

II-49 固液流動層濃度式の非球形ろ材 粒子への適用

北海道大学工学部 正員 船水尚行

" 正員 高桑哲男

1. はじめに

筆者らは多層ろ過池の逆流洗浄時における運転操作条件（逆洗速度、成層順序、膨張率）とろ材性質（粒径と密度）の関係を明らかにし、多層ろ過池の性能向上につながるろ材の選択、さらには新しいろ材の開発に備えることを目的として、①空塔速度とろ層の層厚の関係を表現するために必要な固液流動層濃度式を実測結果に基づいて作成する一般の手順¹⁾、②異なった粒径と密度をもつ各粒子の層の上下の位置関係を表現する固液流動層の粒子成層モデル²⁾、③多成分粒子の流動化における特徴である2種以上の粒子が混合した混合層の粒子濃度ならびに混合開始速度を定量化する混合層濃度式³⁾、ならびに④以上の3項目と粒子の流動化開始条件、非流出条件をあわせた多層ろ過池の逆流洗浄操作におけるろ材の分離成層条件の計算法⁴⁾を提案し、これらの適合性を球形粒子を用いた実測値との照合により確認した。

しかし、現用のろ材粒子は砂、アンスラサイト、ガーネットに代表されるように非球形のものが多く、筆者らが提案したモデルの非球形粒子への適合性の検討が必要となる。そこで本研究では砂、アンスラサイト、ガーネット粒子の層膨張実験を行い、上記のモデルのうち固液流動層濃度式を作成する一般の手順を適用し、その適合性を検討した結果を報告する。

2. 濃度式作成法の概要¹⁾

直径 d 、密度 ρ_p の粒子を体積濃度が f となるように空塔速度 u で流動化した場合、間隙内流速 $u/(1-f)$ を用いたレイノルズ数 Re_f と抗力係数 C_{Df} は

$$Re_f = u d \rho_f / (1-f) \mu \quad \text{----- (1)}$$

$$C_{Df} = \frac{4}{3} \cdot \frac{g d}{u^2} \cdot \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} \cdot (1-f)^3 \quad \text{----- (2)}$$

と表現される。ここで、 ρ_f は流体の密度、 μ は流体の粘度、 g は重力加速度である。

筆者らの提案した濃度式の作成法は

①新たなレイノルズ数を

$$Re_{fF} = F \cdot Re_f \quad \text{----- (3)}$$

と定義し、 Re_{fF} と式(2)の C_{Df} の間に単粒子自由沈降におけるレイノルズ数と抗力係数の関係が成立するとして実測結果をもとに F の値を算出する。

②次いで、 F を体積濃度 f と単粒子自由沈降におけるレイノルズ数 Re_0 の関数として整理する。ものである。球径粒子を用いた実験では F は体積濃度の1次関数となり、傾きは Re_0 の関数として整理された。

The Expression Relating Volume Fraction to Liquid Velocity for Sand, Anthracite and Garnet
by Naoyuki Funamizu and Tetsuo Takakuwa

3. 濃度式作成法の非球形粒子への適用

3-1 実験方法

実験筒は内径 5 cm、高さ 2 m の透明アクリル樹脂製の円管であり、底部の整流板には厚さ 0.5 cm の青銅球状粉体焼結板を用いた。懸濁媒体として札幌市水道水を循環使用し、流量調節弁で空塔速度を変化させた上で、粒子界面の動きが止まった定常状態の空塔速度と界面高さ、水温を測定した。実験に使用した粒子は砂、アンスラサイト、ガーネットであり、J I S 標準ふるいで粒径をそろえたものを用いた。表-1 に各粒子の密度、ふるいの幅および代表径（ふるいの幾何平均径）を示す。

本研究では粒子の形状は球形度⁵⁾等の指標を用いずに、ふるいの幾何平均径を代表径とした単粒子自由沈降時のレイノルズ数と抗力係数の関係に含ませて表現することとし、粒子の流動化実験に先立ち、単粒子自由沈降実験を行った。単粒子自由沈降実験では水道水およびグリセリン水溶液を用い、所定の密度、粘度の流体中における沈降実験を行い、200回の測定結果の平均により単粒子自由沈降時のレイノルズ数と抗力係数の関係を求めた。

表-1 実験粒子

記号	材質	密度(g/cm ³)	ふるい(μm)	代表径(μm)
A1800	アンスラサイト	1.414	1700~2000	1844
A2200	アンスラサイト	1.419	2000~2380	2182
A2600	アンスラサイト	1.423	2380~2830	2595
S540	砂	2.644	500~590	543
S650	砂	2.637	590~720	647
S770	砂	2.634	720~840	772
S920	砂	2.632	840~1000	916
S1100	砂	2.635	1000~1180	1086
S1300	砂	2.636	1180~1400	1285
G330	ガーネット	4.096	300~350	326
G390	ガーネット	4.093	350~420	388
G460	ガーネット	4.095	420~500	461

3-2 実験結果

(1)単粒子自由沈降実験

図-1 に単粒子自由沈降時のレイノルズ数 Re_0 と抗力係数 C_{D0} の関係を示す。同図中には篠原⁶⁾の結果も併せて示した。本実験で用いた各粒子の Re_0 と C_{D0} の関係はそれぞれ以下の式によって近似可能であった。

・アンスラサイト

$$C_{D0} = \begin{cases} 40/Re_0 & (0.3 < Re_0 < 1.3) \\ 36.84/Re_0^{0.74} & (1.3 < Re_0 < 20) \\ 12.12/Re_0^{0.37} & (20 < Re_0 < 200) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

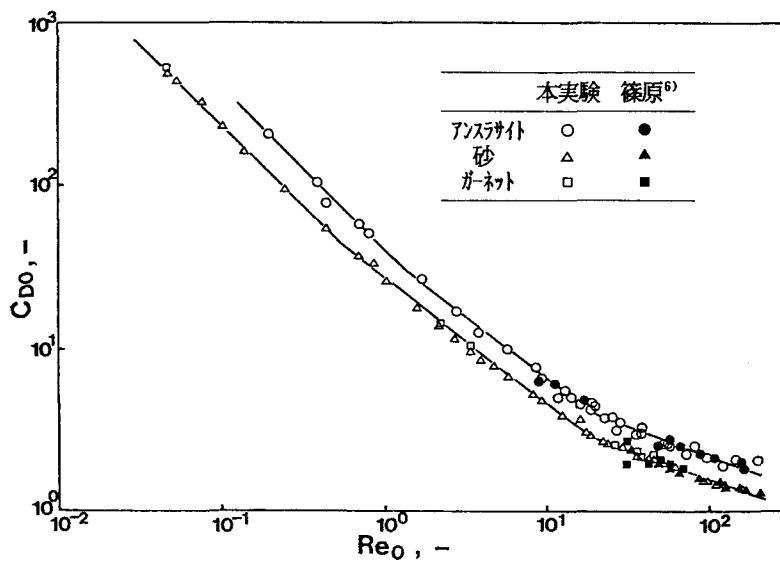


図-1 単粒子自由沈降時のレイノルズ数と抗力係数の関係

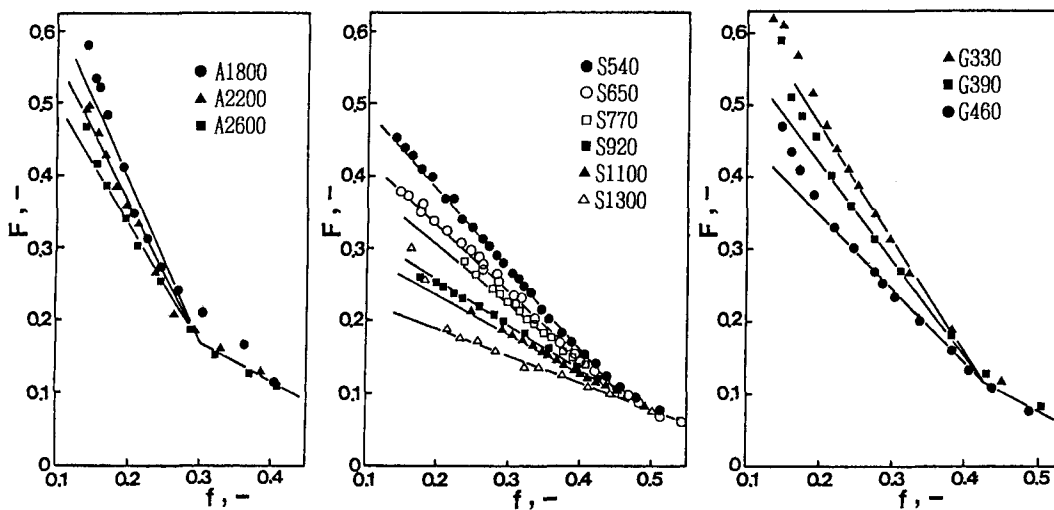


図-2 Fとfの関係

・砂, ガーネット

$$C_{D0} = \begin{cases} 24 / Re_0 & (0.03 < Re_0 < 0.5) \\ 28.14 / Re_0^{0.77} & (0.5 < Re_0 < 20) \\ 8.22 / Re_0^{0.36} & (20 < Re_0 < 200) \end{cases} \quad \text{..... (5)}$$

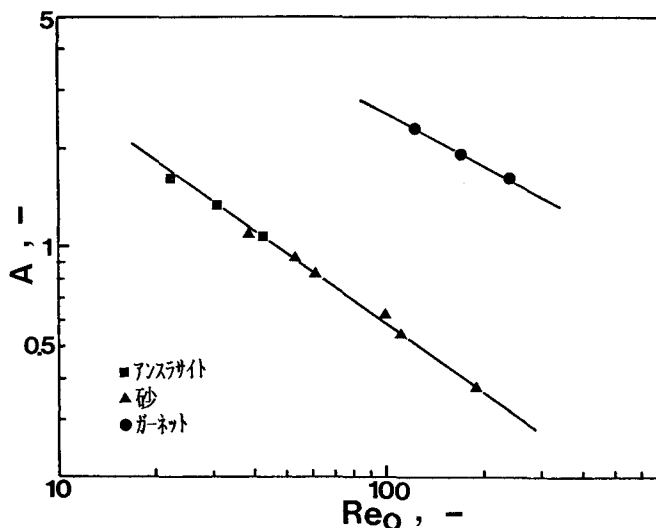


図-3 Re_0 と傾きAの関係

(2)濃度式の導出

各粒子について空塔速度と体積濃度の実測結果を用いて、2. で示した手順により濃度式を作成した。

①式(3)の Re_{if} と式(2)の C_{dr} の間に式(4) (アンスラサイト), 式(5) (砂, ガーネット) の関係が成立するとして式(3)中の F を求めた結果が図-2 であり, 体積濃度 f に対して F をプロットすると, アンスラサイト粒子については点(0.3, 0.17)を共有する直線群 (体積濃度0.3 以下) と一本の直線 (体積濃度0.3 以上) によってほぼ近似できる。同様に砂粒子は点(0.46, 0.095)を共有する直線群 (体積濃度0.46以下) と高濃度域の一本の直線, ガーネット粒子は点(0.425, 0.12)を共有する直線群と高濃度域の直線によってほぼ近似可能である。

②次に, 上記直線の傾き A を単粒子自由沈降におけるレイノルズ数 Re_0 について整理すると, 図-3 のようであり, アンスラサイトについては

$$A = -29.0 Re^{-0.528} \quad (6)$$

砂, ガーネットについては

$$A = -15.0 Re^{-0.703} \quad (7)$$

と近似される。

③以上により, 今回の実験値に対する式(3)の係数 F は次式によって表される。

・アンスラサイト

$$F = 29.0 Re^{-0.528} (0.3 - f) + 0.17 \quad (f < 0.3) \quad (8)$$

$$F = 0.51 (0.3 - f) + 0.17 \quad (f > 0.3) \quad (9)$$

・砂

$$F = 15.0 Re^{-0.703} (0.46 - f) + 0.095 \quad (f < 0.46) \quad (10)$$

$$F = 0.37 (0.46 - f) + 0.095 \quad (f > 0.46) \quad (11)$$

・ガーネット

$$F = 15.0 Re^{-0.703} (0.425 - f) + 0.12 \quad (f < 0.425) \quad (12)$$

$$F = 0.55 (0.425 - f) + 0.12 \quad (f > 0.425) \quad (13)$$

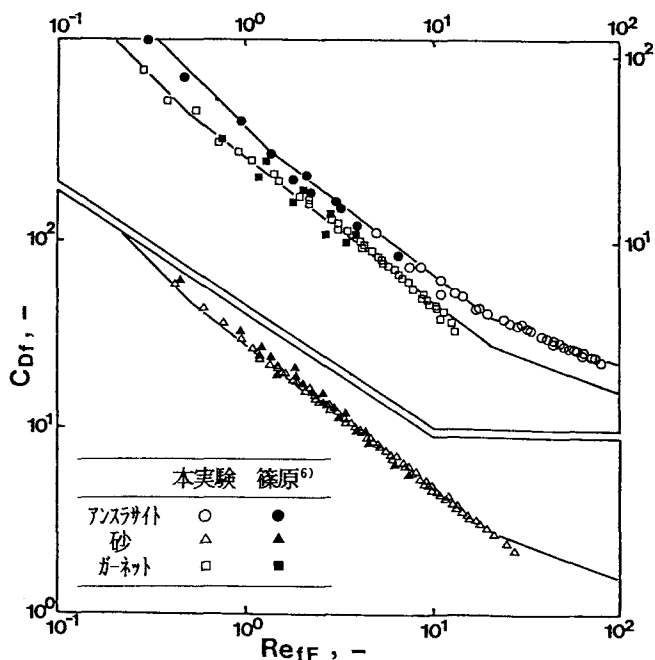


図-4 Re_{tF} と C_{Df} の関係

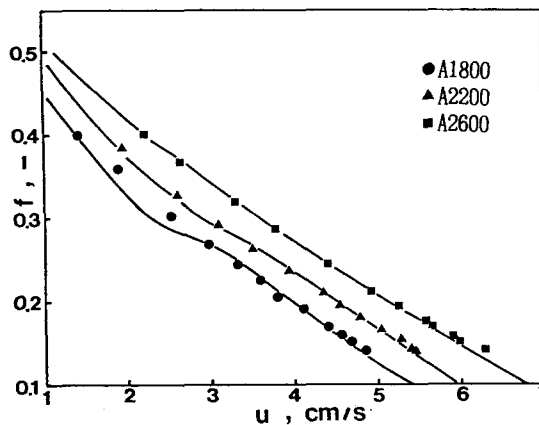


図-5 空塔速度と体積濃度の関係
(アンスラサイト)

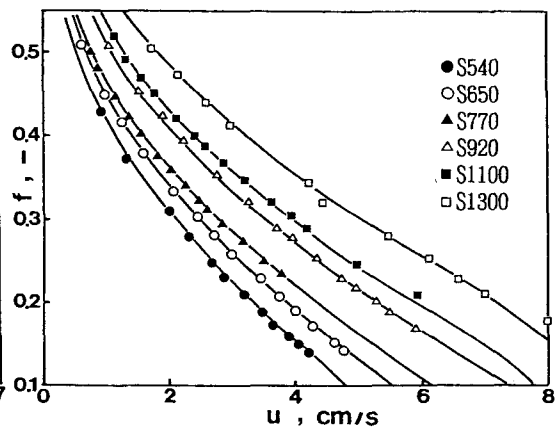


図-6 空塔速度と体積濃度の関係
(砂)

係数Fを用いたレイノルズ数 Re_{tF} と抗力係数 C_{Df} の関係を示すと図-4のようになり、 Re_{tF} と C_{Df} の関係は単粒子自由沈降時のレイノルズ数と抗力係数の関係と一致させることができた。次に、空塔速度と体積濃度の関係の計算結果を示すと、図-5～7のようである。各粒子について計算結果と実測値はほぼ一致しており、濃度式作成の手順が非球形粒子にも適用可能であることが確認された。

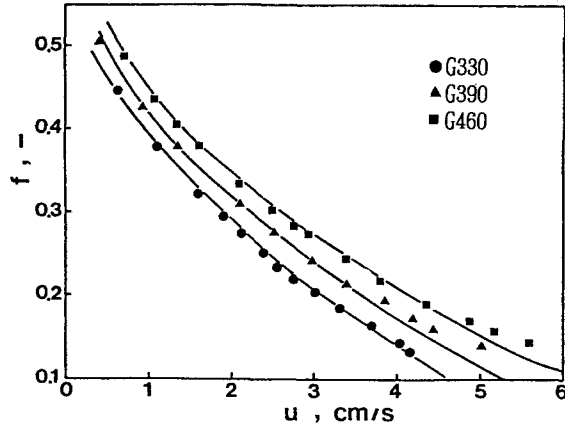


図-7 空塔速度と体積濃度の関係
(ガーネット)

4. おわりに

多層ろ過池逆流洗浄時の運転操作条件やろ材構成条件を検討するために筆者らが提案したモデルのうち固液流動層の濃度式作成のための一般的手順を現用のろ材粒子である砂、アンスラサイト、ガーネットに適用した。その結果、作成された濃度式による計算値と実測値はよく一致し、非球形粒子に対しても濃度式作成の一般の手順が適用可能であることが確認された。おわりに、本研究の実験には横田敏宏氏ならびに奥村琢実氏の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 高桑哲男, 船水尚行, 固液流動層濃度式の検討, 第39回全国水道研究発表会, 1988
- 2) Naoyuki Funamizu and Tetsuo Takakuwa, Stratification Patterns of Binary and Ternary-Solid Liquid Fluidized Bed, Proc. of the Asian Conf. on Fluidized-Bed and Three Phase Reactors 1990 (in press)
- 3) 船水尚行, 高桑哲男, 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, 第141号, 1988
- 4) 船水尚行, 高桑哲男, 多層ろ過池の逆流洗浄操作におけるろ材の分離・成層条件, 衛生工学研究論文集 Vol. 25, 1989
- 5) D. Kunii and O. Levenspiel, Fluidization Engineering, KRIEGER PUB. COMPANY, 1969
- 6) 篠原紀, 粒状層の膨張式に関する実験的研究, 水道協会雑誌, 第601号, 昭59