

カオス需要予測を用いた配水池運用 (耐事故性と省エネルギーの両立)

大島信夫*、小須田徹夫*

* (株) 明電舎 環境システム技術部
東京都中央区日本橋箱崎町36-2
リバーサイドビル17階

概要

配水池は、時間変動を調整する機能と、緊急時対応の貯留機能を持つことが必要である。配水池の運用において、省エネルギーの観点からは、配水量の時間変動を調整する機能をフルに利用し、汲み上げポンプを安定して運転する事が望ましく、事故発生時の水量維持の観点からは、貯水率を高く維持していることが望ましい。我々は、この「省エネルギー」と「耐事故性」を両立するために、カオス理論を用いた需要予測を使い、送水ポンプの運転を最適に制御できると考えた。配水池運用モデルでシミュレーションを行い、好結果を得たので報告する。

キーワード

水道、上水、浄水、配水池、需要予測、カオス、省エネルギー、耐事故性

1. はじめに

水道施設とは、貯水、取水、導水、浄水、送水、配水の各施設及び給水装置から構成されるシステムであると同時に、土木、建築、機械、電気、計装等の各分野にわたっており、これらが一体となって機能を発揮するものである。

これらのプロセスで作られる水の需要量は、人々の生活する様子を反映してある程度の周期的要素と天候などの要素で変動している。対して浄水量は、浄水施設の特性から時間にかかわらず一定に作られる。

この時間変動する需要量と、一定に作られる浄水量の間を調整する機能を求められる施設が配水池である。従って配水池は、需要量の変動によって貯水量を変化させながら送水することになる。ところで、配水池にはもう一つ大きな機能が求められる。それは、配水池より上流側の事故発生時などにも、所定の水量・水圧を維持できる機能である。この機能を最大限に発揮するために、配水池は高い貯水率を保つ事を要求される。

実際の配水池運用を考えると、これら2つの求められる機能をバランスよく満足させ、過剰でない設備を用いて、かつ最小のコストで運用することが望まれる。

表1に配水池の運転方法と水位・送水の関係をまとめた。

運転方法	水量調節機能を優先	高貯水率を優先
水位の変化	大きい	小さい
送水量の変化	小さい	大きい

表1 配水池運用方法と水位・送水の関係

2. カオスとは

カオスとは本来「混沌」、「大混乱」という意味で、予測の世界とは全く関係のない状態を表すことばであったが、ここで我々が問題にしているカオスは決定論的なカオス (Deterministic Chaos) という考え方である。

さて、ここで一枚の白い羽根がひらひらと舞い降りるとしたら、その行く先や動きを予測することは出来るだろうか？ これまでは、このような問題は全くランダムな現象としてとらえられてきた。しかし、一見ランダムのように見える問題でも、その行く先が決定論的な要素 (羽根の形状、風の向き、風の強さ、・・・) によって決まっているならば、その動きは予測することが可能なはずである。これが、決定論的なカオスの考え方である。

3. カオス需要予測

上水道の需要予測は、施設計画を支援する長期の需要予測 (年単位の需要予測) と、浄水施設運用を支援する短期の需要予測 (日単位の需要予測) が行われてきた。

今回我々は、配水池の高度運用を支援するために、従来言われていた短期予測よりさらに短期となる、時間単位の需要量を予測する「カオス需要予測」を行った。

3. 1 タケンスの埋め込み理論

時間毎の配水量データ $y(t)$ からベクトル $(y(t), y(t-\tau), y(t-2\tau), \dots, y(t-(n-1)\tau))$ をつくる (τ は遅れ時間)。

このベクトルは n 次元再構成状態空間 \mathbb{R}^n の 1 点を示すことになる。従って、 t を変化させると、この n 次元再構成状態空間に軌道が描ける⁽¹⁾。

n 次元再構成状態空間への埋め込みを図 1 に、実際の配水量で描かれたアトラクタを図 2 に示す。

3. 2 局所ファジィ再構成法

3. 1 節で述べたように、いま、最新の時間毎の配水量データによって得られたデータベクトル $z(T)$ を n 次元再構成状態空間にプロットし、その近傍のデータベクトルを $x(i)$ とし、 $x(i)$ の s ステップ先の状態を $x(i+s)$ とする。そして予測すべき s ステップ先のデータベクトル $z(T+s)$ の予測値を $\hat{z}(T+s)$ とする。

時間毎の配水量データの振る舞いが決定論的なカオスであれば、状態 $x(i)$ の s ステップ

後の状態 $x(i+s)$ への変化は、

決定論に従ったダイナミクスに基づいていると考えられる。このダイナミクスは $x(i)$ 、 $x(i+s)$ を用いて次の様に言語的表現で表す事ができる。

IF $x(T)$ is $x(i)$
THEN $x(T+s)$ is $x(i+s)$

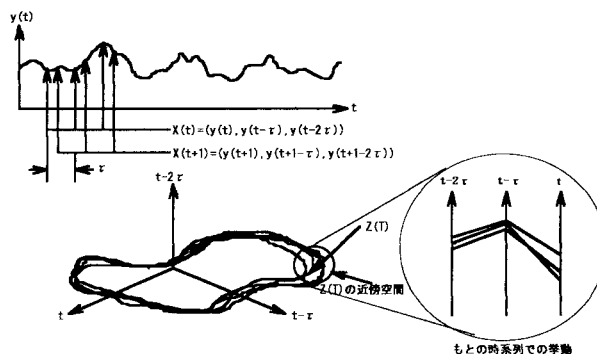


図 1 n 次元再構成状態空間 \mathbb{R}^n への埋め込み

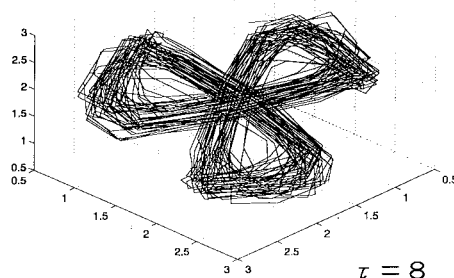


図 2 \mathbb{R}^n に埋め込まれた配水量のアトラクタの例

$x(T)$: n 次元最構成状態空間における $z(T)$ の近傍のデータベクトルを表す集合
 $x(T+s)$: $x(T)$ の s ステップ後のデータベクトルを表す集合

この関係をファジィルールで表現し、未来の配水量データ（1時間後、2時間後、3時間後、・・・）を予測している。これが「局所ファジィ再構成法」である⁽²⁾。

4. カオス需要予測を用いた配水池運用

「カオス需要予測を用いた配水池運用」の有用性を検討するために、配水池運用のシミュレーションを行った。

4. 1 配水池運用モデル

低所にある貯水施設から、ポンプによって高所にある配水池に送水し、その配水池から自然流下により配水するモデルを用いた。モデルの構成を図3に示す。送水ポンプの特性と台数による吐出量の変化を図4に示す。ポンプ運転は台数が少ないほど効率が良い。

配水池容量は12時間配水量とし、水位は0m～10mとした。

配水量は、3ヶ月分の時間単位の配水量データ2208個を用い、そのうち前半の半分を既知データとしてカオス需要予測システムに読み込み、後半の半分のデータを用いてシミュレーションを行った。

4. 2 制御方法

配水池に送水するポンプの台数制御に、カオス需要予測を用いた新たな配水池の水位制御方法を考えた。

○配水池の制御方法

- ① 目標水位バンド（運用したい水位の幅）を決める。今回は5m～9mとした。
（貯水率50%～90%に相当）
- ② 「カオス需要予測」により配水量を予測する。
- ③ 予測された配水量データと現在の送水量から、時間毎の配水池水位を予測する。
- ④ 予測された配水池水位が目標水位バンドを越えたらポンプを増台及び減台する。（ここでは4時間分を採用）

4. 3 シミュレーションの結果

シミュレーションの結果を図5に示す。

図5は、ある一日の運転データである。

この日は、一日中ポンプが2台運転で水位は目標水位バンド内で安定している。

図6-①は、次の日の運転データである。

この日は、ポンプの起動が17時（矢印）において、ポンプは2台から3台運転に変わっている。ポンプ起動時の水位の予測グラフを図6-②に示す。

図6-①の17時の時点で水位は目標範囲以内にあるが、図6-②の予測水位が目標範囲を下回り、ポンプが1台起動している。

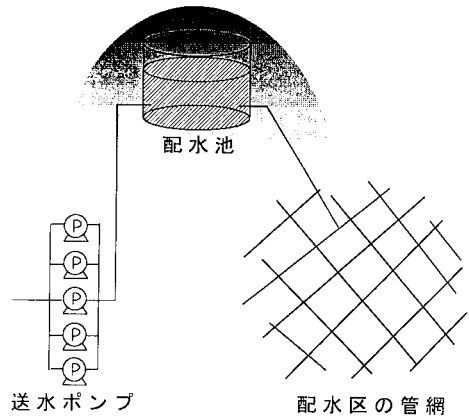


図3 配水池運用モデル

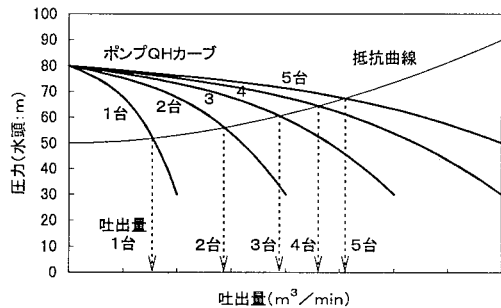


図4 ポンプの特性と台数による吐出量の変化

連続したシミュレーションの結果は、ポンプは2台運転と3台運転を繰り返し、ポンプの起動頻度は14日間で7回であった。水位は、ほぼ目標水位バンド内で運転されていた。

(数cm~10cm程度越えることはあった)水位は朝の需要のピークの前に自然に高くなるという、時間ごとの必要貯水量を考えても、良い運用パターンとなった。

5. おわりに

「カオス需要予測を用いた配水池運用」を行うことにより、

- ① ポンプの起動停止の回数を減らし、
- ② 配水池の水量調節機能を生かし、
- ③ 需要パターンに合った高貯水率で、
- ④ 送水量の変化が少なく、

自動で安定に運用できることがわかった。

しかも、この「カオス需要予測」は、天気・最高気温等の入力をする必要が無く、配水量を自動で記録し続けるだけで予測が可能である。予測精度はデータの蓄積と併に向上していく⁽³⁾。

今後は実配水場の制御にこの「カオス需要予測を用いた配水池運用」を適用していきたいと考えている。

非常時の水量を維持しながら、省エネルギーに貢献出来れば幸いである。

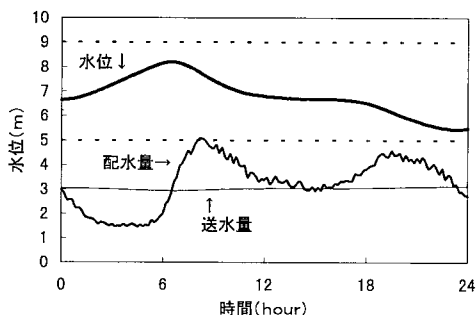


図5 シミュレーションの結果

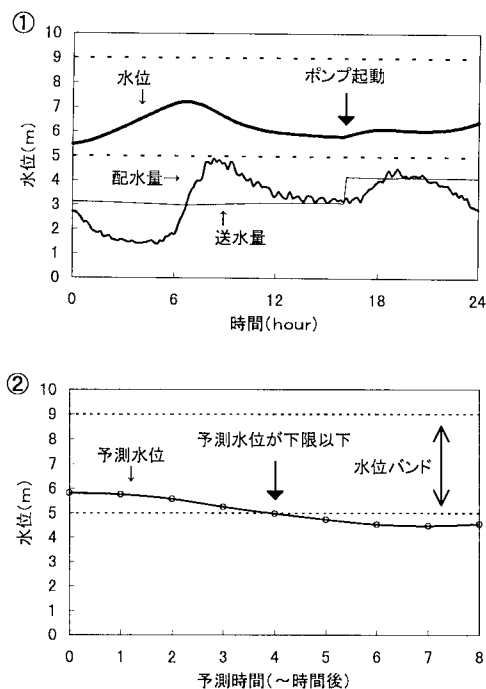


図6 シミュレーションの結果2
(ポンプ起動時の様子とその時の予測水位)

6. 参考文献

- (1) F.Takens: in "Dynamical Systems and Turbulence" (eds. Rand and Young), pp.366-381, Springer, Berlin, 1981
- (2) 五百旗頭 正, 菅家 正康, 藤本 泰成, 鈴木 新悟: "カオス的時系列の短期予測のための局所ファジィ再構成法", 日本ファジィ学会誌, 第7巻, 第1号, pp.186-194(1995).
- (3) 大島 信夫, 今井 久美子, 五百旗頭 正: "カオス理論による上水道需要予測システム", 明電時報, 1995年6号, pp.30-34(1995).