

## 5. 構築したファジィ判定プログラムの有効性の確認

本年度の実験によって収録した水撃作用発生時の音と振動のデータによって構築した水撃作用検出システムの有効性について確認を行う。判定の指標として、「水撃作用が発生している」を◎、「水撃作用発生の可能性がある」を△、「水撃作用は発生していない」を×として表す。

### 5.1 精度確認

鉄管について、確認用に収録した6データに対して精度確認した結果を表5-1に示す。また、3種類のポリエチレン管について、各々6個の確認用データに対してのチェック結果を示したのが表5-2～表5-4である。さらに、鉄管についてのみであるが、以下に記す条件で衝撃を加えた場合のデータについて確認を行った結果を表5-5に示す。

条件：電磁弁から10cm離れた位置をハンマ、手、靴（9インチ）によって衝撃を与え、生じさせた音を、ICレコーダー、マイクロホンにより収録し、振動を、電磁弁より80cm離れた位置に設置したサーボ型振動計で収録したものである。また、各々の実験回数は、4回である。

表5-1 鉄管の精度確認用水撃作用のデータ判定

水撃音		振動計		データ数	判定
継続時間	位相差の割合	減衰定数	位相差の割合		
3	5	5	3	1	◎
5	5	5	4	2	◎
5	3	5	5	1	◎
5	3	4	5	1	◎
5	5	5	3	1	◎
				計 6	

表5-2 ポリエチレン管1の精度確認用水撃作用のデータ判定

水撃音		振動計		データ数	判定
継続時間	位相差の割合	減衰定数	位相差の割合		
4	4	5	4	1	◎
3	3	5	4	1	◎
3	5	5	5	1	◎
3	4	3	4	1	◎
3	4	4	3	1	△
5	3	4	5	1	◎
				計 6	

表 5-3 ポリエチレン管 2 の精度確認用水撃作用のデータ判定

水撃音		振動計		データ数	判定
継続時間	位相差の割合	減衰定数	位相差の割合		
4	4	5	4	1	◎
4	4	5	3	1	◎
3	5	3	5	2	◎
5	3	4	3	1	◎
5	4	5	5	1	◎
				計 6	

表 5-4 ポリエチレン管 3 の精度確認用水撃作用のデータ判定

水撃音		振動計		データ数	判定
継続時間	位相差の割合	減衰定数	位相差の割合		
5	4	5	3	1	◎
3	4	3	5	1	◎
5	4	3	3	1	◎
5	4	5	4	1	◎
5	3	3	4	1	◎
2	4	5	5	1	◎
				計 6	

表 5-5 鉄管の水撃作用以外の精度確認用衝撃のデータ判定

	継続時間	位相差の割合	減衰定数	位相差の割合	データ数	判定
ハンマによる衝撃	5	1	1	1	1	×
	3	2	1	1	1	×
	1	1	1	1	1	×
	5	5	1	1	1	×
手による衝撃	5	4	1	2	1	×
	1	4	1	5	1	×
	1	5	1	5	1	×
	4	4	3	5	1	◎
靴による衝撃	1	5	1	2	1	×
	1	1	1	2	1	×
	2	5	1	1	1	×
	3	1	1	2	1	×
					計 12	

表 5-1～表 5.5 に示した結果を図示したのが図 5-1 である。これより、水撃作用が発生しているか否かを 83%以上の精度で判定できていることがわかる。

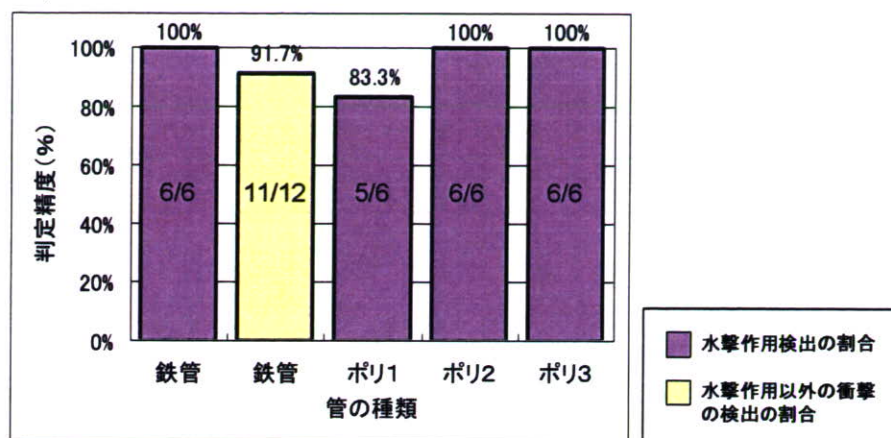


図 5-1 構築した水撃作用発生検知システムの精度

## 5.2 「音」と「振動」の組合せが異なる判定方法との比較

表 5-1～表 5-5 の判定精度の確認は、音と振動の両方を対象とした判定方法で行ったが、ここでは、音のみを対象としたときの判定、および、振動のみを対象としたときの判定との精度の比較を行う。(1)音のみを対象としたときの判定、(2)振動のみを対象としたときの判定、(3)音と振動の両方を対象としたときの判定と分類し、それぞれについて判定を行い、水撃作用検出（水撃作用が発生しているという判定結果）の割合を求め、まとめたものを表 5-6 に示す。なお、鉄管の水撃作用以外の衝撃のデータについては、水撃作用以外の衝撃の検出（水撃作用が発生している以外の判定）の割合を求めている。

表 5-5 各データ判定の精度

		(1)	(2)	(3)
鉄管	水撃作用検出の割合	100% (6/6)	100% (6/6)	100% (6/6)
	水撃作用以外の衝撃の検出	66.7% (8/12)	91.7% (11/12)	91.7% (11/12)
ポリエチレン管1	水撃作用検出の割合	83.3% (5/6)	83.3% (5/6)	83.3% (5/6)
ポリエチレン管2	水撃作用検出の割合	100% (6/6)	83.3% (5/6)	100% (6/6)
ポリエチレン管3	水撃作用検出の割合	100% (6/6)	83.3% (5/6)	100% (6/6)

これより、音と振動を対象としたときの判定結果の精度は、鉄管については、水撃作用検出に対して 100%、水撃作用以外の衝撃の検出に対して 91.7%であり、ポリエチレン管の水撃作用検出に対しては、ポリエチレン管 1 で 83.3%、ポリエチレン管 2 で 100%、ポリエチレン管 3 で 100%であった。

鉄管の場合、水撃作用検出の割合の判定結果はどれも 100%となり良い結果が得られた。水撃作用以外の衝撃の検出の割合についても、完全に水撃作用が発生していないという判定とまではいかなかったものの、91.7%と高い割合で水撃作用以外の衝撃を検出できた。

このことから鉄管については高い確率で水撃作用を検出できる判定プログラムが作成できたといえよう。また、水撃作用以外の衝撃の検出については、音のみを対象としたときの判定結果が66.7%とあまり良くない結果となっている。このことから、鉄管では振動のみの場合と並んで、音と振動の両方を対象とした場合に最も良い結果が得られることがわかる。

ポリエチレン管については、ポリエチレン管 2, 3 は、水撃作用検出の割合の判定結果が100%であり、ポリエチレン管 1 についても83.3%とこれも良い結果が得られている。また、表 5-5 から分かるように、ポリエチレン管についても鉄管と同様、音と振動の両方を対象とした場合に最も優れた結果が得られることが確認できる。

## 6. 「小型化」、「低価格化」を意識した検知装置の開発の方向性について

本年度までの研究成果を基に、「小型化」、「低価格化」を意識した検知装置の開発の方向性について以下の提案を行う。

- ①給水管へは、蛇口と給水管が壁から出ている位置との間にセットすることを想定する。
- ②給水管の振動は、給水管の軸方向振動速度が計測できるピックアップを採用する。ピックアップは、給水管に装置を固定する円筒形の治具の中に埋め込むものとする。
- ③音に関しても計測可能な場合には、IC レコーダーに用いられている安価な簡易マイクを使用する。
- ④本研究で構築したファジィ演算プログラムを組み込んだ IC チップを組み込み、ピックアップおよびマイクからの収録データを分析しファジィ演算が実行できるようにする。
- ⑤「水撃作用発生」と判定された場合には、「ピッピッ」という電子音が鳴り、かつ、レッドランプが点灯するような回路を組み込む。

上記のシステムの価格としては、ピックアップ約 10,000 円、簡易マイク 5,000 円、IC 回路 5,000 円、その他 5,000 円で、おおよそ 30,000 円程度を想定している。

## 7. 結論

本研究により得られた成果をまとめると以下のようなになる。

- 1)給水管の材質を識別するためのフローチャートを作成し、これに基づいて収録したデータを対象に識別を実施した結果、その精度は、鉄管について 100%、塩化ビニル管について 100%、ポリエチレン管 1(流量 17L/min)について 100%、ポリエチレン管 2(流量 17L/min)について 100%、ポリエチレン管 3(流量 17L/min)について 88.9%であった。ポリエチレン管については、流量を限定する識別方法となったが、全体的に高い精度のものになっている。
- 2)ファジィ判定項目を、音では「継続時間」、「位相差の割合」、振動では「減衰定数」、「位相差の割合」とし、音と振動ともに「位相差の割合」に重みをおいて判定を行った結果、音と振動を対象としたときの判定結果の精度は、鉄管については水撃作用検出に対して 100%、水撃作用以外の衝撃の検出に対して 91.7%であった。ポリエチレン管の水撃作用検出に対しては、ポリエチレン管 1 で 83.3%、ポリエチレン管 2 で 100%、ポリエチレン管 3 で 100%であった。「水撃作用が発生しているか否か」の判定システムを構築することができ、高い精度のものとなっている。

3)鉄管，ポリエチレン管ともに音と振動を対象とした水撃作用発生検出の精度が最も高いものとなる。

3年間の研究成果を総括すると、以下のようなになる。

- 1)材質の分かっていない給水管に対して，材質の識別を行った後，評価項目を当てはめ，ファジィ判定を行うという流れで，水撃作用が発生しているか否かを判断することができるシステムが確立できた。
- 2)ファジィ判定システムを適用した水撃作用発生の有無を検知する装置の開発に際して収録すべきデータの種類と項目を明らかにし，専門家がいなくても水撃作用の発生を知らせることが可能なファジィ判定プログラムを構築した。最終的に小型で低価格の検出装置を開発し，その精度を確認するまでには至らなかったが，どのようなパーツを組み合わせれば装置ができるのかを提案することができた。30,000円程度で水撃作用検知システムが製品化できるものと予想している。

## 参考文献

- 1) (財)給水工事技術振興財団：水有効利用のための給水システム構築に関する研究報告書，pp. 93-134，2005年3月。
- 2) 厚生労働科学研究費補助金 健康科学総合研究事業：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，平成17年度 総括・分担研究報告書，pp. 51-86，平成18(2006)年3月。
- 3) 厚生労働科学研究費補助金 健康科学総合研究事業：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，平成18年度 総括・分担研究報告書，pp. 57-82，平成19(2006)年3月。

## 8. 研究発表

8.1 論文発表 ; なし

8.2 学会発表

- 1) 杉山俊幸，川村真彦，中村文雄，松本正文：音を対象としたファジィ理論に基づく水撃作用検出システムの開発，土木学会第61回年次学術講演会講演概要集VII-019，2006年9月，CD-ROM版
- 2) 杉山俊幸，原田要，中村文雄，松本正文：音と振動を対象としたファジィ理論に基づく水撃作用検知システムの開発，土木学会第62回年次学術講演会講演概要集VII-109，2007年9月，CD-ROM版。

9. 知的所有権の取得状況 ; なし

## 2. 貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法に関する基礎的研究

分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学

### 1. はじめに

本研究では、水道メータ付近に設置した流量計、圧力計、水質計によって、水質の異常や水量の異常を速やかに検出し、水道利用者に警報を発するシステムの構築を目指した。想定しているシステムとしては、図1に示すように各戸に各種センサを併設した水道メータを設置し、各種センサから得られる流量データ及び水質データの時系列データを逐次1箇所の管理システムに送ることで、異常が発生した場合、各戸に警報を発するというものである。管理システムでは、流量と圧力の変化や、水質の変化を捉え、それらの変化の傾向から異常を検出し、警報を発する。これにより当該需要者はもちろん、他の需要者に対する健康的リスクの低減や、経済的損失の低減を達成することが可能となる。本研究では、このシステムの構築のために、時系列データから給水管・給水装置に由来する漏水検出方法のアルゴリズム構築と給水管内の水質や水量の変化パターンの把握を目的とする。

### 2. 実験装置

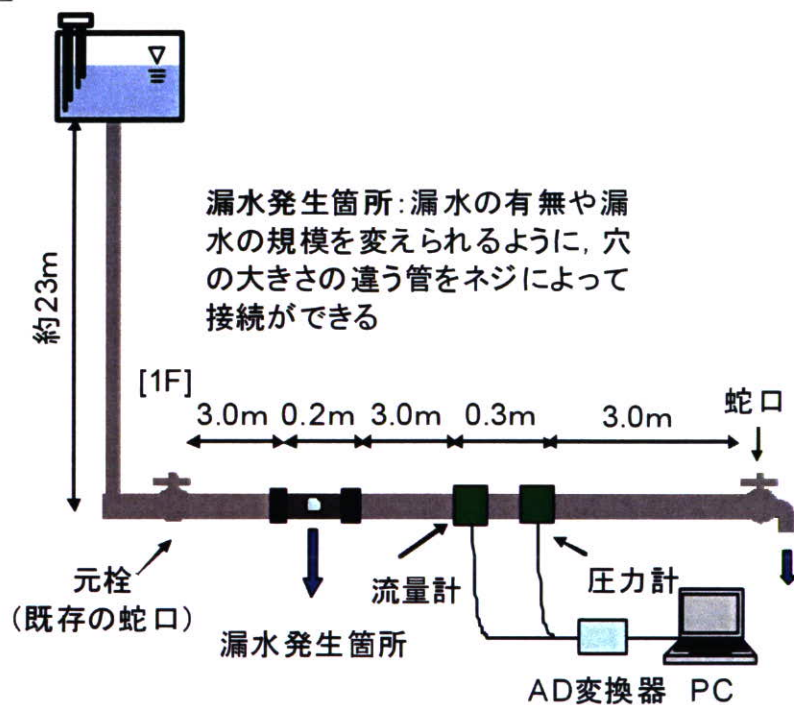


図1 実験装置

図1に実験装置概略図を示す。実験装置は本学5階建ての1階の蛇口から塩ビ管を繋ぎ、その塩ビ管に流量計と圧力計を設置し蛇口の使用に伴う流量と圧力を同時に測定できるシステムになっている。各検出器から出力されるデータはA/D変換機を通しアナログデータをデジタルデータに変換し1台のパソコンで連続的に取得できるよう



にした。

### 3. 漏水検出の理論

#### 3. 1 管路における摩擦および形状によるエネルギー損失の定式化

高置水槽の水面の高さの差を  $H$  とすれば、蛇口における流速  $v$ 、圧力  $p$ 、高さ  $z$  を用いて、ベルヌーイの式より以下の式が成立する。

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z + h_L = H = \text{const} \quad (1)$$

ここに、 $h_L$  は管路を流れる間の損失水頭である。

損失水頭は摩擦損失と曲がり部や急拡、急縮などの形状損失によると考えられるので、以下のように、摩擦損失係数  $f$  と形状損失係数  $K$  を用いて表現できる。

$$h_L = \left\{ \frac{1}{2gA^2} \left( f \frac{L}{D} + K \right) \right\} Q^2 \quad (2)$$

ここに、 $A$  : 管の断面積、 $D$  : 管の直径、 $Q$  : 蛇口における流量である。

ここで、下に示す損失係数  $\lambda$  を定義する。

$$\lambda = \frac{1}{2gA^2} \left( f \frac{L}{D} + K \right) \quad (3)$$

$\lambda$  は、摩擦損失と形状損失に依存する係数であるが、本研究では、特に層流領域における現象に着目するが、摩擦損失係数  $f$  は層流域では以下の式で表されることが知られている。

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (4)$$

ここに  $\text{Re}$  は蛇口における流速と直径から計算されるレイノルズ数である。

従って、仮に形状損失係数  $K$  を無視できるとして、 $\lambda$  を (5) 式で表現すれば、係数  $\alpha$  は、(6) で示すとおり、管路の長さ  $L$  と直径  $D$  に依存する管路に特有の値を示すことになる。

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \alpha \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{2gA^2} \frac{L}{D} \quad (6)$$

#### 3. 2 漏水の有無の検出の理論

係数  $\alpha$  は (6) 式で示すとおり、管路の形状のみによる値であり、漏水の有無により変化するものではないが、漏水の有無がもたらす蛇口における流量と実際に管路を流れる流量との差により、見かけ上蛇口部におけるレイノルズ数に対して値が変化する。

ることになる。

今、蛇口における流量を  $Q$ 、蛇口付近における漏水量を  $q$  とすると、蛇口における流量が  $Q$  であっても、漏水の無い場合は管路内の流量は  $Q$ 、漏水のある場合の流量は  $Q+q$  となる。従って、蛇口で観測されるレイノルズ数が等しくても、(1) 式より計算される摩擦損失水頭は漏水があるほうが大きくなり、その結果 (7) 式で計算される観測された  $\lambda$  の値は大きくなる。

$$\lambda = \frac{h_L}{Q^2} \quad (7)$$

以上より、蛇口において流量および圧力を測定しながら係数  $\alpha$  を計算し、漏水などの状況を監視することが可能であると考えられる。

#### 4. 実験結果

図 3 は漏水条件における漏水量である。この条件において、漏水の有無が  $\alpha$  に与える影響を示したものが図 3 である。

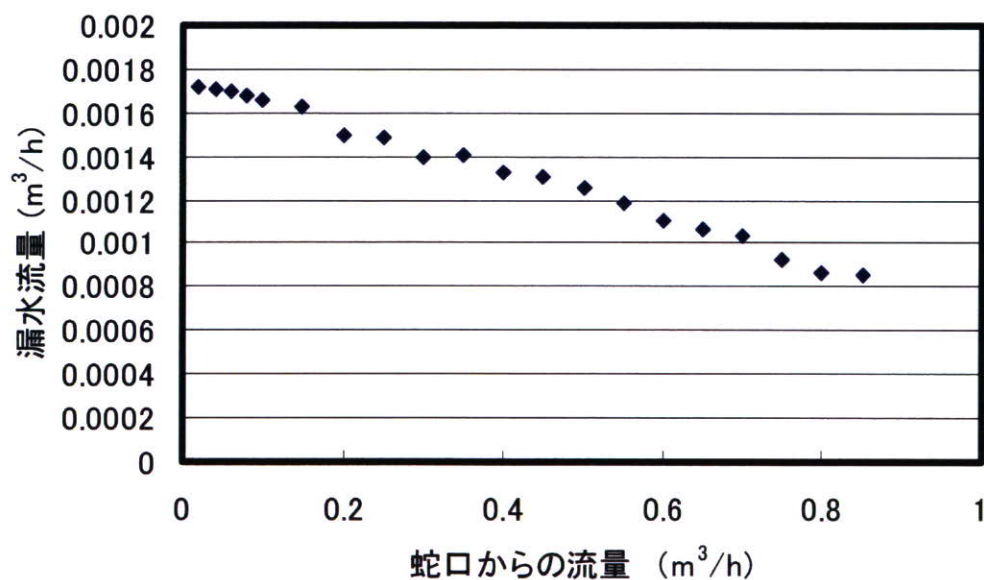


図 2 漏水量と流量の関係



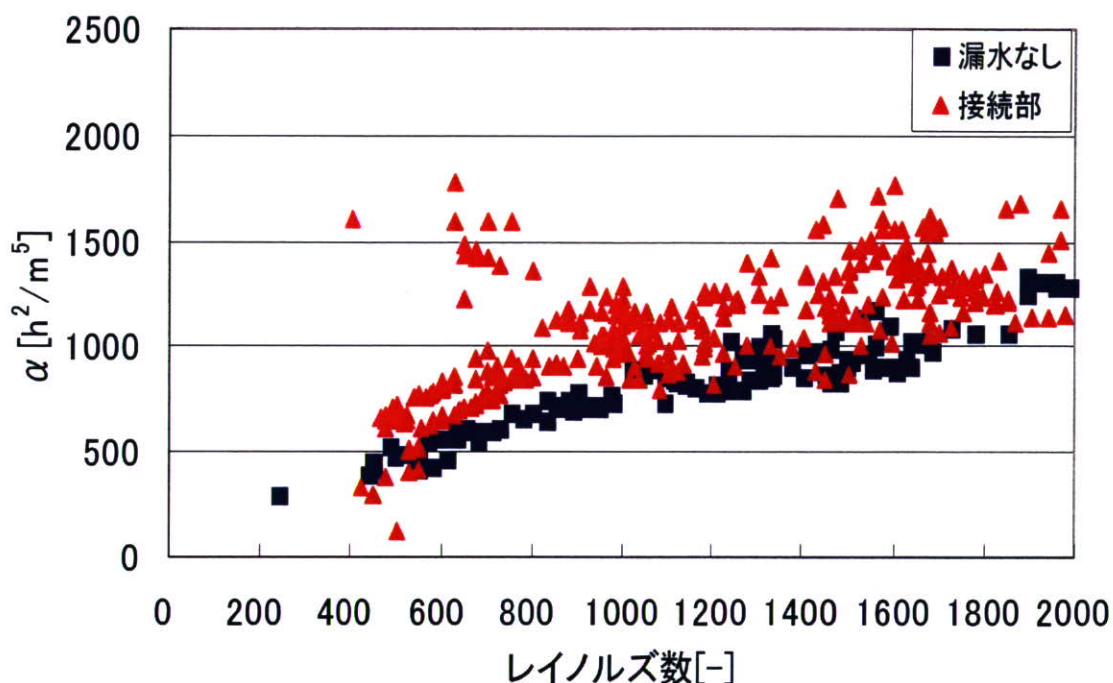


図3 損失水頭係数 $\lambda$ とレイノルズ数の関係

両条件とも右上がりに帯状でグラフが広がっているが、このばらつきは、他の階における水道の使用等に起因する雑音である。つまり、他の階において水道を使用すれば、高置水槽から各階までの間で流量が増大し、エネルギー損失が大きくなって、見かけ上 $\alpha$ の値が大きく観測されることになる。また、高置水槽の水位は設定された高水位と低水位の間を上下するようになっている。ここでは、高水位で一定として $\alpha$ の値を計算するので、水位が低下すれば、その分の水位差はエネルギー損失として計算されるため、見かけ上 $\alpha$ の値は大きくなる。図より、雑音はあるものの、漏水がある条件において、 $\alpha$ の値が大きくなっており、データを長期間連続して取得して解析することにより、本手法によって漏水検知が可能であることが示唆された。

#### 4. 数値シミュレーション

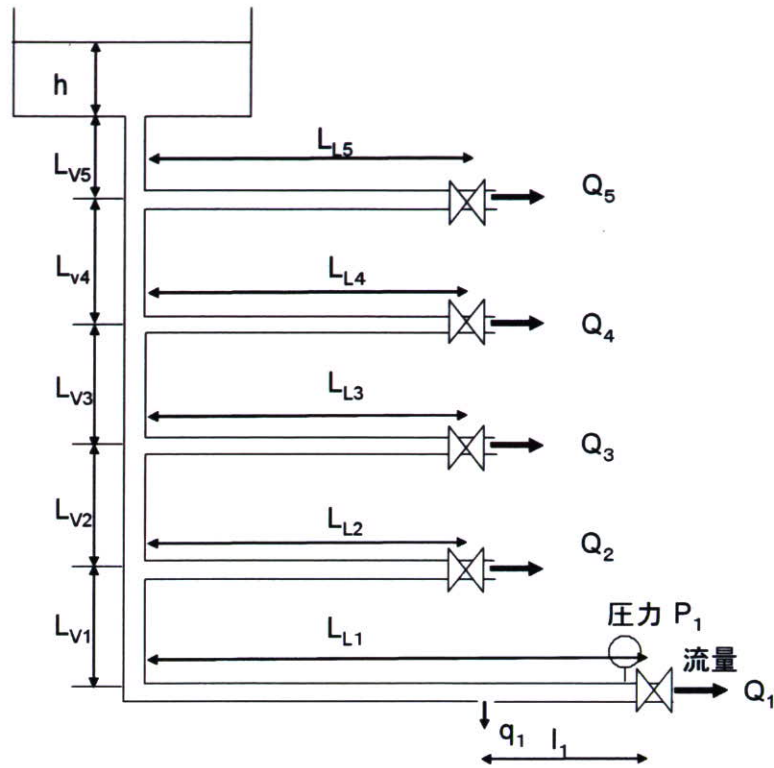


図4 建物内配管モデル

図3で示した結果を理論的に解析することを目的とし、図4のような配管モデルを考え、2階～5階でランダムに水道を使用している状況を考慮し、 $\alpha$ の値の変化のシミュレートを試みた。各階の水道の使用量は1階と同様にランダムに変動するとした。

表1にシミュレーションにおいて設定したパラメータ値をまとめて示す。蛇口からの流量は表に示された値の間でランダムな値を設定するものとした。

表1 シミュレーションにおいて設定したパラメータ値

動粘性係数: $\nu$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) 0.000001003	パイプの長さ: $L_{L1}$ (m) $L_{L1}= 4.6$	パイプの長さ: $L_{V1}$ (m) $L_{V1}= 9.5$	流量: $Q_1$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $Q_1= 0-0.09$
管径: $d_1$ (m) 0.015	パイプの長さ: $L_{L2}$ (m) $L_{L2}= 4.6$	パイプの長さ: $L_{V2}$ (m) $L_{V2}= 9.5$	流量: $Q_2$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $Q_2= 0-0.05$
断面積: $A$ ( $\text{m}^2$ ) 0.000176625	パイプの長さ: $L_{L3}$ (m) $L_{L3}= 4.6$	パイプの長さ: $L_{V3}$ (m) $L_{V3}= 9.5$	流量: $Q_3$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $Q_3= 0-0.05$
形状損失係数 $k$ 260	パイプの長さ: $L_{L4}$ (m) $L_{L4}= 4.6$	パイプの長さ: $L_{V4}$ (m) $L_{V4}= 9.5$	流量: $Q_4$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $Q_4= 0-0.05$
漏水量 $q$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 0.002	パイプの長さ: $L_{L5}$ (m) $L_{L5}= 4.6$	パイプの長さ: $L_{V5}$ (m) $L_{V5}= 9.5$	流量: $Q_5$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $Q_5= 0-0.05$
漏水量 $q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) 5.55556E-07	パイプの長さ: $l_1$ (m) 6.5		

形状損失係数  $K$  を無視すると、図3に示すように、レイノルズ数の上昇とともに  $\alpha$  が大きくなる傾向を再現できず、また、実際に形状損失を無視することはできないため、図3の傾向と計算値が合致するように  $K=260$  とした。

レイノルズ数が小さい条件、すなわち蛇口からの流量が小さい条件で、漏水の有無により管内流量の差が大きく、漏水の検出の制度が上がると考えられるため、蛇口からの流量は小さい条件を設定し、管内レイノルズ数が 2000 未満の層流の条件を設定した。各階の水道利用はランダムなため、たとえ 1 階におけるレイノルズ数が層流でも途中の段階で乱流となることが十分予想されるが、ここでは簡単のため、各階の水道使用量も小さく、全階において流れが層流であると仮定した。

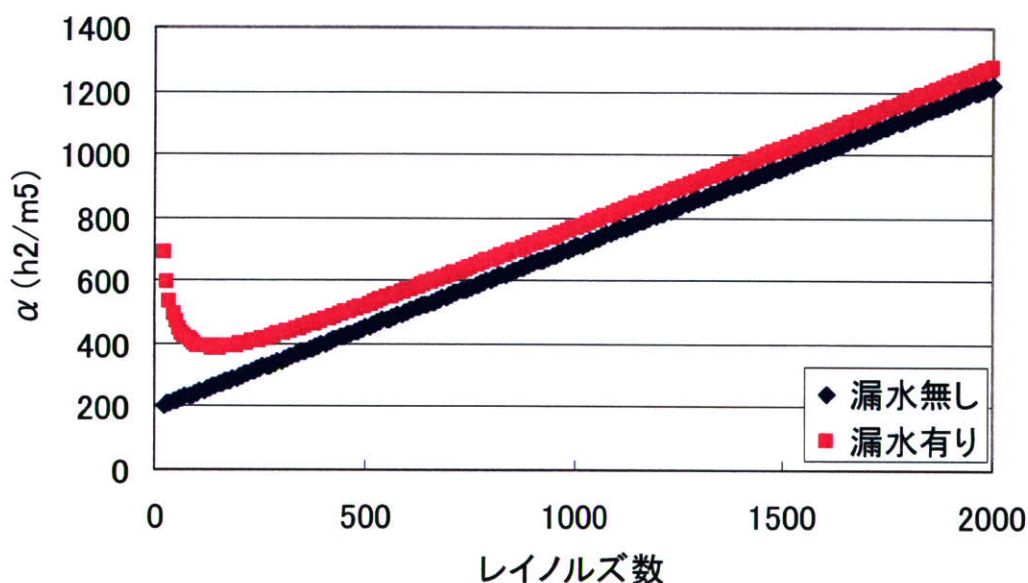


図5 1階のみで蛇口を使用していると仮定したときの係数  $\alpha$  と蛇口におけるレイノルズ数との関係

図5に1階のみで蛇口を使用していると仮定したときの係数  $\alpha$  と蛇口におけるレイノルズ数との関係を示す。形状損失係数  $K$  を無視できないとして仮定しているため、レイノルズ数の上昇にともない、係数  $\alpha$  の値が上昇している。また、レイノルズ数が極めて小さい領域において、漏水の有無の差が大きくなる様子が示されている。

2階～5階においてランダムに蛇口の仕様をしたと仮定した計算結果を図6に示す。レイノルズ数と  $\alpha$  の関係を計算した結果を図6に示す。各階での水の使用により係数  $\alpha$  が変動することは再現され、漏水の有無によって  $\alpha$  の値に差が生じることも再現された。実験結果の図3と比較すると、漏水の有無による差がやや小さくなっており、実験結果を完全に再現することはできなかった。これは各階における水道使用や高置水槽における水位変動などをシミュレーションにおいては完全に再現できなかったこ



とによると考えられる。しかしながら、図3で示したような係数 $\alpha$ のばらつきと漏水の有無による変化が理論的に説明ができたことにより、本手法の漏水検知としての妥当性が示されたと考えられる。

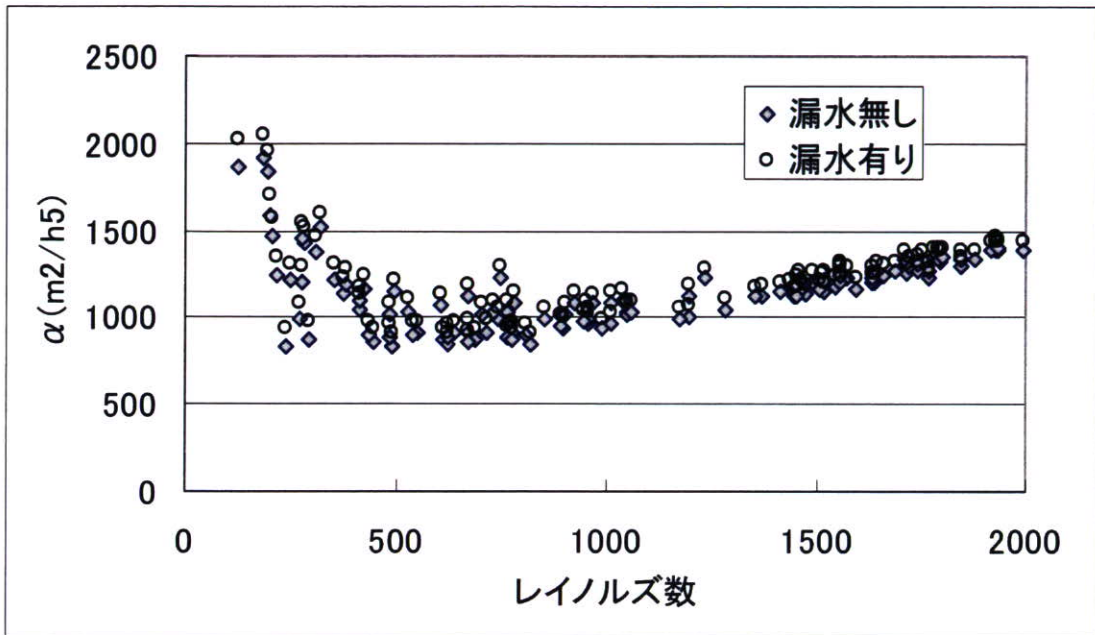


図6 1階における漏水の有無および各階で水を利用している時のレイノルズ数と $\alpha$ の関係

#### 5. まとめ

蛇口付近において流量と圧力をモニタリングし、管路におけるエネルギー損失から計算される係数を逐次計算することにより、漏水の有無が検出されることが示された。特に、流量の小さい層流域において漏水の有無の検出の精度は上昇するのであるが、電磁流量計を用いるシステムの導入により、低流量でも精度良く計測することができ、本システムの有効性が示された。

### 3. 防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究

分担研究者 伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部  
研究協力者 林田 武志 国立保健医療科学院水道工学部  
酒井 一夫 給水システム協会

#### 1 本研究の背景と目的

平成 16 年 6 月に発表された「水道ビジョン」では「水道水源から給水栓に至るまで徹底した衛生管理が行えるような統合的な水質管理を実現する」としており、給水末端である給水装置・用具の安全性確保はきわめて重要な課題となっている。近年では直結給水方式の普及が進むとともに、給水装置が高度化、多様化してきており、水道管へ直結して使用する給水用具の種類、使用数とも多くなってきている。これらの給水装置・用具は不適切な施工・管理等が行われると、建築物内の給水システムのみならず、水道配水管系統へも悪影響を及ぼす恐れがあるため、給水装置における安全性確保は極めて重要である。

一方、わが国においては逆流のおそれのあるところでは、逆止弁や負圧破壊装置等の逆流防止装置を設けることとなっているが、具体的な設置基準が確立されるまでには至っておらず、水道事業者ごとに逆止弁の設置等に関し指導を行っている状況である。

他方、逆流防止装置は一般的に耐圧性能基準等を満たす必要から、その主要部を金属製としており、日常的な監視・点検が困難な構造となっている。このため、通常設置状態において器具の機能低下・機能不全を検知することがほぼ不可能となっており、これに加えて、通常設置下での器具の作動状況の実態についても殆ど明らかにされていないのが現状である。

これを踏まえ、平成 17 年度は逆流防止装置のうち最も汎用性のある単式バネ式逆止弁の異常検知を目的とし、その作動状況の可視化のために圧力、流量センサーを取り付けた装置を開発し、これを用いて様々な状況下での各データを収集し、異常検知方法について検討した。これと同時に、さらに効果的な異常監視を実現するため、単式バネ式逆止弁に関しては弁体の変位を検知可能とするセンサー付の試作品も開発した。

さらに、平成 18 年度は、単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動解析、弁差圧及び流量による二重式逆止弁異常検知方法の検討、弁変位の検知も加味した単式バネ式逆止弁における挙動解析に関して検討を行った。

本研究の最終年度となる本年度は、以下の点に関して検討を行う。

- (1) 弁差圧及び流量による減圧式逆流防止器の異常検知手法の開発
- (2) 現実に即した実験条件における圧力及び流量データの取得方法の検討
- (3) 弁変位量計測による単式バネ式逆止弁異常検知方法の有効性の検討
- (4) 異常検知装置付逆流防止装置作成のためのフィージビリティスタディ

「弁差圧及び流量による減圧式逆流防止器の異常検知手法の開発」では、これまでの研究において同様のバネ式逆止弁である単式逆止弁及び二重式逆止弁について弁差圧及び流量データを用いて弁正常時と弁異常時の挙動の違いから弁異常検知方法を明らかにしてきたが、この異常検知方法を減圧式逆流防止器に適用することの有効性について検討を行う。

「現実に即した実験条件における圧力及び流量データの取得方法の検討」では、これまでデータ解析を容易にするため、各設定条件が安定したところでデータを取得していた。し

かし、現実的な使用状況においては連続的に常に各データが変化することが想定されることから、このような状況下におけるデータ取得方法を検討した。「弁変位量計測による単式バネ式逆止弁異常検知方法の有効性の検討」では、本研究において開発した弁変位検知機能付単式バネ式逆止弁のこれまでの実験結果を基に弁変位量計測による有効な異常検知方法について考察した。「異常検知装置付逆流防止装置作成のためのフィージビリティスタディ」では、異常検知装置付逆流防止装置の実現可能な装置の例を示しつつ、実用化に当たっての課題整理を行った。

## 2 研究方法

### 2.1 弁差圧及び流量による減圧式逆流防止器の異常検知手法の開発

#### 2.1.1 実験装置

##### 1) 使用する機器及び配管

本実験で使用する機器及び配管を図1に示す。正圧または逆圧の場合、加圧タンクを所定圧力に設定し、一定水圧により水道水を配管内に流せるようにした。負圧の場合、負圧発生装置で所定の負圧を発生させるが、より現実的な使用条件を想定し、供試器具二次側には水槽を設置して負圧発生と同時に逆圧を発生させることが出来る

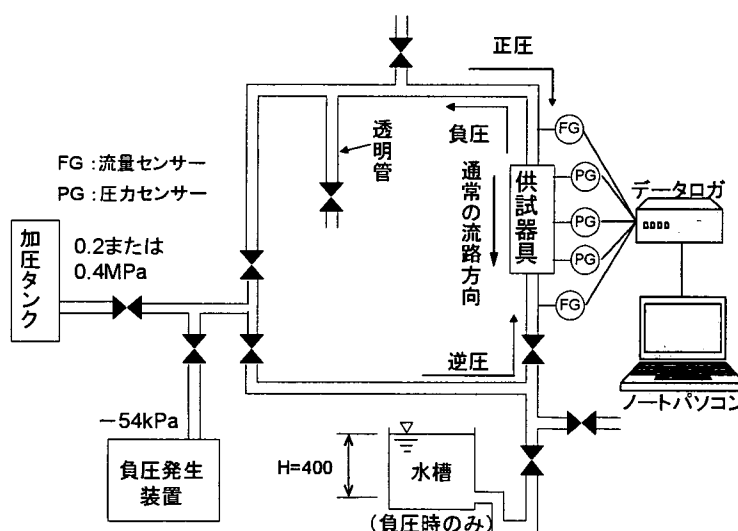


図1 機器及び配管

ようにした。さらに逆流の状況を目視で確認できるようにするため、供試器具一次側の配管途中に透明管を設置した。これらの各条件での流量、圧力をそれぞれ流量センサー、圧力センサーで計測し、計測したデータは自動的にデータログで記録されノートパソコンに100ms毎に出力される。使用する機器の仕様を表1に示す。

表1 使用する機器仕様

名称	メーカー	仕様
加圧タンク	荏原製作所	型式 AT-1.0, 容量 1.0m <sup>3</sup> , 最高使用圧力 10.5kgf/cm <sup>2</sup>
負圧発生装置	荏原製作所	型式 VT-1.5, 容量 1.5m <sup>3</sup> , 最高負圧 -85kPa
流量センサー	YAMATAKE	変換器:Model MGG10CZ-AA2A-XBIX-J, Range -30~40L/min 検出器:Model MGG11U-015PU3LS1AHA-X-X (電磁式)
圧力センサー	VALCOM	Model VPRTF-A6, Range -0.1~1.0MPa
データログ	エムシステム	R3シリーズ 100ms/128ch 対応 PCRECORDER(MSRPAC-2005)使用



## 2) 供試器具

供試器具には JWVA B 134 規格の口径 20mm の減圧式逆流防止器（株）タブチ）を用いた。減圧式逆流防止器は構造的に二重式逆止弁と同様、互いに独立して働く二個の逆止弁を持つが、中間室には差圧で働く逃がし弁を備え、逆止弁が故障しても逃がし弁からの排水による逆流防止効果を発揮する。このため、吐水口空間に匹敵する信頼性があると評価されている。また、弁異常検知の方法として逃がし弁からの排水検知方法が確立されている。但し、逃がし弁からの排水のための吐水口空間を有した排水管の設置と、圧力損失が大きいことから所定圧力以上の給水圧が必要となる等の設置条件をよく考慮しておく必要がある。本実験に用いた減圧式逆流防止器の写真を図 2 に、各種状態での作動状況例を図 3 に示す。

### (1) バネ定数

本実験で使用した減圧式逆流防止器の第一逆止弁（以下、一次側弁という）、第二逆止弁（以下、二次側弁という）、逃がし弁のバネ定数は伸びと圧縮それぞれを表 2 のとおり計測した。なお、計測方法はバネの一端を万力等を用いて水平に固定し、反対側の一端を 10kg または 20kg のバネばかりを用いて荷重を与え、バネの伸びまたは縮みをノギスで計測した。計測した荷重とバネの圧縮または伸びの値をそれぞれグラフにプロットし、その近似直線の傾きからバネ定数を算出した。

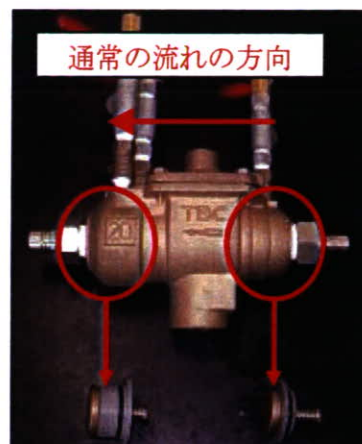


図 2 減圧式逆流防止器の写真

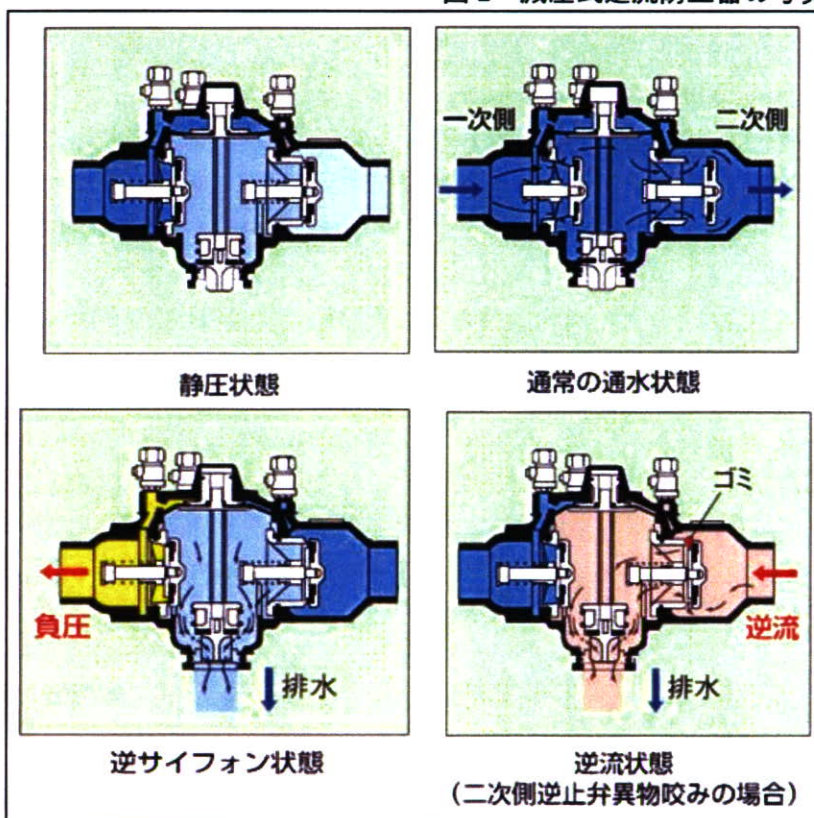


図 3 減圧式逆流防止器の各種状態での作動状況例<sup>1)</sup>

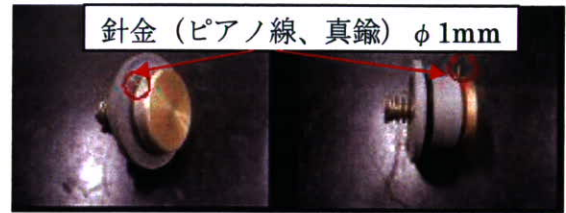
表 2 減圧式逆流防止器のバネ定数

バネ定数の向き	圧縮 (g/cm)	伸び (g/cm)
一次側弁	3926.8	1884.1
二次側弁	801.6	660.2
逃がし弁	1381.3	1101.3

## 2.1.2 実験条件

### 1) 異常条件

弁異常状態の再現方法としては、JWWA B 134 水道用減圧式逆流防止器の規格に準拠し、口径 20mm の減圧式逆流防止器であることから 1mm の針金を一次側弁のみ、二次側弁のみ及び一次側弁と二次側弁双方に噛ませることとした。また、針金の材質による違いも確認するため、比較的強度の強いピアノ線と比較的強度の弱い真鍮を用いて各条件による違いを比較した。図 4 に減圧式逆流防止器の弁異常再現状況を示す。



一次側弁

二次側弁

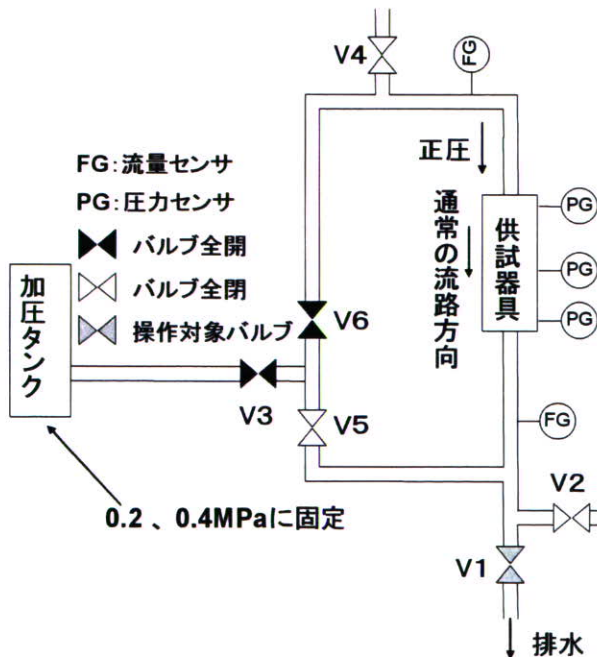
図 4 減圧式逆流防止器の弁異常再現状況

### 2) 実験手順

実使用条件を想定し、正圧、逆圧、負圧による実験を行った。それぞれの圧力条件の考え方、実験手順を以下に示す。

#### (1) 正圧条件における実験手順

通常の使用状況で想定される給水压を考慮し、加圧タンク圧力を 0.2 または 0.4MPa とした。また、弁異常時における逃がし弁からの排水量と供試器具一次側及び二次側の流量差の積分値とが一致しているかを確認するため、弁異常時においても逃がし弁からの排水が発生しない最大吐水状態から実験を開始し、段階的に吐水を減少させ、圧力と流量が一定となったデータを取得した。吐水停止後、同じく段階的に最大吐水量まで吐水を増加させた。さらに弁異常時においては、逃がし弁から排水された排水量を計測し、一次側と二次側との流量差の積分値と比較して誤差を確認した。このように圧力と流量が一定になった点をグラフにプロットし、正常時及び異常時における挙動を比較した。具体的な正圧条件における実験手順を図 5 に示す。



- ① 全てのバルブを全開にして空気抜きを行う。
- ② V2、V4、V5を全閉にする。
- ③ データ収録を開始する。(→10秒間放置)
- ④ V1を段階的に全閉まで閉操作(10秒間隔で5段階)する。(→10秒間放置)
- ⑤ V1を段階的に全開まで開操作(10秒間隔で5段階)する。(→10秒間放置)
- ⑥ データ収録を終了する。

図 5 正圧条件における実験手順



## (2) 逆圧条件における実験手順

逆圧状態を再現する方法としては、一次側を大気開放とし、二次側を加圧タンクによる加圧状態とすることとした。但し、逆圧過程に移行するまでの各種作動状況を確認するため、始めから逆圧状態とはせず、正圧状態から逆圧状態に移行することとした。加圧タンク圧力は、通常の使用状況で想定される逆圧を考慮し、0.2 または 0.4MPa とした。また、弁異常時における逃がし弁からの排水量と供試器具一次側及び二次側の流量差の積分値とが一致しているかを確認するため、逃がし弁からの排水が発生しない最大吐水状態から実験を開始し、段階的に吐水を減少させ、圧力と流量が一定となったデータを取得した。吐水停止後、加圧タンクと直結している二次側配管上のバルブ (V5) を開け、供試器具二次側へ加圧タンクの圧力を作用させ、次に一次側の配管上のドレーン (V4) を開放し、さらに一次側圧力を減圧するため、一次側のバルブ (V6) を段階的に閉止した。さらに異常時には、逃がし弁からの排水量を計測し、一次側と二次側との流量差の積分値と比較して誤差を確認した。このようにして圧力と流量が一定になった点をグラフにプロットし、正常時と異常時との挙動を比較した。具体的な逆圧条件における実験手順を図6に示す。

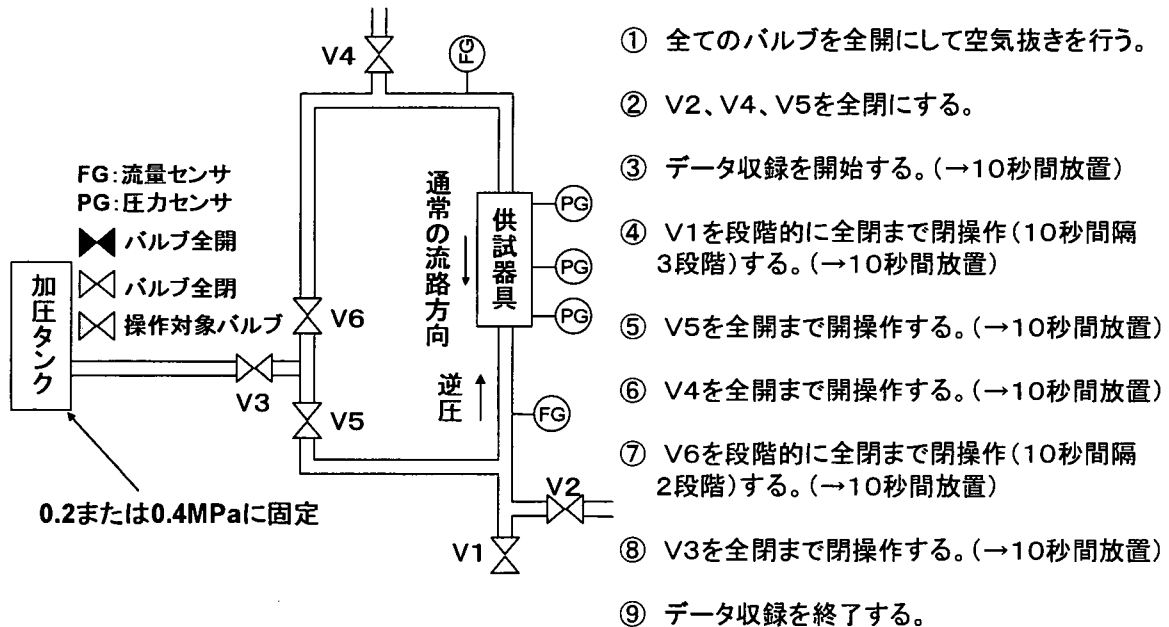


図6 逆圧条件における実験手順

## (3) 負圧条件における実験手順

負圧状態を再現する方法としては、逆サイホン現象による逆流の発生を想定し、吐水状態から負圧を発生させることとした。加圧タンク圧力は、通常の使用状況で想定される給水圧を考慮し、0.2 または 0.4MPa とした。負圧発生装置では、「給水装置の構造及び材質の基準に関する省令」(平成9年厚生省令第14号)第5条第1項に準拠し-54kPaとした。さらに通常の使用条件を想定し、供試器具二次側に微小な逆圧を発生させるため、配管から40cmの水位に設定した水槽による4kPaの逆圧を発生させた。実験は、最大吐水状態から開始し、加圧タンクの圧力をバルブ (V3) で遮断すると同時に負圧発生装置のバルブ (V7) を開けて供試器具に負圧を発生させ、吐水状態からの負圧発生を再現するとともに、圧力、流量データを収集し、正常時及び異常時における挙動の比較を行った。また、両側

弁異常時には逃がし弁からの空気吸入により、一次側の正確な流量計測ができず、逆流状況が確認できなかったため、現象を確認するために供試器具一次側の水抜きを行った後、一次側から負圧を発生させ、二次側に設置している水槽の水が透明管に流入するか確認を行った。図7に具体的な負圧条件（圧力及び流量データ収集）における実験手順と図8に負圧条件（両側弁異常時における目視による逆流現象確認）における実験手順を示す。

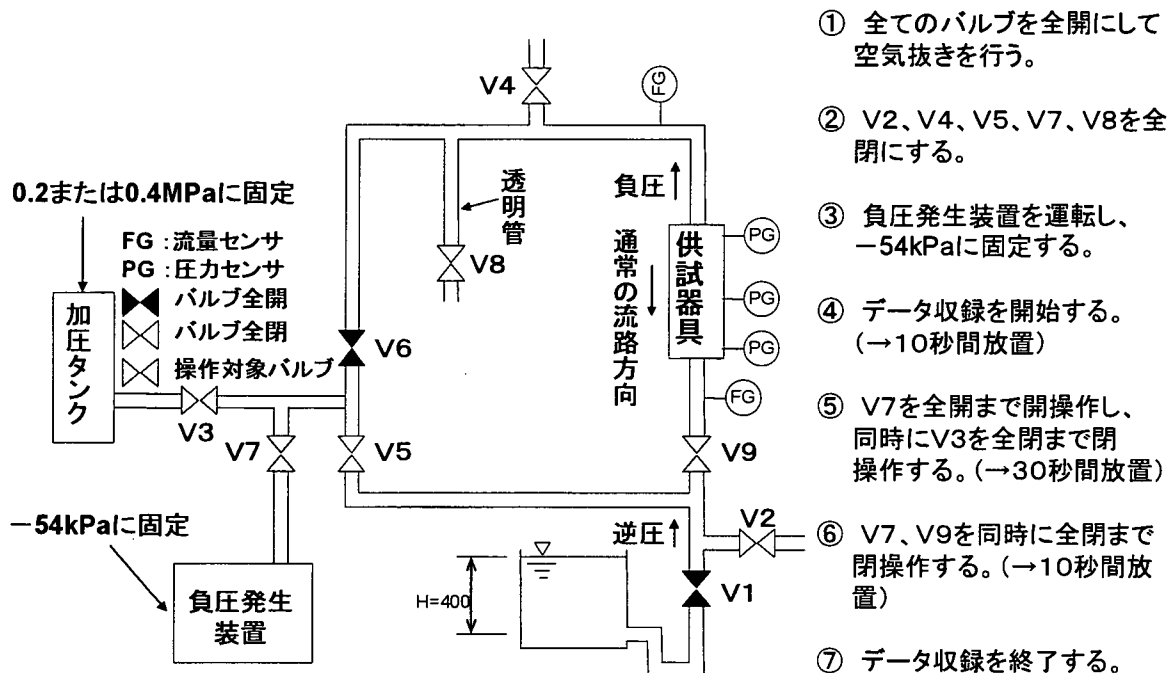


図7 負圧条件（圧力及び流量データ収集）における実験手順

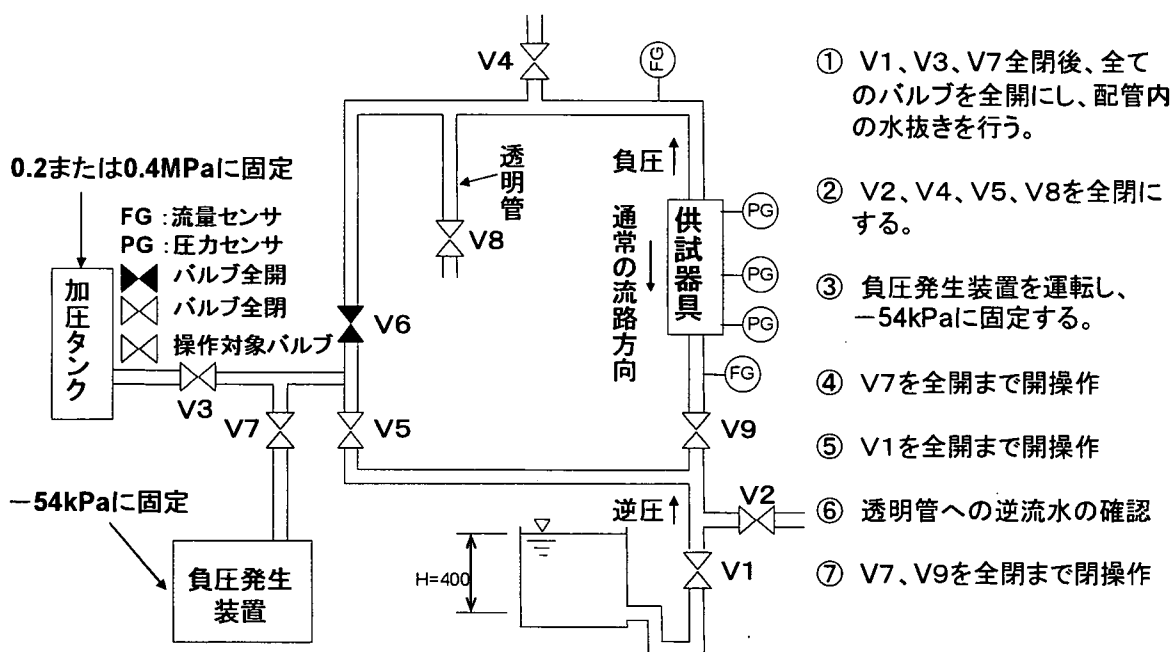


図8 負圧条件（両側弁異常における目視による逆流現象確認）における実験手順

## 2.2 現実に即した実験条件による弁差圧及び流量データの取得方法の検討

### 2.2.1 実験装置

#### 1) 使用する機器および配管

使用する機器および配管は 2.1.1 項と同様である。

#### 2) 供試器具

供試器具として 2.1.1 項で用いた減圧式逆流防止器を用いた。バネ定数も 2.1.1 項と同様である。

### 2.2.2 実験条件

#### 1) 異常条件

弁異常条件は基本的に 2.1.2 項と同様であるが、圧力及び流量データの取得方法の検討が目的であり、異常状態の比較が目的でないため、ピアノ線のみを用いた。

#### 2) 実験手順

実験の操作手順は 2.1.2 項に示した実験手順と同様であるが、異なる点は 2.1.2 項では段階的にバルブ操作を行い、各段階において圧力及び流量データが安定した後、次の工程に進んでいたが、本実験では段階的なバルブ操作は行わず、一定的な速度で連続的にバルブ操作を行った。バルブの操作速度は緩やかな場合と急な場合とを比較するため、開から閉（または閉から開）まで約 12 秒と約 1 秒とした。

## 2.3 弁変位量計測による単式バネ式逆止弁異常検知方法の有効性の検討

平成 18 年度に行った弁変位の検知も加味した実験結果を基に単式逆止弁異常検知において最も有効なデータの組合せについて考察を行った。

## 2.4 異常検知装置付逆流防止装置作成のためのフィージビリティスタディ

これまでの研究結果を基に、実現可能な装置の例を示し、さらに実用化に当たっての課題を検討した。但し、異常検知性能が優れていても高価であれば、採用が困難となることから、製造コストと検知性能を勘案した、いくつかの方式に関する検討を行った。

## 3 研究結果

### 3.1 弁差圧及び流量による減圧式逆流防止器の異常検知手法の開発

#### 1) 正圧状態

正圧状態における弁正常時または弁異常時（ピアノ線）の弁差圧と一次側流量の挙動の一例を図 9 に、弁差圧と二次側流量の挙動の一例を図 10 に、両側弁異常時の時系列による弁差圧と流量の挙動を図 11 に示す。ここで、一次側弁差圧とは一次側弁前後の供試器具一次側と中間室との圧力差を、二次側弁差圧とは、二次側弁前後の中間室と供試器具二次側との圧力差を、弁差圧とは供試器具一次側と二次側との圧力差を示す。図 9 の弁差圧と一次側流量の挙動から弁正常時には、これまでの研究で明らかにした他のバネ式逆止弁（単式逆止弁、二重式逆止弁）の場合と同様に最低作動弁差圧が存在することが分かる。また、弁異常時には最低作動弁差圧以下で一次側流量に正の流量が発生している。但し、他のバネ式逆止弁と異なる点として、一次側弁異常、両側弁異常の場合、図 11 から明らかなように二次側流量が 0 または微小な場合でも常に一定以上の正の流量が発生している。これは、一次側弁異常に伴う中間室逃がし弁からの連続的な排水によるものである。図 10 の弁差圧と二次側流量の挙動では、他のバネ式逆止弁と同様の傾向を示し、弁異常時には、弁

正常時の最低作動弁差圧以下で正の流量が発生するが、他のバネ式逆止弁と異なる点は、両側弁異常時に流量が0でも正の弁差圧がわずかだが発生している。これは、一次側弁異常に伴い、逃がし弁からの連続的排水が発生していることから、一次側弁を通過する水の損失によるものと考えられる。また、図9と図10を比較すると他のバネ式逆止弁においては、これまで一次側流量と二次側流量で挙動は同じであったが、逃がし弁からの排水の影響により、それぞれで挙動が異なることが明らかとなった。なお、 $\phi 1\text{mm}$ の真鍮で実験を行った場合と比較したが、違いは特に認められなかった。また、加圧タンク圧力を0.4MPaとした場合についてもほぼ同様の結果であった。

## 2) 逆圧状態

逆圧状態における弁正常時及び弁異常時(ピアノ線)の弁差圧と一次側流量の挙動を図12に、弁差圧と二次側流量の挙動を図13に、両側弁異常時の時系列による弁差圧と流量の挙動を図14に示す。図12の弁差圧と一次側流量の挙動から、弁正常時では、他のバネ式逆止弁と同様に弁差圧が陰圧状態でも逆流は発生せず、流量は0となっている。それに対し、弁異常時には、まず一次側弁異常時において弁差圧が陰圧状態で正の流量が発生している。これは、二次側弁が正常に機能しているため、二次側に作用する圧力が增大しても一次側へは作用せず、一次側弁異常による逃がし弁からの排水に伴う正流量である。なお、今回の実験では、一次側の減圧による逆圧状態を再現しており、最終的に一次側流量が0となっているが、一次側圧力が一定でかつ二次側の増圧による逆圧状態の再現の場合では、一次側流量は一定となり、流量変化はないと考えられる。二次側弁異常の場合では、弁差圧が陰圧状態において弁正常時と同様に逆流は発生していなかった。両側弁異常時では、図14からも明らかなように二次側流量と比較するとわずかではあるが、弁差圧が陰圧状態において逆流が確認された。これにより、両側弁異常時には、減圧式逆流防止器でも状況によって逆流が発生しうることが確認され、弁異常検知の重要性が改めて認識された。次に図13の弁差圧と二次側流量の挙動では、弁正常時において一次側流量の挙動の場合と同様に弁差圧が陰圧状態で逆流は発生せず、流量は0であった。一次側弁異常時についても弁正常時と同様に陰圧状態で流量は0となった。二次側弁異常時には、逆流が確認されたが、一次側流量において流量が0(図12)であったことから、発生した逆流量の全量が逃がし弁

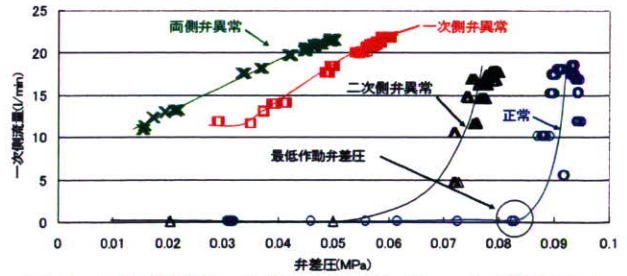


図9 正圧状態における弁差圧と一次側流量の挙動 (加圧タンク 0.2MPa)

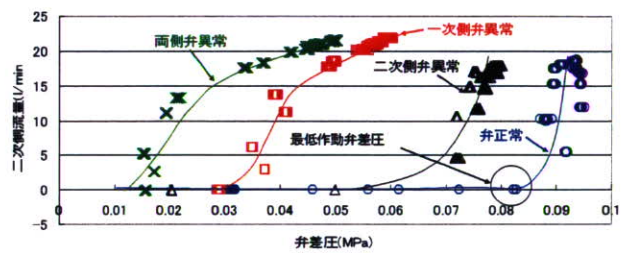


図10 正圧状態における弁差圧と二次側流量の挙動 (加圧タンク 0.2MPa)

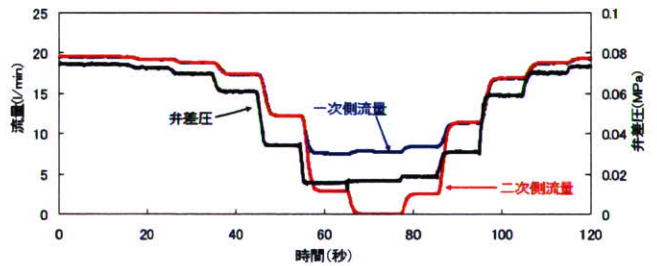


図11 正圧状態における両側弁異常時の時系列による弁差圧と流量の挙動