

大阪工業大 木原 敏

はじめに：凝集したフロックの沈降速度を取扱う場合、沈降粒子に対する抵抗は、粒子の運動方向に対する投影面積に則して比例するものとして表現している。この考え方はフロックのように凝集体内を運動に伴って流体が透過してゆく場合については適当な補正を必要とするものであつて、見掛け上の比重で沈降を律しようとしても、実際には合致しない。

従来は、非常にこわいフロックの真比重を求めることの難かしきもあつて、多くの沈降実験の沈降速度とマクロ的な見掛け直径から、従来の沈降式を用いて、 f_s を求めており、この式の抵抗係数 C_0 は、従来通り、ニュートンの抵抗係数式のままであつた。

しかし、実際には、粒子の周辺で生じる流れは、一部、フロックの内部を透過する流体の影響を受けて、粒子周辺の境界層に微妙に変化を与えており、非透過体を前提とした周辺流れの場合と抵抗係数に変化を生じることが十分考えられる。

今回の報告は、透過体の空隙が、沈降速度に影響を与える抵抗係数について、人工的にナイロン繊維によりつくられた人工フロックを用いて、抵抗係数を実測したもので、全体に非透過体の場合と較べて、ニュートン式による値の約2.0倍の値であつた。

1. フロックの空隙率

従来、フロックの沈降速度は、フロックの見掛け密度 ρ_f 、すなわち、 $\rho_f = \rho_f - \rho_0$ として、 ρ_f 中にフロック物質と、空隙水の質量を含ませて処理していた。空隙水は一般の上、下水処理過程で対象となるようなフロックでは普通、内部の力で動かない、又は動き難いと考えてよいであろうとされながらである。しかし、フロックを微視的に観察すると、その内容は非常に大きい空隙を有しているものであり、通過時の抵抗測定から、空隙内の水に対する牽引力の影響は甚大なものとは考えられない。

フロックの密度 ρ_f は、フロック内の空隙率を ε_f として

$$\rho_f = \rho_{fs} - \varepsilon_f (\rho_{fs} - \rho_0) \quad \cdots \cdots (1) \quad \text{ここに } \rho_{fs} : \text{フロックの固形部分のみの密度, } \rho_0 : \text{水の密度.}$$

沈降実験により、求めた沈降速度、フロック径より、 ρ_f を逆算、 ρ_{fs} を実測することにより、 ε_f を求めることができるが、一般沈降速度式の C_0 はNewton式によっているのが、従来の考え方である。

2. 人工フロックの沈降実験

透明水槽（塩ビ、高さ910^{mm}、一沈降長さ650^{mm}、幅250×250^{mm}）に、水、油脂（大豆油）グリセリン、グリセリン+水—溶液中で人工的に造ったフロックと定距離間、落下、沈降させて沈降速度を求めた。粘性係数はあらかじめ、比重の明らかた大小数種の直径のガラス球を用いて、沈降速度を測定し、これより、求めた。水槽は、恒温水槽に入れてあり、測定中の温度は、それぞれに対して一定であつた。

使用した人工フロックは、塩化ビニール繊維を丸めて積層し、接着剤で接合部を結合したもので、ハサミで整形してほぼ球形の外形にしたもので、9~36.5^{mm}の直径、50個である。

フロックの見掛けの体積 $V_0 = \frac{1}{6} \pi d^3$ 、 d は、人工フロックを数種の方向から直径を計り、相乗平均を求めた。

フロックの固形部分の密度 ρ_{fs} はフロックを分解し、繊維の直径を数ヶ所、マイクロメーターで測定、長さ、直径、重量（微量天秤で計測）してこのから、体積より算出した。 ρ_{fs} の平均値は $\rho_{fs} = 1.5067 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

$$\text{フロックの空隙率 } \varepsilon_f = (V_0 - V_s) / V_0 = \left\{ \frac{\pi}{6} d^3 - (W_s / \rho_{fs}) \right\} / \frac{\pi}{6} d^3, \quad \cdots \cdots (2)$$

間隙率は整形されたブロックによって異なるが、0.80~0.96 である。

ブロック繊維体の表面積の総和 A_t (cm²) は、繊維を直径 Δd の円柱又は円線と考えて、長さ l の表面積は、 $\pi \Delta d l$, $l = 4 W_s / \pi \rho_{fs} \cdot \Delta d^2$, W_s : ブロック個体重量。

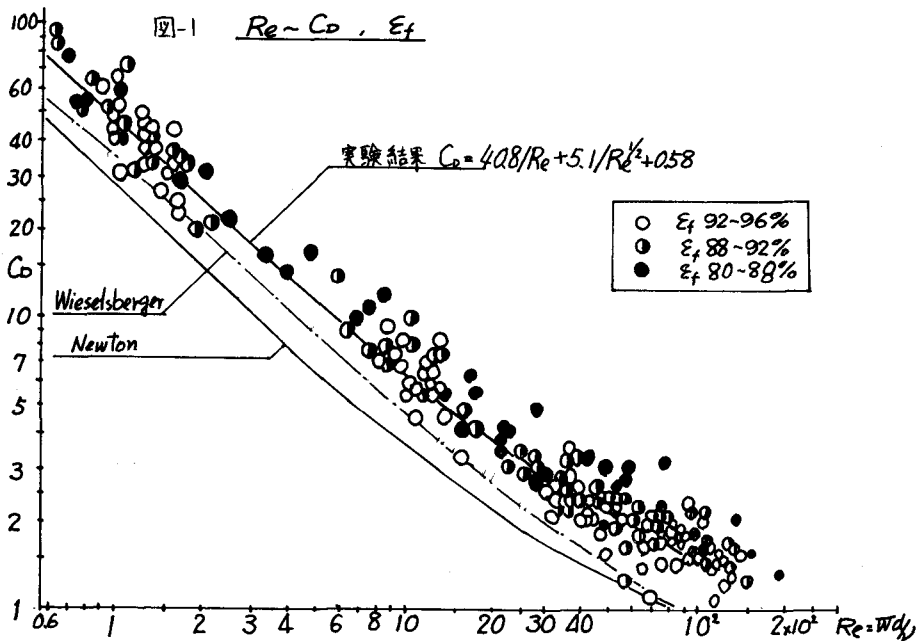
$$A_t = 4 W_s / \rho_{fs} \cdot \Delta d \quad \dots \dots \dots (3)$$

抵抗係数 C_D の値は、沈降運動より、

$$(\rho_f - \rho_o) g V_s = C_D \frac{\pi}{4} d^2 \rho_o W_s^2 / 2 \quad \dots \dots \dots (4) \quad \text{ここに } V_s: \text{ブロックの真の体積} = W_s / \rho_{fs}$$

$$C_D = 8 (\rho_{fs} - \rho_o) \cdot g \cdot W_s / \pi \rho_{fs} \cdot \rho_o d^2 W_s^2 \dots \dots (5) \quad \text{ここに } W_s: \text{ブロックの沈降速度 (cm/s)}$$

抵抗係数 C_D と Re 数の相関は、 $Re = W d / \nu$ として、画くと図-1 のようになる。



$$C_D = 40.8 / Re + 5.1 / Re^2 + 0.58 \quad \dots \dots \dots (6) \quad \text{但し、} Re = W d / \nu$$

3. 考 察

実験の結果 C_D は明らかに Newton, Wieselsberger の結果と差があつた。約2倍の Newton 値より大きい値を得た。全体としては、沈降速度にバラ付きがあり、安定した値となっていない。測定上の改善等は特に見当たらないが、ブロックの直径の測定に慎重を要するかも知れない。

間隙率 ϵ_f が変わっても、全体の傾向に影響を与えるような特徴は得られなかつた。強いて言えば、比較的大きい Re 数 ($Re > 20$) で間隙率が大きいものの方が、 C_D が小さかつた。全体として間隙率が大きくなるにしたがひ、 C_D の値は小さくなる傾向がある。

今回の実験では ϵ_f 値は0.96を超えるものはないが、実際のブロックは0.99 以上のものもあり、人工ブロックをつくる上で、工夫を要する。又、今回の実験では繊維の太さはほぼ均一であり、間隙率の大小は、繊維間距離でおろわち、間隙間距離を示している。今後、セいの太さの異なるブロックについて、間隙間距離の違うブロックについても同様の実験を行う必要がある。

（この検討を要する。）

実際のブロックの構造は、固体部分と流動部分とが明らかでないものもある。この結果を以て、実際値と計算値には若干