

貯水槽水道における給水方式を考慮した残留塩素の消費に関するモデル分析

首都大学東京大学院 学生会員 ○大谷 真也、太田 優司
首都大学東京大学院 正会員 稲員 とよの、荒井 康裕、小泉 明
東京都水道局 木村 慎一、都丸 敦、田村 聡志

1. はじめに

わが国の水道普及率は 97.7%となり、日本全国でおいしい水が飲める水準を達成している。水道水中の残留塩素（以下、残塩と呼ぶ）濃度は低いほどおいしいと言われるが、安全面の観点から給水栓において 0.1 mg/L 以上を確保することが水道法施行規則によって定められている。残塩濃度は浄水池から給水栓に至る送配水過程において、滞留時間等が原因で減少するため、下限値を下回らない管理が必要となる。本研究では、これまで研究のあまり進んでいない宅地内の給水設備に着目し、残塩消費に影響を与える要因について分析を行うこととする。直結栓の残塩濃度から給水栓の残塩濃度を差し引いた値を残塩消費量と定義し、給水方式を考慮した受水槽及び高置水槽(以下、合わせて貯水槽と呼ぶ)における残塩消費量のモデル化を試みる。

2. 使用データと分析パターンの設定

本研究では東京都水道局が平成 24 年度に行った貯水槽水道に関する点検調査のデータ¹⁾を使用する。点検調査対象は集合住宅、戸建て、事務所などの都内の建物に設置されている約 8,000 の貯水槽であり、容量 10m³以下の貯水槽が約 72%と多くを占めている。

まず、季節別の残塩消費量(表 1)を検討し、残塩消費量が最も少ない冬季と最も多い夏季についての比較分析を行うこととした。ここで夏季と冬季の残塩消費量についてヒストグラムを図 1 に示す。図 1 を見ると、両季節のピーク(最頻値)は同じであるが、夏季は冬季に比べピークの右側に尾を引いた分布を示し、残塩消費量の大きいサンプルが多いという差異が確認される。

つぎに、給水方式別に残塩消費量の基本統計量を算定した(表 2)。表 2 より、滞留時間の長い両方設置のサンプルについては残塩消費量平均値が大きく、短い受水槽のみおよび高置水槽のみのサンプルについては比較的残塩消費量が小さいという給水方式による差異が認められた。このため、給水方式を考慮した分析を行なうが、サンプル数の少ない高置水槽については分析対象外とした。

続いて、受水槽材質と設置場所に関するクロス分析を行なった。過去に、貯水槽材質が残塩消費量に影響を与えるとする研究もあるが、材質別にサンプル数の検討を行った結果、RC(鉄筋コンクリート)82 サンプル、SUS(ステンレス鋼)11 サンプル、鋼板 13 サンプルであったため、モデル作成に十分なサンプル数を確保する統計的観点より、90%以上を占める FRP 製のみを分析対象とした。また、同様サンプルの設置場所についてみると、屋内 17.1%、屋外 58.4%、地下 20.4%、躯体一体 4.1%であり、設置場所による残塩消費量の差異は明確ではなかった。以上より、分析対象を表 3 に示す A～D のパターンで設定した。

表 1 季節別残塩消費量の基本統計量

項目	残塩消費量(mg/L)				計
	春季 (4～6月)	夏季 (7～9月)	秋季 (10～12月)	冬季 (1～3月)	
サンプル数	1295	2463	2479	1512	7749
平均	0.15	0.19	0.15	0.13	0.16
標準偏差	0.08	0.10	0.09	0.07	0.09
最大値	0.44	0.64	0.72	0.43	0.72
最小値	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

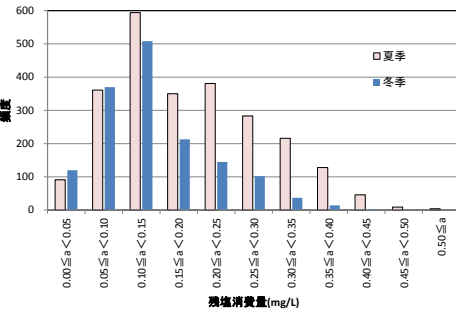


図 1 夏季と冬季の残塩消費量ヒストグラム

表 2 給水方式別残塩消費量基本統計(夏季)

給水方式	両方設置	受水槽のみ	高置水槽のみ
サンプル数	716	1618	129
平均	0.22	0.17	0.17
標準偏差	0.10	0.09	0.10
最大値	0.55	0.64	0.43
最小値	0.02	0.00	0.02

表 3 分析パターンの設定

項目	パターン名			
	A	B	C	D
季節	冬季		夏季	
給水方式	受水槽のみ	両方設置	受水槽のみ	両方設置
受水槽材質	FRP			
受水槽設置場所	屋内/屋外/地下			

3. 季節および給水方式を考慮した残塩消費量のモデル化

残塩消費量のモデル化に使用する説明変数を表4に示す。残塩消費量と各説明変数について散布図を検討した結果、非線形の関係が見られたことから、原データと対数変換データについて相関分析を行なった。得られた結果をパターンAおよびDについて表5に示す。いずれのパターンにおいても95%有意であったほとんどの説明変数について、原データに比べて対数変換データの相関係数が大きく、モデル化には非線形モデルを用いることとした。建物規模を表す日使用水量をスケールファクターとして、データを規模別グループに層別し、層別平均値を用いたモデル化を試みる。その際、残塩消費量との相関が有意な説明変数を全て用いるケースから出発し、物理的説明性を加味しつつt値の小さい変数を除外して行き、最も自由度調整済重相関係数R*の大きいケースを採用する変数減少法を用いた。

得られた各パターンのモデル式を表6に示す。表6より、貯水槽回転数は全ての式に含まれているため、残塩消費量に与える影響は大きいと判断される。また、夏季のモデル式には直結栓水温が含まれ、水温が高い場合は残塩消費が促進されることを示している。さらに、実測値と推定値の散布図からも、全パターンにおいて整合性の高いモデルであることが確認された。

4. 貯水槽回転数による感度分析

得られたモデルすべてに貯水槽回転数が含まれており、貯水槽回転数は残塩消費量に大きく影響することが分ったため、貯水槽回転数による感度分析を行った。その結果を図2に示す。図2より、いずれのモデルについても貯水槽回転数が少ないと残塩消費量は増加するが、逆に貯水槽回転数が大きくなるにつれて、給水方式による残塩消費量の差は小さくなり、ある一定の値に収束する傾向を示している。特にパターンC(夏季の受水槽のみ)において、回転数が小さくなると残塩消費量の増加傾向が著しいことが分る。給水方式による基本統計量の比較より、受水槽のみサンプルにおける日使用水量平均値は両方設置サンプル平均値の5割弱であり、建物内人数が少ないため水使用行動がよりランダムであると推測され、回転数が小さい(滞留時間が長い)場合には、水使用量が極端に少なくなる時間帯の影響を受けて、特に夏季において残塩消費が増加すると考えられる。また、冬季では約0.25回転、夏季では約1回転以上であれば、残塩消費量を0.2mg/L程度に抑制可能であると推察された。

5. おわりに

給水方式による残塩消費量の違いに着目し、非線形重回帰分析による残塩消費量のモデル化を行った。また、得られたモデルすべてに貯水槽回転数が変数として含まれることが分ったため、貯水槽回転数について感度分析を行った。その結果、残塩消費量を抑制させるためには日使用水量に対して貯水槽の有効容量を小さくすることが望ましいこと、人数の少ない建物の貯水槽については、平均的な滞留時間のみならず、水使用行動が残塩消費に及ぼす影響にも注意が必要であることを示した。今後、調査データを蓄積して、モデルの精度を向上して行くことが課題であると考えている。

【参考文献】

- 1) 東京都水道局：残留塩素低減化に向けた貯水槽水道における残留塩素消費抑制検討委員会報告書，2012。

表4 使用説明変数

変数	項目	単位	説明
x_1	貯水槽容積比率	-	貯水槽有効容量/貯水槽全体容量
x_2	貯水槽回転数	回	日使用水量/貯水槽有効容量
x_3	建物階数	階	建物の地上階数
x_4	貯水槽設置年	年	貯水槽が設置された年
x_5	直結栓水温	℃	直結栓における水温

表5 相関分析結果例【*は95%有意を示す】

パターン	使用データ	説明変数				
		x_1 貯水槽容積比率	x_2 貯水槽回転数(回)	x_3 建物階数(階)	x_4 貯水槽設置年(年)	x_5 直結栓水温(℃)
A	原データ	-0.031	-0.200 *	0.039	-0.006	0.030
	対数変換	-0.015	-0.287 *	0.049	0.011	0.019
D	原データ	-0.127 *	-0.217 *	-0.027	-0.030	0.137 *
	対数変換	-0.113 *	-0.450 *	0.038	-0.033	0.149 *

表6 各パターンモデル化

季節	給水方式	モデル	R*
A 冬季	受水槽のみ	$y = x_2^{-0.320} \times 10^{-0.880}$	0.688
	両方設置	$y = x_2^{-0.285} \times x_3^{0.507} \times 10^{-1.266}$	0.854
C 夏季	受水槽のみ	$y = x_2^{-0.441} \times x_5^{6.438} \times 10^{-9.905}$	0.933
	両方設置	$y = x_1^{-1.077} \times x_2^{-0.337} \times x_5^{3.832} \times 10^{-6.398}$	0.927

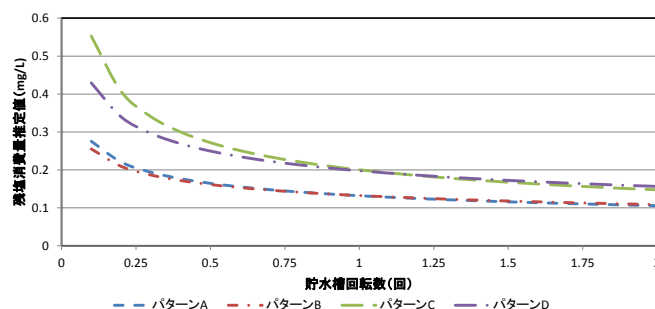


図2 貯水槽回転数による感度分析