

北海道大学工学部衛生工学科 正 丹保憲仁 正 松井佳彦 学 大場 昭 梶山信也

1. はじめに 急速ろ過システム運転の鍵は、凝集剤の注入条件を、原水の質と原水変動に応じて速やかにかつ的確に決定し、操作することである。ここでは、最近、London大学のGregoryらによって開発された粒径分析装置、Photometric Dispersion Analyser (PDA) を浄水における凝集、フロック形成状態のオンライン検出器として用い、凝集の自動制御を行なうことの可能性について検討を加えたので報告する。

2. PDAの原理 PDAでは図-1に模式的に示されるようにフローセルを通過する試料水の透過光強度を光电変換した直流成分(DC)と交流変動成分が測定される。凝集により粒子が集塊し、粒子個数濃度が減少すると、濁度を示す直流成分はあまり変化しないが、光路内の粒子個数の減少により、その平均個数に対する瞬時の存在個数の揺らぎが大きくなって交流変動成分は大きくなる。PDAはこの変動の大きさを示す値として変動成分の二乗平均値(V_{RMS})を出力する。

光路内の粒子個数がポアソン分布に従うランダム過程と仮定すると、光路内の平均粒子個数は式(1)で与えられる。

$$\nu = \left(\frac{\ln(V_0/V)}{V_{RMS}/V} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 V_0 : 入射光強度(V)、 V : 透過光強度(V)、 V_{RMS} : 透過光強度の変動成分(V)、 ν : 光路内平均粒子個数(-) 従ってフロック粒子の体積濃度を知りうれば、式(2)によりフロック粒径が求められることをGregoryは示した。

$$d = \left[\frac{6\phi LA}{\pi} \left(\frac{V_{RMS}/V}{\ln(V_0/V)} \right)^2 \right]^{1/3} \quad (2)$$

ここで、 ϕ : フロック体積濃度(-)、 L : 光路長(cm)、 A : 光路断面積(cm^2)

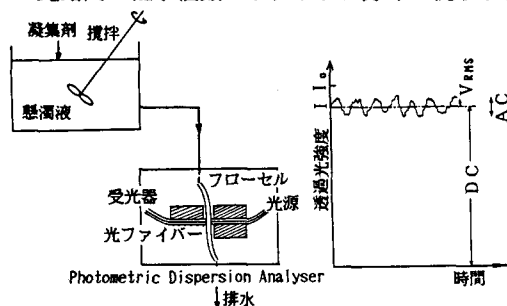


図-1 PDA概略図

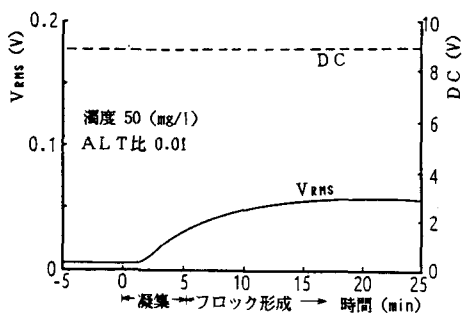


図-2 PDA出力

3. 実験方法 PDAによる粒径測定と平行してフロック形成状態を評価するために従来より行われて来た顕微鏡写真による粒径測定、フロックの物性としてマイクロフロックのゼータ電位、フロックボリューム、沈降速度測定によるフロック密度を測定した。

4. 実験結果 4-1 粘土系 図-2は凝集、フロック形成時のPDAのDCと V_{RMS} の変化を示す。凝集、フロック形成を通して V_{RMS} が大きく変化しPDAの凝集のオンラインモニターとしての有効性を確認した。

図-3は凝集、フロック形成時のフロック径の変化を示したものである。PDAの粒径計算は、式(2)中のフロック体積濃度を、重量濃度をフロック密度関数より得られるフロック密度で除することにより求めて得られた式(3)によった。

$$d = \left[\frac{6\phi LA}{\pi} \cdot \frac{T}{\rho_0} \cdot \frac{1}{d_0^K} \left(\frac{V_{RMS}/V}{\ln(V_0/V)} \right)^2 \right]^{1/(3-K)} \quad (3)$$

ここで、 T : 濁度(mg/l)、 ρ_0 : カオリンの密度(g/cm^3)、 d_0 : カオリンの粒径(cm)、 K : フロック密度関数の指数(-)

また、濁度10 mg/l 以下の場合、セル長が短く式中の吸光度を表わす $\ln(V_0/V)$ 項の正確な値が求められないので、別途吸光度計により計測した定数値を用いて計算を行なった。図に示さ

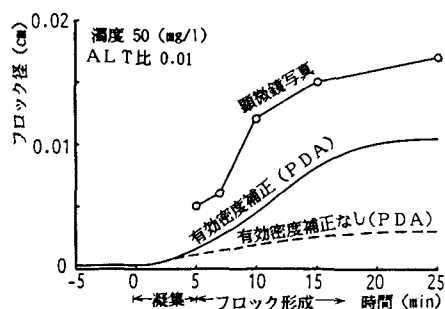


図-3 フロック後の時間変化

れるようにPDAにより計測された粒径が顕微鏡写真による粒径より小さくなるのは、試料水の導入チューブ内でのフロックの破壊によるものと思われる。この傾向は、図-4のように、ALT比が高くフロック強度が小さい場合著しい。

図-5は濁度50 mg/lで、ALT比を様々に変えて、PDAにより測定された、急速攪拌時、緩速攪拌時におけるフロック径の変化を示したものである。図より、高ALT比で、凝集剤投入直後一時的な粒径の増大が見られる。粒径分布が広い場合見かけより大きな粒径が算出されるというPDAの特性を考えると、凝集剤投入直後に著しい不均一な粒径のフロック群が形成されることが推論される。

4-2 色度系 図-6、7に色度水の場合のDC及びVRMS、フロック径の凝集、フロック形成における変化を示す。色度水としては、泥炭地着色水を用いた。mmオーダーの色度成分より構成される膨潤で透明なフロックの場合も粘土フロックと同様にVRMSが凝集剤投入直後より変化し、その間のフロック径の時間変化が計算された。この場合、色度成分では重量濃度を計測することが困難なので、体積濃度を粘土成分と同じ手法で求めることができないため、試料を種々のガラスフィルターでろ過することによって凝集時のフロック径を求め、その値を基にフロック密度関数で補正した式(4)を用いてフロック径を計算した。

$$d = d_1 \left(\frac{V_{RMS}/V}{V_{RMS1}/V_1} \right)^{2/(3-K)} \quad (4)$$

ここで、 d_1 :凝集時のフロック径(cm)、 V_{RMS1} :凝集時のVRMS(V)、 V_1 :凝集時のV(V)

5. まとめ PDAより得られるデータにフロック密度関数補正を施すことにより凝集、フロック形成時のフロック径のオンライン計測が可能となった。また、図-8はPDAによる急速攪拌時のマイクロフロック径と顕微鏡写真撮影による緩速攪拌終了時のフロック径の関係を両対数紙上にプロットしたものである。フロック最大成長径は凝集の化学的条件が一定の場合、攪拌層の攪拌強度により決定される。急速攪拌時と緩速攪拌時をそれぞれ高攪拌場と弱攪拌場とすれば、攪拌強度因子を介して両者の関係を定量化できそうである。このようにPDAにより得られる急速攪拌時のマイクロフロック径の時間変化を基にフロック形成や直接ろ過の状況を予測し、凝集の自動制御の定式化の為に研究を継続している。

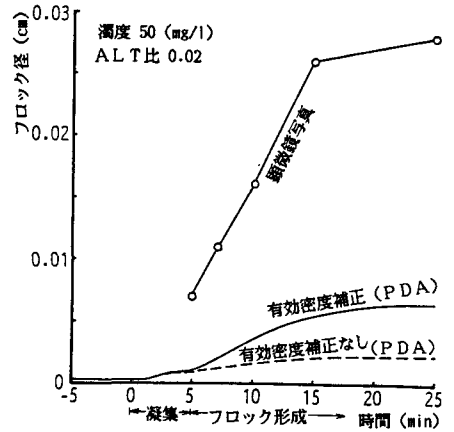


図-4 フロック径の時間変化

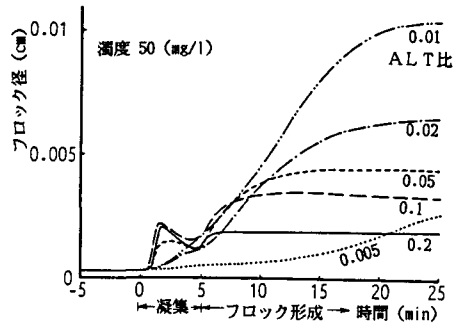


図-5 フロック径の時間変化

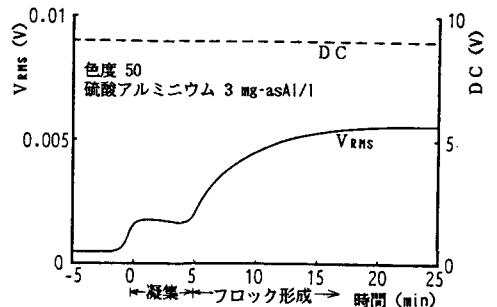


図-6 PDA出力

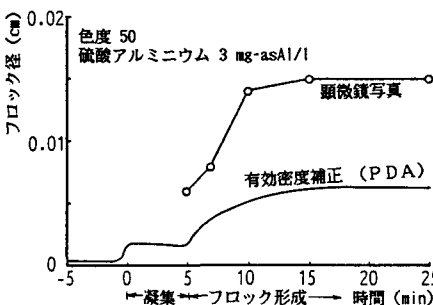


図-7 フロック径の時間変化

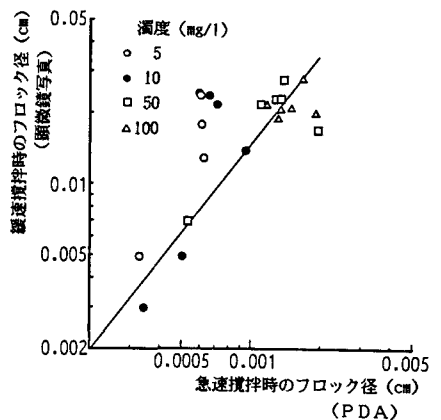


図-8 平衡フロック径の比較