

東京大学工学部 学 ○ 大垣真一郎
正 松尾 友矩

1. はじめに. 界面沈降の現象を表わす式としては、*Work-Kohler*, *Robinson*, 吉岡らの実験的近似式があるが、内部機構を明らかにするものではない。理論的な考察としては、沈降速度を局所濃度のみの関数として表わした *Kynch* の方法と、均一粒群の実験解析から得た *Richardson* の方法がある。凝集性を有し、広い粒径分布を持つ活性汚泥流体については、その混相流体としての現象論的な知識も少ない現在では、*Kynch* や *Richardson* らの式の仮定をどの程度満足するものであるかは明らかではない。

本報告は、活性汚泥の界面沈降速度を温度条件の変化の下で測定し、その結果から界面沈降の機構について考察したものである。

2. 解析方法 活性汚泥フロック粒子のように粒子密度が小さいものの場合、液側（水）の温度による密度変化が微小（5～35℃で0.5%程度の変化）でも、密度差は大きく変化することになる。従って、温度条件の変化において粘度と密度の両者を考慮に入れた解析が必要となる。

実際の活性汚泥の界面沈降内部の現象は複雑で、現象のモデル化は困難であるが、粘度と密度の項の両者を考察する必要から、一つの実験解析の手法として単粒子沈降のアナロジーによる次元解析を用いた。

いま、単粒子自由沈降の球に働く力を F とすると、 F に関連する量は、直径 d 、速度 v 、液体の密度 ρ 、液体の粘度 η と考えられる。 F をこれらの量の冪式と仮定して、

$$F = k d^x \rho^y \eta^z v^w \quad (k \text{ は無次元定数})$$

とし、 w をパラメーターとして次元を合せると

$$F = k d^w \rho^{w-1} \eta^{2-w} v^w$$

となる。

一方、球に働く重力 G は、粒子密度を ρ_s 、重力加速度を g として、次式となる。

$$G = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (\pi d^3 / 6)$$

終末速度に達した後は、 $F = G$ であることから v について整理すると、単粒子終末沈降速度 v に関して、

$$v = (g \pi / 6 k)^{1/w} (\rho_s - \rho)^{1/w} d^{3/w-1} \rho^{1/w-1} \eta^{1-2/w} \quad (1)$$

を得る。ここに、(1)式は、 $w = 1$ のとき *Stokes* 型、 $w = \frac{3}{2}$ のとき *Allen* 型の式になる。

界面沈降の等速沈降区画においても(1)式のような力学的関係が成立しているとする。但し、この場合、懸濁液のみかけ粘度は η より増加し、みかけ密度差は $(\rho_s - \rho)$ より減少し、²⁾ 粒子と液体の相対速度はみかけ v より大きくなる³⁾ として、次の様な関係（体積濃度 ϕ のとき）、 $\eta \rightarrow \eta \times f_1(\phi)$, $(\rho_s - \rho) \rightarrow (\rho_s - \rho) \times f_2(\phi)$, $v \rightarrow v \times f_3(\phi)$ が成立すると仮定する。中の各関数については、 $f_1(\phi) = (1 - \phi)^{-2.5}$, ²⁾ $f_2(\phi) = (1 - \phi)$, ³⁾ $f_3(\phi) = (1 - \phi)^{-1}$ などが知られているが、ここでは、考察を温度依存関係に絞るために、中は、界面沈降時の代表長さとしての d 、液体からの抵抗力 F の無次元定数としての k 、次元解析のパラメーター w 等と共に、温度に依存しない関数 $K(d, k, w, \phi, \rho, g)$ を形成するものとする。 d, ρ, g はほぼ一定と考えることができるから、 K は主に濃度によって定まる関数となる。

これより界面沈降の等速沈降区画を表わす関係式として

$$v = K \cdot (\rho_s - \rho)^{1/w} \cdot \eta^{1-2/w} \quad \dots\dots(2)$$

を得る。 w を実験的に定められる様に(2)式を整理すると

$$v/\eta = K \cdot (\rho_s - \rho/\eta^2)^{1/w} \quad \dots\dots(3)$$

となる。さらに常用対数をとれば、

$$\log v/\eta = \log K + \frac{1}{w} \log (\rho_s - \rho/\eta^2) \quad \dots\dots(4)$$

となり、 $\log v/\eta$ と $\log (\rho_s - \rho/\eta^2)$ が直線関係を示すならば、その傾きから w を定めることができる。

3. 実験方法 実験室内においてスキムミルクで育った活性汚泥 ($SVI = 50 \sim 70$) を試料として用いた。保温水槽中に設置した内径 7.7 cm、長さ 20 cm のガラス製円筒管に所定温度に加熱または冷却した試料を注入し、界面の位置を肉眼で測定した。測定濃度範囲

は2180~6230 mg/l (全蒸発残留物)、測定温度範囲は5.8~36.5℃である。

4. 実験結果および考察 温度条件の変化による界面沈降速度の変化の一例を図-1に示す。温度が高くなるほど沈降速度は大きくなる。(4)式を用いる解析に当って、等速界面沈降速度 v [cm/sec]は、各濃度について図-1の様なデータから実測値として得られる。液体粘度 η [g/cm·sec]、液体密度 S [g/cm³]は、沈降筒内の実測水温から、水について得られていた値を用いた。活性汚泥フロック固体分の密度 S_s は、ピクノメーターにより測定した懸濁液全体の密度と24時間静置沈降の沈降体積率とから算出したみかけ平均密度 $S_s = 1.0147 \text{ g/cm}^3$ を用いた。これは温度に対して不変とした。この数値は、実際の槽の活性汚泥について似た方法で求めた中川⁴⁾の得た値(最大1.013)よりやや大きい。各数値の温度による変化の様子を表-1に示す。

(v/η)と($S_s - S/\eta^2$)を両対数グラフにプロットしたものの一例が図-2である。各濃度について、直線関係が成立することから(4)式を適用することができる。最小二乗法により $1/w$ と $\log K$ を決定した。 $1/w$ の変化を粘度項の指数の形($1 - \frac{1}{w}$)で初期濃度に対して表現すると図-3のようになる。 $\log K$ の変化も同図に示す。粘度項の指数は初期濃度に対して一定ではなく、初期濃度が大きい程、負の値として大きくなる。これは w も濃度の関数であることを示すものである。

濃度を0に外挿すると、($1 - \frac{1}{w}$)は概略の $1 - \frac{1}{3}$ になる。この値は、球形単粒子沈降のAllenの式 $v = 0.023 (S_s - S)^{2/3} \cdot \eta^{-1/3} \cdot g^{1/3} \cdot d$ と粘度項・密度差項に關しては同じ関数関係になることを示している。また、濃度が大きくなると、($1 - \frac{1}{w}$)は-1に近づき、圧密現象(堆積高の減少速度は粘度の-1乗に比例する)の関数関係に近づく様である。

もともと、(2)式は界面沈降の単粒子沈降アナロジーから導かれた単なる関数関係を表わす式であるが、($1 - \frac{1}{w}$)の変化の範囲の妥当性や $\log K$ の濃度に対する安定性から、ある程度界面沈降を表現できる式であることがわかる。

5. まとめ 活性汚泥の等速界面沈降速度の温度依存特性の示す所によると、界面沈降速度と液側粘度密度との関数関係は初期濃度によって変化する。従って、Richardsonらの式の様に、構成粒子の単粒子沈降速度を用いて表わすことは困難な様である。 S_s の算定など問題は多く残されているが、実験結果の示す応用的な意味を述べれば、濃度が高くなると温度の影響をより強く受ける様になり低濃度時に比べ水温低下による沈降速度の減少の割合はより大きくなるということである。

- 参考文献：1) Richardson & Zaki; Trans. Instn. Chem. Engrs., 32, 1954.
2) 大垣, 松尾; 土木学会論文報告集, No.210, 1973.
3) Hanratty & Bandukwala; A.I.Ch.E. Jour., 3, 2, 1957.
4) 中川, 及川; 第27回土木学会学術講演会, II-200, 1972.
5) 日本化学会編; 化学便覧, 1966. 6) 土木学会編; 水理実験指導書, 1967.

