

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

健康リスク低減のための新たな浄水プロセス
及び管路更新手法の開発に関する研究

平成20年度～22年度 総合研究報告書

研究代表者 藤原 正弘

平成23（2011）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）
総合研究報告書

健康リスク低減のための新たな浄水プロセス及び管路更新手法の開発に関する研究

研究代表者 藤原 正弘 財団法人水道技術研究センター理事長

研究要旨

水道は社会基盤施設として重要な役割を果たしているが、多くの基幹施設が大規模な更新時期を迎えつつある。また、水系感染症の発生等の防止や地震等による断水の防止・軽減に関する手法の確立が求められており、以下の課題に取り組むことにより安全・安心な水道水の安定供給に資するものである。なお、本研究は平成 20 年度から平成 22 年度までの 3 か年間に実施したものである。

本研究では、以下の具体的な検討課題に取り組んだ。

- (1) 健康リスク低減のための新たな浄水プロセスに関する研究【浄水部門】
 - 1) 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討
 - 2) 膜ろ過施設の維持管理の高度化等
 - 3) 浄水プロセスへの紫外線処理の適用
- (2) 基幹水道施設の機能診断及び地震による管路被害の予測等に関する研究【管路部門】
 - 1) 基幹水道施設の機能診断手法の検討
 - 2) 地震による管路被害の予測等

また、研究体制は、藤原正弘を研究代表者とし、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、学識者、水道事業体・民間企業の技術者等を研究協力者として、本研究を実施した。

平成 20 年度から平成 22 年度の 3 か年で実施した本研究の主な成果は以下のとおりである。

(1) 浄水部門

- 1) 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

低ファウリング特性を持つ浄水膜の開発に関する基礎的知見を得るための研究を行った。膜のファウリング発生機構の検討では、逆洗により回復しない膜の不可逆的ファウリングの要因物質を明らかにした。膜構造及び膜素材におけるファウリング抑制効果の検討では、ファウリング抑制効果の高い膜構造と、耐ファウリング性に優れた膜素材の改質について明らかにした。ろ過流束、逆洗流束とファウリングの進行に関する検討では、ファウリング抑制に効果的な逆洗流束や膜モジュール構造についての基礎的な知見を得た。

- 2) 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

膜ろ過施設を導入している水道事業体に対して維持管理の実態調査を行い、課題を抽出した。重要性の高い課題である膜損傷試験の検出感度及び薬品洗浄が膜劣化に与える影響について検討を行い、水道事業体の維持管理実務に資する知見を蓄積した。これらの知見を基に「膜ろ過浄水施設維持管理高度化マニュアル(案)」をとりまとめた。

- 3) 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

紫外線処理に関し、紫外線処理設備導入事業体へのアンケート調査、現地調査及び既存の知見から、維持管理面での留意事項・対応策を取りまとめ、「地表水以外の水道原水に係る紫外線処理設備維持管理マニュアル(案)」を作成した。また、紫外線照射に伴う副生成物について、照射試験により確認した。紫外線処理の地表水への適用については、海外の基準等の情報収集や照射試験によって、濁質と紫外線照射効果の関係について確認した。塩素代替消毒・マルチバリア消毒への適用については、照射試験により、実際の水道原水における病原微生物に対する紫外線照射効果について確認した。また、中小規模の浄水場における濁度管理の実態について、アンケート調査により確認した。

(2) 管路部門

1) 基幹水道施設の機能診断手法の検討

平成 17 年 4 月に刊行した「厚生労働省委託 水道施設機能診断の手引き」をベースとし、事業規模の異なる 9 水道事業者によるケーススタディを通じてその改善を図るとともに、新たに管路の機能診断手法を開発し、小規模事業者においても使いやすく、また取水から配水までのすべての水道施設を対象とする機能診断手法を確立した。この手法は「水道施設機能診断マニュアル」としてまとめるとともに、診断作業を容易にする評価点自動計算ソフト及び使用説明書を併せて作成した。

2) 地震による管路被害の予測等

水道事業者から被害予測手法のニーズをアンケート等により収集し、その対応策を検討するとともに、近年の地震による管路被害及び管網データを収集し、データベースを作成した。さらに、これらの管路被害データを管種・継手・口径別に整理した上で、当該地域における微地形データ及び地震動データ等との相関を把握した。これらの調査結果から管路属性データごとに被害率を算出し、被害予測式における管種・継手・口径等に係る補正係数について分析を進め、新たな地震被害予測手法を提案するとともに、水道事業者が簡易に被害予測を行えるように、被害予測式を組み込んだ計算ソフトを作成した。

研究分担者氏名

安藤 茂	水道技術研究センター	常務理事兼技監
武内 辰夫	水道技術研究センター	常務理事
谷口 元	水道技術研究センター	技術顧問
鈴木 泰博	水道技術研究センター	主幹
松山 秀人	神戸大学	教授
木村 克輝	北海道大学	准教授
伊藤 雅喜	国立保健医療科学院	水道計画室長
神子 直之	立命館大学	教授
大瀧 雅寛	お茶の水女子大学	准教授
宮島 昌克	金沢大学	教授

※ A. 研究目的、B. 研究方法、C. 研究結果、D. 考察については、【浄水部門】【管路部門】のそれぞれに分けて記述し、E. 結論、F. 健康危機情報、G. 研究発表、H. 知的財産権の出願・登録情報については合わせて記述する。

【浄水部門】

A. 研究目的

水道は社会基盤施設として重要な役割を果たしているが、より安全・安心な水道水の供給が求められていることから、水系感染症の発生等を防止するための、安定的・効果的な除去・不活化技術の確立及び維持管理の高度化等、健康リスク低減のための手法の確立を目的とし、研究活動に取り組んだ。

具体的な研究活動は以下に述べる研究テーマについて実施し、平成20年度から平成22年度の3か年で実施した。

1. 水道事業者のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

水道では多様な水源原水に対する大量の浄水処理が求められるが、膜ろ過の適用においては膜のファウリングによる処理効率の低下が大きな課題の一つである。

このような実態を踏まえ、本研究では、種々の水質の原水に対して低ファウリング特性を有する浄水膜の開発に資するべく、その基礎的な知見を得るための検討を行う。

2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

我が国では膜ろ過の導入から10年以上が経過しているものの、これまで維持管理に関する研究は、ほとんど行われておらず、実務に活用できる具体的な情報は少ない。

このような実態を踏まえ、本研究では、水道事業者等への維持管理実態調査により現状の課題を把握し、明らかになりたい重要課題について実験的研究により知見を蓄積する。また、この知見を基に「膜ろ過浄水施設維持管理高度化マニュアル(案)」をと

りまとめる。

3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

紫外線処理は、平成19年4月に、地表水以外を原水とする施設へのクリプトスポリジウム等対策として位置付けられ、導入が進んでいる。クリプトスポリジウム等を安定的に不活化するためには、設備を適切に維持管理することが必要不可欠である。

一方、紫外線処理を、地表水を原水とし急速ろ過を採用している施設や膜ろ過洗浄排水等へ適用することによって、より確実性の高いクリプトスポリジウム等の処理ができる可能性がある。しかし、地表水や膜ろ過洗浄排水等は、紫外線照射を阻害する物質の濃度も高いと想定され、紫外線処理の適用性について十分な検討が必要である。

また、塩素消毒と紫外線処理を併用することによって、従来よりも塩素注入量を低減し、副生成物による健康リスクがより少なく一層安全性の高い水道水を供給できる可能性がある。

本研究ではこのような課題を受け、紫外線処理の適用拡大に向けた検討・実験を行った。

B. 研究方法

研究代表者、研究分担者のもと、学識者、水道事業者、民間企業の技術者等で構成される研究協力者により浄水研究班を設置し、そのもとに研究課題に応じて、2つのワーキンググループ（膜処理ワーキンググループ、紫外線処理ワーキンググループ）を設け、3つのテーマについて研究を進めた。

以下、テーマごとに具体的な研究方法を示す。

1. 水道事業者のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

ファウリング要因物質、膜構造及び膜素材におけるファウリング抑制効果、逆洗流束とファウリングとの関係を明らかにするため、以下の4つの実験的研究を実施した。

1.1 膜ファウリング発生機構に関する知見の集積

特徴の異なる実水源原水を日本全国4か所から採集して有機物回収及び疎水性、親水性の分画を行い、それぞれ中空糸膜によるろ過によりファウリング性を検討した。

1.2 浄水処理に適した膜の材質、製造法等の検討

任意の断面構造を持つ中空糸膜を製作し、ファウラントを添加した試験水を用いてファウリング特性を検討した。

1.3 ポリマーブレンドによる中空糸膜への耐ファウリング性付与に関する研究

ベースの膜素材に親水性ポリマーをブレンドした中空糸膜を製作し、ファウリング特性、強度等について検討した。

1.4 中空糸膜の逆洗効果に関する研究

実設備相当の長さの中空糸膜を用いて、異なるろ過流速、逆洗流速で人工河川水のろ過を行い、ファウリングの進行との関係を検討した。また、実験終了後の中空糸膜を長さ方向に分割してファウリングの進行度合いを調査した。

2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

水道事業体の維持管理に関する課題の把握と、重要課題である膜損傷検出及び薬品洗浄に関する知見を得るため、以下の2つの研究を実施した。

2.1 維持管理の実態調査

膜ろ過施設を導入している水道事業体に対して維持管理に関するアンケート調査を実施し、実態把握及び課題抽出を行った。

2.2 膜損傷及び薬品洗浄に関する検討

1) 膜損傷の程度と損傷検出感度との関係

人為的に擦過、裂傷、切断等の損傷を施した膜モジュールに対して、間接法(ろ過水濁度の計測)及び直接法(圧力保持試験)を実施し、それぞれの損傷検出の感度について検討した。

2) 薬品洗浄が膜の劣化に及ぼす影響

実設備の薬品洗浄で一般的に用いられる薬液に膜モジュールを一定期間浸漬し、ろ過性能劣化の検討を行った。

3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

3.1 地表水以外の水への適用における紫外線処理設備維持管理マニュアルの作成

当センターで把握している紫外線処理設備導入済みの19件の施設のうち13件に対しアンケート調査を実施し、そのうち3件の施設の現地調査を実施した。また、米国環境保護庁の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」、当センターがとりまとめた「紫外線消毒ガイドライン」等の既存の文献を参考にし、「地表水以外の水への適用における紫外線処理設備維持管理マニュアル」を作成した。

3.2 紫外線照射試験

既往の研究では、紫外線照射による副生成物として臭素酸等が報告されている。浄水処理において紫外線処理を適用する上で安全なレベル(前駆物質濃度、紫外線照射量)を把握するために紫外線照射試験を実施した。

3.3 紫外線処理による地表水への適用に関する研究

紫外線処理を地表水へ適用する上での水質面、設置面の課題について、米国環境保護庁の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」、ドイツガス水道技術科学協会の消毒に関する実施規則、諸外国の水道水質基準等からの情報を収集した。

紫外線処理の効果に及ぼす濁質の影響について、大腸菌ファージMS2をモデルウイルスとして用い、回分式及び流水式の紫外線照射装置により実験を行い、そのモデル化を試みた。

様々な濁度の水に対する紫外線処理の効果調べるため、河川水、水道原水、沈澱池出口水、及びそれぞれの水をメンブランフィルターでろ過した水に対し、紫外線照射実験を行った。環境中における濁質と微生物との関係を現実に近いものとするため、原水中に存在する従属栄養細菌によって消毒効果の評価を行った。

3.4 紫外線処理による塩素代替消毒法及びマルチバリア消毒法に関する研究

蛍光分析法を用いることにより、UV照射に応じた有機物の変化を測定した。また粒

径の異なる二酸化チタン製光触媒粉末（径 5nm～5 μ m）を共存させ、有機物の反応を促進させることも試みた。

病原原虫以外の病原細菌・ウイルスを対象とする一般消毒処理の適用を考えた場合の消毒効果と浄水水質の関係について、文献調査及び実験研究を通じて検討した。具体的には、低圧及び中圧ランプの導入の際に、水質が変動する対象水に対する消毒効果を、生物種ごとの波長依存性及対象水の吸光スペクトルを考慮しつつ検討した。また、塩素→紫外線、紫外線→塩素の処理を行った際に、細菌へ与える損傷部位について検討した。

3.5 浄水場の濁度管理についてのアンケート調査及びヒアリング調査

厚生労働省のクリプトスポリジウム等対策指針の「原水が表流水で、指標菌が検出されたことがある場合、ろ過池又はろ過膜の出口濁度を 0.1 度以下に維持することが可能なろ過設備を整備すること」は、特に中小事業体において、財政面・人材面において困難な場合があると推察される。こうしたことから、濁度管理の実態を把握するために全国の水道事業体に対しアンケート調査及びヒアリング調査を行った。

C. 研究結果

1. 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

1.1 膜ファウリング発生機構に関する知見の集積

清澄な河川として豊平川（北海道）、富栄養化の進行した湖沼として印旛沼（千葉県）、泥炭地の河川として釧路川（北海道）、下水処理水の影響がある河川として淀川（大阪府）をそれぞれ選定し、これらから採水して回収した有機物を疎水性、親水性に分画した。それぞれの分画をろ過したときの膜差圧の変化を図 1、図 2 に示す。

図 1 の疎水性分画のろ過では、いずれの水源についても膜差圧上昇はほとんどみられなかった。一方、図 2 に示すとおり、親水性分画のろ過では、いずれの水源についても著しい膜差圧上昇が見られた。

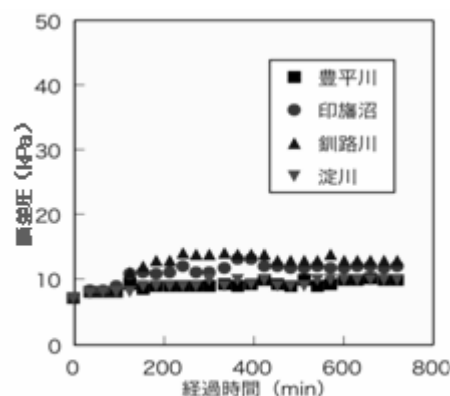


図1 疎水性画分のろ過における膜差圧の変化

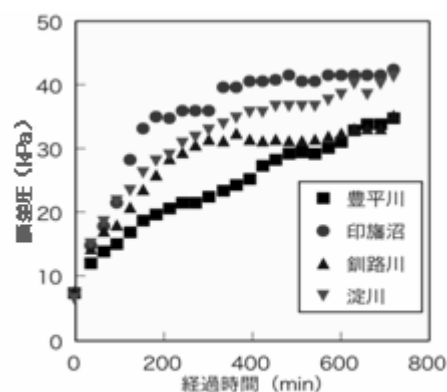


図2 親水性画分のろ過における膜差圧の変化

1.2 浄水処理に適した膜の材質、製造方等の検討

膜素材として PVDF（ポリフッ化ビニリデン）を用い、製膜法として TIPS 法（熱誘起相分離法）、NIPS 法（非溶媒誘起相分離法）により、異なる断面構造を有する外圧式中空糸膜を製作した。これらの中空糸膜は、中空糸の外側（原水流入面）に緻密層（膜細孔径が小さい）、内側（ろ過水流出面）に多孔構造（膜細孔径が大きい）を持つ TIPS1、外側と内側に多孔構造を持つ TIPS2、外側と内側に緻密層を持つ NIPS1、外側に多孔構造、内側に緻密層を持つ NIPS2 の 4 種類である。膜の断面構造モデルを図 3、膜の外側表面及び内側表面の SEM（走査型電子顕微鏡）画像を図 4 に示す。

次に、これらの中空糸膜でファウラント（アルギン酸ナトリウム）を添加した試験水をろ過し、ファウリング特性を評価した。図 5 は、ろ過初期の透水量に対する一定時

間後の透水量の割合を表す相対透水率の変化を示したものであるが、TIPS1 が最大となり、最もファウリングが抑制されたことを確認した。

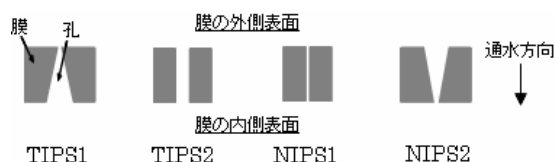


図3 製作した中空糸膜の断面構造モデル

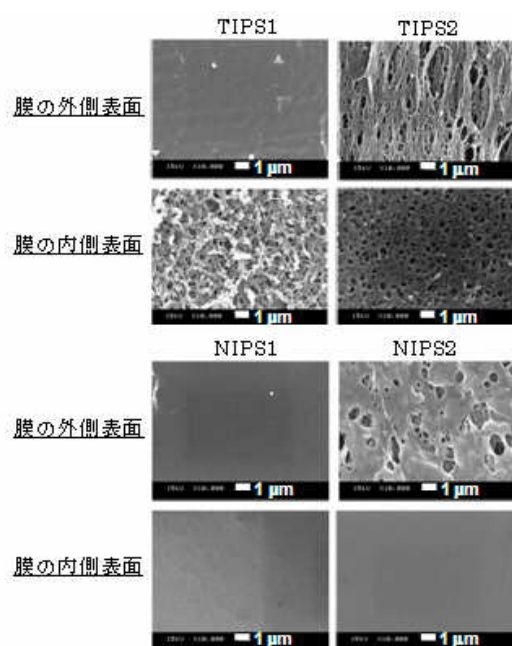


図4 製作した中空糸膜の内側及び外側表面SEM画像

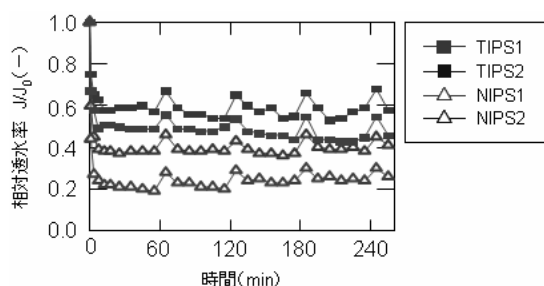


図5 製作した中空糸膜の相対透水率の変化

1.3 ポリマーブレンドによる中空糸膜への耐ファウリング性付与に関する研究

ベースの膜素材を PVDF とし、親水性ポリマーである PVP (ポリビニルピロリドン) を

ブレンドして TIPS 法により中空糸膜を製作した。TIPS 法は、市販の膜では一般的な NIPS 法に比べて高い強度が得られることが知られている。製作した中空糸膜の断面 SEM 画像を図 6 に示す。

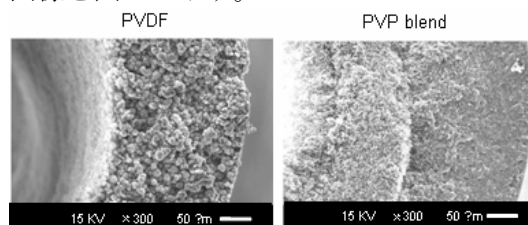


図6 製作した中空糸膜の断面SEM画像

凝固浴温度 0 °C で製作した PVDF 膜と PVP ブレンド膜の破断強度を図 7 に示す。図中のプロット近傍に示す数値は透水量 ($L/(m^2 \text{ atm 時間})$) である。PVP ブレンド膜の破断強度は PVDF 膜に近い値を示した。

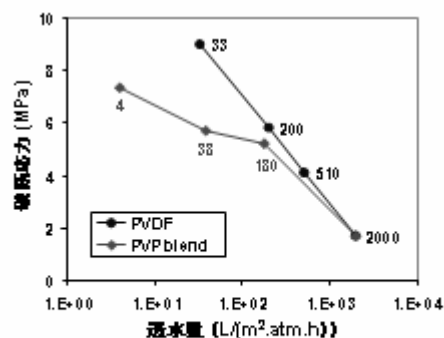


図7 PVDF膜及びPVPブレンド膜の破断応力に対するポリマー濃度の影響 (凝固浴温度: 0 °C)

ファウラントとして牛血清アルブミンを添加した試験水のろ過による相対透水率の変化を図 8 に示す。PVP ブレンド膜はろ過開始から 3 時間経過後でもろ過初期の 70 % 程度の値を示した。

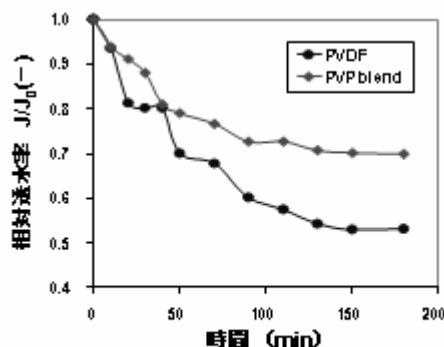


図8 PVDF膜及びPVPブレンド膜の相対透水率の変化(ファウラント: BSA)

1.4 中空糸膜の逆洗効果に関する研究

人工河川水のろ過による膜差圧の経時変化を図9に示す。ろ過流束が2.0 m³/日、3.0 m³/日と高い場合には、流束が低い場合（0.5 m³/日、1.0 m³/日）と比べて明らかな膜差圧上昇が見られた。また、ろ過流束が低い場合には逆洗流束の違いによる膜差圧上昇の変化は見られないものの、ろ過流束が高い場合には逆洗流束を変えることによって膜差圧の上昇に違いが生じたほか、必ずしも逆洗流束の高さに応じてファウリング抑制有効効果が高くなるわけではないという結果が示された。

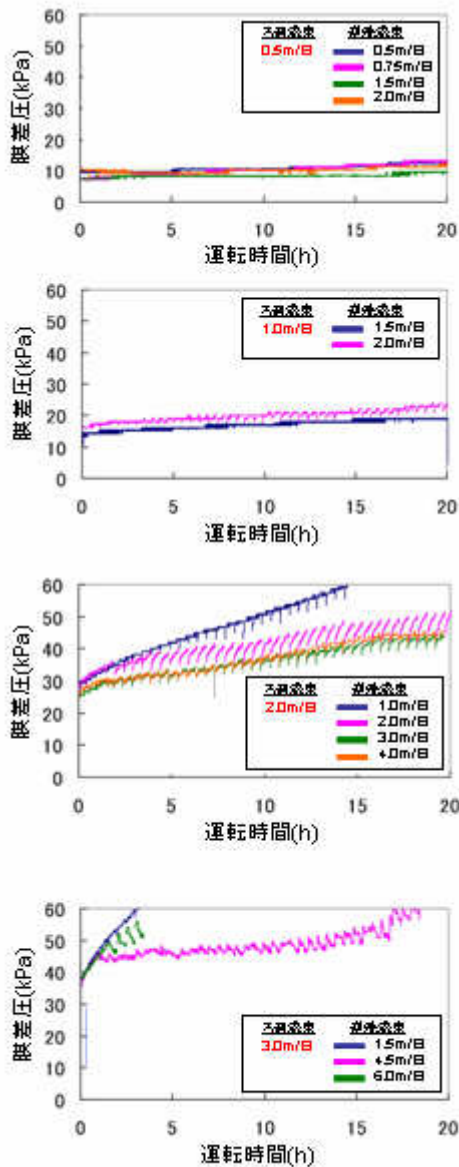


図9 膜差圧の経時変化

ろ過終了後の中空糸膜を4つに分割し、ファウリングの進行度合いを調べた。図10に、それぞれの中空糸におけるろ過抵抗値を示す。図の横軸の数値はろ過水吸引及び逆洗水の供給を行った中空糸膜の片端からの距離である。図に示すとおり、ろ過流束、逆洗流束にかかわらず、ろ過水吸引及び逆洗水の供給を行う片端に近いほどろ過抵抗値が高くなり、ファウリングが大きく進行していたことが分かった。

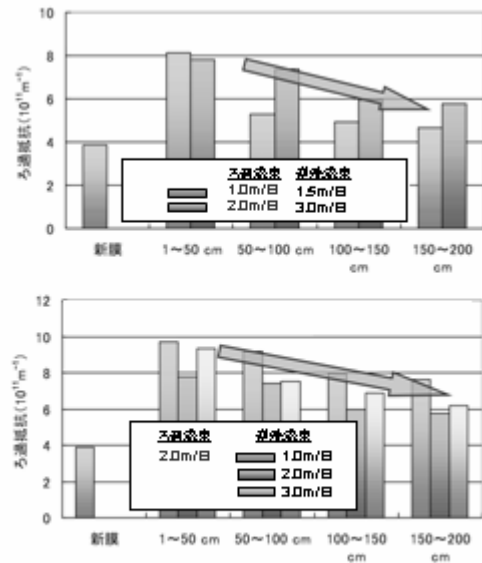


図10 中空糸膜の長さ方向におけるろ過抵抗値の分布

2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

2.1 維持管理の実態調査

施設能力500 m³/日以上膜ろ過浄水施設を導入している全国160の水道事業体に対してアンケート調査を行った。その結果、浄水の安全管理上重要な膜損傷試験は、図11に示すとおり、アンケート回答数の61%の施設で間接法のみを実施しており、直接

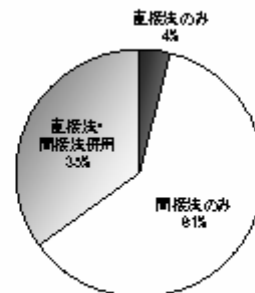


図11 膜損傷試験方法の内訳 (アンケート回答数77件)

法と間接法を併用している施設は 35 %、直接法のみが 4 %という状況であった。

また、薬品洗浄の実施頻度は図 12 に示すとおり年 1 回程度が最も多く、次いで 2 年に 1 回、半年に 1 回の順となった。このように、実施頻度に明らかな偏りが見られるのは、多くの施設において薬品洗浄の頻度をあらかじめ設定し、それに基づいた施設の設計や運転管理が行われているためと推察された。

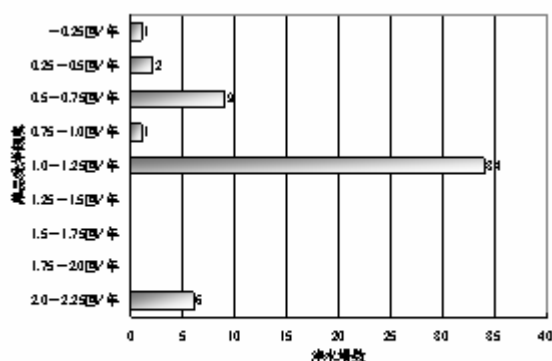


図 12 薬品洗浄の頻度 (アンケート回答数53件)

2.2 膜損傷及び薬品洗浄に関する検討

1) 膜損傷の程度と損傷検出感度との関係

損傷を施した PVDF 膜のモジュールで濁度 5 度、500 度の試験水をろ過したときのろ過水濁度を図 13 及び図 14 に示す。

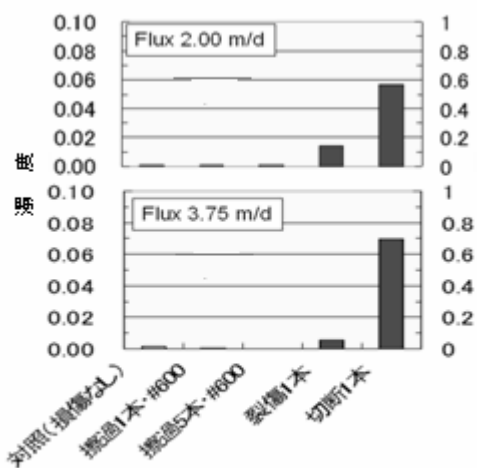


図 13 PVDF膜(加圧ろ過)のろ過水濁度 (試験水濁度: 5 度)

擦過ではいずれの膜においても濁度上昇が見られなかったが、裂傷、刺し傷、切断を施した場合には明らかな濁度上昇が見られた。

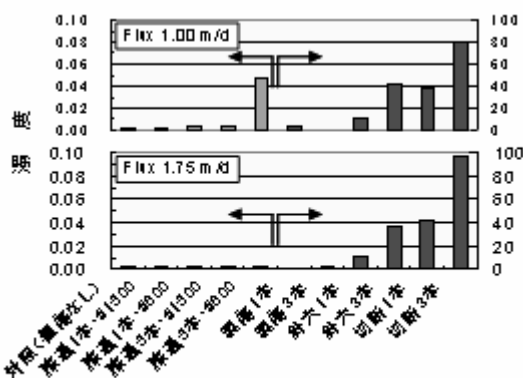


図 14 PVDF膜(吸引ろ過)のろ過水濁度 (試験水濁度: 500 度)

次に、損傷を施した PVDF 膜及びセラミック膜のモジュールに対して行った圧力保持試験の判定結果を表 1 に示す。PVDF 膜、セラミック膜ともに擦過では損傷が検出できず、PVDF 膜の裂傷、切断では検出が可能であった。

表 1 圧力保持試験による判定結果

膜種	ろ過方式	損傷の程度	圧力降下速度	判定
セラミック膜	加圧ろ過	対照(損傷なし)	3 kPa/5 min	
		40穴損傷	2 kPa/5 min	
	※1, 3, 10, 20, 30穴損傷エレメントは省略			
	加圧ろ過	対照(損傷なし)	3 kPa/5 min	
		擦過 1本・#600	3 kPa/5 min	
		擦過 5本・#600	3 kPa/5 min	
裂傷 1本		測定不能	検出	
切断 1本	測定不能	検出		
PVDF膜	加圧ろ過	対照(損傷なし)	2 kPa/5 min	
		擦過 1本・#1500	4 kPa/5 min	
		擦過 1本・#600	3 kPa/5 min	
		擦過 5本・#1500	3 kPa/5 min	
		擦過 5本・#600	3 kPa/5 min	
		擦過 5本・#600	3 kPa/5 min	
	吸引ろ過	裂傷 1本	測定不能	検出
		裂傷 3本	測定不能	検出
		針穴 1本	32 secで圧力ゼロ	
		針穴 3本	11 secで圧力ゼロ	
切断 1本	測定不能	検出		
切断 3本	測定不能	検出		

2) 薬品洗浄が膜の劣化に及ぼす影響

次亜塩素酸ナトリウムの薬液 (濃度 0.3)

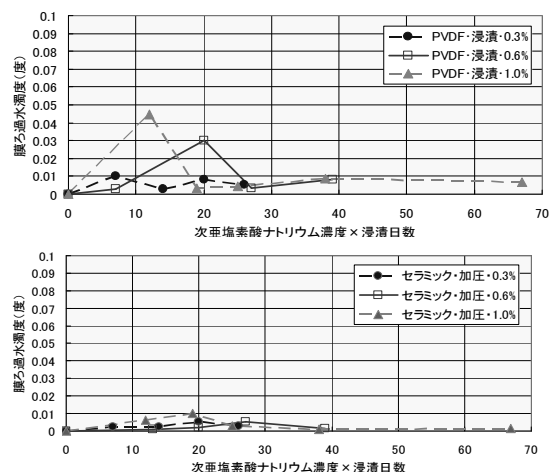


図 15 薬液浸漬後のろ過水濁度 (PVDF膜・セラミック膜)

％、0.6％、1.0％)にPVDF膜、セラミック膜のモジュールを浸漬させ、試験水をろ過したときのろ過水濁度を図15に示す。試験水の濁度はPVDF膜では500度、セラミック膜では5度とした。図に示すとおり、いずれの膜においても薬品浸漬後のろ過水濁度の上昇は見られなかった。また、PVDF膜を硫酸の薬液(濃度3.0％、6.0％、10.0％)、セラミック膜をクエン酸の薬液(濃度1.0％、2.0％、3.0％)に浸漬させた場合でも、薬品浸漬後のろ過水濁度の上昇は見られなかった。

3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

3.1 地表水以外の水への適用における紫外線処理設備維持管理マニュアルの作成

紫外線処理設備を導入済みの13施設に対しアンケート調査を実施し、そのうち3件に対して現地調査を実施した結果、次のことが分かった。

- ・ 日常点検は1回/週から1回/日程度、1人から2人で実施されており、漏れや異常な振動の有無等の目視点検、紫外線強度計等の計器の作動確認等を点検表に基づいて実施している。装置内点検清掃は年に1～2回実施している施設が多い。
- ・ ランプ寿命は1～2年程度、ランプスリーブの寿命は3～5年程度を予定している施設が多い。
- ・ 設計面での不具合事例として、ランプスリーブ内の結露による紫外線照射強度不足、装置内への異物混入による自動洗浄装置の動作不良が挙げられている。
- ・ ランプスリーブへのスケール付着については現状では問題となっていない。ただし運用後間もない施設が多く、今後も注意が必要である。

上述の維持管理状況調査結果や既存の文献を参考に、水道事業体の実務担当者が設備を適切に維持管理するための「地表水以外の水への適用における紫外線処理設備維持管理マニュアル」を作成した。本マニュアルの構成は次のとおりである。

1. 基本的事項
1.1 本書の目的
1.2 紫外線による不活化の特徴
1.3 紫外線とは
1.4 紫外線による不活化の機構
2. 紫外線照射装置
2.1 対策指針で必要とされる機器
2.2 対策指針で望ましいとされる機器
3. 地表水以外の水への適用における紫外線処理設備
3.1 紫外線照射量
3.2 適用水質
3.3 設計上の留意点
4. 維持管理
4.1 基本事項
4.2 日常管理
4.3 定期点検
4.4 異常時の対応
4.5 予備品
4.6 紫外線ランプの廃棄及び回収
4.7 安全管理

3.2 紫外線照射試験

表2に照射試験の条件を示す。調査対象とする副生成物は既往の研究等からトリハロメタン(以下、THM)、アルデヒド、臭素酸、亜硝酸態窒素とした。

表2 紫外線照射試験条件

項目	条件
試験方法	循環照射式
紫外線ランプ	低圧、中圧
照射量	0mJ/cm ² 、1,000mJ/cm ² 、10,000mJ/cm ²
条件1	残留塩素:2mg/L、臭化物イオン:1,000μg/L、TOC:10mg/L以下、pH:7.0
条件2	残留塩素:2mg/L、臭化物イオン:1,000μg/L、TOC:0mg/L、pH:7.0、硝酸態窒素:10mg/L

図16～図19に紫外線照射試験の結果を示す。なお、図中の対照1時間及び5時間は、紫外線を照射しない場合の試験結果である。

紫外線照射試験の結果から、対象水中の前駆物質濃度が今回の試験条件のように高い場合には、クリプトスポリジウム等対策で用いる照射量よりも非常に高い1,000mJ/cm²、10,000mJ/cm²といった照射量で紫外線照射を行うと、臭素酸、亜硝酸態

窒素、アセトアルデヒド及びホルムアルデヒドが生成され、THM は分解されることが分かった。

臭素酸については、水道水質基準を超えていたが、今回の試験条件は、前駆物質である臭化物イオンの濃度が通常の水道原水の数倍～十倍程度と非常に高いことによるものと考えられる。

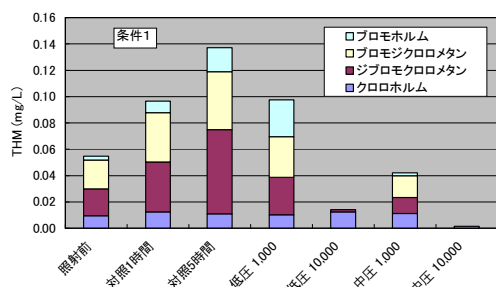


図 16 UV 照射による THM の挙動

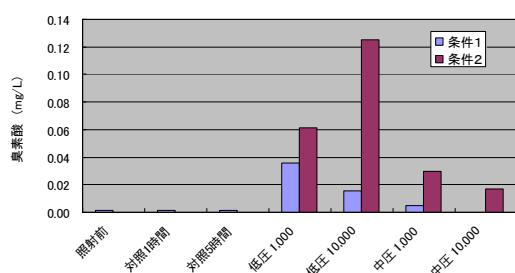


図 17 UV 照射による臭素酸の生成

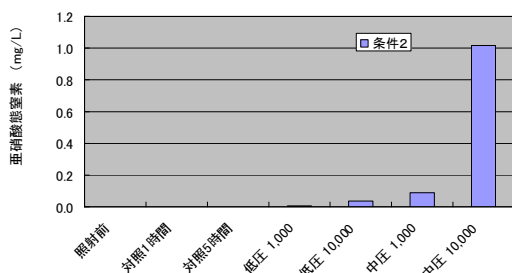


図 18 UV 照射による亜硝酸態窒素の生成

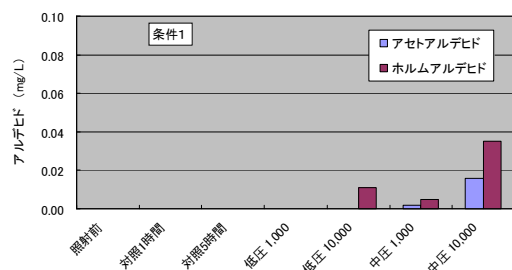


図 19 UV 照射によるアルデヒドの生成

また、THM、臭素酸及び塩素酸について表 3 のような条件で照射試験を行った。試験水は 2 条件とし、条件 1 は THM、臭素酸及び塩素酸の生成、条件 2 は臭素酸及び塩素酸の生成を確認するために設定した。

表 3 紫外線照射試験条件

項目	条件
試験方法	循環照射式
紫外線ランプ	低圧、中圧
照射量	0、50、100、200、500 mJ/cm ²
試験水	条件 1 残留塩素: 1 mg/L 臭化物イオン: 0.5 mg/L TOC: 3 mg/L pH: 7.0
	条件 2 残留塩素: 1 mg/L 臭化物イオン: 0.5 mg/L TOC: 0 mg/L pH: 7.0

図 20～図 23 に紫外線照射試験の結果を示す。なお、図中の対照とは、紫外線を照射せずに、低圧紫外線ランプの照射時間と同じ時間で装置内を循環させたときの結果である。

臭化物イオンと残留塩素の共存下で紫外線を照射すると臭素酸が生成される。臭素酸の生成量は、臭化物イオン濃度、残留塩素濃度、紫外線照射量、pH に依存する。本試験では、TOC 3 mg/L との共存下では臭素酸は生成しないという結果が得られた。浄水処理として実際に導入される紫外線照射装置（以下、実装置）における照射量の最大値は 30～40 mJ/cm² 程度と考えられるが、本試験の結果から、実装置において臭素酸に係る水道水質基準を十分満足できる。

紫外線照射によって THM の生成が促進される。THM の生成が進み、残留塩素が消費された後は、THM は紫外線照射によって分解され、濃度が下がる。本試験では、照射量 50 mJ/cm² の場合、総 THM に係る水道水質基準 0.1 mg/L を超過していないが、非常に高い値であった。この理由として、紫外線照射前つまり塩素添加 30 分後の段階で既に総 THM が生じていること、紫外線透過率は 70% 程度と紫外線照射に適さない条件であったことが挙げられる。

TOC と残留塩素が存在すると、塩素酸は紫外線照射によってごくわずかに増加するが、実装置における照射量では、次亜塩素

酸ナトリウムの品質管理が適切に行われていけば、問題となるレベルにはならない。

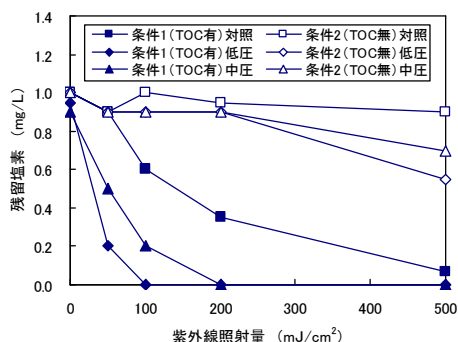


図 20 紫外線照射による臭素酸の生成

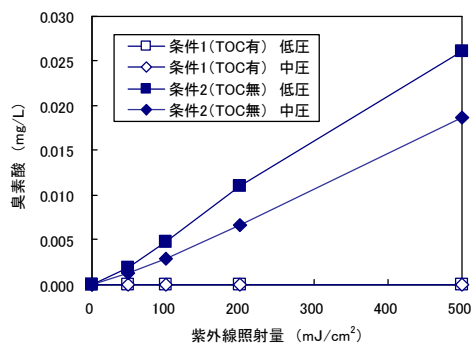


図 21 紫外線照射時の残留塩素の挙動

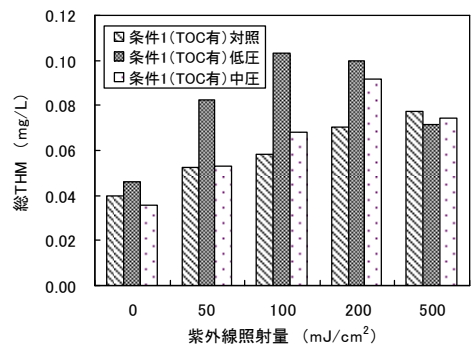


図 22 紫外線照射時の総 THM の挙動

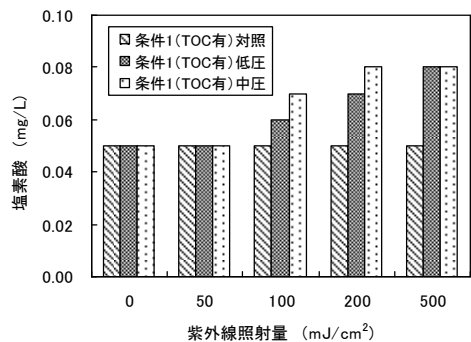


図 23 紫外線照射による塩素酸の生成
※定量下限値 (0.05 mg/L) 以下は 0.05 として図示

3.3 紫外線処理による地表水への適用に関する研究

1) 紫外線処理の適用位置

米国環境保護庁の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」では、ろ過を行っている水道システムにおける紫外線処理の一般的な適用位置として、個別ろ過水の配管部分（浄水池の上流側）、集合ろ過水の下流側（浄水池の上流側）、浄水池の下流側の 3 箇所を挙げている。それぞれの適用位置の特徴を表 4 に示す。

表 4 紫外線処理の適用位置と特徴

設置場所	特徴
個別ろ過水の配管部分（浄水池の上流側）	長所 建物の新設が不要であり、建設費が低減することとなる。 追加の損失水頭は紫外線反応槽によるものだけであり水理学的な影響は少ない。
	短所 ろ過池ギャラリーの多くは、紫外線反応槽等を設置するための十分なスペースを有していない。また環境条件（例えば、湿気）が適切ではない場合がある。 浄水処理施設の操作が複雑となり操作上の柔軟性を制限する。 ろ過池の数が紫外線反応槽の数を支配する。
集合ろ過水の下流側（浄水池の上流側）	長所 紫外線反応槽の操作は、個別ろ過の操作からほとんど独立しており、設計及び操作に柔軟性がある。 膜ろ過、加圧ろ過又は中間増圧ポンプが用いられていなければ、一般に、サージ及び圧力変動の配慮はいらない。
	短所 追加の建物と空間が必要となる。 ほかの方法より、管及び管継手による損失水頭が大きくなり、中間増圧ポンプを必要とすることがある。
浄水池の下流側	長所 ろ過池と浄水池の間で紫外線装置を設置する空間又は水頭が十分でない場合であっても、紫外線反応槽の設置が可能である。
	短所 流速は需要の変化により密接に関連していることから、流速の変動が大きい。 高圧送水ポンプの近傍に設置することとなり、ウォーターハンマーの懸念がある。 ランプ破損が生じた場合、破損による水銀及び石英を回収する能力に欠ける（配水システムの構成に依存する）。

2) 紫外線処理前の濁度条件

「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、ろ過池等の出口濁度を 0.1 度以下に維持することとしているが、地表

水を原水とする場合における紫外線処理の適用に当たっては、紫外線処理の効果に支障がない範囲で濁度要件を定めることが考えられる。そこで、海外における「濁度に係る水質基準」及び地表水を対象とした紫外線処理が既に導入されている国における「浄水処理に係る濁度要件」について調査し、整理を行った（表5及び表6）。

表5 濁度に係る水質基準

基準値等	
WHO 水道水質ガイドライン	5NTU 未満であれば、通常は消費者に受け入れられる。効果的な消毒のためには、濁度の中央値は0.1NTU 未満であるべき。
EU 飲料水水質指令	消費者に受け入れられ、異常な変化がないこと。 注：地表水を処理する場合には、前処理において1.0NTU を超えない値を目指さなければならない。
日本	水道水質基準：2度以下。 水質管理目標設定項目：1度以下。

表6 浄水処理に係る濁度要件

濁度要件	
米国 環境保護庁 地表水処理規則 (SWTR)	在来型ろ過又は直接ろ過を用いるシステムは、如何なるときも濁度が1 NTU を超えてはならず、また、少なくともサンプルの95%は0.3NTU 以下でなければならない。在来型ろ過又は直接ろ過以外のろ過を用いるシステムは、如何なるときも濁度は5NTU 以下でなければならない。
ドイツ 水道科学技術協会 実施規則 w290 水道水の消毒	地表水を使用する場合、微粒子分離ステージの流出水における濁度値の範囲は0.1~0.2FNU を目標とし、可能であればその値より低く抑えるべき。 湧水及び地下水を用いる場合、濁度の範囲が明らかに1.0 FNU を下回っているなら、濁質の処理、微粒子の除去は、一般には必要としない。
日本 クリプト等対策指針	ろ過池等の出口の濁度を0.1度以下に維持。

※1度≒0.7NTU、NTU≒FNU

3) 紫外線照射における濁質成分の影響

紫外線処理を、膜ろ過洗浄の返送水・排水、又は地表水を原水として急速ろ過を採用している施設等へ適用する場合には水に含まれる様々な共存物質の影響が不可避である。

本研究では、大腸菌ファージMS2をモデルウイルスとして用い、紫外線処理の効果

に及ぼす濁質の影響を調べ、そのモデル化を試みた。ここでは、一例として、濁質としてカオリンを用いた回分式紫外線照射における実験結果を図24に示す。

また、浄水場逆洗水に対してMS2ファージを添加して紫外線照射を行い、照度比（＝生残率と試料吸光度から計算される紫外線照度÷紫外線照度の実測値）を求めた結果を図25に示す。なお、図中のプロットが浄水場逆洗水において得られた不活化速度から求められた結果であり、図中の破線がカオリンを用いた結果の例である。

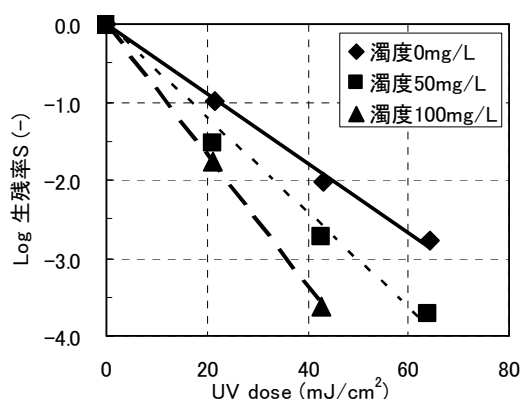


図24 濁度を含む試料に対する紫外線照射の結果の一例

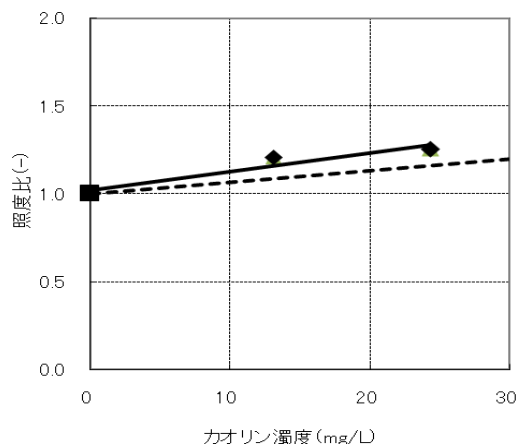


図25 浄水場逆洗水に対する紫外線消毒の結果

4) 様々な水に対する紫外線照射実験

本研究で用いた試料水の濁度は表7のとおりである。草津川、法竜川、原水はいずれも地表水であり、濁度は3.92~41.10度で、ろ過による濁度の除去率は46~67%で

あった。浄水場内で濁質の除去がある程度進んだ工業用水（工水）の濁度は1度未満であり、ろ過による除去率は低かった。

表7 各試料の濁度の測定結果（単位：度）

試料	無ろ過	ろ過
草津川①	41.10	—
草津川②	5.59	—
法竜川①	12.15	—
法竜川②	9.20	4.94
原水①	5.22	2.36
工水①	0.65	0.66
原水②	3.92	1.28
工水②	0.70	0.62

従属栄養細菌の不活化実験結果を図26～29に示す。すべての試料で15mJ/cm²程度までは一次反応的に不活化した。その傾きは試料ごとに異なり、例えば草津川①は11log不活化に15mJ/cm²程度を要したが、原水や工水では5mJ/cm²未満であった。また、15mJ/cm²程度以上では不活化に要する紫外線量が大きくなり、傾きが小さくなるテーリングと呼ばれる傾向が見られた。例えば原水と工水は、テーリング後は、11log不活化に要する紫外線量がテーリング前の約13倍となった。

また、ろ過前後で生残率が大きく異なったのは、法竜川②と工水①だけであり、その他は、大きな差は見られなかった。このことは、同じ試料であれば、濁度がある程度の値であったとしても、紫外線照射の効果に濁質が影響しないことを示唆していると考えられる。

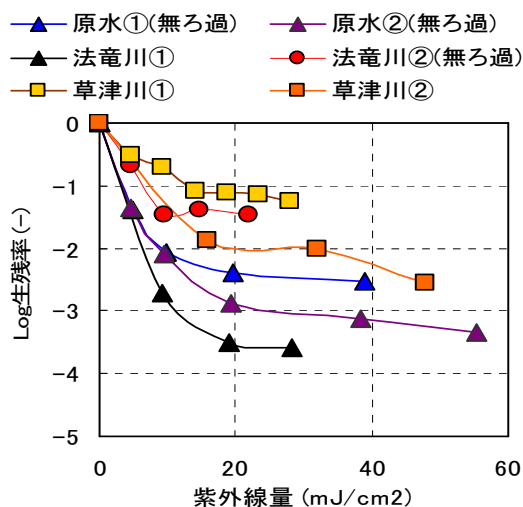


図26 環境水(無ろ過)における紫外線照射の効果

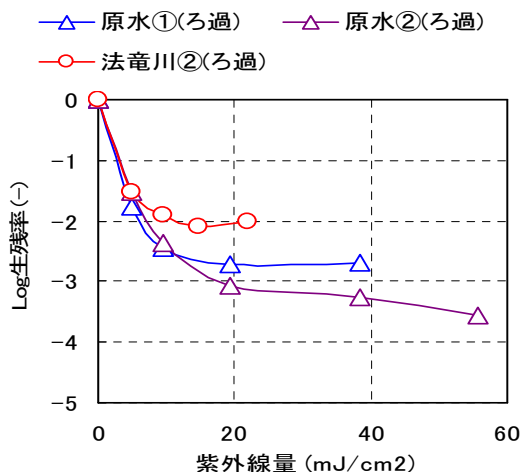


図27 環境水(ろ過)における紫外線照射の効果

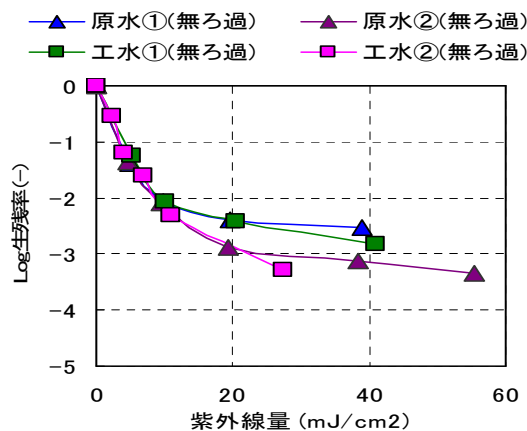


図28 浄水場水(無ろ過)における紫外線照射の効果

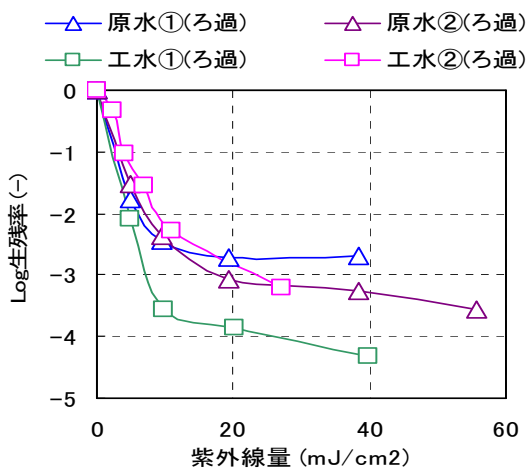


図 29 浄水場水(ろ過)における紫外線照射の効果

ろ過前後で紫外線照射の効果が変化しないことが分かったが、15mJ/cm²程度以上でテーリングが生じた。この理由を明らかにするための実験を行った。

まず、テーリングの原因が紫外線耐性細菌によるものと仮定し、テーリング後の生残菌の紫外線耐性を測定した。その結果を図 30 に示す。生残菌は一次反動的に減少した。ここで 1log 不活化に要する紫外線量は 45mJ/cm² と計算され、高い紫外線耐性を持つという結果が得られた。

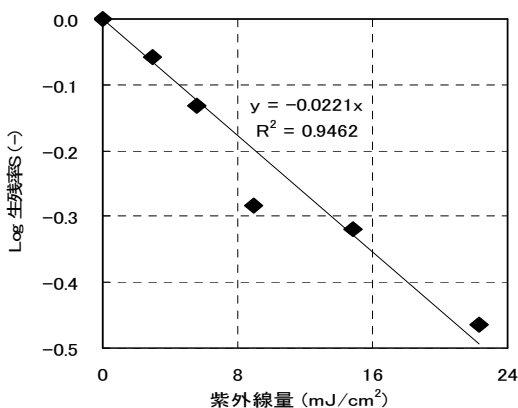


図 30 紫外線照射生残菌の紫外線耐性

この結果から、今回の研究で用いた試料水には、5mJ/cm²未滿で 1log 不活化する細菌が大部分を占めているが、45mJ/cm²程度必要な紫外線耐性菌が 0.1~1%程度存在していたことが分かる。

様々な水に対する紫外線照射実験結果を整理すると、①細孔径 5 μ m のフィルターで

ろ過した同じ試料における HPC (従属栄養細菌) の不活化には大きな差が無かった、②HPC は 15mJ/cm²程度までは一次反動的に不活化された、③15mJ/cm²より大きい紫外線量では不活化速度が減少するテーリングという現象が見られた、④テーリングの原因は 0.1~1%程度存在する紫外線耐性菌によるものであった、ということになる。ここで重要なのは、紫外線照射で生残り増殖した紫外線耐性菌の 1 log 不活化に要する紫外線量が、各試料の実験結果から得られたテーリング後の不活化速度にほぼ一致していることである。これは、紫外線照射生残菌は徐々にではあるが不活化が進行している、つまり照射された紫外線が濁度を含んだ試料においても微生物に到達していることを示している。不活化速度が遅い紫外線耐性菌に紫外線が到達しているということは、クリプトスポリジウムのように紫外線耐性が小さいものは、到達した紫外線量に応じて一次反動的に不活化が進行することを強く示唆している。

3.4 紫外線処理による塩素代替消毒法及びマルチバリア消毒法に関する研究

1) UV 照射によるフミン溶液の蛍光相対強度変化

対象水として地下水、河川水、湖沼水、フミン質溶液を用いた実験結果、いずれの場合も紫外線照射によって蛍光強度には変化が見られなかった。また、水道水においては蛍光強度が増加する傾向が見られたが、その反応は一定ではなかった。続いて二酸化チタン光触媒粉末を共存させた場合、蛍光強度の変化が観察され、共存濃度が高くなれば、変化量も増えていた。また粒径 5 μ m の二酸化チタン粉末を用いた場合、最も高い効果を示した。(図 31 参照)

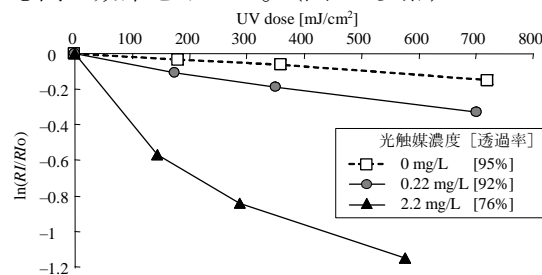


図 31 UV 照射によるフミン溶液の蛍光相対強度変化 (光触媒 (粒径 5 μ m) 共存下)

2) 種々の微生物の波長依存性

本実験の広波長域光源として用いたパルス Xe ランプを用いて波長を絞った場合の不活性化効果について細菌 1 種類 (大腸菌)、ウイルス 4 種類 (大腸菌ファージ: Q β 、MS2、 λ 、T4) の結果を図 32 に示す。ここでは、254nm の不活化率を 1 とした相対不活化率を算出した。クリプトスポリジウムと他の微生物では、波長依存性の傾向が異なることが分かった。

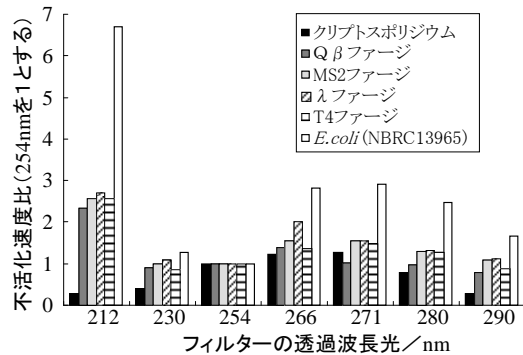


図 32 *Cryptosporidium parvum*、MS2、Q β 、 λ 、T4、及び大腸菌(NBRC 13965)の各バンドパスフィルタ透過光における相対不活化率分布 (*C. parvum* の値のみ USEPA ガイドライン参照)

3) 全国 5 か所の吸光スペクトル

全国 5 か所の浄水場の吸光スペクトルの一例として 2009 年 11 月採水分のデータを図 32、図 33 に示す。図 33 は、図 32 の 254nm 付近を拡大表示したグラフである。地表水は地下水に比べ、254nm 吸光度が比較的高く、230nm 以下は低いという傾向であることが分かった。

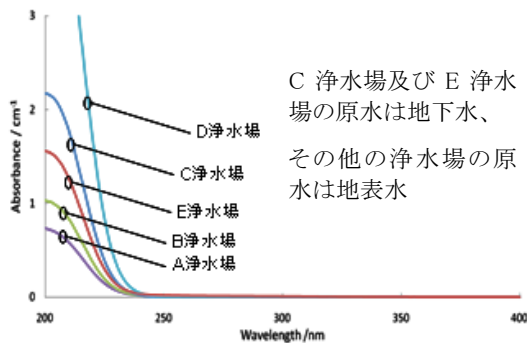


図 3 浄水場浄水の吸光スペクトル (2009 年 11 月採水分)

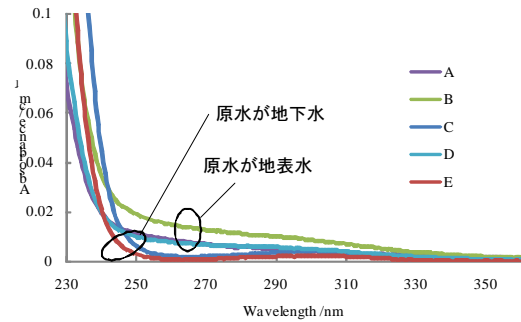


図 33 浄水場浄水の吸光スペクトル (254 nm 付近) (2009 年 11 月採水分)

4) 低圧ランプの適用性の検討

(財) 水道技術研究センターの紫外線照射装置技術審査基準 (JWRC 技術審査基準) では、低圧 UV ランプの場合、対象水の吸光度を 0.022cm^{-1} (=透過率 95%) と仮定している。すなわち、対象水が透過率 95%より悪い状況になると設定 UV 量が保証できないということになる。3) で用いた浄水の 1 年間の 254nm 透過率データを用いて、JWRC 技術審査基準の水で得られる消毒効果に対し何倍の効果が保証されるかについて計算した結果を図 34 に示す。その結果、5 か所の浄水場とも、1 年間にわたり 254nm の透過率が 95%を下回ることがなく、図 34 が示すとおり消毒効果が JWRC 設定消毒効果を上回り、設定 UV 量が保証されることが分かった。

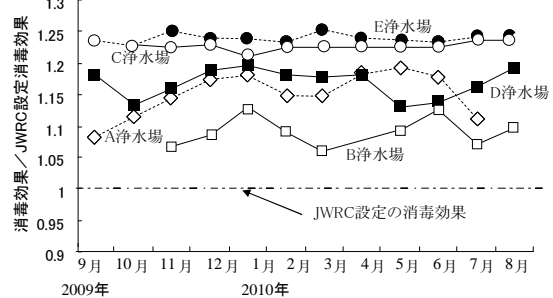


図 34 各浄水の消毒効果の推定値 (低圧) (JWRC 技術審査基準との比較)

5) 中圧ランプの適用性の検討

低圧 UV ランプと異なり中圧 UV ランプの消毒効率の低減は、各対象微生物の波長依存性、対象水の吸光スペクトル、ランプの照射スペクトルの 3 つに依存するため、微生物ごとに低減効果が変わることになる。JWRC 技術審査基準では、中圧 UV ランプ

の場合、240 nm 未満の吸光度は $\infty \text{ cm}^{-1}$ (=透過率 0%)、240 nm 以上の吸光度は 0.022 cm^{-1} (=透過率 95%) を仮定している。3) で用いた浄水の 1 年間のデータを用いて、JWRC 技術審査基準の水で得られる消毒効果に対し何倍の効果が保証されるかについて計算した結果を図 35 に示す。その結果、5 か所の浄水場とも、年間を通して JWRC 設定消毒効果を上回り、設定 UV 量が保証されることが分かった。

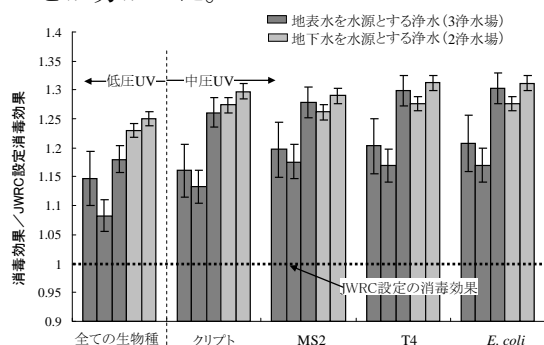


図 35 各浄水の消毒効果の推定値 (中圧) (JWRC 技術審査基準との比較)

6) 塩素と紫外線の併用処理における大腸菌の損傷部位の推定

大腸菌溶液 (初期濃度約 10^6 CFU/mL) に対して塩素単独 (接触時間 3 分、5 分)、紫外線単独 (照射量 6.2 mJ/cm^2)、塩素→紫外線、紫外線→塩素の 4 パターンの消毒方式により不活化処理を行った後、TSA、DESO、EC の 3 種類の培地により培養させ、溶液中の大腸菌濃度を測定した。これらの測定結果の差から、大腸菌の損傷部位を推定する。推定に当たっては表 8 を用いる。

表 8 各測定培地の検出の有無と推定損傷箇所

	必須代謝損傷 遺伝子損傷	特定酵素損傷	細胞膜損傷
TSA	×	○	○
EC	×	×	○
DESO	×	×	×

× : 不検出, ○ : 検出

単独処理の場合の結果を図 36、併用処理の結果を図 37 に示す。塩素処理においては、膜損傷が主な不活化機構となるために、DESO 培地測定から得られる不活化率が最も高くなる。また紫外線処理においては、遺伝子損傷が主な不活化機構となるために、3

つの培地測定から得られる不活化率に差が生じないという結果が得られた。また併用処理の場合は、いずれも DESO 培地測定から得られる不活化率が最も高くなった。

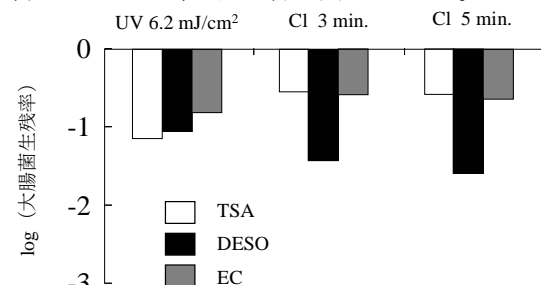


図 36 培地ごとの大腸菌生残率 (単独処理)

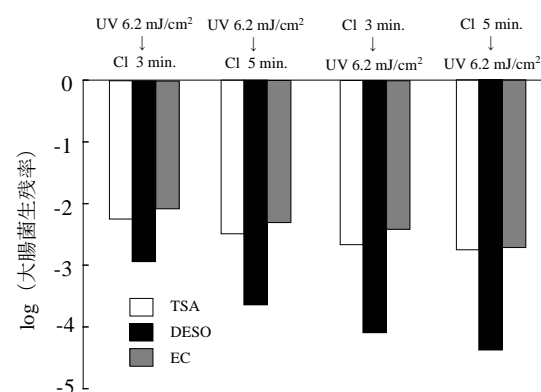


図 37 培地ごとの大腸菌生残率 (併用処理)

単独処理の和と併用処理の不活化率の比較を図 38 に示す。(図 38 は、塩素接触時間が 3 分の場合の図であるが、5 分の場合も、ほぼ同様の結果であった。) 単独処理の不活化率の和に比べて、併用処理の不活化率の方が高くなっていることが分かる。すなわち、併用処理による相乗効果が確認された。しかし大腸菌の損傷部位の推定という視点から見ると、併用処理における培地間の比率の差は観察されなかった。塩素→紫外線処理の場合、残留塩素がある中での紫外線照射処理であるため、塩素ラジカルにより大腸菌に対しより致命的な損傷を与えることが期待されたが、今回の結果からは、致命的な損傷が増したとは考えにくく、損傷部位に関しては、単独の場合と変わらないのではないかと考えられる。以上のことから、併用処理により不活化効果は高くなるが、不活化機構は変わらないということが分かった。

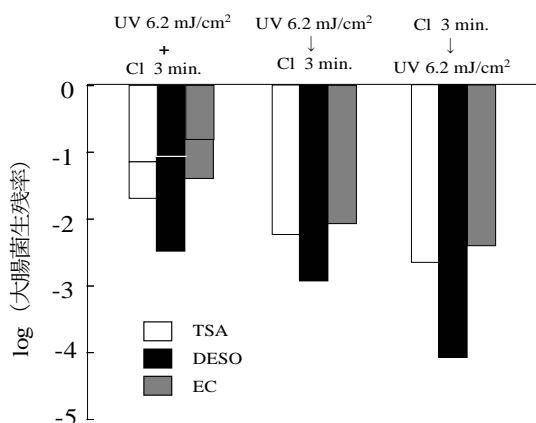


図 38 単独処理の和と併用処理の比較

3.5 浄水場の濁度管理についてのアンケート調査及びヒアリング調査

1) アンケート調査

原水が表流水で処理能力が 101m³ 以上 10,000m³ 以下の浄水場を所有する 274 事業体に対し濁度管理に関するアンケート調査を実施した結果、216 事業体 (234 浄水場) から回答を得た。

その結果、指標菌が検出されたことがある浄水場が 191 か所 (全体の 82%) であり、そのうち、ろ過池出口濁度が 0.1 度を超えることがある浄水場が 34 か所 (18%)、0.1 度を越えないにしても管理に困難・苦労している浄水場が 56 か所 (29%)、合わせて 90 か所 (47%) の浄水場で濁度管理が難しいという結果であった。

難しさの理由を回答の多い順に挙げると、「凝集剤注入制御が困難」、「沈殿・ろ過施設の能力不足」、「無人であり監視不十分」、「凝集剤単独での対応が困難」、「遠方監視であり適切な管理が困難」、「故障トラブル」、「専門技術者がいない」であった。

2) ヒアリング調査

アンケート調査に回答した事業体のうちの 2 事業体に対しヒアリング調査を行った結果、「濁度 0.1 度を基本と考えるが、その数値に対しては柔軟性をもたせてもよいのではないか」、「原水が溜池であり付近に酪農等もなく、クリプト等のリスクが低い」、「緩速ろ過のため濁度管理が難しい」などの意見があった。

D. 考察

1. 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

1.1 膜ファウリング発生機構に関する知見の集積

これまでの研究では、主にフミン質からなる有機物の疎水性画分がファウリングの要因物質であるものと指摘されてきた。しかし、本研究では、いずれの水源原水についても疎水性画分のろ過における膜差圧の挙動は、逆洗で回復する可逆的ファウリングを示した。一方、親水性画分では、いずれの水源原水についても逆洗では回復しない不可逆的ファウリングが生じたことを示す結果であった。したがって、不可逆的ファウリングの要因物質は、水源の種類によらず、有機物の親水性画分であることが明らかとなり、その主な成分として植物プランクトンの代謝等に由来する多糖類が考えられる。

1.2 浄水処理に適した膜の材質、製造方等の検討

TIPS1 の構造を持つ中空糸膜で最もファウリングが抑制された理由として、原水流入側の緻密層 (膜細孔径が小さい) 表面上にケーキ層が形成され、ファウラントがケーキ層に捕捉されることにより膜細孔内への侵入と吸着が少なく、また、ろ過水流出側の多孔構造 (膜細孔径が大きい) で逆洗が効果的に行われたものと考えられる。一方、NIPS2 の構造では、ファウラントが膜細孔内へより多く侵入、吸着し、また、逆洗が効果的に行われなかったため、最もファウリングが進行したものと考えられる。このように、中空糸膜の構造とファウリング特性との関係が明らかとなり、ファウリング抑制に効果的な膜構造に関する知見が示された。

1.3 ポリマーブレンドによる中空糸膜への耐ファウリング性付与に関する研究

中空糸膜の性質として強度と耐ファウリング性との間にトレードオフの関係が存在することが知られている。PVDF は強い疎水性を持ち強度に優れた膜素材であるが、耐ファウリング性を高める研究例はまだ少な

い。親水性ポリマーである PVP を PVDF にブレンドし、低い凝固浴温度による TIPS 法で製作した中空糸膜では PVDF 膜に比べて大幅なファウリング抑制が認められ、強度は PVDF 膜と遜色ないものとなった。このように、親水性ポリマーのブレンドによって膜素材に耐ファウリング性が付与され、また、適切な製作方法によって強度が得られることが分かった。

1.4 中空糸膜の逆洗効果に関する研究

ろ過流速が高い場合に明らかな膜差圧上昇が見られた要因として、高いろ過流速によって原水中に存在する微粒子の膜細孔内への進入がより促進され、閉塞が著しく進行したことが考えられる。また、ろ過流速 3.0 m/日において、逆洗流速の高さとファウリングの進行との間に明らかな関連性が認められなかった要因として、逆洗流速によっては、ろ過の過程で膜表面に堆積して微粒子を補足するファウリング層の多くが除去されたことにより微粒子が膜細孔内へ侵入しやすくなり、閉塞が進行することがあるものと考えられる。

中空糸膜の長さ方向においてファウリングの進行に分布がみられた要因が逆洗効果の偏りによるものか、ろ過によるファウリング発生の偏りによるものかについては明らかにすることができなかった。しかし、このようなファウリングの進行の分布が実設備での膜ろ過運転においても生じるのであれば、中空糸膜のろ過水吸引及び逆洗水供給側付近におけるファウリング抑制を目的とした新たな膜モジュール設計への展開が期待できる。

2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

2.1 維持管理の実態調査

膜ろ過浄水技術のガイドラインである USEPA(米国環境保護庁)の「Membrane Filtration Guidance Manual」等において、膜損傷の検出方法としては直接法と間接法の併用が望ましいとされているが、実際には多くの施設において間接法のみが適用され、併用は少ないことが明らかとなった。したがって、膜損傷に対する直接法、間接法の有効性について明らかにし、どのような試験方法の適用が望ましいかの検討が必

要と考えられる。

また、薬品洗浄は、膜を不可逆的ファウリングから回復させるための手段であるが、薬品は膜を変質させる要因にもなることから、薬品洗浄の実施が膜の劣化に影響を与える可能性が指摘されている。仮に実設備において一般的に行われている薬品洗浄が膜の寿命に直接影響を与えているとすれば、洗浄方法や頻度等について見直さなくてはならず、その影響について検討する必要がある。

2.2 膜損傷及び薬品洗浄に関する検討

1) 膜損傷の程度と損傷検出感度との関係

間接法において、裂傷、刺し傷、切断を施した中空糸膜ではろ過水濁度の明らかな上昇が見られたものの、実設備の規模においては、処理水量に対して原水のリークによる濁度の割合が小さいため、膜損傷としての検出は困難と考えられる。また、圧力保持試験に代表される直接法では、中空糸膜において、膜を貫通するような損傷(擦過を除く)の検出が可能であったことから、有効な膜損傷試験方法と考えられる。したがって、浄水処理の安全管理の点から、膜損傷試験には、少なくとも直接法の適用が必要であると考えられる。一方、ろ過水濁度の計測による間接法は、膜損傷を検出する感度が認められなかったものの、USEPAの「Membrane Filtration Guidance Manual」をはじめ、直接法を補完する試験方法として位置づけられている。また、微粒子カウントを採用している国内の浄水場においては、損傷が確認された膜モジュールの交換後、ろ過水中の 1 μm 以下の微粒子数が明らかに減少したとの事例があり、ろ過水の微粒子監視が膜損傷検出の一つの手法となりうるものと考えられている。したがって、間接法については、ろ過水の濁度や微粒子数データ等の分析による膜損傷検出の指標の確立が期待される。

2) 薬品洗浄が膜の劣化に及ぼす影響

実験結果から、膜を一般的に用いられている薬品の種類及び濃度の薬液へライフサイクルに相当する期間以上浸漬しても性能には変化が見られなかったことから、薬品洗浄は、実設備での運用において、損傷が生じるような膜の劣化に直接影響すること

はないものと考えられる。

3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

3.1 地表水以外の水への適用における紫外線処理設備維持管理マニュアルの作成

紫外線処理導入済み事業体へのアンケート調査及び現地調査結果や既存の知見を基に対応策を取りまとめ、地表水以外の水への適用における紫外線処理設備維持管理マニュアルを作成した。

3.2 紫外線照射試験

紫外線照射試験の結果、対象水中の前駆物質濃度が高く、さらにクリプトスポリジウム等対策として用いる照射量よりも非常に高い照射量で照射すると、臭素酸、亜硝酸態窒素、アルデヒドが生成され、THM は分解されることが分かった。

一般には、このような照射量とならないように設計されるが、例えば、頻繁な運転停止を避けるため水を流さずにランプを点灯し続けるような運転をする場合には、紫外線が過照射とならないような配慮が必要であると示唆された。

通常の水道原水に含まれるレベルの臭化物イオン濃度 0.5 mg/L 以下、残留塩素 1 mg/L 以下とする実験の結果、実装置において臭素酸に係る水道水質基準を十分満足できることが確認できた。また、紫外線処理の対象水に TOC 成分が含まれる場合には、臭素酸が生成されない。これは、残留塩素が TOC 成分と優先的に反応して THM を生成し、臭素酸生成が抑制されるためと推測された。

通常の水質の範囲内では水道水質基準を超過することは考えにくい。塩素処理の後段に紫外線処理を設置する場合には、臭素酸及び THM の生成に留意が必要である。したがって、水源が地下水の場合には、紫外線処理の適用位置は塩素処理の前段が基本となる。水源が地表水の場合には、前塩素、中間塩素処理により残留塩素が存在することが考えられるので、紫外線処理の適用位置は、凝集沈澱ろ過等の後段つまり TOC 成分を極力低減したあとが基本となる。

3.3 紫外線処理による地表水への適用に関

する研究

紫外線処理の適用位置に関して、米国環境保護庁の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」から情報を収集し、適用位置ごとの特徴を整理した。

また、地表水を水源とする施設へ紫外線処理を適用する場合の濁度条件として、「EU 飲料水水質指令」の“1.0NTU を超えない値”、「WHO 水道水質ガイドライン」の“濁度の中央値は 0.1NTU 未満”、「米国環境保護庁」の“サンプルの 95%は 0.3NTU 以下”は一つの目安になると考えられた。

紫外線処理の効果に及ぼす濁質の影響について、濁質としてカオリンを用いて調べた結果、実験を行った範囲では、濁質は紫外線を反射することによって処理効率を高める効果を示した。浄水場逆洗水に含まれる濁質も同様の効果を示し、照度比（＝生残率と試料吸光度から計算される紫外線照度÷紫外線照度の実測値）は1よりも大きい値となった。

モデル化においては、一次反射光のみを考慮することによって、おおむね良好な関係式が得られたが、より一般的な表現にするためには更なる実験が必要である。

浄水場の原水及び沈殿池出口水を試験水とする HPC の不活化実験を行った結果、紫外線量が 15mJ/cm² 程度までは一次反発的に不活化したが、それ以上の紫外線量においてはテーリングが見られた。この理由を実験的に検討した結果、濁質の影響ではなく、紫外線耐性の高い細菌の存在であることが分かった。実験を行った範囲で、水の種類、ろ過の有無によって紫外線照射の効果に大きな差が見られなかったことから、実験を行った範囲の濁度では、紫外線照射効果に影響しないということが分かった。

以上の結果から、濁度が 5 度程度以下又は水道水質基準である 2 度を満たしていれば、水中の微生物に紫外線が到達し、耐塩素性生物の不活化に効果的に適用できると考えられる。浄水プロセスにおいて紫外線照射は最終段階で適用されるため、通常除濁処理が良好に行われている場合には、その水源種別を問わず良好に紫外線照射の効果を得られるものと考えられる。

3.4 紫外線処理による塩素代替消毒法及びマルチバリア消毒法に関する研究

対象水への紫外線照射実験結果は、水道水のような低レベルの有機物変化も蛍光強度で測定することができるということを示している。ただし、透過率 95%を保持しつつ、蛍光強度の変化が大きく生じるような条件にするためには、より反応効率の高い光触媒粉末の模索が必要と考えられる。

数種の病原細菌・ウイルスの波長依存性、及び国内複数の浄水場浄水の1年間の吸光スペクトルを測定した結果、中圧及び低圧UVランプの適用に際し、一般的な消毒性能が担保できることが分かった。ただし、中圧UVランプの正確な評価のためには、254nm吸光度だけでなく対象水のスペクトルデータを把握しておくことが重要であると考えられる。

また塩素と紫外線の併用処理によって大腸菌に与える損傷部位が、単独処理と異なるかどうかを検証した結果、併用処理によって不活化率は高まるものの、作用機構に関しては単独処理と異なることが分かった。

3.5 浄水場の濁度管理についてのアンケート調査及びヒアリング調査

中小水道事業者の多くが、ろ過池出口濁度 0.1 度の管理に困難を来しており、その原因の多くが、施設の能力や人材不足であることから、比較的安価で維持管理性もよい紫外線処理に対する期待が大きいことが分かった。

【管路部門】

A. 研究目的

水道は社会基盤施設として重要な役割を果たし、より安全・安心な水道水の供給が求められている中で、老朽化が進む基幹水道施設の更新等の方策や、近年頻発する地震等への対策が急務である。これらを推進するため、老朽化や地震被害による断水・漏水等のリスクを防止・軽減するための手法の確立が求められており、これを実現すべく、基幹水道施設の機能診断手法、地震による管路被害の予測手法等の確立を目的として、研究活動に取り組んだ。

1. 基幹水道施設の機能診断手法の検討

国内の基幹水道施設は、高度成長期にその多くが整備され、以後 40 年余りが経過して現在に至っている。こうした中、多くの基幹水道施設において老朽化が顕在化し、更新が迫られている一方、水道事業者の経営環境は、給水人口減少による料金収入の減少、少子化に伴う人的資源の減少等、厳しい状況が続いており、このような背景の下、老朽化した基幹水道施設の機能について効果的な診断を行い、シビルミニマムを満たしかつ効率的な更新構想を立案できる手法が求められているところである。

こうしたことから、本研究は、大規模から中小規模のすべての水道事業者において利用可能な水道施設の機能診断手法の検討を行うことにより、水道事業者における確実かつ効果的な更新構想立案を支援することを目的とする。

2. 地震による管路被害の予測等

兵庫県南部地震における水道施設の甚大な被害を契機に、水道施設における地震対策の重要性が再認識されることとなったが、この地震以後も、新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震、更には地震被害とともに大津波被害を誘発した東北地方太平洋沖地震など、各地で多くの被害を伴う地震が頻発しており、水道施設の耐震化の重要性はますます高まっている。水道管路の地震被害は、継手の抜けや管体破損による断水・漏水の発生が主であり、兵庫県

南部地震の管路被害実績をもとに、管路の地震被害予測手法が開発されてきた。

このような背景のもと、以下のような課題が顕在化してきている。

- ・近年の地震被害は、兵庫県南部地震のような都市部の過密な管路における被害発生だけではなく、中小規模都市、山間部の非過密地域においても管路被害が多発している。
- ・従来の地震による管路被害予測手法は、管種別にその被害率が算出されるものであるが、近年の地震被害実績の解析により、管種だけではなく、継手構造にも大きく影響されることが明らかになっており、これらへの対応が求められている。

本研究では、これらの課題を解決すべく、水道事業体から被害予測手法のニーズを調査し、その対応策を検討するとともに、近年の地震（新潟県中越・能登半島・新潟県中越沖地震）による管路被害を解析して、水道事業体的確な地震対策を実施可能とする、新たな被害予測手法を開発することを目的とする。

B. 研究方法

研究代表者、研究分担者のもと、学識者、水道事業体、民間企業の技術者等で構成される研究協力者により管路研究班を設置し、そのもとに研究課題に応じて、2つのワーキンググループ（機能診断ワーキンググループ、地震ワーキンググループ）を設け、2つのテーマについて研究を進めた。

以下、テーマごとに具体的な研究方法を示す。

1. 基幹水道施設の機能診断手法の検討

1.1 水道施設機能診断マニュアルの作成

1) 浄水施設等の機能診断手法

浄水施設等の機能診断手法の一つとして、水道技術研究センターが厚生労働省からの受託研究として開発し、平成17年に「水道施設機能診断の手引き」としてとりまとめた手法がある。この手法は管路を除く水道施設全般を対象として、運転管理及び維持管理の観点から現況機能の評価・診断を可能とするものであるが、運転管理に関する

保有データが不十分な中小規模水道事業体では使いにくいという一面がある。こうしたことから、この手引きの手法をベースとしながら、規模の異なる6水道事業体においてケーススタディを実施し、手法案の課題抽出と改善を繰返し、中小規模水道事業体でも使いやすいように修正・改良した。

ケーススタディは、以下に示す大中小水道事業体の浄水場を対象に実施した。

- ・宇部市ガス水道局 広瀬浄水場： 粉末活性炭吸着設備－高速凝集沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか
 - ・長崎市上下水道局 道ノ尾浄水場： 粉末活性炭吸着設備－凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池（複層）－浄水池 ほか
 - ・豊中市上下水道局 芝原浄水場： 高速凝集沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか
 - ・大阪府島本町上下水道部 大藪浄水場： エアレーション設備－凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか
 - ・岡山市水道局 大内浄水場： エアレーション設備－凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池 ほか
 - ・同 川口浄水場： 凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか
- なお、大内、川口両浄水場は岡山市が合併に伴い町村から引継いだ小規模施設である。

2) 管路の機能診断手法

「水道施設機能診断の手引き」では管路を機能診断の対象外としていることから、管路用の診断手法を開発することにより水道施設全体を診断する手法の構築を図った。このため、中小水道事業体における管路管理情報量と管理方法などを調査し、これを基に浄水施設等と同様の機能診断手法案を作成した。この案を基に、既に管路更新計画策定済みの種々の規模の水道事業体においてケーススタディを実施し、課題の抽出と改善を重ねるとともに、診断手法の有効性・合理性を確認して、管路の機能診断手法を確立した。

ケーススタディは、以下の中小水道事業体において実施した。

- ・宇部市ガス水道局： 西が丘配水ブロッ

ク（広瀬浄水場系統）、マッピングシステムによる配管図管理

- ・長崎市上下水道局： 道ノ尾水系、CAD 図による配管図管理
- ・佐世保市水道局： 北部水系（山の田・大野）、CAD 図による配管図管理
- ・大阪府能勢町地域整備課水道係： 東山辺配水池系、マッピングシステムによる配管図管理

3) 水道施設機能診断マニュアル

浄水施設等の機能診断手法及び管路の機能診断手法を「水道施設機能診断マニュアル」にとりまとめて記載した。マニュアル作成に当たっては、両手法の内容を詳細に分かりやすく記載するとともに、機能診断を実施する際の留意事項及び説明を追加・充実し、併せて「よくある質問（FAQ）」を追加記載した。

1.2 評価点自動計算ソフトの作成

人的・技術的に余裕の少ない中小規模都市においても「水道施設機能診断マニュアル」を使い易くするため、必要データを入力し又は機能状況に関する設問への回答を選択することによって機能評価点等が自動計算される「評価点自動計算ソフト（これは楽々、機能診断）」及びこの使用説明書を作成した。作成に当たっては、計算ソフト案を基にケーススタディを実施して、使用上等の課題の抽出及びその改善を重ねた。

ケーススタディは、宇部市、岡山市、神戸市、長崎市、大阪府能勢町の各水道事業体において実施した。

2. 地震による管路被害の予測等

1) 被害予測手法の課題に関するアンケート調査

すべての水道事業体が利用し易い管路の地震被害予測式の構築及びマッピングシステムへの拡張性を検証するため、現在、実際に管路の被害予測を実施している水道事業体と未実施の水道事業体に対して、それぞれ被害予測手法の課題に関するアンケート調査を行った。

被害予測を実施している事業体へのアンケートは、現在利用している既存予測式や使用環境及びデータの保有管理状況に関す

る実態調査を行い、未実施の事業体については、被害予測実施の阻害要因や必要性の有無等を調査し、問題点や改善事例等について抽出・分析することにより、使い易い被害予測式の構築を目指した。

また、被害予測を実施している事業体へのアンケートの対象事業体は、水道技術研究センターにより被害予測を実施していることが確認された 37 事業体を対象とした。被害予測を実施していない事業体に対するアンケートは、センター会員 227 事業体を対象とした。

2) 想定地震動の評価

管路の被害予測式を構築するに当たり、想定地震動強さを決定する必要がある。地方自治体の地震防災計画等において、想定地震動が既に策定されている場合はそれを用いるケースが考えられる。また、水道事業体で独自に設定する場合は、簡易で精度のよい手法を提供する必要がある。そこで、全国の自治体の地震防災計画等で採用されている想定地震動の策定方法を調査・分析した。

3) 管路被害データベースの構築

管路の被害予測式を構築するに当たっては、想定地震動強さとともに、管路被害状況についても整理しておく必要がある。そこで、兵庫県南部地震、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震の水道管路被害データを収集するとともに、地震動強さ、地盤条件に関する資料も収集し、GIS（地理情報システム）データベースの構築を行った。管路被害については GIS 上の管路図に被害地点をプロットするとともに、管路属性である管種、口径、布設年度、継手種類などを入力するとともに、メッシュごとの地震動強さ、各種地盤条件を入力し、データベースを構築した。

4) データ解析

構築したデータベースを基に、管路被害率とこれに影響する要因（管路属性、微地形分類、地震動強さ等）との関係及び影響度合いについて、クロス集計及び多変量解析によってデータ解析を行い、管路被害予測式におけるこれらの要因別の補正係数を求めることとした。

①クロス集計

GIS を利用して電子化された管路図に被

害地点をプロットすることにより、被害率（件/km）が管種、口径、継手種類ごとに算出され、更にこれに電子化された微地形分類図と組み合わせることにより、微地形分類ごとの被害率も算出することができる。これらの電子データのクロス集計により、微地形分類、管路属性である管種、口径、継手種類の各要因と被害率の関係を分析した。

②多変量解析

管路の被害予測式においては被害率が目的変数となるが、被害率には微地形分類、地震動強さ、管路属性である管種、口径、継手種類の各要因が複雑に影響し合っているので、それぞれの要因が被害率にどの程度影響しているのかを、多変量解析によって定量的に分析した。本解析では目的変数である被害率が量的変数であるので、数量化理論第Ⅰ類による多変量解析とした。

5) 管路被害予測式の提案

管路被害予測式の構築に当たっては、従来の被害予測式と同様に、標準被害率に各要因の補正係数を掛けることによって、管路毎の被害率を算出する手法を採用することとした。

C. 研究結果

1. 基幹水道施設の機能診断手法の検討

1.1 水道施設機能診断マニュアルの作成

「水道施設機能診断の手引き」における診断手法をベースに、浄水施設等の機能診断手法及び管路の機能診断手法を確立し、「水道施設機能診断マニュアル」としてとりまとめた。

本マニュアルにおける機能診断手法の概要は以下のとおりであり、また実施手順を図39に示す。

機能診断対象は、取水、導水、浄水、送水、配水の各施設及びこれらを構成する管路・設備である。機能診断は施設種別ごとに設定されているカルテシートを用いて実施する。具体的な手順は、必要資料を整理したのちカルテシート-1によって「全体機能評価」を行い、各施設の現況機能の概要を把握する。次にカルテシート-2を用いて「管路・設備別機能評価」を行い、機能の劣る管路・設備の抽出を行う。更に、カルテシ

ート-3によって、抽出された管路・設備それぞれに「改善必要度」を算出し、改善の優先順位を付ける。最後に、カルテシート

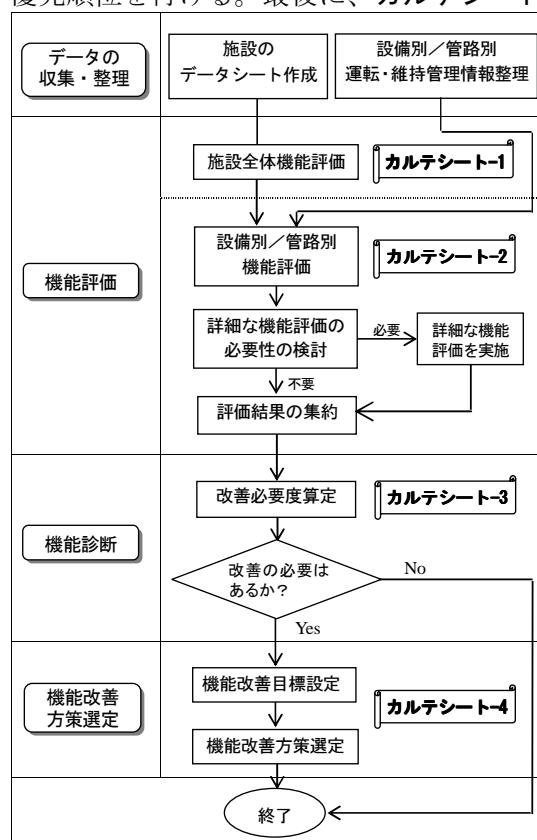


図 39 機能診断等の実施手順

-4 を用い、改善が必要と判断された管路・設備の改善方策の選定を行う。

本研究においては、上述の機能診断手法の確立とともに機能評価・診断作業のためのカルテシート-1からカルテシート-3、及び機能改善方策を選定するためのカルテシート-4を作成した。さらに、機能診断マニュアルには、機能診断の内容の理解と確実・適切な実施に資するように、機能診断を実施する上での留意事項、解説を追加・充実するとともに“よくある質問 (FAQ)”を追加した。

1) 全体機能評価 (カルテシート-1)

全体機能評価については、取水・導水・浄水・送水・配水の施設ごとに評価指標を設定し、施設全体の包括的評価を可能とし、機能低下が生じている施設、設備群、管網等を抽出できるものとした。

評価指標は、施設更新に必要な最小限の指標を用いる簡便な「クイック評価」と、

維持管理等を含めた総合評価が可能な「標準評価」の2つの評価タイプに区分し、人的・経済的に余裕がなく保有データ数の少ない事業体においても、前者によって一定の機能評価・診断が可能となるように工夫を施した。

また、水道施設は、管路もその構成要素として一体的に機能するものであることから、浄水施設等と管路は1つの全体機能評価シートで評価することとした。

図40に取水施設の全体機能評価結果(標準評価)の表示例を示す。

区分	PI/手引 No.	評価指標	得点	グラフ
安心	13	水質汚染リスク	3点	
安定	8	取水可能率	1点	
安定	11	緊急時取水対応度	2点	
安定	12	濁水発生リスク	3点	
安定	16	取水事故・故障リスク	3点	
安定	17	停電リスク	3点	
安定	2208	ポンプ所耐震施設率	3点	
安定	2216	自家発電設備容量率	3点	
持続	14	水源管理充実度	3点	
持続	15	取水施設経年度合	2点	

図40 取水施設の全体機能評価結果の表示例(標準評価)

2) 設備別/管路別機能評価(カルテシート-2)

設備別/管路別機能評価は、浄水施設等に関する設問を設定し、日常管理における個別設備及び管路ごとに、機能状況に関する知見・経験を基に適切な回答(評価区分)を選択することによって、個別の設備及び管路の機能状況の定量評価を行うこととした。

設備別機能評価用のカルテシート-2は、評価対象の設備を表9に示すとおりとして29種類のシートを作成した。管路別機能評価用のカルテシート-2は「埋設管路用」と「水管橋用」の2種類を作成した。

表9 機能評価対象設備リスト

・取水施設	取水堰・取水塔・取水門ほか、集水埋管・井戸、沈砂池
・浄水施設	着水井、薬品注入設備、凝集池、沈殿池、急速ろ過池、緩速ろ過池、膜ろ過設備、浄水池、消毒設備、エアレーション設備、粉末活性炭設備、粒状活性炭吸着設備、オゾン処理設備、生物処理設備、排水池・排泥池、濃縮槽、天日乾燥床、脱水設備
・送配水施設	配水池・調整池、ポンプ設備(取導水用を含む)
・機械、電気、計装	受変電設備、自家発電設備、配電・動力設備、計装設備、監視制御設備
・場内配管	場内配管

図41に埋設管路のカルテシート-2の一部を示す。

これらのカルテシート-2の設問に対して回答(評価区分)を選択することによって、機能低下が生じている要因や設備、構成資機材、管路等を抽出することができる。

分類	No.	詳細設問	評価区分	判定点	評価点 (50点満点)	合計点 (100点満点)
漏水	A	管(本体・継手)の漏水事故及び漏水修繕件数は? (第三者による破損等の場合は除く)	3:1度もない 2:記録に残していないが、分かっている範囲で事故はない 1:1度ある 0:複数回ある	1	17/50	42/100
	B.1	布設してからの経過年数は?	2:20年未満 1:20~39年、又は【不明の場合】 0:40年以上	0	25/50	
	B.2	金属管の場合は外面腐食対策、又は樹脂管の場合は必要な外面損傷対策(砕石等の突起による管体破損への対策)を行っているか?	2:区間内全て対策済み(ボリスリーブ・外面被覆・電気防食等の腐食対策、又は砕石等を含まない砂埋戻し等) 1:一部の箇所対策がなされていない、又は【不明/該当なしの場合】 0:全く対策をしていない	2		
	B.3	外部荷重や地盤沈下等の影響はないか? ※1	2:ほとんど影響はない 1:一部影響のおそれがある、又は【不明/該当なしの場合】 0:影響のおそれが大きい	1		
	B.4	特別な事項 (内容:)	2:良い(ほとんど問題はない) 1:普通(問題は少ない、大きな問題はない) 0:悪い(問題が多い) 3:全くない	0		
水質	A	この区間の管路が原因で赤水・濁水の発生、夾雑物(異物・シールコート)の混入、有機溶剤等による異臭味などの事故の発生があるか?	2:記録には残していないが、分かっている範囲で事故はない 1:1度ある 0:複数回ある	2	33/50	
	B.1	他の区間に比べ、サビコ等による残留塩素消費は極端に大きくないか?	2:記録には残していないが、分かっている範囲で問題がある、又は【不明/該当なしの場合】 1:ある時期(季節や昼夜の差)や一部の箇所(露出管路)で問題がある、又は【不明/該当なしの場合】	2		

図41 埋設管路のカルテシート-2の例(一部)

3) 設備別／管路別改善必要度算出（カルテシート-3）

設備別／管路別改善必要度は、機能低下が生じている設備、構成資機材、管路等に対して、機能に支障が生じた場合の影響度合を評価し、影響度合に応じた機能改善の必要性を判断するものであり、狭義の「機能診断」ともいわれるものである。影響度合は、影響の「範囲」・「期間」及び支障発生「可能性」のそれぞれを評価し、これらの評価結果の幾何平均値として求められる。

$$\text{改善必要度} = \left(\frac{\text{①範囲} \times \text{②期間}}{\text{影響のボリューム}} \right) \times \left(\frac{\text{③可能性}}{\text{発生確率}} \right)$$

なお、設備別改善必要度算出では、影響度合を評価するための判定基準を、事例を紹介しながら示し、それを参照しながら影響度合を評価できる。また、管路の改善必要度の算出では、影響項目ごとに設問と回答（評価区分）を用意し、適切な回答を選択することによって行うことができる。

表 10 に設備別改善必要度における影響度判定基準の一例を、図 42 に管路の改善必要度算出のためのカルテシート-3 の例（一部分）を示す。また、図 43 に診断手法の妥当性の確認結果の一例を示す。これは本診断手法を用いて評価された管路の改善優先順位と、ケーススタディ実施事業者が独自に詳細診断を行って評価していた既存の改善優先順位とを比較したものである。両者はおおむね一致し、本手法の診断結果の妥当性が確認された。小規模事業者など、ほかのケーススタディにおいても同様の結果を得た。

表 10 影響度判定基準の一例

評点	物理的影響A（影響を受ける給水件数）
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	給水に影響を与える可能性がある。 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」

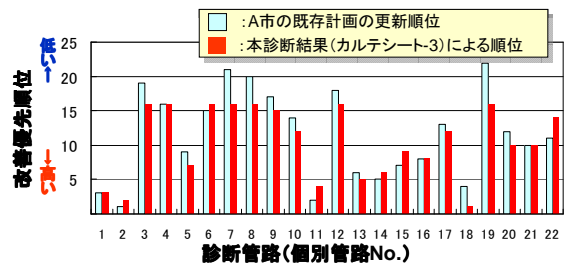


図 42 本診断手法による優先順位と詳細診断による優先順位との比較結果

4) 機能改善方策選定（カルテシート-4）

機能改善方策選定の作業は、機能低下が生じている要因や設備、構成資機材、管路等に関する複数の改善方策の中から、最も効果的・合理的で経済的にも優れた方策を選定するものである。簡便で的確な改善方策選定のための評価項目を採用するとともに、選定作業の際の判断を容易にするため、具体的な改善方策例やカルテシート-4 の記入例を記載した。

No	詳細設問	評価区分	判定点	点数内訳	改善必要度 (100点満点)
シート2 評価点	機能改善が必要な項目数は？ (合計点50点以下)	4点:4項目すべて 3点:3項目 2点:2項目	1点:1項目 0点:なし	3	60/100
給水 影響	影響範囲は大きいか？	4点:極大 3点:大 2点:中、又は【不明の場合】	1点:小 0点:極小	4	
老朽化 影響	年代管種別の経年化レベルは？	別表4参照		2	
社会的 影響	対象区間が該当する下記の項目数は？ ○地域防災計画等に位置づけ…への給水ルート ○防災拠点・避難所…への給水ルート	4点:4項目以上 3点:3項目 2点:2項目	1点:1項目 0点:なし	4	

図 43 管路のカルテシート-3 の例（一部分）

5) 水道施設機能診断マニュアル

水道施設機能診断マニュアルは、前述 1)～4)のカルテシートを網羅するとともに、機能診断を実施する上での留意事項や説明を追加・充実するとともに、「よくある質問 (FAQ)」を追加し、より使い易いマニュアルとした。

1.2 評価点自動計算ソフトの作成

機能診断作業を簡便化するため、評価点自動計算ソフト及び使用説明書を作成した。

1) 評価点自動計算ソフト

水道施設機能診断マニュアルを用いた機能診断の作業を容易にするため、評価点自動計算ソフト「**これは楽々、機能診断**」を作成した。本ソフトを用いることにより、施設全体機能評価から機能改善必要度算定までの診断作業に伴う評価点の算出等を、必要項目を入力することによって自動で行うことができる。なお、機能改善方策の選定については、自動計算になじみにくいため、本ソフトでは対象外としている。

2) 使用説明書

水道施設機能診断マニュアルとは別に、評価点自動計算ソフトの使用説明書を別冊としてとりまとめた。本説明書は計算ソフトの作業手順のみならず、作業ごとにマニュアルにおける位置づけが明確となるよう配慮した。

2. 地震による管路被害の予測等

2.1 被害予測手法の課題に関するアンケート調査

1) 被害予測実施済み事業者向けアンケート調査

アンケート調査 37 事業者のうち、34 事業者から回答を得た。回答結果を整理し、以下に示す項目で現在の状況や問題点を抽出した。その内容の主な特徴を示す。

- ①被害予測の対象管路を任意に設定している場合は、ほとんどが口径によって対象管路を設定している。
- ②配水支管等、応急復旧等で十分対応が可能である管については、被害予測を行っていない事業者が多い。
- ③被害予測式の繁雑さから地盤情報等の補正を考慮しないで被害予測を実施している事業者も確認された。

④被害予測式を構築するに当たり改善・考慮してほしい要望が多くあった項目は次のとおりである。

- ・各管種の継手の取り扱い (ダクタイル鋳鉄管、鋼管、塩ビ管の継手別の扱い)
- ・地盤区分の扱い
- ・液状化区分の扱い

⑤現在、各事業者が使用している被害予測式の改善対策として、管種や口径及び地形や地盤に関する補正係数と液状化について別途、係数を設定し対応付けを行い、被害予測式に適用できるよう独自にカテゴリライズするという事例があった。

⑥被害予測評価のメッシュサイズは「250 mメッシュ」「500mメッシュ」が多く使用されている。これは、地形・地盤、液状化に関する情報を県や市町村の防災計画から入手しており、そのメッシュサイズに合わせているためである。

⑦被害予測の利用形態としては、管路更新計画や内部資料、議会説明用として主に活用している。

⑧ほぼすべての事業者において、被害予測結果はマッピングシステムとは別のシステムを構築している。

2) 被害予測未実施事業者向けアンケート調査

アンケート調査対象であるセンター会員 227 事業者のうち、171 事業者から回答を得た。回答結果を整理し、以下に示す項目で現在の状況や問題点を抽出した。その内容の主な特徴を示す。

- ①管路属性の管理については、事業者規模を問わず、多くの事業者において、管種・口径・継手・布設年について管理していることが確認された。また、管種別継手形式に関する管理状況は、約 85%の事業者が DIP を継手形式ごとに管理している。
- ②管路の耐震化計画等を実施している事業者は全体の 2 割弱であるが、約 8 割の事業者で策定予定中や将来的に実施したいという要望が確認された。
- ③被害予測を実施していない場合の更新の優先順位は、「管種」、「経過年数」、「事故歴」、「重要管路」を基準に決めている。
- ④被害予測の実施範囲については、「基幹管路となる導送配水本管レベル」までとする意見と、「配水支管レベル」まで必要

との意見が多くあった。

2.2 想定地震動の評価

想定地震断層が与えられた場合の各地点における想定地震動強さの評価手法は、既に多くの研究者によって提案されているが、自治体の地震防災計画等に用いられている手法について整理、分析した。この結果、以下のことが明らかとなった。

- ①工学的基盤面における地震動強さをまず求め、そこから地表面までの増幅特性を考慮して地表面における地震動強さを求める手法を用いている場合がほとんどである。
- ②それぞれ、詳細法と簡易法の2とおりがあるが、近年、計算に必要なパラメータが少なく簡易に求められる手法が多く用いられている。
- ③地震動強さとして最大加速度を採用しているものが多いが、管路被害との相関が高いと言われている最大速度も採用している場合がある。

2.3 管路被害データベースの構築

管路被害データを収集するに当たり、平成16年新潟県中越地震、平成19年新潟県中越沖地震の水道管路被害データを収集・分析したが、小口径管の布設延長が長く、被害数も小口径管に多いことから、大口径管の被害予測にはこれらのデータだけでは十分でないことが明らかとなった。このため、平成7年兵庫県南部地震における神戸市、芦屋市、西宮市の被害データを改めて精査し、データベースに追加した。それらをGIS上の管路図に被害地点としてプロットするとともに、管路属性である管種、口径、継手種類、メッシュごとの微地形分類、地震動強さを入力し、管路被害データベースを構築した。

データサンプル数は、兵庫県南部地震2,170、新潟県中越地震277、新潟県中越沖地震491の合計2,938である。

2.4 データ解析

クロス集計と多変量解析の両方に用いる管路の延長として、図44に管種別布設延長、図45に口径別布設延長を示す。なお、「兵庫県」は、兵庫県南部地震における神戸市、

芦屋市、西宮市のデータ、「新潟県」は、新潟県中越地震における旧長岡市、小千谷市、及び新潟県中越沖地震における柏崎市、刈羽村のデータであり、「合計」は、これらの合計である。

なお、今回クロス集計及び多変量解析の対象外とした兵庫県南部地震における宝塚市と能登半島地震のデータは、被害予測式の精度を検証するために用いることとしている。

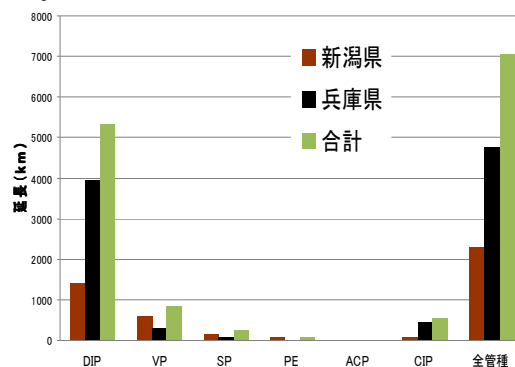


図44 管種別の布設延長

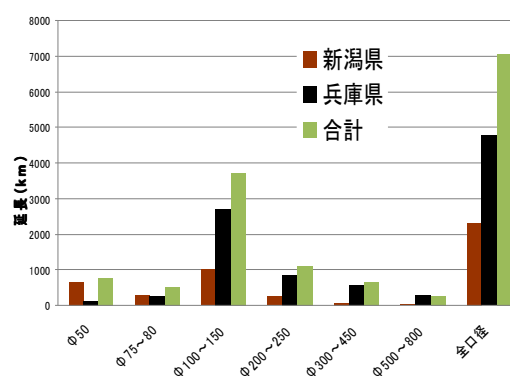


図45 口径別の布設延長

1) クロス集計による被害分析

被害率を微地形分類、管種、口径、継手種類ごとに算出し、それぞれの要因がどのように被害に関与しているのかを分析した。

分析結果として、図46に微地形分類と被害率の関係、図47に口径と被害率の関係、図48に管種と被害率の関係、図49に継手種類と被害率との関係を示す。

2) 多変量解析

250mメッシュ内の管種、口径、微地形分類ごとの被害率を目的変数として解析を行うので、メッシュ内の布設延長が短いと、被害が少数でも被害率は大きな値となる。

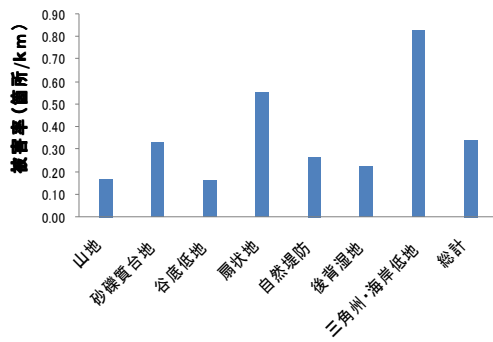
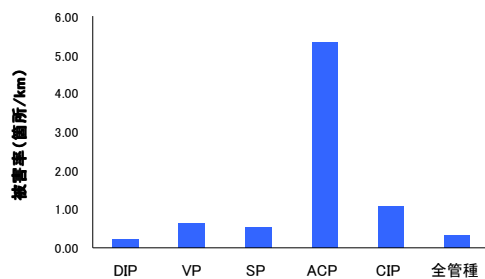


図 46 微地形分類と被害率の関係



※ACPは布設延長が短い参考のため掲載した
PEは布設延長、被害サンプルがともに少ないため除外した

図 47 管種と被害率の関係

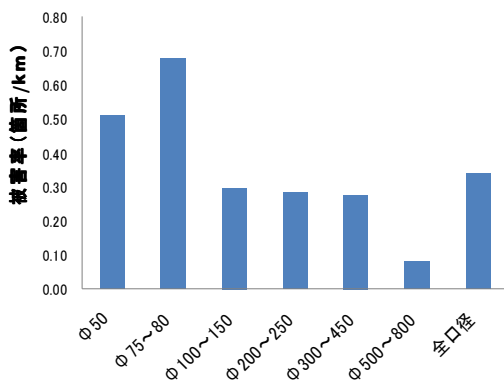
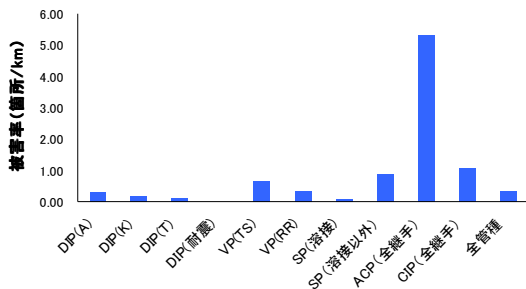


図 48 口径と被害率の関係



※ACPは布設延長が短い参考のため掲載した
PEは布設延長、被害サンプルがともに少ないため除外した

図 49 継手種類と被害率との関係

このことを確認するために、本データベースに基づく被害率と1メッシュ内における布設延長との関係でまとめると図50のようになる。

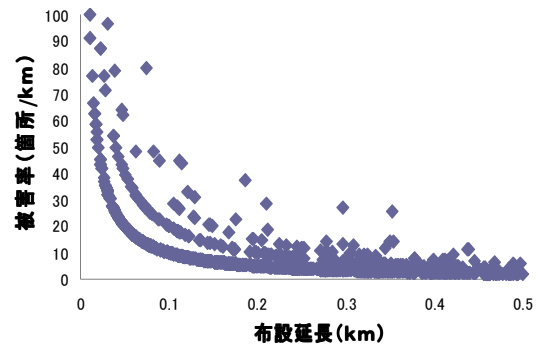


図 50 1メッシュ内の布設延長と被害率 (箇所/km) との関係

この図から、布設延長が短いと1箇所被害が発生しただけで被害率が10箇所/kmを超える場合が数多くあることが分かる。

被害率と布設延長とは力学的には無関係であるが、本研究で用いる被害率の定義とメッシュを用いた分析という手法に起因して、強い相関が生じていることが分かる。

そこで、この影響を排除するため、本来は無関係であるはずの1メッシュ当たりの布設延長も被害率を説明する変数として扱うことにした。

要因を管種、口径、微地形、布設延長としたときの多変量解析の結果を表11に示す。それぞれの要因が被害率に寄与している程度の大きさを偏相関係数が表しているが、この表によれば、布設延長が被害率に最も大きく寄与し、管種、微地形が続いている。

表11の「Ci」は、被害予測式の補正係数に相当し、「比較」の欄は基準となるものを1.0として基準化したときの補正係数の値である。したがって、表11は、他の条件が同じであれば、VP(塩化ビニル管)の被害はDIP(ダクタイル鉄管)の約2倍、CIP(普通铸铁管)のそれはDIPの約3倍であることを示している。

PE(ポリエチレン管)とACP(石綿管)が解析不能となっているのはサンプル数が1つのみであったことによる。すなわち、

表 11 多変量解析の結果
(管種、口径、微地形、布設延長)

	カテゴリスコア	サンプル数	偏相関係数	Ci	比較	
管種	DIP	1	-0.19	468	0.65	1.00
	VP	2	0.10	232	1.27	1.96
	SP	3	-0.28	27	0.52	0.80
	PE	4	-2.01	1	解析不能(注1)	
	ACP	5	14.49	1	解析不能(注1)	
	CIP	6	0.31	194	2.02	3.12
口径	Φ50	1	0.16	161	1.44	1.11
	Φ75~80	2	-0.28	112	0.53	0.41
	Φ100~150	3	0.11	436	1.30	1.00
	Φ200~250	4	-0.14	128	0.73	0.56
	Φ300~450	5	-0.13	75	0.74	0.57
	Φ500~900	6	-1.52	11	0.03	0.02
微地形	砂礫質台地	1	-0.52	231	0.30	0.16
	谷底低地	2	-0.75	68	0.18	0.10
	扇状地	3	0.27	336	1.85	1.00
	自然堤防	4	0.84	41	6.86	3.70
	後背湿地	5	-0.03	70	0.94	0.51
	三角洲・海岸低地	6	0.28	177	1.88	1.02
布設延長	0.1~0.2	1	4.30	221	解析不適(注2)	
	0.2~0.3	2	0.30	209	2.00	1324.255347
	0.3~0.4	3	-0.76	136	0.18	115.7020826
	0.4~0.5	4	-1.77	91	0.02	11.29008646
	0.5以上	5	-2.82	266	0.00	1

注1 PE, ACPについてはサンプル数不足のため解析不能
注2 1メッシュ当たりの延長不足のためばらつきが大きく解析不適

重相関係数 = 0.59

表 12 多変量解析の結果
(管種の継手種別、口径、微地形、布設延長)

	カテゴリスコア	サンプル数	偏相関係数	Ci	比較	
管種継手	DIP(A)	1	-0.25	271	0.57	1.16
	DIP(K)	2	-0.31	67	0.49	1.00
	DIP(T)	3	0.14	105	1.39	2.86
	VP(TS)	4	0.14	215	1.39	2.84
	VP(RR)	5	-1.12	10	0.08	0.16
	SP(溶接)	6	-2.86	4	解析不能(注1)	
	SP(溶接以外)	7	0.18	24	1.50	3.08
	PE(全継手)	8			解析不能(注1)	
	ACP(全継手)	9	14.38	1	解析不能(注1)	
	CIP(全継手)	10	0.24	194	1.72	3.52
口径	Φ50	1	0.06	155	1.15	0.70
	Φ75~80	2	-0.27	112	0.53	0.33
	Φ100~150	3	0.21	423	1.63	1.00
	Φ200~250	4	-0.23	122	0.59	0.36
	Φ300~450	5	-0.39	69	0.41	0.25
	Φ500~900	6	-1.30	10	0.05	0.03
微地形	砂礫質台地	1	-0.50	223	0.32	0.18
	谷底低地	2	-0.85	65	0.14	0.08
	扇状地	3	0.26	333	1.80	1.00
	自然堤防	4	0.92	40	8.33	4.63
	後背湿地	5	-0.33	60	0.47	0.26
	三角洲・海岸低地	6	0.38	170	2.38	1.32
布設延長	0.1~0.2	1	4.13	230	解析不適(注2)	
	0.2~0.3	2	0.11	221	1.28	1705.66
	0.3~0.4	3	-0.93	140	0.12	157.45
	0.4~0.5	4	-2.03	87	0.01	12.57
	0.5以上	5	-3.13	213	0.00	1.00

注1 SP(溶接), PE, ACPはサンプル数不足のため解析不能
注2 1メッシュ当たりの延長不足のためばらつきが大きく解析不適

重相関係数 = 0.57

図 50 に示されるように、1メッシュ当たりの延長が短くなるほど被害率のばらつきが大きくなり、解析に適さないからである。表 11 の延長 0.1~0.2km の欄が解析不適となっているのは、このばらつきの大きさの影響で Ci が非常に大きくなっていることを示している。

表 12 に管種の継手種別を考慮した多変量解析の結果を示す。この表においても、SP(鋼管)の溶接継手と PE、ACP はサンプル数不足のため解析不能となっている。また、延長 0.1~0.2km の欄が解析不適となっているのは、表 11 と同じ理由である。

2.5 管路被害予測式の提案

分析の結果及び既存の知見を踏まえて新たな地震による管路被害予測式を提案した。管路被害予測式を以下に示す。

標準被害率算出式

$$R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}$$

R(v) : 標準被害率 [件/km]

v : 地震動の地表面最大速度 (cm/s)

(ただし、 $15 \leq v < 120$)

地震による管路被害予測式

$$R_m(v) = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$$

R_m(v) : 推定被害率 [件/km]

C_p, C_d, C_g : 補正係数

また、被害予測式に用いる各補正係数を表 13 に示す。

表 13 管路被害予測式に用いる補正係数

管種・継手	C_b	口径	C_d
DIP(A)	1.0	φ 50-80	2.0
DIP(K)	0.5	φ 100-150	1.0
DIP(T)	0.8	φ 200-250	0.4
CIP	2.5	φ 300-450	0.2
VP(TS)	2.5	φ 500-900	0.1
VP(RR)	0.8		
SP(溶接)	0.5/0		
SP(溶接以外)	2.5		
ACP	7.5		
管が布設されている微地形			C_g
液状化の情報を有していない場合 又は 液状化の可能性がない場合			
山地 山麓地 丘陵 火山地 火山山麓地 火山性丘陵			0.4
砂礫質台地 ローム台地			0.8
谷底低地 扇状地 後背湿地 三角州・海岸低地			1.0
自然堤防 旧河道 砂州・砂礫州 砂丘			2.5
埋立地 干拓地 湖沼			5.0
液状化の情報を有しており かつ 液状化の可能性有りの場合			
全微地形分類			6.0

既往の予測式は管種別にその被害率が算出されるものであったが、管路被害は継手構造にも大きく影響されることが明らかになっており、今回提案した予測式では継手構造の違いにも対応している点が特徴のひとつである。さらに、水道事業者が簡易に被害予測を行えるように、被害予測式を組み込んだ計算ソフトを作成した。

2.6 管路被害予測式の精度検証

兵庫県南部地震における宝塚市の被害データを用いて被害予測式の精度を検証した。

検証方法は、宝塚市の地形図を 1 メッシュ当たりの予測被害件数に応じて 5 種類 (0~5 件 (以下同じ)、5~10、10~15、15~20、20~25) に色分けし、その上に管網図と実際の兵庫県南部地震における被害地点をプロットし、予測結果と実被害件数との整合性を判定した。

宝塚市における検証結果を図 50 に示す。

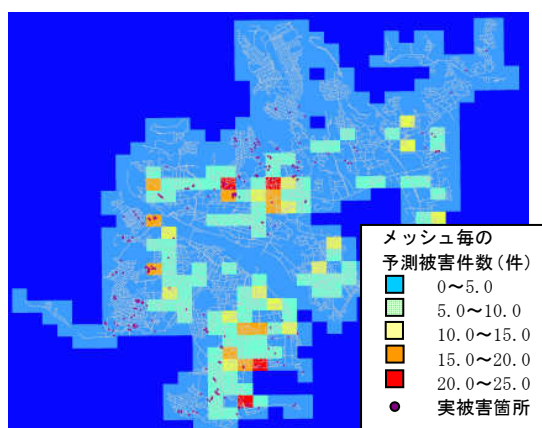


図 50 被害予測式の精度検証結果(宝塚市)

0 件の箇所は管路がなく、検討対象外の区域を示している。

この図から、被害予測件数が比較的多い箇所に実被害があることが分かる。しかし、予測被害件数が小さいにもかかわらず、実際の被害が多く発生している箇所もある。その原因として、現在の土地利用方法やメッシュでは表現できない旧地形、すなわち、団地造成による地盤改変地などの影響を受けていると考えられる。したがって、メッシュでは表現されていない地盤情報のある地域に関しては、本研究で作成した被害予測式を用いて精度の高い予測を行うことは難しいことが分かった。

液状化の発生地点が多かった新潟県中越沖地震における柏崎市においても検証を行った。国土交通省が行った航空写真判読による液状化地点と管路被害地点を比較し、微地形による補正係数との関係を考察した。

その結果、液状化が発生した地域の微地形別補正係数が小さい場合には予測被害件数が小さくなり、危険側に予測することが明らかとなったので、表 7 に既に示したように、液状化による補正係数を加えることとした。

D. 考察

1. 基幹水道施設の機能診断手法の検討

1.1 水道施設機能診断マニュアルの作成

大規模及び中小規模事業者におけるケーススタディやヒアリングを実施して課題の

抽出及びその改善を図りながら、基幹水道施設の機能診断手法を開発し、「水道施設機能診断マニュアル」として成果をとりまとめた。特別かつ高度な技術を要することなく、日常管理の経験を基に現況機能の評価できることから、大規模及び中小規模のすべての水道事業体等において利用できる、有効かつ汎用的な機能診断手法を開発できた。

1.2 評価点自動計算ソフトの作成

大規模及び中小規模事業体におけるケーススタディを通じて、評価点自動計算ソフトの課題抽出と改善を行い、活用し易い計算ソフトの構築が実現できた。

2. 地震による管路被害の予測等

提案した管路被害予測式の妥当性の検討として、水道事業体の管網に適用し、兵庫県南部地震と能登半島地震による被害とそれぞれ比較した。その結果、被害予測結果は実際の被害と良い対応を示しており、被害予測式の妥当性が確認された。

特に、提案した管路被害予測式の地形別補正係数は、既に公開されている J-SHIS の微地形分類に対応しており、微地形分類に液状化の起こりやすさも反映されているので、液状化発生予測図を用いなくとも、精度よく被害を予測できることが確かめられた。さらに、詳細な液状化発生予測図を利用する場合には、液状化補正係数を導入することで、被害予測の精度が向上することが明らかとなった。

E. 結論

浄水部門及び管路部門ともに、当初計画どおり各種の調査・実験及びマニュアルの作成等を行った。

具体的には、膜処理の性能向上及び維持管理の高度化、紫外線処理の適用の拡大に関する検討を行った。また、新たな管路の地震被害予測手法を提案するとともに、水道施設機能診断マニュアルを作成した。

1) 浄水部門

- ・ ファウリング発生機構、膜構造及び膜素材、逆洗効果等の観点から研究を行い、

低ファウリング特性を有する浄水膜の開発に資する、基礎的な知見を得ることができた。

- ・ 膜ろ過浄水施設の維持管理に関する水道事業体の課題を把握することができた。また、中空糸膜の損傷検出、薬品洗浄に関する基礎的な知見を得ることができた。これらの知見を基に「膜ろ過浄水施設維持管理高度化マニュアル(案)」をとりまとめた。
- ・ 地表水以外の水への適用における紫外線処理設備維持管理マニュアルを作成した。紫外線照射は、濁度除去が良好に行われていれば、原水が地表水であってもクリプトスポリジウム等対策に有効であること、また、塩素代替・マルチバリアとしても一般的な消毒性能が担保できることが分かった。

2) 管路部門

- ・ 取水から配水までの水道施設全体を診断するための水道施設機能診断マニュアルを作成し、併せて診断作業を容易にする評価点自動計算ソフトも作成した。これらの活用により、老朽化施設の更新事業を推進することが望まれる。
- ・ 本研究では、近年の地震による管路被害を収集しデータベースを作成し、それを分析することにより、新たな管路の地震被害予測手法を開発した。これまでの管種のみから継手構造の違いも考慮した、利用しやすく精度の良い被害予測手法を構築することができた。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

- ・ Yamamura, H., Okimoto, K., Kimura, K., Watanabe, Y., Influence of calcium on microfiltration membrane fouling caused by hydrophilic fraction of natural organic matter、2009、

- Submitted to Water Research
- Ohno K, Matsui Y, Itoh M, Oguchi Y, Kondo T, Konno Y, Matsushita T, Magara Y. NF membrane fouling by aluminum and iron coagulant residuals after coagulation-MF pretreatment. *Desalination* 2010; 254: 17-22.
 - Kageyama K, Takemoto T, Tadokoro H, Itoh M. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA* 2010; 59(6-7): 384-391.
 - Wang, F., Cheng, Q., Highland, L., Miyajima, M., Wang, H. and Yan, C.: Preliminary investigation of some large landslides triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan Province, China, *Landslides*, Vol.6, No.1, 2009.5.
 - 天野幹大、「水道技術研究センターにおける耐震化対策の取り組み」、水道協会雑誌 vol79, No.3, March 2010
2. 学会発表
- 片桐健, 大向吉景, 丸山達生, 曾谷知弘, 松山秀人, 「水処理用中空糸膜の膜表面構造と膜ファウリングの相関に関する研究」, 2009, E122, 化学工学会第74年会
 - 片桐健, 大向吉景, 丸山達生, 曾谷知弘, 松山秀人, 「中空糸膜のファウリング特性における膜表面構造の影響」, 2009, A-9, 日本膜学会第31年会
 - 片桐健, 大向吉景, 丸山達生, 曾谷知弘, 松山秀人, 「水処理用中空糸膜の表面構造制御によるファウリング特性への影響」, 2009, S11-P02, 分離技術会年会 2009
 - Takeshi Katagiri, Yoshikage Ohmukai, Tatsuo Maruyama, Tomohiro Sotani, Hideto Matsuyama, "Effect of surface morphology of hollow fiber membrane on membrane fouling property," 2009, P8-2, The fifth conference of aseanian membrane society.
 - Kimura, K., Yamamura, H., Watanabe, Y., Evolution of physically irreversible fouling in an MF membrane filtering river water: a two-step fouling mechanisms, 2009, The Fifth Conference of Aseanian Membrane Society
 - Matsuno, H., Yamamura, H., Kimura, K., Watanabe, Y., Measurements of adhesion force between proteins and membranes by using atomic force microscopy (AFM), 2009, The Fifth Conference of Aseanian Membrane Society
 - Rajabzadeh Saeid, Nikenya Ryo, Ohmukai Yoshikage, Maruyama Tatsuo, Matsuyama Hideto, Preparation and characterization of PVDF/PVP blend hollow fiber membrane via thermally induced phase separation (TIPS) method, 化学工学会第75回年会、A124 (2010).
 - 笹口真幹, 山村寛, 木村克輝, 渡辺義公, 逆洗を行う中空糸膜における膜長さ方向のファウリング進行度の分布, 第45回日本水環境学会年会; 2011. 3. 18-20; 北海道, 同講演集, 2011, p. 224
 - Fujiwara M, Inada Y, Asaka Y, Takashima W, Itoh M, 4-S Approach for evaluation of advanced water treatment technology. In: IWA World Water Congress and Exhibition; 2010 Sep; Montréal, Canada
 - 古林祐正, 伊藤雅喜, 山田俊郎, 南方則之, 堀野秀一, 佐藤研一郎, 松井佳彦. パイロットスケールプラントにおける高塩基度 PAC を用いた浄水処理に関する検討. 第44回日本水環境学会年会; 2010. 3. 15-17; 福岡. 同講演集. 2010. p. 188.
 - 照井義秀, 松浦博司, 青江洋典, 伊藤雅喜. 浄水場更新におけるアセットマネジメント活用手法の検討. 第61回全国水道研究発表会; 2010. 5; 新潟. 同講演集. 2010. pp. 64-65
 - 古林祐正, 伊藤雅喜, 山田俊郎, 南方則之, 堀野秀一, 佐藤研一郎. パイロットプラントにおける濁度急変による浄水処理への影響に関する実験的検討. 第61回全国水道研究発表会; 2010. 5; 新潟. 同講演集, 2010, pp.262-263
 - 原敬一, 三井康弘, 高嶋渉, 鈴木泰博, 安藤茂, 藤原正弘, 水道における紫外線照射装置の導入状況と維持管理上の留

- 意点、第60回全国水道研究発表会講演集、2009、pp.186-187
- 畑中哲夫、藤原正弘、小泉明、細井由彦、船橋五郎、「水質劣化に着目した老朽管路診断・評価技術に関する研究」、第60回全国水道研究発表会講演集、2009、pp.266-267
 - K.Tsuji, Y.Kobayashi, K.Ishii, M.Fujiwara, Assessment on Improvement of Service Level with Performance Indicator “Ratio of earthquake-resistant pipe”, 第8回水道技術国際シンポジウム講演集、2009、pp.566-581
 - 原敬一、安藤茂、藤原正弘、「紫外線照射装置の構造及び維持管理」、京都大学環境衛生工学研究会第31回シンポジウム講演論文集、2009、pp.61-64
 - 原敬一、藤原正弘、安藤茂、高嶋渉、三井康弘、神子直之、大瀧雅寛、浅見真理、紫外線照射試験による副生成物量の評価、第61回全国水道研究発表会講演集、2010、pp.188-189
 - 高嶋渉、藤原正弘、安藤茂、三井康弘、原敬一、神子直之、大瀧雅寛、浅見真理、紫外線処理における副生成物の状況、第13回日本水環境学会シンポジウム、2010、p.184
 - 高嶋渉、植木茂、神子直之、大瀧雅寛、安藤茂、藤原正弘、中小規模水道事業者のろ過池管理の現状と紫外線処理適用の検討、第62回全国水道研究発表会講演集、2011（予定）
 - 天野幹大、鈴木泰博、藤原正弘、「老朽化した水道施設の機能診断」、京都大学環境衛生工学研究会第31回シンポジウム講演論文集、2009、pp.65-68
 - Y.Kobayashi、Y.Takahashi、T.Kamada、K.Koizumi、M.Fujiwara, Corrosion Assessment of Aging Drinking Water Pipes by Impact Elastic-Wave Method, 3rd IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, 2009, USBmemory
 - M.Amano, Y.Suzuki, M.Fujiwara, Activities Related to Earthquake-proofing of Drinking-water Infrastructure in the Japan Water Research Center, 第6回日米台地震ワークショップ、2009
 - T.Takeuchi, Current Situation and Issues of Water Distribution Pipes in Japan : Activities of JWRC(Japan Water Research Center), 第6回蘭日水技術ワークショップ、2009
 - H.Taniguchi, The Replacement of Aging Water Pipes in Japan, 2nd K-water International Symposium, 2009
 - 小寺翼、神子直之、安井宣仁、紫外線消毒における水中共存物質の不活化速度への影響に関する検討、第44回日本水環境学会年会講演集、2010年、p.285
 - 余川雄一、神子直之、安井宣仁、塩素・紫外線処理の消毒効果当たりのトリハロメタン生成量の検討、第44回日本水環境学会年会講演集、2010年、p.282
 - Tsubasa KODERA, Naoyuki KAMIKO, Sensitivity analysis of inactivation of Cryptosporidium by medium pressure ultraviolet lamps. Pacifichem, 2010 (web公開)
 - 成瀬武善、笠木邦雄、森本幸裕、神子直之、高線量の測定を目的としたリアルタイム RT-PCR法の適用、第45回日本水環境学会年会講演集、2011、p.175
 - 常喜貴法、神子直之、塩素・紫外線組み合わせ処理におけるトリハロメタン生成量に関する検討、第45回日本水環境学会年会講演集、2011、p.480
 - 小寺翼、神子直之、阿部龍之介、植良俊郎、地表水に対する紫外線消毒効果の従属栄養細菌による評価、第45回日本水環境学会年会講演集、2011、p.482
 - 小寺翼、神子直之、清水聡行、山越裕司、安藤茂、藤原正弘、従属栄養細菌を用いた紫外線照射の効果に与える濁度の影響に関する検討、第62回全国水道研究発表会講演集、2011（予定）
 - 大瀧雅寛、流通式UV装置内の照射量分布の測定手法、第12回日本水環境シンポジウム講演集、2009、p.21
 - 色川聡子、大瀧雅寛、廣畑歩美、紫外吸光スペクトルの中圧UVランプ消毒処理への影響、第44回日本水環境学会年会、2010、p.72
 - 色川聡子、大瀧雅寛、蛍光強度を利用したUV線量計の開発、第45回日本水環境学会年会講演集、2011、p.174
 - 大瀧雅寛、色川聡子、藤原正弘、安藤茂、低圧および中圧紫外線ランプによる消毒効果の低減率および変動幅の推定、第

62 回全国水道研究発表会講演集、2011
(予定)

- FUJISAKI Miho, IROKAWA Satoko, OTAKI Masahiro, Development of chemical dosimetry for UV flow reactor using fluorescence analysis, Proc. of IWA-ASPIRE, 2011 (予定)
- 天野幹大、藤原正弘、鈴木泰博、高橋裕介、打越聡、「水道施設機能診断マニュアル(管路編)の開発ー管路の機能診断手法の検討ー」、第61回全国水道研究発表会講演集、2010、pp.278-279
- W. Adachi, M. Amano, Y. Suzuki and M. Fujiwara, Development of Performance Assessment Method for Drinking Water Infrastructure, 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, 2011 (予定)
- 宮島昌克、藤原正弘、武内辰夫、高橋裕介、上松瀬将弘、「新たな地震被害予測手法の開発に関する研究」、第62回全国水道研究発表会講演集、2011(予定)
- 降矢拓也、宮島昌克、熊木芳宏、「近年の地震被害を考慮した上水道管路の被害予測式に関する研究」、第29回自然災害科学会学術講演；2010.9；会講演概要集、2010、pp.159-160

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

該当なし

研究体制

厚生労働科学研究費補助金による
「健康リスク低減のための新たな浄水プロセスに関する研究」

膜処理ワーキンググループ名簿

研究代表者	藤原 正弘	(水道技術研究センター)
研究分担者	安藤 茂	(水道技術研究センター)
	鈴木 泰博	(水道技術研究センター)
	伊藤 雅喜	(国立保健医療科学院) 平成 22 年度
	松山 秀人	(神戸大学) 平成 21 年度、平成 22 年度
	木村 克輝	(北海道大学) 平成 21 年度、平成 22 年度
研究協力者	石橋 良信	(東北学院大学)
	伊藤 雅喜	(国立保健医療科学院) 平成 20 年度、平成 21 年度
	松山 秀人	(神戸大学) 平成 20 年度
	木村 克輝	(北海道大学) 平成 20 年度
	菅野 隆	(神奈川県企業庁)
	木下 雅行	(東京都)
	大槻 訓宏	(福知山市)
	新谷 一馬	(三次市) 平成 20 年度
	土山 幸雄	(三次市) 平成 21 年度、平成 22 年度
	小川 高史	(旭化成ケミカルズ株式会社)
	白土 雅孝	(オルガノ株式会社)
	堤 行彦	(株式会社クボタ)
	西尾 弘伸	(株式会社神鋼環境ソリューション)
	惣名 史一	(水道機工株式会社)
	環 省二郎	(株式会社東芝)
	森川 則三	(株式会社西原環境テクノロジー)
	館 隆広	(株式会社日立製作所) 平成 20 年度
	武本 剛	(株式会社日立製作所) 平成 21 年度、平成 22 年度
	川口 昌己	(前澤工業株式会社)
	青木 伸浩	(メタウォーター株式会社)
	高嶋 渉	(水道技術研究センター)
	桐ヶ谷 富夫	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	岡野 茂	(水道技術研究センター) 平成 21 年度
	勝山 信春	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	稲田 吉一	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	渡部 英	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	安積 良晃	(水道技術研究センター) 平成 22 年度

紫外線処理ワーキンググループ名簿

研究代表者	藤原 正弘	(水道技術研究センター)
研究分担者	安藤 茂	(水道技術研究センター)
	鈴木 泰博	(水道技術研究センター)
研究協力者	神子 直之	(立命館大学) 平成 21 年度、平成 22 年度
	大瀧 雅寛	(お茶の水女子大学) 平成 21 年度、平成 22 年度
	浅見 真理	(国立保健医療科学院)
	神子 直之	(立命館大学) 平成 20 年度
	大瀧 雅寛	(お茶の水女子大学) 平成 20 年度
	川崎 勇次	(八戸圏域水道企業団)
	小林 紀人	(神奈川県企業庁)
	藤岡 一人	(熊本市水道局)
	岩崎 達行	(日本紫外線水処理技術協会)
	府中 裕一	(日本紫外線水処理技術協会) 平成 20 年度
	山越 裕司	(日本紫外線水処理技術協会)
高嶋 渉	(水道技術研究センター)	
三井 康弘	(水道技術研究センター)	
原 敬一	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度	
植木 茂	(水道技術研究センター) 平成 22 年度	

厚生労働科学研究費補助金による
「基幹水道施設の機能診断及び地震による管路被害の予測等に関する研究」

機能診断ワーキンググループ名簿

研究代表者	藤原 正弘	(水道技術研究センター)
研究分担者	谷口 元	(水道技術研究センター)
研究協力者	鎌田 敏郎	(大阪大学)
	坂田 博文	(宇部市ガス水道局)
	牟田 義次	(豊中市上下水道局)
	三浦 正秀	(長崎市上下水道局)
	藤原 敏司	(岡山市水道局)
	坂田 昭典	(神戸市水道局)
	井津元 寛史	(株式会社クボタ)
	岸本 圭司	(株式会社栗本鐵工所)
	木村 雅夫	(クボタシーアイプラテック株式会社)
	小島 賢一郎	(積水化学工業株式会社)
	川口 周作	(日鉄パイプライン株式会社) 平成 20 年度
	青柳 成彰	(日鉄パイプライン株式会社) 平成 21 年度、平成 22 年度
	長嶺 浩	(JFE エンジニアリング株式会社)
	鈴木 泰博	(水道技術研究センター)
	小林 保雄	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	高橋 裕介	(水道技術研究センター) 平成 21 年度、平成 22 年度
	辻 研吾	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	畑中 哲夫	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	名井 孝治	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	長島 昌之	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	天野 幹太	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	横山 健	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	有村 良一	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	足立 渉	(水道技術研究センター) 平成 22 年度

地震被害予測ワーキンググループ名簿

研究代表者	藤原 正弘	(水道技術研究センター)
研究分担者	武内 辰夫	(水道技術研究センター)
	宮島 昌克	(金沢大学)
研究協力者	熊木 芳宏	(神戸市水道局) 平成 20 年度、平成 21 年度
	坂田 昭典	(神戸市水道局) 平成 22 年度
	帆苺 洋	(新潟市水道局)
	角田 道夫	(長岡市水道局)
	山田 和正	(呉市水道局)
	井津元 寛史	(株式会社クボタ)
	岸本 圭司	(株式会社栗本鐵工所)
	片桐 信	(クボタシーアイブラテック株式会社) 平成 20 年度
	木村 雅夫	(クボタシーアイブラテック株式会社) 平成 21 年度、平成 22 年度
	伊澤 義博	(フジ地中情報株式会社)
	鈴木 剛史	(積水化学工業株式会社)
	神崎 真美	(日鉄パイプライン株式会社)
	青柳 成彰	(日鉄パイプライン株式会社) 平成 22 年度
	中島 良和	(JFE エンジニアリング株式会社)
	鈴木 泰博	(水道技術研究センター)
	小林 保雄	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	高橋 裕介	(水道技術研究センター) 平成 21 年度、平成 22 年度
	辻 研吾	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	畑中 哲夫	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	名井 孝治	(水道技術研究センター) 平成 20 年度
	長島 昌之	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	天野 幹太	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	横山 健	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	有村 良一	(水道技術研究センター) 平成 20 年度、平成 21 年度
	打越 聡	(水道技術研究センター) 平成 22 年度
	上松瀬 将弘	(水道技術研究センター) 平成 22 年度