

3. 大阪市内一円の配水管路における残留塩素等の水道水質の実態調査結果

小川 真穂
 吉村 誠司
 當山 裕一
 原 郁夫
 配水課 高橋 準人

1. はじめに

水道法では、水道水の微生物学的安全性を確保するために、塩素消毒が義務付けられており、給水栓において遊離残留塩素濃度（以下、残留塩素濃度）を0.1mg/L以上保持するよう定められている。本市では、貯水槽水道の給水栓でも残留塩素濃度0.1mg/Lを確保できるよう、直圧の末端給水栓水における残留塩素濃度の目標値を0.2mg/Lとして、残留塩素シミュレーションプログラムを用いて、浄・配水場における塩素注入率を設定し¹⁾、市内給水栓の残留塩素濃度の適正化と均一化に取り組んでいる²⁾。これに加えて、市内全域37か所に設置した水質遠隔監視装置（以下、水質TM）による残留塩素濃度の常時監視と、市内給水栓21か所における法令に基づいた定期的水質検査を行うことで、水道水質の安全性確保に努めている。しかしながら、節水機器の普及などによる使用水量の減少や都市部の水需要変化により、流達時間が配水管布設時に想定していたものより長くなっているため局地的な滞留が生じ、それによって水質が劣化することが懸念されている。市内の残留塩素管理の最適化を図っていくためには、市内全域の残留塩素濃度の現状を詳細に把握し、その状況を考慮して対応策を検討していく必要があるが、市内全域の残留塩素濃度の把握には至っていない。

そこで本調査では、市内全域の配水管路における水道水質の把握及び残留塩素シミュレーションによる残留塩素管理手法の妥当性の検証のため、市内561か所の消火栓における水道水質の測定を行った。

2. 調査方法

2.1 配水系統

本市では水量管理、水圧の均衡化を目的として配水エリアのブロック化を進めており、図-1に示したAからRの18ブロック（配水ブロック）から構成されている。その内、配水ブロックL, M, N, O, Q, Rの6ブロック（2次配水系）については、起点配水場もしくは給水塔において追加塩素注入を行っているブロックである。

2.2 調査地点及び調査期間

各配水ブロックの配水系統及び調査地点は表-1の通りである。調査地点は、配水ブロックをさらに分割した全ての配水支管網ブロック（561ブロック）から1か所ずつ選定した消火栓561か所と、市内給水栓21か所及び水質TM28か所（給水栓水のみ）についても対象とした。また、調査は、平成30年7月から9月（水温23～31℃）に実施した。

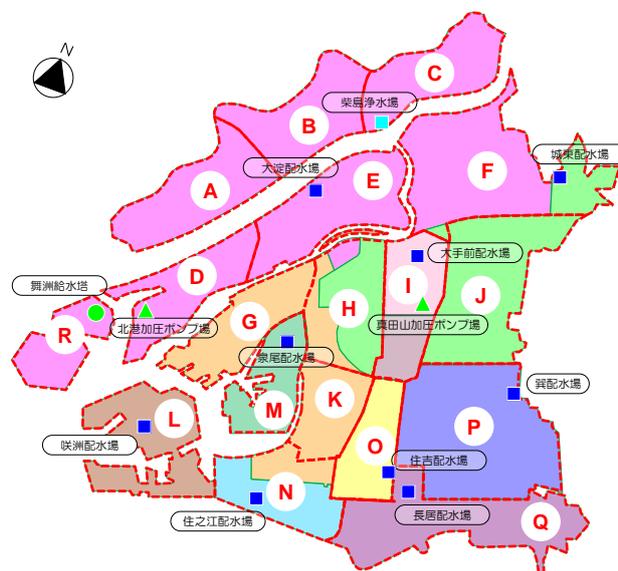


図-1 配水系統と配水ブロック

表-1 各配水ブロックにおける調査地点（消火栓）数

配水ブロック	A	B	C	D	E	F	G	H	I
配水系統	柴島	柴島	柴島	柴島	柴島	柴島 城東	大淀	柴島 大淀 城東	大手前 真田山
調査地点数	26	37	40	12	56	55	26	63	32
配水ブロック	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
配水系統	城東	大淀	咲洲	泉尾	住之江 大淀	住吉	箕	長居	舞洲
調査地点数	42	19	12	22	22	13	49	33	2

2.3 測定項目と測定方法

測定項目は、THMs（プロモジクロロメタン、ジプロモクロロメタン、プロモホルム、クロロホルム）、残留塩素、pH値、電気伝導率、濁度、色度、蛍光強度、水温の11項目とした。

残留塩素濃度は、ポータブル残留塩素濃度計を用いて、採水時に速やかに測定した。THMsは、採水時にpH3程度に調整及び脱塩素処理を行い、電子捕獲型検出器（ECD）を搭載したガスクロマトグラフ分析計を用いて測定した。蛍光強度は蛍光分光光度計を用い、特徴的な励起波長（Ex）/蛍光波長（Em）の組み合わせとして、Ex 330nm/ Em 430nmを選定し、測定した。

2.4 残留塩素シミュレーション式と見かけの流達時間

配水過程の流達時間は管網計算により、配水池における滞留時間は、実際の運用水位と配水量から算出した。また、本調査では、式（1）に示す残留塩素シミュレーション式を用いた。

$$C = C_0 \exp(-kt) \cdots (1)$$

ここで、 C は調査地点での塩素濃度、 C_0 は初期（浄水場出口もしくは配水池出口）の塩素濃度、 t は管路を流達する時間、 k は塩素濃度に係る減少速度係数（水温を変数とする式）である。

給水栓水における残留塩素濃度の実測値は、配水管内での滞留や管内面における塩素消費によって、現在使用している残留塩素シミュレーション式から算出した予測値と乖離する場合がある。そこで、本調査では、

式（1）によって、実測値から見かけの流達時間を算出し、管網計算結果と比較することで、現行の残留塩素管理手法の妥当性について評価することにした。その際の C_0 は、調査前日の各ブロックの起点となる浄・配水場出口の1日平均残留塩素濃度を採用した。

表-2 水質調査結果概要

	残留塩素濃度 (mg/L)		総THMs濃度 (µg/L)	
	平均値	中央値	平均値	中央値
柴島系	0.38	0.39	12	11
庭窪系	0.48	0.48	12	12
豊野系	0.46	0.46	14	13
2次配水系	0.47	0.49	14	14

3. 調査結果

3.1 配水管路における水質調査結果

消火栓を用いた市内561か所の調査について、残留塩素濃度の測定結果の分布を図-2に示す。調査地点561か所のうち、本市の管理目標値である残留塩素濃度0.2mg/Lを下回る調査地点が7か所（柴島系と2次配水系）確認されたものの、調査地点の約99%において0.2mg/L以上確保されていた。柴島・庭窪・豊野の各直送系と追加塩素注入を行っている2次配水系別に、

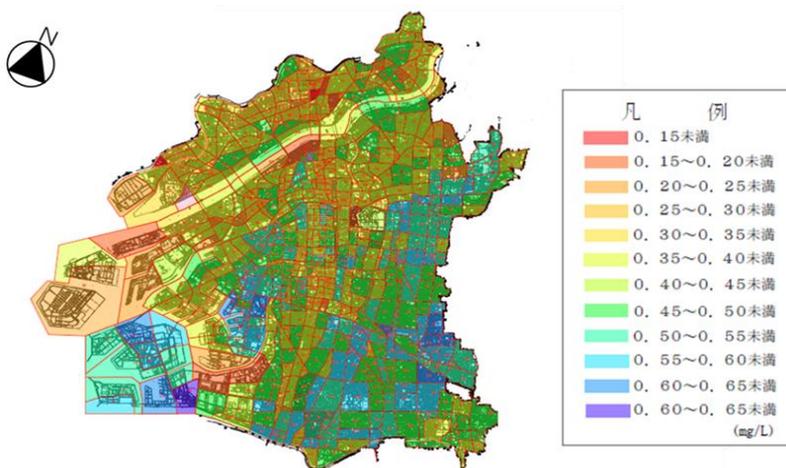


図-2 大阪市内一円の配水管路における残留塩素濃度分布図

残留塩素濃度と総THMs濃度

の調査結果を表-2に示す。柴島系以外の配水系統の残留塩素濃度の平均値及び中央値は概ね一致していたが、柴島系は他系統に比べて低い値であった。また、総THMs濃度は柴島系が平均値、中央値ともに若干低い結果であったものの、全配水系統において同様の結果となった。柴島系は他系統よりも末端地域までの流達時間が短いことから、浄水場出口の残留塩素濃度を低めに設定することが可能であり、配水エリア内の残留塩素濃度が低く制御され、結果としてTHMs濃度も低くなったと考えられた。

また、各配水系統における上記2項目の調査結果の頻度分布を図-3に示す。総THMs濃度は、平均値13 $\mu\text{g/L}$ 、最大値26 $\mu\text{g/L}$ (2次配水系)であった。これらの結果は、既報³⁾と概ね一致していることと、これまでの本市の高水温期における平均的な水質と大きな差異はないことから、現行の定期の水質検査における調査地点は大阪市域全体の水質を反映できていると考えられた。

3.2 配水系統における流達時間の評価

管網計算で求められた流達時間と式(1)を用いて算出した見かけの流達時間の頻度分布を比較した結果を図-4に示す。見かけの流達時間の中央値は8時間~10時間の範囲であり、管網計算結果に比べて2時間程度長かった。この結果から、実際の流達時間は管網計算結果より長くなっていることが予想されるが、残留塩素の減少要因は流達時間以外に、配水管路の老朽化による管内面の消費、水使用量の日間変動による影響、局地的な滞留等も考えられるため、今後、予測値と実測値が乖離した原因についてはさらに調査を進め、要因を特定し、対策を講じていきたいと考える。

3.3 配水管路内の総THMs生成量の評価

消火栓を用いた市内561か所の調査地点における総THMs濃度と総流達時間の関係を図-5に示した。ここで示す総流達時間は、浄水場および各配水場での滞留時間と浄水場出口から起点となる配水場までの管網計算による流達時間に、起点となる配水場から調査地点までの見かけの流達時間を足し合わせたものとした。

総THMsについて、追加塩素注入の有無に関係なく総流達時間に対して直線性が得られ、総THMs濃度は総流達時間とともに増加する傾向にあるものの、全配水系統において概ね20 $\mu\text{g/L}$ を超過することはほとんどなかった。また、蛍光強度は既報³⁾と同様に、配水管路内での変

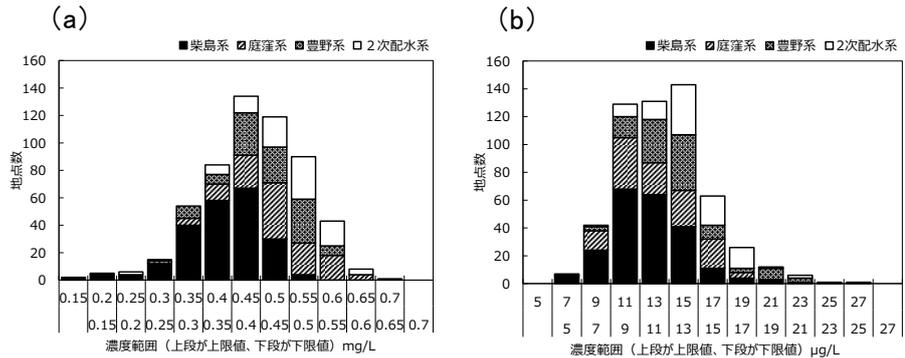


図-3 配水管路における水質調査結果の頻度分布
(a) 残留塩素濃度、(b) 総THMs濃度

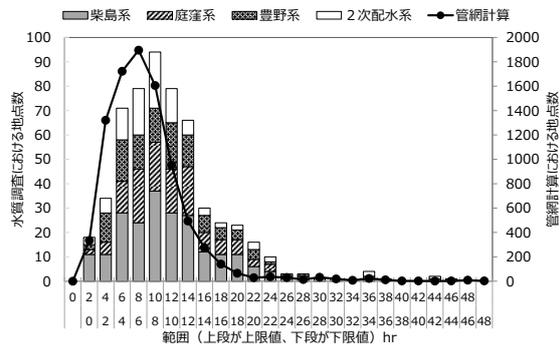


図-4 各配水系統における浄・配水場からの見かけの流達時間と管網計算結果の比較

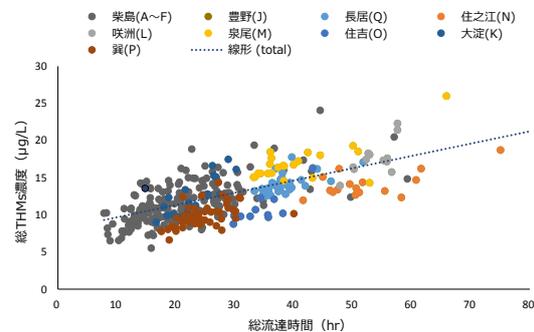


図-5 各配水系統における総流達時間と総THMsの関係

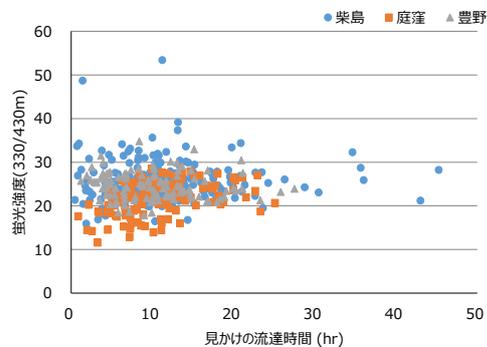


図-6 各配水系統における見かけの流達時間と蛍光強度の関係

動はほとんど確認できなかった（図-6）。以上より、高度浄水処理によってTHMsを生成する前駆物質は十分に除去されているものと考えられる。

3.4 定期の水質検査地点の妥当性評価

各ブロックにおける残留塩素濃度について、給水栓における定期の水質検査結果と今回行った調査結果（ブロック平均値）を比較した結果を図-7に示す。全18ブロックのうち14か所の定期検査地点がブロック平均値と±20%以内の差で一致する結果であった。一方、K, Mブロックの給水栓水質検査地点の、残留塩素濃度は配水ブロックの平均値に対して30%以上低い値であったが、配水ブロックのより末端に近い地点で採水しており、これらから、給水栓検査地点21か所は、ブロックの平均よりも末端側に設定できており、安全側で監視できていると評価した。

図-8は、残留塩素濃度について、水質TMの測定結果（1日平均値）と調査結果（ブロック平均値）の一致度を示した。全ての配水ブロックについて、両者の一致度が概ね±20%以内の差に収まっており、各水質TMともに配水ブロックの水質を適切に監視できていることがわかった。

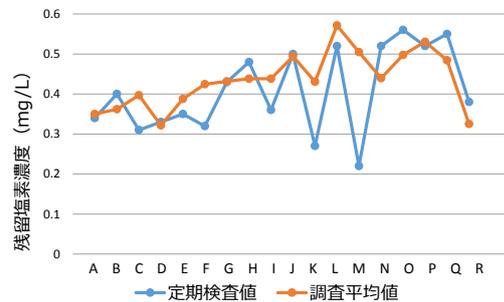


図-7 各ブロックにおける市内給水栓 21 か所の法令検査値と調査平均値の一致度

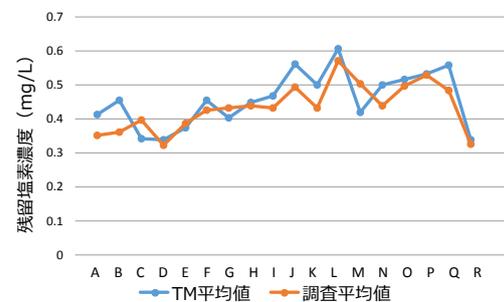


図-8 各ブロックにおける水質 TM28 か所の法令検査値と調査平均値の一致度

4. まとめ

- 1) 残留塩素の消費量が最大となる夏季に市内全域（561か所）で調査を行ったところ、約99%の調査地点で本市の残留塩素管理目標である0.2mg/L以上の残留塩素濃度が確保されていた。
- 2) 管網計算結果の妥当性評価について、残留塩素シミュレーション式から計算した見かけの流達時間は、管網計算結果から2時間程度長くなる傾向が確認された。
- 3) 市内全域（561か所）の総THMs濃度について、総流達時間に対する良好な直線関係が認められた。また、このときの蛍光強度は地点によらず概ね一定であった。
- 4) 現在の水道法に基づく定期の検査地点（給水栓21か所と水質TM28か所）は、各配水ブロックの平均から末端側に設定されており、適切な水質監視が実現できていると評価できた。

5. 参考文献

- 1) 人見文隆、吉村誠司、淵上知弘：大規模配水システムにおける分散型塩素注入の最適化、平成26年度全国会議（水道研究発表会）概要集、pp572-573（2014）
- 2) 當山裕一、吉村誠司、益崎大輔、服部晋也：貯水槽水道における残留塩素予測手法の検討、平成30年度全国会議（水道研究発表会）概要集、pp794-795（2018）
- 3) 尾花百合子、吉村誠司、山岸耕助、服部晋也：大阪市の給水栓末端におけるトリハロメタン濃度の推移とその生成特性、日本水道協会関西地方支部第61回研究発表会概要集、pp116-119（2017）