

2013300045

厚生労働科学研究費補助金  
健康安全・危機管理対策総合研究事業

経年化浄水施設における  
原水水質悪化等への対応に関する研究

平成23年度～25年度 総合研究報告書

研究代表者 相澤 貴子

平成26(2014)年5月

厚生労働科学研究費補助金  
健康安全・危機管理対策総合研究事業

経年化浄水施設における  
原水水質悪化等への対応に関する研究

平成23年度～25年度 総合研究報告書

研究代表者 相澤 貴子

平成 26 (2014) 年 5 月

# 目 次

## I. 総合研究報告

経年化浄水施設における原水水質悪化等への対応に関する研究

相澤 貴子（公益財団法人 水道技術研究センター）

## II. 研究成果の刊行に関する一覧表

## III. 研究成果の刊行物・別刷

### 添付資料

1. 研究体制
2. 高濁度原水への対応の手引き(案)
3. 浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)
4. 新たな簡易耐震診断手法の検討



# I. 総合研究報告

経年化浄水施設における原水水質悪化等への対応に関する研究

研究代表者 相澤 貴子 公益財団法人水道技術研究センター主席研究員

**研究要旨**

我が国の水道において大多数を占める中小規模水道事業者（以下「中小事業者」という。）は経営規模が小さく、施設・技術基盤の課題が顕在化している。こうした事業者では、近年の異常気象による豪雨等で水源河川の水質悪化・急変が恒常化しつつあるなかで、浄水処理の対応が難しくなっている。一方、浄水施設の多くは昭和 40～50 年代又はそれ以前に建設され、経年劣化が進行するとともに耐震性が劣っている。また、浄水施設の耐震化率は平成 23 年度末現在で約 20%に留まっているが、耐震化への取り組みは技術者の少ない中小事業者ほど困難になっている。

このような背景から、本研究では「原水水質悪化への対応の検討」及び「耐震化促進等に関する検討」の 2 つを検討課題とし、原水水質悪化へ対応するための浄水処理技術及び耐震化促進等を支援するための簡易耐震診断手法等の検討を行い、その成果を基に、それぞれ中小事業者向けの「手引き(案)」を作成した。

本研究は、「手引き(案)」の活用による原水水質悪化への対応に向けた浄水処理の改善・強化及び更新時における耐震化の促進による適切なリスク低減を目指し、以下の具体的な検討課題に取り組んだ。

- (1) 原水水質悪化への対応の検討
- (2) 耐震化促進等に関する検討
- (3) 適切な施設更新によるリスク低減対策の検討

研究期間は平成 23 年度～25 年度の 3 か年であり、研究体制は相澤貴子（水道技術研究センター主席研究員）を研究代表者とし、学識者及び水道技術研究センター役職員を研究分担者とするとともに、水道事業者・民間企業の技術者を研究協力者とした。

3 か年の研究結果及び考察の概要は以下のとおりである。

- (1) 原水水質悪化への対応の検討

- 1 中小事業者における課題の把握

中小事業者への調査の結果、浄水処理における主要な課題は水源河川高濁度時の凝集・沈澱不良への対応であることが分かった。また、水道事業者による課題改善策としては原水水質異常対応マニュアルの作成、水源河川上流域の水質情報入手等があった。

- 2 課題解決方策の検討・効果の検証

把握した課題の解決に向けた以下の技術について、検討及び効果の検証等を行い、それらを中小事業者が導入しやすく有効な浄水処理の改善・強化方策とした。

- ア) 薬品注入の適正化に向けた検討

原水水質変動時の浄水処理を容易にする目的で凝集剤注入率算定式を策定し、その実用性を検証した。降雨に伴う原水高濁度への対応には、凝集剤注入率を濁度変動に応じたタイミングで増減させることが重要であり、有機色度成分（ここではフミン酸ナトリウム）を含む原水では、濁質の除去に加え、有機色度成分の除去に消費される分の凝集剤の増量が必要であり、最適注入率を設定して凝集剤注入を行うことにより、安定した濁質処理が可能になったことが明らかになった。また、アルカリ度の代替指標には簡便に測定できる電気伝導率が有用であり、これを用いることでアルカリ度管理が容易となった。

- イ) ろ過水濁度の安定的な管理に向けた検討

二段凝集処理は、凝集・沈澱不良が生じた場合でもろ過水濁度を安定的に管理できる

実用的な技術であることが検証され、設備の設置や凝集剤注入方法の簡便性など、維持管理の点においても中小事業体が導入しやすい技術である。

り) 水質管理が容易な薬品注入の検討

PAC (ポリ塩化アルミニウム) に代わる凝集剤として一部の事業体で導入されている塩基度70%の超高塩基度PAC (以下「高塩基度PAC」という。) は、注入によるpH、アルカリ度の低下がPACよりも小さく凝集効果も高いことが検証され、pH調整等が困難な中小事業体に適した凝集剤である。また、既存のPAC注入設備を利用できるなどのメリットがあるが、導入に際しては個々の原水水質による効果の検証が必要である。また、集塊化開始時間測定法は、原水水質の変動に対してジャーテストよりも的確な凝集剤注入が可能であり、自動化による浄水場の技術職員不足解消を図ることができる。

3 「高濁度原水への対応の手引き(案)」の作成

中小事業体が導入しやすく有効な浄水処理技術の改善・強化方策を提案する「高濁度原水への対応の手引き(案)」を作成した。これを支援ツールとして中小事業体が活用し、原水水質悪化への対応へ取り組むことにより、水道施設並びに水質管理におけるリスク低減が可能となる。

(2) 耐震化促進等に関する検討

事業体における耐震化の取組み状況や課題についてのアンケート調査を実施し、その結果得られた詳細耐震診断結果及び地震被害実態を基にして、「地盤液状化の有無(地盤条件)」、「建設年代(適用耐震工法指針)」、「構造的強度」を判定基準とする3段階評価を提案した。さらに、地震被害の特性を反映し簡略化した簡易耐震診断手順を具体的な診断フローで示し、既往簡易耐震診断表の問題点を改善した新簡易耐震診断表案を作成するとともに、耐振性と被災時の影響範囲を考慮した耐震性改善必要度に基づく詳細耐震診断実施の優先順位付けの手法を策定した。これらの研究成果について、中小規模水道事業を中心とするケーススタディ及びレビュー等を行い、得られた意見・提案等に基づいて、分かりやすい文章・構成・説明内容等へのブラッシュアップ、修正、及び検討内容の追加等を行い、中小事業体職員にとって更に分かりやすく使いやすい「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」を作成した。この作成過程において、ケーススタディでは、新簡易耐震診断表の改善効果及び有効性として耐震性判定の精度向上を検証することができた。さらに、除水施設等の簡易耐震診断のケーススタディ結果を用いて、全国の上司施設等の耐震性の現況を把握した。本研究の成果である簡易耐震診断手順、新簡易耐震診断表、詳細耐震診断実施の優先順位設定手法、及びこれらの使用方法をまとめた「簡易耐震診断の手引き(案)」は、いずれも中小事業体にとって使いやすかつ高度な技術力を要しないものであることから、今後、中小規模事業体をはじめ我が国の水道事業における浄水施設等の耐震化促進に大きく寄与するものである。

研究分担者氏名

藤原 正弘	水道技術研究センター	理事長
安藤 茂	水道技術研究センター	専務理事
武内 辰夫	水道技術研究センター	常務理事
鈴木 泰博	水道技術研究センター	主幹
高嶋 渉	水道技術研究センター	浄水技術部長
富井 正雄	水道技術研究センター	浄水技術部長
伊藤 雅喜	国立保健医療科学院	上席主任研究官
堤 行彦	福山市立大学	教授
鎌田 素之	関東学院大学	准教授
宮島 昌克	金沢大学	教授
長谷川 孝雄	NPO法人PSI協会	技術顧問



## A. 研究目的

我が国の水道事業は、老朽施設の更新、適切な技術継承による技術力の確保、財政基盤の強化などの課題を有する事業者が多いことから、厚生労働省では将来に亘り水道サービスが健全に維持されることを目標に、新水道ビジョンを策定し、安全、強靱、持続の達成を政策目標に掲げている。

一方、国内で大多数を占める中小規模水道事業者（以下「中小事業者」という。）では経営規模が小さく、施設・技術基盤等の課題が顕著であり、近年の異常気象による豪雨等で原水水質の悪化・急変が恒常化しつつある状況では、浄水処理での抜本的な対応が困難であるなどの深刻な問題を抱えている。また、浄水施設は昭和40～50年代又はそれ以前に建設されたものが多く、経年劣化の進行とともに、耐震性が劣る施設も多数存在し、耐震化の遅れも深刻な問題となっている。

このような背景から、本研究では「原水水質悪化への対応の検討」及び「耐震化促進等に関する検討」の2つを検討課題とし、原水水質悪化に対応するための導入しやすく有効な浄水処理技術、及び耐震化促進等を支援するための簡易耐震診断手法等の検討を行い、その成果を基に、それぞれ中小事業者向けの「手引き(案)」を作成した。

※ 以下、【原水水質悪化への対応の検討】

【耐震化促進等に関する検討】の課題ごとに、B. 研究方法、C. 研究結果、D. 考察について記述し、E. 結論、F. 健康危険情報、G. 研究発表、H. 知的財産権の出願・登録状況は、両課題について一体的に記述する。

### 【原水水質悪化への対応の検討】

## B. 研究方法

中小事業者の浄水処理における主要な問題を把握し、その要因分析ならびに改善事例の収集を行った。その上で、解決に向けた検討課題を設定し、浄水処理関連データの解析及び基礎的実験の結果を基にした薬品注入に係る指標の検討、高濁度原水への対応技術に関するジャーテスト、連続・回

分実験及びフィールド実験を実施し、実施における実用性等を検証した。これらの研究成果を踏まえて、中小事業者が導入しやすく有効な浄水処理技術の改善・強化方策を策定できるように「高濁度原水対応の手引き(案)」を作成した。具体的な改善・強化方策は以下に示すとおりである。

### 1 中小事業者における課題の把握

#### 1) アンケート調査

給水人口が概ね5万人未満で、計画浄水量が1万m<sup>3</sup>/日以下・急速ろ過方式の浄水場を有する全国の水道事業者（上水道事業）に対し、アンケートにより419か所の浄水場における水源状況や運転管理等に関する実態調査を行い、その結果から浄水処理の課題等を把握した。

#### 2) ヒアリング調査

アンケート調査結果において、降雨による水源河川の濁度上昇時に凝集・沈澱不良が起きていると考えられ、また、アンケート調査だけでは不明な点が残る浄水場に対し、その要因を分析するためのヒアリング調査を行った。

#### 3) 課題改善事例の調査

高濁度原水により大規模断水が発生し、それを契機に浄水場の施設整備を実施したKt市及び市町村合併により移管された中小規模の浄水場に対して施設整備や運転管理体制の強化を図ったNi市を対象として、事業者による課題改善事例の調査を行った。

### 2 課題解決方策の検討・効果の検証

#### 1) 凝集沈澱処理に関する基礎実験

水源河川の主な濁質成分と考えられる土壌について特徴的なものを全国3カ所から採取した。これらの各土壌1gを蒸留水1Lに懸濁して作成した模擬高濁度試験水について、凝集剤としてPAC、PSI（ポリシリカ鉄）を用いたジャーテストを行い、凝集性、処理水質を調査した。その結果から高濁度原水への対応技術を検討する上で必要な凝集沈澱処理に関する基礎データを収集した。ジャーテストに用いた土壌は、有機色度成分を多く含む北海道北見市、無機色度成分を多く含む沖縄県沖縄市及び一般的な性質を有する神奈川県小田原市で採取した。また、集塊化開始時間測定法により凝

集剤注入率を求め、ジャーテストの結果との比較からこの方法の基礎的な評価を行った。

## 2) 薬品注入の適正化に向けた検討

### (1) 凝集剤注入率算定式の策定

一般的な PAC 注入指標の一つである AI (PAC 注入率) / T (濁度) 比について、浄水場での原水濁度との相関を調査し、得られた累乗曲線から以下に示す凝集剤注入率算定式を提示した。次に、この式の実用性を評価するために、浄水場の水質データを基にした検討を行った。

$$Y = a \cdot X^b$$

ここで、

Y : AI/T 比

AI : 凝集剤<sup>注)</sup> 注入率 (mg/L)

T : 濁度 (度)

a, b : 係数

注) この算定式では PAC を指す。

したがって、 $AI = a \cdot T^{b+1}$

### (2) 高濁度原水への適正な凝集剤注入条件等の検討

降雨による水源河川の段階的な水質変動に対する凝集剤注入管理の適正化を目的として、小型プラント (凝集・沈澱・ろ過処理) により人工原水を用いて室内実験を行った。実験は、以下の(ア)に示すとおり原水濁度に応じた適正な凝集剤注入率とその増減タイミングについて検討を行い、その結果を踏まえて(イ)に示す有機色度成分を含む原水に対する検討を行った。人工原水は、濁質としてカオリンとベントナイトの混合物、有機色度成分としてフミン酸ナトリウムを用い、設定した濁度、色度となるよう調製した。原水水質は、表 1 に示す濁度及び DOC (有機色度成分) とし、DOC は、これまでの検討から、降雨時において比較的安定するパターン (「DOC 一定」) 及び濁度に追

表 1 原水水質の設定

原水濁度 (度)	濁度変動のみ		DOC一定		DOC変動		時間 (h)
	DOC (mg/L)	PAC 注入率 (mg/L)	DOC (mg/L)	PAC 注入率 (mg/L)	DOC (mg/L)	PAC 注入率 (mg/L)	
5	—	21	2.0	44	2.0	44	1.5
1,000	—	117	2.0	162	8.0	204	1.0
500	—	86	2.0	125	5.0	153	1.5
200	—	60	2.0	92	3.5	109	1.5
50	—	37	2.0	63	2.5	70	2.5

随するパターン (「DOC 変動」) の 2 条件を設定した。

次に、ジャーテストにより表 1 の原水水質に対する PAC の最適注入率を求め、降雨による水源河川の急激な濁度上昇とピーク後の減衰を考慮した表 2 の条件を設定した。

表 2 原水水質と PAC 注入率の条件

原水濁度 (度)	濁度変動のみ		DOC一定		DOC変動	
	DOC (mg/L)	PAC最適注入率 (mg/L)	DOC (mg/L)	PAC最適注入率 (mg/L)	DOC (mg/L)	PAC最適注入率 (mg/L)
5	—	21	2.0	44	2.0	44
1,000	—	117	2.0	162	8.0	204
500	—	86	2.0	125	5.0	153
200	—	60	2.0	92	3.5	109
50	—	37	2.0	63	2.5	70

### (ア) 原水の濁度変動に対する凝集剤最適注入率及びその増減タイミングの検討

小型プラントにより濁質のみを含む人工原水で以下のケースを実施し、沈澱処理水濁度、及びろ過水濁度を測定した。

RUN1-1 : 設定した原水濁度に対する最適注入率で PAC 注入を行う。

RUN1-2 : RUN1-1 の PAC 注入率変更のタイミングをそれぞれ 30 分遅らせる。

RUN1-3 : RUN1-1 の PAC 注入率変更のタイミングをそれぞれ 30 分早くする。

### (イ) 有機色度成分を含む原水への凝集剤注入条件の検討

小型プラントにより濁質と有機色度成分を含む人工原水で以下のケースを実施し、沈澱処理水濁度、及びろ過水濁度を測定した。また、有機色度成分が凝集条件に及ぼす影響を明らかにするため、ジャーテストの結果に対する解析を行った。

RUN2-1 : 「DOC 一定」の条件において PAC 注入を最適注入率で行う。

RUN2-2 : RUN2-1 の PAC 注入を「濁度変動のみ」の注入率で行い、PAC 注入不足の状態とする。

RUN2-3 : 「DOC 変動」の条件において PAC 注入を最適注入率で行う。

### (3) 凝集操作におけるアルカリ度の適正管理に向けた検討

### (ア) アルカリ度と凝集・沈澱処理の関連性検証

凝集・沈澱不良の主な要因の一つとして降雨による原水高濁度時の原水アルカ



り度低下が挙げられることから、年間をとおして原水アルカリ度が低い傾向にある浄水場の原水を用い、アルカリ度と凝集・沈澱処理の関連性についてジャーテスト等による検証を行った。

(イ) 実施設における電気伝導率とアルカリ度の相関検証

アルカリ度に比較して測定が簡便な電気伝導率（以下「EC」という。）が、アルカリ度の代替指標となり得ることから、浄水場の EC とアルカリ度の工業計器による連続測定値等から相関を検証した。

2) ろ過水濁度の安定的な管理に向けた検討

原水高濁度時に凝集沈澱処理をバックアップする技術である二段凝集処理について、その導入に係る以下の事項を検討した。

(1) 高濁度原水の凝集・沈澱不良に対する効果の検証

前述の表 2 に示したパターンについて、小型プラントに二段凝集処理を追加した以下の(ア)、(イ)の条件で実験を行い、その効果を検証した。

(ア) 高濁度原水に対する効果

以下のケースを実施し、沈澱処理水濁度及びろ過水濁度を測定した。

RUN3-1：前述の RUN1-1 について、設定した原水濁度がピークの 1,000 度から 200 度まで減衰する間、PAC 注入を最適注入率の半分程度で行い、PAC 注入不足の状態とする。

RUN3-2：RUN3-1 について、二段凝集処理として沈澱処理水に PAC を 2mg/L 注入する。

RUN3-3：前述の RUN1-1 について、沈澱槽の傾斜板を一部外すことにより表面負荷率を過大にさせ、沈澱不良の状態とする。

RUN3-4：RUN3-3 について、二段凝集処理として沈澱処理水に PAC を 2mg/L 注入する。

(イ) 有機色度成分を含む原水への効果

以下のケースを実施し、沈澱処理水濁度及びろ過水濁度を測定した。

RUN4-1：前述の RUN2-1 の条件に二段凝集処理として沈澱処理水へ PAC を（原水濁度を 1,000 度に上昇させると同時に）5mg/L 注入する。

この他、浄水場の原水を用いた小型プラントによる実験を行い、効果を検証した。

(2) 二段凝集処理によるろ過水濁度管理の実施設における検証

二段凝集処理における適正な PAC 注入率等について、浄水場でのフィールド実験により最終的な検証を行った。

(3) 導入に向けた留意事項等の提示

二段凝集処理を導入している浄水場の調査を行い、その結果から導入する際の留意事項等について整理した。

3) 水質管理が容易な薬品注入の検討

(1) 高塩基度 PAC の導入に向けた検討

高塩基度 PAC の適用効果を検証するため、浄水場の原水に凝集剤として PAC 及び高塩基度 PAC を注入したジャーテストを行い、凝集剤注入による pH、アルカリ度の低下及び凝集効果等を比較した。

また、高塩基度 PAC を適用している浄水場の調査を行い、その結果を整理して導入する際の留意事項等について提示した。

(2) 集塊化開始時間測定法の導入に向けた検討

浄水場の原水を用いた小型プラントにより実験を行い、処理水濁度等について、浄水場で用いられているジャーテストを基にした凝集剤注入率との比較から原水濁度の制御性能を評価した。

3 「高濁度原水への対応の手引き(案)」の作成

1) 作成方針の策定

課題解決方策の検討・効果の検証の結果及び事業体による課題改善事例等を原水水質悪化対応への導入しやすく有効な浄水処理技術として整理し、専門家等へのヒアリングを行い、その上で「手引き(案)」の作成方針を策定した。

2) 構成の検討

中小事業体の維持管理体制等の実態を考慮し、「手引き(案)」の作成過程において、技術的内容の理解及び現場実務での使いやすさの観点から、中小事業体 6 か所でのレビューを実施した。その結果と作成方針とを合わせ、構成を検討した。

3) 有用性の検証

(1) ケーススタディによる「手引き(案)」の評価

ケーススタディにより「手引き(案)」に示した内容と水道事業者が実施した課題改善事例との整合性を評価し、「手引き(案)」の有用性を検証した。ケーススタディは、市町村合併に伴って課題改善を実施した水道事業者の浄水場で実施した。

(2) 活用に関する調査の実施

作成した「手引き(案)」を中小事業体27か所へ送付し、活用等についてのアンケート調査を実施した。また、水道技術の有識者2名を対象として、「手引き(案)」の活用に関するヒアリングを行った。

(倫理面への配慮)

本研究においては、研究対象者の人権擁護を必要とする調査又は人権への不利益を生ずる調査は行わず、また実験動物を用いる実験を実施しないことから、倫理面への問題は生じない。

C. 研究結果

1 中小事業体における課題の把握

1) アンケート調査

運転管理における課題として最も多い回答(回答数90のうち33)は「凝集不良」であり、その理由として最も多い回答(回答数24のうち15)は「原水の高濁度」であった。また、この回答を行った浄水場15か所の原水はいずれも河川表流水であった。表3は、施設の運転管理状況に関する主な調査結果を示したものである。水質計測で

表3 施設の維持管理状況

分類	回答	か所数
水質計測項目 (回答:11か所)	原水濁度を計測している	10
	原水色度を計測している	7
	原水pHを計測している	11
	原水アルカリ度を計測している	5
維持管理体制 (回答:15か所)	沈澱処理水濁度を計測している	8
	水源上流域の水質や洪水等に関する情報入手ルートがある	8
	浄水場運転マニュアル・原水高濁度への対応マニュアルを整備している	8
施設の機能 (回答:15か所)	沈澱池の表面負荷率が標準値 <sup>注1)</sup> を超過している	2
	ろ過池のろ過速度が標準値 <sup>注2)</sup> を超過している	1

注1) 日本水道協会「水道施設設計指針 2012年版」に記載されている傾斜板(管)式沈澱池の表面負荷率4~9mm/min(水平流式)、7~14mm/min(上向流式)を指す。

注2) 日本水道協会「水道施設設計指針 2012年版」に記載されているろ過速度120~150m/d(急速ろ過池)を指す。

は、アルカリ度を計測していない浄水場が11か所のうち5か所あった。また、3か所では沈澱処理水濁度を計測していなかった。維持管理体制では、水源上流域の水質等に関する情報入手ルートが構築されていない浄水場が15か所のうち5か所、運転管理マニュアル等を策定していない浄水場が5か所あった。施設の機能では、浄水場15か所のうち沈澱池の表面負荷率やろ過池のろ過速度が標準値を超過する施設があったものの、超過のレベルは軽微であった。

2) ヒアリング調査

調査対象の浄水場のうち4か所で、原水高濁度時における沈澱処理水濁度の一時的な上昇(浄水場で異なり5~10度程度)がみられた。このうち、複数の浄水場に共通したケースを図1、図2に示す。図1のケースでは、凝集不良が発生していると考えられ、その要因として凝集剤注入率とその増減タイミングの不適切さが挙げられた。図2のケースは、降雨に伴うアルカリ度の低下が要因となり、凝集不良が発生していると考えられた。

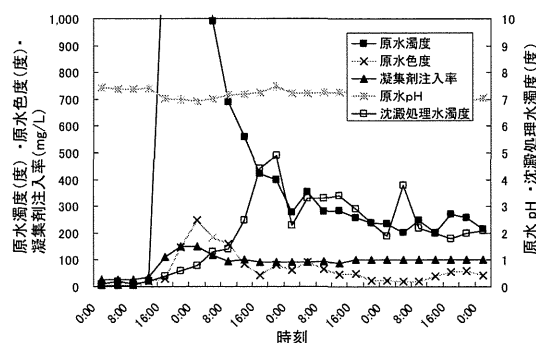


図1 高濁度時の原水水質と凝集剤注入率 (Ky 浄水場)

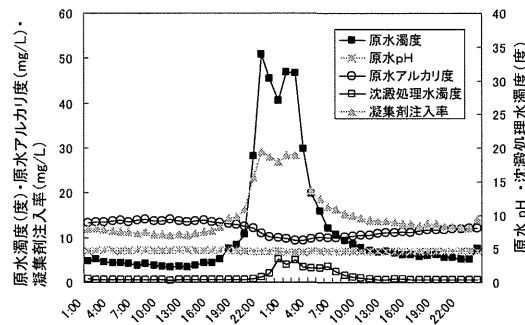


図2 高濁度時の原水水質と凝集剤注入率 (Kw 浄水場)

また、この他の調査結果として、ジャー

テストと実際の凝集操作の乖離、薬品注入点位置の不適切、薬品注入ポンプの能力不足、沈澱池排泥設備の整備不足など、改善すべき点が認められた。さらには、水源流域の造成により原水最高濁度が浄水場建設時の想定値を超えている事例、沈澱池の構造上の問題からフロックが十分に沈澱除去されず、ろ過池への負荷が常に高い事例、浄水場建設時に排水処理施設を設置せず、後の環境規制強化により仮設で排水処理を実施している事例など、大規模な改善を必要とする施設も見られた。このような結果から、中小事業体で河川表流水を原水としている浄水場では、水源河川の濁度上昇時に生じる凝集不良・沈澱不良への対応が浄水処理における主要な課題と考えられ、根底には、原水水質に対する情報収集不足、施設の老朽化、施設の整備・能力不足、技術職員数の不足等の問題があると考えられた。こうしたことから、主要な課題の解決に向けた技術として、以下 3 つの項目について検討を行うこととした。

- ・薬品注入の適正化に向けた検討
- ・ろ過水濁度の安定的な管理に向けた検討
- ・水質管理が容易な薬品注入方法の検討

### 3) 課題改善事例の調査

水道事業体による課題改善事例の主な調査結果を以下に示す。

#### (1) Kt 市の事例

T 川表流水を水源とする施設能力 64,400m<sup>3</sup>/日の急速ろ過方式の Hr 浄水場では、平成 19 年度に集中豪雨に伴う 15,000 度を超える原水の高濁度と泥水の流入により、浄水処理が長期間停止し、その結果、大規模断水が発生した。それを契機に施設改善の必要性が認識され、頻発する原水高濁度時にも浄水処理を継続するための原水滞水池の築造や配水池の増設等が行われた。

#### (ア) 原水水質変動の早期把握

河川上流部(支流)に雨量計を設置し、河川の水質変動を予測できる体制を整備するとともに、取水口に 15,000 度以上の濁度が測定可能な濁度計を設置し、高濁度原水が着水井に到達する 2 時間前に状況を把握できる措置を講じた。

#### (イ) 高濁度・高色度対応の体制強化

原水高濁度を含めた水質汚染事故時に

おける監視、連絡、動員、取水停止の判断基準を設定し、運用マニュアルを策定した。

#### (ウ) 原水滞水池の築造

水源である T 川は、降雨による濁度や色度の変動が大きく、冬場の低水温期には浄水処理が難しい状況となる。このため、高濁度水の取水を回避するための原水滞水池(14,000m<sup>3</sup>×2 池)を築造した。

#### (エ) 配水池の増設

配水池(2,935m<sup>3</sup>×2 池)を増設し、原水滞水池、浄水池及び既設配水池を含む貯留容量が計画一日最大給水量の 25 時間分を確保した。

#### (オ) 薬品注入設備の整備

以下に示す薬品注入設備の整備を実施した。

- ・非常用(手動) PAC 注入機の設置
- ・pH 調整剤(苛性ソーダ)注入設備の設置
- ・人力による粉末活性炭設備の設置
- ・酸(硫酸)注入設備の設置
- ・二段凝集処理設備の整備

### (2) Ni 市の事例

Ni 市は 13 の市町村合併により旧町から市へ中小規模の浄水場が移管され、原水高濁度をはじめとする浄水処理の課題に対し、以下のような改善を実施した。

#### (ア) 原水水質変動の早期把握

河川上流域の情報入手ルートや(水質協議会 S 川及び A 川水系)からの水質事故、高濁度情報の受信体制を活用し、原水水質異常への早期対応を可能にした。

#### (イ) 原水水質異常への対応体制強化

原水水質の監視、連絡、動員、取水制限等についての判断基準設定のほか、運転マニュアル、水安全計画を策定した。

#### (ウ) 施設の改善・強化

施設の改善・強化策として、以下に示す措置を講じた。

- ・ろ過池流量制御装置の整備
- ・ろ過池下部集水装置の年 1 回点検
- ・計画水量に対応した薬品注入設備の設置
- ・トリハロメタン生成能、農薬、異臭味対策を目的とした粉末活性炭注入設備の設置
- ・二段凝集処理設備の整備



- ・水質計器の整備（原水濁度計、原水 pH 計、原水導電率計、原水アルカリ度計）
- ・天日乾燥床の増設（乾燥スラッジ含水率を 60% 台まで低減）

(エ) 維持管理体制の強化

新たに編入された浄水場も含めた運転管理を行うために、1 か所の浄水場へ 3~4 名配置する体制から、職員 10 名による複数の浄水場のグループ管理体制へ変更した。

2 課題解決策の検討・効果の検証

1) 凝集沈澱処理に関する基礎実験

土壌を水に懸濁して作成した模擬高濁度試験水の特性を表 4 に示す。懸濁量と濁度の関係や粒径分布等が土壌ごとに異なり、土壌のアルカリ度消費量や有機物の成分等にも差異が認められた。

表 4 模擬高濁度用土壌及び試水の特性

		北見	小田原	沖縄
濁度	試水	950	480	1130
粒径分布(累積通過率50%径)	μm	5.0	11.1	6.0
pH	-	6.5	6.0	6.7
アルカリ度消費量	mg/L	5.5	3.5	13.1
塩素要求量	試水	0.4	0.5	0.04
	2.7 μmろ液	0.1	0.3	0.02
色度	1.0 μmろ液	5.7	11	45
TOC	2.7 μmろ液	0.8	0.9	0.8
DOC	1.0 μmろ液	0.7	0.9	0.8
E260	0.45 μmろ液	0.013	0.2	0.034

この試験水について、凝集剤として PAC、PSI を用いたジャーテストの結果を図 3 に示す。図は、凝集剤主成分であるアルミニウムと鉄のモル濃度換算した凝集剤注入率を縦軸、試験水の濁度を横軸として、所要凝集剤注入率を表わしたものであり、実験を行った濁度の範囲では 3 種類の土壌の違いによる所要凝集剤注入率の差異は認められず、凝集剤による差異もわずかであった。

こうしたことから、性質の異なる土壌に

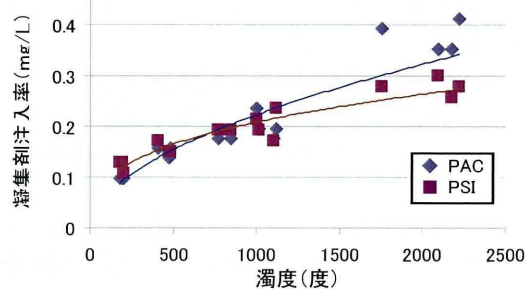


図 3 濁度と所要凝集剤注入率の関係 (ジャーテスト)

由来する濁質は、懸濁量と濁度との関係、粒子径分布が異なるものの、凝集性にはほとんど関係しないことが分かった。一方、凝集におけるアルカリ度消費量は土壌の違いにより大きな差が見られることや、有機物の成分に差異があることから、こうした性質は凝集沈澱処理への影響因子として留意する必要がある。次に、ジャーテストに代わる方法として凝集剤注入率算定の自動化を図ることのできる集塊化開始時間測定法について、試験水の濁度と所要凝集剤注入率の関係を求めた結果を図 4 に示す。この実験は荒木田土を主体に実施し、他の土壌での実験結果も併記した。図 3 と同様に、土壌の種類や凝集剤の種類による所要凝集剤注入率の差異はほとんど認められなかった。また、図 5 に示すとおり、原水濁度 2,000 程度までの実験ではジャーテストと集塊化開始時間測定法の凝集剤注入率がほぼ一致した。こうしたことから、集塊化開始時間測定法では、ジャーテストと同様の凝集剤注入率が得られ、凝集剤注入率算定の新しい薬品注入管理手法として有効であることが確認された。

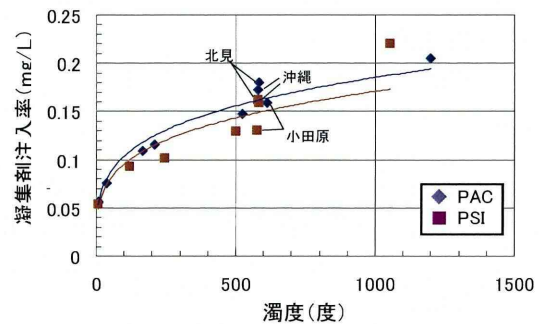


図 4 濁度と所要凝集剤量の関係 (集塊化開始時間測定法)

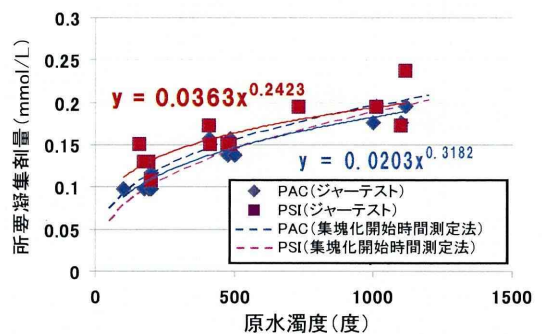


図 5 原水濁度と所要凝集剤注入率 (ジャーテスト・集塊化開始時間測定法)

2) 薬品注入の適正化に向けた検討

(1) 簡便な凝集剤注入率算定式の策定

Al (PAC 注入率) / T (濁度) 比について、浄水場における原水濁度との相間を調査したところ、図 6 に示すとおり、それぞれ異なる原水水質ではあるが、原水濁度 600 度付近まで強い相関のある累乗曲線が得られた。この結果から、累乗式である式(1)、式(2)を得た。

$$Y = a \cdot X^b \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

Y : Al/T 比

Al : 凝集剤<sup>注)</sup> 注入率 (mg/L)

T : 濁度 (度)

a、b : 係数

注) この算定式では PAC を指す。

$$\text{したがって、} Al = a \cdot T^{b+1} \dots\dots (2)$$

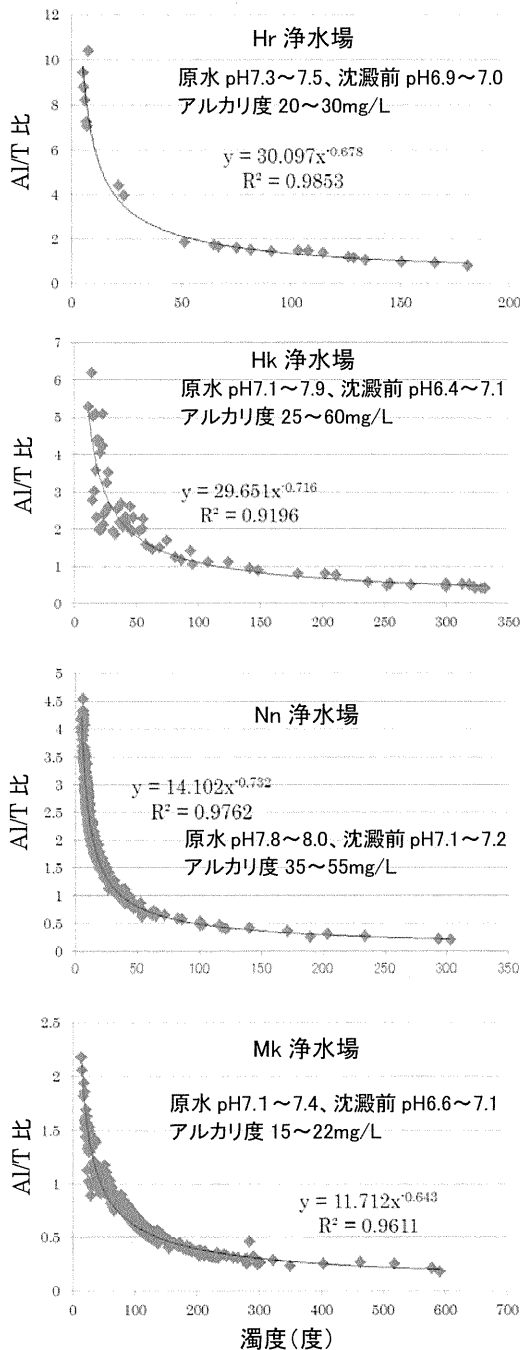


図 6 Al/T 比と原水濁度との相間

ここで、図 6 で求めた式(1)の係数 a、b と原水水質の特徴を表 5 に示す。Hr 浄水場と Mk 浄水場を同一の濁度と比較し、式(2)を用いて計算すると、PAC 注入量は Hr 浄水場では 2 倍程度多く必要となっており、その要因として、Hr 浄水場では高色度原水のために PAC の消費が大きくなる可能性が考えられる。この場合、係数 b は Mk 浄水場と Hr 浄水場で近い値を示し、係数 a に大きな差があることから、係数 a がより大きく色度の影響を受ける係数であることが示唆される。同様に、Hk 浄水場と Nn 浄水場についても PAC 注入量に 2 倍の差があり、酸注入による pH 調整の差が PAC 注入量に大きな影響を与えていると考えられる。また、Hk 浄水場と Nn 浄水場で係数 b の値が近いことから、係数 a が凝集時の pH に影響する係数であることを示している。係数 b においては、やや低めの値を示す Hr 浄水場、Mk 浄水場と、高めの Hk 浄水場、Nn 浄水場を比較すると、係数 b は原水アルカリ度に影響されていることが考えられる。以上のことから、式(1)の係数 a に関与する水質因子は色度と pH であり、係数 b に関与するものとしてはアルカリ度が考えられる。

表 5 各浄水場の累乗式係数と原水の特徴

浄水場	累乗式係数		原水水質の特徴		
	a	b	色度	アルカリ度	pH
Hr	30.097	-0.678	高	低	中
Hk	29.651	-0.716	低	高	高
Nn	14.102	-0.732	低	高	高(酸注入)
Mk	11.712	-0.643	低	低	中

注) 色度 高：40~ 低：~10  
アルカリ度 高：~60 低：~20  
pH 高：7.5~8.0 中：7.0~7.5

次に、式(2)を用いて算出する PAC 注入率を検証するため、Hr 浄水場の原水水質データから係数 a = 30.097、係数 b =

-0.678 を求めた。これらを式(2)へ代入し、浄水場での原水高濁度時の PAC 注入率と比較した。図 7 はそれぞれの PAC 注入率における AI/T 比と原水濁度の関係を表したものであるが、図に示すとおり 2 つの曲線はほぼ一致した。

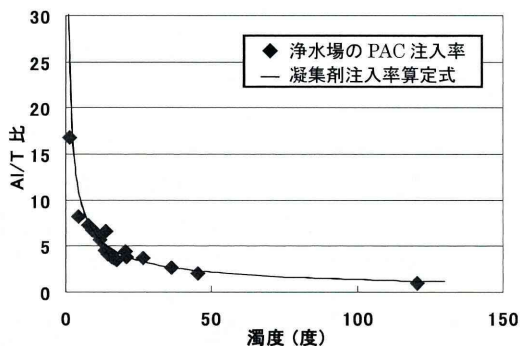


図 7 凝集剤注入率算定式と浄水場の凝集剤注入率における AI/T 比・濁度曲線の比較

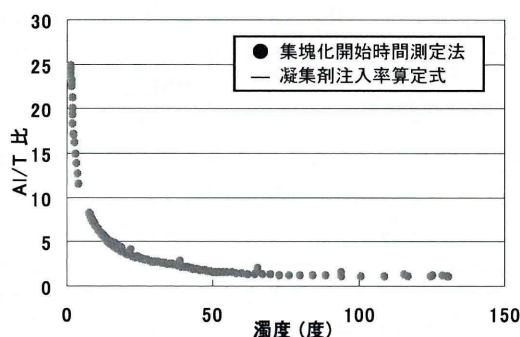


図 8 凝集剤注入率算定式と集塊化開始時間測定法の凝集剤注入率における AI/T 比・濁度曲線の比較

さらに、係数 a、b を代入した式(2)と集塊化開始時間測定法の PAC 注入率において同様の比較を行った結果、図 8 に示すとおり 2 つの曲線はほぼ一致した。

このような結果から、簡便な凝集剤注入率算定式として、式(2)の実施設における実用性が検証された。

(2) 高濁度原水への適正な凝集剤注入条件等の検討

(ア) 原水の濁度変動に対する凝集剤最適注入率及びその増減タイミングの検討

RUN1-1、RUN1-2、RUN1-3 の結果を図 9 に示す。図のとおり、原水濁度に応じた最適注入率で PAC 注入を行った RUN1-1 の処理水濁度は低く安定しているが、RUN1-2 では原水濁度の急激な上昇に対して PAC 注入不足となり、沈澱処理水濁度、ろ過水濁度が上昇した。また、原水濁度が減衰すると一時的に PAC 注入が過剰となるため、沈澱処理水濁度、ろ過水濁度が RUN1-1 よりも低い値となった。一方、RUN1-3 では PAC 注入が過剰となり、ろ過水濁度が大きく低下した。原水濁度減衰時には一時的に PAC 注入不足となるが、原水濁度が 500 度以下の場合には顕著な差は見られなかった。こうしたことから、原水濁度の急激な上昇が予測される場合には、早めに凝集剤注入率を増加させ、原水濁度の減衰時には遅めに注入率を下げることで、処理水濁

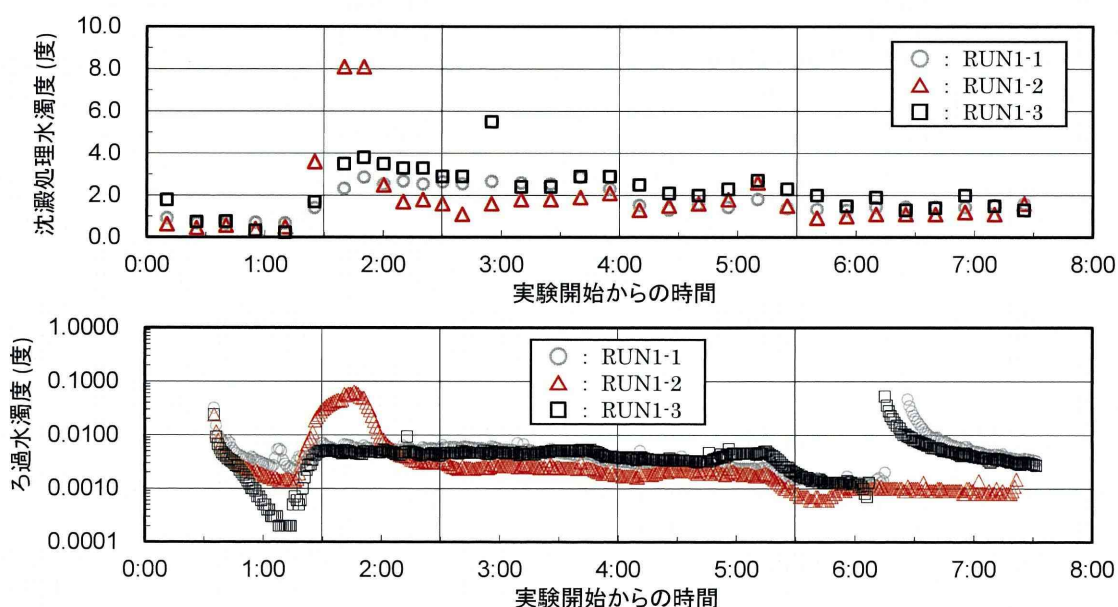


図 9 RUN1-1、RUN1-2、RUN1-3 の沈澱処理水濁度、ろ過水濁度の比較



度の安定的な管理に効果的であることが分かった。

(イ) 有機色度成分を含む原水への凝集剤注入条件の検討

図には示していないが、RUN2-1では、原水濁度の5度から1,000度への上昇に伴って、沈澱処理水濁度が1.0度から1.6度程度まで上昇したが、その後、500度以降の原水濁度では概ね1.4度で安定的に推移した。ろ過水濁度は、ろ過開始直後は不安定なものの、その後0.01度を下回った。また、沈澱処理水濁度の一時的な上昇に伴い、最大で0.016度まで上昇したが、実験をとおして低く安定した結果となった。一方、図10に示すRUN2-2は、原水濁度が5度の場合に沈澱処理水濁度が5.0～6.0度の間を推移し、濁質除去ができない状態を示した。また、原水濁度の5度から1,000度への上昇に伴い、2.7度程度を推移し、以降、200度までは安定的に低下傾向を示した。しかし、原水濁度が200度から50度に低下すると、3.0度程度にまで上昇する結果となった。ろ過水濁度は、沈澱処理水濁度と似た挙動を示し、原水濁度が5度、50度の場合に上昇を示し、原水濁度5度の場合には0.1度を下回ることができず、1.0度付近を推移した。また、

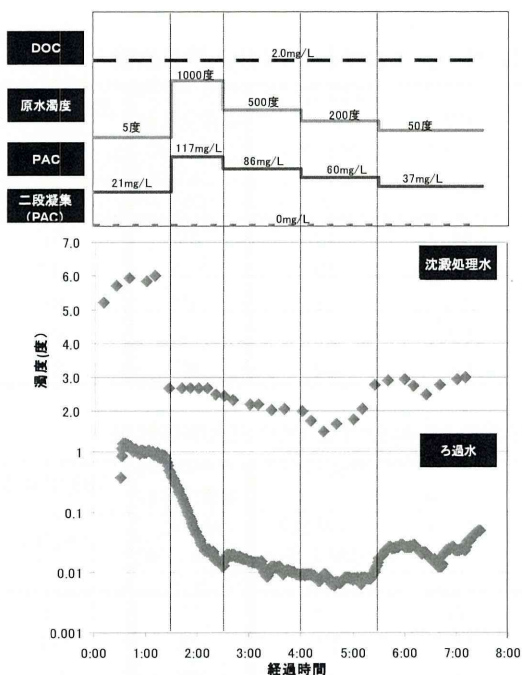


図 10 RUN 2-2 の沈澱処理水濁度、ろ過水濁度

原水濁度が50度の場合には、0.1度を下回るものの、RUN2-1よりも濁度が高くなる結果となった。図には示していないが、RUN2-3はRUN2-1と同様に、処理水の濁度が低く安定した結果となった。このような結果から、有機色度成分を考慮した最適注入率でPAC注入を行うことが、有機色度成分を含む高濁度原水への対応の基本要件であることが示された。

次に、RUN2-1、RUN2-2と、表2の「濁度変動のみ」の条件においてPAC注入を最適注入率で行ったケースの比較を図11に示す。RUN2-1と「濁度変動のみ」のケースの比較では、原水濁度が500度及び1,000度の場合、沈澱処理水濁度は「濁度変動のみ」がRUN2-1よりも高い値を示し、ろ過水濁度はRUN2-1よりも低く安定した結果となった。これは、RUN2-1では濁質が沈澱槽を通過してしまったものの、凝集処理が十分に行われたものと考えられる。また、実験をとおして、沈澱処理水濁度、ろ過水濁度はそれぞれ同程度で推移しており、有機色度成分を含む原水に最適注入率のPAC注入を行うこ

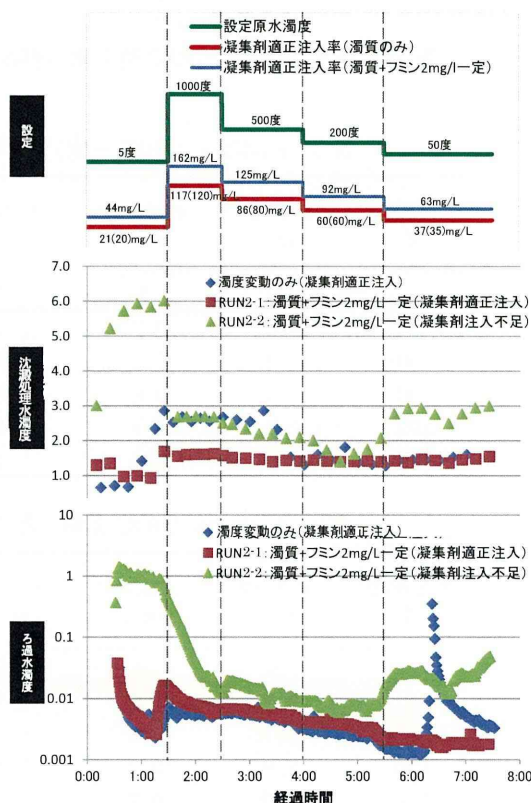


図 11 沈澱処理水濁度、ろ過水濁度の比較

とで、処理水濁度が低く安定することが分かった。RUN2-1とRUN2-2の比較では、実験をとおして沈澱処理水濁度、ろ過水濁度はRUN2-2の方が高い値で推移したことから、有機色度成分を含む原水の処理において濁度に対する最適注入率でのPAC注入では十分な凝集が行われず、濁質がろ過水へ漏出したと考えられる。特に原水濁度が5度及び50度の低濁度の場合において沈澱処理水、ろ過水濁度が高い値を示しており、これは原水中の濁質に対する有機物色度成分の割合が大きくなることによって、凝集が十分に行われなくなったと考えられる。

次に、有機色度成分が凝集に及ぼす影響を検討するために、ジャーテストの結果から、原水DOCの差とそれに対応する

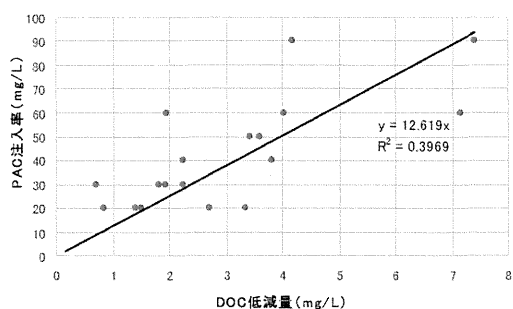


図 12 DOC 低減量と PAC 注入率の関係

PAC注入率の差をすべて求め、図12のとおり濁度に関係なくプロットした。なお、ここでは、原水DOCの差を低減量とし、それに対応するPAC注入率の差をDOC低減に必要なPAC注入率と考えた。図のプロットでは、DOC低減の必要がない場合にはPAC注入率が0となることから、原点を通るDOC低減量の変化に伴う1次関数で近似した。相関係数の2乗が0.4(相関係数0.63)とあまり高くなく、ばらつきが大きいのは、PAC最適注入率の決定に際し、ジャーテストの同時実施個数の関係から、注入率の刻みが大きく、必ずしも真値をプロットすることができていないことに起因していると考えられる。この式を用いて、有機色度成分の除去に消費されるPAC注入率を算出し、濁質の除去に消費されたと考えられる注入率と「濁度変動のみ」のケースにおける最適注入率と表6、表7のとおり比較した。その結果、有機色度成分の除去に消費されるPAC注入率の計算値は概ね同等の値となった。表3に示すRUN 2-2の場合には、すべての設定濁度において、C-Dの値が「濁度変動のみ」のEの値を満足した。しかし、表4に示すRUN 2-2の場合には、実験において原水DOCが設定値を上回る

表 6 RUN2-1 (DOC 一定) と「濁度変動のみ」における PAC 注入率の比較

設定濁度 (度)	原水DOC (mg/L)	沈水DOC (mg/L)	消費DOC (mg/L)	最適PAC (mg/L)	有機物用 PAC (計算値) (mg/L)	濁度用PAC (mg/L)	濁度用最適 PAC (mg/L)
	A	B	A-B	C	D	C-D	E
5	1.8	0.7	1.1	44	14	30	21
1000	2.0	0.5	1.5	162	19	143	117
500	2.3	0.6	1.7	125	21	104	86
200	1.8	0.7	1.1	92	14	78	60
50	2.0	0.6	1.4	63	18	45	37

表 7 RUN2-2 (DOC 変動) と「濁度変動のみ」における PAC 注入率の比較

設定濁度 (度)	原水DOC (mg/L)	沈水DOC (mg/L)	消費DOC (mg/L)	最適PAC (mg/L)	有機物用 PAC (計算値) (mg/L)	濁度用PAC (mg/L)	濁度用最適 PAC (mg/L)
	A	B	A-B	C	D	C-D	E
5	3.1	0.8	2.3	44	29	15	21
1000	10.8	0.9	9.9	204	125	79	117
500	5.9	0.8	5.1	153	65	88	86
200	4.6	0.7	3.9	109	49	60	60
50	4.0	0.8	3.2	70	41	29	37

量が添加されたため、C-Dの値が原水設定濁度500、200度の場合を除いてEの値を下回る結果となった。特に原水濁度1,000度の場合には、計算値が38mg/L低い結果となった。

こうしたことから、有機色度成分を含む原水では、濁質の除去に必要な凝集剤注入率に加え、DOC低減に消費される分の注入率増加が必要であることが明らかとなった。

(3) 凝集操作におけるアルカリ度の適正管理に向けた検討

(ア) アルカリ度と凝集・沈澱処理の関連性検証

Kw浄水場における平成23年1月から9月までの原水水質について調査を行った。その結果、アルカリ度の平均値は15.7mg/Lであり、濁度が30度以上となった時(n=92)のアルカリ度の平均値は10.3mg/L、40度以上(n=65)では9.9mg/L、50度以上(n=46)では9.7mg/Lであったことから、原水濁度上昇時にアルカリ度が低下する傾向にあることが分かった。また、この期間においてアルカリ度が10mg/L以下に低下する場合、沈澱処理水濁度が1度を超えるケースが多く見られた。

次に、この浄水場の原水を用いたジャーテストを行い、PAC注入率・アルカリ度と濁度・色度の除去性との関係について検証を行った。図13は、PAC注入率に対する濁度・色度を示したものであり、濁度・色度ともに十分に除去されていない。図14は、原水にアルカリ剤を5mg/L

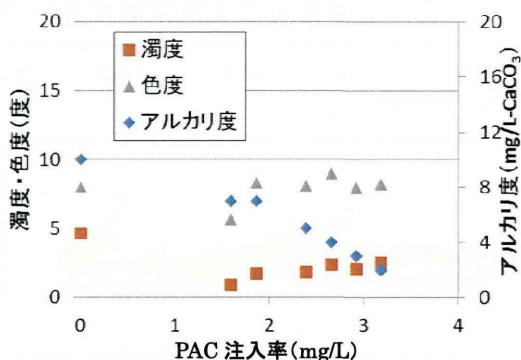


図13 PAC注入率・アルカリ度と濁度・色度の除去性との関係(アルカリ剤添加なし)

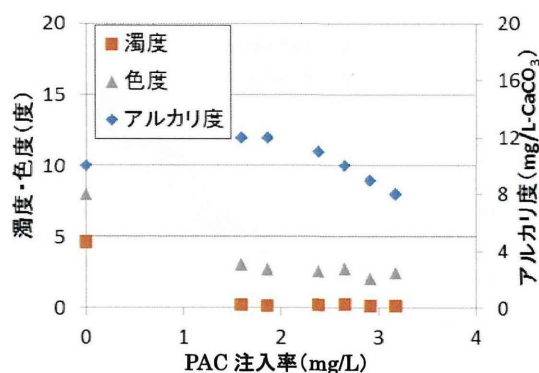


図14 PAC注入率・アルカリ度と濁度・色度の除去性との関係(アルカリ剤5mg/L添加)

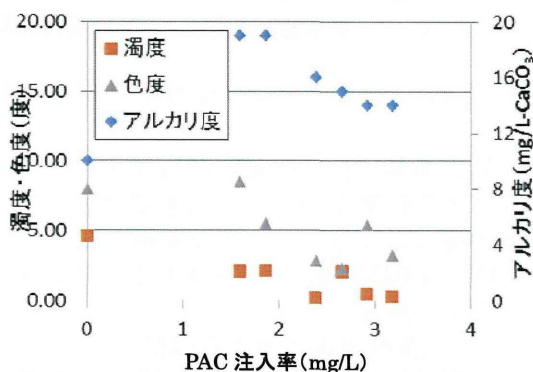


図15 PAC注入率・アルカリ度と濁度・色度の除去性との関係(アルカリ剤10mg/L添加)

添加した場合であり、濁度・色度が十分に除去されている。図15は、アルカリ剤を10mg/L添加した場合であるが、図16よりも濁度・色度の除去性が低い結果となり、この要因として過剰のアルカリ剤添加によりpHが凝集に適した値を超えたためと考えられる。こうしたことから、原水高濁度時にアルカリ度が低下する場合には、アルカリ度が少なくとも10mg/Lを下回らないようにアルカリ剤を注入すると同時に適正なpH調整を行うことが、凝集・沈澱不良への対策となることが示された。

(イ) 実施設における電気伝導率とアルカリ度の相関検証

図16は、Nk浄水場での1年間の工業計器による連続測定値から、ECとアルカリ度の相関を表したものであり、ECとアルカリ度の強い相関

を示している。このような結果から、実施設においてECはアルカリ度の代替指標として適用可能であることが分かった。



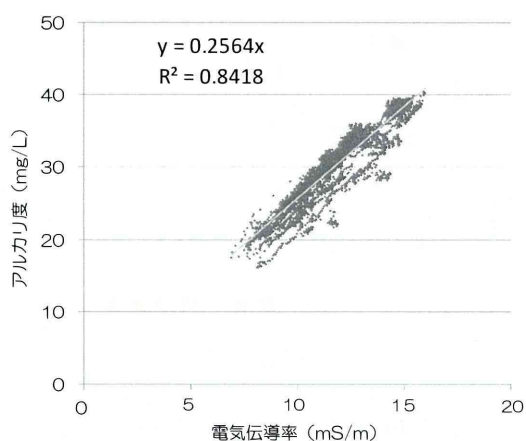


図 16 EC の連続測定値とアルカリ度の相関

2) ろ過水濁度の安定的な管理に向けた検討

原水高濁度時に凝集沈澱処理をバックアップする技術である二段凝集処理について、その導入に係る以下の事項を検討した。

(1) 高濁度原水の凝集・沈澱不良に対する効果の検証

(f) 高濁度原水に対する効果

RUN3-1~RUN3-4 の沈澱処理水濁度及びろ過水濁度を図 17、図 18 に示す。PAC 注入不足となる図 17 の RUN3-1 では、原水濁度 1,000 度から 200 度までの間に沈澱処理水濁度が前述の RUN1-1 の 2 倍程度まで上昇した。ろ過水濁度は原水濁度が 1,000 度へ上昇してからは高い

状態が続き、50 度となってからはやや低下した。

この条件で二段凝集処理を行った RUN3-2 では、沈澱処理水濁度が上昇して PAC 注入不足の状態を示したが、ろ過水濁度は RUN3-1 よりも低下した。図 18 の RUN3-3 は沈澱不良の状態であり、沈澱処理水濁度の変化は PAC 注入不足の場合とほぼ同程度であったが、ろ過水濁度はろ過の継続にしたがって上昇する傾向にあった。この条件で二段凝集処理を行った RUN3-4 では、RUN3-2 と同様にろ過水濁度を低減させる効果が見られた。

(g) 有機色度成分を含む原水への効果

RUN4-1の結果を図19に示す。沈澱処理水濁度は、原水濁度5度の場合には1.2度程度で推移し、前述のRUN2-1と同様の結果となった。原水濁度1,000度以降は前述のRUN2-2と同様の傾向を示し、50度の場合には、6.0程度にまで達した。しかし、ろ過水濁度は原水濁度の5度から1,000度への上昇に伴って、若干上昇しかけたものの、二段凝集処理の効果が出始めると次第に低下し、実験が終了するまで0.01度以下の値を保持した。また、原水濁度50度の場合においても低く安定した。前述のRUN2-2 (図10) とRUN4-1を比較すると、二段凝集処理を行ってから実験をとおしてろ過水濁度の低下が

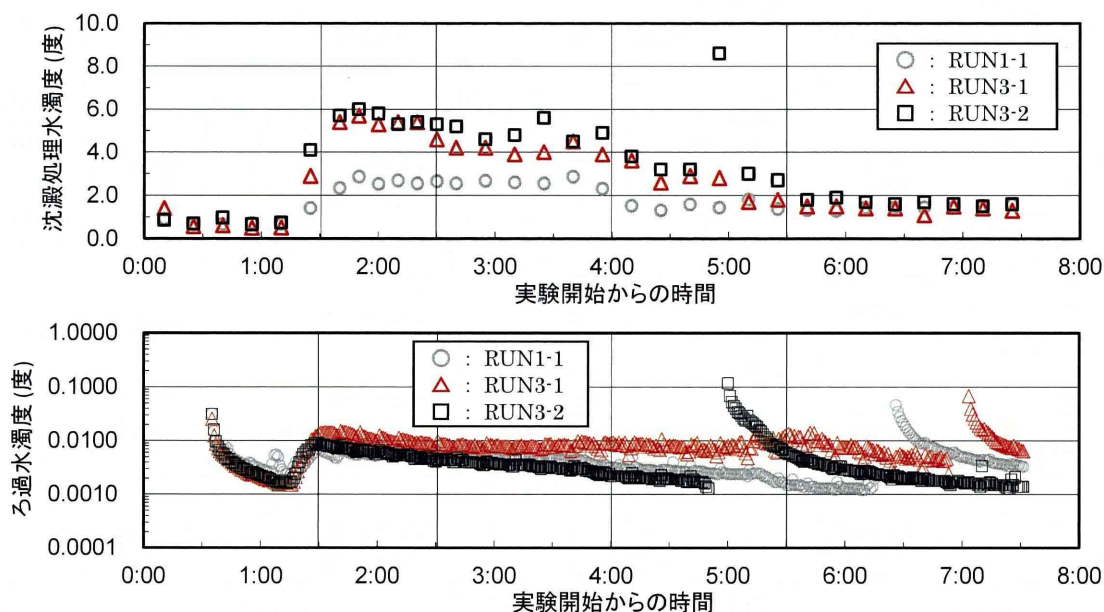


図 17 RUN3-1、RUN3-2 の沈澱処理水濁度、ろ過水濁度の比較

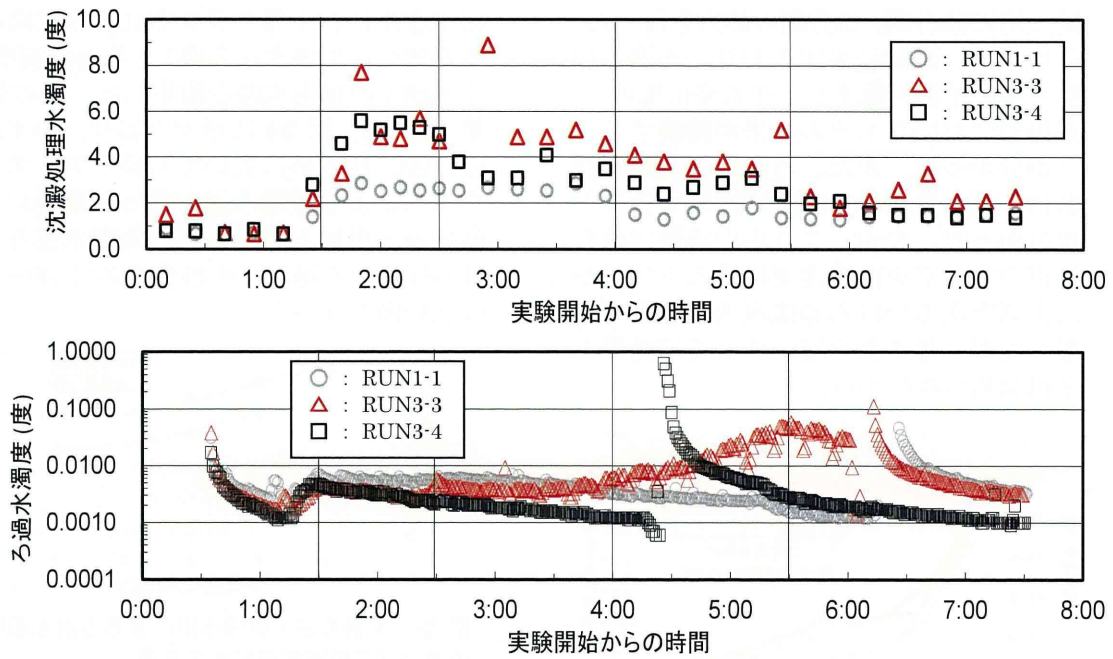


図 18 RUN3-3、RUN3-4 の沈澱処理水濁度、ろ過水濁度の比較

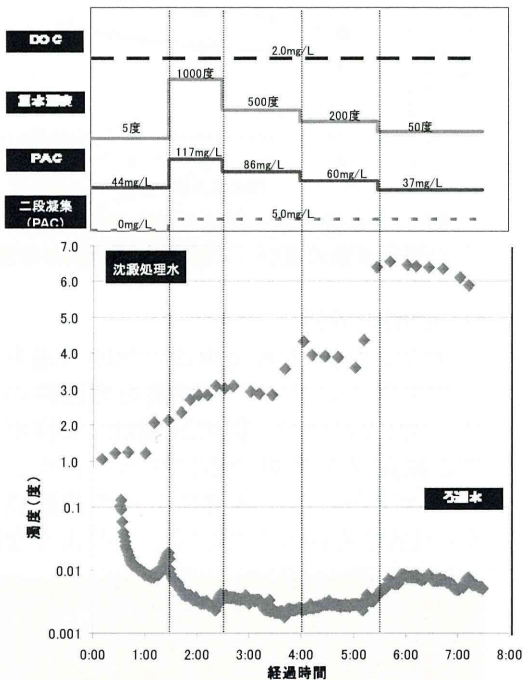


図 19 RUN4-1 の沈澱処理水濁度・ろ過水濁度

見られ、特にろ過水濁度が高い値を示した原水濁度 50 度では顕著であった。

また、浄水場の原水を用いた小型プラントによる実験の二段凝集処理において、2mg/L の注入率で PAC 注入を行ったところ、図 20 に示すとおり、浄水場の原水

濁度が 80 度近くまで上昇したときに、二段凝集処理を行わない場合のろ過水濁度は 0.3 度程度まで上昇したのに対し、二段凝集処理を行った場合には 0.1 度以下に維持された。

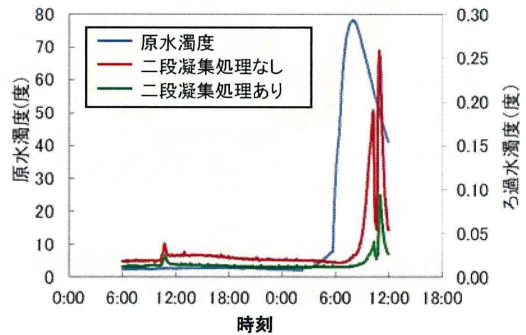


図 20 二段凝集処理の有無によるろ過水濁度変化の比較

(2) 二段凝集処理によるろ過水濁度管理の実施設における検証

Hr浄水場におけるフィールド実験により二段凝集処理の効果を検証した。沈澱処理水流出口部に注入率0.16mg/LでPACを連続注入した結果、図21に示すとおり、ろ過水濁度が0.005度から0.002度程度まで低下した。また、粒径0.5~1μmの微粒子数は1,500個/mLから500個/mL程度まで低下した。次に、同様のPAC注入率で



間欠的に20分間、10分間の注入を行った。その結果、図22に示すとおり、ろ過水濁度と微粒子数が低下し、注入停止後の一定期間においてもその効果が持続することが分かった。また、ろ過池の洗浄が行われることにより、効果は消失することが分かった。なお、これらの実験では凝集剤の注入点を沈澱池流出前のトラフや流出直後あるいはろ過池流入部として実施したが、注入点の違いによる効果の差は認められなかった。

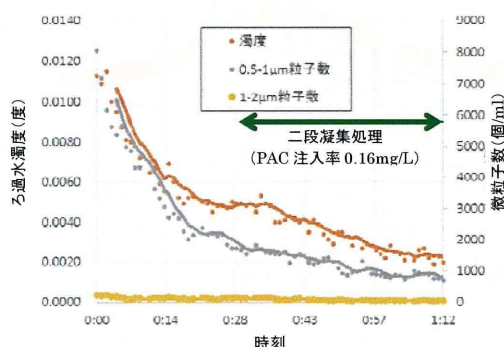


図 21 二段凝集処理によるろ過水濁度・微粒子数の変化

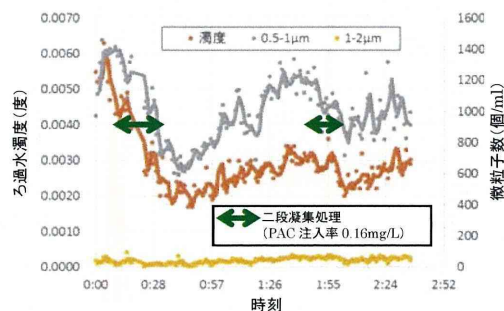


図 22 二段凝集処理によるろ過水濁度・微粒子数の変化（間欠注入）

- (3) 導入に向けた留意事項等の提示  
(7) 凝集剤の注入点

調査対象とした浄水場では、いずれも二段凝集処理での凝集剤注入点を沈澱池流出越流堰とし、攪拌機等の設置は行われておらず、注入点における GT 値（攪拌強度と接触時間の積）は、越流堰において 10,000 程度の事例があった。また、二段凝集処理によるろ過池のろ過抵抗上昇対策として、ろ過池の複層化（砂+アンラサイト）を実施している事例があった。

この対策を検証するため、Hr 浄水場の

原水を用い、小型プラントにより二段凝集処理後の処理水をろ過し、ろ過水濁度、ろ過池での損失水頭を測定した。その結果、図 23、図 24 に示すとおり、いずれの PAC 注入率においても砂とアンラサイトによる複層ろ過を行った場合には砂のみの単層ろ過に比べ、ろ過水濁度は 20%程度、ろ過池での損失水頭は 30%程度低い値となった。

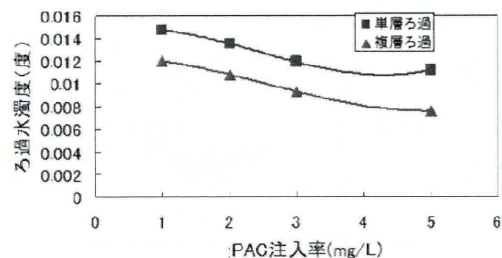


図 23 単層ろ過・複層ろ過によるろ過水濁度の違い（二段凝集処理水のろ過）

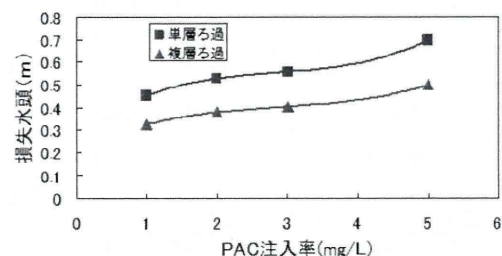


図 24 単層ろ過・複層ろ過によるろ過池での損失水頭の違い（二段凝集処理水のろ過）

#### (4) 設備の設置

施設能力約 2 万  $m^3$ /日の急速ろ過方式の浄水場における二段凝集処理設備の事例を図 25 に示す。図の設備は、薬注ポンプと薬品タンクが一体になっており、薬注ポンプからホース等によって沈澱処理水へ PAC を注入している。このような簡

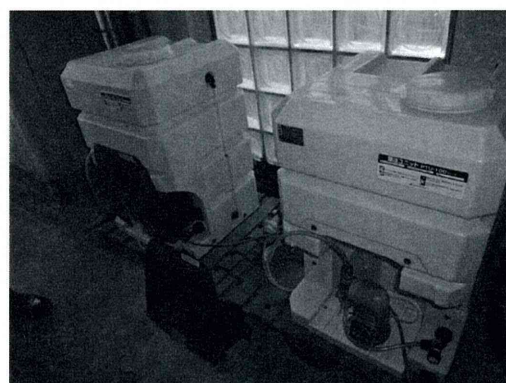


図 25 二段凝集処理設備の設置事例