

【学位論文審査の要旨】

本論文は、水道における安定供給のための配水管理を対象として、管路事故におけるフルプルーフ（事故を起こりにくくする）とフェイルセーフ（事故が起きても影響を小さく抑える）の両視点から配水管網における水圧管理を捉え、詳細な管網モデルを用いなくても可能となる、経時的な水圧測定データを活用した配水コントロール方法について研究したものである。

送配水施設は水道資産全体の約 7 割を占めているが、高度経済成長期に建設されたものが多い。耐用年数 40 年を超える老朽管割合の増加は漏水や管路破断などを招き易く、高い事故発生リスクを有している。安全で安心な送配水システムを構築するためには老朽管の更新・耐震化の推進が求められるが、予算等による制約もあり、比較的初期投資を低く抑えることが可能な配水管理による対応策が重要となる。

配水管理においては水量・水圧・水質の把握が前提となるが、広範囲に面的な広がりを持つ配水管網の特性上、十分な数のセンサを設置できていない場合が多い。また中小規模の水道事業体においては、十分な技術者の確保が難しくなっている現状もあり、ICT(Information and Communication Technology)を活用した効果的な配水管理方法の確立が課題である。とくにエネルギー消費に直結する水圧コントロールでは、漏水や管路破断を可能な限り回避し、省エネルギーな送配水を実現するための配水管理が求められるとともに、急激な水圧変化に対応可能なロバストな水圧制御方法も望まれる。

そこで本研究では、まず、実フィールドに設置されている水圧計を用いた水圧監視・制御方法について検討し、夜間における余剰水圧の抑制による漏水量削減効果について分析した。さらに、水圧監視に基づいた管路破断事故位置の推定方法を新たに提案するとともに、突発的な水需要変動に対する水圧制御手法を検討して、時々刻々と変化する配水管網の流況に対応し、速応性と強靭性を同時に実現可能な配水コントロールについて研究したものである。

本論文で得られた成果を要約すれば以下のとおりである。

- (1) 配水管網の末端圧力制御に着目して圧力制御性能をシミュレーションした結果、吐出圧力制御の安定性を前提とすれば、末端圧力から吐出圧力をフィードバックするカスケード方式を用いることにより良好な制御応答が得られることが分った。さらに、最大水需要に対して規定される末端圧力で一定となるような制御を実施すると、吐出圧一定制御に比べ約 20%のエネルギー削減になると推定された。
- (2) 限られた箇所における水量・水圧測定を用いた配水管網管理を対象として、運転日報における時間別配水量と水圧データを用い、配水管網内における末端圧力の時系列変化を推定可能な簡易モデルを提案した。対象とする地域における実測試験を実施し、電動弁操作による余剰水圧の抑制と最小流量の低減について検証するとともに、漏水量の削減効果を定量化した。
- (3) 漏水事故で生じる急激な水圧降下を秒単位で捉え、複数水圧計間の反応時間差を双曲線

を用いて作画することにより、配水管網内の事故位置を推定する手法を提案した。本方法を実配水ブロックに適用することで、ブロック面積の約 200 分の 1 まで領域を特定でき、実際の複数の事故について位置の一致を確認した。以上の結果をもとに、水圧センサ数や測定時間間隔と位置特定領域面積の関係を明らかにした。

(4) 通常時には面的に広がる需要点へ安定供給するための水圧を維持する一方で、消防活動による急激な需要増加やメンテナンス等による管路の断水時には負圧にならない水圧制御が必要とされる。そこで、配水ブロックにおける水圧制御を対象に、隣接ブロックの水圧も加味して自ブロックの水圧をコントロールすることにより、管網内の水圧低下を速やかに抑制可能な分散協調制御方式を提案した。

(5) 4 配水ブロックからなる配水管網シミュレーションを用い、従来の比例積分制御との比較分析を行った結果、分散協調制御方式を用いることで目標水圧への追従機能を落とすことなく、消火活動などの外乱による突発的な状態変動を抑制可能であることを示すことができた。さらに、ポンプ圧送による配水プロセスの場合には消費エネルギーの削減が可能であるとともに、突発的な事故時に管網に負圧が生じる限界性能においても高い信頼性を有すると言えた。

以上要するに、本論文は、水道システムにおける配水管理において、管網内の水圧測定情報を活用して漏水量および消費エネルギーを削減し、突発的な事故の影響を抑制可能とする水圧監視・制御システムを用いることで、効果的な水圧管理計画の構築方法を提案したものであり、水道工学分野における貢献は極めて大きい。

よって、本論文は、博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があるものと認められる。