

図3.8 無機系懸濁物と有機系懸濁物の割合 (C地区)

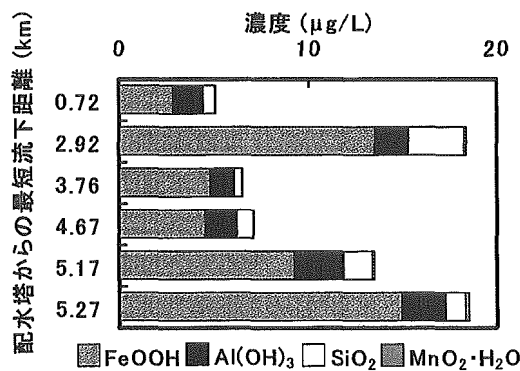


図3.9 鉄, アルミニウム, シリカ, マンガン濃度 (C地区)

### 3.4 配水過程での組成の変化

図3.5, 図3.6, 図3.7にC, D, E地区の懸濁物濃度を示した。配水管内の懸濁物濃度は基本的に流下距離が長くなると濃度は増加した。しかし、配水管網の中間点において懸濁物濃度が高い箇所がみられたが、今回の測定では明確な理由が得られなかった。図3.8に無機系懸濁物と有機系懸濁物の割合を示した。懸濁物が増加するにつれて、無機系懸濁物の割合が高くなる傾向がみられた。また、配水管網中間点で懸濁物が増加した地点でも、無機系懸濁物が増加した。図3.9に鉄, アルミニウム, シリカ, マンガン濃度を示した。配水管を流下すると管内の錆こぶなどの影響で鉄濃度が大きく増加しており、鉄が懸濁物増加の主な要因であることがわかった。また、アルミニウムはほとんどが凝集剤由来で配水管内の発生は少ないものと考えられ、マンガンは、浄水場で処理しきれなかった溶解性のマンガンが配水管を流下する間に懸濁化して微量ではあるが増加したと考えられた。アルミニウムはほとんどが浄水過程で添加された凝集剤由来であり、したがって、図4に示すように懸濁物濃度が増加すると鉄の割合が増加し、アルミニウムが減少する。その主体

が無ライニング異型管や継ぎ手部などのさびこぶ由来の一部の鉄であることを示唆している。

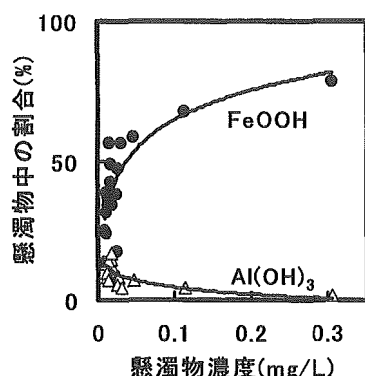


図4 懸濁質濃度と組成の関係

表3.1にC, D, E地区の配水管の布設年度を示す。図3.5, 図3.6, 図3.7を参考に布設年度による懸濁物量の増加要因を検討した。

C地区では最短流下距離2.92kmと5.27km地点で懸濁物濃度が増加し、この手前で懸濁物が発生していると推測できた。しかし、最短流下距離2.92km地点は比較的管が新しいため、管内部の劣化は考えにくく別の要因であると考えられ、最短流下距離5.27km地点比較的管が古く、水が停滞しているため、配水管の劣化が予想された。また、D地区では最短流下距離1.44kmと3.90kmと5.00km地点で濃度が増加した。最短流下距離1.44kmと3.90kmは管が古いため管内部が劣化している可能性が考えられ、最短流下距離5.00km地点は配水管末で水が停滞しており、管の劣化が推測されている可能性が考えられた。また、C地区に比べ管の布設年度が比較的古い場合、全体的に懸濁物濃度が高いことが説明できた。

E地区では初めの3地点での懸濁物濃度がほとんど変わらず、その後管末にかけて懸濁物濃度が増加した。管の布設年度からみるとすべての地点でほとんど同じ時期に管を布設していた。これより、懸濁物濃度が増加する配水管末に行くに従って配水管の劣化が激しいと予想された。よって、比較的清浄な水が流れる初めの3地点では濃度がほとんど変化せず、その後劣化がはげしい配水管を通り水質が悪化したため、懸濁物濃度が増加したと考えられた。

#### 4.まとめ

配水管内水中の懸濁物は原水と比べ、鉄、アルミニウム、炭素、窒素の割合が高く、組成が大きく異なっていた。また、配水管末端では懸濁物濃度が高く、特に鉄が懸濁物の増加要因であることがわかった。さらに、懸濁物濃度や鉄組成が高い箇所は滞留部の可能性が考えられた。このように、配水管内の懸濁物の動態や組成を調べることで、残留塩素では判断できない水質劣化の問題が潜在化している場所を特定できる可能性が示唆された。

また、懸濁物を減少させるためには、配水管内で発生する懸濁物で高い割合を示す鉄を

減少させることが最優先であり、アルミニウム、マンガンに関しては浄水処理に由来するため改善は困難であると考える。

さらに、布設年度からみると古く、配水管末に近づくほど配水管内部が劣化していると予想され、そこを清浄な水が通過することで水質が劣化する。しかし、比較的新しい配水管地点でも懸濁物濃度が増加した地点も見られ、布設年度だけでは判断できないことが確認できた。

### 5.今後の課題

今回の研究で懸濁物増加の主要因が鉄であり、また配水管末地点に限らず配水管網の中間点でも条件次第では懸濁物が増加する地点が存在することがわかった。しかし、配水管網の中間点で増加する要因については、解明するには至らず、今後検討が必要である。また、現在の測定方法では必要十分量の懸濁物を捕集するのに時間がかかりすぎるため、実用的ではない。よって、さらに検討が必要である。

表3.1 配水管の布設年度（C, D, E 地点）

C地区		D地区		E地区	
最短 流下距離	布設年度	最短 流下距離	布設年度	最短 流下距離	布設年度
0.72km	S53	0.13km	H1	0.12km	S59
2.92km	H6	1.44km	S44	1.08km	S59
3.76km	H11	3.81km	H4	1.79km	S59
4.67km	S58	3.90km	S45	3.18km	S60
5.17km	S63	4.06km	S62	3.76km	S63
5.27km	S60	5.00km	S51	3.89km	S60

直管		内面処理
直管以外	S54以前	モルタルライニング ライニング処理なし
	S54～	Φ400以上に タールエポキシ塗装
	S56～	全口径に エポキシ粉体塗装

# 最適配水管網システムに関する 基礎的研究

— 管内流速に着目した管網システムの評価 —

東京都立大学大学院

小泉 明

# 最適配水管網システムに関する基礎的研究

## — 管内流速に着目した管網システムの評価 —

東京都立大学大学院 小泉 明

### 1. はじめに

本研究では、水資源の有効利用に資する水道システムの構築を目的とし、このための重要な課題の一つである最適配水管網システムについて基礎的研究を行なっている。昨年度においては、第一段階として管網解析ソフト（EPANET）の内容を中心に、モデル演算等を行なうと共に、関連する文献についても調査した。今年度は第二段階として、ケーススタディ地域を選定し、シミュレーションならびに配水管網システムの代替案の比較検討を行い、配水管網システムを評価するための管内流速に着目した評価指標を提案する。すなわち、任意の配水管網に対して動的管網解析を行い、管網内の各管路の管内流速を時系列的に求め、その結果を評価する指標を提案するものである。

以下に、本年度の報告内容を列記する。2. では、本研究で提案する管内流速に注目した指標について、その考え方および計算方法を説明する。3. では、提案した指標の適用例として、グリッド状のモデル管網の幹線配置に関する評価を行なう。ここでは、幹線配置の異なる代替案を作成し、それぞれに対して管網解析を行う。そして、得られた結果と提案した指標を用いた評価結果とを比較し、指標の有用性を示す。4. では、提案指標を用いた配水管網改良代替案のケーススタディを行ない、提案した手法の実用性並びに有用性を示す。代替案の作成では、第一段階として幹線配置を検討し、第二段階として行き止まり管をなくすための支線配置を検討する。ここで作成した各代替案に対して提案指標による評価を行い、その結果を比較することで、より有効な代替案を選定する。さらに、選定した代替案と現状管網について管網解析の結果（有効水圧、残留塩素濃度）を比較する。

なお、本稿では配水管網システムを節点（ノード）と管路（リンク）から構成させるネットワークと考え、配水本管に相当するリンクを幹線、配水支管に相当するリンクを支線と記述している。

## 2. 配水管網システムの評価指標

配水管網システムの評価を行なうにあたっては、各節点における水需要<sup>1)</sup>が満たされている条件の下で、地域的に偏在することなく管路の水圧および水質が適正に保たれている必要がある。時々刻々と変化している各管路の水圧や水質（残留塩素に着目<sup>2)</sup>）に影響を与える管内滞留時間はいずれも管路内流速から導出されるものである。したがって、配水システムを評価する一つの指標として各管路の流速に着目することとする。すなわち、各管路における管内流速により算出される評価指標として、次の3項目を提案する。

- ①管内流速の絶対的な変動の大きさを評価する指標
- ②管内流速の時間変動を評価する指標（水圧および水質の安定性）
- ③管内流速の空間的なバラツキを評価する指標（地域的な公平性）

なお、ここで提案する指標の適用に際しては、評価する配水管網システムについて、管網内の全管路の24時間の管内流速データ（1時間毎）を必要とする。すなわち、予め対象管網についてEPANET等による動的管網解析<sup>3)</sup>を行い、管網内の各管路の管内流速を時系列的に求める必要がある。

以下では、各指標について説明する。

### ① 管内流速の絶対的な変動の大きさを評価する指標

管内流速の著しい上昇はキャビテーションの発生を招き、これによって騒音や振動を生じる恐れがある。また、流速が大きくなることは、損失水頭の増大をもたらすため、管網の末端地域における有効水頭の低下につながる。一方、管内流速が低下すると、管網内の各点までの滞留時間が長くなるため、残留塩素濃度の低下の原因となる。さらに、このような管路では、濁質の沈降が生じる可能性がある。

上述したような問題を生じさせないためには、配水管網内の各管路の管内流速が適正な流速で維持されていることが求められる。これを管網内で生じる管内流速の絶対的な大小により評価する。すなわち、極端に高い流速もしくは低い流速が生じる管路がないことを評価するものである。この指標を $I_1$ とし、(1)式のように表現する。

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

$V_i^{\max}$  : 管路*i*に生じる最大流速[m/s]

$V_i^{\min}$  : 管路*i*に生じる最小流速[m/s]

### ② 管内流速の時間変動を評価する指標

配水管網内の各管路の管内流速は、各節点の需要水量の変動に伴って変動する。管内流速の変動は、配水管網に入った水が各節点に達するまでの滞留時間の変動をもたらす、それによって、各需要点での残留塩素濃度の変動を招く。一方、流速の変動によって管路内での摩擦損失も変化するため、需要点での有効水頭が変動する。

これらの問題を抑制し、安定的に水を供給するために、管内流速の変動をできるだけ小

さく抑えることが求められる。そこで、各管路の管内流速の変動幅の大きさを、時間変動に対する安定性を評価する。この指標を  $I_2$  とし、(2)式のように表現する。

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

$L_i$  : 管路  $i$  の管路長[m]

$D_i$  : 管路  $i$  の管径[mm]

$V_i^{\max}$  : 管路  $i$  の最大流速[m/s]

$V_i^{\min}$  : 管路  $i$  の最小流速[m/s]

(2)式では、流速変動の大きい管路に対する評価を鮮明にするために、二乗平均を採用した。なお、管径が太く、管路長が長い管路ほど、配水管網全体における影響が大きいため、管路容量（管径<sup>2</sup>×管路長）による重み付けを行なっている。

### ③ 管内流速の空間的なバラツキを評価する指標

以上で述べたように、管内流速は各需要点の水圧や水質に影響を与える。平均流速が高い管路と低い管路が存在する場合には、水圧や水質について地域的な差異を生じてしまう。そこで、地域内にできるだけ公平なサービス水準で水を供給するには、管路ごとの平均流速ができるだけ均一であることが求められる。

この公平性を表す指標として、各管路の平均流速の分散を考える。この指標を  $I_3$  とし、(3)式のように表現する。

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

$\bar{V}$  : 管網全体の平均流速[m/s]

$V_i^{ave}$  : 管路  $i$  の平均流速[m/s]

ここでも、(2)式と同様に、管径が大きく、管路長が長い管路ほど配水管網全体における影響が大きいため、管路容量による重み付けを行なっている。

### 3. モデル管網の幹線配置の評価への提案指標の適用

ここでは、以上で提案した評価指標の適用例として、グリッド状の配水管網における幹線配置代替案の評価を行なう<sup>4)</sup>。まず、3.1および3.2では、検討対象とするモデル管網の諸元および、検討ケースについて説明する。次に、3.3では、各管路の管内流速や、各節点の有効水圧、残留塩素濃度について EPANET による解析結果を示し、考察を加える。最後に、3.4では、提案した評価指標を用いて、各ケースの評価を行い、提案指標による評価結果が3.3で示した解析結果と同様の傾向を示していることを明らかにする。

#### 3.1 モデル管網について

##### <モデル地域>

ここでは図1のような25節点、41管路、16管網のグリッド状の配水池域を考える。41管路のうち1本は、配水池から管網までを繋ぐ管路であり、以下の評価の対象とはしない。配水管網の規模は、全ての管路長が500mで、管網全体は1辺2kmの正方形の地域とする。1節点あたり0.25km<sup>2</sup>相当の需要水量を受け持つこととする。また人口密度は、全体で均一で9,000[人/km<sup>2</sup>]である。そのため、1節点あたりの人口は2,250人となる。また、配水池の水位は160mで、各節点の地盤高は全て100mとする。

##### <水使用量原単位>

水使用量原単位は、420[L/日・人]とし、各節点に対応する地区の人口(2,250人)をかけて節点放水量は11[L/s]とした。また、各節点の節点放水量は1時間ごとに時間変動し、その変動パターンは、「住宅地」と「商業地」の2パターンを設定した<sup>5)</sup>。(図2)

##### <管径>

各管路の管径は、

- ・幹線：φ300mm
- ・支線：φ100mm

とした。

##### <地域概要>

人口：56,250人  
 面積：6.25km<sup>2</sup>  
 需要水量：23,625m<sup>3</sup>/日  
 管路総延長：20km

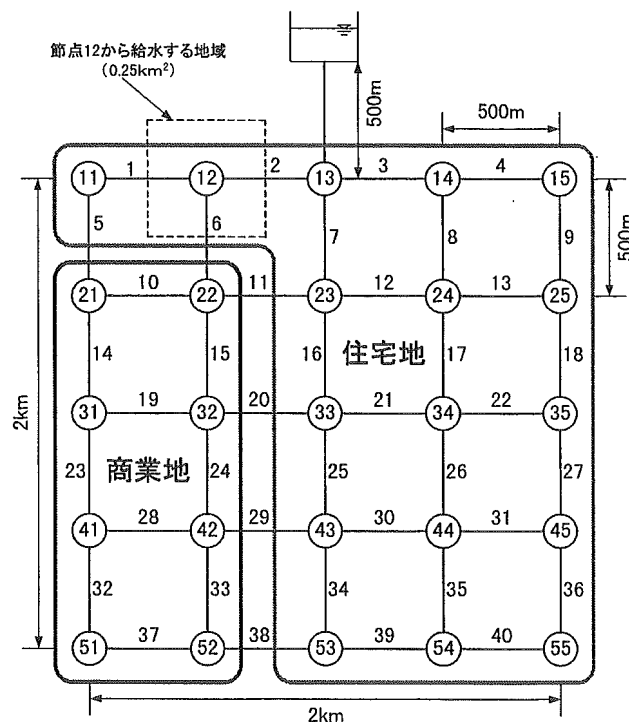


図1 モデル管網



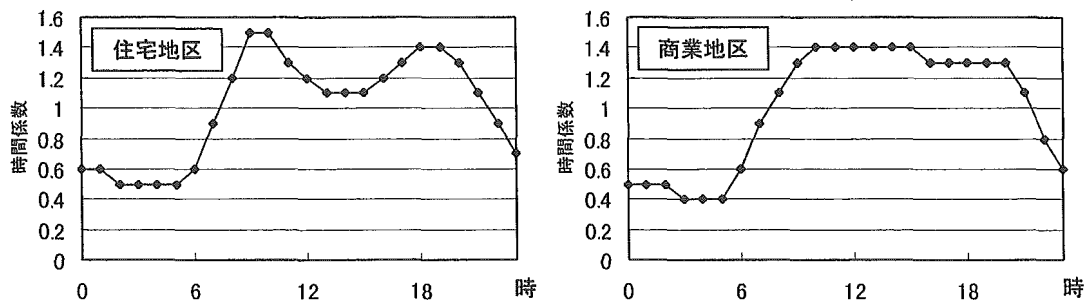


図2 時間係数

### 3.2 評価対象ケース

ケース設定に当たっては、幹線の配置代替案による影響のみを評価の対象とするため、各ケースとも幹線の総延長が同一となるように設定した。ここでは、幹線の総延長は 8km とした。その上で、幹線の配置によるケースの設定については、以下の3ケースとした。

#### CASE1: 外周ループ型

管網の外周部分にループ状に幹線を配したケースである。

#### CASE2: 注入点分岐型

注入点から中央および左右に幹線を配し、それぞれの幹線が管網末端まで交差することなく延びているケースである。

#### CASE3: 中央交差型

「王」字型に幹線を配したケースである。

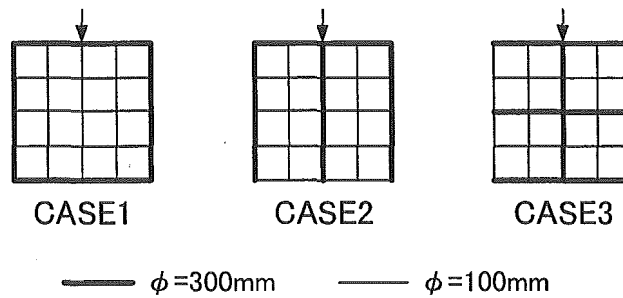


図3 評価対象ケース

### 3.3 EPANETによる解析結果および考察

EPANETでは、全ての管路および節点に対して、1時間ごとの管網の状態を計算できる。ここでは、以上で示した3ケースについて、EPANETで解析を行った結果を示す。ここでは、管内流速、有効水圧、残留塩素濃度について解析結果を示すとともに、その結果について考察を加える。

#### 3.3.1 管内流速

##### (1) 流速変動

流速に関する評価項目として、各管路の流速の変動幅で評価する。図4、図5、図6は、各ケースごとに、各管路の最大流速、最小流速、平均流速を図示したものである。

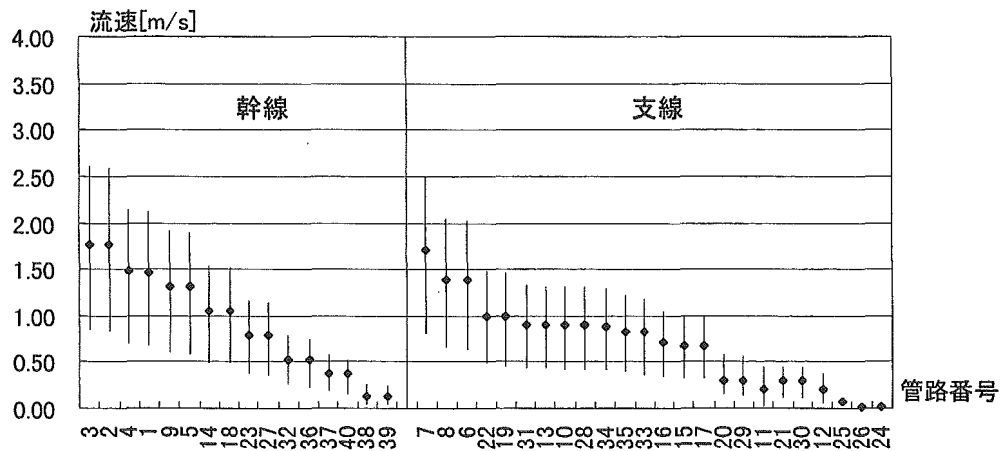


図4 CASE1の各管路の流速変動

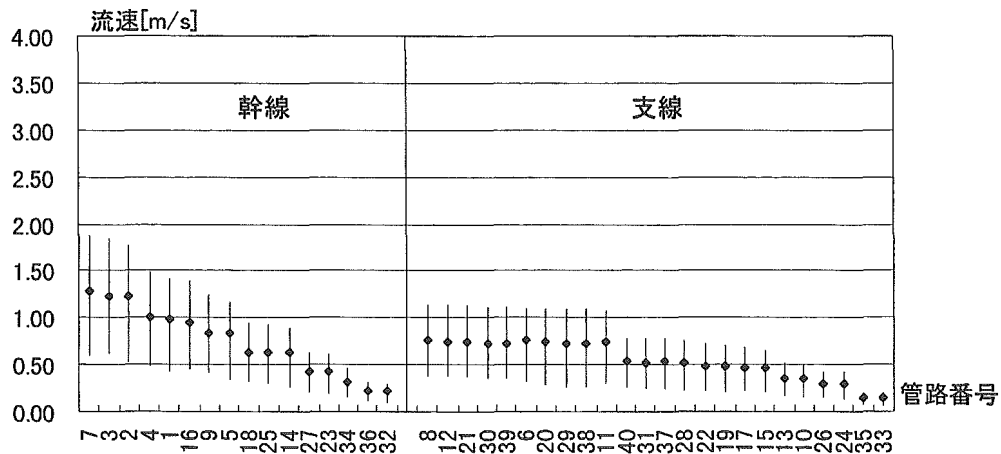


図5 CASE2の各管路の流速変動

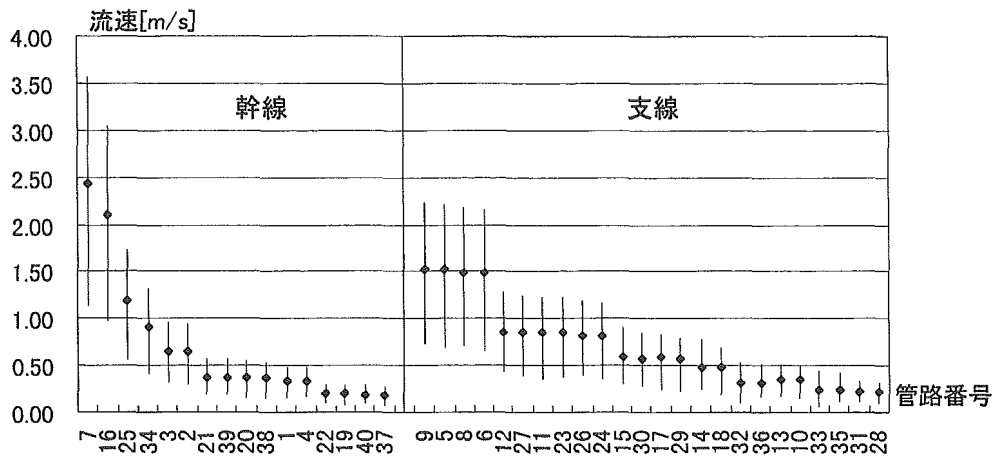


図 6 CASE3 の各管路の流速変動

ここで、図 4~6 の見方について、注目すべき点を 3 点挙げる。

1 点目として管内流速の変動幅を示す線分が作り出す図形の面積が挙げられる。この面積が大きいケースでは、地域全体で流速の変動が大きいため、有効水圧や残留塩素濃度の変動が大きくなる傾向がある。

2 点目は、同じく管内流速の変動幅を示す線分が作り出す図形の形状である。図 6(CASE3) の幹線部分を例にとると、CASE3 の幹線では、面積は小さいものの、管路番号 7,16 などの一部の管路では流速変動が大きく、逆に、管路番号 37,40,19,22 などの管路では、流速変動が小さくなっている。このようなケースでは、地域的な偏りが大きくなってしまいうため、線分が作り出す図形の形状はできるだけ、均一であることが望ましい。

3 点目は、管路番号の順序である。図 4~6 では、各管路を最大流速の大きい順に並べてある。そこで、管路番号を見ることで、管内流速の高い地域または低い地域を確認することができる。

以上の 3 点を踏まえて、各ケースの流速変動の特徴について挙げられることを以下に示す。

- ・すべてのケースを通して、管網の下流側（管路番号が大きい方）ほど流速が低い傾向がある。
- ・CASE1 では、管網中心部分の管路を中心に、流速の低い管路が発生している。
- ・CASE2 では、特に支線において、他のケースに比べて、管路間での変動傾向にバラツキが少なく、良好な状態といえる。
- ・CASE3 では、平均流速、流速変動幅ともに、極端に大きい管路（7,16,9,5,8,6）と小さい管路（22,19,40,37）が生じている。

## (2) 平均流速・最大流速・最小流速

1つのケースに対して、EPANETの解析結果から得られる流速のデータは、960個(=40管路×24時間)である。表1は、この全ての平均値を示したものである。

表1 各ケースの幹線・支線別平均流速

	全管路	幹線	支線
CASE1	0.78	0.93	0.68
CASE2	0.62	0.74	0.54
CASE3	0.68	0.69	0.69

単位：m/s

さらに、各ケースに対して、幹線・支線別の最大流速と最小流速について、表2および表3に示す。

表2 各ケースの幹線・支線別最大流速

	全管路	幹線	支線
CASE1	2.61 (2)	2.61 (2)	2.50 (3)
CASE2	1.88 (1)	1.88 (1)	1.14 (1)
CASE3	3.57 (3)	3.57 (3)	2.24 (2)

( ) 内は各項目における順位

単位：m/s

表3 各ケースの幹線・支線別最小流速

	全管路	幹線	支線
CASE1	0.00 (3)	0.03 (3)	0.00 (3)
CASE2	0.06 (1)	0.09 (1)	0.06 (1)
CASE3	0.06 (1)	0.07 (2)	0.06 (1)

( ) 内は各項目における順位

単位：m/s

各項目の順位に関しては、最大流速については、できるだけ低い場合が良好であり、最低流速については、できるだけ高い場合が良好であるとした。この理由については、2.で提案した指標の意図と同様である。

### 3.3.2 有効水圧

#### (1) 水圧変動

有効水圧については地域内の25節点に対して、その変動を確認する。その際、節点を幹線上にある節点と支線交点上にある節点とに分類し図示している。

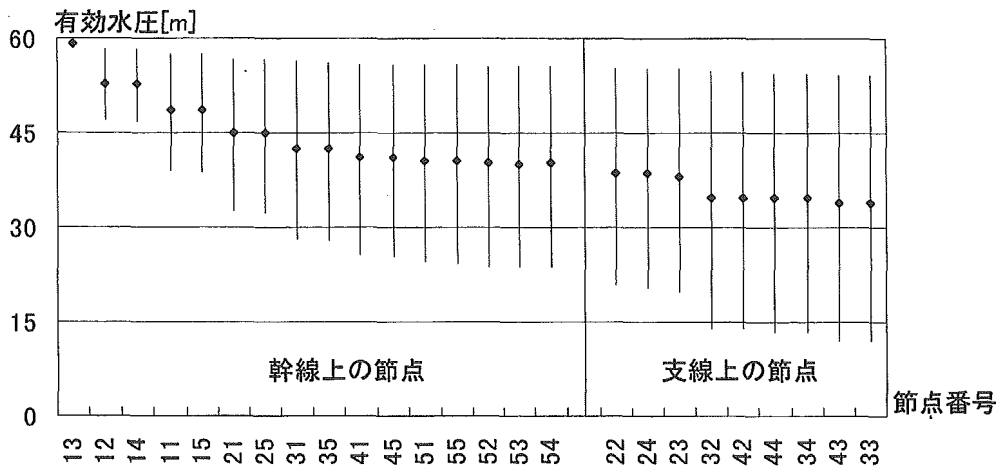


図7 CASE1の各節点の有効水圧変動

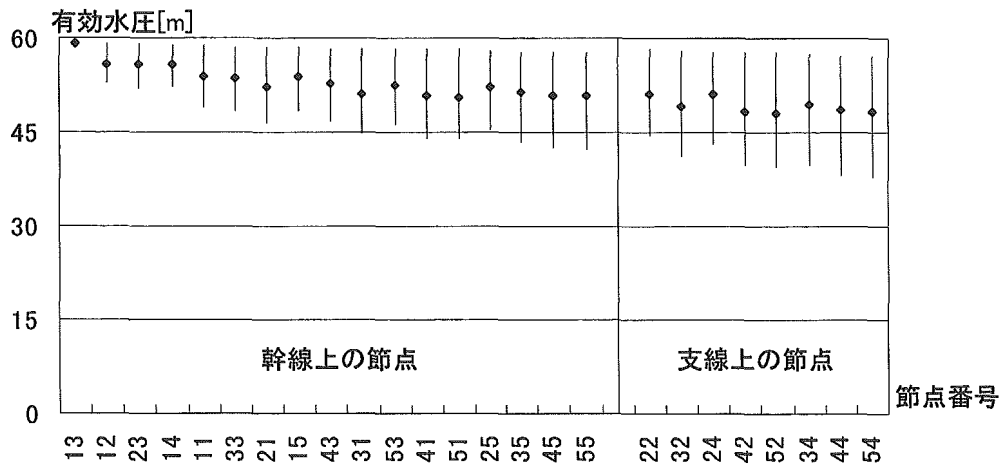


図8 CASE2の各節点の有効水圧変動

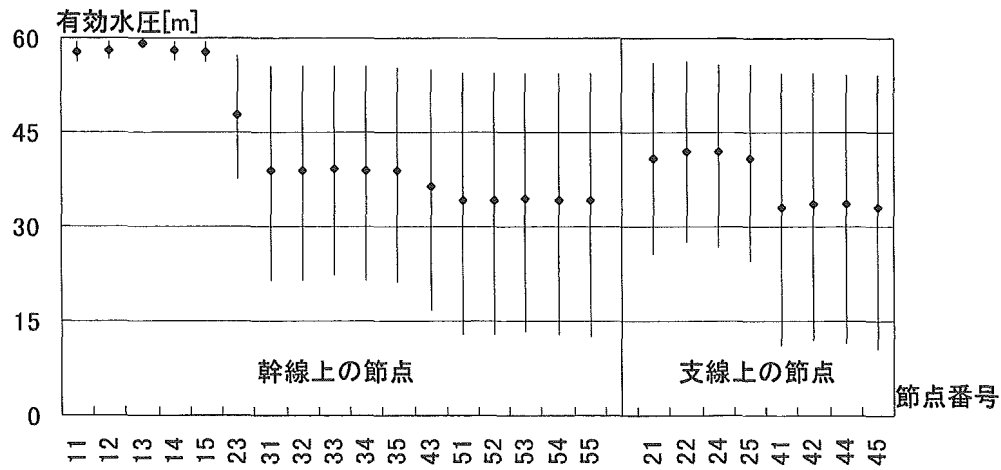


図9 CASE3の各節点の有効水圧変動

水圧変動に関しても、流速変動と同様の評価を行なうことができる。さらに、水圧に関しては、有効水圧 15m 以上という基準があるため、これをどの程度満たしているかという判断もすることができる。

## (2) 最大損失水頭

配水地域の全体の有効水圧を表現するものとして、配水地域全体における最大損失水頭を求める。最大損失水頭が小さいほど、地域全体での有効水頭の差が小さくなる。

表 4 各ケースの幹線・支線別最大損失水頭

	全節点	幹線上節点	支線上節点
CASE1	48.15 (2)	36.51	48.15
CASE2	22.23 (1)	17.64	22.23
CASE3	49.50 (3)	47.48	49.50

( ) 内は順位

単位：m

表 4 から分かるように、配水地域内の有効水圧について考えると、CASE2 の幹線配置が他のケースに比べて最大損失水頭が小さくなっている。つまり、このケースが配水地域内の有効水頭の違いが最も小さく、良好な状態であると言える。

### 3.3.3 残留塩素濃度

#### (1) 残留塩素濃度変動

有効水圧と同様に残留塩素濃度についても、各節点での変動を評価することができる。残留塩素濃度に関しても、幹線上の節点と支線交点上の節点に分類して図示した。

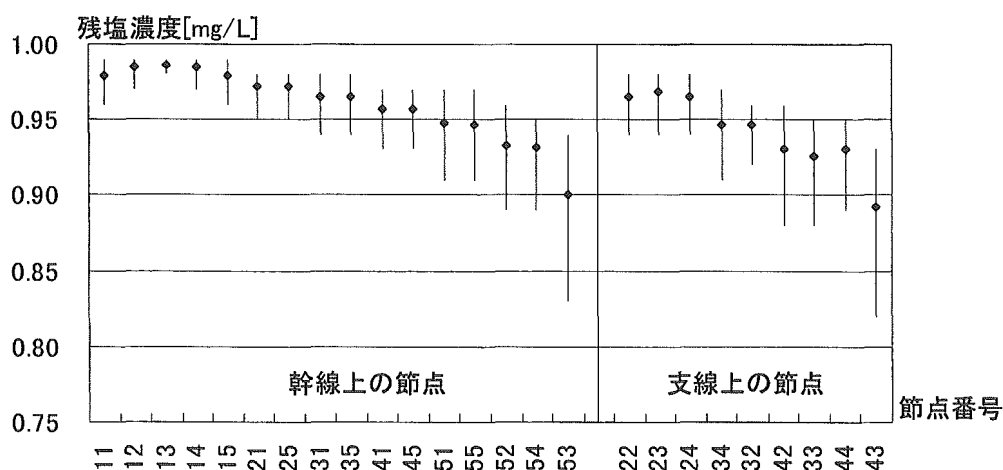


図 10 CASE1 の各節点の残留塩素濃度変動

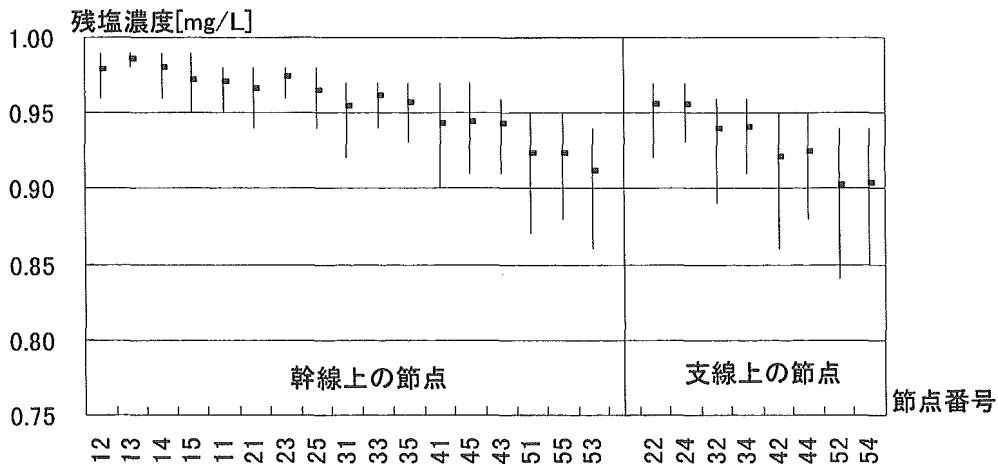


図 11 CASE2 の各節点の残留塩素濃度変動

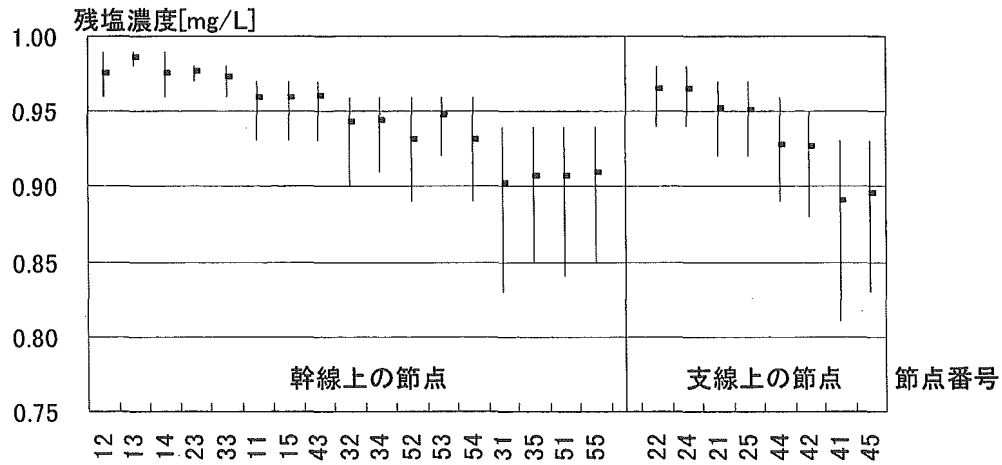


図 12 CASE3 の各節点の残留塩素濃度変動

(2) 残留塩素消費率

配水地域の全体の残留塩素濃度を表現するものとして、配水地域全体における最大残留塩素消費率を求める。最大残留塩素消費率が小さいほど、地域全体での残留塩素濃度の差が小さくなる。

残留塩素消費率  $R_{it}$  は、以下のように定義する。

$$R_{it} = \frac{C_0 - C_{it}}{C_0} \quad \dots\dots\dots (4)$$

- $R_{it}$  : 節点  $i$  の時刻  $t$  における残留塩素消費率
- $C_{it}$  : 節点  $i$  の時刻  $t$  における残留塩素濃度[mg/L]
- $C_0$  : 注入塩素濃度[mg/L]

ここで、各管路の残留塩素濃度減少係数 ( $k$  値) については以下のように設定した。

- ・ 幹線 (300mm) : 0.72[hrs<sup>-1</sup>]
- ・ 支線 (100mm) : 1.5[hrs<sup>-1</sup>]

表 5 各ケースの幹線・支線別残留塩素消費率

	全節点	幹線上節点	支線上節点
CASE1	0.18 (2)	0.17	0.18
CASE2	0.16 (1)	0.14	0.16
CASE3	0.19 (3)	0.17	0.19

( ) 内は順位

単位 : mg/L

表 5 の結果は、配水池から配水された浄水が配水地域の末端までに到達するまでに、最大でどれほどの割合が消費されるかを示したものである。その結果を見ると、全てのケースで 2 割弱の塩素が消費されることが分かる。

塩素濃度は時間の関数として減少するため、到達時間が短いほど消費量は小さくなる。よって、平均流速の大きいケースほど、残留塩素の消費率は小さくなるはずである。しかし、表 3 の結果では、平均流速の最も小さい CASE2 で塩素消費率も最小となっている。したがって、管網を形成している配水地域においては、単に平均流速だけでなく、管網の形状などが水質を規定する要因となっていることが考えられる。

### 3.3.5 考察

以上の結果、3 つのケースの中では、CASE2 が最もバランスの取れた良好な幹線配置であるといえる。また、CASE1 と CASE3 を比較してみると、有効水圧および残留塩素濃度に関する項目で CASE1 の方が良い結果でとなっている。さらに、流速変動についても、CASE3 では、管内流速の変動幅を示す線分が作り出す図形の形状に偏りが見られ、望ましくない結果となっている。

以上の結果を表 6 にまとめる。

表 6 結果のまとめ

	CASE1	CASE2	CASE3
1 (1) 流速変動	△	○	×
1 (2) 最大流速	2	1	3
最小流速	3	1	1
2 (1) 有効水圧変動	△	○	×
2 (2) 最大損失水頭	2	1	3
3 (1) 残塩濃度変動	—	—	—
3 (2) 残塩消費率	2	1	3



表 6 では、順位付けのできる項目に関しては、その順位を示し、その他は○、△、×で表現している。流速変動については、図形の形状から評価した。また、有効水圧については、図形の形状および 15m を下回ってしまう管路の数で評価した。

以上の結果をまとめると、3つのケースを比較した場合には、

CASE2 >> CASE1 > CASE3

という順位付けができると考えられる。

ここで、3つのケースの中で比較的良好なケースとして挙げられた CASE2 についてまとめ、良好な幹線配置の特徴を挙げる。

a) 注入節点到接続する幹線の本数

注入節点到接続する幹線の本数が少ないケースでは、その幹線に多くの水量の負荷がかかるため、流量の変化による流速の変化が大きくなってしまふ。

b) 注入点からの最長幹線長

このモデルにおいては、CASE1 のように幹線の末端までの距離が長いケースは、多くの水量が遠回りをして供給されることになるため、末端側では流量が減少し、流速が低下する。また、流下距離が長いいため、有効水頭や到達時間の問題が生じる。

c) 支線交点から幹線までの最短距離

支線においては、幹線より管径が小さいため、同じ流速でも損失水頭が大きい。そのため、支線流下距離が大きい節点では、有効水頭が低下してしまふ。

d) 幹線の位置

今回の計算では、管径を 300mm、100mm の 2 種類のみとした。そのため、管網末端に幹線が配されているケースの場合、流量に対して管径が大きすぎる状態になるため、流速が小さくなってしまふ。

### 3.4 提案指標の適用と評価

ここでは、「2.配水管網システムの評価指標」で提案した3つの指標を使って、これまでに扱ったモデル管網の幹線配置の評価を行なう。さらに、3.3で得られた結果と比較し、提案した指標の有用性を示す。

#### 3.4.1 指標値の計算

まず、各ケースに対して、3つの指標の計算を行なう。ここでは、(1)、(2)および(3)の各式に EPANET の解析結果を代入し、各指標の値を計算した。各ケースともに、全ての管路を対象として指標を計算したのち、幹線および支線のみでそれぞれ指標を求めた。ここで扱ったモデル管網は全てのケースで幹線と支線の総延長を固定したので、幹線および支線

それぞれについて評価することで、管網内のどの部分に問題が発生するかを明らかにできると考えられる。

全管路を対象とした場合の結果を表7に、幹線および支線それぞれで計算した結果を表8および表9に示す。

表7 全管路を対象とした評価結果

	CASE1	CASE2	CASE3
指標 I <sub>1</sub>	2.61	1.82	3.51
指標 I <sub>2</sub>	1.083	0.623	0.870
指標 I <sub>3</sub>	0.295	0.122	0.400

表8 幹線を対象とした評価結果

	CASE1	CASE2	CASE3
指標 I <sub>1</sub>	2.58	1.79	3.50
指標 I <sub>2</sub>	1.149	0.667	0.903
指標 I <sub>3</sub>	0.228	0.120	0.437

表9 支線を対象とした評価結果

	CASE1	CASE2	CASE3
指標 I <sub>1</sub>	2.50	1.08	2.18
指標 I <sub>2</sub>	0.684	0.360	0.673
指標 I <sub>3</sub>	0.200	0.039	0.178

### 3.4.2 総合評価指標の導入

表7、表8および表9の結果は、指標間で値のスケールに差異が存在するため、そのまま各指標の和でケースの評価を行なうことはできない。そこで、指標ごとに3ケースの平均値  $I_n^{AVE}$  ( $n=1,2,3$ ) を取り、その平均値で割ることで基準化することを考える。

表7は全管路、幹線および支線の指標ごとの3ケースの平均値を示したものである。

表10 指標ごとの平均値

	全管路	幹線	支線
$I_1^{AVE}$	2.647	2.623	1.920
$I_2^{AVE}$	0.859	0.906	0.572
$I_3^{AVE}$	0.272	0.262	0.139

表7の平均値を用いて基準化した指標値として、以下のように  $I'_n$  を定義する。

$$I'_n = \frac{I_n}{I_n^{AVE}} \quad (n=1,2,3) \quad \dots\dots\dots (6)$$

さらに、基準化した指標値の和を3つのケースの総合評価指標  $IT$  として、(7)式のように表すこととする。

$$IT = \sum_{n=1}^3 I'_n \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここでは、 $I'_n$ の平均値が1.0になるため、 $IT$ の平均値は3.0となる。したがって、 $IT$ が3.0以下となるケースは、他のケースと比較して、良好な状態であると評価することができる。

以上の式を用いて、全管路、幹線、支線のそれぞれの基準化した指標値および総合評価指標を以下の表11、表12、表13に示す。

表11 全管路を対象とした基準化した指標値および総合評価指標

	CASE1	CASE2	CASE3
$I'_1$	0.986	0.688	1.326
$I'_2$	1.261	0.726	1.013
$I'_3$	1.083	0.448	1.469
$IT$	3.331	1.861	3.808

表12 幹線を対象とした基準化した指標値および総合評価指標

	CASE1	CASE2	CASE3
$I'_1$	0.983	0.682	1.334
$I'_2$	1.268	0.736	0.996
$I'_3$	0.871	0.459	1.670
$IT$	3.123	1.877	4.001

表13 支線を対象とした基準化した指標値および総合評価指標

	CASE1	CASE2	CASE3
$I'_1$	1.302	0.563	1.135
$I'_2$	1.195	0.629	1.176
$I'_3$	1.439	0.281	1.281
$IT$	3.936	1.472	3.592

さらに、表 11、表 12、表 13 を図示すると、以下のようなになる。

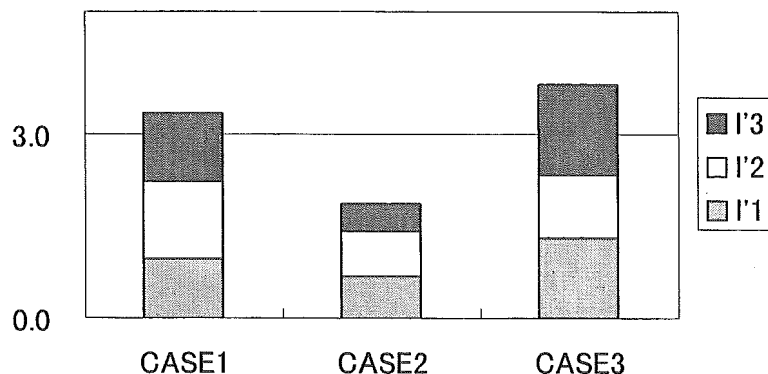


図 13 全管路を対象とした総合評価指標

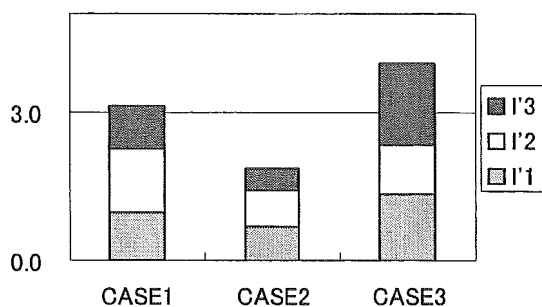


図 14 幹線を対象とした総合評価指標

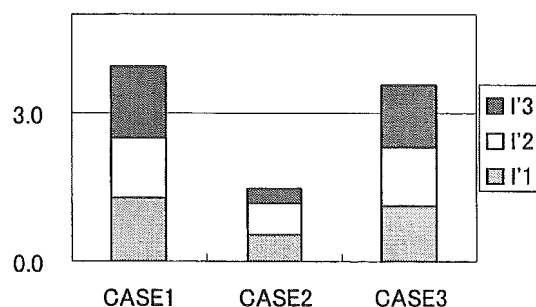


図 15 支線を対象とした総合評価指標

### 3.4.3 評価および考察

ここでは、3.4.2の結果から、3つのケースについて評価する。

#### <全管路を対象とした評価>

全管路を対象とした場合の評価結果を見てみると、総合評価指標では、CASE1の結果が3.0を大きく下回り、他の2ケースと比較して著しく良好であることがいえる。特に、 $I'_3$ が0.5以下となっているため、地域的なバラツキが小さくなっていることが分かる。また、 $I'_1$ 、 $I'_2$ についても、3ケースの中で最小となっており、すべての面でCASE2が良い結果を示している。

また、CASE1とCASE3を比較すると、両ケースともに3.0以上となっているが、CASE3の方がより、指標値が大きくなっており悪い結果といえる。

以上の考察は、3.3の結果と一致するものであり、提案した指標を用いた評価方法が有意であることを示すものである。