

厚生労働科学研究費補助金

健康科学総合研究事業

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

平成17年度 総括・分担研究報告書

主任研究者	中村	文雄
分担研究者	杉山	俊幸
分担研究者	松井	佳彦
分担研究者	長岡	裕
分担研究者	伊藤	雅喜

平成18(2006)年3月

厚生労働科学研究費補助金
健康科学総合研究事業
給水末端における水質および給水装置・用具機能の異常監視と管理に関する研究
平成17年度 総括・分担研究報告書

目 次

I. 総括研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究 1
中村 文雄

II. 分担研究報告書

II-1 給水末端の水質監視手法に関する研究；

1. トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発 17
松井 佳彦 鎌田 素之
2. 水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討「I」 25
中村 文雄

II-2 給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究；

1. 音・振動等異常現象の検出システムの構築とその実用化
ー水撃作用発生時の音に関する特性についての把握及びこれの
ファジイ判定システムへの組み込みー 51
杉山 俊幸
2. 貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法
に関する基礎的研究 87
長岡 裕
3. 逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究 99
伊藤 雅喜 酒井 一夫

II-3 給水末端システムの管理方法に関する研究；

1. 給水末端での取得情報の活用方法 125
中村 文雄 若松 亨二

I. 総括研究報告書

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)
総括研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

主任研究者 中村 文雄 財団法人給水工事技術振興財団技術アドバイザー

研究要旨

水道水質基準は、給水末端の給水栓において満たされるべきものである。しかし、現在までに、給水装置・用具の経年劣化や工事ミス等による給水末端での水質劣化や漏水の発生が数多く報告されている。また、貯水槽水道とりわけ小規模貯水槽水道等においては、水質検査やその維持管理の実行率が必ずしも十分でない状況にある。一方、先に公表された水道ビジョンでは、「水道水源から給水栓に至るまで徹底した衛生管理が行えるような統合的な水質管理を実現する」としているが、この水道ビジョンの実現に向けては、上記のような状況を改善しなければならない。

このような観点に立って、本研究では、①給水末端（貯水槽式給水、直結直圧・直結増圧給水）における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理方法の研究を行っているが、これらの研究・開発により、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を計り得ると期待される。

本年度は、異常濁度の検出方法の検討・異常判断の補完システムに関する検討や、給水システム内の振動・音・水量・逆流防止装置の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討を行うと共に、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討に向けて、給水末端で取得可能なデータの整理と管理システムのあり方・取得データに基づく異常判定や異常予測への活用方法の検討を行った。

分担研究者

杉山 俊幸 山梨大学工学部土木環境工学科教授
松井 佳彦 北海道大学大学院工学研究科環境
創生工学専攻教授
長岡 裕 武蔵工業大学工学部都市基盤工学
科助教授
伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水
道計画室長

における水質や給水装置・用具等の異常監視方法を確立すると共に、維持管理システムを構築する必要がある。

このような観点から、本研究では、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を目的として、①給水末端における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理・リスク管理方法の研究を行う。

A. 研究目的

水道水質基準は、給水末端の給水栓において満たされるべきものであるが、現在までに、給水末端での水質劣化や漏水の発生が数多く報告されており、また、とりわけ小規模貯水槽水道等においては、水質検査やその維持管理の実行率が必ずしも十分でない状況にある。

このような状況を改善する為には、給水末端に

B. 研究方法

本研究は、別表1に示すように、学識者、水道事業者および民間企業からなる「給水末端における水質および給水装置・用具機能の異常監視と管理に関する研究委員会」を設置し、研究計画その他に関して審議・検討を重ねた上で研究を実施している。3カ年計画の1年目にあたる本年度は、異常濁度の検出方法の検討・異常判断の補完システムに関する予備的検討や、給水システム内の振動・

音・水量・逆流防止装置の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討を行うと共に、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討に向けて、給水末端で取得可能なデータの整理と管理システムのあり方・取得データに基づく異常判定や異常予測への活用方法の検討を行った。

(倫理面への配慮)

水質の監視方法の研究や給水装置・用具の機能不全監視方法の研究は、各研究分担者の実験室で実施する物理化学的実験であり、倫理的問題は発生しない。さらに、水道水質変動態様の調査・解析や、給水末端システムの管理方法の研究では、公表された文献・データ等を活用して調査・解析を実施するため、倫理面への配慮については、特に必要性はないと考えている。

C. 研究結果

本研究における各分担研究者の研究は、①給水末端での水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理方法の3研究に大別できるが、その研究成果の概要は下記の通りである。

1. 給水末端における水質監視手法に関する研究

1.1 トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発

給水管と同一径の管型セルにより流水状態で水道水の透過光と散乱光濁度の測定可能なトレンド出力濁りモニタを用い、給水管内を想定した水質異常の検出模擬実験を行った。ここでは、「さびこぶ」を粉砕した粉末(粒径;3種)・カオリン・珪藻土を濁質として用いた模擬実験と、意図的に「さび粒子」を浮遊させた実環境下に近い状態での模擬実験とを行った。

その結果、(1)濁質の種類と粒径に関しては、添加する物質の粒径により透過光は大きく変化し、粒径が大きいくほど振幅が大きく変化した。また、濁度1度・1分間添加を反復した時の測定値は、珪藻土が最も小さく、1分間の濁度変化率で0.683であった。(2)「さび粒子」を浮遊させた実環境下に近い状態での模擬実験では、「1分間」「2分間」「5分間」「10分間」における濁度変

化率の4指標のうち何れか一つが1分間濁度変化率=0.683を超えた場合を水質異常と定義する時、意図的に発生させた全ての水質異常を検出することができ、比較的緩やかな水質の変化にも対応できることが明らかとなった。

1.2 水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討

この研究では、多くの水道事業体における水道水質のバックグラウンド変動の態様を把握して、水質異常判定における閾値設定のあり方に関して検討すると共に、給水以前における「閾値補正の可能性の有無」の検討を行う事を主たる目的としている。

本年度は、自動水質測定器による連続的計測を行っている都市Pの水道事業体を調査対象として、平成14~16年度の3年間の①水道水質の変動態様、②水道水質変動推定の可能性、③水道水質変動と変動幅などの検討を行った。

検討の結果、(1)各給水栓での3年間の平均水質は、濁度=0.02度、電気伝導率=132.3 μ S/cm、色度=0.363度、残留塩素=0.471mg/Lであった。

(2)原水の水温・pH・濁度と河川流量を説明変数とする重回帰式により、電気伝導率および残留塩素の経日変動はかなりの精度で推定できるが、濁度・色度の推定精度は低く、浄水工程関連項目を変数に付加する必要性が示唆された。(3)水道水質推定値とその標準偏差を基準とする水道水質の変動幅について検討した結果、濁度や色度においては、平均的に、「理論値+20~30 σ 」の変動幅の範囲内にあり、電気伝導率や残留塩素においては、それぞれ、「理論値 \mp 3 σ 」、「理論値 \mp 11 σ 」の範囲内に収まっている事が認められた。

2 給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究

2.1 音・振動等異常現象の検出システムの構築と

その実用化—水撃作用発生時の音に関する特性についての把握、および、これのファジイ判定システムへの組み込み—

本研究では、一般家屋内での水撃作用の発生を比較的簡単に検知できる方法(システム)を開発・確立することを目的としている。

平成17年度の研究では、電磁弁で給水を急閉止することにより発生する音、および、人為的に与え

た衝撃による給水管近傍の音の収録・解析を行い、ファジィ演算を用いて、水撃作用発生の有無を判定するシステムの構築を試みた。

その結果、(1)住宅Aで発生する水撃作用による音に対しては約9割の精度で水撃作用の発生の有無を判定できた。(2)住宅Aで作成したファジィ判定システムを他の3軒の住宅に適用したところ、その判定精度は約7割であった。判定精度が低下した原因として、各住宅で発生する水撃音にはそれぞれ違いがあり、住宅Aのデータだけを基に作成した判定システムでは十分な判定精度が得られないものと考えられた。また、住宅Aでの実験での結果、評価項目の1つである「最大振幅」は流量に影響を受け易いことが明らかとなった。したがって、音に基づく判定精度は、振動に基づく判定精度より劣ることが明らかとなった。

2.2 貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法に関する基礎的研究

本研究は、貯水槽水道における集合住宅内の給水管ネットワーク内における漏水や逆流などの水量異常を検出する方法の開発を目的としている。

実験は、5階建て建物（受水槽式）の1階の蛇口付近に流量計、圧力計を設置し、センサの上流側で意図的に漏水を発生させ、水を流し続けた状態で受水槽から蛇口までの管路における「損失水頭係数 λ 」を計算・解析を行った。

研究の結果、(1)流量が少なくなるほど漏水量の占める割合が多くなる事、(2)漏水量の占める割合が大きくなる $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 未満では、係数 λ 値は漏水の存在により大きくなること、(3) $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 未満の小流量において、蛇口における流量と損失水頭係数 λ の「ばらつき」の大きさは、漏水の程度により差が生じていること、(4)平均流量 $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ のときの損失水頭係数の頻度分布を正規分布により回帰した結果、流量が小さく、漏水の割合が大きい条件では、漏水の程度により頻度分布の形状に差が生ずることが明らかとなり、従って、小流量の条件における損失水頭係数を常時モニタリングすることにより、漏水の検出が可能であると示唆された。

2.3 逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に

関する研究

本研究では、逆流防止装置の異常検知を目的として、圧力・流量センサーを取り付けた装置の開発及び異常検知方法の検討と、効果的な異常監視を実現するための試作品も開発しようとしている。

今年度は、口径20mmの単式バネ式逆止弁3種類を研究対象とし、実験条件は、正圧;最大加圧 0.8 MPa 、逆圧;想定最大背圧 0.6 MPa 、負圧;最大負圧 -0.085 MPa (-85 kPa)とした。

実験の結果、(1)正圧下では、各製品固有の弁差圧（最低作動弁差圧）が存在し、針金噛み時にはこれより低い弁差圧で通水が認められた。(2)逆圧・負圧下で針金を噛み込ませた場合、負方向への弁差圧に比例して逆流量も一時的に増加し、一定の弁差圧を超えると逆流量が急激に減少する現象（降伏）が発生し、それ以上の逆流量は発生しなかった。(3)同一条件下では、製品前後の圧力状況によらず、降伏から正圧までの範囲ではほぼ一定の弁差圧ー流量特性を有していることと、その再現性を確認した。

これらのことから、通常設置下での逆止弁では、弁差圧と流量が検知可能であれば、両者の組合せによって器具の状況にある程度まで把握することが可能であると考えられた。また、弁体変位の検知方法にも検討を加え、渦電流式変位センサーを用いた試作品を作成した。

3 給水末端システムの管理方法に関する研究

本研究は、給水末端での水質や給水装置の異常等への対応を行うため、給水末端で取得可能なデータと管理システムのあり方、取得データに基づく異常判定や異常予測への活用方法、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備などの検討を行うことを目的としている。

本年度は、①給水末端での取得可能データの特性、処理方法、利用可能性等の共通視点での再整理、②データ取得から異常判定までのプロセスの検討、③関連・類似システムの事例等を参考にして、給水末端管理システムでの情報活用イメージの想定を行った。

給水末端システムでのデータ計測とその活用方法の検討を行った結果、(1)各分担研究の成果から水質・水圧・流量・給水装置の異常判定実現の可能性が高いこと、また、(2)そこで得られたデータの解析・蓄積による異常予測への応用も可能と考えら

れた。さらに、(3) それらの情報の活用を水道システム全体へ拡張することも可能であると考えられた。

しかし、様々な技術的な課題、水道システムにおける制度面での課題などが明らかとなった。

D. 考察

本研究の研究成果の概要は、上記Cに記載の通りであるが、この研究は3年計画の1年目に当り、基礎的な研究段階にある。

したがって、以下においては、本年度の研究過程で気付いた課題などの概要を整理しておくことにする。

1・給水末端における水質監視手法の検討

○トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発； 今後は、①長期運転におけるセルのメンテナンス時期を明確にするプロトコルの確立、②長期通水において発現する諸所の問題点の解決、③濁度以外の指標などについての検討が必要と考えられる。

○水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討； 水道水質の変動は、水源・原水や浄水方法その他の要因により変化する可能性が高いので、調査対象都市をより拡大して、普遍性の高い閾値設定のあり方の検討を行う必要がある。

2・給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究

○音・振動等異常現象の検出システムの構築とその実用化； 今後の課題としては、①「振動」と「音」のデータを併せて取り扱うことにより、ファジィ判定システムの精度を上げること、②スチール製以外の給水管の水撃作用発生時の振動および音特性の把握とそれに伴う判定システムの改良、③個々の住宅間の水撃音特性の違いを考慮すること、④最終的には、発生している水撃作用の危険度までも判定できるようなシステムとする検討が必要であると考えられる。

○貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法に関する基礎的研究； 日常の水の利用の調査結果では、0.4~0.5 ml/hの範囲で水が使われていることが分かり、この範囲は、漏水の有無を判断するためには難しい範囲と判断されていることから、今後は定常状態に至るま

での過渡状態(蛇口における流量に占める漏水量の割合が大きくなる範囲)で損失水頭係数 λ を算出し、この係数で漏水の有無の判断が可能か否かを引き続き検討する必要がある。

○逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究； 今後は、圧力状況の変化に伴う異物噛み状態の動的変化や弁変位の検知も加味した実験を行うとともに、形態の異なる逆流防止装置にも検討を加えて行く必要があると考えられる。

3・給水末端システムの管理方法に関する研究；

本年度の研究を通じて、様々な技術的な課題、水道システムにおける制度面での課題などが明らかとなった。今後は、それら課題の解決方法や、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討を行う必要があると考えられる。

E. 結論

本研究では、①給水末端における水質監視手法の検討、②給水装置・用具の機能不全監視方法、③給水末端システムの管理方法の研究を実施した。これらの研究から、以下の結論が導かれた。

「給水末端における水質監視手法の検討」では、(1)濁度変化率に基づく4指標により実験条件として与えた全ての水質異常を検出することができ、比較的緩やかな水質の変化にも対応できることが明らかとなった。また、(2)水道水質異常判断の補完システム構築の為の予備的検討から、水道水質変動の実際値と推定値に基づく水道水質の変動幅と閾値設定の可能性が明らかになった。

一方、「給水装置・用具の機能不全監視方法」に関する研究では、(3)水撃作用および人為的衝撃による給水管近傍の音の収録・解析とファジィ演算を用いて判定するシステムの構築を試みた結果、水撃作用による音に対する判定精度は約7~9割であり、「振動」と「音」のデータを併せて取り扱うことにより、ファジィ判定システムの精度を上げ得ると考えられた。また、(4)意図的に漏水を発生させ、水を流し続けた状態において受水槽から蛇口までの管路における摩擦等の損失に関わる「損失水頭係数 λ 」を計算・解析した結果、小流量の条件における損失水頭係数を常時モニタリングすることにより、漏水の検出が可能であることが示唆された。さらに、(5)の単式バネ式逆止弁を対象とし

て、器具の前後にそれぞれ圧力及び流量センサーを取り付けた器具を開発し、正常及び異物噛みを想定した状態で正圧・逆圧・負圧時の圧力・流量データを収集・解析した結果、通常設置下での逆止弁では、弁差圧と流量が検知可能であれば、両者の組合せによって器具の状況のある程度まで把握することが可能であると考えられた。また、弁体変位の検知方法として渦電流式変位センサーを用いた試作品を作成した。

さらに、「給水末端システムの管理方法」に関する研究では、①水質・水圧・流量・給水装置の異常判定実現の可能性が高いこと、②そこで得られたデータの解析・蓄積による異常予測への応用も可能、③それらの情報の活用を水道システム全体へ拡張することも可能であると考えられた。

以上のように、着実な成果が得られつつあるが、今後、更に、これら研究を更に発展させることにより、より安全性の高い給水システムの構築と、より確実な給水システムの維持管理・リスク管理が可能となるものと考えられる。

F. 健康危険情報

特に記載する事項なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

特に記載する事項なし。

2. 学会発表

各分担研究報告書にも個別に記載してあるが、それらを 2005 年⇒現時点の順にまとめて、以下に示す。

(1) 既発表

- 1) 杉山俊幸、林栄次、中村文雄、松本正文： ファジ理論を用いた水撃作用検出システムの構築、土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集 VII-004、2005. 9、CD-ROM proceedings.
- 2) M. Sobu, H. Nagaoka, : Development of a simple defect-detector of water distribution system in buildings, 1st IWA-Aspire Conference and Exhibition, Singapore, 10-15 July, 2005, 14B-2, 2005
- 3) 蘇武政文, 石原健太, 長岡 裕: 建物内の給水シ

ステムの異常検出方法の開発、土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, 7-002, 2005

- 4) 蘇武政文, 石原健太, 長岡 裕: 受水槽給水システムにおける漏水及び水質異常検出のための基礎的検討, 第 56 回全国水道研究発表会講演集, 506-507, 2005
- 5) 蘇武 政文, 大谷 謙太, 長岡 裕: 受水槽給水方式における漏水検出方法の検討, 第 40 回日本水環境学会年会講演集, 268-268, 2006
- 6) 大谷 謙太, 蘇武 政文, 長岡 裕: 建物内の給水システムにおける異常検知方式の検討, 第 32 回関東支部技術研究発表会講演概要集, VII-15, 2006

(2) 発表予定

- 1) 中村文雄、林武治、服部伍郎：6 都市における給水事故発生 of 的周期的変動性・気温依存性：第 57 回全国水道研究発表会、(2006, 5、投稿中)

H. 知的財産権の出願・登録情報

特に記載する事項なし。

給水末端における水質および給水装置・用具機能の

異常監視と管理に関する研究委員会

委員名簿

(任期 平成17年4月1日～平成18年3月31日)

委員長

中村文雄 (財)給水工事技術振興財団技術アドバイザー

委員

伊藤雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長

杉山俊幸 山梨大学工学部土木環境工学科教授

松井佳彦 北海道大学大学院工学研究科教授

長岡裕 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科助教授

諏訪勝 東京都水道局給水部給水装置課長

石井則行 横浜市水道局建設部技術監理課長

井本芳宏 千葉県水道局技術部副技監兼給水課給水装置室長

山川泰二 全国管工事業協同組合連合会技術参与

酒井一夫 給水システム協会技術委員

Ⅱ. 分担研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

主任・分担研究者	中村	文雄
分担研究者	杉山	俊幸
分担研究者	松井	佳彦
分担研究者	長岡	裕
分担研究者	伊藤	雅喜

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)
分担研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

主任・分担研究者 中村文雄 財団法人給水工事技術振興財団 技術アドバイザー
分担研究者 杉山俊幸 山梨大学工学部教授
分担研究者 松井佳彦 北海道大学大学院工学研究科教授
分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学工学部助教授
分担研究者 伊藤雅喜 国立保健医療科学院水道計画室長

研究要旨

本研究は、大別して、①給水末端（貯水槽式給水、直結直圧・直結増圧給水）における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理方法の研究を行って、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を図る事を目的としている。

本年度は、異常濁度の検出方法の検討・異常判断の補完システムに関する予備的検討や、給水システム内の振動・音・水量・逆流防止装置の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討を行うと共に、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討に向けての予備的検討を行った。その結果、「水質監視手法の検討」では、(1) 水道水濁度異常の判定根拠としての4指標の導入により水質異常を検出することができる事を明らかにした。また、(2) 水道水質異常判断の補完システム構築の予備的検討から、水道水質変動の実際値と推定値に基づく水道水質の変動幅・閾値設定の可能性が示唆された。一方、「給水装置・用具の機能不全監視方法」に関する研究では、(3) 水撃作用による音に対しする判定精度は約7~9割であり、「振動と音」のデータを併せて取り扱うことにより、ファジィ判定システムの精度を上げ得ることが示唆された。また、(4) 小流量の条件における損失水頭係数 λ を常時モニタリングすることにより、漏水の検出が可能であることが示唆された。さらに、(5) 通常設置下での逆止弁では、弁差圧と流量が検知可能であれば、両者の組合せによって器具の状況がある程度まで把握することが可能であると考えられた。また、弁体変位の検知方法として渦電流式変位センサーを用いた試作品を作成した。

さらに、「給水末端システムの管理方法」に関する研究では、(6) 給水末端の各種情報の活用を水道システム全体へ拡張することも可能であると考えられた。したがって、これらの研究をより発展させることにより、水利用の合理化・有効利用の目的に合致した安全性の高い給水システムの構築と維持管理・リスク管理が可能となるものと考えられた。

研究目的

水道水質基準は、給水末端の給水栓において満たされるべきものであるが、現在までに、給水末端での水質劣化や漏水の発生が数多く報告されており、また、とりわけ小規模貯水槽水道等においては、水質検査やその維持管理の実行率が必ずしも十分でない状況にある。このような状況を改善する為には、給水末端における水質や給水装置・用具等の異常監視方法および管理システムを構築する必要がある。

このような観点から、本研究では、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を目的として、①給水末端における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持・リスク管理方法の研究を行って、より安全性の高い給水システムの構築方法を研究する。

研究方法

本研究は、学識者、水道事業体および民間企業からなる「給水末端における水質および給水装置・用具機能の異常監視と管理に関する研究委員会」を設置し、研究計画その他に関して審議・検討を重ねた上で研究を実施している(総括報告の別表-1参照)。

本年度は3回の委員会を開催して、各研究分担者の研究計画、研究成果中間報告、最終報告に対して、委員会委員による審議・検討を重ねてきた。

(倫理面への配慮)

水質の監視方法の研究や給水装置・用具の機能不全監視方法の研究は、各研究分担者の実験室で実施する物理化学的実験であり、倫理的問題は発生しない。さらに、水道水質変動態様の調査・解析や、給水末端システムの管理方法の研究では、公表された文献・データ等を活用して調査・解析を実施するため、倫理面への配慮については、特に必要性はないと考えている。

研究結果

本研究では、表記の主要テーマについて各分担研究者がそれぞれ分担して研究を実行しているが、本年度においては、給水末端の水質監視方法に関する研究として、「トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発」、「水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討」の2テーマの研究を、給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究として、「音・振動等異常現象の検出システムの構築とその実用化ー水撃作用発生時の音に関する特性についての把握、および、これのフェイジ判定システムへの組み込み」、「貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法」「逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究」の3テーマ研究を、給水末端システムの管理方法に関する研究では「給水末端での取得情報の活用方法」の1テーマの研究、合計6つのテーマで研究を行った。

以下に、それらの研究成果をまとめて示す。

Ⅱ－１ 給水末端の水質監視手法に関する研究；

1. トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発

北海道大学大学院工学研究科 松井 佳彦

関東学院大学工学部 鎌田 素之

1. 背景と目的

現在、高度な浄水技術により水道原水中に含まれる懸濁質のほとんどが除去され、浄水場から送水されている。しかし、老朽化、腐食した配水管または給水管を通過することにより懸濁質が発生し、水質劣化がしばしば認められる。そのため、給水栓末端に簡易な装置を設置し、水質の変化を常時監視することで、事故、事件等によって生じる水質の異常な変動を含め検出することにより、水質異常を検知する技術の可能性について検討を行った。

今回検討に用いた濁りモニタは、光源として赤色LED680nmを使用し、内径13φフローセルにおいて光ファイバーより光を管内に照射し、90度散乱光と透過光を光ファイバーより入射しSi-フォトダイオードモジュールでアナログ電気信号に光電変換仕組みとなっている。これまでに得られている知見として、光電変換系を改良し、測定した結果、清澄な水道水を通水した場合、散乱光から得られる濁りは±1度/2分以内であり、濁りが1度以上の突発的な上昇があるような水質異常が検出可能であることが示された。また、水質異常の模擬実験として濁度1度の錯粉末を添加した際の濁り変化率は±1.37度/2分以上であった。

これらの知見を踏まえ、今年度は ①濁質の種類および粒径が水質異常検出に与える影響 ②実環境下に近い状況における連続運転による濁り検出と水質異常の判断について検討を行った。

2. 散乱光強度と濁度の関係

実環境に近い環境下で実験を行うために本年度装置を移設した。そのため実験施設の関係から新たに濁度と散乱光強度の関係について検討を行い、濁りモニタから得られる濁りとの関係を明らかにした。濁りモニタのセンサー部分に所定の濃度のホルマジン溶液を添加し、その際に出力される散乱光強度を測定した。ホルマジン溶液の濁度の測定には多項目迅速水質分析計DR4000（HACH社製）を用いた。結果、以下に示した式（1）が得られた。

$$y = 0.0308x + 0.2997 \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 y ：濁度モニタから得られる濁り、 x ：濁りモニタから得られた散乱光強度

透過光強度についても同様の検討を行ったが、添加したホルマジン溶液の濁度の違いに対応した変化は認められず、本研究においては散乱光強度のみの計測を行い、これを用いて濁りを給水管内の濁りを評価するものとした。

3. 濁質の種類と粒径が測定与える影響について

給水管内で検出される可能性の高い物質として、これまで実際に配水管内に生成したさびこぶを粉碎した懸濁質（以下さび濁質）を用いた水質異常模擬実験を行ってきた。濁りモニタの実用性を評価するという観点から、今回は粒径により3つに分類（以下さび濁質大，中，小）し実験を行い、粒径が濁度モニタから得られる濁りに与える影響について検討を行った。実験に用いたさび濁質大，中，小の有効径は、それぞれ0.09mm，0.27mm，0.50mmであった。また、事件、事故等において様々な物質が混入することを想定し、実際に生成したさび濁質以外の物質として、カオリン（はくとう土）、珪藻土を用いた。水質異常模擬実験を行った際の装置の構成は図1、写真1の通りである。この装置では、貯水タンク（1.5m×1.5m×2m）内に一旦水道水を貯水し、水位差によって通水を行う。貯水タンクから通水中、被験物質を所定の濃度に溶解させ、給水管途中よりポンプを用い微量流量50mL/minで添加し、水質異常を模擬した。被験物質添加濁度は多項目迅速水質分析計を用い、濁度として1度となるように調整し、実験を行った。さび濁質の粒径の違いによる濁りの変化を図2に示した。また、さび濁質小、カオリン、珪藻土を連続して添加した際に得られた濁りを図3に示した。

図2より、濁質の粒径が大きいほど計測される濁りも高くなり、測定される濁りの変動も大きかった。さび濁質添加中の濁りは、粒径の違いにより最大で約8倍、濁質添加中の平均濁度でも、粒径の違いにより約5倍の開きがあった。これは濁りモニタの問題だけでなく、濁質を添加するポンプを含めた添加装置の影響も考えられるが、散乱光を用いて濁りをモニタリングする際、粒径の影響を水質異常の検知に考慮する必要があること確認できた。また、図3より同濁度に設定して連続回添加した際に得られた1分間あたりの濁り変化率の平均は、さび濁質小では1.169、カオリンでは1.304、珪藻土では0.683であった。カオリン、珪藻土については粒径の測定は行っていないが、被験物質の違いにより得られる濁りに約2倍の差が認められることが確認された。

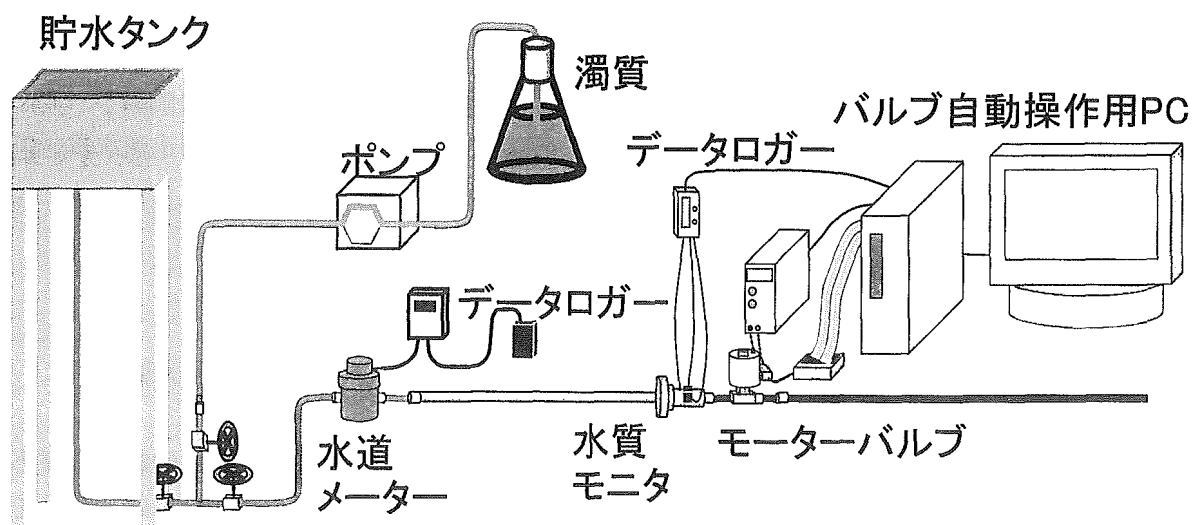


図1 実験装置の概要

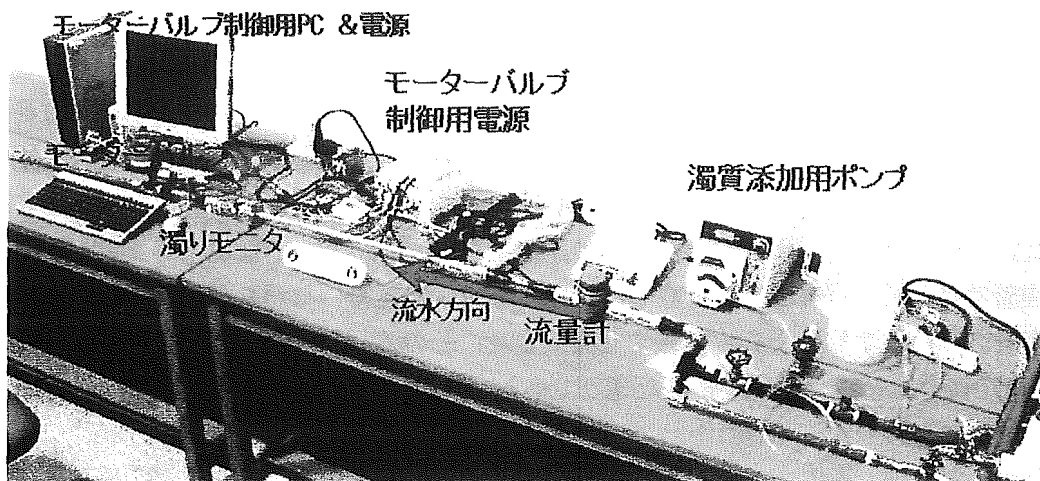


写真1 実験装置の概要

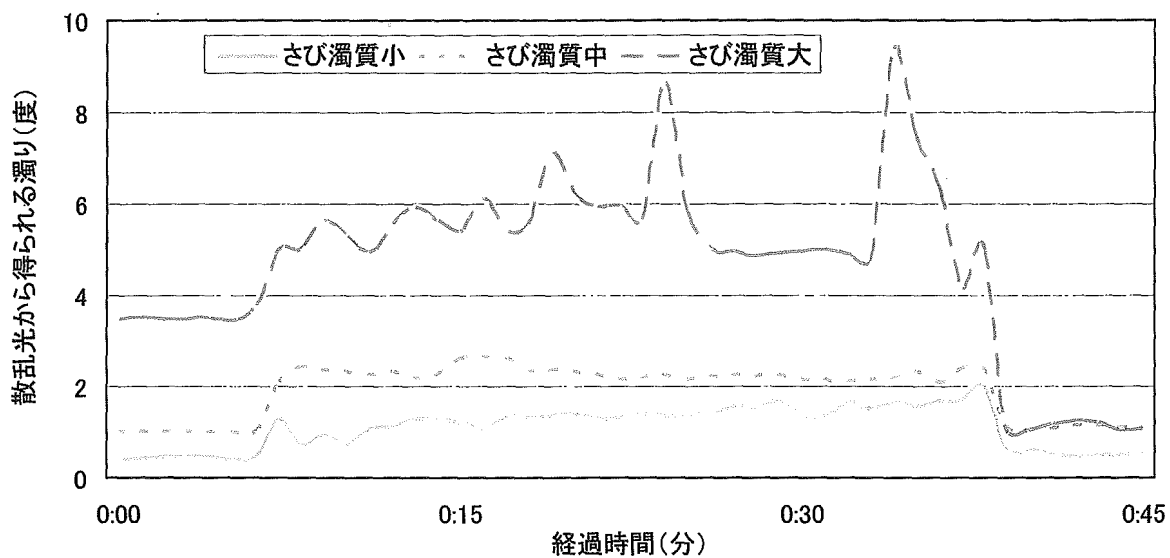


図2 濁質の粒径が異なる場合に得られる濁り

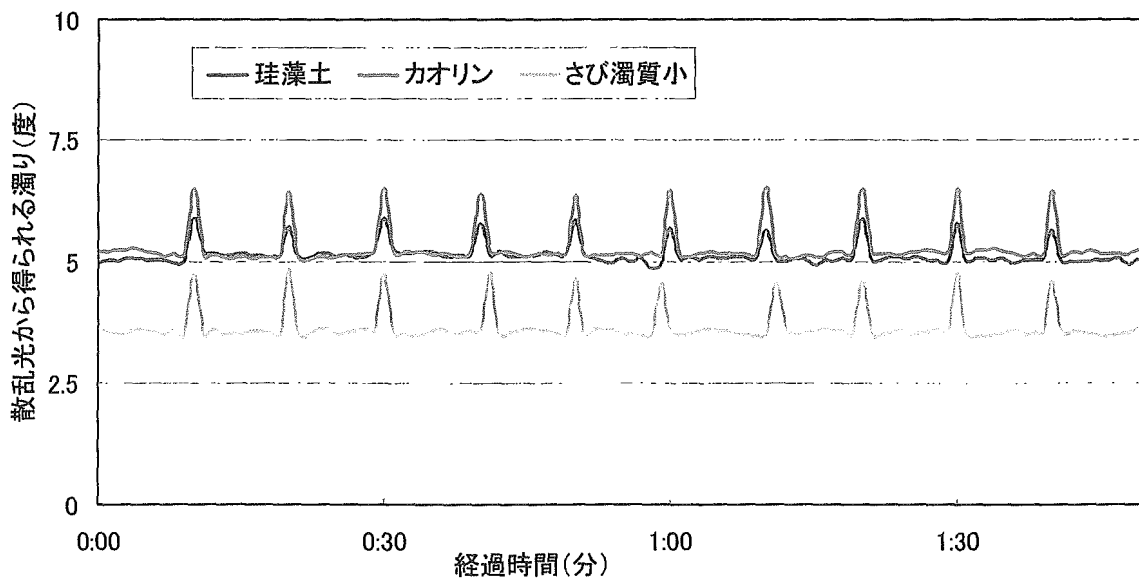


図3 濁質の種類が異なる場合に得られる濁り

4. 連続実験（バルブ開閉なし）

今回実験に使用した貯水タンクは設置から時間が経過し、内部に錆が生じている。水位を一定に保ち運転を行う場合、測定される濁りは給水栓から直接水道水を通水する場合と大差はなく、安定した濁りが観測されている。しかし、タンク内を意図的に攪拌する、もしくは、水位を急激に変動させることで、壁面および底面の錆が巻き上がり、明らかな濁りの上昇が観測される。本実験ではこれを水質異常と位置づけ、連続通水実験を行いながら意図的にタンク内を攪拌し、濁質の舞い上がりによる水質異常を発生させ、その際に観測される濁りを連続的に測定した。装置の概要は図1と写真1に示した通りである。水質異常を検知する指標として、今回、4つの指標について検討した。指標1として、1分間の濁り変化率の絶対値、指標2として、2分間の濁り変化量の絶対値、指標3として、5分間濁り変化量、指標4として、10分間濁り変化量を設けた。指標3として用いた5分間濁り変化量とは、測定された濁りから過去5分間（5データ）の測定値における最大値と最小値の差を示し、指標4として用いた10分間濁り変化量とは、同様に、10分間濁り変化率とは測定された値から過去10分間（10データ）の測定値における最大値から最小値の差を示している。また、これらの指標1~4において水質異常と判断する基準は、先の3章の検討において、濁度1度に調整した濁質を連続添加した際に、濁度モニタより得た1分間の濁り変化率の平均値として最も小さかった珪藻土の値0.683を基準とした。実験結果の一例として、濁度モニタから得られた濁りとこれを用い算出した指標1~4が基準値を超えた箇所およびタンクを攪拌した箇所を図4に示した。

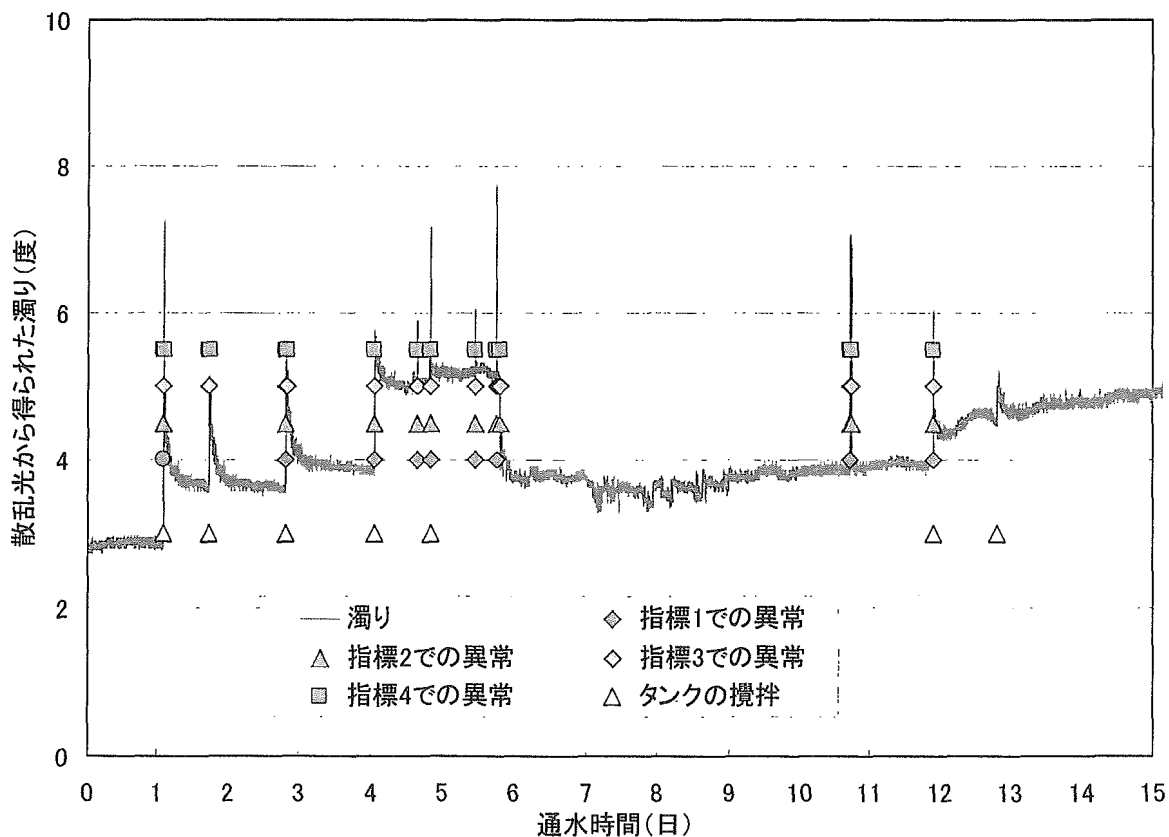


図4 バルブ開閉がない条件下における連続通水実験の結果

図4に示した約15日間の連続通水実験における平均濁りは4.11度、最大濁りは7.74度、1分間の濁り変化率の絶対値の平均は0.04度/min、最大は2.91度/minであった。その他の指標の平均値および最大値と基準を超え水質異常と認められた回数を表1に示した。連続通水実験中、計7回の攪拌を行い、意図的に錆濁質を混入させた。結果、攪拌が不十分で濁りの上昇が0.2程度であった最後の攪拌（経過時間約13日）を除いて、指標1～4のいずれか2つ以上の指標において、先に示した基準値0.683を超え、水質異常として検知できていることが示された。例えば2度目の攪拌（経過時間約1.8日）においては、指標3及び4のみが基準値を超え、水質異常を検知されており、一つの指標のみでは水質異常の検出が困難であることも分かった。また、人為的なタンク攪拌時以外にも見かけ上、明らかな突発的な濁りの上昇が認められるが、これらに関しても、指標1～4のいずれもが水質異常として検知していることも確認できた。

表1 バルブ開閉がない条件下における連続通水実験の概要

	測定期間における平均値	測定期間における最大値	基準を超えたデータ数
指標1	0.04	2.92	12
指標2	0.06	3.12	38
指標3	0.10	4.38	83
指標4	0.13	4.38	158

5. 連続実験（バルブ開閉あり）

先の実験に昨年同様、電動モーターバルブを設置し、バルブ開閉をコンピュータ制御することにより、実環境における水利用を考慮した連続通水実験を行った。バルブの開閉は家庭での一日の水の使用パターンが繰り返されると仮定し、予め作成したバルブの開閉パターンを1日毎に繰り返すことにした。バルブ開閉を加えた連続通水実験においても前章と同様に貯水タンクを人為的に攪拌し、貯水タンク内の錆が巻き上げ、模擬的な水質異常を発生させた。水質異常を検知する指標は前章と同様の指標1～4を用い、水質異常の評価を行った。連続通水実験の結果の一例を図5に示す。図5に示した約6日間の連続通水における平均濁りは6.51度、最大濁りは8.03度、1分間の濁り変化率の絶対値の平均は0.04度/min、最大は1.56度/minであった。その他の指標の平均値および最大値と基準を超え水質異常と認められた回数を表2に示した。連続通水実験中、計9回のタンクの攪拌を行い、意図的に錆濁質を混入させた。また、実験開始時から約1度の濁りの上昇が認められた3日目以降は、特に攪拌を行わず、バルブの開閉のみを行い、連続通水した。結果、水質異常に関しては、指標1～4について、基準値として0.683を与えることで、貯水タンクの意図的な攪拌によって生じた水質異常を指標1～4のいずれかによりすべて検知できた。今回、水質異常を指標1～4のすべてで検知している模擬的な水質異常は9回のうち4回にとどまり、先のバルブ開閉なしの場合と比較して、指標1で水質異常と判断されていないケースが多く認められた。特に、バルブが閉まっている際に発生させた模擬的な水質異常は、バルブが開くまでに時間差があり、測定される濁りもバルブ解放時に測定される模擬的な水質異常と比べて、小さいことがわかる。

今回、水質異常と判断するための基準値は、あくまで今回の試験を行った濁質の中で、濁度の1度に設定した濁質を通水した際の1分間の濁り変化率の平均の最小であるためこの数字に関しては、今後、更なる検討が必要ではある。しかし、1分間もしくは2分間といった比較的短い時間における濁り変化量もしくは変化率と5分間もしくは10分間といった比較的長い時間

における濁り変化量を組み合わせることで、模擬的な水質異常とバルブ開閉による濁りの変化を区別して捉えることができる可能性がある。

表 2 バルブ開閉がある条件下における連続通水実験の概要

	測定期間における平均値	測定期間における最大値	基準を超えたデータ数
指標1	0.04	1.56	9
指標2	0.07	1.69	29
指標3	0.11	2.01	107
指標4	0.15	2.24	219

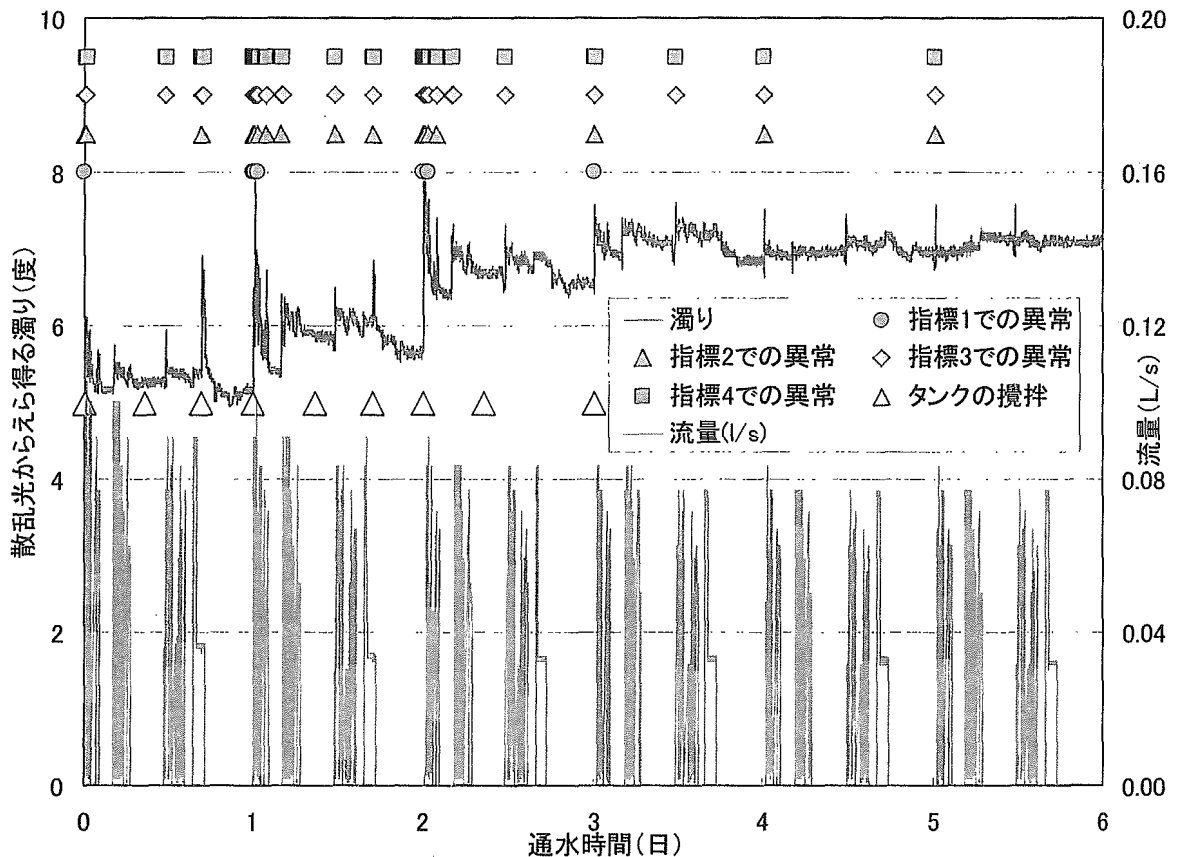


図 5 バルブ開閉がある条件下における連続通水実験の結果の結果

6. 検出部の洗浄およびメンテナンスに関する検討

本研究に用いた濁度モニタは廉価で幅広く利用可能な水質異常検出技術の開発を念頭においている。そのため、濁度ではなくあえて濁りと表現し、水質異常の評価に関しても、変化量もしくは変化率を指標として用いている。しかし、大幅にベースラインが上昇すると得られる濁りにも誤差が生じる可能性があり、一定のタイミングで検出部の洗浄を行う必要がある。本年度の検討事項として、当初、濁度1度に相当する濁りの変化を水質異常として捉えることを目標とし、また、この10倍である濁度10に相当する濁りを超えた時点での洗浄を含めたメンテナンスに関するアルゴリズムの提案を考えていた。しかし、約1ヶ月における比較的高負荷な状態における連続通水実験においてもベースラインとなる濁りが10度を超えることはなく、メンテナ

ンスに関するアルゴリズムの提案は行えなかった。このような条件下において、濁度モニタ自体にはほとんど機械的な問題は生じず、通常の給水管内に設置した場合には1ヶ月以上の連続運転を行っても問題はないと考えることができ、また、検出部の洗浄に関しても不用であることが示唆された。今回、濁りのベースライン上昇に関して得られた知見として、4章におけるバルブ開閉を行わない条件下では、約15日間の運転で濁りのベースラインが約2度上昇した。また、5章のバルブ開閉を行った条件下では約6日間の運転で濁りのベースラインはほぼ同値の約2度上昇した。この2つの結果から、バルブ開閉がある場合の方が通水時間は約半分にも関わらず同程度のベースラインの上昇を示しており、検出部の汚れが進みやすいことが示唆された。これはバルブが閉じている際、給水管もしくは検出部に濁質が滞留し、濁質が付着しやすいことが原因の一つであると考えられる。また、ベースラインが高くなるほどその後のベースラインの上昇も早くなる傾向も得られており、今後、更に連続通水を行い、検出部の洗浄を含めたメンテナンスについて検討を行う必要がある。

7. まとめと今後の課題

給水管と同一径の管型セルにより流水状態で水道水の散乱光により濁りを測定できるトレンド出力濁りモニタを用い、種類、粒径の異なる濁質を模擬的に添加し、得られる濁りについて検討を行った。結果、濁質として配水管内に生成したさびこぶを粉碎した懸濁質の粒径を変化させ添加したところ、濁質の粒径により濁りに大きな差が生じ、得られる値の安定性も大きく異なることが確認された。また、濁質の種類についても得られる濁りに差が生じ、本機を用い濁りを評価する際、濁質およびその粒径を考慮する必要があることが確認された。

また、貯水タンク内に生成した錆濁質を利用した連続通水による水質異常模擬実験では、水質異常の指標として、1分間の濁り変化率の絶対値（指標1）、2分間の濁り変化量の絶対値（指標2）、5分間濁り変化量（指標3）、10分間濁り変化量（指標4）の4つの指標を用い、これらの指標に水質異常の基準として0.683（濁度1度の珪藻土を連続的に添加した際の1分間の濁り変化率の平均）を用いて評価を行った。その結果、水利用を想定したバルブの開閉のないケースでは、ほぼすべての水質異常を指標1～4のほぼすべてで検知することができた。一方、水利用を想定したバルブの開閉があるケースでは、人為的な水質異常はすべて検知できたものの短時間での指標（指標1もしくは指標2）では水質異常を検知できていないケースが認められた。

今後は以下のような検討が必要と思われる。①濁り水質異常を評価する指標の組み合わせと水質異常と判断する基準値の決定および水質異常と判断するためのアルゴリズムの提案、②通水時間を延ばし、検出部の洗浄を含めたメンテナンス性の検討 ③光源の変更等の改良加え、濁りだけでなく色の検出に関する検討