

フロック計測装置の上下迂流式 フロック形成池への適用

島崎弘志*、後藤浩之*、佐藤茂雄*、津倉 洋*

*株式会社 明電舎 総合研究所

東京都 品川区 大崎 2-1-17

概 要

浄水場のフロック形成池におけるフロック特徴量の計測は、凝集沈澱プロセスを適正に管理する上から極めて重要である。従来、フロック形成の良否の判定は、ほとんど管理者の目視に依存していたが、今回、直接フロック形成状態を把握できる画像処理技術を応用したフロック計測装置を開発した。本計測装置は、形成池内で流動状態にあるフロックを捕らえる水中カメラ部とフロックを認識し、画像処理によりフロック特徴量を算出する画像演算処理部から構成される。

本発表では、実浄水場の上下迂流式フロック形成池の後段に水中カメラ部を設置し、中央管理棟内の画像伝送装置から伝送される静止画像を定期的に2値化处理し、フロック特徴量（フロックの粒径分布、幾何平均粒径、個数、体積等）を求めた。その結果、1）攪拌強度、滞留時間（取水量変動）によってフロック幾何平均粒径が変化することが確認できた。2）沈澱池の流出濁度に対して幾何平均粒径、画面当りのフロック個数の関係等からフロック計測装置の妥当性を見いだせた。よって、フロック形成フィードバック制御の一制御方式として、画像処理技術を応用したフロック計測制御システムの提案をする。

キーワード

フロック 上下迂流 フロック形成池 画像処理 静止画 2値化 特徴量 フィードバック制御
フロック形成管理 凝集剤注入制御 フロック形成制御

1. フロック形成管理の考え方

近年、浄水場においては、要求される水質を確保するために高効率の管理制御技術を目指している。その一環として、従来リアルタイムの制御が行いにくかったフロック形成池においてもフロック形成制御が目ざされはじめた。一般的なフロック形成制御はジャーテストにより原水濁度と凝集剤注入率またはAL/T比（ Al^{3+}/TB ）との関係から注入制御式を求め、更に高効率化のために注入率式に補正項（原水の水温、pH等）を設けて制御を行っている。しかしながら、これらの制御は基本的にフィードフォワード制御であるため何等かの原因で、例えば異常気象による河川湖沼の枯渇・汚濁により水質変化を受けた場合、フロック形成状態が悪化し、沈澱池の濁度上昇を引き起こしても混和池から沈澱池出口までの間、対策を構ずる手段がない。そのため、後段の濾過池が高負荷になる危険性もある。

この問題を解決すべくこの制御系にフィードバック制御を組み込む方式が考えられた。沈澱池出口に濁度計を設置して処理水濁度を監視し、更に濁度をフィードバック信号として補正制御する。特に高速凝集沈澱池に対しては制御遅れ時間が1時間程度である反面、迂流・パドル式フロック形成池では混和池からの遅れ時間が2～3時間程度あるため制御精度に問題を残す。また濁度計の信頼性を考えた場合、光応用の装置であり散乱・吸収するすべての物質（色度、藻類等）を計測し、マクロ的な指標であるため種々の要因による誤差変動が大きくなる。

これらの問題点、特に横流式沈澱池における制御遅れに対して、また制御精度を向上させる目的で、近年、画像処理の発達に注目し、これを応用したフロック計測装置を実規模の上下迂流式フロック形成池の後段（最大フロック成長）に設置することで、制御遅れ時間を1時間以内に短縮できる。

2. 実験及び解析方法

実験方法 本実験において使用したフロック画像計測システムの概略を Fig.1 に示す。

既設の上下迂流式フロック形成池後段に洗浄機構付の水中カメラを設置し、それによって得られた静止画像を、画像伝送装置にて浄水場から遠方の実験室へ専用回線で常時伝送した。この伝送静止画像を、画像処理装置に取り込み2値化処理等の画像処理手法により、10～15画面、フロック総数4000個以上をルーチン処理する。更に、ホストコンピュータにて統計処理し、フロック幾何平均粒径、標準偏差、単位体積当りの総フロック体積比（FV値）等を計測した。

解析方法 画像計測間隔を水質・プロセスデータと比較するために1時間単位とし、更に画像因子の整合性を確認するために重回帰分析手法を用いた。

3. 実験結果及び考察

3.1 フロック幾何平均粒径の変動に及ぼすプロセス因子

取水量一定下において、原水の濁度変化に対してフロック幾何平均粒径も滞留時間遅れで追従することが確認されている。

更に、画像計測システムにて昼夜連続計測したフロック幾何平均粒径と浄水場で計測されたプロセスデータとの関係を Fig.2 に示す。

一般的に利用されている凝集剤注入制御指標であるAL T比との関係で、図中の破線と実線の関係は前者が平均取水量400m³/時、後者が平均取水量450m³/時であり、ほぼこの範囲内で水量が変動していた。この関係から判ることは、AL T比が増加するとフロック平均粒径が小さくなり、逆にAL T比が減少するとフロック平均が大きくなる逆相関傾向を示していることが判る。更に、取水量の変動により同一AL T比においてもフロック平均粒径がソフトし、取水量が増大するとフロック平均粒径は小さくなる。これらの結果から、取水量が10%程度変動するとフロック平均粒径も変化する。即ち、迂流式フロック形成池におけるフロック形成時間（滞留時間）と攪拌強度（G値）の変動によりフロック形成状態が変化することが確認できた。

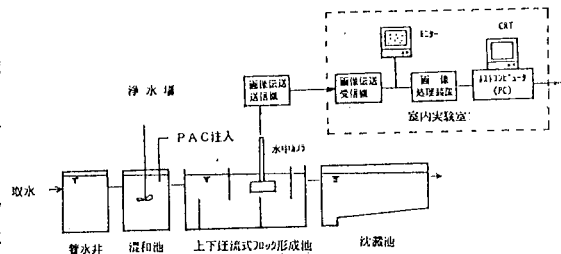


Fig. 1 上下迂流式フロック形成池におけるフロック画像計測システム概略図

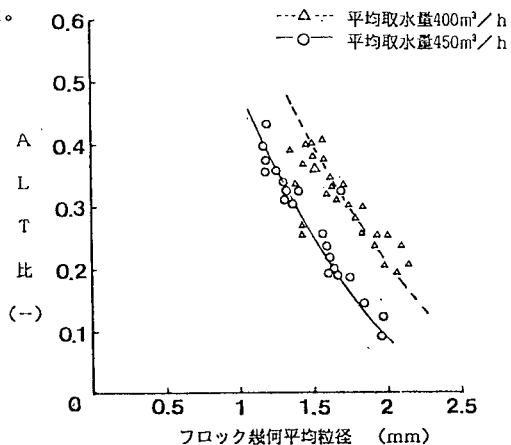


Fig. 2 フロック幾何平均粒径とAL T比の関係

3.2 プロセス因子からのフロック平均粒径の予測

凝集剤の注入率フィードバック制御を考える場合、フィードフォワード因子となる水質・プロセス因子と画像因子との間に高い相関関係がなければ実現できない。そのため、両者の関係を見いだす目的で統計処理手法の重回帰分析を行った。

3.2.1 解析データ

Table 2 に示す測定項目は63年9月～11月末までの間で数回に及ぶ連続画像計測（8～24時間）と水質・プロセスデータである。なお、これらデータのサンプリング間隔は1時間の平均値である。

Table 1 画像因子と水質・プロセス因子データ

分類	画像因子		水質・プロセス因子							
	測定項目	FV値	原水濁度	ALT比	取水量	滞留時間	水温	pH	導電率	7/3加度
単位	mm	%	mg/l	—	m ³ /時	分	℃	—	μS/cm	mg/l
平均値	1.4098	0.461	15.26	0.30	447.90	107	15.0	6.99	401.1	75.11
標準偏差	0.3743	0.198	3.94	0.07	64.68	21	5.1	0.17	83.1	6.05

3.2.2 解析手法（段階式回帰分析）

目的変数 Y に対して相関係数の高い説明変数 X₁～X_n の関係を抽出及び削除（変数増減，増加法）し、線形結合式として(1)式にあてはめ、適合する標準偏回帰係数 β_n を最小二乗近似で求めた。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad \dots (1)$$

ε：残差

Table 2 に示した画像因子と水質・プロセス因子から目的変数を画像因子とし、説明変数を水質・プロセス因子として段階式回帰分析を行った。なお、3.1の結果からALT比取水量フロック形成時間に起因する滞留時間を強制変数として解析し、段階式回帰分析を行った。その結果、危険率5%で

$$\begin{aligned} \text{フロック平均粒径} = & 6.482 - 2.175 (\text{ALT比}) - 1.678 \times 10^{-2} (\text{水温}) - 6.898 \times 10^{-3} (\text{取水量}) \\ & - 9.253 \times 10^{-3} (\text{滞留時間}) \quad \dots (2) \end{aligned}$$

重相関係数：0.868 寄与率：0.754

であった。

この線形結合式に、水質データが抽出できなかった理由は、凝集剤にPACを使用しているため、凝集因子となるpH，アルカリ度の影響が少ないためと考えられる。なお、画像因子のFV値についても同様に全ての因子について検討を行った結果、重相関係数0.75，寄与率0.56と低い値を示した。画像計測で得られるFV値は積分値の要素が強く、変動が比較的小さいためだと考えられる。

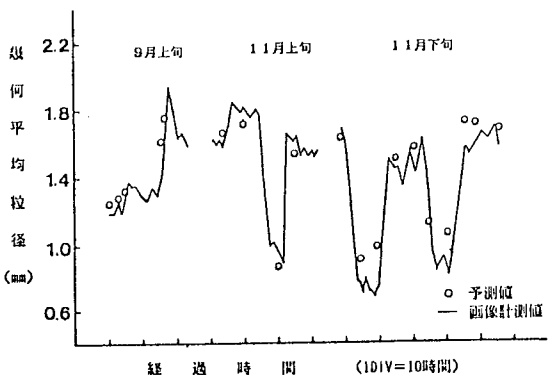


Fig 3 プロセス因子から予測した
フロック幾何平均粒径

3.3 有意性の検討

水質・プロセスデータと平均粒径の妥当性につ

いて(2)式の分散分析を行った。この重回帰分析は残差変動による自由度を調整し、危険率5%で受けていることが確認できた。従って、(2)式は回帰式

として妥当である。次に平均粒径の時間変化，特に変動が生じた時の(2)式の予測値をFig 3に示す。

画像計測値の急激な変動に対して予測値の精度が若干低下し、逆に計測値の変動が比較的小さい時は精度が良い。即ち、回帰式の一因子である滞留時間の換算精度が若干低いために急激な変動に追従できなかったと考える。以上の解析結果から、画像因子であるフロック平均粒径が水質・プロセス因子と相関があり、凝集剤（PAC）注入フィードバック制御の操作因子として見いだすことができ、妥当性があると言えよう。

4. フロック形成制御方法の提案

フロック形成制御の目標としては、1)沈澱池流出濁度の安定 2)凝集剤注入率の最適化等が上げられる。したがって、フロック形成池の後段即ち、フロックの最大成長時におけるフロック粒子が沈澱池流出濁度に起因しているか否かは、フロック形成制御方法を構築する上で重要である。その結果を Fig 4 と Fig 5 に示す。なお、沈澱池の流出濁度値は水中カメラから6時間後の値とした。

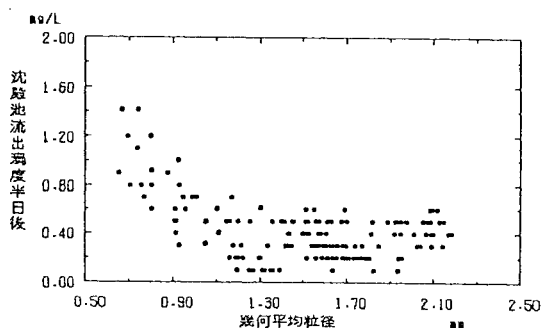


Fig 4 幾何平均径と沈澱池流出濁度の関係

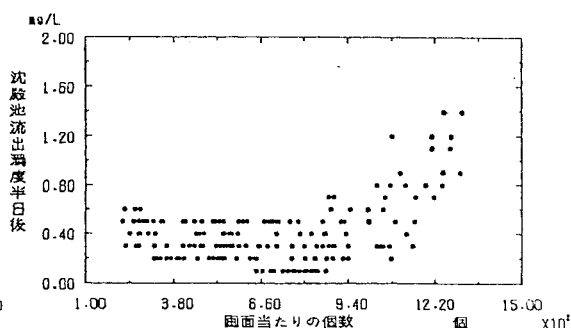


Fig 5 画面当たりのフロック個数と沈澱池濁度の関係

Fig 4 は幾何平均粒径と沈澱池流出濁度の関係であり、Fig 5 は画面当たりのフロック個数と沈澱池流出濁度の関係を示す。両者の傾向としてはフロック幾何平均粒径が小さく、かつ画面当たりのフロック個数が増えると沈澱池の流出濁度は高くなり、更に両者には相互関係が見られる。また、フロック幾何平均粒径には必ず分散があり、平均粒径が小さくなれば微フロックの生起確立は高くなり、逆に平均粒径が大きくなれば微フロックの生起確立は低くなる。従って、フロック形成池においてフロック幾何平均粒径とフロック個数を計測し、両者の相互関係から閾値を設定することで凝集剤の注入率の増減量を判断できることが示唆される。

5. 結 論

本報では、上下迂流式フロック形成池のフロック形成の最適化をフロック計測システムにより実現することを目標に実験を行い次の様な結論を得た。

- 1) 攪拌強度、滞留時間（取水量変動）によってフロック幾何平均粒径が変化することが確認できた。
- 2) フロック形成状態のプロセス因子としては A L T 比、取水量、滞留時間、水温であった。
- 3) 沈澱池の流出濁度に対して幾何平均粒径、画面当たりのフロック個数の相互関係からフロック計測装置の妥当性を見いだせた。
- 4) 画像計測出力（フロック幾何平均粒径、画面当たりのフロック個数）から制御方法の提案を行った。

今後の課題としては、さらにデータを蓄積しフロック形成制御技術の精度向上をめざして行く。