

視教都市域における配水管網の統合整備に関する研究

京都大学工学部 正員 吉川 和広
京都大学工学部 正員 岡田 憲夫
建設省 正員 ○松下 義久

1. はじめに

水道事業の合理化としては、施設の管理・運営面での合理化と、施設の機能面での合理化という二つの異なる側面があるといえる。本研究では、水道事業の管理・運営上の合理化の方法として水道施設の共同建設を考へ、関連施設として配水管網だけをとりあげる。一才 機能面での合理化としては、いくつかの前提条件のもとに布設費用が最小となるような配水管網の布設方法を考へることとする。配水管網の共同布設

都市間の境界地域に配水管網の整備をおこなう場合、従来はそれぞれの都市地域ごとに単独に配水管網の整備がなされてきた。ところが都市の発展・拡大はこのような行政区域とは無関係に進行しており、又都市以上にまたがって、住宅団地などが造成されるケースも多くなってきている。このような場合にも各行政区域ごとに個別に配水管網を整備する方式に固執するならば、施設の二重投資になったり、対象地域住民にとっても都合な事態が生じてくると思われる。このようなことから本研究では、異なる行政体の管轄区域にはとらわれず配水管網は統合的に整備すべきであると考え、隣接した配水管網を統合する方式を考へることとする。この場合、共同布設費用はそれぞれの行政体が負担すると思へるので、共同布設費の費用割振り方法について合わせて考へることとする。

3. 配水管網の合理的布設に関する数学モデル
モデル化の前提条件

①配水管網の布設方法を評価する目的関数として関連建設費をとりあげることにし、これ

を最小にする布設方法を、「最適布設方法」とよぶことにする。

②対象となる地域に布設すべき配水幹線だけをとりあげる。

③配水基地施設の位置および規模・能力はきまれているとする。よって、流入点での有効水頭は与件となっている。

④配水管網の形状は格子状のネットワークとする。

⑤配水の流入・流出は配水管網の格子点だけに限定する。

⑥各格子点で有効水頭は許容最低水圧以上であるとする。

以上のような前提条件のもとに定式化をおこなうと次のようになる。

目的関数

$$\sum_{i=1}^n (\alpha d_i^p + \beta) l_i \rightarrow \min$$

制約条件

流量条件

$$\sum_{i \in M} q_i - \sum_{j \in N} q_j = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

水圧条件

$$\sum_{j \in N} \alpha g_{ij} \cdot r_{ij} \cdot l_{ij} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, l)$$

最小管径条件

$$d_i \geq d_0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

許容水圧条件

$$H_i = H_a \quad (i \in M)$$

ただし、

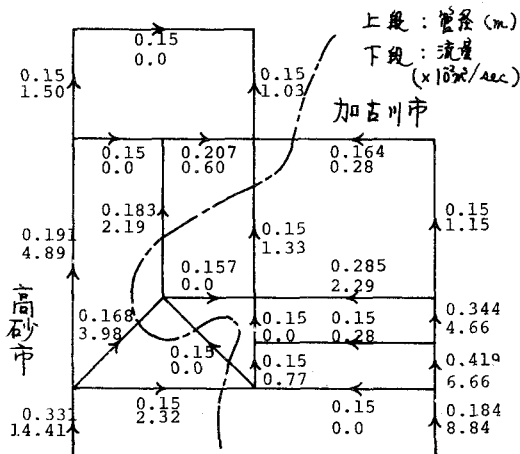
- q_i : 管路 i の流量
- l_i : 管路 i の管路長
- d_i : 管路 i の管径
- Q_i : 格子点 i の流出量
- d_0 : 許容最小管径
- H_a : 許容最低水圧
- $r_{ij} = 10.666 C^{-1.85} d_i^{-4.75} q_{ij}^{1.85}$
- l_{ij} : 管路 i の摩擦損失水頭
- M : 最低水圧を生じる格子点の集合

この非線形計画問題は、制約条件として線形等号条件と線形不等号条件ならびに非線形

等号条件を含んでいる。ここでは、非線形等号条件については、これをペナルティ関数に組み入れることにより処理する。このようにすると当該問題は残りの線形な制約条件のもとに、非線形目的関数を最小にする問題に変換される。そこで、この問題を Rosen の射影勾配法により解くことにする。なお、ペナルティ関数は、Fiacco-McCormick の方法と Powell の方法の 2通りの定式化を考へることとする。

4. 実証例によるシステム分析

加古川市と高砂市の米田町の例を用いて実証分析をおこなうことにする。本研究では、両市の水道事業者が配水管網の共同布設方式をとることとしたときの配水管網布設問題を考へるとともに、上述した数学モデルを適用して計算を行った。その際、解法としては、上記の 2つの方法を併用するとともに双方の解法の有効性の比較についても検討を行ったが、この点については講演時に説明する。このようにして得られた計算結果を下図に示す。



次に、このようにして布設された共同配水管網の建設費用の割振りについて考へることとする。ここでは、多目的計画の場合を参考にして身寄り相当支出法と配水管網の柔軟性の観点から共同布設方式の優越性を示す。通過配水管による方法の 2通り有効性が保証されることを示した。

の方法で費用割振りをおこなうことにする。身寄り相当支出法は身寄り建設費と相当投資額の小さい方で共同建設費を割振る方法である。一方、通過配水管による方法は費用割振りの方法として配水管網から配水された水が各格子点まで輸送されるに当たって通過してきた配水管路の建設費を取り上げる方法であり、配水の対象となる水は配水管網から輸送サービスを受けて水使用者まで届くため用水としての機能と効用を發揮するという考え方に基がっている。次に、単独布設より共同布設をすることによって安くなった建設費用を便益と考へ、この便益を各費用割振りの方法についてまとめたのが下表である。この便益から判断すると共同布設方式による配水管網整備は合理的であるといえる。

方法	項目	加古川市	高砂市
身寄り相当支出法	負担率	42.02%	57.98%
	負担額	110,665	152,698
通過配水管による方法	負担率	36.24%	63.76%
	負担額	95,443	167,920
		便益	30,370

(単位: 千円)

5. おわりに

非線形計画問題として配水管網の合理化を考へると教会的に明確な表現をすることができ、本研究で示した非線形計画手法によって解くことができるので、配水管網の合理的な計画設計をおこなううえで有効であるといえる。また、共同布設問題に費用割振りの方法を適用して双方の事業者の費用負担額を算定することにより、単独布設方式の場合と比較して少なくとも経済的観点からは、配水管網の共同布設方式の方が双方の事業者にとって有益であることを明らかにすることができた。さらに、水理条件の改良、非常時の対応策の機動性等の観点からも共同布設方式の優越性が保証されることを示した。