

需要予測にもとづく配水制御システム

榎東 芝 ○佐藤 昌彦 岡村由美子 西岡憲太郎

1. 概要

配水制御の目的は、水道全プロセスを通じて水を無駄なく需要家へ供給することである。しかしながら水を供給するためには、施設の規模、電力費、薬品費等の諸経費、操作の容易さなどが制約条件として存在する。

配水所では浄水場と需要家の間に置かれた配水池、配水設備を管理しているが、上記目的および制約条件を最大限に満足する施設の運用を検討しなければならない。

本配水池制御システムは効率的な配水池運用のための手段として次の機能を有している。

- 短期間（日配水量，時間配水量）の需要予測
- 配水池運用計算

2. 短期間の需要予測

配水池運用計算を実施するためには配水量の予測精度を高めることが重要となる。本システムで採用する配水量予測モデルはGMDH（Group Method of Data Handling）を用いた非線形多変数モデルで日配水量予測と時間配水量予測から構成される。配水量は人間の諸活動と深い関係があるため、平日、休日、天候、気温を要因とする配水量予測モデルとなる。本需要予測では毎朝8時に翌日の8時までの需要量を予測し、それをもとに24時間の各1時間毎の需要量を求めている。

2-1 入力変数

需要予測に必要な入力変数は下記の項目であり、 $X_1 \sim X_6$ はCRTで設定する。

- X_1 : 予測当日午前の天候 晴, 曇, 雨または雪の3段階
- X_2 : 予測当日午後の天候 晴, 曇, 雨または雪の3段階
- X_3 : 予測前日午前の天候 晴, 曇, 雨または雪の3段階
- X_4 : 予測当日最高気温(°C)
- X_5 : 予測当日最低気温(°C)
- X_6 : 予測前日午前10時の気温(°C)
- D_{-1} : 予測前日の午前8時から24時間分の配水量実績(m^3)

2-2 日配水量予測

予測当日の午前8時から翌日の午前8時までの24時間の日配水量予測値 \hat{D} は次式で求める。

$$\begin{aligned} \hat{D} &= S_j \hat{d} + m_j + D_{-1} && \text{①} \\ \hat{d} &= F_0(y_\alpha, y_\beta) \\ y_\alpha &= F_1(x_\alpha, x_\beta) \\ y_\beta &= F_2(x_\gamma, x_\delta) && \text{②} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 m_j &= \frac{1}{N_j} \cdot \sum_{i \in A_j} D_i \\
 S_j &= \sqrt{\sum_{i \in A_j} (D_i - m_j)^2 / (N_j - 1)} \\
 i &= 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, 4 \quad N = \sum_{j=1}^4 N_j
 \end{aligned} \right\} \text{--- ③}$$

ここで関数 $F_n(X_p, X_q)$ の一般形は④式で与えられ、係数 $a_0, a_1 \dots a_5$ は G M D H によって同定される。

$$F_n(X_p, X_q) = a_0 + a_1 X_p + a_2 X_q + a_3 X_p^2 + a_4 X_q^2 + a_5 X_p X_q \text{ --- ④}$$

$X_\alpha, X_\beta, X_\gamma, X_\delta$ は入力変数 $X_1 \dots X_6$ のいずれかであって G M D H で決定される。 m_j は平均日配水量、 S_j は日配水量の分散の平方根であり③式で与えられる。③式で A_1 は平日の集合、 A_2 は土曜の集合、 A_3 は休日の集合、 A_4 は年末・年始の集合、 N_j は集合 A_j に属する日の日数である。 D_i は日配水量の観測データである。

2-3 時間配水量予測

(P-1)時からP時までの時間配水量予測値 \hat{H}^P は次下の式から求める。

$$\hat{H}^P = \hat{h}^P \cdot \hat{D} / 24 \text{ --- ⑤}$$

$$\hat{h}^P = \sigma_j^P \cdot \bar{h}^P + W_j^P \text{ --- ⑥}$$

$$\left. \begin{aligned}
 \bar{h}^P &= F_\alpha^P(y_\alpha^P, y_\beta^P) \\
 y_\alpha^P &= F_{i^P}(X_\alpha^P, X_\beta^P) \\
 y_\beta^P &= F_\gamma^P(X_\gamma^P, X_\delta^P)
 \end{aligned} \right\} \text{--- ⑦}$$

$$\left. \begin{aligned}
 W_j^P &= \frac{1}{N'_j} \sum_{i \in B_j} h_i^P \\
 \sigma_j^P &= \sqrt{\sum_{i \in B_j} (h_i^P - W_j^P)^2 / (N'_j - 1)} \\
 h_i^P &= \frac{H_i^P}{D'_i / 24} \\
 i &= 1, \dots, N' \quad j = 1, \dots, 4 \\
 N' &= \sum_{j=1}^4 N'_j \quad p = 1, \dots, 24
 \end{aligned} \right\} \text{--- ⑧}$$

ここで関数 $F_n^P(X_p, X_q)$ の一般形は⑨式で与えられ、係数 $a_0^P, a_1^P \dots a_5^P$ は G M D H によって同定される。

$$F_n^P(X_p, X_q) = a_0^P + a_1^P X_p + a_2^P X_q + a_3^P X_p^2 + a_4^P X_q^2 + a_5^P X_p X_q \text{ --- ⑨}$$

$X_\alpha^P, X_\beta^P, X_\gamma^P, X_\delta^P$ は入力変数 $X_1 \dots X_6$ のいずれかであって G M D H で決定される。 W_j^P は P 時の基準化時間配水量 h_i^P の曜日別平均値で、 σ_j^P は P 時の基準化時間配水量 h_i^P の曜日別分散の平方根で⑥式で与えられる。 B_1 は平日の集合、 B_2 は土曜の集合、 B_3 は休日の集合、 B_4 は年末年始の集合、 N'_j は集合 B_j に属する日の日数、 D'_i はモデル同定用の日配水量の観測データ、 H_i^P はモデル同定用の P 時の時間配水量の観測データである。

3. 配水池運用計算

需要予測で求めた各1時間毎の需要量，配水池へ浄水場から送られてくる着水量，及び配水池水位をパラメータとして8時から翌日の8時までの24時間の配水池水位を予測する。本システムでは効率的配水池運用のための手段として次の3種類の運用計算を供給する。

- (1) 任意計算
- (2) 着水量設定による計算
- (3) 翌日8時の水位指定による計算

3-1 任意計算

配水池水位をその配水池運転許容範囲内とするための着水量を求め，またその時の24時間の配水池水位変動を求める手法である。

図-1に示す配水池において，時間毎の予測配水量，基準時刻の実測水位，計算要求時の実測着水量にもとづき次式により時間毎の配水池水位を計算する。

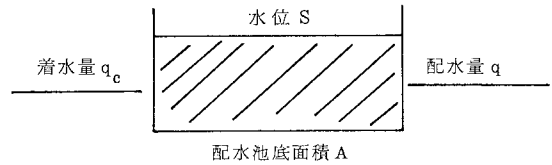


図-1 配水池

$$\hat{S}_{t_0+1} = S_{t_0} + (q_c - \hat{q}_{t_0+1}) / A \quad \text{⑩}$$

$$\hat{S}_t = S_{t-1} + (q_{ct} - \hat{q}_t) / A \quad \text{⑪}$$

t_0 : 基準時刻 (8時××分に本計算を実施した場合は $t_0 = 8$)

t : $t_0 + 2 \text{時} \leq t \leq 8 \text{時}$

\hat{S}_t : 時刻 t の配水池予測水位 (m)

q_c : 計算要求時の着水量 (m^3)

\hat{q}_t : 時刻 t の予測配水量 (m^3)

A : 配水池底面積 (m^2)

S_{t_0} : 基準時刻の配水池実測水位 (m)

q_{ct} : 時刻 t の着水量 (m^3)

⑩式，⑪式で求めた時間毎の配水池予測水位が配水池の許容運転水位内(上限値 HH, 下限値 LL)に入るかどうかのチェックを行なう。許容水位を逸脱する場合は着水量の修正を行なう。

(1) 予測水位が許容最低水位(LL)を逸脱した場合の修正着水量

$$q_{cti} = q'_{cti} + (LL - \hat{S}_{min}) \times A / T \quad \text{⑫}$$

q_{cti} : 時刻 t_i の修正後の着水量 (m^3)

q'_{cti} : 時刻 t_i の修正前の着水量 (m^3)

t_i : 修正時刻 + 1

LL : 許容最低水位 (m)

\hat{S}_{min} : 該当逸脱状態での最低水位 (m)

A : 配水池底面積 (m^2)

T : 修正時刻から最大逸脱時刻までの時間数

(図-2の場合には20時までの時間数)

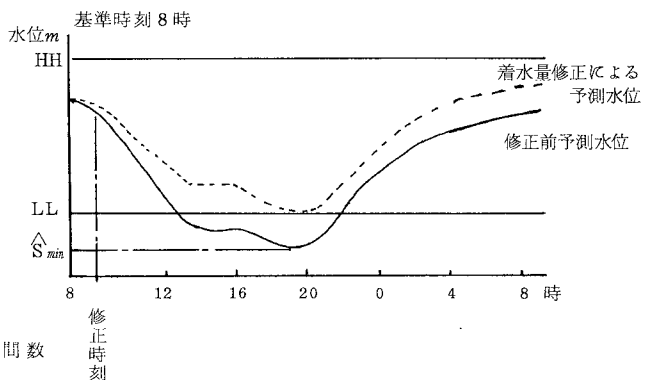


図-2 配水池水位変動

図-2 に関して、⑩式、⑪式で求めた配水池水位が図-2の実線で示すように許容運転水位LLを逸脱した場合は、⑫式を用いて許容運転水位内に収まるような予測水位(図-2の破線)を求め、それに見合う着水量を求める。

(2) 予測水位が許容最高水位(HH)を逸脱した場合の修正着水量

$$q_{cti} = q'_{cti} + (\hat{S}_{\max} - HH) \times A / T \quad \text{⑬}$$

⑬式において、HHは許容最高水位、 \hat{S}_{\max} は該当逸脱状態での最高水位、他は⑫式と同様である。

3-2 着水量設定による計算

計算要求時前の正時から翌日8時までの着水量をCRTより設定し、設定着水量をもとに24時間の配水池水位の変動を求める手法である。⑩式、⑪式で q_c, q_{ct} が設定着水量となる。本計算では配水池水位は許容運転水位を逸脱してもその修正は実施しない。

3-3 翌日8時の水位設定による計算

翌日8時の配水池水位をCRTより設定し、そのための着水量を求め、24時間の配水池水位変動を求める手法である。本計算では配水池水位は許容運転水位を逸脱してもその修正は実施しない。

$$q_{ct'} = \left\{ \sum_{t=t_1}^8 \hat{q}_t + (S_{N8} - \hat{S}_{t_0}) \times A \right\} / T \quad \text{⑭}$$

$q_{ct'}$: 8時の水位が設定水位になる着水量($(t_1 + 1)$ 時 $\leq t' \leq 8$ 時) (m^3)

\hat{q}_t : 時刻 t の予測配水量 (m^3)

S_{N8} : 翌8時の設定目標水位 (m)

\hat{S}_{t_0} : 基準時刻の実測水位 (m)

t_1 : 計算要求時刻の次の正時

A : 配水池底面積 (m^2)

T : 基準時刻から翌日8時までの時間

4. まとめ

需要予測をもとに配水池運用計算で求めた24時間の配水池水位パターンはその実績値と1時間毎に比較し、許容誤差を逸脱した時はオペレータにその旨を知らせる。オペレータは予測需要量、予測水位とそれぞれの実績値をCRTのグラフ表示で比較し、必要に応じて需要予測か配水池運用計算を再び実施する。本システムでは演算結果(予測配水量、着水量)をデータ伝送で浄水場に送信し、浄水場ではそのデータをもとに運用を実施しているが、今後は浄水場における各施設の能力、処理費用も加味した運用計算が必要となる。本システムは昭和59年10月より稼働予定で充分な配水池運用の手段を供給するものと期待する。

参 考 文 献

1) 齊藤 貞 , 小林 主一郎 : 水需要モデリングと予測

計測自動制御学会論文集 17, 5, PP. 537~544 (昭56)