

II-401

粒径分布を考慮した2成分固液流動層混合層濃度の計算

北海道大学工学部（正）船水尚行・（正）高桑哲男・上野直樹

1. はじめに

筆者らは多層ろ過池逆流洗浄時のろ材の分離・成層現象を解明するための基礎として、粒径と密度の異なる2種類の粒子を流動化させた2成分固液流動層について検討し、先に、混合層の各粒子濃度と空塔速度の関係を表現する濃度式を提案した¹⁾。ここでは、2種類の粒子が粒径分布をもつ場合の混合層各粒子の平均濃度の計算について報告する。

2. 粒径分布を考慮した混合層濃度の計算

2種類の粒子をH, Lとし、それぞれの密度を ρ_H, ρ_L

($\rho_H > \rho_L$) とする。各粒子が均一で粒径分布をもたない場合には、空塔速度と各粒子の分離界面の高さの関係は図-1(a)のようになる。また、空塔速度Vにおける混合層（図中のH+L層）の各粒子の体積濃度

表-1 実験に用いた粒子

記号	密度 (g/cm ³)	ふるい (μ m)	材質
G100	2.473	84~105	ガラス球
G160A	2.465	149~177	ガラス球
G160B	2.476	149~177	ガラス球
C400	1.418	350~420	活性炭球
C550	1.386	500~590	活性炭球
A800	1.176	710~840	アクリル樹脂球

f_i ($i=H, L$) は下記の濃度式により計算される¹⁾。

$$\frac{\pi}{6} d_i^3 (\rho_i - \rho_b) g = \frac{1}{2} \rho_f \left[\frac{V}{1 - f_i^*} \right]^2 \cdot \frac{\pi}{4} d_i^2 C_{Di}^* \quad (1)$$

ここで、 d_i は粒径、 ρ_f は流体の密度、 ρ_b は混合層の密度である。

f_i^* は

$$\left. \begin{aligned} f_H^* &= f_H + (d_H/d_L)^3 f_L \\ f_L^* &= f_L + (d_L/d_H)^{1/3} f_H \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

と表現され、他粒子の存在を考慮した濃度である。また、 C_{Di}^* は各粒子を単独で流動させた場合の抗力係数であり、濃度を考慮したレイノルズ数の関数として得られる²⁾。

各粒子が粒径分布をもつ場合には、空塔速度と分離界面の高さの関係は図-1(b)のようになる。同図では簡単のために各粒子の粒径が2種類の場合について示した。この場合の混合層の各粒子の平均濃度は上記の式(1), (2)と物質収支式により得られる。

3. 実験

実験装置には内径5cm、高さ2mの透明アクリル樹脂製円管を用い、底部の整流板には厚さ5mmの焼結金属板を使用した。ガラス球、活性炭球、アクリル樹脂球についてJIS標準ふるいである程度粒径をそろえた上、流動状態で一部分を抜き取る操作（水ふるい）を数回行い、表-1に示す実験粒子を得た。流動化実験では水道水を用い、まず各粒子について空塔速度と層高の関数及び静水圧分布を測定し、次いで、2成分固液流動層の実験を行った。

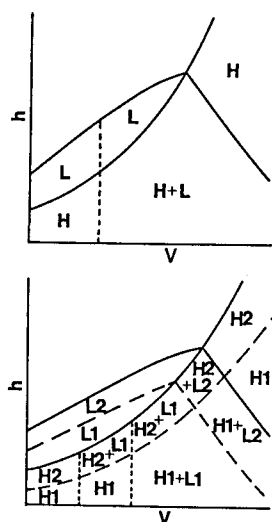


図-1 2成分固液流動層の層膨張一模式図

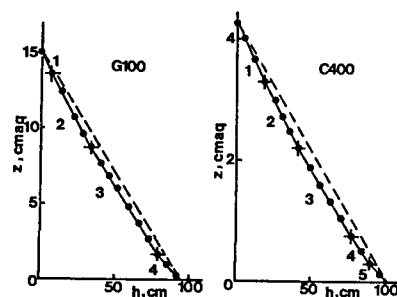


図-2 層内静水圧分布

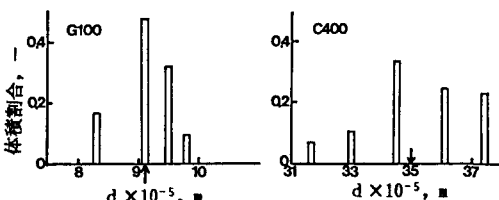


図-3 各粒子の粒径分布

4. 実験結果と考察

(1) 単成分固液流動層実験

粒径分布があると、下層から上層に向かって濃度が減少する。層内に粒子がない場合を基準にとると、整流板から高さ h (cm) の静水圧 z (cmag) と体積濃度 f の関係は

$$f = - (dz/dh) \cdot \rho_f / (\rho - \rho_f) \quad (3)$$

となる。6種類の粒子について、層高を約100cmに膨張させたときの静水圧分布は3～5の直線部分で近似できた。結果の一例を図-2に示す。各傾きと濃度式より求めた粒径分布の一例を図-3に示す。図中の↓印は図-2中の破線に相当する粒径（均一径と呼ぶ）である。

静水圧分布より求めた粒径分布を用いた空塔速度と濃度の関係の計算結果と実測結果の比較例を図-4に示す。図-5は均一径の場合である。

(2) 2成分固液流動層実験

小粒径高密度粒子としてガラス球を一定量200cm³投入し、大粒径低密度粒子の活性炭球またはアクリル樹脂球の投入量を変化させた。混合層内の各粒子の濃度は(1)項で得た粒径分布、均一径を用い、2.で示した方法で計算した。図-6～9に計算結果と実測結果の比較例を示す。

実線は粒径分布を考慮した場合、破線は考慮しない場合である。これらの図より、大粒径低密度粒子の濃度が低い空塔速度範囲の計算結果は粒子の粒径分布を考慮した場合のほうが実測値と良い一致を示している。

よって、多層ろ過池のろ材構成条件の検討には、大粒径低密度粒子と小粒径高密度粒子層の混合開始速度が重要であり、各ろ材粒子の単独層膨張特性を均一径で表現できる場合でも、この混合開始速度の推算には粒子の粒径分布を考慮する必要がある。

参考文献

(1) 船水, 高桑: 2成分固液流動層の混合層濃度式, 北海道大学工学部研究報告, 投稿中

(2) 高桑, 船水: 固液流動層濃度式の検討, 第39回水道研究発表回講演集, 1988

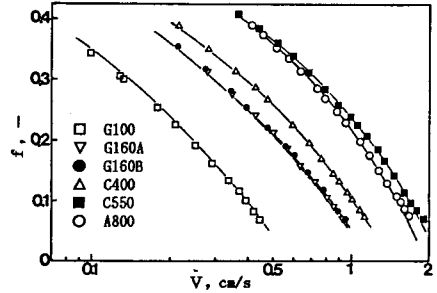


図-4 空塔速度と濃度の関係—粒径分布

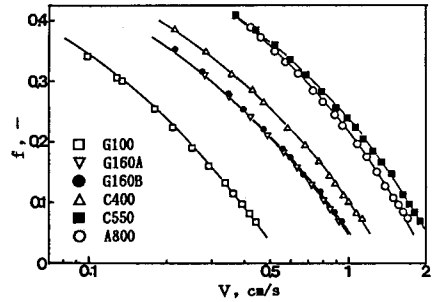


図-5 空塔速度と濃度の関係—均一径

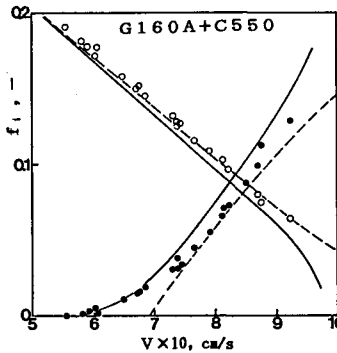


図-6 空塔速度と濃度の関係—1

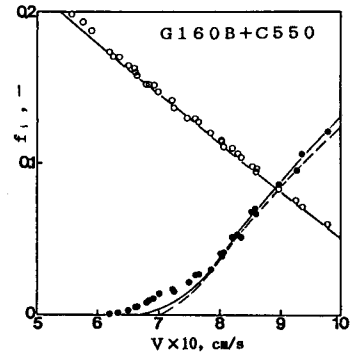


図-7 空塔速度と濃度の関係—2

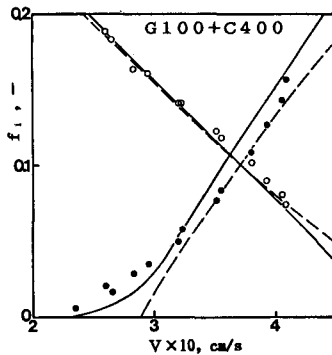


図-8 空塔速度と濃度の関係—3

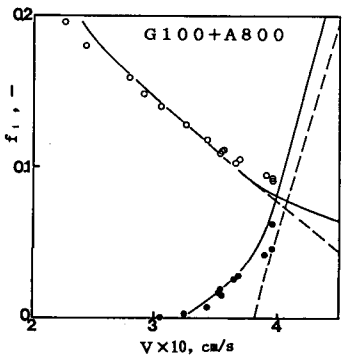


図-9 空塔速度と濃度の関係—4