

## 配水管理を目的とした管網形状の評価指標の提案

東京都立大学大学院 フェロー 小泉 明  
 東京都立大学大学院 正会員 稲員 とよの  
 東京都立大学大学院 学生員 吉井 恭一郎

### 1. はじめに

現在の水道事業には、水質の安全性を確保するとともに、直結給水を可能とする水圧の制御、さらには漏水の防止など、水圧および水質面でのサービス水準の向上が求められている。さらに、面的に広がる配水管網に対して、より効率的かつ公平に、これらの目標を達成していくことが必要である。

一方、配水管網内の管内流速は、需要水量の時間変動に伴って変化するとともに、地域的な偏りを有している。管内流速の時間変動や地域的な偏りは、水質の公平性や水圧の安定性に問題を生じる原因となる。そこで、本稿では、より公平かつ安定した管網を見出すために、管内流速に注目した管網の評価指標を提案する。さらに、その指標を用いた管網形成のケーススタディを行う。

### 2. 管網形状の評価指標

ここでは、任意の配水管網に対して、EPANET（米国環境保護局(EPA)の動的管網解析ソフト）を用いて、管網内の各管路の管内流速を時系列的に求め、その結果から、以下の3つの指標を計算し評価する方法を提案する。いずれの指標も値が小さいほど良い結果と言える。なお、(2)式および(3)式では、管路容量による重み付けをしている。

#### 1) 管内流速の絶対的な変動の大きさを評価する指標 ( $I_1$ )

管内流速の著しい上昇はキャピテーションの発生や、有効水頭の低下といった問題の原因となる。一方で、流速の低下は停滞の原因となり、残留塩素濃度の低下や濁質の沈降などをもたらす。そこで、管網全体が適正な流速となっていることを評価するために、管網内で生じている管内流速の変動の大きさを(1)式で評価する。

#### 2) 管内流速の時間変動を評価する指標 ( $I_2$ )

管内流速の変動は、滞留時間の変動をもたらす、また、損失水頭の変動に伴い各節点の有効水圧の変動を生じる。そのため、水圧や水質の安定性という観点から、できるだけ時間変動の小さい管網であることが求められる。そこで、安定性について(2)式を用いて評価する。

#### 3) 管内流速の空間的なバラツキを評価する指標 ( $I_3$ )

流速が早い管路と遅い管路が存在する場合には、地域によって到達時間や有効水圧に違いを生じてしまう。一方で、公平性の観点から地域的な偏りはできるだけ小さくすることが求められる。そこで、公平性の指標として、各管路の平均流速のバラツキを(3)式を用いて評価する。

$$I_1 = \max\{V_i^{\max}\} - \min\{V_i^{\min}\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$I_2 = \frac{1}{\sum_{pipes} L_i D_i^2} \sum_{pipes} L_i D_i^2 (V_i^{\max} - V_i^{\min})^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$I_3 = \frac{1}{\sum_{pipes} L_i D_i^2} \sum_{pipes} L_i D_i^2 (V_i^{ave} - \bar{V})^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $L_i$  : 管路  $i$  の管路長[m]、 $D_i$  : 管路  $i$  の管径[mm]、 $\bar{V}$  : 管網全体の平均流速[m/s]、

$V_i^{ave}$  : 管路  $i$  の平均流速[m/s]、 $V_i^{\max}$  : 管路  $i$  の最大流速[m/s]、 $V_i^{\min}$  : 管路  $i$  の最小流速[m/s]

キーワード 配水システム, 配水管理, 管内流速, 動的管網解析, 時間変動

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1 - 1 TEL 0426-77-2788

### 3. 管網形成のケーススタディ

ここでは、ケーススタディとして、図1に示す配水地域の管網形成の代替案について検討する。この地域の日最大配水量は28,800[m<sup>3</sup>/日]である。検討の対象としては、図中の(A)~(D)の4本の管路の追加を考え、各代替案について管網内の管内流速がどのように改善されるかを明らかにする。

まず、樹枝状の管網について管網解析を行い、前述の3指標について計算した結果を、それぞれ $IS_1$ 、 $IS_2$ 、 $IS_3$ とする。これを用いて、代替案の総合評価指標( $IT$ )を(4)式のように定義する。

$$IT = \frac{I_1}{IS_1} + \frac{I_2}{IS_2} + \frac{I_3}{IS_3} \quad \dots\dots\dots (4)$$

この総合評価指標を用いて、管網形成の代替案を評価する。第1段階として(A)~(D)の中から1本のみ追加する代替案を考える。(4)式による各代替案の評価結果を表1に示す。この中で、(D)を追加したケースの $I_1$ の指標が1.0を上回っており、この項目につ

いて、現状より改善されない結果となっている。そこで、(D)追加案については不適であるとし、1本追加の代替案としては採用せず、次に結果の良かった(C)追加案を採用することとする。

つぎに、第2段階として2本の管路を追加する場合について考える。ここでは、第1段階で採用された(C)については追加されているものとし、2本目の管路を(A)、(B)、(D)のいずれにすべきかを評価する。第1段階と同様に、3つの代替案に対して(4)式の総合評価指標を計算した結果、2本目の管路としては、(A)を追加する代替案が最良であることが分かった。同様に、3本目の管路を追加する場合には、(D)を追加する代替案が良い結果となった。以上の結果、(C)(A)(D)(B)の順に追加する場合は、管網の管内流速の変動を改善させるためには効果的であると結論付けられる。

このときの評価結果( $IT$ )の推移を図2に示す。図2より、1本追加および2本追加では、それ以前の代替案に比べて大きな改善が見られるが、3本追加以降については改善効果が小さい。この結果、本稿で提案した指標は管網を形成する各管路の改善効果を定量的に示すことが可能であると考えられる。

### 4. おわりに

本稿では、配水管理を目的として、管内流速の変動に着目した管網形状の評価指標を提案した。また、その指標を用いた管網形成のケーススタディを行なった。ケーススタディの結果、樹枝状の配水施設に対して、管網を形成するように改善することで、管内流速の変動を安定化できることが示された。

今後は、より総合的な評価を行なうためにコスト面の指標を取り入れた費用対効果分析を行なうとともに、残留塩素濃度<sup>2)</sup>についても検討する必要があると考えている。

### 参考文献

- 1) 今田・小棚木・中村：配水ブロックシステムにおける配水支管網の幹線配置に関する研究，水道協会雑誌，第71巻 第7号，pp.26-39，2002
- 2) 小泉・稲員・吉井・工藤：配水システムの残留塩素濃度に関するGA最適制御モデル，土木学会第58回年次学術講演会，pp.517-518，2003

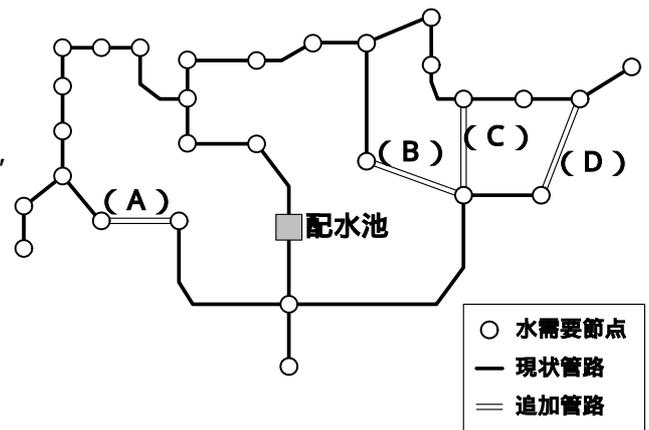


図1 対象とする配水管網

表1 1本追加した場合の評価結果

	$I_1/IS_1$	$I_2/IS_2$	$I_3/IS_3$	$IT$
現状	1.000	1.000	1.000	3.000
(A)追加	0.970	0.824	0.574	2.368
(B)追加	1.000	0.844	0.653	2.497
(C)追加	1.000	0.679	0.530	2.209
(D)追加	1.015	0.665	0.512	2.192

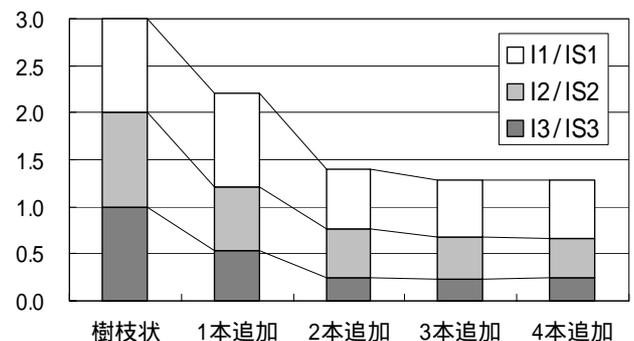


図2 管網形状の改善による評価結果