

マッピング技術を適用した配水コントロールシステム

筒井和雄*、福島 学*、古瀬貴弘*、福本 恭**

* (株)日立製作所大みか工場

日立市大みか町5-2-1

** (株)日立製作所システム開発研究所

川崎市麻生区王禅寺1099

概要

水道においては、常に適切な圧力で需要家に水の安定供給を行うことが必要であり、近年の都市の多様化に伴い24時間安定した配水制御が要求されている。従来、配水コントロールは管網モデル作成から需要量割付、制御パラメータチューニング等手作業に頼る部分が多かった。この技術課題を解決するため、マッピング技術を適用した配水コントロールシステムを検討した。

その結果、ユーザが実施できる管網修正機能、需要量の自動割付、管路抵抗係数の自動チューニング方式、需要分布の変動にリアルタイムに追従する配水制御手法等、実管網レベルの配水コントロールシステムを実現する手法を確立したので報告する。

キーワード

マッピング、管網計算、配水制御、配水コントロール

1. はじめに

近年の水道事業においては、増大する水需要に対して水源を満足に確保することが困難になってきており、不必要な高圧を原因とする漏水を低減することが望まれている。一方、直結給水に対する要請も多くあり、適正圧力を保たなければならない。そのため、時々刻々変化する配水管路内の圧力分布を的確に把握し、適切な圧力で水を供給する配水コントロールシステムのニーズが高まっている。ところが従来の配水コントロールでは、日々行われている管網更新・増強に追従するには管網モデル作成から需要量割付、制御パラメータチューニング等手作業に頼る部分が多かった。本報告では従来の配水コントロールの課題を解決するためにマッピング技術と配水制御技術を融合した新配水コントロールシステムを提案する。

2. マッピング技術の必要性

配水コントロールは、数百Kmにおよぶ配水系統の配水圧力を適正に維持するため管網モデル化を作成し、管網計算により各末端の配水圧力を演算し、需要量に追従した適正な配水制御を実現するものである。従来の配水コントロールは、計算機能力の制約、及び管網モデルの入力の困難さから末端の細かい管路を省略し、需要を一点の需要点に集約した縮約管網モデルを用いたものであった。しかしながら、近年は管網計算の精度向上、並びにGUIの飛躍的発展に伴う管網計算結果のグラフィック表示が要求され、実管網レベルの計算が必要となっている。ところが配水系統は配水管路の更新や増強により日々変化しており、同時に需要家も頻繁に変更が発生している。このため、ユーザによる管網メンテナンスを可能とし、かつ膨大な需要量の割付を自動化することが必須であり、マッピングシステムの技術により解決を図るものである。即ち、管路網の入力は地形図を背景にして行い、また、地図上に展開される検針ブロック単位を用いて需要量の自動割付を行う方式を採用する。

3. 配水コントロールシステム

3.1 システム構成

マッピング技術を適用した配水コントロールシステムは、図1に示すように従来の監視制御システムに配水制御システムを組み合わせる構成とする。配水制御システムは、配水管路網の実管網モデルを作成しオフラインでシミュレーションする管網作成用ワークステーションと、オフラインで評価された管網モデルをもとにオンラインで管網計算を実行し目標配水圧を求めるオンライン管網計算ワークステーションで構成する。監視制御システムはこの目標配水圧により配水池や配水ポンプの制御を実行し、経済的な配水池運用、及び適正な配水圧力の制御を行う。また、主要な地点には水圧局を設置し、リアルタイムに圧力計測値を入力して、管網解析のパラメータチューニングや制御結果の監視に用いる。

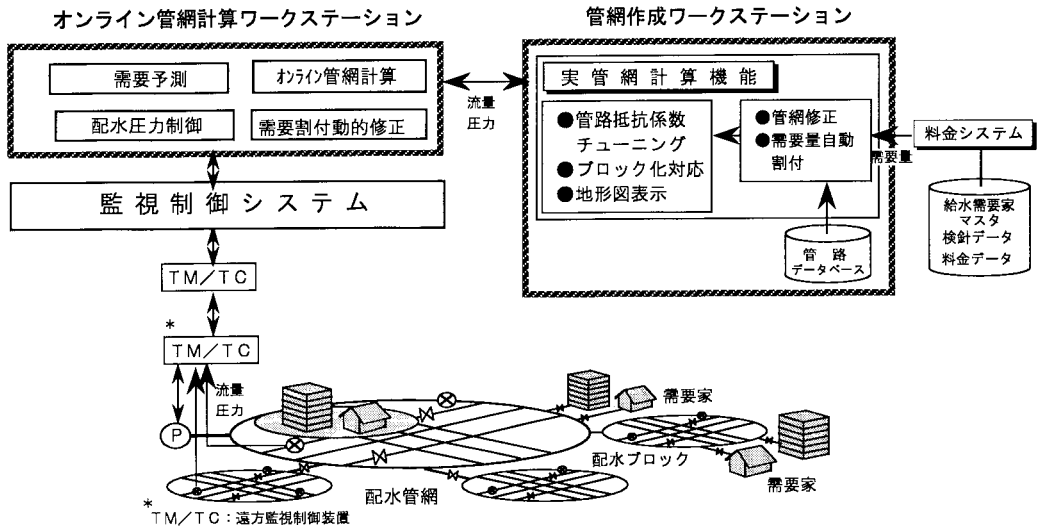


図1 配水コントロールシステムの構成

3.2 オフライン管網解析

オフライン管網解析は、管路の増設や布設替え、及び大型施設・団地等の建設に伴う需要家変動に対応すべく、管網モデルの作成から管網モデルの妥当性評価までを検証することを可能とする。ここで作成、検証したデータはオンラインにて使用するものであり、システム稼働中にデータのメンテナンスを可能とし、作成データをオンライン使用する際の信頼性を確保する。

(1) 管網修正

管網修正は基本的に管網モデルのノード、管路、各種弁等の設置/削除を行うことである。従来、配水コントロールシステムにおいてはデータメンテナンスが大変でユーザが自由に更新ができなかった。このためマッピング技術を適用して管路入力用の背景地図をイメージ入力し、その上に管網モデルを構築する方式とした。これにより、管路の更新がユーザ自身でも容易に行え、常に最新の管網モデルを維持できることになった。

(2) 需要量自動割付

従来の需要点における需要量割付方法は、検針台帳を基に町単位の平均需要量を算出し、町内の人口比率から丁目単位の分配率を求め各ノードに需要量を割り付けていくものである。そこで、この需要量を自動的にノードに割り付ける方法について検討した。通常、2ヵ月単位に検針されている検針データを扱う水道料金システムに着目し、需要量の自動割付けのデータベースとして活用した。図2は、需要量の自動割付方法を示したものであり、以下の手順で行う。

- ① 管網を検針ブロック単位に分割し、ブロック内に含まれるノードの需要量(料金システムにおける検針データ)からブロックの総需要量を算出する。
- ② 当該検針ブロックをメッシュ分割し、検針ブロック総面積とメッシュ内検針ブロック面積の面積比にてメッシュ毎の需要量を求める。
- ③ 各ノードとメッシュ中心が最短となるメッシュ需要量を当該ノードに積算し、ノードの割付需要量とする。

(3) 管路抵抗係数チューニング

配水管の抵抗を決定する一因である流速係数(以下、抵抗係数と称す)は、管の材質、布設年数および管内付着残留物により配水管毎に異なる。管網解析を行う際に、この抵抗係数に正確な値を入力することは実際上困難であり、従来は文献に基づく経験値を一意的に与えてきた。しかしながら、近年の計算機能力の向上に伴い、詳細な管路を含む管網モデルに対しても管網解析を行うことが可能となっており、精度向上のためにもこの抵抗係数を現実の値に近似させることが必要である。したがって抵抗係数を適切にチューニングする手法として、圧力測定局の実測計測値と管網解析の計算値とから、最小二乗法によるパラメータチューニングを開発した。

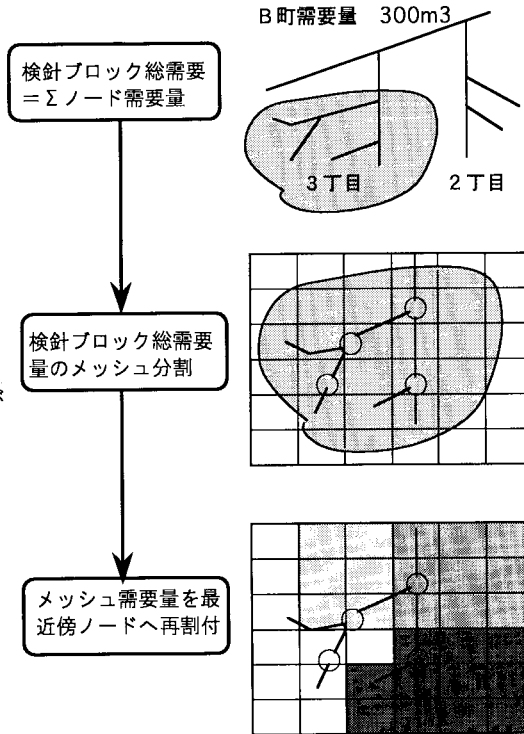


図2 需要量割付の自動化

3.3 オンライン配水制御

オンライン配水制御は、オフラインにて修正され十分に調整された管網モデルを用いて配水制御を行うものであり、定周期で管網計算を実行し、計算結果を監視制御システムに出力する。従来のオンライン管網計算は、需要量割付により求められる各需要点の需要比率に対し、その時の計算時刻における総配水量を乗じて需要量としていた。この方式では商業地区と住宅地区の時間帯による需要変動パターンの違いが反映できず、時々刻々変化する需要分布の変動に追従することができない。そこで、圧力流量計測データから需要分布の変動をリアルタイムに算出し、配水管路内の圧力流量分布を把握した後、配水制御を行う手法を検討し、某中規模都市の実測データに対して評価実験を行った。

(1) 需要分布変動の推定方法

需要分布の変動にリアルタイムに追従する配水制御手法のフローチャートは、図3のようになる。

step1: 管網解析を行い全需要点の圧力 P_i 、全管路の流量 X_j を求める。

step2: 需要点 i 、管路 j に設置した圧力流量計より得られる圧力、流量情報 P_i^*, X_j^* をもとに次式を最小化する需要量 y を求める。

$$J(y) = C \sum_{\text{圧力計測点数}} (P_i - P_i^*)^2 + D \sum_{\text{流速計測点数}} (X_j - X_j^*)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ただし、 $y = (y_1, \dots, y_n)$ (n は需要点数)で y_i は需要点の需要量を表し、 C 、 D は適当な重み係数である。

step3: step2で求めた需要量をもとにして管路内圧力が目標圧力に従うようにポンプ圧力、バルブ開度を制御する。

以上のstep1~3を繰り返す。

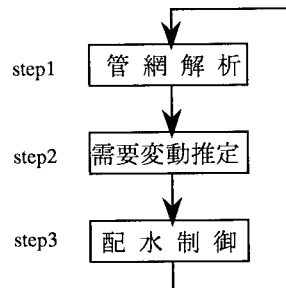


図3 配水制御フロー

(2) 需要エリアの分割

人口30万人規模の某市水道事業体殿の管路データをもとに管網解析の対象となる需要点、管路をプロットした。この場合、上記step2における変数(需要量) y のもつ自由度 n は非常に大きくなり(本例では $n \approx 2200$)、(1)式を満たす y を特定することは困難である。そこで多数ある需要点を数~十数個のエリアに分割し、エリアに分割された需要点の需要変動を同一エリア内の需要点に対しては一律に増減させることで問題の縮約を図る。

(3) 検証結果

上記(1),(2)で述べた手法を同市水道事業体殿の圧力流量計測データに対して実行した。ただし、同データは配水圧力一定制御をすることに得られたものであり、リアルタイム配水制御の結果ではない。そのためstep3の制御計算は行っていない。つまり、現在の圧力一定制御に対する圧力流量計の情報に対してstep1, 2の管網解析計算、需要分布修正計算のみを行い、管路内の圧力流量分布把握の向上についての検証を行った。

【実験条件】

●配水池数は6、需要点数は2,178、管路数は2,767。●圧力計測点は9箇所、流量計測点は配水池に6箇所設置。●需要量修正の際のエリアは6つに分割。●シミュレーションは30分間隔の圧力流量計測データに対して24時間実行した。

【結果】

図4、5は計測点A(JR駅近郊)と計測点B(住宅地域)の

(誤差) = (計算圧力) - (計測圧力) をstep2の需要修正をしたもの(実線)

と、しないもの(点線)について縦軸を誤差(kg/cm²)、横軸を時刻(0時~23時30分)で示している。図6、7は計測点A、Bを含むエリアの需要修正量を時間毎に(修正率) = (修正需要) ÷ (エリア内の平均需要量)で表している。修正率は横軸に百分率(%)で示している。図4から計測点Aに関してはほぼ全時刻において計算圧力の改善が見られる(誤差15%縮小)。一方、図5では誤差の大きい8時前後は改善されているものの、その他の時間帯は若干誤差が広がっている(誤差14%拡大)。これは計測点Bでの誤差がもともと小さく、(1)式の2乗誤差最小を解とする本手法では改善度の大きい他のエリアの改善の影響を受けたためである。なお、9箇所の計測点全てでは圧力誤差で9%、流量誤差で15%縮小している。図6、7からは時間帯毎の需要変動を読み取れる。需要は住宅地では洗濯を行う朝、及び入浴・炊事を行う夕方以降に需要が増加し、商業地においては勤務時間内に需要が増加するはずである。図6では6~9時にかけて需要が減少、10~17時にかけて増加している。図7では6~9時及び20時以降に需要は増加し10~17時は減少している。計測点Aを含むエリアがJR駅を含む市の繁華街を含んでいるのに対し、計測点Bを含むエリアは比較的住宅の多い地域を内包している。このことから、上記現象が地域の需要特性に起因する需要分布の変動に応じて修正が行われていることを示している。

5. おわりに

マッピング技術を配水コントロールに適用することにより、従来の技術課題であった管路や需要家の変化に対応した管網モデルの変更が可能となった。また制御パラメータの自動チューニング、需要量変動にリアルタイムに追従する配水制御手法の確立によりオンライン管網解析による配水コントロール運用の見通しを得た。

参考文献

1)宮岡、松橋：「ネットワーク・フロー理論の応用による大規模配水系統の圧力最適化法」、電気学会誌C、59(1982-3)

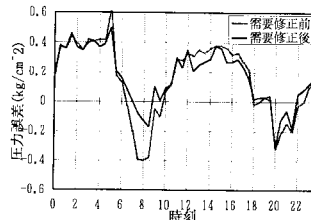


図4 計測点Aの圧力誤差

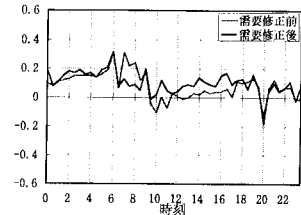


図5 計測点Bの圧力誤差

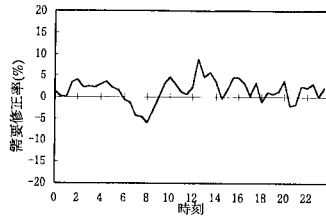


図6 Aを含むエリアの需要修正率

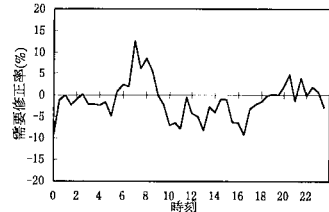


図7 Bを含むエリアの需要修正率