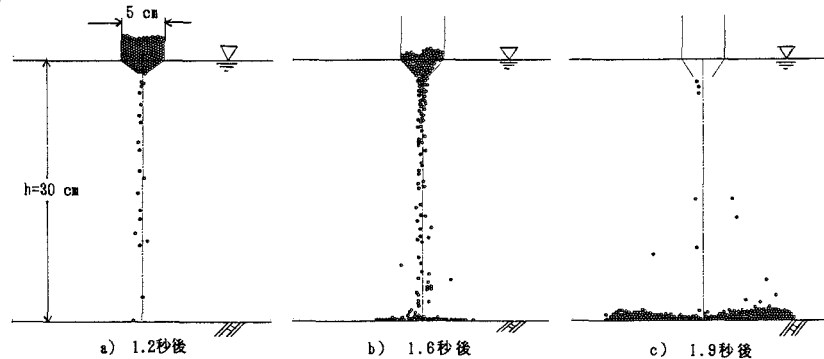


図-1 粒子群の沈降・分散挙動 (瞬間投入の場合)

図-2 粒子群の沈降・分散挙動 ($\theta=30^\circ/\text{s}$ の場合)

後から分散挙動が始まっていることがわかる。同図(b)は0.2秒後の計算結果を示す。この図より、容器から流出した粒子の多くは塊となって沈降しており、塊の側部から分散挙動が始まっていることがわかる。図-1(c)は0.6秒後の計算結果である。既に大部分の粒子が水底に達し、かなり幅広く水平方向に分散している。これは、水中を沈降する粒子群によって誘起された流速の速い連行流が水底で左右に分かれ、この流れによって粒子群の分散が助長されるためであると考えられる。

次に、図-2に開扉速度を $\sigma=30^\circ/\text{s}$ としたときの計算結果を示す。同図(a)は開扉後1.2秒の計算結果を示したものである。この図より、底扉から流出していく粒子は塊とならず比較的ばらばらになって沈降していくことがわかる。同図(b)の1.6秒後の計算結果からも同様なことがいえる。しかし、粒子の沈降速度は静水中を単粒子として沈降する場合よりも大きく、連続的に水中に粒子が投入されることによる連行流効果が現れているものと考えられる。同図(c)は開扉後1.9秒の計算結果である。この図からほとんどの粒子は着底してしまっているが、この段階での粒子群の拡がり幅は図-1(c)に示したほぼ同段階での瞬間投入の場合のそれより狭いことがわかる。これは、前述のように底扉を徐々に開けば、粒子がばらばらに落ちるので、連行流の流速は塊となって落ちる瞬間投入の場合より小さく、したがって水底での連行流による粒子群の拡がりも小さくなるためと考えられる。

以上のように、水中における粒子群の沈降・分散挙動は開扉条件によってかなり異なることがわかる。

次に、表-1は開扉速度を $\sigma=30^\circ/\text{s}$ 、 $60^\circ/\text{s}$ および $90^\circ/\text{s}$ とした場合の水中に存在する粒子全体の平均沈降速度の時間的最大値(最大平均沈降速度)と σ との関係を $h=30\text{cm}$ と 50cm の場合について示したものである。この表より、 $h=30\text{cm}$ の時には $\sigma=30^\circ/\text{s}\sim 90^\circ/\text{s}$ の範囲内で、 σ の増大とともに最大平均沈降速度は増加する傾向にあることがわかる。これは σ が大きくなると粒子が底扉から流出し終える時間が短くなり、沈降粒子は塊としての挙動を示すようになるためと考えられる。 $h=50\text{cm}$ の時も同様なことがいえるが、 $\sigma \geq 60^\circ/\text{s}$ になると最大平均沈降速度はほぼ一定値に収束する傾向が見られる。図-3は、 $h=50\text{cm}$ のときの底扉から流出した粒子の水底での水平分散幅(b)の経時変化を表したものである(横軸の時間は粒子が底扉から流出し始めた時間を0秒としている)。この図からもわかるように、 $\sigma=60^\circ/\text{s}$ と $\sigma=90^\circ/\text{s}$ の水平分散幅はほとんど同じ経時変化を示しており、開扉速度が分散幅に及ぼす影響は、 σ が大きくなるにしたがって小さくなる傾向がある。

■まとめ

DEM-MAC法を用いた数値計算によって、開扉速度が水中に投入された粒子群の沈降・分散挙動に及ぼす影響について検討した。その結果、瞬間投入の場合と開扉条件を考慮して連続的に投入された場合とでは、水中における粒子の挙動はかなり異なることがわかった。一般に、開扉速度が大きくなるほど粒子群の最大平均沈降速度は大きくなり、このことが水底における分散幅を増大させる原因となっている。しかし、水深が大きくなると開扉速度にあまり関係なく粒子群の最大平均沈降速度ひいては分散幅は、ほぼ一定になる傾向があることがわかった。

■参考文献

小田一紀・重松孝昌・氏本浩介(1990): DEM法とMAC法の併用による粒子群の沈降分散挙動のシミュレーション, 海岸工学講演会論文集第37巻, PP. 759-762.

表-1 粒子群の最大平均沈降速度

h (cm)	最大平均沈降速度(cm/s)		
	$\sigma=30^\circ/\text{s}$	$\sigma=60^\circ/\text{s}$	$\sigma=90^\circ/\text{s}$
30	197.8	202.3	214.9
50	295.2	349.2	352.5

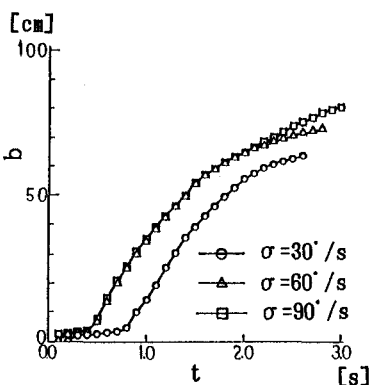


図-3 水平分散幅 ($h=50\text{cm}$)