

管路の維持管理方法に関する検討

研究分担者 伊藤禎彦 京都大学大学院工学研究科教授
研究分担者 中西智宏 京都大学大学院工学研究科助教
研究協力者 福岡早紀 京都大学大学院工学研究科修士課程

研究要旨：

小規模化が進む水道システムでは、配水管内での滞留時間が増大する傾向にあり、水道水質が劣化することが懸念される。このため配水管内環境の管理を高度化させ、これを制御する必要がある。本研究では、中部地方Y市内、東北地方S市内を対象とし、小規模な水道施設をとりあげた。それぞれの配水区域において、まずは配水管内に蓄積する重量(g/m^2)とその分布を推定した。ついで、対象地域で行われている特有の管路維持管理作業が配水管内環境の制御に寄与できることを示した。ここで得られた知見をもとに、今後当該水道事業体と議論しつつ、対象地域に適した浄水処理方法、及び配水システムの管理・制御方法を提示・策定することができる。

A. 研究目的

小規模化が進む水道システムでは、配水管内での滞留時間が増大する傾向にあり、水道水質が劣化することが懸念される。このため配水管内環境の管理を高度化させ、これを制御する必要がある。配水管内における懸濁物質等の管理・制御のための考え方としては、①浄水処理における懸濁物質等の除去、②配水管網における水理条件の管理・制御、③洗管があり実務上はこれら3つの段階を組み合わせる必要がある。

本研究では、中部地方Y市内、東北地方A市内を対象とし、小規模な水道施設をとりあげた。それぞれの配水区域において、まずは配水管内に蓄積する重量(g/m^2)とその分布を推定する。それぞれの地域では、浄水処理方法や管路の維持管理方法などに特徴があり、それをふまえた解析や考察を行った。

B. 方法

1. 中部地方Y市k浄水場配水区域

本配水区域は、以前は簡易水道であったが、現在は上水道として統合されている。この配水区域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。ここでは、「排泥作業」と称する放水作業が行われている。この「排泥作業」は毎年実施されているものの、その洗管効果は明らかではない。そこで、ここではこの「排泥作業」を強化し、管内流速を $0.4\text{m}/\text{sec}$ 程度以上に確保

して、管内に蓄積した懸濁物質等を積極的に排出するというシナリオを設定することとした。

2. 東北地方 A 市 n 浄水場・t 浄水場配水区域

両浄水場の概要を表 1 に示す。ともに、クリプトスポリジウム等対策を理由の一つとして膜ろ過 (UF) 設備が導入されている。

- ・ n 浄水場 湧き水源—自然流下—UF 膜 (4 ユニット×2 モジュール) —塩素消毒—50 軒 (給水人口 150 人以内) に配水
- ・ t 浄水場 湧き水源—ポンプ圧送—UF 膜 (3 ユニット×2 モジュール) —塩素消毒—100 軒に配水

表 1 n 浄水場、t 浄水場の概要

水

事業主体名		基本計画			
市町村名	浄水場名	施設能力 (m ³ /day)	原水種別	浄水施設種別	配水方式種別
A 市	n 浄水場	190	湧き水	膜ろ過	自然流下
	t 浄水場	160	湧き水	膜ろ過	自然流下

この配水地域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。n 浄水場配水区域の末端には「排流装置」が設置され、稼働している。この「排流装置」によって水道水を常時放水している目的は、配水区域内の残留塩素と pH の管理を容易にすることにある。

本配水区域における以上の特徴をふまえて、制御性の検討における設定予定条件を表 2 に示す。すなわち、この区域では、膜ろ過の導入と排流装置が特徴的であることから、それぞれの導入効果を定量的に評価するためのケース設定とした。

表 2 設定シナリオ

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
膜	×	○	○
排流装置	×	×	○

C. 結果

1. 中部地方 Y 市 k 浄水場配水区域

(1) 管路の維持管理作業

k 浄水場では上向流緩速ろ過施設が導入されており、現在の給水戸数は 250 戸となっている。

この配水区域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。ここでは、配水区域の末端において、「排泥作業」と称する放水作業が行われている。すなわち、1 年に 1 回、主としてお盆の時期に人口が急激に増加し、配水区域の下流域で水量が不足するという。この時期の必要水量は平時の 1.5 倍程度に達するようである。この不足水量を補うため、この時期に限り、隣接する e 浄水場配水区域 (東北方面に広がる地域) から配水を受ける。e 浄水場配水区域からの水は末端から流入し、上流方向 4 分の 1 程度まで到達すると推定されている。ただし、このとき、水は平時とは逆方向に流れることになる。この流向の変化に伴って濁水が発生するのを未然に防止するために行われているのが、「排泥作業」と称する放水作業である。ただ、これまでに濁水発生によって苦情が発生するなどの例はないようである。この「排泥作業」の目的は、配水管内で滞留傾向にある水を排出するのが目的である。作業は経験的に行われており、数時間内に

終了する。放水時の流量や管内で確保される流速などは把握されておらず、その洗管効果は明らかではない。

この事例を参考にして、次節では洗管シナリオを設定し定量的な評価を試みた。

(2) 懸濁物質等の蓄積とその制御

管網解析を行い、配水区域内における懸濁物質等の蓄積量とその分布を推定した。測定した濁度から、配水される浄水のSSは $12\mu\text{g/L}$ と推定した。浄水場から20年間配水を継続した場合の平均蓄積量は 0.68g/m^2 と推定された。

ついで制御性に関する評価を行った。本検討の目的は、「排泥作業」のような特徴ある管路維持作業の効果を定量的に評価することにあること、および、浄水処理については、導入されている上向流緩速ろ過施設によって除去能は十分確保されていることから、新たなシナリオは設定しないこととした。また、縮径についても、とりあえず取り上げないこととした。

上記「排泥作業」は毎年実施されているものの、その洗管効果は明らかではない。そこで、ここではこの「排泥作業」を強化し、管内流速を 0.4m/sec 程度以上に確保して、管内に蓄積した懸濁物質等を積極的に排出するというシナリオを設定することとする。

放水による洗管作業はそれぞれの水道事業者で少しずつ異なる方法で行われるが、例えば神戸市における洗管作業は、 $25\sim 50\text{m}^3/\text{h}$ を下流側節点から引き出し、管内流速を 0.4m/s 程度以上に確保することによって行われている。また、1回の作業で洗管される区画の管路総延長は約 $2\sim 4\text{km}$ である。この事例を参考にして対象区域のシナリオを設定することにする。ここでは実際に行われている洗管時管路延長を考慮して $30\text{m}^3/\text{h}$ で排泥作業を行う場合を設定する。

配水を10年間継続した後、排泥作業強化シナリオを適用した。すなわち、10年後から、毎年 $30\text{m}^3/\text{h}$ で排泥作業を実施することとし、管内流速 0.4m/s 以上が出現する管路に対し、除去率100%を与えた。蓄積期間（評価期間）は20年とし、排泥作業を行わない場合（ベースケース）とを比較した。

結果をまとめて図1に示す。ベースケースとは、洗管を実施せず、配水開始から20年後の蓄積量(g/m^2)などを求めた結果を意味する。

排泥作業強化シナリオでは、ベースケースと比較して総蓄積量に大きな低減効果が得られ、後者は62%減少し 0.26g/m^2 となった。

この結果から、現在経験的に行われている排泥作業について、手法とその効果を定量的に示しつつこれを強化することによって、配水管内環境の大きな改善が期待できると指摘できる。もちろん上述のように、図1はひとつの設定条件で得られた結果であり、さまざまなシナリオを設定してその効果を推定・比較することもできる。ま

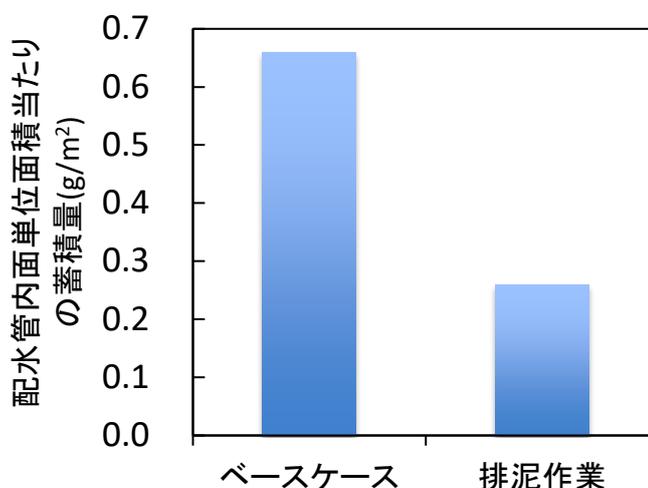


図1 配水管内面単位面積当たり蓄積量の比較

た、実際の運用にあたっては、有収率低下への影響等にも配慮する必要がある。

2. 東北地方 A 市 n 浄水場・t 浄水場配水区域

(1) 施設概要

・計器での表示値 (2018/8/27)

項目	t 浄水場	n 浄水場
原水濁度	0.005	0.028
膜ろ過水濁度	0.000	0.009
配水残塩 (mg/L)	0.76	0.74

・水質測定結果

粒径 (μm)	t 原水	t 浄水	n 原水	n 浄水	排流装置
0.5-1.0	13096	199	8419	184	683
1.0-3.0	990	15	607	5	2
3.0-7.0	102	1	95	3	1
7 \leq	422	6	230	0	4
濁度	0.1086	0.0008	0.0048	0.0006	0.0014
TOC (mg/L)	0.140	0.135	0.102	0.088	0.094

2つの配水区域の管路図を作成した。n 浄水場配水区域の末端節点と t 浄水場配水区域の上流側節点とは管路で連結されている。

(2) 管路の維持管理作業

ついで、この配水地域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。

n 浄水場配水区域の末端には「排流装置」が設置され、稼働している。この「排流装置」によって水道水を常時放水している目的は、配水区域内の残留塩素・pH 管理を容易にすることにある。

n 浄水場・t 浄水場の運転管理は、M 浄水場での遠隔監視によって行っている。また、業者への外部委託により、週 3 回 (月水金) の浄水場への定期巡回が行われている。さらに、給水末端の毎日検査は私人への委託により実施されており、水質がもっとも劣化する可能性がある給水末端において残留塩素濃度等が測定されている。

水道事業体としては、浄水場での塩素注入率は低くしたいが、配水区域内での残留塩素は確保する必要がある。これを常にモニタリングしなくても確実に (自動的に) 達成できているようにするために行われるのが「排流装置」を用いた放水である。

放水流量は、約 20 L/min=28.8 m³/日であり、これは n 浄水場における配水量 50 m³/日の実に 58% に達している。調査時 (2018/8/27) の残留塩素濃度は 0.32 mg/L であった。

その他、A 市における洗管の考え方についてヒアリングを行った。まず、計画的に順次行っていくという洗管作業は実施されていない。配水区域の切り替え作業時などにおいて、濁水発生が予想される管を特定する。当該管路に対して普段とは異なる流向や、流速が発生する場合に、あらかじめ想定しうる流速で洗管しておくという目的で放水が実施されている。

流速確保の考え方としては、出現しうる流量・流速を予測した上で放水を実施している。例えば、 $2 \text{ m}^3/\text{min}$ が予想されるなら、事前に $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$ の流量を与えておく、などである。

なお、n 浄水場・t 浄水場配水区域のような旧簡易水道エリアでは、配水区域の変更や流速が大きく変化することがあまりないためこのような放水洗管を実施していない。

本配水区域における以上の特徴をふまえて、制御性の検討における設定予定条件を表 2 に示す。すなわち、この区域では、膜ろ過の導入と排流装置が特徴的であることから、それぞれの導入効果を定量的に評価するためのケース設定となっている。

排流装置による放水が行われているのは n 浄水場配水区域であるが、t 浄水場配水区域においても排流装置は末端 2 か所に設置されている。そこで、t 浄水場配水区域においても、この 2 箇所から配水量のそれぞれ 29% が放水される場合を想定した。その合計量 58% は、n 浄水場配水区域における放水量と一致させたものである。

(3) 管内環境に対する効果の定量化

結果を図 2 に示す。膜ろ過を導入することによって (CASE 2) 配水管内蓄積量が低く抑制されていることがわかる。一方、CASE 2 と CASE 3 を比較すると、排流装置を設置することによる効果は小さく、その削減率は 0 (n 旧簡水) ~ 7% (t 旧簡水) であった。一方、総蓄積量は減少しており、たとえば n 旧簡水では 110 g が 93 g となった。総蓄積量の変化と単位面積あたり蓄積量の変化が必ずしも一致しないのは、蓄積量が定常に達するまでに要する期間が管内流速に依存し、それが管網内で分布しているためである。総蓄積量でみると排流装置がその低減にも効果があるといえるが、その効果は大きいとはいえない。すなわち、排流装置による放水は、配水管内を清浄に保つのに寄与するというよりは、配水管網内の滞留時間が短縮されることによって管路末端での残留塩素・pH 濃度を安定して保つ役割を果たしていると推察できる。

D. 考察

本研究では、2 地域における旧簡水施設を対象として、配水管内環境を評価するとともに、これを制御するための方法について論じた。A. 研究目的に記したように、配水管内における懸濁物質等の管理・制御のための考え方としては、①浄水処理における懸濁物質等の除去、②配水管網における水理条件の管理・制御、③洗管の 3 つの段階がある。それぞれの効果と手法間の比較につ

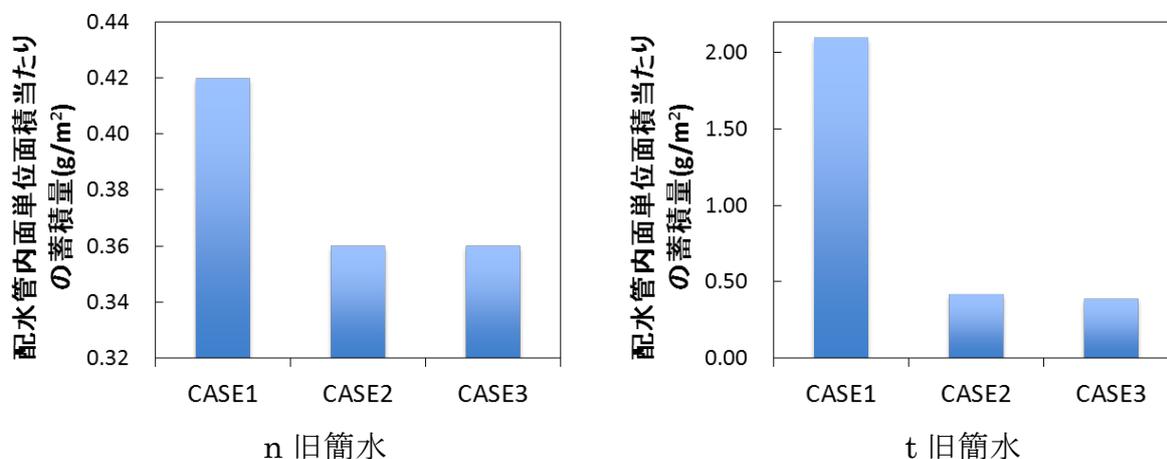


図 2 シナリオ比較結果

いては既報で論じてきたところである²⁾。

これに対して本研究では、地域特有で行われている管路維持管理作業を取り上げ、それが配水管内環境の大きな改善に寄与できることを定量的に示すことができた。

E. 結論

地域特有の管路維持管理作業が配水管内環境の制御に寄与できることを示した。それぞれの配水管網の特徴や課題を踏まえつつ複数のシナリオを設定することによって、小規模水道における配水管内環境を制御する手法とその効果を提示できた。ここで得られた知見をもとに、今後当該水道事業体と議論しつつ、対象地域に適した浄水処理方法、及び配水システムの管理・制御方法を提示・策定することができる。

F. 研究発表

1. 学会発表

S. Itoh, S. Fukuoka, J. Kishimoto, T. Nakanishi: Controlling the Quality inside Distribution Pipes of Small Water Supply Facility, IWA World Water Congress and Exhibition, 11-15 September 2022, Copenhagen, Denmark.

木村昌弘, 浅見真理, 伊藤禎彦: 小規模水道・水供給システムの維持管理に関する経営シミュレーション, 令和3年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.100-101, 2022.2.

松本幸太郎, 伊藤禎彦: ミャンマー・バゴ地域における将来の人口減少を見据えた水供給計画の立案, 環境衛生工学研究, Vol.36, No.3, pp.38-40, 2022.7

久保章, 山西陽介, 田中広樹, 山村寛, 大滝雅寛, 伊藤雅喜, 伊藤禎彦, 清塚雅彦: 水道の基盤強化に資する浄水システムの更新・再構築に関する研究-A-MODELS プロジェクト-, 令和4年度全国会議(水道研究発表会)講演会, pp.288-289, 2022.10.

2. 著書

伊藤禎彦: 公益財団法人水道技術研究センター, 多様な社会・技術に適応した浄水システムに関する研究(A-Dreams), 将来を見据えたスマートな浄水システムの構築～要素技術・システムによる課題解決事例集～, 197p., 2022.3

3. 講演

伊藤禎彦: 浄水施設の更新・再構築, 第34回水道技術セミナー, (公財)水道技術研究センター主催, 京都市勧業館みやこめっせ特別展示場, 2022.12.1

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

【参考文献】

- 1) van der Kooij, D., van der Wielen, P. eds. : Microbial Growth in Drinking-Water Supplies, 453p., IWA Publishing, London, UK, 2014.
- 2) 中西智宏, 岸本如水, 小坂浩司, 伊藤禎彦 : 浄水中微粒子による配水管内環境の形成過程のモデル化とその制御性, 土木学会論文集 G (環境) (環境工学研究論文集第 56 卷) , Vol.75, No.7, pp.III_53-III_63, 2019.