

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25年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 相澤貴子

平成26(2014)年5月

目 次

I . 総括研究報告

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 . 分担研究報告

1. 水道事業体における浄水処理関連データの収集分析とその応用に関する研究

堤 行彦（福山市立大学）

2. 高濁度対応技術の検証

伊藤 雅喜（国立保健医療科学院）

3. 水質変動の大きな原水に対応するための浄水処理の最適化と制御手法に関する研究

鎌田 素之（関東学院大学）

4. 新たな簡易耐震診断表における耐震性判定基準に関する研究

宮島 昌克（金沢大学）

III . 研究成果の刊行に関する一覧表

IV . 研究成果の刊行物・別刷

添付資料

1. 研究体制

2. 原水水質悪化への対応の検討

2.1 水道事業体における浄水処理関連データの収集分析とその応用

2.2 「高濁度原水への対応の手引き(案)」

2.3 「手引き(案)」を用いたケーススタディ

2.4 「手引き(案)」へのアンケート調査結果

2.5 現地ヒアリング調査議事録

2.6 検討 WG 会議議事録

3. 耐震化促進等に関する検討

3.1 構造的強度評価方法の改善

3.2 「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」

3.3 現地ヒアリング調査議事録

3.4 検討 WG 会議議事録

4. 研究班会議議事録

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、原水水質悪化に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、平成 25 年度の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。

平成 25 年度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

平成 24 年度の研究では、中小事業者が浄水処理で課題とする水源河川における高濁度時の凝集・沈澱不良の発生に対し、1)薬品注入の適正化、2)ろ過水濁度の安定的な管理、3)水質管理が容易な薬品注入について具体的な対応技術を検討し、また、事業者による課題改善事例を収集した。平成 25 年度の研究では、引き続きこれらの検討課題について、以下に示す室内・フィールド実験や実施施設における実用性等の検証及び技術導入における留意事項等の検討を行った。

1 薬品注入の適正化に向けた検討

平成 24 年度に提示した凝集剤注入率算定式を浄水場の原水で評価した結果、ジャーテスト等との一致がみられ、実用性が検証された。有機色度成分（ここではフミン酸ナトリウム）を含む原水の凝集処理では、濁質の除去に加え、有機物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ることが明らかとなり、これをアルカリ剤の注入管理に用いることでアルカリ度低下を要因とする凝集・沈澱不良への対応が容易となった。

2 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技術であり、有機色度成分を含む高濁度原水により沈澱池処理水濁度が上昇した場合でも有効である。また、設備の設置や凝集剤注入方法の簡便性など維持管理の面でも中小

事業体が導入しやすい技術である。

3 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。

(2) 耐震化促進等に関する検討

平成24年度は、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、及びこれらの研究成果を基にした「浄水施設簡易耐震診断の手引き」の原案を作成した。

平成25年度は、中小規模水道事業を中心とするケーススタディにおけるこれら研究成果の試用及びレビュー等を通じて得られた意見・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最終成果品を提示できた。

また、これらの平成25年度におけるケーススタディによって、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、平成24年度に実施した浄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、全国の浄水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。

(3) 適切な施設更新によるリスク低減対策の検討

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。また、東北地方太平洋沖地震等の地震被害実態を踏まえた段階的な簡易耐震診断手順を検討するとともに既往簡易耐震診断表の問題点を改善し、これらを基にした「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」を作成した。これらの研究成果は、今後の中小事業体における浄水技術の信頼性向上と施設等の耐震化促進に寄与するものである。

研究分担者氏名

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
富井 正雄	水道技術研究センター	浄水技術部長
堤 行彦	福山市立大学	教授
伊藤 雅喜	国立保健医療科学院	首席主任研究官
鎌田 素之	関東学院大学	准教授
宮島 昌克	金沢大学	教授

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。

なお、本研究は、平成 23 年度からの 3 か年計画で実施したものであり、平成 25 年度は最終年度に当たる。

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

平成 23 年度には、中小事業者の浄水処理における主要な問題は水源河川高濁度時の凝集・沈澱不良であることを把握し、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、実施設のデータ解析及び基礎的実験による具体的な高濁度対応技術の検討を行った。平成 25 年度は、平成 24 年度に実施した水道事業者における浄水処理関連データの解析結果を基に、薬品注入に係る指標の検討・検証を行った。また、平成 24 年度に引き続き、高濁度原水への対応技術に関する実施設の原水を用いたジャーテスト、連続・回分実験及びフィールド実験を実施し、実施設における実用性等を検証した。これらの成果を踏まえて、中小事業者が導入しやすく有効な浄水処理技術の改善・強化方を策定できるように「高濁度原水への対応の手引き(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 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実用性評価

平成 24 年度は、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た。その結果、原水濁度 600 度付近まで強い相関のある累乗曲線を得たことから、これを以下に示す凝集剤注入率算定式として提示した。平成 25 年度は、浄水場の水質データを基に、この式から算出した原水濁度に対する凝集剤注入率と、ジャーテストから求めた浄水場の注入率との比較を行った。また、集塊化開始時間測定法による注入率との比較を行い、凝集剤注入率算定式の実用性を評価した。

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

ここで、

Y : AI/T 比

AI : 凝集剤^{注)}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) 有機色度成分を含む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、図 1 に示す小型プラント (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。この実験では、平成 24 年度に実施した濁度変動に対する適正な凝集

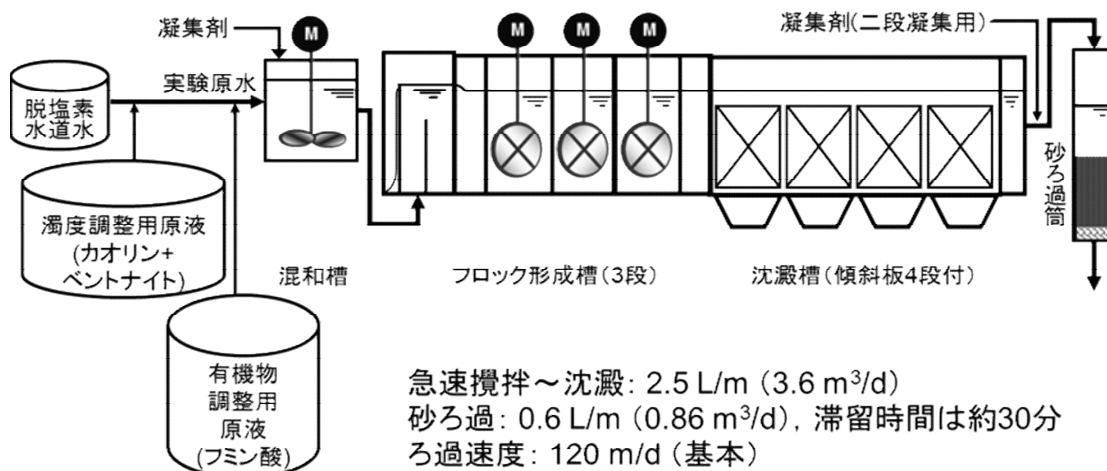


図1 小型プラントの概要

剤注入率とその増減タイミングの検証結果を踏まえ、平成25年度は、有機色度成分を含む高濁度原水に対する適正な凝集剤注入条件の検証及び有機物色度成分が凝集に及ぼす影響等について考察を行った。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」)及び濁度に追従するパターン(「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

表1 原水水質の設定

原水濁度 (度)	原水DOC (mg/L)	
	DOC一定	DOC変動
5	2.0	2.0
200	2.0	3.5
500	2.0	5.0
1000	2.0	8.0

表2 原水水質とPAC注入率の条件

原水濁度 (度)	DOC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

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。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。

小型プラントによる実験は、表2の条件について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:「DOC一定」の条件においてPAC注入を最適注入率で行う。

RUN1-2: RUN1-1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。

RUN2-1:「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

(1) アルカリ度と凝集・沈澱処理の関連性検証

平成24年度には、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リ度低下が挙げられた。これを踏まえ、平成25年度には、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。

(2) 実施設における電気伝導率とアルカリ度の相関検証

平成24年度には、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が考察された。これを踏まえ、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として平成 24 年度に検討した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) 有機色度成分を含む高濁度原水の凝集・沈澱不良に対する効果の検証

ろ過水濁度を安定的に管理するための技術として、平成 24 年度には凝集・沈澱不良に対する二段凝集処理の効果を検証した。この成果を踏まえ、有機色度成分を含む高濁度原水の処理において生じる凝集・沈澱不良への効果を検証するために、前述の小型プラントによる「有機色度成分を含む原水への適正な凝集剤注入条件等の検討」の条件に二段凝集処理を追加した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 RUN1-2 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。

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

原水高濁度時において処理水水質の管理が容易となる新たな凝集剤として平成 24 年度に検討した高塩基度 PAC について、導入に係る以下の事項を検討した。

1) 実施設の原水を用いた効果の検証

平成 24 年度には、高塩基度 PAC と PAC を同一の原水に対して同じ注入率で注入し、処理性を比較した結果、高塩基度 PAC は PAC よりも pH、アルカリ度の低下が小さく凝集効果の高いことが検証された。この成果を踏まえ、平成 25 年度には、年間をと

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、ジャーテストによる高塩基度 PAC の適用効果を検証した。

2) 導入に向けた留意事項等の提示

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。

4 「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

平成 24 年度に作成した手引きの骨子について、専門家等へのヒアリングを行い、その結果と高濁度原水への対応技術、及び事業体等による課題解決事例等を整理した上で「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体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体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 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実用性評価

以下に示す凝集剤注入率算定式の a、b について、Hr 浄水場の原水水質データから a = 30.097、b = -0.678 を求めた。

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

ここで、

Y : Al/T 比

Al : 凝集剤^{注)}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、 $Al = a \cdot T^{b+1}$

これらの係数を式に代入し、浄水場での原水高濁度時の PAC 注入率と比較した。図 2 はそれぞれの PAC 注入率における Al/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。次に、係数 a、b を代入した式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 3 に示すとおり 2 つの曲線はほぼ一致した。このような検証結果から、実施における凝集剤注入算定式の実用性が確認された。

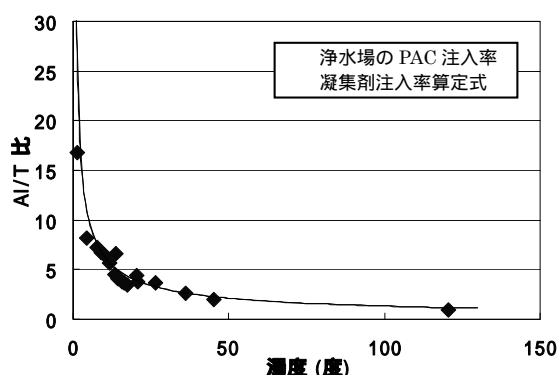


図 2 凝集剤注入率算定式と浄水場の凝集剤注入率における Al/T 比・濁度曲線の比較

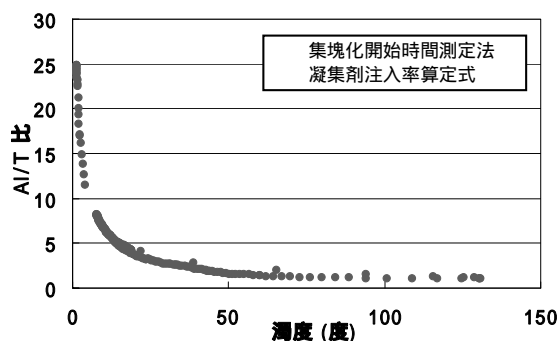


図 3 凝集剤注入率算定式と集塊化開始時間測定法の凝集剤注入率における Al/T 比・濁度曲線の比較

2) 有機色度成分を含む原水への適正な凝集剤注入条件等の検討

図には示していないが、RUN1-1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、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4に示すRUN1-2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、原水濁度が50度の場合には、0.1度を下回るものの、RUN 1-1よりも濁度が高くなる結果となった

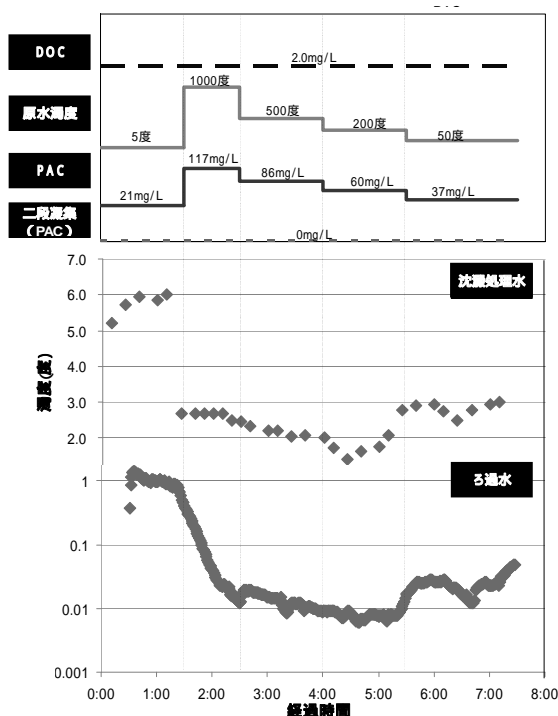


図 4 RUN 1-2 の沈澱処理水濁度、ろ過水濁度

た。図には示していないが、RUN2-1はRUN1-1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、RUN1-1、RUN1-2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5に示す。RUN1-1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RUN1-1よりも高い値を示し、ろ過水濁度はRUN1-1よりも低く安定した結果となった。これは、RUN1-1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注入を行うことで、処理水濁度が低く安定することが分かった。RUN1-1とRUN1-2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RUN1-2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、これは原水中の濁度成分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PAC注入率の差をすべて求め、図6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。

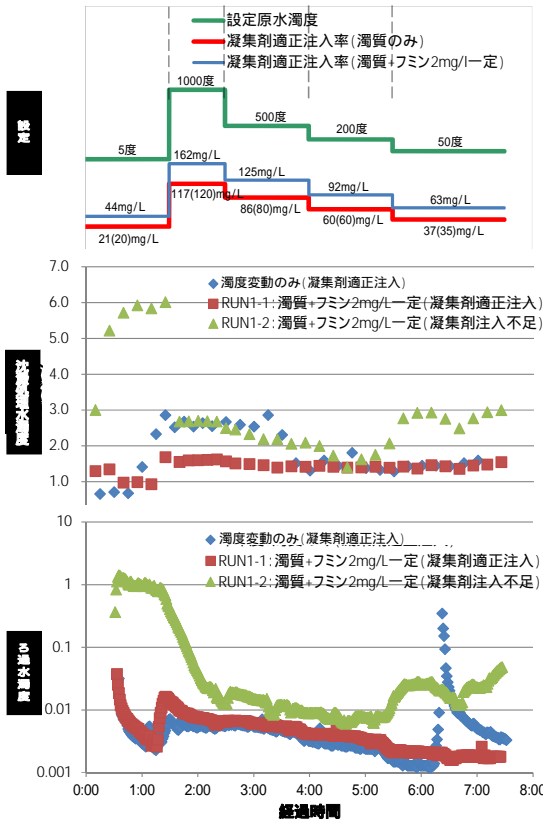


図5 沈澱処理水濁度、ろ過水濁度の比較

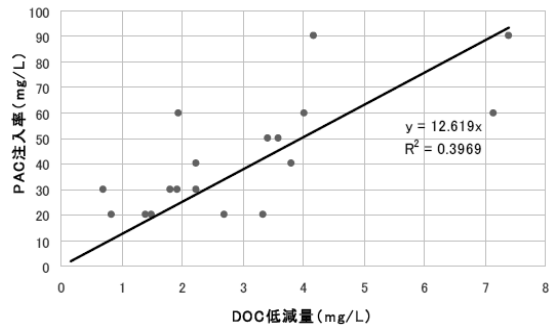


図6 DOC低減量とPAC注入率の関係

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3、表4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RUN1-1の場合には、すべての設定濁度において、C

表3 RUN1-1 (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4 RUN2-1 (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

- 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 2-1 の場合には、実験において原水 DOC が設定値を上回る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

(1) 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 7 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 8 は、原水にアルカリ剤を 5mg/L 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 9 は、アルカリ剤を 10mg/L 添加した場合であるが、図 10 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

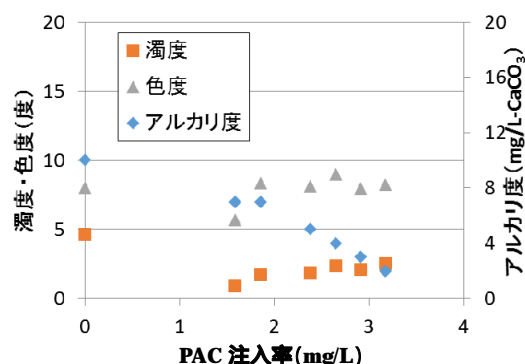


図7 PAC 注入率・アルカリ度と濁度・色度の除去性との関係 (アルカリ剤添加なし)

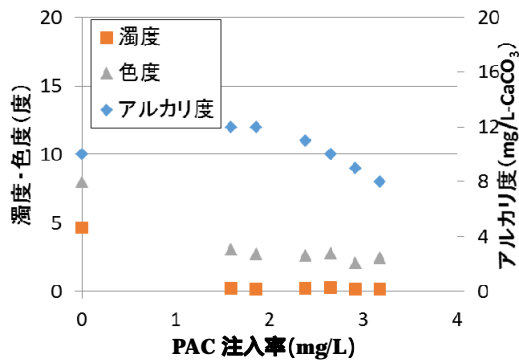


図8 PAC注入率・アルカリ度と濁度・色度の除去性との関係（アルカリ剤 5mg/L 添加）

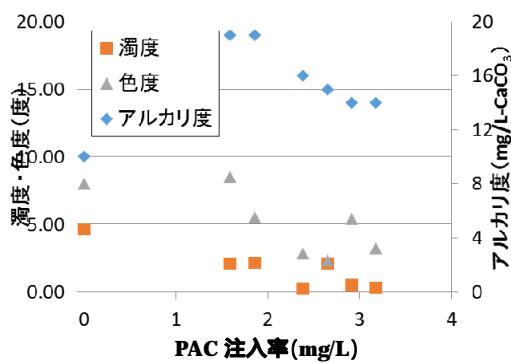


図9 PAC注入率・アルカリ度と濁度・色度の除去性との関係（アルカリ剤 10mg/L 添加）

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調整が凝集・沈澱不良への対策となることが示された。

(2) 実施設における電気伝導率とアルカリ度の相関検証

図10は、Nk浄水場での1年間の工業

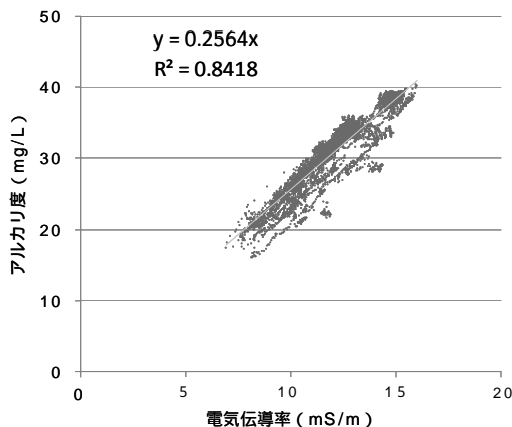


図10 ECの連続測定値とアルカリ度の相関

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。このような検証結果から、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。

2 ろ過水濁度の安定的な管理に向けた検討
1) 有機色度成分を含む高濁度原水の凝集・沈澱不良に対する効果の検証

RUN3-1の結果を図10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RUN1-1と同様の結果となった。原水濁度1,000度以降は前述のRUN1-2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度においても低く安定した。前述のRUN1-2(図4)とRUN3-1を比較すると、二段凝集処理を行ってからは実験をとおしてろ過水濁度の低下が見られ、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。

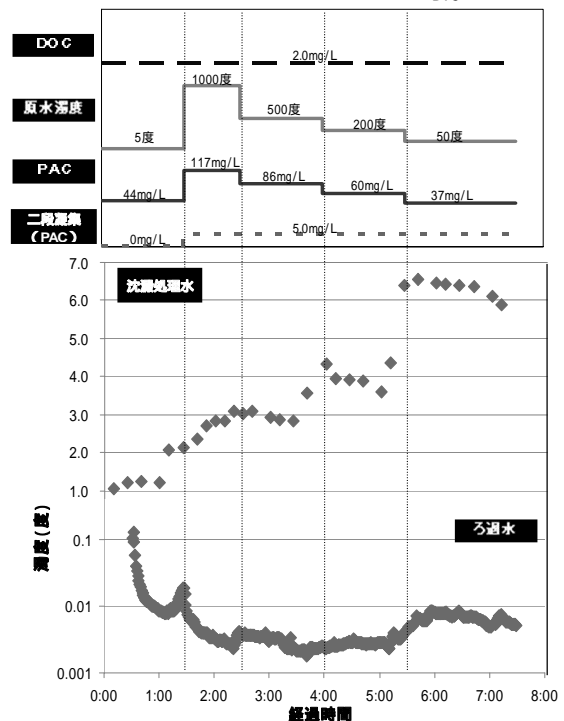


図11 RUN3-1の沈澱処理水濁度・ろ過水濁度

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。沈澱処理水流出部に注入率 0.16mg/L で PAC を連続注入した結果、図 12 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 0.5~1 μ m 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 13 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。

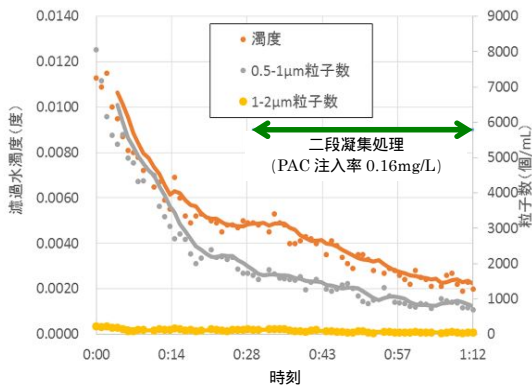


図 12 二段凝集処理によるろ過水濁度・微粒子数の変化

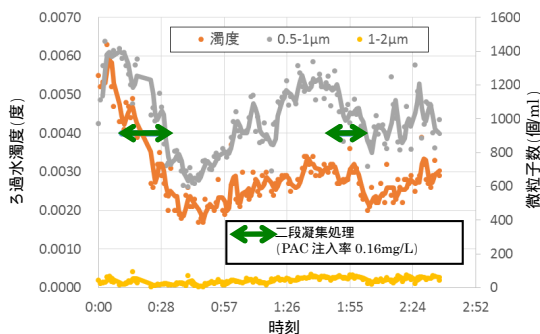


図 13 二段凝集処理によるろ過水濁度・微粒子数の変化(間欠注入)

3) 導入に向けた留意事項等の提示

(1) 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 14、図 15 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。

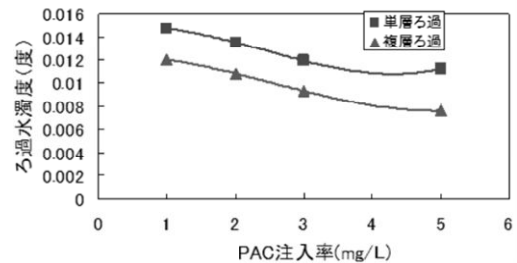


図 14 単層ろ過・複層ろ過によるろ過水濁度の違い(二段凝集処理水のろ過)

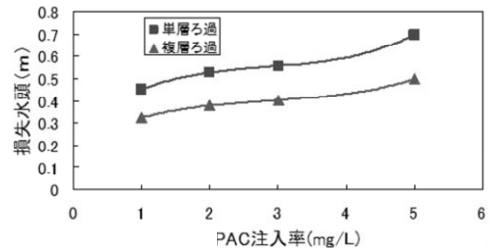


図 15 単層ろ過・複層ろ過によるろ過池での損失水頭の違い(二段凝集処理水のろ過)

(2) 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 16 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。このような簡易な設備の追加によるほか、二段凝集処理用の注入ポンプを新たに設け、既存の

凝集剤貯留槽から凝集剤を供給している事例があった。



図 16 二段凝集処理設備の設置事例

3 水質管理が容易な薬品注入の検討

1) 実施設における効果の検証

凝集剤として高塩基度 PAC を使用している Ar 浄水場において、水道事業体が発したジャーテストの結果を図 17 に示す。この図は、同じ原水に PAC と高塩基度 PAC を同様の注入率で注入した時の処理水における pH、濁度、色度、アルカリ度の変化を比較したものである。図から、濁度、色度の变化に大きな差は見られないものの、pH、アルカリ度の低下は高塩基度 PAC よりも PAC のほうが大きく、その傾向は注入率が大きいほど顕著となっている。図 18 はこの浄水場で凝集剤として PAC を使用していた期間と高塩基度 PAC に変更した後の期間における混和水の pH を年間変動として重ね合わせたものである。この浄水場では、平成 23 年 12 月に PAC の一部を高塩基度 PAC に変更し、平成 25 年 12 月に高塩基度 PAC への全面的な変更を行った（図では平成 25 年 10 月までの数値を記載）。図に示すとおり、平成 25 年 12 月以降ではそれ以前よりも pH が大きな値で推移しており、凝集剤注入による pH の低下が抑制されている。また、図 19 は前述の期間において、沈澱処理水濁度、ろ過水濁度を年間変動として重ね合わせたものである。図に示すとおり、沈澱処理水濁度、ろ過水濁度はともに平成 25 年 12 月以降ではそれ以前よりも低く安定的に推移しており、濁度の除去性が向上している。

次に、図 20 は、凝集剤を PAC から高塩基度 PAC に変更した Ue 浄水場での凝集剤

変更前後におけるろ過水アルミニウム濃度の変動を比較したものである。この浄水場では、平成 23 年 5 月に PAC から高塩基度 PAC への全面的な変更を行い、PAC 注入率は濁度に応じて 30~60mg/L、高塩基度 PAC は 30mg/L（一定）とした。図に示すと

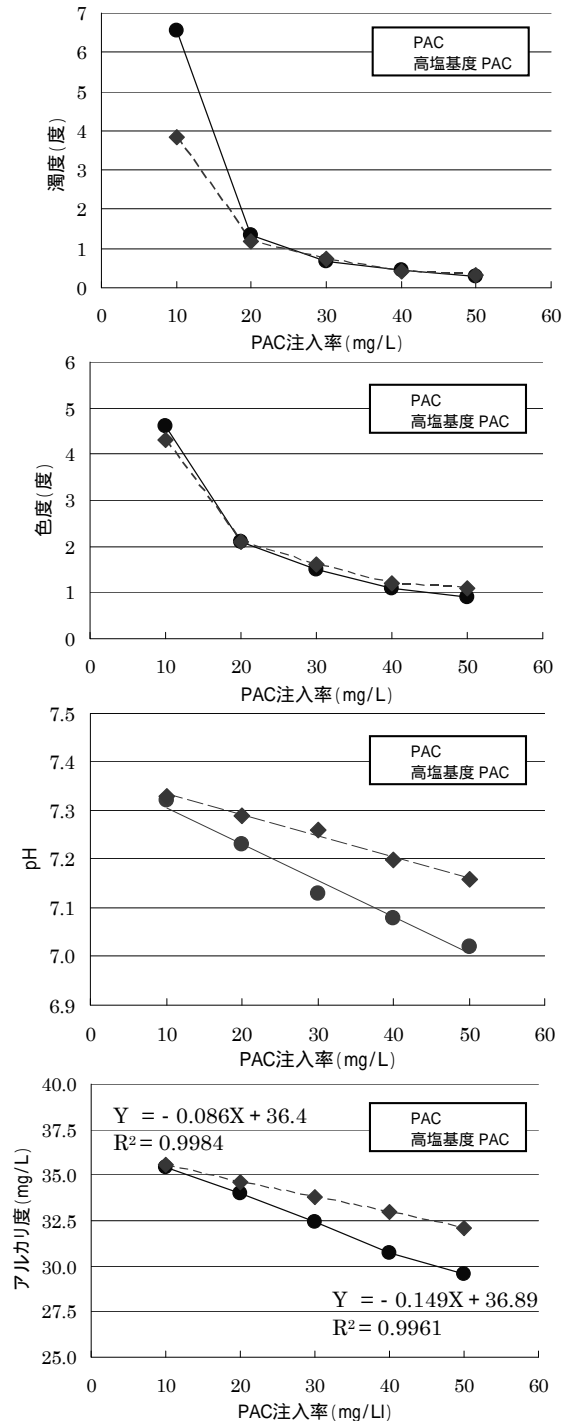


図 17 PAC・高塩基度 PAC 注入率に対する水質変化の違い（ジャーテスト）

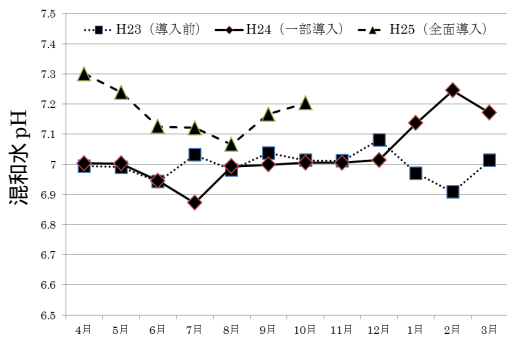


図 18 PAC・高塩基度 PAC 注入による混和水 pH の年間変動の違い

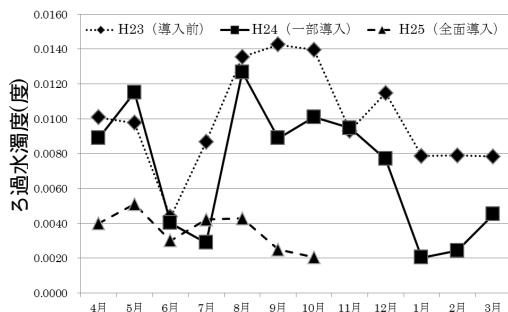
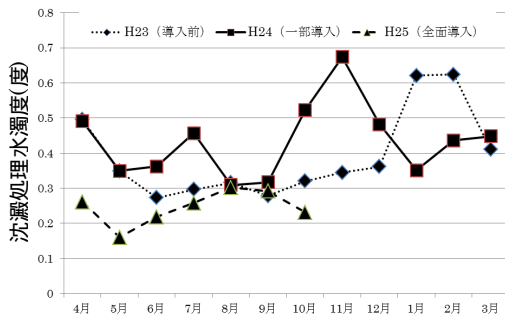


図 19 PAC・高塩基度 PAC 注入による処理水濁度の年間変動の違い

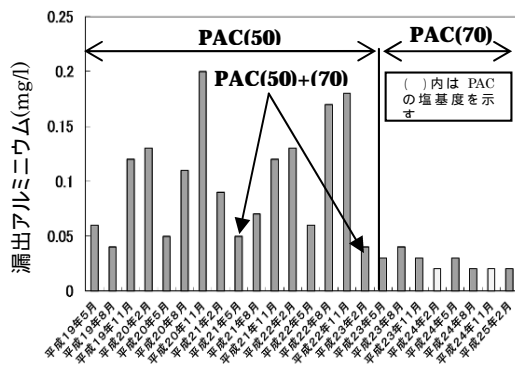


図 20 PAC・高塩基度 PAC 注入によるろ過水アルミニウム濃度の変動の比較

り、平成 23 年 5 月以降ではそれ以前よりも処理水中の残留アルミニウム濃度が大きく低下しており、アルミニウムの漏出が抑制されている。このようなことから、凝集剤

として高塩基度 PAC を使用することにより、注入による pH、アルカリ度の低下が PAC よりも小さく、アルミニウムの漏出が抑えられることが分かった。また、濁度、色度の除去性の違いについては、原水水質によって異なることが分かった。

2) 適用に向けた留意事項等の提示

PAC 及び高塩基度 PAC を用いたジャーテストにおける注入率と濁度、色度及びアルカリ度の関係を図 21、図 22 に示す。これらの図から、高塩基度 PAC は PAC よりも注入によるアルカリ度の低下が小さく、注入率が過剰となる条件ではいずれの凝集剤でも濁度、色度の除去性が低下していることが分かった。また、図 23 は注入率と注入後のアルカリ度の関係を示したものであり、注入量 1mg 当りのアルカリ度低下量は PAC で約 0.13mg/CaCO₃、高塩基度 PAC では約 0.08mg/CaCO₃であった。こうしたことから、高塩基度 PAC は PAC よりも注入によるアルカリ度の低下が小さいことが明らかとなった。一方、前述の図 8 で示し

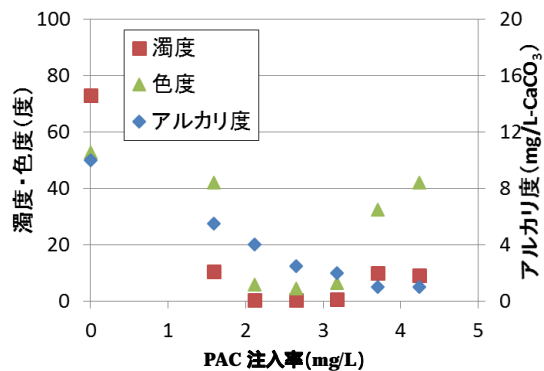


図 21 ジャーテストにおける PAC 注入率と濁度、色度及びアルカリ度の関係

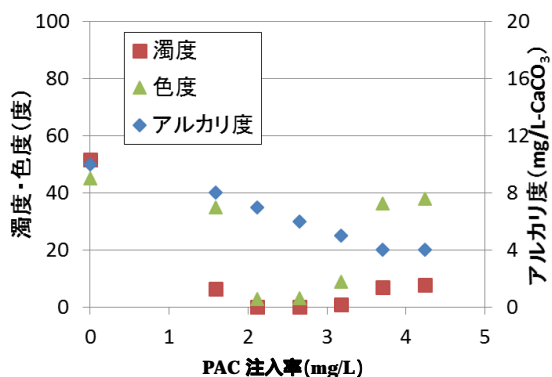


図 22 ジャーテストにおける高塩基度 PAC 注入率と濁度、色度及びアルカリ度の関係

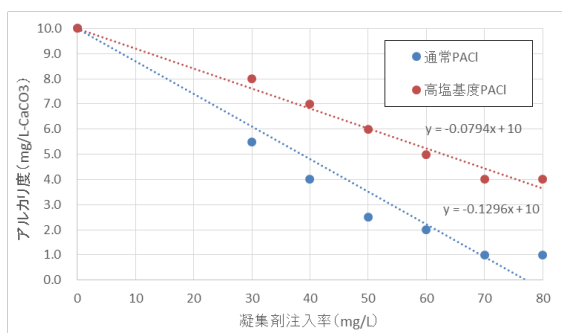


図 23 PAC・高塩基度 PAC 注入率と注入後のアルカリ度の関係

たように、低アルカリ度原水への適量のアルカリ剤注入により濁度、色度の除去性が向上したことから、高塩基度 PAC の適用によって PAC の注入に比べてアルカリ度低下が小さくなるのが、必ずしも濁度、色度の除去性向上に繋がらない場合のあることが分かった。その他、高塩基度 PAC の導入に際しては、既存の PAC 注入設備を利用できるほか、PAC よりも劣化が遅いなどの特長のあることが分かった。

4 「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

平成 24 年度の研究から、中小事業体では担当職員数が少なく、経験の浅い職員が業務に従事しているケースがあった。また、浄水場の運転マニュアルが未整備のケースも多く見られた。こうしたことから、「手引き(案)」の作成に際しては、以下の 3 つを基本方針とした。

(1) 課題認識と解決

事業体自らが浄水場の現在の状況を把握し、課題を認識した上で、その解決に向けた取り組みに導く。

(2) 基礎的事項の解説

技術的な専門用語や高濁度原水への対応に関する基本的な知識を解説する。

(3) 現場実務への応用

本研究で検討・検証した浄水処理の改善・強化方を現場実務へ応用しやすい記載方法とする。

2) 構成の検討

「手引き(案)」の作成過程において、中小事業体でのレビューを実施した結果、以下の指摘があった。

- ・「手引き(案)」を本編と要約編に分けて記載する。
- ・「手引き(案)」の要約版を見やすい場所へ掲示する。
- ・原水水質に応じた pH、アルカリ度、おおまかな薬品注入条件等を記載する。
こうした指摘と作成の基本方針とを合わせて検討した「手引き(案)」の構成を表 5 に示す。

表の「浄水処理における濁度管理マニュアル」は、急速ろ過方式の浄水場における濁度管理の必須要件を「水安全計画」の考え方を採用してマニュアル化し、活用のし

表 5 「手引き(案)」目次構成

浄水処理における濁度管理マニュアル

1. 濁度管理マニュアルについて
2. 用語の説明
3. 濁度管理マニュアルによる管理方法
4. 困った時にお読みください
(トラブルシューティング)

高濁度原水への対応のポイント

水道技術管理者向け
現場実務者向け

高濁度原水への対応の解説

本編

1. 総説
 2. 高濁度原水対応の基本要件と現状評価
 3. 基礎知識(降雨に伴う水質変動が浄水処理や給水に及ぼす影響)
 4. 事前準備と平常時の対応
 5. 高濁度原水が発生する場合の対応
 6. 事態が終息した後の対応(今後に向けた検証や検討)
 7. 技術紹介
 - ・原水水質変動早期検知・予測のための情報収集
 - ・水質計が未整備の場合の水質測定
(電気伝導率を用いたアルカリ度監視など)
 - ・適切な薬品注入の順序・位置、高塩基度 PAC の適用、適切な PAC 注入率・変更タイミング、適切な前アルカリ剤注入率、高濁度原水対応のジャーテスト要領など
 - ・二段凝集処理
- 資料編
- ・用語の解説
 - ・現状評価チェックシート
 - ・水質異常時対応フロー、改善シートの事例
 - ・薬品注入率早見表
 - ・近年の水質事故の概況
 - ・関連指針、参考図書等の紹介

やすさを考慮して本編と分けて編集した。内容に汎用性を持たせたため、現場での使用に際しては浄水場ごとの特性を踏まえた修正や、余裕を持って過水濁度を 0.1 度以下に管理するための基準を各浄水工程について設定する作業は必要となるものの、可能な限り実践的な記載内容とした。ここでは職員の浄水処理に関する知識や運転管理体制・状況等を自己診断することで課題認識へ導くためのチェックシートを提示した。このチェックシートでは、現状の課題認識とともに、課題に応じた対応策の章を参照できるように示した。また、表 6 に示すとおり、「水安全計画」の考え方に準じて職員自らが浄水処理における水質管理基準を設定し、それに基づく運転管理を行う方法とそのマニュアルを作成するための雛形を提示した。この表は、凝集沈澱ろ過処

理において濁度の除去に関連する pH、アルカリ度等の水質項目を含めた管理基準を設定する書式となっている。さらに、原水高濁度時の対応事例を図 24 のようなフローチャート形式で示した。

次に、「高濁度原水への対応のポイント」は、対応の全体像を理解しやすいように、「高濁度原水への対応の解説」の要点をまとめた章であり、利用者の立場を考慮して 2 種類（水道技術管理者向け、現場実務者向け）を作成した。この章は、いつでも容易に確認できるよう、職場の見えやすい場所に掲示されることを想定して作成した。このうち、水道技術管理者向けの記載内容を図 25 に示す。

「高濁度原水への対応の解説」では、急速ろ過方式の浄水場を対象として、現状の再認識に始まる日常管理から高濁度原水が

表 6 管理基準設定表

対応レベル	主要な対応措置	(参考) 水質異常の概況					
レベル1	通常の管理	異常なし					
レベル2	監視強化	異常の兆候が認められる					
レベル3	監視強化、処理強化	処理強化により、水道水質への影響を最小限に抑制できる					
レベル4	監視強化、処理強化、予備水源等の活用、処理水量減量、取水制限	処理能力を超え、利用上の支障がある					
レベル5	取水停止、監視強化	処理能力を超え、健康影響が現れる恐れがある					

監視項目	監視地点 (重要管理点)	監視方法	管理基準 (レベル2~5は基準逸脱時の対応レベル)				水道水質 基準等
			レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	
濁度	取水点	濁度計	A度以下	-	-	C度以下	-
	原水(着水井)	濁度計	A度以下	B度以下	-	C度以下	-
	沈澱水	濁度計	-	D度以下	《D度以下》	-	-
	ろ過水	高感度濁度計	-	E度以下	0.1度以下	《0.1度以下》	0.1度以下
	浄水池出口	濁度計	-	-	F度以下	《2度以下》	2度以下
pH 値	原水(着水井)	pH計	G~H	-	-	-	-
	薬品混和水	手分析	-	6.6~7.2	《6.6~7.2》	-	-
	沈澱水	pH計	-	6.6~7.2	《6.6~7.2》	-	-
	浄水池出口	pH計	-	I~J	5.8~8.6	《5.8~8.6》	5.8~8.6
アル カリ 度	原水(着水井)	手分析	K mg/L以上	-	-	-	-
	薬品混和水	手分析	-	10~20mg/L 以上	《10~20 mg/L以上》	-	-
	沈澱水	手分析	-	10~20mg/L 以上	《10~20 mg/L以上》	-	-

注：《 》付きの管理基準については、継続的に逸脱して改善の見込みがない場合に、当該レベルの対応措置を実施すること。

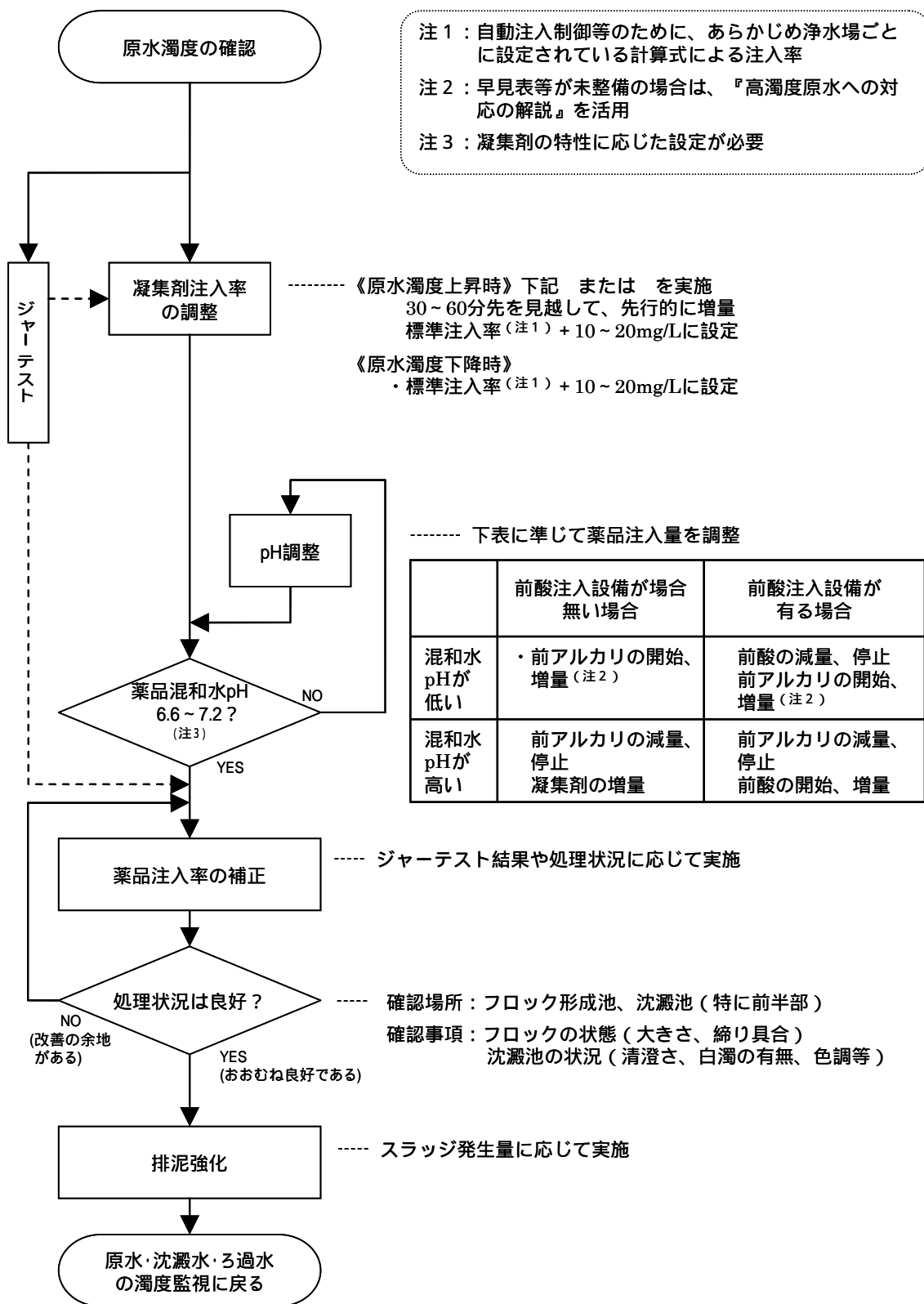


図 24 原水高濁度時の対応フローチャート（凝集沈澱強化の対応フロー）

高濁度原水への対応のポイント【水道技術管理者向け】

水道技術管理者の責務 清浄かつ安全な水道水の供給：責任を持って技術的判断の全てを行う
給水の緊急停止：水道水が健康を害するおそれがある場合に実施
(外部委託を実施している場合でも、需要者に対する責任は水道事業者にある)

〈まず実施すべきこと〉

1. 事故発生から学ぶ教訓
 - ✓ 対応が遅れて高濁度水により浄水施設を汚染させてしまうと、復旧作業のために断水が長期化する。その結果、住民生活に大きな混乱をもたらし、地域産業や経済にも大きな損失を与えることになる。

2. 対応の基本要件の再確認

- ✓ 高濁度原水への基本対応フローは図1のとおりである。事故の影響を最小限に抑えるためには、マニュアル整備等の『事前対応』と『日常管理』が極めて重要である。

3. 水道システムや管理状況の評価と改善

- ✓ チェックシートを用いて、水道システムや管理の現状を評価する。
- ✓ 不十分あるいは不適切な事項や見直しの余地がある事項については改善する。

推奨事項

- 二段凝集の採用
- 原水濁度変動に対する凝集剤注入率の操作時機の見直し
- 超高塩基度 PAC の使用（アルカリ度不足に苦慮している場合）

〈日常的に実施すべきこと〉

- ✓ 日常の管理状況を点検し、職員を監督する。
- ✓ 高濁度原水の発生時を想定した対応訓練を実施する。
- ✓ 他の水道事業者や関係機関との情報ネットワークを構築し、情報を交換する。

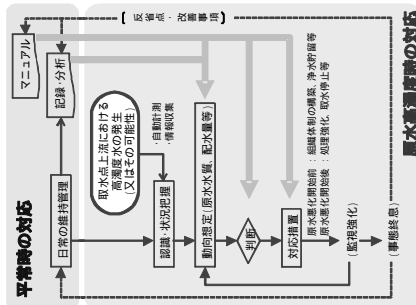


図1 基本対応フロー

〈高濁度原水が発生した時の対応〉

- ✓ 高濁度原水に起因する事故の未然防止あるいは拡大防止のために、水道技術管理者としての判断を下す。

1. 高濁度原水を止むために（事故の未然防止に向けた判断）

- ✓ 次のような局面では、取水制限・停止を検討し、判断する。
 - (1) 原水濁度が取水停止の管理基準を超過した場合
 - (2) ピークカットにより回避したい場合
 - (3) 浄水処理が困難となった場合

2. 事態の長期化により断水が懸念される場合

- ✓ 濁度が安定的に 0.1 度を下回ったる過水を供給できない場合は、給水継続で懸念されるクリプトスポリジウムに係るリスクと断水による影響の双方を考慮の上、関係機関と相談して対応を検討・判断する。

3. 高濁度水が濁った場合（事故の拡大防止に向けた判断）

- ✓ 高濁度水が継続的に 0.1 度を超過する場合は、汚染拡大防止のために、まず取水及び送水を緊急停止して、その後の対応を関係機関に相談の上、判断する。

〈事態が落ち着いた後の対応〉

- 必要に応じてマニュアルを改訂
- 取水停止や断水の懸念が多発する場合は、施設整備等による対応を検討
- 特定の原因により高濁度原水が発生する場合は、関係機関と調整し改善策を検討

〈知っておくべき基本事項〉

- 急速な過方式における凝集沈澱の重要性
 - 高濁度原水を 0.1 度以下に管理することの意味
 - 降雨に伴う水質変動と浄水処理への影響
 - ピークカットの意義
 - 原水水質変動の早期検知・予測の重要性
- 高濁度原水に対して適切に対応するためには、これらの事項を知っておく必要がある。

図 25 「高濁度原水への対応のポイント」(水道技術管理者向け)

表7 「手引き(案)」に示した浄水場の運転管理状況チェックシートと Mlk 浄水場課題改善事例との比較

分類	チェック項目	移管前または直後の状況	現在(改善後)の状況	改善の内容
日常の現場管理	現場における定期的な薬品注入量の実測	していない	しており、計器指示値とほぼ同じである	設備修理時などに実施している。
	定期的なジャーテスト	水質異常時のみ実施している	実施している	日常的にジャーテストを実施することにより、高濁度時でも処理状況に応じた適切な凝集剤やアルカリ剤の注入率設定ができるようになった。
	定期的な水質計器の保守点検	メーカーの定期点検のみ実施している	メーカー推奨の頻度・内容で実施している	点検頻度・内容を充実したことにより、正確な水質データが得られるようになった。
運転状況、施設仕様・規模	凝集用薬品の注入能力	悪化時の原水水質に対して十分な能力の注入設備を有している【最大注入率:PAC 80mg/L、苛性ソーダ 5mg/L(100%換算)】	同左【最大注入率:PAC 180mg/L、苛性ソーダ 20mg/L(100%換算)】	注入機を増強したことにより、以前より高濁度・低アルカリ度時での浄水処理が可能となった。
	沈澱池内の流れ	短絡流や密度流によるフロックのキャリーオーバーが著しい場合がある	おおむね均等に流れており、乱れがない	沈澱池の傾斜管の高さを大きくし、沈降距離を長くしたことで、沈澱効率が改善した。
	ろ過砂の管理	調査や更生等を行っていない、あるいは、ろ層が著しく薄くなっていたことがある	定期的に調査を行い、状況に応じて更生や補砂を実施している	ろ過砂の適正な管理により、高濁度時でも安定した浄水処理ができるようになった。
	排水処理施設の処理能力	容量や処理能力の不足により、ケーキ含水率が高くなる場合がある【天日乾燥床:有効面積1,200m ² 】	含水率70%程度のケーキが得られている【天日乾燥床:有効面積6,000m ² 】	場外に天日乾燥床を新設し、高濁度時でも余裕を持って排水処理ができるようになった。
処理の平常時の良否	濁度計やpH計の整備状況	原水と浄水だけでなく、沈澱水やろ過水も連続監視している	同左【ろ過水濁度計を高感度タイプに取り換えた】	ろ過水濁度を、より厳密に管理できるようになった。
	沈澱水濁度	日頃から1度を超えることが多い	安定的に1度以下を達成している【まれに1度を超える】	施設や運転条件の改善を行い、以前より低い沈澱水濁度で管理できている。
	ろ過水濁度	安定的に0.1度以下を達成している	同左【0.04度以下で維持管理】	施設や運転条件の改善を行い、以前より低いろ過水濁度で管理できている。
情報等の管理	河川や流域の特性	各種情報の把握は不十分である	各種情報(水位・雨量観測点、汚濁源、土地利用等)を収集・整理し、原水水質に及ぼす影響(リスク)を検討し把握している	水安全計画を策定し、リスクを検討し把握した。
	原水・浄水や各浄水工程の水質	各種データは記録しているが、分析は行っていない	各種データ(水質と運転状況)を記録し、季節変化や相互の関連を分析している	取水場に水質計器(濁度、pH、電気伝導率)及び魚類監視水槽を設置し、浄水場に情報送信することで、原水水質変動の早期把握ができ、適切な浄水処理ができるようになった。
	過去の高濁度原水時のデータ	各種データは記録しているが、分析は行っていない	各種データ(雨量、河川流況、原水・処理水水質、対応状況等)を記録し、相互の関連を分析している【移管以降のデータのみ】	過去の高濁度原水時のデータより、施設整備計画を策定した。
	施設等の修繕・更新	履歴は残しているが、修繕等は事後保全として実施している	同左	統廃合計画に基づき、施設整備を実施中である。
水質異常時等の管理	水源水質に関する関係機関との連絡体制(流域の水道事業者や河川管理者、環境行政機関等)	連絡体制が整備され、異常時には連絡がある等、実際に機能している	同左	当市が河川水質協議会の事務局であるため、連絡体制がより緊密となった。
	緊急時体制	マニュアル等はあるが、対応が必要になったことが無く、訓練も行っていない	マニュアル等により配備計画が整備されており、定期的な対応訓練も実施している	定期的な訓練を行うことにより、緊急時に迅速かつ適切な対応ができる体制を構築した。
	異常の判断基準、管理目標	定めていない、あるいは定めてはいるが具体的でない	取水制限・停止の判断基準や、処理工程ごとの管理目標を定めている	水安全計画で設定した。
	水質事故対応マニュアル等の整備	整備していない	整備している	マニュアルを整備したことにより、水質事故時に迅速かつ適切な対応ができる体制を構築した。
	水安全計画の整備	整備していない	整備している【平成22年8月に策定】	水安全計画で、次の異常時対応マニュアルを作成した。 ・原水の濁度 ・沈殿処理水の濁度 ・ろ過水の濁度

[]:数値や方式などの詳細

発生し終息した後までの、各段階における対応の基本原則や留意事項を整理した。また、運転方法の軽微な変更や装置の仮設などにより高濁度原水への対応能力を向上させる方法を示し、水道技術管理者等が中心となって、高濁度原水への対応方策を検討する際の参考資料としての利用を想定した。また、本研究で実験等により検討・検証した高濁度原水への対応技術を技術紹介の章へ記載し、浄水処理の改善・強化方策として現場実務へ応用しやすくした。さらに、平素の状況において日常的に管理すべき事項及び準備しておくべき対応技術を示した。

「資料編」では、「手引き(案)」に記載した技術的用語、降雨が浄水処理に及ぼす影響について模式図を用いて解説するとともに、浄水処理における水質管理の意義・要点、薬品注入等に関する早見表、凝集沈澱で発生するスラッジ量の簡易な計算方法、事業体の水質事故対応マニュアル等の事例を記載した。

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

梅雨時期や台風時期に、上流域の降雨により、原水の濁度が数百度から千度程度に上昇し、低アルカリ度となる Mk 浄水場においてケーススタディを実施し、「手引き(案)」の有用性を検証した。この事業体は、市町村合併により旧町から市へ移管されたことを機に、浄水場の改善を行い、施設水準の向上や維持管理の強化を図った。主な改善点は、水安全計画の策定を行い、浄水場の現状把握とリスク分析から水質管理基準を設定して、それに応じた対応を実施している。原水や浄水処理過程において水質管理基準値を逸脱した場合には、状況の確認、薬品注入の強化、二段凝集処理など具体的な対応を実施することとしている。また、管理基準値の逸脱が大きくなる又は管理基準値を継続的に維持できない場合には、そのレベルに応じた管理体制が執られていることが分かった。

また、「手引き(案)」に示した浄水場の運転管理体制・状況等を自己診断するためのチェックシート内容と Mk 浄水場における課題改善事例との比較を行った結

果、表 7 に示すとおり多くの点で一致が見られたことから、「手引き(案)」の有用性が確認された。このうち、主な一致点は以下に示すとおりであった。

- ・二段凝集処理によるろ過水濁度管理
- ・沈澱池傾斜管の傾斜角度及び高さの変更による沈澱処理能力の強化
- ・取水場での濁度計、pH 計、電気伝導率計、魚類監視装置及びテレメータ設備の整備による原水水質変動の早期把握及び河川協議会との連携

(2) 活用に関する調査の実施

中小事業体を対象に作成した「手引き(案)」に関するアンケート調査を行った結果、表 8 に示すとおり、半数近くの事業体が取り組みたい改善項目として「対応マニュアルの作成」を回答した。また、二段凝集処理、原水高濁度時の凝集剤注入適正化など、「手引き(案)」で提案した技術の導入についても活用したいとの回答があった。

また、「手引き(案)」の活用に関する有識者へのヒアリングでは以下の指摘があった。

- ・特に技術職員の少ない事業体では、活用の際に技術的なアドバイスの必要なケースが想定される。
- ・今後の課題として「手引き(案)」には継続的なフォローアップが必要である。
- ・事業体の技術水準を考慮した浄水場の設計、維持管理手法を確立する必要があると考えられ、「手引き(案)」で提案した技術を浄水場の設計に盛り込むことにより維持管理の簡素化を図るべきである。

表 8 「手引き(案)」を活用して取り組みたい改善内容（調査対象件数 27 件）

取り組みたい改善項目	回答数
(原水水質悪化) 対応マニュアルの作成	12
(原水水質悪化時の取水) ピークカットの実施	7
二段凝集処理の実施	6
原水高濁度時の凝集剤注入適正化	5
水質計器の充実	5
薬品注入位置や注入順序の見直し	1
薬品注入能力の強化	1
ジャーテストの実施	1

D . 考察

1 薬品注入の適正化に向けた検討

実施設での実用性が評価された凝集剤注入率算定式は、個々の浄水場でジャーテストを実施し、原水の色度、pH 及びアルカリ度の実測値について、それぞれの関数式を整理して係数 a、b へ対応させることで簡便な凝集剤注入指標として適用が可能である。

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増量が必要である。これを考慮した適正な凝集剤注入率を用い、降雨による原水水質変動に応じたタイミングで注入することが原水高濁度時の凝集・沈澱不良への対応方策となる。なお、凝集剤注入率の変更は、原水濁度上昇時には早目、下降時には遅めにすることで、より安定した処理を行うことができる。

アルカリ度は凝集・沈澱処理における重要なファクターであり、研究結果で示したアルカリ度の指標を基に、降雨に伴う原水濁度上昇時にアルカリ剤の注入を行うなど、アルカリ度の管理を適正に行う必要がある。また、EC はアルカリ度との強い相関が認められたことから、個々の浄水場ごとに相関を求めた上で、アルカリ度代替指標として用いることが可能である。EC 計は、アルカリ度計よりもコストが小さく維持管理が容易なことから、中小事業体に適したアルカリ度管理指標として有効である。また、EC 計の導入が困難な場合には、あらかじめ手分析で EC 及びアルカリ度を測定し、それらの相関を求めた上で、測定が簡易的な EC 値によってアルカリ度管理を行うことができる。

このような薬品注入に係る指標を薬品注入管理へ適用し、さらに水質計の整備や薬品注入設備の改善に生かすことで、高原水濁度への適正な対応が可能となる。

2 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り、有機色度成分を含む高濁度原水に対しても有効である。また、簡易な設備で維持管理が容易であることから、中小事業体が導入しやすい技術である。この技術の導入に際しては、原水水質によ

って間欠的な処理も可能であるほか、ろ過抵抗の上昇が見られる場合には、ろ過池の複層化が有効な対策となる。

3 水質管理が容易な薬品注入の検討

高塩基度 PAC は原水の pH、アルカリ度の調整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ほか、PAC よりも劣化が遅いなど、導入や維持管理の容易な点も評価できる。この導入に際しては、注入によるアルカリ度や pH の変化をあらかじめ把握し、効果の検証を行うことが必要である。

4 「高濁度原水への対応の手引き(案)」の作成

中小事業体の抱える浄水処理の課題を捉えて具体的な解決方策を提案し、さらにレビュー等の結果を反映したことにより、事業体の視点に立った実用的な「手引き(案)」となった。中小事業体では、この活用による自発的な課題改善意欲が見られたことから、「手引き(案)」が目標とした事業体自らによる課題認識とその解決を促すものと期待できる。

一方、浄水処理の課題とその解決方策は個々の事業体、浄水場で異なり、技術レベルや財政状況も多様であることから、活用には中小事業体への技術的支援を要するケースが想定される。また、既存の指針等に基づく標準的な浄水場の設計や維持管理に「手引き(案)」の提案内容を加えることで、個々の事業体に即した施設整備や維持管理の実現が可能になるものと考えられる。今後は、「手引き(案)」の内容について、技術革新、自然的・社会的環境の変化に応じた継続的なフォローアップを実施することが課題である。

【耐震化促進等に関する検討】

B . 研究方法

中小事業体における耐震化を促進するため、平成 23 年度には 3 段階の判定による簡略化した簡易耐震診断手順を提案し、さらに、平成 24 年度にはこの診断手順を具体的な判定基準とこれに基づく診断実施フローを示したが、平成 25 年度は、水道事業体等

によるレビュー結果及び意見に基づき、このフローを使いやすくブラッシュアップした。

有蓋・無蓋池状構造物の簡易耐震診断表については、平成 23 年度に既往簡易耐震診断表の問題点の把握を行い、平成 24 年度に詳細耐震診断結果と既往簡易耐震診断表の適用結果の比較によって既往簡易耐震診断表の有する矛盾を解決する改善を行った。平成 25 年度は、追加収集した耐震構造物のデータにより、この新簡易耐震診断表の精度向上を図るとともに、ケーススタディによって改善効果と診断の有効性を検証した。

平成 24 年度に、「耐震性」及び構造物の地震被災時の給水等への「影響範囲」を考慮した耐震性改善必要度を算出し、これによって詳細耐震診断実施の優先順位付けを行う手法を提案したが、平成 25 年度は、レビューにおける意見等に基づいて一部追加・修正した。

検討結果及びその経緯を基に、平成 24 年度に中小事業体による使用を念頭に置いた「浄水施設簡易耐震診断の手引き 大地震に備えて」の原案を作成したが、平成 25 年度は、この原案の中小事業体での試用・レビューを通じて使いやすさ・読みやすさなどを確認・推敲した。

なお、平成 24 年度に実施した浄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、平成 25 年度は全国の浄水施設等の耐震性の状況を把握した。

以下、具体的な研究方法を示す。

1 簡易診断手順の検討

平成 23 年度は、東北地方太平洋沖地震及び兵庫県南部地震以降の近年の地震における浄水施設等の被害実態（ただし津波被害を除く。）を把握し、簡易耐震診断手順を検討し、中小水道事業体における耐震化を促進するため、「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」を判定項目とする 3 段階の判定による簡略化した簡易耐震診断手順を提案した。また、平成 24 年度には、この手順を具体化し、竣工年度（建設年代）などの判定基準を示すとともに、診断実施フローとして示したが、平成 25 年度は、このフローの試用並びに査読及び水道事業体による

レビュー結果に基づき、この診断実施フローの一部を修正するとともに、使いやすくブラッシュアップした。

2 簡易耐震診断表の改善

平成 23 年度に有蓋・無蓋池状構造物の既往簡易耐震診断表の問題点を把握・抽出したが、平成 24 年度は、浄水施設の詳細耐震診断結果を収集し、既往簡易耐震診断表による診断結果との比較によってその問題点の解決策を検討して、新たな簡易耐震診断表案を提案した。特に、構造的強度の評価方法は、「壁の多さ」の評価基準を見直すとともに、新たに「壁の厚さ」を評価項目として加えるなどの工夫を施した。

平成 25 年度は、詳細耐震診断結果から耐震性の有無が判明している有蓋及び無蓋構造物のデータを更に追加収集し、これによって平成 24 年度で設定した構造的強度の基準値の検証と精度向上を図るとともに、ケーススタディにおける試用によって一層使いやすい簡易耐震診断表に改良した。また、既往診断簡易耐震診断表と新簡易耐震診断表との双方を用いたケーススタディ結果を比較し、新診断表の改善効果を検証するとともに、耐震性の有無が判明している構造物に簡易耐震診断を実施し、構造物の耐震性の有無と、簡易耐震診断表の耐震性の高低について比較検討を行い、新診断表適用の有効性を検証した。さらに、有蓋・無蓋池状構造物以外の構造物については有蓋・無蓋池状構造物の検討に倣って簡易耐震診断表の改善を検討した。

3 詳細耐震診断実施の優先順位設定方法の検討

簡易耐震診断は、構造物の「耐震性の程度」（高い・中・低い）を判定するものであり、想定地震動に対する「耐震性の有無」及び補強の必要性・方法は詳細耐震診断を実施する必要がある。この詳細耐震診断実施の優先順位付けの方法として、平成 24 年度に、「耐震性評価点」と構造物が被災した場合の給水等への「影響範囲」によって「耐震性改善必要度」を求め、これによって簡易耐震診断後の詳細耐震診断実施の優先順位付けを行う方法を検討した。

平成 25 年度は、バックアップ給水の有無

などの状況に応じて耐震性改善必要度の補正を行えるようにし、レビューにおける修正意見等を反映して一部追加・修正した。

4 「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の作成

平成 23 年度・24 年度の検討成果及び経緯を基に、新簡易耐震診断表の適用方法・留意点、詳細耐震診断実施の優先順位設定方法などをまとめ、中小事業体の使用を念頭に置いた「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」を平成 24 年度に作成した。平成 25 年度は中小事業体における試用(ケーススタディ及びレビュー)による読みやすさ、使いやすさ等に対する意見を反映して推敲・ブラッシュアップし、使いやすい「手引き(案)」とした。

5 浄水施設等の耐震性の現況把握

平成 24 年度に実施した浄水施設等の簡易耐震診断のケーススタディ結果を利用し、全国の浄水施設等の耐震性の状況(高い・中・低い)を把握した。

(倫理面への配慮)

本研究に係わる実験は、ヒトや動物への影響を及ぼすことはなく、倫理面への問題は生じない。

C . 研究結果

1 簡易耐震診断手順の検討

平成 23 年度に実施した東北地方太平洋沖地震及び兵庫県南部地震等の近年発生した地震における被害実態調査の結果、地震動そのものによる浄水施設等の被害は軽微であり、液状化等の地盤変状に伴う被害がほとんどであったことから、こうした実態を考慮し、最初に液状化等の発生の可能性に基づく評価、次に適用耐震工法指針の変遷を考慮した竣工年度による評価、更に構造物の地震動への抵抗力としての構造的強度に基づく評価、という段階的な簡易耐震診断手順を提案し、平成 24 年度にはこれを具体化し、評価・判断の基準を示す診断実施手順をフローとして示したが、平成 25 年度に実施した診断実施手順の試用並びに査読及び水道事業体によるレビューの結果、以下のような意見があり、これに沿ってフローを修正し、図 26 のとおりとした。

- ・想定地震動は震度階とすべきである。
- ・耐震性の判定における「耐震性が極めて低い場合」は具体性に欠けるので「補強して耐震化するかどうか」を判断すべきである。
- ・簡易耐震診断表の適用範囲を示すべきである。

2 簡易耐震診断表の改善

1) 構造的強度評価基準の検証

平成 23 年度に、詳細耐震診断済み(及び新設の耐震性あり)の構造物の構造諸元のデータを収集して既往簡易耐震診断表を適応し、その問題点・課題を改善することにより新たな簡易耐震診断表を検討したが、詳細耐震診断済み(及び新設の耐震性あり)の構造物はほぼ浄水池・配水池等の有蓋構造物と沈澱池・ろ過池・着水井等の無蓋構造物で占められ、その他の取水堰・井戸・隧道などのデータ収集は困難であった。

このため検討対象を有蓋・無蓋の構造物とし、平成 24 年度に有蓋構造物として 11 事業体の 20 施設、無蓋構造物として 10 事業体の 17 施設のデータを用いて検討した結果、構造的強度に大きく影響する評価指標としての「方向別壁面積/池面積」は評価基準値を変えることとし、1,000 m²未満は 0.07、これ以上は 0.04 とした。(図 27 参照)

平成 25 年度は有蓋・無蓋池状構造物に関する同様のデータを追加収集し、合計で有蓋構造物:13 事業体 66 施設、無蓋構造物:12 事業体 36 施設のデータを使用し、平成 24 年度で設定した評価基準の検証を行った。(図 28 参照)

その結果、1,000 m²未満は 0.07、これ以上は 0.04 と設定した基準値に多少の外れるものもあったが、この基準値におおむね一致していることが改めて証明された。

また、図 29 は、図 28 と同様に有蓋・無蓋池状構造物に関する収集データを追加して、耐震・非耐震の配水池・沈澱池の側壁高さと同壁厚の実績値を示したものである。鉄筋量を無視しているため数値にややバラツキを生じているが、非耐震構造物では、そのほとんどの側壁厚が側壁高の 10% 以下であり、耐震構造物については、おおむね側壁高の 10% 以上である傾向が示され

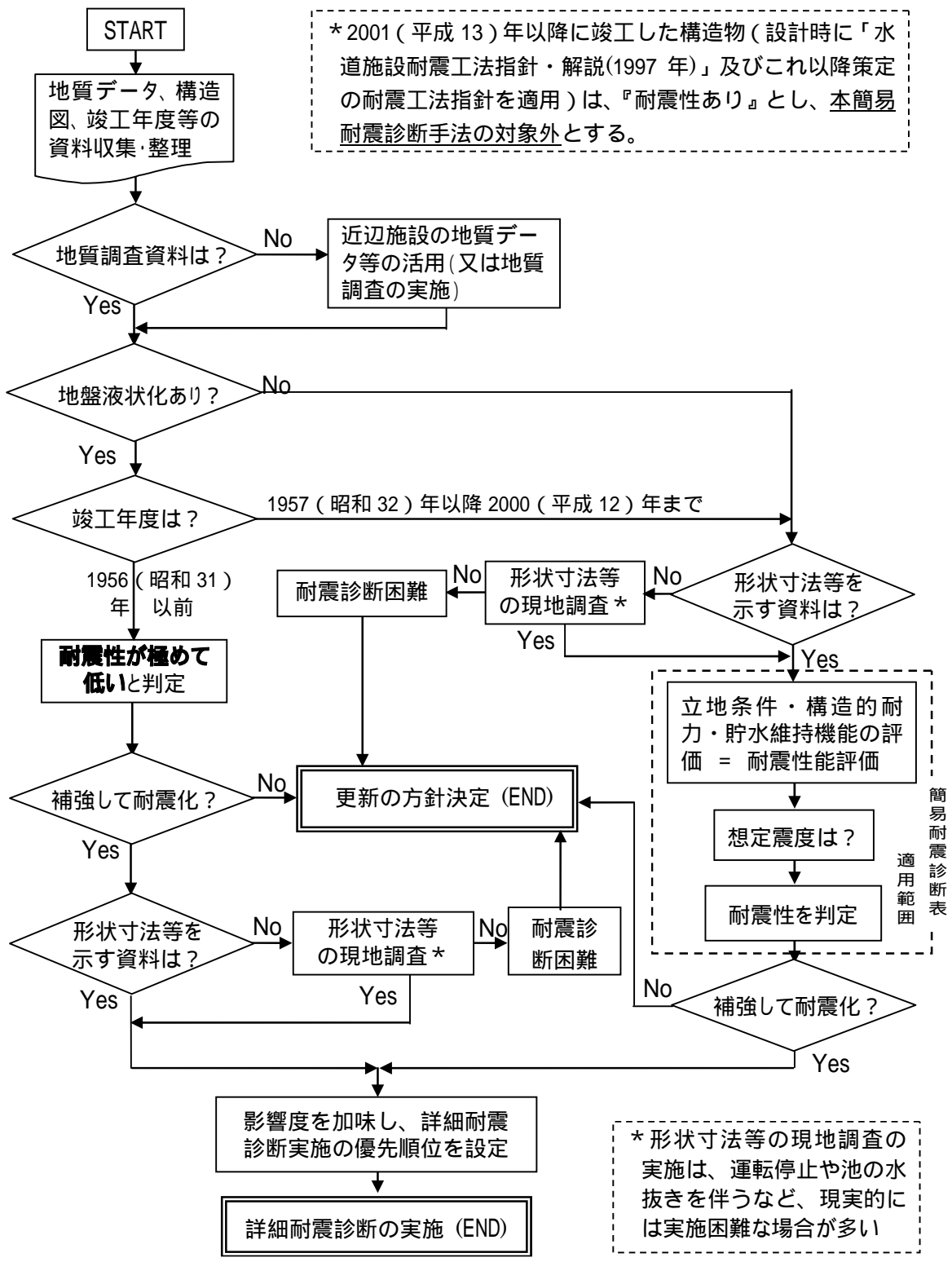


図 26 簡易耐震診断の実施手順

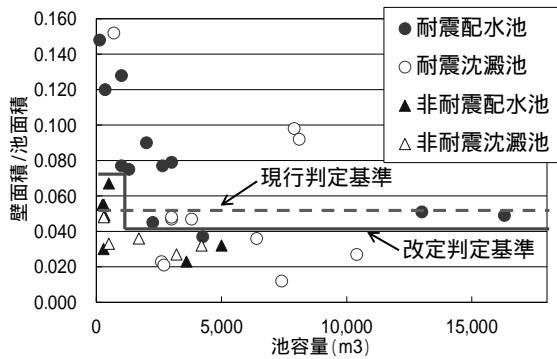


図 27 壁/池面積比と池容量の関係(H24)

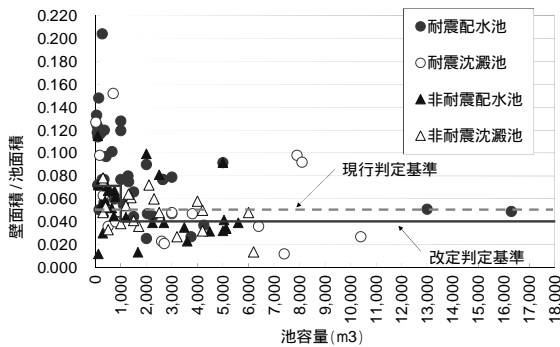


図 28 壁/池面積比と池容量の関係(H25)

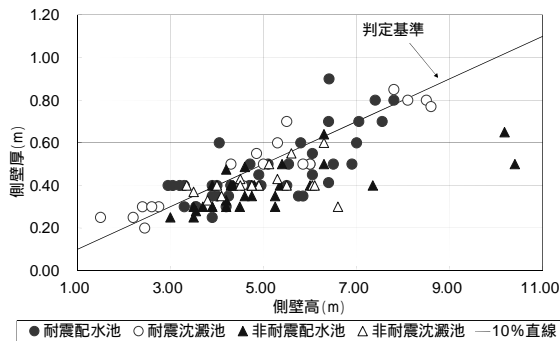


図 29 側壁高と側壁厚の関係

ており、0.1 として設定した側壁厚 / 側壁高の評価基準値判定基準は有効であるとの結果を得た。

2) 耐震性判定基準及び想定震度等の変更

新簡易耐震診断表では評価内容及び評価項目数が既往のものとは異なることから、新たな耐震性判定基準が必要である。このため、詳細耐震診断結果等により耐震性の有無が明らかな構造物のデータを用いた ROC 解析などの統計的手法等によって耐震性判定基準を検討し、次のとおり設定した。

耐震性高い : 12 >

耐震性中 : 12 ~ 24

耐震性低い : 24 <

想定震度については、「震度 5 強、6 弱」と「震度 6 強、7」の 2 段階評価とし、震度 5 弱では施設被害事例が少ないことから除外したほか、その他の評価項目については、現在では実績が稀なもの、土木技術水準に沿わない項目については、主に項目削除や名称変更などにより適宜変更した。

3) 新簡易耐震診断表の提案とケーススタディ結果に基づく改良

検討成果を基に、有蓋・無蓋池状構造物の新簡易耐震診断表の原案を平成 24 年度に提案し、平成 25 年度に実施したケーススタディにおける試用を通じて改良を加え、最終案として表 9 のとおり提案した。なお、表 9 は適用例を示しているが、この診断表は、評価項目ごとに該当する区分を利用者が選定して、それに応じた点数を評価点数として入力し、全評価点の積によって耐震性を判定するものである。

平成 25 年度における主な改良点は以下のとおりである。

- ・耐震性判定については、診断表の異なる（評価項目数が異なる）他の構造物の耐震性との比較を可能にするため、最下段に耐震評価点（10 点満点換算値）を算出し、この値によって比較する。この数値が大きいほど耐震性が低いことを示す。
- ・診断表の右欄に「平均値」を求め、幾何平均値と 10 点満点換算値を計算することとした。この数値が大きいほど耐震性能上の弱点となっていることを表し、立地条件、構造的強度、水密性のどの部分が耐震性能上の弱点となっているかを把握するためのものである。

4) 有蓋・無蓋池状構造物以外の構造物の新簡易耐震診断表の検討

有蓋・無蓋池状構造物以外の構造物については、詳細耐震診断の事例の収集が困難であったため、既往簡易耐震診断表の統計的解析に基づく改善は行えなかった。このことから、有蓋・無蓋池状構造物の新簡易耐震診断表の検討結果を参考に、想定震度の変更、評価項目の名称変更などを適宜行った。さらに、「管路の耐震化に関する検討会資料（平成 16 年度、厚生労働省）」に基づいて、場内配管の簡易耐震診断表を新た

表9 新簡易耐震診断表(有蓋・無蓋池状構造物)(適用例)

種別	有蓋・無蓋池状構造物(浄水池・配水池、沈澱池・ろ過池等)				担当者		
名称	市水道部 第2浄水場 横流式薬品沈澱池				作成年月	H 年 月	
評価項目		区分	点数	評価点	平均値	備考	
耐震性能	立地条件等 (外的条件)	地盤種別	種	0.5	0.5	(0.86) 4.87	
			種	1.5			
			種	1.8			
		液状化	なし	1.0	1.0		
			おそれあり	2.0			
			あり	3.0			
		施工地盤	地山、切土	1.0	1.0		
			傾斜地等	1.2			
			山頂	1.3			
			埋立地、盛土	1.5			
	施工位置	地下	1.0	1.1			
		半地下	1.1				
		地上	1.2				
	構造的強度 (内的条件)	竣工年度	1983～2000年	1.0	1.5	(1.36) 8.03	
			1970～1982年	1.5			
			1957～1969年	1.6			
			1956年以前	1.8			
		方向別壁面積 池面積	基準値以上	1.0	1.5		池容量 474.5m ³ 基準値0.07 > 0.027
			基準値未満	1.5			
		側壁厚 側壁高	0.1以上	1.0	1.0		(0.12)
0.1未満			1.5				
部材の劣化度	小	1.0	1.5				
	中	1.5					
	大	2.0					
水(基本性能) 密性能	可とう管 (場内配管接続部)	あり	1.0	1.0	(1.41) 7.07		
		なし	2.0				
	伸縮目地	なし	1.0	2.0			
		あり	2.0				
想定震度		震度5+、6-	2.2	3.6			
		震度6+、7	3.6				
耐震性		高い(12.0>)		13.37			
		中(12.0～24.0)	*				
		低い(24.0<)					
耐震性評価点		評価平均値	(1.27)	(参考)最大値	1.90		
		10点満点換算値	6.68				

注1) ()内は幾何平均値、その下の数値は最大値に対する10点満点換算値を示す。

2) 方向別壁面積/池面積の基準値: 池容量1,000m³未満の場合0.07、1,000m³以上の場合0.04

に作成した。

5) 新簡易耐震診断表の改善効果と有効性の検証

簡易耐震診断表の改善に当たって検討対象とした耐震性が既知の 20 有蓋池状構造物及び 17 無蓋池状構造物について、既往簡易耐震診断表及び新簡易耐震診断表を適用し、耐震性判定結果を比較して、新簡易耐震診断表の改善効果と耐震性評価の有効性の検証を行った。有蓋池状構造物の既往簡易耐震診断表の適用例を表 10 に、新簡易耐震診断表の適用例を表 11 に示す。また、これらの適用例における両診断表による耐震性評価点を図 30 に示す。

既往簡易耐震診断表適用の場合及び新簡易耐震診断表適用の場合の耐震性評価点を比較すると、既往簡易耐震診断表適用の場合、「耐震性あり」にもかかわらず「耐震性なし」よりも耐震性が低い（耐震性評価点の数値が大きい）という矛盾を生じている構造物が幾つか見られるが、新簡易耐震診断表適用の場合は、すべてこの矛盾は解消されており、新簡易耐震診断表の改善効果が見られた。

また、図 31 は、無蓋池状構造物の既往簡易耐震診断表及び新簡易耐震診断表の適用例における耐震性評価点を示すが、おおむね有蓋構造物と同様の改善効果が見られるが、唯一の例外である構造物 O は、側壁の量・厚さともに不十分のため大きな数値の評価点となり、耐震性が低い結果となっている。これは、簡易耐震診断では鉄筋量を考慮せず、コンクリート厚さのみを評価していることから、診断手法の違いによって詳細耐震診断結果との差が出たためであると考えられ、簡易耐震診断の限界を示唆していると考えられる。

表 11 及び図 30 の有蓋構造物における新簡易耐震表適用結果は、非耐震構造物（7 例）は耐震構造物（13 例）よりも数値が大きく、耐震性が低い判定結果を得ており、非常に良好な簡易耐震診断結果である。

一方、図 31 の無蓋構造物における新簡易耐震診断表適用結果は、非耐震構造物（5 例）は、耐震性構造物の 12 例に対し、前述のとおり診断手法の差が表れている O を除くすべての構造物よりも耐震性が低くなっていて、妥当な簡易耐震診断結果となっ

ている。これらの結果から、新簡易耐震診断表の耐震性の判定は有効と判断できる。

また、無蓋構造物の耐震性評価点は有蓋構造物と比較すると数値が大きくなる傾向にあるが、この原因としては、このケーススタディにおける有蓋構造物は主に配水池であり、配水池は山間部など地盤条件の良い地域に築造されているのに比べ、無蓋構造物は浄水場などの沈澱池や沈砂池であり、地盤条件が悪い河川付近や低地に築造される場合が多い。このため、無蓋構造物では立地条件である「地盤」の評価点が大きくなるため、必然的に総合的な耐震性の判定において数値がやや大きくなる傾向にあると考えられる。

3 詳細耐震診断実施の優先順位設定方法の検討

耐震性強化のためには、簡易耐震診断結果を基に、耐震性強化の必要な部材及び箇所との判定と強化策を見出すため、詳細耐震診断を実施することになるが、簡易診断における耐震性の強弱が必ずしも詳細診断実施の優先順位を直接的に示すものではなく耐震性ととも、地震被害時の給水等に与える影響の大きさを勘案して、総合的に優先順位を定める必要がある。

こうしたことから、構造物の被害に伴う給水への影響等を「影響範囲（影響度）」として考慮し、耐震性の強弱とともに総合的な優先順位を決定することとした。

1) 耐震性と被災確率・被害程度の関係

簡易耐震診断表による診断においては、耐震性を「高い」、「中」、「低い」に区分して判定するものであるが、優先順位の設定においては、耐震性の高低と被災確率・被害程度とは、以下の関係が成立しているものとした。

簡易耐震診断表による診断の結果「耐震性が低い（数値が大きい）」ほど、「被災する確率は高く」かつ「被害の程度も大きく、復旧に時間を要する」

なお、詳細耐震診断では、弱点である部材に発生する応力と許容値の比較によって被災確率・被害の程度が推定できることが多いが、簡易耐震診断では、手法の性質上こうした推定が困難なことから、上述のよ

表 10 既往簡易耐震診断表による有蓋池上構造物の診断結果

項目	範疇	重み係数	耐震性無し										耐震性有り									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
地盤	種	0.5	1.5	1.5	1.8	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	
	種	1.5	1.5	1.8	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	種	1.8	1.8	1.8	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
液状化	なし	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	恐れあり	2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	あり	3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
施工地盤	地山 切土	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	傾斜地等	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	山頂	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
位置	埋立地 盛土	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	地上	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	半地下	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
材質	地下	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	鉄筋コンクリート	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	リカその他の	3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
方向別壁面積 池面積	0.05<	1	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	0.05>	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	5m	1	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
総深	5m<	1.3	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
	5m<	1.3	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
	壁式	1	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
型式	柱梁式	1.2	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
	万吨237	1.4	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
	0.4m	1	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
上置土厚	0.4m<	1.2	1.2	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	0.4m<	1.2	1.2	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	1953年以前	1.8	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
建設年代	1953~1966	1.6	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	1967~1980	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	1980年以降	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
可撓管	あり	1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	なし	2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	不良	2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
伸縮目地	小	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	中	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	大	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
震度階	2.2	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	
	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	
	高い	10>	61.2	53.1	53.9	17.0	10.7	13.4	13.4	14.7	17.7	4.2	2.8	4.3	2.8	7.7	2.2	2.6	8.9	7.7	21.6	
評点	中	10~17	61.2	53.1	53.9	17.0	10.7	13.4	13.4	14.7	17.7	4.2	2.8	4.3	2.8	7.7	2.2	2.6	8.9	7.7	21.6	
	低い	17<	61.2	53.1	53.9	17.0	10.7	13.4	13.4	14.7	17.7	4.2	2.8	4.3	2.8	7.7	2.2	2.6	8.9	7.7	21.6	
	耐震性評価		低	低	低	低	中	中	中	中	中	高	高	高	高	高	高	高	高	高	高	

表 11 新簡易耐震診断表による有蓋池上構造物の診断結果

評価項目	評価方法 ()内は重み係数		耐震性 なし										耐震性 あり											
	種	種	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		
立地的条件等	地盤種別	種	種	種																				
		(0.5)	(1.5)	(1.8)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
	液状化	なし	おそれあり		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
	施工地盤	(1.0)	(2.0)	(3.0)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
耐震性能	位置	地下	傾斜地等	山頂	埋立地/盛土																			
		(1.0)	(1.2)	(1.3)	(1.5)																			
		地下	半地下	地上																				
		(1.0)	(1.1)	(1.2)																				
耐震性能	竣工年度	1983年～	1970年～	1957年～	1956年以前																			
		2000年	1982年	1969年																				
		(1.0)	(1.5)	(1.6)	(1.8)																			
		基準以上	基準未済	基準未済																				
耐震性能	方向別池面積	壁面積	(1.0)	(1.5)	(1.5)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		
		側壁厚	(1.0)	(1.5)	(1.5)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
		側壁高	(1.0)	(1.5)	(1.5)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
		劣化度	小	中	大																			
耐震性能	貯水本機保力	可撓管	あり	なし																				
		(1.0)	(2.0)																					
		耐震	耐震	非耐震																				
		(1.0)	(2.0)																					
想定震度	SI-1	SI-2																						
	(2.2)	(3.6)																						
耐震性能			54.68	36.45	72.17	18.23	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05		
耐震性能			1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97	1.98	2.97		
耐震性能			5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91	5.94	8.91		
耐震性能			11.88		11.88		11.88		11.88		11.88		11.88		11.88		11.88		11.88		11.88			

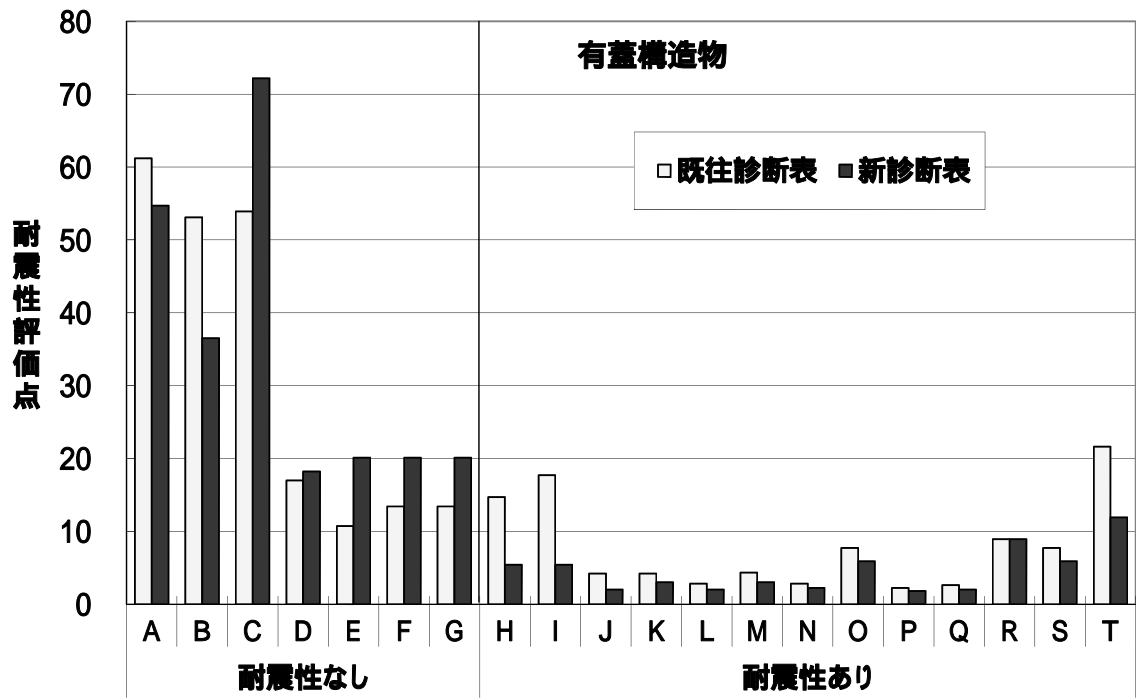


図 30 既往簡易耐震診断表と新簡易耐震診断表の診断結果の比較（有蓋構造物）

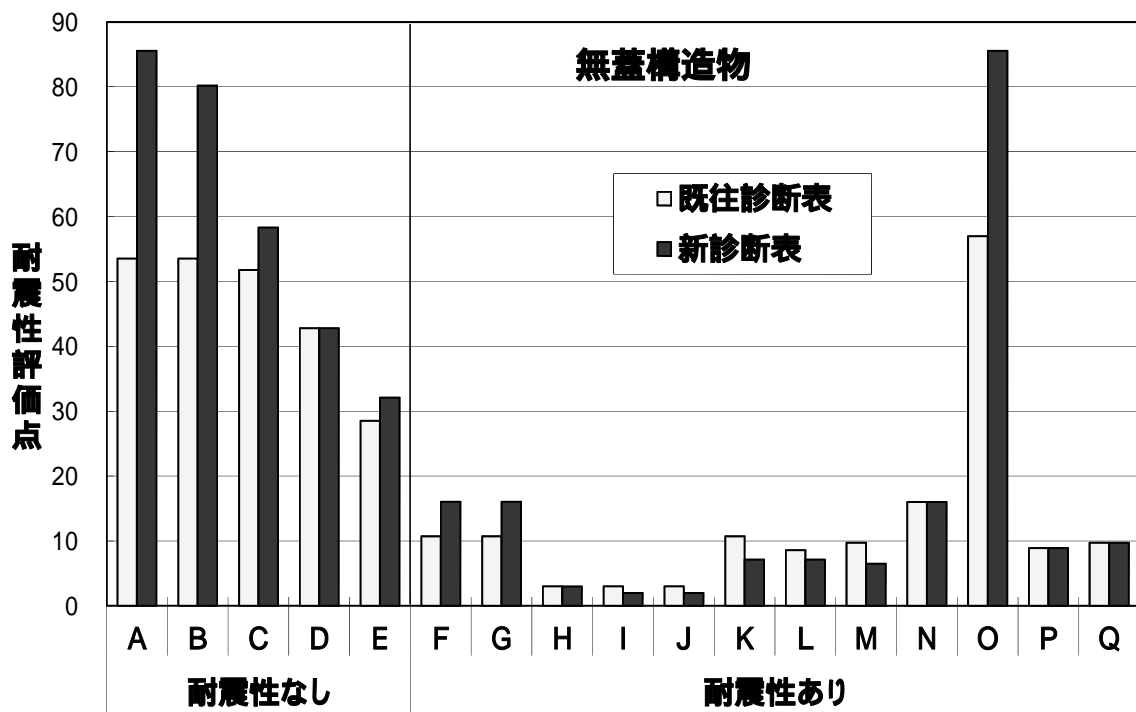


図 31 既往簡易耐震診断表と新簡易耐震診断表の診断結果の比較（無蓋構造物）

表 12 影響範囲算出表（適用例）

構造物名称		市水道部 第2浄水場 横流式薬品沈澱池			
作成担当者		作成年月		H 年 月	
評価項目		評価・判定		判定点	
				影響範囲	
影響範囲	給水件数への影響 (物理的影響A)	4. 給水に致命的な影響を与える。 例)「減断水によりおおむね50%以上の世帯(給水件数)に影響が出る」 3. 給水に重大な影響を与える。 例)「減断水によりおおむね25%以上～50%の世帯(給水件数)に影響が出る」 2. 給水にかなりの影響を与える。 例)「減断水によりおおむね5%以上～25%の世帯(給水件数)に影響が出る」 1. 給水への影響は小さい又は無視できる。 例)「減断水によりおおむね5%未満の世帯(給水件数)に影響が出る」		3	3.13
	施設能力への影響 (物理的影響B)	4. 運転管理、施設能力等に致命的な影響を与える。 例)「施設能力全体に影響が出る」 3. 運転管理、施設能力等に重大な影響を与える。 例)「施設能力の1/2以上に影響が出る」 2. 運転管理、施設能力等に影響を与える可能性がある。 例)「施設能力の1/4以上に影響が出る」 1. 運転管理、施設能力等への影響は小さい又は無視できる。 例)「影響は施設能力の1/4未満である」		4	
	社会的活動への影響 (社会的影響)	影響を受ける給水エリアにおける以下の項目のうち、該当する項目数により判定点を求める。 3項目以上:4点 2項目:3点 1項目:2点 0項目:1点 ・地域防災計画等に位置づけられた病院など、災害時の拠点医療施設への影響がある。 例)「減断水等による医療活動の困難さなど」 ・防災拠点、避難所、応急給水拠点など発災後の対応活動の拠点となる施設への影響がある。 例)「緊急用水確保の困難さなど」 ・政治行政機能など、都市機能を支える重要施設に悪影響を及ぼす。 例)「水冷式冷房の停止による電子計算機の機能麻痺など」 ・工場や生産施設など、地域の経済活動を支える重要施設・大口需要者に悪影響を及ぼす。 例)「冷却水や原料水の停止による運転停止・生産停止など」		4	
	その他考慮すべき事項	以下の項目の中から該当する項目を選択し、その数により判定点を求める。 3項目以上:4点 2項目:3点 1項目:2点 0項目:1点 ・浄水を貯留する(応急給水用の浄水となる)。 ・被災時の漏水による家屋等への二次被害を避ける。 例)「高所に設けた配水池、高架水槽、崖上の沈澱池など」 ・被災時に速やかな復旧が困難である、又は期待できない。 例)「進入道路が狭く工事車両が通行困難な場合など」 ・その他特別な事項(事業構想・課題等に関する事項) 例)「重要拠点施設として存続を図る場合など」		2	

注1) 給水件数は、給水区域内全域における給水件数を意味し、個々の浄水場・配水池等の受け持つ給水件数ではない。

2) 影響範囲は、バックアップ(他系統等からの応援)給水の有無を考慮しないで算出する。

うに想定するものである。可とう管などのように、この想定になじまない場合もあると考えられるが、簡便化を図るため、この方法を採用した。

2) 被災時の給水等に与える影響（「影響範囲」）

建造物の被害に伴う給水への影響の範囲と大きさ等を「影響範囲（影響度）」として考慮し、詳細耐震診断の優先順位を決定する要素とした。

影響範囲は、水道施設の現況機能を評価し、機能改善の必要性を判断するため、平成 20 年度～22 年度厚生労働科学研究費補助金による研究で策定した「水道施設機能診断マニュアル（平成 23 年 3 月、水道技術研究センター）」において改善必要度算定時に用いる「影響範囲」を参考に、被災時における「給水件数への影響」、「施設能力への影響」、「政治・生産活動等に与える社会的影響」に「その他考慮すべき事項」として浄水の貯留や二次被害を考慮した項目を加え、それぞれの範囲と大きさを評価し、次式によって数値化することとした。

なお、判定に当たっては、被害による悪

$$\text{影響範囲} = (\text{給水件数への影響} \times \text{施設能力への影響} \times \text{社会的影響} \times \text{その他の影響})^{1/4}$$

影響とともに、悪影響を「生じるおそれ」を考慮する。

影響範囲は、表 12 に示す影響範囲算出表によって算出する。この表 12 は算出事例を示したものであるが、評価項目ごとに該当する影響の度合等を判定すると、それに応じた影響範囲の点数が求められる。

3) 耐震性改善必要度の算定

既に簡易耐震診断表によって求められた耐震性評価点（10 点満点換算値）と、前項で求めた影響範囲により、次のとおり耐震性改善必要度が算出される。（図 32）

詳細耐震診断実施の優先順位は、簡易耐震診断による耐震性の高低と被災時の影響範囲を考慮することとし、「耐震評価点（10 点満点換算値）」と「影響範囲」の点数を掛け合わせて、耐震性改善必要度を求め、得

$$\text{耐震性改善必要度} = \text{耐震性評価点} \times \text{影響範囲}$$

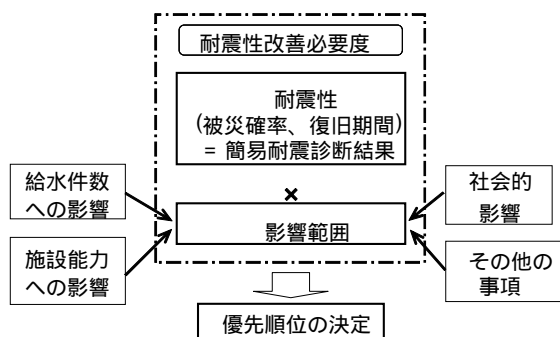


図 32 優先順位の設定

られた数値の高いものほど優先順位を高く設定する。この手法は、単なる耐震性の高低だけでなく、給水への影響や社会的影響を考慮できるため、市町村合併等により多数の施設が存在する事業体にとって有効な手段になると考えられる。

表 13 に、耐震性改善必要度の算出と優先順位設定の例を示す。

なお、バックアップ給水（他の機場や配水系統などからの管路による応援給水）が期待できる場合には、耐震性改善必要度が下がることから、バックアップ給水に対する依存度及び信頼度に応じて、耐震性改善必要度を補正できることとした。

表 13 耐震性改善必要度の算出と優先順位設定の例

構造物名	耐震性評価点 (10点満点換算値)	影響範囲	耐震性改善必要度	詳細耐震診断実施の優先順位
薬品沈澱池1	7.00	2.21	15.47	8
薬品沈澱池2	6.68	3.13	20.91	1
ろ過池1	6.89	2.00	13.78	9
ろ過池2	6.63	1.86	12.33	10
浄水池1	6.89	2.63	18.12	3
浄水池2	8.21	2.45	20.11	2
配水池1	6.95	2.38	16.54	5
配水池2	7.53	2.21	16.64	4
配水池3	7.21	2.21	15.93	6
配水池4	7.11	2.21	15.71	7

4 「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の作成

平成 24 年度に作成した「浄水施設簡易耐震診断の手引き」原案を有識者 2 名による査読によって記述内容・構成等の推敲を行

うとともに、6つの中小事業体の職員による「手引き」原案のレビューを実施し、読みやすさ・使いやすさ等の意見を聴取して「手引き(案)」の充実を図った。

主な意見は以下のとおりである。

- ・ 難解な用語は避けてほしい。
- ・ 診断サンプルによって診断の方法を説明してほしい
- ・ 診断事例をできる限り掲載してほしい
- ・ 技術者が3人のみだが、冒頭部だけ読めば診断ができるのはありがたい。
- ・ 使ってみた結果、ほぼ想定どおりの結果を得たので、良いと思う。
- ・ 建造物の耐震性を大まかにでも判断できれば内部資料として使用できる。

表 14 「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の構成

はじめにお読み下さい 本書の使い方
 簡易耐震診断の基礎知識
 簡易耐震診断とは 目的と精度
 簡易耐震診断の対象 適用範囲と条件
 このデータがあれば診断できる

1章 はじめよう！ 簡易耐震診断
 新簡易耐震診断表の使い方
 1.1 簡易耐震診断の実施手順
 1.2 簡易耐震診断表
 1.3 詳細耐震診断実施の優先順位

2章 簡易耐震診断の解説
 新診断表の作成背景と検討内容
 2.1 水道施設耐震工法指針等の変遷
 2.2 浄水施設の耐震化等の現況
 2.3 耐震診断手法の概要
 2.4 新簡易耐震診断表
 2.5 詳細耐震診断実施の優先順位

資料編
 【資料1】用語の解説
 【資料2】水道施設耐震診断実施の現況と課題
 【資料3】近年の地震による浄水施設被害の実態
 【資料4】構造的強度評価方法の改善
 【資料5】新簡易耐震診断表
 【資料6】バックアップ給水を考慮した耐震性改善必要度の算定
 【資料7】地盤液状化判定方法
 【資料8】耐震性改善工法

よくある質問 (FAQ)

これらの意見を基に、中小事業体における利用を特に考慮し、診断モデルを用いた平易な解説により理解を容易にするとともに、冒頭部(全14頁)のみの理解で簡易耐震診断の実施と詳細耐震診断の優先順位付けをマスターできるように配慮して「手引き」の原案をブラッシュアップし、最終案とした。また、簡易耐震診断表、影響範囲算出表等は、必要なデータ(判定値)を入力するだけで耐震評価点等の結果を算出できるように作表し、これ格納したCD-ROMを「手引き(案)」に添付した。

表 14 に「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」の構成を示す。

5 浄水施設等の耐震性の現況把握

平成 25 年度までにケーススタディを実施した事業体のデータから、耐震性がない又は耐震性が不明の有蓋・無蓋池状建造物を新簡易耐震診断表によって診断した耐震性判定結果を図 33 に示す。この図は 22 施設のデータを人口規模別に表したものであるが、耐震性が高いと判定された施設は皆無であり、すべての施設において、給水人口規模による差異はなく、耐震性が中又は低いとの判定結果であり、大半が「低い」であった。

このような結果から、データ数が少ないものの、中小事業体の有蓋・無蓋建造物は比較的耐震性が低い施設が多く存在していると考えられる。

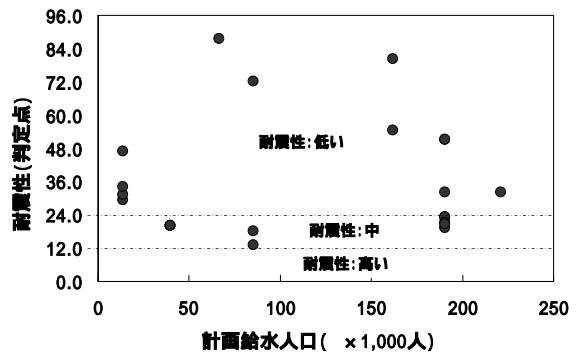


図 36 耐震性の判定

D. 考察

近年の地震被害事例に基づく耐震診断手順案を、一層使いやすく分かりやすい診断実施の具体的なフローとして示した。また、有蓋・無蓋池状建造物の既往簡易耐震診断

表の問題点を改善して新簡易耐震診断表とするとともに、被災時の給水への影響度合等を考慮した詳細耐震診断実施の優先順位付けの手法を提案した。こうした成果を基に、中小事業体における使用を念頭に置いた分かりやすい「浄水施設簡易耐震診断の手引き(案)」としてまとめた。

これらは中小事業体によるケーススタディ及びレビューにおいて試用され、その妥当性等が確認されたところであり、特に、新簡易耐震診断表についての改善効果・有効性が検証された。また、小規模事業体でのレビューでは、「冒頭の部分だけを読んで実際に診断ができた」との声も寄せられ、中小事業体における汎用性もあると考えられる。

本研究においては有蓋・無蓋構造物以外の構造物に関する簡易耐震診断表は、詳細耐震診断事例の収集が困難なため統計的解析を行えず、既往簡易耐震診断表の一部を改善するに止まったが、今後、これらの構造物の詳細耐震診断実施を促してその診断データを収集し、簡易耐震診断手法の精度向上に努める必要がある。

また、事業体におけるケーススタディによって得られたデータを基に、新簡易耐震診断表による耐震性判定結果を検討したところ、中小事業体の有蓋・無蓋構造物は比較的耐震性が低い施設が多く存在していると考えられるが、今回の検討では、データ数が少ないこと、比較的地震対策の意識の高い事業体中心のデータであることから、より多くの普遍的なデータの収集に努めて、確度の高い状況を確認する必要がある。

東南海地震の到来が懸念され、水道施設の耐震化が喫緊の課題となっている現在、中小事業体における耐震化促進のため、この「手引き(案)」の周知及び活用のための継続的な普及・啓発活動が必要不可欠である。

この作成に当たっては、最新の耐震工法指針等の指針・規定・検討書などを基にしたが、これらの変遷や地震被害等の知見の集積及び技術の進展とともに、記載内容は必要に応じて改定する必要がある。また、「手引き(案)」では、津波被害については考慮していない。津波被害は水道施設の立地条件、特に土地の標高に左右されるが、今後、津波被害に関する知見を収集整理して

津波への防災対策・減災対策、更にはバックアップ対策などを検討して盛り込む必要があると思われる。

E . 結論

本研究は多くの課題が顕在化している中小事業体に対して適切な改善強化方策や施設更新によるリスク低減策を「手引き(案)」として提示することにあるが、これを活用する水道技術者の専門性を考慮し、検討課題ごとに「手引き(案)」を策定した。

1 原水水質悪化への対応の検討

中小事業体から原水水質悪化に対する浄水処理の課題を把握し、その課題解決に向けた方策の検討を実施した。その結果と課題改善の実例を合わせ、中小事業体向けに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、原水水質悪化に対応した適切な改善・強化方策を実施することにより、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

我が国における浄水施設の耐震化の状況は依然として低く、中小事業体を中心に耐震化への取り組みが遅れていることから、東北地方太平洋沖地震等の地震被害実態を踏まえた簡易耐震診断手順を提案するとともに、既往簡易耐震診断表を改善した「新簡易耐震診断表(案)」の提案と、被災時の影響度合を考慮した詳細耐震診断実施の優先順位決定方法を提案した。これらはケーススタディにより有効性が確認され、また中小事業体にとって使いやすくかつ高度な技術力を要しないことから、今後、中小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と期待できる。

F . 健康危険情報

特になし。

G . 研究発表

1 論文発表

M. Miyajima “Resilient Water Supply

System for Earthquake and Tsunami”, *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, **63**(2), pp.86-94, 2014.3.

2 学会発表

井本祐司、鎌田素之、山口太秀、相澤貴子「高濁度原水における二段凝集処理最適化の検討」、『第50回環境工学研究フォーラム講演集』、p.137、2013.11.

相澤貴子、安藤茂、富井正雄、伊藤雅喜、堤行彦、鎌田素之「高濁度原水に対する実用的な中小水道事業者向け支援対応方策」、『第16回日本水環境学会シンポジウム講演集』、pp.177-178、2013.11.

安積良晃、中山宏二、中川勝裕、富井正雄、安藤茂、藤原正弘、相澤貴子「中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() - 浄水場の運転管理に関するアンケート調査結果等に基づく考察 - 」、『第64回全国水道研究発表会講演集』、pp.208-209、2013.10.

堤行彦、伊藤雅喜、鎌田素之、佐藤仁是、安積良晃、富井正雄、相澤貴子「中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() - 高濁時凝集剤注入管理指標とアルカリ度代替指標に関する実施データ解析と評価 - 」、『第64回全国水道研究発表会講演集』、pp.210-211、2013.10.

向後隆蔵、早川英司、三好礼子、伊藤雅喜「中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出条件の検討」、『第64回全国水道研究発表会講演集』、pp.212-213、2013.10.

早川英司、向後隆蔵、三好礼子、伊藤雅喜「中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出抑制方策の検討」、『第64回全国水道研究発表会講演集』、pp.214-215、2013.10.

鎌田素之、井本祐司、山口太秀、海老江邦雄、相澤貴子「中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 集塊化開始時間測定法による新たな凝集処理制御に関する検討」、『第64回全国水道研究発表会講演集』、pp.216-217、2013.10.

桐村昭充、渡部和弘、長田克也、鈴木泰

博、武内辰夫、宮島昌克、相澤貴子「近年の地震被害実態に基づく新簡易耐震診断手法の提案」、『第64回全国水道研究発表会講演集』、pp.660-661、2013.10.

M. Miyajima “Performance of Drinking Water Pipelines in Liquefaction Areas in the 2011 Great East Japan Earthquake”, *International Journal of Landslide and Environment*, **1**(1), pp.61-62, 2013.10.

Y. Tsutsumi, M. Itoh, M. Kamata, M. Fujiwara, S. Ando, M. Tomii, Y. Asaka, K. Nakayama and T. Aizawa “Evaluation of Water Quality Indicators Related to Water Treatment Processes and Practical Treatment Method against High Turbidity Raw Water”, *Proceedings of the 5th IWA Aspire conference & exhibition*, [USB Flash Disk] 09D1-5, p8, 2013.9.

N. Mizuno, M. Suzuki, T. Onuma, K. Taira, T. Aizawa “Water Quality Surveys of Shallow Wells Damaged by Tsunami in the Great East Japan Earthquake -Case of Minamisanriku-cho in Miyagi Prefecture-”, *Proceedings of the 8th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices*. pp.373-383, 2013.8.

M. Miyajima “Verification of a Prediction Method of Earthquake Damage to Water Supply Pipeline by Using Damage Data of the 2011 Great East Japan Earthquake”, *Proceedings of the 8th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices*. pp.43-49, 2013.8.

Y. Imoto, M. Kamata, D. Yamaguchi and T. Aizawa “Application of Two-stage Coagulation for High Turbidity Raw water”, *Proceedings of JWET2013*, p.16, 2013.6.

A. Kirimura, Y. Suzuki, T. Aizawa, M. Fujiwara and M. Miyajima “Simplified Evaluation Method of Seismic Resistance for Water Treatment Facilities”, *Proceedings of 6th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering*, [CD-ROM], 2013.5.

M. Miyajima “Damage to Water Supply Pipelines in the 2011 Great East Japan

Earthquake”, *Proceedings of 6th
China-Japan-US Trilateral Symposium
on Lifeline Earthquake Engineering*,
[CD-ROM], 2013.5.

H . 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

- 1 特許取得
該当なし
- 2 実用新案登録
該当なし
- 3 その他
該当なし

水道事業体における浄水処理関連データの収集分析とその応用に関する研究

研究分担者 堤 行彦 福山市立大学都市経営学部 教授

研究要旨

水道事業体の実施設における浄水処理関連データを収集・解析し、高濁度時における凝集沈澱処理の具体的な対策手法のいくつかが昨年度提案された。その提案結果を踏まえ、さらに実施設におけるデータ解析と提案された対策手法の検証を行った。

その結果、本研究で提案された簡易凝集剤注入式 ($Al = a \cdot T^{b+1}$) は実施設での適用に有効な方法であること、電気伝導率 (EC) 現場連続測定用工業計器がアルカリ度の代替指標として利用可能であることが実施設の工業計器による検証においても確認ができたこと、二段凝集の中小規模水道への適用については、攪拌強度の大きな値は必要とせず沈澱池越流渠への凝集剤滴下、アンスラサイトを砂層上部に 5cm 程度敷くことで二次凝集剤の注入率を 5mg/l 以下程度までろ過池のろ抗上昇を管理できる可能性があること、超高塩基度 PAC (塩基度 70%) は従来の PAC (塩基度 50%) より、安定した濁度管理、pH の低下抑制、残留アルミニウム管理、凝集剤によるアルカリ度消費の抑制に効果があること、などが成果として得られた。

A. 研究目的

水道事業体の実施設における浄水処理関連データを収集・解析し、高濁度時における凝集沈澱処理の具体的な対策手法のいくつかを昨年度提案された。その提案結果を踏まえ、さらに実施設におけるデータ解析と提案された対策手法の検証を行った。その結果をもとに中小規模水道が実用的で導入可能な対応技術であるかについて示すことを目的とする。

B. 研究方法

水道事業体の浄水処理に関する実施設データと凝集沈澱処理の具体的ないくつかの対策手法との整合性の確認、特に運転管理条件や原水及び処理水の水質分析データとの関連について解析を行うこととした。

実施設データに対する評価、確認には、その施設での原水によるジャーテストも必要に応じて行った。

(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. 高濁度時凝集剤注入式の検証

多様な原水を持つ浄水場ごとで対応可能な高濁度時凝集剤注入方法として、ジャーテストを必要としない以下のような累乗式 (1) と (2) (ここでは簡易凝集剤注入式と呼ぶ) が本研究成果として提案されている¹⁾。

$$Y = a \cdot X^b \quad \text{----- (1)}$$

ここで、Y : Al/T 比 Al (凝集剤 (mg/L))

T : (濁度 (度))

X : 濁度 (T)

a, b : 係数

従って、各原水の凝集剤注入量は、

$$Al = a \cdot T^{b+1} \quad \text{----- (2)}$$

一方、同様の目的で集塊化開始時間測定法についても提案がなされている¹⁾²⁾。そこで、この簡易凝集剤注入式が既存の浄水場 (Hr 浄水場) の最適注入率と適合し、かつ集塊化開始時間測定法による方法とも適合するか検証を行なった。

事前に Hr 浄水場のデータを基に求めた係数 a (30.097)、b (-0.678) の値を累乗式 (1) に導入し、ある時期の高濁時凝集剤注入率の実施設データと比較した結果が Fig.1 である。実線が簡易凝集剤注入式で求めた Al (PAC 注入率) / T (濁度) と T (濁

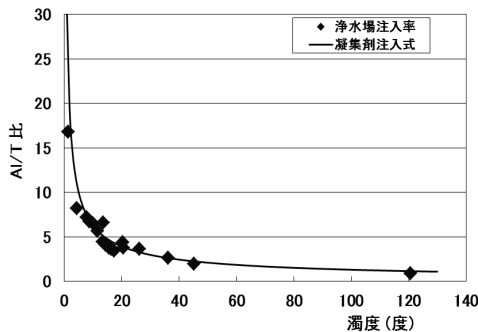


Fig.1 Hr 浄水場注入率との適合性

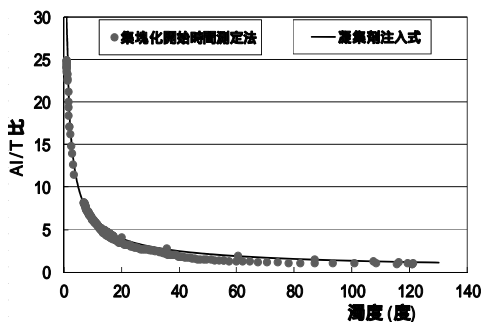


Fig.2 集塊化開始時間測定法との適合性

度)で、◆印はHr 浄水場で実施された最適注入率であるが、非常に強い相関を示している。

また、Fig.2 で示すように簡易凝集剤注入式と集塊化開始時間測定法の比較でも、Al (PAC 注入率) / T (濁度) と T (濁度) でほぼ同様の値を示すことも分かった。

以上のことから、簡易凝集剤注入式は各浄水場で必要とされる凝集剤注入率を求める有効な方法の一つとなり得ることが期待できる。

2. アルカリ度代替指標としての EC (実施設工業計器による検証)

アルカリ度代替指標として EC (電気伝導度) が使用できることが報告されている¹⁾が、実施設での EC 工業計器による確認を行うために Nk 浄水場におけるアルカリ度及び EC の工業計器とアルカリ度手分析データによる検証を行った。Fig.3 には、原水のアルカリ度計 (現場連続測定用工業計器) と EC 計 (現場連続測定用工業計器) の平成 12 年度 1 年を通したデータの相関を示した。ややばらつきはあるものの十分利用可能な相関がみられる。また、Fig.3 にはアル

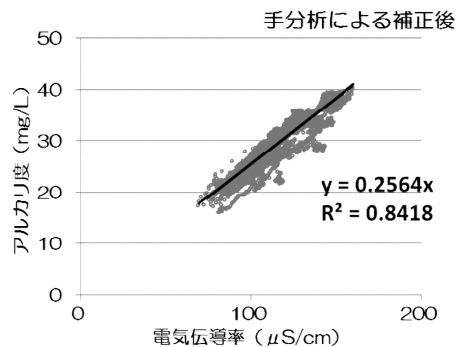
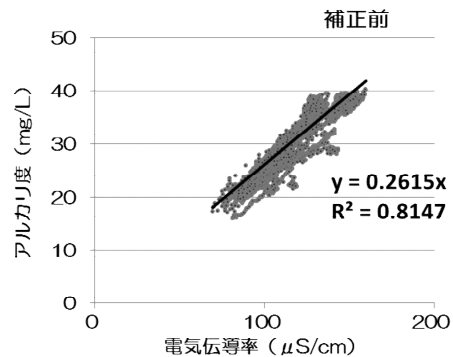


Fig.3 アルカリ度と EC の現場工業計器による相関

カリ度の手分析データで補正した相関も示した。さらに強い相関が得られ、EC 計が現場での工業計器においても利用可能であることが検証できた。

3. 二段凝集の中小規模浄水場への適用におけるろ過池での対応方法

中小規模水道における高濁度時対応技術として、二段凝集の有効性が報告されている¹⁾。その中で、二段凝集を行う際の留意事項の一つとしてろ過池のろ過継続時間の極端な短縮を抑制することである。

その対応技術の一つとして、ろ過池のろ層上部にアンスラサイトを敷設する方法がある。Fig.4 は Ny 浄水場におけるアンスラサイト層 (層厚 5cm、有効系 0.7~1.5mm、均等係数 1.5 以下) 敷設の実施例を示したデータである。濁度がやや高い期間と濁度は低い藻類の多い期間での原水濁度、沈澱濁度、二段凝集の凝集剤注入率 (二次凝集剤)、砂ろ過処理水を示している。両期間ともアンスラサイトを敷設することで、従来二段凝集を行っていない期間に比べろ過継続時間の短縮が起っておらず凝集剤

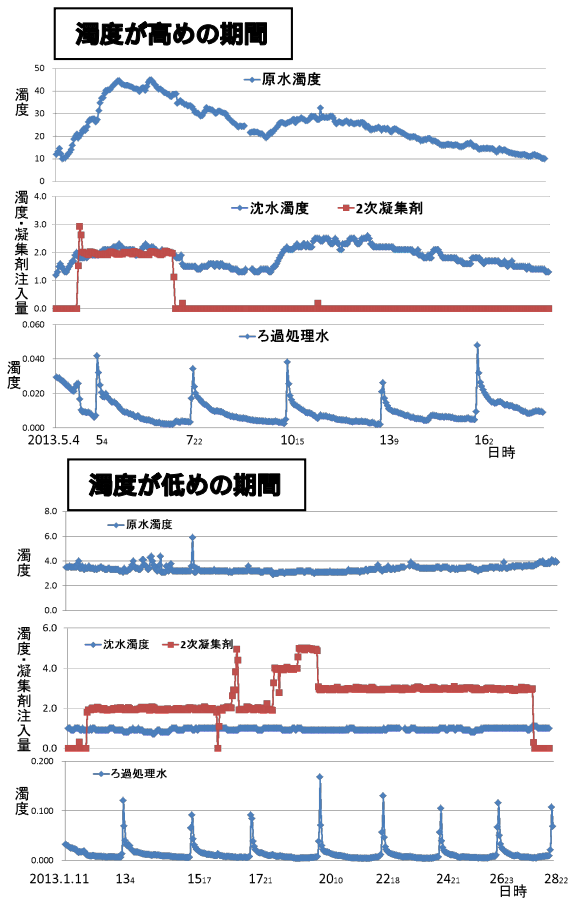


Fig.4 二段凝集における二次凝集剤注入量と濁度、ろ過継続時間の関係

注入率も最大 5mg/l 注入時でもろ過継続時間は通常設定の 60~65 時間確保できている。ろ過池のろ抗のデータがなく、二次凝集剤の増減によるろ過閉塞への影響は明確に示せないが、設定のろ過継続時間が確保できていることから、アンスラサイト層 (5cm) 敷設の効果が推察できる。過剰な注入や必要に応じた注入量の増大が起こった場合に、急激なる抗の上昇によるろ過継続時間の急激な低下を抑制する効果をアンスラサイト層がになっている可能性を示すものである。

4. 超高塩基度 PAC の中小規模浄水場への適用に関する検討

超高塩基度 PAC (塩基度 70% の製品: PAC70 と略) は一部の浄水場で残留アルミニウムの低減化を目的に利用されつつある³⁾が、その他の有効性については検討が進められているところである。今回、実施設

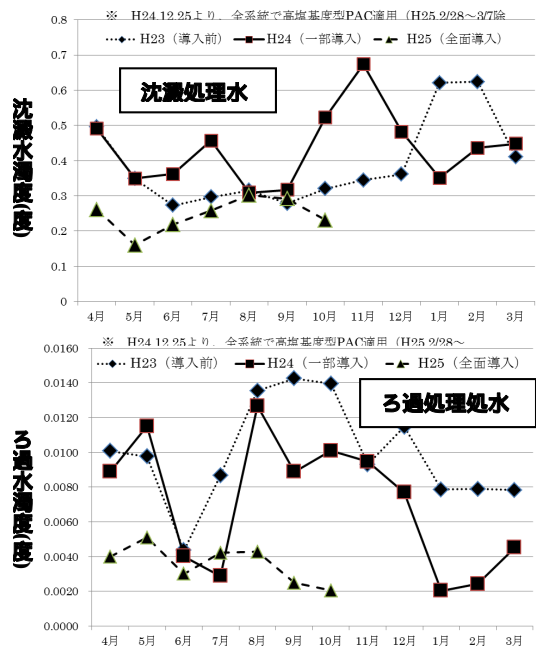


Fig.5 従来 PAC と超高塩基度 PAC の濁度処理における変化
(従来 PAC : H23、24 年度 12 月)
(超高塩基度 PAC : H25 年 1 月~)

利用されている Ar 浄水場のデータの評価を行い、高濁時の凝集沈澱対応技術の一つとして中小規模水道でもその活用の可能性があるかについて検討を行った。

超高塩基度 PAC の濁度処理状況を確認するために、約 7 か月実施で稼働している Ar 浄水場の沈澱水濁度とろ過水濁度の月平均データを超高塩基度 PAC 導入前 (従来 PAC 使用) の平成 23、24 年度から全面導入後の平成 25 年度まで Fig.5 に示した。従来 PAC (塩基度 50% の製品: PAC50 と略) と同等以上に濁度の安定的処理が達成されており、沈澱水濁度、ろ過水濁度は原水濁度が各年度で異なることを考慮しても、この浄水場原水では超高塩基度 PAC の処理性が優れていることを示している。

Fig.6 には、濁度同様 Ar 浄水場の凝集混和池における従来 PAC と超高塩基度 PAC の pH の変化について濁度と同様年度別で示した。超高塩基度 PAC を全面導入した平成 25 年度は他の年度より凝集剤による pH の低下が小さいことを示しており、凝集剤注入による高濁時の pH 管理が容易になりうることを示唆される。

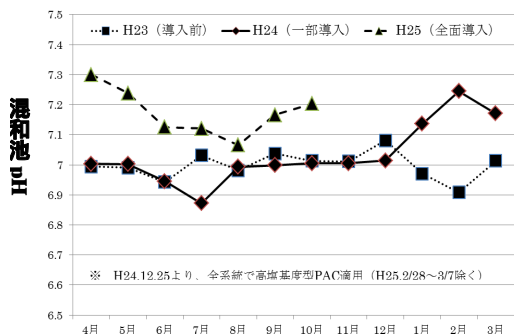


Fig.6 従来PACと超高塩基度PACの混和池におけるpH変化

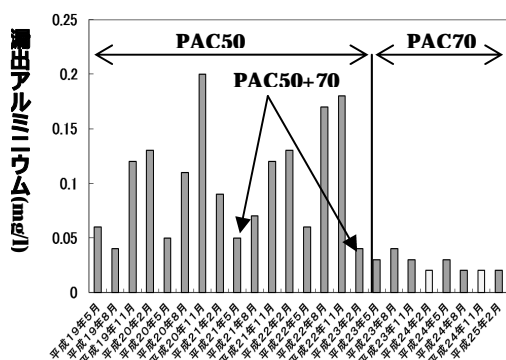


Fig.7 従来PACと超高塩基度PACのアルミニウム漏出の比較

Fig.7 は Hn 浄水場における従来 PAC (PAC50) と高塩基度 PAC (PAC70) のアルミニウム漏出を比較したものである。超高塩基度 PAC の注入率は 30mg/l とほぼ一定で運転し、従来 PAC は濁度に応じて 30~60mg/l に変化させている。注入率が従来 PAC で多いことを考慮しても、明らかに PAC70 では漏出アルミニウムが PAC50 に比して安定して少ないといえる。このことは、高濁時に高い凝集剤注入率となってもアルミニウムの漏出対策となり得ることを示唆している。

D. 考察

1. 多様な原水における高濁度時凝集剤注入式の導入の考え方

高濁度時凝集剤注入率の決定にジャーテストを行わないで最適凝集剤注入率を算出する手法である簡易凝集剤注入式は、実施設における検証と他の方法との整合性について非常に良い結果が得られたことから、中小規模水道の簡易な高濁度対策手法の一つ

として採用の可能性があることが示された。

一方で、この式を採用する場合には、各浄水場原水に対して係数 a、b を既存の凝集剤注入率と濁度のデータから求めておくことが必要となる。特に、水質変化の激しい原水では、できる限り年間を通して多くのデータを導入し係数 a、b を求めることがより精度のよい凝集剤注入管理をする上で重要なこととなる。

2. アルカリ度代替指標としての EC (現場連続測定用工業計器)

高濁度時におけるアルカリ度の低下と凝集剤によるアルカリ度消費の観点から、高濁度時のアルカリ度の水質管理は非常に重要な確認事項の一つとなる。そのためのアルカリ度の測定は手分析と現場連続測定用工業計器があるが、中小規模水道では手分析は人的パワーや測定時間の問題、現場連続測定用工業計器は維持管理に課題を抱えている。

本研究で、実際の浄水場におけるアルカリ度及び EC 連続測定用工業計器による良好な検証結果が得られたことから、一般に多く利用され維持管理も容易である EC 現場連続測定用工業計器は原水連続水質監視計として、浄水場現場におけるアルカリ度測定に代わる連続測定計器として有効なアルカリ度監視の対策手法として考えることが可能といえる。

3. 二段凝集の中小規模浄水場への適用

高濁度時の対応として二段凝集を既存施設に導入するにあたって検討すべき点として、簡易な設備で対応可能か、どの位置に二段凝集剤 (PAC) を滴下すべきか (十分な混和、攪拌強度が得られるか) ろ過池に大きな影響を与えないか (ろ過継続時間、アルミニウムの漏出) などがあ

る。写真 1 は Mk 浄水場、Ar 浄水場における二段凝集剤注入装置の一例である。Mk 浄水場では凝集剤タンクと注入ポンプが一体となった簡易な設備の追加のみであり、Ak 浄水場では既存の凝集剤タンクから二段凝集剤注入ポンプで分岐して注入する設備で、このように簡易な設備での対応が可能であることがわかる。

二段凝集剤注入の位置は、沈澱池流出越

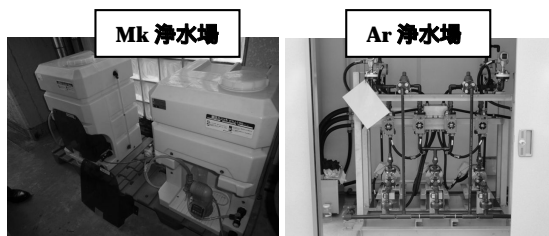


写真1. 二次凝集剤注入装置の一例

流堰に滴下することで対応が可能であり攪拌機の設置など不要であることが多くの実績調査結果から確認できている。ある浄水場の越流堰における攪拌強度と接触時間をGT値として求めた結果では、10,000程度を目安にすれば十分対応可能であり、通常の凝集沈澱処理におけるGT値50,000~150,000⁴⁾に比べ非常に小さい値で対応可能であることがわかった。

ろ過池への影響については、アンスラサイトの敷設によつてろ過継続時間の確保が可能で、5mg/l程度の二段凝集剤注入率まで対応可能であることが実施の結果から確認された。

以上、二段凝集の中小規模浄水場への適用は、簡易な施設で対応でき高濁度時の安定したろ過処理水維持に非常に有効な方法であることが施設導入の面からも確認できた。

4. 超高塩基度 PAC の中小規模浄水場への適用

超高塩基度 PAC の処理性について、実施施設の運転データをさらに確認するために Ar 浄水場の原水で行ったジャーテストの結果を Fig.8 に示した。

濁度と色度の除去性については、超高塩基度 PAC と従来 PAC には大きな差は見られない。濁度では低 PAC 注入率における除去性が今回の原水においては超高塩基度 PAC でやや優れた傾向にある。

pH の変化については、超高塩基度 PAC が pH の低下が少なく実施施設のデータと同様の結果となっている。

凝集剤によるアルカリ度消費量は、プロットの傾きから従来 PAC で PAC1mg/l 当たり 0.149mg/l、超高塩基度 PAC で 0.086mg/l となり超高塩基度 PAC が凝集剤によるアルカリ度の低下が大きく抑制されことを示

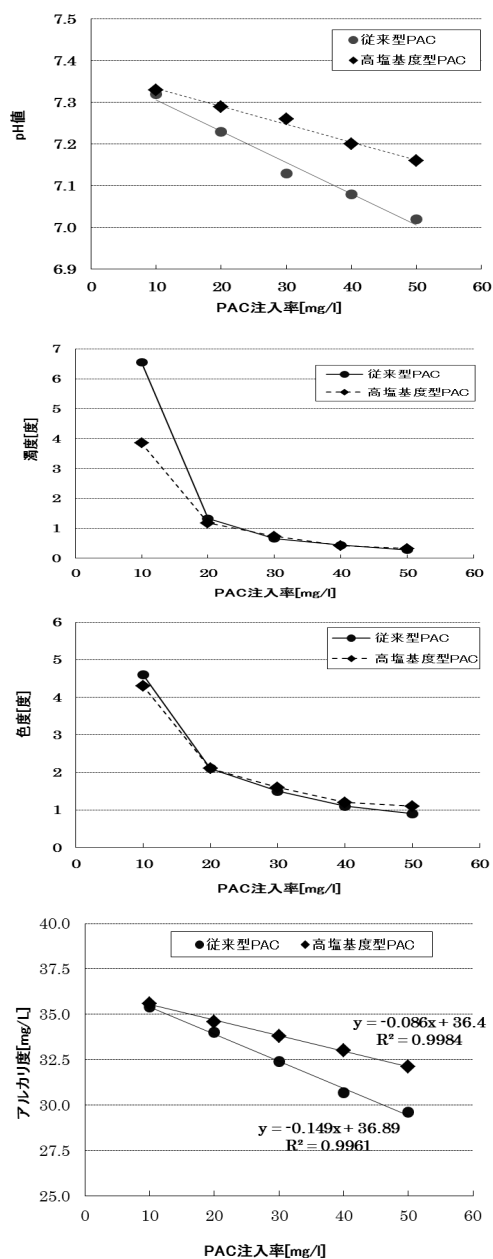


Fig.8 超高塩基度 PAC によるジャーテスト結果

している。このことは、低アルカリ度原水である浄水場でより安定した凝集沈澱処理が期待できることを示唆している。

以上のように、高濁度時において超高塩基度 PAC は従来 PAC に比べより安定した処理が可能で、特に中小規模水道では運転管理の面で有効な対策技術の一つであることが考えられる。一方、超高塩基度 PAC はまだ実績も少なく、コストも高いことからその採用についてはそれぞれの原水で十分

な検討を行って判断することが望ましい。

E . 結論

水道事業体の実施設における浄水処理関連データを収集・解析し、高濁度時における凝集沈澱処理の具体的な対策手法のいくつかが昨年度提案された。その提案結果を踏まえ、さらに実施設におけるデータ解析と提案された対策手法の検証を行った。

その結果、本研究で提案された簡易凝集剤注入式 ($Al = a \cdot T^{b+1}$) は実施設での適用に有効な方法であること、電気伝導率 (EC) 現場連続測定用工業計器がアルカリ度の代替指標として利用可能であることが実施設の工業計器による検証においても確認ができたこと、二段凝集の中小規模水道への適用については、攪拌強度の大きな値は必要とせず沈澱池越流渠への凝集剤滴下、アンスラサイトを砂層上部に 5cm 程度敷くことで二段凝集剤の注入率を 5mg/l 以下程度まで砂ろ過池のろ抗上昇を管理できる可能性があること、超高塩基度 PAC (塩基度 70%) は従来の PAC (塩基度 50%) より、安定した濁度管理、pH の低下抑制、残留アルミニウム管理、凝集剤によるアルカリ度消費の抑制に効果があること、などが成果として得られた。

(引用文献)

- 1) 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
「経年化浄化施設における原水水質悪化等への対応に関する研究」(代表:相澤貴子)平成 24 年度総括・分担研究報告書、平成 25 年 5 月
- 2) 鎌田素之、井本祐司、山口太秀、海老江邦雄、相澤貴子; 中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討 () 集塊化開始時間測定法による新たな凝集処理制御に関する検討、第 64 回全国水道研究発表会講演集、pp.216-217、平成 25 年 10 月
- 3) 石橋健二、青木綾佑、佐藤卓郎、西木一夫、平島隆義; 残留アルミニウム等の低減化を目的とした新規凝集剤の評価、第 64 回全国水道研究発表会講演集、pp.270-271、平成 25 年 10 月

- 4) 日本水道協会;水道施設設計指針、p187、2012

F . 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

G . 研究発表

1. 論文発表
なし

2. 学会発表

Y. Tsutsumi, M.Itoh, M. Kamata, M. Fujiwara, S. Ando, M. Tomii, Y. Asaka, K. Nakayama and T. Aizawa、
「Evaluation of Water Quality Indicators Related to Water Treatment Processes and Practical Treatment Method against High Turbidity Raw Water」

IWA (International Water Association)Aspire2013 - 5th IWA Aspire conference & exhibition(Daejeon,Korea)、09D1-5, 8pp (USB)

堤行彦、伊藤雅喜、鎌田素之、佐藤仁是、安積良晃、富井正雄、相澤貴子、「中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討 () - 高濁時凝集剤注入管理指標とアルカリ度代替指標に関する実施設データの解析と評価 - 」第 64 回全国水道研究発表会講演集、pp.210-211、2013.10

相澤貴子、安藤茂、富井正雄、伊藤雅喜、堤行彦、鎌田素之、「高濁度原水に対する実用的な中小水道事業体向け支援対応方策」、第 16 回日本水環境学会シンポジウム講演集、pp.177-178、2013.11

H . 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得
該当なし
2. 実用新案登録
該当なし
3. その他
該当なし

高濁度対応技術の検証

研究分担者 伊藤 雅喜 国立保健医療科学院 生活環境研究部 席主任研究官

研究要旨

中小水道事業体における高濁度原水への対応を念頭に小型浄水処理装置を用いた実験を実施した。平成 24 年度は濁度単成分系の実験を行い、濁度上昇が予測される場合には早めの凝集剤注入率の増加や凝集不良、沈澱不良の場合には二段凝集処理がろ過水濁度漏出抑制に効果があることを示した。本年度は濁度と有機物が共存する系について実験を行い、処理の効果と有機物の影響について検討した。有機物共存原水においても最適注入率を保持できれば濁質の安定処理が可能であること、凝集剤不足の状態でも一定条件内であれば二段凝集による対応が可能なこと、原水濁度に対し有機物濃度が高い場合には濁度処理が困難になる状況が起きやすいことなどが明らかとなった。

A. 研究目的

中小の浄水施設において、異常気象などによる原水水質悪化への対応策には限りがある。これまでの調査によって、運転管理の課題として不適切な凝集剤注入操作に伴う凝集不良が挙げられている。

これらの情報に基づき小型浄水処理実験装置を用いて、高濁度原水への対応策を実験的に検討することとした。高濁度時における凝集不良時にどのような対応策が有効であるかを、中小水道事業体の実態を考慮して実験を行った。

本年度は濁度と有機物が共存する原水を対象とし、昨年度に得られ高濁度対応策が、有機物の共存下でも効果があるか等について検討した。

B. 研究方法

1. 実験装置

小型実験装置の概要を図-1 に示す。装置は急速攪拌、フロック形成、沈澱、砂ろ過からなり、装置の前段に実験原水調整用の装置を備えている。沈澱槽には 4 段の取り外し可能な傾斜板が設置されている。砂ろ過の砂層厚は 25 cm でろ過速度は 120 m/d (0.6 L/m) を基本として実験を行った。実験用の原水は人工原水を使用しており、濁度調整用原液、有機物調整用原液を任意の割合で加えることにより、設定した濃度に調整することができるようになっている。実験に当たっては沈澱水の濁度を安定させ

るため、装置運転開始後 30 分の原水分から砂ろ過を開始した。砂ろ過は砂上水深が 35 cm となった時点で、逆洗(空気+水)を行った。

2. 人工原水

実験は再現性のあるものであることが必要のため、人工原水を用いることとした。昨年度の研究で用いた土壌等の分析データとカオリン、ベントナイトのデータを比較した結果、濁度あたりの濁質質量と粒径分布が自然の土壌に近いものとしてカオリンとベントナイトを 1:1 の割合で混合したものを濁質とした。有機物は凝集後のフロックの挙動を見ることが目的であるため、凝集しやすく試薬としても入手しやすいフミン酸ナトリウムを使用した。これを国立保健医療科学院の水道水を活性炭フィルターで残留塩素を除去したものに混合して原水とした。

3. 実験条件

濁度の設定は昨年度と同様に、通常時の原水として 5 度、最高濁度として 1,000 度を設定した。濁度の変化は昨年度と同様に 5 度、1,000 度(1 時間)、500 度(1.5 時間)、200 度(1.5 時間)、50 度(2 時間)と変化させた。ろ層厚が実際の浄水場の砂ろ過池より短いため、濁度の変化時間も実際の降雨で想定されるより短く設定した。

凝集剤は通常用いられている塩基度 47~57%のものを 100 倍に希釈して用いた。二段凝集に用いる場合には 1,000 倍に希釈し

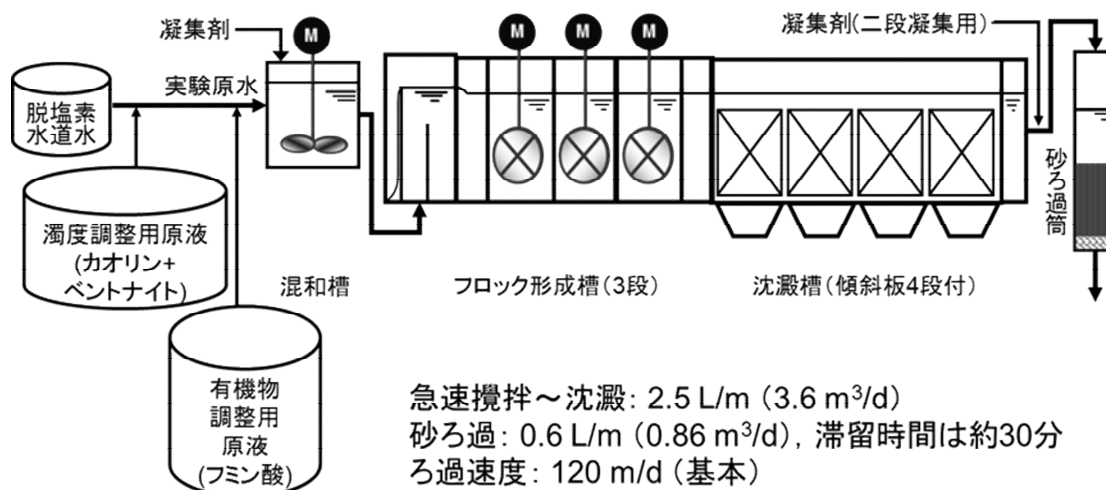


図-1 小型浄水処理装置の概要

たものを一定注入率で沈澱槽出口に注入した。

有機物共存系の条件は表-1 に示すように、これまでの検討から降雨時でも比較的 DOC 濃度が安定している原水と濁度上昇に追従する原水があることから、DOC 濃度一定と DOC 濃度変動の 2 パターンを設定した。予めジャーテストにより小型浄水処理装置の適正注入量を設定したほか、有機物濃度が凝集条件に及ぼす影響を明らかにするため、ジャーテスト結果の解析も行った。

表-1 原水水質の設定

原水濁度 (度)	原水 DOC (mg/L)	
	DOC 一定	DOC 変動
5	2.0	2.0
200	2.0	3.5
500	2.0	5.0
1,000	2.0	8.0

C. 研究結果

表-2 にジャーテストから得られた凝集剤の最適注入率、図-2 に DOC 濃度を一定で濁度みの原水の凝集剤最適注入率で実験を行った結果を示す。

図には示していないが DOC 濃度一定の場合で有機物を考慮した凝集剤適正注入率の場合 (RUN1-1) は、原水濁度の 5 度から 1,000 度への上昇に伴って、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、ろ過直後は不安定なもの、その後 0.01 度を下回った。原水濁度の 5 度から 1,000 度への上昇に伴い、沈澱水濁度が上昇、その影響を受け、最大で 0.016 度まで上昇したが、全体をとおして問題のない安定した処理が行えた。

DOC 濃度が変動する場合の実験でも、有機物を考慮した凝集剤を適正注入率で添加した場合 (RUN2-1) は、DOC 濃度が一定の場合と同様、安定した処理結果が得られた。

一方、図-2 に示すように有機物が存在する条件で、濁度に対応する凝集剤注入率を適用した場合 (RUN1-2) には、沈澱水濁度は、原水濁度 5 度時には 5.0~6.0 度の間を推移し、全く除去できなかった。原水濁度の 5 度から 1,000 度へ上昇したことに伴い、沈澱水濁度は 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、原水濁度を 200 度から 50 度に低下させると、逆に沈澱水濁度は 3.0 度程度まで上昇する結果となった。ろ過水濁度は、沈澱水濁度と似た挙動を示し、原水濁度が 5 度、50 度の時に処理性が悪化した。原水濁度 5 度のときは、0.1 度を下回ることができず、1.0 度付近をずっと推移した。また、原水濁度 50 度時は、0.1 度は常に下回るものの、RUN 1-1 と比較すると、処理性は悪化する結果となった。

表-2 小型浄水処理実験の設定原水に対する凝集剤注入率の設定

原水濁度変動 (度)	濁度変動のみ		DOC 一定		DOC 変動	
	DOC	凝集剤	DOC	凝集剤	DOC	凝集剤
	(mg/L)					
5		21	2.0	44	2.0	44
1000		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

RUN1-2 と同じ条件で二段凝集 (5 mg/L) を行った場合の結果 (RUN1-4) を図-3 に示す。原水濁度 5 度の時は、通常処理がうまくいっている条件を想定し、有機物濃度を加味した凝集剤注入率とした。沈澱水濁度は、原水濁度 5 度時は 1.2 度程度で推移し、RUN1-1 と同様良好な処理が行えた。その後は、RUN1-2 と同様の傾向を示し、50 度時には、沈澱水濁度は 6.0 程度にまで達した。しかし、ろ過水濁度は原水濁度が 5 度から 1,000 度で上がった際に若干上昇しかけたが、後 PAC 注入が効き出すと次第に低下し、以降実験が終了するまで 0.01 度以下を保持した。原水濁度 50 度時においても、良好にろ過水濁度を抑えることができた。

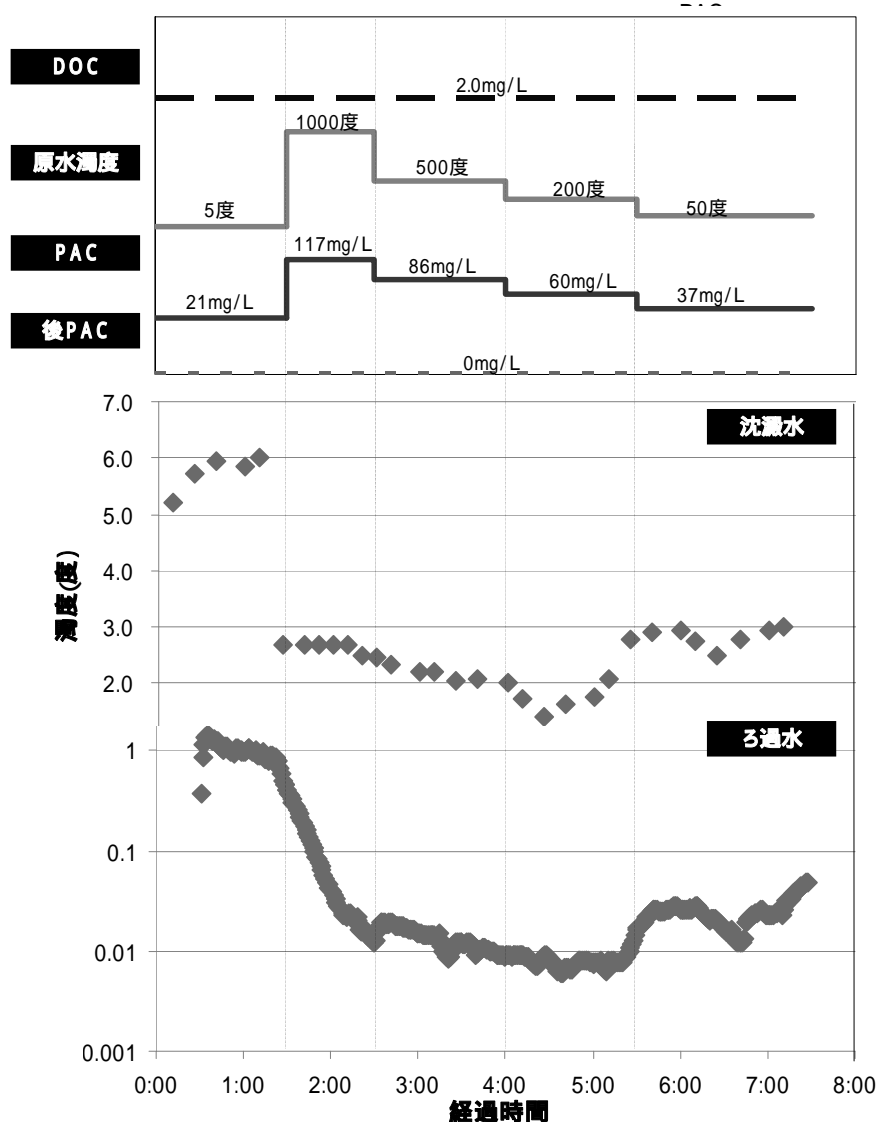


図-2 : 沈澱水・ろ過水濁度 [RUN 1-2]

D. 考察

(1) 有機物共存下における高濁度処理

有機物濃度を考慮した適正注入率の凝集剤を注入することにより、ろ過水濁度が抑えられ安定した処理ができることが示されており、有機物共存下でも適正注入率で運転することが高濁度処理の基本であることが示された。しかし、中小規模の浄水場では急激な濁度変動への対応は難しい場合も多く、既存施設でどのような対応が可能かを検討する必要がある。

図-2, 3 を比較すると、二段凝集を行うことでほぼ全領域でろ過水濁度の低下が見られる。特にろ過水濁度が悪化した原水濁度が 50 度の領域でその効果が顕著であった。昨年度の結果と比較すると二段凝集で必要な凝

集剤量が多くなっているが、有機物共存下でも二段凝集の効果があることが示されている。有機物濃度との関係でどの程度が必要かについてはまだ検討する必要がある。

原水 DOC 一定条件における「RUN1-1：凝集剤適正注入率（DOC 一定条件時）による処理」及び「RUN1-2：濁質成分のみを指標とした凝集剤注入率による処理」の結果を用いて、昨年度実験の濁質のみ条件における「凝集剤適正注入率（濁質のみ条件時）による処理」との比較を行った。各 RUN の沈澱水濁度・ろ過水濁度の比較を図-4 に示す。

昨年度結果と RUN1-1 を比較した場合、原水濁度が 500 度及び 1,000 度の沈澱水濁度において、昨年度の実験結果が RUN1-1

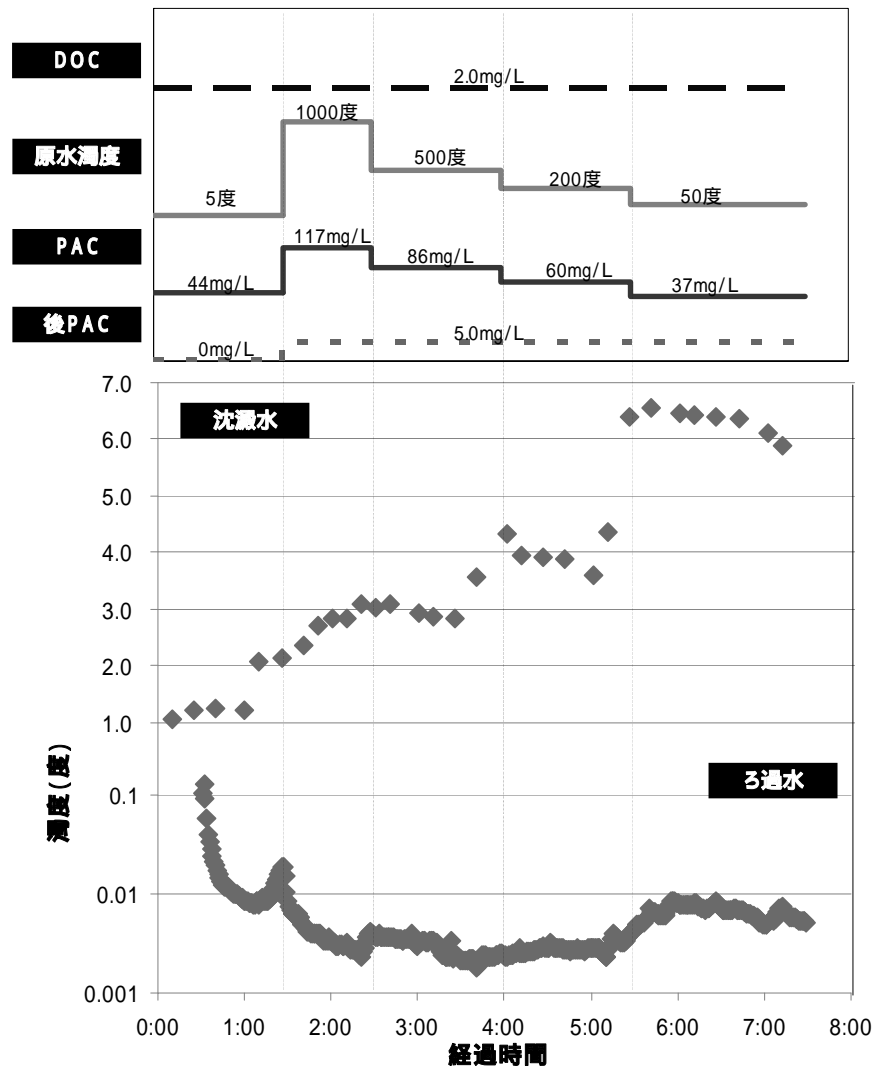


図-3：沈澱水・ろ過水濁度[RUN 1-4]

より高い濁度を示しているが、ろ過水濁度においては良好な処理性を示している。このことから、沈澱水濁度が RUN1-1 より高い原因は不明だが、濁質が沈澱槽を通過してしまっているものの、十分な凝集処理がされていると考えられる。また、全ての原水濁度を通してみると、沈澱水及びろ過水濁度で同程度の濁度推移を示しており、有機物共存下においても凝集剤を適正量注入することで良好な処理性を得られることが分かる。

RUN1-1 と RUN1-2 を比較した場合は、全原水濁度の沈澱水及びろ過水濁度で RUN1-2 の方が高い濁度推移を示しており、有機物共存下においては、同等原水濁度の濁質成分のみに対する適正な凝集剤注入量

では満足な凝集がされず、ろ過水への漏出を引き起こしたものと考えられる。特に、原水濁度が5度及び50度の低濁度時においては、沈澱水及びろ過水濁度共に処理不良の様子が顕著に表れている。これは、高濁度時と比較して濁度に対する有機物含有率が高くなることから、その影響が凝集処理に大きく関与しているものと考えられる。

(2) 凝集に及ぼす有機物の影響

ジャーテストの結果より有機物の増加量に対する必要 PAC 注入率の関係を示したものが図-5 である。有機物量を低下させる必要がない場合は、必要 PAC 注入率は 0 となることから、原点を通る有機物量の変化に伴う 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、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、有機物の処理に必要な凝集剤注入率を算出し、濁質に寄与したと考えられる凝集剤注入率と、昨年度適用した濁質のみを指標とした注入率とを比較した。DOC を用いた結果を表 3, 4 に示す。有機物用 PAC の計算値は概ね同等の値となった。RUN 1-1 のときは、全ての設定濁度において、C-D の値は、昨年度求めた E の値を満足していた。しかし、RUN 2-1 に

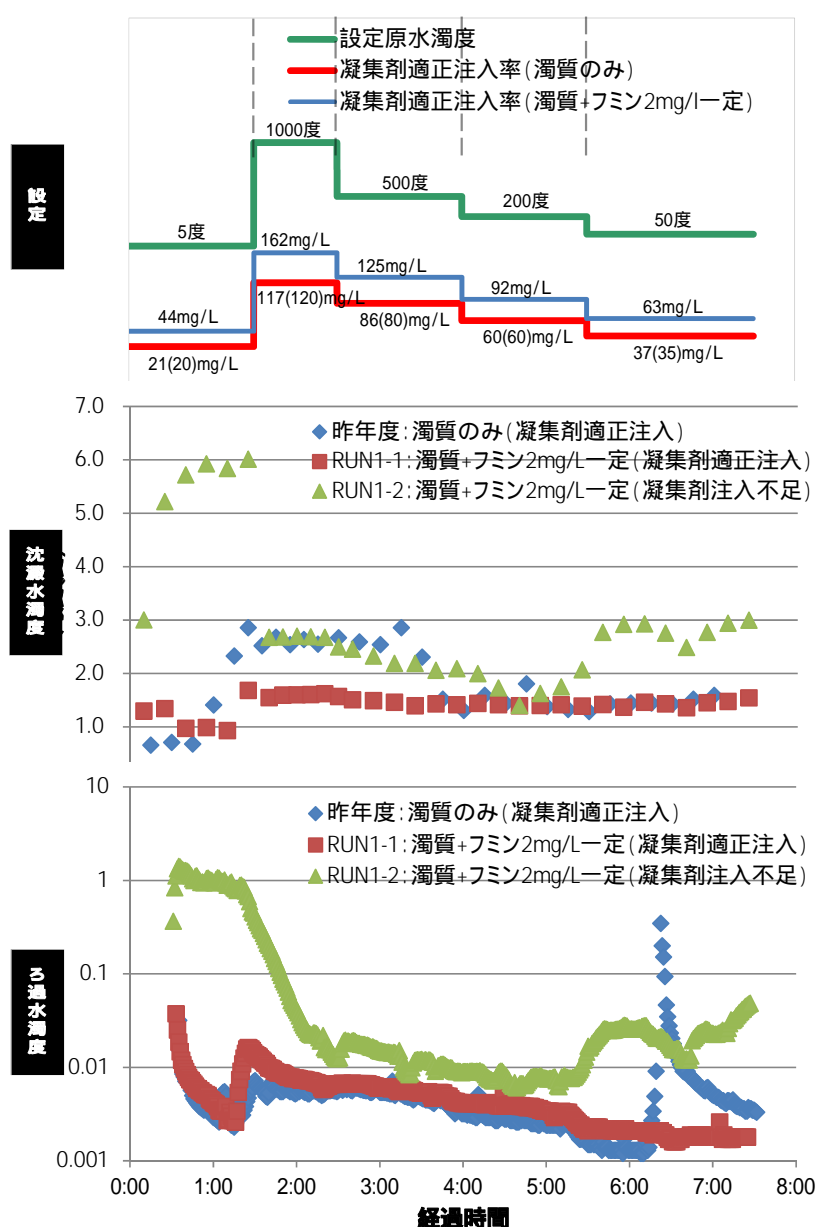


図-4 沈澱水・ろ過水濁度の比較

おいては、原水 DOC が設定値を上回る量が添加されたこともあり、C-D の値は、原水設定濁度 500、200 度時を除いて E の値を下回る結果となった。特に 1,000 度時の低下は、DOC による計算で 38mg/L で最大となっている。

このようにまだ精度的には十分なものではないが有機物濃度が凝集へ及ぼす影響を半定量的に示すことができた。従って小型浄水処理装置での実験でも得られたように有機物濃度を考慮した凝集剤注入率の設定が重要であることがあらためて示されたが、

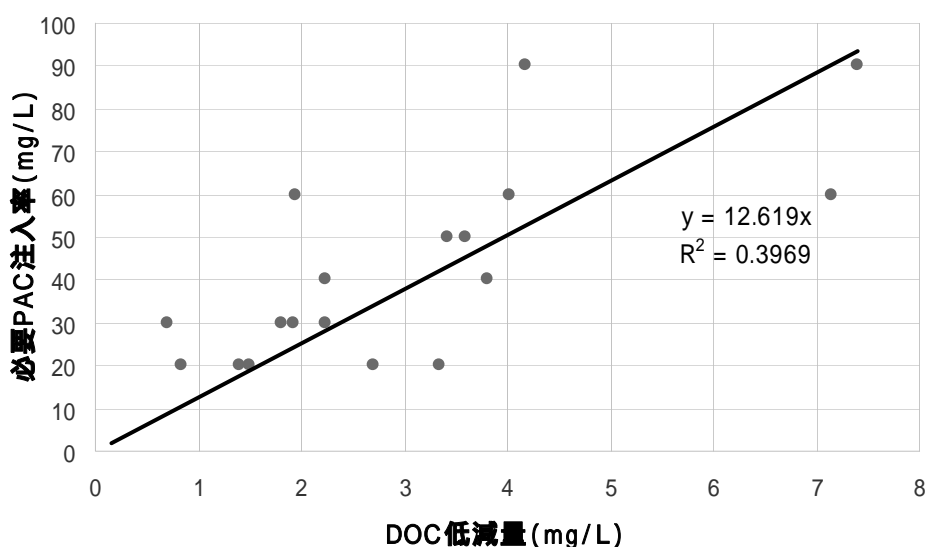


図-5：DOC 低減量とそれに必要な PAC 注入率の関係

表-3：RUN 1-1 (DOC 一定) の PAC 注入率と昨年度の濁質指標注入率の比較 (DOC)

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-4：RUN 2-1 (DOC 変動) の PAC 注入率と昨年度の濁質指標注入率の比較 (DOC)

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

一方で正確な注入率を設定するには精度が足りないことも明らかである。これらを考慮すると、有機物共存時の高濁度対応としては、降雨時の濁度および有機物の変動に対し適正凝集剤注入式を作っておき、実際に起こる想定からのずれに対しては、二段凝集で対応するのも実用的な対策の一つと考えられる。

E. 結論

中小水道事業体における高濁度原水への対応を念頭に小型浄水処理装置を用いた実験を実施した。有機物共存下での高濁度時の処理状況および対応に関する実験を行った。

実験結果より以下の結論が得られた。
有機物共存原水でも、最適注入率を設定

することができれば濁質の安定処理が可能である。

原水濁度に対し有機物の濃度が高い場合、凝集剤の不足が濁質処理を困難にする可能性が高い。

凝集剤が不足する状態でも、一定条件内であれば二段凝集にて対応が可能であることが示された。残存する有機物の影響がどの程度であるかはさらに検討する必要がある。

F. 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

G. 研究発表

1. 学会発表

向後隆蔵，早川英司，三好礼子，伊藤雅喜：中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（ ） 小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出条件の検討 .平成 25 度全国会議(全国水道研究発表会); 2013.10；郡山．同講演集．p.212-213．

早川英司，向後隆蔵，三好礼子，伊藤雅喜：中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討（ ） 小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出抑制方策の検討 .平成 25 度全国会議(全国水道研究発表会); 2013.10；郡山．同講演集．p.214-215．

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

水質変動の大きな原水に対応するための浄水処理の最適化と制御手法に関する研究

研究分担者 鎌田 素之 関東学院大学工学部社会環境システム学科 准教授

研究要旨

局地的な豪雨による急激な濁度上昇により浄水処理が困難となるケースや中小の水道事業体では技術者不足により水質変動に応じた適切な対応が困難なケースが想定される。本研究では、このような水質変動に対応するため施設等の大規模な改修を行うのではなく、凝集・沈澱処理の操作因子や薬剤、運転方法を見直すことにより対応する手法を検討した。結果、実施設において、二段凝集を行うことで特に粒径 0.5~1 μ m の粒子が効率的に除去され、濁度が低下することが示された。また、複層ろ過を併用することで、処理性の向上と損失水頭の上昇を抑制できることが示された。高塩基度 PAC (塩基度 70%のポリ塩化アルミニウム) に関しては、アルカリ度低下が抑制できることが示されたが、高濁度低アルカリ原水に対する処理性は必ずしも向上しないケースも確認された。いずれの方法も中小規模の水道事業体において比較的容易に導入可能な手法であり、水質の特性を把握した上で導入することで有用な手法となり得ることが示された。

A. 研究目的

気候変動や都市化に伴い、局地的な豪雨やこれまで想定を超えた継続的な豪雨により浄水処理が困難となるケースが発生している。また、中小規模の水道事業体では技術者不足により水質変動に応じた適切な対応が困難なケースが発生している。本研究では、このような水質変動に対応すべく施設等の大規模な改修を伴わない、凝集・沈澱処理の操作因子や薬剤、運転方法を見直すことにより対応について検討を行う。具体的には二段凝集の処理性について実施設及び実験プラントにおいて検証を行う。また、高濁度低アルカリの原水に対して、塩基度の異なる凝集剤を用いることによりアルカリ度の低下と処理性について、ジャーテストにより検証を行う。

B. 研究方法

実施設における検討は、以下 2 つのケースについて実施した。

- (1) Yg 町 Hr 浄水場における二段凝集の実施設での効果及びアルミニウム濃度に関する実験。
- (2) 降雨時に高濁度低アルカリの原水が発生する Nn 市 Kw 浄水場における二段凝集の実施設での効果及び塩基度の異なる凝集剤を用いたい際の処理性に関する実験。

Yg 町 Hr 浄水場は、浄水中のアルミニウム濃度が高く、降雨による濁度上昇の問題になっている。実験は Hr 浄水場に沈澱池において種々の条件で後 PAC 注入を実施し、高感度濁度計を用いてろ過水の濁度の変化と各粒径における粒子数の変化、アルミニウムに濃度について検討を行った。

Nn 市 Kw 浄水場においては、ろ過池の直前において種々の条件で後 PAC 注入を実施し、同じく高感度濁度計を用いてろ過水の濁度の変化と各粒径における粒子数の変化ろ過水の変化について検討を行った。加えて、濁度が高く、アルカリ度が低い原水に対して塩基度の異なる凝集剤を用いた際の処理性及びアルカリ度の低下について検討し、高濁度、低アルカリ原水に対する対応策について検討を行った。

また、二段凝集実施によるろ過池の損失水頭の対策として、実験プラントにおいてアンスラサイトを用いた複層濾過による損失水頭の影響について検討を実施した。具体的には浄水場内の設置した同様の装置を 2 系統有する浄水処理実験プラントを用い、一方にはろ過槽に 5cm アンスラサイトを敷いた複層ろ過とし、もう一方は通常のろ過を実施した。後 PAC 注入条件 1, 2, 3, 5mg/L と変化させて損失水頭、ろ過水濁度の違いについて検討を行った。

C. 研究結果

二段凝集に関して、昨年度のプラントにおける実験では処理水のアルミニウム濃度は上昇しないことが確認されている。今年度はYg町Hr浄水場において二段凝集を実施した結果、二段凝集処理の前後でアルミニウム濃度に明らかな変化は認められなかった(図1)。

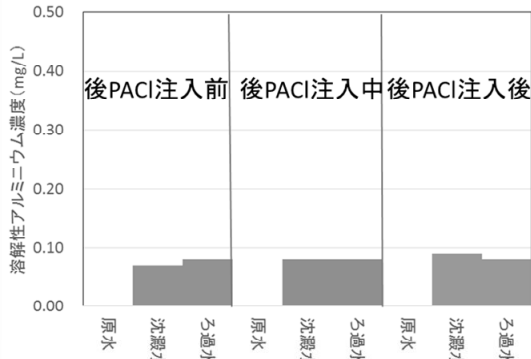


図1 実施設における後 PAC 注入前後の溶解性アルミニウム濃度の変化

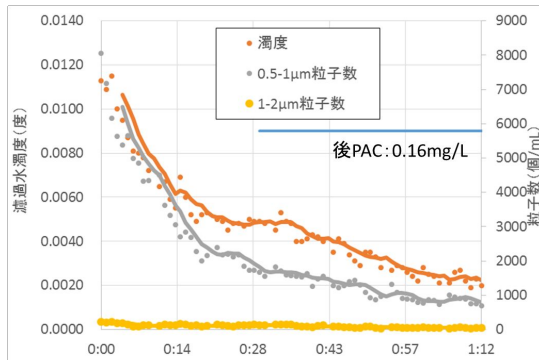


図2 実施設における後 PAC 注入時における濁度及び粒子数の挙動(後PAC:0.16mg/L)

処理性に関しては、後 PAC の注入率を 0.16mg/L の条件で連続的に注入することにより、ろ過水濁度が 0.09 から 0.03 程度まで低下し、粒径 0.5 ~ 1 μ m の粒子数は 6000 個/mL から 1000 個/mL 以下にまで低減された(図2)。他の粒径の粒子数は濁度が低く安定した水質条件で実験を行ったこともあり、大きな変化は認められなかった。また、後 PAC の注入率を 0.16mg/L の条件で間欠的に注入した。20 分間連続したケースでは濁度および粒径 0.5 ~ 1 μ m の粒子数

に明らかな減少が認められた。10 分間連続注入したケースでは濁度および粒径 0.5 ~ 1 μ m の粒子数に明らかな減少が認められなかった。更に、後 PAC の注入率を 0.16mg/L の条件で注入後、0.32mg/L の条件に変更して注入したケースでは、注入率変更後、濁度及び粒径 0.5 ~ 1 μ m の粒子数は更に低下が認められた。二段凝集による濁度の効果は一定の効果を得られた後は後 PAC の注入を停止しても一定の期間は効果が持続することが確認され、逆洗を行うことで後 PAC による濁度及び粒子数の低減効果はリセットされることも確認された。

同様の実験を Nn 市 Kw 浄水場においても実施した。具体的には段階的に後 PAC 注入率を増加させることによる処理水への影響と逆洗後の後 PAC の効果について検証した。二段凝集の効果を確認しながら後 PAC 注入率を 0.15、0.30、0.60mg/L と段階的に変化させることで、濁度、粒径 0.5 ~ 1 μ m の粒子が約 1/5 程度まで低減できることが確認された。また、逆洗後には濁度及び粒径 0.5 ~ 1 μ m の粒子の上昇が認められるが、この際に後 PAC を行うことで初期漏出による濁度および粒子の上昇をより早く低減できる傾向が示された。これら 2 つの実験では後 PAC の注入箇所を沈澱池のトラフや沈澱池の流出直後、ろ過池流入前など種々な条件で検討を行ったが、注入場所の違いによる処理性への影響は認められず、後 PAC の注入場所の影響は小さいことが確認された。

二段凝集によるろ過層への負荷の低減を目的に行った複層ろ過の効果の検証では、いずれの後 PAC 注入条件でも複層ろ過を行った系の方が濾過水濁度で約 20%、損失

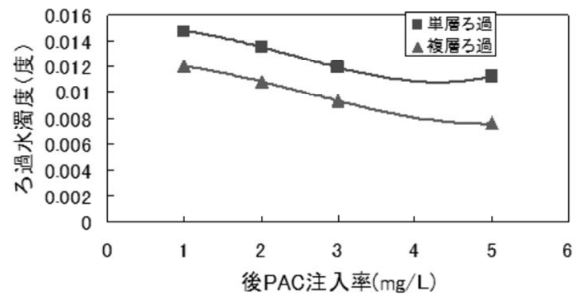


図3 後 PAC 注入時のろ層の違いとろ過濁度への影響

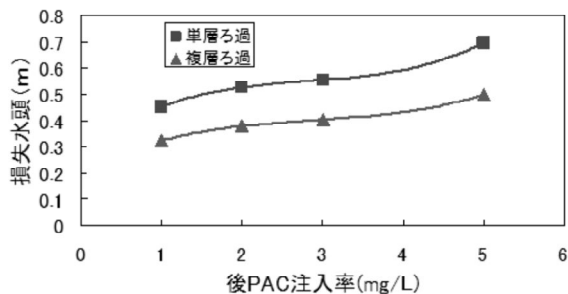


図4 後 PAC 注入時のろ層の違いと損失水頭への影響

水頭で約 30%低いことが示された(図3、図4)。

高濁度、低アルカリの原水について行ったジャーテストは、図5、図6に示すように、通常 PAC を使用した場合と高塩基度 PAC を使用した場合で凝集剤注入率とアルカリ度の低下には明確な違いが見られたが、凝集剤が過剰となる条件ではいずれの凝集剤でも処理性の低下が確認された。アルカリ度の低下は単位 PAC 注入量当たり通常 PAC で約 0.13mg/CaCO₃ に対して高塩基度 PAC では約 0.08mg/CaCO₃ であった(図7)。また、低アルカリ度の原水に対して一定のアルカリ(5mg/L、10mg/L)を添加してジャーテストを行って結果、アルカリの添加がない場合、十分な処理が行えなかったが、5mg/L の条件では全ての注入条件で良好な処理が行え、10mg/L の条件ではアルカリが過剰となり、凝集に最適な pH 域を外れることに処理性の低下が認められた。併せて、Nn 市 Kw 浄水場の過去 1 年間の原水水質についてのトレンドを検証したところ 2013 年 1~9 月のアルカリ度は平均 15.7mg/L であり、原水濁度 50 度以上 (n=46) では 9.7mg/L、40 度以上 (n=65) では 9.9mg/L、30 度以上 (n=92) では 10.3mg/L と原水濁度が高いとアルカリ度が低下する傾向が示された。また、沈澱水濁度が 1 度を超えるケースのほとんどはアルカリ度が 10 度以下であった。ジャーテストの結果を併せて考えるとアルカリ度が低下した高濁度原水への対応として、アルカリ度が少なくとも 10 を下回らないようにアルカリを添加することで一定の処理性を維持できる可能性が示唆された。

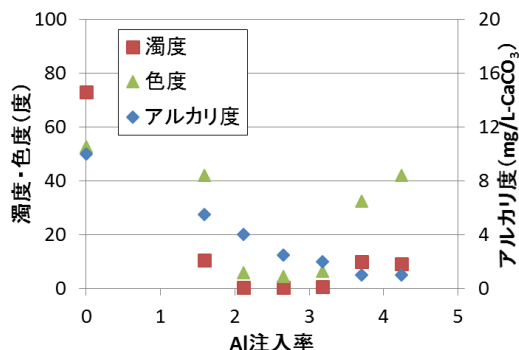


図5 高濁度低アルカリ原水に対する通常 PAC によるジャーテストの結果

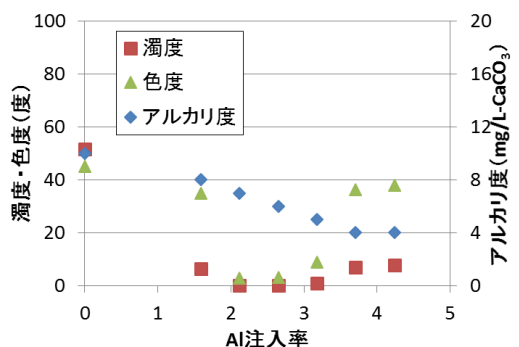


図6 高濁度低アルカリ原水に対する高塩基度 PAC によるジャーテストの結果

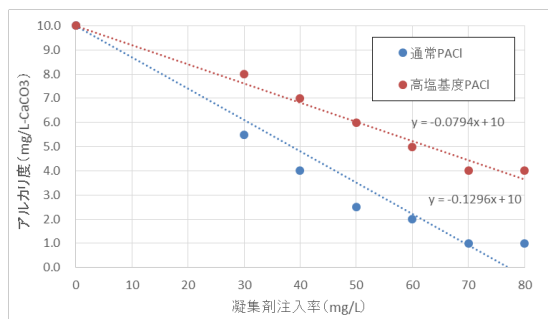


図7 塩基度の違いによる凝集剤注入率とアルカリ度低下の関係

D. 考察

二段凝集を中小規模の実浄水場において実施することにより濁度の及び粒子数に大きな改善が見られる事が明らかになった。具体的には、原水濁度が比較的に安定した晴天時の条件ではあるが、後 PAC を 0.15~0.60mg/L 程度で一定時間注入することにより、特に粒径 0.5~1μm の粒子数が減少し、濁度も低下することが確認された。これは昨年度実施したプラント実験でも確認されたように、後 PAC を添加することによる再凝集により微細な粒子が形成され、

る過で補足されることに起因すると推察される。二段凝集の効果を得るためには一定量の後 PAC の注入が必要であり、効果が得られた後は後 PAC の注入を停止しても一定時間効果が得られることや逆洗をすることでその効果がリセットされることから再凝集による微細フロックの形成以外のメカニズムの影響も考えられるが、詳細なメカニズムは明らかにできなかった。実施設での実験では高濁度時や水質が急激に変動したケースのデータを取得できなかったが、昨年度の実施したプラント実験の結果から得られた水質が急激に変動した際に緩衝作用となり得る事、また、後 PAC の注入は、簡便な装置により実施することが可能であり、設置場所の制約も少ないことから中小規模の水道事業体において適用可能かつ有用な技術であることが示された。

二段凝集を実施することにより、損失水頭が上昇し、逆洗時間の短縮が予想されるが、この対応策としてアンスラサイトを用いた複層ろ過の有用性がプラント実験により確認された。複層ろ過にすることで損失水頭の上昇を抑制できるだけでなくろ過水濁度も改善することから、二段凝集を実施する際には併せて導入することでより高い効果が得られることが示された。

アルカリ度が低い原水の濁度上昇の対応として、塩基度の異なる凝集剤を使用してジャーテストを実施した結果、塩基度の高い凝集剤を使用することでアルカリ度の低下を抑制できることは確認できたが、今回使用した原水に関して、処理性は必ずしも改善しないことが確認された。今回のケースでは、一定量のアルカリを注入し、アルカリ度を上げることで処理性が向上した事からも、必ずしも塩基度の高い凝集剤を用いてアルカリ度の低下が抑制されることが処理性の向上には繋がらないケースも確認された。実施設において高塩基度 PAC を用いることにより処理性が向上しているケースもある事から原水水質を考慮した導入が必要であるが、塩基度の高い凝集剤の導入は施設面では大きな改善の必要がなく中小規模の水道事業体が処理性を改善するために導入可能な技術であると考えられる。

E. 結論

本研究の対象とする中小規模水道事業体の実浄水場において二段凝集の有用性について検討したところ、後 PAC を 0.15 ~ 0.60mg/L 程度の注入率で一定時間注入することにより、特に粒径 0.5 ~ 1 μ m の粒子数が減少し、これにより濁度も低下することが確認された。また、複層ろ過を併用することで更なるろ過水濁度の抑制と損失水頭の抑制が可能であることも示された。加えて、簡便な装置で導入が可能であることから中小規模の水道事業体における改善策として有用であることが示された。一方、高塩基度の PAC に関しては、凝集処理に際してのアルカリ度低下は抑制されるものの、それが必ずしも水質の改善に繋がらないことが示された。施設面での変更なく中小水道事業体が導入できる選択肢ではあるが、原水水質を考慮した上で導入を検討する必要がある。

F. 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

G. 研究発表

1. 学会発表

Yuuji IMOTO, Motoyuki KAMATA, Dabide YAMAGUCHI, Takako AIZAWA, Application of Two-stage Coagulation for High Turbidity Raw water, JWET2013, p16 (2013)

鎌田素之、井本祐司、山口太秀、海老江邦雄、相澤貴子 中小水道事業体支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討 () 集塊化開始時間測定法による新たな凝集処理制御に関する検討 第 64 回全国水道研究発表会、pp.216-217(2013)

井本祐司、鎌田素之、山口太秀、相澤貴子 高濁度原水における二段凝集処理最適化の検討、第 50 回環境工学研究フォーラム、p.137 (2013)

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他
該当なし

新たな簡易耐震診断表における耐震性判定基準に関する研究

研究分担者 宮島 昌克 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 教授

研究要旨

水道施設は全般的に耐震化の取組みが遅れており、特に浄水施設の耐震化率は平成24年度末現在で約21.4%と低い状況にある。また同時に、多くの施設が経年化とともに老朽化が進み、更新時期を迎えつつある。こうした現状を踏まえ、水道施設の耐震化の促進方策として、耐震性能を判定するための簡易耐震診断手法の改善を図ることとし、浄水施設の詳細耐震診断結果を収集し、既往の簡易耐震診断表による診断結果との比較によりその問題点を抽出し、新たな簡易耐震診断表を検討してきた。その結果、新たな簡易耐震診断表では評価内容、評価項目数が既往のものとは異なることから、新たな耐震性判定基準が必要となったので、新たな簡易耐震診断表を用いたケーススタディ結果をもとに統計手法を用いた解析を行い、新たな耐震性判定基準を提案した。

A. 研究目的

水道施設全体を見渡すと、管路の耐震化の取組みは進みつつあるものの、浄水施設の耐震化率は平成24年度末現在で約21.4%であり、対策の取組みが極めて遅れている。特に昭和50年代以前に建設された浄水施設は経年劣化が進みつつあり、施設の耐震性が十分でないものが多い。また、中小水道事業体ほど技術者の数も少なく、耐震化の取組みが遅れているのが現状である。

浄水施設の耐震化を効率よく進めるために、詳細耐震診断を行う対象施設の優先順位付けに供するための「簡易耐震診断表(昭和56年3月、厚生省水道環境部)」があるが、作成以来30年余りを経ていることから、近年の被害事例と照らし合わせるなどして、問題点の抽出と改善を行い、中小水道事業体の耐震化促進に供することが、課題となっている。

そこで浄水施設の詳細耐震診断結果を収集し、既往の簡易耐震診断表による診断結果との比較によりその問題点が抽出され、新たな簡易耐震診断表が検討されてきた。その結果、新たな簡易耐震診断表における耐震性判定基準が必要となったので、新たな耐震性判定基準を具体的に提案することを平成25年度の目的とする。

B. 研究方法

詳細耐震診断済み(及び新設の耐震性あり)の構造物の構造諸元のデータを収集して既往耐震診断表を適用し、その問題点・課題を改善することにより、新たな簡易耐震診断表が提案されている。そこで、この新たな簡易耐震診断表における耐震評価点と詳細耐震診断により判定された耐震性あり、耐震性なしの判定(新設の場合は耐震性あり)との関係を、統計手法を用いた解析により検討した。なお本研究では、統計手法としてROC解析(Receiver Operating Characteristic analysis)を用いて解析を行い、新たな簡易耐震診断表から得られる耐震評価点から耐震性を判定する基準について検討した。なお、ROC解析とは、第2次世界大戦中に飛行機を発見するレーダーシステムの性能評価を目的として考案された方法であり、放射線画像診断の判断意思決定評価、CADシステムの性能評価をはじめ、様々な問題に用いられている解析手法である。

C. 研究結果

新たな簡易耐震診断表作成のために収集された浄水施設の詳細耐震診断済み(及び新設の耐震性あり)の構造物の構造諸元のデータを解析に用いた。すなわち、有蓋構造物で詳細耐震診断において耐震性なしと

判断されたもの 24 構造物、耐震性ありと判断されたもの及び新設の耐震性ありのもの 26 構造物、無蓋構造物で耐震性なしと判断されたもの 7 構造物、耐震性ありと判断されたもの及び新設の耐震性ありのもの 12 構造物の合計 69 構造物である。耐震性の有無で区分すると、耐震性なしが 31 構造物、耐震性ありが 38 構造物となる。

まず、この 69 構造物の構造諸元を用いて新たな簡易耐震診断表による耐震評価点を計算した。表 1 に耐震評価点の最大、最小、平均値を示す。有蓋構造物および無蓋構造物において、それぞれの耐震評価点の平均値は耐震性なしの構造物の比べ、耐震性ありの構造物の方が低い点数となっていることがわかる。既往の簡易耐震診断表では、耐震性判定基準は有蓋構造物と無蓋構造物の区分なく、同じ基準で判定しているので、ここでもこれらを合わせた全体について考察することにする。表 1 における全体についても、耐震評価点の平均値は耐震性なしの構造物の 59.93 に比べ、耐震性ありの構造物の方が 12.21 と、明らかに低い点数となっている。最大値についても耐震性なしが 433.03 に対して、耐震性ありが 85.54 となっており、明確な差が見られる。しかし、最小値に注目すると耐震性なしが 2.97、耐震性ありが 1.80 と大差は見られない。

図 1 に詳細耐震診断結果より耐震性なし、耐震性ありと判定されたそれぞれの、構造物ごとの新簡易耐震診断表による耐震評価点を示す。ここでは、耐震性なしと耐震性ありの判定の基準について検討しているので、両者のデータのほとんどが分布している耐震評価点 0.0～48.0 の分布を示した。なお、耐震評価点が 48.0 を超えた耐震性なしの構造物は 13 構造物、耐震性ありの構造物は 3 構造物であった。図 1 によれば、耐震性なしのほとんどのデータが耐震評価点 12.0 以上にあり、耐震性ありの多くのデータが耐震評価点 12.0 以下にあることがわかる。

69 すべての構造物の耐震評価点と詳細耐震診断により判定された耐震性あり、耐震性なしの判定結果を用いて ROC 解析を行ったところ、耐震性あり、耐震性なしの判別値が 18.03 となった。すなわち、新簡易耐震診断表による耐震評価点が 18.03 以下

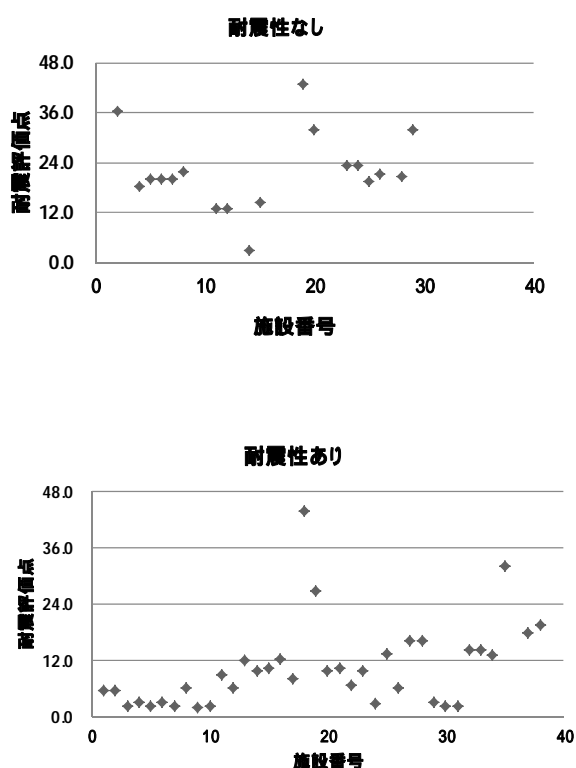
表 1 新簡易耐震診断表による耐震評価点の最大、最小、平均値

有蓋構造物	耐震性あり	耐震性なし
最大	43.74	80.19
最小	1.80	2.97
平均	8.79	33.40

無蓋構造物	耐震性あり	耐震性なし
最大	85.54	433.03
最小	1.98	32.08
平均	19.61	116.78

全体	耐震性あり	耐震性なし
最大	85.54	433.03
最小	1.80	2.97
平均	12.21	59.93

図 1 新簡易耐震診断表による耐震評価点



であると耐震性ありと判定できるという結果である。

まず、詳細耐震診断により耐震性なしと判定された 31 構造物の耐震評価点に注目すると、4 構造物の耐震評価点が 18.03 以下であり、耐震性ありと評価されることになるが、残りの 27 構造物は新簡易耐震断表でも耐震性なしと判断できることになる。詳細耐震診断により耐震性ありと判定された 38 構造物に注目すると 5 構造物の耐震評価点が 18.03 以上となり、耐震性なしと評価されることとなるが、残りの 33 構造物は新簡易耐震断表でも耐震性ありと判断できることが明らかとなった。

既往の簡易耐震診断表では、耐震性の評価を「高い」「中」「低い」の 3 段階で行ってきた。そこで、新簡易耐震診断表でも 3 段階で評価することを考える。上述した 2 段階評価では 18.03 が判別値となることから、18 を中央値としてその上下にどれだけの幅を持たせて「中」の領域とするかを検討した。この幅をいくつか変動させて試行錯誤的に検討した結果、 18 ± 6 として、すなわち、12~24 の領域を「中」とするのが適当であるという結論を得た。すなわち、新簡易耐震診断表における耐震評価点が 0~12 を「耐震性高い」、12~24 を「耐震性中」、24~ を「耐震性低い」と判定することを提案する。

D. 考察

新たな簡易耐震診断表作成のために収集された浄水施設の詳細耐震診断済み(及び新設の耐震性あり)の構造物の構造諸元のデータを用いて新簡易耐震診断表による耐震評価点を算出し、詳細耐震診断結果とともに統計解析を行ったところ、18.03 が耐震性あり、なしの判別値であることが得られた。さらに試行錯誤的な検討より、新簡易耐震診断表における耐震評価点が 0~12 を「耐震性高い」、12~24 を「耐震性中」、24~ を「耐震性低い」と判定することを提案した。

そこで、この判定基準を用いて、収集した 69 の構造物の耐震評価点を用いて耐震性の判定を行った。まず、詳細耐震診断により耐震性なしと判定された 31 構造物の耐震評価点に注目すると、1 構造物が「耐

震性高い」と評価されるが、残りの、13 構造物が「耐震性中」、17 構造物が「耐震性低い」と判定されることになる。詳細耐震診断により耐震性ありと判定された 38 構造物に注目すると 4 構造物が「耐震性低い」と判定されることとなるが、残りの 8 構造物が「耐震性中」、26 構造物が「耐震性高い」と判定されることが明らかとなった。

新たな簡易耐震診断表によれば、詳細耐震診断と整合性のある結果が概ね得られることが示された。中小の水道事業者でも準備できる限られた資料を用いて行う簡易診断としては十分な精度を持つものと考えられる。

しかし、詳細耐震診断における耐震性ありの構造物を「耐震性低い」、耐震性なしの構造物を「耐震性高い」と判定するケースのあることも示された。詳細耐震診断において耐震性ありと示された構造物を「耐震性低い」と判断したケースについて考察すると、簡易耐震診断では鉄筋コンクリート壁の厚さだけを取り上げており、鉄筋量を評価していないので、通常よりも鉄筋量を多くして、壁厚を薄く抑えている場合などは評価されずに、「耐震性低い」と判定することになる。また、構造物の基礎形式も考慮していないので、立地条件の悪い場合に基礎形式で対応していても、簡易耐震診断では評価されずに「耐震性低い」と判定されてしまう可能性がある。

一方、簡易耐震診断で「耐震性高い」と評価されても、たとえば、伸縮目地や可とう管の性能不足など、簡易耐震診断で考慮されていない耐震性能不足などにより、詳細耐震診断で耐震性なしと判断される場合も考えられる。これらのことは、簡易耐震診断の限界を示唆していると言える。

E. 結論

浄水施設の詳細耐震診断結果を収集し、既往の簡易耐震診断表による診断結果との比較によりその問題点が抽出され、新たな簡易耐震診断表が提案された。新たな簡易耐震診断表では評価内容、評価項目数が既往のものとは異なることから、新たな耐震性判定基準が必要となったので、新たな簡易耐震診断表を用いたケーススタディ結果をもとに統計手法を用いた解析を行い、新

たな耐震性判定基準について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ 新簡易耐震診断表における耐震評価点が0～12を「耐震性高い」、12～24を「耐震性中」、24～を「耐震性低い」と判定することを提案した。
- ・ この判定基準を用いて、収集した69の構造物の耐震評価点を用いて耐震性の判定を行ったところ、詳細耐震診断により耐震性なしと判定された31構造物のうち、1構造物が「耐震性高い」と評価されるが、残りの、13構造物が「耐震性中」、17構造物が「耐震性低い」と判定された。一方、詳細耐震診断により耐震性ありと判定された38構造物のうち4構造物のが「耐震性低い」と判定されることとなるが、残りの8構造物が「耐震性中」、26構造物が「耐震性高い」と判定されることが明らかとなった。
- ・ 新たな簡易耐震診断表を用いて、詳細耐震診断と整合性のある結果が概ね得られることが示された。中小の水道事業者でも準備できる限られた資料を用いて行う簡易診断としては十分な精度を持つものと考えられる。
- ・ 詳細耐震診断における耐震性ありの構造物を「耐震性低い」、耐震性なしの構造物を「耐震性高い」と判定するケースのあることも示された。これは、簡易耐震診断表では十分に考慮できなかった要因によるものと考えられ、簡易耐震診断の限界を示唆していると言える。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

- ・ M. Miyajima “Resilient Water Supply System for Earthquake and Tsunami”, *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, [in press]
- ・ M. Miyajima “Performance of Drinking Water Pipelines in Liquefaction Areas in the 2011 Great East Japan Earthquake”, *International Journal of Landslide and Environment*, Vol.1, No.1, pp.61-62, 2013.10.
- ・ M. Miyajima “Verification of a

Prediction Method of Earthquake Damage to Water Supply Pipeline by Using Damage Data of the 2011 Great East Japan Earthquake”, *Proceedings of the 8th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices*, pp.43-49, 2013.8.

- ・ A. Kirimura, Y. Suzuki, T. Aizawa, M. Fujiwara and M. Miyajima “Simplified Evaluation Method of Seismic Resistance for Water Treatment Facilities”, *Proceedings of 6th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering*, [CD-ROM], 2013.5.
- ・ M. Miyajima “Damage to Water Supply Pipelines in the 2011 Great East Japan Earthquake”, *Proceedings of 6th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering*, [CD-ROM], 2013.5.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

未定

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
M. Miyajima	Resilient Water Supply System for Earthquake and Tsunami	Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA	63(2)	86-94	2014
井本祐司、鎌田素之、山口太秀、相澤貴子	高濁度原水における二段凝集処理最適化の検討	第50回環境工学研究フォーラム講演集		137	2013
相澤貴子、安藤茂、富井正雄、伊藤雅喜、堤行彦、鎌田素之	高濁度原水に対する実用的な中小水道事業者向け支援対応方策	第16回日本水環境学会シンポジウム講演集		177-178	2013
安積良晃、中山宏二、中川勝裕、富井正雄、安藤茂、藤原正弘、相澤貴子	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 浄水場の運転管理に関するアンケート調査結果等に基づく考察	第64回全国水道研究発表会講演集		208-209	2013
堤行彦、伊藤雅喜、鎌田素之、佐藤仁是、安積良晃、富井正雄、相澤貴子	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 高濁時凝集剤注入管理指標とアルカリ度代替指標に関する実施データ解析と評価	第64回全国水道研究発表会講演集		210-211	2013
向後隆蔵、早川英司、三好礼子、伊藤雅喜	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出条件の検討	第64回全国水道研究発表会講演集		212-213	2013
早川英司、向後隆蔵、三好礼子、伊藤雅喜	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 小型浄水処理装置による高濁度時の濁度漏出抑制方策の検討	第64回全国水道研究発表会講演集		214-215	2013
鎌田素之、井本祐司、山口太秀、海老江邦雄、相澤貴子	中小水道事業者支援を目的とした原水水質悪化に対する方策の検討() 集塊化開始時間測定法による新たな凝集処理制御に関する検討	第64回全国水道研究発表会講演集		216-217	2013
桐村昭充、渡部和弘、長田克也、鈴木泰博、武内辰夫、宮島昌克、相澤貴子	近年の地震被害実態に基づく新簡易耐震診断手法の提案	第64回全国水道研究発表会講演集		660-661	2013
M. Miyajima	Performance of Drinking Water Pipelines in Liquefaction Areas in the 2011 Great East Japan Earthquake	International Journal of Landslide and Environment	1(1)	61-62	2013

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Y. Tsutsumi, M.Itoh, M. Kamata, M. Fujiwara, S. Ando, M. Tomii, Y. Asaka, K. Nakayama and T. Aizawa	Evaluation of Water Quality Indicators Related to Water Treatment Processes and Practical Treatment Method against High Turbidity Raw Water	Proceedings of the 5 th IWA Aspire conference & exhibition		8	2013
N. Mizuno , M. Suzuki , T. Onuma, K.Taira, T. Aizawa	Water Quality Surveys of Shallow Wells Damaged by Tsunami in the Great East Japan Earthquake -Case of Minamisanriku -cho in Miyagi Prefecture-	Proceedings of the 8 th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices		373-383	2013
M. Miyajima	Verification of a Prediction Method of Earthquake Damage to Water Supply Pipeline by Using Damage Data of the 2011 Great East Japan Earthquake	Proceedings of the 8 th US-Taiwan-Japan Workshop on Water System Seismic Practices		43-49	2013
Y. Imoto, M. Kamata, D. Yamaguchi and T. Aizawa	Application of Two-stage Coagulation for High Turbidity Raw water	Proceedings of JWET2013		16	2013
A. Kirimura, Y .Suzuki, T. Aizawa, M. Fujiwara and M. Miyajima	Simplified Evaluation Method of Seismic Resistance for Water Treatment Facilities	Proceedings of 6 th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering			2013
M. Miyajima	Damage to Water Supply Pipelines in the 2011 Great East Japan Earthquake	Proceedings of 6 th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering			2013