

改良型DEMAC法による沈降粒子の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

大阪市

井上雅夫

1. はじめに

バージ船等から水中に投下される土砂粒子群の沈降・分散挙動に関する研究は、従来から数多く行われている。しかし、これらの研究では実験定数によって周囲流体と土砂粒子の相互干渉の影響を表しており、その相互干渉効果を十分に解明したものとは言い難いように思われる。筆者らは、これまでに粒子群と周囲流体との相互干渉効果を考慮した数値シミュレーション手法、DEMAC法を開発している¹⁾。この手法は、流体力を考慮した個々の粒子の運動を個別要素法(DEM)によって計算し、粒子の運動に起因する周囲流体の運動をMAC法²⁾によって密度流的に計算するものである。従来のDEMAC法では、流体の運動を表す鉛直方向の運動方程式を簡略化して解いていたが、本研究は流体運動をより厳密に解くことによって沈降粒子の挙動を定量的に精度良く解析することを目的としている。

2. 計算手法および計算条件

従来のDEMAC法中で用いた鉛直方向の流体の運動方程式は、

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g = 0 \quad (1)$$

であったが、ここでは、Boussinesq 近似を仮定した次式を用いる。

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\rho}{\rho_0} g + \varepsilon_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \varepsilon_z \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \quad (2)$$

ここに、 u, w : x, z 方向の流速、 $\varepsilon_x, \varepsilon_z$: 水平および鉛直渦動粘性係数、 ρ : 混相流体の密度、 ρ_0 : 流体の初期密度、 g : 重力加速度、 p : 圧力である。流体の運動方程式の解法の手順にはSMAC法のフロー²⁾を用いた。ここでは、幅5.0cmの容器の中に粒径0.3cm、比重2.65の粒子233個を予め配置し、瞬間的に容器の底扉を開いたときの計算結果を示す。

3. 計算結果および考察

図-1に粒子群の沈降挙動および周囲流体の流速ベクトルを示す。同図(a)は計算の初期状態を示したものである。同図(b)は投入後0.3秒の計算結果である。この図より、水中に投入された粒子群は、投入直後から水平方向に分散し始めていることがわかる。同図(c)は投入後0.5秒の計算結果を示したものである。粒子群の中心軸上では、周囲流体は鉛直下向きに大きな速度を有し、これによって粒子群は下向きに押し下げられている。また、中心軸に関して対称で逆回転を有する循環流が発生しており、この循環流によって粒子が水平方向に拡がり、粒子群は凹型の形状を呈することがわかる。同図(d)は投入後0.7秒の計算結果である。循環流の規模は(c)に比べて大きくなっており、この循環流によって粒子群はさらに水平方向に分散幅を広げつつ沈降していることがわかる。同図(e)は0.9秒後の計算結果である。粒子群は横に広がりながら中心部から水底に着底して行き、このとき粒子群の分散幅は約20cmにも達している。また、着底した粒子群の上方の流体の速度はかなり小さくなっていることがわかる。

図-2は、従来のDEMAC法による計算結果の一例である。図-2と図-1(c)を比較すると、従来のDEMAC法による計算では粒子は水平方向にはほとんど分散しないで沈降しているが、改良型DEMAC法による計算では水中を沈降する粒子群は水平方向に大きく拡がっていることがわかる。ここで行った計算条件は、粒子の粒径や投入量などの条件は室田ら³⁾が行った実験と同様の条件である。室田らは、本条件の下では沈降粒子群

Kazuki ODA, Takaaki SHIGEMATSU, Nobuyuki ONISHI, Masao INOUE

は乱流サーマル的挙動から自由沈降の落下挙動への遷移状態を示すと指摘している。今回の改良型DEMAC法の計算結果は室田らの実験結果を良く表しているといえる。

図-3は、粒子群の分散幅の流下方向変化を示したもので、○は本数値解析結果を、●は室田らの実験結果を表している。同図は、最大水平分散幅 B およびその水面からの鉛直距離 z を単位奥行き当たりの見かけの全投入量(容積) q_0 を用いて無次元表示したものである。 $z/\sqrt{q_0} \geq 6.7$ で計算値が急激に大きくなっているのは、粒子群が水底に着底し水平方向に分散していることを示している。同図より、改良型DEMAC法による沈降粒子群の流下方向の分散幅の計算値と実験値とは非常に良く一致していることがわかる。

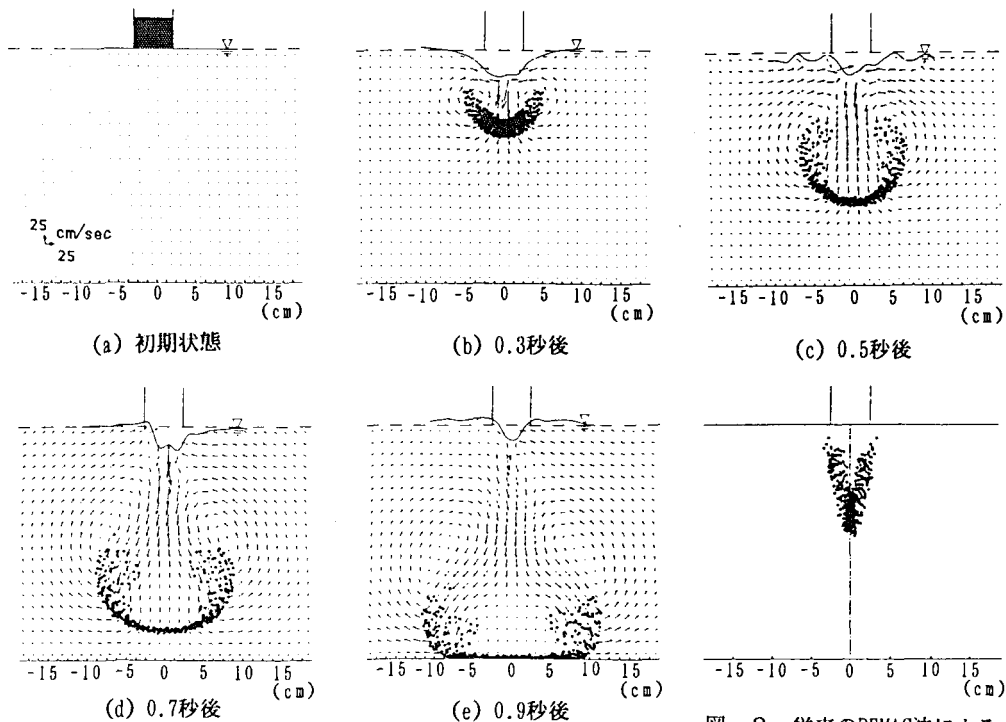


図-1 粒子群の沈降挙動および流況ベクトル

4. まとめ

本研究は、Boussinesq 近似を適用して流体の鉛直方向の運動方程式をより厳密に解き、沈降粒子の分散挙動の解析を行ったものである。その結果、従来のDEMAC法では表すことの出来なかった水平方向への分散挙動を、改良型DEMAC法によって表すことが出来るようになった。また、水中を沈降する粒子群の分散幅は実験値と良く一致し、定量的に予測することが可能になった。

<参考文献> 1) 小田ほか: 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, 海岸工学論文集第37巻, pp. 759-762, 1990. 2) A.A.Amsden, F.H.Harlow: The SMAC Method - A Numerical Technique for Calculating Incompressible Fluid Flows, LA-4730, 1970. 3) 室田ほか: 海域での土砂投下における密度流現象, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 777-781, 1988.

図-2 従来のDEMAC法による計算結果

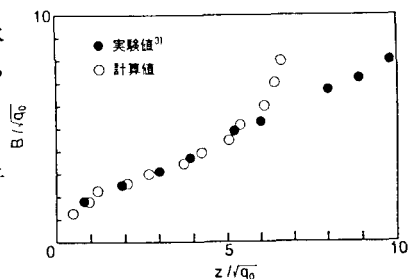


図-3 粒子群の分散幅の流下方向変化