

福岡市配水管網系における節点需要量のモデル化とそのオンライン予測について

九州大学工学部 学生員 ○久我 洋一郎
九州大学工学部 正 員 河村 明
九州大学工学部 正 員 神野 健二

1. はじめに 大規模で複雑な都市の上水道の配水システムにおいて配水の最適運用を行うには、配水管網内の過大な水圧分布を抑制して漏水量の軽減を図るとともに、需要者への供給水圧を適正な値に保つ必要がある。このためには水圧の変動に大きく影響を与える配水管網系内の各節点での需要量を実時間で精度良く予測する必要がある。福岡市では、昭和53年の大渇水をきっかけとして配水調整事業に取り組み、現在は市内配水管網の各要所に、流量計、水圧計、電動調整バルブを設置している。著書らは、これまでに配水管網内に設置された流量計および水圧計から時々刻々送られてくるセンサ情報を利用して、節点での非定常の水需要量をカルマンフィルターを用いてオンライン予測し、同時に管路流量および節点水頭も予測する手法を提案している。¹⁾本報では、本手法がより一般的な需要量の変動に適用できるかどうかを、福岡市の実際の配水管網系を対象として検討をおこなう。すなわち、まず対象とする管網系における平成2年5月21日午前10時00分から5月23日午前9時55分までの水圧計、流量計および電動調整バルブの5分間隔の実データや年間水需要実績等を参考にして現実即した需要量のシミュレーションモデルの作成を行う。次いで、そのモデルに対して先の手法を適用し、その結果について検討を行っている。

2. 節点需要量の予測手法²⁾ 管網の節点数 n_1 、管路数 n_2 、外部からの流入出量数 n_3 とすれば、管網計算における既知量(与える量)として、 n_1 個の節点需要量、 $(n_3 - 1)$ 個の外部流入出量および1個の基準節点水頭をとる。そしてこの管網計算における既知量が何らかの関数式で表されるとする。ここでは、例えば i 節点の k 時点での需要量 $q_i(k)$ ($i=1 \sim n_1$)として、次式のような周期関数と自己回帰を混合した確率モデルを考える。

$$q_i(k) = M_i + \sum_{m=1}^{\ell_1} \{ a_{i,m} \sin(2\pi f_{i,m} k) + b_{i,m} \cos(2\pi f_{i,m} k) \} + \sum_{n=1}^{\ell_2} c_{i,n} q_i(k-n) + v_i(k) \quad (1)$$

ここに、 ℓ_1 : 周期成分の個数, M_i : 平均値, $a_{i,m}, b_{i,m}$: 振幅, $f_{i,m}$: 周波数成分,

ℓ_2 : 自己回帰式の次数, $c_{i,n}$: 自己回帰係数, v_i : $N(0, \sigma_i^2)$ の正規性白色雑音

本研究では、式(1)の $M_i, a_{i,m}, b_{i,m}, c_{i,n}$ および $q_i(k-n)$ ($n=1 \sim \ell_2$)をカルマンフィルターの状態量として推定し、これらの推定された状態量を用いて節点需要量の予測を行う。カルマンフィルターでは、状態量の最適推定値は、1ステップ先の予測値と実際の計測値との誤差をフィードバックして逐次オンラインで求められる²⁾。ここでは、式(1)の1時点をも5分として、そして周期成分として24時間と12時間周期を取り込み、また自己回帰式の次数は2とした。すなわち式(1)の $\ell_1=2$, $f_{i,1}=1/(24 \times 12)$, $f_{i,2}=1/(12 \times 12)$, $\ell_2=2$ とした。

3. 適用例 ここでは福岡市の配水管網の内、第9区画配水管網系を対象とし、シミュレーションを行った。この場合、管径の小さい管路では、管径の大きい管路に比べて流量がきわめて小さいものとして無視し、管径300mm以上の管路を実際の第9区画管網図より拾い出し管網モデルを作成した。さらに、センサ情報がある程度十分に得られなければ精度良い予測は望めないため、ここではそのモデルから比較的センサが多く取り付けられている部分を抜き出して、本手法を適用した。この場合の管網モデルを図-1に示す。図-1の管網モデルでは、総節点数31、総管路数36、外部からの流入出量数9であり、また観測量は、流量計および水圧計の設置された管路および節点の管路流量、外

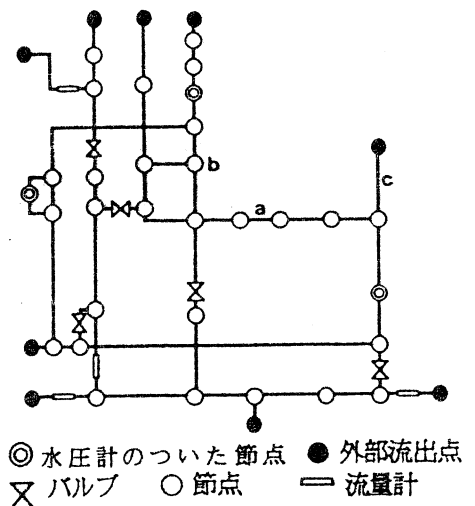


図-1 福岡市第9区画配水管網図

部流入量、節点水頭であり、その観測量の総計は7個である。次に、実際のデータがなるべく再現できるように外部流入出量および節点需要量の模擬発生を行うため、式(1)のパラメーター M_i, a_i, b_i, c_i を以下のように定めた。外部流入出量の内、実データが得られる場合は、平成2年5月21日午前10時00分から5月23日午前9時55分までの5分間隔の実データに対し直接、最小二乗法を用いることによりパラメーターを決定した。また、非観測量である節点需要量のパラメーターについては、各地区の年間水需要実績、およびこの管網系に水を供給している浄水場からの配水量の時間変動などを考慮することにより求めた。これらのパラメーターの値を以後の模擬発生における真値とした。次いで、これらの値を用いて管網計算を行い、模擬発生における真の管路流量および節点水頭を定めた。以上のように模擬発生させた時系列に対して2. の手法を適用した。図-2に、各パラメーターの初期値を真値の50%とした場合の図-1の管路aの流量、節点bの需要量の1ステップ先(5分先)の予測結果を示している。ついで、図-1の外部流入出点cに観測点として流量計を増設した場合のシミュレーションを行った。その場合の管路aの流量、節点bの需要量の1ステップ先(5分先)の予測結果を図-3に示す。

4. 考察 図-2より、管路流量についてはよく予測されている。しかし、節点需要量の方の予測精度はあまりよくない。これは、計測器が設置され観測量が直接フィードバックされる管路流量、節点水頭は精度よく予測できるのに対し、非観測量である節点需要量については観測量が直接フィードバックされず、初期推定値の影響を受けるため、流量や水頭に比べ予測精度がおちるからであろう。図-3より、流量計を設置した場合、非観測量である節点需要量も予測精度は向上している。また、他のシミュレーション結果より、水圧計よりも流量計を設置する方が予測精度の向上につながり、また流量計を設置する場合、管路よりも管網計算の境界条件となる外部流出点に設置する方が効果的であることが明らかになった。

5. むすび 本研究は、流量計および水圧計から得られる5分間隔のセンサ情報を利用して、カルマンフィルター理論により節点需要量と管路流量および節点水頭をオンラインで予測する手法を第9区画配水管網系の模擬発生データに対して適用した。その結果、本手法に精度良く節点需要量、管路流量、節点水頭の予測ができることが示された。また、観測量を増やすことが予測精度の向上につながることが示された。この場合、水圧計よりも流量計を増設する方が有効であることがわかった。

参考文献:

- 1) 河村 明・神野健二・上田年比古・小谷辰士: 自己回帰モデルによる配水管網系の節点需要量のオンライン予測、九州大学工学集報、第62巻、第2号、pp. 83-90、平成元年3月。
- 2) 河村 明・神野健二・上田年比古・土井敬介: 上水道配水管網系の節点需要量のオンライン予測に関する研究、土木学会論文集、第405号、pp. 245-254、1989年5月。

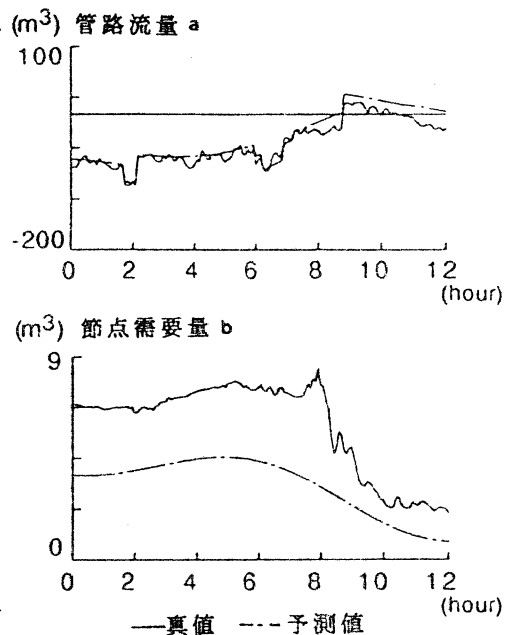


図-2 1ステップ先(5分先)の予測

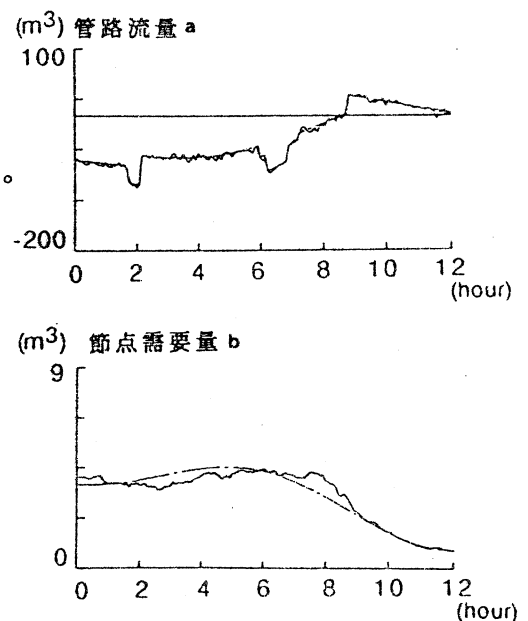


図-3 1ステップ先(5分先)の予測
(観測点を増やした場合)