

## II-414 水量引抜法による配水管網の状態推定

北海道大学工学部 （正）高桑哲男，（正）船水尚行，周云

### 1. はじめに

配水コントロールまたは配水系統の拡張設計に当たっては、現用の配水管網の状態推定が必要となり、時刻的・場所的給水量分布や管路能力の推定法が望まれる。既報<sup>1), 2)</sup>では、節点流出水量の変動自体が特徴的な性質を有する場合について、これを照査指標とした、いわば内因の状態推定が原理的に可能であることを示した。ここでは、平常時とは異なる水圧データを得るための水量引抜を行い、両時点の流出水量が同一であるという仮定を照査指標とした推定法の成否について検討する。

### 2. 推定法

ここで状態推定しようとする管網は次の三つの条件：

- (1) 流出水量の総和は既知であり、これにより配水基地に接続する管路の管路係数等が既知となる。
- (2) 節点水圧は管網解析法によって算出されるエネルギー位に等しく、かつ、すべての節点で既知である。
- (3) 流量式における損失水頭の指数は既知である。

を満足するものとする。このとき、平常時と水量引抜時を1組とするm組のデータがあるとすれば、配水基地と水量引抜点（通常は末端点）以外の節点数がN，配水基地に接続しない管路数がJの管網について、節点方程式が $2m \cdot N$ 本、未知量は $2m \cdot (N + 1)$ 個の流出水量pと流量式：

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= S_1 | E_u - E_d |^{p_1 - 1} \cdot (E_u - E_d) \\ Q'_1 &= S'_1 | E'_u - E'_d |^{p_1 - 1} \cdot (E'_u - E'_d) \end{aligned} \right\} \cdots (1)$$

ここに、 $E_u$ ， $E_d$ はそれぞれ管路1の上・下流節点エネルギー位、プライムは水量引抜時を示す。

におけるJ個の管路係数であり、 $(J + 2m)$ 本の式が不足する。これを補うために、真値においてのみ成立することが期待される条件を付加してみる。ここでは、平常時と水量引抜時の流出水量が水量引抜点以外では同一のままである、と仮定することにする。すなわち、

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^m (p_{i,k} - p'_{i,k})^2 \longrightarrow \text{最小} \cdots \cdots (2)$$

とおく。節点方程式で表現した式(2)に式(1)を代入し、 $S_1$ （ $1 = 1, 2, \dots, J$ ）で微分して0とおいて得られるJ元の連立1次方程式を解けばよい。各p， $p'$ は節点方程式から求められる。

### 3. 計算例

計算対象管網を図-1，直径を表-1に示す。管路長はすべて500mとした。図中の管路Hの流量と損失水頭の

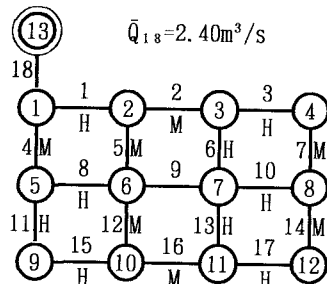


図-1 計算対象管網

表-1 直径，平均流出水量とエネルギー位

| 管路・節点 | D(m) | $\bar{p}$ (m³/s) | $\bar{E}$ (m) |
|-------|------|------------------|---------------|
| 1     | 1.00 | 0.2              | 28.822        |
| 2     | 0.70 | 0.2              | 27.771        |
| 3     | 0.60 | 0.1              | 26.520        |
| 4     | 0.80 | 0.2              | 25.699        |
| 5     | 0.70 | 0.2              | 27.732        |
| 6     | 0.45 | 0.4              | 26.550        |
| 7     | 0.40 | 0.2              | 25.329        |
| 8     | 0.60 | 0.3              | 24.732        |
| 9     | 0.60 | 0.1              | 26.135        |
| 10    | 0.60 | 0.2              | 25.250        |
| 11    | 0.45 | 0.1              | 24.520        |
| 12    | 0.45 | 0.2              | 23.664        |
| 13    | 0.40 | 0.0              | 30.000        |
| 14    | 0.35 | -                | -             |
| 15    | 0.40 | -                | -             |
| 16    | 0.40 | -                | -             |
| 17    | 0.40 | -                | -             |
| 18    | 1.20 | -                | -             |

関係はヘーゼン・ウィリアム式、管路Mについてはマンニング式で表現されるとき、流速係数は $C_H = 140$ 、粗度係数は $n_M = 0.01$ とした。平常時の流出水量は表-1の平均値のまわりにランダムに変動するとし、 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ の水量を節点12から引抜いた。10組の流出水量データに対して管網解析を行い、そのエネルギー位データで式(2)を計算した。エネルギー位の一例として、平均流出水量時の場合を表-1に示す。このときの各管路の損失水頭は約1mである。実際の測定データの精度を考慮し、かつ、今回の推定法ではエネルギー位の有効数字が結果に大きく影響することから、使用するエネルギー位の桁数を小数位第 $n+1$ 位で4捨5入し、 $n=2\sim 5$ 桁の場合について推定を試みた。

計算結果を表-2、3に示す。これにより、①有効数字の桁数が十分ならば管路係数と流出水量の推定値は真値と一致すること、②桁数が少ないほど、また、上流側になるほど真値とのずれが大きくなり、特に2桁では推定が困難なことがわかる。

#### 4. おわりに

平常時と水量引抜時の流出水量が同一であると仮定できるならば、管路係数と流出水量の推定が原理的に可能である。本推定法は、成立の確認が困難な仮定に根拠をおく内因的方法にくらべると実際的であるといえよう。ただし、小数位2桁の水圧データに対する精度向上をはじめ今後に残された課題は多い。

#### 〔参考文献〕

- (1)高桑，船水；流出水量の対称性を利用した配水管網状態推定法，第26回衛生工学研究討論会講演集
- (2)高桑，船水；流出水量変動の相関性を利用した配水管網状態推定法，第41回全国水道研究発表会講演集

表-2 管路係数S

| 管路 | 2 桁     | 3 桁    | 4 桁    | 5 桁    | 真値     |
|----|---------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 0.5555  | 0.9939 | 1.3363 | 1.3586 | 1.3601 |
| 2  | 0.4154  | 0.4089 | 0.5326 | 0.5380 | 0.5385 |
| 3  | 0.0753  | 0.2733 | 0.3527 | 0.3546 | 0.3549 |
| 4  | 1.6465  | 1.1577 | 0.7949 | 0.7703 | 0.7688 |
| 5  | -0.0078 | 0.3760 | 0.5245 | 0.5378 | 0.5385 |
| 6  | 0.2129  | 0.1249 | 0.1642 | 0.1664 | 0.1665 |
| 7  | 0.0250  | 0.0936 | 0.1203 | 0.1210 | 0.1211 |
| 8  | 0.9001  | 0.5420 | 0.3605 | 0.3551 | 0.3549 |
| 9  | 0.3834  | 0.3737 | 0.3558 | 0.3568 | 0.3570 |
| 10 | 0.1299  | 0.3085 | 0.3532 | 0.3542 | 0.3549 |
| 11 | 0.2028  | 0.2441 | 0.1773 | 0.1673 | 0.1665 |
| 12 | 0.1697  | 0.1727 | 0.1625 | 0.1657 | 0.1658 |
| 13 | 0.2253  | 0.1246 | 0.1211 | 0.1222 | 0.1222 |
| 14 | 0.0265  | 0.0708 | 0.0843 | 0.0847 | 0.0848 |
| 15 | 0.1542  | 0.1787 | 0.1301 | 0.1228 | 0.1222 |
| 16 | 0.1365  | 0.1483 | 0.1231 | 0.1213 | 0.1211 |
| 17 | 0.1812  | 0.1371 | 0.1227 | 0.1223 | 0.1222 |

表-3 節点流出水量 $p (\text{m}^3/\text{s})$

| 節点 | 2 桁     |         | 3 桁     |         | 4 桁     |         | 5 桁     |         |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|    | 推定値     | 真値      | 推定値     | 真値      | 推定値     | 真値      | 推定値     | 真値      |
| 1  | 0.11420 | 0.17049 | 0.18720 | 0.20640 | 0.20406 | 0.20640 | 0.22237 | 0.22254 |
| 2  | 0.11147 | 0.21998 | 0.16801 | 0.22627 | 0.22368 | 0.22627 | 0.20294 | 0.20316 |
| 3  | 0.16510 | 0.08733 | 0.07636 | 0.10256 | 0.10056 | 0.10256 | 0.10693 | 0.10700 |
| 4  | 0.04821 | 0.22411 | 0.14515 | 0.18911 | 0.18797 | 0.18911 | 0.17626 | 0.17641 |
| 5  | 0.40944 | 0.16687 | 0.26109 | 0.17340 | 0.18007 | 0.17340 | 0.22294 | 0.22250 |
| 6  | 0.32527 | 0.34819 | 0.46817 | 0.46182 | 0.45723 | 0.46182 | 0.42866 | 0.42894 |
| 7  | 0.31703 | 0.17790 | 0.19061 | 0.18530 | 0.18371 | 0.18530 | 0.20312 | 0.20309 |
| 8  | 0.08554 | 0.26414 | 0.25612 | 0.30462 | 0.30305 | 0.30462 | 0.29183 | 0.29229 |
| 9  | 0.11484 | 0.09895 | 0.15707 | 0.10692 | 0.11382 | 0.10692 | 0.10302 | 0.10253 |
| 10 | 0.22200 | 0.20081 | 0.22517 | 0.18912 | 0.19104 | 0.18912 | 0.20540 | 0.20513 |
| 11 | 0.15591 | 0.10119 | 0.10517 | 0.09416 | 0.09449 | 0.09416 | 0.09868 | 0.09856 |
| 12 | 0.16354 | 0.17260 | 0.21092 | 0.21134 | 0.21132 | 0.21134 | 0.19584 | 0.19586 |