

京都大学大学院 学生員 ○岩崎洋一郎

京都大学工学部 正 員 吉川和広

鳥取大学工学部 正 員 岡田憲夫

1 はじめに

配水管網の整備計画は上水道整備計画の重要な1プロセスであり費用の面から大きなウェイトを占める。そしてこの配水管網の整備計画は将来における不確定さの影響を大きく受ける。したがって配水管網の整備計画は配水管網が実際に布設される地域の土地利用形態の変化や地域の開発の進展に合わせて行なわれる必要がある。地域の開発計画は、資金運用の面や将来の需要量の変化などを考慮して、全体のプロジェクトをいくつかのプロジェクトに分割して段階的に行なうのが普通である。さらに将来必要となる量をみこんで、あらかじめ大規模な施設を建設しておくことは、施設の遊休を生じることが多くなり、規模の経済性を生かせなくなることが多いので投資効率の面からは望ましくない。以上の点を考え合わせると配水管網の整備計画を段階的な整備計画としてとらえるのがより現実的でかつ合理的であると考えられる。

例えば団地の開発計画にともなう配水管網の整備計画を例にとると、まず上位計画である団地の開発計画が策定され、次に宅地の造成計画、住宅の建設計画、道路の整備計画などが策定される。そしてこれらの諸計画との適合性を保ちながら配水管網の整備計画が策定される。そして他の諸計画が段階的な計画として策定されるため当該の配水管網の整備計画もやはり段階的な計画となる。本研究では以上のような観点から配水管網の布設問題をより現実的な側面から建設時期を考慮したモデルとして、段階的な布設方式のもとで経済的に合理的な配水管網布設方式を求める問題としてとらえることにする。

2 モデル化の前提条件

①配水管網を各流出点の水需要量の変化に合わせて段階的に建設していくものとする。

②配水管がいったん建設されたならば、それ以後の工期においてこの配水管をそのまま用いるものとし、併設は行なわないものとする。

③対象とする配水管は配水幹線を構成しているものとする。なお配水幹線としては300mm以上の管径の管を想定している。

④配水幹線の管路網は既設あるいは計画上の道路網に沿って地下に埋設されるものとし、そのルートはあらかじめ決定されているとする。

⑤配水幹線の管路網で構成される格子内の配水支管の布設方式は、あらかじめ決まっているものとして直接には評価の対象としない。

⑥格子内の需要量は各工期ごとに既知であるとし、それを周りの配水幹線に分担させるものとする。

⑦評価関数としては規模の経済性および機会損失費用を考慮するために、計画期間全体にわたっての建設費の償還額の総和を取り上げて最小化を図ることにする。

3 モデルの定式化

i) 評価関数

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K g(r) \Phi(i, k) C(d_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで

$$g(r) = \frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1} \quad (2)$$

$$C(d_i) = (\alpha d_i^\beta + \gamma) l_i (1+r)^{(K-1)} \quad (3)$$

管路*i*の建設費用を示すもので、第*K*工期において建設された場合の費用を計画初年度の換算費用で表わしたものを。

$$\Phi(i, k) = \begin{cases} 1: \text{管路} i \text{ が工期} k \text{ で建設された場合} \\ 0: \text{その他の場合} \end{cases} \quad (4)$$

ここで

$$f(x) = \begin{cases} 1: x=0 \text{ の場合} \\ 0: x>\varepsilon \text{ (}\varepsilon \text{ は十分小さな正数) の場合} \end{cases} \quad (5)$$

という連続関数を定義すると上記の $\Phi(i, k)$ は次のように近似される。すなわち

$$\Phi(i, k) = f\left(\sum_{j=1}^{K-1} d_j\right) \{1 - f(d_k)\} \quad (6)$$

本研究では $f(x)$ として次式を用いることにする。すなわち

$$f(x) = e^{-100(1-e^{-x})} \quad (7)$$

ここで d_i は管路 i の径, l_i は管路 i の長さ, $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ はおのおの定数, r は利子率, l は計画初年度を基準とした年度, m は償却期間を表す。

(ii) 制約条件

① 流量条件

第 k 工期において各流出点の需要量はその流出点に接続している管路の管流量 (g_i^k) によってまかなわれなくてはならない。

$$\sum_{i \in I_s^k} g_i^k = Q_s^k \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, \dots, K \\ s=1, \dots, M \end{array} \right. \quad (8)$$

I_s^k : 第 k 工期において流出点 s に接続している管路の集合

Q_s^k : 第 k 工期において流出点 s から流出している水需要量 (m^3/sec)

② 水压条件

第 k 工期において標準配水管網が構成する任意の開ループが存在する場合に、損失水頭の和がゼロであること、すなわち

$$\sum_{i \in J_R^k} h_i^k = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, \dots, K \\ R=1, \dots, L \end{array} \right. \quad (9)$$

J_R^k : 標準配水管網において、第 k 工期において構成される開ループの集合

③ 許容水压条件

第 k 工期において標準配水管網の各節点における水压が許容水压条件を満たさなくてはならないこと。

$$P_{s^k}^* \geq P_a^k \quad (10)$$

$$\text{ここで } P_{s^k}^* = \min \{ P_s^k \} \quad (11)$$

P_s^k : 第 k 工期での流出点 s の水压 (m)

P_a^k : 第 k 工期での許容水压条件 (m)

④ 最小管径条件

実際に布設される管路の径は最小管径以上でなくてはならない。すなわち

$$d_i \geq d_0 \quad (i=1, \dots, N) \quad (12)$$

ここで d_0 : 最小管径 (m)

なお標準配水管網とはすべての可能なルートを含むネットワークのことである。

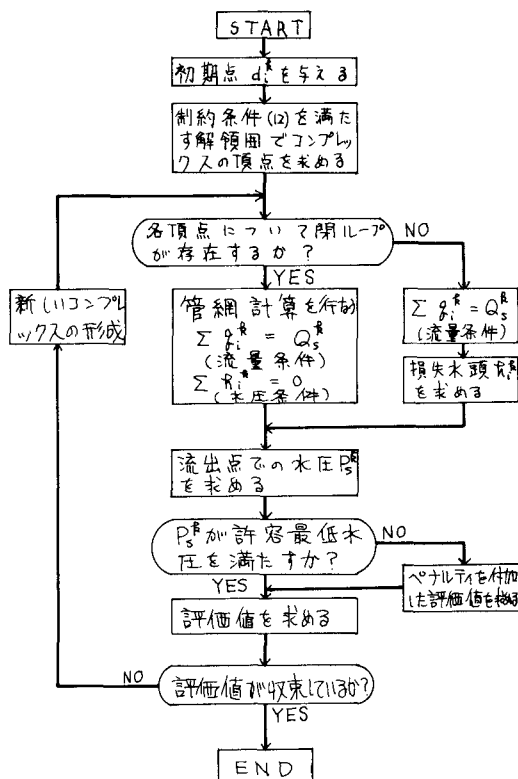
4 モデルの解法

本モデルは制約条件は線形制約条件および非線形制約条件となり、配水管の建設時期の決定に関する 0-1 型決定変数を x_{ik} という 0-1 型近似関数を用いること

により評価関数も非線形関数となる。

本研究では以上のようなモデルの構造に着目して、試行探索法の一つであるコンプレックス法を適用して、本モデルを実証的に検討した。ここで現実のアルゴリズムではすべての制約条件を同時に検討できないので、つぎのような解法を求めた。すなわちまず制約条件 (12) のもとでコンプレックス法により解をもとめる。つぎにこの解に対して制約条件 (8), (9), (10) を満たすかどうかを検討し、これを満たさない場合には、ペナルティを用いて制約条件を評価関数に導入し新たにコンプレックス法により許容解を求めていくという逐次的な解法を作成した。このフローチャートを示すと図-1 のようである。なお計算結果の内容については講演時に発表することとし、ここでは省略する。

図-1 解法のフローチャート



参考文献 1) 吉川・岡田・岩崎「配水管網の多段階的整備問題に関するシステム分析」52年度関西支部学術講演会概要集 (1977) 2) 志水「システム制御と数理計画法」コロナ社