

2. 実験装置および実験方法

2. 1 実験装置の概要

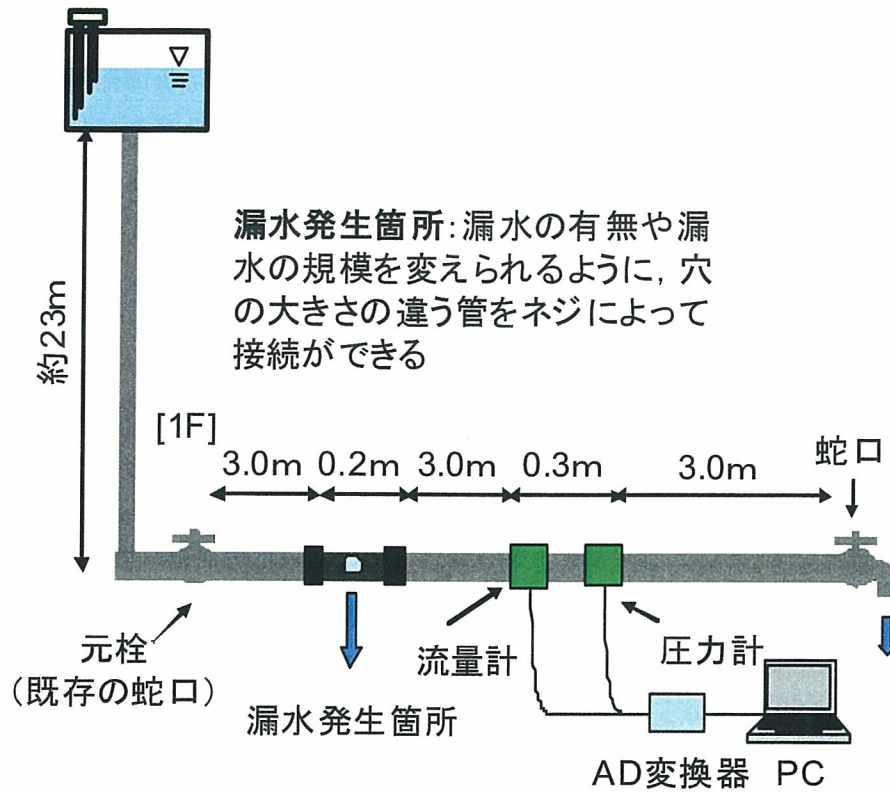


図2 実験装置 (漏水実験対応型)

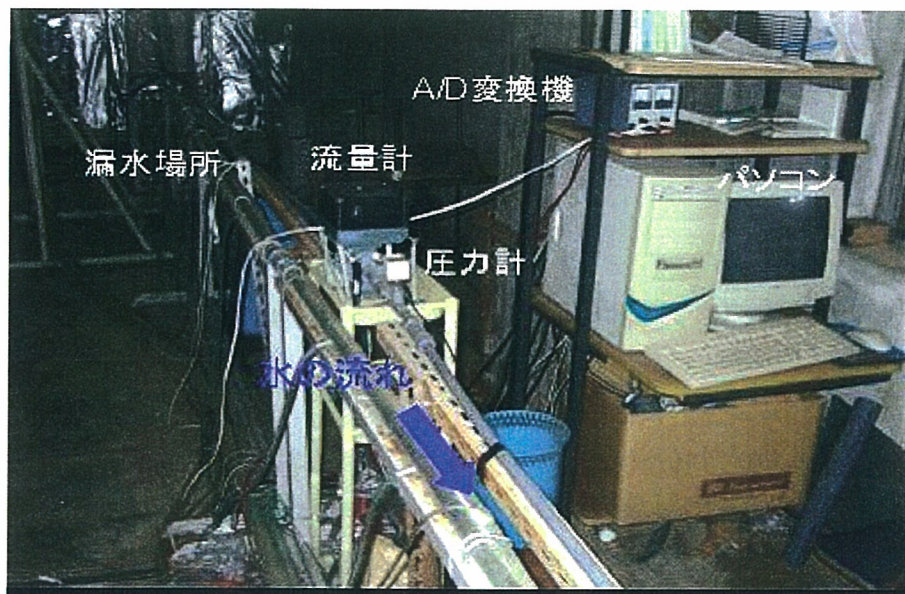


図3 実験装置の写真

図2、図3に実験装置概略図および写真を示す。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（東京計装製電磁流量計（MGM1010K）と圧力計（長野計器製デジタル圧力計 GC61）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。

2.2 実験方法

検出器から測定された流量と圧力から損失水頭及び損失水頭係数 λ を算出した。損失水頭係数 λ とは本研究で独自に定めた値であり以下のように定義する。

断面積の等しい管路で(1)式のベルヌーイの式が示す通り各水頭の合計は全水頭 H となり、どの断面でも等しくなる。また、管の摩擦や形状による損失は(2)式のダルシーワイズバッハ式で示され、摩擦損失係数 f 、形状損失係数 K 、管長 L 、管径 D は固有な数値をとり係数部分と変数部分に分けることができ、(3)(4)式でその係数部分を損失水頭係数 λ とした。つまり、流量が変化しても損失水頭係数 λ は一定値を示すと考えられ、損失水頭係数 λ を監視することで管内の異常を検出する可能性がある。さらに蛇口閉鎖時の圧力水頭を全水頭と考え、この全水頭から蛇口を開けたときの速度水頭と圧力水頭の差を総損失水頭とし、損失水頭係数 λ は(5)式より算出した。

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

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + K \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

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

$$h_L = \lambda Q^2 \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{h_L}{Q^2} \quad (5)$$

(h_L : 全損失水頭 f : 摩擦損失係数 L : パイプの長さ D : 管径 v : 流速 g : 重力加速度 A : 断面積 K : 形状損失係数 Q : 流量 λ : 損失水頭係数)

測定範囲は約0.9m³/hから約0.01m³/hの間の区分とし、その中でも流量が0.1m³/h以下を重点的に行い、流れが定常の状態になったことを確認して行なった。

実験は漏水の有無での変化を比べるため図1の上流側1.5mの位置に漏水ユニットで漏水を再現した。漏水ユニットは塩ビ管の側面に直径1.5mmの穴を開けたものに直径3mm、ピッチ0.5のネジを挿入し管とネジの微小な隙間で微量な漏水を再現したもの(図4)、管と管を結ぶ接続部における管と接続部の目では確認できない隙間にビニールテープを巻

くことにより漏水を再現したもの(図5), 管の途中にバルブを設置しバルブをひねること
で漏水の有無を再現できるもの(図6)の3種類で行なった.

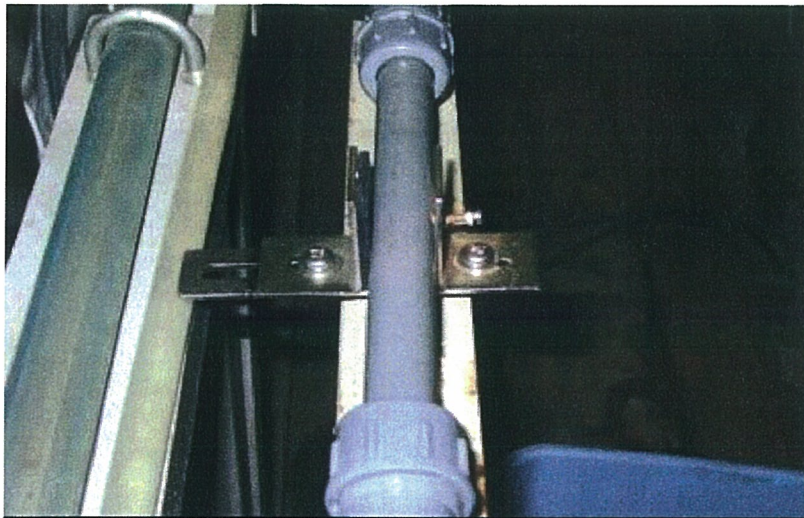
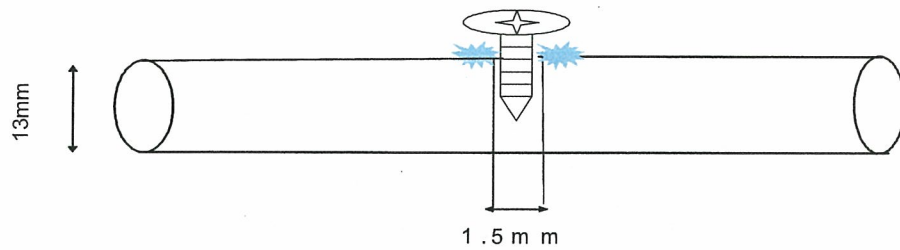


図4 ネジによる漏水ユニットの概要

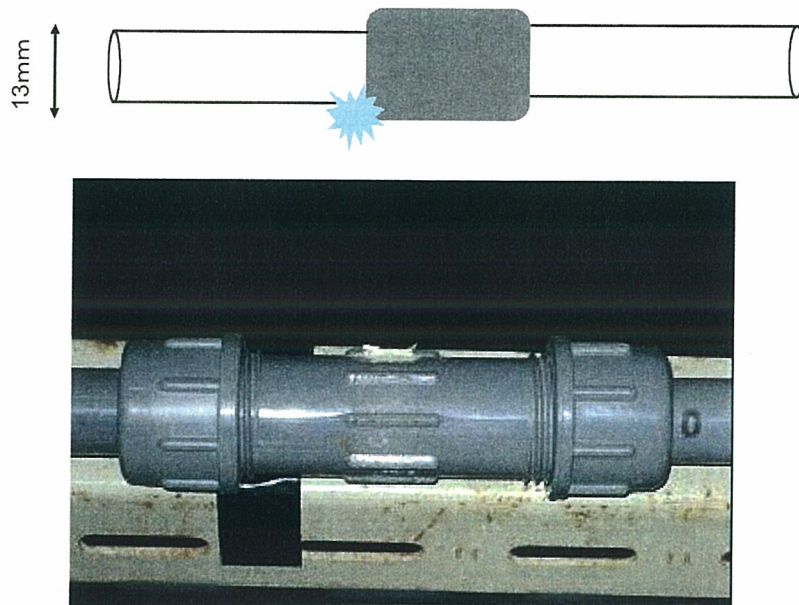


図5 接続部における漏水ユニットの概要と写真

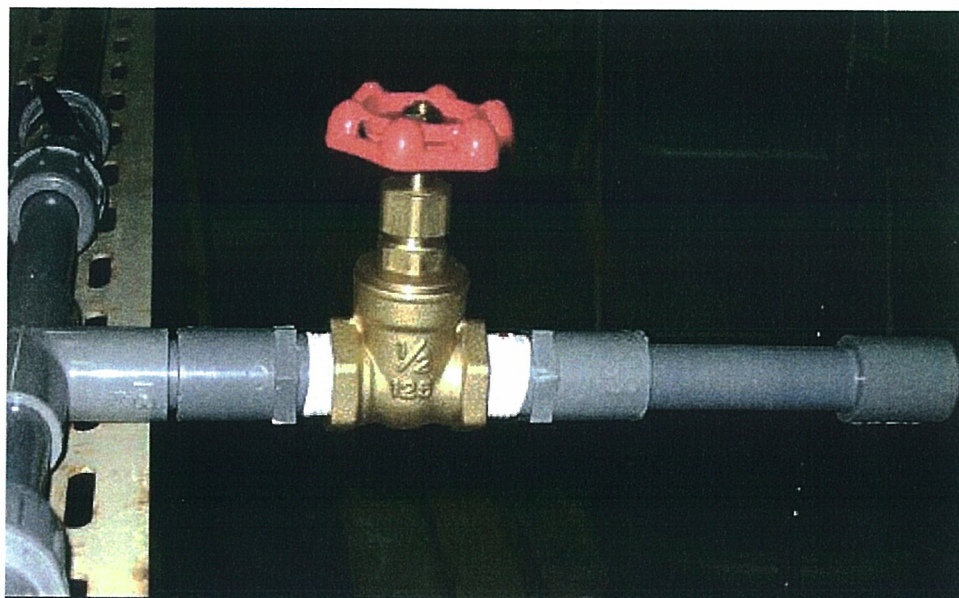


図6 バルブを用いた漏水ユニット概略

3. 漏水検知の原理と方法

(3) 式中の摩擦損失係数 f はレイノルズ数に依存するが、特に層流領域では、温度の影響が大きい。よって、層流領域における実験結果については(5)～(9)に示すように、損失水

頭係数 λ を α を用いて評価した。その際、形状損失 K は無視できるものとした。

$$\text{Re} = \frac{D}{\nu} \frac{Q}{A} \quad (5)$$

(Re : レイノルズ数 d : 管径 ν : 動粘性係数 Q : 流量 A : 断面積 ks : 相当粗度)

$$\lambda = \frac{1}{2 g A^2} \left(f \frac{L}{D} + K \right) \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \left(\frac{L}{D} \frac{1}{2 A g^2} \right) \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \alpha \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{\lambda \text{ Re}}{64} \quad (9)$$

実験では管末端に設置した蛇口を開き、10秒間水を流し続けたときの流量と圧力を測定しそこから速度水頭と圧力水頭に変換し、これをパソコンで連続的に取得させた。また、毎回水温を測定し実験を行なう前には蛇口を閉じた状態での圧力を確認した。

4. 実験結果

4. 1 漏水量と流量の関係

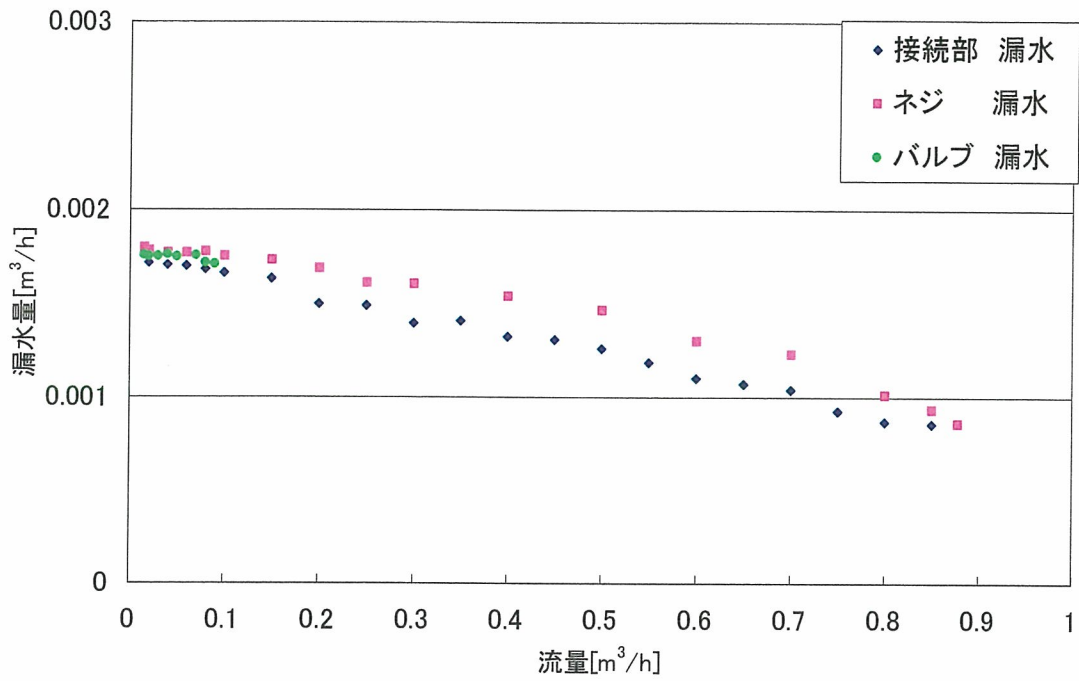


図7 漏水量と流量の関係

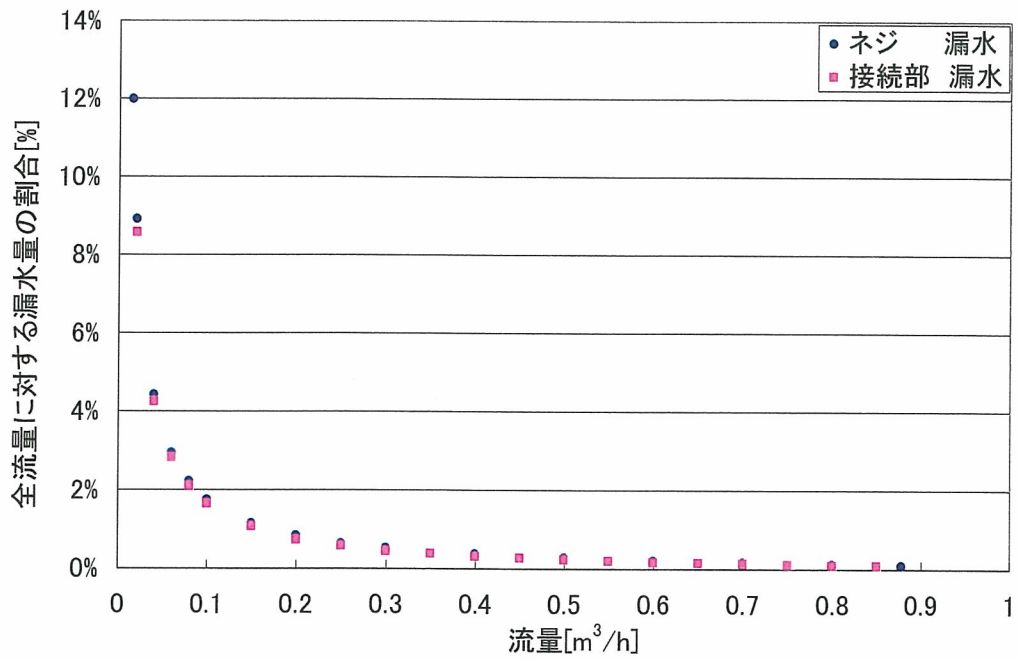


図8 蛇口からの流量に対する漏水量の割合

図7、図8に漏水量と流量の関係を示す。接続部からの漏水の方が末端の蛇口で調節した各流量での漏水量は小さな値を示した。また、蛇口での流量が大きくなると漏水量が少なくなりグラフは横ばいの傾向を示した。

4. 2 レイノルズ数と損失水頭係数λの関係

図9にレイノルズ数と損失水頭係数λの関係を各条件の下示す。レイノルズ数より層流域、遷移流域、乱流域に分け、各流域でどのような変化があるか検証した。グラフ上の縦線は層流を表すレイノルズ数が2000を表している。図3をみるとほとんどの範囲が乱流域である。また乱流から層流に変化する遷移流域付近で損失水頭係数λの値は上昇し始め層流域ではばらつきが大きくなった。

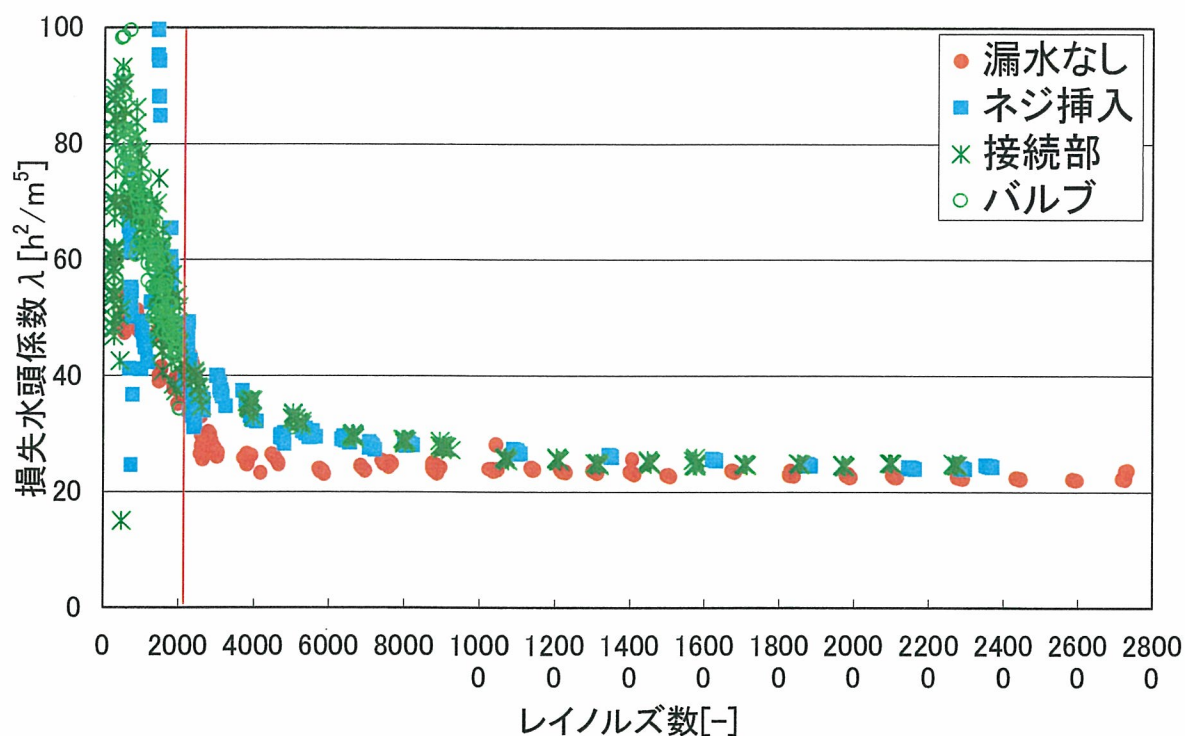


図9 レイノルズ数と損失水頭係数λとの関係

4. 3 層流域における損失水頭係数レイノルズ数の関係

図10に層流域におけるレイノルズ数と係数αの関係を示す。グラフは漏水の有無での違いを明確にするため2つの条件で検討した。グラフより両条件とも右上がりに帯状でグラフが広がっており接続部の方が高い値を示した。このことから損失水頭係数λを監視することで漏水検知が可能であることが示唆された。

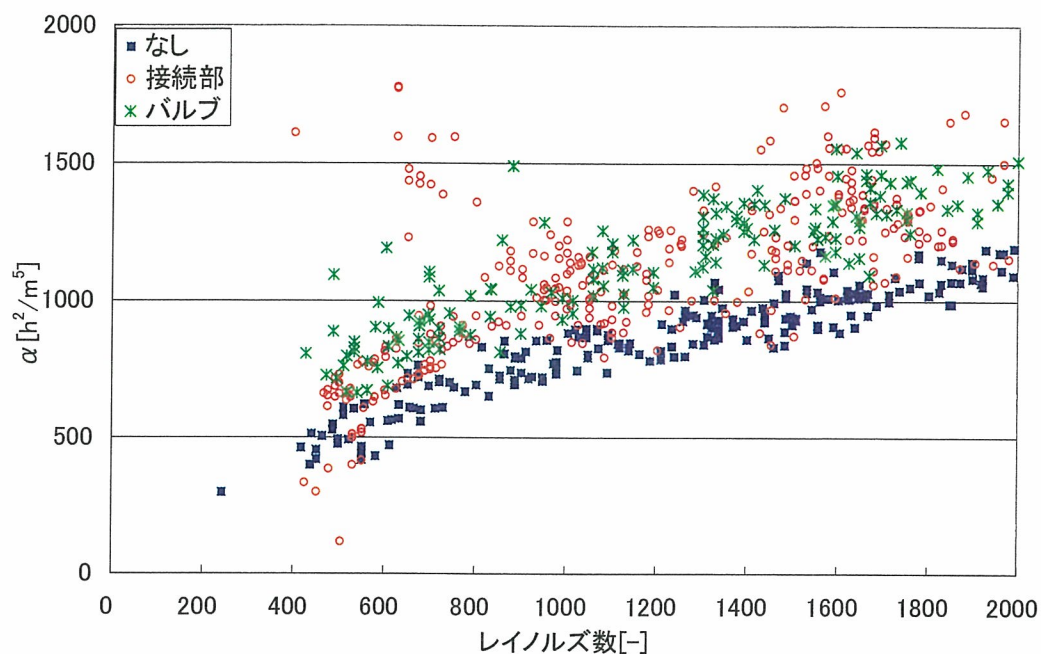


図 10 層流域における係数 α とレイノルズ数との関係

5. まとめ

ベルヌーイの式を用いてダルシーワイズバッハの式を変換し係数部分と変数部分に分け、この係数部分である損失水頭係数 λ を水を流した状態で監視したとき、層流域の状態での漏水検知の可能性を見出した。よって漏水していないときの温度と損失水頭係数 λ を把握しておき、通常時の損失水頭係数 λ と比較することにより、漏水を検知できると考えた。

参考文献

- 1) 給水工事技術振興財団：家庭内での水有効利用と環境負荷低減に資する給水システム構築に関する研究 平成15年度 2004平成18年6月6日(火)
- 2) 半田千秋：漏水検知システム：計装工事, Vol. 14, P44, 48
- 3) 蘇武政文：受水槽給水方式における漏水検出方法の検討 日本水環境学会年会講演集 Vol. 40th Page. 268 (2006. 03. 15)

3. 逆流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 馬場 崇 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事前に器具の機能低下・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調査研究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。

これらの成果を基に、本年度は、(1)単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動、(2)圧力、流量データ等に基づく二重式逆止弁、減圧式逆流防止器における異常検知方法、(3)単式バネ式逆止弁における弁変位の検知も加味した解析に関して検討を行うこととした。

2 研究方法

本研究では、大都市で使用される割合の高い口径20mmの器具を対象に、その前後にそれぞれ圧力、流量、場合によっては弁変位センサーを取り付けた器具を開発し、これを供試器具として用いることにより各種状態を再現し、基本的には図1のような実験装置を用いて正圧、逆圧、あるいは負圧時の圧力、流量、場合によっては弁変位データを収集し、相互にあるいは正常時とデータを比較検討した。

研究体制としては、基本的には国立保健医療科学院において、試作品を用いた動作状況、異常検知に関する実験的検討を行い、給水システム協会では試作品の開発・改良を行うこととした。データ解析方法については必要に応じて給水システム協会と検討を行った。

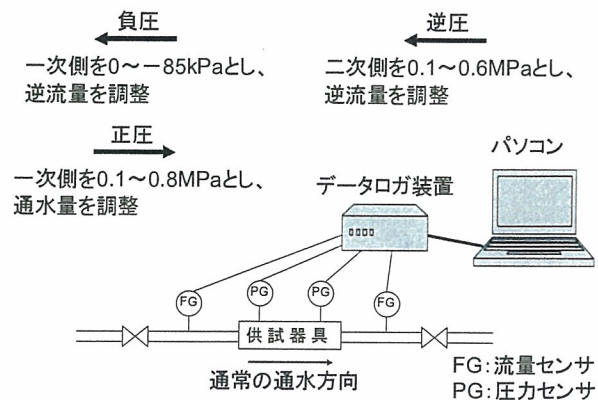


図1 実験装置

2. 1 単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動

本研究では、正常時あるいは各種異物噛み時の単式バネ式逆止弁に逆圧→正圧を連続的に加えることにより、種々の異常状態における挙動を圧力、流量データとして取得した上で、比較検討することとした。本研究では実験データを容易に比較できるようにするため、図2に示す二次側弁を除去し、二重式逆止弁の一次側弁のみを口径 20mm の二重式逆止弁の胴体に内蔵した改造品を単式バネ式逆止弁に見立てて供試器具とした。

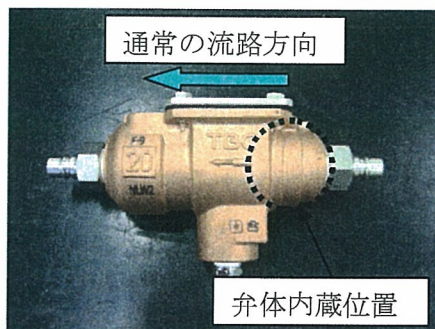


図2 二次側弁を除去し、二重式逆止弁の一次側弁のみを口径 20mm の二重式逆止弁の胴体に内蔵した改造品 (バネ定数: $k = 557 \text{ g/cm}$)

2. 2 圧力、流量データ等に基づく二重式逆止弁、減圧式逆流防止器における異常検知

本研究では、正常時あるいは異物 (径 1.0mm の針金) 噛み時の単式バネ式逆止弁に逆圧、負圧あるいは正圧を加えることにより、2種類の二重式逆止弁及び減圧式逆流防止器における圧力、流量データを取得した上で、比較検討することとした。本研究では図3に示すバネ定数の異なる2種類の口径 20mm の二重式逆止弁A, B及び図4に示す口径 20mm の減圧式逆流防止器を供試器具とした。

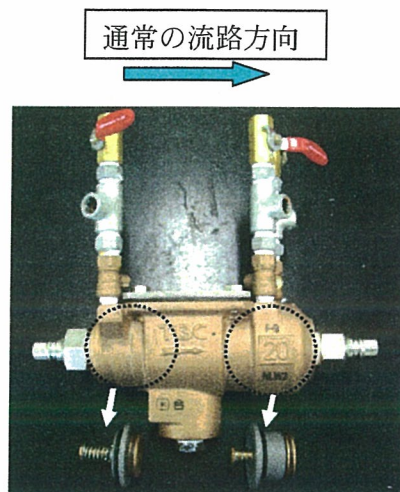


図3 二重式逆止弁

一次側バネ定数：557g/cm～A
 一次側バネ定数：1,310g/cm～B
 二次側バネ定数：557g/cm～A, B

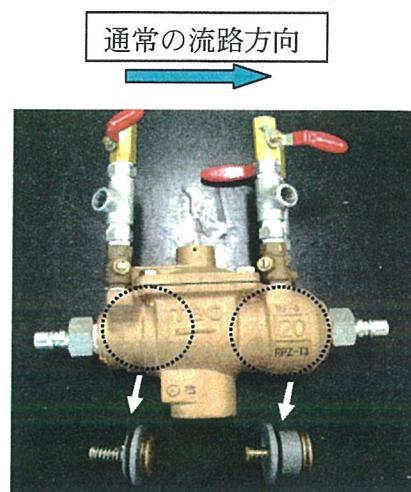


図4 減圧式逆流防止器

一次側バネ定数：1,310g/cm
 二次側バネ定数：557g/cm

2. 3 単式バネ式逆止弁における弁変位の検知も加味した解析

本研究では、正常時あるいは異物（径 1.0mm の針金）噛み時の単式バネ式逆止弁に逆圧あるいは正圧を加えることにより、単式バネ式逆止弁における圧力、流量に加え、弁変位データを取得した上で、比較検討することとした。本研究では図 5 に示す口径 20mm の単式バネ式逆止弁の改造品を供試器具とした。本供試器具は弁体に正圧を加えると弁変位が負方向に増大する構造となっている。

本実験の供試器具として、電磁波を用いる距離計の原理を応用して、弁体の変位を検知する装置を考案した。装置の構造は、図 5 に示すように、逆止弁の弁軸 5 を下流側へ延長し、先端に電磁感応性を有する検出体 6 を取付け、非磁性体の防水壁 3 の外部にセンサーヘッド 7 を設置している。この装置では、センサーヘッドのコイルに高周波電流を流して高周波磁界を発生させ、検出体とセンサーヘッドとの距離に応じたコイルインピーダンスの変化を検知し、弁体の変位を算出することができる。この装置では水道配管に組み込み、通水した場合に、弁の変位距離の検出が可能である。

この装置を本体研究の研究設備に組み込むことにより、上流及び下流の差圧、流量を測定しながら、逆止弁の変位を検知し、差圧や流量による逆流防止器の異常検知の情報と組合せ、最低作動圧以下での弁変位の検知による異物噛みを検出できる可能性を示した。この供試器具については、「弁変位検出機能付き弁および同機能付き逆止弁」として特許出願手続きを完了した。

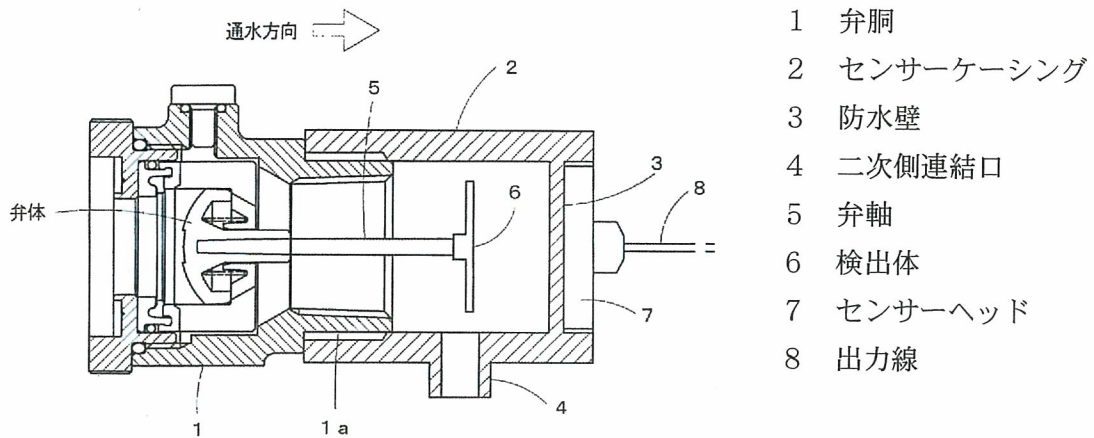


図5 弁変位データも取得可能な口径 20mm の単式バネ式逆止弁

2. 4 バネ定数の計測

今回採用した各製品におけるバネ定数を計測するに当たり、バネ定数は、各製品を分解の上、バネを取り出し、各バネに荷重を加えることによりその伸びと荷重値とを用いて計測することとした。バネの伸びと荷重値の測定に当たっては、定規とバネ式秤（最大秤量：1kg）を用いた。

2. 5 異常状態の再現

本研究では、各供試器具における各種の異常状態の内、異常に関する定量的な比較が容易と考えられる異物噛み状態を中心に再現することとした。再現に当たっては、カートリッジの弁体と弁座の間に、異物を想定した針金を噛み込ませることとし、実験後に針金噛みによってキズを生じた弁体もキズがある供試器具として実験に供することとした。

実験では、空気調和・衛生工学会規格「大気圧式バキュームブレーカ」(SHASE-S211)、「圧力式バキュームブレーカ」(SHASE-S215)における負圧試験、日本水道協会規格「水道用減圧式逆流防止器」(JWWA B 134)における耐逆サイホン試験及び耐逆圧試験を参考とし、径 1.0mm の針金（口径 20mm の器具の場合）を噛み込ませた状態で主に実験を行った。

供試器具における針金噛み状態例を図 6 に示す。



図6 針金噛み状態例

2. 6 実験装置

実験装置を図7に示す。加圧タンクは供試器具に正圧、逆圧を加えるため、負圧発生装置は供試器具に負圧を加えるため、それぞれ器具の一次側あるいは二次側に接続可能である。作動状況を把握するため、器具の前後にはそれぞれ圧力センサー、流量センサー、場合によっては弁変位センサーが取り付けられているので、データロガにより各データを100ms ごとに連続収録可能である。収録データについては、ノートパソコンでの計算ソフトにより各種解析が可能である。

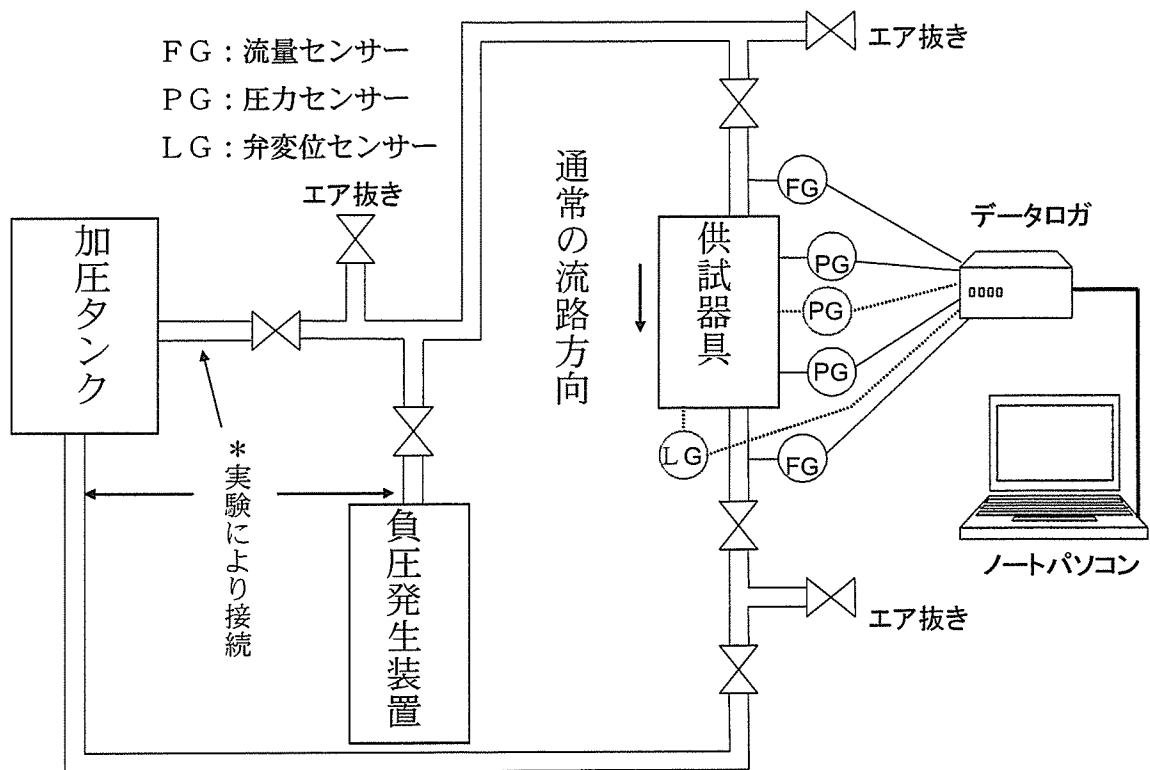


図7 実験装置

<使用装置>

- ・加圧タンク：荏原製作所 型式：AT-1.0 容量：1.0m³ 最高使用圧力：10.5kgf/cm²
- ・負圧発生装置：荏原製作所 型式：VT-1.5 容量：1.5m³ 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
- ・データロガ：エムシステム R3 シリーズ 100ms/128ch 対応 PC RECORDER(MSRPAC-2005)使用


2. 7 実験条件

本研究では、正常時及び異常時における供試器具の作動状況を把握するため、次の条件で実験を行い、器具前後の圧力、流量、場合によっては弁変位データを収録することとした。なお、実験では、各条件に応じた圧力が一定値に収束することを確認できるまで一定時間圧力を加え、次の条件に移った。結果の基本的表示はこれに従って横軸を時間として表した。

2. 7. 1 単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動の実験

正常時（針金噛み無し）と径 1.0mm 針金噛み時等での実験を表 1 のとおり実施した。

表 1 単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動の実験

	逆圧→正圧 (-0.2, -0.4 MPa) → (0.2, 0.4 MPa)
正常時	 実験 1
径 1.0mm 針金噛み時（1 端）	
径 1.0mm 針金噛み時（2 端）	
径 1.0mm 針金噛み時（3 端）	
径 0.2mm 針金噛み時（1 端）	
キズ有り（1 箇所）	
キズ有り（複数箇所）	

2. 7. 2 圧力、流量データ等に基づく二重式逆止弁、減圧式逆流防止器における異常検知実験

二重式逆止弁 A、B 及び減圧式逆流防止器について、正常時（針金噛み無し）と径 1.0mm 針金噛み時での実験を表 2 のとおり実施した。

表2 圧力、流量データ等に基づく二重式逆止弁、減圧式逆流防止器における異常検知実験

	正圧 (0.2, 0.4 MPa)	逆圧 (-0.2, -0.4 MPa)	負圧 (-85kPa)
正常時			
径 1.0mm 針金噛み時 (一次側弁のみ)	○ 実験 2	○ 実験 3	○ 実験 4
径 1.0mm 針金噛み時 (二次側弁のみ)			
径 1.0mm 針金噛み時 (両側とも)			

2. 7. 3 単式バネ式逆止弁における弁変位の検知も加味した実験

正常時（針金噛み無し）と径 1.0mm 針金噛み時等での実験を表3のとおり実施した。

表3 単式バネ式逆止弁における弁変位の検知も加味した実験

	正圧 (0.2, 0.4 MPa)	逆圧 (-0.2, -0.4 MPa)
正常時	○ 実験 5	○ 実験 6
径 1.0mm 針金噛み時		

* 上記実験では各圧力条件を次の理由により設定した。

正圧：通常の水使用で掛かる程度の圧力を想定し、設定した。

逆圧：通常の水使用で掛かる程度の圧力を想定し、設定した。

負圧：米国のバキュームブレーカ規格である「ASSE1001」において、最大負圧値を -85KPa と規定しているため、これを設定した。

2. 8 実験手順

2. 8. 1 単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動の実験

1) 逆圧→正圧を加える実験（実験1）

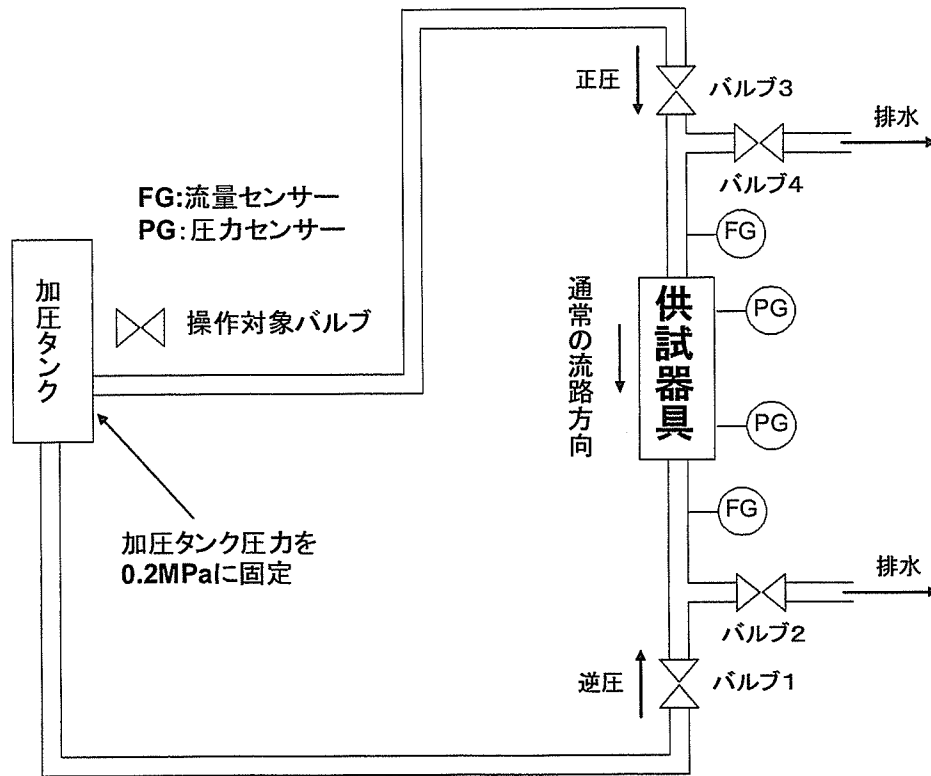


図8 逆圧→正圧を加える実験装置

<手 順>

- (1) 供試器具を取付け、バルブ1、4全閉、バルブ3全開の上、バルブ2を徐々に閉めつつ全閉する
- (2) データ収録を開始する
- (3) バルブ1を全開する
- (4) バルブ4を徐々に断続的に全開まで開操作する（各開度で流量の安定を確認する）
- (5) バルブ3を徐々に断続的に全閉まで閉操作する（各開度で流量の安定を確認する）
- (6) バルブ3を徐々に断続的に全開まで開操作する（各開度で流量の安定を確認する）
- (7) バルブ4を徐々に断続的に全閉まで閉操作する（各開度で流量の安定を確認する）
- (8) バルブ1を全閉する
- (9) バルブ2を徐々に断続的に全開まで開操作する（各開度で流量の安定を確認する）
- (10) バルブ2を徐々に断続的に全閉まで閉操作する（各開度で流量の安定を確認する）
- (11) データ収録を終了する

2. 8. 2 圧力、流量データ等に基づく二重式逆止弁、減圧式逆流防止器
 における異常検知実験

1) 正圧を加える実験(実験2)

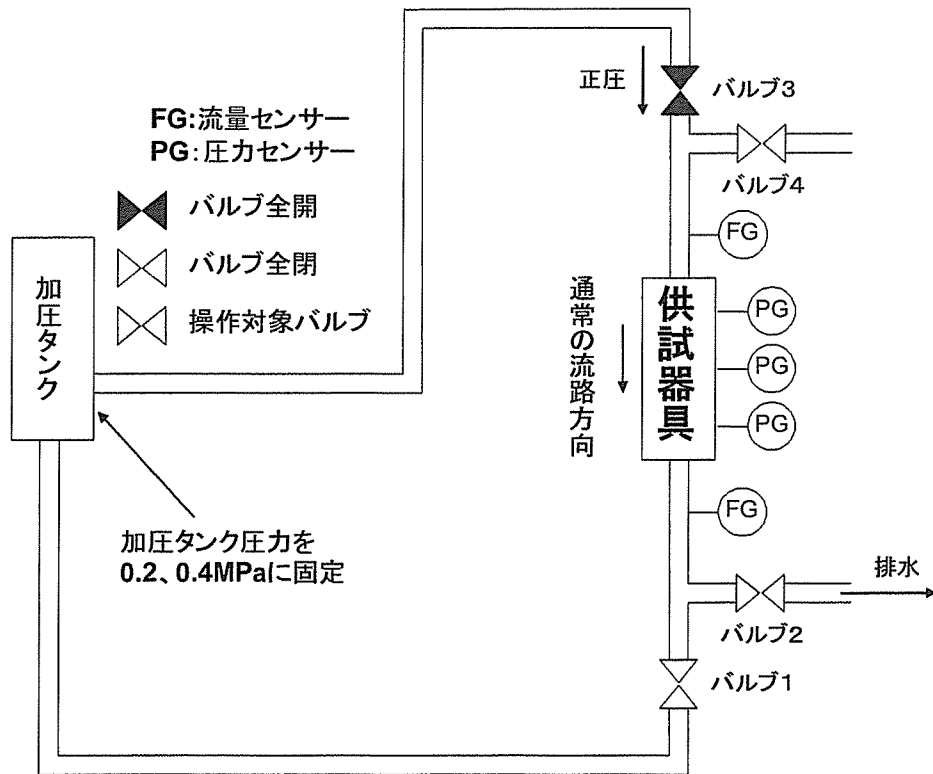


図9 正圧を加える実験装置

<手 順>

- (1) 供試器具を取付け、バルブ1、4全閉、バルブ3全開の上、バルブ2を徐々に閉めつつ全閉する
- (2) データ収録を開始する
- (3) バルブ2を徐々に断続的に全開まで開操作する(各開度で流量の安定を確認する)
- (4) データ収録を終了する

2) 逆圧を加える実験 (実験3)

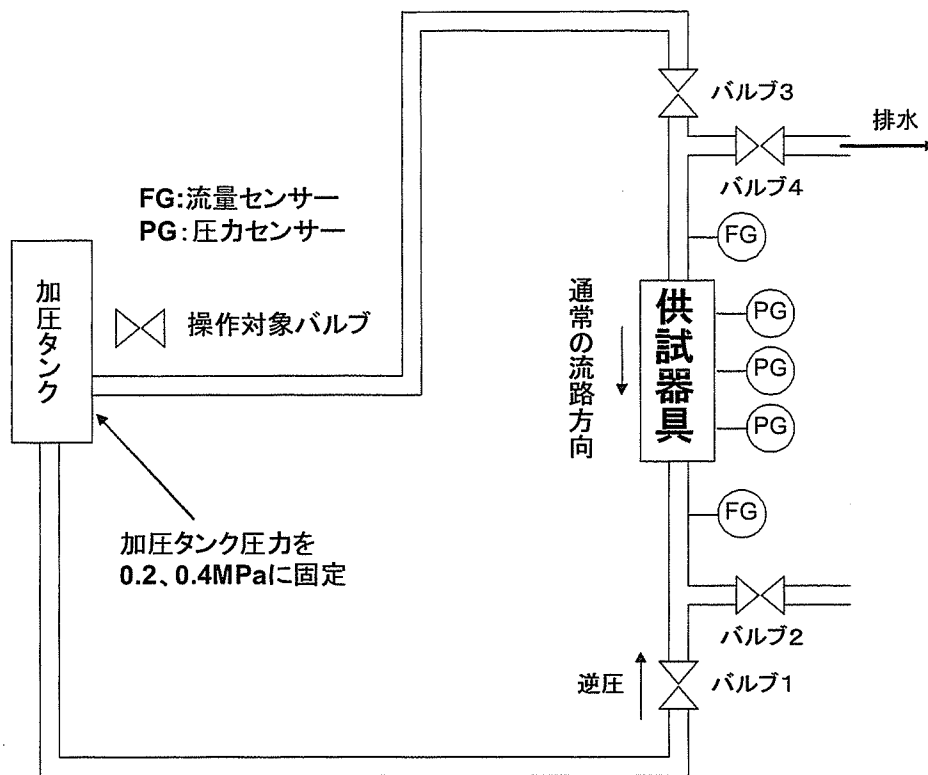


図10 逆圧を加える実験装置

<手順>

- (1) 供試器具を取付け、バルブ1、4全閉、バルブ3全開の上、バルブ2を徐々に閉めつつ全閉する
- (2) データ収録を開始する
- (3) バルブ1を全開する
- (4) バルブ4を徐々に断続的に全開まで開操作する (各開度で流量の安定を確認する)
- (5) バルブ3を徐々に断続的に全閉まで閉操作する (各開度で流量の安定を確認する)
- (6) データ収録を終了する

3) 負圧を加える実験 (実験4)

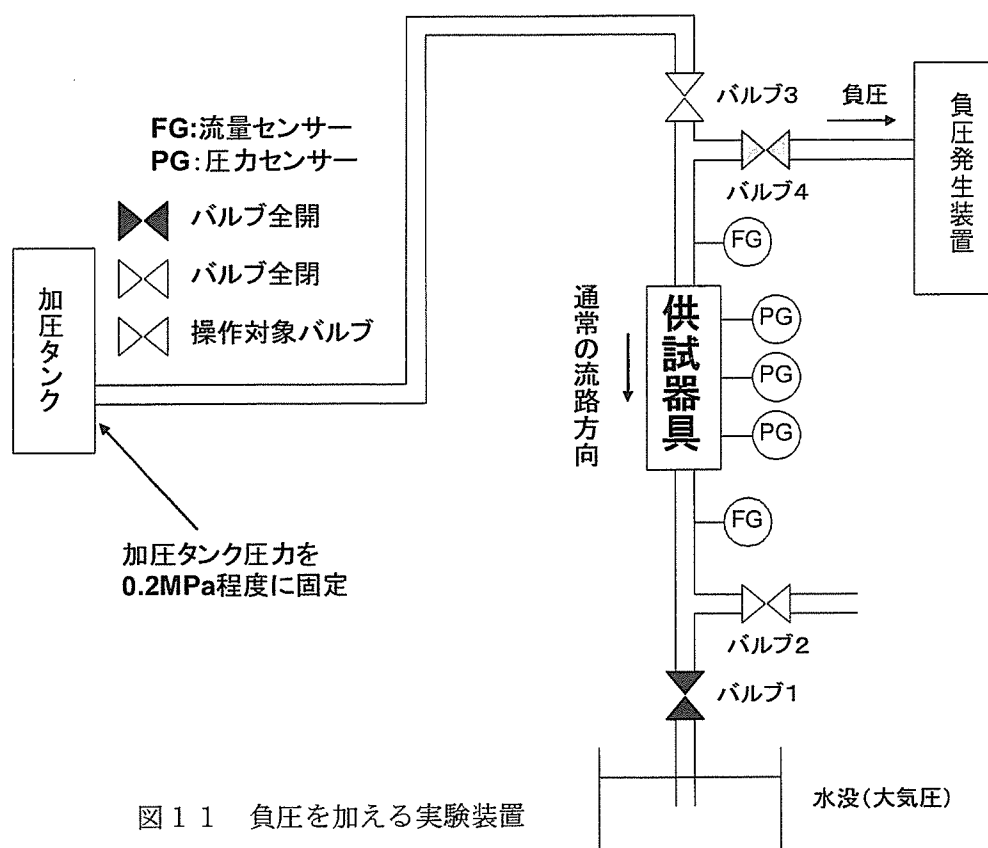


図11 負圧を加える実験装置

<手順>

- (1) 供試器具を取付け、バルブ1、3全開の上、バルブ3を徐々に閉めつつ全閉する
- (2) 負圧発生装置を運転し、 -85kPa に固定する。
- (3) データ収録を開始する
- (4) バルブ4を徐々に全開まで開操作する
- (5) データ収録を終了する

2. 8. 3 単式バネ式逆止弁における弁変位の検知も加味した解析実験

1) 正圧を加える実験(実験5)

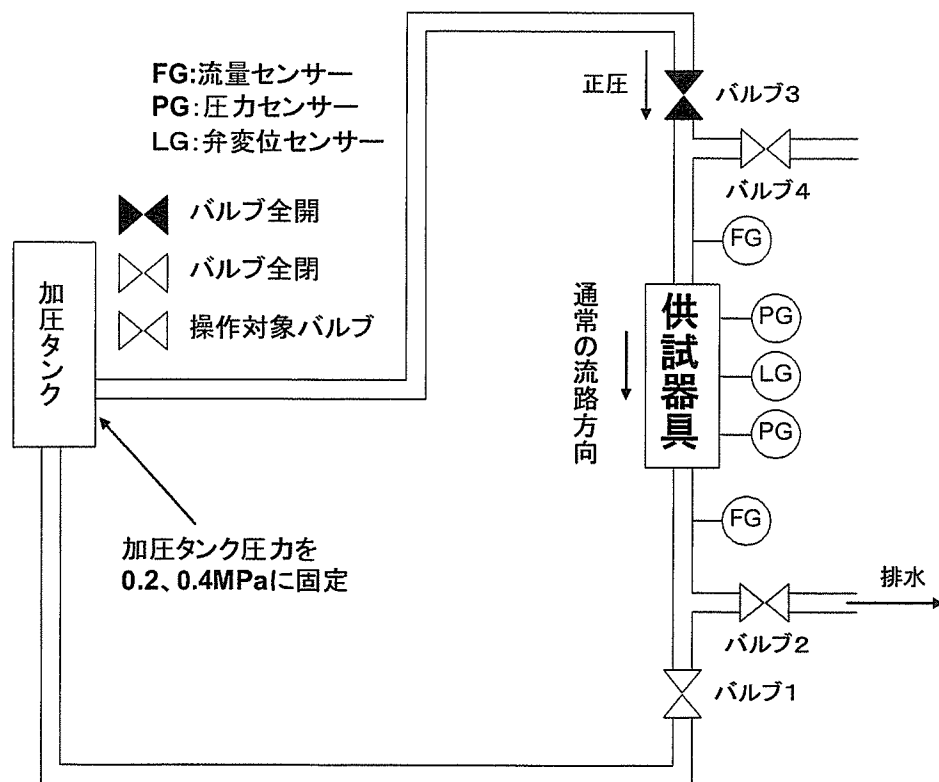


図12 正圧を加える実験装置

<手順>

- (1) 供試器具を取付け、バルブ1、4全閉、バルブ3全開の上、バルブ2を徐々に閉めつつ全閉する
- (2) データ収録を開始する
- (3) バルブ2を徐々に断続的に全開まで開操作する（各開度で流量の安定を確認する）
- (4) データ収録を終了する