

〈研究発表〉

急速ろ過プロセスにおけるろ過水濁度推定に関する検討

村山 清一¹⁾, 福田 美意¹⁾, 毛 受卓¹⁾
 横山 雄²⁾, 金谷 道昭²⁾, 黒川 太³⁾

¹⁾ 東芝インフラシステムズ(株) インフラシステム技術開発センター
 (〒183-8511 東京都府中市東芝町1 E-mail: seiichi.murayama@toshiba.co.jp)

²⁾ 東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部
 (〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀河町72-34)

³⁾ 東芝インフラシステムズ(株) 電機サービスセンター
 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-24-1)

概要

急速ろ過方式を採用している浄水場では、凝集沈澱処理で原水中の懸濁物質の大部分を沈澱分離し、後段のろ過池で残った懸濁成分を除去している。凝集沈澱処理で確実に除去しろ過池への負荷を減らす運用が一般的であるが、ろ過池の処理能力を正確に把握できれば適切な凝集剤注入率の決定やろ過池洗浄タイミングの決定を支援することができると考え、ろ過プロセスのモデル化を進めている。ろ層を複数に分割し、ろ層ごとにろ過係数を変化させることで、ろ過水濁度の演算モデルの精度を高めることができた。

キーワード：急速ろ過、濁度、損失水頭、モデル、推定

原稿受付 2021.7.8

EICA: 26(2・3) 16-19

1. はじめに

急速ろ過方式を採用している浄水場では、凝集沈澱処理で原水中の懸濁物質の大部分を沈澱分離し、後段のろ過池で残った懸濁成分を除去している。凝集沈澱処理で確実に除去し、後段のろ過池への負荷を減らして安全側の運用をするケースが一般的であるが¹⁾、これはろ過池に余力を残した状態で運用していることを示している。ろ過池の処理能力を正確に把握できればろ過池へ適切に負荷分散することができ、凝集沈澱処理の負荷を軽減できる可能性がある。その結果、凝集沈澱からろ過プロセスを通して処理水質を維持しつつ凝集剤注入量を低減した運用が期待できる。そこで、流入水質とろ過流量などの運転条件からろ過水濁度、およびろ過池の損失水頭を推定するろ過プロセスモデルの開発を進めている。本報では、このうちろ過水濁度を推定するモデルについて報告する。

急速ろ過方式では、凝集沈澱処理の処理水（以下、沈澱水とする）をろ過池へ通水してろ過処理するが、沈澱水には凝集剤の成分が僅かに残っており、沈澱分離されなかった微小な懸濁物質と共にろ過池へ流入する。この僅かに残った凝集剤の成分がろ過池での除去率を高める働きをすることが分かっていることから²⁾、この現象についてもろ過プロセスモデルに反映させる必要がある。

過去のろ過モデルに関する研究には、基本的なモデ

ルとして位置づけられている岩崎のろ過方程式²⁾や、ろ過池への流入水中のフロックの性質を取り込んだ松井らのろ過方程式^{1,3)}がある。後者は現象をマイクロにとらえてモデル化しており構成がやや複雑である。我々は、実際の浄水場への適用時のパラメータの決定等の手間を少なくすることを考慮して簡潔な式で表現されたモデルの構築を目指した。検討に際しては、沈澱水を模擬した水を用いた砂ろ過実験との比較評価を通じて、ろ過プロセスモデルの精度向上を進めた。

2. ろ過水濁度推定モデル

ろ過水濁度を推定するモデル（以下、ろ過水濁度推定モデルとする）は、先に示した岩崎のろ過方程式（式1）を基礎式とした。

$$\frac{dC}{dz} = -\lambda C \quad (\text{式1})$$

ここで、 C ：濁質濃度（濁度（度）、または濁質粒子の個数濃度（個/L））、 z ：ろ層の表面からの深さ（m）、 λ ：ろ過係数（1/m）である。

3. 検証実験方法

ろ過塔を用いた検証実験を行い、モデルの精度を評価した。Fig. 1に砂ろ過検証実験装置のフロー図を示

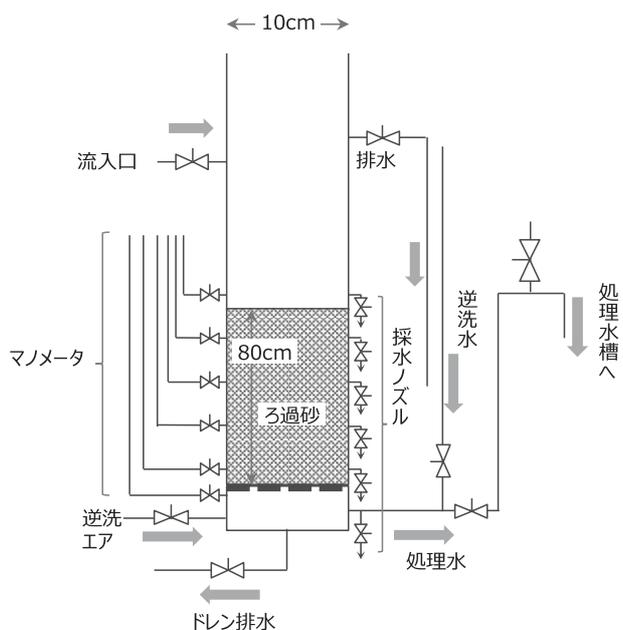


Fig. 1 Sand filtration evaluation system flow diagram

Table 1 Sand filtration experimental condition

No.	流量 (mL/min)	流速 (m/日)	原水濁度 (度)	PACl 注入率 (mg/L)
1	820	150	1	0.5
2	820	150	1	1
3	820	150	1	3
4	800	147	1	5

ろ過塔は内径 10 cm の透明塩ビ製で、上部を開放端とした重力式下向流タイプである。有効径 0.6 mm、均等係数 1.4 以下の水道用ろ過砂 (JWWA A 103: 2006-2 適合品) を用い、ろ層厚は 80 cm とした。ろ過塔への供給水 (以降、ろ過供給水とする) には、水質変動を極力抑えるためろ過供給水用のタンクに凝集沈澱プロセスの沈澱水を模擬したカオリン懸濁水を準備し、PACl を所定量添加し攪拌しながら一定流量でろ過塔に供給した。実験中は定期的に採水し、ろ過供給水、ろ過処理水、ろ層途中から採水した水の濁度、損失水頭、アルミニウム濃度を測定した。採水箇所は、Fig. 1 に示すようにろ層表面の上に 1 箇所、ろ層内に 4 箇所、ろ層底部の下に 1 箇所設け、ろ層内 4 箇所の位置はろ層表面から深さ 10 cm、30 cm、50 cm、70 cm とした。濁度測定は、日本電色製 WA-6000 を用い 10 mm セルにてポリスチレンラテックス基準の濁度を測定した。損失水頭は、マンメータの数値を目視で記録した。アルミニウム濃度は JIS K 0102 58.4 (ICP 発光分光分析法) に則って分析した。Table 1 に実験条件を示す。急速ろ過を対象としているため、流速 150 m/日、濁度は沈澱水濁度相当として 1 度とし、PACl 注入率は沈澱水の残留アルミニウム濃度相当となるよう注入率を変更した。

4. 検証実験結果

4.1 ろ過供給水中の Al 濃度

Fig. 2 に PACl 注入率条件と凝集剤由来の Al 濃度を示す。凝集剤由来の Al 濃度は、ろ過供給水中の Al 濃度から凝集剤注入前のカオリン懸濁液の Al 濃度を減じた値とした。PACl 注入率の増加と共にろ過供給水の凝集剤由来の Al 濃度が上昇していることを確認した。

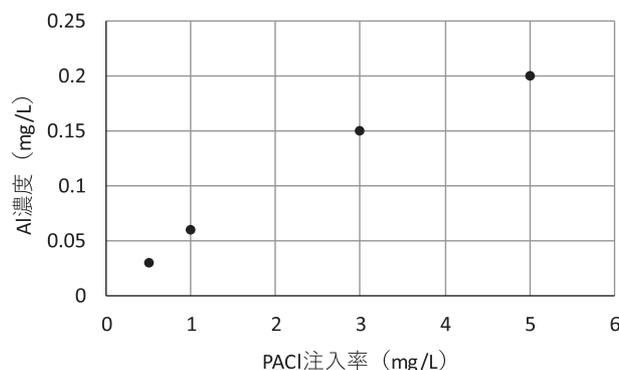


Fig. 2 Aluminum concentration in raw water according to PACl condition

4.2 ろ過水濁度

Fig. 3 に各 PACl 注入条件におけるろ層深さとその深さでのろ過濁度の関係を示す。濁度の時間変化はほとんどなかったため、実験時間中の平均値とした。どの PACl 注入条件においても、ろ層深さが増すに従って濁度が下がり、特にろ層上層 10 cm においてその除去率は高い。PACl 注入率の違いについては、0.5 mg/L の条件で、ろ層深さ 10 cm の位置における濁度が他の条件と比べて高く、ろ層上層 10 cm における除去率が低いことがわかる。ろ過供給水に含まれる凝集剤成分の量が不足していることが原因と推察される。一方、PACl 注入率 5 mg/L の条件では、PACl 注入率 1 mg/L や 3 mg/L と比べて少し高い濁度を示した。これは、ろ過供給水に含まれる凝集剤成分の量が過剰となり、濁度除去性能に影響が表れた結果と考えられる。

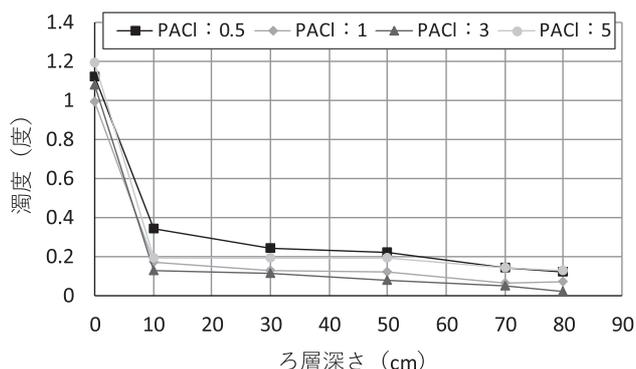


Fig. 3 Filtration water turbidity according to filter layer depth

4.3 損失水頭

Fig. 4 に損失水頭の時間変化を示す。図のプロットは、ろ層全体の損失水頭を示し、PACl 注入率 5 mg/L の条件のみ、深さ 10 cm 以降の損失水頭（深さ 10 cm の位置とろ層底部の間の損失水頭を示す）も示した。ろ層全体の損失水頭は時間と共に増加し、PACl 注入率が多いほどその上昇率が高くなった。また、その上昇率が最も高い PACl 注入率 5 mg/L の条件においては、深さ 10 cm 以降の損失水頭は時間変化がほとんどなかった。他の条件についても、結果は図示しないが同様であった。このことから、今回の実験時間の範囲では、損失水頭の上昇はろ層上層 10 cm で生じ、ろ過供給水に含まれる凝集剤成分の量が多いほどその上昇率は高くなるという結果が得られた。

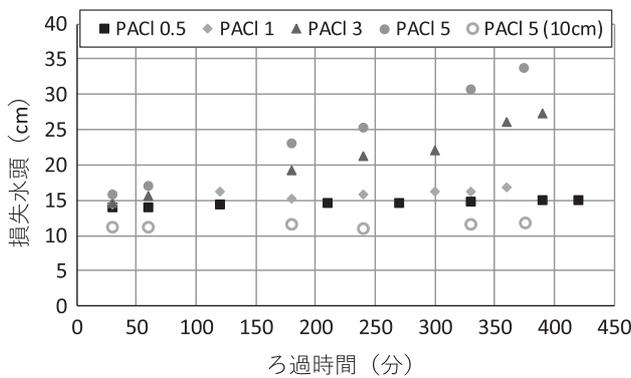


Fig. 4 Head loss of total filtration layer

5. 考 察

5.1 ろ過水濁度推定モデルの評価

(式 1) を用いて Fig. 3 に示したろ層内の濁度変化を再現するように、ろ過係数 λ の値を算出した。(式 1) における濁質濃度 C は、本検討では濁度とした。PACl 注入率 0.5 mg/L の条件について、ろ層内 4 箇所の濁度とろ過水濁度の (式 1) による計算結果と実験結果の 2 乗平均誤差の合計が最小となるよう λ を求めると $\lambda=0.090$ となった。Fig. 5 に PACl 注入率

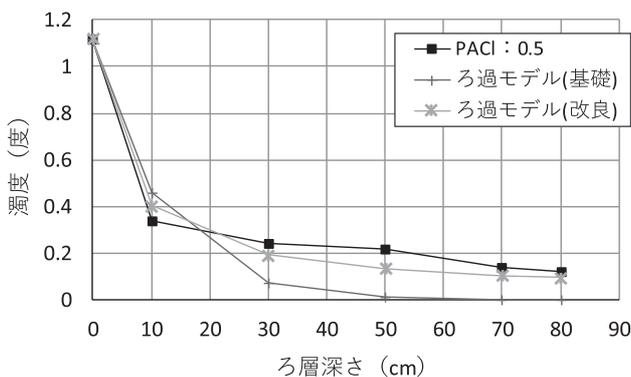


Fig. 5 Comparison of filter water turbidity during experiment and calculation (condition: PACl 0.5 mg/L)

0.5 mg/L の条件におけるろ層内濁度変化の計算結果と実験結果を示す（計算結果については、図中、ろ過モデル（基礎）と表記）。ろ過水濁度推定モデルの基礎式では、計算結果と実験結果との差は最大で濁度 0.2 度となり乖離が大きくモデルの改良が必要と考えた。

5.2 ろ過水濁度推定モデルの改良

実験結果との差を小さくするため、ろ過水濁度推定モデルの基礎式を改良した。“4. 検証実験結果”より、ろ層の上層で濁質除去と損失水頭上昇が進んでいることから、ろ層の上層から除去が進むと考え、下の層になるに従いろ過係数 λ が小さくなるようろ過係数 λ がろ層ごとに変化するモデルを新たに構築した。これにより、ろ過供給水に含まれる凝集剤成分がろ層の上層での濁度除去率を高めている現象を反映できると考えた。具体的には、ろ層を複数に分割し、上の層までに濁度が除去されたろ過係数 λ が小さくなるよう計算した。上層の λ が定まれば、(式 1) を用いて濁度除去量を算出し、それを元に下層のろ過係数 λ を算出できる。ろ層の分割は、ろ層内の 4 箇所の採水位置に合わせて上層と最下層は 10 cm、間は 20 cm ずつ 3 層とした合計 5 層に分け、ろ過係数 λ は上層から順に $\lambda(1)$, $\lambda(2)$, $\lambda(3)$, $\lambda(4)$, $\lambda(5)$ とする。“5.1”と同様に PACl 注入率 0.5 mg/L の条件について、ろ層内の 4 箇所と濁度とろ過水濁度の改良後のモデルによる計算結果と実験結果の 2 乗平均誤差の合計が最小となるよう $\lambda(1)$ を求めると $\lambda(1)=0.102$ となった。Fig. 5 に示すように改良後のろ過水濁度推定モデルでは、計算結果と実験結果との差は最大で濁度 0.08 度となり、濁度推定精度が向上した。同様に、他の PACl 注入率条件についても各々 $\lambda(1)$ を求め、計算結果と実験結果との差を算出したところ、PACl 注入率 1, 3, 5 mg/L で各々濁度 0.05 度, 0.03 度, 0.09 度となり、すべての場合において改良後のモデルの方が計算結果と実験結果の差は小さくなった。

次に、改良後のモデルにおける上層のろ過係数

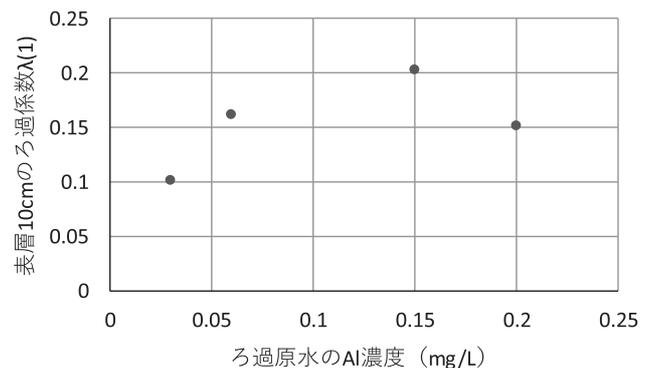


Fig. 6 Turbidity removing coefficient of top 10 cm layer according to aluminum concentration in raw water

$\lambda(1)$ をろ過供給水の水質で算出する可能性について検討した。Fig. 6 に改良後のモデルにおける上層のろ過係数 $\lambda(1)$ とろ過供給水の凝集剤由来の Al 濃度との関係を示す。Al 濃度の増加と共にろ過係数 $\lambda(1)$ も増加し、Al 濃度が 0.15 mg/L 付近より高くなると $\lambda(1)$ は減少している。ろ過供給水の凝集剤由来の Al 濃度が増えるに従い、ろ過プロセスでの濁度除去性能が高まり、Al 濃度が必要以上になると濁度除去性能が低下してくることを示したものと考ええる。より多くのデータで確認する必要があるが、ろ過供給水中の Al 濃度からろ過係数 $\lambda(1)$ を算出できる可能性を確認した。

6. おわりに

本報告では、急速ろ過方式の浄水場のろ過プロセスのモデル化を行い、ろ過水濁度を推定するモデルについて、ろ過方程式²⁾を基本モデルとして改良した。改良モデルでは、ろ層を複数に分割して、濁度除去の性

能に関わるろ過係数 λ をろ層ごとに変化させることでろ過水濁度推定精度を高めることができた。必要なパラメータはろ層上層の λ のみで、ろ過供給水の Al 濃度から算出できる可能性を確認した。今後は、凝集沈澱処理水をろ過供給水とした場合への適用性の評価、損失水頭を推定するモデルの検討を進め、適切な凝集剤注入率の決定やろ過池洗浄タイミングの決定を支援するアプリケーションへの適用を目指す。

参考文献

- 1) 松井佳彦, 丹保憲仁: 急速ろ過プロセスの数式モデル, 水道協会雑誌, Vol. 61, No. 2, pp. 17-27 (1992)
- 2) 土木学会環境工学委員会環境工学に関わる出版準備小委員会: 環境工学公式・モデル・数値集, 土木学会, pp. 27-29 (2004)
- 3) 松井佳彦, 丹保憲仁: 急速ろ過過程の数値シミュレーションのための諸係数の算定, 水道協会雑誌, Vol. 61, No. 3, pp. 2-12 (1992)