

配水管網系における年間水需要量実績を考慮した水需要量モデルと
水圧および流量の実時間予測

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、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たねばならない。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、水圧計の5分間隔データの特性について解析を行い、その結果をもとに、実際に即した各節点での需要量モデルを決め、そのモデルを用いて需要量、管路流量、節点水頭の模擬発生を行う。次いで、この模擬発生データに対し、上記手法を適用し、節点需要量、管路流量、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う。

2. 実データの解析

ここでは、福岡市配水管網のうち、図-1に示す福岡市第9区画配水管網系の一部を取り上げる。本管網内には流量計1個、水圧計3個、電動調整バルブ5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2年5月21日午前10時00分から5月22日午前9時55分までの5分間隔の経時データ288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(a)に、図-1の管路①の流量計の自己相関係数を示している。この図より、遅れ時間0での相関が最も高く、徐々に相関が低くなり、また周期的に相関が高くなっている。また、同じデータに対しスペクトル解析を行った結果を図-3に示す。この図より、24時間と12時間の周期が卓越していることがわかる。これは、他の流量計についても同様であった。一方、図-2(b)に節点②に水圧計の自己相関を示しているが、自己相関係数の値は小さく、周期性は顕著でない、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。

3. 節点需要量の予測手法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_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、2.の解析の結果より、例えば節点需要量 $q_i(i)$ ($i=1 \sim n_1$)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。

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

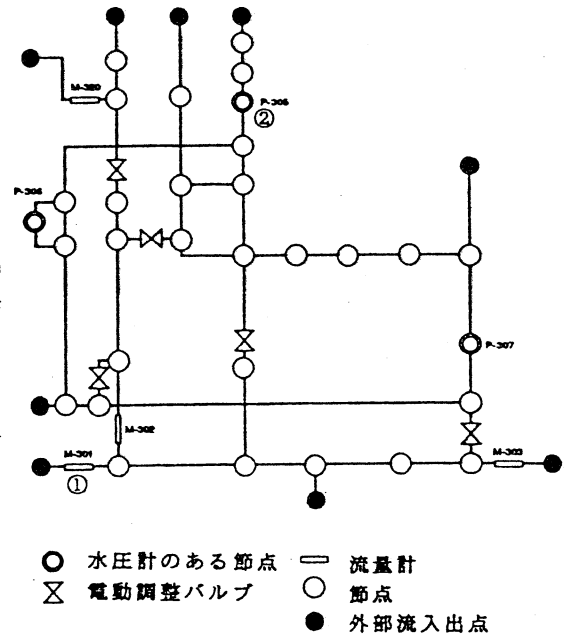


図-1 福岡市第9区画配水管網図

ここに、 l_1 : 周期関数式の次数, M_i : 平均値,
 a_{im}, b_{im} : 振幅, f_{im} : 周波数成分,
 l_2 : 自己回帰式の次数,
 c_{in} : 自己回帰係数,
 v_i : $N(0, \sigma_{i2})$ の正規性白色雑音

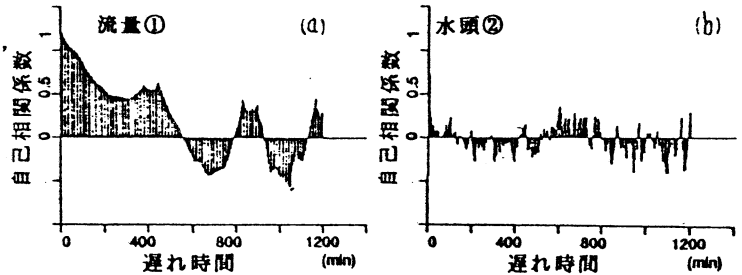


図-2 流量の自己相関係数

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

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¹⁾。ここでは、2. で得た流量、水圧の変動特性を考慮して、式(1)
 の需要量の変動のモデルとしては、周期関数の成分として24時間、12時
 間周期を取り、また自己回帰式の次数は2とした。すなわち式(1)の $l_1=2$,
 $f_{i1}=1/24, f_{i2}=1/12, l_2=2$ とした。

4. 適用例

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、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、外部流入量、節点水頭であり、観測量の総計は7である。ここでは、こ
 の管網系に水を供給している浄水場の配水量の時間変動、各節点の受け持つ
 区域の年間使用量の比率などを考慮して、式(1)のパラメーター $M_i, a_{im},$
 b_{im}, c_{in} を適当に定めて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。これにより得られた需要量の模擬発生値は、かなり実際に即
 していると思われる。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求めた。以上のように模擬発生させた時系列に対して3. の手
 法を適用した。図-4に、図-1の管路流量①、節点水頭

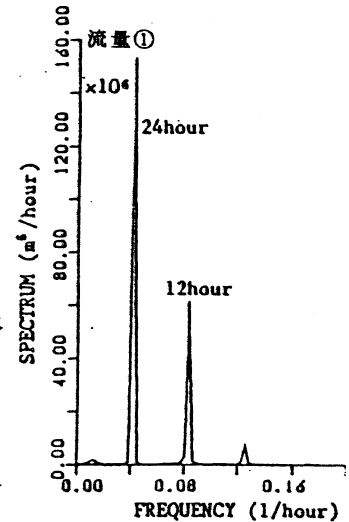


図-3 流量のスペクトル図

5. 考察

図-4より、流量計、水圧計の設置されている管路流量①
 節点水頭②については精度よく予測されている。しかし、
 流量計の設置されていない外部流入量の流量や、非観測
 量である節点需要量については、やや予測精度が劣ってい
 た。これは、センサ情報の得られる所が地域的に偏ってい
 るため、情報の少ない場所での予測の精度は初期値に左右されてしまうからであろう。そこで、情報の少
 ない場所に新たに流量計があると仮定し、その場所の管網情報を観測量として取り入れると、予測精度は
 かなり向上した。これより、流量計を増設することにより、予測精度の向上が得られることがわかった。

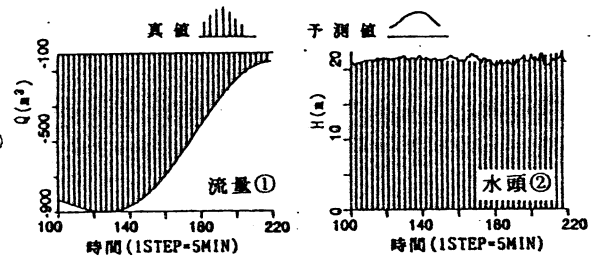


図-4 1ステップ先(5分先)の予測結果

6. 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、本手法により精度良く節点需要量、管路流量、節点水頭の子測ができることが示された。また、流量計を増設することにより、予測精度の向上が得られることがわかった。今後、これにより得られたモデルを実際のデータに適用し、現実の需要量の把握を行うつもりである。

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。