

北入工学部 正 船水尚行
札幌市役所 相原重則
北入工学部 正 高桑哲男

1. はじめに

本報告は沈降速度分布をもつ粒子群の干渉沈降過程（特に明瞭な界面の生成のない濃度範囲の沈降過程）の解析の第一歩として回分沈降実験を行い、水面下のある点の濃度の時間変化と初期濃度の関係について検討したものである。

2. 実験装置および方法

回分沈降実験では沈降管（直径約5cm長さ約2m）に所定初期濃度になるように調整した粒子群と一様に懸濁させ、水面下1mの点の粒子群の濃度の時間変化を測定した。実験に用いた粒子群は表-1に示すような平均径D、標準偏差σのポリ球（記号R, P₂, P₃）、アクリル球（A）と、2種の粒子群を等体積で混合した粒子群（A+R, P₁+P₂, P₂+P₃）である。個々の粒子群の沈降速度分布（体積基準）は各粒子群の粒径分布と単粒子沈降実験にもとづく沈降速度分布（個数基準）から求めた。結果を対数正規確率紙にプロットして図-1に示す。各粒子群（P₁, P₂, P₃, A）の沈降速度分布はほぼ対数正規分布に従うとすることが可能であった。

表-1 粒子群の平均径・標準偏差

	P ₁	P ₂	P ₃	A	A+P ₁	P ₁ +P ₂	P ₂ +P ₃
D(μ)	691.5	437.3	129.0	612.6	645.5	488.6	144.4
σ(μ)	43.0	26.6	21.4	71.8	89.4	106.7	53.3

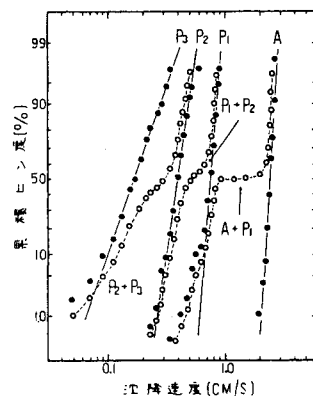


図-1 粒子群の沈降速度分布(体積基準)

3. 実験結果および考察

3-1 濃度の時間変化 水面下1mにおける体積濃度中 (cm³/cm³)の時間変化を対数正規確率紙にプロットした例を図-2に示す。図-2の縦軸はある時間の体積濃度中を初期体積濃度中へ正規化したφ/φ₀であり、横軸は水面下距離Lと沈降時間Tで割った値W(L/T)(cm/s)である。図-2の表現方法は粒子群の沈降速度分布を求める沈降試験（一点法）の表現と類似のものである。ここでは図-2中のある初期体積濃度における濃度の時間変化を見かけの沈降速度分布と呼ぶことにする。粒子群P₁, P₂, P₃, A（図-2にはP₁, Aのみ示した）では見かけの沈降速度分布はほぼ対数正規分布と見なすことが可能であり、初期体積濃度の増加につれて平均的な速度が減少し分散が小さくなっている。一方、混合粒子群（R+P₂, A+P₁, P₂+P₃）（図-2には前者のみ示した）の見かけの沈降速度分布は対数正規分布と見なすことはできないが、初期体積濃度の増加につれて平均沈降速度が減少し、分散も小さくなっている。

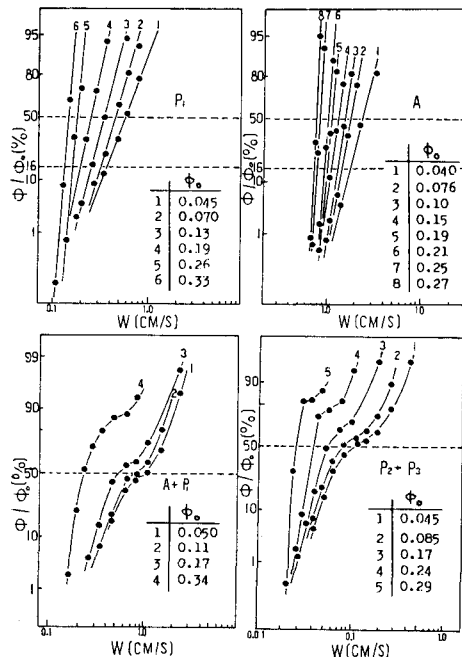


図-2 濃度の時間変化

3-2 初期体積濃度の变化に伴う回分干渉沈降過程の変化 均一な粒子により構成された粒子群の体積濃度と沈降速度の関係を Barnea⁽¹⁾は次式のように提案している。

$$\frac{U_{\phi}}{U_0} = \frac{1-\phi}{(1+\phi^{1/3}) \exp(K \cdot \frac{\phi}{1-\phi})} \quad (1)$$

ここで U_0 は周囲の流体に相対的な粒子群の沈降速度 (cm/s), U_{ϕ} は粒子の単粒子沈降速度 (cm/s), ϕ は体積濃度, K はパラメータ。沈降速度分布を有する粒子群の沈降に (1) 式を直接適用することは不可能であるが, 初期体積濃度の変化と見かけの沈降速度分布の 2 つの代表点の変化の関係に (1) 式の適用を試みる。本報告では分布の代表点として $\phi/\phi_0 = 0.5$, $\phi/\phi_0 = 0.16$ に対応する W の値 W_{50} , W_{16} をとりあげる。(1) 式の U_{ϕ} に対応するものとして $U_{50} = W_{50}/(1-\phi_0)$, $U_{16} = W_{16}/(1-\phi_0)$, 体積濃度として初期体積濃度 ϕ_0 を用いる。また U_0 に対応する量として粒子群の平均単粒子沈降速度 $U_{0.50}$, 累積単粒子沈降速度分布の 16% の点 $U_{0.16}$ を用いる。また (1) 式は各粒子がストークスの抵抗則に従う場合について導かれているため, アレンの抵抗則に従う粒子の場合にも拡張可能にし, (1) 式は記号をかえて次のように表現される。

$$\frac{U_i}{U_{0i}} = \left\{ \frac{1-\phi_0}{(1+\phi_0^{1/3}) \exp[K_i \frac{\phi_0}{1-\phi_0}]} \right\}^{\alpha} \quad (i=16, 50) \quad \left(\begin{matrix} \alpha=1 \text{ ストークス則} \\ \alpha=2/3 \text{ アレン則} \end{matrix} \right) \quad (2)$$

パラメータ K_i は (2) 式を次式のように変形して実験データより求めることが可能である。

$$\ln \left(U_i \frac{[1+\phi_0^{1/3}]^{\alpha}}{1-\phi_0} \right) = \alpha K_i \frac{\phi_0}{1-\phi_0} + \ln U_{0i} \quad (i=16, 50) \quad \left(\begin{matrix} \alpha=1 \text{ ストークス則} \\ \alpha=2/3 \text{ アレン則} \end{matrix} \right) \quad (3)$$

(3) 式の関係を図示した例を図-3 に示す。図より実験濃度範囲で K_i を定数と見なせるの式 (2) によつて初期体積濃度の変化に伴う見かけの沈降速度分布の変化を整理可能であることがわかる。図-4 に初期体積濃度 ϕ_0 と U_i/U_{0i} ($i=16, 50$) の関係の例を示す。図-4 中の実線は式 (2) より計算した値を示している。一方, 混合粒子群の場合見かけの沈降速度分布の代表点の変化を用いて分布の変化を表現できないが, 累積濃度 50% の点の変化は, 上述の方法によつてほぼ整理可能である (図-4 (5), (6))。

次に初期体積濃度の増加に伴う見かけの沈降速度分布の分散の減少を表現するために次のような集中度 F を用いる。

$$F = |W_{16} - W_{50}| / W_{50} \quad (4)$$

式 (2) の関係を用いて F を表現すると次式を得る。

$$F = 1 - \frac{U_{0.16}}{U_{0.50}} \cdot \exp \left[(K_{50} - K_{16}) \alpha \cdot \frac{\phi_0}{1-\phi_0} \right] \quad (5) \\ (\alpha=1 \text{ ストークス則}, \alpha=2/3 \text{ アレン則})$$

$F \rightarrow 0$ の極限值に対応する初期濃度 ϕ_c は式 (5) より次のように求められる。

$$\phi_c = \frac{1}{\frac{\alpha(K_{50} - K_{16})}{\ln U_{0.50} - \ln U_{0.16}} + 1} \quad (6)$$

図-5 に F の変化の例を示す。図中の実線は式 (5) の値, 破線は ϕ_c の値を示している。また図-6 に目視により求めた明瞭な界面の生成する初期体積濃度 ϕ_c' と ϕ_c の関係を示す。

参考文献 (1) E. Barnea The Chemical Engineering Journal, 5 pp 180~181 (1973)

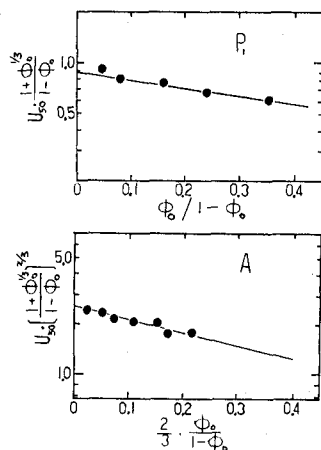


図-3 K_i の決定

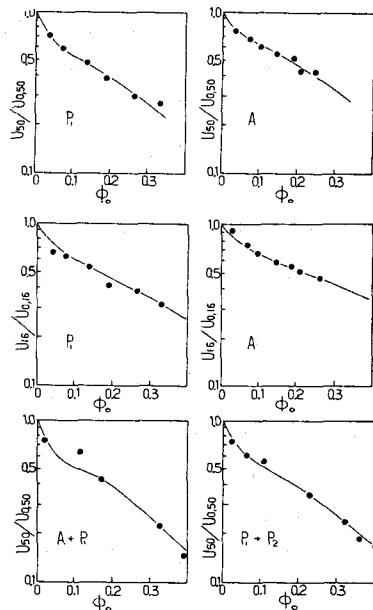


図-4 初期濃度変化に伴う代表速度の変化

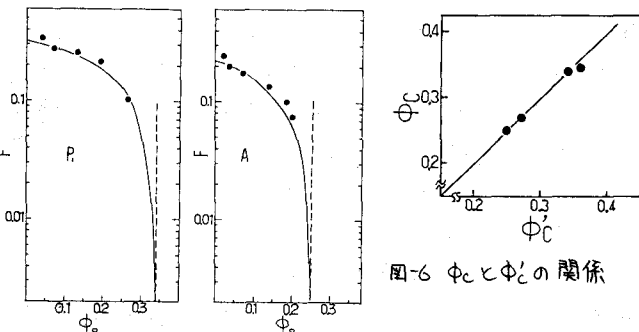


図-6 ϕ_c' と ϕ_c の関係