浄水場における *Synedra acus* による ろ過閉塞障害の発生とその対応事例

Corresponding case to filter clogging by *Synedra acus* in water purification plant

石橋健二, 平島隆義, 井上 剛, 平木貞憲, 三池純子

福岡県南広域水道企業団／〒830-0062 福岡県久留米市荒木町白口55

KENJI ISHIBASHI, TAKAYOSHI HIRASHIMA, TSUYOSHI INOUE,
SADANORI HIRAKI, and JUNKO MIIKE

Water Supply Authority of Southern Fukuoka/55 Shirakuchi, Araki, Kurume, Fukuoka 830-0062, Japan

Abstract

Through mid-May from 2009 late April, *Synedra acus* of diatoms is overgrowth in the dam of Chikugo River upstream. Filter clogging has occurred in Araki water purification plant. In Araki water purification plant, the head loss of filter rose sharply. On the other hand, We have to strengthen the coagulation treatment by the increase in the amount of water treatment chemicals and reduced the filter run time. However, since *Synedra acus* in the raw water grew day by day, we could not achieve a sufficient effect. As a result, the function of water treatment was significantly reduced.

For these situations, we have emergency introduced change prechlorine injection point and the multi layer filtration. In the former, we could be improved by about 20 % a coagulating sedimentation removal effect in sedimentation pond. In the latter, we were able to suppress an increase in head loss by laying 50mm thickness anthracite about to half of the filter. These results, the function of water treatment has been restored.

Key words: *Synedra acus*, filter clogging, multi layer filtration

1. はじめに

福岡県南広域水道企業団は、福岡県南部の中心都市である久留米市に位置し、一級河川の筑後川を水源として、荒木浄水場で浄水処理した水道用水を県南地域の12団体（8市3町1企業団）へ供給する水道用水供給事業体であり、計画一日最大供給量は157,640 m³である。

荒木浄水場の原水を取り入れる東櫛原取水口の上流部には、筑後川の本川と支川に7つのダムが位置している。また、取水口の下流約6 km地点には筑後大堰があり、取水口はその湛水域内に位置している（Fig. 1）。このため、荒木浄水場の原水水質は、ダム等で発生する生物種の影響を受けやすく、しばしば浄水処理へ障害をもたらす場合がある。

例年春先になると、筑後川上流のダムでは、梅雨時期に備えて洪水調節容量を確保するため、断続的な河川放流が行われる。その際、ダムで増殖した藻類が流下し、筑後川中流域にある水力発電用ダムや農業用取水堰などの滞留域で再増殖するため、晴天時には、これらの炭酸同化作用により、河川水pH値の日周変動を伴う上昇が顕著に見られる。このような現象に対して、浄水場では、原水pH調整のため酸剤（硫酸）の注入量を増量し、凝集処理の安定化を図っている。

梅雨明け後の7月末から8月末頃にかけては、日照時間の増加と水温上昇等に伴って、原水中のピコプランクトンの増殖が顕著になる。浄水場では、凝集処理の悪化によりろ過濁度の上昇等が見られるため、凝集剤や酸剤の注入量を増加させて低減化を図っている。

Fig. 1 Dam location of Chikugo River basin.

このような状況の中、平成21年4月末から5月中旬にかけて、筑後川上流域のダムにおいて珪藻類の *Synedra acus* が異常増殖し、その下流域で水道原水を取水する浄水場の多くでろ過閉塞障害が発生した¹⁾。*Synedra acus* は凝集沈殿による除去率が低く、また、形状的特徴からろ過層表面付近で捕捉されやすいため、典型的なろ過閉塞障害を引き起こす原因生物と知られている^{2)~4)}。荒木浄水場では凝集処理の強化を図るとともに、ろ過継続時間の短縮等を余儀なくされたものの、緊急的な薬品注入方法の見直しやろ過施設の改造等により、ろ過閉塞障害の軽減に一定の効果を確認することができた。ここでは、荒木浄水場において発生したろ過閉塞障害の状況及び再発防止に向けた対応等について報告する。

2. ろ過閉塞障害の発生

2.1 荒木浄水場の浄水処理フロー

平成21年度当時の荒木浄水場の浄水処理フローをFig. 2に示す。荒木浄水場は、凝集沈殿と急速ろ過を組み合わせた一般的な浄水処理プロセスで構成されている。原水に粉末活性炭を注入し、硫酸によるpH調整を行った後、混和池入口で前塩素と前PAC（ポリ塩化アルミニウム）を注入していた。沈殿池出口では中塩素と後PACを注入した後、ろ過処理し、後塩素とpH調整のための水

酸化ナトリウムを注入していた。

ろ過池は、砂層700 mmの単層ろ過方式で全22池あり、1池当たりのろ過面積は約70 m²で、ろ過速度は概ね70 m/日であった。ろ過池は、ろ層の目詰まりを防ぐため、通常66時間ろ過を継続した後休止させ、表面洗浄と逆流洗浄を組み合わせた自動制御による洗浄を行っている。また、損失水頭が上昇した場合は、ろ過継続時間の設定を適宜短縮して洗浄を行っている。

2.2 ろ過閉塞障害の発生

ろ過閉塞障害の発生に至るまでの1号ろ過池の損失水頭の推移をFig. 3に示す。通常時、ろ過継続時間66時間後における損失水頭は1.0 m程度で推移していたが、平成21年4月中旬以降、損失水頭が上昇傾向を示し、1.5 mまで上昇したため、ろ過継続時間を55時間まで短縮した。このとき、浄水処理工程の生物調査を実施した結果、原水において *Synedra acus* が120~130細胞/mLと通常より高い値で検出されたため、この生物が損失水頭上昇の原因であることが確認された。検出された *Synedra acus* の細胞長は、約300 μmと大型のものであった。浄水処理においては、速やかに前塩素処理を強化し、原水中の藻類に対する殺藻効果の向上を図った。これ以降、4月25日までの間は、ろ過継続時間約40~55時間で、損失水頭は1.5 m程度で推移し、小康状態を維持したが、4月26日

Fig. 2 Water treatment flow of Araki water purification plant.

Fig. 3 Temporal change of head loss at No.1 filter.

には、再び損失水頭が急激に上昇傾向を示し、ろ過継続時間約15時間で約3.0 mまで上昇した。これらの変化を受け、凝集沈殿除去効果の向上を図るため、凝集剤の段階的な増量（最大PAC注入率60 mg/L）及び酸剤による凝集pHの調整（pH7.0からpH6.8へ強化）を行った。しかし、この対応以降、原水中の *Synedra acus* の急減な増加も相俟って、4月30日には、ろ過閉塞の状況が更に悪化し、ろ過継続時間を施設能力限界の13時間まで短縮するなど、ろ過機能が予想を上回るレベルで急激に低下した。このとき、ろ過洗浄においては、洗浄用水の流入出弁の開閉や流量制御等の洗浄工程のほとんどの操作を手動で行うなど、困難を極めた。

2.3 *Synedra acus* の検出状況

平成21年4月27日から5月19日における荒木浄水場原水中の *Synedra acus* の推移をFig. 4に示す。4月初旬に30細胞/mL前後で推移していた *Synedra acus* は、4月17日には、当企業団が非常時対応の目安としている100細胞/mLを超過し、損失水頭の上昇傾向が確認された。その後、概ね10日間は横ばいで推移するも、4月26日以降、損失水頭の著しい上昇が確認され、5月2日には850細胞/mLと、これまでで最大の数が検出された。その後、経日的に減少傾向を示したものの、100細胞/mL以下まで低下するのに約半月を要した。

一方で、損失水頭の上昇傾向が顕著となった4月27日

Fig. 4 Temporal change of *Synedra acus* in the raw water.

以降、*Synedra acus* の発生源の特定と監視を目的として、筑後川上流域における生物調査を実施した (Fig. 5 及び Table 1)。4月27日及び4月30日の調査結果では、筑後川本川上流に位置するD1（松原ダム）からD6（筑後大堰）に至る広い範囲で *Synedra acus* が100~400細胞/mLのレベルで検出された。一方、筑後川支川のダム（D3~D5）では、ほとんど検出されなかったことから、発生源は松原ダムより上流であると考えられた。その後、5月12日までの間、筑後川本川の各調査地点では100~500細胞/mLの *Synedra acus* が恒常的に検出された。特に、松原ダム直下流のR1（柚木橋）で比較的高い検出値が確認された他、玖珠川との合流地点にあるR3（三隈大橋）で、その希釈効果により一時的に検出値が減少したものの、下流の地点へ移行するに従って検出数が増加を示す傾向が確認された。R3より下流には、今回の調査地点であるD2（夜明ダム）、R4（山田堰）、R5（恵利堰）及びD6（筑後大堰）を含む大小6つの堰が存在し、各所で滞留域が形成されている。また、R3からD6までの流達時間は平常時で約2日と推測され、*Synedra acus* はこの流下過程において、漸次再増殖したことが示唆された。

Fig. 5 Investigation point in Chikugo River.

Table 1 Detection of *Synedra acus* in Chikugo River upstream

unit: cells/mL

	Investigation point	4/27	4/30	5/4	5/7	5/8	5/11	5/12	5/18
Dam	D1 Matsubara dam	300	—	390	390	—	—	580	120
	D2 Yoake dam	—	330	80	75	—	—	120	26
	D3 Gousho dam	0	—	—	—	—	—	—	—
	D4 Terauchi dam	0	—	—	—	—	—	—	—
	D5 Egawa dam	3	—	—	—	—	—	—	—
	D6 Chikugo ozeki	81	—	—	—	—	—	—	—
Chikugo river	R1 Yuzuki bridge	—	440	320	420	—	—	530	100
	R2 Kusu river	—	—	12	9	—	—	3	3
	R3 Mikuma bridge	—	61	99	100	—	—	140	15
	R4 Yamadazeki	—	260	270	140	—	—	270	40
	R5 Erizeki	—	170	450	140	—	—	290	44
	R6 Oki bridge	—	280	370	150	—	—	300	37
	R7 Kumashiro bridge	—	370	370	160	—	—	280	22
	R8 Higashikushihara intake	—	380	530	320	290	300	370	42

Note; “—” indicates that it is an uninvestigated

3. ろ過閉塞障害の軽減のための対応

2.2で述べたとおり、4月30日までの間は、凝集剤や酸剤などの浄水処理薬品の増量やろ過継続時間の短縮など、主に運転条件面での対応を図ったが、原水中の*Synedra acus*が経時的に増殖する過程にあったため、ろ過閉塞障害の抜本的な改善は得られず、更なる対応の必

要性を強いられた。これ以降に行ったろ過閉塞障害を軽減するための対応事例を以下に示す。

3.1 予備水源の活用

原水中の*Synedra acus*の増加に伴い、ろ過池における損失水頭の顕著な上昇が確認された4月30日には、*Synedra acus*を含まない予備水源（地下水）からの取水

量を増量するとともに、*Synedra acus* を多く含むことが明らかとなった筑後川系原水の取水量を減量し、原水中の *Synedra acus* の希釈効果を図った。しかし、予備水源の容量と導水能力等の関係上、予備水源からの導水量は全体の25%が限界であった。

3.2 ろ層表面の生物層の破壊

4月30日にろ過継続時間が施設能力の限界となる13時間に達したことから、緊急に金属製のレーキ（熊手）を調達、加工し、人為的に *Synedra acus* で覆われたろ層表面の被膜に傷を入れて破壊することにより、応急的なろ過継続時間の延伸を図った。レーキを用いたろ層表面の搔取りにより、一時的に清浄なろ層面が現れるため、作業直後において、損失水頭の顕著な低下が見られ、一定の効果が確認された。しかし、作業を休止して一定時間が経過すると速やかに被膜が再形成され、損失水頭が再上昇を示すことから、人員の確保と昼夜を問わない継続的な作業の実施が課題となって困難を極めた。

3.3 前塩素注入地点の変更

Synedra acus は、珪藻類の中でも特に凝集剤による沈殿池での除去率が低い種であることが知られており、除去率を高めるためには、凝集剤注入の前段の前塩素処理による接触時間をできるだけ長くとることが有効とされている⁵⁾。当時、荒水浄水場の前塩素とPACは、いずれも混和池入口のほぼ同一地点で行っており、これが沈殿池における *Synedra acus* の除去性を阻害する要因の一つであったと考えられた。このため、前塩素注入点の上流部への移設を検討した。施工に先立ち、5月1日に前塩素の接触時間の違いによる *Synedra acus* の凝集除去性を

ジャーテストにより評価した。ジャーテストは、*Synedra acus* 460細胞/mLを含む筑後川系原水に次亜塩素酸ナトリウム 2 mg/L を添加した後、0、30及び60分経過後にPACを54 mg/L注入して凝集沈殿操作を行い、上澄水中の *Synedra acus* を計数した（Table 2）。ジャーテストの結果、接触時間0分、すなわち次亜塩素酸ナトリウムとPACを同時に注入した場合のシネドラの除去率は67.5%であったのに対し、接触時間を30分以上設けた試料では、シネドラの除去率が96%程度まで向上することが確認された（Fig. 6）。

本試験結果を踏まえ、5月1日、既存の前塩素注入点より上流部で、約60分の塩素接触が可能となる活性炭接触池入口付近に、前塩素注入配管を緊急的に布設し、注入率を2 mg/L前後として運用を開始した。本運用の結果、沈殿池までにおける *Synedra acus* の除去率が約75%から90%以上まで向上し、その有効性を確認することができた（Fig. 7）。

3.4 複層ろ過の導入

前塩素注入点変更の効果に加え、ろ過閉塞障害への対応を確実なものとするため、翌5月2日に一部のろ過池へアンスラサイトを緊急的に導入し、ろ過池の複層化を図った。複層ろ過は、砂層の上部に砂より粒径が大きく、比重の小さなアンスラサイトを敷くことにより、アンスラサイト層が「粗ろ過」、砂層が「精密ろ過」という2段ろ過構造となるため、ろ過閉塞を大きく減少させる効果が期待される^{3),6)}。

当時導入したアンスラサイト及び既存のろ過砂の仕様をTable 3に示した。アンスラサイトの導入は緊急かつ応急対応を目的としたため、導入対象のろ過池は全22池

Table 2 Jar test conditions

Test sample water:	Araki water treatment plant raw water		
	※ <i>Synedra acus</i> in raw water :460Cells/mL		
Chemical injection:	Sodium hypochlorite injection rate		2mg/L
	PAC injection rate		54mg/L
	Delay time of up to PAC injection		0, 30, 60min
Stirring conditions:	Rapid stirring	speed	120rpm
		time	2min
	Slow stirring	speed	30rpm
		time	20min
	Still standing	time	10min

Fig. 6 Removal of *Synedra acus* due to the contact time of the sodium hypochlorite.
Symbols: □, The residual amount of *Synedra acus*; ○, the removal rate of *Synedra acus*.

Fig. 7 Removal effect of *Synedra acus* by reviewing previous chlorine treatment method.
Symbols: ●, detecting the number of *Synedra acus* in the raw water; ○, detecting the number of *Synedra acus* in coagulation-sedimentation water; □, the removal rate of *Synedra acus* by coagulation-sedimentation.

中10池と限定し、敷設厚は50 mmと一般的な仕様（200～300 mm）に対して20%程度の量に抑制し、既存のろ過砂の上に投入した。その他、施設面での改造は行っていない。投入後は、ろ過洗浄を2～3回繰り返してアンスラサイトを清浄な状態にするともに、ろ過砂に比べて比重が小さなアンスラサイトが流出しないよう、ろ過洗浄流量を調整した。一連の投入作業が完了したろ過池は、適時、運用を開始し、翌5月3日までに、所定の10池へアンスラサイトの投入作業を完了した。

本運用により、複層ろ過池では、敷設厚が僅か50 mmであったにもかかわらず、損失水頭の上昇が顕著に抑制され、ろ過継続時間を60時間以上まで延伸することができた（Fig. 8）。また、ろ過池全体における処理水量の負荷が軽減され、単層ろ過池においてもろ過洗浄頻度の増加とろ過洗浄操作の自動制御が可能となるなど、浄水処理における運転面での安定化と人的負荷の軽減を図ることができた。

Table 3 Specification of filter media

Filter media	Anthracite (Upper layer)	Filter sand (Under layer)
The number of installed	10/22	22/22
thickness	50mm	650mm
Density	1.42g/cm ³	2.57g/cm ³
Effective size	1.02mm	0.65mm
Uniformity coefficient	1.34	1.28
Minimum diameter	0.85mm	0.55mm
Maximum diameter	1.96mm	1.13mm
Raw material	Smokeless coal	Sea sand

Fig. 8 Temporal change of head loss due to multi layer filtration.
Symbols: ○, single layer filter (No.11 filter); ●, multi layer filter (No.1 filter).

その後、上記対応の効果と原水中の *Synedra acus* の減少傾向も相俟って、ろ過閉塞の状況の改善が確認されたため、ろ過継続時間の延伸及び浄水処理薬品注入強化の解除等を漸次行い、5月18日を以て事態の終息に至った。

3.5 再発防止に向けた対応

今回のろ過閉塞障害の経験を踏まえ、荒木浄水場では、今後の再発防止に向けた幾つかの対応を図った。

今回のろ過閉塞障害に対して、ろ過池の複層化が最も有効な対応手段であることが確認されたため、平成22年2月までに、全てのろ過池をアンスラサイトにより複層化した（アンスラサイト敷設厚300 mm、砂層敷設厚400 mm）。これにより、現在では、通常時のろ過継続時間を従来の66時間から120時間まで延伸して運用することができ、ろ過洗浄頻度の減少に伴う電力量の削減やろ過速度の増大に伴う施設能力の増強等に寄与している。

また、平成24年3月には、塩素注入設備の全面更新工事に併せて、注入点を粉末活性炭接触池の流入地点とする前塩素注入設備を常設（従来の前塩素注入点との切替えを可能とした）した。

さらに、水源域や浄水場原水の生物の監視体制やろ過閉塞障害発生時における対応について手順化するとともに、近隣の水道事業者や河川管理者などの間で水質情報の共有化を図ることとした。これらの取組みは、厚生労働省通知に基づき、平成22年3月に策定した福岡県南広域水道企業団水安全計画の中へも反映し、危害評価と危害管理による再発防止と発生時の対応システムを構築した。

4. まとめ

平成21年4月末から5月中旬にかけて、筑後川上流の松原ダム上流域において珪藻類の *Synedra acus* が異常増殖し、その下流に位置する荒木浄水場でろ過閉塞障害が発生した。荒木浄水場では、ろ過池における損失水頭の急激な上昇に対し、浄水処理薬品の増量による凝集処理の強化を図るとともに、ろ過継続時間の段階的な短縮を

行ったが、原水中の *Synedra acus* の経日的な増加も相俟って、十分な除去効果が得られず、浄水処理の機能が著しく低下した。

これらの状況に対し、前塩素注入点の変更とろ過池の複層化を緊急的に実施した。前塩素注入点の変更により、*Synedra acus* と前塩素の接触時間を従来より長く取ること、*Synedra acus* の沈殿池における凝集沈殿除去効果を約20ポイント向上することができた。また、約半数のろ過池を対象に、僅か50 mm厚のアンスラサイトを敷設することで、ろ過池の損失水頭上昇の顕著な抑制効果が確認され、浄水処理の機能を回復することができた。

今後の同様な障害の発生に備え、ハード面での対策として、全ろ過池の複層化と前塩素注入地点の追加を行うとともに、ソフト面での対応として、水安全計画の中で危害評価と危害解析を行うとともに、ろ過閉塞障害に係る対応について手順化した。

浄水処理における生物障害は突発的に発生し、その影響が急激に悪化する場合がある。このため、生物種毎に想定される浄水処理への危害や対応策を抽出、整理したうえで、水源域や原水等における生物の状況を継続的に監視していく必要がある。

参考文献

- 1) 石橋健二, 平島隆義, 大森功, 西木一夫, 濱田利幸: *Synedra acus* によるろ過閉塞障害の発生とその対応, 第61回全国水道研究発表会講演集 (4-18), 178-179 (2010)
- 2) 日本水道協会: 日本水道生物 ―写真と解説― 改訂版, 54 (2008)
- 3) 日本水道協会: 生物障害を起こさないための浄水処理の手引き, (2006)
- 4) 小池友佳子, 金田智, 夏坂潤子: シネドリアクスによるろ過閉塞障害, 第61回全国水道研究発表会講演集 (4-19), 180-181 (2010)
- 5) 斉藤昭二: 藻類における浄水処理障害 ―かび臭, ろ過閉塞, 着濁, 水道協会雑誌, 62(6), 2-16 (1993)
- 6) 日本水道協会: 水道施設設計指針, 230, (2000)
(受付 2016.6.21)
(受理 2016.8.17)