

配水過程における残留塩素濃度推定のための複合モデルに関する一考察

首都大学東京大学院 学生会員 ○山口 貴士
 首都大学東京大学院 正会員 稲員とよの・荒井康裕
 首都大学東京大学院 フェロー 小泉 明
 東京都水道局 田村 聡志・北澤 弘美

1. はじめに

高普及率の時代を迎えた我が国の上水道事業において、「安全でおいしい水」という需要者の新たなニーズに応えるため、残留塩素(以下、残塩と呼ぶ)の低減化が求められている。東京都水道局では、給水所配水池入口・出口、配水区域内等に自動水質計器を設置し、測定結果をオンラインデータとして水質管理に利用している。しかし、多くの配水ネットワークは複雑であり、残塩濃度減少の挙動を把握するためのモデルが必要となる。本稿では、給水所流入部から配水区域における水質実測調査結果に基づいた給水所モデルと配水区域における水道 GIS モデルを組み合わせた残塩濃度推定モデルの提案を目的とする。

2. 対象区域と使用データ

対象区域は、東京都東部に位置する三郷・金町浄水場系統の東南幹線の中に位置する葛西給水所・配水区域を選定した。水質調査は、2007年度の夏季(9月中旬)の約5日間連続測定で、図1に示す配水区域内の水質管理点と9箇所の直結給水栓の計10地点において残留塩素濃度と水温について実施された。また、オンライン時間データより、配水池流入・流出残塩濃度・給水所総配水量・直送配水量及び貯水量を用いた。

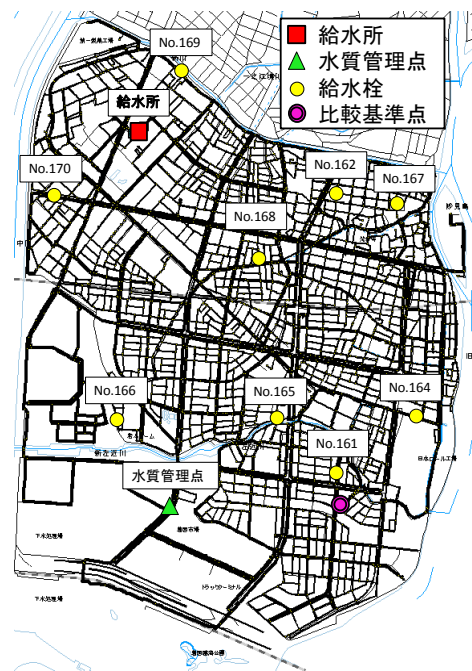


図1 葛西配水区域の概要

3. 給水所残塩減少モデルの作成

一般に、配水池内における残塩減少要因として、有機物等水質成分との反応と水面からの揮散が考えられる。著者らは、過去において残塩濃度減少速度と浄水水質成分との関係性を分析する研究¹⁾を行ない、さらに、配水池内残塩減少モデルについて検討してきた²⁾。これより、配水池流出残塩濃度 C_{out} は次式により表すことができる。

$$\hat{C}_{out}(t) = \tilde{C}_{in}(t - \tau_b) + \Delta C_v(t) + \Delta C_b(t) \quad \dots (1), \quad \Delta C_v(t) = -\left\{ \tilde{C}_{in}(t - \tau_b) - \exp\{\alpha + \beta T_w(t)\} / D(t) \times \tau_b(t) \right\} \quad \dots (2)$$

$$\Delta C_b(t) = -\left\{ \tilde{C}_{in}(t - \tau_b) - \tilde{C}_{in}(t - \tau_b) \cdot \exp(-k_b \cdot \tau_b) \right\} \quad \dots (3), \quad k_b = B \times ([TOC]/C_w) \times \exp(-E_a / RT) \quad \dots (4)$$

ここに、 $\tilde{C}_{in}$: 配水池流入残塩濃度の移動平均値 [mg/L], ΔC_v : 揮散による残塩減少幅 [mg/L]

ΔC_b : 水質成分による残塩減少幅 [mg/L], τ_b : 配水池内での滞留時間 [hr], D : 配水池水深 [m]

α, β : 揮散モデル係数, T_w : 水温 [°C], k_b : 水質成分由来の残塩減少係数 [hr⁻¹]

[TOC] : TOC 濃度 [mg/L], C_w : 浄水残塩濃度 [mg/L], E_a, B : 水質成分由来モデル係数

なお、対象とした葛西給水所では通常の時間帯には加圧配水が行われているのに対し、夜間には直送配水(受水圧を利用して、配水池を経由せずに配水する方式)が実施されている。そこで、給水所出口残塩濃度 C_0 は直送配水率 $[d(t) = Q_d(t)/Q(t)]$; 直送配水量 Q_d と総配水量 Q の比率] に応じて次式により算定されるものとした。

$$C_0 = C_{in}(t) \times d(t) + \hat{C}_{out}(t) \times \{1 - d(t)\} \quad \dots (5)$$

【キーワード】 残留塩素 配水池 配水管網 水道 GIS 反応速度モデル

【連絡先】 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 Tel. 042-677-2789

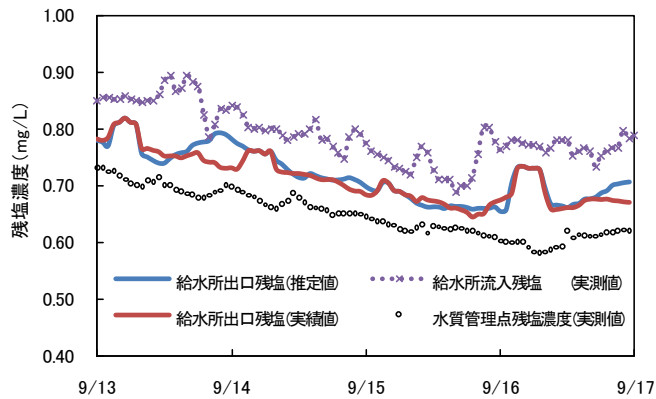


図2 葛西給水所残塩濃度時系列

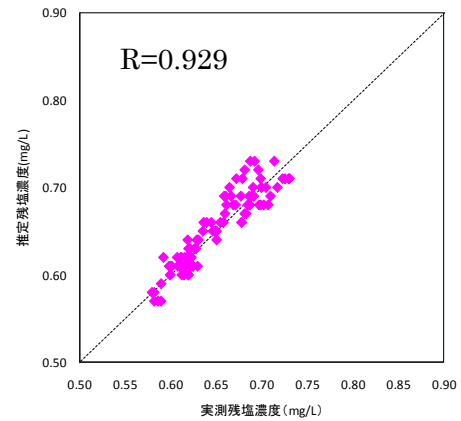


図3 水質管理点における残塩濃度

(5)式により算出された給水所出口残塩濃度推定値と実測値との関係を、給水所流入及び水質管理点における残塩時系列とともに図2に示す。同図を見ると、給水所出口の残塩濃度推定値は実測値と良く似た変動をしており、平均絶対誤差は、0.011mg/Lと小さく、適合度の高いモデルであると判断された。

4. 配水区域内残塩減少モデルの作成

以下では、水道GISモデルを用いて配水区域内での残塩解析を行う。その際、給水所出口における残塩濃度推定値を入力とし、水質管理点における残塩濃度を出力としてモデルの整合性を検討する。なお、各節点の水量は、町丁目毎に集計した年平均有収水量データを町丁目内配水小管(φ350以下)上の節点に均等配分して得られる基本水量比率を用い、当該日の総配水量を比例配分して設定している。

一般に、配水管網内の水輸送に伴う残塩濃度の変化は、水質成分由来に加え、管壁由来の影響を考慮する必要がある。これらは1次反応速度モデルに従うと言われており、管網内滞留時間 TP を用いて次式により表される。

$$C_{TP} / C_0 = \exp(-k \times TP), \quad k = k_b + k_w \cdots (6) \quad \text{ここに、} k_w: \text{管壁由来の残塩減少係数}[\text{hr}^{-1}]$$

(4)式より算出される水質成分由来残塩減少係数 k_b を用い、水道GIS解析結果を比較検討したところ、管壁由来残塩減少係数 k_w は0.0080[hr⁻¹]と推定された。さらに、水道GIS解析結果(時間単位)と水質管理点における実測残塩濃度との比較より、平均絶対誤差は0.012mg/Lと実用可能なモデルを得ることができた。図3に水道GISによる推定値と実測値との残塩濃度散布図を示す。

さらに、モデルの再現性を検討するために、2008年度夏季における配水池内水質調査の結果と水質管理点におけるオンライン時間データを用いて同様の解析を行った結果、残塩濃度実測値と推定値の相関係数は0.911であり、平均絶対誤差は0.020mg/Lとなった。残塩測定における誤差と同程度の平均絶対誤差が得られたことより、本稿で提案した配水池から配水区域内水質管理点に至るモデルは、実用的に十分な精度を有するものと考えられる。

5. おわりに

本稿では、水質調査の結果に基づいて給水所流入部の残塩濃度から配水区域における残留塩素濃度の濃度変化を把握するモデルの構築を行なった。モデルの構築にあたっては、水質成分由来の残塩減少に加え、配水池では揮散由来、配水区域では管壁由来による残塩減少を考慮した。得られた給水所残塩減少モデルと、水道GISモデルを組み合わせることで実配水区域内の残留塩素濃度変化をシミュレーション可能であることを示した。

今後は、給水栓における実測データを用いて給水分岐後の残塩濃度減少を考慮して、残塩濃度低減化へ向けた管理方法について検討して行きたい。

【参考文献】

- 1) 佐藤親房, 吉沢健一, 及川智, 北澤弘美, 稲員とよの, 小泉明: 全有機炭素(TOC)を考慮した残留塩素減少速度に関する化学反応モデル, 水道協会雑誌, 第76巻, 第10号, pp.9-20, 2007.
- 2) 山口貴士, 稲員とよの, 小泉明, 荒井康裕, 田村聡志, 石井美樹: 実測調査に基づいた配水池における残留塩素減少モデルに関する一考察, 第62回全国水道研究発表会概要集, pp.424-425, 2011.