

給配水施設計画のモデル分析

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
 京都大学大学院 学生員 ○望月 孝好
 京都大学大学院 学生員 桜井 久生

1.はじめに 合理的水道施設計画を策定するためには、浄水場や配水池などのいわば配水基地設備ばかりでなく、配水管網についても十分な分析を加える必要がある。このような観点から、本研究ではおもに配水管網に注目して定式化するとともに、モデルをいくつかの観点から運用することにより、多角的な分析を試みたものである。

2.研究の概要 従来、配水管網の設計法については、種々の研究がなされており、近年、とくに欧の手法を導入して最適化をはかったものが発表されつつある。ところで配水施設計画策定の際には、水量、水質、水圧をはじめ、経済性、安全性など多岐にわたる検討が必要となる。すなわち配水施設計画の目的は多目的であり、単一目標の最適化だけでは、配水施設計画の計画情報として不十分といえる。この点を解決するために直接最適化の対象とならない要件は、制約条件として評価に加えることにより、種々の最適化目標について計算を行ない各要素間のトレードオフ関係を間接的に検討することとする。そこでまず最初に等圧配水を制約条件とし、経済性を最適化の目標としたモデル、次に、財政上の制約を加え等圧配水を目標としたモデルを設定し、これらと、実際に京都市の洛西ニュータウンに適用して、最適化計算を行ない結果の考察を行なった。

3.モデルの定式化

モデル化の前提 ①モデル化の対象は配水管網とポンプ施設に限り、配水池や浄水場などは取り扱わない。②配水池の位置、規模はあらかじめ決められていて配水池は1ヶ所とする。

③配水管網には大別して、幹線と支管があるが区別は明確ではなく、ここでは300mm以上の幹線とし、これにネットワークを構成するとともに支管については、モデルにとり入れない。④配水幹線の管路網の布設場所は決まっているものとする。⑤配水管網の構成する各格子内の地域を対角線で4つの三角形の部分に分割し、それぞれの区分の需要量を、その区分に接する配水管がうけもつものとする。⑥格子点での地盤高は決まっているものとする。⑦漏水は考えない。⑧計画対象期間をT年とし、施設は、新規需要量に対して一括建設されるものとする。

以上の前提にもとづきモデル化を行なう。

《モデル-1》

1) 制約条件式

a) 連続条件

$$\sum_{i \in I_k} Q_i = Q_k \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

b) 圧力条件

$$\sum_{i \in I_j} r_i Q_i^{1.85} = \sum_{i \in I_j} 10.666 C_i^{1.85} d_i^{4.87} L_i Q_i^{1.85} = 0 \quad (2)$$

c) 許容水圧条件、下限のみを示す

$$P_{min} = H_0 + H_p - \sum_{i \in R_k} h_i - H_k > P_a \quad (3)$$

2) 目的関数 配水施設の建設費のうち計画対象期間T年全休にわたる償還額と維持費の総和を目的関数とする。すなわち

$$Z = \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^m (\alpha d_i^3 + r) L_i + \frac{2.8 Q_i H_p (1+\frac{1}{2}) Q_p}{(1+\frac{1}{2})^{T-1}} \right] \frac{r(1+r)^T}{(1+r)^T - 1} + T \frac{2.8 Q_i H_p}{\eta} \cdot \frac{2.4 \times 365}{\eta} Q_p \Rightarrow \text{Min.} \quad (4)$$

なお(3)式において $H_k < 0$ のとき、(4)式では $H_p = 0$ とする。ここで(3)式のかわりに

$$\sum_{k=1}^m (P_k - \sum_{i \in I_k} P_i)^2 \leq P P_a \quad \dots \quad (3')$$

を示えれば、等圧化を制約条件としたモデルが得られる。

《モデル-2》目的関数として格子点での水圧

の許容水圧からのバラツキの最小化を考える。

$$W = \sum_{k=1}^m (P_k - P_a)^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (5)$$

さらに制約条件(3)式のかわりに

$$Z = C_a \quad (6)$$

を加える。ここでも(5)式のかわりに

$$W = \sum_{k=1}^m (P_k - \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{m})^2 \Rightarrow \text{Min.} \quad (5')$$

をもちいれば、等圧化を目的関数としたモデルが得られる。

《モデル-3》 上記の2つのモデルでは格子点の水圧の等圧化を制約条件としたり、目的関数に組み入れたりしているものの、完全な等圧化が達成されているわけではない。そこで、このモデルでは、完全に等圧であると仮定する。

1) 制約条件式

$$\sum_{i \in L_k} q_i = Q_k \quad (k=1, \dots, m) \quad (7)$$

2) 目的関数

$$Z = \sum_{k=1}^m \left[\sum_{i \in L_k} (2f_i \bar{q}_i + \gamma l_i) \right] \frac{\gamma(1+\gamma)^T}{(1+\gamma)^T - 1} \Rightarrow \text{Min} \quad (8)$$

ここで

q_i : 管路 i ($i=1, 2, \dots, m$) の流量, d_i : 管路 i の管径, l_i : 管路 i の長さ, f_i : 管路 i の損失水頭, C_i : 管路 i の流速係数, γ : 管路 i の流水抵抗, Q_k : 格子点 k における流入・流出量, L_k : 格子点 k に接続する管路を要素とする集合, L_j : 内部に他の閉管路をもたない閉管路な並びにそれを構成する管路の集合, R_k : 配水池(ポンプ施設の設置位置も同じ)から格子点 k にいたる任意の径路を1つの管路網と考え、この径路に属する管路網の集合, H_0 : 配水池の配水水面高, H_p : 配水池におけるポンプ揚程, H_k : 格子点 k の地盤高, P_k : 格子点 k の水圧, P_{min} : 格子点最低水圧, k^* : P_{min} なる格子点, P_a : 許容最低水圧, PP_a : 許容誤差, Q : 全配水量, η : ポンプ合成率, ϕ_p : 上水も含めたポンプ関係総建設費の kW あたりの単価, ϕ_e : kWh あたりの電力料金, γ : ポンプ予備設備率, γ' : 施設管理費中電力料

金のしめる割合, r : 利子率, T : 計画対象期間, $\alpha, \beta, \gamma, \gamma', \gamma''$: 管布設費を定める定数(管種, 工法, 径路, 都市により異なる)

なお《モデル-1》, 《モデル-2》において(1), (2), (3)式より、独立な変数群は d_i のみとなる。

4. モデルの解法

上記の3種類のモデルは、すべて非線形計画法の範ちゅうに属する。それぞれ制約条件や目的関数の特性に注目して、《モデル-1》, 《モデル-2》は最大傾斜法, 《モデル-3》は目的関数を折れ線近似することにより特殊な線形計画法の問題として取り扱った。本稿についてはスペースの都合上、講演時に説明する。

5. 実証例へのモデルの適用

以上のモデルを京都市の「まちづくり構想」の中の一環として、大枝、大原野地区に建設中の路面=ユータウンに適用した。この結果から一般的にいえることは、

① 流出流量を増大させれば管径も増大するがすべての管径が増大するわけではない。

② 許容最低水圧を高くすれば、費用も増大する。

③ 需要量の増加に伴って管径が増大する場合、流向が逆転する結果も生じた。

④ 本ケースの場合には、ポンプ施設が不要であることがわかった。しかし配水管網がさらに複雑になった場合や、地盤の高低差がいろいろしい場合には、ポンプ施設が必要になる場合もあると考えられる。さらにこの場合には、配水管網をいくつかに分割した方が経済的にも、水理的にも有利である場合が考えられるので、この点についても、本モデルによる分析を加えた。さらに、等圧配水条件と経済性とのトレードオフ関係、需要量についてのパラメトリックな分析等を行なった。また本モデルの今後の改善の方法ならびにモデル適用の限界等についても考察を行なっている。以上の点については講演時に詳述することとする。