

1. はじめに.

前諸報^(1,2)において、低濃度フロック群の澄清処理を目的とした加圧浮上分離プロセスの動力学的扱いを①流入フロック群と析出微気泡群が混合接触するゾーンにおけるフロックへの気泡付着過程を記述する動力学式(式(1)~(4))と、②浮上槽の分離ゾーンにおける気泡付着フロックの浮上速度をフロック有効密度と付着気泡数で推算する式(式(5))を提案し、③気泡付着過程の動力学式の計算結果に浮上速度式を導入することにより、浮上速度分布に変換して表現した。これにより、流入フロック群の条件(径分布、有効密度)と気泡導入条件(析出気泡数、接触時間、攪拌強度など)を与えることで、浮上分離の効果を理論的に評価しうることとなった。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_{F,i}}{dt} &= (F+i)^3 \alpha_0 \left[\left(1 - \frac{i}{m}\right) N_{F,i-1} - \left(1 - \frac{i}{m}\right) N_{F,i} \right] \\ &\quad \text{when } i=1 \sim m \\ \frac{dN_{F,0}}{dt} &= (F+i)^3 \alpha_0 [-N_{F,0}] \\ &\quad \text{when } i=0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$m = \pi \alpha_0 F^2, \quad \sum_{i=0}^m N_{F,i} = 1$$

$$\text{気泡が } i \text{ 個付着した係 } F \text{ の } \text{フロックの無次元個数濃度 } N_{F,i} = n_{F,i} / n_f \quad \dots (2)$$

$$\text{無次元フロック径 } F = d_f / d_a \quad \dots (3)$$

$$\text{無次元接触時間 } T = \frac{3}{2} \pi \beta \sqrt{\frac{g}{g_0}} n_a d_a^2 t \quad \dots (4)$$

$$\left. \begin{aligned} w_{af} &= \frac{4g}{3\mu K} \cdot \frac{i(\rho_w - \rho_a) - a(d_f/i)^{K_p} \cdot (d_f/d_a)^3}{i + (d_f/d_a)^3} \cdot \frac{d_f^2}{d_a^2} \quad \dots (5) \\ d_{af} &= (d_f^2 + i d_a^2)^{1/2}, \quad K = \frac{16i + 45}{i + (d_f/d_a)^2} \\ &\quad \approx d_f^2 \end{aligned} \right\}$$

ここで、 $N_{F,i}$: i 個の気泡が付着した径 d_f のフロック個数濃度 (cm^3), n_f : 径 d_f の流入フロック個数濃度 (cm^3), m : 最大付着気泡数 (-), d_f, d_a : それぞれフロックと気泡の径 (cm), β : 定数 $\approx 1/\sqrt{g}$ (-), E_0 : 有効エネルギー伝達率 (cm^2/sec), n_a : 析出気泡数 (cm^{-3}), μ : 水の粘性係数 ($\text{g}/\text{cm} \cdot \text{sec}$), t : 気泡とフロックの接触時間 (sec), α_0 : 気泡とフロックの初期衝突合一係数 (-), i : 付着気泡数 (-), w_{af} : 気泡付着フロックの浮上速度 (cm/sec), g : 重力加速度 (cm/sec^2), ρ_w, ρ_a : それぞれ水と空気の密度 (g/cm^3), d_{af} : 気泡付着フロックの径 (cm), a, K_p : 丹保・渡辺のフロック密度関数の定数で凝集条件により定まる (g/cm^3 , 無次元)

式(1)の動力学式の解 $N_{F,i}$ はパラメータ T, α_0 により支配されるが、このうち気泡付着の進行度も表現する無次元接触時間 T は式(4)より与操作条件に対応して決まるので、付着の最高到達度も支配する初期衝突合一係数 α_0 の決定が問題となる。(最大付着気泡数 m は α_0 に左右されるため) α_0 は、丹保ら⁽⁴⁾がフロック形成理論で述べたフロック表面上の凝集剤による被覆度と同様なものと考えられ、フロック径とは無関係に凝集条件のみにより定まる値である。これを応用すれば、本研究の気泡とフロックの付着の場合、 $\alpha_0 = 0.3 \sim 0.4$ 程度となることは容易に推定できる。前諸報^(1,2)では、これを図-1, 2 のようにして浮上速度分布) についてのシミュレーション結果(式(1)と(5)による)と実測の結果を対比させ、 $\alpha_0 = 0.35$ と推算して一応の成果を収めた。しかし、これらはあくまでも式(1)の動力学式と式(5)の浮上速度式を重畳合わせた間接的方法で推算したものであり、本来、式(1)の気泡付着過程の動力学式のみにより直接推算すべきものである。そこで本報では、前諸報での α_0 値の推算結果をさらに確かめるために以下のような方法で実験を行なったのでその結果を報告する。

2. 実験

実験は、図-3に示すような回分式フローテーションテストを用いて行なった。混合接触槽でフロックを作り(カオリン50%, アルミ2.5%, PH7.25)気泡導入後、生成した気泡付着フロックを浮上速度測定セルへ。

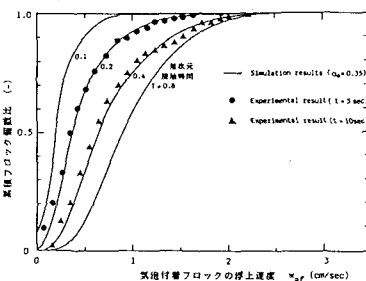


図-1 浮上速度分布

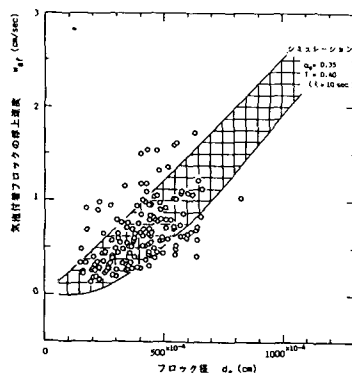


図-2 浮上速度の範囲

静かに吸引し、その状態を写真にとった。撮影は実体顕微鏡にモータードライブ付カメラを接続して行ない、式(1)により直接 α_0 値を推定するために必要な気泡付着フロックの径と付着気泡数の関係を多数測定した。従来、気泡付着フロックの径、付着気泡数、浮上速度は、ビデオカメラによって録画した画像から測定していたが、付着気泡数のみはビデオ装置上の問題から必ずしも正確に読み取れなかった。今回、これを写真撮影に代えることによって、浮上速度は測定できないものの、写真1,2に示したような比較的鮮明な気泡付着フロックの写真をとることができ、その径と付着気泡数の関係データを多数得ることができた。

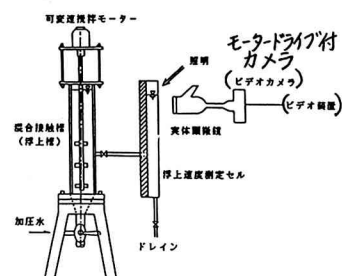


図-3 回分式フローテーションテスト

3. 結果と考察

このようにして得られた気泡付着フロックの径 d_f と付着気泡数 n の関係もプロットしたのが図-4である。一般に、フロック径 d_f が大きいほど付着気泡数 n も大きいことがわかる。図中の斜線の範囲は、式(1)の動力学式において $\alpha_0 = 0.35$ と仮定した場合に得られたシミュレーション結果であり、本実験条件の場合、 $E_0 = 0.06$ (cm^2/sec)、 $\mu = 0.0114$ ($\text{g}/\text{cm}\cdot\text{sec}$, 15°C)、 $n_a = 5.86 \times 10^4$ (cm^{-3})、 $d_a = 0.00628$ (cm)、 $t = 10$ (sec)であるので式(4)より $T = 0.40$ となる。

図より、実測値とシミュレーション結果は比較的良好な合致を示している。また、 α_0 値を様々な変化させた同様のシミュレーションも行なったが、 $\alpha_0 = 0.35$ 以外では一致しなかった。ゆえに、この場合の初期衝突合一条数は $\alpha_0 = 0.35$ と推定して良いものと考えられる。前報の浮上速度分布を測定する方法による推算結果と同一となったことより、推算された α_0 値さらには提案した動力学的扱いがほぼ妥当なものであると考えられる。

なお、上記の気泡付着過程のシミュレーションは、式(1)をルンゲ・クッタ・ギル法により数値計算して求めた。計算は東北大学大型計算機センター ACOS 1000 システム TSS 端末を用いて行なった。

<参考文献>

- 1) 丹保, 福士; 加圧浮上分離の動力学 (I), 土木学会第39回年講.
- 2) 福士, 丹保; 加圧浮上分離の動力学 (II), 土木学会第39回年講.
- 3) Tambo & Watanabe; Physical Characteristics of Flocs - I. The Floc Density Function and Aluminium Floc, Water Research, vol. 13, pp. 409~419.
- 4) Tambo & Watanabe; Physical Aspect of Flocculation Process - I. Fundamental Treatise, Water Research, vol. 13, pp. 432.

写真1, 2 気泡付着フロックの状態

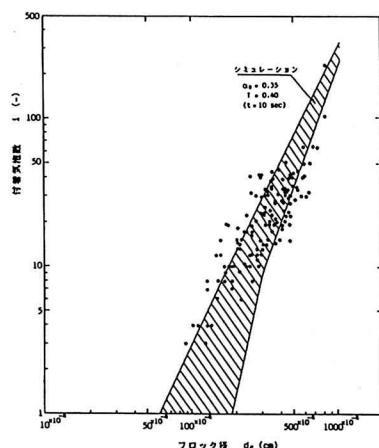
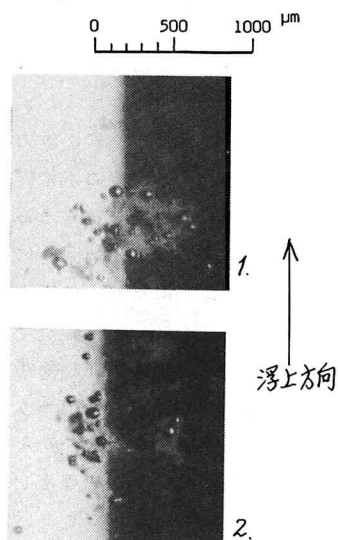


図-4 気泡付着フロックの径と付着気泡数