

都市の給配水施設建設問題に関するシステム分析

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

1.はじめに

本研究では、給配水施設のうち特に配水管路網をとりあげるとともに、その建設問題を数理計画法の問題として定式化し、その解法と分析結果の検討を試みる。

2.配水管網布設問題の定式化

(1)主要な前提

①配水管網としては配水幹線のみを考えるが、そのルートは予め決まっている。

②各格子内の配水支管の布設方法は与件とし、格子内の地域の全需要量をまわりの4つの幹線に分担させる。

③目的関数としては、配水管路網の総建設費をとりあげる。

④制約条件としては、流量条件・圧力条件・格子点許容最低水圧条件ならびに許容最小管径をとりあげる。

(2)定式化に用いる記号

m = 格子点の数, k = 格子点番号 ($k=1, \dots, m$),

n = 管路の総数, i = 管路番号 ($i=1, \dots, n$)

Q_k = 格子点 k における流出量, I_k = 格子点 k に接する管路を要素とする集合, p = 内部に他の閉管路をもたない閉管路の数の総和, l_j = 内部に他の閉管路をもたない閉管路ならびにそれを構成する管路の集合を表わす記号 ($j=1, \dots, p$), q_i = 管路 i の管径, l_i = 管路 i の長さ, f_{li} = 管路 i の損失水頭, H_k = 格子点 k における地盤高, H_0 = 配水池から導送配水管が配水管路に接続する点(流入点)における有効水頭

(3)制約条件の定式化

①流量条件式

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

②圧力条件式

$$\sum_{i \in I_j} f_{li} = 0 \quad (j=1, \dots, p) \quad (2)$$

$$f_{li} = f_{li} d_i^{-5} q_i^2 \quad (3)$$

$$\sum_k Q_k = \sum_k \sum_{i \in I_k} q_i \quad (4)$$

③許容水圧条件式

$$P_{\min} \geq P_a \text{ (格子点許容最低水圧)} \quad (5)$$

$$P_{\min} = \min(P_1, P_2, \dots, P_k, \dots, P_m) \quad (6)$$

$$P_k = H_0 - \sum_{i \in R_k} f_{li} - H_k \quad (7)$$

(R_k = 流入点より格子点 k に到るまでの任意のルートに含まれる管路の集合)

いま $P_{\min}$ に相等する P_k を P_k^* で表わすことにすれば, (5)~(7)式より,

$$P_{\min} = P_k^* = H_0 - \sum_{i \in R_k} f_{li} - H_k \geq P_a \quad (8)$$

④許容最小管径条件式

$$d_i \geq d_0 \quad (d_0 = 0.300m) \quad (9)$$

(4)目的関数の定式化

管路網の布設費は管路長さ、管径 d_i の関数として $c_i = \alpha d_i^3 + \gamma$ (α, γ は定数で、管種、工法、工事条件などによって異なる。) したがって管路網の布設費用の総和は、

$$W = \sum_{i=1}^n (\alpha d_i^3 + \gamma) l_i = \sum_{i=1}^n \alpha l_i d_i^3 + \sum_{i=1}^n \gamma l_i$$

で与えられる。ところが $\alpha, \beta, \gamma, l_i$ は既知としているから、 $\alpha l_i = \alpha_i$ とおくことにより

$$Z = \sum_{i=1}^n \alpha_i d_i^3 \rightarrow \min \quad (10)$$

なる Z を目的関数として用いる。

3.モデルの解法

本モデルは非線形計画問題の定式化になつてゐる。

モデルの数学的な構造に着目した結果、最大

傾斜法とペナルティ法を併用する手法を用いる

ことにした。この解法については講演時に説明する。

4.モデルの適用による分析結果

(1)適用の方法と目的

本研究では適用例として主として田字型管路網をとりあげて種々の角度から基礎的な考察を行う。

田字型管路網を適用の対象としたのは主として以下の理由による。

- ①この型はすべてのネットワーク型管路網を形成する基礎的な形態である。
- ②宅地造成地域などでは実際に田字型管路網にはその垂流の形態をとることが多い。
- ③得られた計算結果を検討する際に管路網の形態がきわめて単純なので、直観や経験的な判断との対応がつけやすい。
- ④これらの基礎的な考察をふまえて、さらに複雑な管路網に適用することにより、構造の違いによる布設方法の違いとそれを決定する要因について比較検討が可能である。

(2)適用例の種類と特徴

- ①管路網の幾何学的対称性、非対称性と布設方法との関連性
- ②流入点の位置と布設方法との関連性
- ③流入点における流入量と布設方法との関連性
- ④流入点における有効水頭と布設方法との関連性
- ⑤各格子点における流出流量(格子点面水)の分布と布設方法との関連性

以上の諸条件を勘案し、これらの違いによるいくつかの典型的なケースを選出するとともに、それぞれのケースについて計算を行った。

(3)計算結果の考察

個々のケースについての考察は講演時に述べることにし、ここでは主として全ての結果を総合することにより導かれた主要な結論について略記することにする。

①一般的には流入点近くの管路は管径の大きな管を配するのが望ましく、末端に近い管路ほど管径を細くすることが合理的である。しかし個々の条件の違いにより一概にこのように言い切ってしまうことはできない。

②同じ田字型管路でもいくつかの異なったパターンが許される場合には、流入点から分岐し最大流量を受け持つ管路の管長の短いパターンを採用する方が経済的である。

③流入点を任意に選ぶことができるならば末端流出格子点に最も近い点に流入点を設置するのが合理的である。

④ネットワークの型が複雑化し細分化されるほど物理条件、経済条件が厳しくなるといえるが、対象地が細分化された格子点内の地盤が平坦でかつ人口密度がほぼ均等であれば田字型管路で成立する特徴が概ねあてはまると推量される。

5. おわりに

紙数の都合上示せなかった個々の結果の考察、解法ならびに適用上の問題点などについては講演時に発表することにする。

