

学位論文題名

Fundamental Study on Design of Water Distribution Pipe Networks with Two Reservoirs

（2点流入型配水管網の設計に関する基礎的研究）

学位論文内容の要旨

都市上水道の配水管網の計画・設計において、二つ以上の配水池を有する多点流入型管網の導入は重要な検討項目の一つである。都市域の拡大と需要水量の増大に対処するために必要となる配水池容量の増強と管網内水圧確保の面において、まずは従来から多用されている単点流入型管網との比較がなされねばならない。本論文では、配水池が二つの2点流入型管網を対象とした流況解析に基づいて、その諸特性を明らかにし、設計上で配慮すべき事項に関する設計指針を提示することを目的としている。

論文は全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、需要水量の時刻的変動によって変化する配水池水位並びに管網内の流量と水圧の状態を解析する方法を示している。従来の管網解析法は単点流入型を対象とし、かつ、需要水量のピーク時刻における管網内の水圧を算出するものであり、配水池水位と配水流量を時系列的に解析することはできない。そこで、各時刻の管内流量と各点の水圧を算出する従来の管網解析法と、配水池における水量収支式を組み合わせた非定常解析法を提示し、これにルンゲ・クッタ・ギル法を適用した計算プログラムを開発している。次いで、時間刻みを1時間にとった1日周期のシミュレーション結果から、解の安定性と精度を検討している。

第3章では、浄水場から送られてくる送水流量と配水池表面積の違いが、配水池水位と管網内水圧に及ぼす影響を調べている。まず、二つの配水池への送水流量の比率が配水池水位の変化に大きな影響を与え、送水流量の大きい側の配水池水位が高くなり、小さい側の配水池水位が低くなることを示している。配水池表面積は水位の変化幅に影響するが、平均水位は表面積にほとんど影響されないことを示した。次いで、それぞれの配水池から各需要点への流向を重視した通常的设计法を採用して設計された管網にあっては、送水流量比を調整することによって、管網内最低水圧点の水圧を許容値に保つために必要な両配水池の水位の和を最小にでき、エネルギー損失面と配水池水位の管理面から有効な設計となることを示している。さらに、2点流入型管網の配水池容量について、理論的考察を交えて全必要容量とその容量配分を論じている。全必要容量は単点流入型の場合にくらべて、一致するか、または、わずかに大きくなることを示し、2点流入型を採用しても全必要容量の削減は期待できないことを明らかにしている。一方、二つの配水池への容量配分については、単なる数値的配分では実現できず、その大小関係とそれぞれの設置高さが送水流量比によって支配されることから、設計対象管網のシミュレーション結果に基づいて算定すべきことを設計手順の形で提

示している。

第4章では、2点流入型管網の「安定性」について論じている。まず、次時刻の水位予測が確実になされる配水池ほど安定した運転管理が行えると考え、安定性の指標として配水池水位に関する「予測値と実現値の差」を提案している。ただし、水位予測の基となる配水流量としては、前時刻の値をそのまま使用した。次いで、この安定性指標によって送水流量並びに表面積が異なる場合の両配水池の水位変動を評価・比較することにより、送水流量したがって配水流量が大きく、表面積も大きくなる側、いわば主導型配水池の側が安定性にすぐれていること、片方の配水池の安定性が高まると他方では低くなり、二つの配水池を同時に安定性の高い状態には保てないこと、全体の安定性を高めるためには、小容量側の配水池の表面積を大きくすべきこと、等の知見を得ている。

一方、配水池水位が最高、最低となる時刻を含む高需要時間帯にあつては、二つの配水流量の比が一定値になるという特徴的な関係があり、当該時刻の総需要水量の予測値に基づいて各配水流量並びに各配水池水位を容易に予測できることを明らかにしている。この特徴的な関係が成立する理由としては、高需要時間帯においては管網内部の損失水頭が両配水池の水位差よりも卓越することが挙げられ、管網内に2本のモデル管路を想定した数値的比較によっても説明された。一方、夜間から朝方にかけての低需要水量時には、両配水池間水位差が配水流量を支配し、その比率が一定とならないので、別の予測法が必要となる。

第5章では、単点流入型管網の内部に高架タンクを設ける場合の2点流入型管網を取り上げ、高架タンクの設置位置と両貯水施設の容量配分について検討している。まず、高架タンクの設置によって水圧上昇効果が生じる原因が、高架タンクにおける低需要時間帯の貯留と高需要時間帯の近距離輸送によって、配水池からの高需要時間帯の遠距離輸送量が減少することによるものであることから、配水池から遠くの配水区域周縁部に高架タンクを設置することが近隣地域の水圧上昇に適していることを示している。一方、管網の中央部に高架タンクを設置するならば、夜間の水圧上昇を抑えることで漏水量を防止する効果が期待されること、また、既存の配水池の容量が不足する場合にもここに設置することがよいことを例示している。次いで、夜間に流入、昼間に流出というように流入・流出形態の異なる高架タンクが加わっても、貯留施設全体の必要容量には影響せず、全必要容量はあくまでも単点流入型管網とほぼ一致することを数値例で示している。さらに、高架タンク自体の水位低下を抑えるために、午前と夕方二つの需要ピーク以外はバルブ操作によって流出を制限することの効果調べた結果、高架タンク内水位の上昇が水圧最小点の水圧を高める上ではほとんど効果がないこと、バルブ操作は高架タンクの必要容量を減少させる上では効果的であることを示している。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 高 桑 哲 男
副 査 教 授 渡 邊 義 公
副 査 教 授 田 中 信 壽
副 査 教 授 眞 柄 泰 基
副 査 助 教 授 船 水 尚 行

学 位 論 文 題 名

Fundamental Study on Design of Water Distribution Pipe Networks with Two Reservoirs

(2点流入型配水管網の設計に関する基礎的研究)

都市上水道の配水管網の計画・設計において、二つ以上の配水池を有する多点流入型管網の導入は重要な検討項目の一つである。都市域の拡大と需要水量の増大に対処するために必要となる配水池容量の増強と管網内水圧確保の面において、まずは従来から多用されている単点流入型管網との比較がなされねばならない。

本論文は、配水池が二つの2点流入型管網を対象とした流況解析に基づいて、その諸特性を明らかにし、設計上で配慮すべき事項に関する設計指針を提示したもので、主要な成果は以下のように要約される。

(1) 非定常管網解析法の開発：従来の管網解析法は単点流入型を対象とし、かつ、需要水量のピーク時刻における管網内の水圧を算出するものであり、配水池水位と配水流量を時系列的に解析することはできない。そこで、各時刻の管内流量と各点の水圧を算出する従来の管網解析法と、配水池における水量収支を組み合わせた非定常解析法を提示し、これにルンゲ・クッタ・ギル法を適用した計算プログラムを開発している。

(2) 送水流量と配水池面積の影響：二つの配水池への送水流量の比率が配水池水位の変化に大きな影響を与え、送水流量の大きい側の配水池水位が高くなり、小さい側の配水池水位が低くなること、配水池表面積は水位の変化幅に影響するが、平均水位は表面積にほとんど影響されないことを示している。次いで、それぞれの配水池から各需要点への流向を重視した通常の設計法を採用して設計された管網にあっては、送水流量比を調整することによって、管網内最低水圧点の水圧を許容値に保つために必要な両配水池の水位の和を最小にでき、エネルギー損失面と配水池水位の管理面から有効な設計となることを明らかにしている。

(3) 配水池容量の算定：2点流入型管網の全必要容量は、単点流入型の場合に一致するか、または、わずかに大きくなることを示し、2点流入型を採用しても全必要容量の削減は期待できないことを明らかにしている。次いで、二つの配水池への容量配分については、単なる数値的配分では実現できず、各容量の大小関係とそれぞれの設置高さが送水流量比によって支配されることから、設計対象管網のシミュレーション結果に基づいて算定すべきことを設計手順の形で提示している。

(4) 配水池水位の安定性：配水池水位の安定性の指標として「予測値と実現値の差」を提案し、これによって送水流量並びに表面積が異なる場合の両配水池の水位変動を評価・比較することにより、送水流量したがって配水流量が大きく、表面積も大きくなる側、いわば主導型配水池の側が安定性にすぐれていること、片方の配水池の安定性が高まると他方では低くなり、二つの配水池を同時に安定性の高い状態には保てないこと、全体の安定性を高めるためには、小容量側の配水池の表面積を大きくすべきこと、等の知見を得ている。一方、配水池水位が最高、最低となる時刻を含む高需要時間帯にあっては、二つの配水流量の比が一定値になるという特徴的な関係があり、当該時刻の総需要水量の予測値に基づいて各配水流量並びに各配水池水位を容易に予測できることを明らかにしている。

(5) 高架タンクの設置：高架タンクの設置によって水圧上昇効果が生じる原因が、高架タンクにおける低需要時間帯の貯留と高需要時間帯の近距離輸送によって、配水池からの高需要時間帯の遠距離輸送量が減少することによるものであることから、配水池から遠くの配水区域周縁部に高架タンクを設置することが近隣地域の水圧上昇に適していることを示している。一方、管網の中央部に高架タンクを設置するならば、夜間の水圧上昇を抑えることで漏水量を防止する効果が期待されること、また、既存の配水池の容量が不足する場合にもここに設置することがよいことを例示している。次いで、夜間に流入、昼間に流出というように流入・流出形態の異なる高架タンクが加わっても、貯留施設全体の必要容量には影響せず、全必要容量はあくまでも単点流入型管網とほぼ一致することを数値例で示している。さらに、午前と夕方の二つの需要ピーク以外はバルブ操作によって流出を制限することの効果調べた結果、高架タンク内水位の上昇が水圧最小点の水圧を高める上ではほとんど効果がないこと、バルブ操作は高架タンクの必要容量を減少させる上では効果的であることを示している。

これを要するに、著者は2点流入型配水管網を対象とした非定常解析法を開発し、管網内の流況に関する諸特性を明らかにして、設計上で配慮すべき事項とその設計指針を提示したものであり、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。