

残留塩素を用いた配水管網における塩素消費パイプの推定方法に関する研究

環境計画研究室 尹 陽陽

1. はじめに

浄化された水を消毒するために消毒用塩素を水に投入しているが、配水管の老朽化など様々な原因で投入した消毒用塩素が配水途中で水に均一消費されるわけではない。残留塩素の濃度が低いと消毒の効果が十分に出ない。塩素臭の少ない安全な水を供給するために配水ネットワーク中での問題がある配水管を検出して給水全域で、できるだけ均一かつ必要最小限の残留塩素を確保することが必要である。配水ネットワーク中の配水管を一本ずつ検査することは非常に困難であり、時間と費用がかかる。

卒論で開発した方法は配水ネットワーク中塩素消費する配水管が一本しかないという条件下しか適用できないので実際の問題を解決することが困難である。

そこで本研究では実際の問題に適用できるように、配水管ネットワーク中に問題がある配水管が多くある複雑な条件下で塩素消費する配水管を検出するために効率的な検出方法を開発した。

2. 研究方法

本研究では、塩素と有機物との反応を一次反応と仮定する条件下行われる。配水ネットワーク中で上流側節点の塩素濃度の観測値を用いて下流側の塩素濃度の観測値を計算する。計算された残留塩素濃度の観測値を用いてまず流水中の反応による減少係数 k_b の値を推定する。推定された k_b を利用して各節点の塩素濃度を計算する。その結果をもとに計算された節点の塩素濃度を比較し、観測値が計算値より著しく下回る節点があるならば、それは流水中の反応による減少以外の塩素消費の要因があるためと考えられる。そこでその節点に流入している管路を塩素消費の著しい管路と推定する。

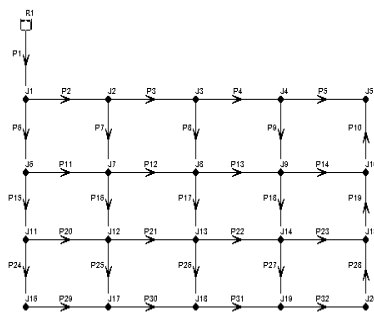


図1 配水管ネットワーク図

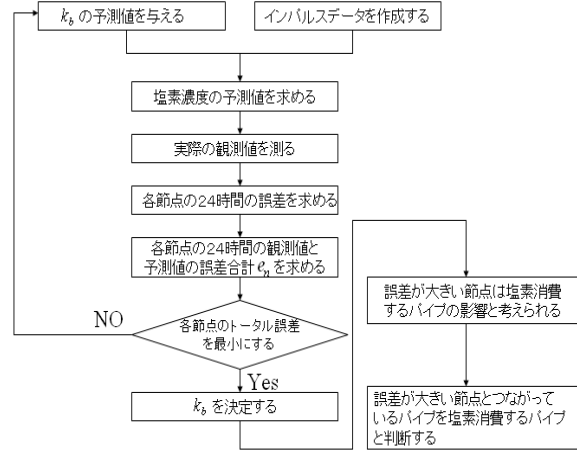


図2 研究フロー図

3. k_b の推定

k_b の予測値を EPANET に入力して、管網計算によって各節点の塩素濃度を計算することができる。これらの管網計算によって計算した塩素濃度を塩素濃度の予測値とする。各 k_b に対して、予測値が異なる。作成したプログラムを利用して、24時間の全節点のトータル誤差を最小にする時の有機物による塩素減少係数 k_b を推定する。

表1 各 k_b に対応した24時間の全節点のトータル誤差減少係数 k_b の予測値を 0.15 から 0.001 の刻みで 0.199 まで増加させて、各 k_b に対応した24時間の全節

| | | | |
|------------|------------------|------------|------------------|
| kb = 0.150 | result = 681.201 | kb = 0.175 | result = 599.967 |
| kb = 0.151 | result = 677.577 | kb = 0.176 | result = 597.628 |
| kb = 0.152 | result = 674.022 | kb = 0.177 | result = 595.479 |
| kb = 0.153 | result = 670.485 | kb = 0.178 | result = 593.552 |
| kb = 0.154 | result = 666.958 | kb = 0.179 | result = 591.787 |
| kb = 0.155 | result = 663.458 | kb = 0.180 | result = 590.281 |
| kb = 0.156 | result = 659.969 | kb = 0.181 | result = 589.038 |
| kb = 0.157 | result = 656.491 | kb = 0.182 | result = 588.120 |
| kb = 0.158 | result = 653.045 | kb = 0.183 | result = 587.651 |
| kb = 0.159 | result = 649.629 | kb = 0.184 | result = 587.533 |
| kb = 0.160 | result = 646.222 | kb = 0.185 | result = 587.626 |
| kb = 0.161 | result = 642.853 | kb = 0.186 | result = 587.949 |
| kb = 0.162 | result = 639.528 | kb = 0.187 | result = 588.504 |
| kb = 0.163 | result = 636.275 | kb = 0.188 | result = 589.284 |
| kb = 0.164 | result = 633.026 | kb = 0.189 | result = 590.257 |
| kb = 0.165 | result = 629.783 | kb = 0.190 | result = 591.290 |
| kb = 0.166 | result = 626.549 | kb = 0.191 | result = 592.436 |
| kb = 0.167 | result = 623.317 | kb = 0.192 | result = 593.673 |
| kb = 0.168 | result = 620.099 | kb = 0.193 | result = 595.018 |
| kb = 0.169 | result = 616.966 | kb = 0.194 | result = 596.439 |
| kb = 0.170 | result = 613.858 | kb = 0.195 | result = 597.927 |
| kb = 0.171 | result = 610.813 | kb = 0.196 | result = 599.504 |
| kb = 0.172 | result = 607.869 | kb = 0.197 | result = 601.129 |
| kb = 0.173 | result = 605.096 | kb = 0.198 | result = 602.859 |
| kb = 0.174 | result = 602.484 | kb = 0.199 | result = 604.674 |

点のトータル誤差を表 1 に示す。表 1 を見ると、 $k_b = 0.184$ のときトータル誤差 result = 587.533 が最小である。したがって、 $k_b = 0.184$ が一番適当な予測値が推定できた。

4. 塩素消費するパイプの推定

各節点24時間で塩素濃度が1mg/L とする塩素を連続的に投入して、各節点につながっている節点に到着するトータル塩素濃度を計算する。計算された塩素濃度をインパルスデータという。各節点24時間のインパルスデータの塩素濃度を見て、誤差の許す範囲以内になっている塩素濃度をすべて1mg/L にして、範囲以外の塩素濃度を0にする。このやり方で、誤差が大きいデータははずした。求めた24時間各節点の誤差の絶対値をとって、節点と時間に対応するインパルスデータの塩素濃度をかけて、各節点の24時間の観測値と予測値の平均誤差の平均値を求めて、平均値より大きい節点を順番に並んで、表 2 に示す。

表2 怪しい節点

| 順位 | 節点番号 | 誤差 |
|----|------|---------|
| 1 | 15 | 0.38261 |
| 2 | 19 | 0.33818 |
| 3 | 10 | 0.21 |

表 2 を見ると塩素濃度が怪しい節点は15番、19番と10番であることがわかった。

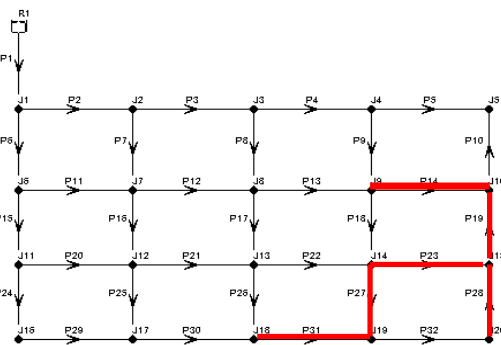


図3 塩素消費するパイプ

図3を見ると、節点15番、19番と10番をつながっているパイプは14、19、23、27、31番パイプであるので、これらのパイプが塩素消費するパイプになる可能性が高いと判断できた。

5. 検出方法の再確認

本研究で開発した検出方法が他の場合に適用できる

かどうかを確認するために、塩素を消費するパイプの位置を変えて、老化したパイプによる反応係数 k_w の値を変える。そして、実際の配水管ネットワークにおけるある節点で1時間ごとに測定される塩素濃度は多少に誤差を含むので、本研究で開発した方法によって誤差を含む観測値を用いて、塩素消費が行われているパイプを検出できるかどうかを確認した。

6. まとめと課題

配水管ネットワーク中の節点でモニタリングステーションを設置して、各節点の24時間の塩素濃度を測って、測れた塩素濃度を観測値とする。水中の有機物による塩素濃度の減少係数 k_b の最初の予測値を与えて、管網計算によって計算した塩素濃度の予測値と観測値の誤差を求めて、求めた全節点のトータル誤差を最小にするように減少係数 k_b を推定した。減少係数 k_b を推定した後に各節点24時間の誤差合計を求めて、誤差の大きさによって順番に並んで、誤差が大きい節点を老化したパイプの影響と考えられる。これらの節点とつながっているパイプを塩素消費するパイプと判断できた。

最後に、本研究で開発した検出方法が他の場合に適用できるかどうかを確認するために、塩素を消費するパイプの位置を変えて、老化したパイプによる反応係数 k_w の値を変える。そして、実際の配水管ネットワークにおけるある節点で1時間ごとに測定される塩素濃度は多少に誤差を含むので、本研究で開発した方法によって誤差を含む観測値を用いて、塩素消費が行われているパイプを検出できるかどうかを確認した。

結果としては、観測値に 0.25% の誤差をつけても、塩素消費するパイプを検出できる。また、 k_w の値によっても検出率は変化し、 k_w の値は小さいほど塩素消費するパイプを検出しやすかった。

この検出方法は全節点24時間の塩素濃度の観測値がわかるという条件下適用できることがわかった。しかし、実際の問題は配水管ネットワーク中の全節点24時間の塩素濃度を測ることが欠損データを含む場合があると思われるので、数個の節点の観測値を使ってすべての節点の観測値を推定できるような方法を続けて検討する必要がある。