

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) 杉山俊幸, 水谷淳, 熊谷紳一郎:ファジイ理論を用いた山留め壁変位の実測値と予測値の整合性判定プロセスのモデル化, 土木学会論文集 No. 480/VI-21, pp. 147-155, 1993年12月.

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

武蔵工業大学 長岡 裕

1. はじめに

近年、受水槽を用いた給水方式において、水質異常や漏水事故が多く報告されている。受水槽の管理は、建物管理者の責任のもと行われることになっているが、必ずしも十分でない¹⁾。また、3階以上の建物に対しては、受水槽内の水質劣化を懸念して、配水管から直接水を供給する直結給水方式が奨励されているが、現状では直結給水方式への切り替えは十分に行われておらず、受水槽方式が多く採用されている。受水槽を用いた給水方式は、配水管から一度受水槽に水を貯め、ポンプを使って屋上にある高架水槽に水を送り、水槽との落差を利用して各部屋へと水が供給される仕組みになっている。給水方式には、受水槽方式、圧力水槽方式、直結給水方式の3つがあるが、勝田²⁾はこれらを圧力変化、ポンプの運転回数、費用等の観点から比較を行った。その結果、受水槽方式は、ポンプの運転回数が少なく済み、設備費の点では有利であるが、水槽内での滞留時間が長いことによる残留塩素濃度の低下による水質劣化が他の方式に比べ劣るとして問題提起している。

宅地内の給水装置に関しては、臭味や異物混入といった水質的な問題も生じているが、約75%が給水装置の故障による漏水であることが分かっている。その原因の多くが、配管の接続不良や経年劣化に起因するものである。また、漏水事故の多くは、検針で前月の水使用量との差を比較して発見されているが、漏水の発見までに時間がかかり、水の有効利用の観点や経済的損失を考えたときに大変な問題であり、早急に検出する方法の開発が求められている。

その一方で、漏水検出の研究や水質調査が行われているが、十分に対応しきれていない。漏水検出の研究は多くされているが、音響式漏水検知システム³⁾や、バルブの急閉にともなう圧力の過渡現象から漏水位置を特定する方法⁴⁾は、距離の長い配水管を対象としたものであり、その研究成果を建物内の給水管へ応用させることは難しい。また、建物内の漏水検知を対象とした研究では、予め漏水が予想されている箇所（継手付近）に直接センサを付け、それによる検出を行う方法⁵⁾が考えられているが、センサの取り付けられていない箇所での漏水検出は不可能である。そして、建物の竣工前に行う漏水の有無を検出する方法⁶⁾も研究されているが、この方法は一時的な調査であり、管の経年劣化による漏水の発生の場合には、十分に対応できないといった問題点がある。

給水管内の水質把握については、末端の蛇口での調査が一時的なサンプルで行われているが、経時変化の調査が十分に行われていない。また、一般家庭の給水管内の水質をリアルタイムで測定し、水質異常を検出する方法は確立されていない。

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。

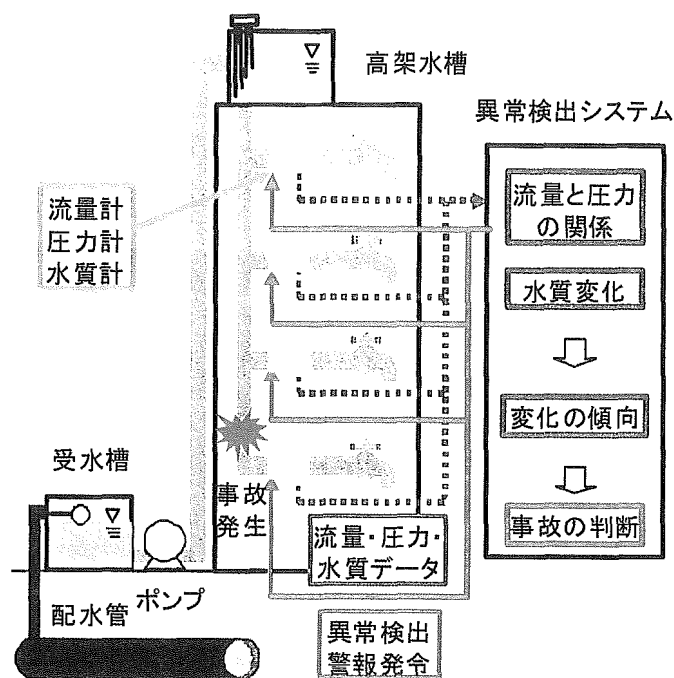


図1 異常検出システム

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概要を図2に示す。本学5階建て建物（受水槽式）の既存の蛇口の先に管（φ13mm）をつなぎ、流量計と圧力計が設置された実験装置を用いた。管末端に設置した蛇口を開き、1回あたりの計測時間を、手洗いで使われる平均使用時間10秒とし、水を流し続けた状態で流量と圧力の出力を100Hzで測定した。測定前に蛇口閉鎖状態での圧力値を確認し、表-2に示す流量になるように管末端の蛇口を調整した。また、漏水の有無や規模の違いによって損失水頭係数入に与える影響を把握するため、漏れのない状態、管に1.5mmの穴がある状態、1.0mmの穴がある状態、1.0mmの穴にネジが挿してある状態のそれぞれを表-2に示した流量ごとに10回/日を5日間測定した。なお、実験装置は漏水の有無や、規模による影響をみるために、穴の開いた管が取り付けられるようになっており、接続部分はネジで管内の形状が変わることがないようにしている。

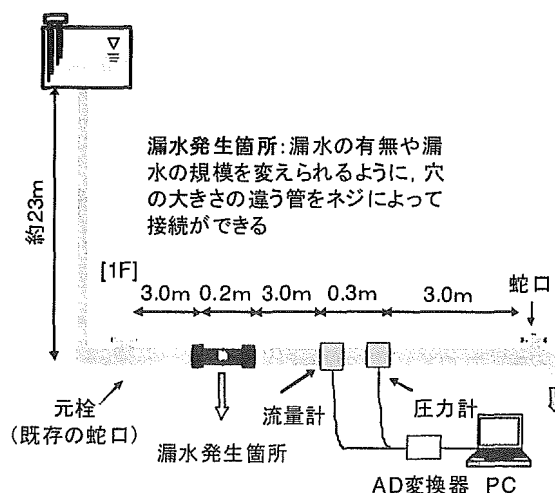


図2 実験装置（漏水実験対応型）

各出力を1Hzでパソコンに連続的に取り入れ、測定期間中は蛇口の使用に特に制限をかけず、日常の水道利用状態で測定を行った。測定期間Ⅰは、平成17年6月14日から21日までの8日間、2階の蛇口付近に設置した流量計と圧力計、酸化還元電位（ORP）計より、流量、圧力、ORPの測定を行った。測定期間Ⅱは、平成18年1月8日から13日までの5

日間、1階と2階の蛇口付近に設置した流量計、圧力計、酸化還元電位（ORP）計、電気伝導度（EC）計より、流量、圧力、ORP、ECの測定を行った。測定期間は、平成17年11月18日から24日までの7日間、1階の蛇口付近に設置した流量計と圧力計より、流量と圧力の測定を行った。

また、測定期間Ⅲに限っては、調査票を蛇口付近に設置し、利用者に使用時間、使用者、使用時間、蛇口の開き方、使用目的を記入してもらい、利用目的を把握することとした。蛇口の開き方は、小開、中開、全開の3項目とし、利用者が該当すると判断した項目に印をつけるようになっている。使用目的は、手洗い、食器等の洗浄、水を汲む、その他の4項目とし、利用者が該当すると判断した項目に印をつけ、その他に関しては利用者が別途記入するようになっている。そして、測定されたデータと照らし合わせて、そのときの流量と使用時間を詳しく調査するものとした。

3. 定常損失水頭係数λによる漏水検出の方法

高架水槽から伸びた一様断面積の管路を考えたときに、式(1)が示すように各水頭の合計は、全水頭Hとなり、どの断面においても等しくなる。管の摩擦や形状による損失は、ダルシー・ワイズバッハ式(2)のように示され、摩擦損失係数 f （完全粗面域内）、形状損失係数 K 、管長 L 、管径 D 等の管固有の値を括り、係数部分と変数部分に分けて示した式(3)に変換することができる。その管に固有する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は概ね一定の値を示すことが考えられ、この損失水頭係数λの監視によって、管内の異常を検出する可能性が考えられた。そこで、末端の蛇口により流量を変化させ、そのときの損失水頭係数λを求めた。蛇口閉鎖時の圧力水頭は、圧力計の位置から高架水槽の水面までの全水頭となる。蛇口使用直前に求められる全水頭より、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、式(4)が示すように総損失水頭を流量の2乗で除すことによって求められる。

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

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

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

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

手洗い等の水使用時間は概ね10秒であることが経時変化の測定から明らかになっており、実生活への適用を考えたときに、10秒全体での傾向を把握することが必要と考えた。そこで、10秒間での損失水頭係数λの平均値と標準偏差を算出し、それを1回の実験結果とした。それぞれの実験結果から平均流量が求まるが、その平均流量を表-2に示す流量区分に照らし合わせて、該当する流量区分に振り分けを行い、そのなかで各実験の平均値と標準偏差を求めた。流量で区分することで、各区分での損失水頭係数λの分布状況を把握することとした。

なお、高架水槽内の水面位置と流量計設置位置の関係をベルヌーイの式で表し、その間の損失水頭を用いて損失水頭係数λを求めた。

表-2 損失水頭係数算出のための流量区分 (m³/h)

流量区分	最大流量	最小流量
0.90	0.95	0.87
0.85	0.87	0.83
0.80	0.83	0.77
0.75	0.77	0.73
0.70	0.73	0.67
0.65	0.67	0.63
0.60	0.63	0.57
0.55	0.57	0.53
0.50	0.53	0.47
0.45	0.47	0.43
0.40	0.43	0.39
0.37	0.39	0.36
0.35	0.36	0.34
0.33	0.34	0.32
0.30	0.32	0.29
0.27	0.29	0.26
0.25	0.26	0.24
0.23	0.24	0.22
0.20	0.22	0.19
0.17	0.19	0.16
0.15	0.16	0.14
0.13	0.14	0.12
0.10	0.12	0.10

4. 実験結果および考察

4. 1 漏水量と流量の関係

漏水を起こす実験条件のときに、漏水量を測定した。漏水量は、メスシリンダーで漏水を採取し、その体積を採取時間で除することで求めた。図3に末端流量と漏水量の関係を示した。図4に末端での全流量に占める漏水量の割合の関係を示した。図3をみると、末端流量が少なくなればなるほど、漏水量は横ばいの傾向を示すが、図4をみると漏水量の占める割合が大きくなっていくことが分かる。また漏水の規模が大きいほど全体流量に占める漏水量の割合が多くなることも分かる。特に、末端流量が0.4m³/h以下の場合、末端流量と漏水量の占める割合の変化が大きくなる事が分かる。

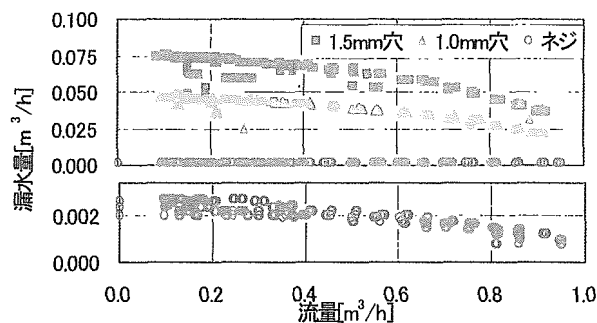


図3 末端流量と漏水量の関係

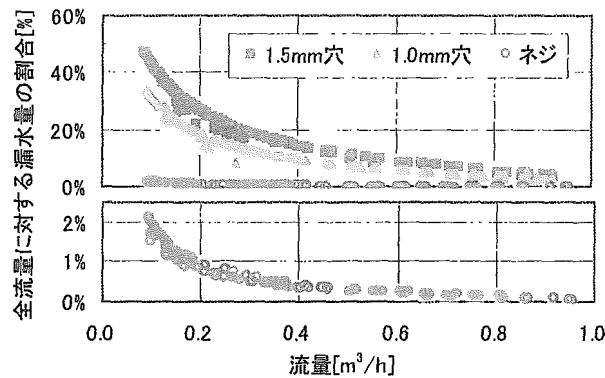


図4 末端流量と全流量に占める漏水量の割合の関係

4. 2 末端流量と末端圧力の関係

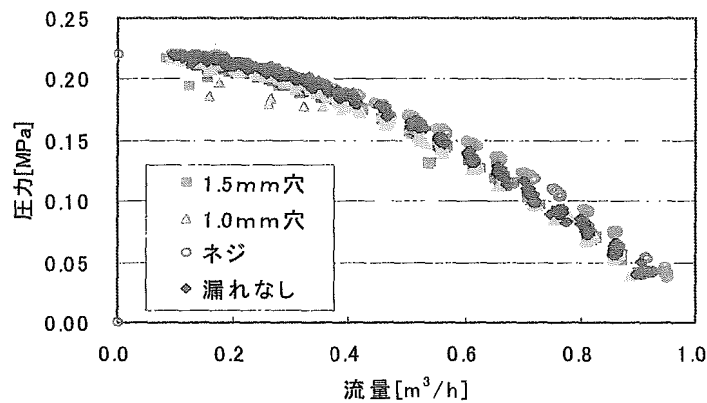


図5 末端流量と末端圧力の関係

図5に末端での流量と圧力の関係を示した。流量が多くなれば圧力が2次曲線的に低下していることが分かる。穴を開けた状態では漏れのない状態より下側、ネジを挿した状態では上側を推移することがわかった。次に、流量と圧力の関係をベルヌーイの定理から、各々を近似し、漏れのない状態と漏れのある状態との近似式から差をとり、差圧 Δp を求めた。この差圧 Δp は後述する損失水頭係数 λ の算出に用いた。

$$\Delta p = -0.0136Q^2 - 0.0094Q + 0.0027 \quad (\text{ネジ}) \quad (5)$$

$$\Delta p = -0.0263Q^2 - 0.0266Q + 0.0001 \quad (1.0\text{mm穴}) \quad (6)$$

$$\Delta p = -0.0262Q^2 - 0.0226Q + 0.0022 \quad (1.5\text{mm穴}) \quad (7)$$

4. 3 流量と損失水頭係数 λ の関係

図6に、漏水のない状態と管に穴があいている状態、穴にネジがささっている状態の末端流量と損失水頭係数 λ の関係を示した。図6に示した損失水頭係数 λ は、表-2で示した流量区分ごとに分けられた約60サンプルを平均した値である。漏水量の占める割合が大きくなる0.4m³/h未満において、損失水頭係数 λ は漏れが生じていると、漏れのない状態に比べて大きくなる傾向にあることが分かる。また、漏水の規模が大きくなればなるほど、各流量における損失水頭係数 λ は漏れのない状態に比べ大きくなることがわかり、漏れのない状態と管に1.5mmの穴を開けたときには、最大で約2倍程度の差が生じていることが分かる。

図7には、末端流量と損失水頭係数 λ の標準偏差の関係を示した。ここで示す損失水頭係数 λ の標準偏差とは、表-2に示した流量区分における損失水頭係数 λ の分布状況を示す。図7をみると、図6と同様に漏水量の占める割合が大きくなる範囲において、標準偏差が漏水の規模を問わず大きくなる傾向にあり、漏水の有無により、最大で10倍程度の差が生じることがわかる。

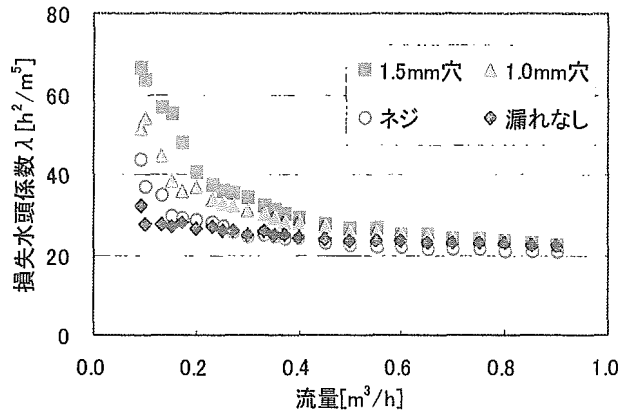


図6 流量区分された損失水頭係数λと末端流量の関係

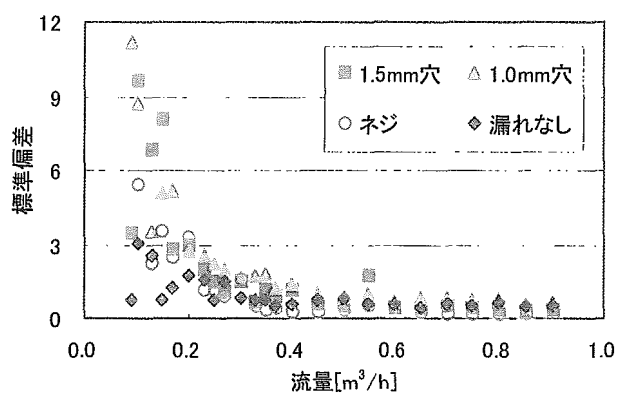


図7 流量区分された損失水頭係数λの標準偏差と末端流量の関係

4. 4 漏水量と損失水頭係数λの関係

図8に、各実験条件での漏水量と、そのときの損失水頭係数λの関係を示す。図8をみると漏水の規模が大きくなればなるほど、右側にシフトし、損失水頭係数λが20付近を示す範囲が広がることになる。

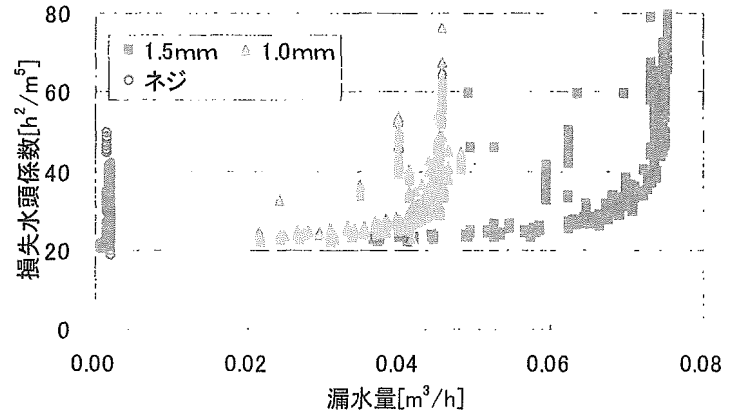


図8 漏水量と損失水頭係数λの関係

4.5 レイノルズ数と損失水頭係数λの関係

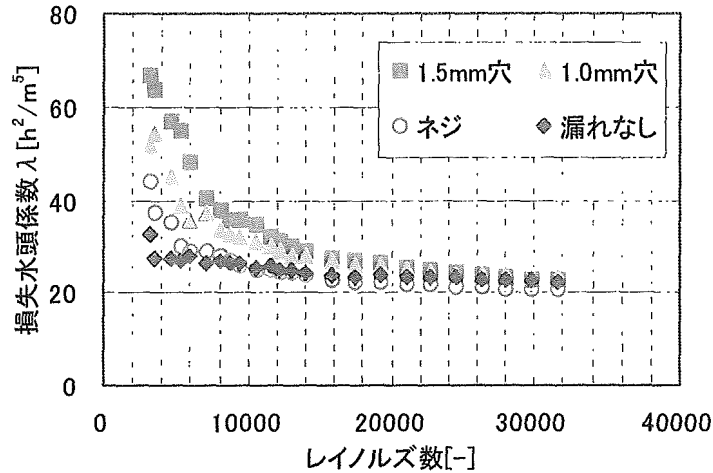


図9 流量区分された損失水頭係数λとレイノルズ数の関係

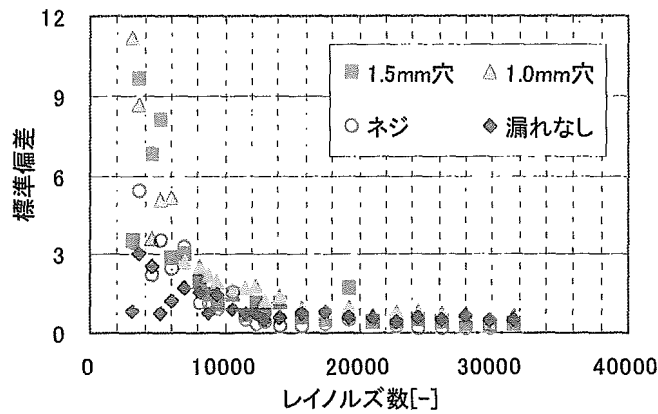


図10 流量区分された損失水頭係数λの標準偏差とレイノルズ数の関係

図9に、各実験条件でのレイノルズ数と損失水頭係数λの平均値の関係を示した。流量 Q からレイノルズ数 R_e を求め、層流域、遷移流域、乱流域による影響があるのかどうかを検証した。レイノルズ数は、流量計の通水断面を流量断面 A (直径 D :10mm) とし、式(8)により求めた。また、図10にレイノルズ数と損失水頭係数λの標準偏差の関係を示した。

$$R_e = \frac{D Q}{\nu A} \quad (8)$$

層流 ($R_e \leq 2000$) の場合の摩擦損失係数 f は、式(9)に基づいて管の粗度に関係なく変化する。乱流 ($R_e \geq 4000$) の場合、摩擦損失係数 f は式(10)によってレイノルズ数が変化するによって変化する。完全粗面領域において、摩擦損失係数 f は概ね一定値を示す。遷移流 ($2000 \leq R_e \leq 4000$) の場合、摩擦損失係数 f は不安定になる。そのため、損失水頭係数λを構成する摩擦損失係数 f の変化が、損失水頭係数に影響を与えると考えられる。

$$f = 64/R_e \quad (9)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2.0 \log_{10} \left(\frac{2k_s}{D} + \frac{18.7}{R_e \sqrt{f}} \right) \quad (10)$$

図9と図10をみると、全てレイノルズ数が2000以上の範囲で計測され、乱流であったことが分かる。また、レイノルズ数が15000未満になると、それぞれの条件での各レイノルズ数における損失水頭係数 λ の標準偏差が大きくなる傾向がみられた。また、漏水の規模が大きくなればなるほど、損失水頭係数 λ の平均値は、レイノルズ数の小さい範囲において傾きが急になることが分かる。この原因として、損失水頭係数 λ を構成する f が、レイノルズ数15000未満においては、一定ではなく変化していることが挙げられる。

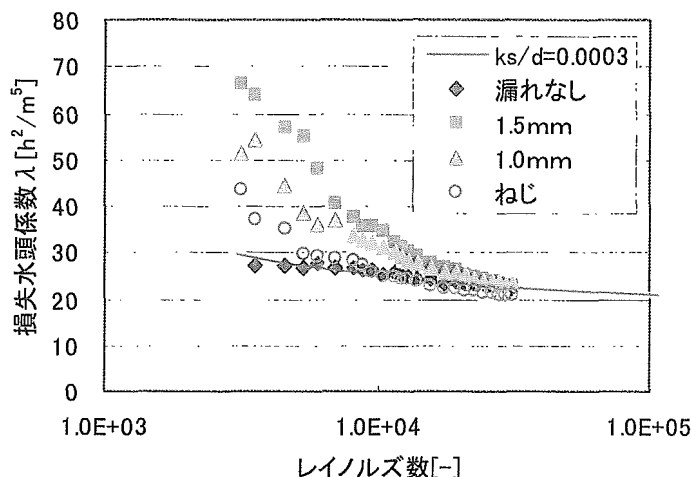


図11 損失水頭係数 λ のシミュレーション結果

図11に実験結果と、式(11)に示すように管長 L 、管径 D 、形状損失係数 K 、摩擦損失係数 f から求めた損失水頭係数 λ の結果を示した。このときのそれぞれの値を、蛇口末端から給水本管（管径：10cm）までの管長（20m）、管径（1.29cm）、形状損失係数（60）、摩擦損失係数とした。摩擦損失係数は、式(10)に示されるようにレイノルズ数が増えることによって変化する。実験に用いた管が塩ビ管のため、 $k_s/d=0.003$ とし、管長、管径は実際に測定を行ない求めた。形状損失係数は継ぎ手や、曲がり部の数を考慮し、漏れのない状態の結果に合わせるように求めた。

$$\lambda = \frac{1}{2gA^2} \left(f \frac{L}{D} + K \right) \quad (11)$$

図11を見ると、逆算的に算出した損失水頭係数 λ は、漏れのない状態とほぼ一致し、漏れのある状態と比較すると値が大きく異なることも分かる。このことから、損失水頭係数 λ は摩擦損失係数の変化に沿った変化をしていることが分かる。また、このシミュレーションでは、末端から給水本管までの長さで計算を行なっているが、この結果より末端より管径の大きい給水本管部分での摩擦損失は無視でき、摩擦損失は給水本管から末端までの管で生じていることが分かった。

4.6 漏水量を末端流量に加算した損失水頭係数 λ

末端流量に漏水量を加え、漏れのないときとの差圧を考慮して、漏水のある状態をない状態に換算した。その換算した損失水頭係数 λ は、式(12)より求め、差圧は図5で示した流量と圧力の関係から考慮した。その結果を図12に示した。また、そのときのレイノルズ数との関係を図13に示した。

$$\lambda = \frac{(h_L - \Delta p / \rho g - q^2 / 2g)}{(Q + q)^2} \quad (12)$$

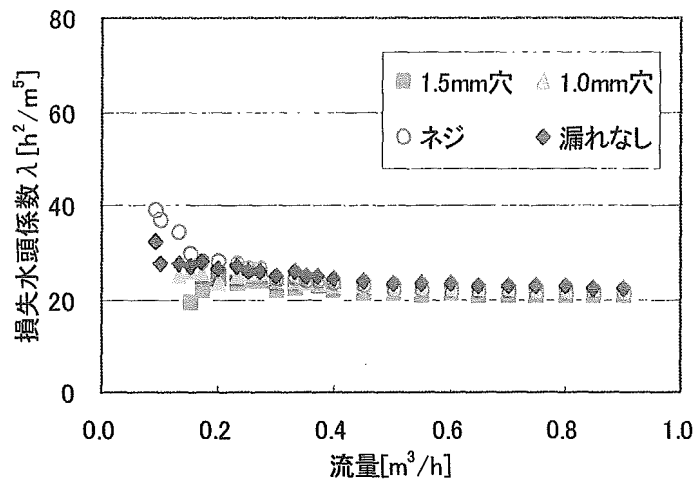


図12 漏水量を加えた損失水頭係数λと末端流量の関係

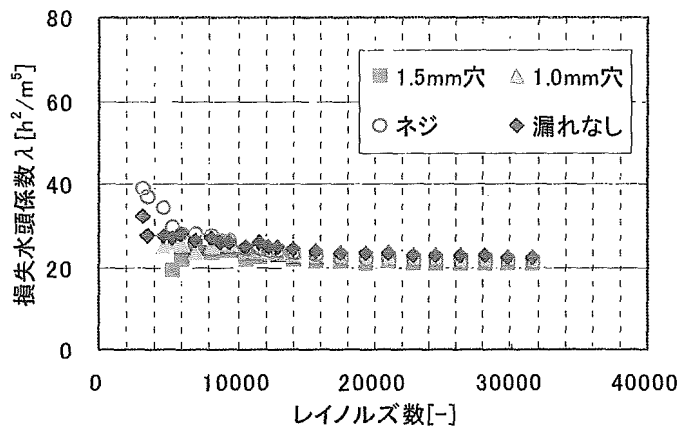


図13 漏水量を加えた損失水頭係数λとレイノルズ数の関係

漏水量を加えた損失水頭係数λを求めた結果、管に穴を開けた状態では、損失水頭係数λの傾きが漏れのない状態とほとんど同じになったことが分かる。末端流量に漏水量が加わることで全体流量が増加し、それに伴うレイノルズ数の増加によって、摩擦損失係数 f の示す範囲が、不安定な値を示す遷移流域から完全粗面領域付近に近づいたことで、損失水頭係数λが概ね一定値を示すようになったと言える。

しかし、穴にネジを挿した状態では、変化がなかったことも分かる。これは、漏水量が穴を開けた状態に比べると最大で1/40程度の量であり、この量を末端流量に加えたときに、レイノルズ数への影響が小さいことが原因として考えられた。そのため、摩擦損失係数 f への影響が少なく損失水頭係数λの傾きに影響を及ぼさなかったと考えられる。つまり、管に流れるはずの流量と、かかるはずの圧力がかからないときに損失水頭係数λは、低レイノルズ数の範囲内で値が大きく変化すると言える。

4. 7 各流量における損失水頭係数λの分布状態

流量区分ごとの損失水頭係数λの平均値と標準偏差を算出し、この確率密度関数を求めた。流量区分ごとに図14～17に示した。末端流量が増えると正規分布の形は平均値を中心に尖った傾向になり、末端流量が減ると裾野の広い分布になる傾向がわかる。また、漏水量割合が高くなる末端流量（0.4m³/h未満）の範囲では、漏れの程度が大きくなるにつれ、平均値が大きくなり、分布の幅が広くなることがわかる。この傾向は、大部分の流量区分でも同様である。ただし、ネジを挿した状態では、末端流量が多いときには、漏れのない状態より、分布の幅が狭くなって

いることが分かる。

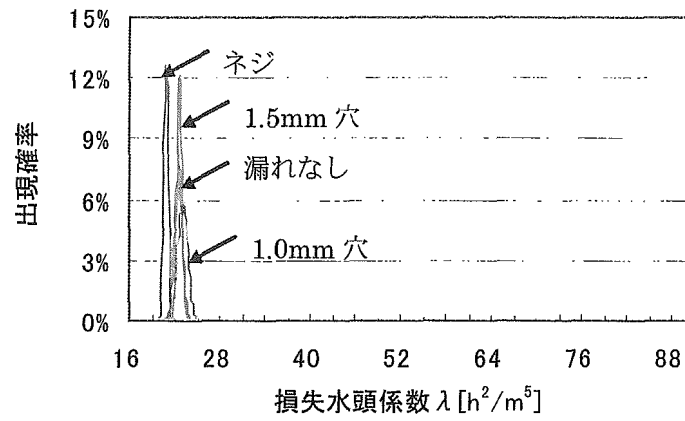


図14 流量区分0.9 m³/hにおける正規分布

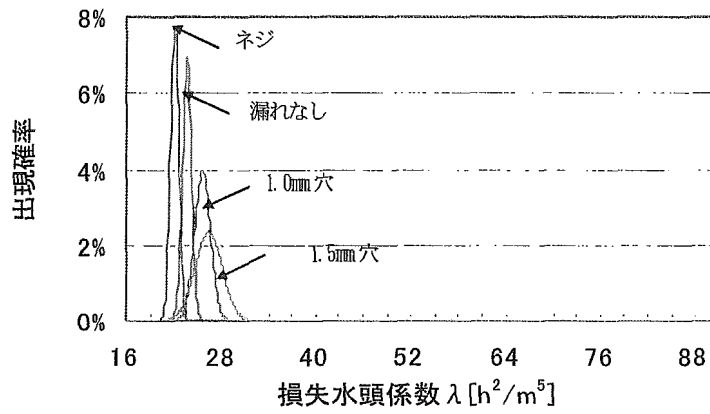


図15 流量区分0.55 m³/hにおける正規分布

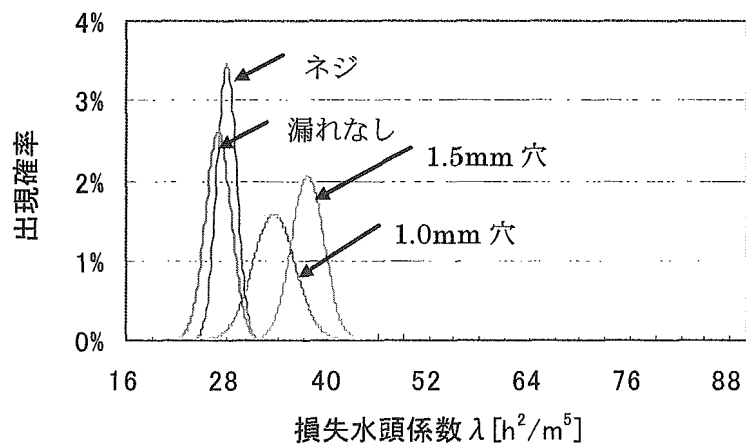


図16 流量区分0.23 m³/hにおける正規分布

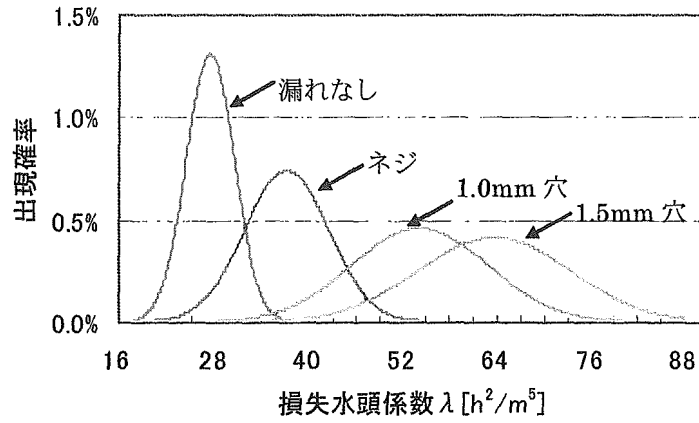


図17 流量区分0.1m³/hにおける正規分布

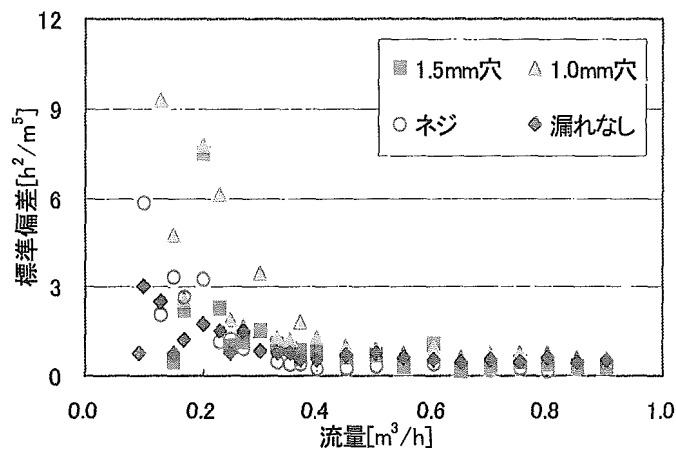


図18 漏水量を加えた損失水頭係数λの標準偏差と流量の関係

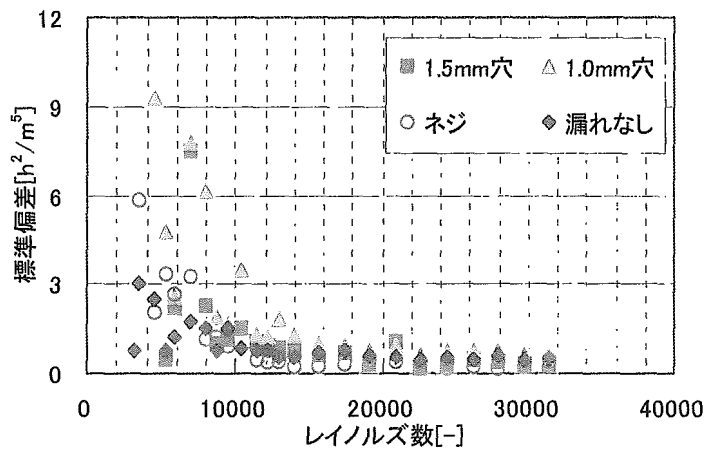


図19 漏水量を加えた損失水頭係数λの標準偏差とレイノルズ数の関係

損失水頭係数λの出現確率を示した正規分布曲線は、末端流量が少なくなる範囲においては、漏水規模の違いによって分布の広がり方に違いが出てくることが分かった。そこで、損失水頭係数λの標準偏差も平均値と同様に、末端流量に漏水量を加えたときの変化を図18、図19に示した。漏水量を加える前の図と比較を行うと、漏水のある条件の場合、右側にシフトしていることがわかる。これは、漏水量が加わることで流量が増加することによるものである。管に1.5mmの穴を開けた場合では、漏水量を加えると標準偏差が小さくなることがわかる。この原因として、

他の条件の傾向からは必ずしも言うことができないが、流量と圧力の微小な変化が打ち消しあったものと考えられた。

5. まとめ

管内の損失を求めるのに使われているダルシーワイズバッハ式を変数部分と係数部分に分けた式に変換した。その係数部分を損失水頭係数 λ とおき、実際に管に穴（直径：1.0mm, 1.5mm）を開けたり、穴にネジを挿したりして漏水を発生させ、そのときの係数を比較することによって漏水の検出の可能性を検討してきた。その結果、全流量に占める漏水量の割合が高い範囲（末端流量：0.4m³/h未満）においては、漏水の規模が大きければ大きいほど、損失水頭係数 λ の平均値と標準偏差は大きく求められた。

漏水量が増加すると、末端でのレイノルズ数が低下し、損失水頭係数 λ を構成する摩擦損失係数 f が不安定になる遷移流側にシフトする。そのため、漏水がある場合に、損失水頭係数 λ の平均値や標準偏差が大きくなったのではないかと考えられた。

また、管に穴がある場合、そこから微小な水撃圧が生じ、速度水頭と圧量水頭の変動のバランスが崩れ、損失水頭係数 λ の変動がみられたと考えられたが、これは実証するにいたっていない。

しかし、全流量に占める漏水量の割合が高い範囲では、損失水頭係数 λ が漏水の有無によって変化することがわかったため、漏水のないときの損失水頭係数 λ を把握しておき、通常の水利用のときの損失水頭係数 λ と比較することで、漏水を検出することが可能であると実験結果から示された。

参考文献

- 1) 給水工事技術振興財団：厚生労働省科学研究費補助金(がん予防等健康科学総合研究事業)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 総括・分担研究報告書,2004.
- 2) 給水工事技術振興財団，水道技術研究センター：厚生労働省科学研究費補助金(がん予防等健康科学総合研究事業)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14年度 総括・分担研究報告書,2003.
- 3) 給水工事技術振興財団：給水装置における事故事例等の実態調査集計結果,2003.
- 4) 勝田 誠至：衛生設備における給水方式の比較：設備設計,Vol.35,No.7,pp.13-20
- 5) 半田 千秋：漏水検知システム：計装工事,Vol.14,No.2,pp.44-48,1994.
- 6) 武田 博，佐藤 功一，橘 弘幸，坪井 桂一：音響式漏水検知システムの開発：三井造船技報，No.165,pp.24-28,1998.
- 7) 特許公報：漏水検出装置：特許第3144971(2001.3.12)
- 8) Xiao-Jian Wang, Maritin F. Lambert, Angus R. Simpson, James A. Liggett and John P. Vitkovsky.:Leak detection in pipelines using the damping of fluid transients, *J.Hydraul.Eng.*, Vol.128,No.7,pp. 697-711,2002.
- 9) Witness Mpesha, Sarah L.Gassman, and M. Hanif Chaudhry.:Leak detection in pipes by frequency response method, *J.Hydraul.Eng.*, Vol127,No.2,pp. 134-147,2001.
- 10) Bruno Brunone and Marco Ferrante.:Detecting leaks in pressurized pipes by means of transients, *J.Hydraul.Res.*, Vol.39,No.5, pp.539-547,2001.
- 11) 牧野 茂：配管システムの性能試験・検査および異常監視法：空気調和・衛生工学,vol.59,No.8,pp41-47,1985.
- 12) 岡村 整，楮本 豊，三好 哲：監視制御システムのオンラインデータを活用した設備診断システム：EICA,Vol.5,No.4,pp.29-62,2001.
- 13) 岡村 整，小林 健一郎，村尾 崇：設備監視システムの開発：EICA,Vol.5,No.2,pp.59-62,2000.
- 14) 岡村 整，乾 剛：水使用量実態調査システムの開発：水道協会雑誌，Vol.73,No.2,pp.24-31,2004.
- 15) 山崎 和生，宇田川 富男：給水の水質トラブルおよびその対策：空気調和・衛生工学，Vol.69,No.1,pp.13-19,1995.
- 16) 野口 昇平，仲井 章一，難波 成美:差込み継手漏水検証実験：ダイダニ技報，No.96，pp.29-36,2004.
- 17) 田中 法幸，鳥越 順之：配管の腐食防食事例に対する分析：ダイダニ技報，No.96，pp.18-22,2004.
- 18) 瀬津 家久，富永 晃宏：水理学：朝倉書店，pp.239-245,2000.
- 19) 日野 幹夫：明解水理学：丸善,1997.

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

国立保健医療科学院 水道工学部 伊藤雅喜 馬場崇
給水システム協会 酒井一夫

1 本研究の目的

2004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。

これを踏まえ、これまでは各種の逆流防止装置について、負圧破壊性能試験等により各器具の特性を評価し、給水方式と逆流の危険度に応じた効果的な逆流防止法を検討してきたところである。

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。

従って、本年度からの研究では逆流防止装置を常時監視することで、経年劣化や、異物噛み等の事故時における機能低下・機能不全をいち早く検知することが重要であると考えた。このため、本研究では作動状況の可視化に必要と考えられる圧力、流量センサーを取り付けた装置を開発するとともに、これを用いて様々な状況を再現しながら各データを収集し、異常検知方法について検討することとした。これと同時に、さらに効果的な異常監視を実現するため、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することとした。

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の単式バネ式逆止弁を対象に、器具の前後にそれぞれ圧力及び流量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異常状態を再現し、図1の実験装置を用いて正圧、逆圧、負圧時の

圧力、流量データを収集し、相互にあるいは正常時とデータを比較検討した。

また、さらに効果的な異常監視を実現するため、弁体の変位量も計測対象に加えることとし、これを検知可能とするセンサー付の試作品を開発した。

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。

2. 1 供試器具

本研究では、各種の逆流防止装置が存在する中で、次の理由によりバネ式逆止弁を実験対象とした。

- (1) 給水用具として用いられる逆止弁としてその作動機構が一般的であること。
- (2) 設置姿勢に制約が無く、比較的コンパクトであり、設置し易いこと。
- (3) 逆圧のほか負圧に対しても比較的逆流防止効果が高いため、様々な状況での逆流防止効果が高いと考えられること。
- (4) 日本水道協会で既に規格化されており、製品性能を評価し易い事。
- (5) 単式のみならず二重式逆止弁、減圧式逆流防止器等に広く活用されていること。

これに加えて、バネ式逆止弁の基本的性能を評価するに当たり、構造が最も簡単であること、逆流事故が発生した際の被害が甚大となる大都市での使用割合の高い径であることを考慮し、口径 20mm の単式バネ式逆止弁を供試器具の対象とした。

実際に実験に用いる供試器具については、バネ圧の違いによる性能を比較するため、バネ定数を計測した上で、図 2～4 に示す 3 つの製品を採用した。

2. 2 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。

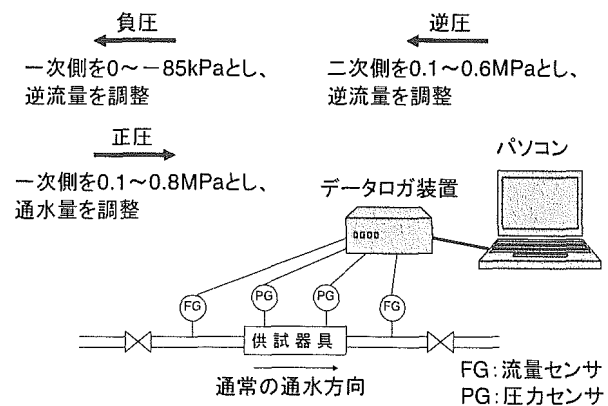
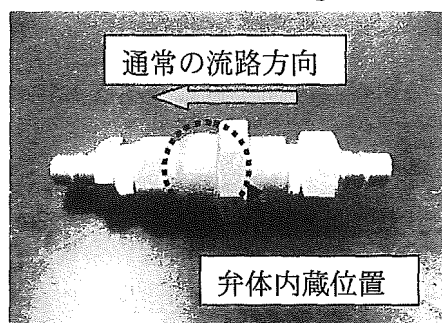


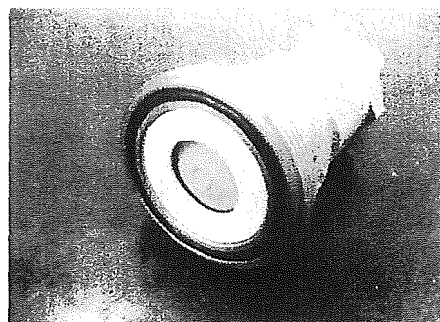
図1 実験装置

(製品A) 通常の市販品である口径 20mm の単式バネ式逆止弁 (バネ圧小)

(バネ定数: $k = 76 \text{ g/cm}$)



外 観

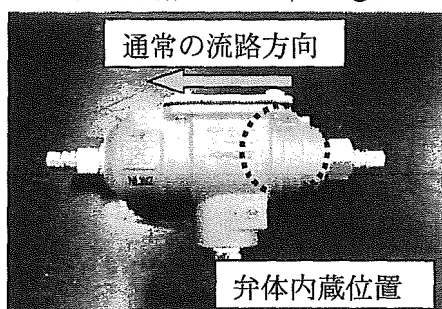


内部状況

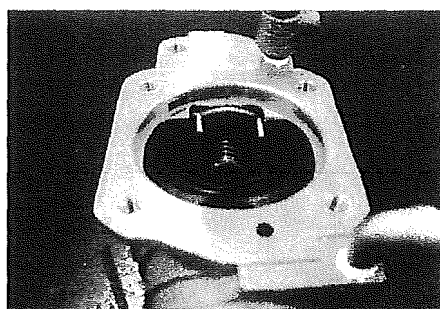
図 2 製品A

(製品B) 二次側弁を除去した上で、減圧式逆流防止器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 (バネ圧大)

(バネ定数: $k = 1,667 \text{ g/cm}$)



外 観

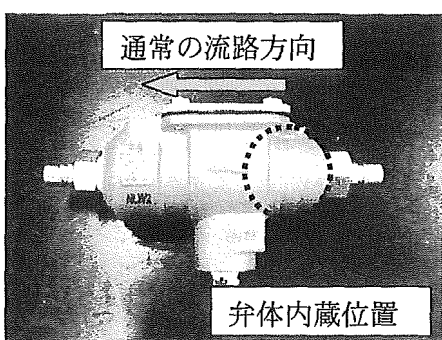


内部状況

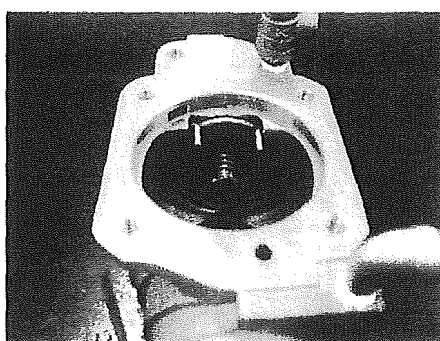
図 3 製品B

(製品C) 二次側弁を除去した上で、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 (バネ圧中)

(バネ定数: $k = 533 \text{ g/cm}$)



外 観



内部状況

図 4 製品C

2. 3 異常状態の再現

本研究では、単式バネ式逆止弁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、異物を想定した径の異なる針金を噛み込ませることとした。

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の器具対応)を噛み込ませた状態で主に実験を行った。これに加えて、針金径の違いを比較する実験も行い、必要に応じて径0.2~2.0mmの範囲で針金を噛み込ませることとした。

各製品における針金噛み状態を図5、図6に示す。

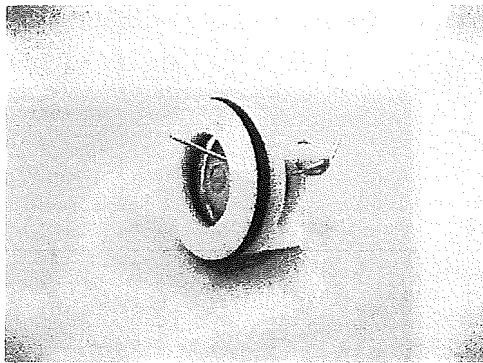


図5 製品A針金噛み状態

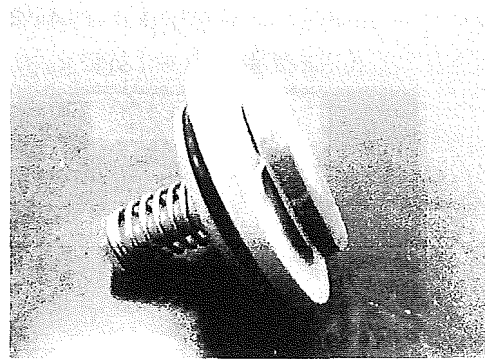


図6 製品B、C針金噛み状態

実験に当たっては、反復的な実験を容易とするため、図5に示す製品Aのように針金の一端を弁体円周上に噛み込ませた上で、もう一端をカートリッジ本体に固定させることとしたが、製品B及びCでは実験ごとに針金噛み状態が変動するため、図6のとおり針金の一端を弁体円周上に噛み込ませるのみとした。

2. 4 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と流量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。

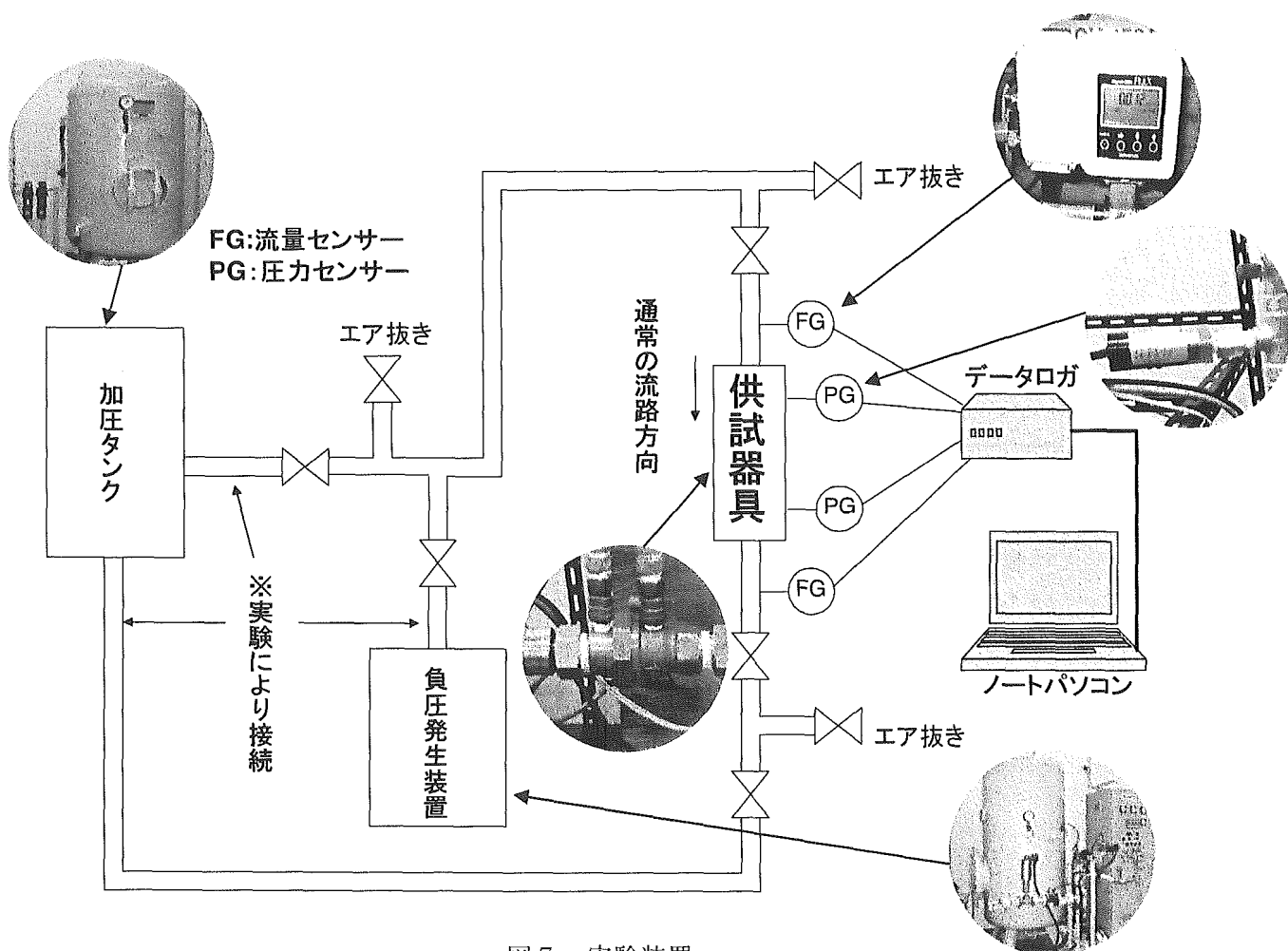


図7 実験装置

<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-XB1X-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. 5 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、器具前後の圧力及び流量データを収録することとした。

2. 5. 1 正圧、逆圧、負圧下での正常時と針金噛み時の比較実験

全ての製品について、正常時（針金噛み無し）と径 1.0mm 針金噛み時との比較実験を表 1 のとおり実施した。（* 負圧下では弁差圧が同等であれば、逆圧下と同様の状況となることが確認できたため、製品 C については負圧下での実験を省略した。）

表 1 正圧・逆圧・負圧下での正常時と針金噛み時の比較実験

	正圧 (最大 0.8 MPa)	逆圧 (最大 0.6 MPa)	負圧* (最大 -85kPa)
正常時	○ 実験 1	○ 実験 2	○ 実験 4
径 1.0mm 針金噛み時		○ 実験 3	

2. 5. 2 逆圧下での径の異なる針金噛み時の比較実験

全ての製品について表 2 のとおり実験を実施した。

表 2 逆圧下での径の異なる針金噛み時の比較実験

	逆圧 (最大 0.6 MPa)
ゴミ噛み時 (針金 0.2~2.0mm)	○ 実験 5

* 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：中高層建物に使用する増圧直結給水設備では日本水道協会規格「水道用直結加圧形ポンプユニット」JWWAB 130 を採用することが多く、当規格で最大吐出圧を 0.75MPa と規定しているため、最大設定値を 0.8MPa とした。

逆圧：上記の増圧直結給水設備により加圧した場合の給水立て管基部にかかり得る最大背圧を想定し、最大設定値を 0.6MPa とした。

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、これを最大設定値とした。

2. 6 実験手順

2. 6. 1 正圧、逆圧、負圧下での正常時と針金噛み時の比較実験

1) 正圧下での実験 (実験 1)

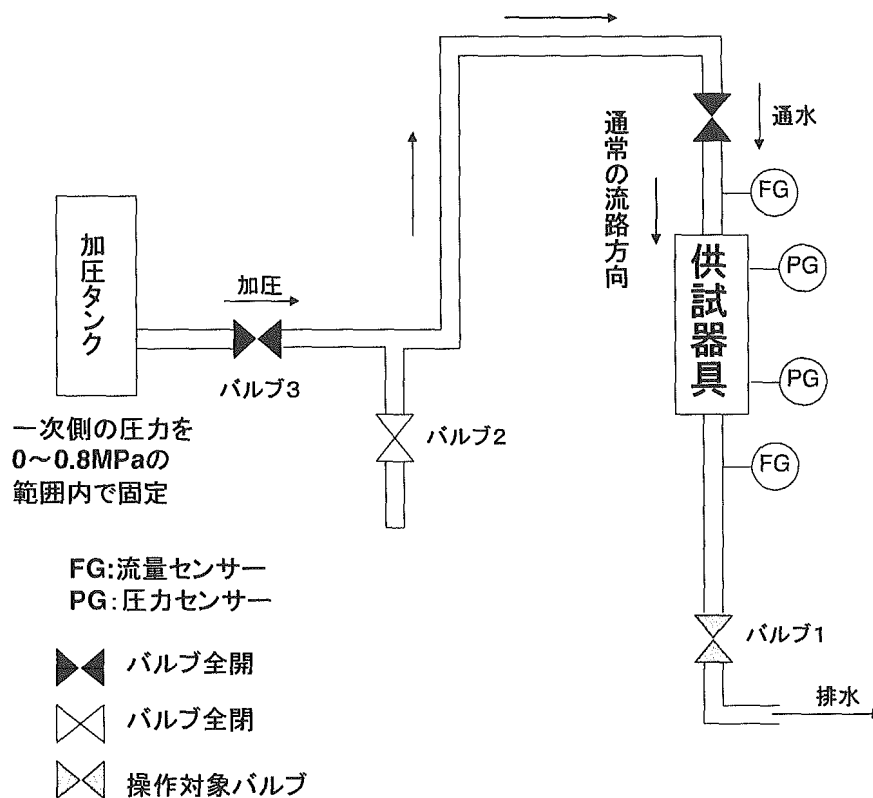


図8 正圧下での実験装置

<手順>

各製品の正常時及び径 1.0mm 針金噛み時を再現し、これを供試器具として以下の手順で実験を実施する

- (1) 供試器具を取付け、バルブ1全閉の上、図8に示す状態とする
- (2) 加圧タンクを用いて一次側圧力を設定する (0.1~0.8MPaの範囲内で適宜固定)
- (3) バルブ1全閉のまま各部エア抜きを行い、管内を充水する
- (4) 圧力及び流量データ収録を開始する
- (5) バルブ1の開度を1/5刻み程度で断続的に全開まで徐々に開操作する (各開度で流量が安定することを確認する)
- (6) バルブ1を全閉する
- (7) データ収録を終了する
- (8) 一次側圧力の設定を変更し、(1)~(7)の操作を繰り返す