

## 〈研究発表〉

## 凝集不良時のろ過処理性改善に対する二段凝集制御の効果

久本 祐 資<sup>1)</sup>, 野 網 都 夫<sup>1)</sup>, 山 口 太 秀<sup>1)</sup>, 海老江 邦 雄<sup>2)</sup><sup>1)</sup>メタウォーター(株)

(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 E-mail: hisamoto-yusuke@metawater.co.jp)

<sup>2)</sup>北見工業大学 (〒090-8507 北海道北見市公園町165 番地)

## 概 要

二段凝集(後PAC注入)処理とは、急速ろ過システムにおいて沈澱処理水に再度凝集剤を注入する処理方法であり、ろ過水濁度の低下や藻類対策に有効な手法である。近年、気候変動による豪雨頻度、即ち、高濁原水の発生頻度の増加が懸念されている。本研究では、ろ過水濁度(平常時および初期漏出時)と沈澱処理水濁度の計測値を用いて後段の凝集剤注入率を制御する二段凝集制御が、凝集不良時の対策としてどの程度の効果を発揮するかを検討した。その結果、凝集不良時における二段凝集制御がろ過水水質の悪化を大幅に抑制する技術として有効であることを明らかにした。

キーワード：二段凝集制御、後PAC、凝集不良、ろ過水濁度、沈澱水濁度

原稿受付 2016.7.5

EICA: 21(2・3) 81-84

## 1. はじめに

我が国の浄水処理システムは、塩素消毒のみ、緩速ろ過、急速ろ過、及び膜ろ過などのシステムに大別される。それらの中で急速ろ過システムは、1700カ所以上の浄水場で採用され、計画浄水量の75%以上を占めている<sup>1)</sup>。急速ろ過システムは、凝集、フロック形成、沈澱、砂ろ過のプロセスで構成され、砂ろ過後に消毒剤として塩素が注入された後、処理水は家庭や事業所等に配水される。

1996年に埼玉県越生町で水道水中に混入したクリプトスポリジウムによる感染症が発生した。クリプトスポリジウムは塩素では不活化できないため、固液分離によりクリプトスポリジウムを除去する必要がある。我が国の浄水場ではクリプトスポリジウム等対策指針<sup>2)</sup>に従って、ろ過水濁度を0.1度以下に維持することが求められている。

一方、近年ゲリラ豪雨が頻発するようになり、凝集剤の注入不足に起因する凝集不良のため、処理水濁度の上昇がしばしば発生するようになった。北海道(平成19年)や山形県(平成25年)では大規模な断水事故に繋がった事例もあり、凝集不良時における処理対策は喫緊の課題の一つである。

二段凝集(後PAC注入)処理とは、急速ろ過システムにおいて沈澱処理水に再度凝集剤を微量注入する処理方法である。この二段凝集処理は、ろ過水濁度の低減化や藻類対策に有効な方法とされている<sup>3-5)</sup>。

本研究では、凝集剤の注入率不足やpH上昇時の凝集不良対策として二段凝集処理を採用し、その効果を定量的に把握するために、A浄水場に設置した連続流実験プラントを用いて検討した。以下に、得られた結果を報告する。

## 2. 実験方法

## 2.1 実験プラントの概要

A浄水場に設置した2系列急速ろ過式実験プラントの処理フローをFig.1、同プラントの諸元、水理条件をTable1に示す。河川表流水を水源とするA浄水場が取水した原水を分岐して実験プラントに導水した。緩速攪拌のGT値は浄水場と等しくなるように設定した。Table1には水温10℃におけるGT値を示してある。なお、後PACはPAC原液を1000倍希釈した後、ろ過塔上部から注入した。

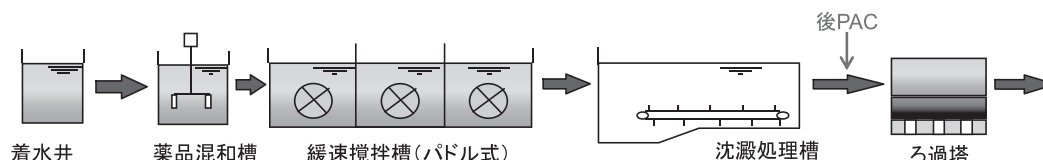


Fig. 1 The processing flow of the experimental plant

Table 1 Condition of the experimental plant

原水流量		1.3 L/min
薬品混和槽 (急速攪拌槽)	攪拌強度G値	200 s <sup>-1</sup>
	滞留時間T	2.8 min
	GT値	33600
第一緩速 攪拌槽	攪拌強度G値	50.0 s <sup>-1</sup>
	滞留時間T	12 min
	GT値	36000
第二緩速 攪拌槽	攪拌強度G値	25.0 s <sup>-1</sup>
	滞留時間T	12 min
	GT値	18000
第三緩速 攪拌槽	攪拌強度G値	12.1 s <sup>-1</sup>
	滞留時間T	12 min
	GT値	8700
緩速攪拌槽	総GT値	62700
沈澱処理槽	滞留時間	78.6 min
傾斜板表面負荷率		4 mm/min
	ろ過流量	0.94 L/min
	ろ過LV	120 m/d

## 2.2 実験手順

### (1) 凝集剤注入不足に起因する凝集不良時における二段凝集の効果

降雨による原水濁度上昇時（最大 78.3 度）に、薬品混和槽における凝集剤注入率を増加させずに一定の 50 mg/L に維持し、凝集不良を生じさせた (Fig. 2)。その際、1 系は二段凝集処理を実施せず、2 系は後 PAC 注入率を 2 mg/L に設定して二段凝集処理を行い、ろ過水濁度を比較した。また、凝集 pH は 6.8 に設定した。水温は 19.0±0.2℃であった。

### (2) 凝集剤注入不足に起因する凝集不良時における二段凝集制御の効果（冬季）

降雨時に採水した約 500 度の高濁原水を用いて、実験プラントの原水濁度を 4 度から約 50 度に上昇させた。その際、凝集剤注入率を一定の 25 mg/L に設定して、凝集不良を発生させた (Fig. 3)。また、後 PAC 注入率を 0 あるいは 0.5 mg/L に固定した場合と 0.5~5 mg/L に制御した場合とで実験を行い、ろ過水濁度を比較した。凝集 pH は 6.8 に設定し、水温は 1.8±0.5℃であった。なお、二段凝集制御は、平常時（沈澱水濁度が 2 度未満）および初期漏出時には目標とするろ過水濁度と現状のろ過水濁度の差に応じて 1 時間

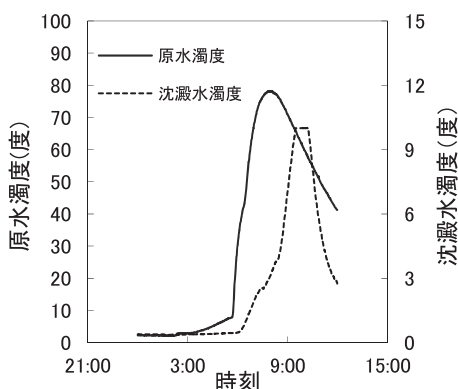


Fig. 2 Turbidity of raw water and settled water (expt. 1)

毎に後 PAC 注入率を決定し、凝集不良時（沈澱水濁度が 2 度以上）には沈澱水濁度に対する比例式により 1 分毎に後 PAC 注入率を決定するアルゴリズムを採用し、最大注入率を 5 mg/L に設定した。

### (3) 凝集剤注入不足に起因する凝集不良時における二段凝集制御の効果（夏季）

カオリンを用いて、実験プラントの原水濁度を 3.5 度から約 50 度に上昇させた。その際、凝集剤注入率を一定の 30 mg/L に設定して、凝集不良を発生させた (Fig. 4)。(2) の冬季の場合と同様、後 PAC 注入率を 0 あるいは 0.5 mg/L に固定した場合と 0.5~5 mg/L に制御した場合とで実験を行い、ろ過水濁度を比較した。凝集 pH は 6.8 に設定し、水温は 18.0±3.0℃であった。

### (4) pH 上昇に起因する凝集不良時における二段凝集制御の効果

凝集 pH を適正な 6.8 から 7.5 に上昇させ、凝集不良を発生させた。このとき、沈澱水濁度は 0.8 度から 2.0 度に上昇した。(2) の冬季の場合と同様、後 PAC 注入率を 0 あるいは 0.5 mg/L に固定した場合と制御した場合 (3.0 mg/L) とで実験を行い、ろ過水濁度を比較した。原水濁度は 3 度、水温は 11.5±0.7℃で

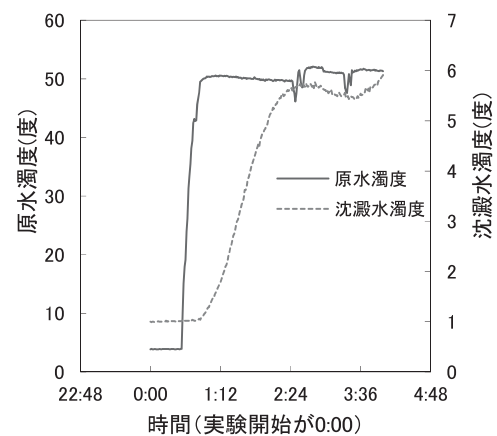


Fig. 3 Turbidity of raw water and settled water (expt. 2)

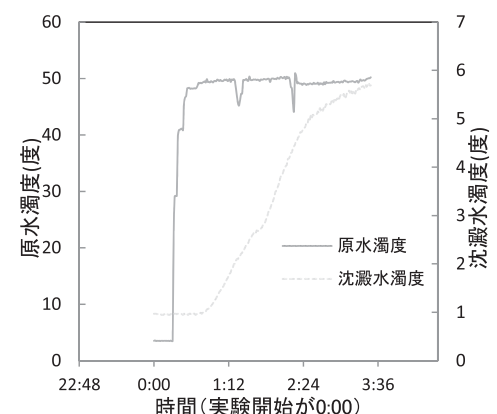


Fig. 4 Turbidity of raw water and settled water (expt. 3)

あり、凝集剤注入率は一定の 40 mg/L に設定した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 凝集剤注入不足に起因する凝集不良時における二段凝集の効果

原水濁度が急激に上昇し、凝集不良が生じた時のろ過水濁度の経時変化を Fig. 5 に示す。原水濁度に応じて凝集剤注入率を増加させず一定に維持したため、原水濁度の上昇に伴って沈澱水濁度が3時間以上にわたって上昇した (Fig. 2)。その際の二段凝集処理を実施していない場合のろ過水濁度は逆洗前に約 0.2 度まで上昇し、逆洗直後の初期リーク (2 回目のピーク) は 0.25 度にまで上昇した。一方、二段凝集処理を行った場合には、初期リークを含めて 0.1 度未満に抑制されている。これらの結果は、万が一、前段の凝集沈澱処理を失敗したとしても、それが数時間程度であれば、二段凝集処理によってろ過水濁度の上昇を抑えられることを示唆している。

#### 3.2 凝集剤注入不足に起因する凝集不良時における二段凝集の効果 (冬季)

原水濁度を 50 度に上昇させて、注入率不足による凝集不良を発生させた時 (沈澱水濁度が 90 分後に約 6 度まで上昇) のろ過水濁度の変化を Fig. 6 に示す。二段凝集処理を実施していない場合 (後 PAC 注入無) のろ過水濁度は 0.009 度、後 PAC 注入率を 0.5 mg/L に固定した場合はろ過水濁度抑制の効果があつたものの 0.007 度まで上昇した。一方で、沈澱水濁度が上昇した際に後 PAC 注入率を増加させる制御 (最大 5 mg/L) を実施した場合にはろ過水濁度を 0.004 度以下に抑制できた。なお、ろ過処理水のアルミニウム濃度は、全ての条件で 0.02 mg/L 未満 (水道水質基準 0.2 mg/L) であり、二段凝集による増加は確認されなかった。

#### 3.3 凝集剤注入不足に起因する凝集不良時における二段凝集の効果 (夏季)

原水濁度を 50 度に上昇させて、注入率不足による凝集不良を発生させた時 (沈澱水濁度が 90 分後に約 5 度まで上昇) のろ過水濁度の変化を Fig. 7 に示す。二段凝集処理を実施していない場合 (後 PAC 注入無) のろ過水濁度は 0.134 度、後 PAC 注入率を 0.5 mg/L に固定した場合には 0.085 度まで上昇したが、後 PAC 注入率を制御 (最大 5 mg/L) した場合には 0.030 度に抑制できた。

次に、ろ過処理水のアルミニウム濃度を Fig. 8 に示す。冬季と比較して二段凝集処理を実施していない場合にアルミニウム濃度は 0.18 mg/L と高く、二段

凝集制御 (注入率 5 mg/L) の場合には 0.04 mg/L と大幅に抑制されている。ろ過水濁度の大幅な低下に伴い、ろ過処理水中のアルミニウム濃度も低下した。

以上より、冬季の実験では二段凝集処理を実施していない場合にも、凝集不良時のろ過水濁度は 0.1 度を超えなかったが、夏季には二段凝集を実施していない

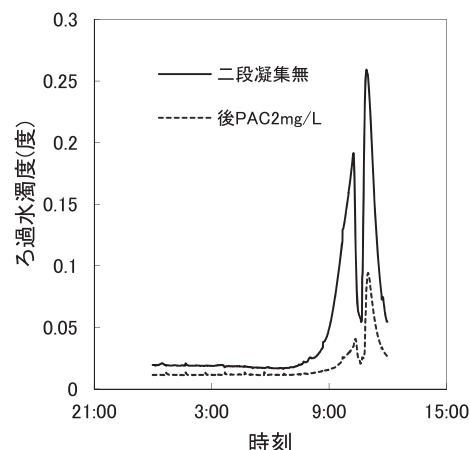


Fig. 5 Turbidity of filtered water (expt. 1)

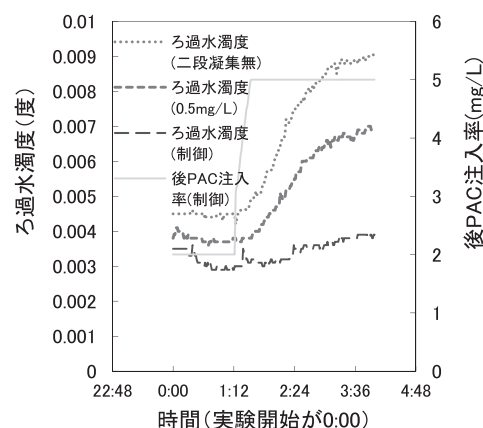


Fig. 6 Turbidity of filtered water and coagulant dosage in control (expt. 2)

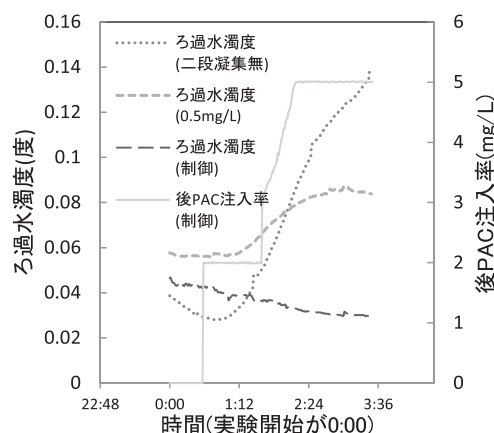


Fig. 7 Turbidity of filtered water and coagulant dosage in control (expt. 3)

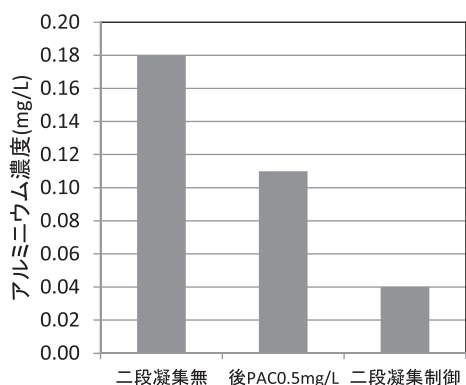


Fig. 8 Aluminum concentration of filtered water (expt. 3)

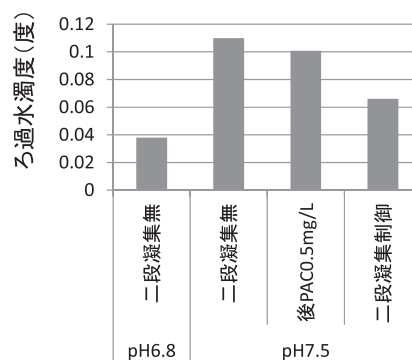


Fig. 9 Turbidity of filtered water (expt. 4)

場合に0.1度を超えた。そうした条件下においても沈澱水濁度上昇時に後PACの注入率を増加させる制御を実施することで、浄水のアルミニウム濃度を上昇させることなく、ろ過水濁度の上昇を大幅に抑制することができた。このことは、昨今のゲリラ豪雨等により高まっている凝集不良リスクへの対策として、二段凝集制御が有効であることを示している。

### 3.4 pH上昇に起因する凝集不良時における二段凝集制御の効果

凝集pHを適正な6.8から7.5に上昇させ、凝集不良を発生させた時のろ過水濁度をFig. 9に示す。二段凝集処理を実施していない場合（後PAC注入無）にろ過水濁度は0.110度、後PAC注入率を0.5 mg/Lに固定した場合には0.100度まで上昇したが、後PAC注入率を制御（3 mg/L）した場合には0.066度に抑えられた。

以上より、二段凝集制御は、pH上昇による凝集不良時においてもろ過水濁度上昇の抑制に一定の効果があるが、凝集pH6.8の時のろ過水濁度0.038度と比較すると、その効果は限定的であった。よって、pH上昇に起因する凝集不良時における二段凝集処理の効果に関して、今後さらに検討を行うことが必要と考えて

いる。

## 4. おわりに

本研究より、二段凝集制御は、凝集不良時におけるろ過水質の悪化を大幅に抑制する技術として有効であることを明らかにした。今後、熟練技術者数が急減する中で、ゲリラ豪雨等による原水水質の急変時に水質基準を確実に遵守するための技術の一つとして、二段凝集制御が広く採用されることを期待したい。

### 参考文献

- 1) 水道技術研究センター：全国の浄水場数及び計画浄水量——平成22年度水道統計に基づく試算結果——（その1）、JWRC水道ホットニュース、Vol. 361, No. 2（2013）
- 2) 厚生労働省：水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針（2007）
- 3) 柳沢啓子：二段凝集処理による濾過水濁度の低減、全国水道研究発表会講演集、Vol. 53, pp. 158-159（2002）
- 4) 原 幸広：ピコプランクトンによるろ過障害とその対策、全国水道研究発表会講演集、Vol. 55, pp. 324-325（2004）
- 5) 豊嶋潤一：後PAC注入試験、全国水道研究発表会講演集、Vol. 57, pp. 172-173（2006）