

京都大学	博士（工学）	氏名	中西 智宏
論文題目	送配水システムに流入する浄水中懸濁物質による配水管内環境の形成とその実態に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>わが国の上水道システムは水需要の減少や配水管路の老朽化といった問題に直面しており、将来にわたって水道水質を維持するためには配水管内環境の管理・制御を高度化させる必要がある。本論文は浄水中懸濁物質(SS)の配水管内における蓄積に着目し、水道水質劣化の原因となる管内環境形成を管理・制御するために重要な知見を多角的に収集したものであって、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、背景として人口減少社会に移行した国内の上水道事業が有する諸課題を整理し上水道システムの持続的再構築が急務である状況を述べた上で、配水過程での浄水水質劣化を防ぐため配水管内環境の保全技術の重要性を指摘している。そして管内環境の保全には浄水中懸濁物質の蓄積の制御が重要であることを示し、その制御方策を整理している。その結果、配水管内面に対する懸濁物質の付着特性の把握、浄水場から配水系へ流入する懸濁物質の質的・量的情報の収集、管内蓄積物に関する実態把握の3点を本研究の目的として明示している。</p> <p>第2章は文献考察であり、配水管内環境の経年劣化に関わる現象として管内における付着物、堆積物、生物膜の形成といった現象に着目し、それらの組成や存在量、引き起こす問題などに関する知見を整理している。続いて、配水管内環境の管理手法に関する国内外の既往研究をまとめ、浄水処理による配水系流入水質の制御、管網再構築による管内水理条件の制御、洗管といった方策の組み合わせによって配水系での浄水中懸濁物質の蓄積を抑制することが重要であると指摘している。次いで、関連する先行研究を収集しながら、1. 配水管内面への浄水中懸濁物質や細菌の付着性に関する影響因子の中でも内面材質と細菌の物理化学的特性が与える影響は不明であること、2. 配水系へ流入する固相量やその組成の測定事例が少なく、浄水処理プロセスがそれらに与える影響は明らかでないこと、3. 配水管内の蓄積物の組成と蓄積量に関する情報が不足していることを指摘し、本研究の方針を明確化している。</p> <p>第3章では、浄水中に存在する懸濁物質のうち粒径 0.45 μm 以上の微粒子と細菌 (<i>Pseudomonas fluorescens</i>, <i>Escherichia coli</i>, 水道水中の従属栄養細菌4種)を用いて配水管内面への付着特性をバッチ式実験によって把握している。その結果、検討した4種の管材質（エポキシ樹脂粉体塗膜、ポリエチレン、硬質ポリ塩化ビニル、耐衝撃性硬質ポリ塩化ビニル）の中では付着性に顕著な差は認められなかったことから、浄水中の懸濁物質全体の管内面に対する付着性を考える際には、管材質が付着性に及ぼす影響は小さいことを指摘している。また、<i>E. coli</i>の付着性には管材質による差異が見られなかったものの、<i>P. fluorescens</i>の付着性は硬質ポリ塩化ビニルにおいてやや大きいという結果を得ており、一部の細菌種の付着性は管内面材質によって異なりうることを示している。さらに、水道水からの単離菌を含めた全6種の細菌株を用いてエポキシ樹脂への付着性を比較した結果、付着性は菌株によって大きく異なり、細胞の表面構造の違い(鞭毛の有無)をその差異の原因の一つとして見出している。最後に、一連の細菌付着実験から配水管内面に対する付着性には管内面材質の特性よりも、細菌側の特性が大きな影響因子となりうることを指摘している。</p> <p>第4章では、浄水場から送配水系に対して流入する固相量を定量化するとともに、</p>			

京都大学

博士（工学）

氏名

中西 智宏

固相の質と量に対して浄水処理プロセスが与える影響を把握するため、浄水処理プロセスの異なる 2 つの浄水場で浄水中の懸濁物質濃度や懸濁態元素濃度などを測定している。その結果、浄水中 SS 濃度は 10.2～17.4 $\mu\text{g/L}$ 、1.5～7.1 $\mu\text{g/L}$ と定量され、浄水場による SS 濃度の差異が処理プロセスにおける凝集・砂ろ過処理の配置によるものであることを指摘している。さらに、元素組成などの分析から SS 濃度に占める Al、C、Mn の存在割合が異なることを示し、処理プロセスの違いは懸濁物質の成分にも影響を与えることを確認している。さらに測定した SS 濃度を用いて対象とした浄水場から送配水系へ流入する固相量を推算し、それぞれ 16.4 kg/day、2.2 kg/day という試算値を得ている。また、得られた実測データから浄水 SS 濃度の簡便な推定手法についても検討しており、濁度-SS 濃度の線形回帰式を用いた推定法と、粒径別の粒子数と粒子の重量密度を用いた推定法を比較した結果、前者の方法によって SS 濃度をより精度よく推定可能であることを示している。最後に、対象とした浄水場で処理プロセスを変更した場合には現状よりも 23%の固相流入量が低減できるという試算結果を得ており、浄水処理プロセスの適切な選択によって固相流入量が制御可能であることを示している。

第 5 章では実配水管網における管内環境の実態を把握するため、洗管作業時に排出される排水の水質を幅広く測定することによって管内蓄積物の成分とその存在量に関する情報を収集している。その結果、配管の腐食生成物由来と考えられる Fe が管内蓄積物の最大の構成元素であることを確認する一方で、有機物やバイオマスの蓄積は極めて小さいことを指摘している。また、懸濁態 Al、Mn、Si、Ca も一定量の蓄積が確認され、各懸濁態元素の関連性の解析によって Al、Mn、Si は配水管内に同一の発生源を持ち、これらの元素を含んだ浄水中の懸濁物質が実際の配水管網において蓄積していることを示している。さらに、分析結果と調査対象の管路情報から管内蓄積物の存在量を推算している。特に浄水中懸濁物質に由来する蓄積量について、蓄積物の全量から配管の腐食生成物に相当する部分を差し引くことで推定し、0.18～3.0 g/m^2 という値を得ている。

第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、人口減少社会における水道配水システムの再構築に向けた取り組みとして、水道水質に影響しうる配水管内環境の管理・制御方策の高度化に着目し、浄水中懸濁物質(SS)の蓄積による管内環境の形成過程とその実態を定量的に把握したものである。得られた主な成果は以下の通りである。

1. 浄水中に存在する粒径 $0.45 \mu\text{m}$ 以上の微粒子と複数の細菌株(*Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, 水道水中従属栄養細菌の単離菌 4 種)を対象として配水管内面材質への初期付着特性を把握した。その結果、硬質ポリ塩化ビニルに対して *P. fluorescens* はやや大きな付着性を示したものの、付着性に対する管材質の影響は概して小さいことを明らかにした。また、6 種の細菌株の付着性は菌株によって大きく異なり、細胞の表面構造(鞭毛の有無)を要因の一つとして指摘した。
2. 処理プロセスの異なる 2 つの浄水場を対象として浄水中 SS の濃度と元素組成などを実測し、浄水場から送配水系へ流入する固相(SS)に対して処理プロセスが与える影響を評価した。その結果、SS 濃度やその元素組成は浄水場によって大きく異なること、浄水場から送配水系へ流入する固相量は kg/日 オーダーであることなどを指摘し、浄水処理プロセスの適切な選択によりこの流入量を低減可能であることを示した。
3. 配水管内蓄積物の存在実態を明らかにするため、水道事業体による洗管作業時に排出される排水を採取し、管内蓄積物の成分測定およびその定量化を行った。その結果、蓄積物における有機物の含有量は極めて小さく、配管の腐食生成物由来と考えられる Fe が最大の構成元素として挙げられた。Al, Mn, Si, Ca といった元素の蓄積も確認され、元素間の関連性の解析から浄水中の SS 由来の蓄積物が存在することを指摘した。さらに蓄積物の各成分について蓄積量を推定するとともに、浄水中懸濁物質に由来する蓄積量も管内単位面積あたり $0.18\sim 3.0 \text{ g/m}^2$ と推定した。

本論文は、浄水中 SS による配水管内環境の形成過程とその実態を定量的に把握したもので、人口減少社会における送配水システム再構築のための技術的枠組み整備に大きく貢献するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

