

II-186

2波長の吸光度変動を利用した凝集・フロック形成の計測

北海道大学工学部 学生員 小川和延 正会員 松井佳彦
正会員 丹保憲仁 富士電機総合研究所 大戸時喜雄 財津靖史

1. はじめに

フローセルを流れる懸濁質を含む試料水に近赤外部の光を照射し、その透過光強度の直流成分と変動成分を計測し、その相対的変動強度を求めることによって、懸濁質の集塊の程度を検出する方法(PDA)が提案され、凝集現象の早期検出器としての有効性が確認され、さらに凝集状態の制御用の検出器としての利用が期待されている。先に筆者らは従来用いられていた近赤外部に紫外部の光を加えた2波長の光を、吸収特性の異なる懸濁成分と色度成分を含む凝集した試料水の同位置に照射して、それぞれの波長の示す透過光強度(直流成分、変動成分)の違いから色度成分の凝集と未凝集の状態を計測する方法を提案し、理論に基づき作製した試験機によって実験的確認を行った。ここではより高精度の改良機によって先の理論の有用さを微粒径の集塊まで拡張し、さらに紫外光と赤外光の散乱吸光特性を利用して簡単にフロック粒径、フロック沈降速度を計測する方法を提案する。

2. 有機色度成分の凝集沈降除去の計測

2波長の吸光度変動の計測より、未凝集の紫外部吸光度は式(1)で求められる。

$$E_2' = E_2 - E_{2m} = E_2 - \alpha^{-1/2} E_{1m} \frac{E_{2rms}}{E_{1rms}} \quad (1)$$

ここで、 E_{1m} , E_2 : フローセルで計測される吸光度、 E_{1rms} , E_{2rms} : 吸光度の変動成分の標準偏差、 E_2' : 未凝集成分の吸光度、 α : 2つの波長の測光部の光路容積比(-)、下付き1, 2はそれぞれ赤外部、紫外部の波長を示す。

図-1は式(1)の計測値の凝集・フロック形成過程における変化を示したもので、凝集剤注入後3分でほぼ定常に達し、凝集した成分と未凝集成分の素早い分離計測が可能であることを示している。

3. フロック粒径の簡易計算式

2波長PDAで計測される吸光度の平均値、RMS値とフロック個数の関係は式(2), (3), (4)で示される。

$$E_{rms1} = \nu^{1/2} \frac{\pi Q_1 d^2}{4A} \quad (2)$$

$$E_{rms2} = \nu^{1/2} \alpha^{1/2} \frac{\pi Q_2 d^2}{4A} \quad (3)$$

$$\frac{E_{rms1}}{E_{rms2}} = \nu^{-1/2} \quad (4)$$

ここで、 ν : 近赤外光の光路中の懸濁質の平均個数(-)、 Q_1 , Q_2 : 懸濁粒子の近赤外、紫外部の光散乱係数(-)、 d : フロック径(cm)、 A : 近赤外光の光路断面積(cm^2)

式(2), (4)または(3), (4)より ν を消去すると式(5)または(6)が得られる。

$$d = \sqrt{\frac{4AE_{rms1}^2}{\pi Q_1 E_{rms2}}} \quad (5)$$

$$d = \sqrt{\frac{4AE_{rms1} E_{rms2}}{\pi \alpha^{1/2} Q_2 E_{rms2}}} \quad (6)$$

カオリン濃度5と50mg/l、色度0と紫外

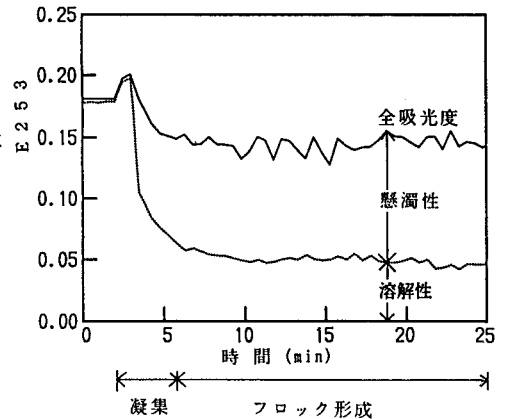


図-1 溶解性色度成分の計測

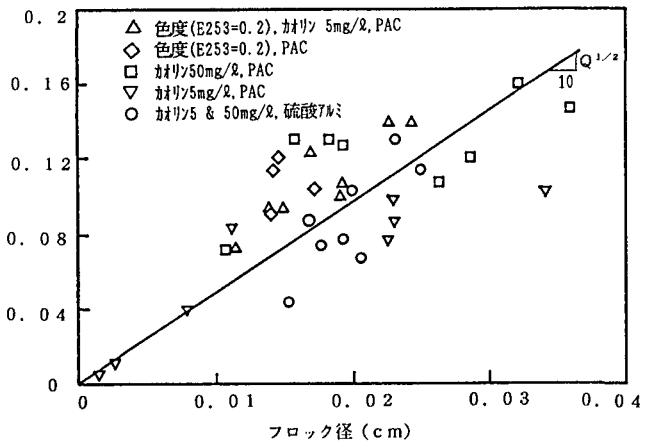


図-2 2波長PDA出力とフロック径

部吸光度(253nm)で0.2の混合試料に付いて凝集剤注入率を大きく変えた凝集・フロック形成実験を行い、写真撮影によるフロック径解析より式(5)、(6)の光散乱係数を求めると、図-2の様に紫外部の散乱係数は凝集剤注入率や色度の存在によって近赤外部ほど変化を受けず、 $Q=0.24$ の一定として扱うことができ、式(6)が粒径解析式として有効である。図-3は凝集・フロック形成過程におけるフロック径の計測値で写真測定値と良く一致している。先に筆者らはPDA出力にフロック密度関数を加えることによってフロック粒径の解析式を提案したが、式(6)を用いると2波長PDAの出力のみで計算が可能であり簡単な粒径解析として用い得ると思われる。

4. フロックの沈降速度式

粘性領域における粒子の沈降速度は式(7)で示される。

$$w_t = \frac{\rho_s g}{18\mu} \phi_r^{1/2} d^2 \quad (7)$$

ここで、 w_t :フロックの沈降速度(cm/sec)、 μ :水の粘性係数(g/cm/sec)、 g :重力加速度(cm/sec²)、 ρ_s :粒子の水中有効密度(g/cm³)、 ϕ_r :粒子の球形度(-)

フロックの水中有効密度はフロック密度関数式(8)で表わされ、その係数はフロックの重量が粘土と水酸化アルミニウムで構成されていると仮定すると式(9)でほぼ近似できる。

$$\rho_s = a_p d^{-K} \quad (8)$$

$$\frac{\rho_s}{q_r} = \frac{\rho_{s,K} + R_{ALT}}{\rho_K} \frac{\rho_{s,A}}{q_A} \quad (9)$$

a_p :フロック密度関数の係数(g/cm^{3-K})、 K :フロック密度関数の冪係数(-)、 ρ_K :カオリンの密度(g/cm³)、 $\rho_{s,K}$:カオリンの水中密度(g/cm³)、 $\rho_{s,A}$:水酸化アルミニウムの水中みかけ密度(g/cm³)、 q_A :不溶化した水酸化アルミニウムの単位体積当りのアルミニウム含有量(g as Al/cm³-Precipitated Aluminium Hydroxide)、 R_{ALT} :ALT比
式(7)に式(5)、(8)、(9)を代入して整理すると式(10)を得る。

$$w_t = \frac{\phi_r^{1/2} g L A^{1/2}}{6\pi \eta^{1/2} \mu} P \frac{C_K}{E_{m1}} \left(\frac{E_{r m s 1}}{E_{m1}} \right)^{1/2} \quad (10)$$

ここで、 C_K :粘土濃度(g/cm³)

$$P = \left(\frac{\rho_{s,K} + R_{ALT}}{\rho_K} \frac{\rho_{s,A}}{q_A} \right) Q_1^{1/2} \quad (11)$$

赤外光の散乱係数 Q_1 はALT比の増加と共に減少するが、式(11)より変数 P を求めると表-1の様にALT比によらずほぼ一定値をとる。また式(10)中の C_K/E_{m1} は一般に赤外光が溶解成分に吸収を示さないことより一定と見なして良いと考えられる。従って、式(10)中の係数を評価しフロック沈降速度とPDA出力の関係を求めると凝集条件によらず式(12)のように沈降速度を求める近似式をうる。

$$w_t = 0.6 \sqrt{\frac{E_{r m s 1}}{E_{m1}}} \quad (12)$$

図-4はPDA出力とフロックの沈降速度分布より求めた50%沈降速度の関係をプロットしたもので、式(12)の妥当性が実験的に確認された。

5. まとめ

未凝集色度成分濃度、平均フロック径、平均沈降速度が2波長の吸光度変動の計測値のみを用いて計測される。

表-1 係数値

ALT比	$Q_1^{1/2} (0.63 \times 4 R_{ALT})$
0.005	0.51
0.010	0.48
0.020	0.45
0.050	0.43
0.100	0.45
0.200	0.51
0.500	0.66
1.000	0.78

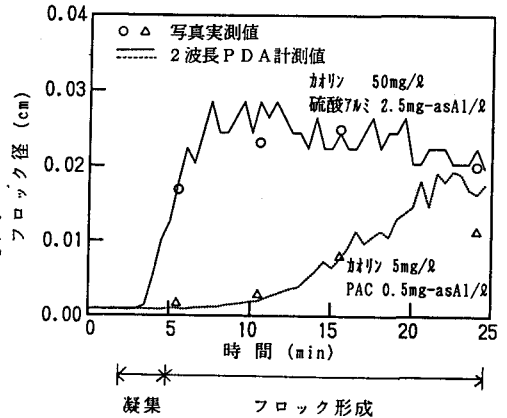


図-3 フロック径の計測

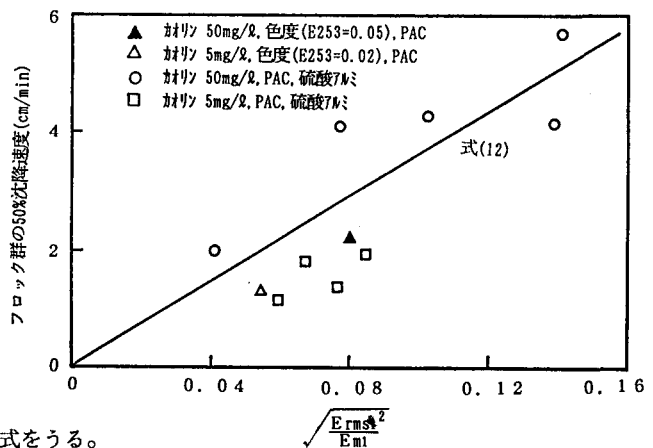


図-4 2波長PDA出力とフロック沈降速度