

〈研究発表〉

急速ろ過システムにおけるフロックセンサーによる凝集不良の早期検知に関する検討

山口 由香¹⁾, 久本 祐資¹⁾, 山口 太秀¹⁾
鎌田 素之²⁾, 相澤 貴子³⁾, 海老江 邦雄⁴⁾

¹⁾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: yamaguchi-yuka@metawater.co.jp)

²⁾関東学院大学 (〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東1-50-1)

³⁾水道技術研究センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1)

⁴⁾北見工業大学 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

概要

浄水場の急速ろ過システムにおいて、注入率不足や機器故障による凝集不良の検知は、一般にフロック形成池の巡回による目視や沈澱水濁度の計測値に頼っている。それゆえ、凝集剤注入から沈澱池までの滞留時間分、即ち凝集不良が発生してから数時間程度遅れて異常に気付く場合がある。そこで本論では、吸光度の平均値と標準偏差とからフロックの粒径を測定するフロックセンサーを導入することによって、凝集不良を早期に検知するシステムの有効性について基礎的に検討した。その結果、フロック粒径とフロック形成池の1段目と2段目との粒径比を用いれば、凝集不良の発生を早期に検知できることを明らかにした。

キーワード：凝集，異常検知，フロック粒径，急速ろ過，フロック形成池

原稿受付 2015.7.8

EICA: 20(2・3) 72-75

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、現に1700カ所以上の浄水場で採用され、国内の計画浄水量の75%以上を占めていることから、我が国における代表的な浄水処理システムと言えよう¹⁾。

急速ろ過システムは、凝集、フロック形成、沈澱、砂ろ過などの基本プロセスで構成されている。凝集とは、薬品混和池に導水した原水に凝集剤を注入して急速攪拌を行い、処理対象粒子の荷電中和、架橋作用などによって集塊化を促進させる処理スタートに位置するプロセスである。続くフロック形成池では、槽内の緩速攪拌によって、薬品混和池から受け入れた微フロックを大きなフロックに成長させる。急速ろ過システムには、その成長したフロックを沈澱池にて沈澱させ、上澄み水をろ過池の砂層に導いて高効率分離するという一連のプロセスが組み立てられている。それゆえ、急速ろ過方式において安全な水を供給する上では、凝集からフロック形成の段階で、後続の沈澱ないしろ過の過程でほぼ完全に分離できるサイズのフロックを形成させておくことが肝要である。

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、凝集不良を早期に検知して対応するシステムの開発は水道水質改善のための喫緊の課題の一つである。

他方、事業体の財務状況が徐々に悪化する中、浄水施設や管路更新、節水意識の高まりや人口減少に伴う水需要量の減少、更には、熟練技術者の急速な減少による技術継承なども重要な課題となっている。

現在、凝集剤の注入不足や機器故障に起因する凝集不良は、もっぱらフロック形成池の巡回による目視や沈澱水濁度の計測によって確認されている。後者の濁度計測で異常を検知する場合には、凝集剤注入から沈澱池までの滞留時間分、つまり異常検知が凝集不良の発生から数時間も遅れてしまうこととなる。

本研究では、連続流実験プラントにフロックの粒径を連続測定できるフロックセンサーを設置して、凝集不良を安価、簡便、しかも早期に発見する方法について検討した。得られた結果を以下に報告する。

2. フロックセンサーの概要

フロックセンサーの検出部を **Fig. 1** に示す。フロック粒径は、透過光強度とゆらぎ成分とから、式

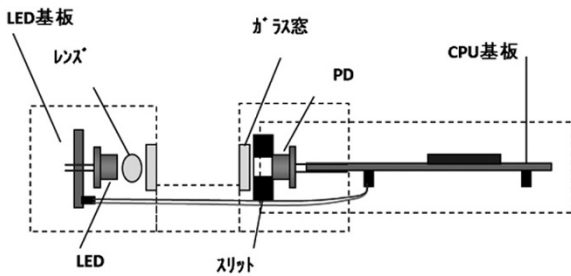


Fig. 1 Structure of the detector

(1)によって演算される (吸光度変動解析法²⁾)。ここで、 d は平均粒径、 E は平均吸光度、 E_{rms} は吸光度の標準偏差、 A は光路断面積、 Q は光散乱係数である。

$$d = \left(\frac{4AE_{rms}^2}{\pi QE} \right)^{0.5} \quad \text{式(1)}$$

3. 実験方法

3.1 実験プラントの概要

A 浄水場に設置した急速ろ過システム採用の実験プラント (2 系列) の処理フローを Fig. 2 に、同プラントの諸元、水理条件を Table 1 に示す。実験プラント用の原水については、A 浄水場の取水した原水を分岐して実験プラントに導水した。フロックスセンサーは、フロック形成池の 1 段目と 2 段目に設置し、実験ではフロック粒径を 1 分毎に測定した。フロック形成槽各段の緩速攪拌 GT 値については、浄水場と等しくなるように設定した。Table 1 の GT 値はいずれも水温 10℃におけるものである。

3.2 実験手順

(1) PAC の注入不足に起因する凝集不良の検知 (低濁度原水の場合)

2014 年 2 月 8 日 10 時に PAC 注入率を 30 mg/L から 5 mg/L に変更し 4 時間運転した。その後 15, 20 mg/L に 2 時間毎に変更し、沈澱水濁度とフロック粒径とを測定した。その際、凝集 pH (薬品混和池における pH) は 6.8 に設定した。原水濁度は 1.9 度、水温は 0.7℃であった。

(2) PAC の注入不足に起因する凝集不良の検知 (中濁度原水の場合)

2014 年 2 月 10 日にカオリンを加えて原水濁度を 10

Table 1 Condition of the experimental plant

原水流量		1.3 L/min
薬品混和池 (急速攪拌槽)	回転数	177.7 rpm
	攪拌 GT 値	33500
	滞留時間	3.8 min
第一緩速攪拌槽	回転数	27.3 rpm
	攪拌 GT 値	36100
	滞留時間	12.7 min
第二緩速攪拌槽	回転数	17.2 rpm
	攪拌 GT 値	18000
	滞留時間	12.7 min
第三緩速攪拌槽	回転数	10.6 rpm
	攪拌 GT 値	8730
	滞留時間	12.7 min
緩速攪拌槽	総 GT 値	62800
沈殿処理槽	滞留時間	78.6 min
	傾斜板表面負荷	4 mm/min
ろ過流量		0.94 L/min
ろ過 LV		120 m/d

度に調整した後、PAC 注入率を 50, 25, 10 mg/L に 2 時間毎に変更して沈澱水濁度とフロック粒径とを測定した。その際の凝集 pH は 6.8 に設定し、水温は 1.5±0.5℃であった。

2014 年 2 月 11 日にカオリンを加えて原水濁度を 50 度に調整した後、PAC 注入率を 80, 25, 50 mg/L に 2 時間毎に変更して沈澱水濁度とフロック粒径とを測定した。凝集 pH は 6.8 に設定し、水温は 1.5±0.5℃であった。

(3) 凝集 pH の不適正に起因する凝集不良の検知

2013 年 11 月 14 日に凝集 pH を 6.8 から非凝集領域の 8.0 に変更して、沈澱水濁度とフロック粒径とを測定した。その際の PAC 注入率は 40 mg/L に設定した。また、原水濁度 1.9±0.1 度、水温は 4.3±0.1℃であった。

4. 実験結果

4.1 PAC の注入不足に起因する凝集不良の検知 (低濁度原水の場合)

PAC 注入率を 30 mg/L から 5 mg/L に変更した際の沈澱水濁度とフロック粒径との経時変化を Fig. 3 に示す。沈澱水濁度は注入率を低下させてから 60 分後に上昇し始め、注入率変更 75 分後に 1.5 度、120 分後に 2 度を越えた。一方、フロック粒径は、フロック形成池 1 段目と 2 段目のいずれにおいても、注入率低下直後に減少し始め、注入率低下から 30 分以内に粒

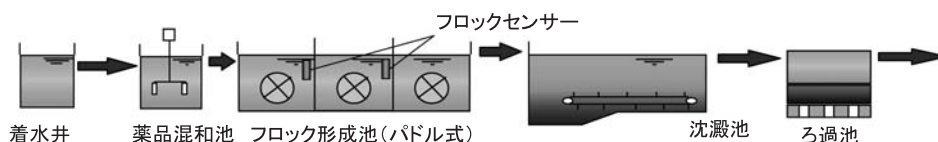


Fig. 2 The processing flow of experimental plant

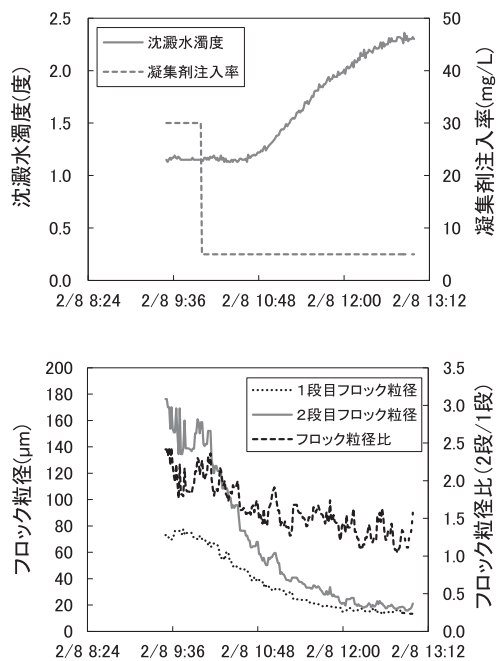


Fig. 3 Temporal change of floc size and turbidity of treated water after sedimentation

径が3分の2以下に減少した。またフロック形成槽2段目のフロック粒径の減少速度は、沈澱水濁度の上昇速度に比べて大きかった。つまり、フロック形成池のフロック粒径を基準にして凝集不良を判断するものとするれば、沈澱水濁度よりも早期に検知できることが分かった。

注入率を変更させた際の1段目と2段目のフロック粒径、及び1段目と2段目とのフロック粒径比をFig. 4、沈澱水濁度をTable 2に示す。フロック粒径は1段目と2段目のいずれにおいても、注入率の上昇

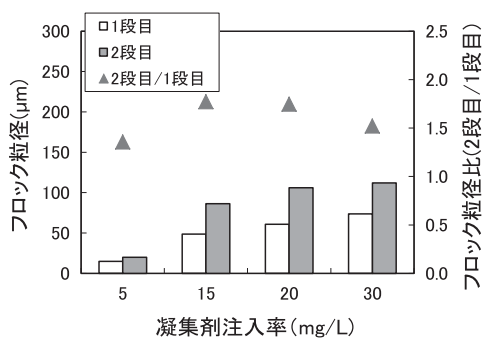


Fig. 4 Floc size and ratio of floc size (Turbidity of raw water: 1.9 degree)

Table 2 Floc size and turbidity of treated water after sedimentation (Turbidity of raw water: 1.9 degree)

注入率 (mg/L)	フロック粒径 1段目 (μm)	フロック粒径 2段目 (μm)	フロック粒径比 2段目/1段目	沈澱水濁度 (度)
5	15	20	1.4	2.29
15	49	86	1.8	1.82
20	61	106	1.7	1.42
30	74	112	1.5	1.16

に伴い増加した。また、粒径比 (2段目のフロック粒径/1段目のフロック粒径) に関しては、PAC注入率が5 mg/Lにおいても1.4となっており、凝集剤の注入不足による凝集不良については粒径比からは検知しにくいことが分かった。

4.2 PACの注入不足に起因する凝集不良の検知 (中濁度原水の場合)

原水濁度10度、凝集pH6.8において、注入率を変更した際のフロック粒径をFig. 5、沈澱水濁度をTable 3に示す。注入率の低下に伴いフロック粒径が減少し、明らかな注入率不足の10 mg/Lになると、1段目と2段目のフロック粒径は同等の値(37 μm)になった。つまり、濁度に対して凝集剤が著しく不足している場合には、粒径比による検知が容易である。

次いで、原水濁度50度、凝集pH6.8において、注入率を変更した際のフロック粒径をFig. 6、沈澱水濁度をTable 4に示す。注入率80 mg/Lにおける1段目フロック粒径は33 μm 、注入率が不足している25

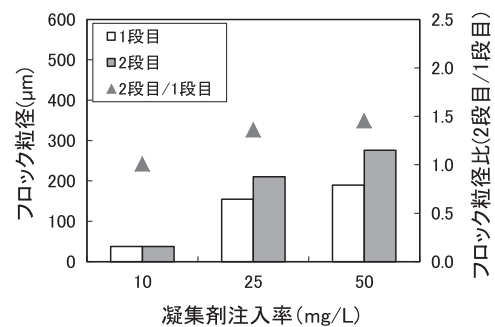


Fig. 5 Floc size and ratio of floc size (Turbidity of raw water: 10 degree)

Table 3 Floc size and turbidity of treated water after sedimentation (Turbidity of raw water: 10 degree)

注入率 (mg/L)	フロック粒径 1段目 (μm)	フロック粒径 2段目 (μm)	フロック粒径比 2段目/1段目	沈澱水濁度 (度)
10	37	38	1.0	8.68
25	155	210	1.36	3.06
50	190	276	1.45	2.10

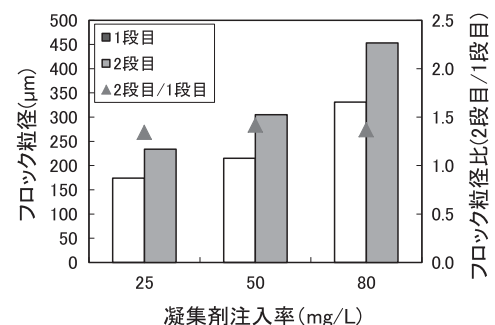


Fig. 6 Floc size and ratio of floc size (Turbidity of raw water: 50 degree)

Table 4 Floc size and turbidity of treated water after sedimentation (Turbidity of raw water : 50 degree)

注入率 (mg/L)	フロック粒径 1段目 (μm)	フロック粒径 2段目 (μm)	フロック粒径比 2段目/1段目	沈澱水濁度 (度)
25	174	234	1.34	6.92
50	215	305	1.42	5.57
80	331	453	1.37	4.32

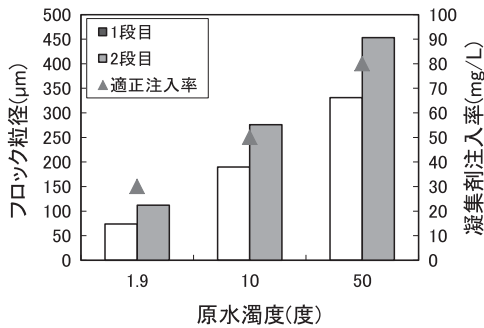


Fig. 7 Floc size for proper injection ratio (Turbidity of raw water : 1.9, 10, 50 degree)

mg/L や 50 mg/L のフロック粒径は 200 μm 程度であり、注入不足時のフロック粒径は正常時の3分の2程度であった。

ジャーテストにより決定した適正凝集剤注入率におけるフロック粒径を Fig. 7 に示す。原水濁度が高いほど、適正注入率におけるフロック粒径は大きくなっている。したがって、凝集不良の検知には、原水濁度に応じたフロック粒径の適正值を把握することが必要である。

4.3 凝集 pH の不適正に起因する凝集不良の検知

原水濁度 1.9 度、注入率 40 mg/L において、凝集 pH を 6.8 から 8.0 に変更した際のフロック粒径を Fig. 8、沈澱水濁度を Table 5 に示す。凝集 pH を 8.0 に上昇させると、沈澱水濁度は 0.92 度から 1.65 度上昇した。すなわち、凝集不良が生じたこととなるが、フロック形成池 1 段目のフロック粒径には、変化が見られなかった。それに対して、2 段目のフロック粒径は 119 から 73 μm に低下した。このことは、フロック形成池の 1 段目だけではなく、2 段目と 1 段目の粒径比を把握することが、凝集 pH の不適正に起因す

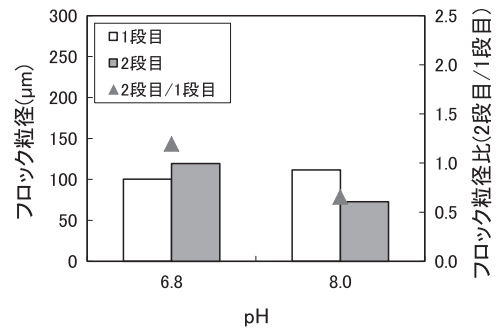


Fig. 8 Floc size and ratio of floc size (pH : 6.8 and 8.0)

Table 5 Floc size and turbidity of treated water after sedimentation (pH : 6.8 and 8.0)

注入率 (mg/L)	フロック粒径 1段目 (μm)	フロック粒径 2段目 (μm)	フロック粒径比 2段目/1段目	沈澱水濁度 (度)
6.8	100	119	1.19	0.92
8.0	112	73	0.65	1.65

る凝集不良を検知する上で重要となることを示している。

5. おわりに

本研究から、フロック形成池の 1 段目と 2 段目のフロック粒径、及びその粒径比を測定することで、凝集不良の早期検知が可能となることが明らかになった。今後、フロック粒径に及ぼす諸因子を整理して、フロック粒径監視に基づく異常検知の精度を高めていけば、近年頻発しているゲリラ豪雨等の原水水質の急変によって起こっている凝集不良のリスクを低減し、浄水場の運転管理の安全に役立てうるものと考えている。

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) 松井佳彦他：2 波長の吸光度変動を用いた有機着色成分の凝集沈澱除去の計測, 水道協会雑誌, Vol. 679, pp. 2-9 (1991)