

北大工学部 正 船水尚行

北大工学部 正 高桑若男

1. はじめに

本報告は、多層浮遊池の逆洗後に見られるような、沈降速度分布をもつ非凝集性粒子群の界面沈降現象に特有な粒子群の分離現象に注目し、粒子群の分離に伴う濃度変化ならびに界面の沈降速度と粒子群の全濃度、沈降速度分布との関係を検討したものである。

2. 粒子群の分離と濃度変化

沈降槽底面の影響をうけない領域では、N種類の粒子よりなる粒子群の沈降パターンは粒子群の沈降速度差により、図-1のようにN個の層に分離する。第i層はi種類の粒子が存在する。第i層と第i-1層の境界面Fで粒子群の各成分について物質収支(体積収支)式⁽¹⁾をたてると、

$$\phi_k^{(i)}(v_k^{(i)} - v_{Fi}) = \phi_k^{(i-1)}(v_k^{(i-1)} - v_{Fi}). \quad (k=i, \dots, i) \quad (1)$$

こゝで、 $\phi_k^{(i)}$ は第i層の成分kの体積濃度(-)、 $v_k^{(i)}$ は第i層の成分kのみかけの沈降速度(cm/sec)、 v_{Fi} は第i層と第i-1層の境界の沈降速度(cm/sec)。 $v_k^{(i)}$ は絶対沈降速度 $U_k^{(i)}$ をもちいて、

$$v_k^{(i)} = U_k^{(i)} - \sum_{j=1}^i U_j \phi_j \quad (2)$$

$$U_k^{(i)} = U_{0k} \frac{(1 - \phi_1^{(i)}) \left\{ 1 + \frac{\sum_{j=1}^i (\rho_{jk} - \rho_j) \phi_j^{(i)}}{(\rho_{ik} - \rho_i)(1 - \phi_1^{(i)})} \right\}}{\left[1 + \sum_{j=1}^i (\frac{\rho_{jk}}{\rho_j} - \frac{\rho_{ik}}{\rho_i}) \phi_j^{(i)} \right] \exp \left\{ \sum_{j=1}^i (\frac{\rho_{jk}}{\rho_j} - \frac{\rho_{ik}}{\rho_i}) \phi_j^{(i)} / (1 - \phi_1^{(i)}) \right\}} \quad (3)$$

こゝで、 U_{0k} は粒子kの単粒子沈降速度(cm/sec)

ϕ_i は第i層の全体積濃度(-)、 d_k は粒子kの直径(cm)、

α は定数($\alpha = 1/3$, ($d_k/d_j > 1$), $\alpha = 1$, ($d_k/d_j < 1$))。第i-1層で $\phi_i^{(i-1)} = 0$ が成立するので式(1)の第i成分の関係式より、 $v_{Fi} = v_i^{(i)}$ を得、第N層で初期粒子組成を仮定すれば、式(1)~(3)を用いて第1層から第N-1層の各成分の濃度が求められる。

3. 界面の沈降速度

粒子群の界面沈降速度は、第1層すなわち沈降速度の最も小さな粒子群と濃度の関係で定められる。第1層の濃度は初期濃度とは異なり、2.で述べたように粒子群を構成する各成分の粒径、密度ならびに組成比によつて変化する。

式(1)を第1層、第2層の境界に適用すると、

$$\phi_1 = \phi_1^2 (v_1^2 - v_2^2) / (v_1^1 - v_2^1). \quad (4)$$

濃度と沈降速度の関係(式(2),(3))を用いると

界面の沈降速度 $V_{B1} (= v_{F1})$ は、

$$V_{B1} = U_{01} \frac{(1 - \phi_1)^2}{(1 + \phi_1^{1/3}) \exp \left(\frac{5}{3} \cdot \frac{\phi_1}{1 - \phi_1} \right)}. \quad (5)$$

4. 実験装置および方法

アクリル製沈降管(長さ約2m, 直径約5cm)

に所定の粒度分布、初期濃度になるよう試料

を一樣に懸濁させ、回分沈降過程の界面の沈 図-3.2 分離後濃度($\phi_{slow}/\phi_i = 0.5$) 図-3.3 分離後濃度($\phi_{slow}/\phi_i = 0.8$)
降速度、濃度分布の測定を行った。実験にはガラス球(密度 2.48 g/cm^3 前後)とグリセリン水溶液($\mu = 120 \text{ cP}$, $\rho = 1.228 \text{ g/cm}^3$ 前後)を用いた。実験は粒子群を構成する粒子の粒径比と混合割合で特徴づけられる2成分系実験

表-1 粒子の性質

記号	G120	G500	G370	G170	G80
D (μ)	923	484	378	170	81
SP (g/cm^3)	2.485	2.521	2.561	2.486	2.479

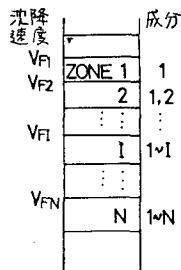


図-1 沈降パターン

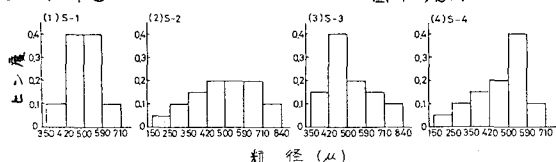
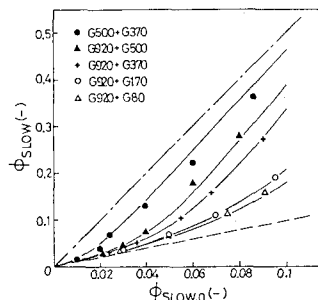
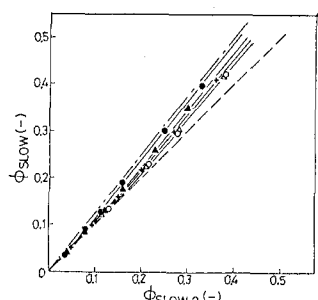
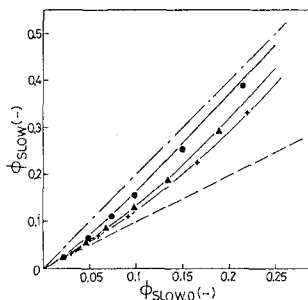


図-2 粒子群の粒度分布(多成分系)

図-3.1 分離後濃度($\phi_{slow}/\phi_i = 0.2$)

(表-1に粒子の平均径(D), 密度(ρ_p)を示す)と多成分系実験(粒度分布を図-2に示す)とを行つた。なお多成分粒子群の粒度分布は各分布とも体積平均径を同じに、また平均径以下の分布をS-1とS-3, S-2とS-4とほぼ等しくなるように調整した。

5. 実験結果ならびに考察

5-1 2成分系実験

図-3に分離後濃度の測定例として横軸に沈降速度の小さい粒子群の初期濃度($\phi_{slow,0}$), 縦軸に分離後濃度(ϕ_{slow})をとつて示す。図中の破線は初期濃度, 一点鎖線は初期全濃度, 実線は式(1)による計算値である。分離後, 沈降速度の小さい粒子のみが存在する層では, 濃度が初期濃度より増加し, 初期全濃度が高いほど分離後の濃度増加が著しい。また沈降速度の小さい粒子群の存在割合が小さいほど, 粒子群を構成する粒子の粒径比が1に近いほど濃度増加の割合が大きくなる。図-4に界面沈降速度と分離後濃度の関係(記号●), 均一系の沈降速度と濃度の関係(記号○)を示す。図より2成分系の界面沈降速度は分離後の沈降速度の小さい粒子から成る層の濃度と沈降速度の関係のみで定められることがわかる。界面沈降速度に与える粒子の混合割合の影響をG920+G370の場合を例として図-5に示す。図中の破線は分離後G370の濃度変化がないとしたときの界面沈降速度を示している。G370の存在割合が減少すると, 界面沈降速度はG920のみの速度に近づく。そして全濃度が高いほど, G370の存在割合が小さいほど, 界面の沈降速度と破線で示される速度との差が大きくなり, 濃度増加が著しいことを示している。次にG370にG80~G920を混合比1:1で混合した場合のG370の沈降速度(V_{BS370})と粒径比(d/d_{370})の関係を図-6に示す。図より粒径比が大きいほど沈降速度が増加していることがわかる。また, 粒径比1以下で, 二者の粒子の干渉効果により, 均一の場合(粒径比1)より沈降速度が減少する部分が存在している。

5-2 多成分系実験

粒子群の初期全濃度と界面沈降速度の関係を図-7に示す(図中の記号は図-2に対応)。S-1とS-3, S-2とS-4の界面沈降速度がそれぞれほぼ等しいことから, 界面沈降速度は粒径の小さい(沈降速度の小さい)粒子の存在割合に大きく影響されることがわかる。また図中の実線, 破線は式(1)~(5)より求めた値で, 実測とほぼ等しいことから式(1)~(5)がほぼ妥当であることがわかる。多成分系では分離後の層数が多く, 各層の厚さもうまいことから, 正確な濃度分布を得られなかったため, 式(1)~(3)を用いて沈降速度の最も小さい粒子のみが存在する層の濃度を計算し, 実測界面沈降速度との関係を図-4(記号▲)に示す。2成分系と同様に, 多成分系の界面沈降速度は沈降速度の最も小さい粒子群の濃度と速度の関係から求められることがわかる。

6. おわりに

本報告の実験にあたり芳賀光治氏(本学研究生), 伊藤丹氏(本学大学院生)の協力を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- (1) Kynch, G. J., "A Theory of Sedimentation", Trans. Faraday Society, vol 48, July, 1958 pp 166~176.
- (2) 高桑 昭夫 "2成分粒子群の干渉沈降", 土木学会第39回年報

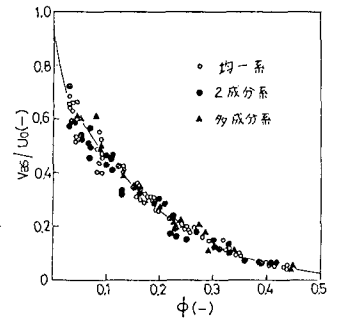


図-4 濃度と沈降速度の関係

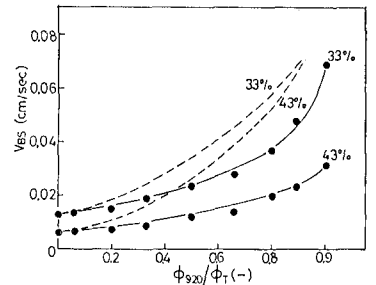


図-5 界面沈降速度の変化(混合比)

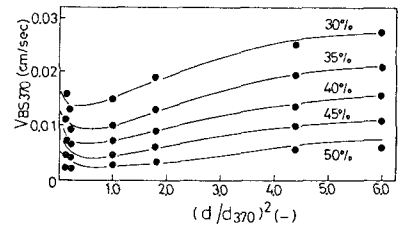


図-6 界面沈降速度の変化(粒径比)

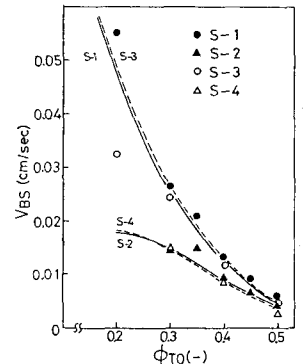


図-7 濃度と界面沈降速度(多成分系)