

氏 名	福 田 豊 生 ふく だ とよ お
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1832 号
学位授与の日付	昭 和 60 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	水 輸 送 シ ス テ ム の 運 用 に 関 す る 基 礎 的 研 究

論文調査委員 (主 査)  
 教 授 西 川 禎 一 教 授 住 友 恒 教 授 木 嶋 昭

### 論 文 内 容 の 要 旨

わが国においては、近年水の需給状況が逼迫してきており、供給をより効率的なものにするために、水輸送システムの整備と運用法の改善を図ることが急務となっている。この論文はシステム工学の立場から問題の分析とモデル化、解析法、運用計画の最適化、システム監視法などに関していくつかの基礎的考察を行ったもので、本文6章及び付録3章よりなっている。

第1章は序論で、研究の背景を示すとともに、本論文内容の概要を述べている。

第2章では、まず水輸送システムに関する各種の問題をシステム構造化技法の一種である ISM 法によって分析し、整理している。その結果、本論文で取上げた問題の位置付けと意義が明らかにされている。そして、それらの問題に対するアプローチの目的に応じて適切なモデルを使用するために、各種の静的及び動的モデルの基本的特性と相互関係を考察している。さらに電気回路モデルとの対応関係についても明らかにしている。

第3章は、配水管網の設計や制御などの基礎となる流量解析の方法として、管路の抵抗特性を表す二種のパラメータに関する連続写像法（ホモトピー）の適用を提案したものである。配水管の抵抗は一般に流量 $q$ に対して  $Kq^n$  と表されるような非線形特性を持つ。従って、配水管網は非線形電気抵抗回路網と等価な扱いができ、流量解析は非線形代数方程式の解を求めることに帰着される。この章では、まず連続写像法の一般的性質を検討している。その後、配水管網の定流出源モデル及び抵抗負荷モデルの方程式を導き、前者に対しては非線形性パラメータ $n$ を変化させた場合の連続写像により流量解を求める方法を検討している。また後者に対しては、抵抗係数 $K$ が変化した場合の流量変化を求める方法を論じている。いずれも写像の正則条件を満足し、解軌跡はダビデンコの微分方程式の解として唯一に定まることなどを確かめている。さらに、事例を用いて実用上の立場から数値積分法について検討し、従来の代表法であるニュートン・ラフソン法との得失についても比較検討している。

第4章は、複数の配水区からなる広域水輸送システムの運用計画問題を論じている。この種の問題は非線形計画問題の形に定式化されるが、システムの広域化につれて問題が大規模化するもので、その効率的な

解法が必要となる。この章では、地域及び時間に関して問題を二重に分割し、二種の部分問題を交互に解く方法を提案している。そして、各配水区の時間帯別需要量を満たしながら、運用費を最小化する日間スケジューリング問題のアルゴリズムを作成し検討を加えている。そのアルゴリズムは収束の十分条件を満足していること、繰返し計算の途中で得られる暫定解は常に実行可能解であることなどを示し、中規模都市の例に適用して従来よく用いられている GRG 法及び 2 対 2 分解法に比べて計算時間及び記憶容量の点で優れていることを確かめている。

第 5 章は幹線送水管路の破裂及び閉塞事故の監視に関する新しい手法を考察したものである。管路を流れる水は圧縮性流体と見なすことができ、その圧力及び流速について波動方程式を導くことができる。波動伝搬の特性曲線上で成立するシュナイダー・ベルジェロンの関係式は、従来から水撃現象の解析などに用いられてきたが、ここではそれに基づいて前進波及び後進波の状態判別関数を定義している。そして、同判別関数を用いて管路における事故の有無、事故の種類と規模、及び事故点の位置を実時間で推定するための関係式を導き、事故検知の具体的な手順を示している。最後に幾種類かの事故を想定した計算機シミュレーションによって、この検知方式の有効性を確かめている。

第 6 章は結論で、本論文の主要な成果をまとめるとともに、今後の検討課題を整理している。

### 論文審査の結果の要旨

水資源の利用をより効率的なものにするために、水輸送システムの整備と運用に関する技術の高度化が要請されている。水輸送システムは送・配水などに関わる多くの機器・設備と、それらを含むいくつかのサブシステムから構成されており、近年ますます複雑かつ大規模化する傾向にある。この論文は、システム工学の立場から各種の基礎的問題の分析とモデル化、解析、運用計画の最適化、システム監視などの手法に関して考察を加え、新しい提案を行ったものである。

著者の得た主な成果を要約すれば、次のとおりである。

1. 水輸送システムに関わる各種の問題を、システム構造化技法の一種である ISM 法によって分析、整理し、種々の静的ならびに動的モデルの基本的特性とそれらに対する適切なアプローチの手段について考察した。また、それら問題間の相互関係と電気回路網モデルとの対応についても明らかにした。

2. 配水管網における流量解析の方法として、管路の非線形抵抗特性を表す二種のパラメータに関する連続写像（ホモトピー）法を提案した。すなわち、定流出源モデルに対しては、非線形性を表すパラメータを変化させた場合の連続写像により流量解を求める方法、抵抗負荷モデルに対しては抵抗係数を変化させて流量変化を求める方法を示し、それぞれについて詳細に検討した。その結果、いずれの場合も写像の正則条件を満足し、解軌跡はダビデンコの微分方程式の解として唯一に定まることなどを明らかにした。また例題によって実際の数値解法についても検討を加え、従来法と比較して写像法の有利な点を指摘した。

3. 複数の配水区からなる広域水輸送システムの運用計画に対して、地域（配水区）と時間について二重に問題を分割し、効率的に解を求める方法を提案し、検討した。この考え方に基いて、運用費用を最小化する日間スケジューリング問題に対するアルゴリズムを作成し、そのアルゴリズムは収束の十分条件

を満たしていること、計算途中で生成される暫定解はすべて実行可能解であることなどの利点を持つことを示した。また、中規模都市の実例についてシミュレーションを行い、従来法に比して顕著な計算上の利点を有することを確かめた。

4. 管路中を流れる水は圧縮性流体と見なせる点に着目し、圧力及び流速の波動伝播特性を利用して、幹線送水管路の破裂及び閉塞事故の新しい監視法を提案した。すなわち、シュナイダー・ベルジェロンの関係式より前進波と後進波の状態判別関数を導き、それらを用いて事故の種類や事故点の位置などを実時間で推定できることを示し、種々の事故を想定した計算機シミュレーションによって実際上の有効性を確かめた。

以上を要するに、この論文は水輸送システムの流量解析、最適運用計画及び実時間監視について新しい手法を提案し、数的手段ならびにシミュレーションによってそれらの実用性を確かめたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和60年5月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。