

3)給水色度； 全体の平均色度=0.75 度であり、0.0~4.25 度の範囲内で変動している(付図-3、表-8)。しかし、経日変動には、各浄水場系給水により差がある。すなわち、It・Ns系給水の色度の変動幅が大きいが、Sm系給水は小さく、ほぼ、1.0 度以下の安定した変動を示す。

4)残留塩素； 全体の平均残留塩素=0.41 mg/L であり、0.04~0.88 mg/L の範囲の大きな変動幅を示している(付図-3、表-8)。各浄水場系給水には特段の傾向変動は認められないが、総じて、Sm系給水の変動幅は小さい。

5)給水 pH； 全体の平均 pH=7.24 であり、5.18~7.75 の範囲内の変動を示している(付図-3、表-8)。各浄水場系給水には特段の傾向変動は認められないが、その変動範囲には It < Ns ≒ Sm の傾向が認められる。

### 3-3-4 配水管網内の給水水質

前述の都市 P・Q と同様に (3-1-4、3-2-4 参照)、水質自動測定器により連続的に計測されている各給水栓のデータ (日単位データ) を用いて、クラスター分析を行い、その結果を行政区域のブロック図に落として、配水区域内における水質分布の不規則性の有無を検討した。

クラスター分析では、12 給水栓、6 水質項目 (水温、濁度、EC、残留塩素、色度、pH) の 10ヶ月間の平均値、 $\sigma$ 、最大値、最小値を用いた。また、都市 P・Q と同様に、計算では、①変数クラスター、②距離計算は原データのユークリッド距離、③合併後の距離計算はワード法を用いた。

都市 R の 6 水質項目 (各 4 指標) によるクラスター分析結果のデンドログラムを図-18 に示す。デンドログラムの下部の記号は、各給水栓の番号 (測点 No.として表示) を示している。図-18 に見るように、12 給水栓は大きく 2 群に分別されているが、一方の 1 群は 2 群に分別されており、さらに、一方の 1 群は 2 群に分別されている。

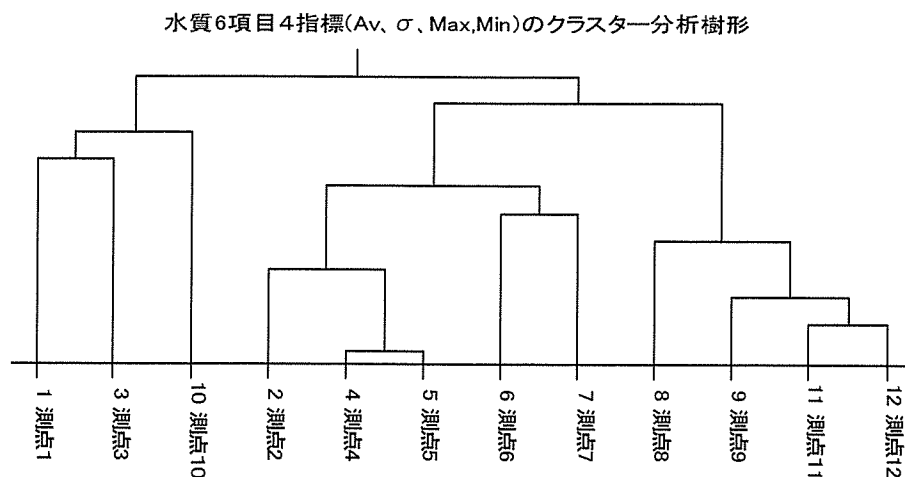
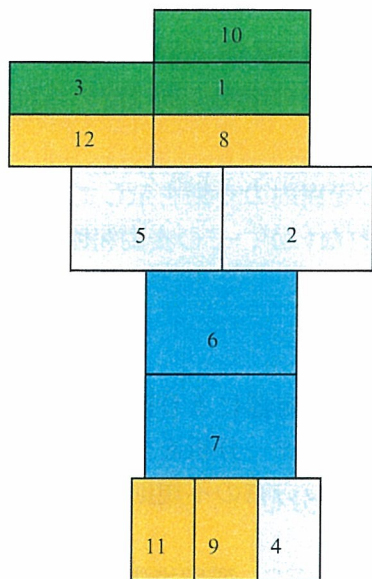


図-18 都市 R の 6 水質項目 (4 指標) によるクラスター分析結果

そこで、ここでは、12 給水栓を「1,3,10」「2,4,5」「6,7」「8,9,11,12」の 4 群に分別することとし、

これら 4 群を左から右に、緑→淡青→青→茶に色分けして、各給水栓が属する群(色)を都市 R の 7 行政地区のブロック図に落とした結果が図-19 である。この図において、水質自動測定給水栓が 1 地区に 3 栓存在する場合は、



おける給水水質分布

便宜的に、1 ブロックの面積を約 1.5 倍にしてある。また、その番号(給水栓)の配列は、やや恣意的ではあるが、周辺の配色との関連で位置付けている。

図-19 から明らかなように、都市 R の配水管網内の給水水質分布にはかなりの不規則性が認められる。すなわち、緑色の給水栓群「1,3,10」と青色の給水栓群「6,7」互いに隣り合っているが、「2,4,5」群と「8,9,11,12」群は互いに離れて位置しており、不自然な分布に見える。

ここで、図-18 のデンドログラムに基づくと、「2,4,5」群と「6,7」群は水質的に類似性が高いので、図-19 都市 R の配水区域内に分析誤差に由来するものとも考えられるが、「2,4,5」「6,7」群とは明らかに異なる群と判別されている「8,9,11,12」群が「8,12」、「9,11」の 2 群に分かれて位置しているのは、一見、かなり不自然な分布であると考えられる。前述の都市 Q に於いても、同様な分布が認められた(図-13 参照)。

このような現象の発生の原因には、統計的処理であるクラスター分析における分析精度の問題もあるであろうが、ここでは、その問題をひとまず置いて、このような分布を示す蓋然性のある理由の存在の有無を検討する必要がある。

### 3-4 小括

水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき給水栓の選定方法に関する検討を意図して、原水・給水栓水質の変動態様と、クラスター分析による 3 都市の配水管網内での水質分布の検討を行った。

その結果、下記のことが明らかとなった。

- (1) 各都市の給水水質の内、EC、残留塩素、pH は、各浄水場の浄水(および原水)特性を反映する傾向を持つ。
- (2) 配水管網内での水質分布は、配水系統が複雑になるにつれ平面的な一様性を失うことが認められた。したがって、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき給水栓の選定に際しては、このような分布を示す蓋然性のある理由の存在の有無を検討する必要がある。

## 4、都市 R における異系統浄水の混合と給水水質変動

前述のように、都市 Q・R における給水区域内の給水水質分布には、やや不自然と思われる分布が存在する。そこで、ここでは、都市 Q に比べて水源数も少なく、配水管網の複

雑さも少ないと想定される都市 R を検討対象として、配水管網の形態・配水系統・浄水の混合などと、配水管網内の給水水質分布との関連性や給水水質変動を検討することとした。

なお、都市 R の配水管網の形態・配水系統・配水池への送水量などのデータは、水質データとは別に、都市 R から提供いただいた。

#### 4-1 配水系統と水質自動測定給水栓の位置

都市 R の配水管網の中には 16 の配水区が設定されている。しかし、平成 18 年 8 月時点における水質自動測定給水栓数は 12 栓であって、水質自動測定給水栓は各配水区毎に設置されておらず、また、1 配水区に複数の栓が設置されている場合がある。そこで、配水系統と水質自動測定給水栓の位置との関係を見やすくするために、失礼を省みず、複雑な元図における配水池・配水塔・連絡管・配水本管・送水管・その他の記載を削除するとともに、水質自動測定給水栓が設置されていない配水区を削除し、かつ、クラスター分析結果(図-18)を参考にして浄水場・配水区と給水水質との関連性を付けるべく、元図の意味するところには変更を加えないように留意して配水系統を書き直した結果が図-20 である。

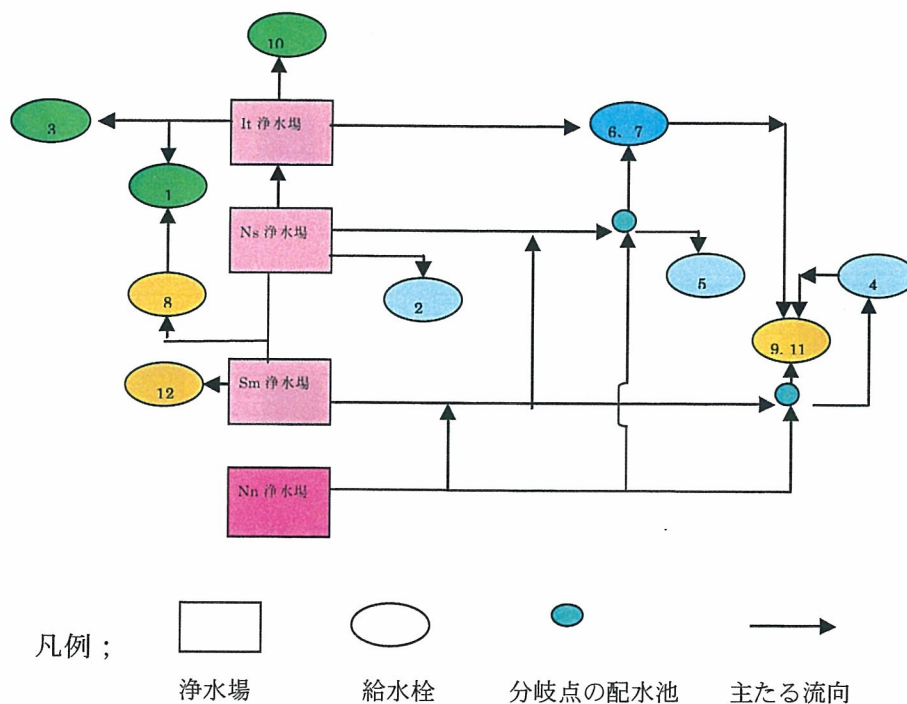


図-20 都市 R の送・配水系統と自動水質測定給水栓の位置

図-20 から明らかなように、主たる流向は存在するものの、浄水は各浄水場・配水池・配水区間の送水管を通じて互いに連絡している。したがって、Sm 浄水場と Nn 浄水場の原水が同一であることを考慮すれば、図-19 の配水区域内の給水水質分布において、「8,9,11,12」群が「8,12」、「9,11」の 2 群に分かれて位置していると言う前述の不自然さの理由は理解できることになる。ただし、図-20 からは、給水栓 No.4 栓の水質が、No.2、No.5 の水質と類似性を持つと言うクラスター分析結果の理由は明らかでない。

#### 4-2 「給水栓 No.4・2・5 群」と「給水栓 No.8・9・11・12 群」の水質

前述のように、配水系統図から、「8,9,11,12」群が「8,12」、「9,11」の2群に分かれて位置している理由は理解できるが、給水栓 No.4 栓の水質が、No.2、No.5 の水質と類似性を持つ理由は明らかでない。そこで、[給水栓 No.2・4・5 群]と「給水栓 No.8・9・11・12 群」の水質の差について検討することとして、ここでは、クラスター分析で用いた 24 指標「6 水質項目・4 指標（平均、 $\sigma$ 、Max、Min）」の比較を行った。

図-21 は、上記 2 群の水質の差を示唆する 3 指標を例示している。

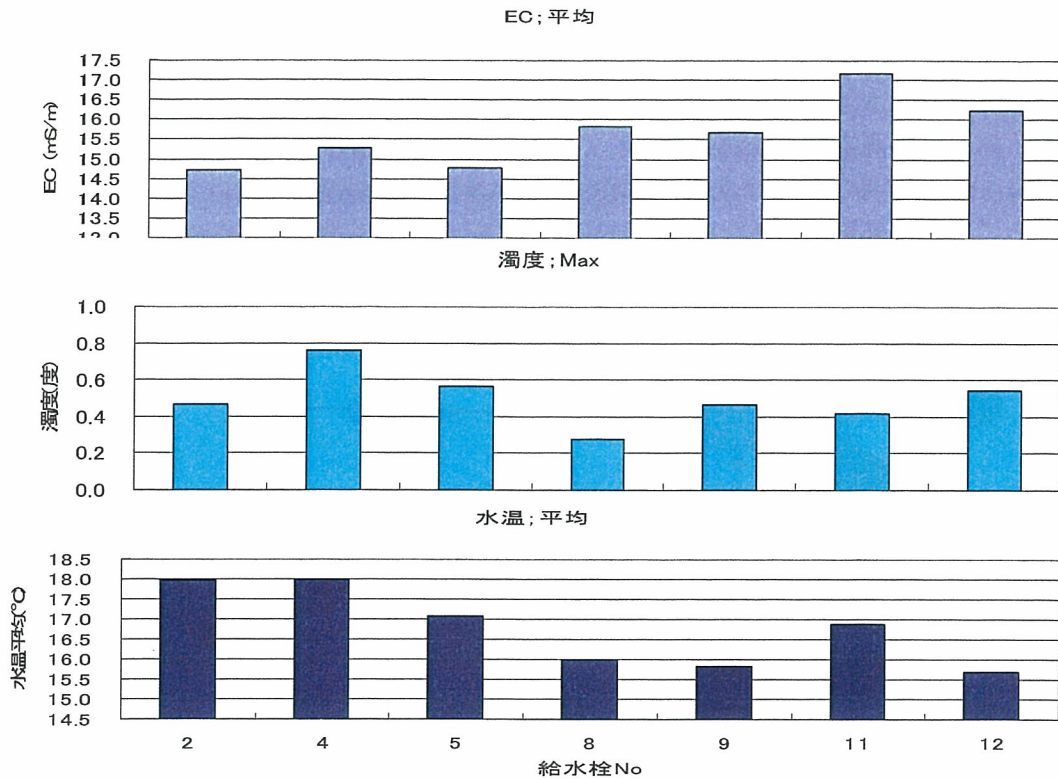


図-21 [給水栓 No.2・4・5]と「給水栓 No.8・9・11・12」との水質差の例示

図-21 に示されるように、[給水栓 No.2・4・5]と「給水栓 No.8・9・11・12」とでは、各指標において差が存在すると考えられる。

表-9 2 群における水質の差の有無

濁度				色度				残留塩素				EC				pH				水温			
Av	$\sigma$	Ma	Mi	Av	$\sigma$	Ma	Mi	Av	$\sigma$	Ma	Mi	Av	$\sigma$	Ma	Mi	Av	$\sigma$	Ma	Mi	Av	$\sigma$	Ma	Mi
○	—	○	—	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○	—	—	—	○	—	—	○	—	○	○

註； Av=平均、Ma=Max、Mi=Min

一方、表-9 は、2 群における水質の差の有無を示している。ここで、「○」は差が存在することを示しており、2 群における各指標の平均値の差「(No.2・4・5 群の平均) — (No.8・9・11・12 群の平均)」の絶対値が、「No.2・4・5 群の平均値」の 10%以上の値をとる事を判

断基準とした。また、「一」は 10%以下の値をとる事、すなわち、大きな差が無いことを示す。

表-9 に見るように、24 指標の内の 14 指標は「○」となっていることから、クラスター分析では、「No.2・4・5 群」を「(No.8・9・11・12 群)」とは別群と判別したものと想定される。

一方、図-21 に見るように、[給水栓 No.4]の「EC ; 平均」を除く各指標値は、「No.9」の値とは明らかな差を示しているが、このような傾向は 24 指標の内の 15 指標で認められた。したがって、配水系統(図-20)からは考えにくい、クラスター分析結果はほぼ正しいものと考えられる。これらのことから、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対象とするべき給水栓の選定に際しては、配水系統の検討に加えて、各配水区の水質に対するクラスター分析等により配水区域内の水質分布の検討を行う必要があると考えられる。

#### 4-3 配水の混合と、混合水質の推定

##### 4-3-1 配水の混合

4-1 で述べたように、浄水は各浄水場・配水池・配水区間の送水管を通じて互いに連絡している、不可避免的に、配水の混合が起こることになる。そこで、その状況を確認するために、管網内に設置された流量計の計測値等に基づく 16 配水区への日単位送水量の計算結果表(17 年度)を用いて、自動計測給水栓が存在する配水区における各浄水場由来の浄水の送水比率を図-22 に示した。なお、この図の横軸は時間軸であり、給水水質データと期間を合致させて平成 17/7/1~18/4/30 としている。しかし、錯綜を避けて年月日の記述は削除してある。また、図中における各配水区の位置は、図-20 に準じて配置した(図

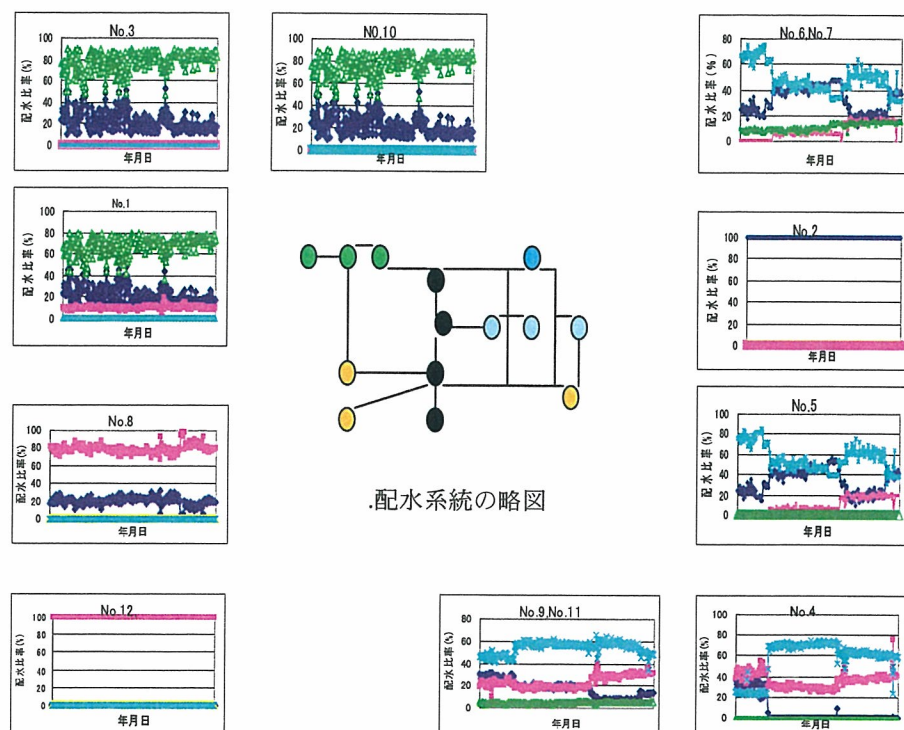


図-22 各浄水場浄水の各配水区(給水栓)への送・配水比率の変動(H17/7/1~18/4/30)  
-22の中央部に図-20の簡略図を図示)。図-22から明らかなように、配水区 No.2 および

No.12には、それぞれ、Ns・Sm 浄水場の浄水のみが送・配水されているが、他の配水区には複数の浄水場由来の浄水が送・配水されている。また、送・配水比率は経日的に変動しているが、No.1、No.3、No.8、No.10の給水栓(配水区)にあつては、その送・配水比率は大凡一定しているのに反し、No.4、No.5、No.6・7、No.9・11の給水栓(配水区)においては、その比率の経時的な逆転現象が発生していることが認められる。

#### 4-3-2 配水の混合に伴う水質の変化

上記のように、一部の給水栓(配水区)を除く他の給水栓(配水区)には複数の浄水場由来の浄水が送・配水されており、その送・配水比率は経日的に変動している。したがって、結果として、各配水区(給水栓)の水道水質は経日的変動をすることになる。

そこで、浄水の混合に伴う水質の変動について検討した。ここでは、単純に、配水比率に応じた各配水の混合により給水水質が形成されるものと仮定することにした。この場合、配水の水質が必要となるので、未知の配水水質は、既知の配水水質を用いて(3)式により算出した。その後、給水栓水質は(4)式により算出した。ここで、pH は、一旦、濃度換算して後に式(3)および式(4)により計算し、その結果を pH 値に再変換した。また、一般に、EC は電解質濃度と比例する性質があるので、EC 値をそのまま式に適用した。

$$D_{in\ j} = ( Q_j - \sum_{i=1}^{n-1} ( D_{ij} \times R_i ) ) / R_n \quad \dots \dots (3)$$

$$Q_j = \sum_{i=1}^n ( D_{ij} \times R_i ) \quad \dots \dots (4)$$

ここで、D=配水水質、Q=給水水質、R=配水率(%)、i=配水、j=水質項目

計算結果の一例として、管網内の水質分布(図-19)において特異な位置にある給水栓 No.4 と給水栓 No.9・11 での水質実測値と計算値との関係を図-23～24 に示す。なお、給水栓 No.4 には 3 配水が混合しており、給水栓 No.9・11 には 4 配水が混合している。

また、表-10 には、計算した全ての給水栓における実測値と計算値との相関性を示す。ここで、給水栓 No.6・7 および No.9・11 では、それぞれの平均水質値と、平均値に基づく計算値との相関性を示している。また、給水栓 No.5 と No.10 は、Nn および It 浄水場の配水水質の推定に用いたこと、および、給水栓 No.1 と No.12 には配水混合がないことから、相関分析を行わなかった。

図-23 および図-24 から、各水質項目の計算値は実測値を確実に反映してはいないが、巨視的に見れば、大凡の変動を反映しているとも考えられる。また、単相関分析をした結果を見ると(表-10)、給水栓 No.4 では、全ての水質項目で有意の相関性が認められ(危険率 1～5%)、給水栓 No.9・11 では、pH 以外の水質項目で有意の相関性が認められる。ただし、pH の計算値の変動幅はほぼ実測値の変動範囲内にある(図-24)。

このような傾向は、給水栓(配水区)の No. 1, 3, 4, 8 にも、同様に認められた。

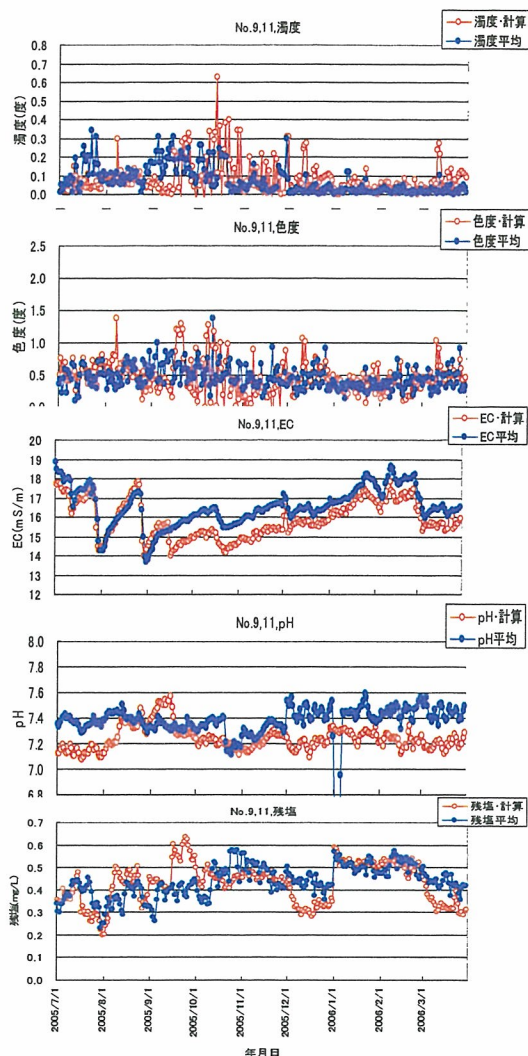
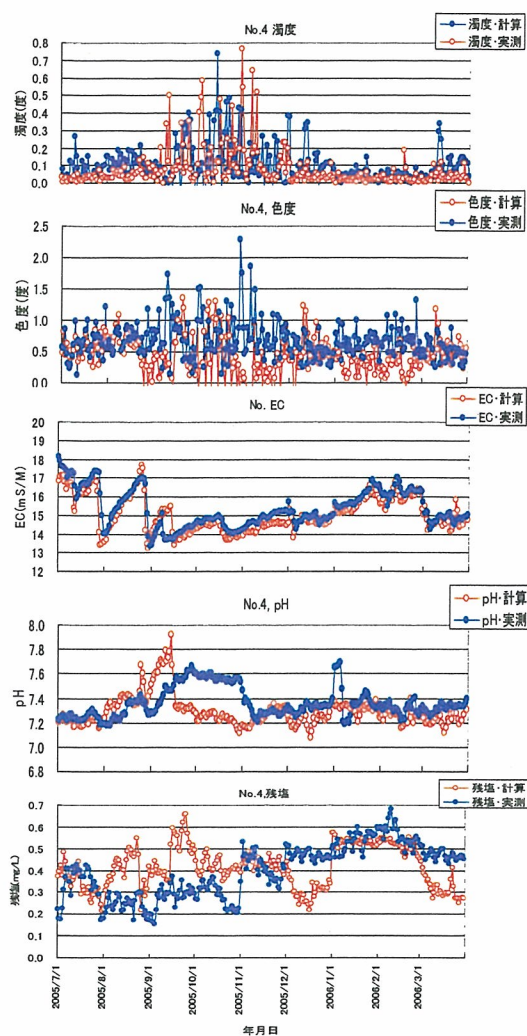


図-23 給水栓 No.4 の計算値と実測値 図-24 給水栓 No.9・11 の計算値と実測値

一方、表-10 に見るように、両者の相関性には、給水栓および水質項目による差が存在するが、導水・配水・給水過程での変化が少ないと想定される EC においては、どの給水栓でも危険率 1%での有意の相関性が認められる。このことは、浄水の混合による水質の変化を式(4)によって推定し得ることを示唆していると考えられる。

したがって、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対象とするべき給水栓の選定に際して、異系統の浄水の混合があり、かつ、当該給水栓の配水区域に水質自動計測給水栓が存在しない場合には、予め、式(3)および式(4)に基づいて近隣の配水区域の配水水質を推定し、類似水質と想定される配水区域を類別しておくことも可能と考えられる。

表-10 実測値と計算値との相関性

配水混合状況		2種混合		3種混合		4種混合	
計測点 NO.		3	8	1	4	6・7	9・11
相 関 性	濁度	—	—	◎	◎	○	◎
	色度	◎	○	◎	◎	◎	○
	EC	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	pH	◎	◎	◎	○	◎	—
	残塩	—	◎	◎	◎	○	◎

◎；1%危険率で有意、○；5%危険率で有意、—；5%危険率で不有意

#### 4-4 小括

配水管網の形態・配水系統・浄水の混合などと、配水管網内の給水水質分布との関連性や給水水質変動について検討した。

その結果、下記のことが明らかとなった。

- 1) 都市 R の配水区域内における給水栓「8,9,11,12」群が「8,12」、「9,11」の2群に分かれて位置している理由は、その配水系統より理解できた。ただし、給水栓 No.4 の水質が、No.2、No.5 の水質と類似性を持つと言うクラスター分析結果の理由は明らかに出来なかった。これらのことから、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき給水栓の選定に際しては、配水系統の検討に加えて、各配水区の水質に対するクラスター分析等により配水管網内の水質分布の検討を行う必要があると考えられた。
- 2) 複数の浄水場由来の浄水の混合に伴う水質の変動は、配水比率に応じた各配水の混合により給水水質が形成されるものと仮定した式(3)および式(4)に基づいて計算し、計算値と実測値との変動比較を行った。

その結果、各水質項目の計算値は実測値を確実に反映してはいないが、巨視的に見れば、大凡の変動を反映しているとも考えられた。また、導水・配水・給水過程での変化が少ないと想定される EC においては、どの給水栓でも危険率 1%での有意の相関性が認められており、浄水の混合による水質の変化は、式(4)によってほぼ推定し得ることを示唆していると考えられた。

したがって、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき給水栓の選定に際して、予め、式(3)および式(4)に基づいて近隣の配水区域の配水水質を推定し、類似水質と想定される配水区域を類別しておくことも可能と考えられた。

#### 5、総括

水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき給水栓の選定方法に関する検討を意図して、原水・給水栓水質の変動態様と、クラスター分析による3都市の配水管網内での水質分布の検討を行った。また、異系統浄水の混合と給水水質変動の検討を行った。

その結果の概要は以下の通りである。



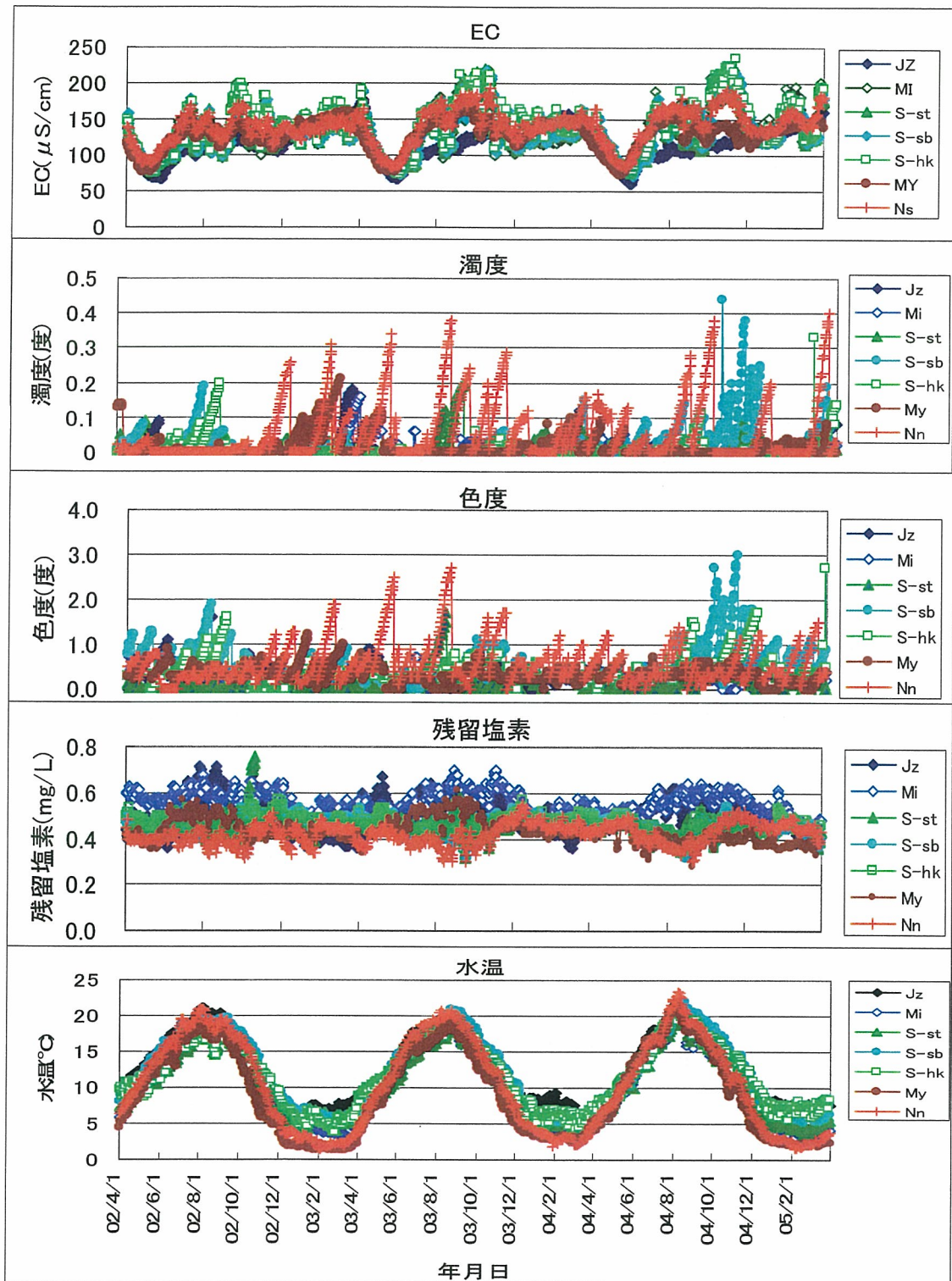
- 1)各都市の給水水質の内、EC、残留塩素、pH は、各浄水場の原水(浄水)特性を反映した変動傾向を持つ。
- 2) 配水管網内での水質分布は、浄水場数増大と配水系統が複雑になるにつれ、平面的な一様性を失う。したがって、比較対照とすべき給水栓の選定に於いては、予め、配水系統と配水区域との関連性を明確にしておく必要がある。
- 3) 配水区域内における水質分布の不連続性の一部はその配水系統により理解できたが、合理的に説明できない給水栓も存在した。したがって配水系統の検討に加えて、各配水区の水質に対するクラスター分析等により、配水管網区内の水質分布の検討を行う必要性があると考えられた。
- 4) 複数の浄水場由来の浄水の混合に伴う水質の変動は、配水比率に応じた各配水の混合により給水水質が形成されるものと仮定した式(3)および式(4)に基づいて計算したが、各水質項目の計算値は、巨視的に見れば、大凡の水質変動を反映しているとも考えられた。また、EC における両者の相関性から、浄水の混合による水質の変化は、式(4)によってほぼ推定し得ることを示唆していると考えられた。
- 5)これらの結果から、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき給水栓の選定に於いては、次の事項を考慮するべきと考えられた。
  - (1)当該給水栓の存在する配水区域内の水質自動測定給水栓の選択
  - (2)水質自動測定給水栓が存在しない場合、管網内の配水系統に準拠して、ほぼ同一水質が配水されていると考えられる配水区の水質自動測定給水栓の選択
  - (3)上記(2)の配水系統の検討に加えて、予め、各配水区の水質に対するクラスター分析等の方法により配水管網内の水質分布の検討を行う必要性がある。
  - (4)複数の浄水場由来の浄水の混合に伴う水質変動が想定される場合、式(3)および式(4)に基づいて、管網内の各配水区域の配水水質を推定し、予め、類似水質と想定される配水区域を類別しておくことも可能と考えられた。

#### 参考文献

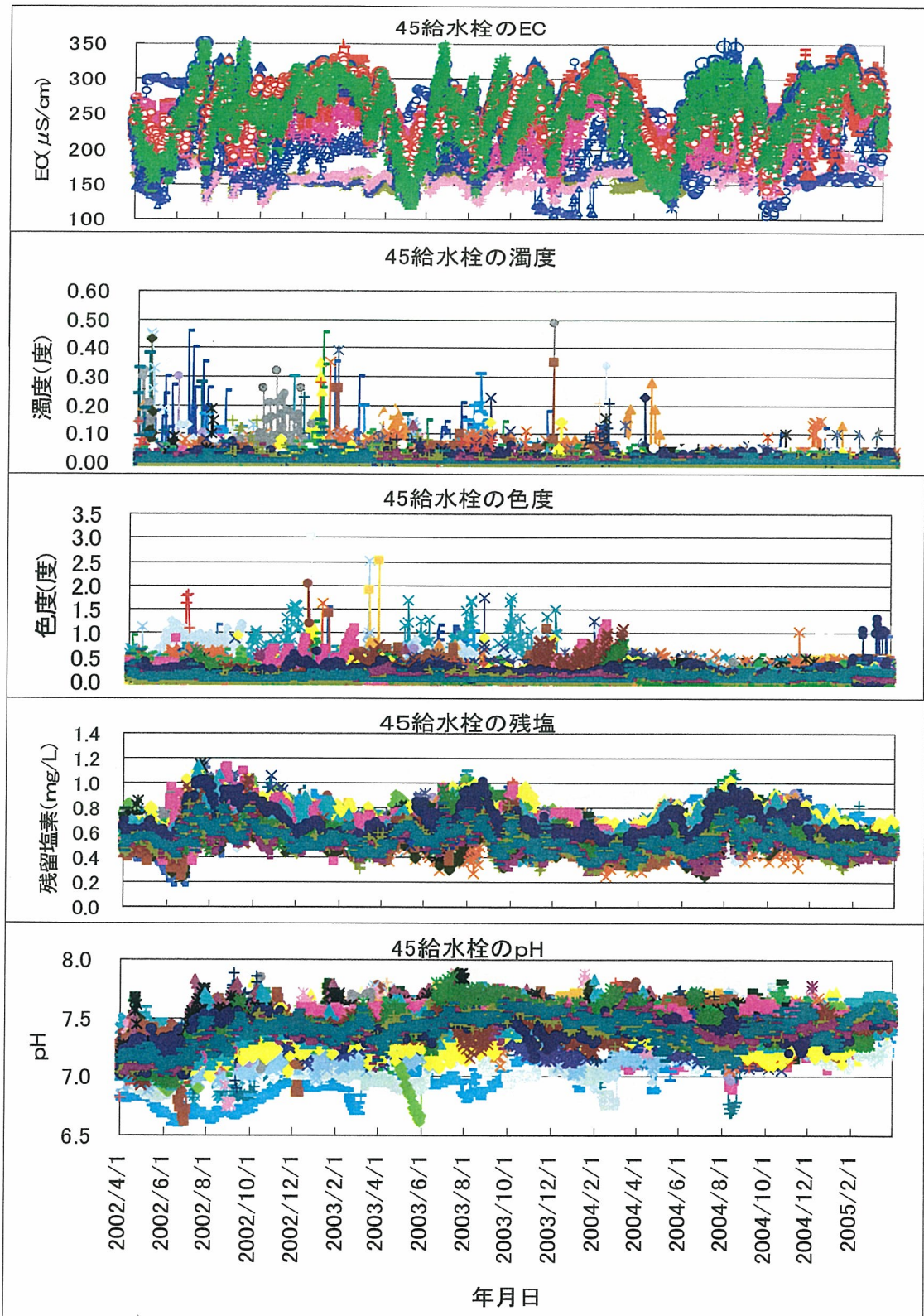
- 1)中村他、給水末端における水質および給水装置・用具機能の異常監視と管理に関する研究、厚生労働科学研究補助金・健康科学総合研究事業、平成 17 年度 総括・分担研究報告書（平成 18 年 3 月）

#### 謝辞

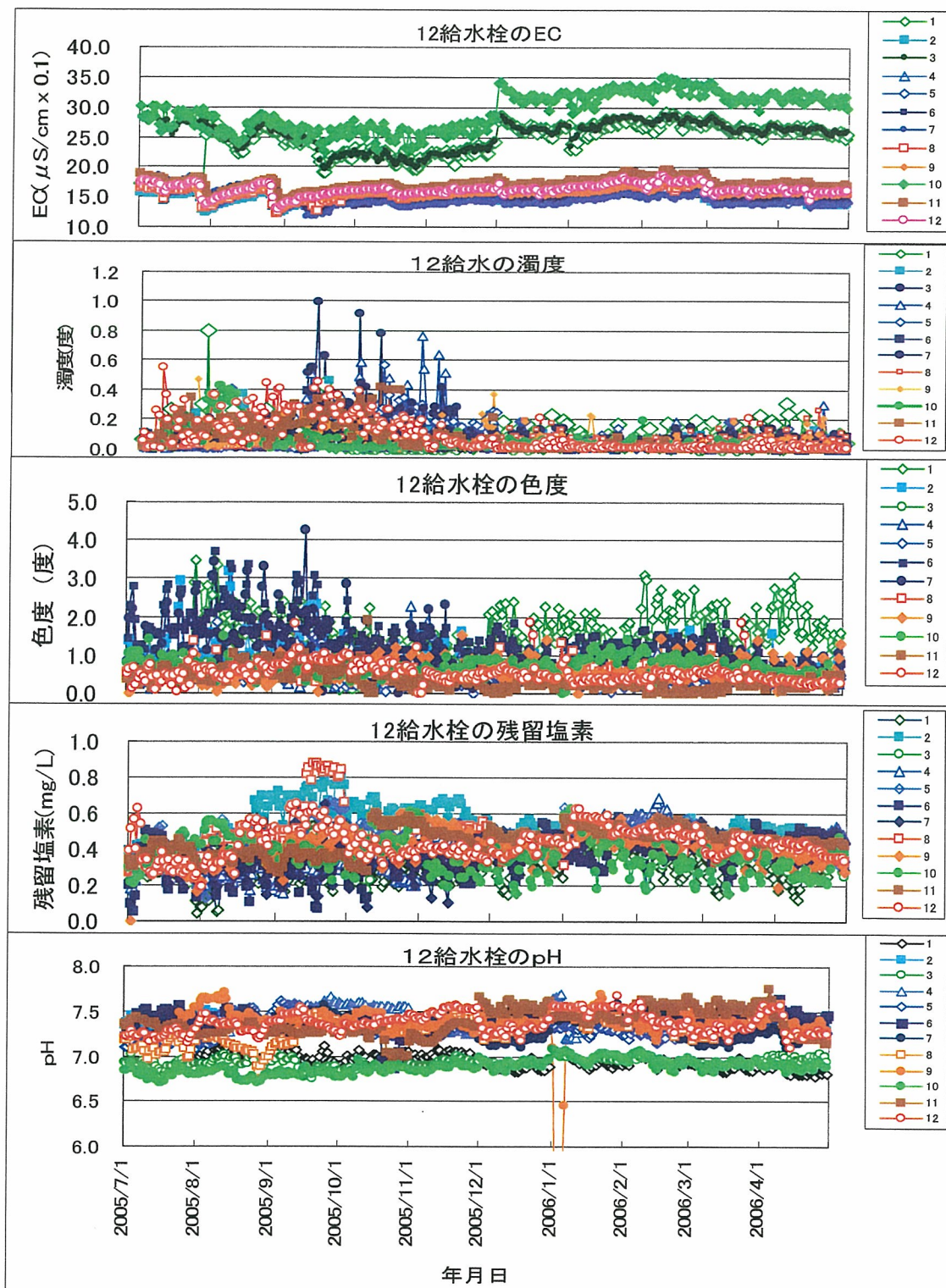
本研究には、都市 P、Q、R の各水道局および関係者各位の御協力を戴いた。ここに記して謝意を表する。



付図-1 都市Pの7給水栓水質の経日変動



付図-2 都市Qの45給水栓水質の経日変動



付図-3 都市Rの12給水栓水質の経日変動

## Ⅱ－２ 給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究；

### 1. 振動・音等の異常現象の検出方法

－振動・音等異常現象の検出システムの構築とその実用化－

分担研究者 杉山 俊幸 山梨大学工学部

#### 1. はじめに

キッチン、浴室、洗面所などで「ドン!」「ガン!」「ゴン!」などと聞こえる原因不明の異音や衝撃音、もしくは、原因不明の漏水やシャワーの温度急変などといった現象はすべて水撃現象により発生する音や現象である。シングルレバー方式の蛇口や浴室のシャワー／カランの切り換え等の混合水栓、および、全自動洗濯機や食器洗い乾燥機といった「電磁弁内臓で給水の急閉止を伴う家電製品」が急速に普及したことが原因として挙げられる。さらに、近年の建築物の高層化や大型化、三階建て住宅の普及で住宅密集度が増加し、各地方自治体は給水圧力や給水量を増やさざるを得なくなりつつある。これらのことから水撃現象が引き起こされるケースが増加し、その結果として、給水管の振動とこれに起因する騒音などによる住環境の悪化、さらには、給水管の破裂や疲労破壊が生じる可能性が高くなってきている。特に騒音が引き起こす問題では、夜間に水撃音が発生し、睡眠の妨げになるなど日常生活にも支障をきたすというものもある。住宅だけに限らず、高い落差の水力発電所などでは水撃作用も巨大なものとなり、弁などの可動部はもとより、上部が地盤やコンクリートで固められた厚い鋼製の配管などの固定部分でも損傷を受けかねない。そのため、何らかの水撃作用対策が必須のものとなっているのが現状である。

平成 16 年度までの研究で、水撃作用発生時のスチール製給水管の振動データとインパルスハンマで給水管に与えた衝撃の振動データの違いから、水撃作用が発生しているか否かを判定するシステムをファジィ理論を用いて構築し、ほぼ 100%の精度で水撃作用の発生を検知できるようになり、システム開発に一步近づいた<sup>1)</sup>。また、平成 17 年度の研究では、「音」の方が収録が容易であるため、水撃作用によって生じるスチール製給水管の「音」のデータを収録・解析し、これらに基づいてファジィ判定システムを構築した結果、70～90%の精度で水撃作用の発生を判定できることが明らかとなっている<sup>2)</sup>。

本研究では、これまでの研究成果を踏まえ、1)実験室内で給水管の振動と音を同時に計測し、両者のデータを用いて水撃作用が発生しているか否かをファジィ演算に基づいて判定するシステムを構築し、その判定精度について考察すること、および、2)スチール製給水管（前記 1）で使用）を塩化ビニル製給水管に変更した場合の水撃現象発生時の振動および音の特性を把握するための実験を実施し、給水管の材質の違いがファジィ演算を用いた水撃作用検知システムに及ぼす影響について検討することを試みた。

#### 2. 実験概要

実験は、給水管としてスチール製（外径 22.1mm、内径 15mm、以下、「鉄管」と表記）と塩化ビニル製（外径 18.2mm、内径 12mm、以下、「塩ビ管」と表記）を使用し、両者が並走して配管されている実験室内（図 2-1～2-2）で、水撃作用に伴って発生する音と振動を同時に収録した。なお、水撃作用は、給水中に電磁弁を急閉止させることで発生させた。データ収録は、

15.0, 17.0, 19.0, 21.0[L/min]の4通りの流量に対して各8回行い，そのうち，6回はファジィ判定プログラム構築のために，2回はファジィ判定の精度の確認のために用いた．収録方法および収録データの内容に関しては，文献 2)と同様である．なお，音のデータは電磁弁の近傍で収録した．振動データの収録位置については，次章で詳述する．

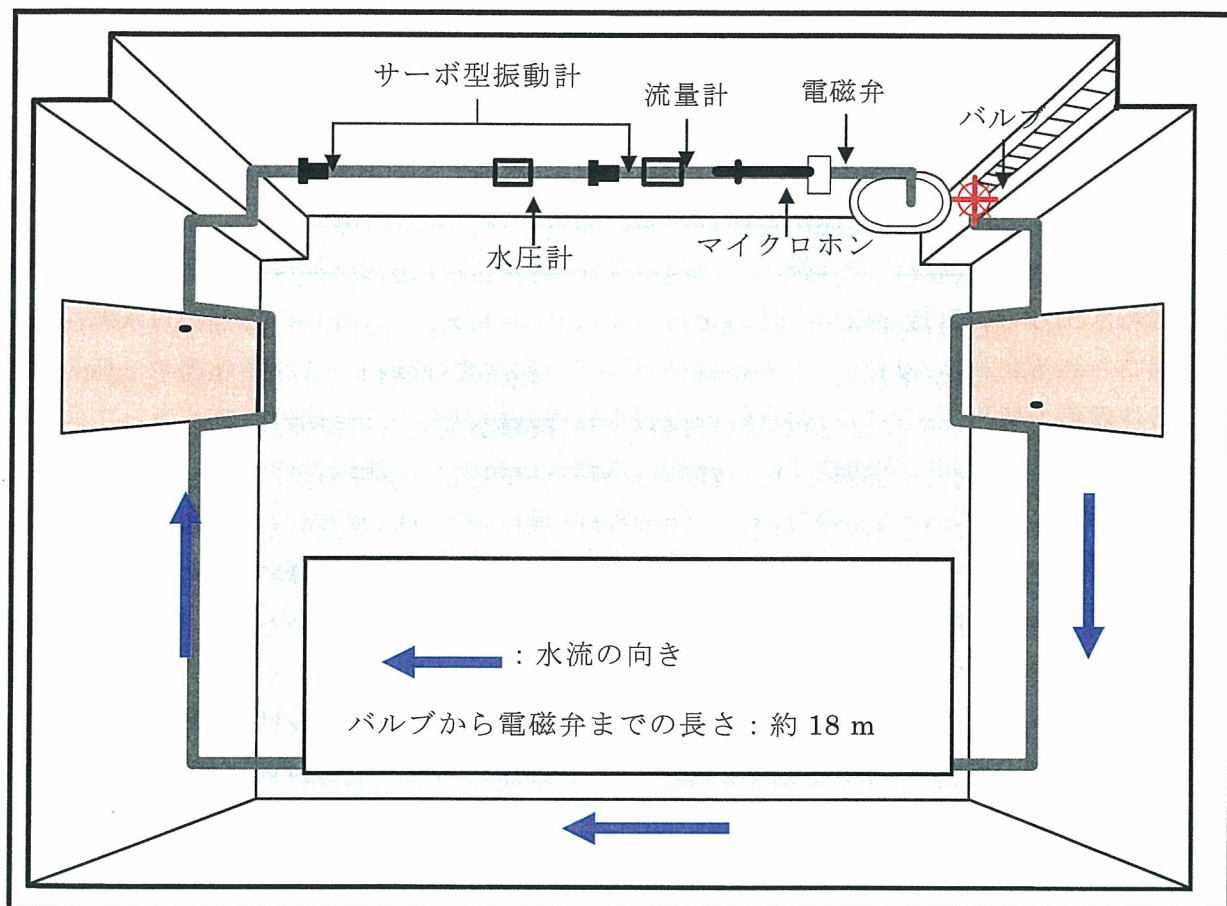


図 2-1 実験室内管路図

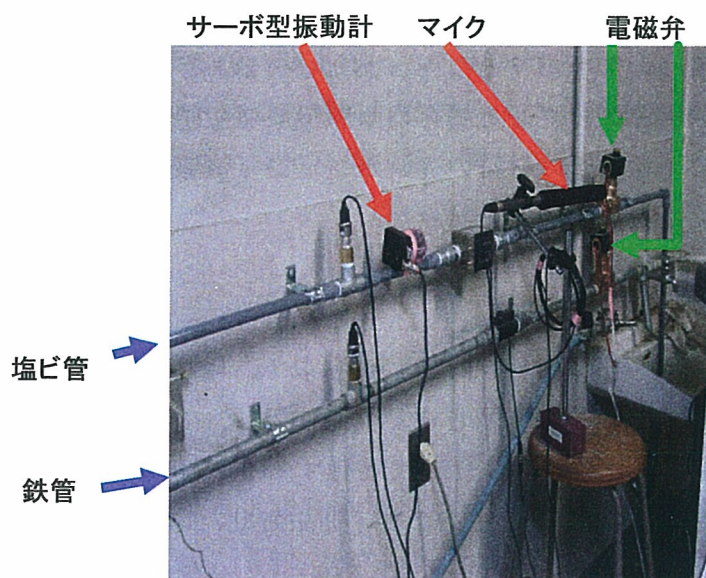


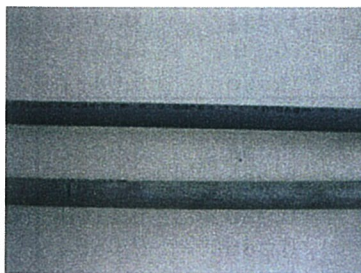
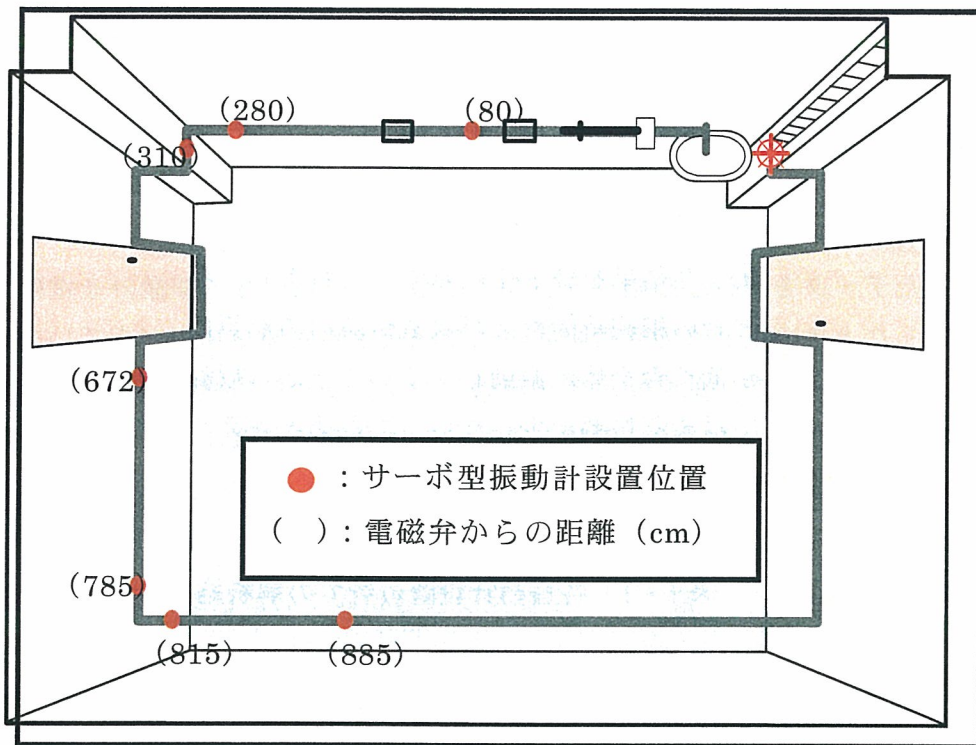
図 2-2 実験室内の配管等の状況

### 3. 振動データの収録位置

本実験に入る前に、鉄管と塩ビ管のどの位置での振動を収録すべきなのかを確認するために、電磁弁からバルブより離れるように距離をとり、各箇所5回実験を行い、実験結果により振動計の設置位置を決定することとした。

#### 3.1 データ収録位置の設定

振動計の最適な設置位置を決定するために、サーボ型振動計を図3-1に示すように、曲がり部の前後などに7箇所設けて実験を行った。そして、収録した鉄管と塩ビ管の水撃作用時の音と振動の波形データをそれぞれ解析した。



管の直線部



管の曲がり部(1)



管の曲がり部(2)

図3-1 サーボ型振動計設置位置

### 3.2 収録データからの抽出項目

前年度までの研究で、振動波形から抽出するのが適当と考えられる項目は、音については、① 卓越振動数、② 減衰定数、③ 継続時間、④ 位相差の割合であり、振動に関しては、① 卓越振動数、② 減衰定数、③ 継続時間、④ 位相差の割合、⑤ 最大振幅であることが明らかとなっている。そこで、ここでは、具体的に以下の値を求めることとした。

- ① 卓越振動数 : パワースペクトルがピーク値を取るときの振動数 ( 単位 : Hz )
- ② 減衰定数 : 収録波形データの振幅が最大となったときからカウントして5波目までの減衰を対象として算出 ( 塩ビ管の振動は、3波目までを対象 )
- ③ 継続時間 : 収録波形データの最大振幅の 1/55 になる振幅が現れるまでの時間 ( 単位 : 秒 ) ( 鉄管の振動は 1/5、塩ビ管の振動は 1/18 になる振幅を対象 )
- ④ 位相差の割合 : 15° ごとに分けた位相差分スペクトルのうち卓越した2つの位相差が全体に占める割合
- ⑤ 最大振幅 : 速度振動波形の絶対最大値

### 3.3 解析結果

収録したデータを解析した結果を表 3-1 に示す。これより、振動計を電磁弁から 672cm 以遠に設置したときの塩ビ管の継続時間および減衰定数の値が算出できていないことがわかる。これは、塩ビ管の剛性が低く管全体が振動しやすいことから収録波形がきれいに現れず、前節で設定した条件に当てはまる振幅が生じなかったためと考えられる。この結果から、電磁弁より 672cm 以遠のデータは収録の対象外とした。

表 3 - 1 各振動計設置位置での解析結果

塩ビ管			鉄管		
卓越振動数 (Hz)	継続時間 (sec)	減衰定数	卓越振動数 (Hz)	継続時間 (sec)	減衰定数
(振動計を 80cm に設置)			(振動計を 80cm に設置)		
27.34	0.093	0.0434	132.81	0.459	0.0481
15.62	0.061	0.0953	130.86	0.374	0.0554
15.62	0.064	0.0612	132.86	0.441	0.053
15.62	0.092	0.0722	132.86	0.29	0.0543
15.62	0.092	0.0705	130.86	0.405	0.0487
(振動計を 280cm に設置)			(振動計を 280cm に設置)		
21.48	0.056	0.0744	80.08	0.354	0.0494
21.48	0.050	0.0816	80.08	0.364	0.0889
17.58	0.080	0.0798	156.25	0.420	0.1160
21.48	0.067	0.0966	158.20	0.256	0.0564
21.48	0.080	0.0729	158.20	0.382	0.0472
21.48	0.077	0.0812			
(振動計を 310cm に設置)			(振動計を 310cm に設置)		
19.53	0.082	0.1022	117.19	0.192	0.0247
19.53	0.098	0.093	117.19	0.577	0.0453
19.53	0.097	0.0923	117.19	0.471	0.0454
19.53	0.105	0.0918	117.19	0.380	0.0623
19.53	0.106	0.0881	117.19	0.352	0.0307



(振動計を 672cm に設置)		(振動計を 672cm に設置)	
3.91		111.32	1.853
1.95		109.86	1.736
1.95		109.37	1.717
1.95			0.0586
1.95			
(振動計を 785cm に設置)		(振動計を 785cm に設置)	
1.95		82.81	1.18
1.95		83.45	0.98
1.95		238.28	1.14
1.95		83.5	1.12
1.95		83.5	1.14
(振動計を 815cm に設置)		(振動計を 815cm に設置)	
3.91		24.41	0.866
3.91		23.44	0.917
3.91		24.41	0.983
3.91		24.9	0.686
3.91		24.41	0.686
(振動計を 885cm に設置)		(振動計を 885cm に設置)	
3.91		19.53	0.987
3.91		24.41	0.958
3.91		19.53	0.957
3.91		20.02	0.987
3.91		20.02	0.920

図 3-2 は、卓越振動数と電磁弁からの距離をプロットしたものである。これより、塩ビ管では、310cm 以遠、鉄管では、785cm 以遠において卓越振動数の数値が急激に低くなっていることが読み取れる。この理由として考えられるのは、管の曲がり部の影響や振動計の設置位置が電磁弁から遠いことである。鉄管と塩ビ管の卓越振動数分布の変化の現れる位置が異なるのは、各々の剛性が異なるためと考えられる。鉄管と塩ビ管の水撃作用を比較するためには、同じ位置に振動計を設置する必要があることから、塩ビ管の結果をもとに振動計の設置位置を 80cm、280cm と決定した。

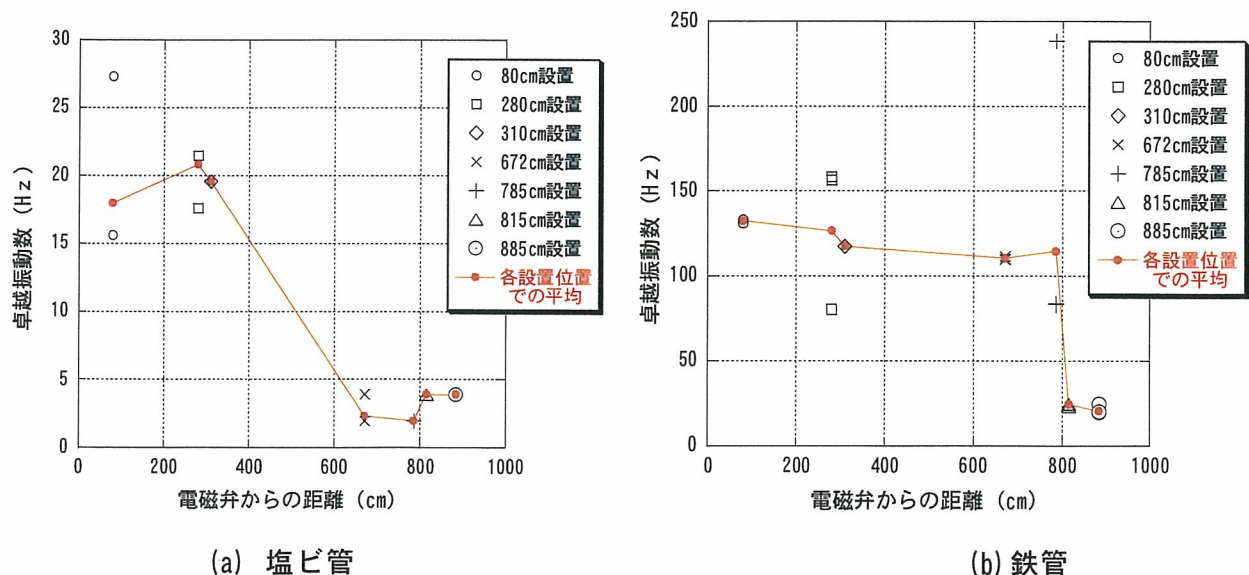


図 3 - 2 卓越振動数と電磁弁からの距離の関係

#### 4. 実験結果および考察

流量別（15, 17, 19, 21[L/min]）に収録した鉄管，塩ビ管の水撃作用発生時の音および振動の波形データの解析結果を表 4-1～6 に示す．各流量に対しての実験回数は 6 回である．

表 4-1 鉄管の水撃作用発生時の音の解析結果

流 量	卓越振動数 (Hz)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合
15 L /min	117.09	0.0802	0.0183	0.3141
	169.24	0.0863	0.0079	0.3004
	117.42	0.0464	0.1503	0.2535
	108.68	0.0677	0.0459	0.2587
	182.70	0.0455	0.0898	0.2044
	108.68	0.0814	0.0567	0.2133
17 L /min	116.08	0.0627	0.0409	0.3327
	115.74	0.0603	0.1192	0.3994
	116.41	0.0536	0.0752	0.3108
	116.41	0.0556	0.0193	0.3972
	116.08	0.0855	0.1105	0.4335
	119.78	0.0765	0.1426	0.3041
19 L /min	109.01	0.0559	0.1398	0.5427
	109.01	0.0109	0.0393	0.4419
	110.36	0.0660	0.0819	0.4218
	110.36	0.0615	0.0690	0.2704
	110.36	0.1276	0.0698	0.3615
	111.03	0.0256	0.0827	0.3468
21 L /min	119.44	0.0472	0.1489	0.1774
	110.02	0.0320	0.0366	0.2908
	109.68	0.0283	0.0094	0.2464
	110.02	0.0635	0.0937	0.3869
	110.36	0.0691	0.0542	0.4245
	109.68	0.1487	0.0118	0.2139

表 4-2 鉄管の水撃作用発生時の振動の解析結果（振動計 80cm に設置）

流 量	卓越振動数 (Hz)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合	最大絶対振動速度 (mkine)
15 L/min	121.09	0.0771	0.03	0.1647	2.23
	128.91	0.0587	0.033	0.1961	2.668
	128.91	0.0745	0.032	0.2275	2.527
	125.00	0.0697	0.026	0.1725	2.627
	128.91	0.0607	0.026	0.2235	3.01
	128.91	0.0634	0.03	0.1843	2.729
17 L/min	144.53	0.0763	0.023	0.2275	3.68
	144.53	0.0785	0.013	0.2118	3.832
	144.53	0.0482	0.01	0.4392	3.939
	144.53	0.0999	0.018	0.3412	4.217
	125.00	0.0662	0.024	0.2078	4.024
	125.00	0.0684	0.024	0.2000	4.045
19 L/min	128.91	0.084	0.026	0.2235	4.53
	128.91	0.0759	0.027	0.2196	4.717
	128.91	0.0767	0.032	0.2314	5.067
	128.91	0.0758	0.027	0.2627	5.308
	125.00	0.0813	0.027	0.2863	5.03
	128.91	0.0817	0.027	0.2235	4.868
21 L/min	144.53	0.061	0.027	0.1647	5.043

	125.00	0.034	0.093	0.3843	6.916
	140.63	0.0453	0.026	0.2000	5.825
	144.53	0.0339	0.114	0.2667	7.221
	140.63	0.0608	0.031	0.1961	5.371
	121.09	0.0526	0.027	0.2196	5.497

表 4-3 鉄管の水撃作用発生時の振動の解析結果（振動計 280cm に設置）

流 量	卓越振動数 (Hz)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合	最大絶対振動速度 (mkine)
15 L/min	121.91	0.0705	0.011	0.1804	2.171
	128.91	0.063	0.012	0.2157	2.752
	128.91	0.0691	0.012	0.2588	2.488
	125.00	0.0674	0.011	0.2549	2.487
	128.91	0.0733	0.04	0.2275	3.207
	128.91	0.0652	0.01	0.2000	2.635
17 L/min	125.00	0.1043	0.016	0.2275	3.587
	142.58	0.128	0.008	0.2627	4.122
	128.91	0.1055	0.008	0.2039	3.904
	128.91	0.1169	0.017	0.2235	4.24
	125.00	0.0902	0.017	0.2039	3.793
	128.91	0.1184	0.008	0.2078	4.525
19 L/min	128.91	0.0657	0.026	0.3294	5.744
	128.91	0.0409	0.012	0.2588	4.278
	128.91	0.1331	0.016	0.3686	4.851
	128.91	0.093	0.016	0.3137	4.401
	125.00	0.0913	0.042	0.3961	4.147
	128.91	0.0594	0.027	0.4078	4.864
21 L/min	128.91	0.0492	0.033	0.2353	5.255
	126.95	0.0846	0.038	0.3490	6.536
	128.91	0.1454	0.023	0.2706	5.553
	130.86	0.0386	0.019	0.3020	5.513
	128.91	0.0979	0.024	0.2941	6.946
	121.09	0.0496	0.019	0.2627	6.366

表 4-4 塩ビ管の水撃作用発生時の音の解析結果

流 量	卓越振動数 (Hz)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合
15 L/min	77.72	0.0458	0.039	0.3617
	181.35	0.0507	0.0306	0.3392
	187.74	0.0892	0.0617	0.3964
	77.72	0.1083	0.0188	0.3694
	77.72	0.0592	0.0071	0.3527
	170.25	0.0283	0.0201	0.3919
17 L/min	184.38	0.1009	0.0089	0.2515
	187.74	0.1242	0.0809	0.3089
	189.93	0.0435	0.0508	0.3262
	188.08	0.0533	0.0421	0.3140
	181.35	0.0140	0.0067	0.2915
	181.69	0.0463	0.0421	0.1850
19 L/min	204.57	0.0476	0.0159	0.2319
	193.13	0.1111	0.0068	0.2777
	183.71	0.1888	0.0475	0.2487
	190.43	0.0450	0.0370	0.2266
	190.43	0.0454	0.0154	0.3257
	181.01	0.0288	0.0238	0.1936

21 L/min	246.62	0.0415	0.0290	0.2998
	198.17	0.0272	0.0583	0.1681
	201.12	0.0598	0.0147	0.3032
	191.61	0.0544	0.0749	0.2876
	374.48	0.0415	0.0622	0.2717
	194.81	0.0348	0.0925	0.3048

表 4-5 塩ビ管の水撃作用発生時の振動の解析結果（振動計 80cm に設置）

流 量	卓越振動数 (Hz)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合	最大絶対振動速度 (mkine)
15 L/min	17.58	0.0691	0.035	0.3673	9.095
	15.63	0.0758	0.030	0.4109	9.329
	15.63	0.0685	0.096	0.4036	10.947
	15.63	0.0650	0.097	0.4582	11.338
	15.63	0.0617	0.097	0.4800	11.803
	27.34	0.0875	0.068	0.6255	6.328
17 L/min	15.63	0.1556	0.082	0.4364	14.896
	15.63	0.1033	0.099	0.4764	15.359
	15.63	0.0725	0.041	0.4727	15.327
	15.63	0.1201	0.041	0.4945	15.410
	31.25	0.0945	0.102	0.4764	14.631
	15.63	0.0959	0.065	0.4945	15.077
19 L/min	15.63	0.0649	0.059	0.5491	20.319
	109.38	0.0634	0.034	0.8073	32.768
	15.63	0.0713	0.124	0.3600	20.306
	15.63	0.1161	0.032	0.4873	19.628
	19.53	0.0816	0.028	0.5345	22.264
	23.44	0.0575	0.18	0.6873	32.627
21 L/min	19.53	0.0631	0.037	0.2909	26.474
	19.53	0.0614	0.106	0.3673	27.578
	19.53	0.0655	0.041	0.2509	26.952
	19.53	0.0725	0.063	0.3127	29.656
	19.53	0.0852	0.109	0.4145	29.229
	19.53	0.0830	0.114	0.2727	29.111

表 4-6 塩ビ管の水撃作用発生時の振動の解析結果（振動計 280cm に設置）

流 量	卓越振動数 (Hz)	減衰定数	継続時間 (sec)	位相差の割合	最大絶対振動速度 (mkine)
15 L/min	15.63	0.1458	0.101	0.4655	12.178
	3.91	0.1026	0.061	0.4291	8.718
	27.34	0.0835	0.057	0.4218	9.578
	27.34	0.0889	0.060	0.4291	10.667
	23.44	0.0933	0.054	0.3927	10.433
	89.89	0.0567	0.078	0.6909	7.961
17 L/min	31.25	0.0804	0.062	0.4618	13.516
	7.81	0.0938	0.086	0.4836	13.989
	31.25	0.0780	0.054	0.4145	13.394
	7.81	0.1116	0.031	0.4764	14.650
	15.63	0.0644	0.078	0.5127	14.228
	31.25	0.0638	0.059	0.4945	14.356
19 L/min	15.63	0.0735	0.049	0.4000	21.834
	15.63	0.0648	0.073	0.4618	18.470
	15.63	0.0637	0.053	0.4218	21.300
	15.63	0.1033	0.031	0.5891	21.969
	15.63	0.0568	0.057	0.5855	19.906