

流れ径にある濁りの示す吸光度の変動成分を利用した粒度計測

岐阜大学工学部	○学生員	杉浦 純一
岐阜大学工学部	正会員	松井 佳彦
岐阜大学流環研	正会員	湯浅 晶

1. はじめに

凝集、フロック形成過程の制御や凝集機構の基礎研究に際して、懸濁粒子や生成したフロックの集塊状態や、それに伴う懸濁系の物理化学的な状態変化などの詳細な情報が必要である。

本研究では、フローセルを流れる懸濁質を含む試料水に近赤外線 (820nm) の光を照射し、その透過光強度を連続的に計測して、その直流成分と変動成分を取り出し、その間の吸光度の平均値、変動成分の2次モーメント、3次モーメントを計算することによって、懸濁粒子の粒径、粒度分布などの懸濁系の情報を得ることを目的としている。

2. 計測理論

フローセル中を通過する懸濁質の濃度は、懸濁粒子濃度の微視的不均一性により懸濁粒子の個数が測定部中でランダムに変動するので、その濃度は平均値の回りで変動する。そこで均一粒子群 (mono-disperse suspension) を仮定すると吸光度は濁度、粒子個数濃度または測定部中の粒子個数に比例するので吸光度は式 (1) で、時間平均吸光度、吸光度の変動成分の2乗平均の平方根 (RMS)、3乗平均の3乗根 (CRMC) は式 (2)、(3)、(4) で示される。

$$E = -\ln \frac{V}{V_0} = \tau L = NCL = n \frac{C}{A} = n \frac{\pi Q d^2}{4A} \quad \dots (1)$$

$$E_m = -\ln \frac{\bar{V}}{V_0} = \bar{v} \frac{\pi Q d^2}{4A} \quad \dots (2)$$

$$E_{rms} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \ln^2 \left(1 + \frac{V_i - \bar{V}}{\bar{V}} \right)}{m} \right]^{1/2} = \bar{v}^{1/2} \frac{\pi Q d^2}{4A} \quad \dots (3)$$

$$E_{crmc} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \ln^3 \left(1 + \frac{V_i - \bar{V}}{\bar{V}} \right)}{m} \right]^{1/3} = \bar{v}^{1/3} \frac{\pi Q d^2}{4A} \quad \dots (4)$$

$$\text{ただし、} \bar{V} = \exp \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \ln V}{m} \right\}$$

ここで、 E : 吸光度 [無次元]、 V : 透過光強度に対応する出力電圧 [V]、 V_0 : 入射光強度に対応する出力電圧 [V]、 τ : 濁度 [cm^{-1}]、 L : 光路長 [cm]、 n : フローセル中の懸濁質の個数 [無次元]、 C : 散乱断面積 [cm^2]、 Q : 散乱係数 [無次元]、 d : 粒径 [cm]、 A : 光路断面積 [cm^2]、 E_m : 平均吸光度 [無次元]、 m : 測点数 [無次元]、 $\bar{v}$: フローセル中の懸濁質の平均個数 [無次元]、 E_{rms} : 吸光度の変動成分の2乗平均の平方根 (RMS) [無次元]、 E_{crmc} : 吸光度の変動成分の3乗平均の3乗根 (CRMC) [無次元]

よって、式 (2)、(3)、(4) より、フローセル中の懸濁質の平均個数、粒径は、式 (5)、(6) で示され、平均吸光度は、吸光度の変動成分の2乗平均の平方根 (RMS) と3乗平均の3乗根 (CRMC) を用いて、式 (7) のように表現することができる。

$$\bar{v} = \left(\frac{E_{rms}}{E_{crmc}} \right)^6 \quad \dots (5)$$

$$d = \left(\frac{4A}{\pi Q} \right)^{1/2} \left(\frac{E_{crmc}^3}{E_{rms}^2} \right)^{1/2} \quad \dots (6)$$

$$E_m = \frac{E_{rms}^4}{E_{crmc}^3} \quad \dots (7)$$

したがって、均一粒子群であるならば、吸光度の変動成分を計測することによって、粒径、平均吸光度を計算することが可能である。

3. 実験方法

3-1 実験装置

図-1に模式的に示すような、攪拌層と1波長の透過光を連続的に測定する装置 (PDA、Photometric Dispersion Analyser) を用いて実験を行った。

測定はフローセルを通過する試料水に光源から近赤外部 (820nm) の光を照射し、受光部のフォトダイオードで光電変換し、透過光強度に対応した出力電圧を得る。計測器からの出力電圧をAD変換した後コンピュータで記録、解析を行う。

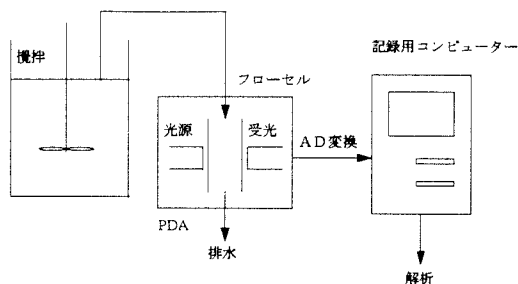


図-1 実験装置

3-2 実験方法

カオリンを水道水 (0.1 μ m メンブレンフィルター通過) で種々の濃度になるよう調整し、さらに分散剤 (W-NaPP: ピロリン酸ナトリウム) によってカオリンがよく分散した状態の試料水を用いる。

測定器からの出力電圧をサンプリング周波数 200Hz で AD 変換し、連続 10,000 点のサンプリングから吸光度の平均値、変動成分の 2 乗平均の平方根 (RMS)、3 乗平均の 3 乗根 (CRMC) の計算を行った。試料水の計測前に水道水 (0.1 μ m メンブレンフィルター通過) を通水して、入射光強度に対応する出力電圧の測定を行う。

3-3 解析方法

計測で得られた透過光強度に対応した出力電圧の時系列データを用いて、吸光度、平均吸光度、吸光度の変動成分を式 (8), (9), (10) によって計算し、吸光度の変動成分の RMS、CRMC の計算を行う。

$$E_i = -\ln\left(\frac{\bar{V} + v_i}{V_0}\right) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{m} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$e_i = E_i - E_m \quad \dots \dots \dots (10)$$

ここで、 $\bar{V}$: 透過光強度に対応する出力電圧の算術平均 [V]、 v_i : 透過光強度の変動成分に対応する出力電圧 [V]、 V_0 : 水道水通水時の入射光強度に対応する出力電圧 [V]、 e_i : 吸光度の変動成分 [無次元]

4. 実験結果

前述の理論、方法、解析にもとずいて行った実験結果を図-2、3に示す。

ただし、図に示した E_m は分光光度計によって計測した吸光度である。

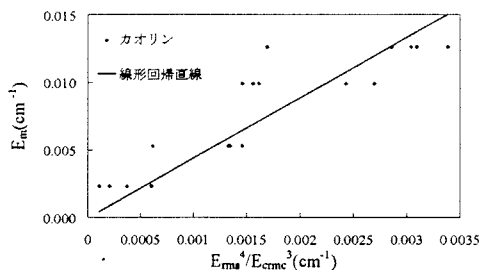


図-2 カオリンの吸光度と変動成分の相関関係

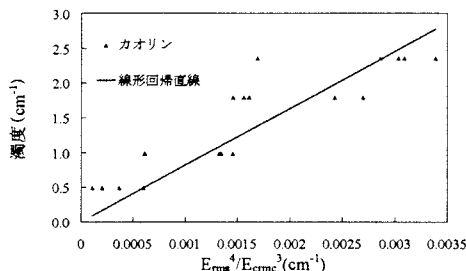


図-3 カオリンの濁度と変動成分の相関関係

図-2を見ると先の理論で示したように吸光度の平均値は、吸光度の変動成分の RMS の 4 乗と CRMC の 3 乗の比に比例している。しかし、その比例定数は 1 とはならない。これは、先の計測理論では懸濁成分について均一粒子群を仮定したからであり、実際には、散乱係数や粒径分布についての効果を考慮する必要があるからである。そこで、散乱係数と粒径分布 (poly-disperse suspension) を考慮すると、先の理論より得られた式 (6), (7) に相当する式は、次の式 (11), (12) で表現できる。

$$D_{50} = \left(\frac{4A}{\alpha\pi} \frac{E_{crmc}^3}{E_{rms}^2} \right)^{\frac{1}{\beta+2}} \exp\left\{ -\frac{5}{2} (\beta+2) \ln^2 \sigma_g \right\} \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$E_i = \exp\left\{ (\beta+2)^2 \ln^2 \sigma_g \right\} \cdot \frac{E_{rms}^4}{E_{crmc}^3} \quad \dots \dots \dots (12)$$

ここで、粒径分布は対数正規分布に従うものとする。 D_{50} : 個数基準頻度分布関数での 50% 粒子径 [cm]、 σ_g : 幾何標準偏差 [cm]、 α 、 β : 散乱係数 Q に関する定数とする。 ($Q = \alpha \cdot D_p^\beta$)

よって、図-2 の回帰直線の勾配は β と σ_g 、つまり、散乱係数と粒径分布により計算される。

参考文献

松井佳彦、丹保憲仁、財津靖史、大戸時喜雄、阿部和之: 2 波長の吸光度変動を用いた有機着色成分の凝集沈殿除去の評価、水道協会雑誌、第 60 巻第 4 号 (第 679 号)、pp. 2~8 (平成 3 年 4 月)