

B-28 顕微鏡電気泳動法を応用した凝集状態判別手法

○有村 良一^{1*}・海老原 聡美¹・毛受 卓¹・黒川 太¹・相馬 孝浩²¹東芝 電力・社会システム技術開発センター（〒183-8511 東京都府中市東芝町1）²東芝 水・環境プロセス技術部（〒212-8585 川崎市幸区堀川町72-34）

* E-mail: ryoichi.arimura@toshiba.co.jp

1. はじめに

浄水場の凝集沈殿処理では、原水水質変動時でも安定した処理を行うため、凝集剤注入後の早い段階で凝集状態を判別し、注入率を操作することが望ましい。凝集剤添加後のフロックのゼータ電位がオンラインで計測できれば早い段階での凝集状態の判別が可能である。そこで今回、顕微鏡電気泳動法によるゼータ電位測定を応用し、凝集剤注入量の過不足を判別する手法を考案した。

顕微鏡電気泳動法は、測定セル内で付加された電場に対して、粒子の動く方向と動く距離に基づいてゼータ電位を算出しており、粒子の動きを画像で確認できるため視覚的にも凝集状態を捉えやすい特徴を持つ。考案した手法では、電場中のフロックの電気泳動挙動を秒単位で撮影した画像を処理することで数値化している。凝集剤による荷電中和が良好なとき、フロックは正極もしくは負極方向ではなくランダムに挙動することに着目し、フロックの移動速度成分の分散値が最大になる点を適正注入率と判別する。この判別手法は、異なる原水水質に対しても適用できる見込みが得られており¹⁾、凝集剤注入率の自動制御構築に向けて、汎用性の高い制御指標となる可能性がある。処理流量24 L/hの連続式凝集沈殿砂ろ過装置で本手法を検証した結果について述べる。

2. 方法

(1) 連続式凝集沈殿砂ろ過試験装置（急速ろ過）

本試験は、図-1に示す小型の連続式凝集沈殿砂ろ過試験装置を用いて行った。本装置は、急速ろ過システムを模擬したラボスケールの実験装置であり、流入から沈殿池出口までは0.4 L/min、砂ろ過池への通水は定量ポンプを用いた0.2 L/minの定速ろ過とした。原水は、水道水と

イオン交換水でアルカリ度を20mg/Lに調整した後、カオリン（関東化学製）とフミン酸（和光純薬工業製）を添加し濁度5度、色度5度に調整した。原水pHは7.2～7.3、水温は約25℃とした。凝集剤はPAC（多木化学製、 Al_2O_3 約10%、塩基度50%）を用いて所定の注入率となるようにPACの注入流量を調整した。

分析項目は、沈殿池出口の濁度、色度、およびアルミニウム濃度を測定した（図-1のA点で採水）。アルミニウム濃度はICP-MS法で分析した。各フローでの滞留時間を考慮し、所定の注入率での凝集剤注入開始後、十分時間が経過してからサンプリングを行った。また、同様の時間経過後からろ過池通水を開始し、通水開始からの水位上昇から損失水頭を算出した（図-1のB点で計測）。

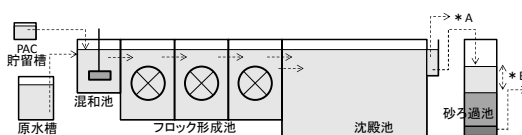


図-1 連続式凝集沈殿砂ろ過試験装置

(2) ゼータ電位の測定

顕微鏡電気泳動法によるゼータ電位測定は、マイクロテック・ニチオン製のゼータ電位測定装置 ZEEDOM ZC-3000を用いた。測定画面例を図-2に示す。図-2において白い点が粒子であり、粒子を結んだ白線は粒子の軌跡を示している。電場を付加すると、例えば負に帯電した粒子は正極方向に移動する（図-2中の矢印）。

この粒子の移動を画像処理で追跡し、移動距離と方向から各粒子のゼータ電位を算出する。本装置では1試料の測定時に数百個の粒子のゼータ電位が計測される。本研究では、数百個の各粒子のゼータ電位の平均値と、データのばらつき度を示す分散値を用いて、凝集剤の適正注入率の検討を行った。

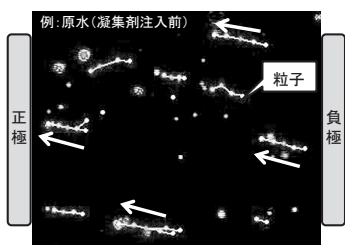


図-2 電気泳動測定例（凝集剤注入前の原水中粒子）

3. 結果と考察

(1) 連続式の凝集沈殿砂ろ過試験における処理水質

図-3に各PAC注入率における沈殿池出口の濁度と色度の測定結果を示す。濁度および色度ともに、PAC注入率が高いほど、沈殿池出口の値は低くなる傾向がみられた。

図-4に各PAC注入率における沈殿池出口濁度（図-3と同様）とアルミニウム濃度の分析結果を示す。アルミニウムはアルミ系凝集剤であるPACの注入に起因すると考えられ、注入率が高くなるほど沈殿池出口まで流出してくるアルミ濃度が増加することが示された。

図-5に各PAC注入率における、ろ過池の損失水頭の上昇を示す。凝集剤注入率が高いほど損失水頭の上昇が大きい傾向が示された。これは、砂ろ過の目詰まりを促進させている要因が、残留する濁度成分ではなく、残留アルミによる影響が大きいことを示唆する結果である。

以上のことから、沈殿池出口の濁度低下のみを追及して凝集剤注入率を設定することは、残留アルミ濃度の上昇とろ過池閉塞を促進させることが考えられた。

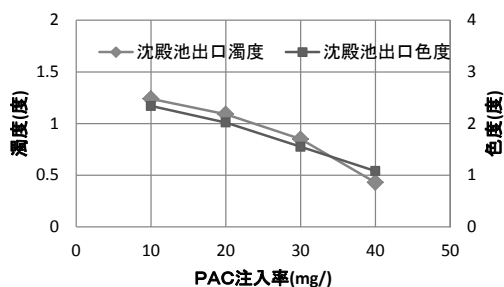


図-3 沈殿池出口処理水の濁度と色度

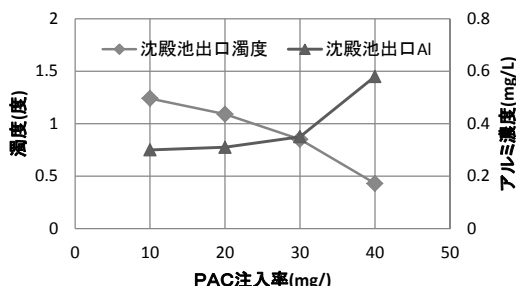


図-4 沈殿池出口処理水の濁度とアルミ濃度

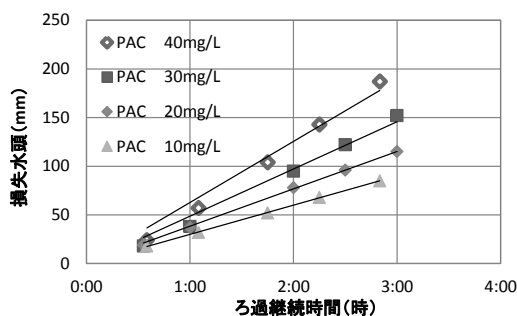


図-5 凝集剤注入率別の損失水頭上昇

(2) ゼータ電位の測定結果

ゼータ電位測定は、連続式の試験と同じ方法で調整した原水を用いてジャーテストを実施し、図-1で示す試験装置の混和池を想定して、140rpmでの急速攪拌2分経過後に試料を採水しゼータ電位の測定を行った。

図-6はPAC注入率に対するゼータ電位(平均値)と、ゼータ電位データのばらつき度を示す分散値を示したもので、ゼータ電位(平均値)はPAC注入率30～35 mg/Lで約0 mVとなった。ゼータ電位データの分散値は、PAC注入率35 mg/Lで最大となり、画像処理から得られる個々の粒子のゼータ電位のばらつき度が、ゼータ電位0 mV付近で大きくなることが示された。この結果は、顕微鏡電気泳動法の測定原理に由来したものであり、ゼータ電位の平均値が0 mV付近、すなわち粒子の荷電中和状態が良好であれば、電場を付加しても粒子は電場方向に対して均一には動かず、移動距離と方向が不均一になることを示している。

この特徴と連続式の凝集沈殿砂ろ過試験の結果を合わせて考察すると、荷電中和状態が良好であるPAC注入率30～35 mg/Lよりも注入率が高くなると、沈殿池出口のアルミニウム濃度の上昇が大きくなる傾向が示された。これは、荷電中和に必要な凝集剤量より過剰に注入すると、ブロックに取り込まれず残留するアルミニウムが増加することを示唆している。ゼータ電位による荷電中和状態の判別は、凝集剤の過剰注入の抑制につながると考えられた。

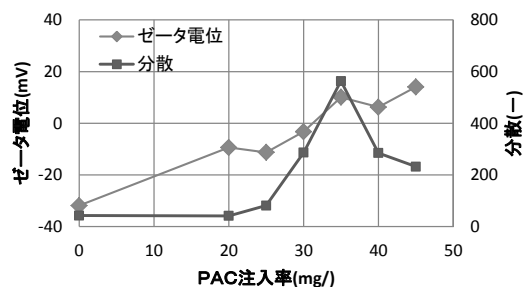


図-6 ゼータ電位の平均値と分散値

図-7、図-8、および図-9に、図-6で示した各ゼータ電位測定における個々の粒子のゼータ電位データのヒストグラムを示す。

図-7はPAC注入率25mg/Lのときのヒストグラムであり、図-6からも分布の分散値は小さく、ゼータ電位のばらつき度は小さいことが分かる。

図-8はPAC注入率35mg/Lのときのヒストグラムであり、分布の分散値が最も大きくなったデータである。このときの分布はゼータ電位がマイナスの領域とプラスの領域の両方に計測され、絶対値も大きいデータが検出されている。これは粒子の持つ本来のゼータ電位が大きく変化しているわけではなく、ゼータ電位が0 mV付近となったため、電場方向に対して泳動せず、セル中の水の対流や重力に影響を受けて粒子が大きく動いた結果と考えられる。

図-9はPAC注入率45mg/Lのときのヒストグラムであり、図-8 (PAC注入率35mg/L) と比較すると分布が集まってくるのが分かる。また図-7と図-9の比較は、PAC注入率が不足しているケースと過剰であるケースの比較となるが、PAC注入率が過剰であるほうが分布のばらつき度が大きくなる傾向がうかがえる。これは、過剰な凝集剤によりフロックの荷電状態の均一性が、より崩れているためと考えられた。

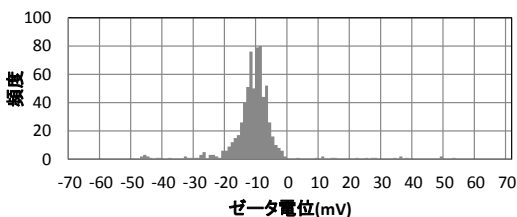


図-7 ゼータ電位のヒストグラム
(PAC注入率25mg/L：注入不足のケース)

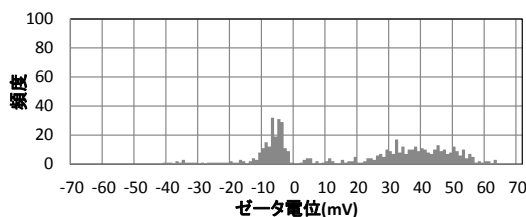


図-8 ゼータ電位のヒストグラム
(PAC注入率35mg/L：注入適量のケース)

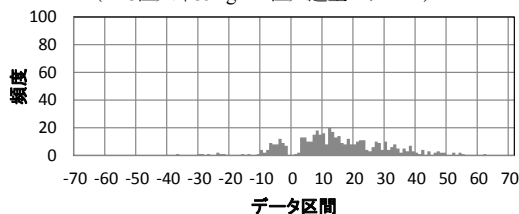


図-9 ゼータ電位のヒストグラム
(PAC注入率45mg/L：注入過剰のケース)

(3) ゼータ電位の平均値と分散値の比較

図-6で示した荷電中和状態が良好に起きている凝集剤注入率の判別の仕方において、顕微鏡電気泳動法で算出されるゼータ電位の平均値と分散値の、指標としての有用性を考察した。図-8で示したように、荷電中和が良好で本来のゼータ電位が0 mV付近となると、電場中の粒子の移動速度は測定セル中の水の対流や重力に影響を受け、本来のゼータ電位と誤差が生じる可能性が出てくる。図-8では、ゼータ電位がプラスで、絶対値の大きな領域に分布が見られることから、ゼータ電位の平均値は本来の値よりプラス側に誤差を生じていると考えられる。

これに対して、分布のばらつき度を表す分散値を用いると、分散値の極大となる凝集剤注入率がゼータ電位が0 mV付近を捉えていると考えられるため、誤差が生じにくく、荷電中和が良好に起きているポイントの検出に適していると考えられた。いずれも顕微鏡電気泳動法の特徴に由来しているものである。この現象については、異なる水質の原水を用いて今後検証を深めていく予定である。

4. おわりに

顕微鏡電気泳動法によるゼータ電位測定を応用し、凝集剤注入量を判別する手法に関して、連続式凝集沈殿砂ろ過装置での試験と併せて検討し、以下の知見を得た。

- ・ 連続式の凝集沈殿処理において、凝集剤注入率が高いほど、沈殿池出口濁度は低くなる傾向があるが、一方でアルミ濃度は高くなる傾向が示された。
- ・ 凝集剤注入率が高いほど、ろ過池の損失水頭は早く上昇する傾向があり、その要因としては、残留濁度よりも残留アルミニウムの影響が示唆された。
- ・ 顕微鏡電気泳動法によるゼータ電位の分散値は、荷電中和が良好に起きているゼータ電位0 mV付近において極大値をとることが示された。本指標に基づいて凝集剤注入率を設定することで、沈殿池出口濁度の低下と残留アルミニウム抑制の両立を図る凝集剤注入率を設定できる可能性が示された。

今後は、異なる水質の原水を用いて検証を深めていくとともに、制御システムの構築に向け、顕微鏡電気泳動法に基づいたゼータ電位の連続測定系を構築していく予定である。

5. 参考文献

- 1)海老原聡美(2014)、顕微鏡電気泳動法を応用した凝集剤注入量の過不足判別手法の開発、環境システム計測制御学会、Vol.19(No.2/3)、149-153