

2 点流入型配水管網における貯留施設の 運用と設計に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

水道水の基本三要素である水量、水圧、水質の安定的、且つ、安全な供給に対して根源的な役割を果たす貯留施設を複数配備する多点流入型管網の導入は、都市上水道の配水施設の運用・設計において重要な検討項目の一つである。将来にわたり増大する需要水量とその偏在化によって不確定に引き起こされる局所的な水圧不足や貯留施設の容量不足といった問題に対処する方策として、一つの配水区域内に複数の貯留施設を設けて流入点における供給水量・水圧を調整する柔軟な運用方式が考えられる。本論文では、二つの配水池をもつ 2 配水池系並びに一つの配水池に高架タンクが付加された高架タンク系管網の二つを対象として、従来の単点流入型管網と比較対照させながら、まずはこれら 2 点流入型管網の流況を支配する水理的諸特性を明らかにし、次いで配水池・高架タンク等の貯留施設の設計と運用管理の両面に関する指針を提示することを目的としている。

論文は 6 章で構成されている。第 1 章は序論であり、本研究の背景と意義、目的を述べている。

第 2 章では、まず、需要水量の時刻的変動によって変化する貯留施設の水位、管網内の流量と水圧の状態を解析する方法として非定常シミュレーション法を解説している。次いで、管網解析の基礎式から得られる 2 配水池系管網と高架タンク系管網の定性的な性質と、シミュレーション実験から得られる水位・水圧・流量の値を総合して、次のような水理的特性を明らかにしている。① 2 配水池系管網では、送水流量の配分比率が両配水池の水位関係を決定づける。② 両配水池間の水位差が配水流量に影響を及ぼし、高需要時は、両池の配水流量の差は小さいが、低需要時にはその差が大きくなり、管網内の流況が大きく変わる。③ 配水池水位を上昇・下降させたときの節点水圧の増減量は配水池の水位変化よりも小さくなる。④ 2 配水池系管網は需要水量の場所的分布には影響されにくいものの、節点水圧を増加させる上では有効性が低い。他方、① 高架タンク系管網では、外部から直接送水流量がなく昼夜の需要水量の変動を利用して貯留と配水が繰り返される。② 配水池と高架タンク間の水位差は、タンクにおける流出・流入による水位変化速度が配水池のそれよりも大きいことによって生じる。③ 高架タンクの増圧効果は、高架タンクにおける低需要時の貯留分が高需要時に配水され、配水池から遠距離輸送される流量が減少することによってもたらされる。④ 夜間の低需要時でも、管網下流部ほど損失水頭が大きくなり、高架タンクの最高水位は相当に低くなる。⑤ 高架タンク系管網では、管網下流部の高架タンクほど小容量かつ低所に設置することができ、周縁部の水圧を上昇させる効果が高い。

第 3 章では、2 配水池系管網における二つの配水池の、高架タンク系管網における増設

タンクの必要容量並びに設置高さの算定方法について述べている。2 配水池系管網では、送水流量が両配水池の水位関係と必要容量を支配し、送水流量の大きい配水池の水位は高く、必要容量が小さくなる一方で、送水流量の小さい配水池水位は低く、必要容量が大きくなる。採用すべき設置高さと必要容量は、配水流量比と表面積比を組み合わせた非定常シミュレーション結果に基づいて、節点水圧と地勢的制約を満足するものの中から選ばれる。他方、単点流入型管網に高架タンクを増設する場合は、タンクの設置場所と表面積によって設置高さと必要容量が決まるので、その大きさは、設置場所と表面積を組み合わせた非定常シミュレーション結果に基づいて決定される。さらに、高架タンクの消火用水量に対する予備容量の決定にあたっては、消火用水量が配水池とタンクに配分されることを考慮すべきこと、また、小容量の高架タンクを複数分散配置することによって容量の大きい一つのタンクと同等以上の増圧効果が得られることを示した。

第4章では、2 点流入型配水管網の貯留施設の運用管理で必要となる状態推定方法を提示している。まず、配水池水位と節点水圧を算出するためには、配水池回りの連続方程式に加えて、管網内部の流況を規定している節点方程式に相当する関係式が不可欠であることを指摘し、配水流量と節点水圧の推定式をもってこれに充てることを提案し、その原形式と作成手順を示した。次いで、実測可能量である総配水流量と貯留施設間の水位差を低位側配水流量あるいはタンク流量に結びつけてその推定式を、また、総配水流量と配貯留施設間水位差を高位側配水池水位と当該節点間の損失水頭に結びつけて節点水圧の推定式を得た。両式を A 市の実際の 2 配水池系管網に適用し、管網内の需要水量が時刻的に一定比率で変化することを前提として作成された推定式でも、ほぼ妥当な結果が得られることを確認した。一方、高架タンク系管網では、夜間と昼間の水位差が大きく異なり、需要水量の大きさによって各推定式を使い分けるならば、実用上妥当な精度でタンク水位と節点水圧を推定できる。

第5章では、第4章で提示した 2 点流入型管網の配水流量と節点水圧の推定式を用い、将来時刻の総配水流量の予測値に基づいて配水池水位と節点水圧を適正に維持するための送水流量調整法を提示している。総需要水量の予測値に誤差がないときは、シミュレーション結果を真値とした場合と比較して、2 配水池系管網では、配水流量の予測誤差は送水流量を基準にして数%であり、配水池水位、節点水圧の予測誤差はたかだか数 cm 程度であった。他方、高架タンク系管網では、節点水圧の予測誤差が 2 配水池系管網に比べて大きくなるものの、実用上からは許容できる範囲にあった。なお、火災などでタンク表面積が小さいために、突発的に低下した節点水圧を配水池の送水流量調整によって回復させることは難しいので、タンクに付随するバルブ操作でタンク流出量を制限してタンク水位を高く保持し、水圧が最低となる時間帯にバルブを全開する運用で対処するとよい。

第6章は結論であり、本研究の成果を要約するとともに、今後の研究課題を挙げている。

以上のように本論文では、2 点流入型配水管網の水理的諸特性を明らかにするとともに管網内の状態推定式を提示し、これらを 2 配水池系管網と高架タンク系管網に適用して、その貯留施設の設計指針と運用方策について有用な知見を得ている。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	高 桑 哲 男
副 査	教 授	渡 辺 義 公
副 査	教 授	眞 柄 泰 基
副 査	教 授	板 倉 忠 興
副 査	助教授	船 水 尚 行

学 位 論 文 題 名

2 点流入型配水管網における貯留施設の 運用と設計に関する基礎的研究

都市上水道の水量・水圧管理において、将来にわたり増大する需要水量とその偏在化及び管路施設の老朽化によって引き起こされる水圧不足や貯留施設の容量不足といった問題に対処する方策の一つとして、一つの配水区域内に複数の貯留施設を設けた多点流入型管網とし、供給水量・供給水圧を調整する柔軟な運用方式が考えられる。本論文では、その水理的挙動に関して未解明な点が多い多点流入型管網として、二つの配水池をもつ2配水池系並びに一つの配水池に高架タンクが付加された高架タンク系管網の二つを取り上げ、従来の単点流入型管網と比較対照しながら、まずはこれら2点流入型管網の流況を支配する水理的諸特性を明らかにし、次いで配水池・高架タンク等の貯留施設の設計と運用管理の両面に関する指針を提示することを目的としている。

論文は6章で構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と意義、目的を述べている。

第2章では、まず、需要水量の時刻的変動とともに変化する貯留施設の水位、配水流量と管網内の水圧状況を算出するための非定常シミュレーション法を解説している。次いで、管網解析の基礎式から得られる2配水池系管網と高架タンク系管網の定性的な性質と、シミュレーション実験から得られる水位・水圧・流量の値を総合して、次のような水理的特性を明らかにした。①2配水池系管網では、送水流量の配分比率が両配水池の水位関係を決める。②高需要時は両池の配水流量比率がほぼ一定となる。他方、①高架タンク系管網では、タンク設置場所が配水池とタンクの水位関係を決める。②管網下流部にタンクを設置するほど、低いタンク水位で高い水圧上昇効果が得られる。③高需要時には、タンク分担流量が大きく、配水流量とタンクの流量配分比率は一定にならない。④夜間貯留時に配水池と高架タンクの水位差を大きくしても、昼間配水される水量は増加しない。また、①両系に共通して、二つの貯留施設間の水位差は、一日のうちで

高需要時・低需要時・需要急増期の三つについて異なった変化パターンを示す。②配水池または高架タンク水位が上昇したときの節点水圧上昇量は、管網内損失水頭の1次変化量で近似表現できる。

第3章では、2配水池系管網における二つの配水池と、高架タンク系管網における増設タンクについて、その必要容量並びに設置高さの算定方法を明らかにしている。2配水池系管網では、送水流量が両配水池の水位関係と必要容量を決めるので、採用すべき設置高さと必要容量は、送水流量比と表面積比を組み合わせた非定常シミュレーション結果に基づいて、許容節点水圧と地勢的制約を満足するものの中から選ばれる。他方、単点流入型管網に高架タンクを増設する場合は、タンクの設置場所と表面積によって設置高さと必要容量が決まるので、その大きさは設置場所と表面積を組み合わせた非定常シミュレーション結果に基づいて決定される。管網下流部の高架タンクほど、小容量かつ低所に設置することができ、周縁部の水圧を上昇させる効果が高いことを示した。

第4章では、2点流入型配水管網の貯留施設の運用管理で必要となる状態推定法を提示している。まず、配水池水位と節点水圧を算出するためには、配水池周りの連続方程式に加えて、管網内部の流況を規定している節点方程式に相当する関係式が不可欠であることを指摘し、配水流量と節点水圧の推定式をもってこれに充てることを提案して、その原形式と作成手順を示した。次いで、予測可能な総配水流量と実測で得られる貯留施設の水位、配水流量、節点水圧を結びつけて表現される配水流量と節点水圧の推定式をA市の2配水池系管網に適用し、その妥当性を確認した。一方、高架タンク系管網では、夜間と昼間の水位差が大きく異なり、需要水量の大きさによって各推定式を使い分けるならば、実用上妥当な精度でタンク水位と節点水圧が推定できることを示した。

第5章では、将来時刻の総配水流量の予測値に基づいて配水池水位と節点水圧を適正に維持するための運用方策を検討するときに採用すべきシミュレーション法を提案している。この方法には、2点流入型管網の貯留施設で行われる送水流量調整、バルブ操作といった制御手段を組み込むことができるとともに、将来時点の貯留施設の水位状況と節点水圧を推定できる。2配水池系管網では配水池水位が低下した場合の送水流量調整例を、また、高架タンク系管網では火災の発生で突発的に低下した節点水圧を配水池の送水流量調整とタンクに付随するバルブ操作で回復させる運用例を取り上げ、提案したシミュレーション法の有用性を確認している。

第6章は結論で、本研究の成果を要約するとともに、今後の研究課題を挙げている。

これを要するに、著者は2点流入型配水管網の水理的諸特性を明らかにするとともに管網内の状態推定法を提示し、これらを2配水池系管網と高架タンク系管網に適用して、その貯留施設の設計指針と運用方策について有用な知見を得ており、都市上水道工学に貢献するところが大きい。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。