

福岡市第9区画配水管網系における節点需要量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するとともに、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す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。著者らは、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理論でオンライン予測し、同時にすべての管路流量および節点水頭も予測する手法を提案し、本手法をシミュレーションデータに適用して、本手法の有用性および種々の特性について検討を行った¹⁾。本報では、まず福岡市の第9区画配水管網系内の流量計、水圧計および電動調整バルブの2週間分の時間データの特性解析を行った。次いで、節点需要量を表す関数式として周期関数と自己回帰式の混合モデルを想定し、上述のデータに上記手法を適用し、節点需要量、管路流量および節点水頭のオンライン予測を行い、その結果について検討を行った。

2. 計算手法¹⁾

管網の節点数 n_1 、管路数 n_2 、外部からの流入出量数 N 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、 $(N-1)$ 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。本研究では、例えば節点需要量 $q_i(k)$ ($i=1\sim n_1$) として、式(1)のような周期関数と自己回帰式の混合の式を考える。

$$q_i(k) = M_i + \sum_{n=1}^{l_1} \{ a_{i,n} \sin(2\pi f_{i,n} k) + b_{i,n} \cos(2\pi f_{i,n} k) \} + \sum_{n=1}^{l_2} c_{i,n} q_i(k-n) + v_i(k) \quad (1)$$

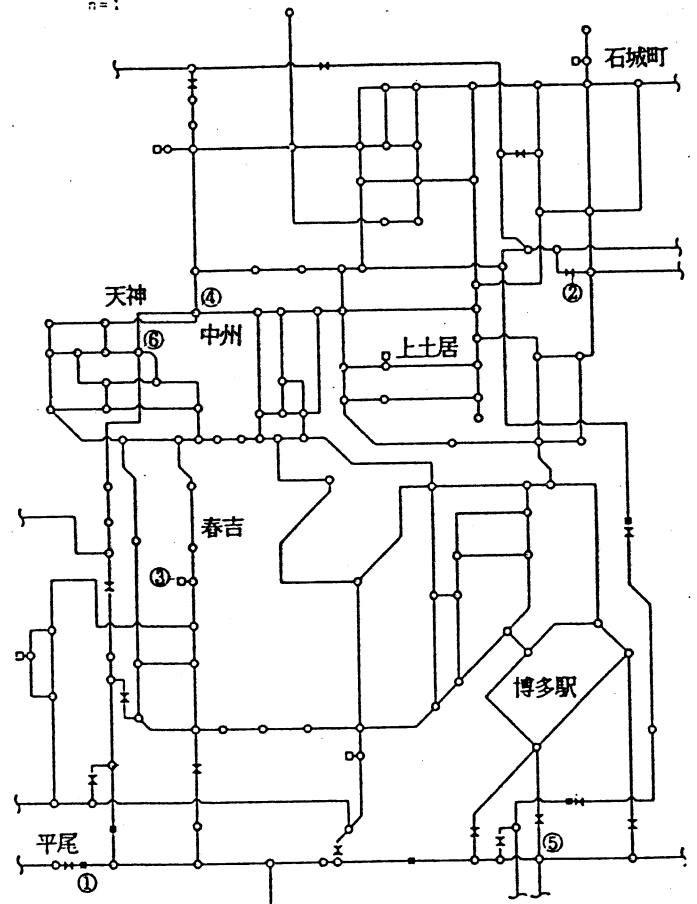
ここに、 l_1 : 周期関数式の次数、 M_i : 平均値、
 $a_{i,n}, b_{i,n}$: 振幅、 $f_{i,n}$: 周波数成分、
 l_2 : 自己回帰式の次数、 $c_{i,n}$: 定数、
 $c_{i,n}$: 自己回帰係数、
 v_i : $N(0, \sigma_{v_i}^2)$ の正規性白色雑音

本研究では、 $M_i, a_{i,n}, b_{i,n}, c_{i,n}$ および $q_i(k-n)$ ($n=1\sim l_2$) をカルマンフィルター¹⁾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時点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¹⁾

3. 実データの解析

ここでは、系統別配水エリア等を考慮して20のブロックに計画区分された福岡市配水管網のうち、図-1に示す福岡市第9区画配水管網系を取り上げる。本管網内には流量計5個、水圧計6個、電動調整バルブ16個が設置されており、本研究ではまず、それぞれの計器から得られた平成1年12月1日から12月14日の14日間の経時データ336個の実データより、流量、水圧の変動特性について検討を行う。

図-2に、図-1の管路①の流量計(M-301)および節点③の水圧計(P-305)のデータの自己相関係数を示している。図-2(a)よりM-301は横軸の遅れ時間が2.4時間おきで相関が強くなっている。このことは他の流量計でも同様であった。これよ



○: 節点 □: 水圧計 ■: 流量計 ※: 電動調整バルブ
 図-1 福岡市第9区画配水管網系

り流量変動は24時間周期を持つと考えられる。また、スペクトル解析を行った結果、24時間と12時間の周期が卓越していることを確認した。この傾向は他の流量計のデータについても同様であった。一方、図-2(b)のP-305については自己相関係数の値は小さく、周期性は顕著でない。このことは他の水圧計についても同様であった。これは福岡市の場合、電動調整バルブによる水圧の制御を行っており、水需要量の変動の影響以上にバルブによる制御の影響が強く作用しており、周期性が顕著に現れないものと考えられる。

以上より、第9区画配水管網系内での流量および水圧の変動には、一般的に考えられている24時間と12時間の周波数成分を持つ水需要の変動と、バルブ開度の変化が起因するものと考えられる。

4. 予測手法の適用結果と考察

2. で述べた手法を図-1に示した管網系に適用する。

図-1の管網系は総節点数136、総管路数187、外部からの流入出力11である。3. で得た流量、水圧の変動特性を考慮して、需要量の変動のモデルの周期関数の成分として24時間周期を取り、自己回帰式の次数を2とした。すなわち式(1)の $\lambda_1=1$, $f_{11}=1/24$, $\lambda_2=2$ とした。そして、計算時間間隔を1時間として、節点需要量、管路流量および節点水頭の1時間先を予測した結果の一部を図-3に示す。この図より、流量計、水圧計の設置されている管路①の流量、節点③の水頭については精度よく予測されている。次に、流量計、水圧計の設置されていない管路②の流量、節点④の水頭および非観測量である節点⑤、⑥の需要量については、現在のところ、その予測精度を検討することはできないが、変動傾向をみると、かなり現実に即しているのではないかと考えられる。なお、節点需要量モデルとして周期関数式のみを用いた場合、節点水頭の予測値の変動傾向が現実のそれとは異なり、予測精度も低くなった。また、自己回帰式のみを用いた場合は、節点需要量に周期が見られず余り現実的ではなかった。よって、節点需要量モデルとしては周期関数と自己回帰式の混合モデルが良いと考えられる。

5. おわりに

本研究は、配水管網内の流量計および水圧計から得られるセンサ情報を利用して、カルマンフィルタ理論により配水管網内の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福岡市第9区画配水管網系の実データに対して適用した。その結果、本手法により精度良い節点需要量、管路流量、節点水頭の予測が可能であることを示し、節点需要量モデルとしては周期関数と自己回帰式の混合モデルが適合度が高いことを示した。

今後は、各節点での使用水量の比率や予測値の自己相関などを実データのそれと比較することなどにより、節点需要量の予測精度について検討していくつもりである。

参考文献

- 1) 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。

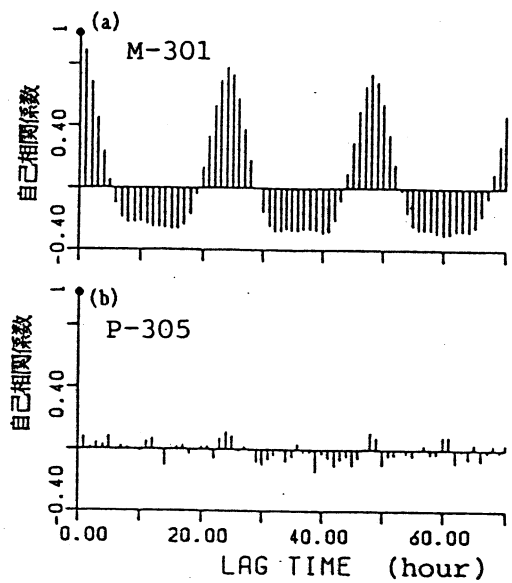


図-2 自己相関関数

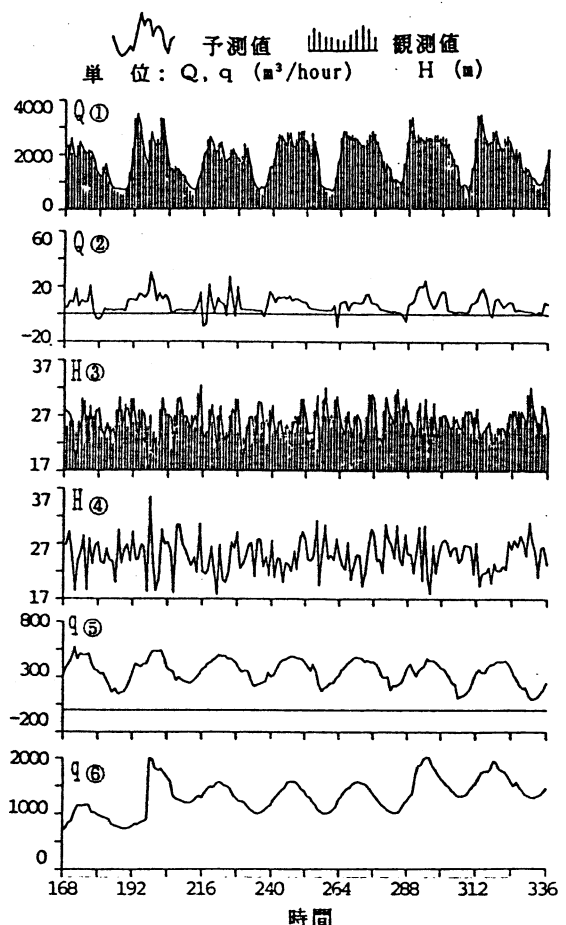


図-3 需要量、流量、水頭の予測値